



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚ. ΥΠΟΔΟΜΗΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Ι. ΓΚΟΛΙΑΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΦΟΡΤΟΥ ΜΕ ΦΟΡΑΤΕΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ
ΕΝΟΣ ΟΔΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΧΕΙΜΩΝΑΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

Αθήνα, Ιούλιος 2004

Θεωρώ υποχρέωση μου να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Ιωάννη Γκόλια για τις υποδείξεις και την καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας αυτής, τον οποίο και ευχαριστώ θερμά για την άριστη συνεργασία μας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον λέκτορα κ. Μαθιό Καρλαύτη για τις πολύτιμες υποδείξεις του, καθώς και την πολιτικό μηχανικό Ελένη Βλαχογιάννη για την βοήθεια της σε οποιοδήποτε τεχνικό ή μη πρόβλημα. Τέλος, ευχαριστώ και όλους όσους συνέβαλαν με οποιοδήποτε τρόπο στην προσπάθεια αυτή.

ΣΥΝΟΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σκοπό τη διερεύνηση της συσχέτισης μετρήσεων κυκλοφοριακού φόρτου με φορατές κατά μήκος ενός οδικού άξονα. Πιο συγκεκριμένα μέσω της μεθόδου της προσομοίωσης, πραγματοποιήθηκε διόρθωση (λόγω της ύπαρξης νεκρού χρόνου καταγραφής των φορατών) των μετρήσεων κυκλοφοριακού φόρτου, αφού πραγματοποιήθηκε αναπαράσταση της κίνησης των οχημάτων σε οδικό τμήμα όπου έχει τοποθετηθεί φορατής. Στη συνέχεια, έγινε η συσχέτιση των διορθωμένων κυκλοφοριακών φόρτων των διαφορετικών θέσεων με χρήση της θεωρίας πολυμεταβλητών χρονικών σειρών και τέλος κατασκευάστηκαν πρότυπα μετά την ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων με την ανάλυση διακριτότητας. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε κατάλληλο οδικό άξονα.

ABSTRACT

The objective of this thesis is to examine the correlation of traffic volume measurements (from automatic data recorders) from different sites of an urban arterial street. The volume measurements were firstly corrected due to the deadtime of the automatic data recorders, using simulation methods and then was conducted the correlation of the corrected volumes from the various sites, using multivariate time series analysis. The grouping of the correlation results was carried out with discriminant analysis and the results were used for the development of specific models. For the purpose of this thesis, a suitable urban arterial street was chosen and traffic data were collected.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε μια προσπάθεια διερεύνησης της συσχέτισης μετρήσεων κυκλοφοριακού φόρτου με φορατές κατά μήκος ενός οδικού άξονα. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής : Επιλέχθηκε οδικός άξονας κατάλληλος για μετρήσεις, έγινε συλλογή των στοιχείων με χρήση μετρητών πεπιεσμένου αέρα, δημιουργία προτύπου προσομοίωσης για την διόρθωση των στοιχείων λόγω του “νεκρού χρόνου” καταγραφής των μετρητών, επεξεργασία των στοιχείων, συσχέτιση των διορθωμένων μετρήσεων του φόρτου με χρήση της θεωρίας χρονικών σειρών, ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων της συσχέτισης με τη χρήση της ανάλυσης διακριτότητας, δημιουργία διαγραμμάτων (προτύπων) φόρτου – υστέρησης για κάθε μια από τις συσχετίσεις με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης διακριτότητας, και τέλος συμπεράσματα.

Συγκεκριμένα, εξετάζεται η συσχέτιση μετρήσεων κυκλοφοριακού φόρτου που προήλθαν από φορατές που είχαν εγκατασταθεί στην λεωφόρο Κατεχάκη. Το συγκεκριμένο τμήμα της λεωφόρου Κατεχάκη επιλέχθηκε επειδή εκτός δυο σημείων, δεν υπήρχαν άλλα σημεία εισόδου ή εξόδου μεγάλου αριθμού οχημάτων. Επίσης ένας άλλος λόγος επιλογής του συγκεκριμένου τμήματος είναι

η μεγάλη διακύμανση των τιμών του κυκλοφοριακού φόρτου, απο πολύ χαμηλές τις βραδυνές ώρες, μέχρι υψηλές τις ώρες αιχμής.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τέσσερις φορατές που τοποθετήθηκαν σε σειρά και στις εξής αποστάσεις από τον πρώτο : ο δεύτερος στα 200 μέτρα, ο τρίτος στα 400 και ο τελευταίος στα 800 μέτρα. Η κίνηση των οχημάτων γινόταν από τον τέταρτο στον πρώτο. Η διάρκεια των μετρήσεων ήταν έξι ημέρες και έγιναν το χρονικό διάστημα μεταξύ της Δευτέρας 5/5/2003 και του Σαββάτου 10/5/2003.

Με την προσομοίωση έγινε η διερεύνηση του σφάλματος, στις μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου που καταγράφηκαν απο τα τέσσερα μηχανήματα πεπιεσμένου αέρα. Το σφάλμα, απορρέει από το γεγονός ότι στην περίπτωση μέτρησης σε πολλές λωρίδες κυκλοφορίας υπάρχει το ενδεχόμενο της ταυτόχρονης διέλευσης των αξόνων των οχημάτων πάνω από τους ελαστικούς σωλήνες των μετρητών. Με δεδομένο ότι υπάρχει ένας "νεκρός χρόνος" μετά από κάθε "χτύπημα" του σωλήνα από έναν άξονα, είναι προφανές ότι στην περίπτωση μετρήσεων σε πολλές λωρίδες κυκλοφορίας ένα ποσοστό των αξόνων (προφανώς και οχημάτων) δεν θα καταγραφεί. Με την προσομοίωση έγινε δυνατή η διερεύνηση του σφάλματος με διάφορους συνδυασμούς παραγόντων, όπως είναι ο αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας, ο κυκλοφοριακός φόρτος του τμήματος και οι ταχύτητες των οχημάτων. Τα αποτελέσματα του προτύπου προσομοίωσης, δόθηκαν ως οι χρόνοι διέλευσης των αξόνων των οχημάτων από το σημείο όπου θεωρητικά βρισκόταν ο σωλήνας του μετρητή πεπιεσμένου αέρα στη διάρκεια μίας ώρας, καθώς και ο αντίστοιχος ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος. Με βάση τα απότελέσματα της προσομοίωσης και το νεκρό χρόνο καταγραφής των μετρητών, βρέθηκε η σχέση μεταξύ των μετρηθέντων οχημάτων ανά λεπτό και του πραγματικού κυκλοφοριακού φόρτου ανά λεπτό, με την οποία και έγινε η διόρθωση των μετρήσεων.

Κατά την επεξεργασία των στοιχείων έγινε καταγραφή των κοινών χρόνων καταγραφής των φορατών και επισημάνθηκαν οι χρόνοι κατά τους οποίους

κάποιος ή κάποιοι από τους μετρητές δεν λειτουργούσαν, είτε λόγω αναγκαστικών αλλαγών των ελαστικών σωλήνων, είτε για μεταφορά των δεδομένων σε Η/Υ. Επίσης αποκλείστηκαν από την περαιτέρω ανάλυση οι μετρήσεις του Σαββάτου 10/5/2003 καθώς έχει δειχθεί ότι ενώ οι κυκλοφοριακοί φόρτοι δεν διαφέρουν μεταξύ των εργάσιμων ημερών, διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των καθημερινών και των σαββατοκύριακων.

Στην συνέχεια έγινε η συσχέτιση των διορθωμένων κυκλοφοριακών φόρτων του πρώτου μηχανήματος με κάθε ένα από τα υπόλοιπα τρία (ο πρώτος φορατής βρισκόταν μετα (downstream) από τον δεύτερο, τον τρίτο και τον τέταρτο). Αρχικά έγινε διερεύνηση της συσχέτισης των συνολικών δεδομένων, αφού πρώτα προσαρμόστηκαν μοντέλα τύπου ARIMA στα δεδομένα όλων των φορατών, χωρίς όμως να βρεθεί συσχέτιση μεταξύ των στοιχείων. Στη συνέχεια επιλέχθηκε ως χρονική περίοδος ανάλυσης τα 30 λεπτά. Η συσχέτιση αποφασίστηκε να γίνει για "ψευδοκυλιόμενα" 30λεπτα αλληλοκαλυπτόμενα κατά 15 λεπτά. Για να υπολογιστούν όλες αυτές οι συσχετίσεις κατασκευάστηκε ένα πρόγραμμα με στόχο να υπολογίζει τις πρώτες διαφορές των δυο χρονικών σειρών για κάθε ζεύγος "ψευδοκυλιόμενων" 30λέπτων (για την επίτευξη στατικότητας), καθώς και τις αντίστοιχες τιμές των συσχετίσεων (CCF) για τις έξι πρώτες υστερήσεις (lags). Με βάση τις τιμές αυτές, βρέθηκε εάν υπήρχε συσχέτιση και αν υπήρχε, με ποιά υστέρηση. Στην ουσία κατασκευάστηκαν τρία προγράμματα ένα για κάθε μια από τις συσχετίσεις που έγιναν.

Η ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων της συσχέτισης έγινε με την ανάλυση διακριτότητας όπου η κάθε ομάδα περιελάμβανε τα 30λεπτα με κοινή τιμή υστέρησης. Έγιναν τρεις αναλύσεις διακριτότητας, μια για κάθε συσχέτιση, ενώ και στις τρεις επιλέχθηκαν οι ίδιες τέσσερις ποσοτικές μεταβλητές. Τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων ήταν αρκετά καλά και η συνολική επιτυχία κατάταξης κυμάνθηκε μεταξύ του 41.6% και του 49.5%.

Με βάση τους συντελεστές των συναρτήσεων ταξινόμησης των αναλύσεων διακριτότητας για τις τρεις συσχετίσεις, κατασκευάστηκαν πρότυπα

διαγράμματα για θεωρητικές τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου από 180 μέχρι 1800 οχήματα ανά 30 λεπτά (ή 360 έως 3600 οχήματα ανά ώρα). Στα διαγράμματα αυτά παρουσιάστηκε η σχέση μεταξύ του κυκλοφοριακού φόρτου του πρώτου φορατή και της τιμής υστέρησης της συσχέτισης του, με κάθε έναν από τους άλλους τρεις φορατές.

Από την παρατήρηση των διαγραμμάτων που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο προέκυψαν μερικά πολύ ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Ο πρώτος φορατής συσχετίζεται με τον δεύτερο τόσο σε χαμηλούς όσο και σε υψηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους. Ωστόσο δεν δείχνει να υπάρχει συσχέτιση στους μεσαίους φόρτους. Όσον αφορά τον πρώτο με τον τρίτο φορατή, συσχέτιση υπάρχει μόνο στους μικρούς και στους μεσαίους φόρτους, ότι περίπου συμβαίνει και μεταξύ του πρώτου και του τέταρτου. Γενικά η τιμή της υστέρησης αυξάνεται όσο μεγαλώνουν οι φόρτοι και αυτό είναι απολύτως λογικό διότι όταν οι φόρτοι είναι χαμηλοί, οι ταχύτητες είναι μεγαλύτερες και επομένως ο χρόνος κίνησης από τον ένα φορατή στον άλλο είναι μικρότερος. Επίσης βρέθηκε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση του μηχανήματος με το οποίο γίνεται η συσχέτιση, τόσο μεγαλύτερη είναι και η τιμή της υστέρησης για τις αντίστοιχες τιμές κυκλοφοριακών φόρτων. Τέλος μπορεί να λεχθεί ότι για το μεγαλύτερο φάσμα των τιμών του φόρτου που εξετάστηκαν (οι τιμές αυτές κάλυπταν το 94% των περιπτώσεων των καταγεγραμμένων μετρήσεων), υπάρχει συσχέτιση μεταξύ πρώτου και δεύτερου φορατή, ενώ για μικρότερο φάσμα τιμών συσχετίζεται το πρώτο με τα άλλα δυο μηχανήματα. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι μεγάλη είναι και η επίδραση της ύπαρξης φωτεινών σηματοδοτών στο υπό μελέτη οδικό τμήμα, καθώς ειδικά στους υψηλούς φόρτους είναι δεδομένο ότι σχηματίζονται ουρές αναμονής των οποίων το μήκος είναι συνεχώς μεταβαλλόμενο και προφανώς άγνωστο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	ΓΕΝΙΚΑ	1
1.2	ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	2
1.3	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	3
2.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	5
2.1	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ	5
3.	ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	9
3.1	ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΔΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ	9
3.2	ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕ ΦΟΡΑΤΕΣ	10
3.3	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ	13
3.4	ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	13
3.5	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	19
4.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	22
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	22
4.2	ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	23
4.3	ΕΙΔΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ	25
4.4	ΔΙΑΚΡΙΤΑ ΚΑΙ ΣΥΝΕΧΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	26
4.5	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	27
4.6	ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	28

4.7	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	28
4.8	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	30
4.9	ΜΕΛΕΤΗ ΜΕ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	30
4.9.1	ΒΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	31
4.10	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ	37
4.10.1	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	37
4.10.2	ΧΡΗΣΗ ΤΥΧΑΙΩΝ ΑΡΙΘΜΩΝ	38
4.10.3	ΣΥΛΛΗΨΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ	38
4.10.4	ΟΠΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ	39
5.	ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	40
5.1	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	40
5.1.1	ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΩΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	40
5.1.2	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	41
5.1.3	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	41
5.1.4	ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	42
5.1.5	ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ	43
5.1.6	ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	45
5.1.7	ΟΠΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	46
5.1.8	ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	50
5.1.9	ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	51
5.1.10	ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	52
5.1.11	ΕΞΑΛΕΙΨΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΜΕΡΟΛΗΨΙΑΣ	52
5.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	54
5.2.1	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	54
5.2.2	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΓΙΑ ΜΙΑ ΛΩΡΙΔΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	55
5.2.3	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΛΩΡΙΔΕΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	56
5.2.4	ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΛΩΡΙΔΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	57
5.2.5	ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	64

6.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΧΡΟΝΙΚΩΝ ΣΕΙΡΩΝ	71
6.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ	71
6.2	ΣΤΑΤΙΚΟΤΗΤΑ	72
6.3	ΕΛΛΙΠΕΙΣ ΤΙΜΕΣ	73
6.4	ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΑΥΤΟΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ (ACF)	74
6.5	ΜΟΝΤΕΛΑ AR(p), MA(q), ARMA(p,q) ΚΑΙ ARIMA(p,d,q)	76
6.6	ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	78
6.7	ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕΡΙΚΗΣ ΑΥΤΟΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ (PACF)	78
6.8	ΠΟΛΥΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΣΕΙΡΕΣ ΚΑΙ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ (CCF)	80
7.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ	82
7.1	ΑΡΧΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ	82
7.2	ΕΛΛΙΠΗΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	87
7.3	ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΤΙΣ ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ (pooled data)	88
7.4	ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ	94
7.5	ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΤΟΥ ADR 1 ΜΕ ΤΑ ADR 2, ADR 3 ΚΑΙ ADR 4	97
8.	ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ	100
8.1	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΟΤΗΤΑΣ (DISCRIMINANT ANALYSIS)	100
8.1.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΡΙΤΟΤΗΤΑΣ	100
8.1.2	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ	101
8.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	109
8.2.1	ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΣΥΣΧΕΤΙΖΟΜΕΝΟ ΖΕΥΓΟΣ ΦΟΡΑΤΩΝ	109
8.2.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΛΟΓΟ $Q_t/Q_{(t-1)}$	114

9.	ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	121
9.1	ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	121
9.2	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	126

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η κυκλοφοριακή συμφόρηση στα αστικά κέντρα είναι ένα πρόβλημα το οποίο επηρεάζει σημαντικά και δυσμενώς όλους του τομείς της καθημερινής ποιότητας ζωής. Για το λόγο αυτό καθίσταται επιτακτική η ανάγκη για συστήματα παρακολούθησης, πρόβλεψης και ελέγχου της ροής της κίνησης. Σε πολλές σύγχρονες μεγαλουπόλεις η κίνηση καταγράφεται μέσω ανιχνευτών βρόχων (loop detectors), φορατών, βίντεο, ρανταρ ακόμα και με οχήματα εφοδιασμένα με GPS (Global Positioning System) ενώ από τη δεκαετία του 1970 άρχισαν να εμφανίζονται στη διεθνή βιβλιογραφία μαθηματικά πρότυπα για την κυκλοφοριακή ροή με σκοπό την βελτιστοποίηση της λήψης αποφάσεων σχετικών με οδικά δίκτυα. Η ύπαρξη όλων των παραπάνω μηχανημάτων σκοπό έχει να παρέχει μετρήσεις κυκλοφοριακών μεγεθών (φόρτων, ταχυτήτων,

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

κατάληψης κ.λ.π.) από διάφορα γεωγραφικά σημεία, ώστε οι μετρήσεις αυτές να χρησιμοποιηθούν για βραχυπρόθεσμες προβλέψεις των μεγεθών αυτών. Μάλιστα για τη βραχεία πρόγνωση του κυκλοφοριακού φορτου έχουν επικρατήσει τεχνικές καθαρά επαγωγικές οι οποίες βασίζονται κατά πρώτο λόγο στα ιστορικά δεδομένα. Επίσης η χρησιμοποίηση μοντέλων χρονικών σειρών ήταν φυσικό επακόλουθο, μιας και στην οικονομετρία όπου χρησιμοποιούνται κατά κόρον, οι ανάγκες ακρίβειας στις προβλέψεις σε σχέση με το πλήθος των διαθέσιμων δεδομένων είναι πολύ μεγαλύτερες σε σύγκριση με τα προβλήματα πρόβλεψης του κυκλοφοριακού φόρτου.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η συγκεκριμένη εργασία έχει σαν σκοπό τη διερεύνηση της συσχέτισης μετρήσεων κυκλοφοριακού φόρτου με φορατές κατά μήκος ενός οδικού άξονα. Αρχικά μέσω της μεθόδου της προσομοίωσης, γίνεται διόρθωση των μετρήσεων, λόγω της ύπαρξης σφάλματος στις μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου με φορατές, που οφείλεται στην ύπαρξη τριών λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση στον υπό μελέτη οδικό άξονα, ενώ στη συνέχεια γίνεται η συσχέτιση των διορθωμένων μετρήσεων του κυκλοφοριακού φόρτου με χρήση της θεωρίας των χρονικών σειρών.

Ένας από τους κυριότερους λόγους που πραγματοποιήθηκε η μελέτη αυτή, είναι για να διερευνηθεί εάν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων των φορατών, και αν ναι, για ποιές τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου και με ποιά υστέρηση (lag). Τέλος, ερευνάται το κατά πόσον σε σηματοδοτούμενο αστικό δρόμο υπάρχει μια βέλτιστη απόσταση μεταξύ δυο φορατών, στην οποία να υπάρχει συσχέτιση για όλες τις τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου, από πολύ χαμηλές έως και πολύ υψηλές.

1.3 ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο **1^ο κεφάλαιο** γίνεται μια εισαγωγή στους στόχους και στο αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στο **2^ο κεφάλαιο** γίνεται μια αναφορά στην εγχώρια και διεθνή βιβλιογραφία που αναφέρεται σε παλαιότερες έρευνες που έχουν γίνει πάνω στο αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Στο **3^ο κεφάλαιο** αναπτύσσονται τα κριτήρια επιλογής του εξεταζόμενου οδικού τμήματος, η διαδικασία συλλογής των στοιχείων, οι ενέργειες που πραγματοποιήθηκαν προκειμένου να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία των μετρήσεων και δίδονται τα πρώτα αποτελέσματα από την αρχική επεξεργασία των μετρήσεων.

Στο **4^ο κεφάλαιο** περιγράφεται η μέθοδος της προσομοίωσης, που επιλέχθηκε ως μέθοδος για την λήψη αποτελεσμάτων.

Στο **5^ο κεφάλαιο** περιγράφεται το σφάλμα των μετρήσεων των φορατών, η διαδικασία δημιουργίας του προτύπου προσομοίωσης, ο έλεγχος αξιοπιστίας του και τέλος γίνεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.

Στο **6^ο κεφάλαιο** γίνεται μια εισαγωγή στη θεωρία των χρονικών σειρών που χρησιμοποιήθηκε για τη συσχέτιση των μετρήσεων.

Στο **7^ο κεφάλαιο** γίνεται η ανάλυση της συσχέτισης κυκλοφοριακών φόρτων διαφορετικών θέσεων. Περιγράφεται η προσαρμογή μοντέλων τύπου ARIMA στις συνολικές παρατηρήσεις, επιλέγεται κατάλληλη χρονική περίοδος για

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

την ανάλυση και στη συνέχεια γίνεται η συσχέτιση των κυκλοφοριακών φόρτων των φορατών.

Στο **8^ο κεφάλαιο** περιγράφεται η εφαρμογή της ανάλυσης διακριτότητας στη μελέτη, και στη συνέχεια παρουσιάζονται και αναλύονται τα πρότυπα συσχέτισης κυκλοφοριακών φόρτων διαφορετικών θέσεων που προέκυψαν με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων διακριτότητας που έγιναν.

Στο **9^ο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν, καθώς και μια προσπάθεια ερμηνείας τους. Τέλος, αναφέρονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ

Αναζητήθηκε ελληνική και ξένη βιβλιογραφία σχετική με το αντικείμενο της μελέτης της παρούσας εργασίας σε όλες τις διαθέσιμες πηγές. Με ελάχιστες εξαιρέσεις, οι προηγούμενες εργασίες που έχουν γίνει έχουν τα εξής δυο χαρακτηριστικά : πρώτον, οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή προτύπων αλλά και για προβλέψεις προέρχονταν κυρίως από ελεύθερες λεωφόρους, και δεύτερον, τα πρότυπα που κατασκευάστηκαν ήταν μονομεταβλητής φύσεως, δηλαδή χρησιμοποιούσαν ιστορικά δεδομένα από μια συγκεκριμένη θέση.

Μια από αυτές τις ελάχιστες εξαιρέσεις, είναι και η εργασία των Anthony Stathopoulos, Matthew G. Karlaftis ([11]) στην οποία αναπτύσσονται δυναμικά

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

γραμμικά μοντέλα πολυμεταβλητών χρονικών σειρών (multivariate time series state – space models) τα οποία χρησιμοποιούν δεδομένα από ανιχνευτές βρόχων (loop detectors) που βρίσκονται στο κέντρο της Αθήνας και πιο συγκεκριμένα στη λεωφόρο Αλεξάνδρας. Χρησιμοποιώντας 3λεπτες μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου, αναπτύχθηκαν πρότυπα τα οποία χρησιμοποιούσαν στοιχεία από αντίθετους προς το ρεύμα κυκλοφορίας ανιχνευτές (upstream) για να βελτιώσουν τις προβλέψεις στους προς το ρεύμα κυκλοφορίας ανιχνευτές (downstream). Από την εργασία τους διαφάνηκε καθαρά πως υπάρχει ανάγκη, τόσο πρακτική όσο και θεωρητική, για το συνδυασμό δεδομένων από αστικούς δρόμους με πολυμεταβλητές τεχνικές, οι οποίες παρέχουν αυξημένη ακρίβεια προβλέψεων σε σχέση με τις μονομεταβλητές τεχνικές. Για το λόγο αυτό, ο σκοπός της εργασίας τους είναι να κατασκευάσουν ένα πρότυπο αλλά και να προβλέψουν τον κυκλοφοριακό φόρτο σε αστική σηματοδοτούμενη αρτηρία. Στα συμπεράσματα τους αναφέρεται ότι τα δεδομένα των ανιχνευτών δεν είναι μόνο υψηλά συσχετισμένα μεταξύ τους, αλλά σχετίζονται και με τις επικρατούσες κυκλοφοριακές συνθήκες, οι οποίες έχουν την τάση να παρουσιάζουν μεγάλες βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις.

Σε μια δεύτερη εργασία των Anthony Stathopoulos, Matthew G. Karlaftis ([12]) γίνεται φασματική ανάλυση των δεδομένων δυο ανιχνευτών που απέχουν 1250 μέτρα (πάλι στη λεωφόρο Αλεξάνδρας). Ο σκοπός της εργασίας είναι να μελετηθούν τα φασματικά χαρακτηριστικά των κυκλοφοριακών φόρτων και να βρεθεί η δομή των υστερήσεων του φόρτου μεταξύ διαφορετικών θέσεων. Τα εμπειρικά αποτελέσματα έδειξαν ότι οι κυκλοφοριακοί φόρτοι παρουσιάζουν μεγάλη και θετική αυτοσυσχέτιση, και ότι η ισχυρή βραχυπρόθεσμη συσχέτιση των κυκλοφοριακών φόρτων μεταξύ διαφορετικών θέσεων εξαρτάται από την απόσταση των θέσεων που εξετάζονται. Μάλιστα βρέθηκε ότι οι φόρτοι και από τους δυο ανιχνευτές είναι υψηλά συσχετισμένοι. Τέλος από την μελέτη τους φάνηκε ότι εαν μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου από διαφορετικές θέσεις ληφθούν υπ' όψιν από κοινού, πολλές περισσότερα συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν, παρά εάν ο κάθε φορατής εξεταζόταν ξεχωριστά.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Στην εργασία των Καμαριανάκη Ιωάννη, Πραστάκου Πουλίκου ([13]) χρησιμοποιούνται τόσο τα δυναμικά γραμμικά μοντέλα πολυμεταβλητών χρονικών σειρών (multivariate time series state – space models) όσο και τα μοντέλα χώρου – χρόνου. Και τα δυο μπορούν να εφαρμοσθούν στις πολυμεταβλητές χρονικές σειρές που προκύπτουν από τις ταυτόχρονες μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου σε πολλά σημεία ενός οδικού δικτύου, όμως τα πρώτα δεν λαμβάνουν υπ' όψιν την κατανομή των σημείων μέτρησης στο χώρο σε αντίθεση με τα δεύτερα. Στα συμπεράσματα αναφέρεται ότι η πολυμεταβλητή ανάλυση των χρονικών σειρών που προκύπτουν από τις ταυτόχρονες μετρήσεις σε φορατές, έδειξε ότι τέτοιου είδους τεχνικές μπορούν να εφαρμοστούν στην πράξη σε πραγματικό χρόνο και για όλο το σύνολο των φορατών ενός αστικού οδικού δικτύου.

Στην εργασία των Gary B. Thomas, Jonathan E. Upchurch ([15]) βρέθηκε ότι δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη θέση τοποθέτησης φορατή που να αποδείχθηκε καλύτερη από τις άλλες θέσεις, ενώ επίσης η απόσταση μεταξύ των φορατών μπορεί να είναι ζωτικής σημασίας για τη λειτουργία ενός συστήματος. Η μελέτη έγινε σε σηματοδοτούμενη λεωφόρο στην Αριζόνα των Η.Π.Α. Ένα βασικό συμπέρασμα, είναι ότι η σχέση μεταξύ των μετρήσεων των ανιχνευτών και των χαρακτηριστικών της κυκλοφορίας ενός οδικού δικτύου είναι συγκεκριμένη και εξαρτάται από το οδικό δίκτυο το ίδιο. Επίσης βρέθηκε ότι υπάρχουν πολλές περισσότερες μεταβλητές που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας σε έναν αστικό οδικό άξονα, παρά σε τμήματα ελεύθερων λεωφόρων.

Οι Sungho Oh, Bin Ran, Keechoo Choi ([16]) βρήκαν ότι η βέλτιστη θέση τοποθέτησης ενός φορατή σχετιζόταν περισσότερο με το μήκος του οδικού άξονα και τους χρόνους πράσινης ένδειξης, παρόλο που οι και άλλοι παράγοντες όπως οι κυκλοφοριακοί φόρτοι, ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας δεν ήταν αμελητέοι.

Οι Haibo Chen, Mark S. Dougherty, Howard R. Kirby ([14]) ερεύνησαν το κατά πόσον οι βραχυπρόθεσμες προβλέψεις σε αυτοκινητόδρομους σχετίζονται με την πυκνότητα των θέσεων των φορατών. Με βάση τα αποτελέσματα τους, η απόδοση πρόβλεψης μειώνεται με την αύξηση των αποστάσεων των φορατών, ωστόσο μια απόσταση των φορατών μεταξύ 1000 και 1500 μέτρων πιθανώς να είναι η βέλτιστη. Επίσης φάνηκε ότι υπάρχει μια συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ των φορατών που δίνει καλύτερα αποτελέσματα για συγκεκριμένο ορίζοντα πρόβλεψης από τις άλλες. Μάλιστα όσο μεγαλύτερος είναι ο ορίζοντας πρόβλεψης, τόσο μεγαλύτερη μπορεί να είναι η απόσταση των ανιχνευτών.

Όσον αφορά τη διόρθωση του σφάλματος μέτρησης των φορατών δεν βρέθηκε αντίστοιχη βιβλιογραφία και πιθανώς δεν έχει ξαναγίνει τέτοιου είδους έρευνα.

3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΔΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Προκειμένου να μελετηθεί η συσχέτιση κυκλοφοριακών φόρτων μεταξύ διαδοχικών θέσεων ενός οδικού τμήματος, επιλέχθηκε το τμήμα της λεωφόρου Αλίου - Κατεχάκη από το 401 Γενικό Στρατιωτικό Νοσοκομείο Αθηνών μέχρι και 50 μέτρα μετά τη διασταύρωση της Κατεχάκη με την οδό Κοκκινοπούλου, στο ρεύμα καθόδου προς τη λεωφόρο Μεσογείων. Η επιλογή αυτή βασίστηκε στο γεγονός ότι το συγκεκριμένο οδικό τμήμα μπορεί να θεωρηθεί “κλειστό” καθώς είσοδος οχημάτων γίνεται μόνο από τις οδούς Κοκκινοπούλου και Πίνδου. Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι είσοδο και έξοδο οχημάτων έχουμε και στο 401 Γενικό Στρατιωτικό Νοσοκομείο Αθηνών, στο 251 Γενικό Νοσοκομείο Αεροπορίας, στο Υπουργείο Δημόσιας Τάξης καθώς και στο σημείο αναστροφής των οχημάτων 100 μέτρα μετά τη συμβολή της Κατεχάκη με την οδό Κοκκινοπούλου στο ρεύμα καθόδου προς τη λεωφόρο Μεσογείων (μόνο έξοδο). Ο αριθμός όμως

3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

των οχημάτων που εισέρχονται ή εξέρχονται από τα τέσσερα αυτά σημεία, μπορεί να θεωρηθεί αμελητέος σε σχέση με τον αριθμό των υπολοίπων οχημάτων που κινούνται στη λεωφόρο Κατεχάκη. Τέλος, άλλος ένας λόγος επιλογής του συγκεκριμένου οδικού τμήματος είναι ότι παρουσιάζεται μεγάλη διακύμανση στις τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου, από πολύ χαμηλές τις βραδυνές ώρες, μέχρι υψηλές τις ώρες αιχμής.

3.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕ ΦΟΡΑΤΕΣ

Πλεονεκτήματα [1]

1. Άμεση μεταφορά των στοιχείων σε Η/Υ. Συγκεκριμένα, είναι δυνατή η άμεση μεταφορά όλων των στοιχείων του μικροπολογιστή του μετρητή στον Η/Υ μέσω ειδικού προγράμματος.
2. Αποφυγή σφαλμάτων κατά τη μεταφορά των στοιχείων από τον μικροπολογιστή του μετρητή στον Η/Υ, αφού η μεταφορά γίνεται απ' ευθείας και δίχως την ανθρώπινη παρέμβαση.
3. Δίνει τη δυνατότητα καταγραφής πολλών κυκλοφοριακών μεγεθών όπως φόρτους, ταχύτητες και χρονικούς διαχωρισμούς.
4. Καταγραφή στοιχείων χωρίς πολύ κόπο και κούραση, για μεγάλη διάρκεια μετρήσεων.
5. Είναι δυνατή η πραγματοποίηση μετρήσεων για οποιοσδήποτε καιρικές συνθήκες χωρίς να είναι απαραίτητη η παρουσία ανθρώπων στον τόπο των μετρήσεων, αφού η καταγραφή γίνεται αυτόματα.
6. Υπάρχει άμεση πρόσβαση στα στοιχεία των μετρήσεων ανά πάσα στιγμή, καθώς υπάρχει οθόνη πάνω στην κεντρική μονάδα του μετρητή η οποία δείχνει τις μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο (real time). Επίσης με τη βοήθεια φορητού Η/Υ μπορούν οποιαδήποτε στιγμή να παρθούν στοιχεία από τους μετρητές, χωρίς να διακοπεί η λειτουργία τους.

3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Μειονεκτήματα [1]

1. Αδυναμία καταγραφής των μοτοσυκλετών που διέρχονται πάνω από τα καλώδια του μετρητή.
2. Πιθανά προβλήματα στην αποθήκευση ή τη μεταφορά στοιχείων, λόγω της αποφόρτισης των μπαταριών.
3. Δεν υπάρχει η δυνατότητα περιορισμού των σφαλμάτων στις μετρήσεις, αφού δεν είναι εφικτός ο εκ των υστέρων έλεγχος της ορθότητας των στοιχείων που έχουν καταγραφεί όπως μπορεί να γίνει με τη χρήση βιντεοκάμερας.
4. Δεν είναι δυνατή η κατάταξη των οχημάτων κατά τύπους.
5. Υπάρχει αυξημένος κίνδυνος καταστροφής των ελαστικών σωλήνων από κακώσεις λόγω της κυκλοφορίας.
6. Τα σφάλματα από τα οχήματα με περισσότερους από δύο άξονες ή από υπερβολική ευαισθησία του μετρητή ιδίως αν ο μετρητής τοποθετηθεί σε σημείο στροφής των οχημάτων.
7. Το γεγονός ότι δεν είναι ακριβής η μέτρηση για πολλές λωρίδες κυκλοφορίας συγχρόνως. Συνήθως δεν συνιστάται η μέτρηση σε πάνω από τρεις λωρίδες κυκλοφορίας.

Ο φορατής (μετρητής με πεπιεσμένο αέρα) αποτελείται από ένα σωλήνα μικρής διατομής (στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δύο για τη μέτρηση της ταχύτητας και των χρονικών διαχωρισμών των οχημάτων) που στερεώνεται στο οδόστρωμα, είτε μόνιμα οπότε ο σωλήνας θάβεται στο οδόστρωμα, είτε προσωρινά με καρφιά και ειδικές υποδοχές οπότε απλά ακουμπάει στο οδόστρωμα (στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε η δεύτερη μέθοδος). Το ένα άκρο του σωλήνα είναι κλειστό και το άλλο συνδέεται σε ειδικό τύμπανο μετρητή που λειτουργεί με πεπιεσμένο αέρα. Όταν ένα όχημα περνάει πάνω από το σωλήνα ωθεί τον αέρα μέσα στο σωλήνα και καταγράφεται μια μονάδα. Ο μετρητής αυτός μετράει άξονες οχημάτων και είναι συνήθως ρυθμισμένος ώστε να καταγράφει μια μονάδα για κάθε δύο ωθήσεις (άξονες). Εκτός από τα

3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

σφάλματα που προέρχονται από κακή λειτουργία του μετρητή ή κακώσεων των σωλήνων, σφάλματα δημιουργούνται όταν διέρχονται οχήματα με περισσότερους από δύο άξονες και όταν οι μετρήσεις γίνονται σε δρόμους με πολλές λωρίδες κυκλοφορίας. Η διόρθωση των σφαλμάτων αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας [1].

Η ακρίβεια των μετρήσεων εξαρτάται πολύ και από τον τρόπο με τον οποίο τοποθετούνται οι μετρητές στο δρόμο [1]. Σχετικά με το θέμα αυτό τηρήθηκαν ορισμένοι βασικοί κανόνες οι οποίοι είναι οι εξής :

- Οι ελαστικοί σωλήνες τοποθετήθηκαν ακριβώς κάθετα προς την κατεύθυνση κίνησης των οχημάτων, ώστε οι δύο τροχοί του ιδίου άξονα να περνούν ακριβώς την ίδια χρονική στιγμή πάνω από το σωλήνα. Έτσι δεν ενδείκνεται να τοποθετούνται οι σωλήνες πάνω σε στροφές ή κοντά σε διασταυρώσεις όπου κατά κανόνα τα οχήματα αλλάζουν λωρίδα ή κατεύθυνση. Η απόσταση τοποθέτησης από διασταυρώσεις και φωτεινούς σηματοδότες δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από 30 μέτρα.
- Η επιφάνεια του δρόμου στα σημεία τοποθέτησης, ήταν ομαλή χωρίς λακούβες ή άλλες ανωμαλίες του οδοστρώματος, έτσι ώστε τα οχήματα να μην προκαλούν φθορές στους σωλήνες.
- Αποφεύχθηκαν θέσεις όπου σταθμεύουν συχνά οχήματα γιατί υπήρχε η πιθανότητα να σταματήσει κάποιο όχημα με τους τροχούς του επάνω στο σωλήνα με αποτέλεσμα να μη λειτουργεί σωστά το μηχανήμα.
- Οι μετρητές προστατεύθηκαν μέσα σε κλειδωμένα σιδερένια κουτιά που με τη σειρά τους δέθηκαν πάνω σε κολώνες ή δέντρα.

3.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου αυτού, το επιλεγμένο οδικό τμήμα είναι αυτό της λεωφόρου Αλίου-Κατεχάκη απο το 401 Γενικό Στρατιωτικό Νοσοκομείο Αθηνών μέχρι και 50 μέτρα μετά τη διασταύρωση της Κατεχάκη με την οδό Κοκκινοπούλου. Το τμήμα αυτό έχει τρεις λωρίδες ανά κατεύθυνση με διαχωριστικό κράσπεδο μεταξύ των δύο κατευθύνσεων, ενώ βρίσκεται σε ευθεία και η ορατότητα είναι πολύ καλή. Το πλάτος των λωρίδων σε όλο το μήκος του τμήματος είναι 3,50 μέτρα. Στο ρεύμα καθόδου προς τη λεωφόρο Μεσογείων το έδαφος έχει μικρή κατηφορική κλίση, ενώ υπάρχουν και τρεις σηματοδότες. Ο πρώτος βρίσκεται στη διασταύρωση της λεωφόρου Κατεχάκη με την οδό Κοκκινοπούλου και την οδό Πίνδου, ο δεύτερος στο 251 Γενικό Νοσοκομείο Αεροπορίας και ο τρίτος στο 401 Γενικό Στρατιωτικό Νοσοκομείο Αθηνών.

3.4 ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ακολούθησαν την εξής διαδικασία :

Επιλέχθηκαν οι θέσεις όπου θα τοποθετούνταν οι μετρητές, και με τη χρήση μετροταινίας και φορητού GPS επισημάνθηκαν με διακριτικά σημάδια. Οι μετρητές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τέσσερις, τύπου **ADR-2000** και παραχωρήθηκαν από τον Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του ΕΜΠ. Σε κάθε μετρητή χρησιμοποιήθηκαν δύο σωλήνες, οι οποίοι τοποθετήθηκαν σε απόσταση 2 μέτρων, ώστε εκτός από μετρήσεις κυκλοφοριακών φόρτων να πάρουμε και μετρήσεις ταχυτήτων και χρονικών διαχωρισμών.

3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο πρώτος μετρητής ADR1, εγκαταστάθηκε 50 μέτρα πριν από το σηματοδότη που βρίσκεται στο 401 Γενικό Στρατιωτικό Νοσοκομείο Αθηνών όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.1 .



Εικόνα 3.1 : Θέση εγκατάστασης του φορατή ADR 1.

3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο δεύτερος μετρήτης ADR2, εγκαταστάθηκε 30 μέτρα πριν από το σηματοδότη που βρίσκεται στο 251 Γενικό Νοσοκομείο Αεροπορίας και 200 μέτρα πριν από τον πρώτο. Η θέση στην οποία τοποθετήθηκε ο ADR2 φαίνεται στην εικόνα 3.2 .



Εικόνα 3.2 : Θέση εγκατάστασης του φορατή ADR 2.

3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο τρίτος μετρητής ADR3, εγκαταστάθηκε 200 μέτρα πριν απο το δεύτερο μετρητή ADR2 και η θέση τοποθέτησης του φαίνεται στην εικόνα 3.3 .



Εικόνα 3.3 : Θέση εγκατάστασης του φορατή ADR 3.

3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο τελευταίος μετρητής ADR4, εγκαταστάθηκε 50 μέτρα πριν το σηματοδότη που βρίσκεται στη διασταύρωση της λεωφόρου Κατεχάκη με την οδό Κοκκινοπούλου και την οδό Πίνδου, και 400 μέτρα πριν από το μετρητή ADR3. Η θέση του ADR4 φαίνεται στην εικόνα 3.4 .

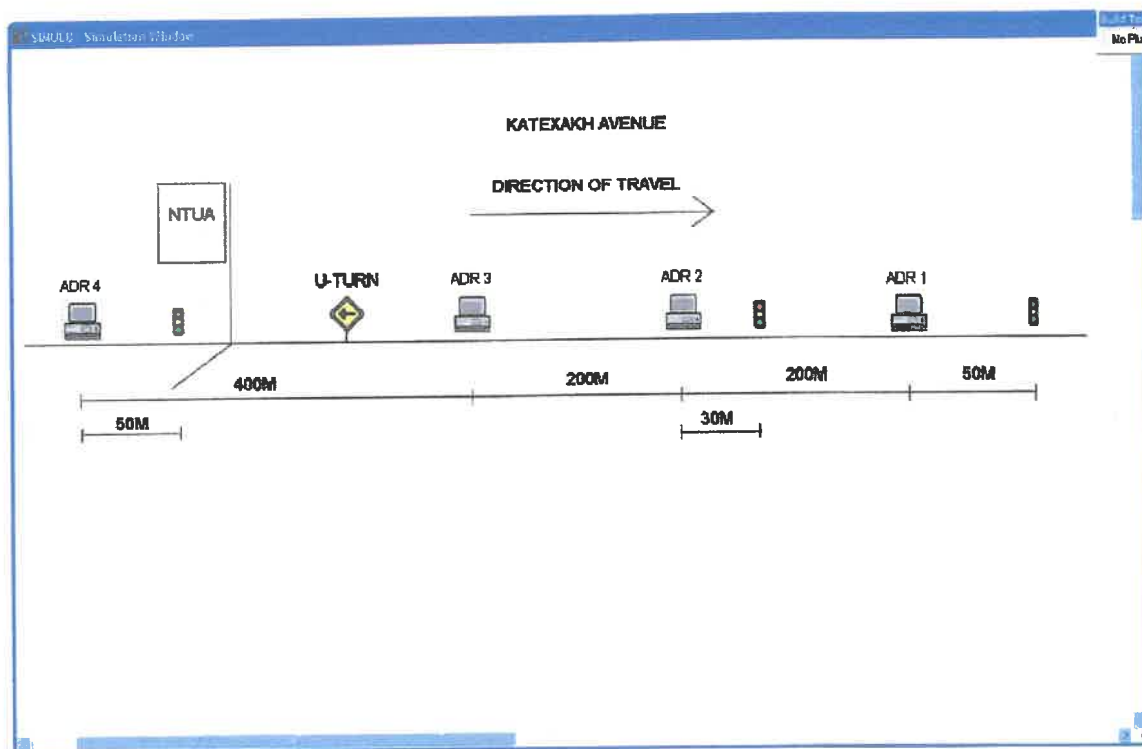


Εικόνα 3.4 : Θέση εγκατάστασης του φορατή ADR 4.

