

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ
ΕΠΟΠΤΗΣ : Α. ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΗΤΡΩΝ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΥ
ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΦΟΡΤΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Μ. ΚΟΝΤΟΓΕΩΡΓΗΣ

Αφιερώνεται σε όσους μένουν πιστοί στις αρχές τους και αρνούνται να συμβιβαστούν.

Κ.Π.ΚΑΒΑΦΗΣ (1913)

ΟΣΟ ΜΠΟΡΕΙΣ

Κι αν δεν μπορείς να κάμεις την ζωή σου όπως την θέλεις,
τούτο προσπάθησε τουλάχιστον
όσο μπορείς: μην την εξευτελίζεις
μες στην πολλή συνάφεια του κόσμου,
μες στες πολλές κινήσεις κι ομιλίες.

Μην την εξευτελίζεις παίνοντας την,
γυρίζοντας συχνά κ'εκθέτοντας την
στων σχέσεων και των συναναστροφών
την καθημερινήν ανοησία,
ως που να γίνει σα μία ξένη φορτική.

η εργασία αυτή αφιερώνεται

στον πατέρα μου ο οποίος με δίδαξε να σκέφτομαι σαν μηχανικός,

στην μητέρα μου την οποία λατρεύω.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην αρχή ήταν περισσότερο η περιέργεια, το κίνητρο που με ώθησε να επιλέξω τον Κύκλο Σπουδών του Συγκοινωνιολόγου μηχανικού. Επειτα όμως από τρία ακαδημαϊκά εξάμηνα συνεχής μάθησης και ένα χρόνο στενής συνεργασίας με τους ανθρώπους που αποτελούν το Διδακτικό προσωπικό του τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, πραγματικά αγάπησα το αντικείμενο και πολύ περισσότερο την πολυδιάστατη ανάλυση των θεμάτων που πρέπει να πραγματοποιήσει ο μηχανικός, ο οποίος ασχολείται με τα συγκοινωνιακά θέματα. Αυτή άλλωστε, η συνεχή αναζήτηση με στόχο την βελτίωση των συνθηκών ζωής του ανθρώπου, είναι η ομορφιά του επαγγέλματος του "μηχανικού". Αυτός θα προσπαθήσω να είναι και ο στόχος στην επαγγελματική μου καριέρα, βασιζόμενος πάντα στις γνώσεις, την θέληση για εργασία και τις αρχές με τις οποίες διαπαιδαγωγήθηκα.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες :

- Στον Επίκουρο καθηγητή Αντώνη Σταθόπουλο για την συνεχή καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.
- Στον Νίκο Παπαχρήστου για τις πολύτιμες συμβουλές του.
- Σε όλο ανεξαιρέτως το προσωπικό του Εργαστηρίου Σιδηροδρομικής και Μεταφορών, για την άψογη συνεργασία μας επί ένα χρόνο - όποια μορφή και αν είχε αυτή.
- Σε όλο το Διδακτικό Προσωπικό του τομέα, για την προσπάθεια του να μεταδώσει τις γνώσεις και τις εμπειρίες του στους φοιτητές.



Βασίλειος Μ. Κονογτώργος

ABSTRACT

The present diploma thesis presents and analyses a model based on entropy maximisation principles, for the estimation of an origin destination (O-D) matrix. Contrary to the conventional methods, this method is cheap, flexible and easy to be used, since it is based on a small number of traffic counts from the links of the network and on an a priori matrix. Entropy is used as a measure of the possibility to fulfil a specific O-D matrix under the constraints of the traffic counts. A simulation was carried out in order to validate the model in its dynamic formulation, as it was presented by Janson and Southworth and restated in the DRIVE project (PARCMAN), and to examine its features. Finally a frame of future research's goals has been formulated. The simulation's results show that the maximization of entropy method is the most promising method of estimating an O-D matrix, and that because of its advantages it will be especially used in dynamic management systems.

Key Words : trip, origin destination matrix, maximization of entropy, traffic counts.

ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται και αναλύεται ένα πρότυπο εκτίμησης του μητρώου προέλευσης προορισμού, το οποίο βασίζεται στην μεγιστοποίηση της εντροπίας. Σε αντίθεση με τις συμβατικές μεθόδους, η μέθοδος αυτή είναι φθηνή, εύκολη στην εφαρμογή της, και ευέλικτη διότι βασίζεται μονάχα σε δύο πράγματα : σε μετρήσεις κυκλοφοριακών φόρτων σε ένα περιορισμένο αριθμό συνδέσμων του δικτύου και σ'ένα a priori μητρώο (το οποίο πιθανώς έχει προέλθει από παλαιότερη εφαρμογή συμβατικών μεθόδων). Πραγματοποιήθηκε μία υπολογιστική προσομοίωση προκειμένου να γίνει αξιολόγηση του προτύπου στην δυναμική του μορφή, όπως την διατύπωσαν οι Janson & Southworth και αναδιατυπώθηκε στο έργο PARCMAN του προγράμματος DRIVE, και να αναλυθούν οι ιδιότητες του. Τέλος σχηματίστηκε το πλαίσιο που πρέπει να ακολουθήσει η μελλοντική έρευνα πάνω στο θέμα αυτό. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι η μέθοδος αυτή αποτελεί την περισσότερα υποσχόμενη μέθοδο εκτίμησης μητρώων προέλευσης προορισμού, και λόγω των πλεονεκτημάτων της θα είναι δυνατή η χρήση της σε δυναμικά συστήματα ελέγχου και διαχείρισης της κυκλοφορίας.

Λέξεις Κλειδιά : μετακίνηση, μητρώο προέλευσης προορισμού, μεγιστοποίηση της εντροπίας, μετρήσεις κυκλοφοριακών φόρτων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το μητρώο προέλευσης-προορισμού αποτελεί ένα από τα βασικότερα και πιο χρήσιμα εργαλεία του μηχανικού, στην πραγματοποίηση μίας συγκοινωνιακής μελέτης. Επομένως η σωστή και γρήγορη εκτίμηση του είναι βασική προϋπόθεση για την γρήγορη εξαγωγή σωστών αποτελεσμάτων, και την άμεση εφαρμογή τους σε διάφορες στρατηγικές επίλυσης κυκλοφοριακών προβλημάτων.

Οι συμβατικές μέθοδοι εκτίμησης του μητρώου προέλευσης - προορισμού, παρουσιάζουν πολλά μειονεκτήματα όπως :

- έχουν υψηλό κόστος απόκτησης και επεξεργασίας των δεδομένων,
- προκαλούν όχληση στους οδηγούς κατά την εφαρμογή τους,
- συνήθως το δείγμα είναι μικρό και γίνονται χονδροειδής παραδοχές,
- είναι πολύ χρονοβόρες και τέλος δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε δυναμικές εφαρμογές.

Ετσι η ανάγκη για εύρεση απλούστερων και γρηγορότερων μεθόδων υπολογισμού του μητρώου των μετακινήσεων, οδήγησε στην ανάπτυξη σύγχρονων μεθόδων με την χρήση μετρήσεων κυκλοφοριακού φόρτου σε ένα περιορισμένο αριθμό συνδέσμων του δικτύου (πρότυπο ελαχιστοποίησης της πληροφορίας, πρότυπο μεγιστοποίησης της εντροπίας κ.τ.λ.).

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εκφράζονται κάποιες εισαγωγικές σκέψεις γύρω από τις συμβατικές μεθόδους εκτίμησης του μητρώου προέλευσης - προορισμού, και αναλύονται οι λόγοι της ανάγκης ανάπτυξης νέων σύγχρονων μεθόδων.

Ακολουθεί μία ιστορική αναδρομή στην διεθνή έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί γύρω από το θέμα αυτό, από το 1980 οπότε και ουσιαστικά αναπτύχθηκαν τα πρώτα πρότυπα εκτίμησης μητρώων προέλευσης προορισμού από μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου. Αναφέρονται οι βασικές αρχές των περισσότερων προτύπων που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα, όπως επίσης τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους και τις συνθήκες που πρέπει να επικρατούν στο δίκτυο για την εφαρμογή τους. Από τις σύγχρονες μεθόδους, επιλέγονται οι μέθοδοι της ελαχιστοποίησης της πληροφορίας και της μεγιστοποίησης της εντροπίας, για εκτενή περιγραφή και αναλυτική απόδειξη των μαθηματικών σχέσεων τους και του αλγορίθμου επίλυσης των. Η επιλογή αυτή έγινε διότι είναι τα δύο περισσότερο γνωστά πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοστεί (σε ερευνητικό πάντα στάδιο).

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναπτύσσεται η δυναμική εφαρμογή της μεθόδου της μεγιστοποίησης

της εντροπίας, έτσι όπως την περιέγραψαν οι Janson & Southwarth. Αναλύονται οι επιπλέον δυσκολίες που παρουσιάζονται στην δυναμική μορφή του προβλήματος, και οι νέες σημασίες που λαμβάνουν οι διάφορες παράμετροι. Ακολουθεί μία εκτενής περιγραφή ενός δυναμικού πρότυπου επιλογής διαδρομής, το οποίο ανέπτυξαν για τις ανάγκες του πιλοτικού προγράμματος PARCMAN οι Α. Σταθόπουλος και Θ. Παρμακίζογλου.

Απαραίτητη ήταν και η αριθμητική εφαρμογή, ώστε να είναι δυνατή η αξιολόγηση της μεθόδου. Έτσι στο έκτο κεφάλαιο, αρχικά, τεκμηριώνονται οι λόγοι που οδήγησαν στην επιλογή της υπολογιστικής προσομοίωσης, έναντι της χρήσης πραγματικών δεδομένων. Επιπλέον περιγράφεται το πραγματικό δίκτυο το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην προσομοίωση (κέντρο των Αθηνών), τα χαρακτηριστικά του, και ο πιθανοτικός τρόπος με τον οποίο υπολογίστηκαν τα δεδομένα της ζήτησης (δηλαδή τα "πραγματικά" μητρώα προέλευσης προορισμού) των τριών παραδειγμάτων που πραγματοποιήθηκαν. Τέλος παρουσιάζεται ο αλγόριθμος της δυναμικής προσομοίωσης, για την εκτίμηση των μητρώων με την χρήση της μεθόδου της εντροπίας, όπως επίσης και τα ιδιαίτερα προβλήματα που παρουσιάστηκαν.

Ακολουθούν τα αναλυτικά αποτελέσματα των τριών παραδειγμάτων και η παρουσίαση τους υπό μορφή διαγραμμάτων. Στο έβδομο κεφάλαιο γίνονται μέσω στατιστικής ανάλυσης, τα σχολια και τα συμπεράσματα των αποτελεσμάτων και παρουσιάζεται ένα τέταρτο παράδειγμα προκειμένου να γίνει εμφανής η ευαισθησία της μεθόδου στην επιλογή των θέσεων των φορατών.

