



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΛΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΣΤΙΣ ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ ΛΕΩΦΟΡΟΥΣ



ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: ΦΩΤΕΙΝΗ Π. ΟΡΦΑΝΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΕΛΕΝΗ Ι. ΒΛΑΧΟΓΙΑΝΝΗ

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2010

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω μέσα από την καρδιά μου την επιβλέπουσα καθηγήτρια κα Ελένη Βλαχογιάννη, Λέκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, για την άψογη συνεργασία και συμπαράσταση σε όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας. Χωρίς την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή της η εκπόνηση της παρούσας εργασίας πραγματικά δεν θα ήταν δυνατή.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών για τις γνώσεις που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου, οι οποίες υπήρξαν πολύτιμες και αποτελούν βάση και αφετηρία για την επαγγελματική μου σταδιοδρομία.

Τέλος θα ήθελα να απευθύνω ευχαριστίες στην οικογένειά μου για την εμπιστοσύνη της σε μένα, τη συμπαράσταση και την καθοδήγησή τόσο κατά τη διάρκεια των σπουδών μου όσο και κατά τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας.

ΣΥΝΟΨΗ

Στα οδικά δίκτυα, όταν μία φάλαγγα οχημάτων περνά από μια κυκλοφοριακή διαταραχή οι συνθήκες που επικρατούσαν πριν από τη διαταραχή δεν αποκαθίστανται αμέσως. Η καθυστέρηση στην αποκατάσταση της ταχύτητας όταν προέρχονται τα οχήματα από μια κινηματική διαταραχή καλείται υστέρηση κυκλοφορίας. Το φαινόμενο της υστέρησης έχει βασικές εφαρμογές στο σχεδιασμό των σύγχρονων συστημάτων ελέγχου και διαχείρισης κυκλοφορίας σε ελεύθερες λεωφόρους καθώς μέσω της ανάλυσης και της κατανόησης του γίνεται δυνατή η αντιμετώπιση των καταστάσεων συμφόρησης που έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση του φαινομένου. Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται ανάλυση του φαινομένου της υστέρησης σε ελεύθερες λεωφόρους, σε μακροσκοπικό και μικροσκοπικό επίπεδο, μέσω της διερεύνησης τροχιών οχημάτων. Αρχικά εντοπίζονται και κατηγοριοποιούνται οι κυκλοφοριακές υστερήσεις. Στη συνέχεια, εκτιμώνται και υπολογίζονται τα κυκλοφοριακά μεγέθη τα οποία αναλύονται στην περαιτέρω στατιστική ανάλυση, με τη χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων. Από την ανάλυση αυτή προκύπτουν προέκυψαν τα κρίσιμα κρίσιμα μεγέθη τα οποία φαίνεται να επηρεάζουν περισσότερο το φαινόμενο της υστέρησης και ανάλογα με τις τιμές του να εκτιμάται το είδος της συμπεριφοράς του οδηγού του οχήματος που ακολουθεί.

ABSTRACT

In traffic networks when a platoon of vehicles goes through a traffic disturbance the conditions prior to the disturbance are not restored immediately. The retardation in the recovery of speed when vehicles come out from a traffic disturbance is called traffic hysteresis. The hysteresis phenomenon is a characteristic of congested traffic and has basic applications in the planning of modern traffic management and control systems in freeways. The understanding of traffic hysteresis phenomena will enable the effective proactive treatment of traffic situations that cause the appearance of phenomenon. In the present thesis hysteresis is analyzed through the trajectories of vehicles, in both macroscopic and microscopic level. First situations of traffic hysteresis are detected and categorized. Following their macroscopic and microscopic traffic flow characteristics are estimated and further analyzed using artificial neural networks. Analyses reveal the characteristics which appear to be the most influential with regards to the hysteresis phenomenon occurrence. These characteristics are further associated with different driver's behaviors.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα οδικά δίκτυα όταν μία φάλαγγα οχημάτων περνά από μια κυκλοφοριακή διαταραχή οι συνθήκες που επικρατούσαν πριν από τη διαταραχή δεν αποκαθίστανται αμέσως. Η καθυστέρηση στην αποκατάσταση της ταχύτητας όταν προέρχονται τα οχήματα από μια κινηματική διαταραχή καλείται υστέρηση κυκλοφορίας. Παρουσία της υστέρησης, τα οχήματα παρουσιάζουν μεγαλύτερους χωρικούς διαχωρισμούς κατά τη διάρκεια της φάσης της επιτάχυνσης για δεδομένη ταχύτητα σε σύγκριση με τη φάση της επιβράδυνσης.

Το φαινόμενο της υστέρησης αναλύεται και μικροσκοπικά και μακροσκοπικά. Η μικροσκοπική προσέγγιση επικεντρώνεται στις υπάρχουσες σχέσεις ανάμεσα στην ταχύτητα και την πυκνότητα, το φόρτο και την πυκνότητα και το μέσο χρονικό διαχωρισμό και την πυκνότητα. Η μικροσκοπική προσέγγιση επικεντρώνεται στην ασυμμετρία μεταξύ επιτάχυνσης και επιβράδυνσης η οποία αποτελεί τη βάση του φαινομένου της υστέρησης, και στη θεωρία του ακολουθούντος οχήματος η οποία χρησιμοποιείται για περαιτέρω εμφάνιση του φαινομένου. Σε μικροσκοπικό επίπεδο η ανάλυση έγινε μέσω του προσδιορισμού των φόρτων εισόδου και εξόδου από το φαινόμενο Q_{in} και Q_{out} αντίστοιχα, ενώ σε μικροσκοπικό επίπεδο μελετήθηκαν οι σημαντικές ταχύτητες των οχημάτων v_c , οι χωρικοί και χρονικοί διαχωρισμοί s και t μεταξύ των οχημάτων καθώς και οι στιγμιαίες επιταχύνσεις a_i για όλη τη διάρκεια της κίνησής τους η οποία εξετάστηκε.

Οι τροχιές των οχημάτων και τα μικροσκοπικά χαρακτηριστικά της κίνησης των οχημάτων προέκυψαν από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε ένα τμήμα του διαπολιτειακού αυτοκινητόδρομου I-80 στην περιοχή του San Francisco στην California μέσω της χρήσης βιντεοκάμερών. Η εικόνα με τις τροχιές των οχημάτων εισάγονται στο πρόγραμμα Trajectory Explorer μέσω του οποίου προκύπτουν διαγράμματα φόρτου – πυκνότητας. Συνοπτικά τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα εξής:

Αρχικά εισάγεται η εικόνα με τις τροχιές των οχημάτων υπό μορφή αρχείου bitmap και προσδιορίζονται οι παράμετροι του προγράμματος Trajectory Explorer. Μέσω του προγράμματος γίνεται επιλογή των ζευγών οχημάτων και της περιοχής ανάλυσης της κίνησης τους. Η επιλογή των ζευγών γίνεται με κριτήριο να παρατηρείται

σημαντική αλλαγή στην κίνηση κάποιου εκ των δύο ή και των δύο οχημάτων που αποτελούν το προς εξέταση ζεύγος ενώ η εξεταζόμενη περιοχή επιλέγεται έτσι ώστε να περιλαμβάνει την αλλαγή αυτή σε όλη την έκτασή της μέχρι μερική ή ολική αποκατάσταση των αρχικών συνθηκών κίνησης των δύο οχημάτων.

Ακολουθεί η εξαγωγή των θεμελιωδών διαγραμμάτων φόρτου (Q) – ποικνότητας (K) και η καταγραφή των χρονικών στιγμών και των θέσεων από την αρχή μέχρι το τέλος του τμήματος της κίνησης καθενός οχήματος. Στο βήμα αυτό εκτιμώνται και καταγράφονται οι χρονικές στιγμές που το φαινόμενο της υστερήσης εκτυλίσσεται. Επαναλαμβάνοντας τα παραπάνω βήματα για όλες τις υστερήσεις που εντοπίζονται μελετάται ξεχωριστά η κίνηση κάθε ζεύγους. Από τη βάση δεδομένων απομονώνονται οι χρονικές στιγμές κίνησης κάθε οχήματος, οι αντίστοιχοι χωρικοί και χρονικοί διαχωρισμοί και οι επιταχύνσεις των δύο οχημάτων. Επειδή σε κάθε δευτερόλεπτο κίνησης το όχημα περνούσε από διαφορετικές θέσεις, υπολογίστηκαν οι μέγιστοι όροι των παραπάνω κυκλοφοριακών μεγεθών ανά δευτερόλεπτο.

Στο τελευταίο βήμα της διαδικασίας εκτιμάται η διάρκεια του φαινομένου με βάση την οποία υπολογίζονται τα εξής μεγέθη:

- η διάρκεια του φαινομένου t
- οι χωρικοί διαχωρισμοί στην αρχή και το τέλος του φαινομένου s_1, s_2
- η διαφορά μεταξύ των δύο χωρικών διαχωρισμών $\Delta S = s_1 - s_2$
- ο λόγος $\Delta S / t$ (ρυθμός μεταβολής του χρονικού διαχωρισμού)

Οι υστερήσεις που εντοπίστηκαν χωρίστηκαν σε δύο ομάδες με βάση το είδος της συμπεριφοράς του οδηγού (επιθετική και επιφυλακτική). Στη συνέχεια έγινε στατιστική ανάλυση του φαινομένου χρησιμοποιώντας ως παραμέτρους τα παραπάνω μεγέθη καθώς και τις επιταχύνσεις των δυο οχημάτων στην αρχή και το τέλος του φαινομένου όπως αυτές προέκυψαν από τη βάση δεδομένων. Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων και μέσω αυτής προέκυψαν τα κρίσιμα μεγέθη που επηρεάζουν περισσότερο την ένταση του φαινομένου της υστερήσης (μορφή βρόγχου στο διάγραμμα φόρτου – ποικνότητας). Επιπλέον με βάση τις τιμές των μεγεθών αυτών μπορεί να εκτιμηθεί το είδος της συμπεριφοράς του οδηγού του οχήματος που ακολουθεί.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΣΥΝΟΨΗ.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iv
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	2
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
1.1 Η ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΣΤΙΣ ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ ΛΕΩΦΟΡΟΥΣ.....	2
1.2 ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ.....	4
1.3 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	7
1.4 ΔΙΑΦΘΩΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	9
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	9
2.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	9
2.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	29
ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΤΩΝ ΥΣΤΕΡΗΣΕΩΝ.....	29
3.1 ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΧΩΡΟΥ – ΧΡΟΝΟΥ (TIME – SPACE DIAGRAM).....	29
3.2 ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΧΩΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ – ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ (SPACING - SPEED DIAGRAM).....	33
3.3 ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ TRAJECTORY EXPLORER.....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	39
ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗ ΥΣΤΕΡΗΣΗ.....	39
4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ.....	39
4.2 Η ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	42
4.3 ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΥΣΤΕΡΗΣΕΩΝ.....	46
4.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	51
4.4.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΥΧΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	60
4.4.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ.....	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	74
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	74
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	74
5.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	75
5.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....	78
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	80
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	83
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	116

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1 : Ορισμός της περιοχής Α (Πηγή: Laval 2009)	25
Σχήμα 2 : Διαγράμματα φόρτου – πυκνότητας στα οποία παρατηρούνται οι βρόγχοι υστέρησης (Πηγή: Laval 2009).....	26
Σχήμα 3: Ορισμός της περιοχής Α (Πηγή: Laval 2009)	31
Σχήμα 4: Προσδιορισμός της περιοχής Α και των χαρακτηριστικών της (Πηγή: Laval 2009)	32
Σχήμα 5: Διάγραμμα χρόνου – χρόνου και αντίστοιχο διάγραμμα φόρτου - πυκνότητας (Πηγή: Laval 2009).....	33
Σχήμα 6: Παράδειγμα θετικού βρόγχου (Πηγή: Vadlamani 2010)	34
Σχήμα 7: Παράδειγμα αρνητικού βρόγχου (Πηγή: Vadlamani 2010).....	34
Σχήμα 8: Παράδειγμα διπλού βρόγχου (Πηγή: Vadlamani 2010)	35
Σχήμα 9: Παράδειγμα τριπλού βρόγχου (Πηγή: Vadlamani 2010).....	35
Σχήμα 10: Παράδειγμα εισόδου σε μορφή αρχείου bitmap που εισάγεται στο πρόγραμμα Trajectory Explorer	36
Σχήμα 11: Διάγραμμα χρόνου – χρόνου στο οποίο παρουσιάζεται η περιοχή κίνησης του ζεύγους οχημάτων που εξετάζεται και το αντίστοιχο διάγραμμα φόρτου - πυκνότητας.....	37
Σχήμα 12: Διαδικασία εξαγωγής της βάσης δεδομένων και των τροχιών κίνησης των οχημάτων (Πηγή: 1 – 80 Main Data, data – analysis)	44
Σχήμα 13: Σχηματική αναπαράσταση της περιοχής μελέτης και διάγραμμα θέσεων των βιντεοκαμερών (Πηγή: 1 – 80 Main Data, data – analysis).....	45
Σχήμα 14: Πολυεπίπεδο Perceptron (Πηγή: http://dms.irb.hr/tutorial/images/ann.jpg)	57
Σχήμα 15: Σημασία του παράγοντα της ορμής στην εκπαίδευση του ΤΝΔ (J. C. Principe, N. R. Euliano, W. C. Lefebvre 1999)	58
Σχήμα 16: Η διαφορά τοπικού και ολικού ελάχιστου.....	59

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 : Κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά και συνιστώσες τους σε μακροσκοπικό και μικροσκοπικό επίπεδο	4
Πίνακας 2: Φόρτοι εισόδου, εξόδου και διαφορά φόρτων ανά ομάδα και περίπτωση	50
Πίνακας 3: Παρουσίαση στατιστικών μεγεθών του μοντέλου.....	62

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Τυπική μορφή ανεστραμμένου λ του διαγράμματος φόρτου – πυκνότητας, η οποία δείχνει την πτώση της ικανότητας από q_{∞} στη χαμηλότερη τιμή $q_{\infty} < q_{\infty}$. Η υστέρηση παρατηρείται κατά την μετάβαση από τον κλάδο της συμφόρησης στον κλάδο της ελεύθερης ροής όπως υποδεικνύεται από τα τρία βέλη (1)-(3) (Πηγή: Maerivoet and De Moor 2008).	10
Διάγραμμα 2: Διάγραμμα μέσης ταχύτητας – πυκνότητας για την επιλεγμένη φάλαγγα οχημάτων	12
Διάγραμμα 3: Διάγραμμα φόρτου – πυκνότητας για την επιλεγμένη φάλαγγα οχημάτων	13
Διάγραμμα 4: Διάγραμμα ενέργειας – πυκνότητας για την επιλεγμένη φάλαγγα οχημάτων	14
Διάγραμμα 5: Διάγραμμα μέσου χρονικού διαχωρισμού – πυκνότητας για την επιλεγμένη φάλαγγα οχημάτων (Πηγή: Treiterer και Myers 1974)	15
Διάγραμμα 6: Διάγραμμα μέσης επιτάχυνσης – αλλαγής στην ταχύτητα (Πηγή: Treiterer και Myers 1974)	16
Διάγραμμα 7: Διάγραμμα μέσης επιβράδυνσης – αλλαγής στην ταχύτητα (Πηγή: Treiterer και Myers 1974)	16
Διάγραμμα 8: Διαγράμματα ταχύτητας – κατάληψης (Πηγή: Zhang 1999)	19
Διάγραμμα 9: Διάγραμμα ταχύτητας – πυκνότητας (Πηγή: Treiterer – Myers 1974)	20
Διάγραμμα 10: Διάγραμμα ταχύτητας – κατάληψης (Πηγή: Maes 1979)	20
Διάγραμμα 11: Διάγραμμα ταχύτητας – πυκνότητας (Πηγή: Zhang 1999)	22
Διάγραμμα 12 :Διάγραμμα ταχύτητας – πυκνότητας με πολλαπλούς βρόγχους (Πηγή: Zhang 1999)	22
Διάγραμμα 13 : Διάγραμμα ταχύτητας - κατάληψης με βάση δεδομένα που συλλέχθηκαν στη λεωφόρο του San Francisco σε χρονικά διαστήματα των 10s (Πηγή: Zhang 1999)	23
Διάγραμμα 14: Διάγραμμα ταχύτητας – κατάληψης με βάση δεδομένα που συλλέχθηκαν στη λεωφόρο του San Francisco μετά την ομαδοποίηση των δεδομένων σε χρονικά διαστήματα του 1 min (Πηγή: Zhang 1999)	23
Διάγραμμα 15 : Διάγραμμα χώρου – χρόνου στο οποίο φαίνονται οι τροχιές των οχημάτων (Πηγή: http://www.webel.nidaho.edu/niall_lab/manual/Chapters/trafficflowtheory/theoryandconcepts/TimeSpaceDiagram.htm)	30
Διάγραμμα 16: Εμπειρικά δεδομένα τροχών που δείχνουν πως η επιθετική και η επιφυλακτική συμπεριφορά των οδηγών οδηγεί σε αρνητικούς (α και b) ή σε θετικούς (c και d) βρόγχους υστέρησης (Πηγή: Laval 2010)	47
Διάγραμμα 17:Επιρροή αριθμού παραδεκτών στο Μέσο Απόλυτο Σφάλμα (J. C. Principe, N. R. Euliano, W. C. Lefebvre 1999	60
Διάγραμμα 18: Διάγραμμα Ευαισθησίας για όλες τις παραμέτρους	64
Διάγραμμα 19: Διάγραμμα ευαισθησίας για το ρυθμό μεταβολής του χωρικού	66
Διάγραμμα 20: Διάγραμμα ευαισθησίας για το χωρικό διαχωρισμό στο τέλος του φαινομένου	67
Διάγραμμα 21: Διάγραμμα ευαισθησίας για την επιτάχυνση του οχήματος που ακολουθεί	68
Διάγραμμα 22: Διάγραμμα ευαισθησίας για το χωρικό διαχωρισμό στην αρχή του φαινομένου	69
Διάγραμμα 23 :Διάγραμμα ευαισθησίας για τη μεταβολή του χωρικού διαχωρισμού	70
Διάγραμμα 24: Διάγραμμα ευαισθησίας για τη διάρκεια του φαινομένου	71
Διάγραμμα 25: Διάγραμμα ευαισθησίας για την επιτάχυνση του οχήματος που ακολουθεί στην αρχή του φαινομένου	72
Διάγραμμα 26: Διάγραμμα ευαισθησίας για την επιτάχυνση του προπορευόμενου οχήματος στο τέλος του φαινομένου	73

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΣΤΙΣ ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ ΛΕΩΦΟΡΟΥΣ

Οι ελεύθερες λεωφόροι (freeways) είναι οι διαμεμένες οδοί τεσσάρων ή περισσότερων λωρίδων κυκλοφορίας που έχουν πλήρη έλεγχο των προσβάσεων με την κατασκευή ανισόπεδων κόμβων (interchanges) ή ανισόπεδων διαβάσεων (two level crossings) σε όλες τις διασταυρώσεις με άλλες οδούς και τη δημιουργία παράπλευρων οδών (service roads). Οι τελευταίες είναι παράλληλες συνήθως προς τη λεωφόρο για την εξυπηρέτηση της τοπικής κυκλοφορίας μόνο (<http://en.wikipedia.org/wiki/Freeway>). Όλες οι δευτερεύουσες οδοί που συναντούν μια ελεύθερη λεωφόρο τερματίζονται στις παράπλευρες οδούς ή διαμορφώνονται ως αδιέξοδοι. Οι ελεύθερες λεωφόροι έχουν δύο ή περισσότερες λωρίδες ανά κατεύθυνση και η ροή κατά μήκος τους είναι μη διακοπτόμενη. Μη διακοπτόμενη ροή (Uninterrupted Flow) έχουμε όταν δεν υπάρχουν μόνιμες εγκαταστάσεις όπως π.χ. σηματοδότηση, που μπορούν να προκαλέσουν διακοπές της κυκλοφοριακής ροής. Οι συνθήκες κυκλοφοριακής ροής προκύπτουν στην περίπτωση αυτή από την αλληλεπίδραση μεταξύ των οχημάτων στο ρεύμα κυκλοφορίας και μεταξύ οχημάτων και γεωμετρικών και περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών της οδού (Φραντζεσκάκης και άλλοι 2009).

Οι ελεύθερες λεωφόροι αποτελούνται από τα βασικά τμήματα, τις ρίμπες και τις περιοχές πλέξης. Στις βασικές συνθήκες επιτυγχάνεται η μέγιστη κυκλοφοριακή ικανότητα υπό προϋποθέσεις καλοκαιρίας, καλής ορατότητας και απουσίας ακραίων γεγονότων (ατυχήματα κ.α.). Σε αντίθετη όμως περίπτωση που οι συνθήκες κυκλοφορίας δεν είναι οι ιδανικές παρουσιάζονται προβλήματα στην κίνηση των οχημάτων, η ζήτηση μπορεί να ξεπεράσει την κυκλοφοριακή ικανότητα σε κάποιο σημείο της λεωφόρου ή σε κάποιο τμήμα της με αποτέλεσμα τη δημιουργία ουρών και τον κορεσμό του οδικού τμήματος. Ακόμα όμως και σε αυτή την περίπτωση η οποία οδηγεί μέχρι και στη διακοπή της ροής, η ροή στην ελεύθερη λεωφόρο χαρακτηρίζεται και πάλι ως μη διακοπτόμενη καθώς η προσωρινή διακοπή της

προκαλείται από λόγους που οφείλονται στην ίδια την κυκλοφορία και όχι στον τύπο της οδού (Φραντζεσκάκης και άλλοι 2009). Τα όρια ταχύτητας είναι γενικά υψηλότερα από τις υπόλοιπες κατηγορίες οδών με αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου διαδρομής και του ποσοστού ατυχημάτων. Ωστόσο λόγω των υψηλών ταχυτήτων έχει αυξηθεί η σοβαρότητα των συγκρούσεων που συμβαίνουν. Για το λόγο αυτό είναι εξυπλισμένες με μεγαλύτερο αριθμό πινακίδων καθοδήγησης οι οποίες για λόγους ορατότητας είναι και μεγαλύτερου μεγέθους (<http://en.wikipedia.org/wiki/Freeway>).

Λόγω των υψηλών ορίων ταχύτητας στις ελεύθερες λεωφόρους αναπτύσσονται σε αυτές κατά κανόνα υψηλές ταχύτητες και παρουσιάζουν μεγάλη κυκλοφοριακή ικανότητα όταν οι συνθήκες, κυκλοφοριακές και καιρικές, το επιτρέπουν. Ειδικότερα όταν οι κυκλοφοριακοί φόρτοι είναι αρκετά χαμηλοί και οι οδηγοί δεν επηρεάζονται από την παρουσία άλλων οχημάτων η μέση ταχύτητα που επικρατεί στη λεωφόρο και με την οποία κινούνται τα οχήματα καλείται ταχύτητα ελεύθερης ροής. Στις περιπτώσεις αυτές η λεωφόρος προσφέρει την καλύτερη στάθμη εξυπηρέτησης η οποία συμβολίζεται με το γράμμα A και ονομάζεται ελεύθερη ροή. Στην περίπτωση όμως που κάποιο συμβάν όπως ατύχημα, εκτέλεση έργων στη λεωφόρο, ύπαρξη οχήματος που κινείται αργά κλπ, προκαλέσει παρεμπόδιση της κυκλοφορίας δεν επικρατούν πλέον συνθήκες ελεύθερης ροής, τα οχήματα κινούνται με αρκετά χαμηλότερες ταχύτητες και η στάθμη εξυπηρέτησης πέφτει σε χαμηλότερα επίπεδα (Φραντζεσκάκης και άλλοι 2009).

Είναι λοιπόν απαραίτητο σε αυτές τις περιπτώσεις να υπάρξει γρήγορη και άμεση αποκατάσταση των κυκλοφοριακών συνθηκών για την καλύτερη και πιο άνετη εξυπηρέτηση των χρηστών της λεωφόρου οι οποίοι έρχονται καθημερινά αντιμέτωποι με την κυκλοφοριακή συμφόρηση τόσο σε αστικό όσο και σε υπεραστικό επίπεδο. Με τον τρόπο αυτό θα μειωθεί σημαντικά η καθυστέρηση των οδηγών να φτάσουν στο προορισμό τους και θα περιοριστούν και άλλες δυσάρεστες συνέπειες που προκαλούνται από την ύπαρξη της συμφόρησης.

Ήδη σε πολλές χώρες έχει γίνει σημαντική πρόοδος προκειμένου οι ήδη υπάρχουσες ελεύθερες λεωφόροι να γίνουν πιο αποτελεσματικές. Οι καινοτομίες περιλαμβάνουν τη δημιουργία λωρίδων υψηλής κατάληψης ΗΟV λωρίδες, (High occupancy vehicle lanes) : τη δημιουργία ραμπών έτσι ώστε τα οχήματα να μπορούν να εισέρχονται και να εξέρχονται από τη λεωφόρο χωρίς να χρειάζεται να αναμειχθούν με την τακτική κυκλοφορία καθώς επίσης και την προσθήκη λωρίδων μόνο για βαρέα οχήματα

προκειμένου να μην χρειάζεται το υπόλοιπο κομμάτι της κυκλοφορίας να συσσωρεύεται πίσω από αργά κινούμενα οχήματα (<http://en.wikipedia.org/wiki/Freeway>). Επειδή όμως η πρόοδος αυτή δεν σημειώνεται σε όλες τις χώρες και δεν είναι πάντα αποτελεσματική η διατύπωση μοντέλων και προτύπων που θα μελετούν τα κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά και τις κυκλοφοριακές συνθήκες και θα συμβάλλουν στη γρηγορότερη αποκατάσταση των συνθηκών ελεύθερης ροής είναι θεμελιώδους σημασίας για την πιο ασφαλή και άνετη κυκλοφορία στα διάφορα οδικά δίκτυα.

1.2 ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ

Τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά της κυκλοφοριακής ροής είναι ο φόρτος (Q) , η ταχύτητα (V) και η πυκνότητα (K) . Τα χαρακτηριστικά αυτά παρατηρούνται και μελετώνται σε μικροσκοπικό και μακροσκοπικό επίπεδο. Στον Πίνακα 1 φαίνονται οι μικροσκοπικές και μακροσκοπικές συνιστώσες των παραπάνω κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών:

Πίνακας 1 : Κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά και συνιστώσες τους σε μακροσκοπικό και μικροσκοπικό επίπεδο (Πηγή: Φραντζεσκάκης και άλλοι 2009)

ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ	ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ
ΦΟΡΤΟΣ	ΧΡΟΝΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ	ΡΥΘΜΟΣ ΡΟΗΣ
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	ΧΩΡΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ	ΡΥΘΜΟΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ

Η κυκλοφορία στις ελεύθερες λεωφόρους αποτελεί μια πολύπλοκη δυναμική διαδικασία η οποία εκτυλίσσεται τόσο στο χρόνο όσο και στο χώρο. Συνεπώς για να γίνει κατανοητή αυτή η διαδικασία θα πρέπει να είναι γνωστά ορισμένα χωροχρονικά

χαρακτηριστικά των κυκλοφοριακών προτύπων που παρατηρούνται σε πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας. Συγκεκριμένα έχει βρεθεί ότι η κυκλοφορία μπορεί να είναι ελεύθερη ή να βρίσκεται υπό συνθήκες συμφόρησης οι οποίες παρατηρούνται περισσότερο στις περιοχές συμφόρησης των ελεύθερων λεωφόρων (Kerner 2004). Με τον όρο περιοχή συμφόρησης εννοούμε μια τοπική διαταραχή της κυκλοφορίας των οχημάτων σε ένα δρόμο, λεωφόρο ή εθνική οδό το οποίο μπορεί να προκληθεί από μια ευρεία ποικιλία παραγόντων. Μία ζώνη κατασκευής μπορεί να καταστήσει προσωρινά μία ή περισσότερες λωρίδες του δρόμου μη διαθέσιμες ενώ η πρόκληση ατυχήματος μπορεί επίσης να κλείσει προσωρινά κάποιες λωρίδες κυκλοφορίας. Εκτός αυτών ακόμα και η μόνιμη στένωση μίας ή περισσότερων λωρίδων μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία περιοχής συμφόρησης καθώς η κυκλοφοριακή ποιότητα της διατομής του δρόμου μειώνεται σε μεγάλο βαθμό σε ορισμένες περιπτώσεις. Περιοχές συμφόρησης δημιουργούνται επίσης λόγω της μορφής του εδάφους, για παράδειγμα λόγω ύπαρξης ανηφορικών τμημάτων ή πολύ απότομων καμπυλών, ή ακόμα και λόγω κακής σηματοδότησης. Τέλος οχήματα τα οποία κινούνται με χαμηλές ταχύτητες διαταράσσουν την ομαλή κυκλοφορία στα ανάντη προκαλώντας την δημιουργία των περιοχών αυτών. Οι περιοχές συμφόρησης μπορεί να είναι στάσιμες (stationary bottlenecks) ή κινούμενες (moving bottlenecks) (http://en.wikipedia.org/wiki/Traffic_bottlenecks). Σε συνθήκες συμφόρησης παρατηρείται το φαινόμενο του "σταμάτα – ξεκίνα" (stop and go) με αποτέλεσμα την εμφάνιση αλληλουχίας κινούμενων συμφορήσεων (moving bottlenecks). Η συμφόρηση χωρικά περιορίζεται από δύο μέτωπα συμφόρησης στα οποία η ταχύτητα, η πυκνότητα και ο ρυθμός ροής, ποικίλουν έντονα. Μέσα στο ανάντη μέτωπο συμφόρησης τα οχήματα πρέπει να επιβραδύνουν μέχρι την ταχύτητα η οποία επικρατεί στην περιοχή συμφόρησης. Στο κατάντη μέτωπο τα οχήματα επιταχύνουν φεύγοντας έτσι από την περιοχή συμφόρησης. Από τη χωροχρονική ανάλυση δεδομένων που μετρήθηκαν σε διάφορες ελεύθερες λεωφόρους σε διάφορες χώρες ο Kerner (1996, 1999) απέδειξε ότι υπάρχουν δύο διαφορετικές φάσεις κυκλοφοριακής συμφόρησης, η συγχρονισμένη ροή και η εκτεταμένου μήκους κινούμενη συμφόρηση αναπτύσσοντας την γνωστή σήμερα ως θεωρία των τριών φάσεων κυκλοφορίας. Συνεπώς υπάρχουν τρεις φάσεις κυκλοφορίας:

- Ελεύθερη ροή (Free Flow)
- Συγχρονισμένη ροή (Synchronized Flow)
- Εκτεταμένου μήκους κινούμενη περιοχή συμφόρησης (Wide moving jams)

Η κύρια διαφορά ανάμεσα στις δύο τελευταίες καταστάσεις είναι το γεγονός ότι στην πρώτη παρατηρούνται μικρές ταχύτητες αλλά υψηλοί φόρτοι, συγκρίσιμοι με αυτούς της ελεύθερης ροής, ενώ στη δεύτερη παρατηρούνται τόσο χαμηλές ταχύτητες όσο και χαμηλοί φόρτοι (Kerner 2004).

Σύμφωνα με τη θεωρία του Kerner (1996–1999) η διαδοχή ανάμεσα σε ελεύθερη ροή, συγχρονισμένη και συνθήκες συμφόρησης θα έπρεπε να εξηγεί την πολυπλοκότητα και τα μη γραμμικά χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας σε ελεύθερες λεωφόρους. Τα πρώτα μικροσκοπικά μοντέλα που σχετίζονται με τη θεωρία των τριών φάσεων που αναπτύχθηκαν το 2002 ήταν στοχαστικά μοντέλα (Kerner and Klepon 2002). Πρόσφατα έχουν αναπτυχθεί και μοντέλα ντετερμινιστικά (Kerner and Klepon, (2006)). Στα μοντέλα αυτά τα οι κινούμενες περιοχές συμφόρησης εμφανίζονται μόνο στην συγχρονισμένη ροή δηλαδή τα μοντέλα παρουσιάζουν την αλληλουχία ελεύθερη ροή → συγχρονισμένη ροή → συμφόρηση να οδηγεί σε εκτεταμένες κινούμενες συμφόρησεις στην ελεύθερη ροή. Οι Kerner et al. (2006) υποστηρίζουν ότι μία φάλαγγα οχημάτων κινείται αρχικά σε συνθήκες ελεύθερης ροής και στη συνέχεια επιβραδύνει όταν φτάσει σε συνθήκες συγχρονισμένης ροής με αποτέλεσμα τη μείωση της ταχύτητας των οχημάτων και αύξηση της πυκνότητας.

Τρίτον η φάλαγγα συναντά το ανάντη μέτωπο της συμφόρησης στο οποίο τα οχήματα πρέπει να επιβραδύνουν μέχρι την ταχύτητα που επικρατεί στη συμφόρηση η οποία είναι πολύ κοντά στο 0 και κατά συνέπεια ο ρυθμός ροής και η ταχύτητα μειώνονται απότομα και αισθητά ενώ η πυκνότητα αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό. Στη συνέχεια καθώς το ανάντη μέτωπο της συμφόρησης διαδίδεται, τα οχήματα της φάλαγγας μπορούν να επιταχύνουν στο κατάντη πλέον μέτωπο συμφόρησης και ως αποτέλεσμα αυτού ο ρυθμός ροής και η ταχύτητα αυξάνουν τώρα αισθητά ενώ η πυκνότητα μειώνεται. Στη συνέχεια η φάλαγγα κινείται μέσω συνθηκών συγχρονισμένης ροής πάλι, αλλά στα κατάντη. Σε αυτή τη συγχρονισμένη ροή η ταχύτητα είναι μικρότερη αυτής που επικρατεί στην ελεύθερη ροή ανάντη της συμφόρησης. Τέλος η φάλαγγα των οχημάτων διέρχεται μέσω του κατάντη μετώπου της συγχρονισμένης ροής στο οποίο η ταχύτητα αυξάνεται σημαντικά μέχρι η κυκλοφορία να επανέλθει σε συνθήκες ελεύθερης ροής. Επειδή η μετάβαση από την ελεύθερη ροή στη συμφόρηση

και το αντίστροφο δεν πραγματοποιείται με τον ίδιο τρόπο, εκδηλώνεται το φαινόμενο της κυκλοφοριακής υστέρησης (Ketner et al. 2006).

Όταν μία φάλαγγα οχημάτων περνά από μια κυκλοφοριακή διαταραχή (traffic disturbance), οι συνθήκες που επικρατούσαν πριν από τη διαταραχή δεν αποκαθίστανται αμέσως. Η καθυστέρηση στην αποκατάσταση της ταχύτητας όταν προέρχονται τα οχήματα από μια κινηματική διαταραχή καλείται υστέρηση κυκλοφορίας. Παρουσία της υστέρησης, τα οχήματα παρουσιάζουν μεγαλύτερους χωρικούς διαχωρισμούς κατά τη διάρκεια της φάσης της επιτάχυνσης για δεδομένη ταχύτητα σε σύγκριση με τη φάση της επιβράδυνσης.

Η διαδοχή των καταστάσεων όπως περιγράφηκε πιο πάνω προκαλεί ένα βρόγχο υστέρησης στο διάγραμμα φόρτου – πυκνότητας (Maenhout and De Moor 2008). Το φαινόμενο της υστέρησης αναλύεται και μικροσκοπικά και μακροσκοπικά. Η μακροσκοπική προσέγγιση επικεντρώνεται στις υπάρχουσες σχέσεις ανάμεσα στην ταχύτητα και την πυκνότητα, το φόρτο και την πυκνότητα και το μέσο χρονικό διαχωρισμό και την πυκνότητα. Η μικροσκοπική προσέγγιση επικεντρώνεται στην ασυμμετρία μεταξύ επιτάχυνσης και επιβράδυνσης η οποία αποτελεί τη βάση του φαινομένου της υστέρησης, και στη θεωρία του ακολουθαίντος οχήματος η οποία χρησιμοποιείται για περαιτέρω εμβάθυνση του φαινομένου (Treliuerer and Myers 1974).

Θεωρείται ότι το φαινόμενο της υστέρησης έχει βασικές εφαρμογές στο σχεδιασμό των σύγχρονων συστημάτων ελέγχου στις ελεύθερες λεωφόρους καθώς μέσω τις ανάλυσης και της κατανόησης του θα είναι δυνατή η αντιμετώπιση των καταστάσεων συμφόρησης που έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση του φαινομένου. Με τον τρόπο αυτό οι μετακινήσεις των χρηστών θα πιο άνετες και οι χρόνοι διαδρομής δεν θα αυξάνονται σημαντικά.

1.3 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των μικροσκοπικών χαρακτηριστικών της κυκλοφοριακής υστέρησης στις ελεύθερες λεωφόρους. Πιο συγκεκριμένα σε ένα τμήμα μιας ελεύθερης λεωφόρου εκτιμώνται τα χαρακτηριστικά από τα οποία εξαρτάται η μορφή του βρόχου στα διαγράμματα φόρτου – πυκνότητας και κατ' επέκταση η ισχύς του φαινομένου της υστέρησης (δηλαδή πόσο έντονο είναι

το φαινόμενο). Αυτό θα γίνει μελετώντας τις τροχιές των οχημάτων στο χώρο και στο χρόνο, εξάγοντας τα διαγράμματα φόρτου – κυκνότητας για διάφορα ζεύγη οχημάτων και μελετώντας τις μετρήσεις των μικροσκοπικών μεγεθών όπως αυτά έχουν καταγραφεί. Η εκτίμηση αυτή θα γίνει ουσιαστικά μεταβαίνοντας από ανάλυση σε μακροσκοπικό επίπεδο σε ανάλυση σε μικροσκοπικό επίπεδο. Στη συνέχεια θα αναπτυχθεί και ένα στατιστικό μοντέλο με βάση την θεωρία των Νευρωνικών Δικτύων το οποίο θα δείχνει τις συνθήκες κάτω από τις οποίες διαμορφώνονται ισχυρά επίπεδα υστέρησης.

1.4 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η διπλωματική εργασία είναι χωρισμένη στα παρακάτω επιμέρους κεφάλαια:

1. Στο πρώτο (1^ο) κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή της κυκλοφορία στις ελεύθερες λεωφόρους, στα χαρακτηριστικά της και εισάγεται η έννοια της κυκλοφοριακής υστέρησης και της σημασίας που έχει η ανάλυση και η εξήγηση του φαινομένου.
2. Στο δεύτερο (2^ο) κεφάλαιο γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση σε παλαιότερες έρευνες που έχουν γίνει πάνω στην προσπάθεια να ερμηνευθεί το φαινόμενο της υστέρησης.
3. Στο τρίτο (3^ο) κεφάλαιο περιγράφονται οι βασικές έννοιες για τον εντοπισμό των υστερήσεων, πώς μελετήθηκαν οι τροχιές των οχημάτων στο χώρο και στο χρόνο, πώς προέκυψαν τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά και πώς τελικά έγινε ο εντοπισμός των υστερήσεων.
4. Στο τέταρτο (4^ο) κεφάλαιο γίνεται κατάταξη των υστερήσεων, περιγράφεται η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων και αναλύονται οι παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο της υστέρησης μέσω στατιστικής ανάλυσης.
5. Στο πέμπτο (5^ο) και τελευταίο κεφάλαιο καταγράφονται τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση και δίνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

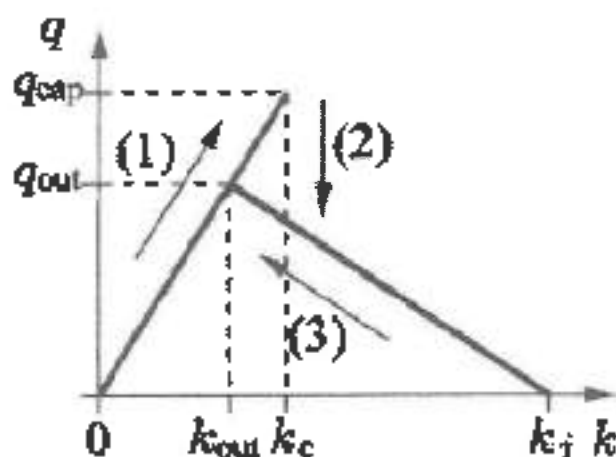
2.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η θεμελιώδης θεωρία της κυκλοφοριακής ροής που προτείνεται από τους Lighthill-Whitham και Richards (γενικά αποκαλούμενα θεωρία LWR) υποθέτει τις καλά καθορισμένες σχέσεις μεταξύ της ροής, της πυκνότητας και της ταχύτητας και περιγράφει τις εξελίξεις κυκλοφορίας βρισκόμενες στην αρχή της ασυνέχειας (Lighthill and Whitham 1955). Αυτή η θεωρία έχει γίνει πολύ δημοφιλής λόγω της απλότητάς της και της δυνατότητας που παρέχει στο να περιγράψει διάφορα σημαντικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα της κυκλοφοριακής ροής όπως τις συνθήκες που προκαλούν τη δημιουργία περιοχών συμφόρησης και τον τρόπο διάδοσης των ουρών αναμονής που προκύπτουν. Εντούτοις, αυτή η θεωρία δεν είναι ικανή να περιγράψει ορισμένα φαινόμενα όπως είναι η υστέρηση κυκλοφορίας και η μεταβλητότητα της κυκλοφοριακής ροής.

Το φαινόμενο της υστέρησης μπορεί να εξηγηθεί από την ασυμμετρία μεταξύ των διαγραμμάτων επιβράδυνσης και επιτάχυνσης των οχημάτων. Ο Newell (1965) ήταν ο πρώτος ο οποίος υπέθεσε την ύπαρξη αυτής της διαφοράς και πρότεινε τη χρήση χωριστών προτύπων για την επιτάχυνση και την επιβράδυνση. Αυτή η υπόθεση ελέγχθηκε πειραματικά από τον Forbes (1958), τους Herman και Potts (1961) για μια λωρίδα κυκλοφορίας, τους Edie και Baverz (1967) για κυκλοφορία μέσω μιας σήραγγας, και τους Herman και Rotheng (1967) οι οποίοι εξέτασαν φάλαγγες οχημάτων.

Πιο αναλυτικά ο Edie (1961) πρότεινε και το μοντέλο των δύο καταστάσεων ροής το οποίο περιέχει την ασυνέχεια στο σημείο της κρίσιμης πυκνότητας η οποία παρατηρούνταν στις μετρήσεις φόρτων που είχαν τιμή κοντά στην κυκλοφοριακή ικανότητα. Η τυπική αυτή μορφή του θεμελιώδους διαγράμματος φόρτου – πυκνότητας είναι γνωστή πλέον ως αναστραμμένο λямδα. Παράδειγμα της μορφής αυτής φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί (Διάγραμμα 1) στο οποίο παρατηρείται

ότι η απεικονιζόμενη ασυνέχεια οδηγεί σε επικαλυπτόμενους κλάδους των καταστάσεων ελεύθερης ροής και συμφόρησης.



Διάγραμμα 1: Τυπική μορφή αναστραμμένου λ του διαγράμματος φόρτου – πυκνότητας, η οποία δείχνει την πτώση της πυκνότητας από q_{cap} στη χαμηλότερη τιμή $q_{out} \ll q_{cap}$. Η υστέρηση παρατηρείται κατά την μετάβαση από τον κλάδο της συμφόρησης στον κλάδο της ελεύθερης ροής όπως υποδεικνύεται από τα τρία βέλη (1)-(3) (Πηγή: Maerivoet and De Moor 2008).

Παρατηρείται δηλαδή μείωση της κυκλοφοριακής ικανότητας από την τιμή q_{cap} στην τιμή q_{out} με $q_{out} \ll q_{cap}$. Το φαινόμενο της υστέρησης παρατηρείται κατά τη μετάβαση από συνθήκες συμφόρησης σε συνθήκες ελεύθερης ροής όπως παρουσιάζεται με τα τρία βέλη (1)-(3).

Εξετάζοντας το παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι η ροή μπορεί να κινηθεί σε δύο κατευστάσεις, ανάλογα με τις κυκλοφοριακές συνθήκες, δηλαδή αν η κυκλοφορία μεταβεί από την ελεύθερη ροή στη συμφόρηση είτε αντίστροφα. Για την εμφάνιση του φαινομένου της υστέρησης θεωρείται η ακόλουθη διαδοχή καταστάσεων (Maerivoet and De Moor 2008):

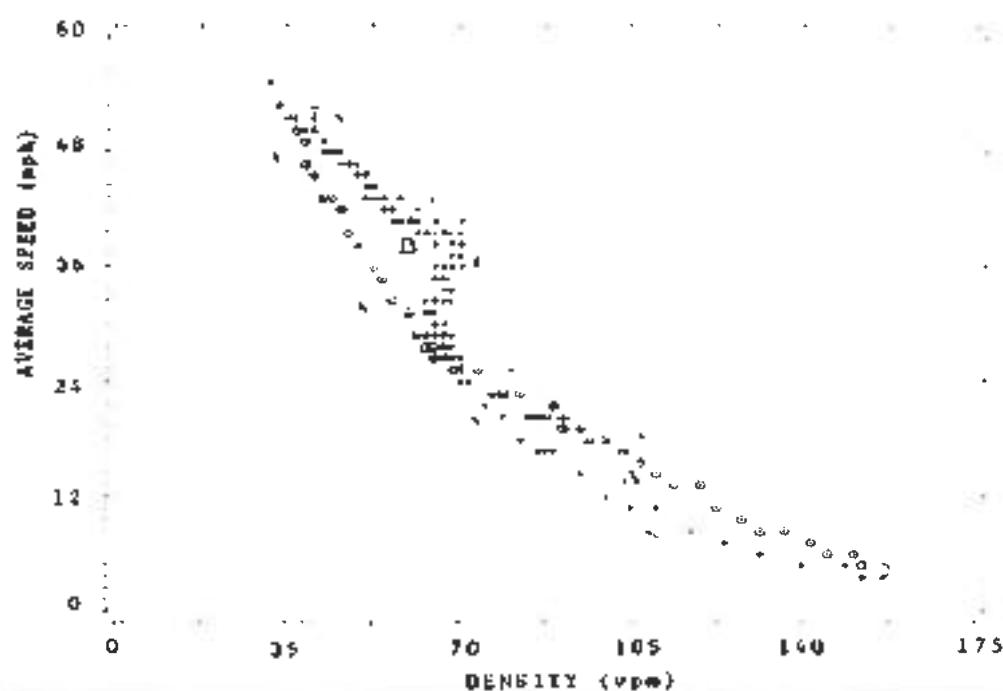
1. Σε συνθήκες ελεύθερης ροής, η ροή αυξάνεται σταθερά με αύξηση της πυκνότητας και παρατηρούνται μικρές διαταραχές στην κυκλοφορία οι οποίες δεν έχουν σημαντικές επιδράσεις σε αυτήν.
2. Όταν η πυκνότητα φτάσει την κρίσιμη τιμή της η κυκλοφορία λέγεται ότι είναι ασταθής : για μικρές διαταραχές η κυκλοφορία παραμένει σταθερή αλλά για σημαντικά μεγάλες διαταραχές προκαλούνται προβλήματα στην κυκλοφορία που οδηγούν στη συμφόρηση. Η ροή δεν έχει πλέον την τιμή της

κυκλοφοριακής ικανότητας q_{cap} λόγω της ξαφνικής και απότομης μείωσής της που καλείται πτώση της ικανότητας (ή capacity drop).

3. Προκειμένου οι συνθήκες κυκλοφορίας να επανέλθουν από τη συμφόρηση στην ελεύθερη ροή η κυκλοφοριακή πυκνότητα μειώνεται ουσιαστικά, κάτω από την κρίσιμη πυκνότητα k_c . Μετά την αποκατάσταση αυτή η ροή δεν αποκτά ξανά την τιμή της ικανότητας αλλά παίρνει την τιμή $q_{out} < q_{cap}$. Η τιμή q_{out} καλείται ροή εξόδου από τη συμφόρηση ή ικανότητα με την οποία εξαλείφεται η ουρά.

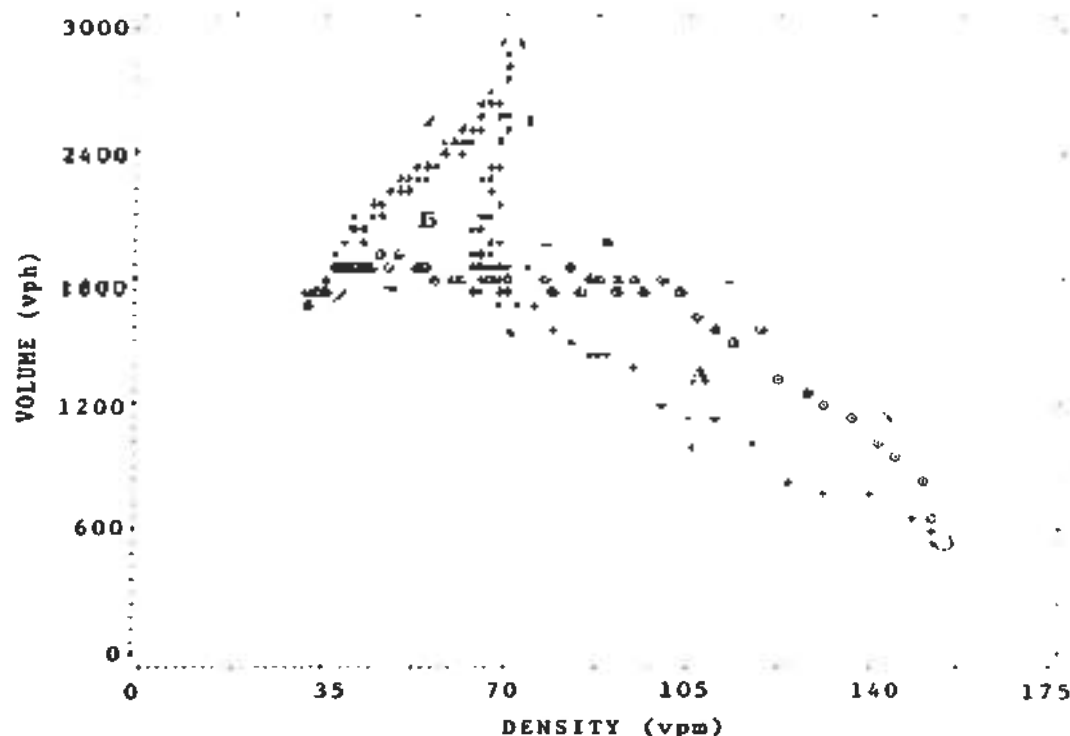
Το φαινόμενο παρατηρήθηκε πρώτα από τους Treiterer και Myers (1974) οι οποίοι χρησιμοποίησαν αεροφωτογραφοίς για να υπολογίσουν πυκνότητες και μέσες ταχύτητες χώρου σε μία φάλαγγα κινούμενων οχημάτων. Τα δεδομένα που χρησιμοποίησαν συγκεντρώθηκαν από την αστική ελεύθερη λεωφόρο Interstate 71, στην πόλη Columbus στο Ohio και ελήφθησαν από κάμερα που βρισκόνταν σε ελικόπτερο και πετούσε πάνω από την υπό μελέτη περιοχή. Οι φωτογραφίες παίρνονταν ανά διαστήματα του ενός δευτερολέπτου και όλα τα δεδομένα μεταφέρθηκαν σε διάτρητες κάρτες για περαιτέρω αναγωγή των συντεταγμένων των φωτογραφιών σε συντεταγμένες εδάφους μέσω υπολογιστή. Τα στοιχεία που προέκυψαν από την αναγωγή αυτή έδωσαν ακριβή περιγραφή των θέσεων των οχημάτων από τις οποίες προέκυψαν οι τροχιές τους. Η ανάλυσή τους οδήγησε στην απομόνωση του φαινομένου της υστέρησης στην κυκλοφοριακή ροή.

Γ. Μακροσκοπική ανάλυση. Στην ανάλυσή τους οι Treiterer και Myers (1974) χρησιμοποίησαν μία φάλαγγα 16 οχημάτων και δημιούργησαν το διάγραμμα ταχύτητας-πυκνότητας το οποίο φαίνεται στο Διάγραμμα 2. Οι κύκλοι αναφέρονται στα δεδομένα που λαμβάνονται όταν η φάλαγγα πλησιάζει την περιοχή που εκδηλώθηκε η διαταραχή και οι σταυροί τα δεδομένα που αναφέρονται στις καταστάσεις κατά τις οποίες η ομάδα των οχημάτων απομακρύνονταν από την περιοχή αυτή. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι δημιουργούνται δύο βρόγχοι Α και Β οι οποίοι ονομάζονται βρόγχοι υστέρησης. Το φαινόμενο αυτό έχει παρατηρηθεί σε όλες τις φάλαγγες οχημάτων που έχουν δημιουργηθεί από κάποια διαταραχή και έχουν μελετηθεί μέχρι σήμερα.



Διάγραμμα 2: Διάγραμμα μέσης ταχύτητας – πυκνότητας για την επιλεγμένη φάλαγγα οχημάτων
(Πηγή: Treiterer και Myers 1974)

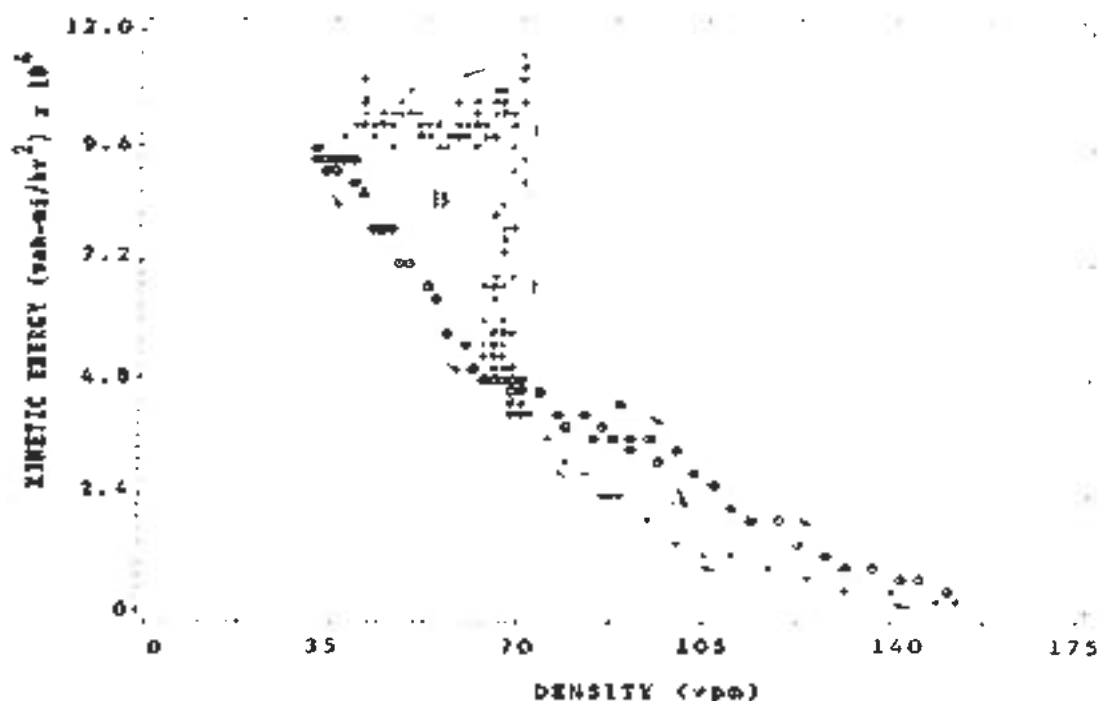
Στο Διάγραμμα 3 φαίνεται το διάγραμμα φόρτου – πυκνότητας στο οποίο επίσης παρατηρούμε την ύπαρξη των δύο βρόγχων A και B. Παρατηρείται ότι ο κυκλοφοριακός φόρτος αυξάνεται φτάνοντας σε αρκετά υψηλές τιμές κατά τη διάρκεια της φάσης στην οποία έχουμε σταθερή πυκνότητα στο βρόγχο B.



