

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

ΕΠΟΠΤΗΣ: Α. ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ

**ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΑΠ'ΕΥΘΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΦΟΡΤΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Νικόλαος Δ. Ευσταθόπουλος

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 1997

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

ΕΠΟΠΤΗΣ: Α. ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ

**ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΑΠ'ΕΥΘΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΦΟΡΤΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Νικόλαος Δ. Ευσταθόπουλος

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 1997

ABSTRACT

The present diploma thesis presents and attempts to analyze a new dynamic stochastic traffic assignment model, based on the method of successive averaging, which estimates path and link flows directly from traffic counts. This estimator aims in solving the problems that arise with the inconsistency of assumptions made between the two stages (the estimation of the trip table (O-D) from the traffic counts and the estimation of traffic flows with a traffic assignment algorithm) of the conventional approach to path and link flow estimation. This estimator also allows for trip-makers with different levels of network information, a new status that comes with the introduction of dynamic motorist information systems. A sensitivity analysis of the model is made for different number and positions of the traffic counters.

ΣΥΝΟΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει και επιχειρεί να αναλύσει ένα καινούργιο δυναμικό στοχαστικό πρότυπο καταμερισμού στο δίκτυο, το οποίο βασίζεται στην μέθοδο των διαδοχικών μέσων και εκτιμά τους φόρτους των συνδέσμων και των διαδρομών απ'ευθείας από τις μετρήσεις φόρτου. Αυτό το πρότυπο στοχεύει στην επίλυση των προβλημάτων που προκύπτουν από ασυμφωνίες μεταξύ των δύο επιπέδων της συνήθους μεθόδου εκτίμησης του φόρτου των διαδρομών και των συνδέσμων (δηλαδή της εκτίμησης του μητρώου προέλευσης – προορισμού από τις μετρήσεις φόρτου, και την κατανομή των μετακινήσεων με κατάλληλο πρότυπο). Το πρότυπο αυτό επιτρέπει την ύπαρξη διαφορετικών τάξεων χρηστών, με κριτήριο το διαφορετικό επίπεδο πληροφόρησης για το δίκτυο, μία κατάσταση η οποία είναι αποτέλεσμα της εισαγωγής δυναμικών συστημάτων πληροφόρησης των χρηστών στο δίκτυο. Επιχειρείται μία ανάλυση ευαισθησίας του προτύπου για διαφορετικό αριθμό και θέσεις των φωρατών στο δίκτυο

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων ενός δικτύου, σε πραγματικό χρόνο, συνήθως πραγματοποιείται σε δύο επίπεδα. Στο πρώτο επίπεδο γίνεται εκτίμηση του μητρώου προέλευσης – προορισμού από τις μετρήσεις φόρτου και στο δεύτερο επίπεδο γίνεται καταμερισμός των μετακινήσεων στο δίκτυο με κατάλληλο πρότυπο. Κατά τη πρακτική εφαρμογή αυτής της μεθόδου προέκυψαν προβλήματα από ασυμφωνίες μεταξύ των δύο επιπέδων. Σε αυτή την διπλωματική εργασία παρουσιάζεται ένα πρότυπο που εκτιμά τους φόρτους των συνδέσμων του δικτύου απευθείας από τις μετρήσεις φόρτου, χωρίς μία ενδιάμεση εκτίμηση του μητρώου προέλευσης – προορισμού. Το πρότυπο αυτό ανήκει στα στοχαστικά πρότυπα που βασίζονται στα μαθηματικά πρότυπα logit και εκτίμηση των φόρτων γίνεται με τη μέθοδο των διαδοχικών μέσων.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μία ιστορική αναδρομή σχετικά με τα πρότυπα καταμερισμού στο δίκτυο, ενώ παρατίθενται και

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το πρότυπο της "Εκτιμήτριας των φόρτων των διαδρομών δικτύου μίας τάξεως χρηστών" (SPFE) το οποίο παρουσιάστηκε από τους Bell, Lam και Iida (1995). Αυτό το πρότυπο υιοθετεί το μοντέλο των δικτύων *Store & Forward*, στα οποία το κόστος των συνδέσμων αποτελείται από το σταθερό κόστος (το οποίο είναι ο χρόνος που χρειάζεται για τη διάνυση του συνδέσμου με την ταχύτητα ελεύθερης ροής) και ένα κόστος (καθυστέρηση) που είναι ανάλογο της ζήτησης του συνδέσμου και το οποίο υφίσταται από τη στιγμή που η ζήτηση ξεπεράσει την χωρητικότητα του συνδέσμου, οπότε τα οχήματα εισέρχονται στις ουρές αναμονής, έως ότου μπορέσουν να εξέλθουν από τον σύνδεσμο σε κάποια από τις επόμενες περιόδους. Με τη μεταφορά των ουρών αναμονής από τη μία περίοδο στην επόμενη επιχειρείται η δημιουργία ενός δυναμικού προτύπου καταμερισμού στο δίκτυο, το οποίο αποτελείται από μία σειρά "στατικών" προτύπων (για κάθε περίοδο θεωρείται ότι οι συνθήκες παραμένουν σταθερές).

Επίσης παρουσιάζεται και ένα πρότυπο το οποίο επιτρέπει την εισαγωγή τάξεων χρηστών ανάλογα με τον βαθμό πληροφόρησης τους για το δίκτυο (MPFE). Αυτό κρίνεται απαραίτητο από τη στιγμή που εισάγονται σε ένα δίκτυο συστήματα για την πληροφόρηση των χρηστών σε πραγματικό χρόνο.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρατίθενται δύο παραδείγματα σε ένα απλοποιημένο δίκτυο. Στην πρώτη περίπτωση θεωρείται ότι όλοι οι χρήστες δεν έχουν πρόσβαση σε κάποιο τέτοιο σύστημα πληροφόρησης, ενώ στη δεύτερη ότι ένα ποσοστό των χρηστών καθοδηγείται.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μία πρώτη διερεύνηση της ευαισθησίας του προτύπου στον αριθμό και τις θέσεις των φωρατών στο δίκτυο. Η διερεύνηση αυτή γίνεται σε ένα απλοποιημένο δίκτυο.

Στο πέμπτο κεφάλαιο επιχειρείται η εύρεση ενός δικτύου φωρατών, το οποίο θα δίνει τα μικρότερα σχετικά σφάλματα στην εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων με το πρότυπο των διαδοχικών μέσων που παρουσιάζεται στο δεύτερο κεφάλαιο (σε σχέση με τους πραγματικούς φόρτους των συνδέσμων). Η διερεύνηση αυτή εκτελείται σε ένα πιο σύνθετο δίκτυο το οποίο είναι ένα τμήμα του κωδικοποιημένου δικτύου του κέντρου της Αθήνας.

Στο έκτο κεφάλαιο εξετάζεται η αξιοπιστία του προτύπου σε περίπτωση απώλειας (βλάβης) ενός ποσοστού των φωρατών του δικτύου που βρέθηκε από το προηγούμενο κεφάλαιο ως αυτό με το οποίο γίνονται τα μικρότερα σφάλματα στην εκτίμηση των πραγματικών φόρτων.

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτή τη διερεύνηση του προτύπου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο Πρώτο: Εισαγωγικοί Προβληματισμοί	1
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Σύντομη ιστορική ανασκόπηση των προτύπων καταμερισμού στο δίκτυο	5
1.2.1 Βασικές έννοιες της μαθηματικής προσομοίωσης των μεταφορών	5
1.2.2 Η μέθοδος "όλα ή τίποτα" και τα αιτιοκρατικά (μη στοχαστικά) πρότυπα	7
1.2.3 Τα στοχαστικά πρότυπα για τον καταμερισμό στο δίκτυο	10
1.2.4 Μία προσπάθεια σύγκρισης των στοχαστικών και των αιτιοκρατικών (μη στοχαστικών) προτύπων	15
 Κεφάλαιο Δεύτερο: Το πρότυπο των διαδοχικών μέσων για την εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων απ'ευθείας από τις μετρήσεις των φόρτων	17
2.1 Γενικά	18
2.2 Θεωρητικές αρχές του προτύπου της εκτιμήτριας του φόρτου των διαδρομών δικτύου μίας τάξεως χρηστών	23
2.3 Παρουσίαση του μαθηματικού μοντέλου των διαδοχικών μέσων	29
2.3.1 Μεταβλητές που παίρνουν μέρος στην εκτέλεση του αλγόριθμου	29
2.3.2 Παρουσίαση του προβλήματος	32
2.3.3 Ο τρόπος λειτουργίας του προτύπου της εκτιμήτριας του φόρτου των διαδοχικών δικτύου μίας τάξεως χρηστών	36
2.4 Η έννοια ενός <i>Store & Forward</i> δικτύου	44
2.5 Ο αλγόριθμος γέννησης διαδρομών για χρήση με το πρότυπο των διαδοχικών μέσων	54

2.6	Το πρότυπο της εκτιμήτριας του φόρτου των διαδρομών δικτύου πολλών τάξεων χρηστών	62
2.7	Τα οφέλη της εφαρμογής των συστημάτων για την παροχή πληροφοριών στους χρήστες (σε πραγματικό χρόνο)	67
2.7.1	Τα πιθανά οφέλη από την εφαρμογή των συστημάτων πληροφορόρησης	68
2.7.2	Μελέτες σχετικές με την εφαρμογή των δυναμικών συστημάτων πληροφορόρησης	69
Κεφάλαιο Τρίτο: Παραδείγματα εφαρμογής των προτύπων SPFE και MPFE σε δίκτυα μίας και δύο τάξεων χρηστών		72
3.1	Το δίκτυο του παραδείγματος	73
3.2	Παράδειγμα εφαρμογής του προτύπου SPFE για δίκτυο μίας μόνο τάξεως χρηστών	75
3.3	Παράδειγμα εφαρμογής του SPFE σε δίκτυο στο οποίο κινούνται δύο τάξεις χρηστών (από την άποψη του βαθμού πληροφορόρησης)	82
3.4	Μία προσπάθεια αξιολόγησης των οφελών των χρηστών από τα δυναμικά συστήματα πληροφορόρησης που προκύπτουν με την εφαρμογή του προτύπου των διαδοχικών μέσων	89
Κεφάλαιο Τέταρτο: Διερεύνηση της ευαισθησίας του προτύπου στον αριθμό και τη θέση των φωρατών στο δίκτυο		97
4.1	Εφαρμογή στο δίκτυο της Fisk	98
4.1.1	Το δίκτυο της Fisk	98
4.1.2	Παράδειγμα εφαρμογής του προτύπου SPFE στο δίκτυο της Fisk σε μία μόνο περίοδο	101

4.1.2.1	1η δοκιμή: Εύρεση των απαιτούμενων μεγεθών για σύγκλιση για διαφορετικό αριθμό φωρατών στο δίκτυο	104
4.1.2.2	2η δοκιμή: Διερεύνηση για διαφορετικές θέσεις των φωρατών στο δίκτυο (αριθμός των φωρατών σταθερός)	107
4.1.3	Η εξέλιξη των φόρτων των συνδέσμων σε σχέση με την εξοάνιση των ουρών σε περιπτώσεις κυκλοφοριακής συμφόρησης	117
4.2	Μία πρώτη εφαρμογή του προτύπου SPFE στο δίκτυο του κέντρου της Αθήνας	131
4.2.1	Το επιλεγμένο δίκτυο του κέντρου της Αθήνας	131
4.2.2	Γενικά	133
4.2.3	Δοκιμή ανασύνθεσης της κυκλοφορίας στο δίκτυο του κέντρου της Αθήνας με χρήση 38 εγκατεστημένων φωρατών σε ισόγειους συνδέσμους	134
4.2.4	2η Μέτρηση: Εφαρμογή του προτύπου SPFE για δίκτυο με 12 φωρατές	141
4.2.5	3η Μέτρηση: Σε ένα δίκτυο με 54 φωρατές	145
Κεφάλαιο Πέμπτο: Προσπάθεια εύρεσης ενός βέλτιστου δικτύου φωρατών για το δίκτυο του κέντρου της Αθήνας		149
Κεφάλαιο Έκτο: Διερεύνηση της ευαισθησίας του προτύπου σε περίπτωση απώλειας κάποιων από τους εγκατεστημένους φωρατές		192
6.1	Γενικά	193
6.1.1	Πρώτη Δοκιμή: Απώλεια 5 φωρατών που βρίσκονται κοντά στα σημεία εισόδου του δικτύου	195
6.1.2	Δεύτερη Δοκιμή: Απώλεια 5 φωρατών που βρίσκονται κοντά στα σημεία εξόδου του δικτύου	199

6.1.3	Τρίτη Δοκιμή: Απώλεια 5 φωρατών που βρίσκονται σε συνδέσμους οι οποίοι παρουσιάζουν την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης στις διαδρομές που απαρτίζουν τα δέντρα των διαδρομών ελαχίστου κόστους των ζωνών προέλευσης	203
6.1.4	Τέταρτη Δοκιμή: Απώλεια 3 φωρατών από αυτούς που βρίσκονται κοντά στις εισόδους του δικτύου, καθώς και άλλων 2 από αυτούς που βρίσκονται κοντά στις εξόδους	208
6.1.5	Πέμπτη Δοκιμή: Απώλεια 3 φωρατών που βρίσκονται στις εξόδους του δικτύου, καθώς και 2 φωρατών που βρίσκονται σε συνδέσμους με την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης στις διαδρομές των χρηστών του δικτύου	212
6.2	Πρόταση αντιμετώπισης του προβλήματος που προέκυψε με τους φωρατές που βρίσκονται κοντά στις εισόδους του δικτύου	220
Συμπεράσματα		223
Βιβλιογραφία		229
Παράρτημα I		233
Παράρτημα II		240

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά την πρακτική εφαρμογή των μαθηματικών προτύπων επιλογής διαδρομής που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα και με τα οποία επιχειρείται η εκτίμηση των κυκλοφοριακών φόρτων στους συνδέσμους του δικτύου σε πραγματικό χρόνο και όχι σε επίπεδο μακροπρόθεσμου σχεδιασμού, προκύπτουν συνήθως ορισμένα προβλήματα.

Το πρώτο από αυτά σχετίζεται με το ότι η συνηθισμένη προσέγγιση στην εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων του δικτύου γίνεται σε δύο επίπεδα: Στο πρώτο επίπεδο γίνεται εκτίμηση του μητρώου προέλευσης - προορισμού του δικτύου, συνήθως πλέον με βάση τις μετρήσεις των φόρτων που γίνονται σε πραγματικό χρόνο στο δίκτυο με μετρητές (φωρατές). Στο δεύτερο επίπεδο γίνεται καταμερισμός των εκτιμώμενων μετακινήσεων με κατάλληλο πρότυπο επιλογής διαδρομής. Το πρόβλημα αρχίζει να υπάρχει όταν υπάρχουν ασυμφωνίες μεταξύ των δύο επιπέδων, κάτι που είναι πολύ συνηθισμένο. αφού κατά τον καταμερισμό της κυκλοφορίας σε μεγάλα δίκτυα είναι σχεδόν αναπόφευκτο το να αφαιρούνται σύνδεσμοι που παρουσιάζουν πολύ μικρούς φόρτους, έτσι ώστε να απλοποιηθεί το δίκτυο και κατά συνέπεια να μειωθεί ο όγκος των δεδομένων του δικτύου και κατ'επέκταση των στοιχείων που επεξεργάζονται οι υπολογιστές. Με αυτόν τον τρόπο η διαδικασία εκτίμησης των φόρτων γίνεται πιο σύντομη. Το αποτέλεσμα είναι το να κατανέμονται αυτές οι μετακινήσεις που αναλογούν σε αυτούς τους συνδέσμους, στις διαδρομές που αποτελούνται από τους συνδέσμους που απέμειναν στο δίκτυο και με αυτόν τον τρόπο να παρουσιάζονται έντονα φαινόμενα "τεχνητής" συμφόρησης, αφού ορισμένοι σύνδεσμοι δέχονται περισσότερες μετακινήσεις από αυτές που τους αναλογούν στην πραγματικότητα.

Το δεύτερο πρόβλημα σχετίζεται με την υιοθέτηση δυναμικών συστημάτων πληροφόρησης (δηλαδή συστημάτων που παρέχουν πληροφόρηση για την κατάσταση του δικτύου σε πραγματικό χρόνο) για την ενημέρωση ή ακόμα και για την καθοδήγηση των χρηστών του δικτύου. Ένα κοινό χαρακτηριστικό όλων των προτύπων επιλογής διαδρομής που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα είναι η θεώρηση ότι όλοι οι χρήστες έχουν τον ίδιο βαθμό πληροφόρησης, ανεξάρτητα από το αν ορισμένα πρότυπα θεωρούν ότι όλοι οι χρήστες έχουν τέλεια γνώση του δικτύου ή άλλα ότι η αντίληψη για τους

χρόνους διάνυσης των συνδέσμων διαφέρει από χρήστη σε χρήστη (θεωρώντας όμως ότι όλοι οι χρήστες έχουν τον ίδιο βαθμό πληροφόρησης). Η εφαρμογή αυτών των καινούργιων μέσων πληροφόρησης θα δημιουργήσει μία καινούργια πραγματικότητα όπου οι χρήστες θα μπορούν να ταξινομηθούν σε ομάδες (ή τάξεις), ανάλογα με τον βαθμό και την ποιότητα της πληροφόρησης που δέχονται. Όταν το ποσοστό των πληροφορούμενων χρηστών αυξηθεί σημαντικά, τα υπάρχοντα πρότυπα επιλογής διαδρομής ίσως παρουσιάσουν προβλήματα στην εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων του δικτύου, αφού η βασική παραδοχή που αναφέρθηκε παραπάνω δεν θα ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα πλέον. Είναι γεγονός βέβαια ότι η μεγάλη και πολύ γρήγορη ανάπτυξη της τεχνολογίας και ειδικά των συστημάτων πληροφόρησης, φαίνεται να έχει αφήσει ανεπηρέαστες τις μεταφορές καθώς η ανάπτυξη αυτών των συστημάτων γίνεται πολύ αργά παρ'ότι το τεχνολογικό υπόβαθρο υπάρχει εδώ και χρόνια. Ο λόγος γι'αυτό ενδεχομένως να είναι το ότι δεν έχουν γίνει αρκετές αξιολογήσεις, σε ένα πραγματικό δίκτυο και υπό πραγματικές συνθήκες, της εφαρμογής των δυναμικών συστημάτων πληροφόρησης και έτσι η αξία τους (από την άποψη του οφέλους για τους χρήστες) είναι αμφίβολη. Βέβαια το όλο και αυξανόμενο ενδιαφέρον των δημόσιων φορέων αλλά και των ιδιωτικών, όπως οι αυτοκινητοβιομηχανίες, προδίδει ότι η μέρα που η εφαρμογή αυτών των συστημάτων θα είναι πραγματικότητα δεν πρόκειται να αργήσει.

Από τα παραπάνω είναι εύλογο ότι υπάρχει επιτακτική ανάγκη για βελτιωμένα πρότυπα, τα οποία θα μπορούν να αντιμετωπίσουν τις ανάγκες που θέσαμε παραπάνω, καθώς και άλλες ανάγκες όπως η χρήση των αποτελεσμάτων του καταμερισμού της κυκλοφορίας στο δίκτυο, άμεσα, σε εφαρμογές που στοχεύουν στην δυναμική πληροφόρηση των χρηστών. Το ζητούμενο τελικά είναι η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αξιοπιστία αυτών των προτύπων έτσι ώστε να μπορέσουν να αποτελέσουν τμήμα ενός συστήματος που στοχεύει στους χρήστες.

Σε αυτή την εργασία θα ασχοληθούμε κυρίως με ένα πρότυπο το οποίο έχει αναπτυχθεί από τους Bell, Lam και Iida (1995). Με το πρότυπο αυτό επιχειρείται εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων του δικτύου σε ένα επίπεδο, δηλαδή χωρίς να προηγείται του καταμερισμού στο δίκτυο εκτίμηση του μητρώου προέλευσης – προορισμού από τις μετρήσεις, αλλά εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων του δικτύου κατ'ευθείαν από τις μετρήσεις των φωρατών.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό αυτού του προτύπου είναι η εισαγωγή της έννοιας της *Τάξης Χρηστών* με κριτήριο τον βαθμό πληροφόρησης. Έτσι θεωρείται ότι ανάλογα με το αν οι χρήστες έχουν πρόσβαση σε κάποια πηγή δυναμικής πληροφόρησης (καθώς και με το τι μέσο πληροφόρησης έχουν στη διάθεση τους) εντάσσονται σε ομάδες με διαφορετική συμπεριφορά κίνησης μέσα στο δίκτυο. Ο όρος *δυναμική πληροφόρηση* έχει να κάνει κυρίως με πληροφορία σχετικά με το ποιες διαδρομές παρουσιάζουν μεγάλη συμφόρηση σε κάποια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

1.2. ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ **ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ**

1.2.1. Βασικές Έννοιες της Μαθηματικής Προσομοίωσης των Μεταφορών

Ο στόχος της μαθηματικής προσομοίωσης των μεταφορών είναι να παρέχει στον μηχανικό ένα σημαντικό εργαλείο με το οποίο να ξέρει ανά πάσα στιγμή το τι συμβαίνει στο δίκτυο, το οποίο εξετάζει. Αυτή η δυνατότητα επιτρέπει τη διαπίστωση των προβλημάτων στο δίκτυο και την εφαρμογή λύσεων για την επίλυση τους. Εφ'όσον η μαθηματική προσομοίωση είναι κατά κάποιο τρόπο το μέσο που συνδέει τον μηχανικό με το δίκτυο, κρύβει και πολλές παγίδες, καθώς μη ρεαλιστικές παραδοχές που οδηγούν σε λανθασμένη εικόνα του δικτύου, μπορεί ενδεχομένως να οδηγήσουν σε άστοχες λύσεις προβλημάτων.

Η μαθηματική προσομοίωση των μεταφορών γίνεται με μία σειρά μαθηματικών προτύπων, από τα οποία το καθένα έχει ως στόχο την προσομοίωση ενός φαινομένου (Κ.Γ Αμπακούμκιν , 1990). Η μαθηματική προσομοίωση των μεταφορών έχει καταλήξει σε τέσσερα βήματα:

- i. Γένεση των Μετακινήσεων (Trip Generation Models)
- ii. Κατανομή των Μετακινήσεων (Trip Distribution Models)
- iii. Επιλογή του Μέσου Μεταφοράς (Modal Split Models)
- iv. Επιλογή της Διαδρομής (Traffic Assignment Models)

Στην εργασία αυτή θα ασχοληθούμε κυρίως με το τέταρτο βήμα του συγκοινωνιακού σχεδιασμού, δηλαδή την επιλογή της διαδρομής. Στην ουσία θα ασχοληθούμε με την εκτίμηση των φόρτων στους συνδέσμους του δικτύου (τον καταμερισμό των μετακινήσεων που γίνονται με ιδιωτικά μέσα μεταφοράς).

Η εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων των δικτύων συνήθως γίνεται σε δύο επίπεδα. Στο πρώτο επίπεδο εκτιμάται ένα μητρώο προέλευσης- προορισμού, ενώ στο δεύτερο επίπεδο γίνεται κατανομή των εκτιμώμενων μετακινήσεων στις διαδρομές του δικτύου.

Τα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα για τον καταμερισμό της κυκλοφορίας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- i. Στα Αιτιοκρατικά (μη στοχαστικά)
- ii. Στα Στοχαστικά

Μία σύντομη ιστορική ανασκόπηση των προτύπων που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα παρατίθεται παρακάτω.

1.2.2. Η μέθοδος "Όλα ή Τίποτα" και τα Αιτιοκρατικά (μη Στοχαστικά) Πρότυπα

Τα πρότυπα καταμερισμού της κυκλοφορίας στο δίκτυο μπορούν να ταξινομηθούν με βάση το αν λαμβάνουν υπόψην τους δύο φαινόμενα (Sheffi & Powell, 1981):

- i. Την επιρροή που ασκεί το φαινόμενο της κυκλοφοριακής συμφόρησης στους χρόνους διαδρομής των συνδέσμων.
- ii. Τη λανθασμένη αντίληψη των χρηστών για τους πραγματικούς χρόνους διαδρομής των συνδέσμων.

Ο διαχωρισμός όλων των προτύπων που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα βασίζονται στο δεύτερο φαινόμενο και χωρίζονται σε:

- i. Αιτιοκρατικά (μη Στοχαστικά) πρότυπα
- ii. Στοχαστικά πρότυπα

Η ιστορική αναδρομή των προτύπων για καταμερισμό της κυκλοφορίας στο δίκτυο που ακολουθεί, βασίζεται στον παραπάνω διαχωρισμό.

Η μέθοδος "όλα ή τίποτα" δεν λαμβάνει κανένα από τα δύο φαινόμενα υπόψην του. Θεωρεί δε ότι όλοι οι χρήστες έχουν την ίδια άποψη για τους χρόνους διαδρομής στο δίκτυο, και κατά συνέπεια όλοι οι χρήστες που έχουν κοινή προέλευση και κοινό προορισμό, θα κινηθούν στην ίδια διαδρομή, η οποία θα είναι η διαδρομή με το ελάχιστο κόστος από όλες τις εναλλακτικές διαδρομές που υλοποιούν αυτή τη γραμμή επιθυμίας.

Τα περισσότερα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα λαμβάνουν υπόψην τους μόνο το ένα από τα δύο φαινόμενα που αναφέραμε παραπάνω. Η μέθοδος "όλα ή τίποτα" ανήκει στα αιτιοκρατικά (μη στοχαστικά) πρότυπα. Αυτά τα πρότυπα δεν λαμβάνουν υπόψην τους ότι οι χρήστες μπορεί να έχουν διαφορετικές αντιλήψεις για τους χρόνους διαδρομής των συνδέσμων και άρα και διαφορετικές αντιλήψεις για τους χρόνους διαδρομής των εναλλακτικών διαδρομών για κάποια μετακίνηση από μία συγκεκριμένη ζώνη προέλευσης προς μία ζώνη προορισμού. Η επιλογή της διαδρομής γίνεται με ένα κριτήριο που θεωρείται κρίσιμο (μπορεί να είναι ο χρόνος, το μήκος της διαδρομής ή ακόμα και το γενικευμένο κόστος της διαδρομής) , ενώ όλα τα άλλα πιθανά κριτήρια δεν λαμβάνονται καθόλου υπόψην. Η μέθοδος "όλα ή τίποτα" βέβαια

δεν λαμβάνει υπ'όψιν του ούτε την επιρροή του φαινομένου της συμφόρησης στους χρόνους διαδρομής των συνδέσμων. Στην ουσία δεν λαμβάνει υπ'όψιν καθόλου ένα πολύ σημαντικό "φυσικό" μέγεθος του συνδέσμου που είναι η χωρητικότητα του. Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για να αρθεί αυτό το πρόβλημα. Μία τέτοια προσπάθεια είναι και η διόρθωση των αποτελεσμάτων της φόρτισης με τη μέθοδο "όλα ή τίποτα" με τη μέθοδο της περιορισμένης χωρητικότητας συνδέσμου. Μία τέτοια μέθοδος διόρθωσης των αποτελεσμάτων καταφέρνει να φέρει το δίκτυο σε μία ισορροπία, μία λύση όπου ο φόρτος μοιράζεται σε συνδέσμους οι οποίοι μπορούν να τον εξυπηρετήσουν.

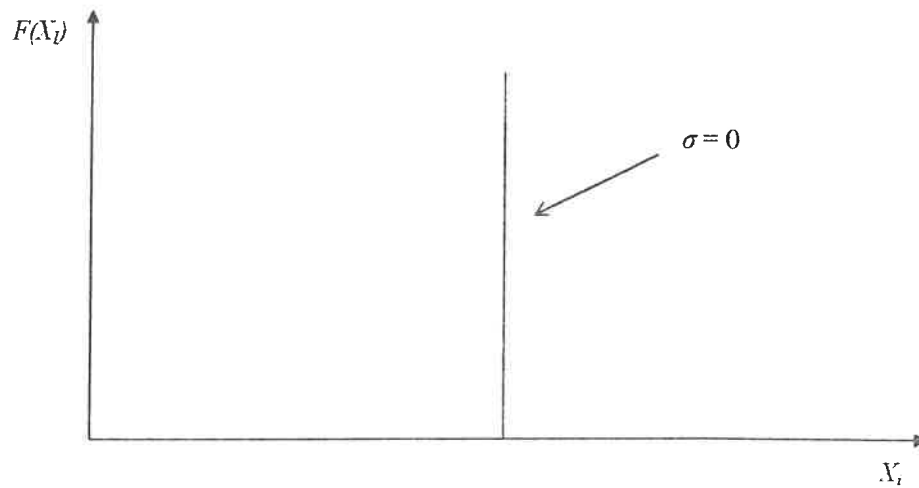
Όλοι οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται από τα μη στοχαστικά πρότυπα βασίζονται στη μέθοδο του "όλα ή τίποτα". Ο στόχος αυτών των προτύπων είναι να επέλθει μία ισορροπία κατά τον καταμερισμό στο δίκτυο, η οποία να παράγει ένα σύνολο φόρτων στους συνδέσμους του δικτύου που θα ικανοποιεί την πρώτη αρχή του Wardrob (1952), η οποία είναι η εξής:

Οι χρόνοι διαδρομής όλων των διαδρομών που χρησιμοποιούνται στην πραγματικότητα είναι ίσοι και είναι λιγότεροι από αυτόν που θα χρειαζόταν ένα όχημα σε οποιαδήποτε διαδρομή που δεν χρησιμοποιείται.

Τέτοιοι αλγόριθμοι που να επιλύουν το μη στοχαστικό πρότυπο έχουν αναπτυχθεί από τους Leblanc (1975) και Nguyen (1974). Όλοι οι αλγόριθμοι και γενικότερα τα στοχαστικά πρότυπα έχουν κατηγορηθεί για μη ρεαλιστικές παραδοχές, οι οποίες σχετίζονται κυρίως με την θεώρηση ότι η αντίληψη όλων των χρηστών για τους χρόνους διαδρομής μέσα στο δίκτυο είναι η ίδια. Από την άλλη πλευρά τα μη στοχαστικά πρότυπα συγκλίνουν πάντα, κάτι που τα κάνει αξιόπιστα, κυρίως για περιπτώσεις κατά τις οποίες το ζητούμενο είναι η εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων σε πραγματικό χρόνο και όχι για σχεδιασμό.

Η διαφορά των προτύπων που υιοθετούνται για εκτίμηση των φόρτων σε πραγματικό χρόνο από αυτά που υιοθετούνται σε επίπεδο σχεδιασμού, είναι ότι τα πρώτα οφείλουν να συγκλίνουν πάντα και να συγκλίνουν γρήγορα.

Ένα άλλο πρόβλημα που πλήττει την αξιοπιστία των αιτιοκρατικών (μη στοχαστικών) προτύπων είναι τα γεγονότα ότι οι φόρτοι των διαδρομών δεν ορίζονται μοναδικά από αυτά τα πρότυπα. Δηλαδή η ισορροπία στην οποία φτάνουν τα μη στοχαστικά πρότυπα δεν είναι και η μοναδική.

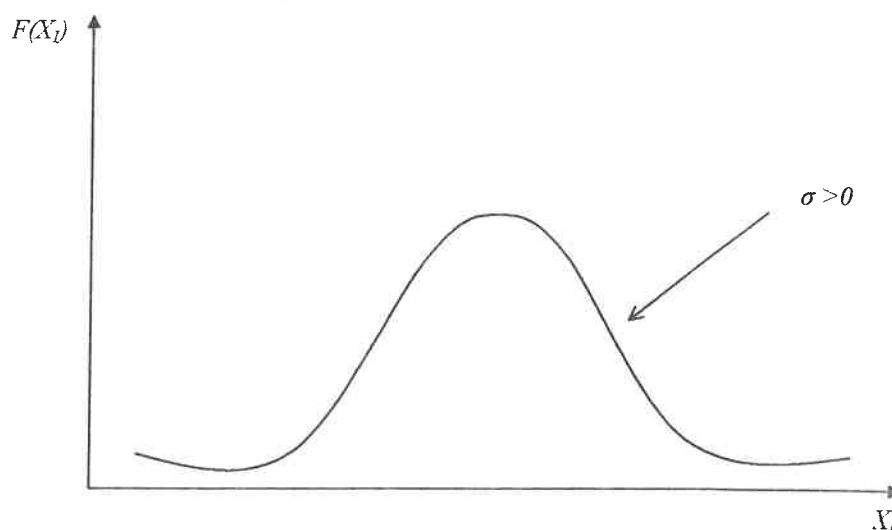


Σχήμα 1.1: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της εκτίμησης των χρηστών του δικτύου για τον χρόνο διαδρομής ενός συνδέσμου (στα αιτιοκρατικά, μη στοχαστικά πρότυπα)

1.2.3. Τα Στοχαστικά Πρότυπα για τον Καταμερισμό στο Δίκτυο

Τα στοχαστικά πρότυπα καταμερισμού στο δίκτυο, τα οποία έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα έχουν το πλεονέκτημα του ότι λαμβάνουν υπ'όψιν τους τα λάθη των χρηστών στις αντιλήψεις τους για τους πραγματικούς χρόνους διαδρομής στο δίκτυο. Πέραν αυτού, τα τελευταία χρόνια γίνεται μία προσπάθεια από πολλούς ερευνητές για να ληφθούν στα μοντέλα προσομοίωσης του μηχανισμού απόφασης των χρηστών όλοι οι παράγοντες (ή τουλάχιστον οι πλέον σημαντικοί) που επηρεάζουν την απόφαση των χρηστών για το ποια από τις εναλλακτικές διαδρομές θα ακολουθήσουν. Έτσι το πρόβλημα της επιλογής διαδρομής δεν είναι ζήτημα που σχετίζεται μόνο με τους χρόνους διαδρομής των συνδέσμων, αλλά και με παράγοντες όπως ο αριθμός των λωρίδων, το επίπεδο εξυπηρέτησης, ο αριθμός των δεξιών και αριστερών στροφών, ή ακόμα και οι διαφορές των διαδρομών από άποψη καθαρά αισθητικής.

Τα στοχαστικά μοντέλα λαμβάνουν υπ'όψιν τους αυτά τα λάθη στην αντίληψη των χρηστών με το να αναπαριστούν τους χρόνους διαδρομής των συνδέσμων σαν τυχαίες μεταβλητές, οι οποίες κατανέμονται στον πληθυσμό των χρηστών.



Σχήμα 1.2: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας

της εκτίμησης των χρηστών του δικτύου για τον χρόνο διαδρομής ενός συνδέσμου
(στα στοχαστικά πρότυπα)

Σε αυτά τα πρότυπα η επιθυμητή κατάσταση είναι να επέλθει μία ισορροπία στο δίκτυο έτσι ώστε ο κάθε χρήστης να μην μπορεί να μειώσει τον χρόνο διαδρομής που αντιλαμβάνεται με το να αλλάζει συνεχώς διαδρομές για να πραγματοποιήσει την μετακίνηση του (Daganzo & Sheffi, 1977). Η αντιστοιχία με την πρώτη αρχή του Wardrop (1950) είναι πρόδηλη.

Το πρόβλημα που αντιμετωπίζουν τα στοχαστικά πρότυπα έχει να κάνει με τον καθορισμό των διαδρομών πάνω στις οποίες γίνεται ο καταμερισμός των μετακινήσεων. Όλες οι πιθανές εναλλακτικές διαδρομές που συνδέουν τα δύο άκρα μιας μετακίνησης, έχουν μία πιθανότητα για να τις ακολουθήσουν οι χρήστες. Η πιθανότητα αυτή εξαρτάται από διάφορους παράγοντες (αυτούς από τους οποίους εξαρτάται και η απόφαση των χρηστών και οι οποίοι αναφέρθηκαν παραπάνω) και ανάλογα με το μοντέλο προσομοίωσης του μηχανισμού της απόφασης που υιοθετείται καθορίζεται και αυτή η πιθανότητα. Έχει επικρατήσει το να λαμβάνεται υπ'όψιν ως κρίσιμος παράγοντας επιλογής της διαδρομής το κόστος των διαδρομών με τη μορφή του χρόνου διαδρομής.

Το μοντέλο που έχει επικρατήσει τελικά είναι αυτό που βασίζεται στα μαθηματικά πρότυπα logit. Σύμφωνα με αυτά τα πρότυπα οι μετακινήσεις, που κινούνται πάνω στην ίδια γραμμή επιθυμίας, μοιράζονται στις εναλλακτικές διαδρομές που υλοποιούν αυτή τη γραμμή επιθυμίας στο δίκτυο ανάλογα με το κόστος των τελευταίων. Όσο μικρότερο κόστος έχει μία διαδρομή, σε σχέση με τις υπόλοιπες εναλλακτικές διαδρομές, τόσο μεγαλύτερη πιθανότητα έχει για να την ακολουθήσουν οι χρήστες. Κατά συνέπεια τόσο μεγαλύτερο ποσοστό από τις συνολικές μετακινήσεις κατανέμονται σε αυτές.

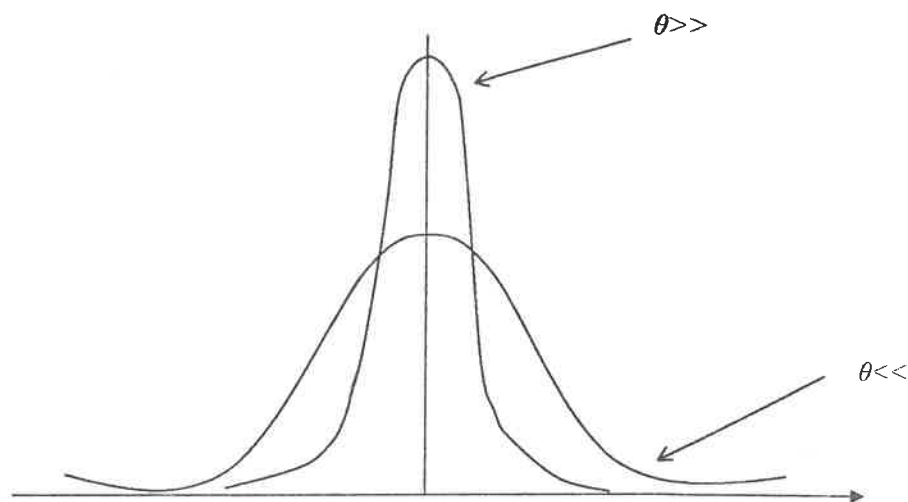
Τα μοντέλα προσομοίωσης της συμπεριφοράς των χρηστών που βασίζονται στα πρότυπα probit δεν έχουν επικρατήσει γιατί βασίζονται σε μία διαδικασία προσομοίωσης, η οποία έχει μεγάλες απαιτήσεις υπολογιστικής δύναμης. Ένα τέτοιο μοντέλο βελτιστοποίησης παρουσιάστηκε από τους Daganzo και Sheffi (Daganzo & Sheffi, 1977).

Στο μοντέλο επιλογής διαδρομής που βασίζεται στα πρότυπα logit έχει στηριχτεί και ο αλγόριθμος STOCH του Dial (Dial et al., 1971). Το πρότυπο αυτό ήταν μία προσπάθεια για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα του καθορισμού των διαδρομών πάνω στις οποίες κινούνται οι χρήστες. Το πρόβλημα αυτό συναντιέται στα μεγάλα δίκτυα που αντιμετωπίζουμε στην πράξη και στα οποία είναι αδύνατη η απαρίθμηση όλων των δυνατών διαδρομών από κάθε ζώνη προέλευσης σε κάθε ζώνη προορισμού. Η

προσπάθεια του Dial ήταν να "αναπαραστήσει" την εικόνα του δικτύου, όπως θα ήταν αν έκανε απαρίθμηση όλων των δυνατών διαδρομών και έκανε καταμερισμό της κυκλοφορίας σε αυτές με μία μέθοδο που βασίζεται στα πρότυπα logit και την οποία περιγράψαμε παραπάνω. Αντί να γίνεται απαρίθμηση ο αλγόριθμος STOCH επιχειρεί να καταναίμει τις πιθανότητες των διαδρομών απ'ευθείας στους συνδέσμους από τους οποίους αποτελούνται φορτίζοντας όλες τις πιθανές διαδρομές, με πιθανότητα να τις ακολουθήσουν οι χρήστες που είναι διάφορη από μηδέν, ταυτόχρονα. Η λειτουργία του προτύπου βασίζεται στα μοντέλα Margon και η διαδικασία γίνεται σε δύο στάδια:

- i. Στο πρώτο στάδιο υπολογίζονται οι πιθανότητες μετάβασης των συνδέσμων, δηλαδή οι πιθανότητες να χρησιμοποιηθούν οι σύνδεσμοι από τους χρήστες που πραγματοποιούν κάποια μετακίνηση από τη συγκεκριμένη ζώνη προέλευσης προς μία συγκεκριμένη ζώνη προορισμού.
- ii. Στο δεύτερο στάδιο φορτίζονται οι σύνδεσμοι, ανάλογα με τη πιθανότητα που έχει υπολογιστεί στο πρώτο στάδιο.

Ακόμα και με αυτή τη λογική το πρότυπο αυτό παρουσιάζει πρόβλημα στον ορισμό της "δυνατής" διαδρομής. Για τον λόγο αυτό ο αλγόριθμος STOCH επιτρέπει με αλλαγή μίας παραμέτρου (της μεταβλητής θ) τον έλεγχο της απόκλισης της άποψης των χρηστών για τους χρόνους διαδρομής των εναλλακτικών διαδρομών. Όσο αυξάνει η παράμετρος αυτή τόσο αυξάνει και η πιθανότητα ένα όχημα να ακολουθήσει την διαδρομή ελαχίστου κόστους. Για άπειρο θ ο καταμερισμός στο δίκτυο δίνει αποτελέσματα ίδια με τις μεθόδου "όλα ή τίποτα". Για $\theta=0$ όλες οι πιθανές διαδρομές έχουν την ίδια πιθανότητα για να τις ακολουθήσουν οι χρήστες και έτσι οι μετακινήσεις ισοκατανέμονται στις πιθανές διαδρομές. Δεν υπάρχει μία βέλτιστη τιμή για την παράμετρο αυτή, αλλά είναι στην κρίση του εκάστοτε χρήστη για το ποια τιμή του θ δίνει την περισσότερο ρεαλιστική εικόνα του δικτύου.



Σχήμα 1.3: Απόκλιση της άποψης των χρηστών για τους χρόνους διαδρομής στο δίκτυο για δύο τιμές του συντελεστή θ του προτύπου STOCH

Τόσο το πρότυπο αυτό όσο και τα υπόλοιπα στοχαστικά πρότυπα παρουσιάζουν ένα σημαντικό πρόβλημα: δεν συγκλίνουν πάντα σε ισορροπία (Chen and Sule Alfa, 1991). Λόγω ακριβώς αυτού του προβλήματος η υιοθετησή τους για εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων του δικτύου σε πραγματικό χρόνο πρέπει να θεωρηθεί παρακινδυνευμένη αφού ένα σύστημα που θα βασίζεται σε αυτούς τους αλγορίθμους μπορεί να "κρεμάσει". Επίσης κανένα από τα στοχαστικά πρότυπα δεν λαμβάνει υπόψη την εξάρτηση των χρόνων διαδρομής των συνδέσμων από τους φόρτους.

Το μόνο στοχαστικό πρότυπο που συγκλίνει πάντα σε ισορροπία είναι το μοντέλο των διαδοχικών μέσων (Chen and Sule Alfa, 1991), που είναι ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης του δικτύου, το οποίο όμως παρουσιάζει δύο προβλήματα:

- i. Το πρώτο από αυτά είναι το γεγονός ότι επιβάλλεται ο καθορισμός των εναλλακτικών διαδρομών του δικτύου πριν την κατανομή των μετακινήσεων. Βέβαια η Fisk (1980) απέδειξε ότι αυτή η μέθοδος μπορεί να περιγραφεί και από το πρότυπο του Dial και έτσι να αποφευχθεί το πρόβλημα της απαρίθμησης των διαδρομών και οι Chen και Sule Alfa (1991) υιοθέτησαν την ίδια άποψη. Έτσι και σε αυτή την περίπτωση υπάρχει δυνατότητα ανάθεσης των πιθανοτήτων των εναλλακτικών διαδρομών απ'ευθείας στους συνδέσμους από τους οποίους

αποτελούνται, όπως γίνεται στον αλγόριθμο STOCH και δεν είναι υποχρεωτική μία απαρίθμηση των διαδρομών του δικτύου.

- ii. Το δεύτερο από αυτά σχετίζεται με το βήμα της σύγκλισης του επαναληπτικού αλγόριθμου το οποίο είναι αργό. Έχουν γίνει προσπάθειες για βελτίωση του βήματος σύγκλισης, έτσι ώστε μία εφαρμογή του προτύπου, ακόμα και για εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων του δικτύου σε πραγματικό χρόνο, να γίνει δυνατή, ή καλύτερα πρακτική. Τέτοιες προσπάθειες έχουν γίνει από τους Chen και Sule Alfa (1991), και από τους Bell, Lam και Iida (1995).

Με τα στοχαστικά πρότυπα οι φόρτοι των διαδρομών του δικτύου καθορίζονται μοναδικά σε αντίθεση με τα αιτιοκρατικά πρότυπα. Αυτό αποτελεί άλλο ένα πλεονέκτημα των στοχαστικών αλγόριθμων.

1.2.4. Μία προσπάθεια σύγκρισης των στοχαστικών και των αιτιοκρατικών (μη στοχαστικών) προτύπων

Είναι εύλογο το ερώτημα που προκύπτει από την παραπάνω αναφορά στα στοχαστικά και τα μη στοχαστικά πρότυπα. Το ερώτημα αυτό είναι για το υπερέχει το ένα είδος προτύπου από το άλλο και αν κάτι τέτοιο πράγματι συμβαίνει, τότε ποιο είναι το καλύτερο πρότυπο που μπορούμε να εφαρμόσουμε.

Ήδη στην αναφορά που έγινε πριν έχουν γίνει νύξεις για σημεία όπου παρουσιάζονται αδυναμίες της μίας ή της άλλης μεθόδου. Το πρόβλημα των μη στοχαστικών προτύπων βρίσκεται στην ίδια την φιλοσοφία τους εν γένει. Οι παραδοχές οι οποίες γίνονται θεωρούνται ως μη ρεαλιστικές (Chen and Sule Alfa, 1991), αφού αφ'ενός μεν θεωρείται ότι όλοι οι χρήστες έχουν την ίδια γνώση για το δίκτυο, αφ'ετέρου θεωρείται και ότι έχουν τέλεια γνώση του δικτύου. Επίσης με τη χρήση των μη στοχαστικών προτύπων έχει αποδειχτεί ότι οι φόρτοι των διαδρομών δεν καθορίζονται με μοναδικό τρόπο (Bell, Lam & Iida, 1995).

Έτσι τα στοχαστικά πρότυπα φαίνεται να είναι μία περισσότερο ενδεδειγμένη λύση για τον καταμερισμό στο δίκτυο αφού λαμβάνουν υπόψιν τους τις διαφορές στην αντίληψη των χρηστών για τους χρόνους διαδρομής των συνδέσμων του δικτύου. Επίσης με τα στοχαστικά πρότυπα επιτυγχάνεται ο καθορισμός των φόρτων των διαδρομών με μοναδικό τρόπο. Παρά ταύτα τα στοχαστικά πρότυπα παρουσιάζουν προβλήματα που έχουν να κάνουν με ότι δεν συγκλίνουν πάντα σε κάποια ισορροπία που να ικανοποιεί την αρχή των Daganzo & Sheffi (1977) στην οποία αναφερθήκαμε παραπάνω. Ο μόνος στοχαστικός αλγόριθμος που συγκλίνει πάντα σε κάποια ισορροπία είναι το πρότυπο των διαδοχικών μέσων (successive averages), το οποίο όμως παρουσιάζει μεγάλα βήματα σύγκλισης. Οι δύο παραπάνω λόγοι μαζί με το ότι είναι δύσκολος ο καθορισμός των διαδρομών πάνω στις οποίες θα γίνει η κατανομή των μετακινήσεων (αν και αυτό φαίνεται να ξεπερνιέται στον αλγόριθμο STOCH (Dial et al., 1971) , μειώνουν την αξιοπιστία αυτών των προτύπων, ειδικά όταν σκοπός είναι η

εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων του δικτύου σε πραγματικό χρόνο. Το κάθε είδος προτύπων λοιπόν έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Πέρα από τα παραπάνω υπάρχει πάντα το ερώτημα του αν η ζήτηση επηρεάζει το ποιο μοντέλο είναι πιο καλό για να περιγράψει μία κατάσταση του δικτύου. Αν δηλαδή τα αιτιοκρατικά (μη στοχαστικά) πρότυπα είναι καλύτερα από τα στοχαστικά για να εφαρμόζονται σε κάποιες συνθήκες ζήτησης και το αντίστροφο.

Μία σχετική με το ερώτημα έρευνα έγινε από τους Sheffi και Powell (1979), η οποία ασχολήθηκε με την θέση που διατύπωσαν οι Daganzo (1977) και Van Vliet (1976). Αυτή η θέση συνοψίζεται στο ότι τα στοχαστικά πρότυπα πρέπει να χρησιμοποιούνται για δίκτυα που δεν παρουσιάζουν συμφόρηση (άρα για συνθήκες χαμηλής ζήτησης) και τα αιτιοκρατικά πρότυπα για συνθήκες μεγάλης ζήτησης, στις οποίες εμφανίζονται φαινόμενα συμφόρησης. Αυτή όμως η υπόθεση δεν έχει πολλούς υποστηρικτές.

Αυτό που είναι γεγονός είναι το ότι η έρευνα έχει στραφεί πλέον προς τα στοχαστικά πρότυπα δείχνοντας ότι τελικά θεωρούνται πιο αξιόπιστα από άποψη αποτελεσμάτων από τα μη στοχαστικά. Σκοπός είναι πλέον η ανάπτυξη αξιόπιστων αλγορίθμων, οι οποίοι θα επιλύουν τα στοχαστικά πρότυπα και οι οποίοι θα συγκλίνουν πάντα.

Η μέθοδος των διαδοχικών μέσων φαίνεται να είναι μία πολλά υποσχόμενη μέθοδος, η οποία είναι ίσως το μόνο στοχαστικό πρότυπο που συγκλίνει και περαιτέρω έρευνα σε αυτό το πρότυπο μπορεί να δώσει πολύ ρεαλιστικά αποτελέσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

**ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΤΩΝ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ (SUCCESSIVE AVERAGES)
ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΑΠ'ΕΥΘΕΙΑΣ
ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΦΟΡΤΩΝ**

2.1. ΓΕΝΙΚΑ

Όλα τα πρότυπα, στα οποία αναφερθήκαμε παραπάνω, έχουν ένα σημαντικό κοινό στοιχείο. Η εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων του δικτύου συνήθως γίνεται σε δύο επίπεδα: Το πρώτο επίπεδο αποτελείται από την εκτίμηση του μητρώου προέλευσης – προορισμού του δικτύου. Η εκτίμηση αυτή γίνεται συνήθως με μία από τις δυναμικές μεθόδους, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί γι'αυτόν τον σκοπό και οι οποίες βασίζονται στην εκτίμηση των μετακινήσεων από τις μετρήσεις των φόρτων, που γίνονται με χρήση των εγκατεστημένων φωρατών. Το δεύτερο επίπεδο αποτελείται από κάποιο πρότυπο επιλογής διαδρομής, το οποίο μπορεί να είναι αιτιοκρατικό (μη στοχαστικό) ή στοχαστικό. Τα μη στοχαστικά πρότυπα θεωρούν ότι όλοι οι χρήστες έχουν πλήρη πληροφόρηση για το δίκτυο. Σε αυτά τα πρότυπα ανήκει και η μέθοδος "όλα ή τίποτα", η οποία βέβαια θεωρείται ως μία μη πλήρως ρεαλιστική προσέγγιση του προβλήματος, αφού κάνει τη σύμβαση ότι όλοι οι χρήστες έχουν πλήρη πληροφόρηση για την κατάσταση του δικτύου. Τα στοχαστικά πρότυπα θεωρούν ότι οι χρήστες έχουν διαφορετικές αντιλήψεις για το κόστος των συνδέσμων και κατά συνέπεια έχουν και διαφορετικές αντιλήψεις για το κόστος των εναλλακτικών διαδρομών που ενδεχομένως υπάρχουν για ένα δεδομένο ζευγάρι προέλευσης – προορισμού. Το πρόβλημα αυτής της σε δύο επίπεδα προσέγγισης του προβλήματος εκτίμησης των φόρτων των συνδέσμων ενός δικτύου έγκειται στο ότι πολλές φορές επιβάλλεται η απλοποίηση του δικτύου κατά τη διαδικασία του καταμερισμού στο δίκτυο λόγω του ότι σε μεγάλα δίκτυα οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε μνήμη και κατά συνέπεια ο μεγάλος αριθμός στοιχείων οφείλει να μειωθεί έτσι ώστε η εφαρμογή του αλγόριθμου να γίνει πιο σύντομη, ώστε να έχει και πρακτική αξία. Η μείωση των στοιχείων των αρχείων των δεδομένων γίνεται με την αφαίρεση συνδέσμων οι οποίοι δέχονται λίγο φόρτο. Το αποτέλεσμα είναι το να εκτιμώνται μετακινήσεις, οι οποίες ανήκουν ακριβώς σε αυτούς τους συνδέσμους και κατά τη διαδικασία του καταμερισμού στο δίκτυο να κατανέμονται στους εναπομείναντες συνδέσμους του δικτύου προκαλώντας τους συμφόρηση ακόμα και σε περιόδους που ίσως να μην ανήκουν στις ώρες αιχμής.

Αντίθετα με την παραπάνω προσέγγιση η εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων ενός δικτύου σε ένα επίπεδο φαίνεται να παρακάμπτει το πρόβλημα που παρουσιάστηκε παραπάνω. Μία τέτοια προσέγγιση θα είχε ως προϋπόθεση την εκτίμηση των φόρτων των διαδρομών και κατ'επέκταση και των συνδέσμων του δικτύου απ'ευθείας από τις μετρήσεις των φωρατών, παρακάμπτοντας την ανάγκη εκτίμησης του μητρώου προέλευσης - προορισμού. Μία τέτοια προσέγγιση έχουν προτείνει οι Sherali et al. (1994). Αυτή η μέθοδος έχει το μειονέκτημα του να χρειάζονται μετρήσεις φόρτου ή κόστους σε κάθε σύνδεσμο του δικτύου και μετά ακολουθεί ο καταμερισμός της κυκλοφορίας στο δίκτυο με ένα μη στοχαστικό πρότυπο. Ο καταμερισμός της κυκλοφορίας με τα μη στοχαστικά πρότυπα παρουσιάζει προβλήματα γιατί οι φόρτοι των συνδέσμων δεν καθορίζονται μοναδικά με αυτούς τους αλγόριθμους, σε αντίθεση με τα στοχαστικά πρότυπα, στα οποία αυτό επιτυγχάνεται (Bell, Lam & Iida, 1995). Το πρόβλημα με την παραπάνω μέθοδο δεν είναι βέβαια αυτό, αλλά η δυσκολία του να έχει κάποιος μετρήσεις σε όλους τους συνδέσμους του δικτύου. Σε μεγάλα δίκτυα κάτι τέτοιο είναι πρακτικά αδύνατον.

Το πρότυπο με το οποίο θα ασχοληθούμε κυρίως κινείται σε αυτή τη λογική μιας προσέγγισης σε ένα μόνο επίπεδο. Η εκτίμηση των φόρτων των διαδρομών και κατ'επέκταση και των συνδέσμων, οι οποίοι ανήκουν σ'αυτές, γίνεται με βάση τις μετρήσεις των φόρτων. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιούνται με χρήση φωρατών, οι οποίοι τοποθετούνται κοντά στις εισόδους των συνδέσμων, έτσι ώστε τελικά να μετρούμε την ζήτηση. Αυτή η προϋπόθεση είναι συμβατή με πολλά συστήματα ελέγχου αστικών δικτύων και κυρίως με το σύστημα SCOOT (Hunt et al., 1982). Είναι δε απολύτως συμβατό και με το υπάρχον σύστημα της SIEMENS, που είναι τοποθετημένο στην Αθήνα. Οι μετρήσεις αυτές χρειάζεται να γίνονται μόνο σε ορισμένους συνδέσμους του δικτύου. Δεν χρειάζονται μετρήσεις φόρτου ή κόστους σε όλους τους συνδέσμους του δικτύου..

Το πρότυπο αυτό βασίζεται σε έναν επαναληπτικό αλγόριθμο που χρησιμοποιεί τη μέθοδο των Διαδοχικών Μέσων (Successive Averages), για την εκτίμηση των φόρτων των διαδρομών και κατ'επέκταση και των φόρτων των συνδέσμων, με βάση μόνο τις μετρήσεις. Ο αλγόριθμος αυτός προτάθηκε από τον William H.K Lam (Lam et al., 1991) και από εδώ και πέρα θα αναφερόμαστε σε αυτόν με την συντομογραφία SPFE (Single Class Path Flow Estimator) ή αλλιώς Εκτιμήτρια του Φόρτου των Διαδρομών Μίας Τάξεως Χρηστών.

Το πρότυπο των διαδοχικών μέσων είναι ίσως το μόνο στοχαστικό πρότυπο που φτάνει πάντα σε ισορροπία (Sheffi & Powell, 1979). Κατά συνέπεια θα πρέπει να το θεωρήσουμε και ως ένα από τα πλέον αξιόπιστα στοχαστικά μοντέλα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων σε πραγματικό χρόνο. Στην προσπάθεια για την ανάπτυξη αυτού του προτύπου, με το οποίο επιχειρείται η εκτίμηση των φόρτων όλων των συνδέσμων, απ'ευθείας από τις μετρήσεις σε ορισμένους συνδέσμους αντιμετωπίζονται δύο δυσκολίες :

- i. Η πρώτη από είναι ένα πρόβλημα που σχετίζεται με τη φύση όλων των στοχαστικών προτύπων. Είναι η ανάγκη καθορισμού όλων των εναλλακτικών διαδρομών κίνησης των οχημάτων από μία συγκεκριμένη ζώνη προελεύσεως προς μία ζώνη προορισμού. Όπως έχει αναφερθεί και στο κεφάλαιο της ιστορικής αναδρομής το μόνο στοχαστικό πρότυπο που καταφέρνει να αποφύγει την απαρίθμηση των πιθανών διαδρομών είναι το πρότυπο STOCH, στο οποίο γίνεται κατανομή της πιθανότητας για να ακολουθήσει κάποια διαδρομή ένας χρήστης, στους συνδέσμους από τους οποίους αποτελείται η διαδρομή. Με αυτόν τον τρόπο εξετάζονται μόνο σύνδεσμοι σε αυτό το πρότυπο και όχι διαδρομές. Μία προσπάθεια για να συνδυαστούν τα πρότυπα STOCH και αυτό των διαδοχικών μέσων έγινε από τη Fisk (1980), η οποία προσπάθησε να λύσει με αυτόν τον τρόπο το πρόβλημα του εκ των προτέρων καθορισμού των διαδρομών. Στο πρότυπο SPFE αυτό δεν είναι δυνατόν καθώς απαιτείται ο εκ των προτέρων καθορισμός των διαδρομών, αφού η εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων γίνεται ταυτόχρονα με την εκτίμηση του φόρτου των διαδρομών.
- ii. Η δεύτερη δυσκολία έχει να κάνει με το βήμα της σύγκλισης του προτύπου, το οποίο είναι πολύ μεγάλο. Αυτή είναι μία δυσκολία που καθιστά την πρακτική εφαρμογή του προτύπου των διαδοχικών μέσων μία δύσκολη υπόθεση. Έχουν γίνει προσπάθειες για να εξελιχτεί αυτό το πρότυπο με αλγόριθμους που θα συγκλίνουν πιο γρήγορα σε μία ισορροπία (Chen & Sule Alfa, 1991), (Bell, Lam & Iida, 1995).

Όλα τα πρότυπα στα οποία αναφερθήκαμε παραπάνω έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό. Ανεξάρτητα από το αν θεωρούν ότι οι χρήστες έχουν τέλεια ή μερική (ή εσφαλμένη ενδεχομένως) γνώση του δικτύου, κάνουν την παραδοχή ότι όλοι τους έχουν την ίδια γνώση για το δίκτυο, συνεπώς και την ίδια πληροφόρηση. Είναι φανερό ότι από τη στιγμή που εισάγουμε ένα οποιοδήποτε σύστημα πληροφόρησης (είτε αυτό είναι

δυναμικό ή στατικό), οφείλουμε να διαχωρίσουμε τους χρήστες σε ομάδες (ή τάξεις), ανάλογα με τον βαθμό πληροφόρησης που έχουν για το δίκτυο, εφ'όσον περιμένουμε διαφορετική συμπεριφορά από έναν χρήστη με κάποια πρόσβαση σε πληροφόρηση, από κάποιον που δεν έχει αυτή τη δυνατότητα. Όπως άλλωστε δεν μπορούμε να περιμένουμε την ίδια συμπεριφορά από έναν χρήστη που είναι κάτοχος ενός συστήματος καθοδήγησης (το οποίο βρίσκεται μέσα στο όχημα του), και ενός που έχει πρόσβαση σε συστήματα πληροφόρησης (όπως το VMS και το RDS). Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι οφείλουμε να χωρίζουμε τους χρήστες όχι μόνο σε δύο τάξεις (καθοδηγούμενους και μη-καθοδηγούμενους) αλλά σε περισσότερες, ανάλογα με το πόσους και τι είδους τρόπους πληροφόρησης παρέχω στους χρήστες.

Αυτό το κενό στους υπάρχοντες αλγόριθμους κατανομής στο δίκτυο και εκτίμησης φόρτων επισημάνθηκε από τους Bell, Lam and Iida (1995), οι οποίοι και διαμόρφωσαν τον αλγόριθμο των διαδοχικών μέσων (successive averages) κατάλληλα, έτσι ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί για τη περίπτωση δικτύου, στο οποίο έχουμε προσαρμόσει συστήματα πληροφόρησης ή καθοδήγησης για τους χρήστες.

Ο αλγόριθμος αυτός εκτιμάει φόρτους για όλους τους συνδέσμους του δικτύου, οι οποίοι απαρτίζουν τις διαδρομές των χρηστών στο δίκτυο. Από τη στιγμή που ο σκοπός είναι η πληροφόρηση των χρηστών μπορεί να επικεντρωθεί η προσοχή στο να έχουμε τους φόρτους των διαδρομών οι οποίες συνήθως ακολουθούνται από την πλειοψηφία των χρηστών, δηλαδή αυτές που ανήκουν στο *mental map* (έναν αδρό νοητό χάρτη του δικτύου) του χρήστη, κάτι που μπορεί να γίνει πολύ χρήσιμο, εφ'όσον θέλουμε να έχουμε όσο το δυνατόν περισσότερη πληροφόρηση για αυτές τις διαδρομές, πράγμα λογικό αφού αυτές συγκεντρώνουν τις προτιμήσεις των περισσότερων χρηστών (Stern et al., 1988).

Σκοπός μας είναι ο συγκεκριμένος αλγόριθμος να χρησιμοποιηθεί κυρίως για την εκτίμηση του χρόνου διαδρομής των χρηστών μέσα στο δίκτυο, καθώς και για την εκτίμηση των ουρών αναμονής που σχηματίζουν τα οχήματα πριν από τους κόμβους κατά τις ώρες αιχμής. Απώτερος σκοπός μας είναι να χρησιμοποιηθεί για τη στοιχειοθέτηση περιγραφικών, αποτρεπτικών και συμβουλευτικών μηνυμάτων καθώς τόσο ο χρόνος διαδρομής από συγκεκριμένες ζώνες προέλευσης προς συγκεκριμένες ζώνες προορισμού, όσο και το μέγεθος των ουρών αναμονής κατά τις ώρες αιχμής δίνει μία μάλλον σαφή εικόνα της κατάστασης του δικτύου στους χρήστες. Αυτό βέβαια

μπορεί να γίνει και με άλλους τρόπους όπως η παρουσίαση της εικόνας του δικτύου με βάση τις μέσες ταχύτητες διάνυσης των διαδρομών ή τις καταλήψεις των συνδέσμων.

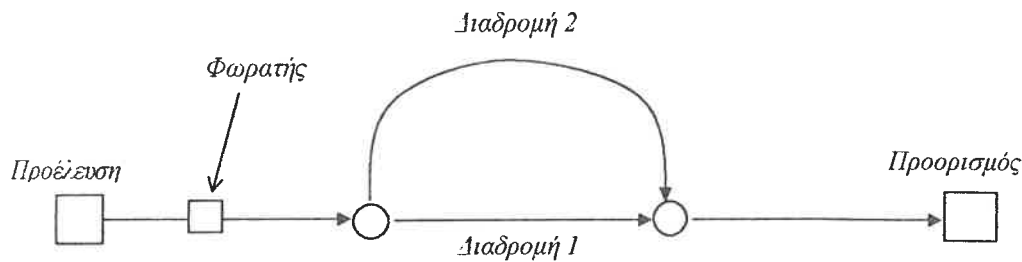
Είναι νομίζω εύλογο ότι από τη στιγμή που οι εκτιμήσεις που κάνουμε φτάνουν άμεσα στους χρήστες με τη μορφή μηνύματος, είναι πολύ σημαντικό αυτές να είναι πολύ αξιόπιστες και άρα να βασίζονται σε όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικές παραδοχές.

2.2. Θεωρητικές Αρχές του Προτύπου της Εκτιμήτριας του Φόρτου των Διαδρομών Μίας Τάξεως Χρηστών (SPFE)

Το πρότυπο αυτό ανήκει στα στοχαστικά μοντέλα καταμερισμού της κυκλοφορίας στο δίκτυο. Σε όλα αυτά τα μοντέλα υπάρχει ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που έχει να κάνει με το κριτήριο της κατανομής των μετακινήσεων στις εναλλακτικές διαδρομές, οι οποίες ενδεχομένως υπάρχουν, για ένα δεδομένο ζευγάρι προέλευσης – προορισμού. Έχει επικρατήσει ένα μοντέλο, το οποίο βασίζεται στα μαθηματικά πρότυπα logit. Αντίθετα τα μοντέλα που βασίζονται στα μαθηματικά πρότυπα probit παρουσιάζουν τέτοια προβλήματα που δεν χρησιμοποιούνται ευρέως.

Με το μαθηματικό μοντέλο logit οι μετακινήσεις που γεννώνται σε μία ζώνη προέλευσης, με σκοπό τη μεταφορά των χρηστών σε μία ζώνη προορισμού, κατανέμονται σε περισσότερες από μία διαδρομές, με κριτήριο την σχέση που έχουν τα κόστη των διαδρομών τα οποία υλοποιούν την ίδια γραμμή επιθυμίας, μεταξύ τους. Η πιθανότητα κάποιος χρήστης να ακολουθήσει κάποια συγκεκριμένη διαδρομή είναι ανάλογη του σχετικού κόστους αυτής της διαδρομής (δηλαδή ανάλογη με το καθαρό κόστος της διαδρομής προς το συνολικό κόστος όλων των διαδρομών). Οι διαδρομές με το μικρότερο κόστος λαμβάνουν και μεγαλύτερο ποσοστό από τους χρήστες που κινούνται στην ίδια γραμμή επιθυμίας.

Στην περίπτωση αυτή βέβαια του προτύπου SPFE δεν υπάρχει κάποιο μητρώο προέλευσης – προορισμού, το οποίο να μας δίνει τον αριθμό των μετακινήσεων που αντιστοιχούν σε κάποιο ζευγάρι προέλευσης – προορισμού. Η βασική αρχή είναι η δυνατότητα καταμερισμού στο δίκτυο, του φόρτου που παρατηρείται με τη βοήθεια των φωρατών σε κάποιο σύνδεσμο, στους συνδέσμους που βρίσκονται κατάντη του φωρατή. Ένα παράδειγμα ενός απλού δικτύου, το οποίο αποτελείται από ένα ζευγάρι προέλευσης - προορισμού και από δύο διαδρομές δίνεται στο σχήμα 2.1.

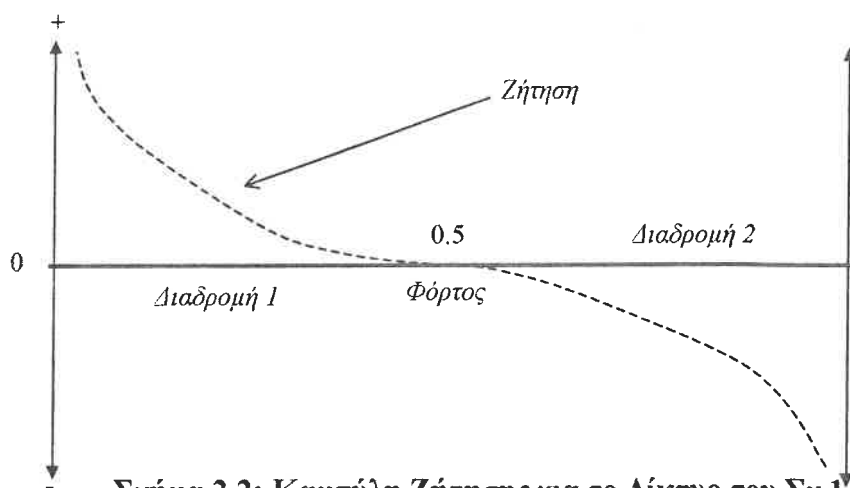


Σχήμα 2.1: Ένα απλό Δίκτυο Δύο Διαδρομών

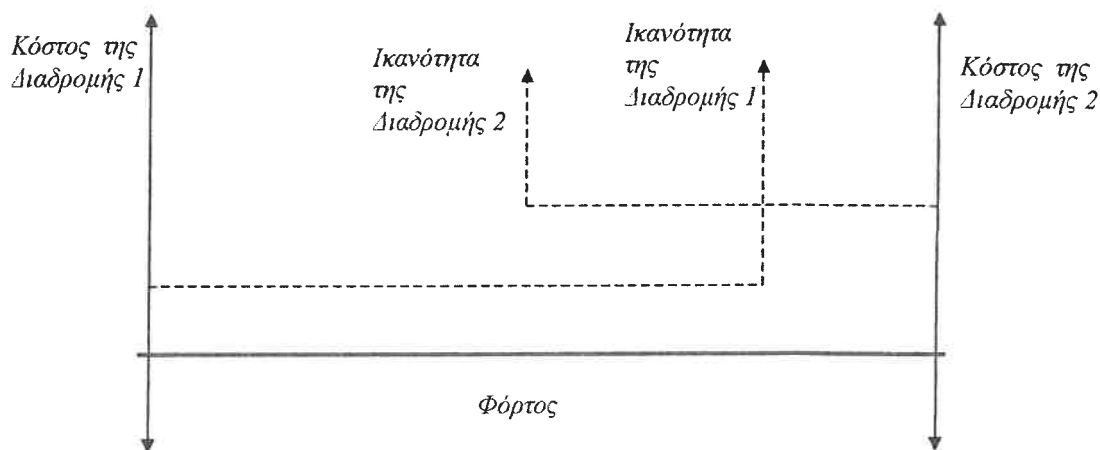
Σε αυτό το δίκτυο υπάρχει ένας φωρατής ο οποίος μετράει τον φόρτο των οχημάτων πριν την απόσχιση των δύο διαδρομών. Ο σύνδεσμος, στον οποίο γίνεται η μέτρηση του φόρτου, ανήκει και στις δύο διαδρομές. Οι δύο διαδρομές έχουν δοσμένο σταθερό κόστος και δεδομένη ικανότητα, και ισχύει ότι το κόστος της διαδρομής 1 είναι μικρότερο από αυτό της διαδρομής 2. Θεωρούμε ότι η ικανότητα της διαδρομής 1 είναι τέτοια ώστε να μην μπορεί μόνη της να καλύψει τη ζήτηση. Έτσι είναι υποχρεωτικό να χρησιμοποιηθούν και οι δύο διαδρομές. Το πρόβλημα είναι με αυτά τα δεδομένα να εκτιμηθούν οι φόρτοι στις δύο διαδρομές.

Είναι πρόδηλο ότι θα υπάρχει μία προτίμηση των χρηστών για τη διαδρομή 1, η οποία όμως δεν μπορεί να είναι απόλυτη καθώς ένα τμήμα των χρηστών θα επιλέξει τη διαδρομή 2. Στο Σχήμα 2.2 δίνεται ένα διάγραμμα το οποίο συνδέει την ζήτηση για τις δύο διαδρομές με τη διαφορά του κόστους των διαδρομών.

Κόστος Διαδρομής 1 – Κόστος Διαδρομής 2

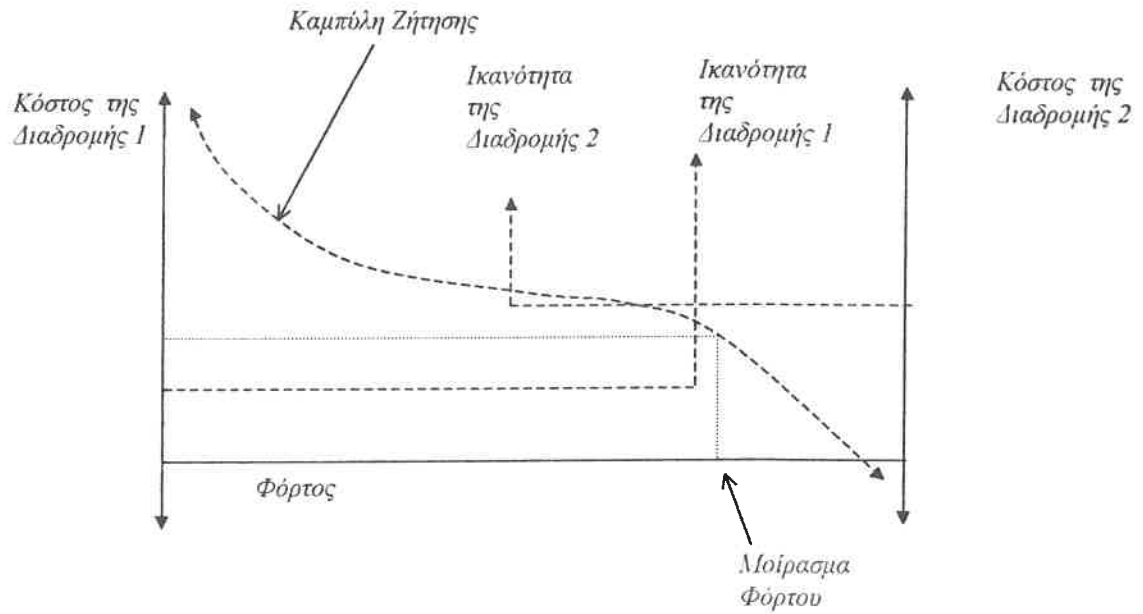


Σχήμα 2.2: Καμπύλη Ζήτησης για το Δίκτυο του Σχ.1

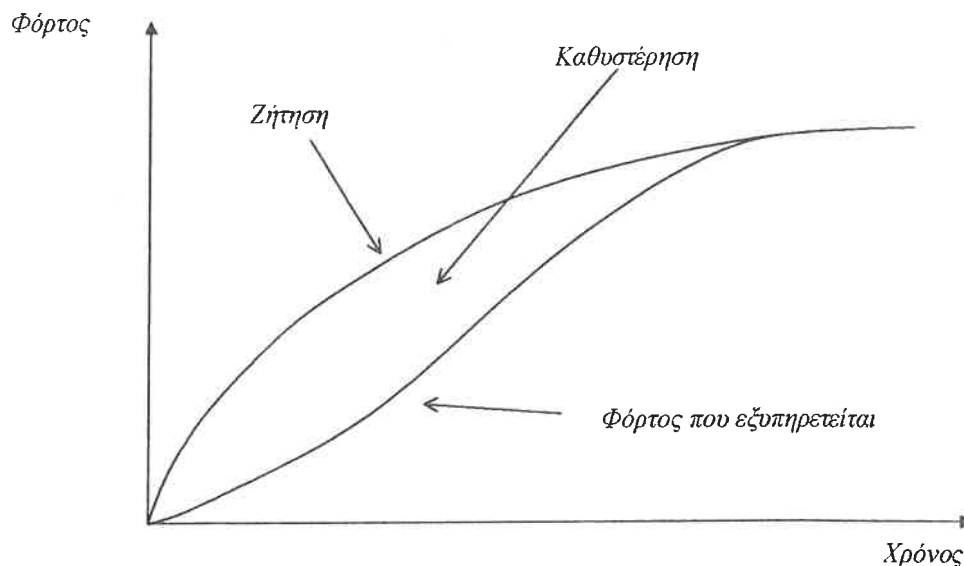


Σχήμα 2.3: Καμπύλες Κόστους για το Δίκτυο του Σχ.1

Στο σχήμα 2.3 παρατίθεται ένα διάγραμμα το οποίο δίνει τη συνάρτηση του κόστους των διαδρομών σε συνάρτηση με τις συνολικές μετακινήσεις που κατανέμονται στις διαδρομές. Οι διαδρομές θεωρείται ότι έχουν ένα σταθερό κόστος (το οποίο είναι το άθροισμα του κόστους των συνδέσμων από τους οποίους αποτελείται η διαδρομή). Το κόστος των διαδρομών παραμένει σταθερό έως ότου η ζήτηση γίνει ίση με την ικανότητα. Όταν συμβεί αυτό το κόστος των διαδρομών αυξάνεται κατακόρυφα, ως συνέπεια της συμφόρησης που προκαλείται σε κάποιους από τους συνδέσμους, οι οποίοι αποτελούν την διαδρομή. Η ισορροπία επέρχεται (και έτσι ο καταμερισμός στο δίκτυο ολοκληρώνεται) όταν συμβεί αυτό που φαίνεται στο σχήμα 2.4 και οι καμπύλες ζήτησης και κόστους έρθουν σε τέτοια θέση, έτσι ώστε να εξυπηρετείται όλη η ζήτηση από την ζώνη προέλευσης προς τη ζώνη προορισμού. Από το διάγραμμα φαίνεται επίσης ότι η ικανότητα της διαδρομής 1 δεν είναι ικανή να καλύψει όλη τη ζήτηση για αυτή τη διαδρομή. Έτσι δεν θα μπορέσουν όλα τα οχήματα να ολοκληρώσουν την κίνηση κατά την γραμμή επιθυμίας από τη συγκεκριμένη ζώνη προέλευσης προς τη ζώνη προορισμού. Γι'αυτό το λόγο θα πρέπει να δημιουργηθεί τέτοια χρονική καθυστέρηση, η οποία να είναι ικανή να προκαλέσει μία ισορροπία μεταξύ στη ζήτηση για την διαδρομή και την ικανότητα της. Η προέλευση αυτής της καθυστέρησης φαίνεται στο σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.4: Ισορροπία Στοχαστικού Πρότυπου καταμερισμού στο Δίκτυο



Σχήμα 2.5: Η αρχή της Κυκλοφοριακής Συμφόρησης

Αυτές είναι και οι αρχές που διέπουν όλα τα στοχαστικά πρότυπα καταμερισμού στο δίκτυο. Είναι προφανές ότι το πρότυπο ανήκει σε αυτά τα πρότυπα που κάνουν καταμερισμό των μετακινήσεων, οι οποίες ανήκουν στην ίδια γραμμή επιθυμίας, σε περισσότερες της μίας διαδρομές.

Πρέπει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με αυτό το πρότυπο η καθυστέρηση και ταυτόχρονα όλα τα φαινόμενα που συνοδεύουν την συμφόρηση που συμβαίνει κατά τις ώρες αιχμής, αρχίζει να δημιουργείται από τη στιγμή που ο φόρτος ξεπεράσει την ικανότητα κάποιας διαδρομής. Η κίνηση των οχημάτων μέσα στο σύνδεσμο, θεωρείται ότι δεν εμποδίζεται από τα υπόλοιπα οχήματα, ακόμα και σε περιπτώσεις στις οποίες ο φόρτος ενός συνδέσμου βρίσκεται πολύ κοντά στην ικανότητα του συνδέσμου. Σε αυτή τη κατάσταση θεωρείται ότι το όχημα θα διανύσει τη διαδρομή σε χρόνο ίσο με το σταθερό κόστος της διαδρομής (το οποίο πρακτικά είναι ο χρόνος τον οποίο χρειάζεται ένα όχημα για καλύψει τη διαδρομή κινούμενο σε κάθε σύνδεσμο, από αυτούς που απαρτίζουν την διαδρομή, με την ταχύτητα ελεύθερης ροής).

Ακόμα και στη περίπτωση που αρχίζει να υπάρχει καθυστέρηση σε κάποια διαδρομή, θεωρείται ότι τα οχήματα κινούνται μέσα στους συνδέσμους με την ταχύτητα ελεύθερης ροής. Η καθυστέρηση οφείλεται στην ύπαρξη κάποιων χώρων αποθήκευσης των οχημάτων που δεν μπορούν να ολοκληρώσουν τη διαδρομή τους, λόγω του ότι η ζήτηση υπερβαίνει την ικανότητα του συνδέσμου. Αυτοί οι χώροι είναι οι (πλασματικές) ουρές αναμονής και θεωρείται ότι αποτελούν χώρους ξεχωριστούς με τους συνδέσμους. Οι καθυστερήσεις στους συνδέσμους οφείλονται στο ότι τα οχήματα, τα οποία κινούνται στους συνδέσμους, όταν διατρέξουν κάποιο σύνδεσμο μπαίνουν σε αυτούς τους χώρους και αναμένουν μέχρι να μπορέσουν να αφήσουν τον σύνδεσμο, για να συνεχίσουν τη διαδρομή τους σε κάποια από τις επόμενες περιόδους.

Τα παραπάνω αποτελούν ένα μέρος από τις θεωρητικές αρχές ενός μαθηματικού προτύπου, το οποίο χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση των αστικών δικτύων. Τα δίκτυα αυτά τα ονομάζουμε δίκτυα *Store and Forward* και μία πιο λεπτομερής παρουσίαση τους θα γίνει σε μία από τις παραγράφους που ακολουθούν.

Μία διαφορά του προτύπου που παρουσιάζεται εδώ με τα περισσότερα στοχαστικά πρότυπα που έχουν παρουσιαστεί μέχρι σήμερα είναι το γεγονός ότι αυτό το πρότυπο

προϋποθέτει τον εξ'αρχής καθορισμό των διαδρομών που υπάρχουν μέσα στο δίκτυο . Στα περισσότερα από τα στοχαστικά πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα γίνεται η προσπάθεια να αποφευχθεί ακριβώς αυτό, δηλαδή η απαρίθμηση όλων των διαδρομών που υπάρχουν σε κάποια ορισμένη περίοδο στο δίκτυο. Αυτή ήταν και η προσπάθεια που έγινε με τον αλγόριθμο STOCH (Dial et al., 1971). Σε Παράγραφο που ακολουθεί θα γίνει μία προσπάθεια σύγκρισης των δύο προτύπων με κριτήριο ακριβώς τη διαφορά που έχουν στη θεώρηση της ύπαρξης των διαδρομών και κυρίως της ύπαρξης τους στο δίκτυο. Θα προταθεί επίσης και μία λύση του προβλήματος με έναν αλγόριθμο γένεσης των διαδρομών, στις οποίες κατανέμονται οι μετακινήσεις.

2.3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΩΝ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ

Η ανάπτυξη του προτύπου της Εκτιμήτριας των Φόρτων των Διαδρομών Δικτύου μιας Τάξεως Χρηστών, βασίστηκε στο μαθηματικό μοντέλο των Διαδοχικών Μέσων. Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μία παρουσίαση αυτού ακριβώς του μοντέλου. Πριν γίνει αυτό θεωρήθηκε σκόπιμη η παρουσίαση των μεταβλητών που λαμβάνουν μέρος στο μοντέλο.

