



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΛΕΩΦΟΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ



Μαρία-Ιωάννα Μ. Ιμπριάλου

Επιβλέποντες καθηγητές:

Ματθαίος Γ. Καρλαύτης

Ελένη Ι. Βλαχογιάννη

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα, αρχικά, να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες καθηγητές αυτής της εργασίας κύριο Ματθαίο Καρλαύτη, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών και κυρία Ελένη Βλαχογιάννη, Λέκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, για την άψογη συνεργασία και τη συμπαράσταση καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας. Η καθοδήγηση και η βοήθειά τους έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών για τις γνώσεις που μου παρείχαν σε όλη την πορεία της φοίτησής μου, οι οποίες αποτέλεσαν πολύτιμα εργαλεία για την εξέλιξή μου και τη μελλοντική επαγγελματική μου σταδιοδρομία.

Επιπλέον, δεν μπορώ να μην απευθύνω τις ευχαριστίες μου προς τους γονείς μου, Κátια και Μάνθο και την αδερφή μου Μάρθα για την υποστήριξή τους και την εμπιστοσύνη που μου έχουν δείξει όλα τα χρόνια των σπουδών μου. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου Αναστάση, Ζέφη, Κατερίνα, Λιάννε, Ματίνα, Νατάσσα, Γιάννη και Αχιλλέα για την ηθική συμπαράσταση όποτε και αν τη χρειάστηκα κατά τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της εργασίας.

ΣΥΝΟΨΗ

Στις ελεύθερες λεωφόρους, έπειτα από ένα συμβάν –για παράδειγμα ένα τροχαίο ατύχημα- είναι συχνό φαινόμενο ο σχηματισμός περιοχών συμφόρησης ανάντη του συμβάντος. Αυτές οι περιοχές, χαρακτηρίζονται από συνθήκες χαμηλών ταχυτήτων και υψηλής πυκνότητας, και μπορεί να εκτείνονται σε μεγάλα τμήματα της οδού για μακρά χρονικά διαστήματα. Σε τέτοιες συνθήκες συμφόρησης είναι αυξημένη η πιθανότητα εμφάνισης νέων συμβάντων –ως αποτέλεσμα των πρωτογενών- τα οποία ονομάζονται δευτερογενή. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η ανάπτυξη και αξιολόγηση μιας δυναμικής μεθοδολογίας εντοπισμού δευτερογενών συμβάντων σε ελεύθερες λεωφόρους. Στο πλαίσιο της διπλωματικής αναπτύσσονται και αξιολογούνται αναλυτικές μέθοδοι, που βασίζονται σε μετρήσεις μακροσκοπικών κυκλοφοριακών μεγεθών (μέση ταχύτητα διαδρομής, φόρτος και πυκνότητα). Αρχικά, ανιχνεύονται οι περιοχές συμφόρησης που σχηματίστηκαν έπειτα από ατυχήματα που έλαβαν χώρα στην περιοχή μελέτης, με δυναμικές, αναλυτικές και εμπειρικές, μεθόδους. Στη συνέχεια, γίνεται στατιστική ανάλυση με στόχο πρώτον τη σύγκριση των μεθόδων και δεύτερον τη συσχέτιση άλλων χαρακτηριστικών μεγεθών των περιοχών συμφόρησης. Τέλος, , συγκρίνονται οι στατικές και δυναμικές μέθοδοι ως προς τη δυνατότητα εντοπισμού δευτερογενών ατυχημάτων.

ABSTRACT

In freeways, when an incident e.g. a car crash occurs, it is common to observe traffic congestion upstream of the incident. Congestion that builds up over upstream spatial road segments, may persist for long time, with significant impact to travel times and level of service. Such traffic conditions may also increase the probability of new incidents' occurrence, the so-called secondary incidents. The aim of this thesis is to develop and evaluate a dynamic methodology for the identification of secondary incidents, using both empirical and analytical methods based on the macroscopic traffic variables (speed, volume, density). First, congested road segments caused by primary incidents are both empirically and analytically identified from loop detector data. Following, statistical analysis is conducted to compare the different methods and to reveal correlations between characteristic measures of congested regions. Finally, static and dynamic methods are employed for the identification of secondary incidents and are compared with respect to their results.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις ελεύθερες λεωφόρους έπειτα από ένα συμβάν –για παράδειγμα ένα τροχαίο ατύχημα- είναι συχνό φαινόμενο ο σχηματισμός περιοχών συμφόρησης ανάντη του συμβάντος. Στις περιοχές αυτές, επικρατούν συνθήκες χαμηλών ταχυτήτων και υψηλής πυκνότητας, ενώ τα όρια των περιοχών συμφόρησης μπορεί να εκτείνονται σε μεγάλα οδικά τμήματα για μακρά χρονικά διαστήματα. Σε αυτού του είδους τις κυκλοφοριακές συνθήκες είναι αυξημένη η πιθανότητα εμφάνισης νέων ατυχημάτων, τα αποκαλούμενα δευτερογενή συμβάντα.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, αναπτύσσεται και αξιολογείται μία δυναμική μεθοδολογία εντοπισμού δευτερογενών συμβάντων σε ελεύθερες λεωφόρους που βασίζεται στη αποτύπωση της χωρικής και χρονικής εξέλιξης μιας διαταραχής στην κυκλοφοριακή ροή εξαιτίας ενός πρωτογενούς συμβάντος. Για το σκοπό αυτό, ορίστηκε ως περιοχή μελέτης το τμήμα της Αττικής οδού Ελευσίνα – Αεροδρόμιο και στις δύο κατευθύνσεις. Για την ανίχνευση των περιοχών συμφόρησης, και κατά συνέπεια των δευτερογενών συμβάντων, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από βάση δεδομένων φωρατών, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι καθ' όλο το μήκος της περιοχής μελέτης και στοιχεία από βάση δεδομένων των ατυχημάτων που συνέβησαν στην περιοχή μελέτης κατά τα έτη 2007 και 2009.

Αρχικά, από το σύνολο των καταγεγραμμένων συμβάντων για την περίοδο 2007-2009, εντοπίζονται τα συμβάντα στα οποία διαπιστωμένα υπήρξε αισθητή πτώση ταχυτήτων ανάντη. Σε καθένα από αυτά γίνεται ανίχνευση της περιοχής συμφόρησης με χρήση αναλυτικών εξισώσεων, με τις οποίες περιγράφεται η χωρική και χρονική εξέλιξη του φαινομένου. Οι περιοχές συμφόρησης αποτυπώνονται, επίσης, και με μία άλλη δυναμική μέθοδο

βασισμένη μόνο στις καταγεγραμμένες πτώσεις ταχυτήτων από τους φωρατές. Στη συνέχεια, μορφώνονται οι χωροχρονικές καμπύλες που περιγράφουν την εξέλιξη της συμφόρησης όπως αυτή αποτυπώνεται ξεχωριστά στις προαναφερθείσες δυναμικές μεθόδους.

Έπειτα, γίνεται στατιστική ανάλυση σε ορισμένα χαρακτηριστικά μεγέθη των περιοχών συμφόρησης. Πρώτος στόχος της ανάλυσης αυτής ήταν η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δυναμικών μεθόδων και δεύτερον, η διερεύνηση πάνω στην ύπαρξη συσχετίσεων ανάμεσα σε κάποια από τα χαρακτηριστικά μεγέθη των περιοχών συμφόρησης.

Στη συνέχεια, γίνεται εντοπισμός των δευτερογενών συμβάντων που εμφανίστηκαν στην περιοχή μελέτης. Ο εντοπισμός έγινε με τη χρήση αναλυτικών αλλά και στατικών μεθόδων. Στις πρώτες, ως δευτερογενή χαρακτηρίζονται τα συμβάντα που έλαβαν χώρα στο εσωτερικό περιοχών συμφόρησης που έχουν ανιχνευτεί με δυναμικές μεθόδους για κάθε συμβάν ξεχωριστά. Στις δεύτερες, τα όρια των περιοχών συμφόρησης ορίζονται εκ των προτέρων και παραμένουν σταθερά σε όλες τις περιπτώσεις. Από τα αποτελέσματα όλων των μεθόδων αξιολογείται η δυνατότητα ορθού εντοπισμού δευτερογενών συμβάντων με την καθεμία από αυτές.

Τα αποτελέσματα του εντοπισμού δευτερογενών συμβάντων με τη χρήση στατικών μεθόδων αποκλίνουν σημαντικά από αυτά των αναλυτικών μεθόδων. Φαίνεται ότι οι στατικές μέθοδοι υπερεκτιμούν το πλήθος των δευτερογενών συμβάντων, ενώ ταυτόχρονα σε πολλές περιπτώσεις χαρακτηρίζουν εσφαλμένα πρωτογενή συμβάντα ως δευτερογενή και το αντίστροφο. Από αυτό, μπορεί να φανεί η αναγκαιότητα της χρήσης αναλυτικών μεθόδων για την εξαγωγή ορθών συμπερασμάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	iii
ΣΥΝΟΨΗ.....	iv
ABSTRACT	v
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	vi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Η ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗ ΣΤΙΣ ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ ΛΕΩΦΟΡΟΥΣ	1
1.2 Η ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗ ΩΣ ΣΥΝΕΠΕΙΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ-ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ.....	2
1.3 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	5
1.4 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	7
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	7
2.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	7
2.1.1 ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ....	7
2.1.2 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	31
ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ.....	31
3.1 ΦΩΡΑΤΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	31
3.2 ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟ ΚΥΜΑ.....	32
3.3 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ASDA	32
3.3.1 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ASDA.....	34
3.3.2 ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ASDA	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	43
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	43

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	43
4.2 ΒΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	45
4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	56
4.4 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΑΚΑΝΟΝΙΣΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΑΠΟΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ	70
4.5 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	78
4.5.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΔΥΟ ΜΕΘΟΔΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ.....	79
4.5.2 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ.....	83
4.5.3 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΕΙΣΟΔΩΝ-ΕΞΟΔΩΝ ΚΑΙ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΣΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΑΠΟΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ	85
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο.....	89
ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ.....	89
5.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ... ..	89
5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	93
5.3 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕ ΤΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΕΝΑ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗ ΣΥΜΒΑΝΤΑ	98
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο.....	101
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	101
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	101
6.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	102
6.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....	105
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	109
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	111

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΥ ΡΟΗΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΚΑΙ ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΦΟΡΤΟΥ-ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ASDA.....	10
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΚΑΙ ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΦΟΡΤΟΥ-ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟ ΤΟΥ ΚΑΤΩΤΑΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ.....	11
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3 : (Α) ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΑΦΙΞΕΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ-ΧΡΟΝΟΥ, (Β) ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΜΕ ΠΛΑΓΙΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ, (C) ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΑΛΛΑΓΩΝ ΣΤΙΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	13
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ (Α) ΡΥΘΜΟΥ ΡΟΗΣ- ΧΡΟΝΟΥ, (Β) ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ-ΧΡΟΝΟΥ, (C) ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ ΧΡΟΝΟΥ. ΘΕΜΕΛΙΩΔΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΦΟΡΤΟΥ-ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ ΜΕ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ (D) ΡΥΘΜΟΥ ΡΟΗΣ, (Ε) ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ, (F) ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ.).....	14
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5 : ΚΑΜΠΥΛΗ (ΜΗΚΟΥΣ ΟΥΡΑΣ-ΧΡΟΝΟΥ) ΠΡΟΟΔΟΥ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ IPC.....	24
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6: ΚΑΜΠΥΛΗ ΠΡΟΟΔΟΥ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ ΣΕ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΜΕ ΣΤΑΘΕΡΑ ΚΑΤΩΤΑΤΑ ΟΡΙΑ	26
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7: ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΤΟ ΛΟΓΟ ΦΟΡΤΟΥ/ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ.....	27
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8 : ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΤΟ ΠΛΗΘΟΣ ΤΩΝ ΕΜΠΛΕΚΟΜΕΝΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΣΥΜΒΑΝ.	28
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9: ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΠΤΩΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΜΕΤΡΗΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΦΩΡΑΤΕΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ (ΑΤΥΧΗΜΑ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 55 ΛΕΠΤΩΝ)	54
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10: ΚΑΜΠΥΛΗ ΜΗΚΟΥΣ ΟΥΡΑΣ-ΧΡΟΝΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΑΤΥΧΗΜΑ #314#	59
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11: ΚΑΜΠΥΛΗ ΜΗΚΟΥΣ ΟΥΡΑΣ-ΧΡΟΝΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΕΝΗ ΑΚΟΛΟΥΘΩΝΤΑΣ ΤΙΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ KERNER	68
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12: ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΜΗΚΟΥΣ ΟΥΡΑΣ-ΧΡΟΝΟΥ	68

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13: ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΟΔΟΥ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΑΚΟΛΟΥΘΩΝΤΑΣ ΤΙΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ KERNER	69
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14: ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΟΔΟΥ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ	69
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15: ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΚΑΤΑΝΤΗ ΜΕΤΩΠΟΥ ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ	74
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 16: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΣΕ ΤΡΙΑ ΔΙΑΔΟΧΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ ΣΤΕΝΩΣΗΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ. (ΠΗΓΗ: HTTP://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/THREE-PHASE_TRAFFIC_THEORY).....	75
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 17: ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΟΔΟΥ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ	76
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 18: ΜΗΚΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΤΟΥΣ ΔΙΑΡΚΕΙΕΣ	84
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 19: ΜΗΚΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟΥΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΣ ΑΡΧΙΚΟΥΣ ΦΟΡΤΟΥΣ.....	84
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 20: ΑΡΧΙΚΟΙ ΦΟΡΤΟΙ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΑΡΚΕΙΕΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ	85
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 21: ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟΥ (0) ΚΑΙ ΑΚΑΝΟΝΙΣΤΟΥ (1) ΤΡΟΠΟΥ ΑΠΟΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΥΠΑΡΞΗ (1) Η ΟΧΙ (0) ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ	87
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 22: ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟΥ (0) ΚΑΙ ΑΚΑΝΟΝΙΣΤΟΥ (1) ΤΡΟΠΟΥ ΑΠΟΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΥΠΑΡΞΗ (1) Η ΟΧΙ (0) ΕΙΣΟΔΟΥ-ΕΞΟΔΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ.....	87

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ 3 ΦΑΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΟΠΩΣ ΑΥΤΕΣ ΑΝΑΓΝΩΡΙΖΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ASDA ΚΑΙ FOTO	9
ΣΧΗΜΑ 2 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΖΕΥΓΩΝ ΠΡΩΤΟΓΕΝΩΝ- ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ	17
ΣΧΗΜΑ 3: ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΟΥ-ΧΩΡΟΥ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΕΝΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΑ ΚΥΜΑΤΑ ΓΙΑ 16 ΠΙΘΑΝΑ ΖΕΥΓΗ ΠΡΩΤΟΓΕΝΩΝ- ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ.....	20
ΣΧΗΜΑ 4 : ΠΟΣΟΣΤΑ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΟΠΩΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΚΑΝ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ.	21
ΣΧΗΜΑ 5 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΟΥΡΩΝ.....	23
ΣΧΗΜΑ 6: ΘΕΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΙΝΟΥΜΕΝΗΣ ΦΑΛΑΓΤΑΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΕ ΔΥΟ ΦΩΡΑΤΕΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ.....	33
ΣΧΗΜΑ 7: ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ASDA ΓΙΑ ΡΑΜΠΕΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΑΙ ΕΞΟΔΟΥ ΑΝΑΝΤΗ (Α-Σ) ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΤΗ (Δ-Ε) ΤΗΣ ΚΙΝΟΥΜΕΝΗΣ ΦΑΛΑΓΤΑΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ	40
ΣΧΗΜΑ 8: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΑΝΑΝΤΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ.....	60
ΣΧΗΜΑ 9: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ «ΑΝΤΙΘΕΤΟΥ» ΤΡΟΠΟΥ ΑΠΟΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΑΝΑΝΤΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ.....	62
ΣΧΗΜΑ 10: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ «ΜΕΡΙΚΩΣ ΑΝΤΙΘΕΤΟΥ» ΤΡΟΠΟΥ ΑΠΟΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΑΝΑΝΤΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ.....	65
ΣΧΗΜΑ 11: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΟΡΘΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ Α2 ΩΣ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΣ	96
ΣΧΗΜΑ 12: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΑΤΥΧΗΜΑΤΟΣ Α2 ΩΣ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΕΣ.....	97

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ 2007.....	56
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ 2009.....	57
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΤΙΜΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΥ ΡΟΗΣ ΚΑΤΑΓΕΓΡΑΜΜΕΝΕΣ ΑΠΟ ΦΩΡΑΤΕΣ ΑΝΑ ΠΕΝΤΑΛΕΠΤΟ ΓΙΑ ΤΟ ΑΤΥΧΗΜΑ #314#	58
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΤΙΜΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΥ ΡΟΗΣ ΚΑΤΑΓΕΓΡΑΜΜΕΝΕΣ ΑΠΟ ΦΩΡΑΤΕΣ ΑΝΑ ΠΕΝΤΑΛΕΠΤΟ ΓΙΑ ΤΟ ΑΤΥΧΗΜΑ #312#	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΤΙΜΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΥ ΡΟΗΣ ΚΑΤΑΓΕΓΡΑΜΜΕΝΕΣ ΑΠΟ ΦΩΡΑΤΕΣ ΑΝΑ ΠΕΝΤΑΛΕΠΤΟ ΓΙΑ ΤΟ ΑΤΥΧΗΜΑ #2055#	64
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΟΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ	82
ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΟΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΑ ΣΥΜΒΑΝΤΑ ΠΟΥ ΕΙΧΑΝ ΑΚΑΝΟΝΙΣΤΟ ΤΡΟΠΟ ΑΠΟΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	82
ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΖΕΥΓΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ.....	83
ΠΙΝΑΚΑΣ 9: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ ΜΕ ΤΙΣ 5 ΜΕΘΟΔΟΥΣ.....	93
ΠΙΝΑΚΑΣ 10: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΣΦΑΛΜΕΝΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΕΝΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ.....	95

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗ ΣΤΙΣ ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ ΛΕΩΦΟΡΟΥΣ

Οι ελεύθερες λεωφόροι είναι κύριες αρτηρίες με υψηλά πρότυπα όπου εξασφαλίζεται πλήρης έλεγχος των προσβάσεων με την κατασκευή ανισόπεδων κόμβων ή ανισόπεδων διαβάσεων σε όλες τις διασταυρώσεις με άλλες οδούς και τη δημιουργία παράπλευρων οδών, δηλαδή οδών παράλληλων συνήθως προς τη λεωφόρο για τη εξυπηρέτηση της τοπικής κυκλοφορίας μόνο. Όλες οι δευτερεύουσες οδοί που συναντούν μια ελεύθερη λεωφόρο τερματίζονται στις παράπλευρες οδούς ή διαμορφώνονται ως αδιέξοδοι. Οι ελεύθερες λεωφόροι διαθέτουν δύο ή περισσότερες λωρίδες ανά κατεύθυνση και επιτρέπουν συνεχή ροή της κυκλοφορίας, με αποτέλεσμα να έχουν υψηλές ταχύτητες και μεγάλη κυκλοφοριακή ικανότητα.

Η κυκλοφοριακή συμφόρηση (traffic congestion) αποτελεί, ίσως, το μεγαλύτερο πρόβλημα στη λειτουργία των ελεύθερων λεωφόρων. Η συμφόρηση είναι μία κυκλοφοριακή κατάσταση που προκύπτει από την αύξηση της χρήσης της οδού και χαρακτηρίζεται από χαμηλές ταχύτητες, μεγαλύτερους χρόνους διαδρομής και αύξηση του φαινομένου του σχηματισμού ουρών οχημάτων. Εμφανίζεται όταν η ζήτηση της οδού αυξάνεται τόσο ώστε να υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των οχημάτων με αποτέλεσμα τη μείωση των ταχυτήτων σε ένα κυκλοφοριακό ρεύμα. Καθώς η ζήτηση συνεχίζει να αυξάνεται, πλησιάζει, και συχνά ξεπερνάει, τη χωρητικότητα της οδού. Στην περίπτωση αυτή, που είναι γνωστή και ως «μποτιλιάρισμα», τα οχήματα συχνά είναι πλήρως ακινητοποιημένα σε κάποιες χρονικές περιόδους.

Υπάρχουν αρκετοί λόγοι που μπορούν να προκαλέσουν συμφόρηση στο οδικό δίκτυο. Οι κυριότεροι σχετίζονται με την αύξηση της ζήτησης των οχημάτων ή με την μείωση της χωρητικότητας της οδού. Αύξηση της ζήτησης παρατηρείται κυρίως κατά τις ώρες αιχμής, όπου υπάρχει μαζική ανάγκη μετακινήσεων, ενώ μείωση της χωρητικότητας υπάρχει όταν συμβεί ένα μη περιοδικό περιστατικό, όπως τα τροχαία ατυχήματα, ή οι εργασίες στο δρόμο ή έντονα καιρικά φαινόμενα.

Η συμφόρηση έχει πολλές αρνητικές επιπτώσεις στους χρήστες του οδικού δικτύου, και όχι μόνο, με κυριότερη τις καθυστερήσεις. Οι καθυστερήσεις οδηγούν σε αδυναμία υπολογισμού του χρόνου ταξιδιού, σπατάλη εν δυνάμει παραγωγικού χρόνου, δυσκολία διεκπεραίωσης υποχρεώσεων και κατά συνέπεια σε εκνευρισμό. Ακόμα, λόγω των παραπάνω έχουν αρνητικές συνέπειες στην οικονομία μιας περιοχής. Επίσης, δεν μπορεί να αμεληθεί η μόλυνση της ατμόσφαιρας που προκαλείται από τις εκπομπές καυσαερίων οι οποίες είναι αυξημένες όταν υπάρχουν χαμηλές ταχύτητες και φρεναρίσματα ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

1.2 Η ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗ ΩΣ ΣΥΝΕΠΕΙΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ-ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ

Ως ατυχήματα ορίζονται τα απρόβλεπτα περιστατικά που λαμβάνουν χώρα στο οδικό δίκτυο και έχουν αρνητικές επιπτώσεις στους χρήστες του όπως υλικές ζημιές, τραυματισμούς, θάνατο, καθυστερήσεις, ανασφαλείς οδικές συνθήκες ή ακόμα και νέα ατυχήματα. Τα ατυχήματα που συνηθέστερα εμφανίζονται στους αυτοκινητοδρόμους είναι οι συγκρούσεις δύο ή περισσότερων οχημάτων και οι εκτροπές από την οδό, τα οποία είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν από όλους τους πιθανούς συνδυασμούς οχημάτων που κινούνται σε αυτούς. Τα αίτια των ατυχημάτων ποικίλουν, ανάλογα με την

περίσταση, και έχουν άμεση σχέση με τον ανθρώπινο παράγοντα, τη γεωμετρία της οδού, την κατάσταση των οχημάτων και άλλα.

Τα ατυχήματα είναι μη περιοδικά περιστατικά που προκαλούν μείωση της κυκλοφοριακής ικανότητας. Συνήθως ευθύνονται για το 30-50% της συμφόρησης σε αστικές περιοχές. Πολλά ατυχήματα δεν προκαλούν καθόλου συμφόρηση σε αντίθεση με άλλα που καταλήγουν σε μεγάλου μήκους ουρές και καθυστερήσεις λόγω, συνήθως, του αποκλεισμού ορισμένων λωρίδων της οδού μέχρις ότου να απομακρυνθούν τα εμπλεκόμενα, στο ατύχημα, οχήματα από την περιοχή.

Τα δευτερογενή ατυχήματα είναι αποτέλεσμα ενός άλλου συμβάντος το οποίο προηγείται χρονικά. Δηλαδή, ένα δευτερογενές ατύχημα συμβαίνει στην περιοχή όπου υπάρχει η ουρά η οποία έχει σχηματιστεί λόγω ενός προγενέστερου ατυχήματος το οποίο ονομάζεται πρωτογενές. Έχει βρεθεί ότι δευτερογενή συμβάντα μπορεί να διεξαχθούν έπειτα από ατυχήματα μικρής ή μεγάλης κλίμακας κατά τις δύο κατευθύνσεις της κυκλοφορίας και όχι μόνο κατά τη διεύθυνση του αρχικού ατυχήματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να πραγματοποιηθούν περισσότερα από ένα ατυχήματα στη διάρκεια της συμφόρησης που προκλήθηκε από το πρωτογενές.

Ο χαρακτηρισμός ενός ατυχήματος ως δευτερογενές δεν είναι πάντα εύκολος είτε λόγω της παντελούς έλλειψης στοιχείων, είτε λόγω της αμφισβητούμενης αξιοπιστίας τους. Έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι με τις οποίες εντοπίζονται τα δευτερογενή ατυχήματα, διαφορετικές μεταξύ τους, οι οποίες γενικά βασίζονται στην προσπάθεια αποτύπωσης της χωρικής και χρονικής περιοχής όπου επικρατούσαν συνθήκες συμφόρησης μετά το πρωτογενές συμβάν. Εάν υπάρχουν ατυχήματα που έχουν διεξαχθεί στην περιοχή αυτή εξάγεται το συμπέρασμα ότι αυτά είναι δευτερογενή. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να γίνει μία σχετικά ασφαλής σύνδεση των δύο συμβάντων.

Είναι αμφίβολο κατά πόσο υπάρχει η δυνατότητα μείωσης των πρωτογενών ατυχημάτων διότι στην εμφάνιση αυτών παίζουν πρωταρχικό ρόλο τα ανθρώπινα σφάλματα όπως η κούραση, η επιθετική οδήγηση, η υπερβολική κατανάλωση αλκοόλ και άλλα. Παρόλα αυτά, ενώ τα δευτερογενή ατυχήματα δε διαφέρουν ως προς τις συνέπειες που επιφέρουν- στους χρήστες και στο δίκτυο- με τα πρωτογενή, είναι εφικτό έπειτα από λήψη συγκεκριμένων μέτρων να μειωθούν. Το γεγονός δε, ότι ένα μεγάλο ποσοστό του συνόλου των ατυχημάτων (μεγαλύτερο από 15% όπως έχει βρεθεί από τους Raub (1997) και Karlaftis et.al. (1999)) είναι δευτερογενή ατυχήματα, καθιστά προφανές το συμπέρασμα ότι η μείωσή τους θα είναι σημαντικά ωφέλιμη για την οδική ασφάλεια. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια συσκευών μεταβλητών μηνυμάτων αλλά και του προσωπικού περιπολίας, του εκάστοτε αυτοκινητοδρόμου, όπου μπορούν να πληροφορούν εγκαίρως τους οδηγούς για το ότι κατευθύνονται προς περιοχή όπου έχει συμβεί κάποιο ατύχημα και ότι υπάρχει πιθανότητα σχηματισμού ουράς. Μία τέτοια πληροφορία είναι ικανή να αλλάξει την συμπεριφορά των οδηγών στην περιοχή αυτή με πολύ πιθανό αποτέλεσμα την ελάττωση του πλήθους των δευτερογενών ατυχημάτων και άρα και του συνόλου των ατυχημάτων. Για να συμβεί όμως κάτι τέτοιο, θα πρέπει να είναι δυνατή η πρόβλεψη του φαινομένου της ουράς αλλά και ο προσδιορισμός του μήκους και της χρονικής διάρκειάς της. Προς την κατεύθυνση αυτή έχουν κινηθεί πολλές μελέτες που είτε στοχεύουν στο να εντοπίσουν τα χαρακτηριστικά των πρωτογενών ατυχημάτων τα οποία οδηγούν σε δευτερογενή, είτε στο σχηματισμό μίας γενικευμένης χωροχρονικής καμπύλης η οποία να αποτυπώνει την εξέλιξη της ουράς ανάντη της θέσης του αρχικού συμβάντος.

1.3 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη και αξιολόγηση μιας δυναμικής μεθοδολογίας εντοπισμού δευτερογενών συμβάντων σε ελεύθερες λεωφόρους. Πιο συγκεκριμένα, σε έναν αυτοκινητόδρομο, θα εντοπιστούν τα ατυχήματα που έλαβαν χώρα στο εσωτερικό ή στα όρια περιοχών συμφόρησης δημιουργούμενων εξ' αιτίας άλλων προγενέστερων ατυχημάτων. Οι περιοχές συμφόρησης θα ανιχνευτούν με δυναμικές, εμπειρικές και αναλυτικές, μεθόδους βασισμένες στις καταγεγραμμένες, από φωρατές, ταχύτητες των οχημάτων στα οδικά τμήματα ανάντη των ατυχημάτων που συνέβησαν στην περιοχή μελέτης σε συνολική χρονική διάρκεια δύο ετών. Στη συνέχεια, θα βρεθούν τα δευτερογενή συμβάντα που προκύπτει να έχουν συμβεί στην περιοχή μελέτης με χρήση αναλυτικών και στατικών μεθόδων, τα αποτελέσματα των οποίων θα συγκριθούν μεταξύ τους. Τέλος, θα γίνει στατιστική ανάλυση με στόχο τη συσχέτιση ορισμένων χαρακτηριστικών μεγεθών των περιοχών συμφόρησης.

1.4 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η διπλωματική εργασία είναι χωρισμένη στα παρακάτω επιμέρους κεφάλαια:

- 1) Στο πρώτο (1^ο) κεφάλαιο γίνεται περιγραφή του φαινομένου της κυκλοφοριακής συμφόρησης στις ελεύθερες λεωφόρους και εισάγεται η έννοια του δευτερογενούς συμβάντος.
- 2) Στο δεύτερο (2^ο) κεφάλαιο γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση σε παλαιότερες έρευνες που έχουν γίνει πάνω στην ανίχνευση περιοχών συμφόρησης και στον εντοπισμό δευτερογενών συμβάντων.

- 3) Στο τρίτο (3^ο) κεφάλαιο διατυπώνονται οι βασικές έννοιες για τον εντοπισμό των περιοχών συμφόρησης σε ελεύθερη λεωφόρο.
- 4) Στο τέταρτο (4^ο) κεφάλαιο αναπτύσσεται η χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία ανίχνευσης των περιοχών συμφόρησης καθώς και τα αποτελέσματα της εφαρμογής της, ενώ γίνεται και διερεύνηση του φαινομένου του ακανόνιστου τρόπου αποσχηματισμού περιοχών συμφόρησης. Τέλος γίνεται στατιστική ανάλυση ορισμένων χαρακτηριστικών μεγεθών των περιοχών συμφόρησης.
- 5) Στο πέμπτο (5^ο) κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον εντοπισμό των δευτερογενών συμβάντων και τα αποτελέσματα της εφαρμογής της.
- 6) Στο έκτο (6^ο) και τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα που εξάχθηκαν από την εκπόνηση της εργασίας καθώς και γίνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1.1 ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ

Το φαινόμενο της συμφόρησης έχει μελετηθεί εκτενώς και από διαφορετικές σκοπιές. Έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι για τον εντοπισμό των περιοχών συμφόρησης αλλά και για την περιγραφή του σχηματισμού και αποσχηματισμού τους. Σκοπός όλων αυτών είναι η ανάπτυξη δυναμικών συστημάτων παρατήρησης και πρόβλεψης τα οποία με τη σειρά τους μπορούν να επιφέρουν μεγάλα οφέλη στη διαχείριση της κυκλοφορίας.

Οι κλασσικές κυκλοφοριακές θεωρίες διακρίνουν δύο φάσεις στη ροή των οχημάτων στις ελεύθερες λεωφόρους: την ελεύθερη ροή και τη συμφόρηση. Ο Kerner (1996-2002) απέδειξε ότι η συμφόρηση χωρίζεται σε δύο φάσεις: τη συγχρονισμένη ροή και την εκτεταμένου μήκους κινούμενη φάλαγγα συμφόρησης, επομένως σε τρεις φάσεις συνολικά. Σύμφωνα με αυτήν την εναλλακτική θεώρηση, η διαδοχή ανάμεσα σε αυτές τις τρεις φάσεις θα πρέπει να εξηγεί την πολυπλοκότητα και τη μη γραμμικότητα που χαρακτηρίζουν την κυκλοφορία σε ελεύθερες λεωφόρους. Πιο αναλυτικά:

1. Ελεύθερη ροή

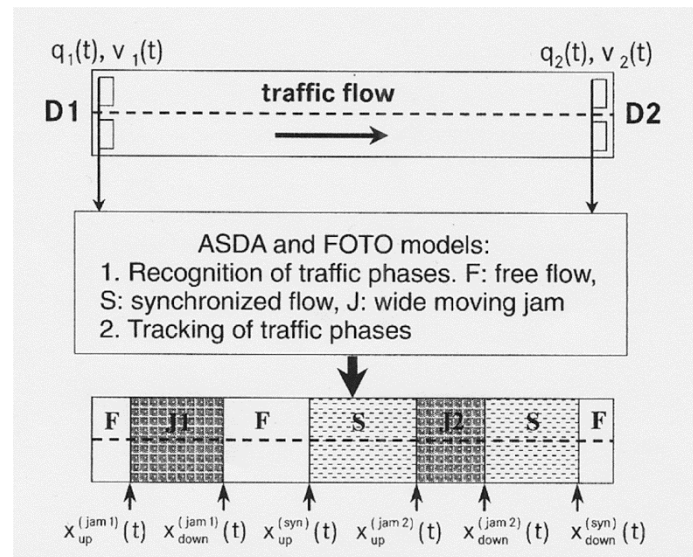
Σε συνθήκες ελεύθερης ροής (free flow), σε ελεύθερη λεωφόρο, τα οχήματα κινούνται με υψηλές ταχύτητες χωρίς να εμποδίζει το ένα το άλλο, λόγω χαμηλών φόρτων.

2. Εκτεταμένου μήκους κινούμενη φάλαγγα συμφόρησης

Η κινούμενη φάλαγγα συμφόρησης (wide moving jam) ορίζεται ως μία περιοχή στην οποία επικρατούν συνθήκες μεγάλης πυκνότητας και ταυτόχρονα χαμηλών ταχυτήτων. Η περιοχή αυτή κινείται αντίθετα στη ροή των οχημάτων της οδού, σαν ένα σώμα, το οποίο ορίζεται χωρικά από δύο μέτωπα: το ανάντη (upstream) και το κατάντη (downstream). Τα μέτωπα αυτά κινούνται με κατεύθυνση αντίθετη με αυτή της κυκλοφορίας. Στο κατάντη μέτωπο τα οχήματα επιταχύνουν αποκρινόμενα από τη φάλαγγα, ενώ στο ανάντη τα οχήματα επιβραδύνουν και εισέρχονται σ' αυτή. Μέσα στη φάλαγγα κάθε όχημα αποκτά ταχύτητα πολύ κοντά στο μηδέν τουλάχιστον για μία χρονική στιγμή τέτοια όμως ώστε να μην υπάρχει επιρροή του ανάντη μετώπου στο κατάντη και αντίστροφα. Η μέση ταχύτητα διάδοσης του κατάντη μετώπου παραμένει σταθερή.

3. Συγχρονισμένη ροή

Σε συνθήκες συγχρονισμένης ροής (synchronized flow) δημιουργείται επίσης μία διακριτή περιοχή περιορισμένη χωρικά από το ανάντη μέτωπο όπου η ταχύτητα μειώνεται αισθητά και από το κατάντη μέτωπο, όπου τα οχήματα επιταχύνουν. Στη συγχρονισμένη ροή, ενώ οι ταχύτητες είναι πολύ μειωμένες, οι φόρτοι μπορεί να παραμένουν σε υψηλά επίπεδα τόσο όσο και στην ελεύθερη ροή. Το βασικό κριτήριο διαχωρισμού της κινούμενης φάλαγγας συμφόρησης από τη συγχρονισμένη ροή είναι ότι το μέτωπο της επιτάχυνσης (κατάντη) της πρώτης μπορεί να διαδίδεται, με σταθερή ταχύτητα, σε οποιαδήποτε μεταβολή της διατομής της οδού (bottleneck) όπως ράμπες εισόδου ή εξόδου. Αντίθετα, όταν η συγχρονισμένη ροή εμφανιστεί σε σημεία στένωσης, το κατάντη μέτωπο πολύ συχνά σταθεροποιείται στο σημείο αυτό (catch-effect).

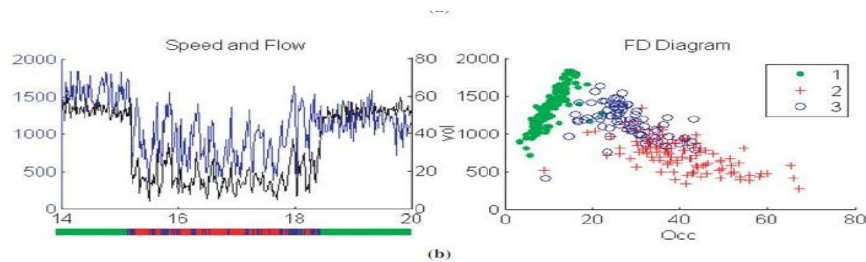


Σχήμα 1: Απεικόνιση των 3 φάσεων της κυκλοφορίας όπως αυτές αναγνωρίζονται από τα μοντέλα ASDA και FOTO (Πηγή: Kerner et.al.)

Ο Kerner (1996-2002) ανέπτυξε δύο μοντέλα, βασισμένα στη θεωρία του, για τις τρεις φάσεις της κυκλοφορίας, με τα οποία γίνεται αναγνώριση των συμφορημένων περιοχών στις ελεύθερες λεωφόρους σε χωρικό και χρονικό επίπεδο. Το μοντέλο FOTO (Forecasting of Traffic Objects) ταυτοποιεί τις κυκλοφοριακές φάσεις και ταυτόχρονα περιγράφει την κίνηση των οχημάτων όταν επικρατεί συγχρονισμένη ροή. Το μοντέλο ASDA (Automatic Tracking of Moving Traffic Jams) περιγράφει τη διάδοση της εκτεταμένου μήκους φάλαγγας συμφόρησης.