Διάγραμμα 3: Διάγραμμα φόρτου – πυκνότητας για την επιλεγμένη φάλαγγα οχημάτων
(Πηγή: Treiterer και Myers 1974)

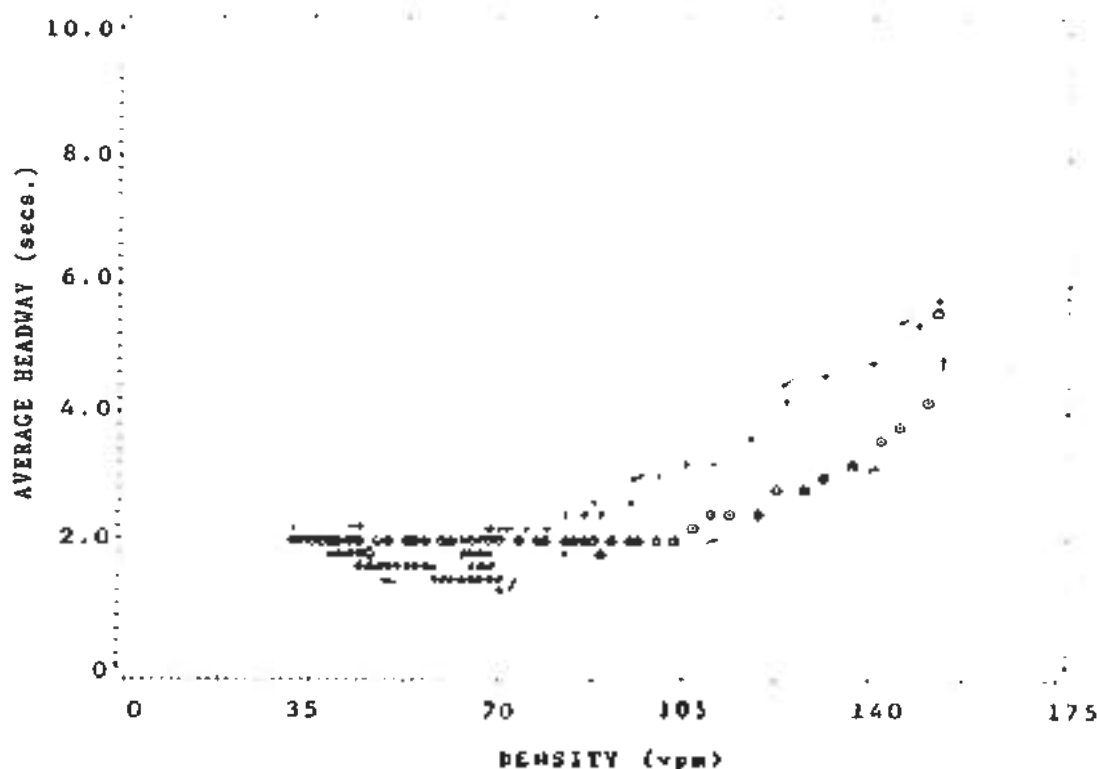
Προκειμένου να εκτιμηθεί το επίπεδο της ενέργειας που έχει μια φάλαγγα οχημάτων έγινε η υπόθεση ότι η κυκλοφοριακή πυκνότητα αντικαθιστά τη μάζα στην εξίσωση της κινητικής ενέργειας $(1/2) m \cdot v^2 = c \cdot k \cdot u^2$ όπου m =μάζα, v =ταχύτητα, c =σταθερά, k = πυκνότητα, u =μέση ταχύτητα χώρου της φάλαγγας η οποία παίρνει τη μορφή (Treiterer and Myers 1974):

$(\text{Οχήματα/μίλι} \cdot \text{μίλι/ώρα})^2 = (\text{οχήματα/ώρα}) \cdot (\text{μίλι/ώρα}) = q \cdot u$. Στο Διάγραμμα 4 παρουσιάζεται το διάγραμμα ενέργειας-πυκνότητας για τη φάλαγγα οχημάτων που εξετάζεται. Οι περιοχές Α και Β του διαγράμματος έχουν το ίδιο περίπου μέγεθος γεγονός που υποστηρίζει την υπόθεση ότι η ενέργεια που χάνεται καθώς η φάλαγγα περνά από την περιοχή που έχει εκδηλωθεί η διαταραχή επαναστατάται στην περιοχή Β εφόσον η κυκλοφορία έχει τη δυνατότητα να επανέλθει στις καταστάσεις κυκλοφορίας που επικρατούσαν πριν την εκδήλωση της διαταραχής.



Διάγραμμα 4: Διάγραμμα ενέργειας – πυκνότητας για την επιλεγμένη φάλαγγα οχημάτων
(Πηγή: Treiterer και Myers 1974)

Στο Διάγραμμα 5 παρουσιάζεται ο μέσος χρονικός διαχωρισμός (σε seconds) για τις φάσεις πριν και μετά την εκδήλωση της διαταραχής. Ο χρονικός διαχωρισμός προκύπτει διαπρόντας το μέσο διάστημα που αφήνουν τα οχήματα μεταξύ τους με τη μέση ταχύτητα. Καθώς η πυκνότητα αυξάνεται και τα μέσο διάστημα που αφήνουν τα οχήματα μεταξύ τους μειώνεται, η φάλαγγα συμπεριφέρεται σαν μία μονάδα και κάθε όχημα που βρίσκεται σε αυτή διατηρεί το ίδιο περίπου διάστημα.

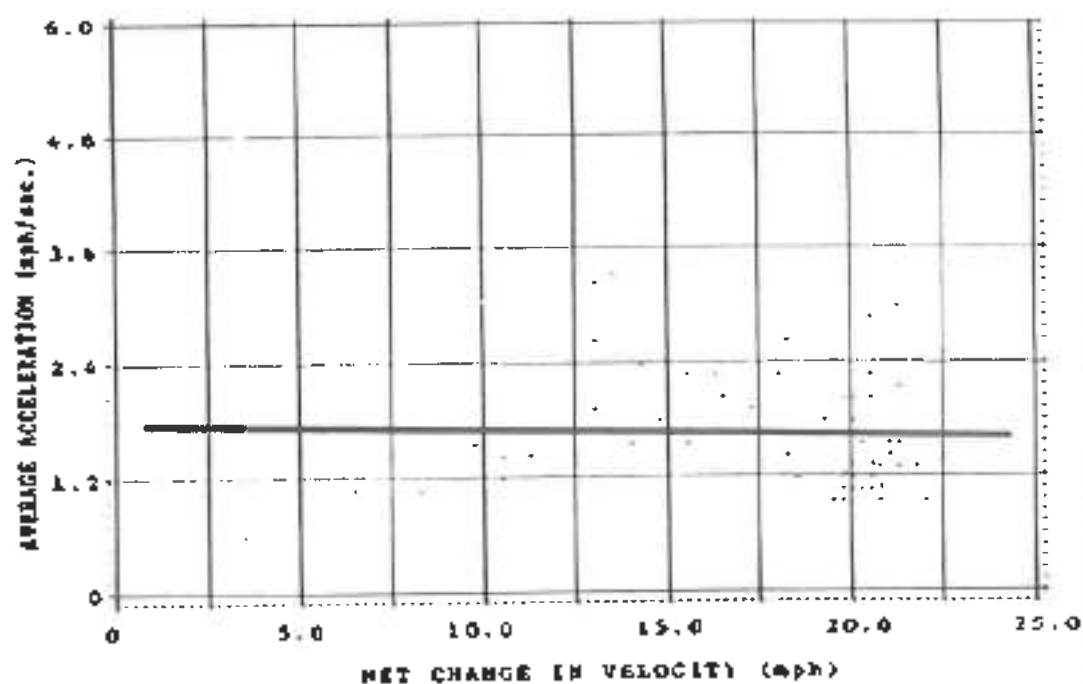


Διάγραμμα 5 : Διάγραμμα μέσου χρονικού διαχωρισμού – πυκνότητας για την επιλεγμένη φάλαγγα οχημάτων (Πηγή: Treiterer και Myers 1974)

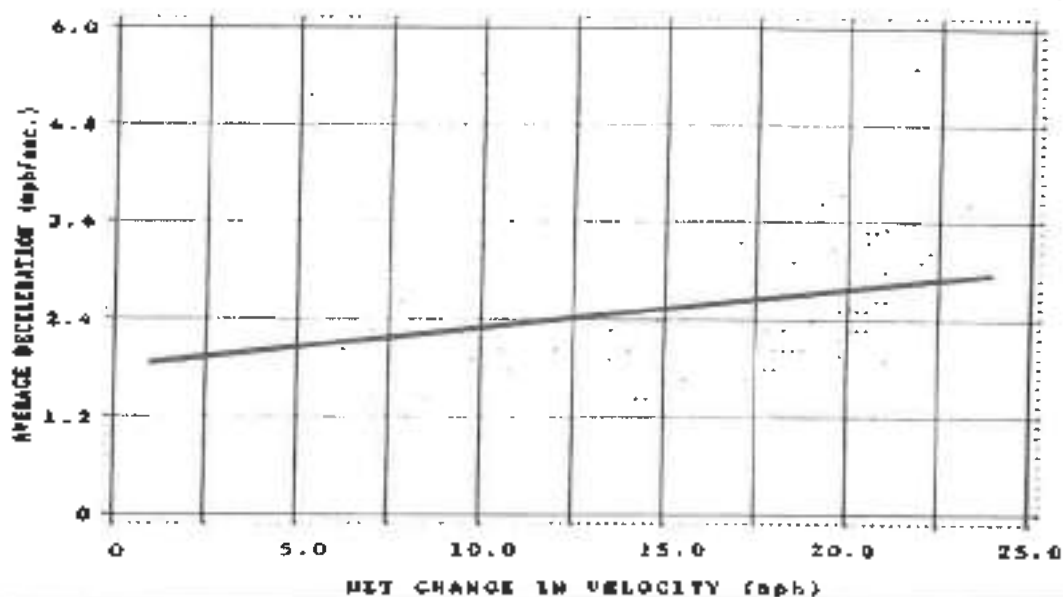
II. Μικροσκοπική ανάλυση. Μέσω της μικροσκοπικής ανάλυσης αναλύεται η συμπεριφορά της φάλαγγας και μελετώνται περαιτέρω τα χαρακτηριστικά του φαινομένου της υστέρησης. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην ασυμμετρία που υπάρχει στη συμπεριφορά ενός οδηγού στη φάση της επιβράδυνσης και της επιτάχυνσης. Επιπλέον η αντίδραση του οδηγού και τα χαρακτηριστικά απόκρισής του που εμφανίζονται καθώς το όχημα πλησιάζει, περνά και απομακρύνεται από μια διαταραχή ερευνώνται χρησιμοποιώντας στοιχεία της θεωρίας ακολουθώντας σχήματος.

Η ασυμμετρία που παρατηρείται στη συμπεριφορά του οδηγού έχει απασχολήσει πολλούς συγγραφείς καθώς αποτελεί βασικό παράγοντα στη μελέτη του φαινομένου της υστέρησης. Οι Treiterer και Myers χρησιμοποίησαν τους ρυθμούς επιτάχυνσης και επιβράδυνσης των οχημάτων της φάλαγγας που μελετάται προκειμένου να μελετήσουν την ασυμμετρία αυτή. Δημιούργησαν τα διαγράμματα του μέσου ρυθμού

αλλαγής ταχύτητας προς τη συνολική αλλαγή της ταχύτητας ξεχωριστά για συνθήκες επιτάχυνσης και επιβράδυνσης (Διάγραμμα 6 και Διάγραμμα 7 αντίστοιχα).



Διάγραμμα 6: Διάγραμμα μέσης επιτάχυνσης – αλλαγής στην ταχύτητα (Πηγή: Traister και Myers 1974)



Διάγραμμα 7 : Διάγραμμα μέσης επιβράδυνσης – αλλαγής στην ταχύτητα (Πηγή: Traister και Myers 1974)

Μελετώντας τα διαγράμματα αυτά προκύπτουν τρία σημαντικά σημεία. Πρώτον, υπάρχει μεγάλη απόκλιση ανάμεσα στα οχήματα όσον αφορά τις τιμές επιτάχυνσης και επιβράδυνσης για δεδομένη αλλαγή ταχύτητας. Δεύτερον ο ρυθμός επιβράδυνσης για δεδομένη αλλαγή ταχύτητας είναι γενικά μεγαλύτερος από το ρυθμό επιτάχυνσης για ίδια τιμή αλλαγής ταχύτητας. Τρίτον, είναι φανερό ότι ο ρυθμός επιβράδυνσης αυξάνεται καθώς αυξάνεται η διαφορά ταχύτητας ενώ ο ρυθμός επιτάχυνσης παραμένει περίπου ίδιος.

Το περιεχόμενο της ανάλυσης της κίνησης ενός ρεύματος κυκλοφορίας μέσω της θεώρησης ότι υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ ζευγαριών οχημάτων αποτελεί σημαντική συνεισφορά στο χώρο της επιστήμης της κυκλοφορίας. Ο γενικός νόμος του ακολουθούντος οχήματος έχει τη μορφή

$$\ddot{x}_{n+1}(t + \Delta t) = \lambda [\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)] \quad (1)$$

Ο παράγοντας λ λέγεται παράγοντας ευαισθησίας του προτύπου και δίνεται από τη σχέση

$$\lambda = \alpha \frac{\ddot{x}_{n+1}(t + \Delta t)}{[\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)]} \quad (2)$$

Στη σχέση (1) δόθηκαν διάφορες ακέραιες τιμές στους εκθέτες m και l . Οι May και Keller (1967) επέκτειναν τη μελέτη μη γραμμικών μοντέλων ακολουθούντων οχημάτων προκειμένου να συμπεριλάβουν και περιπτώσεις μη ακέραιων τιμών των εκθετών m και l . Απέδειξαν ότι η χρήση τέτοιων τιμών για τους εκθέτες δίνουν περισσότερο ευέλικτα μοντέλα για την περιγραφή των κυκλοφοριακών αλληλεπιδράσεων. Ο Hoefs (1972) προσπάθησε να μελετήσει ξεχωριστά τις καταστάσεις επιτάχυνσης και επιβράδυνσης και για αυτό χώρισε τα δεδομένα του σε τέσσερις διαφορετικές ομάδες : 1). Όλα τα δεδομένα μαζί, 2). Συνθήκες επιτάχυνσης, 3). Συνθήκες επιβράδυνσης (χωρίς τα οχήματα να φρενάρουν) και 4). Συνθήκες επιβράδυνσης (όπου τα οχήματα φρενάρουν) και για κάθε μια από αυτές προσδιόρισε τους εκθέτες m και l .

Η μέθοδος του Hoefs (1972) εφαρμόστηκε από τους Treiterer και Myers (1974) για την ομάδα οχημάτων που μελετούν αλλά επειδή οι δύο τελευταίες κατηγορίες δεν μπορούσαν να διαφοροποιηθούν λόγω της χρήσης αεροφωτογραφιών τα δεδομένα χωρίστηκαν σε δύο μόνο κατηγορίες 1) κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης και 2) κατά τη διάρκεια της επιβράδυνσης. Κάθε μια από τις δύο ομάδες δεδομένων αναλύθηκε

προκειμένου να καθοριστούν οι καταλληλότερες τιμές για τους δύο εκθέτες. Από την ανάλυσή τους παρατήρησαν ότι οι τιμές των εκθετών για τη φάση της επιτάχυνσης είναι μικρότεροι από αυτές της επιβράδυνσης. Συνεπώς φαίνεται ότι οι οδηγοί τείνουν να δίνουν περισσότερη έμφαση στην ταχύτητά τους και στο κενό διάστημα που αφήνουν από το προηγούμενο όχημα κατά τη διάρκεια της επιβράδυνσης παρά στη φάση της επιτάχυνσης.

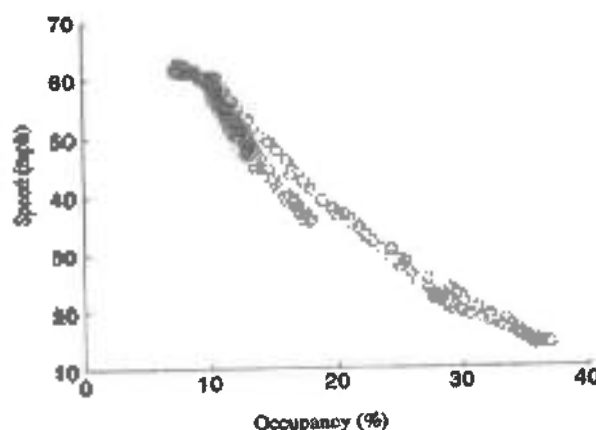
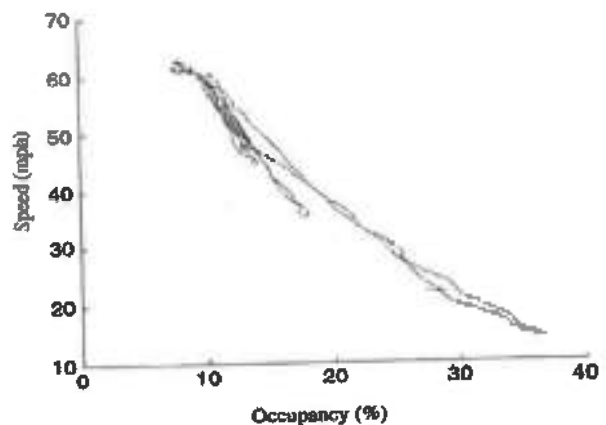
Ο Maes (1979) μελέτησε το φαινόμενο υστέρησης υπό προσωρινές συνθήκες κυκλοφορίας που προκλήθηκαν από ατυχήματα στον E - 40, έναν διπλής κατεύθυνσης αυτοκινητόδρομο στις Βρυξέλλες, στο Βέλγιο. Εντούτοις, αντίθετα από τις μελέτες των Treiterer και Myers (1974), ο Maes παρατήρησε μόνο έναν βρόχο χωρίς βρόχο αποκατάστασης (βρόχος B στο Σχήμα 2.2).

Ο Zhang (1999) είναι από τους λίγους που προσπάθησαν να δώσουν μια πιθανή μαθηματική εξήγηση της ύπαρξης του φαινομένου της υστέρησης. Η έρευνά του βασίζεται στη συμπεριφορά μεμονωμένων οδηγών κατά τη διάρκεια που τα οχήματα ακολουθούν το ένα το άλλο: στο κέντρο της έρευνάς του είναι η ύπαρξη ασυμμετρίας ανάμεσα στα επιταχυνόμενα και επιβραδυνόμενα οχήματα. Τα πρώτα σχετίζονται με μεγαλύτερους χωρικούς διαχωρισμούς και τα δεύτερα με μικρότερους. Οι παρατηρήσεις αυτές αποδεικνύονται αν σκεφτούμε τα χαρακτηριστικά μιας αλληλουχίας διαδοχικών οχημάτων: όταν ο οδηγός έρχεται αντιμέτωπος με ένα κόμμα βρίσκεται σε επιφυλακή, καθώς θα πρέπει να φρενάρει προκειμένου να αποφύγει τη σύγκρουση. Αλλά όταν το κόμμα περάσει ο οδηγός είναι περισσότερο ήρεμος γεγονός που οδηγεί σε μεγαλύτερους χρόνους απόκρισης. Η επιβράδυνση οδηγεί σε ξαφνική μείωση του χωρικού διαχωρισμού ενώ αντίθετα η επιτάχυνση σε σταδιακά αυξανόμενους διαχωρισμούς.

Ο Zhang (1999) προτείνει ένα σύστημα εξισώσεων το οποίο αναλύει ποιοτικά τις μεταβάσεις από μία κατάσταση κυκλοφορίας σε μια άλλη που απεικονίζονται με διαγράμματα ταχύτητας. Αρχικά κατατάσσει την κυκλοφοριακή ροή σε τρία είδη: επιταχυνόμενη, επιβραδυνόμενη και σε ισορροπία και στη συνέχεια αναλύει τα διαγράμματα για την ταχύτητα και την κατάληψη διαφορετικών τύπων ροών. Επιπλέον μελετά την υστέρηση με βάση ένα σύστημα εξισώσεων και επισημαίνει τους κινδύνους της ανάμειξης διαφορετικών ειδών ροών. Σύμφωνα με τον Zhang (1999), όπως σε ένα δυναμικό σύστημα, οι δύο έννοιες που χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρίσουν την κυκλοφοριακή ροή είναι η ισορροπία και μη ισορροπία οι οποίες

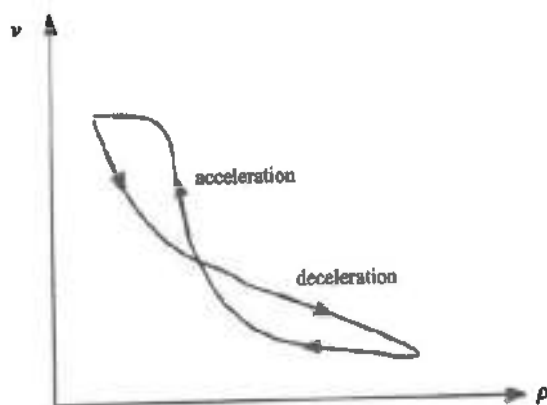
περιγράφουν αντίστοιχες καταστάσεις χρησιμοποιώντας εξισώσεις, συναρτήσεις του φόρτου κυκλοφορίας και της ταχύτητας. Όσον αφορά τη μη ισορροπημένη κατάσταση διακρίνονται δύο φάσεις η επιταχυνόμενη και η επιβραδυνόμενη και έτσι προκύπτουν τρεις φάσεις που τελικά περιγράφουν συνολικά τα δυναμικά φαινόμενα της κυκλοφορίας (ισορροπία, επιτάχυνση, επιβράδυνση). Χρησιμοποιώντας στοιχεία κατάληψης και ταχύτητας που μετρήθηκαν από φορατές σε ελεύθερη λεωφόρο σε σημείο όπου δημιουργήθηκε μεγάλη διαταραχή δημιούργησε τα διαγράμματα ταχύτητας - κατάληψης που είχαν τη μορφή του Διαγράμματος 8 και στα οποία παρατήρησε τα εξής (Zhang 1999):

- Υπάρχουν περισσότερες από μία καμπύλες που αναπαριστούν μη ισορροπημένη κατάσταση
- Οι καμπύλες επιτάχυνσης και επιβράδυνσης είναι ασύμμετρες
- Οι τροχιές των φάσεων σχηματίζουν τους βρόχους υστέρησης
- Οι καμπύλες επιτάχυνσης και επιβράδυνσης είναι σχεδόν ομαλές
- Αναμεγνύοντας επιταχυνόμενη και επιβραδυνόμενη ροή δημιουργείται ασυνέχεια.



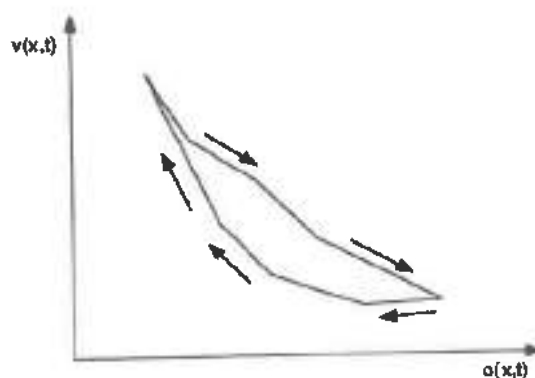
Διάγραμμα 8: Διαγράμματα ταχύτητας - κατάληψης (Πηγή: Zhang 1999)

Προκειμένου ο Zhang (1999) να εξετάσει αν οι παραπάνω παρατηρήσεις μπορούν να προκύψουν από την ανάλυση μετρήσεων και σε άλλες λεωφόρους για να μπορέσουν να θεωρηθούν περισσότερο ορθές χρησιμοποίησε δύο έρευνες που πραγματοποιήθηκαν πάνω στα μοντέλα των κυκλοφοριακών ρευμάτων: των Treiterer and Myers (1974) και του Maes (1979). Στην πρώτη έρευνα χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες για να μετρηθεί ο φόρτος και η ταχύτητα και παρακολυθήθηκε ένα ρεύμα οχημάτων καθώς αυτό έμπαινε και έφευγε από μια περιοχή που προκλήθηκε διαταραχή. Το διάγραμμα φόρτου-ταχύτητας που προέκυψε φαίνεται στο Διάγραμμα 9:



Διάγραμμα 9: Διάγραμμα ταχύτητας – πυκνότητας (Πηγή: Treiterer - Myers 1974)

Στη δεύτερη έρευνα εξετάστηκε η σχέση ανάμεσα στο φόρτο, την κατάληψη και την ταχύτητα κάτω από προσωρινές συνθήκες κυκλοφορίας που προκλήθηκαν από ατύχημα. Οι μετρήσεις έγιναν από ανιχνευτές βρόχων και τα διάγραμμα κατάληψης – ταχύτητας παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 10:



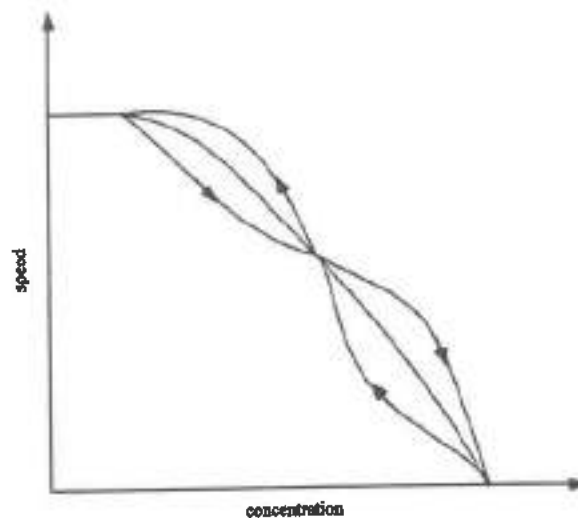
Διάγραμμα 10: Διάγραμμα ταχύτητας – κατάληψης (Πηγή: Maes 1979)

Παρατηρώντας τα διαγράμματα των δύο ερευνών συμπεραίνουμε ότι από τις παρατηρήσεις του Zhang ισχύουν όλες πλην τις τελευταίες ενώ συγκρίνοντας τα διαγράμματα του Zhang (1999), των Treiterer and Myers (1974) και του Maes (1979) βλέπουμε μία σημαντική διαφορά: οι καμπύλες επιτάχυνσης και επιβράδυνσης των δύο πρώτων αλλάζουν θέσεις στη μέση προκειμένου να δημιουργήσουν δύο βρόχους υστέρησης ενώ οι καμπύλες του τελευταίου σχηματίζουν ένα βρόχο υστέρησης.

Ο Zhang προτείνει ένα σύστημα εξισώσεων το οποίο χρησιμοποιεί για να υπολογίσει την κυκλοφοριακή υστέρηση και οι οποίες βασίζονται στις παρακάτω τρεις υποθέσεις:

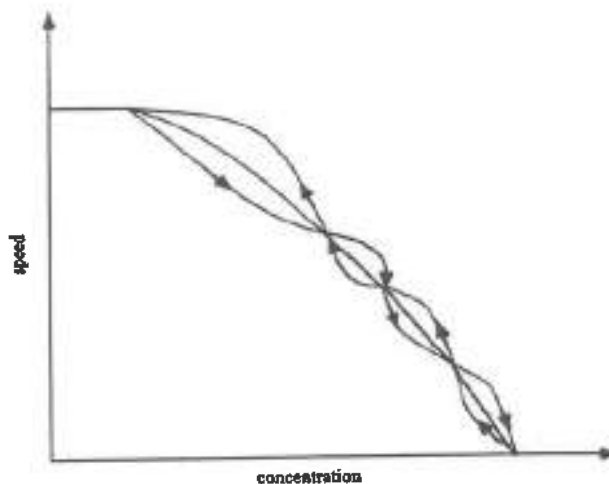
- Οι οδηγοί ανταποκρίνονται μόνο σε μετωπικά ερεθίσματα
- Υπάρχει μία ταχύτητα την οποία οι οδηγοί προσπαθούν να αποκτήσουν όποτε είναι δυνατό
- Όταν οι οδηγοί αντιμετωπίζουν μία μεγάλη κυκλοφοριακή ανυστάσιωση οι αντιδράσεις των οδηγών περνούν από διάφορα στάδια. Οι οδηγοί γνωρίζουν τις συνθήκες κυκλοφορίας πολύ πιο μπροστά από αυτούς όταν η συγκέντρωση οχημάτων είναι μεγάλη (σημαντική διαταραχή κυκλοφορίας) και έτσι προσαρμόζουν τις ταχύτητές τους πριν ακόμα η κυκλοφοριακή διαταραχή φτάσει σε αυτούς, αν βέβαια ο χώρος μπροστά τους επιτρέπει μια τέτοια προσαρμογή. Συνεπώς οι συνέπειες της πρόβλεψης είναι κυρίως στους κυκλοφοριακούς παράγοντες. Από την άλλη όταν υπάρχει πολύ κίνηση ο οδηγός συνήθως δεν μπορεί να δει αν η κυκλοφοριακή διαταραχή τον πλησιάζει μέχρις ότου φτάσει σε αυτόν και έτσι η αντίδρασή του είναι καθυστερημένη.

Επιπλέον ο Zhang (1999) προκειμένου να αναπτύξει την κυκλοφοριακή υστέρηση μελετά κυρίως καμπύλες ταχύτητας-φόρτου κυκλοφοριακής ροής οι οποίες περιλαμβάνουν κύματα καθώς η επιβράδυνση ή η επιτάχυνση ενός ρεύματος οχημάτων είναι περισσότερο εμφανής στις περιπτώσεις αυτές. Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη μόρφωση των εξισώσεων που περιγράφουν τα κύματα πήρε τα διαγράμματα ταχύτητας –φόρτου. Τα διαγράμματα έχουν τη μορφή του Διαγράμματος II η οποία είναι ανεξάρτητη του τόπου, του χρόνου και του τρόπου με τον οποίο έγιναν οι μετρήσεις και σύμφωνα με τις πειραματικές παρατηρήσεις των Treiterer and Myers (1974).



Διάγραμμα 11: Διάγραμμα ταχύτητας – πυκνότητας (Πηγή: Zhang 1999)

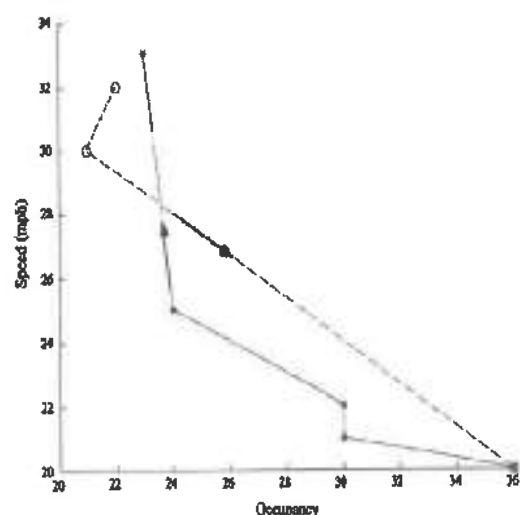
Αν και το διάγραμμα έχει μόνο δύο βρόχους υστέρησης, η ανάλυση του Zhang δεν αποκλείει και την περίπτωση τριών ή και περισσότερων βρόχων όπως του Διαγράμματος 12:



Διάγραμμα 12 :Διάγραμμα ταχύτητας – πυκνότητας με πολλαπλούς βρόχους (Πηγή: Zhang 1999)

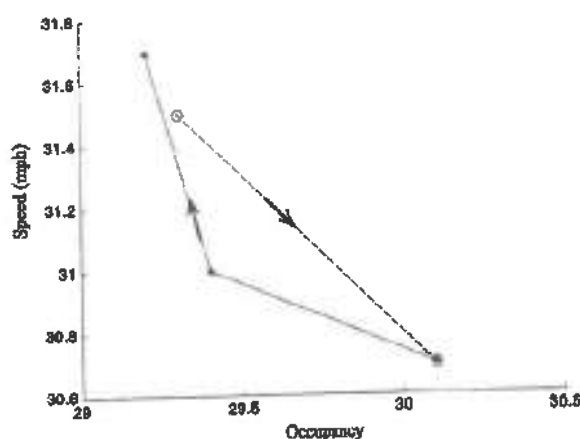
Μόσα από την έρευνά του ο Zhang (1999) παρατήρησε ότι οι καμπύλες φόρτου-ταχύτητας που παρήχθησαν από πειραματικά δεδομένα συμφωνούν με τις θεωρητικές προβλέψεις γεγονός που συμβαίνει μόνο με κατάλληλη και σωστή επεξεργασία των δεδομένων καθώς σε διαφορετική περίπτωση οι αποκλίσεις μεταξύ θεωρίας και εφαρμογής είναι σημαντικές. Για να τεκμηριώσει το συμπέρασμα αυτό χρησιμοποίησε δεδομένα ταχύτητας μιας ελεύθερης λεωφόρου σε διαστήματα των 10

δευτερολέπτων. Από αυτά προέκυψε το διάγραμμα ταχύτητας-κατάληψης για επιταχυνόμενη και επιβραδυνόμενη ροή το οποίο φαίνεται στο Διάγραμμα 13:



Διάγραμμα 13 : Διάγραμμα ταχύτητας - κατάληψης με βάση δεδομένα που συλλέχθηκαν στη λεωφόρο του San Francisco σε χρονικά διαστήματα των 10s (Πηγή: Zhang 1999)

Ο βρόχος υστέρησης που δημιουργείται στην κατάσταση κυκλοφοριακής συμμόρφωσης συμφωνεί με τις θεωρητικές προβλέψεις και έτσι συμπεραίνεται ότι η συσχέτιση δεδομένων σε περιόδους μεγαλύτερες των 30 δευτερολέπτων θα συνδυάζει τα αποτελέσματα της επιτάχυνσης και της επιβράδυνσης με συνέπεια να διαστρεβλώνει την πραγματική σχέση μεταξύ κατάληψης και ταχύτητας. Αυτό το απέδειξε συγκεντρώνοντας τα ίδια δεδομένα με πριν αλλά σε περιόδους του 1 λεπτού και κάνοντας ξανά το διάγραμμα κατάληψης-ταχύτητας (Διάγραμμα 14).



Διάγραμμα 14: Διάγραμμα ταχύτητας - κατάληψης με βάση δεδομένα που συλλέχθηκαν στη λεωφόρο του San Francisco μετά την ομαδοποίηση των δεδομένων σε χρονικά διαστήματα του 1 min (Πηγή: Zhang 1999)

Παρατηρείται ότι έχει την ίδια μορφή με το διάγραμμα του Maes (1979) (Διάγραμμα 9) ο οποίος είχε χρησιμοποιήσει δεδομένα σε περιόδους επίσης του 1 λεπτού. Στις περιπτώσεις αυτές ο βρόχος υστέρησης δεν είναι εφικτός καθώς τέτοιοι βρόχοι προϋποθέτουν ότι η κυκλοφορία θα πρέπει να επιστρέψει από συνθήκες συμφόρησης σε συνθήκες ελεύθερης ροής για να ολοκληρωθεί ο βρόχος υστέρησης. Η δυσκολία αυτή μπορεί να αντιμετωπιστεί αν πραγματοποιούνται μεταβάσεις από τον κλάδο επιτάχυνσης στον κλάδο επιβράδυνσης και αντίστροφα για τις οποίες όμως δεν υπάρχουν επαρκείς στοιχεία ότι συμβαίνουν. Στην πραγματικότητα τέτοιες μεταβάσεις δεν είναι πιθανές καθώς απαιτούν τα οχήματα να κινούνται από την επιτάχυνση στην επιβράδυνση ή αντίστροφα. Παρόλα αυτά είναι πιθανό ένας από τους δύο κλάδους να είναι ασυνεχής. Η περίπτωση αυτή αντιστοιχεί στην κατάσταση κατά την οποία μία φάλλιγγα οχημάτων επιταχύνει ή επιβραδύνει ταυτόχρονα χωρίς να προκαλείται σύγχυση γεγονός που οδηγεί σε απότομη αύξηση ή μείωση της ταχύτητας με καμία σχεδόν αλλαγή στη συγκέντρωση των οχημάτων. Αντίθετα τα διαγράμματα κατάληψης-φόρτου που προήλθαν από τη θεωρία του Zhang (1999) μπορούν να δώσουν μια εξήγηση για τα κόμματα “σταμάτα – ξεκίνα” σε συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης. Εξαιτίας των πολλαπλών βρόχων υστέρησης η κυκλοφορία μπορεί να “παγιδεύεται” σε ένα βρόχο που παρατηρείται σε περιοχή υψηλής κατάληψης. Ο χρόνος που χρειάζεται για να φύγει από τους συμφορημένους βρόχους παρατηρεί κανείς ότι μπορεί να διαρκέσει περισσότερο από το χρόνο που κάνει για να μπει σε αυτούς. Αυτό υποθέτει ο Zhang (1999) ότι είναι θέμα ψυχολογίας περισσότερο και χρειάζεται περαιτέρω έρευνα.

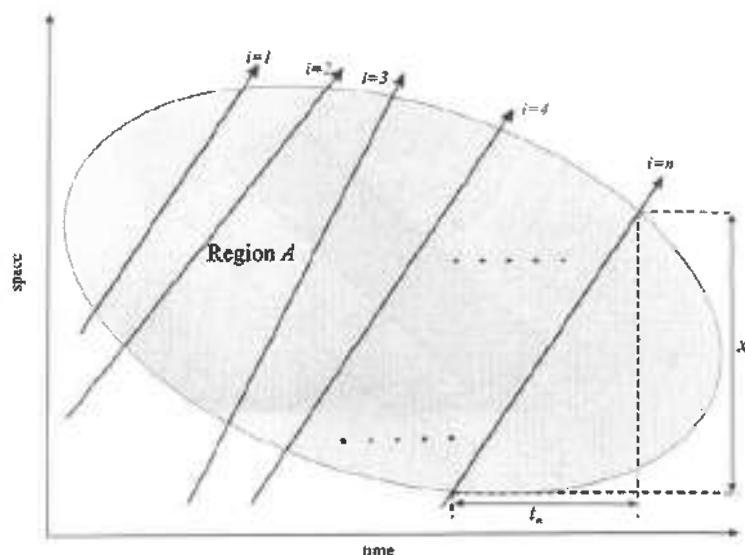
Ο Zhang (1999) σημειώνει ότι το φαινόμενο της υστέρησης είναι αρκετά δύσκολο να μοντελοποιηθεί. Το γεγονός ότι θα περίμενε κανείς οι καμπύλες να είναι ευαίσθητες στις συνθήκες κυκλοφορίας και η δυσκολία στη συγκέντρωση των ακριβών δεδομένων περιπλέκουν περισσότερο το πρόβλημα.

Οι Zhang και ο Kim (2005) πρότειναν τη θεωρία του ακολουθούντος οχήματος εισάγοντας μια νέα μεταβλητή αυτή του χρονικού διαχωρισμού η οποία περιλαμβάνει την επιτάχυνση (acceleration), την επιβράδυνση (deceleration) και τη μετάβαση από τη φάση της επιτάχυνσης στη φάση της επιβράδυνσης (coasting). Τα διαφορετικά πρότυπα έχουν οριστεί χρησιμοποιώντας τις διαφορετικές λειτουργικές μορφές και οι σχέσεις ροή-πυκνότητας συγκρίνονται με γνωστά πρότυπα αποτελέσματα. Αυτή η θεωρία εξετάστηκε χρησιμοποιώντας την αριθμητική προσομοίωση, και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα πρότυπα ήταν σε θέση να

περιγράφουν την ξαφνική μείωση της ικανότητας, την υστέρηση, και τα κόμματα κατά τη διάρκεια της μετάβασης από την ελεύθερη ροή στην κορεσμένη ροή.

Οι Yeo και Skabardonis (2008) ανέλυσαν τις μεμονωμένες τροχιές και πρότευναν μια μικροσκοπική ασυμμετρική θεωρία βασισμένη στη σχέση ταχύτητας - χωρικού διαχωρισμού. Οι καμπύλες επιτάχυνσης και επιβράδυνσης λαμβάνονται με την ένωση των αρχικών σημείων της επιτάχυνσης και της επιβράδυνσης. Προσδιορίζουν επίσης την ελεύθερη ροή πέντε καταστάσεων κυκλοφορίας συγκεκριμένα, επιτάχυνση, επιβράδυνση και στασιμότητα υπό τη σχέση ταχύτητα - χωρικού διαχωρισμού. Ο διαχωρισμός μεταξύ των καμπυλών επιτάχυνσης και επιβράδυνσης οδηγεί στους βρόχους υστέρησης.

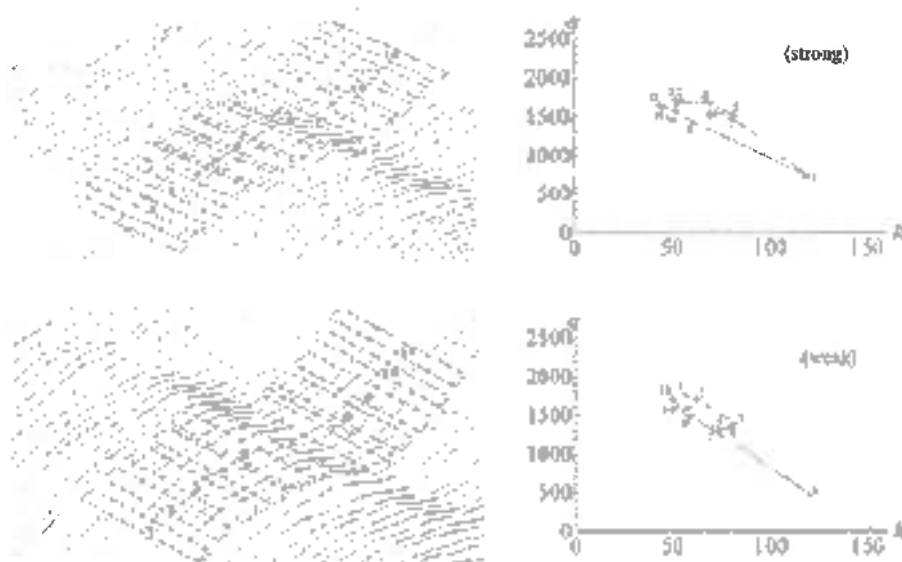
Ο Laval (2009) είναι επίσης ένας από αυτούς που μελέτησαν και προσπάθησαν να εξηγήσουν το φαινόμενο της υστέρησης. Ο Laval αναλύει κυκλοφορικά δεδομένα σε συνθήκες συμφόρησης χρησιμοποιώντας τους ορισμούς του Edie (1961) για την ταχύτητα, το φόρτο και την πυκνότητα εντός καθορισμένων περιοχών. Τις περιοχές αυτές τις ορίζει ως παραλληλόγραμμα στο διάγραμμα του χωροχρόνου όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1 : Ορισμός της περιοχής A (Πηγή: Laval 2009)

Με τον τρόπο αυτό αυξάνει τις πιθανότητες να έχει σταθερές συνθήκες μέσα στην εκάστοτε περιοχή. Προκειμένου να προσδιορίσει τους ορισμούς του Edie σε μία φάλαγγα n οχημάτων μέσα σε μία περιοχή A στο χωροχρόνο έθεσε t_i και x_i τον χρόνο διόδου και την απόσταση που διανύθηκε μέσα στην εξεταζόμενη περιοχή.

Πιο συγκεκριμένα μέσω των φαλάγγων που δημιουργούσε στην περιοχή Α προέκυπταν τα αντίστοιχα διαγράμματα φόρτου – πυκνότητας που είχαν τη μορφή του Σχήματος 2 στα οποία παρατηρήθηκαν οι βρόχοι υστέρησης.



Σχήμα 2 : Διαγράμματα φόρτου – πυκνότητας στα οποία παρατηρούνται οι βρόχοι υστέρησης (Πηγή: Laval 2009)

Προκειμένου να ορίσει τα επίπεδα υστέρησης σε κάθε περίπτωση βασίστηκε στις ακόλουθες οδηγίες (Laval 2009):

- Υψηλά επίπεδα υστέρησης έχουμε όταν για οποιαδήποτε δεδομένη πυκνότητα παρατηρείται διαφορά στους φόρτους μεγαλύτερη από 300 οχήματα/ώρα
- Ασθενή επίπεδα υστέρησης έχουμε όταν για οποιαδήποτε δεδομένη πυκνότητα παρατηρείται διαφορά στους φόρτους μικρότερη από 300 οχήματα/ώρα
- Ασήμαντα επίπεδα υστέρησης έχουμε όταν οι διαφορές των φόρτων είναι ασήμαντες
- Αρνητικά επίπεδα υστέρησης έχουμε όταν ο βρόχος υστέρησης είναι αντίστροφος δηλαδή ο κλάδος επιτάχυνσης είναι πάνω από τον κλάδο επιβράδυνσης

Από το πείραμα του Laval (2009) φαίνεται ότι η υστέρηση δεν συμβαίνει απαραίτητα κάθε φορά που μία φαλάγγα οχημάτων απομακρύνεται από το σημείο ή την περιοχή

που δημιουργήθηκε το πρόβλημα. Στην πραγματικότητα σύμφωνα με το δείγμα του Laval (2009) παρατηρήθηκε ότι σε μια τυχαία επιλεγμένη φάλαγγα υπάρχει πιθανότητα 0.66 ότι θα δημιουργηθεί υστέρηση.

Ωστόσο ο Laval (2009) δεν κατάφερε να εξηγήσει το φαινόμενο της υστέρησης. Παρατηρώντας ωστόσο τα διαγράμματα που προέκυψαν από την έρευνά του, μια πιθανή εξήγηση βασίζεται στις διαφορετικές κάθε φορά δυνατότητες επιτάχυνσης των οχημάτων που εγκαταλείπουν τη φάλαγγα. Αυτή η υπόθεση σχετίζεται και με την θεωρία των κινούμενων περιοχών συμφόρησης (moving bottlenecks) η οποία δείχνει ότι περιορισμένη δυνατότητα επιτάχυνσης για τα οχήματα προκαλεί κενά στην κυκλοφορία μπροστά από τα αργά κινούμενα οχήματα. Καθώς τα κενά αυτά παρουσιάζονται μόνο στη φάση της επιτάχυνσης προκαλούν ροές οι οποίες είναι χαμηλότερες από τις αντίστοιχες στη φάση επιβράδυνσης για την ίδια περίπου ταχύτητα. Πρυκειμένου η θεωρία αυτή να προβλέψει τους βρόχους υστέρησης θα πρέπει τα οχήματα να έχουν διαφορετική ικανότητα επιτάχυνσης αλλιώς μόνο το πρώτο όχημα θα δημιουργήσει κενό. Αυτό μπορεί να εξηγήσει και το μεγάλο ποσοστό ασθενών και ασήμαντων επιπέδων υστέρησης που παρατήρησε ο Laval (2009) στο δείγμα του.

2.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που προηγήθηκε παρατηρείται ότι αρκετοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με την παρατήρηση του φαινομένου της υστέρησης και έχουν προσπαθήσει να το ερμηνέυσουν. Ωστόσο λόγω της πολυπλοκότητας του φαινομένου και της δυσκολίας μοντελοποίησής του δεν έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στο να διερευνηθούν οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται και επηρεάζεται η ισχύς της υστέρησης ιδιαίτερα σε μικροσκοπικό επίπεδο. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η εμφάνιση της κυκλοφοριακής συμφόρησης αποτελεί ένα από τα πιο συνηθισμένα κυκλοφοριακά προβλήματα των μητροπολιτικών δικτύων παγκοσμίως. Ως συνέπεια, τα οδικά δίκτυα και κατά συνέπεια και οι ελεύθεροι λεωφόροι που εξυπηρετούν μεγάλα ποσοστά της ζήτησης, λειτουργούν για μεγάλα πολλές φορές διαστήματα σε συνθήκες συμφόρησης. Κατά συνέπεια το φαινόμενο

της υστέρησης επηρεάζει όλο και περισσότερο τις μετακινήσεις και κερδίζει όλο και περισσότερο ενδιαφέρον στην καθημερινή ζωή. Είναι λοιπόν απαραίτητη η μελέτη των παραμέτρων που ερμηνεύουν το φαινόμενο αυτό προκειμένου να αντιμετωπίζονται έγκαιρα οι περιπτώσεις μη αποτελεσματικής λειτουργίας του οδικού δικτύου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΤΩΝ ΥΣΤΕΡΗΣΕΩΝ

3.1 ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΧΩΡΟΥ - ΧΡΟΝΟΥ (TIME - SPACE DIAGRAM)

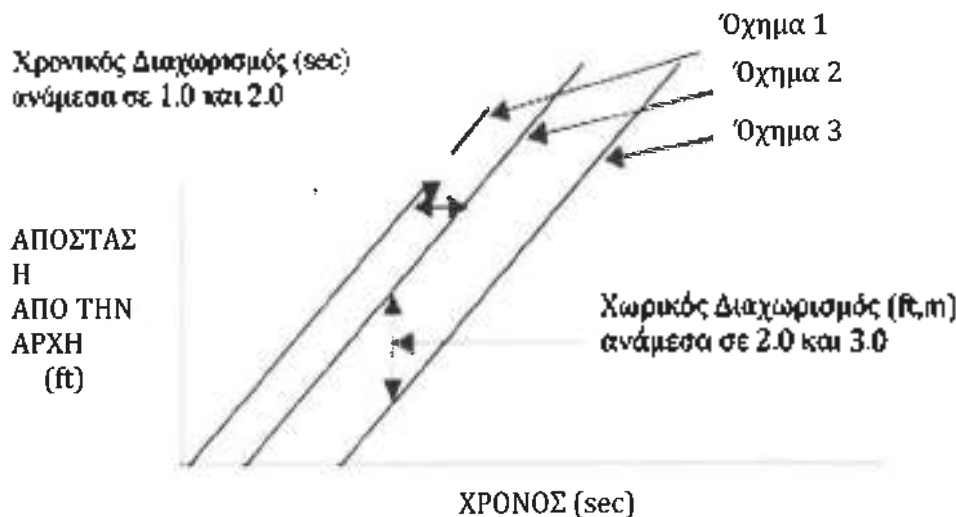
Ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους που υπάρχουν για την μελέτη της κυκλοφοριακής συμπεριφοράς των οχημάτων είναι το διάγραμμα χώρου – χρόνου. Το διάγραμμα αυτό αποτελεί ένα από τα βασικότερα εργαλεία για την ανάλυση της διαχείρισης κυκλοφορίας και χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό από τους ειδικούς για την επίλυση μεγάλου αριθμού προβλημάτων που σχετίζονται με την κυκλοφορία. Τα διαγράμματα αυτά τα οποία δείχνουν τη θέση ανεξάρτητων οχημάτων στο χώρο και στο χρόνο είναι πολύ χρήσιμα στην κατανόηση της κυκλοφοριακής ροής και ειδικότερα για μελέτες των κυμάτων Σοκ και της διάδοσης των κυμάτων γενικότερα.

Το διάγραμμα χώρου – χρόνου είναι ένα γράφημα το οποίο περιγράφει τη σχέση ανάμεσα στη θέση που βρίσκονται τα οχήματα σε ένα ρεύμα κυκλοφορίας και το χρόνο στον οποίο αυτά κινούνται στην ελεύθερη λεωφόρο. Συνήθως η μεταβλητή του χρόνου σχεδιάζεται στον οριζόντιο άξονα ενώ η απόσταση από ένα σημείο αναφοράς στον κατακόρυφο άξονα. Οι τροχιές των μεμονωμένων οχημάτων που βρίσκονται σε κίνηση σχεδιάζονται στο διάγραμμα με κεκλιμένες γραμμές ενώ οι τροχιές των οχημάτων που βρίσκονται σε στάση αναπαριστώνται με οριζόντιες γραμμές. Η κλίση της εκάστοτε γραμμής δίνει την ταχύτητα του οχήματος. Τα τμήματα των τροχιών που είναι καμπύλα δείχνουν οχήματα τα οποία υφίστανται κάποια αλλαγή στην ταχύτητά τους, για παράδειγμα αν βρίσκονται σε φάση επιβράδυνσης. Οι τροχιές μετακινούνται πάντα από τα αριστερά προς τα δεξιά και η απόσταση που διενύσσεται μπορεί να είναι από νότο προς βορρά ή από βορρά προς νότο. Η κλίση των τροχιών των οχημάτων μπορεί να είναι θετική ή αρνητική κάτι το οποίο αναπαριστά τις κινήσεις στο οδικό δίκτυο.

Τα διαγράμματα χώρου – χρόνου προκύπτουν από τη γραφική παράσταση της θέσης κάθε οχήματος, η οποία δίνεται ως η απόσταση από ένα σημείο αναφοράς, με το χρόνο. Μειώσεις στην ταχύτητα έχουν ως αποτέλεσμα μείωση της κλίσης των τροχιών ενώ αύξηση της ταχύτητας οδηγεί σε αύξηση της κλίσης. Τροχιές

διαφορετικών οχημάτων οι οποίες διασταυρώνονται υποδηλώνουν ότι την ίδια στιγμή δύο οχήματα μοιράζονται την ίδια θέση. Αν απαγορεύεται η προσπέραση τότε διασταυρούμενες τροχιές υποδηλώνουν συγκρούσεις.