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζεται το πλαίσιο της μελλοντικής έρευνας που πρέπει να ακολουθήσει το εργαστήριο πάνω στο θέμα αυτό, σε επίπεδα προτεραιότητας, όπως επίσης και τα διάφορα ειδικά σημεία που πρέπει να ερευνηθούν διεξοδικά.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

Κεφάλαιο Πρώτο : Εισαγωγικές Σκέψεις	1
1. Εισαγωγή	2
1.1. Γενικά	2
1.2. Η αρχή είναι το ήμισυ του παντός	3
1.3. Συμβατικές μέθοδοι υπολογισμού του μητρώου προέλευσης - προορισμού	6
1.3.1. Οι σημαντικότερες μέθοδοι	6
1.3.2. Περιγραφή και χαρακτηριστικά των μεθόδων	7
1.3.3. Τα μειονεκτήματα των συμβατικών μεθόδων	16
1.4. Μοντέρνες μέθοδοι υπολογισμού του μητρώου προέλευσης - προορισμού	18
1.4.1. Γενικά - Μετρήσεις φόρτου	18
1.4.2. Πλεονεκτήματα μεθόδων με δεδομένα φόρτου	20
1.5. Εφαρμογές των απλοποιημένων μεθόδων	21
 Κεφάλαιο Δεύτερο : Σύγχρονες μέθοδοι-Ιστορική ανασκόπηση	 23
2. Ιστορική ανασκόπηση των σύγχρονων μεθόδων	24
2.1. Γενικά - Οι πρώτες μέθοδοι	24
2.1.1. Ποιός είναι ο στόχος της αναζήτησης	25
2.1.2. Μερικοί ορισμοί	26
2.1.3. Παλαιότερες μέθοδοι	28
2.2. Η συνέχεια της έρευνας στο στοχαστικό επίπεδο	29
2.2.1. Έρευνα που βασίστηκε στις μεθόδους της έντροπίας και της πληροφορίας	29
2.2.2. Απλοποιημένα πρότυπα που βασίζονται σε διαφορετική αρχή	31
2.2.2.1. Μία θεώρηση του προβλήματος βασισμένη στο θεώρημα του Bayes	31
2.2.2.2. Πρότυπο μεγιστοποίησης της πιθανότητας	33
2.2.2.3. Πρότυπο ελαχίστων τετραγώνων υπό περιορισμούς	36
2.3. Η έρευνα με βάση την αρχή του Wardrop	37
2.3.1. Η μία πλευρά της αντιμετώπισης του προβλήματος	37
2.3.2. Η άλλη πλευρά της αντιμετώπισης του προβλήματος	39
2.4. Η χρήση του πολυαντικειμενικού προγραμματισμού σε δίκτυα στα οποία δεν	

ισχύουν οι συνθήκες συμφόρησης	40
2.5. Σχόλια - Απορίες	41
Κεφάλαιο Τρίτο : Μέθοδοι Μεγιστοποίησης της Εντροπίας και Ελαχιστοποίησης της Πληροφορίας	44
3.1. Μέθοδος ελαχιστοποίησης της πληροφορίας	45
3.1.1. Περιγραφή του προβλήματος	45
3.1.2. Θεώρηση της αντικειμενικής συνάρτησης	47
3.2. Μέθοδος μεγιστοποίησης της εντροπίας	50
3.2.1. Γενικά	50
3.2.2. Αντικειμενική συνάρτηση	51
3.3. Αλγόριθμος επίλυσης του προβλήματος	54
3.4. Σύγκριση των δύο μεθόδων	55
3.4.1. Συγγένεια μεταξύ των δύο μοντέλων	55
3.4.2. Γενικές παρατηρήσεις	55
3.4.3. Μειονεκτήματα των προτύπων	57
3.4.4. Τροποποιημένο μοντέλο	58
3.4.5. Αποτελέσματα της μελέτης του Maher	60
3.4.6. Σύγκριση των προτύπων με πραγματικά δεδομένα	61
3.5. Μία ανάλυση της αξιοπιστίας της εκτίμησης των μητρώων	65
Κεφάλαιο Τέταρτο : Δυναμική εφαρμογή της μεθόδου της Εντροπίας	72
4.1. Εισαγωγή	73
4.2. Η πρώτη ανάλυση του θέματος	74
4.3. Εφαρμογή της μεθόδου της εντροπίας για τον υπολογισμό των χρόνων αναχωρήσεων των μετακινήσεων	76
4.4. Χρήσεις της μεθόδου	81
Κεφάλαιο Πέμπτο : Δυναμικό πρότυπο επιλογής διαδρομής	83
5.1. Γενικά - Αναγκαιότητα δυναμικού προτύπου επιλογής διαδρομής	84
5.2. Περιγραφή Δυναμικού προτύπου επιλογής διαδρομής	

(Α.Σταθόπουλος - Θ.Παρμακσιζογλου)	85
5.3. Παραδοχές του προτύπου	87
5.4. Αρχικές Συνθήκες	90
5.5. Διερεύνηση του χρονικού διαστήματος του κύκλου του προτύπου επιλογής διαδρομής	90
Κεφάλαιο Έκτο : Υπολογιστική Προσομοίωση	97
6.1. Γενικά	98
6.1.1. Επιλογή του είδους της εφαρμογής	98
6.1.2. Στόχοι της Προσομοίωσης	100
6.2. Υπολογιστικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση	100
6.3. Περιγραφή της υπολογιστικής προσομοίωσης	101
6.3.1. Περιγραφή δικτύου	101
6.3.2. Δεδομένα ζήτησης	114
6.3.3. Αλγόριθμος της Υπολογιστικής Προσομοίωσης	117
6.4. Αποτελέσματα των αριθμητικών παραδειγμάτων	122
6.4.1 Πρώτο παράδειγμα	125
6.4.2. Δεύτερο παράδειγμα	138
6.4.3. Τρίτο παράδειγμα	150
Κεφάλαιο Εβδομο : Συμπεράσματα - Σχόλια	161
7.1. Γενικά	162
7.2. Συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων	162
7.3. Ευαίσθητα σημεία της μεθόδου εκτίμησης	164
7.4. Το σφάλμα της εκτίμησης των αναχωρήσεων	167
7.5. Η ευαισθησία της μεθόδου ανάλογα	179
Κεφάλαιο Ογδοο : Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	189
8.1. Εισαγωγή	190
8.1.1. Ανάγκη για περισσότερη έρευνα	190
8.2. Τρία επίπεδα για περαιτέρω έρευνα	190
8.3. Περισσότερα θέματα για έρευνα	192

8.4. Επίλογος	193
Παραρτήματα	194
Παράρτημα Α : Μαθηματική υπενθύμιση - Μέθοδος των πολλαπλασιαστών Lagrange	196
Παράρτημα Β : Προγράμματα Η/Υ	201
Παράρτημα Γ : Αρχεία δεδομένων	221
Παράρτημα Δ : Δεδομένα των συνδέσμων του δικτύου	225
Παράρτημα Ε : Διαγράμματα αποτελεσμάτων προσομοίωσης	237
Βιβλιογραφία	254

ΣΧΗΜΑΤΑ - ΠΙΝΑΚΕΣ - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Σελίδα

Σχήμα 1.1. Μέθοδος των προβολών	8
Σχήμα 1.2. Καταγραφές των οχημάτων και συσχέτιση αυτών (μέθοδος πινακίδων)	11
Σχήμα 1.3. Εκτιμώμενη προς πραγματική κυκλοφορία	14
Σχήμα 1.4. Λογικό διάγραμμα ενός συστήματος ελέγχου της κυκλοφορίας	17
Σχήμα 2.1. Φαινόμενο ασυνέπειας φόρτων	30
Σχήμα 2.2. Τα διάφορα πρότυπα εκτίμησης μητρώων προέλευσης-προορισμού	43
Σχήμα 3.1. Αριθμός μετρήσεων φόρτου - λόγος εκτιμώμενη προς πραγματική τιμή (μέθοδος εντροπίας)	62
Σχήμα 3.2. Αριθμός μετρήσεων φόρτου - λόγος εκτιμώμενη προς πραγματική τιμή (μέθοδος πληροφορίας)	63
Σχήμα 3.3. Γραφική αναπαράσταση του MPRE	66
Σχήμα 5.1. Προσωρινό Μητρώο και Μητρώο Ουρών (δυναμικό πρότυπο επιλογής διαδρομής)	88
Πίνακας 5.1. Αποτελέσματα φόρτισης του δικτύου για διάφορες διάρκειες κύκλου	91
Διάγραμμα 5.1. Μέση Ταχύτητα - Διάρκεια κύκλου	93
Διάγραμμα 5.2. Συνολική καθυστέρηση - Διάρκεια κύκλου	94
Διάγραμμα 5.3. Συνολική διανυθήσα απόσταση - Διάρκεια κύκλου	95
Διάγραμμα 5.4. Συνολικός χρόνος κίνησης - Διάρκεια κύκλου	96
Πίνακας 6.1. Ζώνες προέλευσης - προορισμού (1)	102
Σχήμα 6.1. Δίκτυο προσομοίωσης	104
Πίνακας 6.2. Ζώνες προέλευσης - προορισμού (2)	105
Πίνακας 6.3. Κυκλοφοριακή Ικανότητα των συνδέσμων του δικτύου	106
Σχήμα 6.2. Κυκλοφοριακή Ικανότητα των συνδέσμων του δικτύου	107
Σχήμα 6.3. Ταχύτητα ελεύθερης ροής των συνδέσμων του δικτύου	108
Σχήμα 6.4. Ταχύτητα σε συνθήκες κορεσμού των συνδέσμων του δικτύου	109
Πίνακας 6.4.(1) Ταχύτητα ελεύθερης ροής των συνδέσμων του δικτύου	110
Πίνακας 6.4.(2) Ταχύτητα σε συνθήκες κορεσμού των συνδέσμων του δικτύου	110
Σχήμα 6.5. Θέσεις των φορατών στο δίκτυο	111
Πίνακες 6.5-6.7 Κατάλογος των φορατών του δικτύου	112-114
Σχήμα 6.6. Οι κανονικές κατανομές των τριών παραδειγμάτων	116
Σχήμα 6.7.(1)-6.7.(2) Λογικό διάγραμμα της προσομοίωσης	120

Σχήμα 6.8. Οι 12 φορατές που τελικά επιλέχθηκαν	124
Σχήμα 6.9 1ο Παράδειγμα.Διάγραμμα διακύμανσης του λόγου V/C	127
Σχήμα 6.10. 1ο Παράδειγμα.Διακύμανση της μέσης ταχύτητας	128
Σχήματα 6.11. - 6.15. 1ο Παράδειγμα.Διακύμανση του φόρτου στις οδούς Πατησίων, Πανεπιστημίου, Σταδίου, Ακαδημίας, και Σόλωνος	129-133
Πίνακες 6.8.-6.10. Αποτελέσματα 1ου παραδείγματος	134-136
Σχήμα 6.16. 1ο Παράδειγμα.Σχετική μέση απόλυτη διαφορά	137
Σχήμα 6.17. 2ο Παράδειγμα.Διακύμανση του λόγου V/C	139
Σχήμα 6.18. 2ο Παράδειγμα.Διακύμανση της μέσης ταχύτητας	140
Σχήματα 6.19.-6.23. 2ο Παράδειγμα.Διακύμανση του φόρτου στις οδούς Πατησίων, Πανεπιστημίου, Σταδίου, Ακαδημίας, και Σόλωνος	141-145
Πίνακες 6.11.-6.13. Αποτελέσματα 2ου παραδείγματος	146-148
Σχήμα 6.24. 2ο Παράδειγμα.Σχετική μέση απόλυτη διαφορά	149
Σχήμα 6.25. 3ο Παράδειγμα.Διακύμανση του λόγου V/C	151
Σχήμα 6.26. 3ο Παράδειγμα.Διακύμανση της μέσης ταχύτητας	152
Σχήματα 6.27.-6.31. 3ο Παράδειγμα.Διακύμανση του φόρτου στις οδούς Πατησίων, Πανεπιστημίου, Σταδίου, Ακαδημίας, και Σόλωνος	153-157
Πίνακες 6.14.-6.16. Αποτελέσματα 3ου παραδείγματος	158-160
Σχήμα 6.32. 3ο Παράδειγμα.Σχετική μέση απόλυτη διαφορά	161
Πίνακας 7.1. Η σχετική μέση απόλυτη διαφορά των τριών παραδειγμάτων	162
Σχήμα 7.1. Σχετική μέση απόλυτη διαφορά των τριών παραδειγμάτων	163
Σχήμα 7.2. Αριθμός επαναλήψεων-μέσο σφάλμα εκτιμώμενων φόρτων	166
Πίνακας 7.2. Μέσο σχετικό σφάλμα των εκτιμώμενων φόρτων	168
Σχήματα 7.3.-7.5. Ιστογράμματα σχετικού σφάλματος της εκτίμησης των αναχωρήσεων, στα τρία παραδείγματα	169-171
Σχήματα 7.6.-7.8. Πραγματικές-Εκτιμώμενες αναχωρήσεις στα τρία παραδείγματα	173-175
Σχήματα 7.9.-7.11. Φάσμα εκτίμησης αναχωρήσεων, στα τρία παραδείγματα	176-178
Σχήμα 7.12. Οι νέες θέσεις των φορατών στο δίκτυο	181
Πίνακες 7.3.-7.5. Αναλυτικά αποτελέσματα - νέες θέσεις φορατών	182-184
Σχήμα 7.13. Σχετική μέση απόλυτη διαφορά.Νέες θέσεις φορατών	185
Σχήμα 7.14. Ιστόγραμμα σφάλματος εκτίμησης των αναχωρήσεων.Νέες θέσεις	

