



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ
ΜΕΣΩ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΕΛΕΝΗ Β. ΧΑΡΩΝΙΤΗ

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2013

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Γιώργο Γιαννή, Αναπληρωτή Καθηγητή Ε.Μ.Π. και επιβλέπων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, για τη βοήθειά του σε όλα τα στάδια εκπόνησής της και για την άψογη συνεργασία που είχαμε.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον κ. Δημήτρη Σερμπή, Δρ Συγκοινωνιολόγο από το Κέντρο Διαχείρισης της Κυκλοφορίας για την πολύτιμη καθοδήγησή του, τόσο στην εκμάθηση του προγράμματος προσομοίωσης όσο και στην υλοποίηση της παρούσας διερεύνησης. Παράλληλα, ευχαριστώ τον κ. Αντώνη Χαζίρη, συγκοινωνιολόγο μηχανικό, για τη βοήθειά του σε θέματα χειρισμού του προγράμματος. Οι ευχαριστίες επεκτείνονται γενικότερα στο Κέντρο Διαχείρισης της Κυκλοφορίας και στον Προϊστάμενό του κ. Θεόδωρο Βορβολάκο, για τη δυνατότητα χρήσης του λογισμικού *Vissim* αλλά και όλων των χρήσιμων στοιχείων, χωρίς τα οποία δεν θα ήταν δυνατή η πραγματοποίηση αυτής της εργασίας.

ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τις αδελφές μου, για την αγάπη και την ηθική, αλλά και υλική, υποστήριξή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και όχι μόνο.

Ευχαριστώ, επίσης, τους φίλους μου και, ξεχωριστά, τη Μερόπη για κάθε στιγμή που έχουμε μοιραστεί όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόψυχα τον Αλέξανδρο που είναι δίπλα μου σε όλες τις όμορφες και τις δύσκολες στιγμές.

Αθήνα, Οκτώβριος 2013

Ελένη Χαρωνίτη

ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ
ΜΕΣΩ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Ελένη Β. Χαρωνίτη

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΣΥΝΟΨΗ

Στόχος της Διπλωματικής Εργασίας είναι η εξέταση των επιπτώσεων ενός κυκλοφοριακού συμβάντος σε κεντρικό αστικό οδικό δίκτυο της Αθήνας και η αντιμετώπισή του μέσω της εφαρμογής εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης της κυκλοφορίας, με χρήση του προγράμματος μικροσκοπικής προσομοίωσης pt Vissim. Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, ορίσθηκαν ως δείκτες λειτουργικής απόδοσης ο χρόνος διαδρομής, οι καθυστερήσεις, ο μέσος αριθμός στάσεων ανά όχημα και το μήκος ουρών. Το πρώτο σενάριο αντιμετώπισης αφορά στην επέμβαση στους χρόνους των φωτεινών σηματοδοτών επί του οδικού άξονα του συμβάντος. Το δεύτερο σενάριο αντιμετώπισης περιλαμβάνει την καθοδήγηση των οχημάτων σε εναλλακτική διαδρομή, η οποία προτείνεται στους οδηγούς μέσω Πινακίδας Μεταβλητών Μηνυμάτων ανάντη του συμβάντος. Από την εφαρμογή των μοντέλων, στα συγκεκριμένα κυκλοφοριακά δεδομένα, προέκυψε ότι οι κυκλοφοριακές συνθήκες βελτιώνονται σημαντικά στο πρώτο εναλλακτικό σενάριο, ενώ στο δεύτερο, η επιδείνωση στα οδικά τμήματα της εναλλακτικής διαδρομής είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με τη βελτίωση που προσφέρει.

Λέξεις – κλειδιά: προσομοίωση της κυκλοφορίας, κυκλοφοριακό συμβάν, διαχείριση κυκλοφορίας, φωτεινή σηματοδότηση, πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων

**ANALYSIS OF ALTERNATIVE SCENARIOS
FOR MANAGING TRAFFIC INCIDENTS
THROUGH MICRO SIMULATION**

Eleni V. Charoniti

Supervisor: George Yannis, Associate Professor NTUA

ABSTRACT

The objective of this Diploma Thesis is the investigation of the impacts of a traffic incident at a central urban road network in Athens and its management, through the implementation of alternative traffic control scenarios, using the microscopic traffic simulation software package, pt Vissim. In order to evaluate the results, travel time, delays, number of stops per vehicle and length of queue were defined as measures of operational performance. The first scenario relates to the intervention on traffic signal programs of the road axis in which the incident occurs. The second scenario involves the guidance of drivers to an alternative route by information provided through a Variable Message Sign. The application of these models to the particular traffic data indicates that traffic conditions are significantly improved during the first scenario, whereas during the second scenario the deterioration in the roads of the alternative route is more serious than the improvement succeeded.

Keywords: traffic simulation, traffic incident, traffic management, signal control, variable message signs

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η **έντονα αυξανόμενη κυκλοφορία** οχημάτων στα κύρια οδικά δίκτυα των μεγαλουπόλεων, όπως αυτό της Αθήνας, οδηγεί σε συνεχή επιδείνωση των κυκλοφοριακών συνθηκών και, κατ' επέκταση, στην ανάγκη κατάλληλης διαχείρισής τους. Καθώς η επέκταση των οδικών δικτύων, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, δεν είναι δυνατή, αλλά ούτε και αποδοτική μακροπρόθεσμα, επιδιώκεται η εφαρμογή διαφόρων **μέτρων βελτίωσης** της ροής των οχημάτων. Η **προσομοίωση** σε αυτήν την περίπτωση αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για τη μελέτη των οδικών δικτύων, που θα προσφέρει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με το χειρισμό έκτακτων καταστάσεων, χωρίς καμία παρέμβαση στη λειτουργία τους.

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η εξέταση της μεταβολής των κυκλοφοριακών συνθηκών σε κύριο αστικό οδικό δίκτυο μετά από ένα κυκλοφοριακό συμβάν και η **συγκριτική ανάλυση εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης της κυκλοφορίας** με τη χρήση ειδικού προγράμματος μικροσκοπικής προσομοίωσης. Το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε είναι το *ptv Vissim*, το οποίο παραχωρήθηκε από το Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας της Περιφέρειας Αττικής (Κ.Δ.Κ.).

Η μεθοδολογία για την υλοποίηση της παρούσας διερεύνησης περιλαμβάνει δύο κύρια σκέλη: την **επισκόπηση βιβλιογραφίας** και μια **θεωρητική περίπτωση μελέτης** με χρήση προσομοίωσης. Μέσα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, πραγματοποιήθηκε μια ενδιαφέρουσα έρευνα σχετικά με τη χρήση της προσομοίωσης σε κυκλοφοριακά προβλήματα, με τις λειτουργίες διαχείρισης κυκλοφοριακών γεγονότων, με τις πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων, οι οποίες είναι ευρέως γνωστές για το ρόλο τους στην πληροφόρηση των οδηγών, και με στοιχεία χρήσιμα από την κυκλοφοριακή τεχνική.

Με βάση αυτά, ακολουθεί η πρακτική εφαρμογή, η οποία περιλαμβάνει το σχεδιασμό κεντρικού τμήματος του **οδικού δικτύου της Αθήνας**. Το δίκτυο αφορά στη λεωφόρο Αλεξάνδρας, στις λεωφόρους Κηφισίας και Μεσογείων, έως το ύψος των ανισόπεδων κόμβων τους με την Κατεχάκη αντίστοιχα, στην οδό Κατεχάκη, καθώς και επιμέρους οδικά τμήματα, απαραίτητα για τη σύνδεση των παραπάνω και την υλοποίηση της προσομοίωσης. Τα απαραίτητα στοιχεία για το σχεδιασμό του δικτύου, όπως οριζοντιογραφίες των κόμβων, προγράμματα φωτεινής σηματοδότησης και στοιχεία για τους κυκλοφοριακούς φόρτους, ήταν διαθέσιμα από το Κ.Δ.Κ.

Επιπλέον **δεδομένα εισόδου** αποτελούν στοιχεία της κυκλοφορίας του δικτύου, τα οποία καθορίζονται από παραμέτρους μέσα στο πρόγραμμα. Ενδεικτικά αναφέρονται ο καθορισμός του συστήματος οδήγησης, η σύνθεση

της κυκλοφορίας, ο καθορισμός των πραγματοποιούμενων διαδρομών καθώς και δεδομένα ρύθμισης της κυκλοφορίας (σήμανση, καθορισμός λεωφορειολωρίδων, σηματοδότηση). Άλλες σημαντικές παράμετροι της προσομοίωσης είναι τα χρονικά βήματα, η τυχαιότητα, ο αριθμός επαναλήψεων και η χρονική διάρκεια της προσομοίωσης. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέχθηκε το κάθε σενάριο να εκτελεσθεί δέκα φορές (με διαφορετική γεννήτρια τυχαίων αριθμών) ώστε να επιτευχθεί υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων. Όσον αφορά στη διάρκεια της προσομοίωσης, αφότου ολοκληρώνεται ο κύκλος «προθέρμανσης» ο οποίος διαρκεί μισή ώρα, το πρόγραμμα εκτελείται για μία ώρα.

Οι **δείκτες λειτουργικής απόδοσης**, οι οποίοι επιλέχθηκαν να καταγραφούν για τη μετέπειτα συγκριτική ανάλυση των σεναρίων, είναι ο χρόνος διαδρομής, οι καθυστερήσεις, ο μέσος αριθμός στάσεων ανά όχημα και το μήκος των ουρών αναμονής. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε καταγραφή των κυκλοφοριακών φόρτων του δικτύου προκειμένου να εξασφαλισθεί η σωστή φόρτισή του, σύμφωνα με τα στοιχεία που ήταν γνωστά.

Το **συμβάν** το οποίο προσομοιώνεται, είναι ένα οδικό ατύχημα, το οποίο επιφέρει αποκλεισμό δύο λωρίδων κυκλοφορίας, για είκοσι λεπτά, μεταξύ 08.00 και 09.00 το πρωί, στην άνοδο της Λ. Κηφισίας, στο ύψος της Πανόρμου. Τόσο η επιλογή του συμβάντος, όσο και η επιλογή του δικτύου που προσομοιώθηκε, έγιναν λαμβάνοντας υπόψη ένα αρχείο δεδομένων από το Κ.Δ.Κ., όπου καταγράφονται στοιχεία κυκλοφοριακών γεγονότων σε μεγάλους οδικούς άξονες της Αττικής. Σε αυτό το σημείο σημειώνεται πως οι φόρτοι που εισήχθησαν, αφορούσαν στην παραπάνω ώρα και τα προγράμματα φωτεινής σηματοδότησης τα οποία χρησιμοποιήθηκαν, ομοίως ήταν αυτά που λειτουργούν πρωινές ώρες.

Τα σενάρια τα οποία προσομοιώνονται είναι τα εξής: **βασικό σενάριο**, στο οποίο το δίκτυο λειτουργεί υπό κανονικές συνθήκες, χωρίς καμία παρέμβαση· **μηδενικό σενάριο**, στο οποίο συμβαίνει το γεγονός, αλλά χωρίς την πραγματοποίηση κάποιας επέμβασης στο δίκτυο· **πρώτο σενάριο αντιμετώπισης**, όπου εφαρμόζεται ως μέτρο διαχείρισης της κυκλοφορίας η αλλαγή στα προγράμματα φωτεινής σηματοδότησης των κόμβων της Λ. Κηφισίας, δίνοντας προτεραιότητα, δηλαδή μεγαλύτερο χρόνο πράσινης ένδειξης, στην ευθεία κίνηση· **δεύτερο σενάριο αντιμετώπισης**, όπου μέσω της πινακίδας μεταβλητών μηνυμάτων στην άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας, τα οχήματα καθοδηγούνται σε εναλλακτική διαδρομή, που περιλαμβάνει τη χρήση της Λ. Μεσογείων.

Μετά από κατάλληλη επεξεργασία των αποτελεσμάτων, πραγματοποιείται σύγκριση του μηδενικού και των δύο σεναρίων αντιμετώπισης με το βασικό σενάριο, από όπου προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα.

Ακολουθεί πίνακας συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων από τη σύγκριση του βασικού σεναρίου με το κάθε εναλλακτικό σενάριο το οποίο προσομοιώθηκε. Παρουσιάζονται τρεις ενδεικτικοί δείκτες λειτουργικής απόδοσης, στα κρίσιμότερα σημεία του δικτύου, για όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης.

ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΕΝΑΜΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΣΕ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΟ ΒΑΣΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ												
	Μηδενικό σενάριο				Πρώτο σενάριο				Δεύτερο σενάριο			
	1ο (0-15)	2ο (15-30)	3ο (30-45)	4ο (45-60)	1ο (0-15)	2ο (15-30)	3ο (30-45)	4ο (45-60)	1ο (0-15)	2ο (15-30)	3ο (30-45)	4ο (45-60)
ΜΕΣΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ												
Δεκαπεντάλεπτα προσομοίωσης												
Λ. Αλεξάνδρας από Χαριλάου Τρικούπη έως Πανόρμου	12,1%	51,0%	54,7%	40,5%	7,2%	1,6%	-1,1%	-4,2%	-67,3%	-58,3%	-17,5%	-12,1%
Λ. Αλεξάνδρας (λίγο μετά την Πανόρμου) - Ζαχάρωφ - Βασ. Σοφίας	2,9%	48,4%	-2,8%	-14,1%	-2,1%	11,7%	-1,0%	-6,9%	11,3%	99,3%	130,4%	180,7%
Λ. Αλεξάνδρας (λίγο μετά την Πανόρμου) - Κηφισίας (έως Πανόρμου)	52,5%	243,5%	17,9%	-12,9%	34,0%	129,4%	2,3%	8,6%	25,8%	174,5%	-12,3%	6,4%
Άνοδος Μιχαλακοπούλου (λίγο πριν τη Φειδιππίδου), άνοδος Λ. Μεσογείων έως τη ράμπτα εξόδου στον ΑΙΚ με την Κατεχάκη	-0,7%	1,3%	-1,4%	-0,3%	-0,1%	1,8%	1,6%	1,0%	1,0%	5,4%	239,6%	652,9%
ΜΕΣΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΑΣΕΩΝ ΑΝΑ ΟΧΗΜΑ												
Λ. Αλεξάνδρας από Χαριλάου Τρικούπη έως Πανόρμου	19,7%	35,0%	28,9%	-0,6%	14,0%	3,0%	-2,9%	-9,4%	-84,5%	-2,0%	94,0%	4,8%
Λ. Αλεξάνδρας (λίγο μετά την Πανόρμου) - Ζαχάρωφ - Βασ. Σοφίας	11,1%	13,0%	-6,5%	-15,1%	8,4%	2,2%	-2,0%	-6,1%	-68,7%	59,4%	356,4%	6,4%
Λ. Αλεξάνδρας (λίγο μετά την Πανόρμου) - Κηφισίας (έως Πανόρμου)	129,9%	383,0%	21,9%	-16,9%	101,9%	245,4%	7,9%	12,9%	-24,4%	113,9%	-8,1%	884,1%
Άνοδος Μιχαλακοπούλου (λίγο πριν τη Φειδιππίδου), άνοδος Λ. Μεσογείων έως τη ράμπτα εξόδου στον ΑΙΚ με την Κατεχάκη	0,2%	0,1%	-1,3%	-2,3%	1,6%	-0,2%	2,7%	1,1%	-21,8%	125,7%	7,6%	2613,7%
ΜΕΣΟ ΜΗΚΟΣ ΟΥΡΑΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ												
Λ. Αλεξάνδρας μεταξύ Ασκληπιού και Λουκάρεως (άνοδος)	21,4%	22,2%	28,7%	13,2%	19,1%	4,7%	0,3%	0,3%	-89,0%	-83,6%	-24,9%	-4,9%
Λ. Αλεξάνδρας μεταξύ Λουκάρεως και Δημητσάνας (άνοδος)	27,6%	7,3%	0,3%	-0,9%	12,7%	1,5%	-2,3%	-0,2%	-98,3%	-67,4%	-9,8%	-2,8%
Λ. Αλεξάνδρας μεταξύ Δημητσάνας και Πανόρμου (άνοδος)	5,3%	3,9%	0,8%	-0,2%	2,8%	0,1%	-1,6%	0,9%	-69,4%	-29,5%	-1,6%	0,6%
Λ. Αλεξάνδρας μεταξύ Πανόρμου και Λ.Κηφισίας (άνοδος)	4,7%	1,2%	4,0%	-5,0%	7,5%	-1,0%	-5,6%	0,9%	-69,7%	-57,0%	-42,6%	-5,8%
Οδός Ζαχάρωφ	-22,1%	-35,4%	5,2%	-60,2%	73,0%	523,0%	19,1%	34,4%	636,9%	2878,8%	3360,0%	926,1%
Λ.Κηφισίας μεταξύ Λ.Αλεξάνδρας και Κορινθίας (άνοδος)	302,9%	6694,6%	44,7%	-13,9%	8,8%	3770,3%	44,7%	-5,6%	661,8%	5164,9%	55,3%	5,6%
Λ.Κηφισίας μεταξύ Κορινθίας και Ευρωπαιίας (άνοδος)	835,7%	13939,1%	186,7%	7,7%	267,9%	8530,4%	226,7%	76,9%	1435,7%	11221,7%	106,7%	-7,7%
Λ.Κηφισίας μεταξύ Ευρωπαιίας και λαρ. Τρικάλων (άνοδος)	1933,3%	4382,4%	553,2%	-26,5%	1822,2%	4272,5%	485,1%	-6,1%	2019,4%	4258,8%	176,6%	-42,9%
Λ.Κηφισίας μεταξύ λαρ. Τρικάλων και Πανόρμου (άνοδος)	2134,1%	1567,0%	83,2%	2,2%	2262,6%	1589,8%	65,3%	-3,3%	2149,5%	1576,1%	-5,0%	-24,4%
Λ. Μεσογείων από Λ. Βασ. Σοφίας έως Φειδιππίδου	118,5%	-6,9%	10,2%	79,7%	150,1%	71,4%	96,1%	142,1%	501,5%	321,3%	419,6%	345,5%
Άνοδος Λ. Μεσογείων, πριν τον κόμβο με Σλήμαν	-5,9%	-3,7%	-5,4%	-13,2%	5,9%	0,0%	-10,7%	-3,8%	19,6%	9,3%	3717,9%	8500,0%
Άνοδος Λ. Μεσογείων, πριν τον κόμβο με Ρούσσου	0,0%	2,7%	-13,9%	-11,1%	-4,0%	-0,9%	-0,8%	3,4%	-2,4%	16,4%	1091,8%	1517,9%
Λ. Μεσογείων, ράμπτα εξόδου προς Κατεχάκη	-12,2%	3,7%	-41,7%	-33,3%	-6,1%	-16,7%	-16,7%	10,4%	8,2%	411,1%	5654,2%	9089,6%

Με βάση τη πρώτη **σύγκριση**, δηλαδή μεταξύ **βασικού και μηδενικού σεναρίου**, γίνεται αντιληπτή η επιδείνωση της κυκλοφοριακής κατάστασης του δικτύου, κυρίως κατά τη διάρκεια του συμβάντος αλλά και για περίπου δεκαπέντε λεπτά μετά τη λήξη του. Οι χρόνοι μετακίνησης που αφορούν διαδρομές στην άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας και στην άνοδο της Λ. Κηφισίας έχουν αυξηθεί σημαντικά, και, κατά συνέπεια, το ίδιο παρατηρείται και για τις καθυστερήσεις και το μέσο αριθμό στάσεων ανά όχημα. Επιπλέον, τα μήκη ουρών που σημειώνονται στα κρίσιμα σημεία του δικτύου, φαίνεται να καταλαμβάνουν εξ' ολοκλήρου τα οδικά τμήματα, με αποτέλεσμα να μην καθίσταται δυνατή η ομαλή ροή της κυκλοφορίας. Επιμέρους τμήματα του οδικού δικτύου τα οποία επιβαρύνονται είναι η άνοδος της Λ. Μεσογείων, στο τμήμα μεταξύ Λ. Βασ. Σοφίας και Φειδιππίδου, λόγω καθυστερήσεων στις τελευταίες εξαιτίας μεγάλης συμφόρησης στην αρχή της Λ. Κηφισίας.

Από τη σύγκριση μεταξύ **βασικού και πρώτου σεναρίου αντιμετώπισης**, διαπιστώνεται η σημαντική βελτίωση του δικτύου και η γρηγορότερη επαναφορά αυτού μετά το πέρας του συμβάντος. Η μείωση των χρόνων διαδρομής, των καθυστερήσεων, του αριθμού στάσεων ανά όχημα και του μήκους ουρών είναι της τάξης του 30% σε σχέση με το μηδενικό σενάριο. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε ορισμένα σημεία στη Λ. Αλεξάνδρας η κατάσταση παρουσιάζεται ευνοϊκότερη και από το βασικό σενάριο.

Όσον αφορά στο **δεύτερο σενάριο αντιμετώπισης**, η επιλογή εναλλακτικής διαδρομής επιδρά θετικά σε μεγάλο τμήμα του οδικού δικτύου, καθώς καταγράφονται μικρότερες τιμές των δεικτών λειτουργικής απόδοσης που αναφέρονται παραπάνω. Η βελτίωση στη Λ. Κηφισίας είναι σχετικά μικρότερη σε σχέση με το πρώτο σενάριο αντιμετώπισης, ενώ για τη Λ. Αλεξάνδρας είναι σημαντικά μεγαλύτερη, ακόμα σε σύγκριση με το βασικό σενάριο. Ωστόσο, το τμήμα που επιλέγεται για να διοχετευθούν τα επιπλέον οχήματα φαίνεται να πλήττεται σημαντικά, από την οδό Ζαχάρωφ, η οποία ενώνει τη Λ. Αλεξάνδρας με τη Λ. Μεσογείων μέσω της Λ. Βασ. Σοφίας, μέχρι την άνοδο της Λ. Μεσογείων στο ύψος της ράμπας εξόδου προς Κατεχάκη, αλλά και την Κατεχάκη. Θα πρέπει, επίσης, να σημειωθεί ότι μέχρι το τέλος της προσομοίωσης, το τμήμα αυτό του δικτύου δεν προλαβαίνει να επανέλθει, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα σενάρια και με τα υπόλοιπα τμήματα.

Σαν **γενικό συμπέρασμα**, προκύπτει η ανάγκη εφαρμογής μέτρων διαχείρισης της κυκλοφορίας όταν παρατηρείται ένα κυκλοφοριακό συμβάν, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις ώρας αιχμής κεντρικού αστικού οδικού δικτύου, για τη **βελτίωση** της ροής των οχημάτων. Οι ρυθμίσεις, όμως, που θα πραγματοποιηθούν θα πρέπει να επιλεγούν με ιδιαίτερη προσοχή, λαμβάνοντας υπόψη την κυκλοφοριακή κατάσταση τόσο του σημείου όπου συμβαίνει το γεγονός, όσο και του περιβάλλοντος δικτύου. Τυχόν **αρνητικές επιπτώσεις** των μέτρων που θα εφαρμοσθούν, θα πρέπει να εξετάζονται

πάντα μέσα στον ευρύτερο προγραμματισμό των λειτουργιών διαχείρισης της κυκλοφορίας.

Ειδικότερα για την παρούσα διερεύνηση, το συμπέρασμα είναι ότι η επέμβαση στους χρόνους φωτεινής σηματοδότησης των κόμβων της Λ. Κηφισίας επέδρασε πιο **αποτελεσματικά** σε σύγκριση με την αντιμετώπιση μέσω ενεργητικής καθοδήγησης σε εναλλακτική διαδρομής μέσω ΠΜΜ. Το δεύτερο αυτό σενάριο, ενώ επέφερε αξιόλογη βελτίωση στην άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας, δεν αποδείχθηκε αρκετά ικανοποιητικό όσον αφορά στο τμήμα όπου διοχετεύεται ο επιπλέον φόρτος. Η επιδείνωση που προκαλείται στο εγγύς δίκτυο, θα πρέπει να σημειωθεί, ότι οφείλεται στον ήδη αυξημένο φόρτο της οδού Κατεχάκη, από όπου ξεκινά ένα κρουστικό κύμα, το οποίο επιφέρει επιπτώσεις μέχρι αρκετά χαμηλά στο δίκτυο. Τονίζεται, επομένως, ότι τα συμπεράσματα αυτά αφορούν στη δεδομένη κατάσταση για τη **δεδομένη χρονική στιγμή** του δικτύου.

Η διερεύνηση του συγκεκριμένου μοντέλου προσομοίωσης που αναπτύχθηκε, καθώς και τα συμπεράσματα τα οποία απορρέουν από αυτό αναμένεται να γίνουν **χρήσιμος οδηγός** για τη διαχείριση έκτακτων καταστάσεων σε αντίστοιχες περιπτώσεις και να συμβάλλουν στην κατανόηση της επίδρασης ενός κυκλοφοριακού συμβάντος σε ένα κεντρικό αστικό οδικό δίκτυο, καθώς και της χρησιμότητας εφαρμογής μέτρων βελτίωσης σε αυτό. Επιδιώκεται η παραχθείσα γνώση να χρησιμοποιηθεί ως παράδειγμα διαχείρισης της κυκλοφορίας σε ένα οδικό δίκτυο το οποίο χρήζει επέμβασης.

Περιεχόμενα:

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Γενική Ανασκόπηση	1
1.2. Στόχος της Διπλωματικής Εργασίας.....	2
1.3. Μεθοδολογία.....	4
1.4. Δομή της Διπλωματικής εργασίας	8
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	10
2.1. Η έννοια της προσομοίωσης στη μελέτη της κυκλοφορίας	10
2.1.1. Εισαγωγή.....	10
2.1.2. Κατηγορίες μοντέλων προσομοίωσης	11
2.1.3. Μικροσκοπική προσομοίωση (micro-simulation)	12
2.1.4. Μακροσκοπική προσομοίωση (macro-simulation).....	15
2.1.5. Μεσοσκοπική προσομοίωση (meso-simulation).....	15
2.2. Δυνατότητες και αδυναμίες της προσομοίωσης.....	16
2.2.1. Δυνατότητες	16
2.2.2. Αδυναμίες	17
2.3. Προγράμματα προσομοίωσης.....	17
2.3.1. Μικροσκοπικά προγράμματα προσομοίωσης.....	18
2.3.2. Μακροσκοπικά προγράμματα προσομοίωσης	20
2.3.3. Μεσοσκοπικά προγράμματα προσομοίωσης	21
2.4. Διαχείριση κυκλοφοριακών γεγονότων	24
2.4.1. Ορισμός και στόχος.....	24
2.4.2. Το πρόβλημα	24
2.4.3. Η αντιμετώπιση	26
2.5. Πινακίδες Μεταβλητών Μηνυμάτων (ΠΜΜ).....	30
2.5.1. Γενικά.....	30
2.5.2. Σχεδιασμός μηνυμάτων.....	31
2.5.3. Παρατηρήσεις για τη χρησιμοποίηση των ΠΜΜ	34
2.5.4. Απόκριση των οδηγών στις ΠΜΜ.....	34
2.6. Βασικές έννοιες κυκλοφοριακής τεχνικής [28,29].....	37
2.6.1. Μεγέθη κυκλοφοριακής ροής.....	37
2.6.2. Βασικές έννοιες κυκλοφοριακής ικανότητας.....	40
2.6.3. Βασικές έννοιες μελέτης σηματοδότησης	41
3. ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ VISSIM	44

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

3.1.	Εισαγωγή.....	44
3.2.	Περιγραφή.....	44
3.3.	Δυνατότητες.....	49
3.4.	Αδυναμίες.....	50
3.5.	Σημαντικές παράμετροι του προγράμματος.....	51
4.	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	57
4.1.	Βάση δεδομένων Κέντρου Διαχείρισης της Κυκλοφορίας (Κ.Δ.Κ.).....	57
4.2.	Επιλογή δικτύου.....	59
4.3.	Δεδομένα εισόδου μοντέλου δικτύου.....	61
4.3.1.	Συλλογή υποβάθρων.....	62
4.3.2.	Σχεδιασμός οδικού δικτύου.....	64
4.3.3.	Εισαγωγή κυκλοφοριακών δεδομένων στο δίκτυο.....	65
4.4.	Παράμετροι που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής στην προσομοίωση.....	70
4.4.1.	Χρονικά βήματα.....	70
4.4.2.	Τυχαιότητα.....	71
4.4.3.	Αριθμός επαναλήψεων.....	72
4.4.4.	Χρονική διάρκεια προσομοιώσεων.....	72
4.5.	Δείκτες λειτουργικής απόδοσης.....	73
5.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	77
5.1.	Βασικό σενάριο.....	77
5.2.	Επιλογή κυκλοφοριακού συμβάντος.....	77
5.2.1.	Τρόπος επιλογής.....	78
5.2.2.	Περιγραφή συμβάντος.....	79
5.2.3.	Μέθοδος προσομοίωσης συμβάντος.....	80
5.3.	Επιλογή εναλλακτικών σεναρίων αντιμετώπισης.....	80
5.3.1.	Περιγραφή μηδενικού σεναρίου.....	80
5.3.2.	Περιγραφή πρώτου σεναρίου.....	81
5.3.3.	Μέθοδος προσομοίωσης πρώτου σεναρίου.....	81
5.3.4.	Περιγραφή δεύτερου σεναρίου.....	82
5.3.5.	Μέθοδος προσομοίωσης δεύτερου σεναρίου.....	83
5.4.	Εξέταση αποτελεσμάτων.....	85
5.4.1.	Βασικό σενάριο.....	86
5.4.2.	Μετρήσεις κυκλοφοριακών φόρτων.....	86
5.4.3.	Μηδενικό σενάριο.....	98
5.4.4.	Πρώτο σενάριο.....	107

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

5.4.5. Δεύτερο σενάριο	115
5.5. Σύγκριση αποτελεσμάτων	123
5.5.1. Σύγκριση χρόνων διαδρομής	123
5.5.2. Σύγκριση καθυστερήσεων	128
5.5.3. Σύγκριση αριθμού στάσεων ανά όχημα.....	131
5.5.4. Σύγκριση μήκους ουρών	134
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	140
6.1. Σύνοψη αποτελεσμάτων	140
6.2. Σύνοψη συμπερασμάτων	143
6.3. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	148
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	150
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	153

Κατάλογος Διαγραμμάτων :

Διάγραμμα 1.1. Στάδια εκπόνησης Διπλωματικής Εργασίας.	7
Διάγραμμα 2.1. Ωριαία διακύμανση φόρτου σε αστική σηματοδοτούμενη αρτηρία. Πηγή: [27]	38
Διάγραμμα 2.2. Πρόγραμμα φωτεινής σηματοδότησης κόμβου Λ. Αλεξάνδρας - Κ. Λουκάρεως.Πηγή: Κ.ΔΚ..	43
Διάγραμμα 5.1. Γεγονότα έτους 2012 στη Λ. Κηφισίας. Πηγή : Κ.Δ.Κ.....	79
Διάγραμμα 5.2. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών βασικού σεναρίου. [1].....	92
Διάγραμμα 5.3. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέγιστο μήκος ουρών βασικού σεναρίου.[1].....	93
Διάγραμμα 5.4. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών βασικού σεναρίου. [2].....	94
Διάγραμμα 5.5. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέγιστο μήκος ουρών βασικού σεναρίου.[2].....	95
Διάγραμμα 5.6. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών βασικού σεναρίου. [3].....	96
Διάγραμμα 5.7. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέγιστο μήκος ουρών βασικού σεναρίου.[3].....	97

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Διάγραμμα 5.8. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών μηδενικού σεναρίου.[1]	103
Διάγραμμα 5.9. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέγιστο μήκος ουρών μηδενικού σεναρίου. [1].....	103
Διάγραμμα 5.10. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών μηδενικού σεναρίου.[2]	104
Διάγραμμα 5.12. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών μηδενικού σεναρίου.[3]	106
Διάγραμμα 5.13. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέγιστο μήκος ουρών μηδενικού σεναρίου.[3].....	106
Διάγραμμα 5.14. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών 1 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης. [1].....	111
Διάγραμμα 5.15. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέγιστο μήκος ουρών 1 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης. [1].....	111
Διάγραμμα 5.16. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών 1 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.[2].....	112
Διάγραμμα 5.17. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέγιστο μήκος ουρών 1 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης. [2].....	113
Διάγραμμα 5.18. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών 1 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης. [3].....	114
Διάγραμμα 5.19. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέγιστο μήκος ουρών 1 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης. [3].....	114
Διάγραμμα 5.20. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών 2 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης. [1].....	119
Διάγραμμα 5.21. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέγιστο μήκος ουρών 2 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης. [1].....	119
Διάγραμμα 5.22. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών 2 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης. [2].....	120
Διάγραμμα 5.23. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέγιστο μήκος ουρών 2 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης. [2].....	121
Διάγραμμα 5.24. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών 2 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης. [3].....	122

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Διάγραμμα 5.25. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέγιστο μήκος ουρών 2 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης. [3]	122
Διάγραμμα 5.26. Ποσοστιαία διαφορά χρόνων διαδρομής βασικού και μηδενικού σεναρίου.	124
Διάγραμμα 5.27. Ποσοστιαία διαφορά χρόνων διαδρομής βασικού και 1 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.	126
Διάγραμμα 5.28. Ποσοστιαία διαφορά χρόνων διαδρομής βασικού και 2 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.	127
Διάγραμμα 5.29. Ποσοστιαία διαφορά καθυστερήσεων βασικού και μηδενικού σεναρίου.	128
Διάγραμμα 5.30. Ποσοστιαία διαφορά καθυστερήσεων βασικού και 1 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.	129
Διάγραμμα 5.31. Ποσοστιαία διαφορά καθυστερήσεων βασικού και 2 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.	130
Διάγραμμα 5.32. Ποσοστιαία διαφορά μέσου αριθμού στάσεων ανά όχημα βασικού και μηδενικού σεναρίου.	131
Διάγραμμα 5.33. Ποσοστιαία διαφορά μέσου αριθμού στάσεων ανά όχημα βασικού και 1 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.	132
Διάγραμμα 5.34. Ποσοστιαία διαφορά μέσου αριθμού στάσεων ανά όχημα βασικού και 2 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.	133
Διάγραμμα 5.35. Ποσοστιαία διαφορά μέσου μήκους ουρών βασικού και μηδενικού σεναρίου.	134
Διάγραμμα 5.36. Ποσοστιαία διαφορά μέγιστου μήκους ουρών βασικού και μηδενικού σεναρίου.	135
Διάγραμμα 5.37. Ποσοστιαία διαφορά μέσου μήκους ουρών βασικού και 1 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.	136
Διάγραμμα 5.38. Ποσοστιαία διαφορά μέγιστου μήκους ουρών βασικού και 1 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.	137
Διάγραμμα 5.39. Ποσοστιαία διαφορά μέσου μήκους ουρών βασικού και 2 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.	138
Διάγραμμα 5.40. Ποσοστιαία διαφορά μέγιστου μήκους ουρών βασικού και 2 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.	139

Κατάλογος Εικόνων :

Εικόνα 3.1. Πρότυπο ακολουθούντος οχήματος κατά Wiedemann (1974). Πηγή: [19]	47
Εικόνα 3.2. Παράμετροι οδηγικής συμπεριφοράς για το ακολουθούν όχημα.	48
Εικόνα 3.3. Παράμετροι οδηγικής συμπεριφοράς για την αλλαγή λωρίδας....	49
Εικόνα 3.4. Παράμετροι οδηγικής συμπεριφοράς για τη θέση των οχημάτων και την αντίδραση στο φωτεινό σηματοδότη.	52
Εικόνα 3.5. Παράμετροι επιτάχυνσης και επιβράδυνσης για Ι.Χ.	53
Εικόνα 3.6. Παράμετροι επιτάχυνσης και επιβράδυνσης για βαρέα οχήματα.	54
Εικόνα 3.7. Παράμετροι επιτάχυνσης και επιβράδυνσης για λεωφορεία.....	55
Εικόνα 3.8. Παράμετροι επιτάχυνσης και επιβράδυνσης για ποδήλατα.	49
Εικόνα 4.1. Το εσωτερικό της κεντρικής αίθουσας του Κ.Δ.Κ.	59
Εικόνα 4.2. Εικόνα του οδικού δικτύου της Αθήνας το οποίο προσομοιώθηκε.	61
Εικόνα 4.3. Σχεδιασμός κόμβου στο Vissim με χρήση υποβάθρου.	63
Εικόνα 4.4. Οριζοντιογραφία κόμβου Λ. Αλεξάνδρας - Λ. Βασ.Σοφίας - Φειδιππίδου. Πηγή: Κ.Δ.Κ.....	64
Εικόνα 4.5. Σύνθεση της κυκλοφορίας η οποία χρησιμοποιήθηκε για τις κύριες αρτηρίες του δικτύου.	66
Εικόνα 4.6. Ενδεικτικό πρόγραμμα φωτεινή σηματοδότησης, όπως αυτό εισάγεται στο Vissim.	69
Εικόνα 4.7. Ορισμός καταγραφής χρόνων διαδρομής στο Vissim.	74
Εικόνα 4.8. Ορισμός καταγραφής ουρών αναμονής στο Vissim.	75
Εικόνα 4.9. Ορισμός σημείων συλλογής δεδομένων στο Vissim.	76
Εικόνα 4.10. Καθορισμός μεγεθών των οποίων θα γίνει καταγραφή αποτελεσμάτων στο Vissim	76
Εικόνα 5.1. Θέση ΠΜΜ23 στο οδικό δίκτυο. Πηγή : http://www.ktimanet.gr/wms/ktbasemap/	83
Εικόνα 5.2. Καθορισμός διαδρομών στο Vissim.	85

Κατάλογος Πινάκων :

Πίνακας 4.1. Ποσοστά κατανομής τύπων οχημάτων και αντίστοιχες ταχύτητες.	66
Πίνακας 5.1. Αποτελέσματα προσομοίωσης βασικού σεναρίου για φόρτους και απόκλιση από πραγματικές τιμές.	877
Πίνακας 5.2. Αποτελέσματα φόρτων βασικού σεναρίου και τυπικό σφάλμα. .	88
Πίνακας 5.3. Πραγματοποιούμενες διαδρομές.	88
Πίνακας 5.4. Μέσοι χρόνοι διαδρομής βασικού σεναρίου.	89
Πίνακας 5.5. Μέσοι χρόνοι διαδρομής βασικού σεναρίου και τυπικό σφάλμα.	89
Πίνακας 5.6. Μέσες καθυστερήσεις βασικού σεναρίου.	90
Πίνακας 5.7. Μέσοι αριθμοί στάσεων ανά όχημα βασικού σεναρίου.....	90
Πίνακας 5.8. Μέσες καθυστερήσεις βασικού σεναρίου και τυπικό σφάλμα. ...	91
Πίνακας 5.9. Μέσο μήκος ουρών βασικού σεναρίου και τυπικό σφάλμα. [1] .	93
Πίνακας 5.10. Μέγιστο μήκος ουρών βασικού σεναρίου και τυπικό σφάλμα. [1]	94
Πίνακας 5.11. Μέσο μήκος ουρών βασικού σεναρίου και τυπικό σφάλμα.[2]	95
Πίνακας 5.12. Μέγιστο μήκος ουρών βασικού σεναρίου και τυπικό σφάλμα. [2]	96
Πίνακας 5.13. Μέσο μήκος ουρών βασικού σεναρίου και τυπικό σφάλμα. [3]	98
Πίνακας 5.14. Μέγιστο μήκος ουρών βασικού σεναρίου και τυπικό σφάλμα. [3]	98
Πίνακας 5.15. Αποτελέσματα φόρτων μηδενικού σεναρίου και τυπικό σφάλμα.	99
Πίνακας 5.16. Μέσοι χρόνοι διαδρομής μηδενικού σεναρίου.	100
Πίνακας 5.17. Μέσες καθυστερήσεις μηδενικού σεναρίου.	101
Πίνακας 5.18. Μέσοι αριθμοί στάσεων ανά όχημα μηδενικού σεναρίου.....	102
Πίνακας 5.19. Αποτελέσματα φόρτων 1 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης και τυπικό σφάλμα.	108
Πίνακας 5.20. Μέσοι χρόνοι διαδρομής 1 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.	108
Πίνακας 5.21. Μέσες καθυστερήσεις 1 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.....	109
Πίνακας 5.22. Μέσοι αριθμοί στάσεων ανά όχημα 1 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.....	110

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πίνακας 5.23. Αποτελέσματα φόρτων 2 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης και τυπικό σφάλμα.	115
Πίνακας 5.24. Μέσοι χρόνοι διαδρομής 2 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.	1166
Πίνακας 5.25. Μέσες καθυστερήσεις 2 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.....	117
Πίνακας 5.26. Μέσοι αριθμοί στάσεων 2 ^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.....	118
Πίνακας 6.1. Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων.	118

Κατάλογος Μαθηματικών σχέσεων :

Σχέση 2.1. Κυκλοφοριακός φόρτος.....	37
Σχέση 2.2. Χωρικός διαχωρισμός.	8839
Σχέση 2.3. Χρονικός διαχωρισμός.	8839
Σχέση 5.1. Μέσος όρος.....	8886
Σχέση 5.2. Τυπική απόκλιση.....	8886
Σχέση 5.3. Τυπικό σφάλμα.	8886

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενική Ανασκόπηση

Η **λειτουργία** (operation) και η **διαχείριση** (management) των συστημάτων οδικών μεταφορών αποτελούν βασικά αντικείμενα της επιστήμης του συγκοινωνιολόγου μηχανικού, τα οποία έχουν ως πρωτεύοντα στόχο την εξασφάλιση ασφάλειας, άνεσης, ταχύτητας και οικονομίας στις μεταφορές προσώπων και αγαθών, καθώς και τις λιγότερες δυνατές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Έχουν ευρύ πεδίο εφαρμογής, καθώς κυκλοφοριακά προβλήματα παρουσιάζονται σε όλες τις χώρες, και οι επιπτώσεις από τη μη σωστή εφαρμογή τους είναι πολλές, τόσο για την οικονομία και το περιβάλλον, όσο και για τον άνθρωπο.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι **αστικές περιοχές**, όπου εκεί εμφανίζονται τα πολυπλοκότερα και σοβαρότερα κυκλοφοριακά προβλήματα. Η αύξηση δε του αριθμού των οχημάτων, που συχνά προκαλεί **προβλήματα κορεσμού** της οδικής υποδομής, καθιστά τις αρτηρίες των μεγαλουπόλεων τα υπ' αριθμόν ένα στοιχεία προς μελέτη. Σε τέτοια δίκτυα, η κατασκευή ή αναβάθμιση ενός έργου υποδομής απαιτεί μεγάλες επενδύσεις και συχνά οι συνέπειες είναι δυσμενείς για το περιβάλλον αν αναλογισθεί κανείς ότι παρέχεται μόνο προσωρινή αναβολή στο πρόβλημα. Σύντομα, η πρόσθετη κυκλοφορία που θα παρουσιασθεί από την κατασκευή νέων οδών, θα μηδενίσει τα οφέλη της δημιουργίας τους. Δευτερογενείς επιδράσεις του παραπάνω φαινομένου είναι ο θόρυβος, η ατμοσφαιρική ρύπανση, η αύξηση των χρόνων μετακίνησης και της κατανάλωσης καυσίμων. Εργαλεία για τη μελέτη και την εύρεση τρόπων μείωσης τους αναπτύσσονται μέσω της κυκλοφοριακής τεχνικής.

Είναι φανερό πως η **αντιμετώπιση κυκλοφοριακών γεγονότων** αποτελεί ένα σημαντικό αντικείμενο μελέτης, με κύριο σκοπό την ανίχνευση και την αποτροπή συμβάντων, ώστε η ροή των οχημάτων να αποκατασταθεί όσο το δυνατόν ομαλότερα, ασφαλέστερα και γρηγορότερα. Αναλυτικότερα, μια επιτυχημένη εφαρμογή μέτρων βελτίωσης της ροής των οχημάτων σε μία οδό ή σε ένα δίκτυο οδών οδηγεί στη βελτίωση της στάθμης εξυπηρέτησης, την αύξηση των μέσων ταχυτήτων, τη μείωση των χρόνων μετακίνησης και τον περιορισμό της κυκλοφοριακής συμφόρησης και των ατυχημάτων. Παράλληλα, περιορίζονται οι στάσεις, επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις των οχημάτων με αποτέλεσμα τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και της ρύπανσης της ατμόσφαιρας. Καθώς, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η δυνατότητα επέκτασης του οδικού δικτύου είναι συνήθως περιορισμένη, η αντιμετώπιση της κυκλοφορίας θα πρέπει να βασίζεται

κυρίως σε **αποδοτικές κυκλοφοριακές ρυθμίσεις**. Η αποτελεσματική διαχείριση των οδικών δικτύων μειώνει τη διάρκεια και τις επιδράσεις των εκάστοτε κυκλοφοριακών γεγονότων και καθιστά ασφαλέστερες τις επικρατούσες κυκλοφοριακές συνθήκες. Τα μέτρα που μπορούν να εφαρμοσθούν είναι ποικίλα και εξαρτώνται κάθε φορά από το είδος του προβλήματος.

Τα προβλήματα που τίθενται λόγω της εξαιρετικά τυχαίας φύσης των συμβάντων και της έλλειψης ικανοποιητικής διαθεσιμότητας σε δεδομένα κυκλοφοριακών γεγονότων, έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη διαφορετικών προσεγγίσεων για τη βελτίωση των κυκλοφοριακών συνθηκών, όπως τη μοντελοποίηση της κίνησης των οχημάτων και την παρατήρηση της κυκλοφορίας μέσω χρήσης προγραμμάτων προσομοίωσης. Επιπλέον, καθώς τα οδικά δίκτυα αποτελούν ένα σύστημα το οποίο λειτουργεί συνεχώς και επομένως δεν προσφέρεται για πειραματισμό, η δυνατότητα μελέτης τους μέσω **προσομοίωσης** είναι ιδιαίτερα χρήσιμη. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η παρατήρηση των επιπτώσεων και διευκολύνεται η λήψη αποφάσεων σχετικά με την εφαρμογή ή κατάργηση κυκλοφοριακών ρυθμίσεων, χωρίς καμία παρέμβαση στο πραγματικό σύστημα.

Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, κρίνεται χρήσιμη η διερεύνηση της εφαρμογής εναλλακτικών σεναρίων αντιμετώπισης κυκλοφοριακών γεγονότων μέσω της μεθόδου της μικροσκοπικής προσομοίωσης των κυκλοφοριακών συνθηκών.

1.2. Στόχος της Διπλωματικής Εργασίας

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η εξέταση της μεταβολής των κυκλοφοριακών συνθηκών σε κύριο αστικό οδικό δίκτυο μετά από ένα κυκλοφοριακό συμβάν και η **συγκριτική ανάλυση εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης της κυκλοφορίας** με τη χρήση ειδικού προγράμματος μικροσκοπικής προσομοίωσης. Η επιλογή και η πραγματοποίηση των επεμβάσεων αυτών στηρίχθηκε σε πραγματικές συνθήκες και σε μέτρα τα οποία εφαρμόζονται σε αντίστοιχες περιπτώσεις από το Κέντρο Διαχείρισης της Κυκλοφορίας της περιφέρειας Αττικής (Κ.Δ.Κ.). Το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε για το σκοπό αυτό είναι το πρόγραμμα μικροσκοπικής προσομοίωσης Vissim 5.00 – 04.

Επιπλέον, ιδιαίτερα χρήσιμη και ενδιαφέρουσα είναι η παρατήρηση της μεταβολής των κυκλοφοριακών συνθηκών με την **εφαρμογή εναλλακτικών**

μέτρων επέμβασης στο οδικό δίκτυο το οποίο τίθεται ως **δευτερεύων στόχος**. Συγκεκριμένα, η επέμβαση στα προγράμματα φωτεινής σηματοδότησης και η επιρροή της χρήσης των Πινακίδων Μεταβλητών Μηνυμάτων (ΠΜΜ), είναι τα δύο μέτρα που εφαρμόστηκαν και οι αλλαγές που επέφεραν στο δίκτυο διέφεραν μεταξύ τους. Επομένως, έχοντας τα αποτελέσματα αυτών των επεμβάσεων είναι δυνατό να επιλεγεί η βέλτιστη λύση για το συγκεκριμένο δίκτυο και τις συγκεκριμένες κυκλοφοριακές συνθήκες. Σημειώνεται πως η βέλτιστη λύση δεν είναι μονοσήμαντη και δεν προκύπτει πάντοτε από μία παράμετρο όπως από τις μικρότερες καθυστερήσεις ή το μικρότερο μήκος ουρών, αλλά είναι πολυπαραγοντική και για να επιλεγεί λαμβάνονται υπόψη πολλές παράμετροι.

Για τους παραπάνω σκοπούς επιλέχθηκε **συγκεκριμένη περιοχή έρευνας** στο κέντρο της Αθήνας, σε αρτηρίες οι οποίες εμφανίζουν συχνά προβλήματα λόγω γεγονότων που λαμβάνουν μέρος σε αυτές και έχουν ως αποτέλεσμα τον αποκλεισμό μίας ή περισσότερων λωρίδων. Συνεπώς, η κατανομή των οχημάτων ή ακόμη και η επιλογή της διαδρομής που θα ακολουθήσουν, αλλάζει, κάτι που έχει ευρεία επίδραση στο δίκτυο και πολλές φορές προκύπτει επιτακτική **η ανάγκη για επέμβαση**.

Για την ανάπτυξη του μοντέλου του δικτύου κρίθηκε απαραίτητη η **ακριβής απεικόνιση του δικτύου** και η εισαγωγή πραγματικών φόρτων, προκειμένου να υπολογισθούν όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Η χρήση στοιχείων από το ΚΔΚ, όπως οι οριζοντιογραφίες των κόμβων και τα προγράμματα φωτεινής σηματοδότησης, αλλά και η χρήση του προγράμματος Google Earth, καθώς και των χαρτών από το κτηματολόγιο, συνέβαλαν αποτελεσματικά στη διαμόρφωση του δικτύου.

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε, καθώς και τα συμπεράσματα τα οποία απορρέουν από αυτό αναμένεται να γίνουν **χρήσιμος οδηγός** για τη διαχείριση καταστάσεων ανάγκης σε αντίστοιχες περιπτώσεις και να **βοηθήσουν στην κατανόηση** του μεγέθους της επίδρασης ενός κυκλοφοριακού συμβάντος σε ένα οδικό δίκτυο, καθώς και της χρησιμότητας εφαρμογής μέτρων βελτίωσης σε αυτό. Επιδιώκεται η παραχθείσα γνώση να χρησιμοποιηθεί ως παράδειγμα διαχείρισης της κυκλοφορίας σε ένα οδικό δίκτυο το οποίο χρήζει επέμβασης. Ως απώτερος σκοπός τίθεται, επομένως, η επίτευξη της ασφάλειας, της άνεσης και της ταχύτητας στο δίκτυο το οποίο έχει υποστεί αλλαγές, μέσω εφαρμογής των κατάλληλων μέτρων βελτίωσης.

1.3. Μεθοδολογία

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται συνοπτικά η μεθοδολογία πάνω στην οποία στηρίχθηκε η εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας για την επίτευξη του στόχου της.

Το πρώτο στάδιο αφορούσε στον **καθορισμό του αντικειμένου** καθώς και τον επιδιωκόμενο στόχο της Διπλωματικής Εργασίας. Η προσομοίωση αποτελεί έναν από τους πλέον ικανοποιητικούς τρόπους για την αναπαράσταση ενός μοντέλου και τη διερεύνηση προβλημάτων τα οποία είναι δύσκολο να αντιμετωπισθούν μέσω άλλων μεθόδων, όπως στην προκειμένη περίπτωση η εξέλιξη του μοντέλου με την πάροδο του χρόνου. Διαθέτοντας, επομένως, ένα τέτοιο εργαλείο οι δυνατότητες εκμετάλλευσης του είναι ποικίλες. Η επιλογή του αντικειμένου ήταν αποτέλεσμα πρότασης του Κέντρου Διαχείρισης Κυκλοφορίας της Περιφέρειας Αττικής (Κ.Δ.Κ.) και προσωπικής προτίμησης.

Εν συνεχεία, πραγματοποιήθηκε ευρεία **βιβλιογραφική ανασκόπηση** η οποία αφορούσε στον προσδιορισμό της έννοιας της προσομοίωσης στην κυκλοφορία καθώς και τις διαφορές μεταξύ μικροσκοπικής, μεσοσκοπικής και μακροσκοπικής προσομοίωσης. Επιπλέον, η αναζήτηση περιελάμβανε έρευνες με παρεμφερές περιεχόμενο, επιστημονικά άρθρα και δημοσιεύσεις σχετικές με το εξεταζόμενο αντικείμενο, τόσο σε ελληνικό, όσο και σε διεθνές επίπεδο. Οι γνώσεις από τις έρευνες αυτές θα συνέβαλαν στη βαθύτερη κατανόηση της μεθόδου της προσομοίωσης και θα φαίνονταν χρήσιμες στην απόκτηση εμπειρίας σχετικά με τη χρήση του προγράμματος προσομοίωσης με το οποίο πραγματοποιήθηκε η εργασία.

Σε επόμενο στάδιο αναζητήθηκαν τα **προγράμματα μικροσκοπικής προσομοίωσης της κυκλοφορίας** με τα οποία θα μπορούσε να απεικονισθεί ικανοποιητικά το δίκτυο και τα οποία έχουν τη δυνατότητα εξαγωγής αποτελεσμάτων. Το λογισμικό Vissim, το οποίο ήταν διαθέσιμο από το Κ.Δ.Κ., αποτελεί ένα από τα γνωστότερα και πιο αξιόπιστα προγράμματα προσομοίωσης που διατίθενται στον τομέα των μεταφορών και των συγκοινωνιών.

Ακολούθησε η μελέτη ενός **αρχείου από τη βάση δεδομένων του Κ.Δ.Κ.** όπου καταγράφονταν στοιχεία για **γεγονότα** τα οποία συνέβησαν κατά τη διάρκεια του έτους 2012 στις μεγαλύτερες αρτηρίες της Αττικής, ώστε να επιλεγθούν αρτηρίες με ιδιαίτερο ενδιαφέρον προς μελέτη. Σε αυτή τη φάση επιλέχθηκε η περιοχή που περιλαμβάνει τη λεωφόρο Αλεξάνδρας, τις λεωφόρους Κηφισίας και Μεσογείων

έως το ύψος των ανισόπεδων κόμβων (A/K) στη Λ. Κατεχάκη, τη Λ. Κατεχάκη στο ενδιάμεσο τμήμα αυτών, καθώς και ενδιάμεσες μεγάλες οδούς όπως την Πανόρμου, τη Ζαχάρωφ, τμήμα της Βασιλίσσης Σοφίας, τη Φειδιππίδου και άλλες μικρότερες.

Στη συνέχεια έγινε η επιλογή των **δεικτών λειτουργικής απόδοσης** (measures of operational performance), οι οποίοι θα ήταν οι πλέον χρήσιμοι και αξιόλογοι για την εξαγωγή αποτελεσμάτων τα οποία θα είχαν πρακτικό ενδιαφέρον στην παρούσα εργασία. Επιλέχθηκαν να εκτιμηθούν ο μέσος χρόνος διαδρομής, η μέση καθυστέρηση και ο μέσος αριθμός στάσεων ανά όχημα, καθώς και το μέσο και το μέγιστο μήκος ουρών αναμονής. Τα παραπάνω αποτελούν ενδιαφέροντα στοιχεία για το οδικό δίκτυο μιας πόλης, ιδιαίτερα για κεντρικό σημείο αυτής όπως είναι το δίκτυο που επιλέχθηκε να μελετηθεί. Σημειώνεται πως οι μετρήσεις τους έχουν γίνει ανά δεκαπέντε λεπτά.

Το επόμενο σκέλος της φάσης αυτής ήταν η **συλλογή στοιχείων** από τη βάση δεδομένων του Κ.Δ.Κ. που αφορούσε **χαρακτηριστικά των οδών**, όπως οι φόρτοι που είχαν μετρηθεί σε αυτές από το μηχανικό εξοπλισμό του Κ.Δ.Κ., οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν στη μορφή οχήματα ανά ώρα. Επιπλέον, συλλέχθηκαν οι απαραίτητες οριζοντιογραφίες των σηματοδοτούμενων κόμβων, μαζί με τα προγράμματα φωτεινής σηματοδότησης τους. Με τη βοήθεια των παραπάνω αλλά και με χάρτες οι οποίοι ήταν διαθέσιμοι στο διαδίκτυο, καθώς και με χρήση της υπηρεσίας του Google, "Google Earth", θα πραγματοποιούνταν η διαμόρφωση του δικτύου. Σημειώνεται πως στην, όσο το δυνατόν πιο πιστή, απεικόνιση του δικτύου συνέβαλε και η παρακολούθηση των οδών αυτών από τις κάμερες διαχείρισης της κυκλοφορίας του κέντρου.

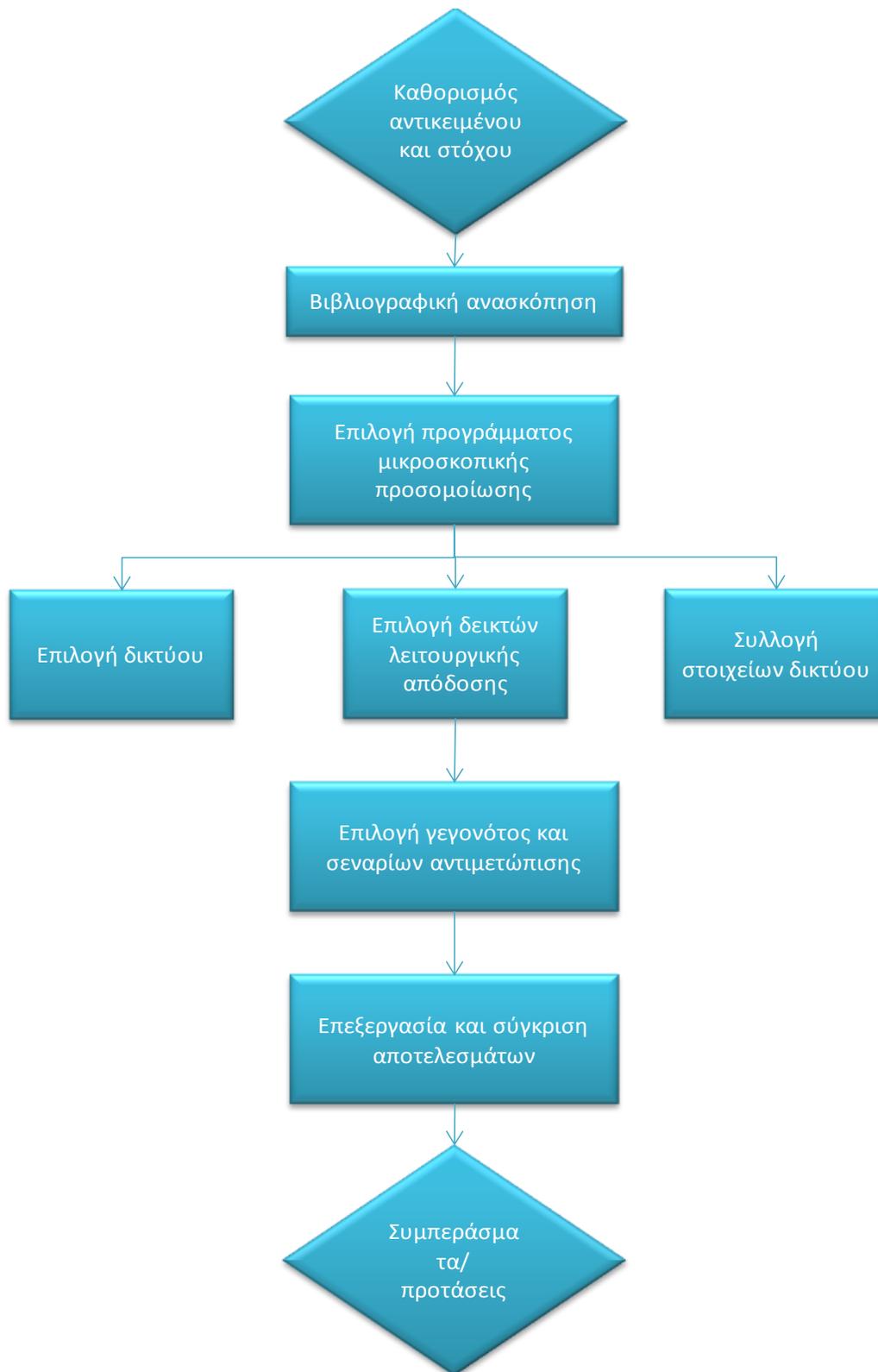
Για την επίτευξη του στόχου της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, ακολούθησε η **επιλογή του γεγονότος** και των εναλλακτικών **σεναρίων αντιμετώπισής** του τα οποία θα προσομοιώνονταν προκειμένου να δώσουν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Το Vissim δεν έχει τη δυνατότητα να αλλάζει από μόνο του την αρχική τιμή της γεννήτριας τυχαίων αριθμών. Επειδή η διαδικασία και το μοντέλο θα πρέπει να είναι στοχαστικό και όχι αιτιοκρατικό, για να προσεγγισθούν όσο το δυνατόν περισσότερο οι πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας, χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές αρχικές τιμές της γεννήτριας (random seeds) οι οποίες ήταν ίδιες για τα διαφορετικά σενάρια.

Η **επεξεργασία των αποτελεσμάτων**, έπειτα από τον απαραίτητο αριθμό επαναλήψεων με διαφορετικές αρχικές τιμές της γεννήτριας του προγράμματος, πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια μακροεντολών του προγράμματος excel για

την εξοικονόμηση χρόνου και την εξασφάλιση ομοιομορφίας στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Διαμορφώθηκαν, επίσης, αρχεία όπου έγιναν οι απαραίτητες διαδικασίες για την αποτελεσματική **σύγκριση** των αποτελεσμάτων μεταξύ των διαφορετικών σεναρίων.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε η **εξαγωγή συμπερασμάτων** από τα αποτελέσματα που προέκυψαν μέσω της προσομοίωσης και διατυπώθηκαν προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Παρακάτω παρουσιάζεται υπό μορφή διαγράμματος ροής η πορεία της διαμόρφωσης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.



Διάγραμμα 1.1. Στάδια εκπόνησης Διπλωματικής Εργασίας.

1.4. Δομή της Διπλωματικής εργασίας

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η δομή της Διπλωματικής Εργασίας μέσω της συνοπτικής αναφοράς στο περιεχόμενο των κεφαλαίων της, για διευκόλυνση και καλύτερη κατανόηση του αναγνώστη.

Το **πρώτο κεφάλαιο** αποτελεί την εισαγωγή και περιλαμβάνει μια γενική ανασκόπηση όπου αναφέρεται η χρησιμότητα της διαχείρισης της κυκλοφορίας σε αστικά οδικά δίκτυα και τονίζεται η σημαντικότητα της χρήσης της προσομοίωσης για την ευκολότερη μελέτη ζητημάτων συγκοινωνιακού ενδιαφέροντος. Επιπλέον, περιλαμβάνεται η περιγραφή του αντικειμένου της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας καθώς και οι επιδιωκόμενοι στόχοι της. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε για την καλύτερη δυνατή επίτευξη των στόχων, τόσο με τη μορφή κειμένου, όσο και συνοπτικότερα με τη μορφή διαγράμματος ροής. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την παρούσα σύνοψη της δομής του συνόλου της Διπλωματικής Εργασίας.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης όπως αυτά προέκυψαν από την αναζήτηση στοιχείων σχετικά με τα διάφορα είδη προσομοίωσης (μίκρο-, μέγρο- και μεσοσκοπική). Επιπλέον παρουσιάζονται τα διαφορετικά είδη προγραμμάτων προσομοίωσης της κυκλοφορίας, με αναφορές στις δυνατότητές του. Γίνεται, επίσης, μια γενική αναφορά στα διάφορα μέτρα που λαμβάνονται για τη διαχείριση κυκλοφοριακών γεγονότων, σύμφωνα με την ελληνική αλλά και τη διεθνή βιβλιογραφία. Τέλος, παρατίθενται κάποιες βασικές έννοιες κυκλοφοριακής τεχνικής, οι οποίες είναι χρήσιμες για την παρούσα διερεύνηση.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** γίνεται αναλυτική περιγραφή του προγράμματος μικροσκοπικής προσομοίωσης Vissim, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Συγκεκριμένα, αναφέρεται το μοντέλο στο οποίο στηρίζεται, οι δυνατότητές και οι αδυναμίες του. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με μια σύντομη αναφορά στις παραμέτρους για τα οχήματα, όπως ορίστηκαν για την εκτέλεση της προσομοίωσης.