2.3.1 Μεταβλητές που παίρνουν μέρος στην εκτέλεση του αλγόριθμου

- i. Το μητρώο $[A]$ (Link Path Incidence Matrix) εκφράζει το αν ένας σύνδεσμος ανήκει σε κάποια διαδρομή. Έχει ως στοιχεία του τα a_{ij} τα οποία είναι ίσα με το ένα όταν ο σύνδεσμος i ανήκει στη διαδρομή j . Όταν ο σύνδεσμος i δεν ανήκει στη διαδρομή j το αντίστοιχο στοιχείο του μητρώου θα είναι ίσο με το μηδέν.
- ii. Το μητρώο $[A']$ το οποίο σχηματίζεται όπως ακριβώς και το μητρώο $[A]$ με τη μόνη διαφορά ότι αναφέρεται μόνο σε συνδέσμους στους οποίους γίνονται μετρήσεις.
- iii. Το μητρώο $[A'']$ το οποίο σχηματίζεται όπως και τα δύο παραπάνω μητρώα, αλλά αναφέρεται μόνο σε συνδέσμους στους οποίους δεν γίνονται μετρήσεις. Είναι επίσης φανερό ότι ισχύει $[A] = [A'] + [A'']$
- iv. Το διάνυσμα $[v_i']$ το οποίο ισούται με $(v_{i1} \ v_{i2} \ \dots \ v_{ik})^T$ έχει ως στοιχεία του τις μετρήσεις των φόρτων, όταν υπάρχουν μετρήσεις σε k -συνδέσμους μέσα στο δίκτυο.
- v. Το διάνυσμα του σταθερού κόστους των συνδέσμων $[c]$, το οποίο αποτελείται από στοιχεία c_i . Κάθε στοιχείο του διανύσματος $(c_1 \ c_2 \ \dots \ c_i)^T$ εκφράζει τον χρόνο διάνυσης του i -συνδέσμου όταν βέβαια ισχύει ότι ο φόρτος είναι μικρότερος της ικανότητας.

- vi. Το διάνυσμα $[g]$, το οποίο εκφράζει το κόστος της διαδρομής ή των διαδρομών (δηλαδή τον χρόνο που χρειάζεται για να διανυθούν από τα οχήματα). Ισχύει η σχέση: $[g] = [A]^T [c]$
- vii. Το μητρώο των ικανοτήτων των συνδέσμων $[S]$, το οποίο είναι ένα τετραγωνικό μητρώο (διαστάσεων $i \times i$ όπου i ο αριθμός των συνδέσμων). Όλα τα στοιχεία του μητρώου είναι ίσα με το μηδέν εκτός από αυτά της κύριας διαγωνίου, τα οποία είναι ίσα με την ικανότητα των αντίστοιχων συνδέσμων.
- viii. Το διάνυσμα των ουρών των συνδέσμων $[q_i]$, το οποίο είναι αυτό το οποίο θα μου προκύψει από την εφαρμογή του επαναληπτικού αλγόριθμου.
- ix. Το διάνυσμα $[d_i]$, του οποίου τα στοιχεία είναι οι καθυστερήσεις των συνδέσμων στους κόμβους. Αυτό το μητρώο μπορεί να μου προκύψει μετά από την επίλυση του επαναληπτικού αλγόριθμου με μία πράξη. Αυτή η πράξη είναι η εξής:
$$[d_i] = [S]^{-1} [q_i]$$
- x. Το διάνυσμα των φόρτων όλων των συνδέσμων ου δικτύου το οποίο εκτιμάται από τον αλγόριθμο. Αυτό θα είναι το διάνυσμα $[v_i]$.
- xi. Για κάθε περίοδο t θεωρώ ότι κάθε διαδρομή έχει σταθερό φόρτο h_i . Έτσι ως μεταβλητή του αλγόριθμου και του μοντέλου θα πρέπει να θεωρήσουμε και το διάνυσμα των φόρτων των διαδρομών $[h_i]$.
- xii. Για την εφαρμογή του αλγόριθμου χρησιμοποιούνται κάποιες δευτερεύουσες μεταβλητές, οι οποίες σχετίζονται με τις μετρήσεις των φόρτων. Στην ουσία πρόκειται για “σκιάδεις” τιμές των φόρτων των συνδέσμων για τους οποίους υπάρχουν μετρήσεις. Οι τιμές αυτές λαμβάνουν μέρος στην διαδικασία του επαναληπτικού αλγορίθμου, όμως οι τελικές τιμές των φόρτων αυτών των συνδέσμων παραμένουν μετά το τέλος της διαδικασίας αυτές που προέκυψαν από τις μετρήσεις. Το διάνυσμα που περιέχει αυτές ακριβώς τις μεταβλητές είναι το $[z_i]$.
- xiii. Τέτοιες μεταβλητές επίσης χρησιμοποιούνται από τον αλγόριθμο για τον υπολογισμό των ουρών των συνδέσμων. Αυτές οι μεταβλητές σχετίζονται με την ικανότητα των συνδέσμων και σχηματίζουν το διάνυσμα $[u_i]$.
- xiv. Μία μεταβλητή η οποία συνδέεται άμεσα με τον διαχωρισμό που κάνουμε σε καθοδηγούμενους, και μη, χρήστες είναι η α την οποία μπορούμε να την ονομάσουμε παράμετρο (ή συντελεστή) διαχωρισμού. Η τιμή αυτή εξαρτάται από το αν οι χρήστες έχουν κάποια πρόσβαση σε κάποια πληροφορία για το δίκτυο. Εξαρτάται δε και από το είδος καθώς και από τη ποιότητα της πληροφορίας που

δέχεται ο χρήστης (αν είναι στατική ή δυναμική). Είναι φανερό ότι με χρήση αυτού ακριβώς του συντελεστή μπορούμε να χωρίζουμε τους χρήστες του δικτύου σε τάξεις. Οι Bell, Lam και Iida (1995) κάνουν λόγο για δύο μόνο τάξεις χρηστών : για καθοδηγούμενους (για τους οποίους το α παίρνει την τιμή 1.00) και για μη καθοδηγούμενους (για τους οποίους το α παίρνει τη τιμή 0.01).

2.3.2. Παρουσίαση του Προβλήματος

Το πρόβλημα του οποίου η περιγραφή έγινε σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάστηκε από τον William H.K Lam (Lam et al., 1995). Είναι ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης στο οποίο η αντικειμενική συνάρτηση:

$$F(h_t, q_t) = (h_t^T (\ln(h_t) - 1) / \alpha + h_t^T g + 0.5 q_t^T S^{-1} q_t$$

Είναι αντικείμενο ελαχιστοποίησης με όρους τις μετρήσεις των φόρτων στους συνδέσμους, στους οποίους είναι εγκατεστημένοι φωρατές, καθώς επίσης και τις ικανότητες των συνδέσμων.

Άρα οι περιορισμοί θα είναι οι εξής:

- Μετρήσεις Φόρτων

$$v_t' = A' h_t$$

- Ικανότητα Συνδέσμων

$$s > A h_t + q_{t-1} - q_t$$

Η ανάγκη που υπάρχει για να μην παίρνει η μεταβλητή $[h_t]$ αρνητικές τιμές καλύπτεται από την μορφή της αντικειμενικής συνάρτησης. Ακολουθούν κάποιες προτάσεις οι οποίες απορρέουν από τη μορφή του προβλήματος.

Αποδεικνύονται (Bell, Lam & Iida, 1995) δύο σημαντικές προτάσεις:

- i. Με το παραπάνω μοντέλο οι φόρτοι των διαδρομών, και κατ'επέκταση και των συνδέσμων, καθορίζονται με μοναδικό τρόπο (μπορούν να έχουν μόνο μία μοναδική τιμή)
- ii. Το πρότυπο καταμερισμού στο δίκτυο, το οποίο προκύπτει από το παραπάνω μαθηματικό μοντέλο είναι ισοδύναμο με ένα μοντέλο επιλογής διαδρομής που βασίζεται στα μαθηματικά πρότυπα logit .

Μία προσεκτική ματιά στην αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος μπορεί να αποκαλύψει κάποια περισσότερα πράγματα για όσον αφορά το μοντέλο, καθώς και τους λόγους για τους οποίους το μοντέλο του δικτύου που περιγράφει ανήκει στα δίκτυα *Store and Forward*, του οποίου τα βασικά χαρακτηριστικά θα αναλυθούν σε παράγραφο που παρατίθεται στη συνέχεια (παράγραφος 2.4.).

Οι μετακινήσεις επιτρέπεται (και στην ουσία ενθαρρύνονται) να μοιραστούν σε όλο το χώρο του δικτύου (λόγω της ύπαρξης του όρου $(\ln(\mathbf{h}_t) - \mathbf{I}) / \alpha$). Το ίδιο συμβαίνει και με τις ουρές αναμονής για τις οποίες όμως υπάρχει περιορισμός λόγω του όρου $0.5 \mathbf{q}_t^T \mathbf{S}^{-1} \mathbf{q}_t$.

Σκοπός του μοντέλου είναι η δημιουργία ουρών αναμονής μόνο για περιορισμένα χρονικά διαστήματα μέσα στο δίκτυο, δηλαδή κατά τις ώρες αιχμής της ζήτησης. Αυτή η παροδική υπερφόρτωση του δικτύου είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των δικτύων *Store and Forward*.

Το μοντέλο που παρουσιάστηκε παραπάνω μπορεί να λυθεί με τη μέθοδο των διαδοχικών μέσων όπως προτείνεται από τους Lam et al. (1995), του οποίου ο ψευδοκώδικας δίνεται παρακάτω.

Βήμα 1: Αρχικές Συνθήκες

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_t &\leftarrow 0 \\ \mathbf{z}_t &\leftarrow 0 \\ \mathbf{q}_t &\leftarrow 0 \\ n &\leftarrow 1 \end{aligned}$$

Βήμα 2: Μέθοδος των διαδοχικών μέσων

Για όλους τους μετρούμενους συνδέσμους i

$$\begin{aligned} \ln(\mathbf{h}_t)/\alpha &\leftarrow -\mathbf{A}^T \mathbf{c} - \mathbf{A}^T \mathbf{u}_t + \mathbf{A}^T \mathbf{z}_t \\ \text{if } v'_{i,t} &\neq \sum_{\text{all } j} a'_{ij} h_{j,t} \text{ then} \\ z_{i,t} &\leftarrow z_{i,t} + \ln(v'_{i,t}) - \ln\left(\sum_{\text{all } j} a_{ij} h_{j,t}\right) \end{aligned}$$

Για όλους τους συνδέσμους i

$$\begin{aligned} \ln(h_i)/a &\leftarrow -A^T c - A^T u_i + A^T z_i \\ v_{i,t} &\leftarrow \sum_{\text{all } j} a_{ij} h_{j,t} \\ \text{if } s_i < v_{i,t} + q_{i,t-1} &\text{ then } q'_{i,t} \leftarrow v_{i,t} + q_{i,t-1} - s_i \\ &\text{else } q'_{i,t} \leftarrow 0 \\ q_{i,t} &\leftarrow (1/n) q'_{i,t} + (1-1/n) q_{i,t} \\ u_{i,t} &\leftarrow q_{i,t} / s_i \\ n &\leftarrow n + 1 \end{aligned}$$

Επιστροφή στην αρχή του 2ου βήματος
έως τη σύγκλιση σε ισορροπία

Το πρόβλημα του παραπάνω αλγόριθμου είναι το ότι αργεί πολύ να φτάσει σε ισορροπία (λόγω του ότι το βήμα της μεθόδου των διαδοχικών μέσων είναι ίσο με $1/n$). Ο πολύ μεγάλος χρόνος που απαιτείται για τη σύγκλιση του προτύπου καθιστά την εφαρμογή του δύσκολη ειδικά για περιπτώσεις στις οποίες το ζητούμενο είναι η εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων και των διαδρομών του δικτύου σε πραγματικό χρόνο, μία διαδικασία που απαιτεί πρότυπα αξιόπιστα και γρήγορα.

Στο πρότυπο των διαδοχικών μέσων που παρουσιάστηκε από τη Fisk (1980), το πρόβλημα της αργής σύγκλισης θεωρήθηκε ένα από τα μεγάλα προβλήματα του εν γένει. Γι'αυτόν ακριβώς το λόγο έγιναν προσπάθειες για βελτίωση του βήματος της σύγκλισης (για να γίνει δηλαδή πιο μικρό από $1/n$). Το 1991 οι Chen & Sule Alfa παρουσίασαν δύο καινούργια πρότυπα, με τα οποία αποσκοπούσαν ακριβώς στο να μειώσουν το βήμα της σύγκλισης. Η ίδια ανάγκη οδήγησε και τους Bell, Lam και Iida (1995) στο κάνουν ορισμένες αλλαγές στο πρότυπο, που παρουσιάστηκε μόλις παραπάνω. Έτσι προέκυψε το πρότυπο SPFE, του οποίου ο ψευδοκώδικας παρατίθεται παρακάτω.

Πρότυπο SPFE

Βήμα 1: Αρχικές Συνθήκες

$$\mathbf{u}_t \leftarrow \mathbf{0}$$

$$\mathbf{z}_t \leftarrow \mathbf{0}$$

$$\mathbf{q}_t \leftarrow \max\{\mathbf{0}, \mathbf{q}_{t-1} - \mathbf{s}_t + \mathbf{0.0001}\}$$

Βήμα 2: Μέθοδος των διαδοχικών μέσων

Για όλους τους μετρούμενους συνδέσμους i

$$\ln(\mathbf{h}_t)/\alpha \leftarrow -\mathbf{A}^T \mathbf{c} - \mathbf{A}^T \mathbf{u}_t + \mathbf{A}^T \mathbf{z}_t$$

$$\text{if } \mathbf{v}'_{i,t} \neq \sum_{\text{all } j} \mathbf{a}_{ij} \mathbf{h}_{j,t} \text{ then}$$

$$\mathbf{a}\mathbf{z}_{i,t} \leftarrow \mathbf{a}\mathbf{z}_{i,t} + \ln(\mathbf{v}'_{i,t}) - \ln(\sum_{\text{all } j} \mathbf{a}_{ij} \mathbf{h}_{j,t})$$

Για όλους τους συνδέσμους i

$$\ln(\mathbf{h}_t)/\alpha \leftarrow -\mathbf{A}^T \mathbf{c} - \mathbf{A}^T \mathbf{u}_t + \mathbf{A}^T \mathbf{z}_t$$

$$\mathbf{v}_{i,t} \leftarrow \sum_{\text{all } j} \mathbf{a}_{ij} \mathbf{h}_{j,t}$$

$$\text{if } \mathbf{s}_i - \mathbf{v}_{i,t} + \mathbf{q}_{i,t} - \mathbf{q}_{i,t-1} < 0 \text{ then}$$

$$\mathbf{a}\mathbf{u}_{i,t} \leftarrow (\mathbf{a}\mathbf{u}_{i,t} - \ln(\mathbf{s}_i - \mathbf{q}_{i,t-1} + \mathbf{q}_{i,t}) + \mathbf{q}_{i,t}/(\mathbf{s}_i - \mathbf{q}_{i,t-1} + \mathbf{q}_{i,t}) + \ln(\mathbf{v}_{i,t})) \\ (\mathbf{s}_i - \mathbf{q}_{i,t-1} + \mathbf{q}_{i,t})/(2\mathbf{s}_i - \mathbf{q}_{i,t-1} + \mathbf{q}_{i,t})$$

$$\mathbf{q}_{i,t} \leftarrow \mathbf{s}_i \mathbf{u}_{i,t}$$

Επιστροφή στην αρχή του 2ου βήματος
έως τη σύγκλιση σε ισορροπία

2.3.3. Ο Τρόπος λειτουργίας του προτύπου της εκτιμήτριας των φόρτων των διαδρομών δικτύου μίας τάξεως χρηστών

Το πρότυπο της εκτιμήτριας των φόρτων των διαδρομών δικτύου μίας τάξεως χρηστών (SPFE) είναι ένας επαναληπτικός αλγόριθμος με τον οποίο γίνεται η προσπάθεια να γίνει εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων απ'ευθείας από τις μετρήσεις που γίνονται σε ορισμένους μόνο συνδέσμους. Αυτή η εκτίμηση γίνεται με το δεδομένο ότι οι φόρτοι των συνδέσμων, οι οποίοι μετρώνται, είναι σωστοί δίχως κάποιο σφάλμα.

Ως δεδομένα, τουλάχιστον για τα παραδείγματα που έχουν γίνει για το δίκτυο του παραδείγματος που ακολουθεί (η εφαρμογή του αλγόριθμου σε μεγάλα ή αλλιώς σε πραγματικά δίκτυα έχει ορισμένες σημαντικές διαφορές, οι οποίες σχετίζονται με τον καθορισμό των δυνατών διαδρομών μέσα στο δίκτυο), έχουμε :

- Το διάνυσμα του σταθερού κόστους των συνδέσμων.
- Το διάνυσμα των κυκλοφοριακών ικανοτήτων των συνδέσμων
- Το διάνυσμα των μετρήσεων των φόρτων στους συνδέσμους οι οποίοι ανήκουν βέβαια σ'αυτή την κατηγορία.
- Το μητρώο $[A]$, δηλαδή στην ουσία το μητρώο που μου δείχνει από ποιους συνδέσμους αποτελούνται οι διαδρομές που υπάρχουν στο δίκτυο. Κατ'επέκταση είναι γνωστά και τα μητρώα $[A']$ και $[A'']$.

Είναι εύλογο ότι ο αλγόριθμος αρχίζει με το διάβασμα των αρχείων που περιέχουν τα δεδομένα. Θεωρούμε ως δεδομένο ότι είναι γνωστές εκ των προτέρων οι ελάχιστες διαδρομές που υπάρχουν στο δίκτυο. Με αυτό τον τρόπο σχηματίζω και τα μητρώα $[A]$, $[A']$ και $[A'']$. Το μητρώο $[A']$ αναφέρεται στους συνδέσμους οι οποίοι φέρουν κάποιον φωρατή. Αντίστοιχα το μητρώο $[A'']$ αναφέρεται σε αυτούς τους συνδέσμους στους οποίους δεν γίνονται μετρήσεις φόρτων.

Στη συνέχεια για κάθε σύνδεσμο, και αφού καθοριστεί αν ανήκει στους μετρούμενους ή σ'αυτούς για τους οποίους δεν υπάρχουν μετρήσεις, μπαίνει σε λειτουργία ο επαναληπτικός αλγόριθμος. Στο πρώτο μέρος, έτσι όπως αυτό εμφανίζεται στον ψευδό-κώδικα, δημιουργούμε “σκιάδεις” τιμές για τους φόρτους των συνδέσμων, οι οποίοι μετρούνται, με χρήση της μεταβλητής $[z_i]$. Με αυτό το τρόπο μπαίνουν και αυτοί οι σύνδεσμοι στη διαδικασία του μοιράσματος των φόρτων χωρίς όμως να επηρεάζονται τα τελικά αποτελέσματα.

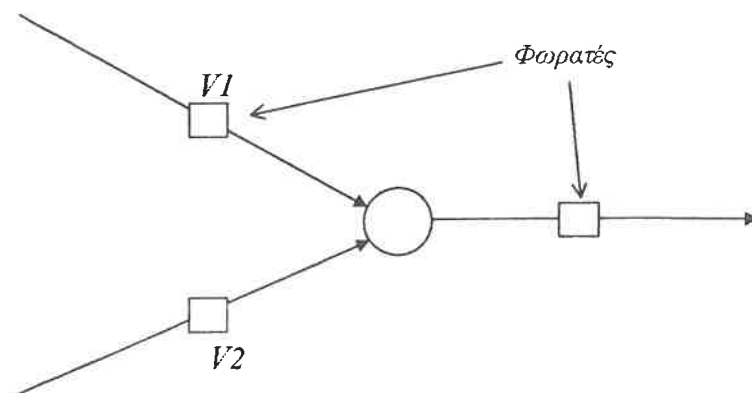
Στη συνέχεια, και ενώ βρισκόμαστε ακόμα στο πρώτο μέρος του αλγορίθμου, οι τιμές των φόρτων των ελαχίστων διαδρομών χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των καινούργιων τιμών των ψευδό - φόρτων $[z_i]$.

Στο δεύτερο μέρος του αλγορίθμου (όπου πλέον παίρνουν μέρος όλοι οι σύνδεσμοι ανεξάρτητα από το αν είναι μετρούμενοι ή όχι), οι "σκιώδεις τιμές" των φόρτων ξαναχρησιμοποιούνται, αυτή τη φορά ως δεδομένοι, για τον υπολογισμό των καινούργιων τιμών των φόρτων των διαδρομών. Οι τιμές οι οποίες μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια των επαναλήψεων είναι μόνο αυτές των διανυσμάτων $[z_i]$ και $[u_i]$. Με βάση αυτές πριν από κάθε βήμα του αλγορίθμου υπολογίζεται η τιμή του διανύσματος $[h_i]$ (των φόρτων των διαδρομών), η οποία χρησιμοποιείται στο επόμενο βήμα για τον υπολογισμό του φόρτου των συνδέσμων από τους οποίους αποτελείται η διαδρομή.

Η βάση σε αυτό το πρότυπο βρίσκεται στην ταυτόχρονη εκτίμηση των φόρτων των διαδρομών και των συνδέσμων από τους οποίους αποτελούνται. Ο όρος "ταυτόχρονη" στην συγκεκριμένη περίπτωση έχει το νόημα το ότι δεν υπάρχουν δύο ξεχωριστές διαδικασίες, όπως στην "παραδοσιακή" προσέγγιση της εκτίμησης των φόρτων των συνδέσμων, όπου εκτιμάται πρώτα το μητρώο προέλευσης – προορισμού με κατάλληλο πρότυπο και στη συνέχεια με κάποιο πρότυπο καταμερισμού (στοχαστικό ή αιτιοκρατικό) βρίσκονται οι φόρτοι των συνδέσμων. Σε αυτή την περίπτωση τα επίπεδα δεν είναι ξεχωριστά αλλά τόσο οι φόρτοι των διαδρομών όσο και οι φόρτοι των συνδέσμων μπαίνουν στην επαναληπτική διαδικασία και καθορίζουν το ένα το άλλο. Αυτό γίνεται με χρήση των ψευδό- μεταβλητών $[z_i]$ και $[u_i]$ οι οποίες σχετίζονται με τις μετρήσεις των φόρτων και την χωρητικότητα των συνδέσμων αντίστοιχα.

Ο αλγόριθμος συγκλίνει πάντα σε ισορροπία με την προϋπόθεση ότι υπάρχει κάποια λογική λύση του προβλήματος. Όταν αναφερόμαστε σε λογική λύση του προβλήματος εννοούμε ότι οι μετρήσεις των φορατών είναι τέτοιες ώστε το σύστημα να μπορεί να βρει μία ισορροπία. Η αντίθετη περίπτωση, δηλαδή η περίπτωση που το πρότυπο δεν μπορεί να βρει μία ισορροπία δεν πρέπει να θεωρηθεί απίθανη αφού στην προσπάθεια για απλοποίηση των δικτύων αφαιρούνται κάποιοι σύνδεσμοι. Έτσι μπορεί να προκύψουν περιπτώσεις στις οποίες έχουμε "εξαφάνιση" φόρτου ή και "γένεση" φόρτου. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν έχουμε δύο διαδοχικούς μετρούμενους συνδέσμους στο δίκτυο, οι οποίοι δεν έχουν εισροές ή εκροές φόρτου από άλλους συνδέσμους σύμφωνα με το μοντέλο του δικτύου, που έχουμε υιοθετήσει. Είναι όμως φανερό ότι αν παρεμβάλλονται και άλλοι σύνδεσμοι τους οποίους έχουμε αγνοήσει στο μοντέλο, τότε

οι ενδείξεις των φωρατών μπορεί κάλλιστα να είναι διαφορετικές, πράγμα όμως που δεν θα οδηγεί το πρότυπο σε κάποια ισορροπία.

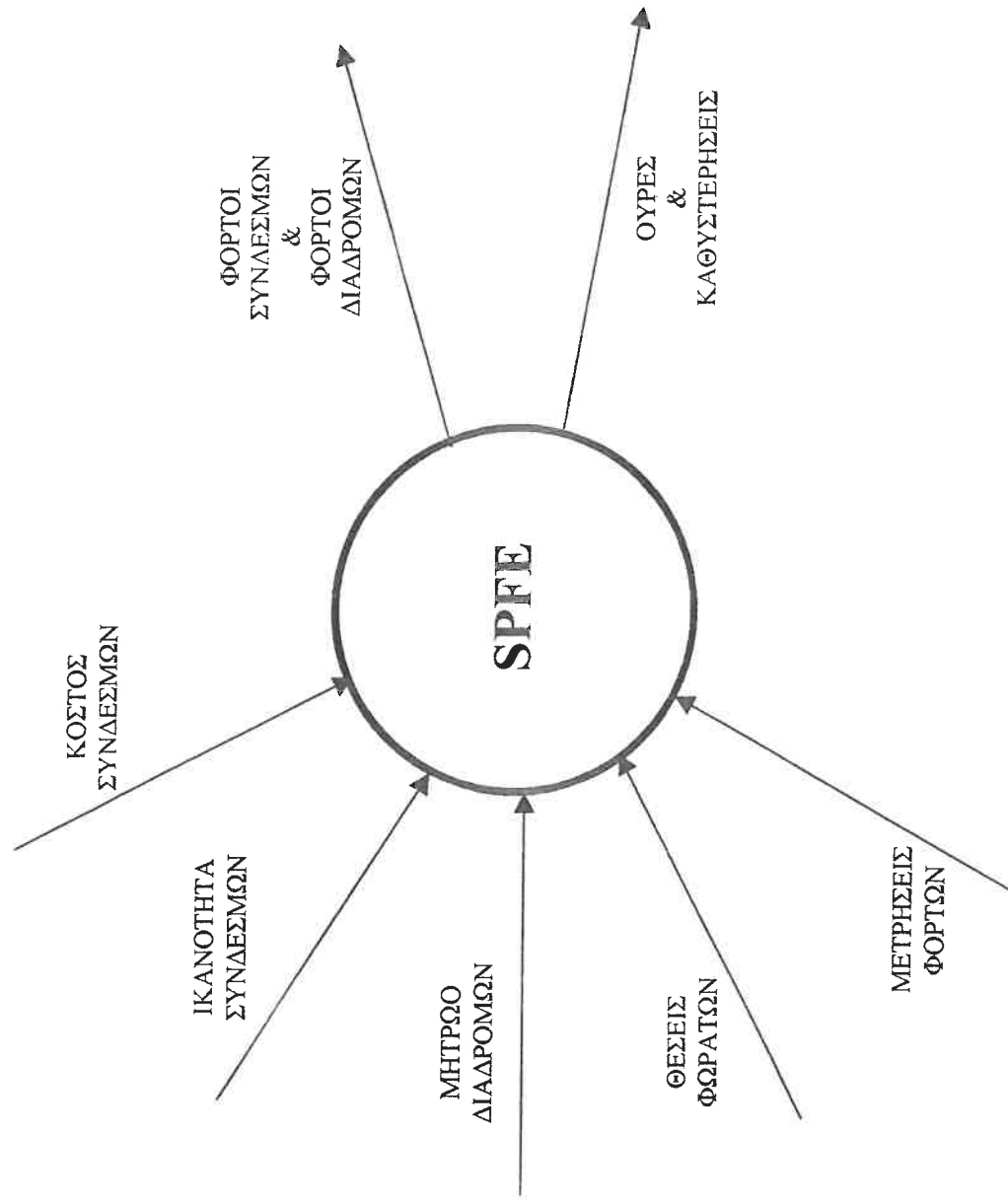


Σχήμα 2.6: Το πρόβλημα της ασυνέχειας στην κατανομή του φόρτου

Μία πρώτη κριτική του προτύπου θα πρέπει ενδεχομένως να σταθεί στο πως "αντιλαμβάνεται" το πρότυπο το δίκτυο. Το δίκτυο αποτελείται από ένα σύνολο διαδρομών, οι οποίες με τη σειρά τους αποτελούνται από ένα σύνολο συνδέσμων. Οι κόμβοι για το πρότυπο αυτό δεν έχουν κάποια καθορισμένη χωρητικότητα. Στην ουσία θεωρείται ότι έχουν αόριστη χωρητικότητα η οποία αποκλειστικά από τη χωρητικότητα των συνδέσμων που ενώνουν.

Μία από τις προτάσεις των Bell, Lam και Iida (1995) είναι το ότι το πρότυπο είναι ισοδύναμο με ένα πρότυπο επιλογής διαδρομής, το οποίο βασίζεται στα μαθηματικά πρότυπα logit. Στο σημείο αυτό τίθενται δύο πολύ σημαντικά ζητήματα που σχετίζονται με τρόπο με τον οποίο το πρότυπο μοιράζει τους φόρτους στις διάφορες διαδρομές του δικτύου.

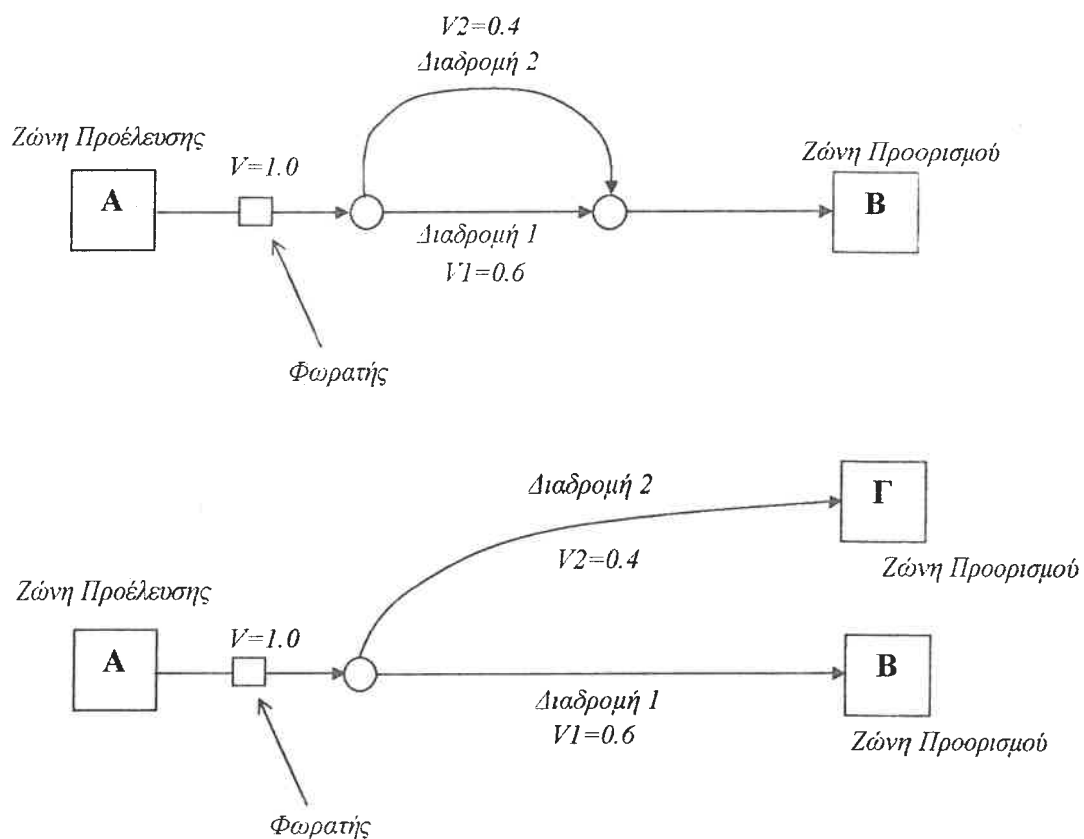
Το πρότυπο δεν αναγνωρίζει τις έννοιες της ζώνης προέλευσης και της ζώνης προορισμού, παρά μόνο διαδρομές, οι οποίες υπάρχουν μέσα στο δίκτυο. Αυτό είναι αναγκαίο αφού ο φόρτος που εμφανίζεται στους φωρατές είναι άγνωστο τι σύνθεσης



Σχήμα 2.7: Ροή δεδομένων στο πρότυπο SPFE (Single Class Path Flow Estimator)

Κιόρδης, Αλέξανδρος. Το πρότυπο των διαδοχικών μέσων για τη εκτίμηση των φόρτων των συνδέσεων απευθείας από τις μετρήσεις φόρτων

είναι, δηλαδή ποια ήταν η ζώνη προέλευσης του και ποια η ζώνη προορισμού του. Αυτή είναι και μία κύρια διαφορά της ανασύνθεσης από τη φόρτιση, καθώς στην τελευταία είναι ανά πάσα στιγμή γνωστή η σύνθεση των χρηστών που διέρχονται από κάποιον σύνδεσμο. Με το να μην αναγνωρίζονται τα άκρα της μετακίνησης είναι πρόδηλο ότι η έννοια του καταμερισμού που βασίζεται στην έννοια του logit μεταβάλλεται αφού κατά τη φόρτιση του δικτύου ο καταμερισμός με αυτόν τον τρόπο γίνεται με το να κατανέμονται οι εκτιμώμενες μετακινήσεις που κινούνται σε μία γραμμή επιθυμίας, στις διαδρομές που υλοποιούν αυτήν ακριβώς τη γραμμή επιθυμίας στο δίκτυο.

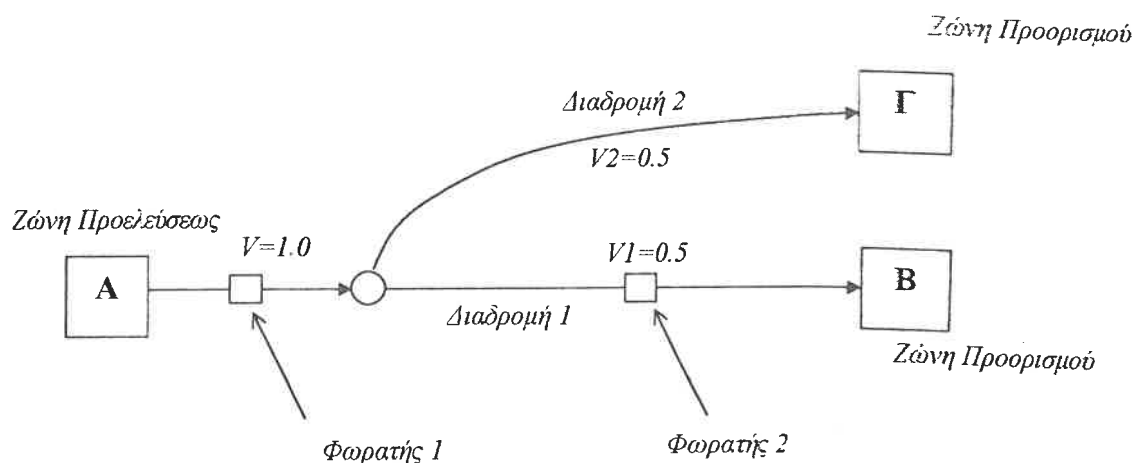


Σχήμα 2.8: Δύο παραδείγματα δικτύων στα οποία εφαρμόζεται η μέθοδος που βασίζεται στα πρότυπα logit

Στα δύο δίκτυα του σχήματος 2.8 η διαδικασία της κατανομής των φόρτων είναι ισοδύναμη. Το πρότυπο αυτό κατανέμει τον φόρτο που παρουσιάζεται στον φωρατή που βρίσκεται πριν από την απόσχιση των δύο διαδρομών στις διαδρομές σύμφωνα με το πρότυπο logit. Δηλαδή η κατανομή γίνεται με κριτήριο το κόστος των διαδρομών ανεξάρτητα από το αν οι διαδρομές αυτές εξυπηρετούν μετακινήσεις στα ίδια άκρα.

Στη περίπτωση του παραδείγματος του σχήματος 2.8, αν θεωρήσουμε ότι τα κόστη των διαδρομών 1 και 2 είναι τα ίδια και για τα δύο δίκτυα, τότε και η κατανομή του κόστους των δύο διαδρομών θα είναι η ίδια και στις δύο περιπτώσεις. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα το ποσοστό του φόρτου, ο οποίος διέρχεται από τον σύνδεσμο που βρίσκεται ο φωρατής, που αναλογεί στην διαδρομή 2 στην περίπτωση του πρώτου δικτύου, να είναι το ίδιο με το ποσοστό του φόρτου που θα παραλάβει η διαδρομή 2 και στην δεύτερη περίπτωση. Αυτό, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οφείλεται στο ότι το πρότυπο αδυνατεί να καταχωρήσει τις διαδρομές του δικτύου σε ομάδες σύμφωνα με τα άκρα της μετακίνησης που εκφράζουν. Αντ'αυτού θεωρεί ότι όλες οι διαδρομές, οι οποίες διέρχονται από κάποιον φωρατή, μοιράζονται τον φόρτο που παρουσιάζεται στον σύνδεσμο, στον οποίο είναι τοποθετημένος ο φωρατής, εξαιτίας του γεγονότος ότι οι φωρατές δεν έχουν την δυνατότητα να καθορίζουν την σύνθεση των χωριστών, σε όσον αφορά στα άκρα της μετακίνησής τους.

Η λύση για να αρθεί το πρόβλημα στο δεύτερο δίκτυο θα ήταν η τοποθέτηση ενός ακόμα φωρατή σε κάποια από τις δύο διαδρομές, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.9.



Σχήμα 2.9: Η επίλυση του προβλήματος με τοποθέτηση και δεύτερου φωρατή

Υπάρχει πάντως απόδειξη (Bell, Lam & Iida, 1995), ότι το παραπάνω μοντέλο του οποίου παρουσιάσαμε μία πιθανή περίπτωση λειτουργίας είναι ισοδύναμο με ένα μοντέλο logit. Για να συμβεί όμως κάτι τέτοιο, όπως είδαμε στο παραπάνω απλό παράδειγμα που παραθέσαμε, σημαντικό ρόλο παίζει η θέση των φωρατών στο δίκτυο, ένα θέμα το οποίο θα εξετάσουμε περισσότερο διεξοδικά παρακάτω.

Ένα άλλο θέμα που γίνεται εμφανές από τον ψευδοκώδικα του αλγόριθμου που παραθέτουμε είναι το γεγονός ότι η επήρεια των καθυστερήσεων στους συνδέσμους, δεν λαμβάνεται υπ'όψιν με άμεση χρήση του διανύσματος των καθυστερήσεων $[d_i]$, κάτι που μπορείτε να παρατηρήσετε από το γεγονός ότι μόνο το σταθερό κόστος των συνδέσμων λαμβάνει μέρος κατά την εκτέλεση του προτύπου. Η κυκλοφοριακή συμφόρηση λαμβάνεται υπ'όψιν με χρήση των ουρών αναμονής, οι οποίες στην ουσία μειώνουν σε κάθε περίοδο τον φόρτο των διαδρομών. Όσο ο φόρτος των ουρών αναμονής αυξάνεται τόσο μειώνεται η χωρητικότητα του συνδέσμου. Το να μένει ανεπηρέαστο το κόστος των συνδέσμων από την ύπαρξη των ουρών είναι μία παραδοχή των δικτύων *store & forward*, τα οποία αναλύουμε σε ένα από τα επόμενα κεφάλαια. Αυτό επιτυγχάνεται με το πέρασμα της ψευδός – μεταβλητής $[u_i]$, η οποία εξαρτάται άμεσα από τις ουρές αναμονής των συνδέσμων. Αύξηση των ουρών αναμονής των συνδέσμων σημαίνει και αύξηση των τιμών των στοιχείων του διανύσματος $[u_i]$. Με τη σειρά της αυτή η μεταβλητή μπαίνει στον υπολογισμό των φόρτων των διαδρομών του δικτύου. Ο ρόλος της είναι το να μειώνει τον φόρτο των διαδρομών. Στην ουσία πρόκειται για μία πρόσθετη αντίσταση μετακίνησης.

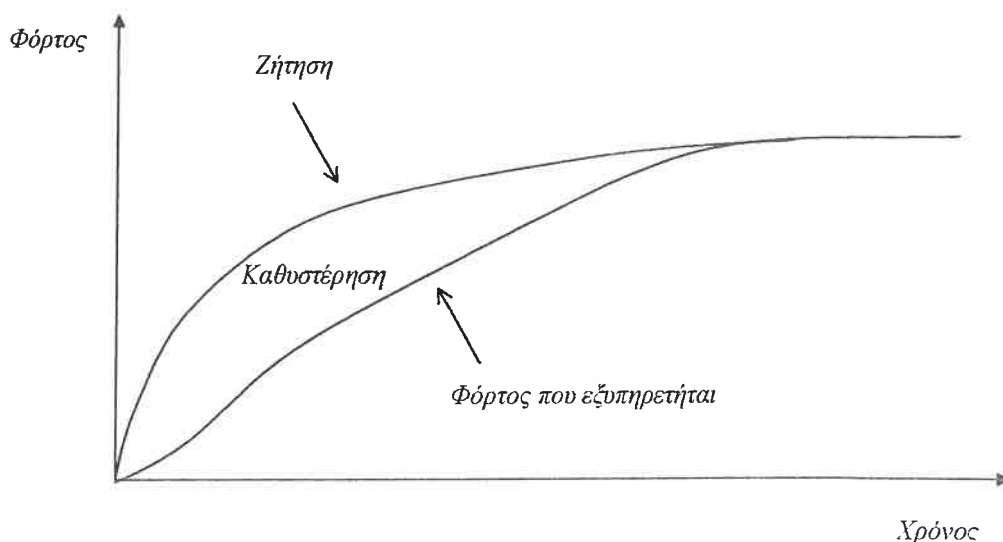
Ο τρόπος με τον οποίον επιδρούν τα φαινόμενα συμφόρησης στους φόρτους των διαδρομών παρουσιάζει ενδιαφέρον αφού με τα πρότυπα, που χρησιμοποιούνται στην πράξη, υπάρχει πρόβλημα ως προς το γεγονός ότι μεγάλες ουρές αναμονής μειώνουν στο μηδέν τους φόρτους των διαδρομών. Το αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι οι σημαντικές διαφορές στους φόρτους των διαδρομών από τη μία περίοδο στην επόμενη. Αυτό επιδρά στους φόρτους των συνδέσμων με το να φαίνεται από τη μία περίοδο στην επόμενη ότι στους συνδέσμους που στη μία περίοδο έχουμε συμφόρηση, στην επόμενη παρουσιάζουν πολύ μικρό φόρτο. Αυτές οι πολύ μεγάλες διακυμάνσεις στους φόρτους των συνδέσμων προκαλούν μία αμφισβήτηση για την ρεαλιστικότητα των προτύπων καταμερισμού στο δίκτυο.

Το αν κάτι τέτοιο συμβαίνει και με το πρότυπο που παρουσιάζουμε εδώ θα εξεταστεί σε ένα από τα επόμενα κεφάλαια.

2.4. Η ΕΝΝΟΙΑ ΕΝΟΣ STORE AND FORWARD ΔΙΚΤΥΟΥ

Στη προσπάθεια για την ανάπτυξη ενός προτύπου που θα προσομοιώνει με ακρίβεια τη κίνηση όλων των οχημάτων μέσα στο δίκτυο, εφ'όσον το ζητούμενο είναι ένα πρότυπο, του οποίου τα αποτελέσματα καταφύγαμε σε μερικές, σχεδόν υποχρεωτικές, απλοποιήσεις. Ένα μέρος από αυτές στοιχειοθετούν την έννοια του *store & forward* δικτύου, δηλαδή ενός δικτύου στο οποίο γίνεται αποδεκτή η ύπαρξη ενός είδους "χώρου" αποθήκευσης των οχημάτων αυτών που, λόγω της περιορισμένης ικανότητας του συνδέσμου, δεν καταφέρνουν να φύγουν σε μία περίοδο και έτσι σχηματίζουν μία "πλασματική" ουρά αναμονής, στην οποία παραμένουν έως ότου εξέλθουν τον σύνδεσμο σε μία άλλη χρονική περίοδο.

Αυτή η απλοποίηση έχει διατυπωθεί πολύ πρόσφατα από ερευνητές οι οποίοι ασχολούνται με δυναμικές τεχνικές κατανομής της κυκλοφορίας στο δίκτυο όπως ο D.Gazis(1995) ή και οι Zawack και Tompson (1987) και οι Hamed-Becheroun (1992). Η υιοθέτηση αυτού του μοντέλου έχει να κάνει με την έννοια ενός περισσότερο "δυναμικού" δικτύου, στο οποίο οι σύνδεσμοι δεν συνδέουν τους κόμβους μόνο στον χώρο (κατά τα "στατικά" πρότυπα που έχουμε συνηθίσει) αλλά και στον χρόνο, δείχνοντας στην ουσία την πολύ βασική ανάγκη να προστεθεί και ο άξονας του χρόνου στο "στατικό" διδιάστατο σύστημα αξόνων, το οποίο αντιπροσωπεύει τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε το δίκτυο. Έτσι με αυτή την προσθήκη, το δίκτυο μετατρέπεται σε ένα δυναμικό σύστημα το οποίο δύναται να μεταβάλλεται στον χώρο και στον χρόνο.



Σχήμα 2.10: Η Αρχή Δημιουργίας της Συμφόρεσης

Πρέπει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με αυτό το πρότυπο η καθυστέρηση και ταυτόχρονα όλα τα φαινόμενα που συνοδεύουν την συμφόρηση που συμβαίνει κατά τις ώρες αιχμής, αρχίζει να δημιουργείται από τη στιγμή που ο φόρτος ξεπεράσει την ικανότητα κάποιας διαδρομής. Η κίνηση των οχημάτων μέσα στο σύνδεσμο, θεωρείται ότι δεν εμποδίζεται από τα υπόλοιπα οχήματα, ακόμα και σε περιπτώσεις στις οποίες ο φόρτος ενός συνδέσμου βρίσκεται πολύ κοντά στην ικανότητα του συνδέσμου. Σε αυτή τη κατάσταση θεωρείται ότι το όχημα θα διανύσει τη διαδρομή σε χρόνο ίσο με το σταθερό κόστος της διαδρομής (το οποίο πρακτικά είναι ο χρόνος τον οποίο χρειάζεται ένα όχημα για καλύψει τη διαδρομή κινούμενο σε κάθε σύνδεσμο, από αυτούς που απαρτίζουν την διαδρομή, με την ταχύτητα ελεύθερης ροής).

Έτσι με αυτό τον τρόπο το ολικό κόστος των συνδέσμων και κατ'επέκταση και των διαδρομών από τις οποίες απαρτίζονται μπορεί να αναλυθεί σε δύο "συνιστώσες": Στο σταθερό κόστος (το οποίο όπως αναφέραμε είναι ο χρόνος που χρειάζεται ένα όχημα για να διανύσει έναν σύνδεσμο με την ταχύτητα ελεύθερης ροής) και ένα το οποίο

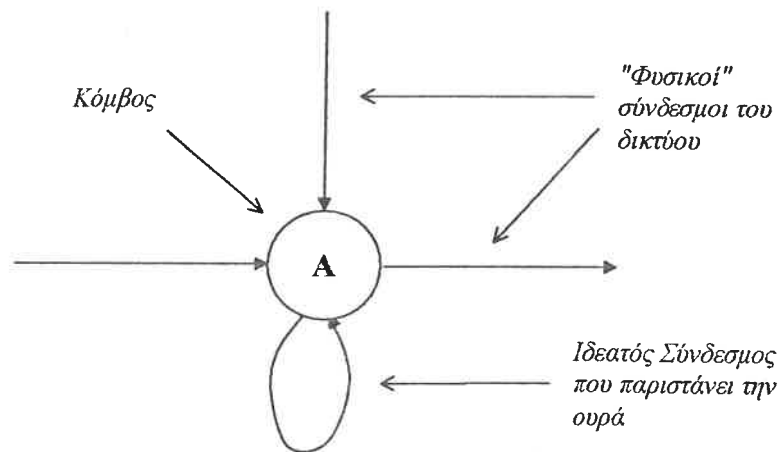
καθορίζεται από τη διαφορά της ζήτησης από την ικανότητα των συνδέσμων και το οποίο είναι η καθυστέρηση.

Ας θεωρήσουμε λοιπόν ένα όχημα το οποίο εισέρχεται στον σύνδεσμο ij τη χρονική στιγμή t . Ο σύνδεσμος έχει δύο βασικά μεγέθη που τον χαρακτηρίζουν: το ένα είναι το σταθερό κόστος, όπως το περιγράψαμε παραπάνω. Το δεύτερο είναι η ικανότητα του συνδέσμου, δηλαδή ο μέγιστος αριθμός οχημάτων που μπορεί να εξυπηρετήσει ο σύνδεσμος σε κάποια χρονική περίοδο, έτσι ώστε να κινούνται σε συνθήκες ελεύθερης ροής. Σε αυτό το σημείο πιστεύουμε ότι είναι σκόπιμο να αναφερθούμε σε μία βασική σύμβαση που κάνουμε και έχει να κάνει με τον κανόνα του FIFO (First-In-First-Out). Αυτό που περιγράφεται με αυτόν τον κανόνα είναι το γεγονός ότι τα οχήματα εξέρχονται από τον σύνδεσμο με την ίδια σειρά με την οποία εισήλθαν σε αυτόν. Ο D.Gazis (1995) χρησιμοποιεί έναν πολύ αυστηρό και άκαμπτο κανόνα FIFO στην προσπάθεια του να ορίσει τα "κανάλια εξυπηρέτησης". Αντίθετα οι Bell, Lam και Iida (1995) επανεξέτασαν τη σκοπιμότητα ενός τόσο άκαμπτου κανόνα καθώς μία τέτοια σύμβαση είναι μεν ρεαλιστική και ίσως αναγκαία για τις ουρές, αλλά μάλλον ακατάλληλη για να διέπει την κίνηση των οχημάτων στους συνδέσμους ειδικά σε συνθήκες όπου δεν έχουμε φαινόμενα συμφόρησης, και όπου το προσπέρασμα είναι κάτι επιτρεπτό. Βέβαια αν δεν δεχθούμε αυτόν τον κανόνα εν γένει θα προκύψουν πολλά προβλήματα, τα οποία θα έχουν να κάνουν ακριβώς με τις απλοποιητικές παραδοχές που κάνουμε. Έτσι πιστεύουμε ότι είναι σκόπιμο να δεχτούμε αυτά που η συμβατική φιλοσοφία του κανόνα FIFO προστάζει, έτσι ώστε να απλοποιήσουμε το πρόβλημα. Η οποιαδήποτε παρεμπόδιση από οχήματα που κινούνται σιγά θεωρούμε ότι αποτελεί φαινόμενο συμφόρησης που οφείλεται σε κάποιο "συμβάν" (incident).

Όπως φαίνεται και από το σχήμα 2.13, το οποίο ακολουθεί, το όχημα που έχει εισέλθει στον σύνδεσμο ij μπορεί να φτάσει στον κόμβο j σε χρόνο ίσο με το σταθερό κόστος του συνδέσμου, αν ο αριθμός των οχημάτων που κινούνται την ίδια ώρα στην διαδρομή αυτή (ή που ανήκουν σε κάποια ουρά που έχει σχηματιστεί σε κάποια προηγούμενη περίοδο) δεν ξεπερνά την ικανότητα του συνδέσμου. Αν το όχημα δεν καταφέρει να εξέλθει από τον σύνδεσμο μέσα σε αυτόν τον χρόνο, θα αποθηκευτεί σε μία "πλασματική" ουρά και θα εξέλθει από τον σύνδεσμο σε μία από τις επόμενες περιόδους. Εδώ βέβαια είναι σχεδόν εμφανές ότι κάνουμε την παραδοχή ότι ο χώρος αποθήκευσης των οχημάτων είναι ξεχωριστός από τον ίδιο τον σύνδεσμο. Έτσι είναι επόμενο τα οχήματα που εισέρχονται στον σύνδεσμο σε κάποια χρονική στιγμή

διατρέχουν τον σύνδεσμο σε χρόνο ίσο με το σταθερό κόστος του συνδέσμου, δηλαδή χωρίς να παρεμποδίζονται από τα οχήματα, τα οποία βρίσκονται στην ουρά από την περασμένη περίοδο, και μπαίνουν με τη σειρά τους στον πλασματικό χώρο αποθήκευσης της ουράς, αναμένοντας την έξοδο τους. Το πρόσθετο κόστος των συνδέσμων, το οποίο καθορίζεται από την ζήτηση, εκφράζει ακριβώς τον χρόνο που χρειάζεται ένα όχημα να παραμείνει στην ουρά έτσι ώστε να έρθει η σειρά του να αφήσει τον σύνδεσμο. Στην πραγματικότητα λοιπόν και έχοντας στο μυαλό μας τον κανόνα FIFO, το κόστος ενός συνδέσμου για κάθε όχημα αποτελείται μόνο από την μία εκ των δύο παραπάνω "συνιστωσών" του κόστους: το σταθερό κόστος του συνδέσμου. Αντιθέτως το κόστος μίας διαδρομής θα αποτελείται και από τα δύο κόστη, καθώς ένα όχημα που κινείται κατά την γραμμή επιθυμίας από μία συγκεκριμένη ζώνη προέλευσης προς μία συγκεκριμένη ζώνη προορισμού διατρέχει μεν τους συνδέσμους, οι οποίοι απαρτίζουν την διαδρομή, με την ταχύτητα ελεύθερης ροής (και άρα σε χρόνο ίσο με το σταθερό κόστος), αλλά παραμένει για κάποια ή κάποιες περιόδους καθηλωμένο στις ουρές των συνδέσμων για όσο χρόνο χρειάζεται έως ότου έρθει η σειρά του για να αφήσει τον σύνδεσμο και να συνεχίσει στον επόμενο σύνδεσμο που ανήκει στη διαδρομή.

Αν ήταν ανάγκη να παραστήσουμε αυτόν ακριβώς τον χώρο αποθήκευσης της ουράς με κάποιον τρόπο, θα μπορούσαμε να τον συμβολίσουμε με έναν *ψευδό*-σύνδεσμο, ο οποίος θα είχε ως αρχή και ως τέλος τον ίδιο κόμβο, ενώ το κόστος του θα ήταν ίσο με την καθυστέρηση στον αντίστοιχο σύνδεσμο.



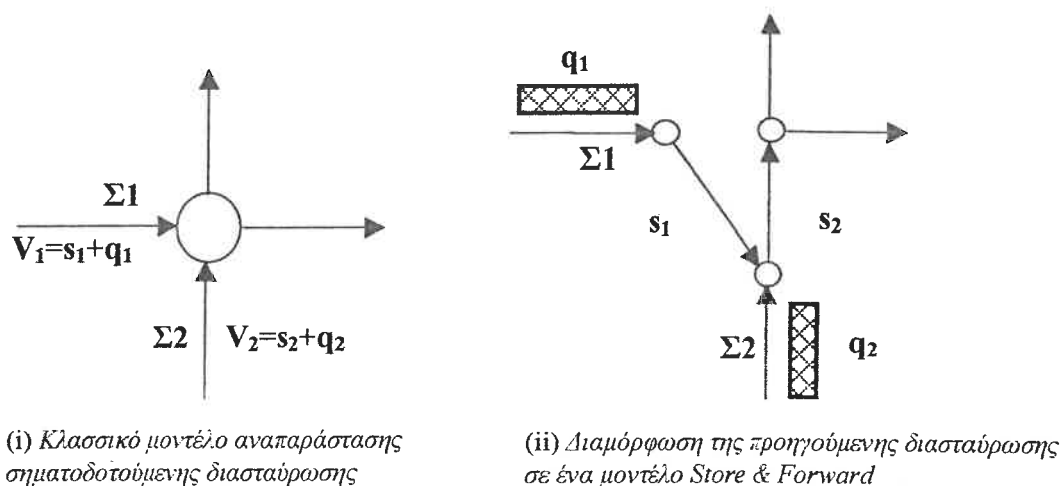
Σχήμα 2.11: Γραφική παράσταση του μοντέλου των ουρών αναμονής

Η εισαγωγή της σύμβασης της πλασματικής ουράς είναι θα λέγαμε ζωτικής σημασίας για όλο αυτό το μοντέλο του δικτύου που το αντιμετωπίζουμε σαν ένα δυναμικό, μεταβαλλόμενο σύστημα στον χώρο και στον χρόνο. Η σημασία της έγκειται στο ότι για την εισαγωγή της τρίτης διάστασης (του χρόνου) στο σύστημα χρειάζεται απαραίτητα ένας συνδετικός κρίκος ανάμεσα στις περιόδους. Κάτι που να δείχνει ακριβώς την σχέση που υπάρχει ανάμεσα σε διαδοχικές περιόδους. Εδώ οφείλουμε να αναφέρουμε ότι το σύστημα στην ουσία αποτελείται από διαδοχικά "στατικά" συστήματα. Δηλαδή θεωρείται ότι σε κάθε περίοδο έχουμε σταθερές συνθήκες, τόσο όσον αφορά τις μετρήσεις όσο και το κόστος των συνδέσμων. Το μόνο στοιχείο που περνάει από τη μία περίοδο στην άλλη είναι ακριβώς οι ουρές αναμονής των συνδέσμων. Αυτές είναι που αναλαμβάνουν να μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά των συνδέσμων στις επόμενες περιόδους, μειώνοντας το φόρτο σε αυτούς, οι οποίοι παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη συμφόρηση και ανακατανέμοντας τον περισσευούμενο φόρτο στους συνδέσμους, οι οποίοι ανήκουν στις διαδρομές με το μικρότερο κόστος. Με τη θεώρηση της ουράς αναμονής ως το μόνο συνδετικό στοιχείο ανάμεσα στις περιόδους γίνεται δυνατή η εξάρτηση της μίας περιόδου από την προηγούμενη της. Το τελικό κέρδος βέβαια είναι ακριβώς ένα πιο "δυναμικό" δίκτυο με τα χαρακτηριστικά που περιγράψαμε παραπάνω.

Ένα σημαντικό επίσης χαρακτηριστικό ενός δικτύου *Store & Forward* είναι η φύση των κόμβων, οι οποίοι μαζί με τους συνδέσμους ορίζουν το δίκτυο. Σε αυτή τη

περίπτωση οι κόμβοι θεωρούνται ότι έχουν άπειρη χωρητικότητα, και συνεπώς η χωρητικότητα τους εξαρτάται αποκλειστικά από τη χωρητικότητα των συνδέσμων τους οποίους συνδέουν. Η τελευταία βέβαια παραδοχή δεν είναι συμβατή με τη θεώρηση ενός δικτύου, στο οποίο οι κόμβοι είναι σηματοδοτούμενοι με δοσμένη χωρητικότητα. Αυτό το πρόβλημα είναι ένα σημαντικό μειονέκτημα του μοντέλου που περιγράφουμε, αφού όλα σχεδόν τα δίκτυα που αντιμετωπίζουμε στην πράξη έχουν όλους τους κόμβους τους (ή τουλάχιστον τους περισσότερους από αυτούς) σηματοδοτούμενους.

Για την αντιμετώπιση αυτής της δυσκολίας έχει προταθεί ένας τρόπος αντιμετώπισης (Gazis, 1974), με την εισαγωγή ορισμένων ψευδό-συνδέσμων στο δίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται προσπάθεια για να αναπαρασταθεί η διαφορά στον αριθμό των οχημάτων που εξέρχονται από διαφορετικούς συνδέσμους, οι οποίοι έχουν ως κοινή απόληξη έναν σηματοδοτούμενο κόμβο. Η διαφορά στην οποία αναφερθήκαμε μόλις παραπάνω οφείλεται στο ότι για κάθε σύνδεσμο υπάρχει ενδεχομένως διαφορετική τιμή του μέγιστου φόρτου που "απορρέει" από τον κόμβο σε μία ώρα πράσινου. Ένα παράδειγμα δίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 2.12). Θεωρούμε έναν σηματοδοτούμενο κόμβο στον οποίο καταλήγουν δύο σύνδεσμοι Σ1 και Σ2 με διαφορετικές τιμές του μέγιστου φόρτου που έχουμε σε μία ώρα πράσινου s_1 και s_2 , όπου ισχύει $s_1 > s_2$. Το υπόλοιπο του φόρτου που δεν καταφέρνει να αφήσει τον κόμβο σχηματίζει ουρές. Με την εισαγωγή δύο συνδέσμων με κόστος s_1 και s_2 ο κόμβος αυτός μπορεί να περιγραφεί με ένα μοντέλο που ανήκει στα δίκτυα *Store & Forward*.

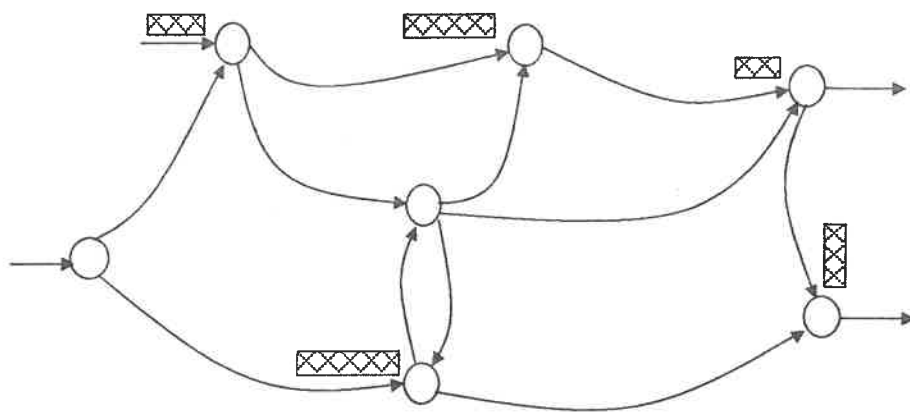


Σχήμα 2.12: Το μοντέλο ενός Σηματοδοτούμενου Κόμβου με Χρήση των Προτύπων των Δικτύων Store & Forward (Πηγή: D.Gazis (1995))

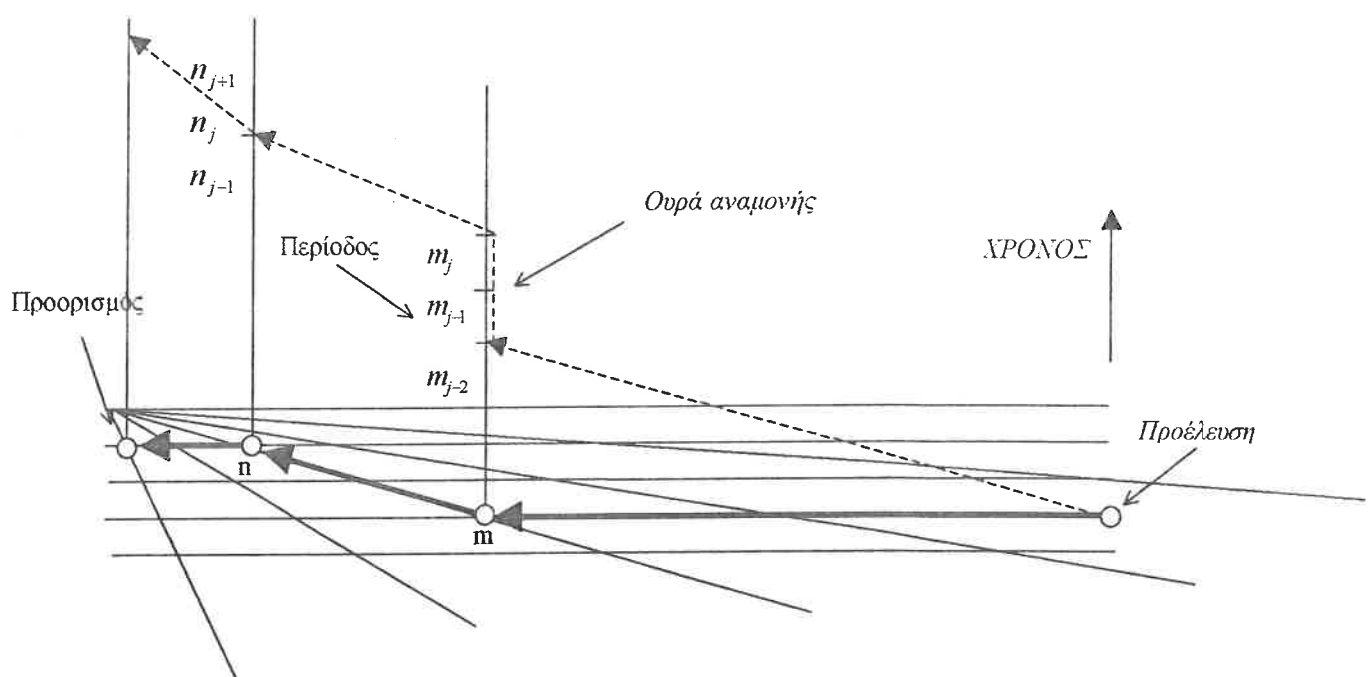
Κάτι το οποίο θα πρέπει οπωσδήποτε να αναφερθεί είναι το γεγονός ότι το παραπάνω μοντέλο είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να περιγράφει την παροδική υπερφόρτωση των συνδέσμων κατά τις ώρες αιχμής. Η υπερφόρτωση των συνδέσμων για μεγάλα χρονικά διαστήματα έχει αποτελέσματα που ξεπερνούν την φυσική ικανότητα αποθήκευσης των συνδέσμων (δηλαδή σε αυτή την περίπτωση, το πλήθος των οχημάτων που βρίσκεται στην ουρά αναμονής ενδέχεται να ξεπεράσει την ικανότητα του συνδέσμου), και έτσι κάτι τέτοιο κάνει το μοντέλο μη αξιόπιστο σε τέτοιες περιπτώσεις. Οι αλγόριθμοι που υιοθετούν αυτό το μοντέλο επιτρέπουν (θα μπορούσαμε να πούμε ότι ενθαρρύνουν) την εξάπλωση των ουρών αναμονής στο χώρο, ενώ ταυτόχρονα αποτρέπουν την επιμονή τους στον χρόνο. Ο λόγος της ύπαρξης της παροδικής υπερφόρτωσης των συνδέσμων ως ένα κύριο χαρακτηριστικό του δικτύου ήταν αυτός που οδήγησε στην ανάγκη για την εισαγωγή του άξονα του χρόνου σε αυτό το μοντέλο.

Αυτό που δεν μας απασχόλησε ως τώρα είναι η φύση των πλασματικών ουρών ως χώρων αποθήκευσης οχημάτων, τα οποία αναμένουν την έξοδο τους από έναν σύνδεσμο. Τίθεται ένα ερώτημα, το οποίο έχει να κάνει με τη σύνθεση της ουράς αναμονής (από την άποψη της τάξης χρηστών από την βαθμό της πληροφόρησης που έχουν στη διάθεση τους και από την άποψη της προέλευσης και του προορισμού τους). Παρ'ότι το μοντέλο θα μπορούσε να επιτρέψει τον διαχωρισμό των ουρών σε πολλαπλούς χώρους αποθήκευσης χωρίς κάτι τέτοιο να προκαλέσει κάποιο πρόβλημα, αφού έτσι και αλλιώς η επεξεργασία σε αυτά τα μοντέλα γίνεται παράλληλα για όλες τις τάξεις χρηστών και όχι θεωρώντας όλους τους χρήστες σαν ένα σύνολο, αυτό θα ήταν ανούσιο από τη στιγμή που ο μόνος ουσιαστικός ρόλος της ουράς αναμονής στον αλγόριθμο, είναι να μειώσει την ικανότητα του συνδέσμου στην περίοδο που ακολουθεί. Έτσι αποφεύγεται ο διαχωρισμός των ουρών αναμονής, εκτός από την περίπτωση της Εκτιμήτριας Φόρτου Διαδρομών πολλών Τάξεων Χρηστών (**Multi Class Path Flow Estimator, MPFE**), όπου η εισαγωγή πολλών χώρων αποθήκευσης και δη όσων χρειάζονται ώστε κάθε τάξη χρηστών από την άποψη του βαθμού και της ποιότητας πληροφόρησης να έχει την δικιά της ουρά αναμονής, μπορεί να έχει κάποιο ενδιαφέρον γιατί με αυτόν τον τρόπο μπορεί κάποιος να παρακολουθεί τη κίνηση όλων των τάξεων των χρηστών μέσα στο δίκτυο.

Αυτό που τέλος θα πρέπει να σημειώσουμε από αυτό το κεφάλαιο στο οποίο έγινε μία περιγραφή των δικτύων *Store & Forward* και των πιο βασικών χαρακτηριστικών τους, είναι ότι η σύμβαση των ουρών που δημιουργούνται σε κάποια περίοδο, με τα οχήματα που βρίσκονται σε αυτές να αφήνουν τους συνδέσμους για να συνεχίσουν στη διαδρομή τους σε κάποια από τις επόμενες περιόδους, είναι αυτή που επιτρέπει τη θεώρηση ενός δυναμικού μοντέλου καταμερισμού στο δίκτυο, το οποίο αποτελείται από μία σειρά από στατικά μοντέλα καταμερισμού της κυκλοφορίας (ένα για κάθε περίοδο, στο οποίο θεωρούμε ότι οι συνθήκες παραμένουν σταθερές από την αρχή της περιόδου έως το πέρας της), τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με τις ουρές αναμονής. Μία τέτοια παραδοχή έχει γίνει και στο μοντέλο SATURN (Van Vliet et al., 1982).



Σχήμα 2.12: Ένα τμήμα ενός δικτύου *Store & Forward* στο οποίο παρουσιάζονται φαινόμενα συμφόρησης (Πηγή: D.Gazis (1995))



Σχήμα 2.13: Η εισαγωγή του άξονα του χρόνου στα δίκτυα Store & Forward

2.5. Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΓΕΝΝΕΣΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΤΩΝ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ

Έως τώρα έγινε η θεώρηση ότι οι διαδρομές που υλοποιούν τις γραμμές επιθυμίας των χρηστών του δικτύου είναι γνωστές. Συγκεκριμένα στο παράδειγμα που δόθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο σε ένα δίκτυο τεσσάρων κόμβων και έξι συνδέσμων, έγινε η θεώρηση ότι οκτώ διαδρομές εξυπηρετούν τους χρήστες. Πρόκειται για όλες τις δυνατές διαδρομές, τις οποίες μπορούν να ακολουθήσουν οι χρήστες μέσα στο δίκτυο, με σκοπό τη μετακίνηση τους από μία ζώνη προελεύσεως σε μία ζώνη προορισμού. Κάτι τέτοιο, δηλαδή ο καθορισμός των διαδρομών εκ των προτέρων, είναι κάτι πρακτικά δύσκολο (αν όχι αδύνατο) όταν εφαρμόζεται σε μεγάλα δίκτυα τα οποία αποτελούνται από μεγάλο αριθμό συνδέσμων. Αυτό συμβαίνει γιατί ο αριθμός των δυνατών διαδρομών μέσα στο δίκτυο είναι πολύ μεγάλος, τέτοιος ώστε να είναι πρακτικά αδύνατο να γίνει απαρίθμηση αυτών των διαδρομών. Αυτό είναι ένα πρόβλημα το οποίο πάντα αντιμετώπιζαν όλα τα στοχαστικά πρότυπα, τα οποία κατανέμουν μετακινήσεις σε περισσότερες της μίας διαδρομές, για να υλοποιήσουν μία γραμμή επιθυμίας στο δίκτυο. Αντίθετα κάτι τέτοιο δεν αποτελεί πρόβλημα για τα αιτιοκρατικά (μη στοχαστικά) πρότυπα, αφού η παραδοχή της κίνησης όλων των οχημάτων πάνω σε μία μόνο διαδρομή (δηλαδή η γραμμή επιθυμίας που συνδέει τα άκρα μίας μετακίνησης υλοποιείται στο δίκτυο από μία και μόνη διαδρομή), επιτρέπει τον καθορισμό των διαδρομών του δικτύου σε κάθε περίοδο. Συνήθως αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ενός αλγόριθμου εύρεσης των δέντρων των ελαχίστων διαδρομών των ζωνών προέλευσης, όπως ο αλγόριθμος του Moore.

Η προσπάθεια που έχει γίνει κατά την ανάπτυξη των στοχαστικών προτύπων είναι το να αποφευχθεί ακριβώς η απαρίθμηση των διαδρομών στο δίκτυο. Με αυτή τη λογική δημιουργήθηκε και ο αλγόριθμος STOCH (Dial et al., 1971). Ο Dial προσπάθησε να "αναπαραστήσει" τον καταμερισμό στο δίκτυο που θα συνέβαινε αν ήταν γνωστές όλες οι διαδρομές του δικτύου. Το μοντέλο αυτό κινείται στη λογική του να μην εξετάζονται οι πιθανές διαδρομές των οχημάτων μέσα στο δίκτυο. Αντ'αυτού ο Dial προσπάθησε να κατανείμει την πιθανότητα ενός χρήστη να ακολουθήσει μία ορισμένη διαδρομή, απ'ευθείας στους συνδέσμους από τους οποίους αποτελείται η διαδρομή. Έτσι το μοντέλο του Dial ποτέ δεν εξετάζει κάποια καθορισμένη διαδρομή, αλλά με το να κατανείμει τις μετακινήσεις στους συνδέσμους φτάνει σε μία ισορροπία η οποία είναι η

ίδια με αυτή στην οποία θα καταλήγαμε αν ξέραμε όλες τις πιθανές διαδρομές του δικτύου.

Αυτό που έχει αλλάξει από το 1971 που δημιουργήθηκε ο αλγόριθμος STOCH, είναι οι δυνατότητες των υπολογιστών που έχουμε στη διάθεση μας . Ο καταμερισμός της κυκλοφορίας σε πολλές διαδρομές , ειδικά για μεγάλα δίκτυα, είναι κάτι που προϋποθέτει μεγάλες δυνατότητες υπολογιστικής δύναμης, κάτι βέβαια που ήταν αδύνατον το 1971 και δύσκολο ακόμα και σήμερα. Η κατακόρυφη ανάπτυξη της τεχνολογίας πάντως δεν μας επιτρέπει, ακόμα και σήμερα, να βρούμε όλες τις δυνατές διαδρομές που ενδεχομένως υπάρχουν μέσα στο δίκτυο, αφού σε μεγάλα δίκτυα ο αριθμός τους είναι πολύ μεγάλος. Ωστόσο η θεώρηση της εύρεσης όλων των δυνατών διαδρομών μέσα στο δίκτυο δεν είναι απαραίτητα και η σωστότερη, καθώς δεν επικεντρώνεται η προσοχή μας στις διαδρομές αυτές που υπάρχουν πραγματικά στο δίκτυο και τις οποίες χρησιμοποιεί η συντριπτική πλειοψηφία των χρηστών, αλλά ένα μεγάλο μέρος των μετακινήσεων κατανέμεται σε υποθετικές διαδρομές, οι οποίες μπορεί στην πραγματικότητα να χρησιμοποιούνται από μικρό αριθμό χρηστών. Πρακτικά, οι εναλλακτικές διαδρομές για μία δοσμένη γραμμή επιθυμίας είναι λίγες . Δυνατές διαδρομές υπάρχουν σαφώς και άλλες, καθώς τα κριτήρια επιλογής της διαδρομής από τον χρήστη είναι πολλά και δεν έχουν ως βάση μόνο το κόστος της διαδρομής. Όμως όταν η επιθυμία μας είναι η εκτίμηση των φόρτων στους συνδέσμους ενός δικτύου το οποίο είναι περισσότερο αδρό από το πραγματικό δίκτυο (πράγμα που είναι τις περισσότερες αναγκαίο, αφού επιβάλλεται η απλοποίηση των δικτύων, έτσι ώστε να γίνεται πιο σύντομη, αλλά και πολλές φορές απλώς δυνατή, η διαδικασία του καταμερισμού των μετακινήσεων στο δίκτυο). Στην περίπτωση αυτή είναι πιο εύκολο να βρεθούν οι πραγματικές διαδρομές πάνω στις οποίες κινούνται τα οχήματα.

Οι χρήστες έχουν την τάση να κινούνται σε ορισμένες διαδρομές. Ο κάθε χρήστης έχει έναν νοητό αδρό χάρτη στο μυαλό του (*mental map*), ο οποίος περιέχει όλες αυτές τις διαδρομές. Για κάθε ζευγάρι προέλευσης προορισμού υπάρχει ένας αριθμός διαδρομών που ανήκουν σε αυτό τον αδρό χάρτη, ο οποίος αριθμός διαφέρει για κάθε γραμμή επιθυμίας. Αυτός ο χάρτης μπορεί να έχει μία ή και περισσότερες διαδρομές για κάθε ζευγάρι προέλευσης – προορισμού, αλλά δεν μπορεί να περιέχει όλες τις δυνατές διαδρομές. Για ένα δεδομένο δίκτυο και αν θεωρήσουμε ότι όλοι οι χρήστες μετακινούνται τακτικά μέσα σ'αυτό (και άρα έχουν κάποια γνώση του δικτύου), ο νοητός χάρτης του κάθε χρήστη δεν πρόκειται να διαφέρει πολύ από αυτούς των υπολοίπων χρηστών. Άρα θα μπορούσε να γίνει η υπόθεση ότι για κάθε δίκτυο υπάρχει

κάποιος αδρός νοητός χάρτης, ο οποίος ανταποκρίνεται στον ~~αυτό~~ χάρτη των περισσότερων χρηστών.

Η εύρεση αυτού του χάρτη είναι μία έρευνα η οποία θα μπορούσε να γίνει με τη χρήση κάποιου ερωτηματολογίου. Με άλλο τρόπο η εύρεση αυτού ~~του~~ χάρτη είναι δύσκολη αν όχι αδύνατη.

Στο πρότυπο αυτό της Εκτιμήτριας των φόρτων των διαδρομών ~~εξέρχεται~~ μιας τάξης χρηστών, είναι υποχρεωτικός ο προκαθορισμός των διαδρομών, στις ~~οποίες~~ θα γίνει ο καταμερισμός των μετακινήσεων. Η εύρεση όλων των πιθανών ~~διαδρομών~~ μέσα στο δίκτυο δεν είναι μόνο πρακτικά αδύνατη, όπως γράφτηκε και παραπάνω, αλλά οδηγεί και το πρότυπο σε αποτελέσματα, τα οποία ενδεχομένως δεν θα είναι και ~~πολύ~~ ρεαλιστικά. Η εύρεση όλων των διαδρομών που απαρτίζουν το νοητό χάρτη των ~~χρηστών~~ θα ήταν ίσως η μέθοδος, η οποία θα μας έδινε ενδεχομένως τα περισσότερα ρεαλιστικά αποτελέσματα. Δεν έχει γίνει όμως κάποια προσπάθεια, μέχρι ~~παραπάνω~~ για να καταρτιστεί αυτός ο χάρτης.

Έτσι υπάρχει ένα πρόβλημα που σχετίζεται με τον τρόπο εύρεσης των ~~διαδρομών~~ στις οποίες θα γίνει ο καταμερισμός των μετακινήσεων σε κάθε περίοδο. ~~Είναι~~ ανάγκη για να ακολουθηθούν και εδώ ρεαλιστικές παραδοχές μας ωθεί στο να ~~επικεντρωθεί~~ η προσπάθεια εύρεσης των διαδρομών, όχι στις πιθανές διαδρομές, αλλά στο δυνατόν σε εκείνες στις οποίες κινείται η πλειοψηφία των χρηστών.

Ένα σημαντικό στοιχείο που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι το γεγονός ότι το μοντέλο του δικτύου *Store & Forward* που υιοθετούμε και το οποίο περιγράψαμε παραπάνω, επιτρέπει, με την μεταφορά των ουρών αναμονής από τη μία περίοδο στην άλλη, την θεώρηση ενός δυναμικού προτύπου, το οποίο αποτελείται από μία σειρά από στατικά πρότυπα, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους. Αυτή η θεώρηση ενός δυναμικού δικτύου, στο οποίο οι κόμβοι δεν συνδέονται μόνο στο χώρο αλλά και στον χρόνο, επιβάλλει το να λαμβάνονται υπόψη σε κάποια περίοδο οι διαδρομές που υπήρχαν στο δίκτυο κατά τις προηγούμενες περιόδους.

Διατυπώθηκε ένας αλγόριθμος, ο οποίος αποτελεί μία "γεννήτρια" διαδρομών για χρήση μαζί με το πρότυπο SPFE (Bell et al., 1995). Ο αλγόριθμος αυτός έχει ως στόχο το να αποφευχθεί ο εκ των προτέρων καθορισμός των διαδρομών στις οποίες θα γίνει ο καταμερισμός των μετακινήσεων. Η φιλοσοφία του αλγόριθμου αυτού σχετίζεται με το ότι το μεγαλύτερο μέρος του αριθμού των χρηστών κινείται στα δέντρα των ελαχίστων διαδρομών των ζωνών προέλευσης του δικτύου. Κατά τις ώρες αιχμής η παρουσία των ουρών, σε αυτές ακριβώς τις διαδρομές, προκαλεί τέτοιες καθυστερήσεις ώστε σε κάποια περίοδο να δημιουργούνται καινούργιες διαδρομές μέσα στο δίκτυο με κόστος μικρότερο

από αυτές που αποτελούσαν το δέντρο των ελαχίστων διαδρομών των προηγούμενων διαδρομών. Κατά τις περιόδους αυτές, ένα μεγάλο μέρος των χρηστών θα κινείται σε αυτές τις καινούργιες διαδρομές, χωρίς να σταματήσουν να φορτίζονται οι ήδη υπάρχουσες. Ο αλγόριθμος αυτός δεν χτίζει απλώς καινούργια δέντρα ελαχίστων διαδρομών των ζωνών προέλευσης σε κάθε περίοδο, αλλά αυτό που γίνεται είναι το να συγκρίνονται οι ελάχιστες διαδρομές που δημιουργούνται σε κάποια περίοδο με αυτές που ήδη υπήρχαν από τις προηγούμενες περιόδους. Αν οι καινούργιες διαδρομές δεν είναι ίδιες με τις ήδη υπάρχουσες, τότε προστίθενται στο μητρώο των διαδρομών (οι διαδρομές είναι οι στήλες του μητρώου [A], το οποίο αποτελεί δεδομένο για την εφαρμογή του προτύπου SPFE). Έτσι σε κάθε περίοδο η κατανομή της κυκλοφορίας στο δίκτυο γίνεται στις ελάχιστες διαδρομές που προκύπτουν από αυτήν και από τις προηγούμενες από αυτήν περιόδους.

Ο αλγόριθμος θεωρείται συντηρητικός και οδηγεί σε κάθε περίοδο σε ισορροπία εφ'όσον σε κάθε περίοδο ισχύει το ότι δεν μπορεί να βρεθεί διαδρομή με μικρότερο κόστος από αυτές που υπάρχουν ήδη στο δίκτυο (για κάθε ζευγάρι προέλευσης προορισμού.

Παρατίθεται ο ψευδοκώδικας του μοντέλου.