φορατών	186
Σχήμα 7.15. Πραγματικές-Εκτιμώμενες αναχωρήσεις.Νέες θέσεις φορατών	187
Σχήμα 7.16. Φάσμα εκτίμησης.Νέες θέσεις φορατών	188
Σχήμα Α.1. Γεωμετρική ερμηνεία της μεθόδου των πολλαπλασιαστών Lagrange	200
Πίνακες Δ.1.-Δ.12. Χαρακτηριστικά των συνδέσμων του δικτύου	225-236
Σχήματα Ε.1.-Ε.16. Μέση απόλυτη διαφορά,τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλμ.,σχετική τετραγ. ρίζα του μέσου τετρ. του σφάλματος, συντελεστής διαφοροποίησης	238-253

Κεφάλαιο Πρώτο

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΣΚΕΨΕΙΣ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

1.1. Γενικά.

Το 1988 ο David E. Boyce, σε ένα αριστουργηματικά γραμμένο άρθρο του περί της χρήσης της ηλεκτρονικής καθοδήγησης (route guidance) και της συμβολής της στην μείωση του προβλήματος της κυκλοφοριακής συμφόρησης στα αστικά δίκτυα, εξέφρασε με μεγάλη σαφήνεια την απορία του για το γεγονός ότι η τεχνολογία των μεταφορών έχει προοδεύσει ελάχιστα κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών. Συγκεκριμένα τόνισε ότι τα τελευταία 40 χρόνια τομείς όπως οι επικοινωνίες, η πληροφορική, και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, παρουσιάζουν μία διαρκώς εξελισσόμενη και αλματώδη ανάπτυξη, ενώ η τεχνολογία των μεταφορών έχει παραμείνει στάσιμη. Έτσι μπορεί να εξάγει κανείς το πρόωρο όσο και λανθασμένο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει η δυνατότητα για μεγαλύτερη ανάπτυξη σε αυτό τον τομέα, που είναι τόσο σημαντικός για την υποδομή και κατ'επέκταση για την ανάπτυξη μίας χώρας.

Κάνοντας ένα παρόμοιο συλλογισμό για τον τρόπο με τον οποίο συλλέγονται ορισμένα δεδομένα, τα οποία είναι απαραίτητα για τις συγκοινωνιακές μελέτες, όπως επίσης και για τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται κατά την επεξεργασία τους, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι κυριαρχεί μία "στατικότητα". Παρότι έχει αναπτυχθεί από διάφορους επιστήμονες μία ποικιλία μεθόδων, στις περισσότερες των περιπτώσεων αυτές παραμένουν στα "συρτάρια", με κύρια αιτιολογία ότι είναι δύσχρηστες και δίνουν αμφισβητούμενης αξιοπιστίας αποτελέσματα. Έτσι παρατηρείται το φαινόμενο, σήμερα να χρησιμοποιούμε τις ίδιες συμβατικές μεθόδους, συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων, που χρησιμοποιούσαμε και πριν από πολλές δεκαετίες και των οποίων τα αποτελέσματα όπως θα σημειώσουμε αναλυτικότερα παρακάτω έχουν επίσης πρόβλημα αξιοπιστίας.

Οι συμβατικές μέθοδοι που εξακολουθούν και σήμερα να εφαρμόζονται σε ευρεία κλίμακα έχουν και διάφορα άλλα μειονεκτήματα, εκ των οποίων τα σημαντικότερα είναι:

- το μάλλον υψηλό κόστος (τόσο σε χρήματα όσο και σε χρόνο) για την απόκτηση των δεδομένων,

- το υψηλό κόστος για την αξιοποίηση των δεδομένων και την εξαγωγή των συμπερασμάτων, και
- το γεγονός ότι λόγω του ότι είναι κατά κανόνα στατικές και πολύπλοκες μέθοδοι είναι αδύνατο να χρησιμοποιηθούν σε δυναμικές εφαρμογές.

Ετσι εδώ και αρκετά χρόνια έχει γίνει φανερή και επιτακτική η ανάγκη για την εύρεση και ανάπτυξη καινούργιων μεθόδων τόσο για την λήψη των δεδομένων όσο και για την αξιοποίησή τους. Οι μέθοδοι αυτές πρέπει να μην έχουν τα προαναφερθέντα μειονεκτήματα των συμβατικών μεθόδων, δηλαδή θα πρέπει να είναι απλές στην εφαρμογή τους, με χαμηλό κόστος τόσο σε χρήμα όσο και σε χρόνο, και να μπορούν να εφαρμοστούν στην νέα πρόκληση που ονομάζεται "δυναμική διαχείριση των οδικών συστημάτων" (dynamic traffic management).

Μία από τις πρώτες προσπάθειες για την απλοποίηση των μεθόδων έγινε το 1974 από τον Οργανισμό για την Οικονομική Συνεργασία και Ανάπτυξη (ΟΟΣΑ, Urban traffic models : possibilities for simplifications). Από τότε έχουν περάσει δύο δεκαετίες και έχει φθάσει ο χρόνος να αξιολογήσουμε τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από την έρευνα στον τομέα αυτό. Πριν όμως από την αξιολόγηση αυτή θα προσπαθήσουμε να κάνουμε περισσότερο σαφή την ανάγκη για την ανάπτυξη τέτοιων μεθόδων.

1.2. Η αρχή είναι το ήμισυ του παντός.

Η έννοια των *Μεταφορών* είναι πολύπλοκη και το φαινόμενο που περιγράφει, δηλαδή τις μετακινήσεις που πραγματοποιούνται σε δεδομένο χρονικό διάστημα, δεν είναι ένα φαινόμενο το οποίο μπορεί να οριστεί μονοσήμαντα, αλλά εξαρτάται από μία πληθώρα παραμέτρων τόσο κοινωνικών όσο και οικονομικών. Επίσης η σχέση μεταξύ των παραμέτρων αυτών και του αριθμού των μετακινήσεων δεν είναι μία απλή αντιστοιχία καθώς οι "νόμοι" που διέπουν το φαινόμενο έχουν περισσότερο στοχαστικό παρά χρονικά σταθερό χαρακτήρα.

Εντούτοις η ανάγκη για την ανάλυση του φαινομένου, την εξαγωγή αποτελεσμάτων και

την λήψη αποφάσεων σε διάφορα προβλήματα, οδήγησε στην μαθηματική προσομοίωση του φαινομένου των μεταφορών (Αμπακούμκιν Κ.Γ., 1990). Το αποτέλεσμα της μαθηματικής αυτής προσομοίωσης είναι τα γνωστά "τέσσερα βήματα", που ονομαστικά είναι τα εξής:

- γένεση των μετακινήσεων (trip generation models),
- κατανομή των μετακινήσεων (trip distribution models),
- επιλογή του μέσου μεταφοράς (modal split models),
- επιλογή της διαδρομής (traffic assignments models).

Με τα δύο πρώτα στάδια επιδιώκουμε να βρούμε τα δύο άκρα (trip ends) μίας μετακίνησης, δηλαδή τα σημεία γέννησης και προορισμού της μετακίνησης. Η σημασία της γνώσης των σημείων προέλευσης και προορισμού των μετακινήσεων, και ακόμα περισσότερο η ποσοτική έκφραση των μετακινήσεων για κάθε ένα από τα ζεύγη ζωνών¹ που μας ενδιαφέρουν, γίνεται αντιληπτή άμα αναλογιστούμε ότι για την κριτική και την αξιολόγηση των τεχνικών έργων πρέπει πρώτα να κατανοήσουμε με αρκετή ακρίβεια την υπάρχουσα κατάσταση και το πρόβλημα που θέλουμε να αντιμετωπίσουμε πριν προχωρήσουμε στην επιλογή και εφαρμογή κάποιας λύσης. Αλλά και σ' άλλες μελέτες όπως για την πρόβλεψη της ζήτησης μεταφορικής εξυπηρέτησης είναι απαραίτητη η γνώση του ποσοστού αύξησης για κάθε ζεύγος ζωνών ξεχωριστά.

Έτσι σε πολλά συγκοινωνιακά έργα είναι απαραίτητη η απόκτηση πληροφοριών για τον τρόπο μετακίνησης των οχημάτων σε ένα δίκτυο, οπότε και διενεργούνται μελέτες "προέλευσης - προορισμού". Οι μελέτες αυτές ανάλογα με τις ανάγκες του σχεδιασμού (ή της διαχείρισης) του οδικού συστήματος και την επιθυμητή ακρίβεια περιορίζονται στην σύνταξη ενός μητρώου προέλευσης-προορισμού, ή παρέχουν και πληροφορίες για τη διαδρομή των οχημάτων στο δίκτυο.

¹ Με τον όρο ζώνη χαρακτηρίζουμε κάθε θέση/περιοχή παραγωγής ή προσέλκυσης μετακίνησης.

Με βάση τα στοιχεία του μητρώου προέλευσης-προορισμού και άλλα είδη δεδομένων (κυκλοφοριακοί φόρτοι, χρόνοι αναχωρήσεων των μετακινουμένων ατόμων, επιλογή μέσου και διαδρομής για μία δεδομένη μετακίνηση κ.λ.π.), θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση που θα μας δώσει τα τελικά αποτελέσματα της συγκοινωνιακής μελέτης, βάση των οποίων θα γίνει η κριτική, η αξιολόγηση των διαφόρων λύσεων και η επιλογή της καλύτερης από αυτές. Γίνεται λοιπόν φανερό από την παραπάνω αλληλουχία, ότι υπάρχει στενή σχέση του τελικού αποτελέσματος της μελέτης με την εκτίμηση του μητρώου προέλευσης-προορισμού που συντάσσεται στην αρχή.

Δυστυχώς ελάχιστη έρευνα έχει γίνει για να διαπιστωθεί η ευαισθησία των μεθόδων σχεδιασμού ή των μέτρων ελέγχου της κυκλοφορίας, στα σφάλματα τόσο της εκτίμησης του μητρώου προέλευσης-προορισμού, όσο και των υπολοίπων μετρήσεων που πραγματοποιούνται και ιδιαίτερα των κυκλοφοριακών φόρτων. Πολλοί επιστήμονες (P. Davies and D.R. Salter) έχουν εντούτοις εκφράσει την άποψη ότι η ευαισθησία αυτή πρέπει να είναι αρκετά σημαντική, και ιδιαίτερα στην πρόβλεψη της εξέλιξης της ζήτησης της μεταφορικής εξυπηρέτησης.

