



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ
Επιβλέπων: Ματθαίος Γ. Καρλαύτης, Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

Επιρροή Συμβάντων στους Χρόνους
Διαδρομής
σε Αστικές Σηματοδοτούμενες Αρτηρίες



Διπλωματική Εργασία

Ελένη Μ. Χριστόφο

Αθήνα, Ιούλιος 2007

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	8
ΣΥΝΟΨΗ.....	9
ABSTRACT.....	9
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	10
1.1 Ο ΚΟΡΕΣΜΟΣ ΤΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	13
1.2 ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	17
1.3 ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	19
1.4 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	20
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	21
2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ	22
2.2.1 ΑΜΕΣΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	22
2.2.1.1 Συστήματα χρήσης ερευνητικών οχημάτων	22
2.2.1.2 Συστήματα βασισμένα στη χρήση κινητών τηλεφώνων.....	23
2.2.2 ΈΜΜΕΣΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ	24
2.2.2.1 Μέθοδος στιγμιαίων ταχυτήτων	24
2.2.2.2 Συνδυασμός οχημάτων	27
2.2.3 Μέθοδοι Εκτίμησης της Επίδρασης των Συμβάντων	27
2.2.3.1 Μαθηματικά Πρότυπα Κυκλοφοριακής Ροής	28
2.2.3.2 Προσομοίωση	29
2.2.3.3 Μέθοδος Εκτίμησης της επίδρασης των συμβάντων μέσω κάμερας	31
2.4 ΣΥΝΟΨΗ.....	32
3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	36
3.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	38

3.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	42
3.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	44
3.5 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	45
3.6 ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	47
3.7 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ CORSIM	48
3.7.1 ΓΕΝΙΚΑ	48
3.7.2 CORSIM-TSIS	49
3.7.3 ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ CORSIM-TSIS	55
4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	57
4.2 ΣΕΝΑΡΙΑ	61
4.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	66
4.3.1 ΓΕΝΙΚΑ	66
4.3.2 ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ	66
4.3.2.1 ΣΥΜΒΑΝ ΣΤΟ ΣΥΝΔΕΣΜΟ (3,4)	67
4.3.2.2 ΣΥΜΒΑΝ ΣΤΟ ΣΥΝΔΕΣΜΟ (4,5)	73
4.3.2.3 ΣΥΜΒΑΝ ΣΤΟ ΣΥΝΔΕΣΜΟ (5,6)	79
4.4 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ	85
4.4.1 ΣΥΜΒΑΝ ΣΤΟ ΣΥΝΔΕΣΜΟ (3,4)	85
4.4.2. ΣΥΜΒΑΝ ΣΤΟ ΣΥΝΔΕΣΜΟ (4,5)	90
4.4.3. ΣΥΜΒΑΝ ΣΤΟ ΣΥΝΔΕΣΜΟ (5,6)	94
4.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΤΟΥ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ ΣΤΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ	99
4.5 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	102
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	103
5.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	105

5.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....	107
---	-----

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 4. 1: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (3,4) και μέσο $v/c=0,41$	69
Διάγραμμα 4. 2: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (3,4) και μέσο $v/c=0,61$	70
Διάγραμμα 4. 3: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (3,4) και μέσο $v/c=0,80$	71
Διάγραμμα 4. 4: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (3,4) και μέσο $v/c=0,90$	72
Διάγραμμα 4. 5: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (4,5) και μέσο $v/c=0,41$	75
Διάγραμμα 4. 6: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (4,5) και μέσο $v/c=0,61$	76
Διάγραμμα 4. 7: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (4,5) και μέσο $v/c=0,80$	77
Διάγραμμα 4. 8: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (4,5) και μέσο $v/c=0,90$	78
Διάγραμμα 4. 9: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (5,6) και μέσο $v/c=0,41$	81
Διάγραμμα 4. 10: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (5,6) και μέσο $v/c=0,61$..	82
Διάγραμμα 4. 11: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (5,6) και μέσο $v/c=0,80$..	83
Διάγραμμα 4. 12: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (5,6) και μέσο $v/c=0,90$..	84
Διάγραμμα 4. 13: Ποσοστιαία μεταβολή χρόνου διαδρομής για συμβάν στο σύνδεσμο (3,4).....	87
Διάγραμμα 4. 14: Ποσοστιαία μεταβολή χρόνου διαδρομής για συμβάν στο σύνδεσμο (3,4).....	91
Διάγραμμα 4. 15: Ποσοστιαία μεταβολή χρόνου διαδρομής για συμβάν στο σύνδεσμο (5,6).....	96
Διάγραμμα 4. 16: Ποσοστιαία μεταβολή χρόνου διαδρομής για συμβάν σε καθένα από τους συνδέσμους ($v/c=0.41$).	99
Διάγραμμα 4. 17: Ποσοστιαία μεταβολή χρόνου διαδρομής για συμβάν σε καθένα από τους συνδέσμους ($v/c=0.46$)	100
Διάγραμμα 4. 18: Ποσοστιαία μεταβολή χρόνου διαδρομής για συμβάν σε καθένα από τους συνδέσμους ($v/c=0.80$)	100
Διάγραμμα 4. 19: Ποσοστιαία μεταβολή χρόνου διαδρομής για συμβάν σε καθένα από τους συνδέσμους ($v/c=0.90$)	101

Ευρετήριο Σχημάτων και Εικόνων

Σχήμα 1. 1: Ο «φαύλος κύκλος» της κυκλοφοριακής ροής σε αστικά δίκτυα.....	15
Σχήμα 4. 1: Εξεταζόμενο δίκτυο όπως εμφανίζεται στο TRAFED.....	60
Σχήμα 4. 2: Σχηματική απεικόνιση των εξεταζόμενων σεναρίων.....	65
Εικόνα 3. 1: Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων του TSIS 5.1.....	53
Εικόνα 3. 2: Παράθυρο επιλογής των δεδομένων εξόδου του CORSIM.....	54
Εικόνα 4. 1: Απεικόνιση συμβάντος στο σύνδεσμο (3,4).	88
Εικόνα 4. 2: Απεικόνιση συμβάντος στο σύνδεσμο (4,5).	92
Εικόνα 4. 3: Απεικόνιση συμβάντος στο σύνδεσμο (5,6).	97

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2. 1: Μεθοδολογίες προσδιορισμού χρόνου διαδρομής.	34
Πίνακας 2. 2: Μεθοδολογίες εκτίμησης της επίδρασης συμβάντων στην κυκλοφοριακή ροή.	35
Πίνακας 4. 1: Χαρακτηριστικά στοιχεία των υπό μελέτη συνδέσμων.	59
Πίνακας 4. 2: Υπολογισμός μέσων τιμών λόγου φόρτου προς κυκλοφοριακή ικανότητα (v/c).....	63
Πίνακας 4. 3: Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε μέσο χρόνο διαδρομής ανά σύνδεσμο.....	89
Πίνακας 4. 4: Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε μέσο χρόνο διαδρομής ανά σύνδεσμο.....	93
Πίνακας 4. 5: Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε μέσο χρόνο διαδρομής ανά σύνδεσμο.....	98

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας δε θα ήταν εφικτή χωρίς την παρουσία του επιβλέποντος Επίκουρου καθηγητή κ. Ματθαίου Γ. Καρλαύτη, τον οποίο θερμά ευχαριστώ για την πολύτιμη καθοδήγησή του σε όλη τη διάρκεια της εργασίας μου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Ελένη Βλαχογιάννη για την πολύτιμη βοήθεια και συμπαράσταση που μου παρείχε το χρονικό αυτό διάστημα. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω και στον κ. Νικόλαο Γερολιμίνη για την παραχώρηση του εξεταζόμενου δικτύου και τη συνεχή καθοδήγησή του.

ΣΥΝΟΨΗ

Η εκτίμηση των χρόνων διαδρομής και ο προσδιορισμός των επιπτώσεων έκτακτων συμβάντων αποτελεί βασική προϋπόθεση για την επιτυχημένη λειτουργία ενός συστήματος ελέγχου και διαχείρισης της κυκλοφορίας. Η παρούσα διπλωματική εστιάζεται στη εκτίμηση των χρόνων διαδρομής σε αστικές σηματοδοτούμενες και στον προσδιορισμό των μεταβολών που προκαλούνται από την ύπαρξη συμβάντων. Η εκτίμηση των χρόνων διαδρομής πραγματοποιείται με τη χρήση προτύπου προσομοίωσης. Τα σενάρια που εξετάζονται διαφοροποιούνται ως προς τη διάρκεια των συμβάντων, το μήκος του συνδέσμου στον οποίο εντοπίζεται το συμβάν και τέλος ως προς το μέγεθος της ζήτησης πριν την έναρξη του συμβάντος. Τα αποτελέσματα της εργασίας καταδεικνύουν την εξάρτηση των μεταβολών των χρόνων διαδρομής από αυξήσεις της διάρκειας του συμβάντος και της ζήτησης. Επιπλέον, γίνεται φανερό η μεγαλύτερη επίδραση των συμβάντων σε μεσαίου μήκους συνδέσμους και η μικρότερη επίδρασή τους στους κατάντη του συμβάντος συνδέσμους σε σχέση με τους ανάντη.

ABSTRACT

Travel time estimation and the determination of the incidents' impacts are critical parameters for a successful performance of a traffic management system. The present thesis focuses on the estimation of travel time per link in signalized arterials and the impacts of incidents on them. Travel time estimation is conducted by using a simulation model. The scenarios studied vary over duration, length of the incident's link and flow rates present on the network before the start of the incident. Among the results revealed, it has been shown that there is a strong interaction among travel time and the value of incident duration and flow rate. Moreover, incidents seem to have a greater impact over links of medium length and influence the upstream links more than the downstream ones.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εκτίμηση των χρόνων διαδρομής και ο προσδιορισμός των επιπτώσεων έκτακτων συμβάντων σ' αυτόν αποτελεί βασική προϋπόθεση για την επιτυχημένη λειτουργία ενός συστήματος ελέγχου και διαχείρισης της κυκλοφορίας. Η παρούσα διπλωματική εστιάζεται στην εκτίμηση των χρόνων διαδρομής ανά σύνδεσμο σε αστική σηματοδοτούμενη αρτηρία και τον προσδιορισμό των μεταβολών που προκαλούνται από την εμφάνιση συμβάντων σε κάποιο από τους συνδέσμους της.

Η εκτίμηση των χρόνων διαδρομής ανά σύνδεσμο πραγματοποιείται με τη χρήση προτύπου προσομοίωσης. Η μέθοδος της προσομοίωσης πλεονεκτεί έναντι των υπολοίπων μαθηματικών και λογικών προτύπων διότι παρέχει τη δυνατότητα περιγραφής των δυναμικών κυκλοφοριακών συνθηκών που επικρατούν σε ένα δίκτυο με μεγάλη ακρίβεια .

Το πρότυπο αυτό προσομοίωσης εφαρμόζεται σε πραγματική αστική σηματοδοτούμενη αρτηρία που περιλαμβάνει 7 σηματοδοτημένες διασταυρώσεις με μήκη συνδέσμων που ποικίλουν από 140 έως 660 μέτρα. Τα 60 σενάρια συμβάντων που εξετάζονται προκειμένου να προσδιορισθεί η επίδραση τους στους χρόνους διαδρομής του δικτύου ανά σύνδεσμο διαφοροποιούνται ως προς τις τιμές τριών παραμέτρων:

- της διάρκειας του συμβάντος,
- του μήκους του συνδέσμου στον οποίο τοποθετείται το συμβάν,
- του μεγέθους της ζήτησης που εμφανίζεται στο δίκτυο κατά την έναρξη του συμβάντος.

Για τη φόρτιση του δικτύου οι χρησιμοποιούμενοι εισερχόμενοι φόρτοι προέρχονται από πραγματικές μετρήσεις κατά τη διάρκεια ενός δεκαπενταλέπτου (8:00-8:15) της πρωινής ώρας αιχμής και είναι διαθέσιμοι μέσω βάσης δεδομένων του κεντρικού συστήματος ελέγχου της κυκλοφορίας στην οποία αποθηκεύονται οι καταγραφές των φωρατών κάθε 30 δευτερόλεπτα. Οι υπόλοιπες τιμές των εισερχόμενων φόρτων που χρησιμοποιούνται στα εξεταζόμενα σενάρια προκύπτουν ως πολλαπλάσια ή

υποπολλαπλάσια της παραπάνω φόρτισης. Πιο συγκεκριμένα ελέγχονται οι τιμές που προκύπτουν από αύξηση της αρχικής ζήτησης κατά 50% και μείωσή της κατά 50% και 75%. Οι παραπάνω τιμές εκφράζονται με τη χρησιμοποίηση του λόγου του συνόλου του φόρτου όλων των συνδέσμων προς τη συνολική κυκλοφοριακή τους ικανότητα για τη χρονική στιγμή αμέσως πριν την έναρξη του συμβάντος.

Τα εξεταζόμενα σενάρια ελέγχουν επίσης την επιρροή της διάρκειας 5, 10, 15, 20 και 30 λεπτών συμβάντος και της επίδρασης του μήκους του υπό εξέταση συνδέσμου στους χρόνους διαδρομής. Συγκεκριμένα, εξετάζεται σύνδεσμος μικρού, μεσαίου και μεγάλου μήκους.

Το λογισμικό επαναλαμβάνει τη διαδικασία της προσομοίωσης δέκα φορές για κάθε σενάριο και για διάρκεια προσομοίωσης 1 ώρας και εξάγει τα αποτελέσματα σε μορφή μέσων χρόνων διαδρομής ανά σύνδεσμο. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται με τη χρήση διαγραμμάτων χρονοσειρών, που εκφράζουν τους χρόνους διαδρομής ανά χρονική περίοδο (ανά ένα λεπτό), καθώς και διαγραμμάτων που εκφράζουν την ποσοστιαία μεταβολή του χρόνου διαδρομής όταν υφίσταται κάποιο συμβάν σε σχέση με το χρόνο διαδρομής υπό κανονικές συνθήκες για όλους τους συνδυασμούς των τριών προαναφερθέντων παραμέτρων.

Από τη διερεύνηση των παραπάνω διαγραμμάτων προκύπτει η επίδραση των συμβάντων τόσο στους χρόνους διαδρομής ανά σύνδεσμο όσο και στο μέσο χρόνο διαδρομής του συνδέσμου του συμβάντος καθώς και των ανάντη και κατάντη του. Τα συμπεράσματα μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

- στην άμεση εξάρτηση των μεταβολών των χρόνων διαδρομής από αυξήσεις της διάρκειας του συμβάντος και της ζήτησης
- στη μεγαλύτερη επίδραση των συμβάντων σε μεσαίου μήκους συνδέσμους σε σχέση με μεγαλύτερου και μικρότερου μήκους συνδέσμους
- στη μικρότερη επίδρασή που εντοπίζεται στους κατάντη του συμβάντος συνδέσμους σε σχέση με τους ανάντη.

Τέλος, διατυπώνονται προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση της επίδρασης των συμβάντων, αφενός όσο αφορά στα χαρακτηριστικά τους και αφετέρου στην έκταση

της επίδρασης τους και στο βαθμό μείωσης των αρνητικών επιπτώσεων του στους χρόνους διαδρομής μέσω της παροχής πληροφοριών στους οδηγούς.

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Ο ΚΟΡΕΣΜΟΣ ΤΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η συνεχής αστικοποίηση, η αύξηση του πληθυσμού και της αυξημένης χρήσης του αυτοκινήτου συνεπάγονται την εμφάνιση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, η οποία αποτελεί ένα από τα πιο συνηθισμένα προβλήματα των μητροπολιτικών περιοχών παγκοσμίως. Ως συνέπεια, το κύριο οδικό δίκτυο, που εξυπηρετεί το μεγαλύτερο ποσοστό της ζήτησης, λειτουργεί για μεγάλα χρονικά διαστήματα της ημέρας σε συνθήκες συμφόρησης, η οποία συνεχώς εξαπλώνεται τόσο γεωγραφικά όσο και χρονικά. Η μη αποτελεσματική λειτουργία του οδικού δικτύου αντικατοπτρίζεται στην αύξηση του μέσου χρόνου διαδρομής προς και από σημαντικούς πόλους έλξης και δημιουργίας μετακινήσεων (για παράδειγμα περιοχές με μεγάλη οικονομική και κοινωνική σημασία), στην υποβάθμιση της ποιότητας ζωής (για παράδειγμα άγχος κ.α.), αλλά και στη μόλυνση της ατμόσφαιρας και σε άλλες σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον, που προκύπτουν από την αύξηση της κατανάλωσης καυσίμων, τις εκπομπές ρύπων κ.α.

Η κυκλοφοριακή συμφόρηση μπορεί να είναι (Scabardonis και Geroliminis, 2004):

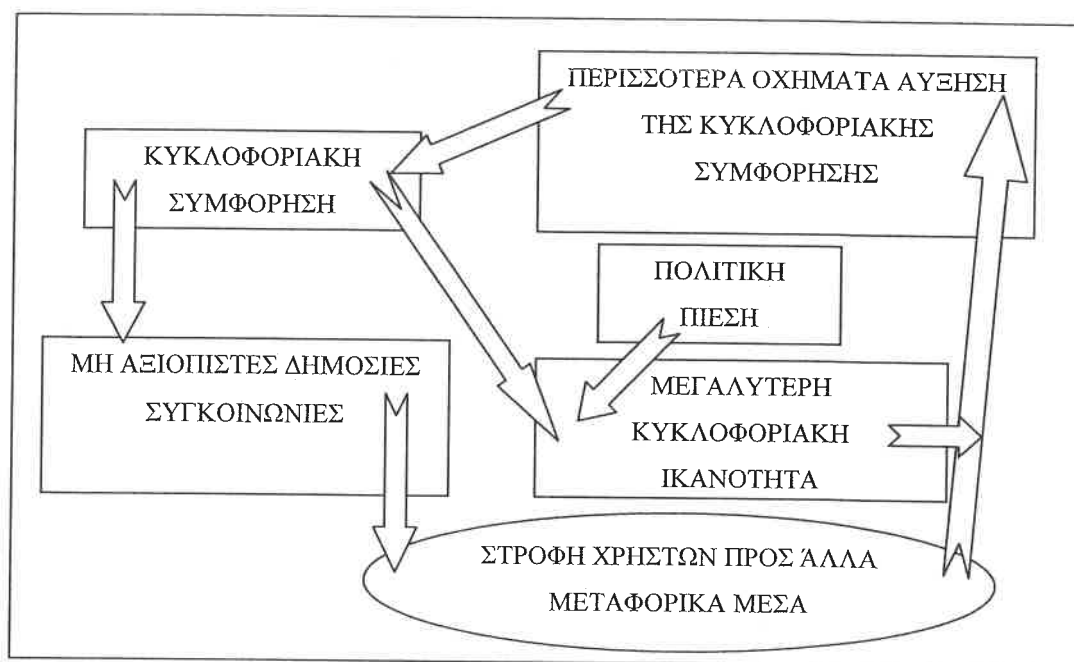
1. Συνήθης, που τείνει να εμφανίζεται για σημαντικές χρονικές περιόδους, όπως οι ώρες αιχμής και προκαλείται από μεγάλους φόρτους που συνεπάγονται

χαμηλές ταχύτητες οχημάτων στο σύστημα. Η συμφόρηση αυτή οφείλεται σε ανεπαρκή κυκλοφοριακή ικανότητα του οδικού δικτύου.

2. Μη επαναλαμβανόμενη, που προκαλείται από μη αναμενόμενα (οδικά ατυχήματα, υπερχείλιση ουρών) ή προσωρινά συμβάντα (κατασκευή/ συντήρηση οδικού τμήματος, δυσμενείς καιρικές συνθήκες).

Έχει εκτιμηθεί ότι τα συμβάντα είναι υπεύθυνα για το 60% της απώλειας οχηματοωρών εξαιτίας της κυκλοφοριακής συμφόρησης που προκαλούν (Cambridge Systematic, Inc, 1990). Συνεπώς, η διαχείριση των συμβάντων αποτελεί μια κρίσιμη παράμετρο για τη διαχείριση των συγκοινωνιών δικτύων εξαιτίας της επίδρασής τους στην ασφάλεια, την κυκλοφοριακή ικανότητα, καθώς και το περιβάλλον.

Η αντιμετώπιση του κυκλοφοριακού προβλήματος με προγράμματα κατασκευής νέων οδών και γενικότερα με την επέκταση της συγκοινωνιακής υποδομής απαιτεί σημαντική και συνήθως μη διαθέσιμη χρηματοδότηση. Επιπλέον, η υλοποίηση τέτοιων προγραμμάτων καθίσταται αμφίβολη εξαιτίας του φυσικού περιορισμού για χρησιμοποίηση του χώρου σε καινούριες κατασκευές και των επιδράσεων που θα είχαν αυτές στο περιβάλλον- φυσικό και κοινωνικό. Τέλος, η αύξηση της κυκλοφοριακής ικανότητας των δικτύων με την κατασκευή νέων οδών συμβάλλει στην ταχύτερη αύξηση της κυκλοφορίας και συνακόλουθα των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, οπότε παρουσιάζεται ανάγκη κατασκευής και νέων υποδομών η οποία συνεπάγεται τη δημιουργία ενός φαύλου κύκλου. (Σχήμα 1.1)



Σχήμα 1. 1: Ο «φάυλος κύκλος» της κυκλοφοριακής ροής σε αστικά δίκτυα.

Έρευνες έχουν αποδείξει ότι κατάλληλα εφαρμοσμένα μέτρα μπορούν να διαχειριστούν το εκάστοτε υπάρχον δίκτυο με θετικά αποτελέσματα. Αυτά τα μέτρα, τα επονομαζόμενα μέτρα Διαχείρισης Κυκλοφορίας έχουν σχεδιαστεί με στόχο τη βελτίωση της λειτουργίας της υπάρχουσας συγκοινωνιακής υποδομής. Ο σχεδιασμός της Διαχείρισης της Κυκλοφορίας στοχεύει στον εντοπισμό των προβληματικών περιοχών του οδικού δικτύου και προτείνει μέτρα που μπορούν να επιτύχουν βελτιώσεις βραχυπρόθεσμα. Ουσιαστικά, παρέχει πληροφορίες ως προς την προσφορότερη επένδυση του δημοσίου χρήματος, προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα συμφόρησης και να βελτιωθεί το οδικό δίκτυο. Ένα επιτυχημένο πρόγραμμα διαχείρισης πρέπει να λαμβάνει υπόψη και τις δυο προαναφερθείσες παραμέτρους της κυκλοφοριακής συμφόρησης.

Η Διαχείριση της Κυκλοφορίας γενικά, αποτελεί μια προσπάθεια μείωσης της κατασκευής νέων οδών και συγκοινωνιακών έργων (Φραντζεσκάκης, Λατινοπούλου, Τσαμπούλας, 1997):

1. Με την πιο αποτελεσματική χρησιμοποίηση της υπάρχουσας συγκοινωνιακής υποδομής βραχυχρόνια και με περιορισμένου ύψους επενδύσεις (Διαχείριση Συστήματος Μεταφορών).
2. Με τον περιορισμό της ζήτησης για μεταφορές και της χρήσης του επιβατικού αυτοκινήτου στις κυκλοφοριακά συμφορημένες περιοχές και ειδικότερα κατά τις περιόδους αιχμής (Διαχείριση Ζήτησης Μεταφορών).

Παραδείγματα αυτών των εναλλακτικών μέτρων περιλαμβάνουν ανεπτυγμένα συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου της κυκλοφορίας, αποκλειστικές λωρίδες για βαρέα οχήματα, βελτιωμένα συστήματα μεταφορών και χρέωση κυκλοφορίας και στάθμευσης.

Η Διαχείριση Συμβάντων ορίζεται ως μια ακολουθία προσχεδιασμένων και ολοκληρωμένων δραστηριοτήτων, οι οποίες χρησιμοποιούν τόσο ανθρώπινο δυναμικό όσο και τεχνολογικά μέσα, με στόχο της εξάλειψη των συμβάντων με ταχύτητα και ασφάλεια και την επαναφορά της κυκλοφοριακής ικανότητας του δικτύου στα αρχικά του επίπεδα. Οι κύριες δραστηριότητες των συστημάτων διαχείρισης συμβάντων, περιλαμβάνουν τον εντοπισμό του συμβάντος και την επιβεβαίωση αυτού, την πληροφόρηση των χρηστών, την καταγραφή των αντιδράσεων τους, τη διαχείριση της κυκλοφορίας και τέλος την εξάλειψη/καθαρισμό του (Smith et al., 2003). Ουσιαστικά, τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν τα ίδια μέσα που εφαρμόζονται συνήθως για την εξάλειψη των συμβάντων, απλά με πιο αποδοτικούς τρόπους. Ο χρόνος αποτελεί βασική παράμετρο αφού έχει υπολογισθεί ότι περίπου 4 λεπτά απαιτούνται για να επανέλθει ένας δρόμος στις αρχικές του συνθήκες για κάθε συμβάν διάρκειας ενός λεπτού.

Τα συστήματα Διαχείρισης Συμβάντων εφαρμόζονται σε πολλές πόλεις προκειμένου να μειωθεί ο χαμένος χρόνος εξαιτίας των συμβάντων και να αυξηθεί η ασφάλεια των μοτοσυκλετιστών, με ταυτόχρονη μείωση των θυμάτων από συγκρούσεις και των εμπλεκόμενων σε ατυχήματα. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται ειδικά συστήματα που

παρέχουν στους οδηγούς σημαντικές κυκλοφορίες σχετικά με την κυκλοφοριακή συμφόρηση λόγω συμβάντων. Μερικά από τα πλεονεκτήματα που εμφανίζει ένα αποτελεσματικό σύστημα Διαχείρισης Συμβάντων είναι η βελτίωση του χρόνου αντίδρασης, η μείωση των καθυστερήσεων, η βελτίωση της ποιότητας του αέρα, η μείωση συμβάντων δευτερεύουσας σημασίας και τέλος, η αύξηση της οδικής ασφάλειας.

1.2 ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η λειτουργία ενός οδικού δικτύου περιγράφεται συνήθως από κάποιο δείκτη αποδοτικότητας, που εκφράζει ουσιαστικά την ικανότητα του δικτύου να επιτρέπει στους χρήστες τη μετακίνηση τους από τα σημεία προέλευσης στα σημεία προορισμού τους. Σε αστικά δίκτυα ο καθορισμός των δεικτών αποδοτικότητας είναι δύσκολος εξαιτίας του δυναμικού χαρακτήρα τους και της εξάρτησής που εμφανίζουν από στοχαστικές μεταβλητές, όπως οι καιρικές συνθήκες. Η έκταση ενός συμβάντος αποτελεί επίσης στοχαστική μεταβλητή, καθώς ο χρόνος εξάλειψής του ποικίλει ανάλογα με τη θέση, τον καιρό και τα διαθέσιμα μέσα (Sanso B. και Milot L., 1999).

Γενικά, υπάρχουν ποικίλοι δείκτες για τη μέτρηση της συμφόρησης και συνακόλουθα της αποδοτικότητας ενός οδικού δικτύου οι οποίοι μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε (Quiroga, 2000):

Δείκτες του Highway Capacity Manual: περιλαμβάνουν το λόγο φόρτου- κατάληψης, τη μέση καθυστέρηση στις διασταυρώσεις και τη στάθμη εξυπηρέτησης. Αν και τα μέτρα αυτά είναι κατανοητά από την επιστημονική κοινότητα των συγκοινωνιολόγων, δεν είναι γενικότερα το ίδιο αποδεκτά και από τους χρήστες του οδικού δικτύου. Επιπλέον, απαιτούν λεπτομερή εισερχόμενα δεδομένα, που τους καθιστούν περισσότερο κατάλληλους για τοπικές αναλύσεις και σχεδιασμό παρά για έρευνες μεγαλύτερης έκτασης. Τέλος, οι δείκτες αυτοί είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν για μακροπρόθεσμες συγκρίσεις καθώς στοιχεία όπως η χωρητικότητα και οι σχέσεις ταχύτητας- φόρτου μεταβάλλονται σημαντικά με την πάροδο του χρόνου.

Δείκτες σχετιζόμενοι με τις ουρές: περιλαμβάνουν το μήκος της ουράς και την κατάληψη της λωρίδας. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να μετρηθούν άμεσα, μέσω φωρατών και γενικά μέσω αισθητήρων. Παρόλο όμως που οι ουρές αντικατοπτρίζουν πολύ καλά την αντίληψη των χρηστών για την συμφόρηση, η μέτρηση τους εξακολουθεί να είναι μια επίπονη εργασία, που περιορίζεται χωρικά και χρονικά. Επειδή η μέτρηση ουρών σε μεγάλη έκταση δεν είναι πρακτική, οι δείκτες αυτοί κρίνονται ακατάλληλοι για σχεδιασμό και ανάλυση.

Δείκτες βασισμένοι σε χρόνους διαδρομής: περιλαμβάνουν το χρόνο διαδρομής, την ταχύτητα και την καθυστέρηση. Η ταχύτητα και η καθυστέρηση μπορούν να εκτιμηθούν από στοιχεία χρόνων διαδρομής χρησιμοποιώντας ως σημείο αναφοράς κάποιο χρόνο διαδρομής ή ταχύτητα. Οι δείκτες αυτοί είναι κατανοητοί τόσο από την επιστημονική κοινότητα των συγκοινωνιολόγων όσο και από τους απλούς χρήστες του δικτύου. Επιπλέον, εμφανίζουν ευελιξία στην περιγραφή των συνθηκών κυκλοφορίας όσο αφορά στα επίπεδα χρονικής και χωρικής ανάλυσης, γεγονός που καθιστά τους δείκτες αυτούς κατάλληλους για διαχείριση τόσο συγκεκριμένων περιοχών όσο και ολόκληρων διαδρόμων. Επίσης, επιτρέπει στους αναλυτές να κάνουν συγκρίσεις ανάμεσα σε μεγάλες χρονικές περιόδους, για παράδειγμα χρόνια ή δεκαετίες. Τέλος, μπορούν να εκφραστούν εύκολα σε άλλα μέσα, όπως χρηματικές μονάδες κόστους και μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα για την επικύρωση προτεινόμενων προτύπων, όπως πρότυπα πρόβλεψης ζήτησης.

Άλλοι Δείκτες: περιλαμβάνουν τα ποσοστά συγκρούσεων, τα διανυόμενα μέτρα, τις διανυόμενες ώρες, τον χρόνο αντίδρασης σε ένα συμβάν, την κατανάλωση καυσίμων, τις εκπομπές ρύπων των οχημάτων.

Γενικά, η χρησιμοποίηση του χρόνου διαδρομής ως μέτρο αποδοτικότητας υπερτερεί έναντι των άλλων δεικτών, καθώς είναι ευκολότερος στην αντίληψη των οδηγών και πρακτικότερος για τις διοικητικές αρχές όσον αφορά στην μέτρηση των κυκλοφοριακών συνθηκών (Zhang και Liu, 2006). Εξάλλου πολλοί από τους προαναφερθέντες δείκτες αποδοτικότητας, όπως η κατανάλωση καυσίμων, οι εκπομπές ρύπων των οχημάτων και τα ατυχήματα σχετίζονται άμεσα με το χρόνο διαδρομής. Επιπλέον, ο χρόνος διαδρομής είναι ένας σπουδαίος δείκτης για την

εκτίμηση των υπάρχουσών συνθηκών σε σηματοδοτημένες αρτηρίες, τη βαθμονόμηση του ελέγχου και διαχείρισης του οδικού δικτύου και της παροχής πληροφοριών στους οδηγούς (Skabardonis και Geroliminis, 2005).

Συμπερασματικά, η εκτίμηση των χρόνων διαδρομής καθώς και η πρόβλεψη τους αποτελούν σημαντικότερα εργαλεία για τη λήψη δυναμικών μέτρων Διαχείρισης τη Κυκλοφορίας.

Παρόλο που σημαντικές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί στη εκτίμηση των χρόνων διαδρομής σε επίπεδο υπεραστικών οδών, η αντίστοιχη έρευνα για αστικές οδούς εμφανίζεται περιορισμένη. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι το σύστημα ελέγχου και ο βαθμός κορεσμού, όπως επίσης και οι καθυστερήσεις στις διασταυρώσεις αποτελούν ένα μεγάλο τμήμα του χρόνου διαδρομής στα αστικά δίκτυα και συνεπώς επιτείνουν την αβεβαιότητα της εκτίμησης του χρόνου διαδρομής. Επιπλέον, η αλληλεπίδραση μεταξύ των αντίθετα κινούμενων κυκλοφοριακών ρευμάτων και τα χωροχρονικά χαρακτηριστικά είναι εντελώς διαφορετική σε αστικό και υπεραστικό περιβάλλον. Τέλος, το μέγεθος του απαιτούμενου εξοπλισμού για μετρήσεις στις υπεραστικές οδούς εμφανίζεται πολύ μεγαλύτερο απ'ότι στις αστικές.

Όσο αφορά στα συμβάντα, η προτυποποίησή του τους είναι λιγότερο ακριβής από τις αντίστοιχες προσπάθειες υπό κανονικές συνθήκες εξαιτίας της μη αναμενόμενης μεταβλητότητας αυτών. Σαν αποτέλεσμα, ελάχιστες είναι οι προσπάθειες για την εκτίμηση των χρόνων διαδρομής κάτω υπό την επίδραση συμβάντων. Ειδικότερα σε αστικές σηματοδοτημένες αρτηρίες δεν έχει πραγματοποιηθεί αξιόλογη έρευνα εκτίμησης της επίδρασης των συμβάντων με τη χρήση των χρόνων διαδρομής.

1.3 ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός της επίδρασης των συμβάντων στους χρόνους διαδρομής ανά σύνδεσμο, σε αστική σηματοδοτούμενη αρτηρία με τη χρήση προτύπου προσομοίωσης της κυκλοφορίας.

Πιο συγκεκριμένα, διερευνάται η επίδραση της χρονικής διάρκειας του συμβάντος, του μήκους του συνδέσμου στον οποίο εντοπίζεται το συμβάν καθώς και του μεγέθους της ζήτησης της κυκλοφορίας που επικρατεί στο δίκτυο πριν από την έναρξή του.

1.4 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι δομημένη σε πέντε βασικά κεφάλαια:

Στο **1^ο κεφάλαιο** γίνεται μια εισαγωγή στους δείκτες αποδοτικότητας των δικτύων και επισημαίνεται η αναγκαιότητά του καθορισμού τους για την αποτελεσματική λειτουργία των συστημάτων διαχείρισης της κυκλοφορίας.