3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η διαδικασία της εγκατάστασης των τεσσάρων μετρητών ADR-2000, έλαβε χώρα μεταξύ της 1/5/2003 και της 5/5/2003. Όλοι οι μετρητές ρυθμίστηκαν να ξεκινήσουν την καταγραφή των στοιχείων την Δευτέρα 5/5/2003 στις 14:01, ενώ η τελευταία μέτρηση καταγράφηκε το Σάββατο 10/5/2003 στις 11:29 οπότε και απεγκαταστάθηκε ο τελευταίος μετρητής.

Όλες οι θέσεις των μετρητών ADR-2000, οι θέσεις των σηματοδοτών καθώς και τα χαρακτηριστικά σημεία του επιλεγμένου οδικού τμήματος απεικονίζονται στο σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1 : Απεικόνιση των θέσεων των μετρητών ADR-2000, των θέσεων των σηματοδοτών και των χαρακτηριστικών σημείων του επιλεγμένου οδικού τμήματος.

3.5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Το επόμενο βήμα μετά την διαδικασία της εγκατάστασης των μετρητών πεπιεσμένου αέρα και την μεταφορά των στοιχείων σε Η/Υ, ήταν η αρχική επεξεργασία τους. Το λογιστικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των μετρήσεων ήταν το **Microsoft Excel**.

Οι μετρητές ρυθμίστηκαν να καταγράφουν τρία κυκλοφοριακά μεγέθη, τα οποία είναι και τα εξής :

1. Κυκλοφοριακούς φόρτους ανά 1 λεπτό (Volume, veh/1min)
2. Ταχύτητες οχημάτων ανά 1 λεπτό (Speed, km/h)
3. Χρονικούς διαχωρισμούς ανά 1 λεπτό (Headways, sec)

Από τα τρία παραπάνω μεγέθη, στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα δύο πρώτα, δηλαδή οι κυκλοφοριακοί φόρτοι και οι ταχύτητες.

Οι κυκλοφοριακοί φόρτοι δεν χρειάστηκαν καμμία αρχική επεξεργασία, καθώς η ανάλυση απαιτούσε φόρτους ανα ένα λεπτό τους οποίους και κατέγραψε ο μετρητής.

Οι ταχύτητες αντιθέτως, χρειάστηκαν μια αρχική επεξεργασία, αφού οι καταγραφές του μετρητή ήταν κατηγοριοποιημένες. Σε κάθε λεπτό της ώρας, ο μετρητής αριθμούσε τον αριθμό των οχημάτων, των οποίων οι ταχύτητες ανήκαν σε κάθε μια από τις παρακάτω δέκα κατηγορίες. Οι κατηγορίες αυτές ήταν οι εξής :

1. 0~9 km/h
2. 9~15 km/h
3. 15~30 km/h
4. 30~45 km/h

3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

5. 45~60 km/h
6. 60~80 km/h
7. 80~ 100 km/h
8. 100~120 km/h
9. 120~140 km/h
10. 140~236 km/h

Υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι κάθε κατηγορίας (π.χ. ο μέσος όρος της κατηγορίας 8 είναι 110 km/h) και στη συνέχεια οι κεντροβαρικοί μέσοι όροι των ταχυτήτων για κάθε ένα λεπτό της ώρας. Οι κεντροβαρικοί μέσοι όροι υπολογίστηκαν από τη σχέση :

$$U_i = \frac{\alpha_1 \times 4,5 + \alpha_2 \times 12 + \alpha_3 \times 22,5 + \alpha_4 \times 37,5 + \dots + \alpha_{10} \times 188}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \dots + \alpha_{10}}$$

Με αυτό τον τρόπο υπολογίστηκαν οι μέσες ταχύτητες των οχημάτων ανά ένα λεπτό, για όλες τις θέσεις των μετρητών.

Στην τελική φάση της αρχικής επεξεργασίας, βρέθηκαν οι κοινοί χρόνοι καταγραφής των μετρητών ανά τέσσερεις, τρεις και δύο. Έδώ πρέπει να αναφερθεί, ότι λόγω κάποιων αναγκαστικών αλλαγών των ελαστικών σωλήνων κατά τη διάρκεια διεξαγωγής των μετρήσεων, και λόγω της μεταφοράς των μηχανημάτων στο εργαστήριο για τη μεταφορά των στοιχείων σε Η/Υ, υπήρξαν χρονικά διαστήματα όπου κάποιος ή κάποιοι από τους μετρητές δεν κατέγραφαν στοιχεία.

Οι κοινοί χρόνοι καταγραφής σε λεπτά (min) φαίνονται στον Πίνακα 3.1.

3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Πίνακας 3.1 : Κοινός χρόνος καταγραφής μετρήσεων των φορατών.

	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	5 ΜΑΪΟΥ	6 ΜΑΪΟΥ	7 ΜΑΪΟΥ	8 ΜΑΪΟΥ	9 ΜΑΪΟΥ	10 ΜΑΪΟΥ	ΣΥΝΟΛΟ (min)
ADR								
1+2+3+4		600	1425	1400	554			3979
1+2+3		600	1425	1411	554			3990
1+2+4		600	1440	1411	1440	550		5441
2+3+4		600	1425	1409	554			3988
1+3+4		600	1425	1409	554			3988
1+2		600	1440	1422	1440	550		5452
2+3		600	1425	1420	554			3999
3+4		600	1425	1418	554			3997
1+3		600	1425	1420	554			3999
1+4		600	1440	1420	1440	550		5450
2+4		600	1440	1420	1440	555		5455

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Η **Προσομοίωση** είναι μια διαδικασία επίλυσης προβλημάτων με σκοπό τον προσδιορισμό και την ανάλυση του προτύπου ενός συστήματος. Μέσω της προσομοίωσης γίνεται μια εκτίμηση της απόδοσης του συστήματος κάτω από τις προβλεπόμενες συνθήκες λειτουργίας ενώ ακόμα μπορούν να δοκιμαστούν νέες ιδέες χωρίς να αντιμετωπισθεί το πραγματικό κόστος υλοποίησης τους. Η προσομοίωση, είτε πραγματοποιείται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή (Η/Υ), είτε με κάποιον άλλο τρόπο, σχετίζεται με τη δημιουργία ενός τεχνητού συστήματος από την παρατήρηση του οποίου εξάγονται συμπεράσματα για χαρακτηριστικά λειτουργίας του πραγματικού συστήματος [9].

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Η συμπεριφορά του συστήματος, όπως αυτό εξελίσσεται στο χρόνο, μελετάται με την ανάπτυξη του **προτύπου προσομοίωσης**. Το πρότυπο αυτό βασίζεται σε μια σειρά υποθέσεων, που αφορούν τη λειτουργία του υπό εξέταση συστήματος. Οι υποθέσεις αυτές εκφράζονται με μαθηματικές, λογικές και συμβολικές σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων του συστήματος. Μετά την ανάπτυξη και τον έλεγχο αξιοπιστίας του, το πρότυπο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την έρευνα και τη μελέτη ενός ευρέος φάσματος ερωτήσεων σε σχέση με το πραγματικό σύστημα.

Η προσομοίωση βοηθάει στην πρόβλεψη των επιδράσεων πιθανών αλλαγών του συστήματος στη φάση λειτουργίας του ή στη μελέτη συστημάτων, που βρίσκονται στο στάδιο σχεδιασμού, δηλαδή πριν τη λειτουργία τους. Επομένως η προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως εργαλείο ανάλυσης για την πρόβλεψη της επίδρασης διαφόρων αλλαγών στο υπάρχον σύστημα, είτε ως εργαλείο σχεδιασμού για την λειτουργία ενός καινούργιου συστήματος κάτω από διαφορετικές συνθήκες.

Η επίλυση των προτύπων μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση μαθηματικών μεθόδων, δηλαδή με χρήση διαφορικού λογισμού, της θεωρίας των πιθανοτήτων, με αλγεβρικές μεθόδους ή με άλλες μαθηματικές τεχνικές. Τα περισσότερα όμως πραγματικά συστήματα είναι τόσο πολύπλοκα, που τα πρότυπα τους είναι δύσκολο να επιλυθούν με τη χρήση μαθηματικών μεθόδων. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται μαθηματικά πρότυπα, τα οποία έχουν σκοπό να αναπαραστήσουν τη συμπεριφορά του συστήματος στο χρόνο.

4.2 ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Το πρότυπο προσομοίωσης αποτελεί την αναπαράσταση του συστήματος. Πρόκειται για ένα πρότυπο που βασίζεται σε μια σειρά υποθέσεων για το πραγματικό σύστημα και εκφράζονται με μαθηματικές και λογικές σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων του συστήματος. Δηλαδή το πρότυπο προσομοίωσης μελετά τη

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

συμπεριφορά του συστήματος μέσα στην εξέλιξη του χρόνου. Η μελέτη του συστήματος περιλαμβάνει την πλήρη περιγραφή του, την κατανόηση της συμπεριφοράς του σε παρόν και μέλλον καθώς και τις υπάρχουσες δυνατότητες τροποποίησης του. Αφού το πρότυπο αναπτυχθεί και ικανοποιήσει τον έλεγχο αξιοπιστίας, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μελέτη ενός μεγάλου φάσματος σεναρίων για το πραγματικό σύστημα [9].

Σημαντικός λόγος που συντέλει στην ανάπτυξη ενός προτύπου είναι η διευκόλυνση στην κατανόηση των εκάστοτε προβλημάτων, γιατί κατά την ανάπτυξη διατηρούνται μόνο τα χαρακτηριστικά του συστήματος που αφορούν την διερεύνηση. Ακόμη είναι δυνατό να ελεγχθούν οι υποθέσεις για την παρατηρούμενη συμπεριφορά του συστήματος και να εκτελεστούν διάφορα σενάρια. Αλλάζοντας τα δεδομένα εισόδου (input data) και παρατηρώντας τα αποτελέσματα (output) μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για το είδος και το μέγεθος των μεταβλητών που επηρεάζουν το σύστημα. Η προσομοίωση δίνει τη δυνατότητα να εξετασθούν καθένας ξεχωριστά αλλά και σε συνδυασμούς οι παράγοντες που επηρεάζουν το σύστημα, γεγονός που συντελεί ουσιαστικά στην κατανόηση του προβλήματος.

Η γνώση που αποκτάται απο τη σχεδίαση του συστήματος είναι πολύτιμη για περαιτέρω βελτιώσεις του συστήματος. Η συλλογή στοιχείων μέσω της προσομοίωσης απαιτεί λιγότερο χρόνο και χρήμα σε σχέση με τη συλλογή στοιχείων απο το πραγματικό σύστημα. Τα πρότυπα προσομοίωσης αποτελούνται απο τα παρακάτω στοιχεία:

- Συστατικά
- Μεταβλητές
- Παράμετροι
- Λειτουργικές σχέσεις
- Περιορισμοί
- Κριτήρια

4.3 ΕΙΔΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ

Τα πρότυπα διακρίνονται σε εικονικά, αναλογικά και συμβολικά [4]. Τα εικονικά πρότυπα αποτελούν πιστή, κατά το δυνατόν, αναπαράσταση σε μικρογραφία ή μεγέθυνση του υπο μελέτη συστήματος. Π.χ. φωτογραφίες ή σχέδια αντικειμένων, χάρτες, πρότυπα τμημάτων αεροσκαφών δοκιμαζόμενα σε σήραγγες αεροδυναμικής, πρότυπα πλοίων σε δεξαμενές, κτλ. Τα πρότυπα είναι τα πλέον συγκεκριμένα και ειδικά και συνεπώς και τα πιο δύσχρηστα.

Στα αναλογικά πρότυπα οι ιδιότητες του συστήματος παριστάνονται απο άλλες ιδιότητες, όπως π.χ. οι γεωδειακές γραμμές σε χάρτη παριστάνουν υψόμετρο, οι υδραυλικές ροές παριστάνουν κυκλοφορία (υδραυλικά ανάλογα κυκλοφοριακών συστημάτων), κτλ. Αξίζει να αναφερθεί ότι ο Αναλυτικός Ηλεκτρονικός Υπολογιστής (Analogue Computer) αποτελεί ένα αναλογικό πρότυπο πολλαπλής χρήσης. Τα αναλογικά πρότυπα είναι λιγότερο συγκεκριμένα και πιο εύχρηστα απο τα εικονικά.

Τα συμβολικά πρότυπα χρησιμοποιούν γράμματα, αριθμούς και άλλους τύπους συμβόλων για την αναπαράσταση παραμέτρων (μεταβλητών και σταθερών) ενός προβλήματος και των σχέσεων μεταξύ τους. Συνήθως λαμβάνουν μορφή μαθηματικών σχέσεων και ονομάζονται μαθηματικά πρότυπα. Τα πρότυπα αυτά είναι πιο αφηρημένα και επομένως και πιο εύχρηστα [4].

Ένας άλλος τρόπος ταξινόμησης των προτύπων προσομοίωσης είναι σε στατικά και δυναμικά, σε αιτιοκρατικά (deterministic) και στοχαστικά (stochastic / probabilistic) και σε διακριτά και συνεχή.

- Ένα στάτικό πρότυπο προσομοίωσης αναπαριστά ένα σύστημα σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή (μερικές φορές ονομάζεται προσομοίωση Monte Carlo).

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

- Ένα δυναμικό πρότυπο προσομοίωσης αντιπροσωπεύει συστήματα, τα οποία αλλάζουν με το χρόνο.
- Τα αιτιοκρατικά (deterministic) πρότυπα είναι αυτά των οποίων τα δεδομένα θεωρούνται πλήρως προσδιορισμένα και η εξέλιξη τους διέπεται από την αρχή της αλληλούχιας αιτίων και αιτιάτων και τα αποτελέσματα τους είναι πλήρως προσδιορισμένα. Για παράδειγμα, εάν οι ασθενείς ενός ιατρείου φτάσουν στην προγραμματισμένη ώρα του ραντεβού τους, τότε οι αφίξεις είναι ντετερμινιστικές.
- Στοχαστικό πρότυπο προσομοίωσης είναι αυτό του οποίου τα δεδομένα περιλαμβάνουν στοιχεία αβεβαιότητας και απροσδιοριστίας και η εξέλιξη του διέπεται από τους νόμους των πιθανοτήτων, οπότε και τα αποτελέσματα του δίνονται σε πιθανές εκβάσεις. Έτσι, τα αποτελέσματα της στοχαστικής προσομοίωσης είναι στατιστικές εκτιμήσεις των αληθινών χαρακτηριστικών του συστήματος.
- Τα διακριτά και συνεχή πρότυπα ορίζονται ανάλογα με τα διακριτά και συνεχή συστήματα. Ένα διακριτό πρότυπο προσομοίωσης όμως δεν χρησιμοποιείται πάντα για την αναπαράσταση ενός διακριτού συστήματος, ούτε επίσης ένα συνεχές πρότυπο για ένα συνεχές σύστημα. Επομένως τα πρότυπα προσομοίωσης μπορεί να είναι και διακριτά και συνεχή. Η επιλογή προτύπου προσομοίωσης που είναι διακριτό ή συνεχές (ή και τα δύο) εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του συστήματος και την αντικειμενικότητα της μελέτης.

4.4 ΔΙΑΚΡΙΤΑ ΚΑΙ ΣΥΝΕΧΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα διάφορα συστήματα διαχωρίζονται σε διακριτά και συνεχή. Διακριτό σύστημα είναι αυτό στο οποίο η κατάσταση των μεταβλητών αλλάζει σε διακριτά χρονικά σημεία. Συνεχές είναι αυτό στο οποίο η κατάσταση των μεταβλητών αλλάζει συνεχώς με το χρόνο. Στην πράξη λίγα συστήματα είναι μόνο διακριτά ή συνεχή. Συνήθως όμως, στα περισσότερα συστήματα κυριαρχεί ο ένας μόνο

τύπος, οπότε είναι δυνατός ο χαρακτηρισμός ενός συστήματος ως διακριτού ή συνεχούς [10].

4.5 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ως σύστημα ορίζεται μια σειρά αντικειμένων, τα οποία αλληλεξαρτώνται και αλληλεπιδρούν με καθορισμένο ή τυχαίο τρόπο για την εκπλήρωση ενός σκοπού. Ένα σύστημα επηρεάζεται συνήθως από αλλαγές που συμβαίνουν εκτός του συστήματος, δηλαδή στο περιβάλλον του συστήματος. Επομένως, για την κατασκευή ενός προτύπου του συστήματος είναι απαραίτητος ο καθορισμός των ορίων μεταξύ του συστήματος και του περιβάλλοντος του. Πρέπει δηλαδή να επέλθει μια κατάλληλη ισορροπία μεταξύ τους η οποία μπορεί να επιτευχθεί με προσεκτική ανάλυση του προτύπου.

Το πόσο αναλυτικό θα είναι το πρότυπο και ποίο είναι το περιβάλλον του, εξαρτάται κάθε φορά από το σκοπό της διερεύνησης. Το πρότυπο κατασκευάζεται αρχικά απλό και στη συνέχεια εμπλουτίζεται ώστε να αναπαριστά όσο πιο πιστά γίνεται το υπο μελέτη σύστημα. Η προσθήκη ακριβέστερων υποθέσεων και περιορισμών απλοποιεί το πρότυπο, όπως επίσης και η εξάλειψη μεταβλητών ή η μετατροπή τους σε σταθερές. Αντιθέτως η προσθήκη μεταβλητών το εμπλουτίζει. Τέλος, ο περιορισμός των ορίων του συστήματος οδηγεί σε απλούστερο πρότυπο, ενώ η επέκτασή τους οδηγεί σε πολυπλοκότερο πρότυπο [9].

4.6 ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ένα σύστημα, προκειμένου να γίνει κατανοητό και να μελετηθεί, αναλύεται σε επιμέρους στοιχεία, των οποίων οι ορισμοί δίδονται παρακάτω:

- Στοιχείο (entity) : Είναι το αντικείμενο ενδιαφέροντος στο σύστημα (π.χ. οχήμα).
- Ιδιότητα (attribute) : Τα στοιχεία του συστήματος έχουν κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες (π.χ. τα οχήματα κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες).
- Δραστηριότητα (activity) : Αντιπροσωπεύει περίοδο συγκεκριμένης συγκεκριμένης χρονικής διάρκειας (π.χ η διάρκεια διάνυσης ενός συγκεκριμένου οδικού τμήματος απο τα οχήματα).
- Κατάσταση του συστήματος (state of the system) : Περιγράφεται απο μεταβλητές που σχετίζονται με το σκοπό της μελέτης.
- Γεγονός (event) : Είναι ενα στιγμιαίο συμβάν που μπορεί να αλλάξει την κατάσταση του συστήματος.

Στην προσομοίωση συνηθίζεται η χρήση των όρων "ενδογενής" και "εξωγενής". Ο όρος "ενδογενής" χρησιμοποιείται για να περιγράψει δραστηριότητες και γεγονότα που συμβαίνουν μέσα στο σύστημα ενώ ο όρος "εξωγενής" για την περιγραφή δραστηριοτήτων και γεγονότων που συμβαίνουν στο περιβάλλον του συστήματος αλλά επηρεάζουν και το σύστημα [9].

4.7 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Προτού χρησιμοποιηθεί η προσομοίωση ως μέθοδος ανάλυσης, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της.

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Τα πλεονεκτήματα της προσομοίωσης είναι τα εξής [9] :

1. Αφου κατασκευαστεί το πρότυπο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί πολλές φορές για την ανάλυση διαφόρων σεναρίων.
2. Οι μέθοδοι προσομοίωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση ενός συστήματος ακόμα και όταν τα δεδομένα δεν είναι πλήρη.
3. Συνήθως τα αποτελέσματα που προκύπτουν απο την προσομοίωση απαιτούν λιγότερο χρόνο και έχουν μικρότερο κόστος σε σχέση με αυτά που προκύπτουν απο το πραγματικό σύστημα.
4. Οι μέθοδοι προσομοίωσης εφαρμόζονται πιο εύκολα απο τις αναλυτικές μεθόδους.
5. Στα αναλυτικά πρότυπα υπάρχει περιορισμένος αριθμός μεταβλητών που μπορούν να υπολογιστούν και επομένως είναι απαραίτητες πολλές απλοποιήσεις, γεγονός που δεν ισχύει στα πρότυπα προσομοίωσης.
6. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η επίλυση του προβλήματος γίνεται μόνο με τη μέθοδο της προσομοίωσης.

Τα μειονεκτήματα της προσομοίωσης είναι τα εξής [9] :

1. Η κατασκευή του προτύπου προσομοίωσης καθώς και οι έλεγχοι αξιοπιστίας μπορεί να αποβούν χρονοβόροι και δαπανηροί.
2. Σε κάθε πρότυπο προσομοίωσης απαιτείται μεγάλος αριθμός εκτελέσεων, γεγονός που καθιστά την ανάλυση χρονοβόρα.
3. Η προσομοίωση χρησιμοποιείται μερικές φορές σε περιπτώσεις όπου επαρκούν οι αναλυτικές μέθοδοι. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην εξοικείωση των χρηστών με τη μέθοδο της προσομοίωσης με αποτέλεσμα τον παραγκωνισμό των υπολοίπων μεθόδων.

4.8 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Η προσομοίωση αποτελεί μια ευρέως διαδεδομένη μέθοδο ανάλυσης συστημάτων. Ενδεικτικά αναφέρονται οι παρακάτω εφαρμογές:

- Προσομοίωση της ουράς οχημάτων που σχηματίζεται σε ένα φωτεινό σηματοδότη.
- Προσομοίωση της λειτουργίας μεγάλων αεροδρομίων για την πρόβλεψη των επιδράσεων των αλλαγών πολιτικής.
- Προσομοίωση σε συστήματα διανομής και ελέγχου ώστε να βρεθούν οι βέλτιστες λύσεις απο άποψη κόστους και χρόνου.
- Προσομοίωση οικονομικών δραστηριοτήτων με σκοπό τη μελέτη της επίδρασης διαφόρων αποφάσεων.

4.9 ΜΕΛΕΤΗ ΜΕ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Μια μελέτη προσομοίωσης θεωρείται επιτυχής, όταν ακολουθούνται κάποια συγκεκριμένα βήματα. Τα βήματα αυτά καθοδηγούν τον αναλυτή και τον βοηθούν στην κατασκευή ενός προτύπου που αναπαριστά την πραγματικότητα όσο το δυνατόν καλύτερα, διευκολύνει την ανάλυση και δίνει χρήσιμα αποτελέσματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην πραγματικότητα [9]. Τα βήματα αυτά, τα οποία και περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω, ακολουθήθηκαν και στην παρούσα εργασία.

4.9.1 ΒΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

1. Κατάστρωση του προβλήματος

Κάθε μελέτη πρέπει να ξεκινάει με την κατάγραφή του προβλήματος. Η καταγραφή αυτή γίνεται, είτε από αυτόν που αντιμετωπίζει το πρόβλημα, είτε από τον αναλυτή. Πάντως και στις δύο περιπτώσεις πρέπει να υπάρχει συνεννόηση για την κατάστρωση του προβλήματος.

2. Καθορισμός στόχων και συνολικό πλάνο προγραμματισμού

Ο σκοπός της μελέτης ενός συστήματος υποδεικνύει τις ερωτήσεις που πρέπει να απαντηθούν με την προσομοίωση. Επομένως σε αυτό το σημείο παίρνεται η απόφαση για το αν η επιλογή της προσομοίωσης είναι η κατάλληλη μέθοδος προσέγγισης του προβλήματος. Μετά την επιλογή της προσομοίωσης ως καταλληλότερης μεθόδου, δημιουργείται το συνολικό πλάνο, το οποίο περιλαμβάνει τον αριθμό των ανθρώπων που σχετίζονται με την μελέτη, το κόστος αυτής καθώς και το χρονικό διάστημα που θα απαιτηθεί για την εκπλήρωση κάθε φάσης της μελέτης μαζί με την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

3. Κατασκευή προτύπου

Με την κατασκευή του προτύπου απεικονίζονται τα χαρακτηριστικά του συστήματος που θα μελετηθεί, επιλέγονται ή τροποποιούνται υποθέσεις και μεταβλητές και γενικά εμπλουτίζεται σταδιακά το πρότυπο μέχρι το επιθυμητό επίπεδο λεπτομέρειας. Η αρχή γίνεται από ένα απλό πρότυπο με κατάληξη σε ένα πολυπλοκότερο. Ωστόσο η πολυπλοκότητα του προτύπου δεν πρέπει να ξεπερνάει τα απαιτούμενα όρια για να μην οδηγούμαστε σε χρονοβόρες και

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

δαπανηρές διαδικασίες. Παρόλα τα παραπάνω, δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι υπάρχουν συγκεκριμένες οδηγίες για την κατασκευή προτύπων σε κάθε περίπτωση.

4. Συλλογή δεδομένων

Η κατασκευή του προτύπου είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη συλλογή των δεδομένων. Το είδος των δεδομένων που πρέπει να συλλεχθούν υποδεικνύεται κάθε φορά απο το σκοπό της μελέτης. Για παράδειγμα στη μελέτη ενός σηματοδότη, για την εύρεση του μήκους της ουράς αναμονής, απαιτούνται η κατανομή των αφίξεων των οχημάτων και οι κατανομές εξυπηρέτησης τους. Κάθε αλλαγή στην πολυπλοκότητα του προτύπου, απαιτεί αλλαγή στα στοιχεία των δεδομένων. Η συλλογή των δεδομένων απαιτεί αρκετό χρονικό διάστημα, γι' αυτό πρέπει να ξεκινάει αμέσως, συνήθως μαζί με τα πρώτα στάδια κατασκευής του προτύπου.

5. Κωδικοποίηση

Τα περισσότερα πραγματικά συστήματα οδηγούν σε πρότυπα που απαιτούν πολλούς υπολογισμούς και αποθήκευση πολλών πληροφοριών, γι' αυτό για την κωδικοποίηση τους χρησιμοποιούνται Η/Υ. Η κωδικοποίηση του προτύπου μπορεί να γίνει σε γλώσσα γενικού σκοπού, όπως είναι η FORTRAN ή σε γλώσσα προσομοίωσης ειδικού σκοπού, όπως είναι η GPSS, SIMSCRIPT, SLAM. Η γλώσσα γενικού σκοπού απαιτεί περισσότερο χρόνο για να γραφτεί, αλλά εκτελείται απο τον Η/Υ πιο γρήγορα απο μια γλώσσα προσομοίωσης. Προτιμότερες ωστόσο, είναι οι γλώσσες ειδικού σκοπού, γιτί με αυτές η κωδικοποίηση πραγματοποιείται γρηγορότερα.

6. Επαλήθευση

Εξετάζεται αν το πρόγραμμα του Η/Υ είναι κατάλληλα διμορφωμένο για το συγκεκριμένο μοντέλο. Για το σκοπό αυτό θα πρέπει, αν τα δεδομένα εισόδου και η σειρά εργασιών είναι σωστή, να δίνει και λογικά αποτελέσματα. Πρέπει να σημειωθεί ότι στα πολύπλοκα πρότυπα είναι δύσκολο, αν όχι αδύνατο, η κωδικοποίηση του προτύπου να γίνει χωρίς σφάλμα. Συνήθως για την ολοκλήρωση της επαλήθευσης στα περισσότερα στάδια της χρησιμοποιείται η κοινή λογική.

7. Έλεγχος αξιοπιστίας

Η διαπίστωση ότι το πρότυπο που έχει κατασκευαστεί, αντιπροσωπεύει επακριβώς το πραγματικό σύστημα, αποτελεί τον έλεγχο της αξιοπιστίας του προτύπου. Ο έλεγχος της αξιοπιστίας του προτύπου επιτυγχάνεται με τη βοήθεια μιας επαναληπτικής διαδικασίας σύγκρισης του προτύπου με τη συμπεριφορά του πραγματικού συστήματος, που έχει ως αποτέλεσμα την εύρεση των διαφορών τους. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται, έως ότου η ακρίβεια του προτύπου θεωρηθεί επαρκής.

8. Εκτελέσεις και ανάλυση

Απο την ανάλυση των διαφόρων εκτελέσεων εκτιμώνται τα μεγέθη της λειτουργίας του συστήματος του οποίου γίνεται προσομοίωση.

9. Επάρκεια εκτελέσεων

Όταν ολοκληρωθεί η ανάλυση των εκτελέσεων, ο αναλυτής αποφασίζει, εάν απαιτούνται επιπρόσθετες εκτελέσεις και με βάση ποιο σχέδιο θα πραγματοποιηθούν οι επιπρόσθετες δοκιμές.

10. Περιγραφή προγράμματος και αναφορά αποτελεσμάτων

Η περιγραφή του προγράμματος είναι απαραίτητη καθώς είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ξανά ή να αποτελέσει τη βάση για περαιτέρω έρευνα. Η επαρκής περιγραφή θα διευκολύνει στην περίπτωση που το πρόγραμμα χρειαστεί οποιαδήποτε τροποποίηση. Επίσης, η ανάλυση και αναφορά όλων των αποτελεσμάτων πρέπει να είναι σαφής, τεκμηριωμένη και περιεκτική, έτσι ώστε οι χρήστες του προτύπου να μπορούν να επανεξετάσουν την κατάσταση του προβλήματος, τα αποτελέσματα των δοκιμών και την προτεινόμενη λύση του προβλήματος. Τέλος, η αναφορά των αποτελεσμάτων, σε περιπτώσεις κατά τις οποίες οι αποφάσεις πρέπει να αιτιολογηθούν περισσότερο, θα αυξήσει την αξιοπιστία του προτύπου και θα διευκολύνει τη διαδικασία κατασκευής του προτύπου.

11. Εφαρμογή

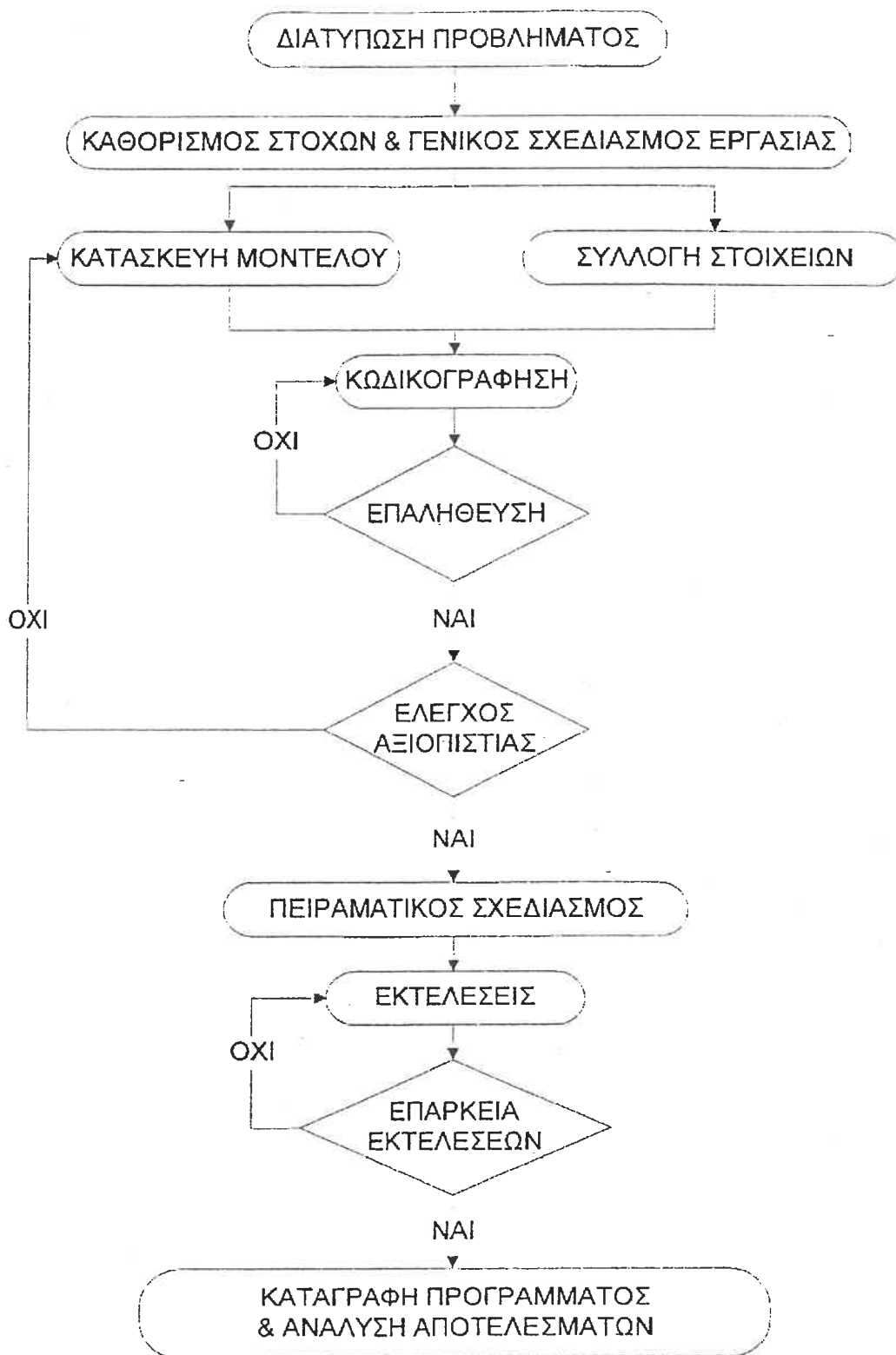
Η επιτυχία της εφαρμογής εξαρτάται από το πόσο καλά έχουν πραγματοποιηθεί τα προηγούμενα δέκα βήματα, από το πόσο καλά ο αναλυτής χρησιμοποίησε τον τελικό χρήστη του προτύπου κατά τη διάρκεια όλης της διαδικασίας προσομοίωσης και από το πόσο ο χρήστης του προτύπου έχει κατανοήσει τη φύση του και τα αποτελέσματα του.

Η διαδικασία κατασκευής του προτύπου μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις φάσεις. Η πρώτη φάση περιλαμβάνει τα βήματα 1 και 2 και είναι μια περίοδος "πρώτων σκέψεων" και προσανατολισμού. Περιλαμβάνει την αρχική καταγραφή του προβλήματος, η οποία είναι περιγραφική και το αρχικό πλάνο προγραμματισμού, που συνήθως οργανώνεται ξανά. Η δεύτερη φάση σχετίζεται με την κατασκευή του προτύπου και τη συλλογή δεδομένων και περιλαμβάνει τα βήματα 3,4,5,6 και 7. Τα βήματα αυτά απαιτούν πολλές επαναλήψεις. Σε αυτή τη φάση δε θα πρέπει να αποκλείεται ο χρήστης του προτύπου για την αποφυγή

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

προβλημάτων κατά την εφαρμογή. Η τρίτη φάση σχετίζεται με τις εκτελέσεις του προτύπου και περιλαμβάνει τα βήματα 8 και 9. Σε αυτή τη φάση θα πρέπει να υπάρχει ένα πλάνο για τις δοκιμές με το πρότυπο προσομοίωσης. Οι μεταβλητές που προκύπτουν, περιέχουν τυχαίο σφάλμα και γι' αυτό απαιτείται στατιστική ανάλυση. Η τέταρτη φάση σχετίζεται με την εφαρμογή του προτύπου και περιλαμβάνει τα βήματα 10 και 11. Η σωστή ολοκλήρωση του κάθε βήματος της διαδικασίας οδηγεί στην επιτυχή εφαρμογή του προτύπου προσομοίωσης. Είναι προφανές, ότι το πιο σημαντικό σημείο της όλης διαδικασίας είναι το βήμα 7, ο έλεγχος αξιοπιστίας, και αυτό γιατί τα αποτελέσματα από ένα πρότυπο στο οποίο δεν έχει γίνει έλεγχος αξιοπιστίας, μπορεί να είναι λανθασμένα και να αποβούν επικίνδυνα και δαπανηρά. Στο διάγραμμα ροής του σχήματος 3.1 φαίνονται συνοπτικά τα προαναφερθέντα βήματα της προσομοίωσης.

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ



Σχήμα 4.1 : Βήματα μεθόδου προσομοίωσης.

4.10 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ

Σε αυτό το στάδιο, περιγράφεται η σύλληψη του προτύπου και η κωδικοποίηση του στον Η/Υ με τη βοήθεια του προγράμματος προσομοίωσης **SIMUL8**. Παρακάτω περιγράφονται η λογική και οι λειτουργίες του προγράμματος SIMUL8 και στη συνέχεια παρουσιάζεται το πρότυπο στην αρχική του μορφή.

4.10.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Το πρόγραμμα SIMUL8 λειτουργεί με τη λογική των αντικειμένων. Αντικείμενο στο SIMUL8 είναι αυτό που σχετίζεται με την εργασία που γίνεται στο σύστημα και μπορεί να σχεδιαστεί στην οθόνη. Τα αντικείμενα του SIMUL8 είναι τα εξής :

1. Τα κέντρα εργασίας (work centers)
2. Οι μεταφορείς (conveyors)
3. Οι αποθήκες-ουρές (storage bins-queues)
4. Οι πηγές (resources)
5. Τα σημεία εισόδου εργασίας (work entry points)
6. Τα σημεία εξόδου εργασίας (work exit points)

Κατά τον σχεδιασμό ενός προτύπου, χρησιμοποιούνται τα παραπάνω αντικείμενα στο απαιτούμενο πλήθος και σε τέτοια σειρά ώστε να επιτευχθεί όσο το δυνατό καλύτερη αναπαράσταση του πραγματικού συστήματος. Κάθε ένα από τα στοιχεία αυτά έχει πολλές παραμέτρους, οι οποίες καθορίζουν πλήρως τον τρόπο λειτουργίας τους.

4.10.2 ΧΡΗΣΗ ΤΥΧΑΙΩΝ ΑΡΙΘΜΩΝ

Η χρήση τυχαίων αριθμών κάθε φορά που πραγματοποιείται μια εκτέλεση του προγράμματος, δίνει τη δυνατότητα στο πρότυπο να αναπαριστά καλύτερα την πραγματικότητα. Οι τυχαιοί αριθμοί χρησιμοποιούνται στις κατανομές και στην έξοδο από τα Κέντρα Εργασίας, όπου προσδιορίζεται η κατεύθυνση των αντικειμένων μετά την εξυπηρέτηση. Η κάθε κατανομή και το κάθε Κέντρο Εργασίας χρησιμοποιούν διαφορετική ομάδα τυχαίων αριθμών και έτσι δίνεται η δυνατότητα κατά την αλλαγή μιας ομάδας, να μην επηρεάζονται οι τυχαιοί αριθμοί των υπολοίπων. Ακόμα και κατά το μηδενισμό του ρολογιού του SIMUL8, όλες οι ομάδες τυχαίων αριθμών λαμβάνουν την αρχική τους τιμή. Αυτό σημαίνει, ότι και μετά το πέρας της επόμενης εκτέλεσης το πρότυπο θα δώσει ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα. Τούτο συμβαίνει γιατί το SIMUL8 χρησιμοποιεί "ψεύδο-τυχαίους αριθμούς", οι οποίοι αναπαράγονται με μαθηματικό τρόπο και μοιάζουν να είναι τυχαιοί. Κάθε φορά λοιπόν, που ο χρόνος μηδενίζεται, χρησιμοποιείται η ίδια σειρά τυχαίων αριθμών. Αυτό είναι πολύ χρήσιμο διότι δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη για περισσότερη και καλύτερη παρατήρηση του προτύπου. Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι στο SIMUL8 υπάρχουν 30000 διαφορετικές ομάδες τυχαίων αριθμών, ενώ επίσης το πρόγραμμα επιτρέπει την αλλαγή τους, έτσι ώστε να είναι δυνατή η μελέτη του προτύπου για διαφορετικές ομάδες τυχαίων αριθμών.

4.10.3 ΣΥΛΛΗΨΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ

Η σύλληψη του προτύπου είναι αποτέλεσμα της παρατήρησης του πραγματικού συστήματος. Είναι σημαντικό να προσδιοριστούν οι ενέργειες και οι λειτουργίες που πρέπει να απεικονισθούν προκειμένου να περιγραφεί πλήρως το σύστημα, η σειρά που γίνονται, ο χρόνος διάρκειας τους καθώς και οι συνέπειες που προκαλούν.

4.10.4 ΟΠΤΙΚΗ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ

Ένα πολύ σημαντικό βήμα στην προσομοίωση είναι η δυνατότητα της οπτικής παρακολούθησης του προτύπου, την οποία προσφέρουν προγράμματα όπως το SIMUL8. Η δυνατότητα αυτή οδηγεί τον αναλυτή στην καλύτερη κατανόηση της αλληλεπίδρασης των διαφόρων αντικειμένων και της επίδρασης τους στα αποτελέσματα, καθώς και πως μπορεί να αλλάξει και να βελτιωθεί το πρότυπο. Με αυτό τον τρόπο πραγματοποιείται η επαλήθευση του προτύπου που έχει κατασκευαστεί στο SIMUL8 με το πραγματικό σύστημα. Πάντως η οπτική μελέτη του προτύπου δεν αποτελεί επιστημονικό τρόπο και πρέπει να συνοδεύεται από πιο επιστημονικές και ακριβείς δοκιμές.

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

5.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

5.1.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΩΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Η προσομοίωση επιλέχθηκε στη συγκεκριμένη εργασία ως μέθοδος ανάλυσης για τη διερεύνηση του σφάλματος, στις μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου που καταγράφηκαν από τα τέσσερα μηχανήματα πεπιεσμένου αέρα (ADR1, ADR2, ADR3, ADR4). Με την προσομοίωση έγινε δυνατή η διερεύνηση του σφάλματος με διάφορους συνδυασμούς παραγόντων, όπως είναι ο αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας, ο κυκλοφοριακός φόρτος του τμήματος και οι ταχύτητες των οχημάτων. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

προσομοίωση έγινε με τη χρήση του προγράμματος **SIMUL8** αλλά και του λογιστικού προγράμματος **Microsoft Excel**.