Βήμα 1 (Αρχικές Συνθήκες)

$$d \leftarrow 0$$

Το μητρώο [A] δεν έχει στήλες (δηλαδή να μην υπάρχουν διαδρομές)

Βήμα 2 (Εύρεση ελαχίστων διαδρομών)

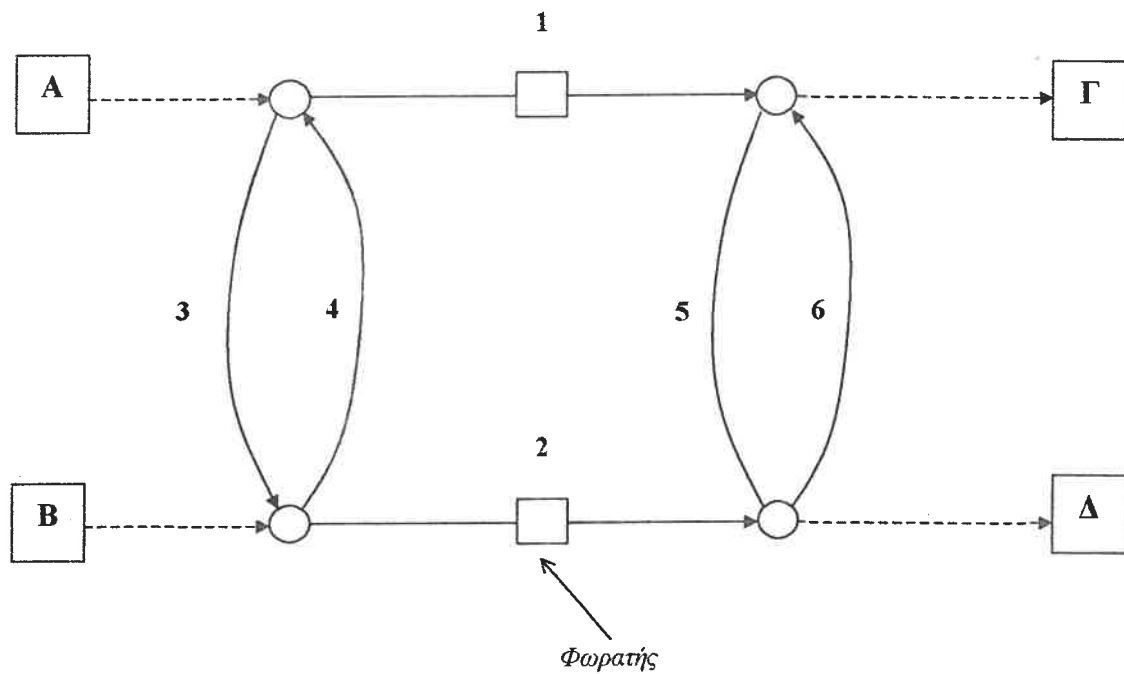
Εύρεση των διαδρομών ελαχίστου κόστους στο δίκτυο χρησιμοποιώντας για κόστος των συνδέσμων το $c+d$ (σταθερό κόστος συνδέσμων συν τη καθυστέρηση που προκύπτει στους συνδέσμους λόγω της δημιουργίας των ουρών).

Αν οι διαδρομές ελαχίστου κόστους που βρέθηκαν σε αυτή τη περίοδο διαφέρουν από αυτές που βρέθηκαν στις προηγούμενες περιόδους (και που υπάρχουν ήδη στο μητρώο [A]), προστίθενται οι καινούργιες διαδρομές στο μητρώο [A].

Βήμα 3 (Εύρεση καθυστερήσεων στους κόμβους)

Εφαρμογή της εκτιμήτριας των φόρτων των διαδρομών δικτύου μιας τάξεως χρηστών
 $d \leftarrow$ Οι καθυστερήσεις που προκύπτουν κατά την ισορροπία
Επιστροφή στο βήμα 2

Έγινε μία δοκιμή του παραπάνω αλγορίθμου στο απλό δίκτυο των τεσσάρων κόμβων
και των έξι συνδέσμων, το οποίο παρατίθεται στο σχήμα 2.14.



Σχήμα 2.14: Το απλοποιημένο δίκτυο του Bell

Πίνακας 2.1: Οι διαδρομές που ακολουθούν οι χρήστες στο σχήμα 1

Διαδρομές	Σύνδεσμοι
1	1
2	2,3,6
3	2
4	1,4,5
5	2,3
6	1,5
7	1,4
8	2,6

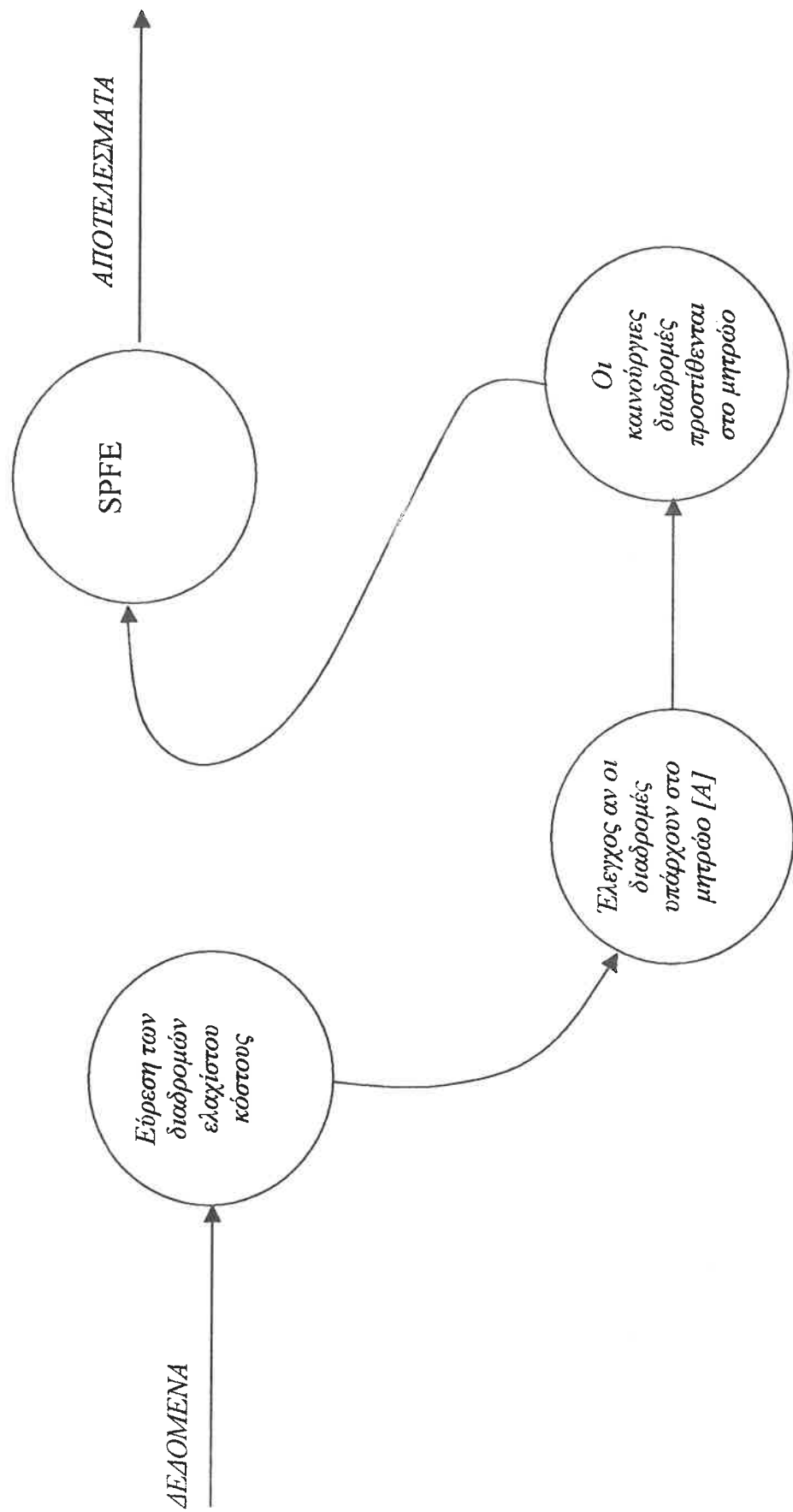
Στο παράδειγμα που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, για να δειχτούν οι διαφορές που προκύπτουν στον καταμερισμό στο δίκτυο όταν γίνει η θεώρηση ότι υπάρχουν παραπάνω από μία τάξεις χρηστών, από την άποψη της πληροφόρησης που έχουν οι τελευταίοι για τις συνθήκες λειτουργίας του δικτύου σε πραγματικό χρόνο, θεωρήθηκε ότι οι διαδρομές των χρηστών είναι εκ των προτέρων γνωστές, κάτι που καθορίστηκε από τους Bell, Lam και Iida (Bell, Lam & Iida, 1995). Οι διαδρομές που υπάρχουν στο δίκτυο είναι οκτώ και δίνονται στον πίνακα 1 αυτού του κεφαλαίου.

Από την εφαρμογή του αλγόριθμου παραγωγής διαδρομών, έτσι όπως προτείνεται από τον Bell (Bell et al., 1995), δεν προέκυψαν παρά μόνο οι έξι διαδρομές, ενώ οι διαδρομές 2 και 4 του πίνακα 1 δεν γεννώνται για καμία περίπτωση. Αυτό βέβαια θέτει ορισμένα ερωτηματικά για την αξιοπιστία του αλγόριθμου που προτάθηκε από τον Bell για να λυθεί το πρόβλημα της εύρεσης των διαδρομών.

Ο αλγόριθμος αυτός εκμεταλλεύεται το ότι το μοντέλο του δικτύου που υιοθετήθηκε είναι δυναμικό και έτσι η αντιμετώπιση ενός δικτύου, το οποίο πέραν του ότι μεταβάλλεται στο χώρο μεταβάλλεται και στον χρόνο, πρέπει να λαμβάνει υπ'όψιν και το γεγονός ότι οι περίοδοι δεν είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους.

Μία σύγκριση με ένα άλλο στοχαστικό μοντέλο, όπως αυτό του αλγόριθμου STOCH, στο οποίο αναφερθήκαμε παραπάνω, δεν θα μας έδινε σωστά αποτελέσματα καθώς θα συγκρίναμε ένα στατικό με ένα δυναμικό πρότυπο.

Η Fisk (1980) απέδειξε ότι το πρότυπο STOCH μπορεί να εφαρμοστεί και για την περίπτωση της μεθόδου των διαδοχικών μέσων, σε μία προσπάθεια της για να λυθεί το πρόβλημα του εκ των προτέρων καθορισμού των διαδρομών. Πάνω στην ίδια λογική βασίστηκαν και οι Chen και Sule Alfa (1991) για να παρουσιάσουν ορισμένες βελτιώσεις στο μοντέλο της Fisk κυρίως σε όσον αφορά το βήμα της σύγκλισης, το οποίο είναι εξαιρετικά αργό. Εδώ όμως το πρόβλημα είναι ότι η ανασύνθεση επιβάλλει τον εκ των προτέρων καθορισμό των διαδρομών.



Σχήμα 2.15: Αλγορίθμος Διαδικασιών για το πρότυπο SPFE

2.6. ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΤΗΣ ΕΚΤΙΜΗΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΟΥ ΤΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΟΛΛΩΝ ΤΑΞΕΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ

Τα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα, είτε αυτά ανήκουν στα στοχαστικά, είτε στα αιτιοκρατικά (μη στοχαστικά), αντιμετωπίζουν τους χρήστες σαν να ανήκουν στο ίδιο σύνολο από τη πλευρά της πληροφόρησης.

Τα αιτιοκρατικά πρότυπα θεωρούν ότι όλοι η χρήστες έχουν την ίδια άποψη για τους χρόνους διαδρομής των συνδέσμων του δικτύου και πέραν αυτού, ότι έχουν πλήρη πληροφόρηση για την κατάσταση του δικτύου.

Αντίθετα στα στοχαστικά πρότυπα λαμβάνονται υπόψιν τα λάθη στην εκτίμηση των χρόνων διαδρομής των συνδέσμων και αυτές ακριβώς οι εκτιμήσεις θεωρούνται τυχαίες μεταβλητές κατανεμημένες στους χρήστες του δικτύου.

Ωστόσο η ανάπτυξη της τεχνολογίας και η εφαρμογή των δυναμικών συστημάτων για την πληροφόρηση των χρηστών σε πραγματικό χρόνο, η οποία φαίνεται να είναι προ των πυλών, μας φέρνουν αντιμέτωπους με νέα δεδομένα. Αυτά τα νέα δεδομένα συνοψίζονται στο ότι η συμπεριφορά των χρηστών μέσα στο δίκτυο θα καθορίζεται κατά ένα μεγάλο μέρος από το αν έχουν πρόσβαση σε αυτά τα δυναμικά μέσα πληροφόρησης. Αυτό που παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της συμπεριφοράς των χρηστών είναι το είδος του συστήματος που έχουν στη διάθεση τους, καθώς αναμένεται να υπάρχουν διαφορές στην πληροφορία που θα έχει ένας χρήστης που θα έχει στο όχημα του ένα σύστημα καθοδήγησης, που θα του δίνει ενδεχομένως σαφείς πληροφορίες και στην πληροφορία που θα έχει κάποιος, ο οποίος θα έχει πρόσβαση σε μέσα με καθαρά συμβουλευτικό χαρακτήρα, όπως οι πινακίδες μεταβλητού μηνύματος, τα RDS ή και οι Web σελίδες στο internet.

Έτσι μία καλύτερη προσέγγιση στο πρόβλημα που ανακύπτει με τα υπάρχοντα πρότυπα φαίνεται να είναι η εισαγωγή τάξεων στο δίκτυο, οι οποίες θα απαρτίζονται από χρήστες με κοινά χαρακτηριστικά ως προς την δυναμική πληροφόρηση. Ένας πρώτος διαχωρισμός είναι το να χωριστούν οι χρήστες του δικτύου σε δύο τάξεις, εκ των οποίων η πρώτη θα περιέχει όλους τους χρήστες που έχουν στη διάθεση τους τέτοια συστήματα πληροφόρησης και η δεύτερη τους υπόλοιπους χρήστες.

Η διαφορά των δύο τάξεων χρηστών έγκειται στο ότι οι χρήστες με πρόσβαση σε δυναμικά μέσα πληροφόρησης έχουν το πλεονέκτημα του να γνωρίζουν τους συνδέσμους και κατ'επέκταση τις διαδρομές του δικτύου που παρουσιάζουν μεγάλη συμφόρηση. Αναμένεται οι χρήστες αυτοί να αποφεύγουν αυτά τα σημεία του δικτύου, αφού ακόμα και αν οι διαδρομές αυτές έχουν μικρότερο κόστος από τις υπόλοιπες εναλλακτικές διαδρομές, ένα μεγάλο ποσοστό των χρηστών θα ήθελε να αποφεύγει τα σημεία με μεγάλη συμφόρηση έτσι και αλλιώς (Khattak, Al – Deek, Hall, 1994).

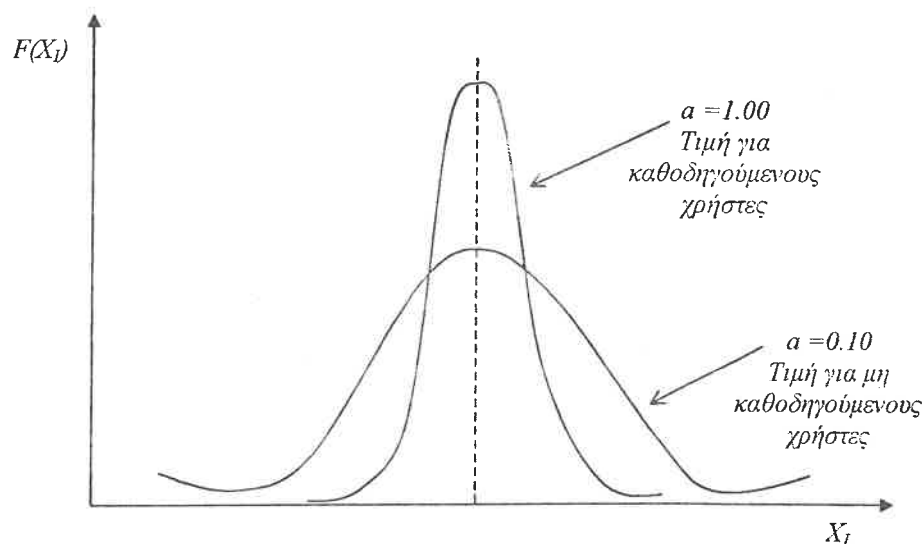
Μία διαδεδομένη άποψη για την προσομοίωση της κίνησης αυτών των χρηστών, που έχουν πρόσβαση σε αυτά τα συστήματα, είναι ότι η κοινή πληροφόρηση που έχουν για το δίκτυο τους κάνει να έχουν ακριβώς την ίδια άποψη για τους χρόνους διαδρομής των συνδέσμων του δικτύου. Άρα η συμπεριφορά τους προσαρμόζεται στα αιτιοκρατικά (μη στοχαστικά) πρότυπα (Koutsopoulos & Lottan, 1995).

Κάτι τέτοιο είναι πολύ πιθανό να προσομοιώνει την κίνηση των χρηστών που έχουν στη διάθεση τους συστήματα καθοδήγησης που βρίσκονται μέσα στα οχήματα τους, αφού αυτοί θα ακολουθούν σαφείς και συγκεκριμένες οδηγίες για την κίνηση τους στο δίκτυο. Κάτι τέτοιο όμως δεν συμβαίνει και με τους χρήστες του δικτύου, οι οποίοι έχουν πληροφόρηση από συστήματα όπως τα VMS και τα RDS. Σε αυτή τη περίπτωση η πληροφορία δρα διαφορετικά σε κάθε χρήστη , καθώς άλλοι χρήστες λαμβάνουν υπ'όψιν την πληροφορία που τους παρέχεται, όσο γενική και αν είναι αυτή, και κάποιοι άλλοι την αγνοούν πλήρως. Σε αυτή τη περίπτωση καθοδηγούμενοι χρήστες δεν είναι αυτοί που λαμβάνουν το μήνυμα, δηλαδή όλοι οι χρήστες που έχουν πρόσβαση σε αυτά τα συστήματα, αλλά αυτοί που αλλάζουν την πορεία τους ανάλογα με την πληροφορία που τους παρέχεται. Για τους καθοδηγούμενους χρήστες θα πρέπει να ισχύσει ένα μοντέλο ίσως όχι αιτιοκρατικό αλλά στοχαστικό με πολύ μικρή απόκλιση στην άποψη που έχουν οι χρήστες για τους χρόνους διαδρομής των συνδέσμων του δικτύου (Bell, Lam & Iida, 1995).

Αυτό ακολουθείται και από αυτό το πρότυπο που θα παρουσιάσουμε στην συνέχεια το οποίο ακριβώς επιτρέπει την εισαγωγή τάξεων χρηστών (από την άποψη του βαθμού πληροφόρησης) στο δίκτυο. Αυτό το πρότυπο ονομάζεται εκτιμήτρια των φόρτων των διαδρομών δικτύου πολλών τάξεων χρηστών (Multi Class Path Flow Estimator, MPFE).

Το πρότυπο αυτό δεν διαφέρει σε τίποτα, από άποψη λειτουργίας, από το πρότυπο SPFE. Η επεξεργασία όλων των τάξεων χρηστών γίνεται παράλληλα. Είναι δηλαδή σαν να "τρέχουν" ταυτόχρονα δύο πρότυπα SPFE, ένα για κάθε τάξη χρηστών.

Αυτό που ξεχωρίζει τη συμπεριφορά των τάξεων των χρηστών μεταξύ τους είναι η παράμετρος α . Αυτή η παράμετρος έχει την ίδια λειτουργία με τη παράμετρο θ του προτύπου STOCH (Dial et al. , 1971). Με αλλαγή αυτής της παραμέτρου δίνεται η δυνατότητα παραγωγής πολλών διαφορετικών κατανομών των μετακινήσεων στο δίκτυο, από ένα αποτέλεσμα που προσομοιώνει το πρότυπο "όλα ή τίποτα" και στο οποίο όλες οι μετακινήσεις κατανέμονται στα δέντρα των ελαχίστων διαδρομών των ζωνών προελεύσεως προς όλες τις ζώνες προορισμού, έως ένα αποτέλεσμα που όλες οι πιθανές διαδρομές λαμβάνουν το ίδιο ποσοστό μετακινήσεων, ανεξαρτήτως του κόστους τους.



Σχήμα 2.15: Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της άποψης των χρηστών για τον χρόνο διαδρομής ενός συνδέσμου, για δύο τιμές της παραμέτρου α

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.15, όπου δίνονται οι προτεινόμενες τιμές για το α (Bell, Lam & Iida, 1995), η αντιστοιχία αυτής της παραμέτρου με την παράμετρο θ είναι πλήρης.

Η παράμετρος α μπορεί να λάβει τιμές από μηδέν έως ένα. Όσο η τιμή του α αυξάνει τόσο αυξάνει και η πιθανότητα ένα όχημα να ακολουθήσει την διαδρομή ελαχίστου κόστους, ενώ όσο αυτή η τιμή μειώνεται, η πιθανότητα όλων των εναλλακτικών διαδρομών για να τις ακολουθήσει κάποιο όχημα αυξάνεται. Για τιμή του α ίση με το

μηδέν η πιθανότητα όλων των διαδρομών για να τις ακολουθήσει κάποιο όχημα είναι η ίδια ανεξάρτητα από το κόστος τους.

Οι τιμές του σχήματος 2.15 για το α προτείνονται από τους Bell, Lam και Iida (1995). Η τιμή 0.10 προτείνεται για τους χρήστες που δεν έχουν πρόσβαση σε κάποιο σύστημα δυναμικής πληροφόρησης και αυτή η τιμή έχει ως αποτέλεσμα έναν καταμερισμό στο δίκτυο σύμφωνα με το στοχαστικό πρότυπο, που να βασίζεται στην μεγάλη απόκλιση που παρουσιάζουν οι απόψεις των χρηστών για τους χρόνους διαδρομής του συνδέσμου του δικτύου. Πρακτικά οι μετακινήσεις μοιράζονται σε όλες τις πιθανές διαδρομές ανάλογα με το κόστος της κάθε μίας (σύμφωνα με το πρότυπο logit).

Η τιμή $\alpha=1.00$, που προτείνεται για τους καθοδηγούμενους χρήστες, έχει ως αποτέλεσμα η μεγαλύτερη πλειοψηφία να ακολουθεί την διαδρομή ελαχίστου κόστους, ενώ το αν οι καθοδηγούμενοι χρήστες θα ακολουθήσουν και άλλες διαδρομές εξαρτάται από τη διαφορά του κόστους αυτών των διαδρομών από το κόστος της ελάχιστης διαδρομής.

Βέβαια το γεγονός ότι οι τιμές αυτές προτείνονται δεν σημαίνει ότι είναι και οι πλέον ενδεδειγμένες για κάθε περίπτωση, αφού για κάθε δίκτυο μπορεί οι τιμές αυτές να χρειάζεται να παίρνουν και διαφορετικές τιμές. Αυτή την άποψη είχε διατυπώσει ο Dial (1971) όταν αναφέρθηκε στις τιμές που θα μπορούσε να πάρει η αντίστοιχη παράμετρος θ του προτύπου STOCH. Το ποιες είναι οι κατάλληλες τιμές αυτής της παραμέτρου για κάποιο δίκτυο θα μπορούσε κάλλιστα να είναι το αντικείμενο μίας περαιτέρω έρευνας.

Αυτό που έχει μείνει κενό από την παραπάνω αναφορά σε αυτό το πρότυπο είναι ο τρόπος με τον οποίο θα μπορεί αυτό το πρότυπο να έχει στη διάθεση του το ποσοστό των χρηστών που έχει πρόσβαση σε δυναμικά συστήματα πληροφόρησης. Ειδικά για τα μέσα που απευθύνονται σε μεγάλο αριθμό χρηστών, από τους οποίους μόνο ένα μικρό ποσοστό επηρεάζεται, όπως οι πινακίδες μεταβλητού μηνύματος (VMS) και τα RDS, ο καθορισμός αυτού του ποσοστού είναι δύσκολη υπόθεση καθώς το αν θα επηρεαστεί ο χρήστης από το μήνυμα που θα λάβει και αν θα αλλάξει τη διαδρομή του, έχει να κάνει με το αν το μήνυμα στοχεύει σε ορισμένους κρίσιμους παράγοντες για την επιλογή της διαδρομής (και δεν είναι το κόστος ο μοναδικός κρίσιμος παράγοντας επιλογής της διαδρομής). Αυτή η εργασία αποτελεί ένα μόνο σκέλος μίας μεγαλύτερης εργασίας που έχει ως στόχο την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος που στοχεύει στην πληροφόρηση των χρηστών μέσω πινακίδων μεταβλητού μηνύματος και μέσω σελίδων Web του internet. Στα πλαίσια της γίνεται και η ανάπτυξη ενός μοντέλου προσομοίωσης

του μηχανισμού απόφασης των χρηστών με μία μέθοδο που βασίζεται στα μαθηματικά πρότυπα του Fuzzy Logic. Με χρήση αυτού του μοντέλου θα καθοριστεί το ποσοστό των χρηστών που καθοδηγείται από τα μηνύματα του συστήματος.

2.7. ΤΑ ΟΦΕΛΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΤΟΥΣ ΧΡΗΣΤΕΣ (ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ)

Η μεγάλη εξέλιξη της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια , ειδικά στις τηλεπικοινωνίες και στα συστήματα πληροφόρησης, έχει δημιουργήσει εδώ και πολύ καιρό το απαιτούμενο τεχνολογικό υπόβαθρο για την εφαρμογή συστημάτων πληροφόρησης με στόχο την παροχή πληροφοριών στους χρήστες, για την κατάσταση του δικτύου, κυρίως σε όσον αφορά τη συμφόρηση, σε πραγματικό χρόνο (Δυναμικά συστήματα πληροφόρησης). Οι μεταφορές όμως φαίνεται να προχωρούν προς την εξέλιξη με πολύ αργά βήματα, που φανερώνουν ίσως σκεπτικισμό από την πλευρά των ιθυνόντων για την εφαρμογή αυτών των συστημάτων. Από το 1988 ήδη διατυπώθηκε (από τον David Boyce) η εύλογη απορία γιατί δεν έχουν εφαρμοστεί αυτές οι καινούργιες τεχνικές ακόμα στα μεταφορικά συστήματα. Σχεδόν δέκα χρόνια μετά και ενώ η τεχνολογία στο διάστημα αυτό έχει κάνει πραγματικά άλματα μπροστά, η κατάσταση στις μεταφορές παραμένει σχεδόν η ίδια.

Είναι πρόδηλο το γιατί δεν έχει γίνει ακόμα το βήμα αυτό. Η αξιολόγηση αυτών των συστημάτων που έχει γίνει μέχρι σήμερα δεν έχει πείσει για την αξία τους. Είναι γεγονός ότι η μέχρι τώρα εφαρμογή αυτών των συστημάτων έχει γίνει σε περιορισμένης έκτασης πειράματα και με μαθηματικά μοντέλα. Για όσο δεν αποφασίζεται μία δοκιμή αυτών των συστημάτων σε ένα πραγματικό δίκτυο και υπό πραγματικές συνθήκες, οι αμφιβολίες για την αξία των εν λόγω συστημάτων θα παραμένουν, και έτσι θα συνεχίζεται η σημερινή κατάσταση . Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί ότι ακόμα και από τις δοκιμές που έχουν γίνει μέχρι σήμερα δεν έχουν καταλήξει όλες στα ίδια αποτελέσματα, ενώ οι εκτιμήσεις ποικίλουν από πολύ αισιόδοξες σε πολύ απαισιόδοξες.

2.7.1. Τα Πιθανά Οφέλη από την Εφαρμογή των Συστημάτων Πληροφόρησης

Τα πιθανά οφέλη που θα έχει η εφαρμογή αυτών των συστημάτων στα δίκτυα κυκλοφορίας θα πρέπει να τα δούμε από δύο σημεία τοποθέτησης. Από την πλευρά των χρηστών καθώς και από την πλευρά του ευρύτερου κοινωνικού συνόλου (Khattak, Al-Deek & Hall, 1994).

Τα οφέλη που ενδεχομένως θα αποκομίσουν οι χρήστες, συνηθίζουμε να τα βλέπουμε από τη σκοπιά της μείωσης του κόστους της διαδρομής των χρηστών στο δίκτυο. Από τις περισσότερες μελέτες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα πάνω σε αυτό το θέμα προκύπτει ότι οι χρήστες θα απολαμβάνουν οφέλη σε όσον αφορά στο κόστος μετακίνησης από τη χρήση αυτών των συστημάτων πληροφόρησης. Κανείς βέβαια δεν ξέρει αν τα οφέλη αυτά θα τα αποκομίζουν όλοι οι χρήστες ή αν θα είναι προνόμιο αυτών που θα έχουν πρόσβαση σε δυναμική πληροφόρηση. Κανένας επίσης δεν ξέρει ποια είναι η σωστή στρατηγική που θα αποδώσει τα καλύτερα αποτελέσματα (η διάθεση της πληροφορίας σε όλους τους χρήστες ή μόνο σε ένα ποσοστό αυτών;) Αυτό που είναι βέβαιο είναι ότι όλοι οι χρήστες δεν μπορεί να έχουν τα ίδια οφέλη. Στο ίδιο κεφάλαιο θα αναφερθούμε πιο συγκεκριμένα στα πειράματα που έχουν γίνει μέχρι σήμερα για την εφαρμογή των δυναμικών συστημάτων πληροφόρησης.

Τα οφέλη όμως προς τους χρήστες δεν είναι μόνο αυτά, τα οποία σχετίζονται με τη μείωση με τη μείωση του κόστους της μετακίνησης . Τα σημαντικότερα ίσως οφέλη που μπορεί να αποκομίσουν οι χρήστες είναι τα εξής:

- i. Λιγότερο άγχος, ακόμα και αν οι χρήστες δεν αλλάζουν την επιλογή διαδρομής που έχουν κάνει (λόγω του ότι έχουν τη δυνατότητα να γνωρίζουν την κατάσταση που θα συναντήσουν κατάντη).
- ii. Μεγαλύτερη αξιοπιστία του συστήματος, ειδικά στους χρόνους άφιξης, πράγμα που επιφέρει και μεγαλύτερη αξιοπιστία στους χρόνους αναχώρησης.
- iii. Μεγαλύτερη δυνατότητα αποφυγής των σημείων του δικτύου που παρουσιάζουν μεγάλη συμφόρηση. Αυτό είναι σημαντικό για χρήστες που θέλουν να αποφεύγουν τις μεγάλες ουρές αναμονής και να επιλέγουν διαδρομές που δεν παρουσιάζουν φαινόμενα συμφόρησης, ακόμα και αν οι τελευταίες έχουν μεγαλύτερο κόστος από τις προηγούμενες.

- iv. Δυνατότητα αλλαγής του προγράμματος των δραστηριοτήτων του χρήστη έτσι ώστε να μην χάνεται χρόνος.

Τα οφέλη για το ευρύτερο κοινωνικό σύνολο πηγάζουν από την κατά κάποιο τρόπο βελτιστοποίηση του συστήματος που επιτυγχάνεται με αυτόν τον τρόπο. Μικρότεροι χρόνοι διαδρομής και αποφυγή της συμφόρησης σημαίνουν αυτόματα μικρότερη κατανάλωση καυσίμου και μικρότερες εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα.

Στο άλλο εντελώς άκρο, έχουν διατυπωθεί απόψεις οι οποίες υποστηρίζουν ότι τα οφέλη από την εφαρμογή των δυναμικών συστημάτων πληροφόρησης θα είναι μηδαμινά. Η δυνατότητα βελτιστοποίησης του ατομικού χρόνου διαδρομής μέσα στο δίκτυο δεν σημαίνει απαραίτητα και βελτιστοποίηση του ίδιου του δικτύου. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να οδηγήσει και σε ακραίες καταστάσεις όπως το Παράδοξο του Braess (Braess, 1968). Αυτή η πρόταση περιγράφει μία κατάσταση κατά την οποία η προσπάθεια των χρηστών για να επιτύχουν μικρότερους χρόνους διαδρομής μέσα στο δίκτυο, προκαλεί ως αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου διαδρομής για όλους τους χρήστες του δικτύου.

2.7.2. Μελέτες σχετικές με την εφαρμογή των δυναμικών συστημάτων πληροφόρησης

Το 1979 έγινε μία μελέτη ενός συστήματος ελέγχου της κυκλοφορίας (Kobayashi, 1979), στην οποία αναπτύχθηκε ένα μοντέλο προσομοίωσης της κυκλοφορίας για τη μελέτη της επίδρασης διαφόρων συστημάτων καθοδήγησης των χρηστών. Τα στοιχεία προήλθαν από μία πιλοτική περιοχή του Τόκιο. Παράγοντες όπως ο αριθμός των λωρίδων της οδού, το κόστος της διαδρομής ή ο αριθμός των στροφών ήταν αυτοί που θεωρήθηκαν ότι παίζουν πρωταρχικό ρόλο στην επιλογή διαδρομής, από τα οχήματα χωρίς κάποιο σύστημα καθοδήγησης ενώ θεωρήθηκε ότι οι καθοδηγούμενοι χρήστες είχαν ως αποκλειστικό κριτήριο επιλογής διαδρομής το κόστος. Τα αποτελέσματα προέβλεψαν ένα κέρδος 6% για τον συνολικό χρόνο διαδρομής μέσα στο Τόκιο, ενώ η συνολική κατανάλωση καυσίμου θα μειωνόταν κατά 5%.

Μία δεύτερη μελέτη που διεξήχθη σε μία περιοχή του Τόκιο (Tsuiji et al., 1985), όπου δοκιμάστηκε ένα μαθηματικό μοντέλο, το οποίο όμως είχε μία σειρά από παραδοχές, οι

οποίες καθιστούν την ρεαλιστικότητα του μοντέλου μάλλον αμφίβολη. Οι παραδοχές αυτές είναι οι εξής:

- i. Τα καθοδηγούμενα οχήματα κινούνται μέσα στο δίκτυο χωρίς να επηρεάζουν τη κίνηση των άλλων οχημάτων
- ii. Οι χρόνοι διαδρομής σε εναλλακτικές διαδρομές της ίδιας γραμμής επιθυμίας, είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους.
- iii. Υπάρχουν μόνο δύο εναλλακτικές διαδρομές για κάθε ζευγάρι προέλευσης – προορισμού, και η κάθε μία χρησιμοποιείται αποκλειστικά από τη μία από τις δύο τάξεις χρηστών.
- iv. Όλοι οι χρήστες ακολουθούν τις οδηγίες των συστημάτων καθοδήγησης.

Πέρα από τα πρόδηλα προβλήματα αυτού του μοντέλου τα αποτελέσματα ήταν ότι οι καθοδηγούμενοι χρήστες θα φτάνουν στον προορισμό τους πιο γρήγορα με μία πιθανότητα 85%, ενώ θα έχουν και 11% μείωση στον χρόνο διαδρομής.

Μία μελέτη που έγινε στο Λος Άντζελες (Al-Deek et al., 1989) με σκοπό τη μελέτη της επίδρασης των δυναμικών συστημάτων καθοδήγησης που βρίσκονται μέσα στα οχήματα (με την παραδοχή ότι όλοι οι χρήστες – κάτοχοι τέτοιων συστημάτων ακολουθούν τη διαδρομή του ελάχιστου κόστους), έδωσε ως αποτελέσματα πολύ μικρά οφέλη για αυτούς τους χρήστες, σε όσον αφορά τον χρόνο διαδρομής τους μέσα στο δίκτυο (μόλις 3 λεπτά για διαδρομές των 25 λεπτών). Η ίδια μελέτη έδωσε πολύ μεγάλα οφέλη για περιπτώσεις που δεν οφείλονται στη συνήθη συμφόρηση που προκαλείται κατά τις ώρες αιχμής, αλλά σε ατυχήματα ή άλλα γεγονότα.

Η μελέτη των Gartner and Reiss (1987), έδωσε αποτελέσματα που σχετίζονται πολύ με αυτά της παραπάνω μελέτης ενώ μία άλλη μελέτη που έγινε στο Τέξας (Jones et al., 1989) με τη συλλογή στοιχείων από τρεις εναλλακτικές διαδρομές (χρόνοι διαδρομής για διαφορετικές ώρες αναχώρησης και για ένα δοσμένο ζευγάρι προέλευσης-προορισμού) έδειξε ότι οι χρόνοι διαδρομής γενικά μπορούν να μειωθούν από 15 έως 30% με αλλαγή διαδρομής και 10 έως 22% με αλλαγή στο χρόνο αναχώρησης.

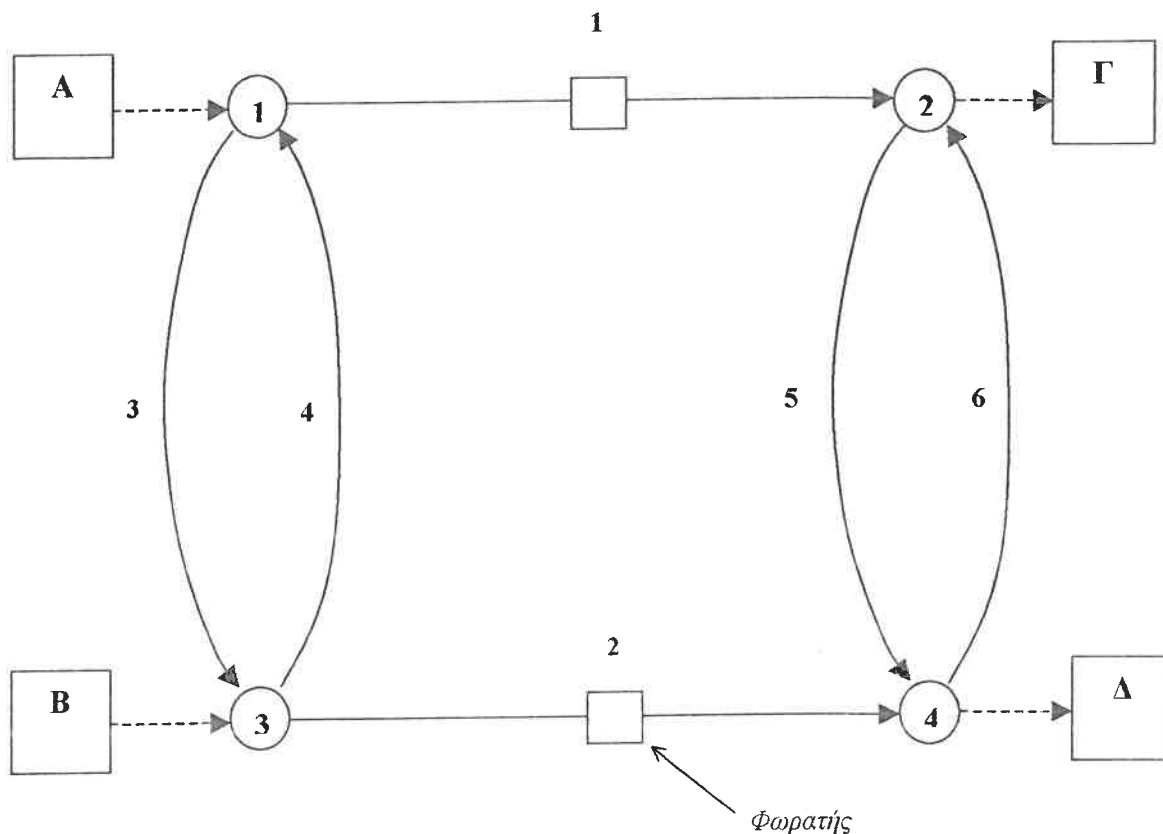
Τέλος μία μελέτη σύγκρισης των δυνατοτήτων των δυναμικών συστημάτων πληροφόρησης σε σχέση με παλαιότερες μελέτες που ερευνούσαν τις αντίστοιχες δυνατότητες στατικών συστημάτων πληροφόρησης, (Jeffery, Russam & Robertson, 1987) εκτίμησε ότι οι χρήστες, οι οποίοι έχουν πρόσβαση σε δυναμική πληροφόρηση θα έχουν οφέλη του 10% κατά μέσο όρο.

Γενικά όλες οι μελέτες ήταν πολύ αισιόδοξες για περιπτώσεις όπου η συμφόρηση προκαλείται λόγω ατυχημάτων ή άλλων γεγονότων σε δίκτυα που δεν είναι υπερφορτωμένα. Όσο η συμφόρηση μεγαλώνει, η αξία της πληροφορίας μικραίνει αφού μειώνονται οι δυνατές εναλλακτικές λύσεις (Koutsopoulos & Lottan, 1995) και έτσι τόσο οι μη καθοδηγούμενοι όσο και οι καθοδηγούμενοι χρήστες παρουσιάζουν μεγάλους χρόνους διαδρομής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΣΡΦΕ ΚΑΙ ΜΡΦΕ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΜΙΑΣ ΚΑΙ ΔΥΟ ΤΑΞΕΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ

3.1 ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΟΥ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 3.1: Το δίκτυο του παραδείγματος

Το δίκτυο αυτό αποτελείται από 4 κόμβους και 6 συνδέσμους (όπως φαίνεται και στο σχήμα 1) και με την μορφή αυτή θα χρησιμοποιηθεί στα δύο παραδείγματα που θα ακολουθήσουν. Θεωρείται ότι στο δίκτυο υπάρχουν δύο ζώνες προέλευσης των μετακινήσεων, οι Α και Β, των οποίων τα κεντροειδή συνδέονται με το δίκτυο στους κόμβους 1 και 3. Υπάρχουν δε και δύο ζώνες προορισμού, οι οποίες είναι οι Γ και Δ, των οποίων τα κεντροειδή συνδέονται με το δίκτυο στους κόμβους 2 και 4. Κάθε μία από τις προαναφερόμενες ζώνες είναι αποκλειστικά ζώνη γένεσης ή ζώνη προσέλκυσης μετακινήσεων.

Στα παραδείγματα θεωρείται επίσης ότι σε κάθε περίοδο γεννώνται μετακινήσεις από κάθε ζώνη προελεύσεως προς κάθε ζώνη προορισμού.

Στον πίνακα 3.1, ο οποίος ακολουθεί δίνονται τα χαρακτηριστικά του δικτύου σε όσον αφορά το σταθερό κόστος των συνδέσμων (με την έννοια του χρόνου διάνυσης αυτών) καθώς και η χωρητικότητα τους.

Επίσης για όλα τα παραδείγματα που θα ακολουθήσουν σε αυτό το δίκτυο θα θεωρηθεί ότι υπάρχουν δύο φωρατές τοποθετημένοι σε ισάριθμους συνδέσμους, στον 1 και στον 2.

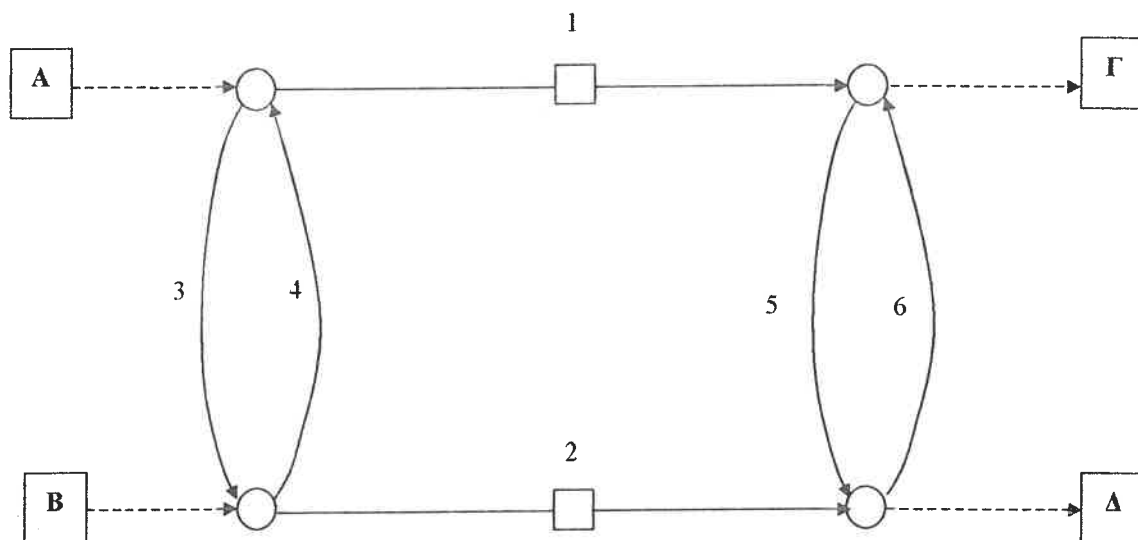
Πίνακας 3.1: Τα χαρακτηριστικά του δικτύου του Bell

Α/Α Συνδέσμου	Κόμβος Από	Κόμβος Προς	Χωρητικότητα (οχημ./περίοδος)	Κόστος (min.)
1	1	2	8	5
2	3	4	8	5
3	1	3	3	2
4	3	1	3	2
5	2	4	10	5
6	4	2	10	5

3.2. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ SPFE ΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟ ΜΙΑΣ ΜΟΝΟ ΤΑΞΕΩΣ ΧΡΗΣΤΩΝ

Παραθέτουμε ένα παράδειγμα εφαρμογής του αλγορίθμου που παρουσιάσαμε στα παραπάνω. Θεωρήσαμε σκόπιμο να εφαρμόσουμε το πρότυπο SPFE σε ένα μικρό (και όσο το δυνατόν απλούστερο) δίκτυο, για να εξετάσουμε την αξιοπιστία του.

Έγινε εφαρμογή του αλγορίθμου σε ένα δίκτυο ,το οποίο αποτελείται από έξι συνδέσμους. Δύο από αυτούς έχουν φωρατές στις εισόδους τους οι οποίοι μετρούν τη ζήτηση (δηλαδή τον αριθμό των οχημάτων που διέρχονται από αυτούς). Όπως φαίνεται και στο σχήμα έχουμε τέσσερα κεντροειδή: Τα Α και Β είναι ζώνες από όπου ξεκινούν οι μετακινήσεις ενώ τα Γ και Δ είναι ζώνες προορισμού. Εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος σε δέκα περιόδους, έτσι ώστε να δείξουμε την εφαρμογή του σε ένα επεισόδιο αιχμής κατά το οποίο παρουσιάζεται συμφόρηση σε ορισμένους μόνο συνδέσμους του δικτύου.



Σχήμα 3.2: Σχεδιάγραμμα του Δικτύου του παραδείγματος

Στο ίδιο δίκτυο στη συνέχεια θα εφαρμόσουμε τον διαμορφωμένο αλγόριθμο των διαδοχικών μέσων για χρήστες που τους έχουμε χωρίσει σε δύο τάξεις: Σε αυτούς οι οποίοι έχουν πρόσβαση σε κάποιο σύστημα πληροφόρησης (όπως ο πληροφοριακός

χάρτης του Web site του ΕΜΠ ή ένα σύστημα VMS ή RDS). Ειδικά δε για συστήματα όπως τα παραπάνω, τα οποία προσφέρονται σε μεγάλη μερίδα των χρηστών του δικτύου, πιστεύουμε ότι θα πρέπει να γίνει ο διαχωρισμός, στον οποίο αναφερθήκαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο: δηλαδή σε καθοδηγούμενους και μη-καθοδηγούμενους χρήστες. Αυτό βέβαια θα πρέπει να γίνει για τους λόγους που αναφέραμε. Σε αυτό το πρώτο παράδειγμα θεωρείται ότι κανένα σύστημα πληροφόρησης δεν είναι διαθέσιμο στους χρήστες του δικτύου, ή ακόμα και αν αυτό δεν συμβαίνει ότι το ποσοστό των πληροφορούμενων χρηστών είναι αμελητέο. Κάνουμε και εδώ την παραδοχή η οποία γίνεται από όλους τους στοχαστικούς αλγορίθμους, δηλαδή ότι το γεγονός ότι οι χρήστες ακολουθούν διαφορετικές διαδρομές για να μεταφερθούν από την ίδια προέλευση στον ίδιο προορισμό, οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στις διαφορετικές τους εκτιμήσεις για το κόστος (στην ουσία τον χρόνο) διάνυσης των συνδέσμων, και συνεπώς για τους αντίστοιχους χρόνους διάνυσης των διαδρομών.

Στον παρακάτω πίνακα (στον Πίνακα 3.2)παρατίθενται οι μετρήσεις των φόρτων στους συνδέσμους σε δέκα διαφορετικές περιόδους

Πίνακας 3.2: Μετρήσεις φόρτων σε δέκα περιόδους

Περίοδος	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Σύνδεσμος										
1	5.00	10.00	11.00	10.00	8.00	7.00	5.00	5.00	4.00	3.00
2	5.00	10.00	11.00	10.00	8.00	7.00	5.00	5.00	4.00	3.00

Άλλα χαρακτηριστικά του δικτύου τα οποία μας ενδιαφέρουν είναι το σταθερό κόστος των συνδέσμων και η ικανότητα αυτών. Αυτά παρατίθενται στον πίνακα 3.3

Πίνακας 3.3: Ικανότητα και σταθερό κόστος των συνδέσμων

Σύνδεσμοι	1	2	3	4	5	6
Κόστος(σε min.)	5.00	5.00	2.00	2.00	5.00	5.00
Ικανότητα	8.00	8.00	3.00	3.00	10.00	10.00

Ένας από τους κύριους λόγους για τους οποίους παρουσιάζουμε μία εφαρμογή σε ένα μικρό δίκτυο είναι η δυνατότητα που έχουμε να δοκιμάσουμε τον αλγόριθμο κάνοντας τη θεώρηση ότι τα οχήματα κινούνται σε όλες τις δυνατές διαδρομές. Στην εφαρμογή που θα ακολουθήσει για ένα πιο διευρυμένο δίκτυο θα δούμε ότι κάτι τέτοιο είναι πρακτικά ανέφικτο, λαμβάνοντας υπ' όψιν μας και τον μεγάλο αριθμό επαναλήψεων που χρειάζονται ώστε ο αλγόριθμος να συγκλίνει. Έτσι για μεγάλα δίκτυα θα πρέπει να κάνουμε κάποιες αλλαγές στον αλγόριθμο (ή μάλλον καλύτερα κάποιες προσθήκες), θεωρώντας ότι οι χρήστες κινούνται μόνο σε ορισμένες διαδρομές.

Θεωρούμε σκόπιμο να παραθέσουμε και έναν πίνακα ,ο οποίος αναφέρει όλες τις δυνατές διαδρομές των οχημάτων μέσα στο δίκτυο , καθώς και τους συνδέσμους από τους οποίους αποτελούνται.

Πίνακας 3.4: Διαδρομές που ακολουθούν οι χρήστες στο δίκτυο

Διαδρομές	Σύνδεσμοι
1	1
2	2,3,6
3	2
4	1,4,5
5	2,3
6	1,5
7	1,4
8	2,6

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του αλγόριθμου, του οποίου η λειτουργία περιγράφεται λεπτομερώς σε προηγούμενο κεφάλαιο, παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα . Μπορεί κάποιος να παρατηρήσει ότι η περίοδος αιχμής κατά την οποία παρατηρούνται τα φαινόμενα συμφόρησης (ή τουλάχιστον η δημιουργία τους) συντελείται στις περιόδους 2,3 και 4. Οι ουρές, οι οποίες παρατηρούνται και στις περιόδους που ακολουθούν, οφείλονται στο ότι τα οχήματα που συγκεντρώνονται κατά

τις περιόδους αιχμής στους κόμβους μεταφέρονται από τη μία περίοδο στην άλλη έως ότου αφήσουν τον σύνδεσμο.

Πίνακας 3.5: Ζήτηση για τους συνδέσμους (αποτέλεσμα της εφαρμογής του αλγορίθμου SPFE για μία τάξη χρηστών)

Περίοδοι		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Σύνδεσμοι	Ικανότητα										
1	8,000	5,000	10,000	11,000	10,000	8,000	7,000	5,000	5,000	4,000	3,000
2	8,000	5,000	10,000	11,000	10,000	8,000	7,000	5,000	5,000	4,000	3,000
3	3,000	2,251	4,388	4,676	4,157	3,306	2,898	2,106	2,141	1,753	1,350
4	3,000	2,251	4,388	4,676	4,157	3,306	2,898	2,106	2,141	1,753	1,350
5	10,000	1,888	3,775	4,153	3,775	3,020	2,643	1,888	1,888	1,510	1,133
6	10,000	1,888	3,775	4,153	3,775	3,020	2,643	1,888	1,888	1,510	1,133

Στον πίνακα που ακολουθεί βλέπουμε την εξέλιξη των ουρών σε όλες τις περιόδους. Είναι εύλογο ότι αναμένουμε το μεγαλύτερο ποσοστό των οχημάτων να κινηθεί στους συνδέσμους με το μικρότερο κόστος και τελικά στις ελάχιστες διαδρομές. Έτσι είναι λογικό οι σύνδεσμοι αυτοί να εμφανίζουν και τη μεγαλύτερη συμφόρηση. Όπως παρατηρούμε και στον πίνακα οι ουρές φαίνονται να επιμένουν και μετά το πέρας της ώρας αιχμής στους συνδέσμους 3 και 4 (οι οποίοι έχουν και το μικρότερο σταθερό κόστος). Αντίθετα μπορούμε να δούμε ότι στους συνδέσμους 5 και 6 δεν παρατηρούνται ουρές προφανώς λόγω της χαμηλής ζήτησης.

Στη συνέχεια παραθέτουμε και ένα διάγραμμα της εξέλιξης τόσο των φόρτων όσο και των ουρών των συνδέσμων.

Πίνακας 3.6: Ουρές στους συνδέσμους

Περίοδοι		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Σύνδεσμοι	Ικανότητα										
1	8,000	0.000	2,000	5,000	7,000	7,000	6,000	3,000	0.000	0.000	0.000
2	8,000	0.000	2,000	5,000	7,000	7,000	6,000	3,000	0.000	0.000	0.000
3	3,000	0.000	1,388	3,064	4,218	4,523	4,423	3,535	2,686	1,444	0.000
4	3,000	0.000	1,388	3,064	4,218	4,523	4,423	3,535	2,686	1,444	0.000
5	10,000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	10,000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

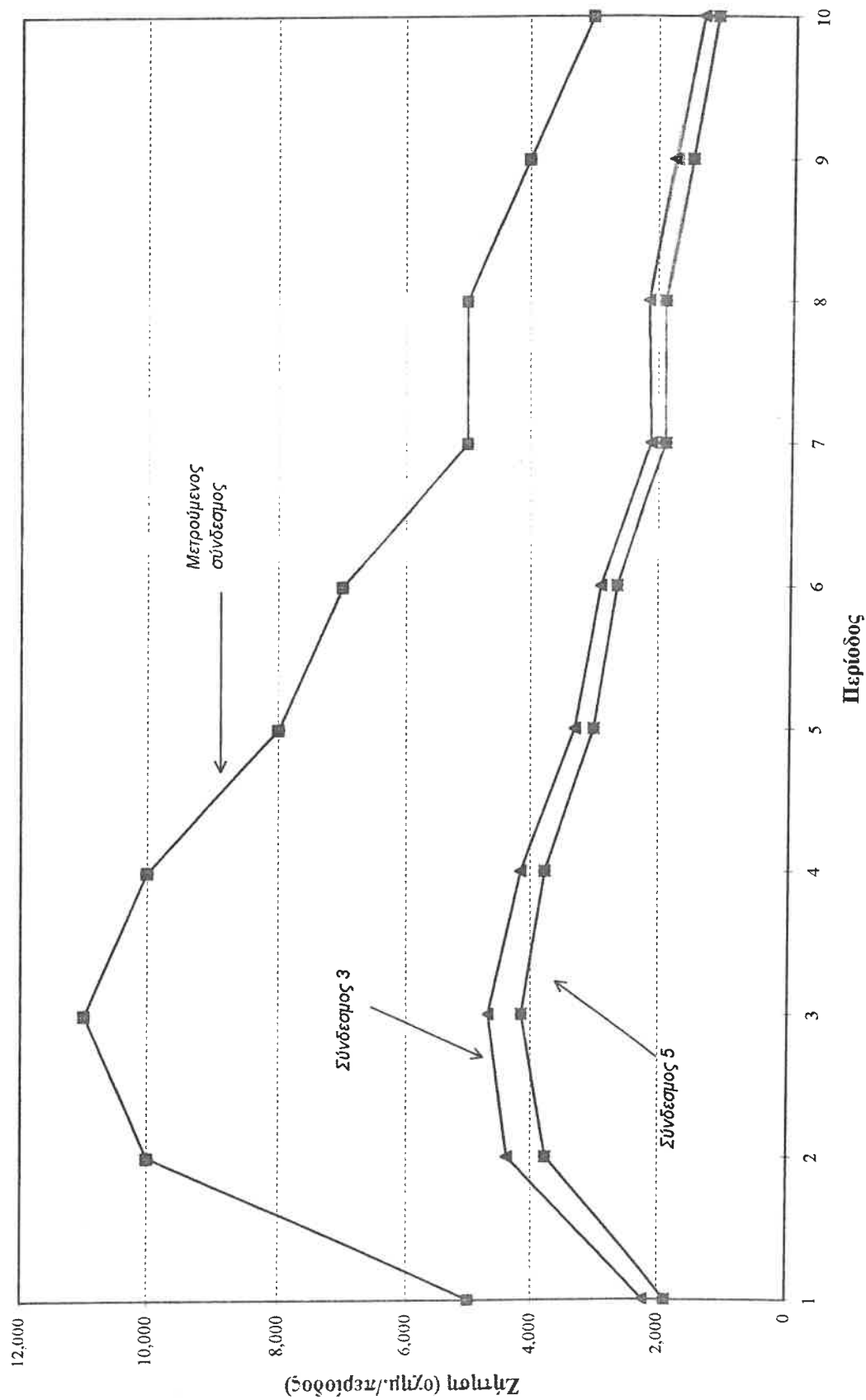
Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι καθυστερήσεις στους συνδέσμους εξ' αιτίας της συμφόρησης. Εδώ θα πρέπει να διευκρινίσουμε τη θεώρηση που έχουμε κάνει, ότι δηλαδή οι καθυστερήσεις πραγματοποιούνται στους κόμβους και όχι στους συνδέσμους. Με άλλα λόγια τα οχήματα που σχηματίζουν τις ουρές θεωρούμε ότι διατρέχουν έναν ψευδό-σύνδεσμο με κόστος όσο η καθυστέρηση στον κόμβο. Οι καθυστερήσεις είναι ευθέως ανάλογες των ουρών που σχηματίζονται στους κόμβους και δίνονται από την πράξη $[d_i] = [S]^{-1} [q_i]$. Ως εκ τούτου και σύμφωνα με τη θεώρηση την οποία αναφέραμε οι καθυστερήσεις στους κόμβους δεν έχουν καμία άμεση χρησιμότητα στο παράδειγμα που παραθέτουμε αφού δεν λαμβάνονται υπ' όψιν κατά την εκτέλεση του αλγόριθμου. Θα παίξουν όμως σημαντικό ρόλο στην τελική μορφή του αλγορίθμου, η οποία θα παρουσιαστεί στην συνέχεια. Αυτό που θα πρέπει σαφώς να ξεκαθαρίσουμε είναι ότι οι καθυστερήσεις δεν λαμβάνονται τελικά υπ' όψιν κατά την εκτέλεση του αλγόριθμου αφού δεν αποτελούν χαρακτηριστικό των συνδέσμων, από τους οποίους αποτελείται το δίκτυο, αλλά χαρακτηριστικό των ψευδό-συνδέσμων, στους οποίους προαναφερθήκαμε.

Πίνακας 3.7: Καθυστερήσεις στους κόμβους (σε .min)

Περίοδοι		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Σύνδεσμοι	Ικανότητα										
1	5,000	0.000	0.250	0.625	0.875	0.875	0.750	0.375	0.000	0.000	0.000
2	5,000	0.000	0.250	0.625	0.875	0.875	0.750	0.375	0.000	0.000	0.000
3	2,000	0.000	0.462	1,021	1,407	1,508	1,474	1,176	0.892	0.480	0.000
4	2,000	0.000	0.462	1,021	1,407	1,508	1,474	1,176	0.892	0.480	0.000
5	5,000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	5,000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Μία παρατήρηση που θα μπορούσαμε να κάνουμε τόσο για τον πίνακα 3.6 όσο και για τον πίνακα 3.7 σχετίζεται με την παραδοχή ή μάλλον και με την προσπάθεια των Bell, Lam και Iida οι σύνδεσμοι να μην συνδέουν πλέον τους κόμβους μόνο στον χώρο αλλά τελικά και στον χρόνο. Αυτό έχει επιτευχθεί με το να μεταφέρονται οι ουρές από τη μία περίοδο στην άλλη, κάτι που πιστεύουμε ότι είναι εμφανές από τους παραπάνω πίνακες, όπου οι ουρές μιας περιόδου προστίθενται σε αυτές της επομένης.

Σχήμα 3.3: Εξέλιξη της ζήτησης όλων των συνδέσιμων για δίκτυο μίας τάξεως χρηστών



3.3. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ SPFE ΣΕ ΔΙΚΤΥΟ ΣΤΟ ΟΠΟΙΟ ΚΙΝΟΥΝΤΑΙ ΔΥΟ ΤΑΞΕΙΣ ΧΡΗΣΤΩΝ (ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΠΟΥΣΙΑ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ)

Το προηγούμενο ακριβώς παράδειγμα, το οποίο πραγματοποιήθηκε για μία μόνο τάξη χρηστών, εκτελέστηκε και για δίκτυο στο οποίο θεωρούμε εκ των προτέρων ότι υπάρχουν δύο τάξεις χρηστών: Αυτοί οι οποίοι έχουν πρόσβαση σε κάποιο σύστημα πληροφόρησης ή καθοδήγησης (είτε αυτό βρίσκεται μέσα στο όχημα, είτε πρόκειται για κάποιο σύστημα VMS ή RDS), και αυτοί οι οποίοι δεν έχουν στη διάθεση τους κανένα μέσο πληροφόρησης. Βέβαια το αν πρέπει να χωρίσουμε τους χρήστες σε δύο μόνο ή και περισσότερες τάξεις θα μπορούσε κάλλιστα να αποτελέσει θέμα μιας πολύ μακριάς συζήτησης αφού, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, ο διαχωρισμός σε δύο μόνο τάξεις αποτυγχάνει να λάβει υπ' όψιν του τις διαφορές στη συμπεριφορά (η οποία είναι ασφαλώς προϊόν του διαφορετικού βαθμού πληροφόρησης των χρηστών) αυτών που κατέχουν κάποιο δυναμικό σύστημα καθοδήγησης μέσα στο όχημά τους, το οποίο ενδεχομένως να τους παρέχει σαφείς οδηγίες για το πώς θα φτάσουν πιο γρήγορα στον προορισμό τους, και αυτών που έχουν πρόσβαση σε πηγές πληροφόρησης καθαρά συμβουλευτικού χαρακτήρα (είτε αυτό το σύστημα είναι δυναμικό ή όχι). Επίσης θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν και το είδος της πληροφορίας που δίνεται στους χρήστες, καθώς διαφορετικά είδη μηνύματος ενδέχεται να έχουν και διαφορετικά αποτελέσματα στον καταμερισμό στο δίκτυο. Τέτοιες πηγές πληροφόρησης είναι όλα τα συστήματα για *pre-trip* πληροφόρηση (πληροφόρηση πριν από την πραγματοποίηση της μετακίνησης) όπως οι αναφορές της τροχαίας για την κίνηση στους δρόμους από τους ραδιοφωνικούς σταθμούς, ή ακόμα και ο πληροφοριακός χάρτης της σελίδας του εργαστηρίου μεταφορών στο Web Site του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Τέτοιοι τρόποι ενημέρωσης δεν μπορούν παρά να είναι γενικής φύσεως αφού απευθύνονται σε ένα μεγάλο αριθμό χρηστών με διαφορετικές προελεύσεις και διαφορετικούς προορισμούς. Γι' αυτό και τα μέσα αυτά μπορούν να έχουν μόνο έναν καθαρά "συμβουλευτικό" χαρακτήρα. Της ίδιας ακριβώς φιλοσοφίας είναι και τα συστήματα, τα οποία βασίζονται στην τεχνολογία των RDS.

Το σύστημα των Πινακίδων Μεταβλητού Μηνύματος (VMS) που προωθεί το ΕΜΠ και ο δήμος Αθηναίων έχει μία κάπως ξεχωριστή φιλοσοφία αφού απευθύνεται σε χρήστες με την ίδια προέλευση αλλά σαφώς με πολλούς και διαφορετικούς προορισμούς. Έτσι είναι δυνατόν στους χρήστες αυτούς να παρέχουμε πληροφόρηση περισσότερο εξειδικευμένη, με μηνύματα τα οποία θα στοχεύουν ακριβώς στο *mental map* (τον αδρό νοητό χάρτη του δικτύου) του χρήστη. Βέβαια και πάλι δεν μπορούμε να μιλήσουμε για συστήματα καθοδήγησης αλλά για μέσα πληροφόρησης των χρηστών με την χρήση των οποίων, κάτι που εξαρτάται και από την κατάλληλη κάθε φορά χρήση είδους μηνύματος, μπορούμε έμμεσα να κατευθύνουμε ένα σχετικά μεγάλο ποσοστό χρηστών.

Όλα τα παραπάνω τα αναφέρθηκαν ακριβώς για να δείχτεί ότι χρήστες με διαφορετικό είδος μέσου πληροφόρησης ενδέχεται να έχουν και διαφορετική συμπεριφορά κατά την κίνηση τους μέσα στο δίκτυο. Πιστεύουμε δε ότι ο διαχωρισμός των χρηστών σε δύο μόνο τάξεις ανάλογα με το αν δέχονται πληροφόρηση ή όχι θα ήταν μάλλον ανεπαρκής σε ένα δίκτυο, στο οποίο θα συνυπήρχαν χρήστες με κατοχή ενός συστήματος καθοδήγησης και χρήστες που χρησιμοποιούν κάποιο άλλο μέσο πληροφόρησης.

Δεδομένου όμως ότι τα συστήματα καθοδήγησης δεν είναι τόσο διαδεδομένα (στην Ελλάδα, τουλάχιστον αυτή τη στιγμή, είναι μάλλον ανύπαρκτα) θεωρούμε σκόπιμο για το συγκεκριμένο παράδειγμα, αλλά και σε όποια εφαρμογή του συγκεκριμένου αλγορίθμου γίνει στο εγγύς μέλλον, να χωρίσουμε τους χρήστες σε δύο μόνο τάξεις. Επίσης θα πρέπει να αναφερθούμε και στο ότι θεωρούμε καθοδηγούμενους τους χρήστες αυτούς οι οποίοι δέχονται και ακολουθούν τις συμβουλές που τους δίνονται από τα συστήματα πληροφόρησης.

Το παράδειγμα εκτελέστηκε για το ίδιο δίκτυο που χρησιμοποιήθηκε και στο προηγούμενο παράδειγμα και για τις ίδιες μετρήσεις φόρτων, με μόνη διαφορά ότι τώρα θεωρούμε ότι οι φωρατές μπορούν πλέον και ξεχωρίζουν τα κατευθυνόμενα και τα μη-κατευθυνόμενα οχήματα. Έτσι ο πίνακας μετρήσεων των φόρτων (της ζήτησης) στις εισόδους των συνδέσμων 1 και 2 θα έχει διαμορφωθεί ως εξής:

Πίνακας 3.8: Μετρήσεις φόρτων σε δέκα περιόδους

Περίοδος	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Σύνδεσμος										
1(Σύνολο)	5.00	10.00	11.00	10.00	8.00	7.00	5.00	5.00	4.00	3.00
2(Σύνολο)	5.00	10.00	11.00	10.00	8.00	7.00	5.00	5.00	4.00	3.00
1(Καθοδηγούμενοι)	1.00	2.00	2.20	2.00	1.60	1.40	1.00	1.00	0.80	0.60
1(Μη -Καθοδηγούμενοι)	4.00	8.00	8.80	8.00	6.40	5.60	4.00	4.00	3.20	2.40
2(Καθοδηγούμενοι)	1.00	2.00	2.20	2.00	1.60	1.40	1.00	1.00	0.80	0.60
2(Μη -Καθοδηγούμενοι)	4.00	8.00	8.80	8.00	6.40	5.60	4.00	4.00	3.20	2.40

Εδώ πιστεύουμε ότι οφείλουμε να αναφέρουμε την παραδοχή που έχουμε κάνει, δηλαδή ότι από όλους τους χρήστες του δικτύου εμείς μπορούμε να κατευθύνουμε ένα ποσοστό μόλις 20 %. Παρ'ότι πριν αναφέραμε ότι οι φωρατές "αναγνωρίζουν" αυτά ακριβώς δεν συμβαίνει. Σε όλα τα συστήματα μέτρησης της κυκλοφορίας οι φωρατές είναι συνήθως εγκατεστημένοι σε ορισμένα κεντρικά σημεία του δικτύου. Άρα εμείς εντοπίζουμε τους χρήστες σε μία περιοχή, η οποία βρίσκεται πολύ μακριά από εκεί που δέχτηκαν το μήνυμα που τους δώσαμε π.χ. μέσω του VMS. Έτσι μας είναι αδύνατον να ξεχωρίσουμε ποιοι είναι αυτοί που είναι κατευθυνόμενοι. Το μόνο που πραγματικά γνωρίζουμε (με την προϋπόθεση ότι κατέχουμε ένα σύστημα, το οποίο ανά πάσα στιγμή μας δίνει το ποσοστό των χρηστών που επηρεάζουμε με κάποιο μήνυμα ανάλογα με το αν και κατά πόσο επηρεάζεται το *mental map* του χρήστη) είναι ότι σε κάποια δεδομένη χρονική στιγμή ένα ποσοστό από τους χρήστες που κινούνται στο δίκτυο (και όπως είναι εύλογο και από αυτούς που μετρούν οι ανιχνευτές μας) έχουν παραπάνω πληροφόρηση από τους υπολοίπους. Έτσι πιστεύουμε ότι δικαιούμαστε να χωρίζουμε τα οχήματα από την αρχή σε κατευθυνόμενα και μη.

Παραθέτουμε πάλι τα στοιχεία του δικτύου τα οποία πρέπει να γνωρίζει ο αναγνώστης, δηλαδή το κόστος των συνδέσμων καθώς και την ικανότητα αυτών.

Πίνακας 3.9: Ικανότητα και σταθερό κόστος των συνδέσεων

Σύνδεσμοι	1	2	3	4	5	6
Κόστος(σε min.)	5.00	5.00	2.00	2.00	5.00	5.00
Ικανότητα	8.00	8.00	3.00	3.00	10.00	10.00

Τώρα μπορούμε να παραθέσουμε τα αποτελέσματα σύμφωνα με την "Εκτιμήτρια των φόρτων των διαδρομών δικτύου πολλών τάξεων χρηστών" (MPFE) των Bell, Lam και Iida (1995) . Θεωρείται σκόπιμο να επαναληφθεί για ακόμη μια φορά ότι το χαρακτηριστικό που ξεχωρίζει τους κατευθυνόμενους από τους όχι κατευθυνόμενους χρήστες είναι ο συντελεστής κατευθυντικότητας α ο οποίος για τους μεν είναι 1.00, ενώ αντίστοιχα για τους δε τον θεωρούμε ίσο με 0.10. Βέβαια αυτές είναι οι τιμές που έχουν δώσει οι Bell, Lam και Iida, τις οποίες θα μπορούσαμε να προσαρμόσουμε ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε δικτύου με μόνο περιορισμό να ισχύει πάντα ότι το α είναι μικρότερο ή ίσο του 1.00 (για $\alpha > 0$ βέβαια).

Παραθέτουμε πάλι τον πίνακα των δυνατών διαδρομών που ακολουθούνται στο δίκτυο:

Πίνακας 3.10: Διαδρομές που ακολουθούν οι χρήστες στο δίκτυο

Διαδρομές	Σύνδεσμοι
1	1
2	2,3,6
3	2
4	1,4,5
5	2,3
6	1,5
7	1,4
8	2,6

Η εφαρμογή του επαναληπτικού αλγορίθμου μας έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα:

Πίνακας 3.11: Ζήτηση για τους συνδέσμους (αποτέλεσμα της εφαρμογής του προτύπου MPFE για δύο τάξεις χρηστών και όπου θεωρούμε ότι ένα ποσοστό 20% των χρηστών είναι κατευθυνόμενο)

Περίοδοι		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Σύνδεσμοι	Ικανότητα										
1	8,000	5,000	10,000	11,000	10,000	8,000	7,000	5,000	5,000	4,000	3,000
2	8,000	5,000	10,000	11,000	10,000	8,000	7,000	5,000	5,000	4,000	3,000
3	3,000	1,920	3,744	3,993	3,571	2,869	2,545	1,884	1,920	1,536	1,152
4	3,000	1,920	3,744	3,993	3,571	2,869	2,545	1,884	1,920	1,536	1,152
5	10,000	1,517	3,034	3,337	3,034	2,427	2,124	1,517	1,517	1,213	0.910
6	10,000	1,517	3,034	3,337	3,034	2,427	2,124	1,517	1,517	1,213	0.910

Είναι πιστεύουμε εμφανές ότι ο αλγόριθμος εκτιμά μικρότερες τιμές για τους φόρτους των συνδέσμων (και άρα και για τους φόρτους των διαδρομών), όταν θεωρήσουμε ότι κάποιο τμήμα των χρηστών κατευθύνεται. Είναι εύλογο ότι αναμένουμε ο αλγόριθμος να έχει εκτιμήσει για τα ίδια δεδομένα μικρότερες ουρές και βέβαια μικρότερες καθυστερήσεις στους κόμβους. Αυτό που αναμένουμε ως αποτέλεσμα είναι επίσης οι ουρές να εξαφανίζονται πολύ πιο γρήγορα απ'ότι συμβαίνει για το ίδιο δίκτυο μιας μόνο τάξης χρηστών. Κάτι τέτοιο θα είναι συμβατό και με αυτά, στα οποία αναφερθήκαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο και που έχουν να κάνουν με τα οφέλη που θα προκύψουν από μία εκτεταμένη χρήση συστημάτων πληροφόρησης και καθοδήγησης. Η εκτίμηση αυτών των οφελών προέκυψε από διάφορα μοντέλα που έχουν κατασκευάσει διάφοροι ερευνητές κατά καιρούς.

Το ότι δεν έχει δοκιμαστεί ο συγκεκριμένος αλγόριθμος σε κάποιο πραγματικό δίκτυο, αλλά και κυρίως το ότι μέχρι σήμερα δεν έχει εφαρμοστεί κανένα μαζικό μέσο πληροφόρησης ή καθοδήγησης των χρηστών έτσι ώστε να μεταβληθεί η εικόνα του δικτύου, μας υποχρεώνει να καταφύγουμε ακριβώς στα μοντέλα στα οποία αναφερθήκαμε ακριβώς παραπάνω για να αξιολογήσουμε τον αλγόριθμο καθώς και τα αποτελέσματα αυτού.

Στους πίνακες που ακολουθούν φαίνεται η εξέλιξη των ουρών αλλά και οι καθυστερήσεις στους κόμβους, έτσι όπως προκύπτουν από την ίδια γραμμική σχέση που χρησιμοποιήσαμε και προηγουμένως.

Πίνακας 3.12: Η εξέλιξη των ουρών των συνδέσμων κατά την εφαρμογή του προτύπου MPFE για δύο τάξεις χρηστών

Περίοδοι		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Σύνδεσμοι	Ικανότητα										
1	8,000	0.000	2,000	5,000	7,000	7,000	6,000	3,000	0.000	0.000	0.000
2	8,000	0.000	2,000	5,000	7,000	7,000	6,000	3,000	0.000	0.000	0.000
3	3,000	0.000	0.740	1,722	2,279	2,135	1,669	0.547	0.000	0.000	0.000
4	3,000	0.000	0.740	1,722	2,279	2,135	1,669	0.547	0.000	0.000	0.000
5	10,000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	10,000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Παρατηρούμε ότι οι ουρές εξαφανίζονται πολύ πιο γρήγορα απ'ότι στο προηγούμενο παράδειγμα. Στον πίνακα 3.13 δίνονται και οι καθυστερήσεις:

Πίνακας 3.13: Καθυστερήσεις στους συνδέσμους (σε .min)

Περίοδος	Σταθερό	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Σύνδεσμοι	Κόστος										
1	5,000	0.000	0.250	0.625	0.875	0.875	0.750	0.375	0.000	0.000	0.000
2	5,000	0.000	0.250	0.625	0.875	0.875	0.750	0.375	0.000	0.000	0.000
3	2,000	0.000	0.248	0.578	0.764	0.716	0.560	0.184	0.000	0.000	0.000
4	2,000	0.000	0.248	0.578	0.764	0.716	0.560	0.184	0.000	0.000	0.000
5	5,000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	5,000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

3.4. Μία προσπάθεια αξιολόγησης των οφελών των χρηστών από τα δυναμικά συστήματα πληροφόρησης που προκύπτουν με την εφαρμογή του προτύπου των διαδοχικών μέσων (για μία και για δύο τάξεις χρηστών)

Αυτό που φαίνεται με τη πρώτη ματιά από τα αποτελέσματα των δύο δοκιμών είναι το γεγονός της πιο γρήγορης "εξαφάνισης" των ουρών στην περίπτωση της θεώρησης ότι ένα ποσοστό από τους χρήστες καθοδηγείται με δυναμικά συστήματα πληροφόρησης. Η πιο γρήγορη εξαφάνιση των ουρών βέβαια αποτελεί ένα σημαντικό όφελος για το ίδιο το σύστημα και το ευρύτερο κοινωνικό σύνολο.

Το πρόβλημα αξιολόγησης του αλγόριθμου σε όσο αφορά αυτό ακριβώς το θέμα της επιρροής των δυναμικών συστημάτων πληροφόρησης στον καταμερισμό των μετακινήσεων στο δίκτυο, έγκειται στο ότι δεν υπάρχει μία σαφής εικόνα από τα αποτελέσματα των μελετών που αναφέρθηκαν παραπάνω για τα οφέλη της καθοδήγησης των χρηστών. Η απουσία μίας εφαρμογής αυτών των συστημάτων σε ένα πραγματικό δίκτυο και συνεπώς η απουσία επαρκούς αξιολόγησης τους δεν μας επιτρέπει κάποια αξιολόγηση του προτύπου στο θέμα αυτό.

Από αυτές τις μελέτες προκύπτει ότι οι προβλέψεις είναι για όφελος της τάξης του 10% για τους πληροφορούμενους, σε σχέση με τους μη πληροφορούμενους χρήστες. Γενικά οι εκτιμήσεις των μελετών που έγιναν πάνω σε αυτό το θέμα δεν ήταν πολύ αισιόδοξες σε όσον αφορά την αποφυγή της συμφόρησης που οφείλεται στην αυξημένη ζήτηση κατά τις ώρες αιχμής. Αντίθετα έδωσαν πολύ καλά αποτελέσματα για περιπτώσεις συμφόρησης που οφείλεται σε περίπτωση ατυχημάτων ή άλλων συμβάντων σε ώρες χαμηλής ζήτησης.

Στο σημείο αυτό θα ήταν χρήσιμο να παρατεθεί ο πίνακας των φόρτων των διαδρομών κατά την δέκατη περίοδο, δηλαδή μετά από την εξαφάνιση των ουρών.

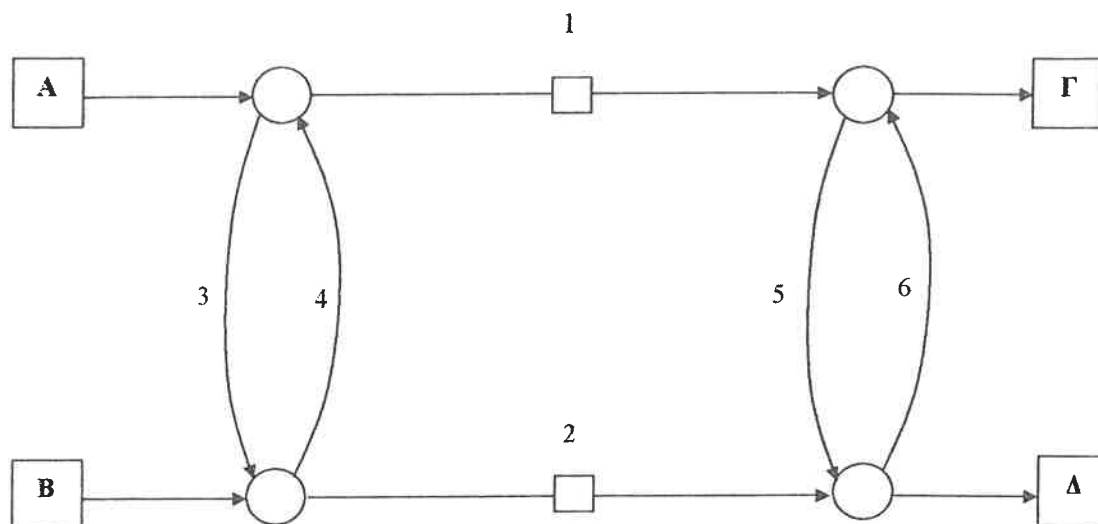
Πίνακας 3.14: Φόρτοι Διαδρομών για τις Δύο Τάξεις Χρηστών

Διαδρομές	Σύνδεσμοι Διαδρομών	Σταθερό Κόστος	Φόρτος (μη καθοδηγούμενοι)	Φόρτος (Καθοδηγούμενοι)	Φόρτος (Σύνολο)
1	1	5	0.821	0.525	1.346
2	2,3,6	12	0.408	0	0.408
3	2	5	0.821	0.525	1.346
4	1,4,5	12	0.408	0	0.408
5	2,3	7	0.673	0.071	0.744
6	1,5	10	0.498	0.004	0.502
7	1,4	7	0.673	0.071	0.744
8	2,6	10	0.498	0.004	0.502

Αυτό που θα μπορούσε να παρατηρήσει κάποιος είναι ότι πράγματι το πρότυπο της Εκτιμήτριας των Φόρτων των Διαδρομών Δικτύου πολλών Τάξεων Χρηστών (Multi-Class Path Flow Estimator, MPFE), προβλέπει διαφορά στη συμπεριφορά των χρηστών, οι οποίοι έχουν στη διάθεση τους κάποιο δυναμικό μέσο πληροφόρησης, από αυτούς που δεν έχουν τέτοια δυνατότητα.

Όπως φαίνεται από τον πίνακα που παρατίθεται παραπάνω, οι καθοδηγούμενοι χρήστες φαίνονται να αποφεύγουν εντελώς (τουλάχιστον με ακρίβεια τριών δεκαδικών ψηφίων) τις διαδρομές 2 και 4, δηλαδή τις διαδρομές με το μεγαλύτερο κόστος. Αυτό είναι ένα ρεαλιστικό αποτέλεσμα αφού τα περισσότερα δυναμικά συστήματα πληροφόρησης στοχεύουν περισσότερο στο να πληροφορούν τους χρήστες για τα σημεία του δικτύου που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη συμφόρηση και όχι στο να πληροφορούν για το ποιες είναι οι διαδρομές με το ελάχιστο κόστος. Το πρόβλημα βέβαια της επιρροής του είδους της πληροφορίας, η οποία παρέχεται στους χρήστες, στο δίκτυο είναι ένα πολύ μεγάλο πρόβλημα το οποίο δεν θα αναλυθεί σε αυτή την εργασία.

Ας θεωρήσουμε μόνο τους χρήστες που πραγματοποιούν μετακινήσεις από το κεντροειδές της ζώνης προέλευσης Α προς τα κεντροειδή των ζωνών προορισμού Γ και Δ. Από τους μη καθοδηγούμενους χρήστες ένα ποσοστό 34.2% κινείται στη διαδρομή με το ελάχιστο κόστος, η οποία είναι η διαδρομή 1 (Ο συνολικός φόρτος που μετακινείται σε αυτή τη περίοδο από τη ζώνη Α προς τις ζώνες Γ και Δ είναι ίσος με 3 οχημ./περίοδο, εκ των οποίων τα 2.4 οχημ./περίοδο είναι μη καθοδηγούμενα και τα 0.6 είναι καθοδηγούμενα).