Στο **2^ο κεφάλαιο** γίνεται αναφορά σε παλαιότερες έρευνες σχετικές με την εκτίμηση των χρόνων διαδρομής και τη μελέτη της επίδρασης των συμβάντων στην κυκλοφορία.

Στο **3^ο κεφάλαιο** αναπτύσσονται τα πρότυπα προσομοίωσης της κυκλοφορίας και περιγράφεται το λογισμικό πακέτο προσομοίωσης CORSIM-TSIS, το οποίο χρησιμοποιείται στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Στο **4^ο κεφάλαιο** περιγράφεται το δίκτυο που χρησιμοποιείται στην προσομοίωση, και αναπτύσσονται τα σενάρια που εξετάζονται. Ακολουθεί η διερεύνηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν μέσω του προτύπου προσομοίωσης.

Στο **5^ο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (κεφ. 4) και προτείνονται κατευθύνσεις για περαιτέρω έρευνα.

Κεφάλαιο 2

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Γενικά, η εκτίμηση του χρόνου διαδρομής σε σύνδεσμο οδού μπορεί να γίνει άμεσα ή έμμεσα. Η πρώτη περίπτωση βασίζεται στη μέτρηση του χρονικού διαστήματος που απαιτείται για ένα όχημα προκειμένου να διασχίσει το τμήμα μεταξύ δυο συγκεκριμένων σημείων. Η έμμεση εκτίμηση των χρόνων διαδρομής περιλαμβάνει τη χρησιμοποίηση χαρακτηριστικών της κυκλοφοριακής ροής, όπως είναι η πυκνότητα, η ταχύτητα, η κατάληψη και ο φόρτος, στοιχεία τα οποία λαμβάνονται από φωρατές (Soriguera et al., 2006). Η εκτίμηση του χρόνου διαδρομής γίνεται με τη χρήση κάποιου αλγόριθμου. Οι έμμεσες μέθοδοι εμφανίζονται κατάλληλες για ελεύθερες λεωφόρους, στις οποίες η ροή των οχημάτων θεωρείται συνεχής, σε αντίθεση με τις αστικές αρτηρίες, όπου η ροή των οχημάτων διακόπτεται εξαιτίας της ύπαρξης των σηματοδοτών (Sen et al., 1998).

Υπάρχουν αρκετές αξιόλογες εφαρμογές εκτίμησης χρόνων διαδρομής στη διεθνή βιβλιογραφία. Οι περισσότερες αναφέρονται σε υπεραστικές οδούς και ελεύθερες λεωφόρους, ενώ η έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί σε αστικές αρτηρίες είναι περιορισμένη εξαιτίας της μεγάλης ετερογένειας των κινούμενων οχημάτων, της ύπαρξης συστημάτων ελέγχου -φωτεινοί σηματοδότες και της γενικότερης πολυπλοκότητας των αστικών δικτύων.

Επιπλέον, ελάχιστες είναι και οι εφαρμογές των παραπάνω μεθόδων στην εκτίμηση των χρόνων διαδρομής κάτω από μη αναμενόμενες συνθήκες ροής ή έκτακτα συμβάντα. Αυτό οφείλεται στην αυξημένη πολυπλοκότητα που εμφανίζουν τέτοιου είδους φαινόμενα εξαιτίας της επίδρασης τους τόσο στο σύνδεσμο στον οποίο εμφανίζεται αρχικά, όσο και στους γειτονικούς (ανάντη η κατάντη του σημείου ενδιαφέροντος). Μια άλλη παράμετρος που δικαιολογεί αυτή την έλλειψη είναι και ο σημαντικός αριθμός παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τα συμβάντα και οι οποίες οδηγούν σε αυξημένη και μη αναμενόμενη μεταβλητότητα των εμφανιζόμενων συνθηκών με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσκολη η προτυποποίησή τους. Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι εκτίμησης της επίδρασης των συμβάντων αποτελούν τα μαθηματικά πρότυπα κυκλοφοριακής ροής και η προσομοίωση.

2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

Στην παράγραφο αυτή γίνεται αναφορά στις πιο σημαντικές μεθόδους εκτίμησης των χρόνων διαδρομής που εμφανίζονται στη διεθνή βιβλιογραφία, ταξινομημένες σε άμεσες και έμμεσες, όπως προαναφέρθηκε.

2.2.1 ΑΜΕΣΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

2.2.1.1 Συστήματα χρήσης ερευνητικών οχημάτων

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την παρακολούθηση δείγματος ερευνητικών οχημάτων καθώς αυτά κινούνται στο δίκτυο που μελετάται. Αυτές οι εξελισσόμενες τεχνολογίες περιλαμβάνουν συστήματα εντοπισμού θέσης καθώς και οχήματα που διαθέτουν σύστημα αυτόματου εντοπισμού. Τα κύρια μειονεκτήματα τους είναι ο μη ακριβής εντοπισμός της θέσης των οχημάτων και η ανεπαρκής κάλυψη του δικτύου. Επιπλέον, το παρεχόμενο δείγμα παρατηρήσεων είναι μικρό και επηρεάζεται άμεσα από την ικανότητα των οδηγών να διατηρούν σταθερή ταχύτητα προσαρμοσμένη στη γενικότερη κυκλοφορία καθώς και από τους περιορισμούς στην ακρίβεια του εξοπλισμού (Dion και Rakha, 2003)

Οι Dion και Rakha (2005) χρησιμοποίησαν δεδομένα που προήλθαν από αυτόματα συστήματα εντοπισμού οχημάτων προκειμένου να εκτιμήσουν χρόνους διαδρομής τόσο σε σύνδεσμο ελεύθερης λεωφόρου όσο και σε σηματοδοτημένη αστική αρτηρία του San Antonio. Στη συνέχεια, χρησιμοποίησαν αυτά τα δεδομένα προκειμένου να καταλήξουν σε ένα αλγόριθμο κατάλληλο για τον εκτοπισμό των μη έγκυρων- βάσει κάποιων ορίων- παρατηρήσεων.

2.2.1.2 Συστήματα βασισμένα στη χρήση κινητών τηλεφώνων

Η μέθοδος αυτή βασίζεται σε κινητά τηλέφωνα, μεταφερόμενα μαζί με τα κινούμενα οχήματα και το οποία χρησιμοποιούνται ως αισθητήρες που παρέχουν δεδομένα. Η καταγραφή πραγματοποιείται για κάθε «κελί» (cell) από το οποίο διέρχεται το όχημα που μεταφέρει το κινητό τηλέφωνο και περιλαμβάνει εντοπισμό θέσης και χρονική στιγμή διέλευσης (Bar-Gera, 2006). Έτσι, είναι δυνατή η εκτίμηση του χρόνου διαδρομής για κάθε όχημα που διήλθε από ένα συγκεκριμένο τμήμα του δικτύου και μετά από ανάλυση των στοιχείων όλων των οχημάτων και η τελική εκτίμηση του χρόνου διαδρομής του τμήματος. Μειονέκτημα της αποτελούν οι πιθανές αποκλίσεις από την πραγματικότητα που οφείλονται κυρίως σε διαφορές των ατόμων που χρησιμοποιούν κινητό τηλέφωνο ως προς το σύνολο του πληθυσμού.

Ο Hillel Bar-Gera (2006) χρησιμοποίησε τη μέθοδο των κινητών τηλεφώνων προκειμένου να εκτιμήσει ταχύτητες και χρόνους διαδρομής σε ελεύθερη λεωφόρο του Τελ-Αβίβ. Η μέθοδος που χρησιμοποίησε αποδείχθηκε αποτελεσματική μετά και από σύγκριση αντίστοιχων στοιχείων που αποκόμισε από διπλούς μαγνητικούς φωρατές και καταγραφικά οχήματα.

Παρακάτω αναφέρονται ακόμη δυο συχνά χρησιμοποιούμενες μέθοδοι άμεσης μέτρησης των χρόνων διαδρομής.

Οι Robinson και Polak (2005) χρησιμοποίησαν τη μέθοδο k-NN για ένα σύνδεσμο γύρω από την πλατεία Russell στο κέντρο του Λονδίνου. Η συγκέντρωση των χρόνων διαδρομής κάθε οχήματος, πραγματοποιήθηκε από κάμερες που έχουν τη δυνατότητα αυτόματης αναγνώρισης, τοποθετημένες στα άκρα του συνδέσμου, για 37 ξεχωριστές ημέρες του Μαρτίου και Απριλίου του 2003. Επίσης, καταγράφηκαν οι μετρήσεις 15λέπτου φόρτου και κατάληψης από 3 φωρατές τοποθετημένους στο σύνδεσμο.

Μετά από σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα που έδωσαν άλλα μοντέλα χρόνου διαδρομής αστικού συνδέσμου, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η μέθοδος k-NN υπερτερεί έναντι των υπολοίπων ιδιαίτερα σε πολύ χαμηλές και πολύ υψηλές τιμές πραγματικών χρόνων διαδρομής.

Οι Pan et al. (2006) χρησιμοποίησαν μια μέθοδο συλλογής ιστορικών στοιχείων που περιλαμβάνουν τους χρόνους διαδρομής και τις καθυστερήσεις που προκύπτουν από τη σηματοδότηση σε αστική αρτηρία, βασισμένη στη χρήση GPS. Στόχος της έρευνας τους ήταν ο εντοπισμός των κρίσιμων σημείων που μπορούν να δώσουν στοιχεία σχετικά με τις καθυστερήσεις λόγω σηματοδότησης. Αυτό πραγματοποιήθηκε μέσω της ανάλυσης κρίσιμων παραγόντων, όπως η ελάχιστη απόσταση, η ομοιότητα της κατεύθυνσης και η διακύμανση των ταχυτήτων, κατά την προσπάθεια εφαρμογής του αλγόριθμου απόδοσης των στοιχείων των GPS σε πραγματικό χάρτη. Η εφαρμογή του αλγόριθμου πραγματοποιήθηκε για δύο σύνολα βάσεων δεδομένων (Σανγκάη-Κίνα και Αάχεν- Γερμανία), μέσα από τα οποία βαθμονομήθηκε και επικυρώθηκε. Η σύγκριση με στοιχεία οργάνων ηλεκτρονικής μέτρησης της ταχύτητας, αποδεικνύει την αποτελεσματικότητα της μεθόδου.

2.2.2 ΈΜΜΕΣΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ

2.2.2.1 Μέθοδος στιγμιαίων ταχυτήτων

Τα συστήματα μέτρησης στιγμιαίων ταχυτήτων, ειδικά οι επαγωγικοί φωρατές, έχουν αποτελέσει την κύρια πηγή πληροφορίας για τις τελευταίες δυο δεκαετίες όσο αφορά στην κυκλοφορία. Άλλες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί για τη μέτρηση στιγμιαίων ταχυτήτων είναι εκείνες που χρησιμοποιούν υπέρυθρες ακτίνες ή τεχνολογίες ραντάρ. Ανεξαρτήτως χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας, η παραπάνω μέθοδος μπορεί να παρέχει μετρήσεις χωρικής ταχύτητας ενός ρεύματος κυκλοφορίας σε μικρό τμήμα ενός δρόμου. Βασίζεται στην υπόθεση ότι η χωρική ταχύτητα είναι μια απλή συνάρτηση της στιγμιαίας ταχύτητας που καταγράφεται από το φωρατή και δίνει τη δυνατότητα χρησιμοποίησής της για την εκτίμηση των χρόνων διαδρομής. Ωστόσο, σε αστικές αρτηρίες που η διακύμανση τόσο του φόρτου των οχημάτων όσο και των διαδρομών ποικίλει η παραπάνω μέθοδος δεν ενδείκνυται (Robinson και

Polak, 2005). Επιπλέον, το κόστος της εγκατάστασης και συντήρησης τους καθώς και οι μεγάλες καθυστερήσεις που προκαλούνται από διακοπές στις διασταυρώσεις των αστικών αρτηριών οδηγούν στην απαίτηση για εξεύρεση εναλλακτικών

Ο Dailey (1991) χρησιμοποίησε μια τεχνική βασισμένη στο συσχετισμό διασταυρώσεων προκειμένου να εκτιμήσει με ακρίβεια το χρόνο διαδρομής ανάμεσα σε τοποθετημένους επαγωγικούς φωρατές ελεύθερης λεωφόρου, που είναι τοποθετημένοι σε μεγάλες αποστάσεις. Το μοντέλο που ανέπτυξε ουσιαστικά υπολόγιζε τον επιπρόσθετο χρόνο που προέκυπτε από τις καθυστερήσεις, λαμβάνοντας υπόψη τη διακύμανση της τιμής του φόρτου από τη μέση τιμή του σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα- σε αντίθεση με άλλες μεθόδους που χρησιμοποιούν τις μέσες τιμές φόρτου και κατάληψης.

Οι Petty et al. (1998) παρουσίασαν μια μεθοδολογία εκτίμησης χρόνου διαδρομής συνδέσμου ελεύθερης λεωφόρου, χρησιμοποιώντας δεδομένα φόρτου και κατάληψης από μονούς φωρατές, χωρίς να την εξαρτούν από ενδεχομένως λανθασμένους υπολογισμούς της ταχύτητας. Η μέθοδός τους βασίστηκε σε ένα απλό στοχαστικό μοντέλο σύμφωνα με το οποίο τα οχήματα που διέρχονται από ένα σημείο σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, εμφανίζουν την ίδια πιθανότητα κατανομής χρόνων διαδρομής και σε ένα σημείο κατάντη. Προκειμένου να γίνει εκτίμηση της κατανομής των χρόνων χρησιμοποιήθηκε μια σχέση μεταξύ των μεγεθών φόρτου, κατάληψης και ταχύτητας. Οι εκτιμήσεις που προέκυψαν αποδείχθηκε ότι συμπίπτουν σε μεγάλο βαθμό με εκτιμήσεις που προήλθαν από τόσο από μετρήσεις ταχυτήτων σε διπλούς φωρατές όσο και από καταγραφικά οχήματα.

Οι B. Van Arem et al. (1997), χρησιμοποίησαν ένα αναλυτικό μοντέλο για την εκτίμηση των χρόνων διαδρομής σε αυτοκινητόδρομο. Το μοντέλο χρησιμοποιεί στοιχεία από επαγωγικούς φωρατές- πιο συγκεκριμένα ταχύτητες και φόρτους ανά λεπτό σε όλα τα σημεία εισόδου και εξόδου του εξεταζόμενου τμήματος προκειμένου να εκτιμήσει τους χρόνους διαδρομής- σε συνδυασμό με ένα γραμμικό μοντέλο ARMA για τον εντοπισμό της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Η μέθοδος εφαρμόστηκε σε ένα τμήμα 16 χιλιομέτρων του αυτοκινητόδρομου A12 στην Ολλανδία. Οι μετρήσεις πεδίου πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση έξι καταγραφικών οχημάτων. Τα

αποτελέσματα του μοντέλου για τους χρόνους διαδρομής έδειξαν να συμπίπτουν αρκετά καλά με αυτά που προέκυψαν από τις μετρήσεις πεδίου στις περιπτώσεις ελεύθερης ροής και στην επαναλαμβανόμενη κυκλοφοριακή συμφόρηση. Για έκτακτες συνθήκες οι εκτιμημένοι χρόνοι ήταν λογικοί αλλά η έλλειψη μετρήσεων πεδίου καθιστούσε αδύνατη τη σύγκρισή τους με πραγματικά δεδομένα.

Οι Skabardonis και Geroliminis (2005) χρησιμοποίησαν ένα άλλο αναλυτικό μοντέλο βασισμένο στη κινηματική, κυματική θεωρία προκειμένου να προτυποποιήσουν τη χωρική και χρονική ανάπτυξη ουρών σε σηματοδοτούμενη αστική αρτηρία, λαμβάνοντας υπόψη και τη συντονισμένη σηματοδότηση για την εκτίμηση των αφίξεων στις διασταυρώσεις. Ο υπολογισμός του χρόνου διαδρομής έγινε χρησιμοποιώντας δεδομένα φόρτου- κατάληψης από φωρατές τοποθετημένους πολύ πριν τη σηματοδοτούμενη διασταύρωση -έτσι ώστε να μην επηρεάζονται από την ύπαρξη ουράς- μέσω του αθροίσματος του χρόνου διαδρομής υπό συνθήκες ελεύθερης ροής και της καθυστέρησης στους φωτεινούς σηματοδότες. Το μοντέλο εφαρμόστηκε στην M street της Ουάσινγκτον και στη λεωφόρο Lincoln του Los Angeles. Μετά από σύγκριση των αποτελεσμάτων που δίνει το συγκεκριμένο μοντέλο με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από επί τόπου μετρήσεις και από τη χρήση προσομοίωσης μέσω του λογισμικού προσομοίωσης CORSIM, αποδεικνύεται η αποτελεσματικότητα του στην εκτίμηση των χρόνων διαδρομής.

Οι Ahmed και Abu-Lebdeh (2005) πρότειναν ένα μακροσκοπικό μοντέλο που εκτιμά την καθυστέρηση που προκύπτει σε σηματοδοτημένη διασταύρωση λόγω της δημιουργίας ουράς κατάντη. Το μοντέλο εφαρμόστηκε σε ένα υποθετικό σηματοδοτημένο δίκτυο για ποικιλία συνθηκών ελέγχου και τα αποτελέσματα επικυρώθηκαν με τη χρήση των λογισμικών προσομοίωσης CORSIM και AIMSUN2. Απέδειξαν ότι η καθυστέρηση αυτή επιδρά σημαντικά στον καθορισμό της στάθμης εξυπηρέτησης και στις αναλύσεις κυκλοφοριακής ικανότητας και συνδέεται άμεσα με τη σηματοδότηση και το συντονισμό αυτής στη διασταύρωση. Ωστόσο, η δημιουργία του μοντέλου πραγματοποιήθηκε με παραδοχές και απλοποιήσεις, με αποτέλεσμα να είναι επιτακτική η ανάγκη επέκτασης του μοντέλου και με τη χρήση ποικίλων κυκλοφοριακών και οδικών συνθηκών.

Οι Kothuri et al. (2007) χρησιμοποίησαν δεδομένα από επαγωγικούς φωρατές σε αυτοκινητόδρομο της μητροπολιτικής περιοχής του Portland και μέσω ενός αλγόριθμου απλού ενδιαμέσου σημείου, οδηγήθηκαν στην εκτίμηση ταχυτήτων και ακολούθως χρόνων διαδρομής για συγκεκριμένα σημεία. Οι εκτιμήσεις τους αυτές καθώς και εκείνες που προέκυψαν από τη χρήση του αλγορίθμου Coifman εξετάστηκαν σε ποικίλες κυκλοφοριακές συνθήκες και ακολούθησε σύγκριση με πραγματικές μετρήσεις πεδίου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι και οι δύο μέθοδοι οδηγούν σε ακριβείς εκτιμήσεις χρόνων διαδρομής υπό συνθήκες ελεύθερης ροής, αλλά αυτή του Coifman υπερτερεί δίνοντας ακριβείς εκτιμήσεις ακόμη και για συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης ή συνθήκες που προκύπτουν από την εμφάνιση συμβάντων.

2.2.2.2 Συνδυασμός οχημάτων

Οι εξελίξεις της τεχνολογίας έχουν δημιουργήσει αισθητήρες που μπορούν να στιγματίζουν μαγνητικά τα διερχόμενα απ' αυτούς οχήματα προκειμένου να εντοπίζονται από κατάντη τοποθεσίες και έτσι να γίνεται η εκτίμηση του χρόνου διαδρομής. Τα συστήματα μέτρησης χωρικού χρόνου διαδρομής χρησιμοποιούν εξοπλισμό σε σταθερά σημεία προκειμένου να εντοπίσουν και να παρακολουθήσουν ένα όχημα ή σύνολο οχημάτων σε ένα οδικό τμήμα. Συνδυάζοντας στοιχεία ταυτότητας των οχημάτων μεταξύ διαφορετικών τοποθεσιών γίνεται η εκτίμηση των χωρικών χρόνων διαδρομής. Οι πιο συνηθισμένες τεχνολογίες αυτής της κατηγορίας περιλαμβάνουν συστήματα αυτόματου εντοπισμού οχημάτων και εντοπισμό μέσω κάμερας. Ωστόσο, η αποδοτικότητα τέτοιων συστημάτων δεν έχει ελεγχθεί και το κόστος τους είναι πολύ μεγάλο συγκρινόμενο με το κόστος των παραδοσιακών φωρατών (Robinson και Polak, 2005).

2.2.3 Μέθοδοι Εκτίμησης της Επίδρασης των Συμβάντων

Ένα συμβάν μπορεί να οριστεί ως ένα ασυνήθιστο γεγονός, για παράδειγμα ατύχημα, βλάβη οχήματος, παράνομη στάση/ στάθμευση, που μειώνει την κυκλοφοριακή ικανότητα του οδικού τμήματος στο οποίο εμφανίζεται. Πολλές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με την έκταση και τη διάρκεια της κυκλοφοριακής

συμφόρησης που προκαλείται σε αυτοκινητόδρομους εξαιτίας έκτακτων συμβάντων. Έχει βρεθεί ότι η κυκλοφοριακή συμφόρηση που οφείλεται στα συμβάντα αυτά αποτελεί περίπου το 1/2- 3/4 της συνολικής κυκλοφοριακής συμφόρησης σε αστικούς αυτοκινητοδρόμους (Hobeika και Dhulipala, 2004). Η επίδρασή του επικεντρώνεται όχι μόνο στην αύξηση του χρόνου διαδρομής του συνδέσμου στο οποίο εντοπίζεται το συμβάν αλλά και στους προηγούμενους συνδέσμους. Οι παράμετροι των συμβάντων που ενδιαφέρουν είναι:

- σοβαρότητα (που εκφράζεται μέσω του ποσοστού μείωσης της κυκλοφοριακής ικανότητας)
- τη διάρκεια
- μήκος του συνδέσμου
- χωρική εξέλιξη επιρροής (ανάντη και κατάντη σύνδεσμοι)
- οι κυκλοφοριακές συνθήκες κατά το χρονικό διάστημα στο οποίο εμφανίζεται το συμβάν

Γενικά, η προτυποποίηση των συμβάντων είναι λιγότερο ακριβής από αντίστοιχα μοντέλα υπό κανονικές συνθήκες εξαιτίας της μη αναμενόμενης μεταβλητότητας των συμβάντων. Ακολουθεί η συνοπτική παρουσίαση των κυριότερων μεθόδων εκτίμησης της επίδρασης των συμβάντων που έχουν χρησιμοποιηθεί έως τώρα.

2.2.3.1 Μαθηματικά Πρότυπα Κυκλοφοριακής Ροής

Τα πρότυπα αυτά προβλέπουν με ακρίβεια τη χωρική επίδραση των συμβάντων, για παράδειγμα το μέγιστο μήκος ουράς, αλλά μειονεκτούν στην εκτίμηση των καθυστερήσεων και των χρόνων επαναφοράς. Χρησιμοποιούνται προκειμένου να εκτιμήσουν κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά υπό έκτακτες συνθήκες, περιλαμβανομένου της εκτίμησης του μέσου και μέγιστου μήκους ουράς, της μέσης και μέγιστης καθυστέρησης ανά όχημα και της συνολικής καθυστέρησης.

Οι Hobeika και Dhulipala (2004) προκειμένου να εκτιμήσουν τον πρόσθετο χρόνο διαδρομής σε αστικό αυτοκινητόδρομο όπου εμφανίζεται κάποιο έκτακτο συμβάν, χρησιμοποίησαν ένα αλγόριθμο βασισμένο σε σημειακές εκτιμήσεις κυκλοφοριακών

μεγεθών καταγεγραμμένων από φωρατές τοποθετημένους σε κάθε σύνδεσμο του δικτύου. Η εκτίμηση έγινε υπολογίζοντας ξεχωριστά τους χρόνους του εντοπισμού και επαλήθευσης της εμφάνισης του συμβάντος, της ανταπόκρισης του δικτύου για την εξάλειψη του, της εξάλειψης, της επαναφοράς και ανάλογα πάντα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε συμβάντος. Επιπλέον, συγκρίνοντας τις εκτιμήσεις τους με αποτελέσματα που προέκυψαν από τη χρήση του λογισμικού προσομοίωσης CORSIM απέδειξαν την ακρίβεια της μεθοδολογίας τους.

Οι Skabardonis και Geroliminis (2004) χρησιμοποίησαν ένα αναλυτικό μοντέλο βασισμένο στη ντετερμινιστική θεωρία αναμονής, προκειμένου να εκτιμήσουν αυτή τη φορά την επίδραση των συμβάντων σε ένα αυτοκινητόδρομο. Αρχικά, χρησιμοποίησαν το μοντέλο για να εκτιμήσουν το χρόνο που απαιτείται για την επαναφορά των κανονικών συνθηκών κυκλοφορίας μετά την εξάλειψη του συμβάντος και τις καθυστερήσεις που προκύπτουν τόσο υπό κορεσμένες όσο και υπό μη κορεσμένες συνθήκες. Οι συγκρίσεις των μετρημένων από φωρατές και εκτιμημένων επιδράσεων των συμβάντων, οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η προτεινόμενη μέθοδος παρέχει αξιόπιστες πληροφορίες σχετικά με τις καθυστερήσεις. Επίσης, εκτίμησαν την καθυστέρηση ως το σύνολο των οχηματοωρών που έχουν διανυθεί με ταχύτητα μικρότερη από κάποια συγκεκριμένη για δεδομένο τμήμα και χρονική περίοδο εξαιτίας της κυκλοφοριακής συμφόρησης, χρησιμοποιώντας δεδομένα από την υπάρχουσα βάση δεδομένων του συστήματος διαχείρισης κυκλοφορίας της California.

2.2.3.2 Προσομοίωση

Η προσομοίωση δίνει τη δυνατότητα ανάλυσης της επίδρασης των συμβάντων χωρίς τη χρήση απλοποιητικών υποθέσεων που απαιτούν οι αναλυτικές μέθοδοι. Ωστόσο, η κατάλληλη προσομοίωση τέτοιων καταστάσεων εμφανίζει ειδικές απαιτήσεις. Πολλές από τις παραμέτρους, όπως για παράδειγμα η θέση της αρχής των εναλλακτικών λωρίδων που χρησιμοποιούνται για την αποφυγή του συμβάντος καθώς και οι αποδεκτές αποστάσεις των λωρίδων αυτών, πρέπει να βαθμονομηθούν κατάλληλα ώστε να περιγράφουν με όσο το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια τις

πραγματικές συνθήκες ροής. Στη μέθοδο αυτή απαραίτητη είναι η πραγματοποίηση πολλών δοκιμών προκειμένου να καθοριστεί η περίοδος της προσομοίωσης και να προσδιοριστεί επακριβώς η επίδραση των συμβάντων καθώς επίσης και για να εξαχθούν στατιστικά σημαντικά συμπεράσματα. Η προσομοίωση χρησιμοποιείται για τη διερεύνηση της αποτελεσματικότητας και τον καθορισμό της στρατηγικής διαχείρισης των συγκοινωνιακών δικτύων.

Οι Hounsell και Ishtiaq (1997) προκειμένου να προβλέψουν χρόνους διαδρομής σε περιπτώσεις ειδικών συμβάντων, χρησιμοποίησαν το λογισμικό προσομοίωσης CONTRAMI με στόχο τη δημιουργία μιας αρχικής βάσης δεδομένων για την περαιτέρω εργασία τους. Η δημιουργία αυτής της βάσης δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια δυο αστικών δικτύων, ένα με κυκλοφοριακή συμφόρηση και ένα λιγότερο συμφορημένο και περιελάμβανε τα σενάρια που συνδύαζαν τα ακόλουθα:

- 4 ξεχωριστές τοποθεσίες
- 3 επίπεδα σοβαρότητας (που οδηγούσαν αντίστοιχα σε μείωση της κυκλοφοριακής ικανότητας κατά 80%, 50% και 30% αντίστοιχα)
- 3 διαφορετικές διάρκειες συμβάντων (15, 30 και 45 λεπτών)

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης εμφανίζονται να είναι λίγο χειρότερα σε σχέση με τις πραγματικές κυκλοφοριακές συνθήκες που επικρατούν, εξαιτίας της αβεβαιότητας του ποσοστού των οδηγών που θα αλλάξουν πορεία αντιλαμβανόμενοι την ύπαρξη συμβάντος σε σύνδεσμο της αρχικής τους πορείας.

Οι Wirtz et al. (2005) χρησιμοποίησαν την προσομοίωση προκειμένου να υπολογίσουν την επίδραση των συμβάντων στους αυτοκινητόδρομους και να προχωρήσουν σε στρατηγικές προσχεδιασμού για την αντιμετώπισή τους. Οι δείκτες αποδοτικότητας που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ο αριθμός των λωρίδων-μιλίων-ωρών που βρισκόταν σε στάθμη εξυπηρέτησης F, καθώς και η έκταση της κυκλοφοριακής συμφόρησης σε εναλλακτικές διαδρομές περιμετρικά του συμβάντος. Εξετάστηκαν συνολικά 10 σενάρια, το ένα χωρίς συμβάν και τα υπόλοιπα 9 με συμβάντα για διάρκεια 1-3 ωρών και για τις 3 ώρες προσομοίωσης. Ο αριθμός των συνολικών λωρίδων-μιλίων-ωρών χρησιμοποιήθηκε ως εξαρτημένη μεταβλητή στη γραμμική

παλινδρόμηση προκειμένου να ενοποιηθούν τα αποτελέσματα των πειραμάτων και να ελεγχθεί η στατιστική σημασία της σοβαρότητας, της διάρκειας καθώς και των μέτρων αντιμετώπισης ενός συμβάντος στην κυκλοφοριακή συμφόρηση.

2.2.3.3 Μέθοδος Εκτίμησης της επίδρασης των συμβάντων μέσω κάμερας

Μια άλλη μέθοδος για την εκτίμηση των χρόνων διαδρομής και ακολούθως των καθυστερήσεων σε τμήμα οδού στο οποίο συμβαίνει κάποιο συμβάν, είναι η παρακολούθηση και η εκ νέου αναγνώριση του συμβάντος μέσω της χρήσης κάμερας. Η μέθοδος αυτή ανάλυσης των συμβάντων αποτελεί μια διαδικασία συσχετισμού οχημάτων μεταξύ δυο θέσεων του τμήματος που διερευνάται προκειμένου να εκτιμηθούν οι αντίστοιχοι χρόνοι διαδρομής τους (Pierce et al., 2005). Ο συσχετισμός γίνεται με τη χρήση λογισμικού που χρησιμοποιεί ως δεδομένα τις καταγραφές των καμερών. Στη συνέχεια εκτιμώνται οι χρόνοι διαδρομής κάθε οχήματος κατά τη διάρκεια του συμβάντος και υπολογίζεται η καθυστέρησή τους μετά από σύγκριση με τους αντίστοιχους χρόνους σε συνθήκες μη ύπαρξης συμβάντος. Η μέθοδος αυτή πλεονεκτεί έναντι της μεθόδου συλλογής στοιχείων μέσω των επαγωγικών φωρατών εξαιτίας του γεγονότος ότι παρακολουθεί μεμονωμένα οχήματα και έτσι παράγει τμηματικούς χρόνους διαδρομής, καθυστερήσεις και πυκνότητες. Αντίθετα οι επαγωγικοί φωρατές, καταγράφουν και υπολογίζουν σημειακές ταχύτητες και φόρτους. Μειονέκτημά της μεθόδου αυτής αποτελεί η χρονοβόρα και επίπονη διαδικασία καταγραφής των συμβάντων στην κάμερα. Γενικά, η μέθοδος καταγραφής της κυκλοφορίας μέσω καμερών μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την εκτίμηση των χρόνων διαδρομής υπό κανονικές συνθήκες.

Οι Pierce et al. (2005) χρησιμοποίησαν τη μέθοδο της ακολουθίας συμβάντος και εντοπισμού του οχήματος μέσω της χρήσης κάμερας μελετώντας 22 συμβάντα και 7300 οχήματα σε διαπολιτειακές οδούς στο St.Louis στο Missouri. Την εκτίμηση των χρόνων διαδρομής ακολούθησε η εξεύρεση μεθοδολογίας προκειμένου να υπολογιστούν οι συνολικές καθυστερήσεις που προκαλούνται από ένα συμβάν.

Εξετάστηκαν 68 διαφορετικά πρότυπα για τον προσδιορισμό του ιδανικότερου όσο αφορά στην περιγραφή του χρόνου διαδρομής σε συνδυασμό με το χρόνο που έχει διανυθεί κάθε στιγμή. Καλύτερο βρέθηκε το κυβικό πολυωνυμικό, το οποίο τελικά χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των συνολικών καθυστερήσεων κατά τη διάρκεια του συμβάντος και για τη συμπλήρωση ελλιπών στοιχείων κατά την καταγραφή συμβάντων.

Συμπερασματικά, αξίζει να σημειωθεί ότι οι μέθοδοι που τελικά συναντώνται στη βιβλιογραφία και ειδικά εκείνες που βασίζονται στη χρήση μετρήσεων από επαγωγικούς φωρατές, εμφανίζουν πολύ μεγάλη ποικιλία παραλλαγών ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία- μοντέλο εκτίμησης των χρόνων αυτών βάση των διαθέσιμων στοιχείων. Επιπλέον, η διαφοροποίηση των ερευνών, μπορεί να οφείλεται και στη χρησιμοποίηση διαφορετικής μεθόδου αξιολόγησης της αποδοτικότητας του χρησιμοποιούμενου προτύπου. Οι πίνακες 2.1 και 2.2 περιλαμβάνουν με χρονολογική σειρά τις κυριότερες μεθοδολογίες που έχουν εφαρμοσθεί στην παγκόσμια βιβλιογραφία και την περιοχή εφαρμογής τους τόσο για την εκτίμηση των χρόνων διαδρομής όσο και για τη μελέτη της επίδρασης των συμβάντων.

2.4 ΣΥΝΟΨΗ

Η εκτίμηση των χρόνων διαδρομής καθώς και η πρόβλεψη τους αποτελούν σημαντικότερα εργαλεία για τη λήψη δυναμικών μέτρων διαχείρισης τη κυκλοφορίας. Ο καθορισμός των χρόνων διαδρομής μπορεί να γίνει είτε άμεσα με εκτίμηση από τις μετρήσεις επαγωγικών φωρατών είτε έμμεσα μέσω της χρήσης κυκλοφοριακών μοντέλων δικτύων.