Το Διάγραμμα που ακολουθεί είναι ένα παράδειγμα διαγράμματος χώρου – χρόνου (Διάγραμμα 15):

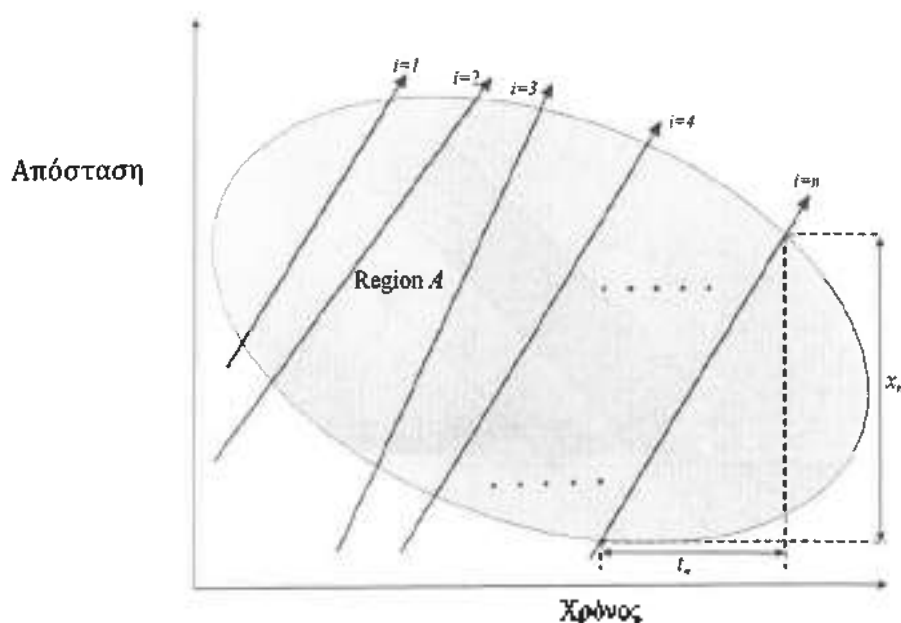


Διάγραμμα 15 : Διάγραμμα χώρου – χρόνου στο οποίο φαίνονται οι τροχιές των οχημάτων (Πηγή: http://www.webs.iuk.edu/hjant_lahmanual/Chapters/trafficflowtheory/theoryandconcepts/TimeSpaceDiagram.htm)

Όπως παρατηρούμε η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των τροχιών των οχημάτων δείχνει τον χωρικό διαχωρισμό μεταξύ των οχημάτων ενώ η οριζόντια απόσταση το χωρικό διαχωρισμό. Επιπλέον στο διάγραμμα χώρου – χρόνου μπορούν να σχεδιαστούν τροχιές πολλών οχημάτων και συνεπώς συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όπως φόρτος, ταχύτητα και πυκνότητα σε συγκεκριμένη τοποθεσία και σε συγκεκριμένο χρόνο μπορούν να προσδιοριστούν. Ένα πράγμα στο οποίο θα πρέπει να δίνεται προσοχή κατά την δημιουργία του διαγράμματος είναι οι τροχιές που απεικονίζονται σε αυτό αν είναι σωστές. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να αντιστοιχεί ένα και μόνο ένα x σε κάθε t .

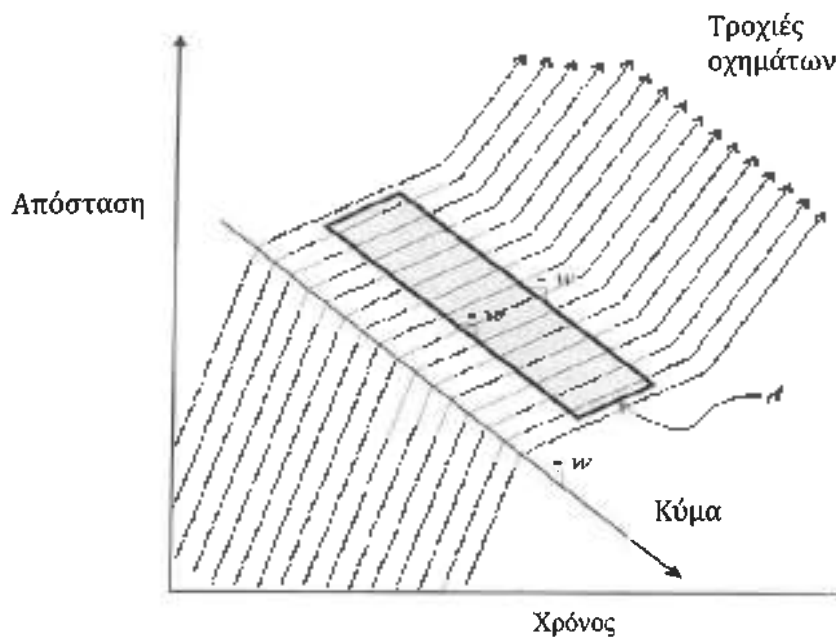
Ο Laval (2009) ανέλυσε κυκλοφοριακά δεδομένα σε συνθήκες συμφόρησης χρησιμοποιώντας τους ορισμούς του Edie (1961) για την ταχύτητα, το φόρτο και την πυκνότητα μέσα σε ειδικά ορισμένες περιοχές. Τις περιοχές αυτές τις ορίζει ως παραλληλόγραμμα στο διάγραμμα του χωροχρόνου με πλευρές οι οποίες έχουν κλίση

ιση με την προς τα πίσω ταχύτητα του κύματος όπως φαίνεται στο Σχήμα 3. Με τον τρόπο αυτό αυξάνονται οι πιθανότητες και υπάρχουν σταθερές συνθήκες μέσα στην εκάστοτε περιοχή. Αυτό γιατί σε συνθήκες συμφόρησης οι αλλαγές στις κυκλοφοριακές μεταβλητές μεταδίδονται ανέναντη με μια σχεδόν σταθερή ταχύτητα κύματος $w=20 \text{ km/h}$.



Σχήμα 3: Ορισμός της περιοχής A (Πηγή: Laval 2009)

Προκειμένου να προσδιορίσει τους ορισμούς του Edie σε μια φάλαγγα n οχημάτων μέσα σε μία περιοχή A στο χωροχρόνο έθεσε t_i και x_i τον χρόνο διόδου και την απόσταση που διανύθηκε μέσα στην περιοχή του i οχήματος όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2. Στο πείραμα του Laval η περιοχή A είναι ένα παραλληλόγραμμο το οποίο περιλαμβάνει από 5 έως 15 οχήματα με δύο αντίθετες πλευρές κλίσης w και άλλες δύο με κλίση συγκρίσιμη με την ταχύτητα των οχημάτων (Σχήμα 4).



Σχήμα 4: Προσδιορισμός της περιοχής A και των χαρακτηριστικών της (Πηγή: Laval 2009)

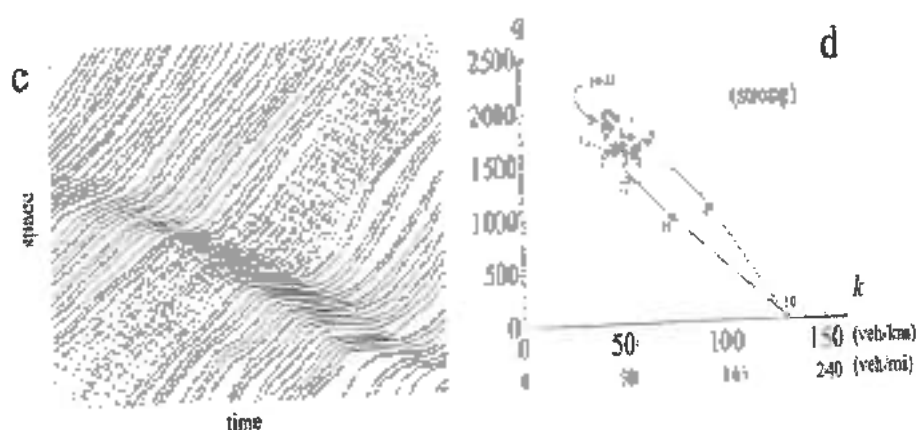
Εισάγοντας το πλήθος των οχημάτων (n), την κλίση (w) και σχεδιάζοντας σύμφωνα με αυτά την περιοχή A υπολόγισε τις κυκλοφοριακές μεταβλητές σύμφωνα με τις σχέσεις (1α), (1β), (1γ).

$$k = \sum \psi_i |A| \quad (1\alpha)$$

$$q = \sum \kappa_i |A| \quad (1\beta)$$

$$v = q/k = \sum t_i / \sum x_i \quad (1\gamma)$$

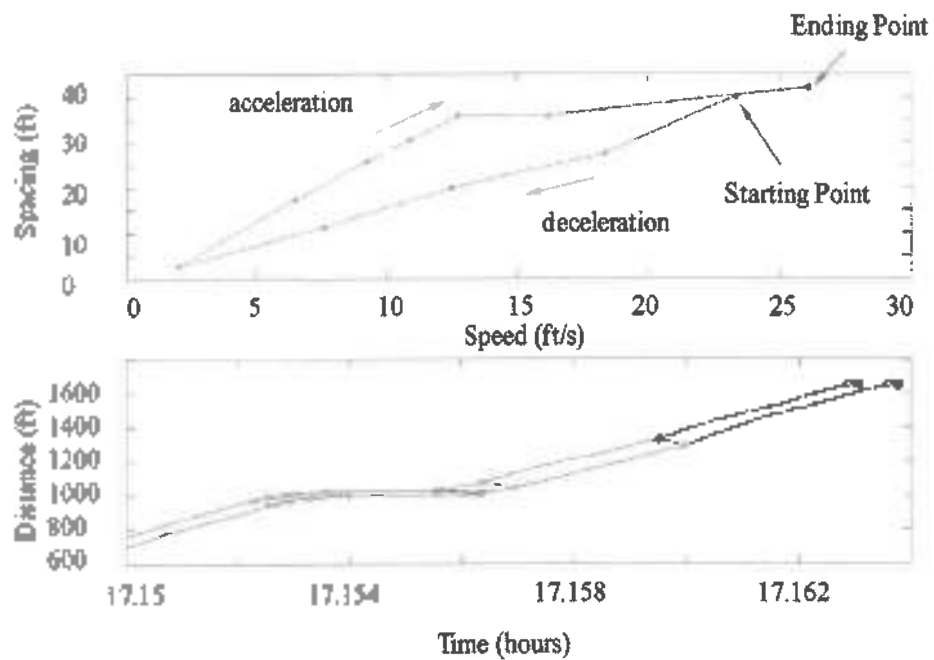
Με τη μέθοδο αυτή το πείραμα συνίσταται στο να ακολουθεί μία φάλαγγα οχημάτων, απαλλαγμένη από ενέργειες αλλαγής λωρίδων, καθώς αυτή διέρχεται μέσα από μία κυκλοφοριακή διαπυριχτή υπολογίζοντας τις κυκλοφοριακές μεταβλητές μέσα σε διαδοχικές περιοχές κατά μήκος της τροχιάς της φάλαγγας. Πιο συγκεκριμένα μέσω των φαλαγγών που δημιουργούσε στην περιοχή A προέκυπταν τα αντίστοιχα διαγράμματα φόρτου - πυκνότητας που είχαν τη μορφή του σχήματος 4 στα οποία παρατηρήθηκαν οι βρόχοι υστέρησης.



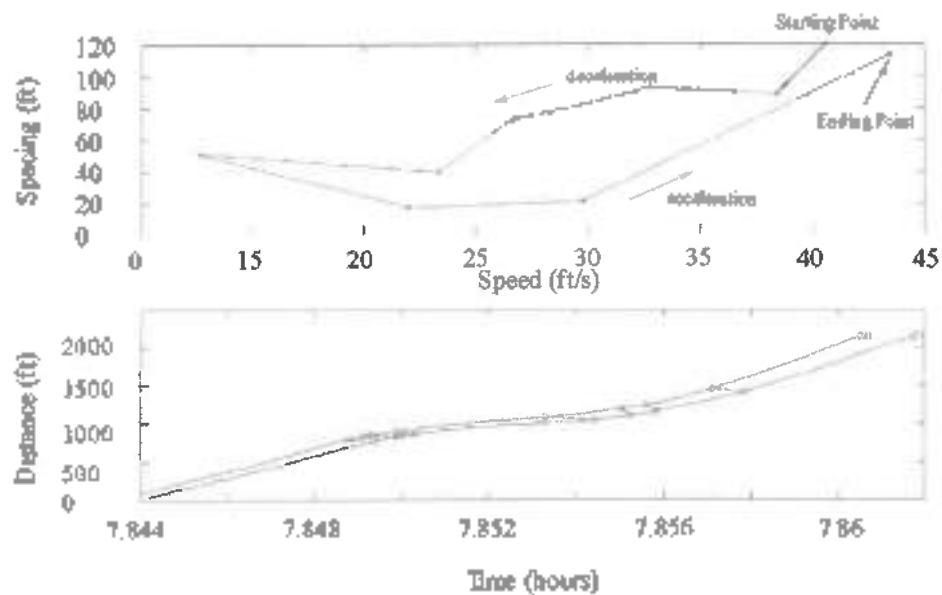
Σχήμα 5: Διάγραμμα χώρο - χρόνου και αντίστοιχο διάγραμμα υόρτου - πυκνότητας (Πηγή: Laval 2009)

3.2 ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΧΩΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ - ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ (SPACING - SPEED DIAGRAM)

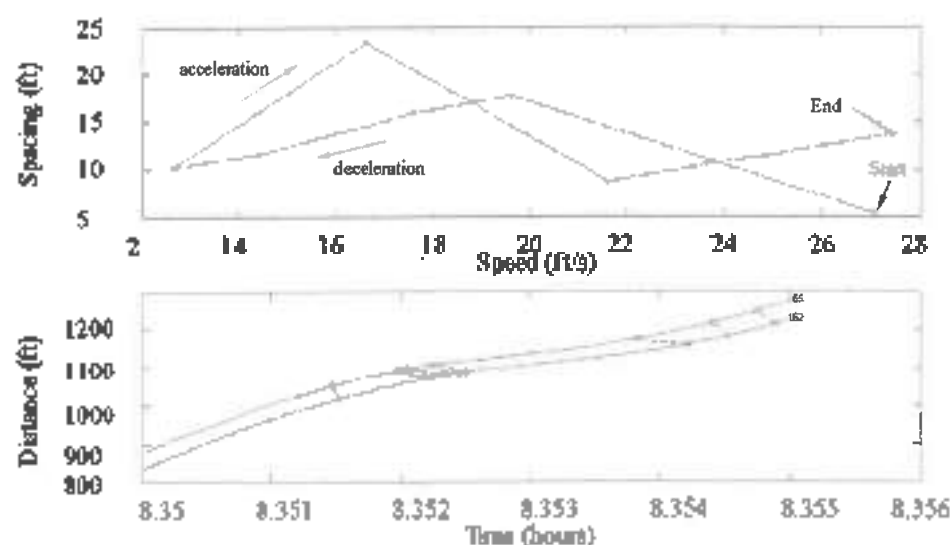
Εκτός από την μελέτη της υστέρησης σε μακροσκοπικό επίπεδο και παρατήρηση των βρόγχων στο θεμελιώδες διάγραμμα υόρτου - πυκνότητας, έχει πραγματοποιηθεί και προσδιορισμός του φαινομένου σε μικροσκοπικό επίπεδο. Αυτό έγινε μελετώντας την εξέλιξη της σχέσης ανάμεσα στο χωρικό διαχωρισμό και την ταχύτητα ενός οχήματος. Κύριος στόχος της μικροσκοπικής αυτής ανάλυσης είναι η διερεύνηση της ύπαρξης του φαινομένου της υστέρησης όταν τα οχήματα διέρχονται μέσα από κινηματικές διαταραχές και όχι διαμέσου σταθερών κυκλοφοριακών συνθηκών. Για το σκοπό αυτό αναλύθηκε η διαφορά στη συμπεριφορά ανάμεσα στη φάση της επιτάχυνσης και της επιβράδυνσης για ελεγχμένα ζεύγη οχημάτων που εμπεύονται σε συνθήκες σταμάτα - ξεκίνα (stop - and- go traffic conditions) και είναι απαλλαγμένα από αλλαγές λωρίδας κυκλοφορίας. Για κάθε ζεύγος οχημάτων εξετάζεται η εξέλιξη της σχέσης χωρικός διαχωρισμός - ταχύτητα κατά τη διάρκεια ενός κύκλου επιβράδυνσης ακολουθούμενης από επιτάχυνση. Τα διαγράμματα που προέκυψαν για διάφορα ζεύγη οχημάτων είχαν κάποια από τις ακόλουθες μορφές (Vadlamani 2010):



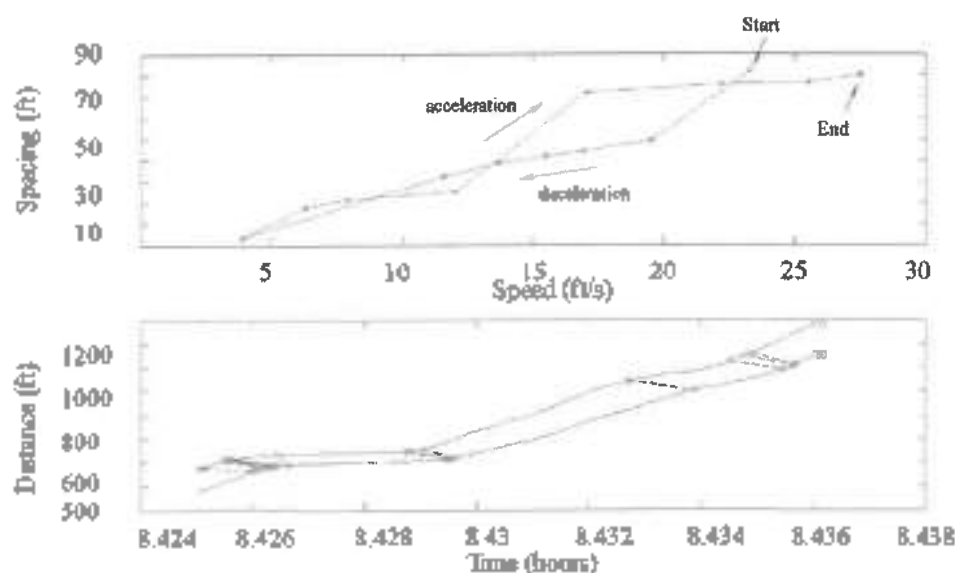
Σχήμα 6: Παράδειγμα θετικού βρόγχου (Πηγή: Vadlamani 2010)



Σχήμα 7: Παράδειγμα αρνητικού βρόγχου (Πηγή: Vadlamani 2010)



Σχήμα 8: Παράδειγμα διπλού βρόγχου (Πηγή: Vaddamaneni 2010)



Σχήμα 9: Παράδειγμα τριπλού βρόγχου (Πηγή: Vaddamaneni 2010)

Παρατηρείται ότι η μορφή των διαγραμμάτων, ακόμα και αυτή με τους πολλαπλούς βρόγχους, μοιάζει με τα διαγράμματα φόρου – πυκνότητας που προέκυψαν από τις παλαιότερες αναλύσεις όπως αυτές περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 2. Παρουσία λοιπόν υστέρησης, η σχέση χωρικού διαχωρισμού – ταχύτητας χαρακτηρίζεται από βρόγχους καθώς το όχημα επιβραδύνει και μετά επιταχύνει. Οι βρόγχοι χαρακτηρίζονται ως θετικοί ή αρνητικοί ανάλογα με τον αν ο κλάδος της επιτάχυνσης βρίσκεται πάνω ή κάτω αντίστοιχα από τον κλάδο της επιβράδυνσης. Στην περίπτωση της μικροσκοπικής ανάλυσης η ένταση του φαινομένου της υστέρησης (μορφή του

βρόγχου) προσδιορίζεται με βάση τη διαφορά των χωρικών διαχωρισμών πριν και μετά την αλλαγή ταχύτητας και όχι με βάση τη διαφορά των φόρτων σύμφωνα με την μακροσκοπική ανάλυση του Laval (2009).

Επομένως είναι αρκετά σημαντικό, λόγω αυτής της διαφοροποίησης, η ανάλυση του φαινομένου να μεταφερθεί από μακροσκοπικό επίπεδο και σε μικροσκοπικό προκειμένου η υστέρηση να κατανοηθεί και να ερμηνευθεί με βάση και άλλα κυκλοφορικά χαρακτηριστικά.

3.3 ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ TRAJECTORY EXPLORER

Προκειμένου να μελετηθεί το φαινόμενο της υστέρησης και να εκτιμηθούν τα μικροσκοπικά και μακροσκοπικά μεγέθη που το επηρεάζουν χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Trajectory Explorer (<http://trafficiab.ce.gatech.edu/tools.html>) το οποίο επιτρέπει την ανάλυση τροχιών οχημάτων απευθείας από ένα αρχείο bitmap. Ένα παράδειγμα του είδους της εικόνας που αναγνωρίζει το πρόγραμμα και εισάγεται σε αυτό φαίνεται στο Σχήμα 10:



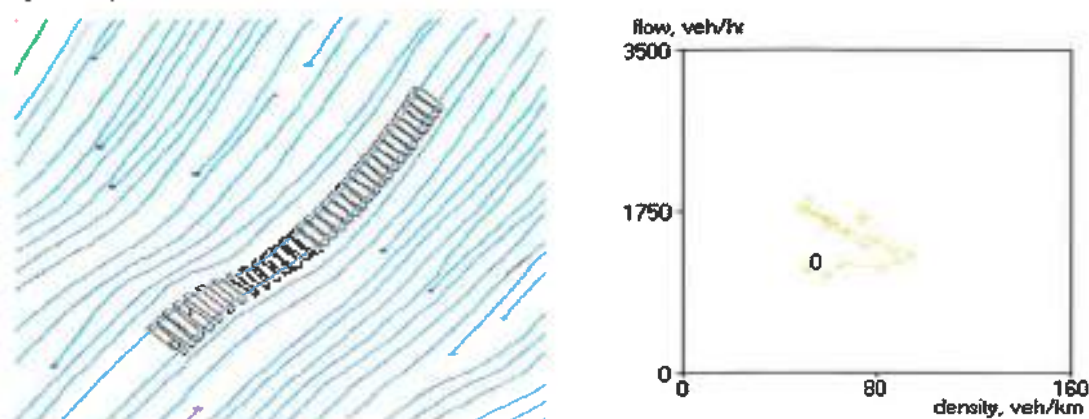
Σχήμα 10: Παράδειγμα εικόνας σε μορφή αρχείου bitmap που εισάγεται στο πρόγραμμα Trajectory Explorer

Αυτή η εικόνα αποτελεί ουσιαστικά το διάγραμμα χώρου - χρόνου (space - time diagram) το οποίο περιγράφηκε στην αρχή του κεφαλαίου και προκύπτει από το αλοτάρισμα των δεδομένων χρόνου και θέσης για κάθε όχημα όπως αυτά συλλέγονται.

Για την ανάλυσή μας επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί φάλαγγα δύο οχημάτων και όχι περισσότερων καθώς έτσι θα ήταν πιο εύκολη η ανάλυση της κυκλοφοριακής συμπεριφοράς των δύο οδηγών (του προπορευόμενου οχήματος και του οχήματος που ακολουθεί) καθώς και η εκτίμηση και μικροσκοπικών μεγεθών (χωρικός και χρονικός διαχωρισμός). Έχοντας στην ανάλυση μόνο δύο οχήματα ήταν πιο εύκολη και η ανάλυση της κίνησης τους χρονικά και χωρικά χρησιμοποιώντας και τα δεδομένα επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων όπως αυτές καταγράφονται κατά τη φάση συλλογής δεδομένων.

Επιπλέον εκτός από τον αριθμό των οχημάτων που θα περιλάμβανε η εξεταζόμενη φάλαγγα, πρέπει να επιλεγεί και μια ακόμα σημαντική παράμετρος. Αυτή είναι ο αριθμός των διαδοχικών περιοχών που θα αποτελούσαν τη συνολική περιοχή μελέτης. Ο αριθμός που επιλέχθηκε είναι το 33 ακόμα και σε περιπτώσεις που κάποιο από τα δύο οχήματα ή και τα δύο παρέμεναν ακινητοποιημένα για μεγάλο σχετικά χρονικό διάστημα να μπορεί να καλύπτεται όλο το φαινόμενο από την αρχή της εκδήλωσης της υστέρησης μέχρι τη μερική ή ολική αποκατάσταση των συνθηκών ροής. Για χάρη ευκολίας και αποφυγή λανθασμένων εκτιμήσεων για την επιλογή του αριθμού των περιοχών επιλέχθηκε ο αριθμός 33 για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν.

Μέσω του προγράμματος αυτού ορίζεται η εξεταζόμενη περιοχή που περιέχει τα δύο οχήματα, όπως την περιέγραψε και ο Laval στην ανάλυσή του, και η οποία περιλαμβάνει τις διαδοχικές περιοχές. Επιλέγοντας την εξεταζόμενη περιοχή και το ζεύγος των οχημάτων δίνεται κάθε φορά το αντίστοιχο διάγραμμα φόρτου – πυκνότητας. Στο Σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τροχιές των οχημάτων η περιοχή που επιλέχθηκε με ένα ζεύγος οχημάτων και το αντίστοιχο διάγραμμα που προέκυψε.



Σχήμα 11: Διάγραμμα χώρου – χρόνου στο οποίο παρουσιάζεται η περιοχή κίνησης του ζεύγους οχημάτων που εξετάζεται και το αντίστοιχο διάγραμμα φόρτου - πυκνότητας

Επιπρόσθετα από την πρώτη εικόνα του σχήματος 11 προσδιορίζεται χρονικά και χωρικά η αρχή και το τέλος του τμήματος της κίνησης που θα αναλυθεί, στοιχεία που χρησιμοποιούνται μετά στην λεπτομερέστερη ανάλυση της κίνησης κάθε οχήματος. Έτσι μπορούμε να γνωρίζουμε με σημαντική ακρίβεια το πού και το πότε κινήθηκαν τα οχήματα και έτσι να προσδιορισθούν τα μικροσκοπικά μεγέθη της στιγμιαίας επιτάχυνση/επιβράδυνσης κάθε οχήματος, ο χωρικός και ο χρονικός διαχωρισμός μεταξύ τους. Από τη δεύτερη εικόνα μπορούν να προσδιοριστούν οι αρχικοί και οι τελικοί φόρτοι, οι αρχικές και οι τελικές πυκνότητες, οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές των μεγεθών αυτών στο χρονικό διάστημα που μελετώνται οι κινήσεις του εκάστοτε ζεύγους.

Το κυριότερο όμως στοιχείο που λαμβάνεται από το διάγραμμα φόρου – πυκνότητας είναι η διαπίστωση ή μη της ύπαρξης του φαινομένου της υστέρησης, η εξέλιξη του φαινομένου κατά το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα και μια πρώτη εκτίμηση της ισχύος του επιπέδου του φαινομένου μέσω της μορφής του βρόγχου που σχηματίζεται και της διαφοράς των αρχικών και τελικών φόρτων όπως υποστήριξε και ο Laval.

Τέλος μέσω του προγράμματος δίνονται και οι μέσες τιμές των θεμελιωδών μεγεθών δηλαδή του φόρτου, της πυκνότητας και της ταχύτητας για το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα και την εξεταζόμενη περιοχή με τις εκάστοτε κυκλοφορικές συνθήκες.

Παλαιότερη και πιθανόν μοναδική εφαρμογή του προγράμματος Trajectory Explorer έγινε από τον Laval ο οποίος ήταν και εκείνος που το δημιούργησε. Το πρόγραμμα αυτό χρησιμοποίησε στην ανάλυσή του το 2009, όταν προσπαθήσε να διερευνήσει το φαινόμενο της υστέρησης. Μέσω αυτού μελέτησε τις τροχιές μιας φάλαγγας οχημάτων (συνήθως 10 οχήματα αντιστοιχούσαν σε κάθε φάλαγγα) και από τα διαγράμματα φόρτου – πυκνότητας προσδιορίζοντας τη διαφορά μεταξύ αρχικών και τελικών φόρτων εκτιμήσε το επίπεδο της υστέρησης όπως περιγράφηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗ ΥΣΤΕΡΗΣΗ

4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση του φαινομένου της υστέρησης σε ελεύθερες λεωφόρους μελετώντας τροχιές ενός σημαντικού αριθμού ζευγών οχημάτων. Η ανάλυση του φαινομένου έγινε σε μακροσκοπικό και μικροσκοπικό επίπεδο για την καλύτερη και λεπτομερέστερη ανάλυση του φαινομένου. Σε μακροσκοπικό επίπεδο η ανάλυση έγινε μέσω του προσδιορισμού των φόρτων εισόδου και εξόδου από το φαινόμενο Q_{in} και Q_{out} αντίστοιχα, ενώ σε μικροσκοπικό επίπεδο μελετήθηκαν οι σημειακές ταχύτητες των οχημάτων v_i , οι χωρικοί και χρονικοί διαχωρισμοί s και t μεταξύ των οχημάτων καθώς και οι στιγμιαίες επιταχύνσεις a_i για όλη τη διάρκεια της κίνησής τους η οποία εξετάστηκε. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Trajectory Explorer (<http://trafficlab.ce.gatech.edu/tools.html>) από το οποίο προέκυψαν οι τροχιές των οχημάτων και τα διαγράμματα φόρτου - πυκνότητας. Για την ανάλυση σε μικροσκοπικό επίπεδο χρησιμοποιήθηκε μια βάση δεδομένων η οποία περιελάμβανε αναλυτικά τα χαρακτηριστικά κίνησης κάθε οχήματος. Η βάση δεδομένων περιγράφεται αναλυτικά στην επόμενη ενότητα.

Αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την ανάλυση του φαινομένου ήταν τα εξής:

1. Εισαγωγή της εικόνας με τις τροχιές των οχημάτων υπό μορφή αρχείου bitmap και προσδιορισμός των παραμέτρων του προγράμματος Trajectory Explorer. Αρχικά επιλέχθηκε η εικόνα που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση με τα εξής κριτήρια:
 - Να υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός κυκλοφοριακών διαταραχών (traffic disturbances) και περιοχών συμφόρησης (bottlenecks), ώστε τα οχήματα να επιβραδύνουν σημαντικά ή ακόμα και να σταματούν για κάποιο χρονικό διάστημα.

- Οι κινήσεις των οχημάτων να είναι απαλλαγμένες από αλλαγές λωρίδων κυκλοφορίας και να μην διασταυρώνονται οι τροχιές των οχημάτων μεταξύ τους.

Όπως αναλυτικά αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3, στην περιγραφή του προγράμματος Trajectory Explorer, η πρώτη παράμετρος που έπρεπε να επιλεγεί ήταν ο αριθμός των οχημάτων που θα αποτελούσαν τη φάλαγγα, της οποίας η κίνηση θα εξετάζονταν. Έγινε η επιλογή να χρησιμοποιηθούν φάλαγγες δύο οχημάτων και όχι περισσότερων καθώς έτσι θα ήταν πιο εύκολη η ανάλυση της κυκλοφοριακής συμπεριφοράς των δύο οδηγών (του προπορευόμενου οχήματος και του οχήματος που ακολουθεί), καθώς και η εκτίμηση και μικροσκοπικών μεγεθών (χωρικός και χρονικός διαχωρισμός, στιγμιαίες επιταχύνσεις).

Επιπλέον εκτός από τον αριθμό των οχημάτων που θα περιελάμβανε η εξεταζόμενη φάλαγγα, έπρεπε να επιλεγεί και μια δεύτερη αλλά εξίσου σημαντική παράμετρος. Αυτή ήταν ο αριθμός των διαδοχικών περιοχών που θα αποτελούσαν τη συνολική περιοχή μελέτης. Τα κριτήρια επιλογής ήταν δύο: 1. ακόμα και σε περιπτώσεις που κάποιο από τα δύο οχήματα ή και τα δύο παρέμεναν ακινητοποιημένα για μεγάλο σχετικά χρονικό διάστημα το μήκος του οδικού τμήματος που εξετάζεται να μπορεί να καλύπτει όλο το φαινόμενο από την αρχή της εκδήλωσης της υστέρησης μέχρι τη μερική ή ολική αποκατάσταση των συνθηκών ροής. 2. Για χάριν ευκολίας και αποφυγή λανθασμένων εκτιμήσεων για την επιλογή του αριθμού των περιοχών το μήκος που εξετάζεται επιλέγεται να είναι σταθερό για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν. Με μια επαναληπτική διαδικασία και με βάση τα παραπάνω κριτήρια ορίστηκε ο αριθμός των διαδοχικών περιοχών να είναι ίσος με 33.

2. Επιλογή των ζωνών οχημάτων και της περιοχής ανάλυσης της κίνησης τους.
Η επιλογή έγινε με κριτήριο να παρατηρείται σημαντική αλλαγή στην κίνηση κάποιου εκ των δύο ή και των δύο οχημάτων που αποτελούν το προς εξέταση ζεύγος. Η αλλαγή αυτή μπορεί να είναι επιβράδυνση (απότομη ή όχι) ή και ακινητοποίηση για μικρό ή μεγάλο σχετικά χρονικό διάστημα. Η εξεταζόμενη περιοχή επιλέχθηκε έτσι ώστε να περιλαμβάνει την αλλαγή αυτή σε όλη την έκτασή της μέχρι μερική ή ολική αποκατάσταση των αρχικών συνθηκών κίνησης των δύο οχημάτων.

3. Εξαγωγή των θεμελιωδών διαγραμμάτων φόρτου – πυκνότητας. Για κάθε ζεύγος οχημάτων και για κάθε επιλεγόμενη περιοχή ανάλυσης προέκυπτε και το αντίστοιχο διάγραμμα φόρτου (Q) – πυκνότητας (K).
4. Καταγραφή των χρονικών στιγμών και των θέσεων από την αρχή μέχρι το τέλος του τμήματος της κίνησης καθενός οχήματος που αποτελούν το εξεταζόμενο κάθε φορά ζεύγος. Επιπλέον έγινε και καταγραφή των χωρικών και χρονικών διαχωρισμών στην αρχή και στο τέλος της κίνησης των οχημάτων η οποία αναλύεται. Να γίνει η υπενθύμιση ότι ο χωρικός διαχωρισμός προκύπτει ως η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των τροχιών δύο οχημάτων και ο χρονικός διαχωρισμός ως η οριζόντια απόσταση αυτών. Στη συνέχεια καταγράφηκαν οι μέσες τιμές φόρτου, πυκνότητας και ταχύτητας για την εξεταζόμενη περιοχή και το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα κίνησης. Τέλος εκτιμήθηκαν και καταγράφηκαν οι χρονικές στιγμές που το φαινόμενο της υστέρησης εκτυλίχθηκε. Ως χρονική στιγμή έναρξης του φαινομένου θεωρήθηκε η στιγμή που παρατηρείται αλλαγή στην κίνηση του προπορευόμενου οχήματος και ως τέλος η στιγμή που το όχημα που ακολουθεί επιταχύνει σημαντικά και κινείται σχεδόν παράλληλα με το προπορευόμενο.
5. Επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία των βημάτων 2 – 4 για διάφορες θέσεις πάνω στο διάγραμμα και για διαφορετικές κάθε φορά συνθήκες κίνησης των οχημάτων και συμπεριφορές των οδηγών πήραμε ένα σημαντικό αριθμό διαγραμμάτων φόρτου – πυκνότητας.
6. Μετά τη συγκέντρωση όλων των περιπτώσεων και την καταγραφή των στοιχείων του βήματος 4 σε καθεμιά από αυτές ακολουθήσε ο προσδιορισμός των ζευγών των οχημάτων. Κατά τη συλλογή των στοιχείων κάθε όχημα είχε ένα κωδικό αριθμό και για κάθε ένα από αυτά καταγράφονταν οι χρονικές στιγμές κίνησης του, οι αντίστοιχες θέσεις που βρισκόταν το όχημα, η επιτάχυνση/επιβράδυνση, η ταχύτητα και ο χωρικός και χρονικός διαχωρισμός κάθε χρονική στιγμή καθώς και ο κωδικός αριθμός του οχήματος που προπορευόταν και του οχήματος που ακολουθούσε δημιουργώντας έτσι μια μεγάλη βάση δεδομένων. Έχοντας λοιπόν καταγράψει τις αρχικές και τελικές χρονικές στιγμές και θέσεις των οχημάτων βρήκαμε από τη βάση δεδομένων τα ζεύγη που είχαν επιλεγεί από το βήμα 2

με τους κωδικούς αριθμούς τους. Για να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια, σε περίπτωση που εμφανίζονταν δύο ζεύγη να ικανοποιούν τις απαιτήσεις γινόταν έλεγχος του χωρικού διαχωρισμού.

7. Στο βήμα αυτό μελετήθηκε ξεχωριστά η κίνηση κάθε ζεύγους. Από τη βάση δεδομένων απομονώθηκαν οι χρονικές στιγμές κίνησης κάθε οχήματος, οι αντίστοιχοι χωρικοί και χρονικοί διαχωρισμοί και οι επιταχύνσεις των δύο οχημάτων. Επειδή σε κάθε δευτερόλεπτο κίνησης το όχημα περνούσε από διαφορετικές θέσεις, υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι των παραπάνω κυκλοφοριακών μεγεθών ανά δευτερόλεπτο.
8. Στη συνέχεια ακολούθησε η εκτίμηση της διάρκειας του φαινομένου της υστέρησης. Αυτό έγινε με βάση τις χρονικές στιγμές που το φαινόμενο της υστέρησης εκτυλίχθηκε όπως αυτές καταγράφηκαν στο βήμα 2. Με βάση αυτές υπολογίστηκαν τα εξής μεγέθη:

- η διάρκεια του φαινομένου t , δηλαδή το χρονικό διάστημα από τη στιγμή που το προπορευόμενο όχημα άρχισε να επιβραδύνει μέχρι τη στιγμή που το όχημα που ακολουθεί άρχισε να επιταχύνει και να αποκτήσει σχεδόν παράλληλη πορεία με το προπορευόμενο
- οι χωρικοί διαχωρισμοί στην αρχή και το τέλος του φαινομένου s_1, s_2
- η διαφορά μεταξύ των δύο χωρικών διαχωρισμών $\Delta S = s_1 - s_2$
- ο λόγος $\Delta S / t$ (ρυθμός μεταβολής του χρονικού διαχωρισμού), δηλαδή ο ρυθμός με τον οποίο ο χωρικός διαχωρισμός αυξάνεται ή μειώνεται στη διάρκεια του φαινομένου

4.2 Η ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την διερεύνηση των χαρακτηριστικών των κυκλοφοριακών μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα τα οποία αναπαριστούν τροχιές οχημάτων σε ένα τμήμα του διαπολιτειακού αυτοκινητόδρομου 80 στην περιοχή του San Francisco στην California. Ο αυτοκινητόδρομος βρίσκεται σε μια αστική περιοχή με έντονη κίνηση και περιλαμβάνει 6 λωρίδες κυκλοφορίας συμπεριλαμβανομένου και της λωρίδας

υψηλής καπτήληψης (High Occupancy Vehicle – HOV). Τα οχήματα, οι τροχιές των οποίων χρησιμοποιούνται στην ανάλυση κανούνται στη βόρεια κατεύθυνση του αυτοκινητοδρόμου. Η συλλογή των δεδομένων έγινε χρησιμοποιώντας βιντεοκάμερες οι οποίες τοποθετήθηκαν στο Pacific Park Plaza, ένα κτίριο 30 ορόφων, το οποίο βρίσκεται 6363 Christie Avenue και δίπλα στον αυτοκινητόδρομο I-80.

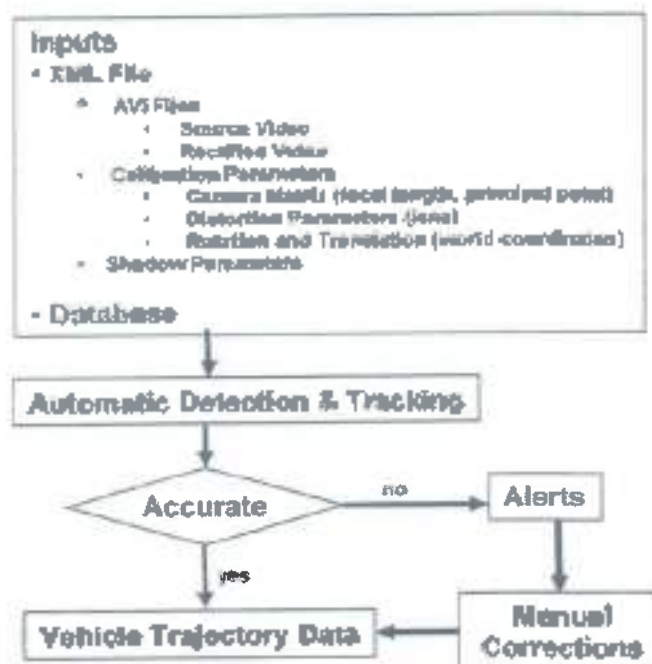
Στο Σχήμα 13 παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης στην οποία έγινε η συλλογή των δεδομένων. Η περιοχή έχει μήκος περίπου 1650 ft (503 m) και περιλαμβάνει μία ράμπα εισόδου στην Powell Street. Η ράμπα εξόδου στην Ashby Avenue βρίσκεται κατάντη της περιοχής μελέτης και δεν περιλαμβάνεται σε αυτή. Η αρίθμηση των λωρίδων ξεκινά από την πιο αριστερή λωρίδα (εκείνη που παρουσιάζει και τη μεγαλύτερη κατάληψη). Τα δεδομένα συλλέχθηκαν χρησιμοποιώντας επτά (7) βιντεοκάμερες (αριθμούνται από το 1 έως το 7 στο Σχήμα 13) με την κάμερα 1 να αντιστοιχεί στο νοτιότερο σημείο της περιοχής μελέτης και την κάμερα 7 στο βορειότερο σημείο αυτής. Η διάρκεια συλλογής των δεδομένων ήταν περίπου πέντε (5) ώρες από τις 2:00 π.μ. έως τις 7:00 π.μ. στις 13 Απριλίου 2005. Συγκεκριμένα τα δεδομένα που μελετάμε εδώ συλλέχθηκαν στο χρονικό διάστημα από τις 4:00 π.μ. έως τις 4:15 π.μ. Επειδή οι περιπτώσεις που συλλέχθηκαν από το τέταρτο αυτό δεν ήταν αρκετές ώστε το δείγμα να είναι καινοποιητικό χρησιμοποιήθηκαν και τα δεδομένα κατά το χρονικό διάστημα 5.00 – 5.15 π.μ.

Οι τροχιές των οχημάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση προέρχονται από ανάλυση εικόνας με βάση αλγόριθμους που έχουν αναπτυχθεί στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος NGSDM (<http://www.ngsim-community.org/>). Βασιστικά, ο αλγόριθμος αυτόματα εντοπίζει και ακολουθεί την τροχιά των οχημάτων από εικόνες video και στη συνέχεια αποθηκεύει σε μια βάση δεδομένων τα εξής δεδομένα:

- κωδικός αριθμός οχήματος
- ώρα (χρονική στιγμή)
- συντεταγμένη του οχήματος στη διεύθυνση την κάθετη στη διεύθυνση κίνησης της λεωφόρου

- συντεταγμένη του οχήματος στη διεύθυνση την παράλληλη στην διεύθυνση κίνησης της λεωφόρου
- μήκος οχήματος
- πλάτος οχήματος
- τύπος οχήματος (1- για μοτοσυκλέτα, 2- για αυτοκίνητο, 3- για φορτηγό)
- ταχύτητα οχήματος
- επιτάχυνση οχήματος
- λωρίδα κίνησης οχήματος
- κωδικός οχήματος που προπορεύεται
- κωδικός οχήματος που ακολουθεί
- χωρικός διαχωρισμός
- χρονικός διαχωρισμός

Η διαδικασία φαίνεται στο Σχήμα 12.

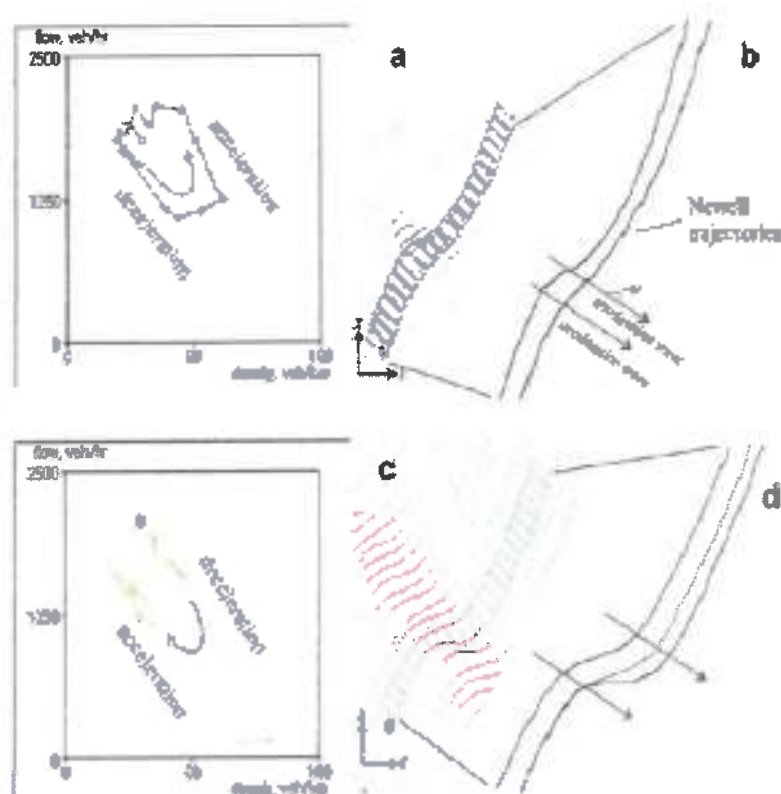


Σχήμα 12: Διαδικασία εξαγωγής της βάσης δεδομένων και των τροχιών κίνησης των οχημάτων (Πηγή: I – 80 Main Data, data – analysis)

Ο Laval (2010) υποστήριξε ότι το φαινόμενο της υστέρησης σχετίζεται με το είδος της συμπεριφοράς των οδηγών. Η συμπεριφορά αυτή μπορεί να είναι είτε επιθετική είτε περισσότερο επιφυλακτική. Στο Σχήμα 14 που ακολουθεί αναλύονται δύο ζεύγη τυπικών τροχιών οχημάτων, που προέκυψαν από τη βάση δεδομένων της λεωφόρου NGSIM US-101, τα οποία περνούσαν μέσω μιας κυκλοφοριακής διαταραχής. Δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στις αποκλίσεις των τροχιών των οχημάτων σε σχέση με τις προβλέψεις της κανηματικής θεωρίας κυμάτων του Newell. Για αυτό και οι τροχιές της θεωρίας αυτής είναι γνωστές και ως τροχιές Newell.

Στο τμήμα b του Διεγράμματος 16 παρουσιάζεται μια λεπτομερής εικόνα των δύο τροχιών του τμήματος α, οι οποίες οδηγούν σε αρνητικό βρόγχο υστέρησης. Οι συνεχείς καμπύλες του τμήματος b αναπαριστούν τις πραγματικές των οχημάτων ενώ η διακεκομμένη αναπαριστά την τροχιά με βάση τη θεωρία του Newell, η οποία δεν προβλέπει την ύπαρξη των βρόγχων υστέρησης. Μπορεί να παρατηρηθεί ότι πριν τα οχήματα περάσουν από την περιοχή που έχει εκδηλωθεί η κυκλοφοριακή διαταραχή, οι μορφές των τροχιών υπακούουν στο κανηματικό πρότυπο κυμάτων με μεγάλη ακρίβεια. Αλλά καθώς ο οδηγός του οχήματος που ακολουθεί συνεχίζει να επιταχύνει, αποφασίζει να παραμείνει πάνω από την τροχιά της θεωρίας του Newell και να ταυτιστεί ξανά με αυτή λίγο αργότερα. Αλλά κόνοντος αυτόν τον επιθετικό ελιγμό παρατηρείται στο διάγραμμα φόρτου – πυκνότητας ότι ο κλάδος της επιτάχυνσης βρίσκεται πάνω από τον κλάδο της επιτάχυνσης. Αντίστοιχα, τα τμήματα c και d του Διεγράμματος 16 δείχνουν πιο επιφυλακτικούς ελιγμούς του οδηγού του οχήματος που ακολουθεί με αποτέλεσμα να μένει πίσω από την τροχιά του Newell και κατά συνέπεια ο κλάδος της επιτάχυνσης να βρίσκεται τώρα κάτω από τον κλάδο της επιβράδυνσης.

Σύμφωνα λοιπόν με τη θεωρία αυτή φάλαγγες με περισσότερα των δύο οχημάτων μπορούν να δώσουν θετικούς ή αρνητικούς βρόγχους υστέρησης γεγονός που εξαρτάται από την αναλογία των επιθετικών και επιφυλακτικών οδηγών και τις αντίστοιχες αποκλίσεις τους από τις τροχιές του Newell.



Διάγραμμα 16: Εμπειρικά δεδομένα τροχιών που δείχνουν πως η επιθετική και η επιφυλακτική συμπεριφορά των οδηγών οδηγεί σε αρνητικούς (α και β) ή σε θετικούς (c και d) βρόγχους υστερήσης (Πηγή: Laval 2010)

Χρησιμοποιώντας λοιπόν τα αποτελέσματα της θεωρίας αυτής και για να γίνει καλύτερη και ακριβέστερη ανάλυση της κάθε περίπτωσης οι υστερήσεις οι οποίες καταγράφηκαν μέσω του προγράμματος Trajectory Explorer χωρίστηκαν στις εξής μεγάλες ομάδες:

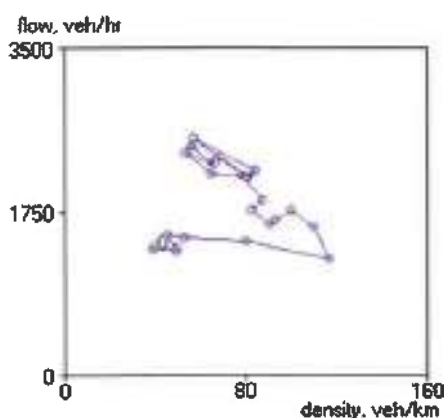
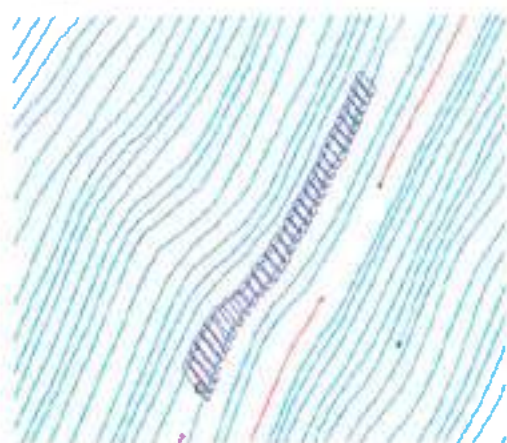
- 1^η ΟΜΑΔΑ: Ο οδηγός του οχήματος που ακολουθεί έχει επιθετική συμπεριφορά και η τροχιά του οχήματος του μένει πάνω από την τροχιά του Newell.
- 2^η ΟΜΑΔΑ: Ο οδηγός του οχήματος που ακολουθεί είναι περισσότερο επιφυλακτικός, οδηγεί πιο συντηρητικά και η τροχιά του οχήματος του βρίσκεται κάτω από την τροχιά του Newell.

Στη συνέχεια παραθέτονται ανά ομάδα όλες οι υστερήσεις που εντοπίστηκαν και κατά τα δύο χρονικά διαστήματα (4.00 - 4.15 π.μ. και 5.00 - 5.15 π.μ.). Για κάθε υστερήση παρουσιάζονται και οι τροχιές του ζεύγους των οχημάτων που εξετάζεται και το αντίστοιχο διάγραμμα φόρτου - πυκνότητας. Παρατηρώντας τις περιπτώσεις επιβεβαιώνεται η θεωρία που περιγράφηκε στην αρχή της ενότητας και έτσι στα

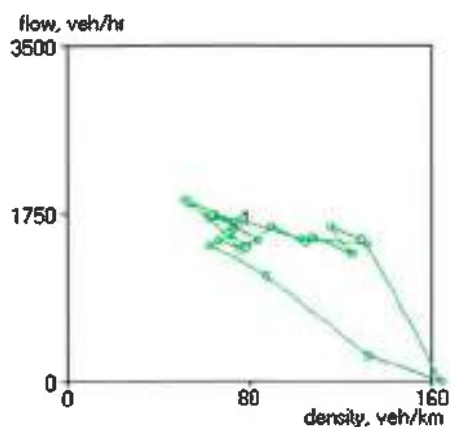
διαγράμμιτα της πρώτης ομάδας ο κλάδος της επιτάχυνσης βρίσκεται πάνω από τον κλάδο της επιβράδυνσης (αρνητικός βρόγχος) ενώ σε αυτά της δεύτερης ομάδας ο κλάδος της επιτάχυνσης βρίσκεται κάτω από τον κλάδο της επιβράδυνσης (θετικός βρόγχος). Συνολικά βρέθηκαν 44 υστερήσεις που ανήκουν στην πρώτη ομάδα και 49 υστερήσεις που ανήκουν στη δεύτερη ομάδα. Αθροιστικά δηλαδή αναλύθηκαν 106 ζεύγη οχημάτων. Όλες οι εικόνες με τις τροχιές των οχημάτων και τα αντίστοιχα διαγράμματα που προέκυψαν για κάθε εξεταζόμενο ζεύγος οχημάτων παραθέτονται στο Παράρτημα Α. Ενδεικτικά παρουσιάζονται στη συνέχεια δύο περιπτώσεις από κάθε ομάδα υστερήσης

ΥΣΤΕΡΗΣΕΙΣ 1^{ΗΣ} ΟΜΑΔΑΣ

Περίπτωση 1



Περίπτωση 2



Από τα διαγράμματα φόρτου – πυκνότητας εκτιμήθηκαν οι φόρτοι εισόδου Q_{in} και Q_{out} και υπολογίστηκε η διαφορά τους ΔQ . Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 2:

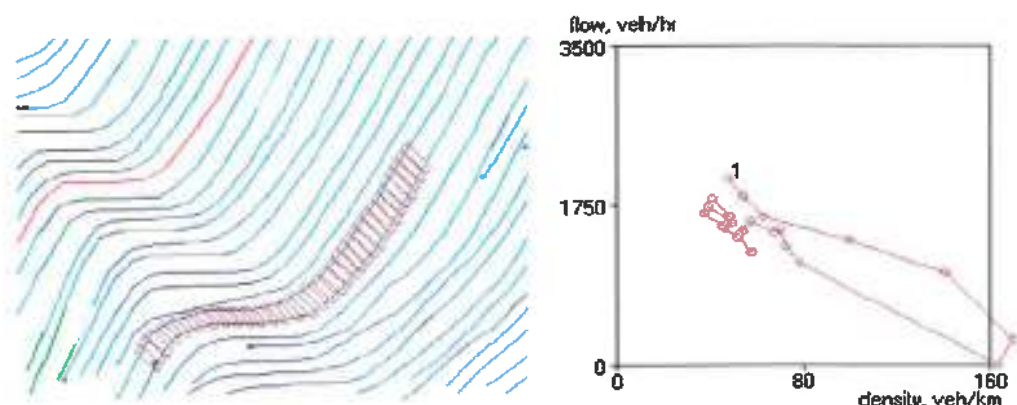
Όπως περιγράφεται και στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, σύμφωνα με την ανάλυση του ο Laval (2009) κατατάσσει τα επίπεδα των υστερήσεων σύμφωνα με τα παρακάτω κριτήρια:

- Υψηλά επίπεδα υστέρησης έχουμε όταν για οποιαδήποτε δεδομένη πυκνότητα παρατηρείται διαφορά στους φόρτους μεγαλύτερη από 300 οχήματα/ώρα
- Ασθενή επίπεδα υστέρησης έχουμε όταν για οποιαδήποτε δεδομένη πυκνότητα παρατηρείται διαφορά στους φόρτους μικρότερη από 300 οχήματα/ώρα
- Ασήμαντα επίπεδα υστέρησης έχουμε όταν οι διαφορές των φόρτων είναι ασήμαντες
- Αρνητικά επίπεδα υστέρησης έχουμε όταν ο βρόχος υστέρησης είναι αντίστροφος δηλαδή ο κλάδος επιτάχυνσης είναι πάνω από τον κλάδο επιβράδυνσης

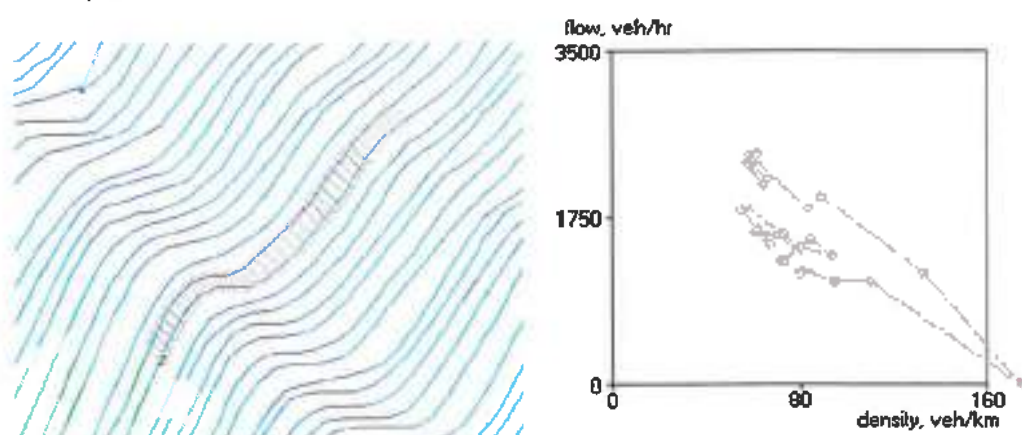
Για την πρώτη ομάδα στην περίπτωση 1 παρατηρούνται υψηλά επίπεδα υστέρησης (ισχυρή υστέρηση) καθώς η διαφορά μεταξύ των φόρτων εισόδου και εξόδου η οποία είναι ίση με 1144 είναι μεγαλύτερη από 300 οχήματα/ώρα. Στην περίπτωση 2 παρατηρούνται χαμηλά επίπεδα υστέρησης καθώς η διαφορά μεταξύ των φόρτων η οποία είναι ίση με 175 είναι μικρότερη των 300 οχημάτων/ώρα.