Το **τέταρτο κεφάλαιο** περιλαμβάνει την ανάπτυξη του μοντέλου προσομοίωσης. Πραγματοποιείται εκτενής αναφορά στην επιλογή του υπό μελέτη αστικού οδικού δικτύου, καθώς και στη διαδικασία διαμόρφωσής του. Περιγράφεται λεπτομερώς τόσο ο γεωμετρικός σχεδιασμός του δικτύου, όσο και η εισαγωγή κυκλοφοριακών δεδομένων, όπως τα προγράμματα φωτεινής σηματοδότησης και οι κυκλοφοριακοί φόρτοι, σε αυτό για την επιτυχή εκτέλεσή του. Ακόμη, αναλύεται η διαδικασία προσαρμογής των παραπάνω στο δίκτυο και οι έλεγχοι που

πραγματοποιήθηκαν πριν την ολοκλήρωσή του. Τέλος, γίνεται αναφορά στους δείκτες λειτουργικής απόδοσης οι οποίοι επιλέχθηκαν για την διεξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων τα οποία θα ανταποκρίνονται στους στόχους που έχουν τεθεί.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** περιγράφεται η εφαρμογή του μοντέλου του δικτύου όπως σχεδιάστηκε τελικώς. Αρχικά γίνεται αναφορά στο βασικό σενάριο και κατόπιν στο πώς αυτό διαμορφώθηκε έπειτα από την εφαρμογή κάποιου γεγονότος. Στη συνέχεια, περιγράφονται και εξετάζονται τα εναλλακτικά σενάρια αντιμετώπισης του γεγονότος αυτού. Τέλος παρατίθενται τα αποτελέσματα τα οποία έχουν εξαχθεί από την εφαρμογή του απαραίτητου αριθμού επαναλήψεων και ακολουθεί μια σύγκριση μεταξύ του βασικού σεναρίου και των υπολοίπων.

Το **έκτο κεφάλαιο** περιλαμβάνει τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Εκεί γίνεται προσπάθεια εκτίμησης και ερμηνείας των πιθανών λύσεων του προβλήματος. Επίσης, διατυπώνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο.

Στο **έβδομο κεφάλαιο** παρατίθεται η βιβλιογραφία η οποία χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Παρουσιάζεται με τη μορφή καταλόγου το σύνολο των ερευνών, επιστημονικών άρθρων και δημοσιεύσεων πάνω στα οποία έχουν στηριχθεί οι αναφορές που έχουν πραγματοποιηθεί στα προηγούμενα κεφάλαια. Στο τέλος, ακολουθεί ένα παράρτημα με εικόνες από το προγραμματιστικό περιβάλλον του Vissim, κατά τη διαδικασία εκτέλεσης της προσομοίωσης.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό, αναλύονται **βασικές έννοιες** της **προσομοίωσης** της κυκλοφορία και κατηγοριοποιούνται τα διάφορα μοντέλα που υπάρχουν. Ακόμη, γίνεται αναφορά σε χρησιμοποιούμενα προγράμματα προσομοίωσης, ταξινομημένα με βάση το είδος τους. Στη συνέχεια, γίνεται διερεύνηση της έννοιας της **διαχείρισης κυκλοφοριακών γεγονότων**, καθώς και αναφορά στα στάδια που αυτή περιλαμβάνει. Ακολουθεί η **περιγραφή της χρήσης των πινακίδων μεταβλητών μηνυμάτων**, με έμφαση στην εφαρμογή τους στην κυκλοφορία και στα στοιχεία που αφορούν στο περιεχόμενο των μηνυμάτων και στην απόκριση των οδηγών στα μηνύματα αυτών. Τέλος, παρατίθενται κάποιες **βασικές έννοιες κυκλοφοριακής τεχνικής**, με αναφορά σε βασικά μεγέθη της κυκλοφοριακή ροής.

2.1. Η έννοια της προσομοίωσης στη μελέτη της κυκλοφορίας

2.1.1. Εισαγωγή

Η προσομοίωση (simulation) είναι μία μέθοδος μελέτης ενός συστήματος και εξοικείωσης με τα χαρακτηριστικά του. Όσον αφορά στην κυκλοφορία, αυτό καθίσταται εφικτό με τη βοήθεια μιας **μαθηματικής μοντελοποίησης** του μεταφορικού περιβάλλοντος (αρτηρίες, κόμβους κλπ) μέσω της εφαρμογής κατάλληλου λογισμικού σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Σκοπός του υπολογιστικού αυτού μοντέλου που προκύπτει είναι η **εκτίμηση της συμπεριφοράς** του πραγματικού συστήματος υπό συνήθεις και ασυνήθεις συνθήκες, καθώς αυτό εξελίσσεται χρονικά. Η αναπαράσταση αυτή μπορεί να είναι ταχύτερη, οικονομικότερη, λιγότερο επικίνδυνη ή περισσότερο προσιτή από την πραγματική διεργασία. Η προσομοίωση μεταφορικών συστημάτων ξεκίνησε πριν από περίπου εξήντα χρόνια και σήμερα αποτελεί έναν πολύ μεγάλης σημασίας και βαρύτητας τομέα στον κλάδο των συγκοινωνιολόγων.

Η προσομοίωση των μεταφορικών συστημάτων πλεονεκτεί στο γεγονός ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη **διερεύνηση αρκετά πολύπλοκων συστημάτων**, τα οποία είναι δύσκολο να αντιμετωπισθούν με μια απλή μαθηματική ανάλυση. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για έρευνες σε πειραματικό στάδιο, να μελετήσει λεπτομερώς συσχετίσεις, στοιχεία των οποίων πιθανόν να χάνονταν με μια αριθμητική προσέγγιση και να παράγει **οπτική**

αναπαράσταση μοντέλων κυκλοφορίας τόσο για το παρόν όσο και για το μέλλον. **Ενδεικτικές χρήσεις** της είναι σε οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα, σε αεροπορικές και θαλάσσιες μεταφορές για θέματα όπως ο σχεδιασμός έργων, η μελέτη αλλαγής χρήσεων γης και ο έλεγχος κυκλοφοριακών ρυθμίσεων.

Για τη επιτυχή διαδικασία της μοντελοποίησης και της προσομοίωσης ενός συστήματος, είναι πολύ σημαντική η **επαλήθευση**, η οποία μπορεί να γίνει μέσω σύγκρισης των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με εμπειρικά δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από το πραγματικό σύστημα. Αυτό εξασφαλίζει την **ορθότητα** και την **αξιοπιστία** των αποτελεσμάτων και επιβεβαιώνει την πιστή αναπαράσταση του πραγματικού συστήματος μέσω του μοντέλου που κατασκευάστηκε, τουλάχιστον μέσα σε κάποια ανεκτά όρια.

2.1.2. Κατηγορίες μοντέλων προσομοίωσης

Τα πρότυπα με τα οποία λειτουργεί η προσομοίωση περιλαμβάνουν μία πληθώρα μεταβλητών οι οποίες διαθέτουν τις απαραίτητες πληροφορίες για την περιγραφή της χρονικής εξέλιξης του συστήματος. Σε κάθε περίπτωση, οι μεταβλητές θα πρέπει να είναι επαρκείς ώστε να αντιπροσωπεύουν ικανοποιητικά την κατάσταση του συστήματος σε όλες τις χρονικές του φάσεις. Αναλόγως το είδος των μεταβλητών διακρίνονται σε **συνεχή** (continuous), **διακριτά** (discrete) ή και μεικτά πρότυπα.

Επίσης, τα μοντέλα αυτά με βάση τα χαρακτηριστικά τους μπορούν να ενταχθούν σε άλλες δύο μεγάλες κατηγορίες. Πρώτον, στα **αιτιοκρατικά** (deterministic) ή προσδιοριστικά μοντέλα, στα οποία οι γνωστές μεταβλητές αρκούν για την ακριβή πρόβλεψη των αποτελεσμάτων τους, παράδειγμα των οποίων είναι ο χρόνος εκλείψεων του ήλιου ή ο τόκος που θα λάβουμε για καταθέσεις δεδομένου ύψους με προκαθορισμένο επιτόκιο. Ένα ντετερμινιστικό μοντέλο δεν υπόκειται σε τυχαιότητα. Δεύτερον, στα **στοχαστικά** (stochastic) μοντέλα, στα οποία οι γνωστές μεταβλητές δεν αρκούν για την ακριβή πρόβλεψη των αποτελεσμάτων τους. Καλούνται και πειράματα τύχης και παραδείγματα τους αποτελούν η περιγραφή των σειρών αναμονής στα δρόμα, το αποτέλεσμα της ρίψης ενός ζαριού ή ο χρόνος ζωής του ανθρώπου.

Η μεθοδολογία ανάπτυξης των μοντέλων μπορεί να περιλαμβάνει πιθανότητες και στατιστική, αριθμητικές εφαρμογές και διαφορικές εξισώσεις. Ενδεικτικά αναφέρονται η μέθοδος Monte Carlo, τα κυψελωτά αυτόματα (cellular automata), τα μοντέλα προσομοίωσης διακριτών συμβάντων και τα πρότυπα ακολουθούστος οχήματος. [27]

Η προσέγγιση του θέματος στην έρευνα της μελέτης των κυκλοφοριακών συνθηκών είναι δυνατό να γίνει σε διάφορα επίπεδα λεπτομέρειας. Αυτό εξαρτάται από το είδος των αλληλεπιδράσεων προς μελέτη και τα μεγέθη που ενδιαφέρουν την κάθε προσέγγιση. Παρακάτω παρουσιάζονται τα είδη των προγραμμάτων προσομοίωσης, με βάση το επίπεδο λεπτομέρειας, το οποίο ουσιαστικά αφορά σε τι βαθμό αναπαριστώνται τα φαινόμενα κυκλοφοριακής ροής.

2.1.3. Μικροσκοπική προσομοίωση (micro-simulation)

Τα μοντέλα μικροσκοπικής προσομοίωσης (μικροπροσομοίωσης) εντοπίζουν τις μεμονωμένες κινήσεις κάθε οχήματος ξεχωριστά και βασίζονται στην περιγραφή τους από ένα διάνυσμα το οποίο αποτελείται από συνιστώσες όπως το μέγεθος του οχήματος, η ταχύτητα, η μέγιστη επιτάχυνση και η θέση του στο χώρο. Ανάλογα με τη θεώρηση για την εξέλιξη των κυκλοφοριακών μεγεθών με το χρόνο, τα μικροσκοπικά πρότυπα μπορεί να είναι συνεχή σε χώρο και χρόνο (πρότυπα ακολουθούντος οχήματος), διακριτά στο χρόνο, αλλά συνεχή σε χώρο ή διακριτά σε χώρο και χρόνο (Cellular Automata). Σε ορισμένες περιπτώσεις, την κίνηση του κάθε οχήματος μπορεί να επηρεάσει επιπλέον και η κίνηση των προπορευόμενων και γειτονικών οχημάτων, κάτι που είναι δυνατό μόνο στο συγκεκριμένο είδος προσομοίωσης. Επιπλέον, στα μικροσκοπικά μοντέλα προσομοίωσης, ο έλεγχος της κυκλοφορίας στον οποίο υπόκεινται τα οχήματα (οι οδηγοί), περιγράφεται λεπτομερώς : τα σήματα κυκλοφορίας, οι φωτεινοί σηματοδότες και ο τρόπος που λειτουργούν, ακόμη και η τοποθεσία των ανιχνευτών.

Η μικροπροσομοίωση βασίζεται σε τυχαίους αριθμούς για τη «γένεση» των οχημάτων, για την επιλογή αποφάσεων δρομολόγησης, και τον καθορισμό της οδηγικής συμπεριφοράς. Λόγω αυτής της διακύμανσης, είναι απαραίτητο το μοντέλο να τρέξει αρκετές φορές με διαφορετικές γεννήτριες τυχαίων αριθμών ώστε να ληφθεί η επιθυμητή ακρίβεια. Θα υπάρξει μια περίοδος «προετοιμασίας» πριν το σύστημα φτάσει σε μια σταθερή κατάσταση, και τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από την περίοδο αυτή θα πρέπει να εξαιρεθούν.

Τα μοντέλα μικροπροσομοίωσης παράγουν συνήθως δύο είδη αποτελεσμάτων: κινούμενες παραστάσεις και αριθμητικά αποτελέσματα σε αρχεία κειμένου. Είναι

σημαντικό να γίνει κατανοητό ο τρόπος με τον οποίο το λογισμικό έχει συσσωρεύσει και συνοψίσει τα αριθμητικά αποτελέσματα για να αποφευχθούν παρερμηνείες. Η κινούμενη παράσταση επιτρέπει στον αναλυτή να εκτιμήσει γρήγορα την απόδοση, ωστόσο, είναι περιορισμένη σε ποιοτικές συγκρίσεις. Η κύρια ένδειξη ενός προβλήματος που μπορεί να εντοπιστεί σε μια κινούμενη εικόνα είναι η διαμόρφωση ουρών.

Το πλεονέκτημα των μικροσκοπικών μοντέλων είναι σαφώς η μεγάλη λεπτομέρεια στην περιγραφή του φαινομένου της κυκλοφορίας καθώς καθίσταται δυνατό να συμπεριληφθεί ένα μεγάλο εύρος χαρακτηριστικών της κυκλοφορίας των οχημάτων, του οδικού δικτύου και των ειδικών συνθηκών που θα προσομοιωθούν. Ωστόσο, αυτό μπορεί να λειτουργήσει και ως μειονέκτημα για τα μικροσκοπικά μοντέλα. Οι μεγάλες απαιτήσεις σε όγκο δεδομένων, η πολυπλοκότητα που απαιτεί ο σχεδιασμός του μοντέλου και η στατιστική ανάλυση αποτελούν επίσης μειονεκτήματα αυτής της προσέγγισης, λόγω του μεγάλου κόστους σε χρόνο και σε υπολογιστικούς πόρους.

Τα πιο συνηθισμένα μοντέλα κυκλοφορίας βασίζονται στην αναπαράσταση της συμπεριφοράς του οδηγού η οποία καθορίζεται από αλγόριθμους οι οποίοι αφορούν στο ακολουθούν όχημα (car following), την αποδεκτή απόσταση μεταξύ των οχημάτων (gap acceptance) και την αλλαγή λωρίδας (lane changing). Η επιτυχία των μικροσκοπικών μοντέλων σχετίζεται με την ανάλυση σχετικά μικρού μεγέθους δικτύων και κατά συνέπεια η εφαρμογή τους σε μεσαία προς μεγάλα μεγέθους δίκτυα απαιτεί μεγάλο υπολογιστικό χρόνο και προσπάθεια για ένα κατάλληλα διαμορφωμένο μοντέλο.

Πρότυπο ακολουθούντος οχήματος

Βασική προϋπόθεση στο μικροσκοπικό πρότυπο ακολουθούντος οχήματος (car-following model) είναι η συνέχεια της κυκλοφοριακής ροής σε χώρο και χρόνο. Η θεώρηση του συγκεκριμένου προτύπου βασίζεται στη παραδοχή ότι η απόκριση κάθε οχήματος μπορεί να θεωρηθεί ως η απάντηση στο ερέθισμα από κάποιον εξωγενή ή ενδογενή παράγοντα της κυκλοφορίας. Επομένως, το μοντέλο του ακολουθούντος οχήματος έχει τη μορφή της εξίσωσης ερέθισμα (stimulus) – απόκριση (response). Ως απόκριση θεωρείται η αντίδραση του οδηγού, στην κίνηση του προπορευμένου οχήματος. Η αντίδραση αυτή μπορεί να είναι είτε επιτάχυνση του οχήματος είτε επιβράδυνση ανάλογα με το μέγεθος του ερεθίσματος σε χρόνο t . Όπου T είναι ο χρόνος αντίδρασης.

Η μορφή της εξίσωσης είναι:

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

Το ερέθισμα είναι συνάρτηση της θέσης και των ταχυτήτων. Έχει αποδειχθεί ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της αντίδρασης του οδηγού και της σχετικής ταχύτητας ενός οχήματος και του προπορευόμενου του. Ουσιαστικά το μέγεθος που καθορίζει τη συμπεριφορά του ακολουθούντος οχήματος είναι η επιθυμητή απόσταση που χωρίζει δύο διαδοχικά οχήματα, ώστε να αποφευχθεί η πιθανότητα σύγκρουσης τους, στην περίπτωση ξαφνικής πέδησης του οδηγού του προπορευμένου οχήματος.

Αποδεκτό διάκενο

Στα μικροσκοπικά μοντέλα προσομοίωσης, οι αλγόριθμοι για το αποδεκτό χρονικό διάκενο ελέγχουν τις κινήσεις και τη συμπεριφορά των οχημάτων στις περιοχές με συγκρουόμενα ρεύματα κυκλοφορίας. Τα ελάχιστα αποδεκτά διάκενα διαφέρουν για διαφορετικούς ελιγμούς, για παράδειγμα είναι μεγαλύτερα στις αριστερές στροφές από ότι σε ευθείες κινήσεις, και, επίσης, διαφέρουν αναλόγως τον τύπο οδηγικής συμπεριφοράς που έχει οριστεί, καθώς επιθετικοί οδηγοί (aggressive drivers) θα δεχτούν μικρότερο διάκενο. Οτιδήποτε μικρότερο (σε διάρκεια) από αυτό το αποδεκτό διάκενο, θεωρείται μη ασφαλές και απορρίπτεται. Το πόσο μεγάλο ή μικρό είναι αυτό το κενό, μπορεί και να καθορίσει σημαντικά το πόσο ρεαλιστικά συμπεριφέρεται το μοντέλο και, κατά συνέπεια, να αποφέρει υπερεκτιμημένα ή υποτιμημένα αποτελέσματα για ουρές αναμονής, καθυστερήσεις κλπ.

Αλλαγή λωρίδων

Οι αλγόριθμοι που αφορούν στην αλλαγή λωρίδων, ελέγχουν τον τρόπο με τον οποίο τα οχήματα κινούνται στην οδό και αλλάζουν λωρίδες μέσα στο ρεύμα κυκλοφορίας που βρίσκονται. Οι αλλαγές λωρίδων αποτελούν πολύπλοκους ελιγμούς, οι οποίοι εξαρτώνται από την οδηγική συμπεριφορά, την απόδοση του οχήματος και την κυκλοφοριακή κατάσταση. Οι λόγοι για τους οποίους ένα όχημα θα αλλάξει λωρίδα είναι διάφοροι και, συνήθως, περιλαμβάνουν υποχρεωτική αλλαγή λωρίδας, πχ αν η λωρίδα παρεμποδίζεται, σταματάει ή μετατρέπεται σε λωρίδα για στροφή, αλλαγή λόγω επιθυμίας να βρεθεί στη σωστή θέση, πχ για να στρίψει, και επιλεκτική αλλαγή, πχ για να προσπεράσει ένα πιο αργό όχημα. Από τη στιγμή που το όχημα έχει αποφασίσει να αλλάξει λωρίδα, θα πρέπει να βρει ένα αποδεκτό κενό στο διπλανό ρεύμα κυκλοφορίας και να διασφαλίσει ότι δεν υπάρχουν διαφορές στις ταχύτητες των οχημάτων, κάτι το οποίο θα καθιστούσε τον ελιγμό επικίνδυνο (για παράδειγμα, ένα αργό όχημα να προσπεράσει ένα άλλο που κινείται γρηγορότερα).

Η πολυπλοκότητα στον καθορισμό αυτής της παραμέτρου, είναι συχνά πηγή για παρατυπίες στην προσομοίωση. Οι παρατυπίες αυτές μπορεί να μη γίνονται

αισθητές σε περιπτώσεις όπου οι αλλαγές λωρίδων που πραγματοποιούνται είναι λίγες. Ωστόσο, σε άλλες περιπτώσεις, όπου η κυκλοφορία είναι αυξημένη και οι ελιγμοί πιο σύνθετοι, η εικόνα που θα προκύψει από το μοντέλο, ενδεχομένως να διαφέρει από εκείνη που επικρατεί στην πραγματικότητα.

2.1.4.Μακροσκοπική προσομοίωση (macro-simulation)

Τα μακροσκοπικά μοντέλα βρίσκονται στο άλλο άκρο και αφορούν προσομοίωση υψηλότερου επιπέδου από εκείνο των μεμονωμένων οχημάτων. Η κυκλοφορία των οχημάτων εξετάζεται συνολικά, στο πλαίσιο βασικών κυκλοφοριακών μεγεθών όπως η ροή, η χωρική πυκνότητα και η μέση ταχύτητα, ως μία συνάρτηση της τοποθεσίας x σε ένα αυτοκινητόδρομο τη χρονική στιγμή t και δεν εξετάζονται μεμονωμένοι ελιγμοί όπως οι αλλαγές λωρίδων. Τα πρότυπα αυτά εξάγουν εκτιμήσεις για τις αναμενόμενες τιμές των μετρήσεων προς αξιολόγηση. Τα παρεχόμενα αποτελέσματα δίνονται είτε σε επίπεδο πληθυσμού είτε για κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Παράλληλα ανταποκρίνονται σε βασικά διαγράμματα των κυκλοφοριακών μεγεθών. Γενικά τα μακροσκοπικά πρότυπα είναι χαμηλού κόστους όσον αφορά στους υπολογιστικούς πόρους σε σχέση με τα μικροσκοπικά, αλλά χρειάζονται προκαταρκτική ανάλυση για την εξαγωγή εξισώσεων που θα περιγράφουν τις δυναμικές του συστήματος. Η ιδέα αυτή εφαρμόζεται σε μοντέλα δυναμικής υγρών (fluid dynamics), επομένως σε αυτές τις περιπτώσεις, η κυκλοφορία αντιμετωπίζεται ως ροές οι οποίες μπορούν να περιγραφούν από συστήματα διαφορικών εξισώσεων τα οποία πρέπει να επιλυθούν αναλυτικά.

2.1.5.Μεσοσκοπική προσομοίωση (meso-simulation)

Η ανάγκη για το χειρισμό μεγαλύτερων δικτύων με σχετικά μικρό χρόνο υπολογισμών, έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη των αποκαλούμενων «μεσοσκοπικών» προσεγγίσεων της προσομοίωσης της κυκλοφορίας, οι οποίες, ωστόσο, είναι λιγότερο ακριβείς στην αναπαράσταση της οδηγικής συμπεριφοράς. Τα μοντέλα αυτά περιγράφουν συνήθως σε υψηλό επίπεδο λεπτομέρειας τα οχήματα, αλλά σε αρκετά χαμηλότερο τη συμπεριφορά και τις αλληλεπιδράσεις τους. Σημειώνεται πως τα μοντέλα αυτά μπορεί να ακολουθούν τη μακροσκοπική προσέγγιση και να συμπληρώνονται από μία συνάρτηση διόρθωσης, η οποία να αντισταθμίζει το χαμένο επίπεδο λεπτομέρειας του προτύπου. Τα μεσοσκοπικά πρότυπα ενώ δεν περιγράφουν ένα σύστημα με

απόλυτη ακρίβεια μπορούν να παρέχουν αξιόλογες προσεγγίσεις εύκολα και με χαμηλό υπολογιστικό κόστος.

2.2. Δυνατότητες και αδυναμίες της προσομοίωσης

Όπως διαπιστώνεται από όσα αναφέρονται παραπάνω, η προσομοίωση αποτελεί μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία στον τομέα των μεταφορών και συγκοινωνιών για τη διερεύνηση και την ανάλυση πολύπλοκων συστημάτων, τόσο των υπαρκτών όσο και των υπό μελέτη. Είναι αναπόφευκτο βέβαια η προσομοίωση, όπως και κάθε άλλη διαδικασία, εκτός από πλεονεκτήματα να έχει και μειονεκτήματα.

2.2.1. Δυνατότητες

Καταρχάς, το φαινόμενο της κυκλοφορίας των οχημάτων είναι σύνθετο και μη γραμμικό. Επομένως, λόγω της πολυπλοκότητας (complexity) και της ποικιλίας (variability) των προβλημάτων τα οποία χρήζουν αντιμετώπισης στα μεταφορικά συστήματα, είναι απαραίτητη η χρήση μιας μεθόδου η οποία θα απλουστεύει όσον το δυνατό τη διαδικασία επίλυσής τους. Η προσομοίωση πλεονεκτεί σε αυτό έναντι των αναλυτικών μεθόδων. Επιπλέον, με την προσομοίωση είναι δυνατό να διαπιστωθούν οι αλληλεπιδράσεις των διαφόρων παραμέτρων που υπεισέρχονται στο σύστημα.

Συγκρίνοντας την προσομοίωση με τον πειραματισμό στο πραγματικό σύστημα, αδιαμφισβήτητα η προσομοίωση υπερτερεί σε βασικά ζητήματα όπως είναι το κόστος, ο απαιτούμενος χρόνος υπολογισμών και η ευελιξία. Ο σχεδιασμός, η κατασκευή, ο έλεγχος και η επανάληψη όλων αυτών μπορεί να αποτελέσει μία ιδιαίτερα δαπανηρή διαδικασία. Τις περισσότερες φορές, ο πειραματισμός μέσω της προσομοίωσης είναι φθηνότερος και ταχύτερος από ότι η εκτέλεση πολλαπλών δοκιμών σχεδιασμού, εκ νέου κάθε φορά, για ένα σύστημα. Αυτό γίνεται σαφές αν σκεφτεί κανείς την περίπτωση σχεδιασμού μη υπαρκτού συστήματος.

Ένα ακόμη θετικό στοιχείο είναι το επίπεδο λεπτομέρειας που μπορεί να επιτευχθεί μέσω της προσομοίωσης. Η προσομοίωση μπορεί να δώσει αποτελέσματα τα οποία δεν είναι μετρήσιμα πειραματικά, τουλάχιστον με το σημερινό επίπεδο τεχνολογίας. Ακόμη, προσφέρει τη δυνατότητα για επανάληψη της διαδικασίας όσες φορές επιθυμεί ο αναλυτής και σε όποιο

επίπεδο λεπτομέρειας επιθυμεί. Αυτό σημαίνει επίσης ότι τα μόνα όρια που θέτει είναι η φαντασία του χρήστη και οι προγραμματιστικές του γνώσεις.

Τέλος, η δυνατότητα απεικόνισης (visualization) που προσφέρει η προσομοίωση, κάνοντας της σύγκριση μεταξύ εναλλακτικών λύσεων πιο εύκολη και αντικειμενική, αποτελεί ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα έναντι άλλων λύσεων.

2.2.2. Αδυναμίες

Σίγουρα, όμως, για να επωφεληθεί κανείς από όλα αυτά που προσφέρει η προσομοίωση, απαιτείται εξειδίκευση και εις βάθος γνώση του αντικειμένου και των μεθόδων, συμπεριλαμβανομένου γνώσεων κυκλοφοριακής ροής, θεωρίας πιθανοτήτων και στατιστικής ανάλυσης και γνώσεις προγραμματισμού. Η δημιουργία των μοντέλων απαιτεί κόπο και χρόνο, καθώς απαιτεί σημαντικό αριθμό δεδομένων εισαγωγής και χαρακτηριστικών. Επιπλέον, ο χρήστης θα πρέπει να είναι σε θέση να ελέγχει το μοντέλο καθ' όλη τη διάρκεια κατασκευής του και να εξασφαλίζει ότι η διαδικασία θα αποδώσει όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

Μία κύρια αδυναμία της μεθόδου της προσομοίωσης είναι τα σφάλματα, τα οποία συνήθως αφορούν λανθασμένη εισαγωγή δεδομένων, κάτι το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε εξαγωγή λανθασμένων αποτελεσμάτων. Για αυτό το λόγο απαιτούνται δοκιμαστικά τρεξίματα του προγράμματος και η επιβεβαίωση για την ορθότητα των αποτελεσμάτων που αποδίδονται. Προκειμένου να γίνουν αποδεκτά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, θα πρέπει να συγκριθούν με δεδομένα από το πραγματικό σύστημα κυκλοφορίας ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη βεβαιότητα για την αξιοπιστία τους.

Ένα ακόμη μειονέκτημα έναντι άλλων μεθόδων είναι ότι παράγει απλώς εκτιμήσεις για την εξέλιξη του συστήματος που μελετάται και τη συμπεριφορά του στις διάφορες συνθήκες που υπόκειται. Χρειάζεται, συνεπώς, μεγάλος αριθμός εκτελέσεων του μοντέλου προκειμένου να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή ακρίβειά του που θα επιτρέψει να αποκτηθεί εμπιστοσύνη στα αποτελέσματα που εξάγονται.

2.3. Προγράμματα προσομοίωσης

Παρακάτω παρουσιάζονται διάφορα προγράμματα προσομοίωσης της κυκλοφορίας ταξινομημένα με βάση το είδος τους.

2.3.1. Μικροσκοπικά προγράμματα προσομοίωσης

Το πρόγραμμα **UTOPIA**

Το πρόγραμμα UTOPIA (Urban Traffic Control System), αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1980. Οι συνεχείς καινοτομίες και βελτιώσεις το έχουν κάνει ένα από τα πιο ανεπτυγμένα συστήματα ελέγχου της αστικής κυκλοφορίας παγκοσμίως. Σχεδιάστηκε για τη βελτιστοποίηση της κυκλοφοριακής ροής και για την επιλεκτική παραχώρηση προτεραιότητας στις δημόσιες συγκοινωνίες, χωρίς να «θυσιάζεται» ο χρόνος διαδρομής για τα Ι.Χ. οχήματα. Προσφέρει μια πληθώρα στρατηγικών, σχεδιασμένων να ταιριάζουν σε κάθε οδικό δίκτυο. Στην πλήρως προσαρμοστική λειτουργία, παρακολουθεί συνεχώς και προβλέπει τις κυκλοφοριακές συνθήκες και βελτιστοποιεί τη στρατηγική ελέγχου, σύμφωνα με την αποτελεσματικότητα της κυκλοφοριακής ροής ή/και με περιβαλλοντικά κριτήρια. Αυτό δίνει υψηλές επιδόσεις ακόμη και σε απρόβλεπτες κυκλοφοριακές συνθήκες. Στα κυριότερα οφέλη του UTOPIA κατατάσσονται τα εξής: 15% μείωση των χρόνων διαδρομής για τα Ι.Χ. οχήματα, 50% μείωση στις ουρές αναμονής και 10% μείωση στις εκπομπές καυσαερίων σε αστικές περιοχές. Χρησιμοποιείται σε πολλές μεγάλες πόλεις, όπως η Κοπεγχάγη και το Όσλο. [19]

Το πρόγραμμα **AIMSUN**

Το πρόγραμμα AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks) αναπτύχθηκε από τους J. Barcelo και J .L. Ferrer (1994) στο πολυτεχνείο της Βαρκελώνης, ως ένα κατάλληλο εργαλείο για την αναπαραγωγή πραγματικών συνθηκών κυκλοφορίας σε ένα αστικό δίκτυο το οποίο μπορεί να περιέχει αυτοκινητοδρόμους και αστικές αρτηρίες. Το πρότυπο κίνησης οχήματος που ακολουθεί είναι το πρότυπο ακολουθούντος οχήματος του Gipps. Η συμπεριφορά κάθε οχήματος προσομοιώνεται συνεχώς σύμφωνα με τα μοντέλα οδηγικής συμπεριφοράς των μικροσκοπικών προγραμμάτων, δηλαδή του ακολουθούντος οχήματος, της αλλαγής λωρίδας και της αποδοχής χρονικού διάκενου. Το πρόγραμμα αυτό χαρακτηρίζεται από τη μεγάλη ποικιλία δεικτών λειτουργικής απόδοσης. Για παράδειγμα, εξάγει λεπτομερή στατιστικά στοιχεία όπως φόρτους, ταχύτητες και χρόνους διαδρομής. Επιπλέον παρέχει μεγάλο βαθμό λεπτομέρειας κατά το σχεδιασμό του οδικού δικτύου προσομοιώνοντας στοιχεία όπως οχήματα, ανιχνευτές, φωτεινούς σηματοδότες και σημεία εισόδου στο δίκτυο. Το πρόγραμμα AIMSUN προσφέρει ένα μεγάλο εύρος τύπων οχημάτων και οδηγών όπως επίσης μπορεί να γίνει διαχείριση πολλών διαφορετικών γεωμετριών οδών και συμβάντων που εξελίσσονται στην οδό. Στο πλαίσιο του προγράμματος DGVII , το AIMSUN συνδέθηκε με το σύστημα UK

SCOOT UTC. Το AIMSUN2 ξεκίνησε ως ερευνητικό πρόγραμμα και στη συνέχεια διατέθηκε για εμπορική χρήση. [5,16]

Το πρόγραμμα **CORSIM**

Το πρόγραμμα CORSIM (CORridor SIMulation) αναπτύχθηκε από την Federal Highway Administration (FHWA), το 1996. Το πρόγραμμα CORSIM ενσωματώνει τα προγράμματα NETSIM και FRESIM και αποτελεί ένα μικροσκοπικό πρότυπο προσομοίωσης κυκλοφορίας το οποίο μπορεί και αναπαριστά πραγματικές δυναμικές κυκλοφοριακές συνθήκες. Στις δυνατότητές του συμπεριλαμβάνονται δίκτυα αρτηριών, ελεύθερες λεωφόροι και ανισόπεδοι κόμβοι, μοντέλα προέλευσης- προορισμού, προσομοίωση μήκους ουρών, μπλοκαρίσματος κ.α. Το βασικό είναι ότι μπορεί να προσομοιώσει τέσσερις διαφορετικούς τύπους μετρήσεων κυκλοφοριακών μεγεθών αυτοκινητοδρόμων και για αυτό το λόγο θεωρείται ένα από τα πιο αξιόπιστα προγράμματα προσομοίωσης. [9,16]

Το πρόγραμμα **PARAMICS**

Το πρόγραμμα προσομοίωσης PARAMICS είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο μικροσκοπικό πρότυπο, το οποίο αναπτύχθηκε από το Computing Center του πανεπιστημίου του Εδιμβούργου στις αρχές του 1990. Πρόκειται για ένα λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση συμφορημένων οδικών δικτύων. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα περιλαμβάνει ένα εξελιγμένο μοντέλο ακολουθούσας οδήγησης και ένα μοντέλο αλλαγής λωρίδας που μπορούν να προσομοιώσουν οδικά τμήματα με πάνω από 32 λωρίδες. Ανάλογα με τη φύση της εφαρμογής και τους διαθέσιμους πόρους μπορεί να προσομοιώσει τη συμπεριφορά μεγάλου αριθμού οχημάτων σε αρκετά ικανοποιητικό χρόνο. Κάθε όχημα κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης αναπαριστά έναν τύπο οδηγού με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και κατ' εξακολούθηση ευφυή συστήματα όπως πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων και επιλογή διαδρομής μπορούν να προσομοιωθούν. Το πρόγραμμα προσομοίωσης PARAMICS είναι επίσης κατάλληλο για σχεδιασμό και τη διαχείριση κυκλοφορίας, για αξιολόγηση πινακίδων μεταβλητών μηνυμάτων και για την προσομοίωση συμφόρησης και εκτάκτων συμβάντων. [16]

Το πρόγραμμα **INTEGRATION**

Το πρόγραμμα INTEGRATION αναπτύχθηκε από τον Michel Van Aerde το 1983. Είναι ένα πλήρως μικροσκοπικό πρόγραμμα προσομοίωσης, το οποίο παρακολουθεί τόσο τις πλευρικές, όσο και τις κατά μήκος κινήσεις των

οχημάτων, μεμονωμένα, σε δέκατα του δευτερολέπτου. Ο αλγόριθμος ακολουθούντος οχήματος είναι ένα κινηματικό μοντέλο που υπολογίζει τις ταχύτητες των οχημάτων, με βάση μακροσκοπικές παραμέτρους ταχύτητας ελεύθερης ροής, ταχύτητες στην ικανότητα της οδού και πυκνότητας σε κυκλοφοριακή συμφόρηση. Το μοντέλο αυτό, επιτρέπει τη μεταβολή της πυκνότητας της κυκλοφορίας μέσα σε ένα οδικό τμήμα, δείχνοντας έτσι τη διασπορά των οχημάτων καθώς διασχίζουν μία οδό. Έως πέντε διαφορετικοί τύποι οδηγών/οχημάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναπαράσταση διαφορετικών συμπεριφορών σε θέματα δρομολόγησης και πρόσβασης σε συνθήκες πραγματικού χρόνου (real-time). Τα χαρακτηριστικά του μοντέλου και οι δυνατότητές του περιλαμβάνουν αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των συστημάτων καθοδήγησης, των επιπτώσεων ύπαρξης ράμπας και της μοντελοποίησης κυκλοφοριακών συμβάντων. [9,16]

Τα παραπάνω προγράμματα επιλέχθηκαν να αναφερθούν ενδεικτικά. Αξίζει να σημειωθεί η πληθώρα μικροσκοπικών προγραμμάτων τα οποία χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση της κυκλοφορίας, κάποια από τα οποία είναι τα : ARCADY, DRACULA, MATSim, SimTraffic, TRITONE, UAF, SUMO κλπ.

Το πρόγραμμα *rtv Vissim* το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, περιγράφεται αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο.

2.3.2. Μακροσκοπικά προγράμματα προσομοίωσης

Το πρόγραμμα **AUTOS**

Το πρόγραμμα AUTOS (ATMS Universal Traffic Operation Simulation) είναι ένα μακροσκοπικό πρόγραμμα προσομοίωσης κυκλοφορίας που αναπτύχθηκε από το τεχνολογικό ινστιτούτο ερευνών της πολιτείας Georgia των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Έχει τη δυνατότητα για αξιολόγηση των ευφυών συστημάτων μεταφορών. (www.gatech.edu)

Το πρόγραμμα **TRAF**

Το TRAF αναπτύχθηκε για τη μελέτη οδικών δικτύων ή την ανάλυση διαδρομών σε μακροσκοπικό επίπεδο. Βασίζεται στο πρότυπο CORFLO το οποίο είναι συνδυασμός τριών προτύπων: του FREFLO, του NETFLO1, και του NETFLO2.

Το FREFLO είναι ένα μακροσκοπικό μοντέλο προσομοίωσης κυκλοφορίας για αυτοκινητοδρόμους. Τα μοντέλα NETFLO1 και NETFLO2 μπορούν να προσομοιώνουν οδικά τμήματα σε διαφορετικό επίπεδο λεπτομέρειας. Το NETFLO1 διαχειρίζεται κάθε όχημα ως ξεχωριστή οντότητα ενώ το NETFLO2 υιοθετεί το μοντέλο του TRANSYT. Αναπτύχθηκε από την FHWA και είναι διαθέσιμο στο κοινό (McTrans, 1996).

Το πρόγραμμα **CONTRAM**

Το πρόγραμμα CONTRAM (CONtinuous TRaffic Assignment Model) αναπτύχθηκε από τον οργανισμό TRL στο τέλος της δεκαετίας του 1970. Από τότε εξελίσσεται συνεχώς και εκδίδονται νέες εκδόσεις του. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι κατάλληλο για την προσομοίωση περιπτώσεων συμφόρησης μεγάλης διάρκειας με πολύπλοκες οδηγικές συμπεριφορές και σημαντικές επιπτώσεις σε παραμέτρους όπως η επιλογή διαδρομής. Επίσης παρέχεται η δυνατότητα να υπάρχει διακύμανση στις συνθήκες που επικρατούν στο δίκτυο σε σχέση με χρόνο. Έχει χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση του αυτοκινητόδρομου της Santa Monica του Λος Άντζελες από την UC Berkeley. Στην έβδομη έκδοση του λογισμικού, το πρόγραμμα βελτιώθηκε σε μεγάλο βαθμό προσφέροντας ένα πιο εύχρηστο περιβάλλον για το χρήστη. (www.TRL.com,1999)

Άλλα μακροσκοπικά προγράμματα προσομοίωσης είναι τα : DYNEV, Emme, OREMS, TransCAD, PTV VISION, OmniTRANS, TransModeler και Cube Voyager, Vissum.

2.3.3.Μεσοσκοπικά προγράμματα προσομοίωσης

Το πρότυπο **TRANSYT**

Το TRANSYT είναι ένα μεσοσκοπικό πρότυπο καθώς περιλαμβάνει δύο μακροσκοπικά πρότυπα. Ο τρόπος που προσομοιώνει ένα δίκτυο είναι μακροσκοπικός καθώς προσομοιώνει την κυκλοφορία ως σύνολο και δεν λαμβάνει υπόψη μεμονωμένα οχήματα. Είναι ένα πρότυπο διακριτού χρόνου και δεν διαθέτει το στοιχείο του χώρου. Πιο συγκεκριμένα δεν είναι αναγνωρίσιμη η θέση ενός οχήματος σε ένα οδικό τμήμα. Στο συγκεκριμένο πρότυπο βασίζεται και το αντίστοιχο πρόγραμμα. Η προσομοίωση στο πρόγραμμα TRANSYT πραγματοποιείται σε δύο κύκλους: έναν κύκλο προθέρμανσης του δικτύου και έναν που ακολουθεί δεχόμενος τα στοιχεία του πρώτου κύκλου προκειμένου να εξάγει αποτελέσματα.

Το πρόγραμμα TRANSYT χρησιμοποιείται ευρέως για τον υπολογισμό και τη διερεύνηση χρόνων σηματοδότησης σε αστικά οδικά δίκτυα. Αποτελείται από δύο στοιχεία, το κυκλοφοριακό μοντέλο και τη διαδικασία βελτιστοποίησης. Η διαδικασία που ακολουθεί είναι η εισαγωγή των προγραμμάτων σηματοδότησης και η χρήση του μοντέλου προκειμένου να προσομοιώσει την κυκλοφορία με κωδικοποιημένους τους κόμβους και τους συνδέσμους προκειμένου να γίνει η επεξεργασία των κυκλοφοριακών δεδομένων. (Vincent et al,1980)

Το πρόγραμμα **DYNAMIT**

Το πρόγραμμα DYNAMIT αναπτύχθηκε από τους Moshe Ben Akiva et.al. στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης (MIT). Είναι πρόγραμμα προσομοίωσης πραγματικού χρόνου το οποίο προσφέρει προβλέψεις για τη κυκλοφορία αλλά και καθοδήγηση των οδηγών. Η καθοδήγηση πραγματοποιείται αξιοποιώντας πληροφορίες για τη δημιουργία διαδρομής σύμφωνα με την ώρα αναχώρησης, το σκοπό του ταξιδιού και τη διαδρομή που επιθυμεί να ακολουθήσει ο οδηγός. Οι προτάσεις του προγράμματος για την ώρα αναχώρησης και τον τρόπο μετακίνησης είναι αποτελεσματικές μόνο αν αναζητηθούν πριν την πραγματοποίηση της διαδρομής, παρότι οι πληροφορίες καθοδήγησης μπορούν να είναι χρήσιμες πριν και κατά τη διάρκεια της διαδρομής.

Προκειμένου να εγγυηθεί την αξιοπιστία του πληροφοριακού του συστήματος, η καθοδήγηση που προσφέρεται από το πρόγραμμα DYNAMIT είναι αξιόπιστη καθώς ανταποκρίνεται στις προβλεπόμενες καταστάσεις κυκλοφορίας που αναμένεται να συναντήσουν οι οδηγοί. Επιπλέον το πρόγραμμα προσφέρει στο χρήστη τη βέλτιστη καθοδήγηση με τη λογική ότι κανένας χρήστης δεν μπορεί να βρει μια διαδρομή που να προτιμά σε σχέση με αυτή που θα επέλεγε ακολουθώντας τα οδηγίες του προγράμματος. Το πρόγραμμα είναι σχεδιασμένο για να λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο, να δέχεται δεδομένα που έχουν προκύψει από μετρήσεις κυκλοφοριακών μεγεθών πραγματικού χρόνου και να εκτιμάει και να υπολογίζει τον χρόνο εξαρτημένων ροών προέλευσης προορισμού.

Το πρόγραμμα επίσης περιέχει διαφορετικές κατηγορίες οδηγών και την συμπεριφορά αυτών που προσφέρουν δυνατότητες αυτοβαθμονόμησης, να υπολογίζουν τις παρούσες καταστάσεις του δικτύου, να προβλέπουν την μελλοντική κατάσταση του δικτύου, συνδυαστικά με τα συστήματα έλεγχου κυκλοφορίας και να δημιουργεί προτεινόμενες διαδρομές ανάλογες των προβλεπόμενων κυκλοφοριακών συνθηκών. (www.ivhs.mit.edu/products/simlab)

Το πρόγραμμα **DYNEMO**

Το πρόγραμμα DYNEMO είναι ένα δυναμικό πρόγραμμα προσομοίωσης κυκλοφορίας με την έννοια ότι προσομοιώνει την κυκλοφορία βάσει κυκλοφοριακών συνθηκών πραγματικού χρόνου. Παράδειγμα εφαρμογής του αποτελεί η προσομοίωση δημιουργίας ουράς σε σηματοδοτούμενους κόμβους και σε συμφορημένους αυτοκινητοδρόμους. Λόγω των δυνατοτήτων οπτικοποίησης του προγράμματος τα αποτελέσματα μπορούν να γίνουν κατανοητά από έμπειρους και άπειρους χρήστες. Το πρόγραμμα DYNEMO συμβάλει στη διαχείριση κυκλοφορίας με τη προσομοίωση κόμβων με φωτεινή σηματοδότηση, κόμβους με σήμανση STOP και πληροφοριακά συστήματα πραγματικού χρόνου. Παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει μητρώα προέλευσης προορισμού από το EMME/2 αλλά και να εξάγει διαδρομές στο πρόγραμμα VISSIM.

Με τη δυνατότητα εισαγωγής και εξαγωγής αρχείων και δεδομένων από άλλα λογισμικά προσομοίωσης κυκλοφορίας ελαχιστοποιεί το χρόνο που απαιτείται για τη κωδικοποίηση της απαραίτητης πληροφορίας. Με αυτόν τον τρόπο δεν ελαχιστοποιείται μόνο ο χρόνος και το κόστος αλλά και η περίπτωση σφάλματος του χρήστη κατά τον σχεδιασμό. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα χρησιμοποιεί ένα μεσοσκοπικό μοντέλο, το οποίο είναι σύνθεση ενός μικροσκοπικού και ενός μακροσκοπικού μοντέλου. Το μικροσκοπικό χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της συμπεριφοράς των οχημάτων στο δίκτυο ενώ το μακροσκοπικό για τη συμπεριφορά των οχημάτων σε ένα οδικό τμήμα συμφωνά με την κατανομή των ταχυτήτων στο οδικό τμήμα αυτό και τη σχέση ταχύτητας πυκνότητας.

Ο έλεγχος κυκλοφορίας πραγματοποιείται με εισαγωγή στοιχείων όπως ο κύκλος σηματοδότησης, κανόνες προτεραιότητας, ελάχιστος διαχωρισμός και χωρητικότητα. Σημεία απόφασης για την επιλογή μιας διαδρομής μπορούν να τοποθετηθούν οπουδήποτε στο δίκτυο. Τα σημεία απόφασης προσφέρουν πληροφορία σχετική με τα οχήματα για επιλογή συγκεκριμένης διαδρομής σύμφωνα με κριτήρια όπως γενικευμένο κόστος, χρόνος, και απόσταση. (www.english.ptv.de/produkte/dynemo.asp).

Το πρόγραμμα **DYNASMART**

Το πρόγραμμα DYNASMART (Dynamic Network Assignment simulation Model for Advanced Road Telematics) δημιουργήθηκε από τον Hani Mahmassani και άλλους στο κέντρο συγκοινωνιακών ερευνών του πανεπιστημίου του Τέξας και πρόκειται για ένα πρόγραμμα για προσομοίωση ευφυών συστημάτων

κυκλοφορίας. Η ροή κυκλοφορίας προσομοιώνεται μακροσκοπικά βασισμένη σε εξίσωση συνέχειας και τροποποιημένη βάσει των σχέσεων ταχύτητας-πυκνότητας του Greenshields. Το πρόγραμμα μπορεί να προσομοιώσει προγράμματα σηματοδότησης καθώς και συμβάντα. Το DYNASMART υπολογίζει τις βέλτιστες διαδρομές βασιζόμενο σε χρόνους διαδρομής και προσομοιώνει τις κινήσεις και τις αποφάσεις για αλλαγή διαδρομής μεμονωμένων οδηγών που είναι εξοπλισμένοι με σύστημα πληροφόρησης εντός του οχήματος. Το πρόγραμμα DYNASMART έχει χρησιμοποιηθεί για την μελέτη του μητροπολιτικού δικτύου της πόλης του Όστιν στο Τέξας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. (www.ccwf.cc.utexas.edu/~kraah/dtautx.com, 1999)

Μεσοσκοπικά προγράμματα προσομοίωσης είναι, επίσης, τα :Cube Avenue, Dynameq, DynusT, Tracks, TRANSIMS κ.α.

2.4. Διαχείριση κυκλοφοριακών γεγονότων

2.4.1. Ορισμός και στόχος

Η **διαχείριση κυκλοφοριακών γεγονότων** (ή συμβάντων) ορίζεται ως η συστηματική, προγραμματισμένη και συντονισμένη χρήση των ανθρώπινων, θεσμικών, τεχνικών και μηχανικών πόρων με **στόχο** τη μείωση της διάρκειας και των επιπτώσεων των συμβάντων, καθώς και τη βελτίωση της ασφάλειας των οδηγών. Οι εν λόγω πόροι χρησιμοποιούνται, επίσης, για την αύξηση της απόδοσης λειτουργίας, της ασφάλειας και της κινητικότητας της οδού, μέσω της μείωσης του χρόνου που απαιτείται για τον εντοπισμό και την επιβεβαίωση εμφάνισης ενός περιστατικού, της άμεσης ανταπόκρισης σε αυτό και της ασφαλούς εξάλειψής του. Όλα τα παραπάνω, επιδιώκονται παράλληλα με την κατάλληλη διαχείριση της κυκλοφοριακής ροής η οποία έχει επηρεασθεί από το περιστατικό, μέχρις ότου αποκατασταθεί η πλήρης ικανότητα των οδών. [1]

2.4.2. Το πρόβλημα

Ως γεγονός, ορίζεται οποιοδήποτε συμβάν προκαλεί **μείωση της κυκλοφοριακής ικανότητας** μίας οδού ή **μη φυσιολογική αύξηση της ζήτησης**. Στα γεγονότα αυτά περιλαμβάνονται οδικά ατυχήματα, ακινητοποιημένα οχήματα, διαρροή φορτίου εμπορεύματος, έργα υποδομής, συντήρησης και διαγράμμισης, ειδικές - μη έκτακτης ανάγκης – εκδηλώσεις,

όπως μια παρέλαση, ένας αγώνας, μια συναυλία, αλλά και οτιδήποτε άλλο επιδρά στη λειτουργία μιας οδού, όπως κάποια συγκέντρωση ή πορεία.

Τα προβλήματα αυτά συσχετίζονται κυρίως με **καθυστερήσεις** και **αυξήσεις των ουρών αναμονής**, αλλά δεν πρέπει να αγνοηθεί και ο κίνδυνος εμφάνισης δευτερευόντων γεγονότων. Ένα ακόμη ζήτημα είναι ο κίνδυνος ο οποίος τίθεται για το προσωπικό που θα επέμβει στο χώρο του γεγονότος. Άλλες δευτερεύουσες επιδράσεις ενός γεγονότος μπορεί να είναι :

- Καθυστέρηση ανταπόκρισης από την αστυνομία, την πυροσβεστική ή ιατρικές υπηρεσίες
- Αύξηση κόστους αγαθών και υπηρεσιών
- Αυξημένη κατανάλωση καυσίμων
- Δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις και ρύπανση του αέρα
- Αύξηση κόστους συντήρησης οχημάτων
- Μειωμένη ποιότητα ζωής
- Αρνητική εικόνα των δημοσίων φορέων που εμπλέκονται σε θέματα διαχείρισης κυκλοφοριακών συμβάντων

Η έκταση των προβλημάτων αυτών μπορεί να είναι πολύ σοβαρή. Τα γεγονότα περιορίζουν αυστηρά την αποδοτικότητα του οδικού δικτύου και θέτουν τους χρήστες του σε κίνδυνο. Ωστόσο, με την εφαρμογή κατάλληλων μέτρων, ο βαθμός των επιπτώσεων αυτών μπορεί να μετριαστεί.

2.4.2.1. Επιπτώσεις στην ασφάλεια

Σχετικές έρευνες έχουν δείξει ότι το 13% των ατυχημάτων σε **ώρες αιχμής** είναι άμεσο επακόλουθο ενός προηγμένου γεγονότος. Η σοβαρότητα ενός γεγονότος που θα προκληθεί σε δεύτερη φάση, συχνά μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη του αρχικού συμβάντος. Επιπλέον, όσο μεγαλύτερη η **διάρκεια** ενός γεγονότος, τόσο μεγαλύτερη η **έκθεση** σε πρόσθετους κινδύνους.[1]

Σημαντικές μπορεί να είναι και οι επιπτώσεις για τα **άτομα** τα οποία επεμβαίνουν στο **χώρο του γεγονότος**, όσο εκτελούν τα καθήκοντά τους. Όσο το συμβάν βρίσκεται σε εξέλιξη, οι ίδιοι εκτίθενται στον **κίνδυνο τραυματισμού** από άλλα διερχόμενα οχήματα Περιπολικά, πυροσβεστικά οχήματα και ασθενοφόρα βρίσκονται επίσης σε κίνδυνο ατυχήματος. Είναι καταφανές ότι, μειώνοντας τις

επιδράσεις ενός κυκλοφοριακού συμβάντος, μπορεί να βελτιωθεί η υγεία και η ασφάλεια ατόμων που δεν έχουν καν εμπλακεί στο περιστατικό.

2.4.2.2. Κυκλοφοριακή συμφόρηση

Στις περισσότερες μεγαλουπόλεις, οι **καθυστερήσεις** που προκαλούνται λόγω κάποιου συμβάντος, έχει υπολογισθεί, ότι αποτελούν το 50 με 60 % των συνολικών καθυστερήσεων που σημειώνονται κατά τη διάρκεια κυκλοφοριακής συμφόρησης. Σε μικρότερες αστικές περιοχές αυτό το ποσοστό είναι αρκετά μεγαλύτερο.

Αξίζει να σημειωθεί, επίσης, ότι η **πρόσθετη κατανάλωση καυσίμων**, ετησίως, στις δέκα πιο συμφορημένες αστικές περιοχές, μόνο λόγω κυκλοφοριακών γεγονότων, κυμαίνεται από 214 έως 1.447 εκατομμύρια λίτρα. Αυτό μεταφράζεται σε πολύ μεγάλο ετήσιο κόστος για τους οδηγούς. [1]

2.4.3. Η αντιμετώπιση

Η διαχείριση κυκλοφοριακών γεγονότων συνεπάγεται μία ευδιάκριτη σειρά ενεργειών οι οποίες μπορεί να πραγματοποιηθούν από το προσωπικό διαφόρων φορέων και οργανισμών. Αυτές οι δραστηριότητες δεν εκτελούνται κατ' ανάγκη διαδοχικά. Για παράδειγμα, η πληροφόρηση των οδηγών ανανεώνεται και διαδίδεται συνεχώς, καθ' όλη τη διάρκεια του γεγονότος, παράλληλα με άλλες **λειτουργίες διαχείρισης**, όπως η απομάκρυνση κάποιου οχήματος, σε περίπτωση ατυχήματος, ή το σβήσιμο κάποιας φωτιάς σε αντίστοιχο συμβάν.

Σε κάθε περίπτωση, η διαδικασία διαχείρισης κυκλοφοριακών γεγονότων μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα σύνολο ενεργειών οι οποίες εμπίπτουν στις ακόλουθες κατηγορίες.

2.4.3.1. Εντοπισμός (detection)

Ο εντοπισμός ενός κυκλοφοριακού γεγονότος είναι ο τρόπος με τον οποίο αυτό ανιχνεύεται από τους αρμόδιους φορείς οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τη διαχείρισή του. Μέθοδοι που χρησιμοποιούνται συνήθως για να γίνει αντιληπτό ένα γεγονός είναι οι εξής :

- Κλειστά κυκλώματα καμερών οι οποίες παρατηρούνται από ειδικούς χειριστές
- Αυτόματη αναγνώριση οχημάτων (Automatic Vehicle Identification), σε συνδυασμό με κατάλληλο λογισμικό εντοπισμού
- Ηλεκτρονικές συσκευές μέτρησης της κυκλοφορίας (ραντάρ, βίντεο κλπ) και αλγόριθμοι οι οποίοι ανιχνεύουν ανωμαλίες στην κυκλοφορία
- Τηλεφωνικές κλήσεις από οδηγούς
- Περιπολίες της αστυνομίας
- Εναέρια επιτήρηση

2.4.3.2. Έλεγχος (verification)

Ο έλεγχος ενός περιστατικού συνεπάγεται την επιβεβαίωση ότι όντως έχει συμβεί κάποιο γεγονός, τον προσδιορισμό της ακριβούς τοποθεσίας του και τη λήψη όσο το δυνατόν περισσότερων λεπτομερειών που να σχετίζονται με αυτό. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τη συλλογή αρκετών πληροφοριών, για τη διενέργεια μιας πρώτης ανταπόκρισης. Ο έλεγχος συνήθως ολοκληρώνεται με την άφιξη των αρμόδιων ατόμων στο σημείο. Αναλόγως τη σοβαρότητα του γεγονότος, η διαδικασία αυτή μπορεί να είναι αρκετά χρονοβόρα.

Ομοίως με το προηγούμενο βήμα, κλήσεις των οδηγών, κάμερες για τη διαχείριση της κυκλοφορίας και περιπολίες της αστυνομίας, μπορούν να συμβάλλουν στον έλεγχο και στην επιβεβαίωση ενός γεγονότος.

2.4.3.3. Πληροφόρηση οδηγών (driver information)

Η πληροφόρηση των οδηγών περιλαμβάνει την ενεργοποίηση διαφόρων μέσων διάδοσης του περιστατικού στους οδηγούς οι οποίοι βρίσκονται σε περιοχή η οποία επηρεάζεται από το γεγονός. Τα σύγχρονα μέσα που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν τα ακόλουθα :

- Πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων (Variable Message Signs)
- Συστήματα ενημέρωσης για την κινητικότητα (Infomobility systems)
- Συστήματα καθοδήγησης διαδρομών
- On – line υπηρεσίες
- Ραδιοφωνικές εκπομπές
- Συστήματα πληροφόρησης μέσω τηλεφώνου

Η πληροφόρηση των οδηγών θα πρέπει να πραγματοποιείται όσο το δυνατόν συντομότερα και να συνεχίζεται και μετά τη λήξη του γεγονότος. Το σωστό θα ήταν να παρέχεται ενημέρωση μέχρις ότου η κυκλοφορία να επανέλθει σε κανονικές συνθήκες. Αυτό μπορεί να διαρκέσει αρκετά αν το γεγονός συμβεί σε ώρα αιχμής και έχει αντίκτυπο σε μεγάλη περιφέρεια της περιοχής.

2.4.3.4. Ανταπόκριση (response)

Η σωστή αντιμετώπιση ενός περιστατικού περιλαμβάνει την αποστολή του αρμόδιου προσωπικού και του κατάλληλου εξοπλισμού, καθώς και την άμεση ενημέρωση, όσο το δυνατόν γρηγορότερα από τη στιγμή που γίνει αντιληπτό ένα γεγονός. Η άμεση ανταπόκριση προϋποθέτει να βρίσκεται σε ετοιμότητα ο αρμόδιος φορέας παροχής υπηρεσιών. Αυτό απαιτεί εκπαίδευση, οργάνωση και προγραμματισμό, τόσο ατομικά, όσο και συλλογικά για τη συνεργασία φορέων. Η αποτελεσματική αντιμετώπιση περιλαμβάνει, κυρίως, ετοιμότητα από έναν αριθμό συνεργαζόμενων φορέων για διαφόρων ειδών γεγονότα, έτσι ώστε η ανταπόκριση σε μεμονωμένα περιστατικά να είναι συντονισμένη και αποδοτική.

2.4.3.5. Επί τόπου διαχείριση (site management)

Για την κατάλληλη επί τόπου διαχείριση, απαιτείται αποτελεσματικός συντονισμός και χειρισμός του περιστατικού στο χώρο που λαμβάνει μέρος. Η διασφάλιση της ασφάλειας του προσωπικού που θα επέμβει, των θυμάτων αλλά και των υπολοίπων οδηγών, είναι πρωταρχικός στόχος της διαχείρισης. Το site management, όπως είναι γνωστό, περιλαμβάνει τις παρακάτω δραστηριότητες :

- Την ακριβή εκτίμηση του περιστατικού
- Τον κατάλληλο καθορισμό προτεραιοτήτων
- Την κοινοποίηση και συντονισμό με άλλους αρμόδιους φορείς και οργανισμούς
- Τη διατήρηση σαφούς και ξεκάθαρης επικοινωνίας με όσους ανταποκρίθηκαν στο γεγονός

2.4.3.6. Διαχείριση της κυκλοφορίας (traffic management)

Η διαχείριση της κυκλοφορίας συνεπάγεται την εφαρμογή μέτρων ελέγχου της κυκλοφορίας στις περιοχές στις οποίες έχει επίδραση το γεγονός. Η διαχείριση της κυκλοφορίας, στο πλαίσιο ενός κυκλοφοριακού γεγονότος, μπορεί να περιλαμβάνει :

- Επί τόπου σήμανση για τον έλεγχο της κυκλοφορίας
- Διαχείριση του χώρου του οδοστρώματος (άνοιγμα και αποκλεισμός λωρίδων, αποκλεισμός μόνο του τμήματος χώρου που απαιτείται για την ασφάλεια, στάση και στάθμευση οχημάτων έκτακτης ανάγκης και εξοπλισμός για να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις στη ροή της κυκλοφορίας)
- Αξιοποίηση του κατάλληλου προσωπικού, όπως αστυνομία, τροχαία κλπ για να βοηθήσει στη διαχείριση του γεγονότος
- Διαχείριση συσκευών ελέγχου της κυκλοφορίας, όπως σημεία ελέγχου κυκλοφορίας (ramp metering) και λωρίδων, σήματα κυκλοφορίας

Όπως με κάθε λειτουργία της αποτελεσματικής διαχείρισης κυκλοφοριακών γεγονότων, ο έλεγχος της κυκλοφορίας στο πλαίσιο ενός συμβάντος, στηρίζεται στο σχεδιασμό και στον προγραμματισμό. Αυτό περιλαμβάνει την εξασφάλιση της διαθεσιμότητας του εξοπλισμού ελέγχου της κυκλοφορίας και των υλικών, τη γνώση των διαθέσιμων πόρων για τον έλεγχο της κυκλοφορίας και τον σχεδιασμό εναλλακτικών διαδρομών.

2.4.3.7. Επαναφορά του δικτύου (clearance)

Στις ενέργειες οι οποίες συμβάλλουν για την επαναφορά του δικτύου, συμπεριλαμβάνονται η απομάκρυνση συντριμμίων, υπολειμμάτων και οποιουδήποτε άλλου στοιχείου το οποίο διαταράσσει την ομαλή ροή της κυκλοφορίας και παρεμποδίζει τη χρήση λωρίδων, και επαναφορά της χωρητικότητας του οδοστρώματος στην προ – γεγονόςτος κατάσταση. Μερικές φορές, αυτό μπορεί να περιλαμβάνει και την προσωρινή ή μόνιμη επισκευή της υποδομής.