Σχήμα 3.4: Το Δίκτυο του παραδείγματος μίας και δύο τάξεων χρηστών

Ποσοστό 28.04% κινείται στη διαδρομή με ελαφρώς μεγαλύτερο κόστος (7 min. έναντι 5 min. της διαδρομής ελαχίστου κόστους). Αυτή η διαδρομή είναι η 5, η οποία αποτελείται από τους συνδέσμους 3 και 2. Η διαδρομή 6 (με κόστος 10 min.) ακολουθείται από ποσοστό 20.75% των μη καθοδηγούμενων χρηστών. Τέλος η διαδρομή 2, η οποία αποτελείται από τους συνδέσμους 2,3 και 6, και η οποία έχει κόστος 12 min. λαμβάνει το υπόλοιπο 17% των μη καθοδηγούμενων χρηστών.

Η εικόνα είναι διαφορετική για τους καθοδηγούμενους χρήστες, οι οποίοι φαίνεται να αποφεύγουν εντελώς τη διαδρομή 2 με το μεγαλύτερο κόστος. Επίσης ένα ποσοστό 87.50 % των χρηστών που έχουν πρόσβαση σε δυναμικά συστήματα πληροφόρησης ακολουθούν τη διαδρομή με το ελάχιστο κόστος. Το υπόλοιπο ποσοστό μοιράζεται στις διαδρομές 5 και 6. Στη διαδρομή 5 (κόστος 7 min.) κινείται το 11.80% των πληροφορούμενων χρηστών ενώ στη διαδρομή 6 (κόστος 10 min.) μόλις το 0.7 % των χρηστών.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται όλα τα ποσοστά που αναφέρθηκαν παραπάνω ενώ δίνονται και τα ποσοστά για το σύνολο των χρηστών. Είδαμε τελικά ότι το πρότυπο αυτό θεωρεί ότι η πλειοψηφία των καθοδηγούμενων χρηστών κινείται στις διαδρομές

ελαχίστου κόστους, ενώ ένα πολύ μικρό ποσοστό αυτών κινείται σε διαδρομές με σχετικά όχι πολύ μεγαλύτερο κόστος.

Πίνακας 3.15: Τα ποσοστά των χρηστών που ακολουθούν τις διαδρομές του δικτύου (για μετακινήσεις από τη ζώνη Α στις ζώνες Γ και Δ)

Διαδρομή	Σύνδεσμοι Διαδρομών	Κόστος	Ποσοστό Μη καθοδηγούμενων	Ποσοστό καθοδηγούμενων	Ποσοστό σύνολο
1	1	5	0.342	0.875	0.449
5	2,3	7	0.280	0.118	0.248
6	1,5	10	0.208	0.007	0.167
2	2,3,6	12	0.170	0.000	0.136
Σύνολα			1	1	1

Είδαμε κατά την παρουσίαση του προτύπου αυτού ότι ο παράγοντας που καθορίζει το πως θα κινηθούν οι χρήστες μέσα στο δίκτυο είναι η μεταβλητή α . Η μεταβλητή αυτή είναι αντίστοιχη με τη μεταβλητή θ του αλγόριθμου STOCH (Dial et al., 1971), με την οποία υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής διαφόρων καταμερισμών στο δίκτυο. Έτσι για διαφορετικές τιμές του θ μπορεί να επιτευχθούν στοχαστικά πρότυπα κατανομής στο δίκτυο με μεγάλους συντελεστές απόκλισης, ή και αιτιοκρατικά (μη στοχαστικά πρότυπα). Την ίδια λειτουργία κάνει και η μεταβλητή α , με χρήση της οποίας γίνεται η θεώρηση ότι οι καθοδηγούμενοι χρήστες παρουσιάζουν μικρό συντελεστή απόκλισης από τη μέση τιμή του χρόνου διαδρομής τους μέσα στο δίκτυο, γι'αυτό και φαίνεται από τα αποτελέσματα να ακολουθούν τις διαδρομές με τις μεγαλύτερες πιθανότητες (αυτές με το μικρότερο κόστος). Αντίθετα οι μη καθοδηγούμενοι χρήστες φαίνεται να ακολουθούν όλες τις πιθανές διαδρομές μέσα στο δίκτυο παρουσιάζοντας μεγάλη απόκλιση από τη μέση τιμή του χρόνου διαδρομής μέσα στο δίκτυο.

Αυτό που έχει ενδιαφέρον είναι να συγκρίνουμε τη κατανομή του φόρτου στις διαδρομές που υπάρχουν στο δίκτυο όταν υπάρχουν δύο τάξεις χρηστών από την άποψη του βαθμού της πληροφόρησης, με την κατανομή που προκύπτει όταν δεν έχει κανένας χρήστης στη διάθεση του κάποιο σύστημα δυναμικής πληροφόρησης (υπάρχει μόνο μία τάξη χρηστών στο δίκτυο). Για αυτόν τον σκοπό παρατίθεται ο πίνακας των φόρτων των διαδρομών που προέκυψαν από το παράδειγμα μίας τάξεως χρηστών για την ίδια ζήτηση (τη ζήτηση της δέκατης περιόδου).

Πίνακας 3.16: Φόρτοι διαδρομών για δίκτυο μίας τάξεως χρηστών

Διαδρομές	Σύνδεσμοι Διαδρομών	Σταθερό Κόστος	Φόρτος (Σύνολο)
1	1	5	1.027
2	2,3,6	12	0.51
3	2	5	1.027
4	1,4,5	12	0.51
5	2,3	7	0.841
6	1,5	10	0.623
7	1,4	7	0.841
8	2,6	10	0.623

Πίνακας 3.17: Σύγκριση του φόρτου των διαδρομών για την ίδια ζήτηση, για δίκτυα μίας και δύο τάξεων χρηστών

Διαδρομή	Σύνδεσμοι Διαδρομών	Κόστος	Φόρτος Μία Τάξη	Φόρτος Δύο Τάξεις	Ποσοστό Μία Τάξη	Ποσοστό Δύο Τάξεις
1	1	5	1.027	1.346	0.342	0.449
5	2,3	7	0.841	0.744	0.280	0.248
6	1,5	10	0.623	0.502	0.208	0.167
2	2,3,6	12	0.51	0.408	0.170	0.136

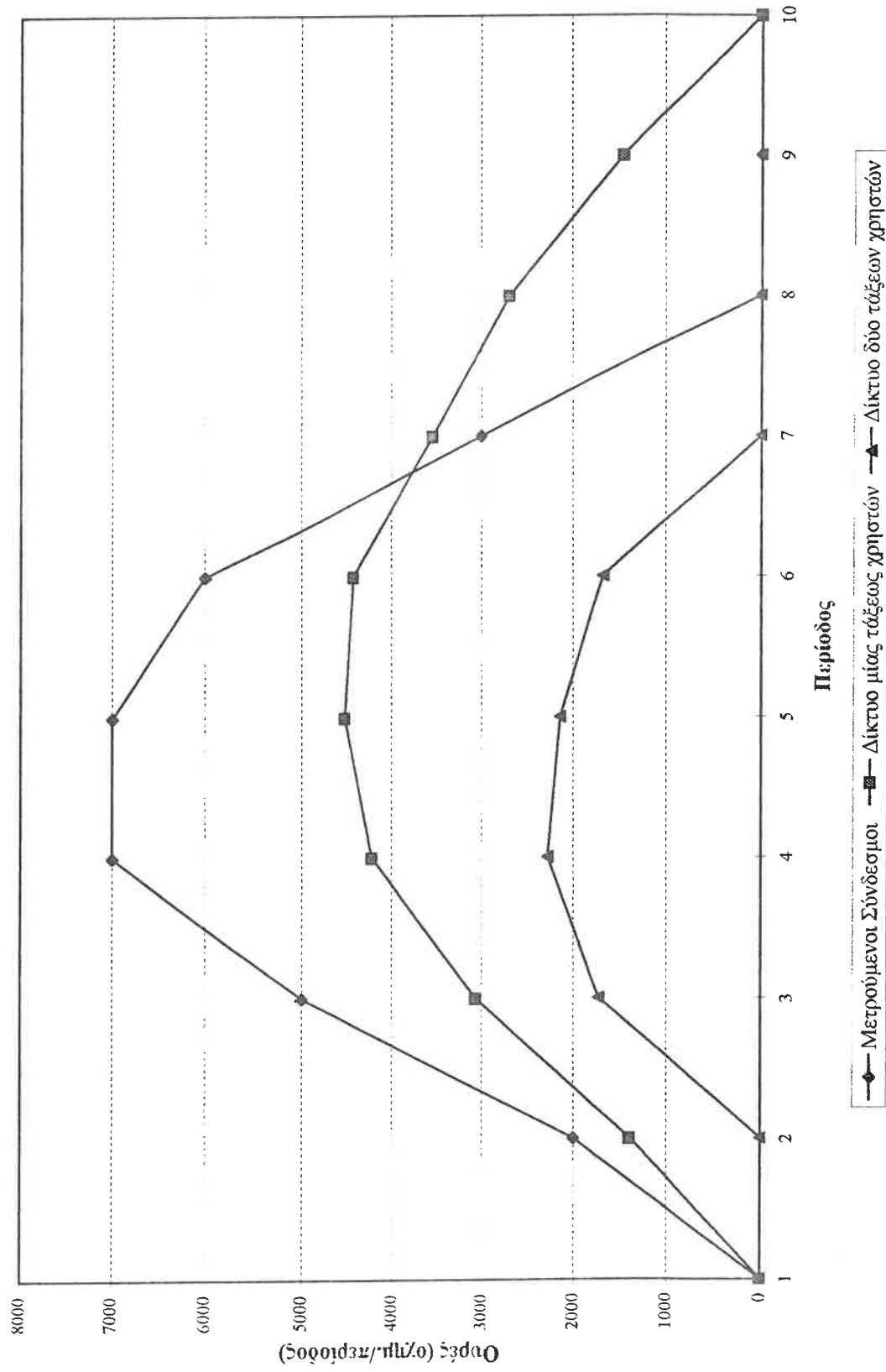
Από τον πίνακα 3.17 προκύπτει ότι με την εφαρμογή δυναμικών συστημάτων πληροφόρησης, το πρότυπο αυτό εκτιμά ότι μεγαλύτερο ποσοστό χρηστών θα κινείται στις διαδρομές ελαχίστου κόστους ενώ μικρότερος αριθμός χρηστών θα ακολουθεί τις διαδρομές που παρουσιάζουν μεγάλη συμφόρηση.

Η αλήθεια είναι ότι η πολύ γρήγορη εξαφάνιση των ουρών που εκτιμάται με την εισαγωγή δύο τάξεων χρηστών στο δίκτυο (πλήρης εξαφάνιση των φαινομένων της συμφόρησης από την όγδοη περίοδο, τη στιγμή που όταν υπάρχει στο δίκτυο μία τάξη χρηστών τα φαινόμενα αυτά εξαφανίζονται στην δέκατη περίοδο), συνιστά μία μάλλον αισιόδοξη εκτίμηση. Η εκτίμηση αυτή είναι μάλλον αισιόδοξη καθώς είναι άγνωστο το ποια μπορεί να είναι η αντίδραση του ίδιου του δικτύου στην περίπτωση κατά την οποία ένα τόσο μεγάλο ποσοστό χρηστών καθοδηγείται (Boyce, 1988). Μπορεί κάλλιστα η πληροφόρηση πολλών χρηστών, με την ίδια πληροφορία, να οδηγεί σε καταστάσεις σαν

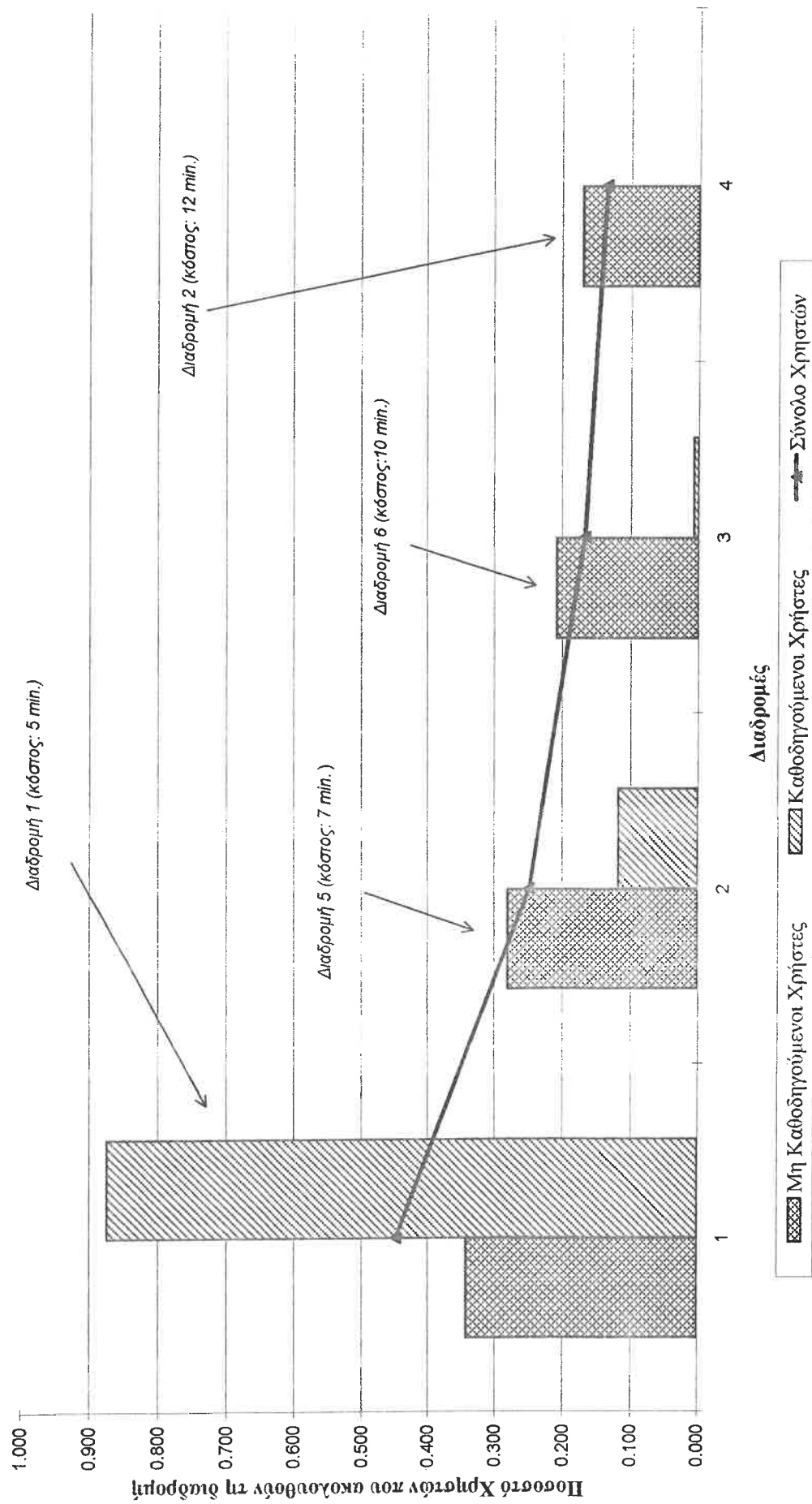
αυτές που περιγράφει το παράδοξο του Braess (1968), σύμφωνα με το οποίο η προσπάθεια των χρηστών να μειώσουν τον χρόνο κίνησης τους στο δίκτυο επιφέρει μία κατάσταση κατά την οποία ο συνολικός χρόνος κίνησης των χρηστών στο δίκτυο αυξάνεται.

Στην πραγματικότητα μόνο μία αξιολόγηση σε πραγματικό δίκτυο θα δείξει αν το πρότυπο είναι ρεαλιστικό ή πολύ αισιόδοξο στις προβλέψεις του. Οποιαδήποτε προσπάθεια αξιολόγησης, με κριτήριο τις μέχρι τώρα μελέτες μπορεί να είναι άστοχη αφού κανένα από τα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα με σκοπό ακριβώς την αξιολόγηση των συστημάτων δυναμικής πληροφόρησης, δεν λαμβάνει υπ'όψιν την επιρροή της κίνησης ενός οχήματος στην κίνηση των υπολοίπων οχημάτων.

Σχήμα 3.5: Σύγκριση των ουρών για τα δύο είδη δικτύων



Σχήμα 3.6. Ποσοστά Καθοδηγούμενων και μη χρηστών που ακολουθούν διαδρομές διαφορετικού κόστους για μετακίνηση από τη Ζώνη Προέλευσης Α προς τις Ζώνες Προορισμού Γ & Δ



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΚΑΙ ΤΗ ΘΕΣΗ ΤΩΝ ΦΩΡΑΤΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

4.1. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ FISK

4.1.1 Το δίκτυο της Fisk

Το δίκτυο της Fisk αποτελείται από 12 κόμβους και από 34 συνδέσμους, εφόσον θεωρείται ότι ο κάθε σύνδεσμος θεωρείται διπλός. Το σχήμα του δικτύου είναι ένας κάνναβος όπως φαίνεται και από το σχήμα 1, στο οποίο παρουσιάζεται και η αρίθμηση των κόμβων και των συνδέσμων, έτσι όπως θα χρησιμοποιηθεί στα παραδείγματα αυτής της εργασίας.

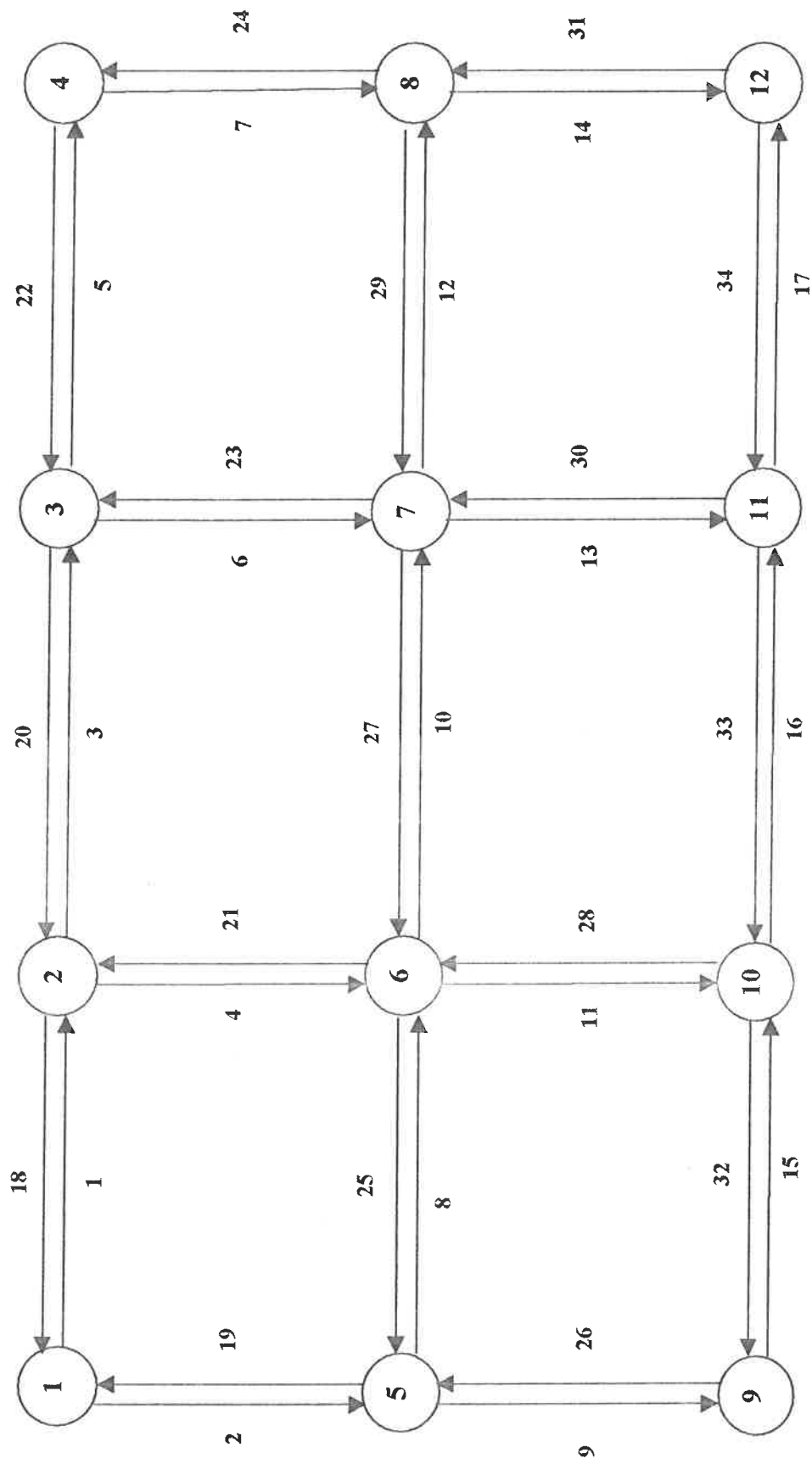
Κατά τα παραδείγματα που θα ακολουθήσουν θεωρείται ότι στο δίκτυο αυτό υπάρχουν δύο ζώνες προελεύσεως και δύο ζώνες προορισμού. Οι ζώνες προελεύσεως είναι οι Α και Β, των οποίων τα κεντροειδή "συνδέονται" με το δίκτυο στους κόμβους 1 και 9 αντίστοιχα. Οι ζώνες προορισμού είναι οι Γ και Δ, των οποίων τα κεντροειδή συνδέονται με το δίκτυο στους κόμβους 4 και 12. Όλες οι ζώνες είναι αμιγώς ζώνες προελεύσεως ή ζώνες προορισμού. Επίσης θεωρείται ότι σε όλες τις περιόδους υπάρχουν μετακινήσεις από κάθε ζώνη προελεύσεως προς κάθε ζώνη προορισμού.

Τα χαρακτηριστικά των συνδέσμων του δικτύου, σε όσον αφορά το σταθερό κόστος τους, καθώς και την χωρητικότητά τους, παρατίθενται στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Τα χαρακτηριστικά του δικτύου της Fisk που χρησιμοποιείται στα παραδείγματα

Α/Α Συνδέσμου	Κόμβος Από	Κόμβος Προς	Χωρητικότητα (οχημ./περίοδος)	Κόστος (min.)
1	1	2	18	4
2	1	5	17	8
3	2	3	20	5
4	2	6	6	9
5	3	4	30	5
6	3	7	21	3
7	4	8	12	4
8	5	6	10	2
9	5	9	9	5
10	6	7	15	4

11	6	10	9	6
12	7	8	10	6
13	7	11	8	8
14	8	12	19	7
15	9	10	12	3
16	10	11	5	10
17	11	12	10	8
18	2	1	10	4
19	5	1	8	8
20	3	2	15	5
21	6	2	6	9
22	4	3	10	5
23	7	3	11	3
24	8	4	12	4
25	6	5	10	2
26	9	5	22	5
27	7	6	15	4
28	10	6	9	6
29	8	7	10	6
30	11	7	8	8
31	12	8	8	7
32	10	9	12	3
33	11	10	18	10
34	12	11	10	8



Σχήμα 4.1: Το δίκτυο της Fisk

4.1.2. Παράδειγμα εφαρμογής του προτύπου SPFE στο δίκτυο της Fisk σε μία μόνο περίοδο

Έγινε παράδειγμα και για το απλό δίκτυο της Fisk, αυτή τη φορά όμως μόνο σε μία περίοδο, για να εξεταστεί από καθαρά πρακτικής απόψεως η σύγκλιση του αλγορίθμου όταν τον χρησιμοποιούμε όχι με τις "ιδανικές" συνθήκες του προηγούμενου παραδείγματος, όπου μας δινόταν η δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε στον αλγόριθμο όλες τις δυνατές διαδρομές που μπορεί να ακολουθήσουν οι χρήστες του δικτύου. Αυτή η δυνατότητα μας δινόταν λόγω του πολύ μικρού μεγέθους του δικτύου. Το δίκτυο της Fisk είναι και αυτό βέβαια πολύ μικρό. Σε αυτό όμως το παράδειγμα θα αντιμετωπιστεί με τον ίδιο τρόπο που θα αντιμετωπίζονταν μεγαλύτερα και σίγουρα πιο πολύπλοκα δίκτυα.

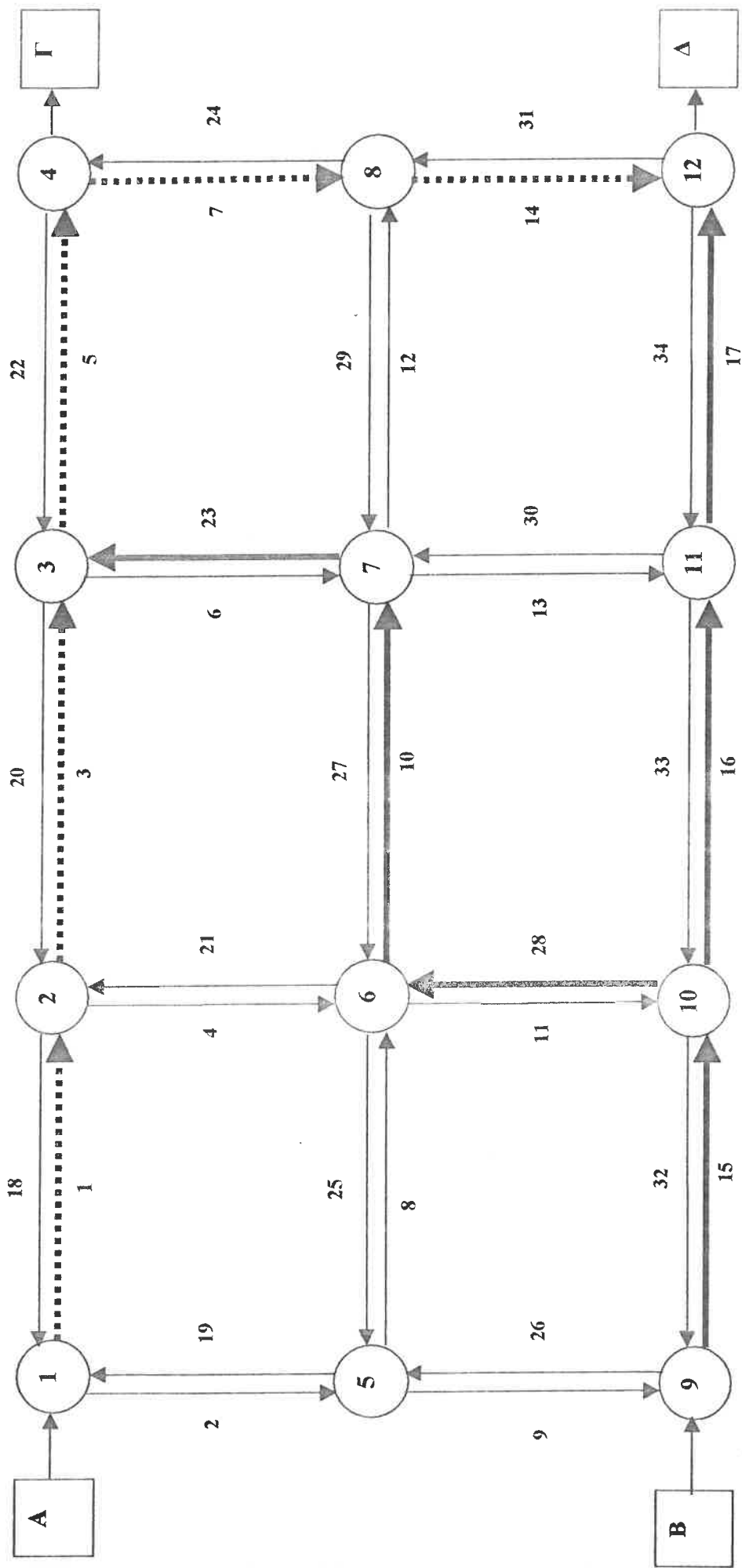
Η παραδοχή που κάνουμε έχει να κάνει με τη χρήση του αλγόριθμου του Bell (Bell et al., 1995), ο οποίος θεώρησε ότι η εφαρμογή του εν λόγω αλγόριθμου σε μεγάλα δίκτυα επιβάλλει το να περιορίσουμε με κάποιο τρόπο τις διαδρομές τις οποίες εξετάζει, αφού η απαρίθμηση όλων των πιθανών διαδρομών είναι πρακτικά αδύνατη. Γι'αυτό το λόγο έγινε χρήση του αλγόριθμου ο οποίος περιγράφεται στην παράγραφο 2.5. Σκοπός ήταν η διερεύνηση της αξιοπιστίας του αλγόριθμου.

Για το σκοπό αυτό εκτελέστηκαν πολλές μετρήσεις για διαφορετικό αριθμό και θέσεις φωρατών. Σαν κριτήριο για την καλή σύγκλιση του αλγορίθμου θεωρήθηκε, σε αυτή τη φάση τουλάχιστον, η συμβατότητα των αποτελεσμάτων του αλγόριθμου με αυτά που προκύπτουν από την εφαρμογή ενός μη στοχαστικού προτύπου όπως ο αλγόριθμος "όλα ή τίποτα".

Στην αρχή λοιπόν θεωρήθηκε ένα αυθαίρετο (και υποθετικό) μητρώο προέλευσης-προορισμού. Στο απλό δίκτυο της Fisk δεχτήκαμε τέσσερις ζώνες γένεσης και προσέλκυσης μετακινήσεων, εκ των οποίων οι δύο είναι αποκλειστικά ζώνες προέλευσης (εκφράζονται από τα κεντροειδή 1 και 2 αντίστοιχα) και οι άλλες δύο, δηλαδή οι 3 και 4, αποκλειστικά ζώνες προορισμού. Το μητρώο προέλευσης - προορισμού δεν χρειάζεται άμεσα για την εφαρμογή του αλγορίθμου, χρειάζεται όμως για να γίνει κατανομή της κυκλοφορίας στο δίκτυο, αφού η φόρτιση με τη μέθοδο "όλα ή τίποτα" ανήκει στις «παραδοσιακές» μεθόδους, στις οποίες από τις μετρήσεις των

φόρτων εκτιμάται ένα μητρώο προέλευσης – προορισμού και στην συνέχεια βρίσκονται οι φόρτοι των συνδέσμων του δικτύου με έναν αλγόριθμο για κατανομή της κυκλοφορίας στο δίκτυο. Η φόρτιση γίνεται μόνο στους συνδέσμους, οι οποίοι ανήκουν στα δέντρα ελαχίστων διαδρομών των ζωνών προέλευσης.

Αφού βρεθούν οι φόρτοι στους διάφορους συνδέσμους του δικτύου, με χρήση του αλγόριθμου που βρίσκει τα δέντρα των ελαχίστων διαδρομών όλων των ζωνών προελεύσεως του δικτύου εκτιμάται το μητρώο [A] (link path - incidence matrix), δηλαδή βρίσκονται οι διαδρομές του δικτύου (βλ. Παράγραφο 2.3.3). Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι προκειμένου τα αποτελέσματα να συγκριθούν με τη φόρτιση που έγινε με τη μέθοδο "όλα ή τίποτα" η φόρτιση έγινε με ένα μητρώο προέλευσης – προορισμού το οποίο φόρτιζε το δίκτυο με τιμές τέτοιες ώστε να μην παρουσιάζονται σε κανένα σύνδεσμο του δικτύου φαινόμενα συμφόρησης, δηλαδή δημιουργία ουρών αναμονής. Αποτέλεσμα αυτού ήταν ο αλγόριθμος παραγωγής των διαδρομών, που παρουσιάστηκε παραπάνω, να δίνει σε αυτή τη περίοδο μόνο τα δέντρα των ελαχίστων διαδρομών των ζωνών προέλευσης που υπολογίστηκαν μόνο με το σταθερό κόστος των διαδρομών. Έτσι τόσο η φόρτιση όσο και η ανασύνθεση έγιναν σε τέσσερις διαδρομές, οι οποίες παρατίθενται στο σχήμα 4.2. Στη συνέχεια και εφ' όσον έχουν καθοριστεί οι θέσεις των φωρατών στο δίκτυο μπορεί να εκτιμηθεί και το μητρώο [A'] και να προχωρήσουμε στην εφαρμογή του αλγορίθμου SPFE. Ως ενδείξεις για τους φωρατές θεωρήθηκαν τα αποτελέσματα της εφαρμογής του αλγορίθμου του Moore στο εν λόγω δίκτυο. Αυτό βασίζεται στη λογική ότι η μέθοδος "όλα ή τίποτα" οφείλει να σεβαστεί τις μετρήσεις από τις οποίες εκτιμήθηκε το μητρώο προέλευσης- προορισμού. Άρα θεωρούμε ότι για τους συνδέσμους, οι οποίοι φέρουν φωρατές, το αποτέλεσμα της φόρτισης με "όλα ή τίποτα" συμπίπτει με τις αρχικές μετρήσεις. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε τις μετρήσεις που μας χρειάζονται για να γίνει η ανασύνθεση της κυκλοφορίας με τον αλγόριθμο SPFE και έτσι τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων μπορούν να συγκριθούν



Σχήμα 4.2: Οι διαδρομές του δικτύου του παραδείγματος

Κεφάλαιο Τέταρτο: Διερεύνηση της ευαισθησίας του προτύπου στον αριθμό και τη θέση των φορατών στο δίκτυο

4.1.2.1. 1^η Δοκιμή: Εύρεση Απαιτούμενων μεγεθών για σύγκλιση για διαφορετικό αριθμό φωρατών στο δίκτυο

Από τη φόρτιση προέκυψαν μόνο 12 σύνδεσμοι (από τους 34 συνολικά του δικτύου, λόγω του ότι τους θεωρούμε όλους διπλούς) , οι οποίοι ανήκουν στις διαδρομές που κατανέμονται οι μετακινήσεις. Έγιναν δοκιμές για δίκτυα με 3 έως 12 φωρατές εγκαταστημένους σε ισάριθμους συνδέσμους (25%-100% από τους συνδέσμους του δικτύου που φορτίζονται). Στον πίνακα 1 που παρατίθεται παρακάτω φαίνεται ότι ακόμα και για ποσοστό 25%, που εκφράζει το λόγο των μετρούμενων συνδέσμων προς τον συνολικό αριθμό των συνδέσμων που φορτίζονται, μπορούμε να έχουμε αποτελέσματα που σχεδόν ταυτίζονται με αυτά της φόρτισης.. Από 8 και πάνω μετρούμενους συνδέσμους έχουμε πλήρη ταύτιση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων. Κάτι θετικό είναι τα καλά αποτελέσματα ακόμα και για ποσοστό 25% μετρούμενων φωρατών ποσοστό που είναι κοντά (αλλά σαφώς μεγαλύτερο) σε αυτά που συναντάμε σε πραγματικά δίκτυα .

Πίνακας 4.2: Σύγκριση αποτελεσμάτων της φόρτισης με "όλα ή τίποτα" με τα αποτελέσματα της ανασύνθεσης με SPFE για διαφορετικό αριθμό φωρατών

	Αριθμός φωρατών								
	3	4	5	6	7	8	9	10	12
"όλα ή τίποτα"									
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	4	4	4	4	4	6	6	6	6
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	4	4	4	4	4	6	6	6	6
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ.Σ	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	1	1	1	1

Όσον αφορά τις απαιτούμενες επαναλήψεις και το *run-time* (τον απαιτούμενο χρόνο δηλαδή που χρειάζεται το πρότυπο για να συγκλίνει σε ισορροπία), είναι νομίζουμε προφανές από τα αποτελέσματα που δίνουμε παρακάτω στον πίνακα 4.3, ότι δεν μπορούμε να βρούμε μία σχέση ανάμεσα στον αριθμό των φορατών και τις απαιτούμενες επαναλήψεις για να επιτευχθεί η σύγκλιση. Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο και με το *run-time* αφού από το διάγραμμα, το οποίο επίσης παραθέτουμε, μπορούμε να διακρίνουμε μία σταθερή ανοδική τάση, ακόμα και όταν ο αριθμός των επαναλήψεων πέφτει. Αυτό είναι απολύτως προβλέψιμο αφού για κάθε μετρούμενο σύνδεσμο το πιο πολύπλοκο loop του αλγόριθμου εκτελείται δύο φορές, το οποίο είναι αυτό του καθορισμού των φόρτων των διαδρομών. Στην ουσία βέβαια αυτό δεν φαίνεται από το διάγραμμα αυτό αφού οι διαφορές στους χρόνους είναι ανεπαίσθητες λόγω του μεγέθους του δικτύου.

Πίνακας 4.3: Απαιτούμενα μεγέθη για σύγκλιση (σε σχέση με τον αριθμό των μετρούμενων συνδέσμων στο δίκτυο)

Αριθμός Μετρούμενων Συνδέσμων	Απαιτούμενες Επαναλήψεις για σύγκλιση	Απαιτούμενος Χρόνος για σύγκλιση(sec.)
3	15	3,63
4	15	3,62
5	14	4,01
6	14	4,45
7	5	3,35
8	9	3,63
9	6	3,07
10	9	4,18
12	9	4,56

4.1.2.2. 2^η Δοκιμή: Διερεύνηση για διαφορετικές θέσεις των φωρατών στο δίκτυο(Αριθμός των φωρατών σταθερός)

Η δεύτερη εφαρμογή που έγινε στο δίκτυο της Fisk , είχε ως αντικείμενο την εύρεση της ευαισθησίας του αλγορίθμου σε μετακινήσεις των φωρατών μέσα στο δίκτυο. Ο αριθμός των φωρατών επιλέχτηκε να είναι 3 (25% των συνδέσμων που φορτίζονται) γιατί είναι το νούμερο που εκφράζει περίπου την αναλογία συνδέσμων με φωρατές - μη μετρούμενων συνδέσμων στα πραγματικά δίκτυα (και στο δίκτυο του κέντρου της Αθήνας, το οποίο εξετάζεται παρακάτω , η οποία είναι κοντά στο 20%).

Η δοκιμή έγινε σε δύο φάσεις:

- Στην πρώτη σκοπός ήταν το να βρεθεί αν υπάρχει ευαισθησία ως προς την σύγκλιση (επαναλήψεις και *run-time*). Έγινε όμως και μία προσπάθεια για αξιολόγηση των αποτελεσμάτων .
- Η δεύτερη δοκιμή κρίθηκε μάλλον αναγκαία από κάποια συμπεράσματα της πρώτης δοκιμής.

Τα αποτελέσματα της πρώτης δοκιμής σε όσον αφορά τις απαιτούμενες επαναλήψεις και το *run-time*, δηλαδή τον απαιτούμενο χρόνο για να επέλθει η σύγκλιση, δίνονται στον πίνακα 3, ο οποίος ακολουθεί.

Παρατηρούμε ότι ο μέσος όρος είναι γύρω στις 7 επαναλήψεις αλλά η μεγάλη τυπική απόκλιση δείχνει ακριβώς ότι δεν υπάρχει κάποιος , τουλάχιστον διαγνώσιμος, μηχανισμός που να δίνει τις απαιτούμενες επαναλήψεις για τη σύγκλιση. Τελικά ο απαιτούμενος αριθμός είναι θα λέγαμε τυχαίος και πάντως ανεξάρτητος των θέσεων και του αριθμού των φωρατών .

Σε όσον αφορά το *run-time* η πολύ μικρή τυπική απόκλιση δείχνει ότι για δεδομένο δίκτυο ο χρόνος που χρειάζεται για τη σύγκλιση εξαρτάται από τον αριθμό των επαναλήψεων καθώς και από τον αριθμό των φωρατών. Αυτό είναι ένα συμπέρασμα που βγαίνει και από τα δύο παραδείγματα στο δίκτυο της Fisk.

Τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.4: Απαιτούμενα μεγέθη για σύγκλιση σε σχέση με τη θέση των μετρούμενων συνδέσμων στο δίκτυο (για σταθερό αριθμό μετρούμενων συνδέσμων)

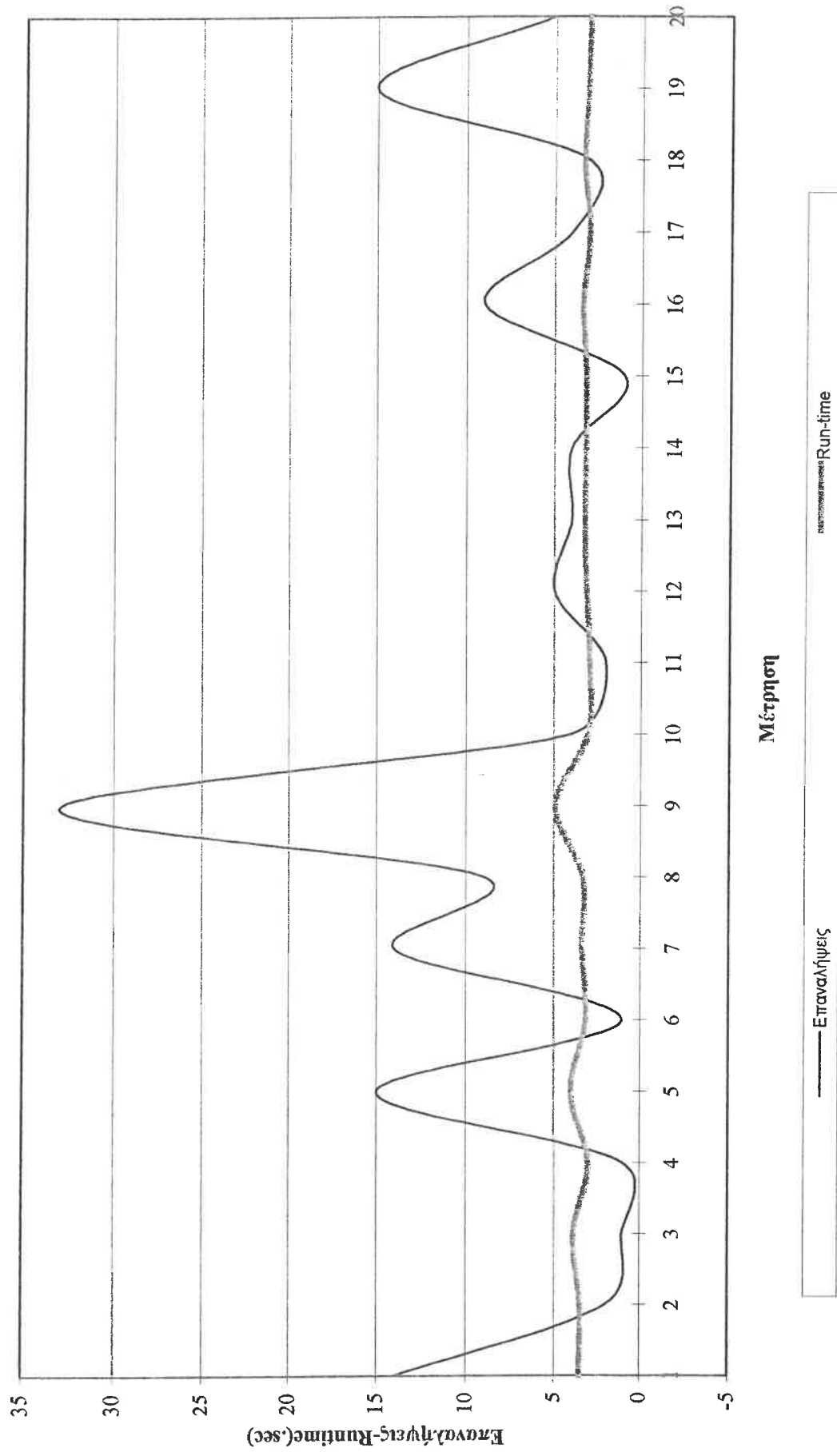
		Απαιτούμενα Μεγέθη για Σύγκλιση	
Μέτρηση	Φωρατές	Επαναλήψεις	Χρόνος(.sec)
1	1.3.10	14	3,52
2	1.3.5.	2	3,46
3	8.10.16	1	3,84
4	7.10.14	1	2,97
5	3.8.16	15	4,01
6	10.15.16	1	3,13
7	1.3.8	14	3,36
8	3.5.7	9	3,3
9	1.5.14	33	4,89
10	1.5.16	4	3,02
11	1.5.10	2	2,91
12	1.10.17	5	3,13
13	1.5.15	4	3,24
14	3.7.16	4	3,19
15	15.16.17	1	3,13
16	1.15.17	9	3,35
17	3.14.16	4	2,97
18	1.14.15	3	3,3
19	3.10.16	15	3,08
20	1.8.15	5	2,97
Μέσος Όρος		7,3	3,3385
Μέγιστη Τιμή		33	4,89
Ελάχιστη Τιμή		1	2,91
Τυπική Απόκλιση		7,821024297	0,463525109
Διάμεσος		4	3,215
Διακύμανση		61,16842105	0,214855526

ενώ μπορείτε να ανατρέξετε και στο αντίστοιχο διάγραμμα, το οποίο βρίσκεται στις επόμενες σελίδες.

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 4.5) είναι εμφανές ότι σε πολλές περιπτώσεις (δηλαδή σε κάποιους συνδυασμούς φωρατών) τα αποτελέσματα δεν συμπίπτουν καθόλου με αυτά της φόρτισης με τη μέθοδο "όλα ή τίποτα". Τελικά αυτά τα όχι καλά αποτελέσματα οφείλονται στο ότι στις περιπτώσεις αυτές είχαμε σύγκλιση μόλις από την πρώτη επανάληψη, οπότε δεν είχε προλάβει να «τρέξει» ο αλγόριθμος. Αυτό οφείλεται σε κακή επιλογή του κριτηρίου σύγκλισης. Αντίθετα σε όλα τα άλλα παραδείγματα που είχαμε περισσότερες από 5 επαναλήψεις τα αποτελέσματα που πήραμε πλησίαζαν περισσότερο αυτά της φόρτισης με το πρότυπο "όλα ή τίποτα".

Έτσι χρειάστηκε να πραγματοποιηθεί και ένα τρίτο παράδειγμα, αυτή τη φορά θέτοντας ένα minimum 7 επαναλήψεων (περίπου όσο ο μέσος όρος των απαιτούμενων επαναλήψεων για σύγκλιση), για να εκτιμηθεί η ευαισθησία των αποτελεσμάτων στις αλλαγές των θέσεων των φωρατών.

Σχήμα 4.3: Απαιτούμενες Επαναλήψεις και Χρόνος Σύγκλισης για 25% μετρούμενου Συνδέσμιους



Πίνακας 4.5: Τα αποτελέσματα όλων των δοκιμών

Single class path-flow estimator																				
Φωπατ.	1,3,10	1,3,5	8,10,16	7.10.14	3,8,16	10,15,16	1,3,8	3,5,7	1,5,14	1,5,16	1,5,10	1,10,17	1,5,15	3,7,16	15,16,17	1,15,17	3,14,16	1,14,15,3,10,16	1,8,15	
16	16	16	0	0	16	0	16	22	16	16	16	16	16	16	16	0	16	16	16	5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	16	16	0	0	16	0	16	16	16	16	16	16	16	16	16	0	16	16	16	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	24	24	0	0	24	0	24	24	24	24	24	24	24	24	16	0	16	16	24	13
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	6	6	0	6	4	0	4	6	6	6	4	4	6	6	6	0	4	6	4	1
8	8	0	8	0	8	0	8	3	1	1	8	8	1	0	0	0	0	0	8	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	8	0	8	8	8	8	8	3	1	1	8	8	1	0	0	0	0	0	8	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	6	6	0	6	4	0	4	6	6	6	4	4	6	6	6	0	4	6	6	4
5	0	0	0	0	5	5	0	0	5	5	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	0	0	5	0	5	5	0	0	5	5	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	0	0	5	0	5	5	0	0	5	5	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	8	0	8	8	8	8	8	3	1	1	8	8	1	0	0	0	0	0	8	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	8	0	8	8	8	8	8	3	1	1	8	8	1	0	0	0	0	0	8	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0</																

Όπως φαίνεται τόσο από τον πίνακα όσο και από το διάγραμμα που τον συνοδεύει σε ένα μεγάλο ποσοστό των περιπτώσεων που εξετάστηκαν (και δη στο 85%), είχαμε σχετικά καλά αποτελέσματα που σχετίζονται πολύ με αυτά που μου προέκυψαν από τη ντετερμινιστική μέθοδο του «όλα ή τίποτα». Αυτό βέβαια αποδεικνύεται ότι δεν είναι και πολύ ακριβές αν συγκρίνουμε δύο περιπτώσεις μεταξύ τους. Αυτό έγινε για τις περιπτώσεις όπου μετρήσαμε τους συνδέσμους 3-5-7 και 1-15-17. Το αποτέλεσμα της σύγκρισης δίνεται στο παρακάτω διάγραμμα, από όπου φαίνεται η μάλλον μικρή σχέση των αποτελεσμάτων.

Αυτό βέβαια δεν είναι διόλου ανεξήγητο, αλλά έχει ως αιτία ότι τοποθετήσαμε τους φωρατές τελείως τυχαία μέσα στο δίκτυο σε αυτές τις δοκιμές. Με μία προσεκτική ματιά στο δίκτυο της Fisk με τονισμένες τις διαδρομές βλέπουμε ότι η ποιότητα των αποτελεσμάτων εξαρτάται σαφώς από την τοποθέτηση των μετρητών. Όταν από τους φωρατές διέρχονται και οι τέσσερις διαδρομές του παραδείγματος τα αποτελέσματα πλησιάζουν πάρα πολύ σε αυτά της φόρτισης (με συντελεστές συσχέτισης από 0.970 το λιγότερο έως και 0.997 στη καλύτερη περίπτωση). Όταν διέρχονται 3 διαδρομές από τους φωρατές έχουμε και πάλι καλά αποτελέσματα (με συντελεστές συσχέτισης από 0.88 έως και 0.92). Με 2 διαδρομές να διέρχονται από τους φωρατές (περιπτώσεις 8-10-16 και 10-15-16) τα αποτελέσματα γίνονται απότομα σχεδόν πολύ άσχημα, χωρίς να έχουν πρακτικά κάποια σχέση με αυτά της φόρτισης (ο συντελεστής συσχέτισης πέφτει στο 0.59), ενώ για μία μόνο διαδρομή που διέρχεται από κάποιον φωρατή θα έχω το αποτέλεσμα της περίπτωσης 15-16-17) τα αποτελέσματα γίνονται πάρα πολύ άσχημα και στην ουσία το πρότυπο μηδενίζει όλες τις υπόλοιπες διαδρομές.

Στην πράξη αυτό ενδεχομένως να μην αποτελεί αδυναμία του αφού σε όλα τα πραγματικά δίκτυα οι μετρητές μπαίνουν ακριβώς με το κριτήριο του να περνούν όσο το δυνατόν περισσότερες διαδρομές ελαχίστου κόστους από πάνω τους. Αν απομονώσουμε τις ελάχιστες περιπτώσεις, οι οποίες εξετάστηκαν παραπάνω, όπου οι μετρητές είχαν τοποθετηθεί πολύ άσχημα, ο αλγόριθμος δεν παρουσιάζει ευαισθησία στις διαφορετικές θέσεις των φωρατών, αρκεί οι θέσεις των φωρατών που έχουν επιλεγεί να είναι τέτοιες ώστε να καλύπτονται όλες οι διαδρομές του δικτύου.

Από το διάγραμμα που ακολουθεί είναι εμφανές ότι ο αλγόριθμος υποεκτιμάει τους φόρτους στους μη μετρούμενους συνδέσμους. Στη περίπτωση με συντελεστή συσχέτισης 0.92 η μείωση στον συνολικό εκτιμώμενο φόρτο που κινείται σε όλες τις

διαδρομές σε σχέση με τον αντίστοιχο φόρτο της φόρτισης είναι μεγάλη (25%) ενώ για συντελεστή συσχέτισης 0.96 η απώλεια είναι 16%.

Αυτό που θα πρέπει τελικά να σημειωθεί από τη διερεύνηση σε αυτό το δίκτυο είναι το γεγονός ότι το πρότυπο αυτό φαίνεται να παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία στο αν οι φωρατές καλύπτουν όλες τις διαδρομές, στις οποίες δεχόμαστε ότι κατανέμονται οι μετακινήσεις. Στην πραγματικότητα αυτός είναι ο παράγοντας στον οποίο έχει ευαισθησία το πρότυπο. Αποτέλεσμα αυτού είναι το να παρουσιάζει ευαισθησία στον αριθμό των φωρατών, αφού όσο μεγαλύτερος αριθμός φωρατών εγκαθίσταται στο δίκτυο, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να καλύπτονται όλες οι διαδρομές (πρακτικά τόσο περισσότερες διαδρομές καλύπτονται). Από εκεί σαφέστατα πηγάζει και η ευαισθησία του προτύπου και στις θέσεις των φωρατών.

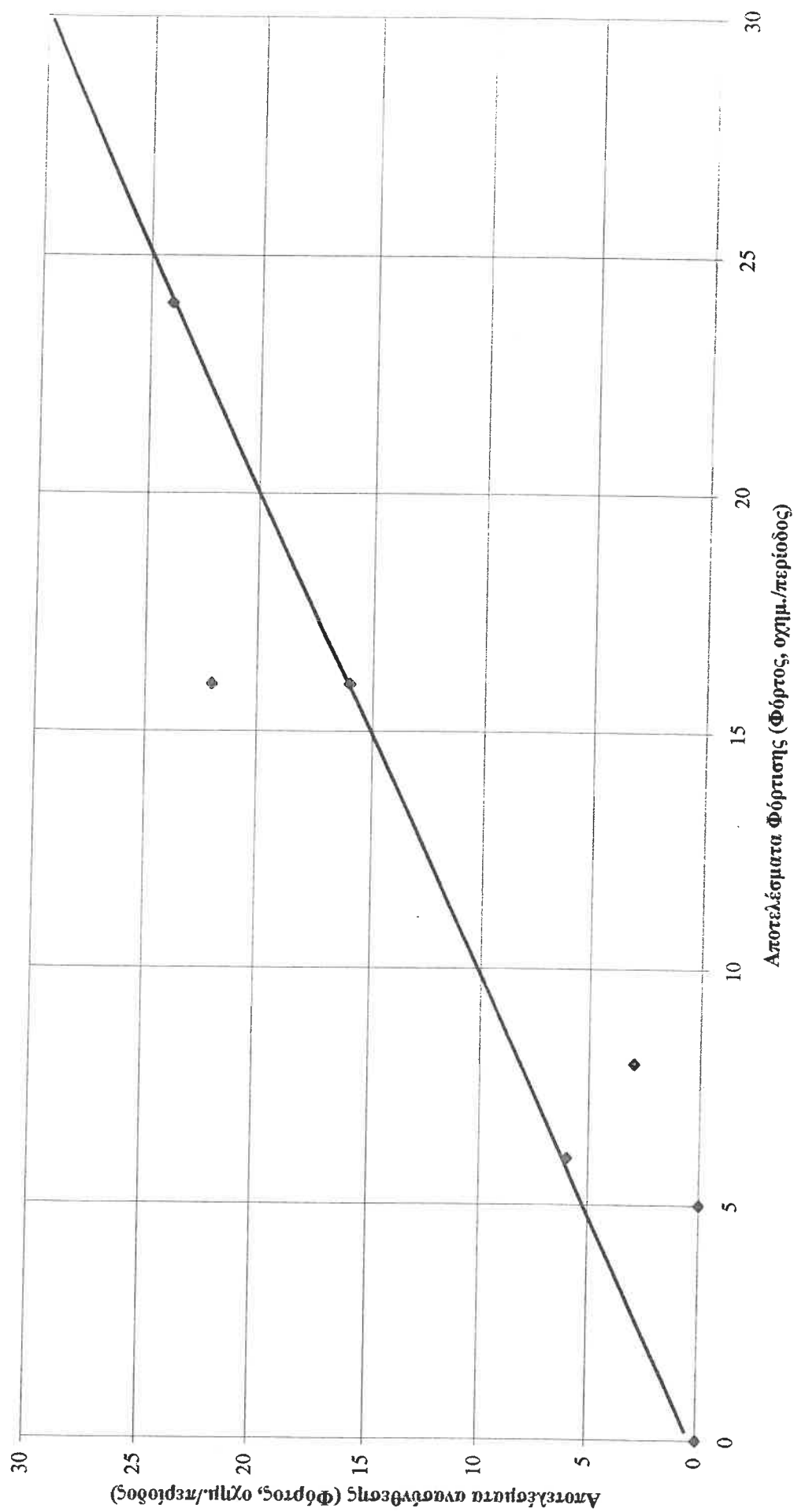
Αυτό που επίσης θα πρέπει να σημειωθεί είναι το γεγονός ότι σε όλες τις περιπτώσεις που πληρείται αυτός ο όρος (δηλαδή το να καλύπτονται όλες οι διαδρομές του δικτύου), τα αποτελέσματα στους φόρτους των συνδέσμων παρουσίαζαν πολύ μικρές διαφορές από αυτά της φόρτισης με τη μέθοδο "όλα ή τίποτα".

Πίνακας 4.6: Τα αποτελέσματα όλων των δοκιμών

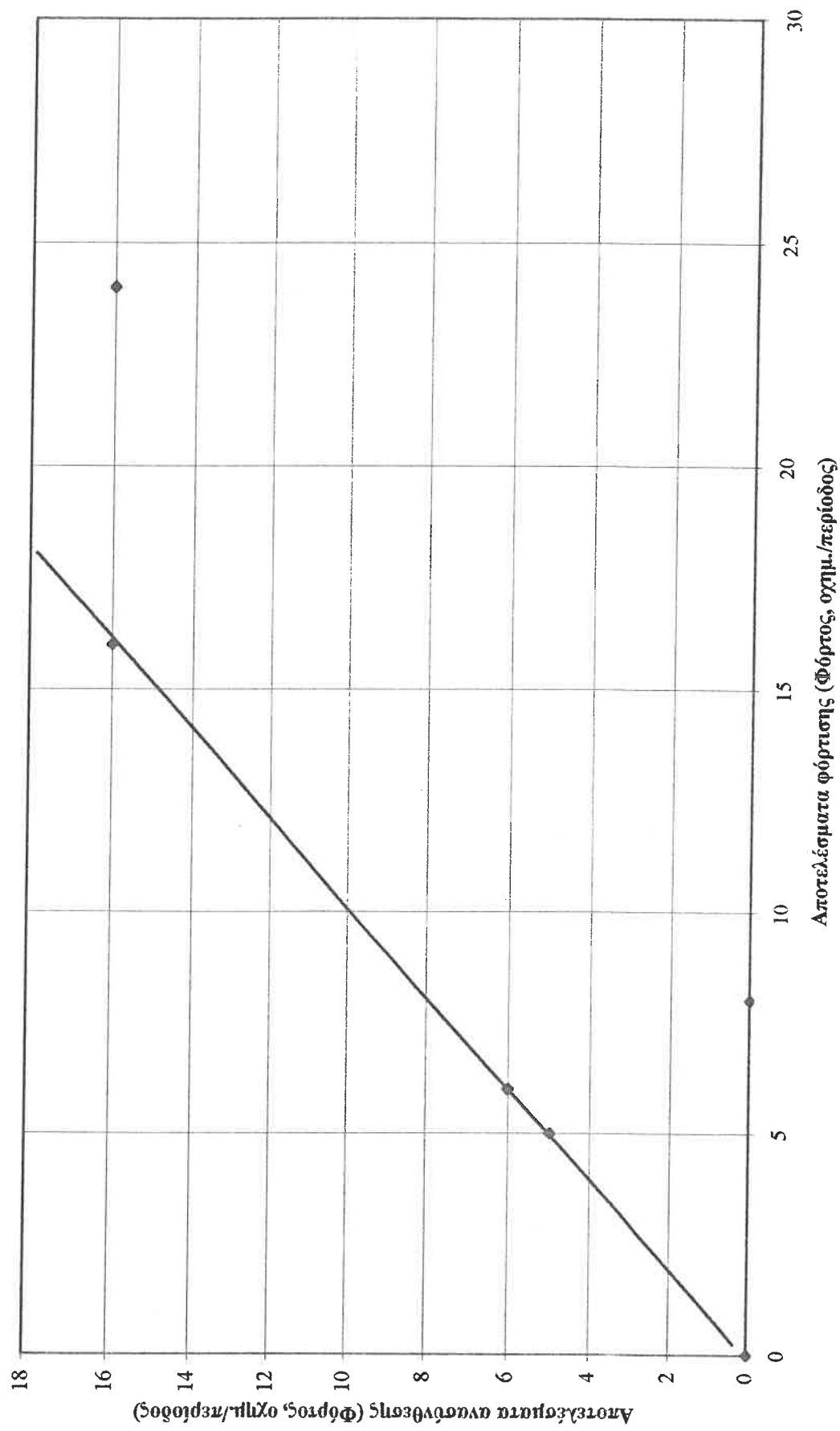
[illegible]

Κεφάλαιο Τέταρτο: Διερεύνηση της ευαισθησίας του προτύπου στον αριθμό και τη θέση των φωνωμάτων

Σχήμα 4.4: Σύγκριση αποτελεσμάτων φόρτισης με "όλα ή τίποτα" και ανασύνθεσης με spfe για περίπτωση Σ.Σ. 92% (μετρούνται οι σύνδεσμοι 1,5,14)



Σχήμα 4.5: Σύγκριση αποτελεσμάτων φόρτισης με "όλα ή τίποτα" με αυτά που προέκυψαν από ανασύνθεση με SPFE για περίπτωση Σ.Σ. 0.87 (μετρούνται οι σύνδεσμοι 3,7,16)



4.1.3. Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΩΝ ΟΥΡΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΣΥΜΦΟΡΕΣΗΣ

Μία άλλη δυσκολία που καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε είναι το γεγονός ότι πολλοί στοχαστικοί αλγόριθμοι παρουσιάζουν ορισμένες πολύ σοβαρές ασυνέπειες και κατά το στάδιο των διορθώσεων, οι οποίες προηγούνται των τελικών αποτελεσμάτων. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας παρατηρείται το φαινόμενο να έχουμε μεγάλες διαφορές, από τη μία περίοδο στην άλλη, στους φόρτους των συνδέσμων που παρουσιάζουν και τη μεγαλύτερη συμφόρηση. Έτσι είναι πολύ συχνό πραγματικά το φαινόμενο σε μία περίοδο να εμφανιστεί μία πολύ μεγάλη τιμή φόρτου σε κάποιο σύνδεσμο και στην επόμενη ακριβώς περίοδο να παρουσιαστεί μία πολύ μικρή τιμή φόρτου. Το πρόβλημα που μόλις τώρα τέθηκε πιστεύουμε ότι είναι κάτι παραπάνω από εμφανές. Πως μπορεί να είναι αξιόπιστο ένα σύστημα όταν σε μία περίοδο δείχνει ότι σε κάποιο σημείο του δικτύου έχουμε συμφόρηση και την επόμενη ακριβώς στιγμή ο σύνδεσμος αυτός είναι ελεύθερος; Και όμως κάτι τέτοιο είναι πολύ συνηθισμένο με τα υπάρχοντα πρότυπα.

Από τον αλγόριθμο που παρουσιάζουμε σε αυτή την εργασία έχουμε κάπως μεγαλύτερες προσδοκίες, αφού περιμένουμε να μπορεί να αντιμετωπίσει αυτό το φαινόμενο. Αυτή η προσδοκία μας βασίζεται κυρίως στο ίδιο το μοντέλο του δικτύου που δεχτήκαμε στα προηγούμενα κεφάλαια. Ο αλγόριθμος είναι επαναληπτικός, αλλά δεν κάνει κάποια διόρθωση των αποτελεσμάτων σύμφωνα με κάποιο από τα γνωστά κριτήρια. Έχει όμως ένα σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με τα άλλα μοντέλα. Θεωρεί ότι ο σύνδεσμος με την ουρά δεν συνυπάρχουν αλλά τα συνδέει μία αυστηρή σχέση αλληλουχίας (η ουρά ως "τόπος" έπεται της ύπαρξης του συνδέσμου). Αυτός ο διαχωρισμός ενδεχομένως να είναι και η λύση του προβλήματος καθώς "επιτρέπεται" η φόρτιση των συνδέσμων με τιμές μεγαλύτερες (ή και κατά πολύ μεγαλύτερες) της χωρητικότητάς τους. Ένα άλλο σπουδαίο σημείο είναι ακριβώς το γεγονός ότι η χωρητικότητα των κόμβων δεν λαμβάνεται καθόλου υπόψιν. Βέβαια είδαμε παραπάνω ότι ο αλγόριθμος δεν "αντιλαμβάνεται" τη γεωμετρία του δικτύου μέσα από την ύπαρξη των κόμβων. Στην πραγματικότητα το "δίκτυο" αποτελείται από διαδρομές ή ακόμα καλύτερα από συνδέσμους, οι οποίοι απαρτίζουν αυτές ακριβώς τις διαδρομές.

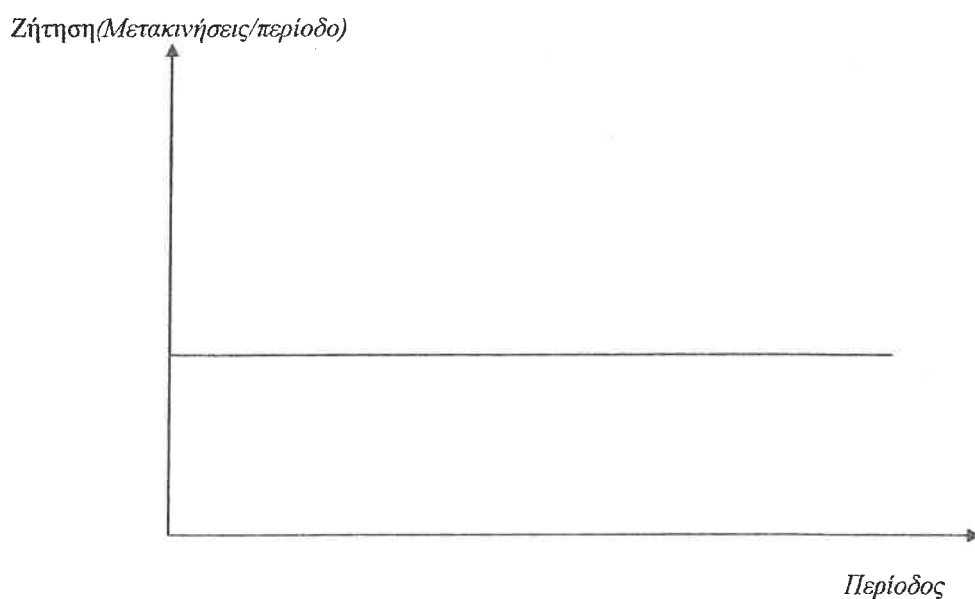
Όλα τα παραπάνω θα μπορούσαν κάλλιστα να αποτελούν λάθη, καθώς αντιτίθενται σε σχεδόν θεμελιώδεις αρχές της κυκλοφοριακής τεχνικής και των μεταφορών. Όπως είδαμε και όταν παραπάνω αναφερθήκαμε στα μοντέλα δικτύων *Store & Forward*, οι παραπάνω παραδοχές κρύβουν πολλές παγίδες, ειδικά σε όσον αφορά τους συνδέσμους, καθώς δεν είναι εύκολη η μοντελοποίηση ενός δικτύου που περιέχει σηματοδοτούμενους κόμβους, ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των αστικών δικτύων.

Είναι πιστεύουμε σαφές ότι ο μόνος τρόπος για να δούμε τη συμπεριφορά του αλγόριθμου σε τέτοιες συνθήκες είναι να κάνουμε κάποια δοκιμή σε κάποιο από τα τρία δίκτυα, στα οποία καταφύγαμε για να αξιολογήσουμε τον εν λόγω αλγόριθμο (το πολύ απλό δίκτυο των 6 συνδέσμων του Bell, το γνωστό δίκτυο της Fisk, καθώς και το δίκτυο του κέντρου της Αθήνας, το οποίο παρουσιάζεται στην παράγραφο 4.2.1). Καταλήξαμε στο να χρησιμοποιήσουμε το δίκτυο της Fisk, το οποίο μας παρέχει πλεονεκτήματα που έχουν να κάνουν με την απλότητα του δικτύου και με το ότι μπορούμε να ελέγξουμε σχετικά εύκολα τα αποτελέσματα, σε αντίθεση με το δίκτυο του κέντρου της Αθήνας, στο οποίο λόγω μεγέθους κυρίως είναι πολύ πιο δύσκολο να ελέγξουμε τόσο τα αποτελέσματα όσο και τις συνθήκες κάτω από τις οποίες γίνεται η δοκιμή.

Είναι εύλογο βέβαια ότι προκειμένου να αξιολογήσουμε σωστά τα αποτελέσματα των δοκιμών, πρέπει να θέσουμε ορισμένα δεδομένα ή καλύτερα ορισμένες συνθήκες οι οποίες θα παραμένουν σταθερές και απαραβίαστες καθ'όλη τη διάρκεια αυτού του "πειράματος"

Η πρώτη από αυτές είναι η παραδοχή της σταθερής ζήτησης για όλη τη διάρκεια της δοκιμής. Η ζήτηση εκφράζεται αποκλειστικά μέσω των μετρήσεων των φόρτων κυκλοφορίας σε ορισμένους συνδέσμους του δικτύου, αφού όπως έχει αναφερθεί ήδη από την εισαγωγή αυτής της εργασίας, αυτός ο αλγόριθμος επιχειρεί την ανασύνθεση της κυκλοφορίας κατ'ευθείαν από τις μετρήσεις. Έτσι η έννοια του μητρώου προέλευσης – προορισμού παύει ουσιαστικά να υφίσταται καθώς είναι μάλλον αδύνατον να ξέρουμε τον ακριβή αριθμό των γενόμενων μετακινήσεων σε κάποια περίοδο από κάποια ζώνη προέλευσης προς κάποια ζώνη προορισμού. Θεωρώντας πάντως ότι οι τιμές των μετρήσεων στους φωρατές είναι σταθερές, είναι εύλογο να θεωρούμε ότι έχουμε και σταθερή ζήτηση. Αυτό βέβαια δεν είναι καθόλου συμβατό με την κλασική αντίληψη που θέλει τη ζήτηση να καθορίζεται από μητρώα προέλευσης – προορισμού, από τη στιγμή κιόλας που κάποιος πολύ εύστοχα μπορεί να παρατηρήσει ότι η ζήτηση θα μπορούσε κάλλιστα να μεταβληθεί χωρίς να το αντιληφθούν οι φωρατές, αν η μεταβολή

συμβεί σε κάποιο ζευγάρι προέλευσης προορισμού που δεν "συλλαμβάνεται" από τους φωρατές. Εδώ θα πρέπει να σας παραπέμψω στο κεφάλαιο όπου βρήκαμε ένα βέλτιστο δίκτυο φωρατών για το δίκτυο της κεντρικής Αθήνας. Είδαμε εκεί ότι τα περισσότερα "στρατηγικά" σημεία για την τοποθέτηση των φωρατών είναι αυτά που βρίσκονται πολύ κοντά στους κόμβους που αντιπροσωπεύουν τη σύνδεση των ζωνών προέλευσης με το δίκτυο. Έτσι σε έναν τέτοιο ισχυρισμό θα μπορούσαμε να αντιπαραθέσουμε ότι εφ'όσον οι φωρατές είναι καλά τοποθετημένοι το δίκτυο των μετρητών και κατ'επέκταση ο ίδιος ο αλγόριθμος θα καταλάβουν ότι έχει συμβεί μία συνολική μεταβολή της ζήτησης. Αυτό που ίσως δεν γίνει είναι το να ανατεθεί αυτή η μεταβολή σε κάποιο συγκεκριμένο ζευγάρι ζωνών, αφού όπως είδαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο ο αλγόριθμος δεν είναι τόσο "έξυπνος" ώστε να αντιλαμβάνεται στο δίκτυο ζώνες προέλευσης - προορισμού. Αντιλαμβάνεται μόνο συνδέσμους, οι οποίοι απαρτίζουν ένα σύνολο διαδρομών.



Σχήμα 4.6: Συνολική ζήτηση για τις 10 περιόδους

Μία άλλη επίσης σημαντική παραδοχή είναι το ότι θεωρούμε ότι αυτές οι δοκιμές που θα ακολουθήσουν συμβαίνουν σε ένα χρονικό διάστημα κατά το οποίο η γένεση των διαδρομών, έτσι όπως περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο σταματάει. Δηλαδή σε κάποιο διάστημα όπου δεν υπάρχουν άλλες διαδρομές με μικρότερο κόστος από αυτές που έχουν δημιουργηθεί κατά τις προηγούμενες περιόδους με τον αλγόριθμο του Bell

(1995), ο οποίος είναι ένας κλασικός αλγόριθμος εύρεσης της ελάχιστης διαδρομής, με την προσθήκη μίας υπορουτίνας, η οποία ελέγχει αν από περίοδο σε περίοδο έχουμε δημιουργία καινούργιων διαδρομών. Κάτι τέτοιο κρίθηκε απαραίτητο καθώς σε μία αντίθετη περίπτωση η δημιουργία καινούργιων διαδρομών ενδεχομένως θα είχε σημαντική επίδραση στους φόρτους των συνδέσμων και έτσι η δοκιμή δεν θα εξυπηρετούσε τον σκοπό μας για την παρακολούθηση της εξέλιξης του φόρτου των συνδέσμων σε σχέση με την εξέλιξη των ουρών.

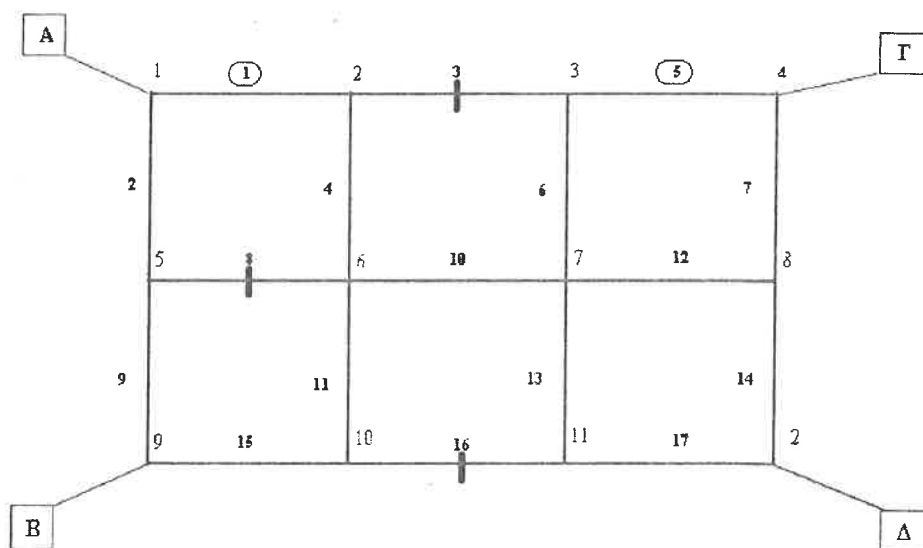
Τα συμπεράσματα που θα εξάγουμε από αυτές τις δοκιμές, ενδεχομένως θα είναι ασφαλή αφού θα κρατάμε όλους τους παράγοντες σταθερούς εκτός από τις ουρές αναμονής. Αυτό που ερευνούμε εδώ είναι το πόσο ακραία θα είναι αυτά που θα συμβούν όταν ο φόρτος ξεπεράσει και ειδικά όταν ο φόρτος ξεπεράσει πολύ την ικανότητα. Στην ουσία αυτό που θέλουμε είναι ακριβώς το να δούμε αν το σύστημα μπορεί να "κρεμάσει" εξ'αιτίας του αλγόριθμου και να μας δίνει αποτελέσματα τα οποία θα είναι εντελώς αναξιόπιστα.

Κάτι που επίσης οφείλουμε να αναφέρουμε είναι το γεγονός ότι σε αυτές τις δοκιμές επιτρέψαμε στις ουρές να πάρουν εξαιρετικά μεγάλες τιμές (σε σχέση πάντα με την χωρητικότητα των συνδέσμων). Αυτό ήταν πολύ λογικό να συμβεί αφού θεωρήσαμε ότι η ζήτηση παραμένει σταθερή καθ'όλη τη διάρκεια της δοκιμής και με τιμή τέτοια ώστε να μπορούμε να πούμε ότι εκφράζει μία ώρα αιχμής. Έτσι είναι πολύ λογικό η συμφόρηση στο δίκτυο της Fisk να έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ουρών πολύ μεγαλύτερων ακόμα και από την ικανότητα του συνδέσμου, κάτι που αν συνέβαινε βέβαια σε ένα πραγματικό δίκτυο και με συνθήκες πραγματικής ζήτησης θα έπρεπε να μας ανησυχήσει, αφού δεν είναι ποτέ δυνατόν η ουρά να ξεπεράσει ποτέ την φυσική χωρητικότητα του συνδέσμου.

Εδώ βέβαια αυτή η "παράβαση" θεωρήθηκε επιτρεπτή αφού εξυπηρετούσε τους σκοπούς μας για εύρεση της επίδρασης των ουρών στη χωρητικότητα των συνδέσμων και βέβαια στους φόρτους που είναι τα αποτελέσματα του καταμερισμού της κυκλοφορίας που γίνεται με χρήση του προτύπου SPFE.

Με αυτά λοιπόν τα δεδομένα έγινε ανασύνθεση της κυκλοφορίας για δέκα περιόδους, με σκοπό την παρακολούθηση της εξέλιξης των φόρτων σε συνάρτηση με την εξέλιξη των ουρών, την διαπίστωση του αν υπάρχει κάποια σχέση μεταξύ τους, καθώς και την εύρεση κάποιου κανόνα που να περιγράφει αυτή ακριβώς τη σχέση.

Το δίκτυο της Fisk αποτελείται από 34 συνδέσμους (θεωρούμε ότι όλοι οι σύνδεσμοι είναι διπλοί) εκ των οποίων φορτίζονται μόνο οι μισοί. Από τον καταμερισμό που κάναμε προέκυψαν κάποιοι σύνδεσμοι που παρουσίαζαν υπερφόρτωση. Είναι εύλογο βέβαια ότι οι τιμές των μετρήσεων επιλέχθηκαν έτσι ώστε να παρουσιαστεί υπερφόρτωση σε ορισμένους τουλάχιστον από τους συνδέσμους. Παρακολουθήσαμε δύο συνδέσμους: έναν ο οποίος υπερφορτώνεται με πολύ μικρό ρυθμό (τον σύνδεσμο 1) και έναν στον οποίο η εξέλιξη των ουρών είναι πολύ γοργή (τον σύνδεσμο 5).



Σχήμα 4.6: Το δίκτυο της Fisk με φωρατές τοποθετημένους στους συνδέσμους 3,8,16

Στο παραπάνω σχήμα μπορείτε να δείτε τόσο τους μετρούμενους συνδέσμους (είναι οι σύνδεσμοι 3,8 & 16) όσο και τους συνδέσμους στους οποίους παρακολουθήσαμε την εξέλιξη των φόρτων και των ουρών (είναι οι σύνδεσμοι που βρίσκονται μέσα στις ελλείψεις).

Η επιλογή αυτών των συνδέσμων δεν ήταν τυχαία. Στον σύνδεσμο 1 η ουρά αυξάνεται με πολύ αργό ρυθμό. Για να γίνουμε πλέον περισσότερο συγκεκριμένοι θα πρέπει να αναφέρουμε ότι σε κάθε μία από τις δέκα περιόδους προστίθενται στην ουρά του εν λόγω συνδέσμου οχήματα, που το πλήθος τους αντιπροσωπεύει ποσοστό περίπου 15% της χωρητικότητας. Στο τέλος βέβαια αυτών των δοκιμών το πλήθος των οχημάτων που είχε συσσωρευτεί στην ουρά ήταν κατά περίπου 40% μεγαλύτερο από την χωρητικότητα του συνδέσμου. Είναι πιστεύουμε εμφανές ότι ακόμα και ένας πολύ μικρός αριθμός οχημάτων μπορεί να προκαλέσει πολύ ακραία φαινόμενα σε όσον αφορά στο μέγεθος των ουρών, κάτι βέβαια που θα συμβεί όταν έχουμε τόσο παρατεταμένες "ώρες αιχμής".

Αντίθετα στον σύνδεσμο 5 έχουμε μία πολύ διαφορετική και ίσως πολύ ακραία εικόνα, καθώς σε κάθε χρονική περίοδο προστίθεται στην ουρά του αριθμός οχημάτων ίσος με το 50% της χωρητικότητας του εν λόγω συνδέσμου. Η ζήτηση για τον σύνδεσμο είναι αναμφίβολα πολύ μεγάλη, κάτι πολύ λογικό, αφού ο σύνδεσμος βρίσκεται πολύ κοντά στον κόμβο 4, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με το κεντροειδές της ζώνης προορισμού Γ και άρα ο συγκεκριμένος σύνδεσμος συγκεντρώνει έναν πολύ μεγάλο αριθμό μετακινήσεων. Στο τέλος των 10 περιόδων η εικόνα της ουράς αυτού του συνδέσμου άγγιξε τα όρια του εξωπραγματικού αφού ο αριθμός των οχημάτων που ανέμεναν στον "αποθηκευτικό" χώρο ήταν σχεδόν τρεις φορές μεγαλύτερος από την χωρητικότητα του συνδέσμου.

Πιστεύουμε ότι το να παρακολουθήσουμε δύο συνδέσμους, οι οποίοι έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό, το οποίο βέβαια είναι η μεγάλη συγκέντρωση φόρτου, αλλά και κάποια που δεν είναι κοινά και κυρίως το γεγονός ότι ο ένας βρίσκεται πολύ κοντά σε μία ζώνη προέλευσης, ενώ ο άλλος βρίσκεται με τη σειρά του κοντά σε μία ζώνη προορισμού, πράγμα που εξηγεί εν μέρει και τη μεγάλη διαφορά στη ζήτηση και κατά συνέπεια και στον ρυθμό συσσώρευσης οχημάτων στον χώρο των ουρών, θα σταθεί ίσως αρκετό για να κατανοήσουμε την συμπεριφορά του αλγόριθμου σε αυτές τις περιπτώσεις. Το γιατί δεν θεωρήσαμε αναγκαίο να κάνουμε την ίδια εργασία και για έναν από τους

μετρούμενους συνδέσμους πιστεύουμε ότι είναι εμφανές από το γεγονός και μόνο ότι σύμφωνα με αυτό το πρότυπο θεωρούμε ότι οι μετρήσεις των φόρτων στους συνδέσμους που φέρουν φορατές γίνονται αποδεκτές χωρίς κανένα λάθος. Έτσι το αποτέλεσμα της κατανομής στο δίκτυο, με τον συγκεκριμένο αλγόριθμο, για αυτούς τους συνδέσμους θα συγκλίνει πάντα στις μετρήσεις των φόρτων.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα αποτελέσματα για τον σύνδεσμο 1. Εδώ είναι εμφανές (κάτι που φαίνεται πολύ καλά και από το αντίστοιχο διάγραμμα, το οποίο παρατίθεται στις επόμενες σελίδες) ότι δεν υπάρχει στην ουσία κάποια σχέση μεταξύ της ουράς και του φόρτου, αφού οι τιμές που παίρνει ο φόρτος του συνδέσμου 1 μετά τον καταμερισμό στο δίκτυο είναι πάντα οι ίδιες.