Γίνεται φανερή λοιπόν η ανάγκη εύρεσης απλούστερων και ακριβέστερων μεθόδων για την εκτίμηση του μητρώου προέλευσης - προορισμού. Αν μάλιστα στα παραπάνω προσθέσουμε και την απαίτηση να μπορεί να υπολογιστεί η "δυναμική" μεταβολή της ζήτησης των μετακινήσεων που πραγματοποιούνται σ'ένα δίκτυο (σε σχέση με το χρόνο), τότε με την χρήση των συμβατικών μεθόδων καταλήγουμε σε πραγματικό αδιέξοδο. Αυτό θα γίνει πιο σαφές όταν θα περιγραφούν τα χαρακτηριστικά των συμβατικών αυτών μεθόδων.

Αντίθετα μία σωστή εκτίμηση του μητρώου θα μειώσει σημαντικά την πιθανότητα σημαντικού λάθους της περαιτέρω ανάλυσης και επομένως της υπερ- (ή υπο-) διαστασιολόγησης του συστήματος, ή της αποτυχημένης εφαρμογής κάποιου μέτρου ελέγχου της κυκλοφορίας. Επομένως και εδώ φαίνεται ότι ισχύει το ότι η "αρχή είναι το ήμισυ του παντός".

1.3. Συμβατικές μέθοδοι υπολογισμού του μητρώου προέλευσης - προορισμού.1.3.1. Οι σημαντικότερες μέθοδοι.

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι, για τον υπολογισμό του μητρώου προέλευσης-προορισμού, που έχουν αναφερθεί στην διεθνή βιβλιογραφία και έχουν εφαρμοστεί στην πράξη, άλλες λιγότερο και άλλες περισσότερο. Κάθε μία από τις μεθόδους αυτές έχει τα δικά της χαρακτηριστικά γνωρίσματα και διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Επίσης δεν μπορούν να εφαρμοστούν όλες οι μέθοδοι σε όλες τις περιπτώσεις, καθώς μερικές από αυτές προϋποθέτουν την ισχύ ιδιαίτερων συνθηκών είτε στο δίκτυο είτε στην ίδια την εφαρμογή.

Μερικές από τις πιο γνωστές μεθόδους και από τις μεθόδους που εφαρμόζονται πιο συχνά είναι αυτές που αναφέρονται παρακάτω.

1. Μέθοδος "παρακολουθήσεως οχημάτων" (Car following),
2. Μέθοδος της αεροφωτογράφισης (Aerial photography),
3. Μέθοδος των προβολέων (Lights-on method),
4. Μέθοδος των καρτών (Post-card method),
5. Μέθοδος των πινακίδων (Number plate survey),
6. Μέθοδος των συνεντεύξεων παρά την οδό (Roadside survey),
7. Μέθοδος των κατ'οίκον συνεντεύξεων (Home interview).

Οι μέθοδοι αυτές θα μπορούσαν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το αν εφαρμόζονται σε μικρής ή μεγάλης εμβέλειας κυκλοφοριακές μελέτες. Έτσι οι δύο μέθοδοι των συνεντεύξεων (6) και (7) είναι εκείνες που εφαρμόζονται σε μελέτες ευρείας κλίμακας και σημασίας ενώ οι υπόλοιπες σε μελέτες που έχουν περισσότερο τοπικό χαρακτήρα.

1.3.2. Περιγραφή και χαρακτηριστικά των μεθόδων.

Σε αυτό το σημείο θα γίνει μία σύντομη περιγραφή των διαφόρων μεθόδων, και μία αναφορά σε μερικά από τα ιδιαίτερα γνωρίσματα τους.

(1) Μέθοδος των προβολών.

Η μέθοδος των "προβολών" έχει περιορισμένο πεδίο εφαρμογής αφού προϋποθέτει την ύπαρξη δύο μονάχα σημείων προέλευσης και το μέγιστο δύο ή τρία σημεία προορισμού. Επίσης προϋποθέτει την συνεργασία των οδηγών, και την συμμόρφωση τους με τα μηνύματα των πινακίδων που υπάρχουν πριν από την περιοχή ελέγχου (συνήθως περί το ένα χιλιόμετρο).

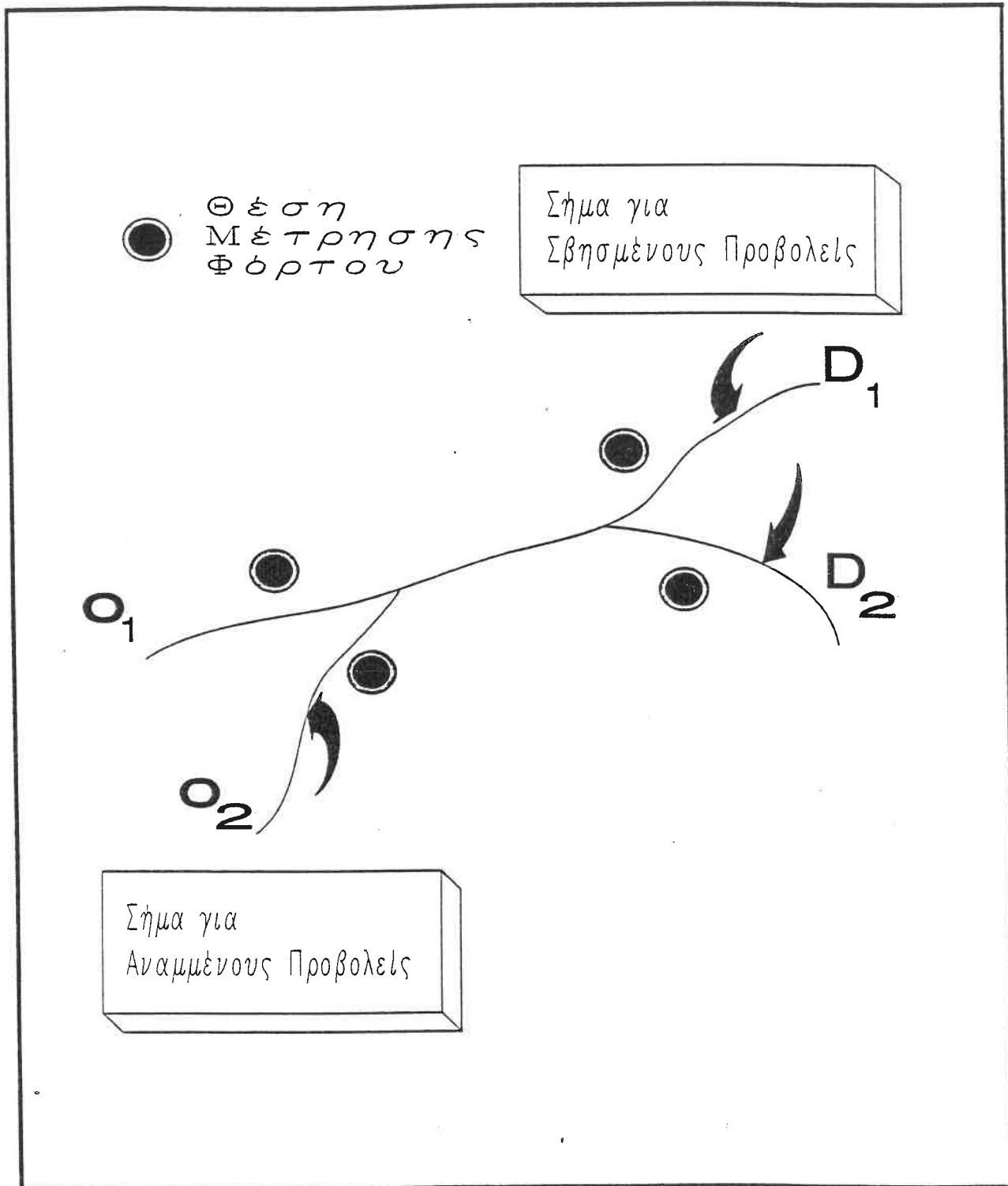
Το σκεπτικό της μεθόδου είναι σχετικά απλό. Ζητείται από τους οδηγούς που βρίσκονται στο ένα από τα δύο σημεία προέλευσης να ανάψουν τους προβολείς του οχήματος τους (Σχήμα 1.1). Επειτα γίνεται η καταμέτρηση των οχημάτων στα σημεία προορισμού, με τον διαχωρισμό "οχήματα με αναμμένους προβολείς" και "οχήματα με σβησμένους προβολείς". Βάση των μετρήσεων αυτών μπορεί να γίνει ο υπολογισμός του αριθμού των οχημάτων που κατευθύνονται από τα σημεία προορισμού O_1 και O_2 στα σημεία προελεύσεως D_1 και D_2 , για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς ζευγών προέλευσης - προορισμού.

Φυσικά λόγω του γεγονότος ότι δεν πρόκειται να συμμορφωθούν με τις υποδείξεις όλοι οι οδηγοί, θα πρέπει να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις με στατιστικές πλέον μεθόδους. Γι'αυτό το λόγο γίνονται ταυτόχρονα και μετρήσεις φόρτων σ'όλα τα σημεία προέλευσης και προορισμού.

(2) Μέθοδος των καρτών.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συνήθως σε μελέτες αρτηριών ταχείας κυκλοφορίας (freeway studies), και στις οποίες ελέγχονται όλες οι ράμπες εισόδου και εξόδου.

Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή μοιράζονται ειδικά κωδικοποιημένες κάρτες στους οδηγούς στα σημεία προέλευσης (ράμπες εισόδου), και συλλέγονται στα σημεία προορισμού (ράμπες εξόδου). Πάνω στην κάρτα μπορεί να σημειώνεται και ο χρόνος που αυτή δίδεται



Σχήμα 1.1. Μέθοδος των "προβολέων".

στον οδηγό και συλλέγεται από αυτόν. Έτσι είναι δυνατό, εκτός από τον συνολικό αριθμό των οχημάτων που αντιστοιχεί σε κάθε ζεύγος ζωνών προέλευσης-προορισμού, συλλεγούν και δεδομένα για τον χρόνο των μετακινήσεων και την διακύμανση αυτών κατά την διάρκεια των μετρήσεων.

Γίνεται φανερό ότι για την διεξαγωγή της μεθόδου αυτής είναι απαραίτητη η παρουσία αστυνομικού οργάνου, καθώς θα πρέπει να διακόπτεται η κυκλοφορία των οχημάτων. Επίσης είναι μία από εκείνες τις συμβατικές μεθόδους στις οποίες ο οδηγός υφίσταται όχληση. Μία παραλλαγή της μεθόδου αυτής είναι εκείνη που δεν κάνει χρήση καρτών, αλλά αυτοκόλλητων σημάτων που επικολλούνται πάνω στα οχήματα και σε εμφανή σημεία (π.χ. πόρτα, κεραία ραδιοφώνου).

(3) Μέθοδος των πινακίδων.

Είναι η πιο δημοφιλής μέθοδος για έρευνες μικρής εμβέλειας και τοπικού χαρακτήρα. Την δημοτικότητα της την οφείλει στο γεγονός ότι δεν είναι απαραίτητη η παρουσία αστυνομίας, και γενικότερα κάποιας υποδομής και προετοιμασίας (στην περιοχή μελέτης) από την πλευρά των διοργανωτών της έρευνας. Επίσης ένα άλλο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι το γεγονός ότι δεν υπάρχει όχληση των οδηγών, και αν γίνουν μετρήσεις με μεγαλύτερη από την συνήθη λεπτομέρεια μπορούμε να έχουμε και δεδομένα για την ακριβή διαδρομή των οχημάτων στο δίκτυο.

Η κύρια ιδέα της μεθόδου είναι να γίνει καταγραφή των πινακίδων των οχημάτων που διέρχονται από ένα σημείο προέλευσης προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση, κατά τακτά χρονικά διαστήματα (t). Την ίδια χρονική περίοδο υπάρχουν παρατηρητές και σε όλα τα σημεία προορισμού που μας ενδιαφέρουν και καταγράφουν τις πινακίδες των οχημάτων που καταφθάνουν στα σημεία αυτά.