ΥΣΤΕΡΗΣΕΙΣ 2^{ΗΣ} ΟΜΑΔΑΣ

Περίπτωση 1



Περίπτωση 2



Από τα διαγράμματα φόρτου – πυκνότητας εκτιμήθηκαν οι φόρτοι εισόδου Q_{IN} και Q_{OUT} και υπολογίστηκε η διαφορά τους ΔQ . Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 2:

Πίνακας 2. Φόρτοι εισόδου, εξόδου και διαφορά φόρτων ανά ομάδα και περίπτωση

	ΖΕΥΓΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	Q_{IN}	Q_{OUT}	ΔQ
ΟΜΑΔΑ 1	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1	1346	2490	1144
	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2	1680	1505	175
ΟΜΑΔΑ 2	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1	2026	1796	230
	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2	2333	1422	911

Για την δεύτερη ομάδα στην περίπτωση 1 παρατηρούνται χαμηλά επίπεδα υστέρησης (ασθενής υστέρηση) καθώς η διαφορά μεταξύ των φόρτων εισόδου και εξόδου η οποία είναι όση με 230 είναι μικρότερη από 300 οχήματα/ώρα. Στην περίπτωση 2 παρατηρούνται υψηλά επίπεδα υστέρησης (ισχυρή υστέρηση) καθώς η διαφορά μεταξύ των φόρτων η οποία είναι ίση με 911 είναι μεγαλύτερη των 300 οχημάτων/ώρα.

Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

1. Και στις δύο ομάδες, τόσο για επιθετική όσο και για πιο επιφυλακτική οδήγηση του οχήματος που ακολουθεί, παρατηρούνται και τα δύο είδη υστερήσεων: ισχυρή και ασθενή. Αυτό σημαίνει ότι η διάκριση που κάνει ο Laval (2010) ανάλογα με το είδος της συμπεριφοράς του οδηγού του

οχήματος που ακολουθεί δεν αποτυπώνει και την ισχύ του επιπέδου της υστέρησης.

2. Επιπλέον παρατηρώντας και συγκρίνοντας τα διαγράμματα των δύο περιπτώσεων και των δύο ομάδων καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μακροσκοπική ανάλυση μέσω του υπολογισμού της διαφοράς των φόρτων βλέπουμε τα εξής: στα διαγράμματα στα οποία ο βρόγχος είναι μεγαλύτερος σε πλάτος και σε μήκος και θα ήταν αναμενόμενο το φαινόμενο της υστέρησης να είναι πιο έντονο, με βάση την κατάταξή τους σύμφωνα με το κριτήριο της διαφοράς των φόρτων, κινούνται σε χαμηλά επίπεδα υστέρησης.
3. Οι περιπτώσεις που ο βρόγχος δεν είναι ανοικτός και με μεγάλο μήκος κατατάσσονται σε υψηλά επίπεδα υστέρησης και μάλιστα η διαφορά των φόρτων είναι αρκετά μεγαλύτερη από τις δύο προαναφερθείσες περιπτώσεις που παρατηρήθηκαν χαμηλά επίπεδα.

Αυτό σημαίνει ότι το κριτήριο κατάταξης του επιπέδου των υστερήσεων με βάση τη διαφορά των φόρτων δεν επαρκεί για να περιγράψει την ισχύ του φαινομένου και από τι αυτή εξαρτάται. Για το λόγο αυτό πραγματοποιείται περαιτέρω ανάλυση σε μικροσκοπικό επίπεδο. Συγκεκριμένα έγινε στατιστική ανάλυση με τη χρήση νευρωνικών δικτύων προκειμένου να εξεταστούν ποιοι επιπλέον μικροσκοπικοί παράγοντες επηρεάζουν την ένταση του φαινομένου του υστέρησης.

4.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

4.4.1 Τι είναι τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα

Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ) είναι μαθηματικά ή υπολογιστικά μοντέλα τα οποία είναι εμπνευσμένα από τη δομή και τις λειτουργικές πτυχές των βιολογικών νευρωνικών δικτύων. Παρομοιάζονται με αυτά καθώς οι διαδικασίες εκτελούνται συλλογικά και παράλληλα χωρίς να υπάρχει σαφής οριοθέτηση. Αποτελούν σημαντικό εργαλείο για την μοντελοποίηση, κυρίως όταν η σχέση μεταξύ των δεδομένων είναι άγνωστη. Τα ΤΝΔ μιμούνται τη διαδικασία του ανθρώπινου εγκεφάλου και μπορούν να επεξεργαστούν προβλήματα που σχετίζονται με μη γραμμικά και σύνθετα δεδομένα ακόμα και όταν αυτά είναι ανακριβή. Θεωρείται ότι

έχουν ειδικές ικανότητες, όπως η ικανότητά τους να προσαρμόζονται ή να μαθαίνουν, να γενικεύουν, να ομαδοποιούν ή να οργανώνουν δεδομένα βασιζόμενα στην διαδικασία της παράλληλης επεξεργασίας. Χαρακτηριστικό των δικτύων αυτών είναι η προσαρμοστική φύση τους, καθώς η εκμάθηση μέσω παραδειγμάτων αντικαθιστά τον προγραμματισμό στην επίλυση των προβλημάτων. Αυτό σημαίνει ότι δεν λειτουργούν με ένα συγκεκριμένο τρόπο για την επίλυση όλων των προβλημάτων αλλά προσαρμόζονται ανάλογα με τη φύση του προγράμματος και τα δεδομένα που εισάγονται σε αυτό. Πράγματι αρχικά το πρότυπο κατασκευάζεται και στη συνέχεια τροφοδοτείται με ιστορικά παραδείγματα. Κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης αυτής μορφώνει σταδιακά τους επικρατούντες κανόνες και την πορεία επίλυσης του προβλήματος. Στο τέλος της εκπαίδευσης είναι έτοιμο να γενικεύσει και με την τροφοδότηση με νέα δεδομένα να παράγει προβλέψεις.

Ένα ΤΝΔ είναι μια υπολογιστική δομή που αποτελείται από τα παρακάτω βασικά τμήματα:

1. Μονάδες επεξεργασίας που ονομάζονται νευρώνες
2. Μια κατάσταση μεταφοράς y_k που αντιστοιχεί στο δεδομένο εξόδου
3. Τις συνάψεις, που αποτελούν τις συνδέσεις μεταξύ των νευρώσεων
4. Κανόνες μεταφοράς του σφάλματος, που καθορίζει το αποτελεσματικό δεδομένο εισόδου (input) x_k του νευρώνα από το εξωτερικό δεδομένο εισόδου.
5. Τη συνάρτηση μεταφοράς Φ_k που καθορίζει το νέο επίπεδο μεταφοράς του νευρώνα με βάση το δεδομένο εισόδου x_k και την ισχύουσα κατάσταση μεταφοράς y_k .
6. Την πόλωση θ_k
7. Τον κανόνα εκπαίδευσης
8. Το περιβάλλον μέσα στο οποίο το σύστημα θα λειτουργεί

4.4.1.1 Νευρώνες

Οι βιολογικοί νευρώνες είναι οι βασικές μονάδες από τις οποίες αποτελείται ο εγκέφαλος του ανθρώπου. Είναι πολύπλοκα συστήματα που αποτελούνται από εκατοντάδες υποσυστήματα και μηχανισμούς. Στον ανθρώπινο εγκέφαλο υπάρχει ένα δίκτυο δισεκατομμυρίων νευρώνων που επικοινωνούν μεταξύ τους με τις συνάψεις.

Η δομή του κάθε νευρώνα αποτελείται από τον πυρήνα, τους δενδρίτες και τον άξονα. Οι δενδρίτες είναι το μέρος του νευρώνα που λαμβάνει ηλεκτροχημικά σήματα υπό τους άλλους νευρώνες μέσω των συνάψεων και φροντίζει να τα διαβιβάξει στον πυρήνα του νευρώνα μέσω του άξονα. Στον πυρήνα η επεξεργασία των σημάτων έχει τη μορφή της άθροισης όλων των σημάτων. Όταν το άθροισμα αυτό ξεπεράσει κάποιο όριο για κάποια δεδομένη χρονική στιγμή ο πυρήνας παράγει έναν παλμό, ο οποίος και μεταδίδεται στους γειτονικούς νευρώνες μέσω του άξονα, των δενδριτών και των συνάψεων. Έχει παρατηρηθεί ότι η δυνατότητα εκμάθησης του κάθε νευρώνα οφείλεται στην ηλεκτροχημική αντίσταση που έχει η κάθε σύναψη. Ο νευρώνας έχει την δυνατότητα να αυξομειώνει την αγωγιμότητα των συνάψεων και να ελέγχει έτσι ποια ερεθίσματα από τους γειτονικούς νευρώνες θα "περνάνε" στον πυρήνα και ποια όχι.

Οι διαφορές στην αγωγιμότητα των συνάψεων και, συνεπώς, το φιλτράρισμα των ερεθισμάτων είναι ουσιαστικά αυτό που κάνει τον ανθρώπινο εγκέφαλο εκπαιδευόμενο και προσαρμοζόμενο. Θεωρούμε ότι μια γνώση έχει κατακτηθεί από τον εγκέφαλο όταν οι σχετικοί νευρώνες ενεργοποιούνται μόνο στα ανάλογα ερεθίσματα που σχετίζονται με την γνώση αυτή. Αυτή ακριβώς την συμπεριφορά προσπαθούν να εξομοιώσουν τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα.

Για το λόγο αυτό ο τεχνητός νευρώνας των ΤΝΔ έχει σχεδιαστεί πάνω στις ίδιες αρχές με τις οποίες λειτουργεί και ο βιολογικός νευρώνας. Στις εισόδους του τεχνητού νευρώνα εφαρμόζεται ένα σύνολο από δεδομένα $x_1, x_2, \dots, x_n$ (διάνυσμα εισόδου), με το κάθε δεδομένο να είναι το αποτέλεσμα της εξόδου ενός άλλου νευρώνα (κατά αντιστοιχία με τον παλμό του βιολογικού νευρώνα). Για να αναπαρασταθεί η προσαρμοστικότητα της αγωγιμότητας των συνάψεων (και, συνεπώς, η διαδικασία εκμάθησης), το κάθε δεδομένο εισόδου x_i πολλαπλασιάζεται με ένα βάρος w_i . Το άθροισμα των γινομένων $x_1w_1 + x_2w_2 + \dots + x_nw_n$ είναι το συνολικό ερέθισμα των εισόδων, το οποίο, όταν περαστεί μέσα από την συνάρτηση ενεργοποίησης (activation function) του νευρώνα, έχει ως αποτέλεσμα το αποτέλεσμα της εξόδου του νευρώνα. Κάθε νευρώνας έχει πολλές εισόδους αλλά μόνο μία έξοδο η οποία αποτελεί είσοδο για άλλους νευρώνες.

Σε ένα ΤΝΔ οι νευρώνες μπορούν να ομαδοποιηθούν σε στρώματα (επίπεδα) έτσι ώστε οι εξοδοί των νευρώνων του ενός επιπέδου να αποτελούν τους νευρώνες εξόδου του επόμενου επιπέδου. Εκτός από τα επίπεδα στα οποία ο χρήστης εισάγει δεδομένα

στο ΤΝΔ (επίπεδο εισόδου) και το επίπεδο το οποίο δίνει αποτελέσματα στον χρήστη (επίπεδο εξόδου), τα υπόλοιπα επίπεδα ονομάζονται κρυφά αφού ο χρήστης δεν έχει άμεση επαφή με αυτά. Με βάση τον παραπάνω διαχωρισμό των επιπέδων οι τεχνητοί νευρώνες κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Νευρώνες εισόδου και αντίστοιχα επίπεδο εισόδου
2. Νευρώνες εξόδου και αντίστοιχα επίπεδο εξόδου
3. Ενδιάμεσους κρυμμένους νευρώνες και αντίστοιχα ενδιάμεσο κρυμμένο επίπεδο.

Περιορισμοί στο πλήθος των επιπέδων δεν υπάρχουν παρά μόνο όσοι προκύπτουν από τις δυνατότητες του υπολογιστικού συστήματος που χρησιμοποιείται αφού με αύξηση των κρυφών επιπέδων αυξάνεται η απαιτούμενη μνήμη και η απαιτούμενη επεξεργαστική ισχύ.

4.4.1.2 Συνάψεις

Οι συνάψεις αποτελούν τις συνδέσεις μεταξύ των νευρώνων. Έχουν διαλό ρόλο καθώς η σύννεψη που μπορεί να είναι έξοδος για έναν νευρώνα να είναι και είσοδος για κάποιον άλλο. Οι συνδέσεις μεταξύ των νευρωνών καθορίζουν αν κάποιος νευρώνας μπορεί να επηρεάσει κάποιον άλλο. Χαρακτηρίζονται από κάποιο βάρος το οποίο παίρνει τιμές από 0 έως 1 και με το οποίο πολλαπλασιάζεται η έξοδος κάθε νευρώνα. Από το συντελεστή βάρους προσδιορίζεται η σημαντικότητα των συνδέσεων και υποδηλώνεται η βαρύτητα που έχει η έξοδος κάθε νευρώνα. Οι συνάψεις είναι πολύ σημαντικές καθώς μέσω των βαρών καθορίζουν το τελικό αποτέλεσμα του δικτύου.

Ένα σήμα x_j στην είσοδο της σύννεψης j που συνδέεται στον νευρώνα k , πολλαπλασιάζεται με το συναπτικό βάρος w_{kj} . Αν θεωρηθεί ότι κάθε νευρώνας συνεισφέρει αθροιστικά στο δεδομένο εισόδου με το οποίο συνδέεται, τότε το συνολικό δεδομένο εισόδου k είναι το ζυγισμένο άθροισμα των δεδομένων εισόδου με τα οποία συνδέεται.

$$s_k(t) = \sum w_{kj}(t) y_j(t) + \theta_k(t) \quad (2)$$

Στην παραπάνω εξίσωση ο τελευταίος όρος θ_k καλείται πόλωση ή κατώφλι και εκφράζεται συνήθως ως μια σταθερή είσοδος με τιμή $x_0=1$ ή $x_0=-1$, η οποία φυσικά έχει και αυτή το δικό της συναπτικό βάρος w_0 . Το γινόμενο x_0w_0 προστίθεται στο

άθροισμα των γινομένων $x_i w_i$ πριν αυτό περάσει μέσα από την συνάρτηση ενεργοποίησης.

Η παραπάνω συνάρτηση καλείται αθροιστική και όταν το βάρος είναι θετικό η συνεισφορά του είναι διεγερτική ενώ όταν είναι αρνητικό είναι απαγορευτική.

4.4.2 Αρχιτεκτονικές των Νευρωνικών Δικτύων

Με βάση τον τρόπο με τον οποίο οι νευρώνες δομούνται και συνδέονται μεταξύ τους καθώς και με βάση τον τρόπο μετάδοσης των δεδομένων υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες νευρωνικών δικτύων:

1. Τα προς τα εμπρός μετάδοσης δίκτυα (Feed Forward Networks) στα οποία τα δεδομένα μεταφέρονται προς τη μία κατεύθυνση από την είσοδο προς την έξοδο και μόνο. Μπορεί να είναι ενός επιπέδου ή πολλαπλών αλλά σε κανένα δεν παρατηρείται ανάδραση.
2. Ανατροφοδοτούμενα (Recurrent Networks) στα οποία οι έξοδοι κάποιων νευρώνων γίνονται εισόδοι σε νευρώνες προηγούμενου επιπέδου. Σε αυτά υπάρχει τουλάχιστον ένας βρόχος ανάδρασης.

4.4.3 Εκπαίδευση ΤΝΔ

Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των ΤΝΔ είναι ο αλγόριθμος εκπαίδευσης, ο τρόπος δηλαδή με τον οποίο το ΤΝΔ προσαρμόζεται και μαθαίνει. Εκπαιδεύονται έτσι ώστε με την εισαγωγή παραμέτρων εισόδου να μπορούν να παράγουν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Σκοπός του αλγορίθμου εκπαίδευσης είναι να πάρουν κατάλληλες τιμές τα βάρη w_i . Υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι εκπαίδευσης οι οποίοι γενικά κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες:

1. Εκπαίδευση με επίβλεψη (Supervised or Associative Learning). Στην εκπαίδευση με επίβλεψη, η προσαρμογή των βαρών γίνεται με τη βοήθεια δασκάλου. Η εκπαίδευση με επίβλεψη γίνεται με μια δέσμη παραδειγμάτων που περιλαμβάνουν τα δεδομένα εισόδου (inputs) και το επιθυμητό αποτέλεσμα (outputs). Αυτά τα παραδείγματα μπορεί να παρέχονται στο δίκτυο από εξωτερική πηγή ή από το σύστημα που περιλαμβάνει το δίκτυο. Τα παραδείγματα της εκπαίδευσης με επίβλεψη περιλαμβάνουν την εκμάθηση διόρθωσης σφάλματος, την εκμάθηση στοχαστικών ιδιοτήτων και

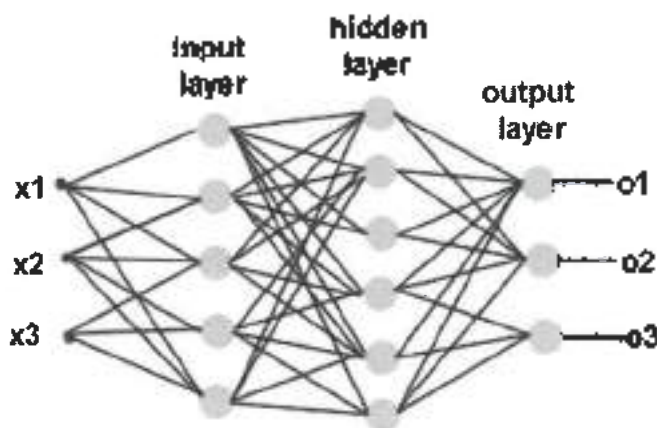
Ένα σημαντικό ζήτημα αυτής της μορφής εκπαίδευσης είναι το πρόβλημα της σύγκλισης λάθους, δηλαδή η ελαχιστοποίηση του σφάλματος ανάμεσα στην επιθυμητή τιμή και αυτή που υπολογίζεται. Στόχος είναι να καθοριστεί ένα σύνολο βαρών που ελαχιστοποιεί το σφάλμα. Αυτός ο τρόπος επίβλεψης χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα διπλωματική εργασία για τη στατιστική επεξεργασία.

2. Εκπαίδευση χωρίς επίβλεψη (Unsupervised Learning or Self-Organization). Στα δίκτυα αυτά, ένας νευρώνας εξόδου μαθαίνει να αντιδρά σε ομάδες δεδομένων εισόδου (inputs). Το δίκτυο δεν έχει στη διάθεσή του ενδείξεις για το ποιες είναι οι αποκρίσεις στα δεδομένα εισόδου αλλά βασίζεται στην παρατήρηση των δεδομένων εισόδου και εξόδου για εύρεση κοινών χαρακτηριστικών μεταξύ τους. Η εκπαίδευση χωρίς επίβλεψη δίνει τη δυνατότητα στο δίκτυο να ανακαλύπτει τα προεξέχοντα χαρακτηριστικά του πληθυσμού των δεδομένων εισόδου. Αυτός ο τρόπος εκπαίδευσης είναι αρκετά σημαντικός καθώς θεωρείται πιο κοντανός στον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος, αλλά παρουσιάζει μεγαλύτερες δυσκολίες στην υλοποίησή του.

4.4.4 Πολυεπίπεδο Perceptron (MLP)

Το Perceptron είναι μια φυσική μορφή τεχνητού νευρωνικού δικτύου που εφευρέθηκε το 1957 στο Αεροναυτικό Εργαστήριο του Κορνέλ από τον Rosenblatt. Μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα απλό δίκτυο πρόσθιας τροφοδότησης και αποτελείται από το επίπεδο εισόδου, από όπου διαχωτεύονται τα δεδομένα, ένα ενδιάμεσο επίπεδο και το επίπεδο εξόδου. Παρόλο που το Perceptron έμοιαζε πολλά υποσχόμενο στην αρχή τελικά αποδείχθηκε ότι δεν μπορεί να εκπαιδευτεί για να αναγνωρίζει πολλές κατηγορίες προτύπων. Οι Minsky και Papert (1969) απέδειξαν ότι με τη χρησιμοποίηση περικτυπώδων από ένα επίπεδο επεξεργασίας μπορεί να υπερβεί πολλούς από τους περιορισμούς του Perceptron και έτσι αναπτύχθηκε το Πολυεπίπεδο Perceptron (Multi - Layer Perceptron MLP). Πρόκειται για ένα πρόσθιας τροφοδότησης τεχνητό νευρωνικό δίκτυο το οποίο αποτελείται από πολλά επίπεδα κάθε ένα από τα οποία περιλαμβάνει νευρώνες που παίρνουν τα δεδομένα και τα προωθούν στο επόμενο επίπεδο. Χρησιμοποιεί μια τεχνική εκπαίδευσης με επίβλεψη η οποία καλείται οπισθοδρομή μεταφορά σφάλματος , γνωστή με τον όρο

back-propagation (Rumelhart et al.1986). Μέσω αυτής πραγματοποιείται αλλαγή στα βάρη μετά την επεξεργασία κάθε δεδομένου, ανάλογα με το σφάλμα που έχει προκύψει στα δεδομένα εξόδου σε σχέση με το αναμενόμενο αποτέλεσμα.



Σχήμα 14: Πολυεπίπεδο Perceptron (Πηγή: <http://dms.irb.hr/tutorial/images/ann.jpg>)

Η διαδικασία που ακολουθείται στην οπισθοδρομή μεταφορά σφάλματος είναι η εξής: Αρχικά, ένα παράδειγμα εκπαίδευσης εισέρχεται στο δίκτυο και παράγεται ένα αποτέλεσμα. Αν το αποτέλεσμα αυτό συγκριθεί με την επιθυμητή τιμή, τότε προκύπτει ένα σφάλμα για κάθε νευρώνα, έστω e_o , για κάθε νευρώνα εξόδου o . Σκοπός, του δικτύου είναι να μηδενιστεί το e_o .

Αυτό επιτυγχάνεται σε δύο φάσεις: Στην πρώτη φάση με βάση τον κανόνα Δέλτα γίνεται ρύθμιση των συναπτικών βαρών σύμφωνα με τη σχέση

$$\Delta w_{ho} = (d_o - y_o) y_h \quad (3)$$

Επειδή αν ρυθμίζονται μόνο τα συναπτικά βάρη του ενδιάμεσου με το εξωτερικό επίπεδο το MLP δεν έχει την ικανότητα αναπαράστασης οποιασδήποτε κατάστασης, το σφάλμα e_o της νευρώνα εισόδου κατανέμεται σε όλους της νευρώνες με της οποίους συνδέεται, βεβαιωμένο με το είδος της σύνδεσης.

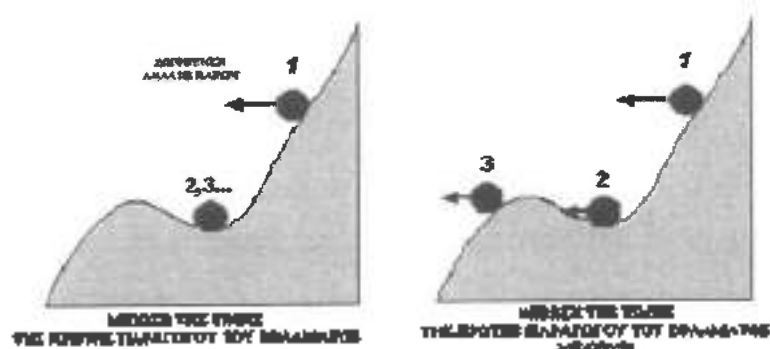
4.4.4.1 Ρυθμός Εκπαίδευσης και Εκπαίδευση με ορμή

Ο ρυθμός εκπαίδευσης εκφράζει την ταχύτητα με την οποία τροποποιούνται τα βάρη των συνάψεων της ΤΝΔ ώστε να επιτευχθεί το ελάχιστο δυνατό σφάλμα. Αποδίδεται από τον όρο γ , επιλέγεται αυθαίρετα πριν την εκπαίδευση και κατά βάση παραμένει σταθερός κατά τη διάρκειά της. Επειδή υπάρχει περίπτωση η συνάρτηση του σφάλματος να παρουσιάζει τοπικό ελάχιστο αλλά και επίπεδες περιοχές η επιλογή μικρής τιμής του όρου γ , που αντιστοιχεί σε μικρότερα βήματα με στόχο την εύρεση του απολύτου σφάλματος οδηγεί σε αργή εκπαίδευση. Επιπλέον υπάρχει ο κίνδυνος

το δίκτυο να σταματήσει σε κάποιο τοπικό ελάχιστο. Αν της αυτό αποφευχθεί τότε με την επιλογή μικρής τιμής του όρου γ υπάρχει η δυνατότητα ακριβούς προσδιορισμού του απόλυτου ελαχίστου. Αντίθετα για μεγαλύτερη τιμή του όρου γ , επιτυγχάνεται μεν ταχύτερη εκπαίδευση αλλά υπάρχει ο κίνδυνος του μη ακριβούς προσδιορισμού του απόλυτου ελαχίστου. Ο παράγοντας της ορμής εισάγεται για να αντιμετωπιστούν τα προηγούμενα προβλήματα. Σε περίπτωση που συναντηθεί κάποιο τοπικό ελάχιστο ο παράγοντας της ορμής δίνει την απαιτούμενη ώθηση για την απομάκρυνση από αυτό. Η εκπαίδευση με ορμή είναι μια βελτίωση του Γενικευμένου Κανόνα Δέλτα κατά την οποία προστίθεται ο παράγοντας της ορμής (μ) ο οποίος πολλαπλασιάζεται με τη μεταβολή του βάρους που συντελέστηκε στον προηγούμενο κύκλο εκπαίδευσης και έτσι έχουμε

$$\Delta w_{jk}(t+1) = \gamma \delta_i^P y_j^P + \mu \Delta w_{jk}(t) \quad (4)$$

Η μέθοδος αυτή ονομάζεται μέθοδος ορμής. Για να γίνει πιο κατανοητός ο ρόλος του παράγοντα της ορμής, της υποτεθεί ότι η σφαίρα του σχήματος 17 αντιστοιχεί στην πρώτη παράγωγο του σφάλματος και η επιφάνεια στην πορεία που ακολουθεί η πρώτη παράγωγος του σφάλματος. Τότε αν η σφαίρα χωρίς ορμή έφτανε στη θέση 2, θα εγκλωβιζόταν ενώ μέσω της ορμής φτάνει στη θέση 3.

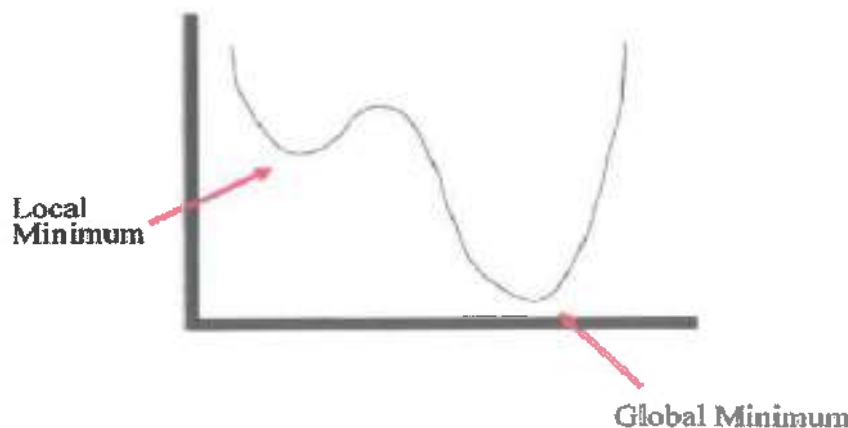


Σχήμα 15. Σημασία του παράγοντα της ορμής στην εκπαίδευση του ΤΝΔ (J. C. Principe, N. R. Euliano, W. C Lefebvre 1999)

4.4.4.2 Μειονεκτήματα

Το βασικότερο μειονέκτημα της διαδικασίας της οπισθοδρομής μεταφοράς σφάλματος είναι το μεγάλο χρονικό διάστημα εκπαίδευσης το οποίο συνήθως οφείλεται στο μη βέλτιστο συνδυασμό ρυθμού εκπαίδευσης και συντελεστή ορμής.

Μια ανεπιτυχής εκπαίδευση οφείλεται σε δύο περιπτώσεις. Η πρώτη είναι η παράλυση του δικτύου, κατά την οποία τα βάρη ρυθμίζονται σε υψηλές τιμές. Η δεύτερη περίπτωση είναι να σταματήσει σε κάποιο τοπικό ελάχιστο. Η επιφάνεια του σφάλματος είναι γεμάτη κοίλα και κυρτά τμήματα και ως εκ τούτου υπάρχει πιθανότητα το δίκτυο να παγιδευτεί σε κάποιο ελάχιστο το οποίο όμως να μην είναι το απόλυτο.



Σχήμα 16: Η διαφορά τοπικού και ολικού ελάχιστου

(Πηγή: <http://www.google.gr/search?hl=el&source=hp&q=drawbacks+of+back+propagation&rlz=>)

Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται είτε με πιθανοτικές μεθόδους οι οποίες όμως είναι πολύπλοκες και απαιτούν μεγάλα χρονικά διαστήματα επεξεργασίας, είτε με την αύξηση του αριθμού των ενδιάμεσων εκπαέδων μειώνοντας έτσι την πιθανότητα να βρεθεί το δίκτυο σε κάποιο τοπικό ελάχιστο.

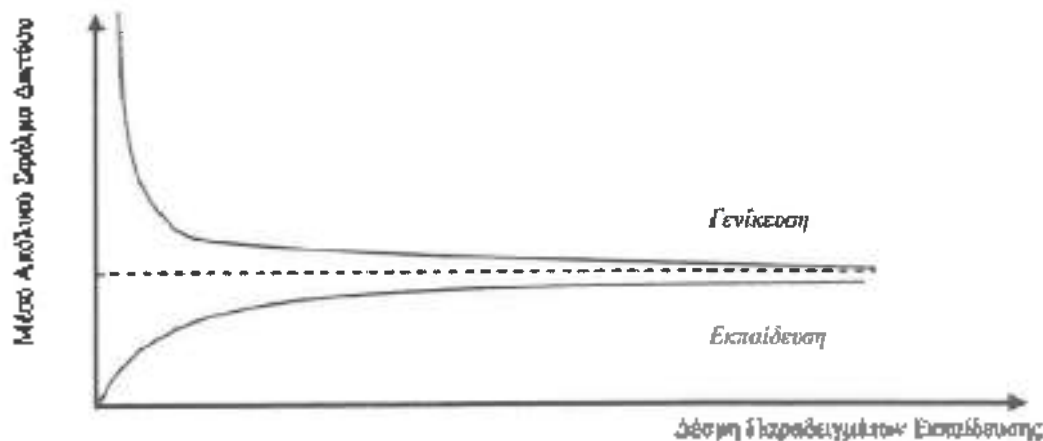
4.4.4.3 Αξιολόγηση των MLP

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη χρήση των MLP μπορεί να είναι συνήθως ικανοποιητικά αλλά πάντα θα περιέχουν κάποιο σφάλμα. Το σφάλμα αυτό εξαρτάται από τρεις παράγοντες. Ο πρώτος είναι ο κανόνας εκπαίδευσης και ο αριθμός των επαναλήψεων με βάση τους οποίους καθορίζεται πόσο ελαχιστοποιείται το σφάλμα κατά την διάρκεια της εκπαίδευσης. Ο δεύτερος είναι ο αριθμός των παραδειγμάτων εκπαίδευσης. Για τον προσδιορισμό του βέλτιστου αριθμού παραδειγμάτων θα πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω συνθήκες:

1. Το φράγμα των λαθών της εκπαίδευσης είναι μικρότερο από $\epsilon/2$ (όπου ϵ το κατάφωλ των τιμών του σφάλματος του δικτύου)

2. Ο αριθμός των παραδειγμάτων N να είναι $N \geq W/\epsilon$ (όπου W ο συνολικός αριθμός συναπτικών βαρών στο δίκτυο)

Έχει αποδειχθεί ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των παραδειγμάτων εκπαίδευσης τόσο αυξάνεται το μέσο απόλυτο σφάλμα στην εκπαίδευση και άρα τόσο μειώνεται το μέσο απόλυτο σφάλμα στον έλεγχο του δικτύου.



Διάγραμμα 17: Επίρροη αριθμού παραδειγμάτων στο Μέσο Απόλυτο Σφάλμα (J. C. Principe, N. R. Euliano, W. C. Lefebvre 1999)

Ο τρίτος και τελευταίος παράγοντας που επηρεάζει το σφάλμα είναι ο αριθμός των νευρώνων στο ενδιάμεσο επίπεδο. Με τον τρόπο αυτό εκφράζεται η δύναμη του δικτύου. Για την προσομοίωση μιας ομαλής συνάρτησης χρειάζεται μικρός αριθμός νευρώνων, ενώ στην περίπτωση ανώμαλων συναρτήσεων είναι απαραίτητος μεγάλος αριθμός ενδιάμεσων νευρώνων.

4.4.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΞΗΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Προκειμένου να αποφανθούμε για την καταλληλότητα του μοντέλου που προέκυψε και την αξιοπιστία του ως προς τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν τα μεγέθη που ακολουθούν (Washington et al. 2010) :

- **MSE (Mean squared error) ή Μέσο τετραγωνικό σφάλμα**: Αποτελεί έναν από τους τρόπους υπολογισμού της διαφοράς ανάμεσα στην εκτίμηση της τιμής ενός μεγέθους και στην πραγματική τιμή αυτού. Είναι ουσιαστικά ο μέσος όρος του σφάλματος που υπάρχει εξαιτίας αυτής της διαφοράς. Η διαφορά αυτή ανάμεσα στις

δύο τιμές οφείλεται στην τυχαιότητα ή στο γεγονός ότι ο εκτιμητής δεν συνοψολογίζει πάντα όλες τις πληροφορίες για να παράγει μια ακριβέστερη τιμή. Υπολογίζεται από τη σχέση

$$MSE(\hat{\theta}) = E[(\hat{\theta} - \theta)^2] \quad (5)$$

όπου θ η τιμή της εκάστοτε παραμέτρου
και $\hat{\theta}$ η πραγματική της τιμή

Για $MSE=0$ τότε ο εκτιμητής προβλέπει τις τιμές της παραμέτρου με απόλυτη ακρίβεια, κάτι που είναι όμως σχεδόν αδύνατο. Ανάμεσα σε δύο στατιστικά μοντέλα καταλληλότερο και πιο αξιόπιστο θεωρείται εκείνο που έχει την μικρότερη τιμή μέσου τετραγωνικού σφάλματος.

- **(MAE) Μεση absolute error ή Απόλυτο σφάλμα μέσης τιμής:** Επειδή σε πολλές περιπτώσεις, όταν μετρούμε πολλές φορές, στις ίδιες συνθήκες την ίδια ποσότητα βρίσκουμε διαφορετικά αποτελέσματα, βρίσκουμε τη μέση τιμή και το απόλυτο σφάλμα της μέσης τιμής (ή τυπική απόκλιση της μέσης τιμής). Εάν σε ένα πείραμα η μέτρηση του μεγέθους x επαναληφθεί N φορές, και οι μετρούμενες τιμές είναι $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$, τότε ως πραγματική θεωρούμε την μέση τιμή

$$X = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots + x_N = \sum x_k / N \quad (6)$$

Εάν τα σφάλματα των παραπάνω μετρήσεων είναι τυχαία θα διαφέρουν ως προς το πρόσημο και ως προς το μέγεθος. Έτσι στον υπολογισμό της μέσης τιμής κάποια από τα τυχαία σφάλματα αλληλοαναιρούνται στο έθροισμα. Η επανάληψη πολλών μετρήσεων είναι και ο καλύτερος τρόπος περιορισμού των τυχαίων σφαλμάτων. Επιπλέον μπορεί να υπολογιστεί η απόκλιση των μετρήσεων από τη μέση τιμή. Το απόλυτο σφάλμα της μέσης τιμής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκφράσει τη βεβαιότητα των N μετρήσεων μας για τη μέση τιμή του x δηλαδή γράφοντας $x \pm \delta x$ όπου

$$\delta x = \{\sum (x_k - x)^2 / (N(N-1))\}^{(1/2)} \quad (7)$$

Άρα συνολικά ο σωστός τρόπος αναγραφής της μετρούμενης τιμής είναι

Τιμή $\pm$ σφάλμα

Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης (Linear Correlation Coefficient): είναι το μέτρο που εκφράζει την συγκέντρωση των σημείων ενός διαγράμματος διασποράς γύρω από την ευθεία παλινδρόμησης.

Ιδιότητες του r :

Εάν $0 < r < 1$ τότε οι X και Y είναι θετικά γραμμικά συσχετισμένες.

Εάν $-1 < r < 0$ τότε οι X και Y είναι αρνητικά γραμμικά συσχετισμένες.

Εάν $r = 1$ τότε έχουμε τέλεια θετική γραμμική συσχέτιση και όλα τα σημεία βρίσκονται πάνω στην ευθεία $y = \alpha + \beta \cdot x$ και $\beta > 0$, αντίστοιχα αν $r = -1$ και $\beta < 0$.

Εάν $r = 0$ τότε δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών X και Y . Οπότε λέμε ότι είναι γραμμικά ασυσχέτιστες.

Εφαρμόζοντας το στατιστικό μοντέλο για όλες τις περιπτώσεις υστερήσεων που εντοπίστηκαν προέκυψε ο Πίνακας 3 στον οποίο παρουσιάζονται οι τιμές των μεγεθών που περιγράφηκαν πιο πάνω. Να σημειωθεί ότι η περίπτωση 1 αντιστοιχεί σε επιθετική συμπεριφορά του οδηγού που ακολουθεί και η περίπτωση 2 σε επιφυλακτική οδήγηση του οχήματος που ακολουθεί. Η τελευταία στήλη του Πίνακα 3 προέκυψε από τη μέση τιμή των τιμών των δύο περιπτώσεων.

Πίνακας 3: Παρουσίαση στατιστικών μεγεθών του μοντέλου

	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1	Σύνολο
MSE	0.0508	0.0508	0.0508
NMSE	0.207	0.207	0.207
MAE	0.122	0.122	0.122
Min Abs Error	0.002	0.002	0.002
Max Abs Error	0.801	0.801	0.801
r	0.901	0.901	0.901
Percent Correct	100	80	90

Στον Πίνακα 3 παρατηρείται ότι η τιμή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος είναι 0.05, τιμή αρκετά χαμηλή και μικρότερη της μονάδας, γεγονός που δείχνει ότι το

μοντέλο είναι αρκετά αξιόπιστο και μπορεί να προβλέψει με ακρίβεια την παράμετρο που εξετάζεται η οποία στην προκειμένη περίπτωση είναι το είδος της συμπεριφοράς του οδηγού του οχήματος που ακολουθεί. Επιπλέον η τιμή του απόλυτου σφάλματος της μέσης τιμής είναι 0.12, ενώ το μέγιστο σφάλμα που παρατηρήθηκε είναι 0.80 μικρότερο και αυτό της μονάδας. Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης σύμφωνα με τον Πίνακα 1 είναι 0.901346, τιμή η οποία είναι πολύ κοντά στη μονάδα. Άρα η συσχέτιση πλησιάζει την τέλεια θετική και άρα το μοντέλο είναι ικανοποιητικό. Τέλος από την τελευταία στήλη του Πίνακα 3 διαπιστώνεται ότι η προβλεψιμότητα του μοντέλου κατά μέσο όρο και για τις δύο περιπτώσεις είναι 90%, δηλαδή μπορεί να προβλέπει με ακρίβεια 9 στις 10 υστερήσεις.

Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι οι παραπάνω τιμές πιθανόν να προκύπτουν αρκετά ικανοποιητικές καθώς το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε είναι σχετικά μικρό καθώς εντοπίστηκαν και εξετάστηκαν συνολικά 93 υστερήσεις. Αποτελεί ωστόσο μια πρώτη προσπάθεια περαιτέρω εξήγησης του φαινομένου της υστέρησης με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία. Είναι βέβαιο ότι χρειάζεται περαιτέρω έρευνα καθώς η λήψη μεγαλύτερου δείγματος ή η εξέταση και άλλων παραμέτρων πιθανόν να οδηγήσει σε διαφορετικά αποτελέσματα ως προς τη δυνατότητα γενίκευσης του μοντέλου.

4.4.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

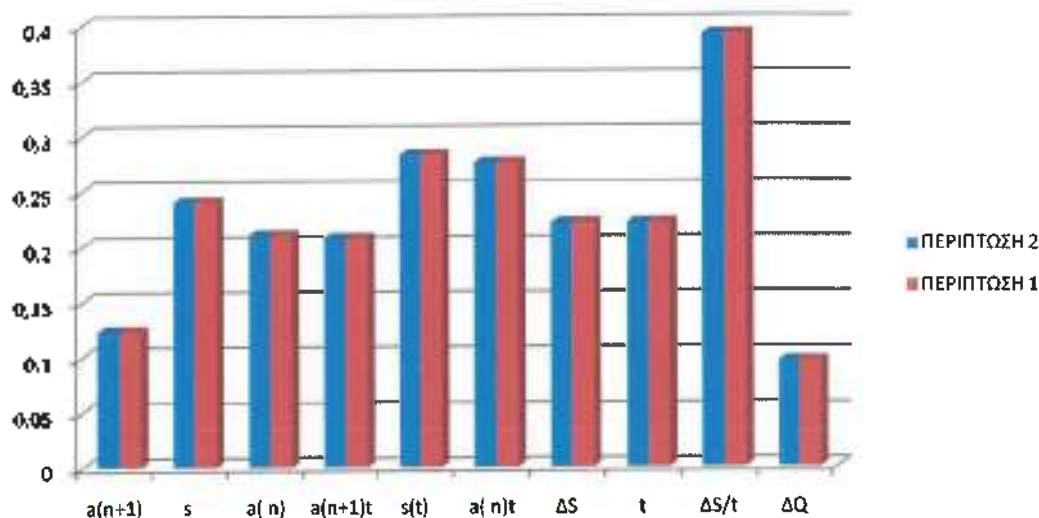
Με τη χρήση του νευρωνικού δικτύου αναπτύχθηκαν συσχετίσεις ανάμεσα στο είδος της συμπεριφοράς του οδηγού και ορισμένων μακροσκοπικών και μικροσκοπικών χαρακτηριστικών. Προκειμένου να ερμηνευθούν οι συσχετίσεις οι οποίες προέκυψαν πραγματοποιείται η ανάλυση ευαισθησίας. Η διαδικασία με την οποία γίνεται η ανάλυση ευαισθησίας περιλαμβάνει αρχικά την εκπαίδευση του δικτύου όπως γίνεται συνήθως και στη συνέχεια διόρθωση των βαρών. Το επόμενο βήμα είναι η μεταβολή των τιμών κάθε μεταβλητής εισόδου γύρω από τη μέση τιμή της, κρατώντας ταυτόχρονα τις υπόλοιπες μεταβλητές στη μέση τιμή τους, και έπειτα υπολογίζεται η αλλαγή που σημειώνεται στη μεταβλητή εξόδου. Η αλλαγή στις τιμές της μεταβλητής εισόδου γίνεται συνήθως προσθέτοντας μια τυχαία τιμή μιας γνωστής διαφοράς σε κάθε δείγμα και υπολογίζοντας τη μεταβλητή εξόδου.

Η ευαισθησία για τη μεταβλητή εισόδου k εκφράζεται ως

$$s_k = \frac{\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^N (y_{ip} - \hat{y}_{ip})^2}{\sigma_k^2} \quad (8)$$

Τα αποτελέσματα της εξίσωσης αυτής είναι πολύ εύκολο να υπολογιστούν στο εκπαιδευόμενο δίκτυο και μετρούν αποτελεσματικά πόσο πολύ η αλλαγή σε μια δεδομένη μεταβλητή εισόδου επηρεάζει την μεταβλητή εξόδου. Μεταβλητές εισόδου οι οποίες έχουν υψηλές ευαισθησίες είναι περισσότερο σημαντικές και για αυτό θα πρέπει να κρατηθούν στο δίκτυο. Αντίθετα μεταβλητές εισόδου με χαμηλές ευαισθησίες μπορούν να αποκλειστούν από την ανάλυση. Η ανάλυση ευαισθησίας βοηθά στην εκπαίδευση καθώς μειώνει το μέγεθος του δικτύου και μειώνει και το κόστος συλλογής δεδομένων.

Από την ανάλυση ευαισθησίας για όλες τις παραμέτρους που εξετάστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία προέκυψε το Διάγραμμα 18 στο οποίο φαίνεται ότι ο ρυθμός μεταβολής του χωρικού διαχωρισμού κατά τη διάρκεια του φαινομένου, ο χωρικός διαχωρισμός στην αρχή και το τέλος του φαινομένου, καθώς και η επιτάχυνση του οχήματος που ακολουθεί στο τέλος του φαινομένου επηρεάζουν περισσότερο από όλες τις υπόλοιπες παραμέτρους το είδος της αντίδρασης του οδηγού του οχήματος που ακολουθεί (παρατηρούνται υψηλότερες ευαισθησίες). Δηλαδή, οι μεταβλητές αυτές έχουν μεγάλη σημασία για την ανάλυση.



Διάγραμμα 18: Διάγραμμα Ευαισθησίας για όλες τις παραμέτρους

Οι παράμετροι που ακολουθούν σε βαθμό ευαισθησίας τις προαναφερθείσες είναι η διάρκεια του φαινομένου, δηλαδή το χρονικό διάστημα από τη στιγμή που το

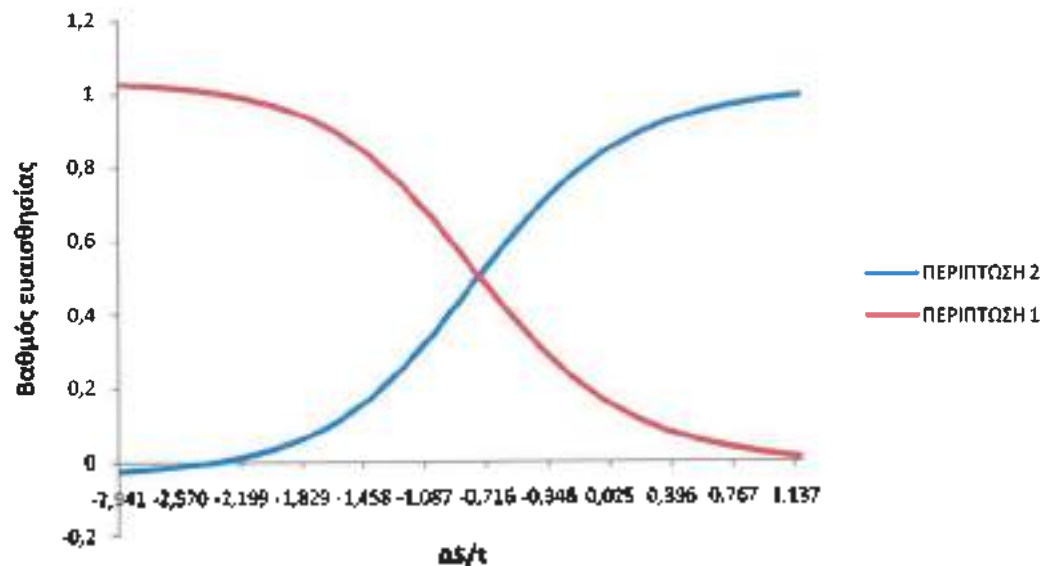
προπορευόμενο όχημα άρχισε να επιβραδύνει μέχρι τη στιγμή που το όχημα που ακολουθεί άρχισε να επιταχύνει και να αποκτά σχεδόν παράλληλη πορεία με το προπορευόμενο, η διαφορά των χωρικών διαχωρισμών και οι επιταχύνσεις του οχήματος που ακολουθεί και του προπορευόμενου στο τέλος και την αρχή του φαινομένου αντίστοιχα.

Τέλος οι παράμετροι οι οποίοι φαίνεται να επηρεάζουν λιγότερο την πρόβλεψη του είδους της συμπεριφοράς του οδηγού είναι η επιτάχυνση του προπορευόμενου οχήματος στην αρχή του φαινομένου και η διαφορά των φόρτων εισόδου και εξόδου. Το γεγονός ότι η διαφορά φόρτων εισόδου και εξόδου είναι ανάμεσα στις παραμέτρους που επηρεάζουν λιγότερο το φαινόμενο είναι αρκετά σημαντικό και συμπεραίνεται ότι οι κατάταξη με βάση μόνο τη διαφορά φόρτου που χρησιμοποιήθηκε από το Laval (2009) δεν εξηγεί πλήρως το φαινόμενο των υστέρησεων. Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν για την ανάλυση ευαισθησίας θεωρήθηκε ότι η διαφορά φόρτων και η επιτάχυνση του οχήματος που προπορεύεται στην αρχή του φαινομένου μπορούν να αγνοηθούν λόγω της αρκετά χαμηλής ευαισθησίας που παρουσιάζουν.

Στη συνέχεια ακολουθεί ανάλυση και επεξήγηση των διαγραμμάτων όλων των παραπάνω παραμέτρων. Στα διαγράμματα αυτά στον άξονα x παρουσιάζονται μεταβλητές τιμές της εκάστοτε παραμέτρου εισόδου (ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι έχουν ως τιμή τη μέση τιμή τους), ενώ στον άξονα y οι αντίστοιχες τιμές της μεταβλητής εξόδου όπως προέκυψαν από το δίκτυο.

1. Ρυθμός μεταβολής χωρικού διαχωρισμού $\Delta S/t$

Στο Διάγραμμα 19 διαπιστώνεται ότι για αρνητικούς και μάλιστα μεγάλους ρυθμούς μεταβολής χωρικού διαχωρισμού ο βαθμός ευαισθησίας είναι πολύ μεγαλύτερος για την πρώτη περίπτωση (επιθετική αντίδραση οδηγού) και μηδενικός ή και αρνητικός για τη δεύτερη περίπτωση (επιφυλακτική αντίδραση οδηγού).

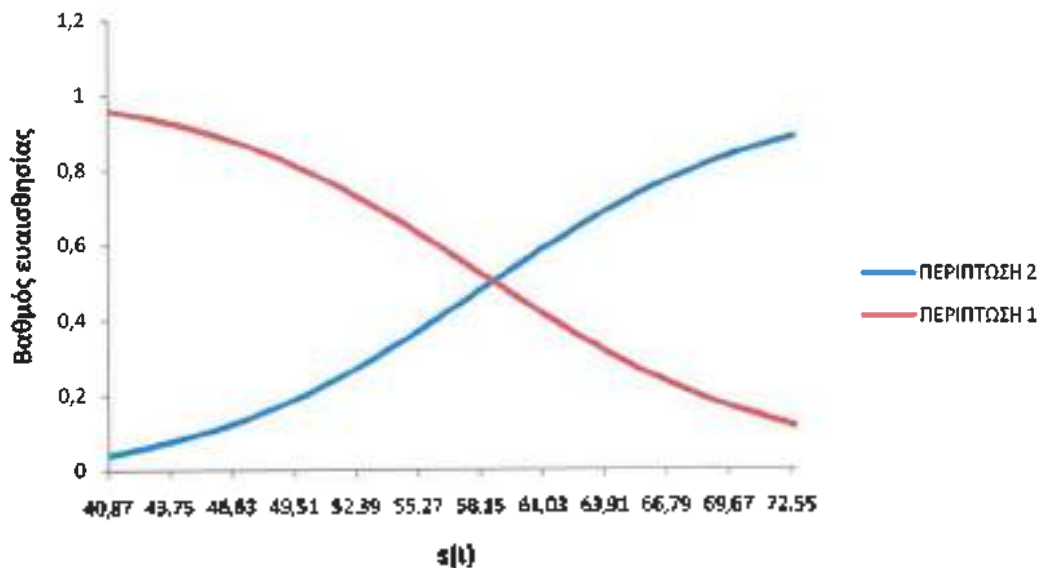


Διάγραμμα 19: Διάγραμμα ευαισθησίας για το ρυθμό μεταβολής του χωρικού διαχωρισμού

Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι στην πρώτη περίπτωση λόγω επιθετικής αντίδρασης του οδηγού που ακολουθεί, το όχημα που ακολουθεί πλησιάζει αρκετά το προπορευόμενο όχημα πριν αρχίσει να επιβραδύνει με αποτέλεσμα ο ρυθμός μεταβολής του χωρικού διαχωρισμού να είναι μεν κατά βάση αρνητικός στις περιπτώσεις αυτές αλλά και να μεγαλώνει η τιμή για πιο επιθετική οδήγηση. Αντίθετα στη δεύτερη περίπτωση ο οδηγός ακολουθώντας επιφυλακτική συμπεριφορά οδήγησης επιβραδύνει πιο έντονα από το προπορευόμενο όχημα με αποτέλεσμα ο χωρικός διαχωρισμός μεταξύ τους κατά τη διάρκεια του φαινομένου να αυξάνει. Έτσι λοιπόν ο ρυθμός μεταβολής του χωρικού διαχωρισμού είναι κατά βάση θετικός στις περιπτώσεις αυτές και επιπλέον όσο περισσότερο επιφυλακτική είναι η οδήγηση του πίσω οχήματος τόσο αυξάνεται και η μεταβολή του χωρικού διαχωρισμού ανά δευτερόλεπτο κίνησης των οχημάτων κατά τη διάρκεια του φαινομένου.