Τα μοντέλα ASDA-FOTO χρησιμοποιούν τις ταχύτητες των οχημάτων αλλά και τους ρυθμούς ροής στην επεξεργασία τους. Λαμβάνοντας υπόψη 13 συνολικά κανόνες επιτυγχάνουν το διαχωρισμό της κυκλοφορίας στις τρεις προαναφερθείσες φάσεις για κάθε χρονική στιγμή. Οι κανόνες αυτοί περιλαμβάνουν κατώτατα όρια, διαφορές και ποσοστά μεταβολών και μπορούν να εφαρμοστούν για κάθε διαφορετικό συνδυασμό κυκλοφοριακών παραμέτρων. Από το διάγραμμα 1 φαίνεται ότι μεταξύ των ωρών 15.15 και 18.30 η ταχύτητες και ο ρυθμός ροής είναι αισθητά μειωμένα. Συνεπώς, εκείνη τη χρονική περίοδο επικρατούσε συμφόρηση στην περιοχή μελέτης. Με το

πράσινο χρώμα συμβολίζεται η ελεύθερη ροή ενώ με το κόκκινο και το μωβ η συγχρονισμένη ροή και η κινούμενη περιοχή συμφόρησης αντίστοιχα. Είναι εύκολο να παρατηρηθεί ότι υπάρχει σχετικά μεγάλη εναλλαγή μεταξύ των φάσεων της συγχρονισμένης ροής και της κινούμενης φάλαγγας συμφόρησης, γεγονός που πιθανόν να οφείλεται στην ευαισθησία των αλγορίθμων στην τυχαία διακόμανση των δεδομένων.

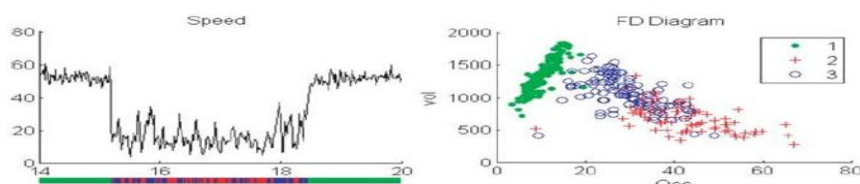


Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ταχυτήτων και ρυθμού ροής σε συνάρτηση με το χρόνο και θεμελιώδες διάγραμμα φόρτου-κατάληψης για το μοντέλο ASDA (Πηγή: Li και Bertini 2010)

Ο Chen και άλλοι (2004) ανέπτυξαν τον αλγόριθμο του κατώτατου ορίου ταχύτητας. Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιεί το ρυθμό μεταβολής των ταχυτήτων μεταξύ ενός ζεύγους φωρατών και μία μέγιστη ταχύτητα για τον ανάντη φωρατή ως ενδείξεις για τη δημιουργία συμφόρησης. Οι τιμές της μέγιστης ταχύτητας, της διαφοράς ταχυτήτων μεταξύ των δύο φωρατών και η χρονική απόσταση μεταξύ των δεδομένων ορίζονται πειραματικά και δεν είναι κοινές για όλες τις οδούς. Για παράδειγμα, ο Chen (2004) χρησιμοποίησε για μέγιστη ταχύτητα τα 40 μίλια/ώρα και διαφορά ταχυτήτων τα 20 μίλια/ώρα για την περιοχή της Καλιφόρνια ενώ ο Bertini για την περιοχή του Πόρτλαντ έθεσε αυτές τις τιμές στα 35 και 15 μίλια/ώρα αντίστοιχα.

Ο αλγόριθμος αυτός παρουσιάζει ευαισθησία στη διαμόρφωση του οδικού δικτύου, στη γεωμετρία, στις καιρικές συνθήκες, στις κυκλοφοριακές συνθήκες αλλά και στη φύση των διαθέσιμων δεδομένων. Επίσης, η μεταβλητή της

ταχύτητας, από μόνη της, είναι ανεπαρκής στον προσδιορισμό των φάσεων της κυκλοφορίας. Για το λόγο αυτό πρέπει να εφαρμόζονται ορισμένοι επιπλέον κανόνες οι οποίοι θα διευκρινίζουν τη φάση της κυκλοφορίας ανάλογα με τις τιμές των ταχυτήτων. Στο διάγραμμα 2 παρουσιάζεται η εφαρμογή του αλγορίθμου για τον εντοπισμό συμφόρησης σε μία περιοχή. Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα οι τιμές των ταχυτήτων μειώνονται αισθητά στο χρονικό διάστημα μεταξύ των ωρών 15.15 και 18.30 επομένως στη χρονική αυτή περίοδο επικρατούσε συμφόρηση στην περιοχή. Είναι φανερό ότι υπάρχει συνεχής εναλλαγή μεταξύ των δύο τελευταίων καταστάσεων κυκλοφορίας, εντονότερη από αυτή του διαγράμματος 1.



Διάγραμμα 2: Διάγραμμα ταχυτήτων σε συνάρτηση με το χρόνο και θεμελιώδες διάγραμμα φόρτου-κατάληψης για τον αλγόριθμο του κατώτατου ορίου ταχύτητας (Πηγή: Li και Bertini 2010)

Μία ακόμα μέθοδος αποτύπωσης της συμφόρησης είναι και η αυτοματοποιημένη συγκεντρωτική καμπύλη μεταβλητής κλίμακας (automated rescaled cumulative curve tool) (Bertini 2010). Η χρήση των συγκεντρωτικών διαγραμμάτων είναι ένα εργαλείο δυναμικής οπτικοποίησης για τον εντοπισμό ενός μεγάλου πλήθους κυκλοφοριακών φαινομένων σε συνάρτηση με το χώρο και το χρόνο. Οι Cassidy και Bertini, Cassidy και Windover, Mauch και Cassidy, Munoz και Daganzo, ανέλυσαν κάποια κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά συγκρίνοντας οπτικά μετασχηματισμένες καμπύλες αθροιστικής άφιξης οχημάτων σε συνάρτηση με το χρόνο και αθροιστικής κατάληψης σε συνάρτηση με το χρόνο μετρημένα από φωρατές σε ελεύθερες λεωφόρους. Αυτού του είδους η μεταχείριση των κυκλοφοριακών δεδομένων μπορεί να αποκαλύψει κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά με

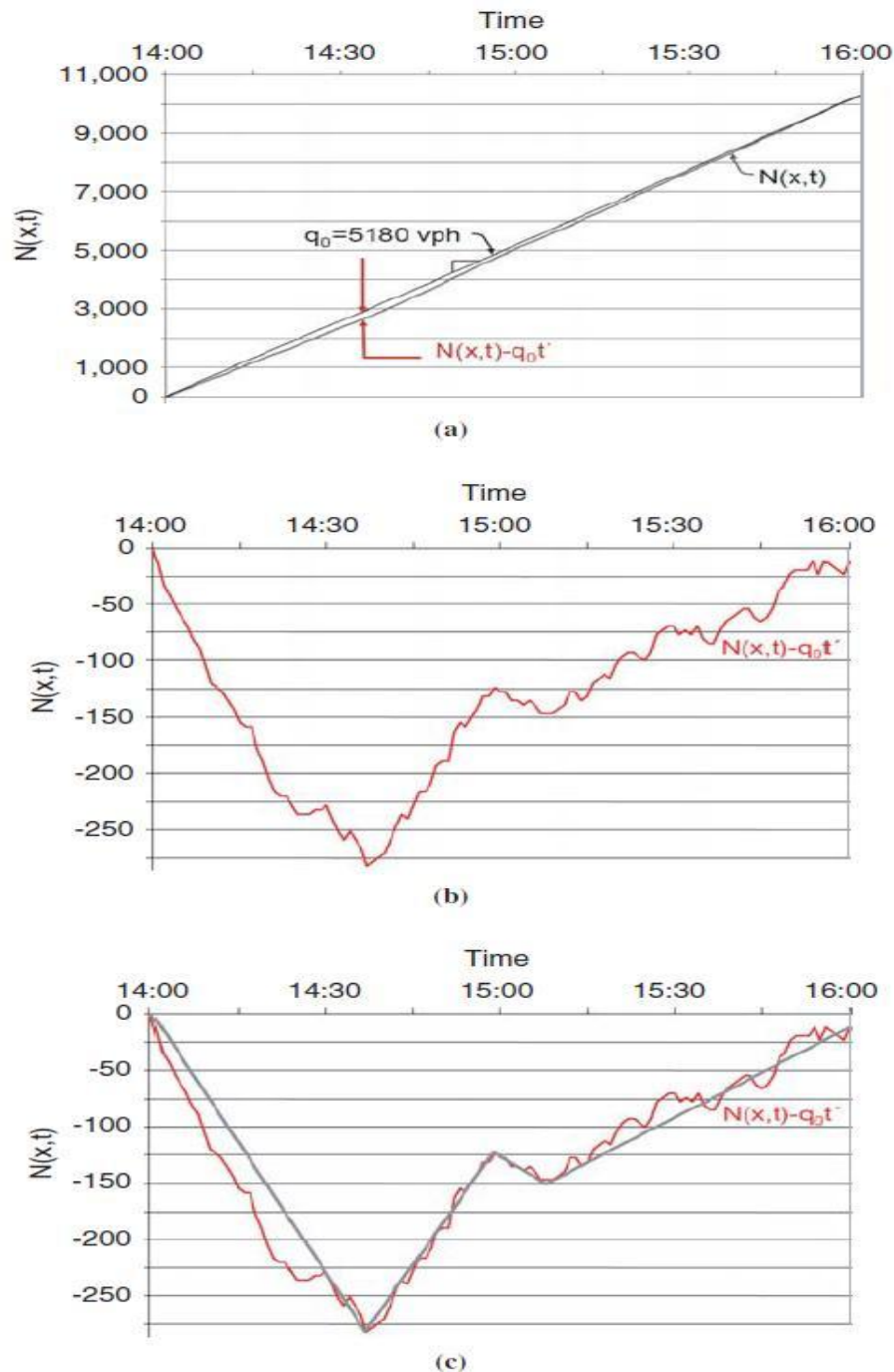
μεγαλύτερη λεπτομέρεια, σε σχέση με τις άλλες μεθόδους, εντοπίζοντας και τις υπερβολικές συσσωρεύσεις οχημάτων ανάμεσα στις θέσεις των φωρατών. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να αναλυθούν κυκλοφοριακές μεταβλητές όπως η ροή, η ταχύτητα και η κατάληψη σε συνάρτηση με το χώρο και το χρόνο. Ο Bertini (2010) πρότεινε και συνόψισε μεθόδους για τη “διάγνωση” των ενδείξεων εμφάνισης συμφόρησης χρησιμοποιώντας συγκεντρωτικές καμπύλες με πλάγιο σύστημα συντεταγμένων για να παρατηρήσει κυκλοφοριακές αλλαγές σε διάφορες περιοχές που διέθεταν συνεχές σύστημα φωρατών ή ακόμα, για να εξετάσει τις αλλαγές στην ροή και την κατάληψη σε συνάρτηση με το χρόνο στη θέση ενός φωρατή. Λόγω των σχεδόν στατικών σχημάτων των καμπυλών μπορεί να εντοπιστούν οι κυκλοφοριακές αλλαγές από την αλλαγή της κλίσης της καμπύλης. Για το λόγο αυτό, αρχικά γίνεται ο σχηματισμός των καμπυλών και στη συνέχεια η διάγνωση της κατάστασης.

Η χρήση του πλάγιου συστήματος συντεταγμένων ενισχύει τις αλλαγές στο ρυθμό των αφίξεων σε σχέση με το χρόνο, όταν συμβαίνουν αυτές. Στο διάγραμμα 3α φαίνεται η συγκεντρωτική άφιξη των οχημάτων έτσι ώστε η κλίση της καμπύλης να δείχνει τη ροή που πέρασε από τη θέση x σε χρόνο t . Η συνολική άφιξη των οχημάτων είναι ίση με:

$$N(x, t) = \sum_{t_0}^t N(t)$$

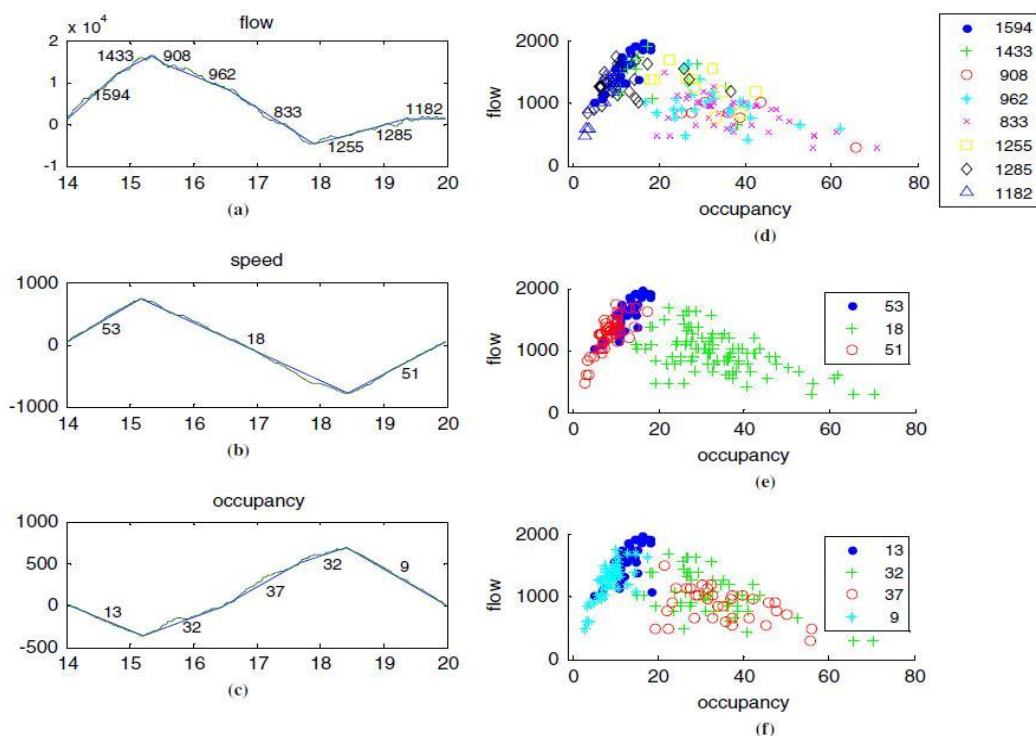
Στο διάγραμμα 3b χρησιμοποιείται ένα πλάγιο σύστημα συντεταγμένων και εκφράζεται η άφιξη $N(x, t)$ μειωμένη κατά $q_0 * t'$. Με τον όρο q_0 συμβολίζεται ο ρυθμός άφιξης με πλάγιες συντεταγμένες και με τον t' ο παρερχόμενος χρόνος από την αρχή την καμπύλης. Τότε, η πλάγια τιμή με την οποία γίνεται η μέτρηση οχημάτων είναι $\Delta(x, t) = N(x, t) - q_0 * t'$. Η τιμή αυτή μπορεί να εξηγηθεί ως η απόκλιση της ροής από τη μέση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον εντοπισμό γραμμών με συνεχή κλίση οι οποίες αναπαριστούν σταθερές κυκλοφοριακές συνθήκες όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 3c. Τα τοπικά μέγιστα δείχνουν το χρόνο κατά τον οποίο εμφανίζεται μείωση της ροής και τα τοπικά ελάχιστα το χρόνο κατά τον οποίο εμφανίζεται αύξηση

αντίστοιχα. Οι συμφορημένες και οι μη συμφορημένες περιοχές αναμένεται με τη μέθοδο αυτή να είναι εύκολα αναγνωρίσιμες.



Διάγραμμα 3 : (α) Διάγραμμα συνολικών αφίξεων οχημάτων-χρόνου, (β) Συγκεντρωτική καμπύλη με πλάγιες συντεταγμένες, (γ) Καμπύλη εντοπισμού αλλαγών στις κυκλοφοριακές συνθήκες (Πηγή: Li και Bertini 2010)

Στα διαγράμματα (διαγράμματα 4a - 4f) φαίνονται τα αποτελέσματα της διερεύνησης των κυκλοφοριακών συνθηκών σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Στα διαγράμματα 4a, 4b και 4c αποτυπώνονται οι συνολικές αφίξεις, η ταχύτητα και η κατάληψη. Σε κάθε καμπύλη αποτυπώνεται η μέση τιμή του αντίστοιχου μεγέθους. Τα διαγράμματα 4d, 4e και 4f παρουσιάζουν τη ροή σε συνάρτηση με την κατάληψη χρησιμοποιώντας αθροιστικά στοιχεία χρονικού διαστήματος 2 λεπτών. Τα σημεία πάνω στα διαγράμματα είναι κατηγοριοποιημένα ανάλογα με το σχήμα και το χρώμα τα οποία εκφράζουν μία μέση τιμή από αυτές που υπάρχουν στην καμπύλη. Για παράδειγμα, στο διάγραμμα 4d, οι μπλε τελείες εκφράζουν τα δεδομένα που έχουν ως μέση τιμή τα 1.594 οχήματα ανά ώρα όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 4a.



Διάγραμμα 4 : Διαγράμματα (a) Ρυθμού ροής- χρόνου, (b) ταχύτητας- χρόνου, (c) κατάληψης χρόνου. Θεμελιώδη διαγράμματα φόρτου-κατάληψης με χαρακτηριστικά σημεία (d) ρυθμού ροής, (e) ταχυτήτων, (f) κατάληψης. (Πηγή: Li και Bertini 2010)

2.1.2 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ

Πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί και με τα δευτερογενή ατυχήματα, τα οποία αποτελούν συνέπεια της κυκλοφοριακής συμφοράς που παρατηρείται έπειτα από κάποιο ατύχημα. Οι μελέτες τους στοχεύουν άλλοτε στην αποσαφήνιση του όρου δευτερογενές ατύχημα και στον εντοπισμό τους και άλλοτε στα αίτια που είναι πιθανό να τα προκάλεσαν. Απώτερος σκοπός όλων αυτών των ερευνών είναι η κατανόηση του φαινομένου που μπορεί να οδηγήσει, λαμβάνοντας τα κατάλληλα μέτρα, στη μείωσή του και κατά συνέπεια στη μείωση των αρνητικών του επιπτώσεων.

Ο Raub (1997 a,b) επισημαίνει τα προβλήματα σχετικά με τον καθορισμό και τη μέτρηση των δευτερογενών ατυχημάτων διότι συχνά είναι δύσκολο να γίνει η σύνδεση του αρχικού και του μεταγενέστερου συμβάντος και στη συνέχεια να επιβεβαιωθεί ότι το πρωτογενές πράγματι συνείσφερε στην διεξαγωγή του δευτερογενούς. Ο Karlaftis και άλλοι (1998) χρησιμοποιώντας δεδομένα από την υπηρεσία περιπολίας των αυτοκινητοδρόμων στην περιοχή της Ιντιάνα ανέπτυξαν λογιστικά μοντέλα τα οποία εξέταζαν ποια είναι τα χαρακτηριστικά των πρωτογενών ατυχημάτων που μπορεί να επηρεάζουν την πιθανότητα εμφάνισης ενός δευτερογενούς ατυχήματος. Ο Latoski και άλλοι (1999) υπολόγισαν τα οικονομικά οφέλη και επιπλέον τη μείωση των καθυστερήσεων από τη μείωση των δευτερογενών ατυχημάτων.

Οι Moore και Giuliano (2004) ανέπτυξαν και εφάρμοσαν μία μέθοδο εντοπισμού των δευτερογενών ατυχημάτων βασισμένη στη χρήση ειδικών δεδομένων με στόχο την εκτίμηση του ποσοστού των δευτερογενών ατυχημάτων στις ελεύθερες λεωφόρους στη περιοχή του Λος Άντζελες. Η ερευνά τους κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα δευτερογενή ατυχήματα είναι πολύ σπανιότερα από ό,τι οι προηγούμενες μελέτες υποστήριζαν.

Οι περισσότερες έρευνες υποθέτουν ότι ένα ατύχημα το οποίο συνέβη, χωρικά και χρονικά, κοντά σε ένα άλλο είναι δευτερογενές. Οι Moore και

Giuliano (2004) επισήμαναν ότι μία τέτοια υπόθεση μπορεί να οδηγήσει σε υπολογισμούς που περιέχουν ουσιαστικά σφάλματα. Για το λόγο αυτό όρισαν τις εξής προϋποθέσεις για το χαρακτηρισμό ενός ατυχήματος ως δευτερογενές:

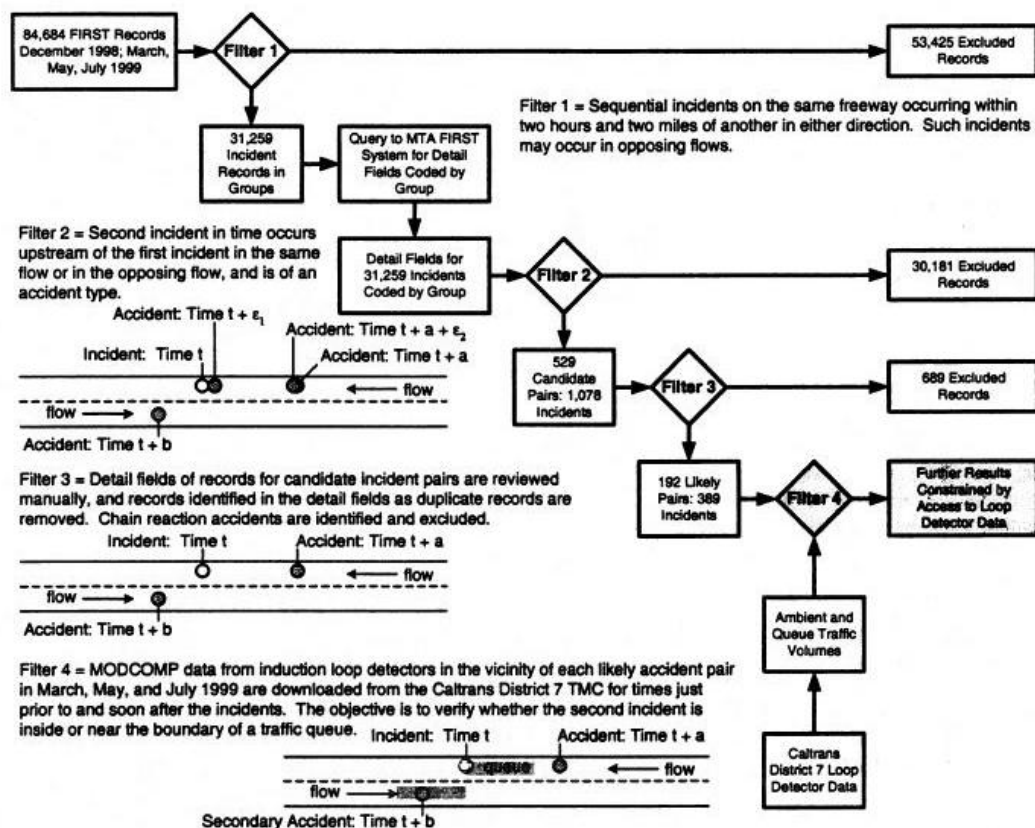
1. Πρέπει να έχει συμβεί εντός των ορίων της περιοχής υψηλής πυκνότητας η οποία σχηματίζεται έπειτα από ένα αρχικό ατύχημα ή άλλο περιστατικό που προκαλεί μείωση της χωρητικότητας στην οδό, ή
2. Ανάντη της περιοχής του αρχικού ατυχήματος, σε οποιαδήποτε από τις δύο κατευθύνσεις, εντός της ουράς

Τα πρωτογενή συμβάντα αποτελούνται από ατυχήματα ή άλλα περιστατικά τα οποία πραγματοποιούνται επί της οδού και μπορούν να επηρεάσουν την κυκλοφορία και στις δύο κατευθύνσεις. Μπορούν να οδηγήσουν σε περισσότερα από ένα δευτερογενή ατυχήματα. Όσα περιστατικά δεν έχουν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό ουράς δεν μπορούν να προκαλέσουν δευτερογενή ατυχήματα.

Τα δευτερογενή ατυχήματα, λόγω της υπόθεσης ότι συμβαίνουν πάντα σε περιοχές συμφόρησης, έχουν χαμηλότερες ταχύτητες, γεγονός που καθιστά ευκολότερη την απομάκρυνσή τους από την οδό. Πρέπει να διευκρινιστεί η διαφοροποίηση των δευτερογενών ατυχημάτων από τα ατυχήματα αλυσιδωτής αντίδρασης τα οποία συμβαίνουν λίγα δευτερόλεπτα μετά το αρχικό συμβάν και έχουν άμεση σχέση με αυτό.

Οι Moore και Giuliano (2004) χρησιμοποίησαν στοιχεία από μία βάση δεδομένων (MTA/CHP First Incident Response Services Tracking (FIRST) System) που κατέγραφε όλα τα συμβάντα και παρείχε λεπτομέρειες για το καθένα όπως η χιλιομετρική θέση, οι συνθήκες που επικρατούσαν στην οδό πριν από το περιστατικό και το είδος του ατυχήματος. Επίσης χρησιμοποίησαν μετρήσεις από φωρατές που βρίσκονται στους αυτοκινητοδρόμους του Λος Άντζελες, όπου ήταν και η περιοχή μελέτης τους. Επέλεξαν να αναλύσουν τα ατυχήματα που έγιναν σε τρεις αντιπροσωπευτικούς μήνες το Μάρτιο, το Μάιο και τον Ιούλιο του 1999

καθώς και στη τελευταία εβδομάδα του Δεκεμβρίου του 1998. Το Μάρτιο εμφανίζονται συχνά βροχοπτώσεις στην περιοχή σε αντίθεση με το Μάιο, όπου οι βροχοπτώσεις είναι πιο σπάνιες. Τον Ιούλιο, όπου δεν έχει βροχοπτώσεις, υπάρχει υψηλή ζήτηση στους αυτοκινητοδρόμους λόγω των μετακινήσεων εκδρομέων. Η τελευταία εβδομάδα του Δεκεμβρίου μελετήθηκε διότι είναι η μοναδική χρονική περίοδος όπου δεν λειτουργεί η υπηρεσία περιπολίας των αυτοκινητοδρόμων.



Σχήμα 2 : Παρουσίαση των τεσσάρων φίλτρων για τον εντοπισμό ζευγών πρωτογενών-δευτερογενών συμβάντων (Πηγή: Moore, 2004)

Για να εντοπίσουν τα υποψήφια ζεύγη πρωτογενών-δευτερογενών συμβάντων οι Moore και Giuliano (2004) χρησιμοποίησαν μία ακολουθία βημάτων. Σε κάθε βήμα, ή φίλτρο, όπως το αποκαλούν, εξετάζονται κάποια

κριτήρια ώστε να αποκλείονται σταδιακά τα ατυχήματα τα οποία δεν είναι δευτερογενή ούτως ώστε στο τέλος να προκύψουν πραγματικά ζευγάρια πρωτογενούς- δευτερογενούς συμβάντος.

Φίλτρο 1: Εγγύτητα στο χώρο και στο χρόνο

Το πρώτο βήμα είχε ως στόχο να εντοπίσει γεγονότα που βρίσκονται κοντά μεταξύ τους, χωρικά και χρονικά, στον ίδιο αυτοκινητόδρομο. Το βήμα αυτό έχει γίνει σε όλες τις αντίστοιχες μελέτες για τα δευτερογενή ατυχήματα. Η βιβλιογραφία προσφέρει μικρή εμπειρική καθοδήγηση στο σημείο αυτό. Σε ορισμένες έρευνες χρησιμοποιήθηκε η απόσταση του 1 μιλίου (Raub 1997b). Το πιο συνηθισμένο κριτήριο είναι αυτό των 15 λεπτών έπειτα από την ολοκλήρωση του αρχικού ατυχήματος (Raub 1997b; Latoski et al. 1999). Σύμφωνα όμως με τη μελέτη του Al-Deek και άλλων (1995) για περιστατικά στην περιοχή της Καλιφόρνια βρέθηκαν ουρές μήκους 2,1-5 μιλίων και χρονικής διάρκειας 42 λεπτών έως 2 ωρών και 24 λεπτών. Κατόπιν παρατηρήσεων των μηκών ουράς στην περιοχή μελέτης τους οι Moore και Giuliano θέσπισαν το όριο των 2 μιλίων και των 2 ωρών και για τις δύο κατευθύνσεις της κυκλοφορίας. Με το φίλτρο 1 εντοπίστηκαν ομάδες συνβάτων που απείχαν μεταξύ τους 2 ώρες και 2 μίλια, το πολύ, και έλαβαν χώρα στην ίδια οδό. Από το αρχικό πλήθος των 84.684 συμβάντων ικανοποιούσαν τα παραπάνω κριτήρια τα 31.259 (37%).

Φίλτρο 2: Τοποθεσία και τύπος συμβάντος

Με το φίλτρο 1 δεν επιβεβαιώνεται αν τα ατυχήματα τα οποία έπονται του αρχικού βρίσκονται πίσω από αυτό κατά τη διεύθυνση της κυκλοφορίας. Αυτό είναι σημαντικό διότι εάν ένα ατύχημα συμβεί στην ίδια διεύθυνση

αλλά κατάντη του πρωτογενούς τότε δεν μπορεί να θεωρηθεί δευτερογενές. Με το φίλτρο 2 λαμβάνονταν τα επιλεγμένα ατυχήματα, από το φίλτρο 1, και αποκλείονται όλα όσα λόγω της θέσης τους δεν μπορεί να είναι δευτερογενή. Επίσης, εντοπίζει τα υποψήφια δευτερογενή ατυχήματα από τον τύπο τους, δηλαδή αποκλείοντας τα περιστατικά που δεν ήταν ατυχήματα και τα ατυχήματα αλυσιδωτής αντίδρασης. Από τα 31.259 συμβάντα, που εισάχθηκαν στο φίλτρο 2, μόλις τα 1.078 (529 ζευγάρια) παρέμειναν.

Φίλτρο 3: Διπλοεγγραφές

Στο βήμα αυτό τα ζεύγη ατυχημάτων που έχουν επιλεγθεί από το φίλτρο 2 ελέγχονται ως προς το αν υπάρχουν καταχωρημένα στη βάση δεδομένων περισσότερες από μία φορές. Διασταυρώνοντας τα στοιχεία από τη βάση δεδομένων, τα υποψήφια ζευγάρια μειώνονται σχεδόν κατά τα δύο τρίτα αυτών του φίλτρου 2. Πιο συγκεκριμένα, από 529 τα ζευγάρια έφτασαν τα 192.

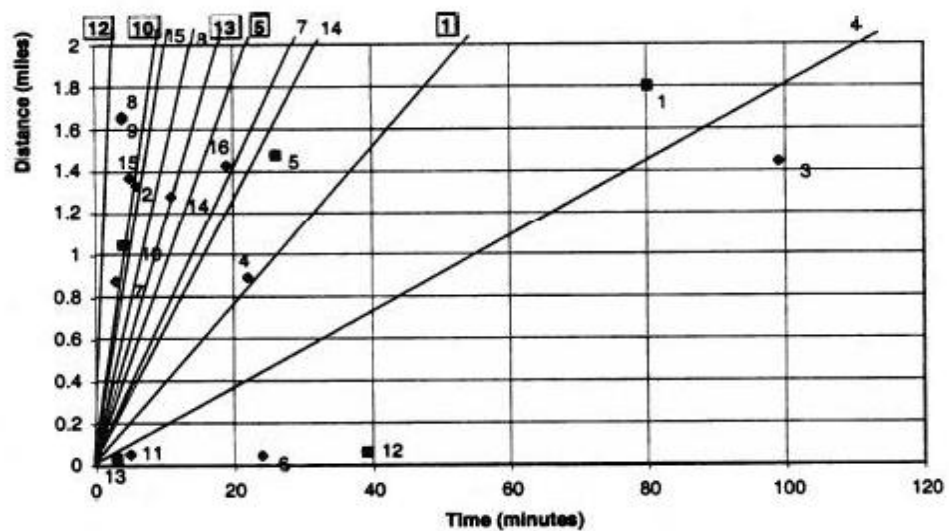
Φίλτρο 4: Θέση σε σχέση με την ουρά

Η επεξεργασία αυτού του βήματος βασίστηκε στα δεδομένα που λήφθηκαν από τους φωρατές. Από τα στοιχεία αυτά, εντοπίζεται η περιοχή συμφόρησης που δημιουργήθηκε, έπειτα από το αρχικό συμβάν, και στις δύο κατευθύνσεις. Τα δευτερογενή ατυχήματα εμφανίζονται μέσα σε αυτή την περιοχή υψηλής πυκνότητας.

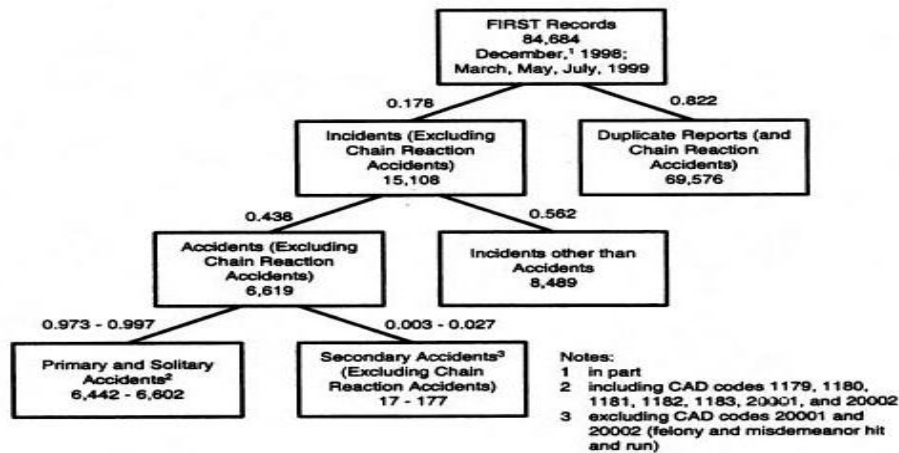
Η ταχύτητα των κυμάτων επιβράδυνσης και επιτάχυνσης μπορεί να υπολογιστεί ακριβώς από τα δεδομένα που παρέχουν οι φωρατές καθιστώντας πιθανό να προσδιοριστεί σε ποια πλευρά του μετώπου του κύματος συμβαίνει το δευτερογενές ατύχημα. Η ταχύτητα του κύματος εξαρτάται από το ρυθμό ροής και τη πυκνότητα πάνω από το αρχικό περιστατικό και το ρυθμό ροής και την πυκνότητα μέσα στην περιοχή υψηλής

πυκνότητας που σχηματίζεται πίσω από αυτό. Όταν οι συντεταγμένες του υποψήφιου δευτερογενούς ατυχήματος βρίσκονται κάτω από τη διαγώνιο γραμμή του διαγράμματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 3, τότε βρίσκονται εντός της περιοχής συμφόρησης και επομένως το ατύχημα που αντιπροσωπεύουν είναι ασφαλώς δευτερογενές.

Δυστυχώς, λόγω έλλειψης στοιχείων από τους φωρατές από τα 192 ζεύγη ατυχημάτων κατάφεραν να αναλυθούν με τον παραπάνω τρόπο μόλις 16. Από αυτά, εντοπίστηκαν 5 επιβεβαιωμένα ζευγάρια πρωτογενούς-δευτερογενούς. Εκτιμήθηκε ότι το ποσοστό των δευτερογενών ατυχημάτων κυμάνθηκε από 0,003- 0,027% όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.



Σχήμα 3: Συντεταγμένες χρόνου-χώρου και υπολογισμένα κυκλοφοριακά κόμματα για 16 πιθανά ζεύγη πρωτογενών-δευτερογενών συμβάντων (Πηγή: Moore, 2004)



Σχήμα 4 : Ποσοστά περιστατικών και ατυχημάτων όπως υπολογίστηκαν από τη μέθοδο των τεσσάρων φίλτρων. (Πηγή: Moore, 2004)

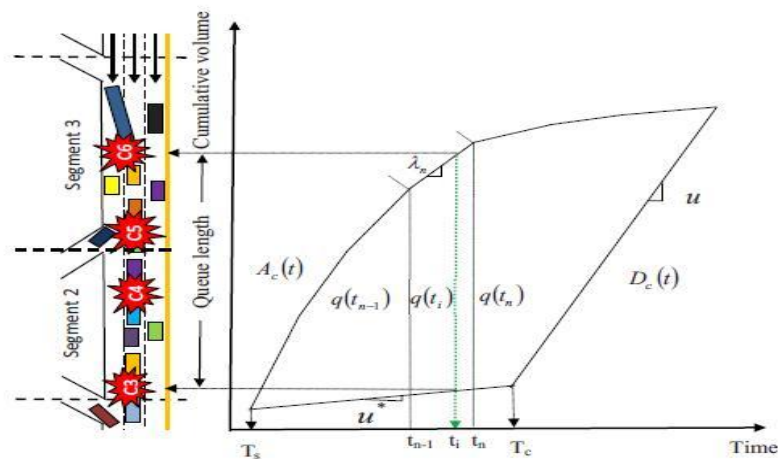
Οι Zhang και Khattak (2009) μελέτησαν για πρώτη φορά τα πολλαπλά δευτερογενή συμβάντα σε αντίθεση με τις προγενέστερες έρευνες όπου εξέταζαν τα πρωτογενή και τα δευτερογενή ατυχήματα δυαδικά, αγνοώντας την πιθανότητα εμφάνισης περισσότερων από ένα δευτερογενών ατυχημάτων. Η σκοπιμότητα της μελέτης των παραπάνω σχετίζεται με τις προφανώς σοβαρότερες επιπτώσεις που μπορούν να επιφέρουν στην κυκλοφορία.