Όπως έγινε φανερό από την παραπάνω ανάλυση και παρουσίαση, έχει πραγματοποιηθεί εκτεταμένη έρευνα σε ελεύθερες λεωφόρους και αυτοκινητόδρομους σε αντίθεση με τις αστικές αρτηρίες. Όσον αφορά στην επίδραση των συμβάντων στους χρόνους διαδρομής, η έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί είναι αφενός περιορισμένη και αφετέρου εντοπίζεται σε μεγάλο βαθμό στους αυτοκινητόδρομους.

Λαμβάνοντας υπόψη τη σημαντικότητα της επίδρασης των συμβάντων ειδικά σε αστικές σηματοδοτημένες αρτηρίες καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι καθίσταται επιτακτική η ανάγκη διερεύνησής της. Είναι αναγκαίο επίσης η επίδραση αυτή να διερευνηθεί για μεταβαλλόμενες συνθήκες κυκλοφοριακής ροής καθώς επίσης και για διαφορετικά χαρακτηριστικά των συμβάντων (σοβαρότητα, διάρκεια, χρόνος επαναφοράς κ.α.) προκειμένου να προσδιορισθούν τόσο οι παράγοντες που επηρεάζουν τους χρόνους διαδρομής υπό τέτοιες ειδικές συνθήκες όσο και η έκταση της επίδρασης καθενός. Η προσομοίωση αποτελεί την καταλληλότερη μέθοδο για την επίτευξη του παραπάνω στόχου καθώς επιτρέπει σε μικρό χρονικό διάστημα γρήγορους και ακριβείς υπολογισμούς.

Στην παρούσα διπλωματική επιχειρείται η διερεύνηση της επίδρασης συμβάντων που διαφέρουν ως προς τη χωρική τοποθέτηση, τη διάρκεια καθώς τις συνθήκες κυκλοφορίας που επικρατούν σε αστική σηματοδοτημένη αρτηρία. Η παραπάνω διερεύνηση θα πραγματοποιηθεί με τη χρήση του λογισμικού πακέτου προσομοίωσης CORSIM-TSIS.

Πίνακας 2. 1: Μεθοδολογίες προσδιορισμού χρόνου διαδρομής.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ	ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ	ΕΦΑΡΜΟΓΗ
Dailey	1991	επαγωγικοί φορατές	καμία σύγκριση	ελεύθερη λεωφόρος
Quiroga	1997	GPS		ελεύθερη λεωφόρος
Van Arem et al.	1997	επαγωγικοί φορατές	μετρήσεις καταγραφικών οχημάτων	αυτοκινητόδρομος
Petty et al.	1998	μονοί φορατές	μετρήσεις καταγραφικών οχημάτων/ διπλοί φορατές	αυτοκινητόδρομος
You and Kim	2000	καταγραφικά οχήματα (probe vehicles)	καμία σύγκριση	αστική αρτηρία
Ygance	2001	μέθοδος κινητών τηλεφώνων	φορατές	αστική και υπεραστική ελεύθερη λεωφόρος
Smith et al.	2003	μέθοδος κινητών τηλεφώνων	σημειακός βιντεο-αισθητήρας	αστική αρτηρία και ελεύθερη λεωφόρος
Bajwa et al.	2003	υπερηχητικοί φορατές		αυτοκινητόδρομος
Dion and Rakha	2005	αυτόματα συστήματα εντοπισμού οχημάτων		ελεύθερη λεωφόρος αστική σηματοδοτημένη αρτηρία
Robinson and Polak	2005	κάμερες αυτόματης καταγραφής	άλλα μοντέλα	αστική σηματοδοτημένη αρτηρία
Skabardonis and Geroliminis	2005	φορατές	προσομοίωση/ μετρήσεις καταγραφικών οχημάτων	αστική σηματοδοτημένη αρτηρία
Cayford και Yim	2006	μέθοδος κινητών τηλεφώνων		αστική αρτηρία και ελεύθερη λεωφόρος
Hiller Bar-Gera	2007	μέθοδος κινητών τηλεφώνων	διπλοί μαγνητικοί φορατές καταγραφικά οχήματα	ελεύθερη λεωφόρος
Soriguera et al.	2007	υποδομές διοδίων		αυτοκινητόδρομος
Kothuri et al.	2007	φορατές	μετρήσεις καταγραφικών οχημάτων	ελεύθερη λεωφόρος
Hunter	2006	GPS		αστική αρτηρία
Pan,C. et al.	2006	GPS	ηλεκτρονική μέτρηση της απόστασης	αστική αρτηρία

Πίνακας 2. 2: Μεθοδολογίες εκτίμησης της επίδρασης συμβάντων στην κυκλοφοριακή ροή.

ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ	ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ	ΕΦΑΡΜΟΓΗ
Hounsell and Ishtiaq	1997	προσομοίωση		αστικό δίκτυο
Skabardonis and Geroliminis	2004	αναλυτικό μοντέλο βασισμένο στη θεωρία αναμονής	φορατές	αυτοκινητόδρομος
Hobeika and Dhulipala	2004	αναλυτικό μοντέλο βασισμένο σε σημειακά κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά θεωρία αναμονής	προσομοίωση	αστική ελεύθερη λεωφόρος
Wirtz et al.	2005	προσομοίωση		αστική ελεύθερη λεωφόρος
Pierce et al.	2005	καταγραφή μέσω κάμερας		υπεραστική αρτηρία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Προσομοίωση

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα πρότυπα προσομοίωσης αποτελούν συνδυασμό μαθηματικών προτύπων και λογικών κανόνων συμπεριφοράς για την περιγραφή της κυκλοφοριακής ροής κάτω από συγκεκριμένες οδικές και κυκλοφοριακές συνθήκες. Σήμερα χρησιμοποιούνται ευρέως στη μίμηση της συμπεριφοράς κυκλοφοριακών συστημάτων. Ειδικότερα τα πρότυπα προσομοίωσης είναι μαθηματικές παρουσιάσεις των πραγματικών συστημάτων μέσω ενός λογισμικού που διαχειρίζεται τις διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας του. Οι διαφορές μπορεί να αναφέρονται στη γεωμετρία του οδικού δικτύου, στις συνθήκες ζήτησης και ελέγχου της κυκλοφορίας και γενικότερα σε κάθε παράμετρο που επηρεάζει τη λειτουργία του συστήματος. Τα πρότυπα αυτά συνδυάζουν μεμονωμένες συμπεριφορές των στοιχείων του συστήματος καθώς και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους προκειμένου να δημιουργήσουν μια λεπτομερή ποιοτική περιγραφή της αποδοτικότητας του.

Η χρησιμοποίησή τους είναι ευρύτατη τα τελευταία χρόνια καθώς τα πρότυπα αυτά πλεονεκτούν έναντι των υπολοίπων μαθηματικών και λογικών προτύπων διότι έχουν

τη δυνατότητα περιγραφής των δυναμικών κυκλοφοριακών συνθηκών που επικρατούν σε ένα δίκτυο. Έτσι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αντιμετώπιση προβλημάτων, των οποίων η πολυπλοκότητα και η δυναμική τους φύση δεν επιτρέπει την μελέτη τους υπό άλλες μεθόδους. Επιπλέον, υπερτερούν όσον αφορά στην ακρίβεια και την εφαρμοσιμότητα των παραγομένων αποτελεσμάτων, όπως επίσης και στο σαφή καθορισμό της διάρκειας της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Τέλος, η γραφική απεικόνιση του δικτύου και των κυκλοφοριακών συνθηκών που επικρατούν σ' αυτό επιτρέπουν τη σαφέστερη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του δικτύου και την επεξήγηση των στατιστικών αποτελεσμάτων.

Γενικά, τα πρότυπα προσομοίωσης χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών όπως:

1. Στην αξιολόγηση εναλλακτικών προτάσεων διαχείρισης της κυκλοφορίας

Μέσω της προσομοίωσης ο ερευνητής μπορεί να ελέγξει το περιβάλλον και να καθορίσει τις μεταβλητές που θα εξετάσει. Αρχικά τα πρότυπα προσομοίωσης είχαν χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση διαφόρων στρατηγικών ελέγχου και εφαρμόζονται ακόμη και σήμερα γι' αυτό το σκοπό σε πολλά συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας παγκοσμίως.

2. Στην αξιολόγηση σχεδιασμού οδικού δικτύου

Οι συγκοινωνιακές υποδομές είναι κατά κανόνα δαπανηρές υποδομές. Η προσομοίωση δίνει τη δυνατότητα ποσοτικοποίησης της απόδοσης του δικτύου ανάλογα με τα εφαρμοζόμενα σχέδια καθώς και του εντοπισμού ενδεχόμενων περιορισμών στην υλοποίησή τους προκειμένου να προσδιοριστεί με αξιοπιστία η βέλτιστη λύση

3. Στην Ασφάλεια

Η προσομοίωση επιτρέπει τον έλεγχο σεναρίων κυκλοφορίας που περιλαμβάνουν ατυχήματα και έχει αποδειχθεί εργαλείο ανεκτίμητης αξίας για την βελτίωση της οδικής ασφάλειας.

Μεγάλη είναι η εφαρμογή των προτύπων προσομοίωσης και στην αξιολόγηση των διαφόρων στρατηγικών που χρησιμοποιούνται στα «έξυπνα» συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας (ITS-Intelligent Transportation Systems).

Η ευρύτητα του πεδίου εφαρμογής των προτύπων προσομοίωσης της κυκλοφορίας διαφαίνεται και από τα παρακάτω. Οι Gertner και Hou (1992), χρησιμοποίησαν την προσομοίωση προκειμένου να αξιολογήσουν και να συγκρίνουν την απόδοση δυο στρατηγικών ελέγχου της κυκλοφορίας σε αστική αρτηρία χρησιμοποιώντας το λογισμικό προσομοίωσης TRAFNETSIM. Οι Mahmassani και Peeta(1993), εκτίμησαν το ισοζύγιο ενός δικτύου και πέτυχαν τη βελτιστοποίησή του για διάφορα σενάρια ζήτησης μέσω του λογισμικού προτύπου προσομοίωσης DYNASMART. Τέλος, οι Rathī και Liebreman (1989), εξέτασαν εάν η εφαρμογή διοδίων στην περιφέρεια μιας αστικής περιοχής με κυκλοφοριακή συμφόρηση, μπορεί να περιορίσει το πρόβλημα της συμφόρησης εντός αυτής, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό την αποδοτικότητα του δικτύου στο σύνολό του. Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε σε μια περιοχή του Manhattan.

Αξίζει, τέλος να σημειωθεί ότι η προσομοίωση αυτή καθαυτή δεν αντικαθιστά τα πρότυπα βελτιστοποίησης, τις διαδικασίες εκτίμησης της κυκλοφοριακής ικανότητας και τις δραστηριότητες προτυποποίησης της ζήτησης και του σχεδιασμού. Η προσομοίωση ουσιαστικά συνεργάζεται με τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για τις παραπάνω, είτε ως ενσωματωμένο πρότυπο, είτε ως βοηθητικό εργαλείο στην αξιολόγηση και επέκταση των αποτελεσμάτων, που προέρχονται από τα άλλα πρότυπα.

3.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Σχεδόν όλα τα πρότυπα προσομοίωσης περιγράφουν δυναμικά συστήματα όπου ο χρόνος αποτελεί τη βασική ανεξάρτητη μεταβλητή. Έτσι, τα πρότυπα αυτά περιγράφουν τον τρόπο με το οποίο τα στοιχεία ενός συστήματος μεταβάλλονται συνεχώς με την πάροδο του χρόνου, αντιδρώντας σε διάφορα ερεθίσματα.

Γενικά, τα πρότυπα προσομοίωσης της κυκλοφορίας κατανέμονται σε διάφορες κατηγορίες με βάση συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τους.

Μια πρώτη κατηγοριοποίηση σχετίζεται με την περιγραφή της μεταβολής των παραμέτρων, η οποία μπορεί να γίνεται είτε έχοντας ως βάση τον χρόνο, είτε κάποια ακολουθία γεγονότων.

Στα πρώτα, οι χρονικές υποδιαίρεσεις, κατά τις οποίες θεωρούνται ότι λαμβάνουν χώρα οι αλλαγές του συστήματος, κυμαίνονται μεταξύ γνωστών, διαδοχικών χρονικών περιόδων. Κατά τη διάρκεια κάθε τέτοιας περιόδου, το πρότυπο μεταβάλλει την κατάσταση των προεπιλεγμένων στοιχείων του συστήματος.

Μερικά όμως συστήματα περιέχουν στοιχεία που χαρακτηρίζονται από σταθερές τιμές για μεγάλο χρονικό διάστημα και τα οποία μπορούν να περιγραφούν αποκλειστικά από αυτές τις σταθερές. Για παράδειγμα, η πράσινη όψη ενός φωτεινού σηματοδότη παραμένει σταθερή για αρκετά δευτερόλεπτα μέχρι να μετατραπεί στιγμιαία σε κίτρινη. Αυτή η απότομη αλλαγή στην κατάσταση ενός στοιχείου ονομάζεται γεγονός (event). Σαν συνέπεια, ο φωτεινός αυτός σηματοδότης μπορεί να περιγραφεί από τη διαδοχή των όψεων του, χωρίς να είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της κατάστασης του κάθε δευτερόλεπτο. Το πλεονέκτημα που εμφανίζεται εδώ είναι η εξοικονόμηση χρόνου κατά τη διάρκεια των υπολογισμών.

Για συστήματα περιορισμένου μεγέθους ή συστήματα των οποίων τα στοιχεία δε μεταβάλλονται συχνά σε συναρτήσει με το χρόνο, προτιμάται η χρησιμοποίηση του δεύτερου τύπου. Αντίθετα για συστήματα με συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες και απαίτηση για λεπτομερή περιγραφή των στοιχείων τους, χρησιμοποιείται ο πρώτος τύπος.

Μια άλλη κατηγοριοποίηση των προτύπων προσομοίωσης είναι εκείνη που στηρίζεται στο βαθμό λεπτομέρειας της περιγραφής ενός συστήματος. Βάση αυτής της κατηγοριοποίησης τα πρότυπα χωρίζονται σε:

- Μικροσκοπικά (υψηλής πιστότητας)
- Μακροσκοπικά (χαμηλής πιστότητας)
- Μεσοσκοπικά (μεικτής πιστότητας)

Στα μικροσκοπικά πρότυπα προσομοιώνεται η κυκλοφορία των μονάδων του συστήματος, δηλαδή των οχημάτων. Η περιγραφή δεν εντοπίζεται μόνο στις ίδιες τις

μονάδες του συστήματος αλλά και στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών και πραγματοποιείται με μεγάλο βαθμό λεπτομέρειας. Η κίνηση του οχήματος καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά του οδηγού, της αποδοτικότητας του οχήματος και τη αλληλεπίδραση του περιβάλλοντος του οδικού δικτύου με τα διερχόμενα οχήματα. Πιο συγκεκριμένα, η κίνηση κάθε οχήματος του κυκλοφοριακού ρεύματος εξαρτάται από την κίνηση των προπορευόμενων καθώς και της οδικής συμπεριφοράς των οδηγών. Μειονέκτημα των προτύπων αυτών αποτελεί η ανάγκη λεπτομερούς καθορισμού τόσο του ίδιου του προτύπου όσο και των εισαγόμενων σε αυτό δεδομένων καθώς επίσης και οι πολύπλοκοι υπολογισμοί και οι στατιστικές αναλύσεις των εξαγόμενων αποτελεσμάτων που οδηγούν σε αυξημένους υπολογιστικούς χρόνους. Τα πρότυπα αυτά χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται μεγάλο επίπεδο λεπτομέρειας και οι μονάδες του συστήματος αποτελούν ιδιαίτερα σημαντικές παραμέτρους του συστήματος.

Στα μακροσκοπικά πρότυπα, προσομοιώνεται η κυκλοφορία σε ευρύτερο πλαίσιο και όχι ξεχωριστά για κάθε μονάδα του συστήματος. Το κυκλοφοριακό ρεύμα περιγράφεται σύμφωνα με υδροδυναμικά πρότυπα, με τη χρήση διαφορικών εξισώσεων που μπορούν να επιλυθούν αριθμητικά. Για παράδειγμα το ρεύμα της κυκλοφορίας μπορεί να αντιπροσωπευθεί από στοιχεία όπως η πυκνότητα, ο ρυθμός ροής και η ταχύτητα μέσω της χρήσης των μέσων τιμών τους. Τα πρότυπα αυτά πλεονεκτούν ως προς τις δαπάνες ανάπτυξής και υλοποίησής τους, αλλά υστερούν ως προς την ακρίβειά τους. Η χρησιμοποίησή τους ενδείκνυται σε περιπτώσεις όπου:

- η έκταση της υπό μελέτης περιοχής δεν επιτρέπει τη χρήση μικροσκοπικών προτύπων
- τα αποτελέσματα δεν είναι ευαίσθητα σε μικροσκοπικές λεπτομέρειες
- οι διαθέσιμοι πόροι και ο χρόνος είναι περιορισμένοι

Μειονέκτημά τους αποτελεί η ανεπάρκειά τους στην προσομοίωση των κυκλοφοριακών συνθηκών υπό την επίδραση πολύπλοκων γεωμετρικών αλλαγών, αλλαγών του συστήματος ελέγχου και άλλων μέτρων διαχείρισης της κυκλοφορίας.

Τα μεσοσκοπικά πρότυπα προσομοίωσης είναι πρότυπα ανάμεσα στα μικροσκοπικά και τα μακροσκοπικά. Γενικά περιγράφουν τις περισσότερες μονάδες τους

συστήματος με υψηλό βαθμό λεπτομέρειας, ο οποίος όμως εμφανίζεται αρκετά μικρότερος του αντίστοιχου μικροσκοπικού στην περιγραφή των δραστηριοτήτων και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μονάδων. Πιο συγκεκριμένα, η ανάλυση πραγματοποιείται με ταυτόχρονη χρήση μακροσκοπικού μαθηματικού προτύπου για την περιγραφή του συστήματος και συνακόλουθα την εξοικονόμηση υπολογιστικού χρόνου και επιπρόσθετων μαθηματικών προτύπων για τη διόρθωση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων (εξαιτίας των απλουστεύσεων τους που έχει προκύψει από τη χρήση του μακροσκοπικού προτύπου).

Συμπερασματικά, για την εφαρμογή λειτουργικών μέτρων και την αξιολόγηση αποτελεσμάτων νέων συστημάτων ελέγχου και διαχείρισης της κυκλοφορίας γενικότερα, χρησιμοποιούνται ευρέως τα μικροσκοπικά πρότυπα προσομοίωσης.

Τα πρότυπα προσομοίωσης μπορούν να διαχωριστούν επίσης σε ντετερμινιστικά και στοχαστικά με βάση τον τρόπο θεώρησης των γεγονότων, αν δηλαδή συγκεκριμένα γεγονότα είναι βέβαια ή πιθανά να συμβούν.

Πιο συγκεκριμένα, ντετερμινιστικά είναι τα πρότυπα στα οποία τα μελλοντικά γεγονότα θεωρείται βέβαιο ότι πρόκειται ή δεν πρόκειται να συμβούν. Η βεβαιότητα στηρίζεται στο γεγονός ότι οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων στοιχείων περιγράφονται από ακριβείς μαθηματικές, στατιστικές ή λογικές σχέσεις. Στην πράξη, στην προσομοίωση με χρήση ντετερμινιστικού προτύπου θα προκύπτει πάντα το ίδιο αποτέλεσμα χρησιμοποιώντας τα ίδια χαρακτηριστικά των στοιχείων του συστήματος δηλαδή τα ίδια δεδομένα εισόδου.

Αντίθετα, τα στοχαστικά είναι τα πρότυπα στα οποία χρησιμοποιούνται τυχαίες μεταβλητές και μέσω αυτών εξετάζεται η πιθανότητα με την οποία αναμένεται να συμβούν τα μελλοντικά γεγονότα. Στην πράξη, η προσομοίωση με χρήση στοχαστικού προτύπου θα έχει διαφορετικά αποτελέσματα χρησιμοποιώντας τα ίδια χαρακτηριστικά των στοιχείων του συστήματος ως δεδομένα εισόδου προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα σε αυτή την περίπτωση εξαρτώνται και από την τιμή της πιθανότητας η οποία υπεισέρχεται σε τμήμα ή τμήματα υπολογισμών του προτύπου προσομοίωσης. Στοχαστικές μέθοδοι εφαρμόζονται κυρίως στα μικροσκοπικά

πρότυπα, ενώ στα μακροσκοπικά και μεσοσκοπικά πρότυπα συνήθως εφαρμόζονται ντετερμινιστικές μέθοδοι.

Τέλος, τα πρότυπα προσομοίωσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δυναμικά και στατικά με βάση τον τρόπο θεώρησης των μεταβολών του συστήματος στον χρόνο.

Πιο συγκεκριμένα, στα δυναμικά πρότυπα προσομοίωσης οι συνθήκες, κάποια από τα χαρακτηριστικά καθώς και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μεταβάλλονται με τον χρόνο, ενώ στα στατικά πρότυπα οι συνθήκες, τα χαρακτηριστικά και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι ανεξάρτητα από τον χρόνο.

3.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη των προτύπων της προσομοίωσης της κυκλοφορίας αποτελείται από μεγάλο αριθμό διαδικασιών οι οποίες πρέπει να ολοκληρωθούν με συγκεκριμένη σειρά. Επιπλέον, ο μελετητής θα πρέπει σε κάθε βήμα της διαδικασίας να ελέγχει και να συσχετίζει τα αποτελέσματά προκειμένου να είναι σε θέση να εκτιμήσει την ανάγκη επανάληψης κάποιας διαδικασίας.

Τα βασικότερα σημεία είναι ο καθορισμός του σκοπού ανάπτυξης του προτύπου, των επιθυμητών εξαγόμενων πληροφοριών καθώς και του συστήματος μελέτης. Όσο αφορά στον καθορισμό του υπό μελέτη συστήματος, αυτό αποτελείται από την ανάλυση των ίδιων των στοιχείων του και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ αυτών. Στο σημείο αυτό καθορίζονται επίσης τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου και τα όρια εντός των οποίων αναπτύσσεται το σύστημα. Αναλυτικότερα, τα βήματα έχουν ως εξής:

1. Ανάπτυξη του προτύπου

Η ανάπτυξη του προτύπου περιλαμβάνει τα ακόλουθα σημεία:

- προσδιορισμό του προτύπου που θα χρησιμοποιηθεί καθώς επίσης και των δεδομένων εισόδου και εξόδου του
- καθορισμό των συναρτήσεων και διαδικασιών που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και των χαρακτηριστικών του λογισμικού ανάπτυξης του συστήματος

- σχεδιασμό του λογισμικού προσομοίωσης, εύρεση της βάσης δεδομένων
- καταγραφή υπολογιστικής διαδικασίας

2. Βαθμονόμηση του προτύπου

Συλλογή στοιχείων για τη βαθμονόμηση του προτύπου και εισαγωγή σ' αυτό. Η βαθμονόμηση περιλαμβάνει την τροποποίηση των εξερχόμενων αποτελεσμάτων των προτύπων προσομοίωσης (τα οποία συνήθως αντιπροσωπεύουν τις μέσες τιμές των εξεταζόμενων παραμέτρων), μετά από σύγκριση τους με μετρήσεις πραγματικού πεδίου. Μια σωστή βαθμονόμηση απαιτεί άψογη κατανόηση του τρόπου λειτουργία του συστήματος. Για παράδειγμα, ο αναλυτής θα πρέπει να μπορεί να εντοπίσει τα σημεία όπου εμφανίζεται κυκλοφοριακή συμφόρηση και να εντοπίσει τις αιτίες αυτού του φαινομένου προκειμένου να είναι σε θέση να βαθμονομήσει το πρότυπο.

3. Επικύρωση του προτύπου

Έλεγχος του προτύπου προκειμένου να επιβεβαιωθεί η καταλληλότητά του όσο αφορά στην περιγραφή του πραγματικού συστήματος με σχετική ακρίβεια. Όσο αφορά τις συναρτήσεις που είναι απαραίτητο να καθοριστούν για την ανάπτυξη του προτύπου, αυτές διακρίνονται σε:

I. Πρότυπο Ακολουθούντος Οχήματος (Car Following Model)

Το πρότυπο αυτό εμφανίζεται σε όλα τα μικροσκοπικά πρότυπα προσομοίωσης της κυκλοφορίας και εκφράζει την αλληλεπίδραση μεταξύ δυο οχημάτων που κινούνται σε σειρά στην ίδια λωρίδα κυκλοφορίας. Η αλληλεπίδραση αυτή εμφανίζει χαρακτηριστικά μηχανισμού δράσης-αντίδρασης. Η επιτάχυνση μπορεί να θεωρηθεί ως η απάντηση στο ερέθισμα από κάποιο εξωγενή ή ενδογενή παράγοντα της κυκλοφορίας:

$$a_f = F(v_l, v_f, s, d_l, d_f, R_f, P_i)$$

όπου:

a_f : η επιτάχυνση του ακολουθούντος οχήματος

v_l, v_f : η ταχύτητα του προπορευόμενου και του ακολουθούντος οχήματος αντίστοιχα

s : η απόσταση μεταξύ των οχημάτων

d_i, d_f : ο ρυθμός επιβράδυνσης του προπορευόμενου και του ακολουθούντος οχήματος

R_f : ο χρόνος αντίδρασης του οδηγού του ακολουθούντος οχήματος

P_i : άλλοι παράγοντες

II. Δυνατότητα Γένεσης Τυχαίων αριθμών

Όλα τα στοχαστικά πρότυπα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα γένεσης τυχαίων αριθμών. Η γένεση αυτή πραγματοποιείται με τη χρήση διαφόρων μεθόδων μέσω ηλεκτρονικών υπολογιστών, γι' αυτό και πολλές φορές οι αριθμοί αυτοί καλούνται ψευδοτυχαίοι.

III. Δυνατότητα Γένεσης Οχημάτων

Απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη ενός προτύπου προσομοίωσης αποτελεί η γένεση των οχημάτων που θα κινούνται στο εξεταζόμενο δίκτυο. Τα οχήματα αυτά δημιουργούνται συνήθως στην περιφέρεια του δικτύου στα επονομαζόμενα σημεία προέλευσης, σύμφωνα με αλγόριθμους που λαμβάνουν υπόψη τους προκαθορισμένους χρόνους των δεδομένων εισόδου.

3.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Η εφαρμογή των προτύπων προσομοίωσης της κυκλοφορίας απαιτεί αυξημένο βαθμό λεπτομέρειας προκειμένου να οδηγήσει σε ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η συνήθης διαδικασία που ακολουθείται κατά την εφαρμογή ενός προτύπου προσομοίωσης.

1. *Καθορισμός της υπό μελέτης περιοχής*, δηλαδή προσδιορισμός του τύπου του εξεταζόμενου δικτύου (αστική αρτηρία, ελεύθερη λεωφόρος, συνδυασμός αυτών των δυο, σταθμός διοδίων κλπ), των κυκλοφοριακών συνθηκών, τόσο όσο αφορά στους τύπους των κυκλοφορούντων οχημάτων (επιβατικά,

φορτηγά, λεωφορεία) όσο και στον προσδιορισμό της πυκνότητας της κυκλοφορίας (κορεσμένο ή μη). Περιλαμβάνει επίσης, τον προσδιορισμό των συστημάτων ελέγχου (σηματοδότηση καθορισμένου χρόνου, επενεργούμενη σήμανση, συστήματα καθοδήγησης)

2. *Ανάκτηση Δεδομένων.* Στο στάδιο αυτό καθορίζεται η γεωμετρία του δικτύου, τα χαρακτηριστικά της σηματοδότησης, οι εισερχόμενοι κυκλοφοριακοί φόρτοι του δικτύου και γενικότερα όλα τα χαρακτηριστικά που υπεισέρχονται στα διάφορα κυκλοφοριακά σενάρια. Τα στοιχεία αυτά οφείλουν να είναι ακριβή και μπορούν να προσδιοριστούν με τις γνωστές μεθόδους μετρήσεων κυκλοφοριακών μεγεθών (φωρατές, καταγραφικά οχήματα κλπ.)
3. *Πραγματοποίηση προσομοίωσης του οδικού δικτύου* για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια του οποίου δεν πραγματοποιείται καταγραφή των μεγεθών των στοιχείων και των αποτελεσμάτων. Το χρονικό αυτό διάστημα ονομάζεται και «χρόνος προσαρμογής» και είναι απαραίτητος για την διαρρύθμιση των στοιχείων και διαδικασιών του συστήματος σε μορφή αντιπροσωπευτική των πραγματικών διαδικασιών. Για παράδειγμα, κατά την καταγραφή των αποτελεσμάτων προσομοίωσης τμήματος οδικού δικτύου με περισσότερους από έναν συνδέσμους είναι απαραίτητη η κίνηση των οχημάτων καθ' όλο το μήκος των συνδέσμων, η οποία επιτυγχάνεται μόνο μετά από κάποιο χρονικό διάστημα προσομοίωσης. Επιλέγεται ικανός «χρόνος προσαρμογής» ώστε να έχουν αποχωρήσει τα οχήματα από όλα τα τμήματα οδών-εξόδους του οδικού δικτύου και να έχει «γεμίσει» το οδικό δίκτυο.
4. *Πραγματοποίηση της προσομοίωσης* του δικτύου για το επιθυμητό χρονικό διάστημα και καταγραφή των αποτελεσμάτων.

3.5 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Το στάδιο που ακολουθεί την ανάπτυξη και την εφαρμογή του προτύπου προσομοίωσης είναι εκείνο κατά το οποίο ο αναλυτής ελέγχει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης όσον αφορά τη συμβατότητα τους με τα πραγματική κατάσταση του

δικτύου και προχωράει σε προσαρμογή των σταθερών και των παραμέτρων του προτύπου έτσι ώστε να απεικονίζεται η πραγματικότητα στο μέγιστο δυνατό βαθμό. Αντίστοιχα, ακολουθείται παρόμοια μεθοδολογία για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας ήδη υπαρχόντων προτύπων προσομοίωσης ώστε να εκτιμηθεί κατά πόσο είναι κατάλληλη η χρήση τους για προσομοίωση των συγκεκριμένων δικτύων και συνθηκών.

Ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται αυτή η προσέγγιση της πραγματικότητας είναι μέσω μετρήσεων παραμέτρων και αποτελεσμάτων της κυκλοφορίας σε τμήματα οδικού δικτύου. Οι μετρήσεις αυτές χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου και εξόδου (αποτελέσματα) του προτύπου προσομοίωσης. Πραγματοποιούνται δοκιμές για διάφορες τιμές των μεταβλητών και των σταθερών και υιοθετούνται αυτές οι οποίες προσεγγίζουν την πραγματικότητα σε ικανοποιητικό βαθμό, ή αλλιώς τα αποτελέσματα των οποίων τείνουν πιο κοντά στις μετρήσεις των πραγματικών συνθηκών.

Πιο συγκεκριμένα η διερεύνηση για τον εάν ένα πρότυπο προσομοίωσης είναι κατάλληλο για την προσομοίωση συγκεκριμένου οδικού δικτύου και συνθηκών πραγματοποιείται στα εξής επίπεδα: τύπος δεδομένων εισόδου και τύπος αποτελεσμάτων, και τιμές των εξαγόμενων αποτελεσμάτων. Ο τύπος δεδομένων εισόδου και ο τύπος αποτελεσμάτων αποτελούν απλές παραμέτρους της αποτελεσματικότητας των προτύπων προσομοίωσης σε σχέση με την εκάστοτε διερεύνηση. Πιο συγκεκριμένα, εκτιμάται κατά πόσο τα δεδομένα εισόδου και τα μεγέθη που εξάγονται ως αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά σε σχέση με τις προκαθορισμένες ανάγκες της διερεύνησης. Για παράδειγμα η χρήση μικροσκοπικών προτύπων προσομοίωσης οδικών δικτύων σε διερευνήσεις όπου δεν υπάρχουν στοιχεία για το κάθε όχημα ξεχωριστά δεν είναι κατάλληλη. Αντίστοιχα, η χρήση μακροσκοπικών προτύπων προσομοίωσης σε διερεύνηση κατά την οποία το τελικό αποτέλεσμα που ενδιαφέρει είναι τα χαρακτηριστικά του κάθε οχήματος ξεχωριστά, δεν είναι επιθυμητή. Όσον αφορά στις τιμές των εξαγόμενων αποτελεσμάτων αν αυτές προκύπτουν εξωπραγματικές τότε προφανώς, το πρότυπο προσομοίωσης που χρησιμοποιείται δεν είναι κατάλληλο.

3.6 ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται συνοπτικά μερικά από τα λογισμικά προσομοίωσης που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα.

SIGSIM: χρησιμοποιείται για βελτιστοποίηση της φωτεινής σηματοδότησης και βασίζεται στο μαθηματικό πρότυπο του ακολουθούντος οχήματος.

TRANSIMS (Transportation Analysis SIMulation System): λογισμικά προσομοίωσης αποτελούν συνδυασμό κυκλοφορικών αναλύσεων και αναλύσεων της ποιότητας της ατμόσφαιρας και διαδικασιών πρόβλεψης

TRANSYT: χρησιμοποιείται για την προσομοίωση και την ανάλυση συντονισμένης σηματοδότησης σταθερού χρόνου.

NETCELL: βασίζεται στο cell transmission model και χρησιμοποιείται ως εργαλείο έρευνας για τη διερεύνηση του κυκλοφοριακού φόρτου σε οδικά δίκτυα μεγάλης κλίμακας

VISSIM: στοχαστικό μικροσκοπικό λογισμικό το οποίο χρησιμοποιείται για την προσομοίωση λειτουργιών της κυκλοφορίας σε αστικές περιοχές με έμφαση στις μεταφορές με δημόσια μέσα μεταφοράς και γενικότερα στις πολυτροπικές μεταφορές

PARAMICS (PARAllel MICroscopic Simulation): χρησιμοποιείται κυρίως ως λογισμικό σχεδιασμού. Χαρακτηριστικά του αποτελούν η πρόβλεψη της συμφόρησης που οφείλεται σε τοπικά συμβάντα και η ενσωμάτωση χαρακτηριστικών των εξελιγμένων συστημάτων μεταφορών.

AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks): είναι ένα μικροσκοπικό λογισμικό προσομοίωσης το οποίο χρησιμοποιεί μαθηματικά πρότυπα ακολουθούντος οχήματος, αποδοχής χρονικών διαχωρισμών και αλλαγής λωρίδας. Χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση νέων σεναρίων σηματοδότησης και διαχείρισης της κυκλοφορίας

CONTRAM (CONtinuous TRaffic Assignment Model): αποτελεί μακροσκοπικό λογισμικό προσομοίωσης το οποίο βασίζεται στο δυναμική κατανομή της

κυκλοφορίας, διαχειρίζεται δηλαδή κυκλοφοριακές συνθήκες οι οποίες μεταβάλλονται με τον χρόνο. Χαρακτηριστικό του είναι η δυνατότητα προσομοίωσης μη αναμενόμενης συμφόρησης η οποία οφείλεται σε διάφορα συμβάντα.

CORSIM (CORridor SIMulation): μικροσκοπικό λογισμικό προσομοίωσης που προσομοιώνει την κυκλοφορία και τα συστήματα ελέγχου της, χρησιμοποιώντας τα συνήθως αποδεκτά πρότυπα συμπεριφοράς οχημάτων και οδηγών. Το CORSIM συνδυάζει δυο από τα πιο συνηθισμένα πρότυπα κυκλοφοριακής προσομοίωσης, το NETSIM για αστικές αρτηρίες και το FRESIM για ελεύθερες λεωφόρους και αναπτύσσεται εκτενώς στην επόμενη ενότητα.

3.7 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ CORSIM

3.7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ένα από τα σπουδαιότερα αναλυτικά εργαλεία της διαχείρισης της κυκλοφορίας αποτελεί η προσομοίωση της μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η προσομοίωση, ως μέθοδος, πλεονεκτεί σε σχέση με τις μετρήσεις πεδίου όσο αφορά την πρακτική της απόδοση διότι είναι οικονομική και παρέχει ασφαλή και γρήγορα αποτελέσματα. Επιπλέον, τα μέτρα αποδοτικότητας που προκύπτουν δεν είναι εύκολο να συγκεντρωθούν μέσω των μετρήσεων πεδίου, ενώ ταυτόχρονα αποφεύγεται και η διατάραξη της κυκλοφορίας που προκαλείται από αυτές. Η προσομοίωση δίνει επίσης τη δυνατότητα εκτίμησης των αποτελεσμάτων διαφορετικών σεναρίων κυκλοφορίας, σηματοδότησης, γεωμετρίας δικτύου και γενικότερα διαφορετικών μέτρων διαχείρισης της κυκλοφορίας. Για παράδειγμα, είναι δυνατό να διερευνηθούν οι συνέπειες μιας μελλοντικής αύξησης στη ζήτηση ενός δικτύου και να εξεταστεί ο βαθμός βελτίωσης των κυκλοφοριακών συνθηκών που προκύπτει από την εφαρμογή συγκεκριμένων μέτρων διαχείρισης της κυκλοφορίας. Σαν αποτέλεσμα, μέσω των μέτρων αποδοτικότητας επιτυγχάνεται η βελτιστοποίηση της στρατηγικής διαχείρισης.

Σύμφωνα με τα παραπάνω η ανάπτυξη προτύπων προσομοίωσης της κυκλοφορίας παρέχει τη δυνατότητα αποδοτικής χρησιμοποίησης και επέκτασης των έξυπνων συστημάτων διαχείρισης της κυκλοφορίας. Οι σχεδιαστές και οι μηχανικοί δεν

περιορίζονται πλέον από την έλλειψη εργαλείων απαραίτητων για την εξέταση των προτάσεων τους πριν την εφαρμογή αυτών. Επιπλέον, τα πρότυπα αυτά επιτρέπουν τον καθορισμό των αδυναμιών των προτεινόμενων σεναρίων, με αποτέλεσμα ο αναλυτής να οδηγείται γρηγορότερα στη βέλτιστη λύση. Τέλος, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την προσομοίωση οδηγούν στην τελική επιλογή μέσα από ένα σύνολο υποψηφίων λύσεων, στην πιο αποτελεσματική εξ' αυτών, γεγονός που συνεπάγεται και την αύξηση των πιθανοτήτων για την επιτυχία της κατά την εφαρμογή της.

Πολλά συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας επεμβαίνουν στην κυκλοφορία προκειμένου να καθορίσουν τη μορφή και την επιλογή της διαδρομής των χρηστών της οδού. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό είναι απαραίτητος ο έλεγχος των πιθανών διαδρομών σε σημαντικό τμήμα του εξεταζόμενου δικτύου, το οποίο και καθίσταται δυνατό μέσω της χρήσης της προσομοίωσης. Από τα παραπάνω γίνεται φανερή η επιτακτική ανάγκη ανάπτυξης ενός προτύπου που θα προσομοιώνει τις συνθήκες της κυκλοφορίας σε μεγάλες αστικές αρτηρίες και ελεύθερες λεωφόρους με λογικές απαιτήσεις όσο αφορά στην εισαγωγή δεδομένων. Η ανάγκη αυτή δημιουργίας ενός ολοκληρωμένου προτύπου προσομοίωσης που θα είναι ευέλικτο και εύκολο στη χρήση έγινε αντιληπτή από το FHWA (Federal Highway Administration), ο οποίος δημιούργησε στα μέσα της δεκαετίας του '70 το λογισμικό προσομοίωσης CORSIM (CORridor SIMulation)

3.7.2 CORSIM-TSIS

Το CORSIM είναι το πιο διαδεδομένο πρότυπο προσομοίωσης της κυκλοφορίας τόσο στις ΗΠΑ όσο και παγκοσμίως και χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές, αφού από τα αποτελέσματά του, αποδεικνύεται ότι προσομοιώνει πολύ καλά τις πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας. Η αρχική ανάπτυξή της λογικής του CORSIM μπορεί να ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του '70 αλλά μέχρι σήμερα η αρχική μορφή του έχει δεχτεί πολλές αναβαθμίσεις, τόσο όσο αφορά στη λογική του, όσο και στο ίδιο το λογισμικό. Το TSIS (Traffic Software Integrated System) αποτελεί την πιο πρόσφατη βελτίωση, παρέχοντας ένα ολοκληρωμένο και φιλικό για το χρήστη περιβάλλον, που

του δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί με ευκολία το πρότυπο προσομοίωσης CORSIM.

Το CORSIM προσομοιώνει την κυκλοφορία και τα συστήματα ελέγχου της, χρησιμοποιώντας τα συνήθως αποδεκτά πρότυπα συμπεριφοράς οχημάτων και οδηγών και συνδυάζοντας δυο από τα πιο συνηθισμένα πρότυπα κυκλοφοριακής προσομοίωσης, το NETSIM (NETwork SIMulation) για αστικές αρτηρίες και το FRESIM (FREway SIMulation) για ελεύθερες λεωφόρους.

Τα πλεονεκτήματα του CORSIM επικεντρώνονται στη σταθερή δομή του και την έκταση της ικανότητας ανάλυσης. Ειδικότερα, πλεονεκτεί στα εξής σημεία:

1. Ικανότητα απεικόνισης πολύπλοκων γεωμετρικών συνθηκών.

Το CORSIM μπορεί να διαχειριστεί και να απεικονίσει οποιαδήποτε μορφολογία δικτύου. Οι δυνατότητές του περιλαμβάνουν αστικές αρτηρίες με ποικιλία συνδυασμών λωρίδων ευθείας κίνησης και χωριστών για στρέφουσες κινήσεις καθώς και ελεύθερες λεωφόρους με ράμπες εισόδου και εξόδου διαφόρων κατηγοριών. Έτσι, το πρότυπο αυτό μπορεί να διαχειρισθεί τόσο αυτοκινητόδρομους όσο και αστικές οδούς ή ακόμα και συνδυασμό τους.

2. Ικανότητα προσομοίωσης διαφορετικών κυκλοφοριακών συνθηκών.

Έχει τη δυνατότητα προσομοίωσης ποικιλίας κυκλοφοριακών συνθηκών, που κυμαίνεται από την πιο μικρή ζήτηση μέχρι και συνθήκες κορεσμού, σε αντίθεση με άλλα πρότυπα. Προσομοιώνει επίσης ικανοποιητικά και τη ροή της κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια ενός συμβάντος, από τη χρονική στιγμή της δημιουργίας της ουράς μέχρι και την επαναφορά στις κανονικές συνθήκες.

3. Ικανότητα προσομοίωσης διαφορετικών συστημάτων διαχείρισης και έλεγχου της κυκλοφορίας.

Το πρότυπο αυτό έχει επίσης τη δυνατότητα προσομοίωσης διαφόρων συσκευών ελέγχου της κυκλοφορίας, όπως τα σήματα stop και παραχώρησης προτεραιότητας,

τους σηματοδότες προκαθορισμένου χρόνου ή επενεργούμενων από την κυκλοφορία σε αστικές διασταυρώσεις. Προσομοιώνει επίσης, τον έλεγχο εισόδου σε ελεύθερες λεωφόρους, τις ειδικές λωρίδες βαρέων οχημάτων HOV (High Occupancy Vehicles), καθώς και την λειτουργία των λεωφορείων στο δίκτυο.

4. Ικανότητα απεικόνισης των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του δικτύου.

Η ικανότητα αυτή επικεντρώνεται στην προσομοίωση συνδυασμού δικτύων αστικών αρτηριών και ελεύθερων λεωφόρων όπως επίσης και των φόρτων τους. Το CORSIM δίνει ακόμη τη δυνατότητα προσομοίωσης της υπεχείλισης.

5. Ικανότητα συνεργασίας με άλλα λογισμικά

Η ικανότητα αυτή δίνει τη δυνατότητα χρησιμοποίησης του συγκεκριμένου προτύπου στις αναπτυσσόμενες τεχνολογίες των έξυπνων συγκοινωνιακών συστημάτων και πιο συγκεκριμένα επιτρέπει την ανταλλαγή πληροφοριών ανάμεσα στο λογισμικό προσομοίωσης και το σύστημα διαχείρισης με όλα τα θετικά αποτελέσματα που συνεπάγεται αυτό.

6. Ικανότητα προτυποποίησης των μεταβαλλόμενων κυκλοφοριακών συνθηκών

Η δυνατότητα αυτή παρέχεται μέσω των διαφορετικών χρονικών περιόδων που καθορίζονται από το χρήστη του λογισμικού και οι οποίες επιτρέπουν την απεικόνιση της διακύμανσης της ζήτησης και των συστημάτων ελέγχου χρονικά.

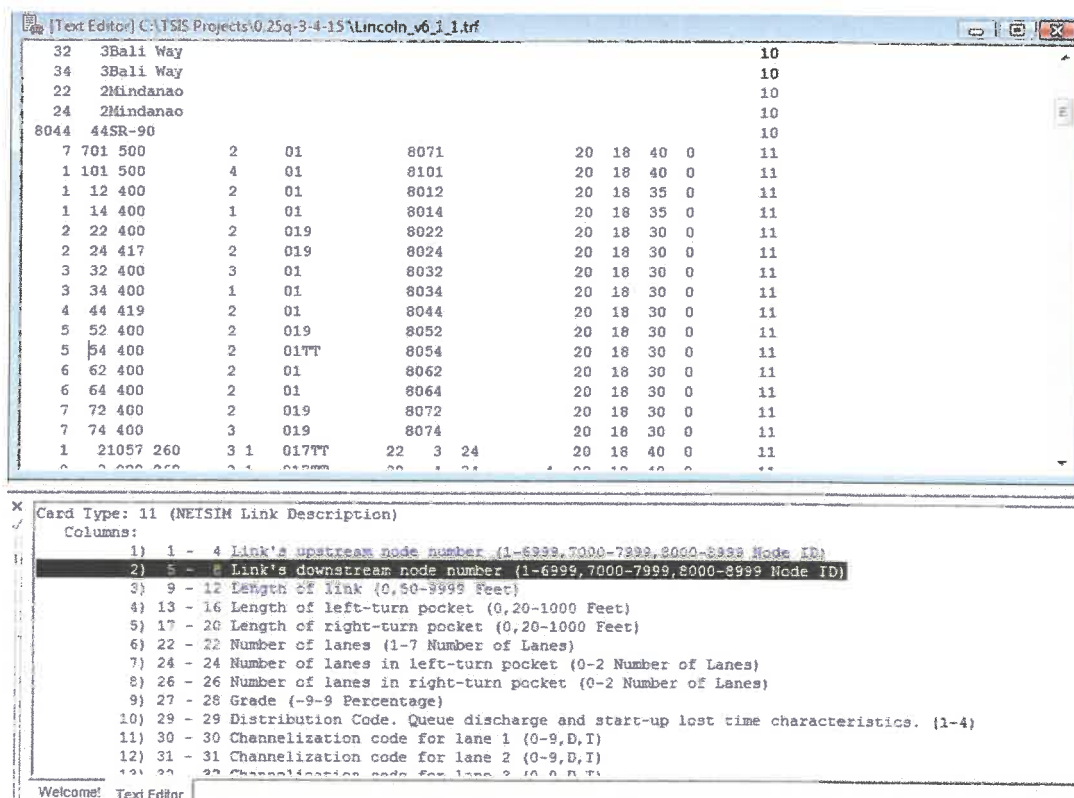
Το TSIS (Traffic Software Integrated System), αποτελεί μια εργαλειοθήκη για την περιγραφή και τη διαχείριση του σχεδιασμού κυκλοφοριακών αναλύσεων και τον καθορισμό των δικτύων της κυκλοφορίας. Επιτρέπει την εισαγωγή δεδομένων προκειμένου να προσομοιωθεί το δίκτυο, εκτελεί την προσομοίωση και μεταφράζει τα αποτελέσματα των προτύπων προσομοίωσης. Πιο συγκεκριμένα εκτός από το λογισμικό προσομοίωσης, CORSIM, περιλαμβάνει τα εξής εργαλεία:

Το **TShell** αποτελείται από το σύνολο των εργαλείων που επιτρέπει στο χρήστη τη διαχείριση των αρχείων που περιέχουν τα στοιχεία του δικτύου (εισερχόμενα και εξερχόμενα) και συνακόλουθα την πραγματοποίηση των κυκλοφοριακών αναλύσεων.

Το **TRAFED** είναι το εργαλείο εκείνο που επιτρέπει τη γραφική δημιουργία οδικών δικτύων, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν ως εισερχόμενο δεδομένο στο CORSIM.

Το **TRAFVU** (TRAF Visualization Utility) επιτρέπει τη γραφική απεικόνιση της προσομοίωσης που προκύπτει από το CORSIM. Έχει τη δυνατότητα απεικόνισης του εξεταζόμενου δικτύου, των κυκλοφορούντων οχημάτων, των συστημάτων ελέγχου της κυκλοφορίας και των υπολοίπων στοιχείων που έχουν εισαχθεί κατά τη δημιουργία του δικτύου και του υπό μελέτη σεναρίου κυκλοφορίας. Επιπλέον, εμφανίζει τα μέτρα αποδοτικότητας που έχει επιλέξει ο χρήστης.

Το **TSIS Text Editor** αποτελεί το βασικό εργαλείο για την εισαγωγή των χαρακτηριστικών στοιχείων του δικτύου και της κυκλοφορίας που πρόκειται να προσομοιωθεί (όταν δεν χρησιμοποιείται το TRAFED ή σε συμπλήρωση αυτού). Έτσι, στο εργαλείο αυτό δηλώνονται αρχικά όλα τα γεωμετρικά στοιχεία του δικτύου, όπως για παράδειγμα οι συντεταγμένες των συνδέσμων, η ονοματολογία αυτών καθώς και των κόμβων, ο αριθμός των λωρίδων τους, η ταχύτητα ελεύθερης ροής. Επίσης, καθορίζονται τα στοιχεία τα σχετικά με τις κυκλοφοριακές συνθήκες, δηλαδή οι εισερχόμενοι φόρτοι, τα ποσοστά των στρεφουσών κινήσεων βάσει του τύπου του οχήματος καθώς επίσης και των οχημάτων που εξέρχονται από ελεύθερη λεωφόρο.

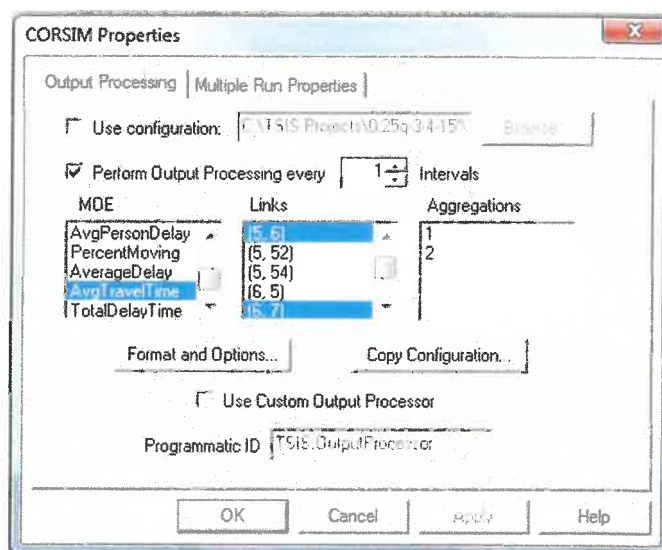


Εικόνα 3. 1: Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων του TSIS 5.1.

Οι συνθήκες έλεγχου και τα στοιχεία σχετικά με τη λειτουργία της σηματοδότησης και επιτήρησης της γενικότερης λειτουργίας του δικτύου, όπως για παράδειγμα οι φάσεις της σηματοδότησης, η διάρκεια αυτών, η θέση των φωρατών, καταχωρούνται στο εργαλείο αυτό. Επιπλέον, δίνονται τα στοιχεία τα σχετικά με τους τύπους των κυκλοφορούντων οχημάτων και κάποιων χαρακτηριστικών των χρηστών (καθημερινοί ή περιστασιακοί χρήστες). Τέλος, στο σημείο αυτό προσδιορίζεται ο χρόνος προσομοίωσης καθώς και η χρονική διάρκεια των περιόδων υπολογισμού και εξαγωγής αποτελεσμάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι τόσο τα χαρακτηριστικά των συστημάτων έλεγχου όσο και η ζήτηση του δικτύου μπορούν να μεταβάλλονται και χρονικά. Αυτό είναι δυνατό με το διαχωρισμό των εισερχομένων δεδομένων σε τμήματα συγκεκριμένης χρονικής διάρκειας, τα οποία διαφοροποιούνται μόνο ως προς τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά.

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της εισαγωγής των δεδομένων στο TSIS Text Editor, ακολουθεί η προσομοίωση μέσω του CORSIM και η εξαγωγή των

αποτελεσμάτων σε μορφή αρχείου που επιλέγει ο χρήστης (text editor, excel κλπ). Τα εξαγόμενα αποτελέσματα καθορίζονται επίσης από το χρήστη του λογισμικού και μπορούν να επιλεγούν μεταξύ ενός μεγάλου συνόλου δεικτών αποδοτικότητας (Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3. 2: Παράθυρο επιλογής των δεδομένων εξόδου του CORSIM.

Μερικοί από τους δείκτες αυτούς είναι: ο μέσος φόρτος, η μέση ταχύτητα, η μέση καθυστέρηση σε οχηματολεπτά, η καθυστέρηση ανά όχημα σε δευτερόλεπτα, ο μέσος χρόνος διαδρομής ανά όχημα σε δευτερόλεπτα, ο συνολικός χρόνος διαδρομής σε λεπτά ανά μονάδα μήκους, το μέσο μήκος ουράς ανά λωρίδα σε αριθμό οχημάτων, η κατανάλωση καυσίμων και η εκπομπή ρύπων. Επίσης δίνεται η δυνατότητα επιλογής των συνδέσμων για τους οποίους θα γίνει εξαγωγή των αποτελεσμάτων καθώς και ο αριθμός των επαναλήψεων που θα πραγματοποιήσει το λογισμικό προσομοίωσης.

Τέλος, το **TSIS Translator** είναι το εργαλείο εκείνο που δίνει τη δυνατότητα μετατροπής ενός αρχείου που έχει δημιουργηθεί στο TRAFED σε αρχείο του TSIS Text Editor και το αντίστροφο.

3.7.3 ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ CORSIM-TSIS

Το πακέτο λογισμικού CORSIM- TSIS έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές πρακτικές εφαρμογές. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται συνοπτικά τρεις επιτυχημένες εφαρμογές.

Η πρώτη εφαρμογή, στο HOV Showcase, αποτελεί μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε σύστημα ελεύθερων λεωφόρων από την Ball Aerospace. Το δίκτυο αποτελείται από το τμήμα του αυτοκινητόδρομου I-405, από την οδό Calver έως την Bristol στη νότια California. Η εφαρμογή περιλαμβάνει τον έλεγχο ποικιλίας σεναρίων σχετικών με την ύπαρξη αποκλειστικών και μη λωρίδων κυκλοφορίας βαρέων οχημάτων καθώς και ραμπών εισόδου-εξόδου που λειτουργούν υπό την επίβλεψη συστημάτων ελέγχου διαφόρων χαρακτηριστικών.

Μια δεύτερη εφαρμογή του CORSIM-TSIS αποτελεί η περίπτωση που διερευνήθηκε κατά την ανάπτυξη του χρηματοδοτούμενου από την FHWA ερευνητικού προγράμματος “Evaluation of Real-Time Traffic Adaptive Control System (RT-TRACS) Prototypes”. Το CORSIM αποτέλεσε τη γεννήτρια των οχημάτων, των κινήσεων και των καταγραφών των φωρατών προκειμένου να μελετηθεί το σύστημα σηματοδότησης. Οι ερευνητές αφού επεξεργάστηκαν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, οδηγήθηκαν σε αποφάσεις σχετικές με το σύστημα ελέγχου, τις οποίες και εφάρμοσαν εξ’ αρχής μέσω του προτύπου προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν συμφωνούσαν απόλυτα με τα αντίστοιχα των μετρήσεων πεδίου που προήλθαν από το Reston Parkway της βόρειας Virginia, τόσο πριν όσο και μετά την επέμβαση στο σύστημα ελέγχου.

Η τρίτη εφαρμογή αποτελεί μια μελέτη προσομοίωσης του συνδυασμού αστικής αρτηρίας και ελεύθερης λεωφόρου. Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε προκειμένου να προσδιοριστούν τα αναγκαία μέτρα για την αντιμετώπιση της προβλεπόμενης αύξησης της ζήτησης στην ελεύθερη λεωφόρο I-4. Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για σενάρια με και χωρίς βελτιώσεις στο δίκτυο και για φόρτο ίσο με το μέγιστο-προβλεπόμενο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι προτεινόμενες αλλαγές είναι αποτελεσματικές ως προς την αντιμετώπιση της αύξησης της ζήτησης και οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι οι αλλαγές αυτές πρέπει να επικεντρωθούν στην

επέμβαση στο σύστημα σηματοδότησης (βελτιστοποίηση για υψηλή ζήτηση) και σε γεωμετρικές αλλαγές (αύξηση λωρίδων για τις στρέφουσες κινήσεις).

Από τα παραπάνω διαφαίνεται ότι το CORSIM αποτελεί ένα από τα πιο δημοφιλή λογισμικά προσομοίωσης της κυκλοφορίας, καθώς επιτρέπει στους χρήστες του την εφαρμογή της προσομοίωσης σε μεγάλη ποικιλία μελετών και συνεπώς επεκτείνει σε ακόμη ευρύτερο φάσμα τα πλεονεκτήματα της μεθόδου της προσομοίωσης. Ο χρήστης ενός λογισμικού προσομοίωσης οφείλει να καθορίσει το σενάριο, που περιλαμβάνει τη γεωμετρία του δικτύου, τη ζήτηση της κυκλοφορίας κλπ ως εισερχόμενο δεδομένο. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται σε δυο μορφές: στατιστικά και γραφικά. Τα στατιστικά στοιχεία δίνουν τη δυνατότητα ποσοτικών περιγραφών όσον αφορά στην κατάσταση που επικρατεί στο εξεταζόμενο δίκτυο, ενώ τα γραφικά επιτρέπουν την κατανόηση της αιτίας των παραπάνω αποτελεσμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Ανάλυση και Αποτελέσματα

4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στη διερεύνηση της επίδρασης των συμβάντων στους χρόνους διαδρομής σε αστική σηματοδοτημένη αρτηρία. Για το λόγο αυτό αναπτύσσονται πρότυπα προσομοίωσης με τη χρήση του λογισμικού πακέτου μικροσκοπικής προσομοίωσης CORSIM-TSIS.

Το δίκτυο που διερευνάται αποτελείται από μια σημαντική αστική σηματοδοτούμενη αρτηρία μήκους 2300 μέτρων, βόρεια του Διεθνούς Αεροδρομίου του Los Angeles (CA) μεταξύ των οδών Fiji Way και Venice Boulevard μεταξύ των πόλεων του Los Angeles (CA) και της Santa Monica. Η αρτηρία περιλαμβάνει 7 σηματοδοτούμενους κόμβους. Τα μήκη των συνδέσμων ποικίλουν από 140 έως 660 μέτρα. Η εκτίμηση των χρόνων διαδρομής και συνακόλουθα των επιπτώσεων των συμβάντων πραγματοποιείται για την κατεύθυνση από Fiji Way προς Venice Boulevard. Οι σύνδεσμοι αυτών των κατευθύνσεων περιλαμβάνουν τρεις λωρίδες ανά κατεύθυνση και αποκλειστική λωρίδα για τις στρέφουσες κινήσεις σε κάθε κόμβο. Η ταχύτητα ελεύθερης ροής για την επιλεγμένη κατεύθυνση είναι 64 χλμ/ώρα.



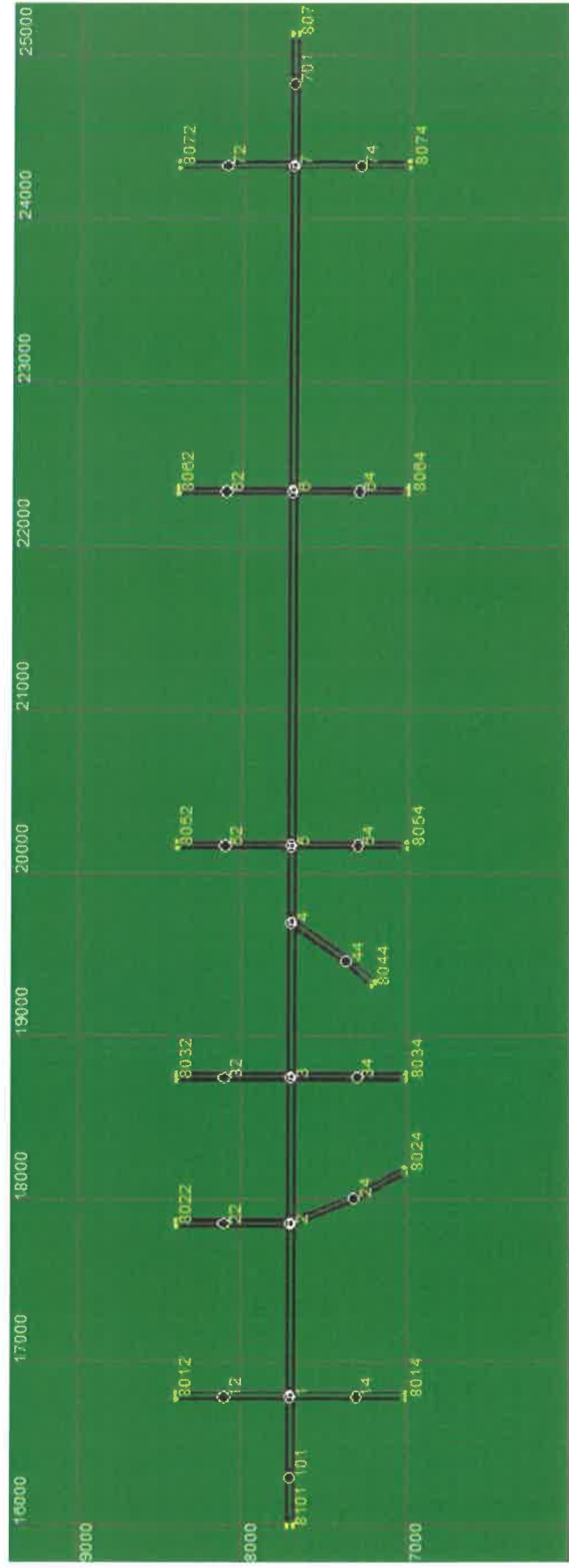
Εικόνα 4.1: Αεροφωτογραφία του εξεταζόμενου δικτύου (Google Earth 2007).

Η σηματοδότηση αποτελείται από σηματοδότες πολλών φάσεων που λειτουργούν συντονισμένα κάτω από την επίβλεψη του κεντρικού συστήματος ελέγχου κυκλοφορίας του Los Angeles. Ο χρόνος κύκλου τους ποικίλει από 100 έως 150 δευτερόλεπτα για τους μεγαλύτερου μήκους συνδέσμους. Οι επαγωγικοί φωρατές του συστήματος είναι τοποθετημένοι περίπου στα 100 μέτρα ανάντη της γραμμής stop (stopline). Φωρατές επίσης είναι τοποθετημένοι σε στους μεγάλους δρόμους που διασταυρώνουν την κεντρική αρτηρία Lincoln.

Για τη φόρτιση του δικτύου οι χρησιμοποιούμενοι εισερχόμενοι φόρτοι προέρχονται από πραγματικές μετρήσεις κατά τη διάρκεια ενός δεκαπενταλέπτου (8:00-8:15) της πρωινής ώρας αιχμής και είναι διαθέσιμοι μέσω της βάσης δεδομένων του κεντρικού συστήματος ελέγχου της κυκλοφορίας του Los Angeles (Automated Traffic Surveillance and Control - ATSAC), στην οποία αποθηκεύονται οι καταγραφές των φωρατών κάθε 30 δευτερόλεπτα. Η φόρτιση του υπολοίπου δικτύου εκτιμάται μέσω της χρήσης τυχαίων αριθμών, όπως επίσης και οι αντιδράσεις των χρηστών στις επιλογές που προσφέρει το δίκτυο, για παράδειγμα τα αποδεκτά κενά ανάμεσα στα οχήματα κατά την κίνηση και στις εμπλοκές κατά την αλλαγή λωρίδων. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται τα χαρακτηριστικά στοιχεία των υπό μελέτη συνδέσμων (πίνακας 4.1).

Πίνακας 4. 1: Χαρακτηριστικά στοιχεία των υπό μελέτη συνδέσμων.

ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ	ΜΗΚΟΣ (μέτρα)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΛΩΡΙΔΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ (δευτερόλεπτα)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ (δευτερόλεπτα)
1,2	322	3	70	100
2,3	275	3	51	100
3,4	290	3	63	100
4,5	142	3	60	100
5,6	662	3	83	150
6,7	607	3	69	150



Σχήμα 4.1: Εξεταζόμενο δίκτυο όπως εμφανίζεται στο TRAFED.

4.2 ΣΕΝΑΡΙΑ

Τα σενάρια που εξετάζονται έχουν ως στόχο τη μελέτη της επίδρασης στους χρόνους διαδρομής ανά σύνδεσμο -υπό την ύπαρξη συμβάντος- των τριών παρακάτω παραμέτρων:

- Διάρκεια Συμβάντος
- Μήκος Συνδέσμου
- Μέγεθος της ζήτησης πριν την έναρξη του συμβάντος

Ως χρόνος διαδρομής ορίζεται η χρονική διάρκεια ενός μέσου οχήματος που αναμένεται να ταξιδέψει επιλέγοντας μια συγκεκριμένη διαδρομή σε κάποιο χρόνο έναρξης t ή μιας περιόδου p (Thijs et al., 2000).

$$T_R(t) = \int_0^L \frac{1}{v(x,\tau)} dx \quad \tau \geq t$$

Όπου: $v(x,\tau)$: τοπική ταχύτητα στο (x,τ)

L : μήκος διαδρομής

Η έναρξη όλων των συμβάντων τοποθετείται 10 λεπτά μετά την έναρξη της προσομοίωσης.

Έτσι, τα σενάρια περιλαμβάνουν συμβάντα διάρκειας 5, 10, 15, 20 και 30 λεπτών και εφαρμόζονται σε συνδέσμους μικρού, μεσαίου και μεγάλου μήκους. Πιο συγκεκριμένα, τα συμβάντα τοποθετούνται στο σύνδεσμο (4,5) μικρού μήκους (142 μέτρα), στον (3,4) μεσαίου μήκους (290 μέτρα) και στον (5,6) μεγάλου μήκους (662 μέτρα).

Το μέγεθος της ζήτησης κατά την έναρξη του συμβάντος, εκφράζεται μέσω της μέσης τιμής του λόγου του συνολικού φόρτου προς τη συνολική κυκλοφοριακή ικανότητα (v/c) όλων των συνδέσμων. Ως φόρτιση -βάση (Q_0) για τον προσδιορισμό και των φορτίσεων των υπολοίπων σεναρίων χρησιμοποιούνται οι εισερχόμενοι φόρτοι ενός δεκαπενταλέπτου (8:00-8:15) της πρωινής ώρας αιχμής (ως φόρτος ορίζεται ο συνολικός αριθμός των οχημάτων που περνούν από ένα δεδομένο σημείο ή τμήμα

μιας λωρίδας ή οδού κατά τη διάρκεια ενός δεδομένου χρονικού διαστήματος-Φραντζεσκάκης και Γιαννόπουλος, 1986). Στη συνέχεια, για τη δημιουργία των υπολοίπων σεναρίων χρησιμοποιούνται τόσο πολλαπλάσιες όσο και υποπολλαπλάσιες τιμές των αρχικών εισερχομένων φόρτων. Οι τιμές αυτές προκύπτουν από αύξηση της αρχικής ζήτησης κατά 50% και μείωσή της κατά 50% και 75%.

Η κυκλοφοριακής ικανότητα (c) συνδέσμου (ορίζεται ως ο μέγιστος αριθμός πεζών ή οχημάτων που διέρχονται από ένα δεδομένο σημείο ή ομοιόμορφο τμήμα λωρίδας κατά τη διάρκεια μιας δεδομένης χρονικής περιόδου, με τις οδικές και κυκλοφοριακές συνθήκες καθώς και τις συνθήκες ελέγχου της κυκλοφορίας που επικρατούν (Φραντζεσκάκης και Γιαννόπουλος, 1986) υπολογίζεται μέσω του τύπου:

$$c = 1800 \frac{\text{οχήματα}}{\text{ώρα} * \text{λωρίδα}} * N_{\text{λωρίδων}} * \frac{g}{C}$$

όπου:

- 1800 οχήματα/ώρα/λωρίδα: κυκλοφοριακή ικανότητα λωρίδας κυκλοφορίας αστικής αρτηρίας, υπό ιδανικές συνθήκες, ανά ώρα πράσινης ένδειξης της φωτεινής σηματοδότησης (Φραντζεσκάκης και Γιαννόπουλος, 1986).
- $N_{\text{λωρίδων}}$: αριθμός λωρίδων συνδέσμου
- g : χρόνος πράσινης ένδειξης
- C : περίοδος κύκλου σηματοδότησης στη διασταύρωση κατάντη του συνδέσμου

Πίνακας 4. 2: Υπολογισμός μέσων τιμών λόγου φόρτου προς κυκλοφοριακή ικανότητα (v/c).

