



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Διπλωματική Εργασία

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΚΙΝΗΤΟΥ
ΤΗΛΕΦΩΝΟΥ ΣΤΗΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΜΕΣΩ
ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ**

ΚΟΤΣΙΑΛΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

Επιβλέπων: Σπυροπούλου Ιωάννα, {Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.}

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ**



Αθήνα, Ιούλιος 2018



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL & SURVEYING ENGINEERING
DEP. OF INFRASTRUCTURE AND RURAL DEVELOPMENT

Diploma Thesis

**INVESTIGATION OF THE IMPACT OF MOBILE PHONE USE
ON TRAFFIC THROUGH MICROSCOPIC TRAFFIC
SIMULATION**

KOTSIALOS EVANGELOS

Supervisor: Spyropoulou Ioanna, {Assistant Professor N.T.U.A.}

**LABORATORY OF
TRANSPORTATION ENGINEERING**



Athens, July 2018



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Διπλωματική Εργασία

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΚΙΝΗΤΟΥ
ΤΗΛΕΦΩΝΟΥ ΣΤΗΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΜΕΣΩ
ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ**



ΚΟΤΣΙΑΛΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

Επιβλέπων: Σπυροπούλου Ιωάννα, {Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.}

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ**



Αθήνα, Ιούλιος 2018

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας τελειώνει ένας σημαντικός κύκλος των προπτυχιακών μου σπουδών στο αντικείμενο του Διπλωματούχου Αγρονόμου-Τοπογράφου Μηχανικού.

Αρχικά, θέλω να ευχαριστήσω την κ. Ιωάννα Σπυροπούλου, Επίκουρη Καθηγήτρια της Σχολής Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. και επιβλέπουσα της διπλωματικής εργασίας, η οποία επιτέλεσε σημαντικό ρόλο για την εκπόνηση της εργασίας, μέσα από την καθοδήγηση, υποστήριξη και εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Γιώργο Κουσκουλή, Υποψήφιο Διδάκτωρ της Σχολής Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π., καθώς επίσης και τον Luke Riley, Ερευνητικό Συνεργάτη του τμήματος Informatics του King's College London, για τη βοήθεια που μου προσέφεραν σε θέματα προγραμματιστικά σχετικά με την επεξεργασία και την ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου και την αδερφή μου για την υπομονή και το κουράγιο που μου προσέφεραν για όλα τα χρόνια των προπτυχιακών μου σπουδών.

Ευάγγελος Κότσιαλος

Αθήνα, Ιούλιος 2018

ΔΗΛΩΣΗ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

Δηλώνω ότι η διπλωματική αυτή εργασία αποτελεί στο σύνολο της δική μου εργασία, και κανένα τμήμα της δεν έχει χρησιμοποιηθεί για την κτήση άλλου τίτλου σπουδών. Όπου έχει χρησιμοποιηθεί υλικό από άλλες πηγές, αυτές έχουν αναφερθεί με ακρίβεια και πληρότητα.

*Ευάγγελος Κότσιαλος
Υπογραφή Φοιτητή*

Copyright © –All rights reserved.

.....

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

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 στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

(Υπογραφή)

.....

.....

.....

© 2018 – All rights reserved

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χρήση του κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης επιδρά αρνητικά στην οδηγική συμπεριφορά των οδηγών. Το ενδιαφέρον της παρούσας διπλωματικής εργασίας εστιάζεται όμως, στο *πως ένα ποσοστό αποσπασμένων οδηγών σε ένα οδικό δίκτυο μπορεί να επηρεάσει την κυκλοφορία*. Στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αποτελεί η διερεύνηση του ερωτήματος αυτού. Πιο συγκεκριμένα, η εργασία εστιάζει στη διερεύνηση της επιρροής της χρήσης του κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης στην κυκλοφορία, μέσω μικροσκοπικής κυκλοφοριακής προσομοίωσης. Όλη η διαδικασία πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN. Το οδικό δίκτυο το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο για τις προσομοιώσεις είναι το αστικό οδικό δίκτυο της πόλης των Χανίων και το υπεραστικό οδικό δίκτυο των περιχώρων της. Επιπλέον, για λεπτομερέστερη ανάλυση των επιπτώσεων της χρήσης του κινητού τηλεφώνου πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις και σε μεμονωμένες κατηγορίες οδικών τμημάτων (αστικό και υπεραστικό). Με βάση τις μεταβλητές του προτύπου ακολουθίας οχήματος του Gipps (1981), που αποτελεί το υπόβαθρο των μικροσκοπικών προσομοιώσεων στο AIMSUN, συλλέχθηκαν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της οδηγικής συμπεριφοράς των οδηγών από την πειραματική διαδικασία που πραγματοποίησε σε ένα εξελιγμένο προσομοιωτή οδήγησης η Λινάρδου (2017). Τα χαρακτηριστικά αυτά αφορούν το χρόνο αντίδρασης, τη μέγιστη ταχύτητα, τη μέγιστη επιτάχυνση, τη μέγιστη επιβράδυνση (σε κανονικές συνθήκες οδήγησης) και τη μέγιστη επιβράδυνση (σε περιπτώσεις ξαφνικού συμβάντος) και αναφέρονται σε δύο κατηγορίες οδηγών. Η μία κατηγορία απευθύνεται στους οδηγούς που δεν αποσπάται η προσοχή τους, και η δεύτερη κατηγορία απευθύνεται στους οδηγούς που κάνουν δια χειρός χρήση του κινητού τηλεφώνου. Η αξιολόγηση των επιπτώσεων της χρήσης του κινητού τηλεφώνου στην κυκλοφορία πραγματοποιήθηκε σε μακροσκοπικό επίπεδο. Συγκεκριμένα, ως δείκτες αξιολόγησης χρησιμοποιήθηκαν μακροσκοπικά μεγέθη κυκλοφορίας, όπως είναι η μέση ταχύτητα και η μέση χρονική καθυστέρηση. Επιπλέον, αναλύθηκαν και τα θεμελιώδη διαγράμματα, μέσα από τα οποία διερευνήθηκε και η επιρροή στην κυκλοφοριακή ικανότητα. Τα σενάρια τα οποία δημιουργήθηκαν αφορούσαν τόσο διαφορετικά επίπεδα φόρτου όσο και διαφορετικές αναλογίες χρηστών που χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων βρέθηκε ότι γενικά η αλλαγή της οδηγικής συμπεριφοράς από τη χρήση του κινητού τηλεφώνου επηρεάζει αρνητικά την κυκλοφορία. Πιο συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι για το συνολικό οδικό δίκτυο καθώς και για την υπεραστική περιοχή οι επιπτώσεις στη μέση ταχύτητα, στη μέση χρονική καθυστέρηση και στην κυκλοφορία αρχίζουν να εμφανίζονται από τα μεσαία επίπεδα φόρτου και ήδη όταν η αναλογία χρηστών είναι χαμηλή. Αντίθετα, για την αστική περιοχή αποδεικνύεται ότι αρνητικές επιπτώσεις αρχίζουν να δημιουργούνται από τα μεσαία επίπεδα φόρτου αλλά όταν η αναλογία χρηστών είναι υψηλή. Επιπλέον, από τα αποτελέσματα των μεμονωμένων οδικών τμημάτων προέκυψε πως η επιρροή και ενός μικρού ποσοστού χρήσης του κινητού τηλεφώνου αρχίζει να επιδρά αρνητικά στη μέση ταχύτητα, στη μέση χρονική καθυστέρηση και γενικά στην κυκλοφορία, σε διαφορετικά επίπεδα πυκνότητας για τις δύο διακριτές κατηγορίες οδικού δικτύου. Τέλος, παρατηρήθηκε ότι οι επιπτώσεις σε συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης ήταν μικρότερες από ότι στους μεσαίους φόρτους αναφερόμενοι, και στα δύο οδικά τμήματα. Στους χαμηλούς φορτους και ανεξαρτήτως αναλογίας χρηστών δεν παρατηρήθηκε καμία επιρροή στα κυκλοφοριακά μεγέθη.

Λέξεις κλειδιά: Κινητό τηλέφωνο, χρόνος αντίδρασης, επιτάχυνση, επιβράδυνση, ταχύτητα, χρονική καθυστέρηση, κυκλοφοριακή ικανότητα, μοντέλο ακολουθίας οχημάτων

(Gipps, 1981), AIMSUN, μικροσκοπική προσομοίωση, μακροσκοπικά μεγέθη, οδικό δίκτυο, αστικό, υπεραστικό.

ABSTRACT

Mobile phone use while driving has negative effects on driving behavior. This thesis focuses on the impact of distracted drivers on traffic flow, at a road network level. The tool used in this study is the microscopic traffic simulation program AIMSUN. The selected road network consisted of the road network of the town of Chania including neighbouring suburbs, and the simulated roads were classified under two categories: urban and rural. Considering the variables defining Gipps' car-following model, which the basis of simulation in AIMSUN, appropriate parameters describing driving behavior were collected from a simulator experiment that investigated the effect of mobile phone use on driving behavior. These parameters were reaction time, maximum speed, maximum acceleration, maximum deceleration (in normal driving condition) and maximum deceleration (in cases of a sudden incident) involving – two distinct driver categories. The first category were non-distracted drivers, and the second drivers engaging in conversations using their mobile phone via the handheld mode. The evaluation of the impact mobile phone use was carried out at a macroscopic level. Macroscopic including mean driving speed and rate of delay were used as evaluation indicators. Furthermore, fundamental relationships of traffic flow were investigated. Several simulation scenarios were created considering different levels of traffic flow and different proportions of drivers who used a mobile phone. Results indicate that in general the observed modified driving behavior of drivers who use their mobile phone has adverse effects on traffic flow. More specifically, results indicate that both for the case of the road network as a whole and the rural road network, distracted driving starts having an effect on the mean speed and the rate of delay under medium flow conditions, even when a small proportion of drivers use their mobile phone. At the same time, for the urban road network the effects become evident under medium flow conditions but only at high proportions of distracted drivers. Analysis on isolated road sections showed that even small proportions of distracted drivers affect traffic flow, and this effect becomes evident at different values of density for the two distinct road categories (rural and urban). Furthermore, results indicated that the impact of distracted driving was lower at congested conditions compared to medium flow conditions in both road networks. Under low flow conditions distracted driving did not have an effect on traffic flow.

Key words: mobile phone, reaction time, acceleration, deceleration, speed, rate of delay capacity, car-following model (Gipps, 1981), AIMSUN, microscopic simulation, macroscopic traffic indicators, road network, urban and rural road.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Κίνητρο, αντικείμενο και σκοπός.....	2
1.2. Δομή της διπλωματικής εργασίας.....	3
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	7
2.1. Απόσπαση προσοχής στην οδήγηση.....	8
2.2. Απόσπαση προσοχής και οδηγική ασφάλεια.....	11
2.3. Κινητό τηλέφωνο και οδηγική συμπεριφορά.....	14
2.3.1. Αντιστάθμιση συμπεριφοράς.....	16
2.3.2. Τρόποι χρήσης.....	18
2.3.3. Περιβάλλον οδήγησης.....	18
2.4. Οι επιπτώσεις μέσω πειραματικών διαδικασιών.....	19
2.4.1. Συνοπτικά αποτελέσματα των πειραματικών διαδικασιών.....	29
2.5. Πρότυπα κυκλοφοριακής ροής.....	39
2.5.1. Θεμελιώδη σχέση-διαγράμματα κυκλοφοριακής ροής.....	39
2.5.2. Μικροσκοπικά πρότυπα.....	41
2.5.3. Μακροσκοπικά πρότυπα.....	41
2.5.4. Μεσοσκοπικά πρότυπα.....	42
2.5.5. Εισαγωγή στα πρότυπα ακολουθώντας οχήματος (car-following).....	43
2.5.6. Πρότυπο ακολουθώντας οχήματος (car-following) του Gipps.....	47
2.5.7. Πρότυπο αλλαγής λωρίδας (Lane-changing) του Gipps.....	51
2.6. Προγράμματα κυκλοφοριακής προσομοίωσης.....	55
2.7. Περιγραφή του προγράμματος AIMSUN.....	63
2.7.1. Εισαγωγή στο πρόγραμμα.....	63
2.7.2. Η βασική δομή του προγράμματος.....	64
2.7.3. Διαδικασία μικροσκοπικής προσομοίωσης.....	66
2.7.4. Προσομοίωση κίνησης οχημάτων – βήμα προσομοίωσης.....	68
2.8. Αξιολόγηση επιπτώσεων σε μακροσκοπικά μεγέθη με χρήση μικροσκοπικών προγραμμάτων προσομοίωσης.....	70
2.8.1. Χρήση εξελιγμένου συστήματος προσαρμογής της ταχύτητας – Προσομοίωση με το DRACULA.....	70
2.8.2. Χρήση κινητού τηλεφώνου – προσομοίωση με Cellular Automata.....	71
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	73
3.1. Περιοχή έρευνας.....	74
3.1.1. Κόμβοι και διασταυρώσεις του οδικού δικτύου.....	75
3.1.2. Αστικό και υπεραστικό οδικό δίκτυο, όρια ταχύτητας.....	76
3.1.3. Εργασίες πεδίου.....	79

3.2.	Απόσπαση προσοχής και AIMSUN	95
3.2.1.	Κατηγορίες οδηγών	95
3.2.2.	Στοιχεία πειραματικής διαδικασίας Λινάρδου (2017).....	95
3.2.3.	Επεξεργασία στοιχείων	97
3.2.4.	Εισαγωγή τύπων οχημάτων.....	106
3.3.	Η κωδικοποίηση στο πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN.....	113
3.3.1.	Εισαγωγή οδικού δικτύου στο AIMSUN	116
3.3.2.	Έλεγχοι παραμέτρων για τη χρήση τους στο πρόγραμμα AIMSUN	117
3.4.	Εισαγωγή και σχεδιασμός κόμβων στο πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN 126	
3.4.1.	Εισαγωγή και σχεδιασμός κόμβου φωτεινής σηματοδότησης στο πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN	126
3.4.2.	Εισαγωγή και σχεδιασμός κυκλικού κόμβου στο πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN	137
3.4.3.	Εισαγωγή και σχεδιασμός μη σηματοδοτούμενου κόμβου μορφής T με κανόνες προτεραιότητας στο πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN.....	142
3.4.4.	Εισαγωγή περιοχής αποκλεισμού στους κόμβους, ‘Yellow Box’	148
3.4.5.	Το οδικό δίκτυο στο AIMSUN.....	151
3.5.	Σχεδιασμός σεναρίων	152
3.5.1.	Παράμετροι σχεδιασμού σεναρίων	152
3.5.2.	Προσδιορισμός τιμών παραμέτρων.....	153
3.5.3.	Τελικά σενάρια.....	157
3.5.4.	Διαδικασία δημιουργίας σεναρίων στο AIMSUN.....	159
3.6.	Εξαγωγή αποτελεσμάτων από το πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN..	166
3.6.1.	Κυκλοφοριακά μεγέθη σε επίπεδο δικτύου.....	168
3.6.2.	Κυκλοφοριακά μεγέθη σε επίπεδο οδικού τμήματος.....	170
4.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	175
4.1.	Ανάλυση σε επίπεδο οδικού δικτύου	176
4.2.	Ανάλυση σε επίπεδο αστικό και υπεραστικό	189
4.3.	Ανάλυση σε επίπεδο αστικού και υπεραστικού οδικού τμήματος.....	201
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	217
5.1.	Συμπεράσματα.....	218
5.2.	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	221
6.	ΑΝΑΦΟΡΕΣ	223
6.1.	Διεθνής βιβλιογραφία.....	223
6.2.	Ελληνική βιβλιογραφία	226
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	229

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2-1: Ποσοστά θανατηφόρων τροχαίων ατυχημάτων ανά αιτία πρόκλησης για την χρονολογική περίοδο 2010-2017. (Πηγή: Ελληνική Αστυνομία, Διεύθυνση Τροχαίας Αστυνόμευσης)	9
Πίνακας 2-2: Ποσοστά παραβάσεων ανά είδος για την χρονολογική περίοδο 2010-2017 (Πηγή: Ελληνική Αστυνομία, Διεύθυνση Τροχαίας Αστυνόμευσης).	13
Πίνακας 2-3: Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων όλων των πειραματικών διαδικασιών.	37
Πίνακας 2-4: Βασικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες λογισμικών κυκλοφοριακής προσομοίωσης, (Πηγή: Saidallah et al. 2016).	61
Πίνακας 2-5: Πρότυπα ακολουθίας οχημάτων συγκεκριμένων λογισμικών κυκλοφοριακής προσομοίωσης.	62
Πίνακας 3-1: Δημογραφικά στοιχεία Χανίων ανά δημοτική ενότητα, (Πηγή: www.chania.gr/dhmografika).	74
Πίνακας 3-2: Μονάδες Επιβατικών Οχημάτων (ΥΠΕΧΩΔΕ)	81
Πίνακας 3-3: Αποτελέσματα καταγραφής κυκλοφοριακού φόρτου ανά κατηγορία οχήματος, αναγωγή σε ΜΕΑ και ποσοστά στρεφουσών κινήσεων.	84
Πίνακας 3-4: Καταγραφή χρονικής διάρκειας όλων των φωτεινών ενδείξεων σε όλες τις κινήσεις του κόμβου 46.	85
Πίνακας 3-5: Καταγραφή χρονικής διάρκειας φωτεινών ενδείξεων της κινήσεις 3.	86
Πίνακας 3-6: Καταγραφή χρονικής διάρκειας φωτεινών ενδείξεων της κινήσεις 1.	86
Πίνακας 3-7: Αναγωγή των χρόνων φωτεινών ενδείξεων της κίνησης 3.	87
Πίνακας 3-8: Τελικοί φόρτοι εισαγωγής στο οδικό δίκτυο.	92
Πίνακας 3-9: Τιμές παραμέτρων από το αστικό περιβάλλον της πειραματικής διαδικασίας της Λινάρδου (2017).	96
Πίνακας 3-10: Τιμές παραμέτρων από το υπεραστικό περιβάλλον της πειραματικής διαδικασίας της Λινάρδου (2017).	97
Πίνακας 3-11: Τροποποιημένες τιμές παραμέτρων από το υπεραστικό περιβάλλον.	103
Πίνακας 3-12: Αποτελέσματα πειράματος για ‘speed acceptance=1’	104
Πίνακας 3-13: Αποτελέσματα πειράματος για τιμές του ‘speed acceptance’ μεγαλύτερες της μονάδας.	105
Πίνακας 3-14: Πίνακας με τα χαρακτηριστικά των δύο κατηγοριών οδηγών που θα προσομοιωθούν στις προσομοιώσεις.	107
Πίνακας 3-15: Μέγιστη επιθυμητή ταχύτητα για τις δύο κατηγορίες οχημάτων που δημιουργήθηκαν.	109
Πίνακας 3-16: ‘Speed Acceptance’ για τις δύο κατηγορίες οχημάτων που δημιουργήθηκαν.	110
Πίνακας 3-17: Χρόνος αντίδρασης για τις δύο κατηγορίες οχημάτων που δημιουργήθηκαν.	110
Πίνακας 3-18: Μέγιστη επιτάχυνση, Κανονική επιβράδυνση και Μέγιστη επιβράδυνση για τις δύο κατηγορίες οχημάτων που δημιουργήθηκαν στο πρόγραμμα.	112
Πίνακας 3-19: Χαρακτηριστικά συγκεκριμένων είδων οδικών τμημάτων του προγράμματος AIMSUN.	118
Πίνακας 3-20: Αποτελέσματα πειράματος για την κυκλοφοριακή ικανότητα σε διαφορετικές κατηγορίες οδικών τμημάτων.	119

Πίνακας 3-21: Αποτελέσματα επιρροής πλάτος λωρίδας στο πρόγραμμα AIMSUN.....	122
Πίνακας 3-22: Αποτελέσματα επιρροής κλίσεως στο πρόγραμμα AIMSUN.....	123
Πίνακας 3-23: Σενάρια για την αναλογία χρηστών.....	157
Πίνακας 3-24: 9 Κατηγορίες ποσοστού φόρτου.....	158
Πίνακας 3-25: Παλιός και τροποποιημένος χρόνος αντίδρασης των δύο κατηγοριών οδηγών.....	164
Πίνακας 3-26: Στοιχεία τα οποία εξάγει το πρόγραμμα και αναφέρονται στο σύνολο του οδικού δικτύου σε επίπεδο μικροσκοπικής προσομοίωσης.....	167
Πίνακας 3-27: Στοιχεία τα οποία εξάγει το πρόγραμμα και αναφέρονται σε κάθε οδικό τμήμα του οδικού δικτύου σε επίπεδο μικροσκοπικής προσομοίωσης.....	168
Πίνακας 4-1: Ποσοστά μεταβολής της μέσης χρονικής καθυστέρησης ανά αύξηση επιπέδου φόρτου, στο οδικό δίκτυο.....	177
Πίνακας 4-2: Ποσοστά μεταβολής της μέσης χρονικής καθυστέρησης ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στο οδικό δίκτυο.....	178
Πίνακας 4-3: Ποσοστά μεταβολής της μέσης ταχύτητας ανά αύξηση επιπέδου φόρτου, στο οδικό δίκτυο.....	180
Πίνακας 4-4: Ποσοστά μεταβολής της μέσης ταχύτητας ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στο οδικό δίκτυο.....	181
Πίνακας 4-5: Αποτελέσματα συνολικής απόστασης των οχημάτων που διανύθηκε (σε χλμ) στο οδικό δίκτυο.....	182
Πίνακας 4-6: Ποσοστά μεταβολής της συνολικής απόστασης που διανύουν τα οχήματα ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στο οδικό δίκτυο.....	182
Πίνακας 4-7: Αποτελέσματα συνολικού χρόνου μετακίνησης των οχημάτων (σε ώρες) στο οδικό δίκτυο.....	183
Πίνακας 4-8: Ποσοστά μεταβολής του συνολικού χρόνου μετακίνησης των οχημάτων ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στο οδικό δίκτυο.....	183
Πίνακας 4-9: Ποσοστά μεταβολής της μέσης χρονικής καθυστέρησης ανά αύξηση επιπέδου φόρτου, στην υπεραστική περιοχή.....	191
Πίνακας 4-10: Ποσοστά μεταβολής της μέσης χρονικής καθυστέρησης ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στην υπεραστική περιοχή.....	192
Πίνακας 4-11: Ποσοστά μεταβολής της μέσης ταχύτητας ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στην υπεραστική περιοχή.....	194
Πίνακας 4-12: Ποσοστά μεταβολής της μέσης χρονικής καθυστέρησης ανά αύξηση επιπέδου φόρτου, στην αστική περιοχή.....	196
Πίνακας 4-13: Ποσοστά μεταβολής της μέσης χρονικής καθυστέρησης ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στην αστική περιοχή.....	197
Πίνακας 4-14: Ποσοστά μεταβολής της μέσης ταχύτητας ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στην αστική περιοχή.....	199
Πίνακας 4-15: Μέση ταχύτητα στην αστική περιοχή, σε χλμ/ώρα.....	200
Πίνακας 4-16: Ποσοστά μεταβολής της μέσης χρονικής καθυστέρησης ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στο αστικό οδικό τμήμα.....	203
Πίνακας 4-17: Ποσοστά μεταβολής της μέσης ταχύτητας ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στο αστικό οδικό τμήμα.....	205

Πίνακας 4-18: Ποσοστά μεταβολής της μέσης χρονικής καθυστέρησης ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στο υπεραστικό οδικό τμήμα.....	210
Πίνακας 4-19: Ποσοστά μεταβολής της μέσης ταχύτητας ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στο υπεραστικό οδικό τμήμα.....	212
Πίνακας 0-1: Τιμές μέσης χρονικής καθυστέρησης στο συνολικό οδικό δίκτυο, σε δλ/χλμ.	231
Πίνακας 0-2: Τιμές μέσης ταχύτητας στο συνολικό οδικό δίκτυο, σε χλμ/ώρα.	231
Πίνακας 0-3: Συνολική απόσταση των οχημάτων που διανύθηκε στο συνολικό οδικό δίκτυο, σε χλμ.	231
Πίνακας 0-4: Συνολικός χρόνος μετακίνησης των οχημάτων στο συνολικό οδικό δίκτυο, σε ώρες. .	232
Πίνακας 0-5: Απόσταση που διένυσε το κάθε όχημα στο συνολικό οδικό δίκτυο, σε χλμ.....	232
Πίνακας 0-6: Τιμές μέσης χρονικής καθυστέρησης στην υπεραστική περιοχή, σε δλ/χλμ.	232
Πίνακας 0-7: Τιμές μέσης χρονικής ταχύτητας στην αστική περιοχή, σε δλ/χλμ.....	233
Πίνακας 0-8: Τιμές μέσης ταχύτητας στην υπεραστική περιοχή, σε χλμ/ώρα.....	233
Πίνακας 0-9: Τιμές μέσης ταχύτητας στην αστική περιοχή, σε χλμ/ώρα.	233
Πίνακας 0-10: Τιμές μέσης χρονικής καθυστέρησης σε υπεραστικό οδικό τμήμα, σε δλ/χλμ.....	234
Πίνακας 0-11: Τιμές μέσης χρονικής καθυστέρησης σε αστικό οδικό τμήμα, σε δλ/χλμ.....	235
Πίνακας 0-12: Τιμές μέσης ταχύτητας σε υπεραστικό οδικό τμήμα, σε χλμ/ώρα.	236
Πίνακας 0-13: Τιμές μέσης ταχύτητας σε αστικό οδικό τμήμα, σε χλμ/ώρα.....	237

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 2-1: Αριθμός παραβάσεων χρήσης κινητού τηλεφώνου για την χρονολογική περίοδο 2010-2017. (Πηγή: Ελληνική Αστυνομία, Διεύθυνση Τροχαίας Αστυνόμευσης).	14
Σχήμα 2-2: Βασικό περιβάλλον του λογισμικού κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN, (Πηγή: Aimsun 8 Users' Manual. 2015. TSS – Transport Simulation Systems).	65
Σχήμα 2-3: Διαδικασία μικροσκοπικής προσομοίωσης στο λογισμικό κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN, (Πηγή: Aimsun 8 Users' Manual. 2015. TSS – Transport Simulation Systems).	67

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 3-1: Κάμερα και τρίποδας που χρησιμοποιήθηκαν για την καταγραφή του κυκλοφοριακού φόρτου.....	82
Εικόνα 3-2: Κόμβος με φωτεινή σηματοδότηση επί των οδών Ελ. Βενιζέλου και Μ. Κούνδουρου, στην περιοχή μελέτης (Πηγή: Google Earth Pro).....	83
Εικόνα 3-3: Απεικόνιση καταγραφής στοιχείων του κόμβου 46, της περιοχής μελέτης.....	83
Εικόνα 3-4: Καταγραφή κινήσεων ανά φωτεινό σηματοδότη στον κόμβο 46 της περιοχής μελέτης...	85
Εικόνα 3-5: Χρονική διάρκεια προγράμματος φωτεινής σηματοδότησης στον κόμβο 46, με απεικόνιση κοινού κόκκινου.....	87
Εικόνα 3-6: Απεικόνιση καταγραφής στοιχείων στο αρχείο excel.....	99
Εικόνα 3-7: Διαδικασία δημιουργίας κατηγοριών οχημάτων μέσα από το πρόγραμμα AIMSUN.....	108
Εικόνα 3-8: Εισαγωγή της μέγιστης επιθυμητής ταχύτητας, για την κατηγορία οχήματος RURAL-HH, στο πρόγραμμα.....	109
Εικόνα 3-9: Εισαγωγή της τιμής ‘speed acceptance’ της κατηγορίας οχήματος RURAL-HH, στο πρόγραμμα.....	110
Εικόνα 3-10: Εισαγωγή του χρόνου αντίδρασης, για την κατηγορία οχήματος RURAL-HH, στο πρόγραμμα.....	111
Εικόνα 3-11: Εισαγωγή της μέγιστης επιτάχυνσης, κανονικής επιβράδυνσης και μέγιστης επιβράδυνσης, για την κατηγορία οχήματος RURAL-HH, στο πρόγραμμα.....	112
Εικόνα 3-12: Καταγραφή όλων των στοιχείων του κόμβου 7, στην περιοχή μελέτης.....	127
Εικόνα 3-13: Διαδικασία μετάβασης του κόμβου 7 από το Google Earth Pro στο AIMSUN.....	127
Εικόνα 3-14: Κινήσεις που πραγματοποιούνται στον κόμβο 7.....	128
Εικόνα 3-15: Διαδικασία καθορισμού συγκεκριμένης κατηγορίας οδικού τμήματος στο πρόγραμμα.....	129
Εικόνα 3-16: Κύρια καρτέλα με τα χαρακτηριστικά ενός επιλεγμένου οδικού τμήματος της περιοχής μελέτης, στο πρόγραμμα.....	130
Εικόνα 3-17: Διαδικασία δημιουργίας κυκλοφοριακής κατάστασης ‘Traffic State’ στο πρόγραμμα.....	131
Εικόνα 3-18: Προσβάσεις στον κόμβο 7 και κυκλοφοριακός φόρτος από την πρόσβαση (1), στο πρόγραμμα.....	132
Εικόνα 3-19: Ποσοστά στρεφουσών κινήσεων στο κόμβο 7.....	132
Εικόνα 3-20: Αποτύπωση κινήσεων που αντιστοιχούν σε κάθε φωτεινό σηματοδότη στον κόμβο 7.....	133
Εικόνα 3-21: Πρόγραμμα φωτεινής σηματοδότησης όπως προέκυψε από την καταγραφή στο πεδίο.....	133
Εικόνα 3-22: Καρτέλα δημιουργίας σταδίων φωτεινής σηματοδότησης στο πρόγραμμα.....	134
Εικόνα 3-23: Κινήσεις που αντιστοιχούν σε κάθε φωτεινό σηματοδότη.....	135
Εικόνα 3-24: Διαδικασία δημιουργίας πλάνου ελέγχου φωτεινής σηματοδότησης.....	136
Εικόνα 3-25: Καταχώρηση χρονικών φωτεινών ενδείξεων σε κάθε φωτεινό σηματοδότη στον κόμβο 7.....	136
Εικόνα 3-26: Στάδια που προέκυψαν για τον κόμβο 7.....	137
Εικόνα 3-27: Αναλυτικά τα στάδια για τον κόμβο 7.....	137
Εικόνα 3-28: Καταγραφή στοιχείων του κυκλικού κόμβου.....	138

Εικόνα 3-29: Διαδικασία εισαγωγής του κυκλικού κόμβου από το Google Earth στο AIMSUN.	138
Εικόνα 3-30: Διαδικασία του κυκλικού section στο πρόγραμμα.	138
Εικόνα 3-31: Καθορισμός κινήσεων του κυκλικού κόμβου μέσα στο πρόγραμμα.	139
Εικόνα 3-32: Κύρια καρτέλα με τα χαρακτηριστικά του κυκλικού οδικού τμήματος.	140
Εικόνα 3-33: Κινήσεις του κυκλικού κόμβου που δίνουν προτεραιότητα στις κινήσεις που βρίσκονται μέσα στον κυκλικό κόμβο.	141
Εικόνα 3-34: Ποσοστά στρεφουσών κινήσεων κυκλικού κόμβου.	142
Εικόνα 3-35: Κυκλοφοριακός φόρτος ανά πρόσβαση στον κυκλικό κόμβο.	142
Εικόνα 3-36: Καταγραφή των στοιχείων του κόμβου 1.	143
Εικόνα 3-37: Διαδικασία εισαγωγής του κόμβου 1 από το Google Earth στο AIMSUN.	143
Εικόνα 3-38: Απεικόνιση κινήσεων που πραγματοποιούνται στον κόμβο 1 μέσω του προγράμματος.	144
Εικόνα 3-39: Καθορισμός κανόνων προτεραιότητας των κινήσεων του κόμβου 1 στο πρόγραμμα. .	145
Εικόνα 3-40: Καθορισμός χαρακτηριστικών των οδικών τμημάτων του κόμβου 1 στο πρόγραμμα.	146
Εικόνα 3-41: Καθορισμός ποσοστών στρεφουσών κινήσεων στο πρόγραμμα για τον κόμβο 1.	147
Εικόνα 3-42: Καθορισμός κυκλοφοριακού φόρτου, σε ΜΕΑ, ανά πρόσβαση στον κόμβο 1.	148
Εικόνα 3-43: Απεικόνιση των ταχυτήτων στην κάθε κίνηση για την περιοχή αποκλεισμού.	149
Εικόνα 3-44: Απεικόνιση των κινήσεων 3 και 4, με μηδενική ταχύτητα για την περιοχή αποκλεισμού.	150
Εικόνα 3-45: Τελικά σενάρια προσομοίωσης.	158
Εικόνα 3-46: Κεντρική καρτέλα κυκλοφοριακής ζήτησης στο πρόγραμμα.	159
Εικόνα 3-47: Κεντρικός φάκελος καταγραφής όλων των χαρακτηριστικών των κόμβων που έχουν δημιουργηθεί στο συγκεκριμένο οδικό δίκτυο που θα προσομοιωθεί.	160
Εικόνα 3-48: Κύρια καρτέλα δημιουργίας κεντρικού σχεδίου ελέγχου όλων των κόμβων του οδικού δικτύου.	161
Εικόνα 3-49: Κεντρική καρτέλα δημιουργίας δυναμικού σεναρίου.	162
Εικόνα 3-50: Κύρια καρτέλα δημιουργίας δυναμικού πειράματος.	163
Εικόνα 3-51: Κύρια καρτέλα εισαγωγής του χρόνου αντίδρασης για τις προσομοιώσεις.	164
Εικόνα 3-52: Καθορισμός τιμής αναπαραγωγών για τις προσομοιώσεις.	164
Εικόνα 3-53: Διαδικασία έναρξης των προσομοιώσεων.	165

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 3-1: Αποδεκτές και μη αποδεκτές τιμές για την μέγιστη επιτάχυνση σε οδηγούς που κάνουν δια χειρός χρήση κινητού τηλεφώνου σε υπεραστικό οδικό δίκτυο.	100
Διάγραμμα 3-2: Απεικόνιση αποδεκτών και μη αποδεκτών τιμών για την κανονική και μέγιστη επιβράδυνση για οδηγούς που κάνουν δια χειρός χρήση του κινητού τηλεφώνου στο υπεραστικό οδικό δίκτυο, καθώς επίσης και απεικόνιση των ορίων αποκλεισμού των τιμών αυτών.....	102
Διάγραμμα 3-3: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της κυκλοφοριακής ικανότητας για το αστικό οδικό τμήμα.....	119
Διάγραμμα 3-4: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της κυκλοφοριακής ικανότητας για κατηγορία ‘arterial’.....	120
Διάγραμμα 3-5: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της κυκλοφοριακής ικανότητας για κατηγορία ‘road’	120
Διάγραμμα 3-6: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της κυκλοφοριακής ικανότητας για κατηγορία ‘ring road’	121
Διάγραμμα 3-7: Επιρροή της κλίσης οδού στην κυκλοφοριακή ικανότητα μέσω προσομοίωσης σε επιβατικά οχήματα.	124
Διάγραμμα 3-8: Επιρροή της κλίσης οδού στην κυκλοφοριακή ικανότητα μέσω προσομοίωσης σε φορτηγά.....	124
Διάγραμμα 3-9: Ανάλυση της χρονικής καθυστέρησης με ποσοστό φόρτου 50% έως 30 αναπαραγωγές.	155
Διάγραμμα 3-10: Ανάλυση της χρονικής καθυστέρησης με ποσοστό φόρτου 90% έως 30 αναπαραγωγές.	155
Διάγραμμα 3-11: Ανάλυση της χρονικής καθυστέρησης με ποσοστό φόρτου 130% έως 30 αναπαραγωγές.	156
Διάγραμμα 3-12: Ανάλυση της χρονικής καθυστέρησης με ποσοστό φόρτου 150% έως 30 αναπαραγωγές.	156
Διάγραμμα 4-1: Μέση χρονική καθυστέρηση οδικού δικτύου.	176
Διάγραμμα 4-2: Μέση ταχύτητα στο οδικό δίκτυο.	179
Διάγραμμα 4-3: Θεμελιώδες διάγραμμα Ταχύτητας-Φόρτου, στο οδικό δίκτυο.	185
Διάγραμμα 4-4: Θεμελιώδες διάγραμμα Φόρτου-Ταχύτητας, στο οδικό δίκτυο.	187
Διάγραμμα 4-5: Θεμελιώδες διάγραμμα Ταχύτητας-Πυκνότητας, στο οδικό δίκτυο.....	188
Διάγραμμα 4-6: Μέση χρονική καθυστέρηση στην υπεραστική περιοχή.....	190
Διάγραμμα 4-7: Μέση ταχύτητα στην υπεραστική περιοχή.	193
Διάγραμμα 4-8: Μέση χρονική καθυστέρηση στην αστική περιοχή.	195
Διάγραμμα 4-9: Μέση ταχύτητα στην αστική περιοχή.....	198
Διάγραμμα 4-10: Μέση χρονική καθυστέρηση στο αστικό οδικό τμήμα.	202
Διάγραμμα 4-11: Μέση ταχύτητα στο αστικό οδικό τμήμα.....	204
Διάγραμμα 4-12: Θεμελιώδες διάγραμμα Ταχύτητας-Φόρτου, στο αστικό οδικό τμήμα.	206
Διάγραμμα 4-13: Θεμελιώδες διάγραμμα Φόρτου-Ταχύτητας, στο αστικό οδικό τμήμα.	207
Διάγραμμα 4-14: Θεμελιώδες διάγραμμα Ταχύτητας-Πυκνότητας, στο αστικό οδικό τμήμα.	208
Διάγραμμα 4-15: Μέση χρονική καθυστέρηση, στο υπεραστικό οδικό τμήμα.	209

Διάγραμμα 4-16: Μέση ταχύτητα, στο υπεραστικό οδικό τμήμα.	211
Διάγραμμα 4-17: Θεμελιώδες διάγραμμα Ταχύτητας-Φόρτου, στο υπεραστικό οδικό τμήμα.	213
Διάγραμμα 4-18: Θεμελιώδες διάγραμμα Φόρτου-Πυκνότητας, στο υπεραστικό οδικό τμήμα.	214
Διάγραμμα 4-19: Θεμελιώδες διάγραμμα Ταχύτητας-Πυκνότητας, στο υπεραστικό οδικό τμήμα.	215

Ευρετήριο Χαρτών

Χάρτης 3-1: Περιοχή έρευνας.....	77
Χάρτης 3-2: Απεικόνιση του προσομοιωμένου οδικού δικτύου της πόλης των Χανίων στο AIMSUN.	151

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύνοψη

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται μία συνοπτική αναφορά στο κίνητρο, στο αντικείμενο και στο σκοπό της διπλωματικής εργασίας. Έπειτα ακολουθεί συνοπτική περιγραφή της δομής όλων των κεφαλαίων της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

1.1. Κίνητρο, αντικείμενο και σκοπός

Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται ολοένα και περισσότερο, συμβάλλει περισσότερο στην ζωή των ανθρώπων. Τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα θεωρείται πως είναι ένα από τα σημαντικότερα αντικείμενα που οι άνθρωποι χρησιμοποιούν κατά τη διάρκεια της ημέρας. Κατά κύριο λόγο οι περισσότεροι άνθρωποι τα χρησιμοποιούν για να επικοινωνούν είτε συνομιλώντας είτε γράφοντας και στέλνοντας μηνύματα. Πολύ συχνά παρατηρείται το φαινόμενο να χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο και κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Επιπλέον, μέσω των καινούργιων εφαρμογών που έχουν σχεδιαστεί το κινητό τηλέφωνο μπορεί και να χρησιμοποιηθεί και ως οδηγός πλοήγησης στο όχημα.

Η χρήση του κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα είδη απόσπασης προσοχής του οδηγού. Με βάση έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, οι σημαντικότερες πηγές αποσπάσης προσοχής του οδηγού θεωρείται πως είναι η χρήση του κινητού τηλεφώνου σε οποιαδήποτε μορφή της, η συνομιλία με συνεπιβάτη, η κατανάλωση φαγητού, το κάπνισμα και οποιαδήποτε άλλη απασχόληση μέσα στο αυτοκίνητο (Stutts et al., 2011). Ουσιαστικά, η απόσπαση προσοχής του οδηγού ορίζεται ως η εκτροπή της προσοχής από την οδήγηση επειδή ο οδηγός επικεντρώνεται προσωρινά σε κάτι δευτερεύον (σε ένα αντικείμενο, σε ένα πρόσωπο, κ.α.) (Regan, 2008). Το γεγονός αυτό έχει αναγνωριστεί και ως ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλουν στα οδικά ατυχήματα (Arthur et al., 1991, Arthur και Strong, 1994, Stutts et al., 1996, Wierwille και Tijerina, 1996, Hendricks et al., 1999, Klauer et al., 2006, McEvoy et al., 2007, Lee et al., 2009).

Στην Ελλάδα με βάση τα στοιχεία από τη Διεύθυνση Τροχαίας έχει αποδειχθεί ότι μία από τις σημαντικότερες αιτίες θανατηφόρων τροχαίων παραβάσεων είναι η απόσπαση προσοχής του οδηγού. Τα στοιχεία δείχνουν ότι από τη χρονολογική περίοδο 2010 έως το 2017 κατέχει τη δεύτερη πιο σημαντική αιτία θανατηφόρων παραβάσεων (Ελληνική Διεύθυνση Τροχαίας, 2018). Όσον αφορά τη συχνότητα των παραβάσεων του κώδικα οδικής κυκλοφορίας με βάση τα ίδια στοιχεία, η χρήση του κινητού τηλεφώνου παραμένει σε σημαντικά σταθερά επίπεδα για την ίδια χρονολογική περίοδο.

Ένας σημαντικός αριθμός ερευνών έχει αναδείξει ότι όταν ο οδηγός προσπαθεί να εκτελέσει μία δευτερεύουσα εργασία κατά τη διάρκεια της οδήγησης η οδηγική του απόδοση χειροτερεύει (Parkes και Hooijmeijer, 2000, Haigney et al., 2000, Strayer et al., 2003, Strayer και Johnston, 2001, Cooper et al., 2003, Hancock και Lesch, 2003, Rakauskas et al., 2003, Patten et al., 2004, Liu και Lee, 2005, Just et al., 2008, Caird et al., 2008, Hamada, 2008, Reimer et al., 2014). Ουσιαστικά, ο οδηγός προσπαθεί να αντισταθμίσει τον επιπλέον φόρτο που δέχεται, όπως για παράδειγμα αυτόν που προκύπτει από τη χρήση του κινητού τηλεφώνου, και ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιείται αυτό είναι με τη μείωση της ταχύτητας και τη διατήρηση μεγαλύτερων αποστάσεων από το προπορευόμενο όχημα κ.α. (Tornos και Bolling, 2006, Collet et al., 2014, Caird et al., 2014). Ταυτόχρονα, η συμπεριφορά αυτή θεωρείται και ως μέτρο ασφάλειας των οδηγών προς αποφυγή κάποιου ατυχήματος. Επιπλέον, μεγάλος αριθμός ερευνών έχει δείξει ότι ο χρόνος αντίδρασης των οδηγών που κάνουν χρήση του κινητού τηλεφώνου είναι αυξημένος σε σύγκριση με τους μη αποσπόμενους οδηγούς. Παράλληλα, αλλαγές παρατηρούνται στις τιμές της επιβραδύνσης και επιτάχυνσής τους (McKnight et al., 1993, Benedetto et al., 2012, Λινάρδου, 2017).

Συνοπτικά, όλες οι έρευνες μέχρι τώρα αναφέρουν πως η χρήση του κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης επηρεάζει τα χαρακτηριστικά της οδηγικής συμπεριφοράς (Benedetto et al., 2012, Λινάρδου, 2017). Οι έρευνες αυτές έχουν πραγματοποιηθεί είτε μέσα από εξελιγμένους προσομοιωτές οδήγησης και ταυτόχρονα προσομοιώνοντας διαφορετικά οδικά περιβάλλοντα (αστικά, υπεραστικά, αυτοκινητόδρομοι), είτε με πειράματα οδήγησης σε

πραγματικές συνθήκες. Όσον αφορά την επιρροή της συμπεριφοράς των αποσπασμένων οδηγών συνολικά στην κυκλοφορία έχει πραγματοποιηθεί μόνο μία έρευνα, αυτή των Xiao και Shi (2014). Οι Xiao και Shi (2014) διερεύνησαν την επιρροή της χρήσης του κινητού τηλεφώνου στην κυκλοφορία με βάση τα κυψελωτά αυτόματα πρότυπα και συγκεκριμένα το μοντέλο των Nagel και Schreckenberg (1992).

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να διερευνηθεί πως η χρήση του κινητού τηλεφώνου επηρεάζει την κυκλοφορία μέσω προγράμματος κυκλοφοριακής προσομοίωσης. Το πρόγραμμα το οποίο θεωρήθηκε πως είναι κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί για τις προσομοιώσεις σε μικροσκοπικό επίπεδο είναι το AIMSUN (1995). Το εν λόγω πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης χρησιμοποιεί ως βάση για προσομοιώσεις σε μικροσκοπικό επίπεδο το πρότυπο του Gipps και πιο συγκεκριμένα, το πρότυπο ακολουθίας οχήματος (Gipps, 1981) και το πρότυπο αλλαγής λωρίδας (Gipps, 1986). Η βασική θεώρηση του προτύπου ακολουθούστος οχήματος είναι ότι τα χαρακτηριστικά κίνησης του κάθε οχήματος επηρεάζονται και μεταβάλλονται σε κάθε χρονικό βήμα υπολογισμού από τα χαρακτηριστικά του προπορευόμενου οχήματος. Στο κάθε όχημα το οποίο διέρχεται μέσα στο οδικό δίκτυο δίνονται κάποια χαρακτηριστικά όπως ο χρόνος αντίδρασης, η μέγιστη ταχύτητα, η επιτάχυνση, η επιβράδυνση και το ενεργό του μήκος. Με αυτά τα χαρακτηριστικά, το κάθε όχημα κινείται μέσα στο δίκτυο, και σε κάθε χρονικό βήμα υπολογισμών, υπολογίζεται η ταχύτητα και η θέση του.

Ως υπόβαθρο για τη διαδικασία της προσομοίωσης στο λογισμικό χρησιμοποιήθηκε το αστικό οδικό δίκτυο της πόλης των Χανίων και το υπεραστικό οδικό δίκτυο των περιχώρων της. Για τη διερεύνηση της επιρροής της χρήσης του κινητού τηλεφώνου στην κυκλοφορία εισήχθησαν στο οδικό δίκτυο δύο κατηγορίες οχημάτων, η μία κατηγορία αφορούσε τους μη αποσπασμένους οδηγούς και η άλλη κατηγορία, τους οδηγούς που συνομιλούσαν με δια χειρός χρήση του κινητού τηλεφώνου. Τα χαρακτηριστικά της οδηγικής συμπεριφοράς και των δύο αυτών κατηγοριών συλλέχθηκαν από την πειραματική διαδικασία που πραγματοποίησε σε ένα εξελιγμένο προσομοιωτή οδήγησης η Λινάρδου (2017).

Λαμβάνοντας υπόψη τις μεταβλητές που εισάγονται στο πρότυπο ακολουθίας οχήματος του Gipps (1981) και με βάση τα χαρακτηριστικά που επιλέχθηκαν από τα στοιχεία της Λινάρδου, όπως ο χρόνος αντίδρασης, η μέγιστη επιθυμητή ταχύτητα, η μέγιστη επιβράδυνση, η μέγιστη επιτάχυνση και η κανονική επιβράδυνση, διερευνηθηκε η επιρροή της χρήσης του κινητού τηλεφώνου στην κυκλοφορία.

Με αυτή τη διαδικασία δύναται να διερευνηθεί σε ένα συνολικό οδικό δίκτυο, πως η οδηγική συμπεριφορά των οδηγών που χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο, επηρεάζει την κυκλοφορία. Η αξιολόγηση αυτή θα μπορέσει να πραγματοποιηθεί μέσω της διερεύνησης μακροσκοπικών μεγεθών όπως είναι η μέση ταχύτητα, η μέση χρονική καθυστέρηση και η κυκλοφοριακή ικανότητα σε ένα οδικό δίκτυο.

1.2. Δομή της διπλωματικής εργασίας

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Το κεφάλαιο 2^ο χωρίζεται σε δύο ενότητες. Στην *πρώτη ενότητα*, πραγματοποιείται πλήρης βιβλιογραφική ανασκόπηση από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με τις διάφορες μορφές αποσπάσης προσοχής του οδηγού κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Δίνεται περισσότερη έμφαση στην απόσπαση προσοχής των οδηγών από τη χρήση του κινητού τηλεφώνου διότι αποτελεί και το αντικείμενο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Ταυτόχρονα, αναζητούνται οι επιπτώσεις που επιφέρει η χρήση του κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης στην οδηγική συμπεριφορά των οδηγών. Στη συνέχεια, αναφέρονται συνοπτικά

πειραματικές διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν για την διερεύνηση των επιπτώσεων της απόσπασης προσοχής των οδηγών. Τέλος, παρουσιάζονται σε ένα συνοπτικό πίνακα τα αποτελέσματα των πειραματικών διαδικασιών από τις έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε διεθνές επίπεδο. Τα μεγέθη τα οποία παρουσιάζονται αφορούν το χρόνο αντίδρασης, την ταχύτητα, την επιβράδυνση, την επιτάχυνση, τις αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων κ.α.

Στην *δεύτερη ενότητα*, αρχικά γίνεται μία σύντομη αναφορά στις θεμελιώδεις σχέσεις της κυκλοφοριακής ροής. Έπειτα, ακολουθεί βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τα προγράμματα κυκλοφοριακής προσομοίωσης που υπάρχουν, καθώς επίσης και τα πρότυπα κυκλοφοριακής ροής που χρησιμοποιεί το καθ'ένα από αυτά. Στη συνέχεια, γίνεται λεπτομερής περιγραφή του προγράμματος κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN, καθώς αποτελεί το πρόγραμμα με το οποίο θα πραγματοποιηθούν οι προσομοιώσεις. Επιπλέον, ακολουθεί εκτενής ανάλυση του προτύπου του Gipps, και συγκεκριμένα του προτύπου ακολουθούστος οχήματος (1981) και αλλαγής λωρίδας (1986), διότι αποτελούν τη βάση των μικροσκοπικών προσομοιώσεων του προγράμματος AIMSUN. Στο τέλος, παρουσιάζονται και δύο σχετικές έρευνες, η ανάλυση των οποίων αναφέρεται στην επιρροή σε μακροσκοπικά μεγέθη μικροσκοπικών χαρακτηριστικών της οδηγικής συμπεριφοράς, το οποίο αποτελεί και αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στο **κεφάλαιο 3^ο** αναπτύσσεται όλη η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη σχεδίαση του οδικού δικτύου, τη δημιουργία των προσομοιώσεων και την επεξεργασία των δεδομένων για την επίτευξη του σκοπού της εργασίας. Στην αρχή, καθορίζεται η περιοχή του οδικού δικτύου το οποίο θα χρησιμοποιηθεί ως υπόβαθρο για τις προσομοιώσεις στο πρόγραμμα και ταυτόχρονα παρουσιάζονται αναλυτικά οι εργασίες πεδίου που ακολουθήθηκαν. Στη συνέχεια, αναλύονται και επεξεργάζονται τα στοιχεία της οδηγικής συμπεριφοράς των οδηγών που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία της Λινάρδου (2017) και τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στις κατηγορίες οχημάτων που θα εισαχθούν στο οδικό δίκτυο. Παράλληλα, πραγματοποιείται λεπτομερής ανάλυση της κωδικοποίησης του οδικού δικτύου μέσα στο πρόγραμμα προσομοίωσης. Επιπλέον, πραγματοποιούνται διάφοροι έλεγχοι παραμέτρων οι οποίες αποτελούν σημαντικό στοιχείο επιρροής της κυκλοφοριακής ικανότητας του οδικού δικτύου, όπου ενδεχομένως να επηρεάσουν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων. Στη συνέχεια, αναφέρονται τα σενάρια τα οποία δημιουργήθηκαν αλλά και οι παράμετροι που επηρεάζουν στο σχεδιασμό των σεναρίων. Στο τέλος, παρουσιάζονται τα κυκλοφοριακά μεγέθη τα οποία εξάγει το πρόγραμμα και τα οποία θα χρησιμοποιηθούν ως δείκτες αξιολόγησης.

Στο **κεφάλαιο 4^ο** παρουσιάζονται μέσα από αναλυτικά διαγράμματα και πίνακες τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων όλων των σεναρίων που πραγματοποιήθηκαν. Τα αποτελέσματα και οι αναλύσεις αφορούν συγκεκριμένα κυκλοφοριακά μακροσκοπικά μεγέθη που εξάγει το πρόγραμμα, όπως είναι η μέση ταχύτητα, η μέση χρονική καθυστέρηση, η συνολική απόσταση που διανύουν τα οχήματα και ο συνολικός χρόνος μετακίνησης των οχημάτων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, καθώς και η κυκλοφοριακή ικανότητα. Η ανάλυση των μεγεθών αυτών αναφέρεται στο συνολικό οδικό δίκτυο, σε συγκεκριμένες περιοχές (αστική και υπεραστική) καθώς και σε μεμονωμένα οδικά τμήματα (αστικά και υπεραστικά).

Στο **κεφάλαιο 5^ο** αρχικά πραγματοποιείται μία ανασκόπηση του αντικειμένου και του σκοπού της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Στη συνέχεια, ακολουθούν τα κυριότερα συμπεράσματα από τα αποτελέσματα και τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Τέλος, παραθέτονται κάποιες προτάσεις οι οποίες θα μπορούσαν μελλοντικά να διερευνηθούν και να αναδείξουν περισσότερες πτυχές των επιπτώσεων, καθώς η ανάλυση των επιπτώσεων

της χρήσης του κινητού τηλεφώνου δεν έχει διερευνηθεί ιδιαίτερα σε επίπεδο μακροσκοπικών μεγεθών.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Σύνοψη

Το κεφάλαιο αυτό χωρίζεται σε δύο ενότητες. Η πρώτη ενότητα, αναφέρεται στη βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με την απόσπαση προσοχής κατά τη διάρκεια της οδήγησης αλλά και την οδική ασφάλεια. Πιο συγκεκριμένα, αναλύονται οι διάφορες μορφές απόσπασης που μπορεί να επιδρούν στον οδηγό, είτε αυτές προέρχονται από το εσωτερικό περιβάλλον του οχήματος είτε από το εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης, πραγματοποιείται σύγκριση των επιπτώσεων που έχουν οι διάφορες μορφές απόσπασης στον οδηγό. Επιπλέον, αναφέρεται και η αντισταθμιστική συμπεριφορά που μπορεί να έχει ο οδηγός λόγω των αποσπάσεων της προσοχής. Όλα αυτά, προέρχονται από πειραματικές εργασίες που έχουν πραγματοποιηθεί από το παρελθόν μέχρι και σήμερα, είτε σε εξελιγμένους προσομοιωτές οδήγησης είτε σε πραγματικές συνθήκες μέσω πειραμάτων με κατάλληλα εξοπλισμένα οχήματα. Τέλος, ακολουθεί η συνοπτική παρουσίαση των ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί, και τα αποτελέσματα αυτών παρουσιάζονται σε αναλυτικούς πίνακες.

Η δεύτερη ενότητα του κεφαλαίου αυτού, αναφέρεται στα πρότυπα κυκλοφοριακής ροής, αλλά και στα προγράμματα κυκλοφοριακής προσομοίωσης που υπάρχουν. Αρχικά, παρουσιάζονται οι θεμελιώδεις σχέσεις της κυκλοφοριακής ροής. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα κυκλοφοριακά πρότυπα τα οποία χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές και λογισμικά κυκλοφοριακής προσομοίωσης. Πραγματοποιείται εκτενής ανάλυση του προτύπου ακολουθίας οχημάτων του Gipps, διότι αποτελεί την θεμελιώδη βάση του προγράμματος AIMSUN, όταν πραγματοποιείται προσομοίωση σε μικροσκοπικό επίπεδο. Επιπλέον, πραγματοποιείται κατηγοροποίηση χαρακτηριστικών διάφορων λογισμικών που υπάρχουν είτε αυτά είναι εμπορικά είτε εργαστηριακά. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του προγράμματος κυκλοφοριακής προσομοίωσης του AIMSUN, καθώς αποτελεί εργαλείο αυτής της διπλωματικής εργασίας. Τέλος, ακολουθεί μια παρουσίαση δύο σχετικών ερευνών που αφορούν τη διερεύνηση της επιρροής της οδηγικής συμπεριφοράς (σε μακροσκοπικό επίπεδο) στην κυκλοφορία. Η πρώτη με χρήση του προγράμματος μικροσκοπικής κυκλοφοριακής προσομοίωσης DRACULA το οποίο βασίζεται στο πρότυπο του Gipps και εστίαζε στην ανάλυση ενός εξελιγμένου συστήματος προσαρμογής ταχύτητας. Και η δεύτερη με χρήση κυψελωτών αυτόματων προτύπων, εστίαζε στην επιρροή της χρήσης του κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης στην κυκλοφορία.

2.1. Απόσπαση προσοχής στην οδήγηση

Για την ασφαλή οδήγηση, ένας οδηγός πρέπει να δίνει το 100% της προσοχής του όταν οδηγεί. Ακόμα και μια στιγμιαία απόσπαση προσοχής μπορεί να οδηγήσει σε ένα ατύχημα. Η απόσπαση της προσοχής μπορεί να προκληθεί από οτιδήποτε αποσπά την προσοχή του οδηγού μακριά από τον δρόμο.

Η απόσπαση προσοχής του οδηγού ορίζεται ως μία κατάσταση όπου μια δραστηριότητα επηρεάζει την προσοχή του οδηγού με συνέπεια τη μειωμένη αποδόση οδήγησης, και έχει αναγνωριστεί ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλλουν στα οδικά ατυχήματα (Lee et al., 2009).

Όταν αποσπάται η προσοχή των οδηγών, η προσοχή τους κατανέμεται προσωρινά ανάμεσα σε αυτό που συχνά αναφέρεται ως πρωταρχική δραστηριότητα οδήγησης και σε δευτερεύουσες δραστηριότητες που δεν σχετίζονται με την οδήγηση (Dibben και Williamson, 2007, Triggs και Brown, 2006, Donmez et al., 2006, Sheridan, 2004).

Σύμφωνα με τον Regan (2008), η απόσπαση του οδηγού ορίζεται γενικά ως η εκτροπή της προσοχής από την οδήγηση, επειδή ο οδηγός επικεντρώνεται προσωρινά σε ένα αντικείμενο, πρόσωπο, έργο ή γεγονός που δεν σχετίζεται με την οδήγηση, γεγονός που μειώνει την ευαισθητοποίηση του οδηγού, την ικανότητα λήψης αποφάσεων ή / και την απόδοσή του.

Πολλές έρευνες έχουν δείξει ότι η απόσπαση του οδηγού συμβάλλει σε οδικά ατυχήματα, με εκτιμήσεις που υποδεικνύουν ότι η παράμετρος αυτή είναι υπεύθυνη για περισσότερα από το 50% των ατυχημάτων (Arthur et al., 1991, Arthur και Strong, 1994, Hendricks et al., 1999, Klauer et al., 2006, McEvoy et al., 2007, Stutts et al., 1996, Wierwille και Tijerina, 1996).

Στην Ελλάδα με βάση τα στατιστικά στοιχεία της διεύθυνσης τροχαίας, η απόσπαση προσοχής του οδηγού, για τα έτη 2010-2017, αποτελεί κάθε χρόνο την τρίτη συχνότερη αίτια θανατηφόρων οδικών ατυχημάτων. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται αναλυτικά στον **πίνακα 2-1**.

Πίνακας 2-1: Ποσοστά θανατηφόρων τροχαίων ατυχημάτων ανά αιτία πρόκλησης για την χρονολογική περίοδο 2010-2017. (Πηγή: Ελληνική Αστυνομία, Διεύθυνση Τροχαίας Αστυνόμευσης)

Αίτια θανατηφόρων τροχαίων παραβάσεων	Ποσοστά κατά χρονολογικό έτος 2010-2017							
	Α' ΕΞΑΜ. 2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010
Παράβαση σηματοδότη	2	1	1	1	1	3	1	1
Υπερβολική ταχύτητα	4	12	4	5	6	8	11	18
Αντικανονικό προσπέρασμα	1	2	1	1	2	0	1	1
Απόσπαση προσοχής οδηγού	7	12	6	6	7	7	12	11
Άλλα αίτια που σχετίζονται με τους οδηγούς	31	-	28	28	30	-	42	39
Πεζοί	7	13	6	5	5	-	12	0
Οδοί και καιρός	0	-	1	2	-	-	2	3
Παράβαση προτεραιότητας	4	5	4	7	5	6	6	8
Κίνηση στο αντίθετο ρεύμα	7	9	9	9	8	9	13	11
Λοιπά αίτια	37	46	42	35	37	67	1	8

Η απόσπαση του οδηγού μπορεί να είναι μια από τις παρακάτω μορφές (Regan, 2007) ή μπορεί να αποτελεί ένα συνδυασμό των παρακάτω μορφών:

- *Οπτική*, απώλεια της οπτικής επαφής του οδηγού με το δρόμο.
- *Νοητική*, εστίαση σε σκέψεις και αναλύσεις διαφόρων προβλημάτων που απασχολούν τον οδηγό.
- *Σωματική ή χειρωνακτική*, απομάκρυνση των χεριών από το τιμόνι για την ενασχόληση με άλλες δραστηριότητες.
- *Ακουστική*, υψηλά (ντεσιμπέλ) ακουστικά ερεθίσματα με συνέπεια την παρεμπόδιση σημαντικών ακουστικών ήχων.

Η διάσπαση του οδηγού μπορεί να οφείλεται σε διάφορες πηγές που μπορεί να είναι είτε εσωτερικές είτε εξωτερικές. Οι *εσωτερικές* πηγές απόσπασης του οδηγού στο όχημα περιλαμβάνουν την κατανάλωση φαγητού, το κάπνισμα, την ομιλία, την περιποίηση, συνομιλία με τους επιβάτες, καθώς και τη χρήση ενσωματωμένων συστημάτων ψυχαγωγίας, όπως η χρήση του ραδιοφώνου, τα CD και τα DVD player (Horberry et al., 2006). Ωστόσο, ο αυξανόμενος αριθμός νέων ηλεκτρονικών συσκευών, όπως τα κινητά τηλέφωνα, αποτελούν σημαντική πηγή διάσπασης του οδηγού.

Ορισμένες έρευνες δείχνουν ότι η χρήση συστημάτων ψυχαγωγίας εντός του οχήματος έχει αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση οδήγησης (Horberry et al., 2006). Η προσαρμογή ενός ραδιοφώνου, ενός CD ή μιας κασέτας βρέθηκε να είναι μία από τις κυριότερες αιτίες των ατυχημάτων που σχετίζονται με την διάσπαση προσοχής στις Ηνωμένες Πολιτείες (Stutts et al., 2011).

Συνοπτικά, μερικές από τις κυριότερες εσωτερικές πηγές διάσπασης προσοχής του οδηγού (Stutts et al., 2011) είναι:

- Η ρύθμιση του κλιματιστικού,
- η ρύθμιση ραδιοφώνου ή CD,
- η μετακίνηση αντικειμένου στο όχημα,
- το φαγητό ή το ποτό,
- το κάπνισμα,
- η συνομιλία με τους συνεπιβάτες,
- η κλήση ή αποστολή μηνυμάτων σε κινητό τηλέφωνο,
- η ομιλία στο κινητό τηλέφωνο,
- η χρήση μιας συσκευής ή αντικειμένου που είναι ενσωματωμένο στο όχημα όπως σύστημα προσαρμογής ταχύτητας,
- η χρήση μιας συσκευής ή αντικειμένου που εισάγεται στο όχημα όπως το σύστημα πλοήγησης.

Οι εξωτερικές πηγές απόσπασης προσοχής ενδέχεται να προκύψουν όταν ο οδηγός έχει στραμμένο το βλέμμα του σε κτίρια, άτομα ή καταστάσεις εκτός του οχήματος, καθώς και την προσοχή του σε διαφημιστικές πινακίδες και σε άλλες οδικές πινακίδες π.χ. πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων. Όσον αφορά την επιρροή μεταξύ των διαφημιστικών μηνυμάτων στατικού και των διαφημιστικών βίντεο, από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί προέκυψε ότι τα διαφημιστικά βίντεο είχαν υψηλότερες αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση της οδήγησης, υποδηλώνοντας τον αυξημένο κίνδυνο αυτής της εξωτερικής διάσπασης στην ασφαλή οδήγηση (Chattington et al., 2009).

Σίγουρα όλες οι μορφές απόσπασης προσοχής είναι σημαντικές είτε προέρχονται από το εσωτερικό περιβάλλον είτε από το εξωτερικό. Όσον αφορά όμως την ακουστική διάσπαση προσοχής έχει μια ιδιαιτερότητα. Πιο συγκεκριμένα εκτός από τις αρνητικές επιπτώσεις, προκύπτουν και κάποια ωφέλη. Σχετικά με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, η ακουστική διάσπαση της προσοχής συμβαίνει όταν κάποιος οδηγός για λίγο ή συνεχώς επικεντρώνει την προσοχή του σε ήχους ή ακουστικά σήματα και όχι στο οδικό περιβάλλον (Young et al., 2003). Οι Spence και Ho (2008), υποστηρίζουν ότι όσο πιο απαιτητική είναι μία ακουστική δραστηριότητα τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση στην απόδοση οδήγησης του οδηγού. Τα ακουστικά ερεθίσματα είναι πάντα παρόντα μέσα σε ένα όχημα. Οι οδηγοί ακούν μουσική επειδή το βρίσκουν ευχάριστο, χαλαρωτικό και διασκεδαστικό, ή επειδή εμποδίζει την πλήξη (Dibben και Williamson, 2007). Στην έρευνα που πραγματοποίησαν οι Dibben και Williamson (2007), διαπιστώθηκε ότι το 62% των οδηγών συμφώνησε ότι η μουσική που άκουγαν καθόριζε την οδήγησή τους, και το 25% δήλωσε ότι συνέβαλε στην συγκέντρωσή τους.

Η ακρόαση μουσικής κατά την διάρκεια της οδήγησης έχει κάποια ωφέλη, όπως ο περιορισμός του άγχους σε καταστάσεις υψηλής κυκλοφοριακής συμφόρησης (Wiesenthal et al., 2000), μειώνοντας την ήπια επιθετικότητα του οδηγού (Wiesenthal et al., 2003, Spinney, 1997). Επιπλέον, αποτελέσματα ερευνών υποδεικνύουν ότι η ακρόαση μουσικής κατά την οδήγηση μπορεί να βοηθήσει τους οδηγούς στο να διατηρήσουν μια εγρήγορση (Dibben και Williamson, 2007, Stevens και Minton, 2001, Turner et al., 1996).

Ταυτόχρονα όμως, η ακρόαση μουσικής έχει περιγραφεί ως βασική ακουστική διάσπαση προσοχής κατά τη διάρκεια της οδήγησης (Brodsky, 2002). Οι Dibben και Williamson (2007), υποστηρίζουν ότι η μουσική και ο θόρυβος του δρόμου μπορούν να παρεμποδίσουν τον εντοπισμό σημαντικών ήχων, όπως σειρήνες ασθενοφόρων, αστυνομίας από τον οδηγό, με αποτέλεσμα να αυξάνουν τον κίνδυνο του ατυχήματος. Η ακρόαση της μουσικής κατά την οδήγηση μπορεί να αυξήσει τη ζήτηση για προσοχή. Επιπλέον, απαιτεί την επεξεργασία ήχων και λέξεων και οι οδηγοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν πρόσθετες νοητικές εργασίες για να αξιοποιήσουν το ρυθμό, να τραγουδήσουν ή να ανακαλέσουν μνήμες που ενεργοποιούνται από την μουσική. Επιπλέον, η ακρόαση μουσικής σε υψηλή ένταση οδηγεί σε μείωση του ελέγχου του οχήματος (Brodsky, 2002). Ο χρόνος αντίδρασης αυξάνεται κατά 20% όταν ο οδηγός ακούει μουσική σε δυνατές συχνότητες σε αντίθεση με χαμηλότερες συχνότητες (Spinney, 1997). Οι σημαντικότερες επιπτώσεις στην οδήγηση από τη μουσική προέρχονται και από τα επίπεδα πολυπλοκότητας της μουσικής (Furnham και Allass, 1999).

2.2. Απόσπαση προσοχής και οδηγική ασφάλεια

Ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας αναγνωρίζει τα τροχαία ατυχήματα ως την 9^η κύρια αιτία θανάτων, η οποία αντιπροσωπεύει το 2,2% του συνόλου των θανάτων παρκοσμίως (WHO στοιχεία του 2014). Στην Ινδία, τα στατιστικά στοιχεία για τα τροχαία ατυχήματα υποδεικνύουν ότι συμβαίνει ένα ατύχημα κάθε ένα λεπτό (MRTI, 2013). Μία άλλη έρευνα στην Ινδία από τους Shabeer και Banu (2012) σχετικά με τον κίνδυνο χρήσης των κινητών τηλεφώνων, έδειξε ότι το 31% των οδηγών που χρησιμοποίησαν τα κινητά τηλέφωνα κατά την οδήγηση είχαν κάποιο ατύχημα. Υπάρχουν ενδείξεις που δείχνουν ότι το κύριο αίτιο ατυχημάτων είναι η απόσπαση προσοχής του οδηγού, που προκαλείται κυρίως από τις συσκευές ψηφιακής επικοινωνίας, όπως τα κινητά τηλέφωνα ή οι συσκευές εντός οχήματος, όπως το GPS. Οι McEvoy και Stevenson (2007) διεξήγαγαν μία έρευνα σε διάστημα δύο ετών στο Perth της Δυτικής Αυστραλίας και διαπίστωσαν ότι η απόσπαση προσοχής του οδηγού από τη χρήση κινητού τηλεφώνου συνέβαλε στο 14% των οδικών ατυχημάτων. Σε παρεμφερή συμπεράσματα κατέληξαν και άλλες έρευνες με βάση τις οποίες η χρήση κινητού τηλεφώνου αποτελούσε το κύριο αίτιο ατυχημάτων σε ποσοστό 10% στη Νέα Ζηλανδία, 37% στην Ισπανία, 10,7% στον Καναδά και 16% στις ΗΠΑ (Ascone et al. 2009, NRSC, 2010, DGT, 2008).

Επιπλέον, στη Νέα Ζηλανδία, σε μία έρευνα διαπιστώθηκε ότι η απόσπαση της προσοχής συμβάλλει τουλάχιστον στο 10% των θανατηφόρων ατυχημάτων και στο 9% των ατυχημάτων με τραυματισμό. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι οι νέοι οδηγοί είναι πιθανότερο να εμπλέκονται σε ατυχήματα που σχετίζονται με τη διάσπαση της προσοχής του οδηγού (Safer Journey 2010). Αντίστοιχα, οι ασφαλιστικές εταιρείες στην Κολομβία ανέφεραν ότι το 9% του συνόλου των τροχαίων ατυχημάτων προκλήθηκαν από απρόσεκτους οδηγούς. Επιπλέον, το 21% των ατυχημάτων με πεζούς αφορούσε την απόσπαση προσοχής των οδηγών (FPV, 2006).

Αρκετές έρευνες υποδεικνύουν την απόσπαση προσοχής λόγω χρήσης του κινητού τηλεφώνου κατά την οδήγηση ως βασικό αίτιο σε σημαντικό ποσοστό ατυχημάτων. Πιο συγκεκριμένα:

- Στην ολλανδία, η χρήση των κινητών τηλεφώνων κατά την οδήγηση ήταν υπεύθυνη για το 8,3% του συνολικού αριθμού των νεκρών και τραυματιών το 2004 (SWOV, 2008).
- Στην Ισπανία, εκτιμάται ότι το 37% των οδικών ατυχημάτων το 2008 σχετιζόταν με τη απόσπαση της προσοχής του οδηγού (Statistical Yearbook of Accidents of the Directorate-General for Traffic, 2009).

- Στον Καναδά, εθνικά δεδομένα από το 2003 έως το 2007 δείχνουν ότι περίπου το 11% όλων των οδηγών που σκοτώθηκαν ή τραυματίστηκαν αποσπάστηκαν κατά τη στιγμή του ατυχήματος (NCDB, 2007).
- Στις ΗΠΑ, η διάσπαση του οδηγού ως αποτέλεσμα των εσωτερικών πηγών απόσπασης προσοχής εκτιμάται ότι είναι υπεύθυνη για το 11% των εθνικών ατυχημάτων που σημειώθηκαν μεταξύ 2005 και 2007. Επίσης, το 2008 η διάσπαση του οδηγού αναφέρθηκε ότι αφορούσε στο 16% όλων των θανατηφόρων ατυχημάτων στις Ηνωμένες Πολιτείες (NHTSA, 2009).
- Στην Αγγλία, η απόσπαση της προσοχής αναφέρθηκε ως παράγοντας που συμβάλλει στο 2% των ατυχημάτων (Reported road casualties Great Britain, 2008).

Επιπλέον, μια έρευνα στη Νέα Ζηλανδία υποδεικνύει ότι η απόσπαση της προσοχής από τους επιβάτες (ή συνομιλία) αντιπροσώπευε τον μεγαλύτερο αριθμό ατυχημάτων που αφορούσαν την απόσπαση του οδηγού. Στην πραγματικότητα, οι αποσπάσεις από τους επιβάτες ήταν υψηλότερες από εκείνες που αφορούσαν συνδυαστικά τα συστήματα τηλεπικοινωνιών και ψυχαγωγίας (Parliament of Victoria Road Safety Committee Inquiry into driver distraction, 2006). Είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη τόσο η επίδραση της πηγής της απόσπασης της προσοχής στην συμπεριφορά της οδήγησης, όσο και η συχνότητα και η διάρκεια της συμπεριφοράς. Έρευνες στις Ηνωμένες Πολιτείες δείχνουν ότι η συχνότητα και η διάρκεια των συνομιλιών κινητής συνομιλίας κατά τη διάρκεια της οδήγησης οδηγούν σε μεγαλύτερο συνολικό αντίκτυπο όσον αφορά τα ατυχήματα. Εκτιμάται ότι 1,4 εκατομμύρια ατυχήματα προκύπτουν από συνομιλίες με κινητά τηλέφωνα και περίπου 200.000 ατυχήματα που πιστεύεται ότι περιλαμβάνουν μηνύματα κειμένου ή αποστολή μηνυμάτων (Kolosh, 2009).

Παρά την απαγόρευση της χρήσης του κινητού τηλεφώνου κατά την οδήγηση, το ποσοστό των οδηγών που οδηγούν με κινητό τηλέφωνο είναι πολύ υψηλό. Για παράδειγμα, σε μερικές πόλεις της Αυστραλίας, των ΗΠΑ, της Αγγλίας, της Ισπανίας, του Καναδά και της Σουηδίας καταγεγραμμένα ποσοστά είναι 4,75%, 5,8%, 3,7%, 1,3%, 5,9% και 30% αντίστοιχα (Young et al., 2006, Sullman, 2015, Prat et al., 2015, Burns et al., 2008, Thulin και Gustafsson, 2004).

Σε πείραμα προσομοίωσης από τους Yannis et al. (2014), διαπιστώθηκε ότι εάν αποσπαστεί η οπτική επαφή του οδηγού από το δρόμο για να εκτελέσει κάποια εργασία δευτερεύουσα, τότε η πιθανότητα ατυχήματος αυξάνεται κατά 8,3 φορές περισσότερο σε σύγκριση με την οδήγηση χωρίς απόσπαση. Αντίστοιχα, οι Alosco et al. (2012), υποδεικνύουν ότι η γραφή μηνυμάτων αύξησε τις πιθανότητες ατυχήματος σε σύγκριση με την οδήγηση χωρίς κινητό τηλέφωνο. Ένας από τους πιθανούς λόγους για τους αυξημένους αριθμούς ατυχημάτων είναι ότι οι οδηγοί καθυστερούν να επιβραδύνουν το όχημά τους διότι ασχολούνται με το κινητό τηλέφωνο όταν το προπορευόμενο όχημα φρενάρει απότομα (Charlton, 2009).

Όσον αφορά τα είδη παραβάσεων στην Ελλάδα, τα στοιχεία της διεύθυνσης τροχαίας δείχνουν, πως η χρήση κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης αποτελεί ένα σημαντικό ποσοστό επί του συνόλου για τη χρονολογική περίοδο από το 2012 έως το πρώτο εξάμηνο του 2017. Τα ποσοστά σε σύγκριση με τα άλλα είδη παραβάσεων, παρουσιάζονται αναλυτικά στον **πίνακα 2-2**.

Πίνακας 2-2: Ποσοστά παραβάσεων ανά είδος για την χρονολογική περίοδο 2010-2017 (Πηγή: Ελληνική Αστυνομία, Διεύθυνση Τροχαίας Αστυνόμευσης).

Παραβάσεις ανά είδος	Ποσοστά κατά χρονολογικό έτος 2012-2017						Μέσος όρος
	Α' ΕΞΑΜ. 2017	2016	2015	2014	2013	2012	
Παράβαση προτεραιότητας	0.8	0.9	1.0	1.0	0.6	0.6	0.8
Παράβαση σηματοδότη	4.2	3.9	3.8	3.6	2.9	3.2	3.6
Αντικανονικοί ελιγμοί	1.1	1.5	1.5	1.3	0.8	0.8	1.2
Κίνηση στο αντίθετο ρεύμα	2.4	3.0	3.0	3.3	2.8	3.1	2.9
Αντικανονικό προσπέρασμα	1.4	2.4	2.2	2.1	1.6	1.6	1.9
Κίνηση στην αριστερή λωρίδα	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.4	0.2
Μη χρήση ζώνης ασφάλειας	8.0	8.5	7.7	9.0	8.5	8.4	8.4
Μη χρήση παιδικών καθισμάτων	0.2	0.1	0.1	0.2	0.4	0.4	0.2
Μη χρήση κράνους	13.5	16.0	13.8	14.2	14.0	11.9	13.9
Παραβάσεις οχημάτων (ΚΤΕΟ)	4.5	4.4	6.6	8.0	10.1	9.1	7.1
Παραβάσεις ταχύτητας	47.4	42.9	45.2	41.0	43.1	46.6	44.4
Παράβαση χρήσης κινητού τηλεφώνου	6.4	6.2	5.1	6.1	5.8	4.7	5.7
Φθαρμένα ελαστικά	1.3	1.2	1.3	1.5	1.4	1.3	1.3
Παραβάσεις διαφημιστικών πινακιδών	1.0	0.7	0.9	0.6	0.3	0.2	0.6
Μέθη	7.8	8.1	7.6	7.7	7.4	7.7	7.7
ΣΥΝΟΛΟ	100	100	100	100	100	100	100

Στο **σχήμα 2-1** που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι καταγεγραμμένες παραβάσεις χρήσης κινητού τηλεφώνου μεταξύ του 2012 και του πρώτου εξαμήνου του 2017. Από τα στοιχεία του διαγράμματος παρατηρείται ότι οι αριθμοί των συγκεκριμένων παραβάσεων παραμένουν σε υψηλά επίπεδα. Επιπλέον, παρατηρείται πως από τα στοιχεία τα οποία είναι διαθέσιμα, για το πρώτο εξάμηνο του 2017, ήδη οι αριθμοί έχουν ιδιαίτερα υψηλές τιμές.



Σχήμα 2-1: Αριθμός παραβάσεων χρήσης κινητού τηλεφώνου για την χρονολογική περίοδο 2010-2017. (Πηγή: Ελληνική Αστυνομία, Διεύθυνση Τροχαίας Αστυνόμευσης).

2.3. Κινητό τηλέφωνο και οδική συμπεριφορά

Σχεδόν κάθε άνθρωπος έχει στην κατοχή του ένα κινητό τηλέφωνο. Το αντίκτυπο που έχει η χρήση του κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης είναι μεγάλο, διότι μπορεί να επηρεάσει τη σωματική ακεραιότητα και του ίδιου του οδηγού αλλά και των γύρω του. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι η χρήση του κινητού τηλεφώνου αποσπά την προσοχή του οδηγού από τη δραστηριότητα της οδήγησης με ασφάλεια. Ένας οδηγός του οποίου αποσπάται η προσοχή μπορεί να μην παρατηρεί ή να αντισταθμίζει τις επικίνδυνες συμπεριφορές άλλων οδηγών, αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο ατυχήματος. Συνεπώς, οι οδηγοί που χρησιμοποιούν τα κινητά τηλέφωνα κατά την οδήγηση έχουν μειωμένη απόδοση οδήγησης.

Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια μιας συνομιλίας μέσω κινητού τηλεφώνου, οι νοητικοί πόροι του οδηγού (δηλαδή οι σκέψεις) χρησιμοποιούνται για την ανάλυση τόσο της κατάστασης οδήγησης όσο και της διεξαγωγής της συνομιλίας (δευτερεύουσα εργασία). Ως αποτέλεσμα, η επίγνωση της κατάστασης του οδηγού, η λήψη αποφάσεων και η απόδοση οδήγησης να μειώνονται.

Σημαντικός αριθμός ερευνών υποδεικνύει ότι η χρήση του κινητού τηλεφώνου κατά την οδήγηση υποβαθμίζει την απόδοση οδήγησης (Parkes και Hooijmeijer, 2000, Haigney et al., 2000, Strayer e. al., 2003, Strayer και Johnston, 2001, Cooper et al., 2003, Hancock και Lesch,

2003, Rakauskas et al., 2003, Patten et al., 2004, Liu και Lee, 2005, Just et al., 2008, Caird et al., 2008, Hamada, 2008).

Σε έρευνα που διεξήχθη σε 11 διασταυρώσεις στην Αλαμπάμα των ΗΠΑ από τους Huisingh et al., 2015, προέκυψε ότι η τηλεφωνική συνομιλία κατά τη διάρκεια της οδήγησης ήταν η αιτία για το 31,4% της αποστασιοποιημένης οδήγησης.

Χρησιμοποιώντας ένα προηγμένο προσομοιωτή οδήγησης οι Burns et al. (2002), έδειξαν ότι οι συνομιλίες με κινητά τηλέφωνα επηρεάζουν τον έλεγχο της ταχύτητας αλλά και την ανταπόκριση των οδηγών στις οδικές πινακίδες περισσότερο από ότι τα υψηλά επίπεδα αλκοόλ στο νόμιμο επιτρεπτό όριο 8%. Οι Rakauskas et al. (2004), ανέφεραν ότι οι συνομιλίες με κινητό τηλέφωνο οδήγησαν σε μεγαλύτερη διακύμανση της θέσης του πεντάλ του γκαζιού και σε χαμηλές ταχύτητες με μεγαλύτερη διακύμανση ταχύτητας. Γενικά, η μείωση της ταχύτητας των αποσπασμένων οδηγών από το κινητό τηλέφωνο, συχνά ερμηνεύεται και ως αντισταθμιστική προσπάθεια για τον αυξημένο φόρτο εργασίας (Tompos και Bolling, 2006). Οι Haque et al. (2013), ανέφεραν ότι οι νέοι (σε ηλικία και εμπειρία) οδηγοί έχουν περισσότερες πιθανότητες να περάσουν από τον κίτρινο σηματοδότη μιας διασταύρωσης ενώ εκείνη την στιγμή βρίσκονται αποσπόμενοι από την χρήση του κινητού. Υποδεικνύοντας αυτό το συνδυαστικό αποτέλεσμα απροσεξίας και απόσπασης ως ιδιαίτερα επικίνδυνο.

Ο χρόνος αντίδρασης είναι η παράμετρος που επηρεάζεται περισσότερο ως αποτέλεσμα της χρήσης του κινητού τηλεφώνου κατά την οδήγηση, και συχνά θεωρείται και ως δείκτης που υποδεικνύει τον κίνδυνο ατυχήματος. Μια έρευνα που διεξήχθη από τους Caird et al. (2008), αναφέρει μια μέση αύξηση των χρόνων αντίδρασης κατά 0,25 δλ. για όλες τις εργασίες που σχετίζονται με το κινητό τηλέφωνο ενώ το μέγεθος της αύξησης σχετίζεται με την ηλικία, την εργασία, το συμβάν ή τα ερεθίσματα. Οι Horrey και Wickens (2006), αναφέρουν ότι η απόσπαση προσοχής από τη χρήση του κινητού τηλεφώνου αυξάνει τους χρόνους αντίδρασης σε απροσδόκητους κινδύνους, ενώ παρόμοια αποτελέσματα παρουσιάζουν τόσο η χρήση δια χειρός τηλεφώνου τόσο και με σύστημα ενσύρματης επικοινωνίας.

Οι Consiglio et al. (2003), διερεύνησαν την απόκριση της πέδησης των αποσπασμένων οδηγών στην έναρξη της κόκκινης ένδειξης σε εργαστηριακό περιβάλλον και διαπίστωσαν ότι τόσο οι συνομιλίες με σύστημα ενσύρματης επικοινωνίας όσο και οι δια χειρός χρήση τηλεφώνου οδηγούν σε βραδύτερη απόκριση των επιδόσεων πέδησης. Οι Benedetto et al. (2012) εξέτασαν με προσομοιωτή οδήγησης τις επιπτώσεις της συνομιλίας με τη χρήση του κινητού τηλεφώνου (δια χειρός, σύστημα ενσύρματης επικοινωνίας, συνομιλία με ανοικτή ακρόαση) σε διάφορους δείκτες οδηγικής συμπεριφοράς, συμπεριλαμβανομένου και του ρυθμού επιβράδυνσης σε απόκριση απότομης πέδησης προπορευόμενου οχήματος. Τα αποτελέσματα της έρευνας τους έδειξαν ότι η χρήση του κινητού τηλεφώνου (ανεξαρτήτως του τρόπου χρήσης του για ομιλία) οδηγεί σε αύξηση της μέσης επιβράδυνσης σε ένα αστικό περιβάλλον ως αντιστάθμιση για την καθυστέρηση του χρόνου απόκρισης λόγω της κινητής συνομιλίας.

Οι McKnight et al. (1993) εικάζουν ότι οι απαιτήσεις για την προσοχή και την ικανότητα του οδηγού αυξάνονται λόγω της χρήσης κινητών τηλεφώνων, γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα αυξημένο χρόνο αντίδρασης και αυξημένα ποσοστά αποτυχίας για ανίχνευση και αντίδραση στα σήματα του κώδικα οδικής κυκλοφορίας και σε επικίνδυνα συμβάντα που συμβαίνουν στο δρόμο.

2.3.1. Αντισταθμιση συμπεριφοράς

Εάν ο οδηγός προσπαθήσει να εκτελέσει οποιαδήποτε δευτερεύουσα εργασία, τότε υπάρχει μεγάλη πιθανότητα οι επιδόσεις οδήγησης να χειροτερεύσουν (Reimer et al., 2014). Παραδείγματα αποτελούν ο χρόνος αντίδρασης (Haque και Washington, 2015) και ο πλευρικός έλεγχος (Peng et al., 2014). Ορισμένα από αυτά είναι τα αποτελέσματα των συνειδητών ή ασυνειδητών αντισταθμιστικών συμπεριφορών του οδηγού που υιοθετήθηκαν για τη μείωση του αυξημένου φόρτου εργασίας. Οι κύριες παρατηρούμενες αντισταθμιστικές συμπεριφορές είναι:

- Η μείωση της ταχύτητας (Caird et al., 2014),
- Η αλλαγή της σχετικής προσοχής που δόθηκε στην οδήγηση (Chiang et al., 2004) και
- Η διατήρηση μεγαλύτερων αποστάσεων από το προπορευόμενο όχημα (Collet et al., 2014).

Μεταξύ όλων αυτών των αντισταθμιστικών συμπεριφορών, η μεταβολή της συμπεριφοράς του οδηγού παρατηρείται γενικά στην επιλογή της μέσης ταχύτητας του οδηγού κατά τη διάρκεια των αποσπασμένων συνθηκών οδήγησης (Reimer et al., 2014). Η ταχύτητα του οδηγού θεωρείται ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες, ο οποίος επηρεάζει το βαθμό σοβαρότητας που θα έχει το ατύχημα. Επομένως, κάθε μεταβολή στη συμπεριφορά επιτάχυνσης επηρεάζει επίσης τον κίνδυνο του ατυχήματος.

Οι οδηγοί γενικά προσπαθούν να αντισταθμίσουν τον πρόσθετο φόρτο εργασίας από τις πηγές απόσπασης της οδήγησης (π.χ. αποστολή ενός μηνύματος κειμένου κατά την οδήγηση) μειώνοντας την ταχύτητα τους (Peng et al., 2014, Thapa et al., 2015). Σε μεγάλο αριθμό ερευνών, η μείωση της ταχύτητας είναι μία συνηθισμένη τεκμηριωμένη τάση όταν οι οδηγοί χρησιμοποιούν κινητά τηλέφωνα κατά την οδήγηση (Charlton, 2009, Leung et al., 2012, Caird et al., 2014). Διάφορες παράμετροι μπορούν να επηρεάσουν τη μέση ταχύτητα του οδηγού σε αποσπόμενες συνθήκες οδήγησης. Η αντισταθμιστική συμπεριφορά μείωσης της ταχύτητας παρατηρείται σε όλους τους τύπους διάσπασης (Tractinsky et al., 2013, Metz et al., 2015, Leung et al., 2012, Tornros και Bolling, 2006, McKeever et al., 2012) και οπτικο-χειρωνακτικές δραστηριότητες, όπως η έναρξη ή η λήξη της τηλεφωνικής συνομιλίας (Young et al., 2013).

Η οπτική επαφή του οδηγού με το δρόμο μειώνεται σημαντικά όταν είναι αφοσιωμένος στο να γράψει ένα μήνυμα (Young et al., 2012, Peng et al., 2014), που οδηγεί σε υψηλότερο φόρτο εργασίας και επομένως παρατηρούνται μεγαλύτερες μειώσεις ταχύτητας (McKeever et al., 2013, Thapa et al., 2014, Caird et al., 2014). Μερικές από τις εργασίες έκαναν αναφορά και στην ηλικία που είχε ο οδηγός, δημιουργώντας έτσι διάφορες κατηγορίες, όπως νέοι και ηλικιωμένοι οδηγοί (Reamer et al., 2011, Liu και Ou, 2011). Τα συνολικά αποτελέσματα αυτών των εργασιών δείχνουν ότι, σε αποσπόμενες συνθήκες οδήγησης, οι ηλικιωμένοι οδηγοί τείνουν να οδηγούν πιο αργά σε σύγκριση με τους νέους οδηγούς. Επιπρόσθετα, αποδεικνύεται ότι οι γυναίκες οδηγοί κινούνται πιο αργά σε σύγκριση με τους άνδρες οδηγούς (Reimer et al., 2014, Leung et al., 2012) σε συνθήκες αποσπασμένης οδήγησης. Σημαντική παράμετρο που επηρεάζει τη μέση ταχύτητα του οδηγού αποτελεί ο τρόπος χρήσης του κινητού τηλεφώνου, για παράδειγμα με δια χειρός χρήση κινητού τηλεφώνου ή με χρήση ασύρματης επικοινωνίας. Έχει αποδειχθεί σε μερικές από τις έρευνες ότι οι αρνητικές επιπτώσεις της χρήσης του τηλεφώνου στην απόκλιση της λωρίδας και της συνειδητοποίησης της κατάστασης είναι παρεμφερείς και για τις δύο παραπάνω λειτουργίες τηλεφώνου, αλλά οι επιπτώσεις στην ταχύτητα είναι πιο σημαντικές με την δια χειρός χρήση (Tornros και Bolling, 2006, Patten et al., 2004). Η πολυπλοκότητα του οδικού περιβάλλοντος επηρεάζει επίσης την ταχύτητα των οδηγών. Παρατηρείται ότι καθώς η πολυπλοκότητα του οδικού περιβάλλοντος αυξάνεται,

αυξάνεται και η αντιστάθμιση για αυξημένο φόρτο εργασίας, δηλαδή παρατηρείται μεγαλύτερη μείωση ταχύτητας σε σύνθετα οδικά σενάρια όπως σε αστική περιοχή (Tornros και Bolling, 2006, Yannis et al., 2014, Metz et al., 2015). Επιπλέον, οι αλληλεπιδράσεις αυτών των σύνθετων σεναρίων με συνομιλίες και γραπτά μηνύματα οδηγούν σε μείωση της ταχύτητας (Tornros και Bolling, 2006, Metz et al., 2015).

Κάποιες έρευνες έχουν συγκεκριμένα στοχεύσει στην καταγραφή των αρνητικών επιπτώσεων της χρήσης κινητών τηλεφώνων όσον αφορά στην οδηγική συμπεριφορά κατά την ακολουθία οχήματος. Η ακολουθία οχήματος είναι η πιο συνηθισμένη κατάσταση οδήγησης και η οδηγική συμπεριφορά αποτελεί σημαντική παράμετρο ασφαλούς οδήγησης (Saifuzzaman και Zheng, 2014).

Οι Ranney et al. (2004), παρατήρησαν ότι οι οδηγοί αυξάνουν το χρονικό διαχωρισμό από το προπορευόμενο όχημα κατά τη διάρκεια όλων των τύπων τηλεφωνικών συνομιλιών. Αυτό συμβαίνει διότι οι οδηγοί με την χρήση του κινητού τηλεφώνου μειώνουν την ταχύτητα τους ως αντισταθμιστικό στον υψηλό φόρτο εργασίας και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη χρονοαπόσταση από το προπορευόμενο όχημα.

Ορισμένες έρευνες υποδεικνύουν ότι ο αντίκτυπος στην απόδοση οδήγησης της ομιλίας σε ένα κινητό τηλέφωνο είναι παρόμοιος με αυτόν της διεξαγωγής μίας συνομιλίας με τον συνεπιβάτη. Ωστόσο, άλλες έρευνες υποδηλώνουν ότι υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ αυτών των δύο καταστάσεων, με μεγαλύτερο κίνδυνο αποστασιοποίησης και επηρεασμό της συμπεριφοράς οδήγησης για όσους χρησιμοποιούν κινητό τηλέφωνο σε σύγκριση με αυτούς που συνομιλούν με επιβάτη.

Επειδή ο επιβάτης είναι παρών κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, μια συνομιλία με έναν επιβάτη μπορεί να θεωρηθεί λιγότερη επικίνδυνη από άποψη απόσπασης προσοχής. Πιο συγκεκριμένα, ο επιβάτης γνωρίζει τις επικρατούσες συνθήκες οδήγησης και μπορεί με τον τρόπο του να βοηθήσει και να επιστήσει και αυτός την προσοχή του οδηγού σε κάποιες επικίνδυνες καταστάσεις. Στην περίπτωση όμως μίας συνομιλίας μέσω ενός κινητού τηλεφώνου, το άλλο άτομο δεν μπορεί να γνωρίζει αν το άτομο στο οποίο απευθύνεται οδηγεί (Dragutinovic και Twisk, 2005). Οι συνομιλίες απαιτούν την προσοχή των συμμετέχοντων για την παρακολούθηση του θέματος και του περιεχομένου (Clark, 1996). Έτσι όλες, οι συνομιλίες εκτρέπουν την προσοχή του οδηγού από την οδήγηση.

Οι Drews et al. (2008), εξέτασαν το πόσο καλά οι οδηγοί μπορούν να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις της οδήγησης (το να κάνουν λιγότερα λάθη) όταν πραγματοποιείται μία συνομιλία με ένα επιβάτη και όταν πραγματοποιείται μία συνομιλία με το κινητό τηλέφωνο. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής έδειξαν ότι οι οδηγοί πραγματοποίησαν λιγότερα λάθη όταν συζητούσαν με το συνεπιβάτη.

Έρευνες έχουν δείξει ότι οι χρόνοι αντίδρασης είναι πιο υψηλοί μεταξύ των οδηγών που μιλάνε σε ένα τηλέφωνο σε σχέση με εκείνους που μιλάνε σε ένα συνεπιβάτη (Burns et al., 2010). Αυτό φαίνεται να οφείλεται στο γεγονός ότι οι επιβάτες έχουν μεγαλύτερη επίγνωση της κατάστασης οδήγησης και του οδικού περιβάλλοντος και μπορούν να μετριάσουν, να προσαρμόσουν ή να καθυστερήσουν τη συζήτηση κατά τη διάρκεια δύσκολων καταστάσεων οδήγησης, ένα φαινόμενο που δεν συμβαίνει κατά τη διάρκεια των τηλεφωνικών συνομιλιών (Dragutinovic και Twisk, 2005, Brace et al., 2007). Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει ότι μια συνομιλία με έναν επιβάτη δεν αποτελεί απόσπαση της προσοχής, με τις συνεπακόλουθες συνέπειες.

2.3.2. Τρόποι χρήσης

Ένα άλλο σημαντικό θέμα που έχει απασχολήσει πολλές έρευνες είναι ο τρόπος επικοινωνίας με το κινητό τηλέφωνο (είτε είναι με δια χειρός χρήση είτε είναι με σύστημα ενσύρματης επικοινωνίας) και οι επιπτώσεις χρήσης του στην οδήγηση. Θεωρείται πως η χρήση με σύστημα ενσύρματης επικοινωνίας έχει μικρότερη επιρροή στην οδήγηση (όσον αφορά την απόσπαση του οδηγού από την οδήγηση) σε σχέση με τη δια χειρός χρήση. Ωστόσο, και οι δύο τρόποι χρήσης τηλεφώνου αποσπούν τον οδηγό από την οδήγηση και αυτό μπορεί να έχει αρνητικές συνέπειες (Rospra, 2002). Οι Burns et al. (2002), συνέκριναν τις επιπτώσεις της συνομιλίας μέσω κινητού τηλεφώνου (δια χειρός και με σύστημα ενσύρματης επικοινωνίας) μέσω πειράματος προσομοίωσης της οδήγησης. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της νοητικής προσπάθειας από τους συμμετέχοντες, η οδήγηση με κινητό τηλέφωνο χειρός ήταν πιο δύσκολη και οι οδηγοί επιβράδυναν περισσότερο με τη δια χειρός χρήση τηλεφώνου.

Σε μια άλλη έρευνα οι Brookhuis et al. (1991), διαπίστωσαν ότι τα άτομα που χρησιμοποιούσαν σύστημα ενσύρματης επικοινωνίας έδειχναν να έχουν καλύτερο έλεγχο του οχήματος από ότι τα άτομα που προτιμούσαν να χειρίζονται το κινητό τηλέφωνο με χειροκίνητο τρόπο.

Η χρήση κινητών τηλεφώνων με σύστημα ενσύρματης επικοινωνίας κατά την οδήγηση έχει αποδειχθεί ότι οδηγεί σε μειωμένη οπτική παρακολούθηση των εξαρτημάτων του οχήματος, όπως το τιμόνι, και κατά συνέπεια και του ελέγχου του οχήματος (Transport Canada, 2002). Τα στοιχεία δείχνουν ότι το σύστημα ενσύρματης επικοινωνίας δεν είναι ασφαλέστερο από τη δια χειρός χρήση των κινητών τηλεφώνων όσον αφορά την απόδοση οδήγησης (Dragutinovic, 2005, Brace et al. 2007, Caird et al., 2008, McEvoy, 2005, Ishigami και Klein, 2009, Strayer και Johnston, 2001).

Με βάση τα στοιχεία που έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα, η συνομιλία στο κινητό τηλέφωνο είναι ένα αίτιο για την απόσπαση προσοχής. Ένα πιο σημαντικό αίτιο όμως απόσπασης προσοχής είναι η χρήση του κινητού τηλεφώνου για συγγραφή μηνυμάτων. Σημαντικός αριθμός ερευνών δείχνει ότι τα ποσοστά των οδηγών που λαμβάνουν, διαβάζουν ή απαντούν σε μηνύματα στα κινητά τηλέφωνα κατά την οδήγηση φτάνουν στο 70%, 81% και 92% αντίστοιχα (Atchley et al., 2010, Nelson et al., 2009). Παρά την απαγόρευση των κινητών κατά την οδήγηση σε πολλές χώρες, στην Αυστραλία, το 27% των οδηγών παραδέχεται ότι στέλνουν μηνύματα κατά την οδήγηση. Στην Ηνωμένες Πολιτείες το αντίστοιχο ποσοστό φτάνει το 60% (Vlingo Corporation, 2009, White et al., 2010).

Η γραφή μηνυμάτων κατά τη διάρκεια της οδήγησης έχει ως αποτέλεσμα την διακύμανση της πλευρικής θέσεως των οχημάτων (Crisler et al., 2008), αλλά και για τον διπλασιασμό του χρόνου αντίδρασης (Cooper et al., 2011).

Όταν το κινητό τηλέφωνο χρησιμοποιείται για την γραφή μηνυμάτων, η φυσική και οπτική απόσπαση της προσοχής είναι συνήθως πιο σημαντική από την νοητική απόσπαση. Επομένως, θεωρείται πιο επικίνδυνη από μια συνομιλία με το κινητό τηλέφωνο, και ο κίνδυνος ατυχήματος αυξάνεται κατά 23,3 φορές σε σύγκριση με το όταν ο οδηγός δεν αποσπάται καθόλου και κατά 5,9 φορές με το όταν ο οδηγός μιλάει στο κινητό τηλέφωνο.

2.3.3. Περιβάλλον οδήγησης

Όσον αφορά την επίδραση του τύπου της περιοχής, οι Burns et al. (2008), διαπίστωσαν ότι το 2,8% των οδηγών χρησιμοποιούσαν κινητά τηλέφωνα ανά πάσα στιγμή ενώ οδηγούσαν σε αγροτικές/υπεραστικές περιοχές, και το 8,7% των οδηγών στις αστικές περιοχές. Η διάσπαση του οδηγού είναι εξίσου σημαντική ή και μεγαλύτερη στις αστικές περιοχές λόγω του ότι οι αποσπάσεις του οδηγού είναι περισσότερες, συμπεριλαμβανομένων των πινακιδών

κυκλοφορίας άλλα και των οχημάτων, διαφημιστικών πινακιδών, εμπορικών δραστηριοτήτων, κ.α (Papantoniou et al. 2013).

Σε μία έρευνα της Linardou (2017), διαπιστώθηκε ότι η δια χειρός χρήσης του κινητού τηλεφώνου επηρεάζει περισσότερο αρνητικά τη μέγιστη ταχύτητα στο υπεραστικό από ότι στο αστικό περιβάλλον. Αυτό οφείλεται στις σχετικά χαμηλές ταχύτητες που επικρατούν στο αστικό περιβάλλον, λόγω και των χαμηλότερων ορίων ταχυτήτων, τις συχνότερες οδικές σημάνσεις και τις συνθήκες υψηλότερου κυκλοφοριακού φόρτου.

2.4. Οι επιπτώσεις μέσω πειραματικών διαδικασιών

Στην ενότητα αυτή αναφέρονται συνοπτικά έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν με σκοπό να διερευνηθούν τις επιπτώσεις που έχει η χρήση του κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Συχνά πραγματοποιείται σύγκριση της οδηγικής συμπεριφοράς για την απόσπαση προσοχής λόγω ακρόασης μουσικής, συνομιλίας ή συγγραφή μηνυμάτων με το κινητό τηλέφωνο.

Θα πρέπει να τονισθεί ότι, όλες αυτές οι έρευνες αφορούν σε οδήγηση σε απόλυτα ελεγχόμενο περιβάλλον, υπο ελεγχόμενες συνθήκες και ρυθμίσεις. Ένας σημαντικός αριθμός των ερευνών αυτών χρησιμοποιεί εξελιγμένους προσομοιωτές οδήγησης, στους οποίους προσομοιώνει ρεαλιστικά οδικά δίκτυα, ενώ άλλες χρησιμοποιούν ενδεικτικά κάποιο πραγματικό οδικό τμήμα.

Οι Alm και Nilsson (1993), πραγματοποίησαν μία έρευνα με σκοπό τη διερεύνηση της αλλαγής συμπεριφοράς των οδηγών όταν αυτοί χρησιμοποιούν την ασύρματη επικοινωνία. Για το σκοπό της έρευνας, πραγματοποιήθηκε πείραμα σε έναν προσομοιωτή οδήγησης. Συνολικά 40 συμμετέχοντες έλαβαν μέρος σε αυτό το πείραμα, από τους οποίους 20 ήταν άνδρες και 20 γυναίκες, ηλικίας μεταξύ 23 και 61 ετών. Η μέση ταχύτητα, η πλευρική θέση του οχήματος και ο χρόνος αντίδρασης ήταν οι μεταβλητές που καταγράφηκαν και διερευνήθηκαν. Για τον προσδιορισμό του χρόνου αντίδρασης, είχε σχεδιαστεί να εμφανίζεται στην οθόνη του οδηγού ένα κόκκινο τετράγωνο διαστάσεων 4*4 εκατοστών. Το οδικό δίκτυο το οποίο προγραμματίστηκε και σχεδιάστηκε στον προσομοιωτή αποτελούνταν από δύο λωρίδες με συνολικό πλάτος 7 μ. Συνολικά τρεις διαδρομές σχεδιάστηκαν, οι οποίες οδηγήθηκαν από όλους τους συμμετέχοντες:

- Διαδρομή εξοικίωσης, με συνολικό μήκος 20 χλμ.
- Εύκολη διαδρομή, με συνολικό μήκος 40 χλμ. Η διαδρομή αυτή δεν είχε πολλές στροφές και δεν αναμενόταν να προκαλέσει πολλά προβλήματα στους οδηγούς, και ο φόρτος εργασίας που επιβλήθηκε στους συμμετέχοντες ήταν πολύ χαμηλός.
- Δύσκολη διαδρομή, με συνολικό μήκος 40 χλμ. Στη διαδρομή αυτή υπήρχαν πολλές στροφές με αποτέλεσμα οι οδηγοί να πρέπει δείξουν ιδιαίτερη προσοχή στην οδήγησή τους.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων ανέδειξε ότι στην περίπτωση της εύκολης διαδρομής η χρήση του κινητού τηλεφώνου είχε αρνητική επίδραση στον χρόνο αντίδρασης (αύξηση κατά 0,4 δλ) και μείωση των επιπέδων ταχύτητας (κατά 8 χλμ/ώρα). Αντίθετα, στη δύσκολη διαδρομή, παρατηρήθηκε πως δεν υπήρχε κάποια επιρροή στην ταχύτητα των οδηγών αλλά μόνο στην πλευρική τους θέση.

Οι Alm και Nilsson (1995), διερεύνησαν τις επιπτώσεις που δημιουργεί η χρήση του κινητού τηλεφώνου κατά την οδήγηση και συγκεκριμένα όταν οι οδηγοί ακολουθούν ένα

προπορευόμενο όχημα. Σε προηγούμενη έρευνα που είχαν πραγματοποιήσει παρατηρήθηκε αύξηση του χρόνου αντίδρασης και μείωση της ταχύτητας οδήγησης. Στην συγκεκριμένη έρευνα δόθηκε περισσότερη έμφαση στον χρόνο αντίδρασης και στην απόσταση που διατηρούσαν από το προπορευόμενο όχημα νεαροί σε ηλικία καθώς και ηλικιωμένοι οδηγοί. Στο πείραμα αυτό έλαβαν μέρος 40 συμμετέχοντες, (30 ήταν άνδρες και 10 γυναίκες). Οι συμμετέχοντες χωρίστηκαν σε δύο ηλικιακές ομάδες, νέων και ηλικιωμένων. Οι 'νέοι' αφορούσαν οδηγούς μικρότερους των 60 ετών και οι ηλικιωμένοι οδηγούς μεγαλύτερους των 60 ετών. Το οδικό δίκτυο το οποίο σχεδιάστηκε στον προσομοιωτή αποτελούνταν από δύο λωρίδες με συνολικό πλάτος 7 μ. Συνολικά δύο διαδρομές σχεδιάστηκαν τις οποίες οδήγησαν όλοι οι συμμετέχοντες:

- Διαδρομή εξοικίωσης, με συνολικό μήκος τα 20 χλμ.
- Κανονική διαδρομή, με συνολικό μήκος 80 χλμ, η οποία δεν είχε πολλές στροφές και δεν αναμενόταν να προκαλέσει πολλά προβλήματα στους οδηγούς.

Το όριο ταχύτητας όλων των διαδρομών ορίστηκε στα 90 χλμ/ώρα. Για τον υπολογισμό του χρόνου αντίδρασης, κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης το προπορευόμενο όχημα μείωσε την ταχύτητα του, από 90 στα 50 χλμ/ώρα, με επιβράδυνση $4 \mu/\delta\lambda^2$ και στην συνέχεια πάλι αύξησε την ταχύτητα του στα 90 χλμ/ώρα με $3 \mu/\delta\lambda^2$. Το χρονικό διάστημα που ορίζεται από τη στιγμή μείωσης ταχύτητας του προπορευόμενου οχήματος μέχρι την στιγμή ανταπόκρισης του οδηγού, ορίστηκε ως ο χρόνος αντίδρασης.

Η έρευνα έδειξε ότι, ο χρόνος αντίδρασης και στις δύο ηλικιακές ομάδες αυξήθηκε, κατά 0,6 δλ για τους 'νέους' και κατά 1,4 δλ για τους ηλικιωμένους. Όσον αφορά την απόσταση από το προπορευόμενο όχημα, παρατηρήθηκε μείωση και στα δύο ηλικιακά γκρούπ. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι οι οδηγοί δεν αντισταθμίζουν τον αυξημένο χρόνο αντίδρασης με την αύξηση της απόστασης από το προπορευόμενο όχημα.