Το ποιο θα είναι το χρονικό διάστημα t εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του δικτύου, και είναι τις περισσότερες φορές ίσο με τον μέσο χρόνο που χρειάζεται ένα όχημα για να διασχίσει την περιοχή μελέτης. Ακολουθώντας και κατά την επεξεργασία των δεδομένων γίνεται "ταίριασμα" των πινακίδων από τα διάφορα σημεία προέλευσης για το χρονικό διάστημα t , με τις πινακίδες στα διάφορα σημεία προορισμού για το χρονικό διάστημα

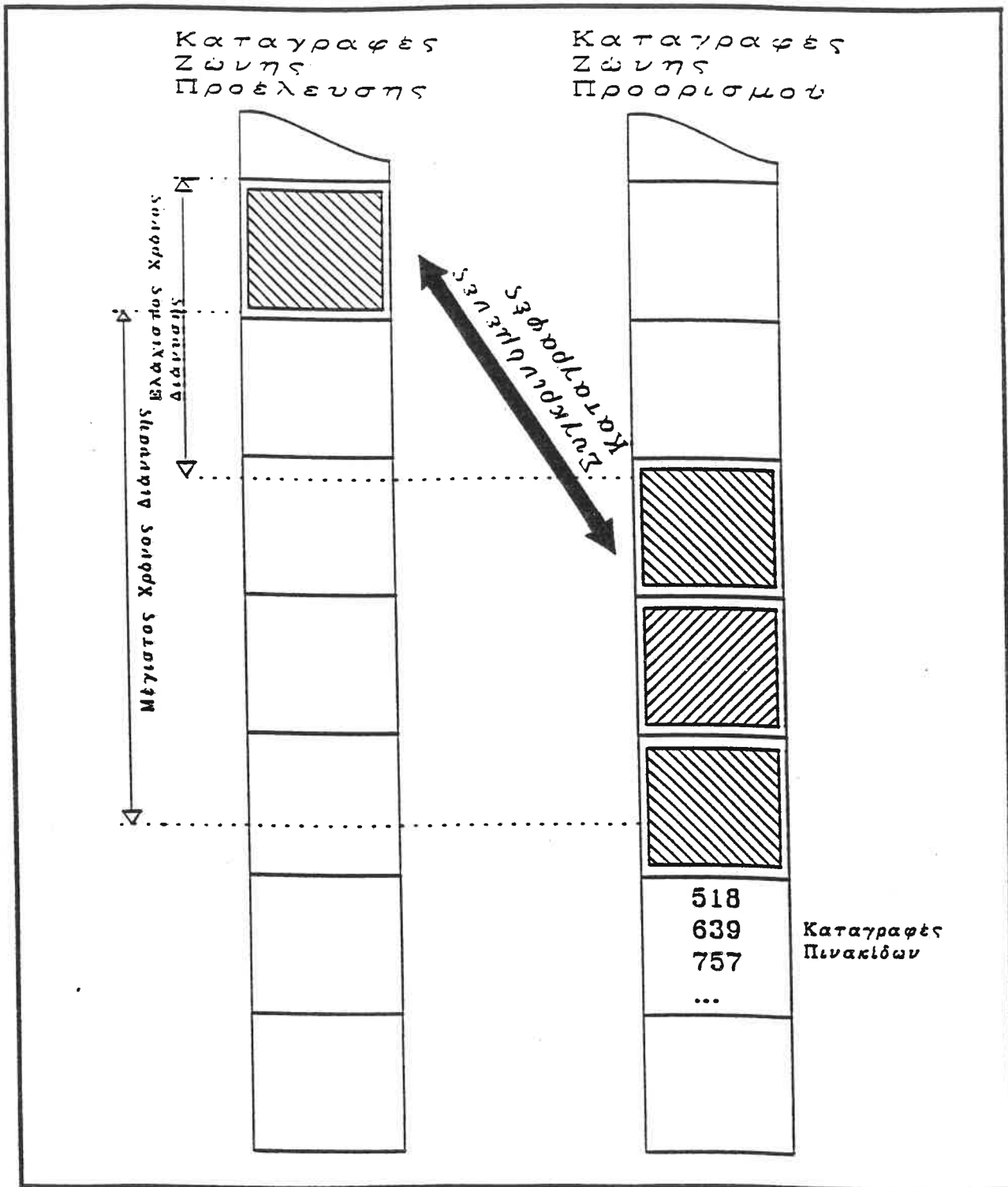
$[t_1 + \Delta t_1, t_2 + \Delta t_2]$. Όπου οι χρόνοι αυτοί είναι:

t_1 : ώρα αρχής του χρονικού διαστήματος t .
 t_2 : ώρα τέλους του χρονικού διαστήματος t .
 Δt_1 : ελάχιστος χρόνος διάνυσης της περιοχής μελέτης.
 Δt_2 : μέγιστος χρόνος διάνυσης της περιοχής μελέτης.

Σχηματικά τα παραπάνω φαίνονται στο σχήμα 1.2.

Η μέθοδος αυτή εμφανίζεται, αρχικά, να είναι ιδιαίτερα ελκυστική καθότι συνδυάζει την ευκολία στην εφαρμογή της με το χαμηλό κόστος και τα αξιόπιστα αποτελέσματα. Εντούτοις τα πράγματα δεν είναι έτσι ακριβώς όπως θα φανεί από την παρακάτω ανάλυση.

Η τέλεια εφαρμογή της μεθόδου θα ήταν να καταγράφεται ολόκληρος ο αριθμός (γράμματα και ψηφία) των πινακίδων. Έτσι το "ταίριασμα" των πινακίδων θα ήταν μονοσήμαντα ορισμένο και σχεδόν πέρα από κάθε αμφισβήτηση. Όμως αυτό είναι πρακτικά αδύνατο σε οδούς με σημαντικό κυκλοφοριακό φόρτο, ή σ' εκείνες στις οποίες τα οχήματα κινούνται με μεγάλη ταχύτητα. Αυτό που γίνεται τελικά είναι η καταγραφή των τελευταίων τριών ή τεσσάρων ψηφίων. Οπότε στο ταίριασμα που πραγματοποιούμε στην ανάλυση των δεδομένων μας δεν ήμαστε 100% σίγουροι ότι πρόκειται για το ίδιο όχημα. Επίσης επειδή οι μετρήσεις πραγματοποιούνται από ανθρώπους, οι οποίοι συχνά δεν έχουν εμπειρία σε μετρήσεις, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να γίνει λάθος καταγραφή και έτσι να μεταβληθεί η πραγματική εικόνα των μετακινήσεων που πραγματοποιούνται. Επίσης ένα τρίτο είδος σφάλματος μπορεί να προέλθει από την πλευρά της ανάλυσης. Συγκεκριμένα είναι πιθανό κάποιο όχημα, για κάποιο λόγο (π.χ. στάση), να πραγματοποιήσει μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από Δt_2 (μέγιστος χρόνος διάνυσης) προκειμένου να διασχίσει την περιοχή μελέτης. Σε αυτήν την περίπτωση θα μειωθούν κατά μία οι μετακινήσεις που θα



Σχήμα 1.2. Καταγραφές των οχημάτων και συσχέτιση αυτών.

υπολογιστούν από την επεξεργασία των δεδομένων.

Προκειμένου να δοθεί μία καλύτερη εικόνα για το σφάλμα που οφείλεται στους "πλαστούς"¹ συνδυασμούς, θα γίνει αναφορά στα αποτελέσματα μίας σχετικής έρευνας (M.M. Slavik, 1980).

Ο Slavik για να βρεί το ποσοστό των πλαστών συνδυασμών, έκανε τις εξής υποθέσεις :

- (i) Δεν υπάρχουν λανθασμένες καταγραφές πινακίδων.
- (ii) Καταγράφονται τα τρία τελευταία ψηφία των πινακίδων.
- (iii) Οι αριθμοί των τριών ψηφίων ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή, δηλαδή κάθε ένας από τους αριθμούς αυτούς έχει ίση πιθανότητα, με τους υπόλοιπους, να εμφανιστεί.

Ονόμασε small blocks τα χρονικά εκείνα διαστήματα t (διάστημα καταγραφών κατά την διάρκεια των μετρήσεων), κατά τα οποία δεν υπάρχουν πάνω από 10 καταγραφές στο σημείο προέλευσης, και πάνω από 20 καταγραφές στο σημείο προορισμού. Αντίστοιχα για τα medium blocks ίσχυαν 50 και 80 καταγραφές και για τα large blocks 70 και 300.

Η μελέτη του βασίστηκε σε προσομοίωση με ηλεκτρονικό υπολογιστή ο οποίος έδινε X τυχαίους τριψήφιους αριθμούς σαν καταγραφές εισόδου (origin) και Y σαν καταγραφές εξόδου (destination). Επειτα γινόταν το ταιριασμα των αριθμών. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε 10.000 φορές και κάθε φορά υπολογίστηκαν οι πλαστοί συνδυασμοί. Έτσι προέκυψε το διάγραμμα του σχήματος 1.3., μεταξύ πραγματικής (real) και εκτιμώμενη (apparent) κυκλοφορίας το οποίο δείχνει με σαφή τρόπο το πιθανό σφάλμα λόγω πλαστών συνδυασμών σε σχέση με την κατηγορία του block (χρονικά διαστήματα στα οποία χωρίζεται η ώρα των μετρήσεων) και των αριθμό N των πιθανών συνδυασμών των ψηφίων (π.χ. για τρία ψηφία ισχύει $N=1.000$).

¹ Πλαστό (spurious) συνδυασμό ονομάζουμε τον συνδυασμό εκείνο του οποίου το ζευγάρι των καταγραφών αντιστοιχεί σε δύο διαφορετικά οχήματα.