Οι Zhang και Khattak (2009) προσπάθησαν να εντοπίσουν, να κατηγοριοποιήσουν και να αναλύσουν τα δευτερογενή ατυχήματα με σκοπό την εύρεση των παραγόντων που σχετίζονται με την πρόκλησή τους αλλά και τις επιπτώσεις τους. Έχοντας στη διάθεσή τους μία μεγάλη βάση δεδομένων περιστατικών και κυκλοφοριακών συνθηκών για την περιοχή μελέτης τους (Hamptons Road Area), που περιλαμβάνει αρκετές πόλεις των Η.Π.Α και έχει πληθυσμό περί το 1,6 εκατομμύρια κατοίκους, χρησιμοποίησαν μία δυναμική μέθοδο βασισμένη στη θεωρία ουρών. Με τη μέθοδο αυτή εντοπίζονται τα δευτερογενή ατυχήματα που έχουν διεξαχθεί στην ίδια κατεύθυνση με το πρωτογενές. Εάν ένα αρχικό συμβάν προκαλέσει συμφόρηση, το μήκος της ουράς που σχηματίζεται υπολογίζεται μέσω του ντετερμινιστικού μοντέλου

της θεωρίας ουρών (D/D/1) (Al-Deek et al. 1998). Η διαδικασία εντοπισμού των δευτερογενών φαίνεται στο σχήμα 5. Η κυκλοφορία φτάνει στην περιοχή του περιστατικού σύμφωνα με την καμπύλη $A_c(t)$ η οποία αποτελείται από έναν αριθμό μικρών χρονικά εξαρτώμενων ρυθμών αφίξεων ανά χρονικά διαστήματα των 15 λεπτών περίπου. Η καμπύλη $D_c(t)$ δείχνει την αποχώρηση από την περιοχή του ατυχήματος. Ο ρυθμός ροής της αποχώρησης είναι αρχικά ίσος με μ^* , δηλαδή με τη μειωμένη χωρητικότητα της περιοχής στένωσης και στη συνέχεια, αφού το περιστατικό καθαριστεί δηλαδή απομακρυνθούν τα οχήματα που εμποδίζουν την κυκλοφορία, σε χρόνο T_c , είναι ίσος με μ δηλαδή με την αποκαταστημένη χωρητικότητα. Επιπρόσθετα, οι t_{n-1} και t_n αναπαριστούν το «n-1-στο» και το «n-στο» χρονικό διάστημα από το χρόνο έναρξης του ατυχήματος T_s , και τα $q(t_{n-1})$ και $q(t_n)$ είναι τα αντίστοιχα μήκη ουράς. Ο όρος $t_n \lambda_n$ συμβολίζει το συνεχή ρυθμό αφίξεων από το χρόνο t_{n-1} έως τον t_n . Το μήκος της ουράς για ένα δεδομένο χρόνο t_i υπολογίζεται ως εξής:

$$q(t_i) = q(t_{n-1}) + (t_i - t_{n-1}) * (\lambda_n - \mu^*) \quad \text{για } t_{n-1}, t_i < T_c \quad (a)$$

$$q(t_i) = q(t_{n-1}) + (t_i - t_{n-1}) * (\lambda_n - \mu) \quad \text{για } t_{n-1}, t_i > T_c \quad (b)$$



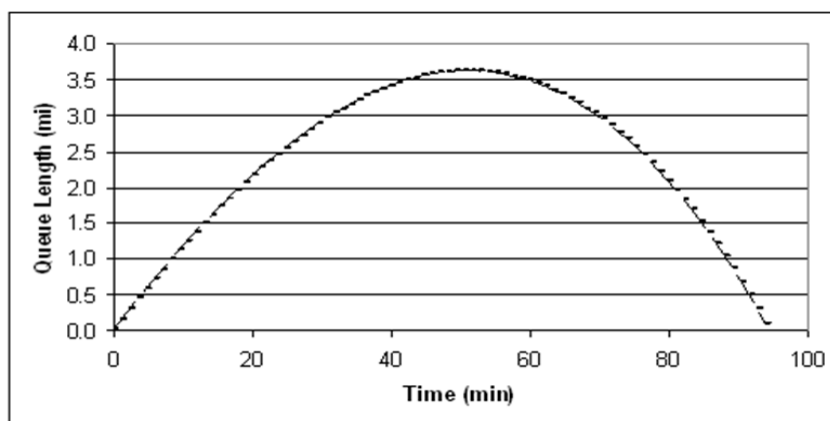
Σχήμα 5 : Παρουσίαση της διαδικασίας εντοπισμού δευτερογενών συμβάντων βασισμένη στη θεωρία ουρών. (Πηγή: Zhang και Khattak, 2009)

Εάν το μήκος της ουράς υπερέβαινε το ενιαίο οδικό τμήμα (segment) όπου το πρωτογενές ατύχημα συνέβη, τότε το χωρικό όριο που χρησιμοποιούνταν για τον εντοπισμό των δευτερογενών ατυχημάτων επεκτεινόταν στο παρακείμενο ενιαίο οδικό τμήμα. Εάν η ουρά ξεπερνούσε και το μήκος αυτού, η παραπάνω διαδικασία συνεχιζόταν μέχρις ότου ολοκληρωθεί η ουρά να έχει προσδιοριστεί. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 5 η ουρά που σχηματίστηκε λόγω του περιστατικού C₃, το οποίο έγινε στο ενιαίο οδικό τμήμα 2 (segment 2) φτάνει μέχρι και το ενιαίο οδικό τμήμα 3 (segment 3). Τα περιστατικά C₅ και C₆ καλύπτονται χωρικά από το όριο αυτό και έτσι χαρακτηρίζονται μαζί και με το C₄ ως δευτερογενή του C₃.

Οι Sun και Chilukuri (2010) μελέτησαν τα δευτερογενή συμβάντα με διαφορετικό τρόπο από αυτόν που συνήθως οι προγενέστερες έρευνες ακολουθούσαν. Οι περισσότερες μελέτες εντόπιζαν τα δευτερογενή ατυχήματα χρησιμοποιώντας σταθερά κατώτατα όρια (static thresholds) για τον καθορισμό της περιοχής συμφόρησης πίσω από ένα ατύχημα, όπως αυτά του Moore και άλλων των 2 μιλίων και των 2 ωρών ή αυτά των Hirunyanitiwattana και Mattingly των 2 μιλίων και 1 ώρας. Οι Sun και

Chilukuri (2010) υποστήριξαν ότι η μέθοδος αυτή οδηγεί σε σημαντικά σφάλματα. Θέλησαν, για το λόγο αυτό, να αποτυπώσουν όσο καλύτερα είναι δυνατό την περιοχή της οδού όπου η κυκλοφορία έχει επηρεαστεί από το πρωτογενές συμβάν, δηλαδή τη συμφορημένη περιοχή. Η περιοχή αυτή μπορεί να σκιαγραφηθεί από την ουρά που σχηματίζεται πίσω από τη περιοχή του πρωτογενούς ατυχήματος σε συνάρτηση με το χρόνο. Αυτή η χωροχρονική περιοχή που επισημαίνει την επιρροή ενός ατυχήματος στην κυκλοφορία των οχημάτων ονομάστηκε «καμπύλη προόδου συμβάντος».(Incident Progression Curve, IPC)

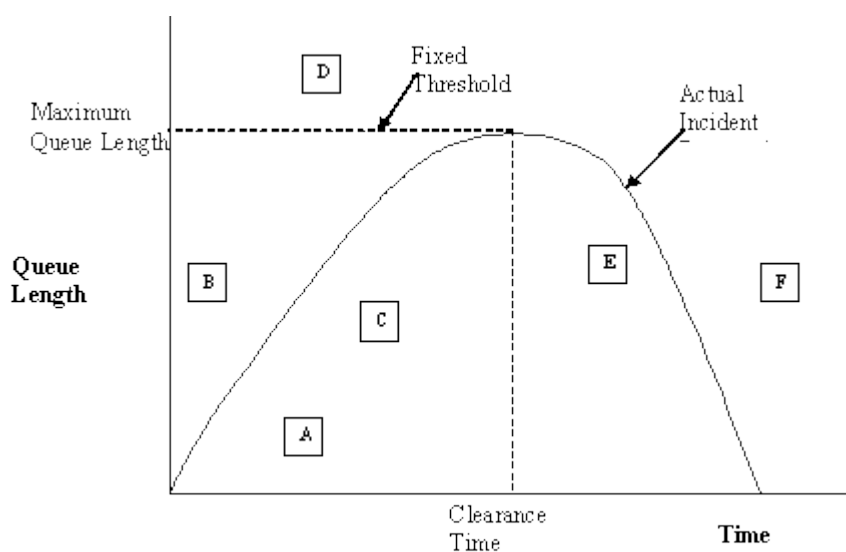
Ο οριζόντιος άξονας του διαγράμματος παριστάνει το χρόνο σχηματισμού της ουράς μετρούμενο από τη χρονική στιγμή της διεξαγωγής του ατυχήματος. Ο κάθετος άξονας παριστάνει το μήκος της ουράς που σχηματίζεται αμέσως πίσω από το ατύχημα. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 5, τη στιγμή του ατυχήματος θεωρείται ότι δεν υπάρχει ουρά. Από την αρχή των αξόνων μέχρι και το σημείο όπου το μήκος της ουράς γίνεται μέγιστο, έχουμε σχηματισμό ουράς. Από την αμέσως επόμενη στιγμή και έπειτα, η ουρά ξεκινά να αποσχηματίζεται σταδιακά μέχρι η καμπύλη να τμήσει τον οριζόντιο άξονα. Σε αυτή τη χρονική στιγμή η ουρά έχει αποσχηματιστεί πλήρως και επομένως οι κυκλοφοριακές συνθήκες έχουν επανέλθει σε φυσιολογικά επίπεδα.



Διάγραμμα 5 : Καμπύλη (μήκους ουράς-χρόνου) προόδου συμβάντος IPC (Πηγή: <http://www.ctre.iastate.edu/mtc/reports/secondary-accidents.htm>)

Για τη μόρφωση μίας τέτοιας καμπύλης απαιτούνται λεπτομερή στοιχεία για το συμβάν τα οποία, όμως, λόγω της μη περιοδικότητας της εμφάνισης των ατυχημάτων, είναι δύσκολο να συλλεχθούν. Για το λόγο αυτό κυρίως επικράτησε η χρήση της μεθόδου των κατώτατων ορίων. Η μέθοδος αυτή αντικειμενικά είναι πιο απλή στην εφαρμογή και έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να εφαρμοστεί ακόμα και αν υπάρχουν ελάχιστα στοιχεία διαθέσιμα. Παρ' όλα αυτά, αδυνατεί να εντοπίσει όλα τα δευτερογενή ατυχήματα που συμβαίνουν ενώ συχνά χαρακτηρίζει άλλα ως δευτερογενή ενώ συνέβησαν έξω από τη χωροχρονική ζώνη επιρροής του ατυχήματος.

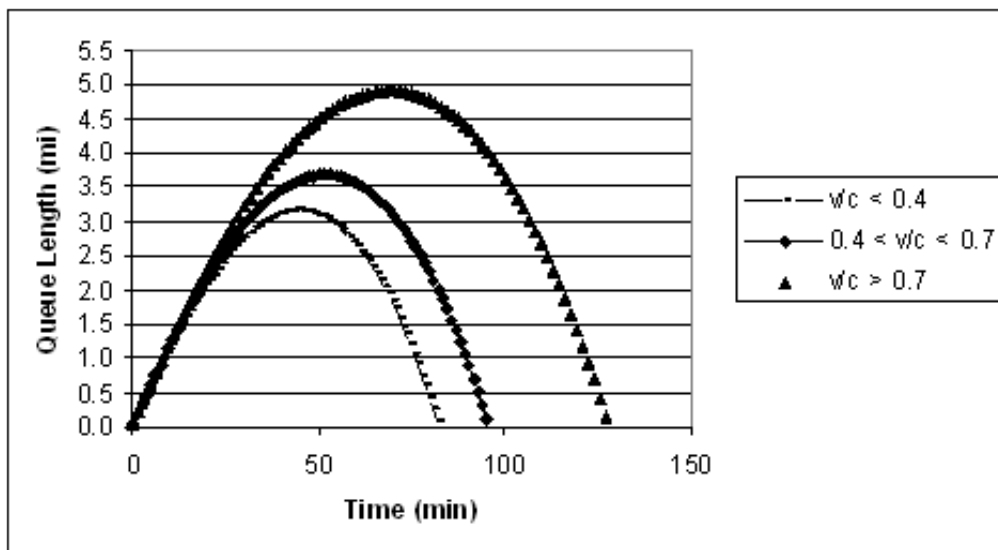
Στο το διάγραμμα 6 των Sun και Chilukuri (2010) αποτυπώνεται η χωροχρονική επιρροή ενός υποθετικού ατυχήματος όπως παρουσιάζεται από μία «καμπύλη προόδου συμβάντος» και από τα σταθερά κατώτατα όρια. Με τα γράμματα A,B,C,D,E και F συμβολίζονται ατυχήματα που έπονται του πρωτογενούς. Όσα βρίσκονται εντός της χωροχρονικής περιοχής χαρακτηρίζονται ως δευτερογενή. Παρατηρούμε ότι ενώ και με τις δύο μεθόδους ο απόλυτος αριθμός των δευτερογενών ατυχημάτων είναι ο ίδιος, με τη μέθοδο των σταθερών κατώτατων ορίων χαρακτηρίζεται ως δευτερογενές το ατύχημα B το οποίο όπως φαίνεται δεν έλαβε χώρα μέσα στην ουρά του πρώτου, ενώ παράλληλα δεν χαρακτηρίζει ως δευτερογενές το E το οποίο συνέβη κατά τη φάση αποσχηματισμού της ουράς του πρώτου και άρα είναι δευτερογενές. Επομένως για την ορθή αποτύπωση της ουράς πίσω από ένα ατύχημα και κατά συνέπεια τον εντοπισμό των δευτερογενών ατυχημάτων είναι ιδιαίτερα σκόπιμη η μόρφωση των «καμπυλών προόδου συμβάντος».



Διάγραμμα 6: Καμπύλη προόδου συμβάντος σε σύγκριση με περιοχή επιρροής ατυχήματος προσδιορισμένη με σταθερά κατώτατα όρια (Πηγή: Sun και Chilukuri, 2010)

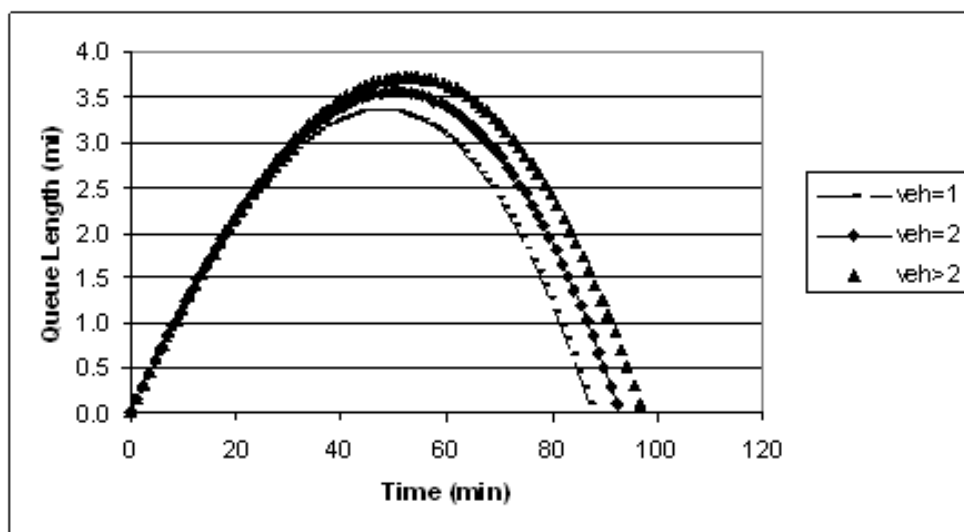
Οι Sun και Chilukuri (2010) για να εντοπίσουν τα δευτερογενή ατυχήματα χρησιμοποίησαν έναν συνδυασμό βάσεων δεδομένων. Έλαβαν υπόψη τη βάση δεδομένων της αστυνομίας η οποία παρείχε πληροφορίες όπως κωδική ονομασία, χιλιομετρική θέση, κατεύθυνση, ώρα, ημερομηνία, κυκλοφοριακή κατάσταση και ταυτόχρονα δεδομένα από κέντρα διαχείρισης κυκλοφορίας τα οποία παρέχουν ευρεία κάλυψη των περιστατικών με τη βοήθεια ελικοπτέρων, καμερών κυκλοφορίας, ομάδων περιπολίας αυτοκινητοδρόμων και άλλα. Χρησιμοποιώντας όλα τα παραπάνω στοιχεία εξέτασαν 640 περιστατικά και για κάθε ένα από αυτά σχηματίστηκε μία καμπύλη προόδου συμβάντος. Οι παραπάνω καμπύλες χωρίστηκαν σε ομάδες και υπολογίζοντας τις μέσες τιμές του μέγιστου μήκους ουράς και του χρόνου διάρκειας συμφόρησης παράχθηκαν γενικευμένες καμπύλες προόδου. Λόγω του ότι ορισμένα χαρακτηριστικά του κάθε ατυχήματος επιδρούν στη συμφόρηση που προκαλείται έπειτα από αυτό, χαράχθηκαν επιπλέον και οι πολλαπλές γενικευμένες καμπύλες προόδου συμβάντος. Καθεμία από αυτές σχηματίζεται ξεχωριστά για κάθε τύπο επιπτώσεων όπως για παράδειγμα για ατυχήματα με υλικές ζημιές μόνο (PDO) ή με τραυματισμούς (INJ). Οι κλάδοι

της κάθε καμπύλης αντικατοπτρίζουν μία επιπλέον παράμετρο που πρέπει να ληφθεί υπόψη για να αποφασιστεί ποια καμπύλη είναι καταλληλότερη στο να περιγράψει τη συμφόρηση κάθε φορά. Για παράδειγμα, στο διάγραμμα 7 φαίνεται η πολλαπλή γενικευμένη καμπύλη για περιστατικά που υπήρξαν τραυματισμοί ανάλογα με το λόγο φόρτου-κατάληψης (v/c).



Διάγραμμα 7: Πολλαπλή γενικευμένη καμπύλη βασισμένη στο λόγο φόρτου/κατάληψης.
(Πηγή: <http://www.ctre.iastate.edu/mtc/reports/secondary-accidents.htm>)

Στο διάγραμμα 8 παρουσιάζεται μία άλλου τύπου πολλαπλή γενικευμένη καμπύλη η οποία δείχνει την συμφόρηση σε περιστατικά ανάλογα με το πλήθος των εμπλεκομένων σε αυτά οχημάτων.



Διάγραμμα 8 : Πολλαπλή γενικευμένη καμπύλη βασισμένη στο πλήθος των εμπλεκόμενων οχημάτων στο συμβάν. (Πηγή: <http://www.ctre.iastate.edu/mtc/reports/secondary-accidents.htm>)

Από τα παραπάνω, φαίνεται ότι για τον εντοπισμό των δευτερογενών συμβάντων έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι των οποίων ο πρωταρχικός στόχος είναι να οριστεί το εύρος των περιοχών συμφόρησης που σχηματίζονται μετά από το πρωτογενές ατύχημα. Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι χρησιμοποιούν στατικά κατώτατα όρια των περιοχών συμφόρησης, τα οποία έχουν προκύψει εμπειρικά, μέσα στα οποία εάν εμφανιστεί κάποιο νέο συμβάν χαρακτηρίζεται ως δευτερογενές. Άλλες, συνδυάζουν τα στατικά κατώτατα όρια με μετρήσεις από φωρατές για μία πληρέστερη αποτύπωση των περιοχών συμφόρησης αποσκοπώντας στον εντοπισμό των δευτερογενών συμβάντων με μεγαλύτερη ακρίβεια. Ακόμα, υπάρχουν μέθοδοι με τις οποίες οι περιοχές συμφόρησης ανιχνεύονται δυναμικά μέσω της εφαρμογής της θεωρίας ουρών ή με τη βοήθεια καταγραφών από βάσεις δεδομένων της αστυνομίας και κέντρων διαχείρισης της κυκλοφορίας.

Μέχρι στιγμής, όμως, δεν έχει γίνει εντοπισμός δευτερογενών συμβάντων στο εσωτερικό περιοχών συμφόρησης όπως αυτές αποτυπώνονται από δεδομένα φωρατών. Με αυτόν τον τρόπο, οι προκύπτουσες περιοχές συμφόρησης θα περιγράφονται περισσότερο αντικειμενικά με αποτέλεσμα την εξαγωγή

πιθανότατα ακριβέστερων αποτελεσμάτων ως προς το πλήθος των δευτερογενών συμβάντων. Ακόμα, δεν καταγράφεται στη βιβλιογραφία καμία προσπάθεια εφαρμογής και αξιολόγησης δυναμικών αναλυτικών μεθόδων στη μοντελοποίηση της χωρικής και χρονικής εξέλιξης της κυκλοφοριακής ροής ανάντη ενός συμβάντος .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

3.1 ΦΩΡΑΤΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Οι φωρατές (vehicle detection stations, VDS) είναι εξειδικευμένες συσκευές που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση οχημάτων με σκοπό τη μέτρηση κυκλοφοριακών δεδομένων αλλά και τη βελτιστοποίηση της κυκλοφοριακής ροής.

Η λειτουργία τους βασίζεται στις ιδιότητες των μαγνητικών πεδίων όταν διέρχεται ένα μεταλλικό αντικείμενο (στη συγκεκριμένη περίπτωση όχημα) από μέσα τους. Οι φωρατές αποτελούνται από επαγωγικούς βρόγχους δηλαδή, περιελίξεις μονωμένου σύρματος από όπου διέρχεται ασθενές ρεύμα. Τοποθετούνται σε ειδικά κατασκευασμένες εγκοπές τετράγωνου ή παραλληλόγραμμου σχήματος μέσα στο οδόστρωμα, κατά μήκος της διατομής της οδού. Συνήθως τοποθετούνται σε όλο το μήκος της οδού αφήνοντας συγκεκριμένες ενδιάμεσες αποστάσεις ανάμεσά τους και σε άλλα χαρακτηριστικά σημεία όπως οι σήραγγες και οι ράμπες εισόδου και εξόδου.

Οι κυριότερες πληροφορίες που λαμβάνονται από τους φωρατές είναι η ταχύτητα, ο φόρτος και το είδος των οχημάτων, τα οποία διήλθαν από τη διατομή που είναι τοποθετημένος ο φωρατής, ανά τακτά χρονικά διαστήματα. (π.χ. 60 sec, 90 sec, 300 sec)

3.2 ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟ ΚΥΜΑ

Τα κυκλοφοριακά κύματα είναι κινούμενες διαταραχές της κυκλοφορίας των οχημάτων σε ελεύθερη λεωφόρο.

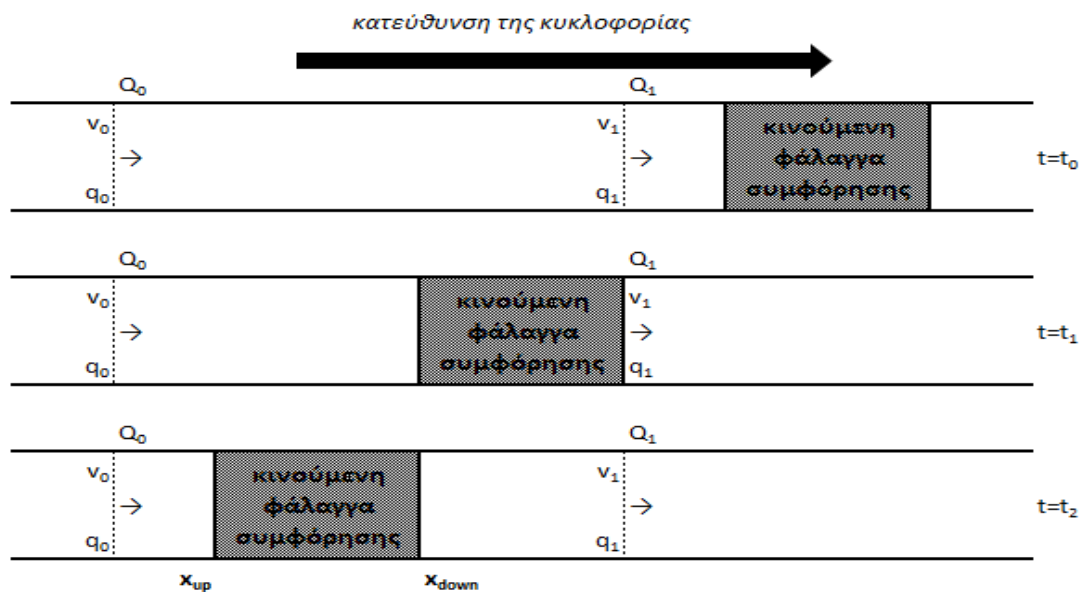
Εμφανίζονται όταν σε δύο διαδοχικά οδικά τμήματα η κυκλοφοριακή ροή μεταβαίνει από μία κατάσταση πυκνότητας και ταχύτητας σε μία άλλη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η κυκλοφοριακή ροή να εξελίσσεται με ταχύτερο ή αργότερο ρυθμό. Το κυκλοφοριακό κύμα (ή κύμα σοκ) αντικατοπτρίζει μια μαθηματική ασυνέχεια στην πυκνότητα και κατ' επέκταση στην ταχύτητα. (LightHill M.J. and Whitham G.B 1955)

Ένα απλό παράδειγμα κυκλοφοριακού κύματος συναντάται όταν ένας οδηγός σε μία λωρίδα οδού επιβραδύνει: στη συνέχεια θα κάνει το ίδιο και ο δεύτερος στη σειρά και ο τρίτος κ.ο.κ. Στην περίπτωση αυτή έχουμε σχηματισμό ενός κυκλοφοριακού κύματος επιβράδυνσης, το οποίο έχει διεύθυνση αντίθετη με αυτή της ροής των οχημάτων. Η ταχύτητα του κύματος είναι ίση με το λόγο της μεταβολής του φόρτου προς τη μεταβολή της πυκνότητας. (LightHill M.J. and Whitham G.B 1955)

3.3 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ASDA

Το μοντέλο ASDA (Automatic Tracking of Moving Traffic Jams) (Kerner et al. 1998; Kerner and Rehborn, 2000) χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της εκτεταμένου μήκους κινούμενης φάλαγγας συμφόρησης σε κάθε χρονική στιγμή, ακόμα και όταν αυτό βρίσκεται ανάμεσα σε δύο φωρατές και επομένως δεν μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια. Το σχήμα 6 παρουσιάζει μία απεικόνιση της κίνησης της κινούμενης φάλαγγας συμφόρησης σε διαφορετικές χρονικές στιγμές όταν βρίσκεται ανάμεσα από δύο φωρατές (Q_0 , Q_n) σε ένα οδικό τμήμα.

Από τη στιγμή που η κινούμενη φάλαγγα συμφόρησης θα εντοπιστεί, από τα δεδομένα που παρέχει ο φωρατής Q_n , στη χρονική στιγμή t_0 το μοντέλο ASDA ξεκινά να υπολογίζει συνεχόμενα τις θέσεις του ανάντη μετώπου του, $x_{up}^{jam}(t)$. Από τη στιγμή που και το κατάντη μέτωπο θα φτάσει στο φωρατή Q_n , σε κάποιο μεταγενέστερο χρόνο t_1 , το μοντέλο υπολογίζει επαναλαμβανόμενα και τις θέσεις το κατάντη μετώπου $x_{down}^{jam}(t)$. Κατά συνέπεια, υπολογίζεται και το μήκος της φάλαγγας σε κάθε χρονική στιγμή επειδή ισούται με $L_s = x_{down} - x_{up}$. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί ακόμα και αν κανένας από τους φωρατές δεν είναι μέσα ή κοντά στη φάλαγγα. Για τον υπολογισμό των θέσεων των μετώπων χρειάζονται οι τιμές των φόρτων $q_0(t)$, $q_n(t)$, και των ταχυτήτων $w_0(t)$, $w_n(t)$ που λαμβάνονται από τους φωρατές.



Σχήμα 6: Θέσεις της κινούμενης φάλαγγας συμφόρησης ανάμεσα σε δύο φωρατές σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

3.3.1 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ASDA

Στις πραγματικές εφαρμογές, σε ελεύθερες λεωφόρους, υπάρχουν ακολουθίες μεγάλου αριθμού φωρατών. Σε τέτοιες περιπτώσεις ο προσδιορισμός της θέσης του ανάντη και του κατόντη μετώπου αντίστοιχα μίας κινούμενης φάλαγγας συμφόρησης καταλήγει στους εξής τύπους:

A) Εξίσωση για τη θέση του ανάντη μετώπου:

$$\begin{aligned}
 x_{up}^{jam}(t) &= L_{i+1} + \int_{t_o^{(i+1)}}^t v_{up}^{jam}(t) dt \\
 &\approx L_{i+1} - \int_{t_o^{(i+1)}}^t \frac{q_o^{(i)}(t) - q_{min}}{p_{max} - (q_o^{(i)}(t)/w_o^{(i)}(t))} dt \quad (1)
 \end{aligned}$$

όπου $t \geq t_o^{(i+1)}$, $i=1,2,\dots$

B) Εξίσωση για τη θέση του κατόντη μετώπου:

$$\begin{aligned}
 x_{down}^{jam}(t) &= L_j + \int_{t_1^{(j)}}^t v_{down}^{jam}(t) dt \\
 &\approx L_j - \int_{t_1^{(j)}}^t \frac{q_{out}^{(j)jam}(t) - q_{min}}{p_{max} - (q_{out}^{(j)jam}(t)/w_{max}^{(j)}(t))} dt \quad (2)
 \end{aligned}$$

όπου $t \geq t_1^{(j)}$, $j=1,2,\dots$

Οι δείκτες “i” και “j” για την (1) και (2) αντίστοιχα, αναφέρονται στους φωρατές των οποίων οι τιμές χρησιμοποιούνται στο χρόνο t. Οι δείκτες αυτοί αυξάνονται σύμφωνα με τη φορά της κυκλοφορίας.

- $L_m > L_n$ για $m > n$
- $v_{up}^{(jam)}(t)$: η ταχύτητα κίνησης του ανάντη μετώπου
- $v_{down}^{(jam)}(t)$: η ταχύτητα κίνησης του κατάντη μετώπου
- $t_o^{(i+1)}$: ο χρόνος όπου το ανάντη μέτωπο έφτασε στον φωρατή (i+1)
- $t_1^{(j)}$: ο χρόνος όπου το κατάντη μέτωπο έφτασε στον φωρατή (j)
- $q_o^{(i)}(t)$: ο μετρημένος ρυθμός ροής στο φωρατή (i) στο ανάντη μέτωπο της κινούμενης φάλαγγας συμφόρησης
- $w_o^{(i)}(t)$: η μετρημένη μέση στιγμιαία ταχύτητα στο φωρατή (i) στο ανάντη μέτωπο της κινούμενης φάλαγγας συμφόρησης
- $q_{out}^{(j)jam}$: ο μετρημένος ρυθμός ροής στο φωρατή (j) στο κατάντη μέτωπο της κινούμενης φάλαγγας συμφόρησης
- $w_{max}^{(j)}$: η μετρημένη μέση στιγμιαία ταχύτητα στο φωρατή (j) στο κατάντη μέτωπο της κινούμενης φάλαγγας συμφόρησης
- q_{min} : ο ρυθμός ροής μέσα στην κινούμενη φάλαγγα συμφόρησης
- p_{max} : η πυκνότητα των οχημάτων μέσα στην κινούμενη φάλαγγα συμφόρησης

Η παράμετρος p_{max} υπολογίζεται ευθέως από τα κυκλοφοριακά δεδομένα μέσω της εξίσωσης:

$$p_{max} = \frac{1000}{L_{PC} * A_{PC} + L_{HGV} * (1 - A_{PC})} \text{ (οχήματα/km)} \quad (3)$$

Όπου:

- L_{PC} : το αναμενόμενο μέσο μήκος των ΙΧ προσθέτοντας και μια ελάχιστη μέση απόσταση ανάμεσα στα οχήματα
- L_{HGV} : το αναμενόμενο μέσο μήκος των βαρέων οχημάτων προσθέτοντας και μια ελάχιστη μέση απόσταση ανάμεσα στα οχήματα
- A_{PC} : το ποσοστό των ΙΧ στο σύνολο της κυκλοφορίας

Στις περιπτώσεις που το q_{min} δεν μπορεί να μετρηθεί, λόγω απουσίας φωρατή μέσα στην κινούμενη φάλαγγα συμφόρησης, μπορεί να υπολογιστεί με μία εκ των δύο παρακάτω εξισώσεων:

$$q_{min} = \left(t_1^{(j)} - t_o^{(j)}\right)^{-1} \int_{t_o^{(j)}}^{t_1^{(j)}} q_{min}^{(j)}(t) dt \quad (4)$$

ή

$$q_{min} = 0 \quad (5)$$

Για την επιλογή του σωστού φωρατή “i”, του οποίου τα δεδομένα θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν στην εξίσωση (1) μπορεί να ακολουθηθεί η παρακάτω μεθοδολογία που αναφέρεται για την περίπτωση που παρουσιάζεται στο σχήμα 6. Το μέτωπο της επιβράδυνσης έχει μόλις περάσει από το φωρατή “k=i+1”.

Αρχικά, στην εξίσωση (1) χρησιμοποιούνται οι μετρήσεις του φωρατή “k-1=i” ενώ το κατάντη μέτωπο δεν έχει φτάσει ακόμη στον “k”.

Πρώτα πρέπει να καθοριστούν οι χρονικές στιγμές όπου ο επόμενος για τους υπολογισμούς φωρατής μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Αν η παρακάτω ανισότητα ισχύει, τότε:

$$x_{up}^{jam}(t) \leq L_{k-1}$$

οι μετρήσεις του φωρατή “k-2=i” πρέπει να χρησιμοποιηθούν στην (1).

Με τον όρο L_{k-1} συμβολίζεται η συντεταγμένη (κατά τον άξονα των x) του φωρατή “i=k-1”.

Από την άλλη μεριά, το ανάντη μέτωπο της κινούμενης φάλαγγας συμφόρησης στο χρόνο $t_o^{(k-1)}$ βρίσκεται στο φωρατή “k-1=i” και είναι ίσο με:

$$x_{up}^{jam}(t_o^{(k-1)}) = L_{k-1}$$

$$x_{up}^{jam}(t_o^{(k-1)}) = L_k + \int_{t_o^{(k)}}^t v_{up}^{jam}(t) dt$$

Αξιζει να σημειωθεί ότι πάντοτε υπάρχει μία διαφορά Δ ανάμεσα στο υπολογισμένο x_{up}^{jam} και στην πραγματική συντεταγμένη του ανάντη μετώπου. Εάν, για παράδειγμα, η ανισότητα $(x_{up}^{jam}(t) \leq L_{k-1})$ (6) δεν ισχύει στο χρόνο $t_o^{(k-1)}$ όπου το μέτωπο επιβράδυνσης έχει σίγουρα φτάσει στον φωρατή k-1 τότε το υπολογισμένο $x_{up}^{jam}(t_o^{(k-1)})$ είναι πολύ υψηλό. Στην περίπτωση αυτή, ο αλγόριθμος θέτει ως τιμή του $x_{up}^{jam}(t_o^{(k-1)})$ το L_{k-1} .

Σε αντιστοιχία με αυτό, το υπολογισμένο $x_{up}^{jam}(t)$ είναι αναμφισβήτητα πολύ χαμηλό αν η ανισότητα $(x_{up}^{jam}(t) \leq L_{k-1})$ (6) ισχύει όμως το ανάντη μέτωπο δεν έχει περάσει ακόμα από το φωρατή k-1 στη χρονική στιγμή αυτή. Τότε, θέτουμε το $x_{up}^{jam}(t)$ ίσο με $L_{k-1} + \epsilon$, με το “ ϵ ” να είναι μια πολύ χαμηλή, δεδομένη τιμή (π.χ. $\epsilon=1m$)

Συνεπώς, η επιλογή του επόμενου φωρατή για την εξίσωση (1) δεν εξαρτάται από την υπολογιζόμενη θέση του ανάντη μετώπου, αλλά από τις χρονικές στιγμές που το μέτωπο διέρχεται στην πραγματικότητα από τους φωρατές. Ο φωρατής “i=k-m-1” χρησιμοποιείται στην εξίσωση (1) μόνο εάν το ανάντη μέτωπο έχει “συναντηθεί” με το φωρατή “k-m” στο χρόνο $t_o^{(k-m)}$.

Μία παρόμοια μεθοδολογία χρησιμοποιείται και για την επιλογή φωρατή για τη εξίσωση (2). Η εξίσωση αυτή αρχικά εφαρμόζεται στο χρόνο $t_1^{(k)}$, δηλαδή όταν το κατάντη μέτωπο «εντοπιστεί» στο φωρατή "k". Από τη στιγμή που το μέτωπο της επιτάχυνσης εμφανιστεί στον αμέσως επόμενο φωρατή "k-1", στη χρονική στιγμή $t_1^{(k-1)}$ χρησιμοποιούνται τα στοιχεία από το φωρατή "j=k-1" στη (2).

Με αντίστοιχο τρόπο, για να απαλειφθεί η διαφορά ανάμεσα στην πραγματική και την υπολογιζόμενη θέση του κατάντη μετώπου, της κινούμενης φάλαγγας επιβράδυνσης, γίνονται οι εξής διορθώσεις: Αν το υπολογισμένο $x_{\text{down}}^{\text{jam}}(t)$ είναι μεγαλύτερο από το L_{k-p} ($x_{\text{down}}^{\text{jam}}(t) > L_{k-p}$) (7) αλλά το μέτωπο έχει φτάσει στο φωρατή "k-p" στην τιμή του $x_{\text{down}}^{\text{jam}}(t)$ τίθεται η τιμή $L_{k-p}-\varepsilon$. Αν πάλι, το υπολογισμένο $x_{\text{down}}^{\text{jam}}(t)$ είναι μικρότερο του L_{k-p} ($x_{\text{down}}^{\text{jam}}(t) < L_{k-p}$) (7) αλλά το μέτωπο της επιτάχυνσης δεν έχει συναντήσει ακόμη το φωρατή "k-p", θέτουμε $x_{\text{down}}^{\text{jam}}(t) = L_{k-p}$.

Αν έπειτα από την εμφάνιση μίας κινούμενης φάλαγγας συμφόρησης –όπως πολύ συχνά συμβαίνει– μία επόμενη κινούμενη φάλαγγα συμφόρησης εμφανιστεί και είναι σε κοντινή απόσταση με το άλλο ώστε να μην υπάρχει κάποιος φωρατής ανάμεσα τους το μοντέλο ASDA πρέπει να επεκταθεί. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα εμπειρικών ερευνών για τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των κινούμενων φαλαγγών συμφόρησης. Συγκεκριμένα, η ταχύτητα του κατάντη μετώπου είναι μία χαρακτηριστική παράμετρος. Αν η ταχύτητα έχει υπολογιστεί πρόσφατα για κάποια συγκεκριμένη φάλαγγα συμφόρησης, χρησιμοποιείται για την πρόγνωση άλλων φαλαγγών, στις οποίες η ταχύτητα δεν μπορεί να υπολογιστεί. Για να ακολουθηθεί μία φάλαγγα η οποία βρίσκεται ακριβώς πίσω από μία άλλη μπορεί επιπλέον να υποθεθεί ότι η ταχύτητα του ανάντη μετώπου της δεύτερης στη σειρά είναι ίση με τη χαρακτηριστική ταχύτητα του κατάντη μετώπου της πρώτης.