Οι Haigney et al. (2000), διευρένησαν την επιρροή που έχει η χρήση του κινητού τηλεφώνου στην οδήγηση, και η διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε προσομοιωτή οδήγησης. Για το σκοπό αυτό 30 συμμετέχοντες έλαβαν μέρος στο πείραμα, από τους οποίους 13 ήταν άνδρες και 17 γυναίκες και το μέσο όρο ηλικίας ήταν περίπου 27 έτη. Αρχικά, ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να συμπληρώσουν ένα σύντομο ερωτηματολόγιο, το οποίο περιελάμβανε ερωτήσεις σχετικά με το φύλο, την ηλικία, την εμπειρία της οδήγησης που έχουν, καθώς επίσης και την εμπειρία τους σχετικά με τη χρήση ασύρματου ή ενσύρματου τύπου κινητού τηλεφώνου κατά την οδήγηση. Πρίν τη διαδικασία οδήγησης τοποθετήθηκε στους συμμετέχοντες και μία συσκευή καταγραφής καρδιακών παλμών. Κάθε συμμετέχων οδήγησε την προσομοιωμένη διαδρομή 4 φορές, 2 φορές με αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων και 2 φορές με χειροκίνητο κιβώτιο ταχυτήτων. Και στις δύο περιπτώσεις, αυτόματο και χειροκίνητο, οι συμμετέχοντες οδήγησαν τη μία φορά χρησιμοποιώντας ενσύρματη επικοινωνία και τη δεύτερη φορά ασύρματη επικοινωνία. Η μέση ταχύτητα, η τυπική απόκλιση της επιτάχυνσης και της επιβράδυνσης, ο αριθμός αλλαγών ταχύτητας, ο αριθμός συγκρούσεων καθώς επίσης και ο αριθμός εκτροπών ήταν οι μεταβλητές που αξιολογήθηκαν. Κάθε διαδρομή χωριζόταν σε τρεις περιόδους των 150 δευτερολέπτων.

- Περίοδος πρό-κλήσης.
- Περίοδος κατά τη διάρκεια της κλήσης.
- Περίοδος μετά την κλήση.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων παρατηρήθηκε ότι, ο μέσος καρδιακός παλμός ήταν υψηλότερος κατά την διάρκεια της περιόδου κλήσης σε σχέση με τις περιόδους προ της κλήσης ή μετά την κλήση. Το γεγονός ότι δεν υπήρξε αλληλεπίδραση με τον τύπο του τηλεφώνου (ενσύρματης ή ασύρματης επικοινωνίας) δείχνει ότι αυτή η αύξηση δεν σχετίζεται με τις φυσικές απαιτήσεις που σχετίζονται με τη συγκράτηση του τηλεφώνου. Γενικά, αποδικνύεται

ότι η χρήση του κινητού τηλεφώνου κατά την οδήγηση μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην οδική ασφάλεια. Οι οδηγοί προσπαθούν να αντισταθμίσουν τον φόρτο εργασίας μειώνοντας τη μέση ταχύτητά τους, καθώς οδηγούν με χαμηλότερη ταχύτητα στη διάρκεια της περιόδου κλήσης από ό,τι πριν ή μετά την κλήση.

Οι Woo και Lin (2001), πραγματοποίησαν μία έρευνα με σκοπό να διερευνήσουν την επίδραση της χρήσης του κινητού τηλεφώνου στην ικανότητα του οδηγού να μπορεί να ανταποκριθεί στις αντιληπτικές και γνωστικές απαιτήσεις του οδικού περιβάλλοντος. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ένας προσομοιωτής οδήγησης. Στο πείραμα έλαβαν μέρος 350 συμμετέχοντες, από τους οποίους 230 ήταν άντρες και οι 120 γυναίκες. Το οδικό δίκτυο το οποίο προσομοιώθηκε είχε χαρακτηριστικά αστικής περιοχής. Οι συμμετέχοντες, τη μία φορά οδήγησαν κρατώντας στο ένα χέρι ένα κινητό τηλέφωνο και τη δεύτερη φορά οδήγησαν χωρίς να κρατούν κάτι. Αναλύθηκε ο χρόνος απόκρισης που αποτελεί τον χρόνο αντίδρασης, δηλαδή το πόσο γρήγορα οι οδηγοί αντιδρούν σε διάφορες καταστάσεις. Για το σκοπό αυτό, ήταν προγραμματισμένο, πέντε διαφορετικά αναπάντεχα συμβάντα να εμφανιστούν τυχαία στην οθόνη του κάθε συμμετέχοντα. Αυτά ήταν:

1. αλλαγή ένδειξης φωτεινού σηματοδότη,
2. εμπόδια που εμφανίζονταν μπροστά στο προσομοιωμένο όχημα,
3. διέλευση πεζών,
4. αλλαγή λωρίδας προπορευόμενου οχήματος, και
5. επιβράδυνση προπορευόμενου οχήματος.

Τα στοιχεία που προέκυψαν από την έρευνα δείχνουν ότι, το συνολικό επίπεδο απόσπασης προσοχής από την χρήση κινητού τηλεφώνου, κατά την οδήγηση, είναι εξαιρετικά σημαντικό. Πιο συγκεκριμένα η έρευνα έδειξε:

1. Αύξηση του χρόνου αντίδρασης κατά 0,23 δλ, την ώρα της διέλευσης των πεζών από το οδικό δίκτυο,
2. Αύξηση του χρόνου αντίδρασης κατά 0,68 δλ, τη στιγμή που κάποια εμπόδια εμφανίζονταν μπροστά στο δρόμο,
3. Υψηλότερη επιρροή για τις γυναίκες οδηγούς με τη χρήση κινητών τηλεφώνων σε σχέση με τους άνδρες οδηγούς, στην περίπτωση που εμπλέκονταν μπροστά τους κάποια εμπόδια, και
4. Υψηλότερη επιρροή για τους μεγαλύτερους σε ηλικία οδηγούς σε σχέση με τους νέους οδηγούς.

Οι Consiglio et al. (2002), εξέτασαν την επίδραση που έχει η συνομιλία με τη χρήση του κινητού τηλεφώνου, καθώς επίσης και άλλες πιθανές αποσπάσεις προσοχής που μπορεί να έχει ένας οδηγός στον χρόνο αντίδρασης. Για το σκοπό αυτό πραγματοποίησαν πείραμα σε προσομοιωτή οδήγησης, στο οποίο έλαβαν μέρος 22 συμμετέχοντες, 11 άνδρες και 11 γυναίκες, ηλικίας μεταξύ 18 και 27 ετών. Για τον υπολογισμό του χρόνου αντίδρασης, οι συμμετέχοντες κατά τη διάρκεια της προσομοιωμένης οδήγησης έπρεπε να ανταποκριθούν όσο το δυνατό γρηγορότερα σε μία κόκκινη φωτεινή ένδειξη που άναβε ξαφνικά μπροστά στην οθόνη τους. Ο χρόνος που καταγραφόταν, ήταν ο χρόνος από την στιγμή που άναβε η κόκκινη ένδειξη μέχρι τη στιγμή που οι συμμετέχοντες άφηναν το πεντάλ του γκαζιού. Τα σενάρια που σχεδιάστηκαν, ήταν:

1. Χωρίς απόσπαση προσοχής.
2. Απόσπαση με χρήση ραδιοφώνου.
3. Απόσπαση με συνομιλία με τον συνεπιβάτη.
4. Απόσπαση με συνομιλία με τη χρήση ενσύρματης επικοινωνίας.
5. Απόσπαση με συνομιλία με τη χρήση ασύρματης επικοινωνίας.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρατηρείται ότι στο σενάριο της συνομιλίας με τον συνεπιβάτη, καθώς και στις δύο περιπτώσεις ομιλίας με τη χρήση ασύρματης και ενσύρματης επικοινωνίας, ο χρόνος αντίδρασης αυξήθηκε. Αντίθετα, στην περίπτωση που ο οδηγός χρησιμοποιεί το ραδιόφωνο οι διαφορές ήταν αμελητέες.

Οι Rakauskas et al. (2004), πραγματοποίησαν μία έρευνα με σκοπό να διερευνήσουν τις επιπτώσεις που έχει η ομιλία με τη χρήση κινητού τηλεφώνου κατά την ώρα της οδήγησης. Για περαιτέρω έρευνα, ενσωματώθηκαν στην εργασία δύο τύποι φυσικής συνομιλίας, απλής και δύσκολης. Όλη η διαδικασία του πειράματος διεξάχθηκε σε προσομοιωτή οδήγησης. Μελετήθηκαν η μέση ταχύτητα, ο χρόνος αντίδρασης, η πλευρική μετατόπιση του οχήματος καθώς και η απόσταση από το προπορευόμενο όχημα. Στο πείραμα αυτό έλαβαν μέρος 24 συμμετέχοντες από τους οποίους 12 ήταν άνδρες και 12 γυναίκες, με μέσο όρο ηλικίας τα 20,4 έτη. Το περιβάλλον οδήγησης το οποίο προγραμματίστηκε στον προσομοιωτή αποτελούσε ένα υπεραστικό κλειστό δίκτυο δύο λωρίδων. Για τις ανάγκες του πειράματος, παράπλευρα της διαδρομής υπήρχαν πολλά σταθμευμένα οχήματα. Για τον προσδιορισμό του χρόνου αντίδρασης διάφορα ξαφνικά συμβάντα συνέβαιναν καθ' όλη την διαδρομή, όπως:

- Ένα σταθμευμένο όχημα εμφανιζόταν μπροστά στον οδηγό.
- Το προπορευόμενο όχημα έχανε τον έλεγχο και περιστρεφόταν.
- Ένα προπορευόμενο ασθενοφόρο επιτάχυνε.

Ο κάθε συμμετέχων οδήγησε τρεις φορές την προσομοιωμένη διαδρομή. Την πρώτη φορά χωρίς κάποια απόσπασης προσοχής (δηλαδή χωρίς χρήση κινητού τηλεφώνου), και τις άλλες δύο με χρήση του κινητού, συγκεκριμένα χρησιμοποιώντας ενσύρματη επικοινωνία.

Από την ανάλυση των δεδομένων παρατηρήθηκε ότι, η συνομιλία με ασύρματη επικοινωνία προκαλεί μείωση της μέσης ταχύτητας. Επιπλέον, ανεξάρτητα από τον βαθμό δυσκολίας της συζήτησης η απόδοση των οδηγών είχε μειωθεί.

Οι Tornros και Bolling (2005), διερευνήσαν τις επιπτώσεις που έχει η χρήση του κινητού τηλεφώνου στην οδήγηση. Διερευνήθηκε τόσο η ομιλία όσο και η διαδικασία κλήσης, είτε με δια χειρός χρήση είτε με σύστημα ενσύρματης επικοινωνίας. Ο χρόνος αντίδρασης, η μέση ταχύτητα και η τυπική απόκλιση της πλευρικής θέσης του οχήματος, ήταν τα μεγέθη που αναλύθηκαν. Ο υπολογισμός του χρόνου αντίδρασης πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο περιφερειακής ανίχνευσης PDT (Peripheral Detection Task). Η μέθοδος αυτή αναφέρεται στο χρόνο αντίδρασης σε εντοπισμένα ερεθίσματα και στην ποσοστιαία απώλεια σημάτων ως μέτρο οπτικού και νοητικού φόρτου εργασίας (van Winsum et al., 1999). Ουσιαστικά, οι οδηγοί έπρεπε να ανταποκριθούν σε οπτικά ερεθίσματα που εμφανίζονταν μπροστά τους, με το πάτημα ενός κουμπιού που είχαν. Στο πείραμα αυτό έλαβαν μέρος 48 συμμετέχοντες, από τους οποίους οι 19 οδήγησαν στον προσομοιωτή χωρίς κινητό τηλέφωνο και με δια χειρός χρήση κινητού τηλεφώνου, και 23 χωρίς κινητό τηλέφωνο και με τη χρήση ενσύρματου συστήματος επικοινωνίας. Η ηλικία των συμμετέχοντων κυμαινόταν μεταξύ 24-54 χρονών. Το οδικό δίκτυο που προγραμματίστηκε στον προσομοιωτή αποτελούνταν από τρία διαφορετικά τμήματα συνολικού μήκους 70 χιλιομέτρων. Στα πρώτα 15 χλμ, το οδικό δίκτυο αποτελούνταν από δύο λωρίδες σε κάθε κατεύθυνση και μέγιστο επιτρεπτό όριο ταχύτητας τα 110 χλμ/ώρα. Σε αυτό το τμήμα διερευνήθηκε η διαδικασία κλήσης τόσο με δια χειρός χρήση όσο και με το σύστημα ενσύρματης επικοινωνίας. Το υπόλοιπο τμήμα χωρίστηκε σε αστικό και υπεραστικό περιβάλλον. Στο υπεραστικό περιβάλλον, το επιτρεπτό όριο ταχύτητας ανερχόταν στα 70 – 90 χλμ/ώρα, ενώ στο αστικό στα 50 χλμ/ώρα. Και στο αστικό και στο υπεραστικό διερευνήθηκε η χρήση της συνομιλίας και με τους δύο τρόπους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση του κινητού τηλεφώνου επηρεάζει την οδηγική συμπεριφορά. Πιο συγκεκριμένα, η έρευνα έδειξε:

1. Αύξηση του χρόνου αντίδρασης και στις δύο περιπτώσεις χρήσης του κινητού τηλεφώνου (0,159 δλ) συνομιλία και (0,270 δλ) για κλήση.

2. Μείωση μέσης ταχύτητας κατά 2,8 χλμ/ώρα για δια χειρός συνομιλία.
3. Μη μείωση μέσης ταχύτητας με συνομιλία με το σύστημα ενσύρματης επικοινωνίας,
4. Μείωση μέσης ταχύτητας κατά 3,7 χλμ/ώρα για τη διαδικασία κλήσης με το σύστημα ενσύρματης επικοινωνίας,
5. Μείωση μέσης ταχύτητας κατά 2,0 χλμ/ώρα για τη διαδικασία κλήσης με δια χειρός τρόπο.

Οι Andrew Parkes et al. (2008), πραγματοποίησαν έρευνα σε προσομοιωτή οδήγησης με σκοπό τη διερεύνηση της επιρροής της χρήσης του κινητού τηλεφώνου στη συμπεριφορά οδήγησης των οδηγών. Οι μεταβλητές που καταγράφηκαν και διερευνήθηκαν ήταν ο χρόνος αντίδρασης, το προφίλ πέδησης, η πλευρική μετατόπιση, η ταχύτητα και η συνειδητοποίηση της κατάστασης. Στο πείραμα αυτό έλαβαν μέρος 15 συμμετέχοντες, ηλικίας από 22 έως 31 ετών. Το οδικό δίκτυο το οποίο προσομοιώθηκε αποτελούνταν κυρίως από ήπιες στροφές. Η κυκλοφορία ήταν σε ομαλά επίπεδα, έτσι ώστε ο οδηγός να δύναται να οδηγήσει με την επιθυμητή ταχύτητα. Όλοι οι συμμετέχοντες οδήγησαν το δίκτυο δύο φορές, με και χωρίς την χρήση κινητού τηλεφώνου. Η διαδρομή είχε συνολικό μήκος 15,5 μίλια.

Για τον υπολογισμό του χρόνου αντίδρασης σχεδιάστηκαν δύο αναπάντεχα γεγονότα:

- Η εμφάνιση ενός πράσινου τετραγώνου (εμφανιζόταν δύο φορές στο δίκτυο) στο οποίο οι οδηγοί θα έπρεπε να αναβοσβήσουν τα φώτα του οχήματος όσο τον δυνατόν γρηγορότερα.
- Η εμφάνιση ενός κόκκινου τετραγώνου όπου οι οδηγοί θα έπρεπε να κάνουν άμεση στάση έκτακτης ανάγκης.

Η καταγραφή της ταχύτητας πραγματοποιήθηκε σε σημεία του οδικού δικτύου στο οποίο υπήρχε αλλαγή του ορίου ταχύτητας. Μία φορά από τα 80 χλμ/ώρα σε 50 χλμ/ώρα, και μια φορά από 50 χλμ/ώρα σε 80 χλμ/ώρα. Η πλευρική μετατόπιση του οχήματος καταγράφηκε σε τμήματα ευθείας αλλά και σε σημεία που είχαν προγραμματιστεί να υπάρχουν ριπές ανέμου. Η συνειδητοποίηση της κατάστασης είχε οριστεί ως η αντίληψη του ατόμου σε στοιχεία του περιβάλλοντος μέσα στον χρόνο και στον χώρο, καθώς και η κατανόηση της κατάστασης στο κοντινό μέλλον (Endsley, 1994). Τρία διαφορετικά επίπεδα κατανόησης της κατάστασης διερευνήθηκαν, με ερωτήσεις που απευθύνονταν στον κάθε συμμετέχοντα, σε δύο σταθερές θέσεις του δικτύου:

1. Η αντίληψη των στοιχείων του περιβάλλοντος.
2. Η κατανόηση της υπάρχουσας κατάστασης.
3. Η προβολή μελλοντικής κατάστασης.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές στον χρόνο αντίδρασης κυρίως στο αρχικό στάδιο της προσομοίωσης. Οι συμμετέχοντες αντέδρασαν σημαντικά πιο αργά σε ένα απροσδόκητο γεγονός στην αρχή της διαδικασίας. Επιπλέον, από τα αποτελέσματα που αφορούσαν τη συνειδητοποίηση της κατάστασης, έγινε εμφανές ότι οι συμμετέχοντες στο μεγαλύτερο μέρος της οδήγησης, αγνοούσαν τις κυκλοφοριακές κινήσεις γύρω τους. Τέλος, όσον αφορά την ταχύτητα, στο σημείο της πρώτης αλλαγής του ορίου ταχύτητας από 80 χλμ/ώρα σε 50 χλμ/ώρα, παρατηρήθηκε αύξηση της απόστασης προσαρμογής της ταχύτητας κατά 200 μέτρα με τη χρήση του κινητού τηλεφώνου.

Οι Bellinger et al. (2009), πραγματοποίησαν μία έρευνα με προσομοιωτή οδήγησης με σκοπό να προσδιορίσουν τις επιπτώσεις της χρήσης του κινητού τηλεφώνου και της μουσικής στο χρόνο απόκρισης και των επιμέρους συνιστωσών της, χρόνος αντίδρασης και χρόνος κίνησης, σε μία κατάσταση πέδησης του οχήματος. Η διαδικασία της πέδησης του οχήματος πραγματοποιήθηκε κάτω από 6 διαφορετικές συνθήκες:

1. Χωρίς καμιά απόσπαση προσοχής.

2. Ακούγοντας μουσική με ένταση στα 66 ντεσιμπέλ.
3. Ακούγοντας μουσική με ένταση στα 78 ντεσιμπέλ.
4. Μιλώντας στο κινητό τηλέφωνο.
5. Ακούγοντας μουσική στα 66 ντεσιμπέλ και μιλώντας στο κινητό τηλέφωνο.
6. Ακούγοντας μουσική στα 78 ντεσιμπέλ και μιλώντας στο κινητό τηλέφωνο.

Στο πείραμα αυτό έλαβαν μέρος 27 συμμετέχοντες, 16 ήταν άνδρες και 11 γυναίκες, ηλικίας μεταξύ 19 και 23 ετών. Για τον προσδιορισμό του χρόνου απόκρισης, είχε προγραμματιστεί μία κόκκινη ένδειξη να ανάβει μπροστά στους συμμετέχοντες. Την στιγμή εκείνη οι συμμετέχοντες θα έπρεπε να απελευθερώσουν άμεσα το πεντάλ του γκαζιού και να πιέσουν το πεντάλ του φρένου. Το γεγονός αυτό πραγματοποιήθηκε για όλες τις προαναφερθούσες συνθήκες. Όπως αναμενόταν, η χρήση του κινητού τηλεφώνου είχε ως αποτέλεσμα τη μικρή αύξηση του μέσου χρόνου απόκρισης πέδησης σε σύγκριση με το όταν δεν χρησιμοποιούνταν το κινητό τηλέφωνο. Αντίθετα, η ακρόαση μουσικής δεν είχε επίπτωση στο χρόνο απόκρισης, ούτε και στα σενάρια με τις υψηλότερες εντάσεις ντεσιμπέλ.

Οι Benedetto et al. (2012), πραγματοποίησαν μία έρευνα με χρήση προσομοιωτή οδήγησης με στόχο την αξιολόγηση των επιπτώσεων της χρήσης κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Τα μεγέθη που αναλύθηκαν ήταν ο χρόνος αντίδρασης, οι ρυθμοί επιβράδυνσης και επιτάχυνσης των οδηγών, οι μέσες ταχύτητες, καθώς επίσης και οι αποστάσεις που είχαν από το προπορευόμενο όχημα.

Στο πείραμα αυτό πήραν μέρος 30 συμμετέχοντες. Η ηλικία των συμμετέχοντων κυμαινόταν μεταξύ 24 και 34 ετών. Για την ανάλυση των παραπάνω μεταβλητών προσομοιώθηκαν τρία διαφορετικά σενάρια:

- Σενάριο 1: ένας αστικός δρόμος με προτεινόμενη ταχύτητα τα 50 χλμ/ώρα, όπου το συνολικό μήκος του ανερχόταν στα 3,3 χλμ.
- Σενάριο 2: ένας υπεραστικός δρόμος με προτεινόμενη ταχύτητα τα 80 χλμ/ώρα, με μήκος 7,5 χλμ.
- Σενάριο 3: ένας αυτοκινητόδρομος με προτεινόμενη ταχύτητα τα 110 χλμ/ώρα, με μήκος 10,5 χλμ.

Για κάθε σενάριο, τρεις διαφορετικοί τρόποι χρήσης του κινητού τηλεφώνου πραγματοποιήθηκαν. Αυτοί ήταν:

1. Δια χειρός.
2. Ενσύρματης επικοινωνίας.
3. Σύστημα ανοιχτής ακρόασης.
4. Χωρίς χρήση κινητού τηλεφώνου.

Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης του κάθε σεναρίου πραγματοποιούνταν δύο κλήσεις. Οι κλήσεις διαρκούσαν περίπου ένα λεπτό. Κατά τη στιγμή της κλήσης, δύο αναπάντεχα συμβάντα συνέβαιναν, με το προπορευόμενο όχημα να επιβραδύνει απότομα, τόσο στην ευθεία πορεία του δρόμου όσο και σε τμήματα με οριζόντια καμπύλη. Σε αυτά τα σημεία πραγματοποιήθηκε και η καταγραφή του χρόνου αντίδρασης.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την έρευνα δείχνουν ότι και στις δύο περιπτώσεις (σε ευθεία πορεία και σε καμπύλη πορεία), δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές, όσον αφορά στα μεγέθη που εξετάστηκαν. Κάποιες μικρές διαφορές που εμφανίζονται αφορούν κυρίως στο σενάριο της αστικής περιοχής. Στην περίπτωση αυτή, διαπιστώθηκε μία μικρή αύξηση του χρόνου αντίδρασης, σε όλες τις συνθήκες χρήσης του κινητού τηλεφώνου, καθώς επίσης και μία μικρή αύξηση του ρυθμού επιβράδυνσης του οδηγού.

Οι Yannis et al. (2013), διερεύνησαν τις επιπτώσεις που έχει η γραφή μηνυμάτων με τη χρήση κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης, καθώς επίσης και την ασφάλεια των νέων

οδηγών σε αστικά και υπεραστικά οδικά δίκτυα. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε έναν προσομοιωτή οδήγησης και έλαβαν μέρος 34 νέοι οδηγοί, ηλικίας μεταξύ 18 και 28 ετών. Οι 19 ήταν άνδρες και οι 15 γυναίκες. Οι μεταβλητές που εξετάστηκαν ήταν η μέση ταχύτητα και ο χρόνος αντίδρασης. Για τον υπολογισμό του χρόνου αντίδρασης ένα ξαφνικό συμβάν συνέβαινε (εμφάνιση ζώου στο οδικό δίκτυο). Το οδικό δίκτυο που προσομοιώθηκε αποτελούνταν από τρία τμήματα:

- Υπεραστικό (2 φορές): με όριο ταχύτητας 70 χλμ/ώρα, και
- Αστικό: με όριο ταχύτητας τα 50 χλμ/ώρα.

Το πείραμα αφορούσε την ανάγνωση και γραφή μηνυμάτων σε συγκεκριμένα σημεία της διαδρομής. Κάθε συμμετέχων οδήγησε το προσομοιωμένο οδικό δίκτυο με τρεις διαφορετικές συνθήκες:

1. Με καλό καιρό.
2. Με βροχερό καιρό.
3. Κατά τη διάρκεια νύχτας.

Από την ανάλυση των δεδομένων, παρατηρήθηκε ότι η αποστολή των γραπτών μηνυμάτων οδηγεί σε μείωση της μέσης ταχύτητας και αύξηση του μέσου χρόνου αντίδρασης στο αστικό και στο υπεραστικό περιβάλλον οδήγησης. Ταυτόχρονα, οδηγεί σε αυξημένη πιθανότητα ατυχήματος λόγω της διάσπασης του οδηγού και της καθυστερημένης αντίδρασης του. Πιο συγκεκριμένα, η μέση ταχύτητα σε αστικό περιβάλλον κατά τη διάρκεια ανάγνωσης μηνύματος, μειώθηκε κατά 30% σε συνθήκες καλού καιρού, κατά 24% σε βροχερό καιρό, και σε 28% σε συνθήκες νύχτας. Τα αντίστοιχα ποσοστά στο υπεραστικό περιβάλλον ήταν 18%, 12% και 14%. Η μείωση της μέσης ταχύτητας κατά τη διάρκεια γραφής ενός μηνύματος στο αστικό περιβάλλον αντίστοιχα ήταν 45%, 35%, και 39%, και αντίστοιχα στο υπεραστικό περιβάλλον ήταν 22%, 20%, και 24%. Όσον αφορά τον χρόνο αντίδρασης κατά τη διαδικασία ανάγνωσης ενός μηνύματος στο αστικό περιβάλλον αυξήθηκε κατά 17%, 22% και 23% αντίστοιχα, και στο υπεραστικό περιβάλλον κατά 30%, 25% και 31% αντίστοιχα. Ο χρόνος αντίδρασης παρουσίασε μεγαλύτερη αύξηση κατά τη γραφή και στο αστικό και στο υπεραστικό περιβάλλον. Στο αστικό η αύξηση ήταν 26%, 33%, και 29%, ενώ στο υπεραστικό 46%, 33% και 30%.

Οι Knapper et al. (2014) εξέτασαν την επίδραση που έχουν οι συσκευές του οχήματος στη συμπεριφορά των οδηγών. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε έναν προσομοιωτή οδήγησης. Στο πείραμα αυτό έλαβαν μέρος 20 συμμετέχοντες από τους οποίους 6 ήταν γυναίκες και 14 άνδρες, ηλικίας μεταξύ 27 με 59 ετών. Οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ένα κινητό τηλέφωνο και μία συσκευή πλοήγησης. Η μεταβλητή που καταγράφηκε και μελετήθηκε ήταν η μέση ταχύτητα. Τα ακόλουθα οδικά δίκτυα προσομοιώθηκαν:

- Το πρώτο οδικό δίκτυο το οποίο προσομοιώθηκε αποτελούνταν από 4 τμήματα με διαφορετικά όρια ταχύτητας το καθένα, 50 χλμ/ώρα, 70 χλμ/ώρα, 80 χλμ/ώρα και 100 χλμ/ώρα. Το συγκεκριμένο δίκτυο κάθε συμμετέχων θα έπρεπε να το οδηγήσει δύο φορές. Μία φορά χωρίς καμία συσκευή απόσπασης και την άλλη πραγματοποιώντας ομιλία με τη χρήση ενός ενσύρματου τύπου συστήματος επικοινωνίας.
- Το δεύτερο δίκτυο το οποίο προσομοιώθηκε, αποτελούνταν από 3 τμήματα. Το πρώτο και το τρίτο αφορούσαν αστικό περιβάλλον, με όριο ταχύτητας τα 50 χλμ/ώρα, και το δεύτερο περιβάλλον αυτοκινητόδρομου, με όριο ταχύτητας τα 100 χλμ/ώρα. Και αυτό το δίκτυο οδηγούνταν δύο φορές από τους συμμετέχοντες. Την πρώτη φορά, οι συμμετέχοντες οδηγούσαν χωρίς καμία συσκευή απόσπασης και τη δεύτερη φορά, κάνοντας χρήση των συσκευών. Για το πρώτο τμήμα, οι συμμετέχοντες θα έπρεπε να ακούνε και να κοιτάνε τις οδηγίες που τους δίνει η συσκευή πλοήγησης. Στο δεύτερο τμήμα, θα έπρεπε να εισάγουν την διεύθυνση του προορισμού τους και στο τρίτο τμήμα,

θα έπρεπε να στείλουν ένα μήνυμα, αποτελούμενο από 50-63 χαρακτήρες, μέσω της κινητής συσκευής τηλεφώνου.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα για το πρώτο οδικό δίκτυο παρατηρήθηκε ότι, η ομιλία με την χρήση ενσύρματης επικοινωνίας είχε σαν αποτέλεσμα σημαντική μείωση της μέσης ταχύτητας των οδηγών. Σημαντικές αλλαγές προέκυψαν στο δεύτερο, τρίτο και τέταρτο τμήμα του δικτύου, όπου το όριο ταχύτητας είναι 70 χλμ/ώρα, 80 χλμ/ώρα και 100 χλμ/ώρα αντίστοιχα, και διαπιστώθηκε μείωση από 5 έως 17 χλμ/ώρα. Όσον αφορά το δεύτερο οδικό δίκτυο, παρατηρήθηκε μείωση της ίδιας τάξης όταν οι οδηγοί έπρεπε να στείλουν ένα γραπτό μήνυμα είτε να εισάγουν την διεύθυνση στη συσκευή πλοήγησης.

Οι Yannis et al. (2015), πραγματοποίησαν μία έρευνα (με προσομοιωτή οδήγησης) με στόχο τη διερεύνηση της επιρροής γραφής μηνυμάτων με τη χρήση κινητού τηλεφώνου, σε νεαρούς οδηγούς, κατά τη διάρκεια οδήγησης σε αυτοκινητόδρομο. Στο πείραμα έλαβαν μέρος 34 νεαρά άτομα, από τα οποία τα 19 ήταν άνδρες και τα 15 γυναίκες ηλικίας μεταξύ 18 και 24 ετών. Η μέση ταχύτητα, η μέση απόσταση από το προπορευόμενο όχημα και η πιθανότητα ατυχήματος είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές που εξετάστηκαν και μελετήθηκαν. Το σενάριο το οποίο σχεδιάστηκε και προγραμματίστηκε στον προσομοιωτή συμπεριλάμβανε την οδήγηση σε κλάδο εισόδου αυτοκινητόδρομου, όπου το όριο ταχύτητάς του ανέρχονταν στα 100 χλμ/ώρα. Επιπλέον εξετάστηκαν διαφορετικές καιρικές συνθήκες (καλός και βροχερός καιρός) σε συνδυασμό με διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου (μέτριος και υψηλός). Κατά την διαδικασία της προσομοιωμένης οδήγησης ο κάθε οδηγός λάμβανε μηνύματα (αποτελούμενα περίπου από 180 χαρακτήρες) στα οποία έπρεπε να απαντήσει.

Τα στοιχεία που προέκυψαν από την έρευνα δείχνουν ότι σε όλες της περιπτώσεις σε σχέση με την οδήγηση χωρίς την απόσπαση προσοχής τόσο η μέση ταχύτητα όσο και η απόσταση από το προπορευόμενο όχημα έχουν σημαντική μείωση. Όσον αφορά την μέση ταχύτητα και στην περίπτωση του καλού καιρού, παρατηρήθηκε μείωση κατά 10 με 11 χλμ/ώρα, όταν οι οδηγοί είτε διαβάζουν είτε στέλνουν μηνύματα σε σχέση με την ελεύθερη οδήγηση. Ίδιες μειώσεις παρατηρήθηκαν και στην περίπτωση βροχερού καιρού.

Οι Papadakaki et al. (2015), πραγματοποίησαν μία έρευνα (με προσομοιωτή οδήγησης) η οποία στόχευε στην εκτίμηση της απόδοσης των επαγγελματιών οδηγών κατά τη χρήση του κινητού τηλεφώνου. Στην πειραματική αυτή διαδικασία αξιολογήθηκαν και μελετήθηκαν η επιτάχυνση, η πλευρική μετατόπιση του οχήματος καθώς και η απόσταση που είχε το προσομοιωμένο όχημα από το προπορευόμενο. Στο πείραμα, έλαβαν μέρος 50 άνδρες οδηγοί ταξί. Το μέσο όρο της ηλικίας τους ήταν 36,8 έτη. Το προσομοιωμένο οδικό δίκτυο απεικόνιζε έναν αυτοκινητόδρομο δύο λωρίδων κυκλοφορίας σε κάθε κατεύθυνση. Όλοι οι συμμετέχοντες έπρεπε να οδηγήσουν κάτω από 4 συνθήκες:

1. Χωρίς τη χρήση του κινητού τηλεφώνου.
2. Μιλώντας στο κινητό τηλέφωνο.
3. Διαβάζοντας ένα γραπτό μήνυμα στο κινητό τηλέφωνο.
4. Γράφοντας ένα μήνυμα στο κινητό τηλέφωνο.

Όλη η διαδικασία της προσομοιωμένης οδήγησης διαρκούσε 20 λεπτά. Στους συμμετέχοντες δόθηκε η οδηγία, καθ'όλη την διάρκεια της οδήγησης να ακολουθούν ένα όχημα με απόσταση ασφαλείας 3 με 4 δλ.. Τα πρώτα 10 λεπτά της προσομοιωμένης οδήγησης, οι οδηγοί οδηγούσαν χωρίς τη χρήση του κινητού τηλεφώνου. Τα υπόλοιπα 10 λεπτά, έπρεπε να οδηγήσουν με τις τρεις συνθήκες χρήσης κινητού τηλεφώνου.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν σημαντική μείωση στον χρόνο απόστασης μεταξύ των δύο οχημάτων κάτω από τις συνθήκες που οι οδηγοί διαβάζουν τα μηνύματα και που απαντούν,

γράφοντας μηνύματα. Επίσης, παρατηρήθηκε μείωση και στην επιτάχυνση του οδηγού στις περιπτώσεις που είτε μιλούσαν είτε έγραφαν μήνυμα.

Οι Parantoniou et al. (2016), πραγματοποίησαν μία έρευνα με στόχο τη διερεύνηση της επίδρασης της συνομιλίας με κινητό τηλέφωνο ή συνεπιβάτη λαμβάνοντας υπόψη χαρακτηριστικά του οδικού περιβάλλοντος και του κυκλοφοριακού φόρτου. Για το σκοπό της έρευνας, σχεδιάστηκε πείραμα σε προσομοιωτή οδήγησης, στο οποίο συμμετείχαν 95 οδηγοί (47 άνδρες και 48 γυναίκες). Η ηλικία των συμμετέχοντων κυμαινόταν από 18 έως 75 ετών. Οι μεταβλητές που εξετάστηκαν και αναλύθηκαν ήταν ο χρόνος αντίδρασης και η μέση ταχύτητα. Τα οδικά δίκτυα που προγραμματίστηκαν ήταν δύο:

- Αστικό, συνολικού μήκους 1,7 χλμ με πλάτος λωρίδας 3,5 μ.
- Υπεραστικό, συνολικού μήκους 2,1 χλμ, με πλάτος λωρίδας 3 μ, μηδενική κλίση και ήπιες οριζόντιες καμπύλες.

Τα παραπάνω οδικά δίκτυα προσομοιώθηκαν με συνθήκες χαμηλού και υψηλού φόρτου υπο διαφορετικές συνθήκες ομιλίας:

- Ομιλία με χρήση κινητού τηλεφώνου.
- Ομιλία με συνεπιβάτη.

Συνεπώς, κάθε συμμετέχων οδήγησε 12 διαφορετικά σενάρια. Για τον υπολογισμό του χρόνου αντίδρασης, προγραμματίστηκαν δύο απροσδόκητα συμβάντα. Στην αστική περιοχή, προγραμματίστηκε ξαφνική εμφάνιση ενός πεζού ενήλικα ή παιδιού. Στην υπεραστική περιοχή, προγραμματίστηκε ξαφνική εμφάνιση ενός ζώου στο οδόστρωμα.

Η έρευνα έδειξε ότι ο χρόνος αντίδρασης σε αστικό και υπεραστικό περιβάλλον αυξήθηκε στην περίπτωση χαμηλού φόρτου. Υψηλότερη αύξηση παρατηρήθηκε στην αστική περιοχή όταν ο οδηγός συνομιλεί με τον επιβάτη. Αυτό δείχνει ότι η μείωση προσοχής στο δρόμο είναι πολύ επικίνδυνη σε ένα πολύπλοκο περιβάλλον, όπως το αστικό. Επιπλέον, όσον αφορά τη μέση ταχύτητα, η έρευνα έδειξε ότι η χρήση του κινητού τηλεφώνου κατά την οδήγηση έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της μέσης ταχύτητας για όλους τους οδηγούς. Αυτό υποδηλώνει ότι οι οδηγοί προσπαθούν να αντισταθμίσουν τον αυξημένο νοητικό φόρτο που προκύπτει, από αυτήν την διαδικασία, με την μείωση της μέσης ταχύτητας.

Οι Choudhary και Velanga (2017), πραγματοποίησαν μία έρευνα (σε προσομοιωτή οδήγησης) για το πώς η χρήση του κινητού τηλεφώνου επηρεάζει την οδική απόδοση των Ινδών οδηγών, διερευνώντας τον χρόνο αντίδρασης τους σε διάφορα συμβάντα. Διερευνήθηκε τόσο η ομιλία με κινητό τηλέφωνο όσο και η συγγραφή μηνυμάτων. Σε αυτό το πείραμα πήραν μέρος 100 συμμετέχοντες, οι οποίοι ανάλογα με την ηλικία τους, χωρίστηκαν σε τρεις ηλικιακές ομάδες.

- Νέοι οδηγοί (<30),
- Μέση ηλικία (30-50),
- Και μεγάλη ηλικία (>50).

Οι 27 από αυτούς, ήταν επαγγελματίες οδηγοί. Η διαδρομή η οποία προσομοιώθηκε αποτελούνταν από 2 λωρίδες κυκλοφορίας σε κάθε κατεύθυνση σε υπεραστικό δρόμο παρόμοιο με αυτούς που υπάρχουν στην Ινδία. Όλοι οι οδηγοί, οδήγησαν κάτω από πέντε διαφορετικές συνθήκες:

1. Χωρίς κινητό τηλέφωνο,
2. Απλή συνομιλία,
3. Πολύπλοκη συνομιλία,
4. Απλό γραπτό μήνυμα,
5. Πολύπλοκο γραπτό μήνυμα.

Για καθεμία από αυτές τις πέντε συνθήκες, το μήκος της διαδρομής ήταν 3,5 χλμ στα οποία συνέβαιναν και δύο αναπάντεχα συμβάντα, μια ομάδα πεζών που διέσχισε το δρόμο και η είσοδος νέων οχημάτων στο οδικό δίκτυο.

Η ανάλυση των δεδομένων, σύμφωνα και με τα μοντέλα Weibull AFT (Time Accelerated Failure Time), έδειξε ότι και για τις δυο περιπτώσεις αναπάντεχων συμβάντων ο χρόνος αντίδρασης αυξήθηκε με τη χρήση του κινητού τηλεφώνου. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση της διέλευσης πεζών από το οδικό δίκτυο, και στις τέσσερις κατηγορίες απλή/πολύπλοκη συνομιλία και απλή/πολύπλοκη γραφή μηνύματος, ο χρόνος αντίδρασης αυξήθηκε κατά 40%, 95%, 137% και 204% αντίστοιχα. Ενώ στην περίπτωση της εισόδου νέων οχημάτων στο οδικό δίκτυο, ο χρόνος αντίδρασης αυξήθηκε κατά 48%, 65%, 121% και 171% αντίστοιχα.

Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα του πειράματος που περιγράφηκε παραπάνω οι Choudhary και Velanga (2017) διερεύνησαν το κατά πόσο η χρήση του κινητού τηλεφώνου (είτε για συνομιλία, είτε για γραφή μηνυμάτων) επηρεάζει την οδηγική συμπεριφορά των οδηγών, όσον αφορά τη μέση ταχύτητά τους.

Η ανάλυση των δεδομένων έδειξε ότι τόσο η συνομιλία όσο και η γραφή μηνυμάτων είχαν σημαντικό αντίκτυπο στη μέση ταχύτητα των οδηγών. Το μοντέλο που εφαρμόστηκε δείχνει ότι η γραφή μηνυμάτων προκαλεί μεγαλύτερη μείωση στη μέση ταχύτητα (5,3 μ/δλ) σε σύγκριση με τη συνομιλία (2,62 μ/δλ). Άλλα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι ότι οι οδηγοί που ανήκουν στις ηλικιακές ομάδες 30-50 και >50 είχαν χαμηλότερη ταχύτητα από τους οδηγούς που ανήκουν στην ηλικιακή ομάδα των <30 και κατά τη διάρκεια της συνομιλίας αλλά και κατά την διάρκεια των γραπτών μηνυμάτων.

Η Andrikoroulou (2017), διερεύνησε την επιρροή της χρήσης του κινητού τηλεφώνου στη συμπεριφορά και στην ασφάλεια του οδηγού κατά τη διάρκεια της νύχτας, με τη χρήση προσομοιωτή οδήγησης. Πιο συγκεκριμένα, επιδιώχθηκε να προσδιοριστεί ο βαθμός με τον οποίο η χρήση του κινητού τηλεφώνου και το οδικό περιβάλλον επηρεάζουν την οδηγική συμπεριφορά του οδηγού. Η μέγιστη ταχύτητα κίνησης, ο χρόνος αντίδρασης και η τυπική απόκλιση της πλευρικής μετατόπισης του οχήματος ήταν οι μεταβλητές που αναλύθηκαν.

Στην διαδικασία αυτή, 55 συμμετέχοντες έλαβαν μέρος, από τους οποίους 34 ήταν άνδρες και 21 γυναίκες, ηλικίας 19 – 62 ετών. Κάθε συμμετέχων οδηγούσε σε δύο προγραμματισμένα περιβάλλοντα, αστικό και υπεραστικό, με τη χρήση ή χωρίς την χρήση κινητού τηλεφώνου. Όσον αφορά την οδήγηση με τη χρήση του κινητού τηλεφώνου, πραγματοποιήθηκε:

- Με δια χειρός χρήση,
- μέσω συστήματος ενσύρματης επικοινωνίας,
- μέσω συστήματος ανοιχτής ακρόασης.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε απογευματινές και νυχτερινές ώρες, καθώς επίσης και στο περιβάλλον της οδήγησης επικρατούσαν συνθήκες νύχτας. Το οδικό δίκτυο στο αστικό περιβάλλον αποτελούνταν στο μεγαλύτερο μέρος του από δύο λωρίδες ανά κατεύθυνση με πλάτος 3,5 μ. και συνολικό μήκος 2,5 χλμ. Ενώ στο υπεραστικό περιβάλλον, αποτελούνταν από μία λωρίδα ανά κατεύθυνση με πλάτος 3 μ. και συνολικό μήκος διαδρομής 2,0 χλμ. Κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε δύο σημεία είχε προγραμματιστεί η ξαφνική εμφάνιση εικόνας με την ένδειξη STOP. Οι οδηγοί είχαν την οδηγία να αντιδράσουν με την άμεση ακινητοποίηση του οχήματος.

Τα αποτελέσματα της έρευνας υπέδειξαν ότι ο χρόνος αντίδρασης αυξάνεται με τη χρήση κινητού τηλεφώνου, και κυρίως με δια χειρός χρήση τηλεφώνου, όπως ήταν αναμενόμενο. Όσον αφορά στη μέγιστη ταχύτητα διαφαίνεται να μειώνεται με τη δια χειρός χρήση κινητού τηλεφώνου, και σε αστικό περιβάλλον αλλά και σε υπεραστικό.

Η Linardou (2017), διερεύνησε την επιρροή της χρήσης του κινητού τηλεφώνου στη συμπεριφορά του οδηγού, με τη χρήση προσομοιωτή οδήγησης. Ειδικότερα, εξετάστηκε το κατά πόσο ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιείται η τηλεφωνική συνομιλία, με δια χειρός χρήση του κινητού, με σύστημα ενσύρματης επικοινωνίας ή με σύστημα ανοιχτής ακρόασης, επιδρά στην οδηγική συμπεριφορά. Η μέγιστη ταχύτητα κίνησης, ο χρόνος αντίδρασης και η τυπική απόκλιση της πλευρικής μετατόπισης του οχήματος ήταν οι μεταβλητές που αναλύθηκαν. Για την διεκπεραίωση της έρευνας χρησιμοποιήθηκε ένας προσομοιωτής οδήγησης.

Στην έρευνα αυτή έλαβαν μέρος 50 συμμετέχοντες, ηλικίας μεταξύ 20 και 60 ετών. Κάθε συμμετέχων οδηγούσε σε δύο προγραμματισμένα περιβάλλοντα, αστικό και υπεραστικό, και κάνοντας χρήση ή χωρίς χρήση κινητού τηλεφώνου. Όσον αφορά την οδήγηση με τη χρήση του κινητού τηλεφώνου, πραγματοποιήθηκε:

- Με δια χειρός χρήση,
- μέσω συστήματος ενσύρματης επικοινωνίας,
- μέσω συστήματος ανοιχτής ακρόασης.

Χρησιμοποιήθηκαν ακριβώς οι ίδιες προγραμματισμένες διαδρομές, τόσο σε αστικό όσο και σε υπεραστικό περιβάλλον, με το πείραμα που διεξήγαγε η Ανδρικοπούλου (2017), αλλά σε συνθήκες ημέρας. Για τον υπολογισμό του χρόνου αντίδρασης του οδηγού προγραμματίστηκε η ξαφνική εμφάνιση εικόνας με την ένδειξη STOP σε διάφορα σημεία της διαδρομής.

Η ανάλυση των δεδομένων έδειξε ότι, ο χρόνος αντίδρασης αυξήθηκε στο αστικό και στο υπεραστικό περιβάλλον, με τη μεγαλύτερη αύξηση να σημειώνεται στην οδήγηση μέσω συστήματος ενσύρματης επικοινωνίας. Στην περίπτωση της μέγιστης ταχύτητας, οι οδηγοί οδηγούν με χαμηλότερες μέγιστες ταχύτητες κατά τη συνομιλία μέσω κινητού τηλεφώνου γενικότερα. Στην ανάλυση που πραγματοποιήθηκε σχετικά με την μέγιστη ταχύτητα κίνησης σε υπεραστικό και αστικό περιβάλλον ειδικότερα, η χρήση κινητού δεν φαίνεται να επηρεάζει τη μέγιστη ταχύτητα στο αστικό περιβάλλον.

2.4.1. Συνοπτικά αποτελέσματα των πειραματικών διαδικασιών

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ερευνών που αναφέρθηκαν παραπάνω, αλλά και κάποιων επιπλέον ερευνών. Παρουσιάζονται αναλυτικά τα μεγέθη από τις διάφορες συγκρίσεις που πραγματοποιήθηκαν σχετικά με τις αρνητικές επιπτώσεις, από την απόσπαση προσοχής εξαιτίας της χρήσης κινητού τηλεφώνου κατά την οδήγηση, στη μέση ταχύτητα, στο χρόνο αντίδρασης, στις αποστάσεις από το προπορευόμενο όχημα, καθώς επίσης και σε μεταβολές της επιβράδυνσης και επιτάχυνσης του οχήματος.

YEAR	AUTHOR	MOBILE PHONE		AREA		MAX ACCELERATION (m/s ²)				NORMAL DECELERATION (m/s ²)				MAX DECELERATION (m/s ²)				MAX DESIRED SPEED (m/s ²)								REACTION TIME (sec)				HEADWAY (m or sec)				KEEP FOOT ON THE BRAKE PEDAL (sec)				TIME-TO-COLLISION (sec)											
																		URBAN				RURAL				MEAN	SD	MIN	MAX	MEAN	SD	MIN	MAX	MEAN	SD	MIN	MAX	MEAN	SD	MIN	MAX	MEAN	SD	MIN	MAX	MEAN	SD	MIN	MAX
																		MEAN	SD	MIN	MAX	MEAN	SD	MIN	MAX																								
2016	PAPANT ONIOY ET AL.	NO	URBAN-MODERATE	*														33,5 median	22	45					1.25 median		0.75	1.95																					
		PASS ENGER	URBAN-MODERATE	*										32 median	20	46					1.2 median		0.55	2.75																									
		PHONE	URBAN-MODERATE	*										33 median	23.5	44.5					1.4 median		0.8	2.25																									
		NO	RURAL-MODERATE		*													48 median		31	64					1.45 median		1	2.4																				
		PASS ENGER	RURAL-MODERATE		*													49 median		26	78					1.48 median		0.8	2.25																				
		PHONE	RURAL-MODERATE		*													46 median		28	61					1.6 median		1	2.75																				
		NO	URBAN-HEAVY	*										30,5 median	20	38					1.15 median		0.7	2																									
		PASS ENGER	URBAN-HEAVY	*										30 median	22	39.5					1.4 median		0.5	2.65																									
		PHONE	URBAN-HEAVY	*										30 median	24	38					1.2 median		0.55	1.75																									
		NO	RURAL-HEAVY		*													46,5 median		30	52					1.5 median		0.6	2.55																				
		PASS ENGER	RURAL-HEAVY		*													45 median		34	51					1.55 median		0.65	2.25																				
		PHONE	RURAL-HEAVY		*													44,5 median		30	52					1.65 median		1	2.75																				
2015	YANNIS ET AL.	NO	GOOD WHEATHER-MODERATE	m o t o r w a y																	94		100									300m																	
		READING	GOOD WHEATHER-MODERATE																		84		100									220m																	
		WRITING	GOOD WHEATHER-MODERATE																		79		100									180m																	
		NO	RAIN WHEATHER-MODERATE																		90		100									420m																	
		READING	RAIN WHEATHER-MODERATE																		85		100									290m																	
		WRITING	RAIN WHEATHER-MODERATE																		79		100									200m																	
		NO	GOOD WHEATHER-HEAVY	m o t o r w a y																	88		100									710m																	
		READING	GOOD WHEATHER-HEAVY																		80		100									495m																	
		WRITING	GOOD WHEATHER-HEAVY																		78		100									405m																	
		NO	RAIN WHEATHER-HEAVY																		83		100									780m																	
		READING	RAIN WHEATHER-HEAVY																		77		100									560m																	
		WRITING	RAIN WHEATHER-HEAVY																		73		100									450m																	

YEAR	AUTHOR	MOBILE PHONE		AREA		MAX ACCELERATION (m/s ²)				NORMAL DECELERATION (m/s ²)				MAX DECELERATION (m/s ²)				MAX DESIRED SPEED (m/s ²)								REACTION TIME (sec)				HEADWAY (m or sec)				KEEP FOOT ON THE BRAKE PEDAL (sec)				TIME-TO-COLLISION (sec)			
																		URBAN				RURAL																			
																		MEAN	SD	MIN	MAX	MEAN	SD	MIN	MAX																
2014	KNAPPER ETAL.	PHONE	50	*	*													55.7	6.3																						
				BASE	*	*													54.72	5.7																					
		PHONE	70	*	*													69.89	6.5																						
				BASE	*	*													74.37	3.9																					
		PHONE	80	*	*													77.27	11																						
				BASE	*	*													85.11	8.6																					
		PHONE	100	*	*													80.69	11																						
				BASE	*	*													96.47	8.2																					

Πίνακας 2-3: Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων όλων των πειραματικών διαδικασιών.

2.5. Πρότυπα κυκλοφοριακής ροής

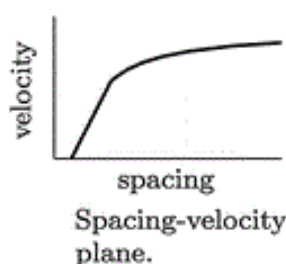
Τα πρότυπα κυκλοφοριακής ροής έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται για να κατανοήσουν, να περιγράψουν και να προβλέψουν την κυκλοφοριακή ροή από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Τα πρότυπα αυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με την περιοχή εφαρμογής τους (δίκτυο, κόμβοι, αρτηρίες), τη μεθοδολογία ανάπτυξης (αναλυτικά, προσομοίωση), το είδος των μεταβλητών (συνεχή, διακριτά ή μεικτά πρότυπα), και την αναπαράσταση της κυκλοφορίας (ντετερμινιστικά, στοχαστικά). Ο κυριότερος όμως διαχωρισμός πραγματοποιείται με βάση το επίπεδο ανάλυσής τους που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της κίνησης των οχημάτων. Έτσι διαχωρίζονται σε:

- Μικροσκοπικά
- Μακροσκοπικά
- Μεσοσκοπικά

Τα μικροσκοπικά πρότυπα που εισήχθησαν την δεκαετία του 1950, στηρίζονται στην ανάλυση της κίνησης κάθε οχήματος ξεχωριστά κατά μήκος της οδού, από ένα διάνυσμα με συνιστώσες τη θέση στο χώρο, την ταχύτητα και την επιτάχυνση. Τα πρότυπα αυτά αποτελούνται από κανόνες ανανέωσης των τριών αυτών μεταβλητών με βάση την κατάσταση που επικρατεί κάθε φορά στο σημείο που βρίσκονται. Στα μακροσκοπικά πρότυπα κυκλοφοριακής ροής που εισήχθησαν και αυτά την δεκαετία του 1950, η κυκλοφορία των οχημάτων εξετάζεται συνολικά και στόχος είναι η διερεύνηση του συνολικού συστήματος της κυκλοφορίας με βάση τις σχέσεις των βασικών κυκλοφοριακών μεγεθών. Μία δεκαετία αργότερα το 1960, εισήχθησαν τα μεσοσκοπικά πρότυπα, έτσι ώστε να συμπληρώσουν το ενδιάμεσο κενό μεταξύ μικροσκοπικών και μακροσκοπικών προτύπων.

2.5.1. Θεμελιώδη σχέση-διαγράμματα κυκλοφοριακής ροής

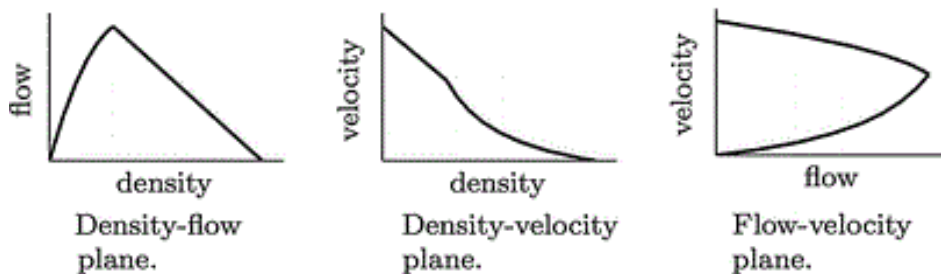
Τα πρότυπα κυκλοφοριακής ροής βασίζονται στην υπόθεση ότι υπάρχει κάποια σχέση μεταξύ της απόστασης των οχημάτων και της ταχύτητάς τους. Αυτή η σχέση, μεταξύ της ταχύτητας και της απόστασης πρωτομελετήθηκε από τον Greenshields (1934) και ονομάστηκε θεμελιώδης σχέση (ή θεμελιώδες διάγραμμα). Ως εκ τούτου, ο Greenshields θεωρείται συχνά ο ιδρυτής της θεωρίας της κυκλοφοριακής ροής.



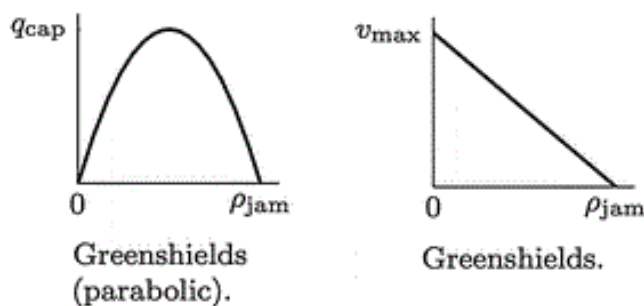
Ο Greenshields, διερεύνησε τη σχέση μεταξύ των διαφορών μεταβλητών, όπως της μέσης απόστασης μεταξύ των οχημάτων (s) και της ταχύτητας (u). Ωστόσο η βασική σχέση, που προαναφέρθηκε, εκφράζεται με τις μεταβλητές:

- Κυκλοφοριακός φόρτος q (οχήματα).
- Ταχύτητα u ($\mu/\delta\lambda$).
- Πυκνότητα k (οχήματα/ $\chi\lambda\mu$).

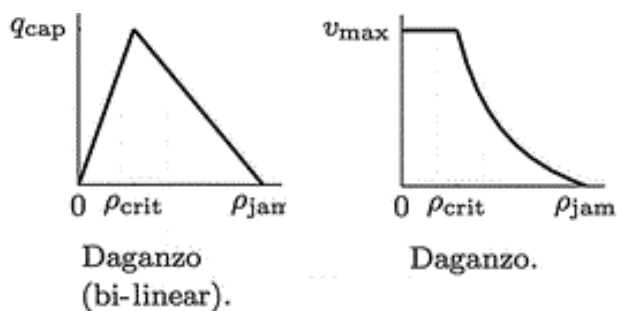
Παρακάτω παρουσιάζονται τα θεμελιώδη διαγράμματα της κυκλοφοριακής ροής.



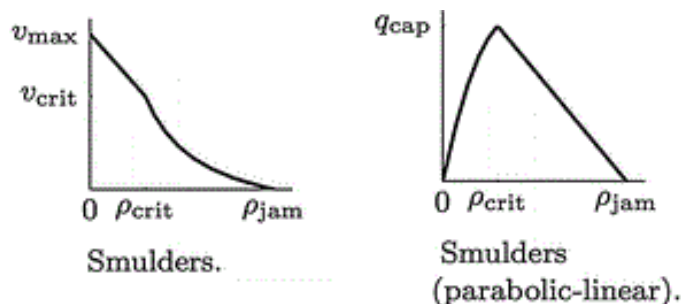
Ο Greenshields (1935), πρότεινε μία θεμελιώδη σχέση που είναι γραμμική μεταξύ των μεταβλητών πυκνότητας και ταχύτητας και επομένως είναι παραβολική μεταξύ των μεταβλητών ροής και πυκνότητας, όπως φαίνεται παρακάτω:



Η σχέση όμως του Daganzo (1994), είναι ίσως πιο διαδεδομένη, επειδή μεταξύ των μεταβλητών ροής και πυκνότητας είναι διγραμμική (τριγωνική).



Το θεμελιώδες διάγραμμα του Smulders (1990) αποτελεί έναν συνδυασμό των δύο προηγούμενων. Είναι, δηλαδή, παραβολικό για χαμηλές πυκνότητες και γραμμικό για υψηλές πυκνότητες.



Στα μακροσκοπικά και μεσοσκοπικά πρότυπα κυκλοφοριακής ροής χρησιμοποιούνται οι θεμελιώδεις σχέσεις. Ανεξαρτήτως του τύπου προτύπου η κυκλοφορία παρουσιάζει μορφή παραπλήσια με αυτή που περιγράφεται από τα θεμελιώδη διαγράμματα.

2.5.2. Μικροσκοπικά πρότυπα

Στα μικροσκοπικά πρότυπα εξετάζεται η κίνηση του κάθε οχήματος ξεχωριστά. Βασίζονται στην υπόθεση ότι οι οδηγοί προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους με βάση το προπορευόμενο όχημα. Περιγράφουν τη διαμήκη συμπεριφορά (ακολουθούντος οχήματος) και την πλευρική συμπεριφορά (αλλαγή λωρίδας) των επιμέρους οχημάτων. Τα οχήματα αριθμούνται για να υποδεικνύουν τη σειρά τους, όπου n , είναι το υπό εξέταση όχημα, $n - 1$, είναι το προπορευόμενο όχημα και $n + 1$, είναι το όχημα που ακολουθεί.



Η συμπεριφορά του κάθε μεμονωμένου οχήματος περιγράφεται με:

- την θέση του οχήματος (π.χ. το μπροστινό μέρος του οχήματος) σε σχέση με το προπορευόμενο,
- την ταχύτητα του $v = \frac{dx}{dt}$,
- την επιτάχυνση του $a = \frac{dv}{dt}$,

ή με συνδυασμό και των τριών παραπάνω.

Γενικά, η ανάλυση των μικροσκοπικών προτύπων είναι αρκετά περίπλοκη.

2.5.3. Μακροσκοπικά πρότυπα

Τα μακροσκοπικά πρότυπα κυκλοφοριακής ροής προσομοιώνουν την κίνηση των οχημάτων σαν να ήταν μία συνεχής ροή και συχνά συγκρίνονται με πρότυπα συνεχούς ροής των ρευστών. Δεν προσομοιώνονται μεμονωμένα οχήματα αλλά χρησιμοποιούνται ως συνολικές μεταβλητές, όπως η μέση πυκνότητα και η μέση κυκλοφοριακή ροή.

Τα μακροσκοπικά πρότυπα παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά από τους Lighthill και Whitham (1955a, 1955b), και από τον Richards (1956). Το πρότυπό τους είναι ένα πρωτότυπο κινηματικό μοντέλο κυμάτων που ονομάστηκε LWR. Η δυναμική της κυκλοφορίας περιγράφεται από την παρακάτω μερική διαφορική εξίσωση:

$$\frac{\theta \rho}{\theta t} + \frac{\theta}{\theta x} (q(\rho)) = 0 \quad , \quad (2.1)$$

Και μια θεμελιώδη σχέση: $q = q(\rho)$

Το κύριο μειονέκτημα του προτύπου αυτού, είναι ότι τα οχήματα μετά την αλλαγή των συνθηκών κυκλοφορίας υποτίθεται ότι επιταχύνουν με άπειρη επιτάχυνση. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται σε άλλα πρότυπα που έχουν δημιουργηθεί, αλλά και σε παραλλαγές του προτύπου LWR. Για παράδειγμα, οι Lebacque (2002, 2007a, 2007b) εισάγουν οριοθετημένη επιτάχυνση στα πρότυπά τους.

2.5.4. Μεσοσκοπικά πρότυπα

Τα μεσοσκοπικά πρότυπα κυκλοφοριακής ροής αναπτύχθηκαν για να καλύψουν το κενό μεταξύ της οικογένειας των μικροσκοπικών προτύπων, που περιγράφουν τη συμπεριφορά του κάθε οχήματος μεμονωμένα, και την οικογένεια των μακροσκοπικών προτύπων, που περιγράφουν την κυκλοφορία ως μία συνεχής ροή.

Επιπλέον, τα μεσοσκοπικά πρότυπα περιγράφουν τη συμπεριφορά των οχημάτων σαν ένα σύνολο, όπως και στις κατανομές πιθανοτήτων. Ωστόσο, οι κανόνες συμπεριφοράς καθορίζονται για μεμονωμένα οχήματα. Τα μεσοσκοπικά πρότυπα, περιλαμβάνουν πρότυπα κατανομής κίνησης (Buckley 1968, Branston 1976) και ομαδοποιημένα πρότυπα (Mahnke και Kuhne 2007).

2.5.4.1. Πρότυπο αεριοκινητικής

Το πρότυπο αεριοκινητικής αναπτύχθηκε σε αναλογία με πρότυπα που περιγράφουν την κίνηση μεγάλου αριθμού μικρών σωματιδίων σε ένα αέριο. Όταν αυτό εφαρμόζεται σε μοντέλα κυκλοφοριακής ροής, περιγράφει τη δυναμική λειτουργική κατανομή ταχύτητας των οχημάτων. Οι Prigogine (1961) και Andrews (1960) ήταν οι πρώτοι που εισήγαγαν πρότυπα αεριοκινητικής που περιγράφουν την κυκλοφοριακή ροή με την παρακάτω μερική διαφορική σχέση:

$$\frac{\theta \tilde{\rho}}{\theta t} + v \frac{\theta \tilde{\rho}}{\theta x} = \left(\frac{\theta \tilde{\rho}}{\theta t} \right)_{\text{επιτάχυνση}} + \left(\frac{\theta \tilde{\rho}}{\theta t} \right)_{\text{αλληλεπίδραση}} \quad , \quad (2.2)$$

Όπου,

$\tilde{\rho}$, είναι η μείωση της πυκνότητας φάσης – διαστήματος,

Τα πρότυπα αεριοκινητικής δεν χρησιμοποιούνται συνήθως σε προσομοιώσεις, αλλά με βάση αυτά παράγεται ένα πρότυπο συνεχούς ροής κυκλοφοριακής και οι προσομοιώσεις βασίζονται

πάνω σε αυτό. Παραδείγματα τέτοιων προτύπων υπάρχουν από τους Phillips (1979), Treiber et al. (1999) και Helbing et al. (2001). Ο Hoogendoorn (1999) αντλεί ένα πολυεπίπεδο και πολλαπλών λωρίδων πρότυπο συνεχούς κυκλοφοριακής ροής από το πρότυπο αεριοκινητικής. Τέλος, οι Tampere et al. (2003) προτείνουν ένα πρότυπο συνεχούς αεριοκινητικής που περιλαμβάνει ένα απλό πρότυπο ακολουθίας οχήματος.

2.5.5. Εισαγωγή στα πρότυπα ακολουθούστος οχήματος (car-following)

Σημαντικός αριθμός προγραμμάτων μικροσκοπικής κυκλοφοριακής προσομοίωσης βασίζεται στην οικογένεια προτύπων ακολουθίας οχήματος, αλλαγής λωρίδας και αποδοχής διάκενου ασφαλείας και αναπαριστούν τη συμπεριφορά των οχημάτων στο οδικό δίκτυο. Όσον αφορά τα πρότυπα ακολουθούστος οχήματος, τα πιο διαδεδομένα είναι το πρότυπο του Helly (1961), το οποίο εφαρμόζεται στο λογισμικό SITRA B+, του Herman (Herman et al. 1959) ή η βελτιωμένη εκδοχή του από τον Wicks (1977) που εφαρμόστηκε στο MITSIM, των Yang και Kotsopoulos (1996), το ψυχοφυσικό πρότυπο του Wiedemann (1974), του Leutzbach (1994), ή η ad-hoc εκδοχή του Gipps (1981) που χρησιμοποιείται στο λογισμικό AIMSUN (Barcelo et al. 1995, Barcelo 1998).

Σύμφωνα με τον May (1990), όλες αυτές οι θεωρίες που περιγράφουν τον τρόπο που ένα όχημα ακολουθεί ένα άλλο όχημα, άρχισαν να αναπτύσσονται μεταξύ 1950 και 1960, μετά την πρώτη θεωρία που προτάθηκε από τον Reuschel (1950a, 1950b) και τον Pipes (1953).

Η θεωρία του προτύπου ακολουθούστος οχήματος του Pipes, καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η ελάχιστη απόσταση ασφαλείας μεταξύ των δύο διαδοχικών οχημάτων αυξάνεται γραμμικά με την αύξηση της ταχύτητας, γεγονός που λαμβάνοντας υπόψη την απλότητα του μοντέλου, ανταποκρίνεται σωστά με βαθμονόμηση στο πεδίο.

Πιο εκτεταμένη έρευνα πραγματοποιήθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1950 από τον όμιλο General Motors. Με βάση τα ολοκληρωμένα πειράματα πεδίου που πραγματοποίησαν και την ανάπτυξη της μαθηματικής μικροσκοπικής και μακροσκοπικής θεωρίας κυκλοφοριακών ροών, συμπέραναν ότι το πρότυπο ακολουθίας οχήματος είναι μία σχέση μεταξύ απόκρισης και ερεθίσματος. Όπου σύμφωνα με τους Gerlough και Huber (1975), η απόκριση είναι η αντίδραση ενός οδηγού στην κίνηση του οχήματος που βρίσκεται μπροστά του. Η απόκριση διακρίνεται σε επιτάχυνση ή επιβράδυνση ανάλογα με το μέγεθος του ερεθίσματος. Ο όμιλος General Motors ανέπτυξε μια σειρά μοντέλων των οποίων η βασική εξίσωση είναι της μορφής:

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

ή

$$Απόκριση(t + T) = Ευαισθησία * Ερέθισμα(t)$$

Τα μοντέλα αυτά που αναπτύχθηκαν ποικίλουν ανάλογα με τις διάφορες απαντήσεις σε βασικά ερωτήματα, όπως:

- Ποιά είναι η φύση της απόκρισης του οδηγού;
- Σε ποιο ερέθισμα αντιδρά και πως εκτιμάται η ευαισθησία του;

Το πρώτο και απλούστερο μοντέλο αντιστοιχεί στην περίπτωση που η απόκριση αντιπροσωπεύεται από την επιτάχυνση ή την επιβράδυνση του οδηγού και το ερέθισμα

αντιπροσωπεύεται από τη μεταβολή στις σχετικές ταχύτητες. Αυτό το μοντέλο θεωρεί ότι η ευαισθησία είναι σταθερή.

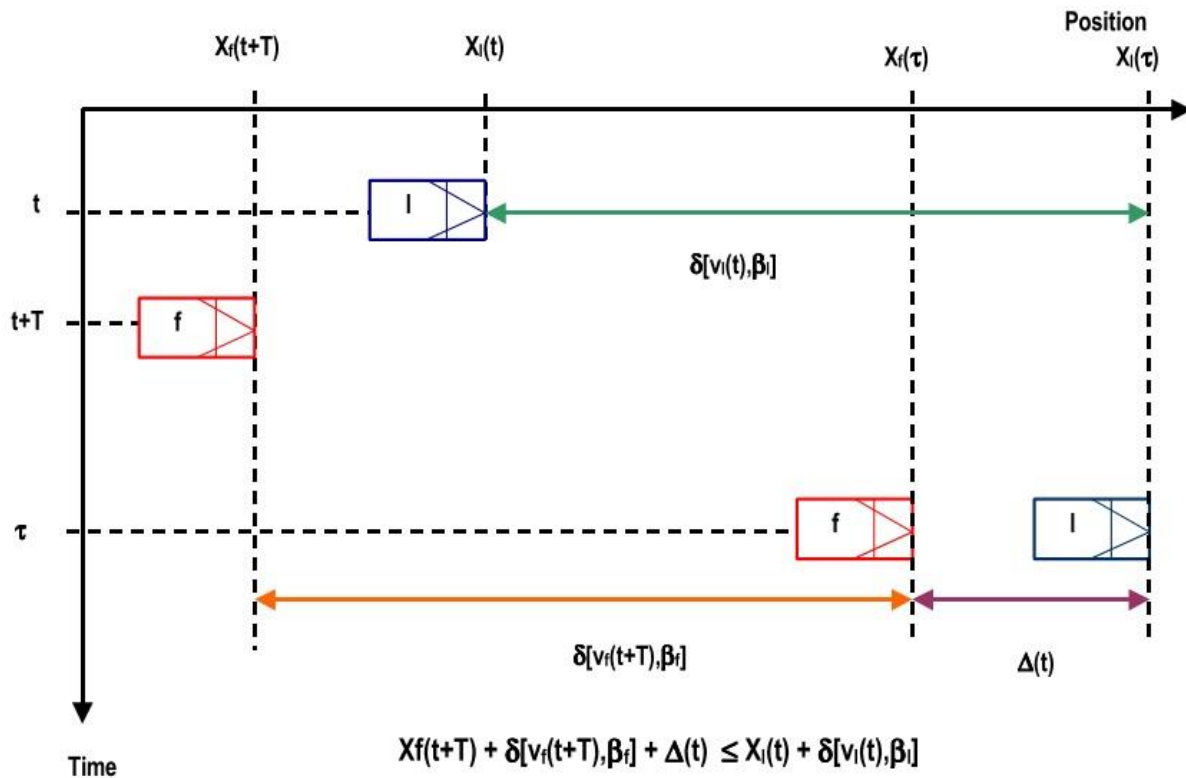
Αν θεωρήσουμε ότι $X_n(t)$ και $X_{n+1}(t+T)$ είναι οι θέσεις του προπορευόμενου και του ακολουθούντος οχήματος αντίστοιχα τη χρονική στιγμή t , τότε το βασικό μοντέλο είναι:

$$\ddot{X}_{n+1}(t+T) = \lambda * [\dot{X}_n(t) + \dot{X}_{n+1}(t)] \quad , \quad (2.3)$$

Και

$$\begin{cases} \text{Αν } \dot{X}_n(t) > \dot{X}_{n+1}(t) & \text{τότε } \ddot{X}_{n+1}(t+T) > 0 \\ \text{Αν } \dot{X}_n(t) < \dot{X}_{n+1}(t) & \text{τότε } \ddot{X}_{n+1}(t+T) < 0 \\ \text{Αν } \dot{X}_n(t) = \dot{X}_{n+1}(t) & \text{τότε } \ddot{X}_{n+1}(t+T) = 0 \end{cases}$$

Ουσιαστικά, η υποκειμενική υπόθεση πίσω από αυτά τα μοντέλα, όπως στο μοντέλο του Pipes, είναι ότι ο οδηγός του ακολουθούντος οχήματος θα ακολουθεί σε μία απόσταση ασφαλείας $\Delta(t)$, σε περίπτωση έκτακτου φρεναρίσματος, έτσι ώστε να μην υπάρξει σύγκρουση μεταξύ των οχημάτων. Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί αυτή η υπόθεση απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Όπου,

- f , είναι το ακολουθούμενο όχημα,
- I , είναι το προπορευόμενο όχημα,
- T , είναι ο χρόνος απόκρισης,
- $\Delta(t)$, είναι η ελάχιστη απόσταση μεταξύ του ακολουθούντος οχήματος και των προφυλακτών του προπορευόμενου ή αλλιώς η απόσταση ασφαλείας,

- $\delta(\nu, \beta)$, είναι η συνάρτηση επιβράδυνσης της απόστασης, δηλαδή η απόσταση η οποία απαιτείται για την ακινητοποίηση του οχήματος με συντελεστή επιβράδυνσης β ,
- β_f , είναι ο απαιτούμενος συντελεστής επιβράδυνσης του ακολουθούντος οχήματος
- β_I , είναι ο αναμενόμενος συντελεστής επιβράδυνσης του προπορευόμενου οχήματος.

Με βάση τη σχέση της ασφαλούς επιβράδυνσης για ακινητοποίηση:

$$X_f(t+T) + \delta * [V_f(t+T), \beta_f] + \Delta(t) = X_I(t) + \delta * [V_I(t), \beta_I], \quad (2.4)$$

Υποθέτοντας ότι οι συναρτήσεις απόστασης – επιβράδυνσης είναι αντίστοιχα:

$$\delta * [V_f(t+T), \beta_f] = \frac{[V_f(t+T)]^2}{2 * \beta_f} \quad \text{και} \quad \delta * [V_I(t), \beta_I] = \frac{[V_I(t)]^2}{2 * \beta_I}$$

Ακολουθεί η σχέση ασφαλούς πέδησης:

$$\beta_f = - \frac{[V_f(t+T)]^2}{2 * \left[X_f(t+T) - X_I(t) + \Delta(t) - \frac{V_I^2(t)}{2 * \beta_I} \right]}, \quad (2.5)$$

Το μοντέλο του Hermann (1959), άλλο ένα μοντέλο της οικογένειας General Motors, εικάζει ότι ο ρυθμός της επιτάχυνσης δίνεται από τη σχέση:

$$\ddot{X}_{n+1}(t) = \alpha^\pm \frac{\dot{X}_{n+1}^{\beta^\pm}(t)}{g_{n+1}^{\gamma^\pm}(t)} \left(\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t) \right), \quad (2.6)$$

Όπου,

- $\alpha^\pm, \beta^\pm, \gamma^\pm$, είναι οι παράμετροι του μοντέλου.

Πιο συγκεκριμένα,

Αν $\alpha^+, \beta^+, \gamma^+$ είναι θετικοί τότε χρησιμοποιούνται για την επιτάχυνση $\dot{X}_n(t) \geq \dot{X}_{n+1}(t)$.

Αν $\alpha^-, \beta^-, \gamma^-$ είναι αρνητικοί τότε χρησιμοποιούνται για την επιτάχυνση $\dot{X}_n(t) \leq \dot{X}_{n+1}(t)$.

Και $g_{n+1} = X_{n+1} - X_n - I_n$ αντιπροσωπεύει το κενό μεταξύ των δύο οχημάτων.

Το μοντέλο του Helly (1961) χρησιμοποιεί την παρακάτω σχέση για την επιτάχυνση του οχήματος που ακολουθεί, $\ddot{X}_{n+1}(t+T)$:

$$\ddot{X}_{n+1}(t + T) = c_1[\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t)] + c_2[X_n(t) - X_{n+1}(t) - D] \quad , \quad (2.7)$$

Όπου,

- T , είναι ο χρόνος αντίδρασης του συστήματος οδηγού – οχήματος,
- c_1, c_2 , είναι παράμετροι της σχετικής ταχύτητας και του ελέγχου της απόστασης απο το προπορευόμενο όχημα,
- D , είναι η επιθυμητή απόσταση – κίνηση απο το προπορευόμενο όχημα.

Το D , ισούται με:

$$D = I_n + \tau_{n+1} * \dot{X}_{n+1}(t)$$

Όπου,

- I_n , είναι το μήκος του προπορευόμενου οχήματος n ,
- τ_{n+1} , ο χρόνος κίνησης του ακολουθούντος οχήματος.

Με βάση όλα τα προηγούμενα, θεωρείται πως ο οδηγός του ακολουθούντος οχήματος θα προσαρμοστεί σε οποιαδήποτε αλλαγή της ταχύτητας που θα κάνει ο οδηγός του προπορευόμενου οχήματος επιβραδύνοντας ή επιταχύνοντας με τον ίδιο ρυθμό για μια δεδομένη αντίληψη του ερεθίσματος. Ωστόσο, είναι προφανές ότι, οι δυνατότητες επιβράδυνσης είναι μεγαλύτερες από τις δυνατότητες επιτάχυνσης. Αυτό παρατηρήθηκε ήδη από τους Hermann και Rothery που πρότειναν να τροποποιήσουν το βασικό πρότυπο με τη σχέση:

$$\ddot{X}_{n+1}(t + T) = \lambda * [\dot{X}_n(t) + \dot{X}_{n+1}(t)]$$

Έτσι ώστε:

- Για θετική σχετική ταχύτητα, να ισχύει:

$$\ddot{X}_{n+1}(t + T) = \lambda_+ * [\dot{X}_n(t) + \dot{X}_{n+1}(t)]$$

- Για αρνητική σχετική ταχύτητα, να ισχύει:

$$\ddot{X}_{n+1}(t + T) = \lambda_- * [\dot{X}_n(t) + \dot{X}_{n+1}(t)]$$

Τροποποίηση που ήδη περιλαμβάνεται στο γενικό πρότυπο:

$$\ddot{X}_{n+1}(t) = \alpha^\pm \frac{\dot{X}_{n+1}^{\beta^\pm}(t)}{g_{n+1}^{\gamma^\pm}(t)} (\dot{X}_n(t) - \dot{X}_{n+1}(t))$$

Άλλοι επιστήμονες, που διερεύνησαν το αντικείμενο αυτό είναι Gazis et al. (1961), Newell (1961), Lee (1966), Bender και Fenton (1972). Τα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί για την ανάλυση ακολουθίας οχημάτων βασίζονται σε παραλλαγές του παρακάτω τύπου:

$$a_n(t + \tau) = I_n \frac{(u_{n-1}(t) - u_n(t))^k}{(x_{n-1}(t) - x_n(t))^m} , \quad (2.8)$$

Όπου,

$n - 1$, το όχημα που ακολουθείται απο το προπορευόμενο όχημα n
 τ , ο χρόνος αντίδρασης και το χρονικό βήμα των υπολογισμών
 $x_n(t)$, η θέση του οχήματος n τη χρονική στιγμή t
 $u_n(t)$, η ταχύτητα του οχήματος n τη χρονική στιγμή t
 $a_n(t + \tau)$, η επιτάχυνση του οχήματος n τη χρονική στιγμή $t + \tau$
 I_n , k , m , παράμετροι που θα πρέπει να εκτιμηθούν

Επισημαίνεται ότι είναι όμως επιθυμητό, το διάστημα μεταξύ των διαδοχικών επαναυπολογισμών της ταχύτητας και της θέσης που έχει το όχημα, που πραγματοποιείται στην προσομοίωση, να πραγματοποιείται σε κλάσματα του χρόνου αντίδρασης, το οποίο υποδεικνύεται και από τον Seddon (1972). Αυτό απαιτεί τον υπολογισμό την αποθήκευση μεγάλου όγκου δεδομένων. Και αυτό κατά συνέπεια αποτελεί ένα από τα μειονεκτήματα των μικροσκοπικών μοντέλων προσομοίωσης.

2.5.6. Πρότυπο ακολουθούντος οχήματος (car-following) του Gipps

Ο Gipps το 1981 είχε αναπτύξει ένα πρότυπο ακολουθούντος οχήματος σχεδιασμένο να έχει τις εξής ιδιότητες:

- Το μοντέλο θα πρέπει να μιμείται τη συμπεριφορά της πραγματικής κυκλοφορίας.
- Οι παράμετροι στο μοντέλο θα πρέπει να αντιστοιχούν στα προφανή χαρακτηριστικά των οδηγών και των οχημάτων.
- Το μοντέλο θα πρέπει να συμπεριφέρεται ‘καλά’ όταν το διάστημα μεταξύ των διαδοχικών επαναυπολογισμών της ταχύτητας και της θέσης είναι το ίδιο με το χρόνο αντίδρασης.

Το μοντέλο ακολουθίας οχημάτων του Gipps, αποτελεί ένα μοντέλο διακριτού χρόνου και συνεχούς χώρου στο οποίο υπολογίζεται η ταχύτητα και η θέση του οχήματος σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Το μοντέλο αυτό, προκύπτει από τον καθορισμό των ορίων της απόδοσης του οδηγού και του οχήματος χρησιμοποιώντας αυτά τα όρια για τον υπολογισμό μιας ασφαλούς ταχύτητας σε σχέση με το προπορευόμενο όχημα. Θεωρείται ότι ο οδηγός του ακολουθούντος οχήματος επιλέγει να κινηθεί με μία ταχύτητα με την οποία, όταν το προπορευόμενο όχημα ξαφνικά σταματήσει, να υπάρχει η δυνατότητα το όχημα που ακολουθεί να σταματήσει σε ασφαλή απόσταση.

Οι δύο πρώτοι περιορισμοί του οχήματος n είναι ότι ο οδηγός δεν θα πρέπει να υπερβεί την επιθυμητή του ταχύτητα και ότι η επιτάχυνση του οχήματος n θα πρέπει να αυξάνεται με την εκκίνηση του οχήματος και να τείνει στο μηδέν όταν το όχημα τείνει να προσεγγίσει την επιθυμητή ταχύτητα. Οι περιορισμοί αυτοί περιγράφονται στην παρακάτω σχέση:

$$u_n(t + \tau) \leq u_n(t) + 2.5 * a_n * \tau \left(1 - \frac{u_n(t)}{V_n}\right) * \left(0.025 + \frac{u_n(t)}{V_n}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2.9)$$

Όπου,

$u_n(t)$, η ταχύτητα του οχήματος n την χρονική στιγμή t

τ , ο χρόνος αντίδρασης, σταθερός για όλα τα οχήματα

a_n , η μέγιστη επιθυμητή επιτάχυνση του οχήματος n

V_n , η επιθυμητή ταχύτητα του οχήματος n

Ο επόμενος περιορισμός που πρέπει να ληφθεί υπόψη αφορά τις συνθήκες επιβράδυνσης. Αν το όχημα $n-1$ επιβραδύνει με τη μέγιστη δυνατή του επιβράδυνση σε χρόνο t , θα σταματήσει στο σημείο x_{n-1}^* , δεδομένου ότι το b_{n-1} είναι αρνητικό, ισχύει ότι:

$$x_{n-1}^* = x_{n-1}(t) - \frac{u_{n-1}(t)^2}{2 * b_{n-1}}, \quad (2.10)$$

Όπου,

$x_n(t)$, η θέση του μπροστινού μέρους του οχήματος n κατά την χρονική στιγμή t

b_n , η μέγιστη επιβράδυνση του οχήματος n ($b_n < 0$)

Το όχημα που ακολουθεί δεν θα αντιδράσει μέχρι το χρόνο $t+\tau$ και συνεπώς δεν θα προλάβει να σταματήσει πριν φτάσει στο σημείο x_n^* :

$$x_n^* = x_n(t) + (u_n(t) + u_n(t + \tau)) * \frac{\tau}{2} - \frac{u_n(t + \tau)^2}{2 * b_n}, \quad (2.11)$$

Για λόγους ασφαλείας, ο οδηγός του οχήματος n θα πρέπει να διασφαλίσει ότι $x_{n-1}^* - s_{n-1}$ υπερβαίνουν το x_n^* . Εάν αυτή ήταν η κύρια ανισότητα, ο οδηγός του οχήματος n δεν θα είχε περιθώριο για λάθος. Έτσι έπρεπε να εισαχθεί ένα επιπλέον περιθώριο ασφαλείας, υποθέτοντας ότι ο οδηγός λαμβάνει υπόψη του την πιθανή πρόσθετη καθυστέρηση θ όταν ταξιδεύει με $u_n(t + \tau)$ πριν αντιδράσει το προπορευόμενο όχημα. Δηλαδή υπάρχει ένας πραγματικός χρόνος αντίδρασης τ και ένας ασφαλής χρόνος αντίδρασης $\tau+\theta$. Έτσι με βάση τον περιορισμό της επιβράδυνσης προκύπτει (σχέση 2.12):

$$\begin{aligned} x_{n-1}(t) - \frac{u_{n-1}(t)^2}{2 * b_{n-1}} - s_{n-1} \\ \geq x_n(t) + (u_n(t) + u_n(t + \tau)) * \frac{\tau}{2} + u_n(t + \tau) * \theta - \frac{u_n(t + \tau)^2}{2 * b_n} \end{aligned}$$

Με την εισαγωγή της παραμέτρου θ στον τύπο, το προσομοιωμένο όχημα αναγκάζεται να επιβραδύνει νωρίτερα και να μειώσει σταδιακά την επιβράδυνση του έτσι ώστε να προσεγγίσει τη γραμμή στάσης ή το προπορευόμενο όχημα που έχει ακινητοποιηθεί μπροστά του.

Σε πραγματικές συνθήκες, ο οδηγός του οχήματος n μπορεί να εκτιμήσει όλες τις παραμέτρους της προηγούμενης σχέσης, εκτός από την παράμετρο b_{n-1} , με άμεση παρατήρηση. Επομένως η παράμετρος b_{n-1} , θα πρέπει να αντικατασταθεί από μια εκτίμηση της, την \hat{b} , οπότε προκύπτει (σχέση 2.13):

$$-\frac{u_n(t+\tau)^2}{2 * b_n} + u_n(t+\tau) * \left(\frac{\tau}{2} + \theta\right) - (x_{n-1}(t) - s_{n-1} - x_n(t)) + u_n(t) * \frac{\tau}{2} + \frac{u_{n-1}(t)^2}{2 * \hat{b}} \leq 0$$

Όπου,

S_n , το ενεργό μήκος του οχήματος n το οποίο ισούται με το πραγματικό του μήκος προσανξημένο με ένα διάστημα ασφαλείας μεταξύ αυτού του οχήματος και του προπορευόμενου οχήματος.

\hat{b} , αποτελεί εκτίμηση του μεγέθους b_{n-1} διότι ο οδηγός του οχήματος n δεν μπορεί να γνωρίζει την τιμή αυτή.

Τα σχετικά μεγέθη τ και θ είναι σημαντικά για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς των οχημάτων. Μπορούμε να δείξουμε πως αν το θ είναι ίσο με $\tau/2$ και η προθυμία του οδηγού του προπορευόμενου οχήματος, να επιβραδύνει απότομα δεν έχει υποτιμηθεί, τότε το όχημα που ακολουθεί με ασφαλή ταχύτητα και απόσταση θα είναι σε θέση να διατηρήσει μια κατάσταση ασφαλείας. Η προηγούμενη σχέση λοιπόν μπορεί να ξαναγραφεί ως εξής (σχέση 2.14):

$$-\frac{u_n(t+\tau)^2}{2 * b_n} + u_n(t+\tau) * \tau - (x_{n-1}(t) - s_{n-1} - x_n(t)) + u_n(t) * \frac{\tau}{2} + \frac{u_{n-1}(t)^2}{2 * \hat{b}} \leq 0$$

Ως εκ τούτου, προκύπτει (σχέση 2.15)

$$u_n(t+\tau) \leq b_n * \tau + \sqrt{b_n^2 * \tau^2 - b_n * \left(2 * (x_{n-1}(t) - s_{n-1} - x_n(t)) - u_n(t) * \tau - \frac{u_{n-1}(t)^2}{\hat{b}}\right)}$$

Η ανισότητα στη σχέση 2.14, υποδηλώνει ότι οι ασφαλείς ταχύτητες βρίσκονται μεταξύ των δύο ριζών της εξίσωσης, αλλά καθώς η μια ρίζα είναι αρνητική, μπορεί να αγνοηθεί. Η πιθανότητα ο οδηγός του οχήματος n να έχει υποτιμήσει την ετοιμότητα του προπορευόμενου οχήματος να φρενάρει απότομα, με αποτέλεσμα το απότομο φρενάρισμα $u_n(t+\tau)$ να είναι χαμηλότερο από το $u_n(t) + b_n * \tau$ μπορεί να αντιμετωπιστεί αν υποθεθεί ότι το όχημα n είναι

ικανό να έχει πιο απότομη πέδηση από ότι έχει ο οδηγός. Ο οδηγός επιλέγει την ταχύτητά του σε σχέση με την επιθυμητή επιβράδυνση, αλλά μπορεί να φρενάρει και πιο απότομα αν χρειαστεί.

Οι εξισώσεις 2.9 και 2.15 αντιπροσωπεύουν τους περιορισμούς στην ταχύτητα του οχήματος n σε χρόνο $t+\tau$ και αν υποθεθεί ότι ο οδηγός κινείται με την μέγιστη ταχύτητα που του επιτρέπουν οι περιορισμοί του οχήματος, η νέα ταχύτητα δίνεται από την σχέση:

$$u_n(t + \tau) = \min \left\{ \begin{array}{l} u_n(t) + 2.5 * a_n * \tau \left(1 - \frac{u_n(t)}{V_n} \right) * \left(0.025 + \frac{u_n(t)}{V_n} \right)^{\frac{1}{2}}, \\ b_n * \tau + \sqrt{b_n^2 * \tau^2 - b_n * (2 * (x_{n-1}(t) - s_{n-1} - x_n(t)) - u_n(t) * \tau - \frac{u_{n-1}(t)^2}{\hat{b}})} \end{array} \right\}, \quad (2.16)$$

Στην περίπτωση που η ταχύτητα του οχήματος ισούται με την πρώτη εξίσωση του ελαχίστου από την παραπάνω σχέση, δηλαδή την ταχύτητα επιτάχυνσης, αυτό σημαίνει ότι η κίνηση του οχήματος είναι ‘τοπικά ελεύθερη’, δηλαδή οι συνθήκες αφορούν ελεύθερη για το όχημα ροή. Αν όμως η ταχύτητα ισούται με το δεύτερο ελάχιστο της εξίσωσης, δηλαδή την ταχύτητα επιβράδυνσης, αυτό σημαίνει πως υπάρχει ‘τοπική’ συμφόρηση στο οδικό δίκτυο. Και στις δύο περιπτώσεις η θέση του οχήματος n τη χρονική στιγμή $t+\tau$ είναι:

$$x_n(t + \tau) = x_n(t) + 0,5 * (u_n(t) + u_n(t + \tau)) * \tau, \quad (2.17)$$

Βαθμονόμηση προτύπου

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το μοντέλο του Gipps είναι πρότυπο διακριτού χρόνου και συνεχούς χώρου. Το κάθε όχημα έχει τις δικές του τιμές για τις παραμέτρους του προτύπου, δηλαδή, τη μέγιστη ταχύτητα V_n , τη μέγιστη επιθυμητή επιβράδυνση b_n , τη μέγιστη επιθυμητή επιτάχυνση a_n , το ενεργό μήκος s_n , καθώς και τη μέγιστη επιβράδυνση που θεωρεί ότι έχει ο οδηγός του προπορευόμενου οχήματος \hat{b} . Έτσι, σε κάθε όχημα το οποίο εισέρχεται μέσα στο προσομοιωμένο δίκτυο του δίνονται χαρακτηριστικές τιμές των παραμέτρων αυτών, οι οποίες ακολουθούν κανονική κατανομή.

Το μοντέλο ακολουθίας οχημάτων του Gipps βαθμονομήθηκε με τις παρακάτω τιμές των παραμέτρων:

- $V_n, N(20.0, 3.22)\mu/\delta\lambda$
- $a_n, N(1.7, 0.32)\mu/\delta\lambda^2$
- $b_n = -2a_n$
- $s_n, N(6.5, 0.32)\mu$
- $\hat{b} = \min(-3.0, \frac{b_n-3.0}{2})$

Είναι σημαντικό να αναφερθούν και κάποια επιπλέον στοιχεία σχετικά με το μοντέλο αυτό, που προέκυψαν μέσα από την χρησιμοποίησή του σε προσομοιώσεις.

Η κίνηση του κάθε οχήματος πραγματοποιείται με βάση τα χαρακτηριστικά του προπορευόμενου οχήματος, αν για παράδειγμα το όχημα μπροστά αρχίζει να επιβραδύνει τότε και το εξεταζόμενο όχημα θα αρχίσει να μειώνει ταχύτητα. Στην περίπτωση όμως που έχουμε ένα πιο σύνθετο οδικό δίκτυο που περιλαμβάνει και φωτεινούς σηματοδότες το εξεταζόμενο όχημα θα πρέπει να σταματήσει όταν υπάρχει η φωτεινή ένδειξη 'κόκκινο'. Τότε ουσιαστικά, προσομοιώνεται πάνω στην ευθεία, που υπάρχει η φωτεινή ένδειξη, ένα όχημα (φάντασμα) όπου η ταχύτητά του τη χρονική στιγμή εκείνη είναι μηδέν. Με τον τρόπο αυτό, το εξεταζόμενο όχημα συνειδητοποιεί πως το προπορευόμενο όχημα (φάντασμα) είναι σταματημένο και έτσι επιβραδύνει μέχρι να σταματήσει τελείως, που στην πραγματικότητα φαίνεται σαν να σταματάει σε κόκκινη φωτεινή ένδειξη.

Το μοντέλο ακολουθίας οχημάτων είναι ικανό να μπορεί να μιμείται τη συμπεριφορά της πραγματικής κυκλοφορίας και οι σχετικές παράμετροι να αντιστοιχούν στα προφανή χαρακτηριστικά του οδηγού και του οχήματος.

Τέλος, από τις διάφορες εφαρμογές του μοντέλου σε προσομοιώσεις, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι ανταποκρίνεται καλά όταν το χρονικό βήμα μεταξύ των διαδοχικών επαναυπολογισμών τις ταχύτητας και της θέσης είναι το ίδιο με το χρόνο αντίδρασης τ.

2.5.7. Πρότυπο αλλαγής λωρίδας (Lane-changing) του Gipps

Ο Gipps (1986) πρότεινε μία δομή για τη σύνδεση των αποφάσεων που πρέπει να λάβει ο οδηγός πριν από την αλλαγή λωρίδας. Τα εμπόδια, τα βαρέα οχήματα και τα σήματα του κώδικα οδικής κυκλοφορίας είναι παράμετροι που επηρεάζουν τις αποφάσεις του οδηγού όταν θελήσει να αλλάξει λωρίδα. Το μοντέλο αυτό προσπαθεί να καλύψει αυτές τις επιρροές στο αστικό περιβάλλον. Η δομή έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλίζει ότι τα οχήματα στις κυκλοφοριακές προσομοιώσεις συμπεριφέρονται λογικά όταν αντιμετωπίζουν καταστάσεις που συναντούν και στις πραγματικές συνθήκες.

Η προτυποποίηση της συμπεριφοράς ενός οχήματος για τη λωρίδα στην οποία κινείται, είναι σχετικά απλή, καθώς οι βασικές παράμετροι που επηρεάζουν τις αποφάσεις του οδηγού είναι η ταχύτητα και η θέση του προπορευόμενου οχήματος. Η προτυποποίηση είναι πιο περίπλοκη όταν θα πρέπει να ενσωματωθεί σε αυτό και το πρότυπο αλλαγής λωρίδας ενός οχήματος.

Σε επίπεδο οχήματος/οδηγού οι επιπτώσεις των διάφορων χαρακτηριστικών του δικτύου (αστικό/υπεραστικό/αυτοκινητόδρομος κ.α.) και της κυκλοφορίας μπορούν να προκαλέσουν αντιδράσεις σε δύο διαστάσεις. Ο οδηγός μπορεί είτε να επιταχύνει ή να επιβραδύνει σε μια προσπάθεια του είτε να καλύψει κάποια απόσταση που έχει από το προπορευόμενο όχημα είτε να διατηρήσει κάποια ασφαλή απόσταση από το προπορευόμενο όχημα του είτε να αλλάξει λωρίδα.

Το συγκεκριμένο μοντέλο σχεδιάστηκε για να περιγράψει τη συμπεριφορά των οχημάτων και βαρέων οχημάτων που εισέρχονται και κινούνται μαζί σε ένα οδικό δίκτυο. Στο τέλος αυτού του οδικού δικτύου τοποθετείται μία διασταύρωση. Τα οχήματα τα οποία έχουν εισέλθει στο οδικό δίκτυο γνωρίζουν εκ των προτέρων ποιά κατεύθυνση θα ακολουθήσουν στη διασταύρωση. Αναλόγα με την κατεύθυνση που θα ακολουθήσει το όχημα και την απόσταση που έχει μέχρι την αλλαγή, η συμπεριφορά του οδηγού χωρίζεται σε τρία προφίλ. Όταν το όχημα απέχει πολύ από την διασταύρωση δεν υπάρχει καμία επίδραση στις αποφάσεις που πρέπει να πάρει ο οδηγός για να αλλάξει λωρίδα και έτσι επικεντρώνεται στο να διατηρήσει μια καλύτερη ταχύτητα στο οδικό δίκτυο στην υφιστάμενη λωρίδα. Όταν φτάσει σε μία ζώνη/απόσταση από την διασταύρωση ο οδηγός αρχίζει να αγνοεί κατά ένα βαθμό πως θα προσαρμόσει την ταχύτητά του στις υφιστάμενες συνθήκες και να σκέφτεται αν θα χρειαστεί

να αλλάξει λωρίδα ή όχι. Από τη στιγμή που θα πλησιάσει στην διασταύρωση, ο οδηγός θα πρέπει να βρίσκεται στην κατάλληλη λωρίδα έτσι ώστε να πραγματοποιήσει την στροφή που επιθυμεί.

Η μετάβαση μεταξύ αυτών των προφίλ ή αλλιώς τα επιθυμητά όρια που δημιουργούνται μεταξύ τους είναι δύσκολα προσδιορίσιμα. Το μοντέλο της αλλαγής λωρίδας σχεδιάστηκε και χρησιμοποιήθηκε σε συνδυασμό με το μοντέλο ακολουθίας οχήματος (παρακάτω σχέση).

$$u_n(t + \tau) \leq b_n * \tau + \sqrt{b_n^2 * \tau^2 - b_n * (2 * (x_{n-1}(t) - s_{n-1} - x_n(t)) - u_n(t) * \tau - \frac{u_{n-1}(t)^2}{\hat{b}})}$$

Όπου,

$u_n(t + \tau)$, είναι η μέγιστη ασφαλή ταχύτητα για το όχημα n σε σχέση με το προπορευόμενο όχημα σε χρόνο $t + \tau$

b_n , η μέγιστη επιβράδυνση του οχήματος n ($b_n < 0$)

τ , ο χρόνος αντίδρασης και το χρονικό βήμα των υπολογισμών

$x_n(t)$, η θέση του μπροστινού μέρους του οχήματος n κατά την χρονική στιγμή t

s_{n-1} , το ενεργό μήκος του οχήματος $n - 1$

\hat{b} , αποτελεί εκτίμηση του μεγέθους b_{n-1} διότι ο οδηγός του οχήματος n δεν μπορεί να γνωρίζει την τιμή αυτή.

Η κύρια δομή του μοντέλου παρουσιάζεται παρακάτω:

1. Επιλογή λωρίδων

Το μοντέλο αυτό βασίζεται σε ένα διαιρεμένο δρόμο με N λωρίδες που διατίθενται για κυκλοφορία προς την κατεύθυνση του εξεταζόμενου οχήματος. Οι λωρίδες αυτές έχουν την ένδειξη $1,2,3,..N$. Για κάθε οδηγό το μοντέλο ορίζει την προτιμώμενη λωρίδα ως l_p , τη λωρίδα προορισμού ως l_t , ως συνάρτηση της τρέχουσας λωρίδας l_n . Η προτιμώμενη λωρίδα βρίσκεται δίπλα στην τρέχουσα λωρίδα στην πλευρά προς την οποία ο οδηγός επιθυμεί να κατευθυνθεί τελικά. Έτσι έχουμε:

$$l_p = \begin{pmatrix} l_{n-1} \\ l_{n+1} \end{pmatrix}$$

Η λωρίδα στόχος είναι η λωρίδα στην οποία ο οδηγός σκέφτεται να κινηθεί. Αρχικά είναι η ίδια με την προτιμώμενη λωρίδα, αλλά εάν η αλλαγή της λωρίδας αποδειχθεί αδύνατη ή μειονεκτική, η λωρίδα στην αντίθετη πλευρά θεωρείται ως νέα λωρίδα στόχος.

2. Σκοπιμότητα της αλλαγής λωρίδας

Η πρώτη συνειδητή ερώτηση που κάνει ο οδηγός είναι αν είναι δυνατόν να μεταβεί στην λωρίδα προορισμού. Αυτή η αρχική ερώτηση λειτουργεί σαν φίλτρο που έχει σκοπό να εξαλείψει τις περισσότερες καταστάσεις λήψης απόφασης, στις οποίες μια αλλαγή λωρίδας δεν θα πραγματοποιηθεί νωρίς. Θα πρέπει όμως να πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις, όπως:

- Η λωρίδα προορισμού να είναι μία από τις λωρίδες που διατίθενται στην κίνηση,

$$1 \leq l_t \leq N$$

- Να μην υπάρχουν εμπόδια (είτε φυσικά, είτε άλλα οχήματα) στο σημείο που ο οδηγός επιθυμεί να αλλάξει λωρίδα.

3. Η συμπεριφορά του οδηγού κοντά στην επιθυμητή στροφή

Όταν το μοντέλο έχει διαπιστώσει ότι είναι εφικτή η αλλαγή λωρίδας, συνεχίζει με το να αναλύει αν ο οδηγός είναι σε κοντινή απόσταση από την επιθυμητή στροφή.

Εάν ο οδηγός βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από τη στροφή, θα αλλάξει λωρίδα, υπό την προϋπόθεση ότι μπορεί να το κάνει με ασφάλεια. Εάν όμως η λωρίδα στην οποία βρίσκεται και η λωρίδα προορισμού είναι κατειλημμένες με οχήματα κοντά στη στροφή, τότε θα εξετάσει το ενδεχόμενο να αλλάξει λωρίδα προορισμού.

Θα πρέπει να τονισθεί πως, το πόσο κοντά (τιμή) βρίσκεται η επιθυμητή στροφή εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του οδηγού, τον κυκλοφοριακό φόρτο και τα χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου. Από δοκιμές όμως που πραγματοποιήθηκαν βρέθηκε ότι μπορεί να οριστεί ως χρονοαπόσταση σε ικανοποιητικό επίπεδο αυτή των 10 δευτερολέπτων.

4. Επείγουσα ανάγκη αλλαγής λωρίδας

Καθώς ο οδηγός φθάνει στο σημείο που θα πρέπει να πραγματοποιήσει τη στροφή αλλά παραμένει ακόμη στην ίδια λωρίδα, αυξάνεται σιγά σιγά η προθυμία του για αλλαγή λωρίδας. Αυτή η αίσθηση της προθυμίας του, αναγκάζει τον οδηγό να επιβραδύνει και να αποδέχεται μικρότερα κενά.

Κατά την εφαρμογή, η επιβράδυνση του οδηγού από την αρχική του θέση μέχρι και το σημείο που φτάνει κοντά στην στροφή σχεδόν διπλασιάζεται. Δίνεται απο:

$$b_n = \left(2 - \frac{D_n - x_n(t)}{10 * V_n} \right) * b_n^*$$

Όπου,

D_n , είναι η θέση της προβλεπόμενης στροφής

V_n , είναι η επιθυμητή ταχύτητα του οδηγού

b_n^* , είναι η μέγιστη επιβράδυνση στην οποία μπορεί να ανταπεξέλθει ο οδηγός

5. Λωρίδες διέλευσης και οχήματα

Σε οδικό τμήμα με πολλές λωρίδες κυκλοφορίας, μια λωρίδα προσδιορίζεται αποκλειστικά για χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς. Στην ορολογία του μοντέλου αυτού, οι λωρίδες αυτές ονομάζονται λωρίδες διέλευσης και τα οχήματα που μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις λωρίδες

αυτές καλούνται ως οχήματα μέσων μαζικής μεταφοράς. Τα οχήματα μέσων μαζικής μεταφοράς μπορούν να χρησιμοποιήσουν και άλλες λωρίδες, δεν κινούνται αποκλειστικά μέσα σε αυτές.

Σε πολλές πόλεις όμως, επιβατικά οχήματα 'παρανομούν' κινούμενα μέσα σε αυτές τις λωρίδες οι οποίες έχουν χαρακτηριστεί ως λωρίδες μέσων μαζικής μεταφοράς. Το μοντέλο λοιπόν που έχει σχεδιασθεί, αναφέρει τον όρο οχήματα μέσων μαζικής μεταφοράς σε οχήματα που έχουν το δικαίωμα να χρησιμοποιούν τις λωρίδες αυτές.

6. Είσοδος επιβατικών οχημάτων στη λωρίδα διέλευσης

Τα επιβατικά οχήματα θα πρέπει να απομακρύνονται από τη λωρίδα διέλευσης. Αν όμως υπάρχει κάποιο εμπόδιο στη λωρίδα που βρίσκονται, μπορούν να μεταβούν στη λωρίδα διέλευσης.

7. Απομάκρυνση επιβατικών οχημάτων από την λωρίδα διέλευσης

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το πρότυπο επιτρέπει την είσοδο σε επιβατικά οχήματα μόνο στην περίπτωση που στην υφιστάμενη λωρίδα κίνησης υπάρχουν εμπόδια. Κατά συνέπεια, θα πρέπει το πρότυπο να εξασφαλίζει ότι τα οχήματα θα αναχωρήσουν πάλι από τη λωρίδα διέλευσης. Η εξασφάλιση αυτή πραγματοποιείται ελέγχοντας αν στη λωρίδα προορισμού υπάρχουν εμπόδια. Εάν η λωρίδα προορισμού είναι ελεύθερη και είναι ασφαλής η αλλαγή λωρίδας, τότε το επιβατικό όχημα θα πρέπει να αναχωρήσει από τη λωρίδα διέλευσης.

8. Συμπεριφορά του οδηγού σε ενδιάμεσο σημείο πριν την στροφή

Εάν ο οδηγός είναι σε μακρινή απόσταση από τη στροφή, η κατεύθυνση την οποία επιθυμεί να ακολουθήσει, δεν επηρεάζει τη συμπεριφορά του. Όταν όμως φτάνει σε κάποιο ενδιάμεσο σημείο, η κατεύθυνση που θα πρέπει να επιλέξει αρχίζει να επηρεάζει τη συμπεριφορά του.

Η οριακή τιμή για την οποία η απόσταση θα χαρακτηριστεί ως απομακρισμένη από το σημείο στροφής για το όχημα είναι ασαφής. Πειράματα που πραγματοποιήθηκαν, έδειξαν ότι η απόσταση αυτή μπορεί να θεωρηθεί περίπου στα 50 δλ πριν από την προγραμματισμένη στροφή.

9. Πλεονεκτήματα παρούσας λωρίδας και λωρίδας προορισμού

Εάν κανένας από τους παράγοντες που έχουν εξεταστεί μέχρι στιγμής στη διαδικασία δεν ανάγκασε τον οδηγό να αλλάξει λωρίδα, τότε είναι ελεύθερος να εξετάσει τα πλεονεκτήματα της υφιστάμενης λωρίδας κίνησης και της λωρίδας προορισμού.

Πρώτα εξετάζει τα εμπόδια που βρίσκονται στη λωρίδα που κινείται και μετά στη λωρίδα προορισμού, και στη συνέχεια επιλέγει τη λωρίδα στην οποία το εμπόδιο έχει την μικρότερη επίδραση στην ασφαλή ταχύτητά του σύμφωνα με την τελική σχέση από το μοντέλο ακολουθίας οχημάτων.

10. Η επίδραση βαρέων οχημάτων

Αν τα εμπόδια είναι τα ίδια μεταξύ τους τότε μειώνεται η προθυμία του οδηγού να αλλάξει λωρίδα και κοιτάζει κατάντη για βαρέα οχήματα. Ο οδηγός θεωρεί τα αμέσως κατάντη βαρέα οχήματα ως τα οχήματα που ακολουθεί και με βάση αυτό επιλέγει ως λωρίδα στόχο τη λωρίδα στην οποία πρόκειται να κινηθεί με υψηλότερη ταχύτητα.

11. Η επιρροή του προηγούμενου οχήματος

Εάν τελικά το όχημα κατάντη δεν είναι τύπου βαρέου οχήματος, ο οδηγός τελικά θεωρεί την επιθυμητή τελική ταχύτητα του για κάθε λωρίδα και έτσι αλλάζει λωρίδες εάν θεωρεί πως με το να μεταβεί σε κάποια άλλη λωρίδα θα έχει πλεονέκτημα σε σχέση με την ταχύτητά του. Η ταχύτητα που θα έχει εξαρτάται από την υφιστάμενη λωρίδα, τη λωρίδα στην οποία επιθυμεί να μεταβεί (λωρίδα στόχος) και τον τύπο του μπροστινού οχήματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα αποτελέσματα μπορεί να είναι και αρνητικά, δηλαδή ο οδηγός να μεταβεί σε άλλη λωρίδα και να καταλήξει να έχει χαμηλότερη ταχύτητα.

12. Ασφάλεια

Όταν ο οδηγός αποφασίσει να αλλάξει λωρίδα, εξετάζεται εάν είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί η αλλαγή αυτή με ασφάλεια. Είναι ένα τελευταίο συνειδητό ερώτημα που κάνει ο οδηγός στον εαυτό του, διότι το επίπεδο ασφαλείας που απαιτείται από έναν οδηγό ποικίλει ανάλογα με τους λόγους που τον οδήγησαν στην αλλαγή λωρίδας και το πόσο επείγουσα είναι η αλλαγή. Ανάλογα με την απόσταση μεταξύ οχήματος και σημείου στροφής υπάρχει διακύμανση του συντελεστή ασφαλείας. Για παράδειγμα, αν ο οδηγός έχει φτάσει σχεδόν στην επιθυμητή στροφή και δεν έχει μεταβεί στη συγκεκριμένη λωρίδα ακόμη, για να πραγματοποιηθεί σε εκείνο το χρονικό σημείο η αλλαγή λωρίδας ο οδηγός θα πρέπει να διαλέξει ένα πιο μικρό διάκενο στην κυκλοφορία της λωρίδας αυτής με αποτέλεσμα το επίπεδο ασφαλείας να μειώνεται σε σχέση με το αν θα πραγματοποιούνταν η αλλαγή αυτή σε πιο μακρινή απόσταση.