2. Χωρικός Διαχωρισμός στο τέλος του φαινομένου $s(t)$

Στο Διάγραμμα 20 φαίνεται ότι μεγαλύτερες τιμές του χωρικού διαχωρισμού έχουν μεγαλύτερο βαθμό ευαισθησίας στη δεύτερη περίπτωση που εξετάζεται. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι στην περίπτωση αυτή λόγω επιφυλακτικής οδήγησης του οδηγού του πίσω οχήματος, επιβραδύνει πολύ περισσότερο σε σχέση με το προπορευόμενο με αποτέλεσμα στο τέλος του φαινομένου και πριν ξεκινήσει να επιταχύνει σημαντικά να βρίσκεται μακριά από αυτό.

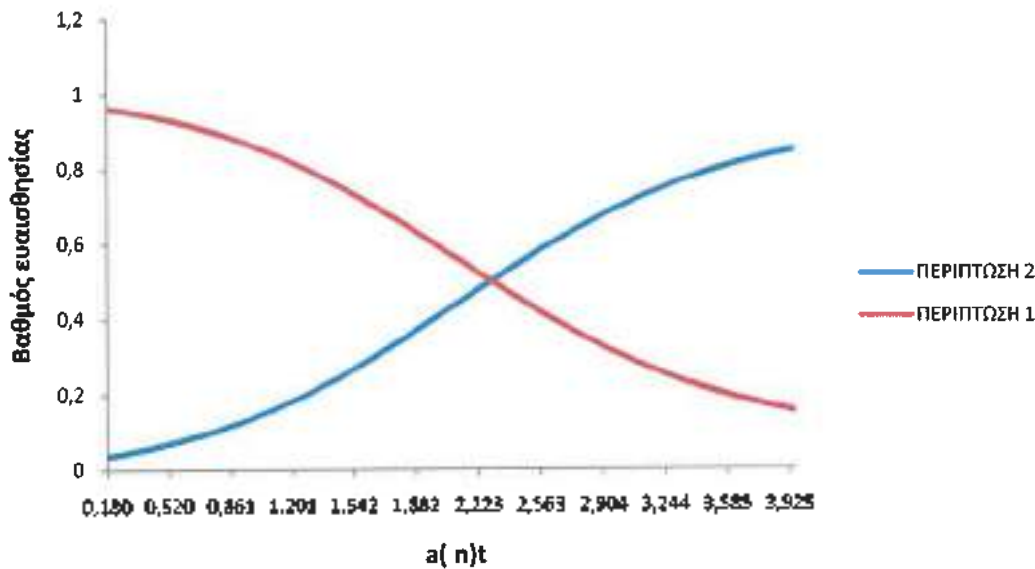


Διάγραμμα 20: Διάγραμμα ευαισθησίας για το χωρικό διαχωρισμό στο τέλος του φαινομένου

Αντίθετα στην πρώτη περίπτωση λόγω επιθετικής συμπεριφοράς του πίσω οδηγού η απόσταση που έχει από το προπορευόμενο όχημα είναι μικρή, γεγονός που αποτυπώνεται και στη μορφή του διαγράμματος στο οποίο φαίνεται ότι για μικρές τιμές χωρικού διαχωρισμού στο τέλος του φαινομένου ο βαθμός ευαισθησίας είναι μεγαλύτερος από ότι στη δεύτερη περίπτωση που είναι σχεδόν μηδενικός.

3. Επιτάχυνση οχήματος που ακολουθεί στο τέλος του φαινομένου $a_f(t)$

Στο Διάγραμμα 21 παρατηρείται ότι για μεγάλες επιταχύνσεις του οχήματος που ακολουθεί στο τέλος του φαινομένου ο βαθμός ευαισθησίας είναι μεγαλύτερος για τη δεύτερη περίπτωση και μικρότερος για την πρώτη. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι στην πρώτη περίπτωση λόγω επιθετικής συμπεριφοράς οδήγησης του πίσω οδηγού πριν αυτός αρχίσει να επιβραδύνει σημαντικά έχει πλησιάσει αρκετά το προπορευόμενο όχημα. Ως αποτέλεσμα κατά τη διάρκεια της επιβράδυνσής του κρατάει μια ελάχιστη απόσταση ασφαλείας και κινείται συντηρητικά. Η στιγμή που θα ξεκινήσει να επιταχύνει στο τέλος του φαινομένου εξαρτάται από την κίνηση του προπορευόμενου οχήματος και για αυτό η επιτάχυνσή του τη στιγμή εκείνη είναι σχετικά μικρή για να διατηρείται και η απόσταση ασφαλείας.

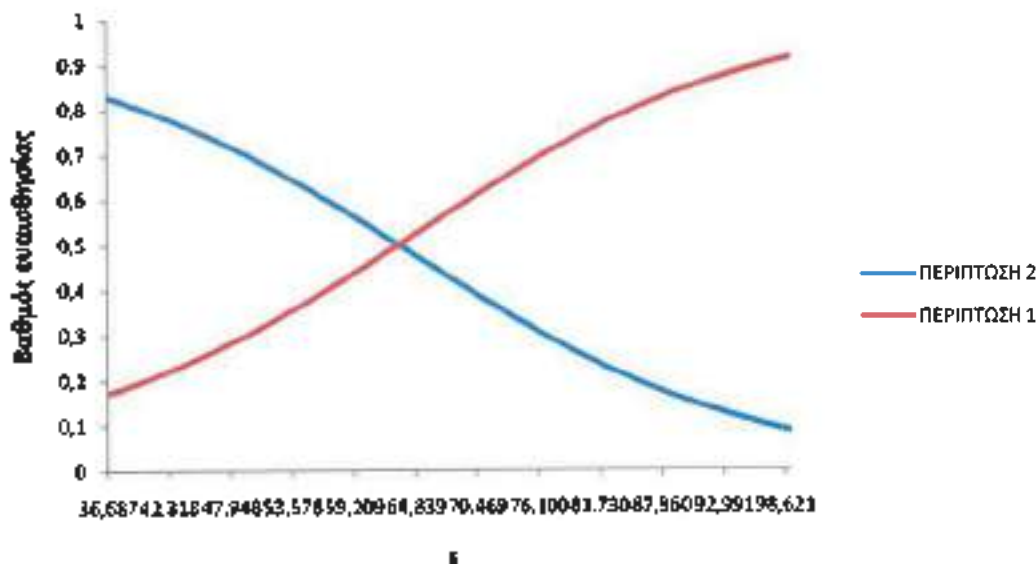


Διάγραμμα 21: Διάγραμμα ευαισθησίας για την επιτάχυνση του οχήματος που ακολουθεί

Αντίθετα στη δεύτερη περίπτωση το όχημα που ακολουθεί λόγω επιφυλακτικής συμπεριφοράς του οδηγού επιβραδύνει περισσότερο από το προπορευόμενο και η απόσταση από αυτό μεγαλώνει και μάλιστα πολλές φορές αρκετά. Έτσι λοιπόν στο τέλος του φαινομένου βλέποντας και το προπορευόμενο όχημα να επιταχύνει έχει το περιθώριο λόγω του μεγάλου χωρικού διαχωρισμού να επιταχύνει περισσότερο από ότι στην πρώτη περίπτωση.

4. Χωρικός Διαχωρισμός στην αρχή του φαινομένου s

Στο Διάγραμμα 22 οι χαμηλοί χωρικοί διαχωρισμοί στην αρχή του φαινομένου έχουν μεγαλύτερο βαθμό ευαισθησίας στη δεύτερη περίπτωση από ότι στην πρώτη. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι στην πρώτη περίπτωση λόγω της επιφυλακτικής συμπεριφοράς του πίσω οδηγού παρά το γεγονός ότι το προπορευόμενο όχημα έχει αρχίσει να επιβραδύνει, συνεχίζει να κινείται επιταχυνόμενο με αποτέλεσμα να πλησιάζει το όχημα που προηγείται.

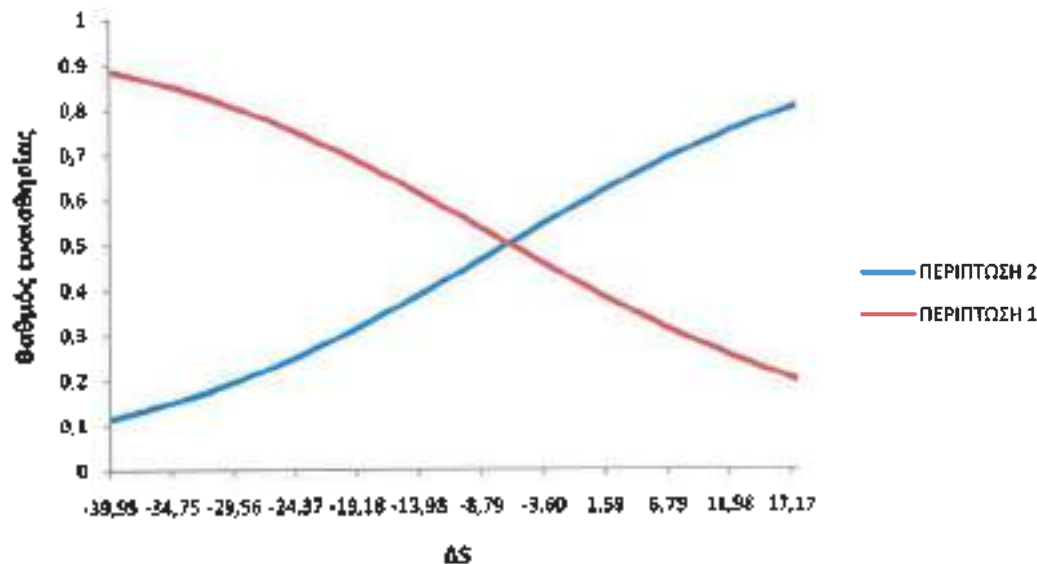


Διάγραμμα 22: Διάγραμμα ευαισθησίας για το χωρικό διαχωρισμό στην αρχή του φαινομένου

Αντίθετα στη δεύτερη περίπτωση όταν αρχίζει να επιβραδύνει ο προπορευόμενος οδηγός επιβραδύνει και το όχημα που ακολουθεί και μάλιστα σε μεγαλύτερο βαθμό με αποτέλεσμα τον αυξημένο χωρικό διαχωρισμό.

5. Μεταβολή χωρικού διαχωρισμού ΔS

Στο Διάγραμμα 23 φαίνεται ότι ο βαθμός ευαισθησίας είναι μεγαλύτερος για την πρώτη περίπτωση όταν οι τιμές είναι υψηλές και αρνητικές. Αντίθετα για θετικές τιμές διαφοράς χωρικού διαχωρισμού ο βαθμός ευαισθησίας της δεύτερης περίπτωσης ξεπερνά αυτόν της πρώτης και μάλιστα όσο αυξάνεται η διαφορά του χωρικού διαχωρισμού μεγαλώνει και ο βαθμός ευαισθησίας της δεύτερης περίπτωσης. Αυτό εξαρτάται από το γεγονός ότι για επιθετική συμπεριφορά του οδηγού που ακολουθεί, ο χωρικός διαχωρισμός κατά τη διάρκεια του φαινομένου μειώνεται σημαντικά πολλές φορές καθώς ο οδηγός πλησιάζει αρκετά το προπορευόμενο όχημα και μετά επιταχύνει. Όσο πιο επιθετική είναι αυτή η συμπεριφορά τόσο πιο μικρός γίνεται ο χωρικός διαχωρισμός στο τέλος του φαινομένου και η διαφορά μεγαλώνει.

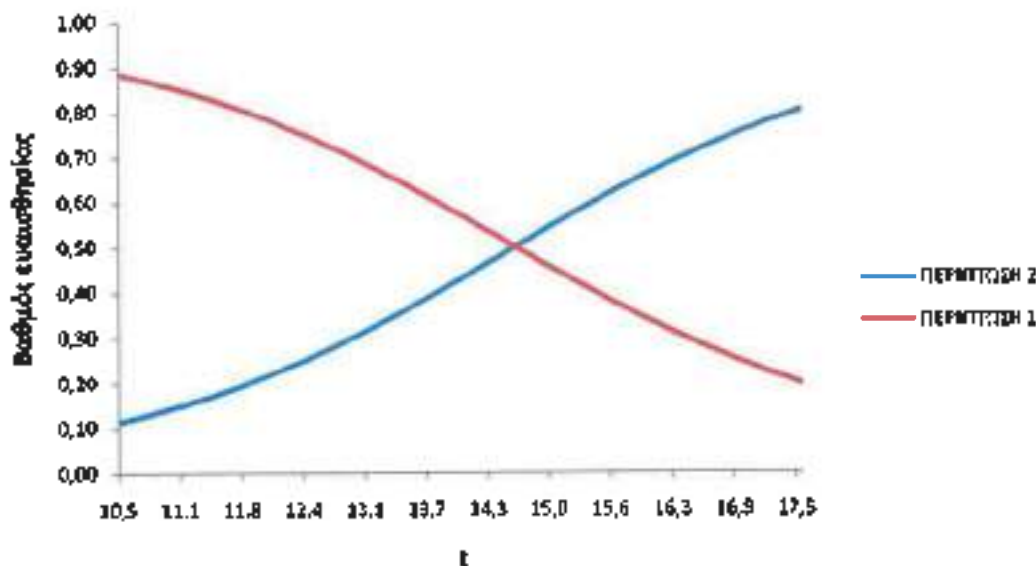


Διάγραμμα 23 :Διάγραμμα ευαισθησίας για τη μεταβολή του χωρικού διαχωρισμού

Αντίθετα στην περίπτωση της πιο επιφυλακτικής οδήγησης το όχημα που ακολουθεί επιβραδύνει περισσότερο από το προπορευόμενο όχημα και σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί και να ακινητοποιηθεί. Ως αποτέλεσμα ο χωρικός διαχωρισμός κατά τη διάρκεια του φαινομένου μειώνεται. Όσο πιο επιφυλακτική είναι η οδήγηση τόσο πιο μεγάλος είναι ο χωρικός διαχωρισμός στο τέλος του φαινομένου και άρα μεγαλύτερη η διαφορά ΔS .

6. Διάρκεια φαινομένου υστέρησης

Στο Διάγραμμα 24, για την πρώτη περίπτωση ο βαθμός ευαισθησίας είναι μεγάλος όταν είναι μεγάλη και η διάρκεια του φαινομένου ενώ αντίθετα για τη δεύτερη περίπτωση ο βαθμός ευαισθησίας αυξάνεται όσο μειώνεται η διάρκεια. Για την ερμηνεία του διαγράμματος θα πρέπει να αναφερθεί ξανά ότι για τον υπολογισμό της διάρκειας του φαινομένου σαν αρχική τιμή θεωρήθηκε η χρονική στιγμή κατά την οποία το προπορευόμενο όχημα άρχισε να επιταχύνει ενώ ως τελική τιμή θεωρήθηκε η χρονική στιγμή κατά την οποία το όχημα που ακολουθεί άρχισε να επιταχύνει και να αποκτά σχεδόν παράλληλη πορεία με το προπορευόμενο.

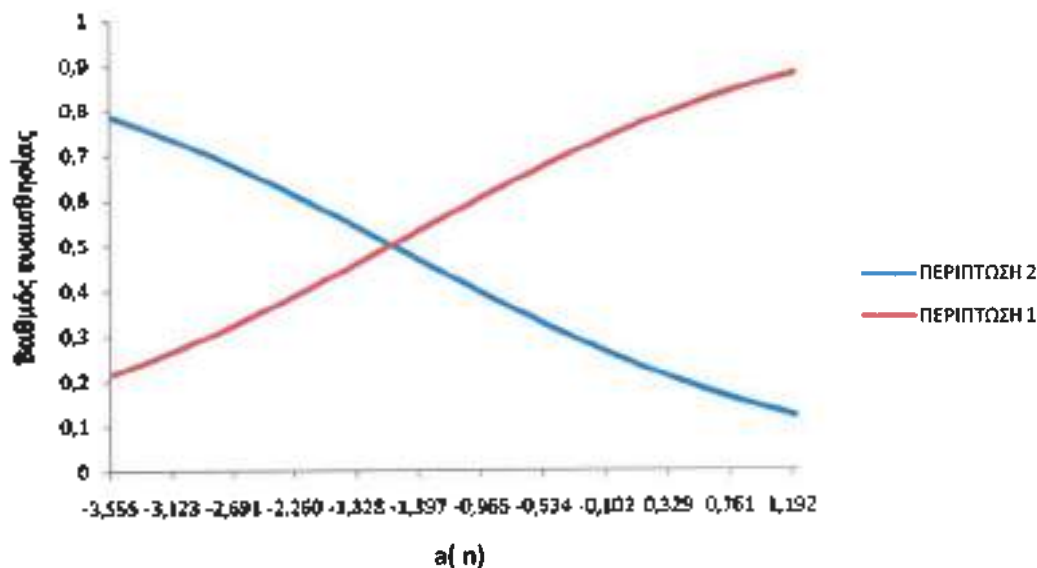


Διάγραμμα 24: Διάγραμμα ευαισθησίας για τη διάρκεια του φαινομένου

Με βάση λοιπόν τον τρόπο υπολογισμού της διάρκειας γίνεται κατανοητό ότι στη δεύτερη περίπτωση λόγω επιφυλακτικής οδήγησης, το πίσω όχημα επιβραδύνει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από το προπορευόμενο και καθυστερεί την επιτάχυνσή του με αποτέλεσμα η διάρκεια του φαινομένου να είναι μεγαλύτερη από αυτή της πρώτης περίπτωσης. Αυτό γιατί στην περίπτωση αυτή λόγω επιθετικής συμπεριφοράς στην οδήγηση, το πίσω όχημα επιβραδύνει καθυστερημένα και όσο χρειάζεται για να έχει επαρκή απόσταση ασφαλείας από το προπορευόμενο όχημα. Είναι λοιπόν πιο εύκολο μόλις το προπορευόμενο όχημα αρχίσει να επιταχύνει, να επιταχύνει και το πίσω όχημα, στην αρχή με μικρό ρυθμό και στη συνέχεια αναπτύσσοντας μεγαλύτερες ταχύτητες. Για αυτό και η διάρκεια του φαινομένου είναι κατά βάση μικρότερη.

7. Επιτάχυνση οχήματος που ακολουθεί στην αρχή του φαινομένου α_π

Στο Διάγραμμα 25 σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα ο βαθμός ευαισθησίας για την πρώτη περίπτωση αυξάνεται με αύξηση της επιτάχυνσης ενώ για τη δεύτερη περίπτωση αυξάνεται με αύξηση της επιβράδυνσης. Το γεγονός αυτό όσον αφορά την πρώτη περίπτωση μπορεί να ερμηνευθεί καθώς η επιθετική συμπεριφορά οδήγησης που ακολουθεί ο πίσω οδηγός δεν επιτρέπει καθόλου ή τουλάχιστον σημαντικές επιβραδύνσεις από την αρχή του φαινομένου.

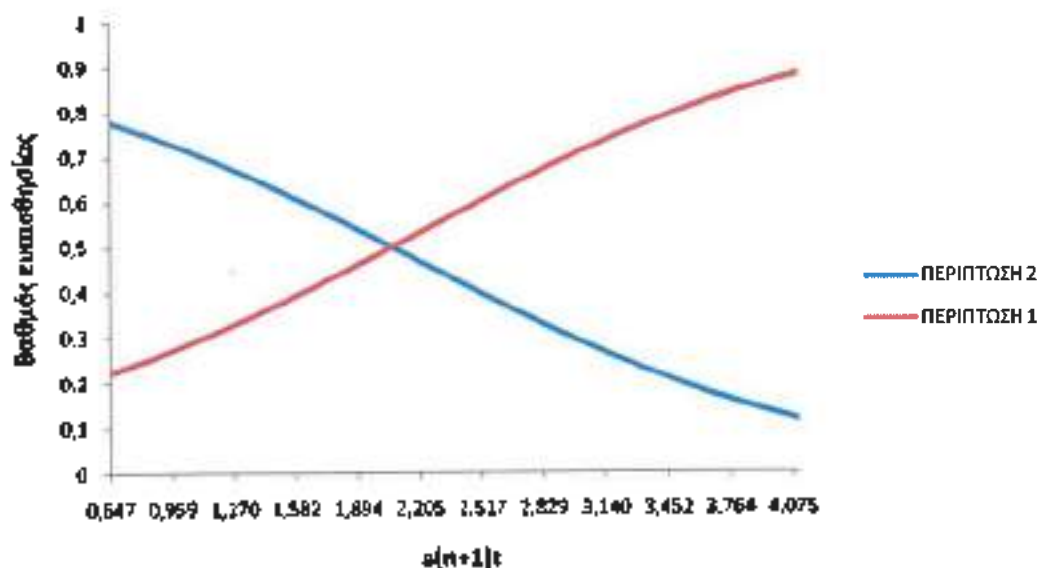


Διάγραμμα 25: Διάγραμμα ευαισθησίας για την επιτάχυνση του οχήματος που ακολουθεί στην αρχή του φαινομένου

Αντίθετη η επιφυλακτική οδήγηση που χαρακτηρίζει τη δεύτερη περίπτωση οδηγεί και σε σημαντικές πολλές φορές επιβραδύνσεις ήδη από την αρχή του φαινομένου.

8. Επιτάχυνση προπορευόμενου οχήματος στο τέλος του φαινομένου $a_{(n+1)t}$

Στο Διάγραμμα 26 παρατηρείται ότι για τη δεύτερη περίπτωση ο βαθμός ευαισθησίας αυξάνεται με μείωση της επιτάχυνσης. Αρχικά ήταν αναμενόμενο η μορφή της καμπύλης να έχει την μορφή της καμπύλης που αντιστοιχεί στην περίπτωση 2 για τον εξής λόγο: το όχημα που ακολουθεί λόγω επιφυλακτικής οδήγησης επιβραδύνει για μεγάλο χρονικό διάστημα ακόμα και μετά τη χρονική στιγμή που το προπορευόμενο όχημα έχει αρχίσει ήδη να επιταχύνει σημαντικά. Ως αποτέλεσμα αυτού η χρονική στιγμή που το όχημα που ακολουθεί αρχίζει να επιταχύνει και τελειώνει το φαινόμενο το προπορευόμενο όχημα έχει ήδη επιταχύνει και θα αναμένονταν τη στιγμή εκείνη υψηλές επιταχύνσεις. Το φαινόμενο μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι ακριβώς επειδή η χρονική στιγμή που επλήχθηκε ως το τέλος του φαινομένου είναι πολύ αργότερα από την χρονική στιγμή που το προπορευόμενο όχημα αρχίζει πλέον να επιταχύνει, η κίνησή του χαρακτηρίζεται από αυξομειώσεις ταχύτητας για διάφορους λόγους (π.χ. acceleration noise) ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν.



Διάγραμμα 26: Διάγραμμα ευαισθησίας για την επιτάχυνση του προπορευόμενου οχήματος στο τέλος του φαινομένου

Αντίθετα στη δεύτερη περίπτωση επειδή το πίσω όχημα αρχίζει να επιταχύνει αρκετά γρήγορα μόλις το προπορευόμενο αυξήσει ταχύτητα η χρονική στιγμή και τέλος του φαινομένου περιλαμβάνεται στο χρονικό διάστημα που το προπορευόμενο όχημα επιταχύνει όλο και περισσότερο καθώς έχει απομακρυνθεί από την περιοχή συμφόρησης. Για αυτό και μπορεί να δικαιολογηθούν τόσο μικρές όσο και μεγάλες τιμές επιτάχυνσης ανάλογα και με το χωρικό διαχωρισμό μεταξύ των οχημάτων στο τέλος του φαινομένου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το φαινόμενο της κυκλοφοριακής υστέρησης είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς επηρεάζει τις κυκλοφοριακές συνθήκες ροής μιας λεωφόρου και άρα και τη συμπεριφορά των χρηστών της. Ωστόσο είναι ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο φαινόμενο για αυτό και η διεθνής βιβλιογραφία δεν ήταν πλούσια σε αναλύσεις και εκτιμήσεις των παραγόντων που το επηρεάζουν. Έχουν διατυπωθεί θεωρίες και μοντέλα χωρίς ωστόσο να μπορούν να εξηγήσουν με σαφήνεια το φαινόμενο της υστέρησης. Ο Lava [1999-2000] ήταν εκείνος που προχώρησε περισσότερο την ανάλυση του φαινομένου και έφτασε μέχρι το στάδιο της κατάταξης των επιπέδων υστέρησης σε ισχυρά, ασθενή, ουδέτερα και αρνητικά με βάση τη διαφορά των φόρτων εισόδου-εξόδου όπως αυτή προέκυπτε από το διάγραμμα φόρτου - πυκνότητας. Για αυτό και σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η διερεύνηση των μικροσκοπικών χαρακτηριστικών που επηρεάζουν το φαινόμενο της κυκλοφοριακής υστέρησης σε ελεύθερες λεωφόρους προκειμένου να γίνει μια περαιτέρω εμβάθυνση και κατανόηση.

Η ερμηνεία και διερεύνηση του φαινομένου έχει πολύ μεγάλη σημασία για τους παρακάτω λόγους:

1. Εξαρτάται από τις κυκλοφοριακές συνθήκες που επικρατούν στην ελεύθερη λεωφόρο. Αυτό γιατί σε περιπτώσεις που η κυκλοφοριακή διαταραχή έχει διαδοθεί σε μεγάλη απόσταση από το σημείο από το οποίο εκδηλώθηκε και έχει επηρεάσει την κίνηση σημαντικού αριθμού οχημάτων το φαινόμενο είναι πιο έντονο και στο διάγραμμα φόρτου - πυκνότητας παρουσιάζονται ακραίες τιμές.
2. Εξαρτάται από την οδική συμπεριφορά του οδηγού του οχήματος που ακολουθεί. Η μορφή των διαγραμμάτων και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση ήταν διαφορετικά ανάλογα με την συμπεριφορά του οχήματος που ακολουθούσε. Για αυτό και οι υστερήσεις που εντοπίστηκαν

χωρίστηκαν σε δύο μεγάλες ομάδες: αυτές στις οποίες παρατηρούνταν επιθετική συμπεριφορά του οδηγού που ακολουθούσε και σε αυτές που παρατηρούνταν επιφυλακτικός τρόπος οδήγησης.

3. Η ύπαρξη του φαινομένου της υστέρησης επηρεάζει τις μετακινήσεις των χρηστών των ελεύθερων λεωφόρων δυσμενώς καθώς αυτές παύουν να λειτουργούν αποτελεσματικά. Συγκεκριμένα αυξάνει τους χρόνους διαδρομής, υποβαθμίζει την ποιότητα ζωής, μολύνει την ατμόσφαιρα και προκαλεί και άλλες αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον λόγω εισορμών ρύπων κλπ.

Παρατηρείται λοιπόν ότι το φαινόμενο της υστέρησης είναι αρκετά πολύπλοκο και σχετίζεται με διάφορες συνιστώσες. Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε αφενός μεν προσπάθεια εύρεσης και ανάλυσης των μικροσκοπικών χαρακτηριστικών των οχημάτων που επηρεάζουν το φαινόμενο της υστέρησης και αφετέρου ο τρόπος με τον οποίο εκδηλώνεται αυτή η επιρροή.

5.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα τα οποία αναπαριστούν τροχιές οχημάτων σε ένα τμήμα του διαπολιτευτικού αυτοκινητόδρομου I-80 στην περιοχή του San Francisco στην California ο οποίος αποτελείται από 6 λωρίδες. Οι τροχιές αυτές των οχημάτων προέρχονται από ανάλυση εικόνας με βάση αλγόριθμους που έχουν αναπτυχθεί στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος NGSIM. Συνοπτικά, ο αλγόριθμος αυτόματα εντοπίζει και ακολουθεί την τροχιά των οχημάτων από εικόνες video, οι οποίες ελήφθησαν από τις 7 βιντεοκάμερες οι οποίες είχαν τοποθετηθεί, και στη συνέχεια αποθήκευε τα απαραίτητα δεδομένα σε μια βάση δεδομένων.

Τα μικροσκοπικά χαρακτηριστικά που επιλέχθηκαν να εκτιμηθούν και να εξεταστούν ήταν τα εξής:

1. Επιτάχυνση προπορευόμενου οχήματος στην αρχή του φαινομένου
2. Χωρικός διαχωρισμός στην αρχή του φαινομένου
3. Επιτάχυνση οχήματος που ακολουθεί στην αρχή του φαινομένου
4. Επιτάχυνση του προπορευόμενου οχήματος στο τέλος του φαινομένου
5. Χωρικός διαχωρισμός στο τέλος του φαινομένου

6. Επιτάχυνση οχήματος που ακολουθεί στο τέλος του φαινομένου
7. Διαφορά των δύο παραπάνω χωρικών διαχωρισμών
8. Διάρκεια φαινομένου υστέρησης
9. Ρυθμός μεταβολής χωρικού διαχωρισμού
10. Διαφορά φόρτων εισόδου – εξόδου

Εντοπίστηκαν συνολικά 93 υστερήσεις οι οποίες κατηγοριοποιήθηκαν σε δύο ομάδες ανάλογα με το είδος της συμπεριφοράς του οδηγού. Συγκεκριμένα η πρώτη ομάδα περιείχε τις περιπτώσεις που παρατηρούνταν επιθετική συμπεριφορά του οδηγού που ακολουθούσε ενώ η δεύτερη τις περιπτώσεις που παρατηρούνταν επιφυλακτική συμπεριφορά του οδηγού που ακολουθούσε. Επιπλέον αναλύοντας δυο χαρακτηριστικές περιπτώσεις από κάθε ομάδα υπήρξε η ένδειξη ότι η χρήση του ΔQ δεν περιγράφει πλήρως το φαινόμενο.

Από την παρατέρω ανάλυση με τη χρήση MLP προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Από τα μικροσκοπικά χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν εκείνα τα οποία επηρεάζουν περισσότερο το φαινόμενο και στις δύο περιπτώσεις συμπεριφοράς του οδηγού που ακολουθεί (επιθετική και επιφυλακτική) είναι ο ρυθμός μεταβολής του χωρικού διαχωρισμού κατά τη διάρκεια του φαινομένου, ο χωρικός διαχωρισμός στην αρχή και το τέλος του φαινομένου, καθώς και η επιτάχυνση του οχήματος που ακολουθεί στο τέλος του φαινομένου.
- Λιγότερο επηρεάζουν η διάρκεια του φαινομένου, δηλαδή το χρονικό διάστημα από τη στιγμή που το προπορευόμενο όχημα άρχισε να επιβραδύνει μέχρι τη στιγμή που το όχημα που ακολουθεί άρχισε να επιταχύνει και να αποκτήσει σχεδόν παράλληλη πορεία με το προπορευόμενο, η διαφορά των χωρικών διαχωρισμών και οι επιταχύνσεις του οχήματος που ακολουθεί και του προπορευόμενου στο τέλος και την αρχή του φαινομένου αντίστοιχα.
- Η επιτάχυνση του προπορευόμενου οχήματος στην αρχή του φαινομένου και η διαφορά των φόρτων εισόδου και εξόδου είναι τα χαρακτηριστικά τα οποία επηρεάζουν λιγότερο το φαινόμενο.
- Η διαφορά των φόρτων παρόλο που σύμφωνα με την ανάλυση του Laval (2009) αποτελούσε το κριτήριο για την κατ'εξοχή της υστέρησης σε ισχυρή

και ασθενή στην παρούσα ανάλυση βρέθηκε στις περιμέτρους που επηρεάζουν λιγότερο το φαινόμενο της υστέρησης.

Από τα διαγράμματα ευαισθησίας που προέκυψαν για κάθε παράμετρο και για την κάθε περίπτωση συμπεριφοράς του οδηγού (επιθετική και επιφυλακτική), οι παράμετροι που επηρεάζουν σε μεγαλύτερο βαθμό το φαινόμενο της υστέρησης είναι:

Περίπτωση 2: Επιφυλακτική οδήγηση του οδηγού που ακολουθεί

Στην περίπτωση αυτή το φαινόμενο είναι περισσότερο ευαίσθητο σε:

- Υψηλούς ρυθμούς μεταβολής χωρικού διαχωρισμού
- Μεγάλους χωρικούς διαχωρισμούς στο τέλος του φαινομένου
- Υψηλές επιταχύνσεις του οχήματος που ακολουθεί στο τέλος του φαινομένου
- Χαμηλούς χωρικούς διαχωρισμούς στην αρχή του φαινομένου
- Μεγάλες θετικές μεταβολές του χωρικού διαχωρισμού
- Υψηλές χρονικές διάρκειες φαινομένου
- Υψηλές επιβραδύνσεις του οχήματος που ακολουθεί στην αρχή του φαινομένου
- Χαμηλές επιταχύνσεις του προπορευόμενου οχήματος στο τέλος του φαινομένου

Περίπτωση 1: Επιθετική οδήγηση του οδηγού που ακολουθεί

Στην περίπτωση αυτή το φαινόμενο είναι περισσότερο ευαίσθητο σε:

- Χαμηλούς ρυθμούς μεταβολής χωρικού διαχωρισμού
- Χαμηλούς χωρικούς διαχωρισμούς στο τέλος του φαινομένου
- Χαμηλές επιταχύνσεις του οχήματος που ακολουθεί στο τέλος του φαινομένου
- Υψηλούς χωρικούς διαχωρισμούς στην αρχή του φαινομένου
- Χαμηλές θετικές μεταβολές του χωρικού διαχωρισμού
- Μικρές χρονικές διάρκειες φαινομένου
- Χαμηλές επιβραδύνσεις του οχήματος που ακολουθεί στην αρχή του φαινομένου

- ♦ Υψηλές επιταχύνσεις του προπορευόμενου οχήματος στο τέλος του φαινομένου

5.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Η ανάλυση του φαινομένου της υστερήσης πραγματοποιήθηκε με βάση συγκεκριμένα κυκλοφοριακά μεγέθη όπως αυτά επιλέχθηκαν και παρουσιάστηκαν. Ωστόσο υπάρχει περίπτωση το φαινόμενο να επηρεάζεται και από άλλα μεγέθη τα οποία στην παρούσα διαλωματική δεν ελήφθησαν υπόψη και πιθανόν να πρέπει να συνυπολογιστούν. Για παράδειγμα πιθανόν να έπρεπε να συνυπολογιστεί ο χρονικός διαχωρισμός, η διαφορά των χρονικών διαχωρισμών στην αρχή και το τέλος του φαινομένου ή ο ρυθμός μεταβολής του, οι ταχύτητες των οχημάτων ανά δευτερόλεπτο κίνησης ή η διαφορά μεταξύ των ταχυτήτων των οχημάτων στην αρχή ή στο τέλος του φαινομένου.

Από τη μελέτη των διαγραμμάτων φόρτου – πυκνότητας, τα οποία προέκυψαν μέσω του προγράμματος Trajectory Explorer, παρατηρήθηκε ότι οι βρόγχοι που αντιστοιχούν στις υστερήσεις της πρώτης ομάδας είναι αρνητικοί. Δηλαδή στην περίπτωση της επιφυλακτικής οδήγησης του οδηγού που ακολουθεί ο κλάδος της επιτάχυνσης βρίσκεται κάτω από τον κλάδο της επιβράδυνσης. Το φαινόμενο αυτό πιθανόν να συνδέεται με το γεγονός ότι σε όλες τις υστερήσεις της πρώτης ομάδας η διαφορά των χωρικών διαχωρισμών προέκυψε αρνητική. Επιπλέον σύμφωνα με τον Vahdani (2010) το γεγονός της ύπαρξης αρνητικών βρόγχων σχετίζεται και με την ίδια τη συμπεριφορά του οδηγού καθώς στις πιο αριστερές λωρίδες, οι οπίες είναι και οι πιο γρήγορες, παρατηρείται πιο έντονη επιθετική συμπεριφορά των οδηγών που ακολουθούν τα προπορευόμενα οχήματα πολύ στενά και δεν αφήνουν άλλα οχήματα να μπουν ανάμεσά τους. Θα πρέπει εδώ να γίνει η υπενθύμιση ότι η λωρίδα που εξετάστηκε είναι η δεύτερη από αριστερά και άρα δικαιολογείται η επιθετική συμπεριφορά των οδηγών. Ωστόσο είναι αναγκαία η περαιτέρω ανάλυση των αρνητικών βρόγχων και η διερεύνηση των αιτιών που τους προκαλούν.

Επιπλέον το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε στη στατιστική ανάλυση περιελάμβανε 93 υστερήσεις, από τις οποίες ένα σημαντικό ποσοστό του δείγματος χρησιμοποιείται στο στάδιο της εκπαίδευσης του Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου. Σε σχέση με τη στατιστική επάρκεια, το δείγμα μπορεί να θεωρηθεί μικρό με αποτέλεσμα οι

δυνατότητες γενίκευσης να είναι περιορισμένες. Σε μεγαλύτερο δείγμα πιθανόν να παρουσιάζονταν αποκλίσεις από τα αποτελέσματα της παρούσας ανάλυσης κυρίως ως προς τη γενίκευση του προτύπου. Επιπλέον ως προς την κυκλοφοριακή θεώρηση της ανάλυσης θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν ανιφέρονται σε μία λωρίδα και για χρονικό διάστημα 45 λεπτών που η ζήτηση είναι υψηλή. Η εστίαση σε μία λωρίδα έγινε για να μειωθεί η πολυπλοκότητα της αλληλεπίδρασης των οδηγών και για να υπάρχει η δυνατότητα να εξαχθούν πιο σαφή συμπεράσματα. Ωστόσο θα παρουσίαζε ιδιαίτερο ενδιαφέρον να επεκταθεί η ανάλυση και σε άλλες λωρίδες και στη συνέχεια να συζητηθούν τα αποτελέσματα.

Όπως άλλωστε επρόκειτο και στο προηγούμενο κεφάλαιο η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μια πρώτη προσπάθεια διερεύνησης του φαινομένου σε μικροσκοπικό επίπεδο με τη χρήση τόσο των πολλών παραμέτρων και στατιστική ανάλυσή τους. Είναι απαραίτητη λοιπόν η περαιτέρω έρευνα τόσο για την εύρεση και άλλων μεγεθών που επηρεάζουν το φαινόμενο (που μπορεί να είναι ο χρονικός διαχωρισμός ή η στιγμιαία ταχύτητα) όσο και για έλεγχο των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας. Αυτό μπορεί να γίνει με εκτενέστερη ανάλυση και εξέταση αλλά και με τη λήψη μεγαλύτερου δείγματος υστερήσεων για την πιο ακριβή κατανόηση της πολυπλοκότητας του φαινομένου της υστέρησης.

Με βάση τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία μπορούν να οδηγήσουν στην ανάπτυξη προτύπων κυκλοφοριακής ροής καθώς και στη λήψη αποτελεσματικών μέτρων διαχείρισης κυκλοφορίας. Για παράδειγμα η διατήρηση συγκεκριμένων κενών σε συγκεκριμένες περιοχές. Ακόμα θα ήταν αξιόλογο να διερευνηθεί αν και κατά πόσο η ενσωμάτωση των αποτελεσμάτων της παρούσας διπλωματικής εργασίας σε ένα μικροσκοπικό πρότυπο κυκλοφοριακής ροής βελτιώνει την περιγραφή των κυκλοφοριακών συνθηκών και κυρίως την περιγραφική ικανότητα των συστημάτων προσομοίωσης σε ακραίες κυκλοφοριακές συνθήκες.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Φραντζεσκάκης Γ., Γκόλιας Γ., Πησιάβα – Λατινοπούλου Μ. (2009) “Κυκλοφοριακή Τεχνική”, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
2. Google: <http://en.wikipedia.org/wiki/Freeway>.
3. May D. A. (1990) “Traffic Flow Fundamentals”, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
4. Kerner S. B. (2004) “The Physics of Traffic – Empirical Freeway Pattern Features, Engineering Applications, and Theory”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
5. Maerivoet S. and De Moor B. (2008) “Traffic Flow Theory”.
6. Kerner S. B., Klenov L. S., Hiller A. and Rehborn H. (2006) “Microscopic features of moving traffic jams”. Physical Review E 73, 046107
7. Kerner S. B. and Klenov L. S. (2002) J. Phys. A 35, L31.
8. Kerner S. B. and Klenov L. S., Wolf E. D. (2002) J. Phys. A 35, 9971.
9. Kerner S. B. and Klenov L. S. (2006) e-print physics/0507120, J. Phys. A 39, 1775.
10. Treiterer, J. and Myer, J.A (1974) “The hysteresis phenomenon in traffic flow”, Proceedings of the Sixth Symposium on Transportation and Traffic Flow Theory, D. J. Buckley (Ed.), 213-219.
11. Edie, L.C. and Baverz, B. (1967) “Generation and propagation of stop-start traffic waves”, Proceedings of Third International Symposium on the Theory of Traffic Flow (L.C. Edie, Ed.). American Elsevier Publishing Co. New York. 26-37.
12. Forbes, T.W., Zagorski, H.J., Holshouser, E.L., and Deterline, W.A. (1958) Measurement of driver reactions to tunnel conditions. Proceedings of Highway Research Board. 37. 345-357
13. Herman, R., and Potts, R.B. (1961) Single-lane traffic theory and experiment. Proceedings of Symposium on the Theory of Traffic Flow (R. Herman Ed.). Elsevier publishing Co. Amsterdam 120-146.
14. Herman, R., and Rothery, R. (1967) Propagation of disturbances in vehicular platoons. Proceedings of Third International Symposium on the Theory of Traffic Flow (L.C. Edie, Ed.). American Elsevier publishing Co. New York. 26-37.

15. Maes, W (1979) Traffic data collection system for the Belgian motorway network-measures of effectiveness aspects. Proceedings of the International Symposium on Traffic Control Systems, 2D-Analysis and Evaluation. 45-73.
16. Newell, G. F. (1965). Instability in dense highway traffic: A review. Proceedings of the Second International Symposium on the Theory of Traffic Flow. London. 73-83.
17. Yeo H., Skabardonis (2008) "Asymmetric microscopic driving behavior theory" Doctoral Dissertation, University of California Transportation Center, retrieved from: <http://www.escholarship.org/uc/item/1td1m968>.
18. Zhang, H.M. (1999) A mathematical theory of traffic hysteresis. Transportation Research Part B, 33, 1-23.
19. Zhang, H.M., and Kim. T. (2005) A car-following theory for multiphase vehicular traffic flow. Transportation Research Part B, 39, 385-399.
20. May A. D., Jr , and Keller , H.E.M. (1967) "Non – Integer Car – Following Models", Highway Research Record 199, 19-32.
21. Hoefs D. H. (1972) "Entwicklung einer Messmethode über den Bewegungsablauf des Kolonnenverkehrs", Universität (TH) Karlsruhe.
22. L.C. Edie (1961) "Car following and steady-state theory for noncongested traffic", *Operations Research*, 9:66–76.
23. Laval A.J., "Hysteresis in the fundamental diagram: impact of measurement methods", TRB 89th Annual Meeting, 30 July 2009.
24. Google: http://en.wikipedia.org/wiki/Traffic_bottleneck
25. Daganzo F. Carlos (1997) "Fundamentals of Transportation and Traffic Operations", Pergamon.
26. Vadlamani S. (2010), "Driver Characteristics and their impact on traffic hysteresis and stop- and- go oscillations", Summer Meeting of the Transportation Research Board in Annecy, France.
27. Trajectory Explorer <http://trafficlab.ce.gatech.edu/tools.html>
28. Laval A. J. (2010) "Hysteresis in Traffic Flow revisited: An improved measurement method", Transportation Research Board, Part B.
29. Principe C. J., Euliano R. N., Lefebvre W. C. (1999) "Neural and Adaptive Systems – Fundamentals Through Simulations", John Wiley & Sons, INC.
30. Google: www.icsd.acgean.gr/lecturers/kavallieratou/NN&EP.../el_6.pdf
31. Kumar G. "Artificial Neural Networks"

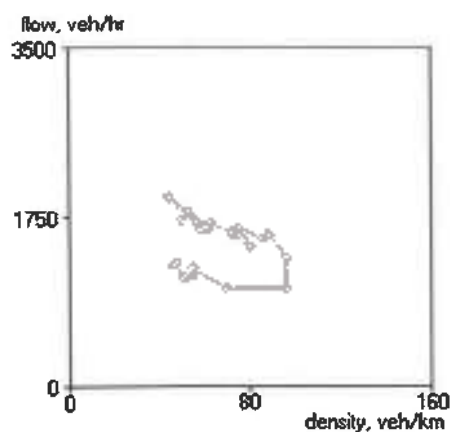
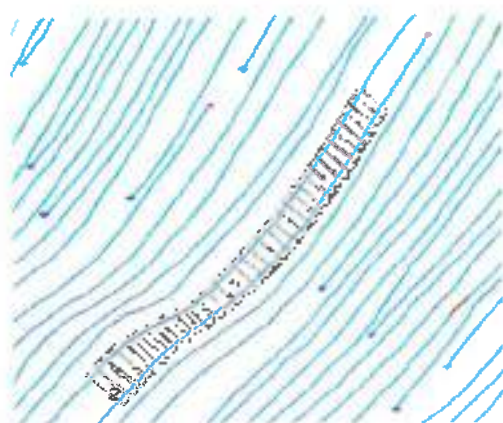
32. Google: www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol4/cs11/report.html
33. Google: www.neural.uom.gr/Documents/projects/Thesis19.pdf
34. Google: www.google.gr/search?hl=el&source=hp&q=drawbacks+of+back+propagation&rlz
35. Lighthill M.J. and Whitham G.B. (1955) "On kinematic waves: II A theory of traffic flow on long crowded roads", Proceedings of the Royal Society, London, Ser.A 229 .1178. 317-345.
36. Google : http://www.webs1.uidaho.edu/niatt_labmanual/Chapters/trafficflowtheory/theoryandconcepts/TimeSpaceDiagram.htm

Π Α Ρ Α Ρ Τ Η Μ Α Α

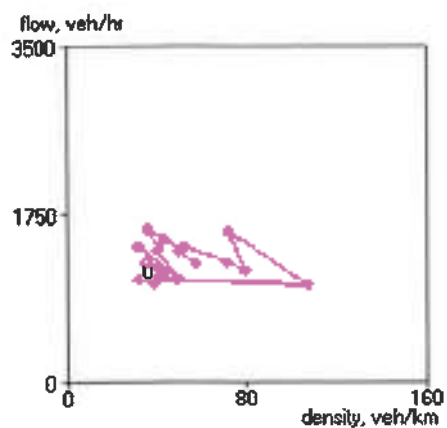
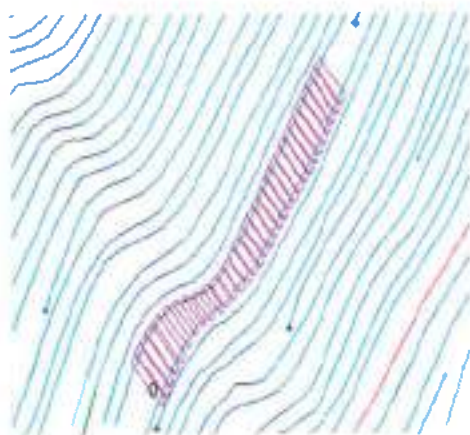
ΥΣΤΕΡΗΣΕΙΣ

ΥΣΤΕΡΗΣΕΙΣ 1^{ης} ΟΜΑΔΑΣ: ΕΠΙΘΕΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΟΔΗΓΟΥ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ

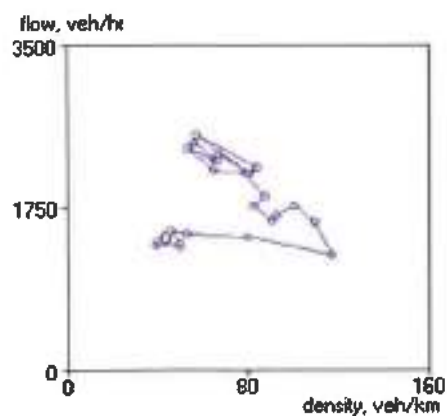
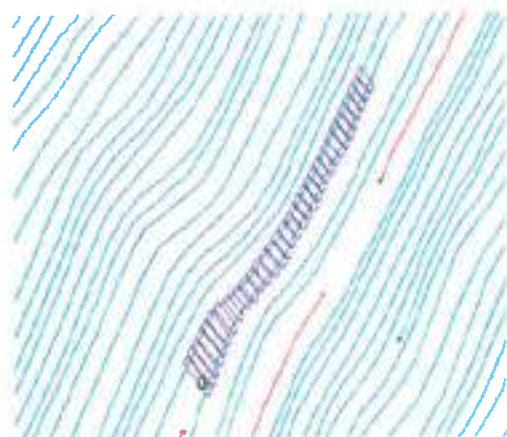
1. Ζεύγος 200-205



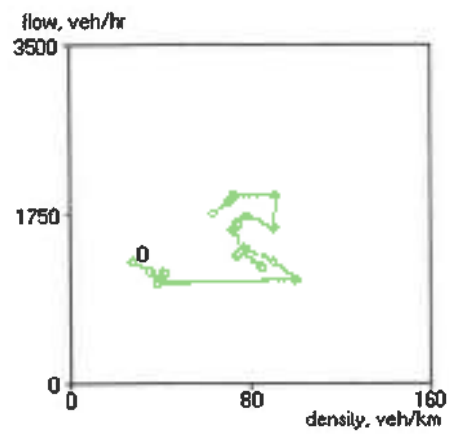
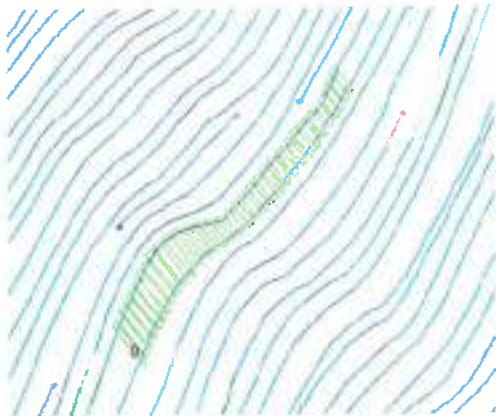
2. Ζεύγος 1045-1063



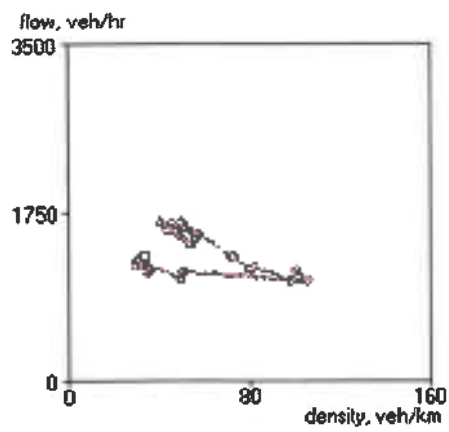
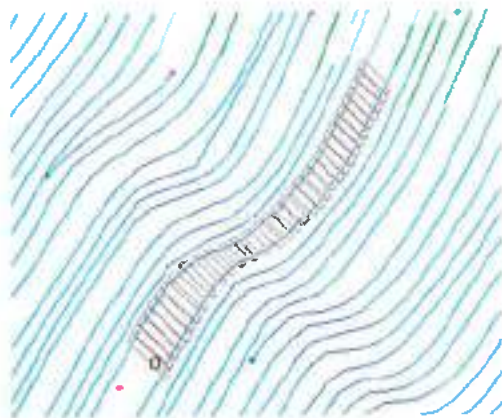
3. Ζεύγος 1418-1429



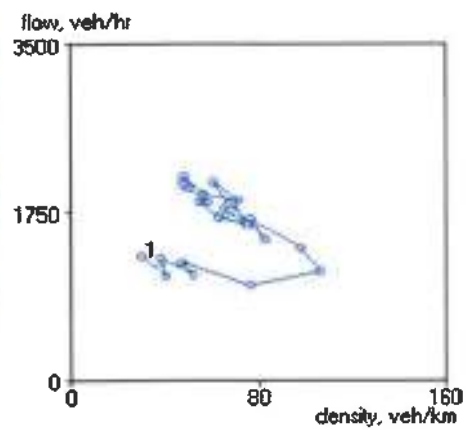
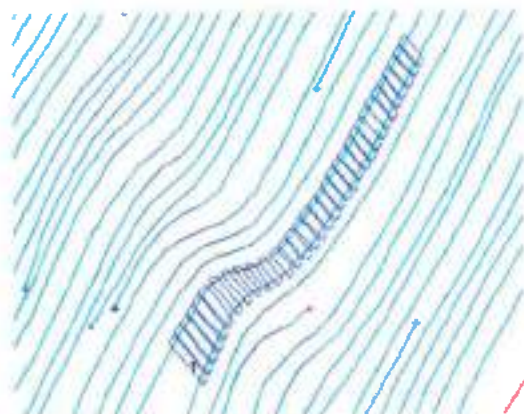
4. Ζεύγος 1732-1739



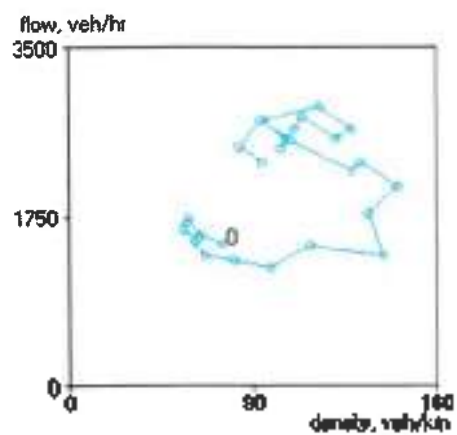
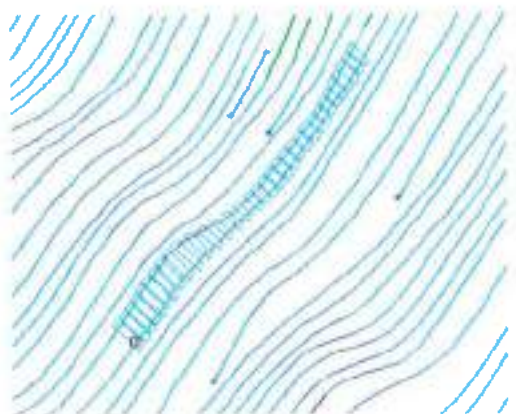
5. Ζεύγος 812-839