5.1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Το βασικό μειονέκτημα της συλλογής στοιχείων με μετρητή με πεπιεσμένο αέρα, είναι το γεγονός ότι δεν είναι ακριβής η μέτρηση για πολλές λωρίδες κυκλοφορίας συγχρόνως και γι' αυτό δεν συνιστάται η χρήση του για την περίπτωση όπου υπάρχουν πάνω από τρεις. Στην παρούσα εργασία, το οδικό τμήμα που επιλέχθηκε έχει τρεις λωρίδες κυκλοφορίας και επομένως βρίσκεται στο όριο του παραπάνω περιορισμού. Το πρόβλημα έγκειται στο γεγονός, ότι στην περίπτωση μέτρησης σε πολλές λωρίδες κυκλοφορίας υπάρχει το ενδεχόμενο της ταυτόχρονης διέλευσης των αξόνων των οχημάτων πάνω από τους ελαστικούς σωλήνες των μετρητών. Με δεδομένο ότι υπάρχει ένας “νεκρός χρόνος” μετά από κάθε “χτύπημα” του σωλήνα από έναν άξονα, είναι προφανές ότι στην περίπτωση μετρήσεων σε πολλές λωρίδες κυκλοφορίας ένα ποσοστό των αξόνων (προφανώς και οχημάτων) δεν θα καταγραφεί. Η ύπαρξη του σφάλματος αυτού επιβεβαιώθηκε και από την επί τόπου παρατήρηση των μετρήσεων από την οθόνη του μετρητή κατά την ώρα καταγραφής τους σε πραγματικό χρόνο.

5.1.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Το μοντέλο που κατασκευάστηκε, προσομοίωσε την κίνηση των οχημάτων τα οποία εισέρχονταν στο μοντέλο 200 μέτρα πριν από την θεωρητική θέση του μετρητή και στη συνέχεια κατέγραφε τους χρόνους διέλευσης των αξόνων τους πάνω από τον ελαστικό σωλήνα του μετρητή. Το πρότυπο αυτό δημιουργήθηκε για μια λωρίδα κυκλοφορίας και χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι συνδυασμοί κυκλοφοριακών φόρτων και ταχυτήτων. Στη συνέχεια, αλλάζοντας τις

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ομάδες των τυχαίων αριθμών που χρησιμοποιήθηκαν στο αρχικό μοντέλο, προσομοιάστηκαν οι άλλες δύο λωρίδες κυκλοφορίας. Τέλος, συνδυάζοντας τα αποτελέσματα από κάθε λωρίδα κυκλοφορίας για διάφορες τιμές κυκλοφοριακών φόρτων ανά λωρίδα, βρέθηκαν οι χρόνοι διέλευσης των αξόνων για όλα τα οχήματα που κινήθηκαν στο υπό μελέτη τμήμα σε χρονικό διάστημα μίας ώρας. Από τους χρόνους διέλευσης εκτιμήθηκε το σφάλμα στις μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου με βάση το “νεκρό χρόνο” των μετρητών.

5.1.4 ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Κατά το σχεδιασμό του προτύπου γίνεται προσομοίωση του συστήματος με χρήση ενός αριθμού επιμέρους στοιχείων, όπως είσοδοι, κέντρα εργασίας, ουρές και έξοδοι. Τα στοιχεία αυτά ενώνονται με βέλη που δείχνουν την πορεία των εργασιών από και προς συγκεκριμένα αντικείμενα.

Όσον αφορά την παρούσα διπλωματική εργασία, γίνονται μέσω του μοντέλου, οι παρακάτω αντιστοιχίες :

- **Σύστημα :** ένα οδικό τμήμα
- **Αντικείμενα :** άξονες οχημάτων
- **Ιδιότητες :** ταχύτητα, τύπος άξονα, σειρά άξονα
- **Ενέργειες :** κίνηση, αλλαγή ταχύτητας

Μέσω των εισόδων εισέρχονται στο μοντέλο οι άξονες των οχημάτων των οποίων οι αφίξεις δίδονται από σχετικές κατανομές. Στην περίπτωση της παρούσης εργασίας, οι είσοδοι βρίσκονται στην διατομή του οδικού τμήματος που βρίσκεται 200 μέτρα πριν τον μετρητή και από την οποία ξεκινάει η μελέτη.

Αντικείμενα είναι οι άξονες, οι οποίοι διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες :

1. Εμπρόσθιοι άξονες
2. Πίσω άξονες

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Καθένα από τα αντικείμενα έχει “προσκολλημένες” τις ιδιότητες του, όπως π.χ. την κατηγορία του άξονα, τη σειρά εισόδου του στο μοντέλο την ταχύτητα του κλπ.

Κέντρα εργασιών είναι τα στοιχεία που προσομοιάζουν τη ροή της κυκλοφορίας. Με την παραμονή των αντικειμένων στα κέντρα εργασίας για συγκεκριμένους χρόνους , προσομοιάζεται ο χρόνος που απαιτείται για να διέλθουν από ένα οδικό τμήμα με κανονική ή μειωμένη ταχύτητα λόγω εμπλοκής τους με τα προπορευόμενα οχήματα. Όλοι οι χρόνοι παραμονής των αξόνων έχουν υπολογιστεί στο πρόγραμμα Microsoft Excel με το οποίο έγινε και ένα μεγάλο μέρος της προσομοίωσης όπως θα αναφερθεί και στη συνέχεια.

Οι ουρές προηγούνται των κέντρων εργασιών. Οι άξονες περιμένουν στις ουρές μέχρι τα κέντρα να είναι διαθέσιμα ώστε να εξυπηρετηθούν από αυτά.

Η έξοδος αναφέρεται στη διατομή του οδικού τμήματος όπου λήγει το πεδίο μελέτης, δηλαδή τα τελικά όρια του μοντέλου. Στην έξοδο θεωρείται ότι βρίσκεται ο μετρητής όπου και καταγράφονται όλοι οι χρόνοι διέλευσης των αξόνων όλων των οχημάτων.

5.1.5 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Για την εύρυθμη λειτουργία του προτύπου κρίθηκε απαραίτητο να γίνουν κάποιες υποθέσεις (παραδοχές). Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι οι παραδοχές αυτές δεν επηρεάζουν σημαντικά την ποιότητα του προτύπου ως προς την αναπαράσταση του πραγματικού συστήματος. Οι παραδοχές αυτές είναι οι εξής :

1. Στο μοντέλο κινούνται μόνο επιβατικά οχήματα και ταξί. Δεν λαμβάνεται υπόψη η κίνηση των μοτοσυκλετών, των λεωφορείων και των φορτηγών.

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

2. Η απόσταση των αξόνων των οχημάτων (μεταξόνιο) θεωρείται σταθερή και ίση με 2,50 μέτρα.
3. Δεν υπάρχουν προσπεράσεις ή αλλαγές λωρίδας κυκλοφορίας από τα οχήματα, καθώς το μοντέλο προσομοίωσης κατασκευάστηκε για μια λωρίδα κυκλοφορίας και στη συνέχεια με αλλαγή των ομάδων τυχαίων αριθμών κατασκευάστηκε για τις άλλες δύο. Εξάλλου, εάν το μοντέλο κατασκευαζόταν για τρεις λωρίδες κυκλοφορίας και υπήρχαν προσπεράσεις ο βαθμός δυσκολίας αναπαράστασης του πραγματικού συστήματος θα αυξανόταν υπέρμετρα, καθώς το πότε και το αν θα γινόταν μια προσπέραση θα ήταν πολύ δύσκολο να προσδιοριστεί.
4. Οι αφίξεις των αξόνων (προφανώς και των οχημάτων) ακολουθούν κατανομή Poisson για κυκλοφοριακούς φόρτου μικρότερους ή ίσους με 400 οχήματα ανά ώρα. Όπως είναι γνωστό από τη θεωρία, όταν οι αφίξεις ακολουθούν κατανομή Poisson με μέσο όρο λ αφίξεις στη μονάδα του χρόνου, τότε οι χρόνοι ανάμεσα στις αφίξεις ακολουθούν εκθετική κατανομή με μέσο όρο $1/\lambda$. Για κυκλοφοριακούς φόρτους μεγαλύτερους από 400 οχήματα ανά ώρα, οι χρόνοι ανάμεσα στις αφίξεις ακολουθούν κατανομή Γάμμα.
5. Οι ταχύτητες των αξόνων (προφανώς και των οχημάτων) ακολουθούν κατανομή Γάμμα.
6. Οι ταχύτητες των οχημάτων μειώνονται ακαριαία όταν φθάσουν σε ορισμένη απόσταση S από το προπορευόμενο όχημα. Η απόσταση εξαρτάται από την αρχική ταχύτητα U_i (του οχήματος που ακολουθεί) και είναι :
 - Για $U_i < 40 \text{ km/h}$ είναι $S=10\text{m}$
 - Για $40 \leq U_i \leq 80$ είναι $S=20\text{m}$
 - Για $U_i > 80 \text{ km/h}$ είναι $S=30\text{m}$

Η απόσταση αυτή μετράται από τον μπροστινό άξονα του προπορευόμενου οχήματος μέχρι τον μπροστινό άξονα του οχήματος που ακολουθεί. Επομένως ένα όχημα που φτάνει σε ορισμένη

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

απόσταση από το προπορευόμενο του, αποκτάει την ταχύτητα του και το ακολουθεί διατηρώντας σταθερή την απόσταση μεταξύ τους.

5.1.6 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Πρίν την αναπαράσταση του μοντέλου, που έγινε με τη χρήση του προγράμματος SIMUL8, υπολογίστηκε ένα μεγάλο πλήθος στοιχείων με τη βοήθεια του λογιστικού προγράμματος Microsoft Excel.

Αρχικά γεννήθηκε μια στήλη τυχαίων αριθμών και στη συνέχεια με χρήση κατάλληλης εντολής δημιουργήθηκε η στήλη των χρονικών διαχωρισμών των εμπρόσθιων αξόνων των οχημάτων, οι οποίοι ανάλογα με τον κυκλοφοριακό φόρτο ακολουθούν είτε εκθετική κατανομή είτε κατανομή Γάμα, όπως αναφέρθηκε και στις παραδοχές. Ο πρώτος άξονας θεωρείται ότι εισέρχεται στο μοντέλο τη χρονική στιγμή 0:00:00 (h:min:sec) και στη συνέχεια με βάση τους χρονικούς διαχωρισμούς, βρέθηκαν και οι χρόνοι εισόδου των μπροστινών αξόνων των οχημάτων που ακολουθούν (h:min:sec).

Με τη βοήθεια μιας άλλης στήλης τυχαίων αριθμών, κατασκευάστηκε η στήλη των ταχυτήτων των μπροστινών αξόνων (προφανώς και των οχημάτων) οι οποίες και ακολουθούν κατανομή Γάμα. Χρησιμοποιώντας τις ταχύτητες των οχημάτων και θεωρώντας ότι η απόσταση μεταξύ των μπροστινών και των πίσω αξόνων των οχημάτων (μεταξόνιο) είναι σταθερή και ίση με 2,5 μέτρα για όλα τα οχήματα της μελέτης, βρέθηκαν και οι χρόνοι εισόδου των πίσω αξόνων στο μοντέλο.

Με βάση το γεγονός ότι η είσοδος των οχημάτων στο μοντέλο, γίνεται 200 μέτρα πριν από τη θέση του μετρητή, υπολογίστηκε η απόσταση που διένυσε κάθε εμπρόσθιος άξονας μέχρι τη χρονική στιγμή της εισόδου του επόμενου εμπρόσθιου άξονα του οχήματος που ακολουθεί. Στη συνέχεια κατασκευάστηκε μια στήλη, όπου κάθε στοιχείο της αποτελείτο από τη διαφορά της ταχύτητας του

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

κάθε άξονα με την ταχύτητα του προπορευόμενου μπροστινού άξονα. Στην περίπτωση που η ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος ήταν μεγαλύτερη εκείνου που ακολουθούσε, τότε προφανώς και δεν υπήρχε το ενδεχόμενο τα οχήματα αυτά να συναντηθούν. Στην περίπτωση όμως που η ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος ήταν μικρότερη εκείνου που ακολουθούσε, τότε υπήρχε το ενδεχόμενο της συνάντησης των οχημάτων το οποίο έπρεπε και να διερευνηθεί. Το ενδεχόμενο αυτό, ελέγχθηκε απο μια άλλη στήλη όπου με βάση τις ταχύτητες των οχημάτων και τους χρονικούς διαχωρισμούς τους, υπολογίστηκε σε πόση απόσταση από το σημείο εισόδου θα συναντηθούν. Εάν η απόσταση αυτή ήταν μεγαλύτερη από 200 μέτρα τότε προφανώς και δεν υπήρχε κανένα πρόβλημα. Στην αντίθετη όμως περίπτωση θεωρήθηκε ότι ανάλογα με την ταχύτητα του, το όχημα θα κινείτο με την αρχική του ταχύτητα για μια απόσταση μικρότερη από την απόσταση συνάντησης και στη συνέχεια θα συνέχιζε την πορεία του με την ταχύτητα του οχήματος που κινείτο μπροστά του διατηρώντας σταθερή την απόσταση μεταξύ τους. Έτσι κατασκευάστηκε η στήλη με τους χρόνους άφιξης των αξόνων στο σημείο εξόδου όπου βρίσκεται το καλώδιο του μετρητή καθώς και η στήλη με τις καινούργιες ταχύτητες των αξόνων.

Μετά τις αλλαγές των ταχυτήτων κάποιων οχημάτων (αξόνων), λόγω εμπλοκής τους με τα προπορευόμενα οχήματα, έπρεπε να επανελεγχθεί εάν θα υπήρχε το ενδεχόμενο συνάντησης τους με τα οχήματα που ακολουθούσαν και των οποίων οι ταχύτητες δεν είχαν μεταβληθεί κατα το πρώτο στάδιο της διερεύνησης. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε μια επαναληπτική διαδικασία μέσω της οποίας γινόταν ο έλεγχος αυτός μέχρι να διορθωθούν όλοι οι χρόνοι άφιξης στην υποτιθέμενη θέση του μετρητή καθώς και οι αντίστοιχες ταχύτητες εξόδου.

Οι στήλες του Microsoft Excel που χρησιμοποιήθηκαν απο το πρόγραμμα SIMUL8 ήταν οι εξής :

1. Οι χρονικοί διαχωρισμοί των μπροστινών αξόνων των οχημάτων.

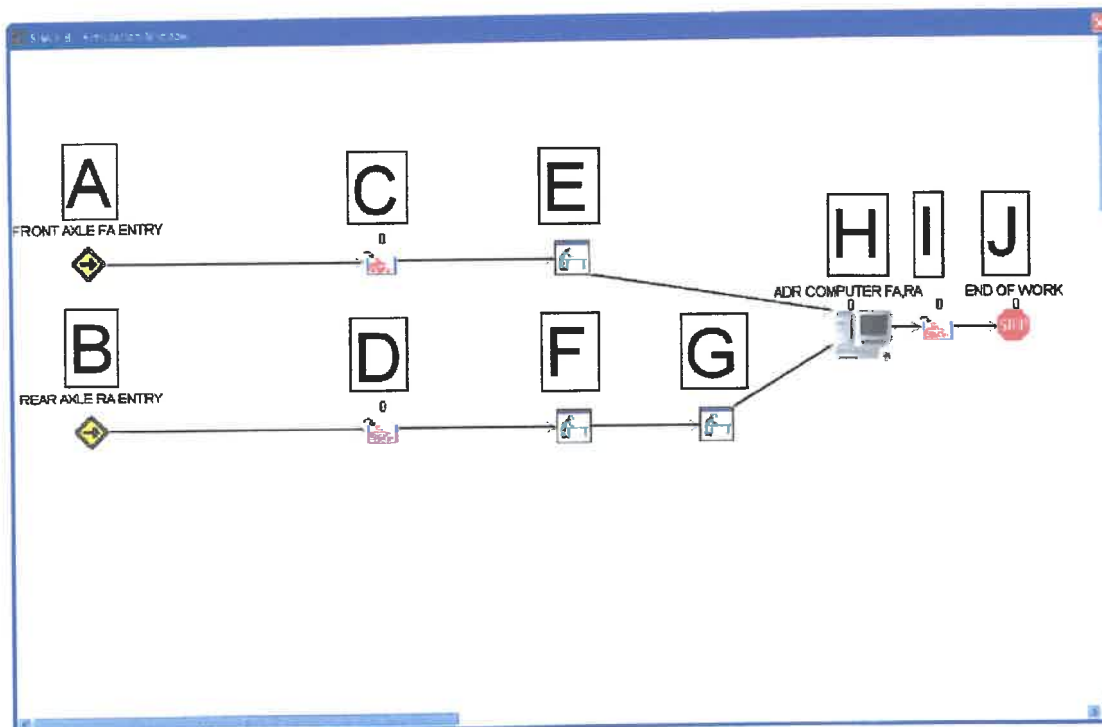
5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

2. Οι χρονικοί διαχωρισμοί των πίσω αξόνων των οχημάτων.
3. Οι αρχικές ταχύτητες των οχημάτων (αξόνων).
4. Οι ταχύτητες των προπορευόμενων οχημάτων (αξόνων).
5. Τα χρονικά διαστήματα που χρειάστηκαν οι άξονες να φθάσουν στην έξοδο με βάση τους αρχικούς χρονικούς διαχωρισμούς και τις αρχικές τους ταχύτητες.
6. Τρεις στήλες με τις καθυστερήσεις των οχημάτων (αξόνων) λόγω εμπλοκής τους με τα προπορευόμενα οχήματα, όπου η πρώτη αντιστοιχεί στον πρώτο έλεγχο, η δεύτερη στο μέσον της επαναληπτικής διαδικασίας και η τρίτη στο τέλος της διαδικασίας.
7. Οι τελικές ταχύτητες των οχημάτων (αξόνων).
8. Μια στήλη με τις χρονικές διαφορές μεταξύ των μπροστινών και των πίσω αξόνων όλων των οχημάτων, με βάση τις τελικές ταχύτητες τους.

5.1.7 ΟΠΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Η απεικόνιση του μοντέλου προσομοίωσης έγινε με τη βοήθεια του προγράμματος SIMUL8. Στο σχήμα 5.1 που παρατίθεται στη συνέχεια, δίδεται σχηματικά το μοντέλο προσομοίωσης που δημιουργήθηκε για να εξυπηρετήσει το σκοπό της συγκεκριμένης μελέτης ενώ στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά τα επιμέρους στοιχεία του προτύπου προσομοίωσης.

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ



Σχήμα 5.1 : Οπτική απεικόνιση του μοντέλου προσομοίωσης.

Τα στοιχεία του μοντέλου είναι τα εξής:

A : είναι το κέντρο άφιξης των μπροστινών αξόνων, όπου καθορίζεται ο ρυθμός άφιξης των αξόνων στο σύστημα. Οι κάθε άξονας που εισέρχεται στο μοντέλο μέσω του κέντρου άφιξης A, αποκτάει κάποιες ιδιότητες όπως : ο τύπος του άξονα (μπροστινός), η σειρά με την οποία εισέρχεται στο μοντέλο (μονοί αριθμοί 1^{ος} , 3^{ος} , 5^{ος} κλπ), η αρχική και η τελική ταχύτητα του καθώς και οι χρόνοι καθυστέρησης στα κέντρα εργασίας που ακολουθούν.

B : είναι το κέντρο άφιξης των πίσω αξόνων, όπου και εδώ καθορίζεται ο ρυθμός άφιξης τους στο μοντέλο. Ο κάθε άξονας αποκτά τις εξής ιδιότητες : ο τύπος του άξονα (πίσω), η σειρά εισόδου στο σύστημα (προφανώς ζυγοί αριθμοί 2^{ος}, 4^{ος}, 6^{ος} κλπ), αρχική και τελική ταχύτητα, οι χρόνοι καθυστέρησης στα κέντρα εργασίας καθώς και οι χρονικές διαφορές που πρέπει να υπάρχουν

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

μεταξύ του κάθε άξονα με τον αντίστοιχο εμπρόσθιο άξονα του οχήματος στο οποίο ανήκουν.

C : είναι η ουρά που προηγείται του υπό-παράθυρου (sub-window) όπου βρίσκονται τα κέντρα εργασίας που εξυπηρετούνται οι μπροστινοί άξονες των οχημάτων.

D : είναι η ουρά που προηγείται του αντίστοιχου υπό-παράθυρου (sub-window) όπου γίνεται η εξυπηρέτηση των πίσω αξόνων των οχημάτων.

E : είναι το υπό-παράθυρο (sub-window) το οποίο περιέχει 13 τετράδες κέντρων εργασιών και όπου εξυπηρετούνται οι μπροστινοί άξονες των οχημάτων. Κάθε άξονας, εξυπηρετείται από μια τετράδα κέντρων εργασίας όπου με βάση τους τέσσερις χρόνους που έχουν υπολογιστεί στο Microsoft Excel προσομοιώνεται ο συνολικός χρόνος που απαιτείται ώστε να διανύσει την απόσταση των 200 μέτρων από το σημείο εισόδου μέχρι το σημείο εξόδου. Οι χρόνοι καθυστέρησης αποτελούν τέσσερις ξεχωριστές ιδιότητες κάθε άξονα και επομένως το πρώτο κέντρο εργασίας "διαβάζει" τον πρώτο χρόνο, το δεύτερο κέντρο το δεύτερο χρόνο κλπ.

F : είναι το υπό-παράθυρο (sub-window) το οποίο και αυτό περιέχει 13 τετράδες κέντρων εργασίας για την εξυπηρέτηση των πίσω αξόνων των οχημάτων. Ομοίως με το υπο-παράθυρο E, ο κάθε άξονας εξυπηρετείται από μια τετράδα κέντρων εργασίας όπου προσομοιώνεται ο συνολικός χρόνος διάνυσης των 200 μέτρων.

G : είναι το υπό-παράθυρο (sub-window) το οποίο περιέχει 13 κέντρα εργασίας στο οποίο γίνεται εξυπηρέτηση μόνο των πίσω αξόνων. Με βάση τις τελικές ταχύτητες των οχημάτων, έχει καθοριστεί στο Microsoft Excel η χρονική διαφορά μεταξύ του μπροστινού και του πίσω άξονα κάθε οχήματος. Κάθε πίσω άξονας εξυπηρετείται σε ένα από τα κέντρα εργασίας, το οποίο και τον καθυστερεί για χρόνο ίσο με την τιμή που έχει η αντίστοιχη ιδιότητα του.

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

H : είναι ένα κέντρο εργασίας μηδενικής καθυστέρησης που συνδέεται με τα **E** και **G** και προσομοιώνει τη θέση στην οποία βρίσκεται ο σωλήνας του μετρητή με πεπιεσμένο αέρα. Από αυτό το κέντρο εργασίας διέρχονται όλοι οι άξονες του μοντέλου και καταγράφεται ο ακριβής χρόνος διέλευσης τους σε μια συγκεκριμένη ιδιότητα τους.

I : είναι η ουρά που προηγείται του κέντρου εξόδου.

J : είναι το κέντρο εξόδου όπου καταλήγουν όλοι οι άξονες του μοντέλου.

5.1.8 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Από τις πιο σημαντικές και τις πιο δύσκολες εργασίες κατά την κατασκευή ενός προτύπου είναι η επαλήθευση και ο έλεγχος αξιοπιστίας.

Ο σκοπός του ελέγχου αξιοπιστίας είναι διπλός:

1. Να δημιουργηθεί ένα πρότυπο που να αναπαριστά όσο γίνεται καλύτερα, τη συμπεριφορά του πραγματικού συστήματος, έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο του με σκοπό τη διερεύνηση του συστήματος.
2. Να αυξήσει σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο την αξιοπιστία του προτύπου.

Ο έλεγχος αξιοπιστίας δεν πρέπει να θεωρείται ως μια μεμονωμένη διαδικασία που συνοδεύει την κατασκευή ενός προτύπου, αλλά ένα μέρος της δημιουργίας του. Η διαδικασία της επαλήθευσης και του ελέγχου αξιοπιστίας μπορεί να χωριστεί σε δυο μέρη.

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

1. Η επαλήθευση αναφέρεται στη σύγκριση του προτύπου που βρίσκεται στο στάδιο της σύλληψης με το κωδικοποιημένο πρότυπο, το οποίο είναι η εφαρμογή της σύλληψης στον Η/Υ.
2. Ο έλεγχος αξιοπιστίας του προτύπου γίνεται για να διαπιστωθεί εάν το πρότυπο αναπαριστά επακριβώς το πραγματικό σύστημα. Ο έλεγχος αυτός επιτυγχάνεται με τη βοήθεια μιας επαναληπτικής διαδικασίας σύγκρισης του προτύπου με τη συμπεριφορά του πραγματικού συστήματος, που έχει ως αποτέλεσμα την εύρεση των διαφορών τους. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι η ακρίβεια του προτύπου να θεωρηθεί επαρκής.

5.1.9 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Η επαλήθευση του προτύπου γίνεται για να διαπιστωθεί εάν το πρότυπο που βρίσκεται στη φάση της σύλληψης αντικατοπτρίζεται στο κωδικοποιημένο πρότυπο. Το πρότυπο που βρίσκεται στη φάση της σύλληψης αρκετά συχνά παρουσιάζει ελλείψεις και απλοποιήσεις όσον αφορά τις λειτουργίες του συστήματος.

Παρακάτω περιγράφονται οι διαδικασίες που έγιναν με βάση την κοινή λογική για τη διαδικασία της επαλήθευσης του προτύπου:

- Η κωδικοποίηση του προτύπου ελέγχθηκε και από κάποιον άλλον εκτός από τον προγραμματιστή.
- Έγινε προσεκτική εξέταση των αποτελεσμάτων με διαφορετικές παραμέτρους, για να διαπιστωθεί εάν τα αποτελέσματα είναι λογικά.
- Στο τέλος της προσομοίωσης έγινε έλεγχος των παραμέτρων, για να διαπιστωθεί ότι δεν άλλαξαν κατά λάθος.

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

5.1.10 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Ένα πρότυπο προφανώς και δεν αντιπροσωπεύει ποτέ επακριβώς ένα πραγματικό σύστημα. Απαιτείται όμως η όσο το δυνατόν καλύτερη προσαρμογή του προτύπου στην πραγματικότητα και ο έλεγχος αξιοπιστίας του προτύπου είναι μια διαδικασία της προσαρμογής αυτής. Η προσαρμογή του προτύπου είναι μια επαναληπτική διαδικασία σύγκρισης και τροποποίησης του προτύπου σε σχέση με το πραγματικό σύστημα. Η σύγκριση του προτύπου και των αποτελεσμάτων επαναλαμβάνεται, μέχρις ότου το πρότυπο θεωρηθεί ότι είναι ικανοποιητικά ακριβές.

Το μειονέκτημα της φάσης προσαρμογής του προτύπου είναι ότι αυτή βασίζεται σε μια μόνο ομάδα δεδομένων. Για να εξαλειφθεί αυτό το μειονέκτημα, μετά την προσαρμογή του προτύπου, που γίνεται με τη χρήση των αρχικών δεδομένων, γίνεται ο τελικός έλεγχος αξιοπιστίας με χρήση μιας δεύτερης ομάδας δεδομένων. Εάν στον τελικό έλεγχο παρατηρηθούν μη αποδεκτές διαφορές μεταξύ του προτύπου και του συστήματος, πρέπει η διαδικασία να γυρίσει στη φάση της προσαρμογής και να τροποποιηθεί το πρότυπο έως ότου γίνει αποδεκτό.

5.1.11 ΕΞΑΛΕΙΨΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΜΕΡΟΛΗΨΙΑΣ

Ένα πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι το γεγονός ότι η εκτέλεση ξεκινάει με το σύστημα να είναι κενό οχήμάτων. Αυτό σημαίνει ότι οι πρώτες αφίξεις θα εμφανισθούν στη θέση του μετρητή μετά από κάποιο χρονικό διάστημα (το χρονικό διάστημα που απαιτείται για τη διάνυση των 200 μέτρων) και χωρίς να υπάρχει εμπλοκή τους με άλλα οχήματα.

Για να μειωθεί η αρχική μεροληψία υπάρχουν 3 προσεγγίσεις:

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

1. Το σύστημα μπορεί να ξεκινήσει από μια πιο αντιπροσωπευτική αρχική κατάσταση.
2. Το πρώτο μέρος κάθε εκτέλεσης μπορεί να αγνοηθεί.
3. Η εκτέλεση μεγάλης χρονικής διάρκειας.

Σε μερικές έρευνες που χρησιμοποιούν προσομοίωση, ιδιαίτερα σε υφιστάμενα συστήματα, μπορεί να υπάρχουν πληροφορίες για τις αναμενόμενες συνθήκες, οι οποίες δίνουν τη δυνατότητα επιλογής καλύτερων αρχικών συνθηκών από την αρχική κατάσταση, στην οποία το σύστημα είναι κενό οχημάτων. Σε άλλες περιπτώσεις, μπορεί να χρησιμοποιείται μια σειρά τιμών για τις αρχικές συνθήκες, έτσι ώστε για κάθε επανάληψη να επιλέγεται μια διαφορετική αρχική κατάσταση. Σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιείται η ίδια αρχική κατάσταση, αφαιρώντας ασυνήθιστες αρχικές συνθήκες για τη μείωση της μεροληψίας, με αποτέλεσμα όμως, την αύξηση του βαθμού συσχέτισης μεταξύ των εκτελέσεων. Αυτή όμως η προσέγγιση προϋποθέτει καλή γνώση της λειτουργίας του συστήματος πριν αρχίσει η προσομοίωση. Επομένως με αποτελέσματα που προκύπτουν είτε με τη μια μέθοδο είτε με την άλλη, προβλέπονται συνθήκες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υπόδειξη λογικών αρχικών συνθηκών. Εάν τα πραγματικά αποτελέσματα είναι ανεξάρτητα από την αρχική μεροληψία, η επανάληψη μερικών εκτελέσεων με καινούργιες αρχικές συνθήκες δε θα δώσουν σημαντική διαφορά.

Η πιο συνήθης προσέγγιση για τη μείωση της αρχικής μεροληψίας είναι η αφαίρεση του αρχικού μέρους της εκτέλεσης. Δηλαδή η εκτέλεση ξεκινάει από την αρχική κατάσταση, στην οποία το σύστημα είναι κενό οχημάτων και σταματά μετά από κάποιο χρονικό διάστημα. Τα στοιχεία που υπάρχουν εκείνη τη στιγμή στο σύστημα μένουν όπως είναι. Μετά ξεκινάει και πάλι η εκτέλεση και τα δεδομένα αρχίζουν να συλλέγονται από τη στιγμή του καινούργιου ξεκινήματος. Όσον αφορά το χρονικό διάστημα που πρέπει να αγνοηθεί δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένος κανόνας, αλλά αφήνεται στην κρίση του αναλυτή.

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Η τελευταία προσέγγιση στο πρόβλημα της εξάλειψης της αρχικής μεροληψίας, είναι αυτή που χρησιμοποιεί μια εκτέλεση μεγάλης χρονικής διάρκειας, θεωρώντας ότι με την αύξηση του χρόνου εκτέλεσης τα αποτελέσματα είναι πιο αντιπροσωπευτικά. Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιήθηκε στο υπό μελέτη πρότυπο, η κάθε εκτέλεση του οποίου είχε διάρκεια μίας ώρας ενώ το σύστημα παρέμεινε κενό για διάστημα λίγων δευτερολέπτων μέχρι στην ουσία το πρώτο όχημα να καλύψει την απόσταση των 200 μέτρων.

5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

5.2.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα του προτύπου προσομοίωσης δίδονται ως οι χρόνοι διέλευσης των αξόνων των οχημάτων από το σημείο όπου θεωρητικά βρίσκεται ο σωλήνας του μετρητή πεπιεσμένου αέρα (200 μέτρα από τη διατομή εισόδου των οχημάτων) στη διάρκεια μίας ώρας, καθώς και ο αντίστοιχος ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε για κάθε μια από τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν και κάθε εκτέλεση είχε διάρκεια μίας ώρας. Επειδή τα αποτελέσματα αυτά αφορούσαν μια λωρίδα κυκλοφορίας, επαναλήφθηκαν οι ίδιες εκτελέσεις χρησιμοποιώντας διαφορετικές ομάδες τυχαίων αριθμών ώστε να προσομοιαστούν και οι άλλες δύο λωρίδες κυκλοφορίας. Στη συνέχεια συνδυάστηκαν τα αποτελέσματα των τριών λωρίδων κυκλοφορίας, για διάφορους συνδυασμούς κυκλοφοριακών φόρτων ανά λωρίδα οπότε και βρέθηκαν οι χρόνοι διέλευσης των αξόνων όλων των οχημάτων και για τις τρεις λωρίδες σε χρονικό διάστημα μίας ώρας. Τέλος, με βάση τις χρονικές διαφορές μεταξύ των διαδοχικών "χτυπημάτων" των αξόνων πάνω στο σωλήνα και σε σχέση με το

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

“νεκρό χρόνο” του μετρητή, καθορίστηκε το ποσοστό των αξόνων (προφανώς και οχημάτων) που δεν καταγράφηκαν.

5.2.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΓΙΑ ΜΙΑ ΛΩΡΙΔΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Η προσομοίωση για μια λωρίδα κυκλοφορίας έγινε για διάφορους συνδυασμούς κυκλοφοριακών φόρτων και ταχυτήτων. Όπως αναφέρθηκε και στις παραδοχές όταν ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι μικρότερος ή ίσος με 400 οχήματα ανά ώρα οι χρόνοι ανάμεσα στις αφίξεις ακολουθούν εκθετική κατανομή, ενώ όταν οι φόρτοι είναι μεγαλύτεροι από 400 οχήματα ανά ώρα ακολουθούν κατανομή Γάμμα. Αντίστοιχα οι ταχύτητες των οχημάτων ακολουθούν κατανομή Γάμμα ανεξαρτήτως της τιμής του κυκλοφοριακού φόρτου. Επειδή για μικρές τιμές κυκλοφοριακών φόρτων η πιθανότητα ταυτόχρονης διέλευσης αξόνων πάνω από το σωλήνα (για συνδυασμό και των τριών λωρίδων κυκλοφορίας) είναι πολύ μικρή, προφανώς και το ποσοστό των οχημάτων που δεν θα καταγραφεί θα είναι εξίσου μικρό. Για το λόγο αυτό, οι κυκλοφοριακοί φόρτοι που εξετάστηκαν στην προσομοίωση κυμάνθηκαν από 500 έως 1500 οχήματα ανά ώρα και ανά λωρίδα. Οι συνδυασμοί φόρτων και ταχυτήτων, καθώς και οι παράμετροι των κατανομών που χρησιμοποιήθηκαν, φαίνονται στον πίνακα 5.1 .

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Πίνακας 5.1 : Παράμετροι των κατανομών που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση, για διάφορους συνδυασμούς κυκλοφοριακών φόρτων και ταχυτήτων.

ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΙ ΦΟΡΤΟΙ (οχή/ώρα)	ΧΡΟΝΙΚΟΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΙ (sec)			ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ (km/h)		
	ΚΑΤΑΝΟΜΗ	α	β	ΚΑΤΑΝΟΜΗ	α	β
500	Γάμμα	7,0	1,1	Γάμμα	66	1,1
600	Γάμμα	6,0	1,1	Γάμμα	65	1,1
700	Γάμμα	5,0	1,1	Γάμμα	64	1,1
800	Γάμμα	4,0	1,1	Γάμμα	63	1,1
900	Γάμμα	3,7	1,1	Γάμμα	62	1,1
1000	Γάμμα	3,2	1,1	Γάμμα	60	1,1
1100	Γάμμα	3,0	1,1	Γάμμα	59	1,1
1200	Γάμμα	2,7	1,1	Γάμμα	58	1,1
1300	Γάμμα	2,5	1,1	Γάμμα	54	1,1
1400	Γάμμα	2,3	1,1	Γάμμα	50	1,1
1500	Γάμμα	2,1	1,1	Γάμμα	44	1,1

Επομένως με βάση τα στοιχεία του πίνακα 5.1, έγιναν 11 εκτελέσεις του προγράμματος όπου κάθε εκτέλεση είχε διάρκεια μίας ώρας. Τα αποτελέσματα των εκτελέσεων μεταφέρθηκαν στο Microsoft Excel για την ανάλυση που θα ακολουθούσε.

5.2.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΛΩΡΙΔΕΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Αλλάζοντας τις ομάδες τυχαίων αριθμών του μοντέλου, έγινε η προσομοίωση των άλλων δύο λωρίδων κυκλοφορίας. Οι συνδυασμοί των κυκλοφοριακών φόρτων και των ταχυτήτων, όπως και οι παράμετροι των κατανομών που χρησιμοποιήθηκαν, παρέμειναν οι ίδιοι με αυτούς του πίνακα 5.1

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

. Έτσι έγιναν άλλες 22 εκτελέσεις (11 για την δεύτερη λωρίδα και 11 για την τρίτη λωρίδα κυκλοφορίας), διάρκειας πάλι μίας ώρας η κάθε μια.

Μετά το πέρας όλων των εκτελέσεων όλοι οι χρόνοι διέλευσης των αξόνων, καθώς και οι “πραγματικοί” κυκλοφοριακοί φόρτοι μεταφέρθηκαν στο Microsoft Excel. Οι “πραγματικοί” κυκλοφοριακοί φόρτοι σε σχέση με του θεωρητικούς που υπάρχουν στον πίνακα 5.1 παρουσιάζονται στον πίνακα 5.2 .

Πίνακας 5.2 : Αντιστοίχιση των πραγματικών κυκλοφοριακών φόρτων με τους θεωρητικούς φόρτους που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ (οχ/ώρα)	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ (οχ/ώρα)		
	ΔΕΞΙΑ ΛΩΡΙΔΑ	ΜΕΣΑΙΑ ΛΩΡΙΔΑ	ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΛΩΡΙΔΑ
500	464	467	470
600	543	546	539
700	650	654	647
800	814	807	810
900	886	871	875
1000	1027	1011	1013
1100	1096	1081	1080
1200	1220	1180	1187
1300	1316	1265	1293
1400	1424	1375	1398
1500	1544	1513	1523

5.2.4 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΛΩΡΙΔΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Επειδή το υπό μελέτη οδικό τμήμα της λεωφόρου Κατεχάκη έχει τρεις λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, έπρεπε τα αποτελέσματα των τριών λωρίδων κυκλοφορίας να συνδυαστούν για διάφορες τιμές κυκλοφοριακών

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

φόρτων. Εξάλλου και οι κυκλοφοριακοί φόρτοι ανά λεπτό, που κατέγραψαν οι μετρητές ADR-2000, αναφέρονταν στον συνολικό αριθμό οχημάτων που πέρασαν πάνω από το καλώδιο του μετρητή και από τις τρεις λωρίδες κυκλοφορίας.

Για να γίνουν οι συνδυασμοί των αποτελεσμάτων, έπρεπε να καθοριστεί η κατανομή της κυκλοφορίας ανά λωρίδα για διάφορες τιμές του συνολικού κυκλοφοριακού φόρτου. Η κατανομή της κυκλοφορίας μιας οδού ανά λωρίδα της αυτής κατεύθυνσης εξαρτάται από τα εξής:

- Τον συνολικό κυκλοφοριακό φόρτο.
- Την κατηγορία και τη θέση της οδού.
- Τη διαμόρφωση των κόμβων.
- Την ύπαρξη ή όχι κεντρικής διαχωριστικής νησίδας.
- Την ύπαρξη ή όχι στάσεων λεωφορείων.
- Την κυκλοφορία που εισέρχεται ή εξέρχεται από την οδό.
- Τις συνήθειες των οδηγών της περιοχής.

Ως παράδειγμα αναφέρεται ότι από την ανάλυση μετρήσεων σε διάφορους αυτοκινητόδρομους 6 λωρίδων κυκλοφορίας (3 λωρίδες ανα κατεύθυνση) των ΗΠΑ, προέκυψε ότι σε χαμηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους η αριστερή λωρίδα κυκλοφορίας (λωρίδα υψηλής ταχύτητας) εξυπηρετούσε λιγότερο και από το 10% της συνολικής κυκλοφορίας. Αντιθέτως όταν ο συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος ήταν της τάξης των 5000 οχημάτων την ώρα η αριστερή λωρίδα εξυπηρετούσε το 37% του συνόλου.

Στην παρούσα εργασία, για να καθοριστεί η κατανομή της κυκλοφορίας ανά λωρίδα αποφασίστηκε να διεξαχθούν κάποιες επιπλέον μετρήσεις με τη βοήθεια χειροκίνητου μετρητή (tally counter). Οι μετρητές αυτοί συνήθως έχουν τέσσερα ή περισσότερα κουμπιά. Πιέζοντας το κάθε κουμπί ανάλογα με το αν το όχημα κινείται στην αριστερή, στη μεσαία ή στη δεξιά λωρίδα κυκλοφορίας καταγράφεται μια μονάδα σε ειδικό μετρητή. Οι μετρήσεις αυτές διεξήχθησαν σε μια χαρακτηριστική διατομή της λεωφόρου Κατεχάκη, όπου δεν υπήρχαν κόντα

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

στάσεις λεωφορείου αλλά ούτε και σημεία εισόδου ή εξόδου οχημάτων. Η διάρκεια των μετρήσεων ήταν 30 λεπτά και έγιναν 7 μετρήσεις σε διαφορετικές ώρες της ημέρας ώστε τα αποτελέσματα να καλύπτουν διάφορες τιμές του συνολικού κυκλοφοριακού φόρτου. Στη συνέχεια, ο αριθμός των οχημάτων που κινείτο σε κάθε μια από τις τρεις λωρίδες κυκλοφορίας μετατράπηκε σε κυκλοφοριακό φόρτο ανά ώρα, υπολογίστηκε ο συνολικός ωριαίος φόρτος και υπολογίστηκε το % ποσοστό του συνολικού φόρτου που αντιστοιχούσε σε κάθε μια από τις τρεις λωρίδες κυκλοφορίας.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στον πίνακα 5.3 .

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Πίνακας 5.3 : Κατανομή της κυκλοφορίας ανά λωρίδα με βάση μετρήσεις που έγιναν με βοήθεια χειροκίνητου μετρητή.

	ΗΜ/ΝΙΑ	ΩΡΑ	ΔΕΞΙΑ ΛΩΡΙΔΑ	ΜΕΣΑΙΑ ΛΩΡΙΔΑ	ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΛΩΡΙΔΑ	ΣΥΝΟΛΟ
οχ./30 λεπτά	15/10/2003	19:30-20:00	325	518	464	
οχήματα/ώρα			650	1036	928	2614
% του συνόλου			25	40	35	
οχ./30 λεπτά	17/10/2003	12:30-13:00	294	496	434	
οχήματα/ώρα			588	992	868	2448
% του συνόλου			24	41	35	
οχ./30 λεπτά	17/10/2003	14:30-15:00	290	305	297	
οχήματα/ώρα			580	610	584	1774
% του συνόλου			33	34	33	
οχ./30 λεπτά	20/10/2003	23:30-24:00	84	232	166	
οχήματα/ώρα			168	464	332	964
% του συνόλου			17	48	35	
οχ./30 λεπτά	23/10/2003	11:30-12:00	296	526	449	
οχήματα/ώρα			592	1052	898	2542
% του συνόλου			23	41	36	
οχ./30 λεπτά	23/10/2003	13:30-14:00	300	583	456	
οχήματα/ώρα			600	1166	912	2678
% του συνόλου			22	44	34	
οχ./30 λεπτά	23/10/2003	14:00-14:30	380	500	424	
οχήματα/ώρα			760	1000	848	2608
% του συνόλου			29	38	33	

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Από τη μελέτη των στοιχείων του πίνακα 5.3 προέκυψαν ορισμένα σημαντικά συμπεράσματα. Η μεσαία λωρίδα κυκλοφορίας εξυπηρετεί το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής κυκλοφορίας για το σύνολο των μετρήσεων. Μάλιστα στις 20/10/2003 όπου οι μετρήσεις έγιναν νυχτερινή ώρα και ο συνολικός ωριαίος φόρτος ήταν 964 οχήματα/ώρα, η μεσαία λωρίδα εξυπηρέτησε το 48% του συνολικού φόρτου. Πάντως το ποσοστό εξυπηρέτησης της μεσαίας λωρίδας κυμάνθηκε μεταξύ 34% έως 48% όπου το 34% μετρήθηκε σε συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης. Η αριστερή λωρίδα κυκλοφορίας εξυπηρετεί μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής κυκλοφορίας από τη δεξιά λωρίδα, ποσοστό που κυμαίνεται μεταξύ 33% και 36%. Τα ποσοστά της δεξιάς λωρίδας, τα οποία είναι και τα χαμηλότερα, είναι μεταξύ 17% και 33% της συνολικής κυκλοφορίας όπου όμως και εδώ το 33% μετρήθηκε σε συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης.

Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων με τη βοήθεια του χειροκίνητου μετρητή, κατασκευάστηκε ο πίνακας των συνδυασμών των κυκλοφοριακών φόρτων των τριών λωρίδων κυκλοφορίας για διάφορες τιμές του συνολικού κυκλοφοριακού φόρτου. Εκτός από τους συνδυασμούς που προέκυψαν από τις μετρήσεις και οι οποίοι αποτελούν ένα μικρό ποσοστό όλων των πιθανών περιπτώσεων, οι υπόλοιποι συνδυασμοί αντιστοιχούν σε λογικές περιπτώσεις συνδυασμών που αφορούν πραγματικές κυκλοφοριακές συνθήκες. Οι συνδυασμοί που επιλέχθηκαν για μελέτη παρουσιάζονται στους πίνακες 5.4 και 5.5 όπου κάθε συνδυασμός αποτελεί το άθροισμα των φόρτων των λωρίδων κυκλοφορίας (ΔΕΞΙΑ+ΜΕΣΑΙΑ+ΑΡΙΣΤΕΡΗ).

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Πίνακας 5.4 : Συνδυασμοί κυκλοφοριακών φόρτων που επιλέχθηκαν για μελέτη.

ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ (οχήματα/ώρα)	ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΩΝ (οχήματα/ώρα) ΔΕΞΙΑ+ΜΕΣΑΙΑ+ΑΡΙΣΤΕΡΗ	ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ (οχήματα/ώρα)	ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΩΝ (οχήματα/ώρα) ΔΕΞΙΑ+ΜΕΣΑΙΑ+ΑΡΙΣΤΕΡΗ
1500	500+500+500	2600	800+900+900
1600	500+600+500		800+1000+800
1700	500+700+500		600+1000+1000
	500+600+600		700+1000+900
1800	500+800+500	2700	600+1100+900
	600+600+600		900+900+900
	500+700+600		700+1000+1000
1900	600+700+600		800+1000+900
	500+700+700	2800	800+1100+800
	500+800+600		700+1100+900
2000	600+800+600		900+1000+900
	600+700+700		800+1000+1000
	500+800+700	2900	700+1100+1000
2100	700+700+700		800+1100+900
	500+800+800		900+1000+1000
	600+800+700		900+1100+900
	600+900+600	3000	700+1100+1100
2200	700+800+700		800+1100+1000
	600+800+800		700+1200+1000
	500+900+800	3100	1000+1000+1000
	600+900+700		800+1100+1100
	500+1000+700		900+1100+1000
2300	700+800+800		900+1200+900
	700+900+700	3200	800+1200+1000
	600+900+800		700+1200+1100
	600+1000+700		1000+1100+1000
	500+1000+800		900+1100+1100
2400	800+800+800	3300	800+1200+1100
	600+900+900		900+1200+1000
	700+900+800		800+1300+1000
	700+1000+700	3400	1000+1100+1100
	600+1000+800		1000+1200+1000
2500	800+900+800		800+1200+1200
	700+900+900		900+1200+1100
	600+1000+900	3500	800+1300+1100
	700+1000+800		

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Πίνακας 5.5 : Συνδυασμοί κυκλοφοριακών φόρτων που επιλέχθηκαν για μελέτη.

ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ (οχήματα/ώρα)	ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΩΝ (οχήματα/ώρα) ΔΕΞΙΑ+ΜΕΣΑΙΑ+ΑΡΙΣΤΕΡΗ	ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ (οχήματα/ώρα)	ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΩΝ (οχήματα/ώρα) ΔΕΞΙΑ+ΜΕΣΑΙΑ+ΑΡΙΣΤΕΡΗ
3300	1100+1100+1100	3800	1200+1300+1300
	1100+1200+1100		1200+1400+1200
	900+1200+1200		1000+1400+1400
	1000+1200+1100		1100+1400+1300
	1000+1300+1000		
	900+1300+1100		
3400	1000+1200+1200	3900	1300+1300+1300
	900+1300+1200		1100+1400+1400
	1000+1300+1100		1200+1400+1300
	900+1400+1100		1200+1500+1200
	800+1400+1200		1100+1500+1300
3500	1100+1200+1200	4000	1300+1400+1300
	1100+1300+1100		1200+1400+1400
	900+1300+1300		1100+1500+1400
	1000+1300+1200		1200+1500+1300
	900+1400+1200		
3600	1000+1300+1300	4100	1300+1400+1400
	1200+1200+1200		1300+1500+1300
	1100+1300+1200		1100+1500+1500
	1100+1400+1100		1200+1500+1400
	1000+1400+1200		
3700	1200+1300+1200	4200	1400+1400+1400
	1100+1300+1300		1200+1500+1500
	1000+1400+1300		1300+1500+1400
	1100+1400+1200		
3800	1200+1300+1200	4300	1400+1500+1400
	1100+1300+1300		1300+1500+1500
	1000+1400+1300		
	1100+1400+1200		
3900	1200+1300+1200	4400	1400+1500+1500
	1100+1300+1300		
	1000+1400+1300		
	1100+1400+1200		
4000	1200+1300+1200	4500	1500+1500+1500
	1100+1300+1300		
	1000+1400+1300		
	1100+1400+1200		

Για κάθε έναν από τους παραπάνω συνδυασμούς, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης κάθε λωρίδας κυκλοφορίας για τον αντίστοιχο “θεωρητικό” φόρτο μεταφέρθηκαν σε μια στήλη του Microsoft Excel. Έτσι για κάθε συνδυασμό κυκλοφοριακών φόρτων των τριών λωρίδων, κατασκευάστηκε μια στήλη με τους χρόνους διέλευσης όλων των αξόνων των οχημάτων που κινήθηκαν και στις τρεις λωρίδες κυκλοφορίας.

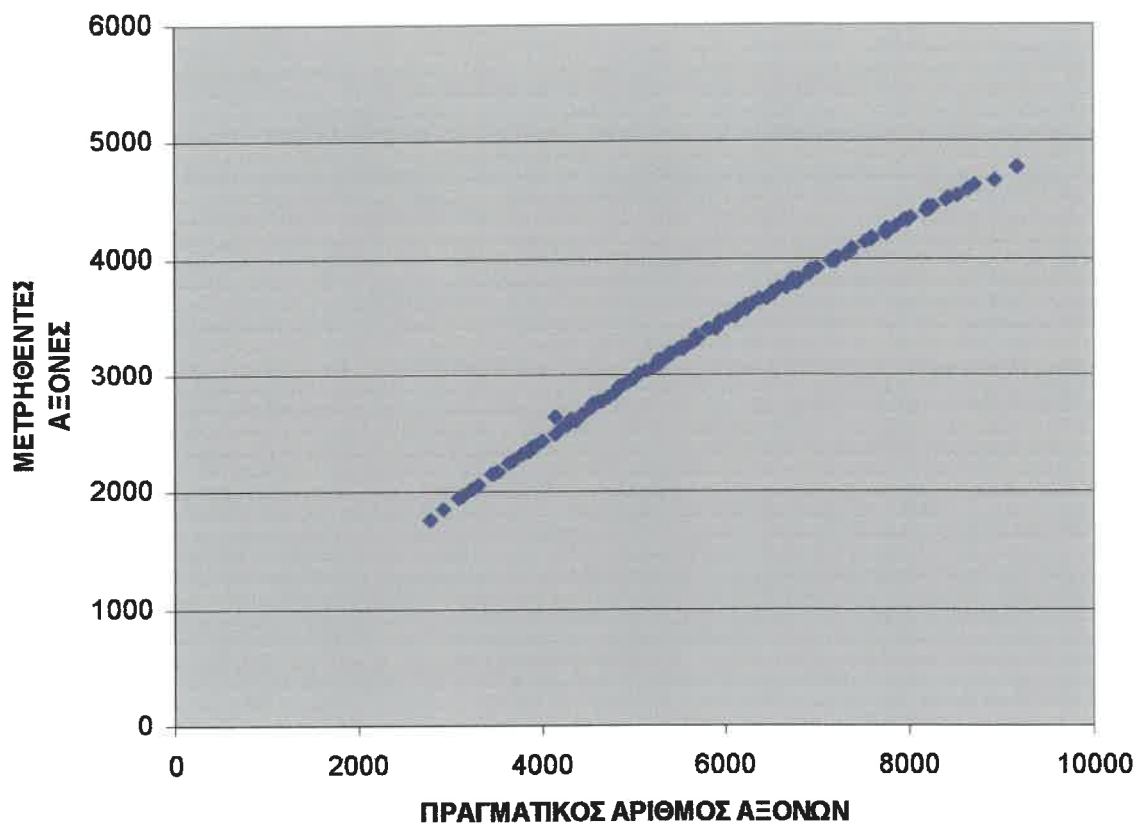
5.2.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Μετά τον καθορισμό των συνδυασμών των κυκλοφοριακών φόρτων των τριών λωρίδων κυκλοφορίας, το επόμενο βήμα ήταν ο προσδιορισμός του σφάλματος των μετρήσεων.

Οι μετρητές ήταν ρυθμισμένοι ώστε ο “νεκρός χρόνος” (deadtime) μεταξύ δυο διαδοχικών διελεύσεων να είναι ίσος με 300 msec. Αυτό σημαίνει ότι εάν η χρονική διαφορά μεταξύ δυο διαδοχικών ωθήσεων του αέρα του σωλήνα ήταν μικρότερη ή ίση από 300 msec, τότε ο μετρητής θα κατέγραφε έναν αντί για δυο άξονες.

Με βάση το “νεκρό χρόνο” των μετρητών, έπρεπε για κάθε έναν από τους συνδυασμούς κυκλοφοριακών φόρτων των πινάκων 5.4, 5.5 να προσδιοριστεί ο αριθμός αξόνων που τελικά καταγράφηκαν σε σχέση με τον πραγματικό αριθμό των αξόνων που πέρασαν πάνω από τους σωλήνες των μετρητών. Για κάθε ένα συνδυασμό υπολογίστηκαν όλες οι χρονικές διαφορές μεταξύ των διελεύσεων των αξόνων και για διαφορές μικρότερες ή ίσες από 300 msec θεωρήθηκε ότι ο μετρητής κατέγραψε έναν αντί για δυο άξονες. Επομένως για το σύνολο των περιπτώσεων, υπολογίστηκε ο αριθμός των αξόνων που μετρήθηκε γνωρίζοντας ταυτόχρονα και τον πραγματικό αριθμό των αξόνων που έπρεπε να είχε μετρηθεί. Τα αποτελέσματα για όλους τους συνδυασμούς κυκλοφοριακών φόρτων παρουσιάζονται στο διάγραμμα 5.1, όπου στον άξονα Χ παρουσιάζεται ο πραγματικός αριθμός των αξόνων και στον άξονα Υ το πλήθος των καταγραφέντων αξόνων.

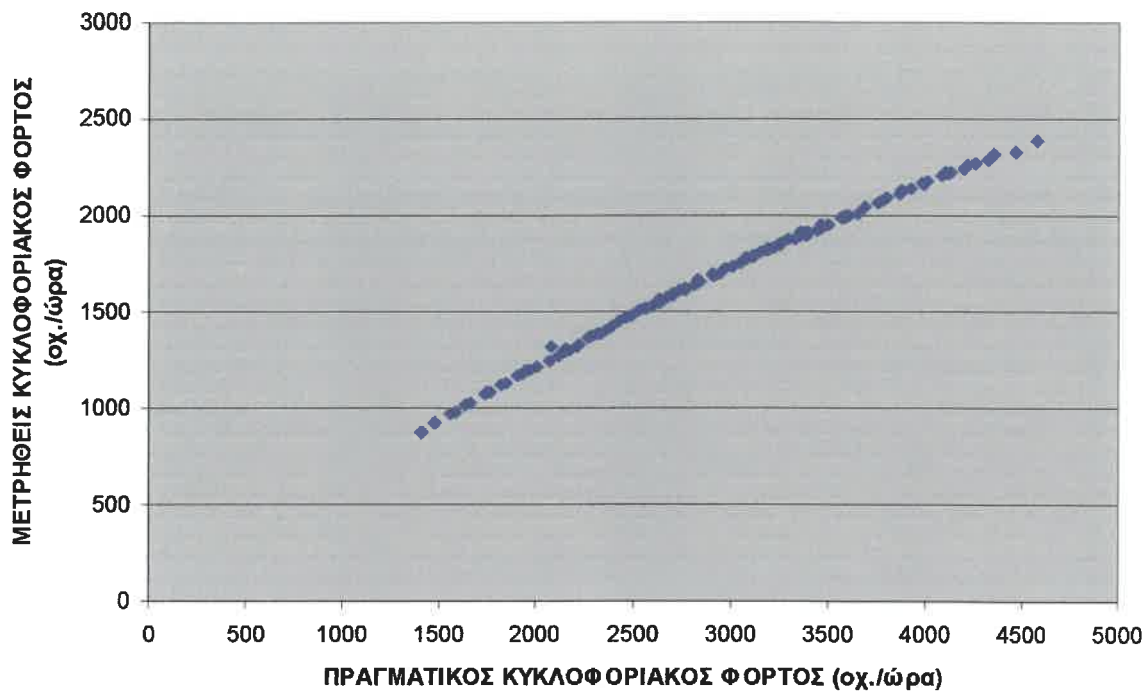
5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ



Διάγραμμα 5.1 : Σχέση μεταξύ μετρηθέντων και πραγματικών αξόνων.

Τα στοιχεία του διαγράμματος 5.1 διαιρέθηκαν δια δυο (δυο άξονες ανά όχημα) για να μετατραπούν σε ωριαίους κυκλοφοριακούς φόρτους. Στο διάγραμμα 5.2 δίνεται η σχέση μεταξύ του πραγματικού και του μετρηθέντος κυκλοφοριακού φόρτου των τριών λωρίδων κυκλοφορίας.

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

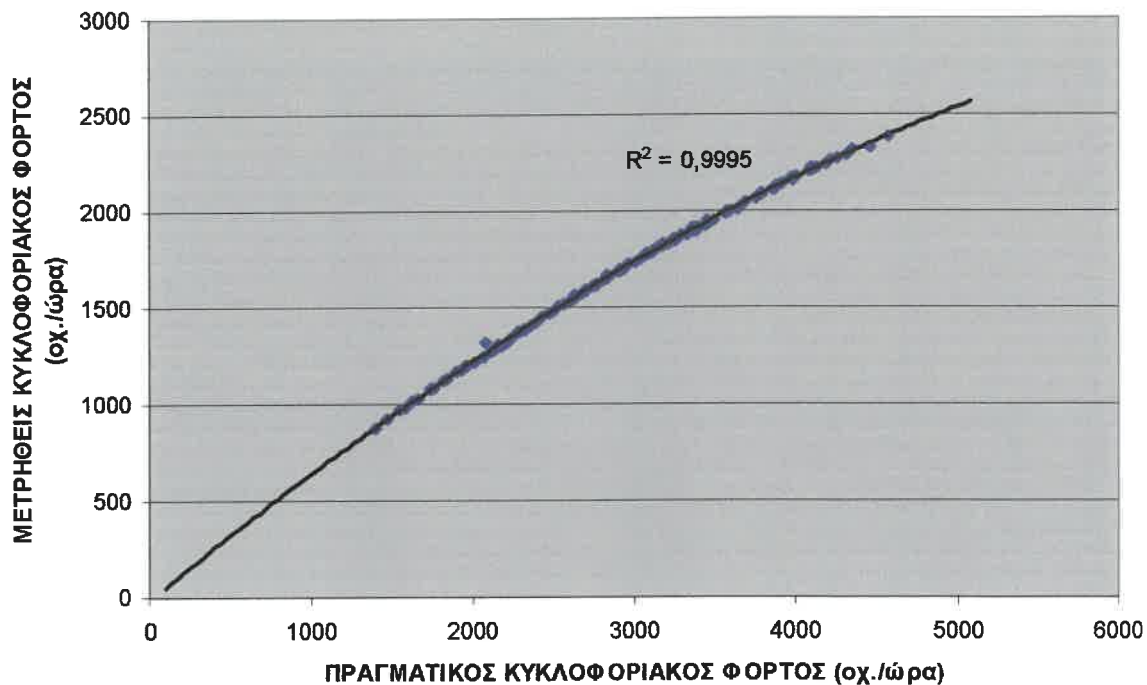


Διάγραμμα 5.2 : Σχέση μεταξύ μετρηθέντος και πραγματικού ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου.

Με βάση τα στοιχεία του διαγράμματος 5.2 μπορούν να γίνουν κάποιες ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις. Το σφάλμα των μετρήσεων είναι αρκετά μικρότερο για μικρές τιμές ωριαίων κυκλοφοριακών φόρτων σε σχέση με το σφάλμα για μεγάλους φόρτους. Συγκεκριμένα, για τη μικρότερη τιμή πραγματικού φόρτου του διαγράμματος που ήταν 1401 οχήματα ανά ώρα καταγράφησαν 877 οχήματα δηλαδή το 63% του πραγματικού. Στη μεγαλύτερη τιμή πραγματικού φόρτου που ήταν 4580 οχήματα ανά ώρα, μετρήθηκαν 2389 οχήματα ήτοι το 52% του πραγματικού. Η αύξηση του σφάλματος όσο αυξάνεται ο συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος, είναι απολύτως λογική καθώς για μεγάλες τιμές του συνολικού φόρτου (προφανώς και για μεγάλες τιμές φόρτου για κάθε μια λωρίδα κυκλοφορίας ξεχωριστά) οι ταυτόχρονες διελεύσεις των αξόνων των οχημάτων θα είναι πολλές περισσότερες σε σχέση με αυτές που θα λάμβαναν χώρα για μικρές τιμές του συνολικού φόρτου. Μάλιστα για πολύ μικρές τιμές του συνολικού φόρτου, μέχρι και 300 οχήματα την ώρα το σφάλμα είναι σχεδόν μηδενικό όπως

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

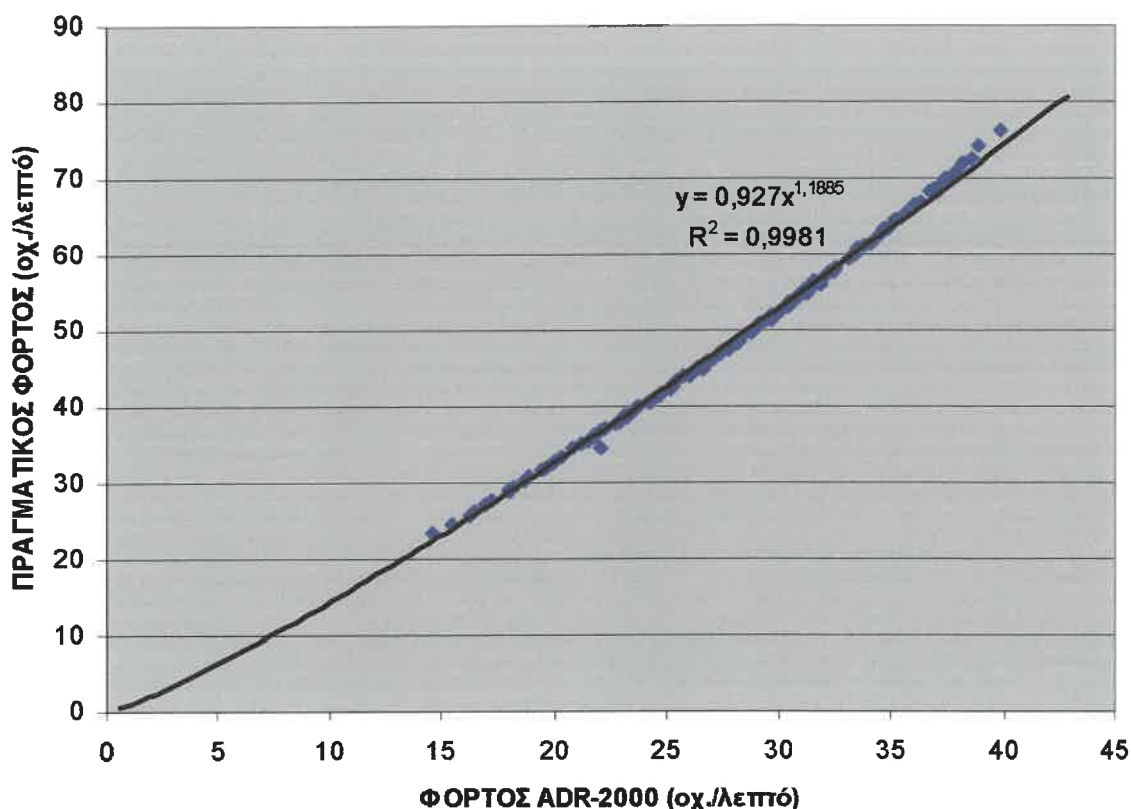
και φαίνεται στο διάγραμμα 5.3 , το οποίο είναι ίδιο με το διάγραμμα 5.2 απλά έχει προστεθεί η καμπύλη τάσης (trendline) με συντελεστή προσαρμογής $R^2=0.9995$.



Διάγραμμα 5.3 : Σχέση μεταξύ μετρηθέντος και πραγματικού ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου με προσθήκη της καμπύλης τάσης.

Τα στοιχεία του διαγράμματος 5.3 μετατράπηκαν σε κυκλοφοριακούς φόρτους ανά λεπτό, για να μπορέσει να γίνει απ' ευθείας μετατροπή των μετρήσεων των ADR-2000 σε πραγματικούς φόρτους.

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

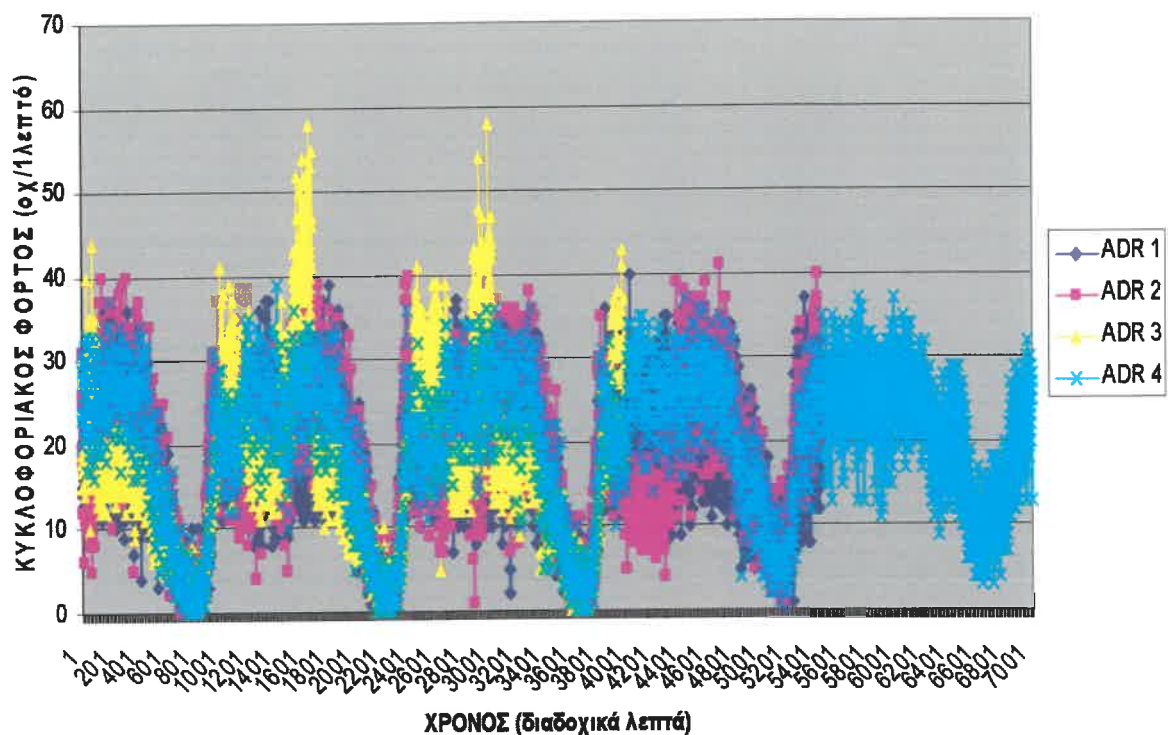


Διάγραμμα 5.4 : Σχέση μεταξύ των οχημάτων ανά λεπτό που μετρήθηκαν από τα ADR-2000 και του πραγματικού κυκλοφοριακού φόρτου ανά λεπτό.

Με βάση το διάγραμμα 5.4 και την εξίσωση $\psi = 0.927x^{1,1885}$ της καμπύλης τάσης με συντελεστή προσαρμογής $R^2=0.9981$, έγινε η μετατροπή όλων των μετρήσεων και των τεσσάρων ADR-2000, στον πραγματικό αριθμό οχημάτων που πέρασαν από τις τέσσερις θέσεις όπου είχαν τοποθετηθεί οι μετρητές.

Οι αρχικές μετρήσεις του κυκλοφοριακού φόρτου, όπως αυτές καταγράφηκαν από τα τέσσερα ADR-2000 παρουσιάζονται στο διάγραμμα για το σύνολο του χρόνου (διαδοχικά λεπτά) κατά τον οποίο το κάθε μηχάνημα ήταν ενεργοποιημένο.

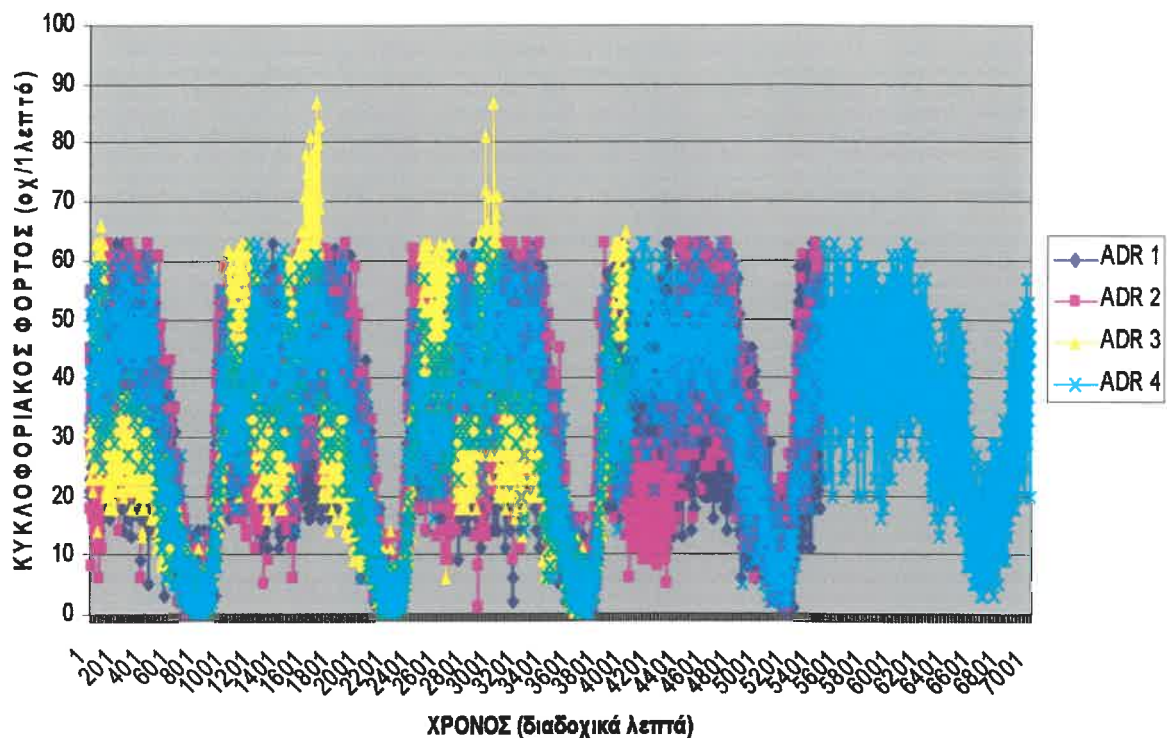
5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ



Διάγραμμα 5.5 : Απεικόνιση του κυκλοφοριακού φόρτου μεταξύ της 5^{ης} και της 10^{ης} Μαΐου 2003 για τα τέσσερα διαδοχικά σημεία της λεωφόρου Κατεχάκη όπως αυτός καταγράφηκε από τα μηχανήματα πεπιεσμένου αέρα.

Μετά τη διόρθωση των μετρήσεων με βάση το διάγραμμα 5.5, η απεικόνιση του κυκλοφοριακού φόρτου για τα τέσσερα σημεία παρουσιάζεται στο διάγραμμα 5.6 .

5. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ



Διάγραμμα 5.6 : Απεικόνιση του διορθωμένου κυκλοφοριακού φόρτου μεταξύ της 5^{ης} και της 10^{ης} Μαΐου 2003 για τα τέσσερα διαδοχικά σημεία της λεωφόρου Κατεχάκη.

Με τις διορθωμένες μετρήσεις του διαγράμματος 5.6, έγινε η μελέτη της συσχέτισης των κυκλοφοριακών φόρτων μεταξύ των τεσσάρων θέσεων της λεωφόρου Κατεχάκη. Η μελέτη της συσχέτισης, έγινε με τη θεωρία των χρονικών σειρών η ανάλυση της οποίας ακολουθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΧΡΟΝΙΚΩΝ ΣΕΙΡΩΝ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΕΙΡΕΣ

Μια **χρονική σειρά** είναι μια οικογένεια τυχαίων μεταβλητών X_t , $t \in T$, όπου T είναι χρονική περίοδος ή υποσύνολο του χώρου. Αν T είναι συνεχές, η χρονική σειρά λέγεται συνεχής, ενώ αν T διακριτό και η σειρά λέγεται διακριτή. Οι μετρήσεις κυκλοφοριακών φόρτων αποτελούν διακριτές χρονικές σειρές, στις οποίες μάλιστα οι παρατηρήσεις λαμβάνονται σε ισαπέχοντα χρονικά διαστήματα (1 λεπτό όσον αφορά την παρούσα εργασία). Αν λοιπόν έχουμε N διαδοχικές τιμές, τότε γράφουμε $X_1, X_2, \dots, X_N$, για να δηλώσουμε παρατηρήσεις που έγιναν στους χρόνους $t_0+h, t_0+2h, \dots, t_0+Nh$. Το t_0 και το h μπορεί να είναι σημαντικά αλλά και άνευ σημασίας. Γενικά X_t είναι η παρατήρηση στο χρόνο t . Τέλος θα μπορούσαμε να πούμε απλά ότι, η χρονική σειρά είναι ένα σύνολο

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΧΡΟΝΙΚΩΝ ΣΕΙΡΩΝ

παρατηρήσεων που λαμβάνονται παίρνοντας μετρήσεις μιας τυχαίας μεταβλητής, σε κανονικά χρονικά διαστήματα [3].

Η ανάλυση των χρονικών σειρών μπορεί να γίνει με δύο διαφορετικούς τρόπους. Ο πρώτος υποθέτει ότι κάθε παρατήρηση στο χρόνο t είναι συνάρτηση της συμπεριφοράς της χρονοσειράς στους προηγούμενους χρόνους, ενώ ο δεύτερος, υποθέτει ότι κάθε παρατήρηση, είναι συνάρτηση ημιτόνων και συνημιτόνων με διαφορετικές συχνότητες. Όταν χρησιμοποιούμε τον πρώτο τρόπο, λέμε ότι κάνουμε ανάλυση σε <<πεδίο χρόνων>> (time domain), ενώ στην άλλη περίπτωση κάνουμε ανάλυση χρονικών σειρών σε <<πεδίο συχνοτήτων>> (frequency domain). Στην παρούσα εργασία η ανάλυση γίνεται σε πεδίο χρόνων.

6.2 ΣΤΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

Οι χρονικές σειρές μπορεί να είναι στατικές ή μη στατικές. Οι στατικές χρονικές σειρές χαρακτηρίζονται από μια κατάσταση "στατιστικής ισορροπίας" γύρω από ένα σταθερό μέσο επίπεδο καθώς και μια σταθερή διασπορά γύρω από το επίπεδο αυτό [3].

Μια χρονική σειρά X_t , $t \in T$ θα λέγεται **αυστηρά στατική**, εάν η κοινή κατανομή F των $X_{t_1}, X_{t_2}, \dots, X_{t_N}$ είναι ανεξάρτητη της αρχής των συντεταγμένων, δηλαδή

$$F(X_{t_1}, X_{t_2}, \dots, X_{t_N}) = F(X_{t_1+h}, X_{t_2+h}, \dots, X_{t_N+h})$$

για κάθε φυσικό h , και για κάθε $t_1, t_2, \dots, t_N \in T$.

Ακόμη βάσει του παραπάνω ορισμού θα έχουμε:

$$F(X_t) = F(X_{t+h}) = F(X_0),$$

δηλαδή η συνάρτηση αθροιστικής κατανομής είναι ανεξάρτητη του t , οπότε και η μέση τιμή $EX_t = \mu$ είναι ανεξάρτητη του t και ακόμη

$$F(X_t, X_s) = F(X_{t+h}, X_{s+h}) = F(X_0, X_{s-t})$$

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΧΡΟΝΙΚΩΝ ΣΕΙΡΩΝ

δηλαδή η κοινή κατανομή των X_t και X_{t+h} εξαρτάται μόνο από το h και όχι από το t , με άλλα λόγια παρατηρήσεις που ισαπέχουν μεταξύ τους, έχουν κοινή κατανομή.

Η χρονική σειρά X_t , $t \in T$ θα λέγεται **στατική δεύτερης τάξεως** εάν η μέση τιμή και οι συνδιασπορές, είναι ανεξάρτητες του χρόνου t δηλαδή

$$EX_t = \mu, \quad \forall t \in T$$

και

$$1. E(X_t - \mu)(X_s - \mu) = \text{Cov}(X_t, X_s) = \gamma_{s-t}, \quad \forall t \in T$$

Η αυστηρή στατικότητα συνεπάγεται ταύτιση όλων των ροπών των τυχαίων μεταβλητών πράγμα και δύσκολο και εξαιρετικά περιοριστικό. Η στατικότητα δεύτερης τάξεως, εξαρτάται μόνο από τον έλεγχο των δυο πρώτων ροπών, γι' αυτό από εδώ και πέρα με τον όρο στατική θα εννοείται στατική δεύτερης τάξεως. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι υποθέσεις που κάνουμε είναι:

$$2. EX_t = \mu \text{ και } \text{Var}(X_t) = \sigma_x^2, \quad \forall t \in T$$

δηλαδή η μέση τιμή και η διασπορά είναι σταθερές στο χρόνο.

$$3. \text{Cov}(X_t, X_{t+h}) = \gamma_h, \quad \forall t \in T$$

Δηλαδή η συνδιασπορά ανάμεσα σε δυο όρους της χρονικής σειράς εξαρτάται μόνο από την απόλυτη τιμή της χρονικής τους διαφοράς h , η οποία στη βιβλιογραφία αναφέρεται ως **υστέρηση (lag)** [3].

6.3 ΕΛΛΙΠΕΙΣ ΤΙΜΕΣ

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3, λόγω κάποιων αναγκαστικών αλλαγών των ελαστικών σωλήνων κατά τη διάρκεια διεξαγωγής των μετρήσεων, και λόγω της μεταφοράς των μηχανημάτων στο εργαστήριο για τη μεταφορά των στοιχείων σε Η/Υ, υπήρξαν χρονικά διαστήματα όπου κάποιος ή κάποιοι από τους μετρητές δεν κατέγραφαν στοιχεία.

Όταν μια χρονική σειρά δεν έχει μεγάλο αριθμό χαμένων δεδομένων (εάν ο αριθμός είναι πολύ μεγάλος, η σειρά μπορεί να μην υπάγεται στη θεωρία των χρονικών σειρών) είναι δυνατό να εκτελεστεί κάποια ανάλυση χαμένων δεδομένων ώστε τα δεδομένα αυτά να εκτιμηθούν και να αναπληρωθούν. Μια απλή αναπλήρωση των χαμένων δεδομένων μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας τη μέση τιμή της σειράς, ενώ ένας άλλος αλγόριθμος είναι να χρησιμοποιηθεί η μέση τιμή των παρακείμενων παρατηρήσεων. Ένας άλλος αλγόριθμος είναι να αντικατασταθούν οι χαμένες παρατηρήσεις από το διάμεσο των "γειτονικών" παρατηρήσεων. Τέλος, αναπλήρωση των δεδομένων μπορεί να γίνει με γραμμική παρεμβολή όπου η παρεμβολή γίνεται μεταξύ της τελευταίας τιμής πριν τις χαμένες παρατηρήσεις και της πρώτης τιμής μετά από αυτές [7].

Το στατιστικό πρόγραμμα **SPSS**, με το οποίο έγινε η ανάλυση των χρονικών σειρών στην παρούσα εργασία, μπορεί να αναπληρώσει τα χαμένα δεδομένα με οποιοδήποτε από τους παραπάνω αλγόριθμους. Η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε, ήταν αυτή της γραμμικής παρεμβολής λόγω της καλύτερης αντικατάστασης των στοιχείων. Έτσι και οι τέσσερις χρονικές σειρές (οι διορθωμένοι κυκλοφοριακοί φόρτοι των **ADR 1**, **ADR 2**, **ADR 3** και **ADR 4**) ετοιμάστηκαν για τα επόμενα στάδια της ανάλυσης.

6.4 ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΑΥΤΟΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ (ACF)

Ως θεωρητική **αυτόδιακύμανση** (autocovariance) γ_h υστέρησης h , της στατικής χρονικής σειράς X_t ονομάζεται η ποσότητα :

$$\gamma_h = E(X_t - \mu)(X_{t+h} - \mu) = \text{Cov}(X_t, X_{t+h});$$

δηλαδή η συνδιασπορά μεταξύ της παρατήρησης X_t και της X_{t+h} που γίνεται ύστερα από h χρονικά διαστήματα (υστέρηση h). Από τον παραπάνω ορισμό προκύπτει :

$$\gamma_h = \text{Cov}(X_t, X_{t+h}) = \text{Cov}(X_{t-h}, X_t) = \text{Cov}(X_t, X_{t-h}) = \gamma_{-h}$$

και

$$\gamma_0 = \sigma_x^2$$

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΧΡΟΝΙΚΩΝ ΣΕΙΡΩΝ

Επειδή η διασπορά των παρατηρήσεων είναι σταθερή, μπορεί στη συνέχεια να ονομαστεί θεωρητική **αυτοσυσχέτιση** (autocorrelation) ρ_h η ποσότητα :

$$\rho_h = \frac{\gamma_h}{\gamma_0}, \quad h = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Από τον παραπάνω ορισμό συνεπάγεται $\rho_0 = 1$ και $\rho_h = \rho_{-h}$.

Οι παραπάνω ποσότητες εκτιμώνται από το εκάστοτε δείγμα με τις αντίστοιχες δειγματικές, που ορίζονται ως εξής :

Δειγματική αυτοδιακύμανση c_h ονομάζεται η ποσότητα :

$$c_h = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-h} (X_t - \bar{X})(X_{t+h} - \bar{X}), \quad h = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

όπου :

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_N}{N} \quad \text{και} \quad s_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (X_t - \bar{X})^2$$

είναι η δειγματική μέση τιμή και η δειγματική διασπορά της σειράς αντίστοιχα.

Δειγματική αυτοσυσχέτιση r_h ονομάζεται η ποσότητα :

$$r_h = \frac{c_h}{c_0}, \quad h = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Από τον ορισμό του c_h προκύπτει ότι για μεγάλες τιμές του h , μικρό μέρος των παρατηρήσεων παίρνει μέρος στον ορισμό του πράγμα που σημαίνει ότι αξιοποιεί λιγότερες πληροφορίες και κάνει τη δειγματική αυτοδιασπορά λιγότερο αξιόπιστη για την εκτίμηση του θεωρητικού γ_h . Στην πράξη χρησιμοποιούνται συνήθως τιμές της c_h για $h \leq \frac{N}{4}$.

Επειδή $\rho_h = \rho_{-h}$ η γραφική παράσταση της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης είναι συμμετρική ως προς την αρχή των αξόνων και στην πράξη χρησιμοποιείται μόνο το θετικό μισό της συνάρτησης. Η γραφική παράσταση (h, ρ_h) , $h \geq 0$ λέγεται **διάγραμμα αυτοσυσχέτισης** (correlogram) [3].

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΧΡΟΝΙΚΩΝ ΣΕΙΡΩΝ

Ένα 95% διάστημα εμπιστοσύνης για τα r_h είναι το $\pm 1.96 \frac{1}{\sqrt{N}}$ (όπου N το μέγεθος της χρονικής σειράς) όπως αναφέρεται και στα διάφορα στατιστικά πακέτα για Η/Υ [6]. Το στατιστικό πρόγραμμα **SPSS**, το οποίο και χρησιμοποιήθηκε στην εργασία αυτή, πάνω στο γράφημα των αυτοσυσχετίσεων σημειώνει και τα διαστήματα εμπιστοσύνης των r_k τα οποία υπολογίζει με τη μέθοδο των Ling και Roberts.