13. Αλλαγή της λωρίδας προορισμού

Αν ο οδηγός απορρίψει την αρχική επιλογή που είχε να μεταβεί σε μια άλλη λωρίδα, το πρότυπο θεωρεί ότι η επόμενη επιλογή του οδηγού θα είναι από την άλλη κατεύθυνση και θα θεωρηθεί εκείνη λωρίδα αλλαγής.

2.6. Προγράμματα κυκλοφοριακής προσομοίωσης

Υπάρχουν πολλά προγράμματα κυκλοφοριακής προσομοίωσης, τόσο εμπορικά όσο και ερευνητικά. Ενδεικτικά αναφέρονται τα: AIMSUN (Barceló και Casas, 2002), TSIS-CORSIM (FWHA, 2005), PARAMICS (Smith et al., 1995), VISSIM (PTV, 2006), DRACULA (Liu et al., 1995), TransModeler (Caliper, 2006), SUMO, SimTraffic, TRANSIMS, ARCHISIM και MITSILab (Yang και Koutsopoulos, 1996, Yang et al., 2000, Ben-Akiva., 2010b).

ACTSIM- Access Traffic Simulation Model

Το ACTSIM είναι ένα μοντέλο δυναμικής μικροσκοπικής προσομοίωσης που προσομοιώνει ανεξάρτητα το κάθε όχημα. Προσφέρει μία μοναδική διεπαφή του χρήστη, για την εισαγωγή και επεξεργασία δεδομένων. Επιπλέον, παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να δοκιμάζει άμεσα εναλλακτικές λύσεις ή να σημειώνει πιθανά σφάλματα στα δεδομένα που συλλέγονται και εισάγονται. Χρησιμοποιεί μία κατανομή της συμπεριφοράς του πληθυσμού και μπορεί να χειριστεί τις μεταβολές της χρονικής ή τις βραχυχρόνιες διακυμάνσεις της κυκλοφοριακής ροής. Είναι ειδικά σχεδιασμένο για να χειρίζεται το χώρο στάθμευσης, σημεία συμφόρησης και περιστατικά σε ένα ρεύμα κυκλοφορίας. Επιπλέον, οι επιμέρους παράμετροι/χαρακτηριστικά του οχήματος, συμπεριλαμβανομένης της ταχύτητας του οχήματος, του μεγέθους του οχήματος, της επιθυμητής μέγιστης ταχύτητας, της θέσης προορισμού και του χρόνου παραμονής αποδίδονται με τυχαίες παραλλαγές που προέρχονται

από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του οχήματος. Τα μαθηματικά πρότυπα που ακολουθεί στην προσομοίωση το μοντέλο αυτό είναι το πρότυπο:

- ακολουθίας οχήματος (car-following),
- αλλαγής λωρίδας,
- στάθμευσης,
- διάβασης πεζών,
- επιβάρυνσης/αποβίβασης.

AIMSUN (Barceló και Casas, 2002)

Το AIMSUN είναι διαθέσιμο από την TSS-Transport Simulation Systems (Ισπανία) και έχει τη δυνατότητα να αναπαράγει πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας σε οποιοδήποτε οδικό δίκτυο. Χρησιμοποιείται, μεταξύ άλλων, για την ανάπτυξη και τη δοκιμή των συστημάτων ελέγχου κυκλοφορίας (φωτεινούς σηματοδότες), τον έλεγχο των προσβάσεων, τις θέσεις των διοδίων, τα δίκτυα των δημόσιων συγκοινωνιών, τις λωρίδες κυκλοφορίας και μπορεί να λειτουργήσει μαζί με συστήματα καθοδήγησης οχημάτων σε πραγματικό χρόνο. Δίνει τη δυνατότητα της μικροσκοπικής, μεσοσκοπικής, μακροσκοπικής και υβριδικής προσομοίωσης. Το AIMSUN ενσωματώνεται στο GETRAM, ένα περιβάλλον προσομοίωσης που αποτελείται από έναν επεξεργαστή κυκλοφοριακού δικτύου (TEDI) το οποίο περιλαμβάνει τη βάση δεδομένων του δικτύου. Επίσης, μπορεί να επικοινωνεί και με εξωτερικές εφαρμογές που μπορεί να ορίζονται από το χρήστη, όπως η λογική ελέγχου σε πραγματικό χρόνο.

ARCHISIM

Το ARCHISIM αναπτύχθηκε από την ομάδα μοντελισμού και προσομοίωσης του Γαλλικού Εθνικού Ινστιτούτου Έρευνας για τις Μεταφορές και την Ασφάλεια (INRETS). Είναι ένα μοντέλο προσομοίωσης συμπεριφοράς. Η εφαρμογή του στηρίζεται στις πολλαπλές έννοιες προσώπων. Οι οδηγοί των οχημάτων θεωρούνται τα προσομοιωμένα πρόσωπα. Οι λειτουργίες τους βασίζονται σε τρεις κυρίως διαδικασίες: στην αντίληψη, στην απόφαση και στη δράση τους. Στο ARCHISIM, υπάρχουν επίσης δύο τύποι προσομοιωμένων οντοτήτων, τα πρόσωπα και τα αντικείμενα. Τα πρόσωπα είναι αυτά που θα συγκεντρώσουν τις πληροφορίες, τις στρατηγικές και στη συνέχεια θα στείλουν στο σύστημα αυτά τα στοιχεία. Τα προσομοιωμένα πρόσωπα είναι οι οδηγοί και οι πεζοί. Τα αντικείμενα για παράδειγμα είναι τα οδικά σήματα. Κάθε προσομοιωμένος οδηγός αποτελεί ένα αυτόνομο πρόσωπο του λογισμικού, που εξελίσσεται μέσα στο εικονικό-προμοιωμένο περιβάλλον που έχει σχεδιαστεί, και αλληλεπιδρά με τα άλλα πρόσωπα-οδηγούς έτσι ώστε να επιτελέσουν τους στόχους τους σύμφωνα με τις ικανότητές τους και τις επικρατούσες συνθήκες.

DRACULA (Liu et al., 1995)

Είναι ένα μικροσκοπικό μοντέλο προσομοίωσης δικτύου κυκλοφορίας σχεδιασμένο και αναπτυγμένο στο Ινστιτούτο Μελετών και Μεταφορών του Πανεπιστημίου του Leeds. Εφαρμογές που έχουν πραγματοποιηθεί ή που πρόκειται να πραγματοποιηθούν με το πρόγραμμα αυτό περιλαμβάνουν τη διερεύνηση της οδικής τιμολόγησης με βάση την κυκλοφοριακή συμφόρηση, τον έλεγχο της κυκλοφορίας από φωτεινούς σηματοδότες σε πραγματικό χρόνο, τη δυναμική καθοδήγηση της διαδρομής και την διαδικασία εκκένωσης έκτακτης ανάγκης. Το DRACULA ενσωματώνει μία σειρά από πιθανές υποθέσεις και επίπεδα

λεπτομέρειας τα οποία μπορεί να επιλέξει ο χρήστης που σχεδιάζει το δίκτυο ανάλογα με τους στόχους της εργασίας. Για παράδειγμα:

- Οι επιλογές του χρήστη να διαμορφώνονται σε επίπεδο μεμονωμένων οδηγών ή και σε συνολικό επίπεδο,
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία μικροσκοπική προσομοίωση με χρονικό βήμα υπολογισμών ενός δευτερολέπτου για τη μετακίνηση των οδηγών κατά μήκος των διαδρομών που έχουν επιλέξει ή να χρησιμοποιηθούν μακροσκοπικά μοντέλα κυκλοφορίας,
- Η επιλογή της διαδρομής που θα ακολουθήσουν οι οδηγοί μπορεί να θεωρηθεί ως μοναδική επιλογή για τους οδηγούς (ή ακόμη και να καθοριστεί),
- Δυνατότητα αλλαγής της διαδρομής για την αποφυγή των απρόβλεπτων συνθηκών, όπως η πολύωρη αναμονή (κυκλοφοριακή συμφόρηση) στις λωρίδες.

MITSLab (Yang και Koutsopoulos, 1996, Yang et al., 2000, Ben-Akiva., 2010b)

Το MITSLab αναπτύχθηκε από το MIT (Massachusetts Institute of Technology). Ανήκει στην κατηγορία μικροσκοπικών στοχαστικών μοντέλων προσομοίωσης και χρησιμοποιείται για την προσομοίωση εναλλακτικών σχεδίων συστημάτων διαχείρισης κυκλοφορίας, συστημάτων πληροφοριών για τους μετακινούμενους, δημόσιων συγκοινωνιών και στρατηγικών ευφών συστημάτων μεταφορών και συμβάλλει στην περαιτέρω βελτίωσή τους. Έχει τη δυνατότητα να αξιολογεί συστήματα όπως προηγμένα συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας και συστήματα οδικής καθοδήγησης και ασφάλειας. Έχει τη δυνατότητα προσομοίωσης:

- Ολοκληρωμένων δικτύων με ακρίβεια (αυτοκινητόδρομοι και αστικές οδοί).
- Μεγάλου εύρους συστημάτων συλλογής δεδομένων/παρακολούθησης και ελέγχου κυκλοφορίας.
- Διαφόρων κατηγοριών οχημάτων.

Για την προσομοίωση μεμονωμένων κινήσεων οχημάτων βασίζεται στα πρότυπα:

- Ακολουθίας οχημάτων (car-following).
- Αλλαγής λωρίδας (lane changing).
- Αποδοχής διάκενου (gap acceptance).
- Συμβολής (merging).
- Κίνησης λεωφορείων.

Επίσης, περιγράφει τη συμπεριφορά των οδηγών:

- Πριν την έναρξη της διαδρομής.
- Κατά τη διάρκεια της διαδρομής.
- Επιθετικότητα των οδηγών και προσαρμογή σε σήματα και υποδείξεις.

Άλλα βασικά στοιχεία του είναι:

- Προσφορά.
- Ζήτηση.
- Μέσα μαζικής μεταφοράς.
- Παρακολούθηση κυκλοφορίας/συλλογή δεδομένων.
- Συμβάντα.

Το MITSLab είναι μία εφαρμογή ανοικτού κώδικα όπου τα βασικά μοντέλα του έχουν γραφτεί σε γλώσσα προγραμματισμού C++ και είναι πλήρως διαθέσιμα. Έχει εφαρμοσθεί με επιτυχία

σε πολλές κυκλοφοριακές και ερευνητικές εργασίες στις ΗΠΑ, το Ηνωμένο Βασίλειο, τη Σουηδία, την Ελβετία, την Ιαπωνία, την Κορέα, τη Μαλαισία και την Πορτογαλία.

PARAMICS (Smith et al., 1995)

Το πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης PARAMICS έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να διαχειρίζεται διάφορες καταστάσεις από τις πιο απλές, όπως η προσομοίωση μίας διασταύρωσης, έως και τις πιο σύνθετες, όπως η προσομοίωση ενός ολόκληρου συστήματος κυκλοφορίας μίας πόλης. Εκτός από την δισδιάστατη απεικόνιση δίνεται η δυνατότητα απεικόνισης σε τρεις διαστάσεις. Χρησιμοποιείται και για διαφορετικά οδικά περιβάλλοντα, όπως αστικά, υπεραστικά, σήραγγες, λιμάνια και χώρους στάθμευσης. Η αναπαραγωγή του δικτύου που θα προσομοιωθεί πραγματοποιείται μέσα από κόμβους (διασταυρώσεις), συνδέσμους (οδικά τμήματα) και άλλα 'αντικείμενα'. Το κάθε όχημα που εισέρχεται στο προσομοιωμένο δίκτυο, από μία 'ζώνη προέλευσης', επιχειρεί να ολοκληρώσει τη διαδρομή του ως προς τη 'ζώνη προορισμού', ενώ κατά τη διάρκεια της διαδρομής περιορίζεται από φυσικές και δυναμικές παραμέτρους του κάθε τύπου οχήματος. Μέσω τις μικροσκοπικής προσομοίωσης, το PARAMICS, επιτρέπει στους χρήστες να προσομοιώνουν τις μεμονωμένες κινήσεις του οχήματος για να προβλέψουν τη μελλοντική συμπεριφορά της διαδρομής που θα επιλεγεί ως αποτέλεσμα της αλλαγής του κυκλοφοριακού φόρτου των συνδέσμων.

PTV-VISSIM (PTV, 2006)

Το PTV-VISSIM αναπτύχθηκε από την εταιρεία PTV (Planung Transport Verkehr AG) στην Καρλσρούη της Γερμανίας. Αποτελεί ένα από τα πιο χρησιμοποιημένα λογισμικά προσομοίωσης που προσομοιώνουν, αξιολογούν και επικυρώνουν τις νέες πολιτικές μεταφορών και τα συστήματα ελέγχου. Το μοντέλο κυκλοφοριακής ροής του VISSIM είναι ένα διακριτό, στοχαστικό, μικροσκοπικό μοντέλο με βάση το χρόνο. Είναι ένας πολυτροπικός προσομοιωτής που επιτρέπει στους χρήστες να ορίσουν ένα μεγάλο εύρος κατηγοριών οχημάτων, συμπεριλαμβανομένων επιβατικών οχημάτων, λεωφορείων, φορτηγών και βαρέων και ελαφρών σιδηροδρομικών οχημάτων καθώς και πεζούς και ποδηλάτες. Οι προκαθορισμένες τιμές για την επιτάχυνση, τη μέγιστη ταχύτητα και τις επιθυμητές κατανομές της ταχύτητας δίνονται, αλλά δίνεται και στο χρήστη η δυνατότητα να μπορεί να επεξεργαστεί αυτές τις παραμέτρους και να τις προσαρμόσει ανάλογα στο δίκτυο έτσι ώστε να αντικατροπτίζονται οι τοπικές συνθήκες κυκλοφορίας. Το λογισμικό θεωρεί το όχημα και τον οδηγό ως ενιαίες οντότητες και περιέχει ένα ψυχο-φυσικό μοντέλο ακολουθίας οχημάτων (car – following), για τη διαμήκη κίνηση του οχήματος και έναν αλγόριθμο βασισμένο σε κανόνες για την πλευρική κίνηση. Το μοντέλο ακολουθίας οχημάτων αναπτύσσεται με βάση την έρευνα του Wiedemann. Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό που έχει το λογισμικό είναι η διεπαφή του με εξωτερικά προγραμματιστικά μοντέλα. Ουσιαστικά δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες, να αναπτύξουν και να υλοποιήσουν τις δικές τους εφαρμογές στο δίκτυο VISSIM χρησιμοποιώντας γλώσσες προγραμματισμού, όπως C++, Visual basic ή Python. Η διασύνδεση αυτή με τις γλώσσες προγραμματισμού παρέχει εφαρμογές που έχουν αναπτυχθεί από διάφορους χρήστες με πρόσβαση στην τοπολογία του προσομοιωμένου δικτύου, τον έλεγχο φωτεινών σηματοδότην, τις ροές διαδρομής και τη συμπεριφορά των οχημάτων, επιτρέποντας έτσι στο VISSIM να διαμορφώνει πολύπλοκες λογικές ελέγχου μεταφορών.

SimTraffic

Το SimTraffic είναι ένα μικροσκοπικό λογισμικό προσομοίωσης που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα SYNCHRO για να μοντελοποιήσει οδικά δίκτυα. Θεωρείται πως είναι πολύ εύκολο στη χρήση και η γραφική του διεπαφή παρέχει στον χρήστη τη δυνατότητα της γρήγορης κωδικοποίησης ενός οδικού δικτύου. Αρχικά αναπτύχθηκε για να μοντελοποιεί τους χρόνους ενός αρτηριακού συστήματος. Το SimTraffic είναι ένα μοντέλο συνδέσμων και κόμβων που χρησιμοποιεί την συμπεριφορά των οδηγών και τους αλγορίθμους κίνησης οχημάτων για την προσομοίωση μεμονωμένων κινήσεων οχημάτων μέσω ενός δικτύου. Έχει τη δυνατότητα να προσομοιώνει λεωφόρους, αυτοκινητόδρομους, διασταυρώσεις, φωτεινούς σηματοδότες (σταθερού χρόνου και επενεργούμενη από την κυκλοφορία), κυκλικούς κόμβους, ράμπες εισόδου και εξόδου, επιχειρήσεις διαμετακόμισης και πεζούς. Ένα όμως από τα βασικά του μειονεκτήματα είναι η έλλειψη προγραμματιστικών εφαρμογών API (Application Programming Interface), δηλαδή δεν παρέχει τη δυνατότητα εξαγωγής στοιχείων/πληροφοριών των οχημάτων και αυτοματοποιημένη στατιστική ανάλυση.

SISTM

Το SISTM σχεδιάστηκε για να μελετήσει την κυκλοφορία των αυτοκινητόδρομων σε συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης με στόχο την ανάπτυξη και την αξιολόγηση διαφορετικών στρατηγικών που θα συμβάλλουν στη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Έχει αναπτυχθεί από την υπηρεσία UK Highways. Έχει την δυνατότητα να μπορεί να αξιολογεί:

- Διαφορετικές διατάξεις αυτοκινητόδρομων, δηλαδή σχέδια διασταυρώσεων,
- Συστήματα μεταβλητής ταχύτητας,
- Συστήματα μετρήσεων σε ράμπες εισόδου,
- Τροποποίηση των χαρακτηριστικών του οχήματος,
- Τροποποίηση των στοιχείων της συμπεριφοράς του οδηγού.

Ουσιαστικά, πρόκειται για ένα μικροσκοπικό μοντέλο προσομοίωσης αυτοκινητόδρομων. Το πρότυπο ακολουθίας οχήματος (car-following) βασίζεται στη λογική του προτύπου του Gipps (1981). Η συμπεριφορά του οδηγού περιγράφεται από δύο παραμέτρους, της επιθετικότητας και της ευαισθητοποίησης. Αυτές οι δύο παράμετροι χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της επιθυμητής ταχύτητας και της έμμεσης επιθυμητής προόδου. Το πρότυπο αλλαγής λωρίδας ελέγχεται μέσω του ελιγμού για αλλαγή λωρίδας, και δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να καθορίσει αυτός την επιθυμία του οδηγού για να κάνει την αλλαγή αυτή. Όταν ο οδηγός κάνει τον ελιγμό για αλλαγή λωρίδας μπορεί να καθορίσει μία ασφαλή απόσταση μεταξύ των οχημάτων έτσι ώστε να πραγματοποιήσει μία ομαλή συγχώνευση στην λωρίδα στόχο. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα καταχώρησης έως και 8 διαφορετικών τύπων οχημάτων, με διαφορετικά μήκη, επιθυμητή ταχύτητα, επιτάχυνση και ταχύτητα πέδησης. Η διεπαφή του χρήστη με το πρόγραμμα του επιτρέπει να επεξεργάζεται αρχεία κειμένου και να εισάγει ειδικές γραπτές βάσεις στο λογισμικό.

SUMO

Το πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης SUMO αναπτύχθηκε από το γερμανικό αεροδιαστημικό κέντρο (DLR) και αποτελεί ανοιχτό λογισμικό. Σε αυτό, τα προσομοιωμένα οχήματα μπορούν να κινούνται ελεύθερα μέσα στο δίκτυο. Η σύγκρουση μεταξύ των οχημάτων και τα ατυχήματα είναι στοιχεία τα οποία προσομοιώνονται και αυτά. Κάθε όχημα το οποίο

εισέρχεται μέσα στο δίκτυο έχει τη δική του διαδρομή και η δρομολόγηση του οχήματος είναι δυναμική. Λαμβάνεται υπόψη η συμπεριφορά του οχήματος, όπως η αλλαγή λωρίδας. Επιπλέον, το πλάτος κάθε λωρίδας του δικτύου παραμένει σταθερό. Όσον αφορά τα προσομοιωμένα οχήματα, δεν λαμβάνονται υπόψη διαφορετικοί τύποι των οχημάτων. το πρόγραμμα επιτρέπει τη μοντελοποίηση διατροφικών συστημάτων κυκλοφορίας συμπεριλαμβανομένων των οδικών οχημάτων, των δημόσιων συγκοινωνιών και των πεζών. Επιπλέον το πρόγραμμα, έχει τη δυνατότητα να βελτιωθεί με εξωτερικά προσαρμοσμένα μοντέλα. Τέλος, το SUMO παρέχει διάφορες προγραμματιστικές εφαρμογές API (Application Programming Interface) για τον έλεγχο της προσομοίωσης από απόσταση.

TRANSIMS

Το TRANSIMS αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύνολο εργαλείων για τη διεξαγωγή αναλύσεων περιφερειακών συστημάτων μεταφορών βασισμένο σε ένα μικροσκοπικό κυψελοειδές αυτοματοποιημένο σύστημα. Βασίζεται σε ένα νέο μοντέλο της μοντελοποίησης των ατομικών/μεμονωμένων ταξιδιών και της πολυτροπικής τους μεταφοράς με βάση τους συνθετικούς πληθυσμούς και τις δραστηριότητές τους. Αυτό σημαίνει ότι κάθε μετακινούμενος επιλέγει μία διαδρομή που είναι καλύτερη για το συνολικό πληθυσμό, και όχι με στόχο να επιτύχει την καλύτερη διαδρομή με βάση τη μικρότερη απόσταση. Για το λόγο αυτό, σε σύγκριση με τις παραδοσιακές προσεγγίσεις σχεδιασμού της κυκλοφορίας απαιτεί ένα μεγάλο όγκο δεδομένων και υπολογιστικών πόρων. Το λογισμικό αυτό αναπτύχθηκε από το εθνικό εργαστήριο του Los Alamos. Όσον αφορά το κομμάτι της μικροσκοπικής προσομοίωσης έχει την δυνατότητα:

- Να εκτελεί όλα τα σχέδια που καθορίζει ο χρήστης, σε οποιοδήποτε βαθμό πολυπλοκότητας του οδικού δικτύου,
- να προσομοιώνει πολύ μικρά αλλά και εκτενή δίκτυα,
- να χρησιμοποιεί κυψελοειδές αυτοματοποιημένες αρχές για να αναλύει την αλληλεπίδραση μεταξύ των οχημάτων, με αποτέλεσμα να προβλέπει τα σημεία στα οποία πρόκειται να δημιουργηθεί κυκλοφοριακή συμφόρηση,
- να παράγει πάντα τις μεμονωμένες θέσεις όλων των ταξιδιών και των οχημάτων ανά πάσα στιγμή,
- να προσομοιώνει δυναμικά τον καταμερισμό της κυκλοφορίας.

TransModeler (Caliper, 2006)

Το TransModeler έχει τη δυνατότητα να προσομοιώνει όλους τους τύπους οδικών δικτύων, αυτοκινητόδρομων και περιοχών κέντρου πόλης και μπορεί να αναλύει πολυτροπικά δίκτυα. Επίσης, μπορεί:

- να μοντελοποιήσει και να απεικονίσει τη συμπεριφορά σύνθετων συστημάτων κυκλοφορίας σε περιβάλλον είτε διδιάστατο είτε τρισδιάστατο.
- να αξιολογήσει τη δυναμική των κυκλοφοριακών ροών, των συστημάτων φωτεινής σηματοδότησης και της συνολικής απόδοσης του δικτύου.
- να δημιουργεί και να διαχειρίζεται πολλαπλά έργα, δίκτυα, προφίλ ζήτησης και στρατηγικές ελέγχου για την ανάλυση εναλλακτικών λύσεων.

Με το πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης TransModeler, δίνεται η δυνατότητα να εκτελούνται προσομοιώσεις σε μικροσκοπικό, μεσοσκοπικό, μακροσκοπικό και υβριδικό

επίπεδο. Όταν πραγματοποιείται μία μικροσκοπική προσομοίωση, προσομοιώνεται η συμπεριφορά κάθε οχήματος κάθε δέκατο του δευτερολέπτου. Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να μπορούν να καθορίζουν τα φυσικά χαρακτηριστικά του οχήματος καθώς και τις κινήσεις των διαφορετικών κατηγοριών οχημάτων. Επιπλέον, η επιτάχυνση, η επιβράδυνση, η ακολουθία οχημάτων (car-following), η αλλαγή λωρίδας, η συμβολή/μερισμός και οι κινήσεις στις διασταυρώσεις προσομοιώνονται λεπτομερώς και επηρεάζονται από την επιθετικότητα του οδηγού, τα χαρακτηριστικά του οχήματος και τη γεωμετρία της οδού.

TSIS-CORSIM (FWHA, 2005) – CORridor SIMulation

Το TSIS-CORSIM χρηματοδοτείται και αναπτύσσεται από την Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αυτοκινητόδρομων των ΗΠΑ (FHWA). Πρόκειται για ένα λογισμικό μικροσκοπικής κυκλοφοριακής προσομοίωσης ιδανικό για αστικά δίκτυα, αυτοκινητόδρομους και ολοκληρωμένα δίκτυα με πλήρη επιλογή των συσκευών ελέγχου, όπως η φωτεινή σηματοδότηση, τα σήματα οδικής κυκλοφορίας και του ελέγχου σε ράμπες για την είσοδο σε αυτοκινητόδρομους. Αποτελείται από ένα ολοκληρωμένο σύνολο δύο μικροσκοπικών μοντέλων προσομοίωσης, το NETSIM και το FRESIM, που προσομοιώνουν το περιβάλλον κυκλοφορίας. Το NETSIM προσομοιώνει την κυκλοφορία σε αστικά δίκτυα, ενώ το FRESIM την κυκλοφορία σε υπεραστικά δίκτυα και αυτοκινητόδρομους. Η μικροσκοπική προσομοίωση μοντελοποιεί τις κινήσεις των οχημάτων του δικτύου, οι οποίες μπορεί να επηρεάζονται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δικτύου, τις συνθήκες ελέγχου καθώς επίσης και τη συμπεριφορά του οδηγού. Το TSIS (Traffic Software Integrated System) είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης στοιχείων, που επιτρέπει στους χρήστες να καθορίζουν και να διαχειρίζονται την ανάλυση της κυκλοφορίας και τα δίκτυα κυκλοφορίας, να εκτελεί τα μοντέλα της προσομοίωσης και να ερμηνεύει και να εξάγει τα αποτελέσματα.

Στον **πίνακα 2-4**, παρουσιάζονται συνοπτικά για κάθε λογισμικό κυκλοφοριακής προσομοίωσης τα επίπεδα λεπτομέρειας που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση των κινήσεων των οχημάτων, μέσα στο δίκτυο, καθώς και τα βασικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες του καθενός από αυτά.

Πίνακας 2-4: Βασικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες λογισμικών κυκλοφοριακής προσομοίωσης, (Πηγή: Saidallah et al. 2016).

ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ	ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ / ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ
AIMSUN	Μικροσκοπικό / Μεσοσκοπικό / Μακροσκοπικό	Εμπορικό λογισμικό, συνεχής, δύσκολος χειρισμός, περιορισμένη ευελιξία, τύπους και διαστάσεις οχημάτων, πεζούς, ενσύρματους και ασύρματους ανιχνευτές αισθητήρων, συνεργασία με γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, αυτοκινητόδρομους, τηλεματική, διςδιάστατη και τριςδιάστατη απεικόνιση, πίνακες μεταβλητών μηνυμάτων, δυναμική κανονικοποίηση κυκλοφορίας, ενεργά σήματα.
TSIS-CORSIM	Μικροσκοπικό	Εμπορικό λογισμικό, διακριτό, πολύ περιορισμένη ευελιξία, περιοχή εμβέλειας αστική, ενσύρματο ανιχνευτή αισθητήρων, αυτοκινητόδρομους, διςδιάστατη και τριςδιάστατη απεικόνιση, πίνακες μεταβλητών μηνυμάτων, δυναμική κανονικοποίηση κυκλοφορίας, ενεργά σήματα, περιστατικά.

PARAMICS	Μικροσκοπικό	Εμπορικό λογισμικό, διακριτό, ευέλικτο, προτεραιότητα, πεζοί, διάφοροι τύποι οχημάτων, περιοχή εμβέλειας αστική, ενσύρματοι και ασύρματοι ανιχνευτές αισθητήρων, αυτοκινητόδρομους, επιχειρήσεις διαμετακόμισης, συμφόρηση δικτύου, δισδιάστατη και τρισδιάστατη απεικόνιση,
VISSIM	Μικροσκοπικό	Εμπορικό λογισμικό, συνεχής, εύκολος χειρισμός, πολύ ευέλικτο, προτεραιότητα, πεζοί, διάφοροι τύποι οχημάτων, περιοχή εμβέλειας αστική, ενσύρματοι και ασύρματοι ανιχνευτές αισθητήρων, συνεργασία με γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, αυτοκινητόδρομους, ράμπες, επιχειρήσεις διαμετακόμισης, πεζούς, δισδιάστατη και τρισδιάστατη απεικόνιση.
TransModeler	Μικροσκοπικό / Μεσοσκοπικό / Μακροσκοπικό	Εμπορικό λογισμικό, δισδιάστατη και τρισδιάστατη απεικόνιση, περιορισμένη ευελιξία, πεζούς, περιοχή εμβέλειας και χώρα, ενσύρματο ανιχνευτή αισθητήρων, συνεργασία με γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών.
SimTraffic	Μικροσκοπικό	Εμπορικό λογισμικό, δισδιάστατη και τρισδιάστατη απεικόνιση, εύκολος χειρισμός, περιορισμένη ευελιξία, προτεραιότητα και πεζούς, περιοχή εμβέλειας αστική, ενσύρματο ανιχνευτή αισθητήρων.
SUMO	Μικροσκοπικό	Ανοιχτή πηγή, συνεχής, δισδιάστατη απεικόνιση, δύσκολος χειρισμός, πολύ περιορισμένη ευελιξία, περιοχή εμβέλειας αστική, ενσύρματο ανιχνευτή αισθητήρων.
TRANSIMS	Μικροσκοπικό / Μεσοσκοπικό	Ανοιχτή πηγή, διακριτό, δισδιάστατη απεικόνιση, πολύ περιορισμένη ευελιξία, περιοχή εμβέλειας, ενσύρματο ανιχνευτή αισθητήρων.
ARCHISIM	Μικροσκοπικό	Εμπορικό λογισμικό, διακριτό, δισδιάστατη απεικόνιση, δύσκολος χειρισμός, πολύ περιορισμένη ευελιξία, περιοχή εμβέλειας αστική, ενσύρματο ανιχνευτή αισθητήρων.
MITSILab	Μικροσκοπικό	Δισδιάστατη απεικόνιση, περιορισμένη ευελιξία, περιοχή εμβέλειας αστική, ενσύρματο ανιχνευτή αισθητήρων.

Ο πίνακας 2-5 αναφέρει το πρότυπο 'ακολουθίας οχημάτων' που έχουν ενσωματωμένο τα συγκεκριμένα λογισμικά κυκλοφοριακής προσομοίωσης.

Πίνακας 2-5: Πρότυπα ακολουθίας οχημάτων συγκεκριμένων λογισμικών κυκλοφοριακής προσομοίωσης.

ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ	ΠΡΟΤΥΠΟ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (CAR- FOLLOWING)
AIMSUN	Gipps

SISTM	Gipps
DRACULA	Gipps
VISSIM	Wiedemann
CORSIM	Pipe
PARAMICS	Fritzsche

2.7. Περιγραφή του προγράμματος AIMSUN

2.7.1. Εισαγωγή στο πρόγραμμα

Το λογισμικό κυκλοφοριακής προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι το AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks). Είναι ευρέως γνωστό και αναπτύχθηκε από τους Barcelo και Ferrer (1994). Είναι ένα εμπορικό λογισμικό δυναμικής κυκλοφοριακής προσομοίωσης. Έχει τη δυνατότητα της προσομοίωσης σε τέσσερα διαφορετικά επίπεδα: μικροσκοπικό, μεσοσκοπικό, μακροσκοπικό και υβριδικό. Μπορεί να προσομοιώσει μεγάλο εύρος κατηγοριών κυκλοφοριακών δικτύων, όπως αστικά, αυτοκινητόδρομους, εθνικά δίκτυα, περιφερειακούς δρόμους, αρτηρίες καθώς και των συνδυασμό αυτών σε ένα ενιαίο δίκτυο. Έχει σχεδιαστεί και υλοποιηθεί ως εργαλείο της κυκλοφοριακής ανάλυσης. Επίσης, έχει αποδειχθεί πως είναι πολύ χρήσιμο για τις δοκιμές νέων συστημάτων κυκλοφοριακού ελέγχου, καθώς και τις πολιτικές διαχείρισης κυκλοφορίας, βασισμένες είτε σε παραδοσιακές τεχνολογίες είτε ως εφαρμογή ευφυών συστημάτων μεταφοράς.

Η δυναμική προσομοίωση του AIMSUN μπορεί να εκτελεί προσομοιώσεις προσαρμογής συστημάτων ελέγχου κυκλοφορίας, συστημάτων ελέγχου τα οποία δίνουν προτεραιότητα στις δημόσιες συγκοινωνίες, ευφυών συστημάτων μεταφορών (χρησιμοποιώντας πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων, στρατηγικές εξισσορόπησης της κυκλοφορίας, συστήματα ηλεκτρονικού ελέγχου σε ράμπες για την είσοδο των οχημάτων σε αυτοκινητόδρομους κ.α.), συστήματα καθοδήγησης των οχημάτων, προγράμματα δημόσιων συγκοινωνιών και συστήματα ελέγχου ή εφαρμογές που έχουν στόχο να εκτιμήσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις εκπομπές ρυπογόνων ουσιών των οχημάτων και την κατανάλωση ενέργειας.

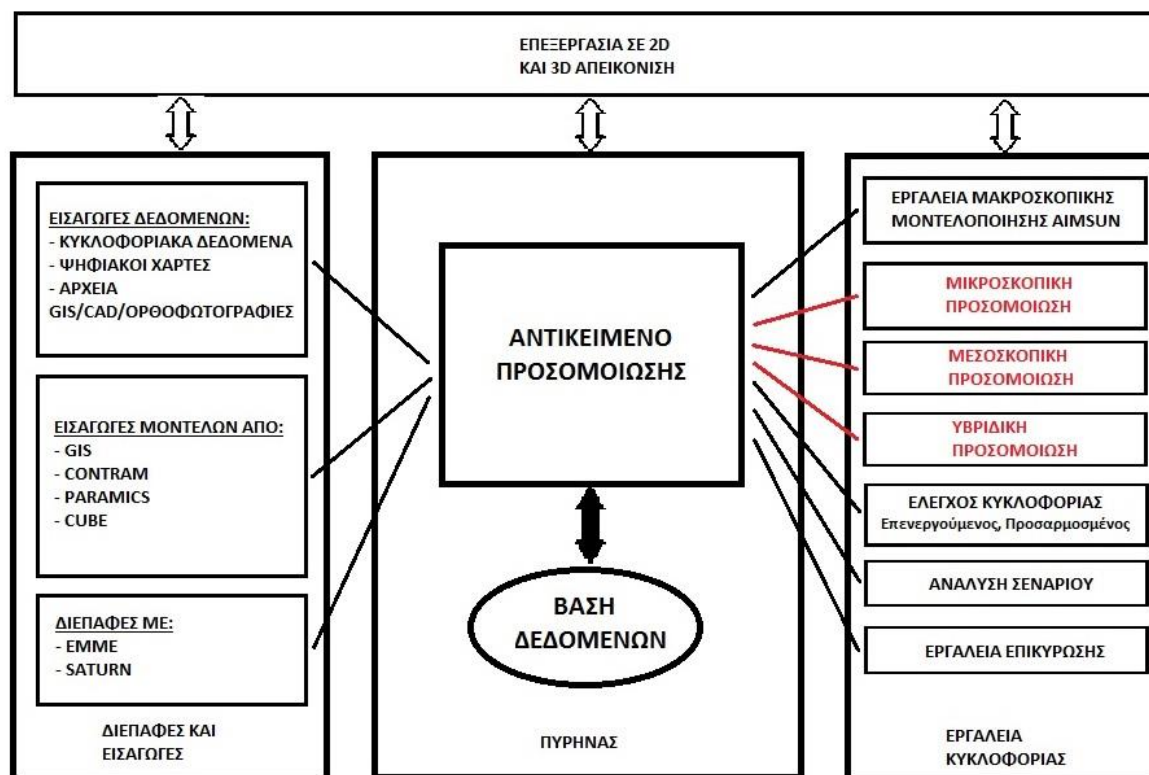
Πιο συγκεκριμένα, μερικά από τα δυναμικά χαρακτηριστικά που έχει το AIMSUN είναι:

- δισδιάστατη και τρισδιάστατη αναπαράσταση του δικτύου που έχει σχεδιαστεί στο περιβάλλον του προγράμματος,
- δυνατότητα εισαγωγής αρχείων CAD, εισαγωγή και εξαγωγή αρχείων GIS, καθώς και εισαγωγή raster εικόνας,
- δυνατότητα εισαγωγής χαρτών από το OpenStreetMap,
- επεξεργασία αρχείων/δικτύων που έχουν δημιουργηθεί από άλλα προγράμματα κυκλοφοριακής προσομοίωσης, όπως το Paramics, το Vissim, κ.α.,

- μικροσκοπική προσομοίωση,
- μεσοσκοπική προσομοίωση,
- υβριδική προσομοίωση,
- μοντέλο ζήτησης μετακίνησης, που περιλαμβάνει τη γένεση των οχημάτων για μετακίνηση, την κατανομή τους στο δίκτυο, καθώς και τον καταμερισμό τους σε διαδρομές μετακίνησης,
- ενσωματωμένο προσομοιωτή πεζών από τη LEGION που εκτελείται από το μικροσκοπικό προσομοιωτή του AIMSUN,
- δυνατότητα εισαγωγής νέων προγραμμάτων από τους χρήστες χρησιμοποιώντας την γλώσσα προγραμματισμού Python και C++,
- δυνατότητα σύνδεσης εξωτερικών προγραμματιστικών εφαρμογών API (Application Programming Interface) που δίνουν το πλεονέκτημα στο χρήστη να μπορεί να επέμβει οποιαδήποτε στιγμή στο προσομοιωμένο δίκτυο και να πραγματοποιήσει αλλαγές. Επιπλέον, το AIMSUN μπορεί να εφαρμόσει έναν δικό του έλεγχο κυκλοφορίας με στόχο τη βελτιστοποίηση του προβλήματος.

2.7.2. Η βασική δομή του προγράμματος

Στο **σχήμα 2-2**, απεικονίζεται το περιβάλλον του προγράμματος AIMSUN και πως ενσωματώνεται σε αυτό η μικροσκοπική και μεσοσκοπική προσομοίωση. Θα μπορούσε κάποιος να χαρακτηρίσει την δομή του λογισμικού ότι αποτελείται από τρεις πυλώνες. Οι δύο ακριανοί πυλώνες, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα, ουσιαστικά αποτελούν δευτερεύοντες πυλώνες. Ο ένας αποτελεί την είσοδο των στοιχείων (σε πολλών ειδών μορφές) στο λογισμικό, και ο άλλος πυλώνας προσφέρει τη δυνατότητα στο χρήστη να μπορεί να επεξεργαστεί και να καθορίσει το πως θέλει να εκτελεστεί η προσομοίωση, ανάλογα με τις ανάγκες που έχει. Τέλος, ο τρίτος πυλώνας αποτελεί και τον πυρήνα της όλης διαδικασίας. Σε αυτόν, συγκεντρώνονται όλα τα στοιχεία από τους άλλους δύο πυλώνες και πραγματοποιείται η προσομοίωση του δικτύου. Μετά το πέρας της προσομοίωσης τα στοιχεία αποθηκεύονται σε μία βάση δεδομένων που δημιουργεί το πρόγραμμα κατά το στάδιο της εκτέλεσής του.



Σχήμα 2-2: Βασικό περιβάλλον του λογισμικού κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN, (Πηγή: Aimsun 8 Users' Manual. 2015. TSS – Transport Simulation Systems).

Όσον αφορά την προσομοίωση σε μικροσκοπικό επίπεδο, η συμπεριφορά του κάθε οχήματος, που μετακινείται μέσα στο προσομοιωμένο δίκτυο, διαμορφώνεται συνεχώς καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου προσομοίωσης που έχει οριστεί, και η μετακίνηση αυτή εκτελείται με διάφορα μοντέλα συμπεριφοράς οχήματος, όπως το μοντέλο ακολουθία οχήματος (car-following) και αλλαγής λωρίδας (lane-changing). Ο μικροσκοπικός προσομοιωτής του AIMSUN αποτελεί ένα συνδυασμό διακριτού και συνεχούς συστήματος προσομοίωσης. Αυτό σημαίνει πως, υπάρχουν ορισμένα στοιχεία του συστήματος όπως, οχήματα και φορατές, των οποίων οι καταστάσεις αλλάζουν συνεχώς κατά τη διάρκεια του χρόνου προσομοίωσης που έχει οριστεί. Ενώ υπάρχουν και κάποια άλλα στοιχεία όπως, φωτεινοί σηματοδότες, που αλλάζουν διακριτικά σε συγκεκριμένους χρόνους μέσα στον προσομοιωμένο χρόνο της προσομοίωσης. Το AIMSUN πραγματοποιεί μία πολύ λεπτομερή προσομοίωση του κυκλοφοριακού δικτύου και υπάρχει διάκριση των διαφορετικών τύπων οχημάτων, καθώς και των χαρακτηριστικών των οδηγών.

Στη μεσοσκοπική προσομοίωση, το όχημα προσομοιώνεται ως μεμονωμένη οντότητα, ακριβώς όπως και στο μικροσκοπικό επίπεδο, αλλά τα μοντέλα συμπεριφοράς οχήματος απλοποιούνται σε ένα βαθμό.

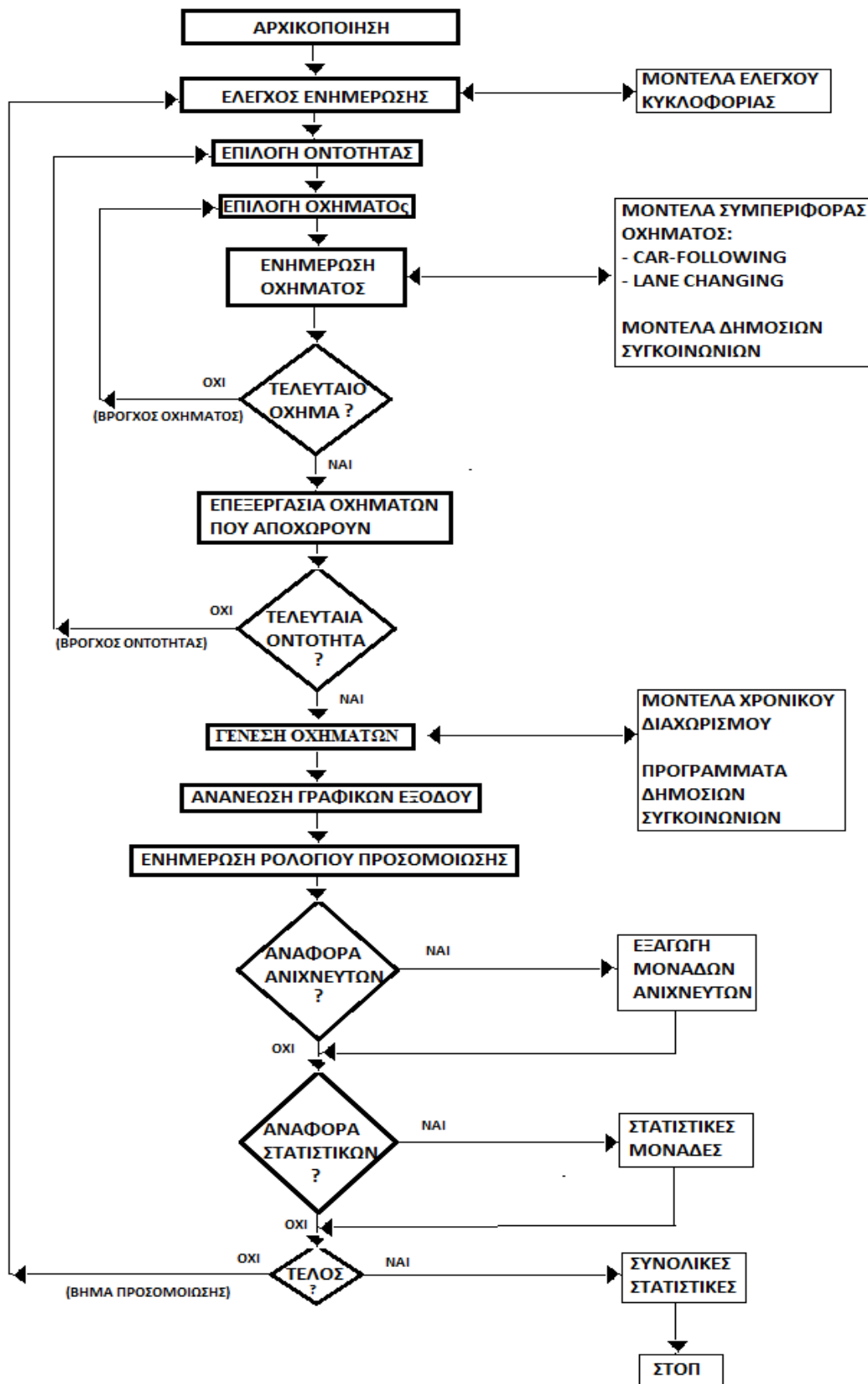
Στην υβριδική προσομοίωση, εφαρμόζεται ταυτόχρονα η μικροσκοπική και η μεσοσκοπική προσομοίωση. Η μικροσκοπική εκτελείται σε ορισμένες επιλεγμένες περιοχές, ενώ στις υπόλοιπες η μεσοσκοπική. Το υβριδικό μοντέλο, εφαρμόζεται κυρίως σε μεγάλης κλίμακας δίκτυα, όπου σε μερικές περιοχές, όπως αστικά κέντρα, απαιτείται μεγαλύτερο επίπεδο λεπτομέρειας οπότε εκεί πραγματοποιείται μικροσκοπική προσομοίωση. Στο υπόλοιπο δίκτυο, εκτελείται μεσοσκοπική προσομοίωση, που απαιτεί και λιγότερο υπολογιστικό χρόνος, αλλά με αξιόπιστα αποτελέσματα.

2.7.3. Διαδικασία μικροσκοπικής προσομοίωσης

Η λογική της διαδικασίας της προσομοίωσης σε μικροσκοπικό επίπεδο του AIMSUN παρουσιάζεται στο **σχήμα 2-3**, (για την περίπτωση που δεν χρησιμοποιούνται πίνακες προέλευσης-προορισμού για την εισαγωγή της ζήτησης στο δίκτυο). Σε κάθε χρονικό διάστημα, δηλαδή στάδιο προσομοίωσης, ο κύκλος προσομοίωσης ενημερώνει τη λίστα προγραμματισμού ξαφνικών συμβάντων, όπως είναι οι αλλαγές στους φωτεινούς σηματοδότες. Μετά από τη διαδικασία ενημέρωσης, ξεκινάει μία επαναληπτική διαδικασία που εξετάζει όλα τα στοιχεία του δικτύου, όπως τα οδικά τμήματα, τα σημεία διασταυρώσεων, καθώς επίσης και τη θέση και την κατάσταση του κάθε οχήματος μέσα στο δίκτυο. Αφού ενημερωθεί και αυτή η διαδικασία, ο προσομοιωτής εκτελεί τις υπόλοιπες λειτουργίες, όπως η εισαγωγή νέων οχημάτων, η συλλογή νέων δεδομένων κ.α.

Η εισαγωγή/είσοδος νέων οχημάτων στο δίκτυο εκτελείται με βάση τις διαδικασίες γένεσης οχημάτων, χρησιμοποιώντας δύο τρόπους:

- Εισαγωγή οχημάτων στο δίκτυο από τους επιμέρους συνδέσμους και στη συνέχεια διαχωρισμός τους στους κατάντη επιμέρους συνδέσμους στον αμέσως κατάντη κόμβο. Τα οχήματα διαχωρίζονται με βάση τα ποσοστά των στρεφουσών στον κάθε κόμβο.
- Εισαγωγή πινάκων προέλευσης-προορισμού, που καθορίζει εξαρχής τον σύνδεσμο από τον οποίο θα εισέλθει και τον σύνδεσμο από τον οποίο θα εξέλθει.



Σχήμα 2-3: Διαδικασία μικροσκοπικής προσομοίωσης στο λογισμικό κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN, (Πηγή: Aimsun 8 Users' Manual. 2015. TSS – Transport Simulation Systems).

2.7.4. Προσομοίωση κίνησης οχημάτων – βήμα προσομοίωσης

Κατά τη διάρκεια της κίνησης των οχημάτων μέσα στο προσομοιωμένο δίκτυο που έχει σχεδιαστεί, τα οχήματα ενημερώνονται σύμφωνα με τα πρότυπα ακολουθώντας οχήματος και αλλαγής λωρίδας. Οι οδηγοί επιθυμούν να κινούνται με τη μέγιστη επιθυμητή ταχύτητά τους. Το περιβάλλον στο οποίο όμως κινούνται και το οποίο καθορίζεται από το προπορευόμενο όχημα, τα γειτονικά οχήματα, οι φωτεινοί σηματοδότες, τα σήματα οδικής κυκλοφορίας, κ.α., την κάθε χρονική στιγμή, είναι αυτό που επηρεάζει τη συμπεριφορά τους. Ο χρόνος προσομοίωσης χωρίζεται σε μικρά χρονικά διαστήματα που ονομάζονται κύκλοι προσομοίωσης ή βήματα προσομοίωσης Δt. Δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να ρυθμίσει αυτήν την τιμή σε εύρος 0,1-1,5 δλ.

Σε κάθε κύκλο προσομοίωσης υπολογίζεται και ενημερώνεται η θέση και η ταχύτητα του κάθε οχήματος που βρίσκεται μέσα στο δίκτυο. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται με βάση τους αλγόριθμους αλλαγής λωρίδας και ακολουθώντας οχήματος.

Μόλις ενημερωθούν όλα τα οχήματα για το τρέχον βήμα προσομοίωσης, τα οχήματα που πρόκειται να φτάσουν στον προορισμό τους (δηλαδή την έξοδό τους από το δίκτυο) κατά τη διάρκεια αυτού του βήματος προσομοίωσης, καταγράφονται στα στοιχεία/αποτελέσματα του προγράμματος.

2.7.4.1. Μοντέλο ακολουθίας οχημάτων (car-following)

Το μοντέλο ακολουθίας οχημάτων που εφαρμόζεται στο AIMSUN βασίζεται στο πρότυπο του Gipps (Gipps 1981 και 1986b). Αποτελεί μια ad-hoc εκδοχή του προτύπου υποδείγματος, όπου οι παράμετροι του μοντέλου αυτού δεν είναι καθολικές αλλά καθορίζονται από την επίδραση τοπικών παραμέτρων ανάλογα με τον τύπο του οδηγού, δηλαδή το πόσο αποδέχεται ο οδηγός το επιτρεπόμενο όριο ταχύτητας, τη γεωμετρία του οδικού τμήματος (όριο ταχύτητας στο τμήμα που βρίσκεται, όρια ταχύτητας στις στροφές αν υπάρχουν κ.α.), καθώς και από την επίδραση των γειτονικών οχημάτων.

Γενικά, το πρότυπο αποτελείται από δύο χαρακτηριστικά στοιχεία, την επιτάχυνση και την επιβράδυνση. Η επιτάχυνση αντιπροσωπεύει την πρόθεση που έχει ο οδηγός του οχήματος να αποκτήσει την επιθυμητή του ταχύτητα. Η επιβράδυνση, δηλώνει τους περιορισμούς που ουσιαστικά επιβάλλει το προπορευόμενο όχημα όταν το εξεταζόμενο όχημα προσπαθεί να προσεγγίσει την επιθυμητή ταχύτητα.

2.7.4.2. Μοντέλο αλλαγής λωρίδας (Lane changing)

Το μοντέλο αλλαγής λωρίδας βασίζεται και αυτό σε μια ad hoc εκδοχή του μοντέλου αλλαγής λωρίδας του Gipps (Gipps 1986a και 1986b). Η αλλαγή λωρίδας διαμορφώνεται ως μία διαδικασία λήψης αποφάσεων από τους οδηγούς, σχετικά με:

- την αναγκαιότητα αλλαγής λωρίδας,
- την επιθυμία αλλαγής λωρίδας (στην περίπτωση που το προπορευόμενο όχημα είναι πιο αργό και ο οδηγός του εξεταζόμενου οχήματος για να αποκτήσει την επιθυμητή του ταχύτητα αναγκάζεται να αλλάξει λωρίδα),
- τις συνθήκες σκοπιμότητας για την αλλαγή λωρίδας σε τοπικό επίπεδο, ανάλογα με τη θέση του οχήματος στο οδικό δίκτυο.

Για να επιτευχθεί μια ακριβέστερη αναπαράσταση της συμπεριφοράς του οδηγού στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, εξετάζονται τρεις διαφορετικές ζώνες μέσα στο οδικό τμήμα

πριν την πραγματοποίηση του ελιγμού αλλαγής λωρίδας, και κάθε ζώνη αντιστοιχεί σε διαφορετικό κίνητρο αλλαγής λωρίδας. Οι ζώνες αυτές ορίζονται ως:

Ζώνη 1: Είναι η ζώνη που βρίσκεται πιο μακριά από το σημείο που θα πραγματοποιηθεί η αλλαγή. Η απόφαση αλλαγής λωρίδας εξαρτάται κυρίως από τις συνθήκες κυκλοφορίας που επικρατούν στις σχετικές λωρίδες.

Ζώνη 2: Αποτελεί μία ενδιάμεση ζώνη. Στην ζώνη αυτή, τα οχήματα αρχίζουν τη διαδικασία αναζήτησης κάποιου αποδεκτού διακενού στις γειτονικές λωρίδες, χωρίς όμως να επηρεάζουν τα οχήματα που κινούνται σε αυτές τις λωρίδες.

Ζώνη 3: Είναι η πιο κοντινή ζώνη πριν εκτελεστεί η αλλαγή κατεύθυνσης του οχήματος. Τα οχήματα εξαναγκάζονται στο να φτάσουν στην επιθυμητή λωρίδα που θα τους οδηγήσει στην αλλαγή της κατεύθυνσης. Κατά τη διάρκεια της πορείας τους στη λωρίδα που βρίσκονται, υπάρχει περίπτωση να αναγκαστούν να μειώσουν ταχύτητα ή ακόμα και να σταματήσουν τελείως έτσι ώστε να μπορέσουν να μεταβούν στην επιθυμητή λωρίδα. Στην περίπτωση αυτή, τα οχήματα που κινούνται στην παρακείμενη λωρίδα μπορεί να αλλάξουν τελείως συμπεριφορά τους (δηλαδή, να σταματήσουν ή να μειώσουν ταχύτητα), έτσι ώστε να δημιουργήσουν ένα κενό που είναι αρκετά μεγάλο και το όχημα της διπλανής λωρίδας να μπορέσει να εισέλθει και αυτό στη λωρίδα αυτή.

2.8. Αξιολόγηση επιπτώσεων σε μακροσκοπικά μεγέθη με χρήση μικροσκοπικών προγραμμάτων προσομοίωσης

Καθώς δεν έχουν πραγματοποιηθεί διερευνήσεις για την αναγωγή των επιπτώσεων της χρήσης του κινητού τηλεφώνου κατά την οδήγηση σε μακροσκοπικά μεγέθη μέσω προσομοίωσης, παρουσιάζονται στην παρούσα ενότητα δύο σχετικές έρευνες. Η πρώτη έρευνα αφορά την προσομοίωση του εξελιγμένου συστήματος προσαρμογής ταχύτητας μέσω του μικροσκοπικού προγράμματος προσομοίωσης DRACULA, που χρησιμοποιεί το πρότυπο ακολουθίας οχήματος του Gipps. Η δεύτερη έρευνα αφορά την επιρροή της χρήσης του κινητού τηλεφώνου στην κυκλοφοριακή ροή μέσω κυψελωτών αυτόματων προτύπων, σε έναν άξονα οδικό.

2.8.1. Χρήση εξελιγμένου συστήματος προσαρμογής της ταχύτητας – Προσομοίωση με το DRACULA

Τα εξελιγμένα συστήματα προσαρμογής ταχύτητας χρησιμοποιούν ειδικές ηλεκτρονικές συσκευές τοποθετημένες μέσα στα οχήματα οι οποίες έχουν την δυνατότητα να ρυθμίζουν αυτόματα την ταχύτητα των οχημάτων. Εκτιμάται πως αποτελούν μία ευέλικτη μέθοδο με την οποία μπορεί κανείς να διαχειρίζεται και να ελέγχει την ταχύτητα, ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές. Τα συστήματα αυτά στοχεύουν στη βελτίωση της οδικής ασφάλειας μέσω της κίνησης των οχημάτων με ταχύτητες που υπερβαίνουν το επιτρεπτό όριο ταχύτητας. Τα σημαντικότερα οφέλη από το σύστημα διαπιστώθηκε ότι αφορούσαν όχι μόνο την ασφάλεια αλλά και την κυκλοφοριακή ροή. Η μοντελοποίηση της προσομοίωσης ενός δικτύου από την άλλη μεριά, παρέχει μια πιο οικονομική αποδοτική μέθοδο και ένα πιο ελεγχόμενο περιβάλλον για την αξιολόγηση των συστημάτων ελέγχου, σε ένα μεγάλο οδικό δίκτυο.

Οι Liu και Tate (2003) προσομοίωσαν το εξελιγμένο σύστημα προσαρμογής ταχύτητας με το πρόγραμμα μικροσκοπικής προσομοίωσης DRACULA, με σκοπό να ερευνήσουν τα αποτελέσματα που θα έχει η χρήση του σε ένα αστικό οδικό δίκτυο.

Το δίκτυο το οποίο προσομοιώθηκε αποτελεί ένα πραγματικό οδικό δίκτυο, την πόλη του Leeds. Καλύπτει δύο ακτινικές διαδρομές και τους γειτονικούς δρόμους του στα ανατολικά της πόλης του Leeds, από τον εξωτερικό περιφερειακό δρόμο προς το κέντρο της πόλης. Διαθέτει 120 διασταυρώσεις και 245 συνδέσμους. Όσον αφορά την ταχύτητα του δικτύου, διαμορφώθηκαν δύο επίπεδα ορίου ταχύτητας. Ένα όριο στα 30 μίλια/ώρα για όλους τους οικιστικούς δρόμους και το άλλο όριο στα 40 μίλια/ώρα για τις δύο ακτινικές διαδρομές. Επιπλέον, υπήρχε και ένα άλλο όριο ταχύτητας στην είσοδο προς τον περιφερειακό δρόμο με 70 μίλια/ώρα. Στο δίκτυο αυτό αξιολογήθηκαν οι επιπτώσεις στην κυκλοφοριακή συμφόρηση, στην κατανομή της ταχύτητας και στο περιβάλλον. Το μικροσκοπικό αυτό μοντέλο ενισχύθηκε έτσι ώστε να μπορέσει να αντιπροσωπεύσει την σύνθετη αλληλεπίδραση μεταξύ των οχημάτων που ελέγχονται από το σύστημα προσαρμογής ταχύτητας καθώς και των άλλων οχημάτων.

Η εφαρμογή του εξελιγμένου συστήματος προσαρμογής ταχύτητας πραγματοποιήθηκε με τον εξής τρόπο: Στην περίπτωση που το όχημα αναπτύξει ταχύτητα μεγαλύτερη από το επιτρεπτό όριο ταχύτητας, τότε εφαρμόζεται σταθερή επιβράδυνση $0,5 \mu/\delta\lambda^2$ έως ότου το όχημα επιβραδύνει μέχρι την τιμή του ορίου ταχύτητας. Συνεπώς, το σύστημα αυτό επιτρέπει στην ταχύτητα ενός οχήματος να ξεπεράσει αρχικά το όριο και στη συνέχεια του επιβάλλεται η παραπάνω επιβράδυνση.

Όσον αφορά το όριο ταχύτητας του εξελιγμένου συστήματος προσαρμογής στο οδικό δίκτυο, έχει τη δυνατότητα να καθοριστεί είτε για ολόκληρο οδικό τμήμα είτε και για συγκεκριμένα σημεία οδικού τμήματος. Το να μπορεί να καθοριστεί σε μεμονωμένα οδικά σημεία είναι πολύ

σημαντικό και πολύ χρήσιμο σε θέσης όπου υπάρχουν επικίνδυνες στροφές είτε και σε θέσεις που υπάρχουν διαβάσεις πεζών και το όριο ταχύτητας θα πρέπει να είναι πολύ χαμηλό.

Τα σενάρια προσομοίωσης αφορούσαν δύο επίπεδα κυκλοφορικού φόρτου (πρωινή περίοδο αιχμής και περίοδο εκτός αιχμής) και αναλογία χρηστών του εξελιγμένου συστήματος που κυμαινόταν (από 0% έως 100%, με βήμα 10%). Με τον καθορισμό της αναλογίας χρηστών δίνεται η δυνατότητα να εξεταστεί και η περίπτωση μιας μεταβατικής περιόδου κατά την οποία μόνο τα καινούργια οχήματα θα μπορούσαν να εξοπλιστούν με το σύστημα αυτό και να διερευνηθούν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των εξοπλισμένων και μη εξοπλισμένων οχημάτων.

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι:

- Στην πρωινή περίοδο αιχμής οι μέσες ταχύτητες ήταν ήδη πολύ χαμηλές λόγω της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Ως εκτούτο δεν υπήρχαν καθόλου ή πολύ μικρές αλλαγές στο συνολικό χρόνο μετακίνησης, στη μέση ταχύτητα και τις εκπομπές ρύπων.
- Κατά τη διάρκεια της περιόδου εκτός αιχμής, υπήρξε σημαντική μείωση της ταχύτητας με την εφαρμογή του εξελιγμένου συστήματος. Οι υψηλές ταχύτητες υπέστησαν σημαντική μείωση. Αυτό όμως οδήγησε στην αύξηση του χρόνου μετακίνησης.
- Η διακύμανση της ταχύτητας μειώθηκε λόγω της μείωσης της ταχύτητας κίνησης. Αυτό θα μπορούσε να συμβάλει θετικά στη μείωση των συγκρούσεων μεταξύ των οχημάτων και παράλληλα στη μείωση της σοβαρότητας των ατυχημάτων.
- Κατά τη διάρκεια της περιόδου της πρωινής αιχμής και αυτής εκτός αιχμής, όσο αυξανόταν η αναλογία χρηστών με ενσωματωμένο το εξελιγμένο σύστημα προσαρμογής ταχύτητας η κατανάλωση καυσίμου μειώθηκε κατά 8% περίπου.
- Όσον αφορά τις συνολικές εκπομπές ρύπων, δεν διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές με την αύξηση της αναλογίας των οδηγών που χρησιμοποιούν το εξελιγμένο σύστημα.

2.8.2. Χρήση κινητού τηλεφώνου – προσομοίωση με Cellular Automata

Οι Xiao και Shi (2015) διερεύνησαν τις επιπτώσεις της συμπεριφοράς των οδηγών που χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο κατά τη διάρκεια της οδήγησης, στην κυκλοφοριακή ροή, στην κυκλοφοριακή απόδοση καθώς και στην ασφάλεια του δρόμου. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε με βάση τα κυβελωτά αυτόματα πρότυπα και συγκεκριμένα το μοντέλο Nagel – Schreckenberg (1992).

Για την καλύτερη ανάλυση της κυκλοφοριακής ροής και της πυκνότητας των οχημάτων, το οδικό δίκτυο το οποίο προσομοιώθηκε αποτελούσε έναν κλειστό αυτοκινητόδρομο, μήκους 2 χλμ και αποτελούνταν από δύο λωρίδες κυκλοφορίας, μίας κατεύθυνσης.

Τα σενάρια προσομοίωσης τα οποία δημιουργήθηκαν αφορούσαν την πιθανότητα των οδηγών να χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο κατά τη διάρκεια της οδήγησης στα αντίστοιχα ποσοστά (0,05% - 0,5% - 1,0% - 5,0%), καθώς επίσης και τις διαφορετικές πυκνότητες των οχημάτων μέσα στο οδικό δίκτυο (10 – 20 – 40 – 80 – 120, οχήματα/χλμ).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, διαπιστώθηκε ότι:

- Όταν η πιθανότητα των οδηγών να χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο ήταν χαμηλή δημιουργήθηκε μία μικρή αρνητική επίδραση στην κυκλοφοριακή ροή.
- Κάτω από συνθήκες υψηλής πυκνότητας, η κυκλοφοριακή ροή μειώθηκε σημαντικά ανεξαρτήτως της αναλογίας των οδηγών που χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο ήταν μεγάλη ή μικρή.

- Κάτω από συνθήκες χαμηλής πυκνότητας, δεν μειώθηκε σημαντικά η κυκλοφοριακή ροή, ανεξαρτήτως της αναλογίας χρηστών.
- Η μέση ταχύτητα μειώθηκε όταν αυξήθηκε η αναλογία των χρηστών που κάνουν χρήση του κινητού τηλεφώνου, και αυτό ήταν πιο εμφανές όταν η πυκνότητα στο οδικό δίκτυο ήταν χαμηλή.
- Κάτω από συνθήκες χαμηλής πυκνότητας, ο κίνδυνος συγκρούσεων αυξήθηκε όταν η αναλογία των χρηστών ήταν μεγαλύτερη.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Σύνοψη

Το κεφάλαιο αυτό αφορά στο μεθοδολογικό πλαίσιο που ακολουθήθηκε για τη σχεδίαση του οδικού δικτύου, τη δημιουργία των προσομοιώσεων και την επεξεργασία των δεδομένων για την επίτευξη του σκοπού της εργασίας. Στην αρχή, αναλύεται το οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης που επιλέχθηκε, καθώς, και τα στοιχεία τα οποία καταγράφηκαν και επεξεργάστηκαν από τις εργασίες πεδίου που πραγματοποιήθηκαν. Έπειτα, πραγματοποιείται μια εκτενής περιγραφεί του προγράμματος κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία. Επιπλέον, τονίζεται ο τρόπος με τον οποίο το οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης εισήχθη στο πρόγραμμα, και παρουσιάζεται η λεπτομερής ανάλυση και η σχεδίαση διαφορετικών μορφών κόμβων που συναντήθηκαν στην περιοχή μελέτης. Στη συνέχεια, αναφέρονται τα σενάρια τα οποία δημιουργήθηκαν αλλά και οι παράμετροι που επηρέαζαν το σχεδιασμό των σεναρίων. Στο τέλος του κεφαλαίου αυτού, παρουσιάζονται τα κυκλοφοριακά μεγέθη τα οποία εξάγει το πρόγραμμα και πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες αξιολόγησης για τον προσδιορισμό των επιπτώσεων της χρήσης του κινητού τηλεφώνου κατά την οδήγηση.

3.1. Περιοχή έρευνας

Για τον σκοπό της διπλωματικής εργασίας κρίθηκε καταλληλότερο το οδικό δίκτυο το οποίο θα επιλεγόταν να είναι μεγάλης κλίμακας και να αποτελείται τόσο από αστικά, όσο και από υπεραστικά τμήματα, έτσι ώστε να μπορέσει να διερευνηθεί η επίδραση που έχει το κινητό τηλέφωνο κατά τη διάρκεια της οδήγησης, όχι μόνο σε επίπεδο αστικής περιοχής αλλά και υπεραστικής περιοχής. Η περιοχή η οποία επιλέχθηκε είναι η πόλη των Χανίων αλλά και της ευρύτερης περιοχής της.

Τα Χανιά είναι μία παραθαλάσσια πόλη, βρίσκονται στο βορειοδυτικό τμήμα της Κρήτης. Τα Χανιά καταλαμβάνουν έκταση περίπου 13 τετραγωνικά χιλιόμετρα και αποτελούν τη δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Κρήτης, μετά το Ηράκλειο, με το νόμιμο πληθυσμό (δημότες) να ανέρχεται στους 84,527 κατοίκους για το Δήμο Χανίων (με βάση την απογραφή του 2011). Επιπλέον, τα Χανιά αποτελούν έναν από τους πιο τουριστικούς προορισμούς της Ελλάδας. Τους καλοκαιρινούς μήνες ο πληθυσμός στην πόλη αυξάνεται κατά 50%. Όσον αφορά τα στοιχεία για κάθε δημοτική ενότητα, του Δήμου, αυτά είναι:

Πίνακας 3-1: Δημογραφικά στοιχεία Χανίων ανά δημοτική ενότητα, (Πηγή: www.chania.gr/dhmografika).

Περιγραφή	Νόμιμος Πληθυσμός 2011
ΔΗΜΟΣ ΧΑΝΙΩΝ	84,527
Δημοτική ενότητα Χανίων	48,061
Δημοτική ενότητα Ακρωτηρίου	7,775
Δημοτική ενότητα Ελευθέριου Βενιζέλου	8,872
Δημοτική ενότητα Θερίσου	6,000
Δημοτική ενότητα Κεραμιών	1,691
Δημοτική ενότητα Νέας Κυδωνίας	6,689
Δημοτική ενότητα Σούδας	5,439

Τα όρια του δικτύου της πόλης των Χανίων και της ευρύτερης περιοχής τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση, καταλαμβάνουν μία έκταση περίπου 35 τετραγωνικών χιλιομέτρων και ορίζονται από:

- Την Ανατολική πλευρά: το οδικό δίκτυο το οποίο αναπαραστήθηκε ξεκινάει από τον πρώτο κυκλικό κόμβο στην περιοχή Κορακίες (που κατευθύνεται προς αεροδρόμιο) της δημοτικής ενότητας Ακρωτηρίου.
- Τη Νότια πλευρά: αναπαραστήθηκε όλο το κύριο δίκτυο μέχρι τα όρια της Εθνικής οδού και τα οδικά δίκτυα που συνδέουν τη δημοτική ενότητα Χανίων με τις δημοτικές ενότητες Σούδας, Ελευθέριου Βενιζέλου, Θερίσου και Νέας Κυδωνίας.
- Τη Δυτική πλευρά: έχει αναπαραστηθεί το οδικό δίκτυο μέχρι και τον κόμβο Κλαδισό.
- Την Βόρεια πλευρά: στο όρια της Νέας με την Παλιά πόλη Χανίων, επί των οδών Σκαλίδη, Χατζημιχάλη Γιάνναρη, Ελευθέριου Βενιζέλου και Νικηφόρου Φωκά.

3.1.1. Κόμβοι και διασταυρώσεις του οδικού δικτύου

Ο Δήμος Χανίων και συγκεκριμένα το τμήμα Ηλεκτροφωτισμού και Φωτεινής σηματοδότησης με προϊστάμενο τον κ. Γαβριήλ Μαρινάκη είναι υπεύθυνο για τη ρύθμιση της φωτεινής σηματοδότησης και τα όποια προβλήματα δημιουργούνται στον Δήμο Χανίων. Από το 1982 στο κέντρο στα Χανιά λειτουργούσαν συνολικά 9 κόμβοι με φωτεινή σηματοδότηση. Το 1990 οι κόμβοι με φωτεινή σηματοδότηση έγιναν 15, το 1999, έγιναν 25 και έως το 2010 λειτουργούσαν 38 κόμβοι με φωτεινή σηματοδότηση. Σήμερα, το 2018, λειτουργούν στην ευρύτερη περιοχή των Χανίων συνολικά 43 κόμβοι (με βάση τα όρια που τέθηκαν προηγουμένως).

Θα πρέπει να τονισθεί πως, στα Χανιά από τα μέσα του 2013 λειτουργεί ένα πλήρες αυτοματοποιημένο ηλεκτρονικό πρόγραμμα για τη ρύθμιση και το συντονισμό των φωτεινών σηματοδοτών. Το πρόγραμμα αυτό ονομάζεται TUC, και ρυθμίζει σε πραγματικό χρόνο τους φωτεινούς σηματοδότες. Πιο συγκεκριμένα, οι χρόνοι φωτεινής σηματοδότησης (πρασίνου) επαναπροσδιορίζονται με βάση τα στοιχεία κυκλοφοριακών φόρτων που συλλέγονται από φορατές τοποθετημένους σε κατάλληλες θέσεις. Το σύστημα αυτό λειτουργεί σε κόμβους με φωτεινή σηματοδότηση που βρίσκονται κυρίως στο κέντρο. Το πρόγραμμα αυτό λειτουργεί με συνεργασία μεταξύ του Πολυτεχνείου Κρήτης, με υπεύθυνο τον καθηγητή Μ. Παπαγεωργίου, και του τμήματος φωτεινής σηματοδότησης και κυκλοφοριακών θεμάτων του Δήμου Χανίων, με υπεύθυνο τον κ. Γαβριήλ Μαρινάκη. Πριν την εφαρμογή του προγράμματος TUC, λειτουργούσε ήδη από το 2000 το πρόγραμμα TAS (Traffic Automatic System). Το πρόγραμμα ουσιαστικά TAS έχει μία βιβλιοθήκη με προγράμματα σταθερού χρόνου τα οποία επιλέγονται και εφαρμόζονται με βάση τον κυκλοφοριακό φόρτο στις προσβάσεις των κόμβων. Τα τελευταία χρόνια λοιπόν, εφαρμόζονται και τα δύο προγράμματα μαζί. Τις ώρες αιχμής λειτουργεί το πρόγραμμα TUC και τις ώρες εκτός αιχμής το πρόγραμμα TAS. Επιπλέον, επισημαίνεται ότι τα προγράμματα TUC και TAS δεν χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας. Οι κύκλοι φωτεινής σηματοδότησης που χρησιμοποιήθηκαν στη διπλωματική εργασία είναι οι χρονικές περιόδους που μετρήθηκαν κατά την ώρα αιχμής. *Αναλυτικά η διαδικασία μέτρησης κύκλων φωτεινής σηματοδότησης θα αναφερθεί σε επόμενη ενότητα.*

Καθώς δεν ήταν δυνατή η προσομοίωση ολόκληρου του οδικού δικτύου της περιοχής μελέτης, επιλέχθηκε να προσομοιωθεί το οδικό δίκτυο που αποτελείται από τους κύριους οδικούς άξονες της πόλης των Χανίων. Με βάση λοιπόν την επιλογή του οδικού δικτύου, προέκυψαν και οι διασταυρώσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την αναπαράσταση του δικτύου στο πρόγραμμα, οι οποίες ανέρχονται στις 175. Από αυτές, οι 132 είναι χωρίς φωτεινή σηματοδότηση, αλλά με πινακίδες προτεραιότητας και οι υπόλοιπες 43 είναι με φωτεινή σηματοδότηση.

3.1.2. Αστικό και υπεραστικό οδικό δίκτυο, όρια ταχύτητας

Το οδικό δίκτυο που επιλέχθηκε για προσομοίωση χωρίστηκε σε δύο κατηγορίες, αστικό και υπεραστικό. Για την κατηγοριοποίηση αυτή λήφθηκαν υπόψη και τα όρια ταχύτητας που υπάρχουν στην περιοχή. Πραγματοποιήθηκε αναγνώριση σε όλο το οδικό δίκτυο για την εύρεση σήμανσης ορίων ταχύτητας. Συνολικά, τα όρια ταχύτητας που υπήρχαν στα οδικά τμήματα που συνδέουν τη δημοτική ενότητα Χανίων με τις άλλες δημοτικές ενότητες Σούδας, Ελευθέριου Βενιζέλου, Θερίσου και Νέας Κυδωνίας ήταν 40, 50 και 60 χλμ/ώρα. Όσον αφορά το κέντρο της πόλης Χανίων, σε μεγάλο τμήμα της δεν υπήρχαν πινακίδες ορίων ταχύτητας παρά μόνο σε κάποια σημεία, με όριο τα 30 χλμ/ώρα ή τα 40 χλμ/ώρα.

Επιπλέον, θα πρέπει να επισημανθεί ότι, το ανώτατο όριο ταχύτητας εντός πόλεως ανέρχεται στα 40 χλμ/ώρα, από 50 που ήταν προηγουμένος και που προέβλεπε ο κώδικας. Το όριο αυτό ορίστηκε το 2008 μετά από αίτημα της τροχαίας του Δήμου Χανίων στην αρμόδια επιτροπή κυκλοφοριακών θεμάτων του Δήμου Χανίων, και το οποίο έγινε δεκτό με ομόφωνη απόφαση της επιτροπής, (αριθμό 257-2008, στα πλαίσια του 3^{ου} πρακτικού).

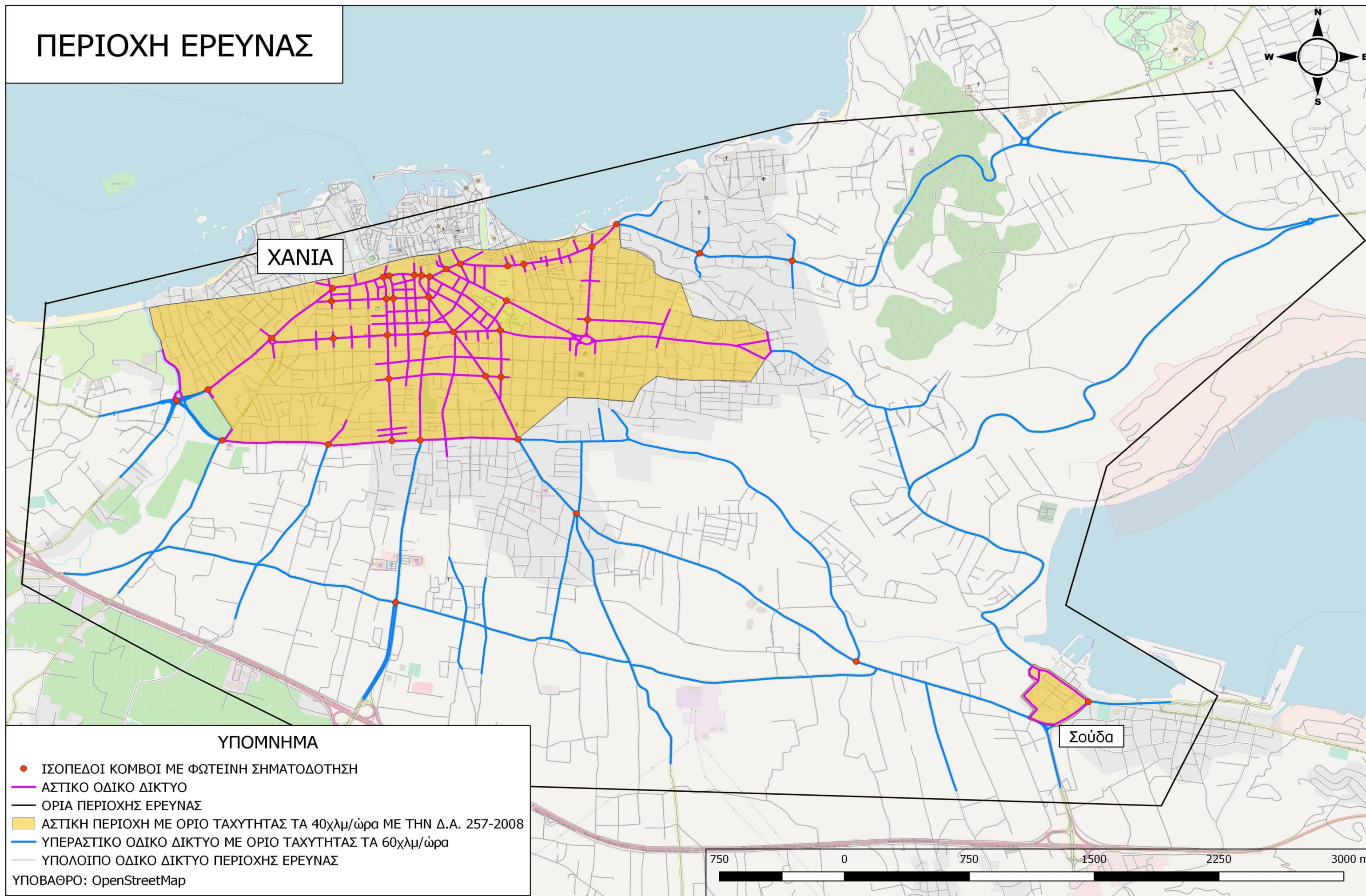
Η οριοθέτηση της περιοχής εντός πόλεως με όριο ταχύτητας 40 χλμ/ώρα, είναι:

- Από την Νότια πλευρά, επί της οδού Αναγνώστου Γογονή και προς το εσωτερικό της πόλης.
- Από τη Δυτική πλευρά, επί της οδού Κισσάμου από το ύψος του κόμβου του Κλαδισού και προς το εσωτερικό της πόλης.
- Από την Ανατολική πλευρά, επί της οδού Ηρώων Πολυτεχνείου.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω το οδικό δίκτυο χωρίστηκε σε δύο κατηγορίες, στο αστικό και στο υπεραστικό. Στο αστικό τμήμα, ορίστηκαν ως όριο ταχύτητας τα 40 χλμ/ώρα. Στο υπεραστικό τμήμα ορίστηκαν ως όριο ταχύτητας τα 60 χλμ/ώρα. Επιπλέον, ένα τμήμα κοντά στην είσοδο της Σούδας προσομοιώθηκε ως αστικό, διότι αποτελεί τμήμα της πόλης της Σούδας.

Στον **χάρτη 3-1**, απεικονίζεται η πόλη των Χανίων και η ευρύτερη περιοχή έρευνας. Επίσης, απεικονίζονται τα όρια του οδικού δικτύου και ταυτόχρονα το ‘κύριο’ οδικό δίκτυο το οποίο προσομοιώνεται στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας. Επιπλέον, γίνεται διαχωρισμός του οδικού δικτύου, σε αστικό (με μώβ χρώμα) και σε υπεραστικό (με μπλέ χρώμα). Επίσης, οριοθετείται η αστική περιοχή με όριο ταχύτητας τα 40 χλμ/ώρα, όπως είχε οριστεί με βάση τη Διοικητική Απόφαση του Δήμου Χανίων 257-2008. Τέλος, οι διασταυρώσεις οι οποίες λειτουργούν με φωτεινή σηματοδότηση απεικονίζονται με ένα κόκκινο σημείο (κύκλο).

ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ



Χάρτης 3-1: Περιοχή έρευνας.

3.1.3. Εργασίες πεδίου

Γενικά

Ο προσδιορισμός των στοιχείων που έπρεπε να συλλεχθούν για την ακριβέστερη αποτύπωση του οδικού δικτύου καθορίστηκε με βάση τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης και τα χαρακτηριστικά του AIMSUN. Η καταγραφή των δεδομένων αφορούσε τους κυκλοφοριακούς φόρτους των επιμέρους κινήσεων στους κόμβους (μετρήθηκαν φόρτοι και ποσοστά στρεφουσών) καθώς και τα γεωμετρικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά τους (π.χ. αριθμός λωρίδων, χρόνοι φωτεινής σηματοδότησης).

Σε επικοινωνία με το πολυτεχνείο της Κρήτης και σε συνεννόηση με τον καθηγητή Μ. Παπαγεωργίου παραχωρήθηκε ένα τμήμα του οδικού δικτύου που αφορούσε κυρίως το τμήμα του κέντρου της πόλης των Χανίων, συμπεριλαμβανομένων των κυκλοφοριακών φόρτων, των στρεφουσών κινήσεων σε κάθε κόμβο και προγραμμάτων σηματοδότησης για το συγκεκριμένο τμήμα. Το υπόλοιπο δίκτυο αποτελούνταν συνολικά από:

- 62 κόμβους, εκ των οποίων οι 20 λειτουργούν με φωτεινή σηματοδότηση.

Το υπολοιπόμενο αυτό δίκτυο είχε έκταση περίπου 30 τετραγωνικά χιλιόμετρα και συνολικό μήκος 80 χλμ.

Περίοδος μετρήσεων

Τα Χανιά αποτελούν έναν από τους πιο τουριστικούς προορισμούς στην Ελλάδα, και κάθε καλοκαίρι ο πληθυσμός τους σχεδόν διπλασιάζεται. Κυρίως της καθημερινές, τα καταστήματα είναι ανοιχτά από το πρωί μέχρι το μεσημέρι, και κάποιες μέρες όπως Δευτέρα, Τετάρτη και Παρασκευή είναι και το απόγευμα ανοιχτά. Κατά συνέπεια, τις ώρες λειτουργίας των καταστημάτων, και συγκεκριμένα τις καθημερινές από τις 10.00 έως και τις 14.00, υπάρχει αυξημένη κίνηση στους δρόμους από μετακινήσεις με σκοπό τις αγορές αλλά και από μετακινήσεις για εξωτερικές δουλειές. Επιπλέον, ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι αυξημένος από μετακινήσεις που σχετίζονται με το αεροδρόμιο αλλά και από το λιμάνι της Σούδας.

Χρονική διάρκεια

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω και με βάση τις επιτόπιες παρατηρήσεις, αποφασίστηκε ότι η καταλληλότερη ώρα για να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις ήταν από τις 12:00 μέχρι τις 13:00 το μεσημέρι για όλες τις καθημερινές. Επομένως, ο κυκλοφοριακός φόρτος που θα προέκυπτε από κάθε κόμβο θα αποτελούσε τον κυκλοφοριακό φόρτο ώρας αιχμής.

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι για την επίτευξη αντιπροσωπευτικότερων και ακριβέστερων μετρήσεων κυκλοφοριακών φόρτων, όταν αποφασιστεί η ημέρα και η ώρα, θα πρέπει οι μετρήσεις να πραγματοποιούνται στο ίδιο χρονικό διάστημα στην περίπτωση που υπάρχουν περισσότεροι κόμβοι ή διασταύρωσεις.

Στο οδικό τμήμα στο οποίο θα πραγματοποιηθούν μετρήσεις, υπάρχουν συνολικά 62 κόμβοι κατά συνέπεια, καθώς δεν υπάρχει ο κατάλληλος εξοπλισμός, ήταν αδύνατο να μετρηθούν οι κυκλοφοριακοί φόρτοι ταυτόχρονα σε όλους τους κόμβους. Για το λόγο αποφασίστηκε μια περίοδος περίπου 2 μηνών, από τον Ιούλιο μέχρι και τον Αύγουστο, στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, τις καθημερινές μέρες και ώρες.

Οι ημέρες των μετρήσεων στους επιμέρους κόμβους οργανώθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο αντιπροσωπευτικές. Για παράδειγμα, στις περιπτώσεις που

ένα οδικό τμήμα αποτελούνταν συνολικά από 4 γειτονικούς κόμβους οι μετρήσεις των φόρτων σε αυτούς πραγματοποιούνταν ως εξής:

- Στον 1^ο κόμβο – 1^η εβδομάδα Δευτέρα 12:00 – 13:00.
- Στον 2^ο κόμβο – 2^η εβδομάδα Δευτέρα 12:00 – 13:00.
- Στον 3^ο κόμβο – 3^η εβδομάδα Δευτέρα 12:00 – 13:00.
- Στον 4^ο κόμβο – 4^η εβδομάδα Δευτέρα 12:00 – 13:00.

Με τον τρόπο αυτό οι κυκλοφοριακοί φόρτοι που μετρήθηκαν ήταν πιο αντιπροσωπευτικοί. Αυτό επιβεβαιώθηκε από τα αποτελέσματα των κυκλοφοριακών φόρτων που προέκυψαν, όπου οι επιμέρους φόρτοι σχεδόν ταυτίζονταν.

Επιπλέον για να μειωθεί το σφάλμα των μετρήσεων των φόρτων, σε κάποιες διασταυρώσεις μέσα στο κέντρο της πόλης έγιναν μετρήσεις ταυτόχρονα σε 2 διασταυρώσεις, με τη χρήση κάμερας. Στη μια διασταύρωση είχε τοποθετηθεί κάμερα και στη διπλανή διασταύρωση πραγματοποιούνταν μετρήσεις στο ίδιο χρονικό διάστημα με παρατηρητή.

Σύνθεση κυκλοφορίας

Τα οχήματα που θα προσομοιωθούν στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας στο δίκτυο θα είναι μόνο επιβατικά οχήματα ΙΧ. Για το σκοπό αυτό θα πρέπει οι κυκλοφοριακοί φόρτοι που μετρήθηκαν σε κάθε κόμβο να μετατρέπονται σε ΜΕΑ (Μονάδες Επιβατικών Αυτοκινήτων).

Η σύνθεση της κυκλοφορίας που μετρήθηκε αφορά διακριτές κατηγορίες οχημάτων, όπως δίκυκλα, επιβατικά οχήματα ΙΧ, λεωφορεία, φορτηγά και άλλα βαρέα οχήματα. Για να μετατραπούν οι διάφορες κατηγορίες οχημάτων σε συγκρίσιμες μονάδες, από άποψη κυκλοφοριακής ικανότητας, χρησιμοποιήθηκε το επιβατικό αυτοκίνητο και οι φόρτοι μετατράπηκαν σε ΜΕΑ.

Κάθε κατηγορία οχήματος έχει διαφορετική τιμή αναγωγής σε ΜΕΑ, καθώς συμπεριφέρεται με διαφορετικό τρόπο, καταλαμβάνει διαφορετικό χώρο, κινείται με διαφορετικές ταχύτητες, διαθέτει διαφορετικά περιθώρια ασφάλειας και διαφορετικές δυνατότητες ελιγμών. Οι τιμές ΜΕΑ για κάθε κατηγορία οχημάτων που ισχύουν για την Ελλάδα, τις οποίες έχει καθορίσει το ΥΠΕΧΩΔΕ, παρουσιάζονται στον **πίνακα 3-2**.

Πίνακας 3-2: Μονάδες Επιβατικών Οχημάτων (ΥΠΕΧΩΔΕ)

Κατηγορίες Οχημάτων		ΜΕΑ
Κατηγορία I	σκούτερ, μοτοποδήλατα, μοτοσυκλέτες	0.5
Κατηγορία II	επιβατικά ΙΧ, ταξί, ημιφορτηγά, μικρά φορτηγά	1.0
Κατηγορία III	επιβατικά με τροχόσπιτα, μικρο-λεωφορεία, φορτηγά, λεωφορεία και πούλμαν	2.0
Κατηγορία IV	φορτηγά επικαθήμενα, φορτηγά ειδικού φορτίου, τρόλλεϋ, αρθρωτά λεωφορεία	3.0
Κατηγορία V	φορτηγά με ρυμουλκούμενο	4.0
Κατηγορία VI	συρμός φορτηγών	5.0
Κατηγορία VII	άλλα οχήματα (τρακτέρ, κατασκευαστικά οχήματα κ.α.)	-

Συλλεγθέντα στοιχεία

Αρχικά, για την ακριβέστερη αποτύπωση του οδικού δικτύου θα πρέπει να πραγματοποιηθεί καταγραφή του κόμβου στον οποίο θα γίνουν οι μετρήσεις. Τα στοιχεία τα οποία θα πρέπει να καταγραφούν είναι:

- Η μορφή του κόμβου, αν είναι κυκλικός, διασταύρωση, ή μορφής T κ.α.
- Το πλάτος της κάθε διατομής σε κάθε κατεύθυνση.
- Η κλίση του οδικού τμήματος σε κάθε κατεύθυνση.
- Οι λωρίδες σε κάθε κατεύθυνση,
- Οι κινήσεις και οι στρέφουσες που πραγματοποιούνται.

Στη συνέχεια με βάση τα παραπάνω καταγεγραμμένα στοιχεία μετρήθηκαν σε κάθε κόμβο οι κυκλοφοριακοί φόρτοι από κάθε πρόσβαση και με βάση τις κινήσεις του κάθε ρεύματος υπολογίστηκαν και οι στρέφουσες. Στις περιπτώσεις κόμβου με φωτεινή σηματοδότηση μετρούνταν επίσης, από κάθε ρεύμα ή λωρίδα ή κίνηση κυκλοφορίας, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του κάθε κόμβου, η χρονική διάρκεια της πράσινης, της κίτρινης, της κόκκινης ένδειξης και η χρονική διάρκεια του κοινού κόκκινου.

Μέσα καταγραφής

Η καταγραφή των κυκλοφοριακών φόρτων στους περισσότερους κόμβους πραγματοποιήθηκε με βίντεο κάμερα. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία των μετρήσεων και υπολογίστηκαν οι κυκλοφοριακοί φόρτοι για κάθε κίνηση και ρεύμα και τα ποσοστά των στρεφουσών. Στην περίπτωση που ο κόμβος λειτουργούσε και με φωτεινή σηματοδότηση, η καταγραφή των χρονικών ενδείξεων για το πράσινο, κόκκινο και κοινό κόκκινο για κάθε ρεύμα ή λωρίδα ή κίνηση γινόταν ταυτόχρονα με το χρονικό διάστημα καταγραφής κάμερας.

Η κάμερα η οποία χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των κυκλοφοριακών φόρτων ήταν η ROLLEI 425 της οποίας ο φακός είναι ευρυγώνιος 170°. Αυτό δίνει τη δυνατότητα μεγαλύτερης κάλυψης του πεδίου καταγραφής, με αποτέλεσμα στις αστικές περιοχές, όπου δεν υπήρχε η δυνατότητα περισσώτερου χώρου, η κάμερα να είχε τη δυνατότητά να τοποθετηθεί σε κοντινή απόσταση από τη διασταύρωση.

Μία επιπλέον παράμετρο στην οργάνωση των μετρήσεων ήταν ο προσδιορισμός του ύψους της κάμερας από το έδαφος. Η κάμερα θα έπρεπε να τοποθετηθεί σε ένα ικανοποιητικό ύψος έτσι ώστε να καταγράφει με άνεση όλα τα οχήματα που θα διέρχονταν και η καταγραφή να μην εμποδιζόταν από στοιχεία του περιβάλλοντα χώρου. Ο τρίποδας ο οποίος επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί έφτανε μέχρι και το ύψος των 1,80 μέτρων. Αυτό φάνηκε να αποτελεί ένα ικανοποιητικό ύψος το οποίο δεν δημιουργούσε διακοπτόμενες καταγραφές και μπορούσε να καταγράψει πάνω από τυχόν σταθμευμένα οχήματα. Παρακάτω απεικονίζονται η κάμερα και ο τρίποδας που χρησιμοποιήθηκαν για την καταγραφή του κυκλοφοριακού φόρτου.



Εικόνα 3-1: Κάμερα και τρίποδας που χρησιμοποιήθηκαν για την καταγραφή του κυκλοφοριακού φόρτου.

Παράδειγμα σχεδιασμού ενός κόμβου μορφής T με ελεγχόμενη φωτεινή σηματοδότηση

Παρακάτω παρουσιάζεται ενδεικτικά ένα παράδειγμα για τον σχεδιασμό και την διαδικασία συλλογής στοιχείων σε ένα κόμβο ώστε να είναι δυνατή η ακριβέστερη προσομοίωσή του μέσω του AIMSUN. Ο κόμβος ο οποίος παρουσιάζεται είναι ο κόμβος 46, επί των οδών Ελευθερίου Βενιζέλου και Μανούσου Κούνδουρου. Αποτελεί μία πύλη εισόδου των οχημάτων για το κέντρο των Χανίων.

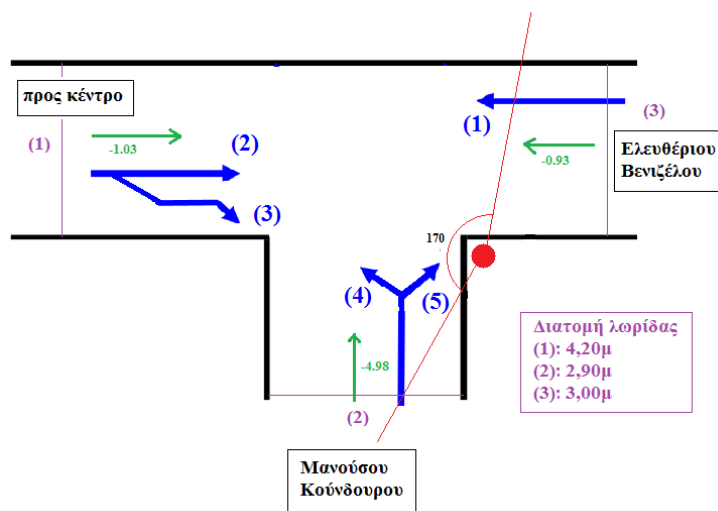


Εικόνα 3-2: Κόμβος με φωτεινή σηματοδότηση επί των οδών Ελ. Βενιζέλου και Μ. Κούνδουρου, στην περιοχή μελέτης (Πηγή: Google Earth Pro).

Σε πρώτη φάση τα στοιχεία τα οποία θα έπρεπε να συλλεχθούν σχετικά με την γεωμετρία του δρόμου είναι οι διατομές από κάθε κατεύθυνση κυκλοφορίας του κόμβου καθώς επίσης και η κλίση που υπάρχει σε κάθε διατομή του κόμβου. Η μέτρηση της κλίσης πραγματοποιήθηκε με μία εφαρμογή από το κινητό τηλέφωνο (τοποθετώντας το πάνω στην ασφαλτο μας έδειχνε την κλίση αν υπήρχε).

Σε δεύτερη φάση θα έπρεπε να βρεθεί ποιά είναι η ιδανική θέση για να τοποθετηθεί η κάμερα με τον τρίποδα, έτσι ώστε να μην μπαίνουν εμπόδια μπροστά της και να υπάρχει πλήρης κάλυψη του κόμβου.

Στην τρίτη και τελευταία φάση καταγράφηκαν οι κινήσεις που πραγματοποιούνται από κάθε ρεύμα. Στο παρακάτω σχέδιο απεικονίζονται όλα τα στοιχεία τα οποία καταγράφηκαν: κινήσεις, διατομές, κλίσεις και η τοποθέτηση της κάμερας.



Εικόνα 3-3: Απεικόνιση καταγραφής στοιχείων του κόμβου 46, της περιοχής μελέτης.

Πιο αναλυτικά και με βάση την παραπάνω αναπαράσταση για τον κόμβο αυτό, έχουμε:

- Από την Νότια είσοδο επί της οδού Μανούσου Κούνδουρου, το ρεύμα έχει μία λωρίδα κυκλοφορίας. Αποτελείται από μία μοιραζόμενη λωρίδα διότι τα οχήματα που κινούνται πάνω σε αυτή μπορούν να πραγματοποιήσουν δύο κινήσεις. Η μία κίνηση είναι (4) αριστερή, με κατεύθυνση προς το κέντρο της πόλης και η άλλη δεξιά (5) επί της οδού Ελ. Βενιζέλου.
- Από την Ανατολική είσοδο επί της οδού Ελ. Βενιζέλου, το ρεύμα έχει μία λωρίδα κυκλοφορίας και η μόνη κίνηση που μπορεί να πραγματοποιηθεί είναι η ευθεία, (1) προς το κέντρο της πόλης.
- Από την Δυτική πλευρά επί της οδού Ελ. Βενιζέλου, το ρεύμα έχει μία λωρίδα κυκλοφορίας στο μεγαλύτερο μήκος της, αλλά πλησίον στον κόμβο χωρίζεται σε δύο λωρίδες με μικρό πλάτος. Η κάθε λωρίδα πραγματοποιεί την δική της κίνηση. Ευθεία συνεχίζει η κίνηση (2) και δεξιά επί της οδού Μανούσου Κούνδουρου η κίνηση (3) με κατεύθυνση προς Αεροδρόμιο/Ακρωτήρι.

Στο παραπάνω σχέδιο απεικονίζεται και η θέση της κάμερας. Η χρονική διάρκεια μέτρησης ήταν η μία ώρα. Πραγματοποιήθηκε επεξεργασία του περιεχομένου της, και τα στοιχεία που προέκυψαν σχετικά με τους κυκλοφοριακούς φόρτους από κάθε κίνηση παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Στην συνέχεια, με βάση τις καταγραφές που δίνουν τη σύνθεση της κυκλοφορίας (επιβατικά οχήματα ΙΧ, δίκυκλα, βαρέα οχήματα και λεωφορεία) και με βάση τις τιμές αναγωγής της κάθε κατηγορίας σε ΜΕΑ, υπολογίστηκε ο κυκλοφοριακός φόρτος σε ΜΕΑ (Μονάδες Επιβατικού Αυτονηκίτου).

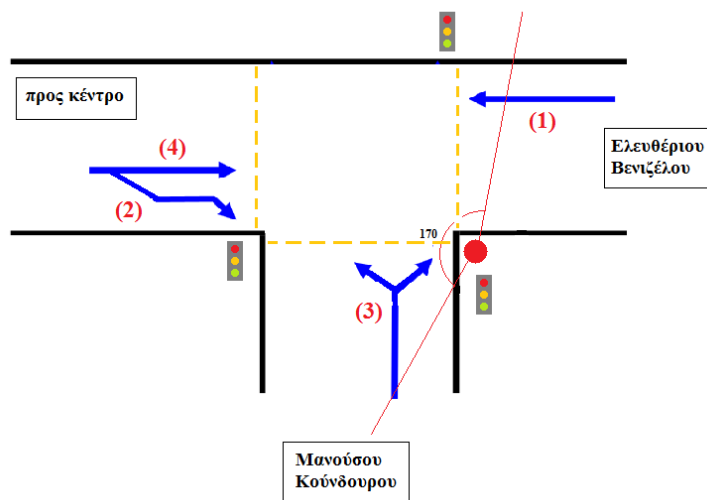
Με βάση λοιπόν, το σύνολο των οχημάτων που διήλθαν από το κάθε ρεύμα και τον αριθμό των οχημάτων που κινήθηκαν σε κάθε κίνηση, υπολογίστηκαν τα ποσοστά στρεφουσών για κάθε κίνηση στις επιμέρους προσβάσεις και τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

Πίνακας 3-3: Αποτελέσματα καταγραφής κυκλοφοριακού φόρτου ανά κατηγορία οχήματος, αναγωγή σε ΜΕΑ και ποσοστά στρεφουσών κινήσεων.

Κόμβος 46					
ΚΑΤ.	ΕΙΔΟΣ	ΟΧΗΜΑΤΑ	ΜΕΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ	ΠΟΣΟΣΤΑ
4	ΙΧ	320	393	398	0.987
	Δ	60			
	Β	9			
	Λ	8			
5	ΙΧ	3	5		
	Δ	4			
	Β	0			
	Λ	0			
2	ΙΧ	178	235	753	0.312
	Δ	64			
	Β	7			
	Λ	2			
3	ΙΧ	427	518		
	Δ	93			
	Β	8			
	Λ	10			
1	ΙΧ	188	245	245	1.000
	Δ	73			
	Β	4			
	Λ	4			

Επόμενη διαδικασία ήταν ο υπολογισμός του προγράμματος της φωτεινής σηματοδότησης. Στην αρχή έπρεπε να γίνει διαχωρισμός των σταδίων που υπάρχουν και μετά σε κάθε στάδιο να βρεθούν ποιές κινήσεις πραγματοποιούνται. Με βάση λοιπόν την καταγραφή που έγινε, ισχύουν τα παρακάτω:

- Στο πρώτο στάδιο πραγματοποιούνταν οι κινήσεις των ρευμάτων (3) και (2).
- Στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιούνταν, οι κινήσεις (1) και (4).



Εικόνα 3-4: Καταγραφή κινήσεων ανά φωτεινό σηματοδότη στον κόμβο 46 της περιοχής μελέτης.

Για τον συγκεκριμένο κόμβο σε κάθε ρεύμα αντιστοιχούσε και από μία κίνηση, εκτός από το ρεύμα (3) στο οποίο αντιστοιχούσαν δύο (κινήσεις αριστερά και δεξιά). Για κάθε φωτεινό σηματοδότη, χρονομετρήθηκε η διάρκεια της πράσινης, της κόκκινης και κίτρινης ένδειξης. Θα πρέπει να τονισθεί πως για την κίνηση (2) ο φωτεινός σηματοδότησης έχει παλλόμενη κίτρινη ένδειξη για 75 από τα 90 δλ που ήταν ο κύκλος. Καθώς μετρήθηκε ο χρόνος σε κάθε κίνηση από το φωτεινό σηματοδότη το άθροισμα της πράσινης, της κόκκινης και της κίτρινης ένδειξης μας έδινε τον κύκλο του προγράμματος. Για επαλήθευση της χρονικής διάρκειας μετρήθηκε κάθε φωτεινός σηματοδότης από 2 - 4 φορές. Ο κύκλος της φωτεινής σηματοδότησης που ισχύει για αυτόν τον κόμβο είναι 90 δλ. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω:

Πίνακας 3-4: Καταγραφή χρονικής διάρκειας όλων των φωτεινών ενδείξεων σε όλες τις κινήσεις του κόμβου 46.

ΦΩΤΕΙΝΗ ΕΝΔΕΙΞΗ	ΚΙΝΗΣΗ 1		ΚΙΝΗΣΗ 4		ΚΙΝΗΣΗ 3		ΚΙΝΗΣΗ 2	
ΠΡΑΣΙΝΗ	40	39.03	37.38	36.98	43.17	43.08	-	-
	39.98	39.66	36.76	37.17	42.95	43	-	-
ΚΙΤΡΙΝΗ	2.86	2.96	2.7	3.01	2.73	2.75	75	
	2.86	2.86	3.01	2.73	3.01	2.88		
ΚΟΚΚΙΝΗ	48.03	47.17	50.2	49.9	44.12	44.22	15	
	47.37	47.57	50.1	49.98	44.12	44.09		
ΚΥΚΛΟΣ	90 (περίπου)		90 (περίπου)		90 (περίπου)		90	

Υπολογισμός κοινού κόκκινου μεταξύ σταδίων

Το κοινό κόκκινο είναι μία κοινή χρονική διάρκεια απαγορευμένης κίνησης μεταξύ των σταδίων, με σκοπό την καλύτερη διατήρηση της ασφάλειας. Πολλές φορές τα οχήματα όταν φτάνουν στον φωτεινό σηματοδότη επιταχύνουν στην κίτρινη ένδειξη με σκοπό να προλάβουν να περάσουν πριν το κόκκινο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα οχήματα που θα προλάβουν να περάσουν, να βρίσκονται μέσα στο κόμβο όταν θα έχει ανάψει η πράσινη ένδειξη για τα οχήματα του επόμενου σταδίου, και πιθανώς με τον τρόπο αυτό μπορεί να προκληθεί κάποια σύγκρουση. Για την καλύτερη ασφαλέστερη διέλευση, υπάρχει συχνά μεταξύ των σταδίων μία κοινή κόκκινη ένδειξη, στους φωτεινούς σηματοδότες του κόμβου. Για τις μετρήσεις του κοινού κόκκινου στον κόμβο ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία.

Από κάθε στάδιο επιλέχθηκε μια κίνηση και ορίστηκε για αυτή μια χρονική στιγμή που θα ξεκινούσε η χρονομέτρηση. Για παράδειγμα, για την κίνηση (3) που ανήκει στο πρώτο στάδιο ξεκίνησε η χρονομέτρηση στις 12:33. Εκείνη τη χρονική στιγμή ήδη η φωτεινή σηματοδότηση έδειχνε πράσινο. Από εκείνο το σημείο και μέχρι να ξαναανάψει πράσινο μετρήθηκαν οι παρακάτω χρόνοι:

Πίνακας 3-5: Καταγραφή χρονικής διάρκειας φωτεινών ενδείξεων της κινήσεις 3.

Ξεκίνησε στις 12:33	
ΦΩΤΕΙΝΗ ΕΝΔΕΙΞΗ	ΚΙΝΗΣΗ 3
ΠΡΑΣΙΝΗ	14.01
ΚΙΤΡΙΝΗ	2.86
ΚΟΚΚΙΝΗ	44.1

Ακριβώς το ίδιο έγινε και για την κίνηση (1) από το δεύτερο στάδιο. Όπου η χρονική στιγμή μέτρησης ήταν στις 12:30. Εκείνη τη χρονική στιγμή ο φωτεινός σηματοδότης έδειχνε ήδη κόκκινο. Από εκείνο το σημείο και μέχρι να ξαναανάψει η κόκκινη ένδειξη, οι χρονικές στιγμές που καταγράφηκαν είναι οι παρακάτω:

Πίνακας 3-6: Καταγραφή χρονικής διάρκειας φωτεινών ενδείξεων της κινήσεις 1.

Ξεκίνησε στις 12:30	
ΦΩΤΕΙΝΗ ΕΝΔΕΙΞΗ	ΚΙΝΗΣΗ 1
ΚΟΚΚΙΝΗ	20.05
ΠΡΑΣΙΝΗ	40.3

ΚΙΤΡΙΝΗ	2.91
---------	------

Έπειτα έπρεπε να γίνει μετάθεση ενός εκ των δύο στον ίδιο χρόνο εκκίνησης, είτε στις 12:30 είτε στις 12:33. Επιλέχθηκε να γίνει στις 12:30 για την κίνηση 3. Τα αποτελέσματα μπήκαν σε μία σειρά με βάση τον χρόνο έναρξης για να μπορέσει να βρεθεί το κοινό κόκκινο μεταξύ των σταδίων.

Πίνακας 3-7: Αναγωγή των χρόνων φωτεινών ενδείξεων της κίνησης 3.

ΣΤΑΔΙΟ 2	ΚΙΝΗΣΗ 1	12:30:00.00	12:30:20.05	12:31:00.35	12:31:03.26
		ΚΟΚΚΙΝΟ	ΠΡΑΣΙΝΟ	ΚΙΤΡΙΝΟ	
ΣΤΑΔΙΟ 1	ΚΙΝΗΣΗ 3	12:30:00.00	12:30:14.01	12:30:16.87	12:31:00.97
		ΠΡΑΣΙΝΟ	ΚΙΤΡΙΝΟ	ΚΟΚΚΙΝΟ	

Παρατηρείται πως όταν ανάβει το κόκκινο στο στάδιο 1 στις 12:30:16,87, το πράσινο για το επόμενο στάδιο ανάβει στις 12:30:20,05. Επομένως, υπάρχει μία διάρκεια κοινού κόκκινου της τάξεως των 3,18 δευτερολέπτων, από το στάδιο 1 στο 2. Όμως, επειδή η μετάθεση έγινε από τις 12:33 στις 12:30 δηλαδή 3 λεπτά, που σύμφωνα με τον κύκλο που είχε βρεθεί προηγουμένως, ότι είναι 90 δλ., σημαίνει πως στα 3 λεπτα χωράνε 2 κύκλοι. Επομένως, το κοινό κόκκινο που βρέθηκε προηγουμένως πρέπει να διαιρεθεί με 2. Συνεπώς, το κοινό κόκκινο μεταξύ των σταδίων 1 και 2 είναι 1,59 δλ., με βάση όμως κάποιες στρογγυλοποιήσεις που έγιναν σε όλους τους χρόνους το κοινό κόκκινο τελικά που προσομοιώθηκε και στο πρόγραμμα είναι 1 δευτερόλεπτο.