Από το διάγραμμα αυτό προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

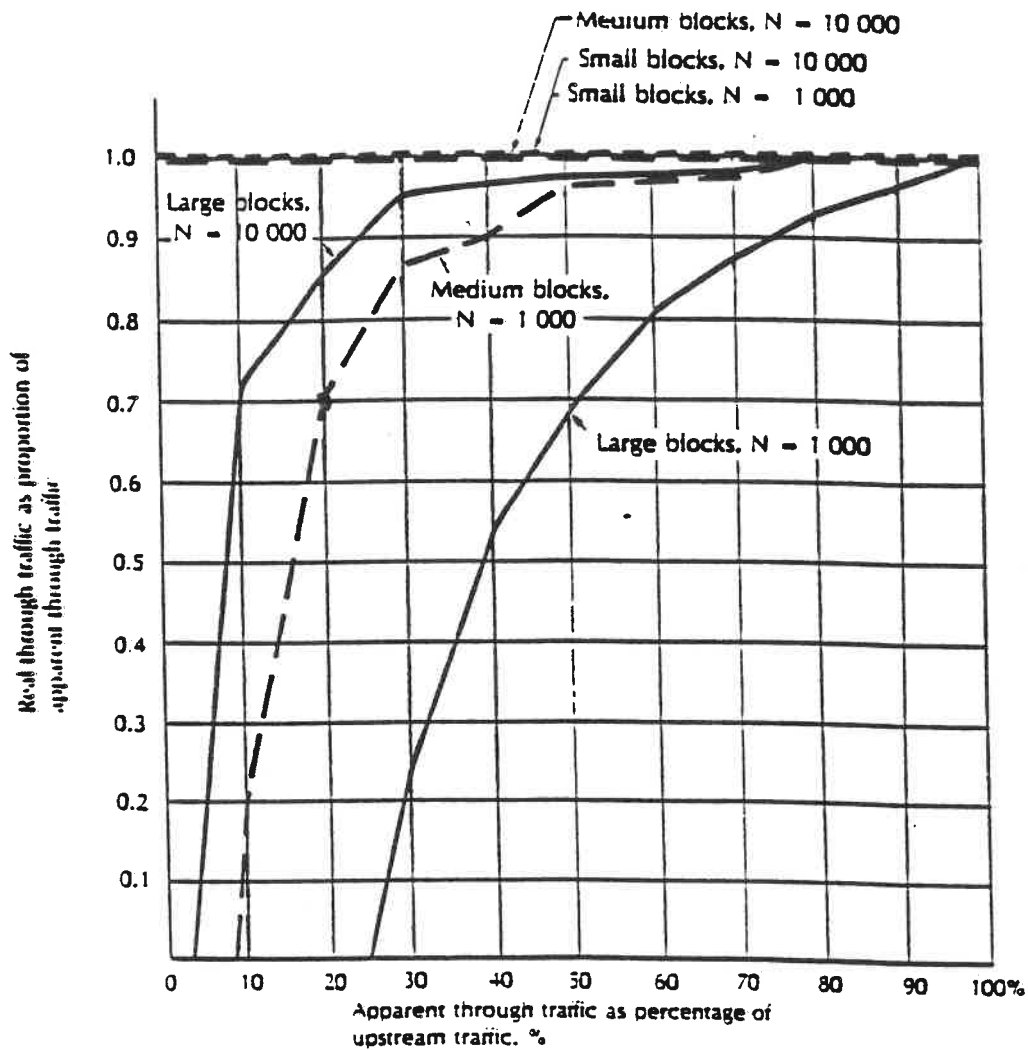
- (α) Αν χρησιμοποιηθούν small blocks τότε καμία διόρθωση δεν είναι απαραίτητη αρκεί το N να είναι τουλάχιστον ίσο με 1.000.
- (β) Αν το N είναι μεγαλύτερο από 10.000 τότε δεν χρειάζεται να γίνει κάποια διόρθωση, εκτός από την περίπτωση που χρησιμοποιώ large blocks και η εκτιμώμενη κυκλοφορία στο σημείο προέλευσης είναι μικρότερη από το 80% της πραγματικής.
- (γ) Σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις η διόρθωση είναι απαραίτητη και μάλιστα όσο μικραίνει το ποσοστό της εκτιμώμενης σε σχέση με την πραγματική κυκλοφορία, η διόρθωση γίνεται σημαντικότερη.
- (δ) Μάλιστα σε περιπτώσεις όπου οι μετρήσεις βασίζονται σε large blocks, ισχύει $N=1.000$, και το ποσοστό της εκτιμώμενης κυκλοφορίας είναι μικρότερο του 25%, τότε από το διάγραμμα βλέπουμε ότι όλοι οι συνδυασμοί είναι πλαστοί.

Φυσικά στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονισθεί ότι η μέθοδος από την οποία προήλθε το διάγραμμα είναι μία καθαρά στοχαστική μέθοδος η οποία δείχνει το μέσο ποσοστό των πλαστών συνδυασμών που θα συμβούν σε μία μεγάλη χρονικά εφαρμογή της μεθόδου των πινακίδων.

Ομως κάνει αρκετά σαφές την ύπαρξη του προβλήματος και την πιθανή έκταση που αυτό μπορεί να έχει. Αυτή η έκταση του είναι που δεν μας επιτρέπει να το αγνοούμε.

(4) Μέθοδοι των συνεντεύξεων.

Οι δύο τελευταίες συμβατικές μέθοδοι [(6) και (7)] ανήκουν σε μία διαφορετική ομάδα μεθόδων σύνταξης μητρώων προέλευσης - προορισμού. Στην ομάδα αυτή, η οποία εφαρμόζεται σε μελέτες μεγάλης εμβέλειας, δεν είναι επιθυμητός μονάχα ο αριθμός των μετακινήσεων μεταξύ διαφόρων ζωνών. Ένα πλήθος άλλων πληροφοριών είναι απαραίτητες, όπως :



Πηγή : M.M.Slavic.

Σχήμα 1.3. Εκτιμώμενη προς πραγματική κυκλοφορία.

- (i) Η διαδρομή που ακολουθούν οι χρήστες.
- (ii) Ο σκοπός της μετακίνησης (trip purpose).
- (iii) Η συχνότητα πραγματοποίησης της μετακίνησης.
- (iv) Τρόπος και Τοποθεσία στάθμευσης.

(4.1) Μέθοδος συνεντεύξεων παρά την οδό.

Σε αυτή την μέθοδο οι οδηγοί των οχημάτων υποχρεούνται, μέσω υποδείξεων που γίνονται από αστυνομικά όργανα, να σταματήσουν σε κατάλληλα διαμορφωμένους χώρους, οι οποίοι είναι συχνά κοντά στα σημεία προέλευσης και προορισμού που μας ενδιαφέρουν και επί κυρίων αρτηριών. Υποβάλλονται σε μία ομάδα από ερωτήσεις που όμως δεν είναι ποτέ πολλές σε αριθμό (συνήθως ο αριθμός των ερωτήσεων είναι από τρεις έως πέντε).

Γίνεται αμέσως κατανοητό ότι στην περίπτωση που υπάρχει κάπως υψηλή κυκλοφορία δεν είναι δυνατόν να ερωτώνται όλοι οι οδηγοί, επομένως και το δείγμα που θα αποκτηθεί θα είναι μικρό και θα πρέπει να διορθωθεί λαμβάνοντας υπ'όψην το σύνολο των οχημάτων που θα διέλθουν. Έτσι ταυτόχρονα με τις συνεντεύξεις γίνονται και μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου ώστε να διαπιστωθεί η επάρκεια του δείγματος και να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες διορθώσεις.

(5) Μέθοδος των κατ'οίκον συνεντεύξεων.

Στην ίδια ομάδα με την προηγούμενη μέθοδο ανήκει και η μέθοδος των κατ'οίκον συνεντεύξεων. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο (η οποία πραγματοποιείται όταν για κάποιους λόγους δεν είναι δυνατή η διακοπή της κυκλοφορίας), μοιράζονται στους οδηγούς ειδικά ερωτηματολόγια με αρκετές τον αριθμό ερωτήσεις. Η διανομή γίνεται σε θέσεις όπου υπάρχει υποχρεωτική διακοπή της κυκλοφοριακής ροής όπως είναι οι σηματοδότες. Ζητείται από τους οδηγούς να συμπληρώσουν το ερωτηματολόγιο στο σπίτι του και να το ταχυδρομήσουν. Όμως η εμπειρία δείχνει ότι μόνο ένα ποσοστό 5 έως 15% τελικά συμμορφώνεται και μάλιστα υπάρχει αμφισβήτηση περί του αν αυτό το ποσοστό ισομοιράζεται σε όλες τις κοινωνικο-οικονομικές ομάδες.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό το πόσο "δυσκίνητη" και αμφισβητούμενης αξιοπιστίας

είναι η τελευταία μέθοδος.

1.3.3. Τα μειονεκτήματα των συμβατικών μεθόδων.

Τα πολλά μειονεκτήματα των συμβατικών μεθόδων είναι εκείνα που οδήγησαν τους επιστήμονες να αναζητήσουν πιο απλές και αποτελεσματικές μεθόδους.

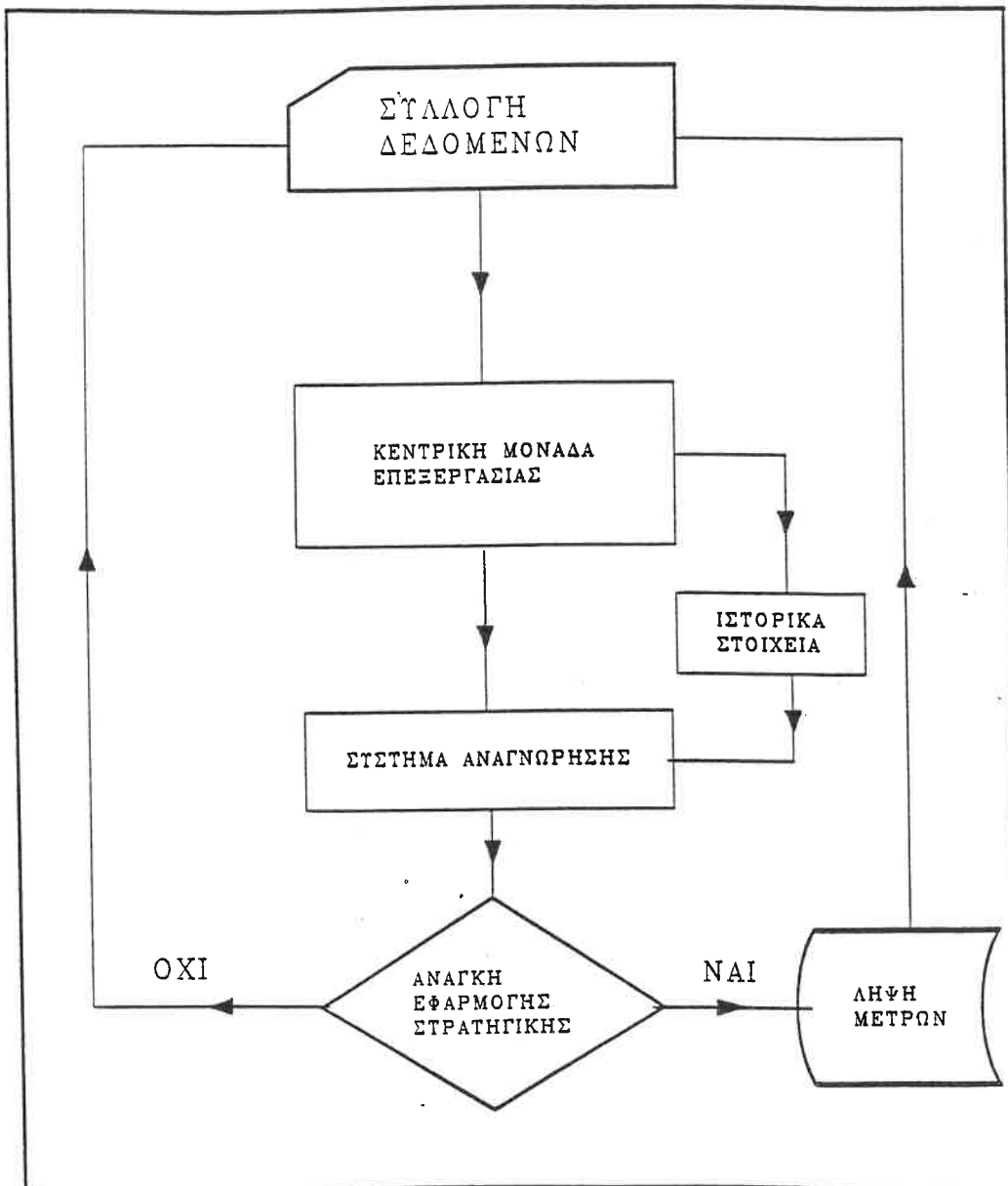
Τα μειονεκτήματα των παραπάνω μεθόδων έχουν συγκεντρωθεί στον παρακάτω κατάλογο.