6.5 ΜΟΝΤΕΛΑ $AR(p)$, $MA(q)$, $ARMA(p,q)$ ΚΑΙ $ARIMA(p,d,q)$

Αυτοπαλινδρούμενο μοντέλο $AR(p)$ (AutoRegressive) τάξης p , λέγεται το μοντέλο

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} + \dots + \phi_p z_{t-p} + \alpha_t$$

όπου α_t , τέτοια ώστε

$$E(\alpha_t) = 0 \text{ και } \text{Var}(\alpha_t) = \sigma_\alpha^2$$

και $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ οι p άγνωστες παράμετροι του μοντέλου. Η παραπάνω σχέση με τη βοήθεια του αυτοπαλινδρούμενου τελεστή τάξης p γράφεται :

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p) z_t = \alpha_t$$

ή ισοδύναμα $\Phi(B) z_t = \alpha_t$

Κινούμενου μέσου μοντέλο $MA(q)$ (Moving Average) τάξης q , λέγεται το μοντέλο

$$z_t = \alpha_t - \theta_1 \alpha_{t-1} + \theta_2 \alpha_{t-2} + \dots + \theta_q \alpha_{t-q}$$

όπου α_t , τέτοια ώστε

$$E(\alpha_t) = 0 \text{ και } \text{Var}(\alpha_t) = \sigma_\alpha^2$$

και $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ οι q άγνωστες παράμετροι του μοντέλου. Η παραπάνω σχέση με τη βοήθεια του αυτοπαλινδρούμενου τελεστή τάξης q γράφεται :

$$z_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q) \alpha_t$$

ή ισοδύναμα $z_t = \Theta(B) \alpha_t$

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΧΡΟΝΙΚΩΝ ΣΕΙΡΩΝ

Μεικτό μοντέλο ARMA(p,q) (AutoRegressive Moving Average) τάξης p,q, λέγεται το μοντέλο

$$z_t = \varphi_1 z_{t-1} + \varphi_2 z_{t-2} + \dots + \varphi_p z_{t-p} + \alpha_t - \theta_1 \alpha_{t-1} - \theta_2 \alpha_{t-2} - \dots - \theta_q \alpha_{t-q}$$

ή
$$\Phi(B) z_t = \Theta(B) \alpha_t$$

$$\Phi(B) = 1 - \varphi_1 B - \dots - \varphi_p B^p \quad \text{και}$$

$$\Theta(B) = 1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q$$

Ένα **ARMA(p,q)** μοντέλο, μπορεί να θεωρηθεί :

1. σαν **AR(p)** χρονική σειρά, με σφάλματα που ακολουθούν **MA(q)** χρονική σειρά. Δηλαδή

$$\Phi(B) z_t = \alpha_t \quad \text{όπου} \quad z_t = \Theta(B) \alpha_t$$

2. σαν **MA(q)** χρονική σειρά, με σφάλματα που ακολουθούν **AR(p)** χρονική σειρά. Δηλαδή

$$z_t = \Theta(B) b_t \quad \text{όπου} \quad b_t = \Phi^{-1}(B) \alpha_t$$

Μάλιστα επειδή το **AR(p)** μοντέλο είναι **ARMA(p,0)** και το **MA(q)** μοντέλο είναι **ARMA(0,q)**, τα στατιστικά πακέτα αναφέρονται μ.ο.νο στα μοντέλα **ARMA(p,q)**.

Ολοκληρωμένο μεικτό μοντέλο ARIMA(p,d,q) (AutoRegressive Integrated Moving Average) λέγεται το μοντέλο για το οποίο η διαφορές d – τάξης, δίνουν μεικτή στατική χρονική σειρά **ARMA(p,q)**. Το μοντέλο γράφεται :

$$\Phi(B)(1-B)^d z_t = \Theta(B) \alpha_t$$

ή ισοδύναμα

$$\Phi(B) \psi_t = \Theta(B) \alpha_t$$

όπου

$$\psi_t = (1-B)^d z_t = \nabla^d z_t \quad \text{ο "τελεστής προς τα πίσω διαφορών" τάξης d} \quad (\nabla^d = \nabla \nabla^{d-1}).$$

Από τα προηγούμενα είναι φανερό ότι το μοντέλο $\Phi(B) \psi_t = \Theta(B) \alpha_t$ είναι στατικό ARMA μοντέλο και επειδή το z_t προκύπτει από το ψ_t "ολοκληρώνοντας" d φορές τη σχέση $\psi_t = (1-B)^d z_t = \nabla^d z_t$ γι' αυτό και το μοντέλο λέγεται ολοκληρωμένο μεικτό μοντέλο [3].

6.6 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Η βασική ιδέα για τον έλεγχο ενός μοντέλου που προσαρμόστηκε στα δεδομένα μίας χρονικής σειράς είναι η εξής : εφόσον έχει εκτιμηθεί σωστά το μοντέλο, τα εκτιμώμενα $\hat{a}_t$, όπου :

$$\hat{a}_t = z_t - \hat{z}_t \quad \text{για } t = 1, 2, 3, \dots, N$$

θα πρέπει να ακολουθούν μια $N(0, \sigma_a^2)$ κατανομή ή να αποτελούν μια εντελώς τυχαία σειρά. Στην παραπάνω σχέση z_t είναι οι δοθείσες παρατηρήσεις και $\hat{z}_t$ οι εκτιμήσεις τους βάσει του μοντέλου που επιλέχθηκε.

Σε όλα τα στατιστικά πακέτα, με την προσαρμογή κάποιου μοντέλου στις παρατηρήσεις και την εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου δίδονται και τα $\hat{a}_t$, $t = 1, 2, 3, \dots, N$ σε κάποιο αρχείο (file), ώστε να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο του μοντέλου.

Ο έλεγχος λοιπόν ενός μοντέλου (για ανάλυση χρονικών σειρών σε πεδίο χρόνων), ο οποίος ανάγεται τελικά στον έλεγχο της-τυχειότητας των $\hat{a}_t$, γίνεται με τη βοήθεια των αυτοσυσχετίσεων των $\hat{a}_t$ [3].

6.7 ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕΡΙΚΗΣ ΑΥΤΟΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ (PACF)

Έστω ότι η τάξη του $AR(p)$ μοντέλου δεν είναι γνωστή. Τότε το μοντέλο που προσαρμόζεται στη χρονική σειρά z_t μπορεί να είναι το $AR(k)$ με $k = 1, 2, \dots$. Αν συμβολιστεί με φ_{kj} η j παράμετρος της $AR(k)$ χρονικής σειράς και $\underline{\varphi}_k = (\varphi_{k1}, \varphi_{k2}, \dots, \varphi_{kk})$ τότε το σύστημα

$$\underline{\rho}_p = P_p \underline{\varphi}$$

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΧΡΟΝΙΚΩΝ ΣΕΙΡΩΝ

όπου

$$\underline{\varphi} = \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \vdots \\ \varphi_p \end{bmatrix} \quad \underline{\rho}_p = \begin{bmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \\ \vdots \\ \rho_p \end{bmatrix} \quad \text{και} \quad P_p = \begin{bmatrix} 1 & \rho_1 & \rho_2 & \cdots & \rho_{p-1} \\ \rho & 1 & \rho_1 & \cdots & \rho_{p-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{p-1} & \rho_{p-2} & \cdots & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

γράφεται :

$$\underline{\rho}_k = P_k \underline{\varphi}$$

Από το παραπάνω σύστημα είναι εύκολο να δειχθεί ότι :

$$\varphi_{kk} = \frac{1}{|P_k|} \begin{vmatrix} & & & & \rho_1 \\ & & & & \vdots \\ & & P_{k-1} & & \\ & & & & \rho_{k-1} \\ \rho_{k-1} & \cdots & \cdots & \cdots & \rho_1 & \rho_k \end{vmatrix}$$

Ο συντελεστής φ_{kk} ονομάζεται **συντελεστής μερικής αυτοσυσχέτισης τάξης k** και για τον υπολογισμό του, όταν τα ρ_k είναι άγνωστα, χρησιμοποιούνται τα δειγματικά r_k [3].

Ο συντελεστής φ_{kk} , θεωρούμενος ως ο συντελεστής παλινδρόμησης της τελευταίας "μεταβλητής" που υπεισέρχεται στο AR(k) μοντέλο, περιγράφει τη σημαντικότητα της τελευταίας μεταβλητής. Δηλαδή εάν ο συντελεστής φ_{kk} είναι σημαντικά διάφορος του μηδενός, τότε το μοντέλο k τάξεως είναι προτιμότερο από το μοντέλο τάξης k-1. Αλλιώς προτιμάται το μοντέλο k-1 τάξης. Επομένως ο υπολογισμός των φ_{kk} έχει πρακτική σημασία στην εκτίμηση της τάξης ενός μοντέλου.

Όπως και στην περίπτωση των αυτοσυσχετίσεων, έτσι και για τις μερικές αυτοσυσχετίσεις ένα 95% διάστημα εμπιστοσύνης για τα φ_{kk} είναι το $\pm 1.96 \frac{1}{\sqrt{N}}$, όπου N το μέγεθος της χρονικής σειράς [6].

6.8 ΠΟΛΥΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΕΙΡΕΣ ΚΑΙ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ (CCF)

Πολλές χρονικές σειρές που παρουσιάζονται στην πράξη, είναι προτιμότερο να θεωρηθούν ως "συστατικά" κάποιας πολυμεταβλητής χρονικής σειράς $\{X_t\}$ έχοντας όχι μόνο αύξουσα εξάρτηση μέσα σε κάθε "συστατική" χρονική σειρά $\{X_{ti}\}$, αλλά και αλληλεξάρτηση μεταξύ των διαφορετικών συστατικών χρονικών σειρών $\{X_{ti}\}$ και $\{X_{tj}\}$, $i \neq j$. Το μεγαλύτερο μέρος της θεωρίας των μονομεταβλητών χρονικών σειρών επεκτείνεται κατά φυσικό τρόπο και στις πολυμεταβλητές χρονικές σειρές [6].

Στην παρούσα εργασία έγινε χρήση διμεταβλητών χρονικών σειρών. Μια διμεταβλητή χρονική σειρά, είναι μια σειρά διδιάστατων διανυσμάτων $(X_{t1}, X_{t2})'$ παρατηρημένα σε χρόνους t (συνήθως $t = 1, 2, 3, \dots$). Οι δύο συστατικές χρονικές σειρές $\{X_{t1}\}$ και $\{X_{t2}\}$, μπορούν να μελετηθούν ανεξάρτητα ως μονομεταβλητές χρονοσειρές, έχοντας κάθε μια τη δική της μέση τιμή και την ίδια συνάρτηση αυτοδιακύμανσης. Τέτοια όμως προσέγγιση δεν θα λάμβανε υπ' όψιν την πιθανή εξάρτηση μεταξύ των δυο συστατικών σειρών, και τέτοια εξάρτηση μπορεί να είναι μεγάλης σημασίας όπως για παράδειγμα για την πρόβλεψη μελλοντικών τιμών των δυο χρονοσειρών [6].

Επομένως θεωρώντας τις σειρές των τυχαίων διανυσμάτων $X_t = (X_{t1}, X_{t2})'$, ορίζεται το μέσο διάνυσμα

$$\mu_t := E X_t = \begin{bmatrix} EX_{t1} \\ EX_{t2} \end{bmatrix}$$

και οι πίνακες συνδιακύμανσης

$$\Gamma(t+h, t) := \text{Cov}(X_{t+h}, X_t) = \begin{bmatrix} \text{cov}(X_{t+h,1}, X_{t1}) & \text{cov}(X_{t+h,1}, X_{t2}) \\ \text{cov}(X_{t+h,2}, X_{t1}) & \text{cov}(X_{t+h,2}, X_{t2}) \end{bmatrix}.$$

Η διδιάστατη σειρά X_t λέγεται **(ασθενώς) στατική** εάν τα μ_t και $\Gamma(t+h, t)$ είναι και τα δυο ανεξάρτητα του t , οπότε και μπορεί να χρησιμοποιηθούν οι εξισώσεις :

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΧΡΟΝΙΚΩΝ ΣΕΙΡΩΝ

$$\mu_t = E X_t = \begin{bmatrix} EX_{t1} \\ EX_{t2} \end{bmatrix}$$

και

$$\Gamma(h) = \text{Cov}(X_{t+h}, X_t) = \begin{bmatrix} \gamma_{11}(h) & \gamma_{12}(h) \\ \gamma_{21}(h) & \gamma_{22}(h) \end{bmatrix}.$$

Τα διάγώνια στοιχεία είναι οι συναρτήσεις αυτόσυσχέτισης των μονομεταβλητών σειρών $\{X_{t1}\}$ και $\{X_{t2}\}$ όπως ορίστηκαν προηγουμένως, ενώ τα μη διάγώνια στοιχεία είναι οι συνδιακυμάνσεις μεταξύ των $X_{t+h,i}$ και X_{tj} με $i \neq j$. Εδώ πρέπει να ανφερθεί ότι $\gamma_{12}(h) = \gamma_{21}(-h)$.

Ένας φυσικός εκτιμητής του μέσου διανύσματος μ σε όρους των παρατηρήσεων $X_1, \dots, X_N$ είναι το διάνυσμα των δειγματικών μέσων

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N X_t$$

και ένας φυσικός εκτιμητής του $\Gamma(h)$ είναι :

$$\hat{\Gamma}(h) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-h} (X_{t+h} - \bar{X}_N)(X_t - \bar{X}_N)' \quad \text{για } 0 \leq h \leq N-1$$

και $\hat{\Gamma}(h) = \hat{\Gamma}(-h)'$ για $-N+1 \leq h \leq 0$.

Συσχέτιση $\rho_{ij}(h)$ μεταξύ των $X_{t+h,i}$ και X_{tj} ονομάζεται η ποσότητα

$$\hat{\rho}_{ij}(h) = \frac{\hat{\gamma}_{ij}(h)}{\sqrt{(\hat{\gamma}_{ii}(0)\hat{\gamma}_{jj}(0))}}$$

Εαν $i=j$, τότε το $\rho_{ij}(h)$ μετατρέπεται στη **συνάρτηση δειγματικής αυτοσυσχέτισης** της i σειράς.

Ένα 95% διάστημα εμπιστοσύνης για τα $\rho_{ij}(h)$ είναι το $\pm 1.96 \frac{1}{\sqrt{N}}$ (όπου N το μέγεθος της χρονικής σειράς) και οποιαδήποτε τιμή του $\rho_{ij}(h)$ μεγαλύτερη του $\pm 1.96 \frac{1}{\sqrt{N}}$ θεωρείται στατιστικά σημαντική [6].

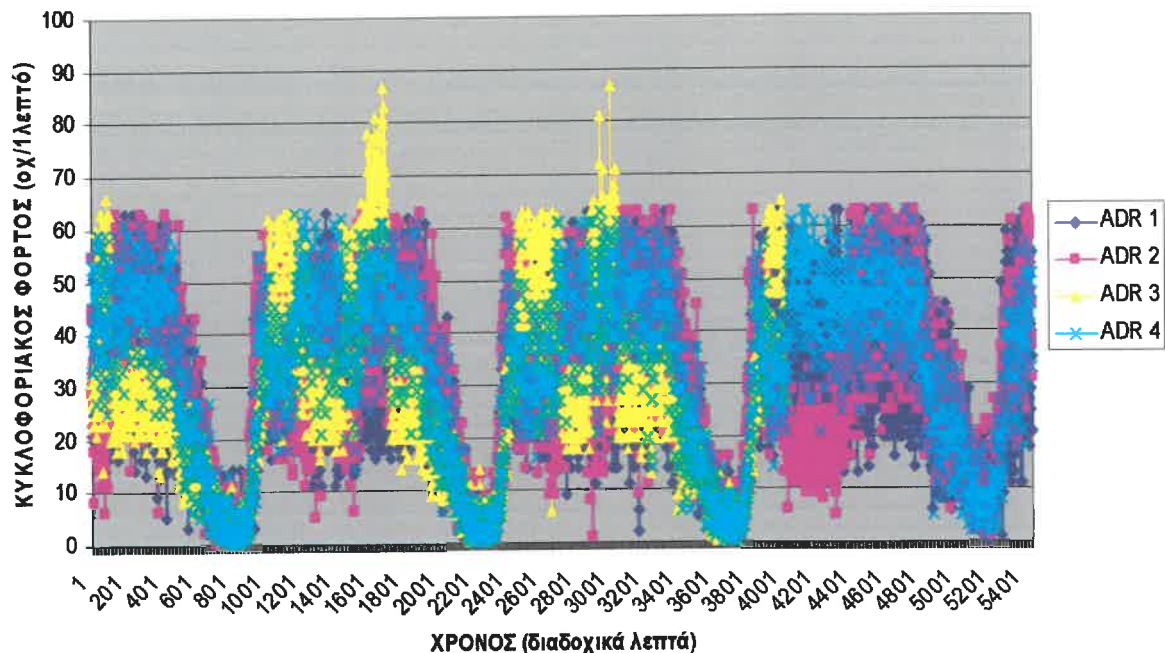
7. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ

7.1 ΑΡΧΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

Οι διορθωμένες μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου που απεικονίζονται στο διάγραμμα 5.6, αφορούν το χρονικό διάστημα μεταξύ της 5^{ης} και της 10^{ης} Μαΐου 2003. Όλοι οι μετρητές τέθηκαν σε λειτουργία την Δευτέρα 5 Μαΐου στις 14:01, ενώ η τελευταία καταγραφή έγινε το Σάββατο 10 Μαΐου στις 11:29 από τον μετρητή ADR 4. Από προηγούμενες αναλύσεις, έχειδειχθεί ότι ενώ οι κυκλοφοριακοί φόρτοι δεν διαφέρουν μεταξύ των εργάσιμων ημερών, διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των καθημερινών και των σαββατοκύριακων καθώς και για διαφορετικές περιόδους της ημέρας [11]. Για το λόγο αυτό οι μετρήσεις του Σαββάτου (10 Μαΐου) αποκλείστηκαν από την περαιτέρω ανάλυση. Έτσι η ομάδα των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση, αποτελείται από

7.ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ

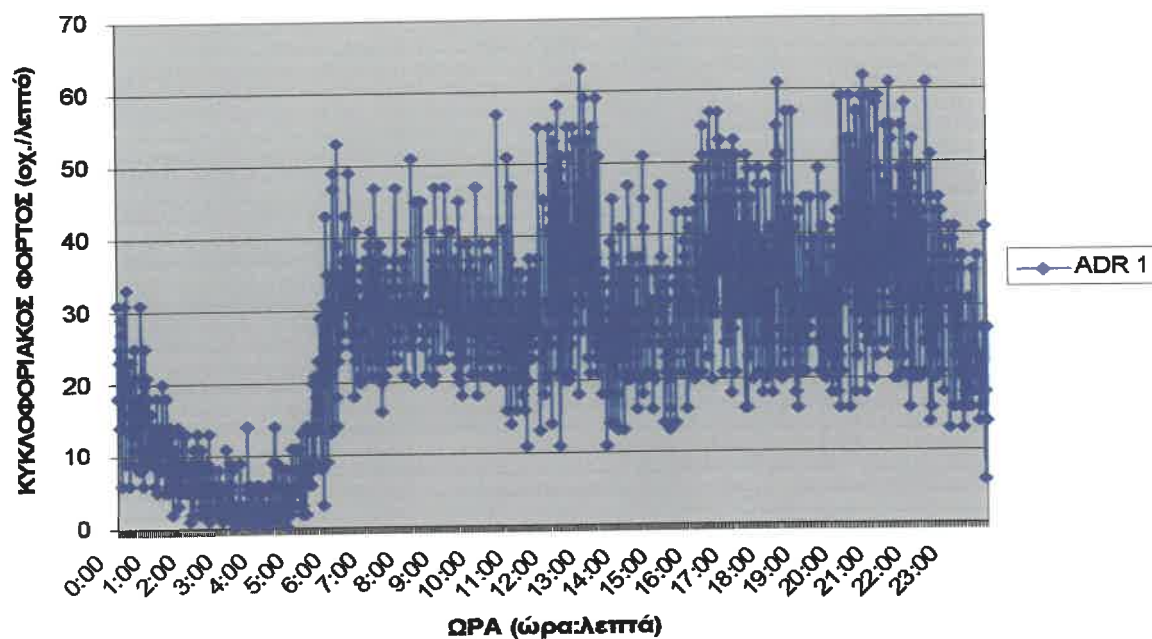
5470 μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου ανά λεπτό και παρουσιάζεται στο διάγραμμα 7.1 .



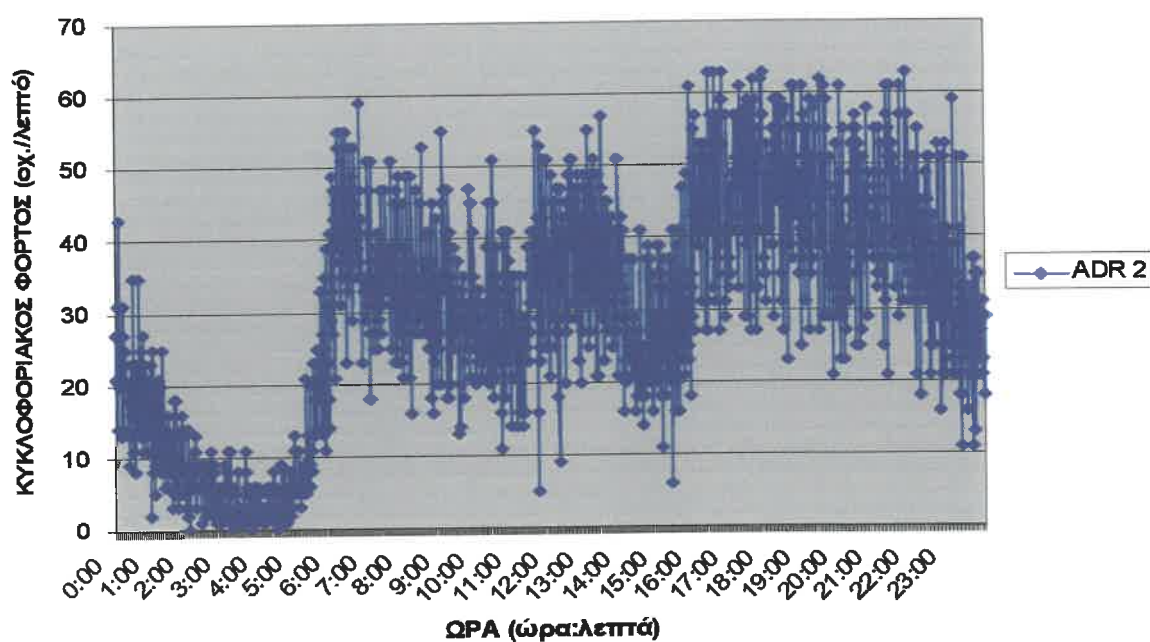
Διάγραμμα 7.1 : Διορθωμένοι κυκλοφοριακοί φόρτοι μεταξύ της 5^{ης} (ώρα 14:01) και της 9^{ης} Μαΐου 2003 (ώρα 09:10) για τα τέσσερα διαδοχικά σημεία της λεωφόρου Κατεχάκη.

Σαν ένα πρώτο βήμα πριν από τη συσχέτιση των κυκλοφοριακών φόρτων των φορατών, εξετάστηκαν τα διαγράμματα του κυκλοφοριακού φόρτου για κάθε ένα από τα μηχανήματα ξεχωριστά. Στα διαγράμματα 7.2 – 7.5 παρουσιάζεται ο διορθωμένος κυκλοφοριακός φόρτος για τα τέσσερα ADR-2000 για ένα τυπικό 24-ωρο, και πιο συγκεκριμένα αυτό της 6^{ης} Μαΐου 2003.

7.ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ

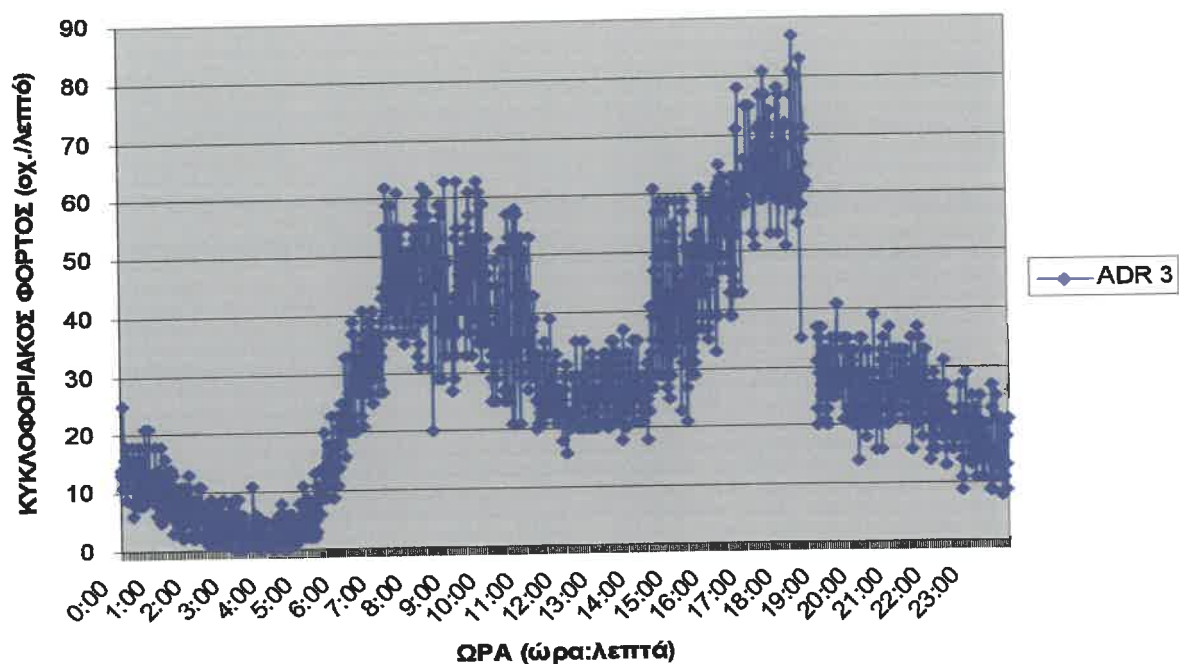


Διάγραμμα 7.2 : Διορθωμένοι κυκλοφοριακοί φόρτοι για το φορατή ADR 1 και για το 24-ωρο της 6^{ης} Μαΐου 2003.

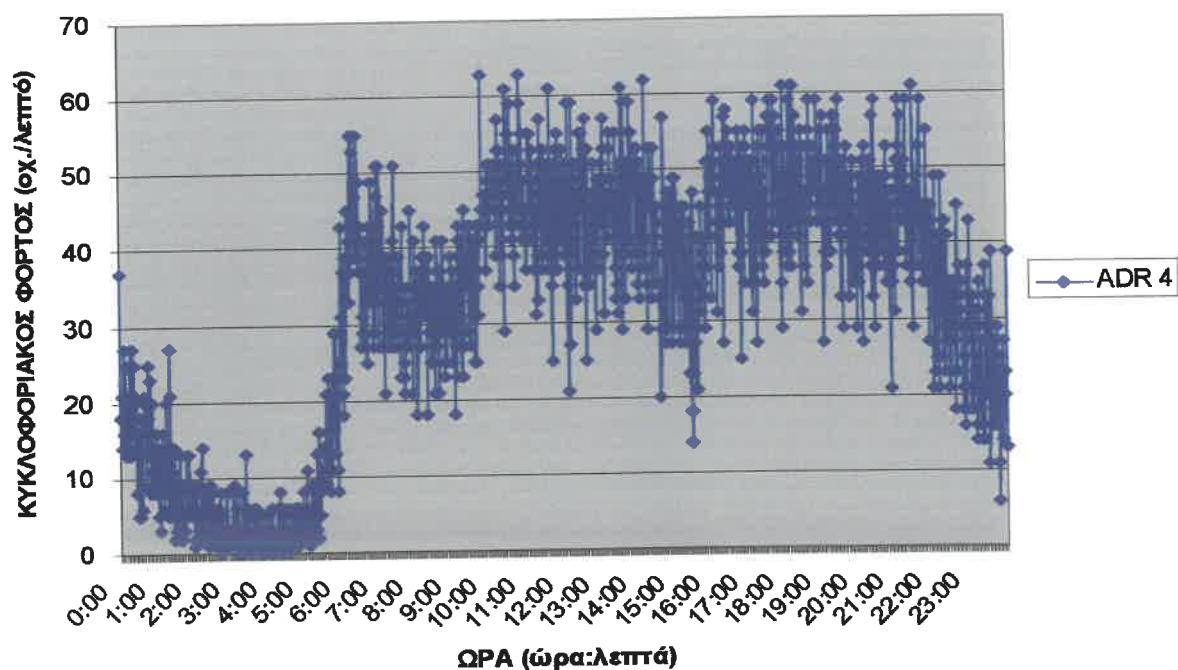


Διάγραμμα 7.3 : Διορθωμένοι κυκλοφοριακοί φόρτοι για το φορατή ADR 2 και για το 24-ωρο της 6^{ης} Μαΐου 2003.

7.ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ



Διάγραμμα 7.4 : Διορθωμένοι κυκλοφοριακοί φόρτοι για το φορατή ADR 3 και για το 24-ωρο της 6^{ης} Μαΐου 2003.



Διάγραμμα 7.5 : Διορθωμένοι κυκλοφοριακοί φόρτοι για το φορατή ADR 4 και για το 24-ωρο της 6^{ης} Μαΐου 2003.

7.ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ

Από την μελέτη των διαγραμμάτων 7.2 – 7.5 προκύπτει το πολύ ενδιαφέρον συμπέρασμα ότι η “γενική” απεικόνιση των κυκλοφοριακών φόρτων είναι παρόμοια για τους φορατές ADR 1 και ADR 2 που είχαν απόσταση 200 μέτρα, ενώ είναι αρκετά παρόμοια ακόμα και για τους φορατές ADR 1 και ADR 4 που βρίσκονταν σε απόσταση 800 μέτρων.

Μια άλλη ενδιαφέρουσα παρατήρηση, όπως φαίνεται στα διαγράμματα αυτά, είναι το γεγονός ότι ο κυκλοφοριακός φόρτος παρουσιάζει περιοδικότητα ανά ημέρα όπως έχει φανεί και από την εργασία των Anthony Stathopoulos, Matthew G. Karlaftis [11]. Επίσης, οι παρατηρήσεις από τα τέσσερα διαδοχικά σημεία της λεωφόρου Κατεχάκη είναι έντονα συσχετισμένες μεταξύ τους. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ο δείκτης συσχέτισης του Pearson για τις μετρήσεις του διαγράμματος 7.1 είχε μικρότερη τιμή 0,52 και μεγαλύτερη 0,68, όπως φαίνεται και στους πίνακες 7.1 και 7.2 .

Πίνακας 7.1 : Συντελεστές συσχέτισης του Pearson για τις διορθωμένες μετρήσεις των μετρητών.

Correlations					
		ADR1	ADR2	ADR3	ADR4
ADR1	Pearson Correlation	1	0,622042	0,54207	0,651423
	Sig. (2-tailed)	,	0	2,5E-304	0
	N	5461	5452	3999	5450
ADR2	Pearson Correlation	0,622042	1	0,521545	0,684081
	Sig. (2-tailed)	0	,	7E-278	0
	N	5452	5461	3999	5450
** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).					

7.ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ

Πίνακας 7.2 : Συντελεστές συσχέτισης του Pearson για τις διορθωμένες μετρήσεις των μετρητών.

Correlations					
		ADR1	ADR2	ADR3	ADR4
ADR3	Pearson Correlation	0,54207	0,521545	1	0,61675
	Sig. (2-tailed)	2,5E-304	7E-278	,	0
	N	3999	3999	4008	3997
ADR4	Pearson Correlation	0,651423	0,684081	0,61675	1
	Sig. (2-tailed)	0	0	0	,
	N	5450	5450	3997	5459
** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).					

Στη συνέχεια, ακολουθεί η διερεύνηση της συσχέτισης των κυκλοφοριακών φόρτων με τη χρήση της θεωρίας των χρονικών σειρών.

7.2 ΕΛΛΙΠΗΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Πρίν από την ανάλυση των δεδομένων με τη θεωρία των χρονικών σειρών, έγινε αναπλήρωση των ελλিপών τιμών. Οι χαμένες αυτές τιμές προέκυψαν από κάποιες αναγκαστικές αλλαγές των ελαστικών σωλήνων των μετρητών λόγω φθοράς, καθώς και για τη μεταφορά των δεδομένων σε Η/Υ.

Αναλυτικά τα ελλιπή δεδομένα για κάθε ένα από τα τέσσερα ADR-2000 κάλυπταν τα εξής χρονικά διαστήματα :

1. Για το ADR1 ελλιπή δεδομένα υπήρξαν την Τετάρτη 7 Μαΐου από τις 13:27 έως και τις 13:35.
2. Για το ADR2 χαμένα δεδομένα υπήρξαν την Τετάρτη 7 Μαΐου μεταξύ τις 13:09 και τις 13:17.

3. Για το ADR3 χαμένες τιμές υπήρξαν την Τρίτη 6 Μαΐου από τις 18:37 έως και τις 18:51, καθώς και την Τετάρτη 7 Μαΐου μεταξύ τις 12:55 και τις 13:05.
4. Για το ADR4 ελλιπή δεδομένα υπήρξαν μόνο την Τετάρτη 7 Μαΐου από τις 12:18 έως τις 12:28.

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 6, τα ελλιπή δεδομένα αυτά μπορούσαν να εκτιμηθούν και να αναπληρωθούν με διάφορους αλγόριθμους. Στην παρούσα εργασία η αναπλήρωση έγινε με γραμμική παρεμβολή όπου η παρεμβολή γίνεται μεταξύ της τελευταίας τιμής πριν τις χαμένες παρατηρήσεις και της πρώτης τιμής μετά από αυτές. Η αναπλήρωση έγινε με τη βοήθεια του στατιστικού προγράμματος **SPSS**.

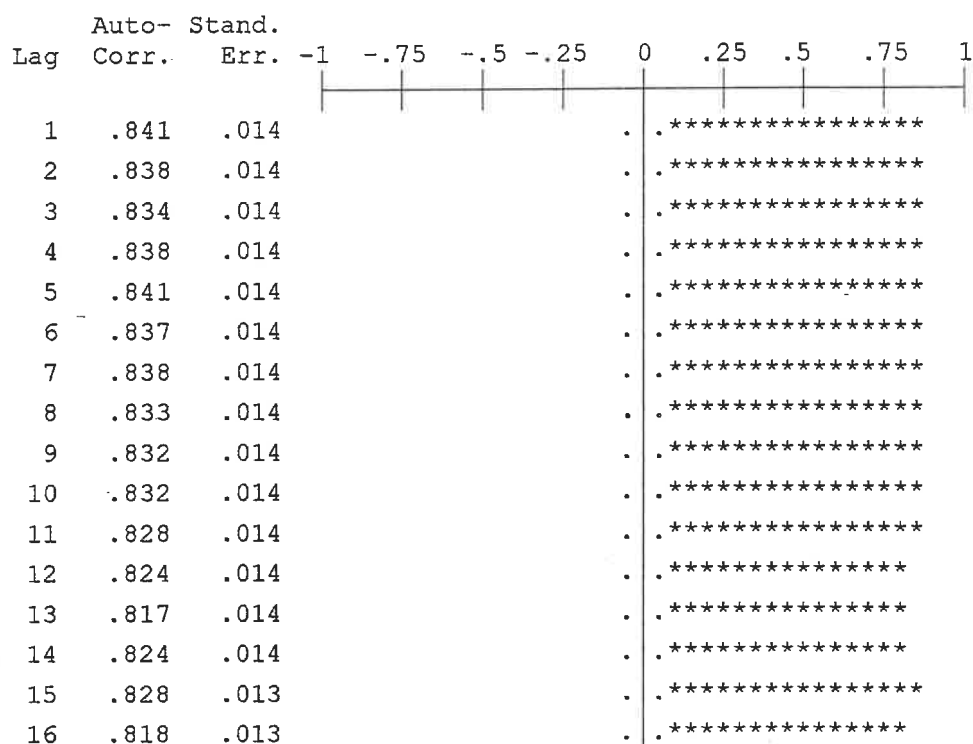
7.3 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΤΙΣ ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ (pooled data)

Αρχικά έγινε μια προσαρμογή μοντέλων στις συνολικές παρατηρήσεις (pooled data), για κάθε ένα από τα τέσσερα ADR-2000.

Από τις γραφικές παραστάσεις των σημείων (t, X_t), (διάγραμμα 7.1) παρατηρήθηκε μια έλλειψη στατικότητας.

Υπολογίστηκαν οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης r_h , των X_t για κάθε μια από τις τέσσερις χρονικές σειρές. Για τη χρονική σειρά του ADR1 οι 16 από αυτούς τους συντελεστές δίδονται στο διάγραμμα 7.6, στη στήλη Auto.-Corr. Στο ίδιο διάγραμμα, στη στήλη Stand.-Err. δίδονται τα τυπικά σφάλματα των αυτοσυσχετίσεων, που υπολογίστηκαν με την προσέγγιση των Ling και Roberts. Τέλος σημειώνεται με τελείες, το 95% διάστημα εμπιστοσύνης για κάθε συντελεστή αυτοσυσχέτισης, που σημαίνει ότι όσες αυτοσυσχετίσεις είναι εκτός του διαστήματος εμπιστοσύνης είναι σημαντικές.

7.ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ



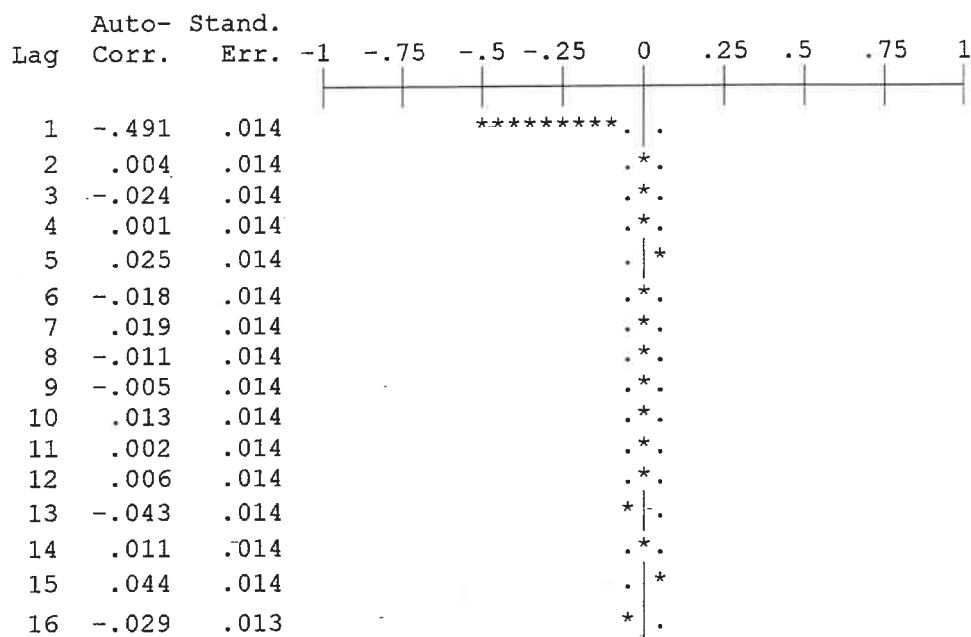
Plot Symbols: Autocorrelations * Two Standard Error Limits .

Διάγραμμα 7.6 : Συντελεστές αυτοσυσχετίσης για τις μετρήσεις του ADR1.

Έτσι για το συγκεκριμένο παράδειγμα, παρατηρήθηκε ότι τα r_h μειώνονται με πολύ αργό ρυθμό ενώ όλες οι αυτοσυσχετίσεις είναι σημαντικές. Η αργή μείωση των r_h σημαίνει ότι η σειρά δεν είναι στατική και επομένως θα έπρεπε να παρθούν οι πρώτες διαφορές.

Υπολογίστηκαν οι αυτοσυσχετίσεις των πρώτων διαφορών των X_t . Οι 16 πρώτες αυτοσυσχετίσεις των πρώτων διαφορών των δεδομένων του ADR1, φαίνονται στο διάγραμμα 7.7 όπου είναι φανερό ότι η πτώση των τιμών είναι άμεση και σημαντική είναι μόνο η r_1 . Αυτό μας επιτρέπει να θεωρήσουμε ότι $d = 1$, οπότε μπορούν να υπολογιστούν και οι μερικές αυτοσυσχετίσεις.

7.ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ

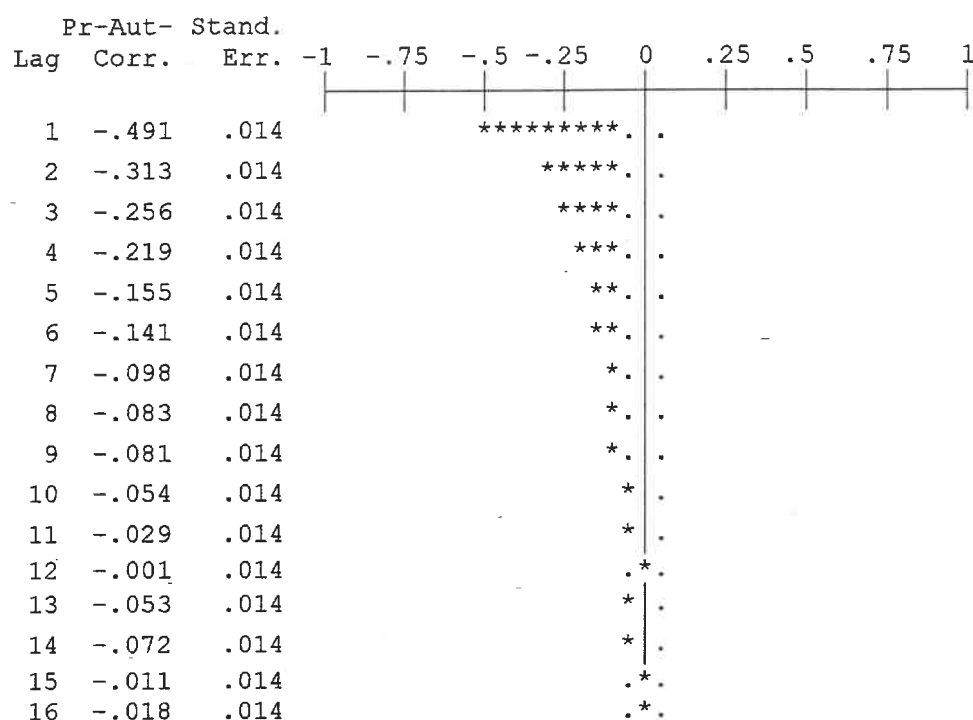


Plot Symbols: Autocorrelations * Two Standard Error Limits .

Διάγραμμα 7.7 : Αυτοσυσχετίσεις των πρώτων διαφορών των μετρήσεων του ADR1.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι μερικές αυτοσυσχετίσεις των πρώτων διαφορών. Οι 16 πρώτες μερικές αυτοσυσχετίσεις των μετρήσεων του ADR1 παρουσιάζονται στο διάγραμμα 7.8 όπου είναι προφανές ότι η πτώση των τιμών είναι γρήγορη και εκθετικής μορφής.

7.ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ



Plot Symbols: Autocorrelations * Two Standard Error Limits .

Διάγραμμα 7.8 : Μερικές αυτοσυσχετίσεις των πρώτων διαφορών των μετρήσεων του ADR1.