Παρακάτω παρουσιάζεται για κάθε κίνηση και κάθε στάδιο, το πρόγραμμα της φωτεινής σηματοδότησης.

Signal group	Time Duration (0-90)sec			
Move 1-Step 1	40	3	47	
Move 2-Step 2		75		15
Move 3-Step 2	44		42	3
Move 4-Step 1	37	3	50	

Εικόνα 3-5: Χρονική διάρκεια προγράμματος φωτεινής σηματοδότησης στον κόμβο 46, με απεικόνιση κοινού κόκκινου.

Στην περίπτωση αυτή ο κόμβος αποτελούνταν από δύο στάδια. Επομένως, οι εναλλαγές που υπήρχαν μεταξύ των σταδίων ήταν δύο, και τα κοινά κόκκινα που υπήρχαν ήταν δύο, τα ίδια σε κάθε εναλλαγή.

- Στάδιο 1 προς Στάδιο 2.
- Στάδιο 2 προς Στάδιο 1.

Σε άλλους κόμβους που υπήρχαν παραπάνω στάδια έπρεπε να υπολογιστούν παραπάνω κοινά κόκκινα. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε και στους άλλους κόμβους ήταν η ίδια.

Προσαρμογή του φόρτου

Με βάση το παραπάνω παράδειγμα, υπολογίστηκε σε κάθε κόμβο ο κυκλοφοριακός φόρτος, τα ποσοστά στρεφουσών και τα προγράμματα φωτεινής σηματοδότησης όπου υπήρχαν. Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή, συνολικά στο οδικό δίκτυο υπήρχαν 175 κόμβοι. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για όλους τους κόμβους του δικτύου.

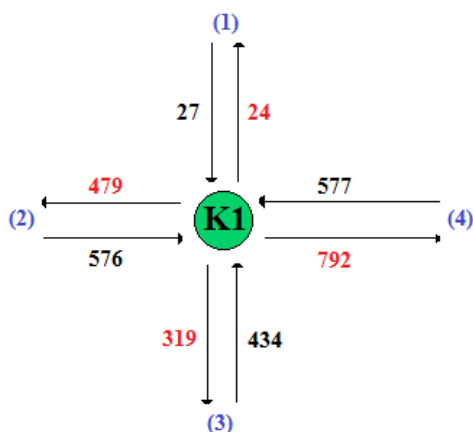
Καθώς, οι μετρήσεις του κυκλοφοριακού φόρτου σε κάθε κόμβο πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα, οι κυκλοφοριακοί φόρτοι που προέκυψαν έπρεπε να προσαρμοστούν με βάση τους φόρτους των κόμβων που συνδεόνταν με αυτούς.

Γενικά, η διαδικασία προσαρμογής του φόρτου ξεκίνησε από το κέντρο της πόλης και επεκτάθηκε προς τα έξω, δηλαδή προς τα άκρα ή αλλιώς τα σημεία εισόδου των οχημάτων στο δίκτυο, όπου εκεί προέκυψε και ο τελικός φόρτος.

Σημαντικό κομμάτι της όλης διαδικασίας ήταν η διατήρηση των ίδιων ποσοστών στις στρέφουσες με αυτές που είχαν υπολογιστεί παραπάνω. Αν τυχόν δεν γινόταν να διατηρηθούν, τα ποσοστά προσαρμόστηκαν ώστε να διατηρηθεί τουλάχιστον σε ένα επίπεδο η ίδια αναλογία.

Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδικασία προσαρμογής που ακολουθήθηκε σε οδικό τμήμα αποτελούμενο από 2 κόμβους. Θεωρείται ότι από τους παρακάτω κόμβους ο κόμβος K1 είναι σταθερός και ότι ξεκινάει από το κέντρο της πόλης.

Στο παρακάτω σχέδιο απεικονίζονται τα στοιχεία που καταγράφηκαν στον κόμβο K1. Οι τιμές που είναι με μπλε χρώμα αποτελούν την αρίθμηση των προσβάσεων στον κόμβο.



Όπως φαίνεται από το σχέδιο, ο κυκλοφοριακός φόρτος που εισέρχεται στο κόμβο από κάθε πρόσβαση είναι:

$$K_{1,1,in} = 27, K_{1,2,in} = 576, K_{1,3,in} = 434, K_{1,4,in} = 577$$

Όπου,

in, τα οχήματα σε ΜΕΑ τα οποία εισέρχονται στο κόμβο.

1,2,3,4, η αντίστοιχη πρόσβαση στον κόμβο.

Ο υπολογισμός του φόρτου από τα ρεύματα που εξέρχονται από τον κόμβο, πραγματοποιήθηκε με βάση τα ποσοστά των στρεφουσών που είχαν τα ρεύματα που εισέρχονταν στο κόμβο. Επιπλέον, ο φόρτος που διαχωρίζεται σε κάθε ρεύμα με βάση την κατεύθυνση που έχει, είναι:

Από την πρόσβαση (1):

$$K_{1,1,in} = 27$$

$$K_{1,1,δεξιά} = 9$$

$$K_{1,1,ευθεία} = 11$$

$$K_{1,1,αριστερά} = 7$$

Από την πρόσβαση (2):

$$K_{1,2,in} = 576$$

$$K_{1,2,αριστερά} = 5$$

$$K_{1,2,ευθεία} = 461$$

$$K_{1,2,δεξιά} = 110$$

Από την πρόσβαση (3):

$$K_{1,3,in} = 434$$

$$K_{1,3,αριστερά} = 98$$

$$K_{1,3,ευθεία} = 12$$

$$K_{1,3,δεξιά} = 324$$

Από την πρόσβαση (4):

$$K_{1,4,in} = 577$$

$$K_{1,4,αριστερά} = 198$$

$$K_{1,4,ευθεία} = 372$$

$$K_{1,4,δεξιά} = 7$$

Άρα, οι αντίστοιχοι φόρτοι που εξέρχονται από τα ρεύματα είναι:

$$K_{1,1,out} = K_{1,2,αριστερά} + K_{1,3,ευθεία} + K_{1,4,δεξιά} = 5 + 12 + 7 = 24$$

$$K_{1,2,out} = K_{1,1,δεξιά} + K_{1,3,αριστερά} + K_{1,4,ευθεία} = 9 + 98 + 372 = 479$$

$$K_{1,3,out} = K_{1,1,ευθεία} + K_{1,2,δεξιά} + K_{1,4,αριστερά} = 11 + 110 + 198 = 319$$

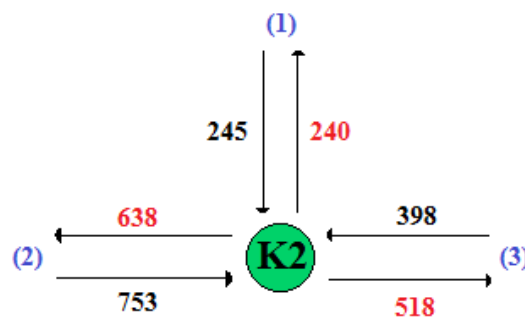
$$K_{1,4,out} = K_{1,1,αριστερά} + K_{1,2,ευθεία} + K_{1,3,δεξιά} = 7 + 461 + 324 = 792$$

Γνωρίζοντας τους φόρτους εισόδου και εξόδου στον κόμβο, πραγματοποιήθηκε έλεγχος ισοζυγίου του φόρτου για να διαπιστωθεί αν οι τιμές του φόρτου ‘κλείνουν’.

$$\begin{aligned} K_{1,in} = K_{1,out} & \Rightarrow K_{1,1,in} + K_{1,2,in} + K_{1,3,in} + K_{1,4,in} \\ & = K_{1,1,out} + K_{1,2,out} + K_{1,3,out} + K_{1,4,out} \quad \Rightarrow 27 + 576 + 434 + 577 \\ & = 24 + 479 + 319 + 792 \Rightarrow 1614 = 1614. \end{aligned}$$

Στη συνέχεια, αναλύεται ο κόμβος K2. Αντίστοιχα και εδώ, ο κυκλοφοριακός φόρτος που εισέρχεται στο κόμβο από κάθε πρόσβαση είναι:

$$K_{1,1,in} = 27, K_{1,2,in} = 576, K_{1,3,in} = 434, K_{1,4,in} = 577$$



Πιο αναλυτικά, ο φόρτος που διαχωρίζεται σε κάθε ρεύμα με βάση την κατεύθυνση που έχει, είναι:

Από την πρόσβαση (1):

$$K_{2,1,in} = 245$$

$$K_{2,1,δεξιά} = 245$$

Από την πρόσβαση (2):

$$K_{2,2,in} = 753$$

$$K_{2,2,αριστερά} = 235$$

$$K_{2,2,ευθεία} = 518$$

Από την πρόσβαση (3):

$$K_{2,3,in} = 398$$

$$K_{2,3,ευθεία} = 393$$

$$K_{2,3,δεξιά} = 5$$

Άρα, οι αντίστοιχοι φόρτοι που εξέρχονται από τα ρεύματα είναι:

$$K_{2,1,out} = K_{2,3,δεξιά} + K_{2,2,αριστερά} = 5 + 235 = 240$$

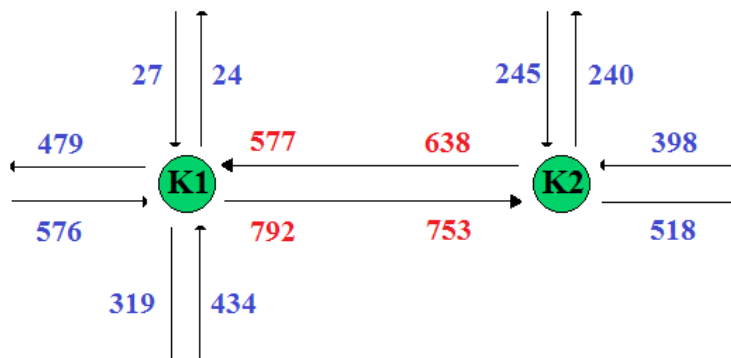
$$K_{2,2,out} = K_{2,3,ευθεία} + K_{2,1,δεξιά} = 393 + 245 = 638$$

$$K_{2,3,out} = K_{2,2,ευθεία} = 518$$

Και για τον κόμβο K2 πραγματοποιήθηκε έλεγχος. Με βάση τον έλεγχο που έγινε, τα νούμερα ήταν σωστά.

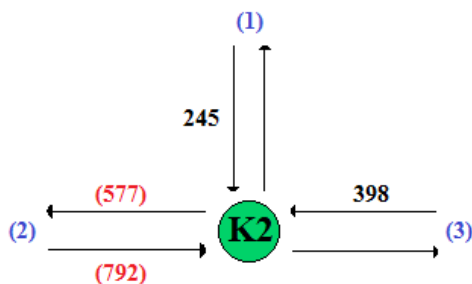
$$K_{2,in} = K_{2,out} \Rightarrow K_{2,1,in} + K_{2,2,in} + K_{2,3,in} = K_{2,1,out} + K_{2,2,out} + K_{2,3,out} = > 245 + 753 + 398 = 240 + 638 + 518 \Rightarrow 1396 = 1396.$$

Με βάση τις μετρήσεις που καταγράφηκαν, για κάθε κόμβο έχω συνοπτικά:



Όπως φαίνεται, στο ενδιάμεσο κοινό οδικό δίκτυο από τους 2 κόμβους K1 και K2, υπάρχουν δύο διαφορετικοί κυκλοφοριακοί φόρτοι προς κάθε κατεύθυνση. Στο σημείο αυτό επιλέχθηκε μία από τις δύο τιμές που θα επικρατήσει. Για το ρεύμα που κινείται προς τον κόμβο K1, επιλέχθηκε το 577. Και, για το ρεύμα που κινείται προς τον κόμβο K2, επιλέχθηκε το 792. Με την επιλογή αυτή τα δεδομένα στον κόμβο K2 άλλαξαν και έπρεπε να ξανά υπολογιστούν. Στον κόμβο K1, δεν άλλαξαν διότι ήταν σταθερός.

Έτσι λοιπόν, για το κόμβο K2, είχαμε:



Τα στοιχεία εισόδου $K_{2,2,in}$, καθώς και τα στοιχεία εξόδου $K_{2,2,out}$, προσαρμόστηκαν αναλογικά με τα ποσοστά από κάθε στρέφουσα έτσι ώστε να προσαρμοστούν οι φόρτοι και να μην υπάρχουν μεγάλες διαφορές. Τα αρχικά ποσοστά στρεφουσών από τις κινήσεις του κάθε ρεύματος του κόμβου K2, είναι:

$$\Pi_{2,1,δεξιά} = 100\%$$

$$\Pi_{2,2,ευθεία} = 68,8\%$$

$$\Pi_{2,2,αριστερά} = 31,2\%$$

$$\Pi_{2,3,ευθεία} = 98,7\%$$

$$\Pi_{2,3,δεξιά} = 1,3\%$$

Τα τελικά ποσοστά στρεφουσών από τις κινήσεις του κάθε ρεύματος που προέκυψαν στον κόμβο K2, είναι:

$$\Pi_{2,1,δεξιά} = 100\%$$

$$\Pi_{2,2,ευθεία} = 71,7\%$$

$$\Pi_{2,2,αριστερά} = 28,3\%$$

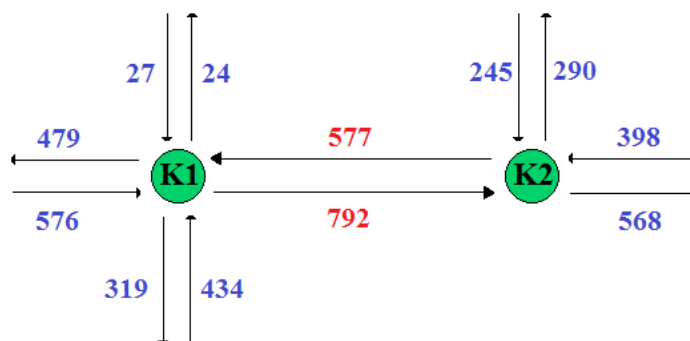
$$\Pi_{2,3,ευθεία} = 83,5\%$$

$$\Pi_{2,3,δεξιά} = 16,5\%$$

Με τα τελικά ποσοστά στρεφουσών υπολογίστηκαν οι φόρτοι που εξέρχονται από τον κόμβο Κ2.

$$K_{2,1,out} = 290, \quad K_{2,2,out} = 577, \quad K_{2,3,out} = 568$$

Έτσι λοιπόν, οι τελικοί φόρτοι για κάθε κατεύθυνση για τους κόμβους Κ1 και Κ2, είναι:



Μετά τα νέα δεδομένα για τον κόμβο Κ2, πραγματοποιήθηκε πάλι έλεγχος για να διαπιστωθεί αν οι φόρτοι ήταν σωστοί από όλες τις εισόδους και εξόδους. Με βάση τον έλεγχο που πραγματοποιήθηκε οι τιμές των κυκλοφοριακών φόρτων ήταν σωστές.

$$K_{2,in} = K_{2,out} \Rightarrow K_{2,1,in} + K_{2,2,in} + K_{2,3,in} = K_{2,1,out} + K_{2,2,out} + K_{2,3,out} = > 245 + 792 + 398 = 290 + 577 + 568 \Rightarrow 1435 = 1435.$$

Αυτή η διαδικασία προσαρμογής, πραγματοποιήθηκε σε όλους τους κόμβους έτσι ώστε να υπάρχει συνέχεια του κυκλοφοριακού φόρτου σε όλο το οδικό δίκτυο το οποίο θα προσομοιωνόταν. Με τον τρόπο αυτό προέκυψαν και οι φόρτοι σε όλα τα άκρα/εισόδους στο δίκτυο.

Πίνακας 3-8: Τελικοί φόρτοι εισαγωγής στο οδικό δίκτυο.

Ακριανά Οδικά Δίκτυα	Φόρτος (100%)
342: E-75 (rural)	591
417: aerodromiou (rural)	863
654: papanastasiou (rural)	80
666: vriswn (urban)	202
670: xar. pwlogiwrgi (urban)	243
782: agiwn apostolwn (rural)	191
803: sofokli venizelou (rural)	89
824: mourniwn (rural)	886
847: eleutherias (rural)	85
866: manou (rural)	143

870: giampoulaki (rural)	117
914: perivoliwn (urban)	367
938: kornarou (urban)	33
940: mariakaki (urban)	68
960: anapausfeos (urban)	151
1015: kazantzaki (rural)	750
1061: peo kissamou (rural)	950
1193: efedron polemiston (urban)	480
1315: saridantoni (urban)	141
1337: monhs gonias (urban)	110
1363: georgiou ksepappa (urban)	55
1376: margouniou (urban)	229
1390: manousogiannakidon (urban)	189
1399: kelaidi (urban)	268
1414: sofokli venizelou (rural)	173
1512: konstantinou manou (rural)	447
1575: profiti hlia (rural)	465
1577: al. minoti (rural)	32
1621: ethnikhs antistasews (rural)	222
1640: dagkli (rural)	168
1653: eleutheriou venizelou (rural)	245
1671: hron politexneiou (urban)	27
1686: krokida (urban)	272
1735: giampoudaki (urban)	150
1752: pithagorou square (urban)	38
1762: xatzidaki (urban)	333
1870: tsikalariwn (rural)	208
1874: kontopoulwn (rural)	251
1942: sfakianaki (urban)	94
1964: konstantinoupolews (urban)	104
2194: bom (urban)	58
2213: vironos (urban)	58
2471: markopoulou square (urban)	233
2635: foka (urban)	182
2636: daskalogianni (urban)	65
2793: kiprou (urban)	201
2906: palama (urban)	102
2965: thrakis (urban)	63
2974: spartis (urban)	63
2975: spartis (urban)	63
2996: pastrikaki (urban)	63
3323: margouniou (urban)	102
3393: kelaidi (urban)	127
3568: selinou (urban)	277
3697: halidon (urban)	179
3913: hortatson square (urban)	101
4013: sofokli venizelou (rural)	146

4015: xnara (rural)	120
4025: georgiakakidon (urban)	200
4031: souda port (rural)	437

3.2. Απόσπαση προσοχής και AIMSUN

3.2.1. Κατηγορίες οδηγών

Το AIMSUN δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ορίσει διακριτές κατηγορίες οχημάτων οι οποίες περιγράφονται από ένα πλήθος χαρακτηριστικών. Τα χαρακτηριστικά αυτά καθορίζουν την οδηγική συμπεριφορά των επιμέρους κατηγοριών και πολλά από αυτά αφορούν τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται στο AIMSUN, δηλαδή το πρότυπο ακολουθίας οχήματος του Gipps, και το πρότυπο αλλαγής λωρίδας. Κατά συνέπεια, για την προσομοίωση οδικού δικτύου με οδηγούς που χρησιμοποιούν κινητό τηλέφωνο θα πρέπει να προσδιοριστούν οι διακριτές κατηγορίες: οδηγοί χωρίς απόσπαση προσοχής και οδηγοί με απόσπαση προσοχής.

Τα χαρακτηριστικά που αποδίδει το AIMSUN στις διακριτές κατηγορίες οδηγών είναι:

- Μέγιστη επιτάχυνση
- Μέγιστη επιθυμητή ταχύτητα
- Χρόνος αντίδρασης (3 διαφορετικές περιπτώσεις)
- Κανονική επιβράδυνση (μέγιστη επιβράδυνση σε κανονικές συνθήκες οδήγησης)
- Μέγιστη επιβράδυνση (μέγιστη επιβράδυνση σε περιπτώσεις ξαφνικού συμβάντος)
- Μήκος οχήματος
- Πλάτος οχήματος
- Χωρικό διαχωρισμό των οχημάτων
- Συντελεστής αποδοχής ορίου ταχύτητας (speed acceptance)

Για τον αντιπροσωπευτικότερο προσδιορισμό της κάθε κατηγορίας αποφασίστηκε η χρήση των στοιχείων που έχουν προκύψει από την πειραματική διαδικασία της Λινάρδου (2017), καθώς ήταν διαθέσιμες οι καταγραφές του πειράματος και δινόταν η ευκαιρία προσδιορισμού μεγάλου αριθμού παραμέτρων/χαρακτηριστικών που καθορίζουν την κίνηση των αποσπασμένων οδηγών.

3.2.2. Στοιχεία πειραματικής διαδικασίας Λινάρδου (2017)

Η χρήση του κινητού τηλεφώνου κατά την οδήγηση έχει αποδειχθεί πως αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα απόσπασης προσοχής. Με βάση τις επιστημονικές έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι τώρα και που αναφέρθηκαν στο 2^ο κεφάλαιο, παρατηρείται πως η χρήση του κινητού τηλεφώνου, σε όποια μορφή και αν είναι αυτή, όπως δια χειρός χρήση, ενσύρματη ή ασύρματη και ανοιχτή ακρόαση, επιφέρει σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στη συμπεριφορά του οδηγού. Σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την απόσπαση προσοχής και κατά συνέπεια στη συμπεριφορά του οδηγού, είναι το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται εκείνη τη στιγμή ο οδηγός, αστικό – υπεραστικό – εθνική οδός.

Η Λινάρδου (2017) πραγματοποίησε έρευνα, με στόχο τη διερεύνηση της επιρροής του κινητού τηλεφώνου στην οδηγική συμπεριφορά, σε αστικό και υπεραστικό περιβάλλον. Από την πειραματική διαδικασία εξήχθησαν τα αποτελέσματα του χρόνου αντίδρασης και της μέγιστης ταχύτητας από τις διάφορες κατηγορίες χρήσης κινητού τηλεφώνου. Για τη διαδικασία του υπολογισμού του χρόνου αντίδρασης, είχε προγραμματιστεί η ξαφνική εμφάνιση πινακίδας σήμανσης STOP κατά τη διάρκεια της οδήγησης, όπου οι οδηγοί θα έπρεπε να ακινητοποιήσουν το όχημά τους. Ο χρόνος αντίδρασης μετρήθηκε από τη στιγμή που εμφανίστηκε η πινακίδα STOP μέχρι την πρώτη αντίδραση του οδηγού, που αντικατοπτριζόταν με πίεση στο πεντάλ του φρένου. Επιπλέον, στο πείραμα δεν είχε οριστεί κάποιο συγκεκριμένο όριο ταχύτητας στο οδικό δίκτυο, ούτε στο αστικό ούτε στο υπεραστικό τμήμα του. Η ταχύτητα

ουσιαστικά του οχήματος προσαρμολόγαν από τα χαρακτηριστικά του οδηγού και από το οδικό περιβάλλον που βρισκόταν κάθε φορά. Επομένως, η μέγιστη ταχύτητα υπολογίστηκε ως η μέγιστη ταχύτητα που μπορούσε να αναπτύξει σε κάθε ένα από τα οδικά περιβάλλοντα κάθε φορά ο οδηγός και σύμφωνα με τις συγκεκριμένες συνθήκες ομιλίας με το κινητό τηλέφωνο. Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε ένα σύγχρονο προσομοιωτή οδήγησης. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι οι οδηγοί προσπαθούν να αντισταθμίσουν το φόρτο που προκαλείται από τη χρήση του κινητού τηλεφώνου, οδηγώντας με χαμηλότερες μέγιστες ταχύτητες και αυξάνοντας τον χρόνο αντίδρασης. Αναλυτικά, τα αποτελέσματα για το χρόνο αντίδρασης και τη μέγιστη ταχύτητα των οδηγών σε αστικό και υπεραστικό δίκτυο καθώς επίσης και οι διαφορές των αποτελεσμάτων από τις διάφορες χρήσεις του κινητού τηλεφώνου, παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες. Τα τελικά σενάρια που δημιουργήθηκαν σε αυτήν την πειραματική διαδικασία ήταν 8. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από κάθε σενάριο, προήλθαν από το μέσο όρο περίπου 50 συμμετέχοντων και παρουσιάζονται στους **πίνακες 3-9** και **3-10**.

Πίνακας 3-9: Τιμές παραμέτρων από το αστικό περιβάλλον της πειραματικής διαδικασίας της Αινάρδου (2017).

Αστικό Περιβάλλον					
Σενάρια	Παράμετροι	Κύρια Τιμή	Τυπική Απόκλιση	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή
Χωρίς απόσπαση προσοχής	Μέγιστη Επιθυμητή Ταχύτητα (μ/δλ)	65.84	11.19	43	88.93
	Χρόνος Αντίδρασης (δλ)	1.01	0.23	0.68	1.89
Με δια χειρός χρήση κινητού τηλεφώνου	Μέγιστη Επιθυμητή Ταχύτητα (μ/δλ)	61.87	10.88	40.4	96.2
	Χρόνος Αντίδρασης (δλ)	1.11	0.37	0.8	3.13
Με ενσύρματη χρήση κινητού τηλεφώνου	Μέγιστη Επιθυμητή Ταχύτητα (μ/δλ)	65.56	10.71	40	85.3
	Χρόνος Αντίδρασης (δλ)	1.12	0.41	0.77	3.13
Με σύστημα ανοιχτής ακρόασης	Μέγιστη Επιθυμητή Ταχύτητα (μ/δλ)	64.25	11.06	41.5	88.9
	Χρόνος Αντίδρασης (δλ)	1.11	0.35	0.8	2.6

Πίνακας 3-10: Τιμές παραμέτρων από το υπεραστικό περιβάλλον της πειραματικής διαδικασίας της Λινάρδου (2017).

Υπεραστικό Περιβάλλον					
Σενάρια	Παράμετροι	Κύρια Τιμή	Τυπική Απόκλιση	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή
Χωρίς απόσπαση προσοχής	Μέγιστη Επιθυμητή Ταχύτητα (μ/δλ)	79.9	13.21	36.3	105.7
	Χρόνος Αντίδρασης (δλ)	0.95	0.18	0.61	1.66
Με δια χειρός χρήση κινητού τηλεφώνου	Μέγιστη Επιθυμητή Ταχύτητα (μ/δλ)	73.62	10.58	45	97.5
	Χρόνος Αντίδρασης (δλ)	1.01	0.25	0.7	2.27
Με ενσύρματη χρήση κινητού τηλεφώνου	Μέγιστη Επιθυμητή Ταχύτητα (μ/δλ)	79.23	12.02	50.7	111.6
	Χρόνος Αντίδρασης (δλ)	1	0.16	0.77	1.59
Με σύστημα ανοιχτής ακρόασης	Μέγιστη Επιθυμητή Ταχύτητα (μ/δλ)	79.23	14.15	50.7	113.3
	Χρόνος Αντίδρασης (δλ)	1.01	0.27	0.69	2.07

Τα παραπάνω στοιχεία δύναται να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση διακριτών κατηγοριών χρηστών (χωρίς απόσπαση προσοχής, δια χειρός χρήση κινητού τηλεφώνου, ενσύρματη χρήση κινητού τηλεφώνου και σύστημα ανοιχτής ακρόασης) μέσω του προγράμματος κυκλοφοριακής προσομοίωσης του AIMSUN.

3.2.3. Επεξεργασία στοιχείων

Από την πειραματική διαδικασία ήταν δυνατό να υπολογιστούν επιπλέον στοιχεία που αφορούν χαρακτηριστικά της οδηγικής συμπεριφοράς. Τα στοιχεία αυτά που ήταν απαραίτητα για την προσομοίωση με βάση το πρότυπο του GIPPS ήταν:

- Η μέγιστη επιτάχυνση.
- Η κανονική επιβράδυνση (AIMSUN: normal deceleration). Αναφέρεται στην μέγιστη επιβράδυνση σε κανονικές συνθήκες οδήγησης.

- Η μέγιστη επιβράδυνση (AIMSUN: max deceleration). Αναφέρεται στην μέγιστη επιβράδυνση σε περιπτώσεις ξαφνικού συμβάντος.

Τα στοιχεία τα οποία δόθηκαν από την πειραματική διαδικασία, αφορούσαν τον κάθε συμμετέχοντα ξεχωριστά. Πιο αναλυτικά, για κάθε οδηγό δόθηκε ένα αρχείο excel το οποίο περιελάμβανε όλα τα στοιχεία, όπως ταχύτητα, θέση κ.α. με βήμα καταγραφής τα $66 \cdot 10^{-3}$ δλ.

Λαμβάνοντας υπόψη πως το μήκος της υπεραστικής και της αστικής διαδρομής ήταν 2 χλμ, και ότι το χρονικό βήμα υπολογισμών $66 \cdot 10^{-3}$ δλ, ο όγκος των δεδομένων που εξάγονταν ήταν ιδιαίτερα μεγάλος. Έτσι λοιπόν, η διαδικασία επεξεργασίας και ο υπολογισμός των μεταβλητών της επιτάχυνσης και της επιβράδυνσης πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος Matlab.

Υπολογισμός και επεξεργασία μέγιστης επιτάχυνσης

Ως μέγιστη επιτάχυνση ορίστηκε η μέγιστη επιτάχυνση που ανέπτυξε ο κάθε οδηγός στην προσομοιωμένη κάθε φορά διαδρομή. Για τον υπολογισμό της στο αρχείο excel, έπρεπε πρώτα να δημιουργηθεί μία νέα στήλη, όπου αποτελούσε τη στήλη της επιτάχυνσης / επιβράδυνσης. Η μέγιστη θετική τιμή αποτελούσε τη μέγιστη επιτάχυνση. Ουσιαστικά, πρόκειται για τον ρυθμό με τον οποίο ο οδηγός μεταβάλλει την ταχύτητα του οχήματος στο χρόνο. Και ο τύπος είναι, $\Delta u / \Delta t$. Η διαδικασία για τη δημιουργία της νέας στήλης επιτάχυνσης/επιβράδυνση, με βάση τον ορισμό είναι η εξής:

$$\text{επιτάχυνση/επιβράδυνση} = \frac{\text{στήλη} \{ \text{ταχύτητα}(u_{v+1}) - \text{ταχύτητα}(u_v) \}}{\text{στήλη} \{ \text{χρόνος}(t_{v+1}) - \text{χρόνος}(t_v) \}}$$

Όπου,

$v =$ η κάθε γραμμή των στηλών της ταχύτητας και του χρόνου.

Παρακάτω απεικονίζεται από το αρχείο excel η δημιουργία της στήλης επιτάχυνσης/επιβράδυνσης.

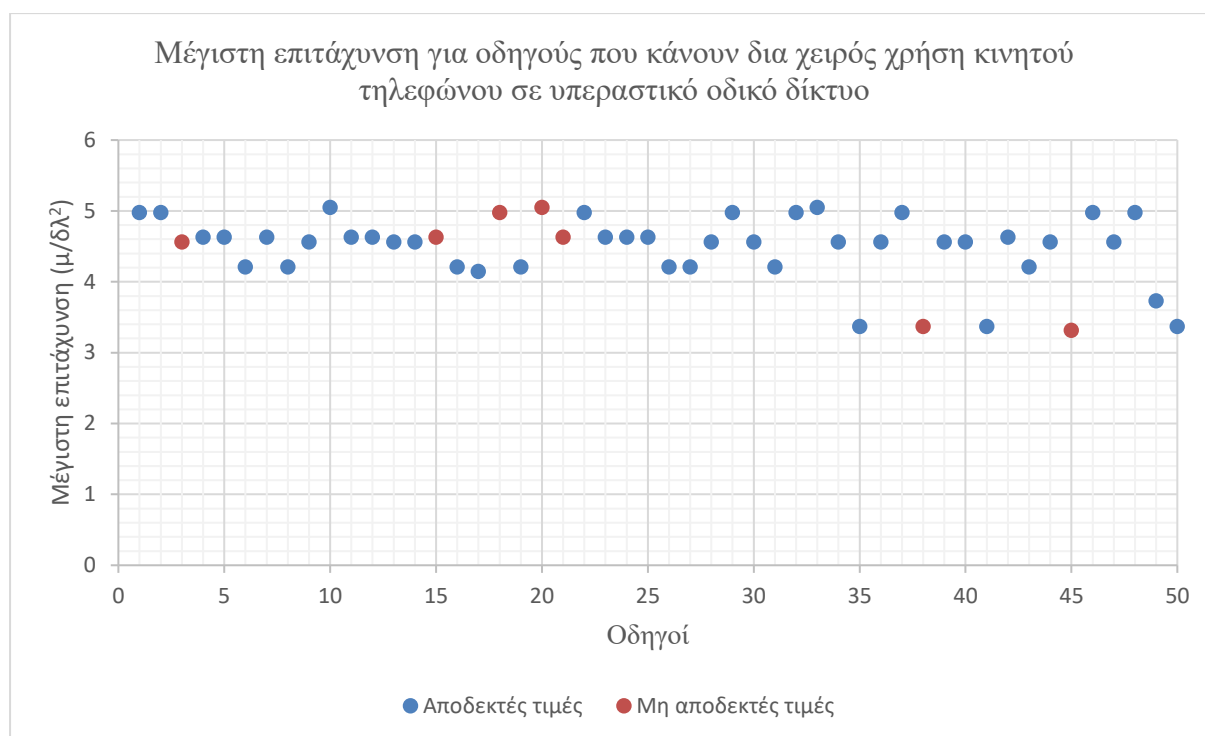
=(Q63-Q62)/(F63-F62)																			Επιτάχυνση / Επιβράδυνση	
Person	Trial	Traffic	Distra	State	Time	x-pos	y-pos	z-pos	road	richt	rdist	rdistNo	rspur	ralpha	Dist	Speed	Brk	calcula		
P3	1	3 Base	Event 1	75511	547.16	0.2	-2139.21	2	0	1528.2	1128.2	1.92	62747	1127.76	52.9	84	-0.03333			
P3	1	3 Base	Event 1	75578	547.85	0.2	-2139.88	2	0	1529.16	1129.16	1.92	62748	1128.73	51.2	85	-0.02537			
P3	1	3 Base	Event 1	75645	548.5	0.2	-2140.53	2	0	1530.08	1130.08	1.91	62748	1129.65	49.1	95	-0.03134			
P3	1	3 Base	Event 1	75711	549.13	0.2	-2141.15	2	0	1530.96	1130.96	1.9	62749	1130.53	46.9	91	-0.03333			
P3	1	3 Base	Event 1	75778	549.74	0.2	-2141.75	2	0	1531.81	1131.81	1.9	62749	1131.38	45.1	80	-0.02687			
P3	1	3 Base	Event 1	75845	550.32	0.2	-2142.32	2	0	1532.63	1132.63	1.89	62750	1132.2	43.5	78	-0.02388			
P3	1	3 Base	Event 1	75911	550.88	0.2	-2142.87	2	0	1533.41	1133.41	1.88	62750	1132.98	41.7	91	-0.02727			
P3	1	3 Base	Event 1	75978	551.41	0.2	-2143.39	2	0	1534.16	1134.16	1.88	62751	1133.73	39.4	98	-0.03433			
P3	1	3 Base	Event 1	76045	551.91	0.2	-2143.89	2	0	1534.86	1134.86	1.87	62751	1134.43	37.3	100	-0.03134			
P3	1	3 Base	Event 1	76111	552.38	0.2	-2144.35	2	0	1535.53	1135.53	1.87	62752	1135.1	35	100	-0.03485			
P3	1	3 Base	Event 1	76178	552.83	0.2	-2144.79	2	0	1536.15	1136.15	1.86	62752	1135.72	32.7	100	-0.03433			
P3	1	3 Base	Event 1	76245	553.24	0.2	-2145.2	2	0	1536.73	1136.73	1.86	62752	1136.3	30.5	100	-0.03284			
P3	1	3 Base	Event 1	76311	553.62	0.2	-2145.57	2	0	1537.27	1137.27	1.85	62753	1136.83	28.2	100	-0.03485			
P3	1	3 Base	Event 1	76378	553.98	0.2	-2145.92	2	0	1537.76	1137.76	1.85	62753	1137.33	25.9	100	-0.03433			
P3	1	3 Base	Event 1	76445	554.3	0.2	-2146.24	2	0	1538.22	1138.22	1.84	62754	1137.78	23.7	100	-0.03284			
P3	1	3 Base	Event 1	76511	554.6	0.2	-2146.53	2	0	1538.63	1138.63	1.84	62754	1138.2	21.4	100	-0.03485			
P3	1	3 Base	Event 1	76578	554.86	0.2	-2146.79	2	0	1539	1139	1.84	62754	1138.57	19.2	100	-0.03284			
P3	1	3 Base	Event 1	76645	555.09	0.2	-2147.02	2	0	1539.33	1139.33	1.84	62754	1138.9	16.9	100	-0.03433			
P3	1	3 Base	Event 1	76711	555.3	0.2	-2147.22	2	0	1539.61	1139.61	1.83	62755	1139.18	14.6	100	-0.03485			
P3	1	3 Base	Event 1	76778	555.47	0.2	-2147.39	2	0	1539.86	1139.86	1.83	62755	1139.43	12.4	100	-0.03284			
P3	1	3 Base	Event 1	76845	555.62	0.2	-2147.54	2	0	1540.06	1140.06	1.83	62755	1139.63	10.1	100	-0.03433			
P3	1	3 Base	Event 1	76911	555.73	0.2	-2147.65	2	0	1540.22	1140.22	1.83	62755	1139.79	8	93	-0.03182			
P3	1	3 Base	Event 1	76978	555.82	0.2	-2147.74	2	0	1540.35	1140.35	1.83	62755	1139.92	5.9	90	-0.03134			
P3	1	3 Base	Event 1	77045	555.88	0.2	-2147.8	2	0	1540.43	1140.43	1.83	62755	1140	3.7	100	-0.03284			
P3	1	3 Base	Event 1	77111	555.91	0.2	-2147.83	2	0	1540.48	1140.48	1.83	62756	1140.05	1.5	100	-0.03333			
P3	1	3 Base	Event 1	77178	555.92	0.2	-2147.83	2	0	1540.48	1140.48	1.83	62756	1140.05	0	100	-0.02239			
P3	1	3 Base	Event 1	77245	555.92	0.2	-2147.83	2	0	1540.48	1140.48	1.83	62756	1140.05	0	91	0			
P3	1	3 Base	Event 1	77311	555.92	0.2	-2147.83	2	0	1540.48	1140.48	1.83	62756	1140.05	0	93	0			
P3	1	3 Base	Event 1	77378	555.92	0.2	-2147.83	2	0	1540.48	1140.48	1.83	62756	1140.05	0	93	0			
P3	1	3 Base	Event 1	77445	555.92	0.2	-2147.83	2	0	1540.48	1140.48	1.83	62756	1140.05	0	95	0			
P3	1	3 Base	Event 1	77511	555.92	0.2	-2147.83	2	0	1540.48	1140.48	1.83	62756	1140.05	0	97	0			
P3	1	3 Base	Event 1	77578	555.92	0.2	-2147.83	2	0	1540.48	1140.48	1.83	62756	1140.05	0	98	0			
P3	1	3 Base	Event 1	77645	555.92	0.2	-2147.83	2	0	1540.48	1140.48	1.83	62756	1140.05	0	100	0			
P3	1	3 Base	Event 1	77711	555.92	0.2	-2147.83	2	0	1540.48	1140.48	1.83	62756	1140.05	0	97	0			
P3	1	3 Base	Event 1	77778	555.92	0.2	-2147.83	2	0	1540.48	1140.48	1.83	62756	1140.05	0	93	0			
P3	1	3 Base	Event 1	77845	555.92	0.2	-2147.83	2	0	1540.48	1140.48	1.83	62756	1140.05	0	100	0			

Εικόνα 3-6: Απεικόνιση καταγραφής στοιχείων στο αρχείο excel.

Και όσον αφορά την τιμή της μέγιστης επιτάχυνσης από τη στήλη αυτή ήταν:

$$\text{Μέγιστη επιτάχυνση} = \max\{\text{επιτάχυνση/επιβράδυνση}\}, \quad \text{θετικές τιμές}$$

Με τον τρόπο αυτό υπολογίστηκαν συνολικά 8 επιταχύνσεις για κάθε οδηγό με βάση τα σενάρια που υπήρχαν. Επομένως, με βάση το σύνολο των οδηγών που ήταν περίπου 50 σε κάθε σενάριο, σαν τελική τιμή βρέθηκε το μέσο όρο αυτών. Στην συνέχεια, σχεδιάστηκε ένα διάγραμμα που απεικόνιζε όλες οι τιμές των επιταχύνσεων από όλους τους οδηγούς. Αν κάποιες τιμές απήχαν πολύ από το μέσο όρο θα έπρεπε να μην συμπεριληφθούν στον τελικό μέσο όρο της επιτάχυνσης. Συνολικά τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν ήταν 8, ένα για κάθε σενάριο. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα διάγραμμα μέγιστων επιταχύνσεων το οποίο αναφέρεται στο σενάριο όπου η απόσπαση του οδηγού προέρχεται από τη δια χειρός χρήση κινητού τηλεφώνου σε υπεραστικό οδικό δίκτυο.



Διάγραμμα 3-1: Αποδεκτές και μη αποδεκτές τιμές για την μέγιστη επιτάχυνση σε οδηγούς που κάνουν δια χειρός χρήση κινητού τηλεφώνου σε υπεραστικό οδικό δίκτυο.

Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζονται οι τιμές της μέγιστης επιτάχυνσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν χρειαζόταν να οριστεί κάποιο όριο αποκλεισμού τιμών. Στο διάγραμμα κάποιες τιμές απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα. Οι τιμές αυτές της επιτάχυνσης εξαιρέθηκαν από τον υπολογισμό του μέσου όρου. Η διαδικασία εξαίρεσης συγκεκριμένων τιμών από τον υπολογισμό της μέσης τιμής του μεγέθους αφορούσε:

1. Αποκλεισμό ιδιαίτερα υψηλών τιμών και χαμηλών.
2. Αποκλεισμό τιμών από οδηγούς οι οποίοι παρουσίαζαν ιδιαίτερα υψηλές και χαμηλές τιμές σε άλλα μεγέθη που περιγράφουν την κίνησή τους.

Στην περίπτωση εξαίρεσης τιμής εξετάζονταν αν η αμέσως χαμηλότερη τιμή (ή υψηλότερη ανάλογα με το εξεταζόμενο μέγεθος) μπορούσε να αντικαταστήσει αυτή που εξαιρέθηκε. Αυτό συνέβαλε στο γεγονός να μην εξαιρεθούν πολλές τιμές.

Υπολογισμός και επεξεργασία κανονικής και μέγιστης επιβράδυνσης

Κατά τη διάρκεια της προσομοιωμένης οδήγησης, ήταν προγραμματισμένο να πραγματοποιούνται δύο συμβάντα σε κάθε διαδρομή. Τα συμβάντα αυτά αναφέρονταν στην ξαφνική εμφάνιση του σήματος STOP. Εκείνη την στιγμή οι οδηγοί έπρεπε να αντιληφθούν το σήμα και να ακινητοποιήσουν το όχημα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, σε σύγκριση με το υπόλοιπο προσομοιωμένο οδικό δίκτυο εμφανιζόταν η μέγιστη επιβράδυνση, λόγω του συμβάντος. Συνεπώς, η μέγιστη επιβράδυνση προέκυψε από αυτήν την περίπτωση.

$$\text{Μέγιστη επιβράδυνση} = \min\{\text{event}(1)\&(2)\{\text{επιτάχυνση/επιβράδυνση}\}\},$$

αρνητική τιμή

Όπου,

event(1), είναι η εμφάνιση της πρώτης σημάνσεως *STOP*.

event(2), είναι η εμφάνιση της δεύτερης σημάνσεως *STOP*.

Τονίζεται ότι ο υπολογισμός της επιβράδυνσης πραγματοποιήθηκε με τον τρόπο που αναφέρθηκε προηγουμένως (για την επιτάχυνση), με βάση τη δημιουργία νέας στήλης επιτάχυνσης/επιβράδυνσης λαμβάνοντας υπόψη τις στήλες της ταχύτητας και του χρόνου. Η διαφορά των δύο μεγεθών είναι πως για την επιβράδυνση οι τιμές είναι αρνητικές, ενώ της επιτάχυνσης είναι θετικές.

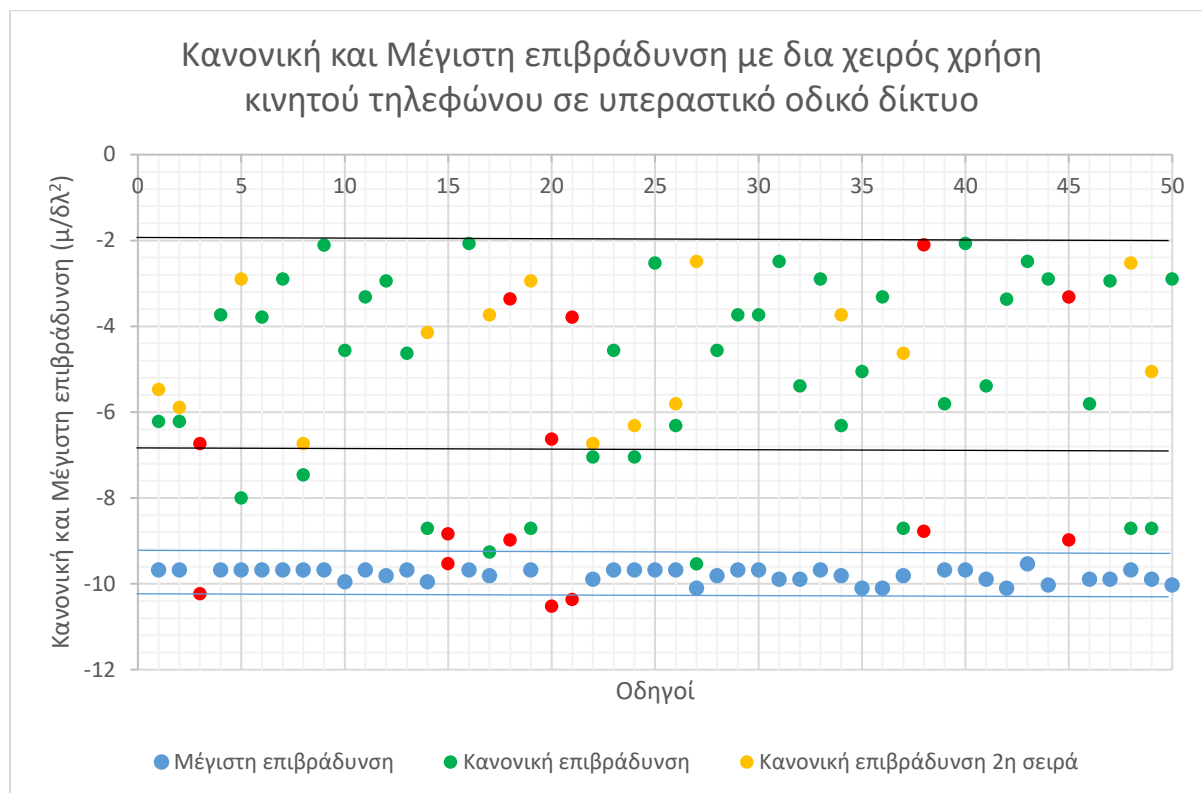
Η κανονική επιβράδυνση, θεωρήθηκε η επιβράδυνση κάτω από τις κανονικές συνθήκες οδήγησης. Πιο συγκεκριμένα, ως κανονική επιβράδυνση ορίστηκε η επιβράδυνση που προέρχεται συνήθως από την κανονική πορεία σε μια διαδρομή και όταν οι οδηγοί μπορεί να μειώσουν ταχύτητα εξαιτίας της γεωμετρίας του οδικού τμήματος, της οδικής σήμανσης, της ακολουθίας προπορευόμενου οχήματος (πλήν των περιπτώσεων απότομης πέδησης του κ.α.). Στην περίπτωση της πειραματικής διαδικασίας στην προσομοιωμένη οδήγηση, που πραγματοποίησαν οι οδηγοί, είναι η επιβράδυνση που αντιστοιχεί στην μικρότερη αρνητική τιμή της επιβράδυνσης αφαιρώντας τις τιμές κατά τη διάρκεια συμβάντος.

$$\text{Κανονική επιβράδυνση} = \min\{\text{no event}\{\text{επιτάχυνση/επιβράδυνση}\}, \text{αρνητική τιμή}\}$$

Όπου,

no event, είναι η κανονική πορεία στη προσομοιωμένη διαδρομή.

Με τον τρόπο αυτό υπολογίστηκε η κανονική και η μέγιστη επιβράδυνση. Στην συνέχεια, όπως και στην περίπτωση της επιτάχυνσης, θα έπρεπε να εξεταστούν οι τιμές με μεγάλη απόκλιση από το μέσο όρο. Στην περίπτωση της κανονικής και της μέγιστης επιβράδυνσης έπρεπε να πραγματοποιηθεί και ένας επιπλέον έλεγχος, καθώς οι μεγαλύτερες αρνητικές τιμές της κανονικής επιβράδυνσης δεν θα έπρεπε να προσεγγίζουν τις κατώτερες τιμές της μέγιστης επιβράδυνσης. Για το λόγο αυτό ορίστηκε ένα όριο τιμών στα διαγράμματα. Για να γίνει πιο κατανοητό αυτό, αναφέρεται ένα παράδειγμα παρακάτω. Στο διάγραμμα που ακολουθεί απεικονίζονται οι τιμές της κανονικής και μέγιστης επιβράδυνσης.



Διάγραμμα 3-2: Απεικόνιση αποδεκτών και μη αποδεκτών τιμών για την κανονική και μέγιστη επιβράδυνση για οδηγούς που κάνουν δια χειρός χρήση του κινητού τηλεφώνου στο υπεραστικό οδικό δίκτυο, καθώς επίσης και απεικόνιση των ορίων αποκλεισμού των τιμών αυτών.

Για τον υπολογισμό του μέσου όρου της μέγιστης και της κανονικής επιβράδυνσης πραγματοποιήθηκαν δύο ελέγχοι. Ο πρώτος έλεγχος αφορούσε κάποιο εύρος τιμών και για την κανονική αλλά και για τη μέγιστη επιβράδυνση. Το εύρος αυτό απεικονίζεται στο διάγραμμα με τις αντίστοιχες γραμμές, μπλέ γραμμή για την μέγιστη επιβράδυνση και μαύρη γραμμή για την κανονική επιβράδυνση.

$$\text{Εύρος κανονικής επιβράδυνσης} = [(-2,07) - (-6,73)], \quad (\mu/\delta\lambda^2)$$

$$\text{Εύρος μέγιστης επιβράδυνσης} = [(-9,53) - (-10,10)], \quad (\mu/\delta\lambda^2)$$

Όταν κάποιες τιμές ήταν εκτός του εύρους, ελέγχονταν αν η δεύτερη κατά σειρά τιμή άνηκε μέσα στο εύρος. Αν ναι, τότε για τον υπολογισμό του μέσου όρου λαμβάνονταν υπόψη η νέα τιμή, που απεικονίζεται στο διάγραμμα με πορτοκαλί χρώμα αντιστοιχεί στον ίδιο οδηγό (ίδια τιμή στον άξονα X). Αν όμως, δεν άνηκε ούτε η δεύτερη τιμή στο εύρος που έχει οριστεί τότε δεν λαμβάνονταν υπόψη καθόλου και η τιμή αυτή αποκλείονταν. Αυτός ήταν και ο δεύτερος έλεγχος που πραγματοποιήθηκε. Οι τιμές που έχουν αποκλειστεί απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα.

Ο ορισμός του εύρους σε κάθε περίπτωση, καθορίστηκε με βάση τις τιμές των μεγεθών. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρώντας που είναι η πλειοψηφία των τιμών στην κάθε παράμετρο και λαμβάνοντας υπόψη πως οι τιμές της κανονικής επιβράδυνσης δεν μπορούν να προσεγγίζουν τις τιμές της μέγιστης επιβράδυνσης και αντίστροφα, προέκυψαν οι τιμές για τα εύρη των δύο μεγεθών.

Ενδεικτικά στον **πίνακα 3-11**, παρουσιάζονται οι τροποποιημένες τιμές των χαρακτηριστικών που προέκυψαν για το υπεραστικό περιβάλλον:

Πίνακας 3-11: Τροποποιημένες τιμές παραμέτρων από το υπεραστικό περιβάλλον.

Υπεραστικό Περιβάλλον					
Σενάρια	Παράμετροι	Κύρια Τιμή	Τυπική Απόκλιση	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή
Χωρίς απόσπαση προσοχής	Μέγιστη Επιτάχυνση ($\mu/\delta l^2$)	4.53	0.28	3.37	5
	Κανονική Επιβράδυνση ($\mu/\delta l^2$)	-3.94	1.07	-2.07	-5.85
	Μέγιστη Επιβράδυνση ($\mu/\delta l^2$)	-9.8	0.16	-9.4	-10.17
Με δια χειρός χρήση κινητού τηλεφώνου	Μέγιστη Επιτάχυνση ($\mu/\delta l^2$)	4.5	0.43	3.37	5.05
	Κανονική Επιβράδυνση ($\mu/\delta l^2$)	-3.98	1.35	-2.07	-6.73
	Μέγιστη Επιβράδυνση ($\mu/\delta l^2$)	-9.79	0.15	-9.54	-10.1
Με ενσύρματη χρήση κινητού τηλεφώνου	Μέγιστη Επιτάχυνση ($\mu/\delta l^2$)	4.51	0.41	3.32	5.05
	Κανονική Επιβράδυνση ($\mu/\delta l^2$)	-4.05	1.27	-1.68	-5.89
	Μέγιστη Επιβράδυνση ($\mu/\delta l^2$)	-9.75	0.28	-8.63	-10.1
Με σύστημα ανοιχτής ακρόασης	Μέγιστη Επιτάχυνση ($\mu/\delta l^2$)	4.43	0.51	2.95	5.05
	Κανονική Επιβράδυνση ($\mu/\delta l^2$)	-3.45	1.23	-2.07	-6.63
	Μέγιστη Επιβράδυνση ($\mu/\delta l^2$)	-9.77	0.21	-8.99	-10.31

Ανάλυση ορίων ταχύτητας και αποδεκτής ταχύτητας

Πριν την ανάλυση του τύπου οχήματος που θα εισαχθεί στο πρόγραμμα, θα πρέπει να διερευνηθεί η παράμετρος 'speed acceptance', που αφορά την αποδεκτή ταχύτητα. Η παράμετρος αυτή μπορεί να ερμηνευθεί ως ο βαθμός αποδοχής των ορίων ταχύτητας. Μπορεί να πάρει τιμές μικρότερες ή μεγαλύτερες του 1. Όταν οι τιμές είναι μικρότερες του 1, σημαίνει

πως το όχημα θα λάβει ως μέγιστη ταχύτητα για ένα οδικό τμήμα το όριο ταχύτητας του τμήματος στο οποίο βρίσκεται. Όταν οι τιμές της παραμέτρου αυτής είναι μεγαλύτερες του 1, τότε το όχημα μπορεί να λάβει ως μέγιστη ταχύτητα τιμή μεγαλύτερη του ορίου ταχύτητας.

Κατά τη δημιουργία ενός οδικού τμήματος (section) στο πρόγραμμα παρέχεται η δυνατότητα καθορισμού ορίου ταχύτητας. Με τον καθορισμό αυτό της ταχύτητας, κάθε όχημα το οποίο θα διέλθει από το οδικό τμήμα δεν μπορεί να υπερβεί το όριο ταχύτητας που έχει οριστεί. Ο τρόπος με τον οποίο όμως μπορεί να υπερβεί το όριο ταχύτητας είναι με χρήση της παράμετρου ‘speed acceptance’ αν αυτή λάβει τιμές μεγαλύτερες του 1. Βασική προϋπόθεση, επίσης, θα είναι και η παράμετρος ‘maximum desired speed’, δηλαδή μέγιστη επιθυμητή ταχύτητα του οχήματος, να είναι μεγαλύτερη του ορίου ταχύτητας του οδικού τμήματος, ‘section speed’, κάθε φορά.

Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν δύο πειράματα:

Στο πρώτο πείραμα, αναλύθηκε το όριο ταχύτητας ενός οδικού τμήματος. Πιο συγκεκριμένα, σχεδιάστηκε ένα οδικό τμήμα μήκους 5 χιλιομέτρων με όριο ταχύτητας 50 χλμ/ώρα αποτελούμενο από 1 λωρίδα κυκλοφορίας. Επιπλέον, ορίστηκε ως ‘speed acceptance’ τιμή ίση με 1. Για τη διερεύνηση λοιπόν, πραγματοποιήθηκαν διαφορετικές προσομοιώσεις όπου κάθε φορά ο τύπος οχήματος που διέσχισε το δρόμο είχε ως μέγιστες επιθυμητές ταχύτητες από 20 έως 100 χλμ/ώρα, με βήμα κάθε φορά 5 χλμ/ώρα.

Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν, πως όταν το όχημα είχε μέγιστη επιθυμητή ταχύτητα μικρότερη του ορίου ταχύτητας του οδικού τμήματος, η τελική ταχύτητα κυμαινόταν κοντά στην μέγιστη επιθυμητή ταχύτητα. Όταν όμως, το όχημα είχε μέγιστη επιθυμητή ταχύτητα μεγαλύτερη από το όριο ταχύτητας, η τελική ταχύτητα ήταν ίδια με αυτήν που οριζόταν από το όριο ταχύτητας. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα του πειράματος.

Πίνακας 3-12: Αποτελέσματα πειράματος για ‘speed acceptance=1’.

Speed Acceptance	Όριο Ταχύτητας οδικού τμήματος (χλμ/ώρα)	Μέγιστη επιθυμητή ταχύτητα (χλμ/ώρα)	Τελική ταχύτητα (χλμ/ώρα)
1	50	20	20
1	50	25	25
1	50	30	30
1	50	35	35
1	50	40	40
1	50	45	45
1	50	50	50
1	50	55	50
1	50	60	50
1	50	65	50
1	50	70	50
1	50	75	50
1	50	80	50
1	50	85	50
1	50	90	50
1	50	95	50
1	50	100	50

Στο δεύτερο πείραμα, αναλύθηκαν οι τιμές του ‘speed acceptance’ και πως συμβάλλουν στην ενδεχόμενη αύξηση της ταχύτητας στην προσομοιωμένη οδήγηση. Για τη διερεύνηση λοιπόν,

σχεδιάστηκε πάλι ένα οδικό τμήμα μήκους 5 χλμ αποτελούμενο από 1 λωρίδα κυκλοφορίας με όριο ταχύτητας τα 50 χλμ/ώρα και μέγιστη επιθυμητή ταχύτητα του προσομοιωμένου επιβατικού οχήματος τα 110 χλμ/ώρα. Η τιμή της παραμέτρου ‘speed acceptance’ λάμβανε διαδοχικές τιμές από 1 έως 2,3, με βήμα 0,05. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 27 προσομοιώσεις.

Τα αποτελέσματα του δεύτερου πειράματος έδειξαν, πως όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της παραμέτρου ‘speed acceptance’ οι οδηγοί προσεγγίζουν πιο κοντά στη μέγιστη επιθυμητή τους ταχύτητα. Επιπλέον, η τελική τιμή της ταχύτητας είναι το γινόμενο του ορίου ταχύτητας με την κάθε φορά καθορισμένη τιμή του ‘speed acceptance’, αν θεωρηθεί πως η τυπική απόκλιση της είναι μηδέν. Στο ίδιο πείραμα, εάν θεωρηθεί σε κάθε τιμή της ‘speed acceptance’ και μια τυπική απόκλιση 0,1, τότε με βάση τα αποτελέσματα βλέπουμε πως υπάρχει μία μικρή προσέγγιση στις τιμές της τελικής ταχύτητας. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα του πειράματος. Η δεύτερη στήλη της ταχύτητας στον πίνακα, αφορά τα αποτελέσματα με τον καθορισμό της τυπικής απόκλισης.

Πίνακας 3-13: Αποτελέσματα πειράματος για τιμές του ‘speed acceptance’ μεγαλύτερες της μονάδας.

Speed Acceptance	Τελική ταχύτητα (χλμ/ώρα)	Τελική ταχύτητα με τ.α. 0,1 (χλμ/ώρα)
1	50	47.82
1.05	52.5	50.4
1.1	55	52.99
1.15	57.5	55.58
1.2	60	58.16
1.25	62.5	60.73
1.3	65	63.31
1.35	67.5	65.87
1.4	70	68.43
1.45	72.5	70.99
1.5	75	73.55
1.55	77.5	76.11
1.6	80	78.65
1.65	82.5	81.2
1.7	85	83.75
1.75	87.5	86.3
1.8	90	88.86
1.85	92.5	91.4
1.9	95	93.93
1.95	97.5	96.46
2	100	99
2.05	102.5	101.53
2.1	105	104.05
2.15	107.5	106.5
2.2	110	108.45
2.25	110	109.64
2.3	110	110

3.2.4. Εισαγωγή τύπων οχημάτων

Για την προσομοίωση της κυκλοφορίας σε μικροσκοπικό επίπεδο πρόκειται να εισαχθούν συγκεκριμένοι τύποι οχημάτων οι οποίοι ουσιαστικά διαχωρίζουν τις διακριτές κατηγορίες οχημάτων. Όπως αναφέρθηκε και στην **παράγραφο 3.2.2**, στην πειραματική διαδικασία της Λινάρδου (2017) υπήρχαν 4 κατηγορίες οδηγών με βάση τον τύπο απόσπαση προσοχής η συμπεριφορά των οποίων διαφοροποιούνταν σε 2 διακριτά οδικά περιβάλλοντα (αστικό και υπεραστικό). Καθώς, δεν ήταν δυνατή η επιλογή όλων των κατηγοριών χρηστών λόγω των πολλών σεναρίων που θα προέκυπταν, επιλέχθηκαν μόνο δύο κατηγορίες οι οποίες παρουσίαζαν τις υψηλότερες διαφοροποιήσεις στα χαρακτηριστικά τους, έτσι ώστε να παρατηρηθούν μεγαλύτερες διαφορές στα αποτελέσματα της έρευνας. Οι δύο κατηγορίες χρηστών που επιλέχθηκαν είναι:

Αστικό περιβάλλον:

- Επιβατικό όχημα, με χαρακτηριστικά οδηγού χωρίς απόσπαση προσοχής.
- Επιβατικό όχημα, με χαρακτηριστικά οδηγού που πραγματοποιεί ομιλία με δια χειρός χρήση του κινητού τηλεφώνου.

Υπεραστικό περιβάλλον:

- Επιβατικό όχημα, με χαρακτηριστικά οδηγού χωρίς απόσπαση προσοχής.
- Επιβατικό όχημα, με χαρακτηριστικά οδηγού που πραγματοποιεί ομιλία με δια χειρός χρήση του κινητού τηλεφώνου.

Επόμενο βήμα ήταν η τελική επιλογή των παραπάνω περιπτώσεων. Το οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης χωρίστηκε σε αστικό, με όριο ταχύτητας τα 40 χλμ/ώρα, και υπεραστικό, με όριο ταχύτητας τα 60 χλμ/ώρα. Επισημαίνεται ότι, με βάση τη γεωμετρία και το περιβάλλον του οδικού δικτύου οι οδηγοί στο υπεραστικό οδικό δίκτυο δεν μπορούσαν να αναπτύξουν ταχύτητες υψηλότερες από 80 με 90 χλμ/ώρα, και αντίστοιχα στο αστικό οδικό δίκτυο δεν μπορούσαν να αναπτύξουν ταχύτητες υψηλότερες από 60 χλμ/ώρα, ανεξάρτητα από τα υφιστάμενα όρια ταχύτητας.

Επισημαίνεται, ότι το AIMSUN δεν δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει διαφορετικές τιμές που αφορούν την κίνηση των οχημάτων (π.χ. μέγιστη ταχύτητα, μέγιστη επιτάχυνση, χρόνο αντίδρασης κ.α.) στα διαφορετικά περιβάλλοντα. Κατά συνέπεια, θα έπρεπε να επιλεγθούν οι τιμές της προσομοίωσης από ένα εκ των δύο τύπων οδικού δικτύου (αστικό και υπεραστικό).

Επιπλέον τονίζεται, πως τα αποτελέσματα της ανάλυσης για την παράμετρο της ‘speed acceptance’ ανέδειξαν πως η τελική ταχύτητα που θα έχει ο οδηγός σε ένα οδικό τμήμα είναι ο πολλαπλασιασμός της ταχύτητας του ορίου του οδικού τμήματος με την τιμή που θα έχει η παράμετρος. Έτσι λοιπόν, αν θεωρηθεί ως τιμή της παραμέτρου ‘speed acceptance’ το 1,4, τότε η μέγιστη ταχύτητα ενός οχήματος στο αστικό οδικό δίκτυο είναι τα 56 χλμ/ώρα, και στο υπεραστικό οδικό δίκτυο τα 84 χλμ/ώρα. Επισημαίνεται ότι με βάση επιτόπιες παρατηρήσεις η μέγιστη ταχύτητα στο αστικό τμήμα του οδικού δικτύου δεν υπερβαίνει τα 60χλμ/ώρα, ενώ στο υπεραστικό τα 80-90 χλμ/ώρα. Με βάση τα παραπάνω, οι τελικές κατηγορίες χρηστών που επιλέχθηκαν να προσομοιωθούν στην περιοχή μελέτης αφορούν τις τιμές που προέκυψαν από το πείραμα του προσομοιωτή οδήγησης στο υπεραστικό περιβάλλον.

Συγκεντρωτικά, τα χαρακτηριστικά και των δύο κατηγοριών οδηγών παρουσιάζονται στον ακόλουθο **πίνακα 3-14**.

Πίνακας 3-14: Πίνακας με τα χαρακτηριστικά των δύο κατηγοριών οδηγών που θα προσομοιωθούν στις προσομοιώσεις.

Αστικό - Υπεραστικό Περιβάλλον					
Κατηγορίες	Παράμετροι	Κύρια Τιμή	Τυπική Απόκλιση	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή
Χωρίς απόσπαση προσοχής	Μέγιστη Επιθυμητή Ταχύτητα (μ/δλ)	79.9	13.21	36.3	105.7
	Χρόνος Αντίδρασης (δλ)	0.95	0.18	0.61	1.66
	Μέγιστη Επιτάχυνση (μ/δλ ²)	4.53	0.28	3.37	5
	Κανονική Επιβράδυνση (μ/δλ ²)	-3.94	1.07	-2.07	-5.85
	Μέγιστη Επιβράδυνση (μ/δλ ²)	-9.8	0.16	-9.4	-10.17
	Speed Acceptance	1.4	0.1	1.2	1.6
Με δια χειρός χρήση κινητού τηλεφώνου	Μέγιστη Επιθυμητή Ταχύτητα (μ/δλ)	73.62	10.58	45	97.5
	Χρόνος Αντίδρασης (δλ)	1.01	0.25	0.7	2.27
	Μέγιστη Επιτάχυνση (μ/δλ ²)	4.5	0.43	3.37	5.05
	Κανονική Επιβράδυνση (μ/δλ ²)	-3.98	1.35	-2.07	-6.73
	Μέγιστη Επιβράδυνση (μ/δλ ²)	-9.79	0.15	-9.54	-10.1
	Speed Acceptance	1.4	0.1	1.2	1.6

Διαδικασία εισαγωγής συγκεκριμένων τύπων οχημάτων στο πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN

Έχοντας καταλήξει στις δύο κατηγορίες οδηγών, δηλαδή στα επιβατικά οχήματα με οδηγούς χωρίς απόσπαση προσοχής και σε οδηγούς με απόσπαση προσοχής από τη δια χειρός χρήση κινητού τηλεφώνου, θα πρέπει να εισαχθούν στο πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης τα χαρακτηριστικά της κάθε κατηγορίας. Κατά συνέπεια, θα πρέπει αρχικά να δημιουργηθούν οι δύο νέες κατηγορίες οδηγών οχημάτων με τα χαρακτηριστικά από τους διακριτούς χρήστες.

Η διαδικασία για τη δημιουργία των νέων τύπων/κατηγοριών οχημάτων πραγματοποιείται από το κεντρικό παράθυρο του προγράμματος και συγκεκριμένα από την εισαγωγή δεδομένων

ζήτησης (Demand Data), όπου παρέχεται η δυνατότητα δημιουργίας νέων τύπων οχήματος. (Vehicles -> Vehicle Type -> New). Η παραπάνω διαδικασία εκτελείται δύο φορές για τις δύο κατηγορίες οχημάτων – χρηστών:

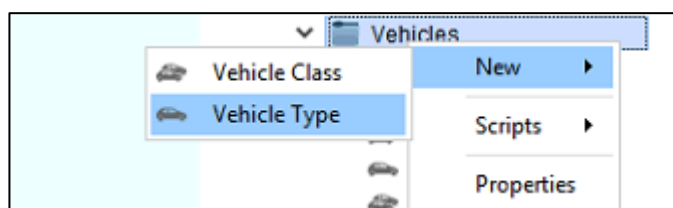
Vehicle Type 1 = Rural HH

Vehicle Type 2 = Rural Base

όπου,

Rural HH, είναι το επιβατικό όχημα με τα χαρακτηριστικά του οδηγού που συνομιλεί στο κινητό τηλέφωνο με δια χειρός χρήση του.

Rural Base, είναι το επιβατικό όχημα με τα χαρακτηριστικά του οδηγού χωρίς απόσπαση προσοχής.



Εικόνα 3-7: Διαδικασία δημιουργίας κατηγοριών οχημάτων μέσα από το πρόγραμμα AIMSUN.

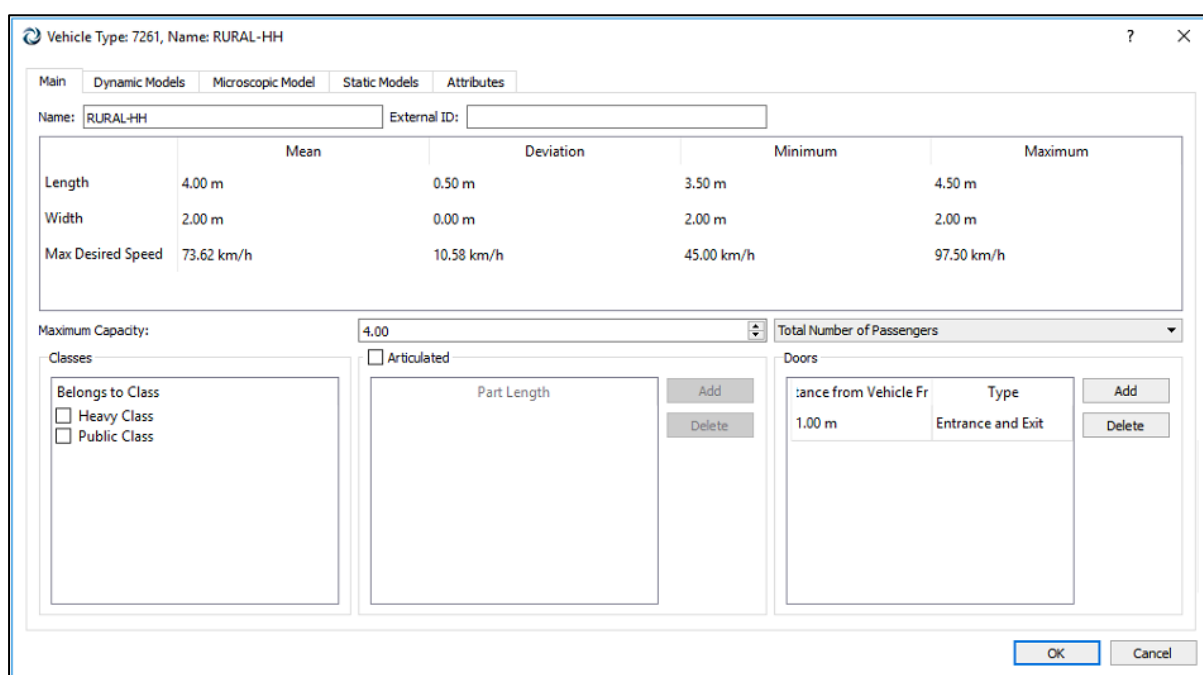
Μετά τη δημιουργία των νέων τύπων οχημάτων στο πρόγραμμα ακολουθεί η διαδικασία εισαγωγής των χαρακτηριστικών του κάθε τύπου στο πρόγραμμα. Αυτό πραγματοποιείται από την κεντρική καρτέλα του τύπου οχήματος κάθε φορά.

Στην κύρια καρτέλα Vehicle Type, υπάρχουν οι παρακάτω παράμετροι:

- **Μήκος:** αποτελεί το μήκος σε μέτρα του συγκεκριμένου τύπου οχήματος. Η παράμετρος αυτή χρησιμοποιείται τόσο για τη γραφική αναπαράσταση των οχημάτων όσο και για την προσομοίωση. Έχει άμεση επίδραση στην κυκλοφοριακή προσομοίωση διότι το μήκος του οχήματος λαμβάνεται υπόψη σε όλα τα μοντέλα συμπεριφοράς οχημάτων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, τα στοιχεία της παραμέτρου αυτής έμειναν όπως ορίζονται από το πρόγραμμα.
- **Πλάτος:** αποτελεί το πλάτος σε μέτρα του συγκεκριμένου τύπου οχήματος. Η παράμετρος αυτή χρησιμοποιείται μόνο για γραφική αναπαράσταση και δεν έχει άμεση επίδραση στην κυκλοφοριακή προσομοίωση. Και εδώ, οι τιμές που δόθηκαν ήταν αυτές που είχαν καθοριστεί από το πρόγραμμα.
- **Μέγιστη επιθυμητή ταχύτητα:** αποτελεί τη μέγιστη επιθυμητή ταχύτητα του συγκεκριμένου τύπου οχήματος σε χλμ/ώρα. Είναι η μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει το όχημα στο προσομοιωμένο οδικό δίκτυο σε συνθήκες ελεύθερης ροής, αλλά όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενες παραγράφους η τελική τιμή που θα έχει ένα όχημα στο οδικό δίκτυο προσαρμόζεται με βάση το όριο ταχύτητας και την παράμετρο 'speed acceptance'. Οι τιμές οι οποίες δόθηκαν σε κάθε κατηγορία είναι:

Πίνακας 3-15: Μέγιστη επιθυμητή ταχύτητα για τις δύο κατηγορίες οχημάτων που δημιουργήθηκαν.

Τύποι	Παράμετροι	Κύρια Τιμή	Τυπική Απόκλιση	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή
Rural Base	Μέγιστη Επιθυμητή Ταχύτητα (μ/δλ)	79.9	13.21	36.3	105.7
Rural HH	Μέγιστη Επιθυμητή Ταχύτητα (μ/δλ)	73.62	10.58	45	97.5



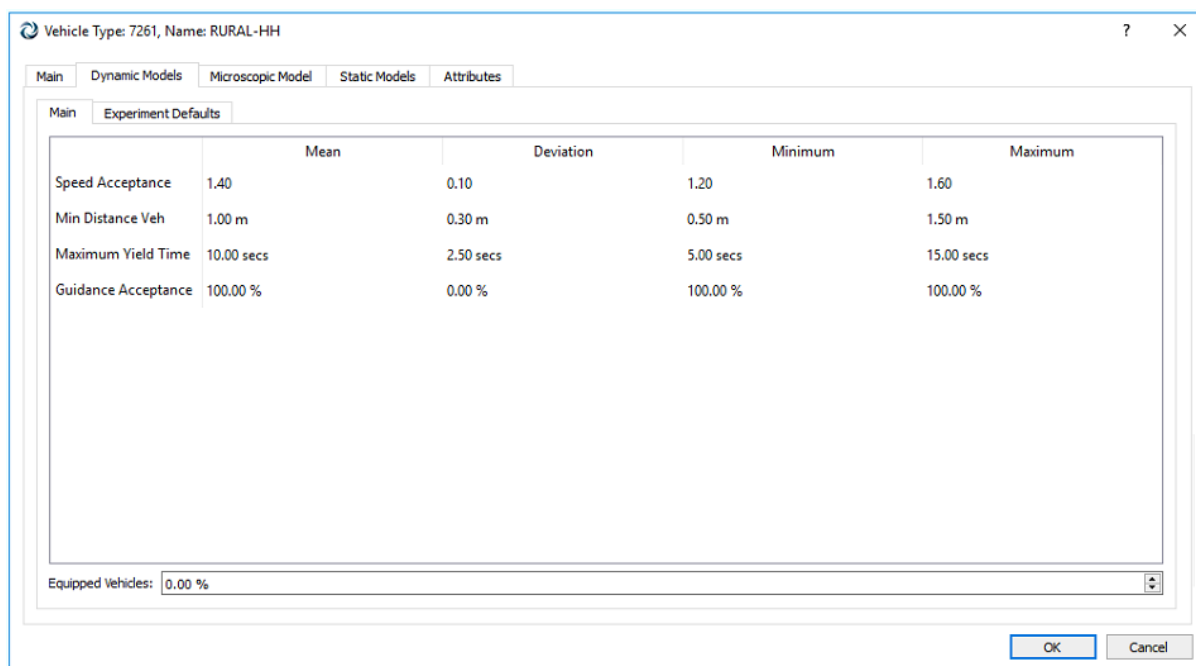
Εικόνα 3-8: Εισαγωγή της μέγιστης επιθυμητής ταχύτητας, για την κατηγορία οχήματος RURAL-HH, στο πρόγραμμα.

Στην καρτέλα Vehicle Type και συγκεκριμένα στο δυναμικό μοντέλο και στην υποκαρτέλα κύριο μενού η παράμετρος που μας ενδιέφερε μόνο ήταν η ‘speed acceptance’.

- **Speed acceptance:** αυτή η παράμετρος μπορεί να ερμηνευτεί ως ο βαθμός αποδοχής του ορίου ταχύτητας. Όταν είναι υψηλότερη από το 1 σημαίνει πως το όχημα θα λάβει ως μέγιστη ταχύτητα για ένα τμήμα μια τιμή μεγαλύτερη από το όριο ταχύτητας, ενώ όταν είναι μικρότερη του 1 σημαίνει ότι το όχημα θα χρησιμοποιεί χαμηλότερο όριο ταχύτητας. Και εδώ, οι τιμές οι οποίες δόθηκαν και οι οποίες προέκυψαν από τον πειραματικό έλεγχο που πραγματοποιήθηκε είναι:

Πίνακας 3-16: ‘Speed Acceptance’ για τις δύο κατηγορίες οχημάτων που δημιουργήθηκαν.

Τύποι	Παράμετροι	Κύρια Τιμή	Τυπική Απόκλιση	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή
Rural Base	Speed Acceptance	1.4	0.1	1.2	1.6
Rural HH	Speed Acceptance	1.4	0.1	1.2	1.6



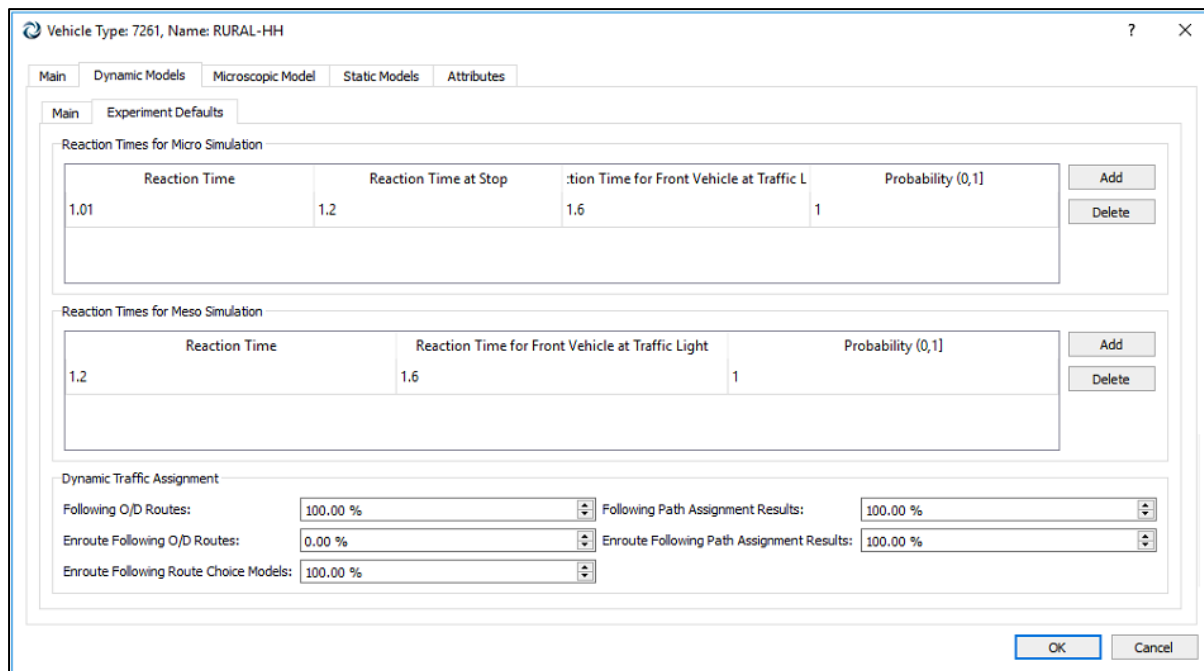
Εικόνα 3-9: Εισαγωγή της τιμής ‘speed acceptance’ της κατηγορίας οχήματος RURAL-HH, στο πρόγραμμα.

Στη συνέχεια, στην υποκαρτέλα προεπιλογής στοιχείων πειραμάτων επιτρέπεται η αλλαγή παραμέτρων που αργότερα μπορούν να αλλάξουν σε επίπεδο πειράματος. Στους παραμέτρους που περιλαμβάνονται σε αυτήν την υποκαρτέλα είναι ο χρόνος αντίδρασης σε διάφορες περιπτώσεις αναφερόμενος σε μικροσκοπικό και μεσοσκοπικό επίπεδο προσομοίωσης.

- **Χρόνος αντίδρασης:** αποτελεί το χρόνο αντίδρασης που χρειάζεται ένας οδηγός για να αντιδράσει στις αλλαγές ταχύτητας που πραγματοποιεί το προπορευόμενο όχημα. Οι τιμές οι οποίες καθορίστηκαν σε κάθε τύπο και αναφέρονται μόνο σε μικροσκοπικό επίπεδο είναι:

Πίνακας 3-17: Χρόνος αντίδρασης για τις δύο κατηγορίες οχημάτων που δημιουργήθηκαν.

Τύποι	Παράμετροι	Κύρια Τιμή	Τυπική Απόκλιση	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή
Rural Base	Χρόνος Αντίδρασης (δλ)	0.95	0.18	0.61	1.66
Rural HH	Χρόνος Αντίδρασης (δλ)	1.01	0.25	0.7	2.27



Εικόνα 3-10: Εισαγωγή του χρόνου αντίδρασης, για την κατηγορία οχήματος RURAL-HH, στο πρόγραμμα.

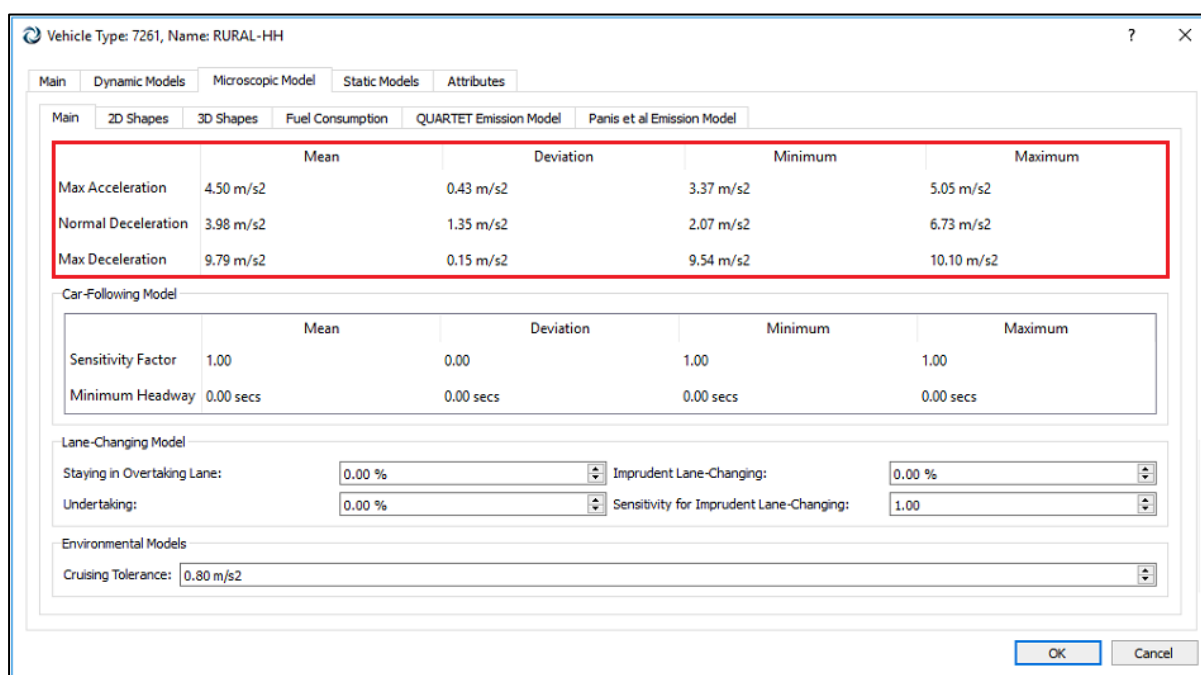
Τέλος, στην καρτέλα που αφορά την μικροσκοπική προσομοίωση περιλαμβάνονται βασικές παράμετροι. Πιο συγκεκριμένα, παράμετρος μοντέλων λωρίδας, παράμετρος περιβαλλοντικών μοντέλων καθώς και μορφές δισδιάστατων και τρισδιάστατων που χρησιμοποιούνται για την δισδιάστατη και τρισδιάστατη απεικόνιση μιας μικροσκοπικής προσομοίωσης. Οι βασικές παράμετροι που τροποποιήθηκαν είναι:

- **Μέγιστη επιτάχυνση:** αποτελεί τη μέγιστη επιτάχυνση σε μέτρα ανά τετραγωνικά δευτερόλεπτα που το όχημα μπορεί να επιτύχει κάτω από οποιοδήποτε συνθήκες. Αυτή η επιτάχυνση είναι αυτή που χρησιμοποιείται στο μοντέλο ακολουθίας οχήματος του Gipps 1981 και 1986b.
- **Κανονική επιβράδυνση:** αποτελεί την μέγιστη επιβράδυνση σε μέτρα ανά τετραγωνικά δευτερόλεπτα υπό κανονικές συνθήκες οδήγησης. Αυτή η επιτάχυνση είναι αυτή που χρησιμοποιείται στο μοντέλο ακολουθίας οχήματος του Gipps 1981 και 1986b.
- **Μέγιστη επιβράδυνση:** αποτελεί τη μέγιστη επιβράδυνση σε μέτρα ανά τετραγωνικά δευτερόλεπτα που μπορεί να εφαρμόσει ένα όχημα σε μία περίπτωση ξαφνικού συμβάντος.

Οι τιμές που εφαρμόστηκαν σε κάθε μια από τις δύο κατηγορίες οδηγών και για τις τρεις παραπάνω παραμέτρους παρουσιάζονται στον **πίνακα 3-18**.

Πίνακας 3-18: Μέγιστη επιτάχυνση, Κανονική επιβράδυνση και Μέγιστη επιβράδυνση για τις δύο κατηγορίες οχημάτων που δημιουργήθηκαν στο πρόγραμμα.

Τύποι	Παράμετροι	Κύρια Τιμή	Τυπική Απόκλιση	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή
Rural Base	Μέγιστη Επιτάχυνση (μ/δλ ²)	4.53	0.28	3.37	5
	Κανονική Επιβράδυνση (μ/δλ ²)	-3.94	1.07	-2.07	-5.85
	Μέγιστη Επιβράδυνση (μ/δλ ²)	-9.8	0.16	-9.4	-10.17
Rural HH	Μέγιστη Επιτάχυνση (μ/δλ ²)	4.5	0.43	3.37	5.05
	Κανονική Επιβράδυνση (μ/δλ ²)	-3.98	1.35	-2.07	-6.73
	Μέγιστη Επιβράδυνση (μ/δλ ²)	-9.79	0.15	-9.54	-10.1



Εικόνα 3-11: Εισαγωγή της μέγιστης επιτάχυνσης, κανονικής επιβράδυνσης και μέγιστης επιβράδυνσης, για την κατηγορία οχήματος RURAL-HH, στο πρόγραμμα.

3.3. Η κωδικοποίηση στο πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN

Η δυναμική προσομοίωση του προγράμματος κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN χαρακτηρίζεται από το υψηλό επίπεδο λεπτομέρειας με το οποίο διαμορφώνεται το σύστημα. Η ποιότητα του μοντέλου ή δικτύου που θα σχεδιαστεί εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διαθεσιμότητα και την ακρίβεια των δεδομένων εισόδου. Παρακάτω αναλύονται μερικοί όροι των βασικών δεδομένων εισόδου και οι οποίοι αποτελούν κομβικά σημεία δημιουργίας ενός αξιόπιστου και αξιόλογου δικτύου.

Section – Οδικό τμήμα

Είναι οδικά τμήματα τα οποία αποτελούνται από συνεχείς λωρίδες κυκλοφορίας και τα οχήματα που διέρχονται σε αυτά κινούνται προς μια κατεύθυνση, αυτήν που έχει οριστεί. Ο αριθμός των λωρίδων που μπορεί να σχεδιαστεί σε κάθε section είναι 1 – 8. Σε μια αστική περιοχή τα οδικά τμήματα αναπαριστούν το οδικό δίκτυο μεταξύ των διασταυρώσεων. Ενώ σε έναν αυτοκινητόδρομο αναπαριστούν το οδικό τμήμα μεταξύ κλάδων εισόδου/εξόδου.

Main and side lines – Κύριες και πλευρικές λωρίδες

Οι λωρίδες είναι κομμάτι ενός οδικού τμήματος. Κάθε οδικό τμήμα μπορεί να αποτελείται από τις κύριες λωρίδες και τις πλευρικές λωρίδες. Οι πλευρικές δεν είναι υποχρεωτικό να υπάρχουν. Οι κύριες λωρίδες είναι αυτές που λειτουργούν στο κύριο μέρος του οδικού τμήματος όπου τα οχήματα εισέρχονται και εξέρχονται όταν συνήθως κινούνται προς την κύρια διεύθυνση του δρόμου. Οι πλευρικές λωρίδες συνήθως αφορούν λωρίδες επιτάχυνσης/επιβράδυνσης και χρησιμοποιούνται όταν τα οχήματα που έχουν εισέλθει στο οδικό τμήμα επιθυμούν να μην οδηγήσουν προς την κύρια κατεύθυνση, αλλά να προετοιμαστούν για να στρίψουν προς άλλη κατεύθυνση. Μια πλευρική λωρίδα μπορεί να τοποθετηθεί είτε από τη δεξιά είτε από την αριστερή πλευρά.

Geometry section – Γεωμετρία οδικού τμήματος

- Ένα οδικό τμήμα μπορεί να αποτελεί ένα ευθύγραμμο τμήμα.
- Ένα οδικό τμήμα μπορεί να έχει πολλά οριζόντια καμπύλα τμήματα.
- Η γωνία εισόδου ή και εξόδου από το οδικό τμήμα μπορεί να τροποποιηθεί για την καλύτερη σύνδεση με το επόμενο οδικό τμήμα.

Detectors - Φορατές

Οι φορατές ή ανιχνευτές μπορούν να τοποθετούν σε οποιαδήποτε διατομή ενός οδικού τμήματος. Το πλάτος τους μπορεί να καθοριστεί και να επεκταθεί όσο είναι και το σύνολο των λωρίδων στο οδικό τμήμα που βρίσκεται. Οι δυνατότητες που έχουν οι φορατές είναι ότι μπορούν να μετρούν, για τις διακριτές κατηγορίες οχημάτων που έχουν εισαχθεί

- τον αριθμό των οχημάτων που διήλθαν από τη διατομή,
- την πυκνότητα,
- την ταχύτητα,
- την πληρότητα.

Nodes - Κόμβοι

Ο κόμβος είναι ένα σημείο ή μια περιοχή στο δίκτυο όπου τα οχήματα μπορούν να αλλάξουν κατεύθυνση. Ένας κόμβος μπορεί να έχει ένα ή περισσότερα οδικά τμήματα προέλευσης και ένα ή περισσότερα οδικά τμήματα προορισμού. Μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο τύπους κόμβων: τους κόμβους σύνδεσης (join nodes), και τους κόμβους διασταυρώσεων (junction nodes).

Οι κόμβοι σύνδεσης, ενώνουν οδικά τμήματα με όμοια ή διαφορετικά χαρακτηριστικά και συνήθως ο αριθμός των λωρίδων προέλευσης είναι ίδιος με τον αριθμό των λωρίδων προορισμού. Συνήθως χρησιμοποιούνται για οδικά τμήματα σε αυτοκινητόδρομους. Όσον αφορά τους κόμβους διασταυρώσεων βρίσκονται συχνά σε αρτηρίες και αστικές οδούς. Επιπλέον, σε ένα κόμβο διασταυρώσεων για να μην δημιουργούνται συγκρούσεις μεταξύ των οχημάτων υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου της διασταύρωσης και η οποία καθορίζεται από το χρήστη. Ο έλεγχος μπορεί να γίνει είτε με σήμανση προτεραιότητας, είτε με φωτεινή σηματοδότηση. Επιπλέον, σε έναν κόμβο διασταυρώσεων, οι κατευθύνσεις που θα ακολουθήσουν τα οχήματα από το οδικό τμήμα προέλευσης προς το οδικό τμήμα προορισμού γίνεται με βάση τις στρέφουσες τις οποίες θα ορίσει και πάλι ο χρήστης.

Vehicles type – Τύποι Οχημάτων

Ο τύπος οχήματος είναι μία ομάδα οχημάτων στην οποία έχουν καθοριστεί συγκεκριμένα φυσικά χαρακτηριστικά για τη μοντελοποίηση τους στο περιβάλλον της προσομοίωσης. Το πρόγραμμα έχει ενσωματωμένους κάποιους τύπους οχημάτων, όπως είναι τα ταξί, τα δίκυκλα, τα λεωφορεία, τα φορτηγά κ.α.. Όμως ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει και αυτός τον δικό του τύπο οχήματος με τα χαρακτηριστικά που αυτός επιθυμεί.

Signal Groups – Ομάδα Σημάτων

Ομάδα σημάτων είναι το σύνολο των κινήσεων που πραγματοποιείται από ένα ρεύμα όταν ο φωτεινός σηματοδότης δείξει την πράσινη ένδειξη. Ένας κύκλος φωτεινής σηματοδότησης σε μία διασταύρωση μπορεί να χωρίζεται σε φάσεις, όπου η καθεμία από αυτές ενεργοποιεί ένα συγκεκριμένο σύνολο ρευμάτων.

Traffic Control – Κυκλοφοριακός Έλεγχος

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως στους κόμβους, το πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN, λαμβάνει υπόψη του διάφορους τύπους ελέγχου κυκλοφορίας, όπως φωτεινούς σηματοδότες, πινακίδες προτεραιότητας και έλεγχο σε ράμπες εισόδου. Οι φωτεινοί σηματοδότες και οι πινακίδες προτεραιότητας χρησιμοποιούνται σε κόμβους διασταυρώσεων, ενώ ο έλεγχος στις ράμπες, για την είσοδο των οχημάτων σε αυτοκινητόδρομους. Τα δεδομένα εισόδου που απαιτούνται για τον καθορισμό του ελέγχου κυκλοφορίας σε καθεμία περίπτωση είναι τα εξής:

- *Σηματοδοτούμενες διασταυρώσεις:* η θέση των φωτεινών σηματοδοτών, τα ρεύματα στα οποία ομαδοποιούνται οι κινήσεις του κύκλου, η σειρά των φάσεων και για κάθε ένα από τα ρεύματα που έχουν δικαίωμα διέλευσης, ο συντονισμός του κύκλου σηματοδότησης με γειτονικούς κόμβους και η διάρκεια της κάθε φάσης.
- *Μη σηματοδοτούμενοι κόμβοι:* η τοποθέτηση των πινακιδών προτεραιότητας στις αντίστοιχες κινήσεις και ο καθορισμός των κανόνων προτεραιότητας.

- *Έλεγχος σε ράμπες:* θέση, τύπος ελέγχου παράμετροι ελέγχου.

Traffic Demand Data – Δεδομένα Κυκλοφοριακής Ζήτησης

Το πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης έχει δύο εναλλακτικούς τρόπους εισαγωγής προσομοίωσης της κυκλοφοριακής ζήτησης. Ο ένας βασίζεται σε ροές οχημάτων εισόδου στο δίκτυο και στα ποσοστά στρεφουσών στις διασταυρώσεις, και ο άλλος βασίζεται σε πίνακες προέλευσης – προορισμού των οχημάτων μέσα στο δίκτυο. Ο χρήστης επιλέγει μία εκ των δύο μεθόδων με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα οι κυκλοφοριακές καταστάσεις οι οποίες επικρατούσαν στο οδικό δίκτυο την ώρα αιχμής, όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις. Με βάση τον ορισμό της, η κυκλοφοριακή κατάσταση είναι μία περιγραφή της κατάστασης σε κάθε οδικό τμήμα του δικτύου και ορίζεται για ένα χρονικό διάστημα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επειδή οι μετρήσεις διήρκησαν μία ώρα το χρονικό διάστημα εδώ αναφέρεται στη μία ώρα. Γενικά, η κατάσταση κυκλοφορίας σε ένα οδικό τμήμα χαρακτηρίζεται από τις ακόλουθες μέσες μετρήσεις:

- Για τα οδικά τμήματα που αποτελούν σημεία εισόδου των οχημάτων στο δίκτυο, προσδιορίζονται οι αφίξεις (κυκλοφοριακός φόρτος) ανά τύπο οχήματος.
- Για κάθε επόμενο οδικό τμήμα, στο οποίο θα γίνει η μετάβαση μέσω κόμβων, προσδιορίζονται τα ποσοστά στρεφουσών, στις επιμέρους κινήσεις.

Επισημαίνεται ότι, τα οχήματα παράγονται – γεννιούνται στο προσομοιωμένο δίκτυο μέσω των ακραίων οδικών τμημάτων, ακολουθώντας ένα μοντέλο τυχαίας γένεσης που βασίζεται στις μέσες ροές εισόδου. Στη συνέχεια κατανέμονται τυχαία σε όλο το οδικό δίκτυο σύμφωνα με τις αναλογίες στρεφουσών που ορίζονται σε κάθε κόμβο του δικτύου. Κατά συνέπεια, δεν υπάρχει πληροφορία για την πλήρη πορεία των οχημάτων κατά μήκος του δικτύου. Στην περίπτωση που υπήρχαν πίνακες προέλευσης – προορισμού τότε για τα οχήματα που γεννιούνται στο δίκτυο δίνεται και η πληροφορία για τη διαδρομή που θα ακολουθήσουν.

Running Simulation – Εκτέλεση Προσομοίωσης

Το πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN διατηρεί όλες τις πληροφορίες και τις λειτουργίες που απαιτούνται για την προετοιμασία και την εκτέλεση σε δυναμικά σενάρια, δυναμικά πειράματα, αναπαραγωγές και αποτελέσματα. Σε κάθε ένα από αυτά εμπεριέχονται:

Για τα δυναμικά σενάρια (dynamic simulation):

- Κυκλοφοριακή ζήτηση, το αρχείο εκχώρησης διαδρομής, οι δημόσιες συγκοινωνίες και τα σχέδια / πλάνα ελέγχου που πρέπει να χρησιμοποιηθούν.
- Σύνολο πραγματικών δεδομένων για την επικύρωση των στοιχείων εξόδου προσομοίωσης.
- Τα στατιστικά στοιχεία που θα συλλέγονται και που θα αποθηκεύονται.
- Εξωτερικές εφαρμογές (APIs) που θα χρησιμοποιηθούν.
- Τιμές μεταβλητών εάν υπάρχουν.
- Ποιές στρατηγικές και ποιές συνθήκες θα εφαρμοστούν.

Για τα δυναμικά πειράματα (dynamic experiment):

- Φόρτιση δικτύου.
- Χρόνοι αντίδρασης.
- Διάρκεια προθέρμανσης του δικτύου.

- Ορισμός αφίξεων.
- Τιμές μεταβλητών.
- Πολιτικές που θα εφαρμοστούν.
- Παράμετροι συμπεριφοράς προσομοίωσης.
- Παράμετροι δυναμικού καταμερισμού της κυκλοφορίας.
- Μεθοδολογία κατανομής.

Για τις αναπαραγωγές (replications):

- Τυχαίες κατανομές και τυχαίος (δοσμένος/καθορισμένος) αριθμός σε κάθε προσομοίωση που θα χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.
- Αρχική κατάσταση δεδομένων που θα συμπληρωθεί στα καινούργια στοιχεία στο τέλος της προσομοίωσης, εάν υπάρχει.

Για τα αποτελέσματα (results):

- Τυχαίες κατανομές.

3.3.1. Εισαγωγή οδικού δικτύου στο AIMSUN

Έχοντας αρχικά ορίσει την περιοχή μελέτης και το οδικό δίκτυο το οποίο θα χρησιμοποιηθεί, έπρεπε στην συνέχεια το οδικό δίκτυο να σχεδιαστεί στο πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN. Ο σχεδιασμός του όμως δεν μπορούσε να γίνει αυθαίρετα στο περιβάλλον του προγράμματος. Για το λόγο αυτό έπρεπε να χρησιμοποιηθεί ένα υπόβαθρο, σε πρώτο στάδιο, το οποίο θα είχε τη σωστή κλίμακα και το οποίο θα αντιπροσώπευε με απόλυτη ακρίβεια την πραγματικότητα. Πάνω στο υπόβαθρο αυτό, σε δεύτερο στάδιο, θα σχεδιάζόνταν το οδικό δίκτυο.

Έτσι λοιπόν, ο σχεδιασμός πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα QGIS. Πιο συγκεκριμένα, έγινε εισαγωγή της πλατφόρμας OpenStreetMap μέσα στο πρόγραμμα, με σύστημα αναφοράς το WGS'84. Γνωρίζοντας τα οδικά τμήματα, τα οποία είχαν επιλεγεί για να προσομοιωθούν, πάνω σε αυτά ψηφιοποιήθηκαν οι άξονες των δρόμων που θα χρησιμοποιηθούν σαν υπόβαθρο στο AIMSUN. Στο πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN δίνεται η δυνατότητα εισαγωγής αρχείων της μορφής GIS και CAD (.DXF). Λαμβάνοντας αυτό υπόψη, πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή των αξόνων στο πρόγραμμα με το ίδιο σύστημα αναφοράς, WGS'84.

Το γενικό περιβάλλον σχεδίασης του AIMSUN αποτελείται από συνδέσμους και συνδετήρια τμήματα. Τα συνδετήρια τμήματα αποτελούν τα οδικά τμήματα τα οποία σχεδιάζονται με τον όρο sections, που αναφέρθηκε προηγουμένως, και οι σύνδεσμοι αποτελούν κόμβους/διασταύρωσεις. Τα οχήματα τα οποία προσομοιώνονται στο πρόγραμμα κινούνται στο δίκτυο μεταβαίνοντας από το ένα οδικό τμήμα στο άλλο μέσω των συνδέσμων. Έχοντας τοποθετήσει το υπόβαθρο, δηλαδή τους οδικούς άξονες, στο περιβάλλον σχεδίασης του AIMSUN, πραγματοποιήθηκε η σχεδίαση των συνδετήριων τμημάτων αλλά και των συνδέσμων.

Ένα άλλο στοιχείο του προγράμματος είναι πως το κάθετι που σχεδιάζεται μέσα στο πρόγραμμα θα πρέπει να κωδικοποιείται. Συνεπώς, κάθε φορά που σχεδιάζοταν ένα καινούργιο συνδετήριο τμήμα ή ένας καινούριος σύνδεσμος λάμβανε αυτόματα έναν κωδικό που όριζε το πρόγραμμα. Για να γίνει πιο εύκολη η αναγνώριση αυτών μετ'έπειτα, στο κάθε συνδετήριο τμήμα, εκτός από τον κωδικό δινόταν και ακριβώς η ονομασία της οδού.

Κατά τη διάρκεια των εργασιών πεδίου έγινε πλήρης καταγραφή του οδικού δικτύου της περιοχής μελέτης και αποτυπώθηκαν σε κάθε δρόμο οι λωρίδες κυκλοφορίας που υπάρχουν. Όσον αφορά το πλάτος της λωρίδας, μετρήθηκε στις διασταυρώσεις κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Το πλάτος όμως είναι μία παράμετρος που στο πρόγραμμα AIMSUN δεν επηρεάζει την κυκλοφορία και συνεπώς δεν λαμβάνεται υπόψη (σχετική ανάλυση για το πλάτος της λωρίδας πραγματοποιήθηκε και αναφέρεται σε επόμενη παράγραφο). Συνεπώς, θεωρήθηκε αυθαίρετα σε όλα το οδικό δίκτυο το ίδιο πλάτος 3μ.

Ένα επιπλέον γεωμετρικό χαρακτηριστικό το οποίο θα βοηθούσε στην καλύτερη αναπαράσταση του δικτύου ήταν, η κλίση των οδικών τμημάτων. Πριν την εισαγωγή όμως των κλίσεων έπρεπε να πραγματοποιηθεί ένας έλεγχος για να διαπιστωθεί αν η κλίση είναι μια παράμετρος που επηρεάζει την κυκλοφορία και δεν χρησιμοποιείται μόνο για την καλύτερη οπτικοποίηση του οδικού δικτύου. Με ανάλυση που πραγματοποιήθηκε και η οποία αναφέρεται αναλυτικά σε επόμενη παράγραφο, διαπιστώθηκε πως η κλίση επηρεάζει την κυκλοφορία και κατά συνέπεια λήφθηκε υπόψη στην αναπαράσταση του δικτύου.

Για το πρόγραμμα AIMSUN, η δημιουργία κλίσεων σε ένα οδικό τμήμα καθορίζεται με βάση τα υψόμετρα στην αρχή και στο τέλος του τμήματος αυτού. Επομένως, για την ενσωμάτωση όλων των κλίσεων στο οδικό δίκτυο προσδιορίστηκαν τα υψόμετρα σε όλα τα σημεία του δικτύου. Έπειτα για τον προσδιορισμό των υψομέτρων σε όλα τα σημεία χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή Google Earth Pro, η οποία έχει και αυτή ως σύστημα αναφοράς το WGS'84.

Το πρόγραμμα AIMSUN παρέχει τη δυνατότητα τα δίκτυα τα οποία σχεδιάζονται στο περιβάλλον της να τα εξαγει σε μορφή GIS, CAD και αρχεία σε μορφή KMZ κατάλληλα για την απεικόνισή τους στην εφαρμογή Google Earth. Έτσι λοιπόν, με βάση το υπόβαθρο που χρησιμοποιήθηκε και πάνω στο οποίο σχεδιάστηκε το οδικό δίκτυο, τα δύο συστήματα αναφοράς ταυτίζονταν. Συνεπώς, με την εξαγωγή του οδικού δικτύου σε αρχείο KMZ, και με το άνοιγμά του από την εφαρμογή Google Earth Pro, το οποίο με το άνοιγμα της εμφανίζονταν σαν layer απάνω στο έδαφος, το οδικό αυτό τμήμα έφευτε ακριβώς πάνω στο πραγματικό δίκτυο της περιοχής μελέτης, και κατά συνέπεια προσδιορίστηκαν όλα τα υψόμετρα. Τα στοιχεία τα οποία προέκυπταν σε κάθε οδικό τμήμα, ήταν:

- Το υψόμετρο σε κάθε σημείο.
- Η κλίση σε κάθε σημείο.
- Η μέση κλίση του οδικού τμήματος.

Με τον τρόπο αυτό εισήχθησαν τα υψόμετρα σε όλα τα οδικά τμήματα στο πρόγραμμα, στην αρχή και στο τέλος του κάθε οδικού τμήματος και αυτομάτως προσδιοριζόταν η κλίση τους.

3.3.2. Έλεγχοι παραμέτρων για τη χρήση τους στο πρόγραμμα AIMSUN

Θα πρέπει να επισημανθεί πως η κυκλοφοριακή ικανότητα ενός οδικού τμήματος σε μικροσκοπικούς προσομοιωτές δεν αποτελεί δεδομένο εισόδου αλλά εξόδου. Οι παράμετροι επιρροής της κυκλοφοριακής ικανότητας στο οδικό δίκτυο γενικότερα είναι:

- Ο αριθμός των λωρίδων.
- Το πλάτος της λωρίδας.
- Η κλίση.
- Τα δυναμικά χαρακτηριστικά των οχημάτων.
- Η σύνθεση της κυκλοφορίας (επιβατικά οχήματα, φορτηγά, λεωφορεία, δίκυκλα, ταξί).
- Η επιθετικότητα του οδηγού.
- Η εξοικίωση των οδηγών με το δίκτυο.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα κυκλοφορικής προσομοίωσης AIMSUN, το οποίο βασίζεται στο πρότυπο του Gipps. Το οδικό δίκτυο φορτίζεται με οχήματα τα οποία κινούνται με βάση το πρότυπο Gipps και η ανάλυση αφορά κάθε όχημα ξεχωριστά. Με βάση τα χαρακτηριστικά που έχουν δοθεί στο κάθε όχημα, το όχημα αλληλεπιδρά με τα άλλα οχήματα στο οδικό δίκτυο, και ανάλογα με την γεωμετρία και το περιβάλλον του οδικού δικτύου, προκύπτει η κυκλοφοριακή ικανότητα του οδικού τμήματος, δηλαδή ως στοιχείο εξόδου.

Κυκλοφοριακή ικανότητα

Κατά τη δημιουργία ενός οδικού τμήματος (section), στο πρόγραμμα δίνεται η δυνατότητα επιλογής της κυκλοφοριακής ικανότητας του (capacity). Το πρόγραμμα ανάλογα με το είδος του section, είτε αυτό είναι αστικό, είτε είναι υπεραστικό, αρτηρία, περιφερειακός δρόμος, κυκλικός κόμβος κ.α. καθορίζει κάποιες τιμές, οι οποίες είναι ενδεικτικές. Στην συνέχεια, σχεδιάστηκε πείραμα για να υπολογιστεί η κυκλοφοριακή ικανότητα ενός τμήματος και να διαπιστωθεί από τι εξαρτάται.