2.5. Πινακίδες Μεταβλητών Μηνυμάτων (ΠΜΜ)

2.5.1. Γενικά

Οι **Πινακίδες Μεταβλητών Μηνυμάτων** (Variable Message Signs (VMS) ή Changeable Message Signs (CMS) ή Dynamic Message Signs (DMS) ή Electronic Message Signs (EMS)), χρησιμοποιούνται εδώ και χρόνια, σε πολλές χώρες, για τη **βελτιστοποίηση της χρήσης του οδικού δικτύου**. Αποτελούν ένα από τα πιο ευέλικτα και δυναμικά μέσα για τη διάδοση πληροφοριών στους οδηγούς. **Στόχος** των πινακίδων μεταβλητών μηνυμάτων είναι να βοηθήσουν τους οδηγούς να βελτιώσουν τους χρόνους και τις συνθήκες μετακίνησής τους, να τους ευαισθητοποιήσουν για διάφορα κοινωνικά θέματα αλλά και να λειτουργήσουν συμπληρωματικά στο πεδίο των συμβατικών πινακίδων. Τόσο οι σταθερές, όσο και οι φορητές, μπορούν να επιτελέσουν σπουδαίο ρόλο σε λειτουργίες διαχείρισης συμβάντων. Συνήθως χρησιμοποιούνται για τα εξής [1,12,13] :

- Ενημέρωση των οδηγών σχετικά με την κυκλοφοριακή κατάσταση και τις περιβαλλοντικές συνθήκες, καθώς και για μεταβλητά όρια ταχύτητας
- Πληροφόρηση σχετικά με την τοποθεσία και την εκτιμώμενη διάρκεια των καθυστερήσεων, σε περίπτωση κυκλοφοριακού γεγονότος
- Πρόταση εναλλακτικών διαδρομών λόγω έργων ή λόγω αποκλεισμού κάποιας οδού
- Καθοδήγηση των οδηγών
- Ενημέρωση των οδηγών για επιτρεπτή χρήση της λωρίδας έκτακτης ανάγκης, σε επείγουσα περίπτωση

Οι ΠΜΜ τοποθετούνται, κατά κύριο λόγο, σε **κομβικά σημεία** ώστε να είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί αλλαγή διαδρομή έγκαιρα. Το ύψος τοποθέτησης είναι τουλάχιστον 5,1 m για σήματα επάνω από το οδόστρωμα και 2,1 m για πινακίδες δίπλα από αυτό. Επιπλέον, για τη δεύτερη περίπτωση το σήμα θα πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση από 1,8 έως 6,0 m από την οριογραμμή του οδοστρώματος και κατά το δυνατόν έξω από την ελεύθερη ζώνη. Σε διαφορετική περίπτωση, η διάταξη στήριξής του προστατεύεται από το κατάλληλο στηθαίο. Μία ακόμη βασική αρχή τοποθέτησης είναι ότι η ύπαρξη της πινακίδας μεταβλητής σήμανσης θα πρέπει να μπορεί να γίνει αντιληπτή από απόσταση τουλάχιστον 800 m σε καλές καιρικές συνθήκες, ημέρα και νύχτα. Επιπλέον, οι πινακίδες θα πρέπει να τοποθετούνται κατά το δυνατόν σε σημεία με κλίση μικρότερη από 1%, και πάντως όχι μεγαλύτερη από 4%. Επίσης, το μήνυμα θα

πρέπει να είναι αναγνώσιμο από όλες τις λωρίδες κυκλοφορίας από απόσταση τουλάχιστον 300 m σε αυτοκινητοδρόμους και 200 m σε λοιπές υπεραστικές αρτηρίες. Τέλος, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην παρενοχλείται η υφιστάμενη σήμανση και σηματοδότηση. [26]

Όσον αφορά στις ΠΜΜ της Αττικής, υπάρχουν συνολικά 24, οι οποίες έχουν τοποθετηθεί σε θέσεις ανάντη σημαντικών κυκλοφοριακά κόμβων, ανισόπεδων ή και ισόπεδων, όπου πρέπει να ληφθούν από τους χρήστες του οδικού δικτύου κρίσιμες αποφάσεις σχετικά με εναλλακτικές διαδρομές. **Βασικές παράμετροι σχεδιασμού** αποτέλεσαν ακόμα η απόσταση από τον κόμβο, η εξασφάλιση ορατότητας, η σχέση με την υφιστάμενη σταθερή πληροφοριακή σήμανση, η προσβασιμότητα για λόγους συντήρησης, κλπ. [22]

2.5.2. Σχεδιασμός μηνυμάτων

Ο σχεδιασμός των μηνυμάτων, τα οποία θα διαδοθούν μέσω ΠΜΜ, θα πρέπει να τηρεί κάποιες προδιαγραφές, προκειμένου να εξασφαλίζεται η έγκαιρη και αξιόπιστη ενημέρωση των οδηγών. Σε αντίθεση με τη σταθερή σήμανση, όπου τα περισσότερα σήματα έχουν τη μορφή απλών και τυποποιημένων συμβόλων, η σημασία των οποίων γίνεται αμέσως αντιληπτή με ένα γρήγορο βλέμμα, στις περισσότερες περιπτώσεις μεταβλητής σήμανσης απαιτείται η απεικόνιση μηνυμάτων με τη μορφή γραπτού κειμένου. Συνεπώς, δύο βασικοί παράγοντες οι οποίοι θα πρέπει να επιτευχθούν στο μέγιστο βαθμό, είναι η **αναγνωσιμότητα** και η απαίτηση επαρκούς **κατανόησης** του μηνύματος, δεδομένου ότι η όλη διαδικασία αλληλεπίδρασης του οδηγού με τη σήμανση γίνεται εν κινήσει και με την προσοχή του στραμμένη πρωτίστως στην οδήγηση. [24]

Τα χαρακτηριστικά τοποθέτησης, η γεωμετρία των χαρακτήρων, καθώς και η όλη διάταξη του μηνύματος επάνω στην οθόνη απεικόνισης, παίζουν καθοριστικό ρόλο στο θέμα της αναγνωσιμότητας του μηνύματος. Η κατανόηση επιτυγχάνεται από το περιεχόμενο του μηνύματος και γενικότερα από τη σωστή αποτύπωσή του, δηλαδή τον τρόπο και το σύνθετο της παρουσιάσής του. Κάτι ιδιαίτερα σημαντικό το οποίο θα πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ο χρόνος τον οποίο χρειάζεται ο οδηγός για να αναγνώσει το μήνυμα και να αντιδράσει, να αποφασίσει, δηλαδή, τι πορεία θα ακολουθήσει. Πάνω σε αυτό, πρέπει να τονιστεί ότι ο οδηγός θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να αναγνώσει δύο φορές το μήνυμα. Για αυτό το λόγο, τα **μηνύματα** οφείλουν να είναι **σύντομα, σαφή, ακριβή** και **καίρια**. Τυχόν εκφράσεις μέσα σε αυτά θα πρέπει να είναι

τυποποιημένες και άμεσα κατανοητές, χωρίς περιττές λέξεις και οι συντομογραφίες θα πρέπει να είναι ευνόητες.

Όσον αφορά στην αποτύπωση, θα πρέπει να υπάρχει ένα συγκεκριμένο ύψος χαρακτήρων ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες, τις συνθήκες ορατότητας και τις ταχύτητες που επικρατούν (τουλάχιστον 265mm υπό κανονικές συνθήκες και τουλάχιστον 450mm για αρτηρίες με ταχύτητα μεγαλύτερη των 90 χιλιομέτρων την ώρα και για αρτηρίες για συνθήκες περιορισμένης ορατότητας) [27]. Επιπρόσθετα, το προβαλλόμενο κείμενο πρέπει να συντίθεται σε τρεις γραμμές, με στοίχιση στο κέντρο και το κείμενο μορφοποιημένο με τέτοιο τρόπο ώστε να μη ξεπερνά κάθε γραμμή τους 20 με 24 χαρακτήρες. Ένα σημαντικό ζήτημα είναι η διάρκεια της προβολής του μηνύματος, η οποία θα πρέπει να είναι ικανή για να πραγματοποιηθεί η ανάγνωση του μηνύματος από το ποσοστό οδηγών που κρίνεται απαραίτητο.

Οι Πινακίδες Μεταβλητών Μηνυμάτων χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση **τριών ειδών μηνυμάτων** προς τους οδηγούς-χρήστες [22] :

- μηνύματα αναγγελίας γεγονότων (έκτακτα και προγραμματισμένα),
- μηνύματα αναγγελίας χρόνων μετακίνησης
- μηνύματα γενικού ενδιαφέροντος.

Μηνύματα αναγγελίας γεγονότων

Τα μηνύματα αναγγελίας γεγονότων, είναι μηνύματα που αναφέρονται είτε σε έκτακτα γεγονότα, τα οποία δεν είναι δυνατό να προβλεφθούν και επιφέρουν αλλαγές στις κυκλοφοριακές συνθήκες, είτε σε προγραμματισμένα γεγονότα, επίσης με επιπτώσεις στην κυκλοφορία.

Όσον αφορά στο σύστημα χειρισμού των ΠΜΜ του Κέντρου Διαχείρισης Κυκλοφορίας της Περιφέρειας Αττικής, η διαδικασία είναι η ακόλουθη. Οι αλλαγές λόγω κάποιου γεγονότος γίνονται αντιληπτές από το σύστημα CONCERT, ταυτόχρονα δε, εντοπίζονται και από τους χειριστές μέσω των καμερών επίβλεψης της κυκλοφορίας. Επίσης, είναι δυνατό να υπάρξει σχετική τηλεφωνική ειδοποίηση από άλλα κέντρα (Κ.Ε. Τροχαίας/ΘΕΠΕΚ, Κ.Ε.Λ. Αττικής Οδού, ΚΔΚ Τραμ, κλπ.) στο πλαίσιο της συνεργασίας μεταξύ των Κέντρων Ελέγχου κυκλοφορίας, αλλά σε κάθε περίπτωση, είναι απαραίτητη η επαλήθευση του γεγονότος μέσω των καμερών επίβλεψης της κυκλοφορίας. Αμέσως μετά την επαλήθευση του γεγονότος, αποστέλλονται κατάλληλα μηνύματα σε εκείνες τις ΠΜΜ που βρίσκονται σε αρτηρίες του βασικού οδικού δικτύου που αναμένεται να επηρεαστούν. Τα μηνύματα αυτά παύουν να μεταδίδονται με την αποκατάσταση της κυκλοφορίας. Κατά τη διάρκεια του συμβάντος είναι δυνατή η αλλαγή του

μηνύματος, ώστε να ανταποκρίνεται στην εξέλιξή του. Τα μηνύματα εκτάκτων γεγονότων αποστέλλονται στις ΠΜΜ από τους χειριστές, κατόπιν εντολής/έγκρισης του συγκοινωνιολόγου βάρδιας και είναι δυνατόν να μεταδοθούν οποιαδήποτε ώρα της ημέρας ή της νύχτας.

Για την όσο το δυνατόν καλύτερη αντίληψη του συμβάντος από τον οδηγό και άρα τη βέλτιστη απόκρισή του σε αυτά, είναι απαραίτητη η ομοιομορφία στα μηνύματα αναγγελίας γεγονότων. Κάθε μία από τις τρεις γραμμές της ΠΜΜ χρησιμοποιείται για συγκεκριμένο λόγο και με συγκεκριμένο τρόπο. Έτσι, η δομή των μηνυμάτων αναγγελίας γεγονότων είναι η ακόλουθη :

- 1^η γραμμή : Περιγραφή γεγονότος (έργα, ατύχημα, βλάβη οχήματος, βλάβη στο οδόστρωμα, συγκεντρώσεις, κλπ.)
- 2^η γραμμή : Θέση του γεγονότος
- 3^η γραμμή : Επιπτώσεις σε οδηγό-χρήστη (καθυστερήσεις, κλειστός δρόμος) ή προτροπή (προσοχή !, οδηγείτε προσεχτικά, κλπ)

Μηνύματα αναγγελίας χρόνων μετακίνησης

Αυτή η κατηγορία μηνυμάτων παρέχει πληροφόρηση στους οδηγούς σχετικά με τους χρόνους μετακίνησης. Η αρχή των διαδρομών, στις οποίες αναφέρονται οι χρόνοι αυτοί, είναι στη θέση που βρίσκεται η πινακίδα μεταβλητών μηνυμάτων και το πέρας αποτελείται από χαρακτηριστικούς προορισμούς των χρηστών του δικτύου που διέρχονται από το σημείο που αυτή είναι τοποθετημένη. Τα μηνύματα αναγγελίας χρόνων μετακίνησης συνδυάζονται τις περισσότερες φορές και με μηνύματα για τυχόν κυκλοφοριακό κορεσμό σε κοντινές περιοχές. Ο υπολογισμός των χρόνων μετακίνησης γίνεται από το σύστημα και η επαλήθευση με χρήση μετρήσεων πραγματικών χρόνων που έχουν πραγματοποιηθεί από τους χειριστές ή από αυτοψίες. Το αποδεκτό σφάλμα στους χρόνους μετακίνησης έχει οριστεί στο 20% αλλά πολλές φορές εξασφαλίζεται μεγαλύτερη ακρίβεια, της τάξης του 10% [22].

Μηνύματα γενικού ενδιαφέροντος

Τα μηνύματα Γενικού Ενδιαφέροντος είναι μηνύματα που δεν παρέχουν στον οδηγό πληροφορίες που σχετίζονται άμεσα με τις επικρατούσες κυκλοφοριακές ή άλλες συνθήκες. Πρόκειται για χρηστικά μηνύματα τα οποία αποστέλλονται σε συγκεκριμένες περιόδους (π.χ. αθλητικές ή άλλες εκδηλώσεις, εθνικές εορτές, κλπ.), ή κατόπιν συνεργασίας με άλλους Φορείς (π.χ. Υπουργείο Υγείας), με σκοπό την ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των οδηγών σε θέματα γενικού

ενδιαφέροντος (κυρίως αφορούν θέματα οδικής ασφάλειας). Πιο πρόσφατα προστέθηκαν μηνύματα που αφορούν σε εξαφανίσεις μικρών παιδιών και ηλικιωμένων, τα μηνύματα AMBER ALERT και SILVER ALERT αντίστοιχα.

2.5.3. Παρατηρήσεις για τη χρησιμοποίηση των ΠΜΜ

Όσον αφορά στη χρησιμοποίηση των ΠΜΜ σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, όπως στην περίπτωση κάποιου κυκλοφοριακού συμβάντος, το οποίο απαιτεί διαχείριση της κυκλοφορίας, τα μηνύματα που είναι δυνατόν να μεταδοθούν μπορεί να συνεπάγονται «παθητική» ή «ενεργητική» καθοδήγηση των οδηγών.

Στην περίπτωση της «παθητικής» καθοδήγησης, τα μηνύματα που αποτυπώνονται δεν περιλαμβάνουν συγκεκριμένες εναλλακτικές διαδρομές. Η πληροφορία που μεταδίδεται αφορά στην κατάσταση που επικρατεί στην παρούσα διαδρομή και στο περιβάλλον αυτής δίκτυο, και εναπόκειται στους οδηγούς να αποφασίσουν αν επιθυμούν να παραμείνουν στη διαδρομή ή να ακολουθήσουν κάποια εναλλακτική. Τα μηνύματα αναγγελίας γεγονότων και χρόνων μετακίνησης χρησιμοποιούνται από το Κ.Δ.Κ. ως μια μορφή «παθητικής» καθοδήγησης.

Κατά την «ενεργητική» καθοδήγηση δίνονται συγκεκριμένες πληροφορίες σχετικά με την εναλλακτική διαδρομή που προτείνεται στον οδηγό να ακολουθήσει. Αυτό συμβαίνει προκειμένου να αποφευχθεί η χρήση μιας συγκεκριμένης διαδρομής. Είναι διεθνώς αποδεκτό ότι για την εφαρμογή αυτού του είδους της καθοδήγησης, αναγκαίες συνθήκες αποτελούν η δυνατότητα πλήρους παρακολούθησης της εναλλακτικής διαδρομής, αλλά και η σήμανσή της ως τέτοιας από την αρχή έως το τέλος της (με πληροφοριακή σήμανση). Το σημαντικό μειονέκτημα της «ενεργητικής» καθοδήγησης είναι ότι η προτεινόμενη εναλλακτική διαδρομή επιβαρύνεται από την επιπλέον κυκλοφορία με αποτέλεσμα, στις περισσότερες περιπτώσεις, να οδηγείται σε μικρό χρονικό διάστημα σε κορεσμό, εφόσον η ζήτηση υπερβεί την κυκλοφοριακή ικανότητα κάποιων κόμβων της.

2.5.4. Απόκριση των οδηγών στις ΠΜΜ

Η απόκριση στις ΠΜΜ είναι ζωτικής σημασίας για τους οδηγούς, προκειμένου να εκτιμήσουν ποια διαδρομή είναι η λιγότερο χρονοβόρα υπό τις παρούσες κυκλοφοριακές συνθήκες. Η επιλογή των οδηγών σχετικά με το αν θα συνεχίσουν στην αρχική τους διαδρομή ή θα την επαναπροσδιορίσουν,

εξαρτάται από διάφορα στοιχεία, όπως τα προσωπικά τους χαρακτηριστικά που σχετίζονται με το φύλο, την ηλικία κλπ. Από αυτά, η **οικειότητα των οδηγών** με τα οδικά δίκτυα, με βάση την ηλικία, είναι ο σημαντικότερος παράγοντας.

Υπάρχουν **τρεις μέθοδοι** για την **εκτίμηση της απόκρισης** των οδηγών. Η πρώτη μέθοδος αφορά στη χρήση ερωτηματολογίων (Chatterjee, κ.α, 2002). Οι έρευνες αυτές, είναι δυνατόν να οδηγήσουν στην αξιοποίηση των απαντήσεων των οδηγών μέσω απλών αναλύσεων (Wardman, κ.α., 1997). Η δεύτερη μέθοδος είναι η εκτίμηση της απόκρισης των οδηγών, με εξέταση και σύγκριση των κυκλοφοριακών στοιχείων, τόσο στη διαδρομή για την οποία ειδοποιήθηκαν οι οδηγοί ότι υπήρξε κάποιο συμβάν, όσο και στις πιθανές εναλλακτικές διαδρομές. Σημαντικές παρόμοιες μελέτες έχουν καταγραφεί στη διεθνή βιβλιογραφία (Tarry and Graham, 1995 – Carden, κ.α., 1998). Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες, λόγω της ποικιλίας των εναλλακτικών διαδρομών και της πιθανότητας μη ύπαρξης θέσεων μέτρησης σε αυτές. Η τρίτη μέθοδος είναι η χρήση μαθηματικών προτύπων κίνησης και προσομοίωσης των οχημάτων σε δίκτυα (Bonsall, 1993). Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται αρκετά παραδείγματα μαθηματικών προτύπων προσομοίωσης που εξελίχθηκαν με τέτοιο τρόπο, ώστε να εξετάζουν τις αλλαγές που προκαλούν στην κυκλοφορία, πληροφορίες που στέλνονται στους οδηγούς μέσω ΠΜΜ. (McDonald, κ.α., 1995 – Bonsall and Hounsell, 1994 – McDonald and Richards, 1996 – Bonsall, κ.α., 1997).

Στο Ηνωμένο Βασίλειο διεξήχθη έρευνα με ερωτηματολόγια για την απόκριση των οδηγών στις πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων. Παρότι το ποσοστό που ανταποκρίθηκε στο μήνυμα της ΠΜΜ ήταν χαμηλό, καθώς μόλις το ένα τρίτο άλλαξε τη διαδρομή του, εξήχθησαν συμπεράσματα για την καταλληλότερη τοποθέτηση των πινακίδων μεταβλητών μηνυμάτων και την πιο συχνή χρήση τους, ώστε να υπάρχει εξοικείωση του χρήστη με τα προβαλλόμενα μηνύματα (Chatterjee et al., 2002). Παρόμοια έρευνα διεξήχθη στην Ολλανδία και, συγκεκριμένα, στο Άμστερνταμ, όπου το ποσοστό απόκρισης στις πινακίδες είναι υψηλό. Πάνω από το 70% από τους συμμετέχοντες οδηγούς, φαίνεται να επηρεάζεται από τις πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων για την επιλογή της διαδρομής που θα ακολουθήσει, με τις γυναίκες να δείχνουν μεγαλύτερο βαθμό απόκρισης από τους άντρες, και τους τακτικούς χρήστες του δικτύου να μην διατίθενται να αλλάξουν διαδρομή παρά μόνο αν υπάρχει μεγάλη πιθανότητα καθυστερήσεων για τον προορισμό τους (Emmerink et al., 1996). Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, διεξήχθησαν έρευνες στην Ουάσιγκτον και στο Ουισκόνσιν. Πιο συγκεκριμένα, στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Ουάσιγκτον και συμμετείχαν περισσότεροι από 500 οδηγοί, στην ερώτηση για το πόσο συχνά επηρεάζονται από τις πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων, το 50%

των ερωτηθέντων απάντησε «συχνά», το 40% «περιστασιακά» ενώ μόλις το 10% «καθόλου» (Benson, 1996). Επίσης, σε έρευνα που διενήργησε το πανεπιστήμιο του Γουισκόνσιν των Ηνωμένων Πολιτειών σε 217 οδηγούς, λιγότερο από το ένα τρίτο δήλωσε ότι δεν έχει αλλάξει ποτέ διαδρομή με βάση την πληροφόρηση των πινακίδων μεταβλητών μηνυμάτων (Lee et al, 2004). Στον Καναδά, διεξήχθη έρευνα με ερωτηματολόγια μεταξύ των πόλεων του Έντμοντον και του Κάλγκαρυ δίνοντας ένα σχετικά μικρό ποσοστό απόκρισης στα μηνύματα των πινακίδων μεταβλητών μηνυμάτων (Tay & De Barros ,2010). Στη Σεούλ εξετάστηκε κατά πόσο επηρεάζει η πληροφόρηση των οδηγών από τις ΠΜΜ ένα οδικό δίκτυο, διεξάγοντας, επίσης, έρευνα με ερωτηματολόγια. Διαπιστώθηκε η πιο ομαλή λειτουργία του δικτύου όταν, σε περίπτωση συμφόρησης, οι χρήστες του δικτύου πληροφορήθηκαν για την κυκλοφοριακή κατάσταση του δικτύου (Lee et al., 2003). Ωστόσο έρευνα που έγινε στο Λονδίνο (Chatterjee et al., 2002) για τον ίδιο σκοπό έδειξε ότι κατά τη διάρκεια εμφάνισης μηνύματος που ενημέρωνε για έργα επί της οδού, μόνο το ένα τρίτο των οδηγών είδε το μήνυμα και από αυτούς ένα μικρό ποσοστό άλλαξε διαδρομή, παρόλο που αρκετοί βρήκαν την ενημέρωση χρήσιμη. Τέλος σε μελέτη που έγινε στη Σκωτία, το 16% των οδηγών που συμμετείχαν άλλαξε διαδρομή όταν ενημερώθηκε μέσω πινακίδων μεταβλητών μηνυμάτων για την ύπαρξη προβλήματος στη διαδρομή που επρόκειτο να ακολουθήσει (Swann et al., 1995).

Παράλληλα, υπάρχουν χαρακτηριστικά παραδείγματα αξιολόγησης της απόκρισης των οδηγών με χρήση μετρημένων κυκλοφοριακών μεγεθών. Αναλυτικότερα, σε έρευνα που διεξήχθη στο Όσλο της Νορβηγίας για την καθοδήγηση οχημάτων μέσω εναλλακτικών διαδρομών σε περίπτωση ατυχήματος, διαπιστώθηκαν δείγματα απόκρισης στα μηνύματα των πινακίδων μεταβλητών μηνυμάτων, με περίπου το 20% των οχημάτων να αλλάζει διαδρομή ακολουθώντας τις προτεινόμενες από την πινακίδα μεταβλητών μηνυμάτων διαδρομές. Σχεδόν κανένα όχημα δεν συνέχισε τη διαδρομή του προς το κλειστό τμήμα της οδού (Erke et al., 2007). Ακόμα, σε αντίστοιχη διερεύνηση που πραγματοποίησε το Κέντρο Διαχείρισης της Κυκλοφορίας της Περιφέρειας Αττικής σε λεωφόρο του αθηναϊκού οδικού δικτύου, το ποσοστό των οδηγών που έλαβε υπόψη του στην απόφαση για αλλαγή διαδρομής, την πληροφόρηση των πινακίδων για διακοπή της κυκλοφορίας σε τμήμα του οδικού δικτύου, ξεπέρασε το 60% (Σερμπής κ.α., 2006).

2.6. Βασικές έννοιες κυκλοφοριακής τεχνικής [27,28]

Η **Κυκλοφοριακή Τεχνική** (Traffic Engineering) αποτελεί την εφαρμογή των αρχών της επιστήμης και της τεχνικής στο σχεδιασμό (planning), τη μελέτη (study, design), τη λειτουργία (operation) και τη διαχείριση (management) των συστημάτων οδικών μεταφορών (road transport). Επικεντρώνεται, κυρίως, στις **αστικές** περιοχές όπου παρουσιάζονται και τα σοβαρότερα κυκλοφοριακά προβλήματα. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά βασικά μεγέθη και έννοιες, χρήσιμα για την κατανόηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

2.6.1. Μεγέθη κυκλοφοριακής ροής

Κυκλοφοριακός φόρτος

Ο κυκλοφοριακός φόρτος (traffic volume) ορίζεται ως ο συνολικός αριθμός οχημάτων που διέρχονται από ένα σημείο ή μία διατομή οδού στη μονάδα του χρόνου. Εκφράζεται σε «οχήματα ανά μονάδα χρόνου», όπου η μονάδα χρόνου μπορεί να είναι ώρα, ημέρα ή μήνας. Ο μαθηματικός ορισμός του μεγέθους αυτού είναι :

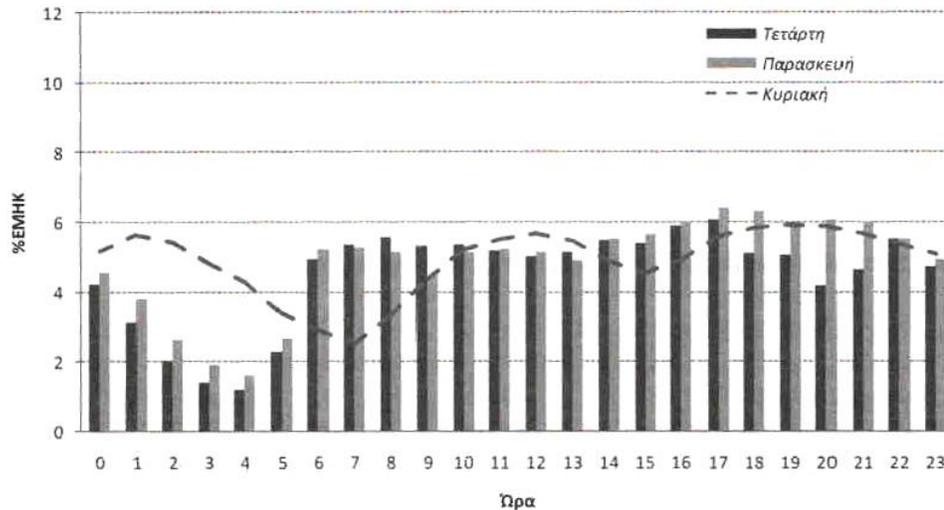
$$q(x) = \frac{n(x)}{T} \quad [2.1]$$

Όπου $n(x)$ είναι ο αριθμός οχημάτων που περνούν από μία διατομή στη θέση x κατά το χρονικό διάστημα T .

Τρεις είναι οι **κύκλοι διακύμανσης** του φόρτου : κατά τη διάρκεια ενός έτους, μιας εβδομάδας και μιας ημέρας. Οι αντίστοιχες διακυμάνσεις που προκύπτουν για τους κύκλους αυτούς είναι : μηνιαίες (εποχιακές), ημερήσιες και ωριαίες. Θα αναλυθεί η ωριαία διακύμανση η οποία μας ενδιαφέρει στην παρούσα διερεύνηση.

Σημαντική είναι η διακύμανση που παρουσιάζει ο φόρτος κατά τη διάρκεια της ημέρας. Χαρακτηριστικές περίοδοι κατά τις οποίες ο φόρτος παίρνει υψηλές τιμές είναι οι πρωινές και οι απογευματινές περίοδοι, στη διάρκεια των οποίων οι χρήστες πηγαίνουν προς και επιστρέφουν από την εργασία τους. Η μία ώρα που ο φόρτος παίρνει, συνολικά, την υψηλότερή του τιμή ονομάζεται ώρα αιχμής (peak hour). Αξίζει να σημειωθεί ότι η διακύμανση στους φόρτους αιχμής αστικών αρτηριών είναι σημαντικά μικρότερη συγκριτικά με τις υπεραστικές αρτηρίες.

Στη συνέχεια παρατίθεται ένα διάγραμμα για την **ωριαία διακύμανση** του φόρτου σε αστική σηματοδοτούμενη αρτηρία.



Διάγραμμα 2.1. Ωριαία διακύμανση φόρτου σε αστική σηματοδοτούμενη αρτηρία. Πηγή: [27]

Σύνθεση της κυκλοφορίας

Με τον όρο σύνθεση της κυκλοφορίας (traffic composition) περιγράφεται η ποσοστιαία κατανομή του κυκλοφοριακού φόρτου κατά είδος οχήματος. Για αστικές αρτηρίες χρησιμοποιούνται συνήθως οι παρακάτω κατηγορίες οχημάτων:

- Επιβατικά οχήματα (Ι.Χ., ταξί)
- Λεωφορεία, πούλμαν, φορτηγά
- Μεγάλα φορτηγά αυτοκίνητα (περισσότερα από τέσσερα ελαστικά και ωφέλιμο φορτίο από 1,5 τόνο και πάνω)
- Μοτοσικλέτες, μοτοποδήλατα
- Ποδήλατα

Η σύνθεση της κυκλοφορίας είναι σημαντική για την ανάλυση στα παρακάτω:

- Υπολογισμός ικανότητας οδών
- Διαχείριση κυκλοφοριακής ροής
- Ανάλυση οδικών τροχαίων ατυχημάτων
- Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων της κυκλοφοριακής ροής
- Σχεδιασμός και διαχείριση οδοστρωμάτων

Χρονικός και χωρικός διαχωρισμός

Ο διαχωρισμός (headway) σε μία λωρίδα κυκλοφορίας είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών οχημάτων ως προς ένα σταθερό σημείο αναφοράς τους. Η απόσταση αυτή μετριέται σε μήκος για το χωρικό διαχωρισμό (space headway) και σε χρόνο για το χρονικό διαχωρισμό (time headway). Ο μαθηματικός ορισμός του μέσου χωρικού διαχωρισμού είναι :

$$\bar{d}(t) = \frac{\sum_{j=1}^{n(t)} d(t)_j}{n(t)} \quad [2.2]$$

Όπου, $d_j(t)$ ο χωρικός διαχωρισμός του οχήματος j από το προπορευόμενο όχημα κατά τη χρονική στιγμή t , στο τμήμα μήκους L .

Αν $h_i(x)$ είναι ο χρονικός διαχωρισμός του οχήματος i από το επόμενο όχημα στη θέση x , ο μέσος χρονικός διαχωρισμός $\bar{h}(x)$ στη θέση x για το χρονικό διάστημα T δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\bar{h}(t) = \frac{\sum_{i=1}^{n(x)} h(x)_i}{n(x)} \quad [2.3]$$

Κρίσιμο κυκλοφοριακό κενό

Ως κρίσιμο κυκλοφοριακό κενό (critical gap) t_c ορίζεται ο ελάχιστος χρονικός διαχωρισμός μεταξύ δύο διαδοχικών οχημάτων στο ρεύμα τη κύριας αρτηρίας που επιτρέπει την είσοδο σε όχημα από τη δευτερεύουσα οδό. Η εκτίμηση του κρίσιμου κυκλοφοριακού κενού βασίζεται σε μετρήσεις του μεγαλύτερου μη αποδεκτού και του μικρότερου αποδεκτού χρονικού διαστήματος στον κόμβο που λαμβάνεται υπόψη. Εξαρτάται από:

- τον τύπο του ελιγμού
- το σύστημα προτεραιότητας (STOP ή προτεραιότητα από δεξιά)
- τη μέση ταχύτητα στην πρωτεύουσα οδό
- τον αριθμό λωρίδων στην πρωτεύουσα
- τη γεωμετρία του κόμβου
- τις συνθήκες περιβάλλοντος

2.6.2. Βασικές έννοιες κυκλοφοριακής ικανότητας

Η **κυκλοφοριακή ικανότητα** εκφράζει το μέγιστο ωριαίο ρυθμό ροής οχημάτων ή προσώπων, δηλαδή τα οχήματα ή τα πρόσωπα που μπορεί να περάσουν από ένα δεδομένο σημείο ή ένα ομοιόμορφο τμήμα λωρίδας κυκλοφορίας ή οδού, κατά μία κατεύθυνση ή και κατά τις δύο κατευθύνσεις, κατά τη διάρκεια μιας δεδομένη χρονικής περιόδου, υπό τις οδικές και κυκλοφοριακές συνθήκες καθώς και τις συνθήκες ελέγχου της κυκλοφορίας που επικρατούν.

Οι **συνθήκες ελέγχου** (control conditions) αναφέρονται στη ρύθμιση της κυκλοφορίας με κατάλληλες συσκευές και σημάψεις και στους κανόνες κυκλοφορίας που εφαρμόζονται. Ενδεικτικά αναφέρονται ο τύπος και η χρονική ρύθμιση των σηματοδοτών, καθώς και τα διάφορα σήματα στάσης, προτεραιότητας, απαγόρευσης στροφών κλπ. Άλλους τρόπους ελέγχου που επηρεάζουν την κυκλοφοριακή ικανότητα αποτελούν ο καθορισμός ειδικών λωρίδων για λεωφορεία ή λωρίδων εναλλασσόμενης φοράς, καθώς και οι μονοδρομήσεις, οι οποίες επηρεάζουν τον αριθμό των σημείων συνάντησης των κυκλοφοριακών ρευμάτων.

Στάθμη εξυπηρέτησης

Η στάθμη εξυπηρέτησης (level of service) είναι ένα ποιοτικό μέγεθος που εκφράζει τις συνθήκες λειτουργίας μέσα σε ένα ρεύμα κυκλοφορίας, όπως τις αντιλαμβάνονται οι οδηγοί, οι επιβάτες ή οι πεζοί. Στην πράξη καθορίζονται διάφορες στάθμες εξυπηρέτησης με βάση ορισμένες οριακές τιμές παραμέτρων, όπως η ταχύτητα και ο χρόνος μετακίνησης, η πυκνότητα και οι καθυστερήσεις, που ονομάζονται δείκτες εξυπηρέτησης (service measures).

Διακοπτόμενη ροή

Διακοπτόμενη ονομάζεται η ροή όταν υπάρχουν ελεγχόμενα ή μη, σημεία πρόσβασης που προκαλούν την περιοδική διακοπή ή την ουσιαστική επιβράδυνση της κυκλοφοριακής ροής, ανεξάρτητα από το μέγεθός της. Παρουσιάζεται συνήθως στις αρτηρίες όπου η ροή διακόπτεται ή επιβραδύνεται από σηματοδότηση ή σήμανση.

Καθυστέρηση

Η καθυστέρηση ανά όχημα συντίθεται από έναν αριθμό παραγόντων που σχετίζονται με τον έλεγχο, τη γεωμετρία, την κυκλοφορία και τα έκτακτα

συμβάντα στον κόμβο. Ως συνολική καθυστέρηση ορίζεται η διαφορά μεταξύ πραγματικού χρόνου διαδρομής και του χρόνου διαδρομής που θα προέκυπτε υπό βασικές συνθήκες, χωρίς την ύπαρξη καθυστέρησης λόγω έκτακτων συμβάντων, ελέγχου κυκλοφορίας ή γεωμετρίας.

Ουρά

Η ουρά δημιουργείται όταν η ζήτηση ξεπερνά την κυκλοφοριακή ικανότητα για κάποια χρονική περίοδο ή ο ρυθμός άφιξης οχημάτων είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό εξυπηρέτησης σε κάποιο σημείο του συγκοινωνιακού δικτύου. Ακόμα και σε περιπτώσεις που η δυναμικότητα του συστήματος φαινομενικά καλύπτει τη ζήτηση, υπάρχει η τάση να διαμορφώνονται ουρές αναμονής λόγω της μεταβλητότητας που υπάρχει στις διαδικασίες άφιξης και εξυπηρέτησης των μονάδων του συστήματος. Οι ουρές είναι σημαντικές για το σχεδιασμό και τη λειτουργία συγκοινωνιακών δικτύων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα συστημάτων ουράς είναι οι σταθμοί διοδίων και οι σηματοδοτούμενες αρτηρίες ή κόμβοι.

2.6.3. Βασικές έννοιες μελέτης σηματοδότησης

Η **κύρια λειτουργία** μιας σηματοδότησης είναι να αλλάζει διαδοχικά την προτεραιότητα στην κίνηση των διαφόρων ρευμάτων οχημάτων ή πεζών στην περιοχή ενός κυκλοφοριακού κόμβου ή σε άλλες θέσεις του οδικού δικτύου. Μια κατάλληλα μελετημένη και εγκατεστημένη σηματοδότηση δύναται να **αυξήσει** στο μέγιστο δυνατό την **κυκλοφοριακή ικανότητα** και να **ελαχιστοποιήσει** τις **καθυστερήσεις**. Ακόμη, μπορεί να συμβάλλει στη μείωση του αριθμού ορισμένων κατηγοριών ατυχημάτων, όπως οι συγκρούσεις υπό γωνία, ιδιαίτερα όταν δεν υπάρχει η κατάλληλη ορατότητα. Επιπλέον, επιτρέπει μια σχεδόν ομαλή ροή της κυκλοφορίας, με τις προϋποθέσεις ευνοϊκών αποστάσεων μεταξύ των σηματοδοτούμενων κόμβων και κατάλληλου συντονισμού της σηματοδότησης μιας οδού ή ενός δικτύου οδών. Τονίζεται, επίσης, ότι, όπου χρειάζεται, μπορεί να διακόψει έναν υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο, για να επιτρέψει την ασφαλή διασταύρωση ή τη συμβολή ενός δευτερεύοντος κυκλοφοριακού ρεύματος ή τη ροή πεζών. Τέλος, μια σηματοδότηση μπορεί να αποδειχθεί πιο οικονομική και συχνά πιο αποτελεσματική από τη ρύθμιση με τροχονόμο, και λιγότερο δαπανηρή από το διαχωρισμό ορισμένων κυκλοφοριακών ρευμάτων με ανισόπεδο κόμβο.

Αξίζει να γίνει αναφορά στο ρόλο της σηματοδότησης ως προς τα μέτρα βελτίωσης της ροής των οχημάτων. Με τη βελτιστοποίηση της ρύθμισης μιας υφιστάμενης σηματοδότησης, δηλαδή της διάρκειας της περιόδου, του αριθμού,

της αλληλουχίας και της διάρκειας των φάσεων σε κάθε κόμβο, των χρονικών μετατοπίσεων από κόμβο σε κόμβο ενός συστήματος κλπ, μπορεί να επιτευχθεί **σημαντική βελτίωση στη ροή των οχημάτων**. Σημειώνεται πως έχουν αναπτυχθεί αρκετά προγράμματα με στόχο τη βελτιστοποίηση συντονισμένης σηματοδότησης κατά μήκος αρτηρίας, τη βελτιστοποίηση σηματοδότησης μεμονωμένου κόμβου και τη βελτιστοποίηση σηματοδότησης ενός συστήματος αλληλοεπηρεαζόμενων κόμβων μιας αστικής περιοχής. Τα παραπάνω μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικές μειώσεις των καθυστερήσεων, των στάσεων, της κατανάλωση καυσίμων, και γενικότερα του κόστους λειτουργίας, έτσι ώστε να αποτελεί έργο διαχείρισης της κυκλοφορίας με πολύ υψηλό βαθμό οικονομικής απόδοσης.

Ροή κορεσμού

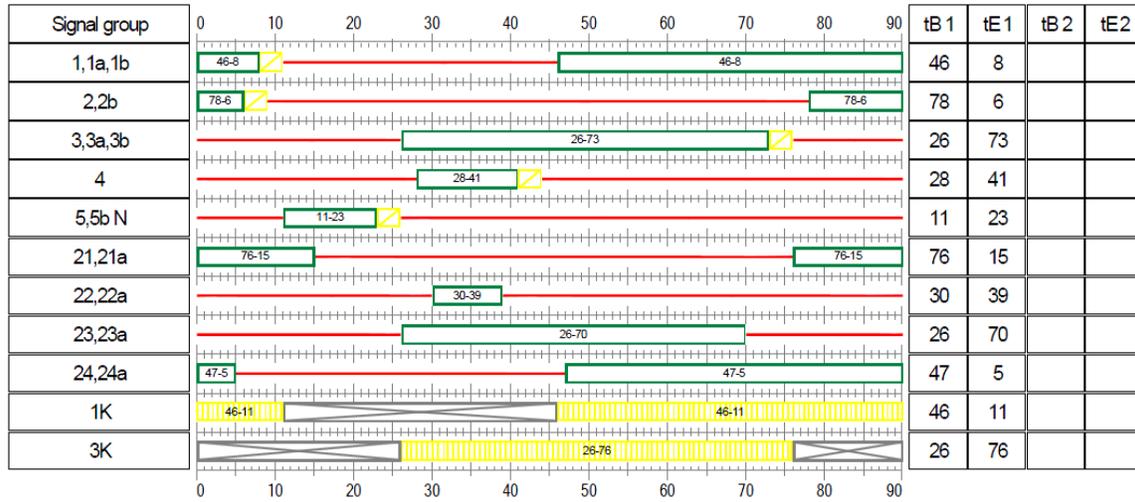
Ροή κορεσμού (saturation flow) ορίζεται ως ο μέγιστος ρυθμός ροής που μπορεί να περάσει από μία δεδομένη πρόσβαση κόμβου ή ομάδα λωρίδων, υπό τις επικρατούσες οδικές και κυκλοφοριακές συνθήκες, με την παραδοχή 100% χρησιμοποιούμενου χρόνου πράσινης ένδειξης. Μετριέται σε οχήματα ανά ώρα χρησιμοποιούμενου πρασίνου.

Περίοδος

Περίοδος είναι η χρονική διάρκεια που απαιτείται για μία πλήρη διαδοχή ενδείξεων των σηματοδοτών. Επιλέγονται οι μικρότερες δυνατές περίοδοι που μπορούν να εξυπηρετήσουν την τρέχουσα κυκλοφορία, ώστε να προκύπτει η ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση. Η περίοδος είναι κοινή για όλους τους κόμβους ενός συντονισμένου συστήματος οδών ώστε να διατηρείται χρονικά ο συντονισμός.

Διάγραμμα σηματορύθμισης ή πρόγραμμα φάσεων σηματοδότησης

Το εν λόγω διάγραμμα συνίσταται από την παράλληλη παράθεση των ταινιών διαδοχής φάσεων όλων των όψεων των σηματοδοτών ενός κόμβου, ώστε να είναι δυνατά ο έλεγχος και η μελέτη της σύγχρονης λειτουργίας των σηματοδοτών. Τα διαγράμματα σηματορύθμισης παριστάνουν συνήθως όχι μόνο τις κινήσεις των οχημάτων αλλά κι εκείνες των πεζών. Παρατίθεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα σηματορύθμισης από το Κ.Δ.Κ. για τον κόμβο Λ. Αλεξάνδρας – Κ. Λουκάρεως.



Διάγραμμα 2.2. Πρόγραμμα φωτεινής σηματοδότησης κόμβου Λ. Αλεξάνδρας - Κ. Λουκάρεως.

Πηγή: Κ.ΔΚ.

3. ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ VISSIM

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, γίνεται εκτενής **αναφορά** στο **λογισμικό ptn Vissim**, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

3.1. Εισαγωγή

Το **Vissim (Verkehr In Städten – SIMulationsmodell)** είναι ένα **πρόγραμμα μικροσκοπικής προσομοίωσης** χρονικής εξέλιξης της κυκλοφορίας, αναπαριστά δηλαδή την κίνηση των οχημάτων στο οδικό δίκτυο. Αναπτύχθηκε από το πανεπιστήμιο του Karlsruhe, στη Γερμανία στις αρχές της δεκαετίας του 1970. Η γερμανική εταιρία PTV Transworld AG ξεκίνησε την εμπορική διάθεση του προγράμματος το 1993 και συνεχίζει να ενημερώνει το λογισμικό μέχρι και σήμερα. Η τελευταία διαθέσιμη έκδοση του Vissim είναι η 6.00.

Το λογισμικό αυτό χρησιμοποιεί ένα μοντέλο το οποίο βασίζεται στη συμπεριφορά των οδηγών, σχεδιασμένο για να αναπαριστά λειτουργίες αστικής κυκλοφορίας, μέσω μαζικής μεταφοράς και ροές πεζών.

3.2. Περιγραφή

Το λογισμικό Vissim μπορεί να αναλύσει **κινήσεις Ι.Χ.** και **μέσων μαζικής μεταφοράς** υπό διάφορους περιορισμούς όπως η διαμόρφωση λωρίδων, η σύνθεση της κυκλοφορίας, οι φωτεινοί σηματοδότες, οι στάσεις των αστικών συγκοινωνιών κλπ, καθιστώντας το ένα χρήσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση διαφόρων σεναρίων εφαρμογής μέτρων συγκοινωνιακού σχεδιασμού. Επιπλέον, μπορούν να προσομοιωθούν **ροές πεζών**, είτε κατ' αποκλειστικότητα, είτε σε συνδυασμό με Ι.Χ. και/ή μέσα μαζικής μεταφοράς.

Το πρόγραμμα Vissim αποτελείται εσωτερικά από δύο κύριες συνιστώσες, τον **προσομοιωτή κυκλοφορίας** και τη **γεννήτρια σηματοδότησης**. Ο προσομοιωτής κυκλοφορίας είναι υπεύθυνος για την κίνηση των οχημάτων ενώ η γεννήτρια προσομοιώνει την κατάσταση της σηματοδότησης σύμφωνα με πληροφορίες που λαμβάνει από τους ανιχνευτές που έχουν προστεθεί στον

προσομοιωτή και μεταβιβάζει την κατάσταση της σηματοδότησης πίσω στον προσομοιωτή (Bloomberg and Dale, 2000).

Το μοντέλο του Wiedemann

Το 1974, ο Wiedemann δημιούργησε ένα μοντέλο προκειμένου να περιγράψει και να προσομοιώσει την **ανθρώπινη οδηγική συμπεριφορά**. Το μοντέλο είναι μικροσκοπικό και ακολουθεί το πρότυπο του ακολουθούντος οχήματος (Car-following model) και των κανόνων αλλαγής λωρίδας (lane change). Η ακρίβεια του κυκλοφοριακού μοντέλου προσομοίωσης εξαρτάται κυρίως από την ποιότητα της μοντελοποίησης των οχημάτων, όπως για παράδειγμα τη μεθοδολογία της κίνησης των οχημάτων μέσα στο δίκτυο. Σε αντίθεση με άλλα, λιγότερο σύνθετα μοντέλα που χρησιμοποιούν σταθερές ταχύτητες και ντετερμινιστικό πρότυπο ακολουθούντος οχήματος, το Vissim χρησιμοποιεί το **ψυχοφυσικό μοντέλο** συμπεριφοράς των οδηγών που αναπτύχθηκε από τον Wiedemann (1974).

Η **βασική ιδέα** του μοντέλου είναι ότι ο οδηγός ενός ταχύτερα κινούμενου οχήματος αρχίζει να επιβραδύνει ενώ φτάνει, βάσει ατομικής αντίληψης, το όριο στο οποίο πλησιάζει ένα προπορευόμενο, βραδύτερα κινούμενο, όχημα μπροστά του. Καθώς δεν μπορεί να προσδιορίσει ακριβώς την ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος, η ταχύτητα του θα μειωθεί κάτω από την ταχύτητα αυτού του οχήματος έως ότου αρχίσει να επιταχύνει ξανά μόλις φτάσει σε άλλο «επιτρεπτό» όριο -όπως θα το αντιληφθεί. Αυτό οδηγεί σε μία επαναληπτική διαδικασία επιτάχυνσης και επιβράδυνσης, με συνεχή μεταβολή της ταχύτητας.

Γενικά στα **πρότυπα ακολουθούντος οχήματος**, η κίνηση των οχημάτων κατά μήκος ενός οδικού επηρεάζεται από οχήματα που προπορεύονται στην ίδια λωρίδα. Ένας οδηγός επηρεάζεται κυρίως από πρώτο προπορευόμενο όχημα αφού το δεύτερο κατόπι όχημα θα έχει περίπου τη διπλάσια απόσταση. Η διαφορά ταχύτητας σε σχέση με το δεύτερο μπροστινό όχημα τότε θα πρέπει να είναι 4 φορές μεγαλύτερη για να είναι αντιληπτή από τον οδηγό με τον ίδιο τρόπο με τη διαφορά ταχυτήτων με το πρώτο προπορευόμενο όχημα. Το μοντέλο επικεντρώνεται στην επιρροή του πρώτου προπορευόμενου οχήματος περιλαμβάνοντας μια επιλογή για να αντιληφθεί τα φώτα πέδησης των μπροστινών οχημάτων.

Η συμπεριφορά του οδηγού είναι φυσικά διανεμημένη: διαφορετικοί οδηγοί έχουν διαφορετικές οδηγικές ικανότητες στην αντίληψη και εκτίμηση, διαφορετικές ανάγκες ασφάλειας, διαφορετικές επιθυμητές ταχύτητες και διαφορετικές μέγιστες τιμές αποδεκτής επιτάχυνσης και επιβράδυνσης που χαρακτηρίζουν και την οδηγική επιθετικότητα. Το ίδιο ισχύει και σε κάποιες παραμέτρους που χαρακτηρίζουν τις ικανότητες του οχήματος όπως η μέγιστη ταχύτητα και η

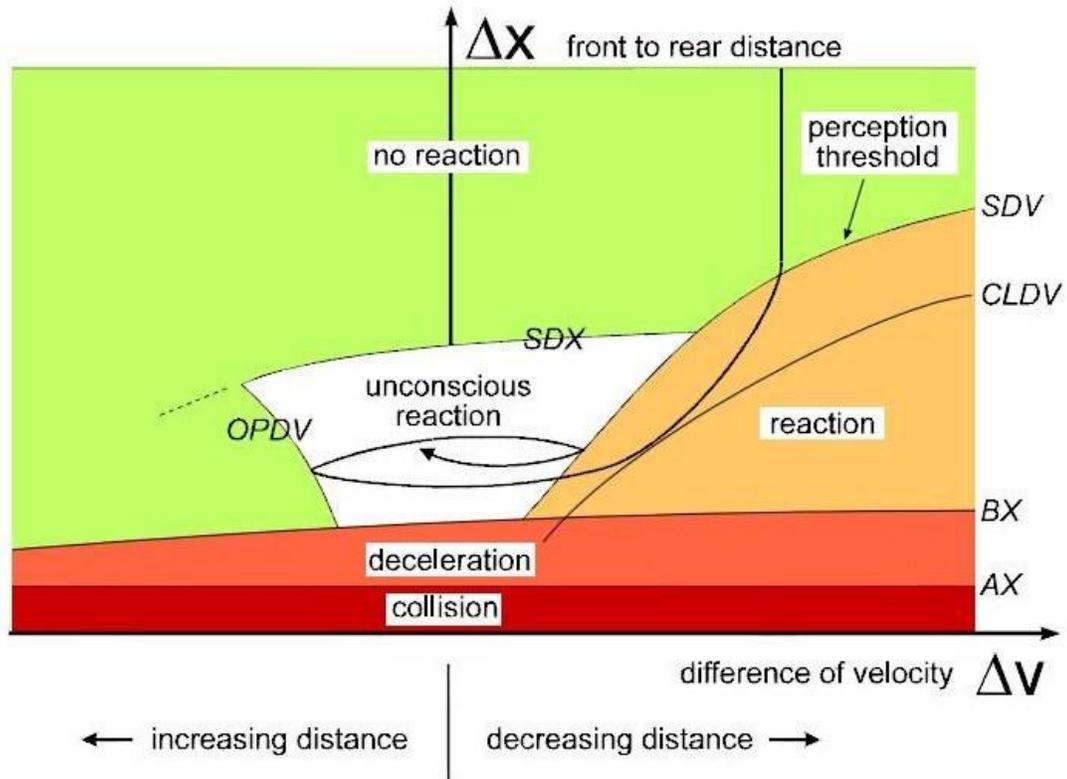
μέγιστη επιτάχυνση και επιβράδυνση. Αυτό το φυσικό φαινόμενο μπορεί να παρουσιαστεί από κανονικές κατανομές, όταν η ακριβής γνώση σχετικά με τις κατανομές δεν είναι διαθέσιμη. Επίσης, διαφορετικές τυχαίες παράμετροι χρησιμοποιούνται μέσα στο μοντέλο για τον υπολογισμό των οριακών τιμών και για τις οδηγικές λειτουργίες. Ιδιότητες που χαρακτηρίζουν το σύστημα οδηγός – όχημα μπορούν να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες:

- Τεχνικά χαρακτηριστικά του οχήματος, όπως για παράδειγμα:
 - Μήκος
 - Μέγιστη ταχύτητα
 - Πιθανή επιτάχυνση
 - Πραγματική θέση στο δίκτυο
 - Πραγματική ταχύτητα και επιτάχυνση
- Συμπεριφορά του συστήματος οδηγός – όχημα, όπως:
 - Ψυχο – φυσικά όρια ευαισθησίας του οδηγού (ικανότητα εκτίμησης, επιθετικότητα)
 - Μνήμη του οδηγού
 - Επιτάχυνση βασισμένη στην τρέχουσα ταχύτητα και την επιθυμητή ταχύτητα
- Η αλληλεξάρτηση του συστήματος οδηγός – όχημα, όπως:
 - Αναφορά στα προπορευόμενα και στα ακολουθούντα οχήματα στις χρησιμοποιούμενες λωρίδες κυκλοφορίας τους αλλά και στις παρακείμενες
 - Αναφορά στο τρέχον οδικό τμήμα και την επόμενη διασταύρωση
 - Αναφορά στο επόμενο σήμα κυκλοφορίας

Όπως διαπιστώνεται, η ανθρώπινη αντίληψη και αντίδραση παρουσιάζεται από μία σειρά από **όρια** και **επιθυμητές αποστάσεις**. Αυτά τα όρια οριοθετούν διαφορετικές περιοχές καθορίζοντας διαφορετικές περιπτώσεις αλληλεπίδρασης μεταξύ του οχήματος και του προπορευόμενου οχήματος:

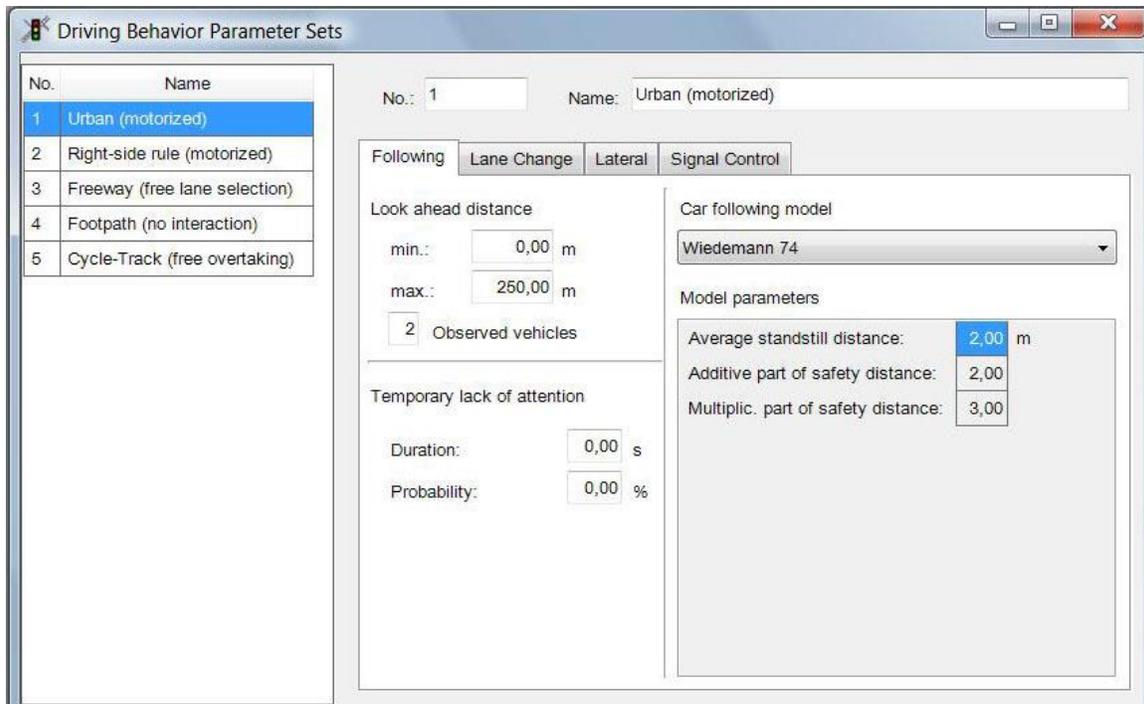
- Καμία επιρροή του οχήματος από προπορευόμενο όχημα
- Επιρροή του οχήματος από ένα πιο αργό προπορευόμενο όχημα
- Έμμεση επιρροή του οχήματος από μια ακολουθία οχημάτων
- Το όχημα βρίσκεται σε μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης

Τα όρια, οι χαρακτηριστικές αποστάσεις και οι σχετικές οδηγικές διαδικασίες παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα για ένα σύστημα οδηγού - οχήματος και ένα πραγματικό επίπεδο ταχύτητας.



Εικόνα 3.1. Πρότυπο ακολουθόντος οχήματος κατά Wiedemann (1974). Πηγή: [19]

Ακολουθεί μια εικόνα από τον ορισμό των παραμέτρων για τα ακολουθούντα οχήματα στο πρόγραμμα Vissim.



Εικόνα 3.2. Παράμετροι οδηγικής συμπεριφοράς για το ακολουθούν όχημα.

Όπως φαίνεται, για τα ακολουθούντα οχήματα, ορίζεται η ελάχιστη και η μέγιστη απόσταση στην οποία μπορούν να εντοπίσουν άλλα οχήματα που βρίσκονται είτε μπροστά, είτε πλάι τους, και να προλάβουν να αντιδράσουν κατάλληλα. Αυτές οι αποστάσεις ορίστηκαν στα 0 και 250 μέτρα αντίστοιχα (default). Επιπλέον, ως μηδενικές ορίστηκαν οι παράμετροι σχετικά με τη διάρκεια και την πιθανότητα για προσωρινή απόσπαση προσοχής.

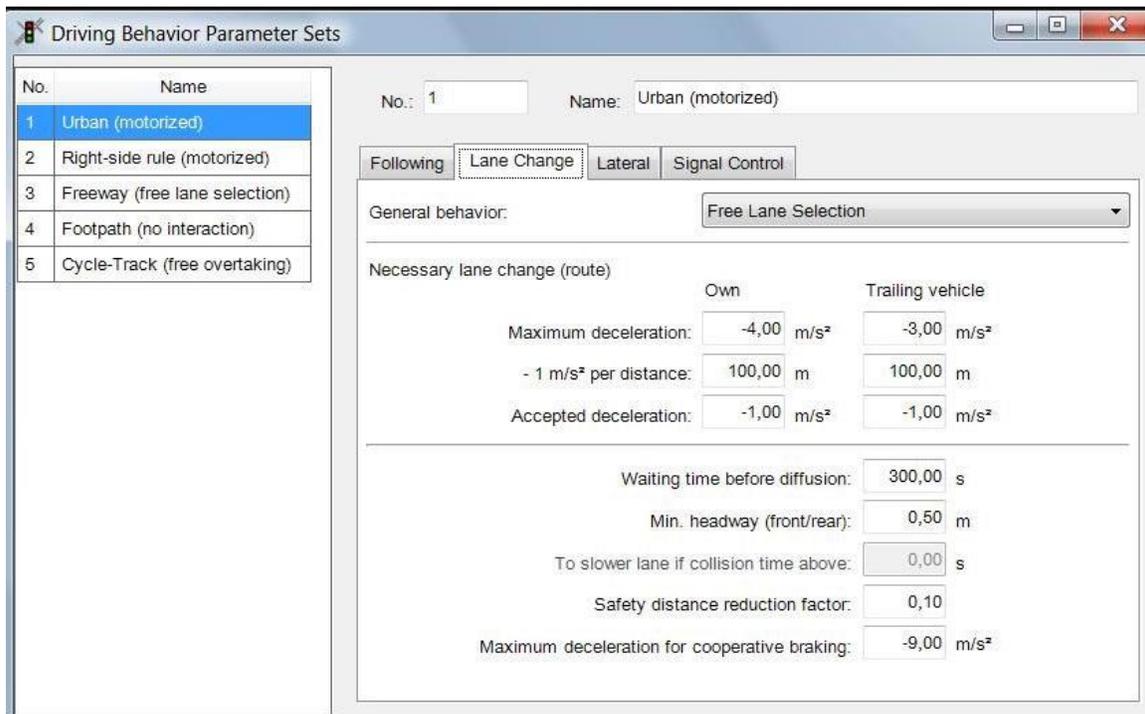
Το **μοντέλο αλλαγής λωρίδας** που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα Vissim αναπτύχθηκε από τους Willmann και Sparmann (1978). Στο μοντέλο του Sparmann, η συμπεριφορά για αλλαγή λωρίδας χωρίζεται σε δύο τύπους:

1. Αλλαγή λωρίδας προς ταχύτερη λωρίδα
2. Αλλαγή λωρίδας προς πιο αργή λωρίδα

Για την πραγματοποίηση αλλαγής λωρίδας αξιολογούνται **τρεις ερωτήσεις**: πρώτον, αν υπάρχει θέληση από τον οδηγό για πραγματοποίηση αλλαγής λωρίδας, δεύτερον, αν η παρούσα οδηγική κατάσταση στην διπλανή λωρίδα είναι καλύτερη και τρίτον, αν η πραγματοποίηση ελιγμού για αλλαγή λωρίδας είναι εφικτή (Kan and Bhan, 2007). Ομοίως στο πρόγραμμα VISSIM, υπάρχουν δύο τύποι αλλαγής λωρίδας: ελεύθερες αλλαγές λωρίδας και υποχρεωτικές αλλαγές λωρίδας. Οι ελεύθερες αλλαγές λωρίδας πραγματοποιούνται όταν ένα όχημα αναζητεί περισσότερο χώρο και υψηλότερη ταχύτητα. Οι υποχρεωτικές αλλαγές λωρίδας πραγματοποιούνται όταν ένα όχημα χρειάζεται να φτάσει στο επόμενο

συνδετήριο οδικό τμήμα ώστε να μεταβεί στον επιθυμητό σύνδεσμο. Ανεξαρτήτως τύπου αλλαγής λωρίδας, το πρώτο βήμα που πραγματοποιούν τα οχήματα στο πρόγραμμα VISSIM είναι η αναζήτηση ενός ικανού χρονικού διαχωρισμού για την πραγματοποίηση ελιγμού.

Ακολουθεί μία εικόνα που παρουσιάζει τις παραμέτρους όπως ορίστηκαν στην παρούσα διερεύνηση για την αλλαγή λωρίδας των οχημάτων. Όπως φαίνεται, ορίστηκε η ελεύθερη επιλογή λωρίδας (free lane selection). Όσον αφορά στο χρόνο αναμονής οχήματος σε ουρά (waiting time before diffusion), ο οποίος αναφέρεται στο μέγιστο χρόνο που επιτρέπεται από το πρόγραμμα να περιμένει ένα όχημα προτού το «εξαφανίσει», ορίστηκαν τα πέντε λεπτά, με βάση παρατηρήσεις.



Εικόνα 3.3. Παράμετροι οδηγικής συμπεριφοράς για την αλλαγή λωρίδας.

3.3. Δυνατότητες

Το Vissim μπορεί να εφαρμοσθεί σε **πληθώρα προβλημάτων** ρυθμίσεων που έχουν σχέση με την **κυκλοφορία** και τις **μεταφορές**. Ενδεικτικά, παρουσιάζονται στη συνέχεια μερικές εφαρμογές του προγράμματος:

- Εκτίμηση και βελτιστοποίηση των κυκλοφοριακών ρυθμίσεων σε ένα σύνθετο δίκτυο
- Ανάπτυξη, εκτίμηση και εφαρμογή του συντονισμού στη λογική της φωτεινής σηματοδότησης
- Δυνατότητα διαχείρισης της σηματοδότησης των δικτύων με χρήση σηματοδότησης επενεργούμενης από την κυκλοφορία
- Ανάλυση περιοχών πλέξης και συμβολής με χαμηλή ταχύτητα
- Εύκολη σύγκριση εναλλακτικών σχεδιασμών σηματοδοτούμενων και μη σηματοδοτούμενων κόμβων, κυκλικών διασταυρώσεων και ανισόπεδων κόμβων
- Ανάλυση της χωρητικότητας και των λειτουργιών σταθμών προαστιακού και λεωφορείων
- Εναλλακτικές λύσεις διαχείρισης των λεωφορείων, όπως αποκλειστικές λωρίδες, μείωση των ουρών αναμονής κλπ
- Ζητήματα επιλογής διαδρομών λόγω επίδρασης πινακίδων μεταβλητών μηνυμάτων ή της πιθανότητας εκτροπής της κυκλοφορίας μέσω δευτερευουσών οδών για δίκτυα επιπέδου μεσαίου μεγέθους πόλεων
- Μοντελοποίηση και προσομοίωση ροών πεζών για τη μελέτη των αλληλεπιδράσεων μεταξύ πεζών και οχημάτων

Αξίζει να σημειωθεί ότι με την προσομοίωση στο πρόγραμμα Vissim υπάρχει η **δυνατότητα καταγραφής στοιχείων** χρήσιμων, που ενδιαφέρουν να εκτιμηθούν, όπως είναι οι χρόνοι διαδρομής, το μήκος ουρών, οι καθυστερήσεις, στοιχεία που αφορούν στα οχήματα όπως ο αριθμός τους, εκπομπές καυσαερίων και άλλα.

Στα γενικότερα **οφέλη** του προγράμματος μπορούν, επίσης, να καταταχθούν η εύκολη ενσωμάτωση αυτοκινητοδρόμων και αστικών οδών, η δυνατότητα προσομοίωσης σηματοδότησης σταθερού χρόνου αλλά και επενεργούμενης από την κυκλοφορία, η παροχή δυνατότητας προβολή τριών διαστάσεων (3D) από οποιαδήποτε θέση και γωνία κατά την προσομοίωση και η παροχή δυνατότητας εισαγωγής στοιχείων περιβάλλοντος για πιο ρεαλιστική απόδοση του δικτύου.

3.4. Αδυναμίες

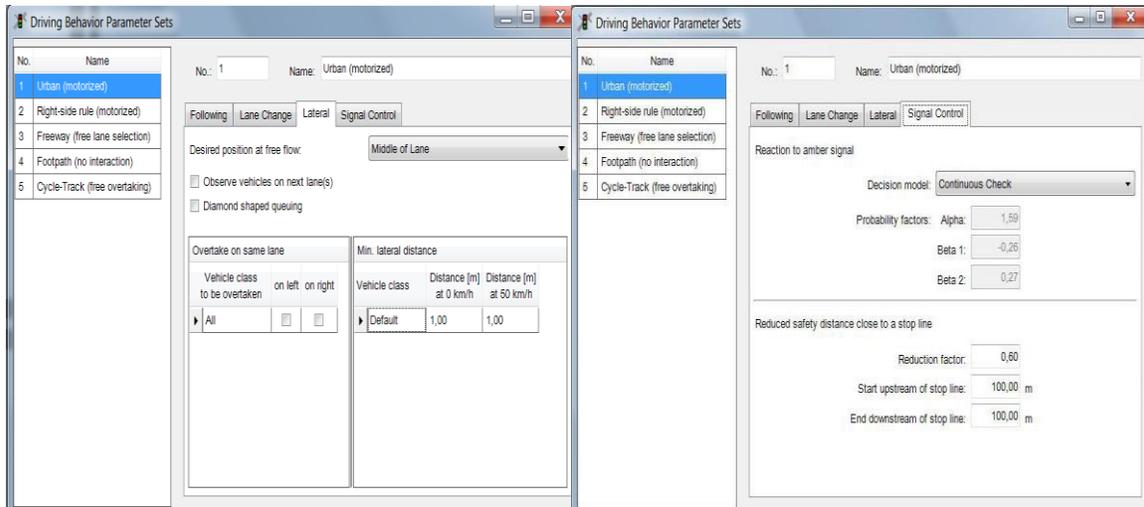
Όπως κάθε πρόγραμμα προσομοίωσης, το Vissim χαρακτηρίζεται από τη **δυσκολία εκμάθησης** λόγω πολυπλοκότητας των χαρακτηριστικών του δικτύου, αλλά και από το **υψηλό κόστος αγοράς** του λογισμικού. Επιπλέον, θα πρέπει να τονισθεί ότι καθώς η προσομοίωση και η ανάλυση βασίζονται σε θεωρίες αποδοχής διάκενου, ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα πιθανόν να διαφέρουν από τις τυπικές τιμές του Highway Capacity Manual.