Τελικά σύμφωνα με τον πίνακα αναγνώρισης μιας ARIMA διαδικασίας (Introduction to time series and forecasting : with applications of SAS and SPSS [7]) που παρατίθεται στο παράρτημα που βρίσκεται στο τέλος της παρούσας εργασίας, ως κατάλληλο μοντέλο επιλέχθηκε το **ARIMA(0,1,1)** και για τις τέσσερις χρονικές σειρές των οποίων τόσο οι αυτοσυσχετίσεις όσο και οι μερικές αυτοσυσχετίσεις είναι παρόμοιες με αυτές του ADR1 που παρουσιάστηκαν προηγουμένως.

Το επόμενο βήμα ήταν η εκτίμηση των παραμέτρων και των στατιστικών των μοντέλων **ARIMA(0,1,1)** για όλες τις χρονικές σειρές. Η εκτίμηση έγινε από το στατιστικό πρόγραμμα **SPSS** το οποίο χρησιμοποιεί έναν επαναληπτικό αλγόριθμο. Οι τελικές τιμές των παραμέτρων του μοντέλου που προσαρμόστηκε στα δεδομένα του ADR1, δίδονται παρακάτω στον πίνακα 7.3 .

7.ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ

FINAL PARAMETERS:

Number of residuals	5469
Standard error	6.9755154
Log likelihood	-18382.897
AIC	36769.794
SBC	36783.007

Analysis of Variance:

	DF	Adj. Sum of Squares	Residual Variance
Residuals	5467	266080.65	48.657814

Variables in the Model:

	B	SEB	T-RATIO	APPROX. PROB.
MA1	.86877869	.00671544	129.37032	.00000000
CONSTANT	-.00028064	.01239233	-.02265	.98193327

Πίνακας 7.3 : Τελικές τιμές των παραμέτρων του μοντέλου **ARIMA(0,1,1)** για το ADR1.

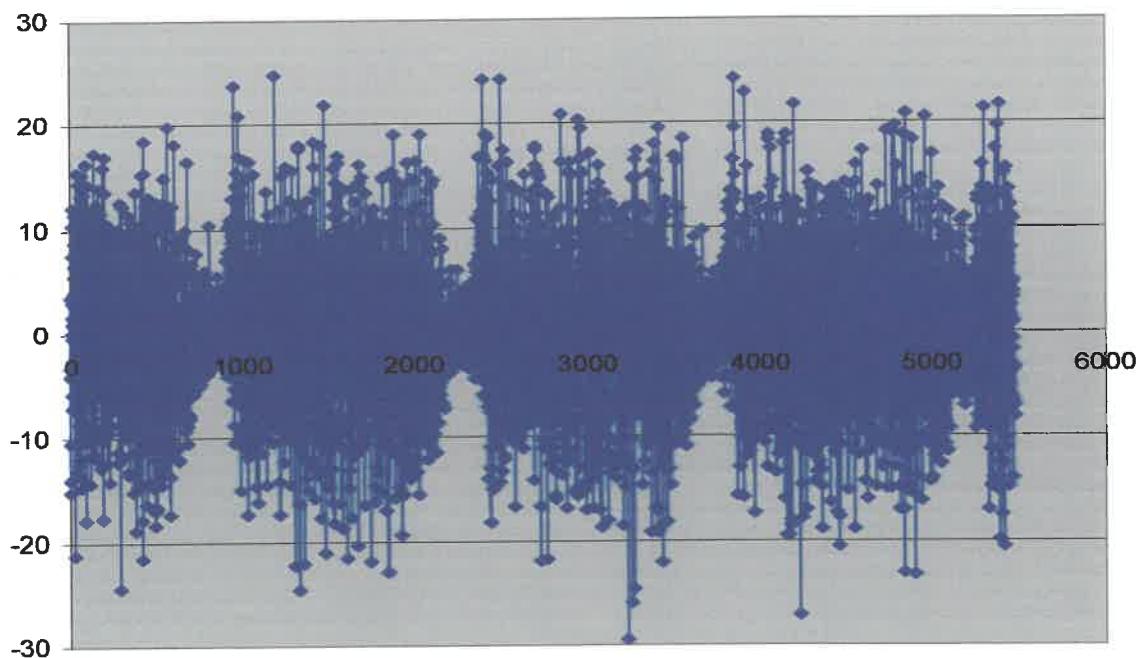
Στη γραμμή <<Number of residuals>>, αναφέρεται ο αριθμός των εκτιμηθέντων υπολοίπων, που στην περίπτωση αυτή είναι 5469 αφού πάρθηκαν πρώτες διαφορές. Στη γραμμή <<Standard Error>> γράφεται το τυπικό σφάλμα των υπολοίπων, ενώ στη γραμμή <<Log likelihood>> φαίνεται η τιμή που έχει η συνάρτηση μέγιστης πιθανοφάνειας για το συγκεκριμένο μοντέλο. Τέλος στις γραμμές AIC και SBC αναγράφονται οι τιμές για τα κριτήρια Akaike και Schwartz Bayesian criterion. Όλες οι παραπάνω τιμές βοηθούν στο να αποφανθεί πόσο καλό είναι ένα μοντέλο ή να συγκριθεί με άλλα μοντέλα.

Ακολουθεί ένας πίνακας ανάλυσης της διασποράς, όπου εμφανίζεται μόνο η ανάλυση των υπολοίπων ενώ στο τέλος δίδονται οι τιμές των παραμέτρων του μοντέλου (Variables in the model). Επειδή τα μοντέλα είναι κινούμενου μέσου τάξης ένα, υπάρχει μόνο μια παράμετρος που αναφέρεται ως MA1 (με τιμή 0,86877869 και τυπικό σφάλμα 0,00671544 για το ADR1).

Τέλος για τον έλεγχο των μοντέλων, αναλύθηκαν τα υπόλοιπα που προέκυψαν μετά την προσαρμογή των μοντέλων. Για τη χρονική σειρά του

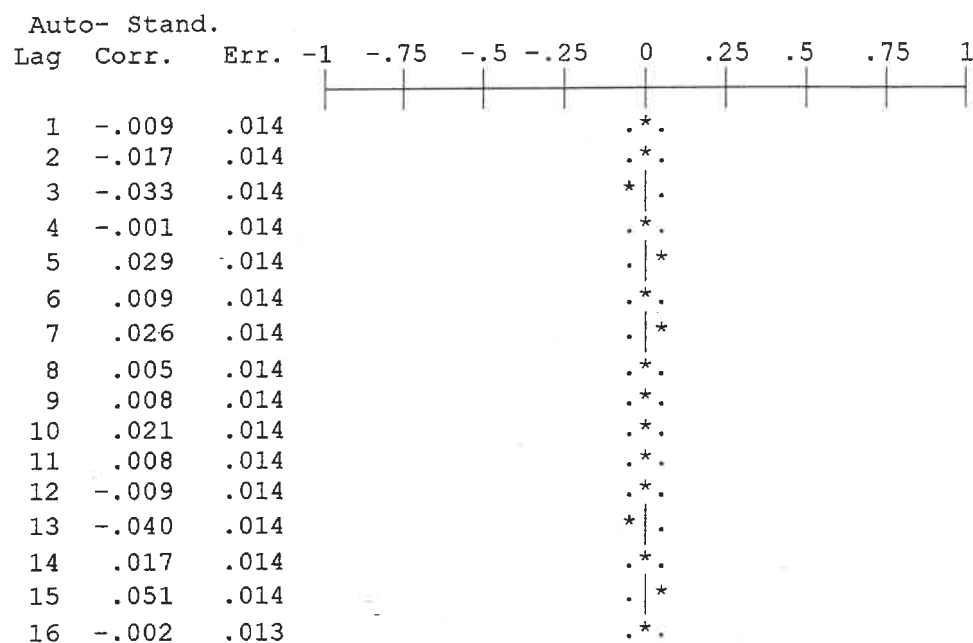
7.ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ

ADR1, τα σφάλματα $\hat{\alpha}_t$, μετά την προσαρμογή του μοντέλου **ARIMA(0,1,1)** φαίνεται να είναι τυχαία κατανομημένα (Διάγραμμα 7.9) πράγμα που ενισχύεται και από το γεγονός ότι οι αυτοσυσχετίσεις των σφαλμάτων είναι ασήμαντες (Διάγραμμα 7.10).



Διάγραμμα 7.9 : Σφάλματα $\hat{\alpha}_t$, μετά την προσαρμογή του μοντέλου **ARIMA(0,1,1)** στα δεδομένα του ADR1.

7.ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ



Plot Symbols: Autocorrelations * Two Standard Error Limits .

Διάγραμμα 7.10 : Αυτοσυσχετίσεις των σφαλμάτων $\hat{\alpha}_t$ των δεδομένων του ADR1.

Επομένως και για τις τέσσερις χρονικές σειρές ADR1, ADR2, ADR3 και ADR4 το μοντέλο **ARIMA(0,1,1)** προσαρμόστηκε αρκετά καλά στα δεδομένα όπως φάνηκε από τους ελέγχους των τεσσάρων μοντέλων.

7.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ

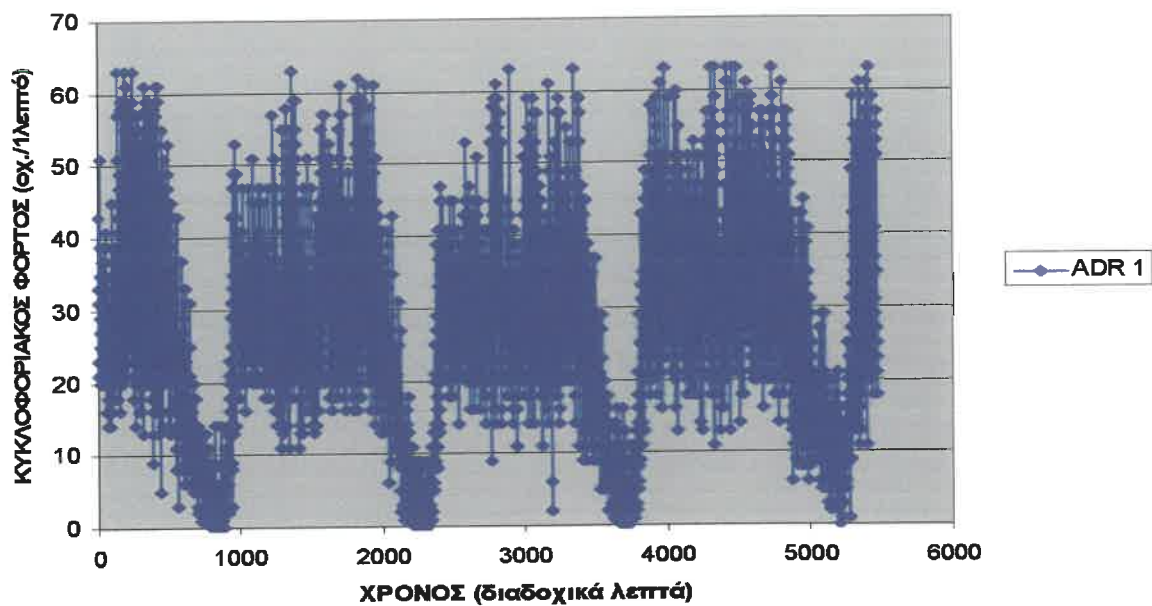
Οι μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου ανά λεπτό (5470 για τα ADR1, ADR2, ADR4 και 4035 για το ADR3) έπρεπε να ομαδοποιηθούν σε χρονικές περιόδους. Σε προηγούμενες αναλύσεις (Stathopoulos and Karlaftis [11]) οι μετρήσεις είχαν ομαδοποιηθεί σε έξι διαφορετικές χρονικές περιόδους (περίοδος 1 : 00:00 – 06:30 π.μ., περίοδος 2 : 06:30 – 10:00, περίοδος 3 : 10:00 – 13:30, περίοδος 4 : 13:30 – 17:00, περίοδος 5 : 17:00 – 20:30 και περίοδος 6 : 20:30 – 00:00). Στην εργασία αυτή αποφασίστηκε η ομαδοποίηση να γίνει σε 30λεπτα

7.ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ

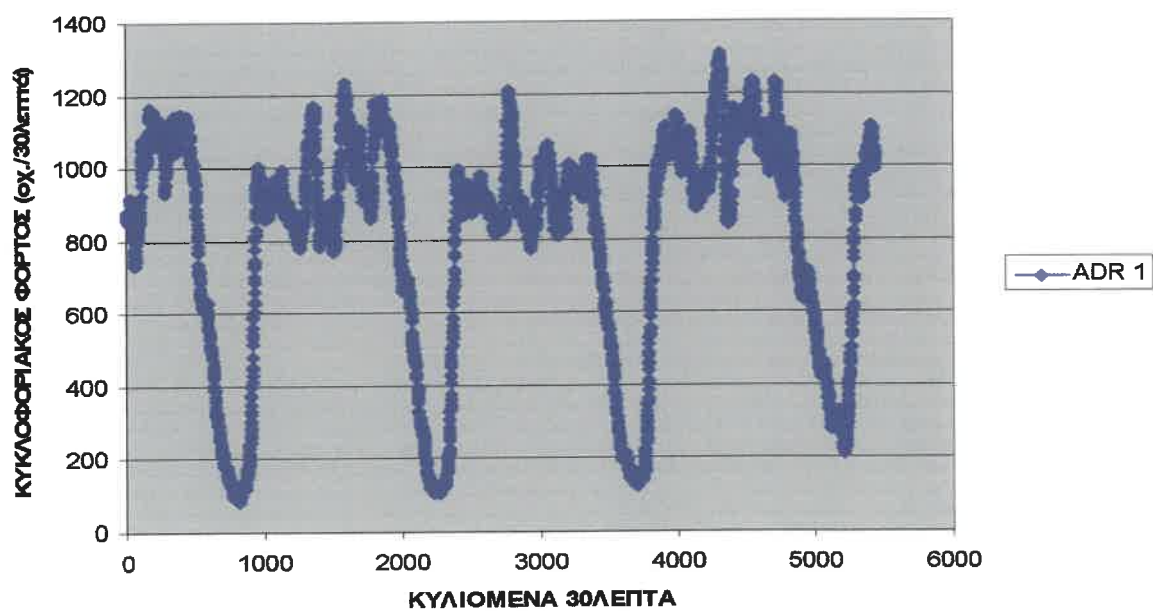
ώστε η συσχέτιση των κυκλοφοριακών φόρτων να λαμβάνει υπ' όψιν ένα μεγάλο φάσμα των πιθανών τιμών του κυκλοφοριακού φόρτου. Ομαδοποίηση σε χρονικές περιόδους μικρότερες από 30 λεπτά δεν ήταν δυνατή, καθώς οι περισσότεροι συγγραφείς προτείνουν ότι το μέγεθος του δείγματος μιας χρονικής σειράς θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 30 στοιχεία (Introduction to time series and forecasting : with applications of SAS and SPSS [7]) παρόλο ότι δεν υπάρχει κάποιος κανόνας για το ελάχιστο μέγεθος μίας χρονικής σειράς.

Αντιστοιχίζοντας σε κάθε λεπτό των μετρήσεων τον κυκλοφοριακό φόρτο του προηγούμενου ημιώρου (δηλαδή στο 30^{στό} λεπτό αντιστοιχήθηκε ο φόρτος του ημιώρου μεταξύ του 1^{ου} και του 30^{στού} λεπτού, στο 31^ο λεπτό αντιστοιχήθηκε ο φόρτος του ημιώρου μεταξύ του 2^{ου} και του 31^{στού} λεπτού,....., στο $v^{οστό}$ λεπτό αντιστοιχήθηκε ο φόρτος του ημιώρου μεταξύ του $(v-29)$ και του $v^{οστού}$ λεπτού) κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα των "κυλιόμενων" 30λέπτων. Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα του κυκλοφοριακού φόρτου ανά λεπτό για τις διορθωμένες μετρήσεις του ADR1 (διάγραμμα 7.11), καθώς και το διάγραμμα των κυλιόμενων 30λέπτων (διάγραμμα 7.12).

7.ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ



Διάγραμμα 7.11 : Κυκλοφοριακοί φόρτοι ανά λεπτό για τις διορθωμένες μετρήσεις του ADR1.



Διάγραμμα 7.12 : Κυκλοφοριακοί φόρτοι ανά κυλιόμενο 30λεπτο για τις διορθωμένες μετρήσεις του ADR1.

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα, είναι εμφανές ότι ενώ στο διάγραμμα 7.11 η αυξομείωση των διαδοχικών κυκλοφοριακών φόρτων ανά λεπτό είναι μεγάλη, στο διάγραμμα 7.12 η διακύμανση των διαδοχικών (κυλιόμενων) 30λέπτων είναι κατά πολύ μικρότερη. Το γεγονός αυτό ενισχύει την επιλογή του ημιώρου ως χρονικής περιόδου ανάλυσης.

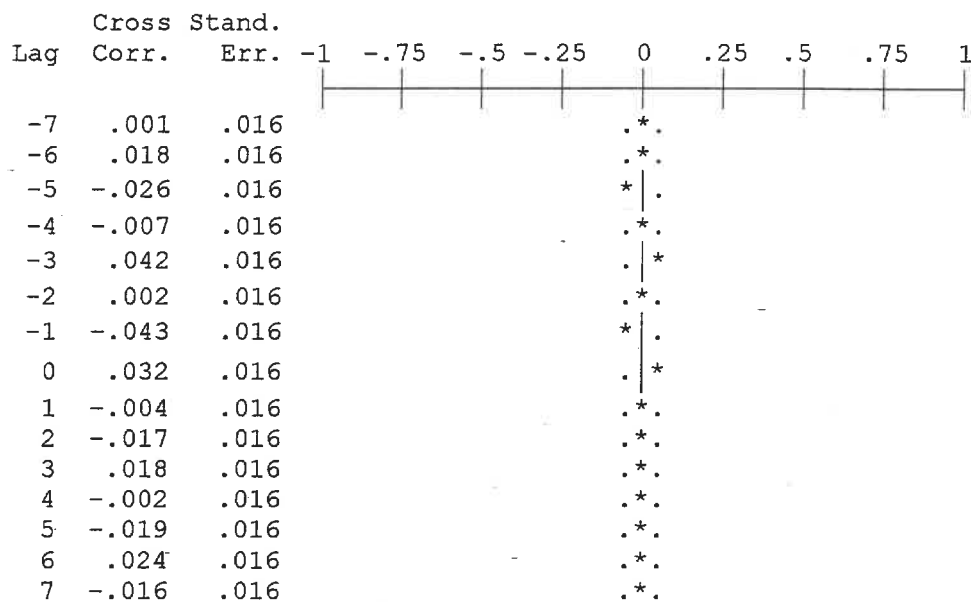
7.5 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΤΟΥ ADR 1 ΜΕ ΤΑ ADR 2, ADR 3 ΚΑΙ ADR 4

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή της εργασίας αυτής, η συσχέτιση των κυκλοφοριακών φόρτων έγινε μεταξύ των δεδομένων του ADR 1 και των δεδομένων των ADR 2, ADR 3 και ADR 4 τα οποία είχαν τοποθετηθεί σε αποστάσεις 200, 400 και 800 μέτρα αντίστοιχα από το ADR 1, το οποίο βρισκόταν μετά (downstream) από τα προαναφερθέντα μηχανήματα (με τη σειρά που αναφέρονται). Η επιλογή αυτή έγινε, καθώς είναι γνωστό από την κυκλοφοριακή τεχνική, ότι δεδομένα από αντίθετους προς το ρεύμα κυκλοφορίας φορατές (upstream) δίνουν καλύτερες προβλέψεις και προφανώς συσχετίζονται καλύτερα με φορατές που βρίσκονται σε επόμενες θέσεις (downstream).

Η συσχέτιση των συνολικών παρατηρήσεων (pooled data) του ADR 1 με τα ADR 2, ADR 3 και ADR 4 με χρήση της συνάρτησης συσχετίσεων (CCF) έγινε στο στατιστικό πρόγραμμα **SPSS**. Από την μελέτη των τριών διαγραμμάτων έγινε φανερό ότι δεν υπήρξε τιμή του $\rho_{ij}(h)$ για οποιοδήποτε h (τα $\rho_{ij}(h)$ υπολογίστηκαν για τις πρώτες 16 υστερήσεις) η οποία να ήταν μεγαλύτερη από το $\pm 1.96 \frac{1}{\sqrt{N}}$, τιμή που αποτελεί ένα 95% διάστημα εμπιστοσύνης για τα $\rho_{ij}(h)$.

Στο διάγραμμα 7.13, παρουσιάζονται οι συσχετίσεις (CCF) μεταξύ των συνολικών δεδομένων του ADR 1 και του ADR 3, μετά από διαφόριση πρώτου βαθμού για την επίτευξη στατικότητας.

7.ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ



Plot Symbols: Autocorrelations * Two Standard Error Limits .

Διάγραμμα 7.13 : Συσχετίσεις $\rho_{ii}(h)$, μεταξύ των πρώτων διαφορών των συνολικών δεδομένων (pooled data) των ADR 1 και ADR 3.

Επειδή η συσχέτιση δεν ήταν δυνατό να γίνει για όλα τα κυλιόμενα 30λεπτα λόγω τεράστιου υπολογιστικού φόρτου, αποφασίστηκε να γίνει για “ψευδοκυλιόμενα” 30λεπτα αλληλοκαλύπτομενα κατά 15 λεπτά (δηλαδή στο 30^ο λεπτό αντιστοιχήθηκε ο φόρτος του ημιώρου μεταξύ του 1^{ου} και του 30^{ου} λεπτού, στο 45^ο λεπτό αντιστοιχήθηκε ο φόρτος του ημιώρου μεταξύ του 16^{ου} και του 45^{ου} λεπτού,....., στο ν^ο λεπτό αντιστοιχήθηκε ο φόρτος του ημιώρου μεταξύ του (ν-29) και του ν^ο λεπτού).

Το γεγονός, ότι η συσχέτιση των κυκλοφοριακών φόρτων με τη χρήση της συνάρτησης συσχετίσεων (CCF) δεν ήταν δυνατό να γίνει με το στατιστικό πρόγραμμα SPSS λόγω του πολύ μεγάλου αριθμού επαναλήψεων που έπρεπε να γίνουν (364 σταυρωτές συσχετίσεις μεταξύ των ADR 1 και ADR 2, 268 συσχετίσεις μεταξύ των ADR 1 και ADR 3 και 364 μεταξύ των ADR 1 και ADR 4), οδήγησε στην κατασκευή τριών προγραμμάτων στο Microsoft Excel κάθε ένα

7.ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ

από τα οποία αντιστοιχούσε στις συσχετίσεις των ADR 1 και ADR 2, ADR 1 και ADR 3 και ADR 1 και ADR 4.

Ο στόχος του προγράμματος ήταν να υπολογίζει τις πρώτες διαφορές των δυο χρονικών σειρών για κάθε “ψευδοκυλιόμενο” 30λεπτο (για την επίτευξη στατικότητας), καθώς και τις συσχετίσεις $\rho_{ij}(h)$ για $h = 0, 1, 2, 3, 4, 5$. Δηλαδή υπολογίστηκαν τα $\rho_{ij}(h)$ για τις έξι πρώτες υστερήσεις (lags). Η επιλογή μόνο των έξι πρώτων υστερήσεων έγινε λόγω του γεγονότος, ότι θεωρήθηκε αρκετά απίθανο ένα όχημα να κάνει πάνω από πέντε λεπτά να διασχίσει τα 800 μέτρα που είναι και η μέγιστη απόσταση στην οποία τοποθετήθηκε το ADR 4 από το ADR 1, παρά την ύπαρξη δύο φωτεινών σηματοδοτών μεταξύ των δυο φορατών. Εξάλλου για να κάνει ένα όχημα έξι λεπτά για να διανύσει την απόσταση αυτή θα έπρεπε να κινείται με μια μεση ταχύτητα της τάξης των 8km/h πράγμα εξαιρετικά απίθανο εκτός από την περίπτωση πλήρους κυκλοφοριακής συμφόρησης.

Στη συνέχεια αφού υπολογίστηκαν τα $\rho_{ij}(h)$ των έξι πρώτων υστερήσεων, για κάθε “ψευδοκυλιόμενο” 30λεπτο επιλέχθηκε αυτό του οποίου η τιμή ήταν μεγαλύτερη από το $\pm 1.96 \frac{1}{\sqrt{N}}$, καθώς οποιαδήποτε μεγαλύτερη τιμή θεωρείται στατιστικά σημαντική σε ένα 95% διάστημα εμπιστοσύνης. Είναι λογικό ότι υπήρξαν 30λεπτά στα οποία τα δεδομένα είτε ήταν ασυσχέτιστα είτε ήταν συσχετισμένα σε υστέρηση μεγαλύτερη από 5. Με τον τρόπο αυτό σε όλα τα λεπτά και επομένως σε όλα τα αντίστοιχα “ψευδοκυλιόμενα” 30λεπτα που επιλέχθηκαν για μελέτη, αντιστοιχήθηκε και ο αντίστοιχος χρόνος υστέρησης για τους τρεις συνδυασμούς που επιλέχθηκαν (ADR 1 με ADR 2, ADR 1 με ADR 3 και ADR 1 με ADR 4).

8. ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ

8.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΟΤΗΤΑΣ (DISCRIMINANT ANALYSIS)

8.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΡΙΤΟΤΗΤΑΣ

Η ανάλυση διακριτότητας (Discriminant analysis) σχετίζεται τόσο με την πολυμεταβλητή ανάλυση της διακύμανσης (multivariate analysis of variance) όσο και με την εξίσωση πολλαπλής παλινδρόμησης (multiple regression). Ξεκινώντας με περιπτώσεις που ανήκουν σε δυο ή περισσότερες ομάδες (όπως σε μια μονόδρομη πολυμεταβλητή ανάλυση της διακύμανσης), η ανάλυση διακριτότητας αναγνωρίζει ένα γραμμικό συνδυασμό ποσοτικών μεταβλητών, οι οποίες χαρακτηρίζουν με τον καλύτερο τρόπο τις διαφορές ανάμεσα στις ομάδες. Ο

γραμμικός συνδυασμός των μεταβλητών (discriminant function), είναι όμοιος με το δεξιά μέρος μιας εξίσωσης πολλαπλής παλινδρόμησης επειδή αθροίζει τα προϊόντα των μεταβλητών πολλαπλασιαζόμενα με συντελεστές. Η διαδικασία εκτιμεί τους συντελεστές, και την εξαγόμενη συνάρτηση η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατάταξη νέων περιπτώσεων. Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι ο συνδυασμός πληροφοριών από δυο ή περισσότερες μεταβλητές μπορεί να βοηθήσει σε μεγάλο βαθμό στον βέλτιστο διαχωρισμό των ομάδων [8].

8.2.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ

Στην εργασία αυτή, οι ομάδες που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση διακριτότητας ήταν τέσσερις, για κάθε μια από τις τρεις συσχετίσεις που έγιναν (μια ανάλυση για κάθε μια από τις συσχετίσεις των ADR – 2000 που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο). Η κάθε ομάδα περιελάμβανε τα αντίστοιχα “ψευδοκυκλιόμενα” 30λεπτα που είχαν την ίδια υστέρηση. Από τις τέσσερις ομάδες η μια ήταν τα 30λεπτα τα οποία ήταν ασυσχέτιστα, ενώ οι άλλες τρεις ήταν οι συσχετίσεις που είχαν τις περισσότερες εμφανίσεις κατά την ανάλυση των συσχετίσεων (CCF). Αναλυτικά οι ομάδες που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε ανάλυση ήταν οι εξής :

- Για την συσχέτιση των **ADR 1** και **ADR 2** οι ομάδες ήταν οι εξής :
 1. **Ομάδα 0** η οποία περιελάμβανε τα 30λεπτα με **υστέρηση (lag) 0**.
 2. **Ομάδα 1** η οποία περιελάμβανε τα 30λεπτα με **υστέρηση (lag) 1**.
 3. **Ομάδα 2** η οποία περιελάμβανε τα 30λέπτα με **υστέρηση (lag) 2**.
 4. **Ομάδα 9** η οποία περιελάμβανε τα **ασυσχέτιστα** μεταξύ τους 30λεπτα.

8.ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ

- Για την συσχέτιση των **ADR 1** και **ADR 3** οι ομάδες ήταν οι εξής :
 1. **Ομάδα 1** η οποία περιελάμβανε τα 30λεπτα με **υστέρηση (lag) 1**.
 2. **Ομάδα 2** η οποία περιελάμβανε τα 30λεπτα με **υστέρηση (lag) 2**.
 3. **Ομάδα 3** η οποία περιελάμβανε τα 30λεπτα με **υστέρηση (lag) 3**.
 4. **Ομάδα 9** η οποία περιελάμβανε τα **ασυσχέιστα** μεταξύ τους 30λεπτα.
- Για την συσχέτιση των **ADR 1** και **ADR 4** οι ομάδες ήταν οι εξής :
 1. **Ομάδα 1** η οποία περιελάμβανε τα 30λεπτα με **υστέρηση (lag) 1**.
 2. **Ομάδα 2** η οποία περιελάμβανε τα 30λεπτα με **υστέρηση (lag) 2**.
 3. **Ομάδα 3** η οποία περιελάμβανε τα 30λεπτα με **υστέρηση (lag) 3**.
 4. **Ομάδα 9** η οποία περιελάμβανε τα **ασυσχέιστα** μεταξύ τους 30λεπτα.

Οι ομάδες που επιλέχθηκαν περιελάμβαναν :

- το 75% των συσχετίσεων για τα ADR 1 και ADR 2 (δηλαδή το 25% των συσχετίσεων έδειξε υστέρηση 3 ή 4 ή 5).
- το 74% των συσχετίσεων για τα ADR 1 και ADR 3 (δηλαδή το 26% των συσχετίσεων έδειξε υστέρηση 0 ή 4 ή 5).
- το 77% των συσχετίσεων για τα ADR 1 και ADR 4 (δηλαδή το 23% των συσχετίσεων έδειξε υστέρηση 0 ή 4 ή 5).

Οι ποσοτικές μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση ήταν οι εξής 6 :

1. Ο κυκλοφοριακός φόρτος του κάθε “ψευδοκυλιόμενου” 30λεπτου του ADR 1, καθώς όλες οι συσχετίσεις έγιναν ως προς αυτό. Η μεταβλητή αυτή ονομάστηκε **VAR1** (variable 1).
2. Η τετραγωνική ρίζα του κυκλοφοριακού φόρτου του κάθε “ψευδοκυλιόμενου” 30λεπτου του ADR 1. Η μεταβλητή αυτή

ονομάστηκε **VAR2** και στην ουσία είναι η τετραγωνική ρίζα της μεταβλητής VAR1.

3. Ο λόγος του κυκλοφοριακού φόρτου του κάθε “ψευδοκυλιόμενου” 30λεππου του ADR 1, προς τον κυκλοφοριακό φόρτο του αμέσως προηγούμενου ημιώρου. Ο λόγος αυτός λαμβάνει υπ’όψιν την μεταβολή του κυκλοφοριακού φόρτου, καθώς τιμή μικρότερη της μονάδας σημαίνει μακροπρόθεσμη μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου, ενώ τιμή μεγαλύτερη της μονάδας σημαίνει ότι υπάρχει μακροπρόθεσμη αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου. Είναι προφανές ότι τιμές του λόγου ίσες ή πολύ κοντά στη μονάδα σημαίνουν σταθερές κυκλοφοριακές συνθήκες. Η μεταβλητή αυτή ονομάστηκε **VAR3**.
4. Η τετραγωνική ρίζα του λόγου του κυκλοφοριακού φόρτου του κάθε 30λεππου, προς τον κυκλοφοριακό φόρτο του αμέσως προηγούμενου ημιώρου. Η μεταβλητή αυτή ονομάστηκε **VAR4** και είναι η τετραγωνική ρίζα της μεταβλητής VAR3.
5. Ο λόγος του κυκλοφοριακού φόρτου του κάθε “ψευδοκυλιόμενου” 30λεππου του ADR 1, προς τον κυκλοφοριακό φόρτο του αμέσως προηγούμενου “ψευδοκυλιόμενου” 30λεππου (αλληλοκαλυπτόμενα κατά 15 λεπτά). Ο λόγος αυτός, όπως και η μεταβλητή VAR3, λαμβάνει υπ’όψιν την μεταβολή του κυκλοφοριακού φόρτου μέσα σε ένα μικρότερο όμως χρονικό διάστημα (τα δυο συνεχόμενα 30λεπτα αντιστοιχούν σε μια ώρα, ενώ δυο συνεχόμενα “ψευδοκυλιόμενα” 30λεπτα αντιστοιχούν σε 45 λεπτά αφού αλληλοκαλύπτονται κατά 15 λεπτά). Η μεταβλητή αυτή ονομάστηκε **VAR5**.
6. Η τετραγωνική ρίζα του λόγου του κυκλοφοριακού φόρτου του κάθε “ψευδοκυλιόμενου” 30λεππου του ADR 1, προς τον κυκλοφοριακό φόρτο του αμέσως προηγούμενου “ψευδοκυλιόμενου” 30λεππου. Η μεταβλητή αυτή ονομάστηκε **VAR6** και είναι η τετραγωνική ρίζα της μεταβλητής VAR5.

Σαν παρένθεση, στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι σαν μεταβλητή στην ανάλυση ευνοϊκής διάκρισης επρόκειτο να χρησιμοποιηθούν και οι μέσες ταχύτητες των οχημάτων ανά 30 λεπτά (μέσος όρος των κεντροβαρικών μέσων ταχυτήτων ανά λεπτό). Ωστόσο μετά από λεπτομερή παρατήρηση των τιμών των ταχυτήτων, βγήκε το συμπέρασμα ότι τα δεδομένα δεν ήταν αξιόπιστα. Ο λόγος για τον οποίο οι μετρήσεις δεν ήταν αξιόπιστες ήταν ο εξής : Οι φορατές υπολογίζουν την ταχύτητα ενός οχήματος με βάση το χρονικό διάστημα που απαιτείται, ώστε ο εμπρόσθιος άξονας ενός οχήματος να καλύψει την απόσταση μεταξύ των δυο σωλήνων (μία ώθηση στον πρώτο και μια στο δεύτερο σωλήνα) που στην συγκεκριμένη περίπτωση είχαν τοποθετηθεί σε απόσταση 2 μέτρων. Αυτό όμως ισχύει μόνο στην περίπτωση κατά την οποία ο φορατής έχει τοποθετηθεί σε οδικό τμήμα με μια μόνο λωρίδα κυκλοφορίας. Στην περίπτωση της λεωφόρου Κατεχάκη όπου υπάρχουν τρεις λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, η ταχύτητα ενός οχήματος όπως μετράται από τον φορατή, είναι πολύ πιθανόν να βασίζεται στο χρονικό διάστημα μεταξύ της διέλευσης του μπροστινού άξονα ενός οχήματος από το πρώτο ελαστικό σωλήνα και της διέλευσης ενός άξονα οποιουδήποτε άλλου οχήματος (που κινείται σε μια από τις άλλες δυο λωρίδες κυκλοφορίας) πάνω από το δεύτερο σωλήνα. Για τον παραπάνω λόγο προτείνεται να μην χρησιμοποιούνται φορατές για μετρήσεις ταχυτήτων, σε οδικά τμήματα με περισσότερες από μια λωρίδα κυκλοφορίας.

Επομένως σε κάθε "ψευδοκυλιόμενο" 30λεπτο του ADR 1, αντιστοιχήθηκε η τιμή της κάθε μιας μεταβλητής καθώς και η τιμή της υστέρησης με κάποιο από τα άλλα τρία ADR – 2000. Η τιμές της υστέρησης αποτέλεσαν την μεταβλητή ομαδοποίησης (grouping variable), η οποία και ονομάστηκε **VAR95** (το 95 αφορούσε το 95% διάστημα εμπιστοσύνης στο οποίο έγιναν οι συσχετίσεις) . Δηλαδή δημιουργήθηκαν τρία αρχεία, ένα για κάθε μια από τις συσχετίσεις που έγιναν. Στη συνέχεια όλα τα δεδομένα μεταφεθήκαν σε τρία διαφορετικά αρχεία στο στατιστικό πακέτο **SPSS** με το οποίο έγινε και η ανάλυση.

8.ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ

Ο στόχος της ανάλυσης ευνοϊκής διάκρισης, ήταν να βρεθεί ο καλύτερος συνδυασμός κάποιων από τις παραπάνω έξι μεταβλητές, ώστε τα αποτελέσματα της κατάταξης να ήταν τα καλύτερα δυνατά και για τις τρεις συσχετίσεις των δεδομένων των φορατών ταυτόχρονα. Μετά από αρκετές εκτελέσεις της ανάλυσης, για όλους τους συνδυασμούς των μεταβλητών (και για τις τρεις συσχετίσεις) βρέθηκε ότι τα καλύτερα αποτελέσματα ταξινόμησης προέκυψαν με χρήση των μεταβλητών **VAR1**, **VAR2**, **VAR3** και **VAR4**. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στους πίνακες 8.1, 8.2 και 8.3 .

			ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΟΜΑΔΑΣ				ΣΥΝΟΛΟ
			0	1	2	9	
LAG95							
ΑΡΧΙΚΟ	ΜΕΤΡΗΜΑ	0	20	12	20	30	82
		1	5	17	13	10	45
		2	5	11	48	22	86
		9	7	5	20	29	61
	%	0	24.4	14.6	24.4	36.6	100
		1	11.1	37.8	28.9	22.2	100
		2	5.8	12.8	55.8	25.6	100
		9	11.5	8.2	32.8	47.5	100
41.6% των αρχικά ομαδοποιημένων υποθέσεων ταξινομήθηκαν σωστά.							

Πίνακας 8.1 : Αποτελέσματα της ταξινόμησης για την συσχέτιση των ADR 1 και ADR 2.

8.ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ

LAG95			ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΟΜΑΔΑΣ				ΣΥΝΟΛΟ
			1	2	3	9	
ΑΡΧΙΚΟ ΜΕΤΡΗΜΑ	1		20	2	1	9	32
	2		9	31	1	4	45
	3		7	3	3	8	21
	9		37	10	9	44	100
	%	1	62.5	6.3	3.1	28.1	100
		2	20.0	68.9	2.2	8.9	100
		3	33.3	14.3	14.3	38.1	100
		9	37.0	10.0	9.0	44.0	100
49.5% των αρχικά ομαδοποιημένων υποθέσεων ταξινομήθηκαν σωστά.							

Πίνακας 8.2 : Αποτελέσματα της ταξινόμησης για την συσχέτιση των ADR 1 και ADR 3.

LAG95			ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΟΜΑΔΑΣ				ΣΥΝΟΛΟ
			1	2	3	9	
ΑΡΧΙΚΟ ΜΕΤΡΗΜΑ	1		33	18	17	10	78
	2		5	9	5	9	28
	3		2	1	9	8	20
	9		18	10	50	78	156
	%	1	42.3	23.1	21.8	12.8	100
		2	17.9	32.1	17.9	32.1	100
		3	10.0	5.0	45.0	40.0	100
		9	11.5	6.4	32.1	50.0	100
45.7% των αρχικά ομαδοποιημένων υποθέσεων ταξινομήθηκαν σωστά.							

Πίνακας 8.3 : Αποτελέσματα της ταξινόμησης για την συσχέτιση των ADR 1 και ADR 4.

8.ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ

Από τους παραπάνω πίνακες προκύπτει ότι η συνολική επιτυχία κατάταξης κυμάνθηκε μεταξύ του 41.6% και του 49.5%. Τα ποσοστά αυτά μπορούν να θεωρηθούν καλά, καθώς εάν η κατάταξη γινόταν με απολύτως τυχαίο τρόπο η επιτυχία θα ήταν 25% (για κατάταξη σε τέσσερις ομάδες).

Παρακάτω στους πίνακες 8.4, 8.5 και 8.6 παρατίθενται οι συντελεστές των συναρτήσεων ταξινόμησης (Fisher's linear discriminant functions).

	LAG95			
	0	1	2	9
VAR1	-0.68204	-0.66956	-0.66376	-0.68445
VAR2	28.27508	27.62912	27.47478	28.4228
VAR3	-1911.5	-1913.02	-1912.55	-1906.83
VAR4	4424.388	4427.276	4428.417	4414.806
(ΣΤΑΘΕΡΑ)	-1363.2	-1356.96	-1358.95	-1360.53

Πίνακας 8.4 : Συντελεστές των συναρτήσεων ταξινόμησης για την συσχέτιση των ADR 1 και ADR 4.

	LAG95			
	1	2	3	9
VAR1	-0.78293	-0.77077	-0.77189	-0.77133
VAR2	32.41789	31.67998	31.93533	31.93107
VAR3	-1757.62	-1741.97	-1736.64	-1747.44
VAR4	4114.193	4073.085	4066.826	4090.887
(ΣΤΑΘΕΡΑ)	-1309.43	-1274.51	-1278.88	-1292.28

Πίνακας 8.5 : Συντελεστές των συναρτήσεων ταξινόμησης για την συσχέτιση των ADR 1 και ADR 3.

8.ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ

	LAG95			
	1	2	3	9
VAR1	-0.67832	-0.66455	-0.67395	-0.66497
VAR2	28.24763	27.67574	28.17964	27.79139
VAR3	-1955.65	-1937.07	-1965.69	-1962.85
VAR4	4523.956	4479.656	4544.852	4539.198
(ΣΤΑΘΕΡΑ)	-1388.17	-1358.01	-1400.26	-1394.06

Πίνακας 8.6 : Συντελεστές των συναρτήσεων ταξινόμησης για την συσχέτιση των ADR 1 και ADR 4.

Κάθε στήλη από τους παραπάνω πίνακες, εκτιμάει τους συντελεστές για τη συνάρτηση ταξινόμησης μίας ομάδας. Οι συναρτήσεις χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση των υποθέσεων σε ομάδες. Μια υπόθεση θεωρείται ότι είναι “μέλος” της ομάδας, της οποίας η τιμή της συνάρτησης ταξινόμησης είναι η μεγαλύτερη [8]. Για παράδειγμα η εκτίμηση της συνάρτησης ταξινόμησης για την ομάδα 1, της συσχέτισης των ADR 1 και ADR 4 είναι :

$$-0.67832 \times \text{VAR1} + 28.24763 \times \text{VAR2} - 1955.65 \times \text{VAR3} + 4523.956 \times \text{VAR4} - 1388.17$$

ενώ για την ομάδα 3 είναι :

$$-0.67395 \times \text{VAR1} + 28.17964 \times \text{VAR2} - 1965.69 \times \text{VAR3} + 4544.852 \times \text{VAR4} - 1400.26$$

Έτσι για κάθε υπόθεση σε κάθε ομάδα, η διαδικασία πολλαπλασιάζει κάθε συντελεστή με την τιμή της αντίστοιχης μεταβλητής, αθροίζει τα γινόμενα και προσθέτει τη σταθερά για να πάρει μια τιμή. Η μεγαλύτερη τιμή υποδεικνύει σε ποιά ομάδα ανήκει η υπόθεση [8].