Πίνακας 4.7: Εξέλιξη του φόρτου στον σύνδεσμο 1 του δικτύου της Fisk για σταθερή ζήτηση

Αριθμός Περίόδου	Ικανότητα Συνδέσμου (Οχημ./περ.)	Φόρτος Συνδέσμου (Οχημ./περ.)	Ουρά Συνδέσμου (Οχημ./περ.)
1	14	15.996	1.996
2	14	15.996	3.996
3	14	15.996	5.996
4	14	15.996	7.996
5	14	15.996	9.996
6	14	15.996	11.996
7	14	15.996	13.996
8	14	15.996	15.996
9	14	15.996	17.996
10	14	15.996	19.995

Βέβαια εδώ έχει πολύ μεγάλη σημασία το να δούμε αυτό το συμβάν σε σχέση και με τη θέση του συνδέσμου 1 μέσα στο δίκτυο. Όπως είπαμε και παραπάνω ο σύνδεσμος 1

βρίσκεται πολύ κοντά σε μία ζώνη προέλευσης και εκτός αυτού βρίσκεται και πριν ακριβώς από έναν μετρητή στον σύνδεσμο 3. Αν δούμε λίγο τις διαδρομές που υπάρχουν στο δίκτυο παρατηρούμε ότι όλες οι διαδρομές (τρεις στον αριθμό) που διέρχονται από τον σύνδεσμο 3, διέρχονται επίσης και από τον σύνδεσμο 1. Έτσι είναι λογικό να αναμένουμε σε κάθε περίοδο ο φόρτος που παρατηρείται στον φωρατή του συνδέσμου 3, να παρατηρείται και στον σύνδεσμο 1, αφού στην αντίθετη περίπτωση θα είχαμε απώλεια φόρτου, ή ακόμα καλύτερα θα παρουσιαζόταν φόρτος στον σύνδεσμο 3, ο οποίος δεν θα υπήρχε σε καμία διαδρομή του δικτύου. Δεδομένου ότι ο αλγόριθμος είναι έτσι φτιαγμένος ώστε ο φόρτος που παρουσιάζεται στους φωρατές να μην χάνεται ποτέ αλλά να εμφανίζεται σε κάποια ή κάποιες διαδρομές, η εικόνα του διαγράμματος που ακολουθεί είναι απόλυτα λογική. Αυτό βέβαια που μας ανησυχεί σε αυτή τουλάχιστον την πρώτη δοκιμή είναι το γεγονός ότι ο φόρτος των συνδέσμων φαίνεται να μένει ανεπηρέαστος από το ποσοστό των οχημάτων που συσσωρεύονται στην ουρά.

Στον άλλο σύνδεσμο (τον σύνδεσμο 5) που παρακολουθήσαμε η εικόνα είναι κάπως διαφορετική θα λέγαμε καθώς όπως φαίνεται τόσο από τον πίνακα που παρατίθεται παρακάτω όσο και από το διάγραμμα, το οποίο δίνεται στις επόμενες σελίδες η αύξηση των ουρών συνοδεύεται και από μείωση του φόρτου από περίοδο σε περίοδο. Βέβαια εδώ δεν θα έπρεπε να βιαστούμε στο να βγάλουμε συμπεράσματα αφού η μείωση αυτή θα μπορούσε κάλλιστα να οφείλεται στην ανακατανομή του φόρτου που παρατηρείται λόγω της μεταβολής του κόστους των διαδρομών (υπενθυμίζουμε ότι η ζήτηση των διαδρομών καθορίζεται από ένα μαθηματικό μοντέλο, το οποίο βασίζεται στα πρότυπα logit).

Πίνακας 4.8: Η εξέλιξη του φόρτου στον σύνδεσμο 5 του δικτύου της Fisk για σταθερή ζήτηση

Αριθμός Περίοδου	Ικανότητα Συνδέσμου (Οχημ./περ.)	Φόρτος Συνδέσμου (Οχημ./περ.)	Ουρά Συνδέσμου (Οχημ./περ.)
1	10	15.088	5.088
2	10	14.67	9.76
3	10	14.746	14.506
4	10	13.894	18.404
5	10	13.573	21.973
6	10	13.288	25.258
7	10	13.034	28.294
8	10	12.817	31.107
9	10	12.638	33.748
10	10	12.489	36.239

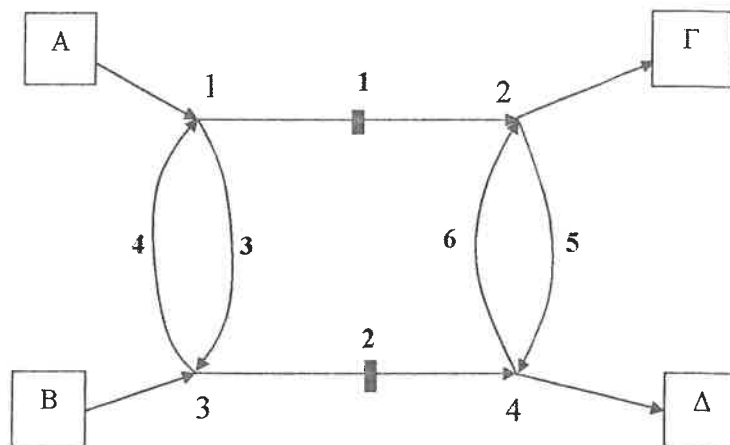
Το ότι παρατηρείται αυτή η μείωση δεν έχει τελικά να κάνει με τον ρυθμό αύξησης των ουρών αλλά έχει πολύ μεγάλη σχέση με το αν μπορεί να κατανεμηθεί ο φόρτος σε άλλες διαδρομές. Αν μπορεί να γίνει κάτι τέτοιο τότε η αύξηση της ουράς θα επιφέρει μία μείωση στους φόρτους της διαδρομής κατά την επόμενη περίοδο (συνέπεια της μείωσης του φόρτου του συνδέσμου, ο οποίος ανήκει στην εν λόγω διαδρομή).

Αυτό πάντως που δεν θα έπρεπε να μας απογοητεύσει είναι το γεγονός ότι και στις δύο περιπτώσεις δεν παρατηρήσαμε ακραίες τιμές για τον φόρτο των υπό εξέταση συνδέσμων. Αντιθέτως η μείωση του φόρτου είναι βαθμιαία και εξαρτάται άμεσα από την αύξηση του κόστους των διαδρομών που διέρχονται από τον σύνδεσμο. Έτσι ένα συμπέρασμα που θα μπορούσαμε να εξάγουμε από αυτή τη διαδικασία είναι το ότι ο αλγόριθμος λόγω των απλοποιήσεων και των παραδοχών που κάνουμε γίνεται κατάλληλος για εφαρμογή σε δίκτυα που παρουσιάζονται ακόμα και ακραία φαινόμενα συμφόρησης. Τελικά η μείωση της ικανότητας από την αύξηση των ουρών γίνεται μέσα

στα πλαίσια του logit, δηλαδή με έναν τρόπο πλάγιο. Κάτι αντίθετο, δηλαδή η μείωση του φόρτου του συνδέσμου χωρίς μία συνοδευόμενη ανακατανομή του φόρτου θα αποτελούσε ένα πολύ αδύνατο σημείο του αλγόριθμου, αφού δεν θα είχαμε διατήρηση του φόρτου από περίοδο σε περίοδο (για σταθερή ζήτηση).

Επιχειρήσαμε να κάνουμε και μία τρίτη δοκιμή, αυτή τη φορά στο πολύ απλό δίκτυο των Bell, Lam και Iida, πάλι σε δέκα περιόδους, με τους ίδιους όρους με το προηγούμενο παράδειγμα. Τα αποτελέσματα και αυτής της δοκιμής επιβεβαίωσαν τα συμπεράσματα που βγάλαμε στις παραπάνω δοκιμές στο δίκτυο της Fisk.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα αποτελέσματα αυτής της δοκιμής ενώ θα πρέπει να αναφέρουμε ότι παρακολούθησαμε τον σύνδεσμο 3 του δικτύου.



Σχήμα 4.7: Το δίκτυο του Bell

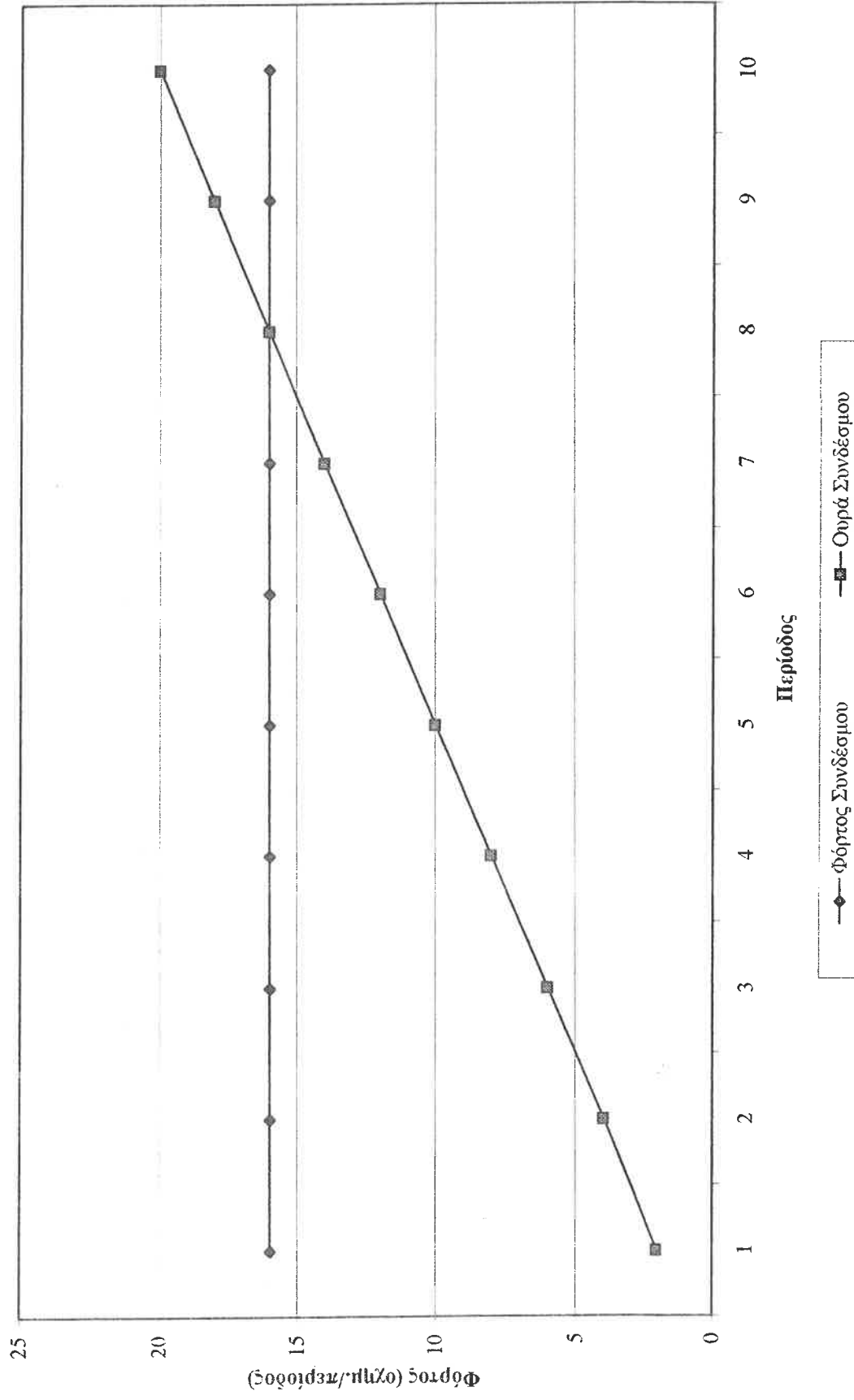
Παραθέτουμε και το σχήμα του δικτύου του Bell ενώ θυμίζουμε ότι στο δίκτυο αυτό θεωρήσαμε ότι κάνουμε κατανομή της κυκλοφορίας σε 8 διαδρομές, οι οποίες είναι εκ των προτέρων καθορισμένες. Ακολουθούν ο πίνακας των αποτελεσμάτων καθώς και το

αντίστοιχο διάγραμμα. Είναι περιττό πιστεύουμε να αναφέρουμε την ομοιότητα αυτής της κατάστασης με αυτή που συναντήσαμε στο προηγούμενο ακριβώς παράδειγμα.

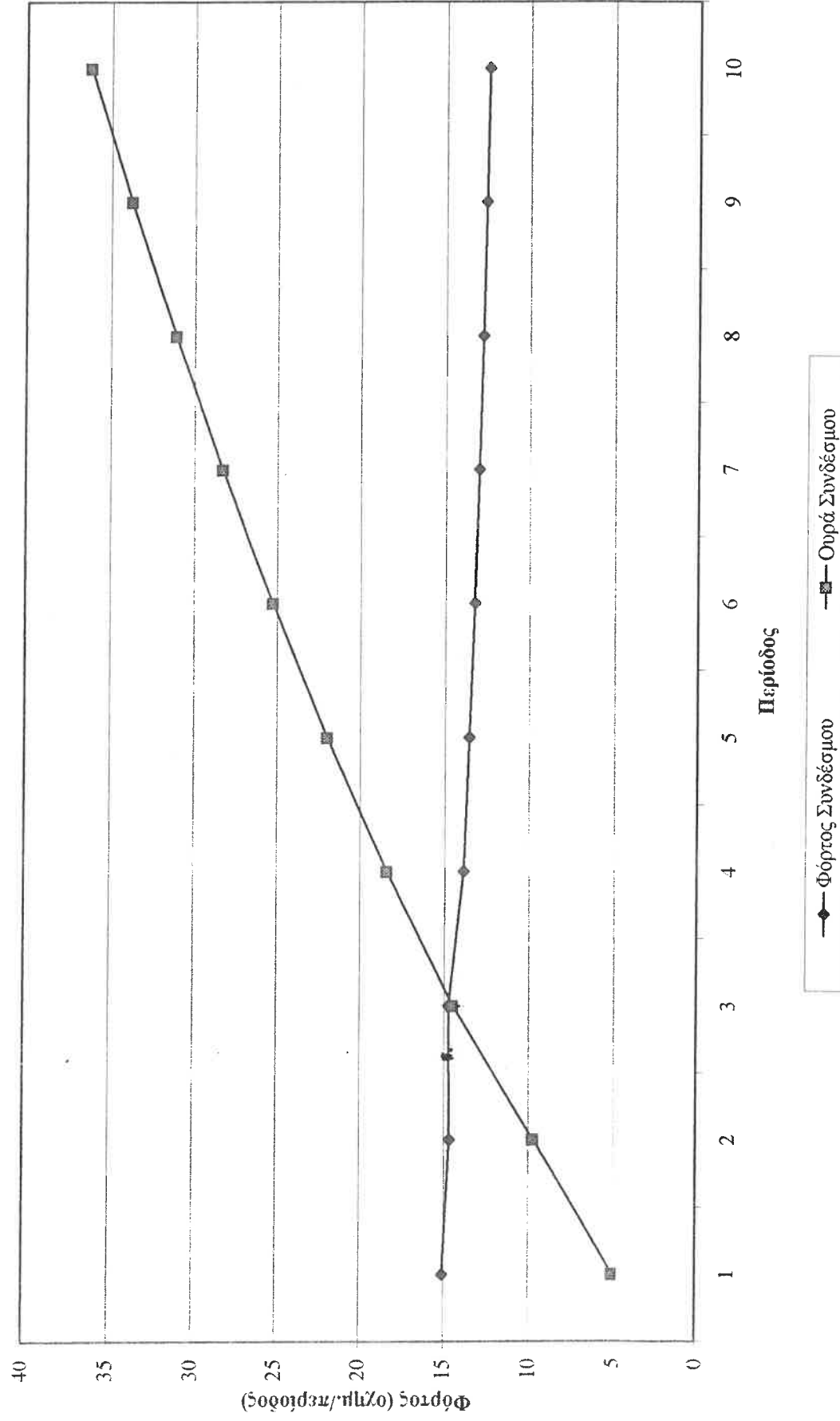
Πίνακας 4.9: Εξέλιξη του φόρτου στον σύνδεσμο 3 του δικτύου του Bell για σταθερή ζήτηση

Αριθμός Περίόδου	Ικανότητα Συνδέσμου (Οχημ./περ.)	Φόρτος Συνδέσμου (Οχημ./περ.)	Ουρά Συνδέσμου (Οχημ./περ.)
1	3	4.387	1.387
2	3	4.283	2.669
3	3	4.186	3.855
4	3	4.097	4.952
5	3	4.016	5.967
6	3	3.941	6.907
7	3	3.872	7.778
8	3	3.808	8.586
9	3	3.749	9.335
10	3	3.695	10.03

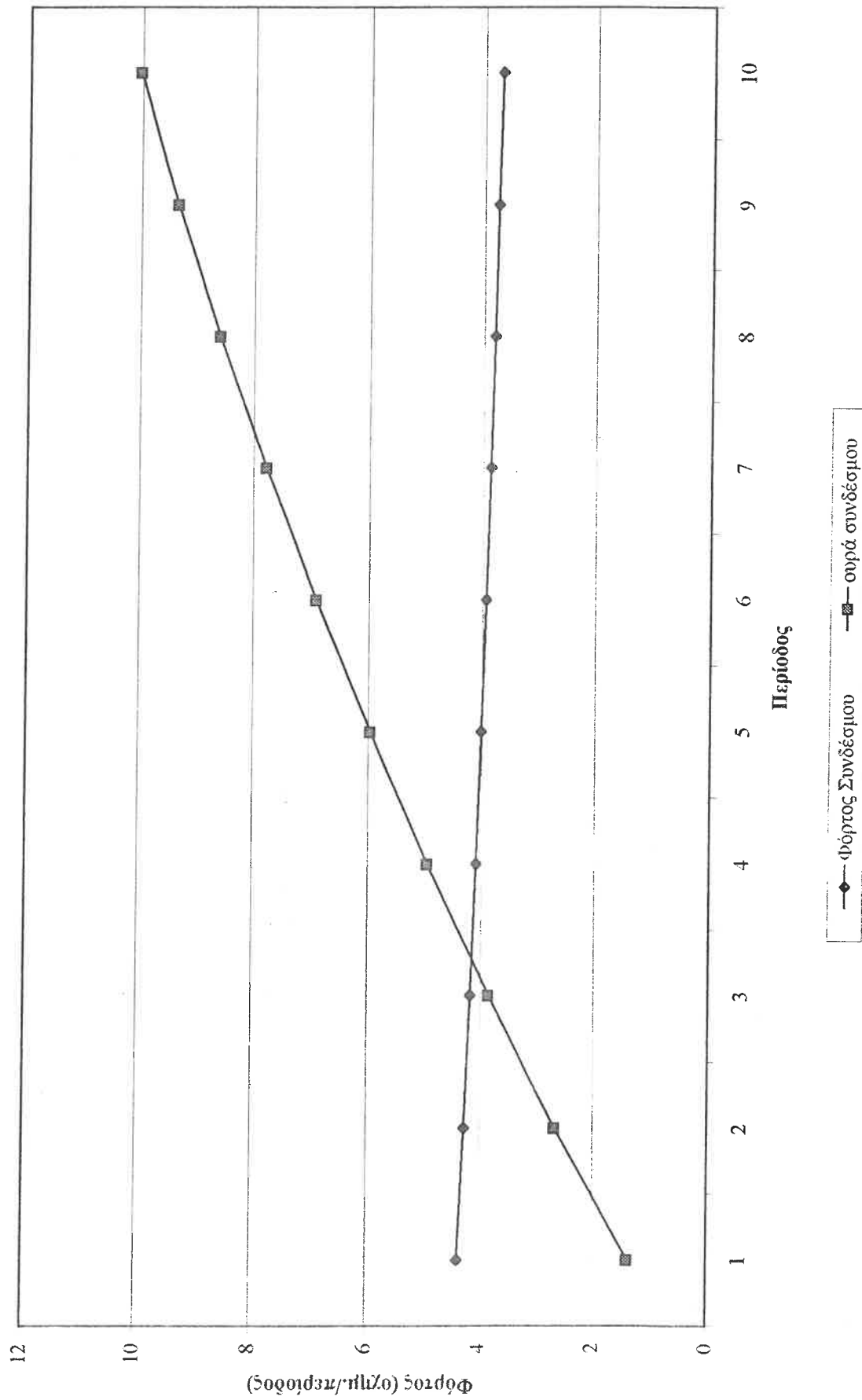
Σχήμα 4.8: Εξέλιξη του φόρτου του συνδέσμου 1 του δικτύου της Fisk σε παράθεση με την εξέλιξη των ουρών σε 10 περιόδους (με σταθερή ζήτηση)



Σχήμα 4.9: Εξέλιξη του φόρτου του συνδέσμου 5 του δικτύου της Fisk σε παράθεση με την εξέλιξη των ουρών σε 10 περιόδους (με σταθερή ζήτηση)



Σχήμα 4.10: Εξέλιξη του φόρτου στον σύνδεσμο 3 του δικτύου του Bell, σε παράθεση με την εξέλιξη των ουρών



4.2 ΜΙΑ ΠΡΩΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ SPFE ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ

4.2.1. Το επιλεγμένο δίκτυο του κέντρου της Αθήνας

Παρ'ότι μία εφαρμογή του προτύπου σε ολόκληρο το δίκτυο της Αθήνας θα ήταν κάτι που θα έδινε οριστικές απαντήσεις για την αξιοπιστία του προτύπου που παρουσιάστηκε σε αυτή την εργασία, οι χρονικοί περιορισμοί που τίθενται στα πλαίσια της εκπόνησης μίας διπλωματικής εργασίας κατέστησαν κάτι τέτοιο δύσκολο. Παρά ταύτα επιλέχθηκε ένα μόνο μικρό τμήμα από το κωδικοποιημένο δίκτυο της Αθήνας το οποίο αποτελείται από 122 κόμβους και 226 συνδέσμους και περικλείει το κέντρο της Αθήνας. Το συγκεκριμένο δίκτυο έχει χρησιμοποιηθεί και παλαιότερα από άλλες διπλωματικές εργασίες.

Ως ζώνες προέλευσης – προορισμού θεωρήθηκαν τα σημεία εισόδου – εξόδου του δικτύου. Υπάρχουν 25 σημεία εισόδου – εξόδου στο δίκτυο, εκ των οποίων κάποια αντιπροσωπεύουν αποκλειστικά ζώνες προελεύσεως, άλλα είναι αποκλειστικά ζώνες προορισμού και άλλα αποτελούν ζώνες προέλευσης και ζώνες προορισμού ταυτόχρονα. Ο διαχωρισμός αυτός σχετίζεται με το ότι οι οδοί του δικτύου μπορεί να είναι οδοί μονής ή διπλής κατεύθυνσης. Συνολικά υπάρχουν 15 ζώνες προελεύσεως και 14 ζώνες προορισμού στο δίκτυο.

Οι ζώνες προελεύσεως δίνονται στον πίνακα 4.10 ενώ οι ζώνες προορισμού στον πίνακα 4.11. Σε αυτούς τους πίνακες δίνονται ο αριθμός του κόμβου της ζώνης στο κωδικοποιημένο δίκτυο μαζί με τον αριθμό της ζώνης σύμφωνα με την αρίθμηση του χάρτη που παρατίθεται.

Πίνακας 4.10: Οι ζώνες προελεύσεως του δικτύου

Αρ. Ζώνης	Αρ. Κόμβου
1	266
3	364
5	366
6	423
7	418
8	430

11	461
12	462
13	495
14	229
16	176
19	171
21	151
23	157
24	160

Πίνακας 4.11: Οι ζώνες προορισμού του δικτύου

Αρ. Ζώνης	Αρ. Κόμβου
1	266
2	342
4	394
7	418
8	430
10	460
13	495
14	229
15	177
17	173
18	172
20	141
22	152
25	161

Το κέρδος του να χρησιμοποιήσει κάποιος ένα υπάρχον δίκτυο, έστω και αν χρησιμοποιεί ένα μόνο μικρό τμήμα του όπως συμβαίνει εδώ, είναι το ότι μπορεί να βασιστεί στην ήδη υπάρχουσα κωδικοποίηση καθώς δεν υπάρχει λόγος για να γίνει το αντίθετο. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν τα χαρακτηριστικά των συνδέσμων του πραγματικού δικτύου, τα οποία παρατίθενται στο παράρτημα Ι.

Σε αυτό το τμήμα του δικτύου υπάρχουν μόνιμα εγκατεστημένοι 43 επαγωγικοί φωρατές τοποθετημένοι σε 38 συνδέσμους. Αυτοί θα χρησιμοποιηθούν και στο παράδειγμα της παραγράφου 4.2.2, η οποία ακολουθεί.



4.2.2. Γενικά

Αυτό είναι σίγουρα και το πιο ενδιαφέρον από τα παραδείγματα που έχουμε αναφέρει αφού πραγματοποιήθηκε σε ένα τμήμα ενός πραγματικού δικτύου, αυτού του κέντρου της Αθήνας. Τα στοιχεία του δικτύου είναι τα πραγματικά, δηλαδή σε όσον αφορά στη χωρητικότητα των συνδέσμων και το κόστος τους, ενώ το ίδιο ισχύει και για τις θέσεις των φορατών. Αυτό που είναι υποθετικό είναι το μητρώο προέλευσης –προορισμού. όσον αφορά τις τιμές των πραγματοποιούμενων μετακινήσεων, αλλά και όσον αφορά τα σημεία εισόδου –εξόδου (οι ζώνες προελεύσεως και προορισμού είναι υποθετικές και δεν συμπίπτουν με αυτές του του πραγματικού δικτύου της Αθήνας.

Οι μετρήσεις στους συνδέσμους θεωρούνται σωστές δίχως κάποιο σφάλμα (μία παραδοχή που έγινε από τους Bell, Lam και Iida (1995). Το κατά πόσο τα αποτελέσματα της ανασύνθεσης που θα επιχειρηθεί είναι καλά, θα κριθεί από το κατά πόσο οι εκτιμήσεις των φόρτων με τη μέθοδο των διαδοχικών μέσων συσχετίζονται με αυτούς που προκύπτουν από τη φόρτιση του δικτύου με ένα αρχικό μητρώο προέλευσης – προορισμού, το οποίο θεωρείται ότι είναι το "πραγματικό" μητρώο προέλευσης – προορισμού για το διάστημα μίας περιόδου που εξετάζουμε.

Ως κριτήρια για αυτό θα θεωρήσουμε δύο παραμέτρους:

- i. τη μέση σχετική απόλυτη διαφορά, ένα μέγεθος που δίνεται από τον τύπο:

$$MRE = \frac{\sum_n |O_n - E_n|}{\sum_n O_n}$$

όπου:

- O_n : Η εκτίμηση του φόρτου του συνδέσμου n που γίνεται με τη φόρτιση του δικτύου, με τη μέθοδο "όλα ή τίποτα", με τις μετακινήσεις του αρχικού "πραγματικού" μητρώου προέλευσης – προορισμού.
- E_n : Η εκτίμηση του φόρτου του συνδέσμου n που γίνεται από την ανασύνθεση της κυκλοφορίας με το πρότυπο SPFE.

- ii. Τη τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου της διαφοράς των εκτιμώμενων από τους "πραγματικούς" φόρτους των συνδέσμων.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_n (O_n - E_n)^2}{n}}$$

Όπου ισχύουν οι ίδιοι συμβολισμοί. Επίσης ένας δείκτης τον οποίο θα αναφέρουμε είναι ο συντελεστής συσχετισμού των δύο δειγμάτων.

4.2.3. Δοκιμή ανασύνθεσης της κυκλοφορίας στο δίκτυο του κέντρου της Αθήνας με χρήση 38 εγκατεστημένων φωρατών σε ισάριθμους συνδέσμους

Κάτι που θα πρέπει να αποσαφηνιστεί είναι το γεγονός ότι, σύμφωνα με παλαιότερη διπλωματική εργασία ("Δυναμική Εκτίμηση Μητρώων Προέλευσης Προορισμού από μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου", του Β.Κοντογεώργη, 1993), υπάρχουν εγκατεστημένοι 43 φωρατές στο συγκεκριμένο τμήμα του δικτύου (ποσοστό 30.71% όλων των φωρατών του δικτύου της Αθήνας, οι οποίοι είναι 140). Από αυτούς πολλοί βρίσκονταν στον ίδιο σύνδεσμο μαζί με άλλους (Αυτό συμβαίνει κυρίως σε συνδέσμους που αποτελούν τμήματα λεωφόρων) . Για να απλοποιηθεί το πρόβλημα έγινε η θεώρηση ότι σε κάθε σύνδεσμο υπάρχει το πολύ ένας φωρατής. Με αυτόν τον τρόπο καταλήξαμε σε 38 φωρατές, οι οποίοι βρίσκονται σε ισάριθμους συνδέσμους του δικτύου.

Σε αυτήν τη περίπτωση έγινε χρήση της πρότασης των Bell et al. (1995), η οποία χρησιμοποιήθηκε και για τις εφαρμογές στο δίκτυο της Fisk, και η οποία

χρησιμοποιείται για την εύρεση των διαδρομών, στις οποίες θα γίνει ο καταμερισμός των μετακινήσεων από το πρότυπο SPFE. Στην περίπτωση αυτή το μητρώο προέλευσης προορισμού που χρησιμοποιήθηκε ήταν τέτοιο που τα αποτελέσματα της φόρτισης με τη μέθοδο "όλα ή τίποτα" ήταν τέτοια που δεν ξεπερνούσαν τις ικανότητες των συνδέσμων. Ακόμα και αν εφαρμοζόταν κάποια διόρθωση, σε σχέση με την χωρητικότητα των συνδέσμων, οι φόρτοι των συνδέσμων ήταν τέτοιοι που το αποτέλεσμα θα ήταν και πάλι η φόρτιση να γίνεται στα δέντρα των ελαχίστων διαδρομών όλων των ζωνών προελεύσεως προς όλες τις ζώνες προορισμού. Με τον αλγόριθμο των Bell et al.(1995), βρέθηκαν και οι διαδρομές, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την ανασύνθεση της κυκλοφορίας με το πρότυπο SPFE. Η ανυπαρξία ουρών στους συνδέσμους του δικτύου, είχε ως αποτέλεσμα την ανυπαρξία καθυστερήσεων στο δίκτυο και έτσι οι διαδρομές που δημιουργήθηκαν από τον αλγόριθμο ήταν οι ίδιες που προέκυψαν από τον αλγόριθμο του Moore. Με αυτόν τον τρόπο η φόρτιση και η ανασύνθεση έγιναν στις ίδιες διαδρομές, αυτές που ανήκουν στα δέντρα των ελαχίστων διαδρομών των ζωνών προελεύσεως, προς όλες τις ζώνες προορισμού.

Η περίοδος που εξετάζεται είναι ένα 15λεπτο. Θεωρείται ότι η ζήτηση είναι ομοιόμορφη (δηλαδή θεωρούμε έναν συντελεστή ωριαίας αιχμής ίσο με 1.00).

Στα παραδείγματα αυτά σκοπός είναι η διερεύνηση της ευαισθησίας του αλγόριθμου στις θέσεις και τον αριθμό των φωρατών στο δίκτυο του κέντρου της Αθήνας. Αν η φόρτιση γινόταν με ένα μητρώο προέλευσης – προορισμού που θα οδηγούσε το δίκτυο στο να παρουσιάσει φαινόμενα συμφόρησης, θα μπορούσαν να συμβούν δύο πράγματα. Η φόρτιση του δικτύου θα έπρεπε να γίνει με κάποιο πρότυπο που να οδηγεί σε ισορροπία. Θα μπορούσε να εφαρμοστεί η μέθοδος "όλα ή τίποτα" με διόρθωση ως προς τη χωρητικότητα των συνδέσμων, μια διαδικασία η οποία θα οδηγούσε σε μία ισορροπία που θα ικανοποιούσε την πρώτη αρχή του Wardrob (1950). Από αυτή τη διαδικασία θα προέκυπτε ένα σύνολο διαδρομών, οι οποίες θα φορτίζονταν. Κατά την διαδικασία της εύρεσης των διαδρομών, που θα χρησιμοποιούνταν από το πρότυπο SPFE, με τον αλγόριθμο του Bell (1995), ήταν πιθανό να μην προκύψουν οι ίδιες διαδρομές που θα προέκυπταν από τη φόρτιση. Με αυτόν τον τρόπο θα είχαν σημασία για τα αποτελέσματα παράγοντες άλλοι από αυτούς που θέλαμε να εξετάσουμε σε αυτό το κεφάλαιο. Έτσι αν συνέβαινε κάτι τέτοιο τα αποτελέσματα (της φόρτισης με την ανασύνθεση) δεν επρόκειτο να είναι συγκρίσιμα, δεδομένου ότι σκοπός ήταν να δειχθεί κατά πόσο το πρότυπο αυτό είναι ικανό να κάνει ανασύνθεση της κυκλοφορίας

απ'ευθείας από τις μετρήσεις. Σε αυτή τη διερεύνηση οι συγκρίσεις θα γίνουν στο επίπεδο των φόρτων των συνδέσμων και όχι στο επίπεδο της εκτίμησης των μετακινήσεων που συνθέτουν το υποθετικό μητρώο προέλευσεως – προορισμού, το οποίο θα μπορούσε να συγκριθεί με το πραγματικό μητρώο προέλευσεως – προορισμού. Αυτό θα γίνει γιατί το πρότυπο είναι έτσι φτιαγμένο ώστε να μην αναγνωρίζει ζώνες προέλευσης και ζώνες προορισμού εν γένει. Μία εκτίμηση που θα βασιζόταν στη σύγκριση των μητρώων μπορεί να ήταν άστοχη, αφού δεν θα λάμβανε υπ'όψιν της αυτό το πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό του προτύπου SPFE.

Επίσης ακολουθήθηκε και το ίδιο "τέχνασμα" με το προηγούμενο παράδειγμα, της παραγράφου 4.1.2, για να είναι τα αποτελέσματα του προτύπου SPFE συγκρίσιμα με αυτά που προκύπτουν από τη μη στοχαστική κατανομή του φόρτου στο δίκτυο.

Αφού χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος του Moore για να βρεθούν τα δέντρα των διαδρομών ελαχίστου κόστους των ζωνών προελεύσεως, με τη μέθοδο "όλα ή τίποτα" έγινε κατανομή της κυκλοφορίας. Στη συνέχεια και με τη μέθοδο που περιγράφηκε στο προηγούμενο παράδειγμα, αυτό που έγινε στο δίκτυο της Fisk, βρέθηκαν τα αποτελέσματα του προτύπου SPFE. Ένα βασικό χαρακτηριστικό του δικτύου είναι ότι μετράται ένα ποσοστό 19.10% όλων των συνδέσμων οι οποίοι φορτίζονται κατά τη φόρτιση με την μέθοδο "όλα ή τίποτα", δηλαδή αυτοί είναι οι σύνδεσμοι που ανήκουν στα δέντρα των ελαχίστων διαδρομών (ο αριθμός αυτών των συνδέσμων είναι 199). Αυτός είναι ο λόγος που στο παράδειγμα της Fisk (παράγραφος 4.2.1) επικεντρωθήκαμε σε περίπου ίδια ποσοστά μετρούμενων συνδέσμων. Αν υπάρχει σαφής αναλογία μεταξύ των δύο περιπτώσεων (δηλαδή των παραδειγμάτων που πραγματοποιήθηκαν στο δίκτυο της Fisk, τα οποία παρατίθενται στο προηγούμενο κεφάλαιο και αυτών που γίνονται στο δίκτυο του κέντρου της Αθήνας), αναμένεται από τα παραδείγματα που ακολουθούν να επιβεβαιωθούν αυτά τα οποία προέκυψαν ως συμπεράσματα από τις προηγούμενες δοκιμές.

Βάσει των αποτελεσμάτων της φόρτισης και της ανασύνθεσης έγινε το διάγραμμα διασποράς που παρατίθεται στο σχήμα 4.10.

Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης των δύο δειγμάτων βρέθηκε να είναι 0.8468, ο οποίος θεωρείται πολύ χαμηλός και δείχνει την πολύ μικρή συσχέτιση των αποτελεσμάτων της φόρτισης με αυτά της ανασύνθεσης. Το κριτήριο της μέσης σχετικής απόλυτης διαφοράς των "πραγματικών" τιμών των φόρτων από τις εκτιμήσεις της ανασύνθεσης μας έδωσε αποτέλεσμα 0.3418, με τη μέγιστη σχετική απόλυτη

διαφορά να είναι 2.3077, ενώ η τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του αθροίσματος των τετραγώνων των διαφορών των εκτιμήσεων βρέθηκε να είναι 65.032.

Παρατηρώντας το διάγραμμα βλέπουμε ότι ο το πρότυπο SPFE σαφώς υποτιμάει τους φόρτους σε σχέση με το πρότυπο "όλα ή τίποτα" στους μή μετρούμενους συνδέσμους, ενώ συμπίπτουν οι τιμές για πολύ λίγους συνδέσμους (συμπίπτουν σε 59 συνδέσμους από το σύνολο των 226 συνδέσμων, δηλαδή σε ποσοστό 26.11%). Οι τιμές τους βέβαια συμπίπτουν για τους συνδέσμους, οι οποίοι φέρουν φορατές. Μία διαπίστωση είναι το γεγονός ότι για εννέα συνδέσμους ο φόρτος κατά την ανασύνθεση βρέθηκε ίσος με το μηδέν ενώ κατά τη φόρτιση βρέθηκαν να έχουν σχετικά μεγάλες τιμές φόρτου (ένας από αυτούς βρέθηκε να έχει φόρτο ίσο με 205 οχημ./περίοδο). Σε 34 συνδέσμους από τους 226 (ποσοστό 15.04%), η ανασύνθεση με το πρότυπο SPFE, εκτίμησε φόρτο μεγαλύτερο από αυτόν που προέκυψε από την φόρτιση. Συνεπώς στο υπόλοιπο 58.85% η εκτίμηση ήταν μικρότερη από αυτή που προέκυψε από την φόρτιση. Αυτό οφείλεται προφανώς στο φαινόμενο που συναντήσαμε στο παράδειγμα του δικτύου της Fisk, όπου ορισμένες διαδρομές εμφανίζεται να μην έχουν καθόλου φόρτο, λόγω του ότι δεν διέρχονται από κάποιον φορατή. Έτσι δεν κατανέμεται σε αυτές τις διαδρομές ο φόρτος που μετράται στους συνδέσμους που φέρουν φορατές. Για το πρότυπο αυτό οι μετακινήσεις που κατανέμονται στο δίκτυο είναι μόνο αυτές που εμφανίζονται στους συνδέσμους που μετρούνται.

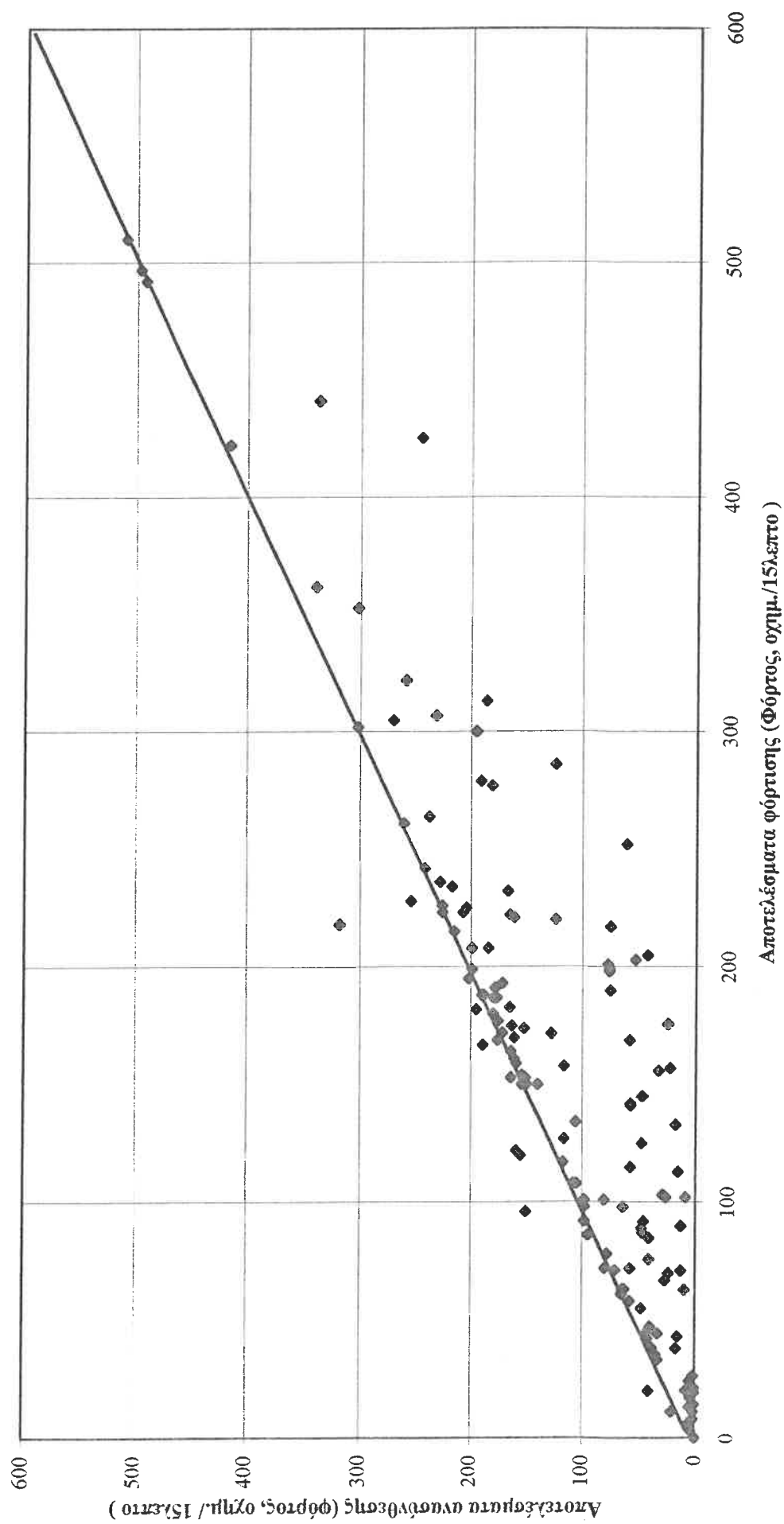
Ο αλγόριθμος σύγκλινε μετά από 16 επαναλήψεις. Το φαινόμενο της υποεκτίμησης παρουσιάστηκε και στα προηγούμενα παραδείγματα αλλά ήταν πολύ μεμονωμένο για να μπορέσουμε να το επισημάνουμε. Αυτό το φαινόμενο λοιπόν δεν έρχεται καθόλου σε σύγκρουση με τα αποτελέσματα και τις εκτιμήσεις που έγιναν στο παράδειγμα του δικτύου της Fisk, αλλά μάλλον έρχεται για να τα επιβεβαιώσει. Τα αποτελέσματα είναι βέβαια κατά πολύ λιγότερο ικανοποιητικά από αυτά που είχαμε στο δίκτυο της Fisk, αλλά ας μην ξεχνάμε ότι το ποσοστό των συνδέσμων που φέρουν κάποιου είδους μετρητή στο δίκτυο είναι μάλλον χαμηλό. Το πρόβλημα πάντως δεν βρίσκεται κατά πάσα πιθανότητα στον αριθμό των φορατών αλλά στη θέση τους μέσα στο δίκτυο, η οποία είναι τέτοια ώστε να "χάνονται" πολλές από τις διαδρομές.

Εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση όπου ένα μικρό ποσοστό των φορατών τίθεται εκτός λειτουργίας λόγω κάποιας βλάβης. Έστω δηλαδή ότι 5 από τους 38 φορατές σταματούν να μου δίνουν ένδειξη (πράγμα όχι και πολύ ασυνήθιστο). Πρέπει να βρούμε ποια είναι η ευαισθησία του αλγορίθμου σε ένα τέτοιο γεγονός.

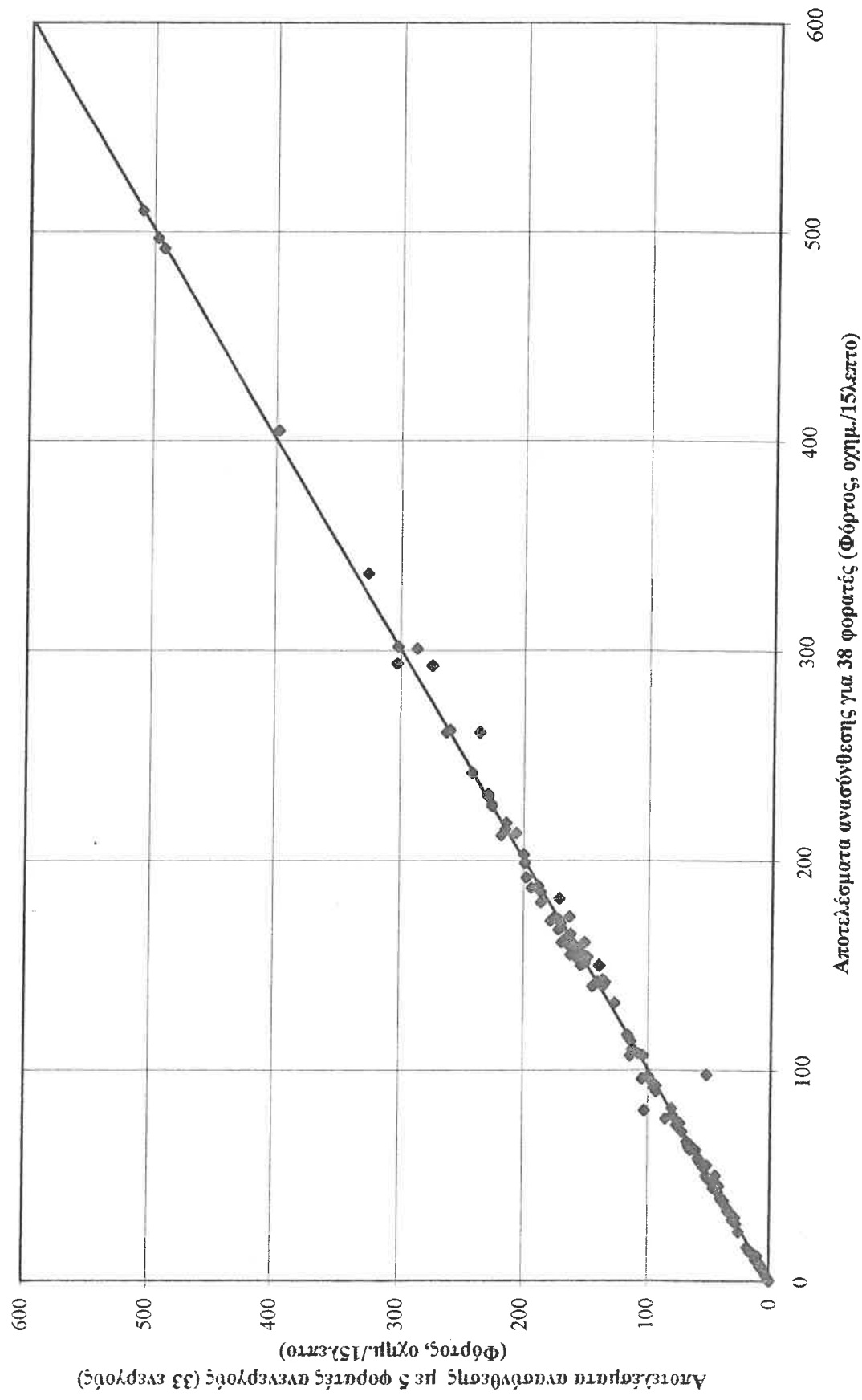
Οι 5 φωρατές που θεωρήσαμε ότι ξαφνικά σταμάτησαν να λειτουργούν επιλέχθηκαν τυχαία. Αυτό που είναι ενθαρρυντικό είναι ότι δεν υπήρξαν παρά μόνο πολύ μικρές αποκλίσεις μεταξύ των δύο δειγμάτων (των αποτελεσμάτων με τους 38 και τους 33 φωρατές). Για το αν το πρότυπο έχει ευαισθησία σε μία τέτοια περίπτωση δεν μπορεί να γίνει μία εκτίμηση από μία και μόνο δοκιμή, αλλά θα πρέπει αυτό να εξεταστεί πιο διεξοδικά, ώστε να μπορεί να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα. Κάτι τέτοιο θα πραγματοποιηθεί σε κάποιο από τα κεφάλαια που ακολουθούν. Στο σχήμα 4.11 παρατίθεται ένα διάγραμμα διασποράς μεταξύ της περίπτωσης του παραδείγματος με τους 38 φωρατές στο δίκτυο και της περίπτωσης με 33 φωρατές στο δίκτυο. Η συσχέτιση των δύο δειγμάτων είναι πρόδηλη. Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης βρέθηκε να είναι 0.9971, κάτι που δείχνει τον άριστο συσχετισμό των δύο περιπτώσεων.

Αυτό που είναι επίσης ενδιαφέρον είναι η εκτίμηση των φόρτων στους συνδέσμους όπου έχει πάθει βλάβη ο μετρητής, η οποία στη πλειοψηφία των περιπτώσεων είναι πάρα πολύ καλή.

Σχήμα 4.11: Σύγκριση αποτελεσμάτων φόρτισης του δικτύου με "όλα ή τίποτα" με αυτά από την ανασύνθεση με SPFE (με 38 φορατές)



Σχήμα 4.12: Αξιοπιστία του αλγορίθμου σε περίπτωση βλάβης 5 φορατών(38 φορατές συνολικά)



4.2.4. 2^η Μέτρηση: Εφαρμογή του προτύπου SPFE για δίκτυο με 12 φορατές

Οι θέσεις των 12 αυτών φορατών προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου της μεγίστης εντροπίας, η οποία εφαρμόζεται για δυναμική εκτίμηση μητρώων προέλευσης - προορισμού. Σύμφωνα με τη ανάλυση ευαισθησίας που έκανε ο Β.Κοντογεώργης στην εργασία "Δυναμική εκτίμηση μητρώων προέλευσης – προορισμού από μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου" (1993) αυτές οι δώδεκα θέσεις έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τις πραγματικές αναχωρήσεις, όταν η εκτίμηση γινόταν με τη μέθοδο της μεγίστης εντροπίας. Από την ανάλυση στο δίκτυο της Fisk προέκυψε ότι για τόσο μικρό ποσοστό μετρούμενων συνδέσμων (μόλις 6.03% του αριθμού των συνδέσμων που φορτίζονται με τη μέθοδο "όλα ή τίποτα"), τα εξαγόμενα αποτελέσματα έχουν πολύ μικρή σχέση με αυτά της φόρτισης με τη μέθοδο "όλα ή τίποτα". Αποτελέσματα που σχετίζονται περισσότερο με αυτά της φόρτισης έχουμε κατά κανόνα για μεγαλύτερο αριθμό φορατών στο δίκτυο, αφού με αυτόν τον τρόπο καλύπτονται περισσότερες διαδρομές.

Από αυτό το διάγραμμα μπορεί να γίνει αντιληπτό ότι στην περίπτωση αυτή έχουμε πολύ μεγαλύτερη διασπορά από την περίπτωση που είχαμε προηγουμένως με τους 38 μετρητές (ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης είναι αυτή τη φορά 0.7964 έναντι 0.8161 της προηγούμενης). Η μέση σχετική απόλυτη διαφορά βρέθηκε 0.5028 με τη μέγιστη σχετική απόλυτη διαφορά να είναι 2.125 ενώ η τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου της διαφοράς βρέθηκε 94.946. Τα αποτελέσματα σε αυτή την περίπτωση είναι σαφώς χειρότερα αυτής που είχε γίνει για τους 38 εγκατεστημένους φορατές στο δίκτυο (παράγραφος 4.2.2). Αυτό βέβαια το είχαμε διαπιστώσει και στο παράδειγμα στο δίκτυο της Fisk (παράγραφος 4.1.2), δηλαδή ότι η ποιότητα των αποτελεσμάτων εξαρτάται από τη θέση των φορατών μέσα στο δίκτυο και όχι από το πλήθος τους και από τί ποσοστό των συνδέσμων που μοιράζονται το σύνολο των μετακινήσεων αντιπροσωπεύει και τελικά από το πόσες διαδρομές διέρχονται από τους συνδέσμους αυτούς που είναι τοποθετημένοι οι φορατές.

Αυτό μπορεί να το δει κάποιος και από το διάγραμμα που ακολουθεί και που φαίνεται η συσχέτιση μεταξύ των αποτελεσμάτων του προτύπου SPFE για 38 και για 12 φορατές αντίστοιχα. Βλέπουμε ότι υπάρχει πολύ μικρή συσχέτιση μεταξύ των δύο δειγμάτων

(συντελεστής συσχέτισης μόλις 0.5529). Στην ουσία δεν υπάρχει καμμία σχέση μεταξύ των δύο δειγμάτων.

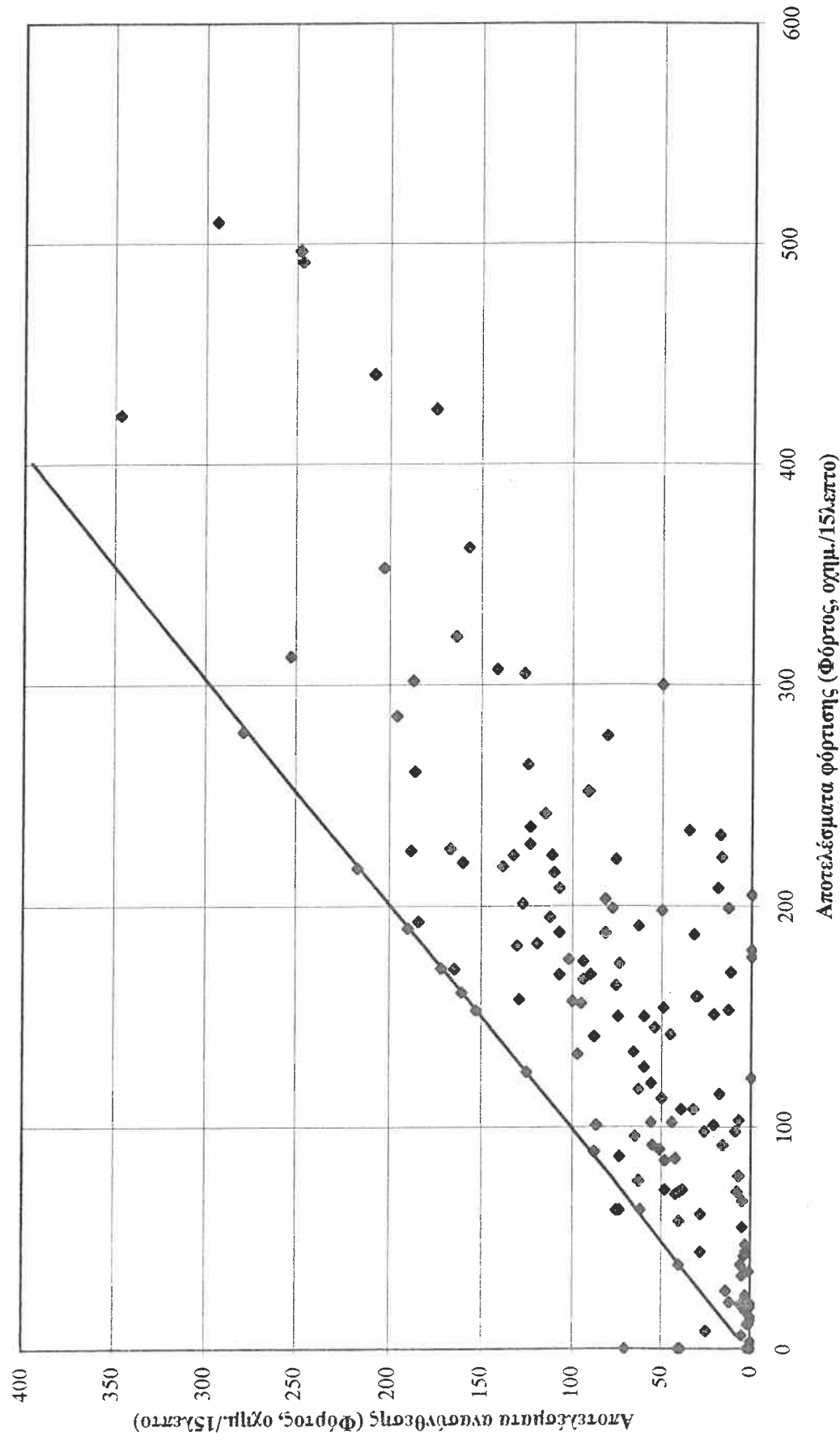
Άρα θα μπορούσαμε να συμπεράνουμε ότι για πολύ μικρό ποσοστό μετρούμενων συνδέσμων, η ανασύνθεση της κυκλοφορίας που επιχειρούν οι Bell, Lam και Iida μάλλον αποτυγχάνει ενώ για σχετικά μεγάλα ποσοστά (ακόμα και για ποσοστά που εμφανίζονται σε πραγματικά δίκτυα όπως της Αθήνας) υποεκτιμάει, κατά κανόνα, τους φόρτους των μη μετρούμενων συνδέσμων αλλά μας δίνει σχετικά καλή συσχέτιση με το μη στοχαστικό πρότυπο ισορροπίας.

Όσον αφορά στις απαιτούμενες επαναλήψεις για σύγκλιση αλλά και στο αντίστοιχο *run-time* παρατηρήσαμε τα εξής:

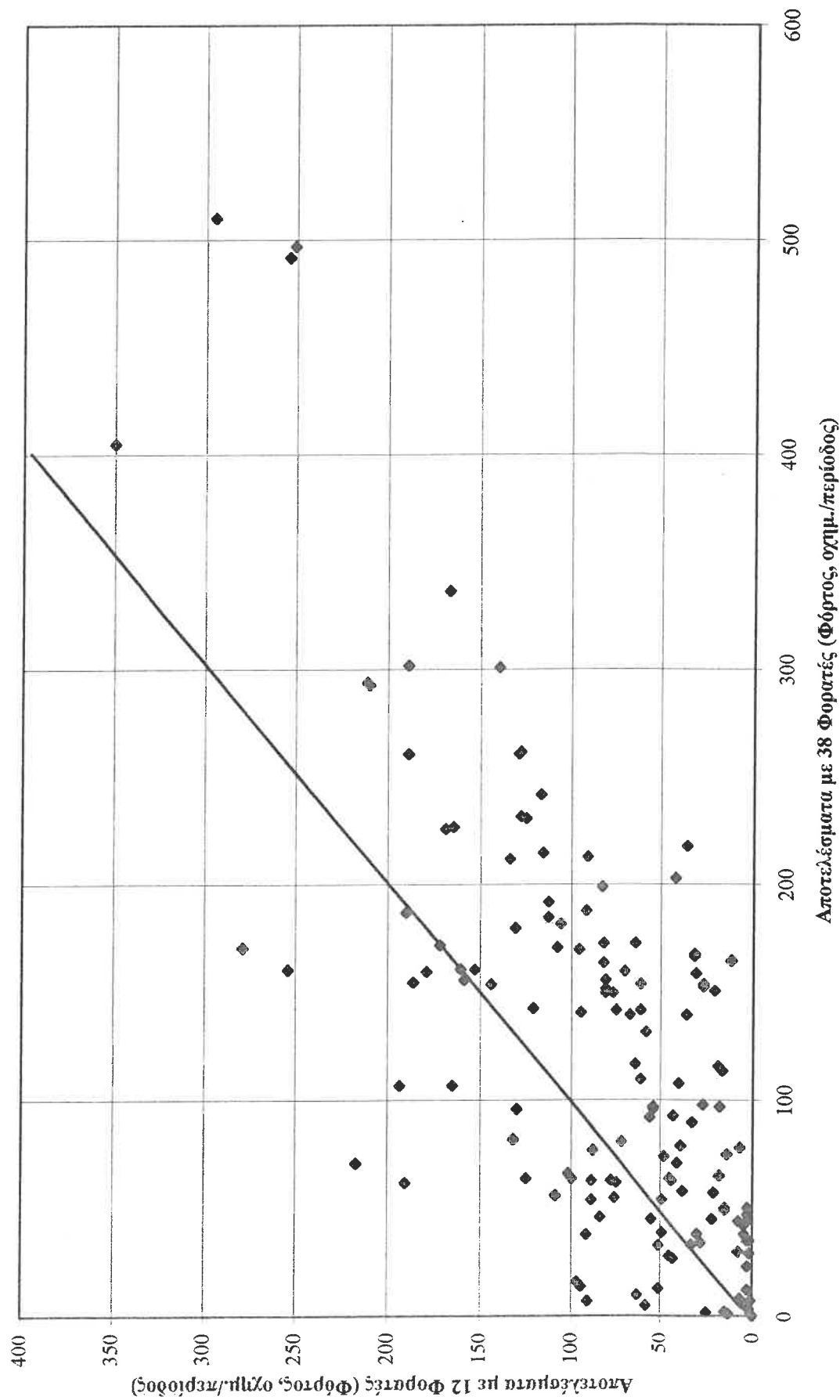
Για μεν τις επαναλήψεις δεν παρατηρήθηκε κάτι διαφορετικό από τα προηγούμενα παραδείγματα. Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις επήλθε σύγκλιση πριν από τις 7 επαναλήψεις, αλλά σε αυτό το παράδειγμα είχε τεθεί κάποιο *minimum* επαναλήψεων για να μην προκύψει το ίδιο αποτέλεσμα με αυτό του παραδείγματος της Fisk, όπου είχε γίνει λάθος επιλογή του κριτηρίου της σύγκλισης. Γι'αυτό το λόγο αφέθηκε ο αλγόριθμος να τρέξει για προκαθορισμένο αριθμό επαναλήψεων ακόμα και μετά την επίτευξη της σύγκλισης.

Για το *run-time* όμως τα πράγματα μας προέκυψαν τελείως διαφορετικά. Με το παράδειγμα αυτό επιβεβαιώθηκαν οι υποψίες μας από αυτό της Fisk ενώ φάνηκε και ένα πολύ αδύνατο σημείο του αλγόριθμου. Πρώτα απ'όλα φάνηκε πεντακάθαρα ότι για δοσμένο δίκτυο ο χρόνος που είναι απαραίτητος για κάθε επανάληψη εξαρτάται κυρίως από τον αριθμό των μετρούμενων συνδέσμων στο δίκτυο. Για το παράδειγμα με τους 38 φορατές κάθε επανάληψη έπαιρνε 1.5 περίπου λεπτά για να γίνει ενώ για τους 12 φορατές λιγότερο από λεπτό (αυτά σε προσωπικό υπολογιστή με επεξεργαστή Intel Pentium που τρέχει στα 100 MHz, ενώ για compiler χρησιμοποίησαμε τον 5.01 της Microsoft για Fortran 77). Στη συνέχεια αυτό το πρόβλημα λύθηκε εν μέρει όταν χρησιμοποιήθηκε ο 32 – bit compiler της Microsoft Fortran Powerstation 3.0 και τα προγράμματα έτρεχαν κάτω από μία καθαρά 32-bit πλατφόρμα όπως το λειτουργικό σύστημα Microsoft Windows NT 4.00, το οποίο επιτρέπει στο να έχει ο χρήστης μεγάλο έλεγχο στην προτεραιότητα των διαδικασιών με τις οποίες ασχολείται ο επεξεργαστής. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί ο χρήστης να αναθέσει πλήρη προτεραιότητα σε μία εφαρμογή στην ουσία "παγώνοντας" όλες τις άλλες διαδικασίες (αυτές που τρέχουν έτσι και αλλιώς πάντοτε όταν λειτουργεί ο υπολογιστής με κάποιο λειτουργικό σύστημα).

Σχήμα 4.13: Σύγκριση αποτελεσμάτων της φόρτισης με "όλα ή τίποτα" και της ανασύνθεσης με SPFE για 12 φωρατές στο δίκτυο του κέντρου της Αθήνας



Σχήμα 4.14: Σύγκριση αποτελεσμάτων της ανασύνθεσης με SPFE για δίκτυα με 12 και 38 φορατές



Με αυτά τα καινούργια δεδομένα είχαμε ένα κέρδος γύρω στο 60% στο *run- time*, το οποίο όμως και πάλι δεν κρίθηκε ικανοποιητικό με δεδομένο το σχετικά μικρό μέγεθος του δικτύου. Δεδομένου ότι ο αλγόριθμος είναι πολύ «βαρύς» και από τη φύση του αργός αυτό είναι ένα πολύ κρίσιμο μέγεθος καθώς μπορεί να καθορίσει το κατά πόσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε καθαρά πρακτικές εφαρμογές.

4.2.5. 3η μέτρηση: Σε ένα στην ουσία ιδεατό δίκτυο με 54 φορατές

Περισσότερο για να επιβεβαιωθούν αυτά που έχουμε ήδη αναφέρει έγινε και τρίτη δοκιμή αυτή τη φορά σε ένα δίκτυο που αποτελεί σύνθεση των δικτύων που χρησιμοποιήσαμε στις δύο προηγούμενες μετρήσεις(μαζί με την προσθήκη και μερικών τυχαίων φορατών). Έτσι καταλήξαμε σε ένα δίκτυο με 54 φορατές . Δηλαδή στο εν λόγω δίκτυο μετράται ένα ποσοστό 27.14% των συνδέσμων που μοιράζονται φόρτο. Είναι περίπου το ίδιο ποσοστό που είχαμε και στις δοκιμές που κάναμε στο δίκτυο της Fisk (όταν μετράγαμε 3 στους 12 συνδέσμους, το οποίο εκφράζει ποσοστό 25%).

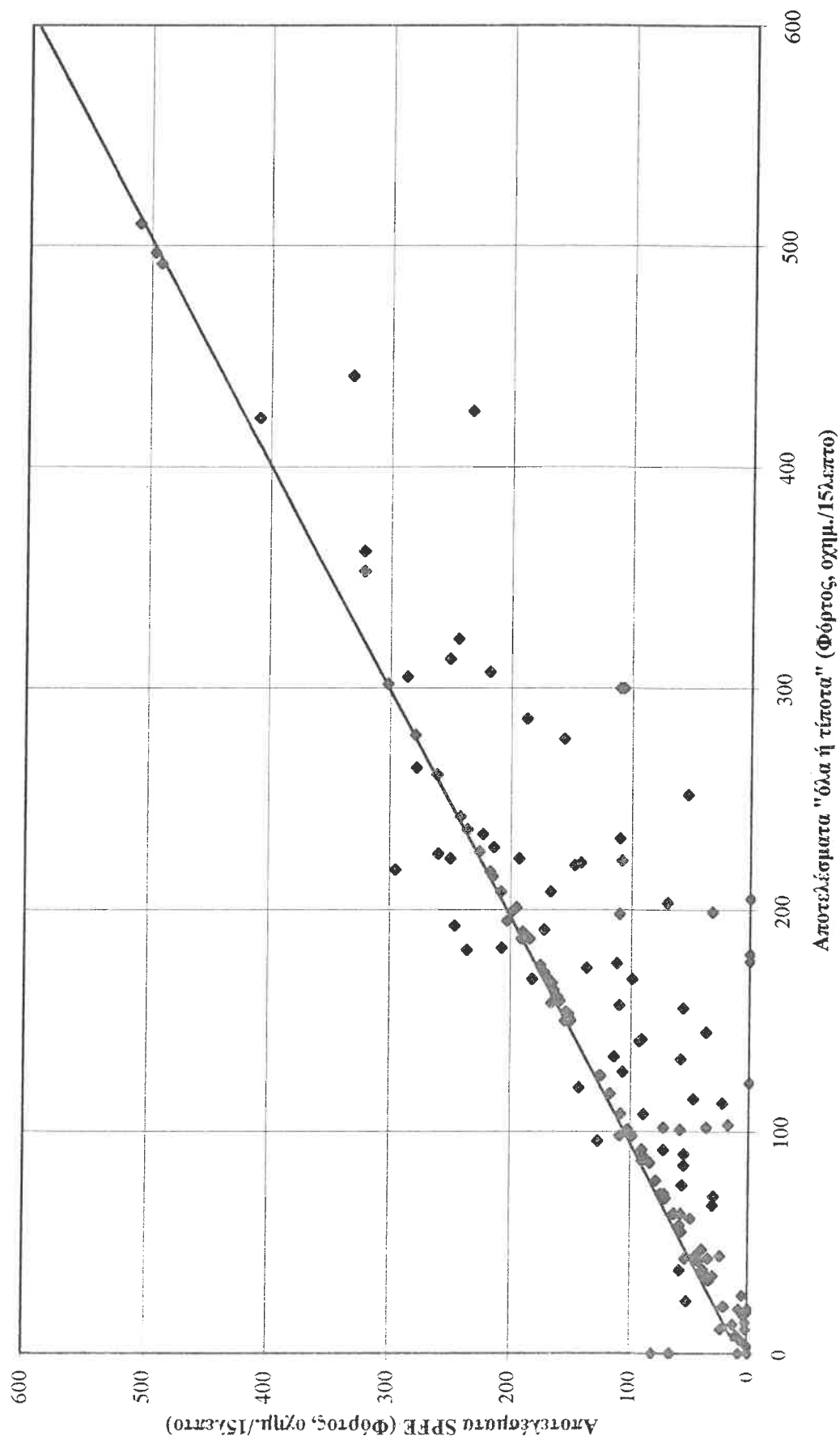
Πράγματι η δοκιμή απέδωσε τα αναμενόμενα: Είχαμε σύγκλιση πάλι σε 7 επαναλήψεις, είχαμε μία μικρή αύξηση στο *run-time* και τα αποτελέσματα ήταν καλύτερα από τις προηγούμενες δοκιμές. Ο συντελεστής συσχέτισης των δύο δειγμάτων των αποτελεσμάτων της φόρτισης και της ανασύνθεσης βρέθηκε να είναι 0.8861, ο οποίος είναι καλύτερος από αυτούς των άλλων περιπτώσεων. Επίσης ο δείκτης της μέσης σχετικής απόλυτης διαφοράς βρέθηκε 0.2041 με τη μέγιστη σχετική απόλυτη διαφορά να είναι 1.167. Η τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου της διαφοράς είναι 53.60.

Έγινε και σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων με τους 54 και τους 38 μετρητές. Όπως θα ήταν αναμενόμενο υπήρχαν διαφορές μεταξύ τους, οι οποίες φαίνονται στο διάγραμμα διασποράς που ακολουθεί. Η συσχέτιση τους βρέθηκε να είναι 0.9589. Ακόμα και σε αυτή την περίπτωση το SPFE τείνει να υποεκτιμάει τους φόρτους των μή-μετρούμενων συνδέσμων.

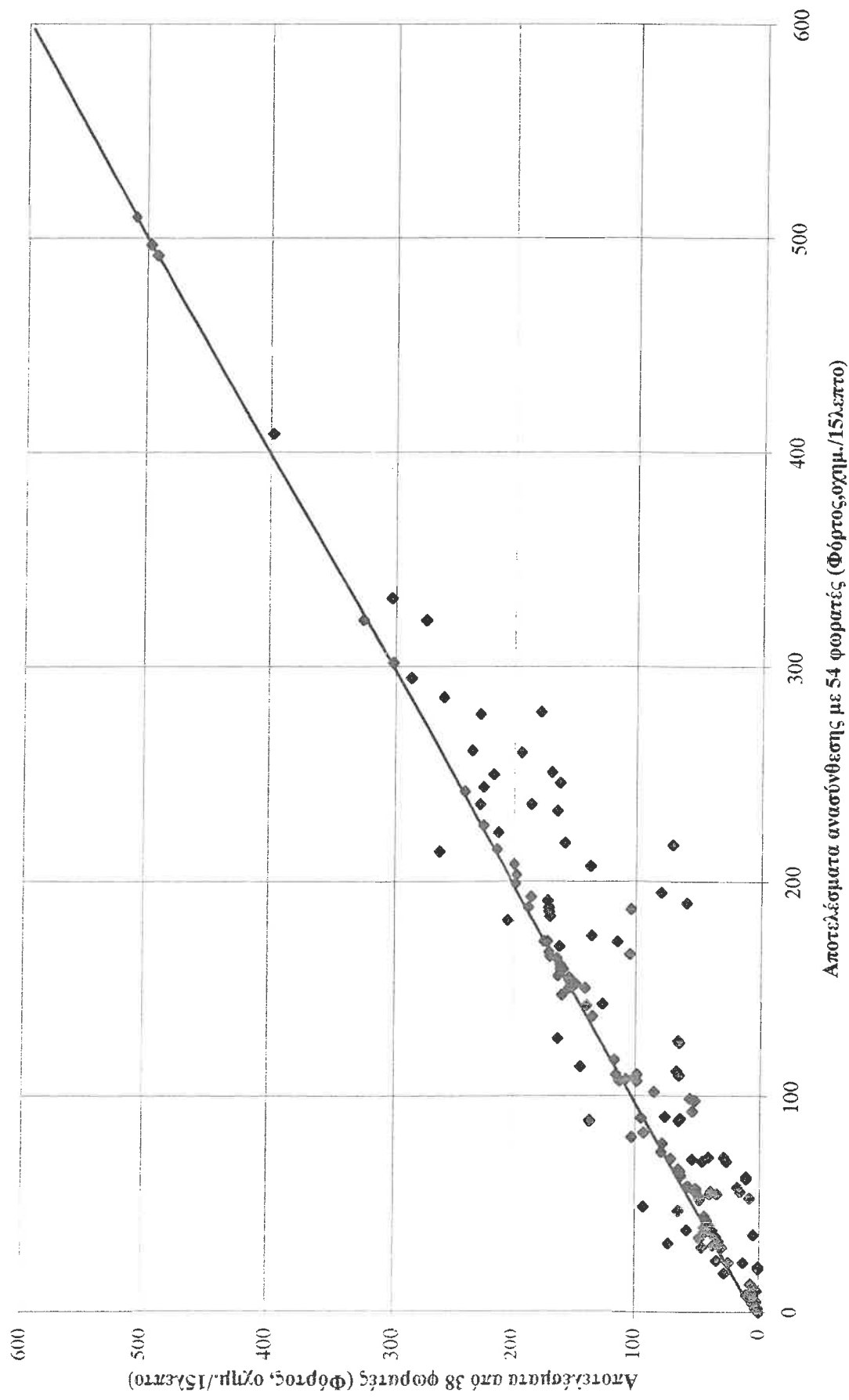
Είναι πρόδηλη η τάση που υπάρχει στο πρότυπο να γίνονται τα αποτελέσματα πιο καλά, όσο αυξάνεται ο αριθμός των μετρούμενων συνδέσμων, αλλά από αυτό δεν θα μπορούσε να εξαχθεί κάποιο ασφαλές συμπέρασμα εφόσον δοκιμάστηκαν μόνο τρεις μεμονωμένες περιπτώσεις. Στην πρώτη από αυτές έγινε δοκιμή ανασύνθεσης από 38 φωρατές, οι οποίοι υπάρχουν στο δίκτυο του κέντρου της Αθήνας.

Σε αυτή τη δοκιμή θα πρέπει να σταθούμε ιδιαίτερα, αφού ακριβώς έγινε δοκιμή για το υπάρχον δίκτυο φωρατών της SIEMENS το οποίο είναι εγκατεστημένο στην Αθήνα. Τα αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά με τους εν λόγω 38 φωρατές, αλλά κάτι τέτοιο δεν θα έπρεπε να μας ξενίζει αφού το δίκτυο αυτό δεν έχει εγκατασταθεί με σκοπό την εκτίμηση του μητρώου προέλευσης – προορισμού του δικτύου. Πέρα από αυτό δεν μπορούμε να εξαγάγουμε συμπεράσματα για ολόκληρο το δίκτυο της SIEMENS από αυτή τη δοκιμή, αφού στη δοκιμή αυτή θεωρήθηκε ένα δίκτυο υποθετικό, με υποθετικά σημεία εισόδου – εξόδου. Αν επιλέγαμε ένα διαφορετικό δίκτυο, το οποίο θα αποτελούσε και πάλι ένα τμήμα του συνολικού δικτύου της Αθήνας, θα μπορούσαμε πιθανότατα να βρούμε κάποιο για το οποίο θα είχαμε καλά αποτελέσματα με το εν λόγω δίκτυο φωρατών.

Σχήμα 4.15: Σύγκριση αποτελεσμάτων της φόρτισης με "όλα ή τίποτα" και της ανασύνθεσης με SPFE
(ανασύνθεση από 54 φορστές)



Σχήμα 4.16: Σύγκριση αποτελεσμάτων ανασύνθεσης με SPFE από 54 και 38 φορατές



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ ΕΥΡΕΣΗΣ ΕΝΟΣ "ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ" ΔΙΚΤΥΟΥ ΦΩΡΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ

Από τη προηγούμενη παράγραφο (βλ. 4.2), στην οποία πραγματοποιήθηκε μία πρώτη εφαρμογή του προτύπου SPFE (Bell, Lam & Iida, 1995) σε ένα τμήμα του δικτύου της Αθήνας, έγινε κατανοητό ότι το υλοποιημένο δίκτυο φωρατών της SIEMENS που είναι εγκατεστημένο στην Αθήνα (τουλάχιστον αυτό που αποτελείται από τους 38 φωρατές που βρίσκονται εντός των ορίων του υπό εξέταση δικτύου) έχει εγκατασταθεί για διαφορετικό σκοπό από την εκτίμηση μητρώων προέλευσης – προορισμού και τελικά για την εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων του δικτύου. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν με την προσθήκη 12 φωρατών, οι οποίοι είχαν βρεθεί στην προσπάθεια εύρεσης ενός δικτύου φωρατών, με το οποίο να γίνεται η όσο το δυνατόν καλύτερη εκτίμηση του μητρώου προέλευσης – προορισμού με τη μέθοδο της μεγίστης εντροπίας (Κοντογεώργης, 1993), ήταν μεν καλύτερα αλλά η βελτίωση δεν ήταν τόσο σημαντική. Έτσι μπορεί να γίνει η εκτίμηση ότι η εφαρμογή του υπό εξέταση προτύπου, τουλάχιστον με χρήση των δικτύων φωρατών που εξετάστηκαν έως τώρα, δίνει αποτελέσματα με μεγάλα σφάλματα.

Το επόμενο βήμα στη διερεύνηση αυτή είναι το να βρεθεί αυτό το δίκτυο των φωρατών που θα δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα (δηλαδή τα μικρότερα σφάλματα σε σχέση με τις "πραγματικές" τιμές φόρτου των συνδέσμων, οι οποίες προκύπτουν από τη φόρτιση του δικτύου που πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο "όλα ή τίποτα". Στην προσπάθεια αυτή δοκιμάζονται διάφοροι συνδυασμοί, έτσι ώστε να βρεθεί όχι μόνο το συγκεκριμένο "βέλτιστο" δίκτυο φωρατών, αλλά και γενικότερα οι συνθήκες κάτω από τις οποίες το συγκεκριμένο πρότυπο των διαδοχικών μέσων μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα πραγματικό δίκτυο και να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Για τη σύγκριση των εκτιμώμενων φόρτων των συνδέσμων με τους "πραγματικούς" χρησιμοποιήθηκαν πέντε μεγέθη:

- i. Η μέση απόλυτη διαφορά (MAE):

$$MAE = \frac{\sum_{ij} |T_{ij}^a - T_{ij}^b|}{n}$$

ii. Η σχετική μέση απόλυτη διαφορά (RMAE):

$$\text{RMAE} = \frac{\sum_{ij} |T_{ij}^a - T_{ij}^b|}{\sum_{ij} T_{ij}^a}$$

iii. Η τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγώνου της διαφοράς(RMSE):

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{ij} (T_{ij}^a - T_{ij}^b)^2}{n}}$$

iv. Η σχετική τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγώνου της διαφοράς(RRMSE):

$$\text{RRMSE} = \frac{1}{\frac{\sum_{ij} T_{ij}^a}{n}} \sqrt{\frac{\sum_{ij} (T_{ij}^a - T_{ij}^b)^2}{n}}$$

ν. Ο συντελεστής συσχετισμού (CORR):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{ij} (T_{ij}^a - T_{ij}^b)^2}{\sum_{ij} (T_{ij}^a - T_*^a)^2}$$

όπου

$$T_*^a = \frac{\sum_{ij} T_{ij}^a}{n}$$

και T_{ij}^a : είναι το στοιχείο του πραγματικού μητρώου φόρτων των συνδέσμων
 T_{ij}^b : είναι το στοιχείο ij του εκτιμώμενου μητρώου

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του αλγορίθμου σε μικρά δίκτυα και κυρίως πάνω σε αυτό της Fisk (παράγραφος 4.1), έδειξαν πόσο σημαντικός είναι τόσο ο αριθμός των φωρατών όσο και η θέση τοποθέτησης τους μέσα στο δίκτυο.

Ένα συμπέρασμα, το οποίο προέκυψε από την εφαρμογή στο δίκτυο της Fisk, είναι το ότι τα καλύτερα αποτελέσματα τα είχαμε όταν όλες οι διαδρομές διέρχονταν από κάποιο φωρατή. Στη περίπτωση που δεν συνέβαινε κάτι τέτοιο, η διαδρομή που δεν διερχόταν από κάποιο φωρατή μηδενιζόταν με αποτέλεσμα να χάνονται αρκετές μετακινήσεις και τελικά ο αλγόριθμος να αστοχεί. Άρα ένα πρώτο και πιθανότατα το κυριότερο κριτήριο για την επιλογή των φωρατών που θα απαρτίζουν το δίκτυο είναι το να διέρχονται από αυτούς όσο το δυνατόν περισσότερες διαδρομές.

Στα παραδείγματα που θα ακολουθήσουν θεωρείται και εδώ ότι οι μετρήσεις των φόρτων στους συνδέσμους γίνονται χωρίς κάποιο σφάλμα, δηλαδή ότι μετρούνται οι "πραγματικοί" φόρτοι των συνδέσμων. Αυτοί οι φόρτοι των μετρούμενων συνδέσμων προκύπτουν από τη φόρτιση του δικτύου με ένα μητρώο προέλευσης – προορισμού, το οποίο θεωρούμε επίσης εκ των προτέρων "ορθό", δηλαδή ότι ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Η φόρτιση του δικτύου γίνεται με το ίδιο μητρώο προελεύσεως –

προορισμού που χρησιμοποιήθηκε και σε όλα τα παραδείγματα του προηγούμενου κεφαλαίου που πραγματοποιήθηκαν για το δίκτυο του κέντρου της Αθήνας

Η επιλογή των φωρατών έγινε με χρήση των διαδρομών που χρησιμοποιήθηκαν και στο προηγούμενο παράδειγμα, δηλαδή αυτών που ανήκουν στα δέντρα ελαχίστων διαδρομών των ζωνών προελεύσεως προς όλες τις ζώνες προορισμού, όταν ως κρίσιμο μέγεθος για την εύρεση των διαδρομών ελαχίστου κόστους επιλέγεται το σταθερό κόστος των συνδέσμων. Από τη στιγμή που οι φορτίσεις των συνδέσμων ήταν πολύ πιο κάτω από τη χωρητικότητά τους, ο αλγόριθμος των Bell et al. (1995) (ο οποίος παρουσιάζεται στην παράγραφο 2.5) , με τον οποίο παράγονται οι δυνατές διαδρομές κίνησης των χρηστών σε κάθε περίοδο, με τις οποίες ικανοποιείται η αρχή του στοχαστικού προτύπου ισορροπίας, μας δίνει μόνο τα δέντρα των ελαχίστων διαδρομών. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ο αριθμός των διαδρομών ήταν 205 και στον Πίνακα του παραρτήματος II παρουσιάζονται οι συχνότητες εμφάνισης των συνδέσμων σε αυτές ακριβώς τις διαδρομές.