Στις «πρακτικές» αδυναμίες του προγράμματος, συγκαταλέγονται τα παρακάτω:

- Μη δυνατότητα εφαρμογής της λειτουργίας της αναίρεσης.
- Αδυναμία άμεσης προσομοίωσης κυκλικών κόμβων.
- Περιορισμός ορισμού αρκετών γεωμετρικών στοιχείων, όπως το μήκος του οδικού τμήματος, καθώς μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο σχεδιαστικά.
- Δημιουργία μη ρεαλιστικών συνθηκών σε κάποιες περιοχές πιθανών εμπλοκών. Αναλυτικότερα, παρατηρήθηκε ότι σε κάποιες περιπτώσεις, παρά την ύπαρξη ικανής απόστασης για συνέχιση της πορείας, τα οχήματα σταματούν την κίνησή τους, αναμένοντας μεγαλύτερο διάκενο, από ότι συμβαίνει στην πραγματικότητα.

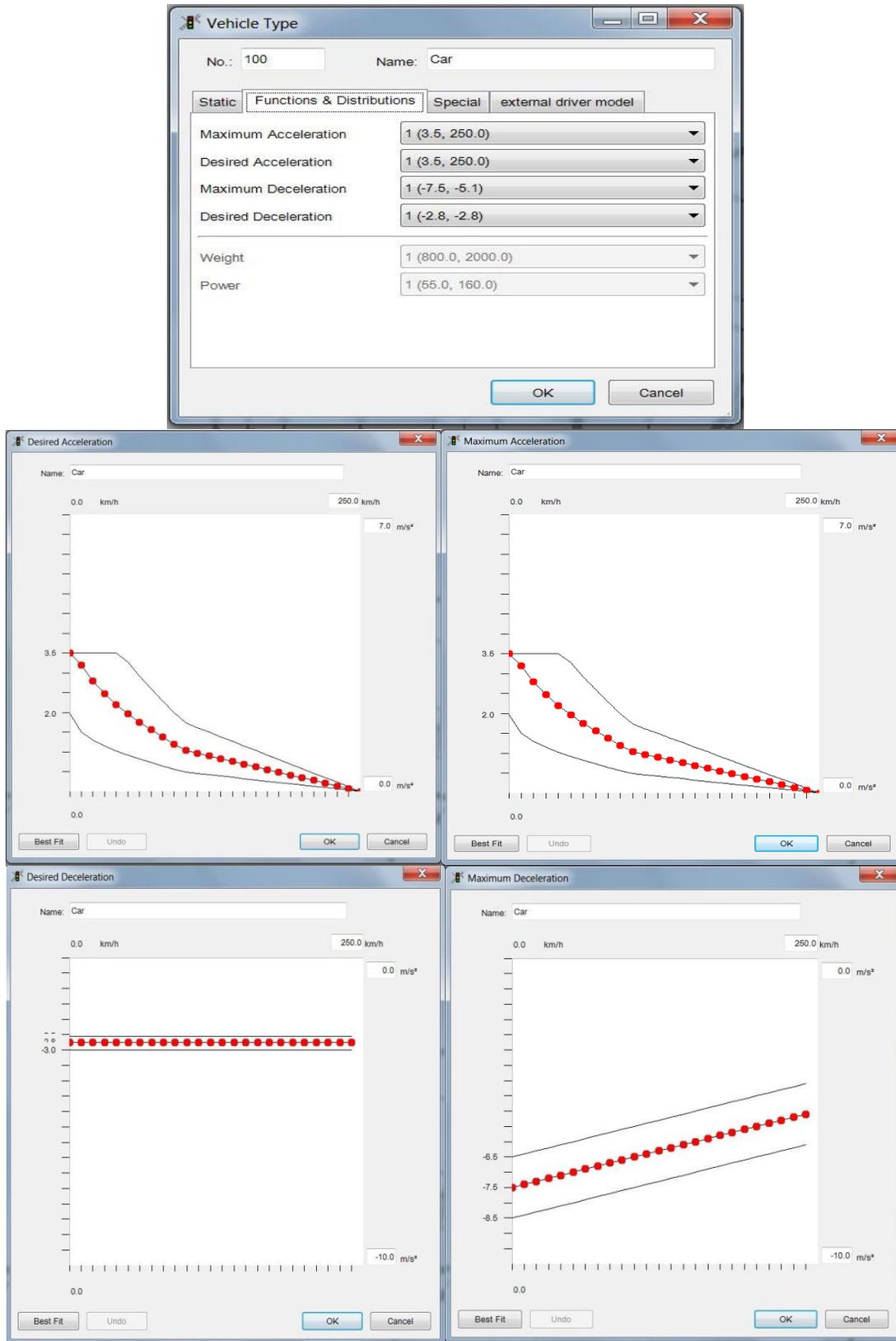
3.5. Σημαντικές παράμετροι του προγράμματος

Η **οδηγική συμπεριφορά** (driving behavior) στο πρόγραμμα Vissim είναι δυνατό να διαμορφωθεί έπειτα από τον καθορισμό κάποιων παραμέτρων. Οι παράμετροι αυτές αφορούν στη συμπεριφορά των ακολουθούντων οχημάτων, την απόφαση για αλλαγή λωρίδας, τη θέση του οχήματος ως προς την πλευρική απόσταση μεταξύ άλλων οχημάτων και την αντίδραση στο σήμα των φωτεινών σηματοδοτών. Για τα δύο πρώτα έχει ήδη γίνει αναφορά. Για τα επόμενα δύο ακολουθούν εικόνες οι οποίες δείχνουν το πώς ορίστηκαν αυτές οι παράμετροι.

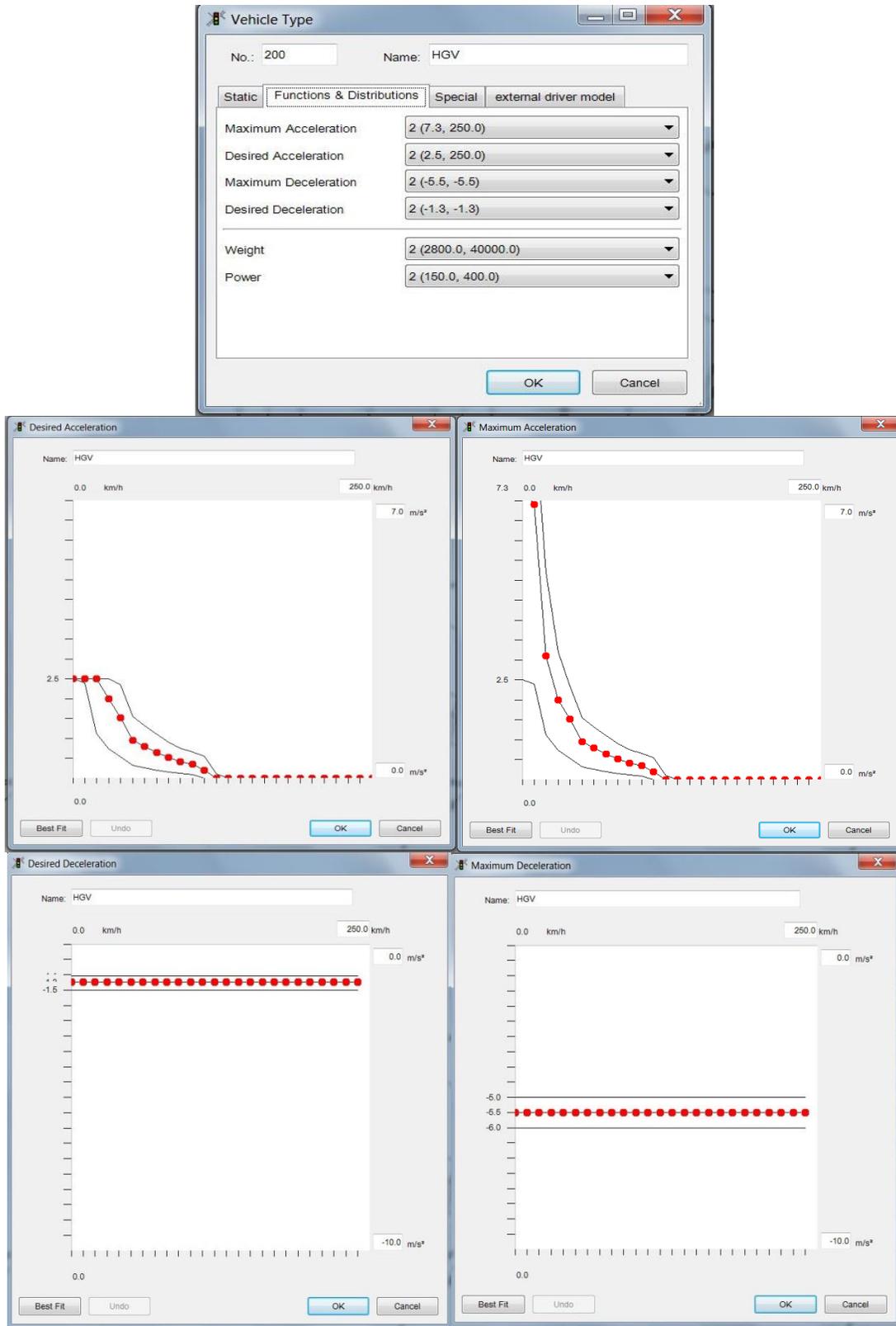


Εικόνα 3.4. Παράμετροι οδηγικής συμπεριφοράς για τη θέση των οχημάτων και την αντίδραση στο φωτεινό σηματοδότη.

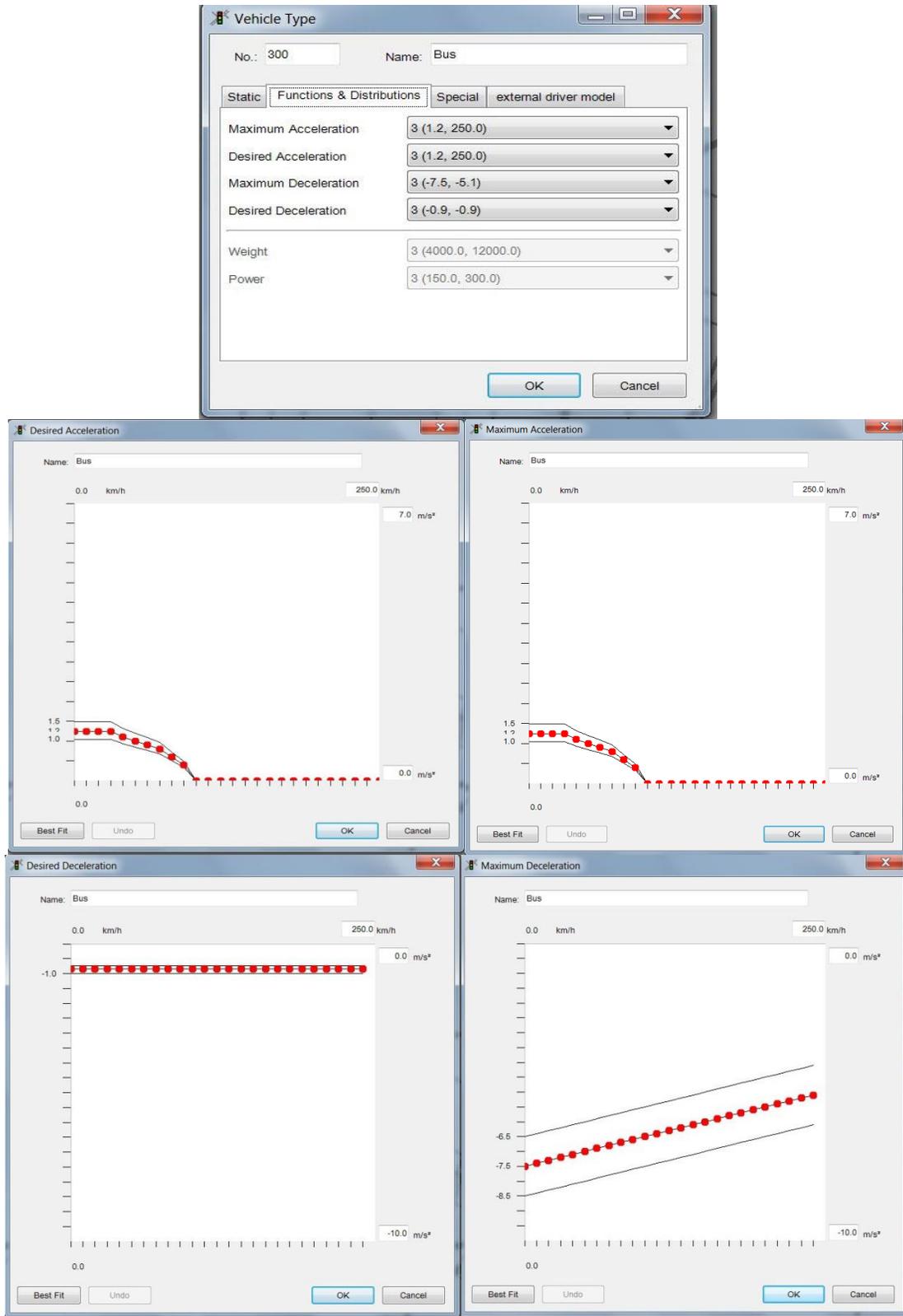
Στη συνέχεια παρατίθενται εικόνες οι οποίες αναφέρονται στα διάφορα **οχήματα** τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα προσομοίωση και το πώς έχει καθοριστεί για αυτά από το πρόγραμμα η μέγιστη και ελάχιστη **επιτάχυνση** και **επιβράδυνση**, καθώς και τα αντίστοιχα επιθυμητά μεγέθη αυτών.



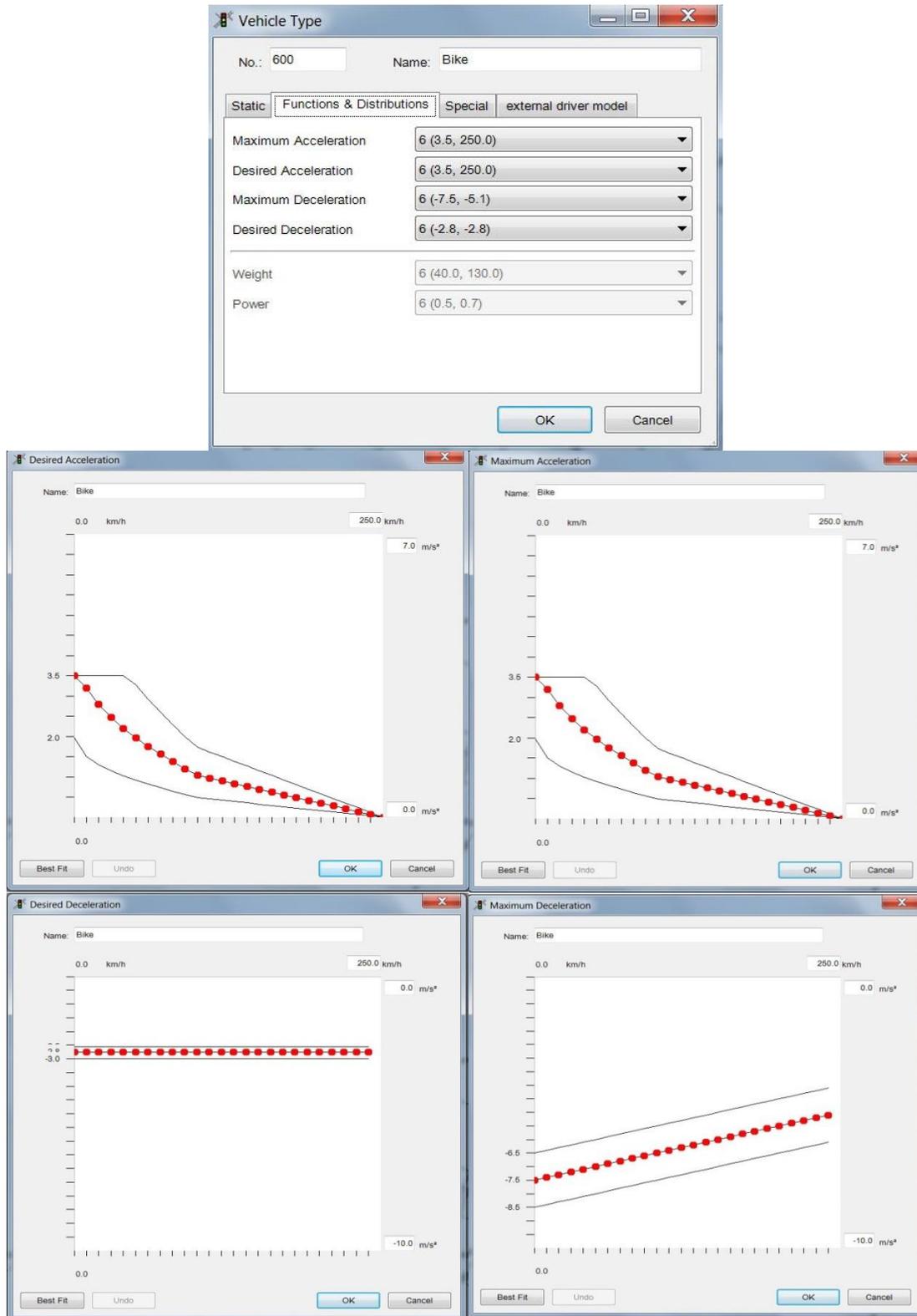
Εικόνα 3.5. Παράμετροι επιτάχυνσης και επιβράδυνσης για Ι.Χ.



Εικόνα 3.6. Παράμετροι επιτάχυνσης και επιβράδυνσης για βαρέα οχήματα.



Εικόνα 3.7. Παράμετροι επιτάχυνσης και επιβράδυνσης για λεωφορεία.



Εικόνα 3.8. Παράμετροι επιτάχυνσης και επιβράδυνσης για ποδήλατα.

4. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Το παρόν κεφάλαιο αφορά στην **επιλογή του δικτύου** το οποίο προσομοιώνεται, προκειμένου να διερευνηθεί το ζήτημα της επιρροής ενός κυκλοφοριακού συμβάντος και των σεναρίων αντιμετώπισής του. Περιγράφεται αναλυτικά η **διαδικασία ανάπτυξης** του δικτύου αυτού στο περιβάλλον της προσομοίωσης, με εκτενή αναφορά σε όλους τους βασικούς παράγοντες οι οποίοι είναι απαραίτητοι για την εκτέλεση της προσομοίωσης, αλλά και στις παραμέτρους οι οποίες χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής στο πρόγραμμα. Τέλος, αναφέρονται οι **δείκτες λειτουργικής απόδοσης** οι οποίοι επιλέχθηκαν για την εξαγωγή χρήσιμων και ενδιαφερόντων συμπερασμάτων για την παρούσα Διπλωματική Εργασία.

4.1. Βάση δεδομένων Κέντρου Διαχείρισης της Κυκλοφορίας (Κ.Δ.Κ.)

Σύμφωνα με την ιστοσελίδα της Περιφέρειας Αττικής, το **Κέντρο Διαχείρισης Κυκλοφορίας (Κ.Δ.Κ.)** της Περιφέρειας Αττικής ξεκίνησε τη λειτουργία του τον Ιούλιο του 2004 και έκτοτε η λειτουργία του είναι συνεχής (24 ώρες την ημέρα, 365 ημέρες το χρόνο).

Οι **κύριοι στόχοι της λειτουργίας** του Κ.Δ.Κ. είναι:

- Η βελτιστοποίηση των κυκλοφοριακών συνθηκών και της ασφάλειας του βασικού οδικού δικτύου μέσω της γρήγορης απόκρισης στα συμβάντα, της ενημέρωσης των οδηγών για τις επικρατούσες κυκλοφοριακές συνθήκες και των παρεμβάσεων στη φωτεινή σηματοδότηση.
- Η λήψη - επεξεργασία - μελέτη και αξιοποίηση των κυκλοφοριακών στοιχείων που λαμβάνονται κατά μήκος του βασικού οδικού δικτύου, καθώς και η συνεργασία με πανεπιστημιακούς φορείς (Α.Ε.Ι., Τ.Ε.Ι. κλπ.) για την πραγματοποίηση συναφών ερευνών.
- Η παροχή των κυκλοφοριακών στοιχείων σε «πραγματικό χρόνο» προς τρίτους για στήριξη εφαρμογών τηλεματικής.
- Η συνεργασία με άλλα κέντρα ελέγχου κυκλοφορίας (Τροχαία, Κέντρο Ελέγχου Κυκλοφορίας Αττικής Οδού, Πυροσβεστική, ΕΚΑΒ, ΤΡΑΜ, κλπ.)

Ο **βασικός εξοπλισμός** του Κ.Δ.Κ. αποτελείται από περίπου 550 θέσεις μέτρησης των κυκλοφοριακών δεδομένων (απλοί επαγωγικοί βρόχοι και βρόχοι «μηχανικής όρασης»), 217 κάμερες εποπτείας της κυκλοφορίας, 24 Πινακίδες Μεταβλητών Μηνυμάτων, το σύστημα Εποπτείας της Κυκλοφορίας SITRAFFIC CONCERT, καθώς και περίπου 850 ρυθμιστές κυκλοφορίας στους σηματοδοτούμενους κόμβους.

Στο πλαίσιο της λειτουργίας του συστήματος, ακολουθούνται αυστηρά οι όροι και προϋποθέσεις που θέτει η **Αρχή Προστασίας Δεδομένων Προσωπικού Χαρακτήρα** και για το λόγο αυτό δεν τηρείται κανένα αρχείο εικόνων, δεν διαπιστώνονται από το Κ.Δ.Κ. παραβάσεις, ούτε εξατομικεύεται κάποιο κυκλοφοριακό στοιχείο. Για τον ίδιο λόγο δεν είναι δυνατή η δημοσίευση του συνόλου των στοιχείων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Το Κ.Δ.Κ., αξιοποιώντας τα κυκλοφοριακά στοιχεία που συλλέγονται από το σύστημα πραγματοποιεί **έρευνες** σχετικές με την κυκλοφορία, τη φωτεινή σηματοδότηση και την οδική ασφάλεια, τόσο αυτοτελώς όσο και σε συνεργασία με διάφορα ερευνητικά ιδρύματα (π.χ. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τ.Ε.Ι. Αθήνας). Αποτελέσματα των ερευνών αυτών είναι τόσο εργασίες που δημοσιεύονται σε επιστημονικά περιοδικά ή συνέδρια όσο και Διπλωματικές Εργασίες σπουδαστών διάφορων σχολών. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται το εσωτερικό της κεντρικής αίθουσας του Κ.Δ.Κ., με τις διάφορες οθόνες να εμφανίζουν βίντεο παρακολούθησης κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 4.1. Το εσωτερικό της κεντρικής αίθουσας του Κ.Α.Κ.

4.2. Επιλογή δικτύου

Στην Αθήνα, το φαινόμενο της κυκλοφοριακής συμφόρησης είναι συχνό και οι επεμβάσεις στο δίκτυο σε πολλές περιπτώσεις αναγκαίες. Στόχος για την επιλογή του δικτύου ήταν να προσομοιωθεί μία περιοχή η οποία έχει ιδιαίτερο **ενδιαφέρον προς μελέτη** και στην οποία συμβαίνουν με αρκετά μεγάλη συχνότητα διαφόρων ειδών **κυκλοφοριακά γεγονότα**. Επιπρόσθετα, ήταν προτιμότερο το δίκτυο να μην περιλαμβάνει ελεύθερες λεωφόρους, όπως για παράδειγμα τη Λ. Κηφισσού ώστε να υπάρχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον στη διαμόρφωση του δικτύου. Ακόμη, επιδιώχθηκε να προσομοιωθεί δίκτυο το οποίο να περιλαμβάνει πινακίδα μεταβλητών μηνυμάτων επί αστικής λεωφόρου, η οποία θα βρίσκεται σε κατάλληλη θέση ώστε να πληροφορείται εγκαίρως ο οδηγός για τα διάφορα γεγονότα και, ειδικότερα, να του επιτρέπεται να αλλάξει διαδρομή σε περίπτωση ανάγκης, χρησιμοποιώντας άλλες βασικές ή συλλεκτήριες αρτηρίες του δικτύου, για τις οποίες να υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία φόρτων από το Κ.Α.Κ. .

Στο Κ.Δ.Κ., η **συνεχής παρακολούθηση** των καμερών οι οποίες βρίσκονται στις μεγαλύτερες αρτηρίες της Αττικής επιτρέπει στους χειριστές να έχουν πλήρη εικόνα της κυκλοφοριακής κατάστασης. Οποιοδήποτε γεγονός συμβαίνει κάθε στιγμή στις αρτηρίες αυτές, καταγράφεται απευθείας σε αρχείο με πλήρη περιγραφή του. Συγκεκριμένα για το **κάθε συμβάν καταγράφεται** το όνομα του χειριστή βάρδιας, η ημερομηνία που ξεκίνησε και που έληξε, η αρτηρία στην οποία παρατηρήθηκε καθώς και η κατεύθυνση αυτής, η πλησιέστερη σε αυτήν οδός, ο ανιχνευτής, η λωρίδα κυκλοφορίας, η ώρα έναρξης και λήξης του συμβάντος, μία σύντομη και μία πλήρης περιγραφή του γεγονότος, ο βαθμός των επιπτώσεων που είχε σε κλίμακα μηδέν έως τρία, η διάρκεια του γεγονότος και, τέλος, οι συντεταγμένες Χ και Υ του σημείου όπου παρατηρήθηκε το γεγονός.

Το αρχείο αυτό εξετάστηκε και μελετήθηκαν τα γεγονότα που είχαν συμβεί κατά τη διάρκεια του έτους 2012, τα οποία είχαν ταξινομηθεί κατάλληλα και υπήρχαν στο σύνολό τους συγκεντρωμένα. Από τα στοιχεία αυτά προέκυψαν ως **κρισιμότερες** οι εξής **αρτηρίες**: η Λ. Ποσειδώνος, η Λ. Κηφισίας, η Λ. Αθηνών, η Λ. Βουλιαγμένης, η Λ. Μεσογείων, η Λ. Αλεξάνδρας, η Λ. Συγγρού και αρτηρίες στο κέντρο της Αθήνας όπως η Λ. Βασιλίσσης Σοφίας.

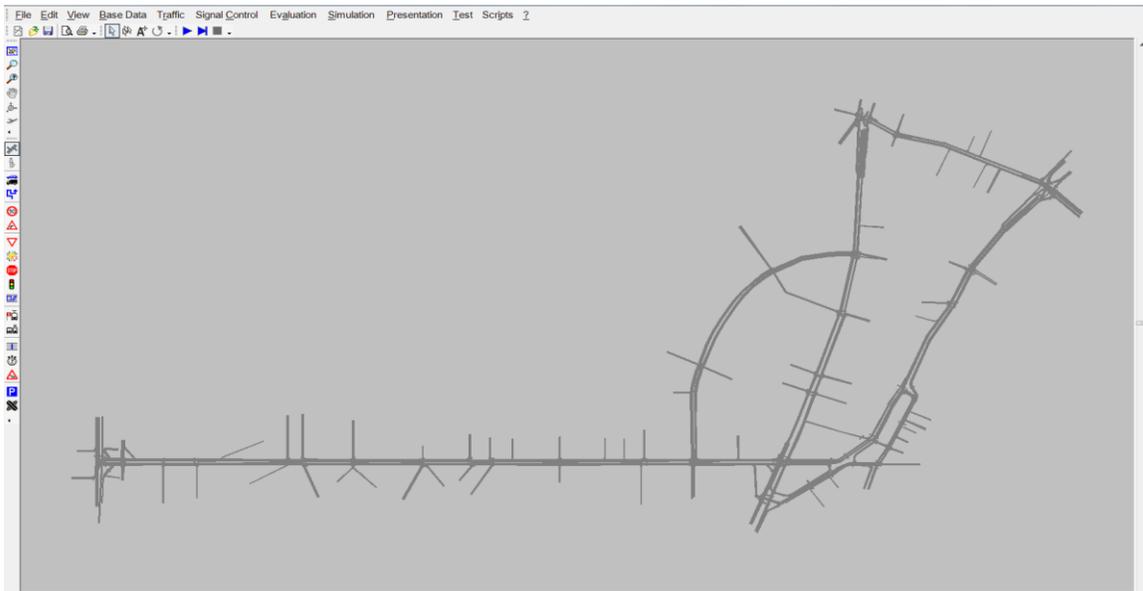
Με τον όρο **«γεγονότα»** εννοούνται διαφόρων ειδών συμβάντα, οι βασικές κατηγορίες ομαδοποίησης των οποίων είναι οι εξής:

- ακινητοποιημένο όχημα,
- οδικό τροχαίο ατύχημα,
- διαδήλωση,
- διακοπή της κυκλοφορίας για οποιοδήποτε λόγο,
- βλάβη σε φωτεινό σηματοδότη,
- έργα ασφαλτόστρωσης, διαγράμμισης, συντήρησης, υποδομής, ακόμα και
- παρέλαση ή κάποιου είδους συγκέντρωση ή τελετή.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, τελικά επιλέχθηκε η προσομοίωση της **περιοχής** που περιλαμβάνει τη Λ. Αλεξάνδρας από το ύψος της οδού Πατησίων όπου ξεκινά έως το τέλος της, η Λ. Κηφισίας και η Λ. Μεσογείων έως το ύψος των δύο ανισόπεδων κόμβων (Α/Κ) με τη λεωφόρο Κατεχάκη αντίστοιχα, η Λ. Κατεχάκη στο τμήμα ενδιάμεσα στους Α/Κ, καθώς και το τμήμα του κόμβου Λ. Βασιλίσσης Σοφίας- Ζαχάρωφ- Λ. Μεσογείων, η οδός Φειδιππίδου και η οδός Πανόρμου. Τα τμήματα των λεωφόρων και των οδών αυτών εξυπηρετούν τη σύνδεση πολλών περιοχών της Αθήνας με το κέντρο της πόλης άλλα και με άλλες περιοχές και δύναται να προσφέρουν εναλλακτικές διαδρομές σε περίπτωση αποκλεισμού κάποιας από αυτές. Σημειώνεται πως αποφεύχθηκε η

δημιουργία πολλών δευτερευουσών οδών, οι οποίες συμβάλλουν στις κύριες αρτηρίες, λόγω μη ύπαρξης στοιχείων φόρτων για αυτές. Θεωρήθηκε ότι η απουσία αυτών δεν αλλοιώνει την προσέγγιση και τα συμπεράσματα της παρούσας διερεύνησης, καθώς δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στη σωστή φόρτιση του δικτύου όπως προκύπτει από τις υπάρχουσες σχεδιασμένες αρτηρίες.

Ακολουθεί μια εικόνα του δικτύου, όπως αυτό διαμορφώθηκε στο περιβάλλον του προγράμματος Vissim.



Εικόνα 4.2. Εικόνα του οδικού δικτύου της Αθήνας το οποίο προσομοιώθηκε.

4.3. Δεδομένα εισόδου μοντέλου δικτύου

Τα περισσότερα από τα μικροσκοπικά μοντέλα προσομοίωσης της κυκλοφορίας, απαιτούν τους παρακάτω **τύπους δεδομένων**:

- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οδών (μήκος, πλάτος και αριθμός λωρίδων)
- Ρύθμιση της κυκλοφορίας (σήμανση και σηματοδότηση)
- Ζήτηση (κυκλοφοριακοί φόρτοι, ποσοστά στρεφουσών κινήσεων)
- Χαρακτηριστικά οχημάτων και οδηγών

Τα τελευταία είναι δύσκολο να μετρηθούν σε πραγματικές συνθήκες καθώς αφορούν μήκος οχημάτων, μέγιστο αριθμό επιτάχυνσης, επιθετικότητα του οδηγού, συνεπώς απαιτούν την πραγματοποίηση παραδοχών από τα μοντέλα.

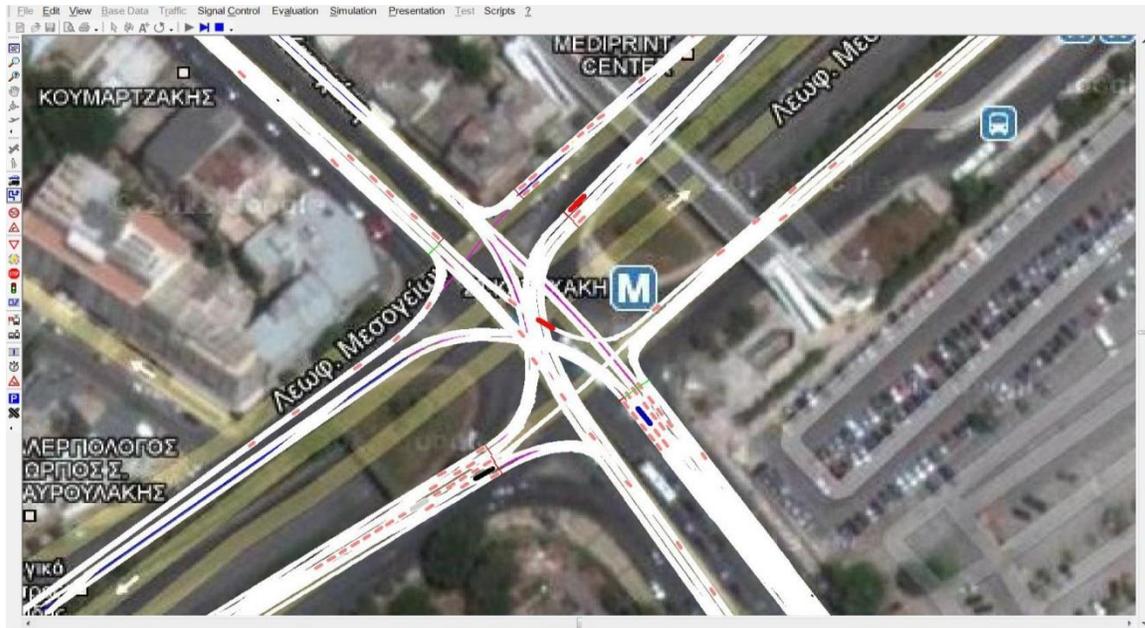
Το τμήμα της εισαγωγής δεδομένων του μοντέλου ή, αλλιώς, του σχεδιασμού του μοντέλου του δικτύου στο πρόγραμμα αποτελείται από δύο μέρη. Το πρώτο αφορά στο σχεδιασμό ολόκληρης της **οριζοντιογραφίας** της περιοχής, ενώ το δεύτερο αφορά στην **εισαγωγή κυκλοφοριακών δεδομένων** στο δίκτυο. Ο συνδυασμός τους απέδωσε μια σωστή, σχεδιαστικά και λειτουργικά, απεικόνιση της περιοχής αλλά και εξασφάλισε την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων.

4.3.1. Συλλογή υποβάθρων

Για ένα κυκλοφοριακό σενάριο που δημιουργείται στο Vissim, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ένας **χάρτης** ως βάση, ο οποίος μπορεί να εισαχθεί ως εικόνα για **υπόβαθρο**. Οι **οριζοντιογραφίες** των κόμβων οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν, ήταν διαθέσιμες από το Κ.Δ.Κ. Συγκεκριμένα, δόθηκαν τοπογραφικά σχέδια ή σκαριφήματα των κόμβων, σε κλίμακα 1:500. Τα σχέδια περιελάμβαναν το όνομα της κάθε οδού που συμβάλλει στον κόμβο, τον αριθμό των λωρίδων, την κατεύθυνση κάθε λωρίδας, τη θέση της σήμανσης και της φωτεινής σηματοδότησης με τον κατάλληλο κωδικό ώστε να συμπίπτει με τον κωδικό αριθμό στο πρόγραμμα σηματοδότησης για τον αντίστοιχο κόμβο καθώς και η θέση των ανιχνευτών σε κάθε κλάδο. Σε αρκετά σκαριφήματα δίνονταν γεωμετρικά στοιχεία όπως το πλάτος της λωρίδας, η ακτίνα της τροχιάς που διαγράφει ένα όχημα κατά την κίνηση του σε έναν κόμβο, όπως και η απόσταση του κάθε ανιχνευτή από τον κόμβο.

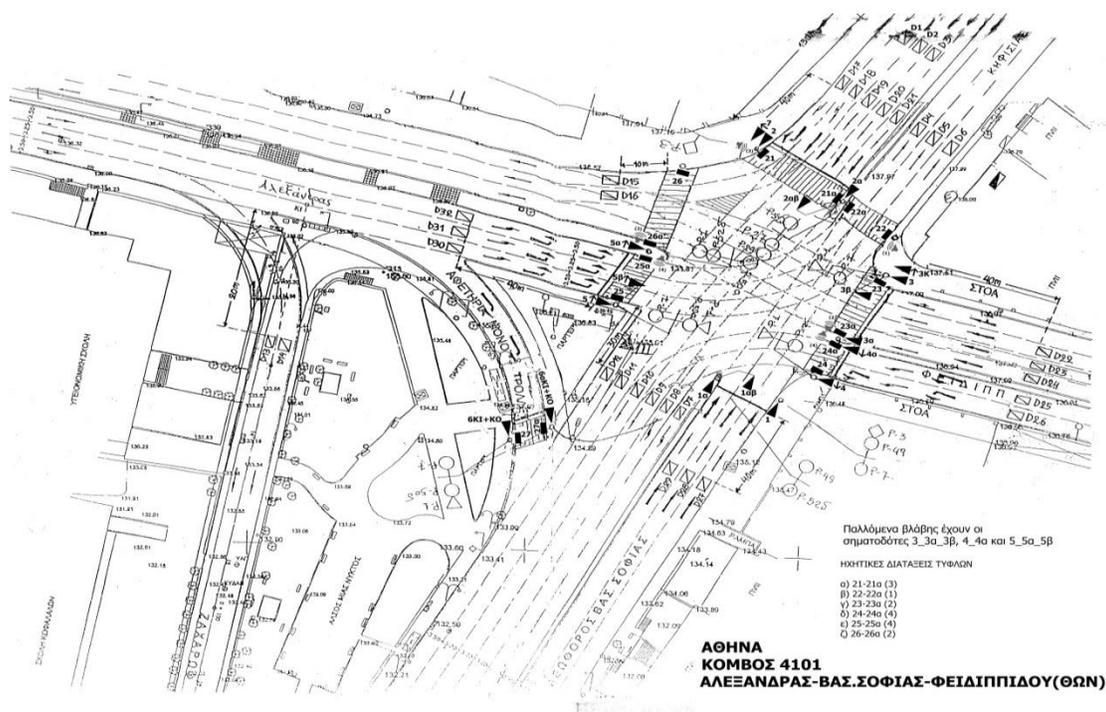
Προκειμένου να ολοκληρωθεί με επιτυχία το τμήμα του γεωμετρικού σχεδιασμού του δικτύου, ήταν απαραίτητη η **επακριβής μέτρηση αποστάσεων** σε ολόκληρο το δίκτυο, είτε μέσω της υπηρεσίας του Google, "Google Earth", είτε μέσω της υπηρεσίας θέασης ορθοφωτογραφιών από την Κτηματολόγιο Α.Ε. . Το πρόγραμμα «Google Earth» επιτρέπει την θέαση από δορυφόρο σημείων του πλανήτη με σχετική ευκρίνεια και αποτελεί παράλληλα μία βάση δεδομένων αρκετών γεωγραφικών στοιχείων που είναι ψηφιοποιημένα πάνω στη σύνθεση των δορυφορικών εικόνων, όπως του οδικού δικτύου. Η ιστοσελίδα της εταιρίας Κτηματολόγιο Α.Ε. παρέχει υπηρεσία θέασης ορθοφωτογραφιών, οι οποίες περιλαμβάνουν συντεταγμένες του κάθε σημείου στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1987 (ΕΓΣΑ 87) καθώς και μετρήσεις μηκών και εμβαδών. Οι αποστάσεις που μετρήθηκαν αφορούσαν τόσο στα οδικά τμήματα μεταξύ των κόμβων, όσο και στη σωστή τοποθέτηση των φωτεινών σηματοδοτών.

Στη συνέχεια παρατίθεται ενδεικτικά ο σχεδιασμός του Α/Κ Λ. Κατεχάκη – Λ. Μεσογείων, όπως πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας ως υπόβαθρο, χάρτη από το Google.



Εικόνα 4.3. Σχεδιασμός κόμβου στο Vissim με χρήση υποβάθρου.

Παρατίθεται, επίσης, ενδεικτικά η οριζοντιογραφία του κόμβου Λ. Αλεξάνδρας – Λ. Βασ. Σοφίας – Φειδιππίδου, όπως δόθηκε από το Κ.Δ.Κ.



Εικόνα 4.2. Οριζοντιογραφία κόμβου Λ. Αλεξάνδρας - Λ. Βασ.Σοφίας - Φειδιππίδου. Πηγή: Κ.Δ.Κ.

4.3.2. Σχεδιασμός οδικού δικτύου

Για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης, είναι αναγκαία η **κωδικοποίηση** του οδικού δικτύου της υπό εξέταση περιοχής, έτσι ώστε το δίκτυο να είναι αναγνώσιμο από το πρόγραμμα και να γίνονται αντιληπτά τα χαρακτηριστικά του χωρίς πιθανά προβλήματα που προκύπτουν από μη συμβατό σχεδιασμό του δικτύου με τον τρόπο που το «αντιλαμβάνεται» το πρόγραμμα προσομοίωσης.

Το Vissim βασίζεται στη χρήση **συνδέσμων** και **συνδέσεων** (links - connectors) και δίνει τη δυνατότητα μεγάλης ακρίβειας στη γεωμετρία, επιτρέποντας στο χρήστη να ταιριάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό το προσομοιωμένο δίκτυο με το πραγματικό. Οι σύνδεσμοι διαμορφώνουν τα οδικά τμήματα με επιλογή του επιθυμητού αριθμού λωρίδων, ενώ μέσω των συνδέσεων δίνεται η δυνατότητα να ενωθούν τα τμήματα αυτά και να κατασκευαστούν διασταυρώσεις. Με αυτόν τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει την ακριβή διαδρομή των οχημάτων, με δημιουργία ευθειών κινήσεων, καθώς και αριστερόστροφων και δεξιόστροφων. Κατά τη διαδικασία δημιουργίας ενός συνδετήριου οδικού τμήματος, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την απόσταση στον προηγούμενο σύνδεσμο που ένα όχημα αλλάζει λωρίδα ώστε να εισέλθει στο συνδετήριο οδικό

τμήμα που τον οδηγεί στην επόμενη απόφαση για διαδρομή, δηλαδή στον επόμενο σύνδεσμο.

Επισημαίνεται ότι όσον αφορά στη δημιουργία των ανισόπεδων κόμβων, η απλή εισαγωγή υψομέτρου σε έναν σύνδεσμο βοηθάει μόνο στην σωστή οπτικοποίηση του δικτύου και δεν είναι απαραίτητη.

Το οδικό δίκτυο που κατασκευάστηκε έχει **συνολικό μήκος** περίπου **25 χλμ** και αποτελείται από **33 σηματοδοτούμενους κόμβους**.

4.3.3. Εισαγωγή κυκλοφοριακών δεδομένων στο δίκτυο

Έχοντας ολοκληρώσει με ιδιαίτερη προσοχή την κατασκευή του δικτύου, καθορίζονται τα **στοιχεία της κυκλοφορίας** των οχημάτων που κινούνται στο δίκτυο. Τα στοιχεία αυτά είναι η επιθυμητή κατανομή της ταχύτητας, οι τύποι και οι κατηγορίες των οχημάτων, η σύνθεση της κυκλοφορίας και ο κυκλοφοριακός φόρτος. Επιπλέον, για τη διαδικασία της προσομοίωσης είναι απαραίτητο να ρυθμιστούν κάποιες **παράμετροι**. Αυτές οι παράμετροι έχουν να κάνουν με τα οχήματα, με τη συμπεριφορά του οδηγού και με τις κυκλοφοριακές συνθήκες.

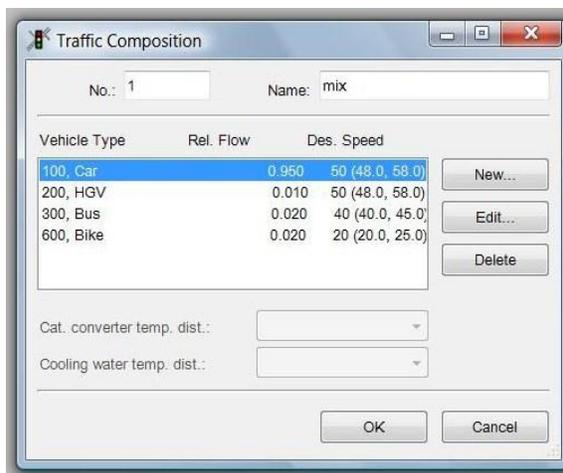
4.3.3.1. Καθορισμός συστήματος οδήγησης

Το πρώτο βήμα είναι ο καθορισμός του συστήματος οδήγησης. Στην προκειμένη περίπτωση που πρόκειται για οδικό δίκτυο εντός Ελλάδος, η κίνηση των οχημάτων γίνεται από τη δεξιά λωρίδα κυκλοφορίας (**right-side traffic**).

4.3.3.2. Τύποι οχημάτων και σύνθεση της κυκλοφορίας

Στη συνέχεια, καθορίζονται οι τύποι οχημάτων που περιλαμβάνονται στο δίκτυο, τα χαρακτηριστικά τους καθώς και τα όρια ταχύτητάς τους. Έχοντας ορίσει αυτά, είναι δυνατό να γίνει η σύνθεση της κυκλοφορίας του δικτύου (traffic composition). Μια σύνθεση αποτελείται από έναν ή περισσότερους τύπους οχημάτων. Ο κάθε τύπος έχει τη δική του κατανομή ταχύτητας και το ποσοστό επί του συνολικού φόρτου.

Για το συγκεκριμένο δίκτυο, ορίσθηκαν **δύο συνθέσεις**. Η πρώτη αφορά στις **κύριες** αρτηρίες του δικτύου και περιλαμβάνει οχήματα Ι.Χ. και βαρέα, λεωφορεία και ποδήλατα, ενώ η δεύτερη αφορά στις **δευτερεύουσες** οδούς και περιλαμβάνει μόνο οχήματα Ι.Χ. και ποδήλατα. Σημειώνεται εδώ πως στο Vissim δεν είναι δυνατή η προσομοίωση μοτοποδηλάτων, για αυτό και επιλέχθηκαν τα ποδήλατα.



Εικόνα 4.5. Σύνθεση της κυκλοφορίας η οποία χρησιμοποιήθηκε για τις κύριες αρτηρίες του δικτύου.

Παρακάτω παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα ποσοστά κατανομής όλων των τύπων οχημάτων στο δίκτυο και οι ταχύτητές τους.

	ΚΥΡΙΕΣ ΟΔΟΙ		ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΕΣ ΟΔΟΙ	
	ΠΟΣΟΣΤΟ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ(km/hr)	ΠΟΣΟΣΤΟ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ(km/hr)
Ι.Χ.	95%	50(48-58)	95%	50(48-58)
ΒΑΡΕΑ	1%	50(48-58)	-	-
ΛΕΩΦΟΡΕΙΑ	2%	40(40-45)	-	-
ΠΟΔΗΛΑΤΑ	2%	20(20-25)	5%	20(20-25)

Πίνακας 4.1. Ποσοστά κατανομής τύπων οχημάτων και αντίστοιχες ταχύτητες.

Η εισαγωγή της κυκλοφορίας στο δίκτυο γίνεται μέσω των συνδέσμων που επιλέγονται, στις διάφορες αφετηρίες του δικτύου και στις παράπλευρες οδούς του. Αυτό το βήμα περιγράφεται αναλυτικότερα στην ανάλυση της εισαγωγής των κυκλοφοριακών φόρτων.

4.3.3.3. Επιλογή διαδρομής

Ο καταμερισμός των οχημάτων στο δίκτυο γίνεται είτε με πίνακες προέλευσης – προορισμού (Π-Π), είτε με **μοντέλα επιλογής διαδρομής**. Στην περίπτωση εισόδου πίνακα Π-Π υπολογίζεται μία διαδρομή (σειρά από συνδεδεμένους συνδέσμους) για το όχημα. Διάφορες μέθοδοι είναι διαθέσιμες για τον προσδιορισμό της πορείας κίνησης του οχήματος, όπως αυτή της συντομότερης διαδρομής, η στοχαστική και η δυναμική μέθοδος. Στο συγκεκριμένο δίκτυο, δεν δόθηκαν πίνακες Π-Π καθώς αποτελεί τμήμα ενός ευρύτερου δικτύου, με κύριες

αρτηρίες οι οποίες έχουν αυξημένη κίνηση και φωτεινή σηματοδότηση, κάτι που αποτελεί αποτρεπτικό παράγοντα όταν το πρόγραμμα αναζητά τη βέλτιστη διαδρομή. Συνεπώς αυτό σημαίνει ότι δεν θα προσομοιώνονταν οι πραγματικές συνθήκες. Επιπλέον, δεν είναι γνωστοί οι φόρτοι σε κάθε σημείο του δικτύου, πράγμα που είναι απαραίτητο για την εφαρμογή αυτής της μεθόδου. Αυτό σημαίνει ότι ο τελικός προορισμός και η πορεία του οχήματος θα έπρεπε να καθοριστεί στη διαμόρφωση του δικτύου με την εισαγωγή των **διαδρομών** και των **αποφάσεων** για το ποια από αυτές θα ακολουθηθεί από το κάθε όχημα (routes και routing decisions).

Ουσιαστικά, σε αυτό το στάδιο δίνεται η δυνατότητα να «υλοποιηθούν» οι επιτρεπόμενες κινήσεις οι οποίες έχουν δημιουργηθεί με τις συνδέσεις (connectors) και τις οποίες έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιήσει το κάθε όχημα. Το ποιές από αυτές πραγματοποιούν τελικά εξαρτάται από τα **ποσοστά στρεφουσών κινήσεων** τα οποία καθορίζονται σε κάθε διασταύρωση αναλόγως το πόσα οχήματα είναι επιθυμητό να συνεχίσουν την πορεία τους ευθεία ή να στρίψουν. Η επιλογή αυτή πραγματοποιήθηκε ώστε να επιτευχθεί η αναμενόμενη φόρτιση κάθε κλάδου.

Όσον αφορά στον καθορισμό των διαδρομών, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στα σημεία αρχής και τέλους της διαδρομής ούτως ώστε να μην συμπίπτουν με αυτά της επόμενης ή της προηγούμενης. Για τα σημεία αρχής επισημαίνεται ότι πρέπει να τοποθετούνται σε τέτοιο σημείο ώστε το όχημα να έχει το περιθώριο χρόνου να κινηθεί στην κατάλληλη λωρίδα ώστε να ακολουθήσει την απόφαση που έχει πάρει για την εξέλιξη της πορείας του. Διαφορετικά, το όχημα σταματάει την κίνησή του, με αποτέλεσμα να παρεμποδίζει και να καθυστερεί την κίνηση των οχημάτων που ακολουθούν.

4.3.3.4. Δεδομένα ρύθμισης της κυκλοφορίας

Ένα πολύ βασικό, επίσης, μέρος της ανάπτυξης του μοντέλου είναι η εισαγωγή δεδομένων **ρύθμισης** και **ελέγχου** της κυκλοφορίας, προκειμένου να προσομοιωθούν όσο το δυνατό πιο ρεαλιστικά οι επικρατούσες κυκλοφοριακές συνθήκες. Το είδος των δεδομένων που συλλέγονται εξαρτάται από το είδος του ελέγχου που χρησιμοποιείται.

Τα σήματα **STOP** και τα σήματα **παραχώρησης προτεραιότητας** τοποθετήθηκαν στο μοντέλο του δικτύου εκεί όπου υπάρχουν και στο πραγματικό δίκτυο. Επιπλέον, ο καθορισμός των **περιοχών πιθανής εμπλοκής** της κυκλοφορίας (conflict areas) ήταν απαραίτητος για την αποφυγή του

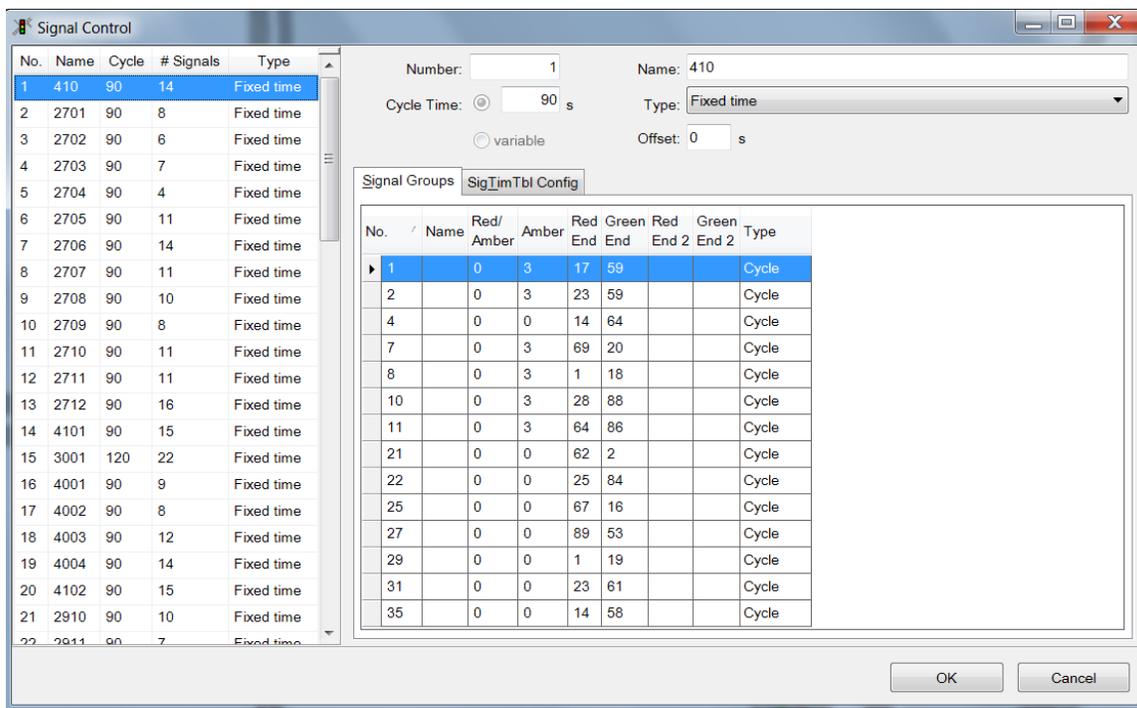
φαινομένου της «σύγκρουσης» οχημάτων στη διάρκεια της προσομοίωσης. Στη συμβολή συνδετήριων τμημάτων δημιουργούνται περιοχές εμπλοκής που λειτουργούν μετά από την τοποθέτηση των κανόνων προτεραιότητας που ισχύουν, προκειμένου κάθε κίνηση που πραγματοποιείται να μην εμπλέκεται με άλλη κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Αν δεν τοποθετηθούν κανόνες προτεραιότητας κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης τα οχήματα διέρχονται ταυτόχρονα αγνοώντας την ύπαρξη άλλων οχημάτων που διέρχονται ή πραγματοποιούν ελιγμό μέσα σε ένα κόμβο. Αυτό εφαρμόστηκε τόσο στους σηματοδοτούμενους και μη κόμβους, όσο και σε άλλα σημεία όπου εμφανιζόταν τέτοιου είδους πρόβλημα στο δίκτυο. Σημειώνεται πως η εισαγωγή κανόνων προτεραιότητας και ο προσδιορισμός των σημείων πιθανής εμπλοκής, πραγματοποιήθηκε μετά από την τοποθέτηση των φωτεινών σηματοδοτών στο δίκτυο.

Μία ακόμη «επέμβαση» στο μοντέλο ήταν οι **λωρίδες αποκλειστικής ροής** συγκεκριμένων κατηγοριών οχημάτων. Στο συγκεκριμένο δίκτυο οι υφιστάμενες ειδικές λωρίδες λεωφορείων εμφανίζονται σε μεγάλο τμήμα αυτού. Συγκεκριμένα, λεωφορειολωρίδες υπάρχουν στη Λ. Αλεξάνδρας, στην κατεύθυνση προς τη Λ. Κηφισίας, από την οδό Μαυροματαίων μέχρι τη Λ. Κηφισίας, και στην κατεύθυνση προς κέντρο, από τη Λ. Κηφισίας μέχρι την οδό Μαυροματαίων. Επιπλέον, στη Λ. Κηφισίας, στην κατεύθυνση προς Κηφισιά, από την οδό Φειδιππίδου έως την Πανόρμου, και στην κατεύθυνση προς κέντρο, από την Πανόρμου έως την Αιτωλίας. Τέλος, λεωφορειολωρίδες υπάρχουν και στην οδό Φειδιππίδου με κατεύθυνση προς κέντρο, από την οδό Μιχαλακοπούλου έως τη Λ. Κηφισίας. Επομένως, με κατάλληλη ρύθμιση (lane closure) μέσα στο πρόγραμμα, εφαρμόστηκε το μέτρο αυτό, όπου χρειαζόταν.

Τέλος, η εισαγωγή **προγραμμάτων φωτεινής σηματοδότησης** είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες για τη σωστή και αξιόπιστη λειτουργία των κόμβων του δικτύου. Αυτή πραγματοποιήθηκε με βάση στοιχεία από το Κ.Δ.Κ., από αρχεία τα οποία περιείχαν τα προγράμματα που εφαρμόζονται σε διάφορες περιόδους μέσα στο 24ωρο για κάθε έναν από τους σηματοδοτούμενους κόμβους οι οποίοι προσομοιώθηκαν. Τα προγράμματα σηματοδότησης, που δόθηκαν, ήταν συνημμένα με την οριζοντιογραφία κάθε κόμβου του οποίου η λειτουργία ρυθμίζεται με φωτεινή σηματοδότηση. Επιλέχθηκε να εφαρμοσθεί το σηματοδοτικό πρόγραμμα ΣΠ1 για όλους τους κόμβους, το οποίο είναι εκείνο που λειτουργεί στην πρωινή αιχμή, καθώς οι φόρτοι οι οποίοι εισήχθησαν στη συνέχεια ήταν για αντίστοιχη χρονική περίοδο. Αφού έγινε η καταγραφή όλων των προγραμμάτων για όλους τους κόμβους, τοποθετήθηκαν οι αντίστοιχοι φωτεινοί σηματοδότες στα κατάλληλα σημεία πάνω στο δίκτυο. Σημειώνεται πως

εισήχθησαν και οι φωτεινοί σηματοδότες οι οποίοι ρυθμίζουν τις κινήσεις των πεζών, προκειμένου να ληφθούν υπόψη οι χρόνοι τους για την επέμβαση η οποία ακολουθεί στο πρώτο σενάριο αντιμετώπισης. Συνολικά εισήχθησαν 33 προγράμματα φωτεινής σηματοδότησης, όσα δηλαδή αντιστοιχούσαν στους σηματοδοτούμενους κόμβους που σχεδιάστηκαν στο δίκτυο.

Παρατίθεται εικόνα από τη διαδικασία εισαγωγής των προγραμμάτων φωτεινής σηματοδότησης, όπως πραγματοποιείται μέσα στο πρόγραμμα Vissim.



Εικόνα 4.63. Ενδεικτικό πρόγραμμα φωτεινή σηματοδότησης, όπως αυτό εισάγεται στο Vissim.

4.3.3.5. Εισαγωγή κυκλοφοριακών φόρτων

Τα **στοιχεία** τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τους κυκλοφοριακούς φόρτους προήλθαν επίσης από αρχείο του Κ.Δ.Κ. και αφορούσαν στους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο του έτους 2012. Οι κυκλοφοριακοί φόρτοι οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν αφορούσαν στην ώρα μεταξύ 08.00 και 09.00 το πρωί, καθώς είναι ώρα αιχμής και θα είχε σημαντικό και μετρήσιμο αντίκτυπο στην κυκλοφορία.

Τα κύρια **σημεία εισόδου** του δικτύου ήταν τα εξής: η κάθοδος και η άνοδος της οδού Πατησίων, η άνοδος της Λ. Βασιλίσσης Σοφίας, η άνοδος της Λ. Κατεχάκη

πριν τη Λ. Μεσογείων, η κάθοδος της Λ. Μεσογείων πριν τον Α/Κ με την Λ. Κατεχάκη, η κάθοδος της Λ. Κηφισίας πριν τον Α/Κ με τη Λ. Κατεχάκη και η οδός Μιχαλακοπούλου. Σε αυτά τα σημεία, τοποθετήθηκε η πρώτη σύνθεση κυκλοφορίας. Υπήρχαν σαφώς και δευτερεύοντα σημεία εισόδου από παράπλευρες οδούς σε ολόκληρο το δίκτυο, στα οποία τοποθετήθηκε η δεύτερη σύνθεση κυκλοφορίας. Συνολικά, τοποθετήθηκαν πενήντα (50) σημεία εισαγωγής φόρτων στο δίκτυο.

Τα στοιχεία που ήταν γνωστά για τους φόρτους αφορούσαν στις κύριες αρτηρίες του δικτύου, σε άνοδο και κάθοδο. Για τα υπόλοιπα σημεία, ήταν απαραίτητο να γίνουν **παραδοχές** και να τροποποιηθούν κατάλληλα τα ποσοστά στρεφουσών κινήσεων σε κάθε διασταύρωση, προκειμένου να επιτευχθεί η **αναμενόμενα φόρτιση** των κύριων κλάδων του δικτύου.

Οι τιμές των φόρτων που εισάγονται στο δίκτυο είναι σε οχήματα **ανά ώρα** και στη φάση εισαγωγής τους είναι δυνατό να καθοριστεί και ο χρόνος για τον οποίο επιθυμούμε να υπάρχουν οχήματα στο δίκτυο. Τα πολλαπλά **δοκιμαστικά τρεξίματα** που πραγματοποιήθηκαν έως την τελική διαμόρφωση του δικτύου, συνέβαλλαν, ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητές τιμές των φόρτων σε κάθε τμήμα του, στο μέγιστο δυνατό βαθμό. Η αποδεκτή απόκλιση για τον αριθμό των οχημάτων ήταν το $\pm 10\%$ του φόρτου που διέρχεται από ένα σύνδεσμο.

4.4. Παράμετροι που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής στην προσομοίωση

Προκειμένου να επιτευχθεί το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα, υπάρχουν κάποιες παράμετροι οι οποίες απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή κατά τη διαδικασία της προσομοίωσης. Η επιλογή τους είναι υποκειμενική και εξαρτάται από τα αποτελέσματα που επιθυμεί ο αναλυτής να εξάγει.

4.4.1. Χρονικά βήματα

Η προσομοίωση της κυκλοφορίας πραγματοποιείται με μια **σειρά χρονικών βημάτων**. Στο τέλος κάθε χρονικού βήματος, υπολογίζονται η θέση του οχήματος, η ταχύτητα και ο ρυθμός επιτάχυνσης/επιβράδυνσης. Η κλίμακα που επιδέχεται είναι από το ένα έως το δέκα (range 1 to 10). Εισάγοντας το 1, πραγματοποιείται κίνηση των οχημάτων μία φορά ανά δευτερόλεπτο προσομοίωσης, ενώ εισάγοντας το 10 η θέση τους καταγράφεται 10 φορές ανά

δευτερόλεπτο προσομοίωσης, κάνοντας έτσι την κίνηση των οχημάτων πιο ομαλή. Διαπιστώνεται, επομένως, ότι τόσο η **ακρίβεια** όσο και η **διάρκεια** μιας εφαρμογής του μοντέλου επηρεάζεται από τον αριθμό των χρονικών βημάτων ανά δευτερόλεπτο. Η ταχύτητα της προσομοίωσης είναι αντιστρόφως ανάλογη των χρονικών βημάτων. Η ακρίβεια γίνεται πιο σημαντική όταν αναλύεται η κυκλοφορία σε έναν αυτοκινητόδρομο όπου, εκεί, τα οχήματα κινούνται με υψηλότερες ταχύτητες. Γενικώς, συνίσταται τρία (3) ή περισσότερα χρονικά βήματα ανά δευτερόλεπτο.

Μόλις το μοντέλο βαθμονομηθεί, ο αριθμός των χρονικών βημάτων πρέπει να παραμείνει **σταθερός**, καθώς η αλλαγή των βημάτων επηρεάζει και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν πέντε (5) χρονικά βήματα.