3.3.2 ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ASDA

α) Επέκταση του μοντέλου ASDA για ράμπες εισόδου-εξόδου αυτοκινητοδρόμου και για αλλαγή του αριθμού των λωρίδων κυκλοφορίας ανάντη μίας κινούμενης φάλαγγας συμφόρησης

Στην περίπτωση αυτή ο συνολικός ρυθμός ροής πρέπει να συσχετίζεται με το ρυθμό ροής ανά λωρίδα.

Σε μία είσοδο αυτοκινητοδρόμου στο ρυθμό ροής $q_o^{(i)}(t)$ πρέπει να προστεθεί ο ρυθμός ροής των οχημάτων που εισέρχονται. Επομένως:

$$q_o^{*(i)}(t) = q_o^{(i)}(t) + \frac{q_{on}(t)}{n} \quad (8)$$

n : πλήθος λωρίδων αυτοκινητοδρόμου

Αντίστοιχα για τις ράμπες εξόδου:

$$q_o^{*(i)}(t) = q_o^{(i)}(t) - \frac{q_{off}(t)}{n} \quad (9)$$

Όταν μειώνονται οι λωρίδες κυκλοφορίας κατά μήκος της οδού από m σε n ο ρυθμός ροής γίνεται:

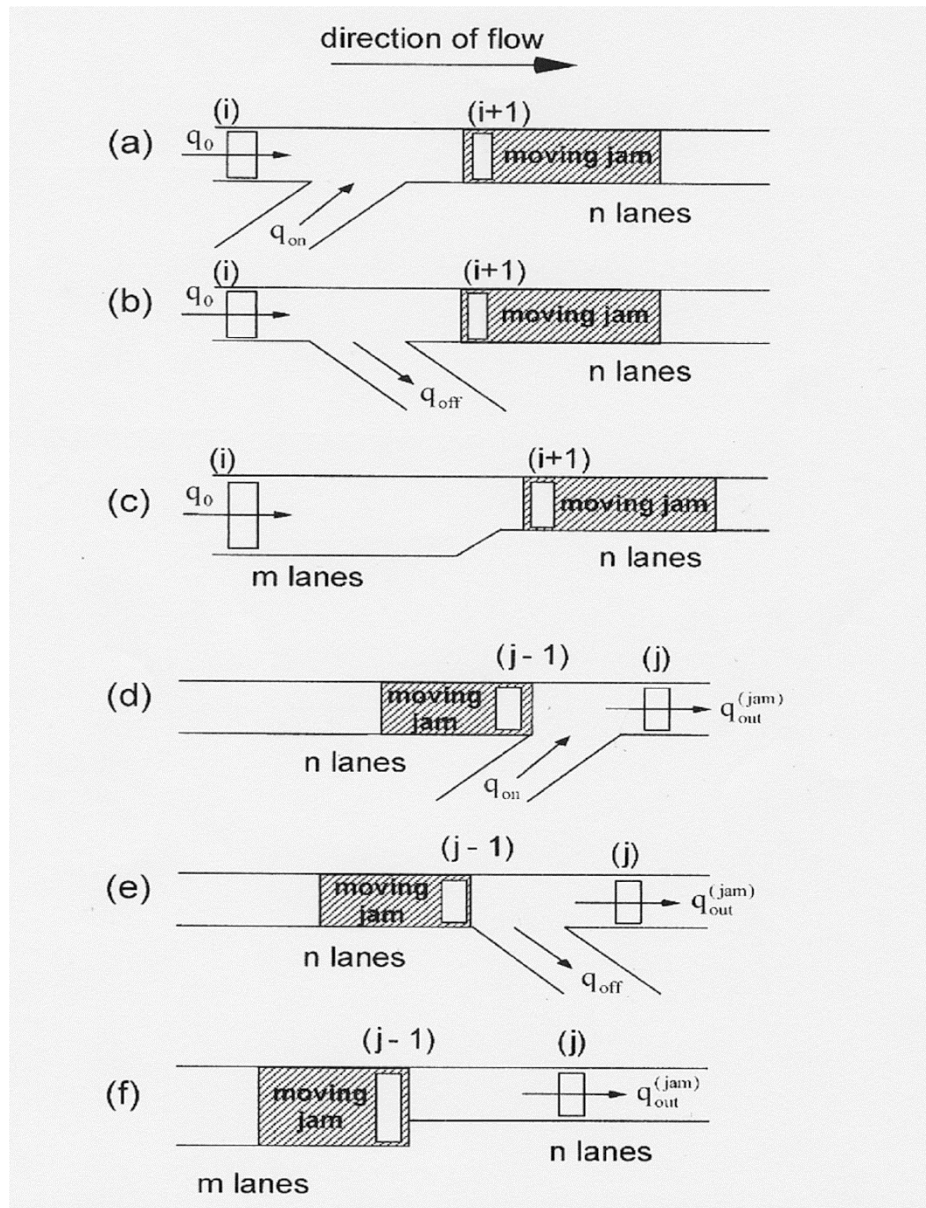
$$q_o^{*(i)}(t) = \frac{m}{n} q_o^{(i)}(t) \quad (10)$$

Στις παραπάνω περιπτώσεις η εξίσωση (1) που δίνει τη θέση του ανάντη μετώπου παίρνει τη μορφή:

$$x_{up}^{jam}(t) = L_{i+1} + \int_{t_o}^t v_{up}^{jam}(t) dt$$

$$\approx L_{i+1} - \int_{t_0}^{t^{(i+1)}} \frac{q_o^{*(i)}(t) - q_{min}}{p_{max} - (q_o^{*(i)}(t)/w_o^{(i)}(t))} dt \quad (11)$$

όπου $t \geq t_0^{(i+1)}$, $i=1,2,\dots$



Σχήμα 7: Επέκταση του μοντέλου ASDA για ράμπες εισόδου και εξόδου ανάντη (a-c) και κατόντη (d-f) της κινούμενης φάλαγγας συμφόρησης (Πηγή: Kerner.et.al.)

β) Επέκταση του μοντέλου ASDA για ράμπες εισόδου-εξόδου αυτοκινητοδρόμου και για αλλαγή του αριθμού των λωρίδων κυκλοφορίας κατάντη μίας κινούμενης φάλαγγας συμφόρησης

Σε μία είσοδο αυτοκινητοδρόμου στο ρυθμό ροής $q_{out}^{(i)}(t)$ πρέπει να αφαιρεθεί ο ρυθμός ροής των οχημάτων που εισέρχονται. Επομένως:

$$q_{out}^{*(j)jam}(t) = q_{out}^{(j)jam}(t) - \frac{q_{on}(t)}{n} \quad (12)$$

Αντίστοιχα για τις ράμπες εξόδου:

$$q_{out}^{*(j)jam}(t) = q_{out}^{(j)jam}(t) + \frac{q_{off}(t)}{n} \quad (13)$$

Όταν μειώνονται οι λωρίδες κυκλοφορίας κατά μήκος της οδού από m σε n ο ρυθμός ροής γίνεται:

$$q_{out}^{*(j)jam}(t) = \frac{n}{m} q_{out}^{(j)jam}(t) \quad (14)$$

Στις παραπάνω περιπτώσεις η εξίσωση (2) που δίνει τη θέση του κατάντη μετώπου παίρνει τη μορφή:

$$\begin{aligned} x_{down}^{jam}(t) &= L_j + \int_{t_1^{(j)}}^t v_{down}^{jam}(t) dt \\ &\approx L_j - \int_{t_1^{(j)}}^t \frac{q_{out}^{*(j)jam}(t) - q_{min}}{p_{max} - (q_{out}^{*(j)jam}(t)/w_{max}^{(j)}(t))} dt \quad (15) \end{aligned}$$

$$\text{όπου } t \geq t_1^{(j)}, j=1,2,\dots$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην εργασία αυτή μελετήθηκαν οι ουρές που σχηματίστηκαν μετά από ατυχήματα που συνέβησαν στην Αττική οδό. Η αποτύπωση των ουρών έγινε μέσω της μόρφωσης των χωροχρονικών καμπυλών στις οποίες παρουσιάζεται η εξέλιξη της ουράς κατά μήκος της οδού σε συνάρτηση με το χρόνο έως τη στιγμή όπου η κυκλοφορία αποκαθίσταται πλήρως.

Πρέπει να υπογραμμιστεί ότι με τον όρο “ουρά” δεν εννοείται μια συστοιχία ακινητοποιημένων οχημάτων, όπως αυτές που συχνά παρατηρούνται σε αστικές οδούς ή σε σταθμούς διοδίων, αλλά μία “δυναμική ουρά” στην οποία τα οχήματα κινούνται, αλλά πολύ αργά σε σύγκριση με τις συνήθεις συνθήκες. Σε έναν αυτοκινητόδρομο, όπως η Αττική οδός, όπου η ταχύτητα ελεύθερης ροής σε ιδανικές συνθήκες (στάθμη εξυπηρέτησης Α) είναι περί τα 120χλμ/ώρα, όταν για ένα σεβαστό χρονικό διάστημα και μήκος της οδού οι ταχύτητες των οχημάτων κυμαίνονται κάτω από τα 60χλμ/ώρα μπορεί να χαρακτηριστεί ότι στην περιοχή αυτή υπάρχει ουρά.

Τα συμβάντα τα οποία εξετάστηκαν είναι αυτά που συνέβησαν κατά τα έτη 2007 και 2009 στις κατευθύνσεις προς Αεροδρόμιο και προς Ελευσίνα. Καθένα ατύχημα μελετήθηκε ξεχωριστά, ανεξάρτητα από το σημείο και την ώρα που συνέβη, αλλά και από τη σοβαρότητα των επιπτώσεων που είχε. Η μελέτη έγινε με τη βοήθεια του αρχείου “Στοιχεία ατυχημάτων της Αττικής οδού”

στο οποίο καταγράφονται όλα τα ατυχήματα που έχουν λάβει χώρα στην οδό μαζί με άλλες διευκρινιστικές πληροφορίες όπως:

- Κωδική ονομασία συμβάντος
- Ημερομηνία έναρξης συμβάντος
- Ημέρα συμβάντος (καθημερινή ή σαββατοκύριακο)
- Ώρα έναρξης και ώρα λήξης (clearance time)
- Χιλιομετρική θέση συμβάντος
- Κατηγορία συμβάντος
- Αποτελέσματα συμβάντος
- Τραυματίες ή νεκροί
- Λωρίδες κυκλοφορίας που έγινε το συμβάν
- Τύποι εμπλεκόμενων οχημάτων

Για τη διερεύνηση των μεταβολών στις ταχύτητες έπειτα από κάθε ατύχημα έγινε χρήση της “Βάσης δεδομένων των φωρατών”. Η Αττική οδός είναι εξοπλισμένη με εξακόσιους φωρατές (VDS) οι οποίοι είναι τοποθετημένοι ανά πεντακόσια μέτρα στον ανοιχτό αυτοκινητόδρομο και ανά εξήντα μέτρα στις σήραγγες. Από αυτούς τους φωρατές καταγράφονται τα εξής κυκλοφοριακά δεδομένα:

- Ημερομηνία και ώρα καταγραφής (ανά πεντάλεπτο)
- Κωδική ονομασία και χιλιομετρική θέση φωρατή
- Ρυθμός ροής ΙΧ
- Ρυθμός ροής βαρέων οχημάτων
- Συνολικός ρυθμός ροής
- Μέση στιγμιαία ταχύτητα οχημάτων (ανά πεντάλεπτο)

Τα δεδομένα αυτά συλλέγονται στη «Βάση δεδομένων των φωρατών» στην οποία αναγράφονται τα στοιχεία αυτά για όλους τους φωρατές, για όλες τις μέρες του χρόνου, για όλες τις ώρες της ημέρας ανά πεντάλεπτο και είναι έτοιμα για επεξεργασία.

4.2 ΒΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την ανάλυση των συμβάντων είναι τα εξής:

1) Δεδομένα ατυχήματος

Για κάθε ατύχημα που έχει πραγματοποιηθεί στην Αττική οδό κατά τα έτη 2007 και 2009 στις κατευθύνσεις προς Ελευσίνα και προς Αεροδρόμιο έγινε λήψη κάποιων χαρακτηριστικών δεδομένων του από τα “Στοιχεία ατυχημάτων της Αττικής οδού”. Τα δεδομένα αυτά ήταν η ημερομηνία, η ώρα και η χιλιομετρική θέση του ατυχήματος.

2) Εντοπισμός του πλησιέστερου φωρατή

Στη συνέχεια, ανατρέχοντας στη “Βάση δεδομένων των φωρατών” στη συγκεκριμένη ημερομηνία και ώρα εντοπιζόταν ο αμέσως πλησιέστερος, στη θέση του ατυχήματος, φωρατής κατά την αντίθετη διεύθυνση από αυτή της κυκλοφορίας των οχημάτων.

3) Αναγνώριση συμβάντων με σχηματισμό ουράς

Έπειτα από σχεδόν κάθε ατύχημα παρατηρείται μείωση των ταχυτήτων των οχημάτων για κάποιο μήκος της οδού πίσω από το ατύχημα. Για να αποσαφηνιστεί όμως το αν μετά από ένα συμβάν υπήρξε μείωση ταχυτήτων ικανή για το σχηματισμό ουράς πίσω από το ατύχημα χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω κριτήρια:

Α. Η τιμή της μέσης στιγμιαίας ταχύτητας που κατέγραψε ο φωρατής σε χρονική στιγμή μετά από το ατύχημα είναι μειωμένη σε σχέση με

την τιμή της μέσης στιγμιαίας ταχύτητας που καταγράφηκε αμέσως πριν το ατύχημα κατά τουλάχιστον 35%

B. Η τιμή της μέσης στιγμιαίας ταχύτητας που κατέγραψε ο φωρατής σε χρονική στιγμή μετά από το ατύχημα είναι μικρότερη από το κατώτατο όριο ταχύτητας .

Για την περίπτωση της Αττικής οδού το κατώτατο όριο ορίστηκε στα 60 χλμ/ώρα.

Αν δεν ικανοποιούνταν και τα δύο παραπάνω κριτήρια , τότε το συμβάν χαρακτηριζόταν ως ατύχημα που δεν είχε ως συνέπεια το σχηματισμό ουράς.

Ακόμα και σε αυτά τα περιστατικά είναι πιθανό να σχηματίστηκε ουρά στην περιοχή ανάμεσα από τη θέση του ατυχήματος και του πλησιέστερου φωρατή η οποία όμως λόγω του μικρού της μήκους και της έλλειψης στοιχείων, για το αν αυτό πραγματικά συνέβη, θεωρήθηκε αμελητέα.

Αν τα κριτήρια ικανοποιούνταν, τότε το συμβάν είχε ως συνέπεια το σχηματισμό ουράς. Στην περίπτωση αυτή οι τιμές του μέσου φόρτου και της μέσης στιγμιαίας ταχύτητας ανά πεντάλεπτο , όπως δίνονταν από τη "Βάση δεδομένων των φωρατών" αποθηκεύονταν σε ένα «βιβλίο» του excel μέχρι τουλάχιστον τη χρονική στιγμή όπου παρατηρούνταν η λήξη της ικανοποίησης των κριτηρίων Α και Β, δηλαδή όταν παρατηρούνταν αποκατάσταση της κυκλοφορίας στη θέση του φωρατή.

4) Επανάληψη διαδικασίας για τους επόμενους φωρατές και εντοπισμός του πρώτου φωρατή που δεν κατέγραψε αισθητή μεταβολή ταχυτήτων

Στα περισσότερα όπου διαπιστωνόταν ότι υπήρχε σχηματισμός ουράς η παραπάνω διαδικασία (όπως ακριβώς αναφέρεται για τον πρώτο φωρατή στο βήμα 3) επαναλαμβανόταν για τους επόμενους φωρατές. Οι φωρατές που επιλέγονταν για να εξεταστούν απείχαν απόσταση από τον αμέσως προηγούμενο 200 έως 500 περίπου μέτρα κατά την αντίθετη διεύθυνση της κυκλοφορίας.

Η διαδικασία έλεγχου των τιμών των ταχυτήτων των φωρατών τερματιζόταν όταν εντοπιζόταν ο φωρατής στον οποίο τα κριτήρια για τις μέσες στιγμιαίες ταχύτητες A και B έπαυαν να ικανοποιούνται. Στη χιλιομετρική θέση του φωρατή αυτού μπορεί να θεωρηθεί ότι το “κύμα” της επιβράδυνσης δεν έφτασε ποτέ, δηλαδή στο σημείο αυτό οι ταχύτητες δεν επηρεάστηκαν τόσο ώστε να έχουμε σχηματισμό ουράς ή ακόμα και καθόλου. Το σημείο αυτό χρησιμοποιήθηκε ως το “σταθερό σημείο αναφοράς” από το οποίο μετριοταν η απόσταση η οποία διένυαν τα μέτωπα ($x_{up}^{jam}(t)$, $x_{down}^{jam}(t)$) της επιβράδυνσης και της επιτάχυνσης κατά την εφαρμογή των εξισώσεων του Kerner (1) και (2). Για το λόγο αυτό, υπολογίστηκαν οι αποστάσεις του κάθε φωρατή ($L_{i+1}, \dots, L_j, \dots$), στον οποίο παρατηρήθηκε μείωση της ταχύτητας που ικανοποιούσε τα κριτήρια A και B , από το σημείο αυτό προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στις εξισώσεις (1) και (2) αλλά και σαν μέτρο σύγκρισης για τις αριθμητικές τιμές των αποστάσεων που θα προέκυπταν έπειτα από την εφαρμογή των εξισώσεων.

5) Υπολογισμός της θέσης των μετώπων κινούμενης φάλαγγας σε συνάρτηση με το χρόνο

Στο «βιβλίο» του excel όπου πλέον είχαν αποτυπωθεί οι τιμές των μέσων φόρτων και των μέσων ταχυτήτων από όλους τους φωρατές για όλη τη χρονική διάρκεια της ουράς, σημειωνόταν, για κάθε φωρατή ξεχωριστά, σε ποια χρονική στιγμή ξεκίνησε η επιβράδυνση των οχημάτων (έφτασε το μέτωπο της επιβράδυνσης) και σε ποια χρονική στιγμή οι τιμές των ταχυτήτων αποκαταστάθηκαν (έφτασε το μέτωπο της επιτάχυνσης).

Στο σημείο αυτό ξεκινούσε η εφαρμογή της εξίσωσης του Kerner (1) με την οποία υπολογιζόταν η θέση του ανάντη μετώπου σε σχέση με το προαναφερθέν “σταθερό σημείο αναφοράς” για κάθε πεντάλεπτο. Η διαδικασία γινόταν και για το κατάντη μέτωπο αντίστοιχα με την εξίσωση (2).

Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι λόγω του γεγονότος ότι τα δεδομένα του ρυθμού ροής και της μέσης στιγμιαίας ταχύτητας από τους φωρατές ήταν διαθέσιμα για κάθε πεντάλεπτο, αλλά και για λόγους απλούστευσης των υπολογισμών οι εξισώσεις (1) και (2) αντικαταστάθηκαν από στις (16) και (22) αντίστοιχα ως εξής:

α) Εξίσωση για τη θέση του ανάντη μετώπου:

$$x_{up}^{jam}(t_{o,n}^{(i+1)}) \approx L_{i+1} - \frac{1}{n+1} * (\sum_{t=t_o^{(i+1)}}^{t=t_{o,n}^{(i+1)}} A(t)) * (t_{o,n}^{(i+1)} - t_o^{(i+1)}) \quad (16)$$

όπου:

$$t_{o,1}^{(i+1)} = (t_o^{(i+1)} + 5)/60 \text{ (h)} \quad (17)$$

$$t_{o,n}^{(i+1)} = (t_o^{(i+1)} + (n * 5))/60 \text{ (h)} \quad (18)$$

για $n=1,2,3,\dots$ και $i=1,2,\dots$

και

$$A(t_o^{(i+1)}) = \frac{q_o^{(i)}(t_o^{(i+1)}) - q_{min}}{p_{max} - (q_o^{(i)}(t_o^{(i+1)})/w_o^{(i)}(t_o^{(i+1)}))} \quad (19)$$

$$A(t_{o,1}^{(i+1)}) = \frac{q_o^{(i)}(t_{o,1}^{(i+1)}) - q_{min}}{p_{max} - (q_o^{(i)}(t_{o,1}^{(i+1)})/w_o^{(i)}(t_{o,1}^{(i+1)}))} \quad (20)$$

$$A(t_{o,n}^{(i+1)}) = \frac{q_o^{(i)}(t_{o,n}^{(i+1)}) - q_{min}}{p_{max} - (q_o^{(i)}(t_{o,n}^{(i+1)})/w_o^{(i)}(t_{o,n}^{(i+1)}))} \quad (21)$$

Όπου από την εξίσωση (5) ισχύει ότι $q_{min} = 0$

Και από την (3) ορίστηκε ότι $p_{max} = 430 \text{ οχ/km}$

β) Εξίσωση για τη θέση του κατάντη μετώπου:

$$x_{\text{down jam}}(t_{\text{out},n}^{(j)}) \approx L_j - \frac{1}{n+1} * (\sum_{t=t_{\text{out}}^{(j)}}^{t=t_{\text{out},n}^{(j)}} B(t)) * (t_{\text{out},n}^{(j)} - t_{\text{out}}^{(j)}) \quad (22)$$

όπου:

$$t_{\text{out},1}^{(j)} = (t_{\text{out}}^{(j)} + 5) / 60 \text{ (h)} \quad (23)$$

$$t_{\text{out},n}^{(j)} = (t_{\text{out}}^{(j)} + (n * 5)) / 60 \text{ (h)} \quad (24)$$

για $n=1,2,3,\dots$ και $i=1,2,\dots$

και

$$B(t_{\text{out}}^{(j)}) = \frac{q_{\text{out}}^{(j)\text{jam}}(t_{\text{out}}^{(j)}) - q_{\text{min}}}{p_{\text{max}} - (q_{\text{out}}^{(j)\text{jam}}(t_{\text{out}}^{(j)}) / w_{\text{max}}^{(j)}(t_{\text{out}}^{(j)}))} \quad (25)$$

$$B(t_{\text{out},1}^{(j)}) = \frac{q_{\text{out}}^{(j)\text{jam}}(t_{\text{out},1}^{(j)}) - q_{\text{min}}}{p_{\text{max}} - (q_{\text{out}}^{(j)\text{jam}}(t_{\text{out},1}^{(j)}) / w_{\text{max}}^{(j)}(t_{\text{out}}^{(j)}))} \quad (26)$$

$$B(t_{\text{out},n}^{(j)}) = \frac{q_{\text{out}}^{(j)\text{jam}}(t_{\text{out},n}^{(j)}) - q_{\text{min}}}{p_{\text{max}} - (q_{\text{out}}^{(j)\text{jam}}(t_{\text{out},n}^{(j)}) / w_{\text{max}}^{(j)}(t_{\text{out},n}^{(j)}))} \quad (27)$$

Όπου από την εξίσωση (5) ισχύει ότι $q_{\text{min}} = 0$

Και από την (3) ορίστηκε ότι $p_{max} = 430 \text{ οχ/km}$

Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι για τον υπολογισμό των θέσεων των μετώπων της κινούμενης φάλαγγας συμφόρησης δεν χρησιμοποιήθηκαν οι τύποι από την επέκταση του μοντέλου ASDA για τις ράμπες εισόδου και εξόδου ((8),(9),(10),(11),(12),(13),(14),(15)). Αυτό δεν έγινε επειδή τα οδικά τμήματα που εξετάστηκαν έχουν σε όλο τους το μήκος ενιαία διατομή και δεν έχουν ράμπες εισόδου και εξόδου. Επιλέχθηκε να αγνοηθούν οι μεταβολές στο ρυθμό ροής που προκαλείται λόγω των αλλαγών της γεωμετρίας της οδού για δύο λόγους. Πρώτον, επειδή υπήρχαν ελλιπή στοιχεία για τους φόρτους των εισερχομένων και εξερχομένων οχημάτων σε ορισμένες ράμπες, και δεύτερον για ελαχιστοποίηση της πολυπλοκότητας στους υπολογισμούς προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή αποφυγή λαθών. Τα οδικά τμήματα που εξετάστηκαν ήταν πολλά και πολύ διαφορετικά μεταξύ τους με αποτέλεσμα, αν χρησιμοποιούνταν οι τύποι της επέκτασης, να απαιτείται επιπλέον εξατομίκευση για το καθένα, γεγονός που αν συνυπολογιστεί και η έλλειψη δεδομένων, σε ορισμένες περιπτώσεις, θα έκανε ιδιαίτερα δυσχερέστερο τον υπολογισμό των θέσεων των μετώπων και κατά συνέπεια του μήκους ουράς σε συνάρτηση με το χρόνο.

Τέλος, όπως προαναφέρθηκε, πάντοτε υπάρχει μία διαφορά Δ ανάμεσα στο υπολογισμένο x_{up}^{jam} (ή x_{down}^{jam}) και στην πραγματική συντεταγμένη του ανάντη (ή κατάντη) μετώπου. Για αυτό το λόγο, έγιναν οι απαραίτητες διορθώσεις που υποδεικνύει ο Kerner βασισμένες στις ανισώσεις (6) και (7) με τον τρόπο ακριβώς που περιγράφηκε παραπάνω.

5*) Τροποποίηση της μεθοδολογίας για τις περιπτώσεις όπου οι ταχύτητες επανέρχονται με ακανόνιστο τρόπο

Η πρακτική εφαρμογή έδειξε ότι σε πολλές περιπτώσεις ατυχημάτων στο κατάντη μέτωπο υπάρχουν σοβαρές αποκλίσεις στον τρόπο με τον οποίο εμφανίζεται η επιτάχυνση των οχημάτων σε σχέση με τον αναμενόμενο. Παρατηρήθηκε ότι η επιτάχυνση των οχημάτων δεν διαδίδεται σαν κύμα, όπως θεωρητικά είχε υποτεθεί ότι συμβαίνει, από τον πλησιέστερο στο συμβάν φωρατή προς τον πιο απομακρυσμένο, αλλά με τρόπο ακανόνιστο ή μερικώς ακανόνιστο.

Οι εξισώσεις του Kerner (16) και (22) δεν μπορούν να βρουν εφαρμογή αν δεν ισχύει η κυματική διάδοση της επιτάχυνσης σε όλο το μήκος της οδού. Για να ξεπεραστεί αυτό το εμπόδιο, οι εξισώσεις εφαρμόστηκαν ως εξής:

Λαμβάνοντας ως δεδομένη τη χρονική στιγμή όπου ο πλησιέστερος στο συμβάν φωρατής δείχνει ότι οι τιμές των ταχυτήτων επανέρχονται στο φυσιολογικό, ξεκινούσε η εφαρμογή της εξίσωσης (22) αγνοώντας όλες τις υπόλοιπες χρονικές στιγμές όπου η κυκλοφορία επανέρχεται στους άλλους φωρατές. Η αριθμητική τιμή της θέσης του κύματος που προέκυπε για το κάθε πεντάλεπτο «υποδείκνυε» τη χρονική στιγμή όπου το κατάντη μέτωπο σε «κανονικές συνθήκες» θα έφτανε στη θέση του κάθε φωρατή. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβανόταν μέχρι να εντοπιστεί η χρονική στιγμή όπου το μέτωπο έφτανε και στον τελευταίο φωρατή.

Με τον τρόπο αυτό, προέκυψε μια αναπαράσταση του τρόπου αποκατάστασης της κυκλοφορίας εάν ίσχυε η κυματική διάδοση της επιτάχυνσης. Η αναπαράσταση όμως αυτή, σε πολλές περιπτώσεις,

οδηγεί σε μεγάλες αποκλίσεις της συνολικής χρονικής διάρκειας της ουράς που δεν μπορούν να αμεληθούν.

6) Μόρφωση της χωροχρονικής καμπύλης

6 α) Η χωροχρονική καμπύλη βασισμένη στις εξισώσεις του Kerner

Οι εξισώσεις του Kerner (1) και (2) (ή (16) και (22)) δίνουν την απόσταση του μετώπου του κύματος σε κάθε πεντάλεπτο από το “σταθερό σημείο αναφοράς”.

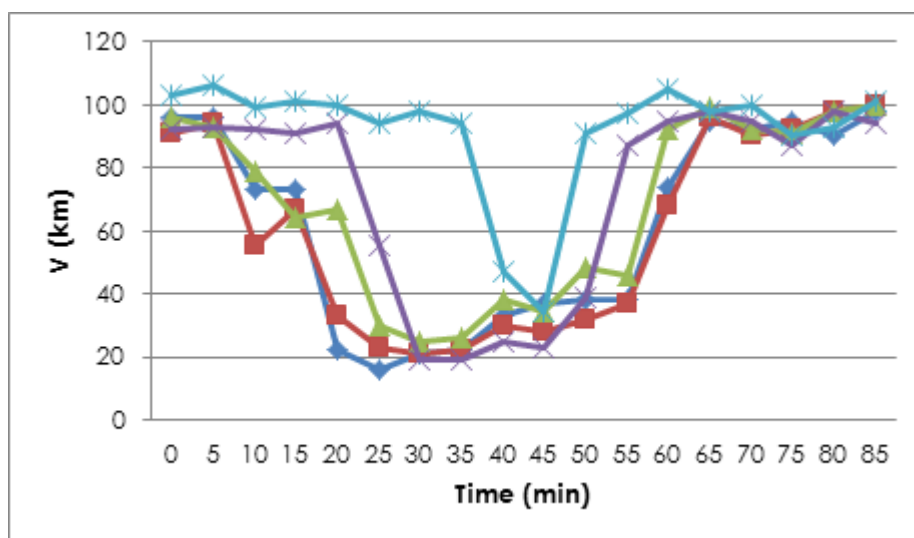
Αφαιρώντας τις τιμές αυτές από την απόσταση του πλησιέστερου φωρατή από το τη συντεταγμένη στον άξονα των x του “σταθερού σημείου αναφοράς”, προκύπτει το μήκος της ουράς ανά πεντάλεπτο κατά τη φάση σχηματισμού της.

Αφαιρώντας από τις τιμές αυτές την απόσταση τελευταίου σημείου που πέρασε το ανάντη μέτωπο από το “σταθερό σημείο αναφοράς” (όπως υπολογίστηκε από τις εξισώσεις) προκύπτει το μήκος της ουράς ανά πεντάλεπτο κατά τη φάση αποσχηματισμού της.

6 β) Η πραγματική χωροχρονική καμπύλη σύμφωνα με τα δεδομένα

Όπως προαναφέρθηκε, είναι πολύ συχνό να υπάρχουν αποκλίσεις από τον “αναμενόμενο” τρόπο αποσχηματισμού της ουράς τόσο χρονικές όσο και χωρικές. Για να επιτευχθεί, λοιπόν, μία όσο το δυνατόν ρεαλιστικότερη αποτύπωση της χωροχρονικής καμπύλης εφαρμόστηκε και μία άλλη, πιο απλουστευμένη, μέθοδος. Η μέθοδος αυτή βασίζεται μόνο στην πτώση των ταχυτήτων, όπως αυτή καταγράφεται από τις μετρήσεις των φωρατών, για την ανίχνευση των περιοχών

συμφόρησης. Στο διάγραμμα 9 φαίνονται οι καταγεγραμμένες τιμές ταχυτήτων σε συνάρτηση με το χρόνο από 5 φωρατές που βρίσκονταν ανάντη ενός συμβάντος.



Διάγραμμα 9: Αναπαράσταση πτώσης ταχυτήτων μετρημένων από φωρατές σε συνάρτηση με το χρόνο (ατύχημα διάρκειας 55 λεπτών)

Καταγράφηκε για κάθε πεντάλεπτο από την έναρξη του περιστατικού και έπειτα ποιοι φωρατές έχουν μειωμένες ταχύτητες (σύμφωνα με τα κριτήρια Α και Β). Αφαιρώντας για κάθε χρονικό διάστημα τη χιλιομετρική θέση του τελευταίου φωρατή που αποτυπώνει επιρροή στις ταχύτητες από τη χιλιομετρική θέση του συμβάντος προέκυπτε εκ νέου το μήκος της ουράς ανά πεντάλεπτο κατά τη φάση σχηματισμού της και αποσχηματισμού αντίστοιχα.

Με τον τρόπο αυτό, ανεξάρτητα από τον τρόπο σχηματισμού και αποσχηματισμού των περιοχών συμφόρησης, οι χωροχρονικές καμπύλες που σχηματίστηκαν με αυτή τη μέθοδο αναπαριστούν το φαινόμενο όπως πραγματικά εξελίχθηκε. Αν και αυτή η μέθοδος αποτυπώνει την ουρά σε χωρικό και χρονικό επίπεδο πολύ πιο ρεαλιστικά, έχει το μειονέκτημα ότι τα μήκη της ουράς προκύπτουν

μόνο από τις θέσεις των φωρατών σε αντίθεση με τον παραπάνω τρόπο όπου έχουμε το πλεονέκτημα πολλών ενδιάμεσων τιμών.

4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στην παράγραφο 4.2 εφαρμόστηκε σε συνολικό δείγμα 1287 συμβάντων. Τα περιστατικά αυτά έλαβαν χώρα στην Αττική οδό, στις κατευθύνσεις προς Ελευσίνα και προς Αεροδρόμιο, σε όλη τη διάρκεια των ετών 2007 (668 συμβάντα) και 2009 (619 συμβάντα).

Όπως φαίνεται και στους πίνακες 1 και 2, 981 συμβάντα (76,22%), δεν ικανοποιούσαν τα κριτήρια 3Α και 3Β, δηλαδή, δεν παρατηρήθηκε σε αυτά αισθητή μεταβολή στις ταχύτητες των οχημάτων έπειτα από το ατύχημα. Κατά συνέπεια, θεωρήθηκε ότι τα περιστατικά αυτά δεν προκάλεσαν συμφόρηση στην οδό. Σε συνολικά 235 συμβάντα (18,26%), όμως, τα κριτήρια 3Α και 3Β ικανοποιούνταν, δηλαδή, οι ταχύτητες μειώθηκαν αρκετά ώστε να δημιουργηθεί συμφόρηση μετά από την εμφάνισή τους. Από το συνολικό δείγμα βρέθηκαν και 71 (5,52%) καταγεγραμμένα περιστατικά στα οποία τα στοιχεία της «Βάσης Δεδομένων των Φωρατών» ήταν ελλιπή ή απουσίαζαν εντελώς, στα οποία δεν ήταν δυνατό να γίνει καμία επεξεργασία και επομένως απορρίφθηκαν.

Πίνακας 1: Στοιχεία συμβάντων 2007

	ΣΥΜΒΑΝΤΑ ΧΩΡΙΣ ΕΠΙΡΡΟΗ ΣΤΙΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ		ΣΥΜΒΑΝΤΑ ΜΕ ΕΠΙΡΡΟΗ ΣΤΙΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ		ΣΥΜΒΑΝΤΑ ΜΕ ΕΛΛΙΠΗ Ή ΚΑΘΟΛΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΑ		ΣΥΝΟΛΟ	
	A	%	A	%	A	%	A	%
2007_1	244	76,01	61	19,00	16	4,98	321	100
2007_2	268	77,23	64	18,44	15	4,32	347	100
2007	512	76,65	125	18,71	31	4,64	668	100

Πίνακας 2: Στοιχεία συμβάντων 2009

	ΣΥΜΒΑΝΤΑ ΧΩΡΙΣ ΕΠΙΡΡΟΗ ΣΤΙΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ		ΣΥΜΒΑΝΤΑ ΜΕ ΕΠΙΡΡΟΗ ΣΤΙΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ		ΣΥΜΒΑΝΤΑ ΜΕ ΕΛΛΙΠΗ Ή ΚΑΘΟΛΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΑ		ΣΥΝΟΛΟ	
	A	%	A	%	A	%	A	%
2009_1	229	72,24	64	20,19	24	7,57	317	100
2009_2	240	79,47	46	15,23	16	5,30	302	100
2009	469	75,77	110	17,77	40	6,46	619	100

Σε κάθε περιστατικό όπου τα κριτήρια 3Α και 3Β ικανοποιούνταν, έγινε ξεχωριστά η εφαρμογή όλων των βημάτων (1 έως 6) που αναφέρονται στη μεθοδολογία, με στόχο το σχηματισμό της χωροχρονικής καμπύλης εξέλιξης της συμφοράς στη περιοχή πίσω από τη χιλιομετρική θέση του ατυχήματος.

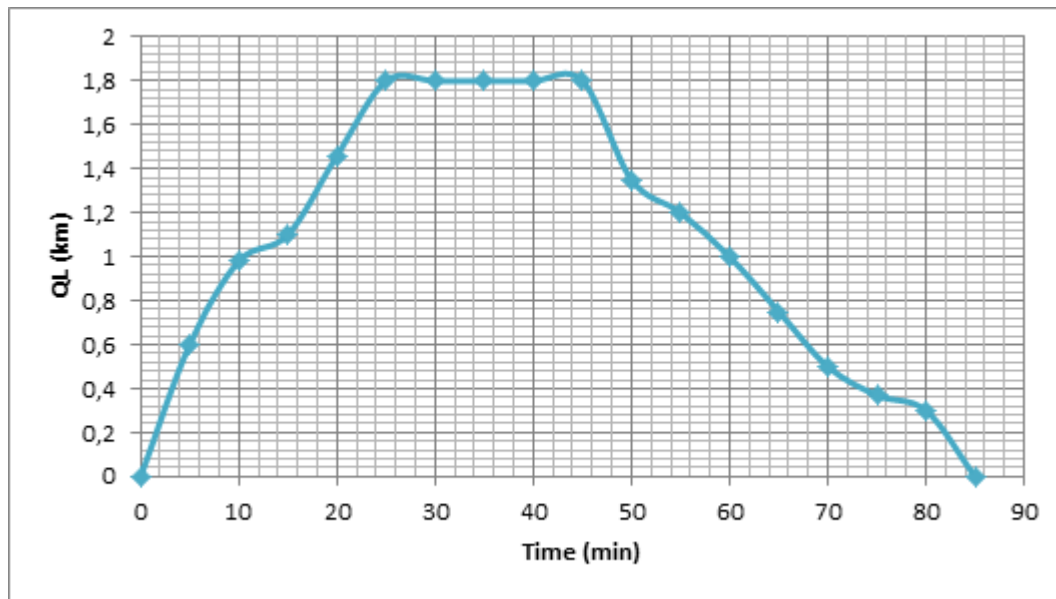
Κατά την εφαρμογή της παραπάνω διαδικασίας, παρατηρήθηκαν, σε ένα όχι αμελητέο ποσοστό συμβάντων, αποκλίσεις στον τρόπο αποσχηματισμού των ουρών σε χωρικό αλλά και σε χρονικό επίπεδο. Έχει προαναφερθεί ότι ο αναμενόμενος τρόπος σχηματισμού μίας ουράς, μετά από ένα ατύχημα, είναι τα οχήματα που διέρχονται από το πλησιέστερο σημείο του περιστατικού, να επιβραδύνουν πρώτα και στη συνέχεια να επιβραδύνουν τα διερχόμενα από τα αμέσως επόμενα σημεία βαθμιαία. Σε απόλυτη αντιστοιχία, οι ταχύτητες των οχημάτων επανέρχονται σε φυσιολογικές τιμές πρώτα στο πλησιέστερο σημείο στο ατύχημα και μετά στα υπόλοιπα προοδευτικά.