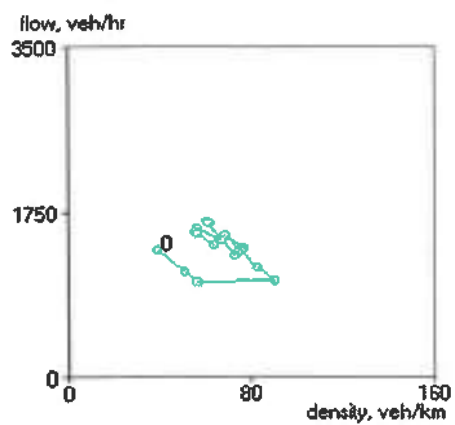
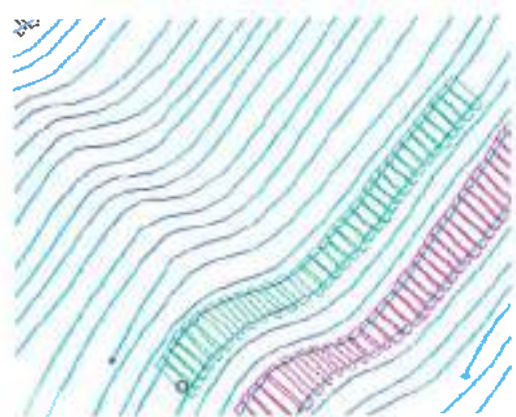
6. Ζεύγος 2405-2411



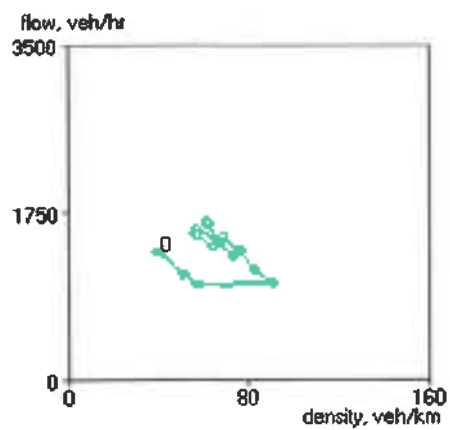
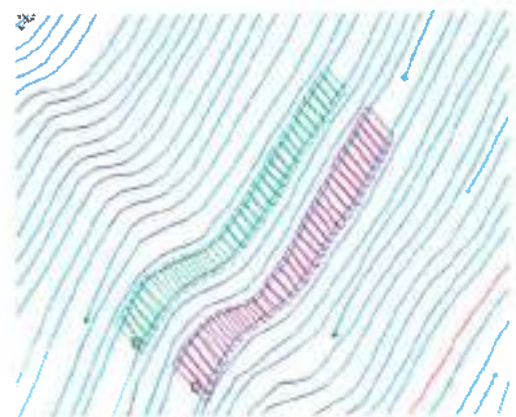
7. Ζεύγος 2850-2849



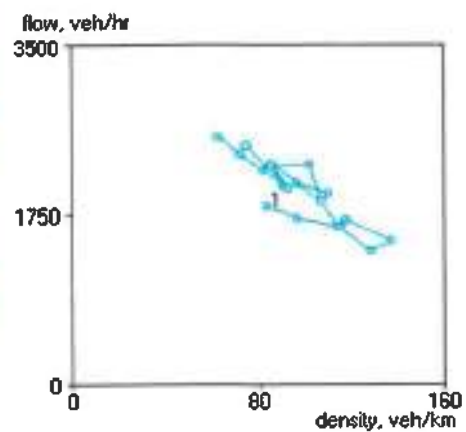
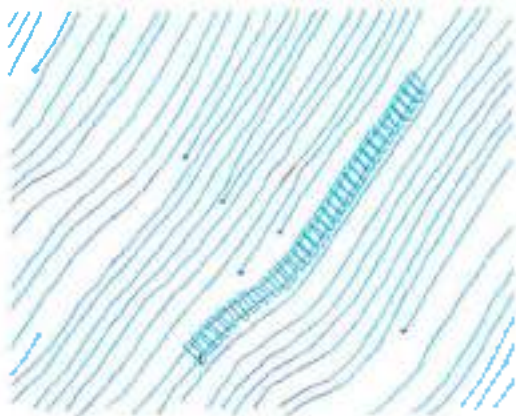
8. Ζεύγος 2930-2968



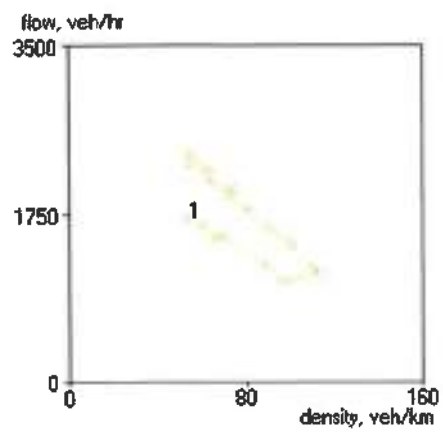
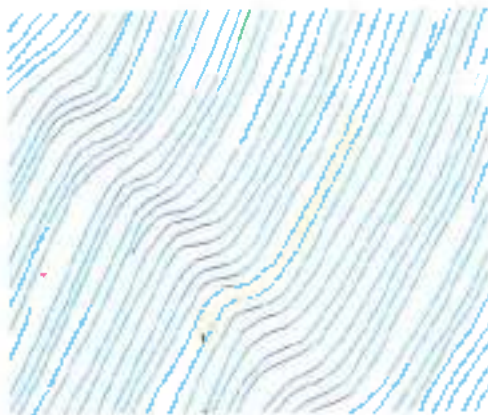
9. Ζεύγος 1013-1023



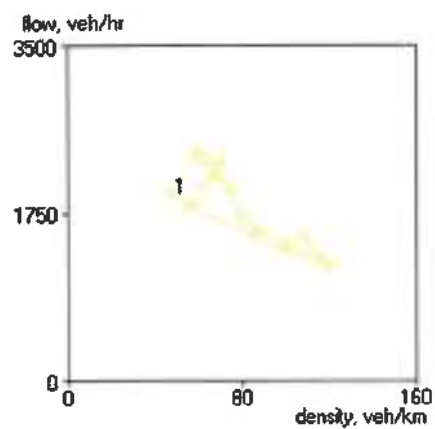
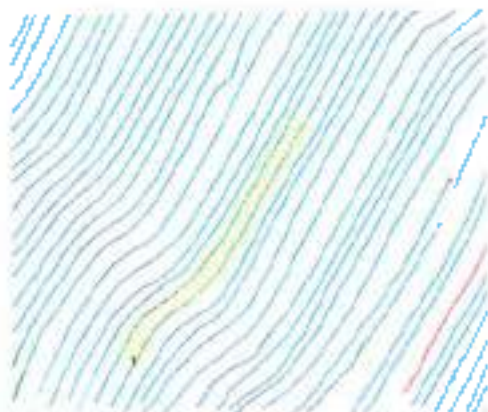
10. Ζεύγος 329-348



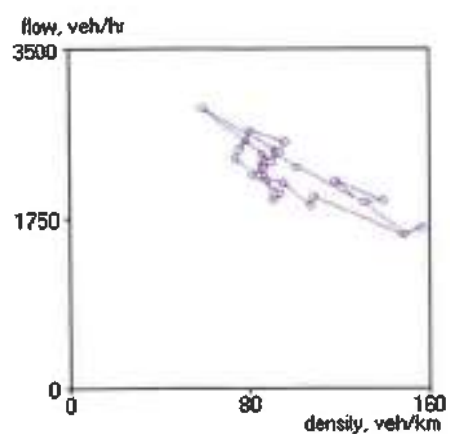
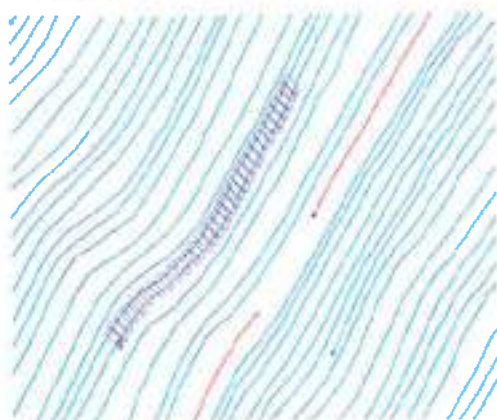
11. Ζεύγος 925-937



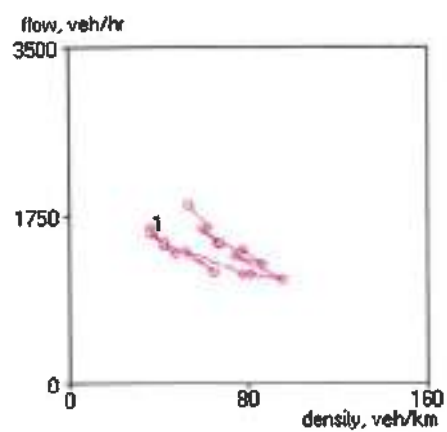
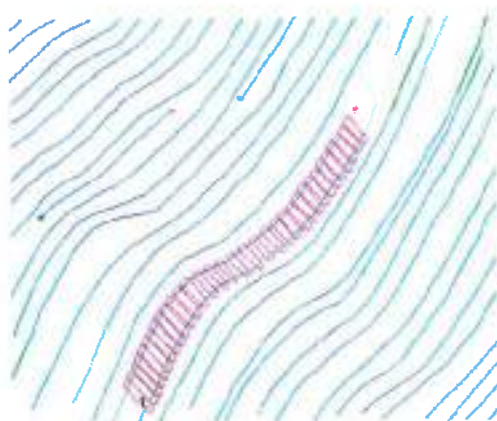
12. Ζεύγος 1346-1350



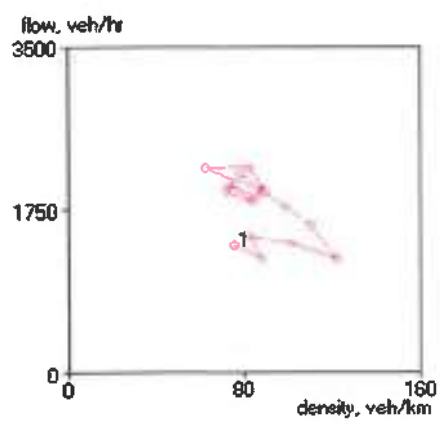
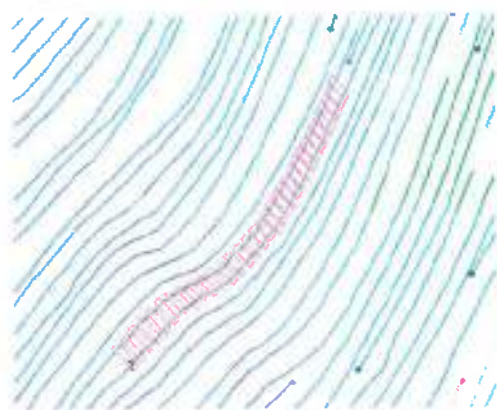
13. Ζεύγος 1410-1414



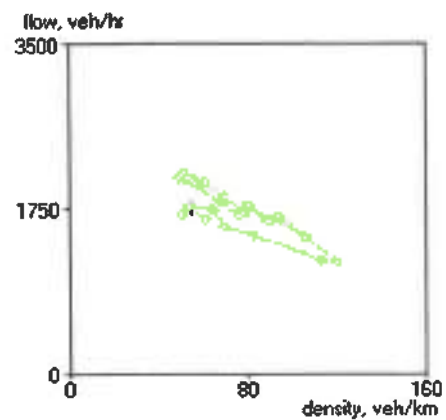
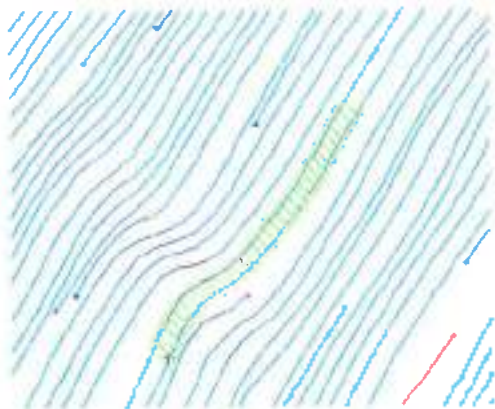
14. Ζεύγος 1754-1765



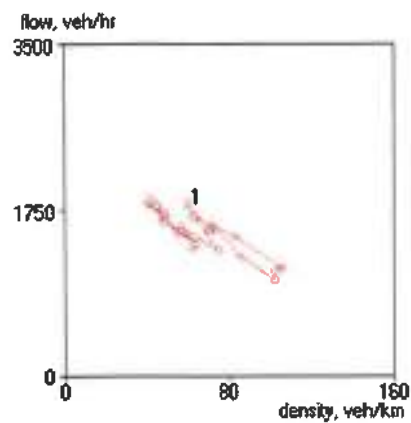
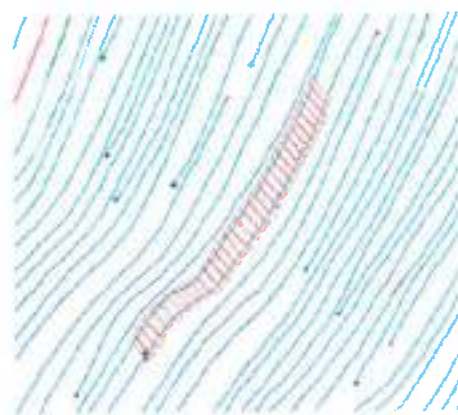
15. Ζεύγος 1659-1667



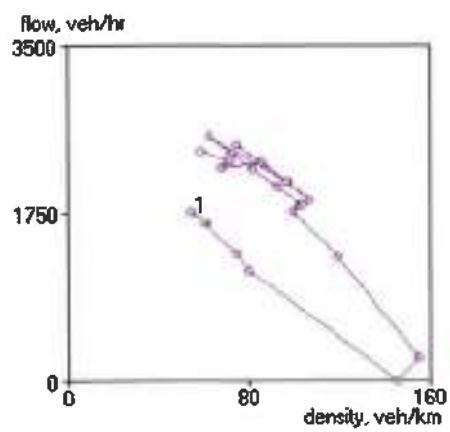
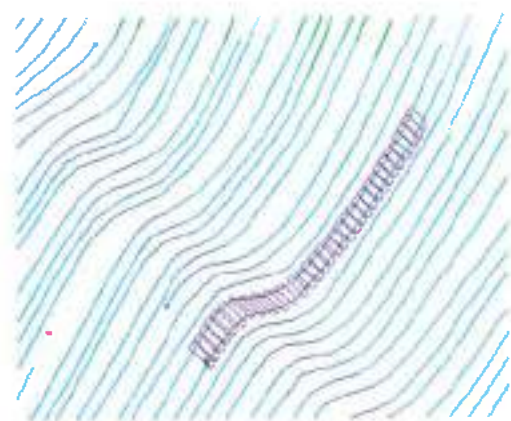
16. Ζεύγος 2411-2426



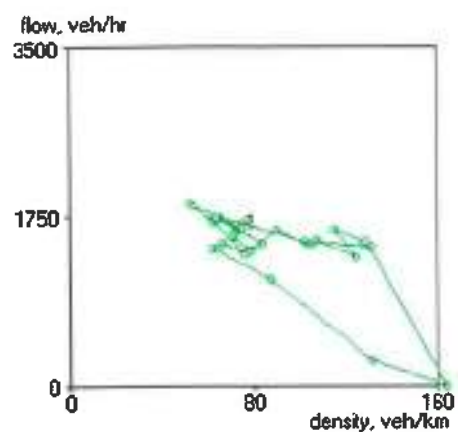
17. Ζεύγος 190-200



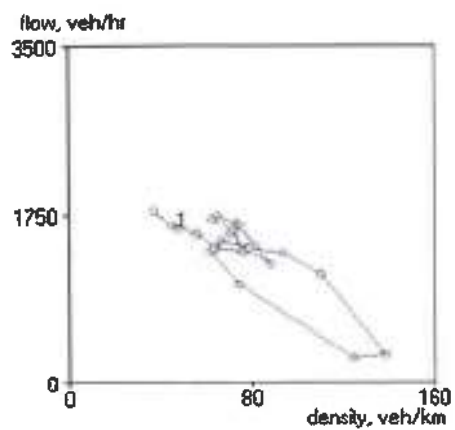
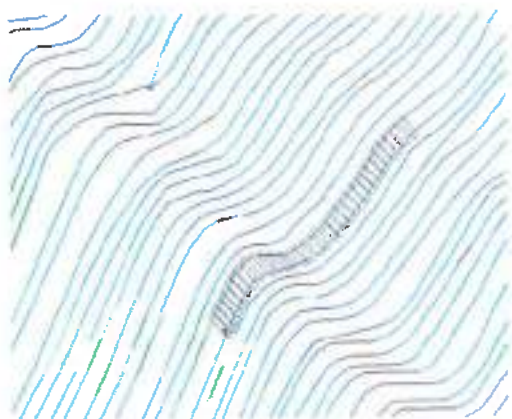
18. Ζεύγος 905-909



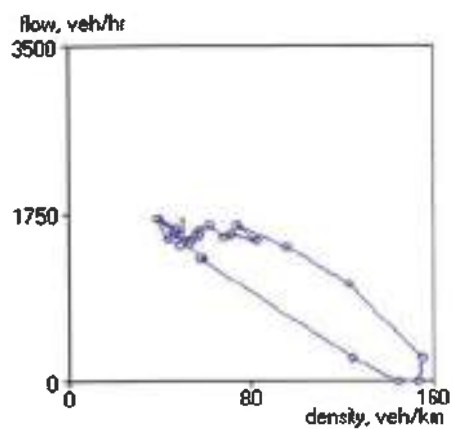
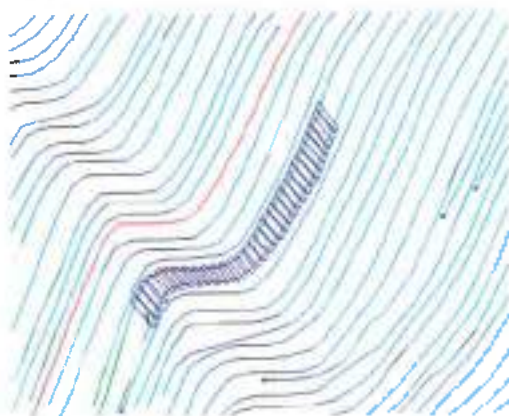
19. Ζεύγος 1845-1851



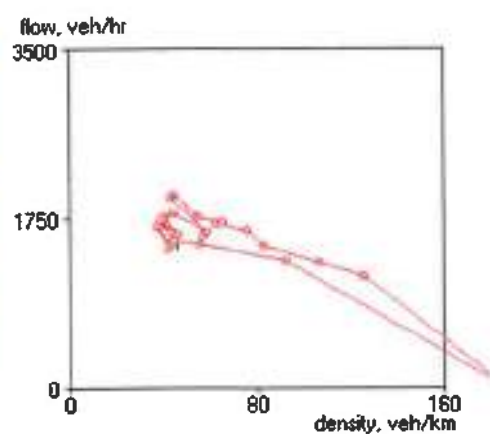
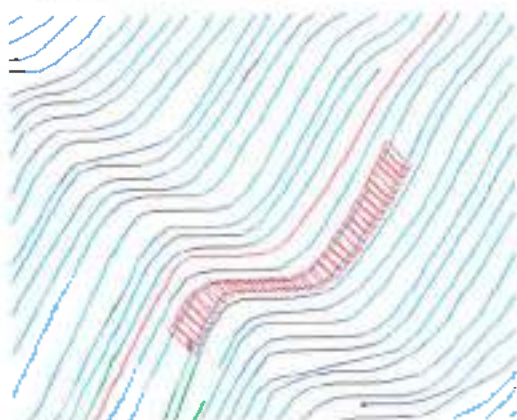
20. Ζεύγος 1961-1992



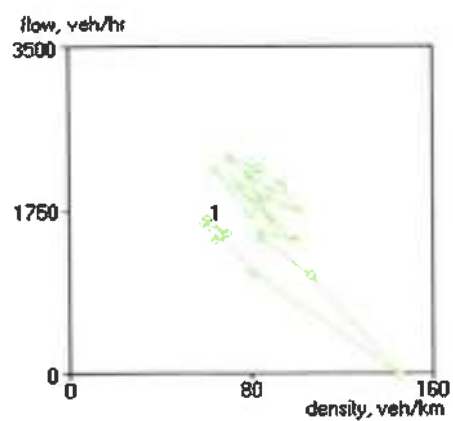
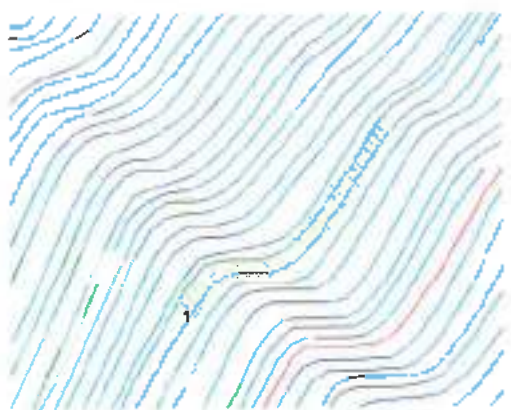
21. Ζεύγος 2132-2146



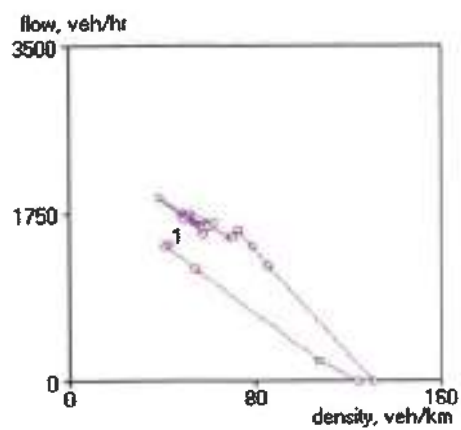
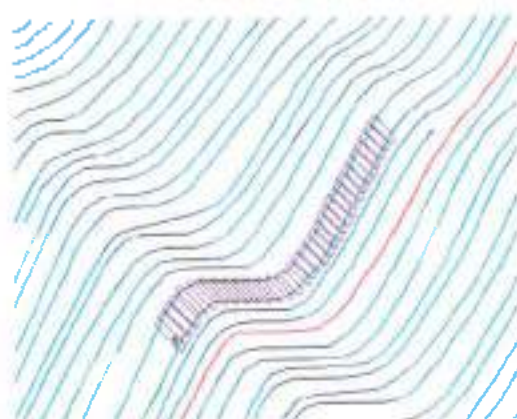
22. Ζεύγος 2122-2148



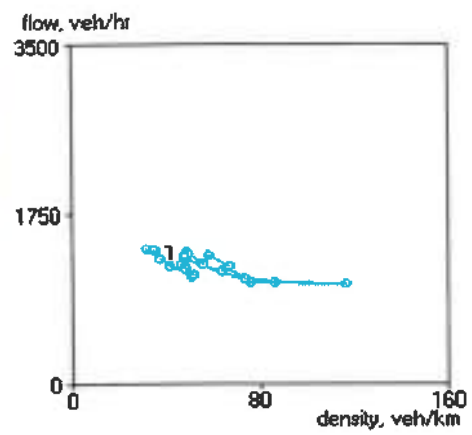
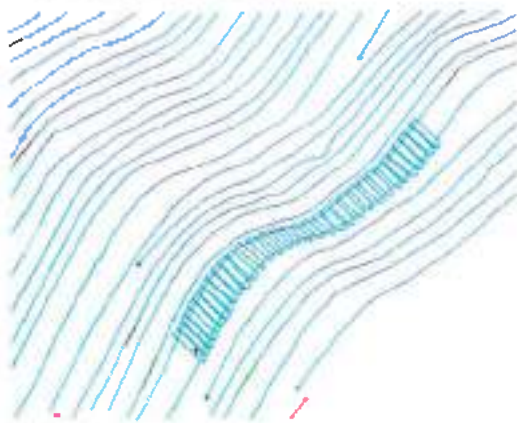
23. Ζεύγος 2042-2050



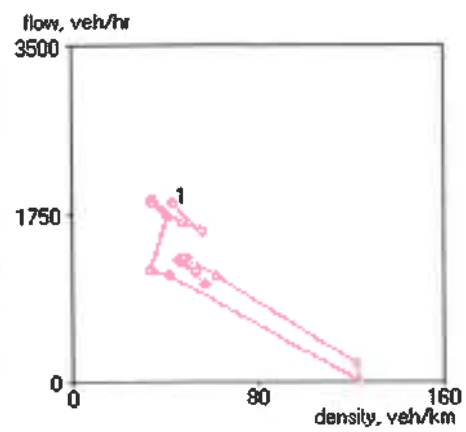
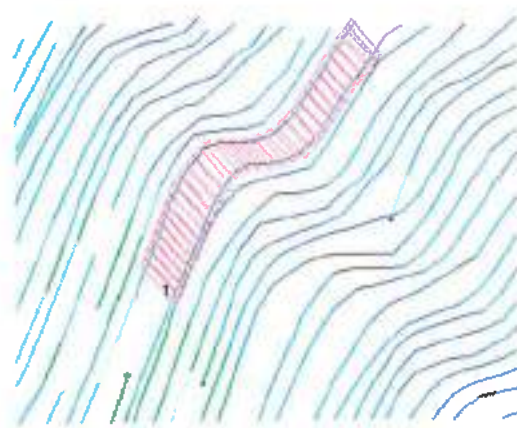
24. Ζεύγος 2071-2095



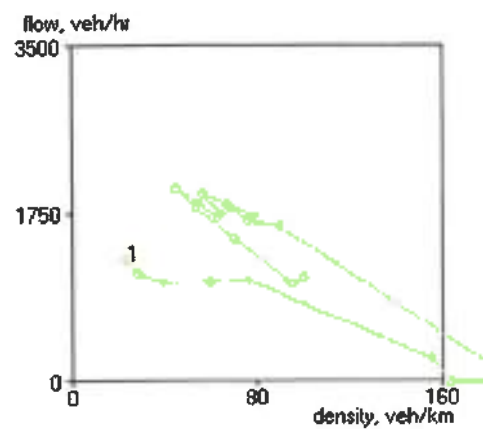
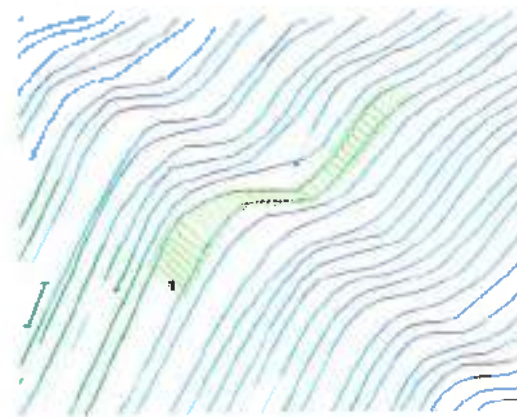
25. Ζεύγος 2930-2968



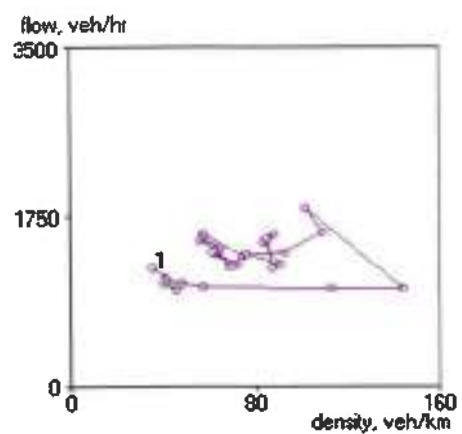
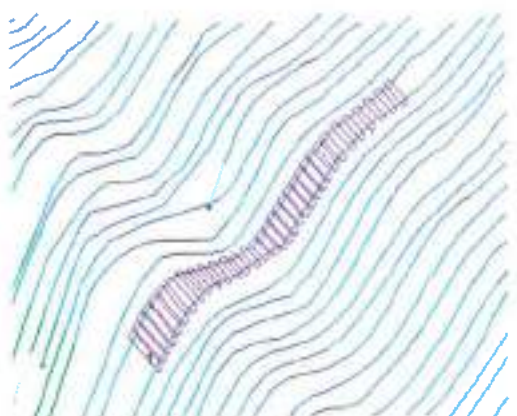
26. Ζεύγος 1780-1793



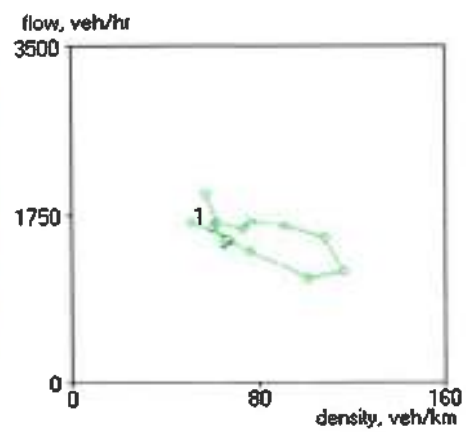
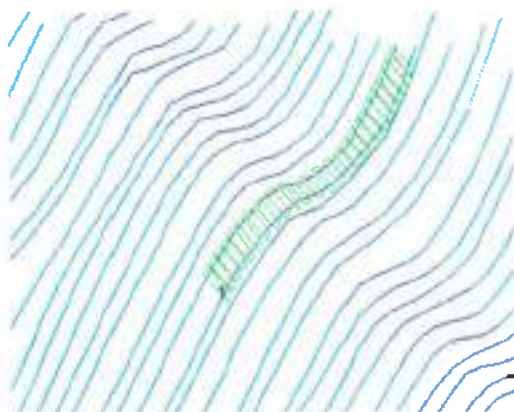
27. Ζεύγος 1829-1845



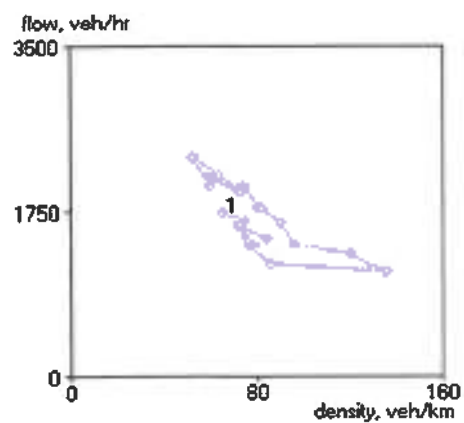
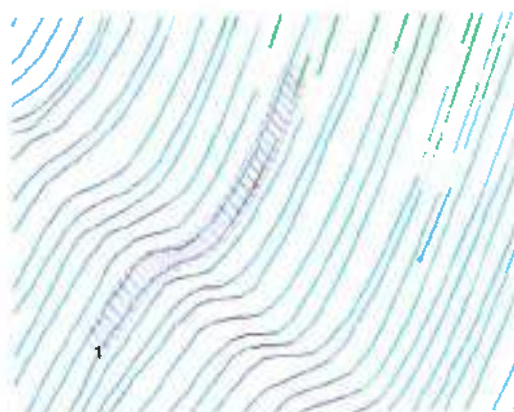
28. Ζεύγος 1851-1861



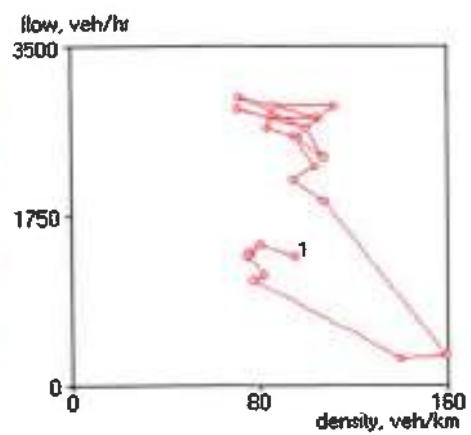
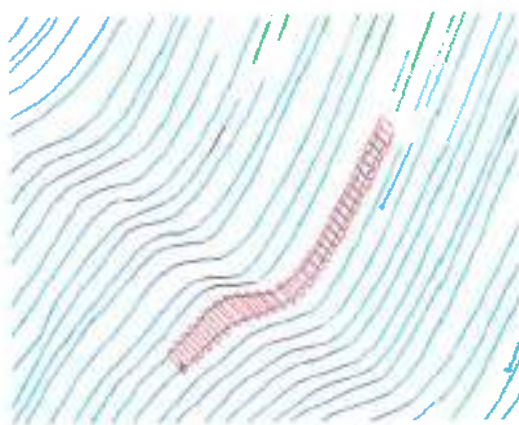
29. Ζεύγος 699-703



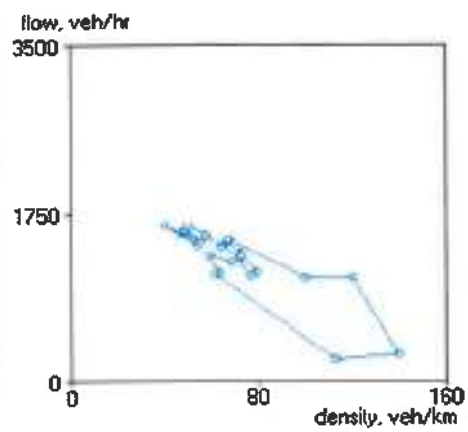
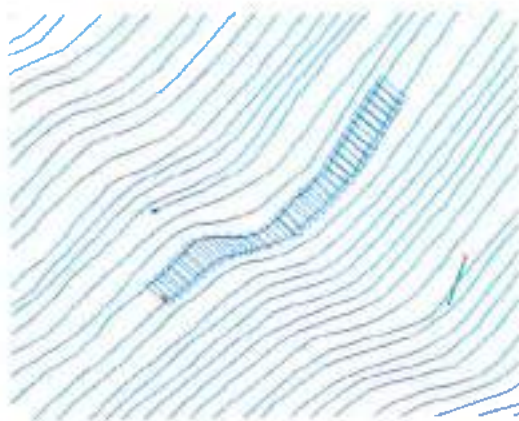
30. Ζεύγος 784-786



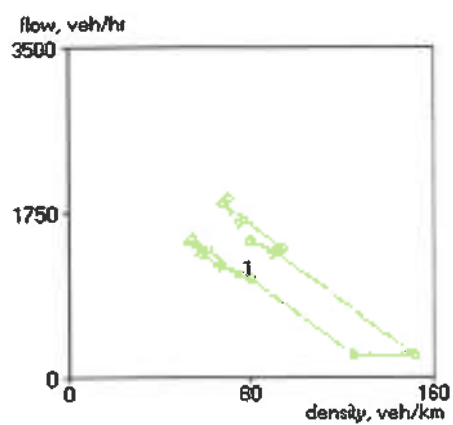
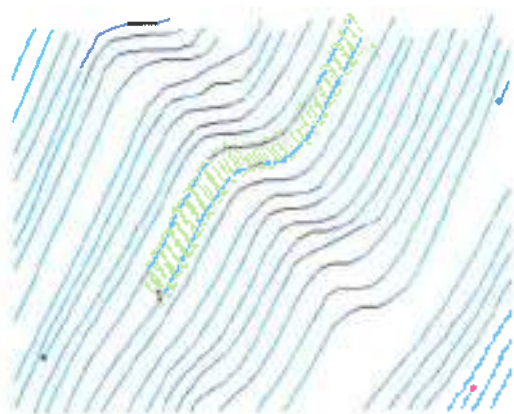
31. Ζεύγος 829-835



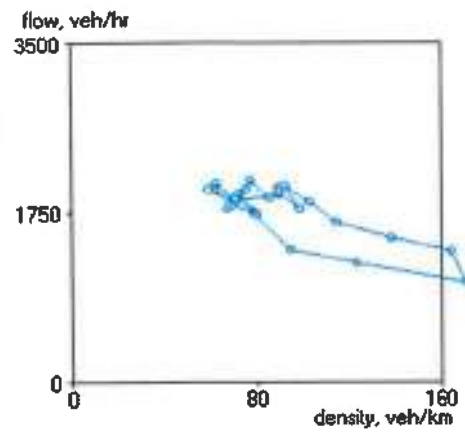
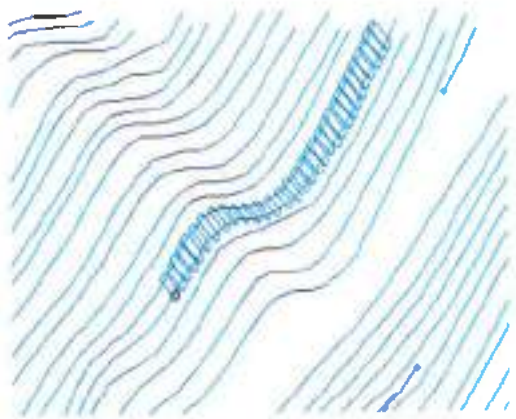
32. Ζεύγος 1136-1139



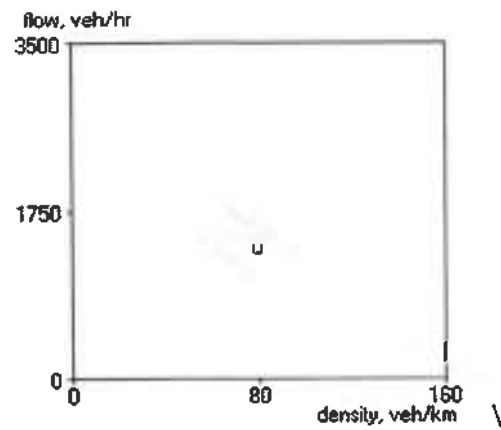
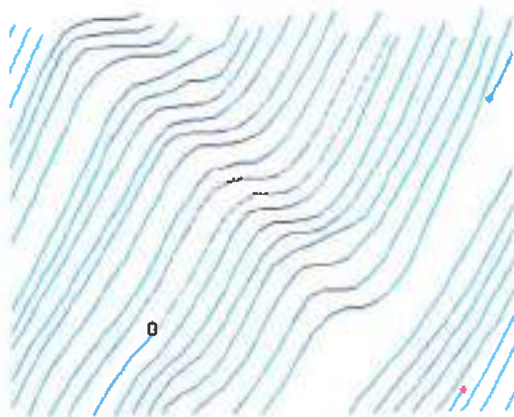
33. Ζεύγος 1245-1253



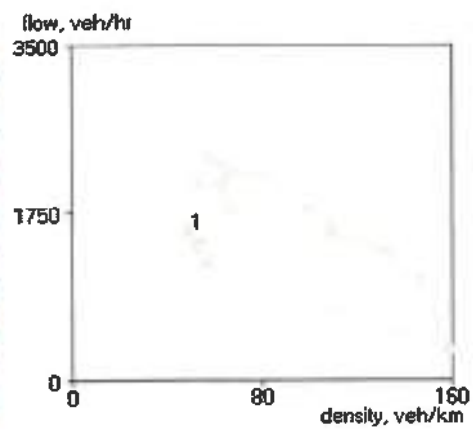
34. Ζεύγος 1287-1291



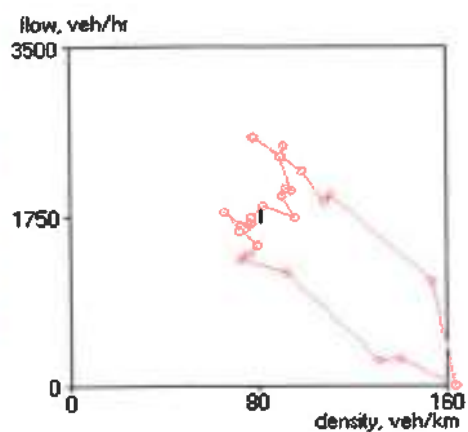
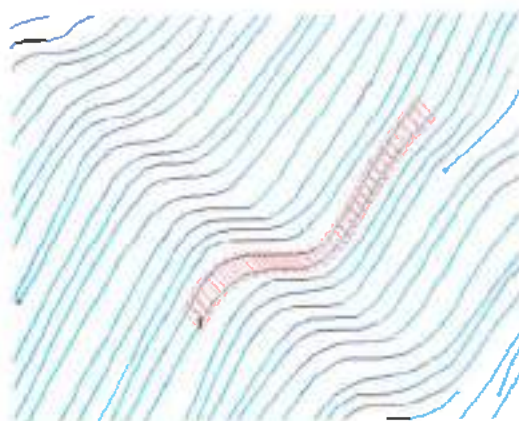
35. Ζεύγος 1260-1267



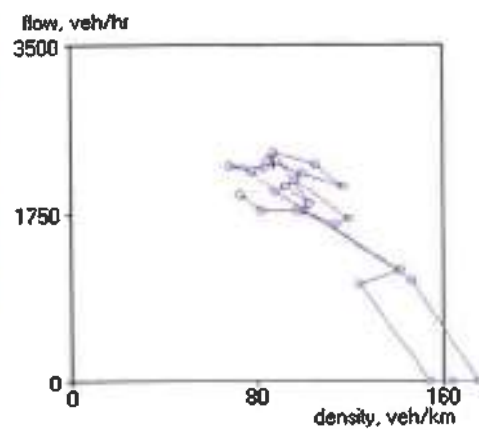
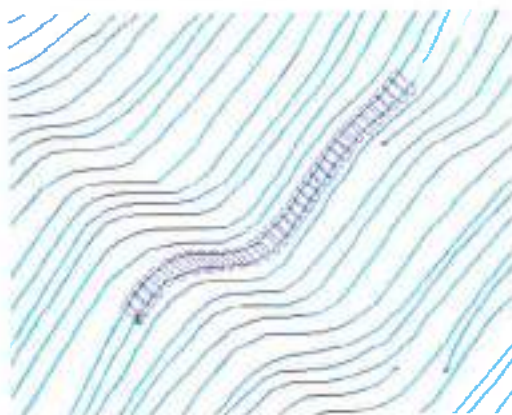
36. Ζεύγος 1656-1660



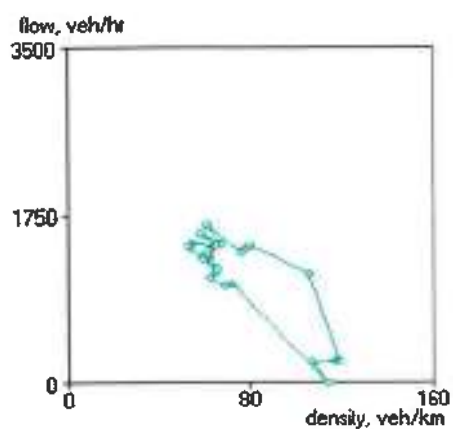
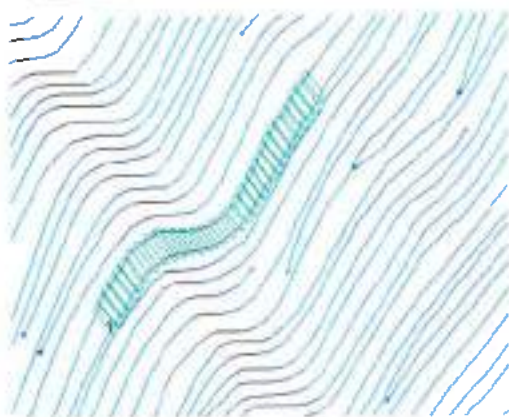
37. Ζεύγος 1806-1765



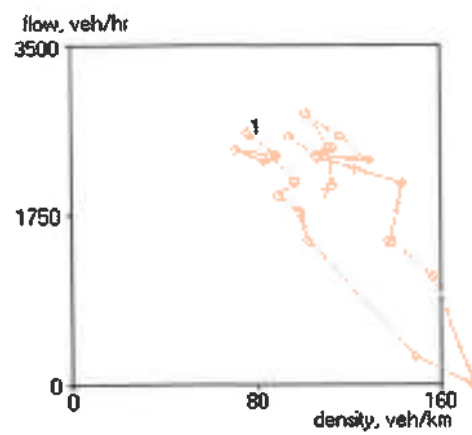
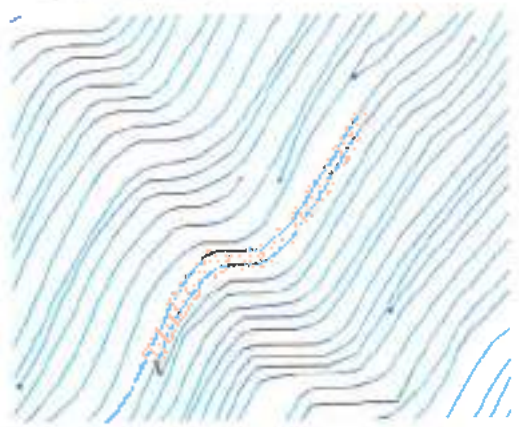
38. Ζεύγος 1785-1799



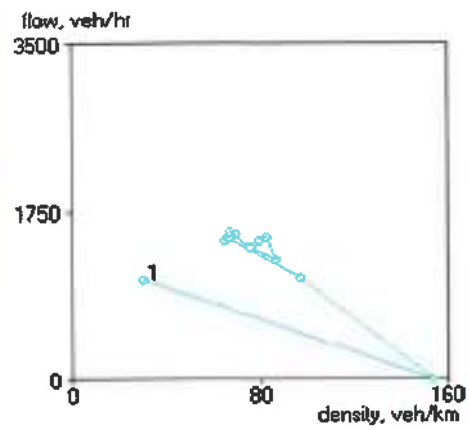
39. Ζεύγος 1874-1886



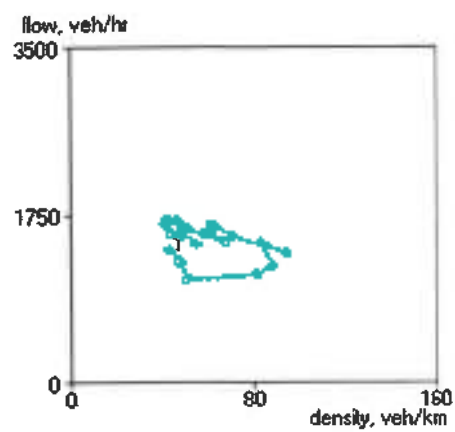
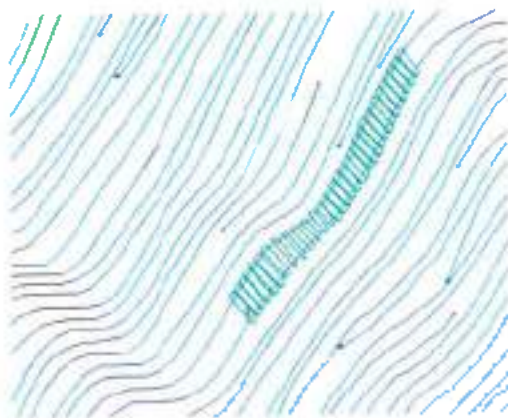
40. Ζεύγος 1917-1929



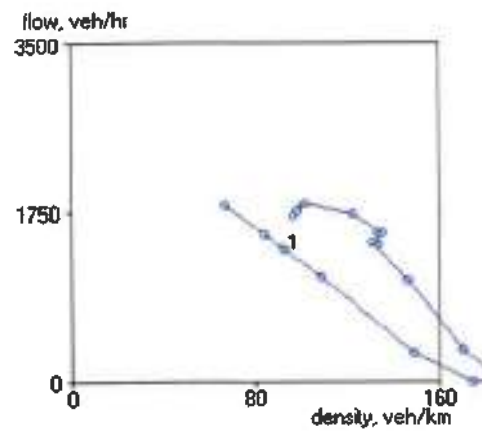
41. Ζεύγος 2021-2028



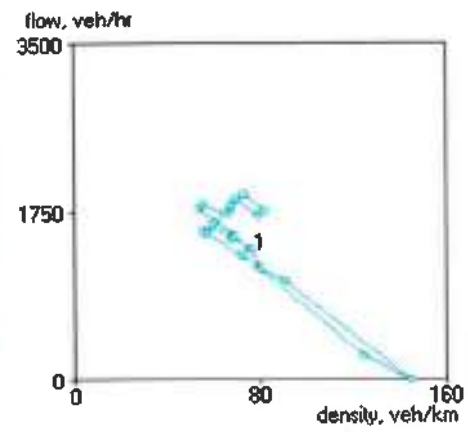
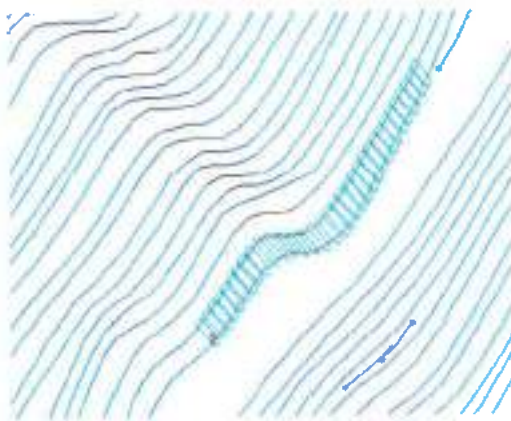
42. Ζεύγος 1844-1866



43. Ζεύγος 2031-2044

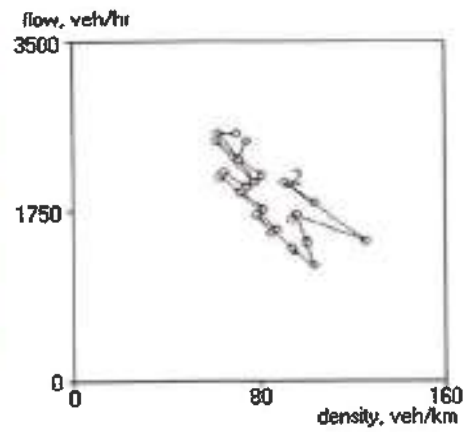
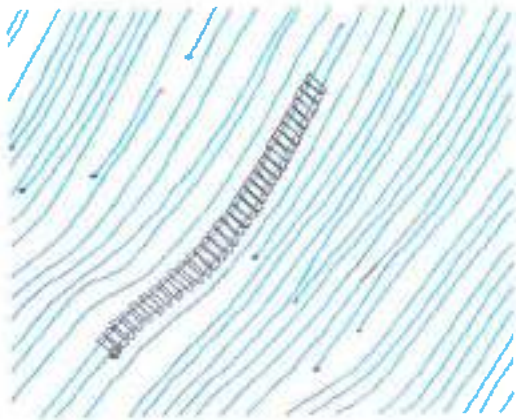


44. Ζεύγος 1317-1322

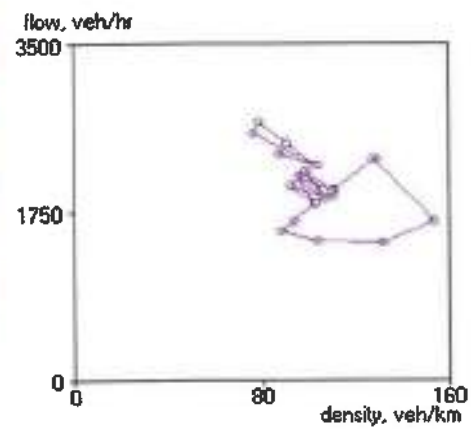
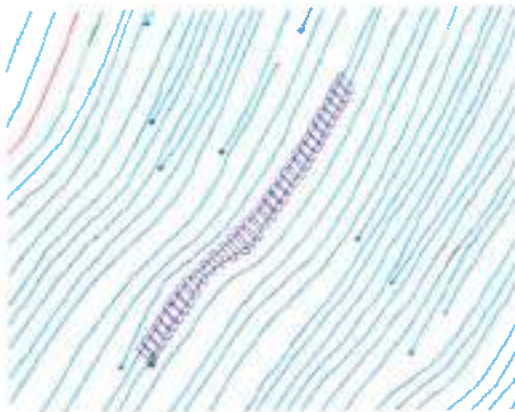


ΥΣΤΕΡΗΣΕΙΣ 2^{ΗΣ} ΟΜΑΔΑΣ: ΕΠΙΦΥΛΑΚΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΟΔΗΓΟΥ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ

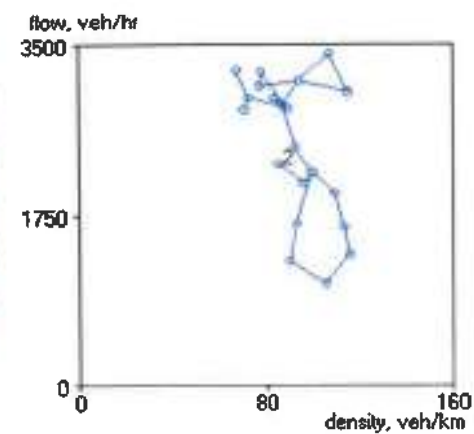
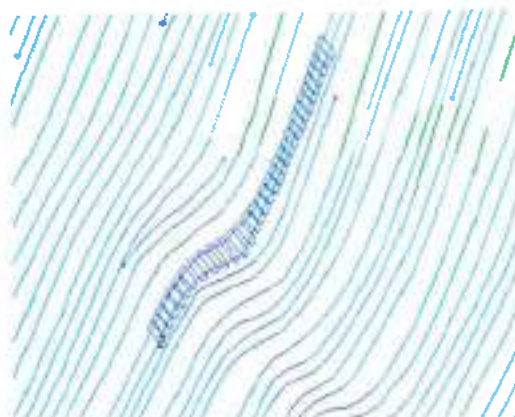
1. Ζεύγος 205-212