- Έχουν υψηλό κόστος για την απόκτηση των δεδομένων μια και πρέπει να γίνουν με χειρωνακτικό τρόπο.
- Επίσης υψηλό είναι και το κόστος για την αξιολόγηση των μετρήσεων (τόσο σε χρήματα όσο και σε χρόνο).
- Η πλειοψηφία από τις παραπάνω μεθόδους προκαλούν όχληση στους οδηγούς κατά την εφαρμογή τους.
- Με εξαίρεση την αεροφωτογράφιση σε όλες τις υπόλοιπες μεθόδους κάνουμε χονδροειδής παραδοχές κατά την ανάλυση των μετρήσεων.
- Είναι χρονοβόρες μέθοδοι και πολλές από αυτές έχουν έλλειψη καθαρής θεωρητικής βάσης.
- Δεν έχουν καθόλου ευελιξία και το δείγμα στο οποίο βασίζονται είναι πολύ μικρό και αμφισβητούμενης αξιοπιστίας.
- Τέλος ένα σημαντικό τους μειονέκτημα είναι η αδυναμία να εφαρμοστούν για την κριτική θεώρηση διαφόρων στρατηγικών σε θέματα διαχείρισης οδικών συστημάτων.

Φυσικά όλα τα παραπάνω δεν είναι μειονεκτήματα για κάθε μία από τις μεθόδους που προαναφέραμε πιο πάνω. Όμως εκείνο το γνώρισμα που είναι χαρακτηριστικό για όλες είναι η **στατικότητα** τους και η αδυναμία τους να χρησιμοποιηθούν σε δυναμικές εφαρμογές και ειδικότερα σε **συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου της κυκλοφορίας (traffic monitoring systems)**.

Τα παραπάνω συστήματα που στόχος τους θα είναι ο έλεγχος ανά πάσα στιγμή των

συνθηκών που επικρατούν στο δίκτυο, και με την χρήση ενός κατάλληλου συστήματος αναγνώρισης (Pattern Recognition), που θα βασίζεται και σε ιστορικά στοιχεία, η άμεση εφαρμογή προκαθορισμένων στρατηγικών, επιβάλλουν την χρήση μεθόδων των οποίων η συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων θα γίνεται σε REAL TIME (δυναμικά, μεταβαλλόμενα ως προς το χρόνο). Το λογικό διάγραμμα της διαδικασίας αυτής δίνεται στο σχήμα 1.4..



Σχήμα 1.4. Λογικό διάγραμμα ενός Συστήματος Ελέγχου της Κυκλοφορίας.

1.4. Μοντέρνες Μέθοδοι Υπολογισμού του Μητρώου προέλευσης προορισμού.

1.4.1 Γενικά - Μετρήσεις φόρτου.

-Από αυτά που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους γίνεται φανερή η ανάγκη για την εύρεση νέων και απλοποιημένων μεθόδων υπολογισμού του μητρώου προέλευσης - προορισμού.

Η ανάγκη αυτή οδήγησε τους επιστήμονες να αναζητήσουν μεθόδους των οποίων τα δεδομένα θα μπορούν να αποκτηθούν και να αξιολογηθούν σε μικρό χρονικό διάστημα. Έτσι οδηγήθηκαν σε μεθόδους που βασίζονται σε μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου. Σε αυτό βοήθησε και το γεγονός ότι οι μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου έχουν αυτοματοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό, χάρις την τεράστια ανάπτυξη επιστημών όπως η πληροφορική, οι επικοινωνίες και η ηλεκτρονική.

Οι μετρήσεις φόρτων ήσαν από τα πρώτα είδη μετρήσεων που αναπτύχθηκαν, από τα πρώτα χρόνια που εμφανίστηκε και αναπτύχθηκε η επιστήμη των μεταφορών. Μία από τις πιο παλαιές μεθόδους μετρήσεων φόρτου είναι εκείνη των μετρητών με πεπιεσμένο αέρα (η χρήση της χρονολογείται από το 1920).

(α) Μετρητές με πεπιεσμένο αέρα.

Οι μετρητές αυτοί αποτελούνται από ένα ελαστικό σωλήνα, μικρής διατομής. Το ένα άκρο του σωλήνα στερεώνεται με ατσάλενια καρφιά στην άκρη του οδοστρώματος ή της λωρίδας που μας ενδιαφέρει, ενώ το άλλο άκρο συνδέεται με το καταγραφικό μηχάνημα το οποίο βρίσκεται καλά δεμένο σε ακλόνητο σημείο. Το καταγραφικό μηχάνημα μπορεί να προγραμματισθεί με τέτοιο τρόπο ώστε σε κάθε δύο ωθήσεις αέρα που δέχεται (από διελεύσεις δύο αξόνων), να καταγράφει ένα όχημα. Ο ελαστικός σωλήνας, ανάλογα άμα πρόκειται για μόνιμη ή προσωρινή τοποθέτηση, θάβεται στην ασφαλτο ή συγκρατείται με κάποιο τρόπο (π.χ. συγκολλητική ταινία).

Προφανώς υπάρχουν διάφοροι λόγοι που μπορούν να οδηγήσουν σε εσφαλμένες μετρήσεις όπως :

- (i) Όταν διέρχονται οχήματα με περισσότερους από δύο άξονες.
- (ii) Λόγω κακώσεων και ζημιών του ελαστικού σωλήνα από τις συνεχείς διελεύσεις μπορούμε να έχουμε μέχρι και διακοπή της καταγραφής.
- (iii) Όταν έχουμε ασύγχρονη διέλευση των δύο τροχών του ίδιου άξονα. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε κακή τοποθέτηση του σωλήνα (δεν είναι κάθετος στον άξονα της οδού) ή σε σωλήνες που έχουν τοποθετηθεί πάνω σε στρόφες.

Έτσι έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι η μέθοδος αυτή έχει ένα ποσοστό σφάλματος που είναι περίπου από 5 έως 10%.¹

Σαν πλεονεκτήματα της μεθόδου θα μπορούσαμε να αναφέρουμε :

- το χαμηλό κόστος αγοράς και,
- την ευκολία τοποθέτησης και συντήρησης.

(β) Μετρητές μαγνητικού πεδίου.

Μία μέθοδος που κερδίζει συνεχώς έδαφος είναι οι **επαγωγικοί βρόγχοι** (inductive loops). Αυτή βασίζεται στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από το ρεύμα που κυκλοφορεί στον βρόγχο και το οποίο διακόπτεται με τη διέλευση ενός άξονα. Μάλιστα με την μέθοδο αυτή μπορούμε να πάρουμε και άλλα δεδομένα όπως μήκος άξονα, και ακριβείς μετρήσεις ταχυτήτων των οχημάτων. Ένα ακόμα πλεονέκτημα της είναι η μικρή φθορά που πραγματοποιείται στο οδόστρωμα κατά την τοποθέτηση των βρόγχων.

- Τέλος έχουν αναπτυχθεί και μια ποικιλία άλλων μεθόδων μέτρησης φόρτου με χρήση ραντάρ, υπερήχων, φωτοηλεκτρικών κυκλωμάτων κ.λ.π.. Το κυριώτερο μειονέκτημα τους είναι το υψηλό κόστος.

¹ Τα στοιχεία για την μέθοδο αυτή προέρχονται από το βιβλίο "Σχεδιασμός των μεταφορών και κυκλοφοριακή τεχνική", Ι.Μ.Φραντζεσκάκης - Γ.Α.Γιαννόπουλος, τόμος1, εκδόσεις παρατηρητής, 1986.

1.4.2. Πλεονεκτήματα μεθόδων με δεδομένα φόρτου.

Οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί με βάση μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου, και οι οποίες θα αναλυθούν διεξοδικά στα επόμενα κεφάλαια της διπλωματικής εργασίας, παρουσιάζουν πλεονεκτήματα σε πολλά από τα σημεία για τα οποία έχουν κριτικαριστεί οι συμβατικές μέθοδοι.

Τα σημαντικότερα από αυτά τα πλεονεκτήματα είναι τα εξής :

1. Είναι ιδιαίτερα φθηνή η απόκτηση των δεδομένων τους.
2. Οι μετρήσεις κυκλοφοριακών φόρτων γίνονται για διάφορους λόγους όπως :
 - α. Συλλογή στατιστικών δεδομένων για την παρακολούθηση των εξελικτικών τάσεων της κυκλοφορίας.
 - β. Μελέτες ατυχημάτων και διαχείρισης οδικών συστημάτων (π.χ. για σηματοδότηση κόμβων ή κατασκευή ανισόπεδου κόμβου).
 - γ. Εύρεση του μεγέθους της κυκλοφορίας που χρησιμοποιεί μία συγκεκριμένη περιοχή.
3. Τελικά δεν αποχτούμε ένα δείγμα μετρήσεων αλλά σχεδόν το 100% του πληθυσμού που χρησιμοποιεί συγκεκριμένα τμήματα του δικτύου.
4. Οι μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου έχουν υψηλό αυτοματισμό, λόγω της τεχνολογικής προόδου, και η ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί είναι πολύ υψηλή.
5. Κατά την διάρκεια των μετρήσεων δεν υπάρχει όχληση των οδηγών.
6. Έχουν σημαντική θεωρητική βάση καθώς στηρίζονται στα γνωστά πρότυπα μαθηματικής προσομοίωσης των μεταφορών.
7. Τέλος μπορούμε να έχουμε δεδομένα με συνεχή ρυθμό. Αυτό μας δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο για δυναμικές εφαρμογές, και ειδικότερα για δυναμικό έλεγχο της κυκλοφορίας.

Από τα παραπάνω πλεονεκτήματα των απλοποιημένων μεθόδων για τον υπολογισμό του μητρώου προέλευσης - προορισμού, γίνεται φανερό ότι αρχικά υπάρχουν όλες οι προϋποθέσεις με τις οποίες θα μπορεί να εφαρμοσθεί στην πράξη το λογικό διάγραμμα του σχήματος 1.4.. Έτσι θα είναι δυνατή η γνώση των μεταβολών της ζήτησης των μετακινήσεων σε όποια χρονική βάση είναι επιθυμητό (ωριαία, ημερήσια, εβδομαδιαία, μηνιαία) και κατ'επέκταση η εφαρμογή διαφόρων πολιτικών λήψης μέτρων για μία ποικιλία

προβλημάτων που συσχετίζονται με αυτήν.

Υπάρχει όμως και μία ακόμα παράμετρος που δεν αναφέρθηκε στο παραπάνω κατάλογο και η οποία είναι ιδιαίτερα σημαντική. Αυτή η παράμετρος είναι η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων των απλοποιημένων μεθόδων με μετρήσεις φόρτου. Η παράμετρος αυτή θα αναλυθεί και θα διερευνηθεί στα επόμενα κεφάλαια όπως επίσης και στην υπολογιστική προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε.

1.5. Εφαρμογές των απλοποιημένων μεθόδων.

Η χρήση των σύγχρονων μεθόδων αυτών μπορεί να γίνει σ'ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών όπως :

- (1) Σε αγροτικές και υπεραστικές περιοχές όπου υπάρχει μεγάλη έλλειψη στοιχείων και μικρή αξιοπιστία στα ιστορικά στοιχεία που πιθανά υπάρχουν και είναι δύσκολη η εφαρμογή των συμβατικών μεθόδων.
- (2) Σε μητροπόλεις όπου η πολυπλοκότητα του δικτύου επιβάλλει μεγάλου εύρους έρευνες και μετρήσεις, των οποίων το κόστος είναι υψηλό.
- (3) Σε κέντρα πόλεων (ή και προαστίων για τοπικές ανάγκες), για λόγους management της κυκλοφορίας. Στην περίπτωση αυτή τα σημεία προέλευσης και προορισμού θα είναι οι εισοδοί και εξοδοί της περιοχής μελέτης.

Ο ρόλος των απλοποιημένων μεθόδων.

Ο ρόλος των μεθόδων αυτών είναι πολύπλευρος και μπορεί να ανταποκριθεί στις ανάγκες τόσο των ανεπτυγμένων όσο και των αναπτυσσόμενων χωρών.