Στον πίνακα 3 φαίνονται οι τιμές από ένα πραγματικό συμβάν, στο οποίο η συμφορά σχηματίζεται και αποσχηματίζεται με τον αναμενόμενο τρόπο. Οι στήλες με τα έντονα γράμματα αποτυπώνουν τις ταχύτητες που καταγράφηκαν από τον κάθε φωρατή, των οποίων η χιλιομετρική θέση αναγράφεται στην κορυφή της κάθε στήλης. Με τα διαφορετικά χρώματα

επισημαίνονται τα πεντάλεπτα στα οποία για πρώτη φορά οι ταχύτητες μειώνονταν ή αυξάνονταν σε κάθε φωρατή. Δηλαδή υποδεικνύουν τη χρονική στιγμή όπου το μέτωπο του κύματος της επιβράδυνσης ή της επιτάχυνσης έφτανε στο συγκεκριμένο σημείο. Είναι εμφανές ότι και τα δύο μέτωπα κινούνται διαδοχικά με κατεύθυνση από τον πρώτο στον τελευταίο φωρατή. Στο διάγραμμα 10 φαίνεται και η αντίστοιχη «καμπύλη προόδου συμβάντος».

Πίνακας 3: Τιμές ταχυτήτων και ρυθμού ροής καταγεγραμμένες από φωρατές ανά πεντάλεπτο για το ατύχημα #314#

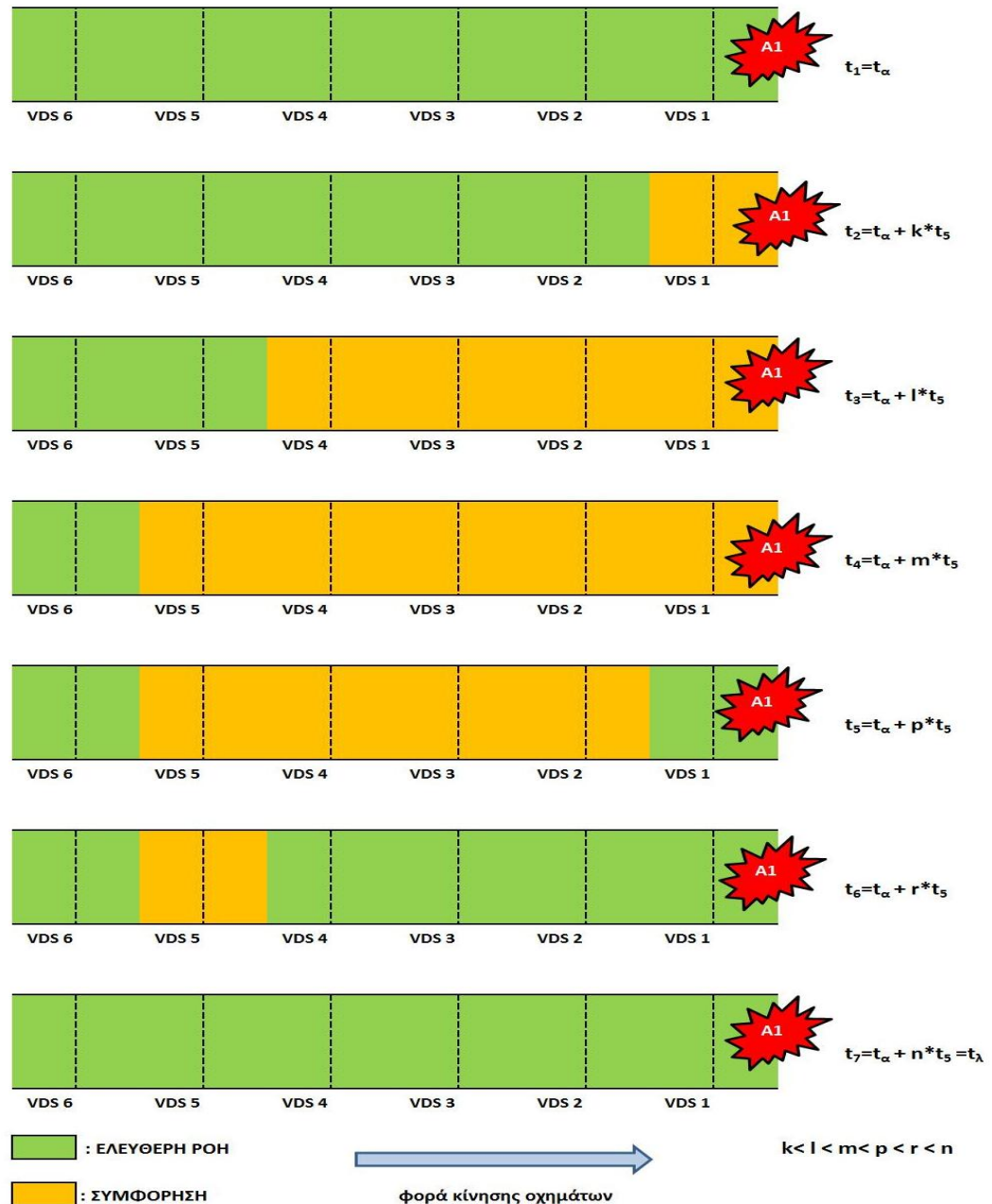
		VDS A 28.00			VDS A 27.40			VDS A 26.90			VDS A 26.20		
15	0	369	4428	76	282	3384	42	271	3252	49	399	4788	81
15	5	379	4548	78	278	3336	45	250	3000	48	392	4704	81
15	10	381	4572	79	272	3264	40	258	3096	51	391	4692	83
15	15	297	3564	57	256	3072	41	284	3408	45	403	4836	81
15	20	178	2136	14	172	2064	28	240	2880	34	406	4872	71
15	25	127	1524	10	111	1332	9	161	1932	32	336	4032	74
15	30	139	1668	12	107	1284	3	124	1488	31	167	2004	61
15	35	180	2160	13	86	1032	4	105	1260	8	161	1932	55
15	40	229	2748	21	157	1884	5	114	1368	11	126	1512	48
15	45	133	1596	20	91	1092	7	98	1176	16	121	1452	18
15	50	238	2856	21	165	1980	5	208	2496	22	249	2988	21
15	55	325	3900	30	189	2268	6	206	2472	20	306	3672	26
16	0	372	4464	39	272	3264	10	265	3180	29	290	3480	31
16	5	355	4260	50	280	3360	12	297	3564	34	399	4788	45
16	10	346	4152	49	239	2868	9	247	2964	26	380	4560	42
16	15	406	4872	57	296	3552	12	278	3336	29	312	3744	30
16	20	401	4812	57	285	3420	14	290	3480	40	396	4752	47
16	25	424	5088	59	300	3600	46	299	3588	35	416	4992	44
16	30	404	4848	64	290	3480	49	280	3360	34	388	4656	44
16	35	384	4608	78	298	3576	54	284	3408	38	384	4608	51
16	40	422	5064	79	329	3948	51	326	3912	55	470	5640	59
16	45	430	5160	81	298	3576	59	277	3324	60	429	5148	91
16	50	331	3972	94	273	3276	49	275	3300	51	389	4668	94



Διάγραμμα 10: Καμπύλη μήκους ουράς-χρόνου για το ατύχημα #314#

Μία πιο παραστατική απεικόνιση της πορείας του φαινομένου στην οδό φαίνεται και από το σχήμα 8. Σε αυτό φαίνεται η κυκλοφοριακή κατάσταση που επικρατεί σε ένα τμήμα της οδού ανάντη του ατυχήματος σε 7 διαφορετικές χρονικές στιγμές. Με τον όρο VDS 1 παριστάνεται ο πλησιέστερος φωρατής στο συμβάν, ενώ με τον όρο VDS 5 ο τελευταίος, του οποίου οι μετρημένες τιμές ταχυτήτων επηρεάζονται. Ο VDS 6 είναι ένας φωρατής στον οποίο δεν καταγράφηκε καμία μεταβολή ταχυτήτων λόγω του ατυχήματος. Με πράσινο χρώμα συμβολίζονται οι συνθήκες ελεύθερης ροής, ενώ με πορτοκαλί, η συμφόρηση. Το ατύχημα συμβαίνει κατά τη χρονική στιγμή t_a και σταματά να επηρεάζει τις συνθήκες κυκλοφορίας έπειτα από n πεντάλεπτα στη χρονική στιγμή t_L . Μέχρι και τη χρονική στιγμή t_4 παρατηρείται ο σχηματισμός της ουράς, δηλαδή έχει διέλθει μόνο το μέτωπο επιβράδυνσης. Από τη στιγμή εκείνη κι έπειτα, ξεκινά η διέλευση και του μετώπου της επιτάχυνσης, μέχρι τον πλήρη αποσχηματισμό της περιοχής συμφόρησης τη στιγμή $t_7(=t_L)$. Είναι εμφανές ότι ο αποσχηματισμός αρχίζει από τη θέση του πλησιέστερου φωρατή και συνεχίζεται προς τους επόμενους

αντίθετα από την κατεύθυνση της κυκλοφορίας μέχρις ότου επικρατήσουν ξανά συνθήκες ελεύθερης ροής.



Σχήμα 8: Απεικόνιση αναμενόμενου τρόπου σχηματισμού και αποσχηματισμού περιοχής συμφόρησης ανάντη ατυχήματος

Ο τρόπος αποσχηματισμού της περιοχής συμφόρησης σε 124 (52,8%) συμβάντα, όμως αποκλίνει σημαντικά από το παραπάνω μοντέλο. Οι

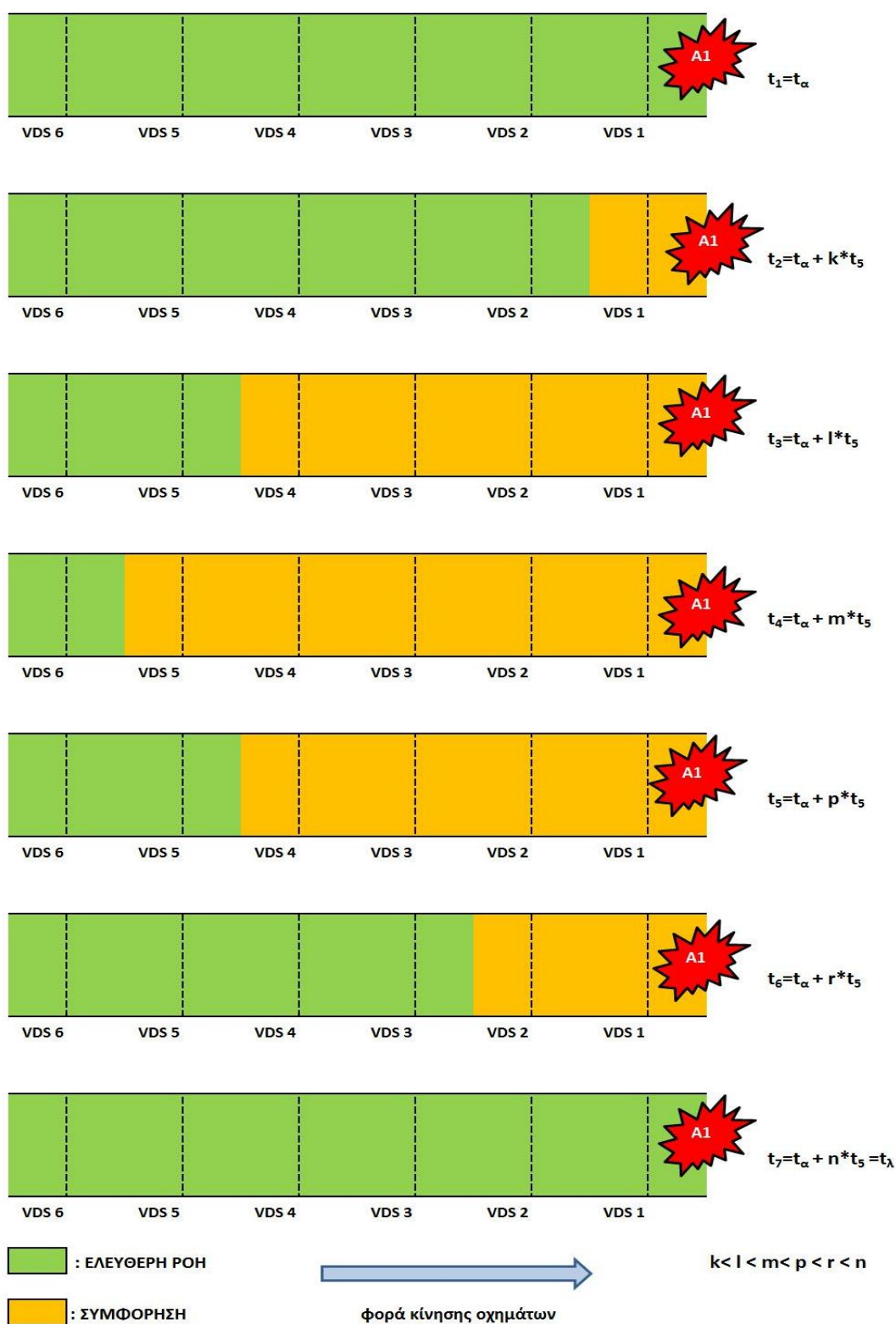
μετρήσεις των φωρατών οδηγούν στο συμπέρασμα ότι στην πραγματικότητα συμβαίνει κάτι σχετικά διαφορετικό, έως και απολύτως το αντίθετο.

Παρατηρήθηκαν δύο βασικοί διαφορετικοί τύποι ακανόνιστου αποσχηματισμού της ουράς:

- Ο «αντίθετος» στον οποίο οι ταχύτητες στο σημείο του πιο απομακρυσμένου φωρατή επανέρχονται σε λογικές τιμές πρώτα και ακολουθεί δεύτερο το σημείο του προτελευταίου, και τέλος επανέρχονται στο σημείο του πλησιέστερου στο ατύχημα. Αυτό μπορεί να φανεί και από τον πίνακα 4 όπου παρουσιάζεται μία πραγματική περίπτωση «αντίθετου» αποσχηματισμού της ουράς.

Πίνακας 4: Τιμές ταχυτήτων και ρυθμού ροής καταγεγραμμένες από φωρατές ανά πεντάλεπτο για το ατύχημα #312#

		VDS A 24.40			VDS A 23.69			VDS A 23.30		
18	0	343	4116	23	395	4740	23	186	2232	57
18	5	371	4452	22	413	4956	25	192	2304	81
18	10	377	4524	23	447	5364	30	169	2028	86
18	15	428	5136	31	408	4896	27	165	1980	85
18	20	339	4068	25	458	5496	51	157	1884	99
18	25	231	2772	14	365	4380	23	174	2088	78
18	30	160	1920	10	321	3852	11	148	1776	57
18	35	192	2304	9	274	3288	10	101	1212	14
18	40	292	3504	15	263	3156	7	78	936	8
18	45	359	4308	23	365	4380	10	111	1332	9
18	50	381	4572	24	455	5460	20	137	1644	30
18	55	381	4572	21	405	4860	23	127	1524	89
19	60	395	4740	28	451	5412	67	123	1476	100
19	65	381	4572	47	425	5100	62	126	1512	106
19	70	349	4188	95	420	5040	74	130	1560	103
19	75	320	3840	91	394	4728	68	122	1464	107
19	80	332	3984	96	387	4644	58	125	1500	110
19	85	289	3468	94	359	4308	68	101	1212	98
19	90	300	3600	95	365	4380	78	112	1344	109



Σχήμα 9: Απεικόνιση σχηματισμού και «αντίθετου» τρόπου αποσχηματισμού περιοχής συμφόρησης ανάτη ατοχήματος

Στο σχήμα 9 παρουσιάζεται μία αντίστοιχη απεικόνιση με αυτή του σχήματος 8 για τις περιπτώσεις όπου παρατηρείται ο «αντίθετος» τύπος αποσχηματισμού της περιοχής συμφόρησης ανάντη ενός συμβάντος. Φαίνεται ότι από τη χρονική στιγμή t_a μέχρι και την t_4 ο σχηματισμός της ουράς συμβαίνει όπως ακριβώς και στη γενική περίπτωση. Από τη χρονική στιγμή t_5 όμως κι έπειτα, όπου τα οχήματα αρχίζουν να επιταχύνουν διαφοροποιείται εντελώς από αυτή. Στην περιοχή του τελευταίου φωρατή (VDS 5) τα οχήματα επιταχύνουν κατά τη χρονική στιγμή t_5 , δηλαδή νωρίτερα από όλες τις υπόλοιπες θέσεις. Αντίθετα, στην περιοχή του πλησιέστερου φωρατή η επιτάχυνση έρχεται στο χρόνο $t_7(=t_l)$. Δηλαδή, στη θέση του πλησιέστερου φωρατή επικρατούν συνθήκες χαμηλών ταχυτήτων και υψηλής πυκνότητας από την έναρξη μέχρι και τη λήξη της δημιουργίας της περιοχής συμφόρησης.

- Ο «μερικώς αντίθετος» στον οποίο ενώ ο αποσχηματισμός ξεκινά κανονικά κατά τον αναμενόμενο τρόπο, από τον πλησιέστερο φωρατή στους επόμενους, από κάποια χρονική στιγμή και μετά οι ταχύτητες αυξάνονται από τον τελευταίο προς τους αμέσως προηγούμενους. Στην περίπτωση αυτή στον πίνακα δεδομένων σχηματίζεται το χαρακτηριστικό σχήμα του κυρτού τόξου, όπως φαίνεται και στον πίνακα 5.

Από την απεικόνιση του σχήματος 10 για τον «μερικώς αντίθετο» τύπο αποσχηματισμού περιοχής συμφόρησης φαίνεται ότι στην περίπτωση αυτή οι κυκλοφοριακές συνθήκες προκύπτουν από μία μίξη του αναμενόμενου και του «αντίθετου» τρόπου. Τη χρονική στιγμή t_5 και ενώ η ουρά έχει αρχίσει να αποσχηματίζεται κανονικά από τη θέση του πλησιέστερου φωρατή προς τα πίσω, ταυτόχρονα, αποσχηματίζεται και κατά την αντίθετη κατεύθυνση από τη θέση του τελευταίου φωρατή. Αυτό οδηγεί στο ότι καθ' όλο το χρονικό διάστημα από τη χρονική στιγμή t_4 έως την t_7 επικρατούν συνθήκες

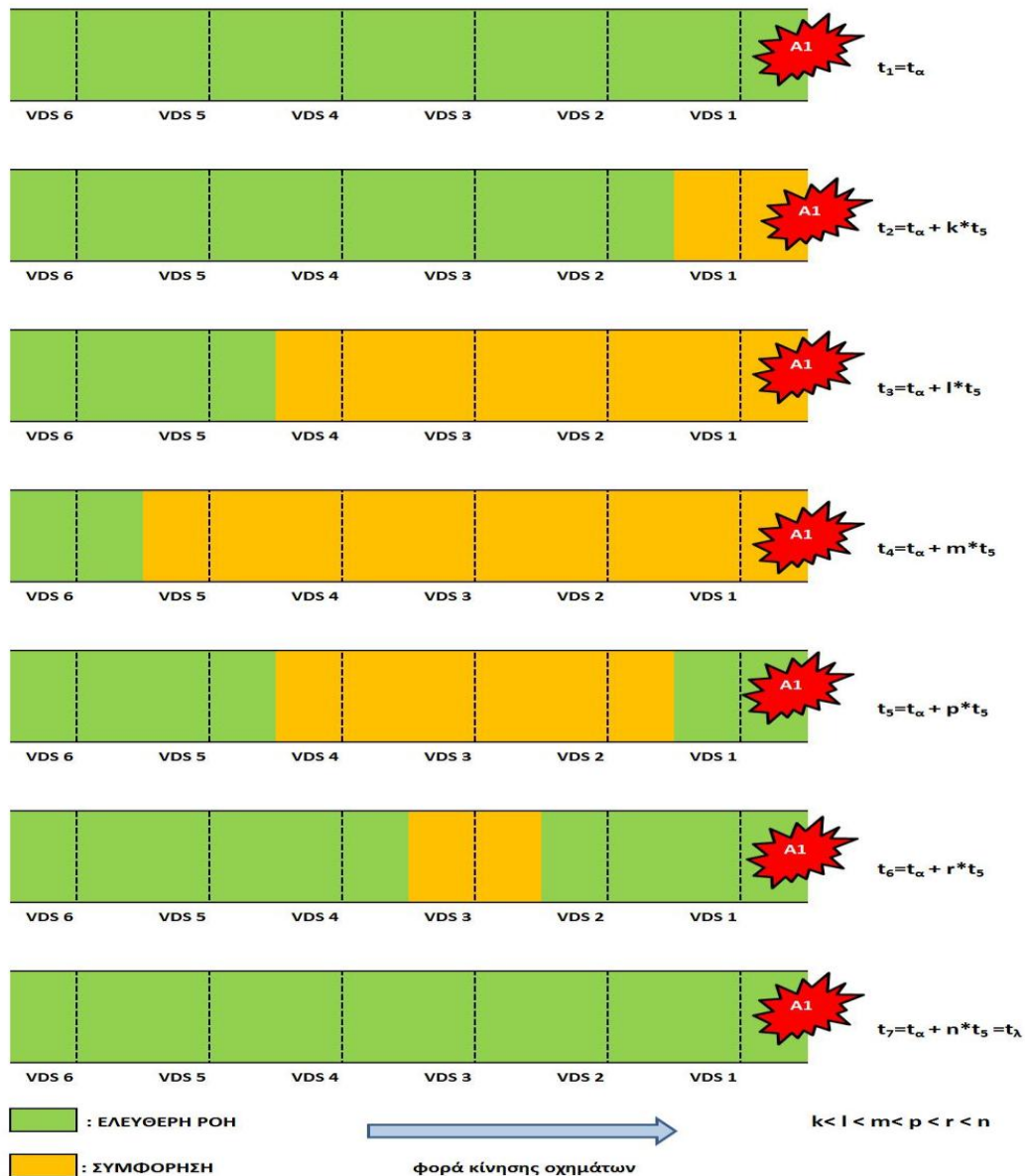
συμφόρησης μόνο σε κάποιο ενδιαμέσο οδικό τμήμα μέχρι να επικρατήσουν παντού συνθήκες ελεύθερης ροής.

Πίνακας 5: Τιμές ταχυτήτων και ρυθμού ροής καταγεγραμμένες από φορατές ανά πεντάλεπτο για το ατόχημα #2055#

		VDS A 25.30			VDS A 24.80			VDS A 23.75			VDS A 23.30		
17	0	332	3984	61	400	4800	48	548	6576	43	210	2520	88
17	5	336	4032	49	363	4356	24	554	6648	33	194	2328	86
18	10	305	3660	30	321	3852	19	509	6108	47	205	2460	75
18	15	309	3708	32	315	3780	22	489	5868	50	174	2088	69
18	20	288	3456	32	318	3816	20	451	5412	31	204	2448	80
18	25	313	3756	32	323	3876	16	448	5376	23	206	2472	74
18	30	345	4140	39	328	3936	18	434	5208	17	203	2436	39
18	35	304	3648	31	311	3732	21	419	5028	13	178	2136	26
18	40	315	3780	34	316	3792	16	403	4836	12	170	2040	38
18	45	405	4860	46	332	3984	15	370	4440	13	191	2292	29
18	50	386	4632	41	374	4488	19	416	4992	13	183	2196	32
18	55	373	4476	39	345	4140	22	492	5904	21	168	2016	68
18	60	440	5280	51	418	5016	23	446	5352	22	172	2064	78
18	65	422	5064	50	378	4536	24	472	5664	27	157	1884	71
19	70	408	4896	51	385	4620	24	525	6300	54	174	2088	70
19	75	435	5220	50	377	4524	44	489	5868	50	146	1752	81
19	80	414	4968	60	388	4656	47	532	6384	57	168	2016	67
19	85	438	5256	62	393	4716	43	453	5436	54	155	1860	73
19	90	397	4764	74	382	4584	46	446	5352	50	158	1896	72
19	95	360	4320	82	381	4572	43	447	5364	59	146	1752	52
19	100	345	4140	84	346	4152	43	408	4896	57	157	1884	48

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο «αντίθετος» τύπος αποσχηματισμού εμφανίστηκε σε 47 συμβάντα, δηλαδή, αποτελεί το 37,9% επί του συνόλου των ατυχημάτων που παρουσίασαν διαφορετικό τρόπο αποσχηματισμού ουράς από τον αναμενόμενο. Αντίστοιχα στην κατηγορία του «μερικώς αντίθετου» τύπου βρέθηκαν 56 συμβάντα δηλαδή ποσοστιαία το 45,2%. Υπήρξαν, όμως, και 21

συμβάντα (16,9%) στα οποία ο αποσχηματισμός ήταν απολύτως ακανόνιστος και ήταν αδύνατο να ενταχθούν σε κάποια κατηγορία.

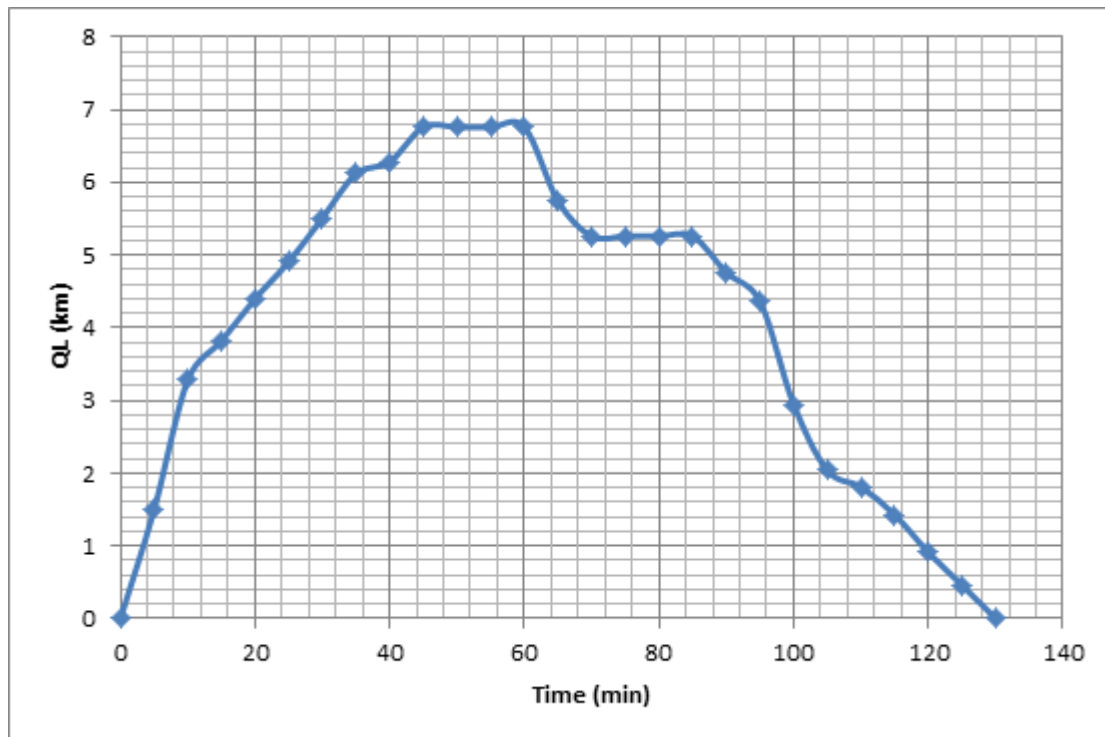


Σχήμα 10: Απεικόνιση σχηματισμού και «μερικώς αντίθετου» τρόπου αποσχηματισμού περιοχής συμφοράς ανάντη ατυχήματος

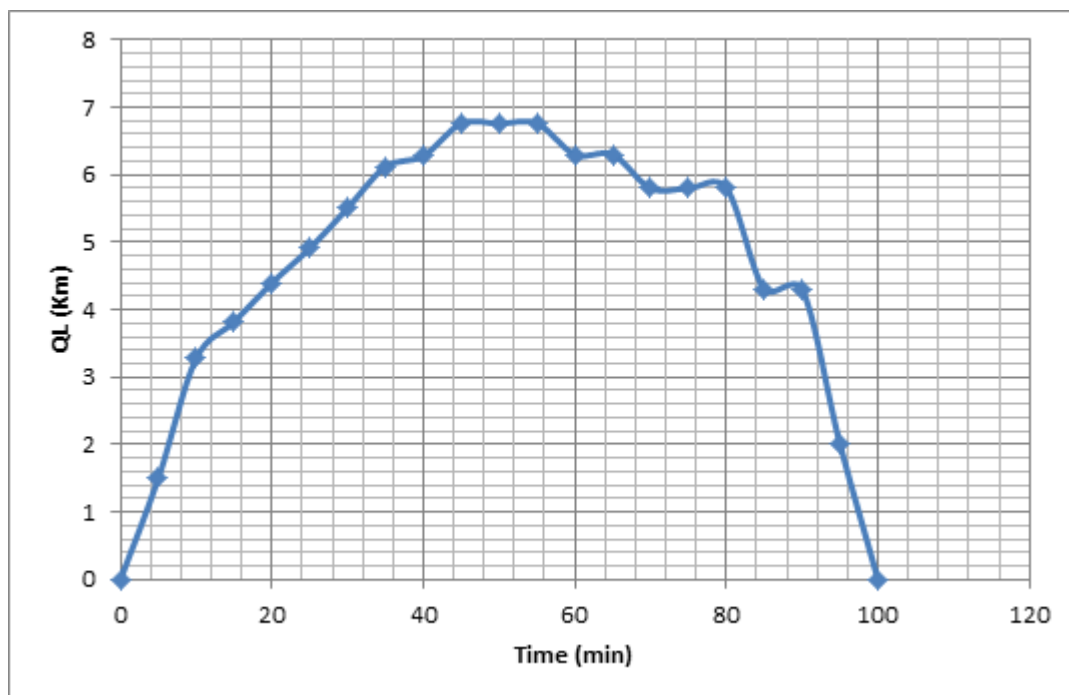
Σε όλες τις περιπτώσεις που προαναφέρθηκαν, εφαρμόστηκε το τροποποιημένο βήμα 5* όπως αναλύθηκε και στη μεθοδολογία. Η διαδικασία αυτή κατέληγε στο σχηματισμό δύο χωροχρονικών καμπυλών για το κάθε περιστατικό. Η πρώτη απεικόνιζε το μήκος της ουράς σε συνάρτηση με το χρόνο σύμφωνα με τις εξισώσεις του Kerner, λαμβάνοντας όμως υπόψη μόνο τη χρονική στιγμή όπου τα οχήματα αρχίζουν να επιταχύνουν στον πλησιέστερο στο συμβάν φωρατή. Η δεύτερη, απεικόνιζε το πραγματικό μήκος της ουράς σε συνάρτηση με το χρόνο, όπως ακριβώς αποτυπώθηκε από τα δεδομένα των ταχυτήτων που καταγράφηκαν από τους φωρατές. Στην πλειοψηφία των περιστατικών, η χρονική διάρκεια της συμφόρησης στην πρώτη καμπύλη ήταν μεγαλύτερη από την πραγματική αποκλίνοντας από μερικά λεπτά της ώρας μέχρι και περισσότερο από μια ώρα. Το γεγονός αυτό μπορεί να οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι η αντικατάσταση της πραγματικής καμπύλης με την καμπύλη που παράγεται σύμφωνα με τις εξισώσεις Kerner, έτσι όπως εφαρμόστηκαν στην ειδική αυτή περίπτωση, δεν είναι πάντοτε εφικτή γιατί μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες εκτιμήσεις.

Στα διαγράμματα 11 και 12 παρουσιάζονται οι δύο καμπύλες ενός συμβάντος που μελετήθηκε και παρουσίασε ακανόνιστο τρόπο αποσχηματισμού της περιοχής συμφόρησης. Είναι εμφανές ότι η χρονική διάρκεια της συμφόρησης με τη χρήση των εξισώσεων του Kerner προκύπτει κατά 30 λεπτά μεγαλύτερη από την πραγματική χρονική διάρκεια της συμφόρησης. Στα διαγράμματα 13 και 14 απεικονίζονται οι περιοχές συμφόρησης όπως εξελίσσονται σε συνάρτηση με το χρόνο και στις δύο περιπτώσεις για το ίδιο ατύχημα. Με κόκκινο χρώμα συμβολίζεται η περιοχή συμφόρησης και με μπλε η μη συμφορημένη περιοχή. Από τα σχήματα αυτά μπορεί να φανεί ότι εκτός από την απόκλιση στη χρονική διάρκεια που παρουσιάζουν οι δύο τρόποι, υπάρχουν και μεγάλες διαφορές στα σημεία που εντοπίζεται η συμφόρηση. Για παράδειγμα, στη χιλιομετρική θέση 30,5 ενώ επικρατούσαν χαμηλές ταχύτητες από το δέκατο έως το εκατοστό λεπτό χρησιμοποιώντας την

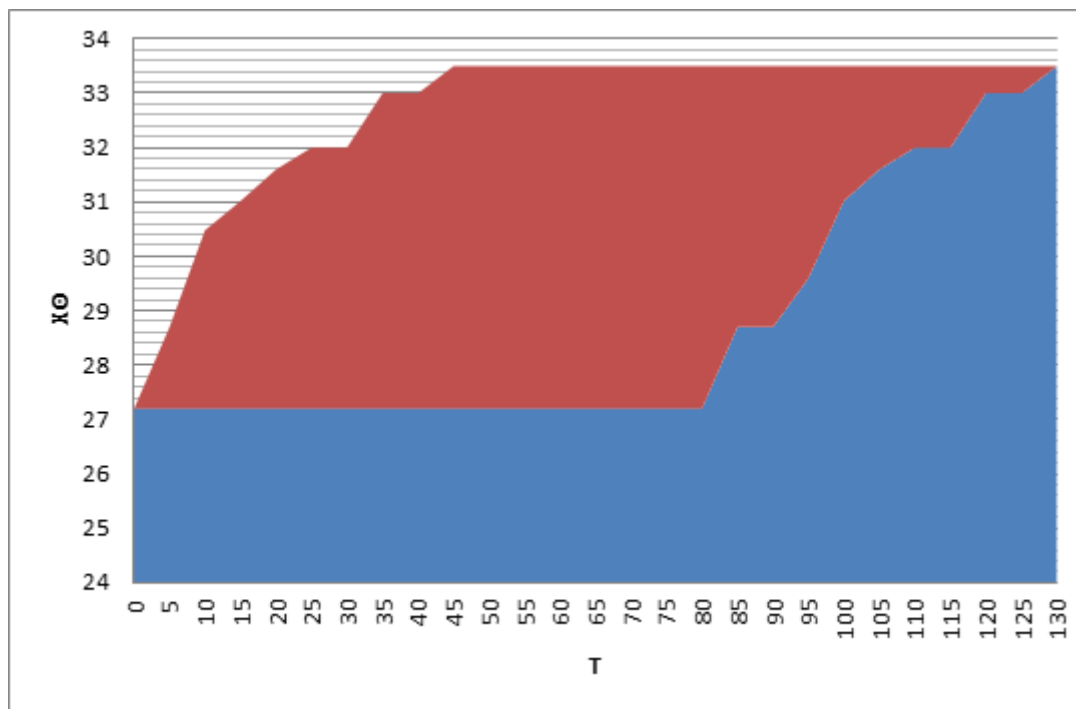
τροποποίηση για τις εξισώσεις Kerner παρουσιάζεται ότι οι ταχύτητες επανήλθαν ενενήντα λεπτά μετά το ατύχημα. Επίσης στη χιλιομετρική θέση 33,5 ενώ συμφόρηση υπήρχε πραγματικά από το τεσσαρακοστό πέμπτο λεπτό έως το εξηκοστό πέμπτο, στο διάγραμμα 12 φαίνεται να διήρκεσε μέχρι το εκατοστό τριακοστό λεπτό.