4.4.2. Τυχαιότητα

Τα στοχαστικά μοντέλα είναι τα πλέον διαδεδομένα για την εκχώρηση χαρακτηριστικών στους οδηγούς και τα οχήματα, με χρήση τυχαίων αριθμών. Η κίνηση των οχημάτων με τον ίδιο τρόπο και την ίδια συμπεριφορά οδηγεί σε μη ρεαλιστικά αποτελέσματα. Είναι ανάγκη, επομένως, να χρησιμοποιηθούν τυχαίες μεταβλητές για την παραγωγή ενός πιθανού φάσματος της ανθρώπινης συμπεριφοράς από απλούς κανόνες.

Για να δημιουργηθούν οι τυχαίες μεταβλητές, είναι απαραίτητη η ύπαρξη μίας **γεννήτριας τυχαίων αριθμών**. Η παράμετρος random seed στο Vissim πραγματοποιεί την εκκίνηση της γεννήτριας τυχαίων αριθμών. Χρησιμοποιώντας διαφορετικό random seed αλλάζει το προφίλ της κυκλοφορίας, παράγοντας διαφορετικές τιμές στα χαρακτηριστικά των οδηγών/οχημάτων, όπως το αποδεκτό διάκενο, την τάση για αλλαγή λωρίδας, την επιθετικότητα κλπ. Συνεπώς τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι διαφορετικά. Έχει παρατηρηθεί ότι τα αποτελέσματα των μικροσκοπικών μοντέλων μπορεί να διαφέρουν έως 25% λόγω αυτής μόνο της αλλαγής στο random seed. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατό να προσομοιωθεί η στοχαστική διακύμανση των χρόνων άφιξης της ροής εισόδου.

4.4.3. Αριθμός επαναλήψεων

Όπως έχει τονισθεί παραπάνω, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από μία και μοναδική προσομοίωση σίγουρα δεν επαρκούν και ο αριθμός των επαναλήψεων είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος προκειμένου να έχουμε **αξιόπιστα αποτελέσματα**. Πρακτικά μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι τα παραγόμενα αποτελέσματα της κυκλοφοριακής προσομοίωσης για ένα δίκτυο δεν μπορούν να είναι ακριβώς ίδια, εξαιτίας του στοχαστικού χαρακτήρα των κατανομών. Δημιουργώντας ένα οποιοδήποτε δίκτυο στο VISSIM, παρατηρούμε ότι μετά το πέρας και της δεύτερης προσομοίωσης τα αποτελέσματα δεν είναι ακριβώς τα ίδια, διατηρώντας αμετάβλητα τα επιμέρους στοιχεία (φόρτο, χρόνος προσομοίωσης και τη γεωμετρία δικτύου).

Για σημαντικά και αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα συνίσταται να προσδιοριστεί ο αριθμητικός μέσος των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από πολλαπλές εκτελέσεις του μοντέλου με διαφορετικά random seeds. Η επιλογή για την παρούσα εργασία ήταν δέκα, δηλαδή με δέκα διαφορετικά random seeds (1 – 10), αριθμός ο οποίος θεωρήθηκε ικανοποιητικός για την παραγωγή αποτελεσμάτων με μεγάλη αξιοπιστία.

4.4.4. Χρονική διάρκεια προσομοιώσεων

Η χρονική διάρκεια μιας προσομοίωσης έχει άμεση σχέση με το πρόβλημα που καλείται ο αναλυτής να επιλύσει. Η επιλογή της διάρκειας γίνεται με βάση τις **ανάγκες** και τους **σκοπούς** τους οποίους θέλει να επιτύχει, συνεπώς είναι προσωπική επιλογή του χειριστή. Οι εμπειρικές μέθοδοι που έχουν εμφανιστεί κατά καιρούς αναφέρουν ως ελάχιστη δυνατή διάρκεια προσομοίωσης τα δεκαπέντε λεπτά, χρόνος ο οποίος, ωστόσο, δεν θα έπρεπε να λειτουργήσει ως περιορισμός. Το ζήτημα είναι, η χρονική διάρκεια η οποία θα επιλεγεί να είναι η καλύτερη δυνατή ώστε να μη χαθεί η ουσία της έρευνας.

Για το συγκεκριμένο μοντέλο, σημαντικός παράγοντας στην επιλογή ήταν η **εμφάνιση γεγονότος**. Επιπλέον, καθώς αφορά στην προσομοίωση ενός μεγάλου τμήματος ενός ευρύτερου δικτύου, ήταν θεμιτό να δοθεί το απαραίτητο **χρονικό περιθώριο** στο δίκτυο για να διαμορφωθεί. Αυτό σημαίνει ότι θα έπρεπε να «τρέξει» η προσομοίωση για κάποιο χρόνο ούτως ώστε να φτάσει τα επιθυμητά επίπεδα φόρτων και να ανταποκρίνεται στις πραγματικές συνθήκες. Στον χρόνο αυτό, ο οποίος μπορεί να χαρακτηριστεί ως χρόνος «προθέρμανσης», δεν καταγράφηκαν αποτελέσματα καθώς δεν θεωρήθηκαν

αντιπροσωπευτικά. Ως εκ τούτου, το πρόγραμμα επιλέχθηκε να «τρέξει» για μιάμιση ώρα συνολικά, από το 0 έως το 5400 δευτερόλεπτο, με χρόνο εκκίνησης το 1800ό δευτερόλεπτο, δηλαδή η πρώτη μισή ώρα ήταν για την προσαρμογή του δικτύου. Επομένως, αποτελέσματα συλλέχθηκαν για μία ώρα, χρόνος ο οποίος εκτιμήθηκε ως αρκετός για την παρατήρηση του δικτύου ως προς τις αλλαγές λόγω του γεγονότος αλλά και την επαναφορά του σε συνήθεις συνθήκες.

4.5. Δείκτες λειτουργικής απόδοσης

Ως δείκτες λειτουργικής απόδοσης (**measures of operational performance**), ορίζονται τα μεγέθη τα οποία επιλέγονται να εκτιμηθούν και στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν ως **κριτήρια** για την **αξιολόγηση** της προσομοίωσης. Είναι πολύ σημαντικό η επιλογή τους να γίνει σύμφωνα με τις ανάγκες και τους στόχους της ανάλυσης. Πρέπει να ορίζονται με σαφήνεια και ακρίβεια ώστε να είναι κατανοητό το πού αναφέρονται και τι αφορούν. Επιπλέον, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στα χρονικά διαστήματα (time intervals) τα οποία επιλέγονται για την καταγραφή των αποτελεσμάτων, καθώς τα αποτελέσματα τα οποία εξάγονται, αναφέρονται στα χρονικά διαστήματα που έχουν ορισθεί.

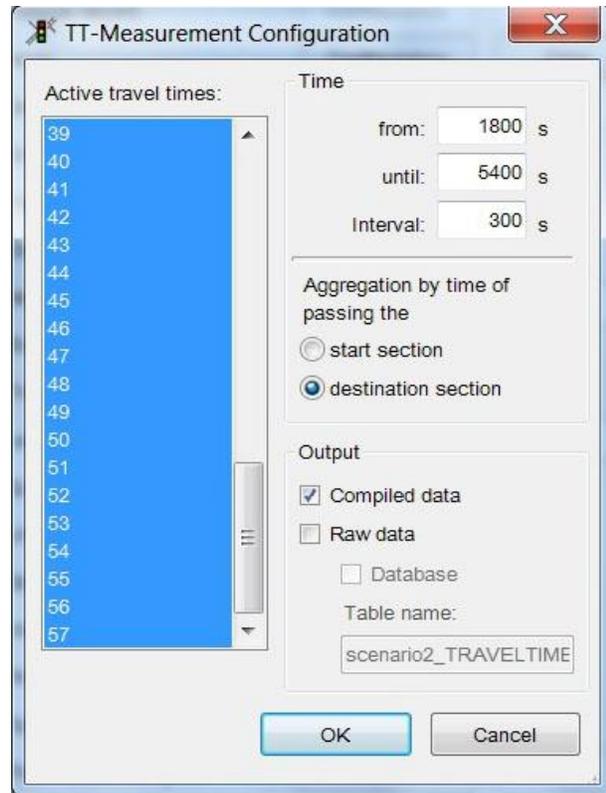
Παρακάτω παρατίθενται οι δείκτες απόδοσης που επιλέχθηκαν για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας και την αποτίμηση του μοντέλου.

Χρόνοι διαδρομής

Για την καταγραφή των χρόνων διαδρομής (travel times) ορίζονται δύο σημεία, ένα εκκίνησης και ένα τερματισμού. Αυτά ορίζουν τμήματα για τα οποία υπολογίζεται ο χρόνος που χρειάζεται κάθε όχημα προκειμένου να τα διασχίσει. Το πρόγραμμα υπολογίζει το μέσο όρο των χρόνων που χρειάζεται κάθε όχημα να διασχίσει το εκάστοτε οδικό τμήμα και τα αποτελέσματα που εξάγονται αφορούν αυτό το μέσο χρόνο διαδρομής σε δευτερόλεπτα. Από πρακτικής άποψης, θεωρήθηκε σωστότερο, στα αποτελέσματα, ο χρόνος αυτός να μετατραπεί και να παρουσιαστεί σε λεπτά. Τα παραπάνω εμφανίζονται επίσης ανά χρονικό διάστημα το οποίο έχει ορισθεί.

Αρχικά, για το βασικό σενάριο επιλέχθηκε ως διάστημα τα 900 δευτερόλεπτα, δηλαδή για την εκτέλεση του προγράμματος από το 1800 έως το 5400 δευτερόλεπτο, συλλέγονταν αποτελέσματα ανά τέταρτο της ώρας, άρα είχαμε τέσσερα διαστήματα. Ομοίως έγινε η καταγραφή και για τα μοντέλα γεγονότος και σεναρίων αντιμετώπισης, προκειμένου να γίνει η σύγκρισή τους με το βασικό

σενάριο. Για αυτά, όμως, θεωρήθηκε σωστότερο η καταγραφή να γίνει και ανά πέντε λεπτά (300 δευτερόλεπτα) για την καλύτερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων από τα σενάρια αντιμετώπισης. Αυτό βοήθησε ώστε να διαπιστωθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η στιγμή που το σύστημα διαταράσσεται και επανέρχεται. Συνολικά, ορίστηκαν 57 οδικά τμήματα για την καταγραφή των χρόνων διαδρομής, τα οποία στη συνέχεια, όπου ήταν προτιμότερο, αθροίστηκαν για την ευκολότερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 4.7. Ορισμός καταγραφής χρόνων διαδρομής στο Vissim.

Καθυστερήσεις και μέσος αριθμός στάσεων ανά όχημα

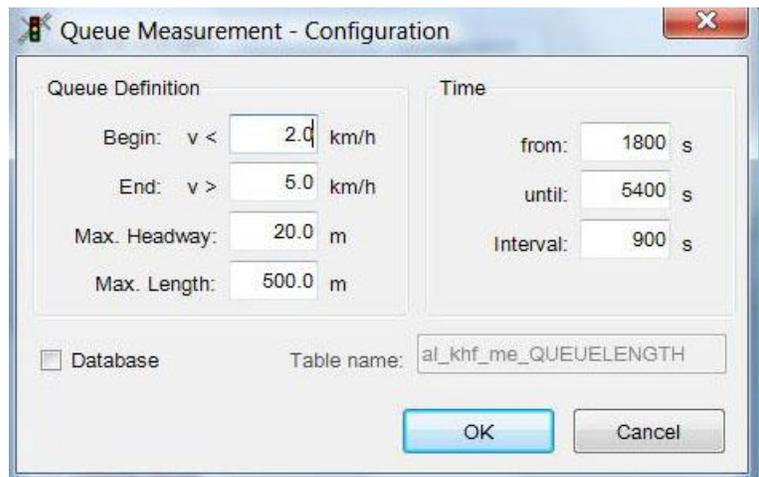
Οι καθυστερήσεις καταγράφονται για τα ίδια χωρικά και χρονικά διαστήματα όπως αυτά ορίζονται στους χρόνους διαδρομής. Τα αποτελέσματα που εξάγονται είναι η **μέση καθυστέρηση ανά όχημα** σε δευτερόλεπτα και ο **μέσος αριθμός των στάσεων ανά όχημα**. Η μέση καθυστέρηση εκτιμάται ως ο χρόνος που απομένει αν από τον πραγματικό χρόνο διαδρομής που χρειάζεται κάθε όχημα να διασχίσει το συγκεκριμένο διάστημα στο οποίο αναφέρεται, αφαιρεθεί ο θεωρητικός χρόνος. Πραγματικός χρόνος θεωρείται εκείνος που καταγράφεται ως χρόνος διαδρομής, ενώ θεωρητικός είναι εκείνος ο οποίος θα χρειαζόταν το όχημα για να διασχίσει το εκάστοτε οδικό τμήμα εάν δεν υπήρχαν άλλα οχήματα, φωτεινοί σηματοδότες ή οτιδήποτε που μπορεί να καθυστερήσει την πορεία του.

Μήκος ουρών αναμονής

Οι μετρητές ουρών αναμονής (queue counters) στο Vissim τοποθετούνται στα επιμέρους οδικά τμήματα του δικτύου και μετρούν την ουρά που σχηματίζεται ανάντη. Δίνουν

αποτελέσματα για το μέσο μήκος ουρών (average queue length) που καταγράφεται στο οδικό τμήμα στο οποίο αναφέρονται, το μέγιστο

μήκος ουράς σε αυτό (maximum queue length) και τον αριθμό των στάσεων που πραγματοποιήθηκαν από τα οχήματα που βρέθηκαν σε ουρά στο τμήμα αυτό (number of vehicle stops within the queue). Τα μήκη παρουσιάζονται σε μέτρα. Όλα τα παραπάνω καταγράφονται για κάθε ένα από τα χρονικά διαστήματα που έχει ορισθεί. Η επιλογή ήταν ίδια όπως και με τον χρόνο διαδρομής, δηλαδή ανά δεκαπέντε και ανά πέντε λεπτά. Τοποθετήθηκαν 76 μετρητές ουρών στο σύνολο του δικτύου.

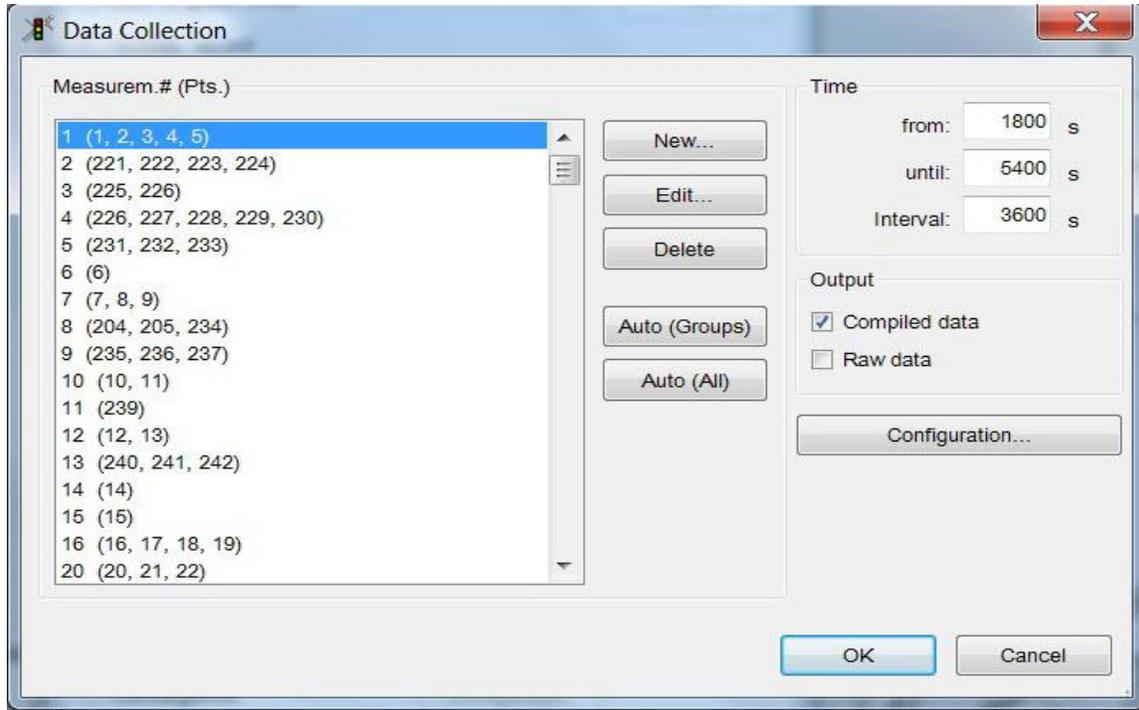


Εικόνα 4.8. Ορισμός καταγραφής ουρών αναμονής στο Vissim.

Αριθμός οχημάτων

Μέσω των σημείων συλλογής δεδομένων (data collection points), επιλέχθηκε να καταγραφούν τα οχήματα που υπάρχουν στο δίκτυο για καθορισμένο χρονικό διάστημα και οδικό τμήμα. Τα σημεία αυτά, ουσιαστικά, αντιπροσωπεύουν τους υπάρχοντες ανιχνευτές αλλά χρησιμοποιήθηκαν σε παραπάνω σημεία για την καλύτερη εποπτεία της κυκλοφορίας του δικτύου. Τοποθετούνται σε κάθε λωρίδα του δικτύου αλλά μπορούν να δώσουν τις πληροφορίες συνολικά για κάθε οδικό τμήμα. Για τα σημεία όπου υπάρχουν φωρατές, σημειώνεται ότι αυτοί τοποθετήθηκαν στα αντίστοιχα σημεία στο δίκτυο για την καλύτερη αναπαράσταση των πραγματικών συνθηκών. Ο συγκεκριμένος δείκτης, καθώς χρησιμοποιήθηκε κυρίως για τον έλεγχο του δικτύου ώστε να επιβεβαιωθεί η σωστή εισαγωγή των φόρτων, επιλέχθηκε να εκτιμηθεί για ολόκληρη την ώρα της προσομοίωσης και όχι σε μικρότερα διαστήματα, εφόσον οι φόρτοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ωριαίοι. Συνολικά, χρειάστηκε να τοποθετηθούν 218 σημεία συλλογής δεδομένων.

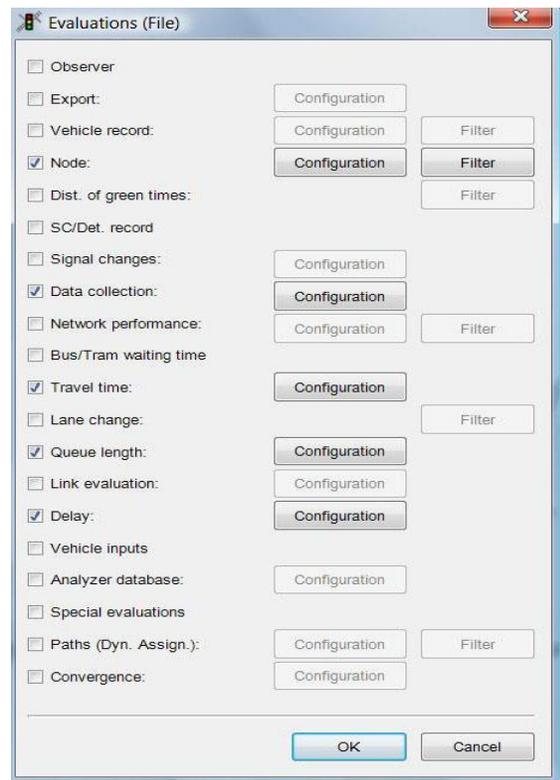
Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται η ομαδοποίηση των σημείων συλλογής δεδομένων για τις λωρίδες των συνδέσμων, ώστε να προκύψει ο συνολικός αριθμός οχημάτων που διέρχεται ανά οδικό τμήμα.



Εικόνα 4.9. Ορισμός σημείων συλλογής δεδομένων στο Vissim.

Παρατίθεται, ακόμη, μία εικόνα από τη διαδικασία προσδιορισμού εξαγωγής αποτελεσμάτων για τους παραπάνω δείκτες, όπως αυτή πραγματοποιείται μέσω του προγράμματος Vissim.

Εικόνα 4.40. Καθορισμός μεγεθών των οποίων θα γίνει καταγραφή αποτελεσμάτων στο Vissim



5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζεται το πειραματικό μέρος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Πολλαπλές **δοκιμαστικές εκτελέσεις** του προγράμματος βοήθησαν, προκειμένου να ελεγχθεί και να διασφαλισθεί η σωστή εισαγωγή των κυκλοφοριακών δεδομένων και να ανιχνευθούν σποραδικές ανωμαλίες σε διάφορα σημεία του δικτύου. Έπειτα από τους απαραίτητους αυτούς **ελέγχους**, πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή όλων των διαφορετικών μοντέλων, βασιζόμενα πάντα στο αρχικό, βασικό σενάριο του δικτύου. Τονίζεται, πως τα διαφορετικά random seeds με τα οποία έγιναν οι διάφορες εκτελέσεις του προγράμματος, ήταν τα ίδια για τα αντίστοιχα τρεξίματα σε όλα τα σενάρια, ώστε να είναι αντικειμενική και αξιόπιστη η σύγκριση. Σημειώνεται επίσης πως ο φόρτος καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης διατηρείται σταθερός.

5.1. Βασικό σενάριο

Το βασικό σενάριο (base scenario) αποτελείται ουσιαστικά από το δίκτυο όπως αυτό διαμορφώθηκε με βάση τα στοιχεία που υπήρχαν για αυτό, σε **συνήθεις συνθήκες λειτουργίας** και έπειτα από τους ελέγχους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Σε αυτό το στάδιο δεν πραγματοποιήθηκε καμία επέμβαση στο δίκτυο, καθώς ήταν χρήσιμη η συλλογή στοιχείων σε αυτή τη φάση προκειμένου να γίνει η σύγκριση στη συνέχεια με το δίκτυο να βρίσκεται υπό ασυνήθεις συνθήκες. Πραγματοποιήθηκαν δέκα επαναλήψεις με διαφορετικά random seeds.

5.2. Επιλογή κυκλοφοριακού συμβάντος

Η επιλογή του είδους του συμβάντος το οποίο προσομοιώνεται είναι ιδιαίτερα σημαντική για δύο λόγους. Πρώτον, για τον καθορισμό του **βαθμού επιρροής** του δικτύου και, δεύτερον, για την ύπαρξη πραγματικής **ανάγκης επέμβασης** στο δίκτυο και εξέτασης των μέσων για τη βελτίωσή του. Επιπλέον, το **σημείο** στο οποίο εφαρμόζεται το γεγονός, παίζει σπουδαίο ρόλο στον τρόπο εφαρμογής των σεναρίων αντιμετώπισης και, γενικότερα, στον κατάλληλο

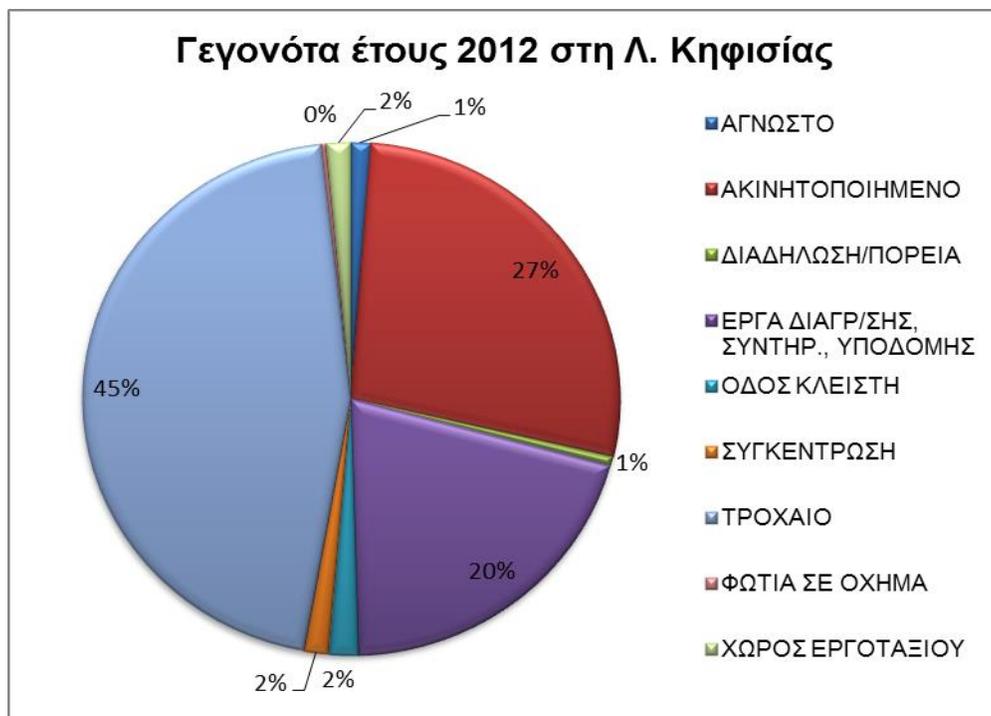
χειρισμό του δικτύου. Μία ακόμη βασική παράμετρος είναι η **χρονική διάρκεια** του γεγονότος. Αναλυτικά η διαδικασία παρουσιάζεται παρακάτω.

5.2.1. Τρόπος επιλογής

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η μελέτη του αρχείου καταγραφής γεγονότων από το Κ.Δ.Κ., οδήγησε στην επιλογή **κρίσιμων οδών**. Στη συνέχεια ακολούθησε η επιλογή γεγονότος, έχοντας πολλά παραδείγματα από όλο το οδικό δίκτυο που προσομοιώθηκε, σε διάφορα σημεία του και στις δύο κατευθύνσεις. Ενδεικτικά αναφέρεται η εξής περιγραφή: «ΣΤΗ Λ. ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΠΡΟΣ ΚΗΦΙΣΙΑ, ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΠΑΝΟΡΜΟΥ, ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΛΩΡΙΔΑ ΚΛΕΙΣΤΗ».

Η άνοδος της λεωφόρου Κηφισίας αποτελεί μια **αξιοποιήσιμη περιοχή για μελέτη**, καθώς τη συγκεκριμένη ώρα που προσομοιώθηκε, ο φόρτος είναι αυξημένος και η επιρροή ενός γεγονότος στο δίκτυο μπορεί να είναι μεγάλη. Στο επίπεδο του δικτύου που προσομοιώθηκε, η επιρροή αυτή θα μπορούσε να φτάσει και στην άνοδο της λεωφόρου Αλεξάνδρας. Αυτό έδινε τη δυνατότητα να γίνει μια ενδιαφέρουσα και ουσιώδης ανάλυση του γεγονότος και των σεναρίων αντιμετώπισής του.

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα που ακολουθεί, τα **συχνότερα γεγονότα** τα οποία εμφανίζονται στη Λ. Κηφισίας, αφορούν περιστατικά όπως οδικό τροχαίο ατύχημα, ακινητοποιημένο όχημα ή διάφορα έργα στην οδό. Τα παραπάνω συνήθως έχουν σοβαρές επιπτώσεις στο οδικό δίκτυο και η μελέτη τους θα ήταν χρήσιμη και ενδιαφέρουσα.



Διάγραμμα 5.5. Γεγονότα έτους 2012 στη Λ. Κηφισίας. Πηγή : Κ.Δ.Κ.

5.2.2. Περιγραφή συμβάντος

Λαμβάνοντας υπόψη το διάγραμμα, επιλέχθηκε να προσομοιωθεί ένα παρόμοιο γεγονός με αυτό της παραπάνω περιγραφής. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε ένα οδικό **τροχαίο ατύχημα** στην άνοδο της λεωφόρου Κηφισίας, δηλαδή με κατεύθυνση την Κηφισιά, στο ύψος της Πανόρμου, συμβάν το οποίο προκαλεί **αποκλεισμό της πρόσβασης** στην επικείμενη λωρίδα κυκλοφορίας. Λαμβάνοντας υπόψη την ύπαρξη λεωφορειολωρίδας κατά μήκος της Λ. Κηφισίας, επιλέχθηκε να αποκλεισθεί ακόμη μία λωρίδα, επιτρέποντας ουσιαστικά την κίνηση σε μία μόνο λωρίδα. Αυτό, αυτόματα σημαίνει μείωση της κυκλοφοριακής ικανότητας της οδού, έχοντας ως συνεπακόλουθο το σχηματισμό ουρών αναμονής και την αύξηση των χρόνων διαδρομής και των καθυστερήσεων.

Ένα σημαντικό ζήτημα ήταν η **διάρκεια** του γεγονότος. Με βάση σχετικές πληροφορίες από το Κ.Δ.Κ. για γεγονότα όπως αυτό, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων η διάρκεια κυμαίνεται από 15 έως 30 λεπτά. Έπειτα από δοκιμαστικά τρεξίματα επιλέχθηκε η διάρκεια να είναι 20 λεπτά, καθώς σε αυτό το διάστημα δίνεται η ευκαιρία να παρατηρηθεί τόσο η επιρροή του γεγονότος στο δίκτυο, όσο και ο χρόνος που χρειάζεται για να επανέλθει σε συνθήκες.

5.2.3. Μέθοδος προσομοίωσης συμβάντος

Προκειμένου να παρασταθεί το παραπάνω γεγονός στο πρόγραμμα, ήταν απαραίτητο να πραγματοποιηθεί μία σειρά από ενέργειες κατά τη διάρκεια εκτέλεσής του.

Το πρόγραμμα Vissim προσφέρει τη δυνατότητα στο χρήστη να διακόπτει την προσομοίωση (pause), χωρίς να την σταματάει (stop) και να **επεμβαίνει** στους **χρόνους των φωτεινών σηματοδοτών** οι οποίοι έχουν εισαχθεί. Με αυτόν τον τρόπο, επομένως, ήταν εφικτό να τροποποιηθεί η διάρκεια πράσινης ένδειξης στη λωρίδα η οποία θα «έκλεινε» και ο χρόνος σε αυτήν να είναι αποκλειστικά κόκκινης ένδειξης, οπότε η μόνη διέξοδος των οχημάτων ήταν από τη λωρίδα κυκλοφορίας η οποία είχε πράσινη ένδειξη.

Μετά τον «κύκλο προθέρμανσης», δηλαδή τα 1800 δευτερόλεπτα στην αρχή, πραγματοποιήθηκε το γεγονός, που διήρκησε έως τα 3000 δευτερόλεπτα. Στη συνέχεια, γινόταν και πάλι διακοπή της προσομοίωσης για την **επαναφορά** των φωτεινών σηματοδοτών στην κανονική τους λειτουργία, έως το τέλος, δηλαδή τα 5400 δευτερόλεπτα.

5.3. Επιλογή εναλλακτικών σεναρίων αντιμετώπισης

5.3.1. Περιγραφή μηδενικού σεναρίου

Έπειτα από την εκτέλεση της προσομοίωσης για την εξαγωγή αποτελεσμάτων για το υπό εξέταση δίκτυο υπό κανονικές συνθήκες, πραγματοποιήθηκαν οι κατάλληλες αλλαγές για τη δημιουργία των συνθηκών του γεγονότος στη Λ. Κηφισίας. Αρχικά, επιλέχθηκε να εκτελεσθεί το πρόγραμμα **χωρίς την επίδραση** κάποιου συστήματος **διαχείρισης της κυκλοφορίας**, προκειμένου να διαπιστωθούν οι αλλαγές που επιφέρει ο αποκλεισμός των λωρίδων. Οπότε, στηριζόμενοι στο βασικό σενάριο, ομοίως πραγματοποιήθηκαν δέκα επαναλήψεις με διαφορετικά random seeds. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατό να εξετασθούν και να αξιολογηθούν καλύτερα οι επεμβάσεις που ακολουθούν, καθώς υπάρχει μέτρο σύγκρισης.

5.3.2. Περιγραφή πρώτου σεναρίου

Ως πρώτο σενάριο αντιμετώπισης, επιλέχθηκε να διερευνηθεί η επιρροή της **αλλαγής της φωτεινής σηματοδότησης** κατά μήκος της Λ. Κηφισίας, με τέτοιο τρόπο ώστε να δίνεται προτεραιότητα στην κίνηση της κύριας οδού. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί, δίνοντας τον ελάχιστο χρόνο πράσινης ένδειξης στις κάθετες οδούς των κόμβων της Λ. Κηφισίας, ο οποίος αντιστοιχεί σε 8 δευτερόλεπτα. Επομένως, είναι δυνατό, ο χρόνος που απομένει, να κατανεμηθεί στους φωτεινούς σηματοδότες κατά μήκος της Λ. Κηφισίας, μειώνοντας το χρόνο της κόκκινης ένδειξης και αυξάνοντας αντίστοιχα το χρόνο της πράσινης ένδειξης. Επισημαίνεται πως αυτό πραγματοποιήθηκε για τους κόμβους έως το ύψος της Πανόρμου, όπου λαμβάνει χώρα το γεγονός, και στις δύο κατευθύνσεις (άνοδο και κάθοδο) και όχι στους επόμενους κόμβους καθώς εκεί δεν υπήρχε αυτή η ανάγκη.

Στην περίπτωση αυτή, η καθοδήγηση μέσω ΠΜΜ μπορεί να θεωρηθεί ως «**παθητική**», καθώς θα έβγαινε προειδοποιητικό μήνυμα στην ΠΜΜ με κωδικό 23 στην άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας, αλλά χωρίς να δοθεί κάποια εναλλακτική διαδρομή. Η επέμβαση στη φωτεινή σηματοδότηση είναι θέμα που αφορά μόνο τους συγκοινωνιολόγους του Κ.Δ.Κ. .

5.3.3. Μέθοδος προσομοίωσης πρώτου σεναρίου

Για την εφαρμογή του πρώτου σεναρίου, η μέθοδος που ακολουθήθηκε ήταν παρόμοια με εκείνη για την προσομοίωση του συμβάντος. Εφόσον το πρόγραμμα προσέφερε στο χρήστη την επιλογή να επέμβει στους χρόνους των φωτεινών σηματοδοτών, πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες αλλαγές σε αυτούς σύμφωνα με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω, ο οποίος αφορά στον **ελάχιστο χρόνο πράσινης ένδειξης** που μπορεί να δοθεί στις **κάθετες οδούς** της Λ. Κηφισίας, λαμβάνοντας πάντα υπόψη και τον χρόνο πράσινης ένδειξης στις διαβάσεις των πεζών.

Αναλυτικότερα, η αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν αφορούσαν στους **κόμβους** στη συμβολή της Λ. Κηφισίας με την οδό Κορινθίας, την οδό Ευρυτανίας, την οδό Λαρίσης Τρικάλων και την οδό Πανόρμου.

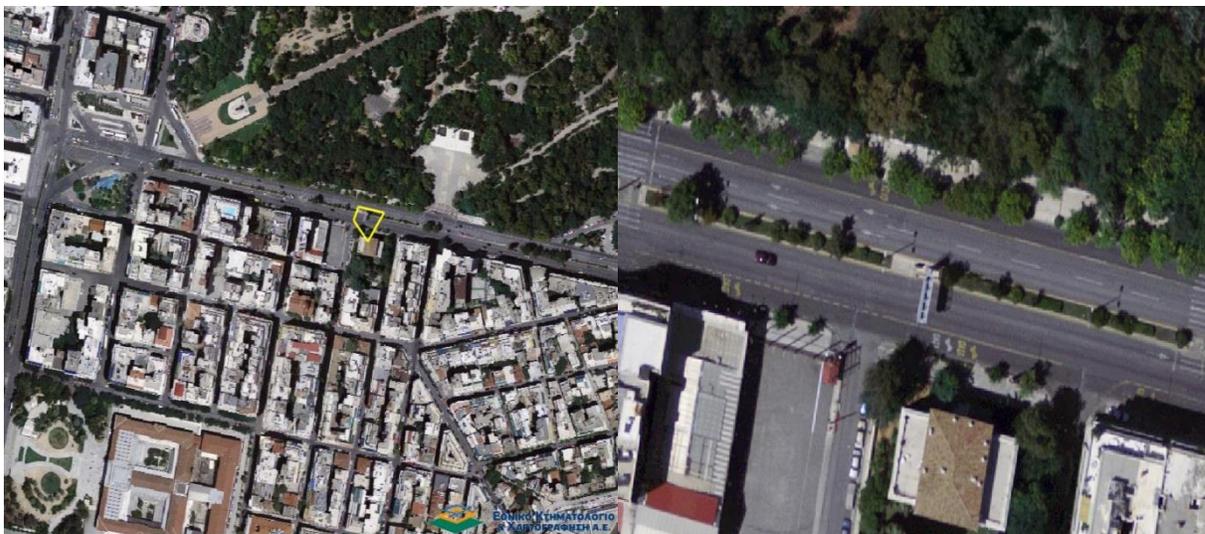
Για την καλύτερη δυνατή προσομοίωση των πραγματικών συνθηκών, οι αλλαγές αυτές πραγματοποιήθηκαν περί τα **τρία λεπτά αργότερα** (συγκεκριμένα 200 δευτερόλεπτα) από την έναρξη του γεγονότος. Το διάστημα αυτό αντιστοιχεί στο

χρόνο που χρειάζεται ώστε να γίνει αντιληπτό το γεγονός και να δοθεί η εντολή για την αλλαγή στα προγράμματα φωτεινής σηματοδότησης.

Επιπλέον, θεωρήθηκε πρόσφορο, η αλλαγή αυτή να παραμείνει για κάποιο χρόνο παραπάνω μετά τη λήξη του συμβάντος, προκειμένου το σύστημα να επανέλθει ευκολότερα και γρηγορότερα. Ο **επιπλέον** αυτός **χρόνος** επιλέχθηκε να είναι **πέντε λεπτά** (300 δευτερόλεπτα). Συνεπώς, μετά τα 3300 δευτερόλεπτα, οπότε και έγινε η επαναφορά των προηγούμενων χρόνων των φωτεινών σηματοδοτών, και έως το τέλος της προσομοίωσης (5400), οι συνθήκες που επικρατούσαν ήταν οι συνήθειες.

5.3.4. Περιγραφή δεύτερου σεναρίου

Η **χρήση πινακίδων μεταβλητών μηνυμάτων** επιλέχθηκε ως δεύτερο σενάριο αντιμετώπισης. Η ύπαρξη πινακίδας στην άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας, μεταξύ των οδών Μπουμπουλίνας – Σπύρου Τρικούπη, έδινε τη δυνατότητα να ενημερωθούν οι οδηγοί εγκαίρως για το συμβάν αλλά και να επιλέξουν τη διαδρομή που θα ακολουθήσουν, προκειμένου να αποφευχθεί υπερβολική συμφόρηση στη Λ. Κηφισίας. Σημειώνεται ότι ο κωδικός αριθμός της πινακίδας είναι 23 και στο εξής θα συμβολίζεται ως **ΠΜΜ23**. Ακολουθούν δύο εικόνες στις οποίες συμβολίζεται η συγκεκριμένη πινακίδα και η θέση της στο δίκτυο.



Εικόνα 5.1. Θέση ΠΜΜ23 στο οδικό δίκτυο. Πηγή : <http://www.ktimanet.gr/wms/ktbasemap/>

Τα 20 λεπτά που ήταν η διάρκεια του γεγονότος, αποτελούν ικανό χρονικό διάστημα ώστε το μήνυμα στην πινακίδα να γίνει αντιληπτό από αρκετά μεγάλο αριθμό οδηγών, των οποίων η απόφαση για τη διαδρομή που θα ακολουθήσουν επηρεάζεται. Για το συγκεκριμένο γεγονός, χρησιμοποιήθηκε **«ενεργητική» καθοδήγηση**, δηλαδή επιλέχθηκε να δοθεί ακριβής εναλλακτική διαδρομή στους οδηγούς για την αλλαγή της πορείας τους. Η εναλλακτική διαδρομή η οποία δόθηκε ήταν μέσω της Λ. Μεσογείων. Για την πραγματοποίηση της εναλλακτικής διαδρομής, θεωρήθηκε ότι η πλειοψηφία των οδηγών ακολουθούν τη διαδρομή Λ. Αλεξάνδρας – Ζαχάρωφ – Λ. Βασ. Σοφίας – Λ. Μεσογείων. Χρησιμοποιήθηκε, επίσης, η ίδια διαδρομή αλλά αντί της οδού Ζαχάρωφ, τα οχήματα οδηγήθηκαν από την ακριβώς διπλανή οδό, όπου είναι η αφετηρία των τρόλτσι. Εκεί το ποσοστό που δόθηκε ήταν αρκετά μικρότερο.

Σημειώνεται πως υπήρχε η δυνατότητα διάδοσης μηνύματος με πρόταση εναλλακτικής διαδρομής, καθώς οι κάμερες κατά μήκος της Λ. Μεσογείων επιτρέπουν την πλήρη εποπτεία της κυκλοφοριακής κατάστασης εκεί, οπότε είναι δυνατή η επιλογή μεταξύ παθητικής και ενεργητικής καθοδήγησης. Σε διαφορετική περίπτωση, η καθοδήγηση θα μπορούσε να είναι μόνο παθητική.

5.3.5. Μέθοδος προσομοίωσης δεύτερου σεναρίου

Η προσομοίωση του δεύτερου σεναρίου αντιμετώπισης, καθώς δεν γινόταν να είναι πλήρως ρεαλιστική εφόσον δεν είναι δυνατό να προσομοιωθεί ΠΜΜ στο

Vissim, έπρεπε να πραγματοποιηθεί με συγκεκριμένη διαδικασία η οποία θα επέφερε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Για την προσομοίωση ενός γεγονότος και τη λήψη οδηγιών από πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων για καθοδήγηση, η δυνατότητα που παρέχει το πρόγραμμα Vissim είναι το **partial routing**. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο καθορίζεται για κάθε ένα οδικό τμήμα, μία ή παραπάνω στατικές διαδρομές με βάση τις οποίες οι οδηγοί πρέπει να επαναπροσδιορίσουν τη διαδρομή τους. Αφού εξέλθουν από το τμήμα αυτό συνεχίζουν κανονικά να κινούνται προς την προκαθορισμένη διαδρομή τους. Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργηθούν νέες διαδρομές ως αποτέλεσμα πληροφόρησης που παρέχουν οι πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων χωρίς την ανάγκη για αλλαγή κάθε μεμονωμένης διαδρομής που είναι ενεργή.

Καθώς η συγκεκριμένη εφαρμογή δεν ήταν διαθέσιμη, ακολουθήθηκε διαφορετική διαδικασία, η οποία περιλαμβάνει τη **δημιουργία περισσότερων διαδρομών** (routes) αλλά και **αποφάσεων για τις διαδρομές** αυτές (routing decisions), από ότι το βασικό σενάριο. Επιπλέον, για να είναι εφικτή η τήρηση των διαδρομών αυτών, ήταν απαραίτητη η χρήση **περισσότερων χρονικών διαστημάτων** (time intervals), τα οποία ορίζουν τα διαφορετικά ποσοστά κατανομής για τα οχήματα, σε κάθε φάση της προσομοίωσης. Τα παραπάνω καθορίστηκαν πριν την έναρξη της προσομοίωσης, διότι δεν επιτρέπεται από το πρόγραμμα η επέμβαση στις διαδρομές κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης.

Με το ίδιο σκεπτικό, όπως για το πρώτο σενάριο, θεωρήθηκε ότι **τρία λεπτά μετά την εκκίνηση** του συμβάντος, αναγράφηκε μήνυμα στην ΠΜΜ το οποίο καθοδηγούσε τα οχήματα, με κατεύθυνση τη Λ. Κηφισίας, σε αλλαγή πορείας. Λαμβάνοντας υπόψη ότι περίπου το 60% των οδηγών που διαβάζουν το μήνυμα, υπακούουν στην προτεινόμενη διαδρομή, διαμορφώθηκαν αναλόγως τα ποσοστά στρεφόντων οχημάτων.

Τα **ποσοστά κατανομής** των οχημάτων άλλαξαν για όλα τα σημεία του δικτύου τα οποία επηρεάζονται από τη διαφορετική, πλέον, φόρτιση των οδών, από το τμήμα της Λ. Αλεξάνδρας, στο ύψος της οδού Πανόρμου, έως την άνοδο της Λ. Κατεχάκη. Προκειμένου αυτό να προσομοιωθεί αποτελεσματικά, δόθηκε η πρόβλεψη σημασία στα **χρονικά διαστήματα** στα οποία άλλαζε το ποσοστό κατανομής των οχημάτων, καθώς έπρεπε να γίνει ετεροχρονισμένα για το κάθε οδικό τμήμα, σύμφωνα με τη θέση του σε σχέση με το σημείο του γεγονότος. Η λήξη αυτού του σεναρίου αντιμετώπισης καθορίστηκε, επίσης, από αυτά τα

χρονικά διαστήματα, πριν από την ολοκλήρωση των 3600 δευτερολέπτων που είναι η διάρκεια της προσομοίωσης.

Παρατίθεται μία εικόνα από μία ενδεικτική διαδρομή, όπου διακρίνονται οι διαφορές στα ποσοστά κατανομής του φόρτου και τα διαφορετικά χρονικά διαστήματα.

Decision No.	Route No.	Dest. Link	At [m]	0	2000	2600	2800	3000	3200	3600	4200	4400	5000	5400	Time
47	1	225	105,558	0,16	0,15	0,12	0,1	0,1	0,1	0,1	0,14	0,14	0,14	0,14	0
47	2	222	281,296	0,38	0,4	0,42	0,46	0,47	0,47	0,47	0,44	0,44	0,44	0,44	2000
47	3	343	102,982	0,09	0,1	0,11	0,13	0,13	0,13	0,13	0,11	0,11	0,11	0,11	2600
47	4	224	209,563	0,2	0,2	0,22	0,21	0,2	0,2	0,2	0,17	0,17	0,17	0,17	2800
47	5	225	71,121	0,17	0,15	0,13	0,1	0,1	0,1	0,1	0,14	0,14	0,14	0,14	3000
															3200
															3600
															4200
															4400
															5000
															5400

Εικόνα 5.2. Καθορισμός διαδρομών στο Vissim.

5.4. Εξέταση αποτελεσμάτων

Έπειτα από την εκτέλεση των **δέκα επαναλήψεων** για κάθε ένα από τα σενάρια τα οποία προσομοιώθηκαν, συλλέχθηκαν τα απαραίτητα στοιχεία για τη σύγκριση μεταξύ τους και την αξιολόγηση η οποία οδηγεί στα συμπεράσματα. Παρακάτω, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν για τη λειτουργία του δικτύου υπό κανονικές συνθήκες και για σενάρια προσομοίωσης τα οποία αφορούν ύπαρξη γεγονότος και εφαρμογή μέσων διαχείρισης της κυκλοφορίας. Σύγκριση μεταξύ του βασικού σεναρίου και των σεναρίων του γεγονότος και αντιμετώπισης αυτού πραγματοποιείται αναλυτικότερα στην επόμενη ενότητα.

Τα αποτελέσματα αφορούν στους φόρτους σε συγκεκριμένες διατομές, στους **χρόνους διαδρομής**, στις **καθυστερήσεις** και στο **σχηματισμό ουρών**. Συγκεκριμένα, έχει υπολογισθεί ο μέσος όρος από τις δέκα επαναλήψεις για κάθε σενάριο, καθώς και το τυπικό σφάλμα της μέσης τιμής (ή απόλυτο σφάλμα μέσης τιμής). Ο **μέσος όρος** έχει προκύψει από την εντολή AVERAGE του Excel, η οποία υπακούει στον τύπο :

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad [5.1]$$

Για τον υπολογισμό του σφάλματος, είναι απαραίτητος αρχικά ο υπολογισμός της τυπικής απόκλισης. Για τον υπολογισμό αυτής, προτιμήθηκε να εισαχθεί «χειρονακτικά» ο τύπος της, καθώς η εντολή ST.DEV. του Excel δεν θεωρείται αντικειμενική. Επομένως, ο υπολογισμός της τυπικής απόκλισης έχει προκύψει από τον τύπο :

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N-1}} \quad [5.2]$$

Κατά συνέπεια, το **σφάλμα** υπολογίσθηκε από τον ακόλουθο τύπο :

$$\delta = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad [5.3]$$

Για κάθε ένα από τα σενάρια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τα «κρίσιμα» σημεία του δικτύου, εκείνα δηλαδή που επηρεάζονται άμεσα λόγω του γεγονότος και τα οποία εμφανίζουν σημαντικές αλλαγές από τις επεμβάσεις στο δίκτυο. Τα σημεία αυτά αφορούν στην άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας, την άνοδο της Λ. Κηφισίας από τη Λ. Αλεξάνδρας έως την Πανόρμου, την άνοδο της Λ. Μεσογείων από τη Λ. Βασιλίσσης Σοφίας έως τη Λ. Κατεχάκη, καθώς και τη Λ. Κατεχάκη.

5.4.1. Βασικό σενάριο

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη λειτουργία του δικτύου σε **κανονικές συνθήκες**, χωρίς καμία επέμβαση στο δίκτυο.

5.4.2. Μετρήσεις κυκλοφοριακών φόρτων

Οι μετρήσεις των κυκλοφοριακών φόρτων στο δίκτυο όπως αυτό διαμορφώθηκε για το βασικό σενάριο, αποτελούν πολύ σημαντικά στοιχεία των αποτελεσμάτων καθώς σε αυτή τη φάση πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητοι έλεγχοι ώστε να εξασφαλισθεί η **σωστή εισαγωγή των φόρτων**, σύμφωνα με τα στοιχεία που ήταν διαθέσιμα από το Κ.Δ.Κ.. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μόνο από τα σημεία που μας ενδιαφέρουν για τη σωστή διεξαγωγή των

υπολοίπων σεναρίων, παρότι σημεία μέτρησης είχαν τοποθετηθεί σε ολόκληρο το δίκτυο. Υπενθυμίζεται ότι οι φόρτοι που παρουσιάζονται είναι ωριαίοι.

Σημεία μέτρησης κυκλοφοριακού φόρτου	Αποτελέσματα προσομοίωσης	Οχήματα ανά ώρα (από ΚΔΚ)	απόκλιση
Άνοδος Λ. Αλεξάνδρας, από Χαριλάου Τρικούπη έως Ιπποκράτους	1389	1313	5,8%
Άνοδος Λ. Αλεξάνδρας, από Ασκληπιού έως Κ. Λουκάρεως	1541	1685	-8,5%
Άνοδος Λ. Αλεξάνδρας, από Κ. Λουκάρεως έως Πανόρμου	1200	1142	5,1%
Άνοδος Λ. Αλεξάνδρας, από Πανόρμου έως Λ. Κηφισίας	1759	1775	-0,9%
Οδός Ζαχάρωφ	930	907	2,5%
Άνοδος Λ. Κηφισίας, από Λ. Αλεξάνδρας έως Ευρυτανίας	1919	1936	-0,9%
Άνοδος Λ. Κηφισίας, από Ευρυτανίας έως Πανόρμου	1955	2098	-6,8%
Άνοδος Λ. Μεσογείων από Βασ. Σοφίας έως Φειδιππίδου	2478	2475	0,1%
Άνοδος Λ. Μεσογείων πριν τον κόμβο Μεσογείων - Μιχαλακοπούλου	2189	2156	1,5%
Άνοδος Λ. Μεσογείων μετά τον κόμβο Μεσογείων - Ρούσσου	2631	2447	7,5%
Λ. Μεσογείων ράμπα εξόδου προς Κατεχάκη	782	718	8,9%
Κατεχάκη από Λ. Μεσογείων προς Λ. Κηφισίας	1052	1127	-6,7%

Πίνακας 5.1. Αποτελέσματα προσομοίωσης βασικού σεναρίου για φόρτους και απόκλιση από πραγματικές τιμές.

Τα αποτελέσματα των φόρτων που προέκυψαν από την προσομοίωση θεωρήθηκαν **αποδεκτά** σε περίπτωση απόκλισης έως $\pm 10\%$ από τα στοιχεία για τους καταγεγραμμένους φόρτους που ήταν διαθέσιμα από το Κ.Δ.Κ., κάτι το οποίο, όπως διαπιστώνεται από τον παραπάνω πίνακα, επιτεύχθηκε σε ικανοποιητικό βαθμό.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μαζί με το **τυπικό σφάλμα** της μέσης τιμής, όπως αυτό υπολογίσθηκε με βάση τις δέκα διαφορετικές εκτελέσεις του προγράμματος. Οι τιμές του σφάλματος είναι αποδεκτές, καθώς κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα, σε σύγκριση με τη μέση τιμή των φόρτων, κάτι το οποίο σημαίνει ότι το επίπεδο εμπιστοσύνης είναι υψηλό.

Σημεία μέτρησης κυκλοφοριακού φόρτου	Αποτελέσματα προσομοίωσης	Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής
Άνοδος Λ. Αλεξάνδρας, από Χαριλάου Τρικούπη έως Ιπποκράτους	1389	±25
Άνοδος Λ. Αλεξάνδρας, από Ασκληπιού έως Κ. Λουκάρεως	1541	±17
Άνοδος Λ. Αλεξάνδρας, από Κ. Λουκάρεως έως Πανόρμου	1200	±19
Άνοδος Λ. Αλεξάνδρας, από Πανόρμου έως Λ. Κηφισίας	1759	±27
Οδός Ζαχάρωφ	930	±15
Άνοδος Λ. Κηφισίας, από Λ. Αλεξάνδρας έως Ευρυτανίας	1919	±20
Άνοδος Λ. Κηφισίας, από Ευρυτανίας έως Πανόρμου	1955	±20
Άνοδος Λ. Μεσογείων από Βασ. Σοφίας έως Φειδιππίδου	2478	±42
Άνοδος Λ. Μεσογείων πριν τον κόμβο Μεσογείων - Μιχαλακοπούλου	2189	±26
Άνοδος Λ. Μεσογείων μετά τον κόμβο Μεσογείων - Ρούσσου	2631	±22
Λ. Μεσογείων ράμπα εξόδου προς Κατεχάκη	782	±11
Κατεχάκη από Λ. Μεσογείων προς Λ. Κηφισίας	1052	±10

Πίνακας 5.2. Αποτελέσματα φόρτων βασικού σεναρίου και τυπικό σφάλμα.

5.4.2.1. Μετρήσεις χρόνων διαδρομής

Οι χρόνοι που παρουσιάζονται αφορούν στα κρίσιμα σημεία του δικτύου, για τα οποία γίνεται ανάλυση στα επόμενα σενάρια, έτσι ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων αυτών και εκείνων που προκύπτουν από το δίκτυο υπό ασυνήθεις συνθήκες. Αρχικά παρουσιάζονται οι **πραγματοποιούμενες διαδρομές** και στη συνέχεια ο **χρόνος** που απαιτείται για να τις διασχίσει ένα όχημα σε συνήθεις συνθήκες.

α/α	Διαδρομή
1	ΠΜΜ23 έως Παπαρηγοπούλου
2	Λ. Αλεξάνδρας από Χαριλάου Τρικούπη έως Πανόρμου
3	Λ. Αλεξάνδρας (λίγο μετά την Πανόρμου) - Ζαχάρωφ - Βασ.Σοφίας
4	Λ. Αλεξάνδρας (λίγο μετά την Πανόρμου) - Κηφισίας (έως Πανόρμου)
5	Λ. Βασ.Σοφίας, στροφή για Λ. Μεσογείων, έως Φειδιππίδου
6	Λ. Μεσογείων (από Βασ.Σοφίας έως Φειδιππίδου)
7	Άνοδος Μιχαλακοπούλου (λίγο πριν τη Φειδιππίδου), άνοδος Λ. Μεσογείων έως τη ράμπα εξόδου στον Α/Κ με την Κατεχάκη
8	Άνοδος Κατεχάκη, ανάμεσα στους Α/Κ με Λ. Μεσογείων και Λ. Κηφισίας

Πίνακας 5.3. Πραγματοποιούμενες διαδρομές.

Χρονικό διάστημα	Μέσος χρόνος διαδρομής σε λεπτά							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1800-2700	1	10	2	4	1	2	2	5
2700-3600	2	17	2	4	1	2	2	6
3600-4500	6	19	2	4	1	2	2	7
4500-5400	10	20	2	3	1	3	2	9

Πίνακας 5.4. Μέσοι χρόνοι διαδρομής βασικού σεναρίου.

Όπως διαπιστώνεται, οι **μεγαλύτεροι χρόνοι διαδρομής** παρατηρούνται στη Λ. Αλεξάνδρας, στο τμήμα από Χαριλάου Τρικούπη έως την Πανόρμου, με αυξανόμενη τάση σε κάθε τέταρτο της ώρας. Κάπως αυξημένοι είναι και οι χρόνοι διαδρομής στην άνοδο της Λ. Κατεχάκη, όπου ο φόρτος είναι αρκετά μεγάλος εκείνη την ώρα.

Για τις τιμές των χρόνων διαδρομής, καθώς έχουν προκύψει από τον μέσο όρο δέκα εκτελέσεων του προγράμματος, έχουν υπολογισθεί και τα αντίστοιχα σφάλματα. Συγκεκριμένα, μετρήσεις των χρόνων αυτών είχαν γίνει ανά οδικό τμήμα του δικτύου, επομένως τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται παραπάνω, έχουν προκύψει αθροιστικά ώστε να αφορούν στις πραγματοποιούμενες διαδρομές. Καθώς, για αυτό τον λόγο, το σφάλμα δεν είναι δυνατό να παρουσιασθεί ως προς τους χρόνους των διαδρομών, ακολουθούν πίνακες που εμφανίζουν κάποιες **ενδεικτικές τιμές σφαλμάτων** σε διάφορα σημεία του δικτύου.

Σημειώνεται ότι οι χρόνοι και τα σφάλματα στην περίπτωση αυτή, παρουσιάζονται σε δευτερόλεπτα και όχι σε λεπτά, ώστε να δειχθεί η ακρίβεια στο σφάλμα.

Λ. ΑΛΕΞΑΝΔΡΑΣ				ΖΑΧΑΡΩΦ		Λ. ΚΗΦΙΣΙΑΣ	
Μέσος όρος	Τυπικό σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπικό σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπικό σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπικό σφάλμα
58,8	8,5	113,6	20,2	97,2	6,9	32,9	1,2
205,0	36,8	242,0	23,5	94,0	2,2	31,7	0,5
277,2	14,8	251,9	13,6	90,8	2,6	31,0	0,3
280,0	21,5	243,4	18,1	95,5	7,0	31,2	0,4

Λ. ΜΕΣΟΓΕΙΩΝ				ΚΑΤΕΧΑΚΗ			
Μέσος όρος	Τυπικό σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπικό σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπικό σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπικό σφάλμα
79,1	12,3	21,1	0,4	24,1	0,3	288,8	31,1
83,9	12,8	21,4	0,5	23,8	0,2	356,1	31,3
89,9	14,7	21,2	0,3	24,4	0,4	429,3	25,3
84,6	19,1	20,8	0,4	24,4	0,4	517,5	28,0

Πίνακας 5.5. Μέσοι χρόνοι διαδρομής βασικού σεναρίου και τυπικό σφάλμα.

Όπως διαπιστώνεται, το σφάλμα λαμβάνει μικρές, συνεπώς **αποδεκτές, τιμές** σε σχέση με τη μέση τιμή, άρα τα αποτελέσματα των χρόνων διαδρομής θεωρούνται αξιόπιστα.

5.4.2.2. Μετρήσεις καθυστερήσεων και αριθμού στάσεων ανά όχημα

Η **μέση καθυστέρηση** παρουσιάζεται, ομοίως με τους χρόνους διαδρομής, στα οδικά τμήματα τα οποία αποτελούν τα κύρια σημεία ενδιαφέροντος για εξέταση στα σενάρια που έπονται. Οι διαδρομές είναι οι ίδιες στις οποίες γίνεται αναφορά στην ενότητα των χρόνων διαδρομής.

Χρονικό διάστημα	Μέση καθυστέρηση σε δευτερόλεπτα							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1800-2700	20	513	77	170	61	92	32	239
2700-3600	78	945	74	157	66	101	31	306
3600-4500	283	1061	70	139	71	100	32	379
4500-5400	553	1077	75	129	66	112	32	467

Πίνακας 5.6. Μέσες καθυστερήσεις βασικού σεναρίου.

Όπως ήταν αναμενόμενο, στα τμήματα όπου ο χρόνος διαδρομής προέκυψε σχετικά μεγάλος, οι καθυστερήσεις είναι επίσης μεγαλύτερες. Λόγω μεγάλου κυκλοφοριακού φόρτου, οι σημαντικότερες καθυστερήσεις παρατηρούνται στην άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας, κυρίως προς το τέλος της προσομοίωσης. Γενικώς, η τάξη μεγέθους των καθυστερήσεων είναι αρκετά μικρή.

Στη συνέχεια παρατίθεται και ο μέσος αριθμός στάσεων που σημειώνεται ανά όχημα σε κάθε χρονικό διάστημα.

Χρονικό διάστημα	Μέσος αριθμός στάσεων ανά όχημα							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1800-2700	0	13	2	3	2	3	1	5
2700-3600	2	26	2	3	2	3	1	7
3600-4500	7	30	2	3	3	3	1	9
4500-5400	14	31	2	3	2	3	1	12

Πίνακας 5.7. Μέσοι αριθμοί στάσεων ανά όχημα βασικού σεναρίου.

Είναι φανερό πως οι στάσεις που πραγματοποιήθηκαν από τα οχήματα ήταν περισσότερες στο τμήμα της Λ. Αλεξάνδρας από Χαριλάου Τρικούπη έως Πανόρμου, καθώς και στη Λ. Κατεχάκη, στα σημεία δηλαδή με τις μεγαλύτερες καθυστερήσεις.

Όσον αφορά στο **τυπικό σφάλμα** στη μέση τιμή των παραπάνω αποτελεσμάτων, ισχύει το ίδιο όπως και για τους χρόνους διαδρομής. Οι καθυστερήσεις έχουν, επίσης, υπολογισθεί αθροιστικά, επομένως η εμφάνιση του σφάλματος σε αυτές τις τιμές θα ήταν λανθασμένη. Παρατίθενται, ωστόσο, πίνακες οι οποίοι φανερώνουν το σφάλμα σε κρίσιμα σημεία του δικτύου, στα ίδια στα οποία γίνεται αναφορά και στους χρόνους διαδρομής.

Λ. ΑΛΕΞΑΝΔΡΑΣ				ΖΑΧΑΡΩΦ		Λ. ΚΗΦΙΣΙΑΣ	
Μέσος όρος	Τυπικό σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπικό σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπικό σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπικό σφάλμα
35,5	8,4	91,6	20,2	76,8	6,9	6,4	1,2
181,7	36,8	220,1	23,5	73,8	2,2	5,2	0,5
253,9	14,8	230,0	13,6	70,3	2,5	4,5	0,3
256,7	21,5	221,5	18,1	75,1	7,0	4,7	0,4

Λ. ΜΕΣΟΓΕΙΩΝ				ΚΑΤΕΧΑΚΗ			
Μέσος όρος	Τυπικό σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπικό σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπικό σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπικό σφάλμα
60,8	12,3	10,3	0,4	5,0	0,3	238,7	31,1
65,6	12,8	10,3	0,5	4,6	0,2	306,3	31,3
71,4	14,7	10,2	0,3	5,2	0,4	379,3	25,4
66,3	19,1	9,8	0,4	5,2	0,4	467,4	28,0

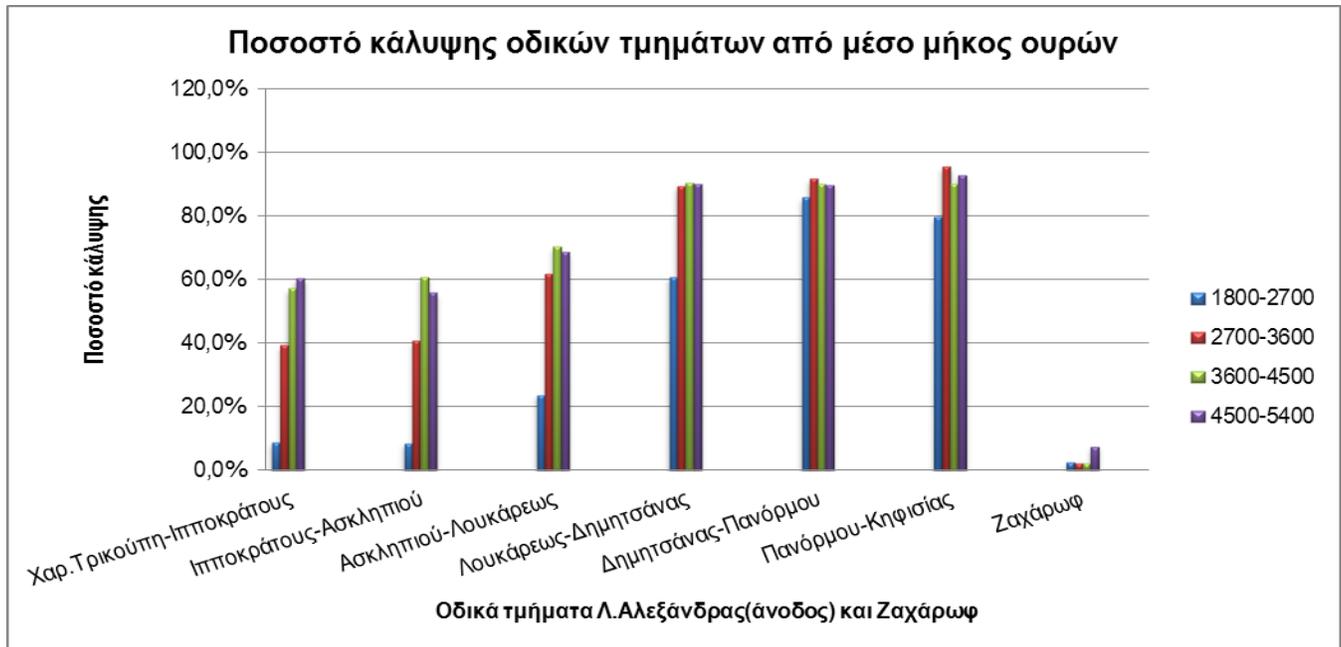
Πίνακας 5.8. Μέσες καθυστερήσεις βασικού σεναρίου και τυπικό σφάλμα.