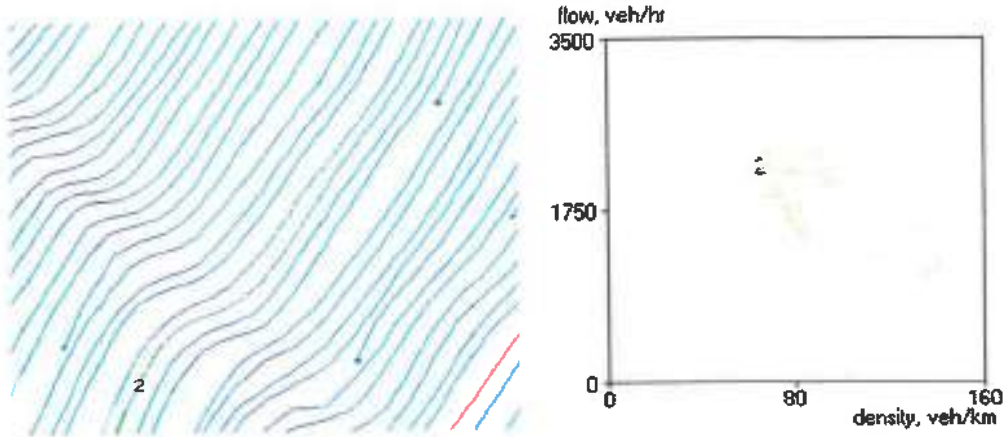
2. Ζεύγος 187-190



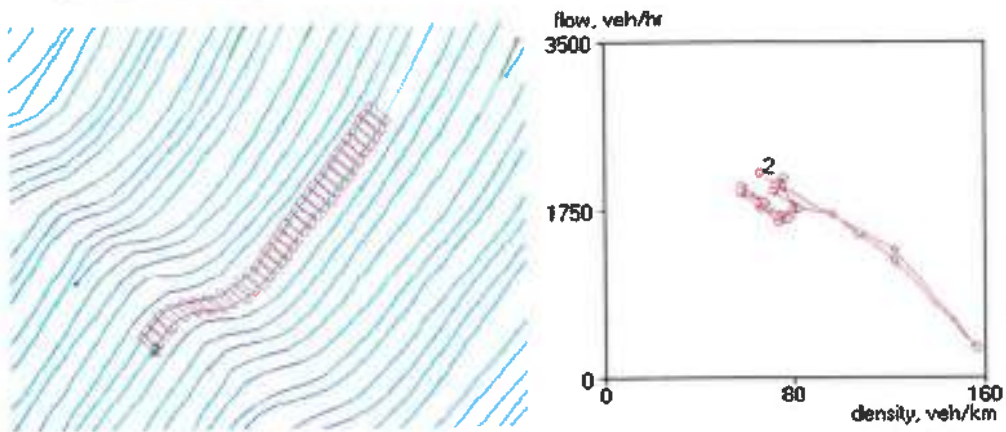
3. Ζεύγος 723-730



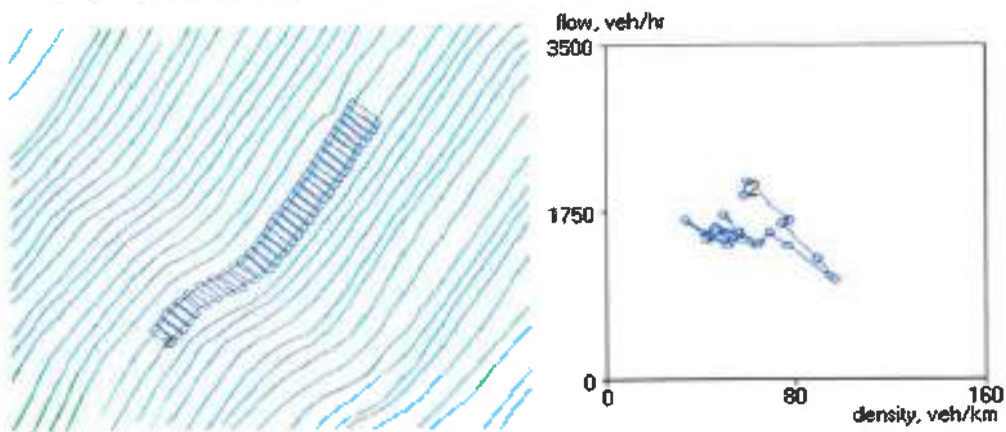
4. Ζεύγος 1023-1030



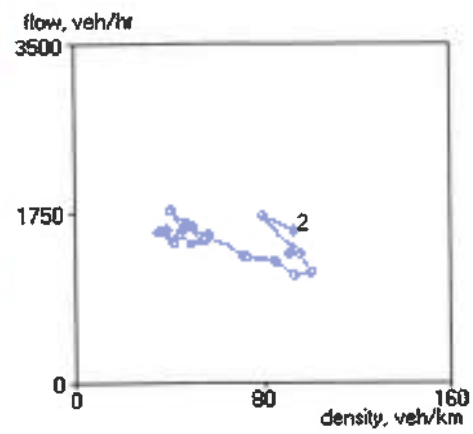
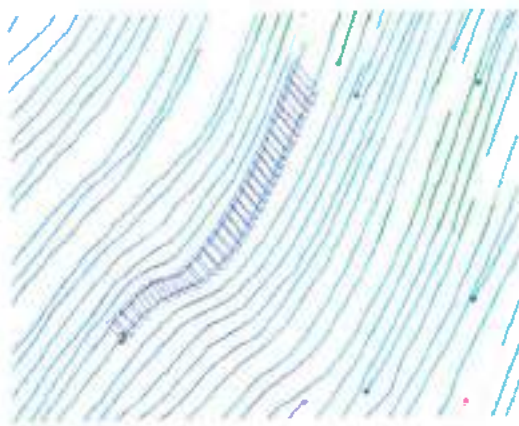
5. Ζεύγος 916-920



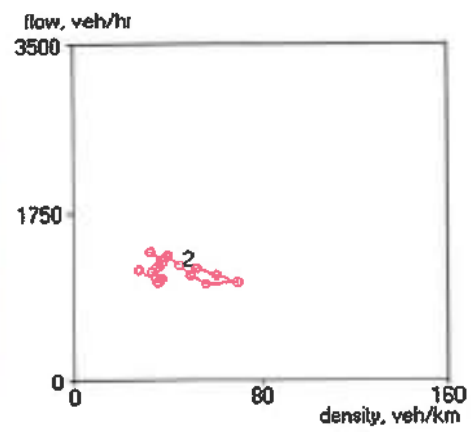
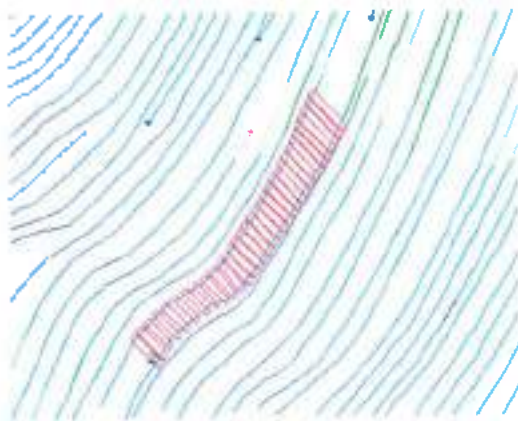
6. Ζεύγος 1317-1324



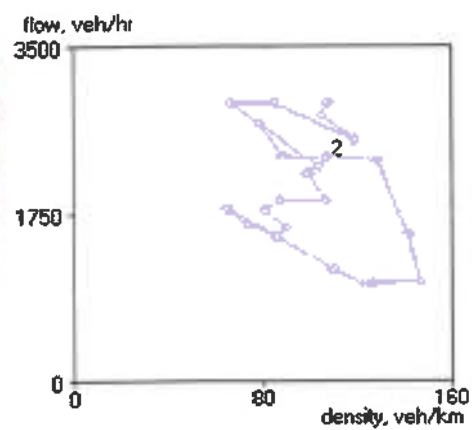
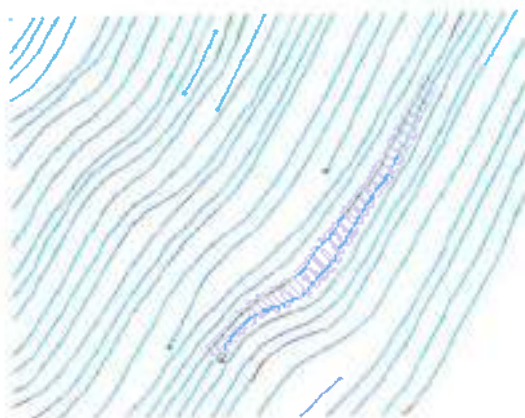
7. Ζεύγος 1631-1645



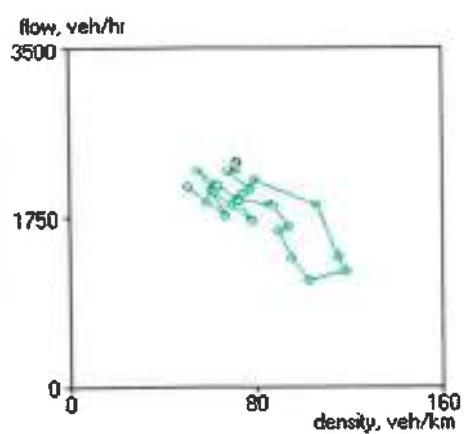
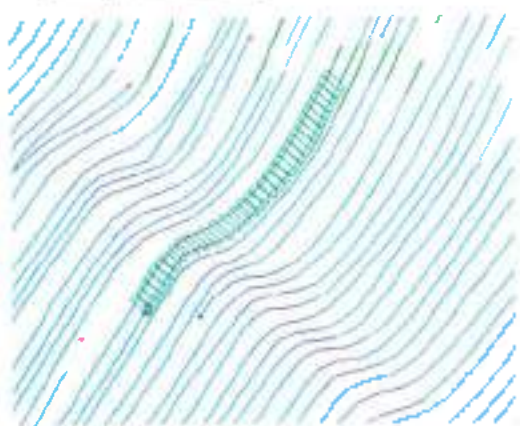
8. Ζεύγος 1780-1793



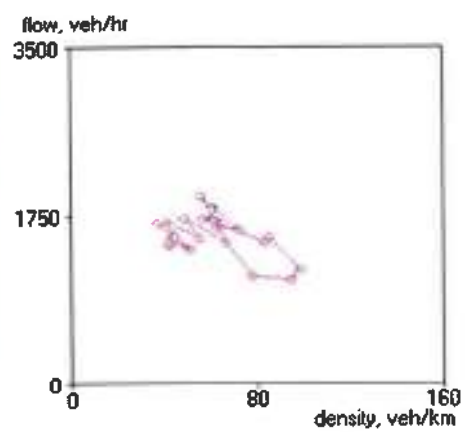
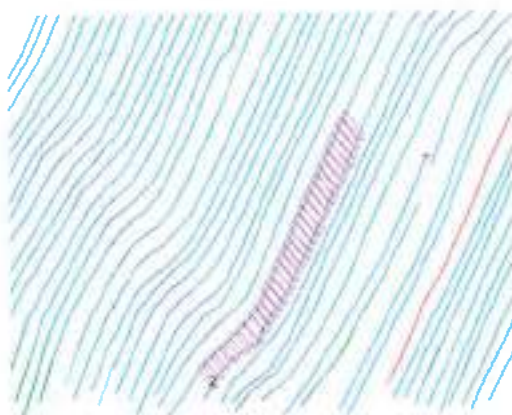
9. Ζεύγος 2924-2906



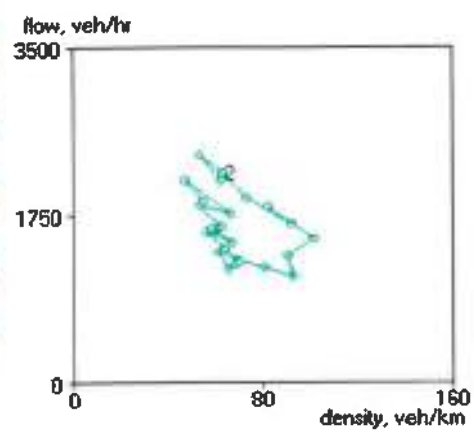
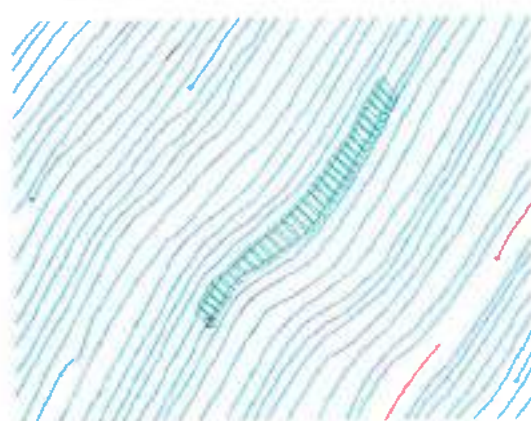
10. Ζεύγος 839-841



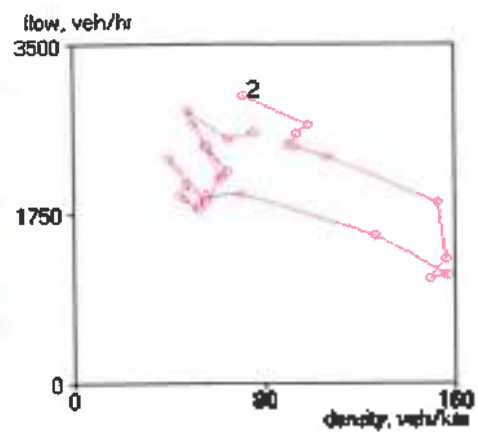
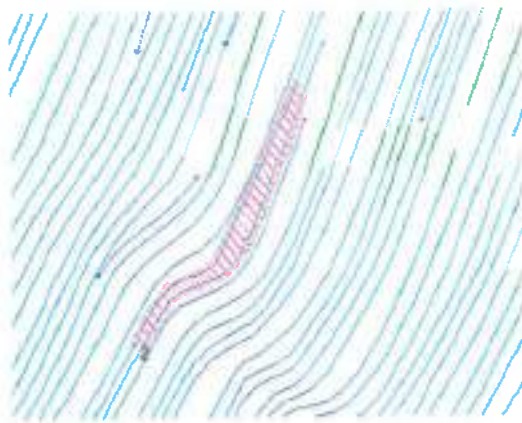
11. Ζεύγος 1381-1386



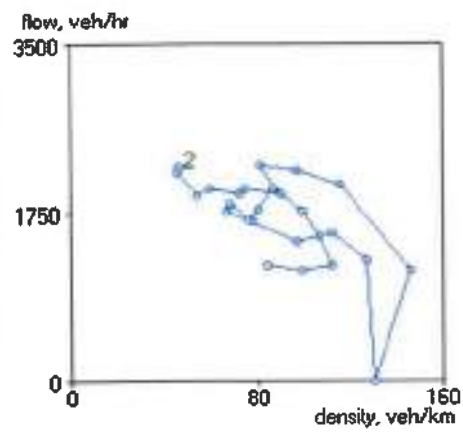
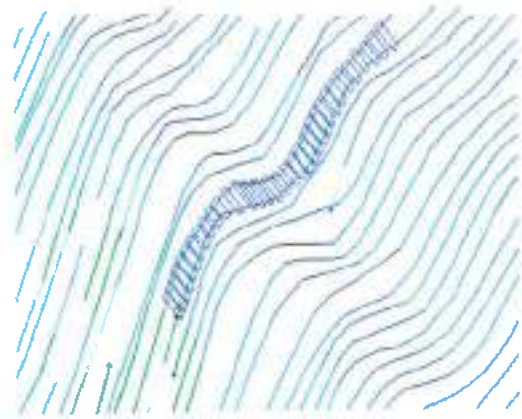
12. Ζεύγος 1350-1355



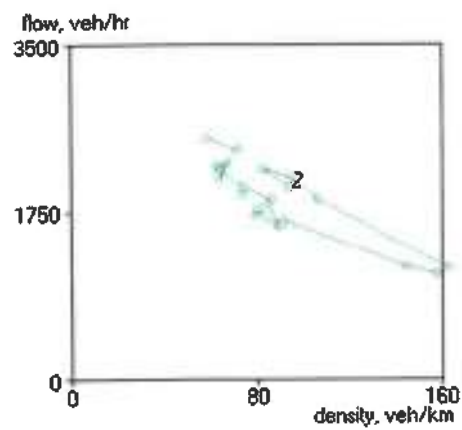
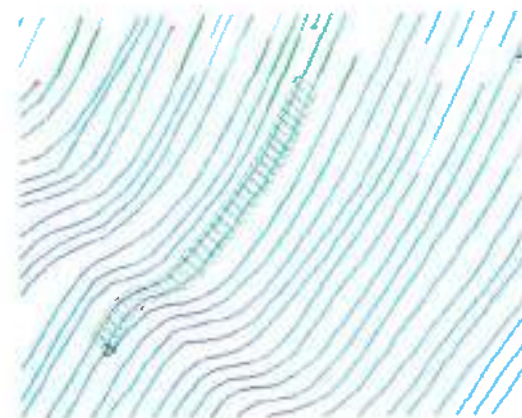
13. Ζεύγος 730-765



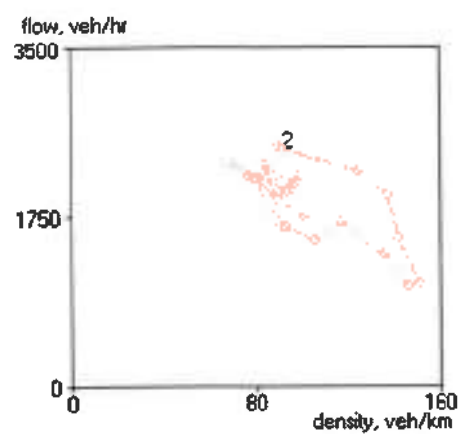
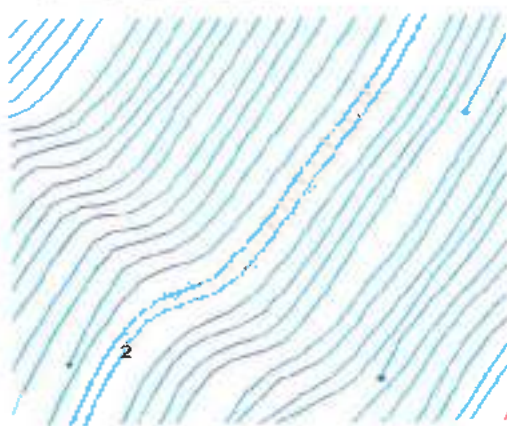
14. Ζεύγος 1804-1810



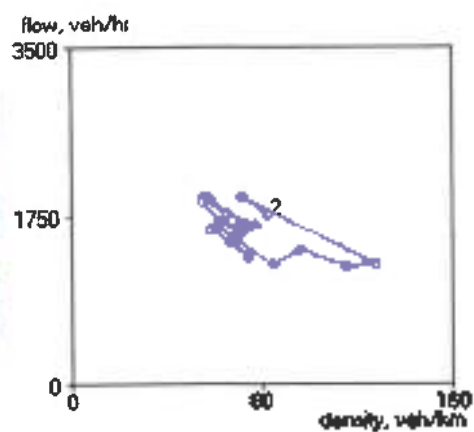
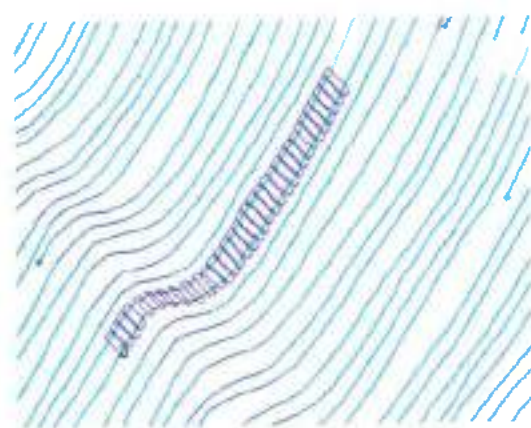
15. Ζεύγος 857-868



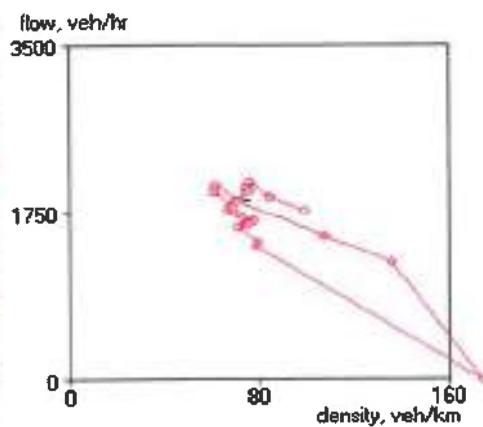
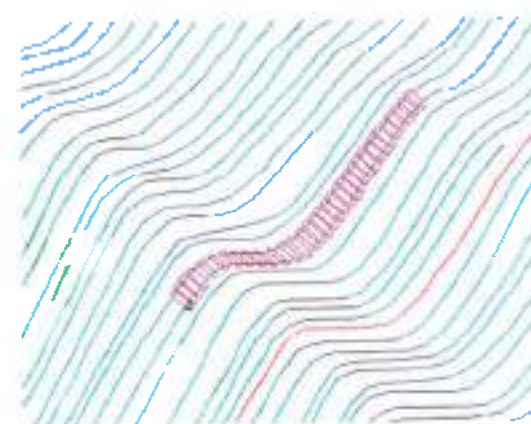
16. Ζεύγος 998-1013



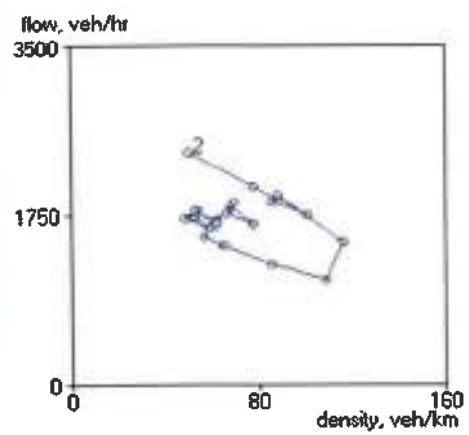
17. Ζεύγος 920-925



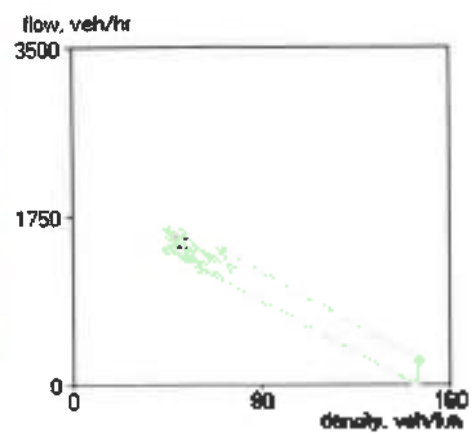
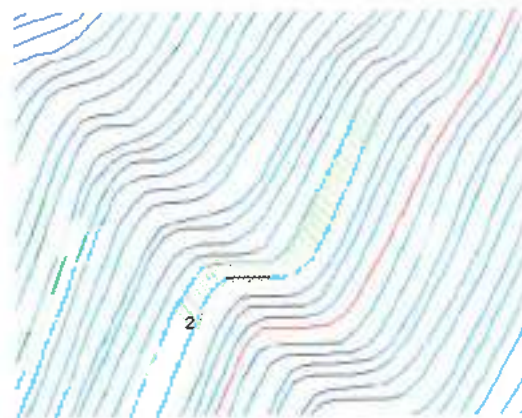
18. Ζεύγος 2050-2058



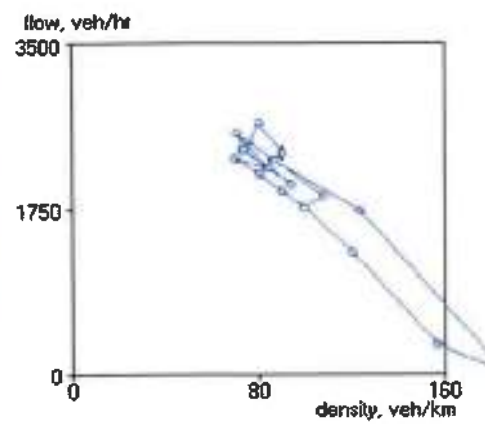
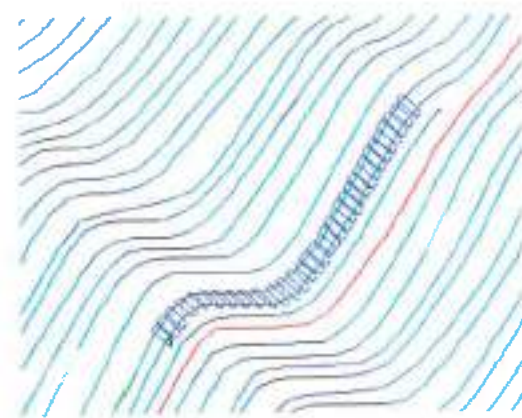
19. Ζεύγος 2058-2065



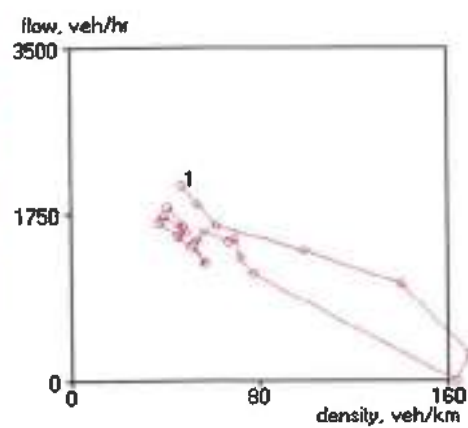
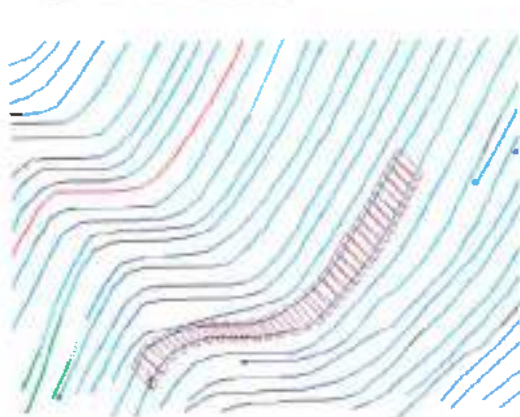
20. Ζεύγος 2065-2071



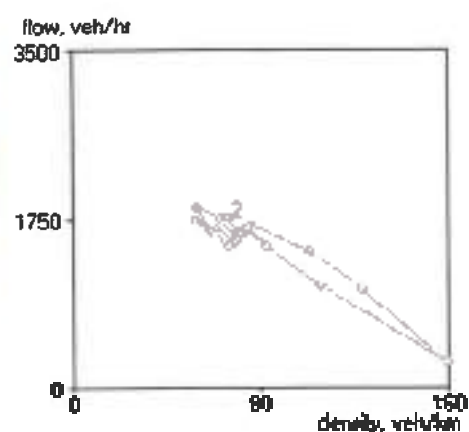
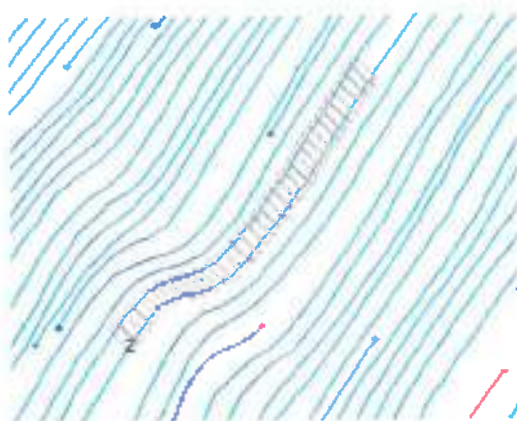
21. Ζεύγος 2095-2092



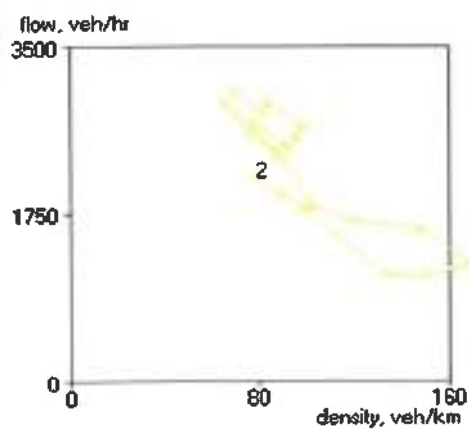
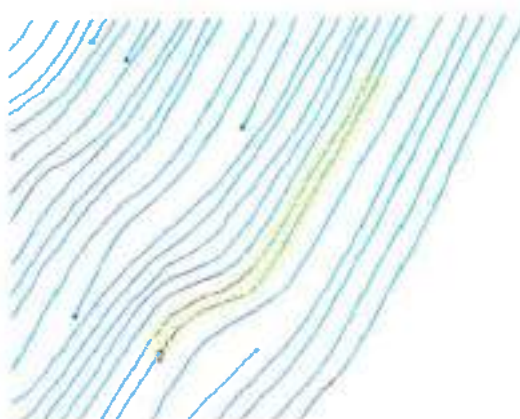
22. Ζεύγος 2186-2190



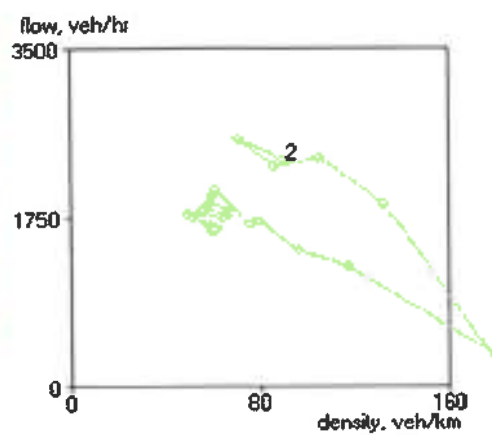
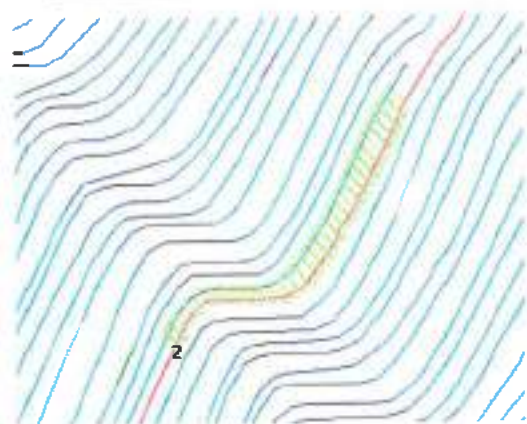
23. Ζεύγος 2395-2405



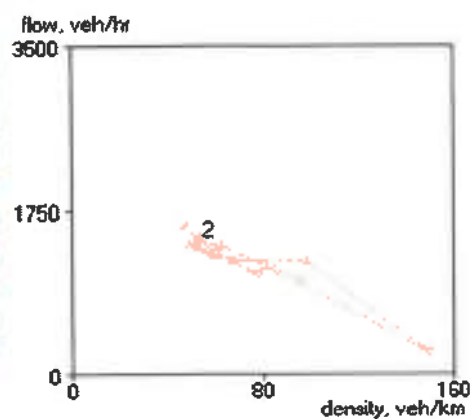
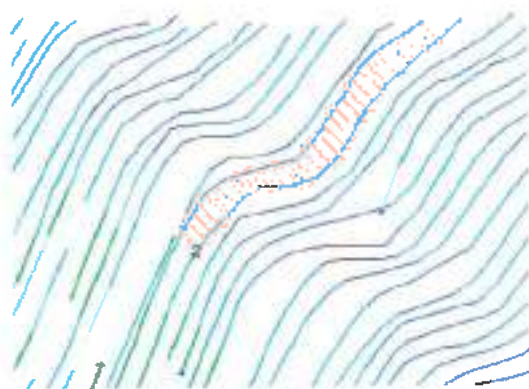
24. Ζεύγος 2931-2930



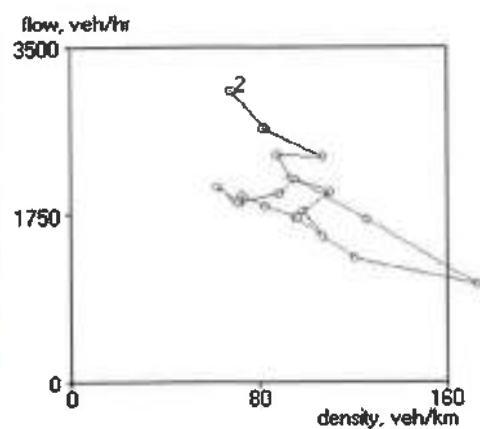
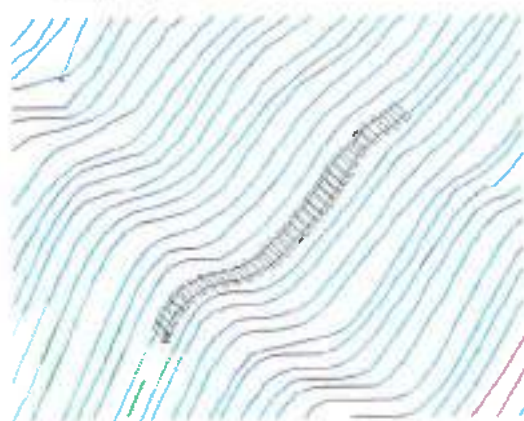
25. Ζεύγος 2097-2108



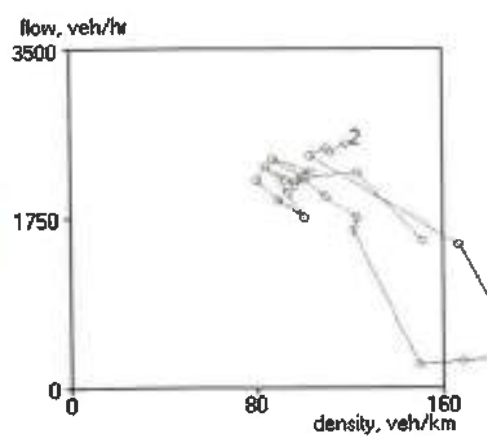
26. Ζεύγος 1795-1804



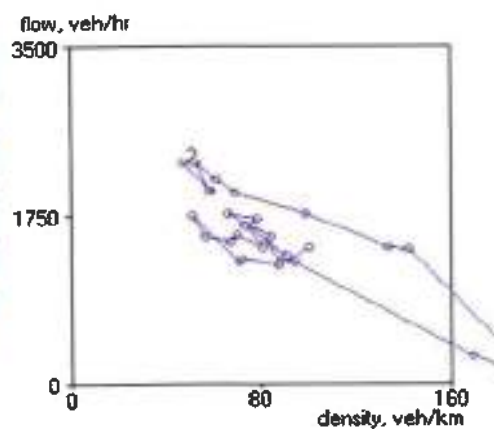
27. Ζεύγος 1991-1984



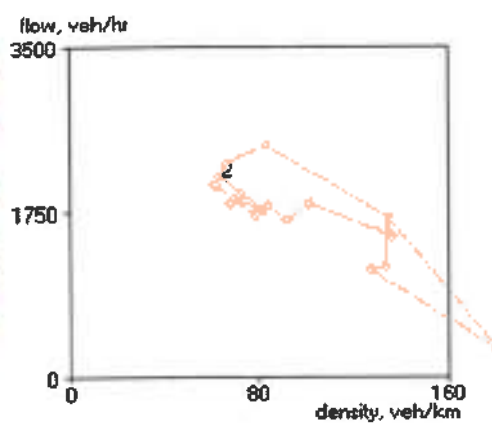
28. Ζεύγος 2035-2042



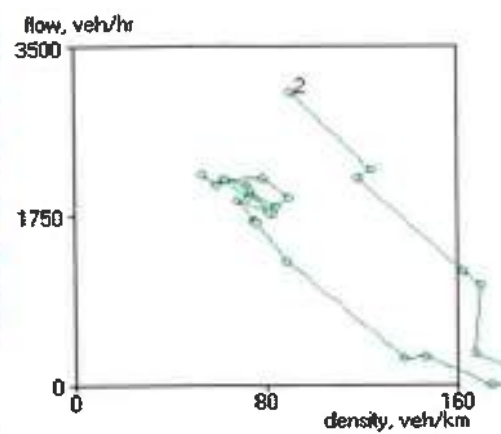
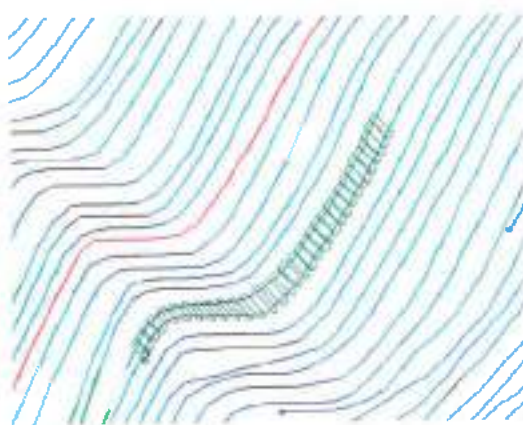
29. Ζεύγος 1984-1998



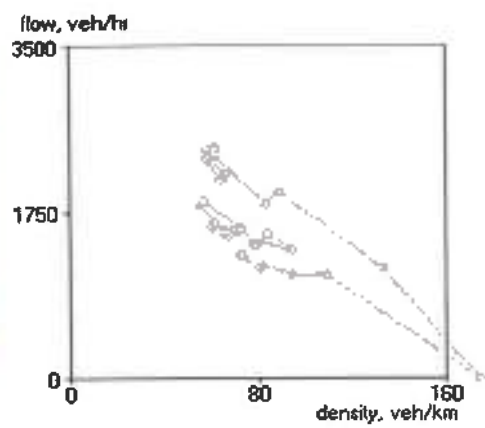
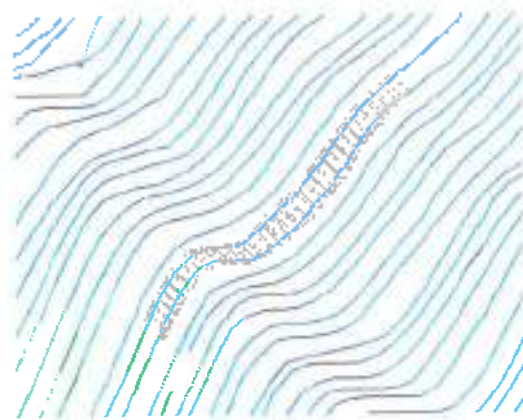
30. Ζεύγος 2176-2186



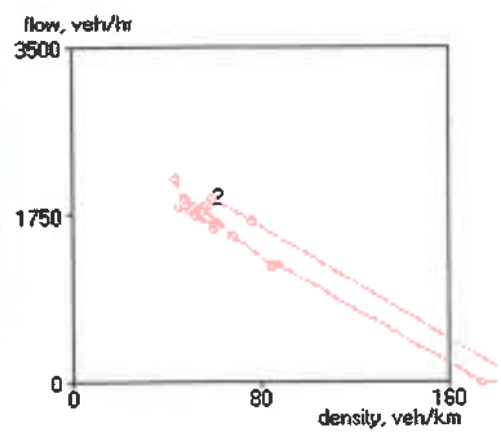
31. Ζεύγος 2146-2151



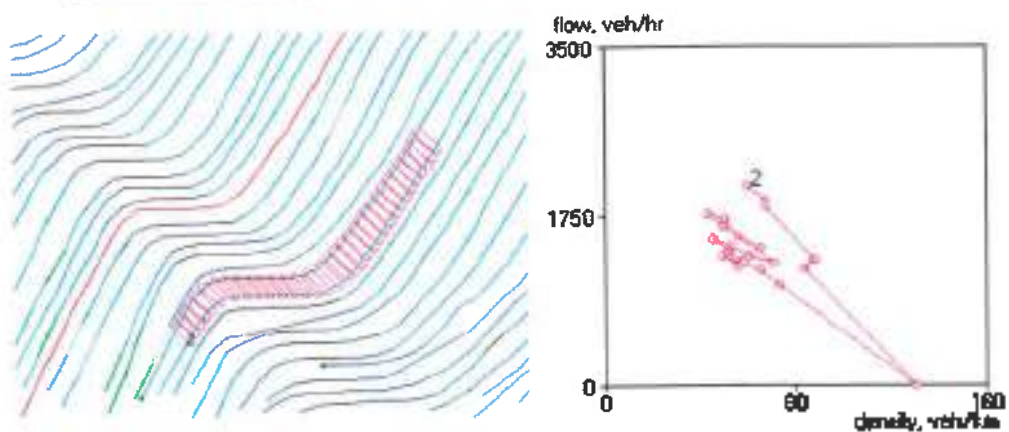
32. Ζεύγος 1941-1961



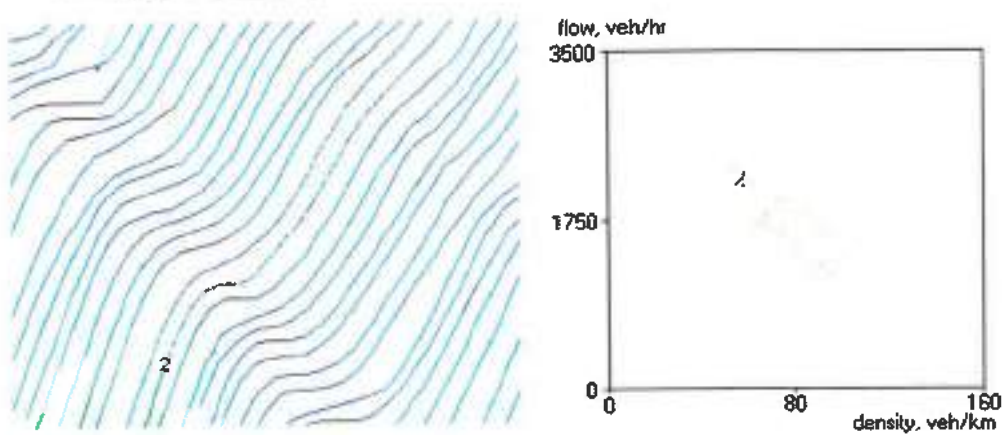
33. Ζεύγος 2108-2113



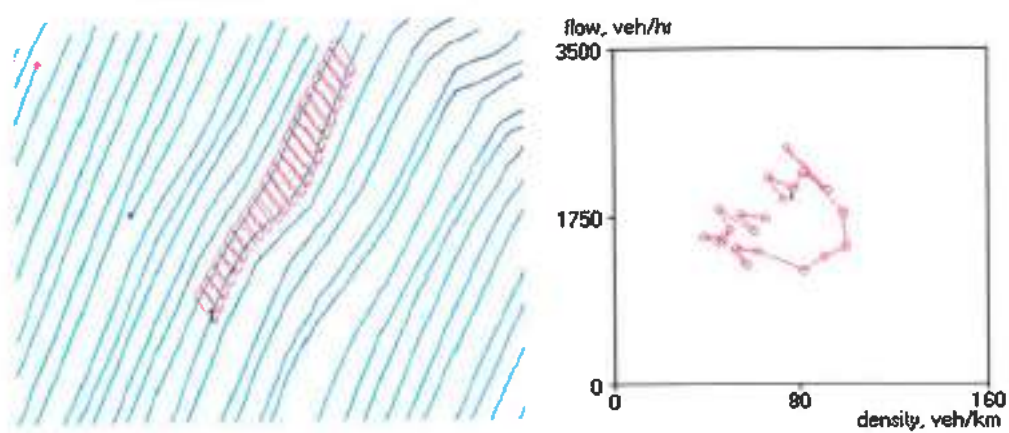
34. Ζεύγος 2151-2158



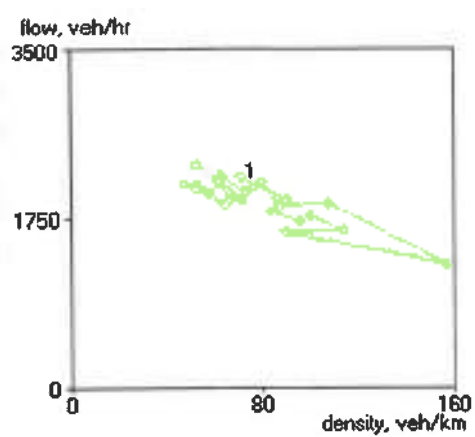
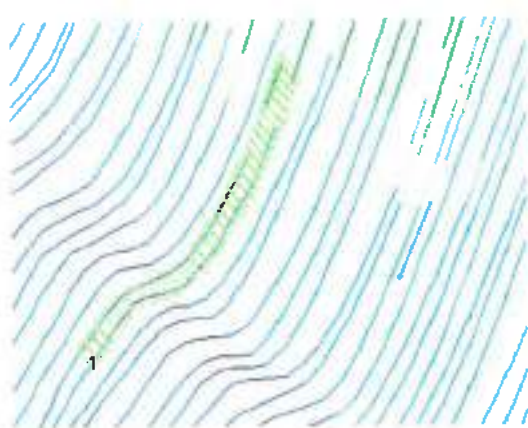
35. Ζεύγος 1951-1941



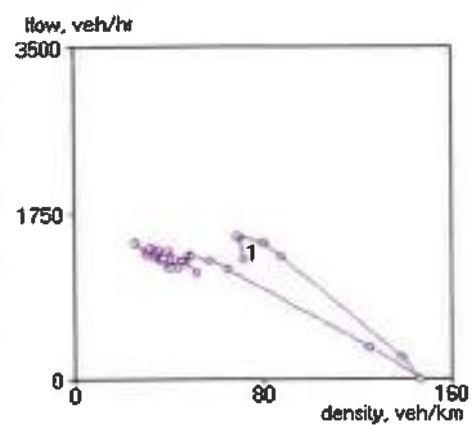
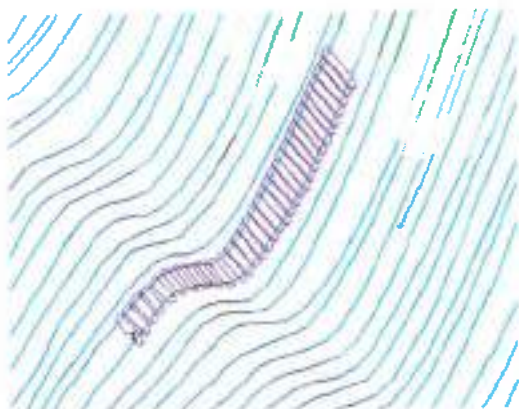
36. Ζεύγος 584-595



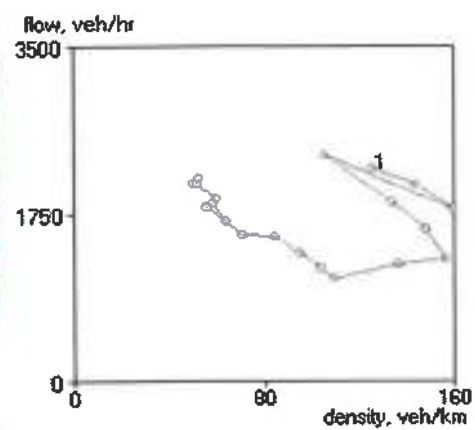
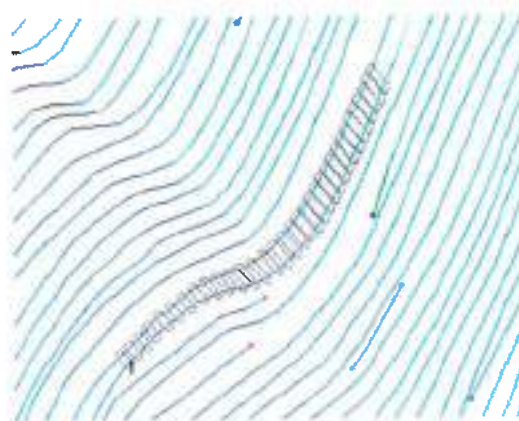
37. Ζεύος 784-786



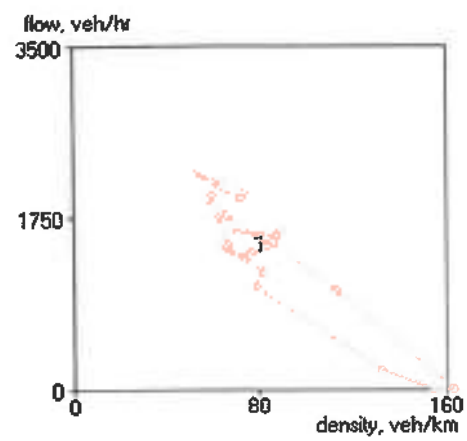
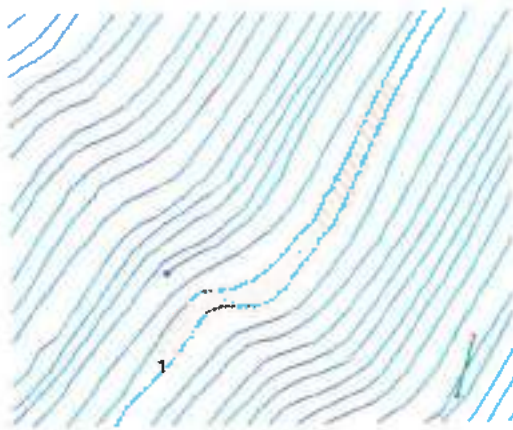
38. Ζεύος 801-808



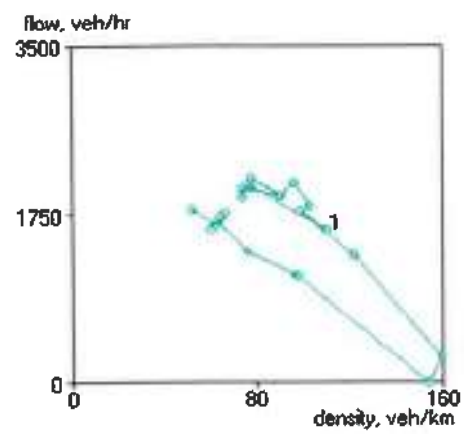
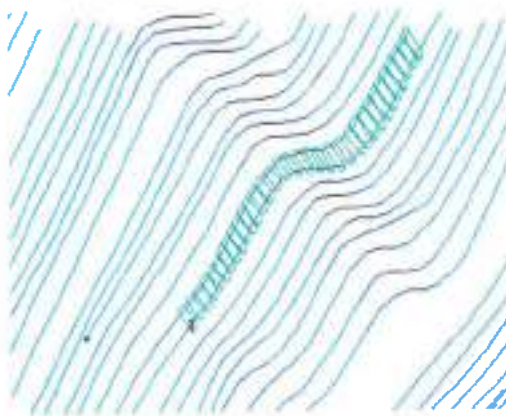
39. Ζεύος 916-929



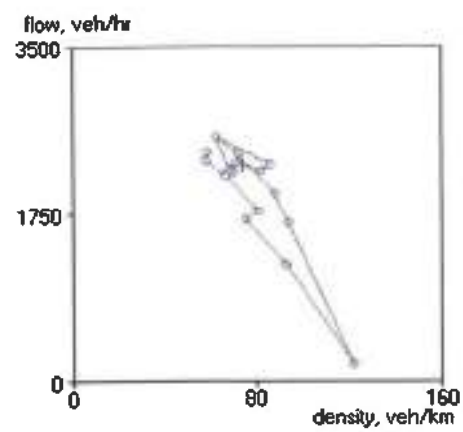
40. Ζεύγος 1128-1136



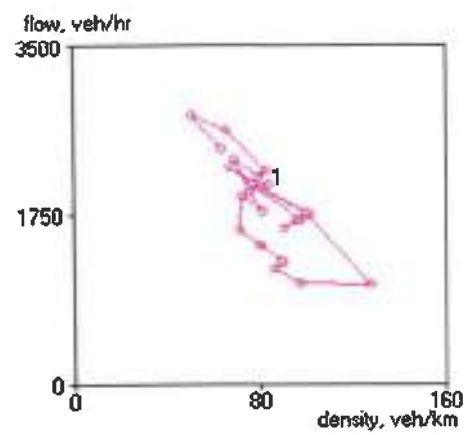
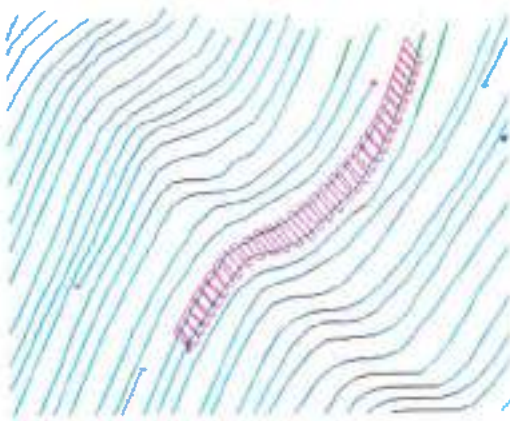
41. Ζεύγος 1253-1260



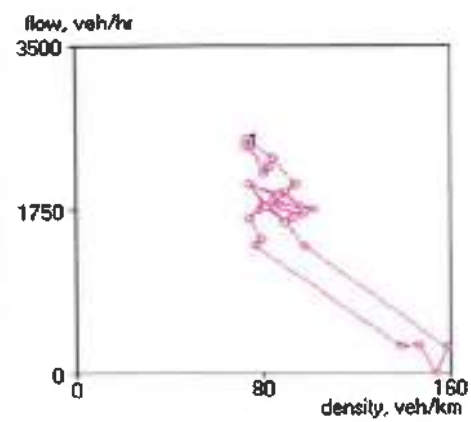
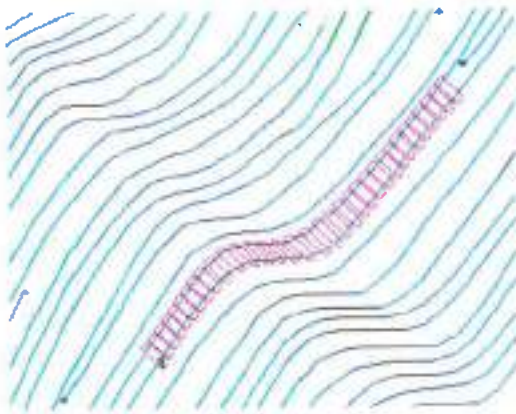
42. Ζεύγος 1641-1647



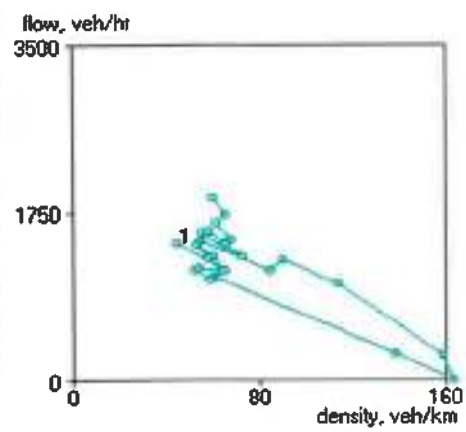
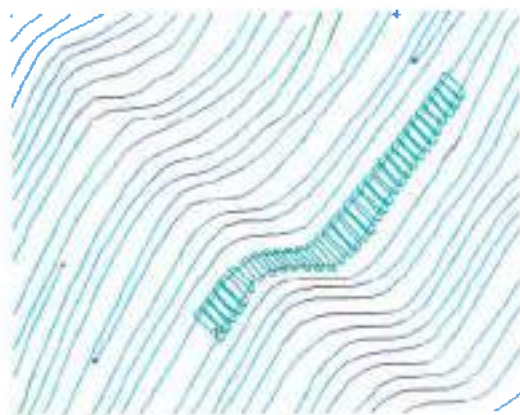
43. Ζεύγος 1672-1674