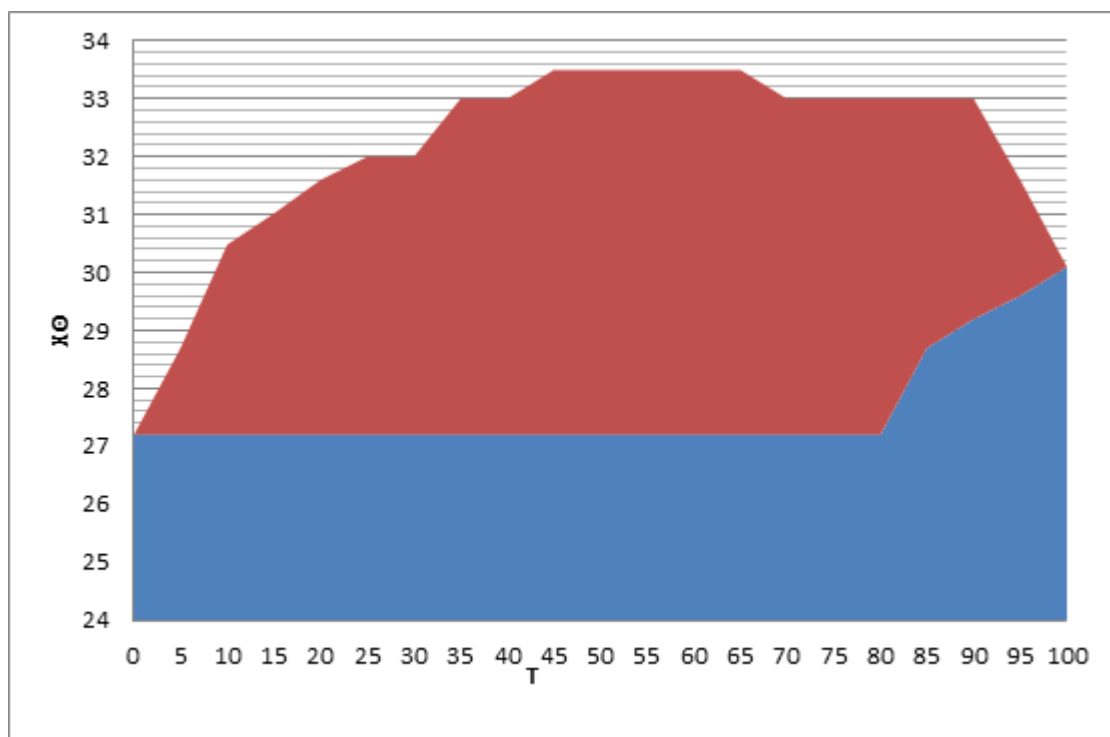
Διάγραμμα 11: Καμπύλη μήκους ουράς-χρόνου σχηματισμένη ακολουθώντας τις εξισώσεις Kerner



Διάγραμμα 12: Πραγματική καμπύλη μήκους ουράς-χρόνου



Διάγραμμα 13: Περιοχές συμφόρησης κατά μήκος της οδού σε συνάρτηση με το χρόνο ακολουθώντας τις εξισώσεις Kerner



Διάγραμμα 14: Πραγματικές περιοχές συμφόρησης κατά μήκος της οδού σε συνάρτηση με το χρόνο

4.4 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΑΚΑΝΟΝΙΣΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΑΠΟΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ

Η ερμηνεία του φαινομένου, που εξηγήθηκε παραπάνω, δεν είναι ούτε απλή ούτε προφανής. Σε καθεμία περίπτωση συμμετέχουν πολλοί και διαφορετικοί παράγοντες. Οι κυκλοφοριακές και οι καιρικές συνθήκες, η τοποθεσία και η γεωμετρία της οδού συμβάλλουν αποφασιστικά στον τρόπο με τον οποίο αποσχηματίζεται η περιοχή συμφόρησης.

Σύμφωνα με την αρχική υπόθεση, μετά από ένα συμβάν, οι ταχύτητες των οχημάτων καθορίζονται από τη διέλευση της κινούμενης φάλαγγας συμφόρησης (wide moving jam). Όταν δηλαδή αφιχθεί το ανάντη μέτωπο της επιβράδυνσης, σε μία περιοχή της οδού, τα οχήματα που κινούνται εκεί βρίσκονται στην περιοχή συμφόρησης κινούμενα με πολύ χαμηλές ταχύτητες. Αυτό συμβαίνει μέχρι να διέλθει το κατάντη μέτωπο της επιτάχυνσης όπου, από τη στιγμή εκείνη κι έπειτα, τα οχήματα ανακτούν την ταχύτητά τους και κινούνται σε συνθήκες ελεύθερης ροής.

Παρατηρώντας, όμως, τις περιπτώσεις όπου η επιτάχυνση έγινε ακανόνιστα, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η έννοια του κατάντη μετώπου της κινούμενης φάλαγγας συμφόρησης ουσιαστικά απουσιάζει. Αυτό μπορεί να φανεί παραστατικά με τη βοήθεια του πίνακα 4 όπου στη χρονική στιγμή 55 στον πιο απομακρυσμένο φωρατή (VDS A 23.30) οι ταχύτητες έχουν επανέλθει σε φυσιολογικές τιμές, ενώ σε όλους τους προηγούμενους παραμένουν αισθητά μειωμένες. Κάτι τέτοιο φανερώνει ότι το κατάντη μέτωπο, αν υποθεθεί ότι υπάρχει, πρώτα βρέθηκε στο τέλος της περιοχής συμφόρησης και μετά μετακινήθηκε προς την αρχή της, το οποίο είναι άτοπο.

Για την εξήγηση του φαινομένου εντοπίστηκαν ορισμένοι πιθανοί παράγοντες στους οποίους μπορεί να οφείλεται ο ακανόνιστος αποσχηματισμός της ουράς. Οι παράγοντες αυτοί, στις περισσότερες περιπτώσεις, δρουν συνδυαστικά και για το λόγο αυτό είναι πιο δύσκολο να

εξαχθεί κάποιο ασφαλές συμπέρασμα για το κατά πόσο επιδρά ο καθένας στο φαινόμενο. Οι βασικότεροι παράγοντες που εντοπίστηκαν είναι οι εξής:

1) Παρουσία εισόδων και εξόδων στο οδικό δίκτυο

Η Αττική οδός διαθέτει μεγάλο πλήθος εισόδων και εξόδων σε όλο της το μήκος ανά τακτές αποστάσεις. Σε πολλές περιπτώσεις, κατά μήκος της περιοχής συμφόρησης, παρεμβάλλονταν εισοδοί στον αυτοκινητόδρομο ή έξοδοι από αυτόν ή ακόμα και τα δύο. Η παρουσία εισόδων και εξόδων προκαλεί διαταραχές στο ρυθμό ροής των οχημάτων αλλά και στην πυκνότητα στα οδικά τμήματα που βρίσκονται πριν και μετά από αυτές.

Είναι προφανές, για παράδειγμα, ότι σε μία συμφορημένη περιοχή εάν υπάρχει κάποια είσοδος όπου την ώρα εκείνη παρουσιάζει μεγάλη ζήτηση, η εισροή επιπλέον φόρτων στο δίκτυο θα δυσχεράνει ακόμα περισσότερο την ήδη επιβαρυνόμενη κυκλοφορία. Με τον τρόπο αυτό θα μπορούσαν να εξηγηθούν κάποιες περιπτώσεις «μερικώς αντίθετου» αποσχηματισμού ουράς. Έστω ότι μία είσοδος βρίσκεται σε ένα ενδιάμεσο σημείο της περιοχής συμφόρησης, τροφοδοτώντας το δίκτυο συνεχώς με επιπλέον οχήματα. Τότε, ενώ στην περιοχή αμέσως μετά τη θέση του ατυχήματος η επιτάχυνση θα διαδίδεται κανονικά με τη μορφή του κατάντη μετώπου, στο σημείο εισόδου οι ταχύτητες θα καθυστερούν να αυξηθούν επειδή τα εισερχόμενα οχήματα αυξάνουν την πυκνότητα στην περιοχή. Από την άλλη μεριά, αν οι φόρτοι που βρίσκονται πίσω από την περιοχή της εισόδου δεν είναι μεγάλοι γρήγορα θα προσεγγίσουν την περιοχή της εισόδου και θα αποδεσμεύσουν την πιο πίσω περιοχή. Οπότε έτσι μπορεί να δημιουργηθεί το μοτίβο του «μερικώς αντίθετου» τρόπου επιτάχυνσης ή ακόμα και του «αντίθετου» εάν η είσοδος βρίσκεται πολύ κοντά στην περιοχή του ατυχήματος και άρα επηρεάζει τα δεδομένα του πλησιέστερου φωρατή.

Στην περίπτωση της ύπαρξης εξόδου από το οδικό δίκτυο, μέσα στην περιοχή συμφόρησης, μπορεί να παρατηρηθεί μία αντίστοιχη κατάσταση. Καθώς ένα μέρος του φόρτου απομακρύνεται από την οδό, η πυκνότητα της κυκλοφορίας μειώνεται, από εκείνο το σημείο και έπειτα, με αποτέλεσμα τη δυνατότητα ανάπτυξης υψηλότερων ταχυτήτων. Όμως στην περιοχή λίγο πριν από τη θέση της εξόδου, είναι πιθανό να παρατηρείται συμφόρηση ακόμα και όταν σε όλη την υπόλοιπη περιοχή η κυκλοφορία έχει αποκατασταθεί. Με αυτόν τον τρόπο, όταν υπάρχουν έξοδοι με μεγάλη ζήτηση στην περιοχή, μπορεί να εξηγηθούν όλοι οι τύποι ακανόνιστου αποσχηματισμού ουράς.

Όπως έχει αναφερθεί και στην παράγραφο 3.3.2 υπάρχουν οι εξισώσεις (8-11) και (12-15) του Kerner για την κινούμενη φάλαγγα συμφόρησης που προβλέπουν την ύπαρξη εισόδων και εξόδων στο δίκτυο. Με αυτές, υπολογίζονται οι πραγματικοί φόρτοι προσθέτοντας ή αφαιρώντας τον κατάλληλο αριθμό οχημάτων για τις εισόδους και τις εξόδους αντίστοιχα. Στην παρούσα εργασία, οι τροποποιημένες αυτές εξισώσεις δεν εφαρμόστηκαν. Είναι σαφές, ότι αν γινόταν χρήση των εξισώσεων (8-11) (12-15) τα αποτελέσματα θα αναπαριστούσαν το φαινόμενο καλύτερα, όμως υπήρξαν δύο βασικοί λόγοι οι οποίοι λειτούργησαν αποτρεπτικά σε αυτό. Πρώτον, επειδή τα δεδομένα των φωρατών που βρίσκονται σε πολλές από τις εισόδους και τις εξόδους της περιοχής μελέτης ήταν ελλιπή και επομένως θα έπρεπε να απορριφθεί μεγάλο ποσοστό του δείγματος. Δεύτερος λόγος είναι η επιπλέον πολυπλοκότητα που θα προέκυπτε στους υπολογισμούς που θα ήταν πολύ πιθανό να οδηγήσει σε σημαντικά σφάλματα.

2) Παρουσία σήραγγων στο οδικό δίκτυο

Το τμήμα της Αττικής οδού που ανήκει στην περιοχή μελέτης αυτής της εργασίας διαθέτει επτά σήραγγες. Είναι γνωστό ότι στο εσωτερικό μίας σήραγγας επικρατούν χαμηλότερες ταχύτητες, σε σχέση με την υπόλοιπη οδό,

καθότι οι οδηγοί χρειάζεται να κρατούν μεγαλύτερες αποστάσεις ασφαλείας, να αποφεύγουν τις αλλαγές λωρίδων και γενικά να οδηγούν περισσότερο προσεκτικά.

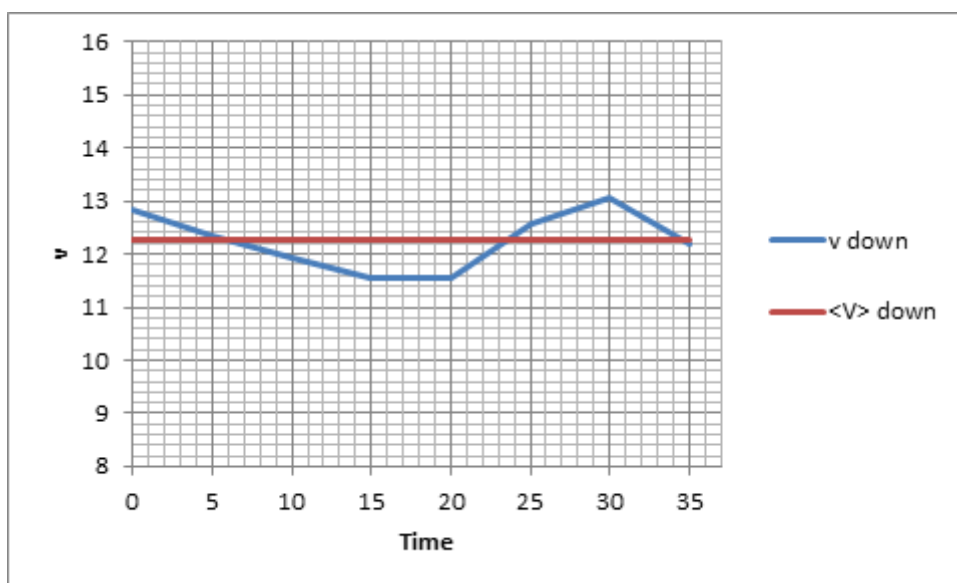
Στη μεγάλη πλειοψηφία των συμβάντων που εξετάστηκαν, οι περιοχές συμφόρησης περιλαμβάνουν και σήραγγες. Όταν αυτό συμβαίνει, είναι πολύ πιθανό, λόγω της παρουσίας της σήραγγας, να προκληθούν προβλήματα στην αποσυμφόρηση της περιοχής. Για παράδειγμα, εάν οι εισερχόμενοι φόρτοι στην περιοχή ανάντη της σήραγγας δεν είναι μεγάλοι, είναι πολύ πιθανό εκεί της σήραγγας στην οποία επικρατούν ούτως ή άλλως ειδικές συνθήκες να σταματήσει να υπάρχει συμφόρηση γρηγορότερα σε σχέση με την περιοχή κυκλοφορίας. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί, εάν η σήραγγα βρίσκεται σε κάποια ενδιάμεση θέση της ουράς, να εμφανιστεί ο «μερικώς αντίθετος» τρόπος αποσχηματισμού της περιοχής συμφόρησης.

3) Εμφάνιση συγχρονισμένης ροής στις περιοχές συμφόρησης

Όπως έχει αναπτυχθεί και στα παραπάνω κεφάλαια, σύμφωνα με τη θεωρία του Kerner η συμφόρηση διαχωρίζεται σε δύο φάσεις: στην εκτεταμένου μήκους κινούμενη φάλαγγα συμφόρησης (wide moving jam) και στη συγχρονισμένη ροή (synchronized flow). Οι φάσεις αυτές εναλλάσσονται συχνά μεταξύ τους, σε μία περιοχή της οδού, ακόμα και μέσα σε πολύ μικρά χρονικά διαστήματα. Παρά το γεγονός ότι τα οχήματα και στις δύο περιπτώσεις κινούνται σε χαμηλές ταχύτητες τα χαρακτηριστικά των δύο φάσεων διαφέρουν σημαντικά.

Στην εκτεταμένου μήκους κινούμενη φάλαγγα συμφόρησης θεωρείται ότι επικρατούν συνθήκες μέγιστης πυκνότητας ($\rho_{\max}$), μέχρι τη διέλευση του κατάντη μετώπου επιτάχυνσης, όπου και αποκαθίσταται η κυκλοφορία. Επίσης, το κυριότερο χαρακτηριστικό της κυκλοφοριακής φάσης αυτής είναι η σταθερότητα της ταχύτητας με την οποία κινείται το κατάντη μέτωπο. Στο

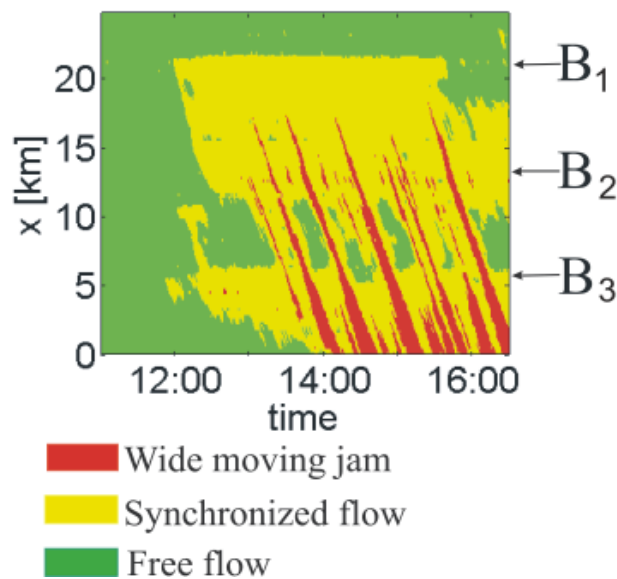
διάγραμμα 15 φαίνονται οι τιμές της ταχύτητας του κατάντη μετώπου, σε συνάρτηση με το χρόνο, από τη στιγμή που ξεκινά να διαδίδεται το κύμα της επιβράδυνσης μέχρι τον πλήρη αποσχηματισμό της ουράς, που έχουν ληφθεί από ένα συμβάν που μελετήθηκε στη παρούσα εργασία. Η γραμμή μπλε χρώματος περιγράφει τις τιμές που πήρε η ταχύτητα του μετώπου επιτάχυνσης σε κάθε πεντάλεπτο. Είναι φανερό ότι οι τιμές κινούνται πολύ κοντά στη μέση ταχύτητα κίνησης του μετώπου, η οποία έχει αποτυπωθεί με κόκκινο χρώμα. Χάρη σε αυτό το χαρακτηριστικό, μία κινούμενη φάλαγγα συμφόρησης έχει την ιδιότητα να μπορεί να περνά από οποιοδήποτε σημείο στένωσης (bottleneck) διατηρώντας την ταχύτητα αυτή σταθερή.



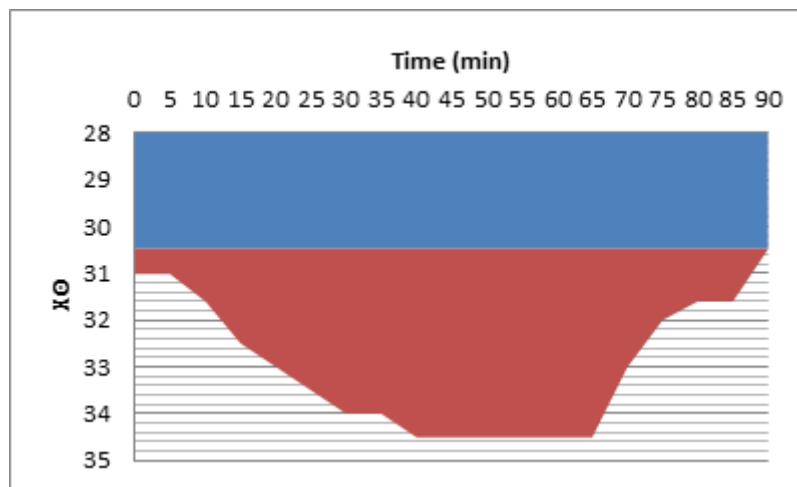
Διάγραμμα 15: Ταχύτητα διάδοσης κατάντη μετώπου επιβράδυνσης σε συνάρτηση με το χρόνο

Αντίθετα, σε συνθήκες συγχρονισμένης ροής η πυκνότητα υπολογίζεται διαρκώς από τα δεδομένα των φωρατών καθώς μεταβάλλεται με το χρόνο. Ακόμα, το κατάντη μέτωπο της επιτάχυνσης δεν έχει την ιδιότητα να κινείται με σταθερή ταχύτητα. Συχνά, μάλιστα, όταν οι συνθήκες συγχρονισμένης ροής βρεθούν σε κάποιο σημείο στένωσης (bottleneck), παρατηρείται το φαινόμενο της ακινητοποίησης του κατάντη μετώπου στο σημείο στένωσης (catch effect). Στο φαινόμενο αυτό πρακτικά οι χαμηλές ταχύτητες και η

υψηλή πυκνότητα επικρατούν μέχρι την περιοχή στένωσης ενώ κατάντη της περιοχής αυτής υπάρχει ελεύθερη ροή, δημιουργώντας την απεικόνιση της κυκλοφορίας που παρουσιάζεται στο διάγραμμα 16. Με τα γράμματα B1, B2 και B3 συμβολίζονται τρία διαφορετικά διαδοχικά σημεία στένωσης, ενώ με πράσινο, κίτρινο και κόκκινο χρώμα η ελεύθερη ροή, η συγχρονισμένη ροή και η κινούμενη φάλαγγα συμφόρησης αντίστοιχα. Μπορεί να παρατηρηθεί ότι στα σημεία B1, B2 και B3 η χρονική διάρκεια της συμφόρησης είναι η μεγαλύτερη από όλα τα υπόλοιπα σημεία της οδού και ότι αμέσως μετά από το σημείο στένωσης B1 επικρατούσαν συνεχώς συνθήκες ελεύθερης ροής, γεγονός που φανερώνει την σταθεροποίηση του μετώπου επιτάχυνσης στη θέση αυτή.



Διάγραμμα 16: Διάγραμμα περιοχών συμφόρησης σε τρία διαδοχικά σημεία στένωσης σε συνάρτηση με το χρόνο. (Πηγή: http://en.wikipedia.org/wiki/Three-phase_traffic_theory)



Διάγραμμα 17: Πραγματικές περιοχές συμφόρησης κατά μήκος της οδού σε συνάρτηση με το χρόνο

Η ύπαρξη του φαινομένου αυτού μπορεί να εξηγήσει άλλον έναν πιθανό λόγο εμφάνισης των ακανόνιστων τρόπων αποσχηματισμού των ουρών στα συμβάντα της μελέτης. Το διάγραμμα 17 παρουσιάζει την περιοχή συμφόρησης όπως εξελίχθηκε μετά από ένα πραγματικό ατύχημα που μελετήθηκε, και παρουσίασε «αντίθετο» τρόπο αποσχηματισμού ουράς. Συγκρίνοντάς το με το διάγραμμα 16 μπορεί να εντοπιστεί μία ομοιότητα. Το σημείο στένωσης, όπου στο διάγραμμα 17 είναι η χιλιομετρική θέση 30,5 όπου και συνέβη το ατύχημα, όπως και στο διάγραμμα 16 είναι το σημείο στο οποίο η συμφόρηση διήρκεσε περισσότερο από όλα τα υπόλοιπα (catch effect). Επομένως, μπορεί να συμπεραθεί ότι ίσως στην περίπτωση αυτή, και σε άλλες αντίστοιχες, αφού το κατάντη μέτωπο της επιτάχυνσης έμεινε στατικό στο σημείο στένωσης, η κυκλοφοριακή φάση που επικρατούσε να μην ήταν η κινούμενη φάλαγγα συμφόρησης αλλά η συγχρονισμένη ροή.

Ο κύριος λόγος για τον οποίο στην παρούσα εργασία έγινε η παραδοχή εκ των προτέρων ότι όλες οι περιοχές συμφόρησης, που δημιουργούνται έπειτα από τα συμβάντα, θα περιγράφονται από τις εξισώσεις για την κινούμενη

φάλαγγα συμφόρησης είναι επειδή η διάκριση μεταξύ των δύο φάσεων συμφόρησης που πρότεινε ο Kerner είναι ιδιαίτερα δυσχερής. Τα κριτήρια που έχουν θεσπιστεί, για τη διάκριση αυτή, είναι σχετικά ασαφή αφού δεν παρέχουν αριθμητικά όρια για τις τιμές των ταχυτήτων και του ρυθμού ροής παρά μόνο χαρακτηρισμούς όπως «πολύ χαμηλό» , «μέτριο» και άλλα. Επομένως, για να διαπιστωθεί σε ποια από τις δύο φάσεις συμφόρησης εντάσσονται οι κυκλοφοριακές συνθήκες, θα πρέπει να γίνει ειδική προσαρμογή των κριτηρίων, η οποία όμως, για να είναι έγκυρη, απαιτεί μακρόχρονη παρατήρηση της κυκλοφορίας στην περιοχή μελέτης. Ακόμα, λόγω του γεγονότος ότι οι δύο φάσεις της συμφόρησης εναλλάσσονται με μεγάλη ταχύτητα μεταξύ τους, η επεξεργασία δεν θα μπορούσε να είναι ενιαία, αλλά θα έπρεπε να εξατομικευθεί για κάθε περιστατικό το οποίο θα οδηγούσε σε μεγαλύτερη πολυπλοκότητα υπολογισμών άρα και σε πιθανότητα σφαλμάτων.

4.5 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Προκειμένου να είναι εφικτή η περαιτέρω διερεύνηση κάποιων μεγεθών που σχετίζονται με τη δημιουργία περιοχών συμφόρησης δημιουργήθηκε ένας συγκεντρωτικός πίνακας που ονομάστηκε «Χαρακτηριστικά ατυχημάτων». Στον πίνακα αυτό έχουν καταγραφεί πληροφορίες σχετικές με τις συνθήκες που επικρατούσαν πριν και μετά από το ατύχημα, με τον τύπο του ατυχήματος καθώς και με τη γεωμετρία της οδού. Ο πίνακας αυτός διαθέτει στοιχεία για όλα τα συμβάντα στα οποία εξακριβώθηκε ότι δημιουργήθηκαν περιοχές συμφόρησης ανάντη και περιλαμβάνει τα εξής δεδομένα:

- Κωδική ονομασία συμβάντος
- Χιλιομετρική θέση συμβάντος
- Ώρα συμβάντος
- Κυκλοφοριακές συνθήκες πριν από το συμβάν (ελεύθερη ροή, συμφόρηση)
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά στη θέση του συμβάντος (καμπύλη, ευθυγραμμία)
- Λωρίδα διεξαγωγής συμβάντος
- Είδος συμβάντος
- Πραγματική χρονική διάρκεια περιοχής συμφόρησης (από το σχηματισμό έως τον πλήρη αποσχηματισμό)
- Χρονική διάρκεια περιοχής συμφόρησης υπολογισμένη σύμφωνα με τις εξισώσεις του Kerner (από το σχηματισμό έως τον πλήρη αποσχηματισμό)
- Διαφορά των δύο παραπάνω χρονικών διαρκειών
- Μέγιστο πραγματικό μήκος περιοχής συμφόρησης
- Μέγιστο μήκος περιοχής συμφόρησης υπολογισμένο σύμφωνα με τις εξισώσεις του Kerner

- Παρουσία εισόδων-εξόδων κατά μήκος της περιοχής συμφόρησης
- Παρουσία σιράγγων κατά μήκος της περιοχής συμφόρησης
- Τύπος αποσχηματισμού περιοχής συμφόρησης

4.5.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΔΥΟ ΜΕΘΟΔΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ

Έχει προαναφερθεί ότι η πραγματική χρονική διάρκεια της περιοχής συμφόρησης έχει συχνά διαφορετική τιμή από αυτήν που υπολογίστηκε μέσω των εξισώσεων του Kerner. Άλλοτε η διαφορά τους παίρνει θετικές τιμές και άλλοτε θετικές. Από το γεγονός αυτό προκύπτει το ερώτημα εάν αυτές οι μέθοδοι τελικά είναι ισοδύναμες ως προς τα αποτελέσματά τους ή όχι. Για το λόγο αυτό, είναι χρήσιμο να αναλυθεί εάν οι χρονικές διάρκειες που προκύπτουν από την κάθε μέθοδο είναι τόσο διαφορετικές μεταξύ τους, στο σύνολο του δείγματος, ώστε να είναι εφικτή η υποκατάσταση της μίας από την άλλη. Για την εξαγωγή συμπεράσματος έγινε κατάλληλη στατιστική ανάλυση.

Στις περιπτώσεις που δεν είναι γνωστή η κατανομή ενός πληθυσμού αποφεύγονται οι παραμετρικοί έλεγχοι διότι απαιτούν πολλές παραδοχές. Έτσι έχει αναπτυχθεί μία εναλλακτική μεθοδολογία που ονομάζεται μη παραμετρική στατιστική και οι έλεγχοι της μη παραμετρικοί έλεγχοι. Οι τελευταίοι, είναι προτιμότεροι όταν τα δεδομένα δεν έχουν κανονική κατανομή, όπως στη συγκεκριμένη περίπτωση.

Οι βαθμοί (τάξεις μεγέθους) των δεδομένων προτιμώνται συχνά από τα δεδομένα καθαυτά διότι οι τιμές των παρατηρήσεων δεν έχουν κανένα νόημα από μόνες τους παρά μόνο όταν θεωρείται η διάταξη τους σε σχέση με τις άλλες. Ακόμα, μπορεί οι τιμές των παρατηρήσεων να έχουν μεν νόημα από μόνες τους αλλά η συνάρτηση κατανομής τους να μην είναι η κανονική,

οπότε η θεωρία πιθανοτήτων δεν προσφέρεται για τον προσδιορισμό της κατανομής της στατιστικής συνάρτησης που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο υποθέσεων. Αντίθετα, η θεωρία πιθανοτήτων που απαιτείται για τον έλεγχο υποθέσεων με χρήση στατιστικών συναρτήσεων που βασίζονται σε τάξεις μεγέθους, είναι σχετικά απλή και δεν εξαρτάται από την κατανομή από την οποία έχουν προέλθει οι παρατηρήσεις σε πολλές περιπτώσεις. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο έλεγχος θα βασιστεί σε μη παραμετρικές τεχνικές οι οποίες εφαρμόζονται για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικών με την σύγκριση των θέσεων δύο πληθυσμών, όταν ως μέτρο σύγκρισης θεωρείται κυρίως η διάμεσος των πληθυσμών. Η σχετική με τη διάμεσο συμπερασματολογία είναι σημαντική επειδή η διάμεσος, σε περίπτωση που ο πληθυσμός παρουσιάζει ασυμμετρία, βρίσκεται πλησιέστερα στο κέντρο της κατανομής από την μέση τιμή, και ενδεχομένως να έχει περισσότερη έννοια από αυτήν.

Με τη βοήθεια του στατιστικού προγράμματος SPSS έγιναν οι εξής έλεγχοι:

- Ο έλεγχος ισότητας διαμέσων Wilcoxon, στον οποίο αρχικά γίνεται η υπόθεση μηδενικής διαφοράς των διαμέσων των δύο πληθυσμών.
- Ο έλεγχος ταύτισης κατανομών του Kendall, στον οποίο παράγεται ένα μέτρο συμφωνίας μεταξύ των κατανομών, υποθέτοντας αρχικά ότι τα δείγματα έχουν την ίδια ακριβώς κατανομή.

Λόγω του γεγονότος ότι οι διαφοροποιήσεις στις χρονικές διάρκειες με τις δύο μεθόδους παρατηρούνται μόνο όταν υπάρχει ακανόνιστος αποσχηματισμός της περιοχής συμφόρησης κρίθηκε σωστό οι παραπάνω έλεγχοι να γίνουν για το σύνολο των συμβάντων και χωριστά για τα συμβάντα στα οποία παρατηρήθηκε ακανόνιστος αποσχηματισμός στην περιοχή συμφόρησης για να ελεγχθεί εάν υπάρχει συμφωνία στα αποτελέσματα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΩΝ

1) Σύνολο των συμβάντων

- Έλεγχος ισότητας διαμέσων Wilcoxon: η αρχική υπόθεση για ισότητα των διαμέσων των δύο δειγμάτων επιβεβαιώνεται.
- Έλεγχος ταύτισης κατανομών του Kendall: η αρχική υπόθεση για ίδια κατανομή και στα δύο δείγματα δεν επιβεβαιώνεται.

2) Συμβάντα που παρουσίασαν ακανόνιστο τρόπο αποσχηματισμού

- Έλεγχος ισότητας διαμέσων Wilcoxon: η αρχική υπόθεση για ισότητα των διαμέσων των δύο δειγμάτων επιβεβαιώνεται.
- Έλεγχος ταύτισης κατανομών του Kendall: η αρχική υπόθεση για ίδια κατανομή και στα δύο δείγματα δεν επιβεβαιώνεται.

Συμπερασματικά, οι δύο μέθοδοι μπορούν να χαρακτηριστούν ως σχετικά ισοδύναμες ως προς τον υπολογισμό της χρονικής διάρκειας της περιοχής συμφόρησης, αφού στις μισές περίπου μετρήσεις τους ταυτίζονται απόλυτα αλλά και οι πληθυσμοί αυτών που δεν ταυτίζονται, παρουσιάζουν κοινή, μεταξύ τους, διάμεσο. Αυτό φυσικά δεν μπορεί να εξαλείψει εντελώς τις ουσιαστικές διαφορές τους σε συγκριμένες περιπτώσεις.

Στην συνέχεια παρατίθενται και μερικοί περιγραφικοί στατιστικοί δείκτες που προέκυψαν από το σύνολο των συμβάντων και από τα συμβάντα που παρουσίασαν ακανόνιστο τρόπο αποσχηματισμού της περιοχής συμφόρησης.

Πίνακας 6: Περιγραφικοί στατιστικοί δείκτες που προκύπτουν από το σύνολο των συμβάντων

	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
$Q_{dur} \text{ (actual)}$ (min)	325	25	82,58	49,9
$Q_{dur} \text{ (K)}$ (min)	335	25	81,97	47,1
Δq_{dur} (min)	80	-130	0,04	29,5

Πίνακας 7: Περιγραφικοί στατιστικοί δείκτες που προκύπτουν από τα συμβάντα που είχαν ακανόνιστο τρόπο αποσχηματισμού

	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
$Q_{dur} \text{ (actual)}$ (min)	325	25	104,9	55,5
$Q_{dur} \text{ (K)}$ (min)	335	30	104,02	51,21
Δq_{dur} (min)	80	-130	-0,08	40,8

Από τα δεδομένα που έχουν καταχωρηθεί στους παραπάνω πίνακες αξίζει να επισημανθεί η μεγάλη διαφορά των μέσων τιμών των χρονικών διαρκειών του συνόλου των συμβάντων και των συμβάντων με ακανόνιστο αποσχηματισμό. Το γεγονός αυτό αποτελεί μία αρχική ένδειξη ότι τα περιστατικά στα οποία ο αποσχηματισμός της περιοχής συμφόρησης έγινε διαφορετικά από το αναμενόμενο διήρκεσαν περισσότερο από τα υπόλοιπα.

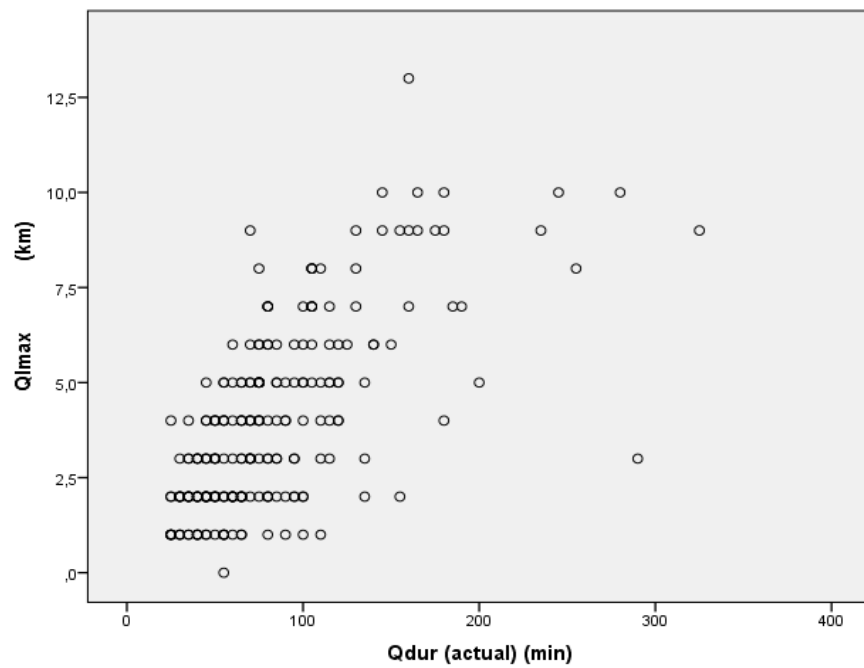
4.5.2 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ

Μία ακόμα παράμετρος που εξετάστηκε είναι και η συσχέτιση μεταξύ χαρακτηριστικών των περιοχών συμφόρησης, όπως η διάρκεια τους, το μέγιστο μήκος τους και οι φόρτοι που επικρατούσαν στην οδό ακριβώς πριν το ατυχήματος.