Πιο συγκεκριμένα, σχεδιάστηκε σε ευθεία ένα τυχαίο οδικό τμήμα 5,5 χιλιομέτρων, αποτελούμενο από δύο λωρίδες κυκλοφορίας. Στο τέλος του οδικού τμήματος, τοποθετήθηκε ένας φορατής (detector) ο οποίος μετρούσε τα οχήματα που θα περάσουν από τη διατομή και συνεπώς την κυκλοφοριακή ικανότητα (σε συνθήκες φόρτισης με πολύ υψηλούς φόρτους). Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε 4 διαφορετικά είδη οδικών τμημάτων, όπου με βάση το πρόγραμμα διαφοροποιείται και η κυκλοφοριακή ικανότητα. Επιπλέον, το όριο της ταχύτητας του οδικού τμήματος (section) διαφοροποιείται και αυτό ανάλογα με το είδος του, όπως φαίνεται παρακάτω στον πίνακα:

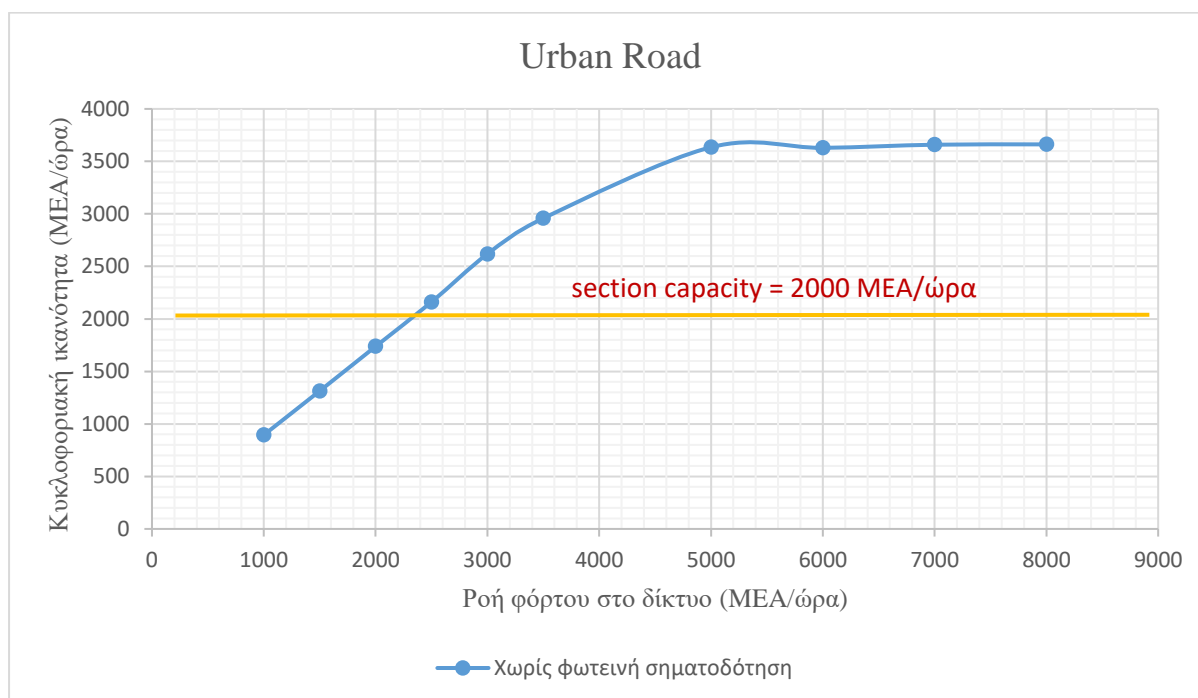
Πίνακας 3-19: Χαρακτηριστικά συγκεκριμένων ειδών οδικών τμημάτων του προγράμματος AIMSUN.

Είδος οδικού τμήματος	Ταχύτητα (χλμ/ώρα)	Λωρίδες		Κυκλοφοριακή ικανότητα
urban road	50	1	2	1000 / 2000
arterial road	50	1	2	900 / 1800
road	80	1	2	1200 / 2400
ring road	90	1	2	1500 / 3000

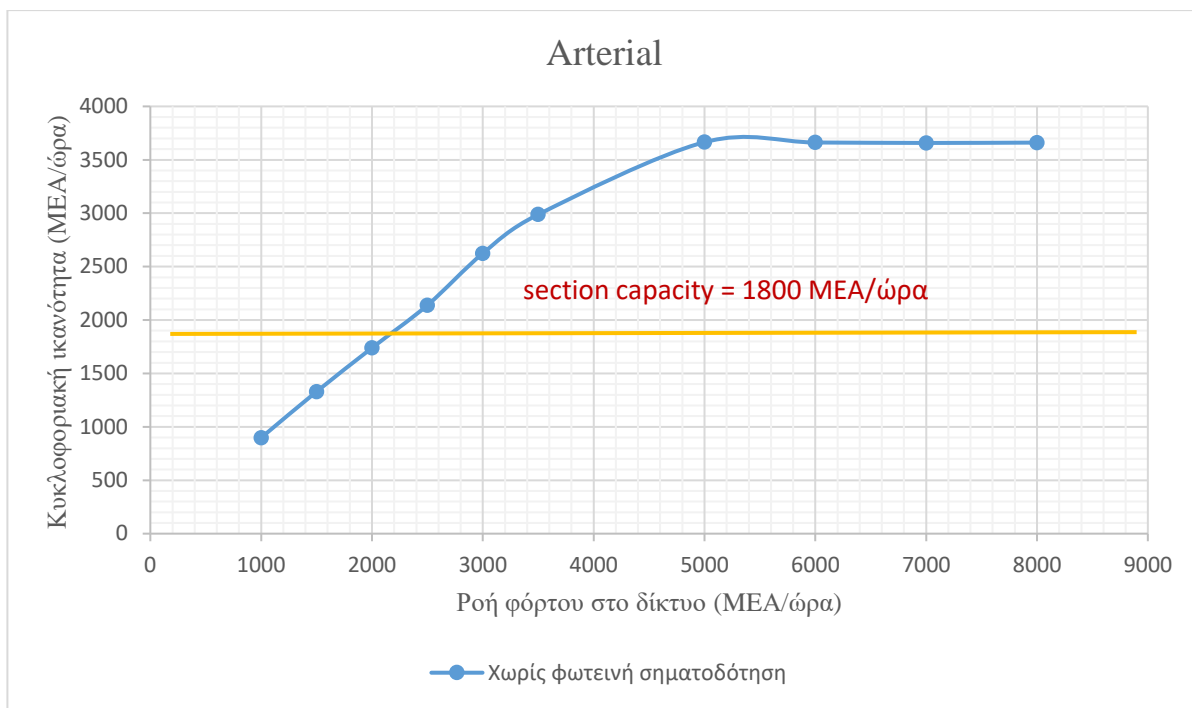
Η προσομοίωση διενεργήθηκε για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου και είχε διάρκεια μία ώρα. Τονίζεται πως στη μη ύπαρξη φωτεινής σηματοδότησης, υπάρχει ουσιαστικά συνεχόμενη ροή στο οδικό τμήμα, και κατά συνέπεια η κυκλοφοριακή ικανότητα ισοδυναμεί με τη ροή κορεσμού. Με βάση τον ορισμό, η ροή κορεσμού είναι ο μέγιστος φόρτος που μπορεί να περάσει από μία διατομή σε συνθήκες που υπάρχει συνεχής πράσινη ένδειξη. Στον πίνακα 3-20 και στα διαγράμματα 3-3, 3-4, 3-5 και 3-6, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα του πειράματος.

Πίνακας 3-20: Αποτελέσματα πειράματος για την κυκλοφοριακή ικανότητα σε διαφορετικές κατηγορίες οδικών τμημάτων.

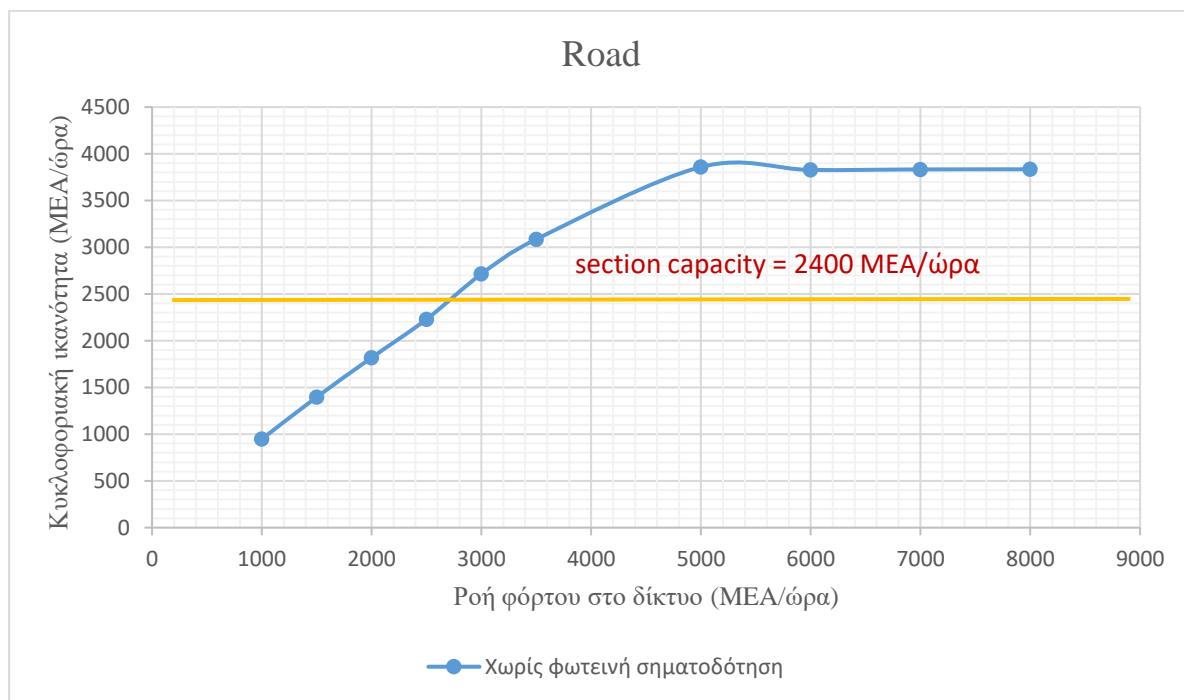
Είδος δρόμου	Κυκλοφοριακοί Φόρτοι									
	1000	1500	2000	2500	3000	3500	5000	6000	7000	8000
urban road	895	1314	1738	2161	2618	2958	3635	3629	3659	3662
arterial road	898	1330	1739	2139	2624	2988	3665	3662	3658	3661
ring road	943	1392	1837	2299	2762	3222	3840	3805	3838	3834



Διάγραμμα 3-3: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της κυκλοφοριακής ικανότητας για το αστικό οδικό τμήμα.



Διάγραμμα 3-4: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της κυκλοφοριακής ικανότητας για κατηγορία ‘arterial’.



Διάγραμμα 3-5: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της κυκλοφοριακής ικανότητας για κατηγορία ‘road’.



Διάγραμμα 3-6: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της κυκλοφοριακής ικανότητας για κατηγορία ‘ring road’.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα και από τις 4 διαφορετικές κατηγορίες οδικών τμημάτων που επιλέχθηκαν και έτσι όπως αυτές ορίζονται από το πρόγραμμα (urban road, arterial, road, ring road), σε όλες τις περιπτώσεις, ο φόρτος ο οποίος πέρασε από το οδικό τμήμα διέφερε από την τιμή που ορίζεται ως κυκλοφοριακή ικανότητα (capacity) σε καθ’ένα από αυτά. Κατά συνέπεια, η κυκλοφοριακή ικανότητα για το πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN είναι αποτέλεσμα μικροσκοπικής προσομοίωσης και όχι επιλογής ως περιορισμός στο οδικό τμήμα (section).

Πλάτος λωρίδας

Ένας άλλος έλεγχος που πραγματοποιήθηκε, αφορούσε το πλάτος της λωρίδας και πως αυτό επηρεάζει ή όχι τη κυκλοφοριακή ικανότητα ενός οδικού τμήματος στο AIMSUN. Σε αυτή τη περίπτωση, κατά τη δημιουργία ενός section στο πρόγραμμα δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να ορίσει το πλάτος της κάθε λωρίδας. Το πρόγραμμα ορίζει από μόνο του πλάτος ίσο με 3 μ.

Για την ανάλυση της παραμέτρου αυτής, σχεδιάστηκε ένα οδικό τμήμα μήκους 5 χιλιομέτρων, με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Είδος οδικού τμήματος	Λωρίδες	Όριο ταχύτητας
Urban road	1	50 (χλμ/ώρα)

Ορίστηκε ένας συγκεκριμένος φόρτος για την προσομοίωση (2000 ΜΕΑ/ώρα), και το πλάτος της λωρίδας λάμβανε διαστάσεις από 1 έως 8 μ, με βήμα 0.5 μ. Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Με βάση λοιπόν τα αποτελέσματα, παρατηρείται πως, η κυκλοφοριακή ικανότητα του οδικού τμήματος παραμένει σταθερή ανεξαρτήτως της τιμής του πλάτους της λωρίδας, καθώς, σε όλες τις περιπτώσεις, μετρήθηκε

ο ιδίος κυκλοφοριακός φόρτος στην έξοδο. Επομένως, για το πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN σε προσομοιώσεις που αφορούν μικροσκοπικό επίπεδο, το πλάτος είναι μία παράμετρος που και να αλλάξει από το χρήστη δεν επηρεάζει την κυκλοφοριακή ικανότητα του οδικού τμήματος. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διαδικασίας που πραγματοποιήθηκε αναλυτικά.

Πίνακας 3-21: Αποτελέσματα επιρροής πλάτος λωρίδας στο πρόγραμμα AIMSUN.

Είσοδος οχημάτων (Οχήματα/ώρα)	Επιβατικά οχήματα (Οχήματα/ώρα)	Πλάτος λωρίδας (μ.)
2000	1755	1.00
2000	1755	1.50
2000	1755	2.00
2000	1755	2.50
2000	1755	3.00
2000	1755	3.50
2000	1755	4.00
2000	1755	4.50
2000	1755	5.00
2000	1755	5.50
2000	1755	6.00
2000	1755	6.50
2000	1755	7.00
2000	1755	7.50
2000	1755	8.00

Κλίση οδικού τμήματος

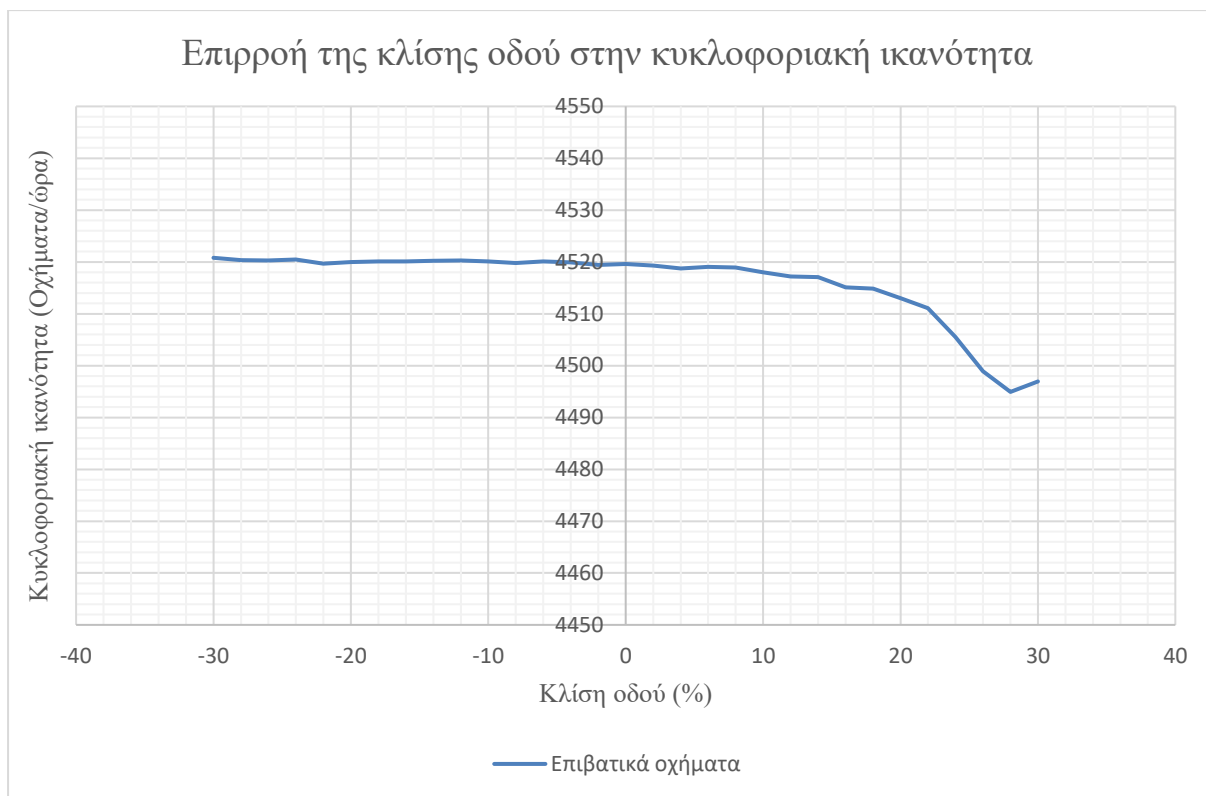
Ένας άλλος έλεγχος που πραγματοποιήθηκε αφορούσε την κλίση του οδικού τμήματος. Πιο συγκεκριμένα εξετάστηκε η επιρροή της κλίσης στην κυκλοφοριακή ικανότητα. Η κλίση του οδικού τμήματος είναι μια παράμετρος που μπορεί να αλλάξει ο χρήστης στο πρόγραμμα κατά τον σχεδιασμό. Για το πρόγραμμα AIMSUN, η δημιουργία κλίσης σε κάποιο τμήμα δρόμου γίνεται με βάση τα υψόμετρα. Συγκεκριμένα, καθώς έχει σχεδιαστεί ένα οδικό τμήμα για να δημιουργηθεί κλίση σε αυτό θα πρέπει να οριστούν υψόμετρα στην αρχή και στο τέλος του τμήματος αυτού.

Για την ανάλυση λοιπόν της παραμέτρου της κλίσης, σχεδιάστηκε ένα οδικό τμήμα μήκους 6 χιλιομέτρων αποτελούμενο από δύο λωρίδες κυκλοφορίας και ως κατηγορία οδικού τμήματος θεωρήθηκε περιφερειακός (AIMSUN: ring road). Ο κυκλοφοριακός φόρτος εισόδου που ορίστηκε ήταν 5000 οχήματα την ώρα. Για την κλίση του δρόμου, έγιναν διαδοχικές προσομοιώσεις κατωφέρειας και ανωφέρειας σε ένα διάστημα από -30% έως 30% με βήμα 2% κάθε φορά. Η όλη διαδικασία εκτελέστηκε σε δύο διαφορετικές κατηγορίες τύπου οχήματος. Στην πρώτη περίπτωση, προσομοιώθηκαν επιβατικά οχήματα και στη δεύτερη φορτηγά. Καθεμία κατηγορία είχε τα δικά της χαρακτηριστικά, όπως επιθυμητή ταχύτητα, επιτάχυνση, επιβράδυνση, χρόνος αντίδρασης, διαστάσεις οχήματος κ.α., που ορίζει το σύστημα.

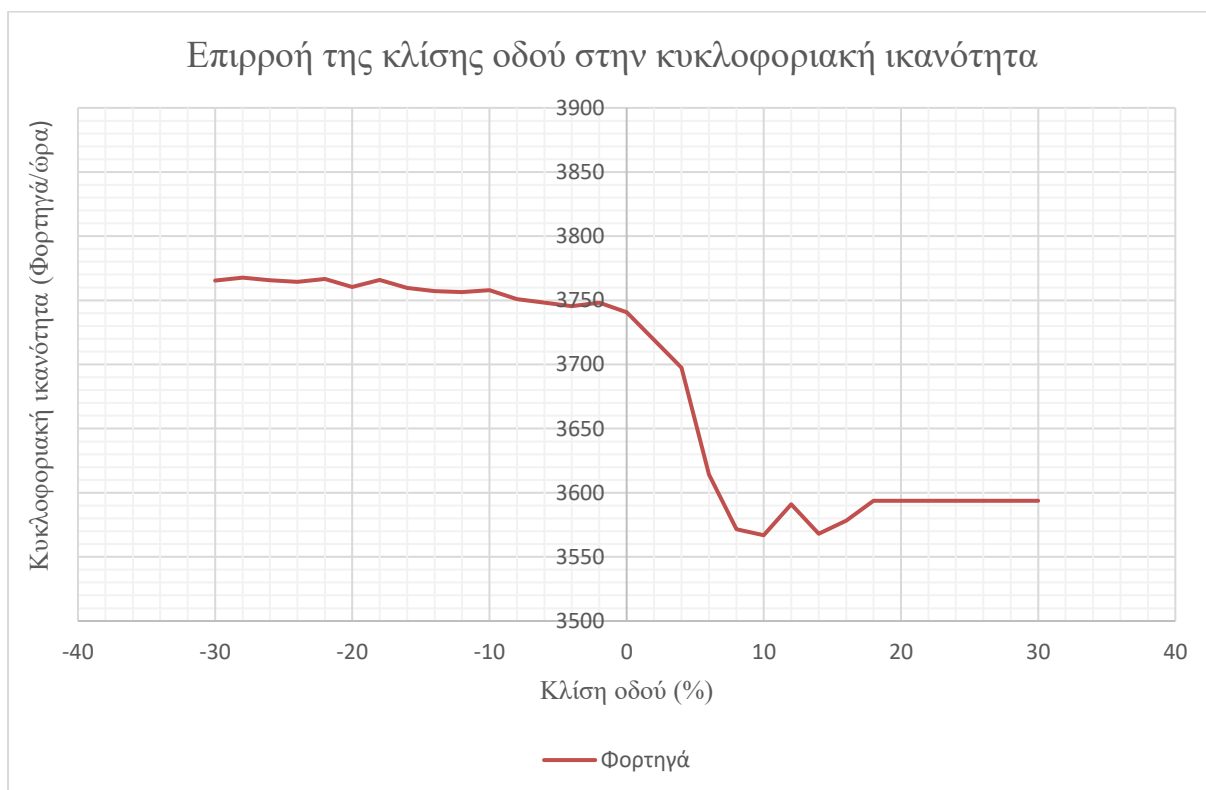
Τα αποτελέσματα δείχνουν πως η κλίση του οδικού τμήματος επηρεάζει την κυκλοφοριακή ικανότητα. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τα επιβατικά οχήματα από το διάστημα κλίσης -40% έως και 8% υπήρχαν κάποιες διαφοροποιήσεις στον κυκλοφοριακό φόρτο αλλά δεν παρατηρήθηκε να υπάρχει επιρροή στην κυκλοφοριακή ικανότητα. Όμως από κλίση δρόμου ανωφέρειας 10% αρχίζει να υπάρχει σταδιακή αλλαγή των τιμών της κυκλοφοριακής ικανότητας. Για την περίπτωση προσομοιωμένων φορτηγών ισχύει πως αρχίζει να υπάρχει διαφοροποίηση των τιμών από την ανωφέρεια 2%, που φθάνει περίπου σε μείωση του αρχικού φόρτου της τάξεως 4%. Σε γενικές γραμμές λοιπόν, η κλίση και στις δύο περιπτώσεις επηρεάζει την κυκλοφοριακή ικανότητα. Επομένως, η κλίση είναι μία παράμετρος που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στις μικροσκοπικές προσομοιώσεις στο AIMSUN. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διαδικασίας που αναφέρθηκε.

Πίνακας 3-22: Αποτελέσματα επιρροής κλίσεως στο πρόγραμμα AIMSUN.

Είσοδος οχημάτων	Επιβατικά οχήματα (Οχήματα / ώρα)	Φορτηγά (Φορτηγά / ώρα)	Κλίση οδού
5000	4520.8	3765.33	-30%
5000	4520.33	3767.67	-28%
5000	4520.27	3765.73	-26%
5000	4520.47	3764.33	-24%
5000	4519.67	3766.53	-22%
5000	4520	3760.27	-20%
5000	4520.07	3765.87	-18%
5000	4520.13	3759.67	-16%
5000	4520.2	3757.27	-14%
5000	4520.27	3756.33	-12%
5000	4520.13	3757.87	-10%
5000	4519.8	3750.93	-8%
5000	4520.07	3748.2	-6%
5000	4519.93	3745.33	-4%
5000	4519.4	3748.2	-2%
5000	4519.6	3740.73	0%
5000	4519.27	3719.2	2%
5000	4518.73	3697.47	4%
5000	4519.07	3614.27	6%
5000	4518.93	3571.53	8%
5000	4518	3566.87	10%
5000	4517.2	3591	12%
5000	4517.07	3567.93	14%
5000	4515.07	3578.13	16%
5000	4514.87	3593.8	18%
5000	4513	3593.8	20%
5000	4511.07	3593.8	22%
5000	4505.53	3593.8	24%
5000	4498.93	3593.8	26%
5000	4494.93	3593.8	28%
5000	4496.93	3593.8	30%



Διάγραμμα 3-7: Επιρροή της κλίσης οδού στην κυκλοφοριακή ικανότητα μέσω προσομοίωσης σε επιβατικά οχήματα.



Διάγραμμα 3-8: Επιρροή της κλίσης οδού στην κυκλοφοριακή ικανότητα μέσω προσομοίωσης σε φορτηγά.

Με βάση τη λογική που έχει το πρόγραμμα, η επίδραση της κλίσης του οδικού τμήματος στην κάθε μεμονωμένη κίνηση του κάθε οχήματος διαμορφώνεται με τη βοήθεια μιας αύξησης ή μιας μείωσης στις τιμές της επιτάχυνσης και της επιβράδυνσης. Πιο συγκεκριμένα, στο πρόγραμμα έχει δημιουργηθεί ένας αλγόριθμος που εφαρμόζεται για τον υπολογισμό της μέγιστης επιτάχυνσης και ο οποίος είναι συνάρτηση της κλίσης και της μέγιστης επιθυμητής επιτάχυνσης του οχήματος. Συνεπώς, όταν υπάρχει κλίση σε ένα οδικό τμήμα, ανάλογα με το αν είναι ανωφέρεια ή κατωφέρεια, επηρεάζεται η επιτάχυνση ή η επιβράδυνση, και κατά συνέπεια και η κυκλοφοριακή ικανότητα.

3.4. Εισαγωγή και σχεδιασμός κόμβων στο πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN

Το οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης το οποίο επιλέχθηκε να προσομοιωθεί για την ερευνητική εργασία αποτελούνταν από διαφορετικούς τύπου κόμβους. Πιο συγκεκριμένα, οι μορφές που συναντήθηκαν και ήταν απαραίτητο να σχεδιαστούν ήταν κυρίως ισόπεδοι κόμβοι μορφής T ή και διασταυρώσεις σηματοδοτούμενοι ή μη σηματοδοτούμενοι και κυκλικοί κόμβοι. Στην ενότητα γίνεται μια περιγραφή της δημιουργίας και της σχεδίασης των κόμβων αυτών, ξεκινώντας από τις εργασίες πεδίου μέχρι και το σχεδιασμό τους στο πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης στο AIMSUN με όλα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά που απαιτούνται να εισαχθούν στο πρόγραμμα προκειμένου να ξεκινήσει η διαδικασία της προσομοίωσης.

3.4.1. Εισαγωγή και σχεδιασμός κόμβου φωτεινής σηματοδότησης στο πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN

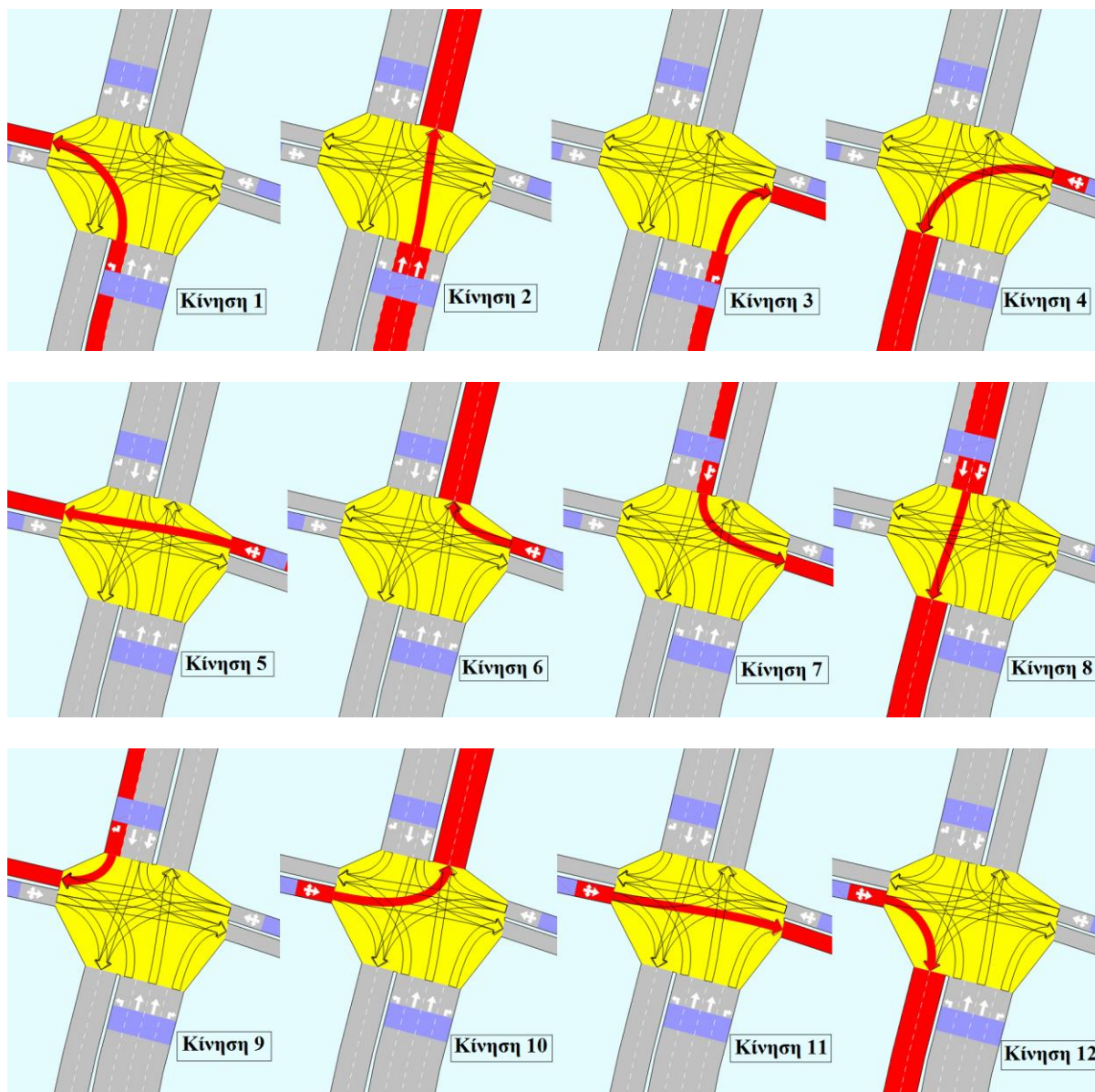
Καταγραφή κόμβου

Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εισαγωγή ενός κόμβου με φωτεινή σηματοδότηση στο πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN.

Ο κόμβος ο οποίος περιγράφεται είναι ο κόμβος K7 στην περιοχή των Μουρνιών. Κατά τη διάρκεια των εργασιών πεδίου καταγράφηκαν για κάθε κόμβο τα εξής χαρακτηριστικά:

- Η μορφή του κόμβου.
- Οι προσβάσεις.
- Οι λωρίδες σε κάθε πρόσβαση.
- Η κλίση της κάθε πρόσβασης.
- Η θέση και είδος του δρόμου (αστικό ή υπεραστικό).
- Το σημείο τοποθέτησης κάμερας.
- Οι κινήσεις που πραγματοποιούνται από κάθε ρεύμα.
- Ο κυκλοφοριακός φόρτος.
- Τα ποσοστά στρεφουσών.

Στο παρακάτω σχέδιο απεικονίζονται αναλυτικά όλα τα στοιχεία που καταγράφηκαν. Επίσης, επισημαίνονται οι κυκλοφοριακοί φόρτοι και τα ποσοστά των στρεφουσών. Τονίζεται πως οι κυκλοφοριακοί φόρτοι και τα ποσοστά στρεφουσών είναι τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από τη διαδικασία της προσαρμογής του φόρτου στο δίκτυο.



Εικόνα 3-14: Κινήσεις που πραγματοποιούνται στον κόμβο 7.

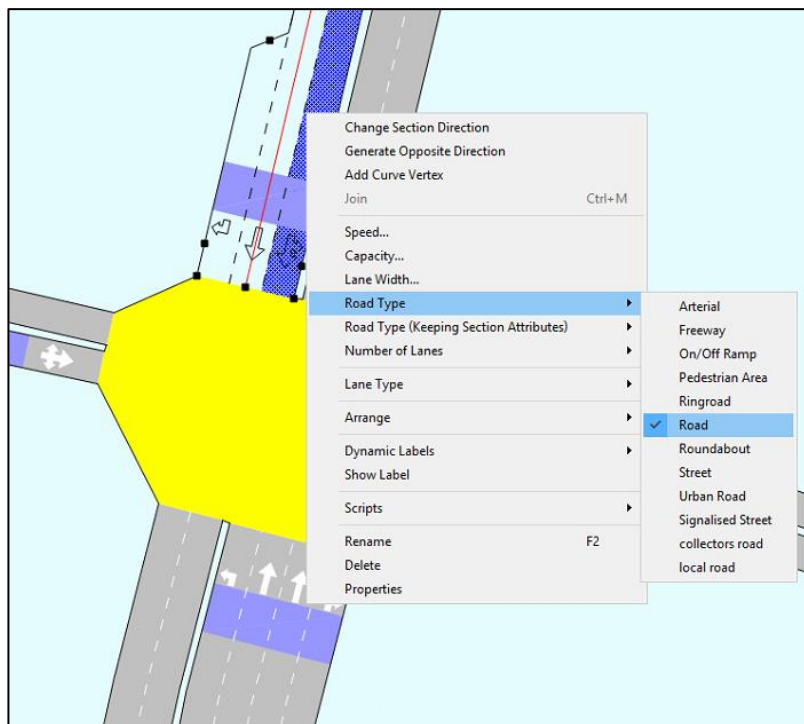
Στοιχεία οδικού δικτύου

Με το που σχεδιάστηκαν ο κόμβος και τα οδικά τμήματα – προσβάσεις που καταλήγουν στον κόμβο, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να μπορεί να επεξεργαστεί τα στοιχεία συγκεκριμένων οδικών τμημάτων. Τα στοιχεία αυτά αφορούν:

- Στην κατηγορία του οδικού δικτύου.
- Στο όριο ταχύτητας.
- Στην κλίση.
- Στο πλάτος της κάθε λωρίδας.
- Στην κυκλοφοριακή ικανότητα.
- Στο μήκος του οδικού τμήματος (section).

Όσον αφορά την κατηγορία του οδικού τμήματος, ο συγκεκριμένος κόμβος με βάση τα όρια που έχουν οριοθετηθεί, ανήκει στην κατηγορία υπεραστικό οδικό δίκτυο (rural). Η διαδικασία

μέσα από το πρόγραμμα για τον καθορισμό της κατηγορίας γίνεται, επιλέγοντας κάθε φορά για το οδικό τμήμα τον ορισμό της κατηγορίας που θέλουμε να καθοριστεί. Section (οδικό τμήμα) -> road type. Για ορισμό υπεραστικού θεωρήθηκε η ονομασία που δίνει το πρόγραμμα 'road'. Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδικασία:

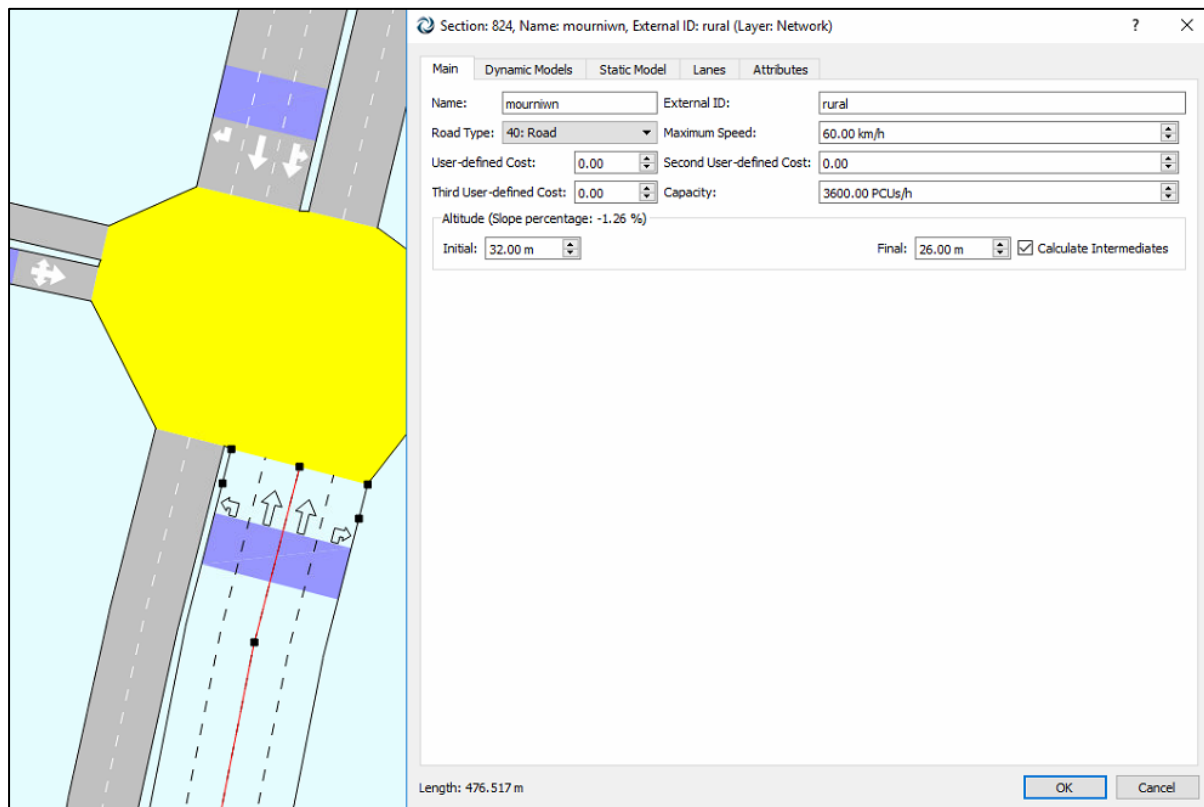


Εικόνα 3-15: Διαδικασία καθορισμού συγκεκριμένης κατηγορίας οδικού τμήματος στο πρόγραμμα.

Επιπλέον, για κάθε οδικό τμήμα υπάρχει μία καρτέλα με τα χαρακτηριστικά του. Στη συγκεκριμένη καρτέλα υπάρχουν οι άλλες επιλογές που αναφέρθηκαν, όπως το πλάτος, η κλίση, τα όρια ταχύτητας και η κυκλοφοριακή ικανότητα. Όσον αφορά την κυκλοφοριακή ικανότητα και τα όρια ταχύτητας, αυτά ρυθμίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα κατά την διαδικασία επιλογής του τύπου της κατηγορίας. Στην περίπτωση όμως και στα πλαίσια της διπλωματικής, για τις δύο κατηγορίες που καθορίστηκαν, αστικό και υπεραστικό, δόθηκαν συγκεκριμένα όρια ταχύτητας, με βάση την καταγραφή που έγινε στην περιοχή μελέτης. Συνεπώς, αυτά δεν αντιστοιχούν στα όρια ταχύτητας που δίνει το πρόγραμμα. Η κυκλοφοριακή ικανότητα, είναι μία παράμετρος που όπως αποδείχθηκε και στους ελέγχους είναι στοιχείο εξόδου και όχι στοιχείο εισόδου για τα οδικά τμήματα. Επομένως, δεν έγινε κάποια αλλαγή στις τιμές της. Αντίστοιχα, το πλάτος της λωρίδας διαπιστώθηκε από τον έλεγχο πως είναι μία παράμετρος που δεν επηρεάζει την κυκλοφοριακή ικανότητα. Συνεπώς, και αυτή η παράμετρος δεν προσαρμόστηκε, απλώς θεωρήθηκε μία ενδεικτική τιμή 3 μέτρων.

Όσον αφορά την κλίση, από τον έλεγχο που προηγήθηκε, αποδείχθηκε ότι επηρεάζει κατά ένα ποσοστό την κυκλοφοριακή ικανότητα, επομένως η παράμετρος αυτή άλλαξε. Για να δημιουργηθεί μία κλίση στο οδικό δίκτυο πρέπει να προσδιοριστούν τα υψόμετρα στην αρχή και στο τέλος του κάθε οδικού τμήματος. Με την διαδικασία της εύρεσης των υψόμετρων που πραγματοποιήθηκε και αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου, εισήχθησαν τα υψόμετρα στα οδικά τμήματα που διασταυρώνονται στο κόμβο K7 και προσδιορίστηκαν αυτόματα οι κλίσεις.

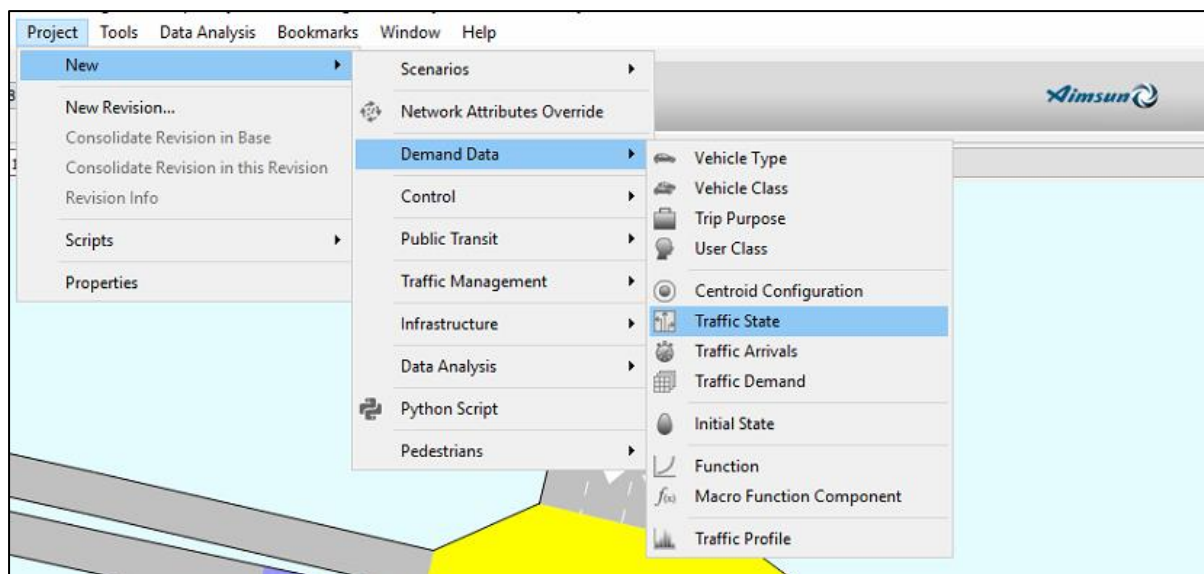
Συνοπτικά, με βάση τα παραπάνω για το κόμβο K7, οι προσβάσεις που φτάνουν στον κόμβο ανήκουν στην κατηγορία οδικού δικτύου υπεραστικό με όριο ταχύτητας τα 60 χλμ/ώρα.



Εικόνα 3-16: Κύρια καρτέλα με τα χαρακτηριστικά ενός επιλεγμένου οδικού τμήματος της περιοχής μελέτης, στο πρόγραμμα.

Κυκλοφοριακή κατάσταση

Για να εισαχθούν αυτά τα δεδομένα στο πρόγραμμα AIMSUN, έπρεπε να δημιουργηθεί μία κυκλοφοριακή κατάσταση (traffic state). Η κυκλοφοριακή κατάσταση ουσιαστικά εμπεριέχει όλα τα δεδομένα των κόμβων του δικτύου συνολικά. Η διαδικασία δημιουργίας του traffic state είναι η εξής: Project -> demand data (στοιχεία ζήτησης) -> create traffic state. Όπως φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 3-17: Διαδικασία δημιουργίας κυκλοφοριακής κατάστασης 'Traffic State' στο πρόγραμμα.

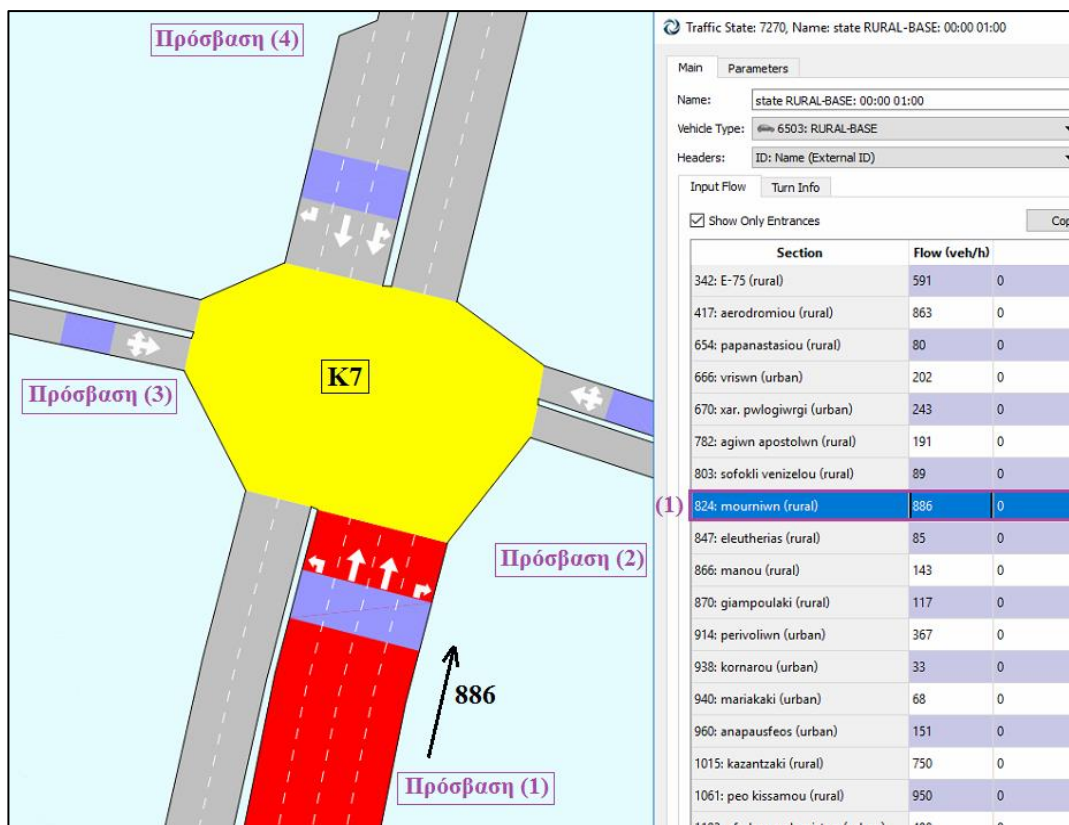
Με τη δημιουργία της κυκλοφοριακής κατάστασης δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να μπορεί να ορίσει τα κατάλληλα στοιχεία τα οποία θα του χρησιμεύσουν για την προσομοίωση, όπως είναι:

- Ορισμός συγκεκριμένου τύπου οχήματος,
- Ορισμός της διάρκειας προσομοίωσης, στη συγκεκριμένη περίπτωση από τις 12:00 έως την 13:00 ή (01:00).
- Ορισμός του κυκλοφοριακού φόρτου σε κάθε οδικό τμήμα που αποτελεί είσοδο στο δίκτυο.
- Ορισμός των ποσοστών στρεφουσών από τις κινήσεις στους κόμβους.

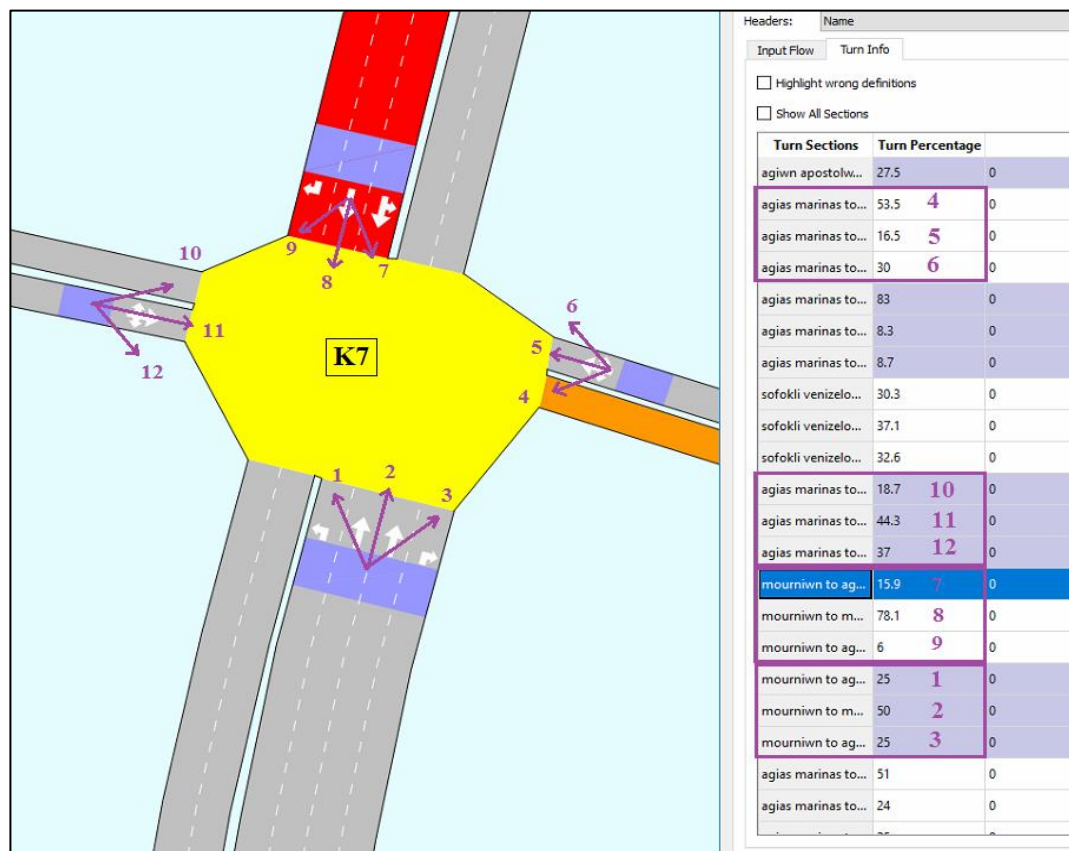
Τονίζεται πως, για το σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας ορίζονται δύο κατηγορίες οχημάτων. Για το λόγο αυτό η κυκλοφοριακή κατάσταση που έχει δημιουργηθεί θα πρέπει να πραγματοποιηθεί δύο φορές.

Παρακάτω παρουσιάζονται για τον κόμβο K7, τα δεδομένα τα οποία εισήχθησαν στο πρόγραμμα, όπως ο κυκλοφοριακός φόρτος, τα ποσοστά στεφουσών, η κατηγορία του οχήματος και η διάρκεια της προσομοίωσης.

Ο συγκεκριμένος κόμβος με βάση το όρια της περιοχής μελέτης αποτελεί κόμβο εισόδου και η πρόσβαση (1) είναι το άκρο του δικτύου, το οποίο έχει σχεδιαστεί. Στην **εικόνα 3-18**, απεικονίζεται ο κυκλοφοριακός φόρτος της πρόσβασης (1) που έχει προκύψει από τη διαδικασία της προσαρμογής. Γενικά, στην καρτέλα (**εικόνα 3-18**) της κυκλοφοριακής κατάστασης απεικονίζονται οι κυκλοφοριακοί φόρτοι μόνο σε εισόδους ή προσβάσεις που αποτελούν τα άκρα του δικτύου. Για τις προσβάσεις (2), (3) και (4) ο φόρτος (που και αυτός έχει προκύψει με βάση τη διαδικασία προσαρμογής που αναφέρθηκε στην προηγούμενη υπο-ενότητα), κατανέμεται στη συνέχεια με βάση τα ποσοστά στρεφουσών στον κόμβο (**εικόνα 3-19**).



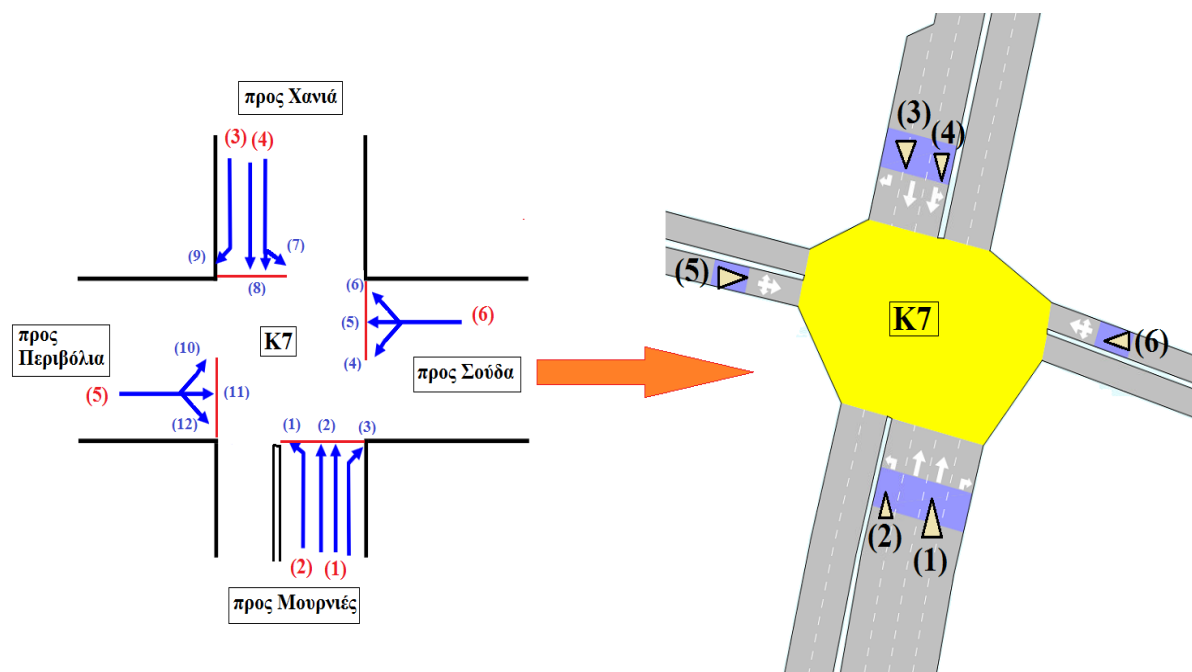
Εικόνα 3-18: Προσβάσεις στον κόμβο 7 και κυκλοφοριακός φόρτος από την πρόσβαση (1), στο πρόγραμμα.



Εικόνα 3-19: Ποσοστά στρεφουσών κινήσεων στο κόμβο 7.

Διαχωρισμός κινήσεων φωτεινής σηματοδότησης

Επόμενο στάδιο ήταν η αποτύπωση της κίνησης ή των κινήσεων που αντιστοιχούσε σε κάθε φωτεινό σηματοδότη. Με βάση την καταγραφή που έγινε στο πεδίο, παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω οι κινήσεις που ελέγχονται από τους διαφορετικούς φωτεινούς σηματοδότες στον κόμβο.



Εικόνα 3-20: Αποτύπωση κινήσεων που αντιστοιχούν σε κάθε φωτεινό σηματοδότη στον κόμβο 7.

Όπως αναφέρθηκε και στις εργασίες πεδίου σε προηγούμενη υπο-ενότητα, μετρήθηκαν για κάθε φωτεινό σηματοδότη η χρονική διάρκεια των φωτεινών ενδείξεων, κόκκινο, πράσινο και κίτρινο. Καθώς επίσης, και το κοινό κόκκινο μεταξύ των σταδίων ή φάσεων. Γνωρίζοντας, ουσιαστικά σε κάθε φωτεινό σηματοδότη τη χρονική διάρκεια των ενδείξεων, με το άθροισμά τους προέκυψε ο κύκλος φωτεινής σηματοδότησης του κόμβου, στον κόμβο K7 ανερχόταν στα 87 δλ..

Signal group	(0 - 87) sec			
1	22	3	62	
2	13	3	71	
3	16	19	3	49
4	27	8	3	49
5	40	16	3	28
6	62	19	3	3

Εικόνα 3-21: Πρόγραμμα φωτεινής σηματοδότησης όπως προέκυψε από την καταγραφή στο πεδίο.

Έτσι λοιπόν στον κόμβο, έχουμε συνολικά 6 φωτεινούς σηματοδότες. Και οι κινήσεις που αντιστοιχούν σε κάθε έναν φωτεινό σηματοδότη είναι οι εξής:

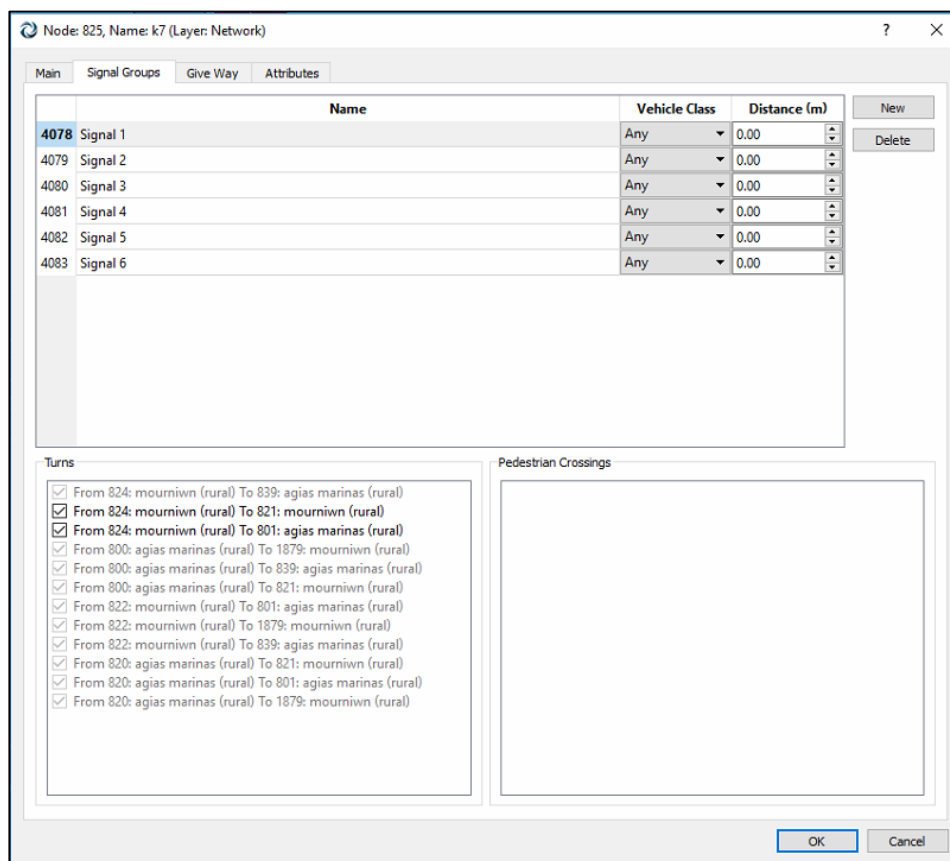
- Φωτεινός σηματοδότης 1 – κινήσεις 2 και 3.

- Φωτεινός σηματοδότης 2 – κίνηση 1
- Φωτεινός σηματοδότης 3 – κινήσεις 8 και 9.
- Φωτεινός σηματοδότης 4 – κίνηση 7.
- Φωτεινός σηματοδότης 5 – κινήσεις 10,11 και 12.
- Φωτεινός σηματοδότης 6 – κινήσεις 4,5 και 6.

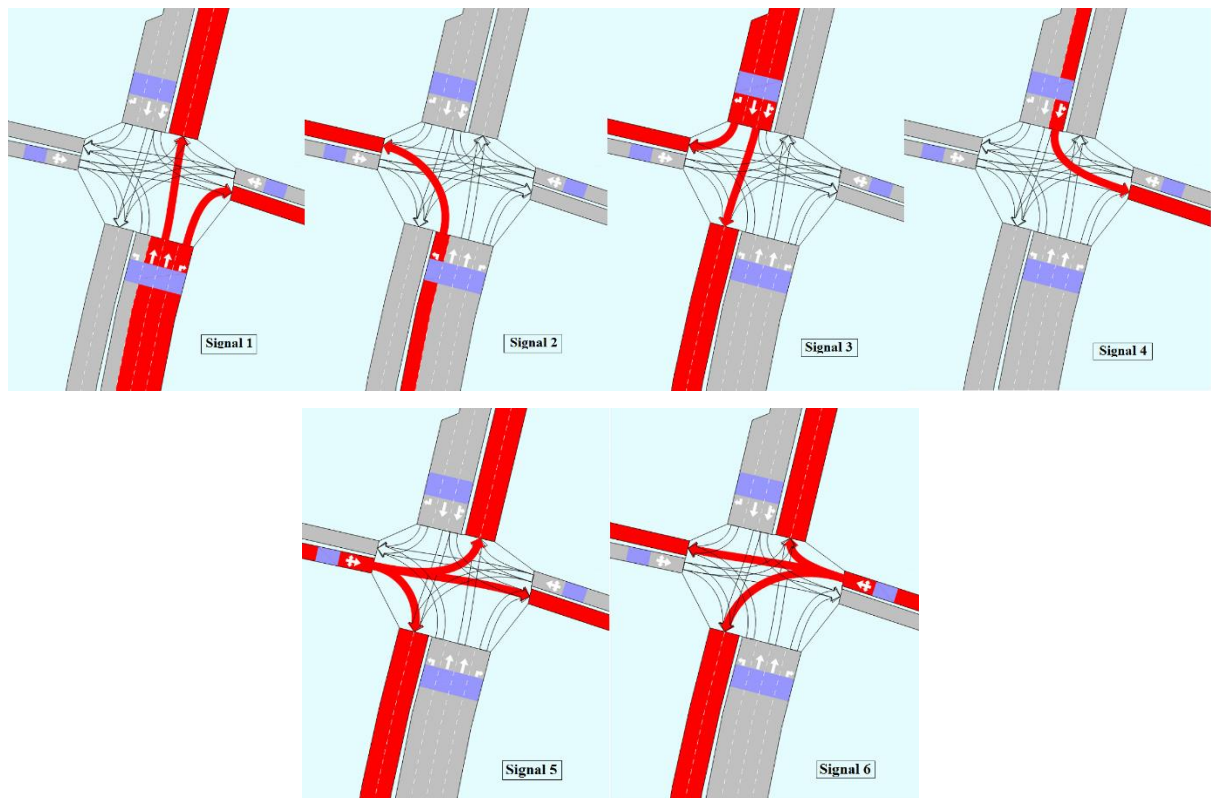
Επισημαίνεται ότι, για την κίνηση 1, που ανήκει στο φωτεινό σηματοδότη 2 υπάρχει πρόωρη διακοπή. Αυτό γίνεται για να διευκολυνθεί η αμέσως επόμενη κίνηση, δηλαδή η κίνηση 8 από το αντίθετο ρεύμα.

Αντίστοιχα για την κίνηση 7, που ανήκει στο φωτεινό σηματοδότη 3, έχουμε καθυστερημένη έναρξη, καθώς η κίνηση 2 έχει υψηλό φόρτο που βρίσκεται από το απέναντι ρεύμα, και θα πρέπει να διευκολυνθεί.

Στη συνέχεια τα στοιχεία αυτά εισήχθησαν στο πρόγραμμα. Στην αρχή δημιουργήθηκε ο φωτεινός σηματοδότης και έπειτα επιλέχθηκε η κίνηση ή οι κινήσεις που ανήκουν σε αυτόν. Η διαδικασία αυτή γινόταν από την παρακάτω καρτέλα του προγράμματος (στοιχεία κόμβου):



Εικόνα 3-22: Καρτέλα δημιουργίας σταδίων φωτεινής σηματοδότησης στο πρόγραμμα.

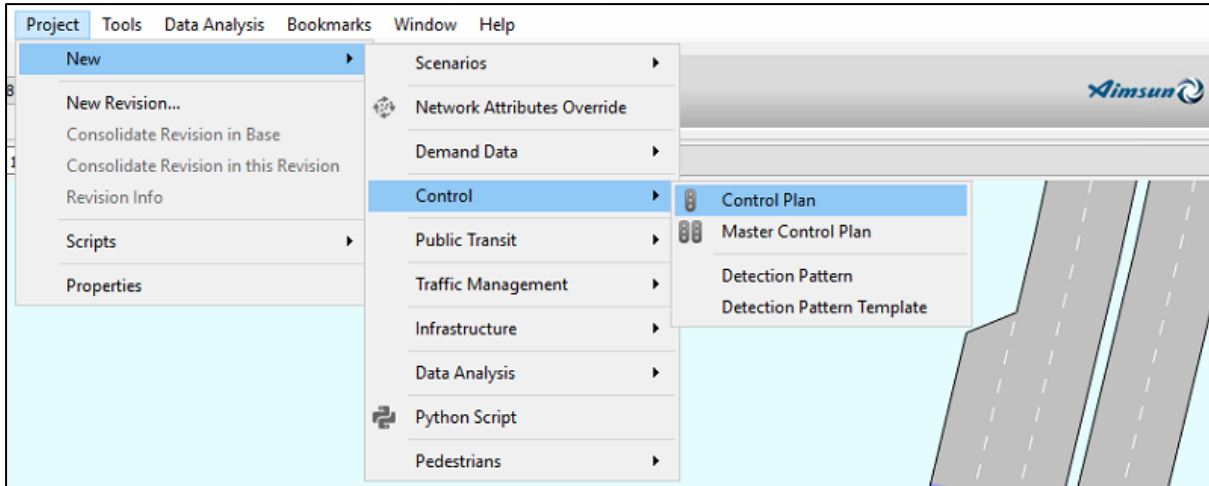


Εικόνα 3-23: Κινήσεις που αντιστοιχούν σε κάθε φωτεινό σηματοδότη.

Δημιουργία σταδίων ή φάσεων

Έπειτα καθορίζονται τα στάδια ή οι φάσεις. Ως στάδιο ή φάση ορίζεται ένα τμήμα του κύκλου σηματοδότησης που κατανέμεται σε μια κίνηση κυκλοφορίας ή σε ένα συνδυασμό κινήσεων που μπορούν να διέλθουν ταυτόχρονα από τον κόμβο, χωρίς να δημιουργείται εμπλοκή των κινήσεων. Στην περίπτωση που δημιουργείται εμπλοκή, η μία κίνηση θα πρέπει να δώσει προτεραιότητα στην άλλη, και αυτό ορίζεται από το πρόγραμμα.

Για τη δημιουργία λοιπόν των σταδίων, έπρεπε πρώτα να δημιουργηθεί ένα πλάνο ελέγχου (control plan) στο πρόγραμμα, όπου ορίζονται οι χρόνοι των φωτεινών ενδείξεων. Αυτό πραγματοποιήθηκε από Project -> New -> Control -> Control plan, όπως φαίνεται και παρακάτω:

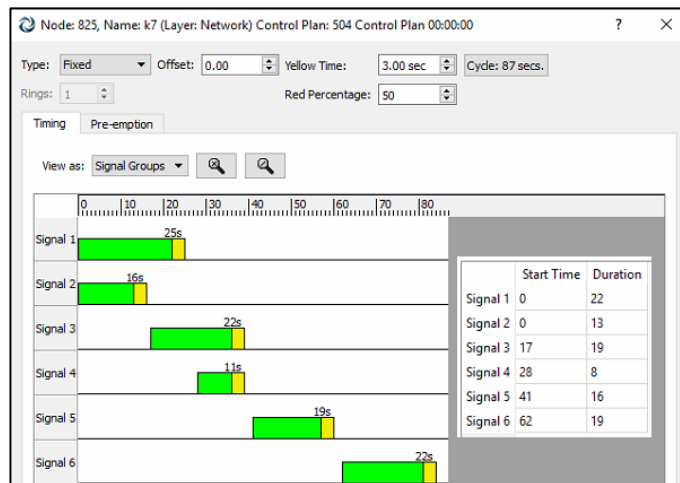


Εικόνα 3-24: Διαδικασία δημιουργίας πλάνου ελέγχου φωτεινής σηματοδότησης.

Στην καρτέλα Control Plan, περιλαμβάνονται τα χαρακτηριστικά όλων των κόμβων που βρίσκονται και έχουν σχεδιαστεί στο δίκτυο. Τα χαρακτηριστικά τα οποία μπορεί ορίσει ο χρήστης στον κόμβο είναι:

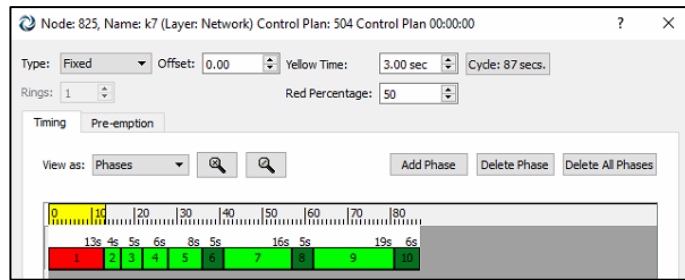
- Ο τύπος του κόμβου, αν είναι σταθερού χρόνου (fixed) ή επενεργούμενου (actuated), στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι σταθερού χρόνου.
- Η συνολική διάρκεια της κίτρινης ένδειξης, για την εργασία ορίστηκε σε όλους τους κόμβους 3 δλ..
- Ο ορισμός του κύκλου σηματοδότησης για τον κάθε κόμβο.

Στο σημείο αυτό καταχωρήθηκαν και οι χρόνοι των φωτεινών ενδείξεων για κάθε σηματοδότη που καταγράφηκαν στο πεδίο.



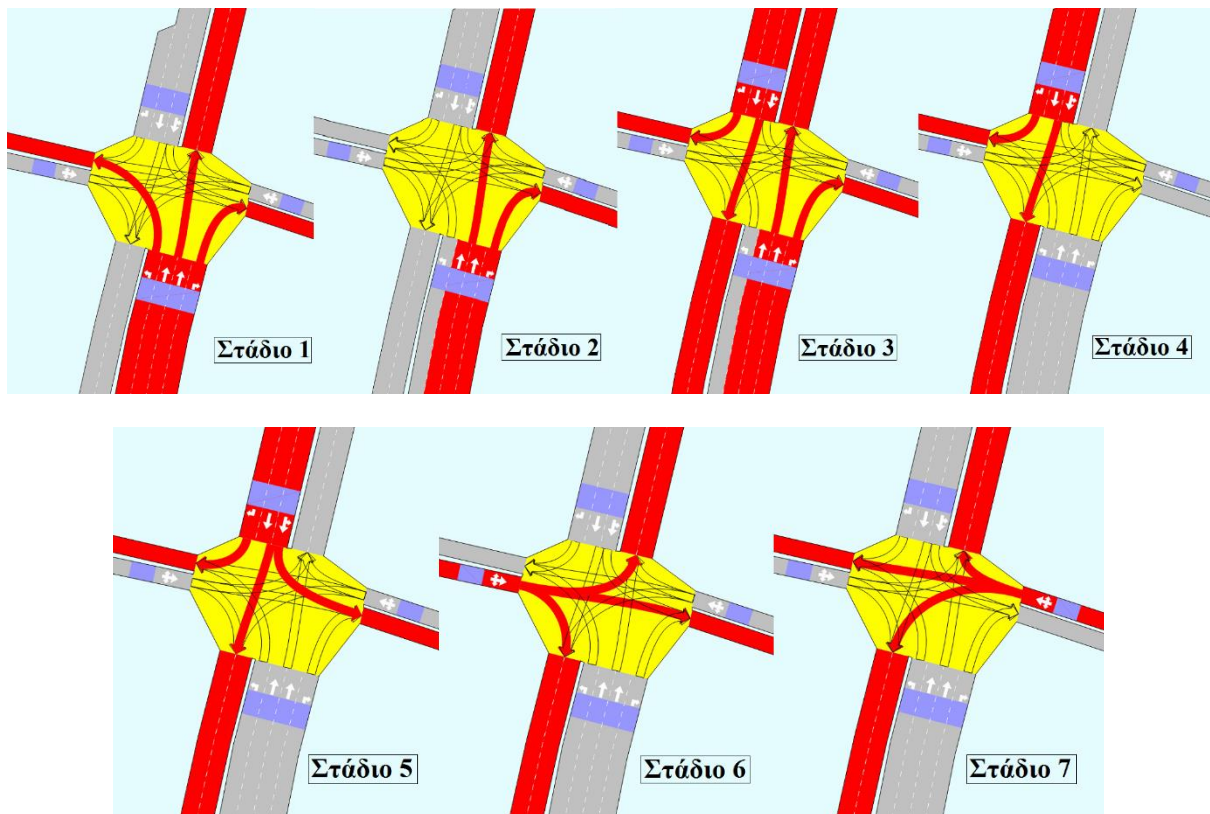
Εικόνα 3-25: Καταχώρηση χρονικών φωτεινών ενδείξεων σε κάθε φωτεινό σηματοδότη στον κόμβο 7.

Με την εισαγωγή τους στην καρτέλα ελέγχου το πρόγραμμα προσδιορίζει τις φάσεις που υπάρχουν στον κόμβο αυτόματα. Για το συγκεκριμένο κόμβο λοιπόν, προέκυψαν συνολικά 7 στάδια ή φάσεις.



Εικόνα 3-26: Στάδια που προέκυψαν για τον κόμβο 7.

Παρακάτω απεικονίζονται αναλυτικά τα στάδια για τον κόμβο K7, όπως προέκυψαν.



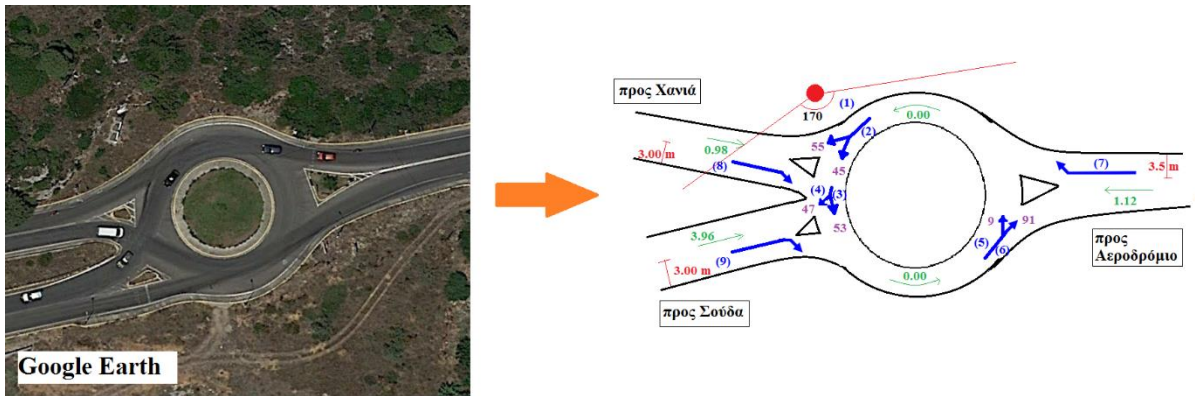
Εικόνα 3-27: Αναλυτικά τα στάδια για τον κόμβο 7.

3.4.2. Εισαγωγή και σχεδιασμός κυκλικού κόμβου στο πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN

Μια άλλη μορφή κόμβου που υπήρχε στην περιοχή μελέτης ήταν ένας ισόπεδος κυκλικός κόμβος. Με βάση την καταγραφή που έγινε, ο κυκλικός κόμβος αποτελούνταν από μία λωρίδα στο κυκλικό κομμάτι του και είχε τρεις προσβάσεις, όπου το ρεύμα εισόδου σε κάθε πρόσβαση αποτελούνταν από μία λωρίδα κυκλοφορίας. Η περιοχή η οποία βρισκόταν ο κυκλικός κόμβος άνηκε στην κατηγορία υπεραστικού περιβάλλοντος.

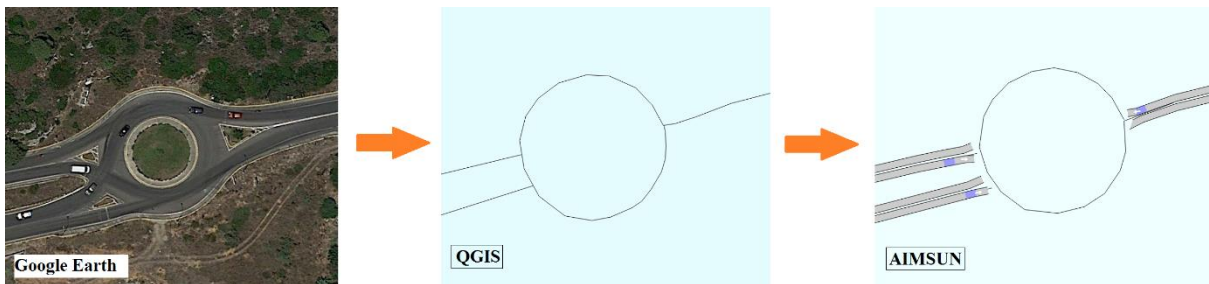
Στον κυκλικό κόμβο, καταγράφηκαν στοιχεία όπως τα πλάτη, οι κλίσεις, οι κινήσεις, και με την βοήθεια της κάμερας καταγράφηκαν οι κυκλοφοριακοί φόρτοι και τα ποσοστά στρεφουσών της κάθε κίνησης.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο κόμβος από το πρόγραμμα Google Earth Pro και τα στοιχεία που αποτυπώθηκαν σε έναν πρόχειρο σχεδιασμό.



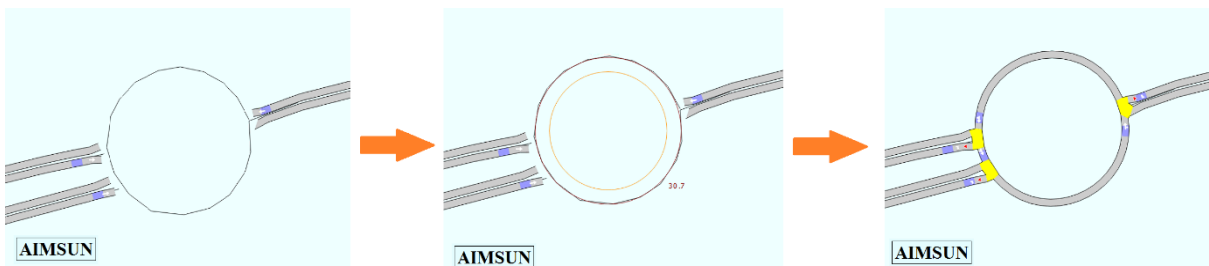
Εικόνα 3-28: Καταγραφή στοιχείων του κυκλικού κόμβου.

Στη συνέχεια, ψηφιοποιήθηκε ο άξονας του δρόμου με την βοήθεια του προγράμματος QGIS και χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο για το σχεδιασμό των οδικών τμημάτων (section) στο πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN.



Εικόνα 3-29: Διαδικασία εισαγωγής του κυκλικού κόμβου από το Google Earth στο AIMSUN.

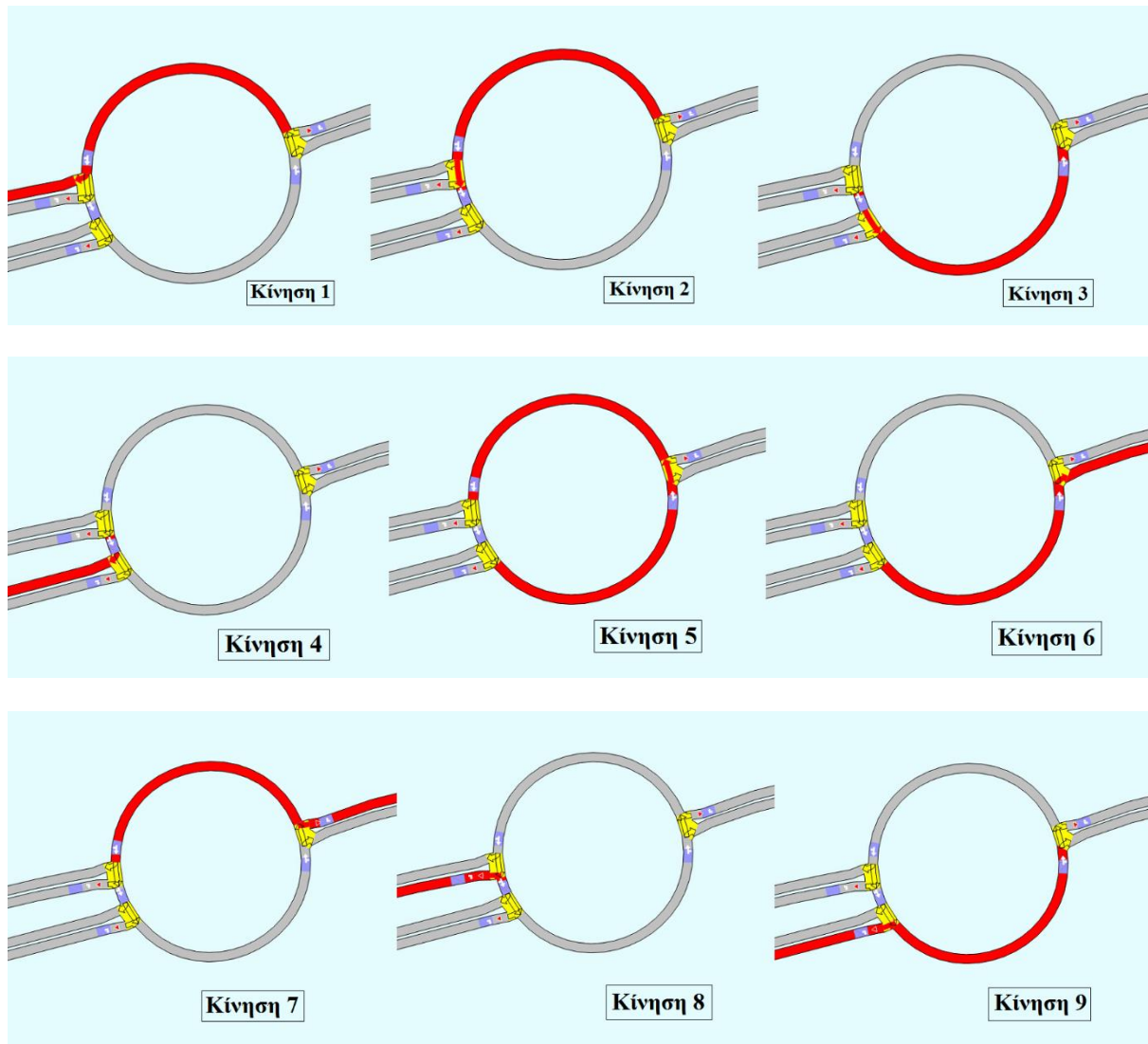
Η δημιουργία ενός κυκλικού κόμβου στο πρόγραμμα AIMSUN πραγματοποιείται επιλέγοντας αρχικά τα οδικά τμήματα τα οποία θα διασταυρώνονται στον κόμβο και επιλέγεται η επιλογή από το κεντρικό παράθυρο του προγράμματος δημιουργίας κυκλικού κόμβου που ορίζεται ως 'roundabout'. Με την επιλογή αυτή παρέχεται η δυνατότητα να επιλέξουμε το κέντρο του κύκλου και στη συνέχεια τη διάμετρο έτσι ώστε να ολοκληρωθεί η διαδικασία. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η διάμετρος ήταν άγνωστη, αλλά ήταν γνωστός ο άξονας του κυκλικού τμήματος που είχε σχεδιαστεί ως υπόβαθρο. Στη συνέχεια, το κυκλικό οδικό τμήμα ταυτίστηκε με τον οδικό άξονα.



Εικόνα 3-30: Διαδικασία του κυκλικού section στο πρόγραμμα.

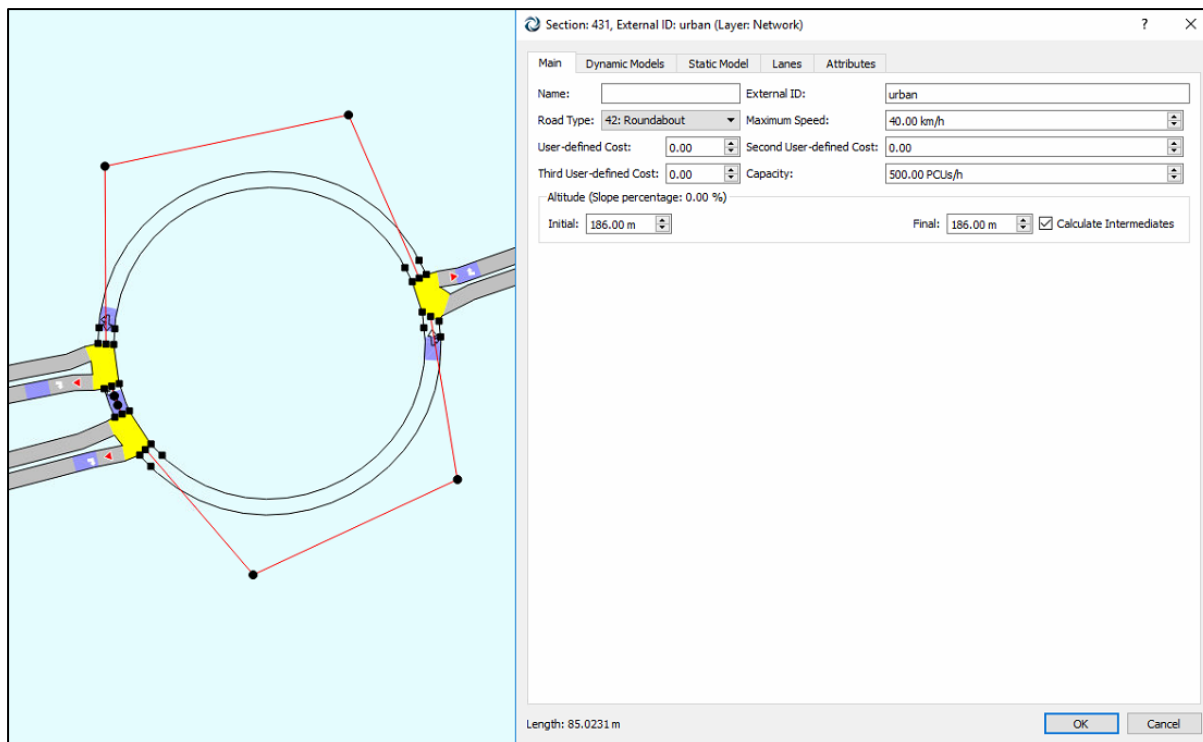
Κατά την ολοκλήρωση της διαδικασίας, όταν το κυκλικό οδικό τμήμα ταυτίστηκε με τα οδικά τμήματα που αποτελούσαν τις εισόδους και εξόδους δημιουργήθηκαν απευθείας και οι κινήσεις

του κυκλικού κόμβου. Παρακάτω απεικονίζονται οι κινήσεις που δημιουργήθηκαν στον κυκλικό κόμβο.



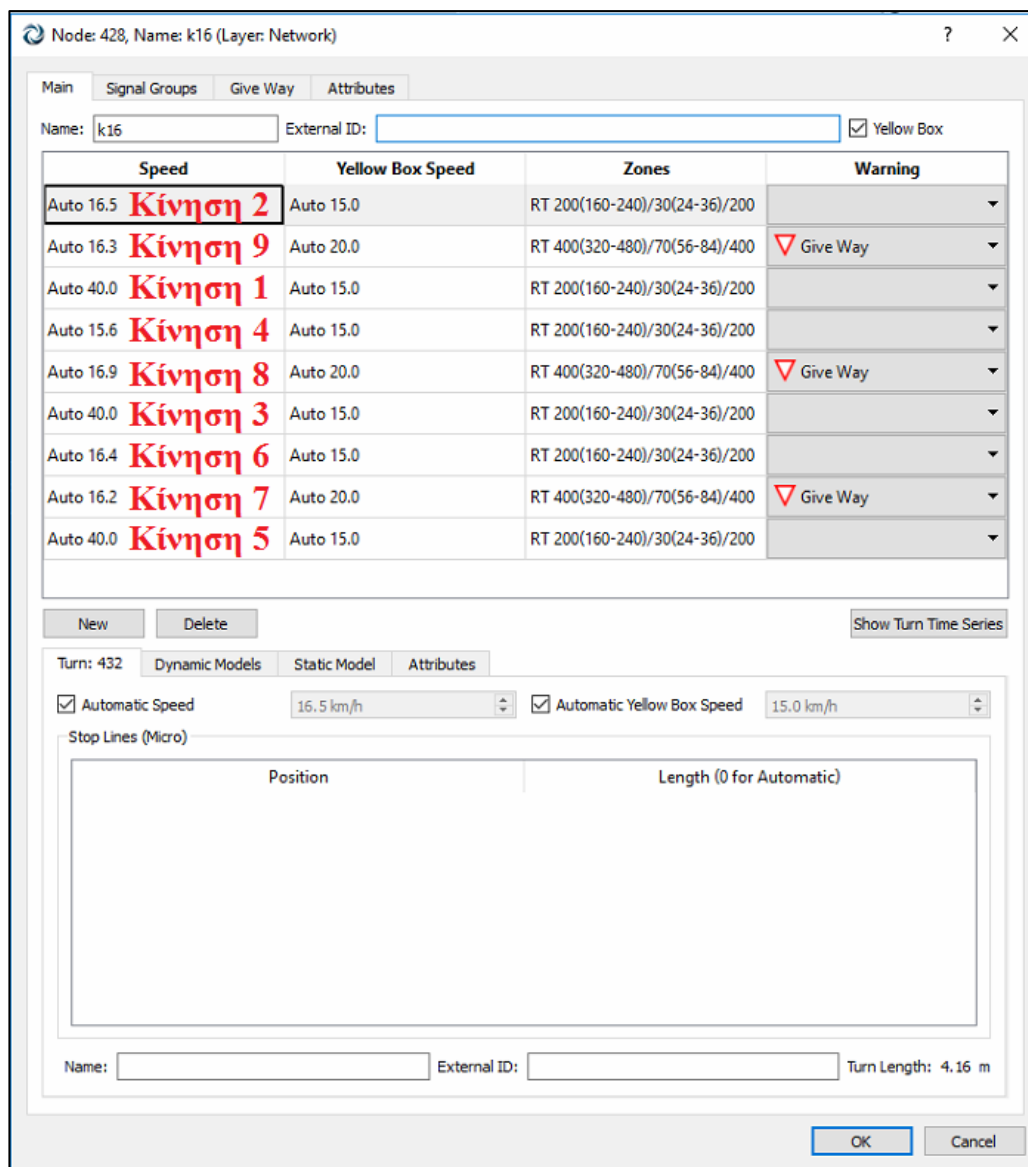
Εικόνα 3-31: Καθορισμός κινήσεων του κυκλικού κόμβου μέσα στο πρόγραμμα.

Όσον αφορά τα τοπικά στοιχεία του κυκλικού κόμβου, ο κυκλικός κόμβος ορίζεται στο πρόγραμμα ως 'roundabout'. Το όριο ταχύτητας προσδιορίστηκε στα 40χλμ/ώρα, όπως και στο αστικό οδικό τμήμα. Στο συγκεκριμένο σημείο που βρίσκεται ο κόμβος δεν υπάρχει κάποιια κλίση στο οδικό τμήμα. Τα στοιχεία αυτά απεικονίζονται παρακάτω στην κύρια καρτέλα οδικών τμημάτων.



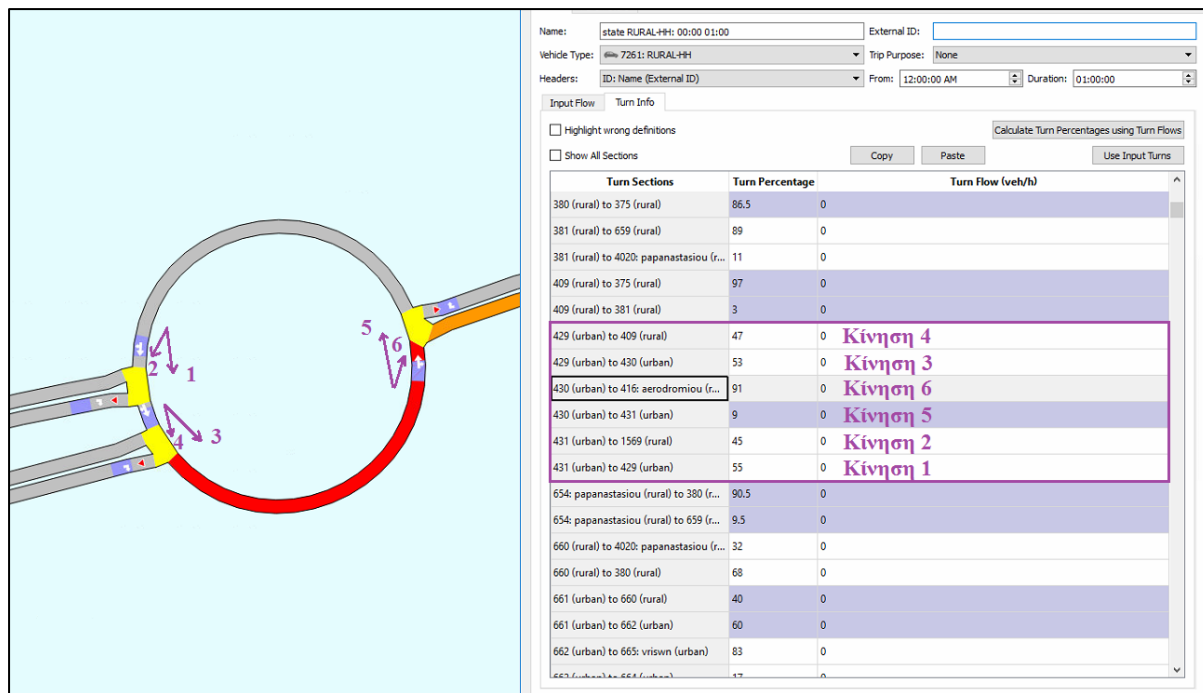
Εικόνα 3-32: Κόρια καρτέλα με τα χαρακτηριστικά του κυκλικού οδικού τμήματος.

Οι κινήσεις που εκτελούνται στον κυκλικό κόμβο δημιουργήθηκαν αυτομάτως κατά τη δημιουργία του κυκλικού κόμβου, χωρίς όμως να υπάρχει κάποιος έλεγχος των κινήσεων. Ο έλεγχος των κινήσεων πραγματοποιείται με βάση τους κανόνες προτεραιότητας και τις πινακίδες σήμανσης που καταγράφηκαν από τις εργασίες πεδίου. Πιο συγκεκριμένα, σε όλες τις εισόδους στον κυκλικό κόμβο υπάρχει η σήμανση όπου τα οχήματα θα πρέπει να παρέχουν προτεραιότητα ('GIVE WAY') στα οχήματα που κινούνται μέσα στον κόμβο. Από την κεντρική καρτέλα δημιουργίας του κόμβου, όπου καταγράφονται τα στοιχεία σχετικά με τις κινήσεις που εκτελούνται σημειώθηκε ποιές κινήσεις θα πρέπει να παρέχουν προτεραιότητα. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται παρακάτω στην καρτέλα.

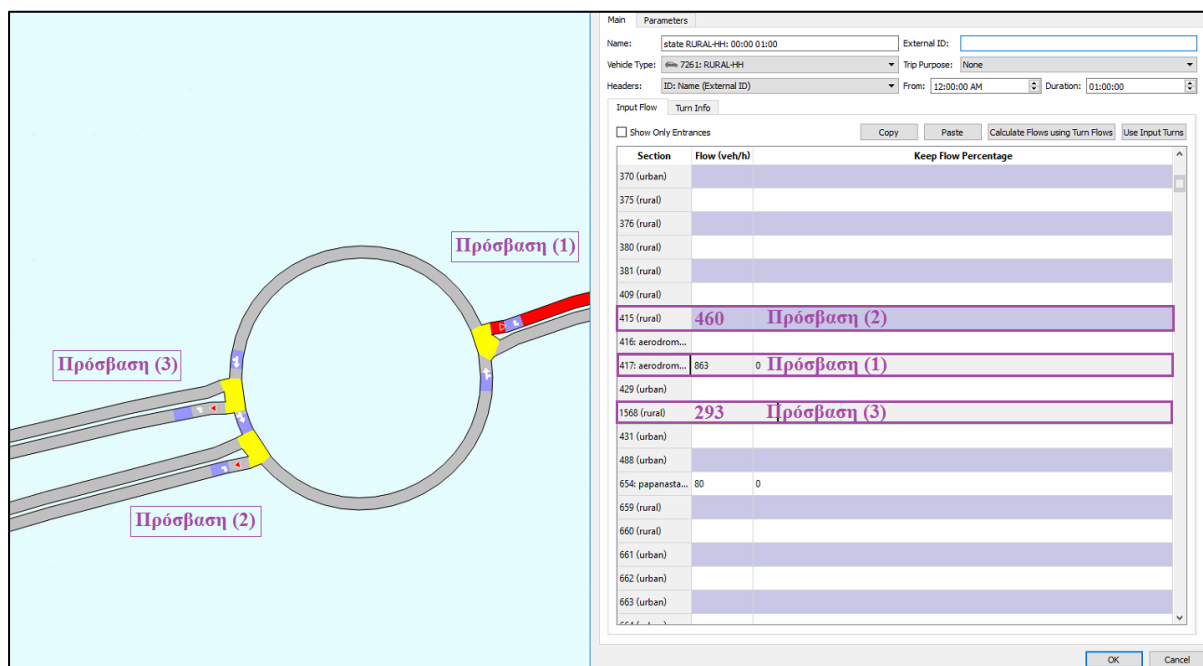


Εικόνα 3-33: Κινήσεις του κυκλικού κόμβου που δίνουν προτεραιότητα στις κινήσεις που βρίσκονται μέσα στον κυκλικό κόμβο.

Επόμενο βήμα ήταν να εισαχθούν τα στοιχεία σχετικά με την κυκλοφοριακή κατάσταση του κυκλικού κόμβου. Εισήχθησαν τα ποσοστά στρεφουσών που είχαν βρεθεί από την καταγραφή και μετά από την τροποποίηση τους κατά τη διαδικασία της προσαρμογής, μέσω της καρτέλας Traffic State -> Turn Info, όπως φαίνεται παρακάτω. Τονίζεται πως ο κόμβος βρίσκεται σε ένα άκρο του οδικού δικτύου που σχεδιάστηκε στην περιοχή μελέτης και η μία πρόσβασή του αποτελεί είσοδο οχημάτων στο δίκτυο, επομένως στην καρτέλα των κυκλοφοριακών φόρτων που ακολουθεί, πραγματοποιήθηκε κανονική καταγραφή του φόρτου που μετρήθηκε από εκείνη την είσοδο, συγκεκριμένα την είσοδο (1). Ενώ για της άλλες δύο προσβάσεις αναφέρονται οι κυκλοφοριακοί φόρτοι που μετρήθηκαν και που επεξεργάστηκαν κατά τη διαδικασία της προσαρμογής. Τα στοιχεία αυτά αναφέρονται στην καρτέλα Traffic State -> Input Flow.



Εικόνα 3-34: Ποσοστά στρεφουσών κινήσεων κυκλικού κόμβου.

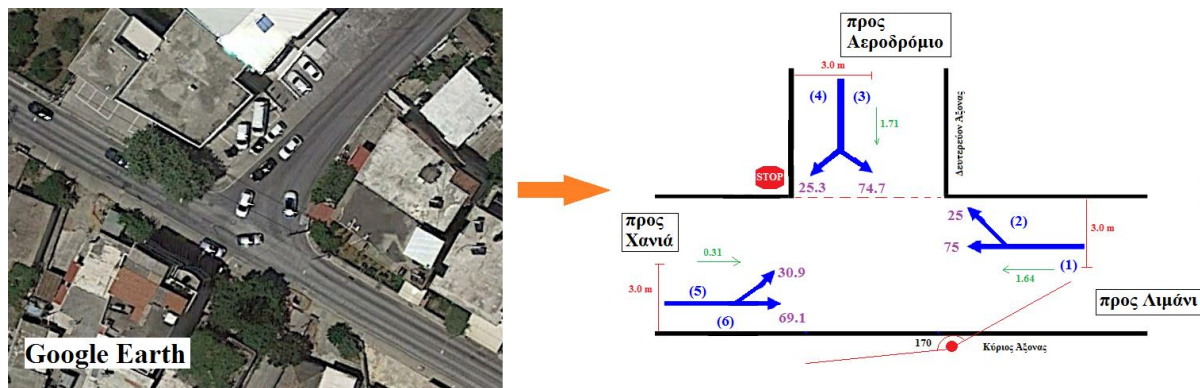


Εικόνα 3-35: Κυκλοφοριακός φόρτος ανά πρόσβαση στον κυκλικό κόμβο.

3.4.3. Εισαγωγή και σχεδιασμός μη σηματοδοτούμενου κόμβου μορφής T με κανόνες προτεραιότητας στο πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN.

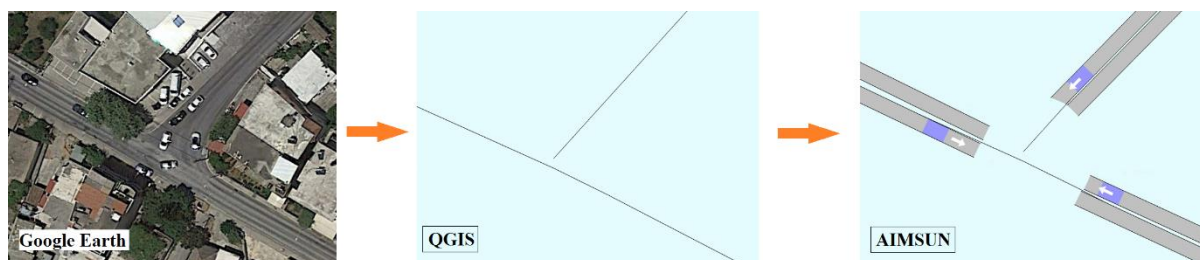
Αρχικά πραγματοποιήθηκε καταγραφή του κόμβου στο πεδίο, όπου καταγράφηκαν στοιχεία όπως, η μορφή του, οι προσβάσεις, τα πλάτη των προσβάσεων, οι κλίσεις, οι λωρίδες κυκλοφορίας σε κάθε ρεύμα, καθώς και οι κινήσεις που πραγματοποιούνται στον κόμβο αυτό. Επιπλέον, καταγράφηκαν οι κυκλοφοριακοί φόρτοι και με βάση αυτούς υπολογίστηκαν τα ποσοστά στρεφουσών από κάθε κίνηση. Παρακάτω απεικονίζεται ο συγκεκριμένος κόμβος

μορφής T, από την εφαρμογή Google Earth, και πως αποτυπώθηκαν τα παραπάνω στοιχεία στον σχεδιασμό για να εισαχθούν αργότερα στο πρόγραμμα AIMSUN.



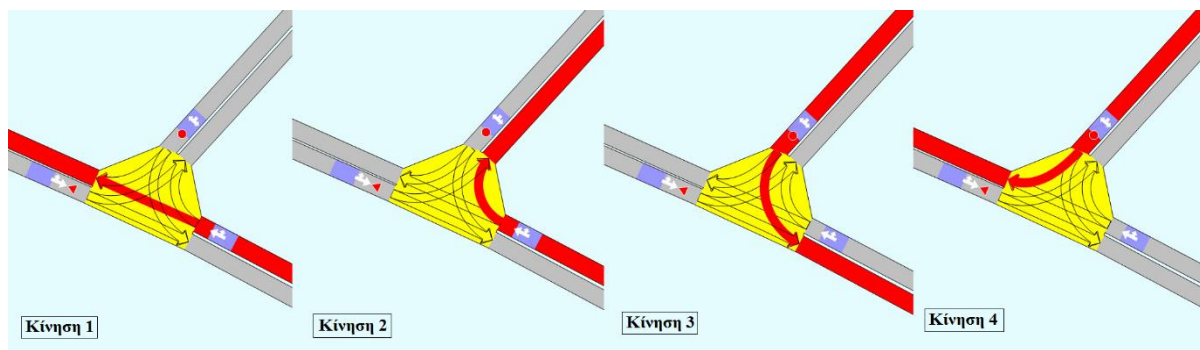
Εικόνα 3-36: Καταγραφή των στοιχείων του κόμβου 1.

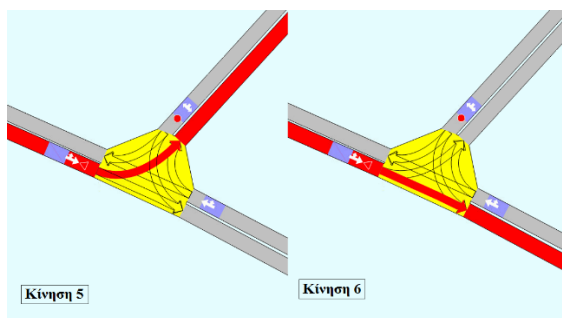
Αφού λοιπόν βρέθηκαν και καταγράφηκαν όλα τα παραπάνω, επόμενο βήμα ήταν η εισαγωγή του κόμβου στο πρόγραμμα AIMSUN. Για να γίνει αυτό, υπήρξε ένα μεταβατικό στάδιο σχεδιασμού. Το μεταβατικό στάδιο αφορούσε τον σχεδιασμό ενός υποβάθρου στο πρόγραμμα QGIS. Με το σχεδιασμό του υποβάθρου μέσω του προγράμματος Google Earth Pro ψηφιοποιήθηκε ο άξονας του δρόμου και έπειτα εισήχθηκε στο πρόγραμμα AIMSUN. Έπειτα έχοντας το υπόβαθρο στο πρόγραμμα AIMSUN πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός των οδικών τμημάτων. Η διαδικασία αυτή από πρόγραμμα σε πρόγραμμα απεικονίζεται παρακάτω:



Εικόνα 3-37: Διαδικασία εισαγωγής του κόμβου 1 από το Google Earth στο AIMSUN.

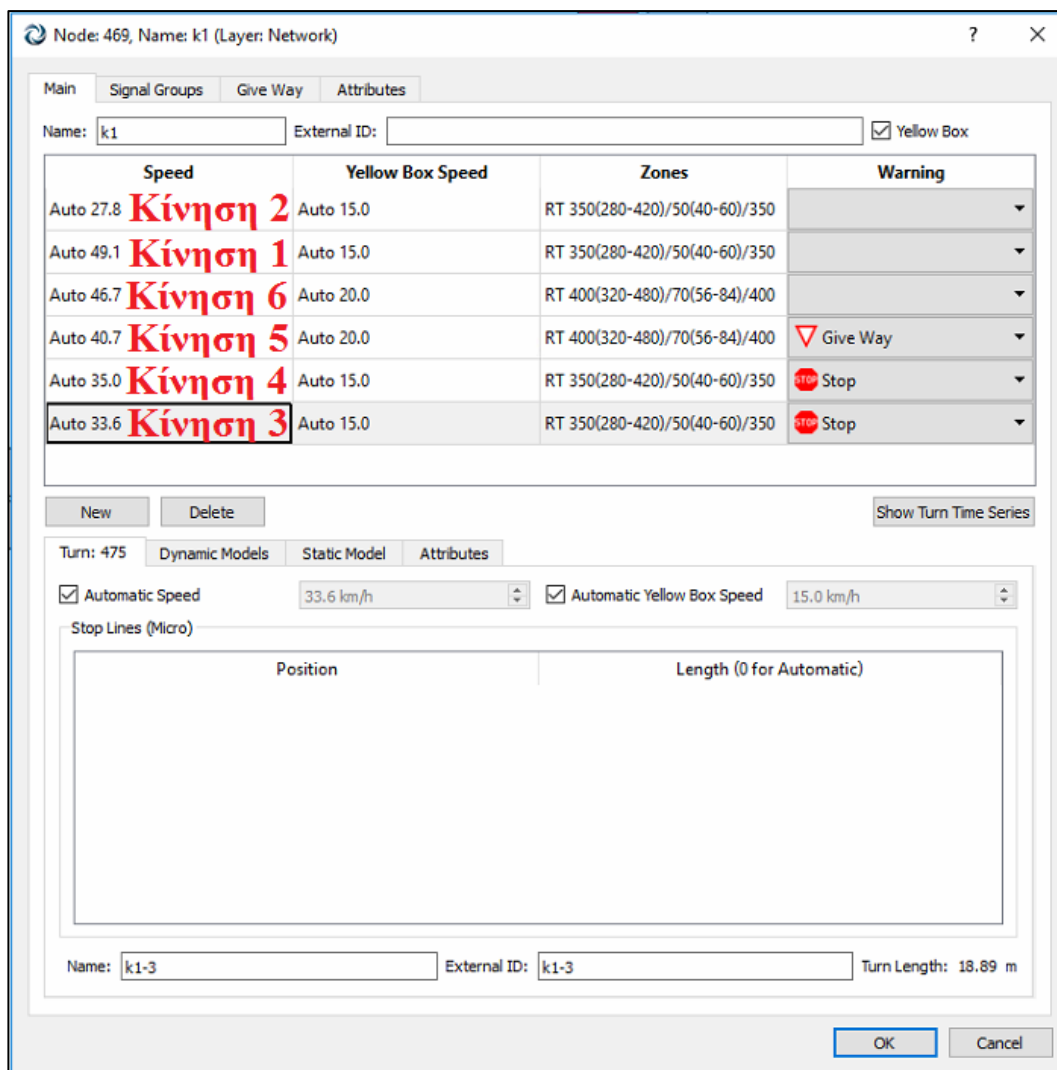
Στη συνέχεια εισήχθησαν στο πρόγραμμα οι κινήσεις που πραγματοποιούνται στον συγκεκριμένο κόμβο όπως ακριβώς αποτυπώθηκαν στο πρόγραμμα. Παρακάτω απεικονίζονται όλες οι κινήσεις του κόμβου.