		0,50 Q_0		0,75 Q_0		Q_0		1,5 Q_0	
ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ	c	v	v/c	v	v/c	v	v/c	v	v/c
1,2	3780	1428	0,38	2176	0,58	2881	0,76	3147	0,83
2,3	2754	1234	0,45	1811	0,66	2376	0,86	2629	0,95
3,4	3402	1253	0,37	1779	0,52	2357	0,69	2641	0,78
4,5	3240	1401	0,43	2115	0,65	2759	0,85	3168	0,98
5,6	2988	1217	0,41	1775	0,59	2321	0,78	2581	0,86
6,7	2484	1121	0,45	1648	0,66	2202	0,89	2622	1,06
ΣΥΝΟΛΟ	18648	7653		11305		14896		16789	
ΜΕΣΟ v/c		0,41		0,61		0,80		0,90	

Στη συνέχεια ακολουθείται η διαδικασία της προσομοίωσης για καθένα από τα σενάρια που προκύπτουν με συνδυασμό των πιθανών τιμών των προαναφερθέντων κατηγοριών απ' όπου και εξάγονται οι τιμές του φόρτου για κάθε σύνδεσμο πριν από την έναρξη κάθε συμβάντος, δηλαδή στο 9^ο λεπτό της προσομοίωσης. Με τη χρήση των φόρτων αυτών εκτιμάται ο λόγος φόρτου προς κυκλοφοριακή ικανότητα υπό ιδανικές συνθήκες για κάθε σύνδεσμο και κάθε επιλεγμένο εισερχόμενο φόρτο για το 9^ο λεπτό της προσομοίωσης και ακολούθως, η μέση τιμή του λόγου αυτού για το σύνολο των συνδέσμων για τους ίδιους φόρτους (πίνακας 4.2). Ο λόγος αυτός, δεν είναι αντιπροσωπευτικός για τον προσδιορισμό των κυκλοφοριακών συνθηκών και της στάθμης εξυπηρέτησης σε σηματοδοτούμενο κόμβο, όπου σημαντικό ρόλο παίζει και η ποιότητα του συντονισμού της σηματοδότησης κατά μήκος της διαδρομής, καθώς και η διάρκεια της περιόδου σηματοδότησης και της πράσινης ένδειξης (Φρνατζεσκάκης και Γιαννόπουλος, 1986). Ωστόσο, χρησιμοποιείται για ευκολία ως

δείκτης του μεγέθους της κυκλοφοριακής ζήτησης στο δίκτυο πριν την έναρξη του συμβάντος. Αναλυτικά, ο υπολογισμός των λόγων αυτών φαίνεται στον Πίνακα 4.2.

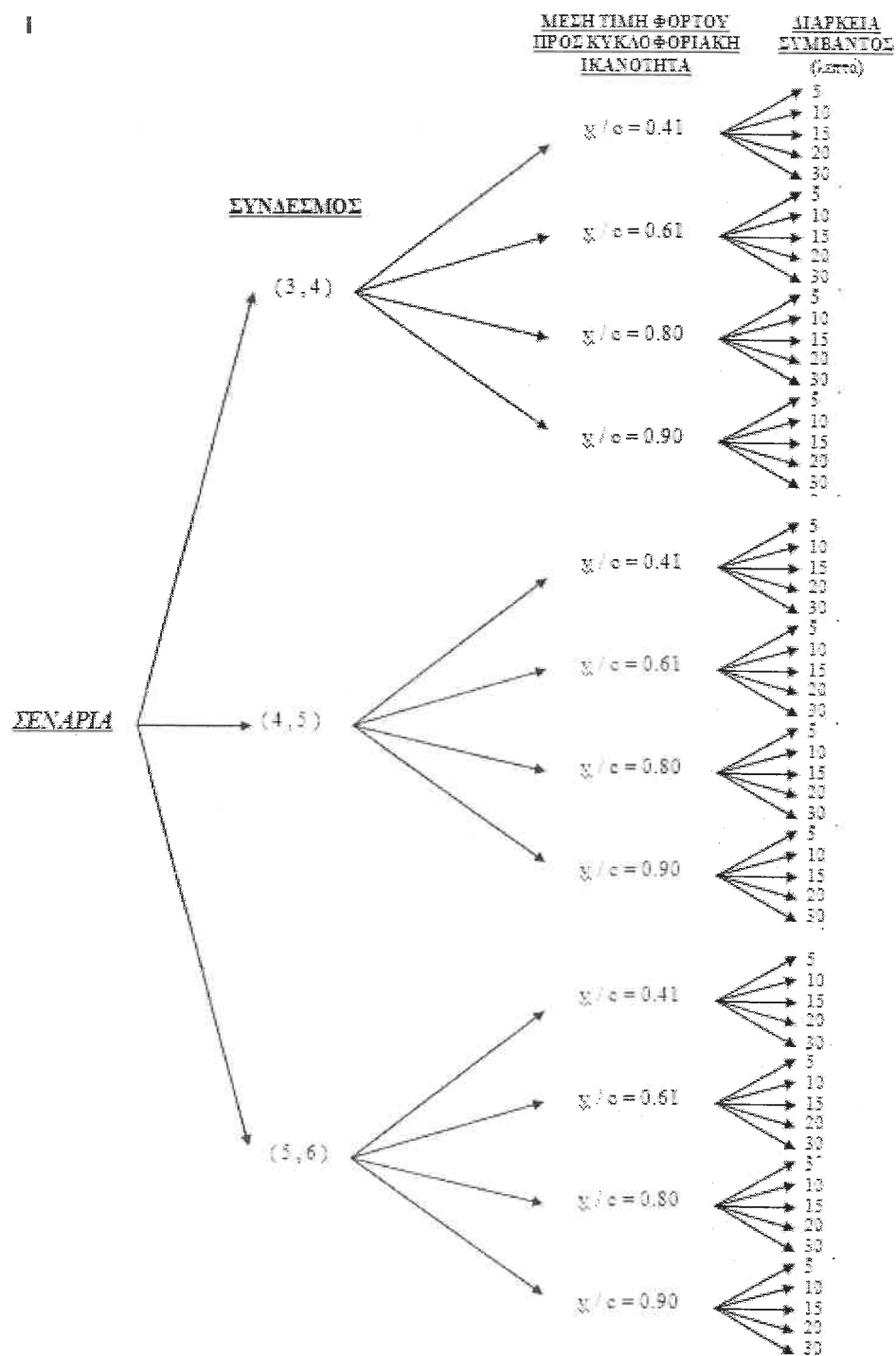
Τα 60 σενάρια που προκύπτουν από τις κατηγορίες που αναφέρθηκαν προηγουμένως συνοψίζονται στο δενδροδιάγραμμα που εμφανίζεται παρακάτω (Σχήμα 4.2).

Η προσομοίωση πραγματοποιείται για χρονική διάρκεια μιας ώρας για καθένα από τα σενάρια και γίνονται 10 επαναλήψεις καθενός απ' αυτά. Επιπλέον, ελέγχονται τα μεγέθη που προκύπτουν για την ίδια ζήτηση και τους εξεταζόμενους συνδέσμους όταν δεν υπάρχει συμβάν. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης επιλέγεται να εξάγονται για 60 χρονικά διαστήματα, δηλαδή για κάθε λεπτό και για καθένα από τους συνδέσμους της κεντρικής αρτηρίας, (1,2), (2,3), (3,4), (4,5), (5,6), (6,7).

Το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα εξαγωγής των αποτελεσμάτων με τη μορφή διαφόρων δεικτών αποδοτικότητας του δικτύου, όπως για παράδειγμα μέσος φόρτος, μέση ταχύτητα, μέση καθυστέρηση σε οχηματολεπτά, καθυστέρηση ανά όχημα σε δευτερόλεπτα, μέσος χρόνος διαδρομής ανά όχημα σε δευτερόλεπτα, συνολικός χρόνος διαδρομής σε λεπτά ανά μονάδα μήκους.

Από τα παραπάνω προτιμάται η χρησιμοποίηση του μέσου χρόνου διαδρομής ανά όχημα, σε δευτερόλεπτα ανά όχημα διότι ο δείκτης αυτός εμφανίζει τα εξής πλεονεκτήματα (Quiroga, 2000):

- Είναι πιο αντιληπτός από τους οδηγούς και τις διοικητικές αρχές σε σχέση με άλλους δείκτες αποδοτικότητας.
- Πολλοί από τους προαναφερθέντες δείκτες αποδοτικότητας, όπως η κατανάλωση καυσίμων σχετίζονται άμεσα με το χρόνο διαδρομής.
- Διευκολύνει την εκτίμηση των υπάρχουσών συνθηκών σε σηματοδοτημένες αρτηρίες, τη βαθμονόμηση του ελέγχου και διαχείρισης του οδικού δικτύου και της παροχής πληροφοριών στους οδηγούς.
- Είναι ο καταλληλότερος για την εκτίμηση της επίδρασης των συμβάντων και συνακόλουθα της μείωσης της αβεβαιότητας του χρόνου ταξιδιού.



Σχήμα 4. 1: Σχηματική απεικόνιση των εξεταζόμενων σεναρίων.

Επιπλέον, απαραίτητη κρίθηκε η χρησιμοποίηση του μέσου φόρτου και ειδικά εκείνου που εκτιμάται για το 9^ο λεπτό της προσομοίωσης (πριν την έναρξη του συμβάντος), προκειμένου να είναι δυνατός ο υπολογισμός των λόγων (v/c) για κάθε σύνδεσμο καθώς και της μέσης τιμής του λόγου (v/c) για το σύνολο των συνδέσμων

και ακολούθως να εκτιμηθεί η επίδρασή της στο μέσο χρόνο διαδρομής ανά σύνδεσμο κατά τη διάρκεια του συμβάντος.

4.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σκοπός της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων, που προκύπτουν από την προσομοίωση είναι η εκτίμηση της επίδρασης καθεμιάς από τις τρεις παραμέτρους - διάρκεια συμβάντος, μήκος συνδέσμου, μέγεθος της ζήτησης πριν την έναρξη του συμβάντος- στη μεταβολή των χρόνων διαδρομής τόσο για τον ίδιο το σύνδεσμο στον οποίο έχει τοποθετηθεί το συμβάν, όσο και για τους συνδέσμους ανάντη και κατόντη του. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται με τη χρήση διαγραμμάτων χρονοσειρών, που εκφράζουν τους χρόνους διαδρομής ανά χρονική περίοδο (ανά ένα λεπτό), καθώς και διαγραμμάτων που εκφράζουν την ποσοστιαία μεταβολή του χρόνου διαδρομής όταν υφίσταται κάποιο συμβάν σε σχέση με το χρόνο διαδρομής για τις αρχικές συνθήκες για όλους τους συνδυασμούς των τριών προαναφερθέντων παραμέτρων.

4.3.2 ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ

Στην ενότητα αυτή εξετάζονται οι διακυμάνσεις των χρόνων διαδρομής των συνδέσμων σε συνάρτηση με το χρόνο προσομοίωσης. Τα διαγράμματα των χρονοσειρών που χρησιμοποιούνται για τη διερεύνηση της σχέσης χρόνου διαδρομής-χρόνου προσομοίωσης παρατίθενται και για τις 5 εξεταζόμενες διάρκειες των συμβάντων και για συμβάν σε καθένα από τους τρεις εξεταζόμενους συνδέσμους. Σε κάθε διάγραμμα απεικονίζονται οι χρόνοι διαδρομής τόσο του συνδέσμου που περιέχει το συμβάν όσο και του ανάντη και κατόντη. Ο χρόνος προσομοίωσης που λαμβάνεται προκειμένου να ελεγχθεί η σχέση του με το χρόνο διαδρομής κάθε συνδέσμου περιλαμβάνει το χρονικό διάστημα από το 9^ο λεπτό- ένα λεπτό πριν την έναρξη του συμβάντος- έως και το τέλος της προσομοίωσης. Στη συνέχεια

παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη μελέτη των χρονοσειρών αυτών.

4.3.2.1 ΣΥΜΒΑΝ ΣΤΟ ΣΥΝΔΕΣΜΟ (3,4)

Για μικρές τιμές της ζήτησης ($v/c=0,41$), (διάγραμμα 4.1) παρατηρείται μικρή αύξηση του χρόνου διαδρομής του συνδέσμου που ξεκινάει με την έναρξη του συμβάντος και αυξάνεται κατά τη διάρκεια του. Μετά το πέρας του συμβάντος αρχίζει και η μείωση του χρόνου διαδρομής. Σε γενικές γραμμές η ίδια συμπεριφορά παρατηρείται και για μεγαλύτερες τιμές της ζήτησης ($v/c=0,61$ και $v/c=0,80$) (διαγράμματα 4.2 και 4.3). Η διαφοροποίηση έγκειται στο ότι η έναρξη της αύξησης του χρόνου διαδρομής ξεκινά μετά το πρώτο λεπτό της έναρξης του συμβάντος και συνεχίζει για 1 με 2 λεπτά μετά τη λήξη του καθώς και στη μεγαλύτερη αύξηση που υφίστανται οι χρόνοι διαδρομής με την αύξηση της ζήτησης και της διάρκειας του συμβάντος. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η αύξηση που εμφανίζεται μετά τη λήξη του συμβάντος είναι μεγάλη και μάλιστα μεγαλώνει με την αύξηση της ζήτησης και της χρονικής διάρκειας του συμβάντος. Για $v/c=0,80$ και διάρκεια συμβάντος 30 λεπτών, η αύξηση που εμφανίζεται είναι της τάξης των 3 λεπτών. Τέλος, για μεγάλη ζήτηση ($v/c=0,90$), (διάγραμμα 4.4) παρατηρείται αύξηση του χρόνου διαδρομής που ξεκινά μαζί με το συμβάν και συνεχίζει να αυξάνεται για ακόμη ένα λεπτό περίπου μετά τη λήξη του. Η αύξηση αυτή που παρατηρείται μετά τη λήξη του συμβάντος είναι ιδιαίτερα μεγάλη και για μεγάλη διάρκεια συμβάντος φτάνει τα 8 λεπτά. Επιπλέον, αντίθετα με τις προηγούμενες περιπτώσεις, οι χρόνοι διαδρομής συνεχίζουν να αυξάνονται καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης.

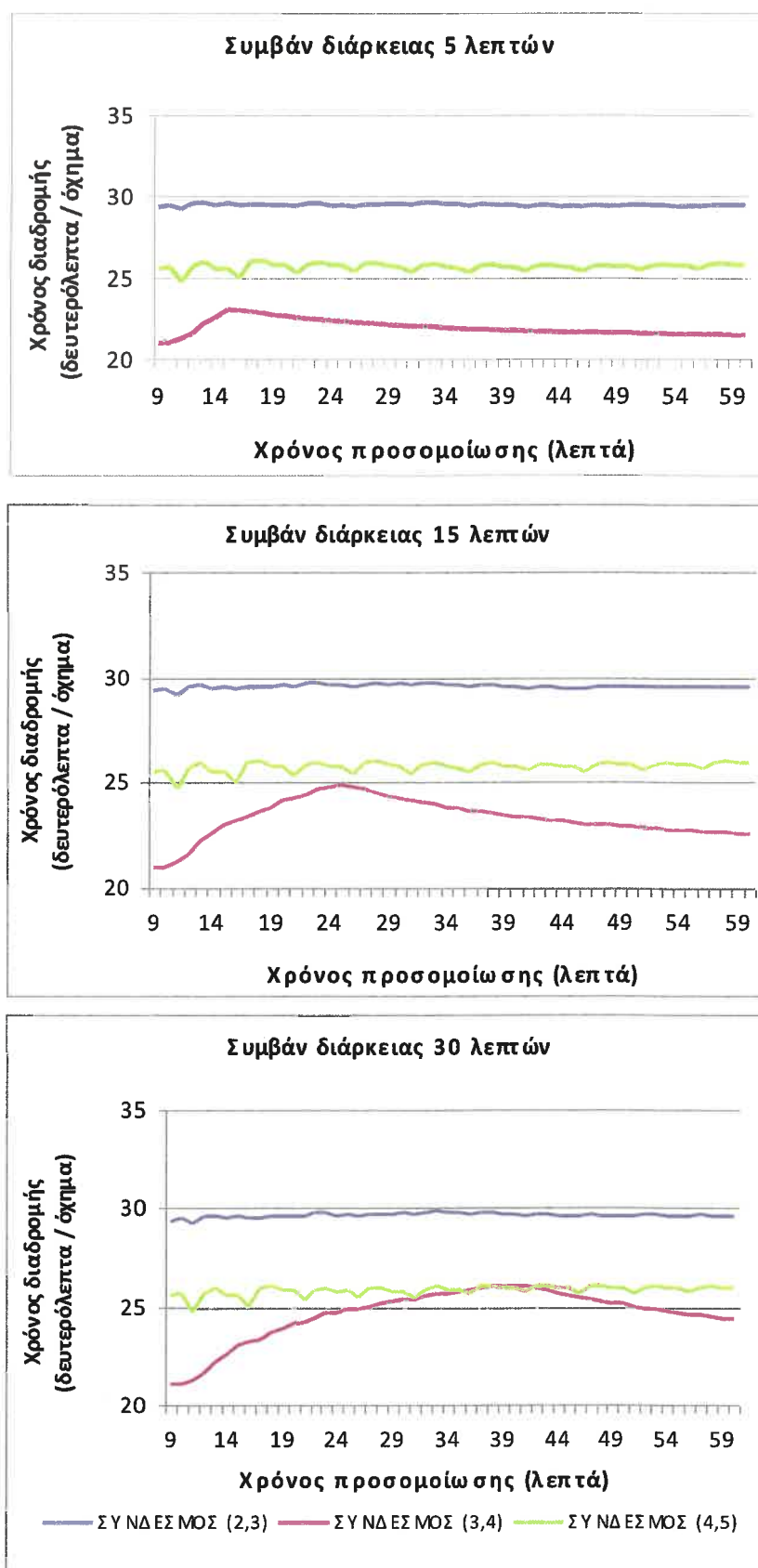
Το παραπάνω φαινόμενο οφείλεται κυρίως στη σηματοδότηση. Κατά τη διάρκεια του συμβάντος υπάρχουν οχήματα που λόγω του φαινομένου της υπερχειλίσης αναμένουν στο σηματοδότη της διασταύρωσης ανάντη του εξεταζόμενου συνδέσμου. Έτσι, με τη λήξη του συμβάντος και την απελευθέρωση της λωρίδας, η οποία συμπίπτει με φάση πρασίνου για το σηματοδότη εισέρχονται και τα οχήματα αυτά στο σύνδεσμο (3,4), με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο φόρτος ακόμη περισσότερο και ακολούθως και οι

χρόνοι διαδρομής και μάλιστα για αρκετό χρονικό διάστημα που ξεπερνάει το χρόνο προσομοίωσης.

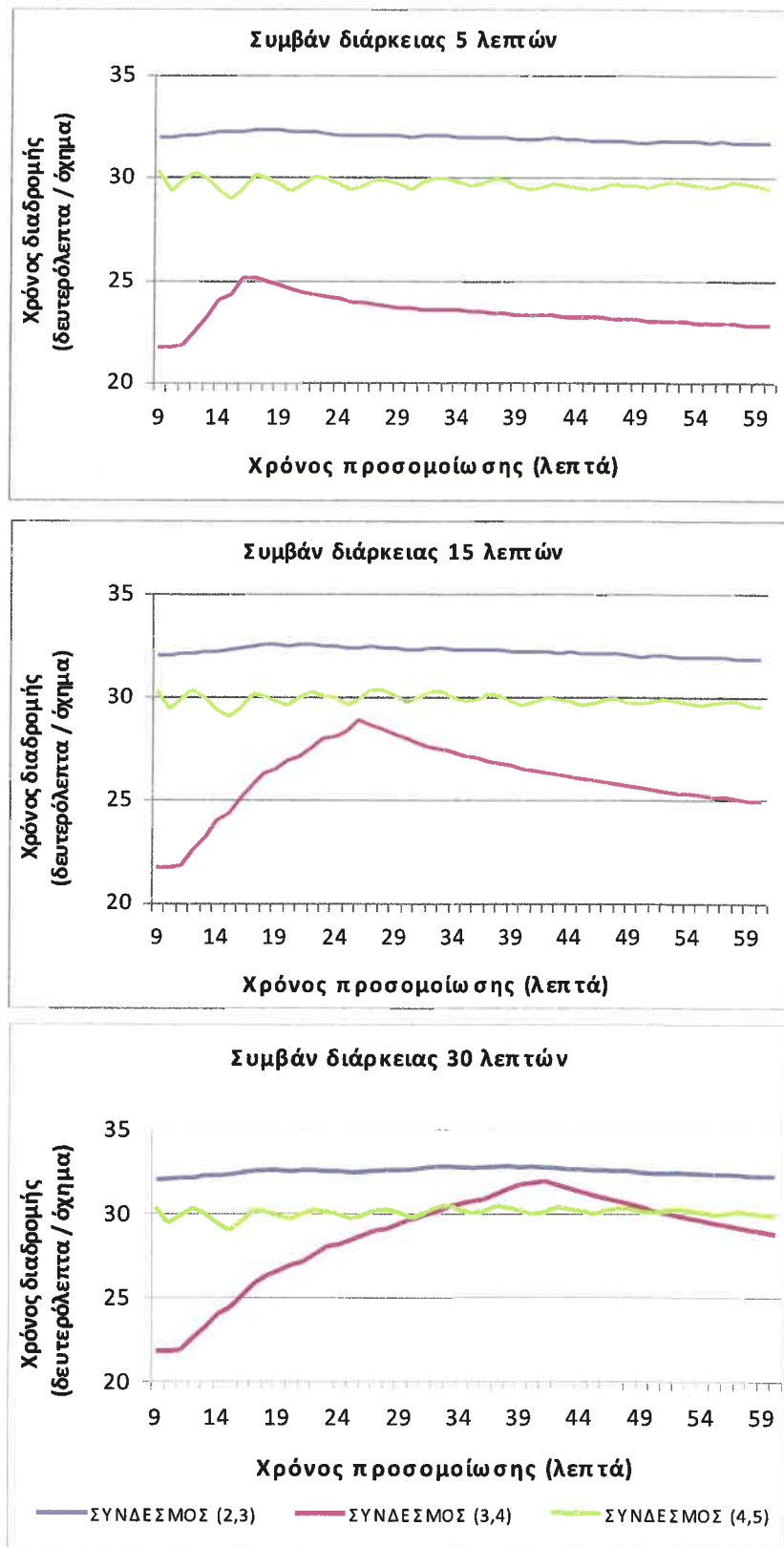
Ο ανάντη σύνδεσμος (2,3) γενικά εμφανίζει μικρή αύξηση στους χρόνους διαδρομής του κατά τη διάρκεια του συμβάντος για συνήθεις τιμές της ζήτησης και σταθεροποίηση στο υπόλοιπο χρονικό διάστημα. Για μεγάλη ζήτηση ($v/c=0,90$), εμφανίζει μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις- περίπου 8 λεπτά για διάρκεια συμβάντος 30 λεπτών, οι οποίες οφείλονται στο γεγονός ότι ο σύνδεσμος αυτός βρίσκεται ήδη πολύ κοντά στην κυκλοφοριακή του ικανότητα ($v/c_{(2,3)}=0,95$).

Ο κατάντη σύνδεσμος (4,5) δεν εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις στους χρόνους διαδρομής του, παρά μόνο στη μεγάλη ζήτηση, κατά την οποία οι χρόνοι διαδρομής αυξάνονται αμέσως μετά τη λήξη του συμβάντος, εξαιτίας του ακόμη μεγαλύτερου φόρτου που διέρχεται από το σύνδεσμο αυτό και εντείνει τη δυσκολία της κυκλοφορίας. Να σημειωθεί ότι οι μικρές διακυμάνσεις που εμφανίζει ο χρόνος διαδρομής του συνδέσμου (4,5) σε συνήθεις τιμές ζήτησης, οφείλονται στο μικρό του μέγεθος και είναι ανεξάρτητες της ύπαρξης συμβάντος καθώς και της διάρκειας αυτού στον ανάντη σύνδεσμο (3,4).

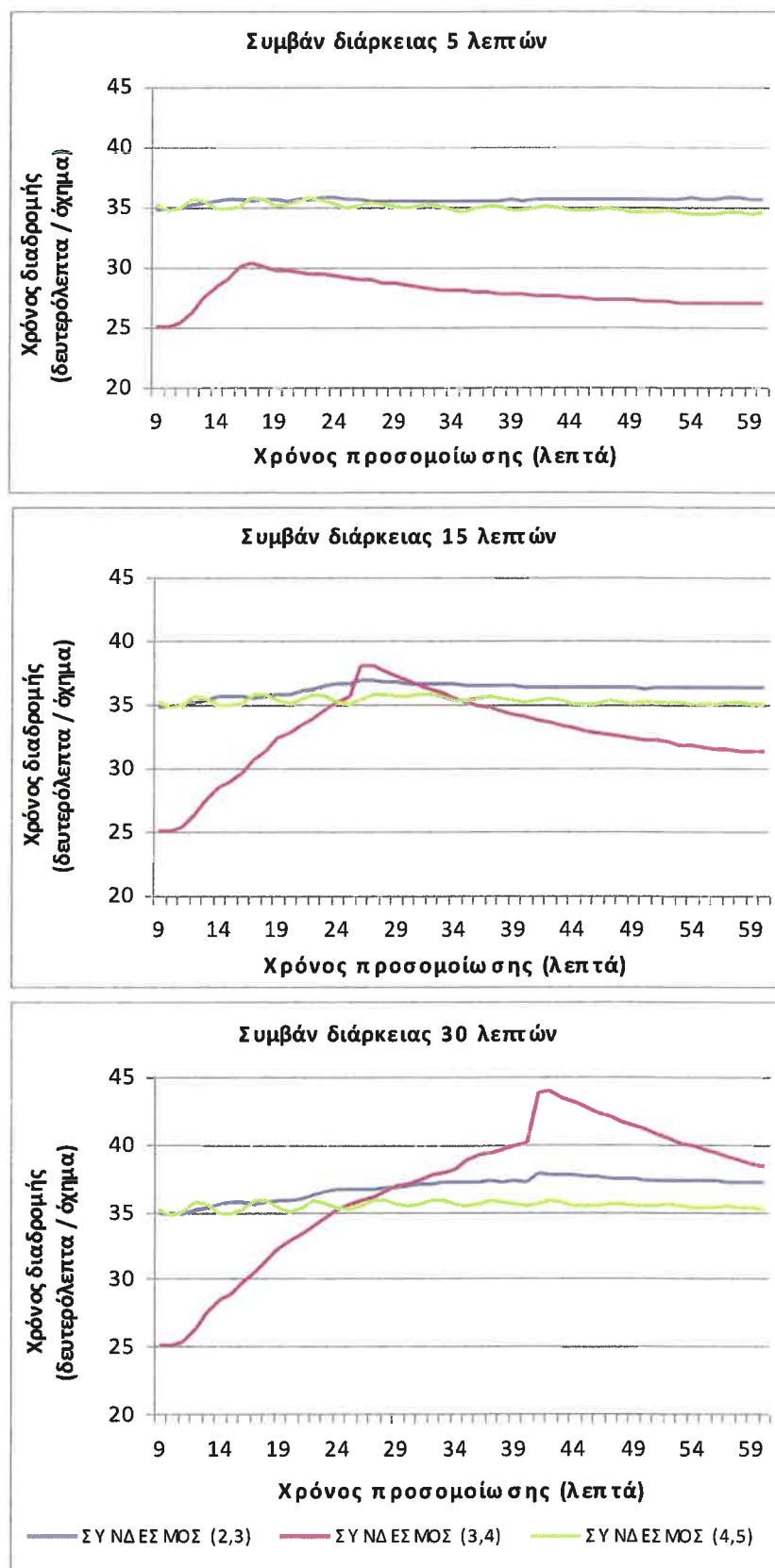
Ακολουθεί η παράθεση των χρονοσειρών για συμβάν στο σύνδεσμο (3,4) και για όλες τις τιμές του μέσου v/c .



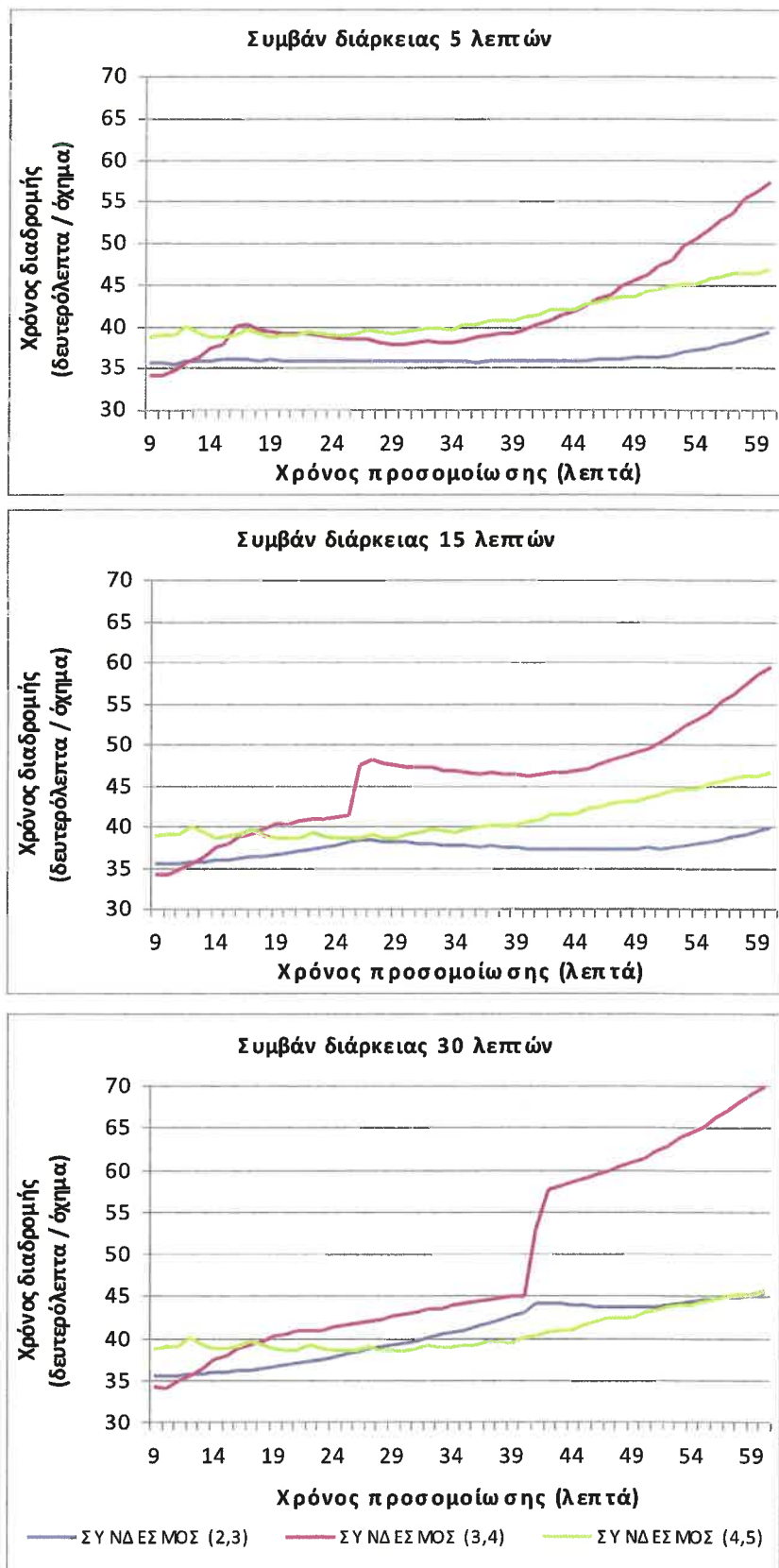
Διάγραμμα 4. 1: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (3,4) και μέσο $v/c=0,41$.



Διάγραμμα 4. 2: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (3,4) και μέσο $v/c=0,61$.



Διάγραμμα 4. 3: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (3,4) και μέσο $v/c=0,80$.



Διάγραμμα 4. 4: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (3,4) και μέσο $v/c=0,90$

4.3.2.2 ΣΥΜΒΑΝ ΣΤΟ ΣΥΝΔΕΣΜΟ (4,5)

Ο χρόνος διαδρομής του συνδέσμου (4,5) (διαγράμματα 4.5, 4.6 και 4.7) για τις μικρότερες τιμές της ζήτησης εμφανίζει μικρές αυξήσεις κατά τη διάρκεια του συμβάντος ενώ μετά τη λήξη του διατηρείται για λίγο σ' αυτά τα επίπεδα και στη συνέχεια μειώνεται, όπως είναι αναμενόμενο. Ωστόσο, για μεγάλες τιμές της ζήτησης (διάγραμμα 4.8) δεν εμφανίζει διαφοροποιήσεις στους χρόνους διαδρομής του γεγονός που οφείλεται στο ότι ο σύνδεσμος βρίσκεται πολύ κοντά στην κυκλοφοριακή του ικανότητα ($v/c_{(4,5)}=0,98$) και συνεπώς οι χρόνοι διαδρομής του είναι ήδη υψηλοί και δεν επιδέχονται μεγάλες διακυμάνσεις.

Ο χρόνος διαδρομής του ανάντη συνδέσμου (3,4) γενικά ακολουθεί τις διακυμάνσεις του χρόνου διαδρομής του συνδέσμου (4,5) για τις μικρότερες τιμές της ζήτησης ($v/c=0,41$). Αυτό οφείλεται αφενός στο μικρό μήκος του συνδέσμου (4,5) που προκαλεί την διάδοση της κυκλοφοριακής του συμφόρησης προς τα ανάντη και αφετέρου στο μη κορεσμό του συνδέσμου (3,4) ($v/c_{(3,4)}=0,78$), που του επιτρέπει την αύξηση του χρόνου διαδρομής του.