5.4.2.3. Μετρήσεις μήκους ουρών

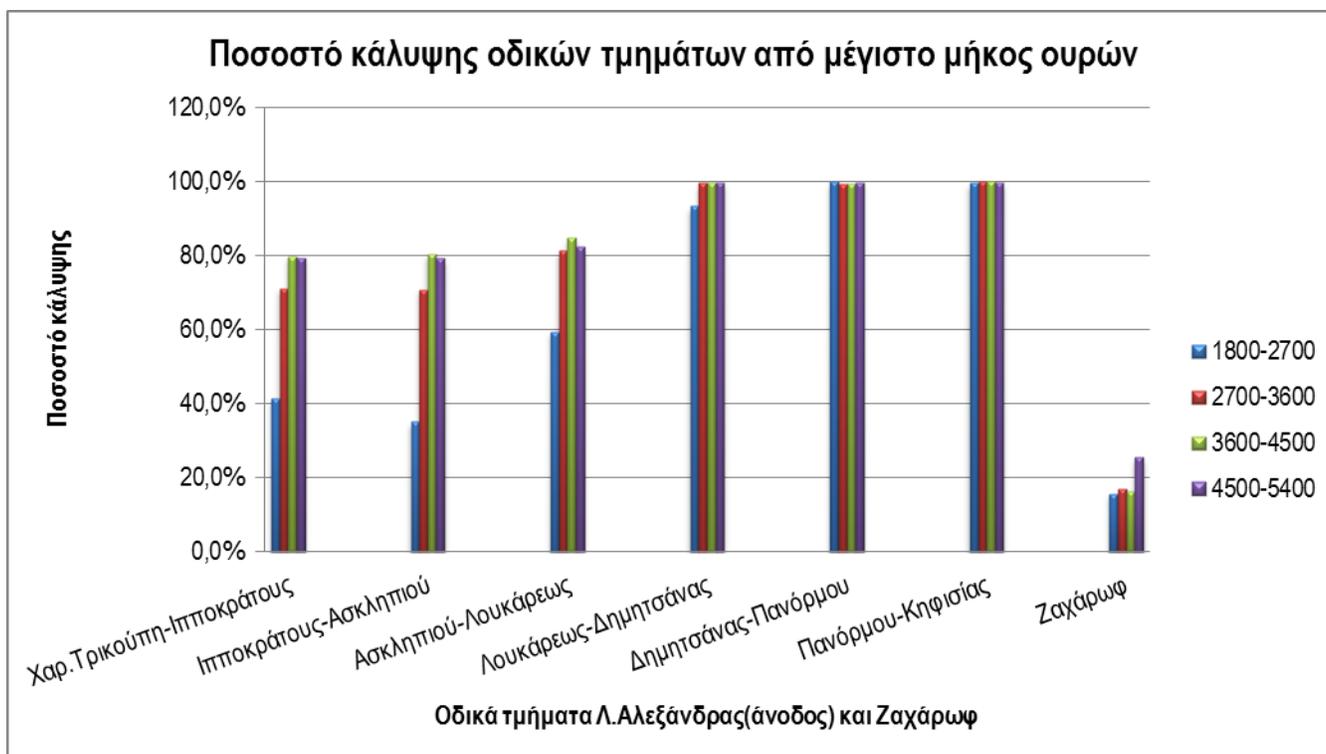
Το **μήκος ουρών** αποτελεί βασικό δείκτη για ανάλυση στη συνέχεια. Τα μήκη που παρουσιάζονται παρακάτω αφορούν τμήματα οδών για τα οποία χρειάζεται να γίνει σύγκριση με τα σενάρια γεγονότος και αντιμετώπισης αυτού. Θεωρήθηκε χρήσιμο, τα αποτελέσματα αυτά να παρουσιασθούν ως **ποσοστό του μήκους του οδικού τμήματος** στο οποίο αναφέρονται, προκειμένου να αποκτηθεί μια σαφέστερη εικόνα της κυκλοφοριακής κατάστασης.

Τα διαγράμματα που παρατίθενται αφορούν διαφορετικά τμήματα οδών του δικτύου προκειμένου να αποφευχθεί η σύγχυση και να υπάρχει δυνατότητα για καλύτερη ανάλυση των αποτελεσμάτων. Αρχικά, παρουσιάζεται το διάγραμμα

όπως έχει προκύψει από το **μέσο** μήκος ουρών, ενώ στη συνέχεια ένα όμοιο διάγραμμα αλλά με βάση το **μέγιστο** μήκος ουρών.



Διάγραμμα 5.2. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών βασικού σεναρίου. [1]



Διάγραμμα 5.3. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέγιστο μήκος ουρών βασικού σεναρίου.[1]

Όπως παρατηρείται, αρκετά αυξημένο μήκος ουρών εμφανίζεται στο μεγαλύτερο μέρος της ανόδου της Λ. Αλεξάνδρας, κυρίως μετά την οδό Λουκάρεως. Οι ουρές αυτές είναι αναμενόμενες καθώς ο φόρτος εκείνη την ώρα είναι αυξημένος. Σε χαμηλά ποσοστά κάλυψης κυμαίνεται η οδός Ζαχάρωφ, η οποία ενώνει τη Λ. Αλεξάνδρας με τη Λ. Βασ. Σοφίας, καθώς και με τη Λ. Μεσογείων.

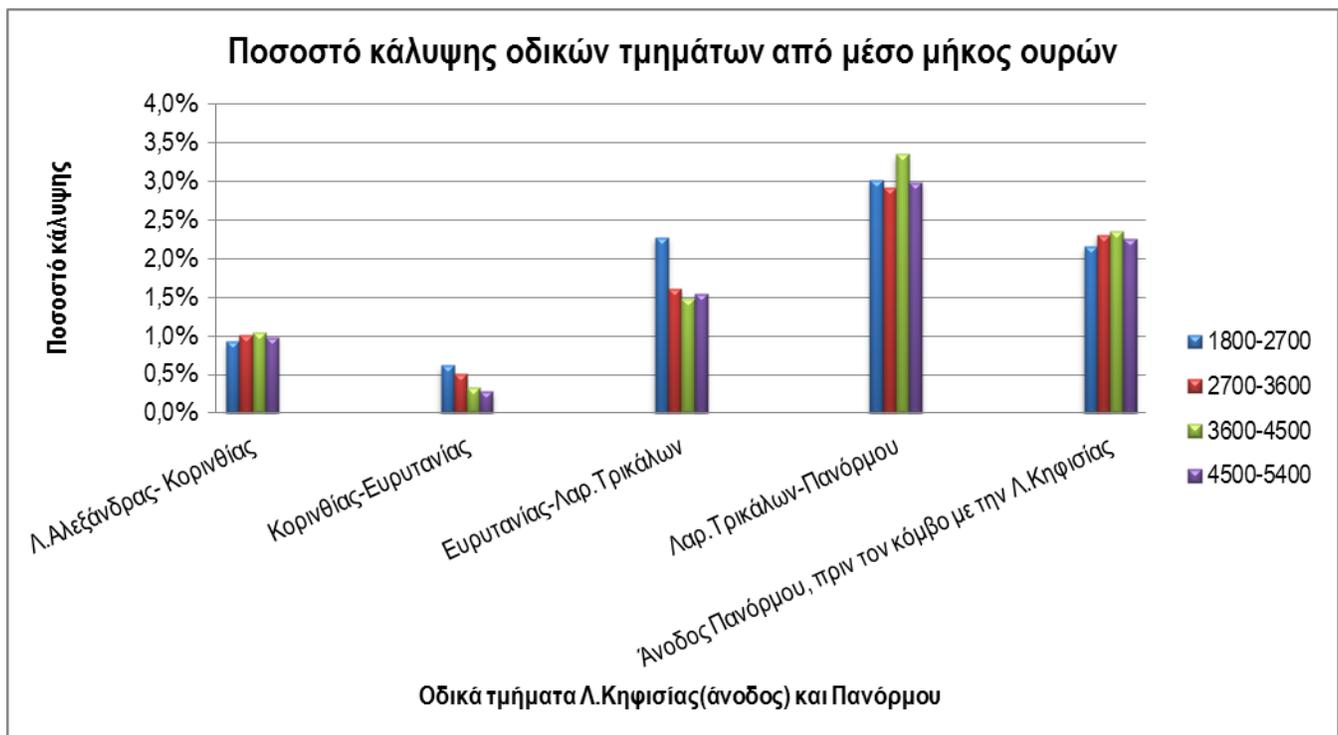
Ακολουθούν οι τιμές του μέσου και του μέγιστου μήκους των ουρών που καταγράφονται στο βασικό σενάριο στα τμήματα που περιγράφηκαν παραπάνω, με το τυπικό σφάλμα που εμφανίζεται κάθε φορά, το οποίο θεωρήθηκε αποδεκτό στην πλειοψηφία των σημείων.

Λ. Αλεξάνδρας (άνοδος) και Ζαχάρωφ - Μέσο μήκος ουρών													
Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα
29	7	17	6	99	27	210	28	185	6	405	23	12	2
129	30	80	16	259	24	308	6	197	1	485	6	11	1
188	7	120	7	295	7	312	3	194	1	457	11	12	1
199	13	110	8	288	7	310	3	193	2	472	8	37	24

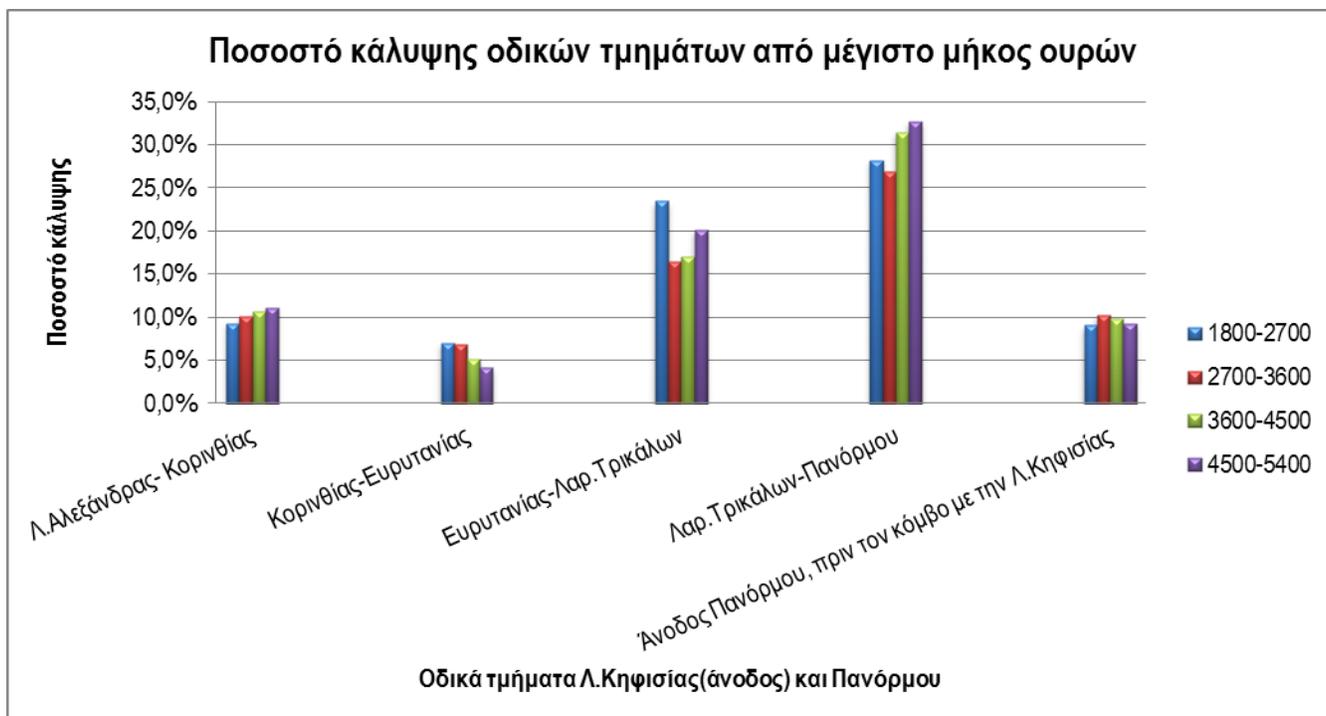
Πίνακας 5.92. Μέσο μήκος ουρών βασικού σεναρίου και τυπικό σφάλμα. [1]

Λ. Αλεξάνδρας (άνοδος) και Ζαχάρωφ - Μέγιστο μήκος ουρών													
Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα
136	19	69	19	250	35	321	13	215	1	506	1	80	6
234	17	140	12	341	8	343	1	214	1	509	1	85	6
262	11	159	5	356	7	343	1	214	0	508	1	81	4
261	13	157	7	345	7	344	1	214	1	507	1	129	42

Πίνακας 5.30. Μέγιστο μήκος ουρών βασικού σεναρίου και τυπικό σφάλμα. [1]



Διάγραμμα 5.4. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών βασικού σεναρίου. [2]



Διάγραμμα 5.5. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέγιστο μήκος ουρών βασικού σεναρίου.[2]

Στα παραπάνω διαγράμματα εμφανίζεται η εικόνα της Λ. Κηφισίας, η οποία, υπό συνήθεις συνθήκες του δικτύου, δεν παρουσιάζει μεγάλο πρόβλημα ουρών αναμονής, καθώς η ικανότητα της λεωφόρου εξυπηρετεί τον φόρτο που διέρχεται εκείνη την ώρα. Το μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης οδού που παρατηρείται είναι 33% στο τμήμα μεταξύ των οδών Λαρίσης Τρικάλων και Πανόρμου, κατά το τελευταίο δεκαπεντάλεπτο της προσομοίωσης.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τα μέσα και τα μέγιστα μήκη ουρών σε αυτό το τμήμα του δικτύου μαζί με τα τυπικά σφάλματα που υπολογίσθηκαν για αυτά, τα οποία λαμβάνουν αρκετά μικρές τιμές.

Λ. Κηφισίας (άνοδος) και Πανόρμου - Μέσο μήκος ουρών									
Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα
3	0	3	1	7	2	9	1	4	0
4	0	2	1	5	1	9	0	5	0
4	0	2	0	5	0	10	0	5	0
4	0	1	0	5	1	9	1	5	0

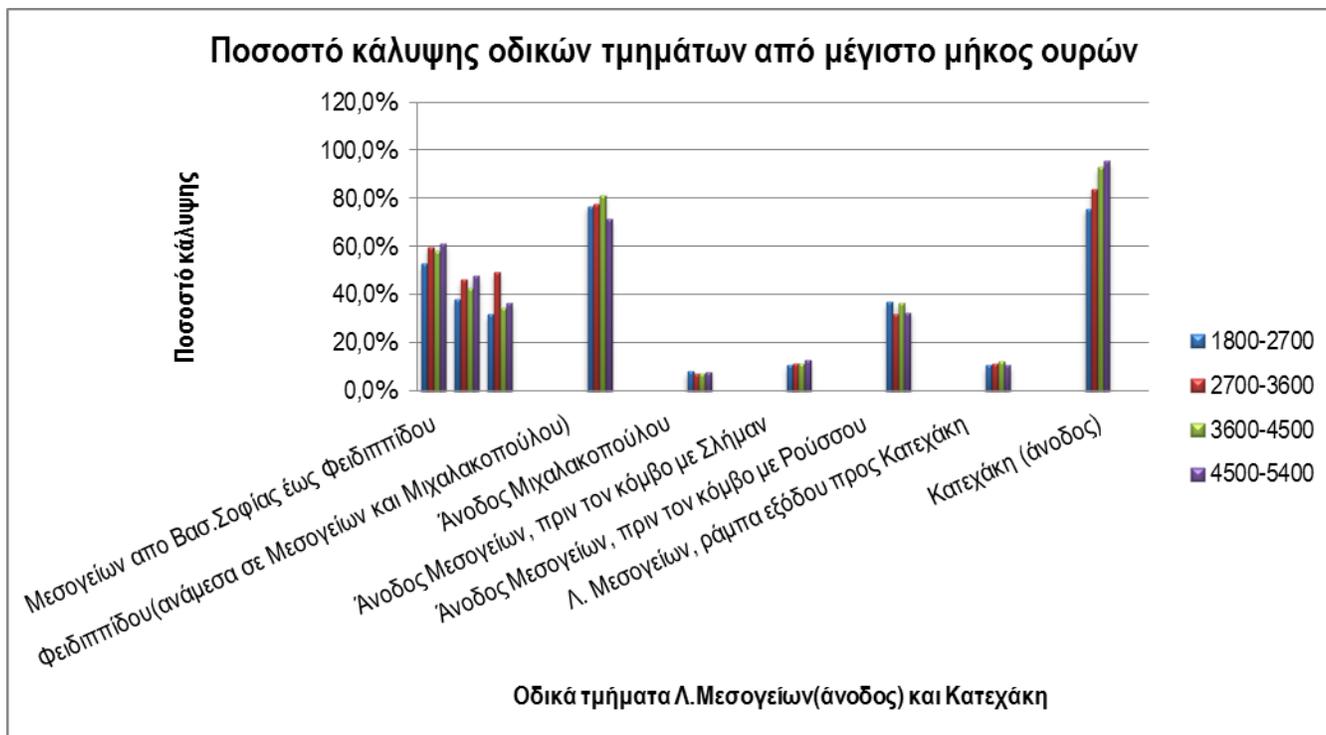
Πίνακας 5.11. Μέσο μήκος ουρών βασικού σεναρίου και τυπικό σφάλμα.[2]

Λ. Κηφισίας (άνοδος) και Πανόρμου - Μέγιστο μήκος ουρών									
Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα	Μέσος όρος	Τυπ. σφάλμα
34	3	32	9	75	15	85	7	18	1
37	3	31	8	52	4	81	5	21	2
39	3	23	2	54	5	95	12	20	1
41	5	19	1	64	7	99	10	18	1

Πίνακας 5.12. Μέγιστο μήκος ουρών βασικού σεναρίου και τυπικό σφάλμα. [2]



Διάγραμμα 5.6. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών βασικού σεναρίου. [3]



Διάγραμμα 5.7. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέγιστο μήκος ουρών βασικού σεναρίου.[3]

Στα σημεία που αφορούν στην άνοδο της Μιχαλακοπούλου και την άνοδο της Λ. Μεσογείων πριν τον κόμβο με την οδό Σλήμαν, το ποσοστό κάλυψης είναι πολύ μικρό, της τάξης του 0,3% και 1,5% αντίστοιχα, γι' αυτό και δεν είναι διακριτό στον πίνακα που αναφέρεται στα μέσα μήκη ουρών.

Πρέπει να σημειωθεί, επίσης, ότι στο σημείο που φαίνεται η Λ. Μεσογείων από τη Λ. Βασ. Σοφίας έως την οδό Φειδιππίδου, υπάρχουν τρεις διαφορετικές στήλες με αποτελέσματα καθώς είχαν τοποθετηθεί τρεις μετρητές ουρών σε διαφορετικές λωρίδες του οδικού εκείνου τμήματος. Όπως παρουσιάζονται στο διάγραμμα, είναι από την αριστερή έως τη δεξιά λωρίδα του δικτύου. Στα τμήματα αυτά τα ποσοστά κάλυψης κυμαίνονται σε φυσιολογικές τιμές, γύρω στο 20% το μέσο μήκος, ενώ φτάνει το 60% το μέγιστο.

Τα γενικά συμπεράσματα για αυτό το τμήμα του δικτύου, είναι ότι οι μεγαλύτερες ουρές εμφανίζονται στην οδό Φειδιππίδου, μεταξύ Λ. Μεσογείων και Μιχαλακοπούλου και μάλιστα σε όλη τη διάρκεια της ώρας που είναι η προσομοίωση. Ακόμη, οι ουρές είναι μεγάλες στη Λ. Κατεχάκη, καθώς λόγω υψηλού φόρτου, ευνοείται η δημιουργία ουρών σε όλη την άνοδο.

Λ. Μεσογείων (άνοδος) και Κατεχάκη - Μέσο μήκος ουρών																	
Μ.Ο.	Τ. Σφάλμα	Μ.Ο.	Τ. Σφάλμα	Μ.Ο.	Τ. Σφάλμα	Μ.Ο.	Τ. Σφάλμα	Μ.Ο.	Τ. Σφάλμα	Μ.Ο.	Τ. Σφάλμα	Μ.Ο.	Τ. Σφάλμα	Μ.Ο.	Τ. Σφάλμα	Μ.Ο.	Τ. Σφάλμα
63	20	48	22	15	5	81	15	1	0	5	0	13	1	5	1	413	28
98	34	84	34	56	24	96	17	1	0	5	0	11	0	5	1	519	28
88	31	77	33	49	28	96	19	1	0	6	0	12	1	7	3	610	21
107	39	92	41	44	23	82	21	1	0	5	0	12	1	5	1	668	10

Πίνακας 5.13. Μέσο μήκος ουρών βασικού σεναρίου και τυπικό σφάλμα. [3]

Λ. Μεσογείων (άνοδος) και Κατεχάκη - Μέγιστο μήκος ουρών																	
Μ.Ο.	Τ. Σφάλμα	Μ.Ο.	Τ. Σφάλμα	Μ.Ο.	Τ. Σφάλμα	Μ.Ο.	Τ. Σφάλμα	Μ.Ο.	Τ. Σφάλμα	Μ.Ο.	Τ. Σφάλμα	Μ.Ο.	Τ. Σφάλμα	Μ.Ο.	Τ. Σφάλμα	Μ.Ο.	Τ. Σφάλμα
230	41	167	52	135	38	176	16	38	5	53	4	94	3	54	7	563	28
260	36	201	51	209	44	178	13	33	2	57	5	81	2	57	7	625	23
253	35	186	49	146	46	185	15	33	4	55	6	93	6	62	8	692	15
265	36	207	53	154	48	163	17	38	5	63	5	83	6	54	7	711	6

Πίνακας 5.14. Μέγιστο μήκος ουρών βασικού σεναρίου και τυπικό σφάλμα. [3]

5.4.3. Μηδενικό σενάριο

Προκειμένου να διαπιστωθούν οι **αλλαγές** που προκαλεί ένα γεγονός ατυχήματος **στο δίκτυο**, το οποίο επιφέρει αποκλεισμό λωρίδων κυκλοφορίας, ήταν απαραίτητες οι καταγραφές των ίδιων δεικτών όπως στο βασικό σενάριο. Παρακάτω, επομένως, παρατίθενται τα αποτελέσματα υπό το πρίσμα του γεγονότος, **απουσία επέμβασης** στο δίκτυο ή πληροφόρησης των οδηγών.

5.4.3.1. Μετρήσεις κυκλοφοριακών φόρτων

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα από τους **κυκλοφοριακούς φόρτους** που μετρήθηκαν στα κρίσιμα σημεία του δικτύου, χωρίς να γίνει κάποια σύγκριση με τα στοιχεία που ήταν γνωστά για τους φόρτους, καθώς λόγω του γεγονότος, οι αποκλίσεις προφανώς μεγάλωσαν. Επιπλέον, παρουσιάζονται οι μετρούμενοι αυτοί φόρτοι μαζί με το τυπικό σφάλμα της μέσης τιμής. Είναι φανερό πως οι τιμές του σφάλματος έχουν αυξηθεί. Αυτό είναι άμεση απόρροια του γεγονότος, καθώς οι συνθήκες στο δίκτυο είναι πλέον ασυνήθεις και η επέμβαση στο πρόγραμμα για την αλλαγή του φωτεινού σηματοδότη επιφέρει μεγάλες διακυμάνσεις. Αυτό συμβαίνει, διότι δεν ήταν δυνατό η αλλαγή αυτή να πραγματοποιείται με ακρίβεια δέκατου του δευτερολέπτου σε όλες τις εκτελέσεις,

συνεπώς οι χρόνοι εκκίνησης και λήξης του γεγονότος δεν ήταν ακριβώς ίδιοι κάθε φορά. Όπως παρατηρείται, οι μεγαλύτερες αποκλίσεις παρατηρούνται στο τέλος της Λ. Αλεξάνδρας και στην Λ. Κηφισίας, οι οποίες πλήττονται άμεσα από το γεγονός. Ωστόσο, τα όρια είναι αποδεκτά καθώς δεν ξεπερνούν το $\pm 7\%$ σε κανένα σημείο.

Σημεία μέτρησης κυκλοφοριακού φόρτου	Αποτελέσματα προσομοίωσης	Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής
Άνοδος Λ. Αλεξάνδρας, από Χαριλάου Τρικούπη έως Ιπποκράτους	1198	± 47
Άνοδος Λ. Αλεξάνδρας, από Ασκληπιού έως Κ. Λουκάρεως	1331	± 63
Άνοδος Λ. Αλεξάνδρας, από Κ. Λουκάρεως έως Πανόρμου	1127	± 63
Άνοδος Λ. Αλεξάνδρας, από Πανόρμου έως Λ. Κηφισίας	1543	± 93
Οδός Ζαχάρωφ	814	± 52
Άνοδος Λ. Κηφισίας, από Λ. Αλεξάνδρας έως Ευρυτανίας	1675	± 90
Άνοδος Λ. Κηφισίας, από Ευρυτανίας έως Πανόρμου	1656	± 60
Άνοδος Λ. Μεσογείων από Βασ. Σοφίας έως Φειδιππίδου	2318	± 120
Άνοδος Λ. Μεσογείων πριν τον κόμβο Μεσογείων - Μιχαλακοπούλου	2097	± 62
Άνοδος Λ. Μεσογείων μετά τον κόμβο Μεσογείων - Ρούσσου	2542	± 61
Λ. Μεσογείων ράμπα εξόδου προς Κατεχάκη	770	± 24
Κατεχάκη από Λ. Μεσογείων προς Λ. Κηφισίας	1057	± 8

Πίνακας 5.15. Αποτελέσματα φόρτων μηδενικού σεναρίου και τυπικό σφάλμα.

5.4.3.2. Μετρήσεις χρόνων διαδρομής

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χρόνων διαδρομής αναλυτικότερα, με τους χρόνους αυτούς να έχουν υπολογισθεί **ανά πέντε λεπτά**, ώστε να διαπιστωθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η επίδραση του γεγονότος και ο χρόνος επαναφοράς του συστήματος.

Χρονικό διάστημα	Μέσος χρόνος διαδρομής σε λεπτά							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1800-2100	1	9	2	4	2	3	2	4
2100-2400	1	11	2	7	2	3	2	4
2400-2700	1	16	2	10	2	3	2	5
2700-3000	1	21	2	14	2	3	2	5
3000-3300	2	26	2	18	1	2	2	5
3300-3600	5	39	3	10	1	2	2	6
3600-3900	10	39	2	5	1	2	2	6
3900-4200	15	29	1	3	1	3	2	6
4200-4500	18	23	1	3	2	3	2	7
4500-4800	20	20	1	3	2	4	2	7
4800-5100	18	26	2	3	2	3	2	7
5100-5400	23	29	1	3	2	6	2	7

Πίνακας 5.16. Μέσοι χρόνοι διαδρομής μηδενικού σεναρίου.

Στην περίπτωση του γεγονότος, οι χρόνοι διαδρομής στο οδικό δίκτυο αλλάζουν, με μια ανοδική τάση κυρίως στη Λ. Αλεξάνδρας μέχρι την Πανόρμου, αλλά και στη στροφή με κατεύθυνση τη Λ. Κηφισίας, όπως και στη συνέχεια στην άνοδο της Λ. Κηφισίας. Η αύξηση αυτή σημειώνεται κατά τη διάρκεια του συμβάντος, το οποίο πραγματοποιείται τα πρώτα δεκαπέντε λεπτά της προσομοίωσης, και καταλήγει ακόμα μεγαλύτερη στο διάστημα 3000-3600, δηλαδή αμέσως μετά τη λήξη αυτού. Το γεγονός έχει ως αντίκτυπο την αύξηση των χρόνων διαδρομής, αρχικά, στην άνοδο της Λ. Κηφισίας. Η αύξηση αυτή διατηρείται μέχρι και δέκα λεπτά έπειτα από τη λήξη του συμβάντος, ενώ στη συνέχεια το δίκτυο επανέρχεται και οι χρόνοι διαδρομής κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα. Η αρχική αύξηση, όμως, επιδρά σαν κρουστικό κύμα στο υπόλοιπο δίκτυο.

Αναλυτικότερα, η κατάσταση στη Λ. Αλεξάνδρας επιδεινώνεται σημαντικά και για μεγάλο χρονικό διάστημα. Σημαντική είναι η αύξηση που σημειώνεται στην άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας, από τη Χαριλάου Τρικούπη έως την Πανόρμου, μετά τη λήξη του συμβάντος και για είκοσι λεπτά αργότερα. Στη συνέχεια, ο χρόνος διαδρομής μειώνεται, ωστόσο τα τελευταία πέντε λεπτά παρατηρείται και πάλι αύξηση, αλλά μικρότερου βαθμού. Δεν μπορεί, επίσης, να αγνοηθεί η επίδραση και σε ακόμη μεγαλύτερο μήκος της Λ. Αλεξάνδρας, καθώς έχουν αυξηθεί αρκετά οι χρόνοι διαδρομής και στο τμήμα από την ΠΜΜ23 έως τη Χαριλάου Τρικούπη. Η αύξηση αυτή παρατηρείται δέκα λεπτά μετά τη λήξη του συμβάντος, ως απόρροια της αλλαγής της κυκλοφοριακής κατάστασης στα κοντινότερα στο συμβάν σημεία του δικτύου.

5.4.3.3. Μετρήσεις καθυστερήσεων και αριθμού στάσεων ανά όχημα

Όσον αφορά στις **καθυστερήσεις**, μετρήθηκαν, ομοίως με τους χρόνους διαδρομής, ανά πέντε λεπτά, για τις ίδιες πραγματοποιούμενες διαδρομές που έχουν ήδη αναφερθεί.

Χρονικό διάστημα	Μέση καθυστέρηση σε δευτερόλεπτα							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1800-2100	20	418	70	162	87	114	32	182
2100-2400	19	584	82	339	98	135	31	198
2400-2700	21	869	95	537	86	131	31	241
2700-3000	27	1176	104	771	76	113	35	260
3000-3300	86	1438	110	1035	65	93	30	275
3300-3600	214	2217	155	522	40	83	30	290
3600-3900	514	2234	71	215	45	79	33	312
3900-4200	846	1660	59	109	55	122	29	325
4200-4500	1018	1292	58	107	73	139	28	369
4500-4800	1130	1077	56	105	93	208	31	367
4800-5100	1020	1467	74	116	104	160	35	386
5100-5400	1304	1622	64	107	120	305	29	367

Πίνακας 5.17. Μέσες καθυστερήσεις μηδενικού σεναρίου.

Οι μέσες καθυστερήσεις στο μηδενικό σενάριο προέκυψαν, ομοίως με τους χρόνους διαδρομής, αυξημένες, κυρίως στα σημεία που πλήττονται από το γεγονός, δηλαδή την άνοδο της Λ. Κηφισίας και, κατ' επέκταση, την άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας. Θα πρέπει να σημειωθεί, επίσης, η αύξηση που παρατηρείται και στην κάθοδο της Λ. Βασ. Σοφίας, στο σημείο όπου πραγματοποιείται στρέφουσα κίνηση για τη Λ. Μεσογείων. Οι καθυστερήσεις εκεί οφείλονται στο γεγονός ότι υπήρχαν καθυστερήσεις στην άνοδο της Λ. Βασ. Σοφίας με κατεύθυνση τη Λ. Κηφισίας. Για τον ίδιο λόγο, αυξημένες είναι και οι καθυστερήσεις στην άνοδο της Λ. Μεσογείων, από τη Λ. Βασ. Σοφίας έως την οδό Φειδιππίδου.

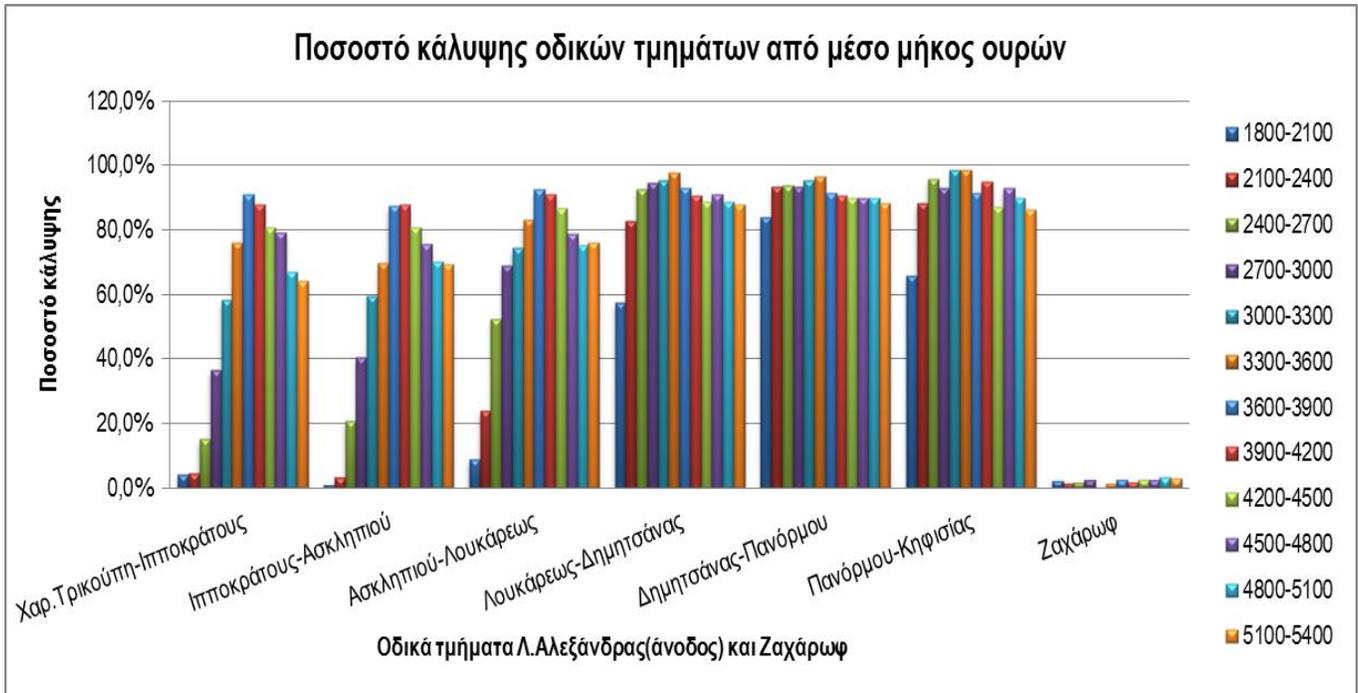
Χρονικό διάστημα	Μέσος αριθμός στάσεων ανά όχημα							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1800-2100	0	11	2	3	3	4	1	4
2100-2400	0	16	3	9	3	4	1	4
2400-2700	0	23	2	15	3	4	1	5
2700-3000	1	29	3	21	3	4	1	6
3000-3300	2	35	3	25	2	3	1	6
3300-3600	4	47	3	10	1	2	1	7
3600-3900	8	47	2	4	2	3	1	8
3900-4200	15	38	2	2	2	3	1	8
4200-4500	20	32	2	2	3	4	1	9
4500-4800	23	27	2	2	3	5	1	9
4800-5100	24	31	2	2	4	5	1	9
5100-5400	26	31	2	2	4	6	1	9

Πίνακας 5.18. Μέσοι αριθμοί στάσεων ανά όχημα μηδενικού σεναρίου.

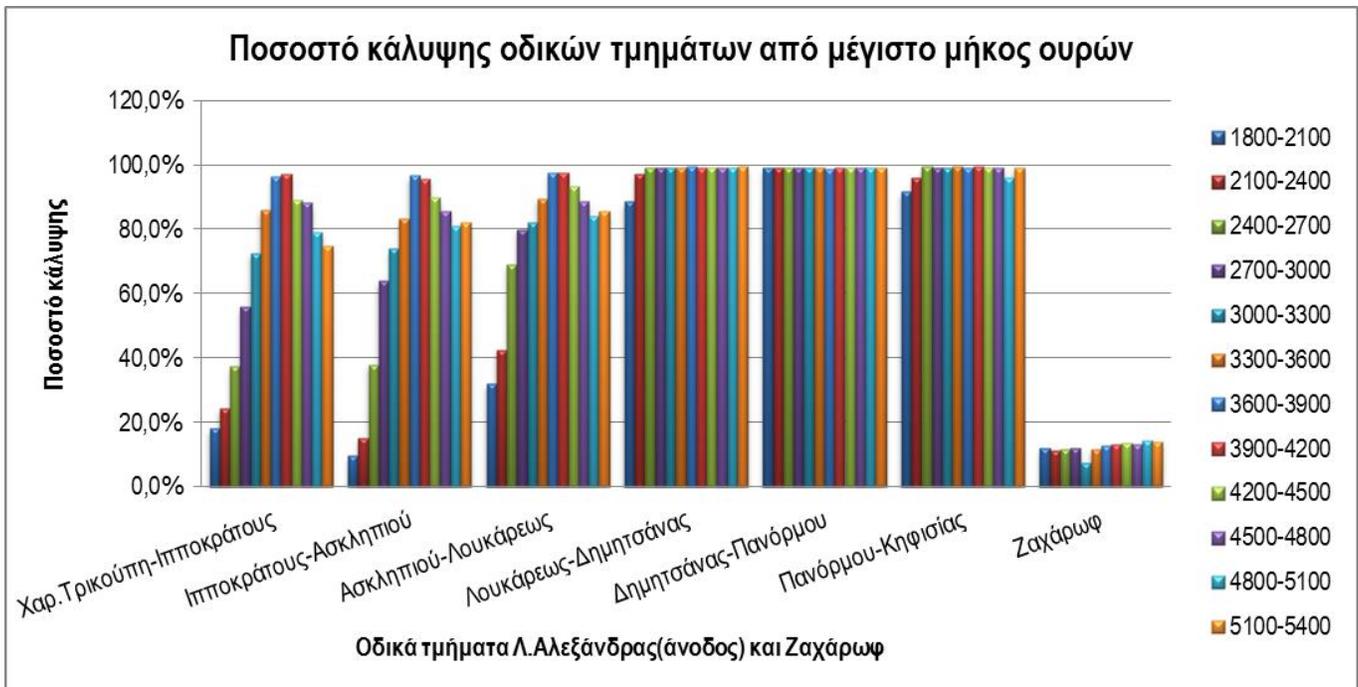
Όπως είναι φανερό, διαφορά υπάρχει και στον αριθμό των στάσεων των οχημάτων στα κρίσιμα σημεία που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι συνεχείς στάσεις και εκκινήσεις των οχημάτων είναι άμεσο επακόλουθο στην περίπτωση κυκλοφοριακής συμφόρησης.

5.4.3.4. Μετρήσεις μήκους ουρών

Παρουσιάζονται παρακάτω, τα διαγράμματα των ποσοστών κάλυψης των οδικών τμημάτων του δικτύου, υπολογισμένα με βάση τα μήκη ουρών που προκύπτουν από το μηδενικό σενάριο ανά πέντε λεπτά.



Διάγραμμα 5.8. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών μηδενικού σεναρίου.[1]

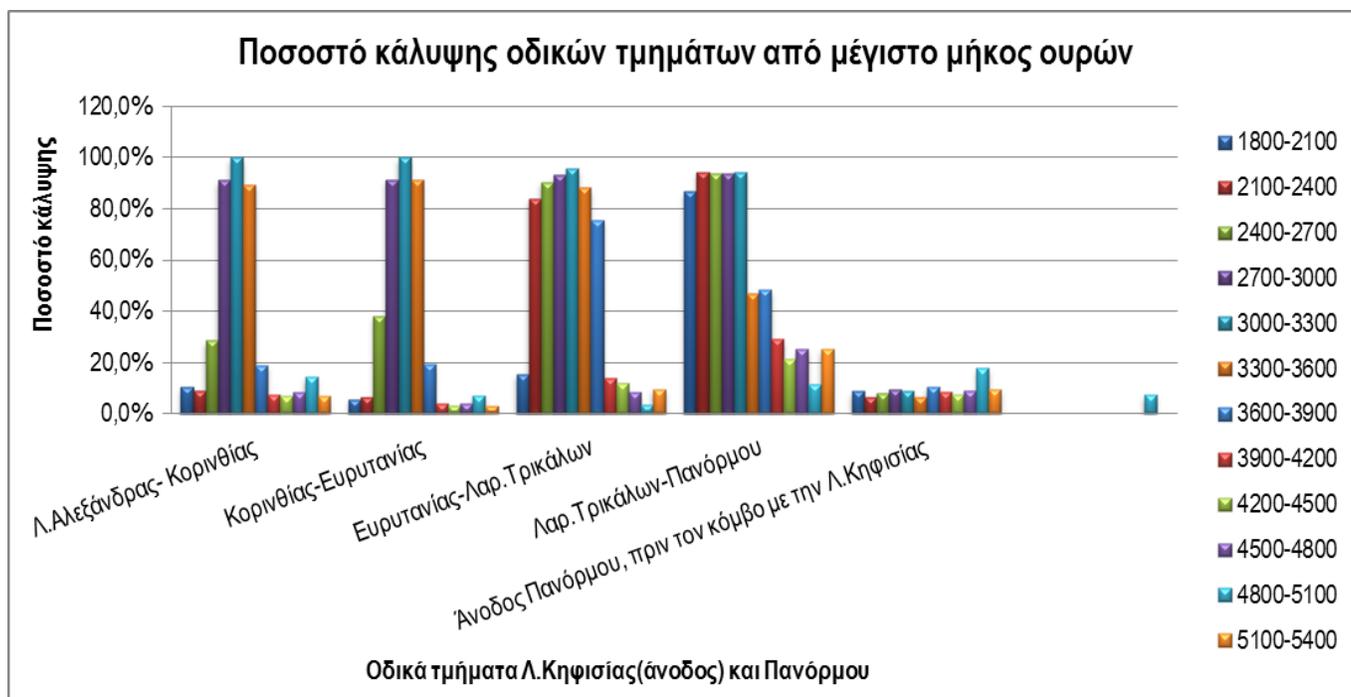


Διάγραμμα 5.9. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέγιστο μήκος ουρών μηδενικού σεναρίου. [1]

Τα ποσοστά κάλυψης των οδικών τμημάτων της Λ. Αλεξάνδρας, όπως προκύπτουν από το σενάριο του γεγονότος, δείχνουν μια εικόνα μεγάλης κυκλοφοριακής συμφόρησης, ήδη δεκαπέντε λεπτά μετά την εμφάνιση του γεγονότος. Η εικόνα αυτή επιδεινώνεται, κυρίως μετά το 2400, αλλά και μέχρι το τέλος της προσομοίωσης, οπότε και έχει πραγματοποιηθεί το γεγονός. Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα παραπάνω, πολλά από τα ποσοστά αγγίζουν το 100%, κάτι που υποδηλώνει ότι οι ουρές είναι αρκετά εκτεταμένες και καλύπτουν όλο το τμήμα της οδού. Κυρίως το τμήμα από την οδό Λουκάρεως έως τη Λ. Κηφισίας, έχει καταληφθεί εξ' ολοκλήρου από οχήματα. Μεγάλο πρόβλημα εμφανίζεται επίσης και μέχρι πιο πίσω, στο τμήμα μεταξύ Χαρ. Τρικούπη και Ασκληπιού, κυρίως μετά το τέλος του γεγονότος, ενώ η οδός Ζαχάρωφ δεν φαίνεται να έχει επηρεασθεί σε μεγάλο βαθμό από αυτό.

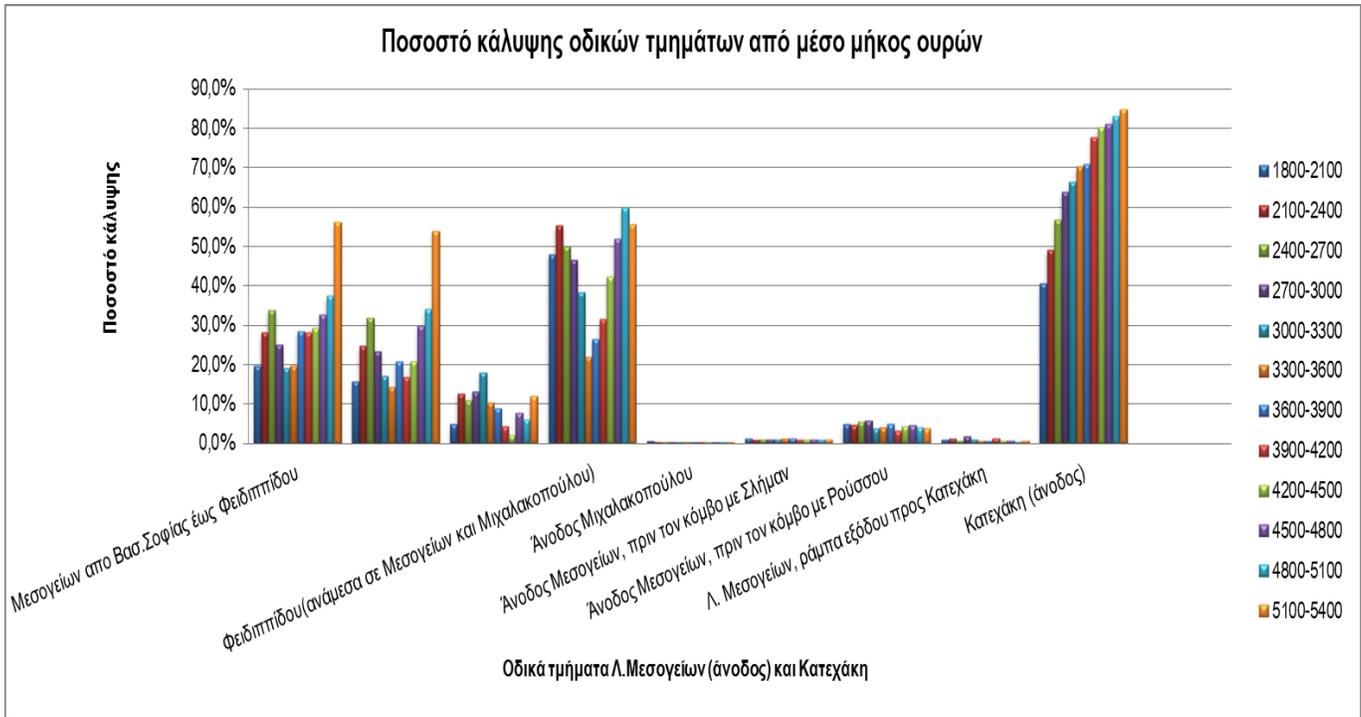


Διάγραμμα 5.10. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών μηδενικού σεναρίου.[2]

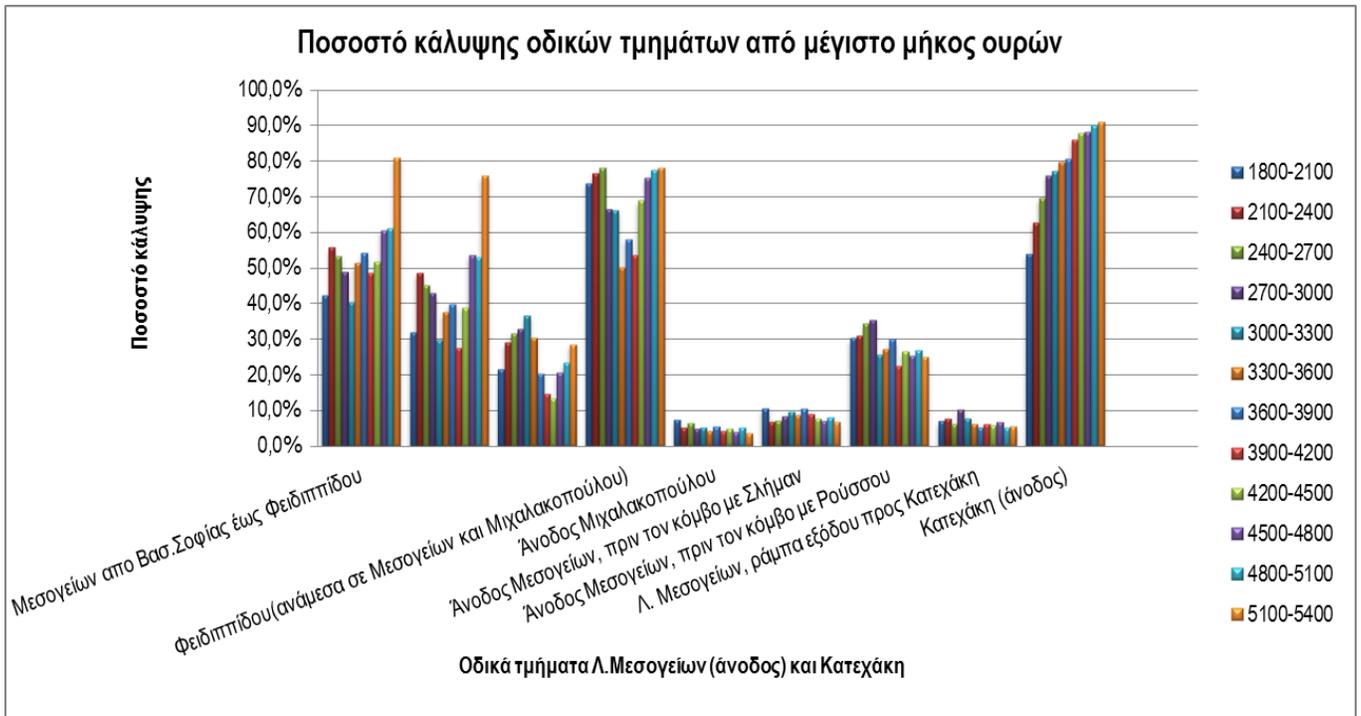


Διάγραμμα 5.11. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέγιστο μήκος ουρών μηδενικού σεναρίου.[2]

Η κατάσταση στη Λ. Κηφισίας, όπως φαίνεται παραπάνω, έχει αλλάξει σημαντικά. Το μήκος των ουρών που παρατηρούνται δεκαπέντε λεπτά μετά την εμφάνιση του γεγονότος, έχει προκαλέσει σημαντική κατάληψη των οδικών τμημάτων, κάτι που όμως, όπως διαπιστώνεται, μειώνεται περίπου δεκαπέντε λεπτά μετά το πέρας αυτού και μέχρι το τέλος της ώρας. Όσον αφορά στο τμήμα μεταξύ της Λ. Αλεξάνδρας και της οδού Κορινθίας, αλλά και αυτό μεταξύ των οδών Κορινθίας και Ευρυτανίας, τα πρώτα πέντε λεπτά μετά τη λήξη του συμβάντος, οι ουρές έχουν καταλάβει το 100% του μήκους του οδοστρώματος. Ελαφρώς αυξημένο είναι και το μήκος ουρών στην άνοδο της οδού Πανόρμου, λόγω μεγάλης κίνησης στη στροφή για Λ. Κηφισίας.



Διάγραμμα 5.12. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών μηδενικού σεναρίου.[3]



Διάγραμμα 5.13. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέγιστο μήκος ουρών μηδενικού σεναρίου.[3]

Όσον αφορά στα μήκη ουρών στη Λ. Μεσογείων, τα ποσοστά κάλυψης φανερώνουν μια σχετικά επιδεινωμένη κατάσταση. Συγκεκριμένα, στην άνοδο της λεωφόρου, μεταξύ Λ. Βασ. Σοφίας και Φειδιππίδου, εμφανίζονται ποσοστά έως 80% στα τελευταία πέντε λεπτά της προσομοίωσης, με βάση το μέγιστο μήκος ουρών που εμφανίζεται εκεί. Λόγω του γεγονότος και των καθυστερήσεων που εμφανίζονται στην άνοδο της Λ. Κηφισίας, δυσχεραίνεται η διεξαγωγή της ευθείας κίνησης, όπως και των στρεφουσών κινήσεων και στους δύο κλάδους της οδού Φειδιππίδου και αυτό έχει επίδραση και στην κίνηση από τη Λ. Μεσογείων προς τη Φειδιππίδου, επομένως δημιουργούνται κι εκεί μεγαλύτερες ουρές. Επίσης, η οδός Φειδιππίδου, στο τμήμα ανάμεσα στη Λ. Μεσογείων και τη Μιχαλακοπούλου, παρουσιάζει μεγάλα ποσοστά κατάληψης, αλλά αυτή η εικόνα υπάρχει και στο βασικό σενάριο. Από εκείνο το σημείο κι έπειτα, συμπεριλαμβανομένου και της Λ. Κατεχάκη, η κατάσταση βρίσκεται επίσης σε συνήθη επίπεδα.

5.4.4. Πρώτο σενάριο

Από τα αποτελέσματα που έπονται, γίνεται μία πρώτη αξιολόγηση για τη βελτίωση ή μη, της κυκλοφοριακής κατάστασης του δικτύου, έπειτα από την επέμβαση στη φωτεινή σηματοδότηση.

5.4.4.1. Μετρήσεις κυκλοφοριακών φόρτων

Παρατίθενται οι κυκλοφοριακοί φόρτοι που προέκυψαν από το πρώτο σενάριο αντιμετώπισης για τα κρίσιμα σημεία. Μαζί παρουσιάζεται και το τυπικό σφάλμα της μέσης τιμής, το οποίο, όπως φαίνεται παρακάτω, κυμαίνεται σε αποδεκτά επίπεδα, οπότε τα αποτελέσματα μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστα.

Σημεία μέτρησης κυκλοφοριακού φόρτου	Αποτελέσματα προσομοίωσης	Τυπικό σφάλμα μέσης πμής
Άνοδος Λ. Αλεξάνδρας, από Χαριλάου Τρικούπη έως Ιπποκράτους	1390	±34
Άνοδος Λ. Αλεξάνδρας, από Ασκληπιού έως Κ. Λουκάρεως	1534	±30
Άνοδος Λ. Αλεξάνδρας, από Κ. Λουκάρεως έως Πανόρμου	1310	±26
Άνοδος Λ. Αλεξάνδρας, από Πανόρμου έως Λ. Κηφισίας	1758	±42
Οδός Ζαχάρωφ	927	±24
Άνοδος Λ. Κηφισίας, από Λ. Αλεξάνδρας έως Ευρυτανίας	1819	±55
Άνοδος Λ. Κηφισίας, από Ευρυτανίας έως Πανόρμου	1787	±35
Άνοδος Λ. Μεσογείων από Βασ. Σοφίας έως Φειδιππίδου	2434	±47
Άνοδος Λ. Μεσογείων πριν τον κόμβο Μεσογείων - Μιχαλακοπούλου	2168	±29
Άνοδος Λ. Μεσογείων μετά τον κόμβο Μεσογείων - Ρούσσου	2608	±26
Λ. Μεσογείων ράμπα εξόδου προς Κατεχάκη	793	±8
Κατεχάκη από Λ. Μεσογείων προς Λ. Κηφισίας	1065	±6

Πίνακας 5.19. Αποτελέσματα φόρτων 1^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης και τυπικό σφάλμα.

5.4.4.2. Μετρήσεις χρόνων διαδρομής

Οι χρόνοι διαδρομής και για αυτό το σενάριο παρουσιάζονται ανά πέντε λεπτά και προκύπτουν όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Χρονικό διάστημα	Μέσος χρόνος διαδρομής σε λεπτά							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1800-2100	1	9	1	4	1	2	2	4
2100-2400	1	11	2	6	2	3	2	4
2400-2700	1	14	2	8	2	3	2	5
2700-3000	2	16	2	12	2	2	2	5
3000-3300	2	18	2	13	1	2	2	6
3300-3600	3	22	2	7	1	2	2	6
3600-3900	5	22	1	4	1	2	2	6
3900-4200	7	19	2	4	2	2	2	6
4200-4500	8	18	1	3	2	3	2	7
4500-4800	10	18	1	4	1	2	2	7
4800-5100	11	20	1	3	2	2	2	8
5100-5400	12	22	1	3	2	3	2	7

Πίνακας 5.20. Μέσοι χρόνοι διαδρομής 1^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.

Η εικόνα των χρόνων διαδρομής, εμφανίζεται σαφώς βελτιωμένη όσον αφορά στην άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας αλλά και την άνοδο της Λ. Κηφισίας, όπου κυρίως εκεί ήταν απαραίτητη η επέμβαση στο δίκτυο λόγω του γεγονότος. Όσον αφορά στη Λ. Κηφισίας, ως μέγιστος χρόνος διαδρομής σημειώνονται τα 13 λεπτά

αμέσως μετά τη λήξη του συμβάντος, έναντι των 18 λεπτών που είχαν υπολογισθεί στο μηδενικό σενάριο. Ο χρόνος διαδρομής στην άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας αυξάνεται αρκετά λιγότερο, σε σχέση με το μηδενικό σενάριο, στη διάρκεια του γεγονότος. Σημειώνεται, ακόμη, πως το δίκτυο γενικώς φαίνεται να επανέρχεται γρηγορότερα στα επίπεδα χρόνου που είχε κατά τη λειτουργία υπό κανονικές συνθήκες, συγκριτικά με το σενάριο χωρίς επέμβαση.

5.4.4.3. Μετρήσεις καθυστερήσεων και αριθμού στάσεων ανά όχημα

Ακολουθεί ο πίνακας με τις μέσες καθυστερήσεις που καταγράφηκαν στο δίκτυο, με την εφαρμογή του πρώτου σεναρίου αντιμετώπισης.

Χρονικό διάστημα	Μέση καθυστέρηση σε δευτερόλεπτα							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1800-2100	20	461	69	158	72	96	35	198
2100-2400	19	572	85	274	79	112	34	219
2400-2700	28	728	80	407	76	134	28	263
2700-3000	34	863	82	624	78	112	33	275
3000-3300	74	960	78	708	66	93	32	283
3300-3600	123	1233	79	332	47	77	33	293
3600-3900	221	1205	63	177	67	95	35	306
3900-4200	333	1042	73	143	74	107	30	335
4200-4500	419	1005	63	121	76	124	34	365
4500-4800	511	983	63	150	64	101	36	373
4800-5100	579	1113	65	119	73	107	34	402
5100-5400	679	1205	66	103	93	159	28	396

Πίνακας 5.241. Μέσες καθυστερήσεις 1^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.

Οι καθυστερήσεις ακολουθούν την ίδια τάση με τους χρόνους διαδρομής. Δηλαδή, οι μεγαλύτερες καθυστερήσεις σημειώνονται κι εδώ στα σημεία κοντά στην περιοχή του γεγονότος, αλλά εμφανώς μειωμένες σε σχέση με το μηδενικό σενάριο.

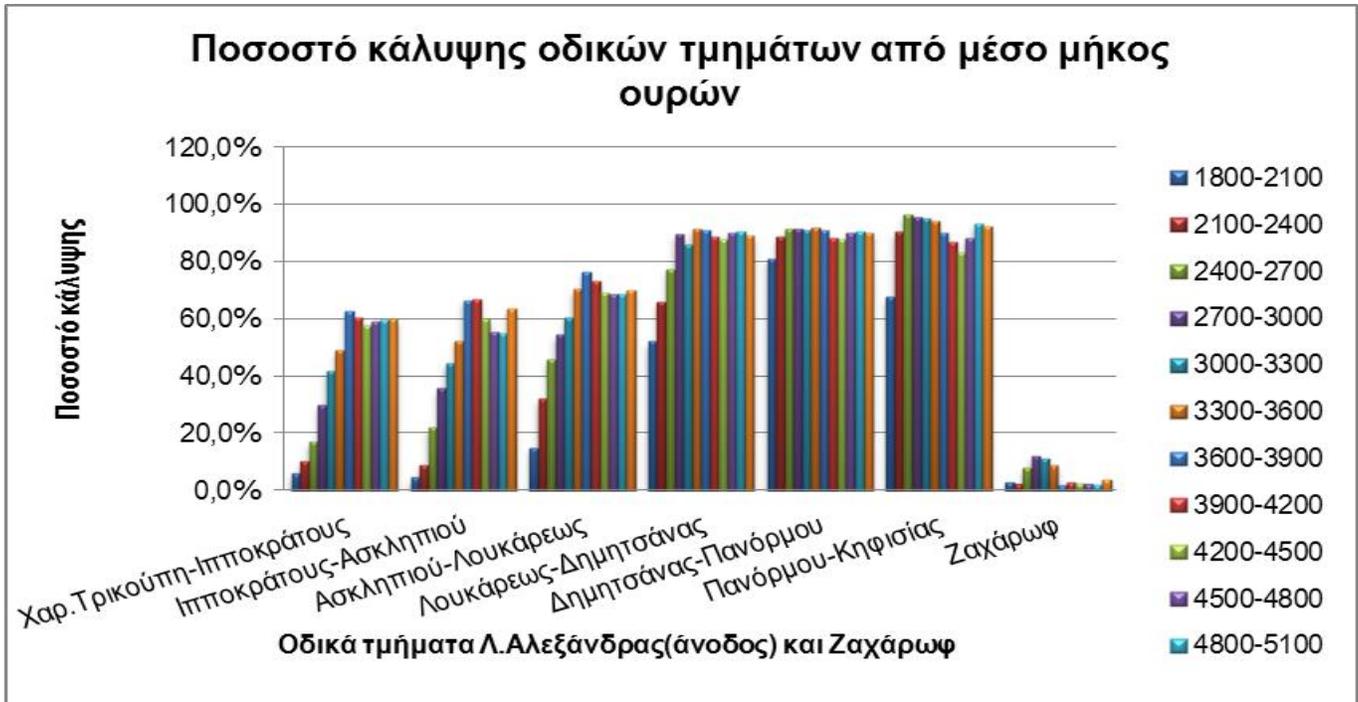
Χρονικό διάστημα	Μέσος αριθμός στάσεων ανά όχημα							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1800-2100	0	12	2	3	3	3	1	4
2100-2400	0	16	2	7	3	4	1	5
2400-2700	1	20	2	11	3	4	1	6
2700-3000	1	24	2	16	3	4	1	7
3000-3300	2	27	2	17	3	3	1	7
3300-3600	3	32	2	7	2	3	1	7
3600-3900	5	32	2	4	2	3	1	7
3900-4200	8	29	2	3	2	4	1	8
4200-4500	10	29	2	2	3	4	1	9
4500-4800	12	28	2	3	2	3	1	9
4800-5100	14	29	2	2	3	4	1	10
5100-5400	16	30	2	2	3	5	1	10

Πίνακας 5.22. Μέσοι αριθμοί στάσεων ανά όχημα 1^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.

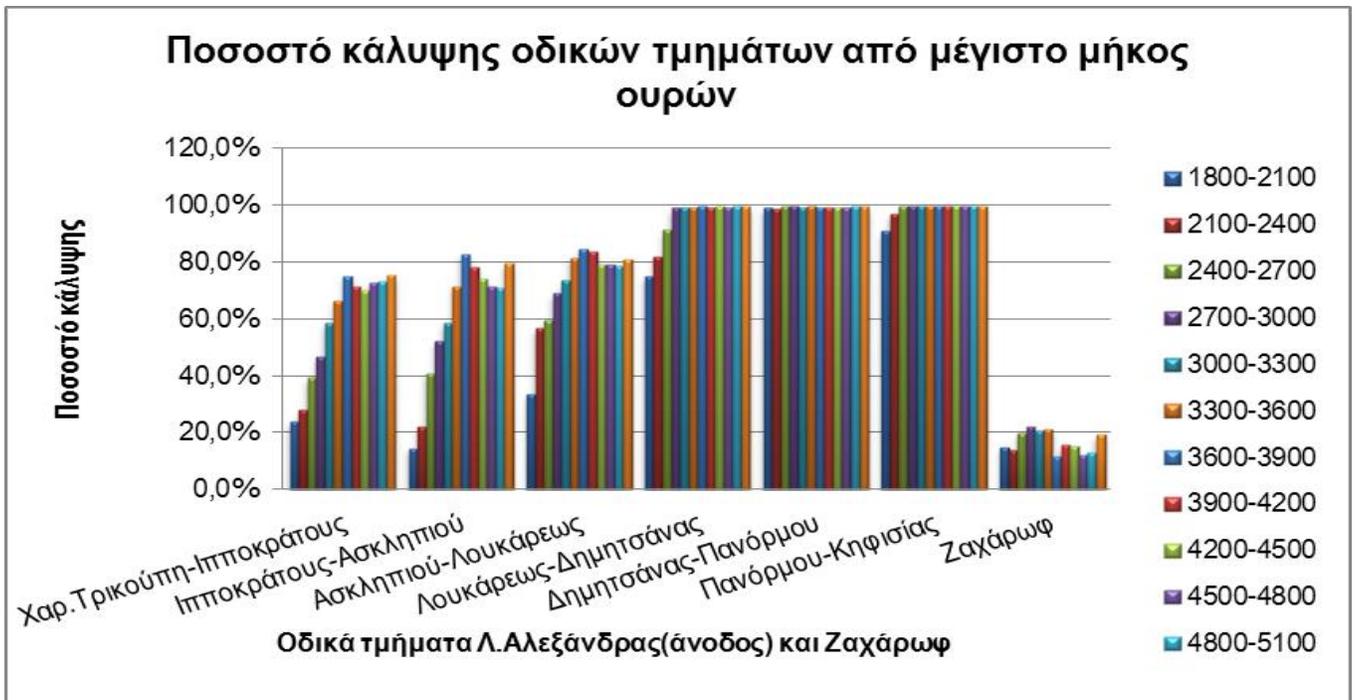
Ομοίως και ο μέσος αριθμός στάσεων ανά όχημα, έχει προκύψει σημαντικά μικρότερος για ολόκληρο το δίκτυο, καθώς πλέον η ροή των οχημάτων διεξάγεται ομαλότερα.