Εικόνα 3-38: Απεικόνιση κινήσεων που πραγματοποιούνται στον κόμβο 1 μέσω του προγράμματος.

Τονίζεται ότι ο κόμβος αυτός είναι ένας αστικός μη σηματοδοτούμενος κόμβος και ο έλεγχος πραγματοποιείται με τους κανόνες προτεραιότητας. Από την αποτύπωση που πραγματοποιήθηκε στο πεδίο καταγράφηκε ότι οι κινήσεις 1, 2 και 6 έχουν προτεραιότητα έναντι των άλλων κινήσεων και ανήκουν στο πρώτο επίπεδο, με βάση τα επίπεδα προτεραιότητας. Η κίνηση 5, που ουσιαστικά βρίσκεται στο ρεύμα που έχει προτεραιότητα, ανήκει στο επίπεδο προτεραιότητας 2^ο, διότι παρέχει προτεραιότητα στην κίνηση 1, αλλά έχει προτεραιότητα έναντι των κινήσεων 3 και 4. Οι κινήσεις 3 και 4 ανήκουν στο 3^ο επίπεδο προτεραιότητας, διότι παρέχουν προτεραιότητα σε όλες τις κινήσεις. Η πρόσβαση 3 που εκτελούνται οι κινήσεις 3 και 4 αποτελεί τον δευτερεύοντα άξονα στον κόμβο αυτό. Ενώ οι κινήσεις 1, 2, 6, 5 ανήκουν στον πρωτεύοντα άξονα. Οι πινακίδες προτεραιότητας που εισήχθησαν στο πρόγραμμα AIMSUN είναι αυτές που καταγράφηκαν στο πεδίο. Για τις κινήσεις 3 και 4 υπάρχει πινακίδα STOP και για την κίνηση 5 πινακίδα που δίνει προτεραιότητα. Παρακάτω παρουσιάζεται η κύρια καρτέλα δημιουργίας κινήσεων στο πρόγραμμα και απεικονίζονται οι κινήσεις οι οποίες εισήχθησαν στο πρόγραμμα. Επιπλέον, φαίνεται πως οι κινήσεις 3 και 4 ελέγχονται με πινακίδα STOP και η κίνηση 5 με πινακίδα παραχώρησης προτεραιότητας.

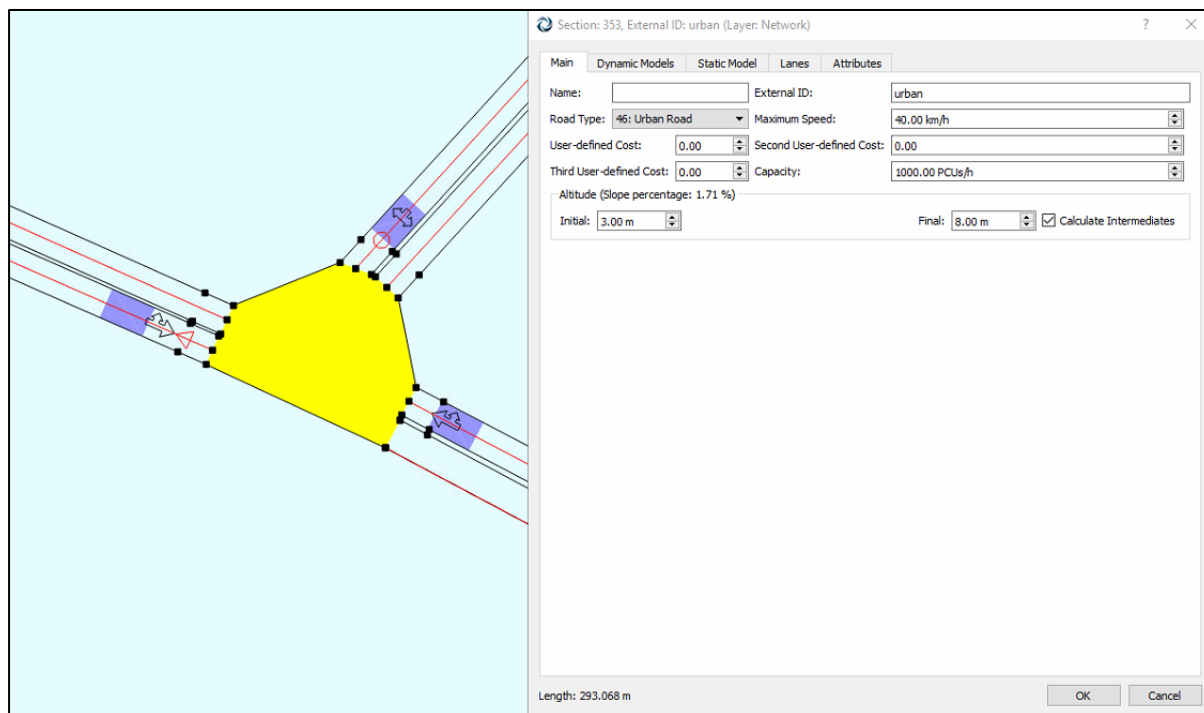


Εικόνα 3-39: Καθορισμός κανόνων προτεραιότητας των κινήσεων του κόμβου 1 στο πρόγραμμα.

Επιπλέον, κάθε οδηγός που στέκεται σε μια πινακίδα παραχώρησης προτεραιότητας, είτε αυτή είναι πινακίδα STOP είτε είναι πινακίδα παραχώρησης προτεραιότητας ‘GIVE WAY’, έχει ένα μέγιστο χρόνο παραχώρησης προτεραιότητας. Αν φτάσει κάποιο όχημα πρώτο σε μια από τις δύο προσβάσεις που δίνουν προτεραιότητα, με βάση τον παραπάνω κόμβο (αναφερόμενοι στις κινήσεις 5 και 4), το όχημα θα περάσει στο πρώτο εφικτό διάκενο που θα βρεί. Δεν έχει σημασία αν αυτό θα είναι 2^ο ή 3^ο επιπέδου (G. Makryroulias, 2017). Και επομένως, δεν υπάρχει διαφοροποίηση στην κίνηση των οχημάτων όπως αυτή καθορίζεται στο AIMSUN αν θα τοποθετηθεί πινακίδα STOP ή GIVE WAY στο 3^ο επίπεδο προτεραιότητας.

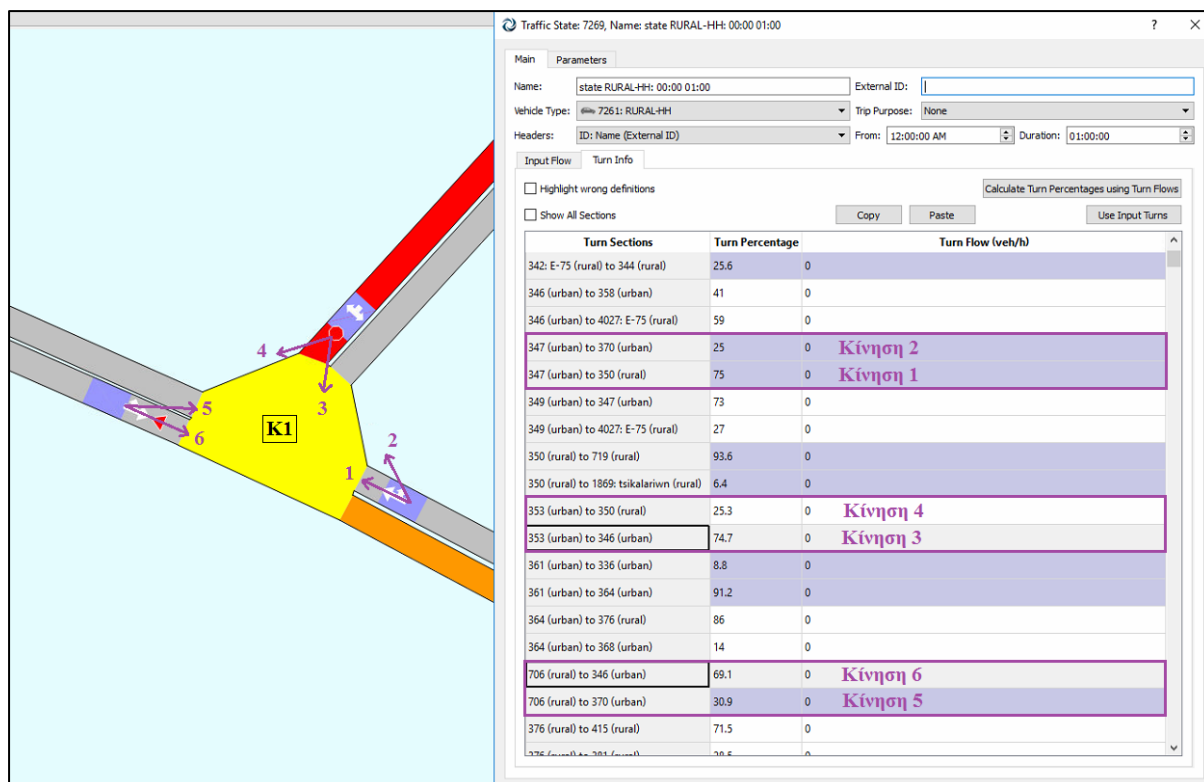
Μια διαφορά όμως που υπάρχει μεταξύ των δύο αυτών σημάτων, STOP και GIVE WAY, είναι ότι, αν υπάρχει η πινακίδα STOP στον δευτερεύοντα άξονα, το όχημα που κατευθύνεται προς τη διασταύρωση θα σταματήσει τελείως (θα μηδενίσει ταχύτητα) ακόμη και στην περίπτωση που από τον κύριο άξονα δεν διέρχεται κανένα όχημα. Ενώ στην περίπτωση που υπάρχει πινακίδα GIVE WAY, το όχημα που θα προσεγγίζει στη διασταύρωση, θα μειώσει ταχύτητα, αλλά δεν θα σταματήσει τελείως, και στη συνέχεια θα αναπτύξει ξανά ταχύτητα για να συνεχίσει την πορεία του. Στην περίπτωση, που διέρχεται όχημα από τον κύριο άξονα το όχημα θα ακινητοποιηθεί τελείως.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα τοπικά στοιχεία των οδικών τμημάτων τα οποία καταλήγουν στον κόμβο μέσω της κεντρική καρτέλας καταχώρησης στοιχείων οδικών τμημάτων. Ένα στοιχείο που αποτελεί η κατηγορία των οδικών τμημάτων, στο παρόν παράδειγμα, είναι σε αστικό περιβάλλον. Με βάση το συμβολισμό στο πρόγραμμα το αστικό δίκτυο καταγράφεται με την ονομασία 'Urban Road'. Αντίστοιχα εφόσον ο κόμβος ανήκει σε αστικό περιβάλλον το όριο ταχύτητας ανέρχεται στα 40 χλμ/ώρα. Όσον αφορά την κυκλοφοριακή ικανότητα αναγράφεται αυτή που ορίζει το πρόγραμμα για την συγκεκριμένη κατηγορία, αλλά όπως προαναφέρθηκε δεν αποτελεί δεδομένο εισόδου. Τέλος, εισάγεται η κλίση των οδικών τμημάτων που δημιουργείται με βάση τα υψόμετρα στην αρχή και στο τέλος του κάθε οδικού τμήματος και αυτομάτως το πρόγραμμα υπολογίζει την κλίση. Τα στοιχεία αυτά απεικονίζονται παρακάτω στην καρτέλα:



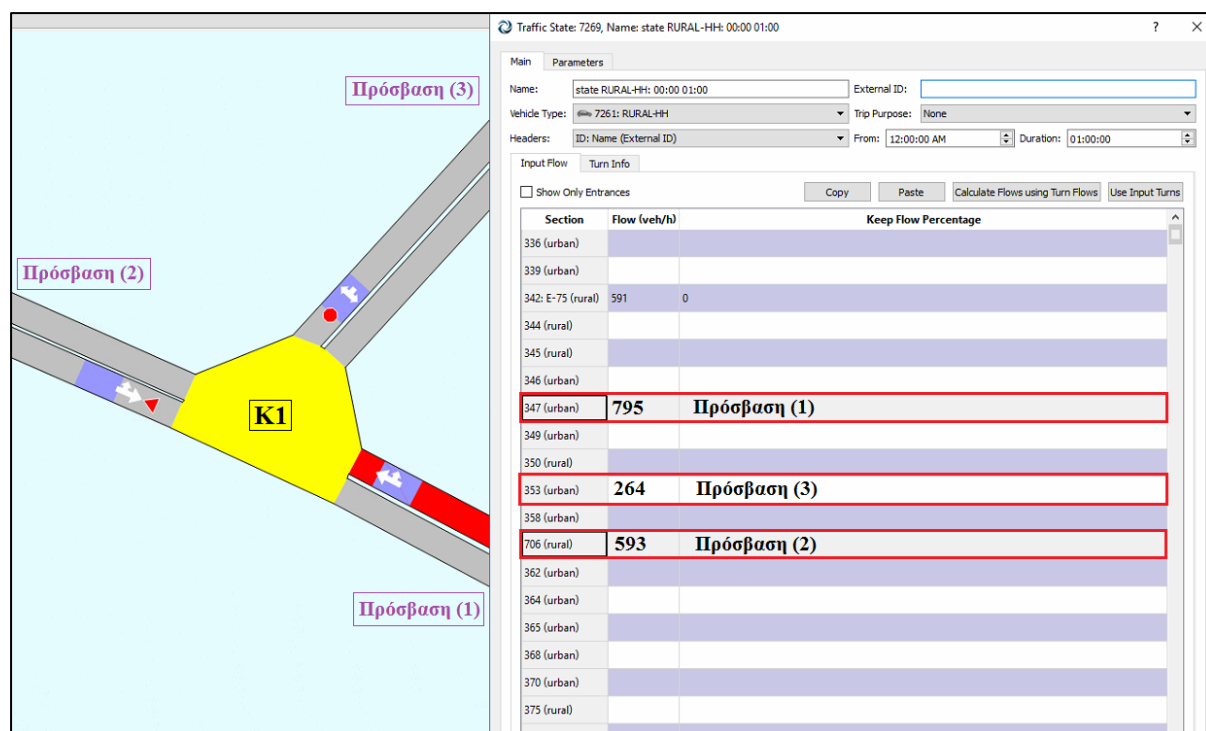
Εικόνα 3-40: Καθορισμός χαρακτηριστικών των οδικών τμημάτων του κόμβου 1 στο πρόγραμμα.

Επόμενο βήμα, ήταν η καταγραφή των φόρτων και των στρεφουσών κινήσεων για να εισαχθούν στο πρόγραμμα. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, έπρεπε πρώτα να δημιουργηθεί μία κυκλοφοριακή κατάσταση 'traffic state'. Συγκεκριμένα για τον κόμβο, εισήχθησαν στην κυκλοφοριακή κατάσταση τα ποσοστά των στρεφουσών που αντιστοιχούν στην κάθε κίνηση:



Εικόνα 3-41: Καθορισμός ποσοστών στρεφουσών κινήσεων στο πρόγραμμα για τον κόμβο 1.

Όσον αφορά τους κυκλοφοριακούς φόρτους, τονίζεται πως τα οδικά τμήματα τα οποία διασταυρώνονται στον κόμβο αυτό δεν αποτελούν άκρα δικτύου και επομένως ο κυκλοφοριακός φόρτος ‘σαν στοιχείο’ δεν περάστηκε στο πρόγραμμα. Υπενθυμίζεται πως, η φόρτιση του δικτύου κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης πραγματοποιείται από τα άκρα και τα οχήματα κινούνται στο δίκτυο με βάση τα ποσοστά των στρεφουσών κινήσεων που έχουν καθοριστεί σε κάθε κόμβο. Στην καρτέλα που ακολουθεί Traffic state -> Input flow παρουσιάζονται ενδεικτικά για τον κόμβο αυτό, οι κυκλοφοριακοί φόρτοι που προέκυψαν από τη διαδικασία του καταμερισμού.



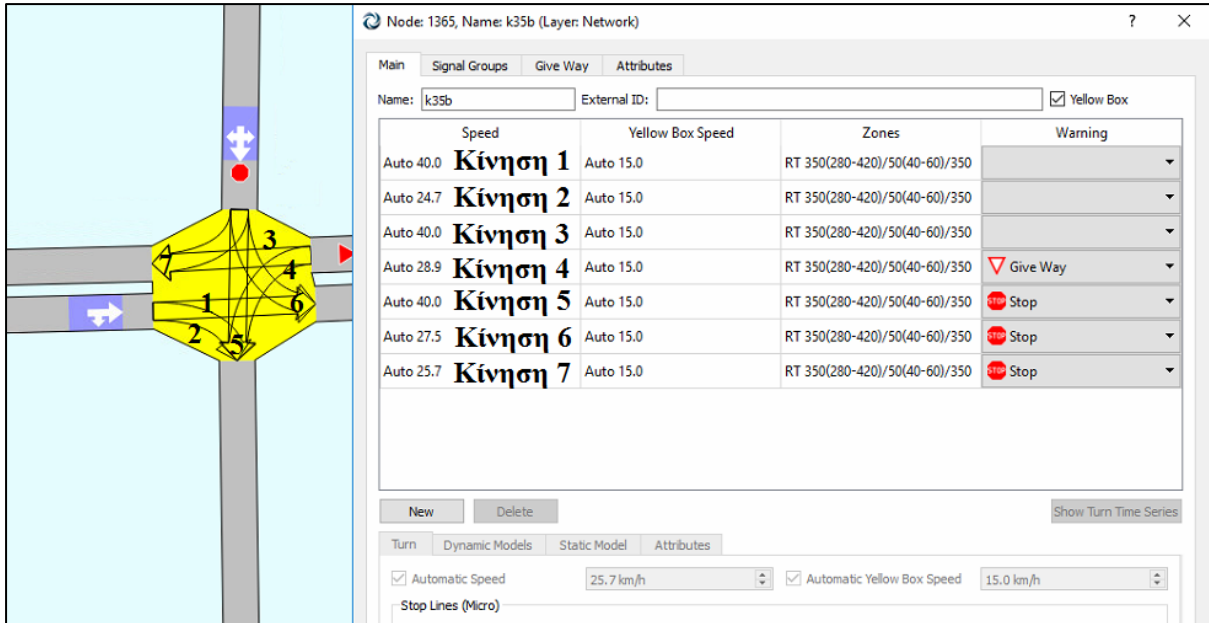
Εικόνα 3-42: Καθορισμός κυκλοφοριακού φόρτου, σε ΜΕΑ, ανά πρόσβαση στον κόμβο 1.

3.4.4. Εισαγωγή περιοχής αποκλεισμού στους κόμβους, ‘Yellow Box’

Κατά τον σχεδιασμό ενός κόμβου παρέχεται η δυνατότητα από το πρόγραμμα εισαγωγής της περιοχή αποκλεισμού (yellow box). Ουσιαστικά, η περιοχή αποκλεισμού μαρκάρει τον κόμβο και ορίζει μία κατώτατη ταχύτητα διέλευσης των οχημάτων από τον κόμβο. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση που κάποιο όχημα διέρχεται από τον κόμβο με ταχύτητα χαμηλότερη του ορίου, το όχημα που ακολουθεί αναμένει για κάποιο χρονικό διάστημα πριν αναχωρήσει από την πρόσβαση και διέλθει από τον κόμβο.

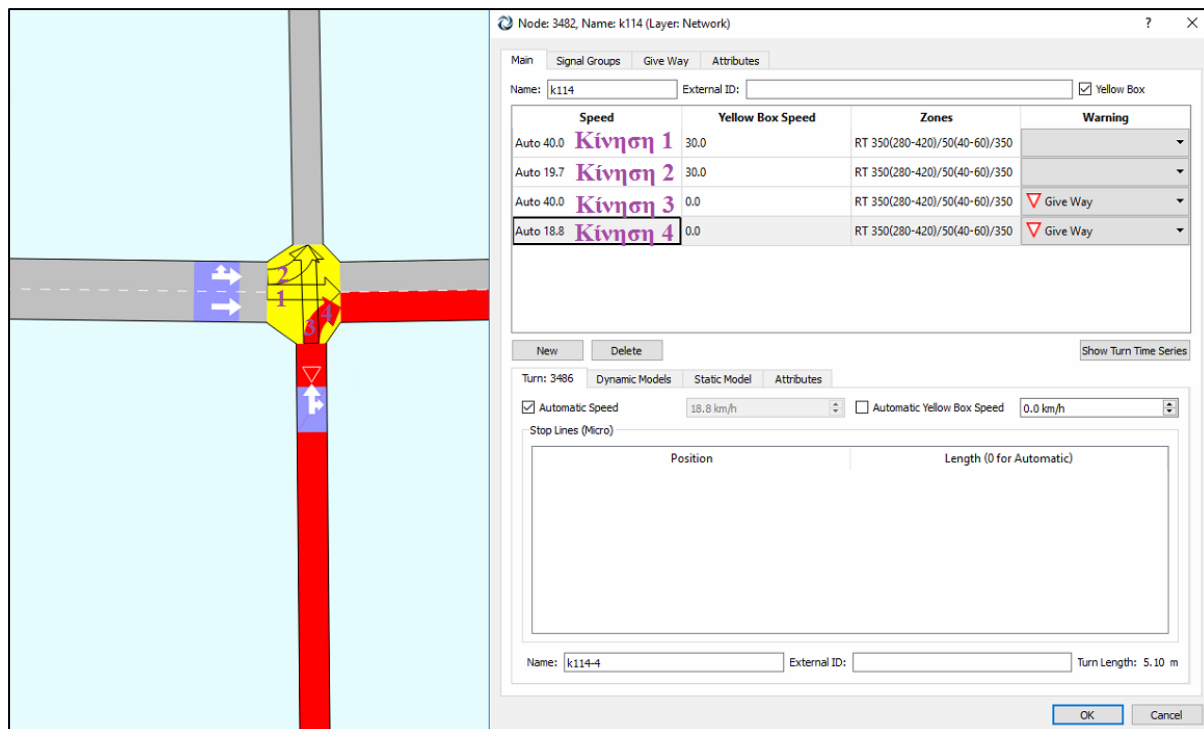
Με βάση τον ορισμό του προγράμματος, ένα όχημα που προσεγγίζει έναν κόμβο με περιοχή αποκλεισμού θα αποφύγει να εισέλθει στον κόμβο εάν έχει ταχύτητα μικρότερη από το προηγούμενο όχημα και με αυτήν που έχει ορίσει ο χρήστης, (συνήθως κατά τη δημιουργία του, το πρόγραμμα καθορίζει αυτόματα μία ταχύτητα που αντιστοιχεί για κάθε κίνηση).

Στην περίπτωση της εισαγωγής περιοχής αποκλεισμού τα οχήματα δεν εισέρχονται μέσα στο κόμβο σε περιπτώσεις κυκλοφοριακής συμφόρησης, και συνεπώς αφήνουν ελεύθερο τον κόμβο και δεν παρεμποδίζουν τις κινήσεις από άλλα ρεύματα να συνεχίσουν την πορεία τους. Παρακάτω παρουσιάζεται ένας κόμβος στον οποίο έχει οριστεί κίτρινο κουτί και αυτομάτως και οι ταχύτητες για κάθε κίνηση.



Εικόνα 3-43: Απεικόνιση των ταχυτήτων στην κάθε κίνηση για την περιοχή αποκλεισμού.

Επιπλέον, σε κόμβους στην αστική περιοχή, που ο φόρτος ήταν ιδιαίτερα υψηλός και οι ταχύτητες των οχημάτων ήταν ιδιαίτερα χαμηλές και όπου υπήρχε η ένδειξη STOP, τα οχήματα δεν μπορούσαν να εισέλθουν καθόλου στον κόμβο. Συνεπώς, έμεναν ακινητοποιημένα καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Και εδώ ήταν χρήσιμη η εισαγωγή περιοχής αποκλεισμού, με την ιδιαιτερότητα όμως πως για τις κινήσεις που θα πραγματοποιούνται από τα στενά (κάθετους οδούς) θα δοθεί μηδενική ταχύτητα για την περιοχή αποκλεισμού. Με τον τρόπο αυτό, (με βάση το πρόγραμμα, αν το τελευταίο όχημα είχε ταχύτητα τουλάχιστον 1 χιλιόμετρο ανά ώρα, το όχημα από την κάθετη οδό θα μπορούσε να διέλθει), και γενικά σε περιπτώσεις που υπάρχει κυκλοφοριακή συμφόρηση τα οχήματα από την κάθετη οδό θα μπορούν να εισέλθουν στην κύρια αρτηρία, λαμβάνοντας υπόψη βέβαια τους κανόνες προτεραιότητας, λόγω της ένδειξης STOP. Παρακάτω παρουσιάζεται η καρτέλα για ένα οδικό τμήμα στην αστική περιοχή που αποτελεί και αστική αρτηρία με κάθετες οδούς αριστερά και δεξιά.

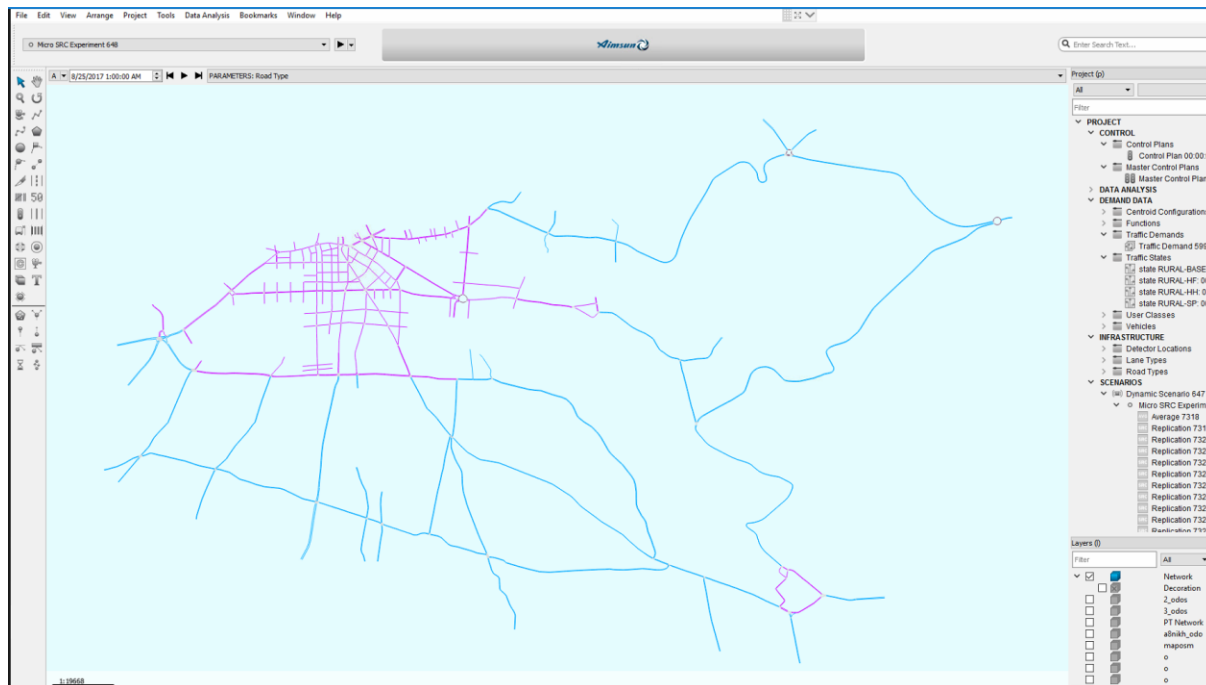


Εικόνα 3-44: Απεικόνιση των κινήσεων 3 και 4, με μηδενική ταχύτητα για την περιοχή αποκλεισμού.

Όπως φαίνεται από την παραπάνω καρτέλα, οι κινήσεις 1 και 2 έχουν ως κατώτατη ταχύτητα στην περιοχή αποκλεισμού τα 30 χλμ/ώρα. Συνεπώς, αν το τελευταίο όχημα που θα περάσει από τον κόμβο έχει ταχύτητα τουλάχιστον 31 χλμ/ώρα θα μπορέσει να διέλθει και αυτό. Αν έχει χαμηλότερη δεν θα διέλθει, και πάντα αναφερόμενοι σε περιπτώσεις κυκλοφοριακής συμφόρησης. Όσον αφορά τις κινήσεις 3 και 4 όπως φαίνεται η ταχύτητα κίτρινου κουτιού είναι μηδενική, που σημαίνει ότι έστω και 1 χιλιόμετρο την ώρα να είναι η ταχύτητα του τελευταίου οχήματος που πέρασε το όχημα θα μπορέσει να διέλθει.

3.4.5. Το οδικό δίκτυο στο AIMSUN

Παρακάτω παρουσιάζεται ολόκληρο το οδικό δίκτυο το οποίο σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN και πάνω στο οποίο πραγματοποιήθηκαν όλα τα σενάρια τα οποία αναφέρονται στην επόμενη ενότητα. Το αστικό οδικό τμήμα απεικονίζεται με μώβ χρώμα, ενώ το υπεραστικό οδικό τμήμα με μπλέ χρώμα.



Χάρτης 3-2: Απεικόνιση του προσομοιωμένου οδικού δικτύου της πόλης των Χανίων στο AIMSUN.

3.5. Σχεδιασμός σεναρίων

Σημαντικός αριθμός πειραμάτων έχει πραγματοποιηθεί από διάφορους ερευνητές σχετικά με την επιρροή της χρήσης του κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης με διάφορες μορφές, όπως με τη χρήση ενσύρματης ή ασύρματης επικοινωνίας, καθώς και με τη δια χειρός χρήση. Όλες αυτές οι έρευνες, αφορούσαν μεμονωμένα τους οδηγούς και εξέταζαν πως επηρεάζεται η συμπεριφορά του οδηγού στην οδήγηση. Ουσιαστικά, οι οδηγοί προσπαθούν να αντισταθμίσουν τον φόρτο που δημιουργείται από την απόσπαση προσοχής λόγω της χρήσης του κινητού τηλεφώνου. Ο φόρτος έχει διάφορες μορφές ανάλογα με τον τρόπο χρήση του κινητού, όπως γνωστική, οπτική, σωματική, ακουστική ή και συνδυασμό των παραπάνω. Ενδιαφέρον έχει να εξεταστεί, πως αυτές οι συνεπαγόμενες συμπεριφορές των οδηγών επιδρούν και επηρεάζουν πιο μεγάλες κλίμακες, όπως για παράδειγμα ένα δίκτυο συνολικό ή πιο συγκεκριμένα ένα αστικό ή ένα υπεραστικό δίκτυο ή σε έναν αυτοκινητόδρομο. Όπως αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου αυτού, επιλέχθηκε να προσομοιωθούν στο οδικό δίκτυο δύο κατηγορίες οδηγών επιβατικών οχημάτων: οδηγοί επιβατικών οχημάτων χωρίς καμιά απόσπαση προσοχής και οδηγοί επιβατικών οχημάτων με απόσπαση με δια χειρός χρήση του κινητού τηλεφώνου. Αρχικά, για τον σχεδιασμό των σεναρίων ήταν απαραίτητο να βρεθούν οι παράμετροι που συμβάλλουν στην οδηγική συμπεριφορά και δύναται να προσομοιωθούν με το AIMSUN.

3.5.1. Παράμετροι σχεδιασμού σεναρίων

Το 2015, οι Xiao και Shi πραγματοποίησαν μία έρευνα σχετικά με το πώς η χρήση του κινητού τηλεφώνου από τους οδηγούς επηρεάζει την κυκλοφοριακή ροή σε ένα οδικό δίκτυο σε περιβάλλον Κυψελωτών Αυτόματων Προτύπων (Cellular Automaton Models). Το οδικό δίκτυο το οποίο δημιουργήθηκε και σχεδιάστηκε σε αυτό το περιβάλλον αποτελούνταν από ένα οδικό δίκτυο 2 χλμ σχήματος κλειστού κύκλου και αποτελούμενο από 2 λωρίδες κυκλοφορίας προς μία κατεύθυνση. Πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις σχεδιάζοντας διαφορετικά σενάρια προσαρμόζοντας ουσιαστικά συγκεκριμένες παραμέτρους, όπως η αναλογία των οδηγών που κάνουν χρήση κινητού τηλεφώνου, και η πυκνότητα των οχημάτων στο οδικό δίκτυο. Τα αποτελέσματα της έρευνας ανέδειξαν πως όταν η πυκνότητα είναι πολύ χαμηλή, δηλαδή το σύστημα βρίσκεται κάτω από συνθήκες χαμηλού φόρτου, η κυκλοφοριακή ροή δεν μειώνεται σημαντικά ανεξαρτήτως αναλογίας χρηστών. Όταν η πυκνότητα ήταν υψηλή, δηλαδή το σύστημα βρισκόταν υπο κυκλοφοριακή συμφόρηση, η κυκλοφοριακή ροή μειώνεται σημαντικά. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, επιλέγεται ως δίκτυο προσομοίωσης αυτό της πόλης των Χανίων μαζί με τα περίχωρά της. Θεωρείται πως παράμετροι που δύναται να μεταβληθούν και αναμένεται να επηρεάσουν την κυκλοφορία των οχημάτων αποτελούν η αναλογία χρηστών κινητού τηλεφώνου καθώς και οι κυκλοφοριακοί φόρτοι με τους οποίους φορτίζεται το δίκτυο. Συνεπώς, παράμετροι επιρροής των σεναρίων θεωρήθηκε πως είναι:

- Η αναλογία των χρηστών μεταξύ των δύο κατηγοριών.
- Ο κυκλοφοριακός φόρτος (υπολογίζεται και αναφέρεται ως ποσοστό μεταβολής του κυκλοφοριακού φόρτου που καταγράφηκε στις μετρήσεις).

3.5.2. Προσδιορισμός τιμών παραμέτρων

Για κάθε λοιπόν παράμετρο επιρροής των σεναρίων έπρεπε να προσδιοριστεί ένα εύρος τιμών μέσα στο οποίο θα αναλυθούν και θα πραγματοποιηθούν οι προσομοιώσεις. Η επιλογή του εύρους αυτού των τιμών βοηθούσε έτσι ώστε να μη γίνονται άσκοπες προσομοιώσεις αλλά οι προσομοιώσεις να έχουν αξιοποιήσιμα αποτελέσματα.

Καθορισμός φόρτου προσομοίωσης

Μία από τις παραμέτρους επιρροής των σεναρίων είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος της προσομοίωσης. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως έχει καθοριστεί να υπάρξει μια σταδιακή αύξηση του φόρτου των οχημάτων που διέρχονται στο δίκτυο μελέτης. Κατά συνέπεια, πρέπει να προσδιοριστεί το εύρος τιμών που θα κυμαίνεται η αύξηση του φόρτου. Υπενθυμίζεται ότι κατά τις εργασίες πεδίου η καταγραφή του κυκλοφοριακού φόρτου που πραγματοποιήθηκε, αφορούσε την ώρα αιχμής, και αυτός ο κυκλοφοριακός φόρτος, αναφέρεται ως ποσοστό φόρτου 100%. Λαμβάνοντας υπόψη ότι πολλές έρευνες πραγματοποιούν προσομοιώσεις σε χαμηλό, σε μεσαίο και υψηλό φόρτο, όπου ο χαμηλός φόρτος αντιστοιχεί σε συνθήκες ελεύθερης ροής και ο υψηλός φόρτος αντιστοιχεί σε συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης, έτσι και εδώ αποφασίστηκε ένα κατώτατο και ένα ανώτατο όριο κυκλοφοριακού φόρτου. Το βασικό ήταν να καθοριστεί αυτό το ποσοστό που θα αποτελούσε το κατώτατο και το ανώτατο όριο. Γνωρίζοντας το ποσοστό του φόρτου που αντιστοιχεί στο 100% από την καταγραφή που έγινε, πραγματοποιήθηκαν διαφορετικές προσομοιώσεις από χαμηλά ποσοστά σε υψηλά ποσοστά με σταδιακή αύξηση. Οι προσομοιώσεις ξεκίνησαν με ποσοστό φόρτου 30% έως 150%, με βήμα 10%. Τονίζεται ότι, το βήμα θεωρήθηκε τυχαία 10%, και αν φαινόταν πως υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των σεναρίων θα μειωνόταν στο 5%. Παρατηρώντας την προσομοίωση με ποσοστό φόρτου 30%, διαπιστώθηκε πως για το δίκτυο το οποίο είχε σχεδιαστεί τα οχήματα τα οποία είχαν εισαχθεί ήταν πολύ λίγα. Η πυκνότητα ήταν ιδιαίτερα χαμηλή και τα οχήματα ήταν διασκορπισμένα μέσα στο δίκτυο, χωρίς να υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Ακριβώς το ίδιο πρόβλημα παρατηρήθηκε και με την προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε με ποσοστό φόρτου 40%. Στις προσομοιώσεις με ποσοστό φόρτου 50% ο αριθμός των οχημάτων έδειχνε ικανοποιητικός και τα οχήματα είχαν κατανομηθεί ομοιόμορφα σε αυτό. Θεωρήθηκε λοιπόν, πως το κατώτατο όριο ποσοστού φόρτου θα ήταν το 50%. Όσον αφορά το ανώτατο όριο, πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις με μεγαλύτερο ποσοστό φόρτου. Σε προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν σε ποσοστό 130%, παρατηρήθηκε ότι το οδικό δίκτυο είχε γεμίσει από οχήματα, και η κίνηση των οχημάτων δημιουργούσε σε πολλά σημεία κυκλοφοριακή συμφόρηση. Στη συνέχεια, σε προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν σε ποσοστό 140% και 150%, διαπιστώθηκε πως τα οχήματα να μην είχαν γεμίσει το δίκτυο αλλά σε κάποια σημεία δημιουργήθηκαν ουρές ιδιαίτερα υψηλού μήκους που παρεμπόδιζαν την κυκλοφορία ανάντη συνδέσμων. Καθώς οι συνθήκες αυτές δεν ήταν ρεαλιστικές για το δίκτυο μελέτης, ως ανώτατο όριο τέθηκε το 130%. Έτσι λοιπόν, το εύρος τιμών που ορίστηκε στα ποσοστά φόρτου είναι:

- Κατώτατο όριο ποσοστού φόρτου 50%, που αντιστοιχούσε στο δίκτυο σε συνθήκες χαμηλού φόρτου.
- Ανώτατο όριο ποσοστού φόρτου 130%, που αντιστοιχούσε στο δίκτυο σε συνθήκες τοπικής κυκλοφοριακής συμφόρησης.

Καθορισμός αναλογίας χρηστών

Μία άλλη παράμετρος επιρροής των σεναρίων είναι το ποσοστό χρηστών το οποίο κάνει χρήση του κινητού τηλεφώνου. Γενικότερα, δεν έχει πραγματοποιηθεί μεγάλος αριθμός ερευνών που να προσδιορίζει το ποσοστό χρήσης του κινητού τηλεφώνου σε πόλεις διεθνώς. Στοιχεία που υπάρχουν αφορούν πόλεις της Αυστραλίας, των ΗΠΑ, της Αγγλίας, της Ισπανίας και του Καναδά, που τα αντίστοιχα ποσοστά ανέρχονται σε 4,75%, 5,8%, 3,7%, 1,3% και 5,9% (Young et al., 2006, Sullman, 2015, Prat et al., 2015, Burns et al., 2008, Thulin και Gustafsson, 2004).

Για την Ελλάδα, τα στοιχεία που έχουμε και τα οποία προέρχονται από τη διεύθυνση τροχαίας αναφέρονται στις καταγεγραμμένες παραβάσεις της χρήσης κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Τα στοιχεία για τα έτη 2012 - 2017 δείχνουν ότι το ποσοστό ανέρχεται από 4% έως 7%, ποσοστό που κρίνεται ιδιαίτερα χαμηλό και μη αντιπροσωπευτικό.

Επιπλέον, από την ανάλυση των ερωτηματολογίων της Λινάρδου (2017), προέκυψε ότι το 76% του δείγματος χρησιμοποιεί το κινητό τηλέφωνο κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Όσον αφορά τη χρήση σε αστική περιοχή, το 39.5% δήλωσε ότι το χρησιμοποιεί συχνά και το 31.5% πάντα. Για την υπεραστική περιοχή, το 39% συχνά και το 31% πάντα. Όσον αφορά για το είδος της χρήσης, το 35.5% μιλάει με δια χειρός χρήση του κινητού τηλεφώνου. Τονίζεται, πως τα αποτελέσματα προέρχονται από δείγμα 50 συμμετέχοντων.

Για το σκοπό της έρευνας που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία, αποφασίστηκε να πραγματοποιηθούν διαφορετικά σενάρια για την αναλογία χρηστών με βήμα 10%. Ξεκινώντας με σενάριο όπου το 100% των οδηγών δεν κάνει χρήση του κινητού τηλεφώνου και καταλήγοντας σε σενάριο όπου το 100% των οδηγών κάνει δια χειρός χρήση του κινητού τηλεφώνου. Παρόμοια μεθοδολογία εξέτασης επιρροής της αναλογίας χρησιμοποίησαν και οι Χiao και Shi (2015). Επισημαίνεται ότι θεωρείται πως **οι οδηγοί που κάνουν χρήση του κινητού τους τηλεφώνου, συνομιλούν καθ'όλη τη διάρκεια της μετακίνησής τους. Αυτό συμβαίνει λόγω των περιορισμών στις δυνατότητες προσομοιώσεις των προγραμμάτων κυκλοφοριακής προσομοίωσης (και του AIMSUN).**

Καθορισμός αναπαραγωγών σε κάθε σενάριο

Σημαντικό στοιχείο για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων των σεναρίων ήταν ο καθορισμός των αναπαραγωγών σε κάθε σενάριο. Πιο συγκεκριμένα, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι προσομοιώσεις πραγματοποιούνταν σε μικροσκοπικό επίπεδο και είχε επιλεγθεί να προσομοιωθούν με στοχαστικό τρόπο. Αυτό σήμαινε πως κάθε σενάριο θα είχε διαφορετικά αποτελέσματα αν προσομοιωνόταν μόνο με μία αναπαραγωγή. Συνεπώς, δεν θα ήταν λογικό το κάθε σενάριο να έχει πραγματοποιηθεί μόνο με μία αναπαραγωγή διότι τα αποτελέσματα δεν θα ήταν ακριβή. Επομένως, έπρεπε να βρεθεί ο ελάχιστος αριθμός αναπαραγωγών της κάθε προσομοίωσης που θα ήταν ο κατάλληλος για ακριβέστερα αποτελέσματα. Μια από τις μεταβλητές που θα αναλύονταν στην εργασία αυτή ήταν η χρονική καθυστέρηση των οχημάτων. Για να βρεθεί ο ελάχιστος αριθμός αναπαραγωγών χρησιμοποιήθηκε η μεταβλητή αυτή. Εκτελέστηκε ένα πείραμα το οποίο πραγματοποιήθηκε σε τρία διαφορετικά ποσοστά φόρτων (χαμηλού, μεσαίου και υψηλού), 50%, 90% και 130% αντίστοιχα, έτσι ώστε να αναδειχθεί αν υπάρχει κάποια επιρροή μεταξύ των αναπαραγωγών στη μεταβλητή της χρονικής καθυστέρησης. Και στα τρία αυτά ποσοστά πραγματοποιήθηκαν εναλλακτικές αναπαραγωγές για κάθε προσομοίωση, ξεκινώντας από 1 αναπαραγωγή μέχρι και 30 αναπαραγωγές για κάθε σενάριο. Σκοπός ήταν να βρεθεί ο αριθμός αναπαραγωγών μετά τον οποίο η τιμή της μεταβλητής αρχίζει να σταθεροποιείται. Αυτός ο αριθμός των αναπαραγωγών θα ήταν και ο πιο κατάλληλος για να χρησιμοποιηθεί στα σενάρια. Στα διαγράμματα απεικονίζεται, η τιμή της μέσης χρονικής καθυστέρησης σε σχέση με τον αριθμό αναπαραγωγών.



Διάγραμμα 3-9: Ανάλυση της χρονικής καθυστέρησης με ποσοστό φόρτου 50% έως 30 αναπαραγωγές.

Το **διάγραμμα 3-9**, αναφέρεται στην περίπτωση με ποσοστό φόρτου 50%, δηλαδή το δίκτυο βρίσκεται σε συνθήκες χαμηλού φόρτου (ήπιας κυκλοφορίας). Παρατηρείται πως, για αριθμό αναπαραγωγών μέχρι και 10 οι τιμές της μεταβλητής δεν έχουν σταθεροποιηθεί. Στο διάστημα μεταξύ 10 - 25 αναπαραγωγές, αρχίζει να υπάρχει κάποια μικρή σταθεροποίηση. Γενικά, σταθεροποίηση της μεταβλητής αρχίζει να προκύπτει από τις 25 αναπαραγωγές και πάνω.



Διάγραμμα 3-10: Ανάλυση της χρονικής καθυστέρησης με ποσοστό φόρτου 90% έως 30 αναπαραγωγές.

Το **διάγραμμα 3-10**, αναφέρεται σε ποσοστό φόρτου 90%, όπου στο δίκτυο επικρατούν συνθήκες μεσαίου επιπέδου φόρτου. Σε αυτή την περίπτωση, παρατηρείται πως δεν υπάρχει κάποια σταθεροποίηση της μεταβλητής για τις αναπαραγωγές μέχρι και 6 στον αριθμό. Έπειτα όμως, στο διάστημα από 7 μέχρι και 15 παρατηρείται πως υπάρχει μία μικρή σταθεροποίηση

με μία τυπική απόκλιση γύρω στο 0,25 δλ.. Στην πορεία όμως, συνεχίζει να υπάρχει καλύτερη σταθεροποίηση με μία μείωση της τυπικής απόκλισης στο 0,1 δευτερόλεπτο. Μπορεί να θεωρηθεί λοιπόν ότι σταθεροποίηση της μεταβλητής της χρονικής καθυστέρησης εμφανίζεται από 20 αναπαραγωγές και πάνω.



Διάγραμμα 3-11: Ανάλυση της χρονικής καθυστέρησης με ποσοστό φόρτου 130% έως 30 αναπαραγωγές.

Τέλος, για την περίπτωση υψηλού κυκλοφοριακού φόρτου (**διάγραμμα 3-11**), διαπιστώνεται πως δεν υπάρχει σταθεροποίηση της τιμής της μεταβλητής μέχρι και 10 αναπαραγωγές στην κάθε προσομοίωση. Σταθεροποίηση όμως εμφανίζεται από 10 αναπαραγωγές και πάνω, με μία τυπική απόκλιση της τάξεως του 1 δευτερόλεπτο, που για την συγκεκριμένη περίπτωση με ποσοστό φόρτου 130% είναι ελάχιστη.



Διάγραμμα 3-12: Ανάλυση της χρονικής καθυστέρησης με ποσοστό φόρτου 150% έως 30 αναπαραγωγές.

Προηγούμενος είχε καθοριστεί πως το ανώτατο όριο σε ποσοστό φόρτου που θα πραγματοποιηθούν προσομοιώσεις θα ήταν το 130%. Και αυτό διότι για ποσοστό φόρτου υψηλότερου του 130% το δίκτυο άρχιζε να μην λειτουργεί σωστά και τα εξαγόμενα αποτελέσματα να μην είναι λογικά. Για να διαπιστωθεί και αυτό στην πράξη, πραγματοποιήθηκε το προηγούμενο πείραμα με τις αναπαραγωγές και με ποσοστό φόρτου 150%. Στο **διάγραμμα 3-12**, απεικονίζονται οι τιμές της μεταβλητής της χρονικής καθυστέρησης. Παρατηρείται, πως δεν υπάρχει καμία σταθεροποίηση στην μεταβλήτη όσο και αν αυξήθηκε ο αριθμός των αναπαραγωγών. Αυτό ουσιαστικά αποδεικνύει τη μη λειτουργικότητα του δικτύου που αναφέρθηκε και προηγουμένως.

Όσον αφορά τα συμπεράσματα από τις άλλες περιπτώσεις, παρατηρήθηκε ότι όσο αυξάνεται το ποσοστό του φόρτου, τόσο λιγότερες αναπαραγωγές χρειάζονται για να σταθεροποιηθεί η τιμή της μεταβλητής. Αυτό συμβαίνει διότι καθώς τα οχήματα που διέρχονται μέσα στο δίκτυο αυξάνονται, μειώνεται και η ελευθερία κινήσεων των οχημάτων και κατά συνέπεια μειώνεται η επιρροή της στοχαστικότητας. Συνοπτικά λοιπόν, παρατηρήθηκε ότι:

- Ποσοστό φόρτου 50% - σταθεροποίηση από 25 αναπαραγωγές.
- Ποσοστό φόρτου 90% - σταθεροποίηση από 20 αναπαραγωγές.
- Ποσοστό φόρτου 130% - σταθεροποίηση από 10 αναπαραγωγές.

Τέλος, με βάση το παραπάνω πείραμα επιλέχθηκε ως κατάλληλος αριθμός αναπαραγωγών οι 25 αναπαραγωγές. Με τις 25 αναπαραγωγές καλύπτονταν όλα τα ποσοστά φόρτου, σχετικά με τις διαφοροποιήσεις. Το μόνο μειονέκτημα της επιλογής αυτής, ήταν ότι η χρονική διάρκεια εκτέλεσης της προσομοίωσης είναι ιδιαίτερα υψηλή.

3.5.3. Τελικά σενάρια

Λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους σχεδιασμού των σεναρίων που βρέθηκαν προηγουμένως και λαμβάνοντας υπόψη και το εύρος τιμών της κάθε παραμέτρου, δημιουργήθηκαν τα σενάρια που επρόκειτο να προσομοιωθούν. Πιο συγκεκριμένα, από τις δύο κατηγορίες χρηστών στο δίκτυο, η αναλογία χρηστών που προκύπτει με βήμα 10%, δημιουργεί συνολικά 11 σενάρια. Τα σενάρια απεικονίζονται παρακάτω:

Πίνακας 3-23: Σενάρια για την αναλογία χρηστών.

Σενάρια	Χωρίς κινητό τηλέφωνο (Base)	Με δια χειρός χρήση κινητού τηλεφώνου (HH)
Σενάριο 1	100	0
Σενάριο 2	90	10
Σενάριο 3	80	20
Σενάριο 4	70	30
Σενάριο 5	60	40
Σενάριο 6	50	50
Σενάριο 7	40	60
Σενάριο 8	30	70
Σενάριο 9	20	80
Σενάριο 10	10	90
Σενάριο 11	0	100

Όσον αφορά τα επίπεδα ποσοστού φόρτου, με το εύρος το οποίο ορίστηκε από 50% έως 130%, για να γίνει ανάλυση σε διαφορετικές εκδοχές φόρτου, δημιουργήθηκαν 9 κατηγορίες.

Πίνακας 3-24: 9 Κατηγορίες ποσοστού φόρτου.

Κατηγορίες	Ποσοστά φόρτου (%)
Κατηγορία 1	50
Κατηγορία 2	60
Κατηγορία 3	70
Κατηγορία 4	80
Κατηγορία 5	90
Κατηγορία 6	100
Κατηγορία 7	110
Κατηγορία 8	120
Κατηγορία 9	130

Συνεπώς, για κάθε επίπεδο ποσοστού φόρτου δημιουργήθηκαν 11 σενάρια με βάση τις αναλογίες χρηστών. Έχοντας 9 κατηγορίες με 11 σενάρια στην καθεμία, προκύπτουν συνολικά 99 σενάρια. Εξαιτίας των 25 αναπαραγωγών που εκτελούνταν σε κάθε σενάριο, καθώς επίσης και του μικρού χρονικού βήματος προσομοίωσης, (το οποίο καθορίστηκε στο 0,1 δλ.), η συνολική διάρκεια της προσομοίωσης όλων των σεναρίων έφτανε τα 22963 λεπτά ή 16 ημέρες με 24 ώρες προσομοίωσης την ημέρα.



Εικόνα 3-45: Τελικά σενάρια προσομοίωσης.

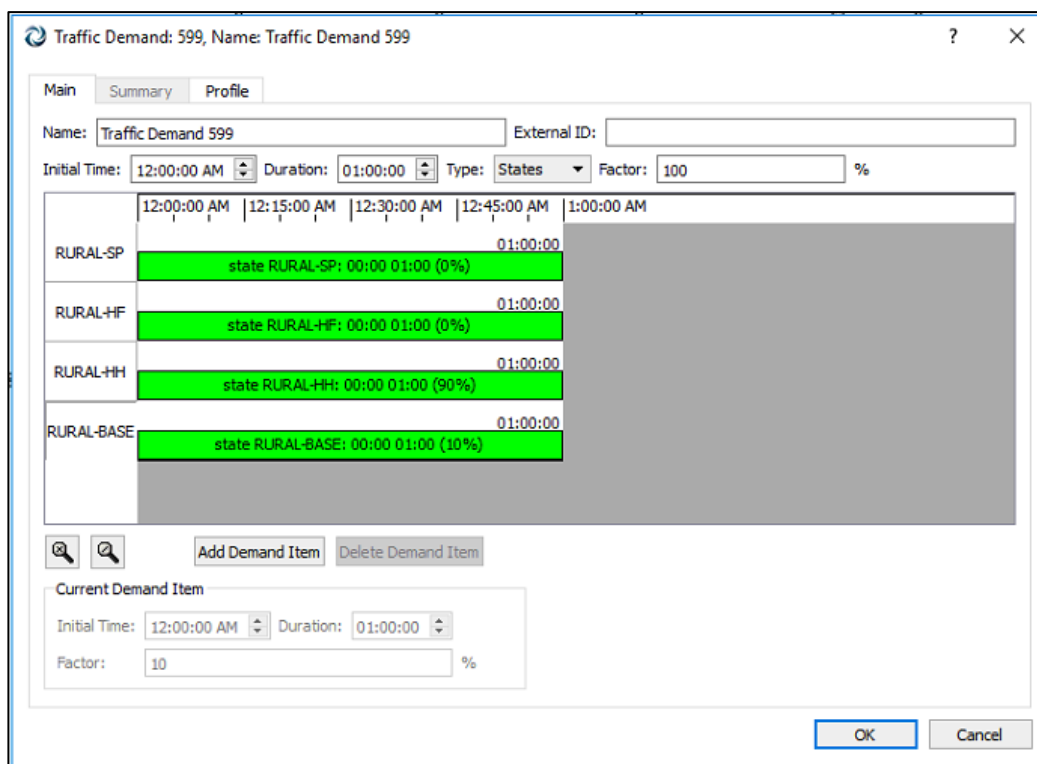
3.5.4. Διαδικασία δημιουργίας σεναρίων στο AIMSUN

Πριν την δημιουργία ενός σεναρίου στο πρόγραμμα πρέπει όλα τα στοιχεία τα οποία αφορούν την κυκλοφοριακή κατάσταση και τα στοιχεία ελέγχου στους κόμβους να έχουν ενσωματωθεί μέσα στο σενάριο. Η διαδικασία ενσωμάτωσης των στοιχείων αυτών είναι:

- Για την κυκλοφοριακή κατάσταση ή τους πίνακες προέλευσης – προορισμού, πρέπει να δημιουργηθεί το αρχείο κυκλοφοριακής ζήτησης (Traffic Demand).
- Για τα στοιχεία ελέγχου των κόμβων μέσα στο δίκτυο, πρέπει να δημιουργηθεί πρώτα ένα πλάνο ελέγχου (Control Plan) και στη συνέχεια ένα κεντρικό σχέδιο ελέγχου (Master Control Plan).

Κυκλοφοριακή ζήτηση (Traffic Demand)

Η διαδικασία δημιουργίας της κυκλοφοριακής ζήτησης γίνεται με την εξής διαδικασία στο πρόγραμμα: Project -> new -> Demand Data -> Traffic Demand. Τονίζεται πως για κάθε τύπο οχήματος που έχει δημιουργηθεί στο πρόγραμμα υπάρχει ένα αρχείο κυκλοφοριακής κατάστασης που αντιστοιχεί στο αρχείο κυκλοφοριακή ζήτησης. Στην περίπτωση της διπλωματικής εργασίας έχουν προκύψει δύο τύποι οχημάτων, επομένως δημιουργήθηκαν δύο αρχεία κυκλοφοριακής κατάστασης που αντιστοιχούν σε ένα αρχείο κυκλοφοριακής ζήτησης. Παρακάτω παρουσιάζεται η κεντρική καρτέλα του φακέλου της κυκλοφοριακής ζήτησης.



Εικόνα 3-46: Κεντρική καρτέλα κυκλοφοριακής ζήτησης στο πρόγραμμα.

Ως αρχικός χρόνος (*initial time*), ορίζεται η ώρα η οποία ξεκίνησε να πραγματοποιείται η καταγραφή του κυκλοφοριακού φόρτου στο πεδίο. Τονίζεται πως η ρύθμιση της ώρας εδώ δεν επηρεάζει κάποια λειτουργία στην προσομοίωση.

Η διάρκεια της ώρας (*duration*) αφορά τη χρονική διάρκεια για την οποία θα εκτελείται η προσομοίωση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, καθορίστηκε ίση με μία ώρα.

Στον τύπο (*type*), δηλώνεται ο τύπος του στοιχείου που έχει δημιουργηθεί σχετικά με τις κινήσεις μέσα στο δίκτυο, δηλαδή αν έχει δημιουργηθεί πίνακας προέλευσης – προορισμού ή κυκλοφοριακή κατάσταση, η οποία και επιλέχθηκε.

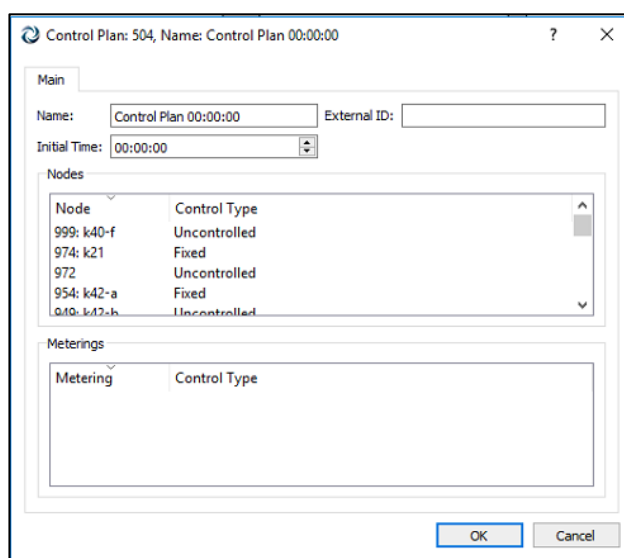
Ο παράγοντας (*factor*), αναφέρεται στην επιρροή του κυκλοφοριακού φόρτου. Πιο συγκεκριμένα, ο κυκλοφοριακός φόρτος που μετρήθηκε και έπειτα τροποποιήθηκε με την διαδικασία του καταμερισμού, αναφέρεται σε ποσοστό 100%, όπως είχε τονιστεί και σε προηγούμενη παράγραφο. Ο παράγοντας εδώ δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να μπορεί να τροποποιεί τα ποσοστά του κυκλοφοριακού φόρτου απευθείας για τις προσομοιώσεις. Και αναφέρεται για όλα τα οχήματα που έχουν διέλθει μέσα στο δίκτυο και για όλους τους τύπους οχημάτων, αν υπάρχουν. Κατά συνέπεια, οι 9 κατηγορίες του ποσοστού κυκλοφοριακού φόρτου διαμορφώθηκαν μέσω του συγκεκριμένου παράγοντα.

Στο κεντρικό σημείο της καρτέλας, απεικονίζονται τα αρχεία των κυκλοφοριακών καταστάσεων που έχουν δημιουργηθεί για κάθε τύπο οχήματος στην προσομοίωση, και τα οποία έχουν προστεθεί στην κυκλοφοριακή ζήτηση. Επειδή υπάρχουν δύο τύποι οχημάτων, απεικονίζονται και τα δύο. (Για τον κάθε τύπο οχήματος, αναφέρεται η διάρκεια της προσομοίωσης και η διακριτή κατηγορία).

Επιπροσθέτως, στην καρτέλα αυτή ορίζονται και οι αναλογίες χρηστών του κάθε τύπου οχήματος. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται, με την επιλογή μίας από τις δύο κατηγορίες και στη συνέχεια αλλαγή του παράγοντα ποσοστού που εμφανίζεται στο κάτω μέρος της καρτέλας. Με τον καθορισμό των αναλογιών, οι αναλογίες εμφανίζονται και πάνω στην κάθε κατηγορία. Για παράδειγμα, για την προσομοίωση ενός σεναρίου που θα έχει αναλογία χρηστών 90% - 10% υπέρ των οδηγών που κάνουν δια χειρός χρήση του κινητού τηλεφώνου και με ποσοστό φόρτου στο συνολικό δίκτυο 100%, θα πρέπει να οριστούν τα στοιχεία όπως αναφέρονται παραπάνω στην καρτέλα.

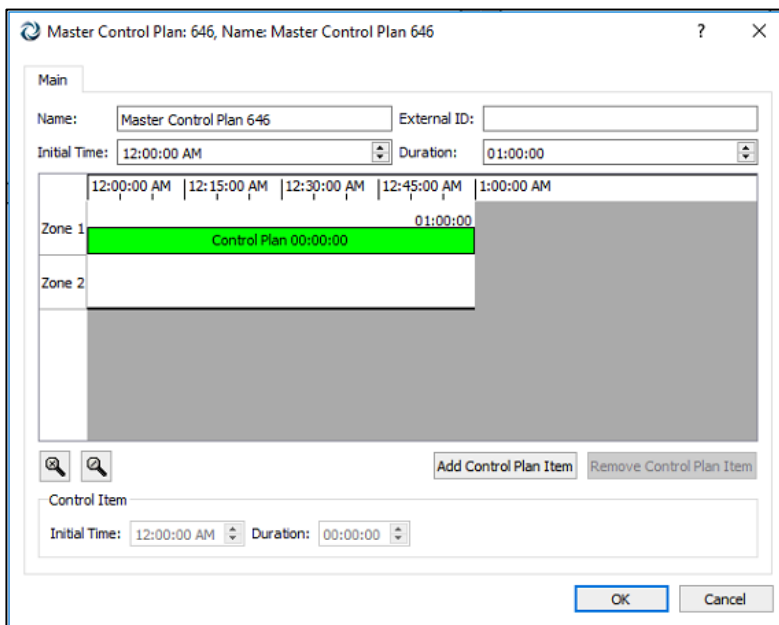
Πλάνο ελέγχου (Control Plan) – Κεντρικό σχέδιο ελέγχου (Master Control Plan)

Το πλάνο ελέγχου περιλαμβάνει σε έναν φάκελο όλα τα χαρακτηριστικά όλων των κόμβων που έχουν δημιουργηθεί στο δίκτυο. Η δημιουργία ενός πλάνου ελέγχου γίνεται απο: Project -> New -> Control -> Control Plan. Παρακάτω παρουσιάζεται η κεντρική καρτέλα του πλάνου ελέγχου.



Εικόνα 3-47: Κεντρικός φάκελος καταγραφής όλων των χαρακτηριστικών των κόμβων που έχουν δημιουργηθεί στο συγκεκριμένο οδικό δίκτυο που θα προσομοιωθεί.

Από την καρτέλα μπορεί να γίνει εύρεση των χαρακτηριστικών οποιουδήποτε κόμβου. Επίσης, σε κάθε κόμβο αναφέρεται και η μορφή που έχει αυτός, δηλαδή αν είναι ελεγχόμενος με φωτεινή σηματοδότηση ή χωρίς σηματοδότηση (uncontrolled) ή αν είναι σταθερού προγράμματος (fixed) ή με εξωτερικό προγράμματα φωτεινής σηματοδότησης (external). Για τη δημιουργία ενός κεντρικού σχεδίου ελέγχου (Master Control Plan) είναι υποχρεωτική η δημιουργία πρώτα ενός πλάνου ελέγχου (Control Plan). Η δημιουργία του γίνεται ως εξής: Project -> New -> Control -> Master Control Plan. Παρακάτω απεικονίζεται η κεντρική καρτέλα:



Εικόνα 3-48: Κύρια καρτέλα δημιουργίας κεντρικού σχεδίου ελέγχου όλων των κόμβων του οδικού δικτύου.

Και σε αυτήν την περίπτωση ορίζεται η αρχική ώρα καταγραφής και η διάρκεια της προσομοίωσης. Στη συνέχεια, αφού προηγουμένως έχουν δημιουργηθεί τα πλάνα ελέγχου προστίθενται μέσα στο φάκελο του κεντρικού σχεδίου ελέγχου, όπως φαίνεται παρπάνω. Αυτομάτως αφού έχει ρυθμιστεί η μία ώρα προσομοίωσης και το πλάνο ελέγχου θα έχει μία ώρα διάρκεια.

Δημιουργία δυναμικού σεναρίου (Dynamic scenario)

Μετά την ολοκλήρωση της δημιουργίας της κυκλοφοριακής ζήτησης και του κεντρικού σχεδίου ελέγχου μπορεί να σχεδιαστεί οποιοδήποτε σενάριο. Για τη δημιουργία ενός σεναρίου η διαδικασία είναι: Project -> New -> Scenario -> Dynamic scenario.

Τα στοιχεία τα οποία θα πρέπει να καθοριστούν εδώ είναι η κυκλοφοριακή ζήτηση και το κεντρικό σχέδιο ελέγχου. Για να μπορέσει να εκτελέσει οποιαδήποτε προσομοίωση θα πρέπει από αυτήν την καρτέλα αυτές οι δύο πληροφορίες να συνδεθούν με τα αρχεία τα οποία έχουν δημιουργηθεί. Αυτομάτως ρυθμίζεται η ώρα και η διάρκεια της προσομοίωσης. Για να είναι δυνατή η σύνδεση των επιμέρους στοιχείων μεταξύ τους θα πρέπει η αρχική ώρα και η διάρκεια να είναι τα ίδια σε όλους τους φακέλους, διαφορετικά δεν μπορεί να εκτελεστεί η προσομοίωση.

Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει τα στοιχεία που θα αποθηκευτούν μετά το πέρας της προσομοίωσης, καθώς επίσης και τον τρόπο με τον οποίο πρόκειται να

αποθηκευτούν τα στοιχεία αυτά. Στη συγκεκριμένη περίπτωση τα δεδομένα επιλέχθηκε να αποθηκευτούν σε μορφή .sql. Παρακάτω παρουσιάζεται η κεντρική καρτέλα του σεναρίου.

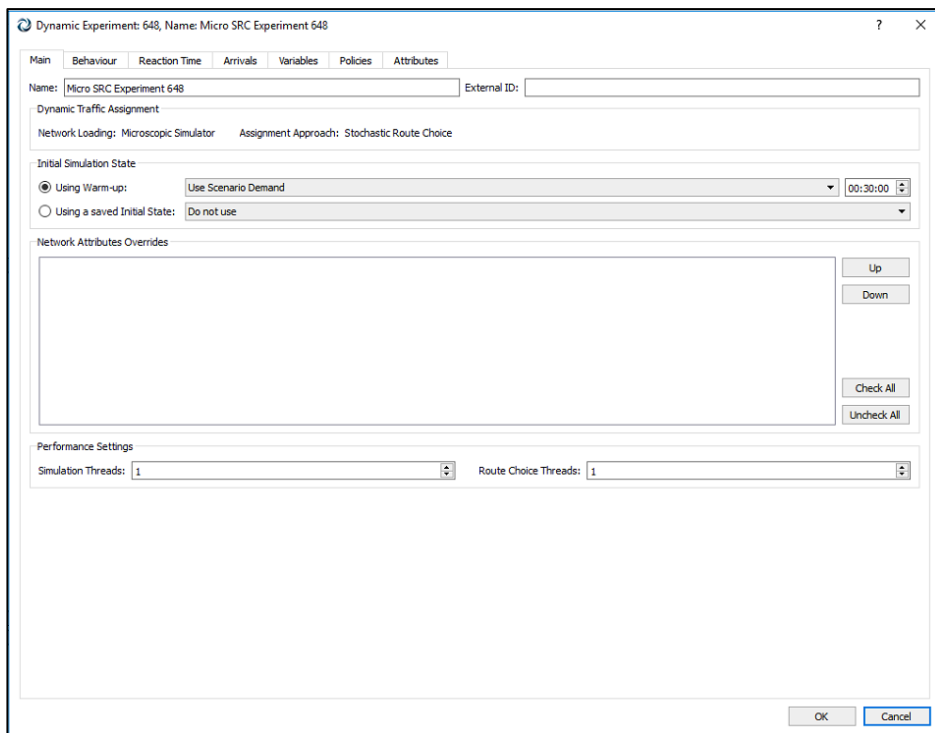
Εικόνα 3-49: Κεντρική καρτέλα δημιουργίας δυναμικού σεναρίου.

Δημιουργία πειράματος (Dynamic experiment)

Έπειτα δημιουργείται το δυναμικό πείραμα. Η διαδικασία δημιουργίας του είναι: dynamic scenario -> New experiment. Τονίζεται ότι επιλέχθηκε να δημιουργηθεί ένα πείραμα το οποίο θα εκτελείται με στοχαστικό τρόπο που λαμβάνει υπόψη την τυχαιότητα της κινήσεις των οχημάτων και βασίζεται στην πιθανότητα συγκεκριμένων μεταβλητών. Τα βασικά χαρακτηριστικά τα οποία ήταν σημαντικά και τα οποία έπρεπε να προσδιοριστούν ήταν ο χρόνος αντίδρασης και η διάρκεια προθέρμανσης του δικτύου.

Τα χαρακτηριστικά της καρτέλας Dynamic experiment αναφέρονται για το σύνολο των παραμέτρων που σχετίζονται με τα μοντέλα συμπεριφοράς οχημάτων και ισχύουν σε όλο το δίκτυο και αναφέρονται σε όλα τα οχήματα που κινούνται οπουδήποτε μέσα στο δίκτυο κατά τη διάρκεια ολόκληρης της προσομοίωσης.

Με τον καθορισμό ενός αρχικού χρόνου προθέρμανσης (*warm – up*) του δικτύου τα αποτελέσματα τα οποία θα εξαχθούν θα είναι καλύτερα. Αυτό διότι το δίκτυο στο χρόνο προθέρμανσης θα γεμίζει με προσομοιωμένα οχήματα και οι υπολογισμοί θα είναι πιο αξιοποιήσιμοι. Στην αντίθετη περίπτωση, οι αρχικοί υπολογισμοί θα έχουν πιο διαφοροποιήσιμα αποτελέσματα (στην αρχή με λίγα οχήματα και στην πορεία με πολλά). Άρα θα υπάρχει ανακρίβεια στα αποτελέσματα. Στην παρούσα εργασία, ορίστηκε ένας χρόνος προθέρμανσης ίσος με μισή ώρα. Η διάρκεια της ώρας ρυθμίστηκε λαμβάνοντας υπόψη το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα που απαιτείται για ένα όχημα να μετακινηθεί από τη μία άκρη του οδικού δικτύου στην άλλη.



Εικόνα 3-50: Κύρια καρτέλα δημιουργίας δυναμικού πειράματος.

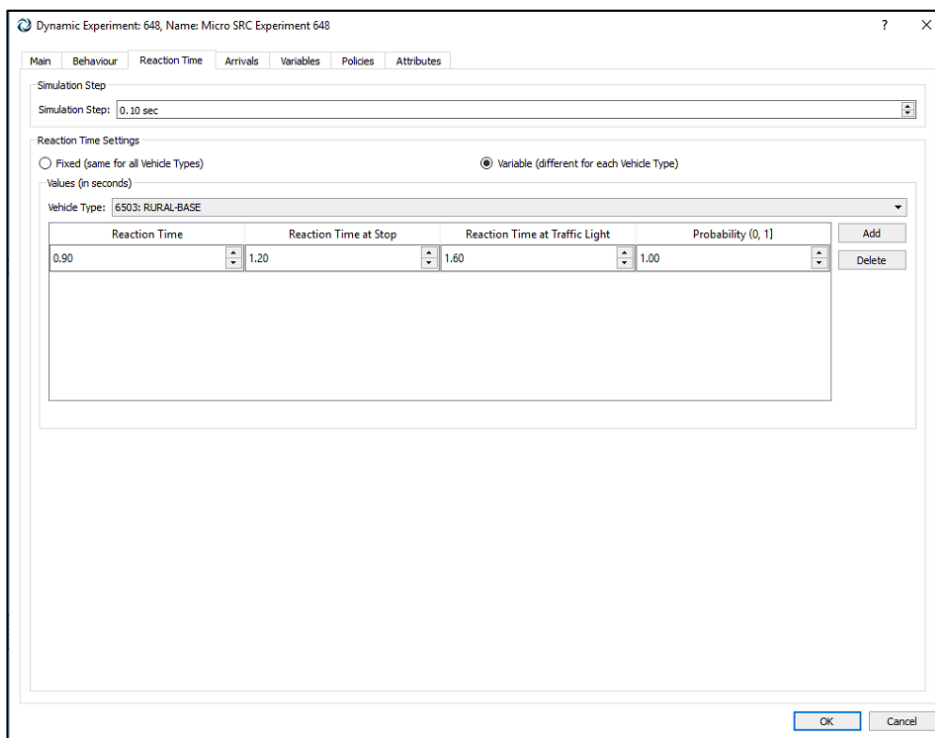
Η **Εικόνα 3-51** που είναι παρακάτω αναφέρεται στην καρτέλα του *reaction time*. Πιο συγκεκριμένα, καθορίζονται λεπτομέρειες για τον χρόνο αντίδρασης και το βήμα των υπολογισμών της προσομοίωσης. Όσον αφορά το βήμα υπολογισμών της προσομοίωσης, πρόκειται για ένα χρονικό διάστημα ενημέρωσης του συστήματος που ονομάζεται επίσης και κύκλος προσομοίωσης. Σε κάθε βήμα προσομοίωσης ενημερώνει την κατάσταση όλων των στοιχείων του συστήματος, όπως τα οχήματα, τα συμβάντα, τις ενδείξεις φωτεινής σηματοδότησης κ.α. Τονίζεται ότι όσο πιο μικρό είναι το βήμα των υπολογισμών τόσο πιο πολύ χρόνο χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση. Το ελάχιστο χρονικό βήμα υπολογισμών που μπορεί να καθοριστεί από το πρόγραμμα είναι 0,1 δλ και το ανώτατο 1,5 δλ και μπορεί να διαφέρει από την παράμετρο του χρόνου αντίδρασης.

Όσον αφορά το χρόνο αντίδρασης σε αυτήν την καρτέλα, είναι ο χρόνος αντίδρασης που χρειάζεται ο οδηγός για να αντιδράσει στις αλλαγές ταχύτητας του προπορευόμενου οχήματος και χρησιμοποιείται στο πρότυπο ακολουθίας οχημάτων. Ο χρόνος αντίδρασης μπορεί να είναι είτε σταθερός, ίσος με το βήμα προσομοίωσης, είτε μεταβλητός, πολλαπλάσιος του βήματος προσομοίωσης. Στην περίπτωση που είναι σταθερός, είναι ίδιος για όλα τα οχήματα που έχουν εισέλθει στο δίκτυο ανεξαρτήτως κατηγορίας. Στην περίπτωση που είναι μεταβλητός, ο χρήστης μπορεί να ορίσει διαφορετικό χρόνο αντίδρασης για κάθε τύπο οχήματος, όμως οι χρόνοι που θα ορίσει θα πρέπει να είναι πολλαπλάσιοι του βήματος προσομοίωσης αλλιώς δεν μπορεί να εκτελεστεί η προσομοίωση.

Με βάση τα στοιχεία του χρόνου αντίδρασης του κάθε τύπου οχήματος που χρησιμοποιήθηκαν από την πειραματική διαδικασία της Λινάρδου (2017), κανένας από τους δύο χρόνους αντίδρασης δεν αντιστοιχούσε σε χρόνο πολλαπλάσιο του βήματος προσομοίωσης. Για το λόγο αυτό έγινε τροποποίηση του χρόνου αντίδρασης ώστε να είναι πολλαπλάσιοι του ελάχιστου βήματος προσομοίωσης, δηλαδή του 0,1 δευτερολέπτου. Παρακάτω παρουσιάζονται και για τις δύο κατηγορίες χρηστών, οι αρχικοί και οι τελικοί χρόνοι αντίδρασης που χρησιμοποιήθηκαν.

Πίνακας 3-25: Παλιός και τροποποιημένος χρόνος αντίδρασης των δύο κατηγοριών οδηγών.

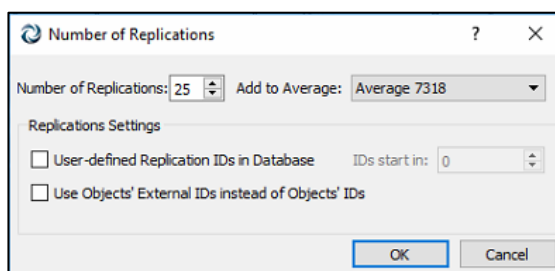
Κατηγορίες	Αρχικοί χρόνοι αντίδρασης	Τελικοί χρόνοι αντίδρασης
Χωρίς χρήση κινητού τηλεφώνου	0.95	0.9
Με δια χειρός χρήση κινητού τηλεφώνου	1.01	1



Εικόνα 3-51: Κύρια καρτέλα εισαγωγής του χρόνου αντίδρασης για τις προσομοιώσεις.

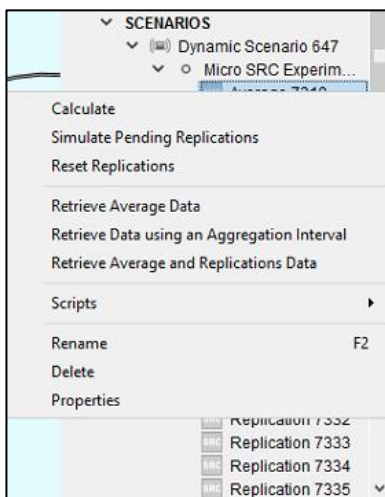
Δημιουργία αναπαραγωγών (Replications) – Μέσος όρος (Average)

Επόμενο στάδιο ήταν η δημιουργία αναπαραγωγών. Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο και επειδή έχει επιλεγεί η κάθε προσομοίωση να εκτελείται με στοχαστικό τρόπο, αποδείχθηκε ότι οι αναπαραγωγές που χρειαζόταν ώστε τα αποτελέσματα να είναι πιο ακριβή ήταν 25. Η δημιουργία των αναπαραγωγών στο πρόγραμμα γίνεται ως εξής: Experiment (από πρίν) -> New -> Replication. Στην καρτέλα που εμφανίζεται επιλέγεται το σύνολο των αναπαραγωγών και η αυτόματη δημιουργία μέσου όρου.



Εικόνα 3-52: Καθορισμός τιμής αναπαραγωγών για τις προσομοιώσεις.

Τα στοιχεία αυτά δημιουργούνται μέσα στο σενάριο. Από το στοιχείο του μέσου όρου υπάρχει η δυνατότητα για τον χρήστη οποιαδήποτε στιγμή να μπορεί να καθορίσει πόσες αναπαραγωγές θέλει να εκτελέσει στο πείραμα. Καθώς επίσης, μπορεί να ορίσει αυτόματα να εκτελεστούν όλες οι αναπαραγωγές, που έχουν δημιουργηθεί, με τυχαία σειρά, από την επιλογή **Simulate Pending Replications**. Με την ολοκλήρωση όλων των αναπαραγωγών, υπολογίζεται το μέσο όρο όλων, από την επιλογή **Calculate**. Τα στοιχεία τα οποία επεξεργάζονται και αναλύονται στο επόμενο κεφάλαιο είναι αυτά που αναφέρονται στον μέσο όρο. Τέλος, τα στοιχεία που αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων περιλαμβάνουν τόσο τα στοιχεία των αναπαραγωγών όσο και του μέσου όρου.



Εικόνα 3-53: Διαδικασία έναρξης των προσομοιώσεων.

3.6. Εξαγωγή αποτελεσμάτων από το πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για κάθε σενάριο πραγματοποιούνται συνολικά 25 αναπαραγωγές (replications). Μετά την ολοκλήρωση των αναπαραγωγών υπολογίζεται το τελικό μέσο όρο (average) όλων των αναπαραγωγών. Το πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN, έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει μεγάλο όγκο δεδομένων, και αυτό διότι αποθηκεύει τα στοιχεία εξόδου σε μορφή .sql, δηλαδή σε βάσεις δεδομένων.

Επιπλέον, η εξαγωγή των αποτελεσμάτων είναι τόσο αναλυτική και ταυτοχρόνα τόσο εύκολη στην αναζήτηση, καθώς τα στοιχεία εξαγωγής χωρίζονται σε κατηγορίες. Όπως για παράδειγμα, στοιχεία λωρίδας, στοιχεία οδικού τμήματος, στοιχεία κόμβων, στοιχεία στρεφουσών, συνολικά στοιχεία δικτύου, κ.α. Αυτό βοηθάει όταν το δίκτυο το οποίο έχει δημιουργηθεί είναι μεγάλο και τα στοιχεία τα οποία εξάγει είναι πολλά. Όπως ακριβώς και στη παρούσα διπλωματική εργασία, όπου το οδικό δίκτυο το οποίο είχε σχεδιαστεί ήταν μεγάλης έκτασης.

Το AIMSUN μπορεί να προσομοιώσει σε διαφορετικά επίπεδα προσομοίωσης: μικροσκοπικό, μεσοσκοπικό, μακροσκοπικό και υβριδική προσομοίωση. Αναλογά με το επίπεδο προσομοίωσης οι πίνακες αποτελεσμάτων θα πάρουν ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό μπροστά:

- MI = Μικροσκοπική προσομοίωση.
- ME = Μεσοσκοπική προσομοίωση.
- MA = Μακροσκοπική προσομοίωση.
- HY = Υβριδική προσομοίωση.

Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε μικροσκοπική προσομοίωση, συνεπώς όλοι οι πίνακες πληροφοριών είχαν το χαρακτηριστικό MI. Έτσι λοιπόν, η βάση δεδομένων που εξαγόταν από κάθε σενάριο περιελάμβανε τα εξής στοιχεία: MISYS, MISECT, MILANE, MITURN, MINODE, MIDETEC, MICENT_O, MICENT_D, MIODPAIR, MIPT, MISUBPATH, MICONTROLTURN, MICONTROLSIGNAL, MICONTROLMETERING, MICONTROLPHASE, MICONTROLPHASEEVENTS, MITRAFFICMANAGEMENT, MISYSPO, MISECTPO, MITURNPO, MICENTPO_O, MICENTPO_D, MISUBPATHPO, MIPTPO, DETEQUIPVEH, MIVEHTRAJECTORY, MIVEHSECTTRAJECTORY, MIVEHDETAILEDTRAJECTORY, MICONTROLTURN, MICONTROLSIGNAL, MICONTROLMETERING, MICONTROLPHASE, MICONTROLPHASEEVENTS και MITRAFFICMANAGEMENT. Καθεμία από τις παραπάνω κατηγορίες περιλαμβάνει και από έναν πίνακα πληροφοριών στη βάση δεδομένων. Για παράδειγμα:

- MISYS, περιλαμβάνει τα συνολικά αποτελέσματα του δικτύου.
- MISECT, περιλαμβάνει τα στοιχεία για όλα τα οδικά τμήματα στο δίκτυο.
- MILANE, περιλαμβάνει τα στοιχεία για όλες τις λωρίδες κυκλοφορίας στο δίκτυο.
- MITURN, περιλαμβάνει τα στοιχεία για όλες τις στρέφουσες που έχουν δημιουργηθεί στο δίκτυο.
- MINODE, περιλαμβάνει τα στοιχεία για όλους τους κόμβους στο δίκτυο.

Για το σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας, οι κατηγορίες που παρουσίαζαν ενδιαφέρον ήταν του συνολικού δικτύου, MISYS, διότι μας ενδιαφέρει να εξεταστούν οι επιπτώσεις που θα έχει η δια χειρός χρήση του κινητού τηλεφώνου συνολικά στο δίκτυο, και του κάθε οδικού τμήματος ξεχωριστά, MISECT, για να διαπιστωθεί το κατά πόσο επηρεάζεται το αστικό και το υπεραστικό δίκτυο.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό των αποτελεσμάτων στη βάση δεδομένων είναι η χρονική περίοδος των αναλύσεων που εξάγονται. Πιο συγκεκριμένα, στη βάση δεδομένων υπάρχουν στοιχεία για κάθε 10 λεπτά της προσομοίωσης. Με βάση τη χρονική διάρκεια της προσομοίωσης που ανέρχεται στη μία ώρα, τα αποτελέσματα για το κάθε στοιχείο, για παράδειγμα για ένα οδικό τμήμα, θα έχουν πληροφορίες για κάθε 10 λεπτά, συνολικά 6 δεκάλεπτα, καθώς και η συνολική πληροφορία. Το τι στοιχεία χρειάζεται ο κάθε χρήστης δύναται να το ρυθμίσει μέσα από το πρόγραμμα και να επιλέξει να εξάγονται μόνο τα στοιχεία που χρειάζεται. Συνεπώς και ο όγκος των αποτελεσμάτων θα είναι μικρότερος.

Όπως αναφέρθηκε ο όγκος των αποτελεσμάτων ήταν μεγάλος. Η επεξεργασία των στοιχείων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος Matlab, όπου αναπτύσσοντας τον κατάλληλο κώδικα εξήγαγε τα κατάλληλα στοιχεία από κάθε σενάριο.

Παρακάτω παρουσιάζονται από κάθε κατηγορία τα στοιχεία τα οποία εμπεριέχονται και τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Τα στατιστικά στοιχεία για το σύνολο του δικτύου MISYS, είναι:

Πίνακας 3-26: Στοιχεία τα οποία εξάγει το πρόγραμμα και αναφέρονται στο σύνολο του οδικού δικτύου σε επίπεδο μικροσκοπικής προσομοίωσης.

Όνομα Χαρακτήρα	Τύπος	Περιγραφή
did	<i>integer</i>	Αναγνωριστικό αναπαραγωγής ή μέσου όρου
oid	<i>integer</i>	Αναγνωριστικό αναπαραγωγής ή μέσου όρου
eid	<i>char</i>	Εξωτερικό στοιχείο ID αναπαραγωγής ή μέσου όρου
sid	<i>integer</i>	Τύπος οχήματος (από 0 για όλα τα οχήματα, έως τον αριθμό των οχημάτων)
ent	<i>integer</i>	Χρονικό διάστημα (από 1 μέχρι N, όπου N είναι ο αριθμός των χρονικών διαστημάτων, και 0 για το σύνολο όλων των χρονικών διαστημάτων)
density	<i>double</i>	Πυκνότητα (οχήματα ανά χιλιόμετρο)
flow	<i>double</i>	Μέση ροή οχημάτων (οχήματα ανά ώρα)
ttime	<i>double</i>	Μέσος χρόνος μετακίνησης (δλ/χλμ)
dtime	<i>double</i>	Μέση χρονική καθυστέρηση (δλ/χλμ)
speed	<i>double</i>	Μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
travel	<i>double</i>	Συνολική απόσταση που διανύθηκε (χιλιόμετρα)
travel time	<i>double</i>	Συνολικός χρόνος μετακίνησης οχημάτων στο πείραμα (ώρες)

Τα στατιστικά στοιχεία για το κάθε οδικό τμήμα MISECT, είναι:

Πίνακας 3-27: Στοιχεία τα οποία εξάγει το πρόγραμμα και αναφέρονται σε κάθε οδικό τμήμα του οδικού δικτύου σε επίπεδο μικροσκοπικής προσομοίωσης.

Όνομα Χαρακτήρα	Τύπος	Περιγραφή
did	<i>integer</i>	Αναγνωριστικό αναπαραγωγής ή μέσου όρου
oid	<i>integer</i>	Αναγνωριστικό οδικού τμήματος
eid	<i>char</i>	Εξωτερικό στοιχείο ID οδικού τμήματος
sid	<i>integer</i>	Τύπος οχήματος (από 0 για όλα τα οχήματα, έως τον αριθμό των οχημάτων)
ent	<i>integer</i>	Χρονικό διάστημα (από 1 μέχρι N, όπου N είναι ο αριθμός των χρονικών διαστημάτων, και 0 για το σύνολο όλων των χρονικών διαστημάτων)
density	<i>double</i>	Πυκνότητα (οχήματα ανά χιλιόμετρο)
count	<i>integer</i>	Αριθμός οχημάτων (οχήματα)
flow	<i>double</i>	Μέση ροή οχημάτων (οχήματα ανά ώρα)
ttime	<i>double</i>	Μέσος χρόνος μετακίνησης (δλ.)
dtime	<i>double</i>	Μέση χρονική καθυστέρηση (δλ.)
speed	<i>double</i>	Μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
travel	<i>double</i>	Συνολικός αριθμός χιλιομέτρων που διανύθηκαν στο οδικό τμήμα
travel time	<i>double</i>	Συνολικός χρόνος μετακίνησης των οχημάτων που διήλθαν από το οδικό τμήμα (δλ.)

Στη συνέχεια αναλύεται και επεξηγείται ο τρόπος με τον οποίο το πρόγραμμα AIMSUN πραγματοποιεί τους υπολογισμούς για την εύρεση όλων των παραπάνω στοιχείων τόσο για την κατηγορία όλου του δικτύου όσο και για την κατηγορία του κάθε οδικού τμήματος. Με τον τρόπο αυτόν θα γίνει πιο κατανοητή η εξαγωγή των αποτελεσμάτων και η ανάλυση τους που θα πραγματοποιηθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

3.6.1. Κυκλοφοριακά μεγέθη σε επίπεδο δικτύου

Για την ανάλυση των στοιχείων στο συνολικό δίκτυο οι πληροφορίες για κάθε όχημα λαμβάνονται από το σύστημα όταν το όχημα βγει από το δίκτυο στη διάρκεια της προσομοίωσης. Ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζονται τα στοιχεία αυτά είναι:

- Μέσος χρόνος μετακίνησης ανά χιλιόμετρο για κάθε όχημα (δλ):

$$TT_i = \frac{(TEX_i - TEN_i)}{D_i} * 1000$$

Όπου,

TEX_i = ο χρόνος εισόδου του κάθε οχήματος στο δίκτυο (δλ).

TEN_i = ο χρόνος εξόδου του κάθε οχήματος από το δίκτυο (δλ).

D_i = η συνολική απόσταση διαδρομής για κάθε όχημα στο δίκτυο (μ.)

- Μέση χρονική καθυστέρηση ανά χιλιόμετρο για κάθε όχημα (δλ):

$$DT_i = \frac{TDT_i}{D_i} * 1000$$

Όπου,

TDT_i = η συνολική χρονική καθυστέρηση που συσσωρεύεται σε κάθε οδικό τμήμα για κάθε όχημα (δλ).

- Μέση ταχύτητα για κάθε όχημα σε (μ/δλ):

$$S_i = \frac{D_i}{(TEX_i - TEN_i)}$$

Αφού έχουν προσδιοριστεί τα στοιχεία για κάθε μεμονωμένο όχημα μέσα στο οδικό δίκτυο, στην συνέχεια υπολογίζονται τα στοιχεία για όλο το δίκτυο σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους.

- **Μέση ροή οχημάτων στο δίκτυο:** είναι η μέση ροή οχημάτων ανά ώρα που έχουν διέλθει από το δίκτυο στη διάρκεια της προσομοίωσης. Τα οχήματα μετρούνται κατά τη έξοδο τους από το δίκτυο.

$$F_{SYS} = \frac{N_{SYS}}{I} * 3600$$

Όπου,

I = διαστήματα στατιστικών στοιχείων (δλ).

N_{SYS}

= αριθμός οχημάτων που έχουν εξέλθει από το δίκτυο κατά τη διάρκεια περιόδου I .

- **Μέσος χρόνος μετακίνησης ανά όχημα ανά χιλιόμετρο:** είναι ο μέσος χρόνος που χρειάζεται ένα όχημα για να διανύσει ένα χιλιόμετρο μέσα στο δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα είναι ο μέσος όρος όλων των μεμονωμένων χρόνων μετακίνησης για κάθε όχημα που έχει διέλθει στο δίκτυο, μετατρεπόμενο σε χρόνο ανά χιλιόμετρο.

$$TT_{SYS} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{SYS}} TT_i}{N_{SYS}}$$

Όπου,

TT_i = Μέσος χρόνος μετακίνησης ανά χιλιόμετρο για κάθε όχημα (δλ.)

- **Μέση ταχύτητα** ανά όχημα σε χλμ/ώρα: είναι η μέση ταχύτητα από όλα τα οχήματα που έχουν εξέλθει από το δίκτυο. Υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη μέση ταχύτητα για κάθε όχημα.

$$S_{SYS} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{SYS}} S_i}{N_{SYS}} * 3.6$$

Όπου,

S_i = Μέση ταχύτητα για κάθε όχημα σε (μ/δλ)

- **Μέσος χρόνος καθυστέρησης ανά όχημα ανά χιλιόμετρο (δλ/χλμ)**: είναι η διαφορά μεταξύ του αναμενόμενου χρόνου μετακίνησης (ο χρόνος που θα χρειαζόταν για να διέλθει από το δίκτυο κάτω από ιδανικές συνθήκες) και του πραγματικού χρόνου μετακίνησης. Υπολογίζεται πρώτα ο μέσος όρος όλων των οχημάτων και στη συνέχεια μετατρέπεται σε χρόνο (δλ) ανά χιλιόμετρο.

$$DT_{SYS} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{SYS}} DT_i}{N_{SYS}}$$

Όπου,

DT_i = Μέση χρονική καθυστέρηση ανά χιλιόμετρο για κάθε όχημα (δλ)

- **Συνολικός αριθμός χιλιομέτρων** που έχουν διανυθεί από όλα τα οχήματα που έχουν διασχίσει το δίκτυο (χλμ):

$$TotalTrav_{SYS} = \sum_{i=1}^{N_{SYS}} (D_i/1000)$$

Όπου,

D_i = η συνολική απόσταση μετακίνησης για κάθε όχημα στο δίκτυο (μ.).

- **Συνολικός χρόνος μετακίνησης** όλων των οχημάτων που έχουν διέλθει στο δίκτυο (δλ).

$$TotalTravTime_{SYS} = \sum_{i=1}^{N_{SYS}} (TEX_i - TEN_i)$$

3.6.2. Κυκλοφοριακά μεγέθη σε επίπεδο οδικού τμήματος

Όσον αφορά σε επίπεδο οδικού τμήματος, και εδώ πρώτα συλλέγονται οι πληροφορίες στα μεμονωμένα οχήματα που έχουν διέλθει στο οδικό τμήμα και έπειτα υπολογίζονται τα στοιχεία συνολικά στο οδικό τμήμα. Ο προσδιορισμός των στοιχείων για το κάθε όχημα είναι:

- Μέσος χρόνος μετακίνησης κάθε οχήματος στο οδικό τμήμα (δλ):

$$TT_i = (TEX_{S_i} - TEN_{S_i})$$

Όπου,

$TEXS_i =$ ο χρόνος εξόδου του κάθε οχήματος απο το οδικό τμήμα (δλ).

$TENS_i =$ ο χρόνος εισόδου του κάθε οχήματος στο οδικό τμήμα (δλ).

- Μέσος χρόνος καθυστέρησης του κάθε οχήματος στο οδικό τμήμα (δλ):

$$DT_i = TT_i - \left[\frac{L_s}{\min(SMax_i, S_s * \theta_i)} + \frac{L_t}{\min(SMax_i, S_t * \theta_i)} \right]$$

Όπου,

$S_s =$ όριο ταχύτητας στο οδικό τμήμα s (μ/δλ).

$S_t =$ όριο ταχύτητας στην στροφή t (μ/δλ).

$\theta_i =$ ταχύτητα αποδοχής του οχήματος i .

$SMax_i =$ μέγιστη επιθυμητή ταχύτητα του οχήματος i (μ/δλ).

$L_s =$ το μήκος του οδικού τμήματος s (μ).

$L_t =$ το μήκος της στροφής (μ).

- Μέση ταχύτητα κάθε οχήματος στο οδικό τμήμα (μ/δλ):

$$S_i = \frac{L_s + L_t}{TT_i}$$

Με βάση τα παραπάνω προσδιορίστηκαν τα στοιχεία για τα μεμονωμένα οχήματα. Στη συνέχεια ακολουθεί η διαδικασία υπολογισμών των στοιχείων για το οδικό τμήμα.

- **Μέση ροή οχημάτων στο οδικό τμήμα (οχήματα/ώρα):** είναι ο μέσος αριθμός οχημάτων που διέσχισαν το οδικό τμήμα στη διάρκεια της περιόδου προσομοίωσης.

$$F_{sec} = \frac{N_{sec}}{I} * 3600$$

Όπου,

$I =$ χρονικό διάστημα υπολογισμών (δλ).

$N_{sec} =$ αριθμός οχημάτων που βγήκαν απο το οδικό τμήμα.

- **Μέσος χρόνος μετακίνησης ανά όχημα στο οδικό τμήμα (δλ):** είναι ο μέσος χρόνος που χρειάζεται ένα όχημα για να διασχίσει το οδικό τμήμα. Αυτός είναι ο μέσος όρος όλων των μεμονωμένων χρόνων μετακίνησης (χρόνος εξόδου από το οδικό τμήμα – χρόνος εισόδου στο οδικό τμήμα) κάθε οχήματος που έχει εξέλθει το οδικό τμήμα.

$$TT_{sec} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{sec}} TT_i}{N_{sec}}$$

Όπου,

TT_i = Μέσος χρόνος μετακίνησης κάθε οχήματος στο οδικό τμήμα (δλ)

- **Μέση ταχύτητα κάθε οχήματος στο οδικό τμήμα (μ/δλ):** είναι η μέση ταχύτητα για όλα τα οχήματα που έχουν διασχίσει το οδικό τμήμα. Υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη μέση ταχύτητα για τη μετακίνηση του οδικού τμήματος για κάθε όχημα.

$$S_{sec} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{sec}} S_i}{N_{sec}} * 3.6$$

Όπου,

S_i = Μέση ταχύτητα για κάθε όχημα σε (μ/δλ)

- **Μέση χρονική καθυστέρηση ανά όχημα στο οδικό τμήμα (δλ):** είναι ο μέσος χρόνος καθυστέρησης ανά όχημα. Αυτή είναι η διαφορά μεταξύ του αναμενόμενου χρόνου μετακίνησης (ο χρόνος που θα χρειαζόταν για να διασχίσει το οδικό τμήμα υπο ιδανικές συνθήκες) και του πραγματικού χρόνου μετακίνησης. Υπολογίζεται ως ο μέσος όρος όλων των οχημάτων.

$$DT_{sec} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{sec}} DT_i}{N_{sec}}$$

Όπου,

DT_i = Μέσος χρόνος καθυστέρησης του κάθε οχήματος στο οδικό τμήμα (δλ)

- **Συνολικός αριθμός χιλιομέτρων** που διανύουν όλα τα οχήματα που έχουν διέλθει από το οδικό τμήμα (χλμ):

$$TotalTrav_{sec} = \sum_{i=1}^{N_{sec}} (D_i/1000)$$

Όπου,

D_i = η συνολική απόσταση μετακίνησης για κάθε όχημα στο οδικό τμήμα (μ.).

- **Συνολικός χρόνος μετακίνησης** όλων των οχημάτων που έχουν διέλθει στο οδικό τμήμα (δλ.)

$$TotalTravTime_{sec} = \sum_{i=1}^{N_{sec}} TT_i$$

- **Πυκνότητα οδικού τμήματος (οχήματα/χλμ):** είναι ο μέσος αριθμός οχημάτων ανά χιλιόμετρο στο οδικό τμήμα.

$$DEN_{sec} = \frac{\sum_{l \in sec} \left(\frac{\sum_{t_i \in T_l} (NVehl, t_{(i-1)}) * (tl_i - tl_{i-1}))}{I} \right)}{\sum_{l \in sec} L_l} * 1000$$

Όπου,

L_l = μήκος λωρίδας l (μ).

$NVehl, t$ = αριθμός οχημάτων στην λωρίδα l την χρονική στιγμή t .

I = χρονικό διάστημα υπολογισμών (δλ).

T_l =

$(0, t_{i,1}, \dots, t_{i,m}, I)$: όταν ο αριθμός των οχημάτων στην λωρίδα αλλάζει στους συγκεκριμένους χρόνους κάθε φορά.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Σύνοψη

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από τις προσομοιώσεις όλων των σεναρίων που είχαν δημιουργηθεί στο πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN. Στα αποτελέσματα αυτά πραγματοποιούνται αναλύσεις σε τρία διαφορετικά επίπεδα οδικού δικτύου. Αυτά είναι:

1. *Συνολικό οδικό δίκτυο: αφορά όλο το δίκτυο που σχεδιάστηκε.*
2. *Αστικό και υπεραστικό οδικό δίκτυο: αφορά το κέντρο της πόλης Χανίων και τα περίχωρα αντίστοιχα.*
3. *Αστικό και υπεραστικό οδικό τμήμα: αφορά δύο νέα οδικά τμήματα που σχεδιάστηκαν.*

Οι αναλύσεις και στα τρία παραπάνω οδικά δίκτυα αναφέρονται σε μεταβλητές που θεωρείται ότι μπορεί να επηρεαστούν από τη χρήση του κινητού τηλεφώνου. Οι μεταβλητές αυτές είναι η μέση χρονική καθυστέρηση και η μέση ταχύτητα. Όσον αφορά το συνολικό οδικό δίκτυο και τα μεμονωμένα οδικά τμήματα (αστικό και υπεραστικό), πραγματοποιείται διερεύνηση και στα θεμελιώδη διαγράμματα της κυκλοφοριακής ροής.

Αναφέρεται ότι για το αστικό και υπεραστικό οδικό τμήμα σχεδιάστηκε ένα νέο οδικό τμήμα στο οποίο δημιουργήθηκαν νέα σεναρία για περαιτέρω ανάλυση των παραπάνω μεταβλητών.

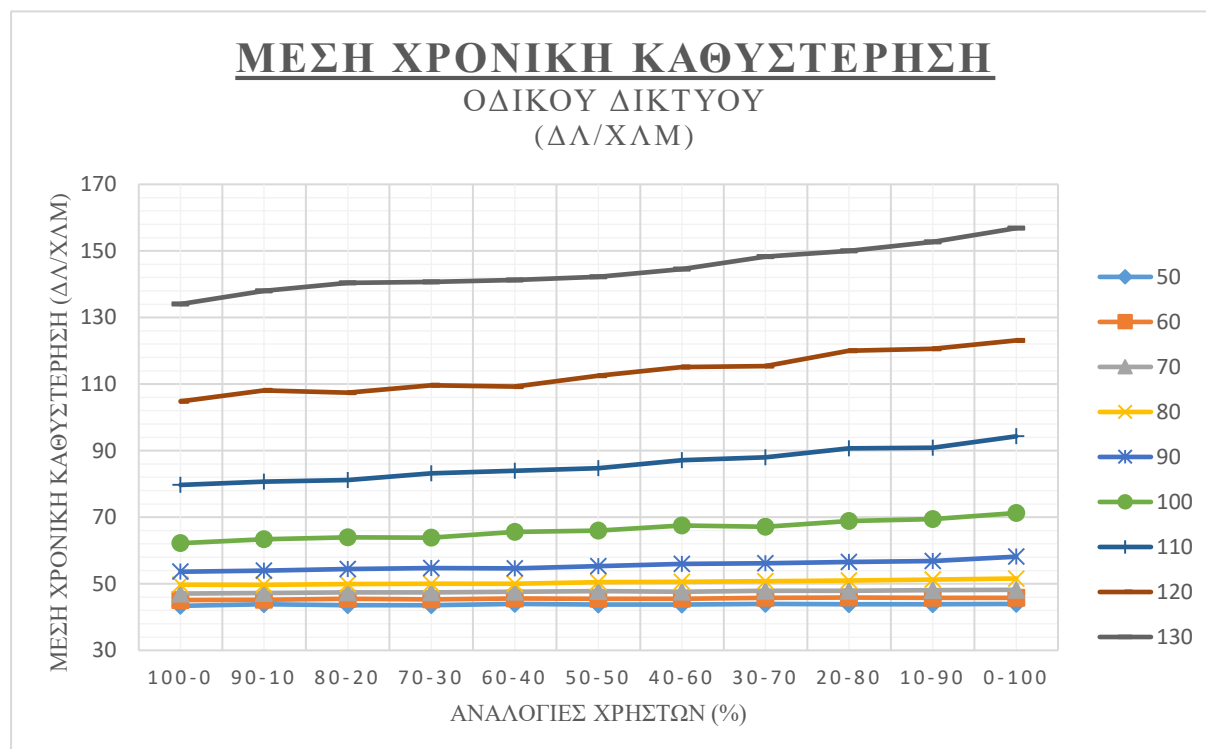
4.1. Ανάλυση σε επίπεδο οδικού δικτύου

Στην παρούσα ενότητα γίνεται ανάλυση των επιπτώσεων της χρήσης του κινητού τηλεφώνου στο οδικό δίκτυο της πόλης των Χανίων. Η ανάλυση πραγματοποιείται μέσα από τις μεταβλητές της μέσης χρονικής καθυστέρησης, της μέσης ταχύτητας και μέσα από τα θεμελιώδη διαγράμματα της κυκλοφοριακής ροής.

Μέση χρονική καθυστέρηση στο οδικό δίκτυο

Στο οδικό δίκτυο η μέση χρονική καθυστέρηση, σε δλ/χλμ, αναφέρεται για όλα τα οχήματα τα οποία έχουν διέλθει μέσα από το δίκτυο το οποίο έχει σχεδιαστεί. Πιο συγκεκριμένα, ο υπολογισμός της μέσης χρονικής καθυστέρησης για κάθε όχημα αναφέρεται στη διαφορά μεταξύ του αναμενόμενου χρόνου μετακίνησης, δηλαδή του χρόνου που θα έκανε το όχημα κάτω από ιδανικές συνθήκες κυκλοφορίας, και του χρόνου διαδρομής με τις υπάρχουσες συνθήκες.

Στο **διάγραμμα 4-1**, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων της μέσης χρονικής καθυστέρησης του συνολικού οδικού δικτύου που πραγματοποιήθηκαν. Πιο αναλυτικά, ο άξονας X αφορά τις αναλογίες χρηστών (δηλαδή χωρίς απόσπαση προσοχής και με δια χειρός χρήση του κινητού τηλεφώνου) και ο άξονας Y τη μέση χρονική καθυστέρηση. Επιπλέον, η κάθε γραμμή που δημιουργείται μέσα στο διάγραμμα, αφορά τη μέση χρονική καθυστέρηση για τις διαφορετικές κατηγορίες φόρτου, με βάση τα σενάρια που έχουν δημιουργηθεί.



Διάγραμμα 4-1: Μέση χρονική καθυστέρηση οδικού δικτύου.

Σε γενικές γραμμές, παρατηρείται ότι η μέση χρονική καθυστέρηση δεν επηρεάζεται από την αύξηση της αναλογίας χρηστών που κάνουν χρήση του κινητού τηλεφώνου στους φόρτους 50%, 60%, 70% και 80% (δηλαδή στις χαμηλές και μέσες τιμές των φόρτων). Επιρροή της αναλογίας αρχίζει να εμφανίζεται από τιμές φόρτου 90%. Γενικότερα, από αυτή την τιμή του

φόρτου, όσο αυξάνεται ο φόρτος τόσο αυξάνεται και η επιρροή της αναλογίας χρηστών στην μέση χρονική καθυστέρηση, στον ίδιο κάθε φορά φόρτο.

Πιο αναλυτικά αποτελέσματα σχετικά με τις μεταβολές της μέσης χρονικής καθυστέρησης από την αύξηση των επιπέδων του φόρτου και από τις διαφορετικές αναλογίες χρηστών παρουσιάζονται στους δύο επόμενους πίνακες.

Ο **πίνακας 4-1**, αναφέρεται στην ποσοστιαία μεταβολή της μέσης χρονικής καθυστέρησης από τις αυξήσεις επιπέδων φόρτου, διατηρώντας σταθερή την αναλογία χρηστών.

Πίνακας 4-1: Ποσοστά μεταβολής της μέσης χρονικής καθυστέρησης ανά αύξηση επιπέδου φόρτου, στο οδικό δίκτυο.

dtime	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-110	110-120	120-130	50-130
100-0	3.83%	4.15%	5.43%	7.20%	13.78%	21.96%	23.94%	21.82%	67.63%
90-10	3.03%	4.10%	5.04%	7.85%	14.89%	21.49%	25.34%	21.69%	68.21%
80-20	4.34%	3.98%	5.05%	8.31%	14.93%	21.18%	24.43%	23.51%	69.01%
70-30	3.67%	4.48%	5.28%	8.53%	14.36%	23.25%	24.10%	22.05%	69.00%
60-40	3.58%	4.35%	4.74%	8.54%	16.67%	21.87%	23.16%	22.63%	68.90%
50-50	3.96%	4.71%	5.44%	8.58%	16.19%	22.14%	24.73%	20.87%	69.25%
40-60	3.81%	4.54%	5.82%	9.57%	17.12%	22.53%	24.28%	20.36%	69.73%
30-70	3.93%	4.55%	5.58%	9.69%	16.27%	23.70%	23.73%	22.20%	70.36%
20-80	4.43%	4.19%	6.16%	9.87%	17.82%	24.06%	24.44%	19.98%	70.78%
10-90	4.12%	4.96%	6.05%	9.87%	18.11%	23.67%	24.59%	21.05%	71.29%
0-100	3.98%	5.02%	6.57%	11.28%	18.40%	24.43%	23.41%	21.50%	71.97%

Σύμφωνα με τον **πίνακα 4-1**, παρατηρείται ότι στις αυξήσεις των φόρτων από 50% σε 60% και από 60% σε 70%, όπου επικρατούν συνθήκες χαμηλού φόρτου, εμφανίζεται αύξηση της μέσης χρονικής καθυστέρησης η οποία όμως δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από την αναλογία των χρηστών στο δίκτυο. Επιπλέον, παρατηρείται ότι όσο αυξάνονται οι οδηγοί που κάνουν χρήση του κινητού τηλεφώνου, στην ίδια μετάβαση φόρτου κάθε φορά, το ποσοστό αύξησης της μέσης χρονικής καθυστέρησης παραμένει στα ίδια επίπεδα σε όλες τις αναλογίες. Συνεπώς, δεν παρουσιάζεται κάποια επιρροή της μέσης χρονικής καθυστέρησης από τη χρήση του κινητού τηλεφώνου σε συνθήκες χαμηλού φόρτου.