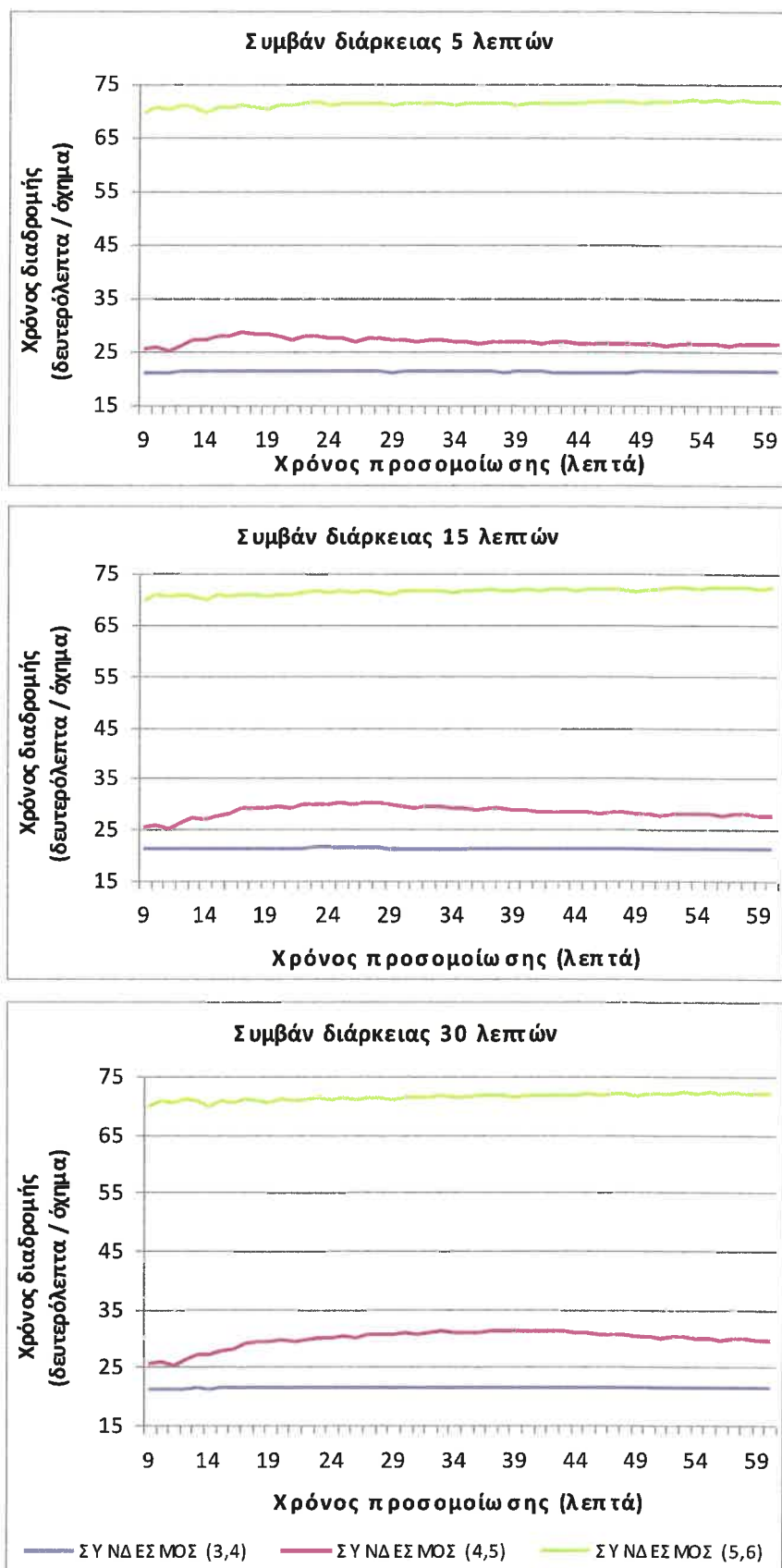
Για μεγαλύτερους φόρτους όμως και μεγάλες διάρκειες συμβάντων, οι χρόνοι διαδρομής του αυξάνονται μετά την έναρξη του συμβάντος μέχρι τη λήξη του οπότε και παραμένουν σταθεροί για κάποιο χρονικό διάστημα. Αυτό συμβαίνει λόγω του κορεσμού του συνδέσμου (4,5) που ουσιαστικά οδηγεί στην επέκταση της επίδρασης του συμβάντος στον ανάντη σύνδεσμο (3,4), ο οποίος δεν έχει φθάσει ακόμα σε επίπεδα κορεσμού ($v/c_{(3,4)}=0,78$).

Ο κατάντη σύνδεσμος για μικρές τιμές της ζήτησης δεν εμφανίζει σημαντικές διακυμάνσεις όσο αφορά στο χρόνο διαδρομής του. Για μεγαλύτερες όμως τιμές εμφανίζει συνεχείς αυξητικές τάσεις οι οποίες είναι ακόμη πιο έντονες -μεγαλύτερη κλίση- για το χρονικό διάστημα αμέσως μετά τη λήξη του συμβάντος.

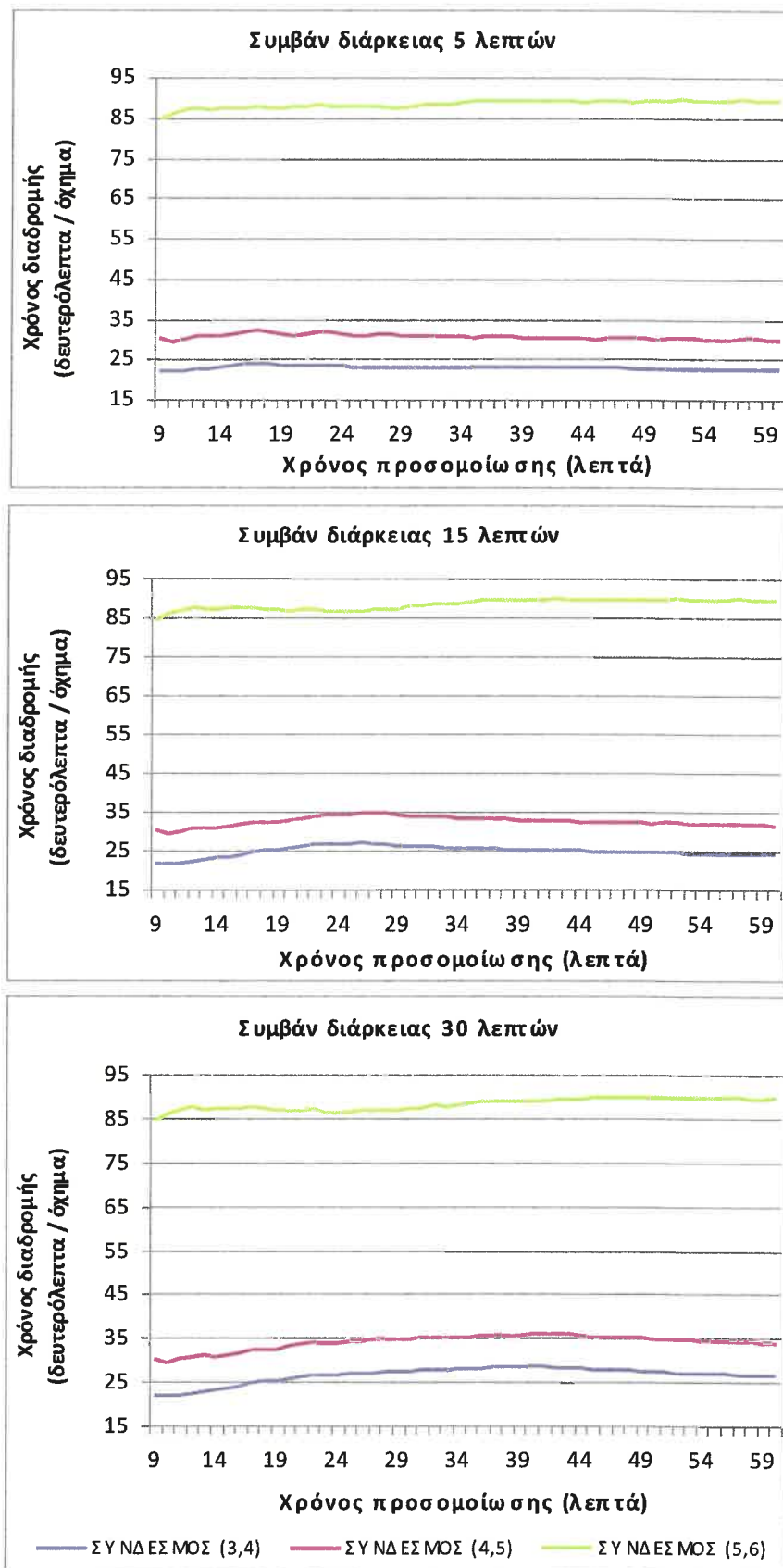
Το παραπάνω φαινόμενο οφείλεται στο γεγονός ότι για τις συνθήκες της υψηλής ζήτησης ο σύνδεσμος (5,6) δέχεται μεγάλους φόρτους από τον ανάντη του σύνδεσμο (4,5) που βρίσκεται σε συνθήκες κοντά στην κυκλοφοριακή του ικανότητα και οι οποίοι αυξάνονται πολύ αμέσως μετά τη λήξη του συμβάντος. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της απελευθέρωσης μιας επιπλέον λωρίδας του συνδέσμου (4,5) που

τροφοδοτεί με ακόμη περισσότερα οχήματα τον σύνδεσμο (5,6) αυξάνοντας τους χρόνους διαδρομής του.

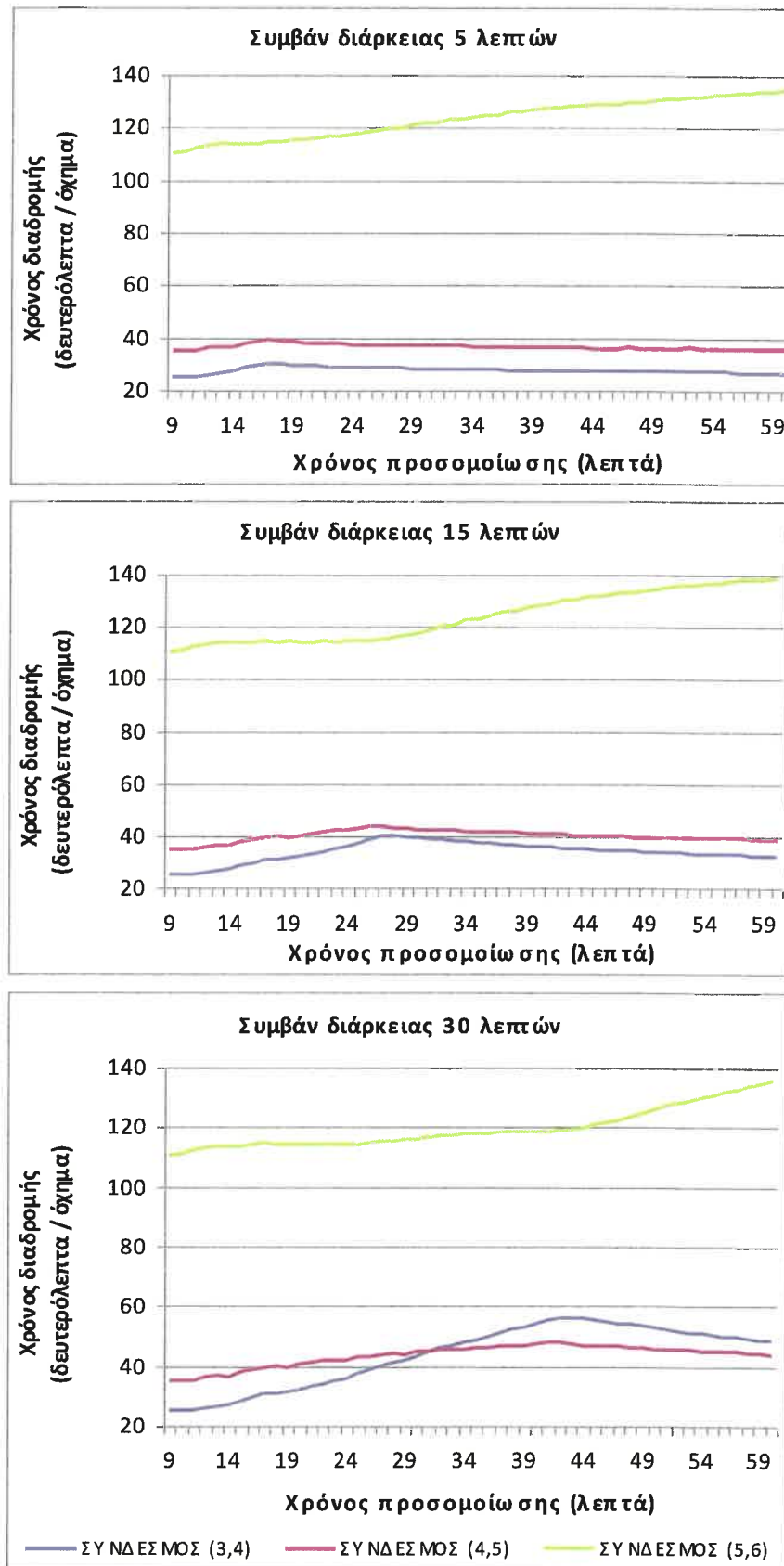
Ακολουθεί η παράθεση των χρονοσειρών για συμβάν στο σύνδεσμο (4,5) και για όλες τις τιμές του μέσου v/c .



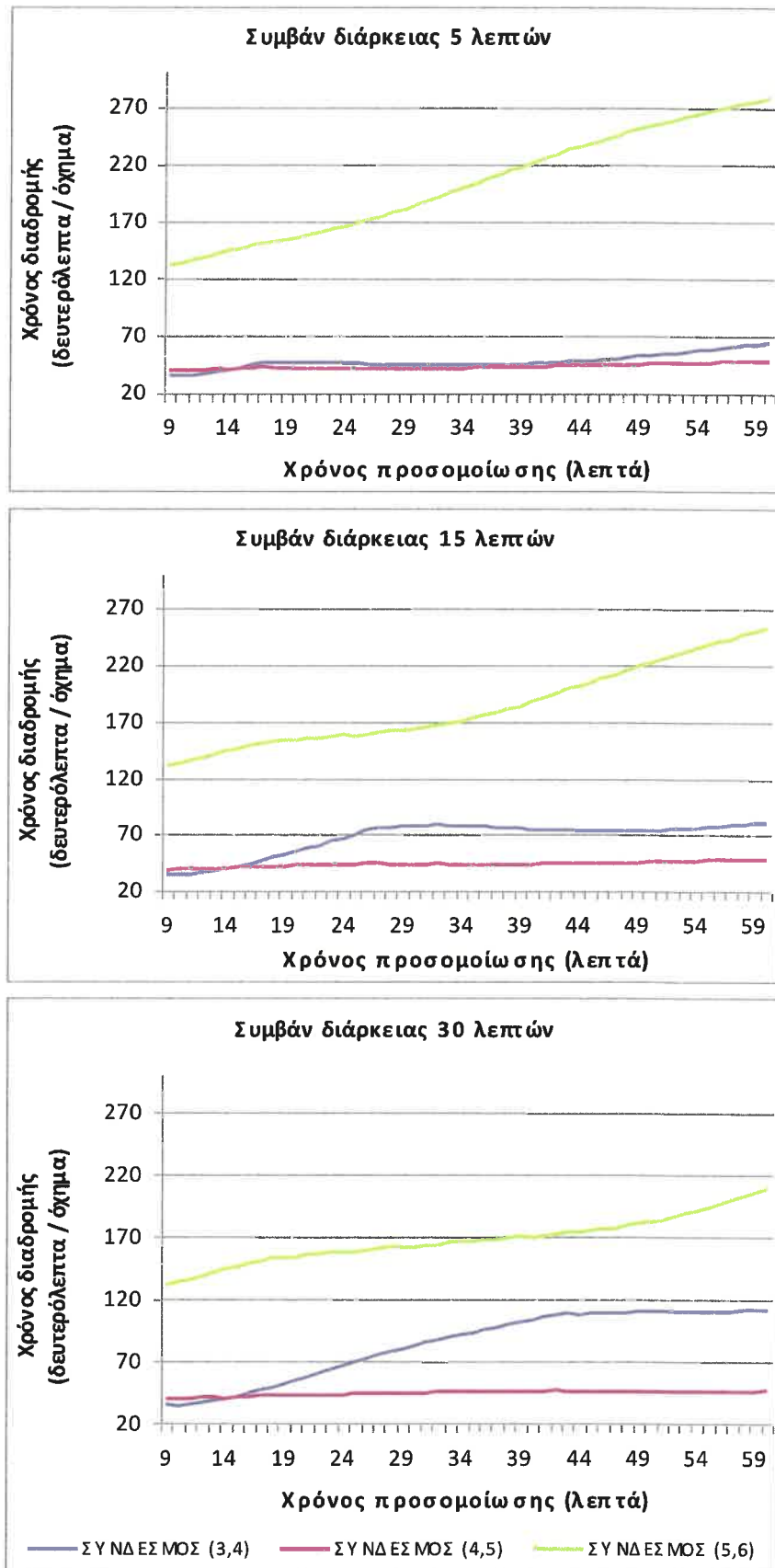
Διάγραμμα 4. 5: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (4,5) και μέσο $v/c=0,41$.



Διάγραμμα 4. 6: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (4,5) και μέσο $v/c=0,61$.



Διάγραμμα 4. 7: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (4,5) και μέσο $v/c=0,80$.



Διάγραμμα 4. 8: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (4,5) και μέσο $v/c=0,90$.

4.3.2.3 ΣΥΜΒΑΝ ΣΤΟ ΣΥΝΔΕΣΜΟ (5,6)

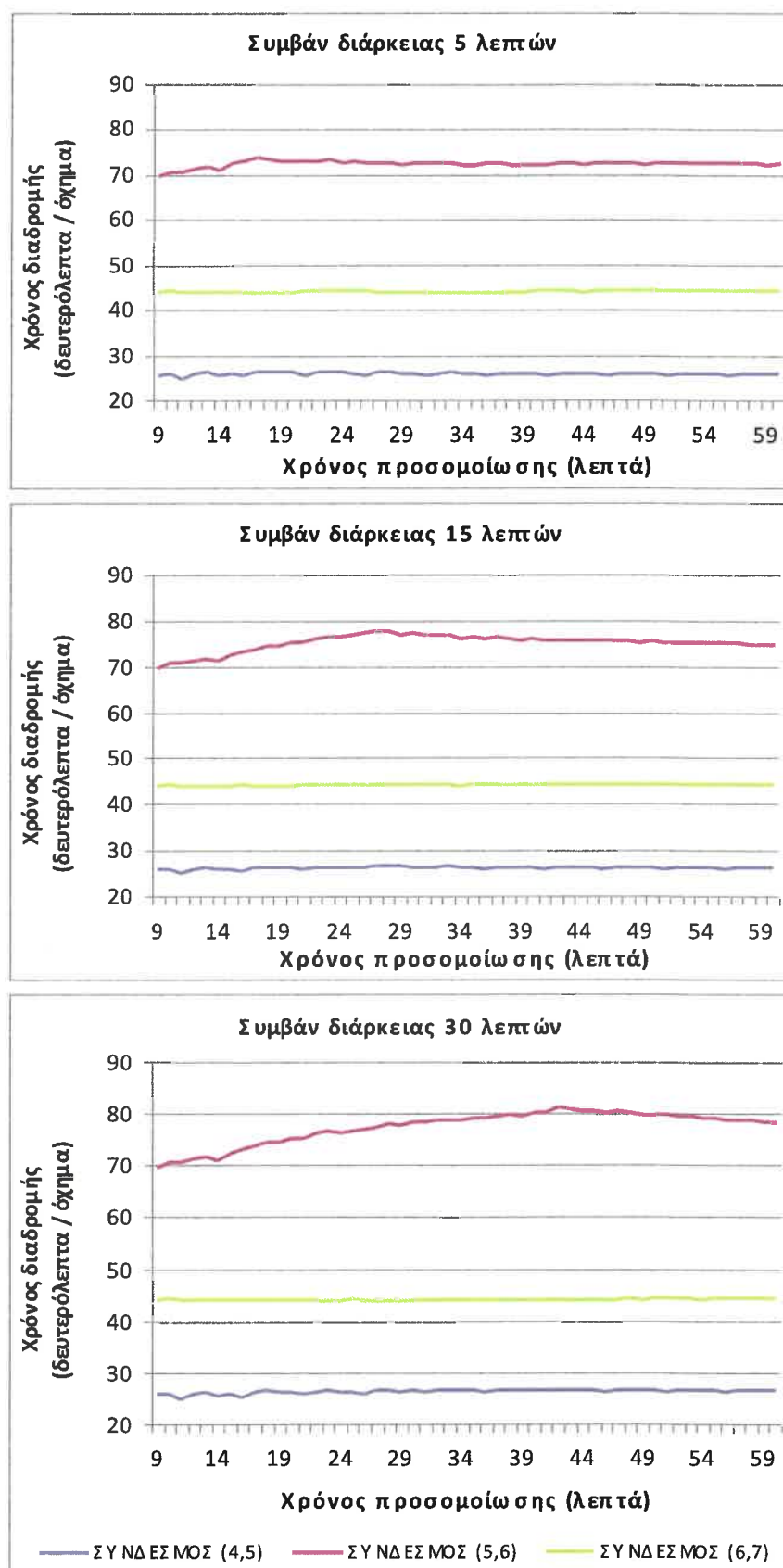
Ο χρόνος διαδρομής του συνδέσμου (5,6) για μικρές τιμές της ζήτησης ($v/c=0,41$ και $v/c=0,61$) (διαγράμματα 4.9 και 4.10) εμφανίζει όπως είναι αναμενόμενο μικρή αύξηση κατά τη διάρκεια του συμβάντος και μετά τη λήξη του σταθεροποιείται. Για μεγαλύτερες τιμές ($v/c=0,80$ και $v/c=0,90$) (διαγράμματα 4.11 και 4.12) εμφανίζει συνεχόμενη αύξηση η οποία για μεγάλης διάρκειας συμβάντα, αυξάνεται απότομα μετά τη λήξη αυτών, όπως συμβαίνει και στο σύνδεσμο (3,4).

Το παραπάνω φαινόμενο οφείλεται κυρίως στη σηματοδότηση. Κατά τη διάρκεια του συμβάντος υπάρχουν οχήματα που λόγω του φαινομένου της υπερχειλίσσης αναμένουν στο σηματοδότη της διασταύρωσης ανάντη του εξεταζόμενου συνδέσμου. Έτσι, με τη λήξη του συμβάντος και την απελευθέρωση της λωρίδας, η οποία συμπίπτει με φάση πρασίνου για το σηματοδότη εισέρχονται και τα οχήματα αυτά στο σύνδεσμο (6,7), με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο φόρτος ακόμη περισσότερο και συνακόλουθα και οι χρόνοι διαδρομής και μάλιστα για αρκετό χρονικό διάστημα που ξεπερνάει το χρόνο προσομοίωσης.

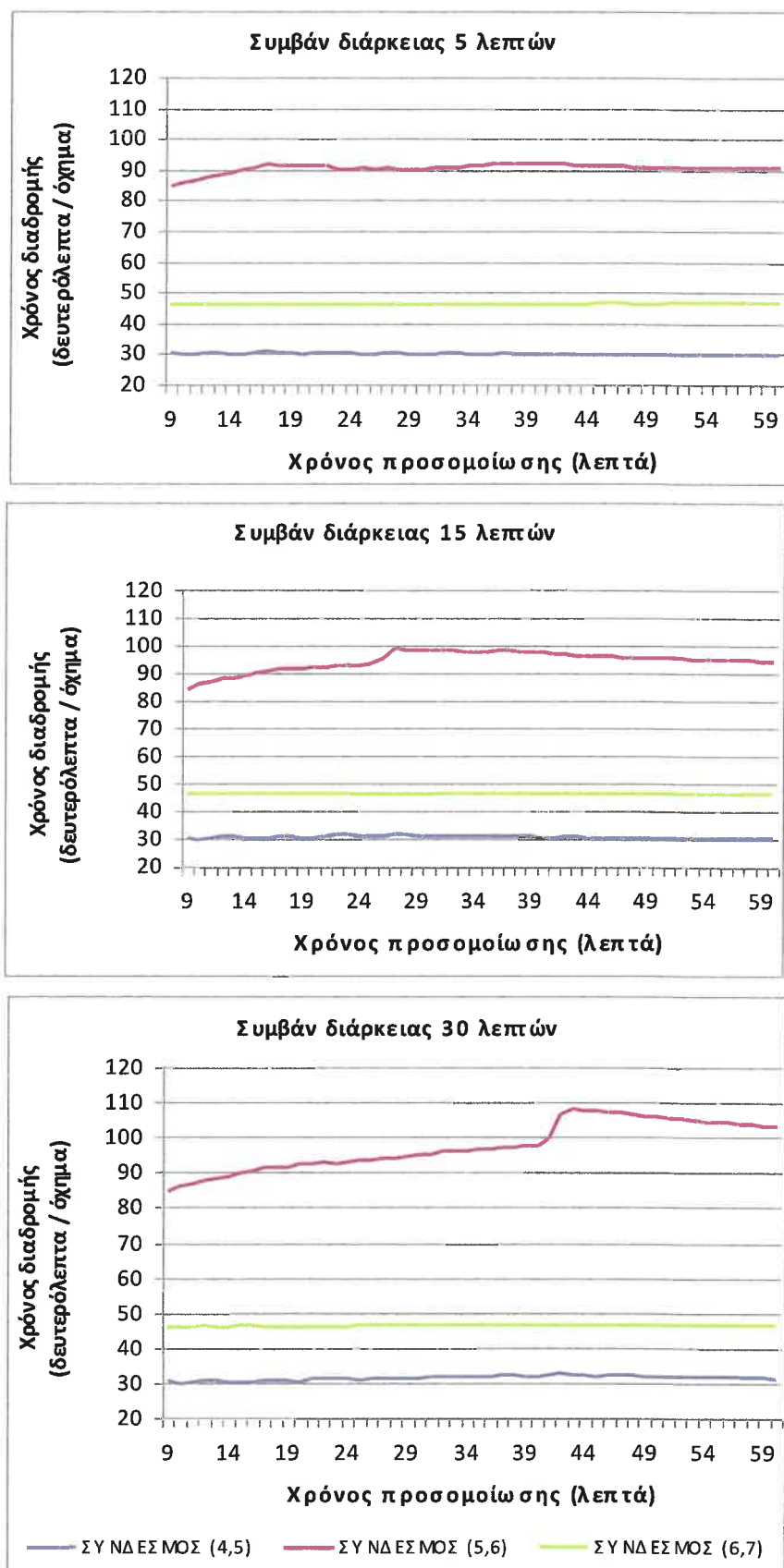
Ο ανάντη σύνδεσμος (4,5) γενικά δεν εμφανίζει διακυμάνσεις στους χρόνους διαδρομής παρά μόνο για πολύ υψηλές τιμές της ζήτησης και μεγάλες διάρκειες συμβάντων. Το γεγονός αυτό οφείλεται αφενός στο μικρό μήκος του, που εκ των πραγμάτων δεν του επιτρέπει μεγάλες διακυμάνσεις στους χρόνους διαδρομής του, ειδικά για περιπτώσεις υψηλών φόρτων και αφετέρου στο μεγάλο μήκος του υπό εξέταση συνδέσμου (5,6) ο οποίος μόνο σε πολύ υψηλές τιμές φόρτων μπορεί να επηρεάζει την κυκλοφορία κατάντη.

Ο κατάντη σύνδεσμος (6,7) ουσιαστικά παραμένει ανεπηρέαστος υπό οποιεσδήποτε κυκλοφοριακές συνθήκες και διάρκειες συμβάντων, γεγονός που σε χαμηλές τιμές ζήτησης οφείλεται στο μεγάλο του μήκος και επομένως στην ικανότητά του να εξυπηρετήσει τον αυξημένο φόρτο που εμφανίζεται μετά τη λήξη του συμβάντος του συνδέσμου (5,6). Όσον αφορά στις υψηλές τιμές της ζήτησης ($v/c=0,90$), η συμπεριφορά του κατάντη συνδέσμου (6,7) οφείλεται στο ότι έχει υπερβεί την κυκλοφοριακή του ικανότητα και επομένως ο χρόνος διαδρομής σ' αυτόν παραμένει

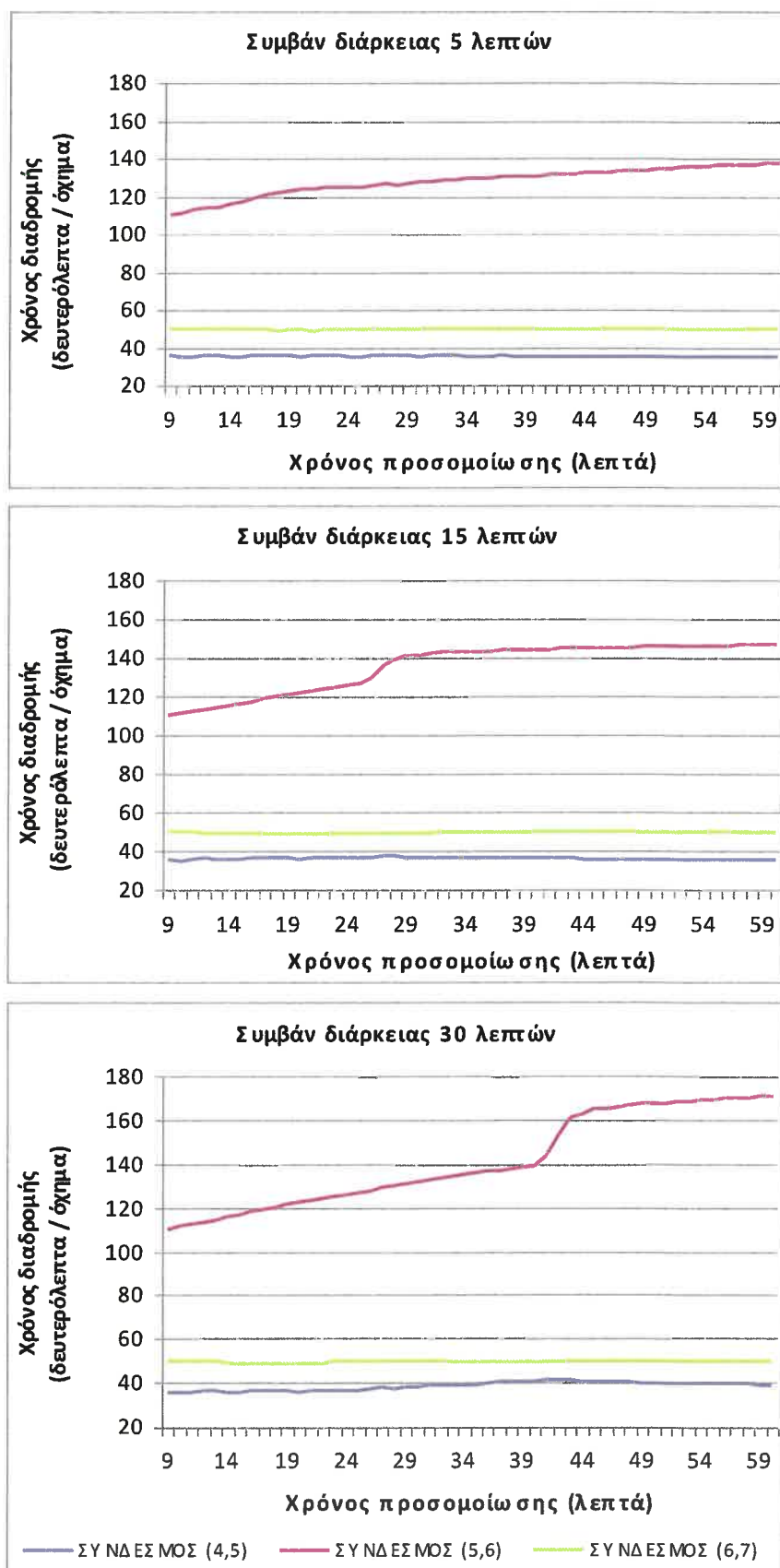
σταθερός και ανεξάρτητος της ύπαρξης συμβάντος ανάντη. Ακολουθεί η παράθεση των χρονοσειρών για συμβάν στο σύνδεσμο (5,6) και για όλες τις τιμές του μέσου v/c .



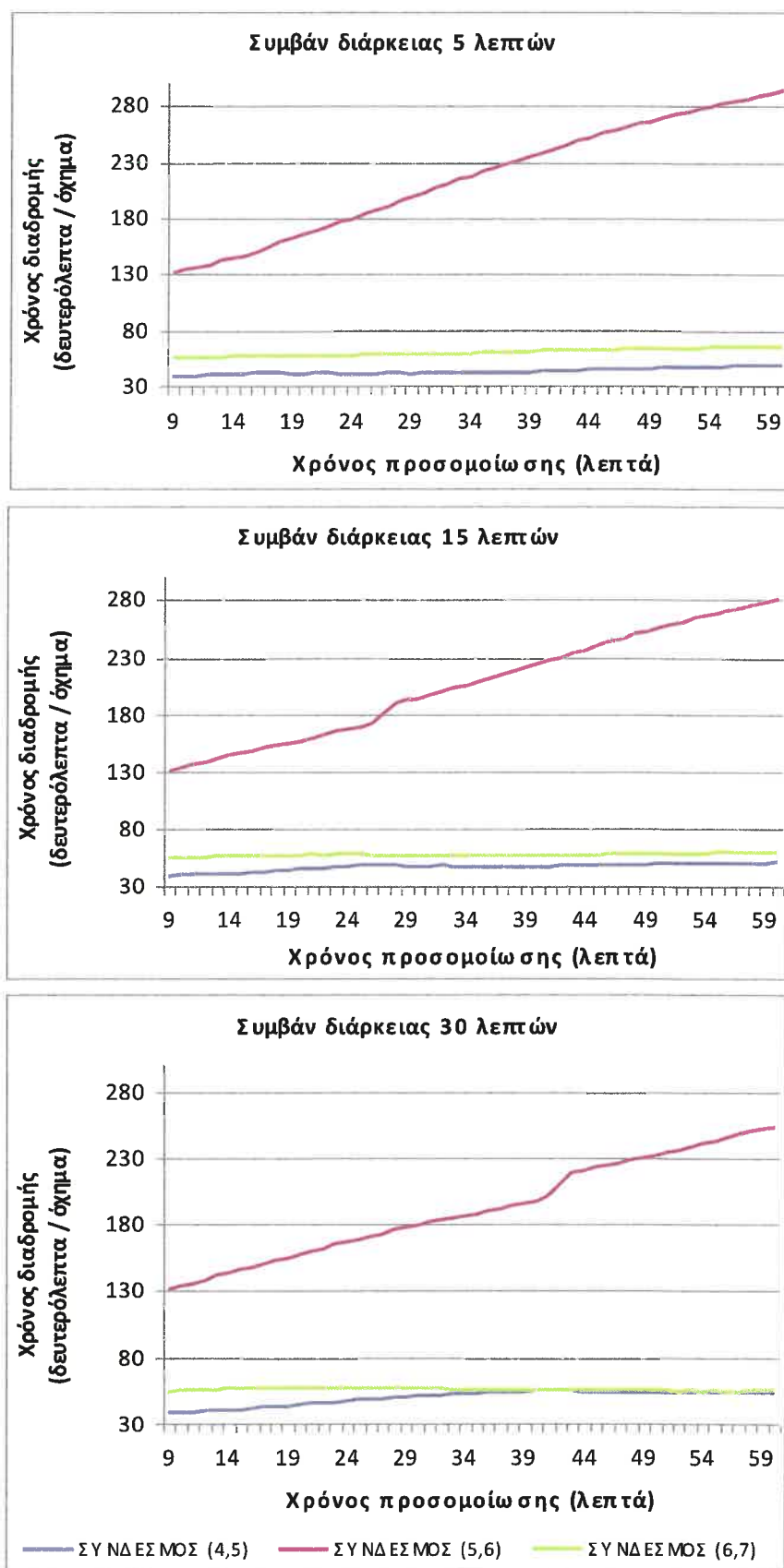
Διάγραμμα 4. 9: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (5,6) και μέσο $v/c=0,41$.