Σε αυτό το κεφάλαιο σκοπός ήταν η εύρεση των θέσεων των φωρατών μέσα στο δίκτυο, από τους οποίους θα προκύψουν τα καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με αυτά της φόρτισης με "όλα ή τίποτα". Ακριβώς για να είναι ο μόνος ελεύθερος παράγοντας οι θέσεις των φωρατών, κρίθηκε αναγκαίο να παραμείνει σταθερός ο αριθμός των φωρατών. Έτσι ορίστηκε εκ των προτέρων ένας σταθερός αριθμός 50 φωρατών που τοποθετούνται σε ισάριθμους συνδέσμους στο δίκτυο (ποσοστό 22.12% από τους 226 συνδέσμους που συνολικά διαθέτει το δίκτυο). Η ίδια περίπου αναλογία φωρατών / συνδέσμων ισχύει και για ολόκληρο το δίκτυο της Αθήνας ενώ για ανάλογο ποσοστό είχαμε ικανοποιητικά αποτελέσματα στο δίκτυο της Fisk. Αυτό δεν σημαίνει ότι δεν μπορεί να υπάρξουν το ίδιο ή ενδεχομένως και περισσότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα για μικρότερο αριθμό φωρατών. Ήδη έχει δείξει από τα παραδείγματα στο δίκτυο της Fisk, ότι η πραγματική ευαισθησία του προτύπου έγκειται στο αν οι διαδρομές που εξετάζονται από το πρότυπο διέρχονται από συνδέσμους, στους οποίους υπάρχουν εγκατεστημένοι φωρατές. Από το ίδιο παράδειγμα προέκυψε ότι τα αποτελέσματα της ανασύνθεσης με το πρότυπο SPFE παρουσιάζουν πολύ μικρά σφάλματα, σε σχέση με τα αποτελέσματα της φόρτισης με "όλα ή τίποτα", όταν όλες οι διαδρομές διέρχονται από κάποιον φωρατή του δικτύου. Όταν δεν συμβαίνει κάτι τέτοιο οι διαδρομές που δεν διέρχονται από κάποιον φωρατή (δηλαδή πρόκειται για διαδρομές, στις οποίες δεν περιέχονται μετρούμενοι σύνδεσμοι) δεν λαμβάνουν καθόλου φόρτο.

Στην ουσία το πρότυπο δεν τις λαμβάνει καθόλου υπ'όψιν του. Σε αυτή την ευαισθησία του προτύπου οφείλεται η "φαινομενική" ευαισθησία στον αριθμό (αλλά και στις θέσεις) των φωρατών, καθώς όσο αυξάνεται ο αριθμός των φωρατών στο δίκτυο, τόσο αυξάνεται και η πιθανότητα μία διαδρομή να περιέχει έναν μετρούμενο σύνδεσμο.

Το κριτήριο επιλογής των συνδέσμων που τοποθετούνται οι 50 φωρατές έχει σχέση ακριβώς με το πόσες διαδρομές διέρχονται από αυτούς τους συνδέσμους, καθώς όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των διαδρομών, οι οποίες περιλαμβάνουν κάποιον μετρούμενο σύνδεσμο, τόσο καλύτερα θα είναι τα αποτελέσματα της ανασύνθεσης, σε σχέση πάντα με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της φόρτισης. Υπάρχουν δύο ειδών σύνδεσμοι που πληρούν αυτό το κριτήριο, δηλαδή το να διέρχεται ένας σχετικά μεγάλος αριθμός διαδρομών από αυτούς :

- i. Οι σύνδεσμοι που βρίσκονται σε σχετικά κεντρικά σημεία του δικτύου και από τους οποίους διέρχονται διαδρομές που ανήκουν σε διαφορετικά ζευγάρια ζωνών προέλευσης προορισμού. Οι σύνδεσμοι αυτοί βρίσκονται στις πρώτες θέσεις του παραρτήματος II καθώς παρατηρούνται μεγάλες συχνότητες εμφάνισης τους (από 20 έως και 41).
- ii. Οι σύνδεσμοι που βρίσκονται κοντά στα σημεία εισόδου και τα σημεία εξόδου και οι οποίοι συγκεντρώνουν μία δέσμη διαδρομών από μία ζώνη προέλευσης ή μία δέσμη διαδρομών που καταλήγει σε μία ζώνη προορισμού. Οι σύνδεσμοι αυτοί έχουν συχνότητα εμφάνισης μικρότερη ή ίση του 16 (εφόσον 16 είναι οι ζώνες προορισμού του δικτύου)

Από τις 14 δοκιμές θέσεων φωρατών στο δίκτυο, οι πρώτες 9 βασίστηκαν αποκλειστικά στην πρώτη κατηγορία συνδέσμων, θεωρώντας συνδυασμούς των συνδέσμων που εμφανίζονται στις πρώτες θέσεις του παραρτήματος II. Οι υπόλοιπες 5 δοκιμές βασίστηκαν κυρίως στους συνδέσμους, οι οποίοι βρίσκονται πολύ κοντά στις ζώνες προέλευσης και στις ζώνες προορισμού του δικτύου. Οι σύνδεσμοι αυτοί βρέθηκαν από τον χάρτη του δικτύου.

Σε όσον αφορά την πρώτη σειρά των 9 δοκιμών, ο συνδυασμός των συνδέσμων έγινε με δύο τρόπους. Στον πρώτο χρησιμοποιήθηκαν οι πρώτοι 60 σύνδεσμοι του πίνακα του παραρτήματος II, χρησιμοποιώντας για κάθε δοκιμή 50 από αυτούς και "πετώντας" τους υπόλοιπους 10. Έτσι στην πρώτη δοκιμή χρησιμοποιήθηκαν οι πρώτοι 50 από αυτούς, στη δεύτερη δοκιμή οι πρώτοι 40 και αυτοί που βρίσκονται από τη θέση 50 έως

τη θέση 60, πετώντας αυτούς που βρίσκονται από τη θέση 40 στη θέση 50. Στην τρίτη δοκιμή χρησιμοποιήθηκαν οι πρώτοι 30 σύνδεσμοι και αυτοί που βρίσκονται από τη θέση 40 έως τη θέση 60, πετώντας αυτούς που βρίσκονται από τη θέση 30 έως 40 κ.ο.κ. Έτσι προέκυψαν οι 5 συνδυασμοί φωρατών που παρατίθενται στον πίνακα 1 αυτού του κεφαλαίου.

Πίνακας 5.1: Οι 5 πρώτοι συνδυασμοί συνδέσμων

Φωρατές	50	40&(50~60)	30&(40~60)	20&(30~60)	10&(20~60)
1	2	2	6	2	2
2	6	6	25	6	6
3	25	25	27	32	25
4	27	27	28	35	27
5	28	28	31	36	28
6	31	31	32	37	31
7	35	35	36	41	32
8	36	36	37	42	35
9	37	37	38	44	37
10	38	38	42	45	38
11	41	41	44	46	41
12	42	42	45	49	44
13	44	44	46	54	45
14	45	45	49	56	46
15	46	46	54	57	49
16	49	49	56	58	54
17	54	54	57	59	57
18	56	56	59	60	58
19	57	57	60	62	60
20	58	58	62	63	62
21	59	59	63	67	63
22	60	60	65	69	65
23	62	62	66	70	66
24	63	63	70	73	67
25	65	65	73	74	69

26	66	66	74	75	70
27	67	67	75	81	73
28	69	69	81	87	74
29	70	70	87	95	75
30	87	87	95	106	81
31	106	106	106	108	87
32	108	108	108	109	95
33	109	109	109	124	106
34	124	124	124	139	108
35	139	139	139	140	109
36	140	140	140	141	139
37	142	142	141	142	141
38	144	144	142	144	142
39	146	146	144	146	144
40	148	148	146	148	148
41	150	150	148	150	151
42	151	151	150	153	152
43	152	152	151	154	153
44	154	154	152	155	156
45	155	155	153	156	157
46	157	157	154	157	164
47	170	170	155	164	170
48	216	216	156	170	216
49	219	219	164	216	219
50	220	220	220	219	220

Από την πρώτη κι'όλας δοκιμή που έγινε φάνηκε ότι τα αποτελέσματα αυτής της σειράς των δοκιμών ήταν σαφώς ανώτερα από αυτά που προέκυψαν από τις δοκιμές του προηγούμενου κεφαλαίου, για το ίδιο δίκτυο. Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα διασποράς που ακολουθεί (Σχήμα 5.1) υπάρχει μεγαλύτερη σχέση των αποτελεσμάτων της ανασύνθεσης με αυτά της φόρτισης, κάτι που προδίδει και ο συντελεστής συσχέτισης, ο οποίος βρέθηκε 0.9749. Υπήρξε μία υποτίμηση του συνολικού φόρτου των συνδέσμων κατά 13.53% (25564 οχημ./15λεπτο έναντι 29564 οχημ./15λεπτο που προκύπτουν από τη φόρτιση), ενώ οι μετακινήσεις που εκτίμησε η απ'ευθείας

ανασύνθεση της κυκλοφορίας από τις μετρήσεις, οι οποίες ήταν 1896 ήταν λιγότερες από αυτές που συνολικά περιλαμβάνονταν στο αρχικό μητρώο προέλευσης - προορισμού, με το οποίο έγινε η φόρτιση (και το οποίο είχε συνολικά 2534 μετακινήσεις), κατά 25%, ποσοστό πολύ σημαντικό. Οι παραπάνω αριθμοί δεν μπορούν βέβαια σε καμία περίπτωση να θεωρηθούν ως κριτήρια για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ανασύνθεσης με το πρότυπο SPFE. Η διαφορά βέβαια δεν είναι μόνο στις συνολικές μετακινήσεις ή στον συνολικό φόρτο του δικτύου, αλλά υπάρχει και μία άνομη κατανομή των μετακινήσεων, όπως φαίνεται και από την μέση σχετική απόλυτη διαφορά, η οποία βρέθηκε 0.1542, αλλά και από τη τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου της διαφοράς η οποία βρέθηκε 30.4307. Το σφάλμα δεν είναι συστηματικό, οπότε θα μπορούσαμε με κάποιο τρόπο να το αντιμετωπίσουμε, αλλά αλλού υποεκτιμά και αλλού υπερεκτιμά (ακόμα και όταν γίνει αναγωγή των φόρτων των συνδέσμων που προέκυψαν από την ανασύνθεση στον ίδιο συνολικό φόρτο η εικόνα δεν μεταβάλλεται) .

Στο διάγραμμα διασποράς που παραθέτουμε είναι εμφανές ότι παρατηρείται σύγκλιση των αποτελεσμάτων για τους συνδέσμους με το μεγαλύτερο φόρτο, προφανώς γιατί οι σύνδεσμοι με την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης στα δέντρα ελαχίστων διαδρομών των ζωνών προέλευσης του δικτύου είναι κατά κανόνα αυτοί που παρουσιάζουν και τους μεγαλύτερους φόρτους και σε 50 από τους τελευταίους έχουμε θεωρήσει ότι εκτελούμε μετρήσεις, τις οποίες θεωρούμε δεδομένες χωρίς κανένα σφάλμα. Έτσι οι παρατηρήσεις μας οφείλουν να επικεντρωθούν στο τμήμα του διαγράμματος όπου παρατηρούνται οι χαμηλότεροι φόρτοι. Θα μπορούσαμε κάλλιστα να πούμε ότι οι αστοχίες γίνονται μεγαλύτερες (τόσο προς τα πάνω, όσο και προς τα κάτω) όσο ο φόρτος των συνδέσμων μειώνεται, πράγμα που παρατηρήθηκε και στα προηγούμενα παραδείγματα, ενώ αυτό που επιβεβαιώθηκε και από αυτές (αλλά και από όσες δοκιμές πραγματοποιήθηκαν) είναι το γεγονός ότι το συγκεκριμένο πρότυπο τείνει να υποεκτιμά, κατά κανόνα, τους φόρτους των διαδρομών, και κατά συνέπεια τους φόρτους των συνδέσμων(στο σύνολο τους).

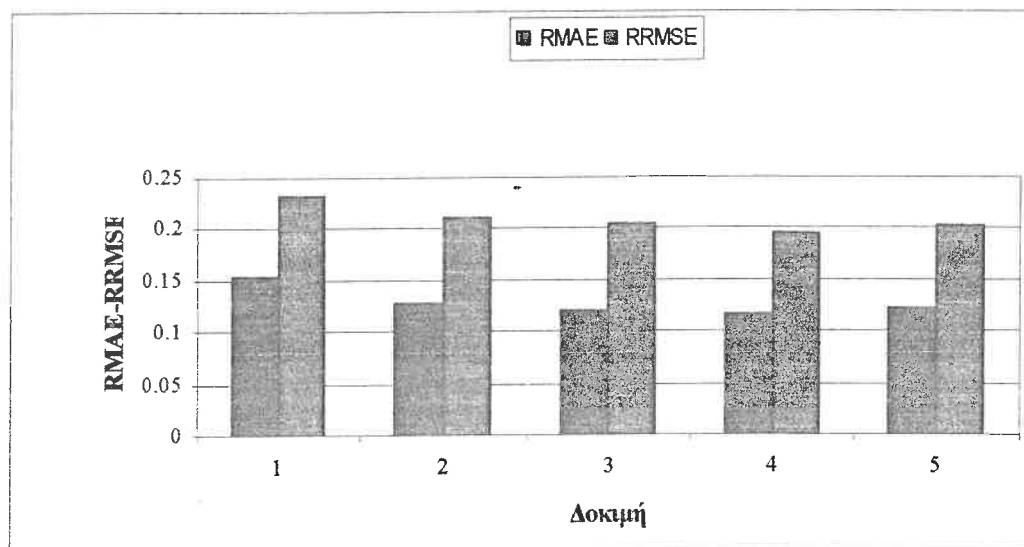
Η κάπως πιο λεπτομερής ανάλυση αυτής της πρώτης περίπτωσης έγινε κυρίως γιατί και οι πέντε αυτές δοκιμές που έγιναν με χρήση των φωρατών που παρουσιάζονται στον πίνακα 5.1 παρουσίασαν τα ίδια σχεδόν χαρακτηριστικά, σε όσον αφορά κυρίως τα αποτελέσματα.

Παραδόξως η πρώτη δοκιμή δεν έδωσε και τα καλύτερα αποτελέσματα παρ'ότι οι σύνδεσμοι που μετρήθηκαν ήταν αυτοί με τις περισσότερες εμφανίσεις στις διαδρομές του δικτύου και λογικά θα έπρεπε να καλύπτουν τις περισσότερες διαδρομές του δικτύου από όλες τις άλλες δοκιμές. Αντιθέτως από τις 5 πρώτες δοκιμές, οι οποίες έγιναν με χρήση των φωρατών του πίνακα 5.1, η καλύτερη ήταν η τέταρτη, η οποία έγινε με χρήση των 20 πρώτων φωρατών της κατάταξης και αυτών που βρίσκονται μεταξύ των θέσεων 30 έως 60 της κατάταξης, πετώντας αυτούς που βρίσκονταν από τις θέσεις 30 έως 40. Η μέση σχετική απόλυτη διαφορά των αποτελεσμάτων της ανασύνθεσης από τα αποτελέσματα της φόρτισης ήταν 0.1170 ενώ η τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου της διαφοράς βρέθηκε 25.4296. Η σχετική τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου της διαφοράς βρέθηκε 0.1944, ενώ ο συντελεστής συσχέτισης βρέθηκε 0.9790.

Τα σχετικά και τα απόλυτα μεγέθη που θεωρήθηκαν εξ'αρχής ως τα κριτήρια για την αξιολόγηση των θέσεων των φωρατών που εξετάζονται δίνονται στον πίνακα 5.2. Όπως παρατηρείται και στο σχήμα 5.1, η τέταρτη δοκιμή (δηλαδή αυτή, στην οποία μετρούνται οι 20 πρώτοι σύνδεσμοι της κατάταξης και αυτοί που βρίσκονται μεταξύ των θέσεων 30 έως 60, παραλείποντας αυτούς που βρίσκονται στις θέσεις 20 έως 30) παρουσιάζει τους μικρότερους σχετικούς συντελεστές, οι οποίοι εκφράζουν το σφάλμα. Έτσι αυτή η δοκιμή παρουσιάζει και τα μικρότερα σφάλματα, ενώ υπερέχει τόσο στους σχετικούς, όσο και στους απόλυτους δείκτες. Ο συνολικός φόρτος που εκτιμήθηκε με αυτό το δίκτυο των φωρατών ήταν 27054 οχημ./15λεπτο, έναντι 29564 οχημ./15λεπτο που ήταν ο συνολικός φόρτος του δικτύου που προέκυψε από την φόρτιση του δικτύου με τη μέθοδο "όλα ή τίποτα".

Πίνακας 2: Σχετικά και απόλυτα συγκριτικά μεγέθη για τους 5 πρώτους συνδυασμούς φωρατών

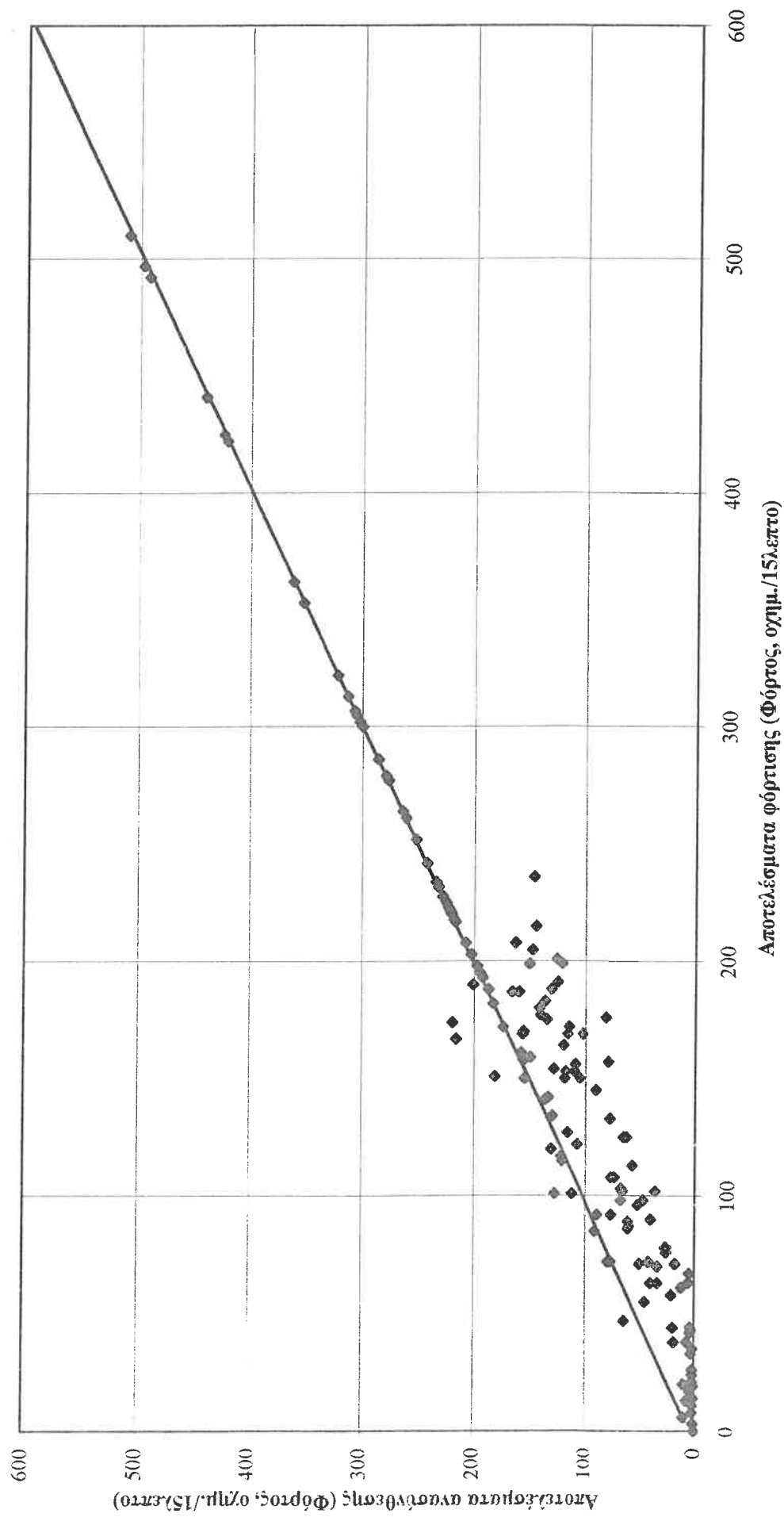
Μεγέθη	Συνδυασμοί φωρατών				
	50	40&(50~60)	30&(40~60)	20&(30~60)	10&(20~60)
MAE	20.16814	16.76548673	15.6946903	15.309735	16.044248
RMAE	0.154174	0.12816263	0.119977	0.1170342	0.1226492
RMSE	30.43068	27.45881872	26.6719667	25.429583	26.438273
RRMSE	0.232625	0.209907084	0.20389205	0.1943947	0.2021056
CORR	0.974928	0.974656319	0.9745362	0.9789565	0.976502



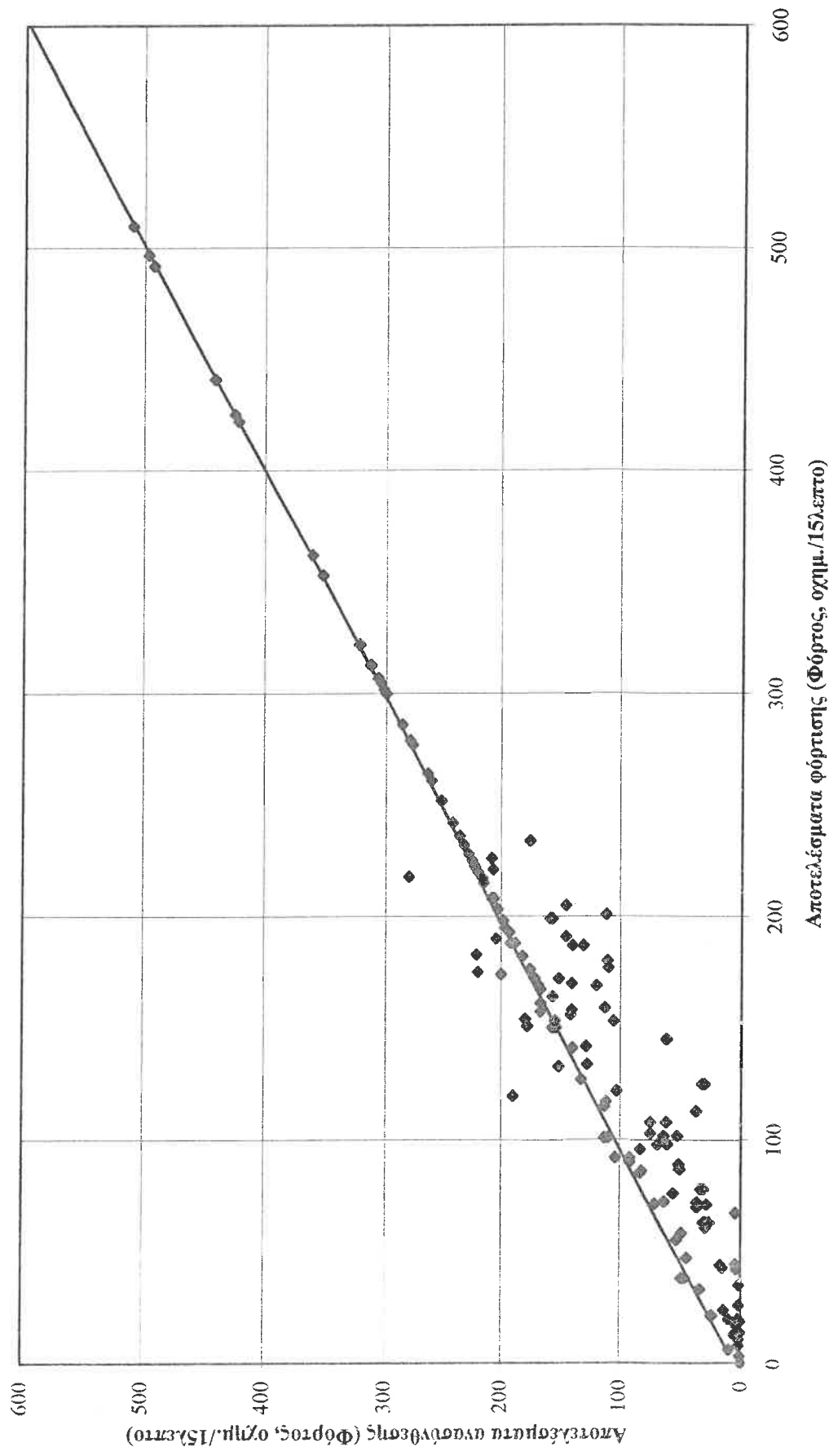
Σχήμα 5.1: Σχετικοί δείκτες για τους 5 πρώτους συνδυασμούς φωρατών

Επίσης παρατίθενται και όλα τα διαγράμματα διασποράς των αποτελεσμάτων των δοκιμών της ανασύνθεσης με το πρότυπο SPFE με αυτά της φόρτισης, από το σχήμα 5.2 έως το σχήμα 5.6. Κάτι που θα μπορούσε να παρατηρηθεί τόσο από τα διαγράμματα αυτά, όσο και από τον πίνακα 5.2, είναι οι πολύ μικρές διαφορές των δοκιμών σε όσον αφορά την ποιότητα των αποτελεσμάτων. Τα διαγράμματα παρουσιάζουν σχεδόν την ίδια εικόνα, με σύγκλιση των αποτελεσμάτων της ανασύνθεσης με αυτά της φόρτισης

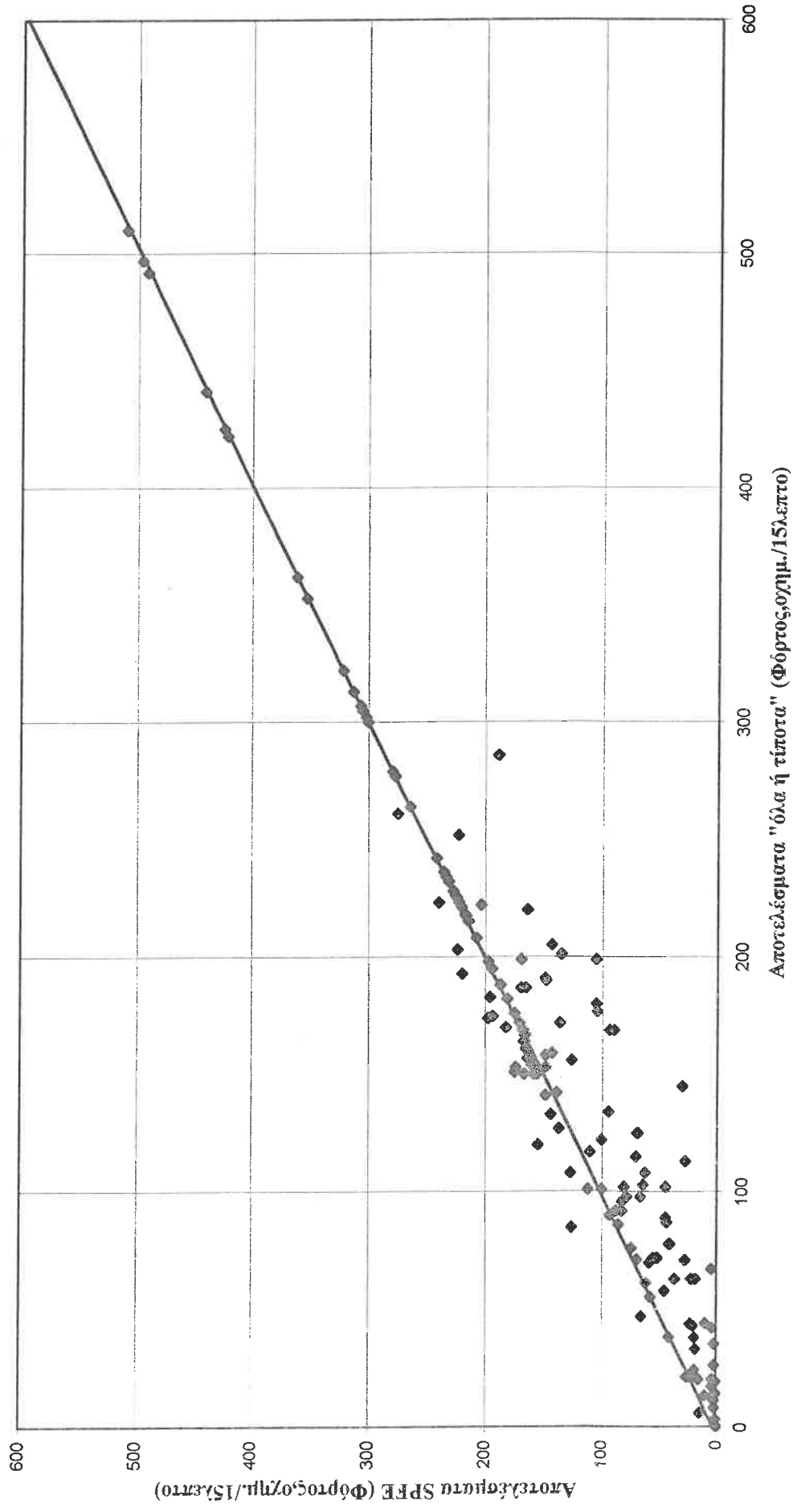
Σχήμα 5.2: 1ος Συνδυασμός (50 φορατές τοποθετημένοι στους συνδέσιμους με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης στις διαδρομές)



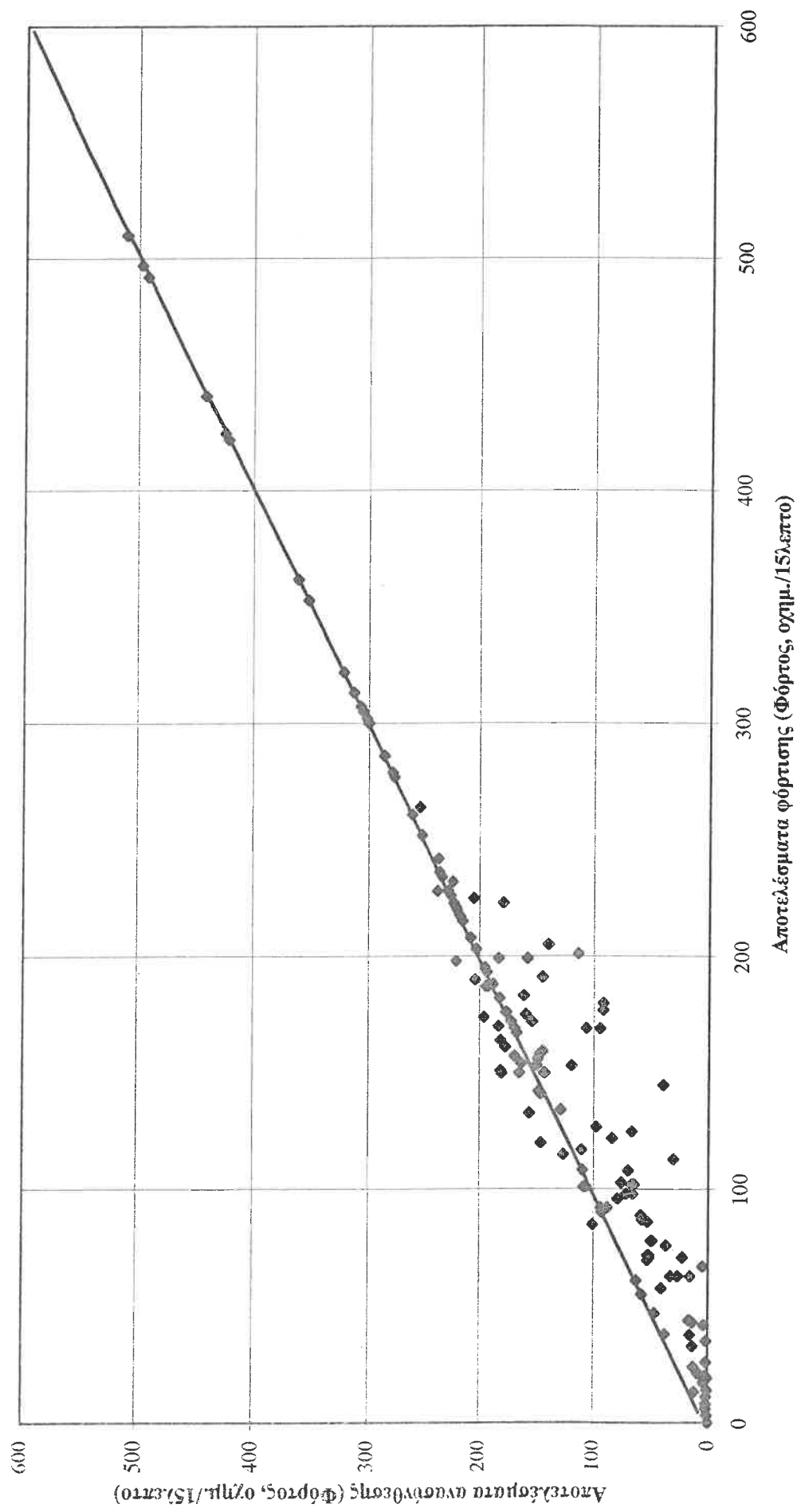
Σχήμα 5.3: Σύγκριση αποτελεσμάτων φόρτισης με "όλα ή τίποτα" με αυτά της ανασύνθεσης από 50
φωρατές για τον 2ο συνδυασμό φωρατών



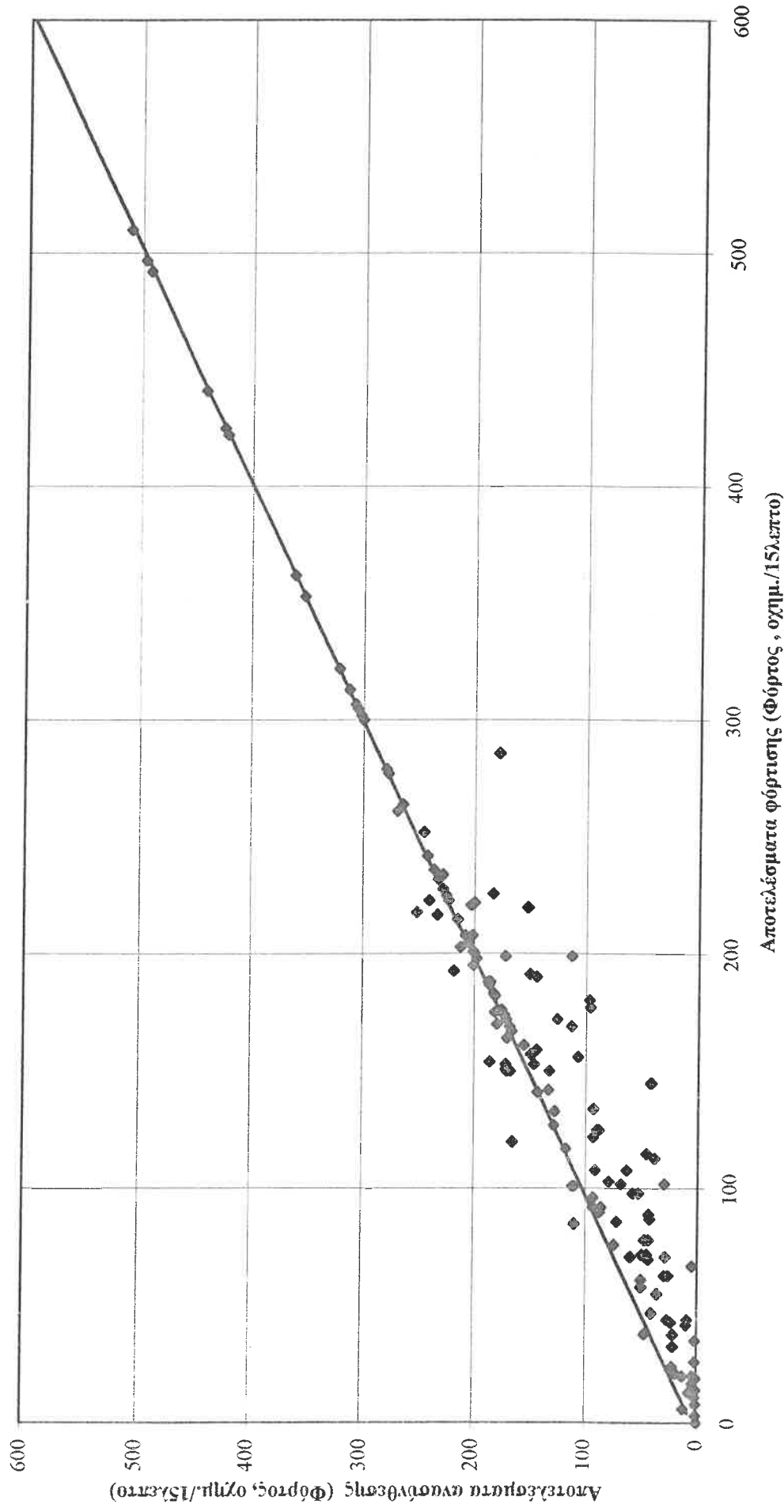
Σχήμα 5.4: Αποτελέσματα της φόρτισης με "όλα ή τίποτα" συγκρινόμενα με τα αποτελέσματα της ανασύνθεσης από τον 3ο συνδυασμό από 50 φωρατές



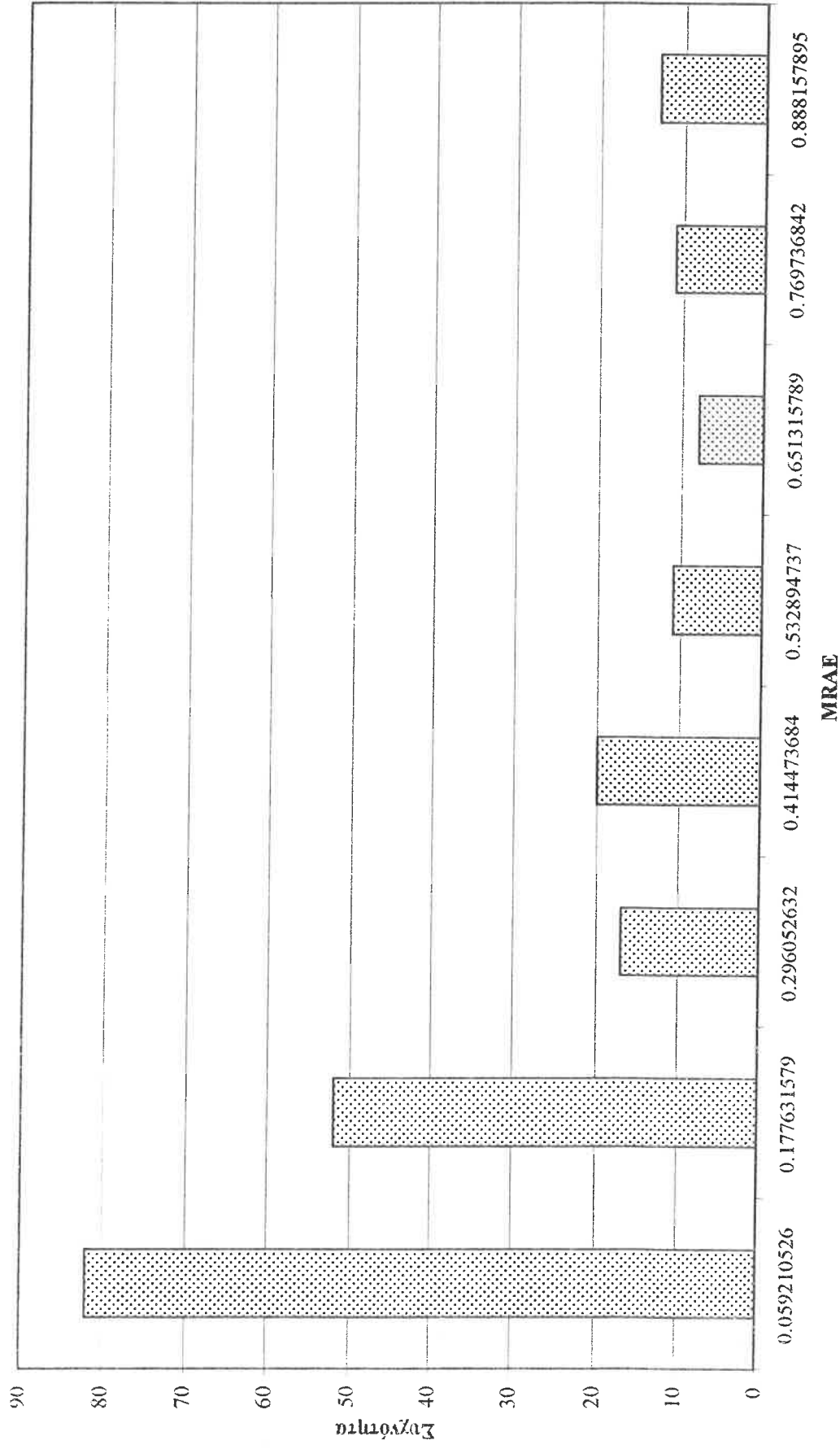
Σχήμα 5.5: Σύγκριση αποτελεσμάτων φόρτισης με "όλα ή τίποτα" με αυτά της ανασύνθεσης με SPFE από τον 4ο συνδυασμό 50 φαρμάτων



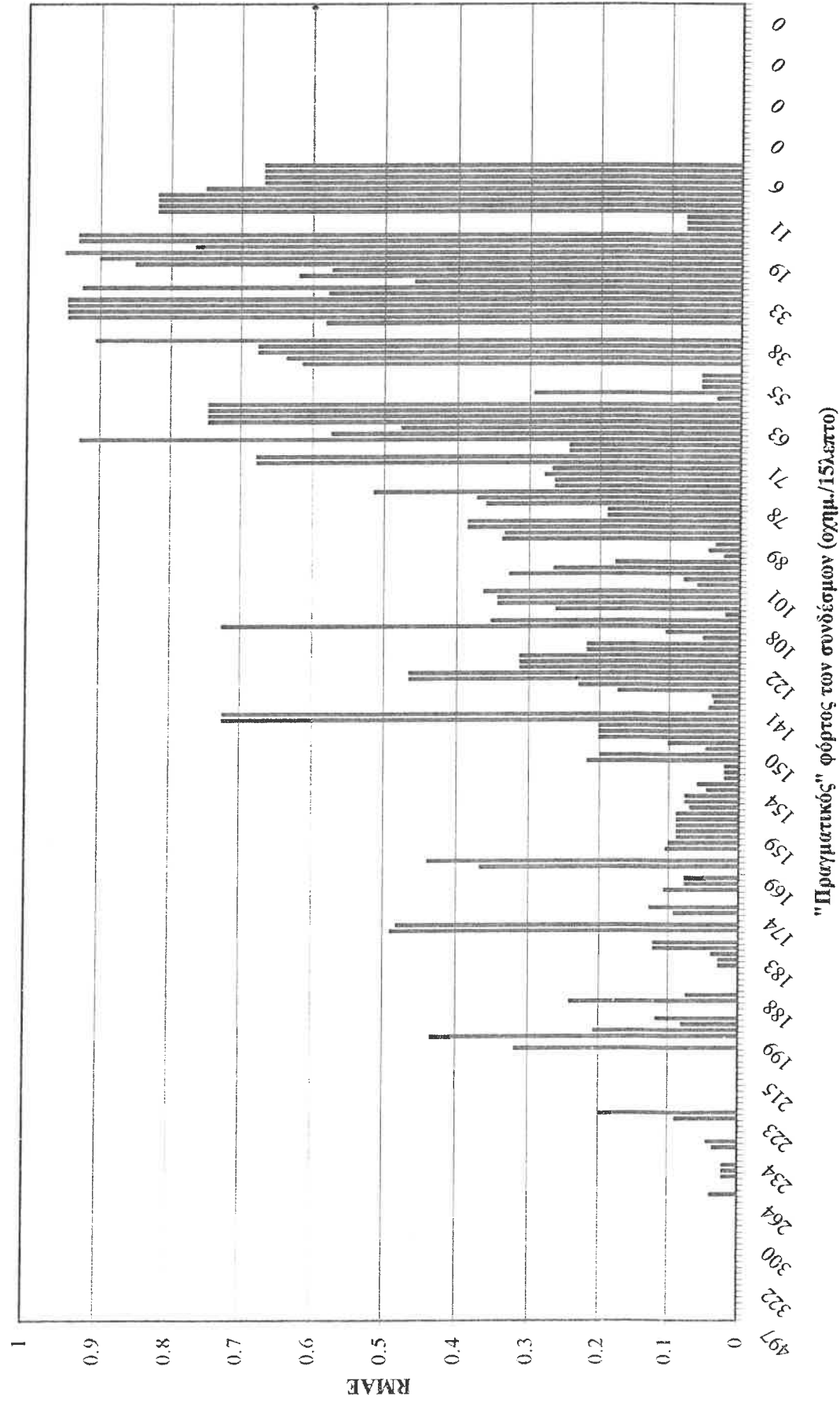
Σχήμα 5.6: Σύγκριση αποτελεσμάτων φόρτισης με "όλα ή τίποτα" με αυτά από ανασύνθεση με SPFE από τον 50 συνδυασμό 50 φορατών



Σχήμα 5.7: Ιστόγραμμα απολύτων συχνοτήτων της σχετικής απόλυτης διαφοράς (MRAE) για την 4η δοκιμή



Σχήμα 5.8: Εξέλιξη της σχετικής απόλυτης διαφοράς σε σχέση με τον φόρτο των συνδέσιμων



για τους συνδέσμους που παρουσιάζουν μεγάλο φόρτο, προφανώς λόγω του ότι μετρούνται αυτοί οι σύνδεσμοι. Αυτό που παρατηρείται επίσης είναι η μεγάλη απόκλιση των αποτελεσμάτων της φόρτισης και της ανασύνθεσης κυρίως για συνδέσμους που παρουσιάζουν φόρτο από 100 οχημ./15λεπτο έως 200 οχημ./15λεπτο. Στο σχήμα 5.7 παρατίθεται ένα ιστόγραμμα για τη σχετική απόλυτη τιμή της διαφοράς των τιμών της ανασύνθεσης και της φόρτισης, το οποίο δείχνει την συχνότητα των 8 κλάσεων, στις οποίες χωρίστηκαν όλες οι σχετικές απόλυτες τιμές της διαφοράς. Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι υπάρχει η τάση οι μικρές τιμές σφάλματος να παρουσιάζουν σχετικά μεγάλη συχνότητα συγκεντρώνοντας περισσότερους από τους μισούς συνδέσμους του δικτύου. Στις υπόλοιπες κλάσεις, οι συχνότητες είναι περίπου οι ίδιες. Το ιστόγραμμα αυτό δείχνει μεγάλη τυπική απόκλιση από τη μέση τιμή, η οποία είναι 0.2146. Στο σχήμα 5.8 παρατίθεται και ένα δεύτερο ιστόγραμμα στο οποίο φαίνεται ότι για μεγάλους φόρτους η απόκλιση του αποτελέσματος της ανασύνθεσης από αυτό της φόρτισης είναι από μηδενική έως πολύ μικρή. Αντίθετα προκύπτει ότι όσο μικραίνει ο φόρτος τόσο αυξάνει η σχετική απόλυτη διαφορά. Αυτό προφανώς σχετίζεται με το γεγονός ότι οι σύνδεσμοι που παρουσιάζουν μεγάλους φόρτους μετρούνται, ενώ οι σύνδεσμοι που παρουσιάζουν μικρό φόρτο κατά κανόνα βρίσκονται σε σημεία απομακρυσμένα από τους φωρατές.

Ακολούθησαν και άλλες 4 δοκιμές εφαρμογής του προτύπου SPFE για την απ'ευθείας εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων από τις μετρήσεις των φόρτων ορισμένων συνδέσμων του δικτύου. Σε αυτές τις δοκιμές χρησιμοποιήθηκαν και πάλι οι σύνδεσμοι οι οποίοι βρίσκονται στις πρώτες θέσεις της κατάταξης των συνδέσμων, η οποία γίνεται με το κριτήριο του πόσες από τις διαδρομές που ανήκουν στα δέντρα ελαχίστου κόστους διέρχονται από αυτούς ακριβώς τους συνδέσμους. Σε αυτή τη σειρά δεν χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι πρώτοι 60 της κατάταξης, όπως έγινε στο προηγούμενο παράδειγμα, αλλά οι πρώτοι 90 σύνδεσμοι της κατάταξης που ανήκουν στο δίκτυο.

Οι συνδυασμοί αυτοί δίνονται στον πίνακα 5.3. Στην έκτη δοκιμή χρησιμοποιήθηκαν οι σύνδεσμοι που βρίσκονται από τη θέση 10 έως τη θέση 60 του πίνακα του παραρτήματος II. Κατά τη δοκιμή αυτή οι σύνδεσμοι αυτοί θεωρείται ότι φέρουν φωρατές. Στη δεύτερη δοκιμή χρησιμοποιήθηκαν οι σύνδεσμοι που βρίσκονται από τη θέση 20 έως τη θέση 70 κ.ο.κ.

Πίνακας 5.3: Οι συνδυασμοί συνδέσμων, οι οποίοι φέρουν φορατές σε κάθε δοκιμή, που χρησιμοποιήθηκαν από την έκτη έως την ένατη δοκιμή

Αριθμός Συνδέσμου	Συνδυασμοί			
	10 ~ 60	20 ~ 70	30 ~ 80	40 ~ 90
1	2	2	2	6
2	6	6	6	8
3	25	25	13	9
4	27	27	32	13
5	28	28	35	17
6	31	31	37	32
7	32	32	40	37
8	35	35	41	40
9	36	37	44	44
10	37	38	48	48
11	38	41	49	49
12	41	44	50	50
13	42	49	58	70
14	44	50	67	73
15	49	58	69	74
16	56	65	70	75
17	58	66	73	77
18	59	67	74	80
19	65	69	75	81
20	66	70	77	87
21	67	73	80	95
22	69	74	81	101
23	70	75	87	102
24	73	77	95	106
25	74	80	101	108
26	75	81	102	109
27	81	87	106	112
28	87	95	108	138
29	95	101	109	141

30	106	102	112	148
31	108	106	138	149
32	109	108	141	153
33	124	109	148	156
34	140	112	149	160
35	141	141	153	163
36	146	148	156	164
37	148	149	157	167
38	150	151	160	171
39	151	152	163	172
40	152	153	164	173
41	153	156	170	210
42	154	157	171	211
43	155	160	172	213
44	156	163	173	214
45	157	164	210	215
46	164	170	213	218
47	170	171	214	223
48	216	216	216	224
49	219	219	218	225
50	220	220	219	226

Τα αποτελέσματα σε αυτή τη περίπτωση γίνονταν χειρότερα όσο απομακρυνόμασταν από τις πρώτες θέσεις της κατάταξης των φωρατών σύμφωνα με τη συχνότητα εμφάνισης τους στις 205 διαδρομές του παραδείγματος. Αυτό συνέβαινε κυρίως βέβαια γιατί χάναμε ορισμένες από τις διαδρομές αποφεύγοντας τους φωρατές με την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης στις διαδρομές. Αυτό θα γίνει περισσότερο εμφανές

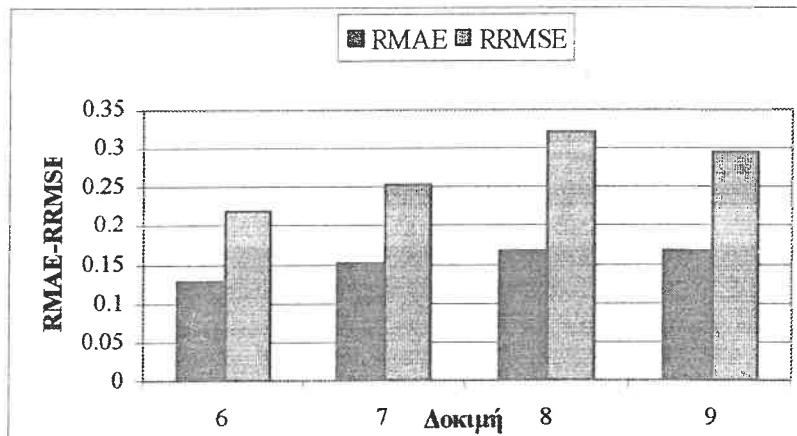
από τα αντιπροσωπευτικά διαγράμματα διασποράς που δίνουμε στη συνέχεια του κεφαλαίου, στα οποία φαίνεται καθαρά ότι όσο το σύνολο των 50 συνδέσμων που θεωρείται ότι μετράται σε κάθε δοκιμή πλησιάζει προς τις μέσες θέσεις της κατάταξης, παρουσιάζεται σύγκλιση των αποτελεσμάτων της ανασύνθεσης και της φόρτισης σε συνδέσμους οι οποίοι έχουν φόρτο από 100 οχημ./15λεπτο έως 200 οχημ./15λεπτο (αυτό τον φόρτο τον παρουσιάζουν κατά τη φόρτιση του δικτύου με "όλα ή τίποτα"), δηλαδή στα σημεία αυτά που στις πρώτες 5 δοκιμές παρουσιάζονταν οι μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των τιμών της φόρτισης και της ανασύνθεσης.

Τα καλύτερα αποτελέσματα τα είχαμε από την πρώτη (την έκτη από τις 12 δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν συνολικά στην προσπάθεια για την εύρεση ενός "βέλτιστου" δικτύου φωρατών) , η οποία ήταν η μόνη που τα αποτελέσματα της είχαν κάποια σχέση, από πλευράς ποιότητας με τις πέντε προηγούμενες δοκιμές. Η ανασύνθεση που έγινε με χρήση του προτύπου SPFE έδωσε λοιπόν σε αυτή την περίπτωση 27288 οχημ./15λεπτο συνολικό φόρτο μέσα στο δίκτυο (έναντι 29564 οχημ./15λεπτο που δίνει η φόρτιση του δικτύου με το αρχικό μητρώο προέλευσης – προορισμού) , οι οποίες προέρχονται από ένα σύνολο 1954 εκτιμώμενων μετακινήσεων, έναντι 2534 μετακινήσεων, οι οποίες περιέχονταν στο αρχικό μητρώο προέλευσης – προορισμού (εκτιμήθηκαν δηλαδή συνολικά 23% λιγότερες μετακινήσεις). Όσον αφορά τα σχετικά σφάλματα των εκτιμήσεων, η δοκιμή αυτή έδωσε ως μέση τιμή της σχετικής απόλυτης διαφοράς 0.1291, ενώ η τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου της διαφοράς βρέθηκε 0.2206. Και οι δύο τιμές είναι σαφώς μεγαλύτερες από τις τιμές της τέταρτης δοκιμής, και έτσι μετά και από αυτές τις δοκιμές η τέταρτη δοκιμή παρέμεινε αυτή που έδινε τα καλύτερα αποτελέσματα.

Στον πίνακα 5.4 δίνονται τα αποτελέσματα των σχετικών και των απολύτων σφαλμάτων της έκτης, της έβδομης, της όγδοης και της ένατης δοκιμής , τα οποία αποτελούν κριτήρια για την αξιολόγηση των δικτύων των φωρατών που εξετάζονται, ενώ στο σχήμα 5.9 παρατίθεται ένα ιστόγραμμα σύγκρισης των σχετικών σφαλμάτων και για τις τέσσερις αυτές δοκιμές.

Πίνακας 5.4: Σχετικά και απόλυτα μεγέθη σύγκρισης των αποτελεσμάτων των δοκιμών 6 έως 9

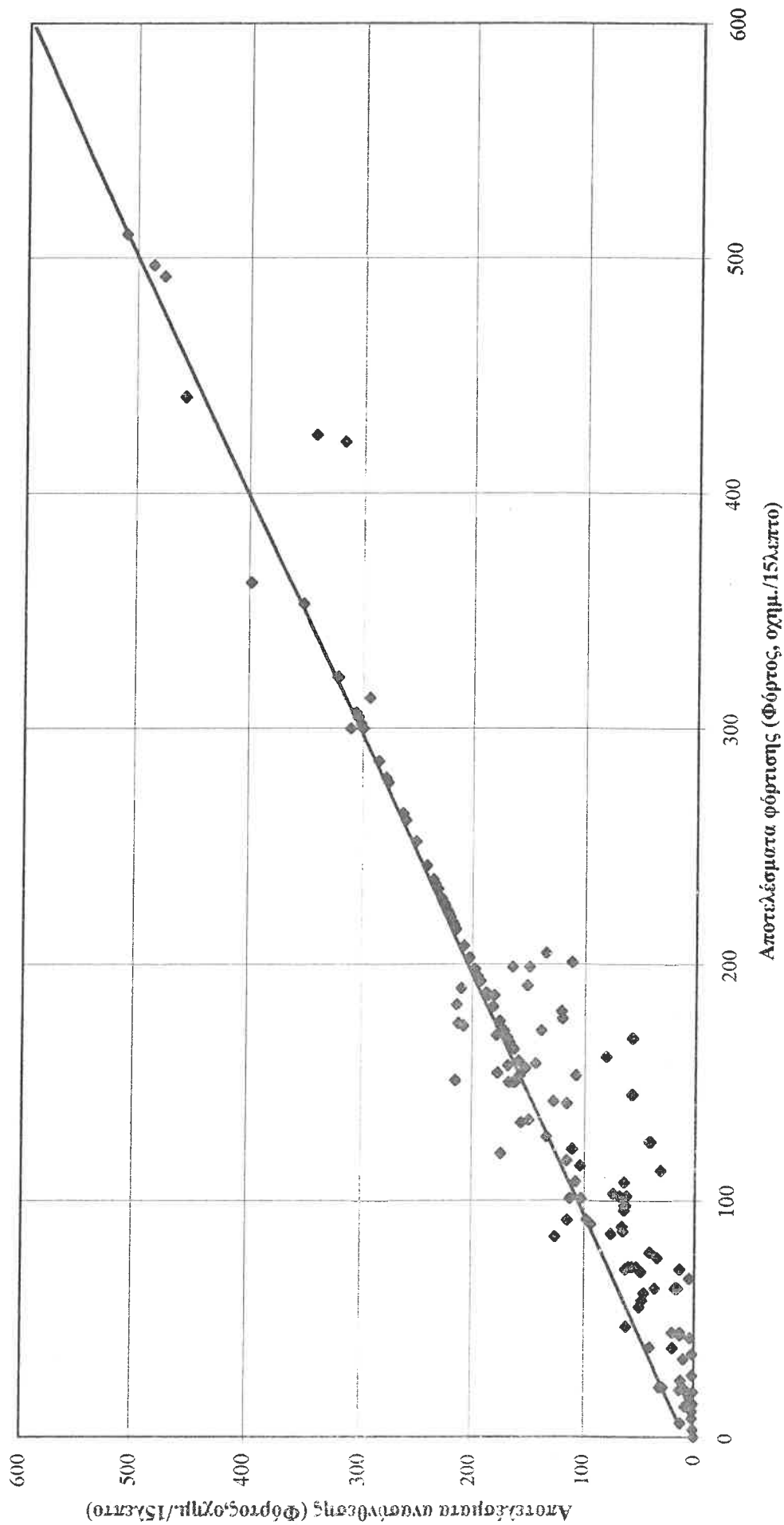
Μεγέθη	Συνδυασμοί			
	10 ~ 60	20 ~ 70	30 ~ 80	40 ~ 90
MAE	16.88496	19.84513	22.00885	21.91593
RMAE	0.129076	0.151705	0.168245	0.167535
RMSE	28.85254	33.29627	42.11835	38.7525
RRMSE	0.220561	0.254531	0.321971	0.296241
CORR	0.969183	0.958897	0.930132	0.939308



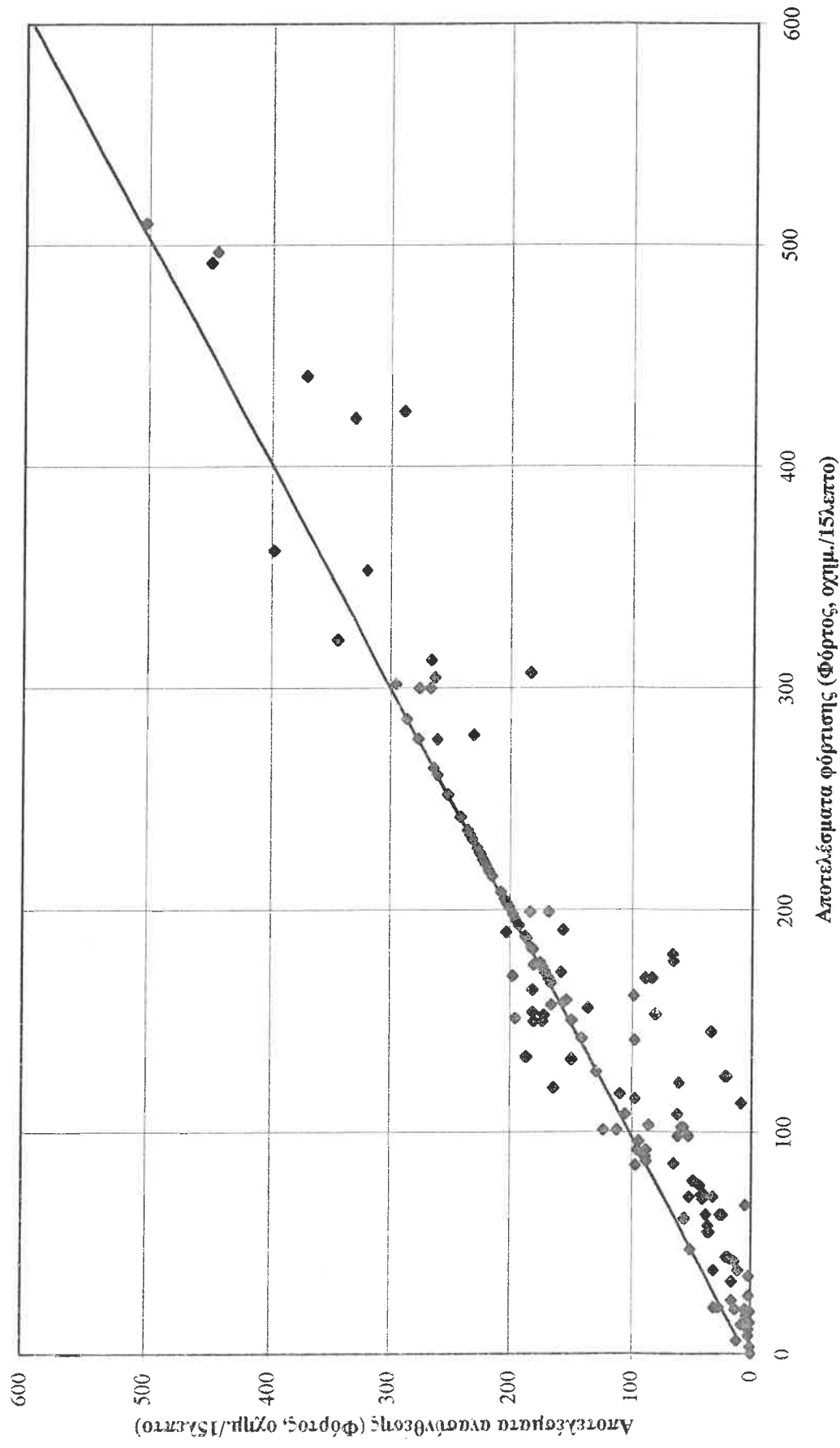
Σχήμα 5.9: Σύγκριση των σχετικών μεγεθών που εκφράζουν τα σφάλματα των εκτιμήσεων για τις δοκιμές από 6 έως 9

Η όγδοη δοκιμή παρουσιάζει τα χειρότερα αποτελέσματα από όλες τις δοκιμές που έχουν γίνει ως τώρα. Σε αυτή τη δοκιμή ως μετρούμενοι σύνδεσμοι χρησιμοποιούνται αυτοί που βρίσκονται από τη θέση 30 έως τη θέση 80 της κατάταξης. Η σχετική τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου της διαφοράς βρέθηκε 0.3220, δηλαδή σχεδόν πάνω από 10 ποσοστιαίες μονάδες από το αντίστοιχο μέγεθος που προέκυψε κατά την τέταρτη δοκιμή (η οποία ήταν και η καλύτερη έως τώρα).

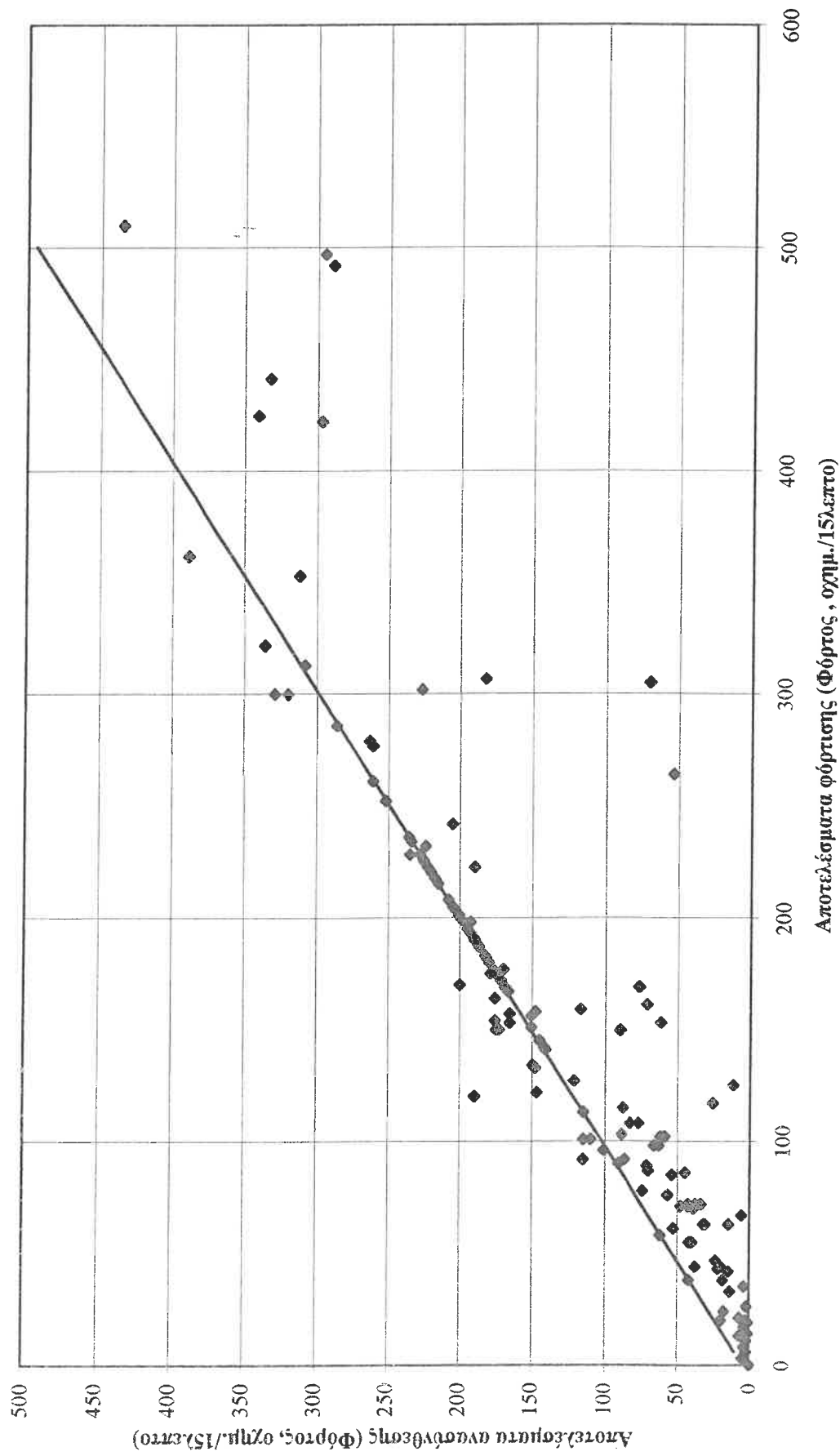
Σχήμα 5.10: Αποτελέσματα της φόρτισης με "όλα ή τίποτα" συγκρινόμενα με αυτά της ανασύνθεσης με SPFE από τον 6ο συνδυασμό 50 φωρατών



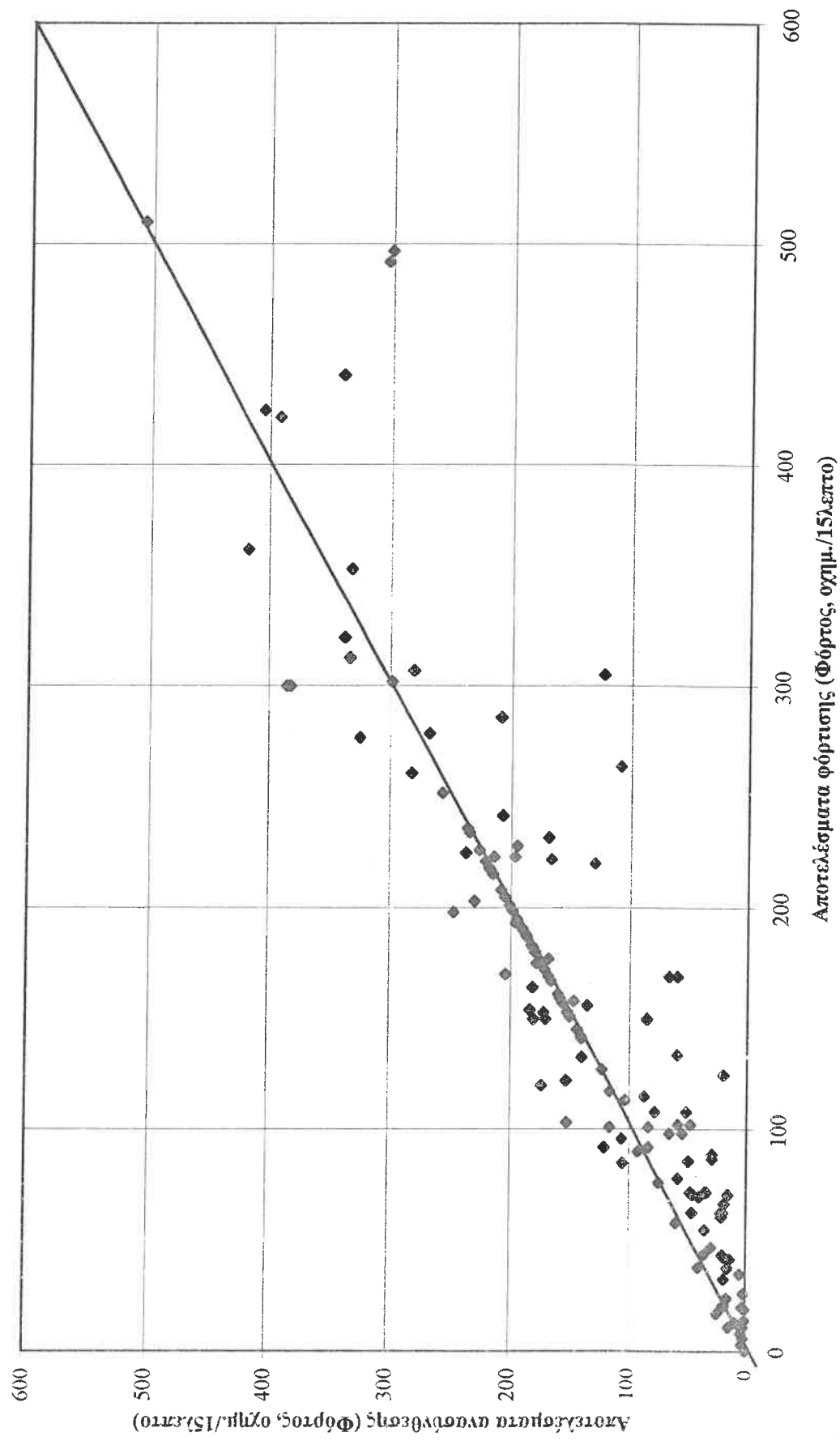
Σχήμα 5.11: Σύγκριση αποτελεσμάτων φόρτισης με "όλα ή τίποτα" με συντά από ανασύνθεση με SPFE από τον 7ο συνδυασμό 50 φορατών



Σχήμα 5.12: Σύγκριση αποτελεσμάτων φόρτισης με "όλα ή τίποτα" με αυτά από ανασύνθεση με SPFE από τον 8ο συνδυασμό 50 φορατών



Σχήμα 5.13: Σύγκριση αποτελεσμάτων φόρτισης με "όλα ή τίποτα" με αυτά από ανασύνθεση με SPFE από τον 9ο συνδυασμό 50 φορατών



Αυτό βέβαια δεν θα μπορούσε να είναι το όριο της ερευνάς μας για την εύρεση της "ιδανικής" θέσης των φωρατών στο δίκτυο του κεντρικού τμήματος της Αθήνας αφού το σχήμα του δικτύου του κέντρου της Αθήνας είναι τέτοιο που προκαλούνται πολλά σφάλματα. Κατά την προηγούμενη προσέγγιση των πρώτων 9 δοκιμών, η οποία ήταν το να βρεθούν οι σύνδεσμοι που ανήκουν ταυτόχρονα στις περισσότερες διαδρομές και να επιχειρηθεί ανασύνθεση της κυκλοφορίας με το πρότυπο SPFE, τοποθετώντας φωρατές σε 50 από αυτούς, σκοπός ήταν ακριβώς να εξαλειφθεί, κατά το δυνατόν, ο κύριος παράγοντας ευαισθησίας του προτύπου, που είναι το να μην περιέχουν οι διαδρομές των χρηστών μέσα στο δίκτυο τους συνδέσμους, στους οποίους είναι τοποθετημένοι οι φωρατές. Όμως οι σύνδεσμοι που ανήκουν ταυτόχρονα στις περισσότερες διαδρομές βρίσκονται συνήθως στα ποιο κεντρικά σημεία του δικτύου όπου εμφανίζονται και οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις φόρτου. Το κριτήριο επιλογής των μετρούμενων συνδέσμων στις πρώτες 9 δοκιμές ενδεχομένως θα απέδιδε ακόμα καλύτερα αποτελέσματα αν το δίκτυο είχε μία μορφή ακτινική, δηλαδή αν η μετακίνηση από μία ζώνη προέλευσης προς μία ζώνη προορισμού προϋπέθετε το πέρασμα από το κέντρο του δικτύου, ακόμη και αν οι αποστάσεις των ζωνών ήταν στην πραγματικότητα μικρές. Το δίκτυο του κέντρου της Αθήνας έτσι όπως διαμορφώθηκε, είναι ένα μόνο τμήμα του δικτύου της Αθήνας και έχει τη μορφή καννάβου, ενώ σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να θεωρηθεί ακτινικό. Σε ένα τέτοιο δίκτυο όπως αυτό που εξετάζουμε υπάρχουν πολλές διαδρομές οι οποίες γίνονται θα λέγαμε "περιφερειακά", αφού έχει μία τέτοια μορφή που υπάρχουν σύνδεσμοι για να εξυπηρετήσουν αυτές τις μετακινήσεις. Δηλαδή επειδή τα σημεία εισόδου - εξόδου είναι αρκετά πυκνά, εμφανίζονται πολλές διαδρομές, οι οποίες αποτελούνται μόνο από 1 έως 4 ή 5 συνδέσμους και οι οποίες προφανώς δεν διέρχονται από τα κεντρικά σημεία του δικτύου. Αυτές ακριβώς οι διαδρομές, κατά κανόνα, δεν διέρχονται από κάποιοι φωρατή, με αποτέλεσμα να αποτελούν πηγές σφαλμάτων αφού το πρότυπο θεωρεί ότι δεν κατανέμονται μετακινήσεις σε αυτές τις διαδρομές.

Μία άλλη προσέγγιση στο θέμα της θέσης των φωρατών έχει να κάνει με τη ίδια την αρχή λειτουργίας του αλγόριθμου. Κάτι που έγινε εμφανές κυρίως από τα παραδείγματα στο δίκτυο της Fisk, ήταν το γεγονός ότι για να λειτουργήσει σωστά το logit και να συγκλίνει τελικά ο αλγόριθμος σε ισορροπία κατά την κατανομή των μετακινήσεων θα πρέπει οι φωρατές να βρίσκονται σε τέτοια σημεία ώστε να μετράνε τη ζήτηση. Ο αλγόριθμος στην ουσία μοιράζει τον φόρτο που διέρχεται από κάποιοι φωρατή (δηλαδή

τη μέτρηση) στις διαδρομές που διέρχονται από αυτόν ανάλογα με το κόστος τους (ανεξάρτητα πολλές φορές από το αν οι διαδρομές αυτές ανήκουν στο ίδιο ζευγάρι προέλευσης - προορισμού).

Τελικά θα προκύψουν καλύτερα αποτελέσματα αν μπορούσαμε να διέρχονται όσο το δυνατόν περισσότερες διαδρομές από τους μετρητές, και ταυτόχρονα αν είναι δυνατόν να διέρχονται αυτές τις διαδρομές από όσο το δυνατόν περισσότερους μετρούμενους συνδέσμους ώστε να επιτευχθεί πιο ακριβής κατανομή των μετακινήσεων στις διαδρομές του δικτύου (αυτό είναι σχεδόν απαραίτητο για ένα δίκτυο όπως αυτό που εξετάζεται σε αυτό το παράδειγμα και όπου έχουμε ακόμα και 40 διαδρομές να διέρχονται από έναν φωρατή). Έτσι το επόμενο κριτήριο που επιλέχτηκε, ή καλύτερα ο τρόπος με τον οποίο στήθηκε το δίκτυο των φωρατών είναι το να μετρούνται σύνδεσμοι, οι οποίοι βρίσκονται πολύ κοντά στις εισόδους (δηλαδή τους κόμβους που θεωρείται ότι συνδέουν το δίκτυο με τα κεντροειδή των ζωνών προελεύσεως) αλλά και στις εξόδους (τους αντίστοιχους κόμβους του δικτύου για τις ζώνες προορισμού). Με αυτόν τον τρόπο σχεδόν εξασφαλίζεται το να μην χάνεται μεγάλο ποσοστό των διαδρομών των χρηστών , και επομένως να μην χάνονται και πολλές μετακινήσεις, όπως συνέβαινε στις προηγούμενες 9 δοκιμές.

Ένα επίσης σημαντικό πλεονέκτημα του παραπάνω κριτηρίου, είναι το γεγονός ότι το πρότυπο SPFE είναι ένα στοχαστικό πρότυπο που κατανέμει τις μετακινήσεις σε διαδρομές που δεν ανήκουν απαραίτητα στα δέντρα των ελαχίστων διαδρομών των ζωνών προέλευσης όταν η εύρεση τους γίνεται με κρίσιμο μέγεθος το σταθερό κόστος των κόμβων. Σε περιπτώσεις όπου παρουσιάζονται φαινόμενα συμφόρησης οι καθυστερήσεις, λόγω της υπάρξεως των ουρών αναμονής, προκαλούν το φαινόμενο του να υπάρχουν διαδρομές με κόστος μικρότερο από αυτές που χρησιμοποιούνται ήδη. Έτσι για να επέλθει ισορροπία θα πρέπει να κατανεμηθούν και σε αυτές τις διαδρομές μετακινήσεις. Το κριτήριο για τον καθορισμό των θέσεων των φωρατών που εφαρμόστηκε στις πρώτες 9 δοκιμές, δεν λαμβάνει τις "καινούργιες" διαδρομές υπ'όψιν του αφού η κατάταξη των συνδέσμων στον πίνακα του παραρτήματος II έγινε σύμφωνα με τη συχνότητα εμφάνισης τους στις διαδρομές, οι οποίες απαρτίζουν τα δέντρα ελαχίστων διαδρομών των ζωνών προέλευσης προς όλες τις ζώνες προορισμού. Κατά συνέπεια οι καινούργιες διαδρομές ενδέχεται να προκαλέσουν ακόμα μεγαλύτερα σφάλματα στην εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων του δικτύου, αφού δεν θα έχει ληφθεί καμία πρόνοια για να διέρχονται από τους συνδέσμους, στους οποίους

τοποθετούνται οι φωρατές. Αντίθετα με την τοποθέτηση των φωρατών σε συνδέσμους, οι οποίοι βρίσκονται κοντά στα σημεία εισόδου και στα σημεία εξόδου του δικτύου το πρόβλημα αυτό δεν θα υπάρχει αφού και οι καινούργιες διαδρομές θα διέρχονται κατά πάσα πιθανότητα από αυτούς τους συνδέσμους.

Με αυτόν το κριτήριο έγινε η επιλογή των θέσεων των μετρητών στις επόμενες δοκιμές. Η εύρεση αυτών των θέσεων έγινε απ'ευθείας από τον χάρτη του δικτύου. Πραγματοποιήθηκαν τρεις ακόμα δοκιμές με χρήση κυρίως αυτών των συνδέσμων. Στις πρώτες δύο δοκιμές (δηλαδή στην δέκατη και στην ενδέκατη δοκιμή) τοποθετήσαμε φωρατές μόνο στις εισόδους του δικτύου (Συνολικά είχα 21 φωρατές κοντά στις εισόδους του δικτύου), και τους υπόλοιπους φωρατές τους πήραμε από τον πίνακα του παραρτήματος II. Οι τρεις τελευταίοι συνδυασμοί φωρατών δίνονται στον πίνακα 5.5, ο οποίος ακολουθεί.

Πίνακας 5.5: Οι σύνδεσμοι που μετρούνται κατά τις τρεις τελευταίες δοκιμές

Αριθμός Συνδέσμου	10ος Συνδυασμός	11ος Συνδυασμός	12ος Συνδυασμός
1	2	2	1
2	4	4	2
3	5	5	4
4	7	6	5
5	15	7	6
6	16	15	7
7	22	16	15
8	23	22	16
9	25	23	17
10	27	32	22
11	28	35	23
12	31	37	24
13	36	41	25
14	38	44	34
15	42	49	36
16	45	58	45

17	46	67	48
18	54	69	57
19	56	70	60
20	57	73	62
21	59	74	63
22	60	75	118
23	62	81	136
24	63	87	137
25	65	95	138
26	66	106	139
27	124	108	142
28	138	109	144
29	139	138	145
30	140	141	156
31	142	148	160
32	144	153	161
33	146	156	163
34	150	157	165
35	151	160	166
36	152	164	167
37	154	166	168
38	155	167	173
39	160	170	174
40	166	173	177
41	167	177	178
42	173	178	179
43	177	179	182
44	178	213	210
45	179	215	213
46	213	216	215
47	215	219	218
48	220	220	220
49	221	221	221
50	226	226	226

Τα αποτελέσματα σε αυτή την περίπτωση ήταν σαφώς πολύ καλύτερα από όλες τις προηγούμενες δοκιμές παρουσιάζοντας συντελεστές συσχέτισης 0.9819 στην δέκατη και 0.9928 στην ενδέκατη δοκιμή. Ενώ η μέση σχετική απόλυτη διαφορά και η σχετική τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του της διαφοράς βρέθηκαν 0.0956 και 0.1582 αντίστοιχα για την δέκατη δοκιμή, και 0.0586 και 0.0990 αντίστοιχα για την ενδέκατη δοκιμή. Η μείωση των σφαλμάτων σε αυτές τις δοκιμές είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με τις πρώτες εννέα. Αυτό άλλωστε παρουσιάζεται και από τα διαγράμματα διασποράς που ακολουθούν, και τα οποία δείχνουν ακριβώς τον μεγάλο συσχετισμό των δειγμάτων των φόρτων των συνδέσμων του δικτύου, που προκύπτουν από τη φόρτιση του δικτύου με το αρχικό μητρώο προέλευσης – προορισμού με τη μέθοδο "όλα ή τίποτα", και με την ανασύνθεση της κυκλοφορίας απ'ευθείας από τις μετρήσεις των φόρτων σε ορισμένους συνδέσμους του δικτύου με το πρότυπο SPFE.