Σε συνθήκες μεσαίου φόρτου στο δίκτυο (αναφερόμενοι στις αυξήσεις φόρτων από 70% σε 80%, από 80% σε 90%, από 90% σε 100% και από 100% σε 110%), παρατηρείται και εδώ αύξηση της μέσης χρονικής καθυστέρησης, με αύξηση του φόρτου. Επιπρόσθετα, παρατηρείται μία σταδιακή αύξηση της μέσης χρονικής καθυστέρησης στις ίδιες αναλογίες χρηστών για τις αντίστοιχες αυξήσεις φόρτων. Πιο συγκεκριμένα, για την αύξηση από 70% σε 80%, στην περίπτωση που κανένας οδηγός δεν κάνει χρήση του κινητού, η αύξηση ανέρχεται στο 5,43%, ενώ στην περίπτωση που το σύνολο των οδηγών κάνει χρήση του κινητού τηλεφώνου η αύξηση ανέρχεται στο 6,57%. Αντίστοιχα στην αύξηση από 80% σε 90%, πρόκυπταν οι 7,2% και 11,28%. Και στις αυξήσεις από 90% σε 100% και από 100% σε 110%, εμφανίζεται αύξηση κατά 13,78% - 18,4% και 21,96% - 24,43% αντίστοιχα. Κατά συνέπεια, σε συνθήκες μεσαίου φόρτου η αύξηση της μέσης χρονικής καθυστέρησης από την αύξηση των επιπέδων του κυκλοφοριακού φόρτου επηρεάζεται από την αναλογία των χρηστών του κινητού τηλεφώνου. Αύξηση χρηστών συνεπάγεται μεγαλύτερη αύξηση της μέσης χρονικής καθυστέρησης.

Τέλος όταν στο δίκτυο επικρατούν συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης, δηλαδή ο φόρτος είναι υψηλότερος από 110%, παρατηρείται ότι στις μεταβάσεις από 110% σε 120% και από 120% σε 130%, υπάρχει πάλι η αναμενόμενη αύξηση του ποσοστού της μέσης χρονικής καθυστέρησης λόγω της εισροής περισσότερων οχημάτων στο δίκτυο. Επιπλέον γίνεται εμφανές, όπως και στις συνθήκες χαμηλού φόρτου, για αύξηση του φόρτου, η αύξηση του ποσοστού στις σταθερές αναλογίες χρηστών παραμένει σε όλες στα ίδια επίπεδα. Κατά συνέπεια, σε συνθήκες υψηλού φόρτου η αναλογία χρηστών δεν επηρεάζει ιδιαίτερα την αύξηση της μέσης χρονικής καθυστέρησης.

Η τελευταία στήλη του πίνακα 4-1, αφορά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων για κυκλοφοριακό φόρτο 50% και 130%. Γίνεται εμφανές, ότι και για χαμηλό ποσοστό των οδηγών που χρησιμοποιεί το κινητό τηλέφωνο παρατηρείται αύξηση της καθυστέρησης η οποία είναι υψηλότερη όσο μεγαλώνει ο φόρτος.

Ο πίνακας 4-2, αναφέρεται στην ποσοστιαία μεταβολή της μέσης χρονικής καθυστέρησης καθώς αυξάνεται η αναλογία χρηστών που χρησιμοποιεί το κινητό τηλέφωνο. Τα στοιχεία τα οποία απεικονίζονται αναφέρονται σε όλα τα επίπεδα φόρτων.

Πίνακας 4-2: Ποσοστά μεταβολής της μέσης χρονικής καθυστέρησης ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στο οδικό δίκτυο.

dtime	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0/90-10	1.14%	0.32%	0.26%	-0.15%	0.55%	1.84%	1.24%	3.05%	2.89%
90-10/80-20	-0.82%	0.55%	0.43%	0.44%	0.94%	0.98%	0.59%	-0.62%	1.71%
80-20/70-30	0.21%	-0.50%	0.03%	0.27%	0.51%	-0.16%	2.47%	2.04%	0.18%
70-30/60-40	0.72%	0.63%	0.49%	-0.08%	-0.07%	2.63%	0.88%	-0.35%	0.40%
60-40/50-50	-0.47%	-0.08%	0.30%	1.03%	1.08%	0.52%	0.86%	2.88%	0.67%
50-50/40-60	0.06%	-0.09%	-0.27%	0.14%	1.22%	2.31%	2.80%	2.23%	1.60%
40-60/30-70	0.46%	0.59%	0.59%	0.34%	0.47%	-0.56%	0.97%	0.26%	2.55%
30-70/20-80	-0.26%	0.26%	-0.12%	0.49%	0.68%	2.53%	2.99%	3.88%	1.15%
20-80/10-90	0.04%	-0.28%	0.53%	0.42%	0.43%	0.77%	0.25%	0.45%	1.78%
10-90/0-100	0.22%	0.08%	0.14%	0.69%	2.25%	2.60%	3.58%	2.06%	2.61%
100-0/0-100	1.31%	1.47%	2.35%	3.53%	7.78%	12.72%	15.48%	14.89%	14.54%

Σύμφωνα με τον πίνακα, όταν στο δίκτυο επικρατούν συνθήκες χαμηλού φόρτου, δηλαδή στους φόρτους 50%, 60% και 70%, παρατηρείται ότι η αύξηση των χρηστών που χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο δημιουργεί μικρές διακυμάνσεις στη μεταβολή του ποσοστού της μέσης χρονικής καθυστέρησης. Επιπλέον, για τα ίδια ποσοστά φόρτου αν συγκριθούν οι δύο ακραίες περιπτώσεις, δηλαδή το σενάριο στο οποίο οδηγός δεν κάνει χρήση του κινητού τηλεφώνου και το σενάριο στο οποίο όλοι οι οδηγοί χρησιμοποιούν το κινητό τους τηλέφωνο, παρατηρείται ότι υπάρχει μικρή αύξηση της μέσης χρονικής καθυστέρησης της τάξης του 1,3% και 2,35%.

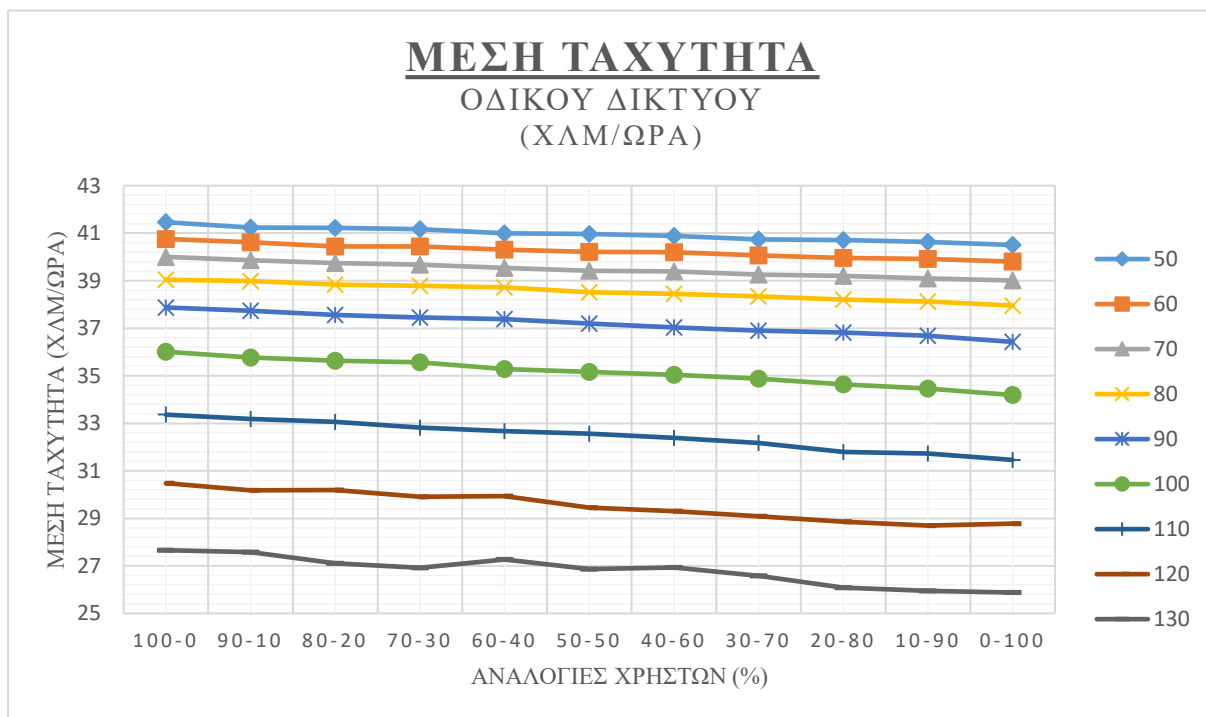
Όταν ο φόρτος αυξάνεται, και συγκεκριμένα στους μεσαίους φόρτους, δηλαδή στους φόρτους 80%, 90%, 100% και 110%, παρατηρείται ότι υπάρχει μία μικρή διακύμανση στην τιμή της μέσης χρονικής καθυστέρησης και ταυτόχρονα μία σταδιακή αύξηση με αύξηση των αναλογιών των χρηστών, όπου γίνεται πιο έντονη στο φόρτο 110%. Και σε αυτήν την περίπτωση, αν συγκριθούν οι δύο ακραίες περιπτώσεις, γίνεται εμφανές ότι υπάρχει αύξηση της μέσης χρονικής καθυστέρησης που κυμαίνεται μεταξύ του 3,5% για φόρτο 80% και φτάνει μέχρι 15,5% για φόρτο 110%.

Σε συνθήκες όπου στο δίκτυο δημιουργούνται τοπικά σημεία κυκλοφοριακής συμφόρησης και συγκεκριμένα στους φόρτους 120% και 130%, παρατηρείται και εδώ αύξηση της μέσης χρονικής καθυστέρησης όσο αυξάνονται οι χρήστες κινητού τηλεφώνου. Γίνεται εμφανές όμως ότι και για τους δύο φόρτους, στις δύο ακραίες περιπτώσεις, υπάρχει οριακά χαμηλότερη αύξηση της μέσης χρονικής καθυστέρησης σε σύγκριση με τον φόρτο 110%. Αυτό μπορεί να οφείλεται ότι καθώς στο δίκτυο υπάρχει υψηλός κυκλοφοριακός φόρτος τα χαρακτηριστικά της οδηγικής συμπεριφοράς των αποσπασμένων οδηγών δεν επηρεάζουν ιδιαίτερα τη μέση χρονική καθυστέρηση εξαιτίας του περιορισμού της ελευθερίας κίνησης των οχημάτων.

Μέση ταχύτητα στο συνολικό οδικό δίκτυο

Η μέση ταχύτητα για το συνολικό οδικό δίκτυο, σε χλμ/ώρα, αναφέρεται στη μέση ταχύτητα όλων των οχημάτων τα οποία έχουν διέλθει και έχουν αποχωρήσει από το οδικό δίκτυο. Ουσιαστικά, υπολογίζεται η μέση ταχύτητα της διαδρομής που διένυσε κάθε όχημα μέσα στο δίκτυο, και στη συνέχεια υπολογίζεται μία μέση ταχύτητα για όλα τα οχήματα.

Στο **διάγραμμα 4-2**, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης τα οποία αναφέρονται στη μέση ταχύτητα του δικτύου. Ο άξονας X αφορά τις αναλογίες χρηστών, ενώ ο άξονας Y αφορά τη μέση ταχύτητα. Οι 9 γραμμές που υπάρχουν στο διάγραμμα αντιστοιχούν στα 9 επίπεδα φόρτων που δημιουργήθηκαν.



Διάγραμμα 4-2: Μέση ταχύτητα στο οδικό δίκτυο.

Σύμφωνα με το **διάγραμμα 4-2**, παρατηρείται ότι για φόρτους 50%, 60%, 70% και 80% η ταχύτητα έχει μειωθεί κατά ένα πολύ χαμηλό ποσοστό καθώς αυξάνονται οι οδηγοί που κάνουν χρήση του κινητού τηλεφώνου. Στις περιπτώσεις που ο φόρτος είναι πιο υψηλός, δηλαδή από 90% μέχρι και 130%, γίνεται εμφανές ότι καθώς αυξάνεται ο αριθμός των οδηγών που χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο η μέση ταχύτητα μειώνεται περισσότερο.

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζεται η μεταβολή της μέσης ταχύτητας από τις διαδοχικές αυξήσεις φόρτου και η μεταβολή που προκαλείται από τις διαφορετικές αναλογίες χρηστών.

Ο πίνακας 4-3, αναφέρεται στη μεταβολή της μέσης ταχύτητας από την αύξηση των επιπέδων φόρτου με σταθερή κάθε φορά αναλογία χρηστών.

Πίνακας 4-3: Ποσοστά μεταβολής της μέσης ταχύτητας ανά αύξηση επιπέδου φόρτου, στο οδικό δίκτυο.

speed	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-110	110-120	120-130	50-130
100-0	-1.72%	-1.89%	-2.46%	-3.08%	-5.17%	-7.93%	-9.46%	-10.20%	-49.89%
90-10	-1.54%	-1.87%	-2.26%	-3.33%	-5.47%	-7.82%	-9.95%	-9.42%	-49.52%
80-20	-1.94%	-1.75%	-2.33%	-3.39%	-5.41%	-7.79%	-9.48%	-11.39%	-52.07%
70-30	-1.81%	-1.93%	-2.28%	-3.57%	-5.29%	-8.40%	-9.72%	-11.08%	-52.91%
60-40	-1.69%	-1.95%	-2.12%	-3.58%	-5.93%	-8.00%	-9.14%	-9.76%	-50.30%
50-50	-1.86%	-2.04%	-2.33%	-3.56%	-5.78%	-7.99%	-10.54%	-9.66%	-52.51%
40-60	-1.72%	-2.04%	-2.47%	-3.81%	-5.68%	-8.20%	-10.52%	-8.83%	-51.84%
30-70	-1.70%	-2.05%	-2.38%	-3.89%	-5.82%	-8.39%	-10.61%	-9.41%	-53.23%
20-80	-1.90%	-1.92%	-2.60%	-3.79%	-6.30%	-8.90%	-10.18%	-10.66%	-56.08%
10-90	-1.82%	-2.09%	-2.54%	-3.92%	-6.46%	-8.63%	-10.56%	-10.59%	-56.60%
0-100	-1.76%	-2.03%	-2.78%	-4.20%	-6.54%	-8.68%	-9.33%	-11.20%	-56.52%

Παρατηρείται ότι σε κάθε αύξηση του επιπέδου του κυκλοφοριακού φόρτου παρουσιάζεται μια ποσοστιαία μείωση της μέσης ταχύτητας η οποία αυξάνεται όσο αυξάνεται και ο φόρτος. Όμως την ίδια αύξηση του φόρτου το ποσοστό μείωσης της μέσης ταχύτητας παραμένει στα ίδια επίπεδα ανεξαρτήτως αναλογίας χρηστών, εκτός από τις περιπτώσεις μεσαίου επιπέδου φόρτου στο δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, για αύξηση του φόρτου από 50% σε 60% το ποσοστό μείωσης της μέσης ταχύτητας των οχημάτων για όλες τις αναλογίες χρηστών κυμαίνεται κατά μέσο όρο στο 1,7%. Αντίστοιχα για αύξηση από 60% σε 70% κυμαίνεται στο 1,9% κατά μέσο όρο. Από φόρτο 70% σε 80% κυμαίνεται στο 2.6%. Όταν επικρατούν συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης, τότε για αύξηση από 110% σε 120% κυμαίνεται στο 9,8%, και από 120% σε 130% στο 10,6%.

Όπως και στην περίπτωση της μέσης χρονικής καθυστέρησης η αναλογία χρήσης κινητού τηλεφώνου επηρεάζει τα ποσοστά μεταβολής της ταχύτητας όταν στο δίκτυο επικρατούν μεσαία επίπεδα φόρτου. Πιο συγκεκριμένα, για τους φόρτους 80%, 90%, 100% και 110%. Σε αυτές τις τρεις διαδοχικές αυξήσεις φόρτων (από 80% σε 90%, από 90% σε 100% και από 100% σε 110%), παρατηρείται μείωση της μέσης ταχύτητας η οποία αυξάνεται με την αύξηση χρηστών κινητού τηλεφώνου. Επιπλέον, από την αύξηση του φόρτου 80% σε 90%, όταν δεν πραγματοποιείται χρήση του κινητού από κανέναν οδηγό το ποσοστό μείωσης ανέρχεται στο 3,08%, ενώ όταν όλοι οι οδηγοί χρησιμοποιούν το κινητό το ποσοστό μείωσης ανέρχεται στο 4,2%. Στις άλλες δύο αυξήσεις από 90% σε 100% και από 100% σε 110%, οι αντίστοιχες μειώσεις του ποσοστού της μέσης ταχύτητας ανέρχονται (από 5,17% με 6,54%) και (από 7,93% με 8,68%).

Ενδιαφέρον αποτελεί η τελευταία στήλη του πίνακα. Η στήλη αυτή αναφέρεται στην αύξηση του φόρτου από 50% σε 130% (δύο ακραίες περιπτώσεις). Τα ποσοστά μείωσης της μέσης ταχύτητας που απεικονίζονται αναφέρονται στις σταθερές αναλογίες κάθε φορά. Γίνεται εμφανές ότι το ποσοστό μείωσης της μέσης ταχύτητας αυξάνεται όταν κάθε φορά προστίθενται και άλλοι οδηγοί που κάνουν χρήση του κινητού τηλεφώνου. Αναλυτικά, το ποσοστό μείωσης της μέσης ταχύτητας όταν κανείς οδηγός δεν κάνει χρήση του κινητού τηλεφώνου είναι 49,9% και στην αντίθετη περίπτωση ανέρχεται στο 56,5%.

Όσον αφορά τον **πίνακα 4-4**, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σχετικά με την μεταβολή της μέσης ταχύτητας μεταξύ των αναλογιών των χρηστών σε κάθε φόρτο.

Πίνακας 4-4: Ποσοστά μεταβολής της μέσης ταχύτητας ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στο οδικό δίκτυο.

speed	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0/90-10	-0.55%	-0.36%	-0.34%	-0.14%	-0.38%	-0.66%	-0.56%	-1.01%	-0.30%
90-10/80-20	-0.02%	-0.43%	-0.31%	-0.38%	-0.44%	-0.38%	-0.36%	0.08%	-1.72%
80-20/70-30	-0.14%	0.00%	-0.17%	-0.13%	-0.31%	-0.19%	-0.75%	-0.98%	-0.69%
73-30/60-40	-0.44%	-0.33%	-0.34%	-0.18%	-0.19%	-0.80%	-0.44%	0.09%	1.28%
60-40/50-50	-0.07%	-0.23%	-0.32%	-0.52%	-0.50%	-0.35%	-0.34%	-1.63%	-1.54%
50-50/40-60	-0.19%	-0.05%	-0.05%	-0.19%	-0.44%	-0.34%	-0.54%	-0.52%	0.25%
40-60/30-70	-0.36%	-0.34%	-0.35%	-0.26%	-0.34%	-0.48%	-0.65%	-0.74%	-1.28%
30-70/20-80	-0.08%	-0.27%	-0.14%	-0.35%	-0.25%	-0.71%	-1.18%	-0.78%	-1.93%
20-80/10-90	-0.18%	-0.10%	-0.27%	-0.21%	-0.34%	-0.49%	-0.24%	-0.58%	-0.52%
10-90/0-100	-0.33%	-0.27%	-0.22%	-0.45%	-0.72%	-0.80%	-0.85%	0.27%	-0.27%
100-0/0-100	-2.36%	-2.40%	-2.54%	-2.86%	-3.97%	-5.32%	-6.06%	-5.93%	-6.89%

Όπως είχε παρατηρηθεί στο αρχικό διάγραμμα, σε όλες τις περιπτώσεις φόρτου εμφανίζεται μείωση της μέσης ταχύτητας καθώς αυξάνεται η αναλογία των χρηστών που χρησιμοποιεί το κινητό τηλέφωνο. Πιο εμφανής μείωση του ποσοστού της μέσης ταχύτητας αρχίζει να παρατηρείται όταν στο οδικό δίκτυο επικρατούν συνθήκες μέσης κυκλοφοριακής ροής, δηλαδή από φόρτο 90% και πάνω. Αυτό γίνεται πιο εμφανές από την τελευταία γραμμή του **πίνακα 4-4** που αφορά τη σύγκριση μεταξύ των δύο ακραίων περιπτώσεων της αναλογίας χρηστών. Από φόρτο 90% και πάνω, η μείωση ανέρχεται στο 4% και φτάνει στο 6,9% στο 130%.

Συνολική απόσταση που διανύθηκε στο συνολικό οδικό δίκτυο

Ο πίνακας 4-5, αφορά τη συνολική απόσταση των οχημάτων που διανύθηκε, σε χλμ, μέσα στο οδικό δίκτυο που σχεδιάστηκε.

Πίνακας 4-5: Αποτελέσματα συνολικής απόστασης των οχημάτων που διανύθηκε (σε χλμ) στο οδικό δίκτυο.

travel	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0	21857	26309.93	30650.29	35020.67	39372.03	43143.64	45704.39	45283.3	43927.3
90-10	21832.78	26188.93	30654.86	34953.36	39424.44	43031.77	45411.68	45638.58	43058.18
80-20	21889.39	26354.06	30577	35057.76	39306.29	42966.06	45495.88	44213.98	43499.74
70-30	21815.45	26238.82	30606.66	34897.01	39285.94	42959.38	45430.01	45010.79	43788.5
60-40	21799.8	26252.76	30636.1	34895.39	39319.72	42993.19	45341.42	44052.69	42487.4
50-50	21918.3	26256.35	30762.05	35086.15	39386.68	42906.45	44430.69	44624.81	42198.7
40-60	21935.43	26313.45	30599.12	35019.23	39209.97	42111.99	44395.79	44669.88	40220.91
30-70	21783.36	26220.09	30531.4	34969.94	39248.58	42557.15	44168.07	44285.25	40695.97
20-80	21867.55	26275.4	30596.54	34955.88	39242.5	42668.7	44619.27	43513.74	42494.75
10--90	21835.67	26208.99	30566.14	34905.03	39162.76	42706.54	44156.66	43732.47	41671.53
0-100	21997.62	26251.76	30617.29	34923.5	39222.09	42460.51	43970.1	42271.22	40860.67

Σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα γίνεται εμφανής η αύξηση της συνολικής απόστασης καθώς το επίπεδο του φόρτου αυξάνεται. Επιπλέον, όσο αυξάνονται τα επίπεδα φόρτου, η αύξηση της αναλογίας των οδηγών που χρησιμοποιεί το κινητό τηλέφωνο, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της συνολικής απόστασης που διανύουν τα οχήματα.

Στον πίνακα 4-6 που ακολουθεί, παρουσιάζονται με λεπτομέρεια τα ποσοστά μεταβολής στη συνολική απόσταση που διανύουν τα οχήματα. Όπως παρατηρείται από την τελευταία γραμμή του πίνακα, στα επίπεδα φόρτου 120% και 130% η μείωση της συνολικής απόστασης όταν οι οδηγοί χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές.

Πίνακας 4-6: Ποσοστά μεταβολής της συνολικής απόστασης που διανύουν τα οχήματα ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στο οδικό δίκτυο.

	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0/90-10	-0.11%	-0.46%	0.01%	-0.19%	0.13%	-0.26%	-0.64%	0.78%	-2.02%
90-10/80-20	0.26%	0.63%	-0.25%	0.30%	-0.30%	-0.15%	0.19%	-3.22%	1.02%
80-20/70-30	-0.34%	-0.44%	0.10%	-0.46%	-0.05%	-0.02%	-0.14%	1.77%	0.66%
73-30/60-40	-0.07%	0.05%	0.10%	0.00%	0.09%	0.08%	-0.20%	-2.17%	-3.06%
60-40/50-50	0.54%	0.01%	0.41%	0.54%	0.17%	-0.20%	-2.05%	1.28%	-0.68%
50-50/40-60	0.08%	0.22%	-0.53%	-0.19%	-0.45%	-1.89%	-0.08%	0.10%	-4.92%
40-60/30-70	-0.70%	-0.36%	-0.22%	-0.14%	0.10%	1.05%	-0.52%	-0.87%	1.17%
30-70/20-80	0.39%	0.21%	0.21%	-0.04%	-0.02%	0.26%	1.01%	-1.77%	4.23%
20-80/10-90	-0.15%	-0.25%	-0.10%	-0.15%	-0.20%	0.09%	-1.05%	0.50%	-1.98%
10-90/0-100	0.74%	0.16%	0.17%	0.05%	0.15%	-0.58%	-0.42%	-3.46%	-1.98%
100-0/0-100	0.64%	-0.22%	-0.11%	-0.28%	-0.38%	-1.61%	-3.94%	-7.13%	-7.51%

Συνολικός χρόνος μετακίνησης στο οδικό δίκτυο

Ο πίνακας 4-7, αφορά το συνολικό χρόνο μετακίνησης των οχημάτων, σε ώρες, στο συνολικό οδικό δίκτυο που έχει σχεδιαστεί. Η κάθε στήλη του πίνακα αναφέρεται στα διαδοχικά επίπεδα φόρτου που έχουν δημιουργηθεί και η κάθε γραμμή αφορά τις διαδοχικές αναλογίες χρηστών.

Πίνακας 4-7: Αποτελέσματα συνολικού χρόνου μετακίνησης των οχημάτων (σε ώρες) στο οδικό δίκτυο.

traveltime	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0	523.3639	640.4081	760.5277	890.83	1039.644	1226.865	1478.849	1724.873	1979.852
90-10	524.7981	638.9768	763.1504	890.9219	1044.499	1233.848	1480.981	1766.689	1961.621
80-20	526.2219	645.9361	762.6025	896.5439	1047.762	1238.802	1493.554	1719.317	2030.54
70-30	525.1458	642.3833	764.888	893.0416	1049.685	1239.13	1507.355	1773.255	2045.484
60-40	526.797	645.1526	767.2203	894.954	1052.057	1259.185	1514.528	1727.909	1962.247
50-50	529.9754	645.858	773.3811	903.9743	1060.801	1261.155	1497.159	1792.925	1989.102
40-60	530.8063	648.2344	768.9858	904.2253	1063.692	1244.963	1506.921	1811.807	1904.105
30-70	529.1627	647.6791	770.2133	905.3289	1067.249	1262.778	1512.549	1815.809	1966.535
20-80	531.4918	650.6478	772.9825	908.9527	1072.186	1284.37	1554.971	1813.434	2084.207
10--90	531.3212	648.8821	773.8653	908.3392	1071.422	1289.008	1547.834	1834.31	2070.295
0-100	536.8276	652.1466	776.7573	913.8857	1086.682	1304.963	1569.471	1785.169	2051.86

Από τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα παρατηρείται η αναμενόμενη αύξηση του χρόνου μετακίνησης λόγω της διέλευσης περισσότερων οχημάτων στο οδικό δίκτυο. Ταυτόχρονα όμως καθώς τα ποσοστά των οδηγών που χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο αυξάνονται, παρατηρείται αύξηση και του μέσου χρόνου μετακίνησης των οχημάτων στο οδικό δίκτυο.

Τα ποσοστά αύξησης παρουσιάζονται λεπτομερέστερα στον **πίνακα 4-8**. Παρατηρείται πως η χρήση του κινητού τηλεφώνου επηρεάζει το συνολικό χρόνο μετακίνησης των οχημάτων σε όλα τα επίπεδα φόρτου, κυρίως όμως στα υψηλότερα με αυξήσεις που κυμαίνονται από 1,8% έως και 6,0%.

Πίνακας 4-8: Ποσοστά μεταβολής του συνολικού χρόνου μετακίνησης των οχημάτων ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στο οδικό δίκτυο.

	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0/90-10	0.27%	-0.22%	0.34%	0.01%	0.46%	0.57%	0.14%	2.37%	-0.93%
90-10/80-20	0.27%	1.08%	-0.07%	0.63%	0.31%	0.40%	0.84%	-2.76%	3.39%
80-20/70-30	-0.20%	-0.55%	0.30%	-0.39%	0.18%	0.03%	0.92%	3.04%	0.73%
73-30/60-40	0.31%	0.43%	0.30%	0.21%	0.23%	1.59%	0.47%	-2.62%	-4.24%
60-40/50-50	0.60%	0.11%	0.80%	1.00%	0.82%	0.16%	-1.16%	3.63%	1.35%
50-50/40-60	0.16%	0.37%	-0.57%	0.03%	0.27%	-1.30%	0.65%	1.04%	-4.46%
40-60/30-70	-0.31%	-0.09%	0.16%	0.12%	0.33%	1.41%	0.37%	0.22%	3.17%
30-70/20-80	0.44%	0.46%	0.36%	0.40%	0.46%	1.68%	2.73%	-0.13%	5.65%
20-80/10-90	-0.03%	-0.27%	0.11%	-0.07%	-0.07%	0.36%	-0.46%	1.14%	-0.67%
10-90/0-100	1.03%	0.50%	0.37%	0.61%	1.40%	1.22%	1.38%	-2.75%	-0.90%
100-0/0-100	2.51%	1.80%	2.09%	2.52%	4.33%	5.98%	5.77%	3.38%	3.51%

Θεμελιώδη διαγράμματα

Τα τρία μεγέθη της κυκλοφοριακής ροής μέσα από τα οποία μπορούν να πραγματοποιηθούν κυκλοφοριακές αναλύσεις είτε σε ένα οδικό δίκτυο είτε σε ένα οδικό τμήμα (συγκεκριμένα σε μια διατομή του οδικού τμήματος) είναι:

1. Κυκλοφοριακός φόρτος (q).
2. Ταχύτητα (u).
3. Πυκνότητα (k).

Η θεμελιώδης σχέση που συνδέει τα τρία αυτά κυκλοφοριακά μεγέθη είναι:

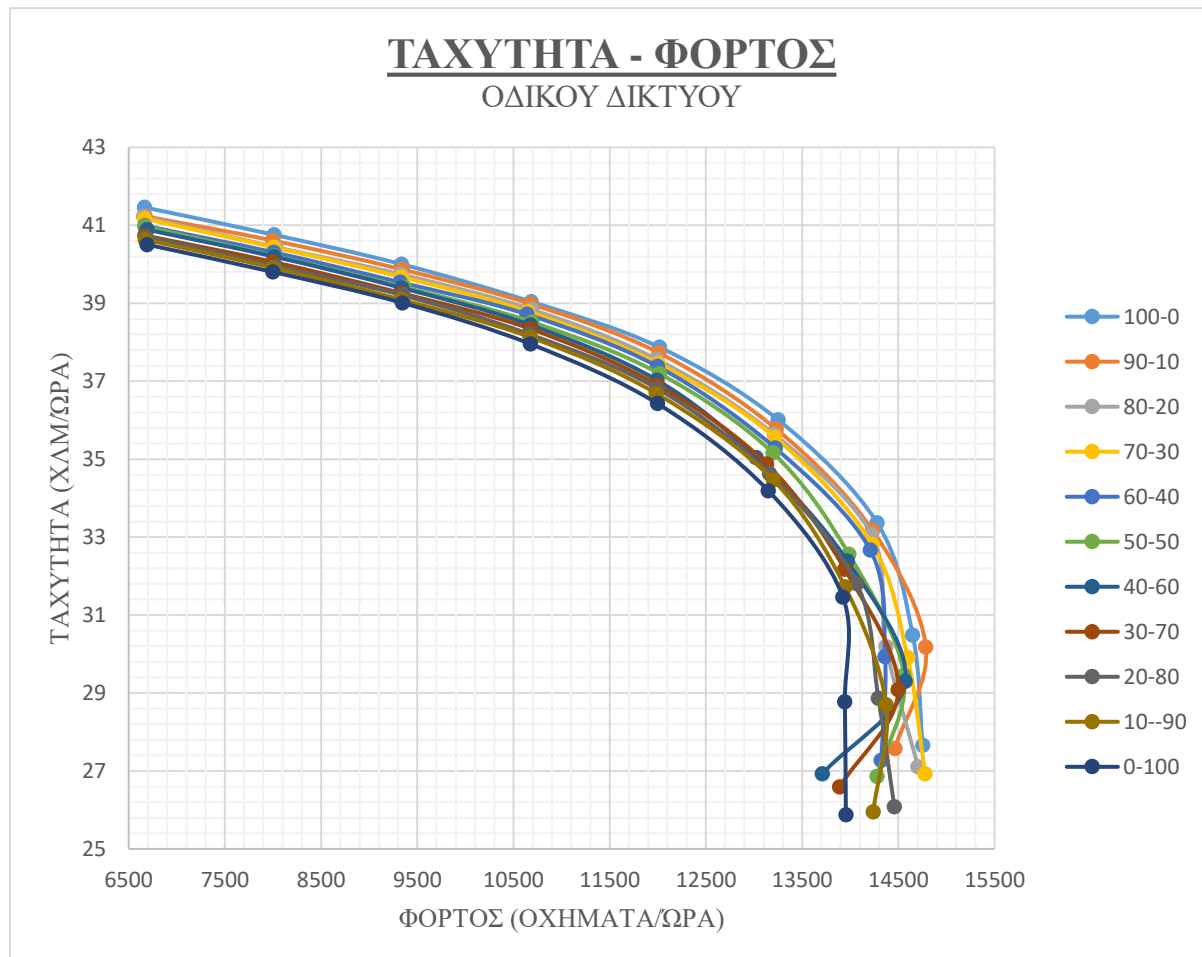
$$q = u * k$$

Από αυτά τα τρία μεγέθη προκύπτουν και τα τρία θεμελιώδη διαγράμματα, τα οποία είναι:

1. Ταχύτητα – Φόρτος.
2. Φόρτος – Πυκνότητα.
3. Ταχύτητα – Πυκνότητα.

Θεμελιώδες διάγραμμα Ταχύτητας – Φόρτου

Το **διάγραμμα 4-3**, αναφέρεται στο θεμελιώδες διάγραμμα ταχύτητας – φόρτου. Ο άξονας X αφορά το φόρτο σε οχήματα/ώρα, ενώ ο άξονας Y την ταχύτητα σε χλμ/ώρα. Η κάθε γραμμή του σχεδιαστικού χώρου αναφέρεται σε καθεμία αναλογία χρηστών και μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το επίπεδο φόρτου.



Διάγραμμα 4-3: Θεμελιώδες διάγραμμα Ταχύτητας-Φόρτου, στο οδικό δίκτυο.

Η σχέση ταχύτητας-φόρτου, όπως αποτυπώνεται από τα στοιχεία των προσομοιώσεων ακολουθεί την ίδια μορφή με το πρότυπο θεμελιώδες διάγραμμα του Greenshields (1934). Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται πως όσο αυξάνεται η κυκλοφοριακή ροή στο οδικό δίκτυο, τόσο μειώνεται η μέση ταχύτητα του δικτύου. Ακριβώς το ίδιο παρατηρείται για όλες τις αναλογίες χρηστών.

Τονίζεται πως ο φόρτος ο οποίος αναφέρεται στα θεμελιώδη διαγράμματα, ορίζεται ως η μέση ροή οχημάτων που έχουν διέλθει από το οδικό δίκτυο κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Η μέτρησή τους πραγματοποιείται κατά την έξοδο τους από το οδικό δίκτυο. Γίνεται εμφανές, πως στο σημείο στο οποίο δημιουργείται καμπύλη στο διάγραμμα, και πιο συγκεκριμένα για επίπεδο φόρτου 120%, στο δίκτυο έχει διέλθει ο υψηλότερος κυκλοφοριακός φόρτος που μπορεί να δεχθεί το οδικό δίκτυο. Από εκείνο το σημείο και μετά, οι συνθήκες κυκλοφορίας δυσχαιρένουν και από κάποια στιγμή και έπειτα έπεται η κυκλοφοριακή συμφόρηση. Αυτό ακριβώς η υποδηλώνει και η καμπύλη του διαγράμματος. Συνεπώς, το επίπεδο φόρτου 120% είναι το σημείο στο οποίο αλλάζουν οι περιοχές, δηλαδή, από τη μη συμφορημένη στη συμφορημένη περιοχή, αλλά για την αναλογία χρηστών 0-100 (δηλαδή όλοι χρησιμοποιούν το

κινητό τηλέφωνο) η αλλαγή από την μία περιοχή στην άλλη πραγματοποιείται από το επίπεδο φόρτου 110%.

Όσον αφορά το επίπεδο φόρτου 130% το οποίο βρίσκεται σε κατάσταση κυκλοφοριακής συμφόρησης, παρατηρείται ταυτόχρονη μείωση του φόρτου και της μέσης ταχύτητας του δικτύου. Και αυτό συμβαίνει διότι, τα οχήματα είτε έχουν σταματήσει να κινούνται είτε κινούνται με πολύ χαμηλές ταχύτητες.

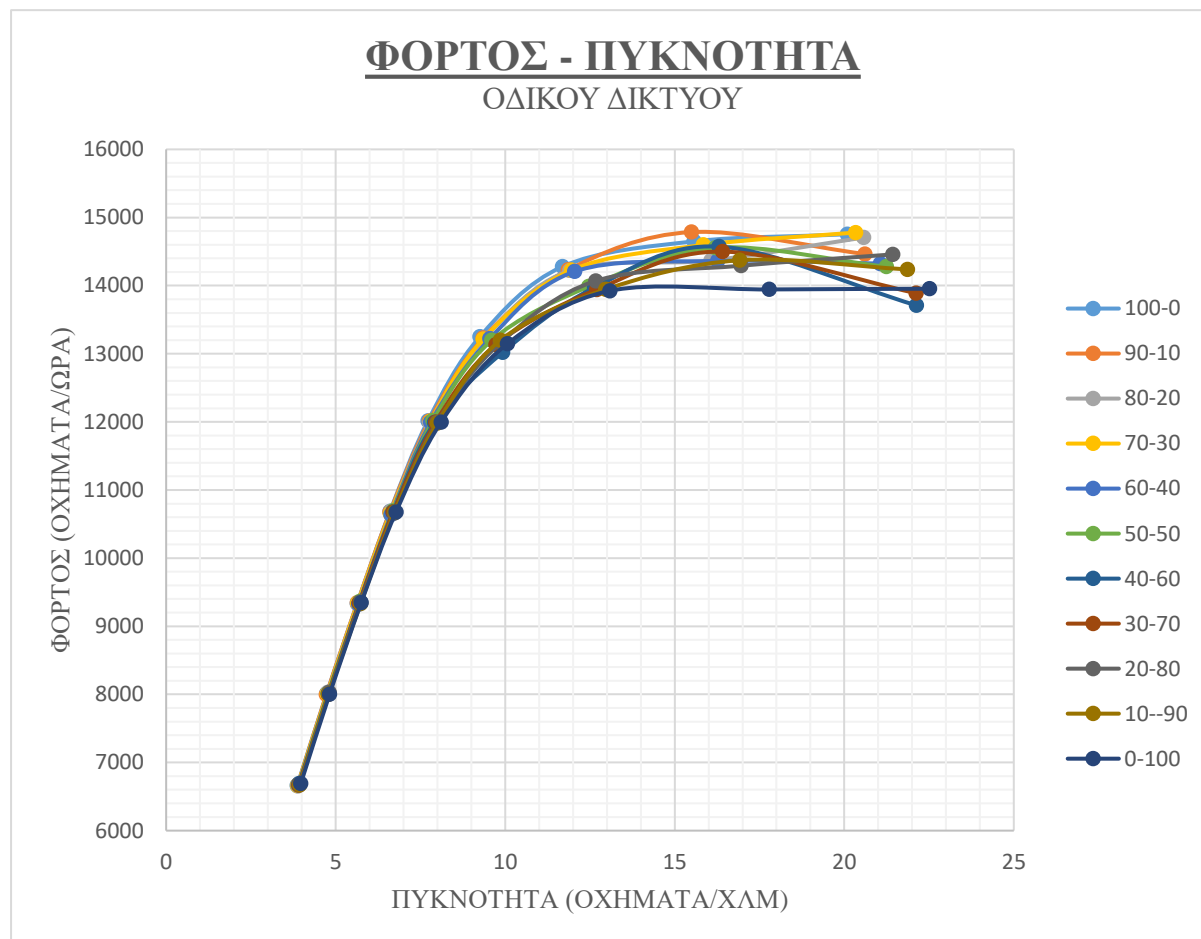
Επιπλέον σύμφωνα με το **διάγραμμα 4-3**, παρατηρείται ότι η αύξηση της αναλογίας των οδηγών που κάνουν χρήση του κινητού τηλεφώνου φαίνεται να μην επηρεάζει τον κυκλοφοριακό φόρτο μέσα στο δίκτυο, και αυτό όσον αφορά στα χαμηλά επίπεδα φόρτου, από 50% μέχρι και 90%. Εκεί που αρχίζουν να διαφαίνονται επιπτώσεις από τη χρήση του κινητού τηλεφώνου, στα ίδια επίπεδα του φόρτου, είναι στη μέση ταχύτητα του οδικού δικτύου, όπου παρατηρείται σημαντική μείωσή της.

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα αποτελέσματα που αφορούν την κυκλοφορική ικανότητα του δικτύου. Η κυκλοφορική ικανότητα είναι ο μέγιστος κυκλοφοριακός φόρτος που δύναται να διέλθει υπό τις επικρατούσες συνθήκες σε μία διατομή. Κατά συνέπεια, το σημείο καμπής της καμπύλης, που παρουσιάζει την υψηλότερη τιμή κυκλοφοριακού φόρτου αποτελεί μία ένδειξη της κυκλοφοριακής ικανότητας του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται εμφανές πως η χρήση του κινητού τηλεφώνου έχει επιπτώσεις στην κυκλοφορική ικανότητα του δικτύου. Από το διάγραμμα παρατηρείται πως αρχίζει να διαμορφώνεται μια διαφοροποίηση της κυκλοφοριακής ροής όταν στο δίκτυο επικρατούν μεσαία επίπεδα φόρτου, δηλαδή επίπεδο φόρτου 90% και πάνω. Όσο δυσχαιρένουν οι συνθήκες τόσο αυξάνεται η διαφοροποίηση. Αναλυτικά, όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό των οδηγών που χρησιμοποιεί το κινητό τηλέφωνο, τόσο πιο μεγάλη μείωση παρατηρείται στην κυκλοφορική ικανότητα.

Επισημαίνεται πως από τα στοιχεία της Λινάρδου (2017), όταν οι οδηγοί χρησιμοποιούσαν το κινητό τηλέφωνο κατά τη διάρκεια της οδήγησης είχαν υψηλότερους χρόνους αντίδρασης. **Μία σημαντική παράμετρο επιρροής της κυκλοφοριακής ικανότητας σε ένα οδικό δίκτυο αποτελεί ο χρόνος αντίδρασης. Μεγαλύτερος χρόνος αντίδρασης για τους οδηγούς που χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο οδηγεί σε μείωση της κυκλοφοριακής ικανότητας.**

Θεμελιώδες διάγραμμα Φόρτου – Πυκνότητας

Παρακάτω απεικονίζεται το θεμελιώδες διάγραμμα φόρτου – πυκνότητας. Ο άξονας Χ αναφέρεται στην πυκνότητα σε οχήματα/χλμ, ενώ ο άξονας Υ αφορά τον φόρτο σε οχήματα/ώρα. Παρατηρείται πως και εδώ, η μορφή του διαγράμματος ακολουθεί τη μορφή του πρότυπου θεμελιώδους διαγράμματος του Greenshields (1934).



Διάγραμμα 4-4: Θεμελιώδες διάγραμμα Φόρτου-Ταχύτητας, στο οδικό δίκτυο.

Η μορφή του διαγράμματος υποδεικνύει πως όσο αυξάνεται η πυκνότητα των οχημάτων στο οδικό δίκτυο τόσο μειώνεται ο ρυθμός αύξησης του κυκλοφοριακού φόρτου μέχρι το σημείο που θα εμφανίσει την μέγιστη καμπύλη, όπου αποτελεί και το σημείο με τον μέγιστο κυκλοφοριακό φόρτο που μπορεί να δεχθεί το οδικό δίκτυο.

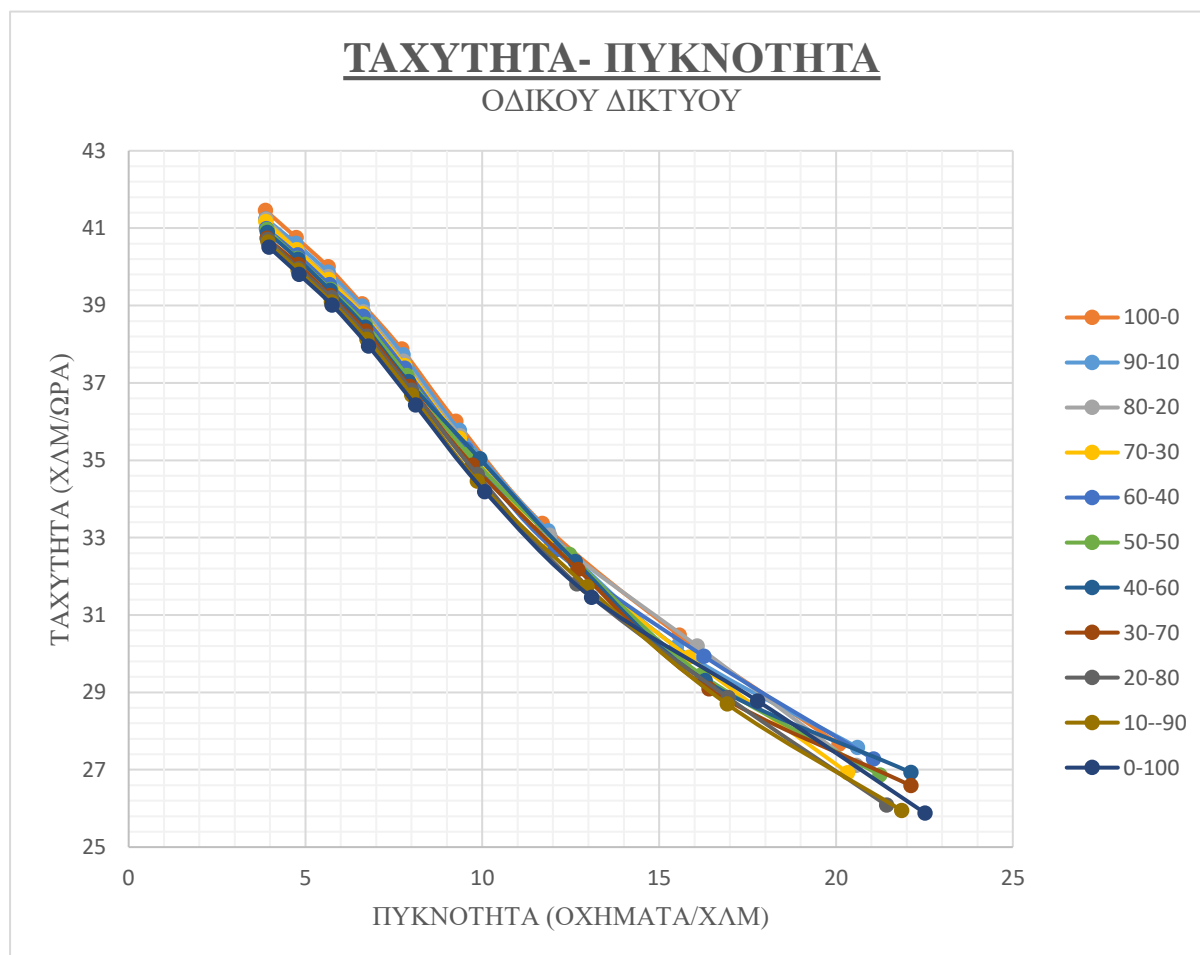
Επιπλέον, και σε αυτό το διάγραμμα γίνεται εμφανές πως η χρήση του κινητού τηλεφώνου δεν έχει καμία επιρροή στον κυκλοφοριακό φόρτο, όταν τα επίπεδα φόρτου είναι χαμηλά. Επιρροή χρήσης του κινητού τηλεφώνου, αρχίζει να εμφανίζεται από το επίπεδο φόρτου 90% με 100%.

Θα πρέπει να διευκρινιστεί, πως η πυκνότητα που αναφέρεται στον άξονα Χ, υπολογίζεται από το πρόγραμμα κυκλοφοριακής συμμόρφωσης AIMSUN, ως η πυκνότητα των οχημάτων ανά χιλιόμετρα του συνολικού δικτύου. Συνεπώς, επειδή κατά την προσομοίωση όλων των σεναρίων κάποια οδικά τμήματα (που αποτελούσαν στενά του οδικού δικτύου ή παράπλευρες οδούς) δεν είχαν πάντοτε οχήματα, θεωρείται πως η πυκνότητα που έχει προκύψει δεν είναι πλήρως αντιπροσωπευτική των συνθηκών υψηλού φόρτου. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται μέγιστος φόρτος για τιμές πυκνότητας 14-16 οχήματα/χλμ. κατά συνέπεια, **κρίνεται σκόπιμο να πραγματοποιηθούν προσομοιώσεις σε μεμονωμένα οδικά τμήματα με στόχο την**

παρουσίαση αντιπροσωπευτικότερων τιμών των τριών αυτών μεγεθών σε σχέση με τα διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακών φόρτων.

Θεμελιώδες διάγραμμα Ταχύτητας – Πυκνότητας

Το **διάγραμμα 4-5**, απεικονίζει τη σχέση μεταξύ της πυκνότητας και της ταχύτητας στο συνολικό οδικό δίκτυο. Ο άξονας X αφορά τη μεταβλητή της πυκνότητας, σε οχήματα/χλμ, ενώ ο άξονας Y την ταχύτητα, σε χλμ/ώρα. Τονίζεται πως και η μορφή αυτού του διαγράμματος αντιπροσωπεύει απόλυτα το πρότυπο θεμελιώδες διάγραμμα.



Διάγραμμα 4-5: Θεμελιώδες διάγραμμα Ταχύτητας-Πυκνότητας, στο οδικό δίκτυο.

Σύμφωνα με το διάγραμμα, παρατηρείται πως όσο αυξάνεται η πυκνότητα των οχημάτων στο δίκτυο, δηλαδή τα οχήματα συσσωρεύονται και οι αποστάσεις μεταξύ τους μειώνονται, η ταχύτητα μειώνεται σταδιακά.

Το ενδιαφέρον που παρουσιάζεται σε αυτό το διάγραμμα είναι ότι στο ενδιάμεσο τμήμα του παρατηρείται μια απότομη μείωση. Η απότομη μείωση για το συγκεκριμένο διάγραμμα σημαίνει πως σε μικρή μεταβολή της πυκνότητας η ταχύτητα έχει μειωθεί σημαντικά. Το ενδιάμεσο τμήμα στο οποίο παρουσιάζεται η μείωση αυτή είναι μεταξύ του επιπέδου του φόρτου από 90% μέχρι και 110%. Συνεπώς, μπορεί να θεωρηθεί πως η χρήση του κινητού τηλεφώνου έχει μεγαλύτερη αρνητική επιρροή σε αυτά τα επίπεδα φόρτου.

4.2. Ανάλυση σε επίπεδο αστικό και υπεραστικό

Στις προηγούμενες ενότητες διερευνήθηκε η επιρροή της χρήσης του κινητού στο σύνολο του οδικού δικτύου που δημιουργήθηκε. Στην παρούσα ενότητα πραγματοποιείται η ανάλυση των επιπτώσεων που μπορεί να έχει το κινητό τηλέφωνο σε δύο υποκατηγορίες του οδικού δικτύου. Επισημαίνεται, πως όταν δημιουργήθηκε το οδικό δίκτυο των Χανίων και των περιχώρων του (κεφάλαιο 3, παραγράφος 3.2), χωρίστηκε σε δύο κατηγορίες:

- Αστικό.
- Υπεραστικό.

Για τη διερεύνηση αυτών των δύο κατηγοριών, πραγματοποιήθηκε ο διαχωρισμός των συλλεχθέντων στοιχείων από τις προσομοιώσεις που εκτελέστηκαν. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3, κατά το σχεδιασμό και τη δημιουργία του οδικού δικτύου στο πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN, κάθε οδικό τμήμα κωδικοποιήθηκε με την ονομασία "rural" αν άνηκε στην κατηγορία υπεραστικό και "urban" αν άνηκε στην κατηγορία αστικό. Αυτός ο τρόπος κωδικοποίησης των οδικών τμημάτων βοήθησε στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Συνεπώς, με ευκολία μπορούσαν τα αποτελέσματα να διαχωριστούν και να επεξεργαστούν.

Μέση χρονική καθυστέρηση στο υπεραστικό οδικό δίκτυο

Ο υπολογισμός της μέσης χρονικής καθυστέρησης για το υπεραστικό οδικό δίκτυο πραγματοποιήθηκε με την εξής διαδικασία:

- Αρχικά, το πρόγραμμα εξάγει για κάθε οδικό τμήμα τη μέση χρονική καθυστέρηση. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζει το μέσο χρόνο καθυστέρησης ανά όχημα και στη συνέχεια υπολογίζει το μέσο όρο όλων των οχημάτων που διήλθαν από το οδικό τμήμα. Οι λεπτομέρειες για τους τύπους και τον υπολογισμό της μέσης χρονικής καθυστέρησης αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3, στην παράγραφο εξαγωγή αποτελεσμάτων.
- Στη συνέχεια, συγκεντρώθηκαν όλα τα στοιχεία από όλα τα οδικά τμήματα που άνηκαν στην κατηγορία του υπεραστικού οδικού δικτύου.
- Για τον προσδιορισμό της μέσης χρονικής καθυστέρησης, προστέθηκαν όλα τα στοιχεία που αφορούσαν τη μέση χρονική καθυστέρηση από κάθε οδικό τμήμα και έπειτα διαιρέθηκαν με το σύνολο των χιλιομέτρων των οδικών τμημάτων του υπεραστικού οδικού δικτύου, όπως φαίνεται και στην παρακάτω σχέση. Με τον τρόπο αυτό υπολογίστηκε η μέση χρονική καθυστέρηση του υπεραστικού δικτύου σε δλ/χλμ.

$$dtime_{rural} = \frac{\sum_1^N (dtime_{sect_rural})}{\sum_1^N (length_{sect_rural})}, \quad \text{σε } (\delta\lambda/\chi\lambda\mu)$$

Όπου,

$dtime_{sect_rural}$,

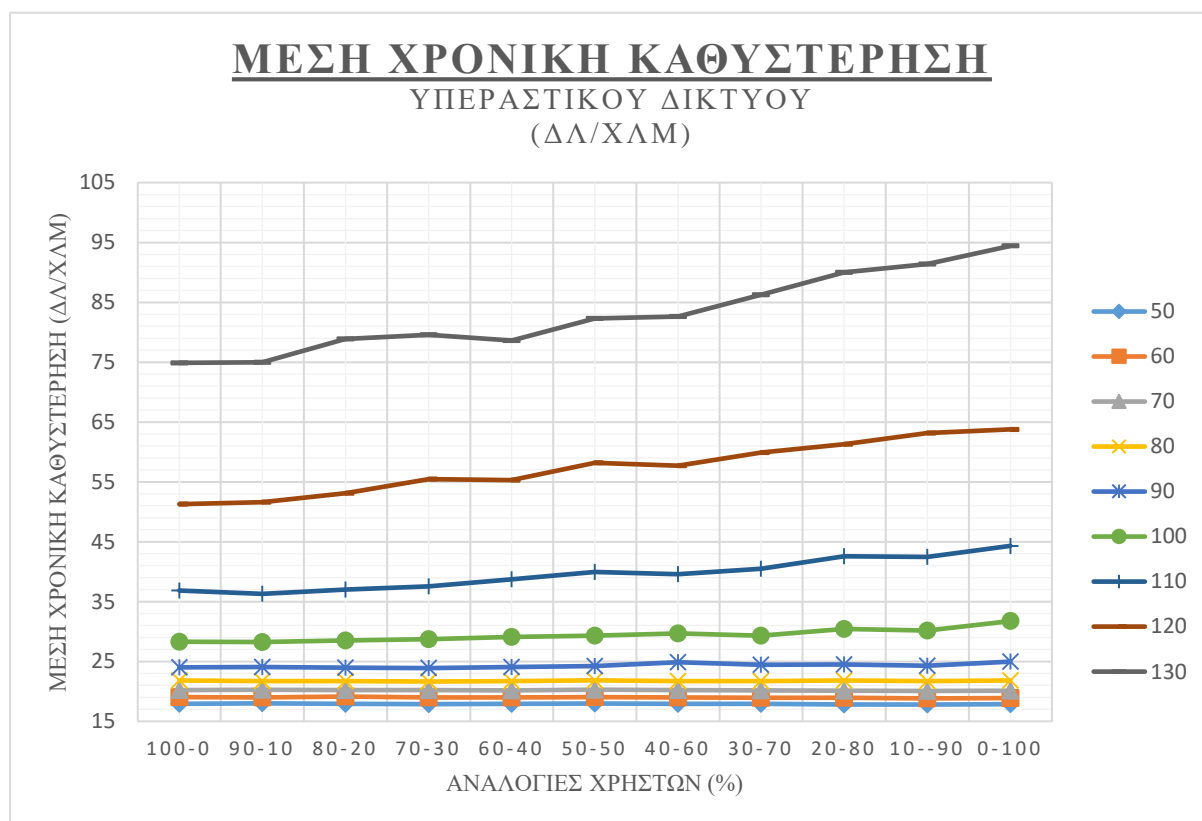
είναι η μέση χρονική καθυστέρηση σε κάθε υπεραστικό οδικό τμήμα.

$length_{sect_rural}$, είναι το μήκος σε χλμ του κάθε υπεραστικού οδικού τμήματος.

N , 127 υπεραστικά οδικά τμήματα.

Παρακάτω παρουσιάζεται το **διάγραμμα 4-6** της μέσης χρονικής καθυστέρησης στο υπεραστικό δίκτυο που προέκυψε από την πραγματοποίηση των προσομοιώσεων. Ο άξονας X

αφορά τις αναλογίες χρηστών, ενώ ο άξονας Y αφορά τη μεταβλητή της μέσης χρονικής καθυστέρησης.



Διάγραμμα 4-6: Μέση χρονική καθυστέρηση στην υπεραστική περιοχή.

Από το διάγραμμα παρατηρείται ότι δεν υπάρχει κάποια επιρροή της χρήσης του κινητού τηλεφώνου στη μέση χρονική καθυστέρηση στα πιο χαμηλά επίπεδα φόρτου, δηλαδή από 50% μέχρι και 80%. Επιρροή αρχίζει να εμφανίζεται όταν το επίπεδο φόρτου κυμαίνεται πάνω από 90%. Τέλος όταν το επίπεδο φόρτου φτάνει σε υψηλά επίπεδα, δηλαδή από 110% και για υψηλότερες τιμές, τότε παρατηρείται η μεγαλύτερη αύξηση της μέσης χρονικής καθυστέρησης καθώς αυξάνονται τα ποσοστά των χρηστών που χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο.

Πιο λεπτομερή στοιχεία του διαγράμματος της μέσης χρονικής καθυστέρησης παρουσιάζονται στους δύο επόμενους πίνακες.

Στον **πίνακα 4-9** που ακολουθεί, απεικονίζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές της μέσης χρονικής καθυστέρησης στις διαδοχικές αυξήσεις του επιπέδου των φόρτων. Παράλληλα με τις διαδοχικές αυξήσεις, η αναλογία χρηστών παραμένει σταθερή.

Πίνακας 4-9: Ποσοστά μεταβολής της μέσης χρονικής καθυστέρησης ανά αύξηση επιπέδου φόρτου, στην υπεραστική περιοχή.

rural dtime	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-110	110-120	120-130	50-130
100-0	5.81%	6.01%	7.22%	9.14%	15.15%	23.17%	28.16%	31.53%	76.07%
90-10	5.13%	6.28%	6.79%	9.82%	14.71%	22.16%	29.70%	31.16%	75.99%
80-20	6.38%	5.37%	6.99%	9.33%	15.87%	22.99%	30.29%	32.70%	77.29%
70-30	5.77%	6.26%	6.51%	9.40%	16.83%	23.48%	32.27%	30.35%	77.54%
60-40	5.65%	5.72%	7.18%	9.74%	17.36%	24.83%	29.96%	29.67%	77.19%
50-50	5.50%	6.15%	7.14%	9.93%	17.27%	26.57%	31.36%	29.32%	78.14%
40-60	5.66%	6.07%	6.80%	12.73%	16.22%	24.97%	31.48%	30.14%	78.32%
30-70	5.57%	5.95%	7.08%	11.19%	16.64%	27.64%	32.38%	30.57%	79.25%
20-80	5.70%	5.86%	7.88%	10.93%	19.54%	28.47%	30.58%	31.89%	80.18%
10--90	5.49%	6.19%	7.54%	10.71%	19.43%	28.98%	32.74%	30.86%	80.52%
0-100	5.17%	6.10%	7.93%	12.59%	21.34%	28.35%	30.52%	32.46%	81.05%

Από τον πίνακα παρατηρείται η αναμενόμενη αύξηση της μέσης χρονικής καθυστέρησης σε όλες τις διαδοχικές αυξήσεις του επιπέδου φόρτου, λόγω της εισόδου περισσότερων οχημάτων στο υπεραστικό οδικό δίκτυο.

Από τα επίπεδα αύξησης φόρτου 50% έως 80%, παρατηρείται ότι σε όλες τις αναλογίες χρηστών το ποσοστό αύξησης της μέσης χρονικής καθυστέρησης παραμένει παρεμφερές. Συνεπώς, γίνεται εμφανές πως σε αυτό το εύρος αυξήσεων φόρτου, αν όλοι οι οδηγοί κάνουν χρήση του κινητού τηλεφώνου δεν παρατηρείται κάποια αύξηση της μέσης χρονικής καθυστέρησης.

Από τα επίπεδα αύξησης φόρτου 90% έως 130%, παρατηρείται ότι καθώς αυξάνεται η αναλογία χρηστών που χρησιμοποιεί το κινητό τηλέφωνο, το ποσοστό μεταβολής της μέσης χρονικής καθυστέρησης παρουσιάζει αυξανόμενους ρυθμούς. Για παράδειγμα, στο επίπεδο αυξήσεις από 90% σε 100% όταν κανένας οδηγός δεν κάνει χρήση του κινητού τηλεφώνου παρατηρείται αύξηση 15,15%, ενώ όταν όλοι οι οδηγοί χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο παρατηρείται αύξηση 21,34%. Ακριβώς το ίδιο παρατηρείται και στις αυξήσεις από 100% σε 110%, από 110% σε 120% και από 120% σε 130%.

Η τελευταία στήλη του πίνακα αναφέρεται στην μεταβολή της μέσης χρονικής καθυστέρησης με την απευθείας μετάβαση από 50% σε 130% επίπεδο φόρτου. Εδώ γίνεται εμφανές ότι από τη σύγκριση των δύο ακραίων περιπτώσεων αναλογίας χρηστών υπάρχει μία σημαντική αύξηση της μέσης χρονικής καθυστέρησης, περίπου 5%, όταν όλοι οι χρήστες χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο.

Στη συνέχεια ο **πίνακας 4-10** που ακολουθεί, αφορά στην μεταβολή της μέσης χρονικής καθυστέρησης από τις διαδοχικές αυξήσεις στις αναλογίες χρηστών που κάνουν χρήση του κινητού τηλεφώνου. Επιπλέον, παρουσιάζονται οι μεταβολές αυτές σε όλα τα επίπεδα φόρτου.

Πίνακας 4-10: Ποσοστά μεταβολής της μέσης χρονικής καθυστέρησης ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στην υπεραστική περιοχή.

rural dtime	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0/90-10	0.48%	-0.25%	0.04%	-0.42%	0.32%	-0.19%	-1.50%	0.67%	0.14%
90-10/80-20	-0.49%	0.84%	-0.13%	0.08%	-0.45%	0.91%	1.96%	2.78%	4.95%
80-20/70-30	-0.24%	-0.90%	0.06%	-0.45%	-0.38%	0.77%	1.41%	4.22%	0.87%
70-30/60-40	0.31%	0.19%	-0.39%	0.32%	0.70%	1.33%	3.06%	-0.25%	-1.23%
60-40/50-50	0.33%	0.17%	0.63%	0.60%	0.80%	0.70%	3.01%	4.95%	4.48%
50-50/40-60	-0.40%	-0.23%	-0.33%	-0.69%	2.44%	1.21%	-0.95%	-0.77%	0.41%
40-60/30-70	-0.09%	-0.17%	-0.30%	0.00%	-1.77%	-1.26%	2.34%	3.62%	4.21%
30-70/20-80	-0.36%	-0.23%	-0.32%	0.55%	0.25%	3.72%	4.82%	2.28%	4.15%
20-80/10-90	-0.25%	-0.47%	-0.12%	-0.50%	-0.74%	-0.88%	-0.15%	2.97%	1.50%
10-90/0-100	0.54%	0.20%	0.12%	0.54%	2.64%	4.95%	4.11%	0.94%	3.22%
100-0/0-100	-0.15%	-0.83%	-0.73%	0.04%	3.83%	10.85%	16.86%	19.59%	20.69%

Ενδιαφέρον του πίνακα αυτού αποτελεί η τελευταία γραμμή του. Στην τελευταία γραμμή παρουσιάζονται για το ίδιο επίπεδο φόρτου κάθε φορά, οι επιπτώσεις που έχει η αύξηση του ποσοστού χρήσης του κινητού τηλεφώνου στο υπεραστικό δίκτυο. Παρατηρείται ότι για τα επίπεδα φόρτων από 50% έως 80% η αύξηση του ποσοστού χρήσης του κινητού τηλεφώνου δεν δείχνει να επηρεάζει τη μέση χρονική καθυστέρηση. Όταν ο φόρτος φτάσει σε επίπεδα 90% και πάνω, τότε γίνεται εμφανές η επιρροή του κινητού τηλεφώνου, με αύξηση της μέσης καθυστέρησης που φτάνει τα 4% για 90% φόρτο, 10,85% για 100% φόρτο, 16,86% για 110% και περίπου 20% για 120%. Η επιρροή αυτή μεγιστοποιείται όταν στο δίκτυο επικρατούν συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης, δηλαδή επίπεδο φόρτου 130%. Στο επίπεδο αυτό, η αύξηση που υπέρχει φτάνει και το 21%.

Μέση ταχύτητα στο υπεραστικό οδικό δίκτυο

Ο υπολογισμός της μέσης ταχύτητας στο υπεραστικό οδικό δίκτυο, με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη διαδικασία της προσομοίωσης, προσδιορίζεται ως εξής:

- Το πρόγραμμα ορίζει ως μέση ταχύτητα σε ένα οδικό τμήμα τη μέση ταχύτητα για όλα τα οχήματα που έχουν διασχίσει το συγκεκριμένο οδικό τμήμα. Πιο συγκεκριμένα, εάν από το οδικό τμήμα έχουν διέλθει 100 οχήματα, υπολογίζει τη μέση ταχύτητα του κάθε οχήματος και στη συνέχεια υπολογίζει το μέσο όρο των οχημάτων αυτών.
- Στη συνέχεια, με βάση λοιπόν και την κωδικοποίηση που έγινε στα οδικά τμήματα, για την κατηγορία στην οποία ανήκουν, επιλέχθηκαν όλα τα υπεραστικά οδικά τμήματα.
- Γνωρίζοντας τη μέση ταχύτητα για κάθε υπεραστικό οδικό τμήμα και τον αριθμό των οχημάτων που διήλθαν από αυτό, πολλαπλασιάστηκαν αυτές οι δύο παράμετροι. Ακριβώς το ίδιο, πραγματοποιήθηκε για όλα τα υπεραστικά οδικά τμήματα.
- Τέλος το άθροισμα όλων αυτών διαιρέθηκε με το άθροισμα όλων των οχημάτων που διήλθαν από τα συγκεκριμένα υπεραστικά οδικά τμήματα. Παρακάτω απεικονίζεται η σχέση. Με τον τρόπο αυτό, υπολογίστηκε η μέση ταχύτητα για το υπεραστικό οδικό δίκτυο.

$$speed_{rural} = \frac{\sum_1^N (speed_{sect_rural} * flow_{sect_rural})}{\sum_1^N (flow_{sect_rural})}, \quad \text{σε χλμ/ώρα}$$

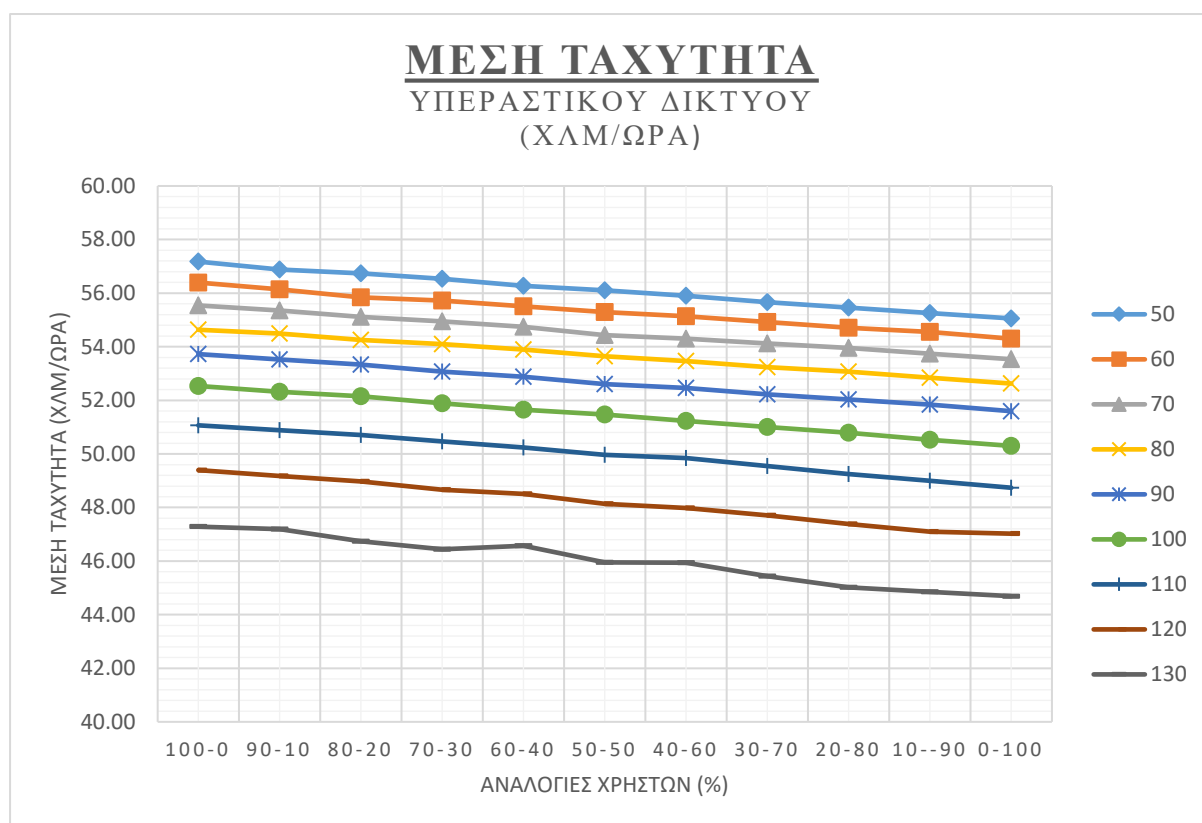
Όπου,

$speed_{sect_rural}$, είναι η μέση ταχύτητα για κάθε υπεραστικό οδικό τμήμα.

$flow_{sect_rural}$, είναι τα οχήματα που διήλθαν απο κάθε υπεραστικό οδικό τμήμα.

N , 127 υπεραστικά οδικά τμήματα.

Στο **διάγραμμα 4-7**, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μέσης ταχύτητας από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν. Ο άξονας X αφορά τις αναλογίες χρηστών και ο άξονας Y αφορά τη μεταβλητή της μέσης ταχύτητας.



Διάγραμμα 4-7: Μέση ταχύτητα στην υπεραστική περιοχή.

Σύμφωνα με το διάγραμμα, γίνεται εμφανές ότι η χρήση του κινητού τηλεφώνου επηρεάζει τη μεταβλητή της μέσης ταχύτητας. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι ακόμη και ένα 10% των οδηγών να χρησιμοποιεί το κινητό τηλέφωνο η μέση ταχύτητα στο υπεραστικό οδικό δίκτυο μειώνεται. Οι επιπτώσεις παρουσιάζονται παρεμφερείς για όλα τα επίπεδα φόρτου. Η μείωση της μέσης ταχύτητας είναι πολύ μεγαλύτερη όταν όλοι οι οδηγοί χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο.

Στον **πίνακα 4-11**, απεικονίζονται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια τα στοιχεία του **διαγράμματος 4-7**. Πιο συγκεκριμένα, ο πίνακας αναφέρεται στη μεταβολή της μέσης ταχύτητας του

υπεραστικού δικτύου από τις διαδοχικές αυξήσεις των οδηγών που χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο. Οι μεταβολές αυτές αναφέρονται για όλα τα επίπεδα φόρτου.

Πίνακας 4-11: Ποσοστά μεταβολής της μέσης ταχύτητας ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στην υπεραστική περιοχή.

rural speed	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0/90-10	-0.51%	-0.45%	-0.34%	-0.25%	-0.37%	-0.41%	-0.36%	-0.45%	-0.20%
90-10/80-20	-0.26%	-0.55%	-0.44%	-0.45%	-0.36%	-0.32%	-0.36%	-0.42%	-0.96%
80-20/70-30	-0.36%	-0.20%	-0.30%	-0.30%	-0.49%	-0.51%	-0.48%	-0.62%	-0.65%
70-30/60-40	-0.46%	-0.40%	-0.37%	-0.37%	-0.36%	-0.48%	-0.44%	-0.32%	0.29%
60-40/50-50	-0.32%	-0.38%	-0.58%	-0.45%	-0.53%	-0.33%	-0.55%	-0.79%	-1.36%
50-50/40-60	-0.36%	-0.29%	-0.24%	-0.33%	-0.27%	-0.47%	-0.25%	-0.31%	-0.01%
40-60/30-70	-0.42%	-0.39%	-0.35%	-0.44%	-0.46%	-0.45%	-0.60%	-0.57%	-1.12%
30-70/20-80	-0.37%	-0.38%	-0.30%	-0.32%	-0.36%	-0.43%	-0.60%	-0.68%	-0.92%
20-80/10-90	-0.36%	-0.29%	-0.41%	-0.42%	-0.38%	-0.51%	-0.51%	-0.61%	-0.38%
10-90/0-100	-0.37%	-0.46%	-0.38%	-0.42%	-0.48%	-0.46%	-0.54%	-0.16%	-0.36%
100-0/0-100	-3.85%	-3.86%	-3.75%	-3.82%	-4.13%	-4.45%	-4.78%	-5.04%	-5.81%

Γίνεται εμφανές πως σε όλα τα επίπεδα φόρτου έστω και ένα μικρό ποσοστό των οδηγών να κάνει χρήση του κινητού τηλεφώνου υπάρχει επίπτωση στη μέση ταχύτητα του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα παρατηρείται μείωση της ταχύτητας και αυτή η μείωση γίνεται πιο αισθητή όσο αυξάνεται το επίπεδο του φόρτου. Αυτό φαίνεται και με τη σύγκριση σε κάθε φόρτο, τις δύο ακραίες περιπτώσεις. Παρατηρείται πως όσο αυξάνεται το επίπεδο φόρτου τόσο πιο έντονη είναι η μείωση της μέσης ταχύτητας. Συγκεκριμένα, για επίπεδο φόρτου 50%, η μείωση ανέρχεται στο 3,85%, ενώ για επίπεδο φόρτου 130%, η μείωση ανέρχεται στο 5,81%.

Μέση χρονική καθυστέρηση στο αστικό οδικό δίκτυο

Η διαδικασία υπολογισμού της μέσης χρονικής καθυστέρησης στο αστικό οδικό δίκτυο είναι ίδια με αυτήν που ακολουθήθηκε στο υπεραστικό οδικό δίκτυο, μόνο που στην προκειμένη περίπτωση συλλέχθηκαν τα στοιχεία των αστικών οδικών τμημάτων. Και η τελική σχέση είναι:

$$dtime_{urban} = \frac{\sum_1^N (dtime_{sect_urban})}{\sum_1^N (length_{sect_urban})}, \quad \text{σε } (\delta\lambda/\chi\lambda\mu)$$

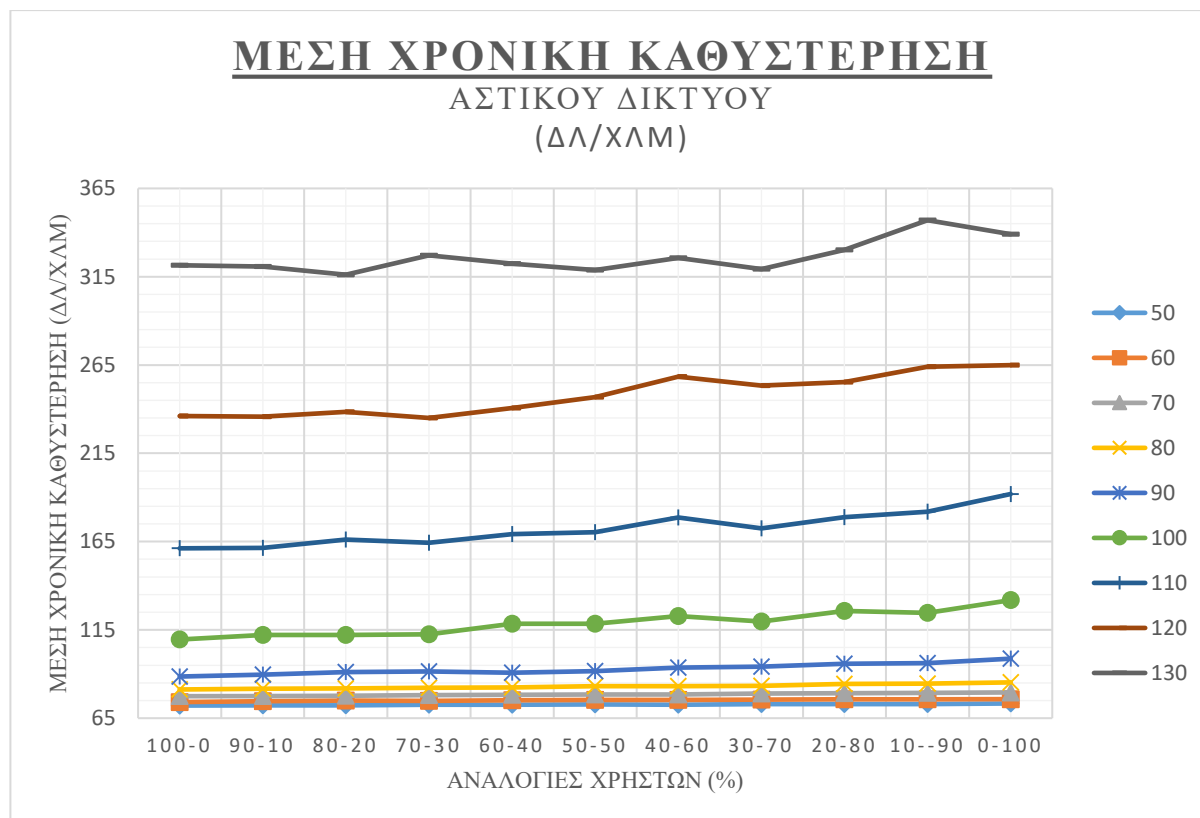
Όπου,

$dtime_{sect_urban}$, είναι η μέση χρονική καθυστέρηση σε κάθε αστικό οδικό τμήμα.

$length_{sect_urban}$, είναι το μήκος σε χλμ του κάθε αστικού οδικού τμήματος.

N , 363 αστικά οδικά τμήματα.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις για την μέση χρονική καθυστέρηση παρουσιάζονται στο παρακάτω **διάγραμμα 4-8**. Ο άξονας X αναφέρεται στις αναλογίες χρηστών και ο άξονας Y στη μεταβλητή της μέσης χρονικής καθυστέρησης.



Διάγραμμα 4-8: Μέση χρονική καθυστέρηση στην αστική περιοχή.

Τα αποτελέσματα φανερώνουν σημαντική επιρροή της χρήσης του κινητού τηλεφώνου στη μέση χρονική καθυστέρηση όταν τα επίπεδα φόρτου είναι υψηλά, δηλαδή από 90% και πάνω. Πιο συγκεκριμένα, δηλαδή όταν στο δίκτυο επικρατεί κανονική κυκλοφοριακή ροή και στη συνέχεια αυξάνεται και άλλο το επίπεδο του φόρτου που οδηγεί σε συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης. Όσον αφορά τα στοιχεία σε χαμηλότερους φόρτους, δηλαδή από 50% μέχρι και 80%, φανερώνουν ότι υπάρχει μία πολύ μικρή επιρροή που δημιουργεί μια μικρή αύξηση στη μέση χρονική καθυστέρηση.

Ο **πίνακας 4-12**, αναφέρεται στις διαδοχικές αυξήσεις των επιπέδων φόρτου όπου κάθε φορά η αναλογία χρηστών παραμένει σταθερή.

Πίνακας 4-12: Ποσοστά μεταβολής της μέσης χρονικής καθυστέρησης ανά αύξηση επιπέδου φόρτου, στην αστική περιοχή.

urban dtime	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-110	110-120	120-130	50-130
100-0	2.68%	4.29%	4.68%	8.27%	19.14%	32.04%	31.73%	26.55%	77.55%
90-10	3.03%	3.89%	4.96%	8.93%	20.03%	30.57%	31.53%	26.51%	77.46%
80-20	3.72%	3.50%	5.01%	10.11%	18.82%	32.50%	30.30%	24.58%	77.15%
70-30	2.99%	4.18%	4.99%	10.12%	18.77%	31.54%	30.05%	28.16%	77.82%
60-40	3.28%	3.90%	5.08%	9.17%	23.50%	29.93%	29.71%	25.36%	77.46%
50-50	3.38%	4.07%	5.63%	9.36%	22.52%	30.51%	30.97%	22.56%	77.18%
40-60	3.46%	3.99%	5.71%	11.15%	23.77%	31.30%	30.84%	20.64%	77.68%
30-70	3.42%	4.38%	5.21%	11.49%	21.36%	30.60%	31.89%	20.67%	77.15%
20-80	3.63%	4.23%	6.25%	11.90%	23.83%	29.75%	29.93%	22.67%	77.90%
10-90	3.46%	4.60%	6.20%	12.05%	22.81%	31.53%	31.09%	23.92%	78.95%
0-100	3.22%	4.78%	6.67%	13.60%	25.15%	31.30%	27.55%	21.87%	78.37%

Ενδιαφέρον παρουσιάζεται στις αυξήσεις φόρτου από 70% σε 80%, από 80% σε 90% και από 90% σε 100%, δηλαδή σε συνθήκες μεσαίου φόρτου. Παρατηρείται ότι υπάρχει η αναμενόμενη αύξηση της μέσης χρονικής καθυστέρησης λόγω της αύξησης του φόρτου, αλλά επιπλέον φαίνεται πως η αύξηση αυτή είναι μεγαλύτερη καθώς αυξάνεται το ποσοστό των οδηγών που κάνουν χρήση του κινητού τηλεφώνου. Πιο συγκεκριμένα τα αποτελέσματα δείχνουν, πως για την αύξηση 70% σε 80%, όταν κανένας οδηγός δεν κάνει χρήση του κινητού τηλεφώνου υπάρχει αύξηση 4,68%, ενώ στην αντίθετη περίπτωση υπάρχει αύξηση 6,67%. Για τις άλλες δύο αυξήσεις επιπέδων φόρτου που αναφέρθηκαν, στην πρώτη τα αποτελέσματα δείχνουν 13,6% (από 8,27%), ενώ στη δεύτερη αύξηση, 25,15% (από 19,14%).

Σημαντικό ενδιαφέρον έχει ο επόμενος **πίνακας 4-13**. Συγκεκριμένα, ο πίνακας αναφέρεται στην μεταβολή της μέσης χρονικής καθυστέρησης από τις διαδοχικές αυξήσεις των οδηγών που κάνουν χρήση του κινητού τηλεφώνου. Ταυτόχρονα τα αποτελέσματα αναφέρονται για όλα τα επίπεδα φόρτου.

Πίνακας 4-13: Ποσοστά μεταβολής της μέσης χρονικής καθυστέρησης ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στην αστική περιοχή.

urban dtime	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0/90-10	0.19%	0.56%	0.15%	0.44%	1.15%	2.24%	0.13%	-0.16%	-0.21%
90-10/80-20	-0.08%	0.64%	0.22%	0.28%	1.57%	0.08%	2.86%	1.13%	-1.46%
80-20/70-30	0.47%	-0.29%	0.42%	0.39%	0.40%	0.34%	-1.08%	-1.44%	3.36%
70-30/60-40	0.13%	0.43%	0.14%	0.23%	-0.83%	5.04%	2.81%	2.34%	-1.47%
60-40/50-50	0.09%	0.20%	0.37%	0.95%	1.16%	-0.11%	0.71%	2.50%	-1.16%
50-50/40-60	-0.07%	0.00%	-0.08%	0.01%	1.98%	3.56%	4.66%	4.49%	2.11%
40-60/30-70	0.38%	0.34%	0.75%	0.23%	0.61%	-2.53%	-3.58%	-2.01%	-1.96%
30-70/20-80	0.03%	0.25%	0.09%	1.19%	1.64%	4.73%	3.57%	0.79%	3.29%
20-80/10-90	0.12%	-0.06%	0.32%	0.27%	0.44%	-0.89%	1.66%	3.29%	4.86%
10-90/0-100	0.38%	0.14%	0.33%	0.83%	2.58%	5.54%	5.22%	0.35%	-2.34%
100-0/0-100	1.62%	2.18%	2.68%	4.71%	10.25%	16.92%	16.02%	10.88%	5.21%

Το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην τελευταία γραμμή του πίνακα, που αναφέρεται στην απευθείας μετάβαση από το σενάριο στο οποίο κανένας οδηγός δεν κάνει χρήση κινητού τηλεφώνου στο σενάριο κατά το οποίο όλοι οι οδηγοί χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο. Γίνεται εμφανές πως από τα επίπεδα φόρτου 50% μέχρι και 80% υπάρχει ένας συγκεκριμένος ρυθμός αύξησης της μέσης χρονικής καθυστέρησης. Στο επίπεδο φόρτου 80% και 90% παρατηρείται ένα σημαντικό άλμα του ρυθμού αύξησης της μέσης χρονικής καθυστέρησης. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι όταν στο δίκτυο επικρατούν μεσαία επίπεδα φόρτου, δηλαδή τα οχήματα έχουν έρθει πιο κοντά το ένα με το άλλο και αλληλεπιδρούν εντονότερα μεταξύ τους, τα χαρακτηριστικά των οδηγών που χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο επηρεάζουν περισσότερο την κυκλοφορία, με συνέπεια την υψηλότερη αύξηση της μείωσης της μέσης χρονικής καθυστέρησης.

Στα υψηλότερα επίπεδα φόρτου, παρατηρείται μείωση του ρυθμού αύξησης του ποσοστού της μέσης χρονικής καθυστέρησης, η μείωση αυτή του ρυθμού σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να οφείλεται στο γεγονός πως επικρατούν συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης. Ναι μεν κάποια οχήματα έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά λόγω της χρήσης του κινητού τηλεφώνου αλλά λόγω της περιορισμένης ελευθερίας των οδηγών να κινηθούν και να αναπτύξουν ταχύτητα ο ρυθμός αύξησης της μέσης χρονικής καθυστέρησης μειώνεται.

Μέση ταχύτητα στο αστικό οδικό δίκτυο

Ο τρόπος που υπολογίστηκε η μέση ταχύτητα στο αστικό οδικό δίκτυο είναι ίδιος με τον τρόπο που ακολουθήθηκε για το υπεραστικό. Τα στοιχεία αφορούσαν οδικά τμήματα που άνηκαν στο αστικό οδικό δίκτυο και ο υπολογισμός πραγματοποιήθηκε με την παρακάτω σχέση:

$$speed_{urban} = \frac{\sum_1^N (speed_{sect_urban} * flow_{sect_urban})}{\sum_1^N (flow_{sect_urban})}, \quad \text{σε χλμ/ώρα}$$

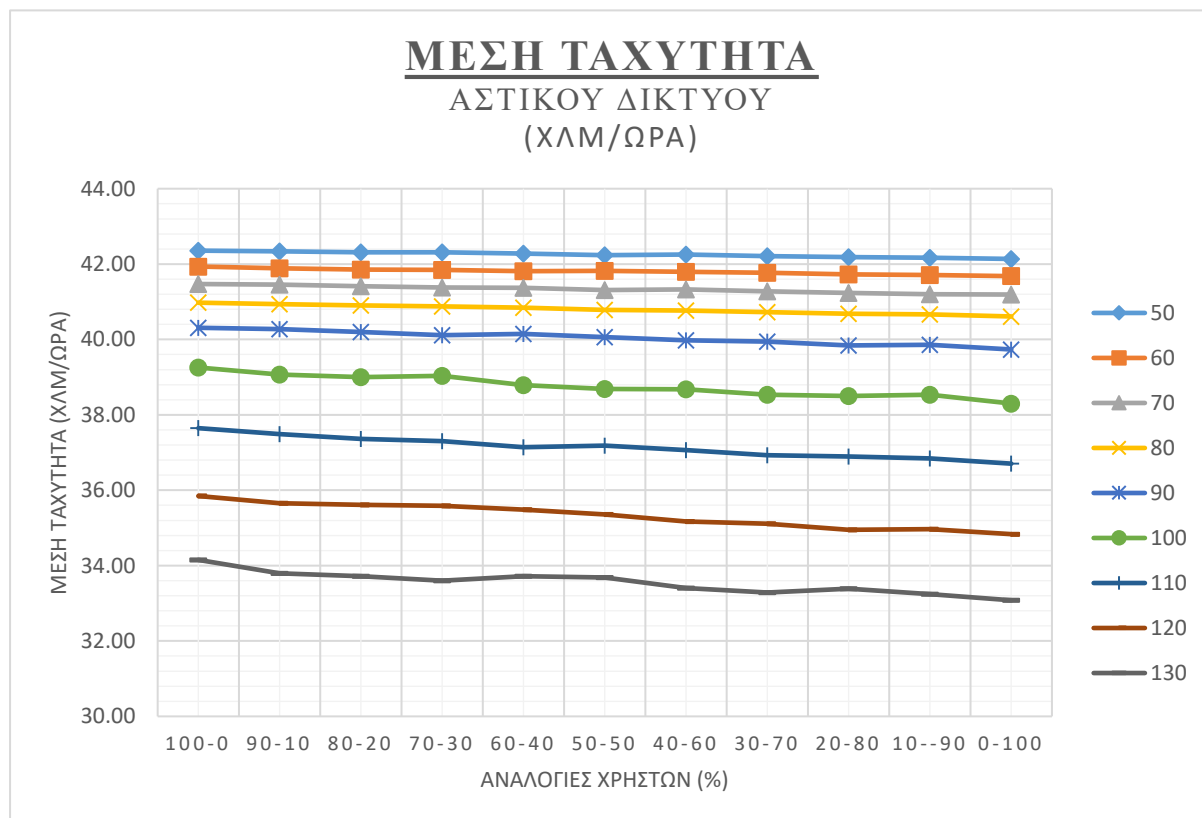
Όπου,

$speed_{sect_urban}$, είναι η μέση ταχύτητα για κάθε αστικό οδικό τμήμα.

$flow_{sect_urban}$, είναι τα οχήματα που διήλθαν απο κάθε αστικό οδικό τμήμα.

N, 363 αστικά οδικά τμήματα.

Με βάση την παραπάνω σχέση υπολογίστηκε η μέση ταχύτητα για κάθε σενάριο. Στο **διάγραμμα 4-9**, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεταβλητής αυτής για όλα τα σενάρια. Ο άξονας X αφορά τις αναλογίες χρηστών, ενώ ο άξονας Y αφορά τη μεταβλήτη μέση ταχύτητα.



Διάγραμμα 4-9: Μέση ταχύτητα στην αστική περιοχή.

Το διάγραμμα δείχνει πως η χρήση του κινητού τηλεφώνου στα χαμηλά επίπεδα φόρτου, όπου οι οδηγοί μπορούν να κινηθούν με περισσότερη ευκολία και να αναπτύξουν ταχύτητα, δεν επηρεάζει τη μέση ταχύτητα. Αντίθετα όμως, όταν το αστικό οδικό δίκτυο αρχίζει να γεμίζει από οχήματα, δηλαδή το επίπεδο φόρτου αυξάνεται και τα οχήματα αναγκάζονται να διατηρούν μικρότερες αποστάσεις μεταξύ τους, τότε εμφανίζεται μια μικρή μείωση της μέσης ταχύτητας όσο το ποσοστό των οδηγών που χρησιμοποιεί το κινητό τηλέφωνο αυξάνεται.

Στον **πίνακα 4-14**, παρουσιάζονται τα ποσοστά των μεταβολών της μέσης ταχύτητας. Ο πίνακας αναφέρεται στις αυξήσεις των ποσοστών των οδηγών που χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο, για όλα τα επίπεδα φόρτου.

Πίνακας 4-14: Ποσοστά μεταβολής της μέσης ταχύτητας ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στην αστική περιοχή.

urban speed	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0/90-10	-0.04%	-0.10%	-0.03%	-0.10%	-0.09%	-0.47%	-0.42%	-0.54%	-1.05%
90-10/80-20	-0.07%	-0.08%	-0.10%	-0.08%	-0.19%	-0.17%	-0.34%	-0.13%	-0.24%
80-20/70-30	0.01%	-0.02%	-0.09%	-0.06%	-0.21%	0.08%	-0.16%	-0.06%	-0.34%
70-30/60-40	-0.08%	-0.10%	-0.01%	-0.07%	0.08%	-0.62%	-0.43%	-0.28%	0.34%
60-40/50-50	-0.11%	0.03%	-0.15%	-0.15%	-0.21%	-0.26%	0.12%	-0.36%	-0.08%
50-50/40-60	0.05%	-0.06%	0.04%	-0.05%	-0.21%	-0.03%	-0.34%	-0.54%	-0.85%
40-60/30-70	-0.10%	-0.07%	-0.12%	-0.11%	-0.08%	-0.39%	-0.36%	-0.16%	-0.36%
30-70/20-80	-0.06%	-0.09%	-0.10%	-0.09%	-0.26%	-0.09%	-0.09%	-0.47%	0.30%
20-80/10-90	-0.05%	-0.04%	-0.08%	-0.05%	0.04%	0.10%	-0.13%	0.05%	-0.43%
10-90/0-100	-0.07%	-0.08%	-0.03%	-0.13%	-0.31%	-0.61%	-0.38%	-0.38%	-0.49%
100-0/0-100	-0.52%	-0.61%	-0.68%	-0.90%	-1.45%	-2.50%	-2.57%	-2.91%	-3.24%

Σύμφωνα με τον πίνακα, φαίνεται πως η χρήση του κινητού τηλεφώνου δεν δείχνει να επηρεάζει σημαντικά τη μέση ταχύτητα στο αστικό οδικό δίκτυο, όσο επηρέαζε το υπεραστικό οδικό δίκτυο. Αυτό επιβεβαιώνεται από τα στοιχεία της τελευταίας γραμμής του πίνακα, η οποία αναφέρεται στην απευθείας μετάβαση των δύο ακραίων περιπτώσεων τις αναλογίας χρηστών. Επιρροή υπάρχει μόνο στα υψηλά επίπεδα φόρτου, όπου η ελευθερία κίνησης των οχημάτων έχει μειωθεί σημαντικά, οι αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων έχουν μειωθεί, και γενικά στο δίκτυο επικρατούν συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης. Συνεπώς, έχει επέλθει μείωση της μέσης ταχύτητας της τάξης του 3% περίπου.

Τα αποτελέσματα αυτά οφείλονται κυρίως στο γεγονός ότι η μέγιστη επιθυμητή ταχύτητα των οδηγών στο αστικό οδικό δίκτυο καθοριζόταν σε μεγάλο βαθμό από το όριο ταχύτητας. Πιο συγκεκριμένα, όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 3, στην παράγραφο "ανάλυση ορίου ταχύτητας και αποδεκτή ταχύτητα", για τα οδικά τμήματα κάθε κατηγορίας ορίζεται ένα όριο ταχύτητας και μία παράμετρος που αφορά την αποδοχή του. Στα αστικά τμήματα το όριο ταχύτητας είχε οριστεί ίσο με 40 χλμ/ώρα και η παράμετρος αποδοχής ίση με 1,4. Με την τιμή αυτή και με βάση τα όρια ταχύτητας που καθορίστηκαν για την αστική και υπεραστική περιοχή, οι μέγιστες ταχύτητες που θα μπορούσαν να αναπτύξουν οι οδηγοί στις δύο περιοχές δικτύων είναι τα 56 χλμ/ώρα για την αστική και τα 84 χλμ/ώρα για την υπεραστική περιοχή. Επιπλέον οι δύο κατηγορίες οχημάτων που δημιουργήθηκαν, είχαν ως μέγιστες επιθυμητές ταχύτητες τα 75 χλμ/ώρα για τους οδηγούς που μιλούν με δια χειρός χρήση του κινητού τηλεφώνου και τα 79 χλμ/ώρα για τους οδηγούς που δεν αποσπώνται από κάτι. Συνεπώς, για την αστική περιοχή η ταχύτητα δεν θα μπορούσε, για καμιά από τις δύο κατηγορίες, να ξεπεράσει τα 56 χλμ/ώρα, που σημαίνει ότι δημιουργείται ένα "φράγμα" στην ταχύτητα. Με το "φράγμα" αυτό δημιουργούνται μικρότερες διακυμάνσεις στην ταχύτητα, διότι όλοι οι οδηγοί, λόγω του ότι οι μέγιστες επιθυμητές ταχύτητες είναι υψηλότερες, θα προσπαθούν να φτάσουν το όριο ταχύτητας (56 χλμ/ώρα). Το γεγονός αυτό, φάνηκε και στα αποτελέσματα των προσομοιώσεων. Σε αντίθεση με την υπεραστική περιοχή, όπου το όριο ταχύτητας είναι υψηλότερο από τις μέγιστες επιθυμητές ταχύτητες και των δύο κατηγοριών των οχημάτων, οι οδηγοί σε κάποιες περιπτώσεις, αν το επέτρεπαν οι συνθήκες, μπορούσαν να προσεγγίσουν την επιθυμητή τους ταχύτητα. Αυτό φαίνεται και στα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, όπου εμφανίζονται μεγαλύτερες διακυμάνσεις. Τέλος, ένα αρνητικό του ορίου ταχύτητας για την αστική περιοχή είναι ότι δεν μπορεί να αναδειχθεί με ακρίβεια η επιρροή της χρήσης του κινητού τηλεφώνου στην μέση ταχύτητα. Αυτό όμως είναι αποτέλεσμα περιορισμού του

AIMSUN. Ενδεικτικά παρουσιάζεται ο τελικός **πίνακας 4-15**, με τα αποτελέσματα της μέσης ταχύτητας του αστικού δικτύου που προέκυψε από τις προσομοιώσεις.

Πίνακας 4-15: Μέση ταχύτητα στην αστική περιοχή, σε χλμ/ώρα.

urban-speed	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0	42.36	41.94	41.47	40.98	40.31	39.26	37.65	35.85	34.15
90-10	42.34	41.89	41.46	40.93	40.27	39.07	37.49	35.65	33.80
80-20	42.31	41.86	41.42	40.90	40.20	39.00	37.36	35.61	33.72
70-30	42.31	41.85	41.38	40.88	40.11	39.03	37.30	35.59	33.60
60-40	42.28	41.81	41.37	40.85	40.15	38.79	37.14	35.49	33.72
50-50	42.23	41.82	41.31	40.79	40.06	38.69	37.19	35.36	33.69
40-60	42.26	41.80	41.33	40.77	39.98	38.68	37.06	35.17	33.40
30-70	42.21	41.77	41.28	40.72	39.94	38.53	36.93	35.11	33.28
20-80	42.19	41.73	41.24	40.68	39.84	38.50	36.89	34.95	33.39
10-90	42.17	41.71	41.20	40.66	39.86	38.53	36.84	34.97	33.24
0-100	42.14	41.68	41.19	40.61	39.73	38.30	36.70	34.83	33.08

4.3. Ανάλυση σε επίπεδο αστικού και υπεραστικού οδικού τμήματος

Για την καλύτερη ανάλυση, αξιολόγηση και εκτίμηση των επιπτώσεων της δια χειρός χρήσης του κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης, σε βάθος, σχεδιάστηκαν 2 οδικά τμήματα ένα αστικό και ένα υπεραστικό. Ο διαχωρισμός των δύο οδικών δικτύων σε αστικό και υπεραστικό πραγματοποιήθηκε με βάση τα εξής χαρακτηριστικά:

- Αστικό:
 1. Μήκος οδικού τμήματος, 4 χλμ.
 2. Μία λωρίδα κυκλοφορίας.
 3. Όριο ταχύτητας, 40 χλμ/ώρα.
 4. Κατηγοροποίηση μέσω του AIMSUN, σε Urban road.
- Υπεραστικό:
 1. Μήκος οδικού τμήματος, 4 χλμ.
 2. Μία λωρίδα κυκλοφορίας.
 3. Όριο ταχύτητας, 60 χλμ/ώρα.
 4. Κατηγοροποίηση μέσω του AIMSUN, σε road.

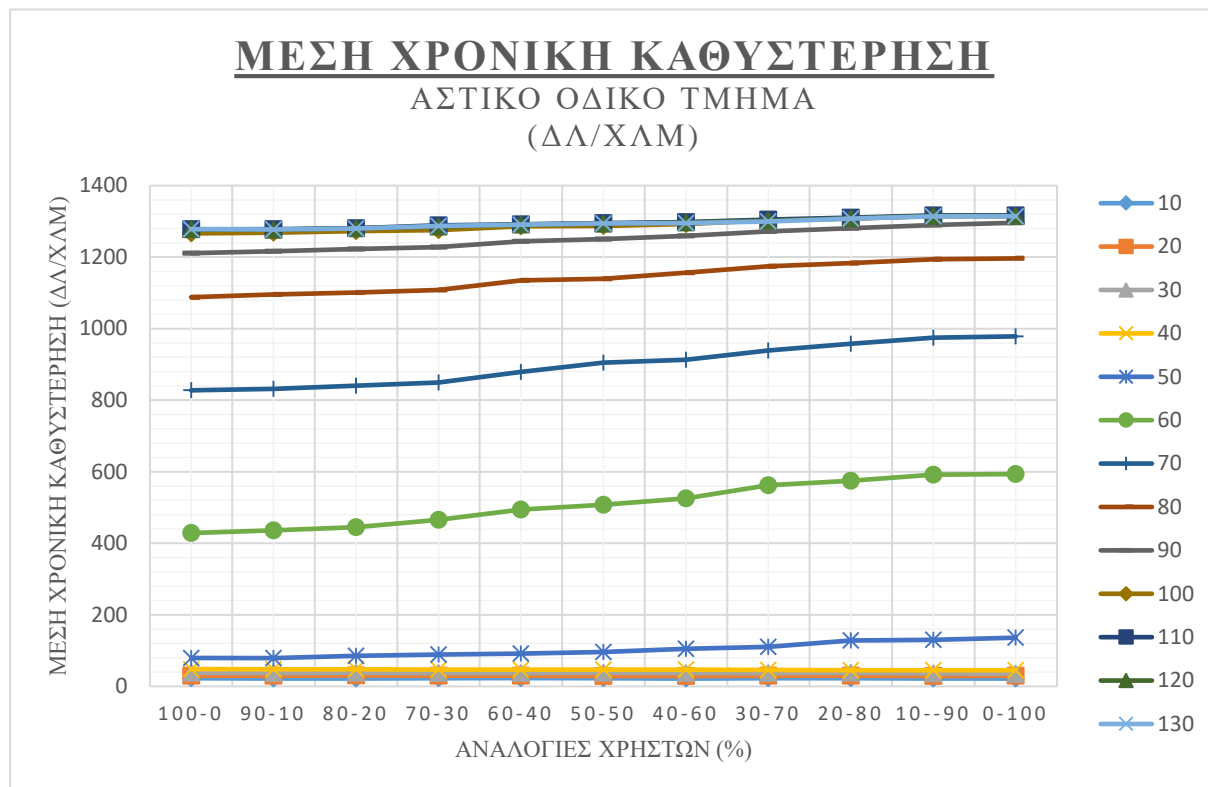
Τα σενάρια τα οποία δημιουργήθηκαν αφορούσαν τόσο τα διάφορα ποσοστά φόρτων όσο και τις αναλογίες των οδηγών που χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο. Πιο συγκεκριμένα, για τα ποσοστά φόρτων πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις σε επίπεδα χαμηλού, μεσαίου και υψηλού φόρτου. Όσον αφορά τον προσδιορισμό των επιπέδων του φόρτου, αυτός πραγματοποιήθηκε αφού πρωτίστως είχε βρεθεί η κυκλοφοριακή ικανότητα των οδικών τμημάτων. Με βάση την κυκλοφοριακή ικανότητα τα ποσοστά φόρτου που δημιουργήθηκαν είναι από 10% έως 130%, με βήμα 10%. Για τις αναλογίες χρηστών, σε κάθε ποσοστό φόρτου δημιουργήθηκαν ποσοστά των οδηγών που χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο 0% έως 100%, με βήμα 10%. Τα συνολικά σενάρια τα οποία δημιουργήθηκαν είναι 143. Για την καλύτερη εξαγωγή των αποτελεσμάτων, λόγω της στοχαστικότητας της προσομοίωσης, για κάθε σενάριο πραγματοποιήθηκαν 25 αναπαραγωγές.



Οι μεταβλητές οι οποίες διερευνήθηκαν σε επίπεδο οδικού τμήματος είναι, η μέση χρονική καθυστέρηση, η μέση πυκνότητα, τα θεμελιώδη διαγράμματα, καθώς επίσης η συνολική απόσταση των οχημάτων που διανύθηκε και ο συνολικός χρόνος μετακίνησης των οχημάτων.

Μέση χρονική καθυστέρηση στο αστικό οδικό τμήμα

Το παρακάτω **διάγραμμα 4-10**, παρουσιάζει τα αποτελέσματα της μέσης χρονικής καθυστέρησης για το αστικό οδικό τμήμα



Διάγραμμα 4-10: Μέση χρονική καθυστέρηση στο αστικό οδικό τμήμα.

Από το διάγραμμα γίνεται εμφανές ότι χρήση του κινητού τηλεφώνου έχει επιπτώσεις κυρίως στο μεσαίο φόρτο. Παρατηρείται πως όσο αυξάνεται η αναλογία χρηστών αυξάνεται και η μέση χρονική καθυστέρηση του οδικού τμήματος. Σε συνθηκές χαμηλού και υψηλού φόρτου δεν φαίνεται να εμφανίζεται κάποια σημαντική επιρροή. Στον **πίνακα 4-16**, που ακολουθεί παρουσιάζονται λεπτομερέστερα τα στοιχεία του διαγράμματος.