5.4.4.4. Μετρήσεις μήκους ουρών

Με βάση τα ποσοστά κάλυψης που προκύπτουν και παρουσιάζονται στη συνέχεια, εξετάζεται το πρώτο σενάριο αντιμετώπισης ως προς το μήκος ουρών που σχηματίζονται σε αυτήν την περίπτωση.

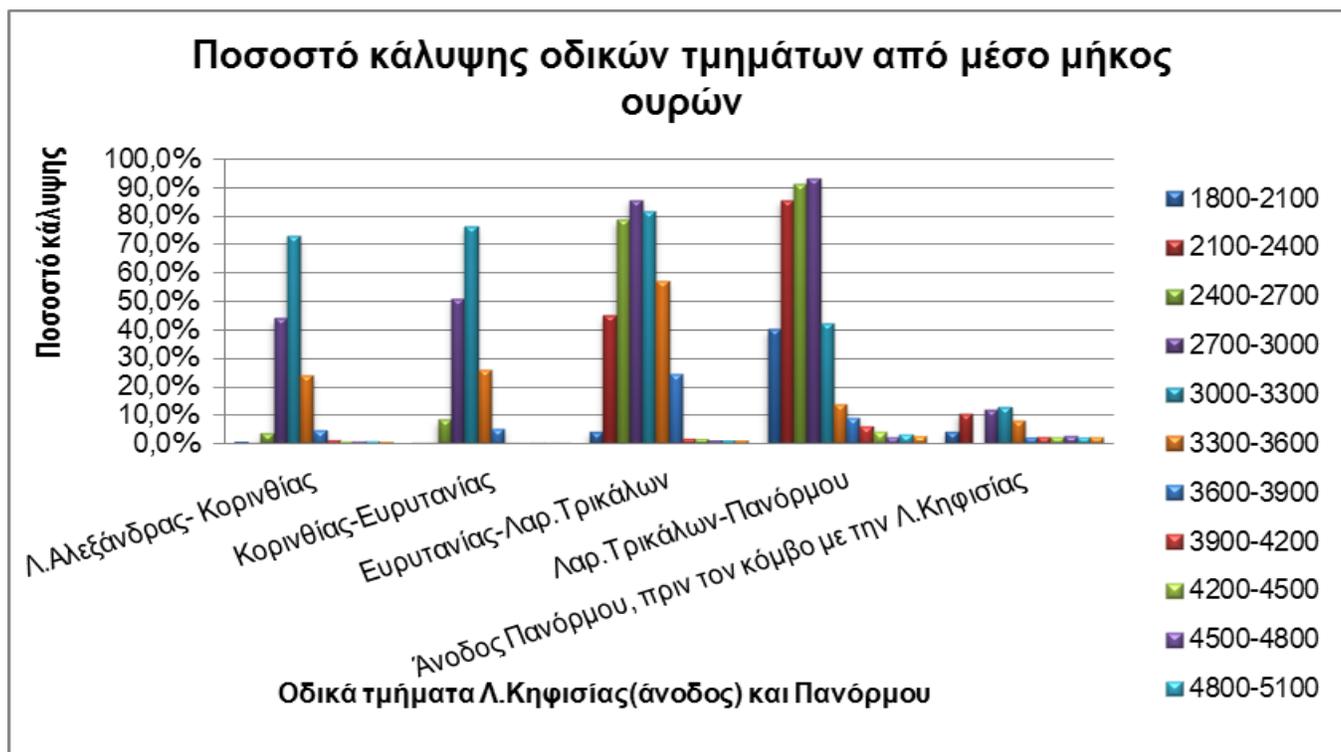


Διάγραμμα 5.14. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών 1^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης. [1]

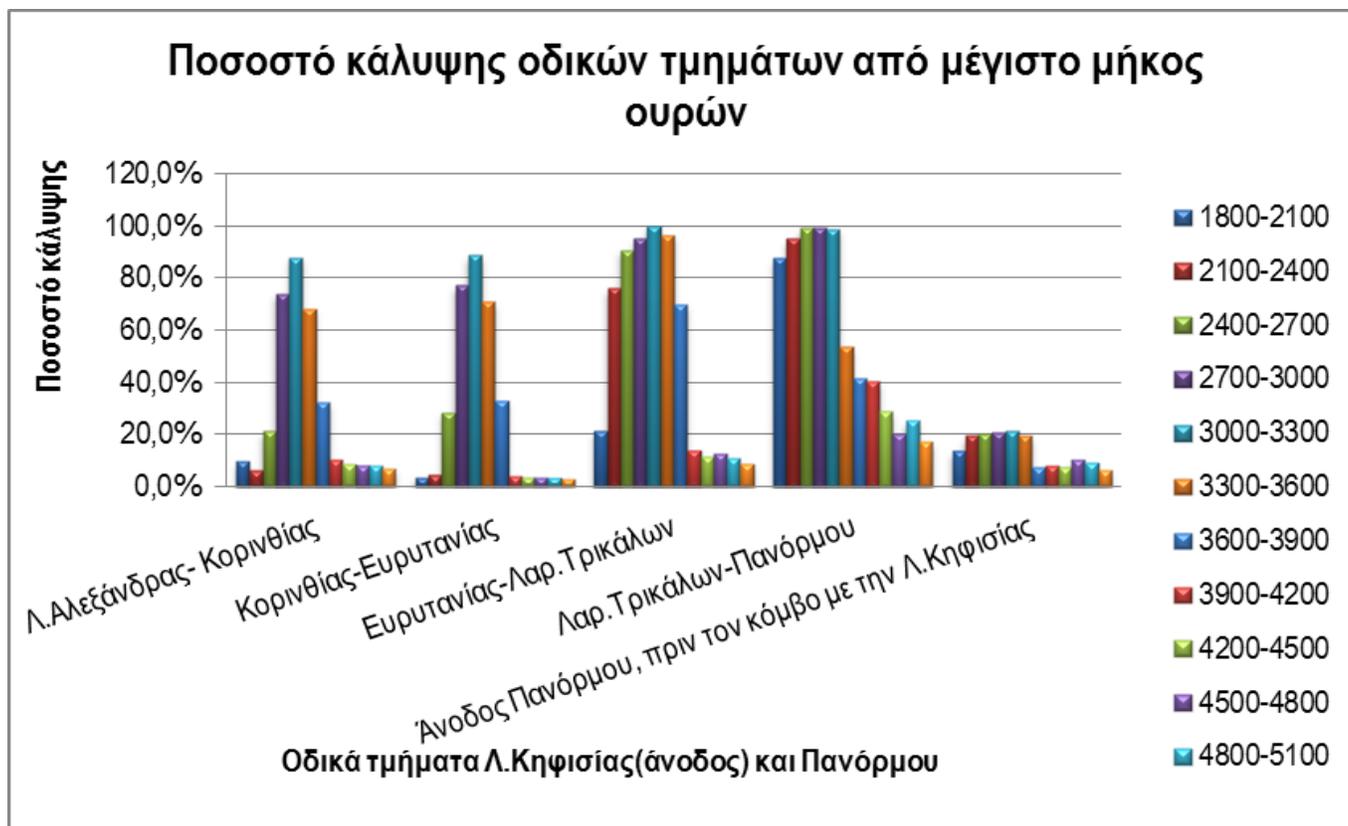


Διάγραμμα 5.15. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέγιστο μήκος ουρών 1^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης. [1]

Τόσο οι τιμές του μέσου μήκους ουρών, όσο και του μέγιστου εμφανίζονται αρκετά μειωμένες στη Λ. Αλεξάνδρας. Η κατάληψη του οδοστρώματος πραγματοποιείται και σε αυτήν την περίπτωση σε αρκετά μεγάλο βαθμό στα τμήματα τα οποία εμφάνιζαν μεγάλο πρόβλημα, δηλαδή μεταξύ Λουκάρεως και Λ. Κηφισίας, ωστόσο παρατηρείται μια μικρή μείωση στις τιμές των ποσοστών κάλυψης, η οποία μας ενδιαφέρει κυρίως από τη στιγμή του γεγονότος κι έπειτα. Αυτά προκύπτουν εξετάζοντας τις μέσες τιμές, καθώς οι μέγιστες αγγίζουν το 100%.

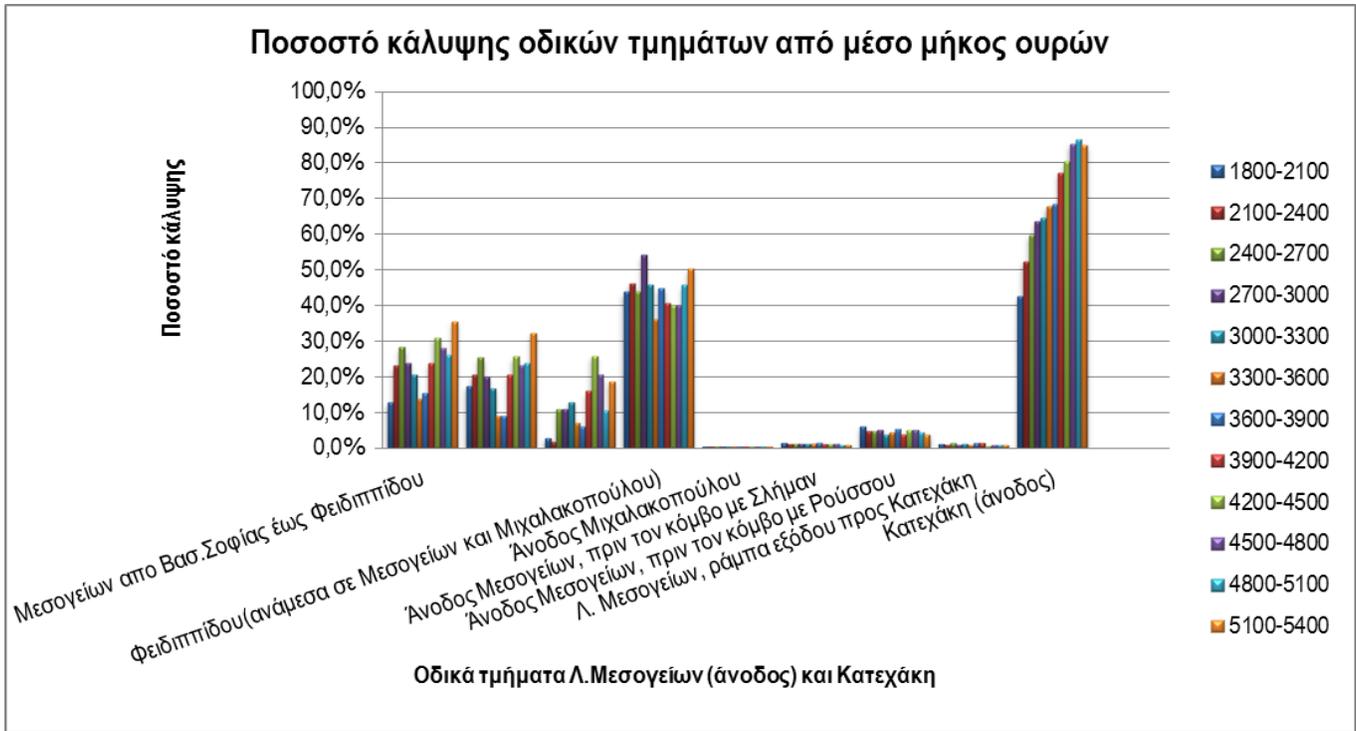


Διάγραμμα 5.16. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών 1^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.[2]



Διάγραμμα 5.17. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέγιστο μήκος ουρών 1^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης. [2]

Για τη Λ. Κηφισίας, επίσης διαπιστώνεται, πως έχει ευνοηθεί το δίκτυο, καθώς, με βάση το μέσο μήκος ουρών, δεν εμφανίζεται πλήρης κάλυψη των οδικών τμημάτων, αν και παρατηρούνται ποσοστά έως 90% στο σημείο του γεγονότος, κατά τα τελευταία πέντε λεπτά που αυτό διαρκεί. Όσον αφορά στα μέγιστα μήκη ουρών, υπάρχουν και ποσοστά της τάξης του 100%, στα τμήματα Ευρυτανίας – Λαρ. Τρικάλων και Λαρ. Τρικάλων – Πανόρμου, τα οποία δεν προέκυπταν τόσο στο μηδενικό σενάριο, παρότι και σε αυτό ήταν σημαντικά μεγάλα. Αυτό συμβαίνει διότι δίνεται προτεραιότητα στην αριστερή λωρίδα που αποκτά μεγάλο χρόνο πράσινης ένδειξη, με αποτέλεσμα τα οχήματα που βρίσκονται στην αριστερή, η οποία έχει «αποκλειστεί», να αναγκάζονται να περιμένουν μέχρι να βρουν χώρο να φύγουν από αριστερά. Όσο περιμένουν το μήκος της δικής τους ουράς αυξάνεται και ο μετρητής λαμβάνει αυτό υπόψη ως μεγαλύτερο. Η μείωση που αξίζει να σημειωθεί είναι εκείνη στην αρχή της ανόδου της Λ. Κηφισίας, όπου ούτε το μέγιστο μήκος ουρών καταλαμβάνει ολόκληρα τα οδικά τμήματα.



Διάγραμμα 5.18. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών 1^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης. [3]



Διάγραμμα 5.19. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέγιστο μήκος ουρών 1^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης. [3]

Η γενική εικόνα από τη Λ. Μεσογείων, είναι ότι τα ποσοστά είναι χαμηλότερα από εκείνα που είχαν προκύψει στο μηδενικό σενάριο. Όπως φαίνεται, καθώς η ροή της κυκλοφορίας δεν παρουσιάζει τόσο πρόβλημα στην άνοδο της Λ. Κηφισίας, διευκολύνεται και η κίνηση από την οδό Φειδιππίδου. Οπότε, ήταν αναμενόμενο, να έχουν μειωθεί τα μήκη ουρών που εμφανίζονται εκεί.

5.4.5. Δεύτερο σενάριο

Ακολουθεί η εξέταση του δεύτερου σεναρίου αντιμετώπισης, ώστε να δοθεί μια εικόνα του δικτύου έπειτα από την εφαρμογή της καθοδήγησης των οχημάτων μέσω της ΠΜΜ23.

5.4.5.1. Μετρήσεις κυκλοφοριακών φόρτων

Παρατίθενται οι κυκλοφοριακοί φόρτοι, όπως αυτοί μετρήθηκαν κατά την προσομοίωση του δεύτερου σεναρίου αντιμετώπισης, καθώς και το τυπικό σφάλμα για αυτές τις τιμές. Οι τιμές του τυπικού σφάλματος και σε αυτό το σενάριο, είναι ικανοποιητικές και εξασφαλίζουν την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Σημεία μέτρησης κυκλοφοριακού φόρτου	Αποτελέσματα προσομοίωσης	Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής
Άνοδος Λ. Αλεξάνδρας, από Χαριλάου Τρικούπη έως Ιπποκράτους	1581	±20
Άνοδος Λ. Αλεξάνδρας, από Ασκληπιού έως Κ. Λουκάρεως	1694	±25
Άνοδος Λ. Αλεξάνδρας, από Κ. Λουκάρεως έως Πανόρμου	1398	±22
Άνοδος Λ. Αλεξάνδρας, από Πανόρμου έως Λ. Κηφισίας	1752	±24
Οδός Ζαχάρωφ	960	±16
Άνοδος Λ. Κηφισίας, από Λ. Αλεξάνδρας έως Ευρυτανίας	1416	±25
Άνοδος Λ. Κηφισίας, από Ευρυτανίας έως Πανόρμου	1424	±17
Άνοδος Λ. Μεσογείων από Βασ. Σοφίας έως Φειδιππίδου	2056	±34
Άνοδος Λ. Μεσογείων πριν τον κόμβο Μεσογείων - Μιχαλακοπούλου	2093	±23
Άνοδος Λ. Μεσογείων μετά τον κόμβο Μεσογείων - Ρούσσου	2317	±24
Λ. Μεσογείων ράμπα εξόδου προς Κατεχάκη	799	±6
Κατεχάκη από Λ. Μεσογείων προς Λ. Κηφισίας	974	±10

Πίνακας 5.23. Αποτελέσματα φόρτων 2^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης και τυπικό σφάλμα.

5.4.5.2. Μετρήσεις χρόνων διαδρομής

Σειρά έχει ο πίνακας των χρόνων διαδρομής όπως αυτοί προέκυψαν με βάση το δεύτερο σενάριο προσομοίωσης.

Χρονικό διάστημα	Μέσος χρόνος διαδρομής σε λεπτά							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1800-2100	1	3	1	3	3	4	2	5
2100-2400	1	3	2	6	3	5	2	5
2400-2700	1	4	2	9	3	5	2	6
2700-3000	1	5	2	13	3	5	2	6
3000-3300	1	7	4	16	3	6	2	7
3300-3600	1	11	4	6	3	6	2	8
3600-3900	1	15	4	3	4	7	3	10
3900-4200	1	18	4	3	3	8	8	11
4200-4500	2	17	3	3	3	6	15	12
4500-4800	3	16	3	3	5	9	20	12
4800-5100	4	17	4	4	9	11	16	12
5100-5400	4	25	7	4	13	17	11	11

Πίνακας 5.24. Μέσοι χρόνοι διαδρομής 2^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.

Μεγαλύτερες είναι οι διακυμάνσεις των χρόνων διαδρομής στο συγκεκριμένο σενάριο. Αυτό οφείλεται στις αλλαγές των διαδρομών, οι οποίες πραγματοποιούνται κυρίως στο τελευταίο τμήμα της Λ. Αλεξάνδρας και συνεχίζονται στη Λ. Μεσογείων. Ωστόσο, αυτό φαίνεται να έχει επιδράσει θετικά στο δίκτυο καθώς υπάρχει σημαντική μείωση στους χρόνους διαδρομής στα κρίσιμα σημεία του. Αναλυτικότερα, η άνοδος της Λ. Κηφισίας φαίνεται να επηρεάζεται αρκετά μόνο για δεκαπέντε λεπτά (2400-3300). Στην επέκταση του δικτύου, η άνοδος της Λ. Αλεξάνδρας παρουσιάζει σημαντική αύξηση του χρόνου διαδρομής κυρίως μεταξύ 3600-5400 αλλά πολύ μικρότερου βαθμού συγκριτικά με το σενάριο χωρίς επέμβαση. Παρατηρείται, επίσης, μια αύξηση στη στροφή από Λ. Βασ. Σοφίας για Λ. Μεσογείων, στην άνοδο της Λ. Μεσογείων, καθώς και στη Λ. Κατεχάκη. Η αύξηση αυτή είναι αναμενόμενη εφόσον διοχετεύεται μεγάλο μέρος της κίνησης του δικτύου από εκεί, όπως έχει δοθεί καθοδήγηση στα οχήματα μέσω μηνύματος στην ΠΜΜ23. Παρακάτω που πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ των σεναρίων, αξιολογείται αναλυτικότερα η σημασία της αύξησης αυτής.

5.4.5.3. Μετρήσεις καθυστερήσεων και αριθμού στάσεων ανά όχημα

Στη συνέχεια, παρατίθεται ο πίνακας με τα αποτελέσματα των καθυστερήσεων για το δεύτερο σενάριο αντιμετώπισης.

Χρονικό διάστημα	Μέση καθυστέρηση σε δευτερόλεπτα							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1800-2100	20	123	60	83	151	193	36	230
2100-2400	19	148	105	268	132	238	37	260
2400-2700	20	202	93	452	121	212	29	294
2700-3000	22	260	101	648	149	217	33	328
3000-3300	23	391	181	814	177	282	38	363
3300-3600	27	626	217	312	168	333	34	411
3600-3900	33	825	218	129	171	354	70	510
3900-4200	42	947	182	109	163	391	364	602
4200-4500	78	899	140	113	163	330	731	637
4500-4800	120	831	142	142	225	447	989	632
4800-5100	164	1035	236	131	475	582	815	636
5100-5400	236	1565	392	158	682	924	506	611

Πίνακας 5.25. Μέσες καθυστερήσεις 2^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.

Οι καθυστερήσεις εμφανίζονται σημαντικά μειωμένες στα κρίσιμα σημεία του δικτύου, κάτι που εκ πρώτης όψεως φαίνεται να έχει βελτιώσει το δίκτυο. Ωστόσο, υπάρχει η ανάγκη σύγκρισης μεταξύ των σεναρίων και εξέτασης της κατάστασης στα επιμέρους τμήματα του δικτύου, αυτά που «αναλαμβάνουν» τμήμα του φόρτου της Λ. Κηφισίας, όπου φαίνεται μια αύξηση στις καθυστερήσεις η οποία δεν μπορεί να αγνοηθεί.

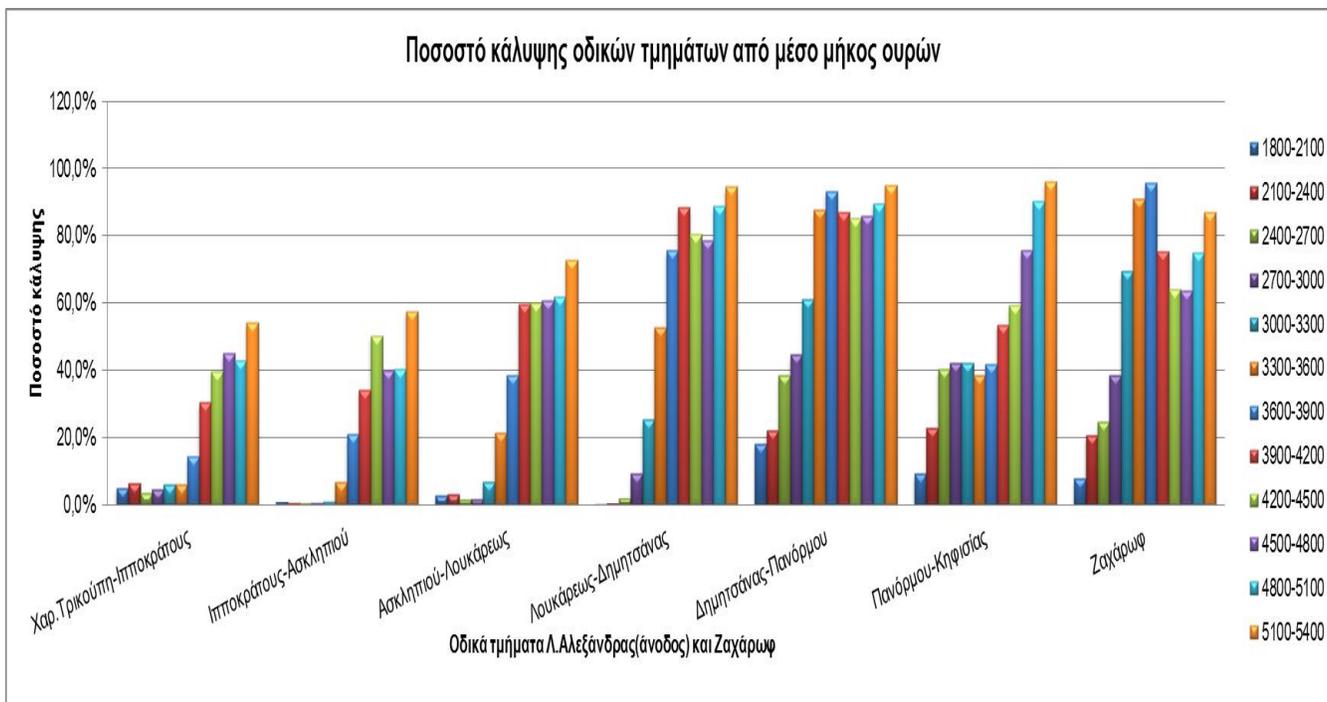
Χρονικό διάστημα	Μέσος αριθμός στάσεων ανά όχημα							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1800-2100	0	3	1	2	5	2	1	5
2100-2400	0	3	3	8	4	3	1	6
2400-2700	0	5	2	14	4	3	1	7
2700-3000	0	7	2	19	5	2	1	8
3000-3300	0	9	4	23	6	3	1	9
3300-3600	1	16	5	8	6	4	1	10
3600-3900	1	21	5	3	5	4	2	12
3900-4200	1	25	4	2	5	5	10	15
4200-4500	2	24	3	3	5	4	24	16
4500-4800	3	22	3	3	7	5	34	17
4800-5100	4	24	5	3	11	4	28	17
5100-5400	5	31	7	3	16	7	17	16

Πίνακας 5.26. Μέσοι αριθμοί στάσεων 2^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.

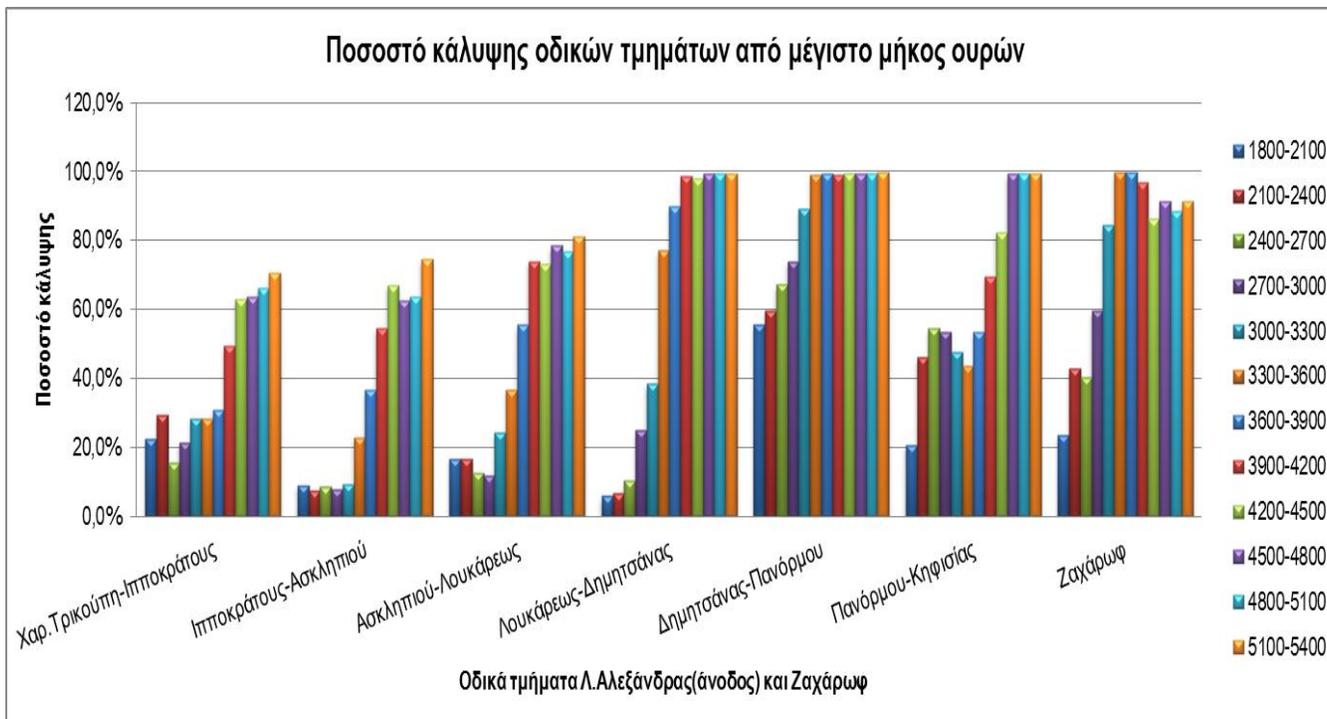
Όμοια είναι και η τάση στους μέσους αριθμούς στάσεων ανά όχημα για όλες τις διαδρομές που αναλύονται στους χρόνους διαδρομής και στις καθυστερήσεις. Αξίζει να σημειωθεί, η μεγάλη μείωση στην άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας, η οποία όπως φαίνεται εξυπηρετεί πολύ ικανοποιητικά το φόρτο που δέχεται.

5.4.5.4. Μετρήσεις μήκους ουρών

Παρακάτω, γίνεται ανάλυση των μηκών των ουρών που εμφανίζονται στο δίκτυο έπειτα από την εφαρμογή του δεύτερου σεναρίου αντιμετώπισης.

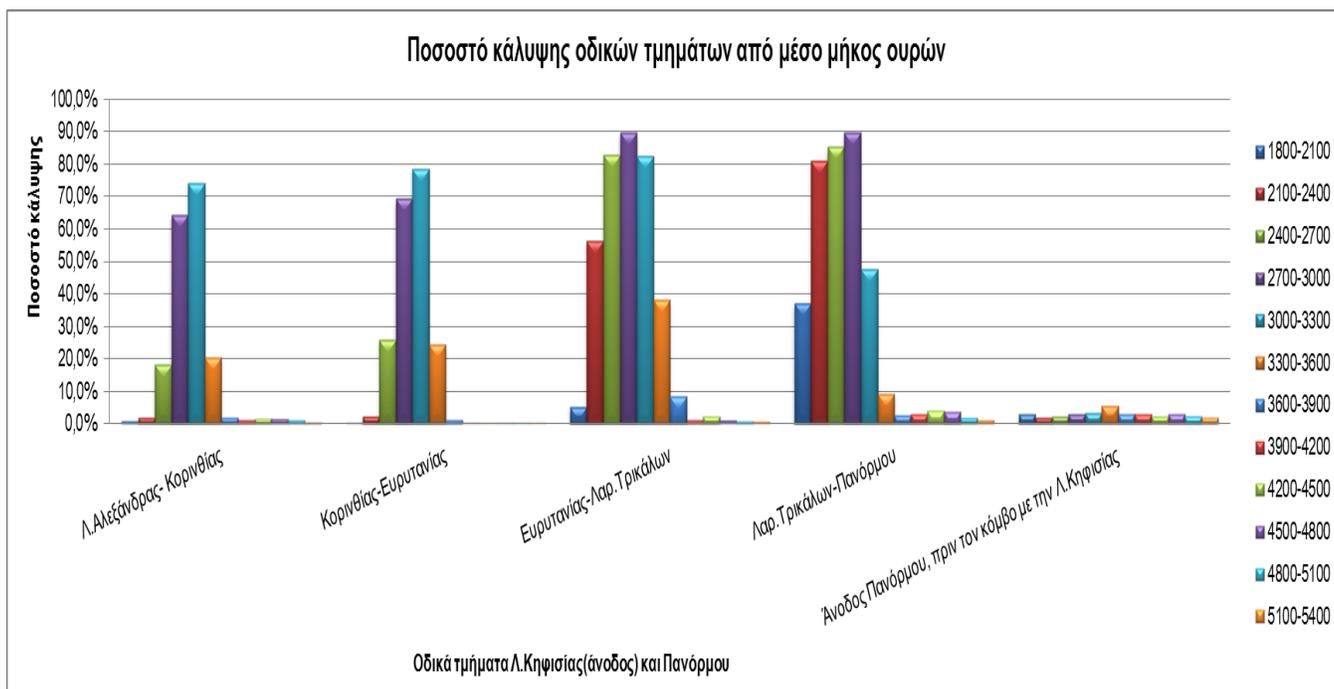


Διάγραμμα 5.20. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών 2^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης. [1]

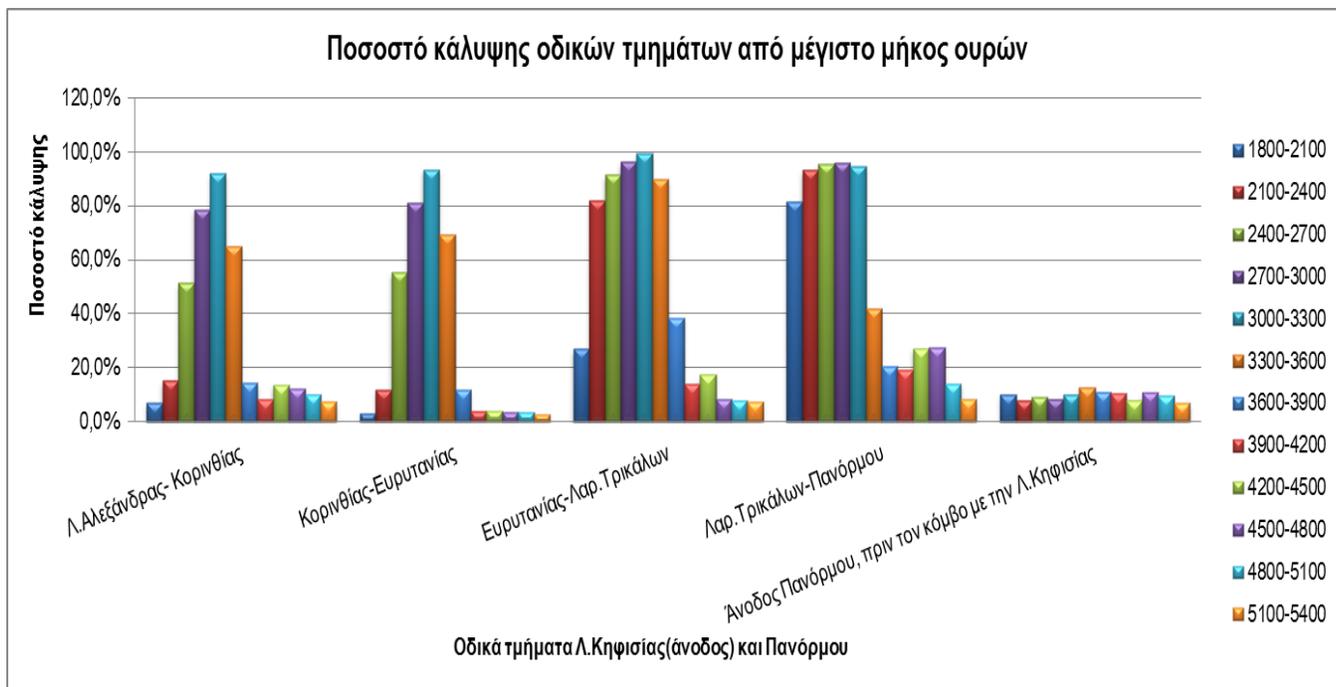


Διάγραμμα 5.21. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέγιστο μήκος ουρών 2^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης. [1]

Η κατάσταση στη Λ. Αλεξάνδρας παρουσιάζεται αρκετά διαφορετική σε αυτό το δεύτερο σενάριο αντιμετώπισης. Τα ποσοστά κάλυψης είναι σημαντικά μειωμένα, ενώ μόλις στα δύο κρίσιμα οδικά τμήματα, Λουκάρεως – Δημητσάνας και Δημητσάνας - Πανόρμου και κυρίως στα τελευταία είκοσι λεπτά της προσομοίωσης, το ποσοστό φτάνει σε σημαντικά μεγάλες τιμές. Το 100% το αγγίζει μόνο στο τμήμα Δημητσάνας – Πανόρμου και μόνο στα τελευταία πέντε λεπτά της προσομοίωσης. Αυτό συμβαίνει λόγω της αλλαγής στις διαδρομές των οχημάτων, καθώς χρησιμοποιούν την εναλλακτική διαδρομή και όχι τη Λ. Κηφισίας, στην οποία συναντούν αυξημένη κίνηση. Ωστόσο, αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να δημιουργείται μεγάλη κυκλοφοριακή συμφόρηση στην οδό η οποία εξυπηρετεί αυτήν την εναλλακτική διαδρομή, δηλαδή τη Ζαχάρωφ, λίγο μετά την εμφάνιση του μηνύματος στην ΠΜΜ23. Είναι λογικό, καθώς ο φόρτος που εξυπηρετεί είναι πολύ μεγαλύτερος από τον αρχικό της.

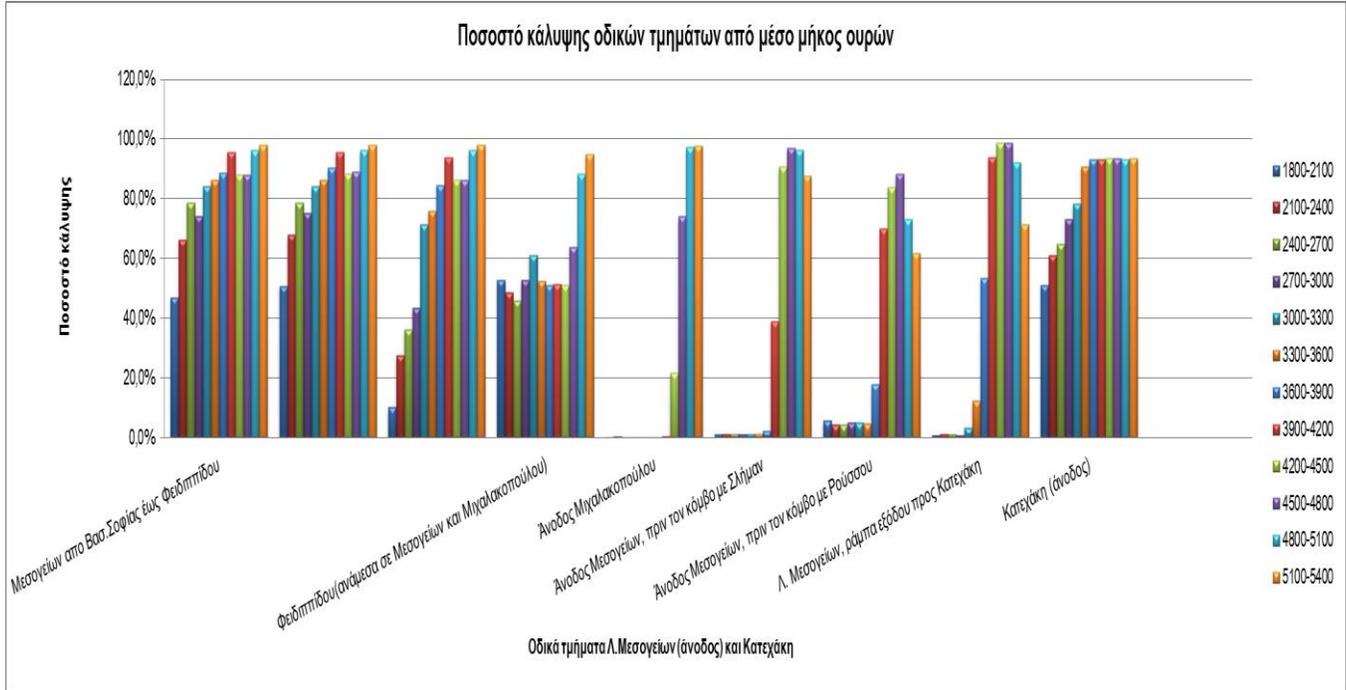


Διάγραμμα 5.22. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών 2^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης. [2]

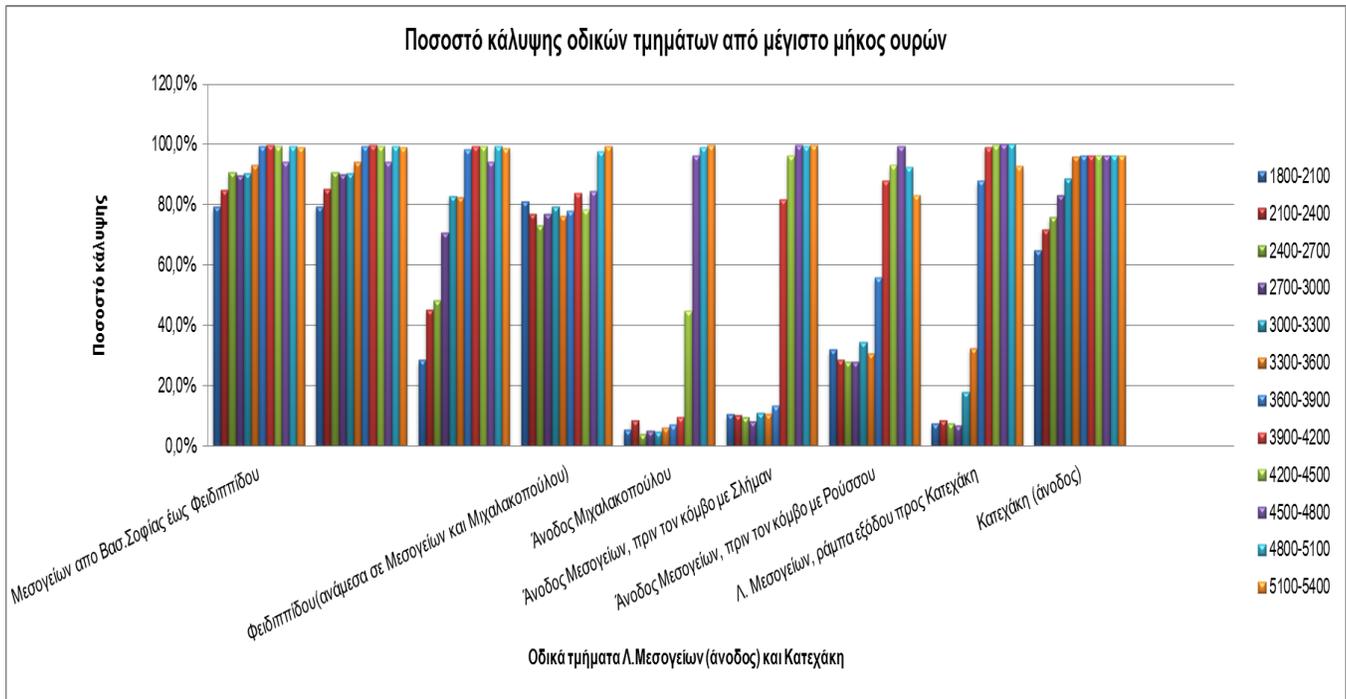


Διάγραμμα 5.23. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέγιστο μήκος ουρών 2^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης. [2]

Η κυκλοφοριακή κατάσταση της Λ. Κηφισίας, όπως διαπιστώνεται από τα διαγράμματα που προηγούνται, εμφανίζει, επίσης, αρκετά σημαντική βελτίωση, με εξαίρεση το τμήμα μεταξύ Ευρυτανίας και Λαρ. Τρικάλων, όπου η κατάληψη του φτάνει το 100%. Ωστόσο αυτό συμβαίνει μόνο για πέντε λεπτά, επομένως το γενικό συμπέρασμα είναι ότι η εφαρμογή του μέσου διαχείρισης της κυκλοφορίας με την καθοδήγηση των οδηγών σε εναλλακτική διαδρομή, επιδρά θετικά για το σημείο όπου εμφανίζεται το πρόβλημα. Τόσο η διάρκεια όσο και οι τιμές του μεγάλου μήκους ουρών φανερώνουν μια πολύ ευνοϊκότερη κατάσταση.



Διάγραμμα 5.24. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέσο μήκος ουρών 2^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης. [3]



Διάγραμμα 5.25. Ποσοστό κάλυψης οδικών τμημάτων από μέγιστο μήκος ουρών 2^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης. [3]

Αντίθετα με τα υπόλοιπα οδικά τμήματα και αντίθετα με τα προηγούμενα σενάρια, η άνοδος της Λ. Μεσογείων φαίνεται να έχει επηρεασθεί αρνητικά από την αλλαγή διαδρομών. Τα ποσοστά κάλυψης των οδικών τμημάτων παρουσιάζονται αρκετά αυξημένα, συγκριτικά με τα προηγούμενα σενάρια, κυρίως στα τελευταία είκοσι πέντε λεπτά της προσομοίωσης. Για το πρώτο τμήμα, μεταξύ Λ. Βασ. Σοφίας και Φειδιππίδου, τα ποσοστά κάλυψης αρχίζουν να αυξάνονται ήδη από τα πρώτα πέντε λεπτά μετά την εκκίνηση του συμβάντος, αφότου δηλαδή έχει βγει το μήνυμα στη ΠΜΜ23, το οποίο καθοδηγεί τους οδηγούς στο να χρησιμοποιήσουν τη Λ. Μεσογείων για να φθάσουν στον προορισμό τους. Οι ουρές που σχηματίζονται, ωστόσο, προκαλούν συμφόρηση κατά μήκος ολόκληρης της ανόδου της Λ. Μεσογείων, κάτι που υποδηλώνεται άμεσα από τα αυξημένα, έως και κατά 99% στο σημείο πριν τον κόμβο με την οδό Ρούσσου. Ως επακόλουθο, τα ήδη μεγάλα μήκη ουρών στη Λ. Κατεχάκη, προκύπτουν ακόμη μεγαλύτερα.

5.5. Σύγκριση αποτελεσμάτων

Ακολουθεί μία σύνοψη των αποτελεσμάτων, τα οποία παρουσιάζονται ως **ποσοστιαίες μεταβολές σε σχέση με το βασικό σενάριο**. Οι ποσοστιαίες αυτές διαφορές, βοηθούν, ώστε να διαπιστωθεί και να εκτιμηθεί σε βάθος η επιρροή του γεγονότος και η βελτίωση της κυκλοφοριακής κατάστασης από την εφαρμογή των σεναρίων αντιμετώπισης.

Σημειώνεται πως η σύγκριση έχει γίνει για τα αποτελέσματα **ανά τέταρτο**, όπως αυτά έχουν υπολογισθεί για το βασικό αλλά και για τα υπόλοιπα σενάρια, προκειμένου να είναι εφικτή η συσχέτισή τους.

Η σύγκριση αυτή, επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί **ανά δείκτη λειτουργικής απόδοσης** και όχι ανά σενάριο, προκειμένου να είναι πιο κατανοητά και σαφή τα αποτελέσματα αλλά και για την πιο εύκολη και ευδιάκριτη εξαγωγή συμπερασμάτων.

5.5.1. Σύγκριση χρόνων διαδρομής

Η σύγκριση που ακολουθεί χωρίζεται σε τρία μέρη και αφορά στους χρόνους διαδρομής στις κρίσιμες διαδρομές του δικτύου.

5.5.1.1. Βασικό και μηδενικό σενάριο

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα διάγραμμα το οποίο έχει διαμορφωθεί με βάση τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει ανά τέταρτο, από το βασικό και από το μηδενικό σενάριο, δηλαδή το δίκτυο υπό κανονικές συνθήκες και υπό ασυνήθεις χωρίς καμία επέμβαση. Σκοπός είναι να διαπιστωθεί η επιδείνωση του δικτύου και τα σημεία στα οποία αυτή είναι σημαντικά μεγάλη.

Υπενθυμίζεται ο πίνακας με τις διαδρομές:

α/α	Διαδρομή
1	ΠΜΜ23 έως Παπαρηγοπούλου
2	Λ. Αλεξάνδρας από Χαριλάου Τρικούπη έως Πανόρμου
3	Λ. Αλεξάνδρας (λίγο μετά την Πανόρμου) - Ζαχάρωφ - Βασ.Σοφίας
4	Λ. Αλεξάνδρας (λίγο μετά την Πανόρμου) - Κηφισίας (έως Πανόρμου)
5	Λ. Βασ.Σοφίας, στροφή για Λ. Μεσογείων, έως Φειδιππίδου
6	Λ. Μεσογείων (από Βασ.Σοφίας έως Φειδιππίδου)
7	Άνοδος Μιχαλακοπούλου (λίγο πριν τη Φειδιππίδου), άνοδος Λ. Μεσογείων έως τη ράμπα εξόδου στον Α/Κ με την Κατεχάκη
8	Άνοδος Κατεχάκη, ανάμεσα στους Α/Κ με Λ. Μεσογείων και Λ. Κηφισίας



Διάγραμμα 5.26. Ποσοστιαία διαφορά χρόνων διαδρομής βασικού και μηδενικού σεναρίου.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το παραπάνω διάγραμμα είναι τα εξής. Στο τέταρτο του γεγονότος, ο χρόνος διαδρομής έχει αυξηθεί κατά 20% περίπου στην άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας, από τη Χαριλάου Τρικούπη έως την Πανόρμου.

Επίσης, έχει αυξηθεί κατά 50% στο τμήμα από τη Λ. Αλεξάνδρας, μετά την Πανόρμου, έως την άνοδο της Λ. Κηφισίας στο ύψος όπου πραγματοποιείται το γεγονός. Μεγαλύτερος χρόνος διαδρομής προκύπτει και για την κάθοδο της Λ. Βασ. Σοφίας, στη στροφή για Λ. Μεσογείων, κάτι που οφείλεται στην αυξημένη κίνηση της ανόδου της Λ. Βασ. Σοφίας. Αύξηση σημειώνεται και στην άνοδο της Λ. Μεσογείων, στο αρχικό της τμήμα, ενώ το υπόλοιπο δίκτυο της ανόδου δεν φαίνεται να έχει επηρεασθεί. Η αύξηση στο αρχικό τμήμα μπορεί να αποδοθεί στην κίνηση η οποία έχει αυξηθεί στη Φειδιππίδου, στον αριστερό κλάδο για Λ. Βασ. Σοφίας, λόγω της συμφόρησης στην άνοδο για Λ. Κηφισίας η οποία προκαλεί καθυστερήσεις στις κάθετες σε αυτήν οδούς.

Στο δεύτερο τέταρτο, οπότε και λαμβάνει χώρα το γεγονός, οι αυξήσεις είναι μεγαλύτερες, τόσο για την άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας και της Λ. Κηφισίας, όσο και στη διαδρομή από Λ. Αλεξάνδρας προς την οδό Ζαχάρωφ. Προφανώς το τμήμα που επηρεάζεται περισσότερο είναι η άνοδος της Λ. Κηφισίας, με αύξηση του χρόνου διαδρομής σχεδόν μέχρι 250%.

Δέκα λεπτά μετά τη λήξη του γεγονότος, η κατάσταση στη Λ. Αλεξάνδρας συνεχίζει να είναι επιβαρυμένη, στο μεγαλύτερο τμήμα της ανόδου της. Ωστόσο, η επιδείνωση δεν συνεχίζεται για πολύ στην άνοδο της Λ. Κηφισίας.

Στα τελευταία δεκαπέντε λεπτά της προσομοίωσης, αυξήσεις στο χρόνο διαδρομής εμφανίζονται στο τμήμα από τη Σπύρου Τρικούπη, όπου βρίσκεται η ΠΜΜ23, έως την Πανόρμου, ενώ παρακάτω το δίκτυο έχει επανέλθει σε φυσιολογικές τιμές των χρόνων διαδρομής. Μόνο στο τμήμα Λ. Βασ. Σοφίας προς Λ. Μεσογείων συνεχίζει να υπάρχει αύξηση, κάτι που φανερώνει τη δυσκολία του δικτύου να επανέλθει γρήγορα έπειτα από το γεγονός.

5.5.1.2. Βασικό και 1^ο σενάριο αντιμετώπισης

Η σύγκριση που ακολουθεί έχει ως στόχο την αξιολόγηση του πρώτου σεναρίου αντιμετώπισης, στο πλαίσιο της βελτίωσης των χρόνων διαδρομής.



Διάγραμμα 5.27. Ποσοστιαία διαφορά χρόνων διαδρομής βασικού και 1^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.

Όπως διαπιστώνεται από το παραπάνω διάγραμμα, η αύξηση των χρόνων διαδρομής στο τμήμα της ανόδου της Λ. Αλεξάνδρας είναι αρκετά μικρή και εμφανίζεται κυρίως στο τέταρτο του γεγονότος, ενώ στη συνέχεια το δίκτυο επανέρχεται πλήρως. Μάλιστα παρατηρούνται και αρνητικές τιμές ποσοστών, πράγμα το υποδηλώνει ότι η κατάσταση είναι ευνοϊκότερη και από τις κανονικές συνθήκες του δικτύου, άρα τα οχήματα χρειάζονται λιγότερο χρόνο για να πραγματοποιήσουν αυτές τις διαδρομές. Ελάχιστη είναι η αύξηση και στη διαδρομή από Λ. Αλεξάνδρας προς Λ. Βασ. Σοφίας μέσω της οδού Ζαχάρωφ.

Όπως είναι λογικό, η βελτίωση αυτή αφορά και στην άνοδο της Λ. Κηφισίας, αλλά σίγουρα σε μικρότερο βαθμό καθώς είναι εκείνη που πλήττεται άμεσα από το γεγονός. Η αύξηση, όμως, του χρόνου διαδρομής εκεί είναι της τάξης του 130%, έναντι του 250% που είχε σημειωθεί στο μηδενικό σενάριο.

Πρέπει να σημειωθεί πως οι χρόνοι διαδρομής στη στροφή από Λ. Βασ. Σοφίας προς Λ. Μεσογείων, όπως και στην άνοδο της Λ. Μεσογείων, μεταξύ Λ. Βασ. Σοφίας και Φειδιππίδου, έχουν αυξηθεί σε ποσοστό έως 40% στην τελευταία μισή ώρα της προσομοίωσης, κάτι που αιτιολογείται από την καθυστέρηση στη Φειδιππίδου, λόγω αυξημένου χρόνου πράσινης ένδειξης στη Λ. Κηφισίας.

5.5.1.3. Βασικό και 2^ο σενάριο αντιμετώπισης

Ακολουθεί η αξιολόγηση του δεύτερου σεναρίου αντιμετώπισης ως προς τους χρόνους διαδρομής.



Διάγραμμα 5.28. Ποσοστιαία διαφορά χρόνων διαδρομής βασικού και 2^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.

Όπως είναι φανερό, η κατάσταση στη Λ. Αλεξάνδρας έχει βελτιωθεί σημαντικά, με τον απαιτούμενο χρόνο διαδρομής να προκύπτει μικρότερος και από το βασικό σενάριο, σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Όσον αφορά στη Λ. Κηφισίας, η αύξηση του χρόνου διαδρομής στη διάρκεια του γεγονότος αγγίζει το 190%, ποσοστό βελτιωμένο σε σχέση με το μηδενικό σενάριο, αλλά αρκετά μεγαλύτερο συγκριτικά με το πρώτο σενάριο αντιμετώπισης.

Αρκετά μεγαλύτερα είναι και τα ποσοστά αύξησης των χρόνων διαδρομής στην άνοδο της Λ. Μεσογείων. Στη διάρκεια του γεγονότος, αλλά και το επόμενο τέταρτο, αγγίζουν το 120% έως 190%, ενώ στα τελευταία δεκαπέντε λεπτά της προσομοίωσης ο χρόνος που χρειάζεται ένα όχημα για να στρίψει από τη Λ. Βασ. Σοφίας, στην κάθοδό της, προς τη Λ. Μεσογείων και να τη διασχίσει έως τη Φειδιππίδου, είναι αυξημένος κατά 500%. Για την ίδια κίνηση αλλά από την άνοδο της Λ. Βασ. Σοφίας, η αύξηση αγγίζει το 400%. Επίσης, πρώτη φορά παρατηρείται αύξηση και σε ολόκληρη την άνοδο της Λ. Μεσογείων, από την άνοδο της Μιχαλακοπούλου, έως τη ράμπα εξόδου για τη Λ. Κατεχάκη. Η αύξηση δεν μπορεί να αγνοηθεί καθώς ξεπερνά το 600%. Ως αποτέλεσμα, επηρεάζεται

και η άνοδος της Λ. Κατεχάκη, καθώς χρησιμοποιείται πλέον από μεγαλύτερο αριθμό οχημάτων και ο φόρτος που εξυπηρετούσε ήταν ήδη μεγάλος.

5.5.2. Σύγκριση καθυστερήσεων

Σε αυτήν την ενότητα, γίνεται ανάλυση και σύγκριση των καθυστερήσεων μεταξύ του μηδενικού σεναρίου και των σεναρίων αντιμετώπισης, με το βασικό σενάριο, για τα ίδια σημεία όπως των χρόνων διαδρομής.

5.5.2.1. Βασικό και μηδενικό σενάριο

Αρχικά, παρατίθεται το διάγραμμα σύγκρισης μεταξύ βασικού και μηδενικού σεναρίου.



Διάγραμμα 5.29. Ποσοστιαία διαφορά καθυστερήσεων βασικού και μηδενικού σεναρίου.

Όπως παρατηρείται, το διάγραμμα έχει την ίδια τάση με εκείνη των χρόνων διαδρομής. Δηλαδή, υπάρχουν σημαντικές αυξήσεις των καθυστερήσεων στην άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας και στην άνοδο της Λ. Κηφισίας, οι οποίες φτάνουν το 80% στη διάρκεια του γεγονότος και το 360%, για την τελευταία, λίγο πριν το τέλος του.

Το πρώτο και το τελευταίο δεκαπεντάλεπτο της προσομοίωσης, οι καθυστερήσεις αυξάνονται κατά 50% στην κάθοδο της Λ. Βασ. Σοφίας, προς τη

Λ. Μεσογείων και κατά 130% στην άνοδο της Λ. Μεσογείων μέχρι το ύψος της Φειδιππίδου, από το 4500 μέχρι το 5400. Στη συνέχεια της λεωφόρου δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια σημαντική αύξηση των καθυστερήσεων.

5.5.2.2. Βασικό και 1^ο σενάριο αντιμετώπισης

Ακολουθεί η αξιολόγηση του πρώτου σεναρίου αντιμετώπισης ως προς τις καθυστερήσεις που καταγράφονται στις κρίσιμες διαδρομές του δικτύου.



Διάγραμμα 5.30. Ποσοστιαία διαφορά καθυστερήσεων βασικού και 1^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.

Στην άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας, οι καθυστερήσεις έχουν μειωθεί, καθώς το ποσοστό που φτάνουν είναι μόλις 10% στη διάρκεια του συμβάντος, ενώ σημαντικό είναι το ποσοστό - 20% που σημειώνεται το δεύτερο τέταρτο, στο τμήμα από την ΠΜΜ23 έως την οδό Παπαρηγοπούλου, το οποίο φανερώνει τη βελτίωση της κυκλοφοριακής κατάστασης.

Η αύξηση των καθυστερήσεων στην άνοδο της Λ. Κηφισίας εξακολουθεί να είναι μεγάλη (190%) έως και 10 λεπτά μετά τη λήξη του γεγονότος, ωστόσο είναι σημαντικά μικρότερη από το 360% που καταγράφεται χωρίς την επέμβαση στη φωτεινή σηματοδότηση.

Όπως έχει αναφερθεί και για τους χρόνους διαδρομής, σημειώνεται αύξηση των καθυστερήσεων στη στροφή από Λ. Βασ. Σοφίας για Λ. Μεσογείων, όπως και στην άνοδο της Λ. Μεσογείων έως την οδό Φειδιππίδου. Αυτή η αύξηση, όμως,

παραμένει σε λογικά πλαίσια, συγκριτικά με τις αυξήσεις που παρατηρούνταν στην άνοδο της Λ. Κηφισίας.

5.5.2.3. Βασικό και 2^ο σενάριο αντιμετώπισης

Παρακάτω πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ του βασικού και του δεύτερου σεναρίου αντιμετώπισης, για την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς τη βελτίωση των καθυστερήσεων, που προέρχεται από την καθοδήγηση των οχημάτων μέσω της ΠΜΜ23.



Διάγραμμα 5.31. Ποσοστιαία διαφορά καθυστερήσεων βασικού και 2^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.

Το πρώτο πράγμα που αξίζει να τονισθεί είναι η βελτίωση στην άνοδο της Λ. Κηφισίας, από την ΠΜΜ23 έως την Πανόρμου, όπου προκύπτουν αρνητικά ποσοστά, άρα η καθυστέρηση σε αυτά τα τμήματα είναι μικρότερη και από το βασικό σενάριο.

Η μεγαλύτερη αύξηση στις καθυστερήσεις στην άνοδο της Λ. Κηφισίας φτάνει το 260% κατά τη διάρκεια του δεύτερου δεκαπεντάλεπτου (2700 – 3600), ενώ υπενθυμίζεται πως χωρίς επέμβαση το ποσοστό αυτό ήταν 360%. Στη συνέχεια το δίκτυο επανέρχεται.

Σε αυτήν την περίπτωση, ωστόσο, δεν μπορούν να αγνοηθούν οι μεγάλες καθυστερήσεις που προκύπτουν στο τμήμα του δικτύου το οποίο χρησιμοποιείται ως εναλλακτική διαδρομή. Η επιδείνωση της ανόδου της Λ. Μεσογείων ξεκινά

δέκα λεπτά μετά τη λήξη του συμβάντος, με αύξηση στις καθυστερήσεις έως 860%, και καταλήγει, στο τέλος της προσομοίωσης, να παρουσιάζει αύξηση έως 2350%. Για να γίνει πιο κατανοητό, αναφέρεται ότι το ποσοστό αυτό αντιστοιχεί σε 14 λεπτά καθυστέρηση, ενώ στο βασικό σενάριο η αντίστοιχη καθυστέρηση ήταν περίπου μισό λεπτό. Ως επακόλουθο, αυξάνονται και οι καθυστερήσεις στη Λ. Κατεχάκη, έως 60%.

5.5.3. Σύγκριση αριθμού στάσεων ανά όχημα

Σημαντική είναι και η σύγκριση του μέσου αριθμού στάσεων ανά όχημα στα οδικά τμήματα άμεσου ενδιαφέροντος, για τη διεξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη βελτίωση του οδικού δικτύου.

5.5.3.1. Βασικό και μηδενικό σενάριο

Το διάγραμμα που ακολουθεί αφορά στην ποσοστιαία μεταβολή του μέσου αριθμού στάσεων ανά όχημα όπως προέκυψε από το μηδενικό σενάριο ως προς το βασικό.



Διάγραμμα 5.32. Ποσοστιαία διαφορά μέσου αριθμού στάσεων ανά όχημα βασικού και μηδενικού σεναρίου.

Όπως εύκολα διαπιστώνεται από το παραπάνω διάγραμμα, η σημαντικότερη αύξηση του μέσου αριθμού στάσεων ανά όχημα καταγράφεται κατά τη διάρκεια

του γεγονότος αλλά και δέκα λεπτά μετά τη λήξη του στην άνοδο της Λ. Κηφισίας. Η αύξηση αυτή πλησιάζει το 400%, στην πράξη οι στάσεις από 3 έγιναν 16. Αύξηση, επίσης, αλλά μικρότερου βαθμού, σημειώνεται στην άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας, κυρίως μετά το πέρας του γεγονότος, αφότου δηλαδή η επίδρασή του έχει εξαπλωθεί στο δίκτυο. Κάποιες μικρότερες μεταβολές παρατηρούνται στην αρχή της ανόδου της Λ. Μεσογείων.

5.5.3.2. Βασικό και 1^ο σενάριο αντιμετώπισης

Ακολουθεί η σύγκριση του μέσου αριθμού στάσεων ανά όχημα μεταξύ του βασικού σεναρίου και του πρώτου σεναρίου αντιμετώπισης.



Διάγραμμα 5.33. Ποσοστιαία διαφορά μέσου αριθμού στάσεων ανά όχημα βασικού και 1^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.

Όπως παρατηρείται, η κατάσταση στην άνοδο της Λ. Κηφισίας εξακολουθεί να είναι αρκετά δυσμενής, ωστόσο η αύξηση του αριθμού στάσεων σε αυτήν την περίπτωση είναι 12 στάσεις έναντι των 3 στο βασικό σενάριο, κατά το δεύτερο δεκαπεντάλεπτο της προσομοίωσης. Ελάχιστα διαφέρουν οι αριθμοί για την άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας, ενώ μάλιστα σημειώνονται και μειώσεις σε ορισμένα σημεία. Σε αυτό το σενάριο, ωστόσο, ο αριθμός στάσεων έχει αυξηθεί, αλλά όχι σημαντικά, στην κάθοδο της Λ. Βασ. Σοφίας στη στροφή για Λ. Μεσογείων, καθώς και στην άνοδο της Λ. Μεσογείων. Αυτό οφείλεται στις σχετικά αυξημένες καθυστερήσεις σε εκείνα τα σημεία, όπως αναλύθηκε σε προηγούμενη ενότητα.

5.5.3.3. Βασικό και 2^ο σενάριο αντιμετώπισης

Η σύγκριση του μέσου αριθμού στάσεων ολοκληρώνεται με το διάγραμμα ποσοστιαίας διαφοράς του αριθμού που προέκυψε από το δεύτερο σενάριο αντιμετώπισης σε σχέση με το βασικό σενάριο.



Διάγραμμα 5.34. Ποσοστιαία διαφορά μέσου αριθμού στάσεων ανά όχημα βασικού και 2^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.