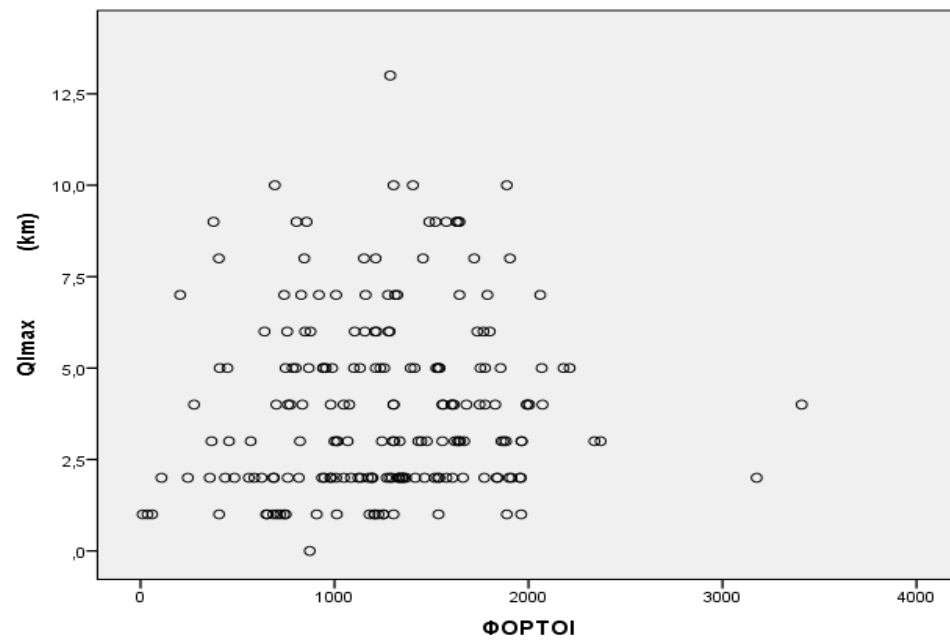
Αρχικά, υποτέθηκε ότι υπάρχει γραμμική σχέση σε κάθε ζεύγος αυτών των μεταβλητών. Δηλαδή η αρχική υπόθεση ήταν ότι όταν μεγαλώνει η τιμή της μίας μεταβλητής, σε αντιστοιχία μεγαλώνει και η τιμή της άλλης. Για την εξακρίβωση της ορθότητας της υπόθεσης χρησιμοποιήθηκε ο γραμμικός συντελεστής συσχέτισης κατά Pearson, ο οποίος αποδίδει το βαθμό γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των δεδομένων. Η ανάλυση αυτή, όπως και οι προηγούμενες, έγινε με τη βοήθεια του στατιστικού προγράμματος SPSS το οποίο έχει τη δυνατότητα να εξάγει εκτός του συντελεστή συσχέτισης καθαυτού και ένα σχόλιο για το αν η συσχέτιση των εξεταζόμενων μεγεθών είναι στατιστικά σημαντική. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 8 και τα διαγράμματα 18,19 και 20:

Πίνακας 8: Συντελεστές συσχέτισης ζευγών χαρακτηριστικών μεγεθών περιοχών συμφόρησης

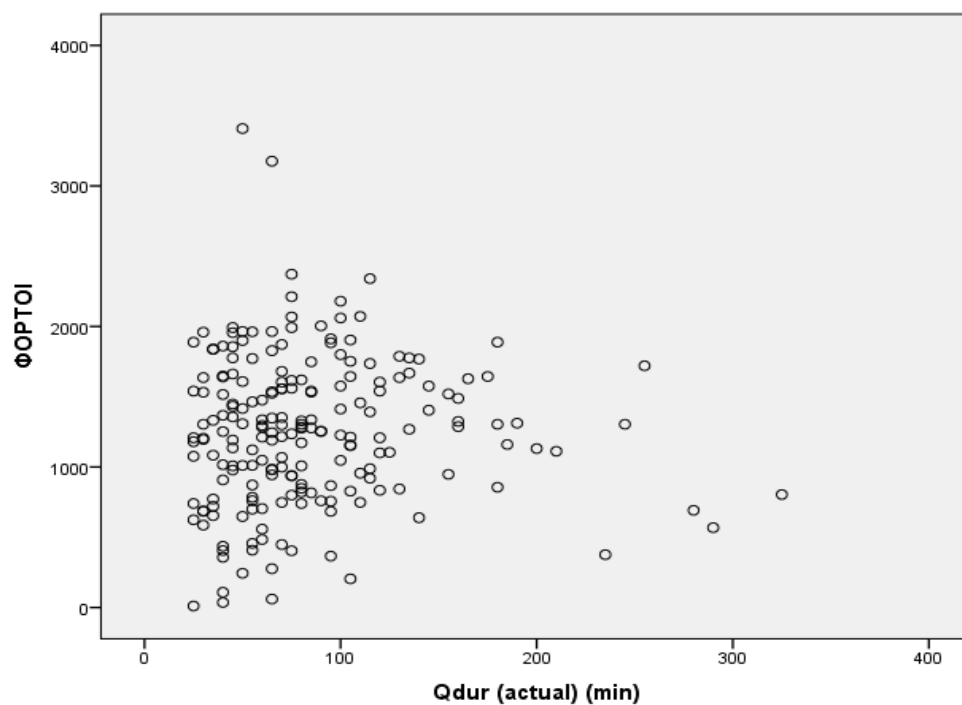
ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΑ ΖΕΥΓΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ
$Q_{dur} - Q_{lmax}$	0,671	ΝΑΙ
$Q_{dur} - V$	0,086	ΟΧΙ
$Q_{lmax} - V$	0,444	ΟΧΙ



Διάγραμμα 18: Μήκη περιοχών συμφόρησης σε συνάρτηση με τις αντίστοιχες χρονικές τους διάρκειες



Διάγραμμα 19: Μήκη περιοχών συμφόρησης σε συνάρτηση με τους αντίστοιχους αρχικούς φόρτους



Διάγραμμα 20: Αρχικοί φόρτοι σε συνάρτηση με τις αντίστοιχες χρονικές διάρκειες των περιοχών συμφόρησης

Από τα αποτελέσματα μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι το μόνο ζεύγος του οποίου τα μεγέθη συνδέονται γραμμικά μεταξύ τους είναι αυτό της χρονικής διάρκειας της ουράς με το μήκος της. Πολύ λιγότερο συσχετισμένοι είναι ο αρχικός φόρτος με τη χρονική διάρκεια της περιοχής συμφόρησης επί της οδού, ενώ δεν φαίνεται να υπάρχει καμία συσχέτιση μεταξύ του φόρτου και του μέγιστου μήκους της περιοχής συμφόρησης.

4.5.3 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΕΙΣΟΔΩΝ-ΕΞΟΔΩΝ ΚΑΙ ΣΗΡΑΓΓΩΝ ΣΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΑΠΟΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ

Για την εξήγηση του φαινομένου του ακανόνιστου τρόπου αποσχηματισμού περιοχής συμφόρησης έχουν εντοπιστεί ως πιθανοί παράγοντες που συντελούν σε αυτό η παρουσία εισόδων ή εξόδων και σηράγγων στο εσωτερικό της περιοχής συμφόρησης. Με τη βοήθεια των δεδομένων που

έχουν καταχωρηθεί στο αρχείο «Χαρακτηριστικά Ατυχημάτων» έγινε προσπάθεια να διερευνηθεί αν οι παράγοντες αυτοί πράγματι φαίνεται να έχουν επιρροή στον τρόπο αποσχηματισμού των περιοχών συμφόρησης.

Μία στατιστική προσέγγιση του θέματος αυτού βασίζεται στην περιγραφή των κατανομών των συμβάντων ανάλογα με το αν υπήρχε σήραγγα (ή είσοδος-έξοδος) στην περιοχή συμφόρησης ή όχι. Εάν η κατανομή των συμβάντων που είχαν τον αναμενόμενο τρόπο αποσχηματισμού με αυτά που είχαν ακανόνιστο αποσχηματισμό είναι ίδια και στις δύο περιπτώσεις, τότε δεν αποδεικνύεται κάποια σχέση μεταξύ της ύπαρξης σήραγγας (ή εισόδου-εξόδου) και του ακανόνιστου τρόπου αποσχηματισμού της περιοχής συμφόρησης.

Για το λόγο αυτό εφαρμόστηκε, με χρήση του προγράμματος SPSS, ο έλεγχος Mann-Whitney U με τον οποίο εντοπίζεται εάν μεταξύ δύο δειγμάτων το ένα έχει μεγαλύτερες τιμές από το άλλο. Αυτό γίνεται υποθέτοντας αρχικά ότι οι κατανομές στα δύο δείγματα είναι ίδιες. Ο έλεγχος εφαρμόστηκε χωριστά για τις σήραγγες και για τις εισόδους-εξόδους.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

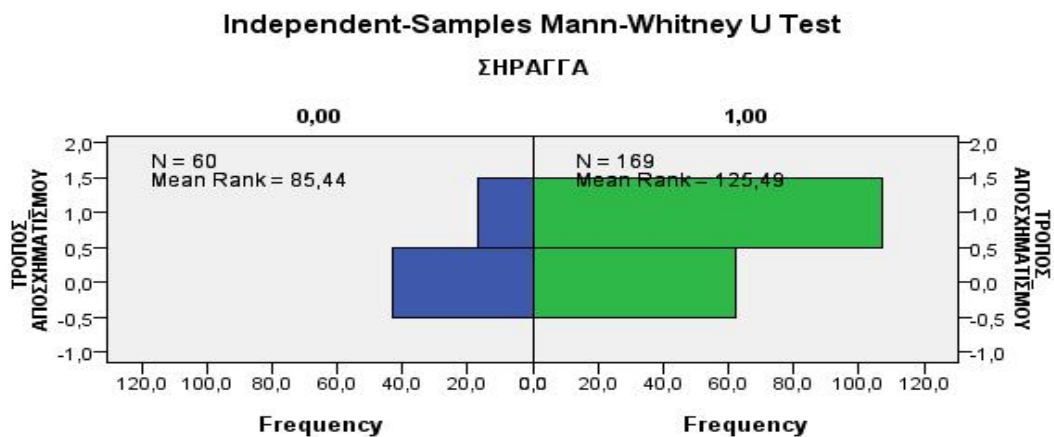
1) Σήραγγες- Τύπος αποσχηματισμού περιοχής συμφόρησης

- Η αρχική υπόθεση του ελέγχου Mann-Whitney U για κοινή κατανομή των συμβάντων ανάλογα με το αν παρουσίασαν αναμενόμενο ή ακανόνιστο τρόπο αποσχηματισμού, στις περιπτώσεις που υπήρχε σήραγγα στην περιοχή συμφόρησης και στις περιπτώσεις που δεν υπήρχε, δεν επιβεβαιώνεται.

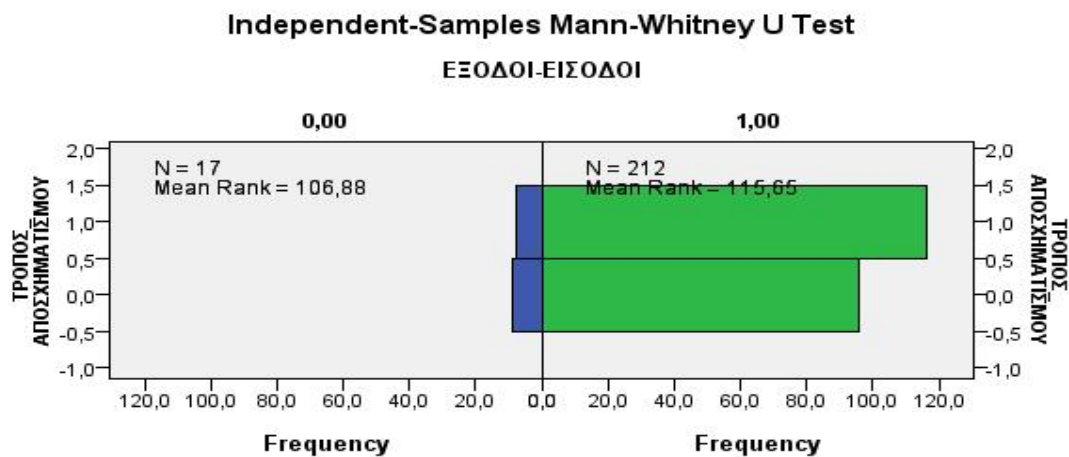
2) Είσοδοι/Έξοδοι- Τύπος αποσχηματισμού περιοχής συμφόρησης

- Η αρχική υπόθεση του ελέγχου Mann-Whitney U για κοινή κατανομή των συμβάντων ανάλογα με το αν παρουσίασαν αναμενόμενο ή ακανόνιστο τρόπο αποσχηματισμού, στις

περιπτώσεις που υπήρχε είσοδος ή έξοδος στην περιοχή συμφοράς και στις περιπτώσεις που δεν υπήρχε, επιβεβαιώνεται.



Διάγραμμα 21: Συχνότητες εμφάνισης αναμενόμενου (0) και ακανόνιστου (1) τρόπου αποσχηματισμού σε σχέση με την ύπαρξη (1) ή όχι (0) σήραγγας στην περιοχή συμφοράς



Διάγραμμα 22: Συχνότητες εμφάνισης αναμενόμενου (0) και ακανόνιστου (1) τρόπου αποσχηματισμού σε σχέση με την ύπαρξη (1) ή όχι (0) εισόδου-εξόδου στην περιοχή συμφοράς

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν, μπορεί να φανεί ότι η ύπαρξη σήραγγας στο εσωτερικό των περιοχών συμφοράς είναι δυνατόν να επηρέασε τον τρόπο αποσχηματισμού. Είναι εμφανές, άλλωστε, και από το

διάγραμμα 21 ότι η μεγάλη πλειοψηφία των περιστατικών που εμφάνισαν ακανόνιστο αποσχηματισμό περιοχής συμφοράς είχαν σήραγγα σε αντίθεση με αυτά που αποσχηματίστηκαν με τον αναμενόμενο τρόπο όπου συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο. Βέβαια, ο έλεγχος αυτός δεν αποτελεί απόδειξη της σχέσης των σηράγγων με τον ακανόνιστο τρόπο αποσχηματισμού αλλά μία πρώτη θετική ένδειξη.

Αντίθετα, για τις εισόδους και τις εξόδους ο έλεγχος δεν καταλήγει σε αντίστοιχο συμπέρασμα. Οι κατανομές των συμβάντων ταυτίζονται είτε υπήρχαν είτε όχι εισοδοί και εξοδοί στην περιοχή συμφοράς. Μία πολύ πιθανή εξήγηση για το φαινόμενο αυτό είναι ότι η συντριπτική πλειοψηφία των περιστατικών περιλαμβάνει εισόδους και εξόδους στο εσωτερικό των ουρών επειδή το δίκτυο εισόδων και εξόδων στην Αττική οδό είναι ιδιαίτερα πυκνό. Όπως μπορεί να φανεί και στο διάγραμμα 22 είναι πολύ λίγες συνολικά οι περιοχές συμφοράς που δεν περιλαμβάνουν εισόδους ή εξόδους. Στην περίπτωση αυτή, αν και δεν είναι ξεκάθαρο εάν όντως οι εισοδοί και οι εξοδοί επηρεάζουν τον τρόπο αποσχηματισμού, θα ήταν λάθος να απορριφθεί εντελώς το ενδεχόμενο ότι αυτό στην πραγματικότητα συμβαίνει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ

5.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ

Ως δευτερογενή χαρακτηρίζονται τα ατυχήματα που λαμβάνουν χώρα εντός ή στα όρια μίας περιοχής συμφόρησης προκαλούμενης από κάποιο πρωτογενές συμβάν.

Στην παρούσα εργασία έγινε εντοπισμός των δευτερογενών συμβάντων ανάμεσα στα 1287 καταγεγραμμένα περιστατικά της «Βάσης Δεδομένων Ατυχημάτων». Για το σκοπό αυτό, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν πέντε διαφορετικές μέθοδοι ούτως ώστε να είναι δυνατή και οι σύγκριση των μεταξύ τους αποτελεσμάτων. Οι μέθοδοι αυτές είναι:

1) Δυναμική μέθοδος πραγματικής περιοχής συμφόρησης (D real)

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή χαρακτηρίστηκαν ως δευτερογενή όσα ατυχήματα συνέβησαν σε κάποιο σημείο της οδού όπου στη χρονική στιγμή εκείνη επικρατούσε συμφόρηση λόγω κάποιου άλλου συμβάντος το οποίο είχε προηγηθεί χρονικά. Χρησιμοποιήθηκαν οι πραγματικές περιοχές συμφόρησης οι οποίες είχαν προκύψει από την πρότερη ανάλυση της «Βάσης Δεδομένων Ατυχημάτων» σε συνδυασμό με τις μετρήσεις των φωρατών. Αρχικά, σε κάθε πιθανό ζεύγος πρωτογενούς-δευτερογενούς ατυχήματος γινόταν έλεγχος για το αν το πρωτογενές συμβάν προκάλεσε συμφόρηση ανάντη. Εάν αυτό δεν ίσχυε τότε το ενδεχόμενο της ύπαρξης δευτερογενούς συμβάντος απορρίπτονταν. Σε αντίθετη περίπτωση, γινόταν ένας ακόμη έλεγχος για το αν το πιθανό δευτερογενές συμβάν έλαβε χώρα σε ώρα και θέση όπου επικρατούσε συμφόρηση οφειλόμενη στο πρώτο περιστατικό.

Ανάλογα με το αν αυτό ήταν αληθές ή όχι γινόταν ο χαρακτηρισμός του συμβάντος ως δευτερογενές ή πρωτογενές αντίστοιχα.

Αξιζει να σημειωθεί ότι η μέθοδος αυτή, σύμφωνα με τα παρεχόμενα δεδομένα, είναι αναμενόμενο να εξάγει τα κατά το δυνατόν ορθότερα αποτελέσματα, αφού βασίζεται στην περιγραφή της απολύτως πραγματικής κυκλοφοριακής κατάστασης επί της οδού. Για το λόγο αυτό, τα αποτελέσματα των υπόλοιπων μεθόδων, που θα αναπτυχθούν παρακάτω, συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα αυτής της μεθόδου, θεωρώντας ότι αυτά είναι τα πραγματικά.

2) Δυναμική μέθοδος περιοχής συμφόρησης σχηματισμένης σύμφωνα με τις εξισώσεις του Kerner (D Kerner)

Στη μέθοδο αυτή, ακριβώς όπως και στην πρώτη, τα δευτερογενή ατυχήματα εντοπίζονται εντός της περιοχής συμφόρησης, που έχει σχηματιστεί από κάποιο άλλο προηγούμενο ατύχημα. Ακολουθήθηκε μία αντίστοιχη αλληλουχία ελέγχων με αυτή που περιγράφηκε παραπάνω. Η διαφορά σε σχέση με τη μέθοδο 1 έγκειται στο ότι εδώ έγινε χρήση των περιοχών συμφόρησης όπως σχηματίστηκαν από τις εξισώσεις του Kerner. Ενώ, σε γενικές γραμμές, οι πραγματικές περιοχές συμφόρησης ταυτίζονται με αυτές που προκύπτουν από την εφαρμογή των εξισώσεων, όταν ο αποσχηματισμός των ουρών γίνει με ακανόνιστο τρόπο, οι περιοχές μπορεί να αποκλίνουν σημαντικά. Συνεπώς, ορισμένα δευτερογενή συμβάντα είναι πιθανό να αγνοηθούν και άλλα να χαρακτηριστούν ως δευτερογενή ενώ στην πραγματικότητα δεν είναι.

3) Μέθοδος στατικών κατώτατων ορίων τύπου A (ST. A)

Μία εναλλακτική προσέγγιση στον εντοπισμό των δευτερογενών συμβάντων είναι η χρήση στατικών ορίων (static thresholds). Στην περίπτωση αυτή, τα όρια των περιοχών συμφόρησης υπολογίζονται από κάποιες δεδομένες τιμές που μένουν αμετάβλητες για όλα τα πρωτογενή συμβάντα. Τα όρια τύπου A που χρησιμοποιήθηκαν έχουν προταθεί από τον Raub (1997). Η περιοχή συμφόρησης χωρικά προσδιορίζεται από τη θέση του πρωτογενούς ατυχήματος μέχρι και 1,5 χιλιόμετρα ανάντη και χρονικά από το συνολικό χρόνο εκκαθάρισης της οδού από τα οχήματα που συμμετείχαν στο συμβάν (clearance time) αυξημένο κατά 15 λεπτά της ώρας. Όσα ατυχήματα έλαβαν χώρα στη χωροχρονική περιοχή αυτή θεωρήθηκαν δευτερογενή χωρίς καμία περεταίρω επεξεργασία. Είναι εύλογο ότι και στην περίπτωση αυτή παρατηρούνται αποκλίσεις στα αποτελέσματα σε σχέση με αυτά της πρώτης μεθόδου.

4) Μέθοδος στατικών κατώτατων ορίων τύπου B (ST. B)

Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο, όπως και στη περίπτωση 3, τα στατικά κατώτατα όρια τύπου B. Αυτά έχουν προταθεί από τον Moore (2004) και χρησιμοποιήθηκαν στην πρώτη φάση του διαχωρισμού των ατυχημάτων σε πρωτογενή και δευτερογενή. Χωρικά η περιοχή συμφόρησης ορίζεται ότι έχει μήκος 2 μίλια (3,218 χιλιόμετρα) από το σημείο του πρωτογενούς συμβάντος, και η χρονική της διάρκεια είναι 2 ώρες. Τα ατυχήματα που συνέβησαν εντός της περιοχής αυτής χαρακτηρίστηκαν ως δευτερογενή. Λόγω του γεγονότος ότι η περιοχή αυτή είναι αισθητά μεγαλύτερη από αυτή της μεθόδου 3 αναμένεται να υπάρχουν μεγαλύτερες αποκλίσεις στα αποτελέσματα συγκριτικά με τα πραγματικά.

5) Μέθοδος στατικών κατώτατων ορίων τύπου B σε συνδυασμό με έλεγχο στην περιοχή συμφόρησης (M)

Η τελευταία μέθοδος προσομοίωσε τη μεθοδολογία των τεσσάρων φίλτρων η οποία ακολουθήθηκε από τον Moore (2004) για τον εντοπισμό δευτερογενών συμβάντων. Αρχικά, έγινε ο έλεγχος εγγύτητας στο περιστατικό με χρήση των στατικών κατώτατων ορίων που περιγράφηκαν στη μεθοδολογία 4 (2 μίλια-2 ώρες) για όλα τα περιστατικά. Στη συνέχεια, από τα πιθανά ζεύγη πρωτογενών-δευτερογενών που προέκυψαν έγινε έλεγχος στα δεδομένα των φωρατών. Με τρόπο ίδιο με αυτόν της μεθόδου 1, όσα ατυχήματα είχαν συμβεί ενόσω υπήρχε διαπιστωμένα συμφόρηση στην περιοχή, χαρακτηρίζονταν ως δευτερογενή.

5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι πέντε παραπάνω μέθοδοι εφαρμόστηκαν στο σύνολο των ατυχημάτων που συνέβησαν κατά τα έτη 2007 και 2009 στην Αττική οδό στις κατευθύνσεις προς Αεροδρόμιο και προς Ελευσίνα. Υπολογίζοντας το άθροισμα των εντοπισμένων δευτερογενών συμβάντων, από κάθε μέθοδο ξεχωριστά, προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα 9.

Πίνακας 9: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα εντοπισμού δευτερογενών συμβάντων με τις 5 μεθόδους

ΜΕΘΟΔΟΣ	ΠΛΗΘΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΕΝΩΝ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΝΤΟΠΙΣΜΕΝΩΝ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ (%)
D_real	23	1,79%
D_Kerner	23	1,79%
ST_A	32	2,49%
ST_B	68	5,28%
M	17	1,32%

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, το πραγματικό ποσοστό των δευτερογενών συμβάντων στο σύνολο των 1287 ατυχημάτων της βάσης δεδομένων είναι 1,79%. Το ποσοστό είναι μικρότερο από τα ποσοστά που υπολογιστήκαν από τις μεθόδους με τα στατικά κατώτατα όρια, ίσο με το ποσοστό της δυναμικής μεθόδου περιοχής συμφόρησης σχηματισμένης σύμφωνα με τις εξισώσεις του Kerner και μεγαλύτερο από αυτό που βρέθηκε από την μεθοδολογία του Moore.

Σε πρώτο επίπεδο μπορεί να συμπεραθεί ότι οι διάφορες μέθοδοι άλλοτε υπερεκτιμούν και άλλοτε υποεκτιμούν το ποσοστό των δευτερογενών ατυχημάτων μέσα στο δίκτυο σε σχέση με το πραγματικό. Στην

πραγματικότητα, όμως, η χρήση ποσοστών για τη σύγκριση των μεθόδων μπορεί να γίνει αρκετά αποπροσανατολιστική για την εξαγωγή ορθών συμπερασμάτων. Αυτό συμβαίνει επειδή ακόμα και όταν τα ποσοστά συγκλίνουν σημαντικά, άρα το πλήθος κατ' απόλυτο αριθμό των εντοπιζόμενων δευτερογενών συμβάντων είναι, αν όχι ίσο, παραπλήσιο, αυτό δεν αποδεικνύει ότι εντοπίστηκαν τα πραγματικά συμβάντα από την εκάστοτε μέθοδο.

Έπειτα από ανάλυση των αποτελεσμάτων, παρατηρήθηκε ότι σε πολλές περιπτώσεις έχουν χαρακτηριστεί ως δευτερογενή κάποια περιστατικά τα οποία στην πραγματικότητα δεν είχαν τα κατάλληλα γνωρίσματα. Παράλληλα, ονομάστηκαν πρωτογενή άλλα, που σύμφωνα με τα πραγματικά στοιχεία, ήταν δευτερογενή. Στον πίνακα 10 παρουσιάζονται αθροιστικά τα ατυχήματα τα οποία εσφαλμένα χαρακτηρίστηκαν ως δευτερογενή ή πρωτογενή αντίστοιχα. Υπενθυμίζεται ότι ως μέτρο σύγκρισης για την ορθότητα των αποτελεσμάτων της κάθε μεθόδου τέθηκαν τα εντοπιζόμενα δευτερογενή συμβάντα από την πρώτη μέθοδο. Αυτό έγινε διότι η μέθοδος αυτή δίνει τη δυνατότητα κάποιου βαθμού βεβαιότητας για το ποια περιστατικά συνέβησαν σε συνθήκες συμφόρησης προκαλούμενης από ένα άλλο, προγενέστερο, συμβάν και ποια όχι.

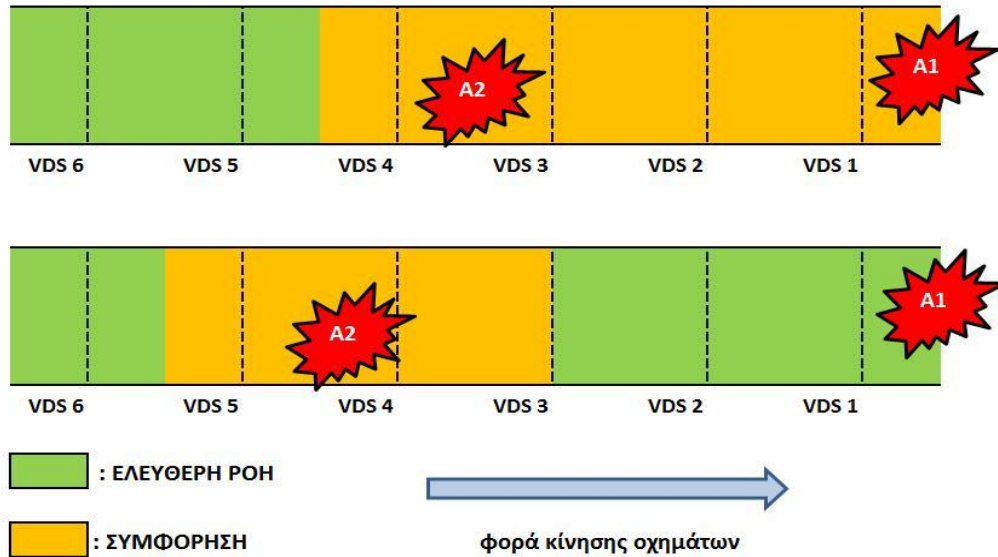
Είναι εύκολο να παρατηρηθεί ότι ακόμα και στην περίπτωση της μεθόδου 2, στην οποία το πλήθος των εντοπιζόμενων δευτερογενών είναι ίσο με αυτό των πραγματικών, τα συμβάντα στα οποία αναφέρονται δεν είναι ακριβώς τα ίδια. Αυτό έχει συμβεί επειδή οι χωροχρονικές καμπύλες που περιγράφουν την εξέλιξη των περιοχών συμφόρησης, όταν σχηματίζονται σύμφωνα με τις εξισώσεις του Kerner, δεν είναι ίδιες με τις πραγματικές στις περιπτώσεις που υπάρχουν αποκλίσεις στο τρόπο αποσχηματισμού των περιοχών.

Πίνακας 10: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα εσφαλμένα χαρακτηρισμένων συμβάντων

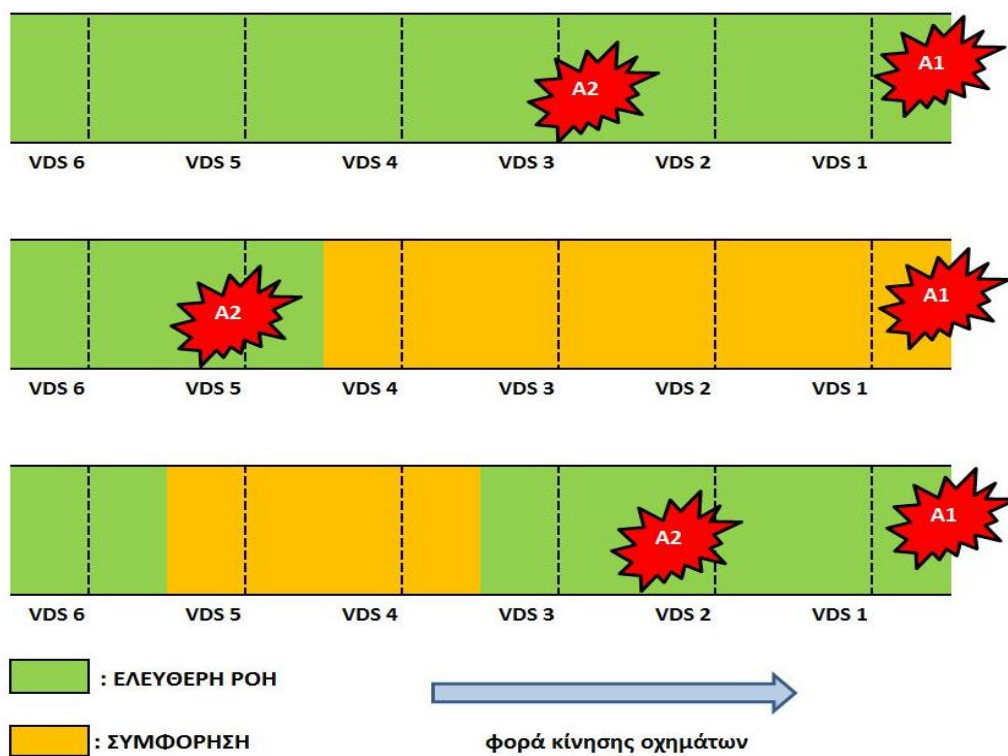
ΜΕΘΟΔΟΣ	ΠΛΗΘΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΕΝΩΝ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ	ΠΡΩΤΟΓΕΝΗ ΧΑΡΑΚΗΡΙΣΜΕΝΑ ΩΣ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗ		ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗ ΧΑΡΑΚΗΡΙΣΜΕΝΑ ΩΣ ΠΡΩΤΟΓΕΝΗ	
		ΠΛΗΘΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ	ΠΛΗΘΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ
D_real	23	0	0,0%	0	0,0%
D_Kerner	23	2	8,7%	2	8,7%
ST_A	32	22	68,8%	13	40,6%
ST_B	68	51	75,0%	6	8,8%
M	17	0	0,0%	6	35,3%

Από τον πίνακα επίσης φαίνεται ότι η λανθασμένη κατάταξη στα δευτερογενή, πρωτογενών συμβάντων, είναι συχνό φαινόμενο στις μεθόδους όπου χρησιμοποιούνται τα στατικά κατώτατα όρια. Ο λόγος που κάτι τέτοιο συμβαίνει είναι εξηγήσιμος, καθότι οι μέθοδοι αυτές δε λαμβάνουν καθόλου υπόψη τις επικρατούσες κυκλοφοριακές συνθήκες στην οδό παρά μόνο τη χωρική και τη χρονική σχέση των δύο συμβάντων. Ειδικά στην περίπτωση της μεθόδου στατικών κατώτατων ορίων τύπου B, λόγω του γεγονότος ότι η θεωρούμενη περιοχή επιρροής του πρωτογενούς συμβάντος είναι πολύ μεγάλη, είναι αναμενόμενο να χαρακτηρίζονται ατυχήματα, τα οποία δεν έχουν σχέση με τα προηγούμενα, ως δευτερογενή. Αυτό συμβαίνει επειδή η μέθοδος επιτρέπει το συσχετισμό περιστατικών των οποίων οι χρόνοι έναρξης μπορεί να απέχουν ακόμα και δύο ώρες μεταξύ τους χωρίς να γίνεται κανένας περαιτέρω έλεγχος. Παρ' όλα αυτά, επειδή σε ορισμένα ατυχήματα τα μήκη ουρών και η χρονική διάρκεια ξεπερνούν ακόμα και τα προαναφερθέντα όρια, ακόμα και με τις μεθόδους των κατώτατων ορίων κάποια δευτερογενή συμβάντα δεν εντοπίζονται. Το γεγονός αυτό επηρέασε και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μέθοδο 5, η οποία είναι μία προσέγγιση αυτής του Moore, στην οποία παρατηρείται ότι "χάθηκαν" 6

περιστατικά που ήταν πράγματι δευτερογενή επειδή συνέβησαν εκτός των ορίων των 2 ωρών και των 2 μιλίων.



Σχήμα 11: Παραδείγματα ορθού χαρακτηρισμού του ατυχήματος A2 ως δευτερογενές



Σχήμα 12: Παραδείγματα λανθασμένου χαρακτηρισμού του ατυχήματος A2 ως δευτερογενές

5.3 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕ ΤΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΕΝΑ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗ ΣΥΜΒΑΝΤΑ

Έπειτα από την παραπάνω μεθοδολογία, και έχοντας στη διάθεσή μας τα 23 εντοπισμένα δευτερογενή συμβάντα, έγιναν ορισμένες παρατηρήσεις βασισμένες στα χαρακτηριστικά των πρωτογενών συμβάντων που αντιστοιχούν στα συγκεκριμένα δευτερογενή. Τα ατυχήματα αυτά είναι συνολικά 19 διότι σε τρία από αυτά κατά μήκος των περιοχών συμφόρησης συνέβησαν περισσότερα από ένα δευτερογενή συμβάντα, γνωστά και ως πολλαπλά δευτερογενή συμβάντα. Αρχικά, απομονώθηκαν τα ατυχήματα αυτά από τον πίνακα «Χαρακτηριστικά Ατυχημάτων» και στη συνέχεια εξετάστηκαν τα χαρακτηριστικά τους με στόχο μία πρώιμη προσέγγιση στο ποιες είναι οι ιδιότητες ενός περιστατικού στην περιοχή συμφόρησης του οποίου προκαλείται ένα ακόμα περιστατικό. Οι σημαντικότερες παρατηρήσεις είναι οι εξής:

- 1) Η μέση τιμή των χρονικών διαρκειών των περιοχών συμφόρησης για τα 19 πρωτογενή συμβάντα κυμαίνεται στα 126,7 λεπτά της ώρας, δηλαδή είναι κατά 44,1 λεπτά μεγαλύτερη από τη μέση τιμή του συνόλου των πρωτογενών ατυχημάτων (82,6 λεπτά). Ακόμα, σχεδόν όλες οι χρονικές διάρκειες των περιστατικών είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τη μέση τιμή. Αυτό το στοιχείο μπορεί να δώσει μία πρώτη ένδειξη για το ότι τα δευτερογενή συμβάντα εμφανίζονται σε περιπτώσεις όπου η χρονική διάρκεια των ουρών είναι μεγάλη.
- 2) Η μέση τιμή των μηκών των περιοχών συμφόρησης για τα 19 πρωτογενή συμβάντα είναι 6.23 χιλιόμετρα δηλαδή σχεδόν διπλάσια από το μέσο μήκος περιοχής συμφόρησης στο σύνολο των περιστατικών που είναι 3,9 χιλιόμετρα. Όπως και στην προηγούμενη παρατήρηση, και εδώ στη μεγάλη πλειονότητα των συμβάντων οι

διαστάσεις των περιοχών συμφόρησης ξεπερνούν πολύ αισθητά τη μέση. Από το δεδομένο αυτό προκύπτει ότι είναι πολύ πιθανό ότι η εμφάνιση των δευτερογενών συμβάντων είναι συχνότερη σε ατυχήματα που προκαλούν μεγάλου μήκους ουρές.

- 3) Όλα τα πρωτογενή περιστατικά που προξένησαν δευτερογενή συμβάντα έλαβαν χώρα, εκτός από ένα, στο διάστημα από το 24^ο χιλιόμετρο της οδού μέχρι και το 28^ο και από τις δύο κατευθύνσεις. Το γεγονός ότι ενώ η περιοχή μελέτης ξεπερνά συνολικά τα 100 χιλιόμετρα συνολικά τα περιστατικά τα οποία έχουν ως αποτέλεσμα νέα ατυχήματα παρατηρούνται μόνο μέσα σε 8, δημιουργεί την αίσθηση πιθανής χωρικής σχέσης του πρωτογενούς ατυχήματος με την εμφάνιση δευτερογενούς, ίσως λόγω γεωμετρίας της οδού.
- 4) Στην πλειοψηφία των πρωτογενών συμβάντων υπήρξε ακανόνιστος αποσχηματισμός της περιοχής συμφόρησης.
- 5) Στις περιοχές συμφόρησης όλων των πρωτογενών συμβάντων, πλην ενός, παρεμβάλλονταν σήραγγα και είσοδοι ή έξοδοι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν οι περιοχές συμφόρησης που σχηματίζονται έπειτα από τροχαία ατυχήματα σε ελεύθερη λεωφόρο, με απώτερο σκοπό τον εντοπισμό δευτερογενών συμβάντων μέσα σε αυτές. Τόσο η ανίχνευση των περιοχών συμφόρησης όσο και ο χαρακτηρισμός ενός συμβάντος ως δευτερογενές είναι θέματα τα οποία έχουν μελετηθεί με διαφορετικές, μεταξύ τους, μεθόδους στο παρελθόν. Οι περιοχές συμφόρησης ανάντη κάποιου πρωτογενούς συμβάντος είναι ένα μέγεθος δυναμικό και εξαρτώμενο από πληθώρα παραγόντων, γεγονός που καθιστά την ανίχνευσή τους πολύπλοκη. Παρ' όλα αυτά, για απλουστευτικούς λόγους κυρίως, πολλές από τις επικρατούσες μεθόδους εντοπισμού δευτερογενών συμβάντων είναι βασισμένες στη χρήση περιοχών συμφόρησης με προαποφασισμένα στατικά χωροχρονικά όρια. Αποτέλεσμα της χρήσης αυτών των ορίων είναι η εξαγωγή όχι πάντα έγκυρων αποτελεσμάτων. Κάτι τέτοιο αποκαλύπτει τη σκοπιμότητα της διερεύνησης των περιοχών συμφόρησης, και κατά συνέπεια των δευτερογενών συμβάντων, με δυναμικές μεθόδους. Με τον τρόπο αυτό, η κατανόηση του φαινομένου μπορεί να γίνει αμεσότερα εφικτή. Το γεγονός αυτό μπορεί να συμβάλλει αποφασιστικά στη μείωση των δευτερογενών συμβάντων έπειτα, φυσικά, από τη λήψη των κατάλληλων μέτρων, έτσι ώστε να αυξηθεί η οδική ασφάλεια στους αυτοκινητοδρόμους.

6.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ταχυτήτων και φόρτων, για τα έτη 2007 και 2009, τα οποία έχουν ληφθεί από φωρατές ανίχνευσης κυκλοφορίας τοποθετημένους ανά τακτές αποστάσεις σε όλη την περιοχή μελέτης. Τα στοιχεία αυτά σε συνδυασμό με τη βάση δεδομένων των 1287 καταγεγραμμένων ατυχημάτων στην περιοχή έκαναν εφικτό τον πρωταρχικό εντοπισμό των 235 συμβάντων στα οποία έπεται από την εμφάνισή τους επικράτησαν αποδεδειγμένα συνθήκες συμφόρησης. Στη συνέχεια, οι περιοχές συμφόρησης ανιχνεύτηκαν ως προς το μήκος και τη διάρκειά τους με δύο δυναμικές μεθοδολογίες. Η πρώτη, βασίστηκε στις εξισώσεις του Kerner για τις συνθήκες κινούμενης φάλαγγας συμφόρησης αφού υποτέθηκε ότι αυτές επικρατούν έπειτα από ένα συμβάν. Η δεύτερη, λάμβανε υπόψη μόνο την πτώση των μετρημένων ταχυτήτων για τον ορισμό της περιοχής συμφόρησης. Η αναγκαιότητα για την εφαρμογή της δεύτερης μεθόδου προέκυψε από την εμφανή υπερεκτίμηση ή υποεκτίμηση των μεγεθών των περιοχών συμφόρησης από την πρώτη μέθοδο σε ορισμένες περιπτώσεις, καθότι παρατηρήθηκε ότι στις μισές, σχεδόν, περιπτώσεις ο αποσχηματισμός της περιοχής συμφόρησης έγινε με τρόπο ακανόνιστο.