Εκτός από τους πίνακες αποτελεσμάτων της ταξινόμησης και τους πίνακες των συντελεστών των συναρτήσεων ταξινόμησης, το **SPSS** δίνει και άλλους πίνακες όπως : Στατιστικά των ομάδων (group statistics), δοκιμή ισότητας των μέσων των ομάδων (tests of equality of group means), “εδafικός χάρτης” (territorial map) κ.λ.π. Οι πίνακες αυτοί βρίσκονται στο παράρτημα στο τέλος της παρούσας εργασίας.

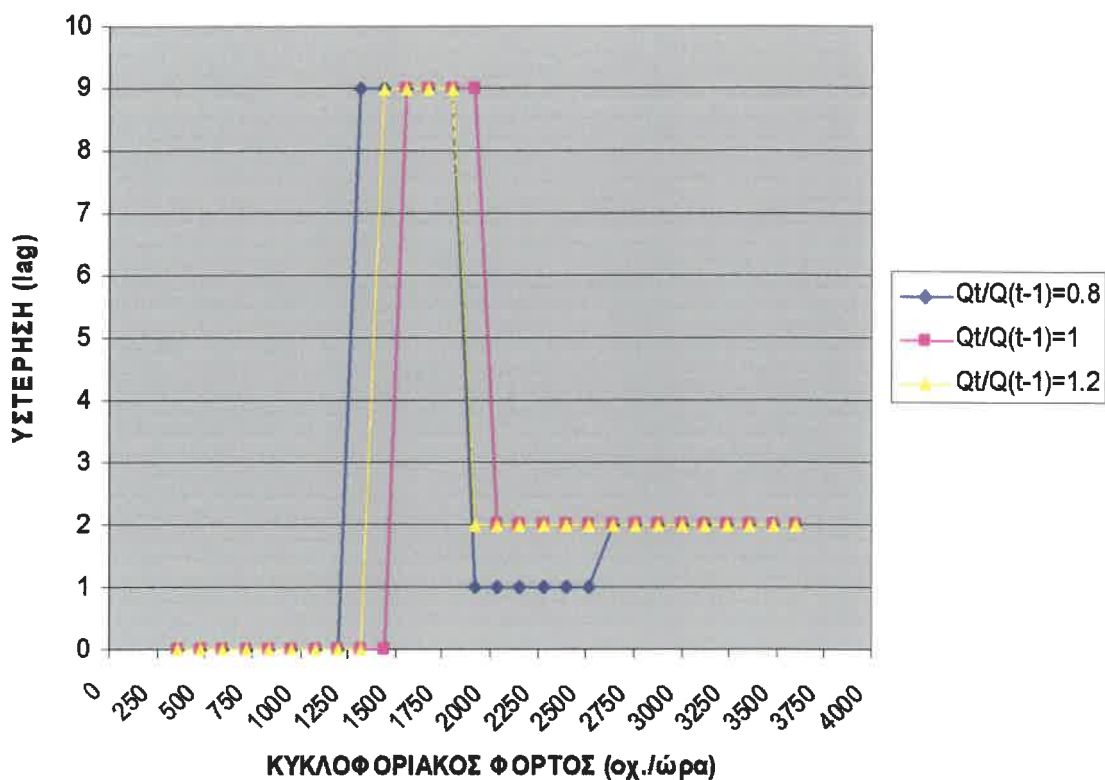
8.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

8.2.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΣΥΣΧΕΤΙΖΟΜΕΝΟ ΖΕΥΓΟΣ ΦΟΡΑΤΩΝ

Με βάση τους συντελεστές των συναρτήσεων ταξινόμησης των αναλύσεων διακριτότητας για τις τρεις συσχετίσεις, κατασκευάστηκαν διαγράμματα για θεωρητικές τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου από 180 μέχρι 1800 οχήματα ανά 30 λεπτά (με βήμα 60 οχήματα ανά 30 λεπτά), και λόγω του κυκλοφοριακού φόρτου του κάθε 30λεππου του ADR 1, πρὸς τον κυκλοφοριακό φόρτο του αμέσως προηγούμενου ημιώρου ἴσο με 0.8, 1.0 και 1.2.. Η επιλογή των τιμών του κυκλοφοριακού φόρτου, έγινε με βάση το γεγονός ότι το 94% των πραγματικών φόρτων ανά ημίωρο που καταγράφηκαν από τον φορατή ADR 1, κυμαίνονταν μεταξύ των 180 και 1800 οχημάτων ανά 30 λεπτά. Εξάλλου τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευνοϊκής διάκρισης, για φόρτους μικρότερους από 180 οχήματα ανά 30 λεπτά (που σημαίνει 6 οχήματα ανά λεπτό) δεν μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστα αφού η ανάλυση βασίστηκε σε πολύ μικρό αριθμό πραγματικών μετρήσεων. Οι τιμές του λόγου του κυκλοφοριακού φόρτου του κάθε 30λεππου του ADR 1, πρὸς τον κυκλοφοριακό φόρτο του αμέσως προηγούμενου ημιώρου επιλέχθηκαν με την ίδια λογική που επιλέχθηκαν και οι φόρτοι. Δηλαδή βρέθηκε ότι το 86% των πραγματικών τιμών ήταν ανάμεσα στις τιμές 0.8 και 1.2.. Λαμβάνοντας λοιπόν τις δυο αυτές τιμές, καθώς και την τιμή του λόγου ἴση με 1.0 (σταθερές κυκλοφοριακές συνθήκες) σε συνδυασμό με τις προαναφερθείσες τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου, μπορεί να θεωρηθεί ότι καλύφθηκε το μεγαλύτερο ποσοστό των συνδυασμών που παρατηρήθηκαν στην πραγματικότητα στο διάστημα των πέντε ημερών που βρίσκονταν σε λειτουργία οι φορατές. Είναι προφανές ότι γνωρίζοντας τις θεωρητικές τιμές των **VAR1** και

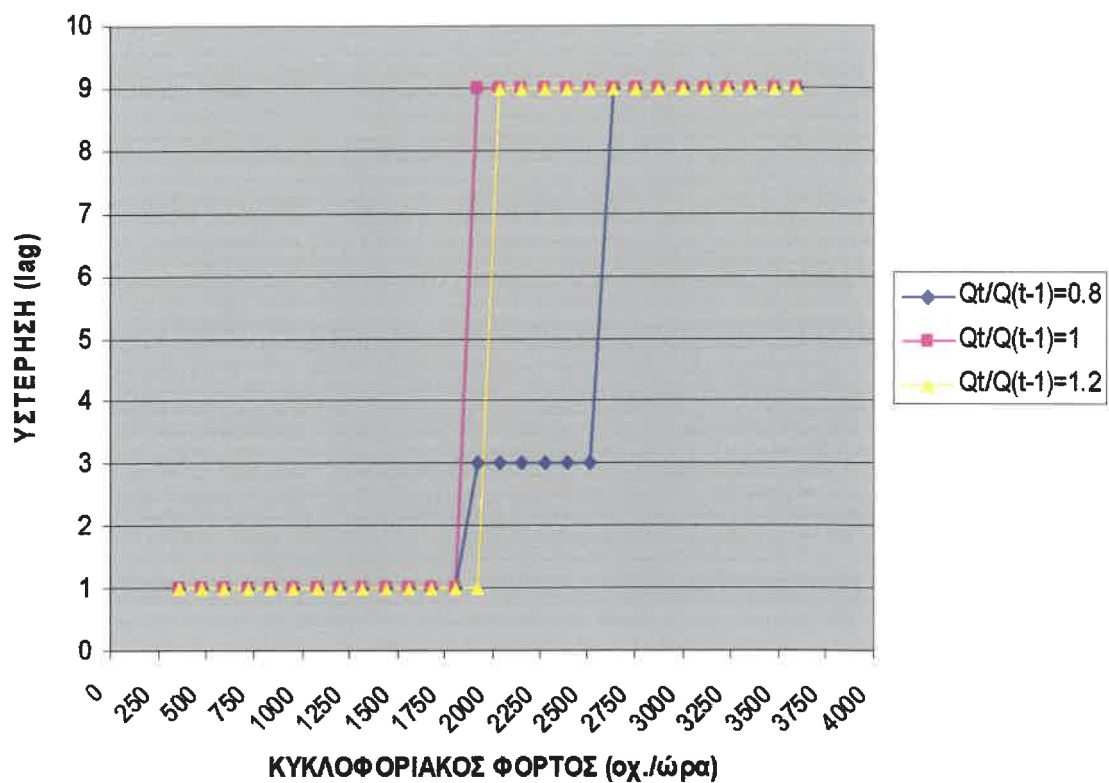
8.ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ

VAR3, αυτομάτως είναι γνωστές και οι τιμές των μεταβλητών **VAR2** και **VAR4**. Στα διαγράμματα 8.1, 8.2 και 8.3 που παρουσιάζονται στις επόμενες τρεις σελίδες, ο λόγος του κυκλοφοριακού φόρτου του κάθε 30λεπτου του ADR 1, προς τον κυκλοφοριακό φόρτο του αμέσως προηγούμενου ημιώρου συμβολίζεται με $Q_t/Q(t-1)$.



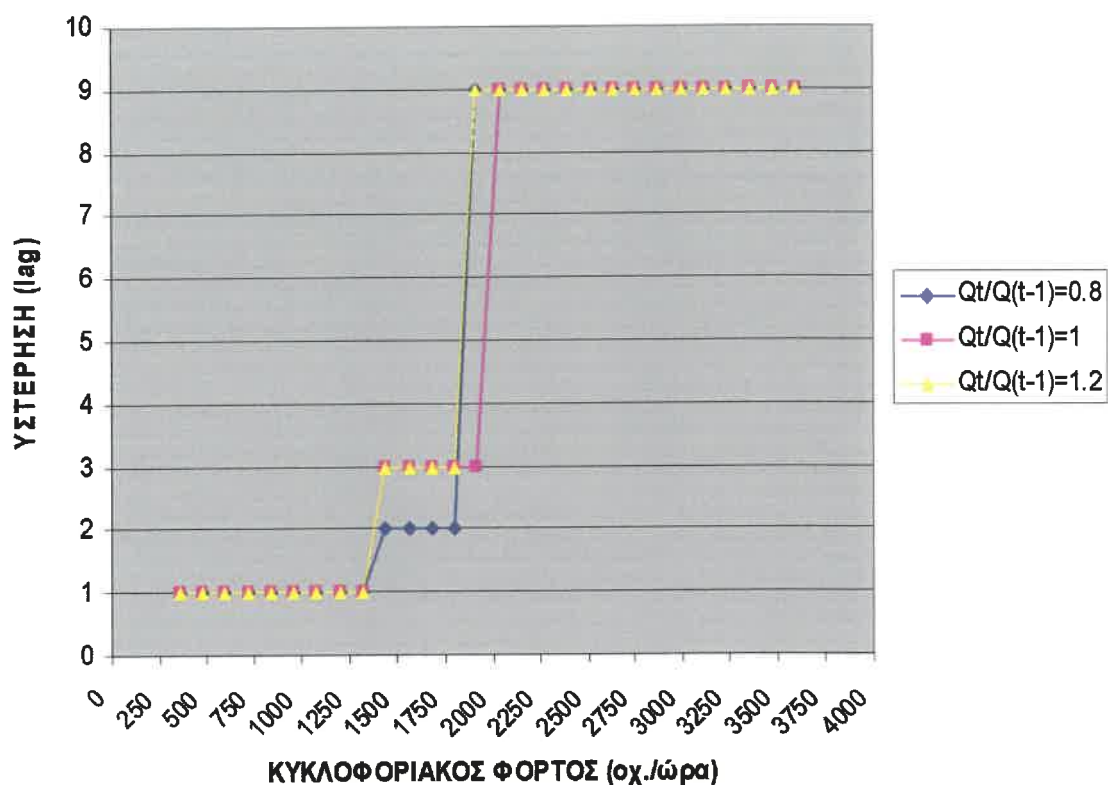
Διάγραμμα 8.1 : Αποτελέσματα της ανάλυσης ευνοϊκής διάκρισης για θεωρητικές τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου και του λόγου $Q_t/Q(t-1)$, για την συσχέτιση των ADR 1 και ADR 2.

8.ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ



Διάγραμμα 8.2 : Αποτελέσματα της ανάλυσης ευνοικής διάκρισης για θεωρητικές τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου και του λόγου $Q_t/Q(t-1)$, για την συσχέτιση των ADR 1 και ADR 3.

8.ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ



Διάγραμμα 8.3 : Αποτελέσματα της ανάλυσης ευνοικής διάκρισης για θεωρητικές τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου και του λόγου $Q_t/Q(t-1)$, για την συσχέτιση των ADR 1 και ADR 4.

Από την μελέτη των διαγραμμάτων 8.1, 8.2 και 8.3 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Όσον αφορά τη συσχέτιση μεταξύ των φορατών ADR 1 και ADR 2 είναι προφανές ότι :
 1. για χαμηλές τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου (μεταξύ 360 και 1200 οχημάτων ανά ώρα) και για όλες τις τιμές του λόγου $Q_t/Q(t-1)$ παρατηρείται ότι οι δυο φορατές συσχετίζονται με υστέρηση (lag) 0.

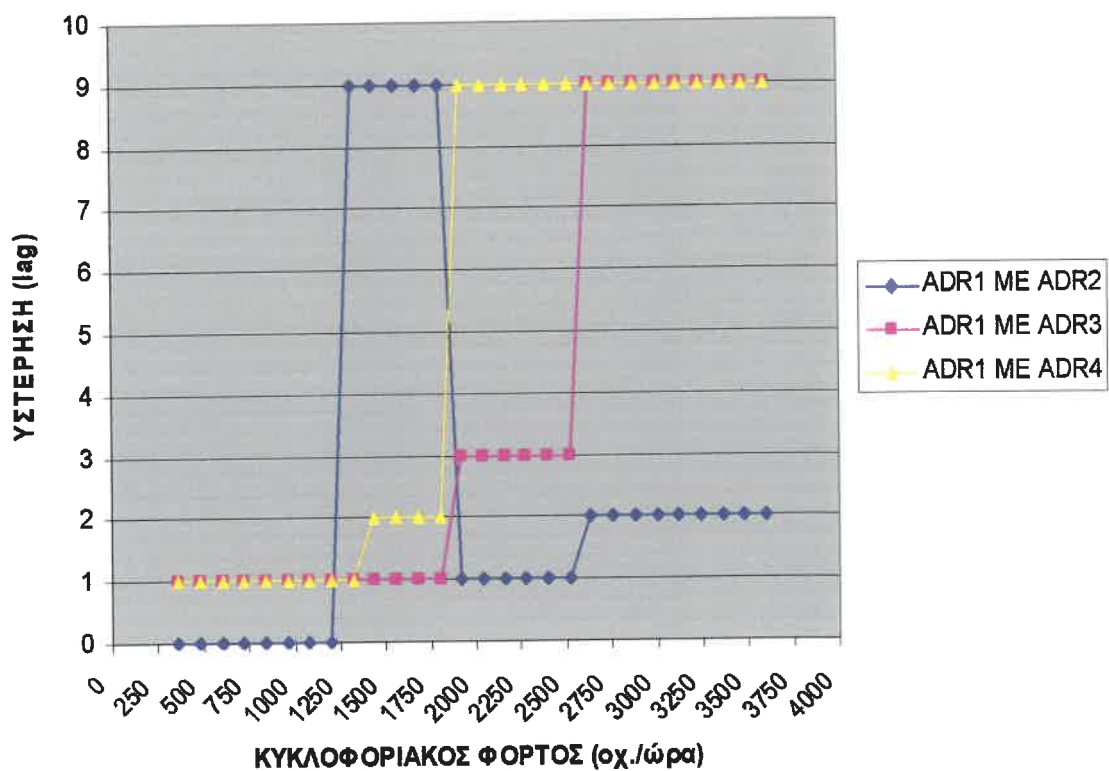
2. για τους μεσαίους φόρτους (μεταξύ 1200 και 1920 οχημάτων ανά ώρα) οι φορατές ADR 1 και ADR 2 είναι ασυσχέτιστοι μεταξύ τους ανάλογα με την τιμή του λόγου $Q_t/Q(t-1)$.
 3. για υψηλές τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου (μεταξύ 1920 και 2640 οχημάτων ανά 30λεπτά) όταν ο λόγος $Q_t/Q(t-1)$ μειώνεται τα ADR 1 και ADR 2 συσχετίζονται με υστέρηση 1. Αλλιώς, εάν οι κυκλοφοριακές συνθήκες παραμένουν σταθερές ή ο φόρτος αυξάνεται τότε συσχετίζονται με υστέρηση 2.
 4. για πολύ υψηλές τιμές του φόρτου (άνω των 2640 οχημάτων ανά 30 λεπτά) και για όλες τις τιμές του λόγου $Q_t/Q(t-1)$ οι φορατές συσχετίζονται με υστέρηση 2.
- Όσον αφορά τη συσχέτιση μεταξύ των φορατών ADR 1 και ADR 3 παρατηρούνται τα εξής :
 1. για χαμηλές αλλά και μεσαίες τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου (μεταξύ 360 και 1800 οχημάτων ανά ώρα) και για όλες τις τιμές του λόγου $Q_t/Q(t-1)$ παρατηρείται ότι οι δυο φορατές συσχετίζονται με υστέρηση (lag) 1.
 2. για υψηλές τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου (μεταξύ 1920 και 2640 οχημάτων ανά ώρα) όταν ο λόγος $Q_t/Q(t-1)$ μειώνεται υπάρχει συσχέτιση με υστέρηση 3, ενώ όταν παραμένει σταθερός ή αυξάνεται δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των ADR 1 και ADR 3.
 3. για πολύ υψηλές τιμές του φόρτου (άνω των 2640 οχημάτων ανά ώρα) και για όλες τις τιμές του λόγου $Q_t/Q(t-1)$ οι φορατές δε δείχνουν να συσχετίζονται μεταξύ τους.
 - Όσον αφορά τη συσχέτιση μεταξύ των φορατών ADR 1 και ADR 4 είναι εμφανές ότι :
 1. για χαμηλές τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου (μεταξύ 360 και 1200 οχημάτων ανά ώρα) και για όλες τις τιμές του λόγου $Q_t/Q(t-1)$

- 1) παρατηρείται ότι οι δυο φορατές συσχετίζονται με υστέρηση (lag) 1.
2. για τους μεσαίους φόρτους (μεταξύ 1200 και 1920 οχημάτων ανά ώρα) όταν ο λόγος $Q_t/Q(t-1)$ μειώνεται η συσχέτιση είναι με υστέρηση 2, ενώ όταν ο λόγος $Q_t/Q(t-1)$ παραμένει σταθερός ή αυξάνεται η συσχέτιση είναι με υστέρηση 3.
3. για υψηλές αλλά και πολύ υψηλές τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου (άνω των 1920 οχημάτων ανά 30λεπτά) και για όλες τις τιμές του λόγου $Q_t/Q(t-1)$ οι φορατές ADR 1 και ADR 4 δεν συσχετίζονται μεταξύ τους.

8.2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΛΟΓΟ $Q_t/Q(t-1)$

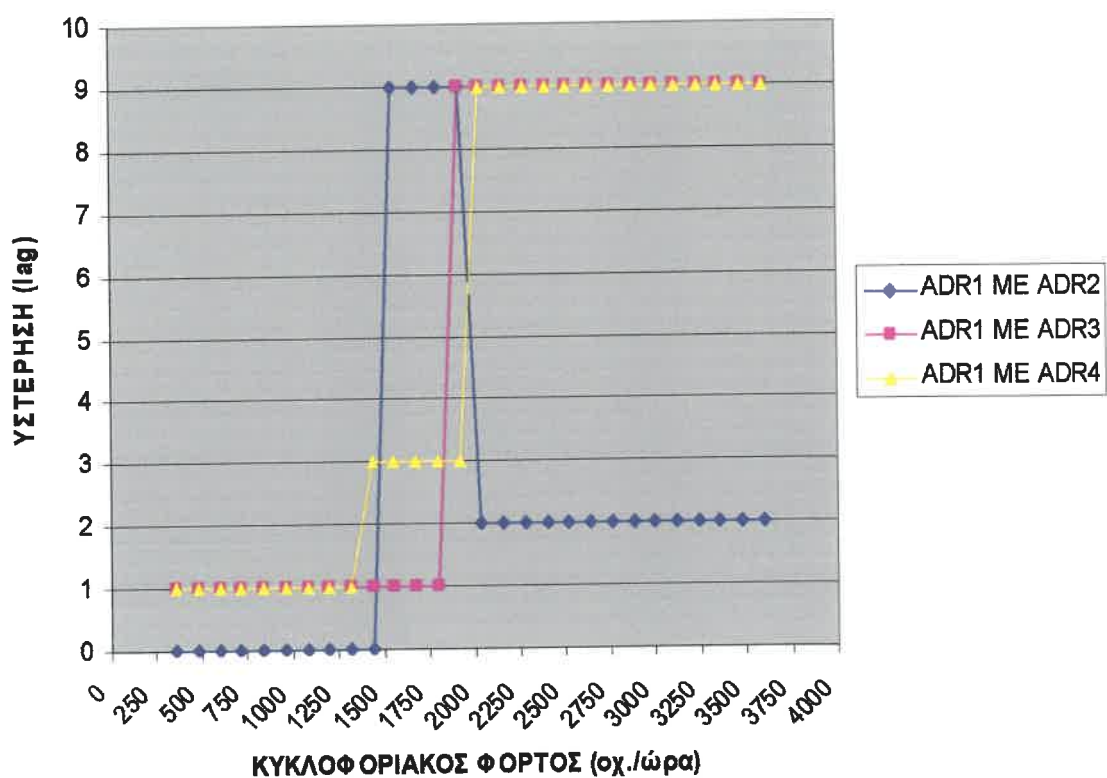
Με βάση τα τρία παραπάνω διαγράμματα και συνδυάζοντας τις υστερήσεις των τριών συσχετίσεων (ADR 1 με ADR 2, ADR 1 με ADR 3 και ADR 1 με ADR 4) για κάθε μια από τις τρεις τιμές του λόγου του κυκλοφοριακού φόρτου του κάθε 30λεπτου του ADR 1, προς τον κυκλοφοριακό φόρτο του αμέσως προηγούμενου 30λεπτου ($Q_t/Q(t-1)$), δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα 8.4, 8.5 και 8.6 .

8.ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ



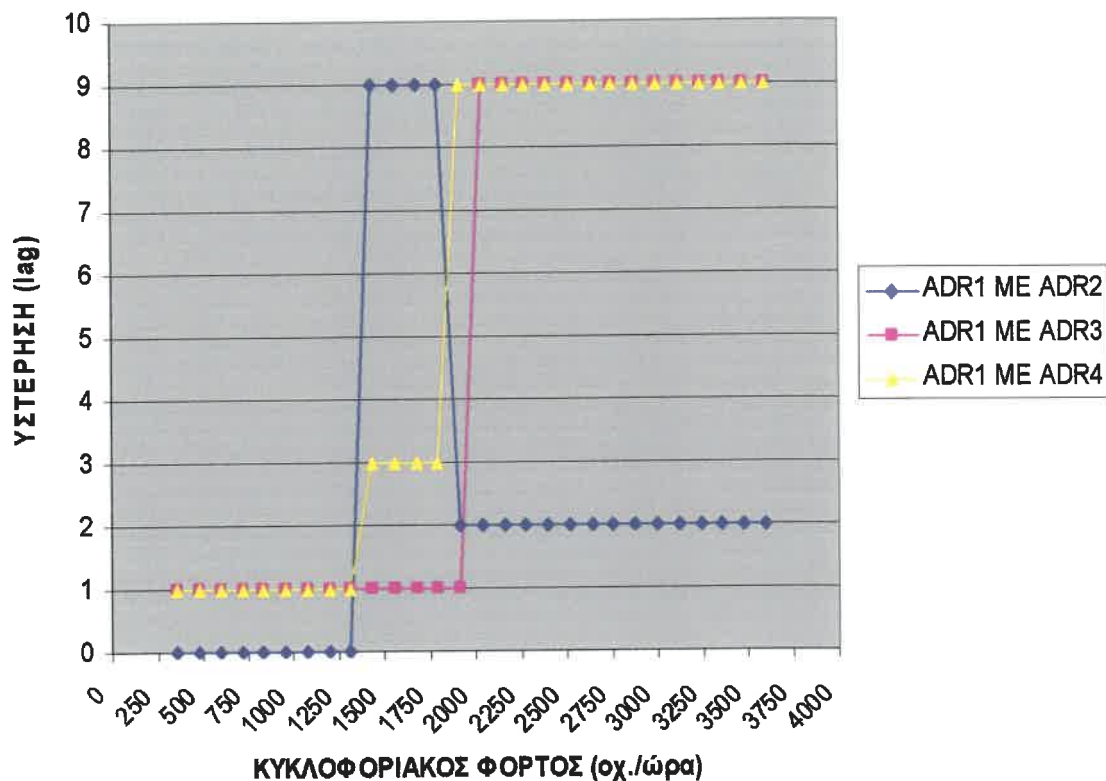
Διάγραμμα 8.4 : Συνδυασμός των υστερήσεων και των τριών συσχετίσεων, με βάση την ανάλυση ευνοϊκής διάκρισης, για θεωρητικές τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου και για $Q_t/Q(t-1)=0.8$.

8.ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ



Διάγραμμα 8.5 : Συνδυασμός των υστερήσεων και των τριών συσχετίσεων, με βάση την ανάλυση ευνοϊκής διάκρισης, για θεωρητικές τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου και για $Q(t)/Q(t-1)=1$.

8.ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ



Διάγραμμα 8.6 : Συνδυασμός των υστερήσεων και των τριών συσχετίσεων, με βάση την ανάλυση ευνοϊκής διάκρισης, για θεωρητικές τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου και για $Q_t/Q(t-1)=1.2$.

Από τα διαγράμματα 8.4, 8.5 και 8.6 μπορούν να παρατηρηθούν τα εξής :

- Όταν η τιμή του λόγου του κυκλοφοριακού φόρτου του κάθε 30λεππου του ADR 1, προς τον κυκλοφοριακό φόρτο του αμέσως προηγούμενου 30λεππου είναι ίση με 0.8 ($Q_t/Q(t-1)=0.8$) και οι τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου είναι χαμηλές (μεταξύ 360 και 1200 οχημάτων ανά ώρα), τα ADR 1 και ADR 2 συσχετίζονται με υστέρηση 0 ενώ τα ADR 1 και ADR 3 όπως και τα ADR 1 και ADR 4 συσχετίζονται με

υστέρηση 1. Για μεσαίες τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου (μεταξύ 1200 και 1920 οχημάτων ανά ώρα) τα ADR 1 και ADR 2 είναι ασυσχέτιστα μεταξύ τους, τα ADR 1 και ADR 3 συσχετίζονται με υστέρηση 1 ενώ τα ADR 1 και ADR 4 συσχετίζονται με υστέρηση 2. Για υψηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους τα ADR 1 και ADR 2 συσχετίζονται με υστέρηση 1, τα ADR 1 και ADR 3 με υστέρηση 3 και τα ADR 1 και ADR 4 είναι ασυσχέτιστα. Τέλος για πολύ υψηλές τιμές του φόρτου (άνω των 2640 οχημάτων ανά ώρα) συσχετίζονται μόνο τα ADR 1 και ADR 2 με υστέρηση 2.

- Τέλος όταν η τιμή του λόγου του κυκλοφοριακού φόρτου του κάθε 30λεππου του ADR 1, προς τον κυκλοφοριακό φόρτο του αμέσως προηγούμενου 30λεππου είναι ίση με τη μονάδα ($Q_t/Q(t-1)=1$) και οι τιμές του φόρτου είναι χαμηλές (μεταξύ 360 και 1200 οχημάτων ανά ώρα), τα ADR 1 και ADR 2 συσχετίζονται με υστέρηση 0 ενώ τα ADR 1 και ADR 3 όπως και τα ADR 1 και ADR 4 συσχετίζονται με υστέρηση 1. Για μεσαίες τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου (μεταξύ 1200 και 1920 οχημάτων ανά ώρα) τα ADR 1 και ADR 2 είναι ασυσχέτιστα μεταξύ τους, τα ADR 1 και ADR 3 συσχετίζονται με υστέρηση 1 ενώ τα ADR 1 και ADR 4 συσχετίζονται με υστέρηση 3. Τέλος για υψηλούς και πολύ υψηλούς φόρτους (άνω των 1920 οχημάτων ανά ώρα) η μόνη συσχέτιση που υπάρχει είναι αυτή μεταξύ των ADR 1 και ADR 2 με υστέρηση 2.
- Όταν η τιμή του λόγου του κυκλοφοριακού φόρτου του κάθε 30λεππου του ADR 1, προς τον κυκλοφοριακό φόρτο του αμέσως προηγούμενου 30λεππου είναι ίση με τη μονάδα ($Q_t/Q(t-1)=1.2$) και οι τιμές του φόρτου είναι χαμηλές (μεταξύ 360 και 1200 οχημάτων ανά ώρα), τα ADR 1 και ADR 2 συσχετίζονται με υστέρηση 0 ενώ τα ADR 1 και ADR 3 όπως και τα ADR 1 και ADR 4 συσχετίζονται με υστέρηση 1. Για μεσαίες τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου (μεταξύ 1200 και 1920 οχημάτων ανά ώρα) τα ADR 1 και ADR 2 είναι ασυσχέτιστα μεταξύ

τους, τα ADR 1 και ADR 3 συσχετίζονται με υστέρηση 1 ενώ τα ADR 1 και ADR 4 συσχετίζονται με υστέρηση 3. Τέλος για υψηλούς και πολύ υψηλούς φόρτους (άνω των 1920 οχημάτων ανά 30 λεπτά) η μόνη συσχέτιση που υπάρχει είναι αυτή μεταξύ των ADR 1 και ADR 2 με υστέρηση 2.

Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις μπορούν να εξαχθούν ορισμένα ενδιαφέροντα συμπεράσματα.

Όσον αφορά τη συσχέτιση μεταξύ των ADR 1 και ADR 2, για οποιαδήποτε τιμή του λόγου $Q_t/Q(t-1)$ υπάρχει συσχέτιση για χαμηλούς και υψηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους. Μάλιστα σε όλες τις περιπτώσεις η συσχέτιση είναι με μικρότερη υστέρηση για τους μικρούς απ' ό,τι για τους μεγάλους φόρτους, γεγονός αναμενόμενο καθώς με την αύξηση του φόρτου αυξάνεται προφανώς και ο χρόνος που απαιτείται ώστε τα οχήματα να πάνε από τη θέση του ADR 2 στη θέση του ADR 1. Για τους μεσαίους φόρτους όπου δεν φαίνεται να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δυο φορατών, μια λογική εξήγηση είναι ότι λόγω της μικρής απόστασης των δυο θέσεων (200 μέτρα) αλλά και της ύπαρξης φωτεινού σηματοδότη ανάμεσα τους (η απόσταση μεταξύ του ADR 2 και του σηματοδότη είναι 30 μέτρα), τα οχήματα φτάνοντας στο ADR 2 πιθανώς να συναντάνε ουρά αναμονής στο σηματοδότη η οποία πολύ πιθανώς να εκτείνεται μέχρι τη θέση του ADR 2. Επίσης όταν τα οχήματα ξεκινούν από τη θέση του σηματοδότη, λόγω της μικρής απόστασης μεταξύ σηματοδότη και ADR 1 τα οχήματα δεν προλαβαίνουν να αποκτήσουν κοινές ταχύτητες, με αποτέλεσμα να φτάνουν στη θέση του ADR 1 κατά τυχαίο τρόπο. Επομένως η ύπαρξη του σηματοδότη φαίνεται πως επηρεάζει τη συσχέτιση των δυο θέσεων όσον αφορά τους μεσαίους κυκλοφοριακούς φόρτους. Αντιθέτως στους χαμηλούς φόρτους τα οχήματα κινούνται με μεγάλες ταχύτητες και ακόμα και αν η ένδειξη του σηματοδότη είναι κόκκινη η μικρή ουρά που πιθανώς θα έχει σχηματιστεί, δεν φαίνεται να επηρεάζει τη συσχέτιση. Τέλος, στους υψηλούς φόρτους όλα τα οχήματα κινούνται με μικρές ταχύτητες και κατά ομάδες (platoons) οπότε υπάρχει σύσχέτιση αλλά με μεγάλη υστέρηση.

Όσον αφορά τη συσχέτιση μεταξύ των ADR 1 και ADR 3, για τιμές του λόγου $Q_t/Q(t-1)$ 1 και 1.2 υπάρχει συσχέτιση για χαμηλούς και μεσαίους κυκλοφοριακούς φόρτους. Για τους μεγάλους φόρτους, οι δυο θέσεις δεν συσχετίζονται καθώς λογικά θα έχουν σχηματιστεί ουρές, με αποτέλεσμα να είναι άγνωστο σε ποιο σημείο τα οχήματα συναντάνε την ουρά. Όταν ο λόγος $Q_t/Q(t-1)$ είναι μικρότερος της μονάδας, δηλαδή υπάρχει μακροπρόθεσμη μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου, υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δυο θέσεων και για υψηλές τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου. Η συσχέτιση αυτή, πιθανώς να οφείλεται στο γεγονός ότι μείωση του λόγου $Q_t/Q(t-1)$ μπορεί να υποδυκνύει ότι δεν έχουν προλάβει να σχηματιστούν ουρές.

Συσχέτιση μεταξύ των ADR 1 και ADR 4 υπάρχει μόνο για χαμηλούς και μεσαίους κυκλοφοριακούς φόρτους για οποιαδήποτε τιμή του λόγου $Q_t/Q(t-1)$. Μάλιστα η υστέρηση σε μεσαίους φόρτους είναι μεγαλύτερη από την υστέρηση στους μικρούς, γεγονός απολύτως λογικό. Όπως αναφέρθηκε και για τη συσχέτιση των ADR 1 και ADR 3, στους μεγάλους φόρτους θα έχουν σχηματιστεί ουρές, με αποτέλεσμα να είναι πάλι άγνωστο σε πιο σημείο τα οχήματα θα τη συναντήσουν.

9. ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

9.1 ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της συσχέτισης μετρήσεων κυκλοφοριακού με φορατές κατά μήκος ενός οδικού άξονα. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε ένας χαρακτηριστικός οδικός άξονας (λεωφόρος Κατεχάκη) κατά μήκος του οποίου τοποθετήθηκαν τέσσερα μηχανήματα πεπιεσμένου αέρα και πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις κυκλοφοριακών φόρτων για διάστημα πέντε ημερών.

Στο πρώτο μέρος της εργασίας αυτής, έγινε η διόρθωση των μετρήσεων του κυκλοφοριακού φόρτου η οποία κρίθηκε απαραίτητη, λόγω του γεγονότος ότι η μέτρηση με φορατές δεν είναι ακριβής για πολλές λωρίδες κυκλοφορίας και για το λόγο αυτό δε συνιστάται η χρήση τους σε δρόμους με περισσότερες από τρείς

9. ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

λωρίδες κυκλοφορίας. Για την διόρθωση των μετρήσεων επιλέχθηκε ως μέθοδος ανάλυσης η προσομοίωση, εξαιτίας των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει σε σχέση με όλες τις άλλες μεθόδους. Η προσομοίωση έδωσε τη δυνατότητα διερεύνησης αρκετών παραμέτρων που επηρεάζουν το σφάλμα των μετρήσεων, ενώ διευκολύνθηκε κατά πολύ η μελέτη και επιπλέον αυξήθηκε η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, αφού η προσομοίωση ως μέθοδος έχει αρκετά μεγάλη ακρίβεια.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αναλύθηκαν προσεχτικά, έτσι ώστε από αυτά να προκύψουν τα συμπεράσματα που αναφέρονται παρακάτω.

Ένα πρώτο συμπέρασμα είναι ότι για πολύ μικρές τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου της τάξης των 6 οχημάτων ανα λεπτό (ή 360 οχημάτων ανά ώρα) και για τις τρεις λωρίδες κυκλοφορίας, δεν υπάρχει ανάγκη διόρθωσης των μετρήσεων καθώς όπως και ήταν αναμενόμενο η πιθανότητα ταυτόχρονης διέλευσης οχημάτων πάνω από ένα φορατή είναι εξαιρετικά μικρή. Όσο όμως ο συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος αυξάνεται, αυξάνεται και το σφάλμα των μετρήσεων. Μάλιστα από τα διαγράμματα που προέκυψαν, υπολογίστηκε ότι για φόρτους της τάξης των 25 οχημάτων ανά λεπτό (ή 1500 οχήματα ανά ώρα περίπου) και για τις τρεις λωρίδες κυκλοφορίας οι φορατές κατέγραψαν το 65% των οχημάτων, ενώ για φόρτους κοντά στα 75 οχήματα ανά λεπτό (ή 4500 οχήματα ανά ώρα) οι φορατές κατέγραψαν μόλις το 52% του συνολικού φόρτου. Μάλιστα προτάθηκε και καμπύλη διόρθωσης των μετρήσεων κυκλοφοριακού φόρτου ανά λεπτό με εξίσωση συνάρτησης $\psi = 0.927x^{1,1885}$, όπου x ο μετρηθείς φόρτος και ψ ο πραγματικός, και με συντελεστή προσαρμογής στα αποτελέσματα της προσομοίωσης $R^2=0.9981$. Με την εξίσωση της καμπύλης διόρθωσης έγινε και η διόρθωση των μετρήσεων (σε επίπεδο κυκλοφοριακών φόρτων ανά λεπτό) όλων των φορατών.

Ένα άλλο συμπέρασμα είναι το γεγονός ότι η χρήση των φορατών δεν συνιστάται για μέτρηση άλλων κυκλοφοριακών μεγεθών όπως ταχύτητες, χρονικοί διαχωρισμοί και άλλα, όταν οι μετρήσεις γίνονται σε δρόμους με περισσότερες από μια λωρίδες κυκλοφορίας. Τα αποτελέσματα δεν μπορούν να

9. ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

θεωρηθούν αξιόπιστα καθώς η καταγραφή για παράδειγμα της ταχύτητας, βασίζεται στο χρονικό διάστημα που απαιτείται για τη διέλευση του μπροστινού άξονα ενός οχήματος από τον πρώτο στο δεύτερο σωλήνα του μετρητή. Αντίστοιχα οι χρονικοί διαχωρισμοί υπολογίζονται με βάση τον χρονικό διάστημα μεταξύ της διέλευσης του μπροστινού άξονα του προπορευόμενου οχήματος από τον ελαστικό σωλήνα, και της διέλευσης του εμπρός άξονα του οχήματος που ακολουθεί. Είναι προφανές ότι σε δρόμους με περισσότερες από μια λωρίδες κυκλοφορίας, η ταυτόχρονη κίνηση των οχημάτων σε όλες τις λωρίδες κυκλοφορίας έχει ως αποτέλεσμα την αλλοίωση των μετρήσεων αυτών, καθώς οι φορατές υπολογίζουν τα μεγέθη αυτά με βάση τις ωθήσεις των αξόνων των οχημάτων στους σωλήνες ανεξάρτητα με το αν οι άξονες αυτοί προέρχονται είτε από διαφορετικά οχήματα, είτε από οχήματα που κινούνται σε διαφορετικές λωρίδες κυκλοφορίας. Το παραπάνω συμπέρασμα μπορεί να γίνει περισσότερο κατανοητό εάν προβληθούν ως “σημεία” τα χτυπήματα των αξόνων πάνω στον σωλήνα του φορατή, σε έναν άξονα (σε μια διάσταση), στον άξονα του χρόνου. Με βάση τα “σημεία” αυτά, οι φορατές υπολογίζουν τα διάφορα κυκλοφοριακά μεγέθη, όπου εκτός του κυκλοφοριακού φόρτου όπου δεν έχει σημασία από που προέρχονται, για τον υπολογισμό των υπολοίπων μεγεθών είναι προφανές ότι η σειρά καθώς και η προέλευση τους είναι ζωτικής σημασίας.

Στο δεύτερο μέρος της παρούσας εργασίας, έγινε η συσχέτιση των διορθωμένων κυκλοφοριακών φόρτων του πρώτου φορατή που βρισκόταν μετά (downstream) από τους άλλους τρεις (200 μέτρα από το δεύτερο, 400 από τον τρίτο και 800 από τον τέταρτο), με τα διορθωμένα στοιχεία του κάθε ενός από τα άλλα τρία μηχανήματα. Η συσχέτιση έγινε με τη θεωρία των πολυμεταβλητών χρονικών σειρών.

Σε πρώτο βήμα έγινε η προσαρμογή κατάλληλων μοντέλων στις συνολικές μετρήσεις (pooled data) όλων των φορατών. Βρέθηκε ότι και για τις τέσσερις χρονικές σειρές το μοντέλο **ARIMA(0,1,1)** προσαρμόστηκε αρκετά καλά στα δεδομένα όπως φάνηκε από τους ελέγχους των τεσσάρων μοντέλων. Στη συνέχεια έγινε προσπάθεια συσχέτισης των συνολικών μετρήσεων, όπου σε 95%

9. ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

επίπεδο εμπιστοσύνης δεν βρέθηκε να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του πρώτου και των υπολοίπων τριών φορατών.

Στη συνέχεια διαλέγοντας ως χρονική περίοδο ανάλυσης τα 30λεπτά και χρησιμοποιώντας “ψευδοκυλιόμενα” 30λεπτα αλληλοκαλύπτόμενα κατά 15 λεπτά έγιναν οι συσχετίσεις μεταξύ των διορθωμένων δεδομένων των μηχανημάτων. Οι συσχετίσεις αυτές έγιναν για τις πρώτες έξι υστερήσεις (lags) όπου βρέθηκε με ποιά χρονική υστέρηση (ένα lag αντιστοιχεί σε ένα λεπτό της ώρας καθώς οι συσχετίσεις έγιναν με μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου ανά ένα λεπτό) συσχετίζονταν τα δεδομένα εάν βέβαια αυτά συσχετίζονταν.

Οι κυκλοφοριακοί φόρτοι των “ψευδοκυλιόμενων” 30λέπτων του πρώτου φορατή, οι τετραγωνικές ρίζες τους, οι λόγοι των κυκλοφοριακών φόρτων των “ψευδοκυλιόμενων” 30λέπτων προς το φόρτο του προηγούμενου 30λεπτού ($Q_t/Q(t-1)$) και οι τετραγωνικές ρίζες τους αποτέλεσαν τις τέσσερις μεταβλητές της ανάλυσης διακριτότητας (discriminant analysis) που ακολούθησε. Μεταβλητές ομαδοποίησης ήταν οι τιμές της υστέρησης. Μετά από τρεις αναλύσεις, μια για κάθε συσχέτιση, προέκυψαν οι συντελεστές των συναρτήσεων ταξινόμησης με βάση τους οποίους κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα (πρότυπα) της παραγράφου της ανάλυσης αποτελεσμάτων για θεωρητικές τιμές των τεσσάρων μεταβλητών. Οι τιμές αυτές κάλυπταν το μεγαλύτερο ποσοστό των καταγεγραμμένων μετρήσεων.