Διάγραμμα 4. 10: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (5,6) και μέσο $v/c=0,61$.



Διάγραμμα 4. 11: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (5,6) και μέσο $v/c=0,80$.



Διάγραμμα 4. 12: Χρονοσειρές για συμβάν στο σύνδεσμο (5,6) και μέσο $v/c=0,90$.

4.4 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ

Προκειμένου να ελεγχθεί η επίδραση της διάρκειας του συμβάντος και του μεγέθους της ζήτησης κατά τη διάρκειά του στους χρόνους διαδρομής τόσο του συνδέσμου του συμβάντος όσο και των ανάντη και κατάντη του, σχεδιάζονται τα διαγράμματα ποσοστιαίας μεταβολής του μέσου χρόνου διαδρομής (συνθήκες υπό την επίδραση συμβάντος-αρχικές συνθήκες κυκλοφορίας) σε συνάρτηση με τη διάρκεια των συμβάντων και το μέγεθος της ζήτησης.

4.4.1 ΣΥΜΒΑΝ ΣΤΟ ΣΥΝΔΕΣΜΟ (3,4)

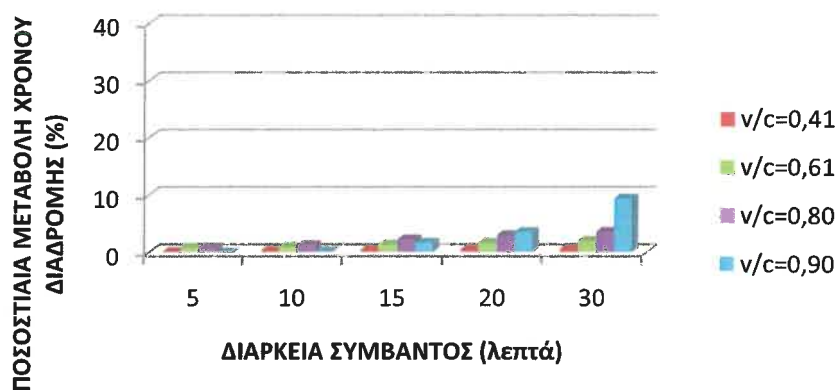
Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 4.13 η αύξηση της διάρκειας του συμβάντος στο σύνδεσμο (3,4) συνεπάγεται αύξηση της ποσοστιαίας μεταβολής του μέσου χρόνου διαδρομής του για τιμές της ζήτησης που αντιστοιχούν σε μέσες τιμές v/c μικρότερες του 0,90, όπως ήταν αναμενόμενο. Ωστόσο, για μεγάλες τιμές της ζήτησης, η ποσοστιαία μεταβολή εμφανίζεται μειωμένη για συμβάν διάρκειας 30 λεπτών, γεγονός που οφείλεται στους μεγάλους φόρτους κυκλοφορίας οι οποίοι δεν επιτρέπουν στο σημείο αυτό μεγάλες αυξήσεις των χρόνων διαδρομής και συνεπώς των μέσων τιμών αυτών. Επιπλέον, οι τιμές της ποσοστιαίας αύξησης του μέσου χρόνου διαδρομής του συνδέσμου για μεγάλη ζήτηση είναι αρκετά μικρότερες από τις αντίστοιχες των μικρότερων τιμών της ζήτησης εξαιτίας της αυξημένης συμφόρησης.

Ο ανάντη σύνδεσμος φαίνεται να επηρεάζεται μόνο για μεγάλης διάρκειας συμβάν και μεγάλη ζήτηση τα οποία εμφανίζονται ως αύξηση της ποσοστιαίας μεταβολής της τάξεως του 10%, ενώ ο μέσος χρόνος διαδρομής του ανάντη δεν επηρεάζεται ουσιαστικά, γεγονός που σχετίζεται άμεσα και με το μικρό του μήκος καθώς και με το v/c αυτού του συνδέσμου ($v/c_{(4,5)}=0,98$).

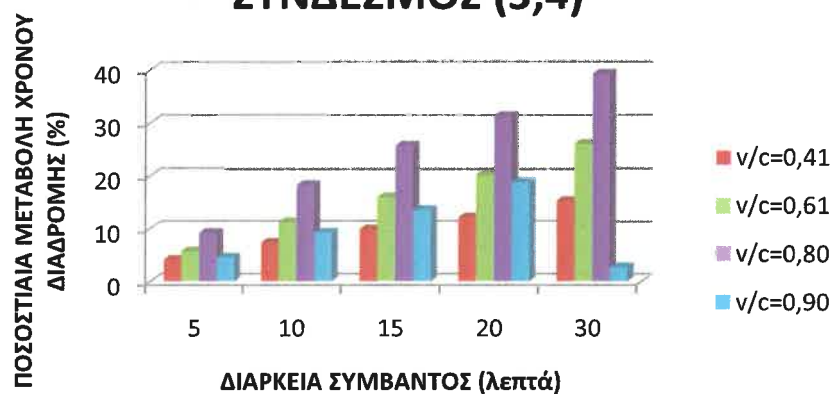
Ακολουθούν τα διαγράμματα των ποσοστιαίων μεταβολών των χρόνων αυτών σε συνάρτηση της διάρκειας του συμβάντος για τον ίδιο το σύνδεσμο (3,4) καθώς επίσης και για τον ανάντη (2,3) και κατάντη του (4,5) για όλες τις εξεταζόμενες χρονικές διάρκειες συμβάντος και όλες τις μέσες τιμές του v/c (διάγραμμα 4.13), η παράθεση

της γραφικής απεικόνισης του δικτύου (TRAFVU) κάποια χρονική στιγμή κατά την οποία εντοπίζεται συμβάν στο σύνδεσμο (3,4) (εικόνα 4.1) και τέλος τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με τη μορφή μέσων χρόνων διαδρομής ανά σύνδεσμο (πίνακας 4.3).

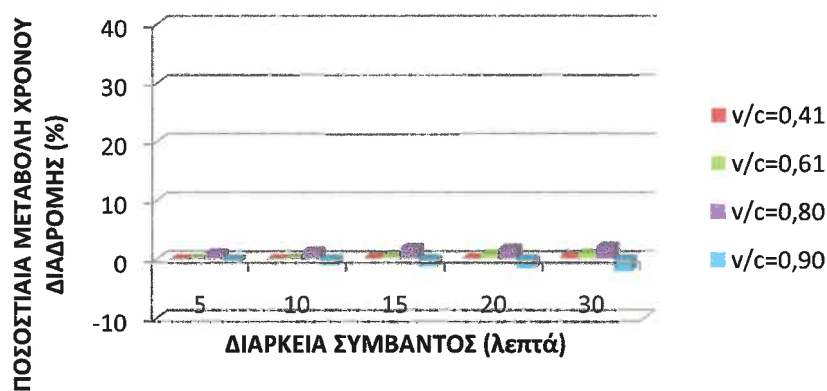
ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ (2,3)



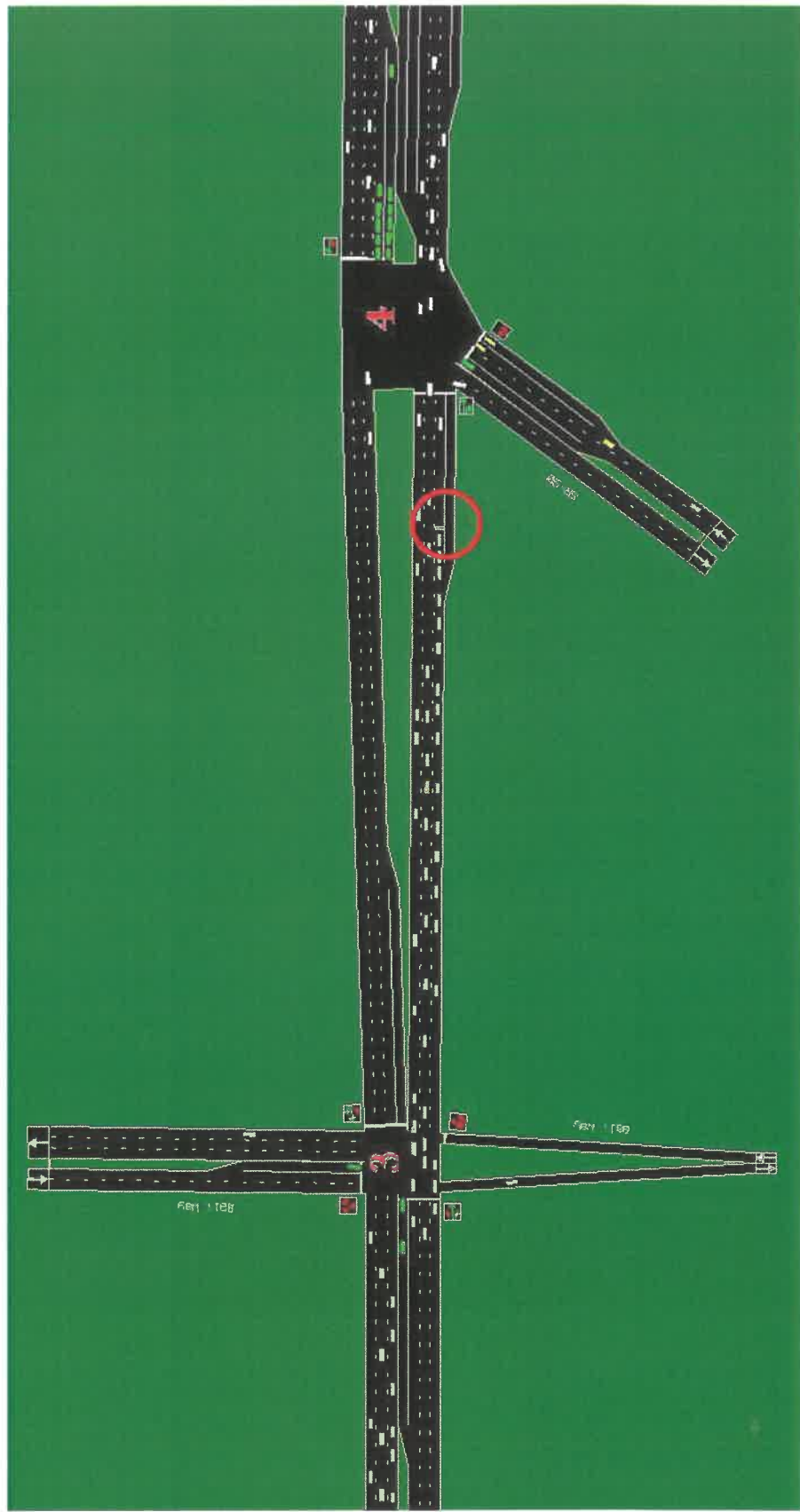
ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ (3,4)



ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ (4,5)



Διάγραμμα 4. 13: Ποσοστιαία μεταβολή χρόνου διαδρομής για συμβάν στο σύνδεσμο (3,4).



Εικόνα 4. 1: Απεικόνιση συμβάντος στο σύνδεσμο (3,4).

Πίνακας 4. 3: Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε μέσο χρόνο διαδρομής ανά σύνδεσμο.

ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ v/c		0,41						0,61					
		ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ (λεπτά)						ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ (λεπτά)					
ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ	Χωρίς Συμβάν	5	10	15	20	30	Χωρίς Συμβάν	5	10	15	20	30	
1,2	35,05	35,145	35,044	35,083	35,075	35,086	38,44	38,380	38,404	38,387	38,395	38,385	
2,3	29,30	29,322	29,388	29,422	29,450	29,469	31,73	31,969	32,026	32,158	32,254	32,373	
3,4	20,95	21,823	22,494	23,024	23,490	24,149	21,90	23,162	24,358	25,399	26,328	27,609	
4,5	25,60	25,596	25,603	25,680	25,654	25,734	30,17	30,202	30,195	30,322	30,424	30,464	
5,6	70,57	70,678	70,631	70,643	70,702	70,643	87,60	88,283	87,703	87,992	87,930	87,824	
6,7	43,94	43,857	43,891	43,917	43,933	43,927	46,11	46,222	46,120	46,117	46,065	46,084	

ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ v/c		0,80						0,90					
		ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ (λεπτά)						ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ (λεπτά)					
ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ	Χωρίς Συμβάν	5	10	15	20	30	Χωρίς Συμβάν	5	10	15	20	30	
1,2	50,65	51,394	51,360	52,200	51,747	51,584	123,83	122,470	123,494	123,726	123,340	123,646	
2,3	35,13	35,382	35,569	35,928	36,183	36,397	36,38	35,994	36,443	37,003	37,688	39,801	
3,4	25,18	27,506	29,783	31,654	33,073	35,081	38,73	40,508	42,323	43,990	46,021	46,863	
4,5	34,87	35,237	35,329	35,540	35,509	35,637	41,22	40,979	40,745	40,656	40,536	40,317	
5,6	122,29	122,267	122,887	122,827	121,875	121,601	200,56	198,030	194,796	195,325	194,704	194,794	
6,7	48,96	49,064	48,951	48,934	48,900	48,908	61,98	59,865	61,942	60,852	60,444	60,670	

4.4.2. ΣΥΜΒΑΝ ΣΤΟ ΣΥΝΔΕΣΜΟ (4,5)

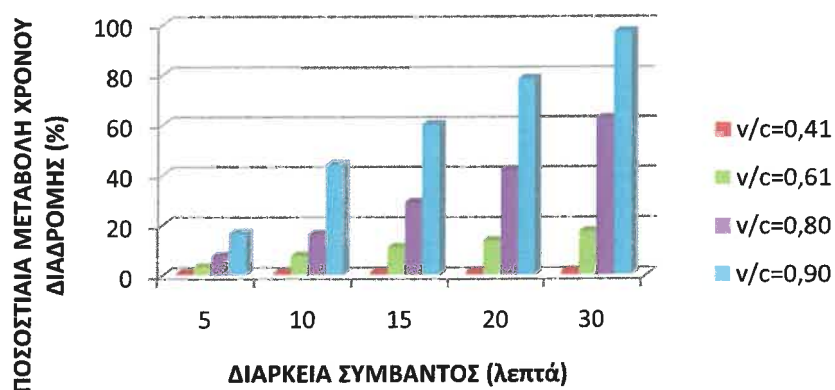
Από το διάγραμμα 4.14 προκύπτει ότι η ποσοστιαία μεταβολή του μέσου χρόνου διαδρομής του συμβάντος στο σύνδεσμο (4,5) αυξάνεται με τη αύξηση της διάρκειας του συμβάντος αλλά δεν επηρεάζεται για μεγάλες τιμές της ζήτησης- κοντά στη κυκλοφοριακή ικανότητα. Αυτό οφείλεται στις μεγάλες αλληλεπιδράσεις που εμφανίζει εκ των πραγμάτων ο μικρός αυτός σύνδεσμος, γεγονός που δεν επιτρέπει μεγάλες διακυμάνσεις των μέσων χρόνων διαδρομής.

Στον ανάντη σύνδεσμο, η επίδραση του συμβάντος οδηγεί σε αύξηση της ποσοστιαίας μεταβολής των μέσων χρόνων διαδρομής, η οποία είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η ζήτηση και η διάρκεια του συμβάντος.

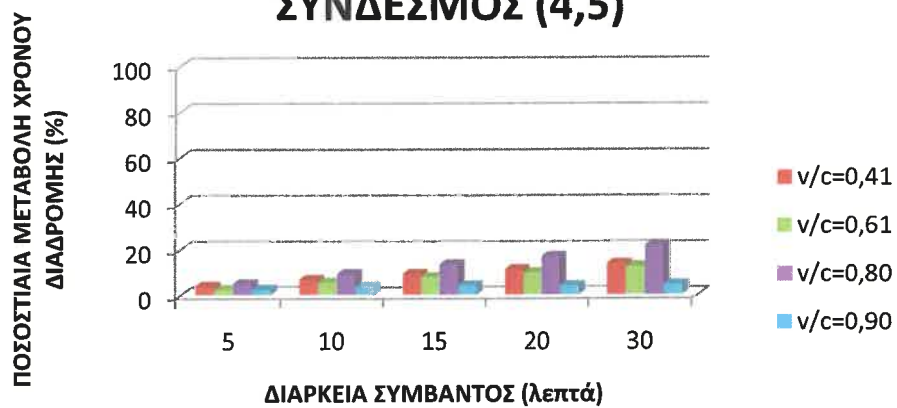
Ο κατάντη σύνδεσμος ουσιαστικά μένει ανεπηρέαστος με μικρή μείωση των μέσων χρόνων διαδρομής συνδέσμου για μεγάλες τιμές της ζήτησης. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη μείωση του αριθμού των οχημάτων που εισέρχονται στο σύνδεσμο αυτό κατά τη διάρκεια του συμβάντος εξαιτίας του συνδυασμού της κυκλοφοριακής συμφόρησης στον ανάντη σύνδεσμο(4,5) και της σηματοδότησης.

Ακολουθούν τα διαγράμματα των ποσοστιαίων μεταβολών των χρόνων αυτών σε συνάρτηση της διάρκειας του συμβάντος για τον ίδιο το σύνδεσμο (4,5) καθώς επίσης και για τον ανάντη (3,4) και κατάντη του (5,6) για όλες τις εξεταζόμενες χρονικές διάρκειες συμβάντος και όλες τις μέσες τιμές του v/c (διάγραμμα 4.14), η παράθεση της γραφικής απεικόνισης του δικτύου (TRAFVU) κάποια χρονική στιγμή κατά την οποία εντοπίζεται συμβάν στο σύνδεσμο (4,5) (εικόνα 4.2) και τέλος τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με τη μορφή μέσων χρόνων διαδρομής ανά σύνδεσμο (πίνακας 4.4).

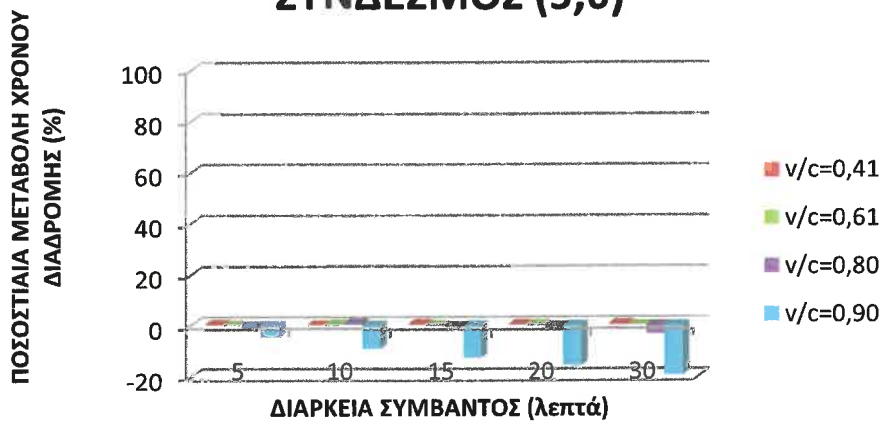
ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ (3,4)



ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ (4,5)



ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ (5,6)



Διάγραμμα 4. 14: Ποσοστιαία μεταβολή χρόνου διαδρομής για συμβάν στο σύνδεσμο (3,4).



Εικόνα 4. 2: Απεικόνιση συμβάντος στο σύνδεσμο (4,5).

Πίνακας 4. 4: Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε μέσο χρόνο διαδρομής ανά σύνδεσμο.

ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ v/c		0,61					
		ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ (λεπτά)					
ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ	Χωρίς Συμβάν	5	10	15	20	30	Χωρίς Συμβάν
1,2	35,05	35,123	35,094	35,144	35,124	35,115	38,44
2,3	29,30	29,365	29,365	29,391	29,360	29,351	31,73
3,4	20,95	21,092	21,136	21,169	21,217	21,259	21,90
4,5	25,60	26,608	27,331	27,968	28,473	29,108	30,17
5,6	70,57	70,765	70,616	70,901	70,799	70,888	87,60
6,7	43,94	43,945	43,906	43,930	43,952	43,934	46,11
		38,478	38,664	38,560	38,614	38,566	
		31,766	31,817	31,739	31,756	31,731	
		22,588	23,587	24,314	24,914	25,698	
		30,911	31,823	32,556	33,132	33,946	
		87,702	88,005	87,691	87,803	87,547	
		46,142	46,102	46,094	46,036	46,061	
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ v/c		0,80					
		ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ (λεπτά)					
ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ	Χωρίς Συμβάν	5	10	15	20	30	Χωρίς Συμβάν
1,2	50,65	50,949	50,251	50,601	50,879	50,686	123,83
2,3	35,13	35,064	35,141	35,135	35,117	35,151	36,38
3,4	25,18	27,086	29,316	32,494	35,741	40,932	38,73
4,5	34,87	36,599	38,098	39,541	40,753	42,432	41,22
5,6	122,29	120,990	123,171	121,396	119,820	117,739	200,56
6,7	48,96	49,007	48,938	48,986	48,849	48,742	61,98
		121,452	122,574	122,247	122,710	123,423	
		35,742	36,760	37,897	40,794	45,977	
		45,164	55,806	62,055	69,072	76,384	
		42,252	42,754	43,008	42,913	43,131	
		191,320	181,455	174,454	168,464	160,783	
		55,943	56,180	55,226	55,193	55,374	

4.4.3. ΣΥΜΒΑΝ ΣΤΟ ΣΥΝΔΕΣΜΟ (5,6)

Στο σύνδεσμο (5,6), όπως παρατηρείται από το διάγραμμα 4.15 ισχύει ότι η ποσοστιαία μεταβολή των μέσων χρόνων διαδρομής αυξάνεται με την αύξηση της ζήτησης και της διάρκειας του συμβάντος. Εξαίρεση αποτελεί η τιμή της ζήτησης που οδηγεί σε συνθήκες κοντά στην κυκλοφοριακή ικανότητα, όπου παρατηρείται το παράδοξο φαινόμενο της μείωσης του μέσου χρόνου διαδρομής με την αύξηση της διάρκειας του συμβάντος.

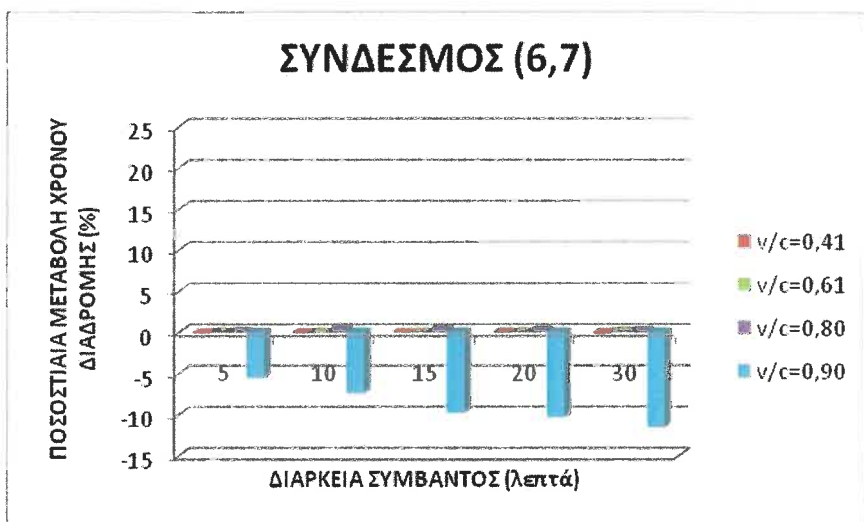
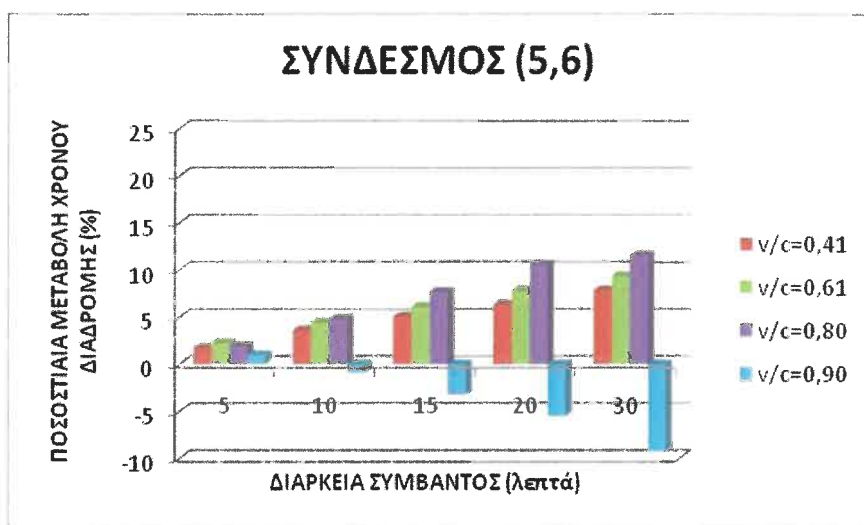
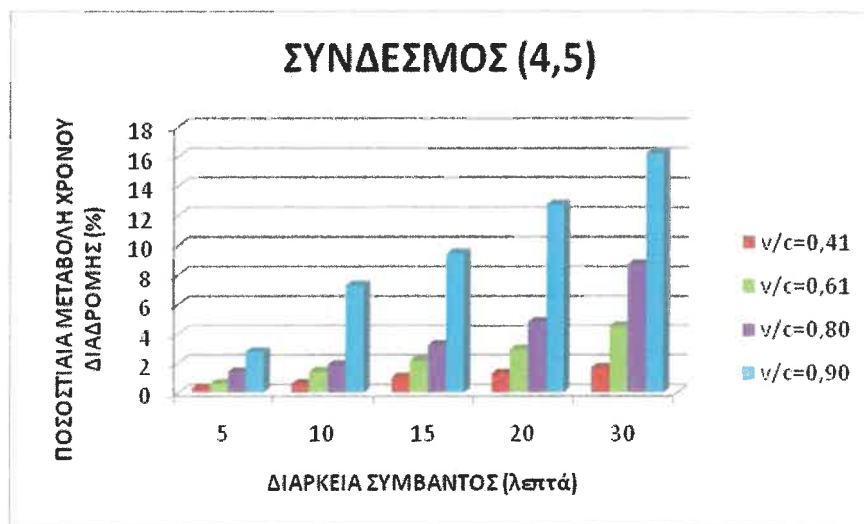
Η εξήγηση αυτής της παράδοξης παρατήρησης οφείλεται κυρίως στο μεγάλο μήκος του συνδέσμου αυτού και όπως είναι φυσικό και στους μεγάλους κυκλοφοριακούς φόρτους (μέση τιμή $v/c=0,86$). Ο σύνδεσμος (5,6) χωρίς την επίδραση των συμβάντων εμφανίζει αυξημένη κυκλοφορία η οποία γίνεται ακόμη εντονότερη με τον αποκλεισμό μιας λωρίδας. Ο αποκλεισμός αυτός όμως οδηγεί στη μετάδοση της κυκλοφοριακής συμφόρησης στον ανάντη σύνδεσμο με αποτέλεσμα πολλά οχήματα, που υπό κανονικές συνθήκες θα εισέρχονταν στο σύνδεσμο να εμποδίζονται από τη σηματοδότηση και να παραμένουν στο σύνδεσμο (4,5). Το παραπάνω, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι εξαιτίας του μεγάλου μήκους του συνδέσμου, ένα τμήμα του παραμένει ανοικτό για κυκλοφορία- το λογισμικό προσομοίωσης δεν προκαλεί αποκλεισμό λωρίδας σε όλο το μήκος του συνδέσμου- οδηγεί τελικά σε μειωμένους μέσους χρόνους κυκλοφορίας για τα οχήματα που έχουν εισέλθει στο σύνδεσμο.

Όπως προαναφέρθηκε και γίνεται και φανερό από το διάγραμμα 4.15 η επίδραση του συμβάντος του συνδέσμου (5,6) μεταφέρεται ουσιαστικά στον ανάντη σύνδεσμο αυξάνοντας πολύ τις μέσες τιμές των χρόνων διαδρομής του και μάλιστα αναλογικά με την αύξηση της ζήτησης και της διάρκειας του συμβάντος.

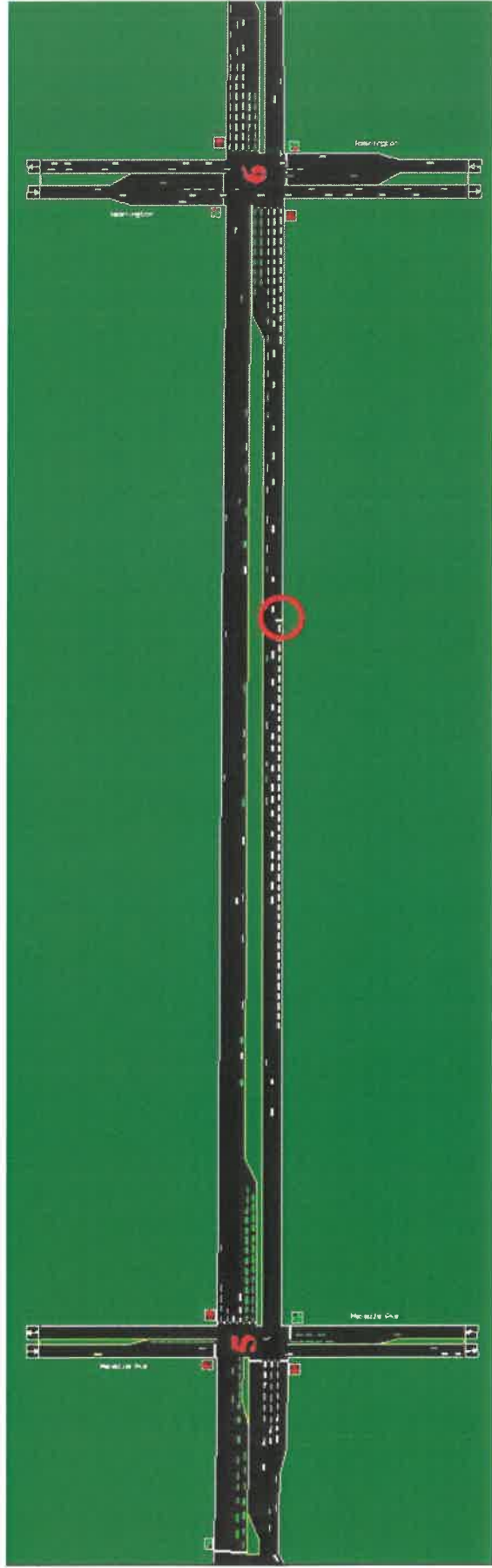
Όσο αφορά στον κατάντη σύνδεσμο (6,7), παραμένει ουσιαστικά ανεπηρέαστος για όλα τα μεγέθη της ζήτησης με εξαίρεση τα μεγάλα μεγέθη της για τα οποία η ποσοστιαία μεταβολή μειώνεται. Το γεγονός αυτό συνδυάζεται με την παραπάνω παρατήρηση που αφορά τον ίδιο το σύνδεσμο (5,6) του συμβάντος και ισχύει για μεγάλες τιμές της ζήτησης. Οι φόρτοι που εισέρχονται υπό συνθήκες μεγάλης ζήτησης στο σύνδεσμο (6,7) είναι πολύ μικρότεροι σε σχέση με αυτούς που θα

εισερχόταν υπό ομαλές συνθήκες εξαιτίας του συμβάντος ανάντη. Οι φόρτοι αυτοί είναι μάλιστα τόσο μικρότεροι όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια του συμβάντος.

Ακολουθούν τα διαγράμματα των ποσοστιαίων μεταβολών των χρόνων αυτών σε συνάρτηση της διάρκειας του συμβάντος για τον ίδιο το σύνδεσμο (5,6) καθώς επίσης και για τον ανάντη (4,5) και κατάντη του (6,7) για όλες τις εξεταζόμενες χρονικές διάρκειες συμβάντος και όλες τις μέσες τιμές του v/c (διάγραμμα 4.15), η παράθεση της γραφικής απεικόνισης του δικτύου (TRAFVU) κάποια χρονική στιγμή κατά την οποία εντοπίζεται συμβάν στο σύνδεσμο (5,6) (εικόνα 4.3) και τέλος τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με τη μορφή μέσων χρόνων διαδρομής ανά σύνδεσμο (πίνακας 4.5).



Διάγραμμα 4. 15: Ποσοστιαία μεταβολή χρόνου διαδρομής για συμβάν στο σύνδεσμο (5,6).



Εικόνα 4. 3: Απεικόνιση συμβάντος στο σύνδεσμο (5,6).