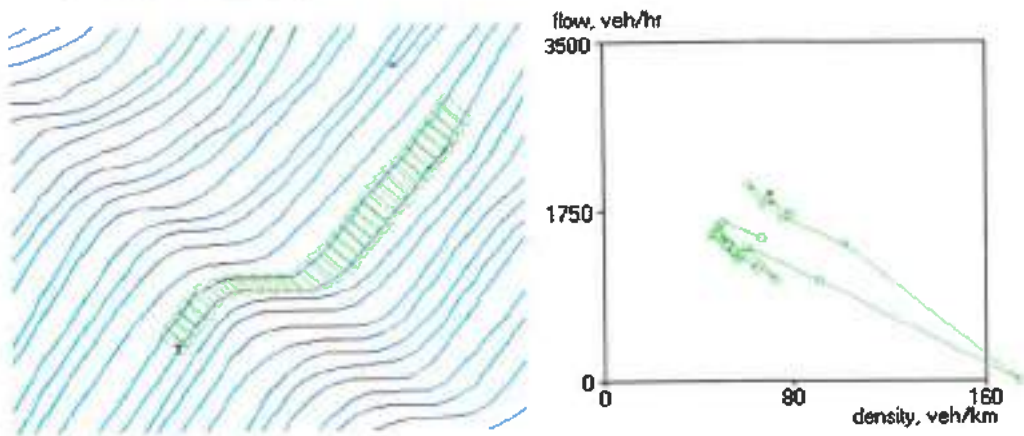
44. Ζεύγος 1706-1709



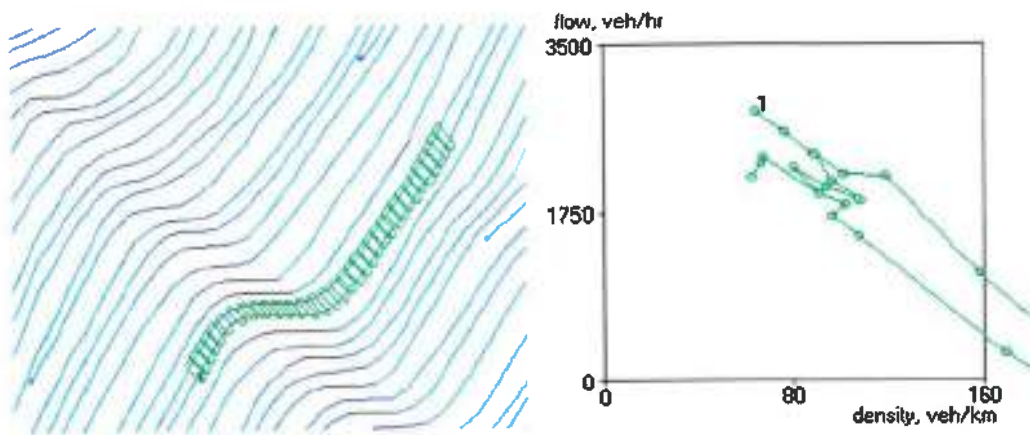
45. Ζεύγος 1713-1718



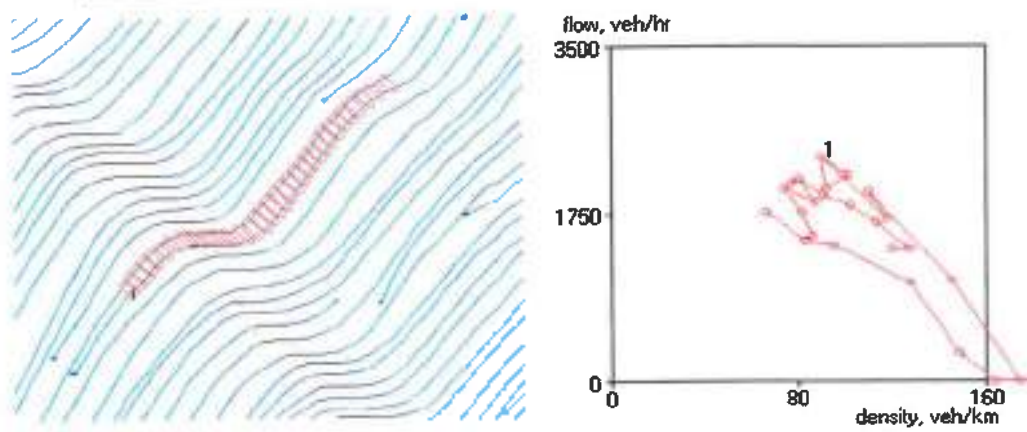
46. Ζεύγος 1718-1738



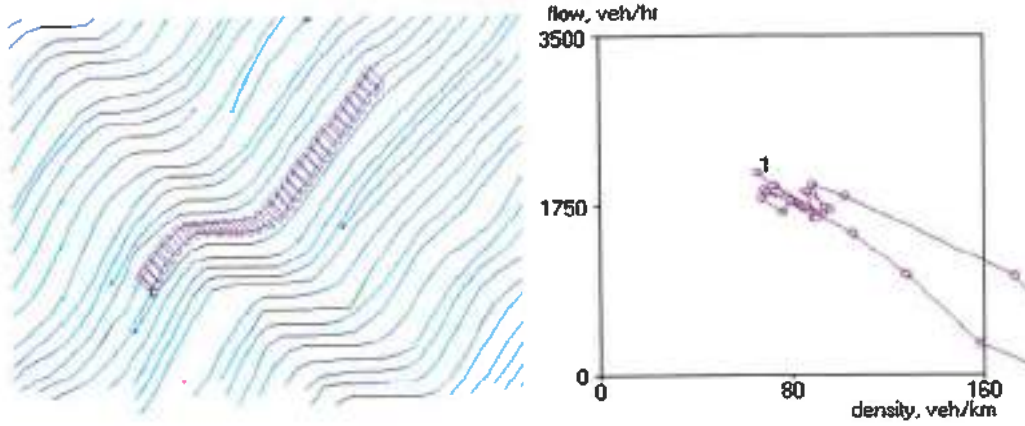
47. Ζεύγος 1740-1759



48. Ζεύγος 1830-1839



49. Ζέβρο: 1968-1988



Π Α Ρ Α Ρ Τ Η Μ Α Β

ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΖΕΥΓΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΕΣ
ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΩΝ ΖΕΥΓΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ Β.1: ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΖΕΥΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 4.00 - 4.15
ΟΜΑΔΑ 1: ΕΠΙΘΕΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΟΔΗΓΟΥ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ

α/α	ΠΡΟΦΟΡΟΜΕΝΟ ΟΧΗΜΑ											ΟΧΗΜΑ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ											ΟΧΗΜΑ ΤΥΠΗ	ΟΧΗΜΑ ΜΕΤΡ.	α/α
	α3 (m)	α3 (m)	α3 (m)	α3 (m)	α3 (m)	α3 (m)	α3 (m)	α3 (m)	α3 (m)	α3 (m)	α3 (m)	α3 (m)	α3 (m)	α3 (m)	α3 (m)	α3 (m)	α3 (m)	α3 (m)	α3 (m)	α3 (m)	α3 (m)	α3 (m)			
1	124,00	406,82	1,43	85,80	4:00:21	284,30	938,98	1,87	112,2	4:00:48	111,20	364,83	1,47	88,20	4:02:24	275,60	904,20	1,91	114,40	4:00:50	200	205	614		
2	66,60	218,50	4,81	238,60	4:03:44	218,90	718,18	5,27	316,4	4:04:12	48,20	158,14	4,87	292,20	4:03:48	204,70	671,59	5,30	318,10	4:04:14	1045	1063	137		
3	218,20	715,38	7,17	430,20	4:06:06	381,90	1252,95	7,53	454,8	4:06:31	205,50	674,21	7,21	432,60	4:06:08	375,90	1231,98	7,62	456,90	4:06:33	1416	1429	1144		
4	90,70	297,57	8,58	514,80	4:07:30	736,60	776,25	9,10	546,1	4:08:02	74,80	244,09	8,64	518,40	4:07:34	227,40	746,06	9,12	547,00	4:08:03	1732	1739	596		
5	213,20	699,48	4,19	251,40	4:08:07	371,20	1117,85	4,62	277,4	4:08:33	195,90	646,00	4,24	254,80	4:08:10	360,40	1183,07	4,66	279,60	4:08:35	312	319	245		
6	99,20	325,48	12,01	720,60	4:10:56	551,50	825,13	12,48	748,6	4:11:24	82,20	269,09	12,06	723,63	4:10:59	243,00	797,24	12,51	750,30	4:11:26	2405	2411	589		
7	301,80	990,16	11,6	816,00	4:12:32	461,90	1515,42	14,05	842,9	4:13:58	295,90	961,27	13,63	817,40	4:13:33	456,70	1496,72	14,08	844,60	4:13:01	2350	2349	847		
8	225,90	773,95	13,91	834,60	4:12:50	384,10	1266,73	14,36	863,7	4:13:18	214,60	736,88	13,95	827,00	4:12:53	378,80	1219,66	14,42	865,20	4:13:21	2980	2968	149		
9	90,00	295,28	4,69	281,40	4:08:37	343,00	797,24	5,17	310,3	4:09:06	76,50	250,96	4,73	283,80	4:08:39	232,40	762,47	5,21	312,40	4:09:08	1013	1023	184		
10	60,20	197,51	1,8	108,00	4:00:44	221,00	725,07	2,23	138,8	4:01:13	53,00	176,51	1,82	109,2	4:00:45	215,40	706,69	2,29	137,40	4:01:14	329	348	640		
11	151,80	497,38	4,57	274,20	4:02:30	300,40	985,56	5,02	301,2	4:03:57	143,10	469,49	4,6	276	4:03:31	233,30	963,27	5,04	302,40	4:03:58	925	937	302		
12	68,70	275,39	6,43	285,80	4:05:22	233,10	764,78	6,82	409,2	4:05:45	62,20	204,40	6,46	387,6	4:05:24	225,30	759,17	6,85	411,00	4:05:47	1346	1350	93		
13	245,10	804,13	7,15	829,00	4:05:05	407,40	1336,61	7,57	454,3	4:06:30	240,20	788,06	7,17	430,7	4:06:06	404,70	1317,91	7,59	455,40	4:06:31	1410	1414	108		
14	46,00	150,92	8,76	525,60	4:07:42	204,70	871,59	9,22	583,2	4:08:10	14,70	117,85	8,8	528	4:07:45	195,20	643,70	9,25	555,00	4:08:12	1754	1765	254		
15	219,90	752,95	8,47	508,20	4:07:24	362,60	1251,25	8,96	537,6	4:07:53	219,60	720,47	8,5	510	4:07:26	376,20	1234,25	8,98	538,30	4:07:54	1659	1667	572		
16	84,30	276,57	12,07	774,20	4:11:00	285,10	804,13	12,49	749,4	4:11:25	75,80	248,69	12,09	725,4	4:11:01	237,30	718,54	12,52	751,20	4:11:27	2411	2426	49		
17	130,40	427,82	1,39	83,40	4:00:19	284,30	945,87	1,82	109,2	4:00:45	121,90	399,93	1,42	85,2	4:00:21	278,40	913,39	1,85	111,00	4:00:47	190	200	25		
18	175,70	576,44	4,47	268,20	4:03:24	325,90	1089,23	4,92	295,2	4:03:51	167,90	550,85	4,5	270	4:03:26	318,80	1045,93	4,94	296,40	4:03:52	905	909	654		
19	324,50	1044,63	9,85	591,00	4:08:47	459,10	1506,23	10,38	671,3	4:09:19	316,00	1036,75	9,88	592,8	4:08:46	453,40	1487,53	10,40	624,00	4:09:21	3845	3851	175		
20	226,70	742,77	10,2	612,00	4:09:06	371,20	1217,85	10,68	640,3	4:09:37	216,10	708,99	10,23	613,8	4:09:09	362,00	1187,65	10,70	642,00	4:09:39	1961	1992	344		
21	95,60	313,65	10,73	643,80	4:09:40	223,90	734,58	11,21	672,6	4:10:09	85,00	278,87	10,77	646,2	4:09:43	211,10	692,50	11,24	674,40	4:10:11	2132	2146	206		
22	96,30	315,94	10,66	639,60	4:09:36	221,50	729,99	11,12	667,2	4:10:04	85,00	278,87	10,7	642	4:09:39	211,80	694,88	11,16	669,60	4:10:06	2122	2128	66		
23	176,40	578,74	10,4	614,00	4:09:20	313,80	1029,53	10,88	662,8	4:09:49	169,30	555,45	10,43	625,8	4:09:21	306,80	1006,56	10,91	654,60	4:09:51	2042	2050	66		
24	150,90	455,03	10,53	621,80	4:09:28	281,30	921,90	10,99	689,4	4:09:56	139,10	453,08	10,57	634,2	4:09:31	270,60	837,80	11,01	660,60	4:09:57	2071	2085	190		
25	80,10	262,80	13,30	823,40	4:12:18	228,80	754,66	13,9	820	4:12:50	87,30	228,80	13,43	805,8	4:12:21	216,10	708,89	13,94	816,40	4:12:52	2930	2938	7		
26	385,60	1199,48	9,58	574,60	4:08:31	489,50	1638,78	9,99	599,4	4:08:56	350,70	1150,59	9,63	577,8	4:08:34	486,00	1594,89	10,03	601,80	4:08:58	1780	1793	739		
27	319,50	1048,23	9,76	585,60	4:08:42	449,90	1476,05	10,26	615,6	4:09:12	303,20	984,75	9,81	583,6	4:08:45	441,40	1448,16	10,29	617,40	4:09:14	1824	1845	175		
28	322,50	1068,07	9,88	592,80	4:08:49	316,90	1089,70	10,44	626,8	4:09:22	303,50	995,73	9,93	595,8	4:08:52	451,40	1480,87	10,47	628,30	4:09:24	1851	1845	87		

ΠΙΝΑΚΑΣ Β.2: ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΖΕΥΤΟΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 4.00 - 4.15

ΟΜΑΔΑ 2: ΕΠΙΦΥΛΑΚΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΟΔΗΓΟΥ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ

Α/Α	ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΟ ΟΧΗΜΑ												ΟΧΗΜΑ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ												ΟΧΗΜΑ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ	ΔΑ
	13 Dec	14 Dec	15 Dec	16 Dec	17 Dec	18 Dec	19 Dec	20 Dec	21 Dec	22 Dec	23 Dec	24 Dec	25 Dec	26 Dec	27 Dec	28 Dec	29 Dec	30 Dec	31 Dec	1 Jan	2 Jan	3 Jan	4 Jan	5 Jan		
1	122,60	407,23	1,50	90,00	400,26	285,50	986,68	1,91	114,60	400,51	116,90	383,53	1,52	91,20	400,17	279,80	917,98	1,98	115,80	400,52	205	212	510			
2	104,40	355,64	1,51	78,60	400,15	271,00	897,39	1,77	106,20	400,42	102,20	335,30	1,33	79,80	400,17	267,10	876,31	1,78	106,80	400,43	187	190	595			
3	273,50	897,31	4,10	246,00	400,02	432,20	1417,98	4,50	270,00	400,26	268,50	880,91	4,12	247,20	400,03	427,20	1401,57	4,51	271,20	400,27	723	730	607			
4	77,20	253,28	4,73	203,80	400,40	235,20	771,65	5,21	212,60	400,40	70,10	229,99	4,75	225,00	400,41	229,50	752,95	5,22	213,20	400,41	1023	1030	60			
5	167,80	550,85	4,53	271,80	400,28	316,00	1036,75	4,97	298,20	400,54	161,50	529,86	4,55	273,00	400,29	308,90	1013,45	4,99	299,40	400,55	916	920	297			
6	100,60	340,05	6,34	340,40	400,16	262,80	862,20	6,72	403,20	400,39	93,50	306,76	6,37	382,20	400,18	250,40	822,83	6,76	405,60	400,42	1317	1324	438			
7	257,20	845,83	8,43	304,60	400,71	410,90	1348,10	8,83	531,00	400,47	249,40	318,24	8,44	506,40	400,23	338,90	1309,73	8,89	533,40	400,49	1631	1645	112			
8	75,80	248,69	6,96	337,60	400,54	237,20	778,54	9,38	542,80	400,19	80,90	199,80	9,01	540,60	400,57	218,90	718,18	9,44	546,40	400,22	1780	1793	71			
9	270,60	887,80	13,37	832,20	400,48	430,20	1413,06	14,38	861,00	400,13	255,70	871,72	13,88	832,80	400,57	415,80	1396,28	14,36	863,60	400,48	2924	2906	553			
10	213,20	699,45	4,28	246,20	400,13	373,40	1225,07	4,89	381,40	400,37	207,60	681,10	4,30	258,00	400,14	367,00	1204,07	4,71	282,60	400,39	839	841	223			
11	50,30	165,03	6,38	394,80	400,31	211,80	694,83	6,96	417,00	400,54	41,10	134,84	6,61	396,60	400,33	201,20	680,10	7,00	420,00	400,56	1331	1386	170			
12	281,30	912,97	6,95	417,00	400,53	445,60	1461,94	7,37	442,20	400,18	275,60	904,20	6,97	418,20	400,54	437,80	1436,35	7,40	444,00	400,26	1350	1355	259			
13	267,80	878,61	4,12	247,20	400,09	421,50	1382,87	4,51	270,60	400,27	264,30	867,13	4,14	248,40	400,04	417,30	1369,09	4,53	271,80	400,28	730	765	383			
14	345,70	1124,19	5,67	580,20	400,36	492,40	1615,49	10,17	610,20	400,06	337,90	1108,60	9,70	582,00	400,32	483,20	1545,30	10,20	612,00	400,08	1804	1810	3010			
15	209,70	687,99	4,37	262,20	400,13	361,40	1208,66	4,78	285,80	400,43	304,70	671,59	4,40	264,00	400,20	361,20	1145,17	4,80	288,00	400,44	857	868	430			
16	106,60	346,48	4,69	281,40	400,37	261,40	857,61	5,18	310,80	400,47	100,60	330,05	4,71	282,60	400,39	165,90	839,24	5,20	312,00	400,40	998	1013	245			
17	160,10	525,16	4,55	273,00	400,29	310,30	1018,04	5,10	300,00	400,56	152,30	499,67	4,57	274,20	400,30	301,40	990,16	5,02	303,20	400,57	920	925	80			
18	170,70	540,04	10,44	626,40	400,22	310,30	1018,04	10,92	655,20	400,51	161,50	519,86	10,49	629,40	400,25	291,50	957,68	10,95	657,00	400,52	2050	2058	33			
19	167,90	550,85	10,47	628,20	400,24	299,00	980,97	10,92	655,20	400,51	161,50	519,86	10,49	629,40	400,25	291,50	957,68	10,95	657,00	400,52	2058	2065	486			
20	160,10	525,16	10,48	629,40	400,25	291,50	987,68	10,95	657,00	400,52	161,50	519,86	10,49	629,40	400,25	291,50	957,68	10,95	657,00	400,52	2058	2065	486			
21	145,90	478,67	10,95	635,40	400,31	279,20	917,98	11,04	661,40	400,38	141,00	461,60	11,11	652,20	400,31	159,40	512,97	11,41	684,00	400,20	2186	2190	130			
22	43,20	141,73	10,85	651,00	400,47	370,00	557,74	11,37	682,20	400,18	34,00	111,55	10,87	652,20	400,48	159,40	512,97	11,41	684,00	400,20	2186	2190	130			
23	115,50	378,54	12,00	720,00	400,56	269,20	883,20	12,45	747,00	400,12	108,40	355,64	12,03	721,80	400,53	404,50	1327,10	12,48	748,80	400,52	2395	2405	113			
24	255,00	835,61	11,93	835,40	400,52	408,80	1341,21	14,39	863,40	400,19	248,70	815,34	13,56	837,00	400,34	251,50	875,13	13,10	868,00	400,53	2097	2106	694			
25	126,10	413,71	10,61	636,40	400,49	260,00	853,04	11,07	664,20	400,40	171,50	399,33	10,63	637,80	400,39	488,10	1601,38	10,16	603,60	400,06	1795	1804	422			
26	380,40	1248,63	9,68	580,20	400,37	499,20	1631,56	10,13	607,80	400,44	370,50	1215,55	9,71	582,60	400,39	488,10	1601,38	10,16	603,60	400,06	1795	1804	422			
27	226,70	743,77	10,25	615,00	400,11	375,50	1231,96	10,16	645,60	400,42	222,50	729,99	10,27	616,20	400,12	368,10	1210,96	10,79	647,40	400,43	1992	1994	1070			
28	192,00	629,92	10,41	624,60	400,21	328,00	1076,17	10,91	634,60	400,51	188,40	618,11	10,42	625,20	400,22	323,80	1062,34	10,92	655,80	400,52	2035	2042	576			
29	213,20	699,48	10,25	615,00	400,11	375,50	1231,96	10,16	645,60	400,42	222,50	729,99	10,27	616,20	400,12	368,10	1210,96	10,79	647,40	400,43	1992	1994	1070			
30	48,20	158,14	10,82	649,20	400,45	174,30	571,85	11,34	680,40	400,16	41,10	134,84	10,84	650,40	400,46	165,50	546,35	11,37	682,20	400,18	2176	2186	346			
31	85,70	281,17	10,77	646,20	400,42	217,50	713,54	11,25	675,00	400,11	82,20	269,99	10,78	646,80	400,43	209,70	687,99	11,28	676,80	400,13	2146	2151	866			
32	235,20	771,65	10,18	610,80	400,07	394,00	1253,84	10,67	640,20	400,36	228,10	745,36	10,20	612,00	400,08	376,20	1234,25	10,70	642,00	400,38	1941	1961	911			
33	114,80	376,64	10,64	638,40	400,34	242,30	794,95	11,11	666,60	400,10	106,30	348,75	10,63	640,20	400,36	233,10	764,78	11,14	668,40	400,04	2108	2113	214			
34	71,60	234,91	10,77	646,20	400,42	198,40	650,92	11,28	675,60	400,12	64,50	211,61	10,79	647,40	400,43	187,70	613,81	11,29	677,40	400,13	2151	2158	692			
35	245,10	804,13	10,16	609,60	400,06	400,30	1313,32	10,68	640,80	400,37	238,70	753,14	10,18	610,80	400,07	391,10	1243,14	10,70	642,00	400,38	1951	1941	514			

ΠΙΝΑΚΑΣ Β.3: ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΖΕΥΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 5.00 - 5.15

ΟΜΑΔΑ Ι: ΕΠΙΘΕΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΟΔΗΓΟΥ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ

α/α	ΠΡΟΦΙΛ ΚΟΜΕΝΟ ΟΧΗΜΑ												ΟΧΗΜΑΤΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ												ΟΧΗΜΑ ΠΡΩΤΗ	ΟΧΗΜΑ ΔΕΥΤΕΡΗ	ΔΩ
	x1 (m)	x2 (m)	x3 (m)	x4 (m)	x5 (m)	x6 (m)	x7 (m)	x8 (m)	x9 (m)	x10 (m)	x11 (m)	x12 (m)	t1 (sec)	t2 (sec)	t3 (sec)	t4 (sec)	t5 (sec)	t6 (sec)	t7 (sec)	t8 (sec)	t9 (sec)	t10 (sec)	t11 (sec)	t12 (sec)			
1	365,50	1193,15	2,58	154,80	5:02:03	481,00	1578,00	2,96	177,60	5:02:26	356,30	1168,96	2,61	156,60	5:02:08	472,50	1550,20	2,99	179,40	5:02:28	699	708	298				
2	285,90	937,99	2,93	175,30	5:02:27	435,90	1430,12	3,37	202,30	5:02:50	278,90	915,03	2,96	177,60	5:02:29	428,90	1407,15	3,40	204,00	5:02:52	784	786	428				
3	241,50	792,31	3,19	191,40	5:02:39	391,70	1252,30	3,66	219,60	5:03:08	233,10	764,76	3,21	192,60	5:02:41	376,80	1226,22	3,67	220,20	5:03:09	829	835	1550				
4	238,70	783,14	5,31	318,60	5:04:47	378,90	1236,22	5,78	346,80	5:05:15	228,90	750,98	5,35	321,00	5:04:49	366,20	1201,44	5,82	349,20	5:05:17	1136	1139	343				
5	371,20	1219,82	6,43	385,80	5:05:54	498,60	1635,83	6,92	435,20	5:06:23	362,00	1187,66	6,47	388,20	5:05:56	489,40	1605,84	6,94	416,40	5:06:24	1245	1253	583				
6	362,70	1183,96	6,65	399,60	5:06:08	491,50	1612,53	7,11	426,80	5:06:35	354,90	1164,37	6,68	400,80	5:06:09	483,80	1587,27	7,14	423,80	5:06:37	1267	1291	101				
7	355,60	1166,67	6,49	389,40	5:06:57	493,00	1617,45	7,00	420,00	5:06:28	345,80	1134,51	6,52	391,20	5:06:59	484,50	1589,57	7,03	421,80	5:06:30	1260	1287	533				
8	345,80	1134,51	9,15	549,00	5:10:37	484,50	1586,57	9,62	577,20	5:09:05	335,20	1039,74	9,18	550,80	5:08:39	476,10	1562,01	9,65	579,00	5:09:07	1658	1660	506				
9	248,60	815,62	9,62	577,20	5:09:05	374,60	1229,00	10,13	607,80	5:09:36	240,80	790,09	9,65	579,00	5:09:07	356,20	1701,44	10,16	609,60	5:09:38	1805	1765	103				
10	237,30	778,54	9,70	582,00	5:09:10	375,50	1231,96	10,21	612,40	5:09:41	231,00	757,37	9,72	581,20	5:09:11	368,40	1708,66	10,24	614,40	5:09:43	1785	1799	36				
11	178,40	578,74	9,81	588,60	5:09:17	311,00	1020,34	10,35	621,00	5:09:49	168,50	546,16	9,85	591,00	5:09:19	300,40	988,56	10,38	622,80	5:09:51	1874	1886	36				
12	102,00	324,65	9,96	598,80	5:09:17	241,60	792,65	10,50	630,00	5:09:58	97,10	318,57	10,00	600,00	5:09:28	238,60	776,25	10,51	630,60	5:09:59	1517	1529	594				
13	43,20	141,73	10,15	609,00	5:09:37	162,90	534,45	10,70	642,00	5:10:10	24,10	79,07	10,21	612,60	5:09:41	153,70	504,27	10,73	643,80	5:10:12	2021	2028	447				
14	286,90	941,27	10,21	612,60	5:09:41	447,70	1468,83	10,63	637,80	5:10:06	175,60	904,20	10,25	615,00	5:09:43	437,80	1436,35	10,66	639,60	5:10:08	1844	1866	99				
15	413,00	1354,99	12,20	732,00	5:11:40	500,30	1647,97	12,66	759,60	5:12:08	405,90	1331,69	12,22	733,20	5:11:41	494,50	1622,35	12,69	761,40	5:12:10	2031	2044	76				
16	318,80	1045,93	6,72	403,20	5:06:11	463,30	1520,03	7,21	432,60	5:06:41	310,30	1018,04	6,76	405,60	5:06:14	456,20	1496,72	7,23	433,80	5:06:42	1317	1322	522				

ΠΙΝΑΚΑΣ Β.4: ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΖΕΥΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 5.00 - 5.15

ΟΜΑΔΑ 2: ΕΠΙΦΥΛΑΚΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΟΑΗΓΟΥ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ

Α/Α	ΠΡΟΤΟΝΟΜΕΝΟ ΟΧΗΜΑ										ΟΧΗΜΑ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ										ΟΜΑΔΑ ΠΡΗΝ	ΟΜΑΔΑ ΜΕΤΑ	ΔΙ
	41 (m)	41 (m/s)	43 (m/s)	43 (m/s)	43 (m/s)	43 (m/s)	43 (m/s)	43 (m/s)	43 (m/s)	43 (m/s)	41 (m)	41 (m/s)	43 (m/s)	43 (m/s)	43 (m/s)	43 (m/s)	43 (m/s)	43 (m/s)	43 (m/s)	43 (m/s)			
1	979,70	1245,73	1,93	115,80	5:01:24	486,00	1594,49	2,22	133,20	5:01:41	572,60	1272,44	1,95	117,00	5:01:25	486,00	1594,49	2,23	133,80	5:01:42	594	595	213
2	292,60	939,97	2,99	179,40	5:02:27	445,60	1461,94	3,42	205,20	5:02:53	286,20	934,98	3,01	180,60	5:02:29	437,10	1434,06	3,44	206,40	5:02:54	784	785	103
3	278,40	913,39	3,07	184,20	5:02:32	427,30	1401,57	3,51	210,60	5:02:59	268,50	880,91	3,11	186,60	5:02:34	410,90	1348,10	3,55	213,00	5:03:01	801	802	23
4	160,10	525,26	3,41	204,60	5:02:53	307,90	1006,86	3,93	235,80	5:03:24	195,90	511,48	3,43	205,20	5:02:50	300,40	985,56	3,95	237,00	5:03:25	918	929	159
5	251,50	825,13	5,29	317,40	5:04:45	393,90	1291,42	5,78	346,80	5:05:15	241,00	792,65	5,32	319,20	5:04:47	386,80	1269,03	5,80	348,00	5:05:16	1118	1135	594
6	347,40	1143,08	6,41	384,60	5:05:53	491,00	1610,89	6,94	416,40	5:06:24	342,90	1125,00	6,43	385,80	5:05:51	483,20	1585,30	6,97	438,20	5:06:26	1253	1260	84
7	342,90	1125,00	9,07	544,20	5:08:32	488,10	1601,38	9,52	571,20	5:08:59	337,90	1108,60	9,09	545,40	5:08:33	481,20	1580,36	9,54	572,40	5:09:00	1641	1647	225
8	333,00	1092,52	9,27	556,20	5:08:44	484,60	1583,90	9,74	584,40	5:09:12	327,30	1073,82	9,29	557,40	5:08:45	479,60	1573,49	9,76	585,60	5:09:13	1632	1674	398
9	282,70	927,49	9,40	564,00	5:08:52	427,20	1401,57	9,91	594,60	5:09:23	277,70	913,09	9,42	565,20	5:08:53	419,40	1375,98	9,93	595,80	5:09:24	1706	1709	649
10	282,70	927,49	9,48	568,80	5:08:57	475,80	1394,98	10,01	600,60	5:09:29	270,60	887,90	9,52	571,20	5:08:59	418,00	1371,39	10,04	602,40	5:09:31	1713	1718	454
11	279,10	915,68	9,53	571,80	5:09:00	415,20	1362,20	10,03	601,80	5:09:30	270,60	887,90	9,55	573,60	5:09:02	405,90	1351,69	10,06	603,60	5:09:32	1718	1738	368
12	265,70	871,72	9,58	574,80	5:09:03	397,40	1303,81	10,09	605,40	5:09:33	260,00	852,02	9,60	576,00	5:09:04	390,40	1280,84	10,12	607,20	5:09:35	1740	1759	663
13	210,40	690,29	9,77	586,20	5:09:14	349,30	1146,00	10,31	618,60	5:09:47	206,90	678,81	9,78	586,80	5:09:15	342,20	1122,20	10,53	619,80	5:09:48	1830	1839	933
14	92,80	304,46	10,07	604,20	5:09:32	216,70	743,77	10,61	636,60	5:10:05	87,10	225,76	10,10	606,00	5:09:34	219,60	720,47	10,64	638,40	5:10:07	1968	1998	614

№ п/п ЗЕЛЕНИЦА	ОПШТА ПОВРНА	ОПШТА СТА	ОПШТА ДИНАМИКА			ТЕЖИ ДИНАМИКА			ΔS	Δ	ΔS/Δ	Qm	Qout	ΔQ
	Δ (tup)	Δ (tup)	Δ (tup)	Δ (tup)	Δ (tup)	Δ (tup)	Δ (tup)	Δ (tup)	ΔS	Δ	ΔS/Δ	Qm	Qout	ΔQ
1	200	205	-2,994	94,78	1,337	1,534	51,000	4,91	-43,776	8	-5,472	1105	1719	614
2	1045	1063	-6,134	134,41	-2,830	3,114	89,282	1,679	-45,128	14	-3,223	1088	1235	137
3	1418	1439	-7,686	93,180	-4,195	2,331	46,947	-0,002	-46,233	7	-6,605	1346	2490	1144
4	1732	1739	-5,067	134,331	-1,278	2,703	52,229	4,065	-82,102	14	-5,864	1230	1766	536
5	812	839	-5,772	133,966	-0,621	4,290	61,159	3,337	-72,407	13	-5,570	1190	1435	245
6	2403	2411	-3,032	130,695	0,267	0,814	55,596	1,567	-73,099	11	-6,327	1253	1842	589
7	2850	2849	-1,803	87,907	1,357	2,996	29,650	0,003	-58,157	12	-4,846	1474	2321	847
8	2930	2948	-0,573	88,781	1,613	3,611	62,645	1,958	-26,136	12	-2,178	1266	1415	149
9	1013	1023	-6,155	89,185	-1,998	1,592	70,311	4,2370	-18,954	15	-1,264	1326	1510	184
10	329	348	-1,760	41,594	0,000	3,100	35,085	2,860	-6,509	8	-0,814	1840	2484	640
11	925	937	-3,082	78,430	0,000	2,554	53,244	2,961	-25,186	14	-1,799	1701	2093	392
12	1346	1350	-2,835	73,388	-0,034	6,181	42,904	4,538	-30,444	7	-4,349	1934	2031	93
13	1410	1414	-4,206	46,743	-1,365	4,361	31,434	4,334	-15,309	12	-1,276	2206	2310	105
14	1754	1765	-3,795	110,104	-1,860	1,602	66,693	1,408	-44,505	16	-2,782	1591	1845	254
15	1659	1667	-0,286	60,000	0,000	3,449	47,355	2,726	-12,645	16	-0,790	1357	1929	572
16	2411	2426	-4,384	86,306	-0,156	2,885	44,772	0,081	-41,534	11	-3,780	1676	1725	49
17	190	200	-0,205	64,760	0,530	1,694	61,976	2,694	-2,782	10	-0,278	1799	1824	25
18	905	909	-5,848	75,689	-2,147	5,390	43,248	2,707	-32,441	11	-2,949	1763	2417	654
19	1843	1851	-2,875	78,096	-0,223	2,924	47,233	1,750	-30,862	15	-2,057	1680	1505	175
20	1961	1992	-6,198	78,1934	-2,775	0,339	57,481	-0,002	-30,675	13	-1,590	1750	1406	344
21	2132	2146	-3,290	93,325	0,000	3,610	60,88667	0,968	-32,138	18	-1,785	1578	1372	206
22	2122	2128	-1,889	106,3179	-1,590	0,459	62,940	0,137	-43,373	19	-2,283	1467	1533	66
23	2042	2050	5,562	79,810	-2,517	3,433	46,548	4,395	-33,062	15	-2,204	1635	1701	66
24	2071	2095	-6,041	101,665	-1,277	3,159	67,652	3,279	-34,013	16	-2,126	1446	1636	190
25	2920	2968	-3,343	125,0845	-3,132	3,904	78,4333	2,137	-46,651	20	-2,333	1304	1311	7
26	1780	1793	-4,634	170,744	-0,225	-0,021	98,554	0,647	-72,190	17	-4,246	1867	1729	739
27	1823	1845	-1,071	168,615	0,000	0,670	56,183	2,924	-112,432	19	-5,917	1260	1085	175
28	1851	1861	-3,163	117,914	-0,124	2,459	72,720	0,406	-45,194	17	-2,658	1032	1119	87
29	899	703	-3,627	49,195	-0,146	4,986	38,326	4,657	-10,868	13	-0,836	1638	1936	298
30	784	786	-4,468	65,672	4,672	3,759	52,688	2,571	-12,984	12	-1,042	1711	2139	428
31	829	835	-3,891	41,140	0,117	4,320	31,861	5,197	-9,279	9	-1,031	1343	2899	1556
32	1196	1139	-1,671	59,523	0,044	3,277	56,490	0,000	-3,033	12	-0,253	1235	1578	343
33	1245	1253	-4,495	35,015	1,375	-0,001	31,111	-0,070	-3,904	11	-0,355	1062	1633	583
34	1287	1291	-0,218	57,108	0,541	3,733	35,170	2,848	-21,938	14	-1,567	1918	2019	101
35	1260	1267	-3,354	87,951	-0,050	4,322	54,042	4,594	-33,510	15	-2,234	1293	1826	533
36	1636	1660	-4,058	54,909	-2,287	8,702	51,902	5,347	-2,407	18	-0,134	1548	2053	505
37	1806	1765	-1,497	41,963	0,565	2,855	38,961	0,145	-3,007	20	-0,150	1681	1578	103
38	1785	1799	-8,392	69,550	0,000	3,467	26,495	2,206	-43,086	14	-3,075	1799	1335	36
39	1874	1886	-1,126	70,270	0,021	1,183	41,719	4,541	-28,551	16	-1,784	1299	1335	36
40	1917	1929	-4,479	94,471	-0,727	3,428	58,782	1,910	-35,689	16	-2,231	2567	1983	584
41	2021	2028	-6,980	55,076	0,000	2,587	45,591	-0,055	-9,485	20	-0,474	1005	1452	447
42	1844	1866	-3,064	50,105	4,897	2,643	39,841	-0,003	-10,265	10	-1,027	1387	1486	99
43	2031	2044	-3,621	50,406	-1,241	1,113	35,056	0,760	-15,360	16	-0,959	1788	1712	76
44	1317	1322	-4,495	64,573	0,768	1,567	59,937	9,372	-4,636	14	-0,331	1370	1902	532

1	2015	212	-0.500	40.264	-4.311	2.116	58.341	-0.589	18.577	11	1.089	2039	2549	510
2	187	190	-1.424	29.708	-3.298	1.602	36.856	1.585	7.149	12	0.596	1890	2485	395
3	723	730	-0.068	42.032	0.602	1.841	48.198	1.748	6.166	10	0.617	2250	2857	607
4	1023	1030	-6.157	50.262	0.007	0.761	55.609	7.306	5.347	15	0.356	2130	2070	60
5	916	920	-1.209	54.166	-6.288	0.038	54.655	0.879	0.489	17	0.041	2113	1816	297
6	1317	1334	-4.587	60.886	-0.157	3.125	87.825	2.261	26.939	14	1.914	1938	1500	438
7	1631	1645	-2.249	48.088	-0.371	0.312	71.915	0.006	23.827	14	1.702	1583	1461	122
8	1780	1793	-1.472	92.563	2.482	3.347	98.079	3.155	5.416	11	0.492	1157	1126	31
9	2924	2946	-2.160	23.552	-1.314	1.742	49.422	0.133	25.870	15	1.725	2358	2911	553
10	839	841	-5.616	42.179	-4.468	2.659	44.602	1.352	2.423	11	0.220	2291	2068	225
11	1381	1386	-4.358	53.183	-7.024	1.194	62.679	0.889	9.496	9	1.055	1698	1529	170
12	1350	1355	-4.620	80.398	-0.648	4.196	74.288	1.863	13.890	16	0.868	2159	1880	269
13	730	765	-4.016	37.476	0.000	0.063	84.249	9.743	46.773	13	3.594	2878	2590	305
14	1904	1810	-4.461	77.328	-0.901	1.968	68.540	2.673	-8.783	9	-0.976	2137	1217	1010
15	857	868	-5.046	50.692	1.169	0.179	50.684	2.757	-0.082	10	-0.008	2030	2420	490
16	998	1013	-5.385	31.268	-5.170	5.957	43.412	2.008	12.144	15	0.810	2450	2205	245
17	920	925	-6.195	47.639	-3.082	5.296	56.079	6.773	8.440	11	0.767	1750	1670	80
18	2050	2058	-4.207	59.821	0.001	1.098	65.771	2.691	6.950	15	0.463	1815	1782	13
19	2058	2065	-2.666	45.928	-2.851	2.879	77.900	2.818	32.042	16	2.003	2398	1912	486
20	2065	2071	-3.218	92.860	2.774	-0.343	110.360	3.159	17.498	20	0.875	1357	1607	250
21	2099	2092	-0.032	46.583	-4.221	-1.361	47.954	-0.368	1.371	15	0.091	2234	1750	434
22	2186	2190	1.448	75.650	-3.640	2.000	86.789	0.029	10.139	26	0.390	2026	1796	230
23	2395	2405	-4.036	53.900	-1.000	0.205	56.128	0.814	2.219	12	0.185	1731	1618	113
24	2932	2930	-1.693	41.902	-0.003	-0.600	44.391	3.611	2.599	13	0.199	2139	3033	894
25	2097	2108	-7.135	44.344	-0.687	3.681	52.716	1.767	8.372	15	0.558	2307	1790	557
26	1795	1804	-6.459	76.503	-5.167	1.545	67.710	0.003	-8.793	22	-0.400	1434	1012	422
27	1992	1984	-2.775	39.507	-5.015	0.076	48.775	1.715	9.268	16	0.579	3010	1540	1470
28	2035	2042	-2.243	29.214	-4.821	2.601	34.259	0.335	5.015	15	0.336	2573	1547	976
29	1994	1998	-5.814	67.159	-5.852	2.715	53.948	7.894	0.902	14	0.064	2294	1400	894
30	2176	2186	-0.003	19.999	-5.408	1.528	59.773	0.815	39.812	21	1.856	2074	1728	346
31	2146	2151	-2.709	34.383	0.780	1.390	53.602	1.038	19.718	17	1.190	3011	2145	866
32	1941	1961	-3.964	54.873	1.018	1.352	64.205	0.339	9.332	16	0.583	2333	1472	911
33	2108	2113	-5.418	52.973	-4.047	0.673	77.310	2.635	24.337	18	1.354	1857	2071	214
34	2151	2158	-3.706	67.469	0.014	1.363	88.480	1.485	21.011	19	1.106	2079	1386	693
35	1971	1941	4.199	57.632	-3.928	0.012	69.116	3.940	11.484	18	0.638	2116	1302	814
36	584	595	0.064	41.875	-5.961	2.065	46.392	3.086	4.517	10	0.452	1953	1732	221
37	784	786	-4.468	65.672	4.672	3.871	66.298	4.017	0.616	14	0.045	2162	2059	103
38	801	808	0.017	57.267	-2.759	1.934	64.125	0.898	6.358	14	0.490	1298	1316	23
39	908	916	-3.490	39.897	0.079	3.094	50.782	1.070	10.885	12	0.907	2127	2068	159
40	1128	1136	0.023	69.365	-1.671	0.144	81.647	5.599	12.281	18	0.682	1385	1969	594
41	1253	1260	-5.423	52.528	0.000	1.220	53.172	1.879	0.644	15	0.043	1583	1667	84
42	1641	1647	-1.705	47.793	2.028	1.074	48.123	6.942	5.350	18	0.290	2167	2392	225
43	1672	1674	-1.720	56.443	-3.551	0.686	59.353	1.561	2.909	21	0.139	2068	2466	398
44	1706	1709	0.034	81.449	-2.104	0.000	84.055	0.822	2.806	18	0.145	2420	1772	648
45	1713	1718	-0.799	43.778	-3.113	0.012	46.992	2.120	3.214	20	0.161	1429	1893	464
46	1718	1738	-5.752	69.541	-0.291	1.070	73.688	2.172	4.147	18	0.230	1842	1474	368
47	1740	1758	0.258	60.717	-2.608	1.713	67.402	0.498	6.686	17	0.393	2600	2137	663
48	1830	1839	0.075	41.565	-5.920	0.062	46.958	0.000	5.393	18	0.310	2333	1400	933
49	1968	1988	-5.474	24.432	-6.803	4.871	26.136	1.059	1.704	14	0.122	2032	1618	414

ΟΜΑΔΑ 1: ΕΠΙΘΕΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΟΔΗΓΟΥ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ

ΖΕΥΤΟΣ ΟΧΗΜΑ 11Ν 1845-1851

ΖΕΥΤΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ 1418-1429

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ ΠΡΟΠΟΡΕΥΟΜΕΝΟΥ	TIME	S	T.H	ACC
4:06:07 μμ	4:06:10 μμ	106,844	3,197	-3,607
4:06:08 μμ	4:06:11 μμ	92,18	2,942727	-4,19545
4:06:09 μμ	4:06:12 μμ	76,35	2,986667	-1,74111
4:06:10 μμ	4:06:13 μμ	60,93182	2,520909	-4,10636
4:06:11 μμ	4:06:14 μμ	48,93333	2,498889	-0,81111
4:06:12 μμ	4:06:15 μμ	39,73091	2,172727	-1,56182
4:06:13 μμ	4:06:16 μμ	38,913	2,25	-1,742
4:06:14 μμ	4:06:17 μμ	44,42667	3,224444	-2,81556
4:06:15 μμ	4:06:18 μμ	46,94727	3,467273	-0,00182
4:06:16 μμ	4:06:19 μμ	50,694	3,713	2,117
4:06:17 μμ	4:06:20 μμ	53,90111	2,62	5,847778
4:06:18 μμ	4:06:21 μμ	52,29182	2,24	0,025455
4:06:19 μμ	4:06:22 μμ	50,24556	2,215556	-0,51556
4:06:20 μμ	4:06:23 μμ	48,244	1,978	2,642
4:06:21 μμ	4:06:24 μμ	47,21364	1,889091	0
4:06:22 μμ	4:06:25 μμ	47,57222	1,898889	1,623333
4:06:23 μμ	4:06:26 μμ	48,176	1,769	0,844
4:06:24 μμ	4:06:27 μμ	46,79727	1,775455	-1,54273
4:06:25 μμ	4:06:28 μμ	55,79111	2,231,623	1,244444
4:06:26 μμ	4:06:29 μμ	59,20636	1,920909	0,938182
4:06:27 μμ	4:06:30 μμ	54,19889	1,751111	0,067778
4:06:28 μμ	4:06:31 μμ	50,26455	1,657273	-3,14182
4:06:29 μμ	4:06:32 μμ	51,118	1,996	-0,899
4:06:30 μμ	4:06:33 μμ	55,63	1,998333	8,935
4:06:31 μμ				
4:06:32 μμ				

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ ΠΡΟΠΟΡΕΥΟΜΕΝΟΥ	TIME	S	T.H	ACC
4:08:47 μμ	4:08:49 μμ	78,09571	2,844286	-0,77286
4:08:48 μμ	4:08:50 μμ	75,57667	2,662222	0,522222
4:08:49 μμ	4:08:51 μμ	69,51545	2,717273	-5,12636
4:08:50 μμ	4:08:52 μμ	64,578	3,344	-3,259
4:08:51 μμ	4:08:53 μμ	59,12778	4,156667	-3,16333
4:08:52 μμ	4:08:54 μμ	51,86909	4,478182	-0,01182
4:08:53 μμ	4:08:55 μμ	40,874	4,3	-4,091
4:08:54 μμ	4:08:56 μμ	33,86222	7,197778	-3,72222
4:08:55 μμ	4:08:57 μμ	31,26545	3749,092	0,206364
4:08:56 μμ	4:08:58 μμ	28,32778	6,394444	-1,5618
4:08:57 μμ	4:08:59 μμ	24,12	5,447	0,004
4:08:58 μμ	4:09:00 μμ	19,55545	4,558182	-0,00182
4:08:59 μμ	4:09:01 μμ	17,78889	4,018889	0
4:09:00 μμ	4:09:02 μμ	22,419	5,066	0,005
4:09:01 μμ	4:09:03 μμ	33,04455	7,460909	-0,00455
4:09:02 μμ	4:09:04 μμ	47,23333	1118,508	1,75
4:09:03 μμ	4:09:05 μμ	56,74364	3,420909	3,451818
4:09:04 μμ	4:09:06 μμ	61,21	3,06	0
4:09:05 μμ	4:09:07 μμ	65,24	3,046364	2,293636
4:09:06 μμ	4:09:08 μμ	67,915	2,958	-2,8518
4:09:07 μμ	4:09:09 μμ	69,56111	3,223333	-1,57556
4:09:08 μμ	4:09:10 μμ	68,79091	2,875455	2,459091
4:09:09 μμ	4:09:11 μμ	63,169	2,61	1,983
4:09:10 μμ	4:09:12 μμ	54,40333	2,441111	-5,18111
4:09:11 μμ	4:09:13 μμ	45,04273	2,426364	-3,05091
4:09:12 μμ	4:09:14 μμ	38,75667	2,564444	-0,42889
4:09:13 μμ	4:09:15 μμ	35,178	2,883	-2,979
4:09:14 μμ	4:09:16 μμ	34,54636	3,182727	0,002727
4:09:15 μμ	4:09:17 μμ	34,07222	3,145556	0,001111
4:09:16 μμ	4:09:18 μμ	31,144	2,87	0,007
4:09:17 μμ	4:09:19 μμ	31,58727	2,910909	0,002727
4:09:18 μμ	4:09:20 μμ	34,99333	3,225556	0,003333
4:09:19 μμ	4:09:21	37,89	3,48875	0,05375
4:09:20 μμ				

ΖΕΥΓΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ 1941-1461

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ ΠΡΟΠΟΡΕΥΟΜΕΝΟΥ		ΟΧΗΜΑ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ			
	TIME	S	T.H.	ACC	
4:09:07 μμ	-7,478	4:09:08 μμ	74,13	2,15	0,85
4:09:08 μμ	-2,355	4:09:09 μμ	71,00889	2	1,895556
4:09:09 μμ	-3,92778	4:09:10 μμ	62,29645	2,042727	-2,39364
4:09:10 μμ	-1,79636	4:09:11 μμ	54,873	2,028	1,018
4:09:11 μμ	-3,964	4:09:12 μμ	44,22333	2,074444	-0,67333
4:09:12 μμ	-4,20667	4:09:13 μμ	36,00273	2,535455	-6,19818
4:09:13 μμ	-3,08364	4:09:14 μμ	30,09333	4,393333	-2,84556
4:09:14 μμ	-2,86667	4:09:15 μμ	26,079	5,678	-2,367
4:09:15 μμ	-0,014	4:09:16 μμ	23,38818	7356,413	-0,55636
4:09:16 μμ	0	4:09:17 μμ	24,06556	9999,99	0
4:09:17 μμ	1,923333	4:09:18 μμ	28,173	9999,99	0
4:09:18 μμ	4,921	4:09:19 μμ	40,33364	5458,898	0,754545
4:09:19 μμ	0,129091	4:09:20 μμ	51,71889	8,158889	3,315556
4:09:20 μμ	-0,00444	4:09:21 μμ	58,19545	5,600909	1,468182
4:09:21 μμ	0,002727	4:09:22 μμ	62,43889	5,06	1,646667
4:09:22 μμ	0,001111	4:09:23 μμ	64,88	4,695	0,086
4:09:23 μμ	-0,003	4:09:24 μμ	66,85	4,833636	0,005455
4:09:24 μμ	-0,00636	4:09:25 μμ	68,71333	2226,024	-4,97889
4:09:25 μμ	-1,58889	4:09:26 μμ	64,20545	3,400909	0,339091
4:09:26 μμ	1,351818	4:09:27 μμ	66,639	3,332	-0,001
4:09:27 μμ	3,95	4:09:28 μμ	71,01111	3,566667	-0,00111
4:09:28 μμ	-0,06667	4:09:29 μμ	76,04182	3,786364	-1,39273
4:09:29 μμ	-0,08	4:09:30 μμ	79,551	3,226	4,174
4:09:30 μμ	-1,908	4:09:31 μμ	76,20111	2,824444	1,82989
4:09:31 μμ	-2,61	4:09:32 μμ	70,88	2,837273	-0,25182
4:09:32 μμ	-1,14	4:09:33 μμ	64,41444	2,711111	2,80333
4:09:33 μμ	-1,79556	4:09:34 μμ	56,356	2,59	-1,926
4:09:34 μμ	0,01	4:09:35 μμ	50,45909	3,093636	-2,39909
4:09:35 μμ	-0,00091	4:09:36 μμ	49,29222	3,26	-0,14889
4:09:36 μμ	-0,00111	4:09:37 μμ	49,857	4,682	-2,998
4:09:37 μμ	0	4:09:38 μμ	53,22545	4,324545	0,97
		4:09:39 μμ	54,215	4,56	0,201667

ΖΕΥΓΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ 2186-2190

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ ΠΡΟΠΟΡΕΥΟΜΕΝΟΥ		ΟΧΗΜΑ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ			
		TIME	S	T.H	ACC
4:09:47 μμ	0,962	4:09:48 μμ	75,65	2,33	-3,64
4:09:48 μμ	1,448182	4:09:49 μμ	70,16111	2,195556	0,935556
4:09:49 μμ	-5,40778	4:09:50 μμ	49,765	2,407	-3,425
4:09:50 μμ	0,004	4:09:51 μμ	34,92364	1,836364	0
4:09:51 μμ	-0,00273	4:09:52 μμ	25,73333	4,896667	-2,82889
4:09:52 μμ	-0,00556	4:09:53 μμ	26,517	5,581	0,002
4:09:53 μμ	0,001	4:09:54 μμ	27,46091	5,782727	0,005455
4:09:54 μμ	0	4:09:55 μμ	27,12222	5,803333	-1,24111
4:09:55 μμ	-2,69222	4:09:56 μμ	24,41364	8194,328	-0,94636
4:09:56 μμ	0	4:09:57 μμ	24,4	9999,99	0
4:09:57 μμ	0	4:09:58 μμ	24,4	9999,99	0
4:09:58 μμ	0	4:09:59 μμ	24,4	9999,99	0
4:09:59 μμ	0	4:10:00 μμ	24,63222	9999,99	0
4:10:00 μμ	0,437778	4:10:01 μμ	26,53764	9999,99	0
4:10:01 μμ	0,167273	4:10:02 μμ	28,877	7003,241	0,648
4:10:02 μμ	-0,718	4:10:03 μμ	32,21667	9,913333	-0,00111
4:10:03 μμ	-0,01111	4:10:04 μμ	35,73091	10,99545	0,004545
4:10:04 μμ	0,001818	4:10:05 μμ	39,25667	12,07556	-0,00667
4:10:05 μμ	-0,12444	4:10:06 μμ	44,098	13,568	6,94E-19
4:10:06 μμ	-4,171	4:10:07 μμ	56,77636	20,73727	-1,07818
4:10:07 μμ	1,203636	4:10:08 μμ	64,63333	2225,143	1,612222
4:10:08 μμ	-2,01	4:10:09 μμ	59,21	3,355	0,431
4:10:09 μμ	5,111	4:10:10 μμ	61,79364	3,455455	-1,64182
4:10:10 μμ	0,815455	4:10:11 μμ	72,04667	5,334444	-2,62667
4:10:11 μμ	5,07556	4:10:12 μμ	81,723	3,755	2,726
4:10:12 μμ	-2,431	4:10:13 μμ	82,77	4,04	-2,13909
4:10:13 μμ	1,726364	4:10:14 μμ	85,78889	4,305556	0,028889
4:10:14 μμ	2	4:10:15 μμ	91,46909	4,170809	2,986364
4:10:15 μμ	-2,05091	4:10:16 μμ	95,74556	3,403333	2,047778
4:10:16 μμ	1,717778	4:10:17 μμ	95,4	3,32	2,179091
4:10:17 μμ	1,793636	4:10:18 μμ	93,264	2,981	1,395
4:10:18 μμ	-1,29	4:10:19 μμ	90,12	2,854444	-1,12111
4:10:19 μμ	3,373333	4:10:20 μμ	85,79182	2,578182	-0,19182
		4:10:21 μμ	81,05	2,12	11,2