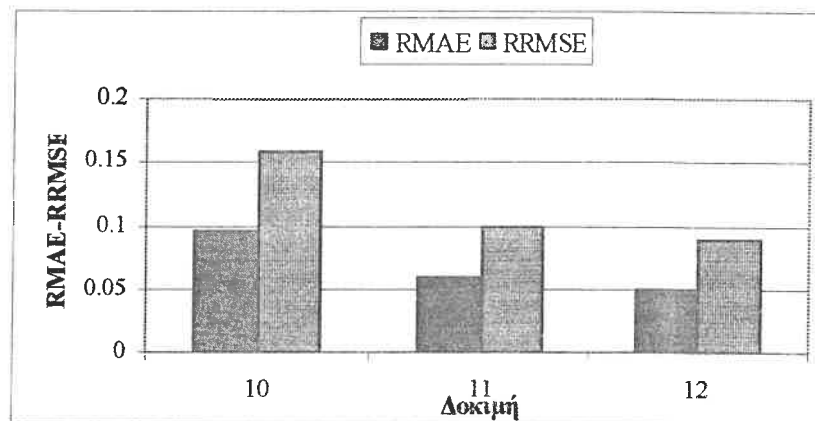
Τα αποτελέσματα δε έγιναν σχεδόν άριστα όταν εκτός από τους συνδέσμους οι οποίοι βρίσκονται κοντά στις εισόδους, μετρήθηκαν και αυτοί που βρίσκονται κοντά στα σημεία εξόδου του δικτύου. Με αυτόν το τρόπο επιτυγχάνεται κάτι πολύ σημαντικό: να μετριέται ένα μεγάλο μέρος των διαδρομών σε δύο σημεία, ενώ αν συμπληρωθεί ο αριθμός των συνδέσμων που μετρούνται με ένα μέρος από τους συνδέσμους, οι οποίοι βρίσκονται στις πρώτες θέσεις της κατάταξης του πίνακα 5 του παραρτήματος II μπορεί να επιτευχθεί να μετρούνται ορισμένες από τις διαδρομές σε τρία ή και περισσότερα σημεία (να περιέχουν οι διαδρομές τρεις ή και περισσότερους συνδέσμους με φωρατές. Αποτέλεσμα αυτού είναι η αυξανόμενη ακρίβεια των αποτελεσμάτων και η σύγκλιση τους στη φόρτιση που έγινε με τη μέθοδο του «όλα ή τίποτα». Εφ'όσον τα αποτελέσματα της κατανομής στο δίκτυο, στην ουσία αντικατοπτρίζουν το πόσο καλά έχουν εκτιμηθεί οι φόρτοι των διαδρομών, και έτσι ξέρουμε ότι από τη στιγμή που πήραμε πολύ καλά αποτελέσματα κατά την κατανομή στο δίκτυο, αυτό δεν μπορεί να οφείλεται σε άλλο λόγο εκτός από το ότι εκτιμήθηκαν σωστά οι μετακινήσεις. Αυτό έγινε περισσότερο εμφανές από το παράδειγμα που έγινε στο δίκτυο της Fisk, όπου φάνηκε ακριβώς ότι τα δύο αυτά γεγονότα έχουν μία σχέση αίτιου και αιτιατού.

Έγιναν τρεις συνολικά δοκιμές σε αυτή τη σειρά και είχαμε σε όλες πολύ καλά αποτελέσματα. Οι συντελεστές συσχέτισης τους με τα αποτελέσματα της φόρτισης με "όλα ή τίποτα" ήταν πάνω από 99%, ενώ για πρώτη φορά ο Single Class Path Flow

Estimator υπολόγιζε σχεδόν το 97% των μετακινήσεων (στο σύνολο τους) που περιείχε το αρχικό μητρώο προέλευσης - προορισμού.

Πίνακας 6: Συγκριτικά μεγέθη (σχετικά και απόλυτα) των τριών τελευταίων δοκιμών

Μεγέθη	10ος συνδ.	11ος συνδ.	12ος συνδ.
MAE	12.5	7.668142	6.42477876
RMAE	0.0955554	0.058619	0.04911379
RMSE	20.698318	12.9432	11.8048288
RRMSE	0.1582269	0.098943	0.09024122
CORR	0.9819067	0.992796	0.99396279

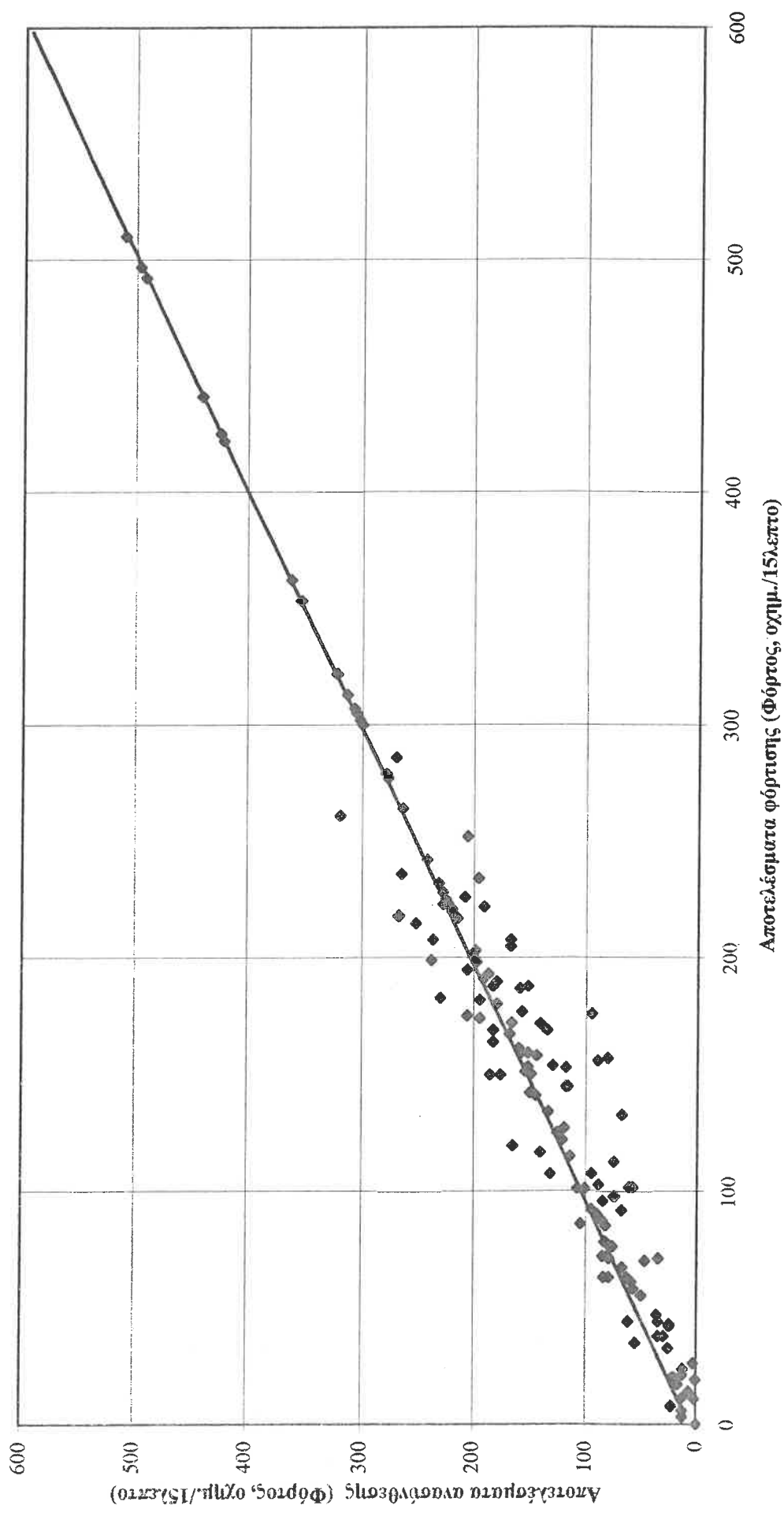


Σχήμα 5.14: Σύγκριση των σχετικών μεγεθών που εκφράζουν τα σφάλματα των εκτιμήσεων του προτύπου SPFE για τις τρεις τελευταίες δοκιμές

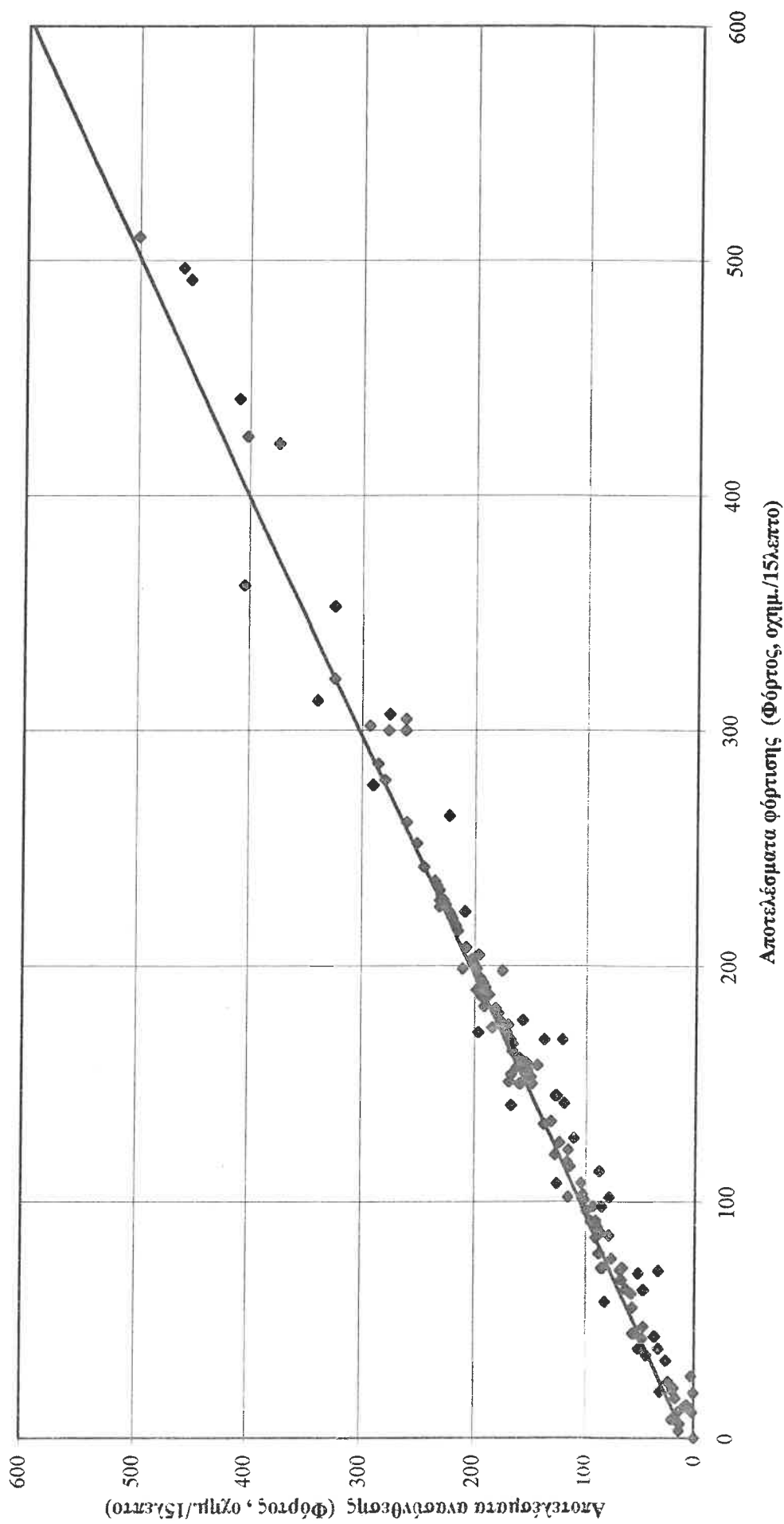
Θα σταθούμε ιδιαίτερα σε μία μόνο από αυτές τις δοκιμές την τελευταία δοκιμή στην οποία ακριβώς χρησιμοποιήθηκαν οι σύνδεσμοι που βρίσκονται κοντά στα σημεία εισόδου και τα σημεία εξόδου του δικτύου, καθώς και ορισμένοι από τους συνδέσμους της κατάταξης του πίνακα του παραρτήματος II. Συγκεκριμένα θεωρήθηκε ότι τοποθετούνται φωρατές σε 22 συνδέσμους, οι οποίοι βρίσκονται κοντά σε σημεία εισόδου του δικτύου, σε 20 συνδέσμους οι οποίοι βρίσκονται κοντά σε σημεία εξόδου και στους 8 συνδέσμους που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης στις διαδρομές ελαχίστου κόστους. Τα αποτελέσματα ήταν πράγματι τα καλύτερα από όλες τις δοκιμές, με τη μέση σχετική απόλυτη διαφορά να πέφτει στο 0.0491 και την σχετική τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου της διαφοράς στο 0.0902. Το σχετικό σφάλμα δηλαδή ήταν μικρότερο από 10%. Κατά τη δοκιμή της ανασύνθεσης εκτιμήθηκαν 2474 συνολικές μετακινήσεις (ποσοστό 97% των συνολικών μετακινήσεων που υπήρχαν στο αρχικό μητρώο, με το οποίο έγινε η φόρτιση και οι οποίες ήταν 2534). Ο συνολικός φόρτος του δικτύου που εκτιμήθηκε κατά την διαδικασία της ανασύνθεσης ήταν 29406 οχημ./15λεπτο, έναντι 29564 οχημ./15λεπτο, που είχαν προκύψει από τη φόρτιση του δικτύου.

Στον πίνακα 5.7 δίνονται τα συγκριτικά μεγέθη, σχετικά και απόλυτα, όλων των δοκιμών αυτού του κεφαλαίου, ενώ παρατίθενται και ιστογράμματα, στα οποία εμφανίζονται όλα τα σχετικά μεγέθη (μέση σχετική απόλυτη διαφορά, σχετική τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου της απόλυτης τιμής της διαφοράς, και συντελεστής συσχετισμού).

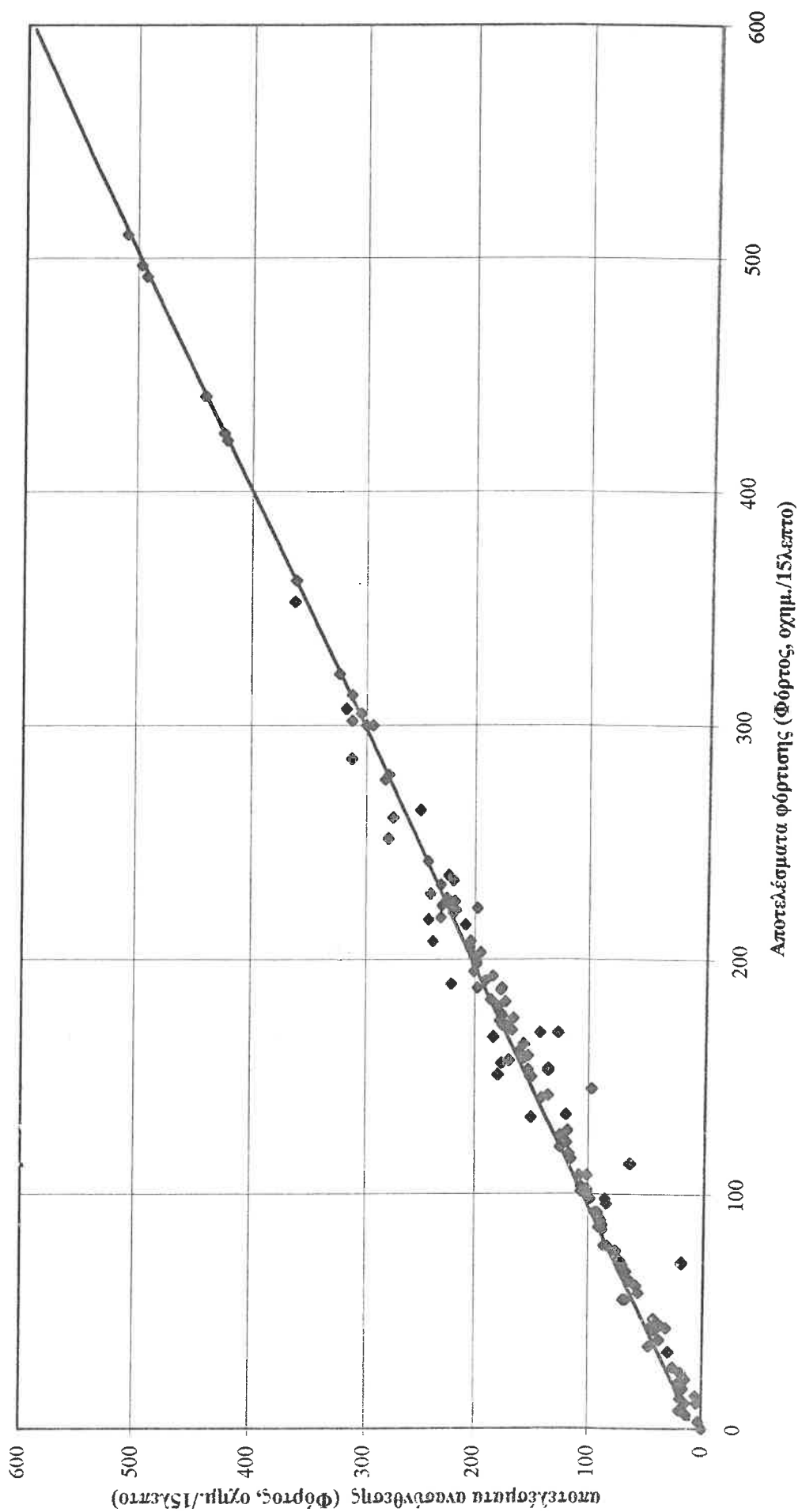
Σχήμα 5.15: Σύγκριση αποτελεσμάτων φόρτισης με "όλα ή τίποτα" και ανασύνθεσης με SPFE από τον 10ο συνδυασμό 50 φαρμάτων



Σχήμα 5.16: Σύγκριση αποτελεσμάτων φόρτισης με "όλα ή τίποτα" με αυτά από ανασύνθεση με SPFE από τον 11ο συνδυασμό 50 φωρατών



Σχήμα 5.17: Σύγκριση αποτελεσμάτων φόρτισης με "όλα ή τίποτα" με αυτά ανασύνθεσης με SPFE από τον 120 συνδυασμό 50 φορατών



Πίνακας 5.7: Συγκριτικά μεγέθη όλων των δοκιμών για την εύρεση του "βέλτιστου" δικτύου φωρατών για εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων του δικτύου με το πρότυπο SPFE

Συνδυασμοί	mae	Συγκριτικά Μεγέθη		rmse	corr
		mrae	rmse		
50	20.16814	0.154174	30.43068	0.232625	0.974928
40&(50~60)	16.76549	0.1281626	27.45882	0.209907	0.974656
30&(40~60)	15.69469	0.119977	26.67197	0.203892	0.974536
20&(30~60)	15.30973	0.1170342	25.42958	0.194395	0.978956
10&(20~60)	16.04425	0.1226492	26.43827	0.202106	0.976502
10 ~ 60	16.88496	0.1290759	28.85254	0.220561	0.969183
20 ~ 70	19.84513	0.1517048	33.29627	0.254531	0.958897
30 ~ 80	22.00885	0.1682452	42.11835	0.321971	0.930132
40 ~ 90	21.91593	0.1675348	38.7525	0.296241	0.939308
10ος	12.5	0.0955554	20.69832	0.158227	0.981907
11ος	7.668142	0.0586186	12.9432	0.098943	0.992796
12ος	6.424779	0.0491138	11.80483	0.090241	0.993963

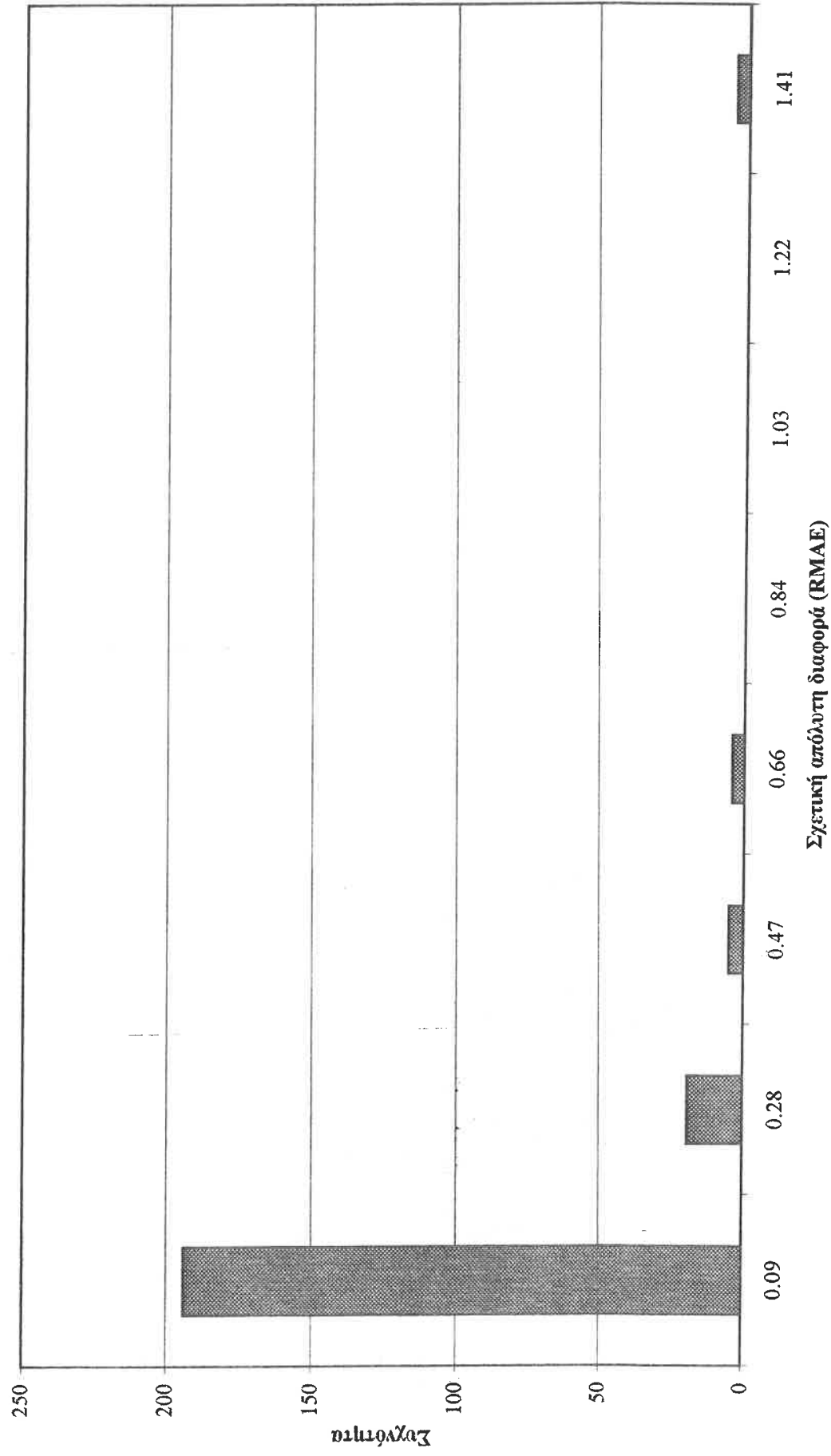
Είναι πρόδηλο ότι τα αποτελέσματα της τελευταίας δοκιμής είναι καλύτερα από όλων των υπολοίπων δοκιμών αφού υπερέχει σε όλους τους σχετικούς δείκτες, κάτι που φαίνεται και από τα ιστογράμματα που συγκρίνουν τα αποτελέσματα όλων των δοκιμών με χρήση όλων των δεικτών που εκφράζουν το σχετικό σφάλμα.

Για αυτή ακριβώς τη δοκιμή έγιναν δύο ιστογράμματα: ένα για τη σχετική διαφορά, σε όλους τους συνδέσμους του δικτύου, των εκτιμήσεων των φόρτων με την ανασύνθεση με το πρότυπο SPFE από τις "πραγματικές" τιμές του φόρτου, οι οποίες προέκυψαν μετά από φόρτιση του δικτύου, με τη μέθοδο "όλα ή τίποτα", με τις μετακινήσεις που περιέχονταν σε ένα "ορθό" μητρώο προέλευσης – προορισμού και ένα για την απόλυτη τιμή της σχετικής διαφοράς. Και τα δύο διαγράμματα δείχνουν ότι στην πλειοψηφία των συνδέσμων παρουσιάζονται μικρά σχετικά σφάλματα, με μικρή απόκλιση, ενώ από το ιστόγραμμα της συχνότητας της σχετικής διαφοράς των φόρτων φαίνεται ότι η κατανομή παρουσιάζει θετική ασυμμετρία πράγμα που δείχνει ότι το πρότυπο υποεκτιμά τους φόρτους των συνδέσμων στο σύνολο τους.

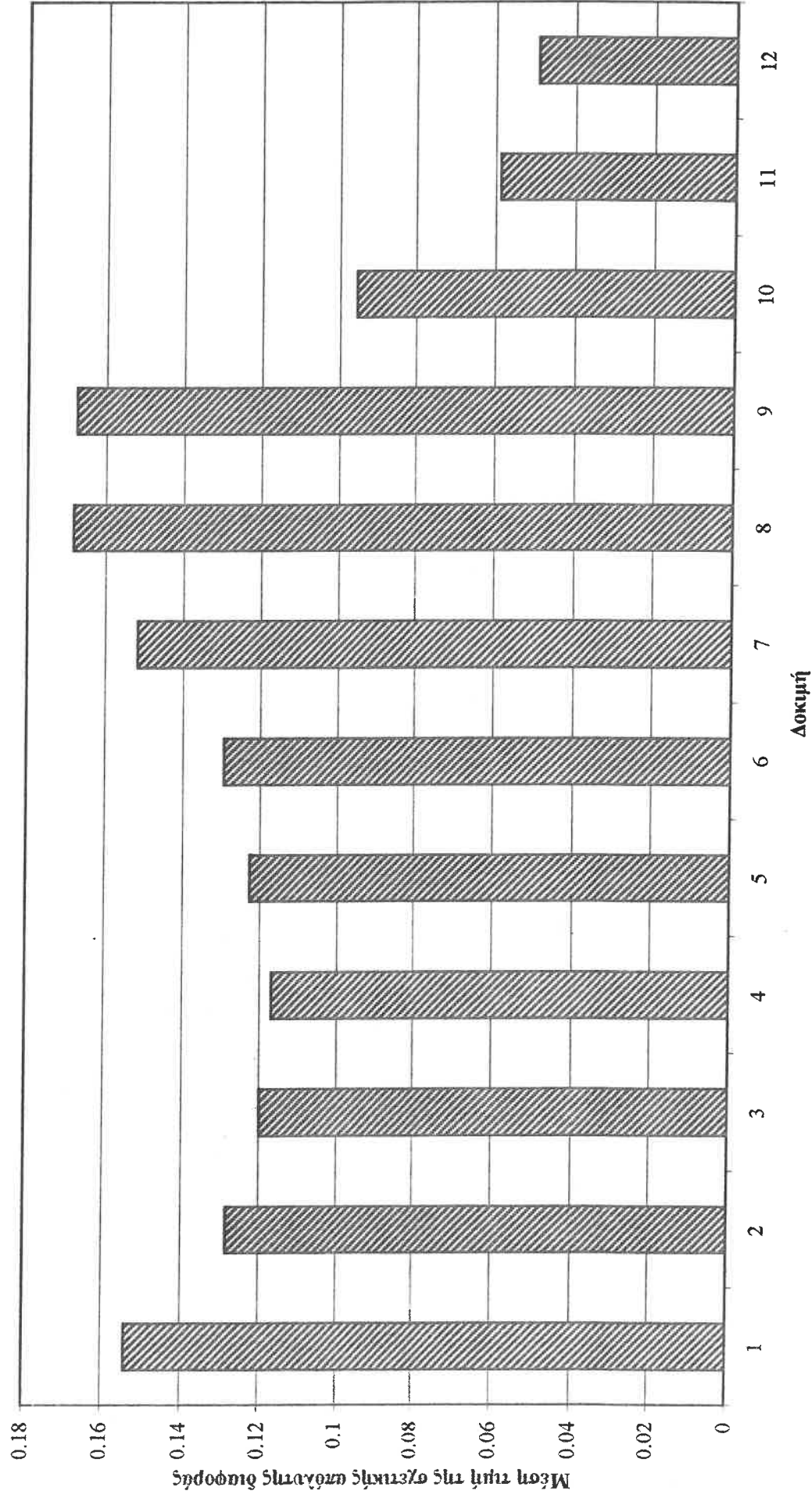
Είναι πιστεύουμε προφανές το ότι τα αποτελέσματα σε αυτή την περίπτωση είναι πολύ ικανοποιητικά, ενώ ο συσχετισμός των δειγμάτων είναι πολύ καλός, κάτι που μπορεί να φανεί εύκολα από το διάγραμμα διάσποράς που ακολουθεί.

Σε αυτό το κεφάλαιο λοιπόν δοκιμάστηκαν διάφοροι συνδυασμοί φωρατών σε ένα τμήμα του δικτύου της Αθήνας. Το πρότυπο αποδείχτηκε ότι έχει μεγάλη ευαισθησία στο αν οι διαδρομές του δικτύου διέρχονται έστω και από έναν σύνδεσμο που φέρει κάποιον φωρατή. Σε αυτόν τον λόγο οφείλεται και η ευαισθησία του προτύπου στον αριθμό και τις θέσεις των φωρατών στο δίκτυο. Δείχθηκε επίσης ότι οι θέσεις τοποθέτησης των φωρατών που δίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα είναι αυτές που βρίσκονται κοντά στα σημεία εισόδου και τα σημεία εξόδου του δικτύου, τουλάχιστον σε ένα δίκτυο σχήματος καννάβου, όπως αυτό που εξετάσαμε σε αυτό το παράδειγμα. Το "βέλτιστο" δίκτυο 50 φωρατών που βρέθηκε παρουσιάζει τα μικρότερα σφάλματα από όλα τα υπόλοιπα που δοκιμάστηκαν (το μέσο σχετικό απόλυτο σφάλμα είναι 9%, έναντι περίπου 20% που είχαμε στην τέταρτη δοκιμή)

Σχήμα 5.18: Ιστογράμμα συχνότητας της σχετικής απόλυτης τιμής της διαφοράς για την 12η δοκιμή



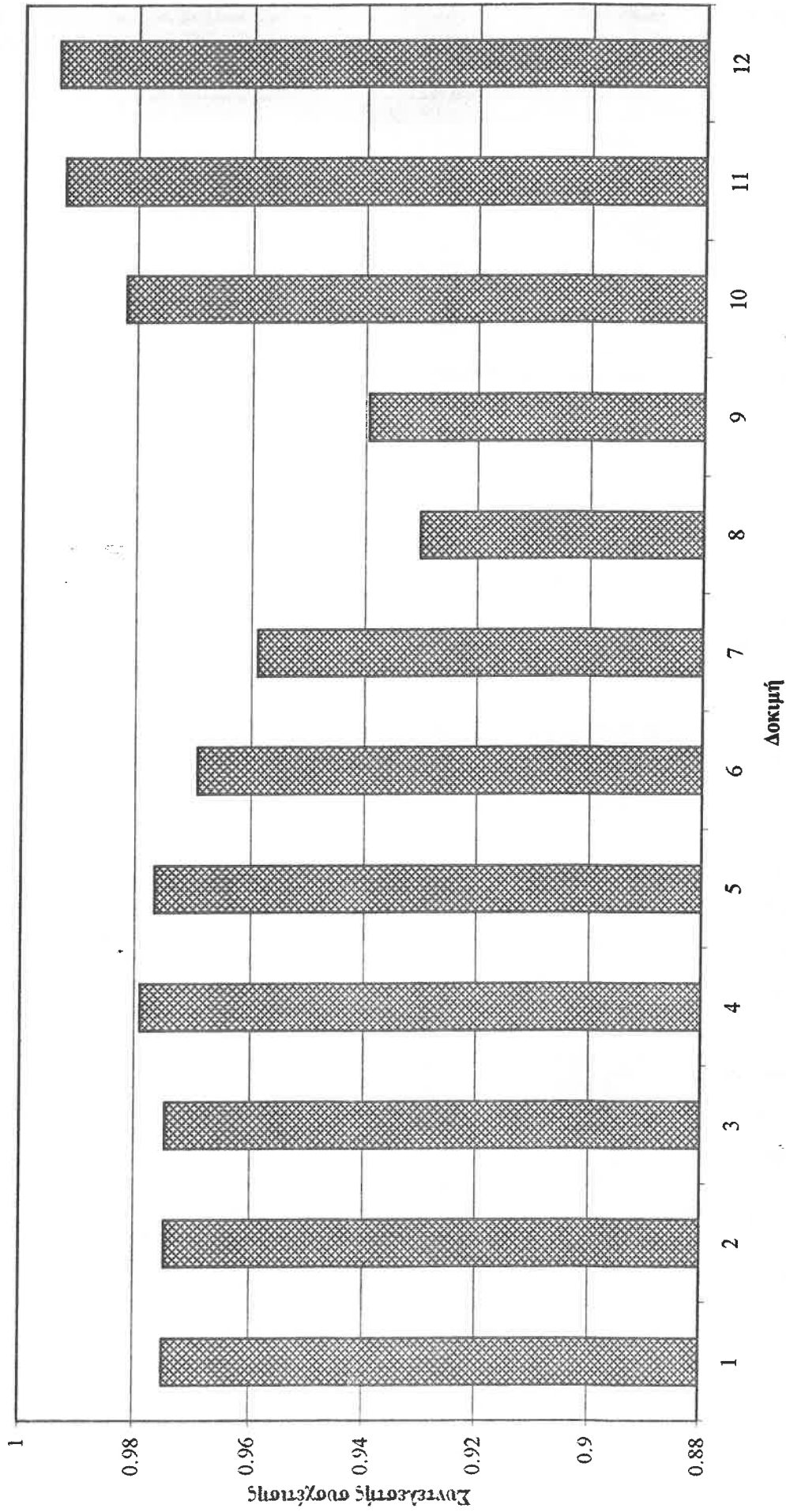
Σχήμα 5.19: Ιστογράμμα της μέσης σχετικής απόλυτης διαφοράς (MRAE) για όλες τις δοκιμές



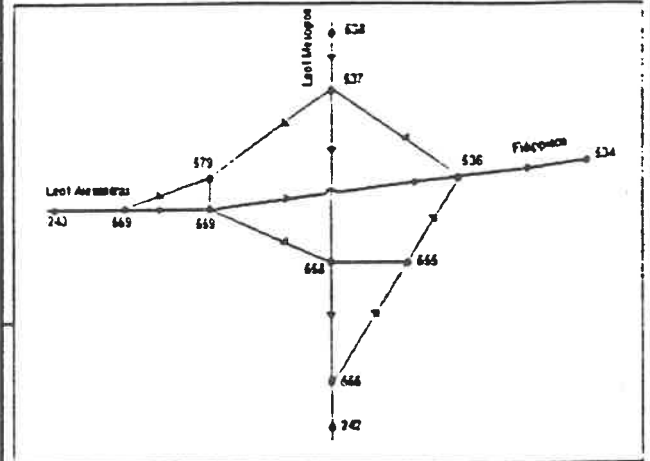
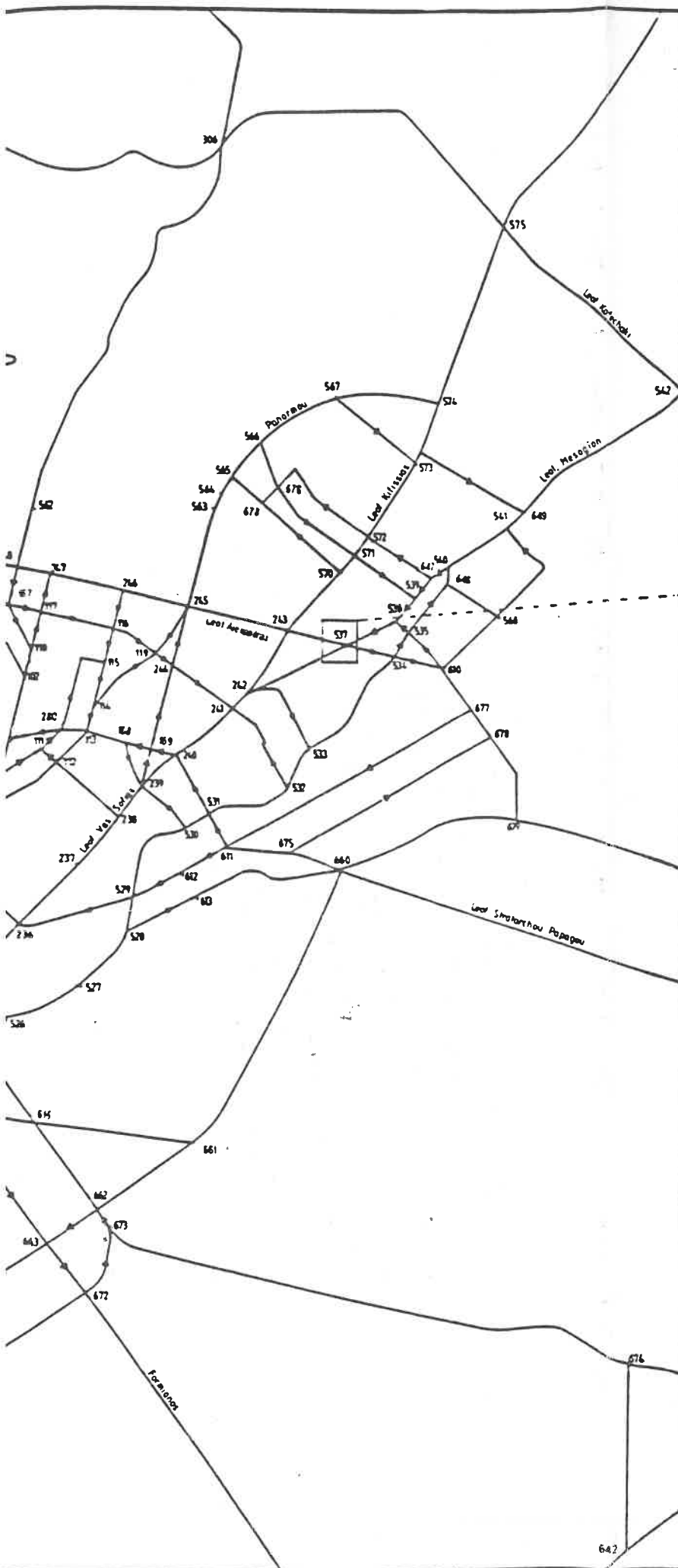
Σχήμα 5.20: Ιστογράμμο της σχετικής τετραγωνικής ρίζας της μέσης τιμής του τετραγώνου της διαφοράς (RRMSE) για όλες τις δοκιμές



Σχήμα 5.21: Ιστόγραμμα του συντελεστή συσχέτισης των δειγμάτων της φόρτισης και της ανασύνθεσης για όλες τις δοκιμές



CENTRAL ATHENS SIGNALIZED NETWORK



- TWO-WAY STREETS
- ONE-WAY STREETS
- 495 NODE NUMBER

SCALE
0 M. 500 750 1000 1250

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ
ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΚΑΠΟΙΩΝ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΟΥΣ ΦΩΡΑΤΕΣ**

6.1. ΓΕΝΙΚΑ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε προσπάθεια να βρεθεί ένα δίκτυο φωρατών, με το οποίο τα αποτελέσματα του προτύπου SPFE (Bell, Lam & Iida, 1995) να συγκλίνουν όσο το δυνατόν στη φόρτιση του δικτύου που έγινε με τη μέθοδο του "όλα ή τίποτα". Αυτό που έγινε κατανοητό είναι το ότι όταν τοποθετήθηκαν οι φωρατές κοντά στις εισόδους και τις εξόδους του δικτύου, τα αποτελέσματα ήταν πολύ καλά, στην ουσία δηλαδή εκτιμήθηκε σωστά από το πρότυπο η ζήτηση των μετακινήσεων, χωρίς να βρεθεί το μητρώο προέλευσης – προορισμού με κάποιο κατάλληλο πρότυπο, αφού το υπό εξέταση πρότυπο SPFE επιχειρεί την εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων του δικτύου απ'ευθείας από τις μετρήσεις.

Θα ήταν ίσως σφάλμα να τερματιστεί η προσπάθεια για ένα δίκτυο φωρατών, που θα βοηθούσε σε μία εφαρμογή του συγκεκριμένου προτύπου με αξιόπιστα αποτελέσματα, στο σημείο αυτό, καθώς στη πραγματικότητα οι φωρατές είναι όργανα μέτρησης τα οποία βρίσκονται συνεχώς εκτεθειμένα σε ακραία καιρικά φαινόμενα. Έτσι θα πρέπει να θεωρηθεί ως αρκετά πιθανό το ενδεχόμενο κάποιος ή κάποιοι από αυτούς να υποστούν βλάβες, τέτοιες ώστε να μην μπορούν να λειτουργήσουν.

Εάν θέλουμε να έχουμε ένα αξιόπιστο δίκτυο φωρατών, στο οποίο να είναι δυνατόν να βασιστούμε για τη λειτουργία ενός συστήματος, θα πρέπει να διερευνηθεί κατά πόσον το πρότυπο SPFE μπορεί να μας δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα με ένα δίκτυο φωρατών με τα χαρακτηριστικά του βέλτιστου δικτύου φωρατών που βρέθηκε στο περασμένο κεφάλαιο, ακόμα και σε περιπτώσεις μικρής βλάβης (δηλαδή στην ουσία απώλεια μερικών φωρατών) του δικτύου. Άρα το επόμενο βήμα μας σε αυτή την έρευνα θα πρέπει να είναι το να βρούμε τα αδύνατα σημεία του συγκεκριμένου δικτύου φωρατών και αν προκύψουν σοβαρά προβλήματα, να προτείνουμε τρόπους για την αντιμετώπιση τους.

Ο μόνος τρόπος βέβαια για να γίνει μία τέτοια διερεύνηση είναι το να πραγματοποιηθεί μία σειρά από καινούργιες δοκιμές. Το δίκτυο των φωρατών, στο οποίο καταλήξαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, αποτελείται από 50 φωρατές. Μία εξαιρετικά δυσμενής περίπτωση θα είναι το να έχουμε μία ταυτόχρονη απώλεια 5 φωρατών (δηλαδή μία απώλεια του 10% των φωρατών). Μία τέτοια περίπτωση βέβαια

θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν είναι και τόσο συνηθισμένη στην πραγματικότητα, καθώς οι απώλειες που έχουμε συνήθως είναι μικρότερες. Είναι πάντως πολύ ενδιαφέρον, αν μη τι άλλο, να εξεταστεί η επίδραση που θα έχει στα αποτελέσματα ένα τέτοιο συμβάν καθώς και το αν κινδυνεύει όλο το σύστημα με αστοχία από ένα τέτοιο συμβάν.

Επιλέχτηκε οι δοκιμές να μην γίνουν με τυχαία επιλεγμένους φωρατές (που τίθενται εκτός λειτουργίας λόγω κάποιας βλάβης) αλλά να δοκιμαστούν ορισμένες ειδικές, θα λέγαμε, περιπτώσεις, ώστε να εξεταστούν οι επιδράσεις ανάλογα με το είδος των φωρατών που κάθε φορά αστοχούν. Ο συγκεκριμένος τρόπος διερεύνησης ενδεχομένως να μην οδηγήσει σε στατιστικώς ορθά αποτελέσματα, αφού οι δοκιμές που θα πραγματοποιηθούν είναι πολύ περιορισμένες στον αριθμό, θα βοηθήσει όμως σίγουρα στο να βρεθεί η ευαισθησία του προτύπου σε ορισμένες περιπτώσεις απώλειας φωρατών. Σκοπός είναι ακριβώς η εύρεση των συνθηκών κάτω από τις οποίες το πρότυπο θα παρουσιάσει μεγάλα σφάλματα στην εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων, σε περιπτώσεις τέτοιου είδους βλαβών του δικτύου.

Πίνακας 6.1: Οι σύνδεσμοι που φέρουν φωρατές κατά τις δοκιμές αυτού του κεφαλαίου

α/α συνδέσμου	1η δοκιμή	2η δοκιμή	3η δοκιμή	4η δοκιμή	5η δοκιμή
1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2
3	4	4	4	4	4
4	5	5	5	5	5
5	6	6	6	6	6
6	7	7	7	7	7
7	15	15	15	15	15
8	16	16	16	16	16
9	17	17	17	17	17
10	22	22	22	22	22
11	23	23	23	23	23
12	24	24	24	24	24
13	25	25	25	25	25
14	34	34	34	34	34
15	36	36	36	36	36
16	45	45	48	45	45
17	48	48	62	48	48
18	57	57	63	57	57
19	60	60	118	60	60

20	62	62	136	62	118
21	63	63	137	63	136
22	118	118	138	118	137
23	136	136	142	136	138
24	137	137	145	137	139
25	138	138	156	138	144
26	139	139	160	139	145
27	142	142	161	142	156
28	144	144	163	144	160
29	145	156	165	145	161
30	156	160	166	156	163
31	160	161	167	160	165
32	161	163	168	161	166
33	163	165	173	163	167
34	165	166	174	165	168
35	166	167	177	166	173
36	167	173	178	167	177
37	168	177	179	168	178
38	173	178	182	173	179
39	174	179	210	177	182
40	182	213	213	178	213
41	210	215	215	213	215
42	213	218	218	215	218
43	215	220	220	218	220
44	218	221	221	220	221
45	220	226	226	220	226

6.1.1. Πρώτη Δοκιμή: Απώλεια 5 φωρατών που βρίσκονται κοντά στα σημεία εισόδου του δικτύου

Η πρώτη δοκιμή που πραγματοποιήθηκε αναμενόταν να έχει και ως αποτέλεσμα και τις μεγαλύτερες απώλειες αφού οι φωρατές που βρίσκονται στις εισόδους του δικτύου είναι ζωτικής, θα λέγαμε, σημασίας για το σύστημα, κάτι που αποδείχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, όπου είδαμε ότι όσους περισσότερους φωρατές τοποθετούμε κοντά στις εισόδους του δικτύου, τόσο καλύτερα αποτελέσματα θα έχουμε. Σε όσες δοκιμές έγιναν στο προηγούμενο κεφάλαιο, αυτές που περιείχαν τους φωρατές που βρίσκονται στα συγκεκριμένα σημεία μου έδωσαν συντελεστές συσχέτισης πολύ κοντά στο 99%, ενώ οι μετακινήσεις που εκτιμήθηκαν είχαν μεγάλη σχέση με αυτές που περιέχονταν στο αρχικό μητρώο προέλευσης - προορισμού. Το δίκτυο της 12ης δοκιμής του προηγούμενου κεφαλαίου μας έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα από όλες τις υπόλοιπες δοκιμές και αυτό θεωρούμε ως δεδομένο δίκτυο για αυτές τις δοκιμές. Οι

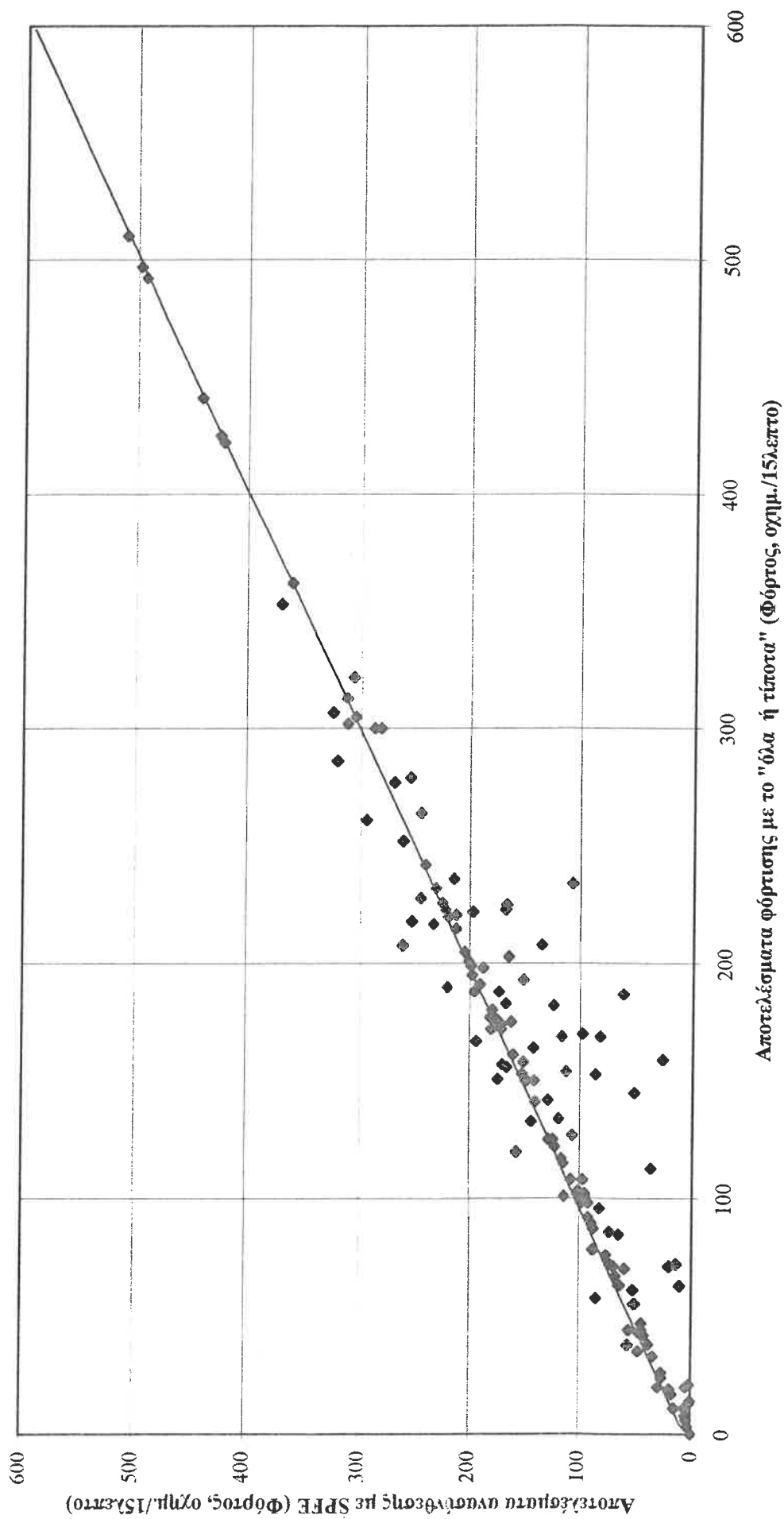
απώλειες των μετρούμενων συνδέσμων συμβαίνουν σε αυτό ακριβώς το δίκτυο φωρατών της 12ης δοκιμής του προηγούμενου κεφαλαίου. Αυτό που θα έπρεπε να παρακολουθήσουμε είναι η μεταβολή των δεικτών, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο για την αξιολόγηση των δικτύων των φωρατών. Αυτοί οι δείκτες είναι οι εξής:

- i. Η μέση απόλυτη διαφορά (MAE)
- ii. Η μέση σχετική απόλυτη διαφορά (RMAE)
- iii. Η τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου της διαφοράς (RMSE)
- iv. Η σχετική τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου της διαφοράς (RRMSE)
- v. Ο συντελεστής συσχέτισης (CORR)

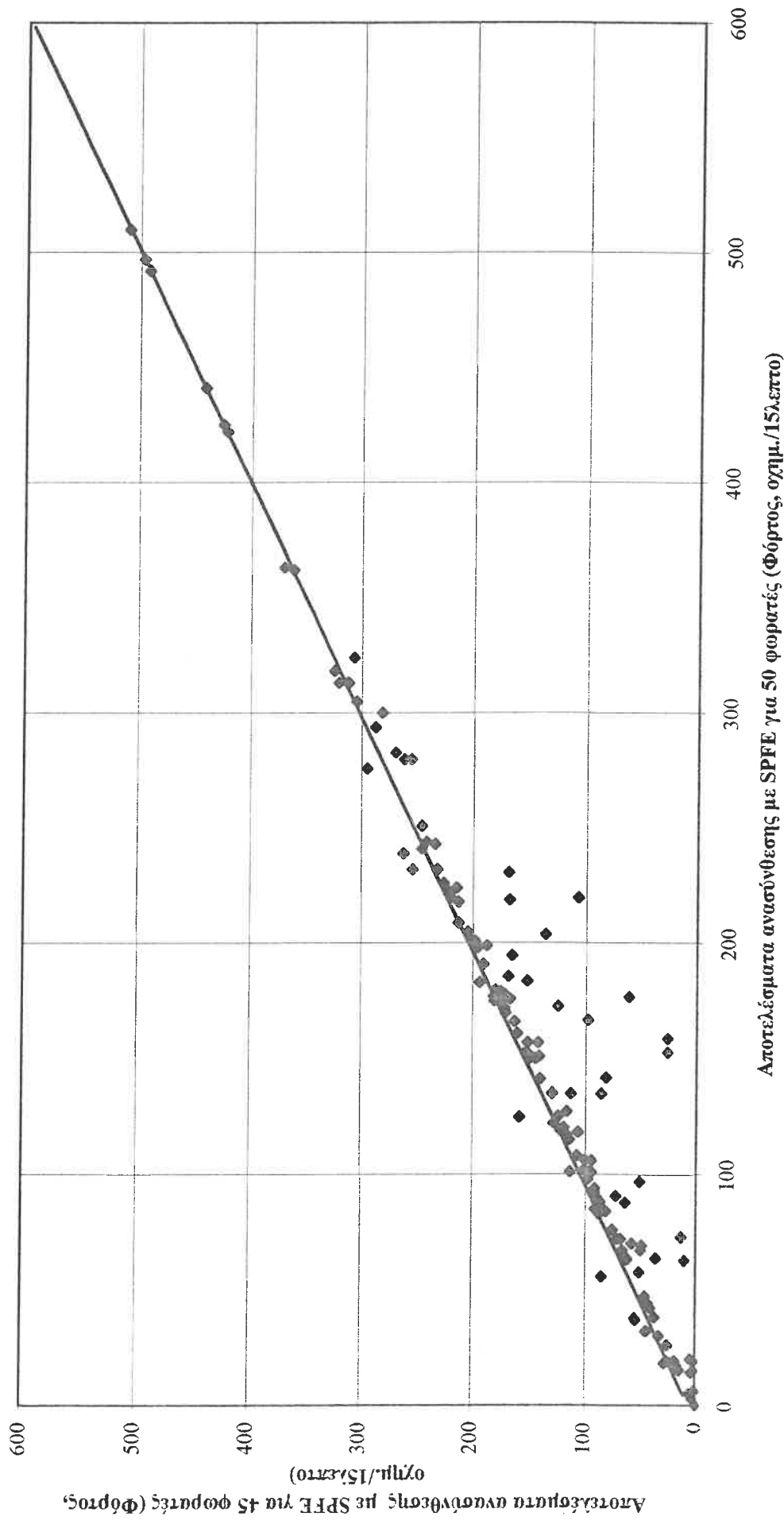
Τα αποτελέσματα αυτής της δοκιμής συγκρίθηκαν τόσο με τα αποτελέσματα της φόρτισης του δικτύου, με τις μετακινήσεις που περιέχονταν στο αρχικό μητρώο προέλευσης προορισμού, με τη μέθοδο "όλα ή τίποτα", όσο και με τα αποτελέσματα της ανασύνθεσης της ζήτησης απ'ευθείας από τις μετρήσεις των φόρτων, οι οποίες γίνονται με χρήση του "βέλτιστου" δικτύου 50 φωρατών που βρέθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Συνολικά εκτιμήθηκαν 2322 μετακινήσεις, δηλαδή εκτιμήθηκε το 91% του συνόλου των αρχικών μετακινήσεων, οι οποίες είναι 2534. Βέβαια οι σχετικά μεγάλες διαφορές που μου παρουσιάστηκαν κατά την κατανομή αυτών των μετακινήσεων στο δίκτυο μου δείχνουν ότι οι απώλειες είναι μάλλον ποιοτικές και όχι ποσοτικές. Αυτό θα φανεί ακόμα περισσότερο από τα δύο διαγράμματα διασποράς που ακολουθούν (ένα που παραθέτει τα αποτελέσματα της ανασύνθεσης της κυκλοφορίας με το δίκτυο των φωρατών που έχει υποστεί κάποια βλάβη, με τα αποτελέσματα της φόρτισης, και άλλο ένα που παραθέτει τα ίδια αποτελέσματα μαζί με τα αποτελέσματα της ανασύνθεσης για το ολόκληρο το δίκτυο των φωρατών. Από το πρώτο διάγραμμα είναι νομίζω τελικά εμφανές ότι τα αποτελέσματα "εκφυλίζονται" προς τις περιπτώσεις που αντιμετωπίστηκαν στις αρχικές δοκιμές του προηγούμενου κεφαλαίου, με μεγάλες αποκλίσεις και ειδικά στους συνδέσμους που παρουσιάζουν "πραγματικό" φόρτο από 100 οχημ./15λεπτο έως 200 οχημ./15λεπτο. Η μέση σχετική απόλυτη διαφορά είναι 0.1158 ενώ η σχετική τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου της διαφοράς

Σχήμα 6.1: Αποτελέσματα σε περίπτωση απώλειας 10% των φορατών από αυτούς που βρίσκονται κοντά στα σημεία εισόδου του δικτύου (σύγκριση με τα αποτελέσματα της φόρτισης με "όλα ή τίποτα")



Σχήμα 6.2: Αποτελέσματα απώλειας του 10% των φορατών του "βέλτιστου" δικτύου (φορατές τοποθετημένοι στις εισόδους) σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της ανασύνθεσης για όλο το δίκτυο



γίνεται 0.2383 (από 0.090 που είναι όταν η ανασύνθεση γίνεται και από τους 50 φωρατές). Συνεπώς μία μείωση του αριθμού των φωρατών κατά 10% επιφέρει μία αύξηση του σχετικού σφάλματος κατά 0.1483. Αυτό βέβαια το αποτέλεσμα οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μία απώλεια φωρατών που βρίσκονται κοντά στις εισόδους του δικτύου ενδεχομένως οδηγεί το πρότυπο SPFE σε μεγάλα σχετικά σφάλματα. Αυτό βέβαια είναι ένα συμπέρασμα το οποίο δεν μπορεί να γενικευτεί καθώς η μία δοκιμή που διεξάχθηκε, θεωρώντας ότι οι συγκεκριμένοι 5 φωρατές τίθενται εκτός λειτουργίας, αναμφίβολα δεν είναι αρκετή για να γίνει κάτι τέτοιο.

Πέρα από αυτό η μεγάλη αύξηση των δεικτών των σχετικών σφαλμάτων σε συνάρτηση με το συμπέρασμα του προηγούμενου κεφαλαίου ότι οι φωρατές που βρίσκονται κοντά στα σημεία εισόδου του δικτύου έχουν μεγάλη σημασία για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του προτύπου, δείχνει ακριβώς την ευαισθησία του προτύπου σε απώλεια φωρατών, οι οποίοι βρίσκονται σε αυτά τα σημεία του δικτύου. Αυτό βέβαια ήταν επόμενο να συμβεί καθώς στο εν λόγω δίκτυο υπάρχουν 15 σημεία εισόδου (τα οποία αντιπροσωπεύουν ισάριθμες ζώνες προελεύσεως) και 16 σημεία εξόδου (τα οποία αντίστοιχα αντιπροσωπεύουν ισάριθμες ζώνες προορισμού). Άρα από κάθε σημείο εισόδου του δικτύου διέρχονται 16 τουλάχιστον διαδρομές προς όλα τα σημεία εξόδου του δικτύου. Αν τεθεί εκτός λειτουργίας ένας φωρατής στο συγκεκριμένο σημείο εισόδου ένα μεγάλο μέρος αυτών των διαδρομών μπορεί να "χαθεί" από το πρότυπο και έτσι σε αυτές τις διαδρομές είτε να θεωρηθεί ότι δεν κατανέμεται καθόλου φόρτος, ή ότι ο φόρτος τους να είναι πολύ μικρότερος από ότι είναι στην πραγματικότητα.

6.1.2. Δεύτερη Δοκιμή: Απώλεια 5 φωρατών που βρίσκονται κοντά στα σημεία εξόδου του δικτύου

Η λογική που ακολουθήθηκε και σε αυτή τη δοκιμή δεν διαφέρει καθόλου με αυτή της προηγούμενης. Αυτή τη φορά βέβαια όλοι οι φωρατές που θεωρήθηκε ότι τίθενται εκτός λειτουργίας βρίσκονται στις εξόδους του δικτύου. Στο περασμένο κεφάλαιο είδαμε ότι με τη προσθήκη αυτών των φωρατών στο ήδη υπάρχον δίκτυο επιτύχαμε αποτελέσματα στην κατανομή στο δίκτυο με συντελεστή συσχέτισης πάνω από 99%.

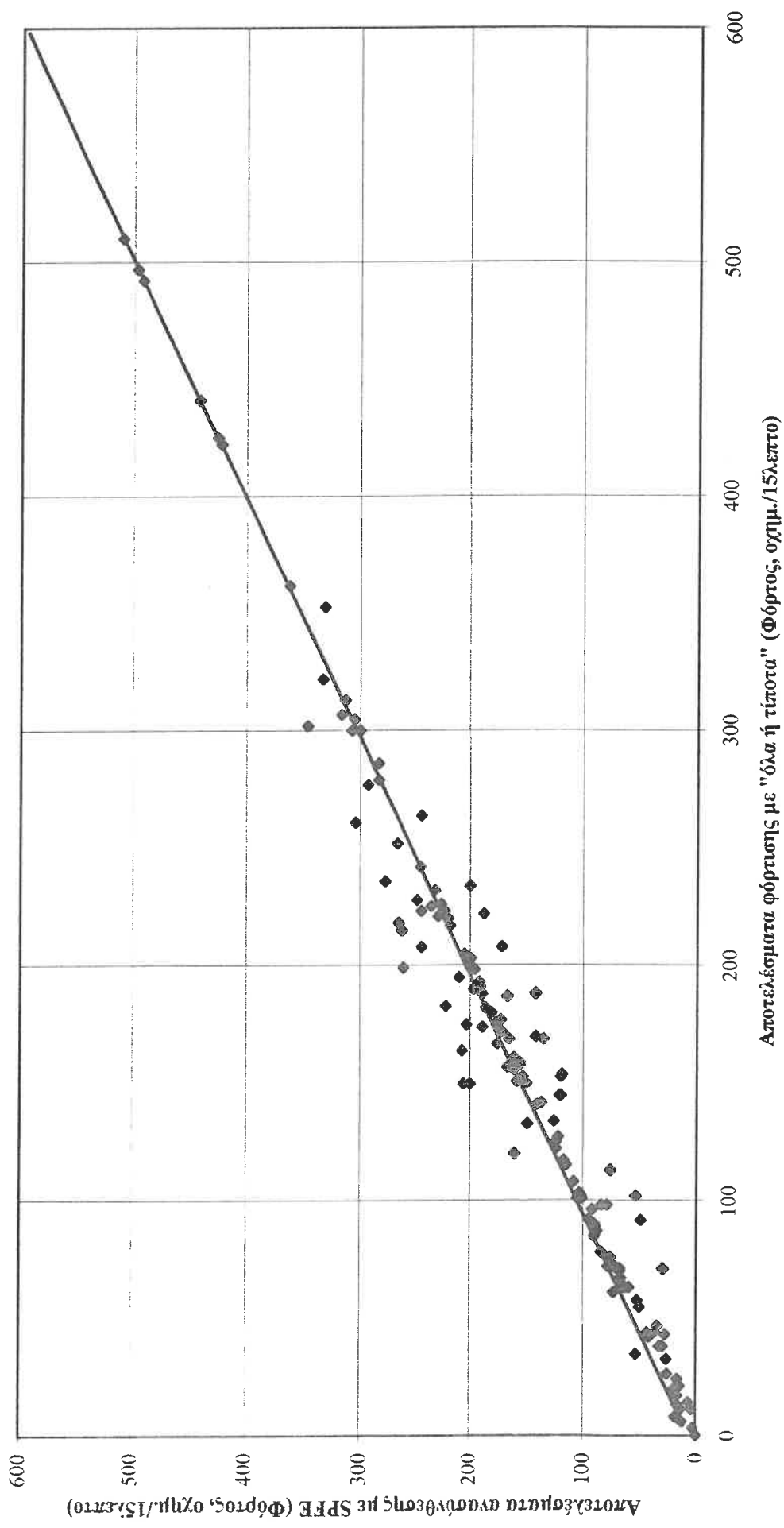
Η προσθήκη τους στο δίκτυο των φωρατών δεν ήταν τόσο κρίσιμης σημασίας, αφού το σχετικό σφάλμα γινόταν ήδη μικρό από τη στιγμή που γινόντουσαν μετρήσεις σε

συνδέσμους που βρίσκονταν κοντά στα σημεία εισόδου του δικτύου. Η σχετική τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου της διαφοράς ήταν 0.0989 στην 11η δοκιμή, η οποία είχε γίνει με χρήση ενός δικτύου φωρατών που απαρτιζόταν από 21 φωρατές τοποθετημένους στα σημεία εισόδου του δικτύου καθώς και από 29 φωρατές τοποθετημένους σε συνδέσμους οι οποίοι βρίσκονταν στην κατάταξη που είχε γίνει με κριτήριο την συχνότητα εμφάνισης τους στα δέντρα των διαδρομών ελαχίστου κόστους των ζωνών προέλευσης από τις θέσεις 30 έως 58. Με την προσθήκη 20 φωρατών που τοποθετούνται στα σημεία εξόδου του δικτύου, η σχετική τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου της διαφοράς πέφτει στο 0.9024.

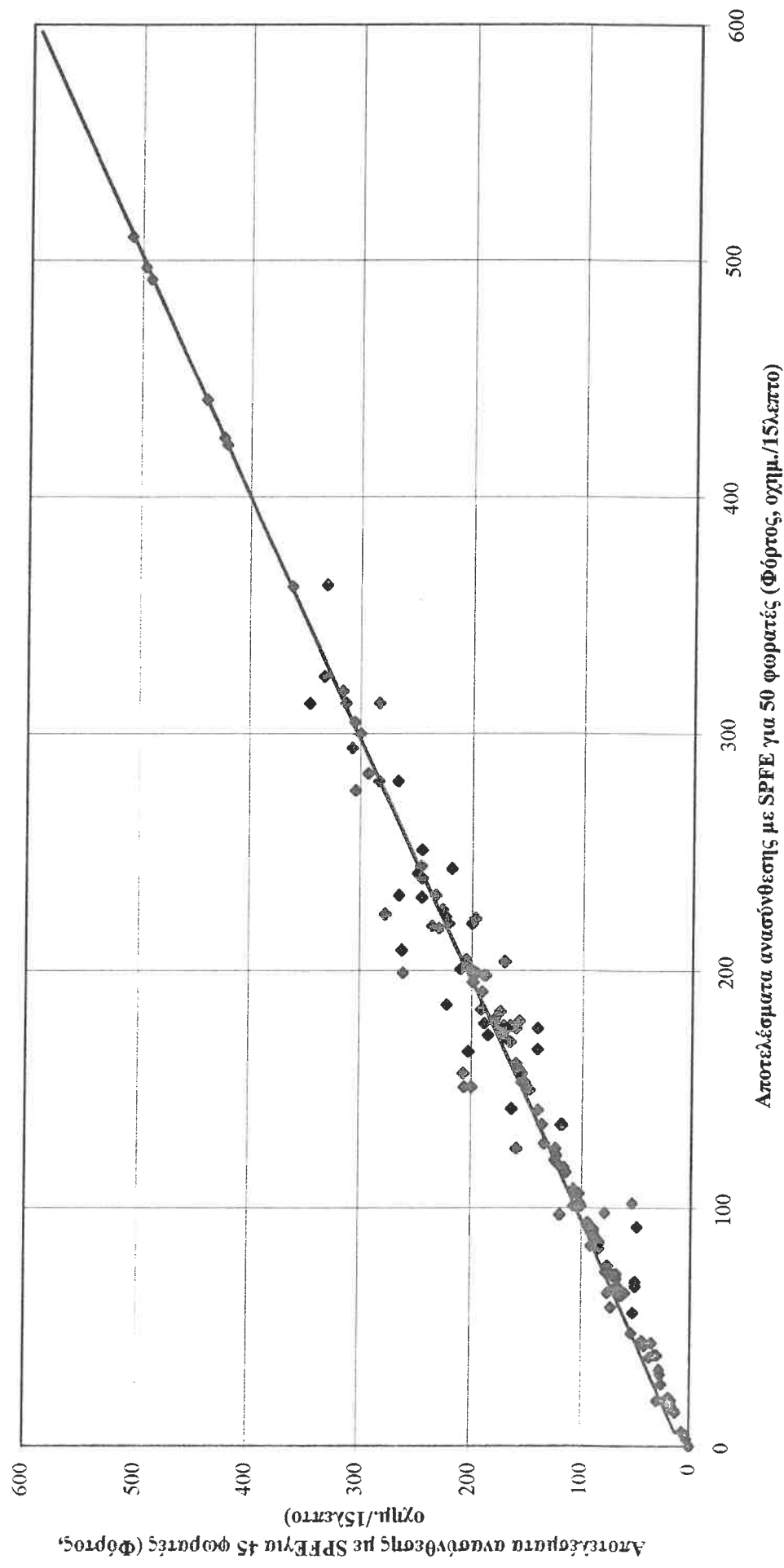
Στη συγκεκριμένη δοκιμή η απώλεια των πέντε εν λόγω φωρατών είχε ως αποτέλεσμα η μέση σχετική απόλυτη διαφορά να γίνει 0.0780 και η τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου της διαφοράς να γίνει 0.1358. Το σχετικό σφάλμα έχει αυξηθεί αλλά τα αποτελέσματα παραμένουν καλά όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα διασποράς που ακολουθούν. Το παράδοξο σε αυτή την δοκιμή είναι το ότι ο συνολικός φόρτος που εκτιμήθηκε στο δίκτυο με το πρότυπο SPFE ήταν 29864 οχημ./15λεπτο έναντι 29564 οχημ./15λεπτο που ήταν ο συνολικός φόρτος που προέκυψε κατά τη φόρτιση του δικτύου με "όλα ή τίποτα", δηλαδή ο φόρτος που εκτιμήθηκε ήταν κατά 10.02 % μεγαλύτερος από αυτόν που προέκυψε από τη φόρτιση. Οι συνολικές μετακινήσεις όμως που εκτιμήθηκαν ήταν 2484 έναντι 2534 που περιέχονταν στο αρχικό μητρώο προέλευσης – προορισμού. Είναι πρόδηλο ότι σε αυτή την περίπτωση η διαφορά είναι καθαρά ποιοτική, δηλαδή οι μετακινήσεις που εκτιμήθηκαν από το πρότυπο κατανεμήθηκαν κατά πάσα πιθανότητα λανθασμένα στα ζευγάρια προέλευσης – προορισμού και κατά συνέπεια και στις διαδρομές του δικτύου, κάτι που φαίνεται και από την αύξηση των δεικτών που εκφράζουν το σχετικό σφάλμα. Αυτό είναι βέβαια ένα άλλο μεγάλο πρόβλημα που μπορεί να παρουσιαστεί κατά την εφαρμογή του αλγορίθμου.

Αυτό που είναι ένα αναμφισβήτητο γεγονός είναι ότι τελικά η απώλεια φωρατών που βρίσκονται κοντά στα σημεία εξόδου του δικτύου μειώνει την ποιότητα των αποτελεσμάτων μας, χωρίς όμως αυτή η απώλεια να μπορεί να χαρακτηριστεί κρίσιμη για το αν το σύστημα αστοχεί ή όχι. Έτσι θεωρούμε ότι δεν χρειάζεται κάποιου είδους "μέτρο" για να αποφύγουμε ακριβώς την αστοχία όλου του συστήματος εξ'αιτίας της απώλειας ή ενδεχομένως της προβληματικής λειτουργίας ορισμένων μετρητών σε αυτά τα σημεία.

Σχήμα 6.3: Αποτελέσματα ανασύνθεσης με 10% απώλεια φωρατών από το "βέλτιστο" δίκτυο (απώλεια από τους φωρατές στις εξόδους) σύγκριση με τα αποτελέσματα της φόρτισης με "όλα ή τίποτα"



Σχήμα 6.4: Αποτελέσματα για 10% απώλεια φωρατών από το "βέλτιστο" δίκτυο (απώλεια από φωρατές που βρίσκονται κοντά στις εξόδους) Σύγκριση με την ανασύνθεση που έγινε από όλους τους φωρατές



Δεν θα μπορούσε να γίνει η ίδια υπόθεση και για την περίπτωση της απώλειας φωρατών από τα σημεία εισόδου του δικτύου βέβαια ότι ισχύει το ίδιο και για την περίπτωση του πρώτου παραδείγματος όπου φάνηκε η αστοχία του συστήματος στην υποθετική περίπτωση που έχουμε δυσλειτουργία ή ακόμα και ολοκληρωτική απώλεια ορισμένων μετρητών. Μία τέτοια περίπτωση θα πρέπει οπωσδήποτε να αντιμετωπιστεί.

6.1.3. Τρίτη Δοκιμή: Απώλεια 5 φωρατών που βρίσκονται σε συνδέσμους οι οποίοι παρουσιάζουν την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης στις διαδρομές που απαρτίζουν τα δέντρα των διαδρομών ελαχίστου κόστους των ζωνών προέλευσης

Σε αυτή τη δοκιμή ξέρουμε εκ των προτέρων ότι οι φωρατές που θεωρούμε ότι αστοχούν δεν είναι πρωτεύουσας σημασίας για τα αποτελέσματα του αλγόριθμου. Αυτό έγινε φανερό ακόμα και από τις δοκιμές του προηγούμενου κεφαλαίου, όπου η παρουσία αυτών των φωρατών λίγη σημασία είχε για την ποιότητα των αποτελεσμάτων. Είχε γίνει φανερό ότι και χωρίς την ύπαρξη τους στο δίκτυο των μετρητών τα αποτελέσματα θα παρουσίαζαν και πάλι πολύ μικρά σφάλματα, αφού στο δίκτυο που έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα αυτοί οι σύνδεσμοι είχαν πολύ μικρή συμμετοχή (ποσοστό 16% των 50 συνδέσμων που απαρτίζουν το "βέλτιστο" δίκτυο). Παρά ταύτα έπρεπε να πραγματοποιηθεί και μία δοκιμή όπου θα ίσχυαν οι παραπάνω συνθήκες.

Επιλέχτηκε λοιπόν να θεωρηθεί ότι τίθενται εκτός λειτουργίας πέντε από αυτούς τους φωρατές. Στην ουσία με αυτό τον τρόπο αφαιρείται από πολλές διαδρομές το τρίτο σημείο στο οποίο υπάρχει μετρητής, αφού έχει σχεδόν εξασφαλιστεί από τον τρόπο τοποθέτησης των μετρητών ότι κάθε διαδρομή διατρέχει τουλάχιστον δύο συνδέσμους, όπου υπάρχουν μετρητές. Όπως και στις προηγούμενες δοκιμές, έτσι και εδώ παρατίθενται τα διαγράμματα διασποράς των αποτελεσμάτων της ανασύνθεσης της ζήτησης με την εφαρμογή το πρότυπο SPFE, τα οποία αντιπαραθέτουμε με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της φόρτισης με τη μέθοδο "όλα ή τίποτα", καθώς και τα αποτελέσματα της ανασύνθεσης με ολόκληρο το δίκτυο των "βέλτιστων" φωρατών.

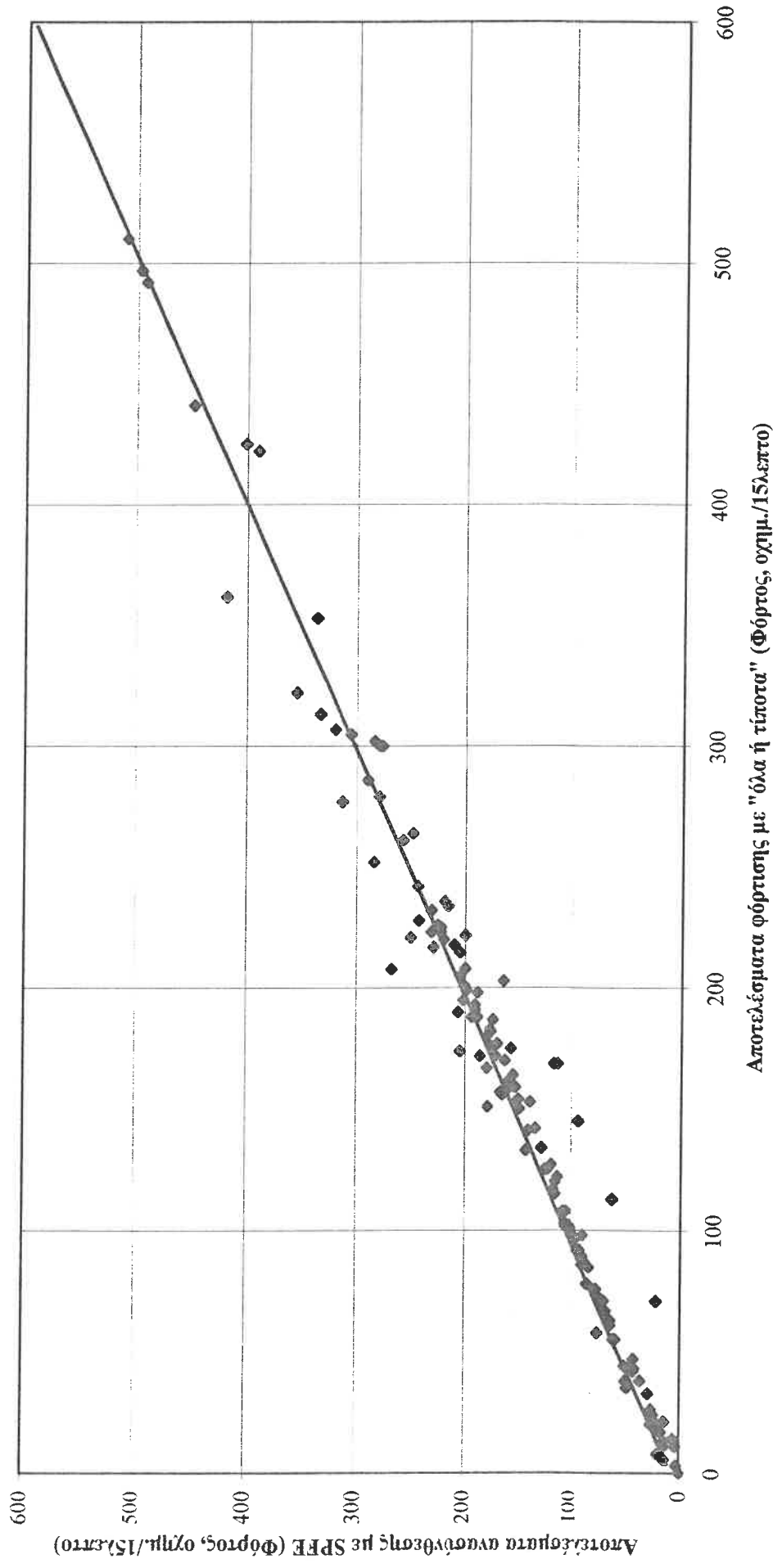
Είναι πιστεύουμε εμφανές κυρίως από τα δύο διαγράμματα διασποράς που παραθέτουμε ότι το γεγονός της απώλειας αυτών των φωρατών έχει μικρή επίδραση στα αποτελέσματα μας. Η σχετική τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου της διαφοράς βρέθηκε 0.1151 ενώ ο συντελεστής συσχέτισης των δειγμάτων των αποτελεσμάτων της φόρτισης και αυτών της ανασύνθεσης ήταν 0.9902. Επίσης η μέση σχετική απόλυτη διαφορά βρέθηκε 0.0636.

Αυτό που είναι θετικό για την αξιοπιστία του προτύπου και που φαίνεται από τα διαγράμματα διασποράς είναι το γεγονός ότι παρά το ότι οι σύνδεσμοι που παρουσιάζουν μεγάλους φόρτους δεν μετρώνται σε αυτή τη περίπτωση, η εκτίμηση τους δεν έχει πέσει πολύ έξω. Στην δυσμενέστερη περίπτωση σε ένα σύνδεσμο, ο οποίος έχει "πραγματικό" φόρτο 362 οχημ./15λεπτο, το πρότυπο έδωσε αποτέλεσμα μία τιμή του φόρτου ίση με 418 οχημ./15λεπτο (υπερεκτίμησε τον φόρτο του συνδέσμου κατά 15.47%). Βέβαια θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι μεγαλύτερες αποκλίσεις παρουσιάζονται σε αυτή ακριβώς την περιοχή των υψηλών τιμών φόρτων αλλά πρόκειται για αποκλίσεις σχετικά μικρές. Το γεγονός αυτό βέβαια θα πρέπει να μας προκαλέσει κάποια ανησυχία η οποία οφείλεται στο ότι σε μία πρακτική εφαρμογή, στην οποία ο στόχος θα είναι η πληροφόρηση των χρηστών σε πραγματικό χρόνο με ορισμένα από τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του προτύπου να είναι συστατικό των μηνυμάτων, ο κύριος στόχος είναι η πληροφόρηση των χρηστών, οι οποίοι κινούνται ακριβώς σε αυτούς τους συνδέσμους που παρουσιάζουν μεγάλους φόρτους. Είναι ιδιαίτερα σημαντική η όσο το δυνατόν ακριβέστερη εκτίμηση των φόρτων αυτών των συνδέσμων. Έτσι ακόμα και αυτές οι μικρές σχετικά αποκλίσεις προκαλούν ερωτηματικά για την αξιοπιστία του προτύπου στην περίπτωση αυτή. Βέβαια ακόμα και για την δυσμενέστερη περίπτωση που παρουσιάστηκε, δηλαδή αυτού του συνδέσμου στον οποίο η σχετική απόλυτη διαφορά βρέθηκε να είναι 15.47% , μία τέτοια απόκλιση δεν αλλάζει την εικόνα του δικτύου. Για αυτό το λόγο θα μπορούσε να γίνει η εκτίμηση ότι το πρότυπο παραμένει αξιόπιστο ακόμα και σε τέτοιες περιπτώσεις απώλειας 5 φωρατών από αυτούς που συγκεντρώνουν τον μεγαλύτερο φόρτο.