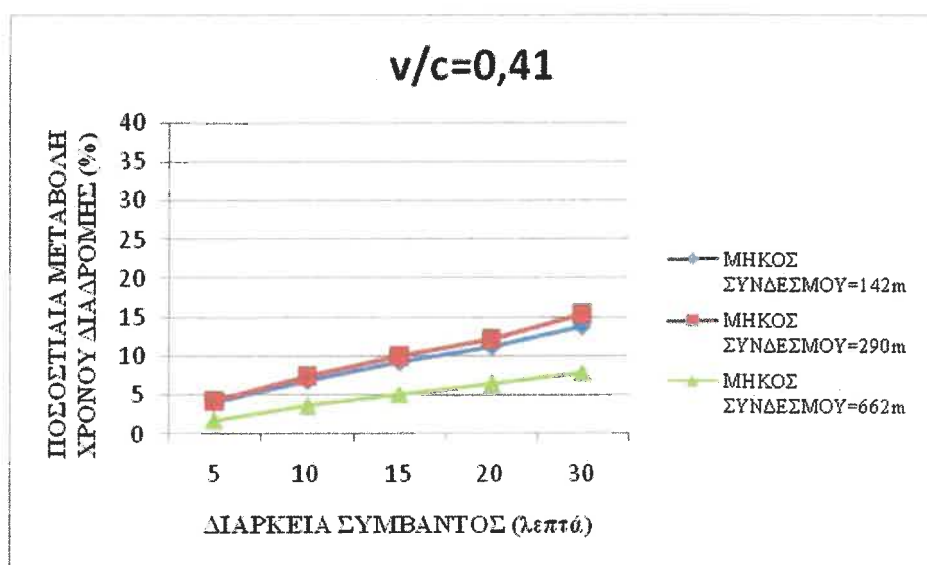
Πίνακας 4. 5: Αποτελέσματα της προσομοίωσης σε μέσο χρόνο διαδρομής ανά σύνδεσμο.

ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ v/c		0,41						0,61					
		ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ (λεπτά)						ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ (λεπτά)					
ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ	Χωρίς Συμβάν	5	10	15	20	30	Χωρίς Συμβάν	5	10	15	20	30	
1,2	35,05	35,105	35,081	35,116	35,095	35,108	38,44	38,462	38,544	38,543	38,473	38,555	
2,3	29,30	29,308	29,312	29,269	29,289	29,276	31,73	31,856	31,845	31,782	31,821	31,804	
3,4	20,95	21,001	20,957	20,980	20,973	20,979	21,90	21,817	21,779	21,811	21,791	21,799	
4,5	25,60	25,674	25,753	25,870	25,932	26,037	30,17	30,357	30,604	30,824	31,057	31,535	
5,6	70,57	71,748	73,116	74,138	75,018	76,108	87,60	89,574	91,451	92,954	94,426	95,801	
6,7	43,94	43,898	43,925	43,936	43,931	43,890	46,11	46,117	46,056	46,129	46,121	46,162	

ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ v/c		0,80						0,90					
		ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ (λεπτά)						ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ (λεπτά)					
ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ	Χωρίς Συμβάν	5	10	15	20	30	Χωρίς Συμβάν	5	10	15	20	30	
1,2	50,65	50,966	50,837	50,439	50,694	50,898	123,83	124,049	122,465	122,871	122,648	122,884	
2,3	35,13	35,109	35,020	34,991	35,007	35,005	36,38	35,387	36,054	36,196	37,711	40,620	
3,4	25,18	25,312	25,349	25,527	25,898	27,122	38,73	38,864	44,561	50,539	55,255	60,289	
4,5	34,87	35,366	35,529	35,996	36,542	37,904	41,22	42,360	44,219	45,111	46,475	47,907	
5,6	122,29	124,619	128,172	131,698	135,220	136,410	200,56	202,582	198,743	194,024	189,420	181,936	
6,7	48,96	49,011	49,123	49,114	49,071	49,051	61,98	58,477	57,321	55,853	55,498	54,750	

4.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΤΟΥ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ ΣΤΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

Προκειμένου να ελεγχθεί η επίδραση του μήκους του συνδέσμου στον οποίο εμφανίζεται το συμβάν, ως προς τους χρόνους διαδρομής του συνδέσμου αυτού, σχεδιάζονται διαγράμματα ποσοστιαίας μεταβολής του μέσου χρόνου διαδρομής (συνθήκες υπό την επίδραση συμβάντος -αρχικές συνθήκες κυκλοφορίας) σε συνάρτηση με τη διάρκεια του συμβάντος για τις 4 εξεταζόμενες τιμές της ζήτησης.



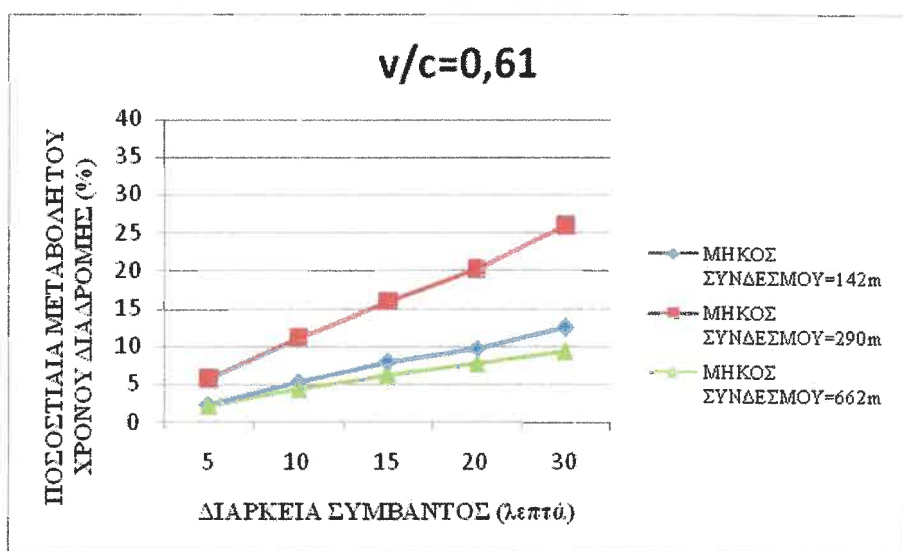
Διάγραμμα 4. 16: Ποσοστιαία μεταβολή χρόνου διαδρομής για συμβάν σε καθένα από τους συνδέσμους ($v/c=0,41$).

Από το διάγραμμα 4.16 παρατηρείται ότι για χαμηλές τιμές της ζήτησης που αντιστοιχούν σε μέσο $v/c=0,41$, οι μικρού και μεσαίου μεγέθους σύνδεσμοι (3,4) και (4,5), ακολουθούν παρόμοια συμπεριφορά ως προς την ποσοστιαία μεταβολή της αύξησης του μέσου χρόνου διαδρομής του συνδέσμου του συμβάντος, αναλογικά και με τη διάρκεια αυτού. Για μεγαλύτερου μήκους σύνδεσμο, η μορφή του διαγράμματος είναι η ίδια αλλά η ποσοστιαία αύξηση είναι αρκετά μικρότερη.

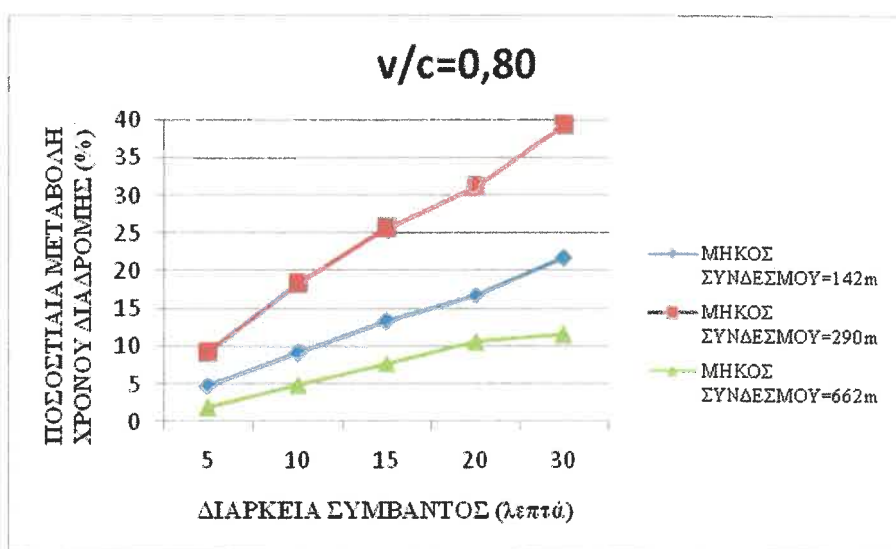
Για μεγαλύτερες τιμές της ζήτησης ($v/c=0,61$ και $v/c=0,80$), συνεχίζονται οι αυξήσεις στις ποσοστιαίες μεταβολές των μέσων χρόνων διαδρομής και για τα τρία εξεταζόμενα μήκη συνδέσμων, με τη διαφορά ότι ο μικρού μήκους σύνδεσμος

εμφανίζει παρόμοια συμπεριφορά πλέον με τον μεγάλο μήκους σύνδεσμο (διαγράμματα 4.17 και 4.18).

Σε συνθήκες ζήτησης κοντά στην κυκλοφοριακή ικανότητα, ο μικρού μήκους σύνδεσμος όπως έχει παρατηρηθεί και προηγουμένως παραμένει ανεπηρέαστος όσο αφορά στους μέσους χρόνους διαδρομής του.



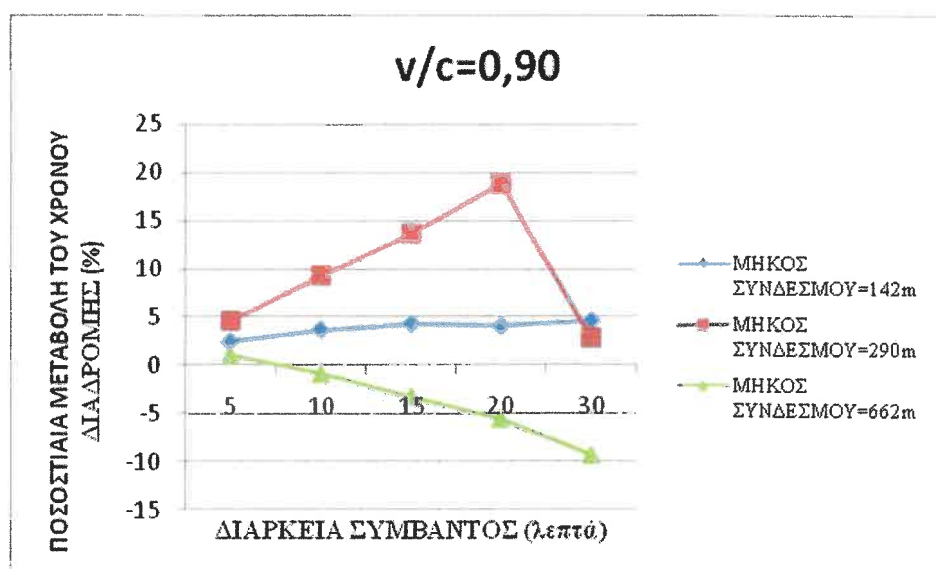
Διάγραμμα 4. 17: Ποσοστιαία μεταβολή χρόνου διαδρομής για συμβάν σε καθένα από τους συνδέσμους ($v/c=0.46$).



Διάγραμμα 4. 18: Ποσοστιαία μεταβολή χρόνου διαδρομής για συμβάν σε καθένα από τους συνδέσμους ($v/c=0.80$).

Όσο αφορά στις ποσοστιαίες μεταβολές του συνδέσμου μεσαίου μήκους, οι αυξητικές τάσεις του συνεχίζονται για όλες τις διάρκειες των συμβάντων με εξαίρεση τη διάρκεια των 30 λεπτών, όπου εμφανίζεται σημαντική μείωση της αύξησης, προφανώς εξαιτίας της κυκλοφοριακής συμφόρησης που έχει προκύψει από το συνδυασμό της μεγάλης ζήτησης και της μεγάλης διάρκειας αποκλεισμού της λωρίδας.

Τέλος, η συμπεριφορά του μεγάλου μήκους συνδέσμου, για μεγάλες μέσες τιμές v/c , (διάγραμμα 4.19), η μείωση δηλαδή των ποσοστιαίων μεταβολών των μέσων χρόνων διαδρομής του συνδέσμου, οφείλεται αφενός στη μεγάλη ζήτηση που οδηγεί σε υψηλού βαθμού κυκλοφοριακή συμφόρηση και αφετέρου στη μεγάλη διάρκεια που παραμένει κλειστή η λωρίδα. Επίσης, σχετίζεται άμεσα με την ύπαρξη σηματοδότησης στον ανάντη κόμβο και στο μεγάλο μέγεθός του που επιτρέπει τη διέλευση ενός αριθμού οχημάτων ακόμη και στην αποκλεισμένη από το συμβάν λωρίδα. Οι παράγοντες αυτοί έχουν αναλυθεί εκτενώς σε προηγούμενη ενότητα.



Διάγραμμα 4. 19: Ποσοστιαία μεταβολή χρόνου διαδρομής για συμβάν σε καθένα από τους συνδέσμους ($v/c=0.90$).

Μια ακόμη γενικότερη επισήμανση που μπορεί να εξαχθεί από τη μελέτη των διαγραμμάτων είναι ότι οι μεσαίου μήκους σύνδεσμοι, εμφανίζουν τις μεγαλύτερες ποσοστιαίες αυξήσεις των μέσων χρόνων διαδρομής για όλες τις διάρκειες συμβάντων και όλες τις τιμές της ζήτησης. Εξαίρεση αποτελεί η περίπτωση της

μεγάλης ζήτησης για μεγάλης διάρκειας συμβάν, γεγονός που αναλύθηκε εκτενώς προηγουμένως.

4.5 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παραπάνω ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης, προκύπτει ότι υπάρχει μεγάλη αλληλεπίδραση μεταξύ των εξεταζόμενων παραμέτρων (διάρκεια συμβάντος, μήκος συνδέσμου, μέγεθος της ζήτησης στο δίκτυο κατά τη διάρκεια του συμβάντος) ενός συμβάντος κατά μήκος ενός συνδέσμου μιας σηματοδοτούμενης αρτηρίας και του χρόνου διαδρομής στο εν λόγω σύνδεσμο. Επίσης είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων όχι μόνο για τους συνδέσμους στους οποίους εμφανίζεται το συμβάν αλλά και για την επίδρασή του συμβάντος στους μέσους χρόνους διαδρομής του ανάντη και κατάντη συνδέσμου.

Πιο συγκεκριμένα, από την παραπάνω διερεύνηση φαίνεται να υπάρχει άμεση συσχέτιση της αύξησης της διάρκειας του συμβάντος και της ζήτησης με την αύξηση των χρόνων διαδρομής. Η συσχέτιση του μήκους του συνδέσμου με τους χρόνους διαδρομής του, που διερευνήθηκε οδήγησε στο συμπέρασμα ότι μεγαλύτερες μεταβολές υφίστανται γενικότερα οι μεσαίου μήκους σύνδεσμοι, και ακολουθούν οι μικρού και στη συνέχεια οι μεγάλου μήκους σύνδεσμοι. Επίσης, η επίδραση του συμβάντος στους ανάντη συνδέσμους φαίνεται να εξαρτάται όχι μόνο από τη ζήτηση αλλά και από το μήκος των συνδέσμων, ενώ για τους κατάντη συνδέσμους η επιρροή φαίνεται να υφίσταται μόνο για μεγάλες τιμές της ζήτησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η εκτίμηση της επίδρασης συμβάντων στους χρόνους διαδρομής των συνδέσμων σε αστικές σηματοδοτούμενες αρτηρίες. Τα συμβάντα αποτελούν βασικό στοιχείο που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη από τα Συστήματα Διαχείρισης της Κυκλοφορίας, ειδικά σε αστικές αρτηρίες, που εκ των πραγμάτων επηρεάζονται από μεγάλο αριθμό παραμέτρων και εμφανίζουν μεγάλες διακυμάνσεις στη λειτουργία τους. Η διεθνής βιβλιογραφία, ωστόσο, εμφανίζει ελάχιστες εφαρμογές μεθόδων εκτίμησης της επίδρασης των συμβάντων οι οποίες επικεντρώνονται κυρίως σε ελεύθερες λεωφόρους. Το ενδιαφέρον της παρούσας διπλωματικής λοιπόν, επικεντρώνεται στον προσδιορισμό της επίδρασης αυτής.

Η εργασία αυτή παρουσιάζει ενδιαφέρον για τους παρακάτω λόγους:

1. Εκτίμηση Χρόνων Διαδρομής. Μεγάλο ενδιαφέρον στα σύγχρονα Συστήματα Διαχείρισης της Κυκλοφορίας εμφανίζει η αξιολόγηση της κατάστασής τους όσο αφορά στις επικρατούσες κυκλοφοριακές συνθήκες. Οι δείκτες αποδοτικότητας που χρησιμοποιούνται γι' αυτό το σκοπό ποικίλουν και μπορεί να αναφέρονται είτε σε αμιγώς κυκλοφοριακά μεγέθη (μέση ταχύτητα,

μέση καθυστέρηση, κατάληψη, μήκος ουράς) είτε σε μη (εκπομπές ρύπων, ποσοστά συγκρούσεων, κατανάλωση καυσίμων). Η χρησιμοποίηση ωστόσο, του χρόνου διαδρομής ως μέτρο αποδοτικότητας υπερτερεί έναντι των άλλων δεικτών, καθώς είναι ευκολότερο στην αντίληψη των οδηγών και πρακτικότερο για τις διοικητικές αρχές προκειμένου να μετρήσουν τις κυκλοφοριακές συνθήκες.

2. Κυκλοφοριακός Έλεγχος σε Αστική Περιοχή. Η ιδιαιτερότητα που εμφανίζουν οι αστικές περιοχές σε σχέση με τις υπεραστικές επικεντρώνονται στα εξής σημεία:

- μεγάλη ετερογένεια,
- ειδικές συσκευές ελέγχου της κυκλοφορίας (φωτεινοί σηματοδότες),
- πολυπλοκότητα των αστικών δικτύων.

Ιδιαίτερα μεγάλη είναι η επίδραση της ύπαρξης φωτεινών σηματοδοτών, γεγονός που γίνεται απόλυτα σαφές και μέσω της ανάλυσης των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 4.

3. Μέθοδος Εκτίμησης Χρόνων Διαδρομής. Γενικά, υπάρχουν ποικίλοι τρόποι εκτίμησης των χρόνων διαδρομής ενός συνδέσμου που χωρίζονται σε δυο κυρίως κατηγορίες, τις άμεσες μετρήσεις και τις έμμεσες εκτιμήσεις. Οι πιο διαδεδομένοι μέχρι τώρα βάσει τη βιβλιογραφίας είναι οι έμμεσες που πραγματοποιούνται με τη χρήση φωρατών και την επεξεργασία των δεδομένων φόρτου και κατάληψης που καταγράφουν. Ωστόσο, στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της προσομοίωσης για την εκτίμηση των επιθυμητών χρόνων διαδρομής. Η μέθοδος αυτή εμφανίζει μεγάλο εύρος πλεονεκτημάτων, όπως ταχύτητα υπολογισμών, δυνατότητα ελέγχου διαφορετικών σεναρίων της κυκλοφορίας σε μικρό χρόνο, ακρίβεια αποτελεσμάτων.

Συνοπτικά η παρούσα διπλωματική εργασία επιτυγχάνει:

1. Την εκτίμηση των χρόνων διαδρομής συνδέσμων αστικής σηματοδοτούμενης αρτηρίας με τη χρήση λογισμικού προσομοίωσης της κυκλοφορίας για

διαφορετικά σενάρια που ποικίλουν ως προς τη διάρκεια του συμβάντος, το μέγεθος του συνδέσμου στον οποίο εντοπίζεται το συμβάν και το μέγεθος της ζήτησης.

2. Την αξιολόγηση της επίδρασης των συμβάντων στους μέσους χρόνους διαδρομής τόσο του συνδέσμου στον οποίο υφίσταται το συμβάν όσο και στους ανάντη και κατόντη του.

Τα αποτελέσματα μιας τέτοιας εκτίμησης αποτελούν πολύτιμο εργαλείο για την ανάπτυξη μεθόδων αντιμετώπισής τους και συνακόλουθα βελτίωσης των κυκλοφοριακών συνθηκών.

5.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η επίδραση των συμβάντων στο χρόνο διαδρομής των συνδέσμων αστικής σηματοδοτούμενης αρτηρίας ελέγχθηκε με τη χρήση του λογισμικού προσομοίωσης CORSIM, μέσω του οποίου εξετάστηκαν 60 διαφορετικά σενάρια. Η αστική περιοχή που επιλέχθηκε για τον προσδιορισμό της επίδρασης των συμβάντων στους χρόνους διαδρομής ανά σύνδεσμο αποτελείται από μια μεγάλη σηματοδοτούμενη αρτηρία μήκους 2300 μέτρων, βόρεια του Διεθνούς Αεροδρομίου του Los Angeles (CA) μεταξύ των οδών Fiji Way και Venice Boulevard μεταξύ των πόλεων του Los Angeles και της Santa Monica. Η αρτηρία περιλαμβάνει 7 σηματοδοτημένους κόμβους με μήκη συνδέσμων που ποικίλουν από 140 έως 660 μέτρα.

Τα σενάρια που εξετάστηκαν διαφοροποιήθηκαν ως προς τα παρακάτω:

- Διάρκεια Συμβάντος,
- Μήκος Συνδέσμου,
- Μέγεθος της ζήτησης πριν την έναρξη του συμβάντος.

Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως προς το εάν αναφέρονται στη μεταβολή του χρόνου διαδρομής ανά σύνδεσμο ή στη μεταβολή του μέσου χρόνου διαδρομής (με και χωρίς συμβάν) ανά σύνδεσμο κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι ο μέσος χρόνος διαδρομής

εξαρτάται και από άλλους παράγοντες που σχετίζονται άμεσα με τη σηματοδότηση, σε συνδυασμό με το μήκος των συνδέσμων που εμπλέκονται στην εξέταση και το μέγεθος της ζήτησης κατά την εξεταζόμενη χρονική περίοδο. Τα κεντρικά συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν είναι τα παρακάτω:

1. Χρόνοι Διαδρομής:

- **Η αύξηση της διάρκειας του συμβάντος συνεπάγεται αύξηση των χρόνων διαδρομής ανά σύνδεσμο, ειδικά για το χρονικό διάστημα που παραμένει το συμβάν στο σύνδεσμο.**
- **Η επίδραση του συμβάντος στους χρόνους διαδρομής είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια του.**
- Η αύξηση της ζήτησης ενός δικτύου ή συνδέσμου στον οποίο εμφανίζεται συμβάν συνεπάγεται αύξηση των χρόνων διαδρομής μέχρι το σημείο που ο σύνδεσμος προσεγγίζει την κυκλοφοριακή του ικανότητα, οπότε και σταθεροποιούνται οι τιμές των χρόνων διαδρομής του.
- **Όσο πλησιάζει η ζήτηση την κυκλοφοριακή ικανότητα τόσο πιο σημαντική είναι και η επίδραση της διάρκειας του συμβάντος στους χρόνους διαδρομής.**
- Στους μεγάλου μήκους συνδέσμους, οι χρόνοι διαδρομής των συνδέσμων ανάντη και κατόντη του συμβάντος πρακτικά δεν επηρεάζονται.
- Σε μεσαίου και μεγάλου μήκους συνδέσμους μετά την εξάλειψη των συμβάντων που έχουν εμφανιστεί σ' αυτούς, ακολουθεί απότομη αύξηση των χρόνων διαδρομής, περίπου ενός λεπτού που είναι τόσο μεγαλύτερη όσο πιο αυξημένη είναι η ζήτηση στο δίκτυο τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή.
- **Οι χρόνοι διαδρομής των κατόντη του συμβάντος συνδέσμων επηρεάζονται μόνο σε περιπτώσεις που το συμβάν εμφανίζεται σε μικρού μήκους συνδέσμους, ή σε μεσαίου για πολύ μεγάλες τιμές της ζήτησης και αυξημένη διάρκεια συμβάντος.**

2. Μέσοι Χρόνοι Διαδρομής:

- Τις μεγαλύτερες ποσοστιαίες μεταβολές χρόνων διαδρομής (με και χωρίς συμβάν) ανά σύνδεσμο, τις εμφανίζουν οι μεσαίου μήκους σύνδεσμοι, ακολουθούν οι μικρού μήκους και τέλος οι μεγάλοι μήκους.
- Σε μικρού και μεγάλου μήκους συνδέσμους, ο μέσος χρόνος διαδρομής του κατάντη συνδέσμου δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη συμβάντος. Εξαίρεση αποτελεί η ύπαρξη υψηλών φόρτων στον υπό εξέταση σύνδεσμο που οδηγούν σε μείωση του μέσου χρόνου διαδρομής του κατάντη συνδέσμου, η οποία είναι τόσο μεγαλύτερη όσο πιο μεγάλη είναι η διάρκεια του συμβάντος.
- Σε μεσαίου μήκους σύνδεσμο η αύξηση της ποσοστιαίας μεταβολής των μέσων χρόνων διαδρομής του ίδιου του συνδέσμου είναι ανάλογη του μεγέθους της ζήτησης και της διάρκειας του συμβάντος. Εξαίρεση αποτελούν οι μεγάλες τιμές της ζήτησης που οδηγούν σε μειωμένη αύξηση των μέσων χρόνων διαδρομής του.
- Η ύπαρξη συμβάντος σε μικρού μήκους σύνδεσμο έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στην αύξηση των ποσοστιαίων μεταβολών των μέσων χρόνων διαδρομής του ανάντη συνδέσμου. Ακολουθεί ο μεγάλου μήκους σύνδεσμος ενώ η ύπαρξη συμβάντος σε μεσαίου μεγέθους σύνδεσμο δεν επιδρά στο μέσο χρόνο διαδρομής του ανάντη συνδέσμου.

5.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Η εκτίμηση της επίδρασης των συμβάντων μελετήθηκε ως συνάρτηση της διάρκειας τους, του μεγέθους του υπό εξέταση συνδέσμου και του μεγέθους της ζήτησης της κυκλοφορίας. Το γεγονός όμως ότι τα συμβάντα χαρακτηρίζονται από μεγάλη ποικιλία παραγόντων που οδηγούν σε αυξημένη και μη αναμενόμενη μεταβλητότητα των εμφανιζόμενων συνθηκών καθιστά επιτακτική την ανάγκη προτυποποίησης και άλλων παραμέτρων.

Με βάση τα παραπάνω, η περαιτέρω έρευνα θα μπορούσε να προσανατολιστεί προς τις εξής κατευθύνσεις:

- Διερεύνηση της σοβαρότητας, δηλαδή της επίδρασης της έκτασης αποκλεισμού της λωρίδας εξαιτίας συμβάντος, στους χρόνους διαδρομής.
- Διερεύνηση της επίδρασης του τύπου του συμβάντος στους χρόνους διαδρομής. Ως τύπος μπορεί να ληφθεί μια από τις επόμενες κατηγορίες: σύγκρουση οχημάτων, χαλασμένο όχημα, κατασκευές, έργα συντήρησης, άλλες έκτακτες συνθήκες κυκλοφορίας.
- Διερεύνηση της επίδρασης των καιρικών συνθηκών σε συνδυασμό με την ύπαρξη συμβάντων στους χρόνους διαδρομής.
- Διερεύνηση της επίδρασης του χρόνου εντοπισμού και καθαρισμού του συμβάντος στους χρόνους διαδρομής, γεγονός που θα οδηγούσε και στη βελτίωση των Συστημάτων Διαχείρισης της Κυκλοφορίας.
- Διερεύνηση της επίδρασης του τύπου (σταθερού χρόνου, επενεργούμενη) και της ρύθμισης της σηματοδότησης σε συνδυασμό με την ύπαρξη συμβάντων στους χρόνους διαδρομής.
- Διερεύνηση της επίδρασης των συμβάντων στη γενικότερη περιοχή και εκτός της αρτηρίας στην οποία εμφανίζεται το συμβάν και τέλος,
- Διερεύνηση της επίδρασης της παροχής πληροφοριών στους χρήστες της αρτηρίας σχετικών με τα συμβάντα, για παράδειγμα απλή πληροφόρηση συμβάντος, μέγεθος καθυστέρησης, εναλλακτικές προτεινόμενες διαδρομές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

“Advanced CORSIM Training Manual”, *Minnesota Department of Transportation*, May 27, 2004.

Ahmed K. and Abu-Lebdeh G. (2005) **“Modeling of Delay Induced by Downstream Traffic Disturbances at Signalized Intersections”**, *Proceedings of the 84th Annual Meeting Transportation Research Board*, Washington D.C., January 9-13.

Bar-Gera H. (2007) **“Evaluation of a Cellular Phone-Based System for Measurements of Traffic Speeds and Travel Times: A Case Study from Israel”**, *Proceedings of the 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., January 21-25

Bremmer D., Cotton K., Cotey D., Prestud C. and Westby G. (2004) **“Measuring Congestion. Learning from Operational Data”**, *Journal of the Transportation Research Board*, No 1895, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., pp 188-196.

Cambridge Systematics, Inc. (1990) **“Incident Management”**, in association with the JHK & Associates Transmode Consultants, Inc. Sydec, Inc. Incident Management, Prepared for *Trucking Research Institute ATA Foundation, Inc.*, October.

Chen C., Skabardonis A. and Varaiya P. (2003) **“Travel-Time Reliability as a Measure of Service”**, *Transportation Research Record*, No 1855.

Dailey D.J. (1991) **“Travel- Time Estimation Using Cross-Correlation Techniques”**, *Transportation Research Part B*, Vol. 27B, No2.

Dion F. and Rakha H. (2006) **“Estimating Dynamic Roadway Travel Times Using Automatic Vehicle Identification Data for Low Sampling Rates”**, *Transportation Research Part B* 40, pp 745-766.

Emam E. and Al-Deek H. (2005) **"A New Methodology for Estimating Travel Time Reliability in a Freeway Corridor"**, *Proceedings of the 84th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., January 9-13.

Gartner, N.H. and Hou D.L. (1992) **"Comparative Evaluation of Alternative Traffic Control Strategies"**, *Transportation Research Record*, No 1360. Transportation Research Board

Google earth 2007: www.earth.google.com, accessed on 6th of July.

Hobeika A. and Dhulipala S. (2004) **"Estimation of Travel Times on Urban Freeways under Incident Conditions"**, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No 1867, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., pp 97-106.

Hounsell N. and Ishtiaq S. (1997) **"Journey Time Forecasting for Dynamic Route Guidance Systems in Incident Conditions"**, *International Journal of forecasting*, No 13, pp 33-42.

Kothuri S., Tufte K., Ahn S. and Bertini R. (2007) **"Using Archived ITS Data to Generate Improved Freeway Travel Time Estimates"**, *Proceedings of the 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., January 21-25.

Lieberman E. and Rathi A. (1989) **"Effectiveness of Traffic Restraint for a Congested Urban Network: A Simulation Study"**, *Transportation Research Record*, No1232.

Lieberman E. and Rathi A. (1975) **"Traffic Flow Theory. A state of the Art Report"**, *Chapter 10- Traffic Simulation*.

Mahmassani H.S. and Peeta S. (1993) **"Network Performance Under System Optimal and User Equilibrium Dynamic Assignments: Implications for Advanced Traveler Information Systems"**, *Transportation Research Record*, No 1408. Transportation Research Board.

Owen L., Zhang Y. Rao L. and McHale G. (2000) **“Traffic Flow Simulation Using CORSIM”**, *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference Transportation*.

Pan C., Lu J., Wang D. and Ran B. (2007) **“A GPS-based Arterial Network Travel Time/Delay Data Collection Method”**, *Proceedings of the 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., January 21-25.

Petty K., Bickel P., Ostland M., Rice J., Schoenberg F., Jiang J. and Ritov Y. (1996) **“Accurate Estimation of Travel Times from Single-Loop Detectors”**, *Transportation Research Part A*, Vol. 32, No1, pp 1-17.

Pierce R., Sun C. and Lemp J. (2005) **“Incident Delay Modeling with the Use of Video Reidentification”**, *Proceedings of the 84th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., January 9-13.

Quiroga C. (2000) **“Performance measures and data requirements for congestion management systems”**, *Transportation Research Part C* 8, pp 287-306.

Robinson S. and Polak J. W. (2005) **“Modeling Urban Link Travel Time with Inductive Loop Detector Data by Using the k-NN Method”**, *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, No 1935, Transportation Research Board of the Academies, Washington D.C., pp 47-56.

Sanso B. and Milot L. (1999), **“Performability of a congested Urban Transportation Network when Accident Information is Available”**, *Transportation Science*, Vol. 3, No 1.

Sen A., Soot S., Thakuriah P. and Condie H. (1998), **“Estimation of Static Travel Times in a Dynamic Route Guidance System II”**, *Mathematical Computational Modelling*, Vol. 27, No 9-11, pp 67-85.

Skabardonis A. and Geroliminis N. (2004) **“Development and Application of Methodologies to Estimate Incident impacts, 2nd International Congress on Transportation Research in Greece**, Athens.

Skabardonis A. and Geroliminis N. (2005) **“Real-Estimation of Travel Times on Signalized Arterials”**, *Proceedings of the 16th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, Maryland, Elsevier.

Smith B., Qin L., Venkatanarayana R. (2003) **“Characterization of Freeway Capacity Reduction Resulting from Traffic Accidents”**, *ASCE, Journal of Transportation Engineering*.

Soriguera F, Thorson L. and Robuste F. (2007) **“Travel Time Measurement Using Toll Infrastructure”**, *Proceedings of the 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., January 21-25.

Thijs R., Bovy P. and Lindveld C.. (2000) **“Estimators of Travel Time for road Networks. New developments, evaluation results and applications”**, *Delft University Press*.

Van Arem B., Van Der Vlist M., Muste M. and. Smulders S. (1997) **“Travel Time Estimation in the GERDIEN project”**, *International Journal of forecasting*, No 13, pp 73-85.

Wirtz J., Schofer J. and Schulz D. (2004) **“Using Simulation to Test Traffic Incident Management Strategies: Illustrating the Benefits of Pre-Planning”** *Proceedings of the 84th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., January 9-13.

Zhang K. and Liu H. (2007) **“Urban Travel Time Estimation by Incorporating System Recognition into k-NN Method”**, *Proceedings of the 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., January 21-25.

Φραντζεσκάκης Ι., Γιαννόπουλος Γ. (1986) **“Σχεδιασμός των Μεταφορών και Κυκλοφοριακή Τεχνική”**, τόμος Ι, Γ' Έκδοση, Εκδόσεις Επίκεντρο.

Φραντζεσκάκης Ι., Πιτσιάβα-Λατινοπούλου Μ., Τσαμπούλας Δ. (1997) **“Διαχείριση της Κυκλοφορίας”**, Β' Έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.