Από τη παρατήρηση των διαγραμμάτων που αναφέρονται στην προηγούμενη παράγραφο, προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα :

Συσχέτιση μεταξύ του πρώτου και του κοντινότερου προς αυτόν φορατή υπάρχει για χαμηλούς αλλά και για υψηλούς φόρτους ανεξάρτητα από την τιμή του λόγου $Q_t/Q(t-1)$. Συσχέτιση δεν υπάρχει μεταξύ τους για μεσαίες τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου, λόγω της ύπαρξης φωτεινού σηματοδότη ανάμεσα τους και πιο συγκεκριμένα κοντά στον δεύτερο φορατή. Τα οχήματα φτάνοντας στο δεύτερο φορατή πιθανώς να συναντάνε ουρά αναμονής στο σηματοδότη η οποία

9. ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

πολύ πιθανώς να εκτείνεται μέχρι τη θέση του μηχανήματος με αποτέλεσμα να μην υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων των δυο θέσεων. Επίσης όταν τα οχήματα ξεκινούν από τη θέση του σηματοδότη, λόγω της μικρής απόστασης μεταξύ του σηματοδότη και του πρώτου φορατή, δεν προλαβαίνουν να αποκτήσουν κοινές ταχύτητες, και κατά συνέπεια να φτάνουν στη θέση του κατά τυχαίο τρόπο. Αντιθέτως τόσο στους μικρούς όσο και στους μεγάλους φόρτους η κίνηση των οχημάτων είναι περισσότερο ομοιόμορφη (μεγάλες ταχύτητες στους μικρούς φόρτους, μικρές ταχύτητες και κίνηση κατά ομάδες (platoons) στους μεγάλους) και επομένως υπάρχει συσχέτιση.

Συσχέτιση του πρώτου φορατή με τον τρίτο και τον τέταρτο, υπάρχει μόνο για μικρές και μεσαίες τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου εκτός από την περίπτωση της συσχέτισης του πρώτου με τον τρίτο, όπου για τιμή του λόγου $Q_t/Q(t-1)$ ίση με 0.8 υπάρχει συσχέτιση και για σχετικά υψηλούς φόρτους. Ο λόγος της μη ύπαρξης συσχέτισης, οφείλεται στο γεγονός ότι για μεγάλες τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου και σε συνδυασμό με την ύπαρξη φωτεινών σηματοδοτών (ένας μεταξύ πρώτου και τρίτου φορατή και δυο μεταξύ πρώτου και τέταρτου) είναι σίγουρο ότι σχηματίζονται ουρές μεταβαλλόμενου μήκους, με αποτέλεσμα να είναι άγνωστο το που και πότε τα οχήματα τη συναντούν. Όσον αφορά τη συσχέτιση του πρώτου με τον τρίτο φορατή, όπου για τιμή του λόγου $Q_t/Q(t-1)$ ίση με 0.8 υπάρχει συσχέτιση και για σχετικά υψηλούς φόρτους, πιθανώς δεν έχουν προλάβει να σχηματιστούν ουρές.

Ένα γενικότερο συμπέρασμα είναι ότι για όλες τις συσχετίσεις και για τις τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου όπου υπάρχει συσχέτιση, η τιμή της υστέρησης αυξάνεται όσο μεγαλώνουν οι φόρτοι, φαινόμενο απολύτως λογικό διότι όταν οι φόρτοι είναι χαμηλοί, οι ταχύτητες είναι μεγαλύτερες και επομένως ο χρόνος κίνησης από τον ένα φορατή στον άλλο είναι μικρότερος. Επίσης φάνηκε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση του μηχανήματος με το οποίο γίνεται η συσχέτιση, τόσο μεγαλύτερη είναι και η τιμή της υστέρησης για τις αντίστοιχες τιμές κυκλοφοριακών φόρτων. Ένα άλλο συμπέρασμα είναι ότι τόσο στους χαμηλούς όσο και στους πολύ υψηλούς φόρτους (άνω των 2500 οχημάτων ανά ώρα) οι

9. ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

υστερήσεις είναι ανεξάρτητες του λόγου $Q_t/Q(t-1)$ και για τις τρεις συσχετίσεις, ενώ αντίστοιχα στους μεσαίους και στους σχετικά μεγάλους φόρτους όσο αυξάνεται η τιμή του λόγου αυξάνεται και η τιμή της υστέρησης. Η μη εξάρτηση των υστερήσεων από τις τιμές του λόγου $Q_t/Q(t-1)$ πρέπει να οφείλεται στις ομοιόμορφες κυκλοφοριακές συνθήκες που επικρατούν τόσο στους μικρούς όσο και στους μεγάλους κυκλοφοριακούς φόρτους

Από τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρατήρηση των τελικών διαγραμμάτων φαίνεται ότι δεν υπάρχει κάποια “ιδανική” απόσταση τοποθέτησης ενός φορατή που να συσχετίζεται σε όλο το φάσμα των κυκλοφοριακών φόρτων με έναν άλλο φορατή. Γενικότερα υπάρχει η ένδειξη ότι σε αστικούς δρόμους όσο αυξάνεται η απόσταση μεταξύ δυο φορατών τόσο η συσχέτιση τους περιορίζεται σε μικρότερες τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου. Για την παρούσα μελέτη πιθανώς η τοποθέτηση ενός φορατή ανάμεσα στον δεύτερο και τον τρίτο να έδινε συσχετίσεις για το μεγαλύτερο εύρος τιμών του κυκλοφοριακού φόρτου παρόλο που στους μικρούς φόρτους η συσχέτιση θα ήταν λογικά με χρονική υστέρηση 0. Δηλαδή, ότι συμβαίνει στον πρώτο φορατή, συμβαίνει και στον άλλο και επομένως η πληροφορία αυτή δεν θα είχε χρησιμότητα για προβλέψεις του κυκλοφοριακού φόρτου του πρώτου.

Τέλος, αυτό που μπορεί να λεχθεί, είναι ότι η συσχέτιση των φορατών σίγουρα εξαρτάται και από τα χαρακτηριστικά του οδικού τμήματος και κυρίως από το πλήθος και τις θέσεις όπου βρίσκονται φωτεινοί σηματοδότες, όπως επίσης και από τις αποστάσεις τους από τις θέσεις των φορατών.

9.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα εργασία έγινε διερεύνηση της συσχέτισης μετρήσεων κυκλοφοριακού φόρτου με φορατές κατά μήκος της λεωφόρου Κατεχάκη. Οι συσχετίσεις έγιναν με βάση τη θεωρία χρονικών σειρών και στη συνέχεια μέσω των αποτελεσμάτων των αναλύσεων διακριτότητας κατασκευάστηκαν τα

9. ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

πρότυπα μέσα από τα οποία εξήχθησαν τα συμπεράσματα που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Θα ήταν ενδιαφέρουσα η περαιτέρω ανάπτυξη και επέκταση των προτύπων με εισαγωγή και άλλων μεταβλητών όπως οι ταχύτητες των οχημάτων, η περίοδος ή ο χρόνος πράσινης ένδειξης των σηματοδοτών, η απόσταση τους από τους φορατές και άλλες. Τέλος οι τιμές της υστέρησης από τα παραπάνω πρότυπα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για βραχυπρόθεσμες προβλέψεις του κυκλοφοριακού φόρτου του πρώτου φορατή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ι.Μ. Φραντζεσκάκης, Γ.Α. Γιαννόπουλος, "Σχεδιασμός των μεταφορών και κυκλοφοριακή τεχνική", Τόμος 1, Αθήνα 1986.
2. Γ. Κοκολάκης, Ι. Σπηλιώτης, "Εισαγωγή στη θεωρία πιθανοτήτων και στατιστική", Αθήνα 1991.
3. Ε. Μπόρα – Σέντα, Χ. Μωυσιάδης, "Εφαρμοσμένη στατιστική : πολλαπλή παλινδρόμηση, ανάλυση διασποράς, χρονοσειρές", Θεσσαλονίκη 1997.
4. Ξηρόκωστας Δ., "Επιχειρησιακή έρευνα", Αθήνα 1991.
5. Simon P. Washington, Matthew G. Karlaftis, Fred L. Mannering, "Statistical and econometric methods for transportation data analysis", Chapman & Hall/CRC 2003.
6. Peter J. Brockwell, Richard A. Davis, "Introduction to time series and forecasting", Springer, N.Y. 1996.
7. Robert A. Yaffee, Monnie McGee, "Introduction to time series and forecasting : with applications of SAS and SPSS", Academic Press, San Diego 2000.
8. "SPSS Base 10.0 Applications guide", SPSS inc 1999.
9. Law A. & Kelton D., "Simulation modeling & analysis", 1991.
10. Banks J. and Carlson, J.S., "Discrete – event system simulation", Prentice – Hall, Englewood Cliffs, NJ.
11. Anthony Stathopoulos, Matthew G. Karlaftis, "A multivariate state space approach for urban traffic flow modeling and prediction", Transportation Research Part C 11 (2003) p121-135.
12. Anthony Stathopoulos, Matthew G. Karlaftis, "Spectral and cross – spectral analysis of urban traffic flows", Department of transportation planning and engineering, Faculty of civil engineering, National Technical University of Athens.
13. Καμαριανάκης Ιωάννης, Πραστάκος Πουλίκος, "Περιγραφή και πρόβλεψη της κυκλοφοριακής ροής μέσω δυναμικών μοντέλων και

μοντέλων χώρου – χρόνου”, Ίδρυμα τεχνολογίας και έρευνας, Ινστιτούτο υπολογιστικών μαθηματικών, Τομέας περιφερειακής ανάλυσης, Ηράκλειο Κρήτης.

14. Haibo Chen, Mark S. Dougherty, Howard R. Kirby, “The effects of detector spacing on traffic forecasting performance using Neural Networks”, Computer – Aided Civil and Infrastructure Engineering 16(6) 2001 p422-430.
15. Gary B. Thomas, Jonathan E. Upchurch, “Simulation of detector locations on an arterial street management system”, Mid – continent transportation symposium 2000 proceedings p202-206.
16. Sungho Oh, Bin Ran, Keechoo Choi, “Optimal detector location for estimating link travel speed in urban arterial roads”, A revised paper submission for 2003 TRB annual meeting for presentation and publication.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΜΙΑΣ ARIMA ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Table 4.2
Identification of ARIMA Processes

Process	ACF	PACF
White noise process ARIMA(0,0,0)	no significant spikes	no significant spikes
Integrated process ARIMA(0,1,0) $d = 1$	slow attenuation	1 spike at order of differencing
Autoregressive processes		
ARIMA(1,0,0) $\phi_1 > 0$	exponential decay, positive spikes	1 positive spike at lag 1
ARIMA(1,0,0) $\phi_1 < 0$	oscillating decay, begins with negative spike	1 negative spike at lag 1
ARIMA(2,0,0) $\phi_1, \phi_2 > 0$	exponential decay, positive spikes	2 positive spikes at lags 1 and 2
ARIMA(2,0,0) $\phi_1 < 0, \phi_2 > 0$	oscillating exponential decay	1 negative spike at lag 1, 1 positive spike at lag 2
Moving average processes		
ARIMA(0,0,1) $\theta_1 > 0$	1 negative spike at lag 1	exponential decay of negative spikes
ARIMA(0,0,1) $\theta_1 < 0$	1 positive spike at lag 1	oscillating decay of positive and negative spikes
ARIMA(0,0,2) $\theta_1, \theta_2 > 0$	2 negative spikes at lags 1 and 2	exponential decay of negative spikes
ARIMA(0,0,2) $\theta_1, \theta_2 < 0$	2 positive spikes at lags 1 and 2	oscillating decay of positive and negative spikes
Mixed processes		
ARIMA(1,0,1) $\phi_1 > 0, \theta_1 > 0$	exponential decay of positive spikes	exponential decay of positive spikes
ARIMA(1,0,1) $\phi_1 > 0, \theta_1 < 0$	exponential decay of positive spikes	oscillating decay of positive and negative spikes
ARIMA(1,0,1) $\phi_1 < 0, \theta_1 > 0$	oscillating decay	exponential decay of negative spikes
ARIMA(1,0,1) $\phi_1 < 0, \theta_1 < 0$	oscillating decay of negative and positive spikes	oscillating decay of negative and positive spikes

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ ADR 1 ΚΑΙ ADR 2

Discriminant

Analysis Case Processing Summary

Unweighted Cases		N	Percent
Valid		274	100.0
Excluded	Missing or out-of-range group codes	0	.0
	At least one missing discriminating variable	0	.0
	Both missing or out-of-range group codes and at least one missing discriminating variable	0	.0
	Total	0	.0
Total		274	100.0

Group Statistics

LAG95		Mean	Std. Deviation	Valid N (listwise)	
				Unweighted	Weighted
.00	VAR1	760.1220	297.77556	82	82.000
	VAR2	26.8009	6.50728	82	82.000
	VAR3	1.0116	.28318	82	82.000
	VAR4	.9985	.12047	82	82.000
1.00	VAR1	637.0000	401.30254	45	45.000
	VAR2	23.7104	8.74718	45	45.000
	VAR3	.9780	.25943	45	45.000
	VAR4	.9833	.11402	45	45.000
2.00	VAR1	893.7907	327.59527	86	86.000
	VAR2	29.0850	6.95913	86	86.000
	VAR3	1.0533	.20274	86	86.000
	VAR4	1.0215	.09469	86	86.000
9.00	VAR1	817.3607	243.54664	61	61.000
	VAR2	28.1538	5.01317	61	61.000
	VAR3	1.0528	.32855	61	61.000
	VAR4	1.0159	.14184	61	61.000
Total	VAR1	794.5985	326.16157	274	274.000
	VAR2	27.3114	6.99021	274	274.000
	VAR3	1.0283	.26832	274	274.000
	VAR4	1.0071	.11753	274	274.000

Tests of Equality of Group Means

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
VAR1	.928	6.990	3	270	.000
VAR2	.931	6.657	3	270	.000
VAR3	.988	1.051	3	270	.370
VAR4	.986	1.308	3	270	.272

Analysis 1

Summary of Canonical Discriminant Functions

Eigenvalues

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	.138 ^a	63.0	63.0	.348
2	.080 ^a	36.3	99.3	.272
3	.002 ^a	.7	100.0	.040

a. First 3 canonical discriminant functions were used in the analysis.

Wilks' Lambda

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	Sig.
1 through 3	.812	55.864	12	.000
2 through 3	.925	21.042	6	.002
3	.998	.435	2	.804

Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients

	Function		
	1	2	3
VAR1	7.522	-1.541	2.623
VAR2	-7.317	2.478	-2.512
VAR3	-1.134	1.159	8.112
VAR4	1.269	-.863	-7.535

Structure Matrix

	Function		
	1	2	3
VAR2	.216	.920*	-.254
VAR1	.334	.884*	-.244
VAR3	.071	.361	.608*
VAR4	.121	.390	.521*

Pooled within-groups correlations between discriminating variables and standardized canonical discriminant functions
Variables ordered by absolute size of correlation within function.

*. Largest absolute correlation between each variable and any discriminant function

Canonical Discriminant Function Coefficients

	Function		
	1	2	3
VAR1	.024	-.005	.008
VAR2	-1.079	.365	-.370
VAR3	-4.226	4.322	30.243
VAR4	10.813	-7.354	-64.225
(Constant)	4.001	-3.138	37.103

Unstandardized coefficients

Functions at Group Centroids

LAG95	Function		
	1	2	3
.00	-.292	-2.75E-02	-5.22E-02
1.00	8.790E-02	-.589	3.115E-02
2.00	.499	.166	-3.91E-03
9.00	-.375	.238	5.265E-02

Unstandardized canonical discriminant functions evaluated at group means

Classification Statistics

Classification Processing Summary

Processed		274
Excluded	Missing or out-of-range group codes	0
	At least one missing discriminating variable	0
Used in Output		274

Prior Probabilities for Groups

LAG95	Prior	Cases Used in Analysis	
		Unweighted	Weighted
.00	.250	82	82.000
1.00	.250	45	45.000
2.00	.250	86	86.000
9.00	.250	61	61.000
Total	1.000	274	274.000

Classification Function Coefficients

	LAG95			
	.00	1.00	2.00	9.00
VAR1	-.682	-.670	-.664	-.684
VAR2	28.275	27.629	27.475	28.423
VAR3	-1911.502	-1913.016	-1912.549	-1906.834
VAR4	4424.388	4427.276	4428.417	4414.806
(Constant)	-1363.199	-1356.959	-1358.945	-1360.531

Fisher's linear discriminant functions

Territorial Map

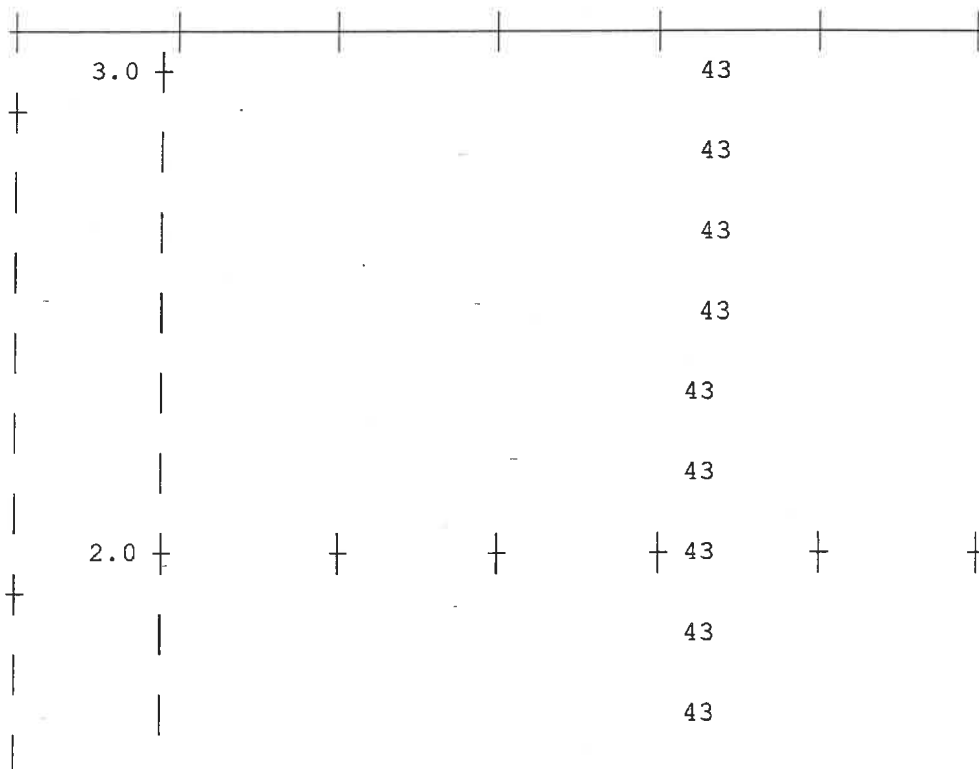
(Assuming all functions but the first two are zero)

Canonical Discriminant

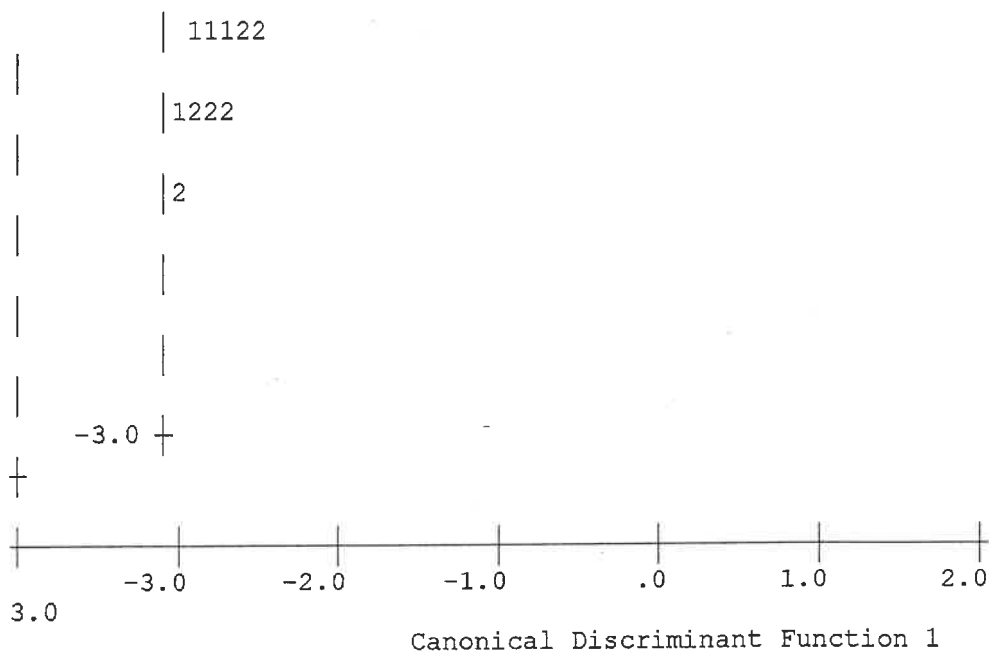
Function 2

-3.0 -2.0 -1.0 .0 1.0 2.0

3.0



				43		
				43		
				43		
1.0	+	+	+	43	+	+
				43		
				43		
				43		
				43		
				*444443 *		
.0	+	+	+	44444*11113	+	+
				44444411111 1333		
				44444111111 111222333		
				4444411111 11222 222333		
				44444411111 11122 * 222333		
				111111 11222 222333		
-1.0	+	+	+	1122	+	+
				11122 222333		
				11222 222333		
				11122 222333		
				11222 222333		
22233				11122		
22				11222		
-2.0	+	+	+	11222	+	+



Symbols used in territorial map

Symbol	Group	Label
1	0	
2	1	
3	2	
4	9	
*		Indicates a group centroid

Classification Results^a

			Predicted Group Membership				Total
			.00	1.00	2.00	9.00	
Original	Count	.00	20	12	20	30	82
		1.00	5	17	13	10	45
		2.00	5	11	48	22	86
		9.00	7	5	20	29	61
	%	.00	24.4	14.6	24.4	36.6	100.0
		1.00	11.1	37.8	28.9	22.2	100.0
		2.00	5.8	12.8	55.8	25.6	100.0
		9.00	11.5	8.2	32.8	47.5	100.0

a. 41.6% of original grouped cases correctly classified.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ ADR 1 ΚΑΙ ADR 3

Discriminant

Analysis Case Processing Summary

Unweighted Cases		N	Percent
Valid		198	100.0
Excluded	Missing or out-of-range group codes	0	.0
	At least one missing discriminating variable	0	.0
	Both missing or out-of-range group codes and at least one missing discriminating variable	0	.0
	Total	0	.0
Total		198	100.0

Group Statistics

LAG95		Mean	Std. Deviation	Valid N (listwise)	
				Unweighted	Weighted
1.00	VAR1	822.3125	246.57047	32	32.000
	VAR2	28.2297	5.11817	32	32.000
	VAR3	1.0528	.28157	32	32.000
	VAR4	1.0197	.12259	32	32.000
2.00	VAR1	431.9556	339.21460	45	45.000
	VAR2	19.2444	7.93614	45	45.000
	VAR3	.8831	.16190	45	45.000
	VAR4	.9349	.08633	45	45.000
3.00	VAR1	782.6190	310.21742	21	21.000
	VAR2	27.1748	6.81119	21	21.000
	VAR3	1.1005	.44869	21	21.000
	VAR4	1.0333	.18084	21	21.000
9.00	VAR1	863.5100	268.25013	100	100.000
	VAR2	28.8290	5.71904	100	100.000
	VAR3	1.0570	.29299	100	100.000
	VAR4	1.0204	.12483	100	100.000
Total	VAR1	750.1919	334.37690	198	198.000
	VAR2	26.3784	7.39148	198	198.000
	VAR3	1.0214	.29622	198	198.000
	VAR4	1.0022	.12860	198	198.000

Tests of Equality of Group Means

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
VAR1	.726	24.377	3	194	.000
VAR2	.720	25.150	3	194	.000
VAR3	.933	4.610	3	194	.004
VAR4	.918	5.777	3	194	.001

Analysis 1

Summary of Canonical Discriminant Functions

Eigenvalues

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	.469 ^a	91.8	91.8	.565
2	.030 ^a	5.9	97.7	.171
3	.012 ^a	2.3	100.0	.108

a. First 3 canonical discriminant functions were used in the analysis.

Wilks' Lambda

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	Sig.
1 through 3	.653	82.260	12	.000
2 through 3	.959	7.996	.6	.238
3	.988	2.274	2	.321

Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients

	Function		
	1	2	3
VAR1	-.529	6.507	-3.669
VAR2	1.367	-6.027	3.619
VAR3	-1.214	8.300	4.479
VAR4	1.602	-8.080	-3.960

Structure Matrix

	Function		
	1	2	3
VAR2	.910*	.061	-.190
VAR1	.894*	.141	-.292
VAR3	.375	.186	.592*
VAR4	.427	.135	.514*

Pooled within-groups correlations between discriminating variables and standardized canonical discriminant functions
Variables ordered by absolute size of correlation within function.

*. Largest absolute correlation between each variable and any discriminant function

Canonical Discriminant Function Coefficients

	Function		
	1	2	3
VAR1	-.002	.023	-.013
VAR2	.216	-.954	.573
VAR3	-4.209	28.780	15.530
VAR4	12.900	-65.074	-31.893
(Constant)	-12.956	43.976	10.583

Unstandardized coefficients

Functions at Group Centroids

LAG95	Function		
	1	2	3
1.00	.361	-.364	6.913E-02
2.00	-1.244	-7.28E-03	-1.90E-02
3.00	.181	.226	.277
9.00	.406	7.223E-02	-7.18E-02

Unstandardized canonical discriminant functions evaluated at group means

Classification Statistics

Classification Processing Summary

Processed		198
Excluded	Missing or out-of-range group codes	0
	At least one missing discriminating variable	0
Used in Output		198

Prior Probabilities for Groups

LAG95	Prior	Cases Used in Analysis	
		Unweighted	Weighted
1.00	.250	32	32.000
2.00	.250	45	45.000
3.00	.250	21	21.000
9.00	.250	100	100.000
Total	1.000	198	198.000

Classification Function Coefficients

	LAG95			
	1.00	2.00	3.00	9.00
VAR1	-.783	-.771	-.772	-.771
VAR2	32.418	31.680	31.935	31.931
VAR3	-1757.619	-1741.966	-1736.643	-1747.445
VAR4	4114.193	4073.085	4066.826	4090.887
(Constant)	-1309.425	-1274.515	-1278.883	-1292.276

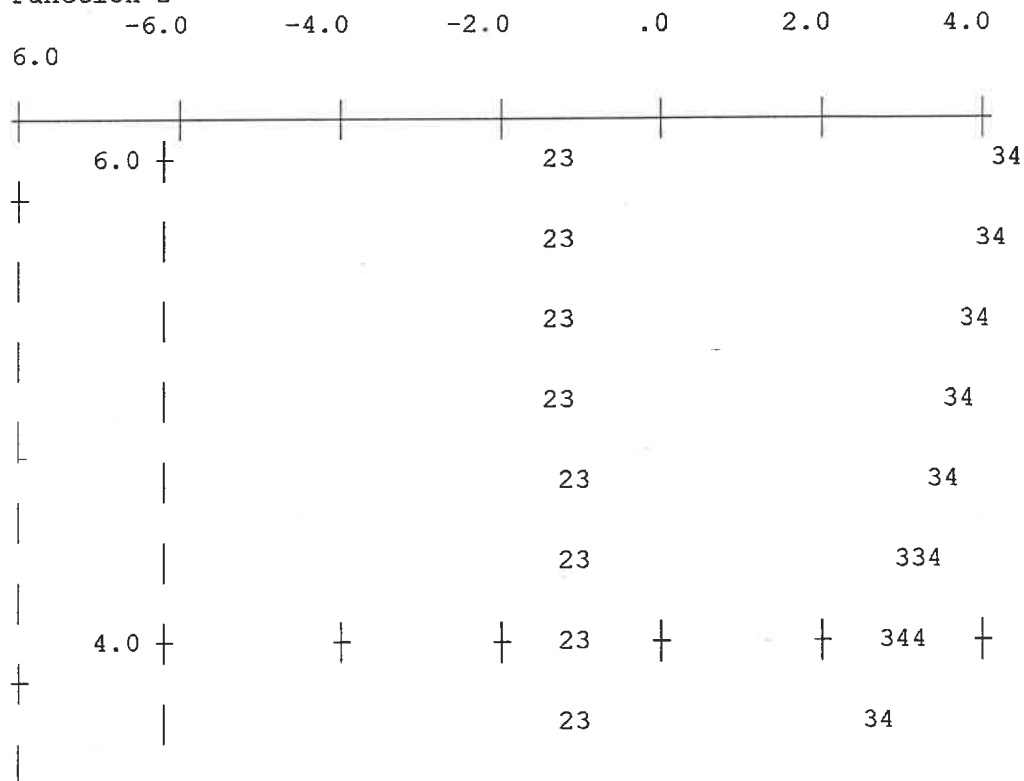
Fisher's linear discriminant functions

Territorial Map

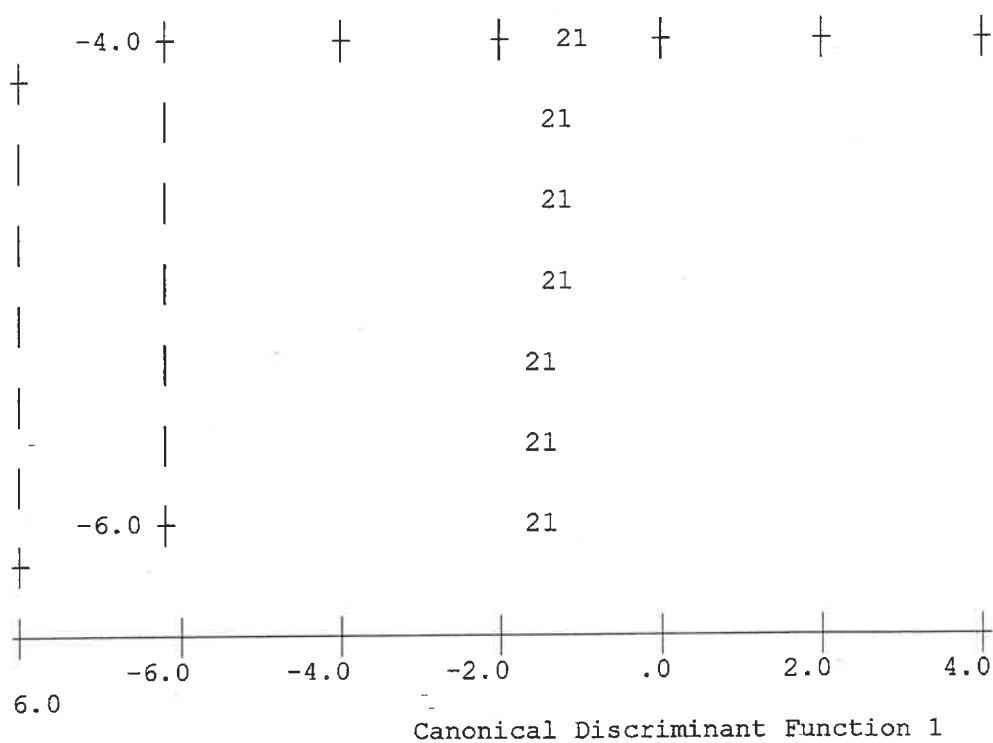
(Assuming all functions but the first two are zero)

Canonical Discriminant

Function 2



				23		34	
				23		34	
				23		34	
				23		34	
2.0	+		+	+	23	+ 334	+
					23		344
					23		34
					23		34
					23		34
					23	*34	
.0	+		+	+	*	23 33*4	+
						2311*14444444444444444444	
111111111111111111114444444444444					211		
111111111111					21		
					21		
					21		
-2.0	+		+	+	21	+	+
					21		
					21		
					21		
					21		



Symbols used in territorial map

Symbol Group Label

1 1
2 2
3 3
4 9

* Indicates a group centroid

Classification Results^a

			Predicted Group Membership				Total
			1.00	2.00	3.00	9.00	
Original	Count	1.00	20	2	1	9	32
		2.00	9	31	1	4	45
		3.00	7	3	3	8	21
		9.00	37	10	9	44	100
	%	1.00	62.5	6.3	3.1	28.1	100.0
		2.00	20.0	68.9	2.2	8.9	100.0
		3.00	33.3	14.3	14.3	38.1	100.0
		9.00	37.0	10.0	9.0	44.0	100.0

a. 49.5% of original grouped cases correctly classified.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ ADR 1 ΚΑΙ ADR 4

Discriminant

Analysis Case Processing Summary

Unweighted Cases		N	Percent
Valid		282	100.0
Excluded	Missing or out-of-range group codes	0	.0
	At least one missing discriminating variable	0	.0
	Both missing or out-of-range group codes and at least one missing discriminating variable	0	.0
	Total	0	.0
Total		282	100.0

Group Statistics

LAG95		Mean	Std. Deviation	Valid N (listwise)	
				Unweighted	Weighted
1.00	VAR1	586.7436	325.62441	78	78.000
	VAR2	23.0772	7.40730	78	78.000
	VAR3	1.0581	.40121	78	78.000
	VAR4	1.0144	.17151	78	78.000
2.00	VAR1	646.0000	375.97153	28	28.000
	VAR2	24.0250	8.44325	28	28.000
	VAR3	1.0021	.39915	28	28.000
	VAR4	.9864	.17028	28	28.000
3.00	VAR1	865.3000	259.60742	20	20.000
	VAR2	28.9460	5.37042	20	20.000
	VAR3	.9990	.18081	20	20.000
	VAR4	.9965	.08368	20	20.000
9.00	VAR1	914.5449	264.74953	156	156.000
	VAR2	29.7470	5.46540	156	156.000
	VAR3	1.0243	.16671	156	156.000
	VAR4	1.0084	.07835	156	156.000
Total	VAR1	793.7199	329.22929	282	282.000
	VAR2	27.2772	7.06022	282	282.000
	VAR3	1.0296	.27810	282	282.000
	VAR4	1.0070	.12154	282	282.000

Tests of Equality of Group Means

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
VAR1	.792	24.322	3	278	.000
VAR2	.809	21.919	3	278	.000
VAR3	.995	.461	3	278	.710
VAR4	.996	.417	3	278	.741

Analysis 1

Summary of Canonical Discriminant Functions

Eigenvalues

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	.312 ^a	89.0	89.0	.487
2	.035 ^a	10.0	99.1	.184
3	.003 ^a	.9	100.0	.058

a. First 3 canonical discriminant functions were used in the analysis.

Wilks' Lambda

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	Sig.
1 through 3	.734	85.580	12	.000
2 through 3	.963	10.449	6	.107
3	.997	.918	2	.632

Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients

	Function		
	1	2	3
VAR1	2.523	5.819	4.179
VAR2	-1.722	-5.472	-4.531
VAR3	-2.725	8.565	-1.714
VAR4	2.630	-8.797	2.497

Structure Matrix

	Function		
	1	2	3
VAR1	.918*	.018	-.156
VAR2	.871*	-.055	-.232
VAR4	-.006	-.282	.717*
VAR3	-.073	-.220	.695*

Pooled within-groups correlations between discriminating variables and standardized canonical discriminant functions
Variables ordered by absolute size of correlation within function.

*. Largest absolute correlation between each variable and any discriminant function

Canonical Discriminant Function Coefficients

	Function		
	1	2	3
VAR1	.009	.020	.014
VAR2	-.270	-.857	-.710
VAR3	-9.772	30.710	-6.147
VAR4	21.570	-72.148	20.477
(Constant)	-11.099	48.737	-6.188

Unstandardized coefficients

Functions at Group Centroids

LAG95	Function		
	1	2	3
1.00	-.759	-.145	2.083E-02
2.00	-.563	.511	-3.95E-02
3.00	.235	-.199	-.196
9.00	.451	6.073E-03	2.184E-02

Unstandardized canonical discriminant functions evaluated at group means

Classification Statistics

Classification Processing Summary

Processed		282
Excluded	Missing or out-of-range group codes	0
	At least one missing discriminating variable	0
Used in Output		282

Prior Probabilities for Groups

LAG95	Prior	Cases Used in Analysis	
		Unweighted	Weighted
1.00	.250	78	78.000
2.00	.250	28	28.000
3.00	.250	20	20.000
9.00	.250	156	156.000
Total	1.000	282	282.000

Classification Function Coefficients

	LAG95			
	1.00	2.00	3.00	9.00
VAR1	-.678	-.665	-.674	-.665
VAR2	28.248	27.676	28.180	27.791
VAR3	-1955.653	-1937.068	-1965.693	-1962.853
VAR4	4523.956	4479.656	4544.852	4539.198
(Constant)	-1388.166	-1358.013	-1400.257	-1394.058

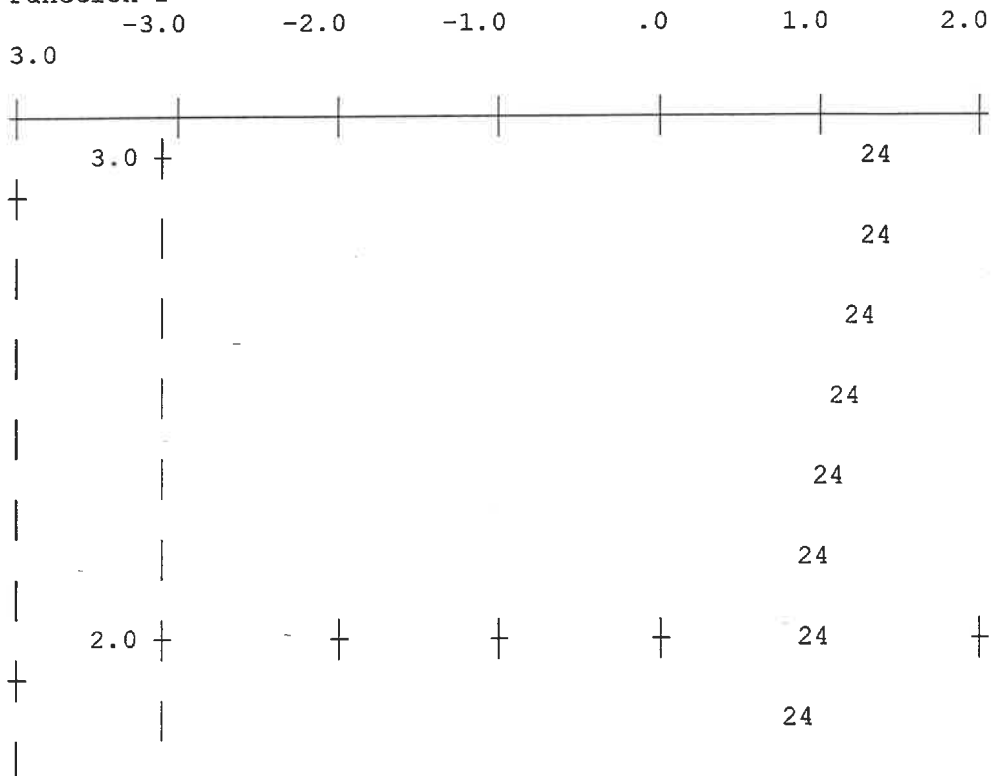
Fisher's linear discriminant functions

Territorial Map

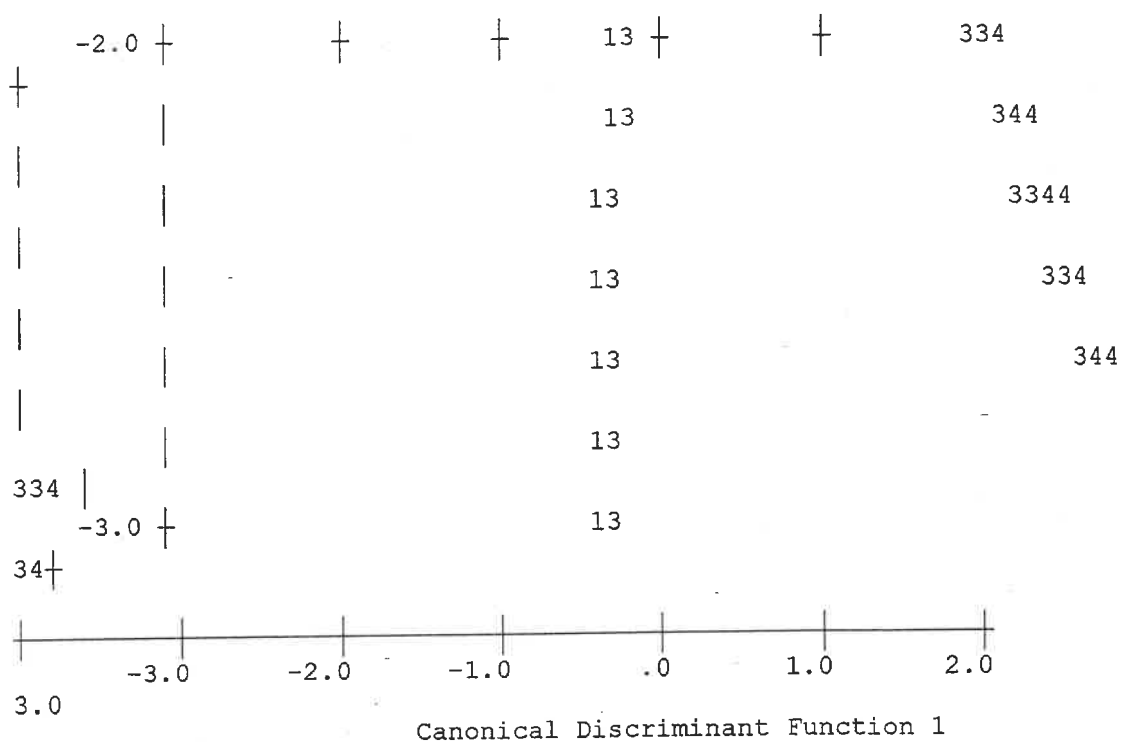
(Assuming all functions but the first two are zero)

Canonical Discriminant

Function 2



				24		
				24		
				24		
				24		
1.0	+	+	+	+	24	+
		22222			24	
		11111222222			24	
		111111222222	*		24	
		11111122222			24	
		11111222222	244			
.0	+	+	+	1111123334	*	+
			*	13	*44	
				13	3344	
				13	334	
				13	344	
				13	334	
-1.0	+	+	+	13	+	344
				13		3344
				13		334
				13		344
				13		334
				13		344



Symbols used in territorial map

Symbol Group Label

1 1
2 2
3 3
4 9
* Indicates a group centroid

Classification Results^a

		LAG95	Predicted Group Membership				Total
			1.00	2.00	3.00	9.00	
Original	Count	1.00	33	18	17	10	78
		2.00	5	9	5	9	28
		3.00	2	1	9	8	20
		9.00	18	10	50	78	156
	%	1.00	42.3	23.1	21.8	12.8	100.0
		2.00	17.9	32.1	17.9	32.1	100.0
		3.00	10.0	5.0	45.0	40.0	100.0
		9.00	11.5	6.4	32.1	50.0	100.0

a. 45.7% of original grouped cases correctly classified.