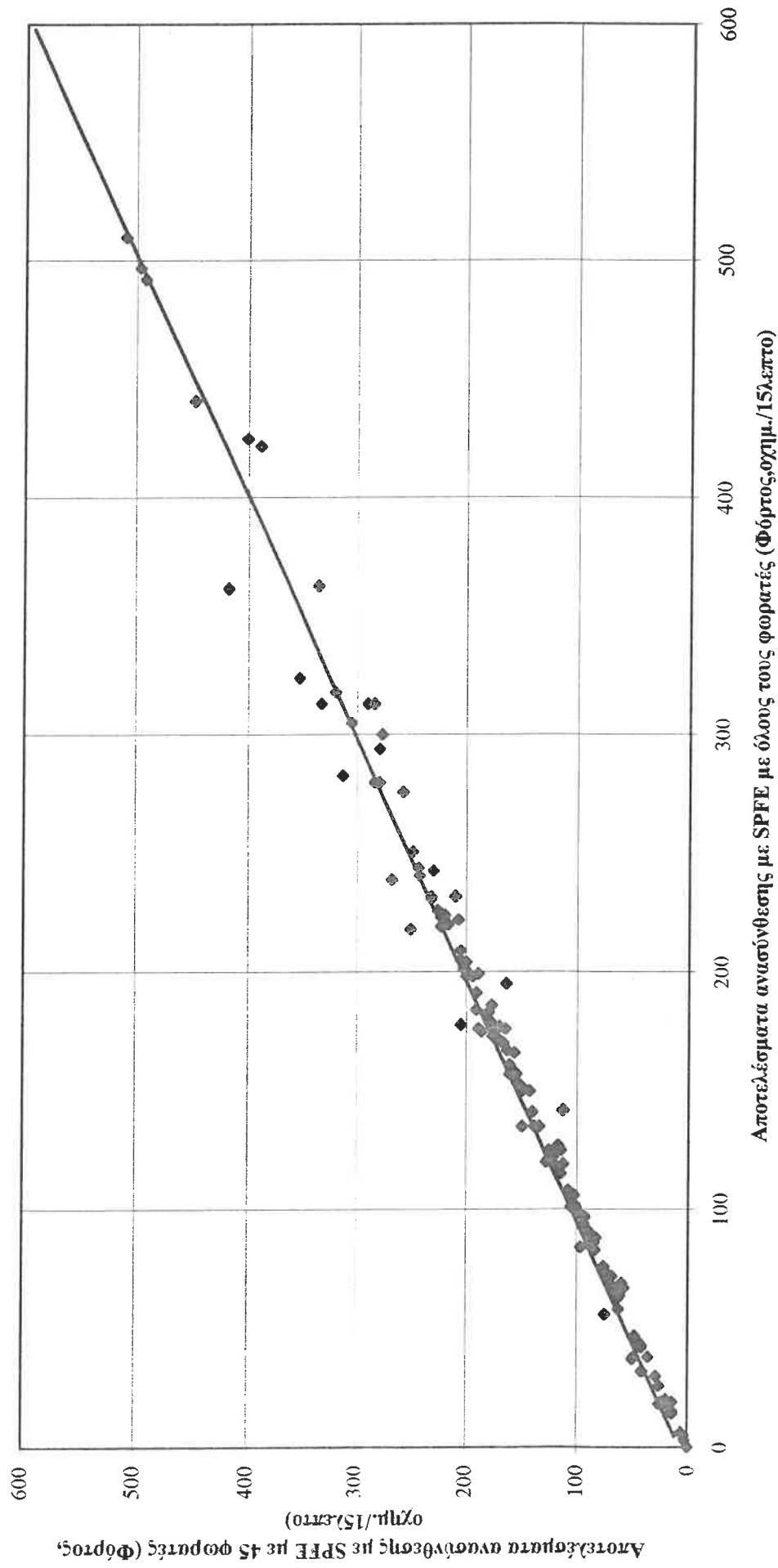
Συνολικά εκτιμήθηκαν 2461 μετακινήσεις κατά την ανασύνθεση με το πρότυπο SPFE από τους 45 φωρατές, οι οποίες βέβαια απέχουν πολύ λίγο από τις 2474 που εκτιμήθηκαν με όλους τους φωρατές.

Η αρχική μας εκτίμηση, η οποία ίσως έγινε κάπως βιαστικά, ότι τελικά η περίπτωση βλάβης σε φωρατές που βρίσκονται στους συνδέσμους που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης στις διαδρομές ελαχίστου κόστους του δικτύου και οι οποίοι παρουσιάζουν, κατά κανόνα, τον μεγαλύτερο φόρτο, δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη αντιμετώπιση αλλά στην ουσία μπορεί να καλυφτεί ικανοποιητικά από τον ίδιο τον αλγόριθμο κατανομής στο δίκτυο (υπό την προϋπόθεση βέβαια ότι οι υπόλοιποι φωρατές του δικτύου λειτουργούν κανονικά, χωρίς κάποιο πρόβλημα), τελικά είναι σωστή αφού οι απώλειες, ακόμα και μετά από πιο προσεκτική ματιά, είναι πολύ μικρές και δεν επηρεάζουν τις αποφάσεις για τη διαχείριση του δικτύου.

Σχήμα 6.5: Αποτελέσματα για 10% απώλειες φωρατών από το βέλτιστο δίκτυο (απώλειες φωρατών που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης στις διαδρομές του δικτύου) σύγκριση με τη φόρτιση με "όλα ή τίποτα"



Σχήμα 6.6: Σύγκριση αποτελεσμάτων ανασύνθεσης με 10% απώλεια φωρατών (απώλειες φωρατών που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης στις διαδρομές του δικτύου) με αυτά που προέκυψαν από την ανασύνθεση με όλους τους φωρατές



6.1.4. Τέταρτη Δοκιμή: Απώλεια 3 φωρατών από αυτούς που βρίσκονται κοντά στις εισόδους του δικτύου, καθώς και άλλων 2 από αυτούς που βρίσκονται στις εξόδους

Στη συνέχεια και ενώ εξετάστηκαν όλες οι "αμιγείς" περιπτώσεις απώλειας φωρατών (κρατώντας πάντα ως σταθερό παράγοντα τον αριθμό των φωρατών που αστοχούν κάθε φορά), έπρεπε να εξεταστούν και ορισμένες περιπτώσεις όπου χάνονται φωρατές από διαφορετικές κατηγορίες. Είναι βέβαια γεγονός ότι δεν εξαντλήθηκαν όλες οι περιπτώσεις (όλους τους συνδυασμούς φωρατών), ως ίσως όφειλε να γίνει και αυτό ήταν μία συνειδητή επιλογή για τους λόγους που αναφέραμε στην αρχή του κεφαλαίου. Το ζήτημα που τέθηκε εδώ έτσι και αλλιώς δεν ήταν μία στατιστική ανάλυση των συνεπειών της απώλειας ορισμένων μετρητών, αλλά εύρεση των περισσότερο ευαίσθητων σημείων, αυτών που θα οδηγούσαν ενδεχομένως σε αστοχία ολόκληρου του συστήματος.

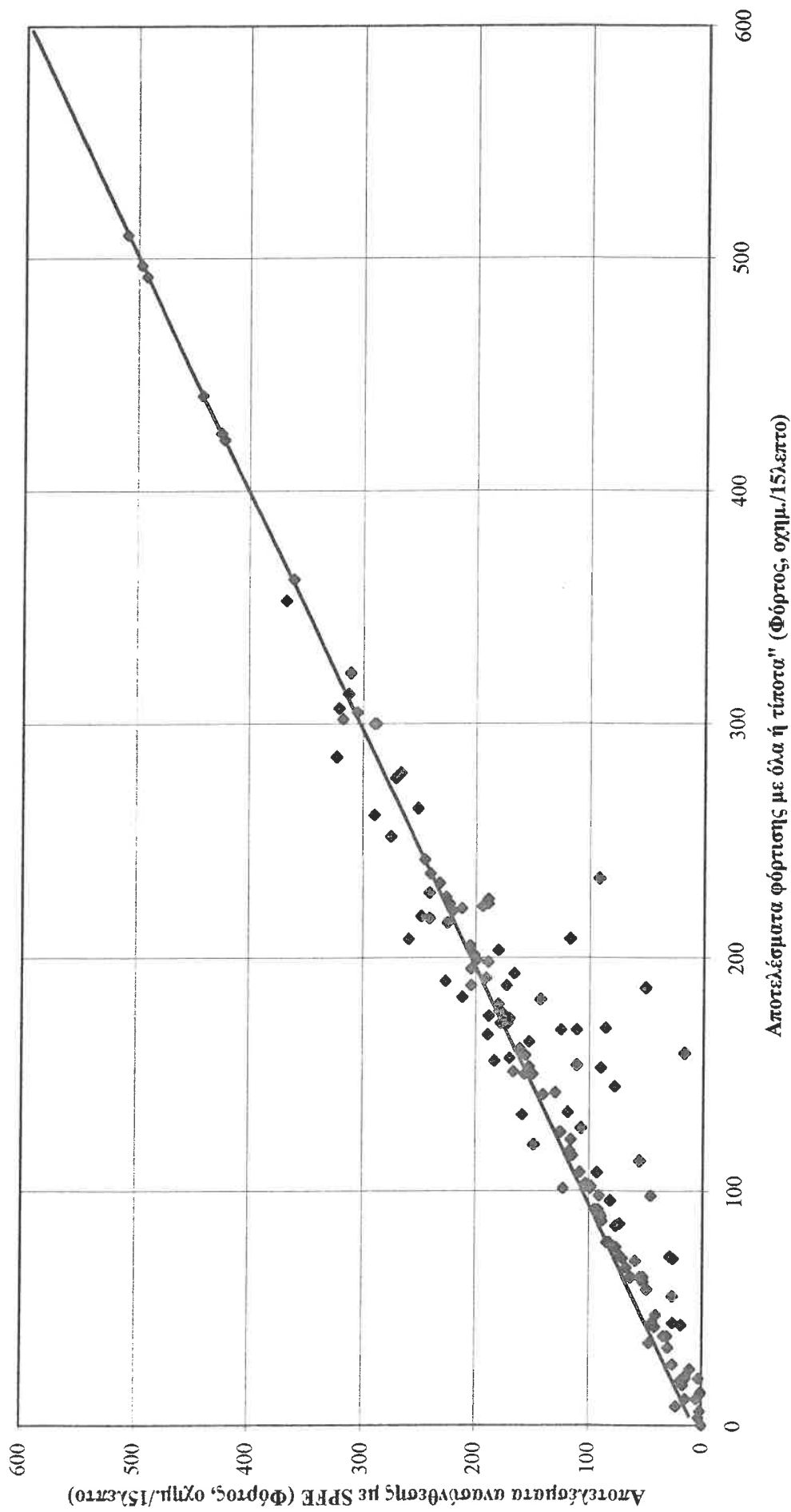
Σε αυτά τα πλαίσια λοιπόν έγινε και αυτή η δοκιμή, για την οποία αναμενόταν να προκύψουν σχετικά μεγάλες αποκλίσεις από την ανασύνθεση που έγινε με ολόκληρο το "βέλτιστο" δίκτυο των φωρατών, ως συνέπεια του γεγονότος ότι και εδώ παρουσιάζεται το φαινόμενο της απώλειας φωρατών που βρίσκονται κοντά στις εισόδους. Στην ουσία λοιπόν αυτή η δοκιμή έχει τις προϋποθέσεις για να δώσει μεγάλες αποκλίσεις.

Εκτιμήθηκαν συνολικά 2340 μετακινήσεις (έναντι 2534 που υπάρχουν στο αρχικό μητρώο προέλευσης προορισμού και 2474 που προέκυψαν από την ανασύνθεση και με τους 50 φωρατές). Δηλαδή εκτιμήθηκε το 92% των αρχικών μετακινήσεων και εκτός αυτού έχουμε έναν σχετικά χαμηλό συντελεστή συσχέτισης, 0.9532. Εδώ παρουσιάζεται για άλλη μία φορά περίπτωση όπου το πρότυπο δεν ανασυνθέτει το αρχικό μητρώο προέλευσης – προορισμού, τόσο όσον αφορά στις συνολικές μετακινήσεις, όσο και την κατανομή αυτών στις διαδρομές του δικτύου. Η τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου της διαφοράς βρέθηκε 0.2670. Το σχετικό σφάλμα δηλαδή γίνεται μεγάλο και οι μεγάλες αποκλίσεις παρουσιάζονται και πάλι σε μία περιοχή στην οποία βρίσκονται οι σύνδεσμοι που παρουσιάζουν "πραγματικό" φόρτο από 150 οχημ./15λεπτο έως 250 οχημ./15λεπτο.

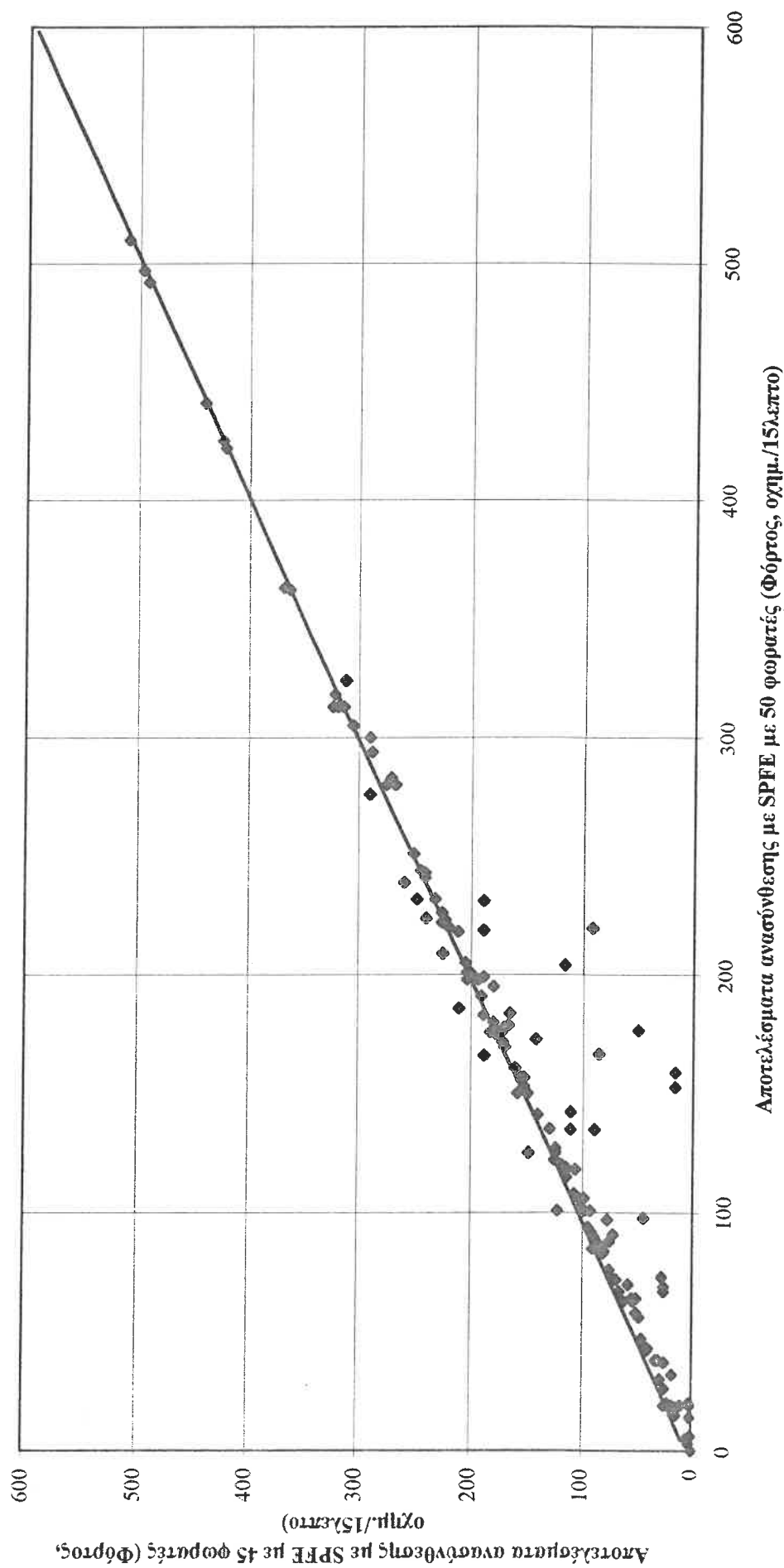
Τα συμπεράσματα μας βέβαια από αυτή τη δοκιμή δεν πλουτίστηκαν, απλώς μάλλον επιβεβαιώθηκαν. Απλά φάνηκε για μία ακόμη φορά πόσο σημαντικοί για την καλή

λειτουργία του συστήματος είναι οι φωρατές που τοποθετούνται στις εισόδους του δικτύου. Οι μεγάλες αστοχίες που παρατηρούνται κυρίως στις «μεσαίες» περιοχές των διαγραμμάτων διασποράς (για παράδειγμα σε κάποιον σύνδεσμο η φόρτιση μας είχε δώσει φόρτο 220 οχημ./15λεπτο ενώ η ανασύνθεση μας έδωσε μόνο 83 οχημ./15λεπτο, με το σχετικό σφάλμα να είναι 62,22%) θα πρέπει μάλλον να μας ανησυχήσουν για το κατά πόσο μπορούμε να δεχθούμε την λειτουργία του αλγόριθμου με αυτές τις συνθήκες.

Σχήμα 6.7: Σύγκριση αποτελεσμάτων ανασύνθεσης με 10% απώλεια φωρατών (3 φωρατών που βρίσκονται στις εισόδους και 2 από αυτούς που βρίσκονται στις εξόδους) με αυτά που προέκυψαν από τη φόρτιση



Σχήμα 6.8: Σύγκριση αποτελεσμάτων ανασύνθεσης με 10% απώλεια φωρατών (3 φωρατών που βρίσκονται στις εισόδους και 2 από αυτούς που βρίσκονται στις εξόδους) με αυτά που προέκυψαν από την ανασύνθεση με όλους τους φωρατές



6.1.5. Πέμπτη Δοκιμή: Απώλεια 3 φωρατών που βρίσκονται στις εξόδους του δικτύου, καθώς και 2 φωρατών που βρίσκονται στους συνδέσμους με την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης στις διαδρομές των χρηστών του δικτύου.

Η τελευταία από τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν ήταν και πάλι μία, υποθετική φυσικά, περίπτωση κατά την οποία τίθενται εκτός λειτουργίας μετρητές που ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες, όπως τουλάχιστον ορίσαμε τον όρο "κατηγορία" παραπάνω στο ίδιο κεφάλαιο. Δηλαδή θεωρήθηκαν τρεις ομάδες φωρατών οι οποίοι απαρτίζουν το "βέλτιστο" δίκτυο φωρατών:

- i. Οι φωρατές που βρίσκονται τοποθετημένοι κοντά στα σημεία εισόδου του δικτύου.
- ii. Αυτοί που βρίσκονται τοποθετημένοι σε συνδέσμους που βρίσκονται κοντά στα σημεία εξόδου του δικτύου.
- iii. Οι φωρατές, οι οποίοι βρίσκονται τοποθετημένοι σε συνδέσμους που παρουσιάζουν μεγάλη συχνότητα εμφάνισης στις διαδρομές που απαρτίζουν τα δέντρα των διαδρομών ελαχίστου κόστους και οι οποίοι παρουσιάζουν κατά κανόνα και τον μεγαλύτερο φόρτο.

Αυτό που αναμενόταν ήταν να προκύψουν αποτελέσματα σχετικά ίδια με αυτά που προέκυψαν από την ανασύνθεση με το σύνολο των φωρατών του "βέλτιστου" δικτύου φωρατών, αφού κάτι αντίθετο θα αποτελούσε κάποιου είδους ασυμφωνία με όλα όσα συναντήσαμε και σε αυτό αλλά και στο προηγούμενο ακριβώς κεφάλαιο και σίγουρα θα προκαλούσε αμφιβολίες για όποιο συμπέρασμα προέκυψε από ολόκληρο αυτό το κεφάλαιο.

Η αλήθεια είναι ότι η δοκιμή αυτή έδωσε καλύτερα αποτελέσματα ακόμα και από αυτά που έδωσε το "βέλτιστο" δίκτυο φωρατών.

Στη δοκιμή αυτή το πρότυπο SPFE, ο οποίος ανασυνθέτει την κυκλοφορία κατ'ευθείαν από τους φόρτους, εκτίμησε συνολικά 2501 μετακινήσεις, έναντι 2534 μετακινήσεων που είχαμε στο μητρώο προέλευσης – προορισμού, το οποίο χρησιμοποιήσαμε για να φορτίσουμε το δίκτυο με τη μέθοδο "όλα ή τίποτα", και έναντι 2474 μετακινήσεων που εκτιμήθηκαν με την ανασύνθεση με όλους τους φωρατές. Όπως φαίνεται και από τον πίνακα του παραρτήματος, ο συνολικός φόρτος που προέκυψε από την κατανομή των παραπάνω μετακινήσεων στο δίκτυο ήταν 29613 οχημ./15λεπτο,

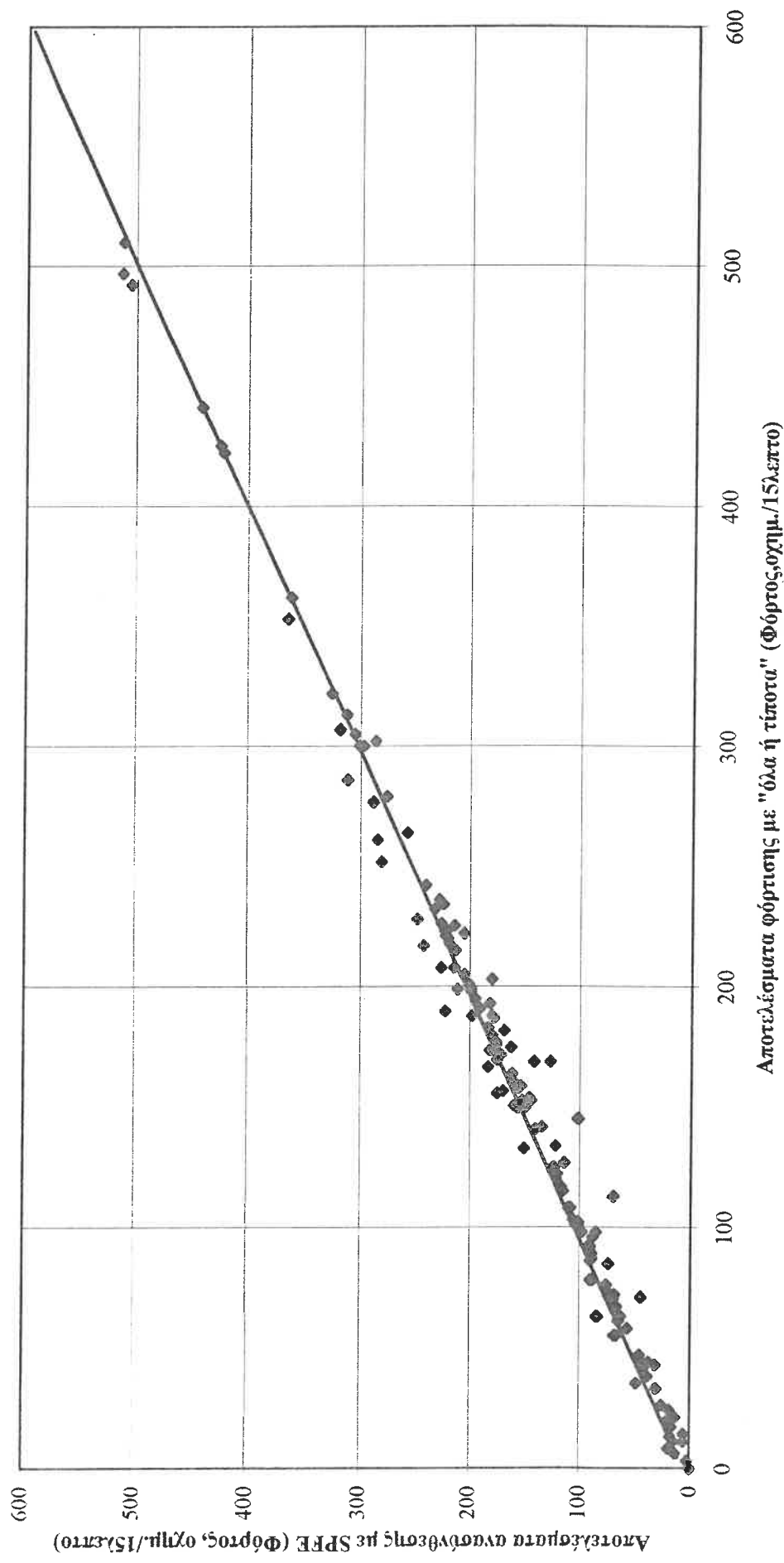
δηλαδή λίγο περισσότερες από αυτές που προέκυψαν με τη φόρτιση, οι οποίες είναι ίσες με 29564 οχημ./15λεπτο. Σε σχέση ακριβώς με τη φόρτιση, τα αποτελέσματα αυτής της δοκιμής ήταν περίπου τα ίδια που είχαμε και με το “βέλτιστο” δίκτυο φωρατών. Ο συντελεστής συσχέτισης των δύο δειγμάτων βρέθηκε 0.9951 και δείχνει ακριβώς την πολύ καλή ποιότητα των αποτελεσμάτων που είχαμε σε αυτή τη δοκιμή. Η μέση σχετική απόλυτη διαφορά ήταν 0.0480 ενώ η τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου της διαφοράς ήταν 0.0811 (έναντι 0.0910 που ήταν ο αντίστοιχος συντελεστής για το “βέλτιστο” δίκτυο). Τα αποτελέσματα σε αυτή τη δοκιμή είναι σαφώς ανώτερα από αυτά που προέκυψαν με όλο το δίκτυο σε λειτουργία. Αυτό δείχνει δύο πράγματα:

Πρώτον, ότι πράγματι οι φωρατές που τοποθετούνται σε συνδέσμους, οι οποίοι βρίσκονται πολύ κοντά στα σημεία εξόδου του δικτύου ή βρίσκονται σε σχετικά κεντρικά σημεία του δικτύου, δεν είναι ζωτικής σημασίας για την αξιοπιστία της λειτουργίας του προτύπου, αφού μία ενδεχόμενη βλάβη τους (η οποία βέβαια δεν συμβαίνει σε μεγάλη έκταση) δεν αυξάνει πολύ το σχετικό σφάλμα της εκτίμησης των πραγματικών φόρτων του δικτύου.

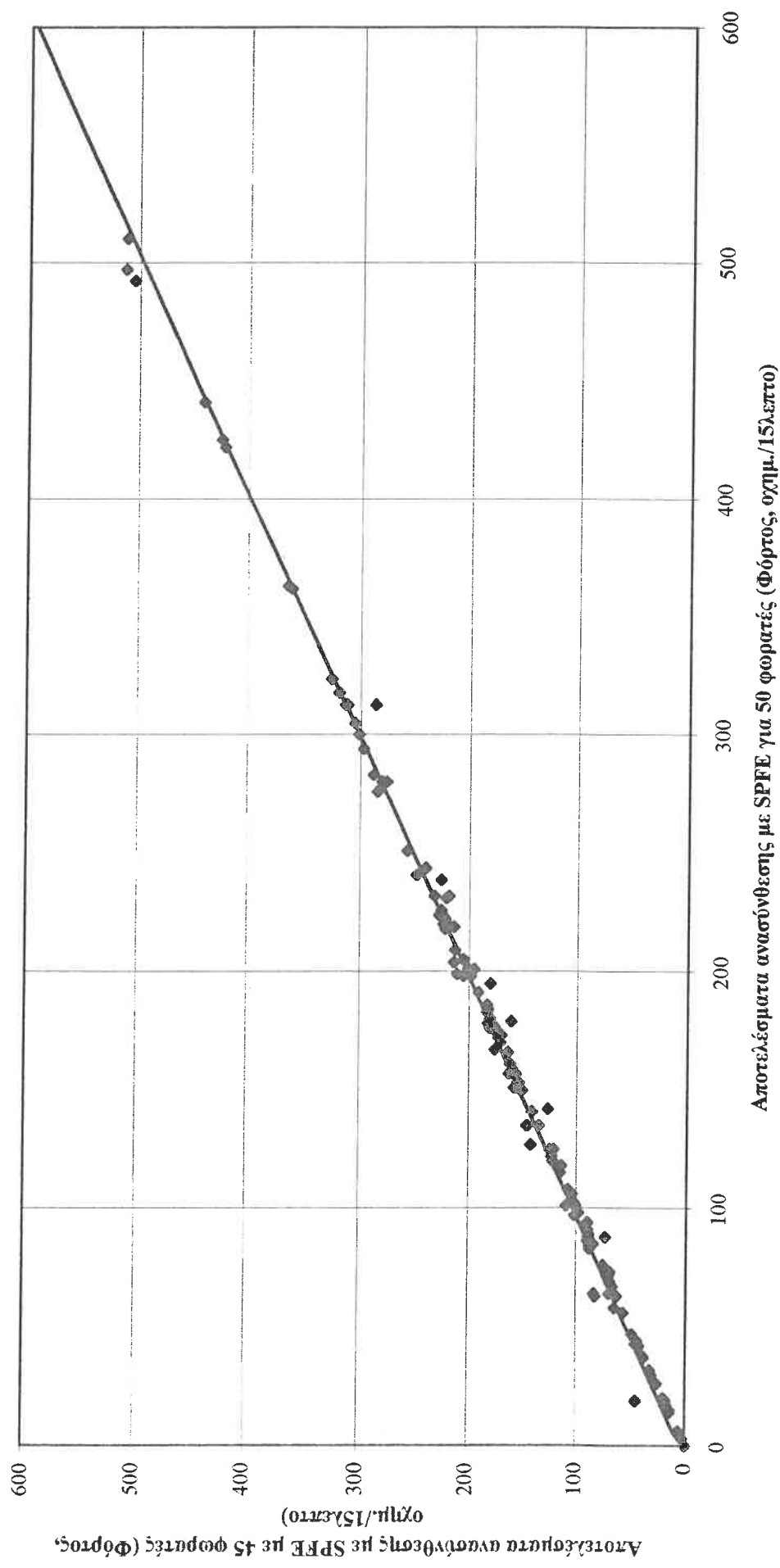
Δεύτερον ότι το δίκτυο των 50 φωρατών που βρέθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο δεν είναι απαραίτητα και το βέλτιστο, αφού υπάρχει και ο παράγοντας του αριθμού των φωρατών, ο οποίος στο προηγούμενο κεφάλαιο έμεινε ηθελημένα σταθερός, έτσι ώστε να εκτιμηθεί η ευαισθησία του προτύπου μόνο στην αλλαγή θέσης των φωρατών στο δίκτυο.

Στον πίνακα 2 αυτού του κεφαλαίου δίνονται όλα τα μεγέθη, σχετικά και απόλυτα, που αποτελούν τους δείκτες που εκφράζουν το σχετικό σφάλμα

Σχήμα 6.9: Σύγκριση αποτελεσμάτων ανασύνθεσης με 10% απώλεια φορατών (3 φορατών που βρίσκονται στις εξόδους και δύο από αυτούς που βρίσκονται στους συνδέσμους με τον μεγαλύτερο φόρτο) με αυτά που προέκυψαν από τη φόρτιση



Σχήμα 6.10: Σύγκριση αποτελεσμάτων ανασύνθεσης με 10% απώλεια φορατών (3 φορατών που βρίσκονται στις εξόδους και δύο που βρίσκονται στους συνδέσμους με τον μεγαλύτερο φόρτο) με αυτά που προέκυψαν από την ανασύνθεση με όλους τους φορατές



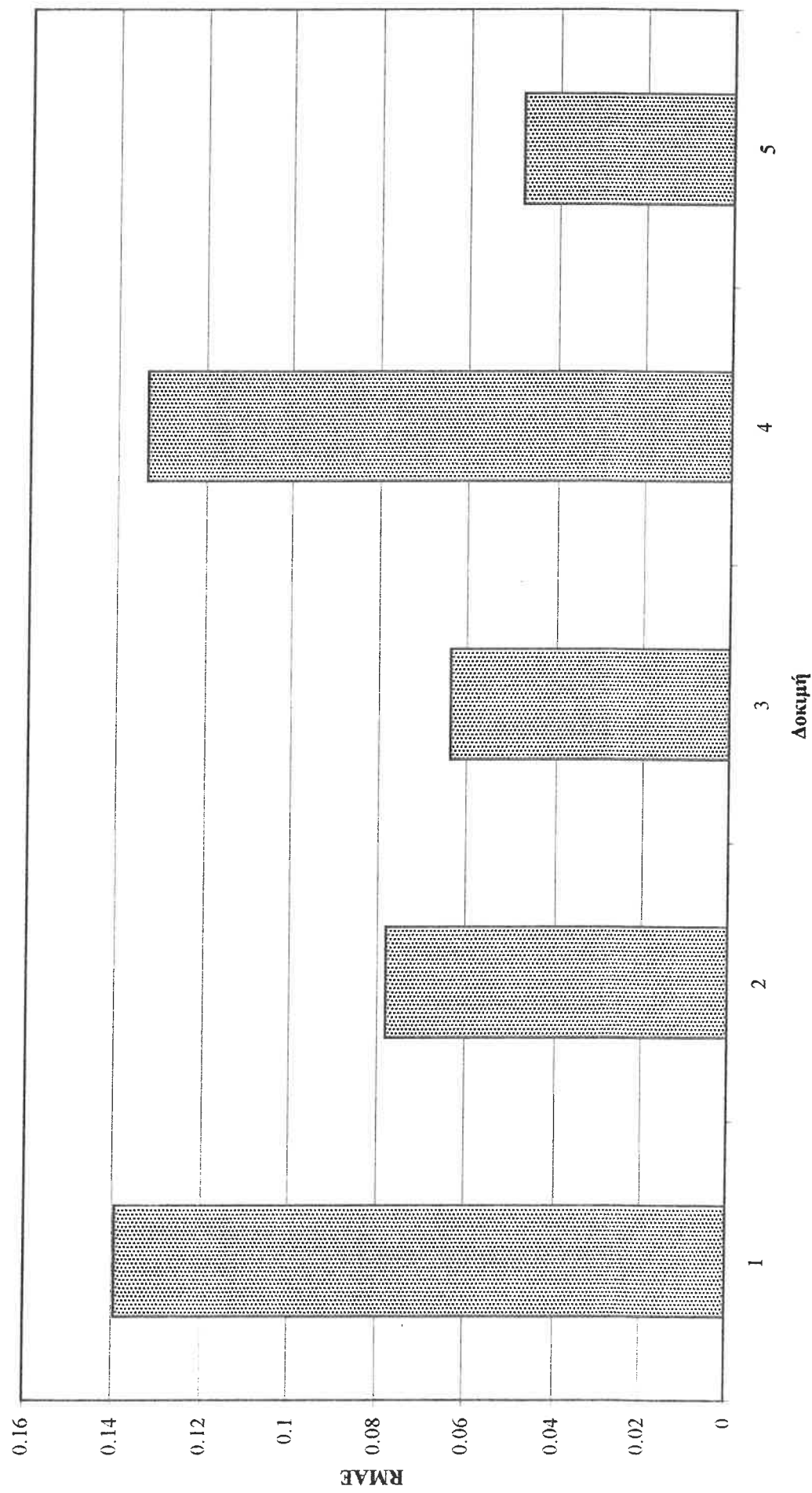
Πίνακας 6.2: Σύγκριση όλων των περιπτώσεων αναφορικά με τους απόλυτους και σχετικούς δείκτες που εκφράζουν το σφάλμα

	1η Δοκιμή	2η Δοκιμή	3η Δοκιμή	4η Δοκιμή	5η Δοκιμή
mae	18.24336	10.20354	8.323009	17.4469	6.287611
rmae	0.13946	0.078	0.063625	0.133372	0.048065
rmse	35.13608	17.76469	15.0558	34.92704	10.61036
rrmse	0.268595	0.135801	0.115093	0.266997	0.08111
corr	0.952991	0.987013	0.990168	0.953224	0.995148

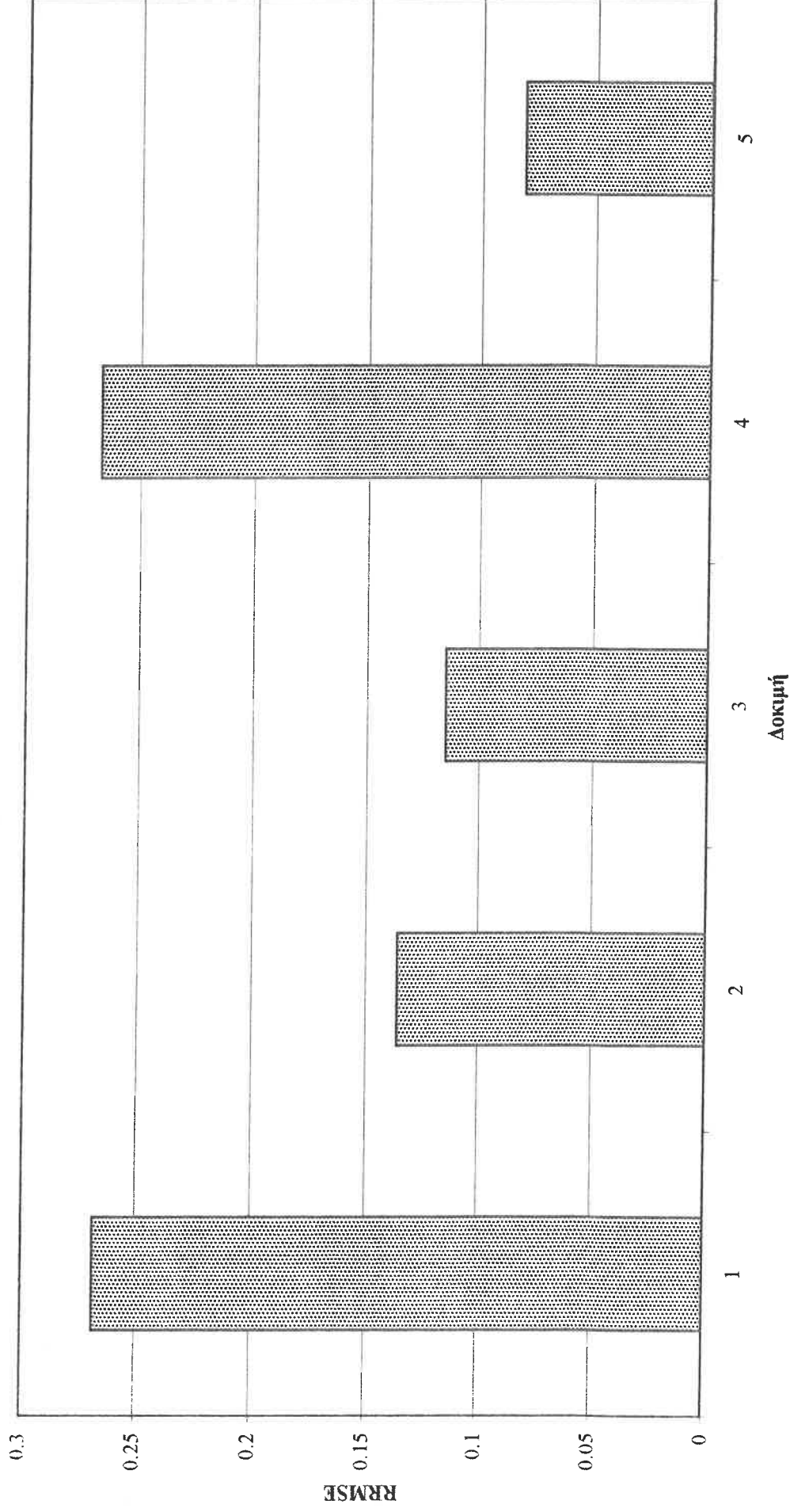
Οι δοκιμές στις οποίες τίθενται εκτός λειτουργίας κάποιοι από τους φωρατές που βρίσκονται τοποθετημένοι σε συνδέσμους, οι οποίοι βρίσκονται κοντά στα σημεία εισόδου του δικτύου, είναι αυτές που παρουσιάζουν τα (ασύγκριτα) μεγαλύτερα σφάλματα από όλες τις υπόλοιπες δοκιμές, όπως φαίνεται και από τα ιστογράμματα των σχετικών δεικτών.

Εφ'όσον οι διαφορές είναι τόσο μεγάλες ανάμεσα στις δοκιμές μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι οι φωρατές που ενδεχόμενη απώλεια τους θα βλάψει την αξιοπιστία του προτύπου καίρια, είναι αυτοί ακριβώς που βρίσκονται κοντά στα σημεία εισόδου, λόγω του ότι η απώλεια των εν λόγω φωρατών έχει ως αποτέλεσμα να χάνονται "δέσμες" από διαδρομές στις οποίες ο φόρτος ή μηδενίζεται ή γενικώς υποεκτιμάται. Έτσι θα πρέπει να γίνει κάποια προσπάθεια αντιμετώπισης αυτού του ενδεχομένου.

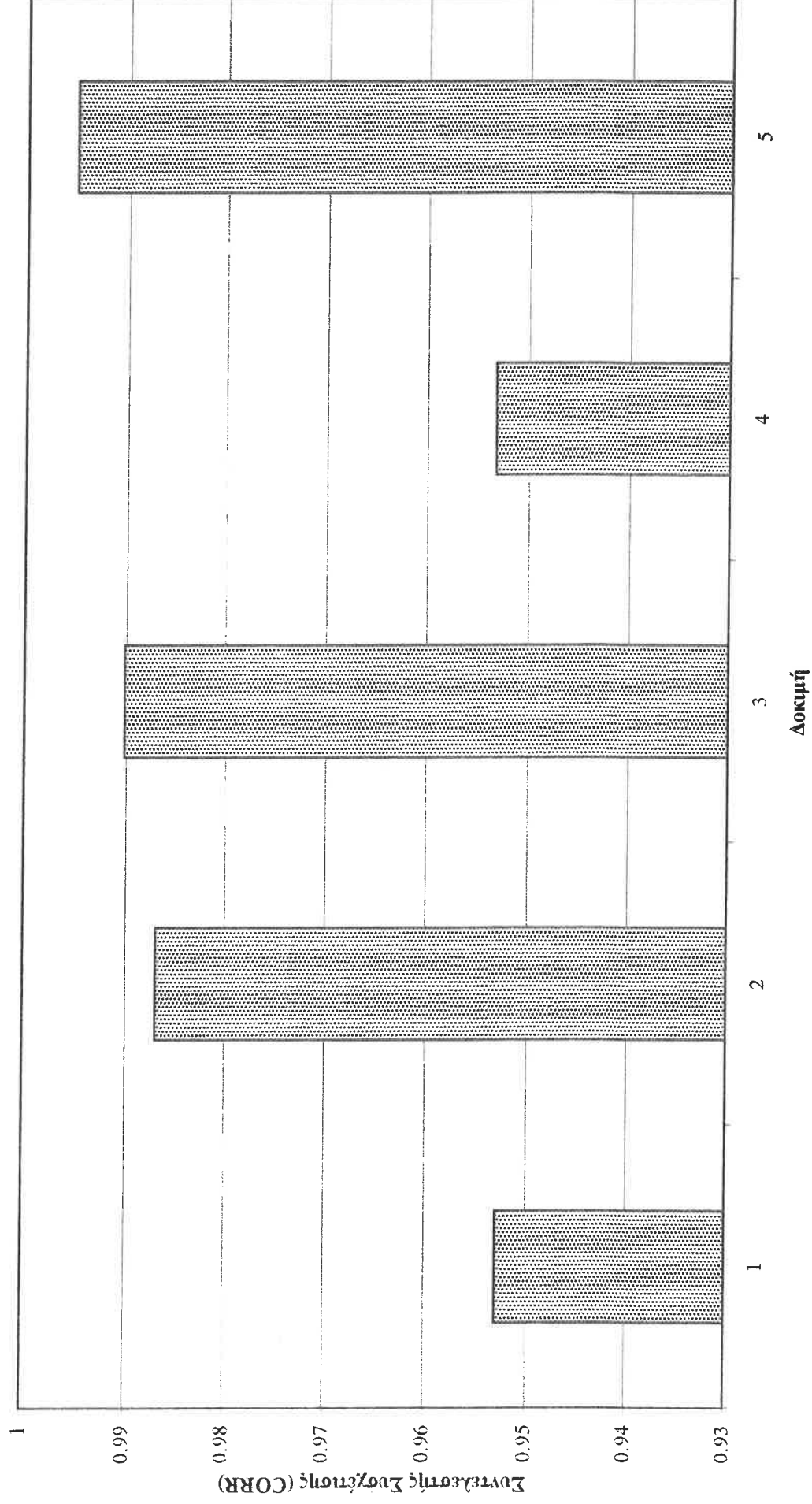
Σχήμα 6.11: Ιστόγραμμα της μέσης σχετικής απόλυτης διαφοράς (RMAE) για όλες τις δοκιμές



Σχήμα 6.12: Ιστόγραμμα της σχετικής τετραγωνικής ρίζας της μέσης τιμής του τετραγώνου της διαφοράς (RRMSE) για όλες τις δοκιμές



Σχήμα 6.13: Ιστογράμμο του συντελεστή συσχέτισης (CORR) για όλες τις δοκιμές



6.2. Πρόταση αντιμετώπισης του προβλήματος που προέκυψε με τους φωρατές που βρίσκονται κοντά στις εισόδους του δικτύου

Οι προϋποθέσεις στις οποίες αναφερθήκαμε παραπάνω έχουν άμεση σχέση με το φαινόμενο που παρατηρήσαμε, δηλαδή ο αλγόριθμος να έχει πραγματικά σχετικά μικρή ευαισθησία σε περιπτώσεις δυσλειτουργίας ή ακόμα και απώλειας ενός μικρού ποσοστού φωρατών, όταν αυτοί ακριβώς οι φωρατές δεν ανήκουν στην κατηγορία των φωρατών που έχουν τοποθετηθεί σε συνδέσμους, οι οποίοι βρίσκονται πολύ κοντά στα σημεία εισόδου του δικτύου. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις ο συντελεστής συσχέτισης των αποτελεσμάτων της ανασύνθεσης και αυτών που προέκυψαν από την φόρτιση του δικτύου ήταν της τάξης του 98% (ο αντίστοιχος συντελεστής των αποτελεσμάτων με 50 και 45 φωρατές αντίστοιχα ήταν πάντα πάνω από 98%). Οι δε απώλειες από τις εκτιμήσεις τόσο των συνολικών μετακινήσεων, που ανήκαν πλέον σε ένα "ιδεατό" μητρώο προέλευσης – προορισμού ήταν πολύ μικρές. Το ίδιο συνέβαινε και για τις φόρτο που κατανέμεται στους συνδέσμους του δικτύου. Ενώ βέβαια στην τελευταία περίπτωση συνέβη ακόμα και το σχεδόν παράδοξο να προκύψουν καλύτερα αποτελέσματα με λιγότερους φωρατές.

Στην περίπτωση τώρα που οι φωρατές που τίθενται εκτός λειτουργίας βρίσκονται κοντά στα σημεία εισόδου, ο συντελεστής συσχέτισης (με τα αποτελέσματα της φόρτισης) πέφτει στο 90%, ενώ οι απώλειες, πάντα σε σχέση με τη φόρτιση που έγινε με το αρχικό μητρώο προέλευσης – προορισμού, είναι μεγάλες στους φόρτους των συνδέσμων του δικτύου. Μία εικόνα αυτών των συγκριτικών μεγεθών για όλες τις δοκιμές αυτού του κεφαλαίου δίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.

Είναι πιστεύουμε φανερό ότι πρέπει με κάποιο τρόπο να διασφαλιστεί η λειτουργία αυτών ακριβώς των φωρατών, αν το ζητούμενο είναι η αξιόπιστη λειτουργία του προτύπου.

Ο μόνος τρόπος, ο οποίος φαίνεται να υπάρχει, για να επιτευχθεί αυτό, είναι με κάποιο τρόπο να "υποστηριχθούν" αυτοί οι φωρατές, με το να εγκατασταθούν πρόσθετοι φωρατές, είτε στους ίδιους ή σε διαφορετικούς συνδέσμους (προτιμότερο, αφού με αυτό τον τρόπο θα έχουμε και πρόσθετη πληροφόρηση για το δίκτυο). Βέβαια με αυτό το τρόπο παραβιάζεται η σύμβαση που είχαμε κάνει στην αρχή του προηγούμενου κεφαλαίου για σταθερό αριθμό 50 φωρατών για όλη τη διερεύνηση που έγινε. Η

παραβίαση αυτή είναι μάλλον επιβεβλημένη αν το πρότυπο αυτό χρησιμοποιηθεί ως μία διαδικασία ενός συστήματος που θα απευθύνεται στους χρήστες του δικτύου και το οποίο θα πρέπει να είναι διασφαλισμένο από τέτοιες περιπτώσεις. Δεδομένου βέβαια ότι υπάρχουν 21 μετρητές σε αυτά τα σημεία, και ότι ανάλογα με τη γεωμετρία του δικτύου (που στην περίπτωση αυτή είναι σχήματος καννάβου) μπορεί να χρειάζονται ένας ή περισσότεροι φωρατές για να καλύψουν τους πρώτους φωρατές, ο αριθμός των μετρητών που χρειάζονται για να καλυφτεί το δίκτυο, μπορεί να αυξηθεί σημαντικά.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός αυτής της εργασίας ήταν το να εξεταστεί η αξιοπιστία ενός προτύπου, αυτού της εκτιμήτριας φόρτων των διαδρομών ενός δικτύου μίας (ή πολλών) τάξεων χρηστών (SPFE). Το πρότυπο αυτό εισάγει την δυνατότητα δυναμικής εκτίμησης του φόρτου των συνδέσμων ενός δικτύου απ'ευθείας από τις μετρήσεις των φόρτων σε ορισμένους μόνο από τους συνδέσμους του δικτύου, χωρίς να εκτιμάται το μητρώο προέλευσης – προορισμού με κατάλληλο πρότυπο.

Η αξιοπιστία ενός προτύπου, που στοχεύει σε εκτιμήσεις που γίνονται σε πραγματικό χρόνο, βασίζεται σε ορισμένους παράγοντες, οι οποίοι με τη προσθήκη ορισμένων βαρών (διαφορετικών ίσως για τον καθένα ανάλογα με τους στόχους του) δίνουν ως αποτέλεσμα το αν πρέπει να υιοθετηθεί.

Σε αυτή τη διερεύνηση έγινε μία προσπάθεια να εξεταστούν τα βασικά χαρακτηριστικά του προτύπου SPFE. Η ανάλυση αυτή ήταν μία πρώτη γνωριμία με το πρότυπο.

Οι κάτωθι παράγοντες είναι αυτοί που συνθέτουν την αξιοπιστία ενός αλγόριθμου και αυτούς επιχειρήσαμε να διερευνήσουμε:

- Όλοι οι στοχαστικοί αλγόριθμοι πάσχουν ως προς τη σύγκλιση. Έτσι ένα πρώτο χαρακτηριστικό προς διερεύνηση είναι το αν ο αλγόριθμος συγκλίνει πάντα.
- Η ευαισθησία του αλγόριθμου για μεταβλητό πλήθος φωρατών μέσα στο δίκτυο και σε ποιες τιμές (ποσοστό των συνολικών συνδέσμων) γίνεται αξιόπιστος.
- Η ευαισθησία του αλγόριθμου σε αλλαγές των θέσεων των φωρατών.
- Η ευαισθησία σε περίπτωση βλάβης ορισμένων μόνο φωρατών στο δίκτυο.

Η διερεύνηση που γίνεται σε αυτή την εργασία μοιραία στράφηκε στο να βρεθούν (αν αυτές υπάρχουν) οι συνθήκες κάτω από τις οποίες το πρότυπο μπορεί να εκτιμήσει "σωστά" τους φόρτους των συνδέσμων του δικτύου. Στην πραγματικότητα το μέτρο για το αν αυτό επιτυγχάνεται (δηλαδή για το αν εκτιμούνται σωστά οι φόρτοι) ήταν η σύγκριση των αποτελεσμάτων του προτύπου SPFE με αυτά που προέκυψαν από εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων με μία από τις "παραδοσιακές" μεθόδους

δυναμικής εκτίμησης των φόρτων των διαδρομών και κατ'επέκταση και των φόρτων των συνδέσμων. Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει δύο επίπεδα:

- i. Στο πρώτο επίπεδο γίνεται εκτίμηση του μητρώου προέλευσης – προορισμού από τις μετρήσεις των φόρτων με κατάλληλο πρότυπο.
- ii. Στο δεύτερο επίπεδο γίνεται καταμερισμός των μετακινήσεων που περιέχονται στο μητρώο προέλευσης – προορισμού με κατάλληλο πρότυπο.

Θεωρήθηκε απαραίτητο να απλοποιηθεί το πρόβλημα και παρ'ότι το πρότυπο ανήκει στα στοχαστικά πρότυπα που βασίζονται στα μαθηματικά πρότυπα logit, έγινε μία απλοποίηση, η οποία σχετίζεται με τον αριθμό των διαδρομών των χρηστών στο δίκτυο. Οι φορτίσεις του δικτύου, οι οποίες έγιναν με ένα δεδομένο μητρώο προέλευσης – προορισμού, ήταν πολύ χαμηλότερες της χωρητικότητας τους. Η φόρτιση έγινε με τη μέθοδο "όλα ή τίποτα" και εφ'όσον οι φορτίσεις ήταν χαμηλές δεν έγινε κάποια διόρθωση των αποτελεσμάτων (σε όσον αφορά κυρίως τη χωρητικότητα των συνδέσμων). Ακόμα και αν γινόταν κάποια τέτοια διόρθωση με σκοπό να φτάσει η κατανομή σε μία ισορροπία, η οποία θα τηρεί την πρώτη αρχή του Wardrob (1956), ο καταμερισμός θα γινόταν πάλι στις διαδρομές που ανήκουν στα δέντρα των διαδρομών ελαχίστου κόστους (όταν γίνεται εύρεση των διαδρομών ελαχίστου κόστους με χρήση του μόνο του σταθερού κόστους των συνδέσμων) των ζωνών προελεύσεως προς όλες τις ζώνες προορισμού. Με δεδομένες τις μετρήσεις (η ένδειξη της μέτρησης σε κάθε μετρούμενο σύνδεσμο θεωρήθηκε ίση με την τιμή που προέκυψε από τη φόρτιση για τον ίδιο σύνδεσμο), ο αλγόριθμος "παραγωγής" διαδρομών του Bell (1995), έδωσε ως αποτέλεσμα τις ίδιες διαδρομές. Σκοπός αυτής της απλοποίησης ήταν ακριβώς η φόρτιση και η ανασύνθεση να γίνονται στις ίδιες διαδρομές, έτσι ώστε να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων. Άλλη μία παραδοχή που έγινε ήταν το ότι οι μετρήσεις των φόρτων θεωρήθηκαν σωστές χωρίς να συνυπολογιστεί το σφάλμα.

Στο πρώτο παράδειγμα που έγινε με σκοπό την εύρεση της ευαισθησίας του προτύπου στον αριθμό και την θέση των φωρατών (αυτό που έγινε στο δίκτυο της Fisk) πράγματι παρουσιάστηκε ευαισθησία του προτύπου, τόσο στον αριθμό αλλά κυρίως στη θέση των φωρατών στο δίκτυο.

Κατά το παράδειγμα αυτό φάνηκε ότι το πρότυπο μπορούσε να εκτιμήσει σωστά τους "πραγματικούς" φόρτους των συνδέσμων, όταν υπήρχαν φωρατές τοποθετημένοι σε έναν

αριθμό συνδέσμων που εκπροσωπούσε πάνω από το 25% των συνδέσμων που φορτίζονται. Όταν επιχειρήθηκε να βρεθεί η ευαισθησία του προτύπου και στην αλλαγή θέσεως των φωρατών μέσα στο δίκτυο βρέθηκε ότι ο πραγματικός παράγοντας, στον οποίο έχει ευαισθησία το πρότυπο είναι το αν όλες οι διαδρομές περιέχουν συνδέσμους στους οποίους είναι τοποθετημένοι φωρατές. Στην περίπτωση που κάποια διαδρομή δεν περιέχει έναν τέτοιο σύνδεσμο, ο φόρτος της μηδενίζεται. Στην ουσία το πρότυπο κατανέμει στις διαδρομές τον φόρτο που εμφανίζεται στους φωρατές ανάλογα με το κόστος ανεξάρτητα με το σε ποια ζευγάρια προέλευσης – προορισμού ανήκουν οι διαδρομές. Αυτό είναι ένα πρόβλημα του προτύπου, το οποίο όμως δεν προκάλεσε σφάλματα στην διερεύνηση που έγινε, καθώς βρέθηκε (από το παράδειγμα στο δίκτυο της Fisk) ότι τα αποτελέσματα της ανασύνθεσης είχαν πολύ μεγάλο συσχετισμό με αυτά της φόρτισης μόνο όταν κάθε μία από τις διαδρομές του δικτύου διέρχεται έστω και από έναν σύνδεσμο, στον οποίο γίνεται μέτρηση. Στην αντίθετη περίπτωση προκαλούνται σφάλματα αφού κάποια ή κάποιες από τις διαδρομές μηδενίζονται. Στην πράξη το ότι δεν αναγνωρίζονται τα ζευγάρια προέλευσης – προορισμού δεν φαίνεται να προκαλεί προβλήματα κυρίως όταν οι διαδρομές διέρχονται από περισσότερους του ενός συνδέσμου στον οποίο γίνονται μετρήσεις.

Η πραγματική ευαισθησία του προτύπου έγκειται ακριβώς σε αυτόν τον λόγο, και σε αυτό οφείλεται τόσο η "φαινομενική" ευαισθησία στον αριθμό και στις θέσεις των φόρτων.

Με αυτό ως δεδομένο έγινε στο δίκτυο του κέντρου της Αθήνας μία προσπάθεια εύρεσης ενός δικτύου φωρατών, το οποίο θα δίνει το μικρότερο σχετικό σφάλμα, αφού η δοκιμή που έγινε με χρήση του δικτύου φωρατών της SIEMENS έδωσε μεγάλα σφάλματα. Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι το δίκτυο αυτό έχει εγκατασταθεί για άλλους λόγους, οι οποίοι δεν σχετίζονται με την εκτίμηση των φόρτων των διαδρομών ή του μητρώου προέλευσης – προορισμού.

Βρέθηκε ότι το δίκτυο φωρατών που δίνει τα μικρότερα σχετικά σφάλματα (κάτω από 10%) είναι αυτό στο οποίο μετρούνται οι σύνδεσμοι, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στα σημεία εισόδου του δικτύου, αυτοί που είναι τοποθετημένοι στα σημεία εξόδου του δικτύου καθώς και ορισμένοι από τους συνδέσμους που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης στις διαδρομές του δικτύου. Στην συγκεκριμένη διερεύνηση που έγινε θεωρήθηκε ένας σταθερός αριθμός 50 φωρατών στο δίκτυο και τα καλύτερα αποτελέσματα τα έδωσε ένα δίκτυο φωρατών το οποίο αποτελούταν από 22 φωρατές

τοποθετημένους σε συνδέσμους που βρίσκονταν κοντά στα σημεία εισόδου του δικτύου, 20 φωρατές τοποθετημένους σε συνδέσμους, οι οποίοι βρίσκονταν κοντά στα σημεία εξόδου του δικτύου και 8 φωρατές τοποθετημένους στους ισάριθμους πρώτους συνδέσμους στην κατάταξη τους σύμφωνα με τη συχνότητα εμφάνισης τους στις διαδρομές του δικτύου. Τα αποτελέσματα σε αυτή την περίπτωση είχαν μεγάλο συσχετισμό με αυτά της φόρτισης (πάνω από 99%) και παρουσίασαν τα μικρότερα σφάλματα από όλες τις άλλες δοκιμές.

Το σημαντικότερο συμπέρασμα που προέκυψε από αυτή τη δοκιμή ήταν το ότι πράγματι το πρότυπο μπορεί να εκτιμήσει σωστά (δηλαδή με καλή προσέγγιση) τους φόρτους των συνδέσμων του δικτύου απ'ευθείας από τις μετρήσεις υπό τις κατάλληλες συνθήκες, οι οποίες σχετίζονται με τον αριθμό και τη θέση των φωρατών στο δίκτυο. Επίσης ο απαιτούμενος αριθμός των φωρατών στο δίκτυο, ώστε να προκύψει μία σωστή εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων, διαφέρει από δίκτυο σε δίκτυο και εξαρτάται κυρίως από το πλήθος των ζωνών προέλευσης – προορισμού, και από τη μορφή του δικτύου, δηλαδή αν είναι ακτινικό ή κανάβος. Στην περίπτωση που το δίκτυο είναι σχήματος κανάβου, όπως στις περιπτώσεις που εξετάστηκαν εδώ, χρειάζονται περισσότεροι φωρατές αφού ορισμένες διαδρομές γίνονται "περιφερειακά".

Σε μία ανάλυση ευαισθησίας αυτού του δικτύου φωρατών πλέον, η οποία έγινε στη συνέχεια, σχετικά με τα αποτελέσματα μίας ενδεχόμενης ταυτόχρονης βλάβης 5 από τους 50 φωρατές (ποσοστό 10%) φάνηκε καθαρά ότι οι φωρατές που βρίσκονται τοποθετημένοι στις εισόδους του δικτύου είναι ζωτικής σημασίας για τη λειτουργία του προτύπου, καθώς η απώλεια τους οδηγεί σε μεγάλα σφάλματα, άνω του 25% (από περίπου 9% που είναι για λειτουργία όλων των φωρατών). Αντίθετα μία ενδεχόμενη απώλεια φωρατών από άλλα σημεία του δικτύου δεν φαίνεται να προκαλεί ιδιαίτερα προβλήματα, καθώς σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν το σχετικό σφάλμα παρέμεινε κάτω από 15%.

Το ότι οι καλύτερες θέσεις τοποθέτησης των φωρατών βρίσκονται στα σημεία εισόδου του δικτύου οδηγεί στο να αναθεωρηθεί η άποψη για τους ήδη εγκατεστημένους φωρατές στην Αθήνα, καθώς το δίκτυο που θεωρήθηκε είναι ένα μόνο τμήμα του δικτύου της Αθήνας και αν επιλέγονταν άλλα όρια του δικτύου θα μπορούσε κάλλιστα να ισχύει η παραπάνω προϋπόθεση για εφαρμογή του προτύπου. Για να αποφανθεί κάποιος για ολόκληρο το δίκτυο της Αθήνας θα πρέπει να γίνει μία ανάλογη εφαρμογή του προτύπου σε ολόκληρο το δίκτυο της Αθήνας.

Σε όσον αφορά τη σύγκλιση του προτύπου, πράγματι στις περισσότερες περιπτώσεις υπήρξε σύγκλιση, ενώ με το κάπως ελαστικό κριτήριο σύγκλισης η σύγκλιση επερχόταν μετά από 7 ή 8 επαναλήψεις. Στις περιπτώσεις στις οποίες δεν υπήρξε σύγκλιση αυτό συνέβαινε λόγω του ότι δεν υπήρχε λύση του προβλήματος. Κατά τις δοκιμές στο δίκτυο του κέντρου της Αθήνας επιλέχτηκε ένας ελάχιστος αριθμός 10 επαναλήψεων για καλύτερη προσέγγιση στα αποτελέσματα, καθώς και ένας μέγιστος αριθμός 15 επαναλήψεων για να αποφευχθεί το ενδεχόμενο μη σύγκλισης.

Ένα από τα μεγάλα προβλήματα αυτού του προτύπου είναι το πολύ αργό βήμα της σύγκλισης, το οποίο καθιστά προβληματική την πρακτική εφαρμογή του προτύπου για εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων του δικτύου σε πραγματικό χρόνο. Ο χρόνος εκτέλεσης του αλγόριθμου είναι μεγάλος και εξαρτάται κυρίως από τον αριθμό των μετρούμενων συνδέσμων στο δίκτυο, καθώς και από τον αριθμό των διαδρομών. Επίσης εξαρτάται και από τον αριθμό των διαδρομών που υπάρχουν στο δίκτυο. Το θέμα των διαδρομών είναι και ένα επίσης μεγάλο πρόβλημα για το πρότυπο.

Οι διαδρομές στις οποίες γίνεται η ανασύνθεση του δικτύου εδώ απαριθμούνται, και δεν ακολουθείται η φιλοσοφία του αλγόριθμου STOCH (Dial, 1971), στον οποίο η απαρίθμηση των διαδρομών αποφεύγεται με ανάθεση της πιθανότητας ενός χρήστη για να χρησιμοποιήσει μία διαδρομή στους συνδέσμους από τους οποίους αποτελείται η διαδρομή. Παρ'ότι η Fisk (1980) απέδειξε ότι η μέθοδος των διαδοχικών μέσων, η οποία χρησιμοποιείται και από το υπό εξέταση πρότυπο, μπορεί να υιοθετήσει τη μέθοδο του Dial, εδώ χρειάζεται ο εκ των προτέρων καθορισμός των διαδρομών. Γι'αυτόν τον σκοπό χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος του Bell (1995) για την παραγωγή των διαδρομών, ο οποίος οδηγεί σε μία ισορροπία στην οποία τηρείται η αρχή του Wardrob (1950). Παρά ταύτα η πρακτική δοκιμή του αλγόριθμου αυτού στο δίκτυο του Bell, έδωσε σε κάθε περίπτωση μόνο 6 από τις 8 διαδρομές που χρησιμοποιήθηκαν στο παράδειγμα που έγινε στο εν λόγω δίκτυο. Έτσι το πρόβλημα της γένεσης των διαδρομών παραμένει ένα πρόβλημα για αυτό το πρότυπο.

Το πρότυπο αυτό επιτρέπει την εισαγωγή δύο ή περισσότερων τάξεων χρηστών (από πλευράς βαθμού και ποιότητας πληροφόρησης σε πραγματικό χρόνο για το δίκτυο). Αυτό οδηγεί στο πρότυπο MPFE (εκτιμήτρια του φόρτου των διαδρομών δικτύου πολλών τάξεων χρηστών). Έγινε ένα παράδειγμα εφαρμογής και των δύο προτύπων στο ίδιο δίκτυο και με τα ίδια δεδομένα ζήτησης. Το αποτέλεσμα της εισαγωγής δυναμικών συστημάτων πληροφόρησης σύμφωνα με το πρότυπο αυτό είναι μικρότερες ουρές

αναμονής, οι οποίες "εξαφανίζονται" πολύ πιο γρήγορα από την περίπτωση δικτύου μίας τάξεως χρηστών. Στην ουσία το πρότυπο εκτιμά βελτίωση των χρόνων διαδρομής τόσο για τους καθοδηγούμενους, όσο και για τους μη καθοδηγούμενους χρήστες. Δεν έγινε μία περαιτέρω αξιολόγηση πάνω στο θέμα αυτό, αφού δεν έχει γίνει ποτέ εφαρμογή των δυναμικών συστημάτων πληροφόρησης σε ένα πραγματικό δίκτυο και το αποτέλεσμα της εφαρμογής τους είναι στην ουσία άγνωστο, ενώ οι εκτιμήσεις που έχουν γίνει μέχρι σήμερα με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων, προβλέπουν στην πραγματικότητα μικρά οφέλη ειδικά σε συνθήκες μεγάλης ζήτησης. Τα αποτελέσματα του παραδείγματος που έγινε σε αυτή την εργασία είναι μάλλον πολύ αισιόδοξα σε σχέση με τις μέχρι τώρα μελέτες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- i. Αμπακούμκιν Κ.Γ. (1990), Σχεδιασμός Μεταφορικών Συστημάτων (Μεταφορές Ι), *Εκδόσεις Συμμετρία*
- ii. Al- Deek & Kanafani Ad. (1993), Modeling the benefits of advanced traveler information systems. *Transportation Research – C Vol. 1, No 4 pp. 303-324*
- iii. Bell M.G.H. , Lam W.H.K , Iida Y. (1995), A time dependent multi – class path flow estimator
- iv. Boyce D.E , Hribar M. (1993), Reducing the idle time of parallel traffic equilibrium. http://web.eecs.nyu.edu/~michelle/papers/super_c/
- v. Chen M. & Sule Alfa At. (1991), Algorithms for solving Fisk's Stochastic traffic assignment model. *Transportation Research – B.Vol 25B, No 6, pp. 405-412*
- vi. Dial R.B. , Voorhees Al.M. et al. (1971), A multipath traffic assignment model. *Transportation Research 369*
- vii. DRIVE programme, PARCMAN, Parking management control and information systems, *Final Report (Athens, 1992)*
- viii. Φραντσεσκάκης Ι.Μ. , Γιαννόπουλος Γ.Α. (1986), Σχεδιασμός των μεταφορών και κυκλοφοριακή τεχνική, *Εκδόσεις Παρατηρητής*
- ix. Gazis G.C. (1995) congestion abatement in its through allocation. *IVHS Journal, Vol 2(2), pp. 139-158*
- x. Holden D.J. (1989), Wardrob's third principle. *Journal of transport economics and policy*
- xi. Hsin Lu K. , Jones J. , Kerridge J. (1994), Modelling saturated networks using massively parallel computing techniques. *Traffic engineering & control*
- xii. Janssen W. , van der Horst R. (1993), Presenting descriptive information in variable message signing. *Transportation Research Record 1403*
- xiii. Junchaya T. et al. (1992), Advanced traffic management system: Real time network traffic simulation methodology with a massively parallel computing architecture *Transportation Research Record 1358*.
- xiv. Khattak As. , Al- Deek H.M. , Hall R.W. (1994), Concept of an advanced traveler information system testbed for the Bay Area: Research issues

- xv. Khattak As., Schoffer J. , Koppelman F.S (1991), Factors influencing commuters' en route diversion behavior in response to delay. *Transportation Research Record* 1318
- xvi. Κοντογεώργης Β. (1993), Δυναμική εκτίμηση μητρώων προέλευσης-προορισμού από μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου. *Διπλωματική εργασία στο εργαστήριο μεταφορών Ε.Μ.Π.*
- xvii. Koutsopoulos H.N. & Lottan T. (1991), Fuzzy control and approximate reasoning models for route choice decisions in the presence of information. *Draft paper*
- xviii. Koutsopoulos H.N. & Lottan T. (1992), Route choice in the presence of information using concepts from fuzzy control and approximate reasoning. *Transportation planning and technology, 1993, Vol 17, pp. 113-126*
- xix. Koutsopoulos H.N. & Lottan T. (1995), Motorist information systems and recurrent traffic congestion: sensitivity analysis and expected results. *Transportation Research Record* 1281
- xx. Mahmassani H. & Shen Te Chen P. (1993), An investigation of the reliability of real time information for route choice decisions in a congested traffic system. *Transportation* 20, pp. 157-178
- xxi. Stathopoulos An. & Argyrakos G. (1993), Control strategies for reducing environmental pollution from road traffic. *The science of the total environment, 134, pp. 315-324*
- xxii. Stern El. & Leiser D. (1987), Determinants of subjective time estimates in simulated urban driving. *Transportation Research – A, Vol. 22A, No. 3 pp.175-182, 1988*
- xxiii. Stern El. & Leiser D. (1988), Levels of Spatial Knowledge and Urban Travel Modelling. *Geographical Analysis, Vol. 20, No. 2, April 1988*
- xxiv. Stern El., Tzelgov J. , Henik Av. (1982), Driving efforts and urban route choice. *The Logistics and Transportation Review, Vol. 19, No. 1*
- xxv. Sheffi Y. & Powell W. (1979), A comparison of stochastic and deterministic traffic assignment over congested networks. *Transportation Research –B, Vol.15B, pp. 53-64, 1981*
- xxvi. Van Vliet D. (1975), Comparative tests of stochastic methods. *Transportation Research, Vol. 10, pp. 151-157, 1976*

- xxvii. Van Vliet D.(1975), Principles and parameters of model formulation.
Transportation Research, Vol. 10, pp. 137-143, 1976
- xxviii. Yagar S. (1970), Dynamic traffic assignment by individual path minimization and queuing. *Transportation Research, Vol. 5, pp. 179-196, 1971*

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Στο παράρτημα αυτό δίνονται σε πίνακα όλα τα δεδομένα των συνδέσμων του δικτύου του κέντρου της Αθήνας που χρησιμοποιήθηκαν στα παραδείγματα των κεφαλαίων 5 και 6, καθώς και σ' αυτό της παραγράφου 4.2.2.

Τα δεδομένα που δίνονται στον πίνακα είναι τα εξής:

- i. Ταχύτητα ελεύθερης ροής (χιλ./ώρα)
- ii. Ταχύτητα κορεσμού (χιλ./ώρα)
- iii. Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχημ./ώρα)
- iv. Μήκος Συνδέσμου (μέτρα)

Δεδομένα Συνδέσμων

Σύνδεσμος	Κόμβος από	Κόμβος προς	Ταχύτητα Ελεύθερης Ροής	Ταχύτητα Κορεσμού	Κυκλοφοριακή Ικανότητα	Μήκος
1	151	141	40	25	750	55
2	151	187	40	25	750	165
3	152	151	40	25	750	120
4	157	152	40	25	750	158
5	157	160	40	25	1500	87
6	160	161	40	25	1500	66
7	160	189	40	25	1500	215
8	161	165	40	25	1500	78
9	165	166	40	25	1500	79
10	165	191	40	25	750	126
11	166	192	40	25	1500	120
12	166	264	40	25	1500	79
13	170	141	40	25	1500	73
14	170	171	40	25	1500	127
15	171	172	40	25	1500	52
16	171	185	40	25	2250	91
17	172	173	40	25	1500	165
18	173	174	40	25	1500	187
19	174	175	40	25	1500	114
20	175	176	40	25	1500	129
21	175	180	40	25	1500	100

22	176	177	40	25	1500	129
23	176	179	40	25	1500	96
24	177	229	40	25	2250	153
25	178	177	40	25	1500	84
26	178	179	50	25	1500	70
27	179	180	50	25	1500	129
28	180	181	50	25	1500	112
29	180	205	40	25	750	105
30	181	174	40	25	750	98
31	181	182	50	25	1500	90
32	182	183	50	25	1500	93
33	182	203	40	25	1500	105
34	183	173	40	25	750	95
35	183	184	50	25	1500	173
36	184	172	40	25	1500	91
37	184	185	50	25	1500	52
38	185	186	50	25	1500	126
39	185	199	40	25	2250	112
40	186	170	40	25	1500	87
41	186	187	50	25	1500	49
42	187	188	50	25	1500	117
43	187	197	40	25	750	107
44	188	152	40	25	750	171
45	188	189	50	25	1500	78
46	189	190	50	25	1500	96
47	189	195	40	25	750	116
48	190	161	40	25	1500	131
49	190	191	40	25	1500	62
50	191	192	40	25	1500	74
51	191	194	40	25	1500	122
52	192	193	40	25	1500	55
53	192	262	40	25	750	84
54	193	194	50	30	2250	99
55	193	260	40	25	750	146
56	194	195	50	30	2250	51
57	195	196	50	30	2250	82
58	196	188	40	25	1500	116
59	196	197	50	30	2250	109
60	197	198	50	30	2250	53
61	198	186	40	25	1500	115
62	198	199	50	30	2250	124
63	199	200	50	30	3000	52

64	199	212	40	25	2250	179
65	200	184	40	25	1500	111
66	200	201	50	30	3000	100
67	201	202	50	30	3000	78
68	202	183	40	25	750	108
69	202	203	50	30	3000	91
70	203	204	50	30	3000	84
71	203	209	40	25	1500	176
72	204	181	40	25	750	108
73	204	205	50	30	3000	116
74	205	206	50	30	3000	104
75	206	178	40	25	750	135
76	206	227	50	30	3000	147
77	207	208	50	30	4500	106
78	207	224	40	25	750	115
79	208	204	40	25	750	174
80	208	209	50	30	4500	81
81	209	210	50	30	4500	88
82	209	222	40	25	1500	115
83	210	202	40	25	750	176
84	210	211	50	30	4500	188
85	211	200	40	25	1500	178
86	211	212	50	30	4500	50
87	212	213	50	30	3750	52
88	213	214	50	30	3750	83
89	213	218	40	25	1500	117
90	214	198	40	25	1500	181
91	214	215	50	30	3750	150
92	215	196	40	25	1500	181
93	215	259	50	30	3750	132
94	216	215	40	25	750	146
95	216	217	50	30	2250	180
96	216	463	30	20	750	124
97	217	214	40	25	1500	119
98	217	218	50	30	2250	96
99	218	219	50	30	2250	116
100	218	468	30	20	1500	67
101	219	220	50	30	2250	103
102	220	221	50	30	2250	75
103	220	471	30	20	750	131
104	221	210	40	25	1500	117
105	221	222	50	30	2250	82

106	222	223	50	30	2250	82
107	223	208	40	25	1500	114
108	223	224	50	30	2250	110
109	224	225	50	30	3000	54
110	225	226	40	25	3000	115
111	225	473	40	25	3000	63
112	226	207	50	30	4500	130
113	226	227	50	30	1500	167
114	226	491	50	30	3000	140
115	227	226	50	30	3000	167
116	227	228	50	30	2250	137
117	228	178	40	25	1500	142
118	228	229	50	30	2250	128
119	259	216	40	25	2250	117
120	259	260	10	5	750	167
121	259	330	50	30	3750	61
122	260	259	40	25	2250	167
123	260	261	10	5	750	68
124	261	193	50	30	3750	81
125	261	260	40	25	2250	68
126	261	262	10	5	750	56
127	262	261	40	25	2250	56
128	262	263	10	5	750	63
129	262	339	40	25	750	118
130	263	262	40	25	2250	63
131	263	264	10	5	750	56
132	264	263	40	25	2250	56
133	264	265	40	25	1500	128
134	264	341	30	20	1500	118
135	265	264	40	25	3000	128
136	265	266	40	25	1500	99
137	265	342	30	20	750	117
138	266	265	40	25	3000	99
139	330	335	30	20	2250	64
140	331	216	40	25	2250	97
141	331	330	30	20	2250	50
142	332	331	30	20	2250	46
143	332	459	30	20	1500	165
144	333	332	30	20	2250	37
145	333	430	40	25	1500	104
146	334	333	30	20	2250	34
147	334	419	30	20	1500	64

148	335	334	30	20	2250	63
149	335	336	40	25	2250	63
150	336	337	40	25	2250	66
151	337	338	40	25	2250	65
152	338	261	30	20	2250	115
153	338	339	40	25	2250	59
154	339	340	40	25	2250	70
155	340	341	40	25	2250	48
156	341	342	40	25	2250	125
157	341	365	30	20	1500	100
158	342	266	30	20	2250	154
159	342	364	30	20	750	107
160	364	365	40	25	1500	133
161	365	342	30	20	2250	163
162	365	366	30	20	1500	126
163	365	394	30	20	1500	99
164	365	421	30	20	1500	169
165	366	394	30	20	1500	98
166	366	421	30	20	1500	113
167	418	419	30	20	1500	123
168	419	430	30	20	1500	105
169	420	336	30	20	750	106
170	420	419	30	20	1500	103
171	421	338	30	20	2250	111
172	421	420	30	20	1500	134
173	423	420	30	20	750	246
174	459	460	30	20	1500	138
175	459	463	30	15	750	122
176	460	461	30	20	1500	130
177	461	462	30	20	1500	371
178	461	465	30	15	750	121
179	462	466	30	20	1500	128
180	463	217	30	20	750	124
181	463	464	30	20	750	117
182	464	460	30	20	750	118
183	464	465	30	15	750	132
184	465	466	30	15	750	363
185	465	469	30	15	750	136
186	466	467	30	15	750	54
187	466	472	30	20	1500	442
188	467	462	30	15	750	185
189	467	476	30	15	750	736

190	468	464	30	15	1500	139
191	469	468	30	15	750	131
192	469	470	30	15	750	47
193	470	219	30	20	1500	129
194	471	221	30	20	750	196
195	471	470	30	15	750	94
196	471	472	30	15	750	369
197	472	473	30	20	2250	141
198	473	225	40	25	1500	63
199	473	474	40	25	3000	69
200	474	467	30	20	750	584
201	474	475	40	25	2250	99
202	475	476	40	25	2250	84
203	476	493	30	20	1500	99
204	476	494	30	25	2250	181
205	491	474	30	20	2250	118
206	491	492	40	25	3000	100
207	492	475	40	25	1500	113
208	492	493	40	25	3000	119
209	493	494	40	25	3000	148
210	494	495	40	25	3000	158
211	491	226	50	30	3000	140
212	228	227	50	30	2250	137
213	229	228	50	30	2250	128
214	459	332	30	20	1500	165
215	430	333	40	25	1500	104
216	419	334	30	20	1500	64
217	366	365	30	20	1500	126
218	419	418	30	20	1500	123
219	460	459	30	20	1500	138
220	461	460	30	20	1500	130
221	462	461	30	20	1500	371
222	474	473	40	25	3000	69
223	492	491	40	25	3000	100
224	493	492	40	25	3000	119
225	494	493	40	25	3000	148
226	495	494	40	25	3000	158

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι συχνότητες εμφάνισης των συνδέσμων του δικτύου του κέντρου της Αθήνας στις διαδρομές, οι οποίες απαρτίζουν τα δέντρα των διαδρομών ελαχίστου κόστους των 15 ζωνών προελεύσεως του δικτύου προς τις 14 ζώνες προορισμού του δικτύου. Οι συχνότητες αυτές χρησιμοποιήθηκαν στην προσπάθεια εύρεσης ενός δικτύου φωρατών που θα δίνει τα μικρότερα σφάλματα στην εκτίμηση των φόρτων των συνδέσμων του δικτύου του κέντρου της Αθήνας (Κεφάλαιο 5).

Συχνότητες εμφάνισης των συνδέσμων του δικτύου του κέντρου της Αθήνας στις
διαδρομές που απαρτίζουν τα δέντρα ελαχίστων διαδρομών των ζωνών
προελεύσεως

Συχνότητα Εμφάνισης	Αριθμός Συνδέσμου
41	142
39	62
39	63
36	60
34	57
32	144
29	139
27	45
27	46
27	54
27	56
27	124
26	146

25	59
25	154
25	155
24	42
24	140
23	36
23	150
23	151
21	38
20	65
20	152
20	220
19	25
19	27
19	28
19	31
19	66
19	67
19	69
19	157
19	170
19	216
18	2
18	35
18	219
17	41
17	58
17	81
17	95
17	141
17	153
17	156
17	164
16	32
16	73

16	74
16	75
16	87
16	106
15	37
15	70
15	108
15	109
15	148
14	6
14	44
14	49
14	50
14	77
14	80
14	101
14	102
14	112
14	149
14	160
14	163
14	171
14	172
14	173
14	210
14	213
14	214
14	218
13	13
13	40
13	48
13	138
13	167
13	211
13	215

13	223
13	224
13	225
13	226
12	8
12	9
12	17
12	53
12	84
12	86
12	90
12	97
12	105
12	121
12	135
12	204
11	23
11	43
11	88
11	91
11	93
11	111
11	117
11	134
11	166
11	199
11	201
11	202
11	221
10	12
10	16
9	24
9	61
9	98
9	99

9	127
9	130
9	132
9	169
8	26
8	92
8	94
8	113
8	116
8	129
8	147
8	182
7	4
7	5
7	7
7	47
7	68
7	71
7	83
7	133
7	136
7	145
7	158
7	168
6	3
6	110
6	118
6	122
5	22
5	34
5	89
5	100
5	115
5	128
5	131

5	143
5	174
5	178
5	185
5	190
5	192
5	193
5	212
4	15
4	39
4	52
4	55
4	64
4	82
4	119
4	161
4	175
4	180
3	33
3	96
3	179
3	181
2	1
2	11
2	18
2	19
2	20
2	104
2	114
2	125
2	187
2	197
2	198
2	206
2	208

2	209
2	217
1	79
1	107
1	120
1	123
1	126
1	137
1	165
1	186
1	189
0	10
0	14
0	21
0	29
0	30
0	51
0	72
0	76
0	78
0	85
0	103
0	159
0	162
0	176
0	177
0	183
0	184
0	188
0	191
0	194
0	195
0	196
0	200
0	203

*Παράρτημα II: Πίνακας συχνότητων εμφάνισης των συνδέσμων στις διαδρομές που απαρτίζουν
τα δέντρα των διαδρομών χαλίστου κόστους των ζωνών προελεύσεως*

	0	205
	0	207
	0	222