Η μέθοδος ανίχνευσης των περιοχών συμφόρησης που είναι βασισμένη στις εξισώσεις του Kerner είναι μία δυναμική μέθοδος η οποία είναι σε θέση να αποτυπώσει το φαινόμενο πιστά, αρκεί να ληφθούν υπόψη όλες οι παράμετροι που θέτει. Το γεγονός αυτό καθιστά την όλη διαδικασία ιδιαίτερα πολύπλοκη κυρίως λόγω της θεώρησης του Kerner για την ύπαρξη δύο φάσεων συμφόρησης, της συγχρονισμένης ροής και της κινούμενης φάλαγγας συμφόρησης, οι οποίες διαχωρίζονται μεταξύ τους με συγκεκριμένα κριτήρια βασισμένα στις τιμές των φόρτων και των ταχυτήτων. Στην παρούσα εργασία, για λόγους απλοποίησης της επεξεργασίας η διαδοχή των δύο προαναφερθέντων καταστάσεων δεν συνυπολογίστηκε και θεωρήθηκε ότι σε όλες τις περιπτώσεις επικράτησαν συνθήκες μέγιστης πυκνότητας δηλαδή

υπήρχε κινούμενη φάλαγγα συμφόρησης σε όλες τις ουρές. Για το λόγο αυτό, υπήρξαν και αποκλίσεις στα αποτελέσματα των υπολογισμένων μεγεθών των περιοχών συμφόρησης σε σχέση με τα πραγματικά, σε πολλές περιπτώσεις, χωρίς να μπορεί να αμεληθεί βέβαια η πλήρης ταύτιση των δύο μεθόδων στα μισές σχεδόν περιπτώσεις. Παρόλη όμως τη δυσκολία της ορθής εφαρμογής της, πρέπει αν τονιστεί ότι η μέθοδος αυτή δίνει τη δυνατότητα ανίχνευσης περιοχών συμφόρησης όταν τα δεδομένα είναι ελλιπή ή και απουσιάζουν σχεδόν τελείως εάν υπάρχουν στοιχεία από παλαιότερα έτη. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένα ισχυρό πλεονέκτημα, διότι συχνά η συλλογή ορθών κυκλοφοριακών δεδομένων είναι ιδιαίτερα δύσκολη ακόμα και όταν υπάρχουν οι ανάλογες εγκαταστάσεις.

Η μέθοδος ανίχνευσης των περιοχών συμφόρησης με κριτήριο την πτώση ταχυτήτων είναι μία δυναμική μέθοδος που παρέχει μια ξεκάθαρη αποτύπωση των ουρών που σχηματίζονταν έπειτα από τα συμβάντα. Το μεγάλο της πλεονέκτημα είναι ότι βασίζεται σε ένα μοναδικό χαρακτηριστικό, την ταχύτητα. Για το λόγο αυτό, οι περιοχές συμφόρησης αποτυπώνονται πολύ ρεαλιστικά χωρίς να απαιτείται καμία άλλη παραδοχή ή υπολογισμός και χωρίς να είναι απαραίτητη η αποσαφήνιση της επικρατούσας κυκλοφοριακής κατάστασης. Επίσης δεν θέτει προϋποθέσεις στον τρόπο με τον οποίο με τον οποίο θα σχηματίζεται και θα αποσχηματίζεται η περιοχή, και γι' αυτό είναι και απλή στην εφαρμογή. Το μεγάλο μειονέκτημα όμως της μεθόδου αυτής είναι ότι εάν δεν είναι διαθέσιμα συνεχή και λεπτομερή μετρούμενα δεδομένα, από φωρατές, δεν είναι σε καμία περίπτωση δυνατή η εφαρμογή της.

Αναφορικά με τα χαρακτηριστικά μεγέθη των περιοχών συμφόρησης η επεξεργασία των δεδομένων αποκάλυψε ότι οι μεγάλες ουρές δεν σχηματίζονται απαραίτητα στα σοβαρά περιστατικά αλλά έχουν περισσότερο σχέση με την ώρα διεξαγωγής του ατυχήματος και τις επικρατούσες κυκλοφοριακές συνθήκες. Ακόμη, με τη βοήθεια της στατιστικής ανάλυσης

φάνηκε ότι τα μεγάλα μήκη ουρών είναι συσχετισμένα με τις μεγάλες διάρκειες. Αντίθετα, οι μεγάλοι αρχικοί φόρτοι φαίνεται να μην έχουν συσχέτιση ούτε με το μήκος της περιοχής συμφόρησης ούτε με τη διάρκειά της. Τέλος υπάρχουν σοβαρές ενδείξεις για το ότι υπάρχει σχέση της ύπαρξης σήραγγας στο εσωτερικό μίας περιοχής συμφόρησης με τον τρόπο αποσχηματισμού της.

Έπειτα από την ανίχνευση των περιοχών συμφόρησης ακολούθησε ο εντοπισμός των δευτερογενών συμβάντων, ο οποίος έγινε με δυναμικές αλλά και με στατικές μεθόδους με στόχο τη σύγκριση των μεταξύ τους αποτελεσμάτων. Από τη μέθοδο των πραγματικών περιοχών συμφόρησης, της οποίας τα αποτελέσματα θεωρήθηκαν έγκυρα, εντοπίστηκαν 23 δευτερογενή συμβάντα από τα οποία 7 ανήκουν σε ομάδες πολλαπλών δευτερογενών συμβάντων.

Από τα αποτελέσματα της παραπάνω επεξεργασίας διαπιστώθηκε ξεκάθαρα η αδυναμία των μεθόδων των στατικών κατώτατων ορίων (static thresholds) να εντοπίσουν τα δευτερογενή συμβάντα τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά. Σύμφωνα με τα δεδομένα αυτής της εργασίας οι μέθοδοι αυτές εξάγουν κατά κύριο λόγο εσφαλμένα συμπεράσματα, σε αντίθεση με τις δύο δυναμικές μεθόδους των οποίων τα αποτελέσματα, σχεδόν, συμπίπτουν. Συμπερασματικά, για το ρεαλιστικό εντοπισμό των δευτερογενών συμβάντων είναι απαραίτητη η χρήση δυναμικών μεθόδων αποτύπωσης των περιοχών συμφόρησης, διότι παρόλο τον αισθητά μεγαλύτερο όγκο επεξεργασίας που απαιτούν, προσεγγίζουν το θέμα εξάγοντας το μικρότερο δυνατό πλήθος σφαλμάτων.

Ως προς τα πρωτογενή συμβάντα στις περιοχές συμφόρησης των οποίων έλαβαν χώρα τα εντοπισμένα δευτερογενή, παρατηρήθηκαν διάφορα κοινά χαρακτηριστικά μεταξύ τους. Από τα υπάρχοντα δεδομένα, φάνηκε ότι τα συμβάντα αυτά σχημάτισαν μεγάλου μήκους και διάρκειας περιοχές συμφόρησης οι οποίες περιλάμβαναν σχεδόν όλες σήραγγες στο εσωτερικό

τους καθώς και εισόδους ή εξόδους. Τέλος, εντοπίστηκε ότι τα πρωτογενή συμβάντα ήταν χωρικά περιορισμένα σε συγκεκριμένες χιλιομετρικές θέσεις της περιοχής μελέτης.

6.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Στην παρούσα διπλωματική δεν έχει ληφθεί υπόψη η εμφάνιση συγχρονισμένης ροής εντός των περιοχών συμφόρησης διότι θεωρήθηκε ότι σε όλες τις περιπτώσεις επικρατούν συνθήκες μέγιστης πυκνότητας (άρα και κινούμενης φάλαγγας συμφόρησης) το οποίο πιθανότατα δεν αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα (η κυκλοφορία δεν είναι ομογενής και στάσιμη μεταξύ των φωρατών λόγω π.χ της γεωμετρίας κ.α.). Η πολυπλοκότητα αυτή επηρεάζει σημαντικά τις παραμέτρους της αναλυτικής μεθόδου που παρουσιάστηκε και θα πρέπει να ληφθεί υπόψη σε μελλοντικές ερευνητικές προσπάθειες. Ακόμα, για μία ακόμα πληρέστερη εφαρμογή των παραπάνω εξισώσεων θα πρέπει να ενσωματωθούν και παράμετροι που αφορούν στους εισερχόμενους και εξερχόμενους φόρτους όταν στην οδό υπάρχουν εισοδοί και έξοδοι. Με τα νέα αυτά δεδομένα θα ήταν χρήσιμο να γινόταν μία λεπτομερέστερη στατιστική ανάλυση με σκοπό τη σύγκριση της μεθόδου αυτής με τη μέθοδο που βασίζεται στην πτώση ταχυτήτων ως προς τα αποτελέσματά τους.

Επίσης, θα είχε πολύ ενδιαφέρον να γίνει στατιστική ανάλυση με στόχο τη διερεύνηση της συμβολής κάποιων χαρακτηριστικών των περιοχών συμφόρησης στον ακανόνιστο τρόπο αποσχηματισμού τους, με στόχο την πληρέστερη ερμηνεία και κατανόηση αυτού του φαινομένου.

Τέλος, χρήσιμη θα ήταν και η περαιτέρω διερεύνηση των συνθηκών κάτω από τις οποίες συμβαίνουν τα δευτερογενή ατυχήματα, δηλαδή ποια είναι τα χαρακτηριστικά των πρωτογενών συμβάντων που έχουν ως συνέπεια νέα

ατυχήματα. Για το θέμα αυτό, στην παρούσα εργασία έγιναν κάποιες πρώτες παρατηρήσεις πάνω στο μέγεθος των χρονικών διαρκειών και των μηκών των περιοχών συμφόρησης αλλά και για την περιοχή που συνέβησαν όλα τα πρωτογενή συμβάντα οι οποίες όμως χρειάζονται πιο εκτεταμένη μελέτη για να οδηγήσουν σε ασφαλή συμπεράσματα. Εάν κάτι τέτοιο πραγματοποιηθεί, γνωρίζοντας τα ουσιαστικά αίτια της εμφάνισης των δευτερογενών ατυχημάτων σε ορισμένες περιοχές συμφόρησης είναι πολύ πιθανότερο να επιτευχθεί και η μείωση του αριθμού τους.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Karlaftis M.G., Latoski S.P., Richards N.J., Sinha K.C. (2009) "ITS Impacts on Safety and Traffic Management: An Investigation of Secondary Crash Causes", ITS Journal Vol.5, 39-55

Kerner B.S., Rehborn H., Aleksic M., Haug A. (2004) "Recognition and tracking of spatial-temporal congested traffic patterns on freeways", Transportation Research Part C 12 (2004) 369-400.

Kerner B.S. (2004) " The Physics of Traffic- Empirical Freeway Pattern Features, Engineering Applications, and Theory", Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Li H., Bertini R.L., (2010) "Comparison of Algorithms for Systematic Tracking of Patterns of Traffic Congestion on Freeways in Portland, Oregon", Journal of Transportation Research Board, No 2178, 101-110.

LightHill M.J. and Whitham G.B. On Kinematic Waves: A Theory of Traffic Flow on Long Crowded Roads, Proc., of Royal Society, Series A, Vol., 229, No. 1178. London, 1955, pp 317-345.

Moore J.E.,Giylano G., Cho S., (2004) "Secondary Accidents Rates on Los Angeles Freeways", Journal of Transportation Engineering, Vol.130, 280-285.

Sun C.C., Chilukuri V. (2010) "Dynamic Incident Progression Curve for Classifying Secondary Traffic Crashes", Journal of Transportation Engineering, Vol.136, 12-1153-1158.

Zhang H., Khattak A. (2009) "What Is the Role of Multiple Secondary Incidents in Traffic Operations?", Proc., Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.

Κοκολάκης Γ., Σπηλιώτης Ι.(1999) “Εισαγωγή στη Θεωρία Πιθανοτήτων και Στατιστική”, Εκδόσεις Συμεών

Κοπελιάς Π., Παπανδρέου Κ., Παπαδημητρίου Φ., (2008) “Σύγχρονα Συστήματα Παρακολούθησης και Απόκρισης για τη Διαχείριση Συμβάντων και Ατυχημάτων” , Αττικές Διαδρομές

Ρούσσος Π., Ευσταθίου Γ. (2008) “Σύντομο Εγχειρίδιο SPSS 16.0” (www.psych.uoa.gr/~roussosp/stats/Manual_SPSS16.pdf)

Τάγιος Π. (2010) “Στατιστική Μελέτη των Αποτελεσμάτων Πιστοποίησης Δεξιοτήτων πληροφορικής” (<http://openarchives.gr/view/462253>)

Φρατζεσκάκης Ι., Γκόλιας Ι., Πατσιάβα-Λατινοπούλου Μ. (2009) “Κυκλοφοριακή Τεχνική”, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Google: http://en.wikipedia.org/wiki/Traffic_congestion

Google: http://en.wikipedia.org/wiki/Three-phase_traffic_theory

Google:

http://en.wikipedia.org/wiki/Traffic_congestion:_Reconstruction_with_Kerner%E2%80%99s_three-phase_theory

Google: <http://www.ctre.iastate.edu/mtc/reports/secondary-accidents.htm>

Google: http://en.wikipedia.org/wiki/Induction_loop

Google: <http://draco.nac.uci.edu/rbfaq/FAQ/8i.2.html>

Google: http://en.wikipedia.org/wiki/Traffic_wave

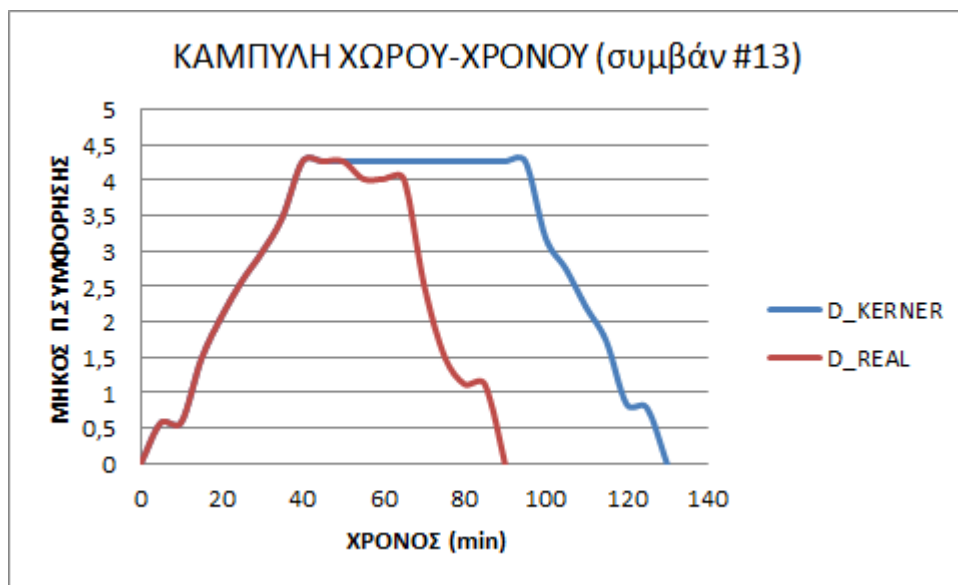
Google: <http://pdffinder.net/Shockwave-Traffic-theory.html>(Segl J. “Shockwave Traffic Theory”)

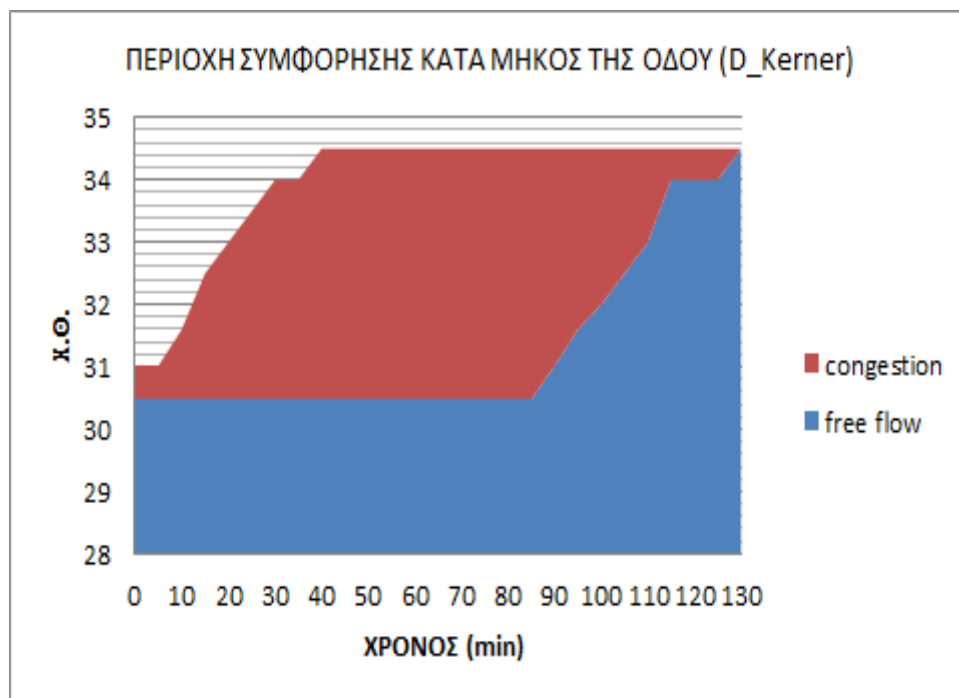
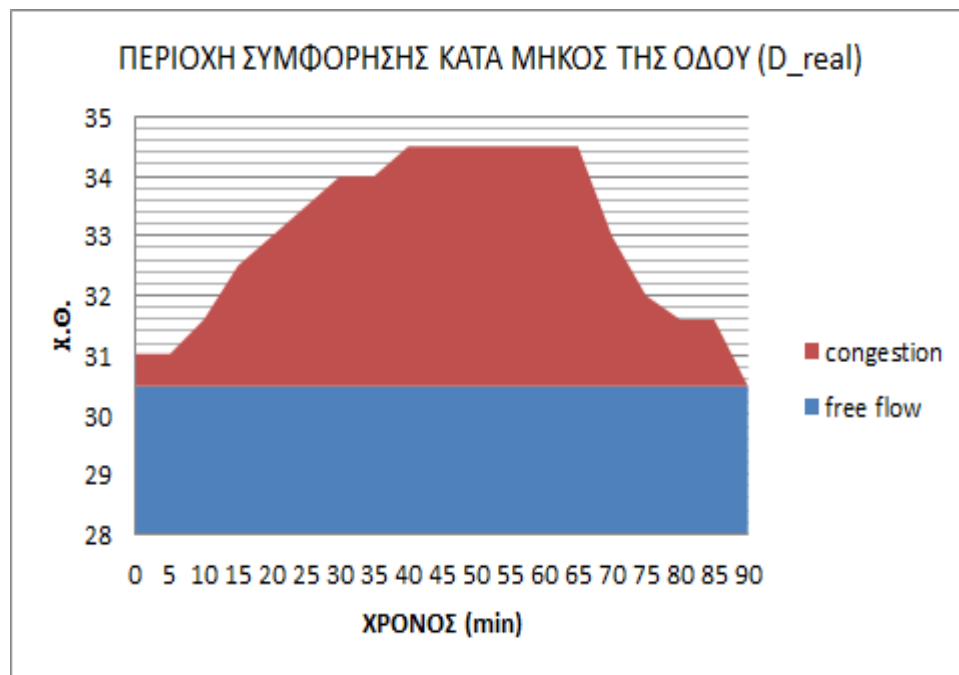
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

1)ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ

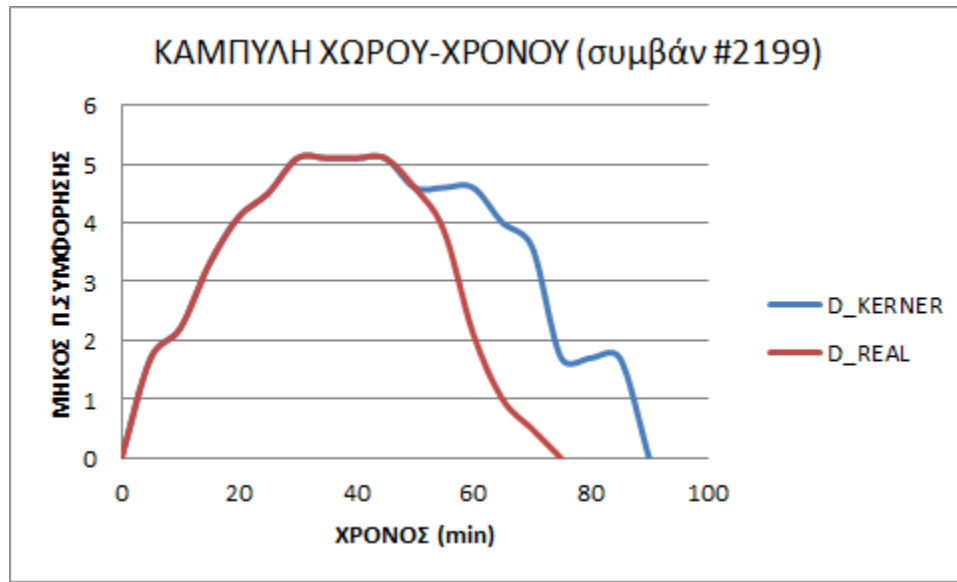
Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η χρονική και χωρική εξέλιξη των περιοχών συμφόρησης ανάντη ορισμένων πρωτογενών συμβάντων, όπως αυτή αποτυπώθηκε μη τη χρήση των, αναλυτικών και εμπειρικών, δυναμικών μεθόδων. Από τα διαγράμματα μπορούν να φανούν και οι διαφορές της μεθόδου που βασίζεται στις εξισώσεις του Kerner με την εμπειρική μέθοδο των “πραγματικών” περιοχών συμφόρησης που βασίζεται στην πτώση των ταχυτήτων.

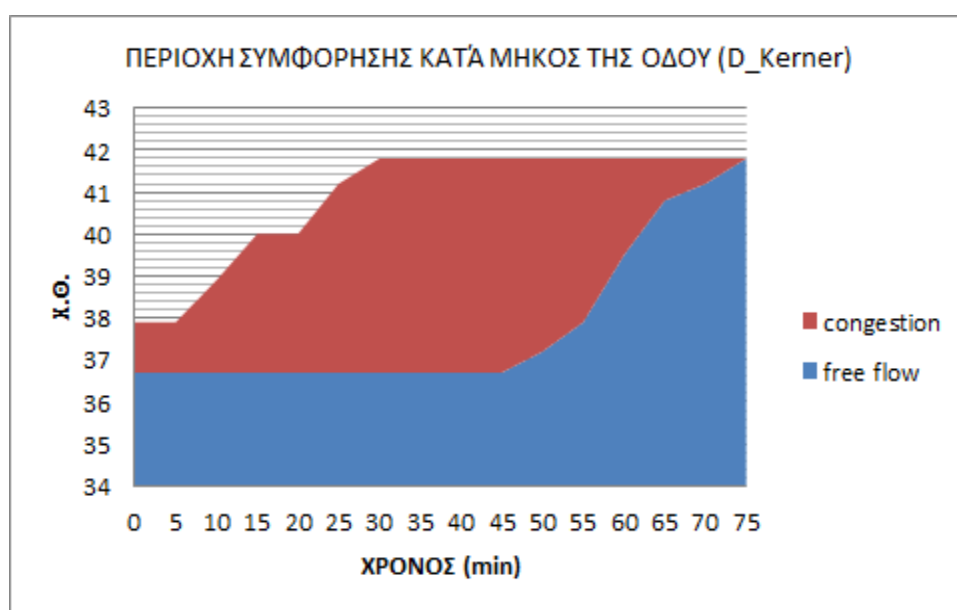
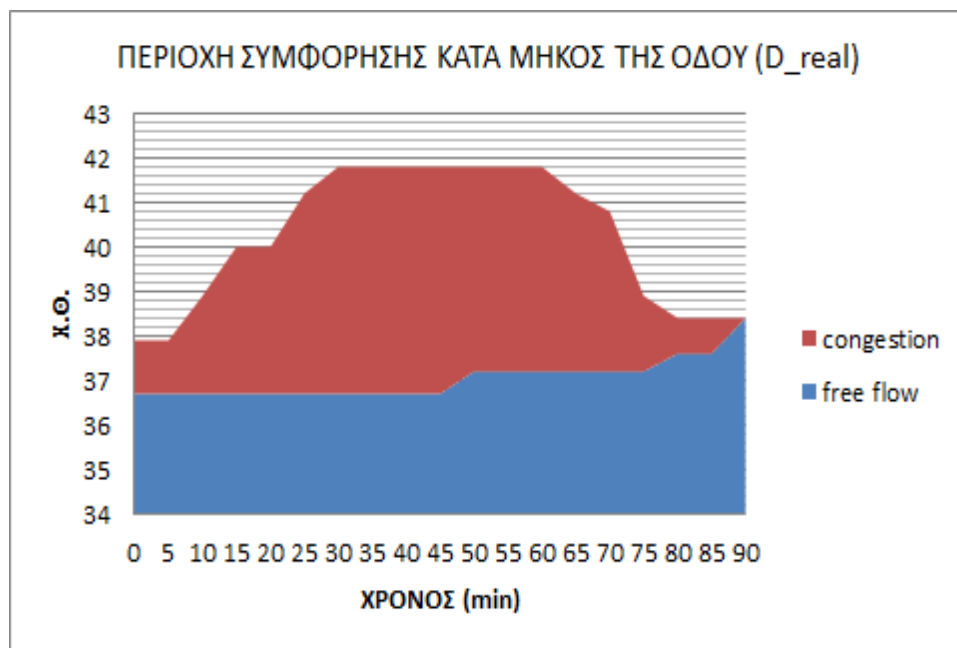
ΣΥΜΒΑΝ #13



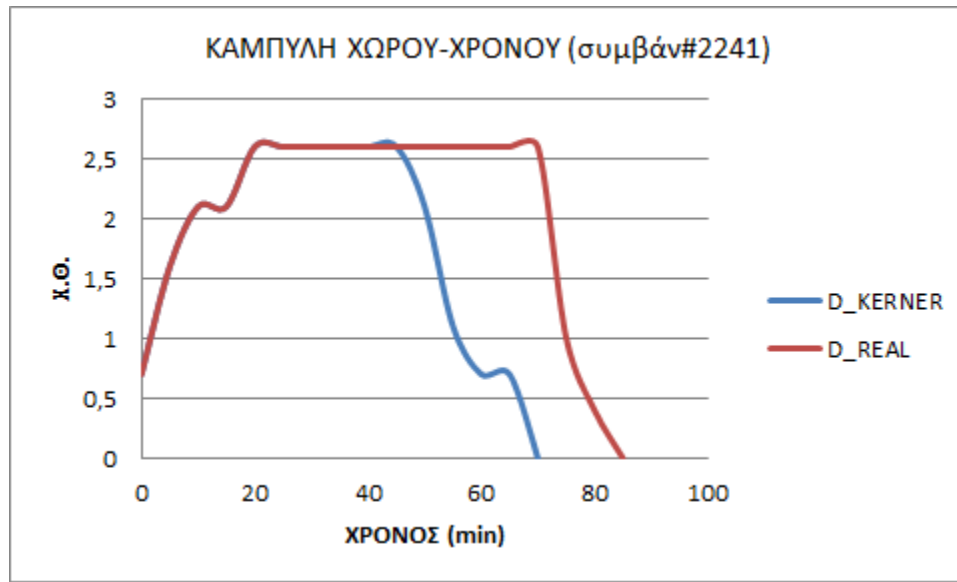


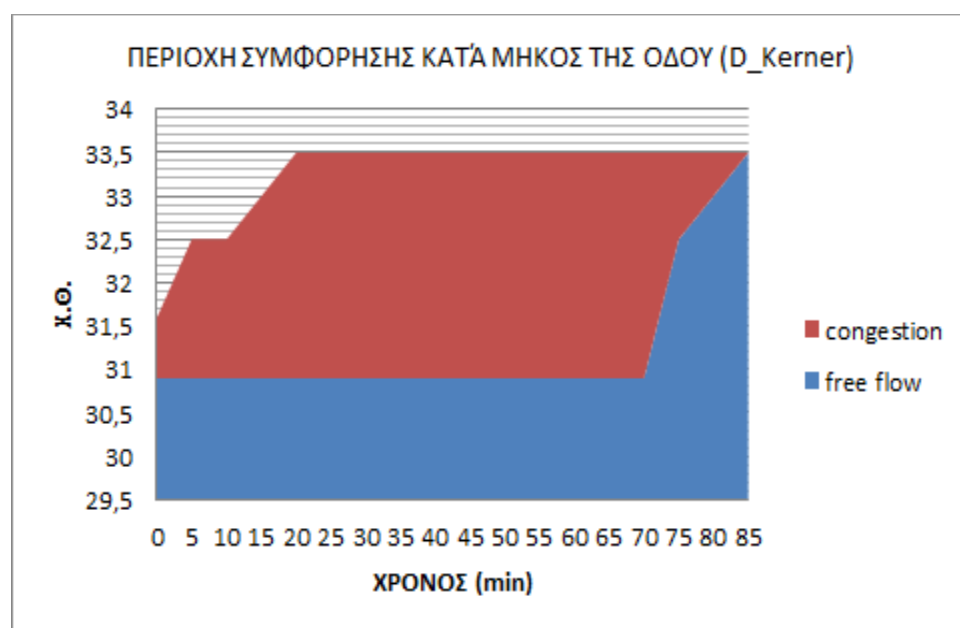
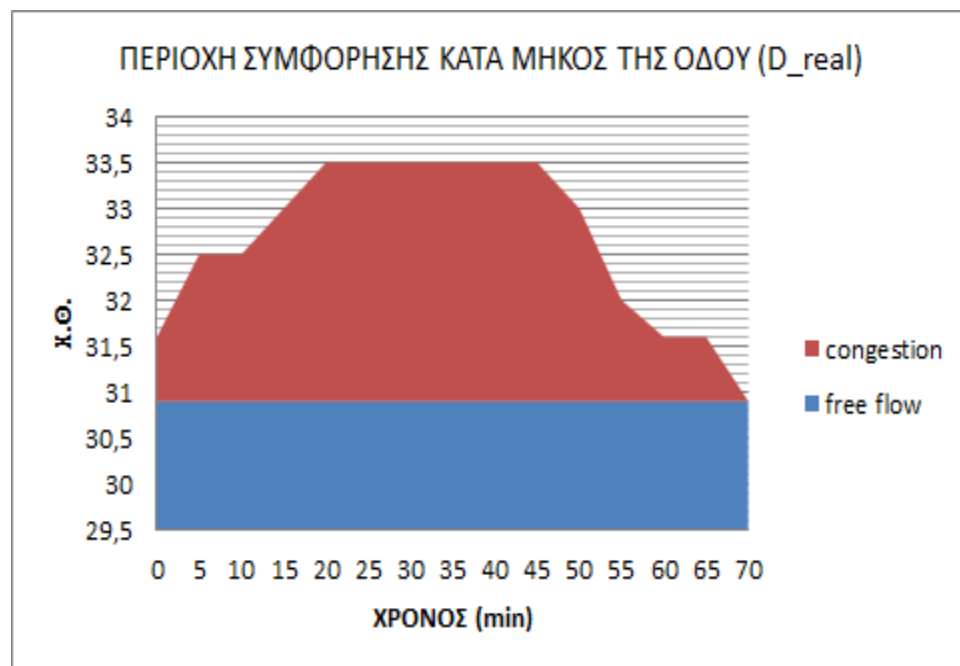
ΣΥΜΒΑΝ #2199





ΣΥΜΒΑΝ #2241

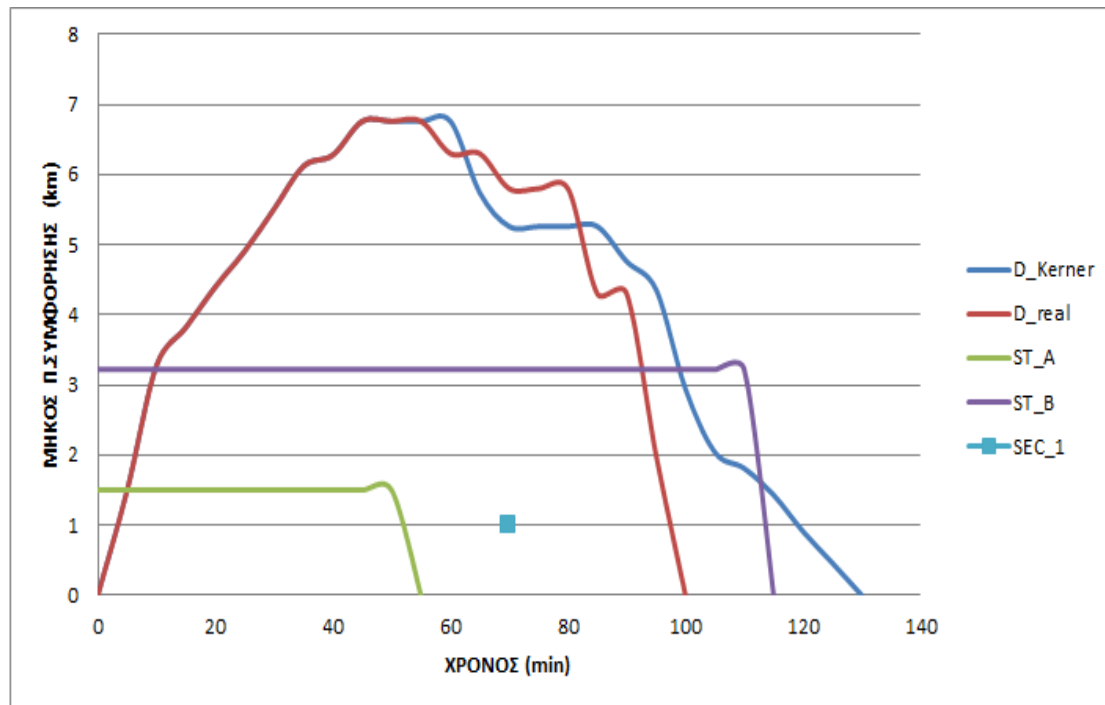




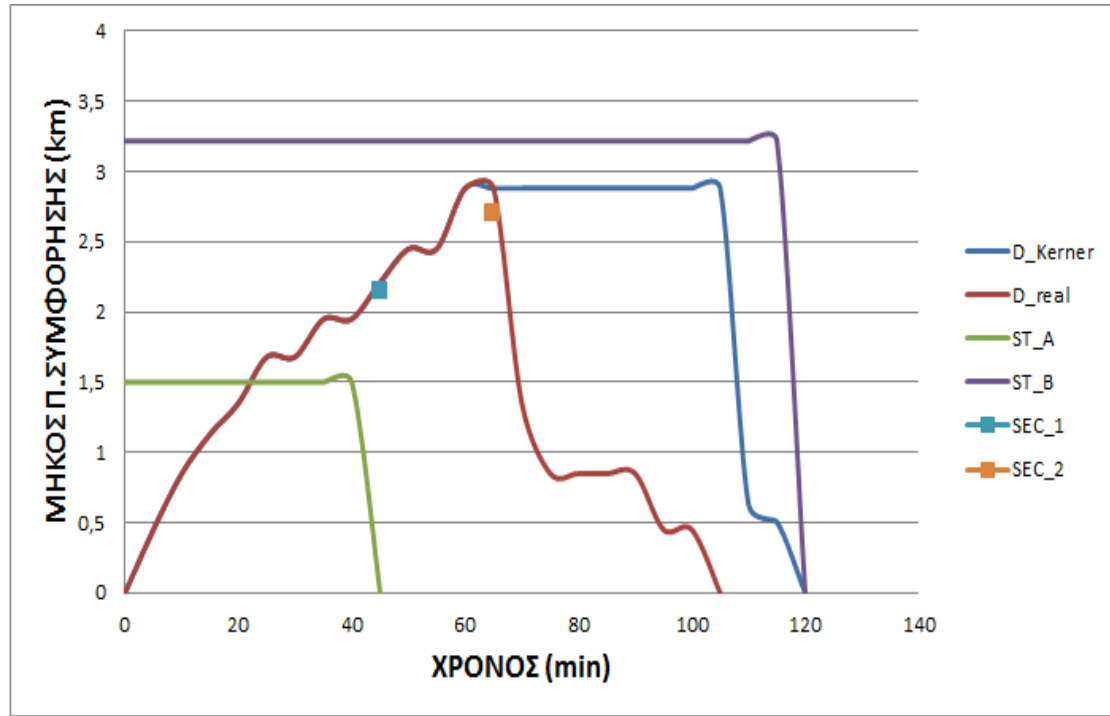
2)ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ

Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται η χωρική και χρονική εξέλιξη των περιοχών συμφόρησης όπως προκύπτουν από την εφαρμογή των μεθόδων της πραγματικής περιοχής συμφόρησης (D_real), της περιοχής συμφόρησης βασισμένη στις εξισώσεις του Kerner (D_Kerner), των στατικών ορίων τύπου Α (ST_A) και των στατικών ορίων τύπου Β (ST_B). Τα τετράγωνα στα διαγράμματα, αναπαριστούν πραγματικά δευτερογενή συμβάντα. Εάν οι περιοχές συμφόρησης εσωκλείουν το τετράγωνο, σημαίνει ότι με την αντίστοιχη μέθοδο το συμβάν χαρακτηρίζεται ως δευτερογενές. Σε αντίθετη περίπτωση, η το συμβάν χαρακτηρίζεται από τη μέθοδο ως πρωτογενές.

ΣΥΜΒΑΝ #358



ΣΥΜΒΑΝ #2036



ΣΥΜΒΑΝ #2384