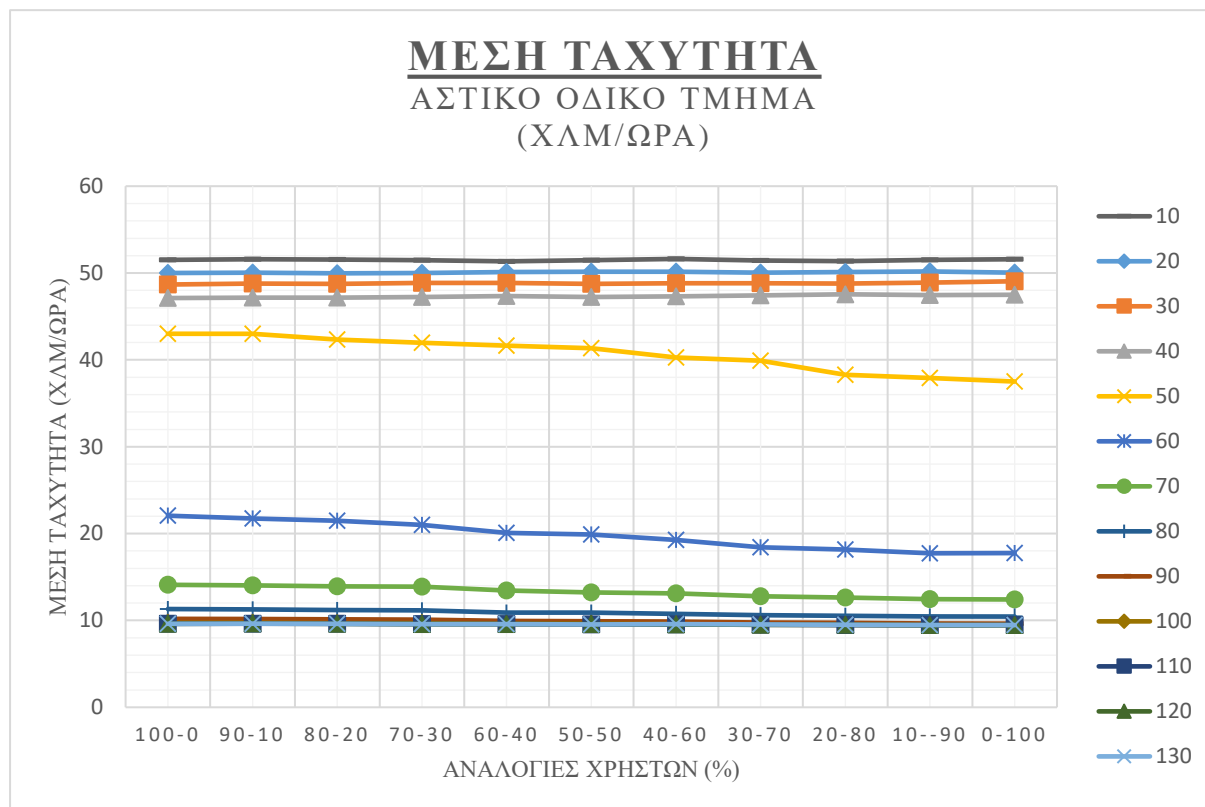
Πίνακας 4-16: Ποσοστά μεταβολής της μέσης χρονικής καθυστέρησης ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στο αστικό οδικό τμήμα.

dtime	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0/90-10	-1.03%	-0.61%	-2.13%	-0.34%	0.14%	1.68%	0.47%	0.66%	0.41%	0.18%	0.04%	-0.13%	-0.09%
90-10/80-20	-0.01%	1.12%	0.67%	-0.22%	6.60%	1.99%	1.10%	0.56%	0.52%	0.35%	0.20%	0.32%	0.21%
80-20/70-30	2.92%	-1.12%	-1.81%	-1.37%	4.28%	4.47%	0.99%	0.64%	0.47%	0.19%	0.61%	0.37%	0.56%
70-30/60-40	1.56%	-1.15%	-0.26%	-1.79%	3.34%	5.85%	3.41%	2.37%	1.26%	0.81%	0.25%	0.51%	0.25%
60-40/50-50	-2.45%	-1.92%	1.79%	1.78%	4.64%	2.60%	2.82%	0.39%	0.53%	0.09%	0.26%	0.12%	0.31%
50-50/40-60	-4.45%	0.52%	-0.86%	-0.83%	7.81%	3.44%	0.93%	1.41%	0.73%	0.42%	0.20%	0.26%	0.05%
40-60/30-70	3.64%	2.41%	0.02%	-2.19%	4.93%	6.48%	2.77%	1.53%	0.93%	0.83%	0.55%	0.43%	0.35%
30-70/20-80	1.73%	-2.12%	0.71%	-1.88%	14.06%	2.23%	1.94%	0.75%	0.75%	0.37%	0.38%	0.50%	0.60%
20-80/10-90	-3.64%	-2.13%	-3.10%	0.91%	1.58%	2.81%	1.73%	0.96%	0.68%	0.52%	0.50%	0.49%	0.51%
10-90/0-100	1.01%	3.72%	-2.64%	-0.54%	4.41%	0.31%	0.39%	0.16%	0.48%	0.02%	0.01%	-0.03%	0.02%
100-0/0-100	-0.37%	-1.10%	-7.74%	-6.61%	41.69%	27.78%	15.41%	9.06%	6.57%	3.71%	2.96%	2.81%	2.73%

Οι ποσοστιαίες μεταβολές της μέσης χρονικής καθυστέρησης κατά αναλογία χρηστών, αναφέρονται για όλα τα ποσοστά φόρτου που έχουν δημιουργηθεί. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η τελευταία γραμμή του πίνακα, όπου αναφέρεται στη σύγκριση μεταξύ των δύο ακραίων περιπτώσεων αναλογίας χρηστών. Έντονη επιρροή της χρήσης του κινητού τηλεφώνου στη μέση χρονική καθυστέρηση εμφανίζεται από ποσοστό φόρτου 50% μέχρι 90%. Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση της χρονικής καθυστέρησης, σε αυτά τα ποσοστά φόρτου, όταν όλοι οι οδηγοί χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο κυμαίνεται από περίπου 7% μέχρι και 41%. Στον υψηλό φόρτο, δηλαδή από ποσοστό πάνω από 90%, παρουσιάζεται πάλι αύξηση της μέσης χρονικής καθυστέρησης. Η αύξηση αυτή κυμαίνεται σε πιο χαμηλά επίπεδα, συγκεκριμένα από 2,7% έως και 3,7%. Στον χαμηλό φόρτο, παρατηρείται πως η μέση χρονική καθυστέρηση έχει μειωθεί (αρνητικές τιμές) όταν όλοι οι οδηγοί χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι, η ελάχιστη τιμή της μέγιστης επιθυμητής ταχύτητας των οχημάτων των αποσπασμένων οδηγών είναι υψηλότερη σε σχέση με αυτή των οχημάτων των μη αποσπασμένων οδηγών. Συνεπώς, όταν πραγματοποιούνται προσομοιώσεις με χαμηλό ποσοστό φόρτου και υψηλή αναλογία χρηστών που κάνει χρήση του κινητού τηλεφώνου, τότε αν κάποιο όχημα εισέλθει με αυτήν την ελάχιστη τιμή της μέγιστης επιθυμητής ταχύτητας θα "παρασύρει" και τα άλλα οχήματα που θα βρίσκονται από πίσω στο οδικό τμήμα. Το γεγονός αυτό παρατηρείται μόνο στα χαμηλά επίπεδα φόρτου, λόγω της μη έντονης αλληλεπίδρασης των οχημάτων. Από εκεί και έπειτα υπάρχει διαφοροποίηση λόγω της πυκνότητας των οχημάτων και της αλληλεπίδρασης μεταξύ τους.

Μέση ταχύτητα στο αστικό οδικό τμήμα

Στο **διάγραμμα 4-11**, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων της μέσης ταχύτητας στο αστικό οδικό τμήμα. Ο άξονας X αναφέρεται στις αναλογίες χρηστών, ενώ ο άξονας Y αναφέρεται στη μεταβλητή της μέσης ταχύτητας. Η κάθε γραμμή του διαγράμματος αντιπροσωπεύει και από ένα ποσοστό φόρτου.



Διάγραμμα 4-11: Μέση ταχύτητα στο αστικό οδικό τμήμα.

Από το διάγραμμα παρατηρείται πως στον χαμηλό φόρτο η δια χειρός χρήση του κινητού τηλεφώνου δεν δείχνει να έχει επιπτώσεις στη μέση ταχύτητα του οδικού τμήματος. Αντίθετα, στο μεσαίο φόρτο, οι επιπτώσεις που έχει είναι εμφανής. Πιο συγκεκριμένα παρατηρείται σημαντική μείωση της μέσης ταχύτητας. Τέλος, κάτω από συνθήκες υψηλού φόρτου παρατηρείται πως λόγω της συσσώρευσης των οχημάτων και τις σχετικές μικρές αποστάσεις που επικρατούν στο οδικό τμήμα η μέση ταχύτητα δεν έχει επηρεαστεί από τη χρήση του κινητού τηλεφώνου, αλλά παρατηρείται η αναμενόμενη μείωση λόγω του υψηλού φόρτου. Στον **πίνακα 4-17**, παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι μεταβολές της μέσης ταχύτητας σε όλες τις περιπτώσεις.

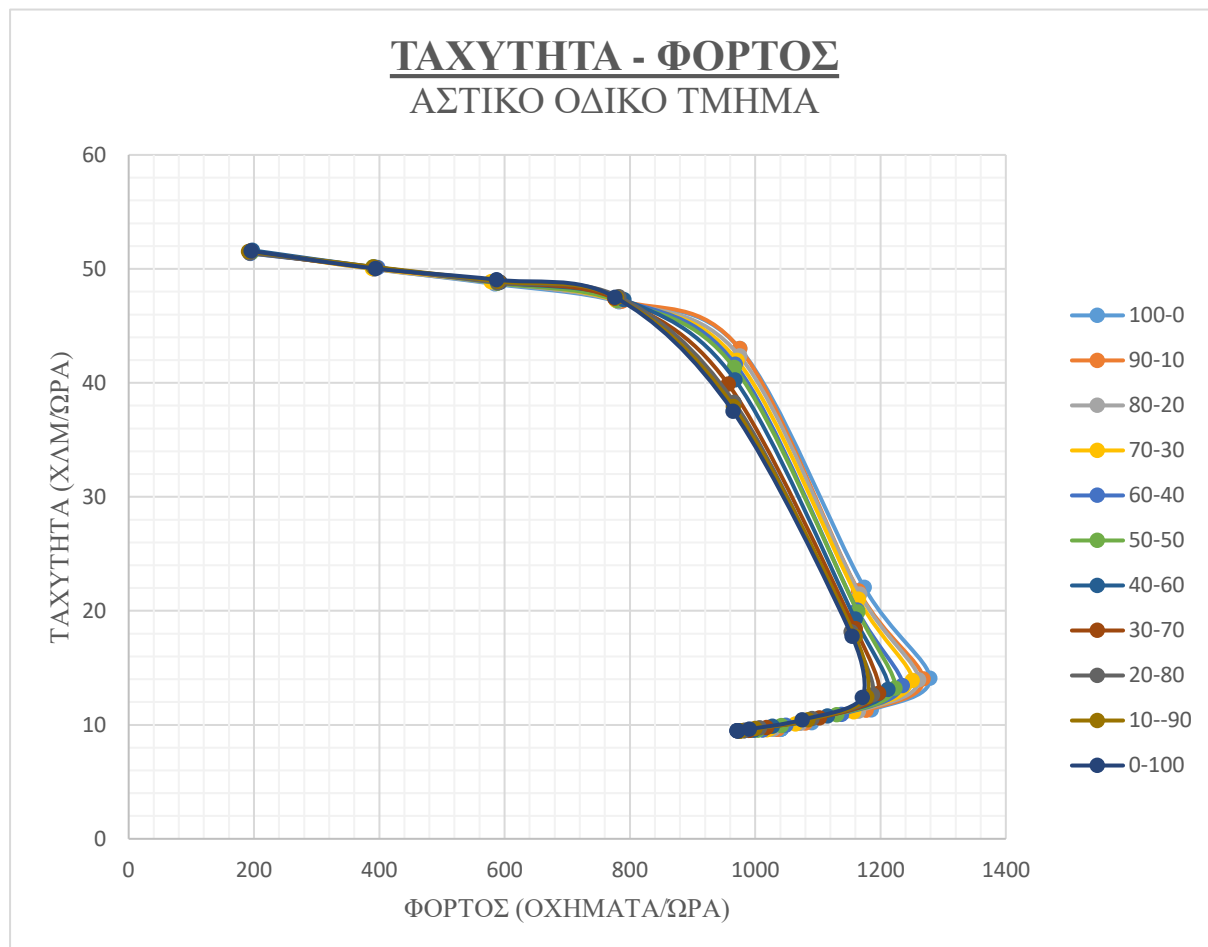
Πίνακας 4-17: Ποσοστά μεταβολής της μέσης ταχύτητας ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στο αστικό οδικό τμήμα.

speed	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0/90-10	0.15%	0.05%	0.25%	0.12%	-0.02%	-1.46%	-0.58%	-0.44%	-0.28%	-0.11%	0.08%	0.20%	0.18%
90-10/80-20	-0.08%	-0.12%	-0.09%	-0.01%	-1.53%	-1.21%	-0.56%	-0.51%	-0.36%	-0.24%	-0.12%	-0.16%	-0.09%
80-20/70-30	-0.15%	0.11%	0.24%	0.16%	-0.90%	-2.24%	-0.43%	-0.51%	-0.34%	-0.07%	-0.42%	-0.26%	-0.39%
70-30/60-40	-0.24%	0.16%	-0.03%	0.19%	-0.83%	-4.73%	-3.19%	-2.14%	-1.24%	-0.71%	-0.13%	-0.36%	-0.13%
60-40/50-50	0.25%	0.11%	-0.23%	-0.22%	-0.70%	-0.81%	-1.73%	-0.22%	-0.44%	0.09%	-0.10%	0.01%	-0.14%
50-50/40-60	0.30%	-0.04%	0.16%	0.15%	-2.66%	-3.22%	-0.93%	-1.24%	-0.56%	-0.30%	-0.12%	-0.11%	0.03%
40-60/30-70	-0.34%	-0.18%	0.04%	0.22%	-0.94%	-4.61%	-2.61%	-1.53%	-0.88%	-0.73%	-0.37%	-0.30%	-0.18%
30-70/20-80	-0.16%	0.12%	-0.14%	0.31%	-4.15%	-1.52%	-1.16%	-0.57%	-0.55%	-0.16%	-0.22%	-0.31%	-0.45%
20-80/10-90	0.27%	0.14%	0.28%	-0.19%	-0.98%	-2.40%	-1.37%	-0.85%	-0.57%	-0.40%	-0.33%	-0.34%	-0.31%
10-90/0-100	0.12%	-0.30%	0.29%	0.11%	-1.13%	0.16%	-0.31%	-0.03%	-0.37%	0.13%	0.12%	0.16%	0.12%
100-0/0-100	0.13%	0.06%	0.76%	0.83%	-14.67%	-24.21%	-13.59%	-8.30%	-5.74%	-2.54%	-1.61%	-1.47%	-1.35%

Πιο συγκεκριμένα από την τελευταία γραμμή του πίνακα παρατηρείται πως για τους χαμηλούς φόρτους, όπως και στον προηγούμενο πίνακα της μέσης χρονικής καθυστέρησης, η μέση ταχύτητα του οδικού τμήματος παρουσιάζει ένα πολύ μικρό ποσοστό αύξησης καθώς η ελάχιστη τιμή της μέγιστης επιθυμητής ταχύτητας της κατηγορίας οχήματος των οδηγών που κάνουν χρήση του κινητού τηλεφώνου είναι υψηλότερη. Όσον αφορά σε επίπεδα μεσαίου φόρτου, παρατηρείται πως η επίδραση του κινητού τηλεφώνου στην μείωση της μέσης ταχύτητας είναι πολύ μεγάλη. Όσο αυξάνεται ο φόρτος πάλι φαίνεται να επηρεάζει τη μέση ταχύτητα η χρήση του κινητού τηλεφώνου αλλά ο ρυθμός επιρροής έχει μειωθεί. Αυτό συμβαίνει διότι γενικά η μέση ταχύτητα έχει μειωθεί λόγω του αυξημένου φόρτου των οχημάτων και επομένως η χρήση του κινητού τηλεφώνου την επηρεάζει σε μικρότερο βαθμό.

Θεμελιώδες διάγραμμα Ταχύτητας – Φόρτου στο αστικό οδικό τμήμα

Παρακάτω παρουσιάζεται το θεμελιώδες διάγραμμα ταχύτητας – φόρτου. Η μορφή του διαγράμματος ακολουθεί περίπου τη μορφή του πρότυπου διαγράμματος.



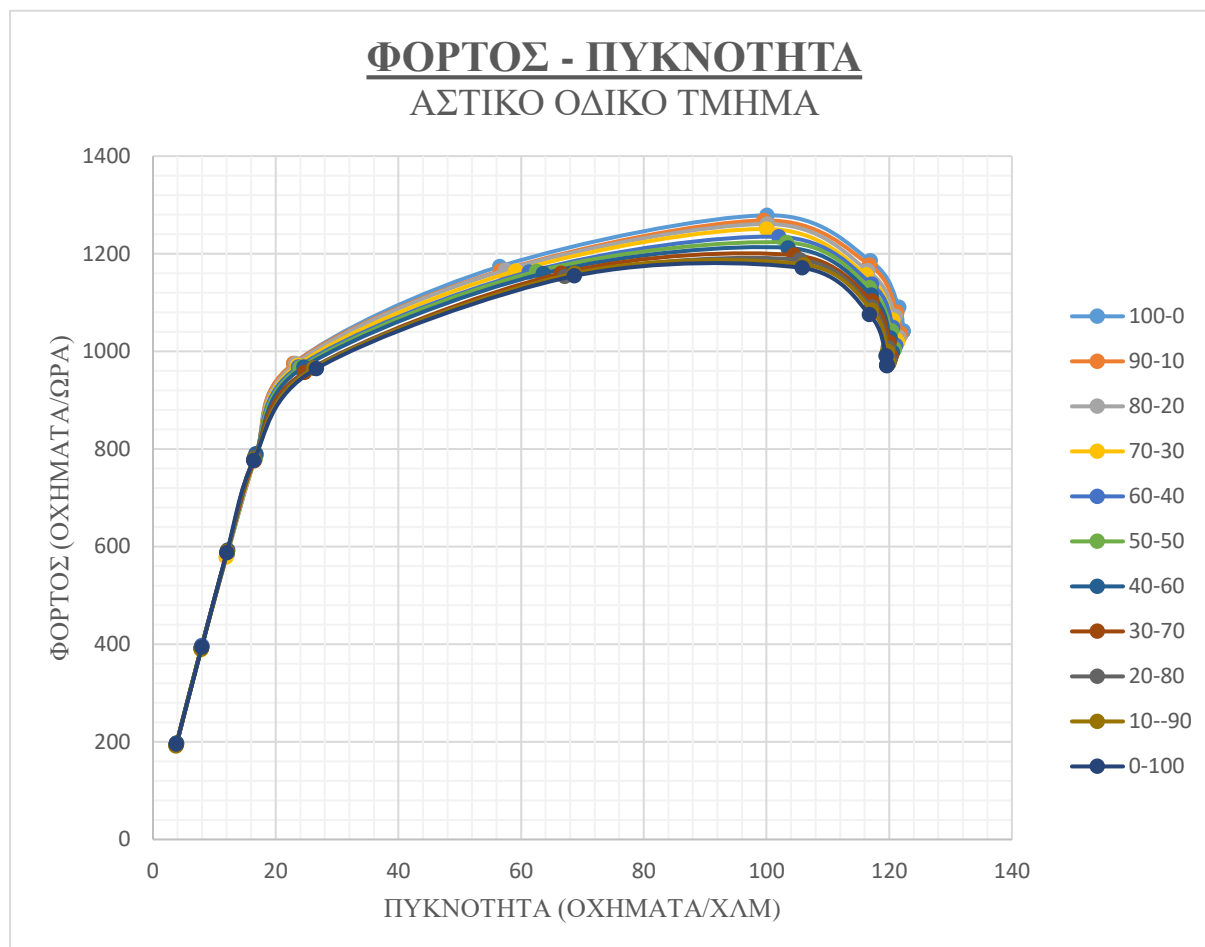
Διάγραμμα 4-12: Θεμελιώδες διάγραμμα Ταχύτητας-Φόρτου, στο αστικό οδικό τμήμα.

Παρατηρείται πως καθώς ο κυκλοφοριακός φόρτος αυξάνεται στο οδικό τμήμα, η μέση ταχύτητα αρχίζει και μειώνεται. Το μέγιστο σημείο στο οποίο φτάνει η καμπύλη είναι το οριακό σημείο το οποίο καθορίζει και την κυκλοφοριακή ικανότητα του οδικού τμήματος. Επιπλέον το σημείο αυτό καθορίζει και την εναλλαγή των συνθηκών που επικρατούν στο οδικό τμήμα. Πιο συγκεκριμένα, μέχρι και εκείνο το σημείο της καμπύλης στο οδικό τμήμα δεν επικρατούν συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης. Από την καμπύλη και μετά οι συνθήκες κυκλοφορίας δυσχαιρένουν και κάποια στιγμή επέρχεται η κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Ενδιαφέρον στο διάγραμμα αυτό αποτελεί και η επίδραση της χρήσης του κινητού τηλεφώνου. Πιο αναλυτικά, παρατηρείται ότι υπάρχει μείωση της κυκλοφοριακής ικανότητας από τη χρήση του κινητού τηλεφώνου. Παράλληλα επιρροή στα μεσαία επίπεδα φόρτου, εμφανίζεται και στην μέση ταχύτητα. Όσον αφορά στα χαμηλά και στα υψηλά επίπεδα φόρτου η χρήση του κινητού τηλεφώνου δεν φαίνεται να έχει ιδιαίτερες επιπτώσεις.

Θεμελιώδες διάγραμμα Φόρτου – Πυκνότητας στο αστικό οδικό τμήμα

Το παρακάτω διάγραμμα αναφέρεται στο θεμελιώδες διάγραμμα φόρτου – πυκνότητας.



Διάγραμμα 4-13: Θεμελιώδες διάγραμμα Φόρτου-Ταχύτητας, στο αστικό οδικό τμήμα.

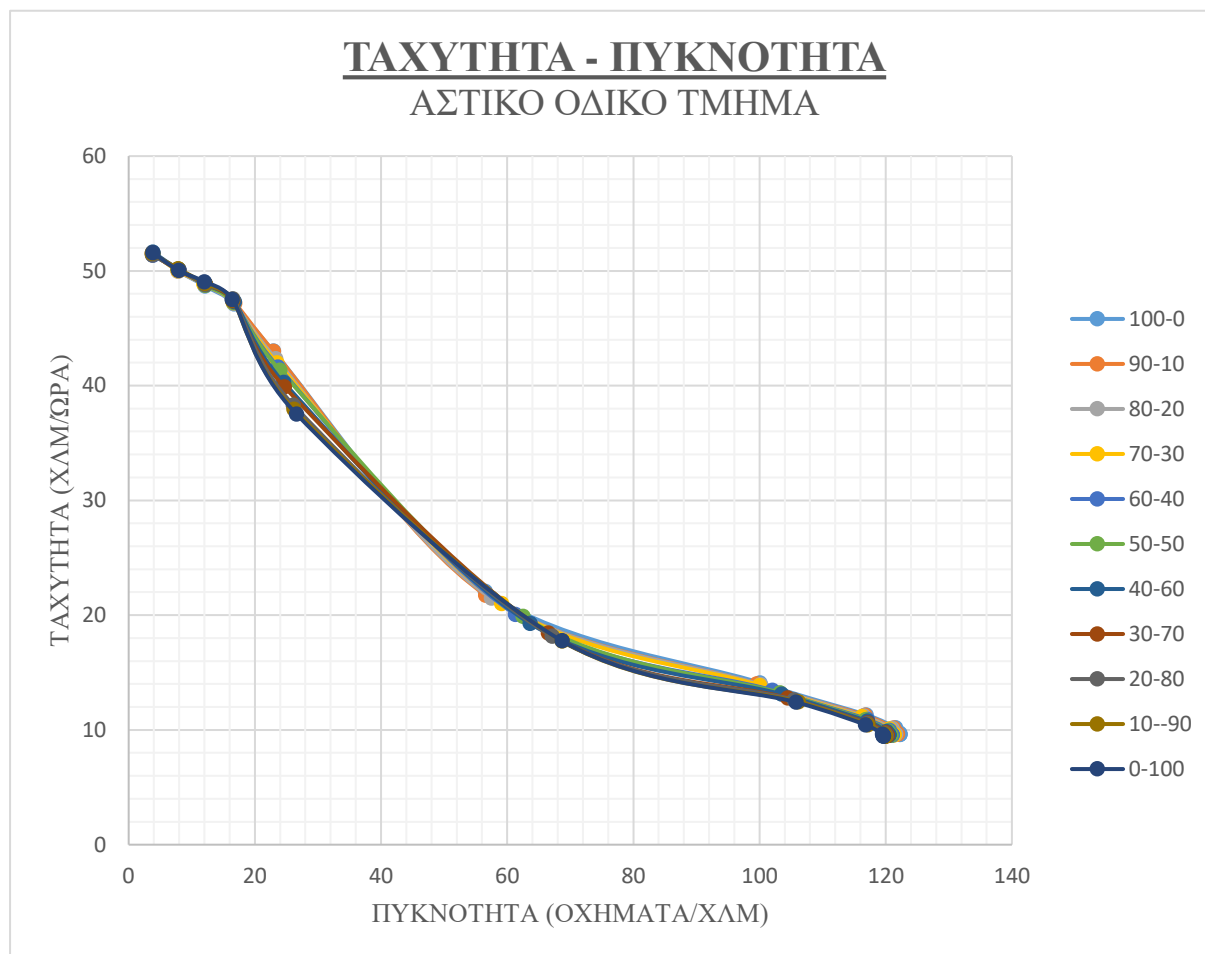
Σύμφωνα με το διάγραμμα παρατηρείται πως καθώς αυξάνεται ο φόρτος, τα οχήματα στο οδικό τμήμα συσσωρεύονται, έρχονται πιο κοντά μεταξύ τους με αποτέλεσμα η πυκνότητα να αυξάνεται. Από ένα σημείο και μετά (σημείο καμπύλης) όπου στο οδικό τμήμα επικρατούν συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης, ο αριθμός των οχημάτων που διέρχεται από το οδικό τμήμα έχει μειωθεί, παράλληλα όμως η πυκνότητα συνεχίζει να αυξάνεται.

Επιπλέον, από το θεμελιώδες διάγραμμα γίνεται εμφανές πως η επίδραση της χρήσης του κινητού τηλεφώνου αρχίζει να έχει επιπτώσεις στην κυκλοφοριακή ροή όταν η μέση πυκνότητα του οδικού τμήματος ανέρχεται περίπου στα 20 οχήματα/χλμ. Δηλαδή, μια μέση απόσταση των οχημάτων περίπου στα 50 μ.

Τέλος, γίνεται αντιληπτό ότι η χαρακτηριστική τιμή της πυκνότητας k_m αυξάνεται καθώς αυξάνεται η αναλογία χρηστών.

Θεμελιώδες διάγραμμα Ταχύτητας – Πυκνότητας στο αστικό οδικό τμήμα

Το παρακάτω διάγραμμα αποτελεί το θεμελιώδες διάγραμμα ταχύτητας – πυκνότητας.

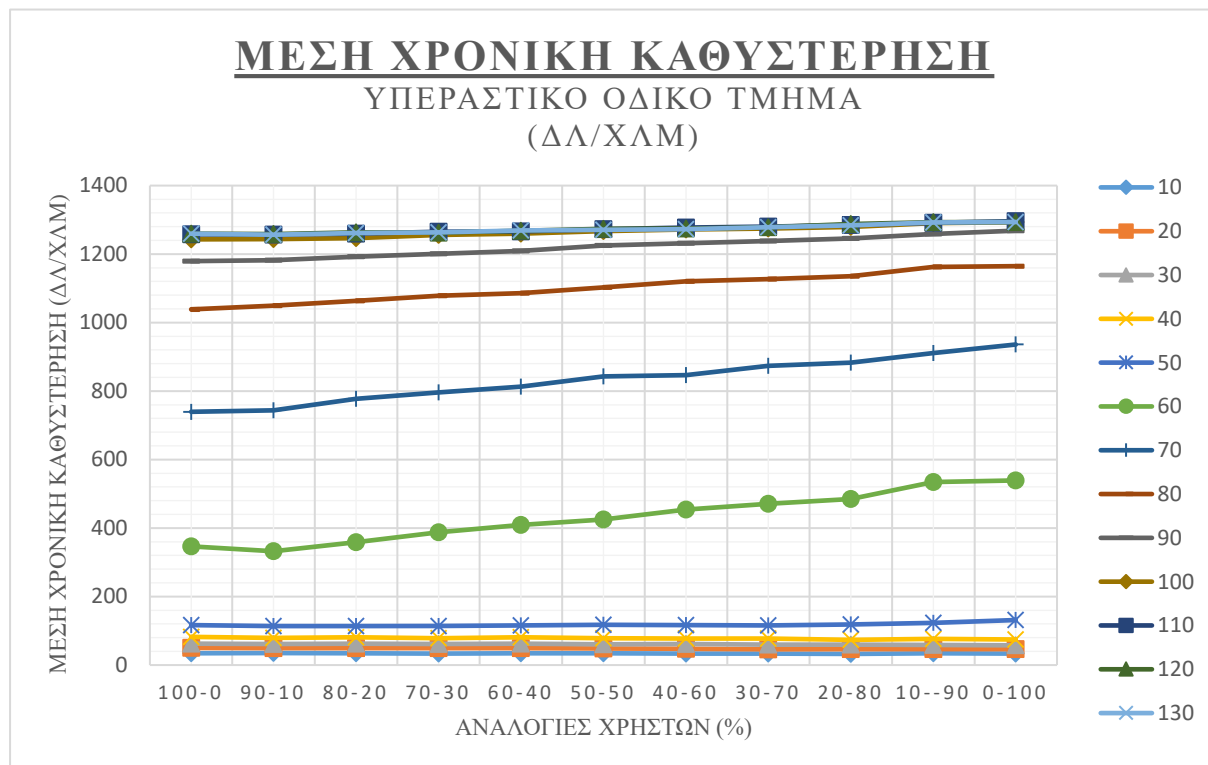


Διάγραμμα 4-14: Θεμελιώδες διάγραμμα Ταχύτητας-Πυκνότητας, στο αστικό οδικό τμήμα.

Σύμφωνα με τη μορφή που έχει το διάγραμμα παρατηρείται πως όσο αυξάνονται τα οχήματα μέσα στο οδικό τμήμα (δηλαδή αυξάνεται η πυκνότητα) τόσο μειώνεται η μέση ταχύτητα. Σύμφωνα και με τα προηγούμενα διαγράμματα, σε μεσαία επίπεδα φόρτου η επιρροή της χρήσης του κινητού τηλεφώνου ήταν πιο έντονη από τα άλλα επίπεδα φόρτου. Έτσι και εδώ παρατηρείται πως στα μεσαία επίπεδα φόρτου και συγκεκριμένα, όταν η μέση πυκνότητα ανέρχεται στα 20 οχήματα/ώρα, εμφανίζεται διαφοροποίηση στην μέση ταχύτητα του οδικού τμήματος καθώς αυξάνεται η αναλογία χρηστών.

Μέση χρονική καθυστέρηση στο υπεραστικό οδικό τμήμα

Από το παρακάτω διάγραμμα παρατηρείται η αναμενόμενη αύξηση της μέσης χρονικής καθυστέρησης καθώς αυξάνεται ο φόρτος που διέρχεται από το οδικό τμήμα.



Διάγραμμα 4-15: Μέση χρονική καθυστέρηση, στο υπεραστικό οδικό τμήμα.

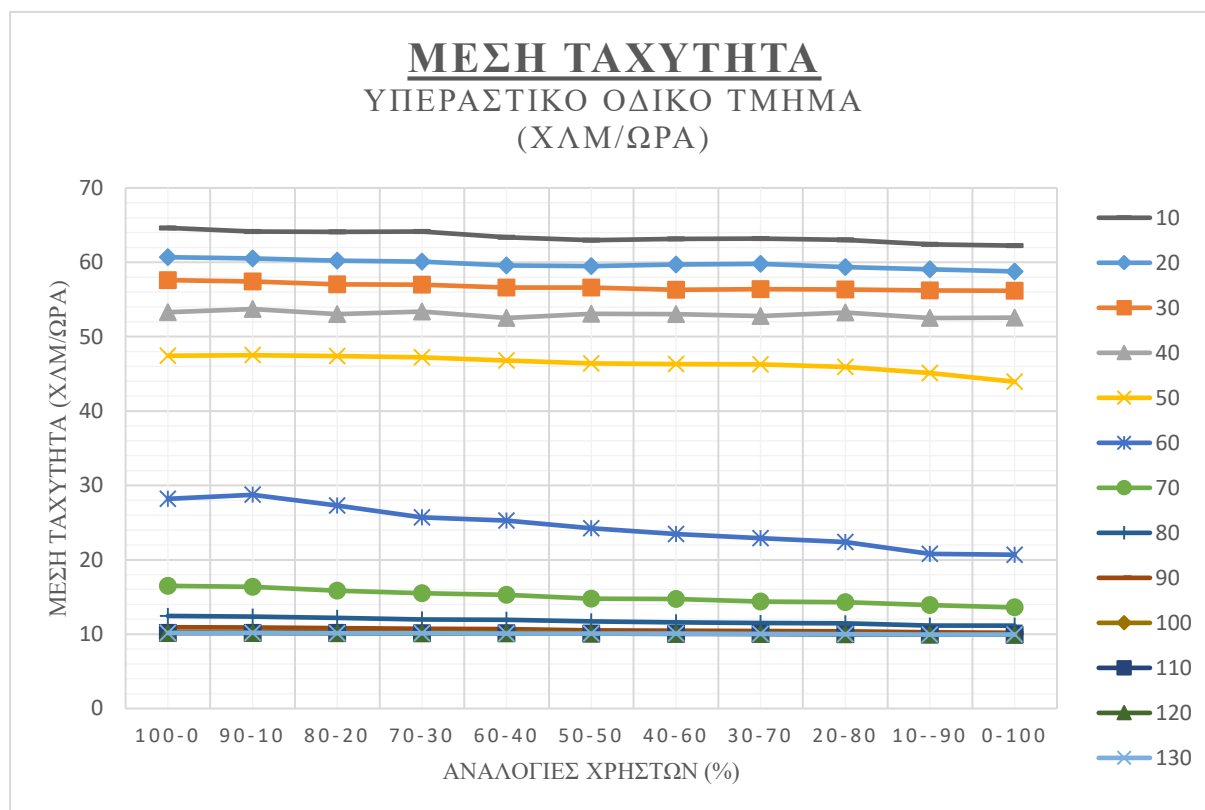
Όσον αφορά τις επιπτώσεις που έχει η χρήση του κινητού τηλεφώνου παρατηρείται πως στα χαμηλά επίπεδα φόρτου και στα υψηλά επίπεδα δεν εμφανίζονται σημαντικές επιπτώσεις στη μέση χρονική καθυστέρηση. Αντίθετα, στα μεσαία επίπεδα φόρτου φαίνεται πως όσο αυξάνεται το ποσοστό των οδηγών που χρησιμοποιεί το κινητό τηλέφωνο, αυξάνεται και η μέση χρονική καθυστέρηση στο οδικό τμήμα. Στο **πίνακα 4-18**, απεικονίζονται αναλυτικά οι ποσοστιαίες μεταβολές της μέσης χρονικής καθυστέρησης.

Πίνακας 4-18: Ποσοστά μεταβολής της μέσης χρονικής καθυστέρησης ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στο υπεραστικό οδικό τμήμα.

dtime	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0/90-10	0.60%	-1.29%	-1.03%	-4.08%	-1.70%	-4.21%	0.58%	1.07%	0.25%	0.08%	-0.09%	-0.08%	-0.26%
90-10/80-20	-2.04%	0.25%	0.85%	2.91%	-0.02%	7.37%	4.38%	1.32%	0.85%	0.23%	0.22%	0.43%	0.42%
80-20/70-30	-4.07%	-0.97%	-1.19%	-3.47%	-0.08%	7.43%	2.28%	1.34%	0.66%	0.70%	0.45%	-0.10%	0.16%
70-30/60-40	4.25%	0.95%	0.46%	3.31%	1.55%	5.22%	2.05%	0.70%	0.75%	0.31%	0.08%	0.45%	0.42%
60-40/50-50	-0.11%	-1.96%	-1.91%	-4.28%	1.74%	3.81%	3.56%	1.54%	1.29%	0.60%	0.46%	0.41%	0.14%
50-50/40-60	-2.12%	-2.40%	1.21%	-1.53%	-0.90%	6.37%	0.48%	1.59%	0.54%	0.32%	0.41%	0.09%	0.12%
40-60/30-70	-1.94%	-3.18%	-2.60%	0.19%	-0.98%	3.57%	3.08%	0.53%	0.49%	0.28%	0.23%	0.32%	0.46%
30-70/20-80	-1.78%	0.41%	-1.09%	-4.81%	1.96%	2.92%	1.08%	0.78%	0.61%	0.37%	0.32%	0.71%	0.42%
20-80/10-90	4.28%	0.77%	-1.47%	3.85%	4.20%	9.17%	3.02%	2.31%	1.04%	0.83%	0.48%	0.43%	0.68%
10-90/0-100	-2.81%	0.41%	-1.52%	-1.93%	6.19%	0.93%	2.70%	0.20%	0.76%	0.21%	0.40%	-0.02%	0.09%
100-0/0-100	-5.50%	-7.13%	-8.53%	-9.74%	11.58%	35.75%	20.99%	10.83%	7.02%	3.88%	2.95%	2.60%	2.61%

Λεπτομερέστερα απεικονίζεται η αύξηση της μέσης χρονικής καθυστέρησης στα μεσαία επίπεδα φόρτου λόγω της χρήσης του κινητού τηλεφώνου. Πιο αναλυτικά, η αύξηση για τα μεσαία επίπεδα φόρτου 50%, 60% 70% και 80% είναι 11,58%, 35,75%, 20,99% και 10,83% αντίστοιχα. Επιπλέον, στα υψηλότερα επίπεδα φόρτου παρατηρείται μείωση του ρυθμού αύξησης της μέσης χρονικής καθυστέρησης. Τέλος, παρόμοια εικόνα με το αστικό οδικό τμήμα παρουσιάζεται στα χαμηλά επίπεδα φόρτου, με τις χαμηλότερες τιμές της μέσης χρονικής καθυστέρησης να παρουσιάζονται όταν οι οδηγοί χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το γεγονός αυτό οφείλεται στην υψηλότερη τιμή της ελάχιστης μέγιστης επιθυμητής ταχύτητας της κατηγορίας των οδηγών που χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο.

Μέση ταχύτητα στο υπεραστικό οδικό τμήμα



Διάγραμμα 4-16: Μέση ταχύτητα, στο υπεραστικό οδικό τμήμα.

Γίνεται εμφανές από το **διάγραμμα 4-16**, πως καθώς τα οχήματα αυξάνονται μέσα στο οδικό υπεραστικό τμήμα αναγκάζονται να κινούνται με χαμηλότερες ταχύτητες. Τα στοιχεία υποδεικνύουν ότι η μέση ταχύτητα του οδικού τμήματος μειώνεται με αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου καθώς τα οχήματα αλληλεπιδρούν περισσότερο μεταξύ τους. Ταυτόχρονα, όταν το ποσοστό των οδηγών που χρησιμοποιεί το κινητό τηλέφωνο αυξάνεται παρατηρείται μεγαλύτερη μείωση της μέσης ταχύτητας. Με βάση το διάγραμμα, η χρήση του κινητού τηλεφώνου φαίνεται να επηρεάζει περισσότερο όταν στο δίκτυο επικρατούν μεσαία επίπεδα φόρτου. Όπως και στο αστικό οδικό τμήμα, έτσι και εδώ, στα χαμηλά και στα υψηλά επίπεδα φόρτου η χρήση του κινητού τηλεφώνου δεν δείχνει να έχει σημαντικές επιπτώσεις στη μέση ταχύτητα. Στην συνέχεια δίνεται ο **πίνακας 4-19** με τα λεπτομερέστερα στοιχεία των ποσοστιαίων μεταβολών της μέσης ταχύτητας στο υπεραστικό οδικό τμήμα σε όλα τα σενάρια.

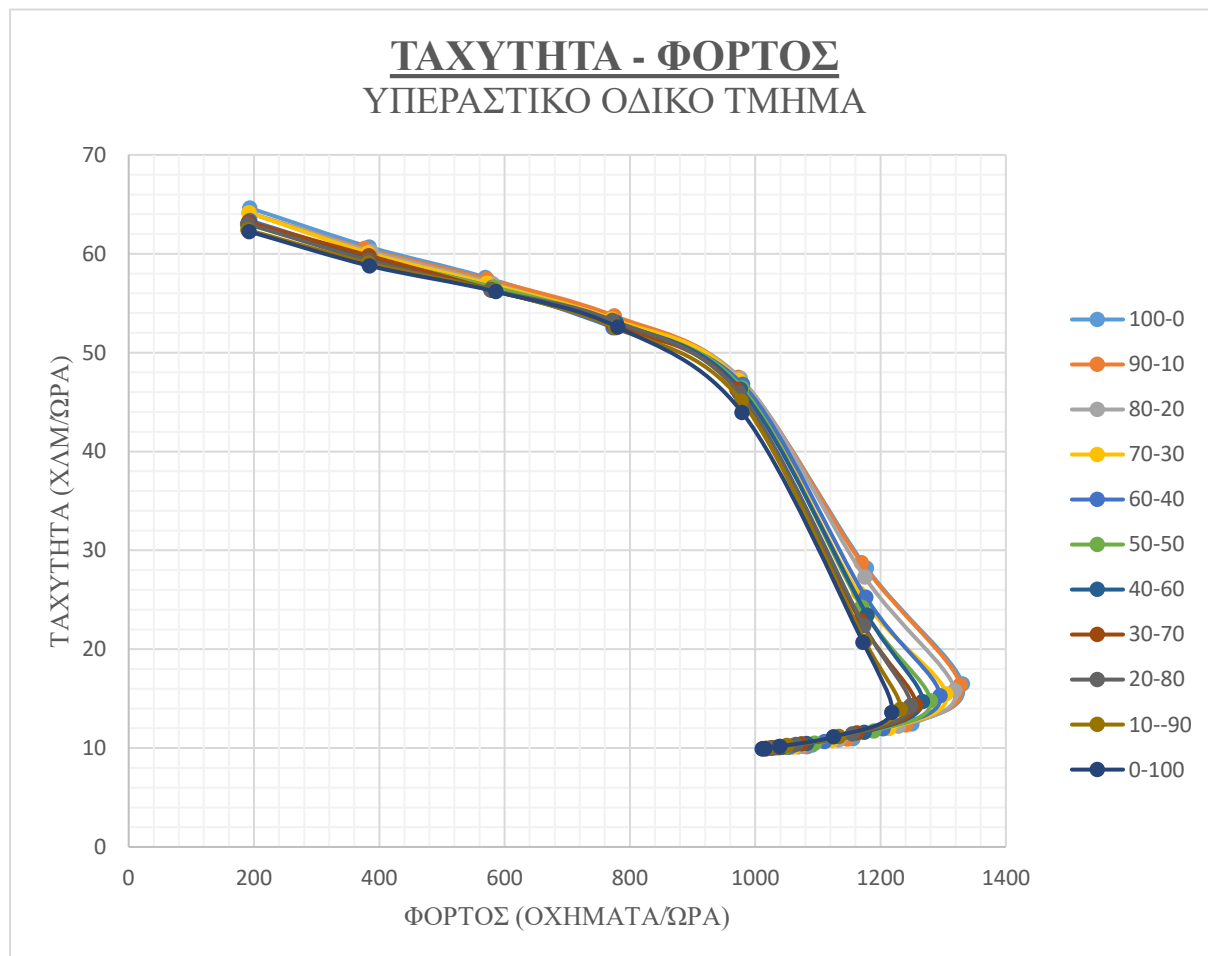
Πίνακας 4-19: Ποσοστά μεταβολής της μέσης ταχύτητας ανά αύξηση του ποσοστού αναλογίας χρηστών, στο υπεραστικό οδικό τμήμα.

	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0/90-10	-0.79%	-0.25%	-0.30%	0.76%	0.13%	1.84%	-0.74%	-0.89%	-0.20%	-0.09%	0.16%	0.08%	0.30%
90-10/80-20	-0.02%	-0.51%	-0.73%	-1.28%	-0.26%	-5.34%	-3.44%	-1.21%	-0.86%	-0.22%	-0.19%	-0.33%	-0.44%
80-20/70-30	0.07%	-0.21%	-0.02%	0.68%	-0.34%	-6.14%	-2.21%	-1.74%	-0.74%	-0.76%	-0.41%	0.12%	-0.07%
70-30/60-40	-1.23%	-0.87%	-0.76%	-1.65%	-0.95%	-1.74%	-1.25%	-0.34%	-0.74%	-0.13%	-0.08%	-0.39%	-0.36%
60-40/50-50	-0.63%	-0.13%	0.06%	1.03%	-0.77%	-4.21%	-3.65%	-1.78%	-1.50%	-0.64%	-0.37%	-0.36%	-0.08%
50-50/40-60	0.27%	0.31%	-0.57%	-0.09%	-0.23%	-3.39%	-0.30%	-1.34%	-0.33%	-0.24%	-0.30%	-0.01%	-0.02%
40-60/30-70	0.09%	0.18%	0.15%	-0.50%	-0.08%	-2.32%	-2.34%	-0.56%	-0.41%	-0.24%	-0.14%	-0.24%	-0.43%
30-70/20-80	-0.32%	-0.75%	-0.09%	0.94%	-0.76%	-2.45%	-0.70%	-0.61%	-0.58%	-0.30%	-0.32%	-0.69%	-0.35%
20-80/10-90	-0.95%	-0.52%	-0.17%	-1.44%	-1.80%	-7.55%	-2.63%	-2.41%	-1.07%	-0.76%	-0.38%	-0.31%	-0.57%
10-90/0-100	-0.27%	-0.46%	-0.11%	0.10%	-2.67%	-0.56%	-2.39%	-0.26%	-0.72%	-0.16%	-0.33%	0.09%	0.03%
100-0/0-100	-3.83%	-3.25%	-2.56%	-1.41%	-7.97%	-36.39%	-21.40%	-11.70%	-7.37%	-3.60%	-2.38%	-2.06%	-2.01%

Στην τελευταία γραμμή του πίνακα απεικονίζονται οι μεταβολές της μέσης ταχύτητας από τη σύγκριση των δύο ακραίων περιπτώσεων. Όπως παρατηρήθηκε και από το προηγούμενο διάγραμμα, στα μεσαία επίπεδα φόρτου, δηλαδή από 50% μέχρι και 80%, παρατηρούνται οι υψηλότερες μεταβολές της μέσης ταχύτητας. Πράγμα που σημαίνει πως τα χαρακτηριστικά των οδηγών που χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο εμφανίζουν μεγαλύτερη επιρροή στο οδικό τμήμα σε αυτά τα ποσοστά φόρτου. Στα χαμηλά επίπεδα που η κυκλοφοριακή ροή είναι πιο ήπια οι επιπτώσεις είναι πιο μικρές. Παρόμοιες επιπτώσεις στην μεταβολή της μέσης ταχύτητας παρατηρούνται και στα υψηλά επίπεδα φόρτου.

Θεμελιώδες διάγραμμα Ταχύτητας – Φόρτου στο υπεραστικό οδικό τμήμα

Το παρακάτω **διάγραμμα 4-17**, αναφέρεται στη θεμελιώδη σχέση μεταξύ της μεταβλητής της ταχύτητας και του φόρτου.



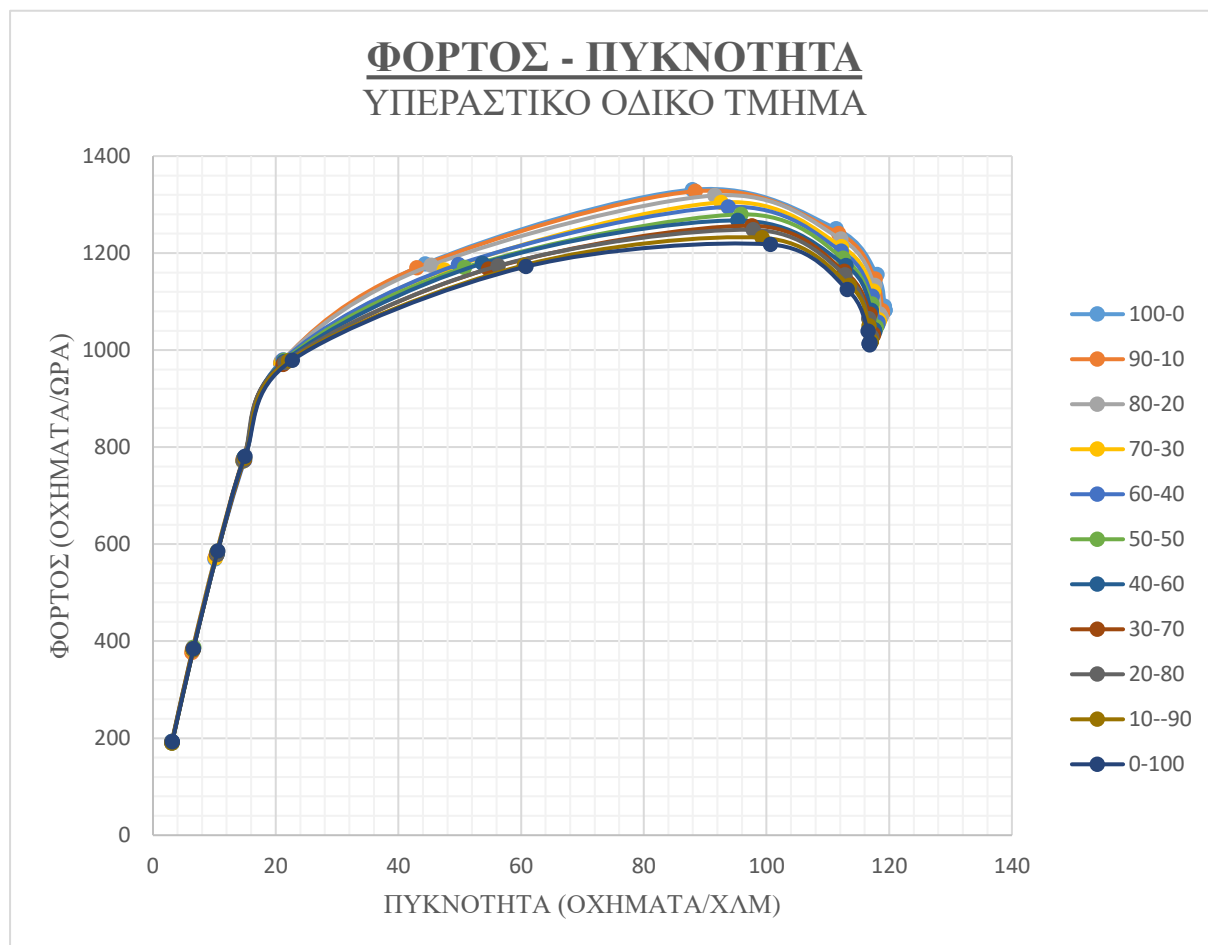
Διάγραμμα 4-17: Θεμελιώδες διάγραμμα Ταχύτητας-Φόρτου, στο υπεραστικό οδικό τμήμα.

Γίνεται εμφανές ότι καθώς αυξάνονται τα οχήματα τα οποία διέρχονται μέσα στο οδικό υπεραστικό τμήμα η μέση ταχύτητα του οδικού τμήματος μειώνεται σταδιακά. Από το σημείο της μέγιστης καμπύλης και έπειτα παρατηρείται το φαινόμενο ταυτόχρονης μείωσης του φόρτου και της μέσης ταχύτητας. Από το σημείο της καμπύλης και έπειτα στο οδικό τμήμα επικρατούν συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης.

Από τη μορφή του διαγράμματος φαίνεται πως η χρήση του κινητού τηλεφώνου έχει επιπτώσεις στην κυκλοφοριακή ικανότητα καθώς επίσης και στη μέση ταχύτητα. Οι επιπτώσεις εμφανίζονται κυρίως στα μεσαία επίπεδα φόρτου, δηλαδή από το 50% μέχρι και 80%, όπου εμφανίζεται μία διακύμανση της μέσης ταχύτητας και μείωση της κυκλοφοριακής ικανότητας καθώς αυξάνεται το ποσοστό των οδηγών που χρησιμοποιεί το κινητό τηλέφωνο. Στα χαμηλά και στα υψηλά επίπεδα φόρτου δεν παρατηρείται σημαντική επιρροή.

Θεμελιώδες διάγραμμα Φόρτου – Πυκνότητας στο υπεραστικό οδικό τμήμα

Το παρακάτω διάγραμμα 4-18, αναφέρεται στο θεμελιώδη διάγραμμα φόρτου – πυκνότητας.



Διάγραμμα 4-18: Θεμελιώδες διάγραμμα Φόρτου-Πυκνότητας, στο υπεραστικό οδικό τμήμα.

Η μορφή του διαγράμματος υποδηλώνει πως καθώς αυξάνεται η διέλευση των οχημάτων μέσα στο οδικό τμήμα η πυκνότητα αυξάνεται. Είναι λογικό, διότι το οδικό δίκτυο αρχίζει να συσσωρεύεται από οχήματα και έτσι οι ελεύθεροι χώροι που υπάρχουν μέσα στο οδικό τμήμα να λιγοστεύουν, έτσι η πυκνότητα των οχημάτων αυξάνεται.

Και σε αυτό το διάγραμμα, το σημείο στο οποίο εμφανίζεται η μέγιστη καμπύλη υποδηλώνει το σημείο της αλλαγής των συνθηκών που επικρατούν μέσα στο οδικό τμήμα. Πιο συγκεκριμένα, τη μετάβαση από τη μη συμφορημένη, στη συμφορημένη περιοχή. Το γεγονός αυτό συμβαίνει καθώς τα οχήματα σχεδόν κινούνται σημειωτών με αποτέλεσμα η διέλευση των οχημάτων να περιορίζεται.

Το ενδιαφέρον σε αυτό το διάγραμμα εντοπίζεται στις επιπτώσεις που έχει η χρήση του κινητού τηλεφώνου στην κυκλοφοριακή ροή του οδικού δικτύου. Παρατηρείται, πως οι επιπτώσεις αυτές εμφανίζονται από τα μεσαία επίπεδα φόρτου όπου αρχίζει να μειώνεται η κυκλοφοριακή ικανότητα καθώς αυξάνεται το ποσοστό των οδηγών που χρησιμοποιεί το κινητό τηλέφωνο. Στους χαμηλούς και υψηλούς φόρτους δεν εμφανίζει κάποια επιρροή.

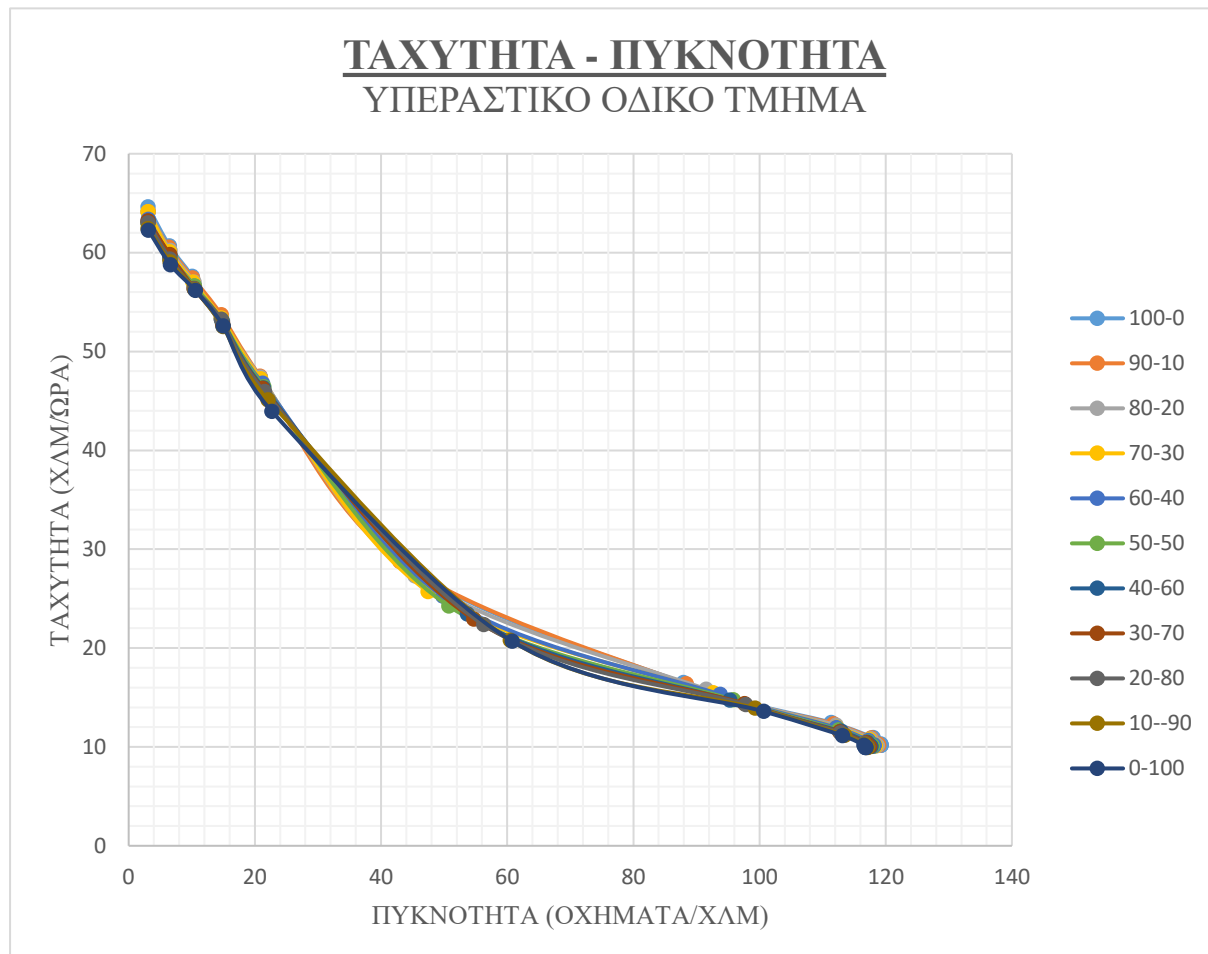
Γενικώς, οι επιπτώσεις αρχίζουν να εμφανίζονται όταν η μέση πυκνότητα στο οδικό τμήμα φτάνει περίπου στα 30 οχήματα/χλμ. Αυτό σημαίνει ότι η επίδραση των χαρακτηριστικών των οδηγών που χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο αρχίζει να αλληλεπιδρά με τα άλλα οχήματα

και να έχει επιπτώσεις στο οδικό τμήμα όταν η μέση απόσταση των οχημάτων κυμαίνεται στα 33 μ.

Τέλος, και σε αυτό το θεμελιώδες διάγραμμα όπως και στο αντίστοιχο του αστικού οδικού τμήματος η χαρακτηριστική τιμή της πυκνότητας k_m αυξάνεται καθώς αυξάνεται η αναλογία χρηστών.

Θεμελιώδες διάγραμμα Ταχύτητας – Πυκνότητας στο υπεραστικό οδικό τμήμα

Το παρακάτω θεμελιώδες διάγραμμα αναφέρεται στη σχέση μεταξύ της ταχύτητας και της πυκνότητας.



Διάγραμμα 4-19: Θεμελιώδες διάγραμμα Ταχύτητας-Πυκνότητας, στο υπεραστικό οδικό τμήμα.

Με βάση τη μορφή του διαγράμματος, διαπιστώνεται πως καθώς η πυκνότητα στο οδικό τμήμα αυξάνεται, η ελευθερία των οχημάτων μειώνεται με αποτέλεσμα τη μείωση της μέσης ταχύτητας του οδικού τμήματος.

Από το διάγραμμα αυτό δεν διαφαίνεται ιδιαίτερη επίπτωση της χρήσης του κινητού τηλεφώνου σε κάποια μεταβλητή. Μόνο μία μικρή διαφοροποίηση εμφανίζεται στα μεσαία επίπεδα φόρτου.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Σύνοψη

Στο κεφάλαιο αυτό συνοψίζονται όλα τα συμπεράσματα από τις αναλύσεις που προηγήθηκαν στο κεφάλαιο 4^ο. Τα συμπεράσματα αφορούν όλα τα επίπεδα των προσομοιώσεων που πραγματοποιήθηκαν (οδικό δίκτυο, αστική και υπεραστική περιοχή, αστικό και υπεραστικό οδικό τμήμα). Ταυτόχρονα γίνονται παρατηρήσεις και συγκρίσεις μεταξύ τους. Στο τέλος του κεφαλαίου ακολουθούν προτάσεις για περαιτέρω μελλοντική σχετική έρευνα.

5.1. Συμπεράσματα

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της επιρροής της χρήσης του κινητού τηλεφώνου στην κυκλοφορία, μέσω προγράμματος μικροσκοπικής κυκλοφοριακής προσομοίωσης. Το πρόγραμμα το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τις μικροσκοπικές προσομοιώσεις είναι το AIMSUN.

Για την πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο στο πρόγραμμα το οδικό δίκτυο της πόλης των Χανίων μαζί με τα περίχωρά της, προσομοιώνοντας ουσιαστικά δύο κατηγορίες οδικού δικτύου, το αστικό και το υπεραστικό αντίστοιχα.

Η διερεύνηση της επιρροής της χρήσης του κινητού τηλεφώνου πραγματοποιήθηκε εισάγοντας στο οδικό δίκτυο που σχεδιάστηκε δύο κατηγορίες οχημάτων, αυτές είναι:

- Μία κατηγορία οχήματος με τα χαρακτηριστικά συμπεριφοράς των οδηγών που δεν χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο.
- Μία κατηγορία οχήματος με τα χαρακτηριστικά συμπεριφοράς των οδηγών που κάνουν δια χειρός χρήση του κινητού τηλεφώνου.

Τα χαρακτηριστικά της οδικής συμπεριφοράς των δύο παραπάνω κατηγοριών που δημιουργήθηκαν, συλλέχθηκαν από τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας που πραγματοποίησε σε εξελιγμένο προσομοιωτή οδήγησης η Λινάρδου (2017). Πιο συγκεκριμένα τα χαρακτηριστικά των οδηγών και από τις δύο κατηγορίες οχημάτων που χρησιμοποιήθηκαν αφορούσαν:

- Το χρόνο αντίδρασης.
- Τη μέγιστη ταχύτητα.
- Τη μέγιστη επιτάχυνση.
- Τη μέγιστη επιβράδυνση (AIMSUN: max deceleration). Αναφέρεται στη μέγιστη επιβράδυνση σε περιπτώσεις ξαφνικού συμβάντος.
- Την κανονική επιβράδυνση (AIMSUN: normal deceleration). Αναφέρεται στη μέγιστη επιβράδυνση σε κανονικές συνθήκες οδήγησης.

Τα σενάρια τα οποία δημιουργήθηκαν αφορούσαν τόσο διαφορετικά επίπεδα φόρτου καθώς επίσης και διαφορετικές αναλογίες χρηστών των οδηγών που κάνουν χρήση του κινητού τηλεφώνου.

Οι μεταβλητές που μελετήθηκαν και αξιολογήθηκαν αφορούσαν μακροσκοπικό επίπεδο και ήταν η μέση ταχύτητα, η μέση χρονική καθυστέρηση, η κυκλοφοριακή ικανότητα, οι συνολικές αποστάσεις που διανύθηκαν καθώς και οι συνολικοί χρόνοι μετακίνησης των οχημάτων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Η ανάλυση των μεταβλητών πραγματοποιήθηκε τόσο σε επίπεδο συνολικού δικτύου, όσο και σε επίπεδο αστικής και υπεραστικής περιοχής. Επιπλέον, δημιουργήθηκαν και δύο μεμονωμένα οδικά τμήματα με τα χαρακτηριστικά του αστικού και υπεραστικού οδικού τμήματος με σκοπό τη λεπτομερέστερη ανάλυση της επιρροής της χρήσης του κινητού τηλεφώνου. Και σε αυτήν τη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν οι δύο παραπάνω κατηγορίες οχημάτων, και αξιολογήθηκαν οι προαναφερθείσες μεταβλητές. Τα βασικά συμπεράσματα της πειραματικής διαδικασίας αναφέρονται παρακάτω. Τέλος, εξετάστηκε η επιρροή της χρήσης κινητού τηλεφώνου με βάση τα θεμελιώδη διαγράμματα της κυκλοφοριακής ροής.

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία η χρήση του κινητού τηλεφώνου έχει αρνητικές επιπτώσεις στην κυκλοφορία, όπως ανέδειξαν τα μακροσκοπικά μεγέθη αξιολόγησης. Το μέγεθος των επιπτώσεων αυτών εξαρτάται τόσο από

το επίπεδο φόρτου καθώς και από την αναλογία χρηστών που κάνουν χρήση του κινητού τηλεφώνου.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις στο συνολικό οδικό δίκτυο καθώς επίσης και στις δύο υπο-περιοχές, αστική και υπεραστική, και κάτω από συνθήκες χαμηλού επιπέδου φόρτου, φαίνεται πως η επιρροή της χρήσης του κινητού τηλεφώνου δεν είναι ιδιαίτερα σημαντική, ανεξαρτήτως αναλογίας χρηστών. Σε συνθήκες χαμηλού φόρτου τα οχήματα έχουν περισσότερη ελευθερία κίνησης στο οδικό δίκτυο και οι αποστάσεις που δημιουργούνται μεταξύ τους είναι μεγαλύτερες. Κατά συνέπεια, η αλληλεπίδραση μεταξύ των οχημάτων, δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη με αποτέλεσμα τη μη σημαντική επιρροή στη μέση χρονική καθυστέρηση.

Το αντίθετο συμβαίνει κάτω από συνθήκες μεσαίου και υψηλού επιπέδου φόρτου. Παρατηρήθηκε ότι στο συνολικό οδικό δίκτυο καθώς και στην υπεραστική περιοχή εμφανίστηκαν επιπτώσεις της χρήσης του κινητού τηλεφώνου στη μέση χρονική καθυστέρηση. Συγκεκριμένα, η μέση χρονική καθυστέρηση των οχημάτων αυξήθηκε στο συνολικό οδικό δίκτυο 3% όταν η αναλογία χρηστών ήταν χαμηλή και 16% περίπου στην υψηλή αναλογία χρηστών, σε σύγκριση με το όταν κανένας δεν χρησιμοποιεί το κινητό τηλέφωνο. Επιπλέον, τονίζεται πως στους πιο υψηλούς φόρτους και συγκεκριμένα στα επίπεδα 120% και 130% παρατηρείται μία μείωση αύξησης του ποσοστού μεταβολής της μέσης χρονικής καθυστέρησης, που μπορεί να ωφείλεται στην μείωση της ελευθερίας των κινήσεων λόγω του υψηλού φόρτου. Στην περίπτωση αυτή, οι αυξήσεις ανέρχονται σε περίπου 14%. Αντίστοιχα για την υπεραστική περιοχή, η μέση χρονική καθυστέρηση αυξήθηκε 5% στις χαμηλές αναλογίες και 21% στις υψηλές αναλογίες. (βλ. αναλυτικά πίνακα 4-2 και πίνακα 4-10).

Για την αστική περιοχή, σημαντικότερες αυξήσεις στη μέση χρονική καθυστέρηση σημειώθηκαν κυρίως στα μεσαία επίπεδα φόρτου και όταν η αναλογία χρηστών ήταν υψηλή, όπου παρατηρήθηκε αύξηση κατά 17% σε σύγκριση με τα χαμηλά ποσοστά αναλογίας χρηστών. Σε αυτήν τη περίπτωση κατά την οποία τα οχήματα που διέρχονται στο οδικό δίκτυο αυξάνονται, η επίδραση του κινητού τηλεφώνου γίνεται πιο εμφανής. Τα οχήματα κινούνται με χαμηλότερους χρονικούς και χωρικούς διαχωρισμούς, με αποτέλεσμα τα χαρακτηριστικά των οδηγών που χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο να επηρεάζουν περισσότερο την κυκλοφορία των οχημάτων.

Επιπλέον, μικρή επιρροή της χρήσης του κινητού τηλεφώνου στη μέση ταχύτητα ανέδειξαν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, τόσο στο συνολικό οδικό δίκτυο όσο στην αστική περιοχή και στην υπεραστική. Η επιρροή αυτή αυξανόταν καθώς αυξανόταν το επίπεδο φόρτου και παράλληλα η αναλογία χρηστών. Πιο αναλυτικά τα αποτελέσματα έδειξαν ότι για το συνολικό οδικό δίκτυο και όταν η αναλογία χρηστών είναι υψηλή, η μείωση της ταχύτητας έφτανε το 2,5% στα χαμηλότερα επίπεδα φόρτου και 7% στα υψηλότερα, σε σύγκριση με την χαμηλή αναλογία χρηστών και στις δύο περιπτώσεις. (βλ. αναλυτικά πίνακα 4-4).

Στις περιπτώσεις της αστικής και υπεραστικής περιοχής, φάνηκε ότι για την αστική περιοχή δεν υπάρχει κάποια επιρροή της χρήσης του κινητού τηλεφώνου στις μικρές αναλογίες χρηστών και σε όλα τα επίπεδα φόρτου, αλλά όταν το 100% των οδηγών κάνει χρήση του κινητού τηλεφώνου η μείωση της μέσης ταχύτητας φτάνει το 3%. Στην υπεραστική περιοχή, σε όλα τα επίπεδα φόρτου παρατηρήθηκε μείωση της τάξης του 3% σε χαμηλές αναλογίες χρηστών και της τάξης του 5% σε υψηλές αναλογίες χρηστών.

Από τα αποτελέσματα είναι φανερό ότι καθώς ο φόρτος αυξάνεται παρατηρείται η αναμενόμενη μείωση της μέσης ταχύτητας καθώς τα οχήματα είναι περισσότερα και οι αποστάσεις που διατηρούν μεταξύ τους είναι μικρότερες. Η μείωση γίνεται ακόμη μεγαλύτερη όταν οι οδηγοί χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο. Συνεπώς, τα χαρακτηριστικά των οδηγών

που χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο αλληλεπιδρούν εντονότερα όταν τα οχήματα είναι πιο κοντά μεταξύ τους.

Επιπλέον, οι επιπτώσεις αυτές έχουν αντίκτυπο και στη συνολική απόσταση που διανύουν τα οχήματα καθώς και στο χρόνο διαδρομής των οχημάτων στο οδικό δίκτυο κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Και στις δύο αυτές μεταβλητές παρατηρήθηκε ότι η επίδραση της χρήσης του κινητού τηλεφώνου είναι μεγαλύτερη κυρίως στα υψηλότερα επίπεδα φόρτου και όταν η αναλογία χρηστών είναι υψηλή. Πιο αναλυτικά, τα στοιχεία των προσομοιώσεων έδειξαν ότι τα οχήματα διένυσαν συνολική απόσταση 7% λιγότερη στους υψηλούς φόρτους και με υψηλή αναλογία χρηστών σε σύγκριση με τη χαμηλότερη αναλογία χρηστών. Και ταυτόχρονα ο χρόνος μετακίνησης των οχημάτων αυξήθηκε κατά 6%, στα ίδια επίπεδα φόρτου και αναλογία χρηστών.

Από τη δημιουργία των τριών θεμελιώδων διαγραμμάτων, παρατηρήθηκε ότι η χρήση του κινητού τηλεφώνου επηρεάζει και την κυκλοφοριακή ικανότητα στο συνολικό οδικό δίκτυο. Οι οδηγοί που χρησιμοποιούν το κινητό τηλέφωνο έχουν μεγαλύτερο χρόνο αντίδρασης και αυτό επηρεάζει την κυκλοφοριακή ικανότητα του οδικού δικτύου/τμήματος. Συνεπώς, καθώς αυξάνεται το ποσοστό των οδηγών που χρησιμοποιεί το κινητό τηλέφωνο μειώνεται η κυκλοφοριακή ικανότητα, αλλά και η μέση ταχύτητα. Γενικότερα, οι επιπτώσεις χρήσης του κινητού τηλεφώνου στην κυκλοφορία γίνονται εμφανείς από τα μεσαία επίπεδα φόρτου και πάνω, ανεξαρτήτως της αναλογίας χρηστών. Στους χαμηλότερους φόρτους δεν παρατηρείται κάποια επιρροή.

Όσον αφορά τις μεταβλητές για τα μεμονωμένα οδικά τμήματα τα οποία σχεδιάστηκαν, τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων έδειξαν πως η μέση χρονική καθυστέρηση για το αστικό και το υπεραστικό οδικό τμήμα δεν εμφανίζει κάποια μεταβολή από τη χρήση του κινητού τηλεφώνου στα χαμηλά επίπεδα φόρτου, ανεξαρτήτως της αναλογίας χρηστών.

Αντίθετα, σημαντικές επιπτώσεις παρατηρήθηκαν καθώς ο φόρτος αυξήθηκε. Πιο αναλυτικά για το αστικό οδικό τμήμα, παρατηρήθηκε αύξηση της μέσης χρονικής καθυστέρησης 42% στις υψηλές αναλογίες χρηστών και 35% στο υπεραστικό οδικό τμήμα. Στους υψηλούς φόρτους, όπου στο οδικό τμήμα επικρατούσαν συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης παρατηρήθηκε μείωση της επιρροής της χρήσης του κινητού τηλεφώνου στην μεταβλητή της μέσης χρονικής καθυστέρησης. Συνεπώς, σε σύγκριση με πριν, τα αντίστοιχα ποσοστά αύξησης της μέσης χρονικής καθυστέρησης είναι, για την αστική περιοχή 6,5% και την υπεραστική περιοχή 7% σε σύγκριση με τις χαμηλότερες αναλογίες χρηστών. (βλ. αναλυτικά πίνακα 4-16 και 4-18).

Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και για την μεταβλητή της μέσης ταχύτητας. Πιο συγκεκριμένα δεν σημειώθηκε κάποια διαφοροποίηση της τιμής της στους χαμηλούς φόρτους ούτε στο αστικό ούτε στο υπεραστικό οδικό τμήμα. Σημαντική επιρροή όμως, παρατηρήθηκε στα μεσαία επίπεδα φόρτου. Όταν η αναλογία χρηστών είναι υψηλή η μέση ταχύτητα μειώθηκε κατά 15% στο αστικό οδικό τμήμα, ενώ στο υπεραστικό οδικό τμήμα σημειώθηκε μείωση της τάξεως του 37%. Και για τη μέση ταχύτητα, όταν στο οδικό τμήμα επικρατούν συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης δεν εμφανίζεται σημαντική επιρροή της μεταβλητής. Τα ποσοστά αυτά ανέρχονται στο 6% για το αστικό και στο 7,5% για το υπεραστικό.

Γίνεται αντιληπτό, ότι η χρήση του κινητού τηλεφώνου έχει σημαντική επιρροή κυρίως στα μεσαία επίπεδα φόρτου, ενώ στα χαμηλότερα επίπεδα φόρτου και στα υψηλότερα (συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης) δεν παρατηρείται κάποια επιρροή.

Με βάση τα αποτελέσματα των θεμελιώδων διαγραμμάτων στα μεμονωμένα οδικά τμήματα, στα μεσαία επίπεδα φόρτου, παρατηρείται σημαντική επιρροή της χρήσης του κινητού τηλεφώνου. Αναδεικνύεται ότι για το αστικό οδικό τμήμα, η επιρροή της χρήσης του κινητού

τηλεφώνου αρχίζει να επιδρά στην κυκλοφορία όταν η μέση πυκνότητα ανέρχεται περίπου στα 20 οχήματα ανά χιλιόμετρο, δηλαδή μία μέση απόσταση μεταξύ των οχημάτων στα 50μ. Ενώ για το υπεραστικό οδικό τμήμα, η επιρροή αρχίζει να εμφανίζεται από τα 30 οχήματα ανά χιλιόμετρο, δηλαδή μία μέση απόσταση των οχημάτων στο οδικό τμήμα στα 33μ. (η μέση πυκνότητα στο αστικό και στο υπεραστικό αναφέρεται σε όλες τις αναλογίες χρηστών). Επιπλέον, από τις ίδιες μέσες πυκνότητες παρατηρείται μείωση του κυκλοφοριακού ρυθμού, η οποία μείωση αυξάνεται καθώς αυξάνεται και η αναλογία χρηστών, κατά συνέπεια διαφέρει η κρίσιμη τιμή της πυκνότητας η οποία όμως δεν επηρεάζεται από την αναλογία χρηστών. Συνολικά, η χρήση του κινητού τηλεφώνου δεν επηρεάζει τη μορφή των τριών διαγραμμάτων, επηρεάζει όμως χαρακτηριστικές τιμές της κυκλοφορίας και πιο συγκεκριμένα την κυκλοφοριακή ικανότητα αλλά και την κρίσιμη τιμή της πυκνότητας.

Τέλος, με βάση το θεμελιώδες διάγραμμα φόρτου-πυκνότητας παρατηρείται ότι η χαρακτηριστική τιμή της πυκνότητας αυξάνεται καθώς αυξάνεται και η αναλογία χρηστών και στα δύο οδικά περιβάλλοντα αστικού και υπεραστικού οδικού τμήματος. Επιπλέον, από τη μεταξύ τους σύγκριση παρατηρείται ότι η χαρακτηριστική τιμή για το αστικό οδικό τμήμα είναι μεγαλύτερη από το υπεραστικό οδικό τμήμα εξαιτίας των υψηλότερων ταχυτήτων των οχημάτων στο υπεραστικό τμήμα.

5.2. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστίασε στη διερεύνηση της επιρροής της χρήσης του κινητού τηλεφώνου στην κυκλοφορία μέσω μικροσκοπικών κυκλοφοριακών προσομοιώσεων στο πρόγραμμα AIMSUN. Ενδιαφέρον θα παρουσίαζε να πραγματοποιηθεί η αντίστοιχη έρευνα με χρήση κάποιου άλλου προγράμματος κυκλοφοριακής προσομοίωσης, όπως για παράδειγμα το VISSIM, όπου το πρότυπο ακολουθίας οχημάτων που χρησιμοποιεί σε μικροσκοπικές προσομοιώσεις είναι το πρότυπο του Wiedemann (1974). Με τον τρόπο αυτό θα μπορούσε να εξεταστεί αν υπάρχουν σημαντικές διαφορές ή όχι στα αποτελέσματα.

Επιπλέον, στα πλαίσια της συγκεκριμένης έρευνας και για λεπτομερέστερη ανάλυση δημιουργήθηκαν δύο μεμονωμένα οδικά τμήματα, ένα αστικό και ένα υπεραστικό, με όριο ταχύτητας τα 40 χλμ/ώρα και τα 60 χλμ/ώρα αντίστοιχα. Λαμβάνοντας υπόψη τα πλήρη στοιχεία της πειραματικής διαδικασίας της Λινάρδου (2017) για τα χαρακτηριστικά της οδηγικής συμπεριφοράς των οδηγών (σε αστικό και υπεραστικό οδικό δίκτυο), θα μπορούσε να διερευνηθεί η επιρροή της χρήσης του κινητού τηλεφώνου στην κυκλοφορία, στο αστικό δίκτυο χρησιμοποιώντας διαφορετικές τιμές για τις παραμέτρους κίνησης των οχημάτων (ταχύτητα, χρόνος αντίδρασης, επιτάχυνση, επιβράδυνση) οι οποίες να προέρχονται από τα αποτελέσματα του πειράματος της Λινάρδου στο αστικό δίκτυο.

Μία από τις δυνατότητες που έχει το πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης AIMSUN είναι οι προσομοιώσεις σε διαφορετικές καιρικές συνθήκες και διαφορετικές ώρες της ημέρας. Χρησιμοποιώντας χαρακτηριστικά οδηγικής συμπεριφοράς από έρευνες σε εξελιγμένους προσομοιωτές οδήγησης, που αφορούν αυτές τις συγκεκριμένες συνθήκες (κάτω από συνθήκες βροχής ή και κατά τη διάρκεια της νύχτας), να εξεταστεί αν και κατά πόσο περισσότερο συμβάλλουν στην αρνητική επιρροή των μακροσκοπικών μεγεθών.

Ακόμη, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε μία μελλοντική έρευνα που θα εστίαζε στο πως η αποσπασμένη οδήγηση επηρεάζει στο χρόνο σύγκρουσης μεταξύ των οχημάτων (time to collision). Η έρευνα αυτή θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί λαμβάνοντας μέσα από το πρόγραμμα AIMSUN τις τροχιές των οχημάτων καθ'όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Γνωρίζοντας στοιχεία όπως συντεταγμένες X, Y, Z και ταχύτητα σε κάθε βήμα υπολογισμών και ορίζοντας ένα χρονικό διάστημα, δύναται να διερευνηθεί ο χρόνος σύγκρουσης των οχημάτων (time to collision).

Τέλος, έχοντας τα κατάλληλα δεδομένα σχετικά με κυκλοφοριακά στοιχεία που αφορούν συγκεκριμένες διαδρομές οχημάτων, δηλαδή τους πίνακες Προέλευσης-Προορισμού, καθώς επίσης και στοιχεία που αφορούν στο ποσοστό των αποσπασμένων οδηγών σε πραγματικές συνθήκες (από διάφορες αιτίες), θα μπορούσε να εκτιμηθεί ποιές είναι οι επιπτώσεις στο χρόνο μετακίνησης των οχημάτων.

Στο μέλλον και μέσα από μεγάλο αριθμό ερευνών που θα έχουν πραγματοποιηθεί για τη διερεύνηση της επιρροής της χρήσης του κινητού τηλεφώνου στην κυκλοφορία με χρήση μακροσκοπικών μεγεθών, θα μπορούσε να προσδιοριστεί μία παραμέτρος επιρροής από την αποσπασμένη οδήγηση (λαμβάνοντας υπόψη διάφορες πηγές απόσπασης), με σκοπό τη δημιουργία ενός νέου συντελεστή που θα χρησιμοποιείται στο HCM (Highway Capacity Manual), για τον υπολογισμό διαφόρων στοιχείων, όπως για παράδειγμα η ροή κορεσμού, κ.α.

6. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

6.1. Διεθνής βιβλιογραφία

Alm, H., and Nilsson, L. 1993. Changes in driver behavior as a function of handsfree mobile phone - A simulator study. *Accident Analysis and Prevention*, 4, 441 - 451.

Alm, H., and Nilsson, L. 1995. The effects of a mobile telephone task on driver behavior in a car following situation. *Accident Analysis and Prevention*, 27, 707 - 715.

Al - Darrab, I.A., Khan, Z.A., and Ishrat, S.I. 2009. An experimental study on the effect of mobile conversation on drivers' reaction time in braking response. *Journal of Safety Research*, 40, 185 - 189.

Aimsun 8 Dynamic Simulators Users' Manual. 2015. TSS - Transport Simulation Systems.

Aimsun 8 Users' Manual. 2015. TSS - Transport Simulation Systems.

Benedetto, A., Calvi, A., and D'Amico, F. 2012. Effects of mobile telephone tasks on driving performance: A driving simulator study. *Advances in Transportation Studies an International Journal Section A* 26, 29 - 44.

Bellinger, D.B., Budde, B.M., Machida, M., Richardson, G.B., and Berg, W.P. 2009. The effect of cellular telephone conversation and music listening on response time in braking. *Transportation Research F*, 12, 441 - 451.

Brookhuis, K.A., Vries, G., and Waard, D. 1990. The effects of mobile telephoning on driving performance. *Accident Analysis and Prevention*, 23, 309 - 316.

Boets, S., Ross, V., Belle, G.V., Vanroelen, G., and Joengen, E. 2015. Effects of texting on driving behavior of young drivers in urban traffic. Results of a simulator - based study. *Proceedings of the Road Safety & Simulation International Conference*, 444-452.

Barceló J., Casas J. (2005) Dynamic Network Simulation with AIMSUN. In: Kitamura R., Kuwahara M. (eds) *Simulation Approaches in Transportation Analysis*. Operations Research/Computer Science Interfaces Series, vol 31. Springer, Boston, MA

Briem, V., and Hedman, L.R. 1995. Behavioural effects of mobile telephone use during simulated driving. *Ergonomics*, 38:12, 2536 - 2562.

Choudhary, P., and Velaga, N.R. 2016. Modelling driver distraction effects due to mobile phone use on reaction time. *Transportation Research Part C*, 77, 351 - 365.

Consiglio, W., Driscoll, P., Witte, M., and Berg, W.P. 2002. Effects of cellular telephone conversations and other potential interference on reaction time in a braking response. *Accident Analysis and Prevention*, 35, 495 - 500.

Caird, J.K., Scialfa, C.T., Ho, G., and Smiley, A. 2004. Effects of cellular telephones on driving behavior and crash risk: Results of meta - analysis. CAA Foundation for Traffic Safety.

Choudhary, P., and Velaga, N.R. 2016. Mobile phone use during driving: Effects on speed and effectiveness of driver compensatory behavior. *Accident Analysis and Prevention*, 106, 370 - 378.

Dragutinovic, N., and Twisk, D. 2005. Use of mobile phone while driving - Effects on road safety. SWOV Institute for Road Safety Research the Netherlands.

- Dozza, M., Flannagan, C.A.C., and Sayer, J.R. 2015. Real - world effects of using a phone while driving on lateral and longitudinal control of vehicles. *Journal of Safety Research*, 55, 81 - 87.
- Draws, F.A., Pasupathi, M., and Strayer, D.L. 2008. Passenger and cell phone conversations in simulated driving. *Journal of Experimental Psychology*, 4, 392 - 400.
- Elefteriadou, L. 2014. An introduction to traffic flow theory. Springer Optimization and its applications, 84.
- Gipps, P.G. 1981. A behavioural car - following model for computer simulation. *Transportation Research B*, 15B, 105 - 111.
- Gipps, P.G. 1986. A model for the structure of lane - changing decisions. *Transportation Research B*, 5, 403 - 414.
- Haigney D.E., Taylor, R.G., and Westerman, S.J. 2000. Concurrent mobile (cellular) phone use and driving performance: task demand characteristics and compensatory processes. *Transportation Research F*, 3, 113 - 121.
- Haque, M.M., and Washington, S. 2014. The impact of mobile phone distraction on the braking behavior of young drivers: A hazard - based duration model. *Transportation Research Part C*, 50, 13 - 27.
- Hancock, P.A., Lesch, M., and Simmons, L. 2002. The distraction effects of phone use during a crucial driving maneuver. *Accident Analysis and Prevention*, 35, 501 - 514.
- Knapper, A.S., Hagenzieker, M.P., and Brookhuis, K.A. 2014. Do in - car affect experienced users' driving performance? *IATSS Research*, 39, 72 - 78.
- Kitamura, R., and Kuwahara, M. 2005. Simulation approaches in transportation analysis: Recent advances and challenges. Springer.
- Lamble, D., Kauranen, T., Laakso, M., and Summala, H. 1999. Cognitive load and detection thresholds in car following situations: safety implications for using mobile (cellular) telephones while driving. *Accident Analysis and Prevention*, 31, 617 - 623.
- Liu, R., and Tate, J. 2003. Network effects of intelligent speed adaptations systems. *Transportation*, 31 (3). pp. 297 - 325.
- Liu, R. 1994. DRACULA Microscopic Traffic Simulation. Institute of Transport Studies, University of Leeds. Working Paper 431.
- Liu, R., Vilet, D.V., and Watling, D.P. 1995. DRACULA: Dynamic Route Assignment Combinig User Learning and Microsimulation. *PTRC*, E, 143 - 152.
- Miska, M.P. 2007. Microscopic online simulation for real time traffic management.
- Mobile phone use: A growing problem of driver distraction. Geneva, Switzerland, World Health Organization. 2011.
- McKnight A.J., and McKnight A.S. 1991. The effect of cellular phone use upon driver attention. *Accident Analysis and Prevention*, 25, 259 - 265.
- Nagel, K., & Schreckenberg, M. (1992). A cellular automata model for freeway traffic. *Journal de Physique I*, 2, 2221 - 2229.
- Nilsson, L. 1993. Behavioural Research in an Advanced Driving Simulator - Experiences of the VTI System. *Human Factors and Ergonomics Society*, 37, 612 - 616.

- Papadakaki, M., Tzamalouka, G., Gnardelis, C., Lajunen, T.J., and Chliaoutakis, J. 2016. Driving performance while using a mobile: A simulation study of Greek professional drivers. *Transportation Research Part F*, 38, 164 - 170.
- Patten, C.J.D., Kircher, A., Ostlund, J., and Nilsson, L. 2003. Using mobile telephone: cognitive workload and attention resource allocation. *Accident Analysis and Prevention*, 36, 341 - 350.
- Parkes, A., and Hooijmeijer, V. 2001. The influence of the use of mobile phone on driver situation awareness. National Highway Traffic Safety Administration.
- Patten, C.J.D., Kircher, A., Ostlund, J., Nilsson, L., and Svenson, O. 2005. Driver experience and cognitive workload in different traffic environments. *Accident Analysis and Prevention*, 38, 887 - 894.
- Papantoniou, P., Yannis, G., Antoniou, C., Papadimitriou, E., Pavlou, D., and Golias, J. 2016. Investigating the effects of area type and traffic conditions on distracted driving performance. *Transportation Research Procedia*, 14, 3839 - 3848.
- Rakauskas, M.E., Gugerty, L.J., and Ward, N.J. 2004. Effects of naturalistic cell phone conversations on driving performance. *Journal of Safety Research*, 35, 453 - 464.
- RoSPA. 2002. The risk of using a mobile phone while driving. Birmingham: The Royal Society for the Prevention of Accidents.
- RSA. 2010. Use of mobile phones while driving - Effects on road safety. Road Safety Authority.
- Ratrou, N.T., and Rahman, S.M. 2008. A comparative analysis of currently used microscopic and macroscopic traffic simulation software. *The Arabian Journal for Science and Engineering*, 34, 1B.
- Saifuzzaman, M., Haque, M.M., Zheng, Z., and Washington, S. 2015. Impact of mobile phone use on car-following behaviour of young drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 82, 10 - 19.
- Stavrinos, D., Jones, J.L., Garner, A.A., Griffin, R., Franklin, C.A., Ball, D., Welburn, S.C., Ball, K.K., Sisiopiku, V.P., and Fine, P.R. 2013. Impact of distracted driving on safety and traffic flow. *Accident Analysis and Prevention*, 61, 63 - 70.
- Sullman, M.J.M., and Baas, P.H. 2003. Mobile phone use amongst New Zealand drivers. *Transportation Research F*, 7, 95 - 105.
- Saidallah, M., El Fergougui, A., and Elalaoui A.E. 2016. A comparative study of urban road traffic simulator. *MATEC Wed of Conferences* 81.
- Smith, L., Beckman, R., Anson, D., Nagel, K., and Williams, M. 1995. TRANSIMS: Transportation Analysis and SIMulation System. Technical Report. Los Alamos National Lab., NM (United States).
- Seneviratne, P. 2001. Access Traffic Simulation Model (ACTSIM). *ITS - IDEA*, 78.
- Serafin, C., Wen, C., Paelke, G., and Green, P. 1993. Development and Human Factors Tests of Car Phones. The University of Michigan Transportation Research Institute.
- Tornos, J.E.B., and Bolling, A.K. 2005. Mobile phone use - Effects of handheld and handsfree phones on driving performance. *Accident Analysis and Prevention*, 37, 902 - 909.
- Woo, T.H., and Lin, J. 2001. Influence of mobile phone use while driving. *IATSS Research*, 2, 15 - 19.

- William J.H., and Christopher, D.W. 2004. The impact of cell phone conversations on driving: A Meta - Analytic Approach. Aviation Human Factors Division (AHFD).
Washington, D.C. 2014. Traffic and transportation simulation. Transportation Research Board, E - C195.
- Yannis, G., Laiou, A., Papantoniou, P., and Christoforou, C. 2013. Impact of texting on young drivers' and safety on urban and rural roads through a simulation experiment. Journal of Safety Research, 49, 25 - 31.
- Yannis, G., Laiou, A., Papadimitriou, P., Gkartzonikas, C. 2015. Simulation of texting impact on young drivers' behavior and safety on motorways. Transportation Research F, 41, 10 - 18.
- Xiao, Y., and Shi, Jing. 2015. Analyzing the influence of mobile phone use of drivers on traffic flow based on an improved cellular automaton model. Discrete Dynamic in Nature and Society, 573090, p. 9.

6.2. Ελληνική βιβλιογραφία

- Αλδαγγέλου Γ. 2014. Μελέτη κυκλοφορίας σε κύρια αστική οδό με τη χρήση λογισμικού προσομοίωσης, Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Ανδρικοπούλου Ε.Ζ. 2017. Διερεύνηση της επιρροής της χρήσης κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της νύχτας, μέσω πειράματος σε προρομοιωτή οδήγησης, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Ανυφάντης Σ. 2007. Προσομοίωση της κυκλοφορίας του αστικού δικτύου των Χανίων με χρήση του μικροσκοπικού προσομοιωτή AIMSUN και εφαρμογή της στρατηγικής ελέγχου φωτεινής σηματοδότησης TUC, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείου Κρήτης.
- Αντωνίου Κ., Σπυροπούλου Ι., Αρχές Κυκλοφοριακής Τεχνικής και Προσομοίωσης, Εκδόσεις Κάλλιπος, Αθήνα 2015.
- Γιαννάκος Λ. 2015. Σχεδιασμός μέτρων ήπιας κυκλοφορίας και πεζοδρομήσεων στη Θεσσαλονίκη με τη χρήση μοντέλου προσομοίωσης της κυκλοφορίας, Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Γιαννής Γ. 2011. Απόσπαση προσοχής στην οδήγηση. Ινστιτούτο οδικής ασφάλειας: 13^η Ευρωπαϊκή διάλεξη για την ασφάλεια στις μεταφορές.
- Ελληνική Αστυνομία, Διεύθυνση Τροχαίας Αστυνόμευσης, Στατιστικά στοιχεία τροχαίας.
- Λινάρδου Μ. 2017. Διερεύνηση της χρήσης κινητού τηλεφώνου στην οδική συμπεριφορά, μέσω πειράματος σε προσομοιωτή οδήγησης, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Μακρυπούλιας Γ. 2017. Διερεύνηση λειτουργίας κόμβων προτεραιότητας με χρήση μικροσκοπικής προσομοίωσης, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Μαρινάκης Γ. Διάλεξη: Μητροπολιτικό δίκτυο οπτικών ινών. Δήμος Χανίων.
- Μπελιμπασάκης Μ. 2014. Μελέτη της κυκλοφορίας στο κέντρο της Θεσσαλονίκης με τη χρήση λογισμικού προσομοίωσης, Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Παπαθανασίου Ε., και Ποστάντζη, Ε. 2011. Η επιρροή της χρήσης κινητού τηλεφώνου και της μουσικής στη συμπεριφορά και στην ασφάλεια του οδηγού – Με χρήση προσομοιωτή οδήγησης. Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Φραντζεσκάκης Ι.Μ., Γκόλιας Ι.Κ., και Πιτσιάβα - Λατινοπούλου Μ.Χ., Κυκλοφοριακή Τεχνική, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2009.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΤΙΜΩΝ ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

Πίνακας 0-1: Τιμές μέσης χρονικής καθυστέρησης στο συνολικό οδικό δίκτυο, σε δλ/χλμ.

dtime	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0	43.38	45.11	47.06	49.77	53.63	62.20	79.70	104.79	134.04
90-10	43.88	45.25	47.19	49.69	53.92	63.36	80.70	108.09	138.03
80-20	43.53	45.50	47.39	49.91	54.43	63.99	81.18	107.42	140.43
70-30	43.62	45.28	47.40	50.04	54.71	63.88	83.23	109.66	140.68
60-40	43.93	45.56	47.63	50.00	54.67	65.61	83.97	109.28	141.24
50-50	43.73	45.53	47.78	50.53	55.27	65.95	84.70	112.52	142.20
40-60	43.75	45.49	47.65	50.59	55.95	67.51	87.14	115.09	144.52
30-70	43.95	45.75	47.93	50.77	56.22	67.14	88.00	115.38	148.29
20-80	43.84	45.87	47.88	51.02	56.60	68.88	90.71	120.04	150.01
10--90	43.86	45.74	48.13	51.23	56.84	69.41	90.93	120.58	152.74
0-100	43.96	45.78	48.20	51.59	58.15	71.26	94.30	123.12	156.84

Πίνακας 0-2: Τιμές μέσης ταχύτητας στο συνολικό οδικό δίκτυο, σε χλμ/ώρα.

speed	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0	41.46	40.76	40.00	39.04	37.87	36.01	33.36	30.48	27.66
90-10	41.23	40.61	39.87	38.98	37.73	35.77	33.18	30.18	27.58
80-20	41.22	40.44	39.74	38.84	37.56	35.64	33.06	30.20	27.11
70-30	41.17	40.44	39.67	38.79	37.45	35.57	32.81	29.91	26.92
60-40	40.99	40.31	39.54	38.72	37.38	35.29	32.67	29.93	27.27
50-50	40.96	40.22	39.41	38.52	37.19	35.16	32.56	29.45	26.86
40-60	40.89	40.20	39.39	38.44	37.03	35.04	32.39	29.30	26.93
30-70	40.74	40.06	39.26	38.34	36.91	34.88	32.18	29.09	26.59
20-80	40.71	39.95	39.20	38.21	36.81	34.63	31.80	28.86	26.08
10--90	40.64	39.91	39.09	38.13	36.69	34.46	31.73	28.70	25.95
0-100	40.50	39.80	39.01	37.95	36.43	34.19	31.46	28.78	25.88

Πίνακας 0-3: Συνολική απόσταση των οχημάτων που διανύθηκε στο συνολικό οδικό δίκτυο, σε χλμ.

travel	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0	21857	26309.93	30650.29	35020.67	39372.03	43143.64	45704.39	45283.3	43927.3
90-10	21832.78	26188.93	30654.86	34953.36	39424.44	43031.77	45411.68	45638.58	43058.18
80-20	21889.39	26354.06	30577	35057.76	39306.29	42966.06	45495.88	44213.98	43499.74
70-30	21815.45	26238.82	30606.66	34897.01	39285.94	42959.38	45430.01	45010.79	43788.5
60-40	21799.8	26252.76	30636.1	34895.39	39319.72	42993.19	45341.42	44052.69	42487.4
50-50	21918.3	26256.35	30762.05	35086.15	39386.68	42906.45	44430.69	44624.81	42198.7
40-60	21935.43	26313.45	30599.12	35019.23	39209.97	42111.99	44395.79	44669.88	40220.91
30-70	21783.36	26220.09	30531.4	34969.94	39248.58	42557.15	44168.07	44285.25	40695.97
20-80	21867.55	26275.4	30596.54	34955.88	39242.5	42668.7	44619.27	43513.74	42494.75
10--90	21835.67	26208.99	30566.14	34905.03	39162.76	42706.54	44156.66	43732.47	41671.53
0-100	21997.62	26251.76	30617.29	34923.5	39222.09	42460.51	43970.1	42271.22	40860.67

Πίνακας 0-4: Συνολικός χρόνος μετακίνησης των οχημάτων στο συνολικό οδικό δίκτυο, σε ώρες.

traveltime	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0	523.36	640.41	760.53	890.83	1039.64	1226.86	1478.85	1724.87	1979.85
90-10	524.80	638.98	763.15	890.92	1044.50	1233.85	1480.98	1766.69	1961.62
80-20	526.22	645.94	762.60	896.54	1047.76	1238.80	1493.55	1719.32	2030.54
70-30	525.15	642.38	764.89	893.04	1049.68	1239.13	1507.36	1773.25	2045.48
60-40	526.80	645.15	767.22	894.95	1052.06	1259.18	1514.53	1727.91	1962.25
50-50	529.98	645.86	773.38	903.97	1060.80	1261.15	1497.16	1792.93	1989.10
40-60	530.81	648.23	768.99	904.23	1063.69	1244.96	1506.92	1811.81	1904.11
30-70	529.16	647.68	770.21	905.33	1067.25	1262.78	1512.55	1815.81	1966.53
20-80	531.49	650.65	772.98	908.95	1072.19	1284.37	1554.97	1813.43	2084.21
10--90	531.32	648.88	773.87	908.34	1071.42	1289.01	1547.83	1834.31	2070.29
0-100	536.83	652.15	776.76	913.89	1086.68	1304.96	1569.47	1785.17	2051.86

Πίνακας 0-5: Απόσταση που διένυσε το κάθε όχημα στο συνολικό οδικό δίκτυο, σε χλμ.

distance	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0	3.28	3.28	3.28	3.28	3.28	3.26	3.20	3.09	2.98
90-10	3.27	3.27	3.28	3.27	3.28	3.25	3.19	3.09	2.98
80-20	3.29	3.28	3.28	3.28	3.28	3.25	3.20	3.08	2.96
70-30	3.27	3.28	3.28	3.28	3.27	3.25	3.19	3.08	2.96
60-40	3.27	3.28	3.29	3.28	3.28	3.25	3.19	3.07	2.97
50-50	3.29	3.28	3.28	3.28	3.28	3.25	3.18	3.07	2.96
40-60	3.28	3.28	3.28	3.28	3.27	3.23	3.18	3.07	2.93
30-70	3.27	3.28	3.27	3.28	3.27	3.24	3.17	3.05	2.93
20-80	3.28	3.27	3.27	3.28	3.27	3.24	3.17	3.04	2.94
10--90	3.27	3.28	3.28	3.27	3.27	3.24	3.17	3.04	2.93
0-100	3.29	3.28	3.28	3.27	3.27	3.23	3.16	3.03	2.93

Πίνακας 0-6: Τιμές μέσης χρονικής καθυστέρησης στην υπεραστική περιοχή, σε δλ/χλμ.

DTIME	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0	17.92	19.03	20.24	21.82	24.02	28.30	36.84	51.28	74.89
90-10	18.01	18.98	20.25	21.73	24.09	28.25	36.29	51.63	74.99
80-20	17.92	19.14	20.23	21.75	23.98	28.51	37.02	53.10	78.90
70-30	17.88	18.97	20.24	21.65	23.89	28.73	37.55	55.44	79.59
60-40	17.93	19.01	20.16	21.72	24.06	29.12	38.73	55.30	78.62
50-50	17.99	19.04	20.29	21.85	24.26	29.32	39.93	58.18	82.31
40-60	17.92	19.00	20.22	21.70	24.86	29.68	39.56	57.73	82.64
30-70	17.91	18.96	20.16	21.70	24.43	29.31	40.51	59.90	86.28
20-80	17.84	18.92	20.10	21.82	24.49	30.44	42.56	61.30	90.01
10--90	17.80	18.83	20.07	21.71	24.31	30.18	42.49	63.18	91.38
0-100	17.90	18.87	20.10	21.83	24.97	31.75	44.31	63.77	94.42

Πίνακας 0-7: Τιμές μέσης χρονικής ταχύτητας στην αστική περιοχή, σε δλ/χλμ..

DTIME	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0	72.15	74.13	77.45	81.26	88.58	109.55	161.20	236.10	321.43
90-10	72.29	74.55	77.57	81.62	89.62	112.06	161.40	235.72	320.75
80-20	72.23	75.02	77.74	81.85	91.05	112.15	166.16	238.41	316.12
70-30	72.57	74.81	78.07	82.17	91.42	112.54	164.39	235.01	327.13
60-40	72.67	75.13	78.18	82.36	90.67	118.52	169.15	240.63	322.37
50-50	72.73	75.28	78.47	83.15	91.73	118.39	170.37	246.79	318.68
40-60	72.68	75.28	78.40	83.15	93.58	122.76	178.69	258.38	325.56
30-70	72.95	75.53	78.99	83.34	94.16	119.73	172.52	253.30	319.30
20-80	72.97	75.72	79.07	84.34	95.73	125.68	178.90	255.31	330.15
10--90	73.06	75.68	79.32	84.57	96.15	124.56	181.93	264.00	347.01
0-100	73.34	75.78	79.59	85.28	98.70	131.86	191.95	264.92	339.09

Πίνακας 0-8: Τιμές μέσης ταχύτητας στην υπεραστική περιοχή, σε χλμ/ώρα.

SPEED	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0	57.18	56.40	55.54	54.63	53.73	52.54	51.07	49.40	47.29
90-10	56.89	56.15	55.36	54.50	53.53	52.32	50.89	49.18	47.19
80-20	56.74	55.84	55.11	54.26	53.33	52.15	50.70	48.97	46.74
70-30	56.54	55.73	54.95	54.09	53.07	51.89	50.46	48.67	46.44
60-40	56.28	55.51	54.75	53.89	52.88	51.65	50.24	48.51	46.57
50-50	56.10	55.30	54.44	53.65	52.61	51.47	49.97	48.13	45.95
40-60	55.90	55.13	54.31	53.47	52.46	51.24	49.84	47.98	45.94
30-70	55.66	54.92	54.12	53.24	52.23	51.01	49.55	47.71	45.43
20-80	55.46	54.71	53.96	53.07	52.04	50.79	49.25	47.39	45.02
10--90	55.26	54.55	53.74	52.85	51.84	50.53	49.00	47.10	44.85
0-100	55.06	54.30	53.53	52.63	51.59	50.30	48.74	47.02	44.69

Πίνακας 0-9: Τιμές μέσης ταχύτητας στην αστική περιοχή, σε χλμ/ώρα.

SPEED	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0	42.36	41.94	41.47	40.98	40.31	39.26	37.65	35.85	34.15
90-10	42.34	41.89	41.46	40.93	40.27	39.07	37.49	35.65	33.80
80-20	42.31	41.86	41.42	40.90	40.20	39.00	37.36	35.61	33.72
70-30	42.31	41.85	41.38	40.88	40.11	39.03	37.30	35.59	33.60
60-40	42.28	41.81	41.37	40.85	40.15	38.79	37.14	35.49	33.72
50-50	42.23	41.82	41.31	40.79	40.06	38.69	37.19	35.36	33.69
40-60	42.26	41.80	41.33	40.77	39.98	38.68	37.06	35.17	33.40
30-70	42.21	41.77	41.28	40.72	39.94	38.53	36.93	35.11	33.28
20-80	42.19	41.73	41.24	40.68	39.84	38.50	36.89	34.95	33.39
10--90	42.17	41.71	41.20	40.66	39.86	38.53	36.84	34.97	33.24
0-100	42.14	41.68	41.19	40.61	39.73	38.30	36.70	34.83	33.08

Πίνακας 0-10: Τιμές μέσης χρονικής καθυστέρησης σε υπεραστικό οδικό τμήμα, σε δλ/χλμ.

dtime	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0	34.89	50.10	62.56	82.35	116.26	346.33	739.45	1038.50	1179.41	1242.93	1258.04	1259.31	1259.81
90-10	35.10	49.46	61.93	79.12	114.31	332.33	743.79	1049.74	1182.35	1243.98	1256.94	1258.27	1256.56
80-20	34.39	49.58	62.46	81.50	114.29	358.79	777.85	1063.75	1192.45	1246.88	1259.75	1263.68	1261.84
70-30	33.05	49.11	61.72	78.77	114.19	387.59	796.03	1078.18	1200.42	1255.69	1265.46	1262.35	1263.83
60-40	34.52	49.58	62.01	81.46	115.99	408.95	812.69	1085.83	1209.49	1259.64	1266.49	1268.09	1269.21
50-50	34.48	48.63	60.85	78.12	118.04	425.15	842.73	1102.80	1225.33	1267.30	1272.37	1273.32	1271.04
40-60	33.76	47.49	61.59	76.94	116.99	454.09	846.81	1120.64	1232.04	1271.33	1277.63	1274.45	1272.50
30-70	33.12	46.03	60.03	77.09	115.86	470.92	873.69	1126.63	1238.09	1274.86	1280.62	1278.49	1278.34
20-80	32.54	46.22	59.38	73.56	118.18	485.10	883.22	1135.44	1245.73	1279.64	1284.76	1287.64	1283.68
10-90	34.00	46.57	58.52	76.50	123.35	534.07	910.69	1162.29	1258.77	1290.32	1291.01	1293.16	1292.47
0-100	33.07	46.76	57.65	75.05	131.49	539.07	935.95	1164.66	1268.46	1293.08	1296.25	1292.88	1293.59

Πίνακας 0-11: Τιμές μέσης χρονικής καθυστέρησης σε αστικό οδικό τμήμα, σε δλ/χλμ.

dtime	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0	22.40	30.41	38.29	48.31	79.45	428.72	827.73	1087.92	1210.95	1266.29	1277.76	1278.02	1278.43
90-10	22.17	30.22	37.49	48.14	79.56	436.05	831.64	1095.20	1215.97	1268.53	1278.28	1276.39	1277.32
80-20	22.17	30.56	37.74	48.04	85.18	444.90	840.89	1101.38	1222.30	1272.94	1280.84	1280.54	1280.05
70-30	22.84	30.23	37.07	47.39	89.00	465.70	849.29	1108.42	1228.12	1275.40	1288.65	1285.28	1287.24
60-40	23.20	29.88	36.98	46.55	92.07	494.61	879.23	1135.34	1243.85	1285.81	1291.84	1291.84	1290.40
50-50	22.65	29.32	37.65	47.40	96.55	507.81	904.74	1139.78	1250.41	1286.93	1295.20	1293.39	1294.39
40-60	21.68	29.47	37.33	47.00	104.73	525.90	913.26	1156.10	1259.55	1292.38	1297.85	1296.76	1295.00
30-70	22.50	30.20	37.34	45.99	110.16	562.33	939.24	1174.03	1271.44	1303.14	1304.97	1302.31	1299.54
20-80	22.90	29.57	37.61	45.15	128.18	575.15	957.80	1182.93	1281.06	1307.94	1309.98	1308.88	1307.38
10--90	22.09	28.96	36.48	45.56	130.24	591.77	974.64	1194.45	1289.85	1314.81	1316.51	1315.33	1314.05
0-100	22.32	30.08	35.54	45.31	136.25	593.58	978.47	1196.33	1296.09	1315.08	1316.67	1314.99	1314.29

Πίνακας 0-12: Τιμές μέσης ταχύτητας σε υπεραστικό οδικό τμήμα, σε χλμ/ώρα.

speed	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0	64.63	60.69	57.61	53.30	47.45	28.21	16.50	12.45	10.93	10.31	10.16	10.15	10.15
90-10	64.12	60.54	57.44	53.72	47.51	28.74	16.38	12.34	10.91	10.30	10.18	10.16	10.18
80-20	64.11	60.23	57.02	53.03	47.39	27.28	15.83	12.19	10.82	10.28	10.16	10.13	10.14
70-30	64.15	60.10	57.01	53.40	47.22	25.70	15.49	11.98	10.74	10.20	10.12	10.14	10.13
60-40	63.37	59.59	56.59	52.53	46.78	25.26	15.30	11.94	10.66	10.19	10.11	10.10	10.09
50-50	62.98	59.51	56.62	53.08	46.42	24.24	14.76	11.73	10.50	10.12	10.07	10.07	10.09
40-60	63.15	59.70	56.30	53.03	46.31	23.45	14.72	11.58	10.47	10.10	10.04	10.06	10.08
30-70	63.21	59.80	56.38	52.76	46.27	22.92	14.38	11.51	10.42	10.07	10.03	10.04	10.04
20-80	63.01	59.36	56.33	53.27	45.93	22.37	14.28	11.44	10.36	10.04	9.99	9.97	10.01
10--90	62.41	59.05	56.23	52.51	45.12	20.80	13.91	11.17	10.25	9.97	9.96	9.94	9.95
0-100	62.24	58.78	56.17	52.57	43.94	20.68	13.59	11.15	10.18	9.95	9.92	9.95	9.95

Πίνακας 0-13: Τιμές μέσης ταχύτητας σε αστικό οδικό τμήμα, σε χλμ/ώρα.

speed	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
100-0	51.50	50.00	48.68	47.12	43.01	22.06	14.10	11.31	10.18	9.72	9.62	9.61	9.61
90-10	51.58	50.03	48.80	47.18	43.00	21.74	14.02	11.26	10.16	9.71	9.62	9.63	9.63
80-20	51.54	49.97	48.76	47.17	42.35	21.48	13.94	11.21	10.12	9.68	9.61	9.62	9.62
70-30	51.47	50.02	48.87	47.25	41.97	21.01	13.88	11.15	10.08	9.68	9.57	9.59	9.58
60-40	51.35	50.10	48.86	47.33	41.63	20.06	13.45	10.92	9.96	9.61	9.56	9.56	9.57
50-50	51.47	50.16	48.75	47.23	41.34	19.90	13.22	10.89	9.92	9.62	9.55	9.56	9.56
40-60	51.63	50.14	48.82	47.30	40.27	19.28	13.10	10.76	9.86	9.59	9.54	9.55	9.56
30-70	51.45	50.05	48.84	47.41	39.89	18.43	12.77	10.60	9.78	9.52	9.50	9.52	9.54
20-80	51.37	50.11	48.77	47.55	38.30	18.16	12.62	10.54	9.72	9.50	9.48	9.49	9.50
10-90	51.51	50.18	48.91	47.46	37.93	17.73	12.45	10.45	9.67	9.47	9.45	9.46	9.47
0-100	51.57	50.03	49.05	47.51	37.51	17.76	12.41	10.45	9.63	9.48	9.46	9.47	9.48