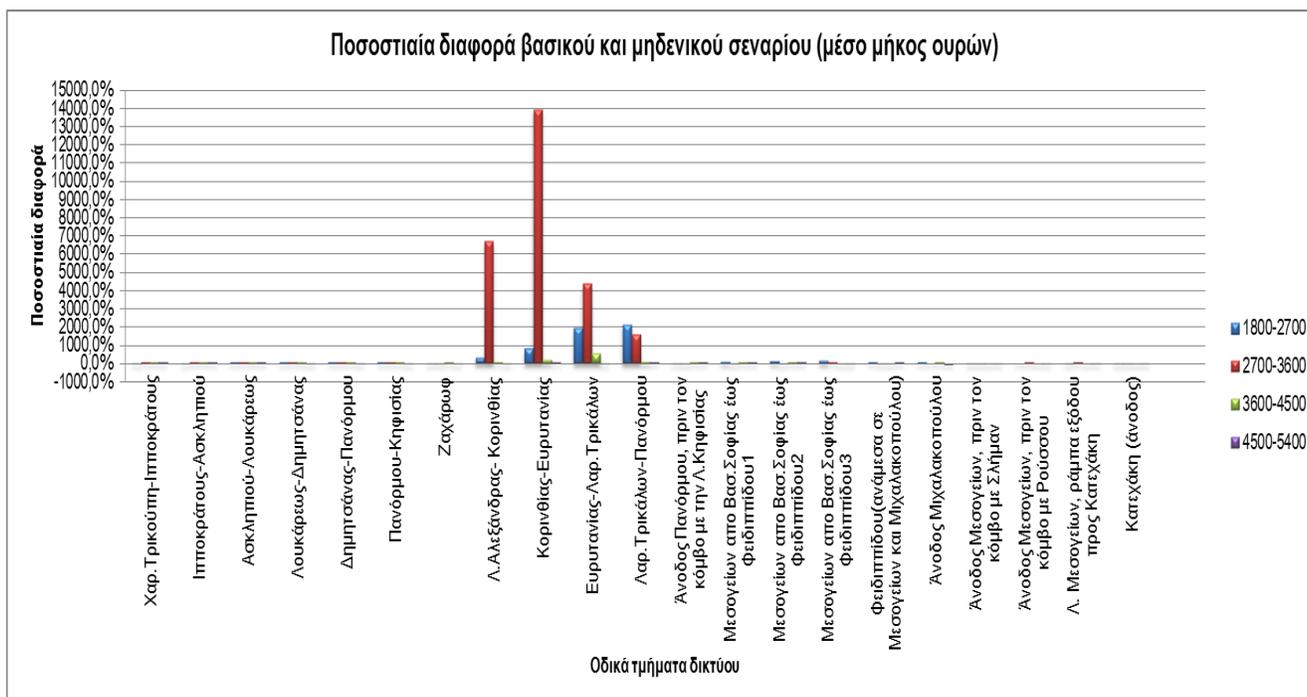
Η εικόνα η οποία παρουσιάζεται στο συγκεκριμένο διάγραμμα φανερώνει μία αρκετά διαφορετική κατάσταση ως προς τις εναλλακτικές διαδρομές που χρησιμοποιήθηκαν. Καταρχάς, όσον αφορά στη Λ. Κηφισίας, παρότι το δίκτυο επανέρχεται γρηγορότερα, στο δεύτερο δεκαπεντάλεπτο της προσομοίωσης η βελτίωση είναι μηδαμινή, καθώς ο αριθμός μειώνεται μόλις κατά μία στάση. Εξαίρεση αποτελεί η άνοδος της Λ. Αλεξάνδρας όπου τα ποσοστά εμφανίζονται αρνητικά, πράγμα που σημαίνει ότι το σενάριο αυτό ήταν ιδιαίτερα ευνοϊκό για αυτήν την οδό. Σε αντιδιαστολή με αυτό, η άνοδος της Λ. Μεσογείων, ήδη από την αρχή της, παρουσιάζει έντονες αυξήσεις του μέσου αριθμού στάσεων ανά όχημα. Η σημαντικότερη αύξηση καταγράφεται στην άνοδο της Μιχαλακοπούλου και στη συνέχεια στην άνοδο της Λ. Μεσογείων μέχρι τη ράμπα εξόδου προς τη Λ. Κατεχάκη, όπου ο μέσος αριθμός στάσεων προκύπτει 27 από 1 στάση που ήταν στο βασικό σενάριο.

5.5.4. Σύγκριση μήκους ουρών

Ακολουθεί η σύγκριση του μήκους ουρών στα κρίσιμα οδικά τμήματα του δικτύου μεταξύ των διαφορετικών σεναρίων. Σημειώνεται πως εδώ συμπεριλαμβάνονται όλα τα οδικά τμήματα σε ένα διάγραμμα και δεν παρουσιάζονται ανά οδό, όπως στις προηγούμενες ενότητες, προκειμένου να υπάρχει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα.

5.5.4.1. Βασικό και μηδενικό σενάριο

Παρακάτω παρουσιάζεται η, απαραίτητη, πρώτη σύγκριση μεταξύ βασικού και μηδενικού σεναρίου όσον αφορά στο μήκος των ουρών.



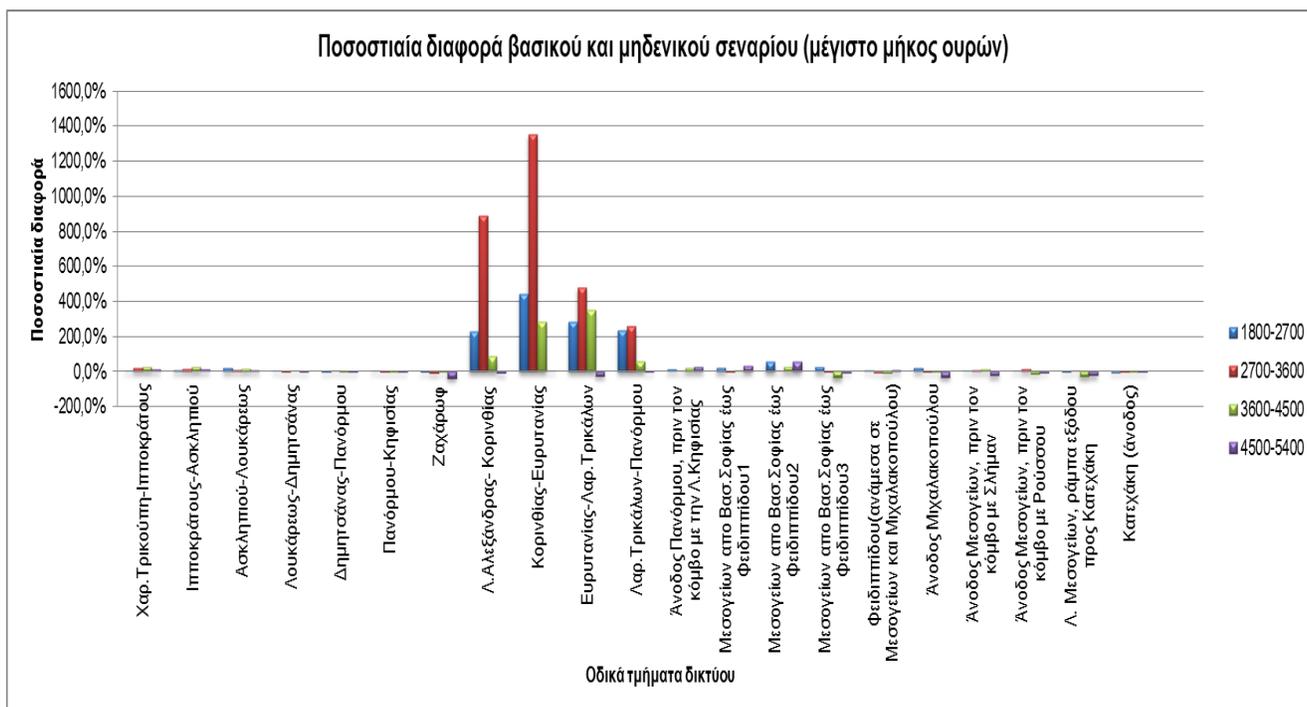
Διάγραμμα 5.35. Ποσοστιαία διαφορά μέσου μήκους ουρών βασικού και μηδενικού σεναρίου.

Καθώς τα ποσοστά στο διάγραμμα δεν είναι ξεκάθαρα, λόγω ακραίων τιμών σε ορισμένα σημεία, αναφέρονται στη συνέχεια αναλυτικότερα για τα κρίσιμα τμήματα.

Στην άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας, σημειώνονται αυξήσεις από 5% έως 28% στο πρώτο δεκαπεντάλεπτο, από 4% έως 45% στο δεύτερο δεκαπεντάλεπτο, από

5% έως 52% στο τρίτο δεκαπεντάλεπτο και από 13% έως 30% στο τελευταίο δεκαπεντάλεπτο της προσομοίωσης. Η οδός Ζαχάρωφ εμφανίζει μείωση του μήκους ουράς της, με εξαίρεση το διάστημα 3600-4500, καθώς η αυξημένη κίνηση στη Λ. Αλεξάνδρας, δεν επιτρέπει σε μεγάλο αριθμό οχημάτων να στρίψουν προς αυτήν.

Τα παραπάνω είναι συνέπεια της δημιουργίας εξαιρετικά μεγάλων ουρών στην άνοδο της Λ. Κηφισίας. Κυρίως στη διάρκεια του γεγονότος, αλλά και μέχρι δέκα λεπτά μετά από αυτό, τα ποσοστά αύξησης των ουρών φανερώνουν την αξιοσημείωτη επίδραση του γεγονότος στη Λ. Κηφισίας. Τα ποσοστά αυτά, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα, ξεκινούν από 1500% και φτάνουν σχεδόν 14000% στο τμήμα μεταξύ Κορινθίας – Ευρυτανίας. Αυτό, πρακτικά, για το συγκεκριμένο σημείο, σημαίνει ότι από 2 μέτρα ουρά που εμφανιζόταν στο βασικό σενάριο, πλέον εμφανίζεται ουρά 320 μέτρα.

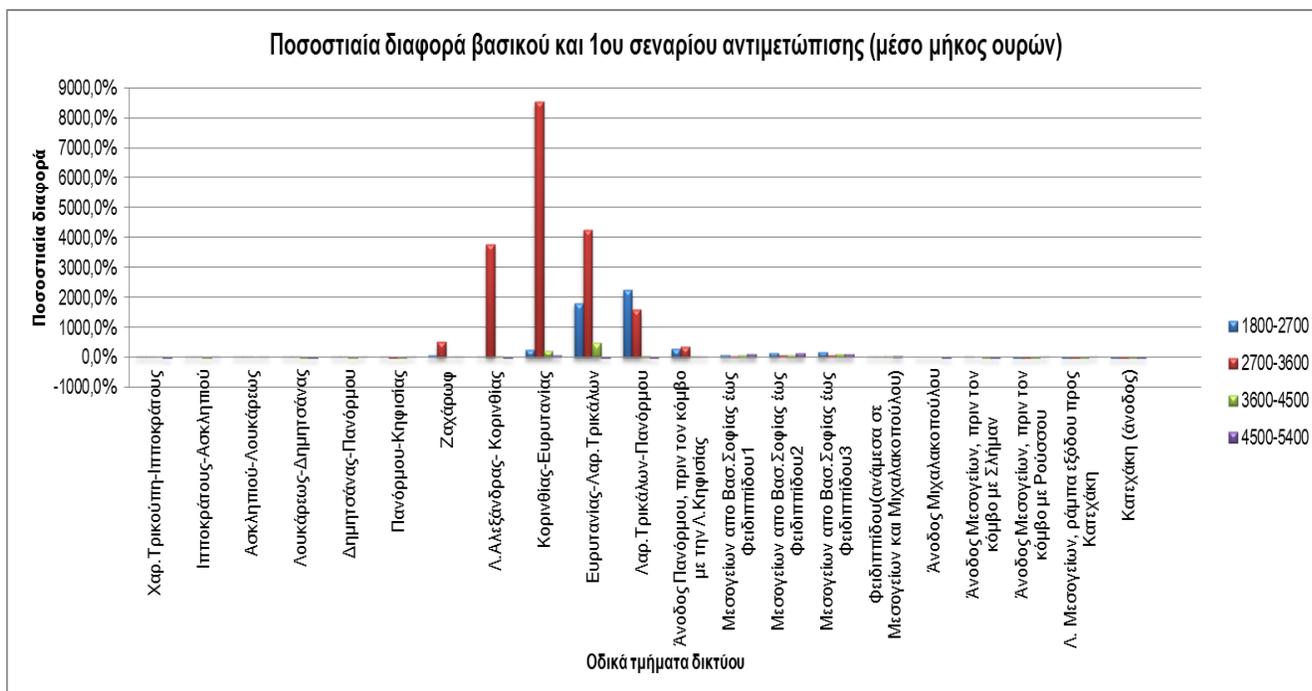


Διάγραμμα 5.36. Ποσοστιαία διαφορά μέγιστου μήκους ουρών βασικού και μηδενικού σεναρίου.

Οι μέγιστες τιμές στα μήκη ουρών διαφέρουν με το βασικό σενάριο ομοίως με τον τρόπο που διαφέρουν οι μέσες τιμές. Εδώ, ωστόσο, η μέγιστη αύξηση στην άνοδο της Λ. Κηφισίας, πλησιάζει το 1400%, ενώ ακολουθεί το 900%. Γενικότερα, η κατάσταση ως προς τις ουρές που σχηματίζονται είναι δυσμενής και φανερώνει την ανάγκη επέμβασης.

5.5.4.2. Βασικό και 1^ο σενάριο αντιμετώπισης

Παρακάτω, αξιολογείται το πρώτο σενάριο, μέσω υπολογισμού των ποσοστιαίων διαφορών που προκύπτουν με το βασικό σενάριο, ώστε να εκτιμηθεί η βελτίωση του δικτύου ως προς το σχηματισμό ουρών.

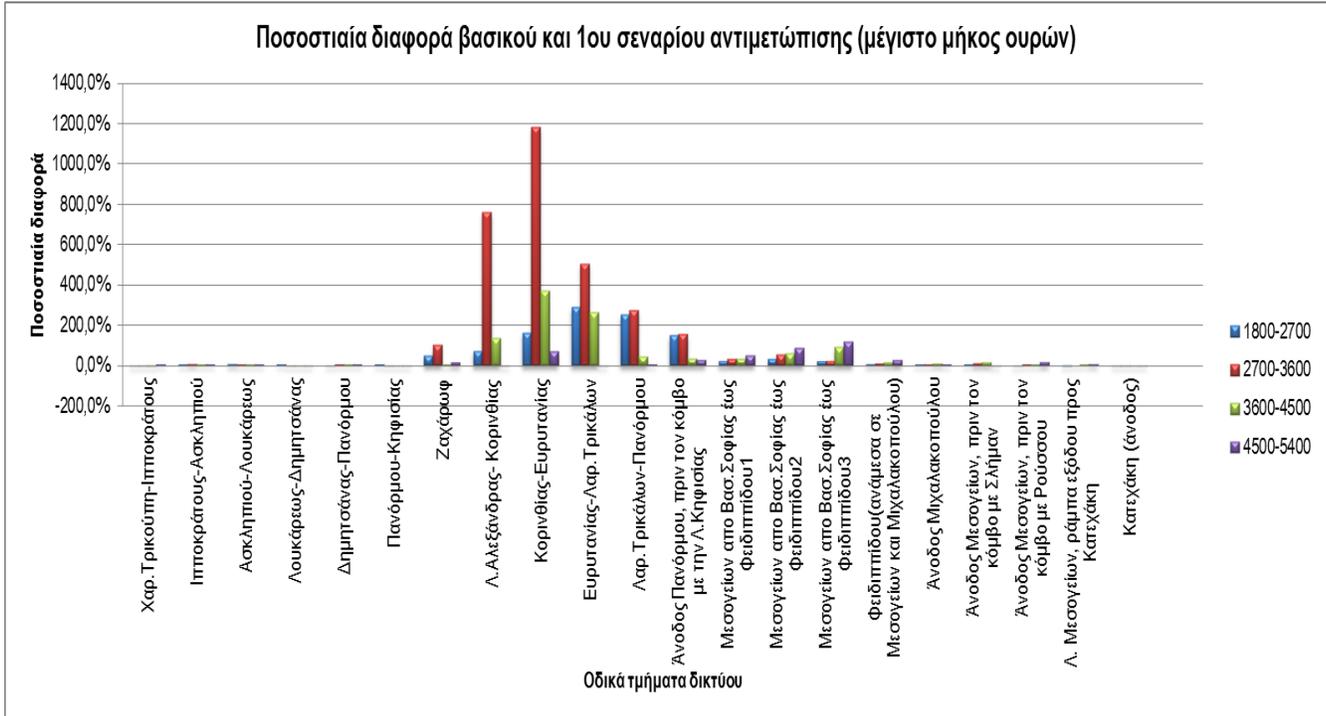


Διάγραμμα 5.37. Ποσοστιαία διαφορά μέσου μήκους ουρών βασικού και 1^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.

Τα ποσοστά αύξησης που σημειώνονται στην άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας, σε αυτήν την περίπτωση, είναι αρκετά μειωμένα. Αναλυτικότερα, στο πρώτο δεκαπεντάλεπτο ξεκινούν από 3% έως 25% ενώ στο δεύτερο δεκαπεντάλεπτο από 0,1% έως 13%. Στο τρίτο δεκαπεντάλεπτο η μόνη αύξηση είναι 0,3% από τη Χαριλάου Τρικούπη έως την Ιπποκράτους και από την Ασκληπιού έως τη Λουκάρεως. Στα υπόλοιπα τμήματα, τα ποσοστά αυτά είναι αρνητικά, κάτι που κάνει φανερή τη βελτίωση της κατάστασης λόγω της επέμβασης στη φωτεινή σηματοδότηση.

Μεγάλα ποσοστά αύξησης εξακολουθεί να έχει το μήκος των ουρών στην άνοδο της Λ. Κηφισίας, αλλά με μικρότερες τιμές σε σχέση με το μηδενικό σενάριο, επομένως υπάρχει βελτίωση. Αν «μεταφραστούν» τα ποσοστά σε μήκη, εδώ

υπάρχει αύξηση κατά 196 μέτρα στην ουρά, σε αντίθεση με την αύξηση των 320 μέτρων στο σενάριο χωρίς καμία επέμβαση.

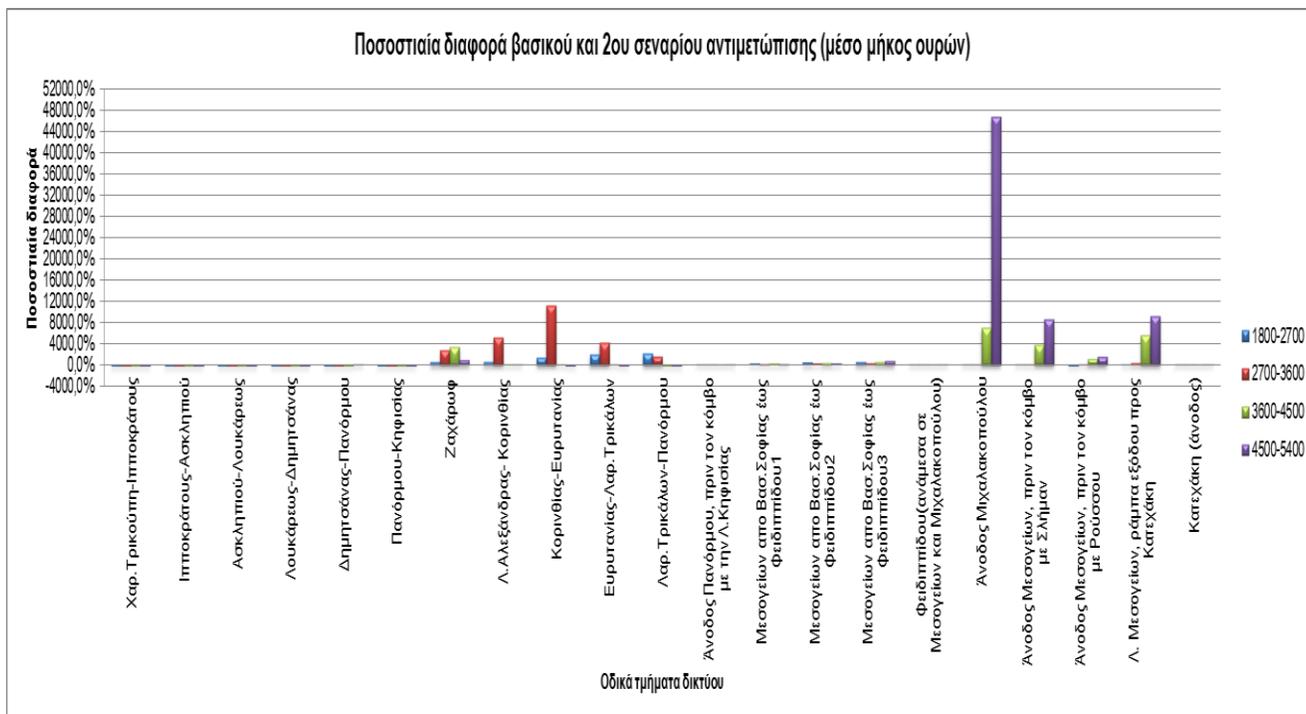


Διάγραμμα 5.38. Ποσοστιαία διαφορά μέγιστου μήκους ουρών βασικού και 1^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.

Η ίδια τάση παρατηρείται και στα ποσοστά, όπως αυτά έχουν προκύψει από τη σύγκριση μεταξύ των μέγιστων τιμών του μήκους των ουρών.

5.5.4.3. Βασικό και 2^ο σενάριο αντιμετώπισης

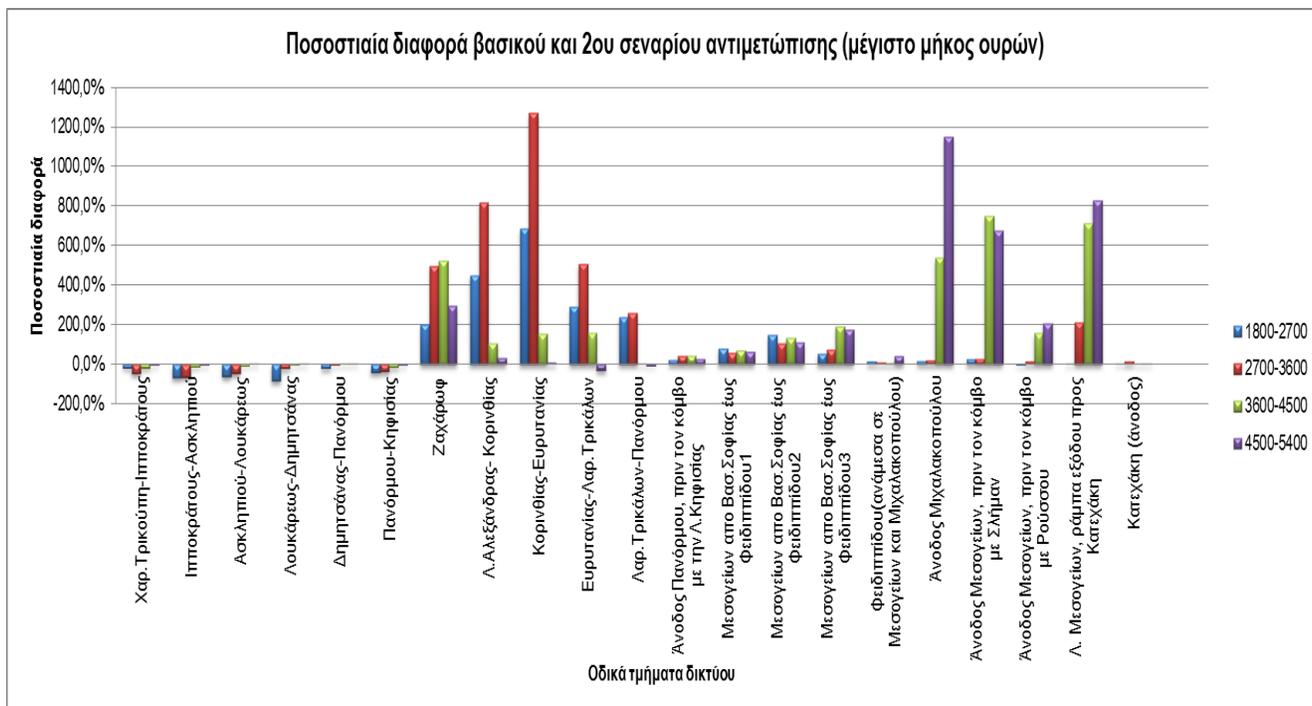
Ακολουθεί η αξιολόγηση του δεύτερου σεναρίου αντιμετώπισης ως προς τα μήκη ουρών στο δίκτυο.



Διάγραμμα 5.39. Ποσοστιαία διαφορά μέσου μήκους ουρών βασικού και 2^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.

Η κατάσταση του δικτύου όσον αφορά στην άνοδο της Λ. Κηφισίας και την άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας, είναι σαφώς βελτιωμένη μετά την καθοδήγηση των οχημάτων για επιλογή εναλλακτικής διαδρομής. Ιδιαίτερη στη Λ. Αλεξάνδρας, τα αρνητικά ποσοστά δείχνουν μείωση των ουρών κατά μήκος της σε σχέση με το βασικό σενάριο. Όσον αφορά στην άνοδο της Λ. Κηφισίας, ναι μεν υπάρχει τα ποσοστά είναι μικρότερα από ότι στη σύγκριση με το μηδενικό σενάριο, αλλά εξακολουθούν να είναι αρκετά μεγάλα.

Είναι αξιοπρόσεκτη, επίσης, η αύξηση του μήκους των ουρών στην άνοδο της Λ. Μεσογείων, η οποία αγγίζει το 8500% στο μεγαλύτερο μέρος της, καθώς και το 47000% στην άνοδο της οδού Μιχαλακοπούλου.



Διάγραμμα 5.40. Ποσοστιαία διαφορά μέγιστου μήκους ουρών βασικού και 2^{ου} σεναρίου αντιμετώπισης.

Οι ακραίες τιμές που διακρίνονται στο διάγραμμα, εκτός από τα κρίσιμα τμήματα της ανόδου της Λ. Κηφισίας, αφορούν και στην οδό Ζαχαρώφ αλλά και στη Λ. Μεσογείων. Όπως είχε αναφερθεί στην ανάλυση του δεύτερου σεναρίου αντιμετώπισης, τα τμήματα αυτά του δικτύου επηρεάστηκαν σημαντικά από την αλλαγή διαδρομών, με αποτέλεσμα την αύξηση του μήκους των ουρών τους. Για αυτό το λόγο και εμφανίζουν τόσο μεγάλες διαφορές από το βασικό σενάριο.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται αναφορά στα **συμπεράσματα** που προκύπτουν από τη διερεύνηση της επιρροής ενός κυκλοφοριακού γεγονότος στο υπό μελέτη δίκτυο και της προσπάθειας βελτίωσης των κυκλοφοριακών συνθηκών με την εφαρμογή δύο εναλλακτικών σεναρίων για την αντιμετώπισή του, μετά από την εφαρμογή προσομοιώσεων. Η εξαγωγή των συμπερασμάτων έγκειται κυρίως στην ανάλυση των δεικτών λειτουργικής απόδοσης, όπως αυτοί έχουν προκύψει από το κάθε σενάριο. Στο τέλος, ακολουθεί η παράθεση ορισμένων **προτάσεων** για περαιτέρω έρευνα και μελλοντική διερεύνηση στο συγκεκριμένο πεδίο.

6.1. Σύνοψη αποτελεσμάτων

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η εξέταση της μεταβολής των κυκλοφοριακών συνθηκών σε κύριο αστικό οδικό δίκτυο μετά από ένα κυκλοφοριακό συμβάν και η **συγκριτική ανάλυση εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης της κυκλοφορίας** με τη χρήση ειδικού προγράμματος μικροσκοπικής προσομοίωσης.

Η **ανάλυση** και η **προσομοίωση** των εναλλακτικών σεναρίων αντιμετώπισης κυκλοφοριακών γεγονότων, πραγματοποιήθηκε με την απεικόνιση τμήματος του οδικού δικτύου της Αθήνας, που περιλαμβάνει ολόκληρη τη λεωφόρο Αλεξάνδρας, τις λεωφόρους Κηφισίας και Μεσογείων, μέχρι το ύψος των ανισόπεδων κόμβων με τη Λ. Κατεχάκη, τη Λ. Κατεχάκη, τις οδούς Πανόρμου, Φειδιππίδου, Ζαχάρωφ καθώς και τμήμα της οδού Μιχαλακοπούλου αλλά και άλλων δευτερευουσών οδών του δικτύου για τη διαμόρφωση των κόμβων και για τη δυνατότητα δημιουργίας εναλλακτικών διαδρομών.

Καταρχήν διαμορφώθηκε στο ειδικό πρόγραμμα προσομοίωσης της κυκλοφορίας το οδικό δίκτυο με την **εισαγωγή και έλεγχο των γεωμετρικών και κυκλοφοριακών στοιχείων** σε συνθήκες πρωινής αιχμής (08:00 - 09:00). Στη συνέχεια επιλέχθηκε ως κυκλοφοριακό συμβάν, ένα οδικό τροχαίο ατύχημα με συνέπεια τον αποκλεισμό δύο λωρίδων κυκλοφορίας στην άνοδο της Λ. Κηφισίας. Η διάρκεια του γεγονότος και, κατά συνέπεια, ο αποκλεισμός των λωρίδων ήταν είκοσι λεπτά. Πραγματοποιήθηκαν εκτελέσεις του προγράμματος για το δίκτυο υπό κανονικές συνθήκες, υπό την επιρροή του συμβάντος, χωρίς καμία επέμβαση, αλλά και υπό την επιρροή του συμβάντος, με δύο εναλλακτικά

σενάρια διαχείρισής του. Για την αξιόπιστη ανάλυση των σεναρίων, επιλέχθηκαν ως **δείκτες λειτουργικής απόδοσης** ο μέσος χρόνος διαδρομής, η μέση καθυστέρηση και ο μέσος αριθμός στάσεων ανά όχημα, καθώς και το μέσο και το μέγιστο μήκος ουρών αναμονής.

Στο **πρώτο σενάριο** αντιμετώπισης, πραγματοποιήθηκε αλλαγή των χρόνων πράσινης ένδειξης στους κόμβους της Λ. Κηφισίας, έως το ύψος της Πανόρμου όπου συνέβαινε το γεγονός, προκειμένου να δοθεί προτεραιότητα στην ευθεία κίνηση της λεωφόρου. Στο **δεύτερο σενάριο** αντιμετώπισης, δόθηκε μήνυμα στην Πινακίδα Μεταβλητών Μηνυμάτων της Λ. Αλεξάνδρας (ΠΜΜ23), για την πληροφόρηση των οδηγών με πρόταση για επιλογή εναλλακτικής διαδρομής μέσω της Λ. Μεσογείων. Σε όλα τα σενάρια, το δίκτυο προλαβαίνει να επανέλθει μέχρι μία ώρα από την έναρξη του συμβάντος, με εξαίρεση το δεύτερο σενάριο αντιμετώπισης, όπου ο χρόνος επαναφοράς για ορισμένα σημεία του δικτύου είναι μεγαλύτερος.

Η εξέταση των παραπάνω σεναρίων οδήγησε στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων, τόσο για την επίδραση ενός τέτοιου γεγονότος στο δίκτυο, όσο και για τη βελτίωση που επιδέχεται το δίκτυο, σε περίπτωση εφαρμογής κάποιων μέτρων διαχείρισης της κυκλοφορίας. Ως γενική εικόνα, αξίζει να σημειωθεί η **αύξηση των χρόνων διαδρομής, των καθυστερήσεων και των ουρών** που σχηματίζονται, όταν στην περίπτωση γεγονότος δεν γίνει καμία επέμβαση στο δίκτυο. Οι αυξήσεις αυτές αφορούν, κυρίως, στα τμήματα που επηρεάζονται από την εμφάνιση γεγονότος, τα οποία στην προκειμένη περίπτωση είναι η άνοδος της Λ. Κηφισίας, η άνοδος της Λ. Αλεξάνδρας, καθώς και η άνοδος της Πανόρμου και της Λ. Μεσογείων αλλά σε πολύ μικρότερο βαθμό.

Για το πρώτο σενάριο αντιμετώπισης, τονίζεται η **σημαντική βελτίωση των παραπάνω δεικτών λειτουργικής απόδοσης** σε όλα τα κρίσιμα τμήματα του δικτύου. Για το δεύτερο σενάριο αντιμετώπισης, ομοίως η κατάσταση προκύπτει ευνοϊκότερη για την άνοδο της Λ. Κηφισίας, όπως και για την άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας, αλλά η εφαρμογή αυτού του μέτρου φαίνεται να επιδρά αρνητικά για την οδό Ζαχάρωφ και την άνοδο της Λ. Μεσογείων, οι οποίες παρουσιάζουν δυσμενή αποτελέσματα ως προς τους παραπάνω δείκτες.

Στη συνέχεια, παρατίθεται ένας πίνακας όπου παρουσιάζονται **συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα** από τη σύγκριση τριών ενδεικτικών δεικτών λειτουργικής απόδοσης κάθε εναλλακτικού σεναρίου σε σχέση με το βασικό σενάριο, για τα κρίσιμότερα τμήματα του δικτύου, σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης.

ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΙΕΣ ΕΝΑΜΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΣΕ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΟ ΒΑΣΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ												
	Μηδενικό σενάριο				Πρώτο σενάριο				Δεύτερο σενάριο			
	1ο (0-15)	2ο (15-30)	3ο (30-45)	4ο (45-60)	1ο (0-15)	2ο (15-30)	3ο (30-45)	4ο (45-60)	1ο (0-15)	2ο (15-30)	3ο (30-45)	4ο (45-60)
ΜΕΣΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ												
Δεκαπεντάλεπτα προσομοίωσης												
Λ. Αλεξάνδρας από Χαριλάου Τρικούπη έως Πανόριου	12,1%	51,0%	54,7%	40,5%	7,2%	1,6%	-1,1%	-4,2%	-67,3%	-58,3%	-17,5%	-12,1%
Λ. Αλεξάνδρας (ήλιο μετά την Πανόριου) - Ζαχάρωφ - Βασ. Σοφίας	2,9%	48,4%	-2,8%	-14,1%	-2,1%	11,7%	-1,0%	-6,9%	11,3%	99,3%	130,4%	180,7%
Λ. Αλεξάνδρας (ήλιο μετά την Πανόριου) - Κρησίας (έως Πανόριου)	52,5%	243,5%	17,9%	-12,9%	34,0%	129,4%	2,3%	8,6%	25,8%	174,5%	-12,3%	6,4%
Άνοδος Μιχαλακοπούλου (ήλιο πριν τη Φεδιππίδου), άνοδος Λ. Μεσογείων έως τη ράμπα εξόδου στον ΑΙΚ με την Κατεχάκη	-0,7%	1,3%	-1,4%	-0,3%	-0,1%	1,8%	1,6%	1,0%	1,0%	5,4%	239,6%	652,9%
ΜΕΣΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΑΣΕΩΝ ΑΝΑ ΟΧΗΜΑ												
Λ. Αλεξάνδρας από Χαριλάου Τρικούπη έως Πανόριου	19,7%	35,0%	28,9%	-0,6%	14,0%	3,0%	-2,9%	-9,4%	-84,5%	-2,0%	94,0%	4,8%
Λ. Αλεξάνδρας (ήλιο μετά την Πανόριου) - Ζαχάρωφ - Βασ. Σοφίας	11,1%	13,0%	-6,5%	-15,1%	8,4%	2,2%	-2,0%	-6,1%	-68,7%	59,4%	356,4%	6,4%
Λ. Αλεξάνδρας (ήλιο μετά την Πανόριου) - Κρησίας (έως Πανόριου)	129,8%	383,0%	21,9%	-16,9%	101,9%	245,4%	7,9%	12,9%	-24,4%	113,9%	-8,1%	854,1%
Άνοδος Μιχαλακοπούλου (ήλιο πριν τη Φεδιππίδου), άνοδος Λ. Μεσογείων έως τη ράμπα εξόδου στον ΑΙΚ με την Κατεχάκη	0,2%	0,1%	-1,3%	-2,3%	1,6%	-0,2%	2,7%	1,1%	-21,8%	125,7%	7,6%	2613,7%
ΜΕΣΟ ΜΗΚΟΣ ΟΥΡΑΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ												
Λ. Αλεξάνδρας μεταξύ Ασκληπιού και Λουκαρέως (άνοδος)	21,4%	22,2%	28,7%	13,2%	19,1%	4,7%	0,3%	0,3%	-89,0%	-83,6%	-24,9%	-4,9%
Λ. Αλεξάνδρας μεταξύ Λουκαρέως και Δημητσάνας (άνοδος)	27,6%	7,3%	0,3%	-0,9%	12,7%	1,5%	-2,3%	-0,2%	-98,3%	-67,4%	-9,8%	-2,8%
Λ. Αλεξάνδρας μεταξύ Δημητσάνας και Πανόριου (άνοδος)	5,3%	3,9%	0,8%	-0,2%	2,8%	0,1%	-1,6%	0,9%	-69,4%	-29,5%	-1,6%	0,6%
Λ. Αλεξάνδρας μεταξύ Πανόριου και Λ. Κρησίας (άνοδος)	4,7%	1,2%	4,0%	-5,0%	7,5%	-1,0%	-5,6%	0,9%	-69,7%	-57,0%	-42,6%	-5,8%
Οδός Ζαχάρωφ	-22,1%	-35,4%	5,2%	-60,2%	73,0%	523,0%	19,1%	34,4%	636,9%	2878,8%	3360,0%	926,1%
Λ. Κρησίας μεταξύ Λ. Αλεξάνδρας και Κορινθίας (άνοδος)	302,9%	6694,6%	44,7%	-13,9%	8,8%	3770,3%	44,7%	-5,6%	661,8%	5164,9%	55,3%	5,6%
Λ. Κρησίας μεταξύ Κορινθίας και Ευρυτανίας (άνοδος)	835,7%	13939,1%	186,7%	7,7%	267,9%	8530,4%	226,7%	76,9%	1435,7%	11221,7%	106,7%	-7,7%
Λ. Κρησίας μεταξύ Ευρυτανίας και Λαρ. Τρικάλων (άνοδος)	1933,3%	4382,4%	553,2%	-26,5%	1822,2%	4272,5%	485,1%	-6,1%	2019,4%	4258,8%	176,6%	-42,9%
Λ. Κρησίας μεταξύ Λαρ. Τρικάλων και Πανόριου (άνοδος)	2134,1%	1567,0%	83,2%	2,2%	2262,6%	1589,8%	65,3%	-3,3%	2149,5%	1576,1%	-5,0%	-24,4%
Λ. Μεσογείων από Λ. Βασ. Σοφίας έως Φεδιππίδου	118,5%	-6,9%	10,2%	79,7%	150,1%	71,4%	96,1%	142,1%	501,5%	321,3%	419,6%	345,5%
Άνοδος Λ. Μεσογείων, πριν τον κόμβο με Σ. Μήλιον	-5,9%	-3,7%	-5,4%	-13,2%	5,9%	0,0%	-10,7%	-3,8%	19,6%	9,3%	3717,9%	8500,0%
Άνοδος Λ. Μεσογείων, πριν τον κόμβο με Ρούσσου	0,0%	2,7%	-13,9%	-11,1%	-4,0%	-0,9%	-0,8%	3,4%	-2,4%	16,4%	1091,8%	1517,9%
Λ. Μεσογείων, ράμπα εξόδου προς Κατεχάκη	-12,2%	3,7%	-41,7%	-33,3%	-6,1%	-16,7%	-16,7%	10,4%	8,2%	411,1%	5654,2%	9089,6%

Πίνακας 6.1. Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων.

6.2. Σύνοψη συμπερασμάτων

Κατά τα διάφορα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας προέκυψαν χρήσιμα και ενδιαφέροντα αποτελέσματα τα οποία συνδέονται άμεσα με τους **αρχικούς στόχους** και τα **ερωτήματά** της. Στο παρόν υποκεφάλαιο επιχειρείται να δοθεί απάντηση στα ερωτήματα αυτά, με σύνθεση των αποτελεσμάτων των προηγούμενων κεφαλαίων.

Χρόνος επαναφοράς συστήματος

Το βασικό συμπέρασμα αφορά στο χρόνο που χρειάζεται το οδικό δίκτυο για να επανέλθει στην κανονική του λειτουργία, μετά από το κυκλοφοριακό συμβάν που προσομοιώθηκε. Διαπιστώθηκε ότι στο **μηδενικό σενάριο**, όπου δεν εφαρμόστηκε καμία επέμβαση στο δίκτυο, στην άνοδο της Λ. Κηφισίας, το δίκτυο είχε επανέλθει πλήρως το τελευταίο δεκαπεντάλεπτο της προσομοίωσης, δηλαδή δέκα λεπτά μετά τη λήξη του συμβάντος. Όσον αφορά στην άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας, το δίκτυο, σαράντα λεπτά μετά το πέρας του συμβάντος, παρότι εμφανίζει βελτίωση ως προς τους χρόνους διαδρομής και τις καθυστερήσεις, αλλά και τις ουρές που σχηματίζονται, δεν προλαβαίνει να επανέλθει πλήρως.

Με την εφαρμογή του **πρώτου σεναρίου** αντιμετώπισης, η παραπάνω εικόνα βελτιώνεται σημαντικά, καθώς πέντε λεπτά μετά την επαναλειτουργία των λωρίδων στην άνοδο της Λ. Κηφισίας, οι τιμές των χρόνων διαδρομής και των καθυστερήσεων έχουν μειωθεί σε μεγάλο βαθμό. Το ίδιο ισχύει και για την άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας, όπου κι εκεί οι τιμές των παραπάνω δεικτών εμφανίζονται μειωμένες, όχι μόνο σε σχέση με το μηδενικό σενάριο αλλά και σε σχέση με το βασικό. Ιδιαίτερα ενθαρρυντικά είναι και τα αποτελέσματα των χρόνων διαδρομής, των καθυστερήσεων και των ουρών προς το τέλος της προσομοίωσης, κυρίως για το τμήμα της ανόδου της Λ. Αλεξάνδρας, κάτι που υποδηλώνει την ταχεία επαναφορά του συστήματος σε φυσιολογικές συνθήκες.

Ωστόσο, στο **δεύτερο σενάριο**, διαπιστώνεται αδυναμία γρήγορης επαναφοράς του οδικού δικτύου στο τμήμα της οδού Μιχαλακοπούλου, της ανόδου της Λ. Μεσογείων και της Λ. Κατεχάκη, καθώς τα τριανταπέντε λεπτά που απομένουν από τη λήξη του συμβάντος και την αφαίρεση του μηνύματος για επιλογή εναλλακτικής διαδρομής στην πινακίδα ΠΜΜ23, δεν επαρκούν ώστε τα επιπλέον οχήματα να έχουν απομακρυνθεί εγκαίρως από αυτούς τους οδικούς άξονες και το δίκτυο να λειτουργεί κανονικά, όπως στο βασικό σενάριο.

Χρόνοι διαδρομής

Η επιδείνωση της κυκλοφοριακής κατάστασης του δικτύου είναι προφανής στη διάρκεια του γεγονότος, αλλά και στη συνέχεια, ως προς τους χρόνους διαδρομής που καταγράφονται στα οδικά τμήματα, στο μηδενικό σενάριο. Οι χρόνοι αυτοί βελτιώνονται σημαντικά με την εφαρμογή των σεναρίων αντιμετώπισης. Αναλυτικότερα, για το **πρώτο σενάριο** αντιμετώπισης, ο χρόνος διαδρομής στην άνοδο της Λ. Κηφισίας, μειώνεται περίπου στα δύο τρίτα από όσο είχε υπολογισθεί στο μηδενικό σενάριο, στο δεύτερο δεκαπεντάλεπτο της προσομοίωσης. Την ίδια τάση ακολουθούν και οι χρόνοι διαδρομής στην άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας.

Στο **δεύτερο σενάριο**, ο χρόνος διαδρομής στη Λ. Κηφισίας έχει μειωθεί κατά 20% σε σχέση με το μηδενικό σενάριο. Στην άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας, η κατάσταση είναι ιδιαίτερα ευνοϊκή καθώς οι χρόνοι διαδρομής που παρατηρούνται είναι μικρότεροι και από του βασικού σεναρίου. Στο συγκεκριμένο σενάριο, όμως, παρατηρούνται αυξημένοι χρόνοι διαδρομής κατά εξαιρετικά μεγάλα ποσοστά, για τις οδούς Ζαχάρωφ, Φειδιππίδου, μεταξύ Λ. Μεσογείων και Μιχαλακοπούλου, Μιχαλακοπούλου και τη Λ. Μεσογείων.

Καθυστερήσεις

Ως προς τις καθυστερήσεις, τα αποτελέσματα δεν διαφέρουν σημαντικά από εκείνα για τους χρόνους διαδρομής καθώς είναι μεγέθη αλληλένδετα. Παρατηρήθηκε αύξηση των καθυστερήσεων κατά το μηδενικό σενάριο, στα κρίσιμα σημεία του δικτύου, ενώ ακολούθησε σημαντική βελτίωση των τιμών αυτών με την εφαρμογή των σεναρίων αντιμετώπισης. Η βελτίωση στη **Λ. Κηφισίας** ήταν μεγαλύτερη στο πρώτο σενάριο αντιμετώπισης, ενώ ήταν μικρότερη στο δεύτερο.

Αντίστροφη ήταν η εξέλιξη για τη **Λ. Αλεξάνδρας**, αφού εκεί το δεύτερο σενάριο αποδείχτηκε πιο αποτελεσματικό σε σχέση με το πρώτο. Αλλά και σε αυτήν την περίπτωση, το δεύτερο σενάριο λειτούργησε δυσμενώς για τις καθυστερήσεις των οδών Ζαχάρωφ, Φειδιππίδου, Μιχαλακοπούλου και της ανόδου της Λ. Μεσογείων, οι οποίες αυξήθηκαν σημαντικά στη διάρκεια του.

Αριθμός στάσεων ανά όχημα

Η αύξηση του μέσου αριθμού στάσεων ανά όχημα στην περίπτωση του μηδενικού σεναρίου ήταν σημαντική, κυρίως για την άνοδο της Λ. Κηφισίας και της Λ. Αλεξάνδρας. Οι συνεχείς εκκινήσεις και στάσεις των οχημάτων είναι σύνηθες φαινόμενο στην περίπτωση κυκλοφοριακής συμφόρησης, το οποίο οδηγεί σε δυσμενείς συνθήκες για το περιβάλλον λόγω αυξημένης εκπομπής καυσαερίων.

Η βελτίωση, επομένως, του μεγέθους αυτού ήταν κάτι παραπάνω από επιθυμητή και επιτεύχθηκε σε μεγάλο βαθμό τόσο στο πρώτο όσο και στο δεύτερο σενάριο αντιμετώπισης, για τη Λ. Κηφισίας και τη Λ. Αλεξάνδρας. Όμως, τα αποτελέσματα για την άνοδο της Λ. Μεσογείων, στη διάρκεια του δεύτερου σεναρίου αντιμετώπισης όπου επιβαρύνεται ιδιαίτερα από τον επιπλέον φόρτο που δέχεται, είναι αποθαρρυντικά καθώς η κατάσταση παρουσιάζεται πολύ δυσμενέστερη από ότι στις κανονικές συνθήκες του δικτύου.

Μήκος ουρών

Στο σενάριο όπου δεν υπήρχε καμία επέμβαση στο δίκτυο και καμία πληροφόρηση των οδηγών, οι ουρές που καταγράφηκαν ήταν ιδιαίτερα αυξημένες σε μεγάλο μήκος του δικτύου. Έως και 25 λεπτά μετά το συμβάν, εμφανίζονται μεγάλα ποσοστά κάλυψης των οδικών τμημάτων της ανόδου της Λ. Αλεξάνδρας και της Λ. Κηφισίας. Το τελευταίο δεκαπεντάλεπτο της προσομοίωσης, η κατάσταση δείχνει να επανέρχεται. Όσον αφορά στην εξέλιξη με την εφαρμογή του πρώτου σεναρίου αντιμετώπισης, τα μήκη ουρών εμφανίζονται ομοίως αυξημένα στην άνοδο της Λ. Κηφισίας, αλλά σημαντικά μικρότερα από το μηδενικό σενάριο.

Η άνοδος της Λ. Αλεξάνδρας έχει, επίσης, βελτιωθεί σημαντικά με τα μήκη ουρών να αυξάνονται το μέγιστο κατά 13% σε σχέση με το βασικό σενάριο και αυτό μόνο για ένα τέταρτο. Σημαντικότερη βελτίωση φαίνεται να παρουσιάζει η Λ. Αλεξάνδρας μετά την εφαρμογή του δεύτερου σεναρίου αντιμετώπισης, ενώ η Λ. Κηφισίας, παρότι γενικώς εμφανίζει μικρότερα μήκη ουρών συγκριτικά με το μηδενικό σενάριο, εξακολουθεί να χαρακτηρίζεται από μεγάλη κυκλοφοριακή συμφόρηση. Η αύξηση του μήκους των ουρών που δε μπορεί να αγνοηθεί αφορά στις οδούς Ζαχάρωφ, Φειδιππίδου, μεταξύ Λ. Μεσογείων και Μιχαλακοπούλου, στην άνοδο της Μιχαλακοπούλου και στην άνοδο της Λ. Μεσογείων.

Συνολική σύγκριση εναλλακτικών σεναρίων

Όπως διαπιστώνεται από τα παραπάνω, επιτεύχθηκε αξιόλογη **βελτίωση** του οδικού δικτύου, με την εφαρμογή των δύο μέτρων διαχείρισης της κυκλοφορίας που επιλέχθηκαν. Ωστόσο, το δεύτερο σενάριο μέτρων που αφορά στην ενεργητική καθοδήγηση των οδηγών μέσω πινακίδας μεταβλητών μηνυμάτων σε εναλλακτική διαδρομή, φαίνεται ότι είχε και καλύτερες αλλά και **δυσμενέστερες επιπτώσεις** για το τμήμα του δικτύου το οποίο καλείται να εξυπηρετήσει το φόρτο που προοριζόταν για τη Λ. Κηφισίας.

Συγκεκριμένα, εξετάζοντας τα ποσοστά απόκλισης των τιμών των δεικτών λειτουργικής απόδοσης του δεύτερου σεναρίου σε σχέση με το βασικό σενάριο, διαπιστώνεται ότι στην άνοδο της Λ. Αλεξάνδρας, οι κυκλοφοριακές συνθήκες είναι **αισθητά ευνοϊκότερες**, όχι μόνο συγκριτικά με τη βελτίωση που επιτυγχάνεται στο πρώτο σενάριο, αλλά ακόμη και με τις κυκλοφοριακές συνθήκες που επικρατούν στο βασικό σενάριο. Όσον αφορά στη βελτίωση των κυκλοφοριακών συνθηκών στην άνοδο της Λ. Κηφισίας, είναι σίγουρα αντιληπτή αλλά όχι σε τόσο μεγάλο βαθμό όσο στο πρώτο σενάριο.

Τα τμήματα που πρέπει να προσεχθούν ιδιαίτερα, όμως, στο δεύτερο αυτό σενάριο, είναι στο εγγύς οδικό δίκτυο, όπου οι κυκλοφοριακές συνθήκες εμφανίζονται επιβαρυνμένες. Ωστόσο, για να χαρακτηριστεί η δεύτερη αυτή λύση ως ανεπιτυχής, πρέπει να γίνει **σύγκριση της επιδείνωσης** των κυκλοφοριακών συνθηκών στη Λ. Κηφισίας, στην περίπτωση μη εφαρμογής κάποιας επέμβασης ή κάποιας πληροφόρησης, και της αντίστοιχης επιδείνωσης στη Λ. Μεσογείων, όταν διοχετεύονται σε αυτήν τα οχήματα από τη Λ. Αλεξάνδρας. Στην προκειμένη περίπτωση, οδηγείται κανείς στο συμπέρασμα ότι η κατάσταση είναι χειρότερη όταν εφαρμόζεται το δεύτερο σενάριο αντιμετώπισης, καθώς επιβαρύνεται μεγαλύτερο τμήμα του δικτύου (από Ζαχάρωφ έως Λ. Κατεχάκη έναντι Λ. Αλεξάνδρας και Λ. Κηφισίας), αλλά και για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Αυτό προκύπτει συγκρίνοντας τους χρόνους επαναφοράς που χρειάζεται το σύστημα στη μία και στην άλλη περίπτωση.

Επιπλέον, πρέπει να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι, στην παρούσα διερεύνηση, προσομοιώθηκε **διοχέτευση της κυκλοφορίας** κυρίως από την οδό Ζαχάρωφ, στην περίπτωση της πληροφόρησης με εναλλακτική διαδρομή, κάτι το οποίο, ενδεχομένως, δεν είναι απαραίτητα η μοναδική εναλλακτική. Έχει εκτιμηθεί ότι το 60% των οδηγών υπακούουν στο μήνυμα, ωστόσο, από αυτούς, κάποιοι, ενδεχομένως, να χρησιμοποιήσουν διαφορετικές εναλλακτικές διαδρομές οι οποίες δεν έχουν ληφθεί υπόψη στο δίκτυο όπως αυτό διαμορφώθηκε για το

δεύτερο σενάριο. Επομένως, η κατάσταση πιθανόν να εμφανιζόταν ευνοϊκότερη και για αυτό το σενάριο αν είχαν χρησιμοποιηθεί περισσότερες εναλλακτικές διαδρομές.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί, ότι τα αποτελέσματα του δευτέρου σεναρίου, εμφανίζονται αποθαρρυντικά για το τμήμα της Λ. Μεσογείων, της οδού Μιχαλακοπούλου και κατ' επέκταση και πιο πίσω, λόγω του ήδη **αυξημένου φόρτου** της Λ. Κατεχάκη. Καθώς πολλά από τα οχήματα προσπαθούν να τη διασχίσουν, προκειμένου να φτάσουν προς την Λ. Κηφισίας στην οποία προορίζονταν αρχικά, η κυκλοφοριακή συμφόρηση ξεπερνά την κυκλοφοριακή ικανότητα της οδού και αυτό έχει ως αποτέλεσμα, αυτή να μεταδοθεί γρήγορα ως κρουστικό κύμα στην άνοδο της Λ. Μεσογείων έως την οδό Ζαχάρωφ. Σε άλλη χρονική στιγμή, όπου ο κυκλοφοριακός φόρτος θα ήταν μικρότερος σε αυτό το τμήμα του δικτύου, υπάρχουν πολλές ενδείξεις ότι η καθοδήγηση των οχημάτων προς τα εκεί αποτελεί μια ικανοποιητική λύση.

Γενικά συμπεράσματα

Έπειτα από την ανάλυση η οποία προηγήθηκε, τόσο για το κάθε σενάριο ξεχωριστά, όσο και για τους δείκτες λειτουργικής απόδοσης, εξάγεται το συμπέρασμα ότι το κάθε κυκλοφοριακό πρόβλημα απαιτεί **ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή λύσης** και στο πώς αυτή θα εφαρμοσθεί. Δεν πρέπει να αποτελεί μια πράξη αυθόρμητη και ατεκμηρίωτη, καθώς αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μη επιθυμητά αποτελέσματα, είτε αυτό σημαίνει μηδενική βελτίωση, είτε επιδείνωση της κυκλοφορίας στο εγγύς οδικό δίκτυο.

Εν κατακλείδι, τα συμπεράσματα από την παρούσα Διπλωματική Εργασία, είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για τη **συγκριτική αξιολόγηση μέτρων διαχείρισης κυκλοφορίας** σε κεντρικό αστικό οδικό δίκτυο, υπό παρόμοιες κυκλοφοριακές συνθήκες. Συγκεκριμένα, καθίσταται προφανές ότι η επέμβαση στη φωτεινή σηματοδότηση υπερτερεί ως λύση συγκριτικά με την καθοδήγηση σε εναλλακτική διαδρομή, όταν το γεγονός συμβαίνει σε ώρα αιχμής, σε κεντρικό σημείο του δικτύου. Επιπλέον, είναι σημαντική και η διάρκεια για την οποία εφαρμόζεται το εκάστοτε μέτρο διαχείρισης της κυκλοφορίας, καθώς όπως διαπιστώθηκε, με την επιλογή το πρώτο μέτρο να συνεχίσει να λειτουργεί πέντε λεπτά μετά τη λήξη του συμβάντος, βοήθησε σε μεγάλο βαθμό ώστε το οδικό δίκτυο να επανέλθει γρηγορότερα και ομαλότερα.

6.3. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Με βάση τα αποτελέσματα και τα συνολικά συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, επιχειρείται η παράθεση μιας **σειράς προτάσεων**, οι οποίες ενδεχομένως να συμβάλουν στην υλοποίηση ενός πιο ικανοποιητικού περιβάλλοντος προσομοίωσης, αλλά και στην καλύτερη διαχείριση της κυκλοφορίας όσον αφορά στην αντιμετώπιση ενός κυκλοφοριακού συμβάντος.

Καταρχάς, περαιτέρω έρευνα θα μπορούσε να εφαρμοσθεί στο υπάρχον δίκτυο με την προσομοίωση **διαφορετικών συνθηκών γεγονότων** ή ακόμη και σε **διαφορετικό σημείο** του δικτύου. Μια ενδιαφέρουσα σκέψη πάνω σε αυτό είναι η προσομοίωση γεγονότος στη Λ. Μεσογείων ή στη Λ. Αλεξάνδρας. Ακόμη, θα μπορούσε να προσομοιωθεί το ίδιο γεγονός αλλά υπό διαφορετικές συνθήκες φόρτου, δηλαδή σε κάποια άλλη χρονική στιγμή, στην οποία ενδεχομένως να λειτουργούν και διαφορετικά προγράμματα φωτεινής σηματοδότησης.

Επιπλέον, καθώς η **διάρκεια** που συμβαίνει ένα γεγονός, παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην επίδραση που θα έχει στο περιβάλλον δίκτυο, σίγουρα θα άξιζε η διερεύνηση ενός διαφορετικού γεγονότος το οποίο δε θα ήταν αρκετά σύντομο, ούτως ώστε να διαπιστωθεί η σοβαρότητα της κατάστασης του οδικού δικτύου σε αυτήν την περίπτωση.

Ενδιαφέρον θα είχε και εναλλακτικός χειρισμός της κυκλοφοριακής κατάστασης που διαμορφώνεται στο πρώτο σενάριο αντιμετώπισης, με την **επέκταση του μέτρου αλλαγής των φωτεινών σηματοδοτών**, (π.χ. έως την αρχή της Λ. Αλεξάνδρας), παρότι στην προκειμένη περίπτωση δεν κρίθηκε αναγκαίο λόγω της μη εμφάνισης εκτεταμένων προβλημάτων σε μεγάλο μήκος της ανόδου της λεωφόρου.

Επιπλέον, προτείνεται η **προσθήκη** στο ήδη υπάρχον δίκτυο, **παράπλευρων οδικών τμημάτων**, τα οποία θα μπορούσαν να αποτελέσουν εναλλακτικές διαδρομές σε περίπτωση αντίστοιχου συμβάντος, δεδομένου ότι δεν ήταν χρονικά δυνατόν στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Επίσης, η επέκταση του δικτύου θα μπορούσε να προσδώσει ακόμη μεγαλύτερη αξιοπιστία και ακρίβεια, όσον αφορά τη σωστή εισαγωγή και κατανομή των κυκλοφοριακών φόρτων στο δίκτυο.

Μία ακόμα έρευνα που θα μπορούσε να διεξαχθεί, είναι η διαχείριση έκτακτων καταστάσεων με χρήση **σηματοδότησης επενεργούμενης από την κυκλοφορία**. Αυτό, φυσικά, προϋποθέτει τη χρήση κατάλληλης επέκτασης του

λογισμικού. Οι φωρατές είναι ήδη τοποθετημένοι στο δίκτυο, οπότε θα μπορούσαν να καταγράφονται οι διελεύσεις των οχημάτων και να μεταδίδονται στη συσκευή ρύθμισης της σηματοδότησης, η οποία θα δίνει ή θα διακόπτει το δικαίωμα διέλευσης σε, επιλεγόμενες για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του κόμβου, προσβάσεις.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. PB Farradyne, Traffic Incident Management Handbook, Federal Highway Administration Office of Travel Management, November 2000.
2. Ali Gul Qureshia, Eiichi Taniguchia, Tadashi Yamada, A microsimulation based analysis of exact solution of dynamic vehicle routing with soft time windows, The Seventh International Conference on City Logistics, Department of Urban Management, Kyoto University, Nishikyo-ku, Kyoto, 615-8540, Japan.
3. Huaguo Zhoua, Zhaofeng Tiana, Modeling Analysis of Incident and Roadway Clearance Time, 8th International Conference on Traffic and Transportation Studies Changsha, China, August 1–3, 2012.
4. Vittorio Astaritaa, Vincenzo Giofréa, Giuseppe Guidoa and Alessandro Vitalea, Investigating road safety issues through a microsimulation model, 14th EWGT & 26th MEC & 1st RH, Università della Calabria, Rende (CS) 87040, Italy, 2011.
5. Sharon Adams Boxill and Lei Yu, An Evaluation of Traffic Simulation Models for Supporting ITS Development, Center for Transportation Training and Research, Texas Southern University, October 2000.
6. Sakda Panwai and Hussein Dia, Comparative Evaluation of Microscopic Car-Following Behavior, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 6, no. 3, September 2005.
7. Simon Ball, Intelligent Transport Systems (ITS): latest developments and the use of micro-simulation assessment, Published Project Report PPR606, Transport Research Laboratory 2011.
8. Richard Dowling, Alexander Skabardonis, Vassili Alexiadis, Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Software, Dowling Associates, Inc, Report No. FHWA-HRT-04-040, June 2004.
9. Yu Gao, Calibration and Comparison of the VISSIM and INTEGRATION Microscopic Traffic Simulation Models, Master Thesis, Blacksburg, Virginia, September 05, 2008.

10. David M. Shao & Jyh-Hone Wang, Study of the human/its interface issues on the design of traffic information bulletin board and traffic control signal displays, URITC PROJECT NO. 536113, University of Rhode Island, October 2002.
11. Chen, S., Mingium, L., Gao, L., Meng, C., Li, W., Zehg, J., Effects of Variable Message Signs (VMS) for improving congestions. International Workshop on Modelling, Simulation and Optimization, 2008.
12. David Levinson, Hong Huo, Effectiveness Evaluation of VMS Using Empirical Loop Detector Data, DRAFT November 26, 2002.
13. TAY Richard¹, DE BARROS Alex, Effectiveness of Road Safety Messages on Variable Message Signs, JOURNAL OF TRANSPORTATION SYSTEMS ENGINEERING AND INFORMATION TECHNOLOGY Volume 10, Issue 3, June 2010.
14. M. WARDMAN,* P. W. BONSALL and J. D. SHIRES, Driver response to variable message signs: a stated preference investigation, Transpn Res.-C, Vol. 5, No. 6, pp. 389-405, 1997.
15. Dimitris Sermpis, Dimitris Kefallinos, Real time intervention in traffic signals using fixed-time and traffic responsive signal control strategies, 12th WCTR, Lisbon, Portugal, July 11-15, 2010.
16. Steven L. Jones, Andrew J. Sullivan, Naveen Cheekoti, Michael D. Anderson, Dillip Malave, Traffic simulation software comparison study, UTCA Report 02217, June 2004.
17. Wilco Burghout, Hybrid microscopic-mesoscopic traffic simulation, Doctoral Dissertation, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden 2004.
18. N.D. Cohn, P. Krootjes, J.C. Zee, Simulating Variable Message Signs Influencing dynamic route choice in microsimulation, Zeist, 25 and 26 November 2004.
19. Mizar Automazione S.p.A., Optimizing Traffic, Flows Across, and the Road, pages 3-5.
20. VISSIM 5.30-05, User Manual, PTV AG 2011.

21. "Highway Capacity Manual", Transportation Research Board, 2000.
22. Σερμπής Δ., Μπάμπης Χ. και Θεοφίλης Γ., Η χρησιμοποίηση των Πινακίδων Μεταβλητών Μηνυμάτων από το Κέντρο Διαχείρισης της Κυκλοφορίας της Αθήνας. Πρακτικά 3ου Διεθνούς Συνεδρίου για την Έρευνα στις Μεταφορές στην Ελλάδα, Θεσσαλονίκη, Μάιος 2006.
23. Λάσκαρης Γ., Διερεύνηση των επιπτώσεων των Πινακίδων Μεταβλητών Μηνυμάτων στην κυκλοφορία με χρήση προσομοίωσης, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα, Ιούλιος 2013.
24. Καραβάς, Μ., Παράμετροι που επηρεάζουν την απόκριση των οδηγών στην πληροφόρηση των πινακίδων μεταβλητών μηνυμάτων. Διπλωματική Εργασία ΣΑΤΜ ΕΜΠ, 2013.
25. Κουκουτίμπας, Ε., Διαχείριση της κυκλοφορίας με τη χρήση λογισμικού προσομοίωσης. Διπλωματική εργασία Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ, 2011.
26. Τσανακτσίδης, Δ., Τσίτσουλας, Δ., Σύγχρονα συστήματα εξοπλισμού των οδών. Διπλωματική Εργασία ΑΠΘ, 2003.
27. Φρατζεσκάκης, Ι., Μ., Γκόλιας, Ι., Κ., Πιτσιάβα-Λατινοπούλου, Μ., Χ., Κυκλοφοριακή Τεχνική, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2009.
28. Φραντζεσκάκης Ι. Μ., Πιτσιάβα - Λατινοπούλου Μαγδαληνή Χ., Τσαμπούλας Δημήτριος Α., Διαχείριση Κυκλοφορίας, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2002.
29. Ιωάννα Σπυροπούλου, Γιώργος Γιαννής, Ενσωμάτωση ευφυών συστημάτων μεταφορών σε πρότυπα προσομοίωσης ροής κυκλοφορίας, Πρακτικά Διεθνούς Συνεδρίου και για τα Ευφυή Συστήματα Μεταφορών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Οδική Ομοσπονδία Ελλάδας, Πάτρα, Οκτώβριος 2011.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Το παρόν παράρτημα αποτελείται από μία συνολική εικόνα του δικτύου, αλλά και από εικόνες κάποιων κόμβων ξεχωριστά κατά τη διάρκεια εκτέλεσης τη προσομοίωσης, όπως σχεδιάστηκαν στο πρόγραμμα Vissim.