Συγκεκριμένα στην περίπτωση των ανεπτυγμένων χωρών μπορεί να γίνει χρήση των μεθόδων :

- Στην πρόγνωση και ενημέρωση των βάσεων δεδομένων.
- Στην αξιολόγηση μέτρων πολιτικής σε διάφορους τομείς που αφορούν την διαχείριση των οδικών δικτύων.

- Στον δυναμικό έλεγχο της κυκλοφορίας.

Στην περίπτωση των αναπτυσσόμενων χωρών οι μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μέτρηση του ρυθμού ανάπτυξης, για την απόκτηση των δεδομένων χωρίς υψηλό κόστος, και για την διαρκή ενημέρωση αυτών και εφαρμογή τους σε σχετικά απλότερα δίκτυα, λόγω της μη ύπαρξης της απαιτούμενης υποδομής.

Κεφάλαιο Δεύτερο

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ.

2.1. ΓΕΝΙΚΑ - ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.

Τα πρώτα αποτελέσματα των ερευνών για απλές μεθόδους, στον υπολογισμό του μητρώου προέλευσης - προορισμού, άρχισαν να φαίνονται το 1980. Πρωτοπόροι στο θέμα των μεθόδων που βασίζονται σε μετρήσεις κυκλοφοριακών φόρτων, ήσαν οι Henk J. Van Zuylen και Luis G. Willumsen.

Οι δύο αυτοί ερευνητές παρουσίασαν με δημοσιεύσεις τους δύο φαινομενικά "διαφορετικές" μεθόδους, και αρχικά τις αξιολόγησαν με τεχνητά παραδείγματα. Έτσι φάνηκαν οι ιδιότητες των μεθόδων αυτών και η δυνατότητα περιγραφής και προσέγγισης της πραγματικότητας με την χρήση τους.

Οι δύο αυτές μέθοδοι ήσαν :

α. Η Μέθοδος Μεγιστοποίησης της Εντροπίας (Entropy maximising formulation),
που αναπτύχθηκε από τον L.G. Willumsen (Van Zuylen, Willumsen, 1980), και

β. Η Μέθοδος ελαχιστοποίησης της Πληροφορίας (Information minimising approach), που αναπτύχθηκε από τον H.J. Van Zuylen (Van Zuylen, Willumsen, 1980).

Οι δύο αυτές μέθοδοι είναι, στην ουσία, όμοιες όπως θα φανεί στο επόμενο κεφάλαιο όπου θα γίνει και η αναλυτική τους παρουσίαση. Διαφέρουν μονάχα στον ορισμό του μέτρου της "απόστασης" (δηλαδή της διαφοράς) του εκτιμώμενου μητρώου ή με άλλα λόγια του πιο πιθανού, από το αρχικό μητρώο προέλευσης - προορισμού, και στην "κατάσταση" που θεωρούν και βάση της οποίας αναπτύσσουν το πρότυπο τους.

Αρχικά θα γίνει μία θεωρητική ανάλυση του προβλήματος. Σε πρώτο στάδιο θα θεωρηθεί μία "στατική" ανάλυση του προβλήματος που αργότερα θα επεκταθεί σε δυναμική.

2.1.1. Ποιός είναι ο στόχος της αναζήτησης.

Θεωρούμε ότι έχουμε ως δεδομένα, μετρήσεις φόρτων σε μερικούς από τους συνδέσμους ενός δικτύου. Σε πρώτο στάδιο και για λόγους απλοποίησης του προβλήματος θα θεωρηθεί ότι οι φόρτοι αυτοί είναι στοιχεία που δεν επιδέχονται διόρθωση (δηλαδή έχουν μηδενικό σφάλμα). Επίσης θεωρούμε ότι μας είναι γνωστά εκ των προτέρων τα χαρακτηριστικά των συνδέσμων του δικτύου, δηλαδή τα μήκη τους και η κυκλοφοριακή τους ικανότητα, προκειμένου να κάνουμε γίνει η χρήση κάποιου προτύπου επιλογής διαδρομής. Τέλος το τελευταίο μας δεδομένο (το οποίο όπως θα δούμε δεν είναι υποχρεωτικό να υπάρχει) είναι ένα *a priori* μητρώο προέλευσης - προορισμού του δικτύου μας, το οποίο είναι πιθανά το αποτέλεσμα κάποιας παλαιότερης έρευνας που διεξήχθει στην περιοχή με συμβατικές μεθόδους.

ΣΤΟΧΟΣ. Ο στόχος είναι να υπολογισθεί το καινούργιο μητρώο προέλευσης - προορισμού (το οποίο θα αναφέρεται σε ίσο χρονικό διάστημα μ'εκείνο στο οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις των φόρτων, και στο οποίο αναφέρεται το *a priori* μητρώο). Για να το πετύχουν αυτό οι Van Zuylen και Willumsen χρειάστηκε να θεωρήσουν δύο παραδοχές :

- Πρώτον ότι γνωρίζουμε τον τρόπο κίνησης των οχημάτων μέσα στο δίκτυο, όταν μας είναι γνωστά τα άκρα των μετακινήσεων. Με άλλα λόγια αυτό σημαίνει ότι είναι γνωστό το πρότυπο επιλογής διαδρομής.
- Δεύτερον λόγω του ότι **δεν είναι γνωστοί οι φόρτοι σε κάθε σύνδεσμο**, το πρόβλημα **δεν έχει μοναδική λύση** (είναι δηλαδή αόριστο). Έτσι πρέπει να θεωρηθεί μία σχέση η οποία να δίνει κάθε φορά, βάσει των περιορισμών (δηλαδή των δεδομένων των φόρτων), την πιο πιθανή λύση.

Στην δεύτερη αυτή θεώρηση βρίσκεται η φαινομενική διαφορά μεταξύ των μεθόδων που παρουσίασαν οι Van Zuylen και Willumsen. Συγκεκριμένα ο πρώτος θεώρησε την σχέση της "πληροφορίας", ενώ ο δεύτερος την σχέση της "εντροπίας".

2.1.2. Μερικοί ορισμοί.

Η έννοια της εντροπίας είναι μία έννοια που έχει χρησιμοποιηθεί ελάχιστα στον τομέα των μεταφορών. Αντίθετα έχει μεγάλη εφαρμογή σε άλλες επιστήμες όπως η χημική μηχανική, η θερμοδυναμική, η στατιστική μηχανική και τέλος η θεωρία της πληροφορίας.

Ο ορισμός του μεγέθους αυτού που φαίνεται να είναι πιο κοντά στην περίπτωση μας, είναι εκείνος που θεωρείται στην στατιστική μηχανική. Συγκεκριμένα ως **εντροπία** ορίζεται το μέτρο της πιθανότητας πραγματοποίησης μίας συγκεκριμένης μακροσκοπικής κατάστασης. Επομένως η αύξηση της εντροπίας ενός συστήματος καθορίζεται από τη μετάβαση του από μία λιγότερο πιθανή κατάσταση σε μία πιθανότερη. Με άλλα λόγια η εξέλιξη ενός κλειστού συστήματος πραγματοποιείται προς την κατεύθυνση της πιθανότερης κατανομής της ενέργειας στα διάφορα υποσυστήματα.

ΕΝΤΡΟΠΙΑ : Μέτρο της πιθανότητας πραγματοποίησης μίας συγκεκριμένης μακροσκοπικής κατάστασης.

Αντίστοιχα στη θεωρία της πληροφορίας η εντροπία χρησιμοποιείται ως το μέτρο της απροσδιοριστίας των μηνυμάτων μίας δεδομένης πηγής. Τα μηνύματα περιγράφονται από ένα σύνολο μεγεθών $X_1, X_2, \dots, X_n$ και τις αντίστοιχες πιθανότητες εμφάνισης τους $p_1, p_2, \dots, p_n$. Για μία καθορισμένη (διακεκριμένη) στατιστική κατανομή πιθανοτήτων p_k των πληροφοριών, σαν εντροπία ονομάζεται το μέγεθος :

$$H_u = - \sum_{k=1}^n p_k \ln p_k \quad (1)$$

υπό την συνθήκη :

$$\sum_{k=1}^n p_k = 1 \quad (2)$$

Προφανώς η εντροπία είναι μηδέν όταν κάποια πιθανότητα p_k είναι ίση με ένα και οι υπόλοιπες είναι ίσες με μηδέν (δηλαδή όταν δεν υπάρχει απροσδιοριστία). Ανάλογα η εντροπία γίνεται μέγιστη όταν $p_1 = p_2 = \dots = p_k$ οπότε και η απροσδιοριστία γίνεται μέγιστη.

Θεμελιαική για την θεωρία της πληροφορίας, θεωρείται η μέθοδος που ανέφερε ο Κ. Σάνον το 1948, για την μέτρηση της ποσότητας της πληροφορίας που περιέχεται σ'ένα τυχαίο αντικείμενο, ως προς ένα άλλο τυχαίο αντικείμενο.

Εστω X η τυχαία μεταβλητή που λαμβάνει τιμές $X_1, X_2, \dots, X_n$, με πιθανότητες $p_1, p_2, \dots, p_n$. Επίσης έστω Y η τυχαία μεταβλητή που λαμβάνει τιμές $Y_1, Y_2, \dots, Y_m$ με πιθανότητες $q_1, q_2, \dots, q_m$. Τότε ο Σάνον όρισε σαν ποσό πληροφορίας που περιέχεται στο X ως προς το Y το μέγεθος που δίδεται από την σχέση :

$$I(X,Y) = \sum_{ij} p_{ij} \log_2 \left(\frac{p_{ij}}{p_i q_j} \right) \quad (3)$$

όπου p_{ij} είναι η πιθανότητα σύμπτωσης των γεγονότων $X=X_i$ και $Y=Y_j$.

Τέλος το μέγεθος $H(X)=I(X,X)$ ονομάζεται εντροπία της τυχαίας μεταβλητής X .

Από τα παραπάνω γίνεται φανερή η στενή σχέση της έννοιας της εντροπία με την έννοια της πληροφορίας και τα κοινά χαρακτηριστικά των δύο μεθόδων. Εντούτοις οι τελικοί τύποι των δύο μεθόδων δεν είναι απόλυτα όμοιοι. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο Van Zyuien θεωρεί σαν μονάδα αναφοράς (κατάσταση της οποίας προσπαθεί να αυξήσει την

πιθανότητα εμφάνισης) το όχημα, ενώ ο Willumsen ολόκληρη την μετακίνηση.

2.1.3. Παλαιότερες μέθοδοι.

Στην πραγματικότητα υπήρξαν και άλλοι ερευνητές που ασχολήθηκαν με αυτό το θέμα μερικά χρόνια νωρίτερα από τους Van Zuyleen και Willumsen. Ένας από αυτούς είναι ο Robillard (1975) ο οποίος είχε θεωρήσει ότι η συμπεριφορά των οδηγών ακολουθούσε ένα πρότυπο βαρύτητας της μορφής :

$$T_{ij} = R_i S_j f(C_{ij}) \quad (4)$$

στην οποία $f(C_{ij})$ είναι μία συνάρτηση αντίστασης της μετακίνησης, ή αλλιώς μία συνάρτηση του γενικευμένου κόστους για τη μετακίνηση μεταξύ των άκρων i και j . R_i και S_j είναι παράμετροι των ζωνών οι οποίες θα έπρεπε να καλιμπραριστούν από τα δεδομένα των φόρτων.

Οι Low (1972), Hogberg (1976) και Holm et al. (1976) είναι μερικοί ακόμα από εκείνους που προγενέστερα εφάρμοσαν μοντέλα βαρύτητας, με κοινωνικο-οικονομικές παραμέτρους όπως ο πληθυσμός και ο αριθμός των εργαζομένων για κάθε ζώνη.

Η εκτίμηση των παραμέτρων αυτών των προτύπων γινόταν με μία μη γραμμική παλινδρόμηση στην περίπτωση του Hogberg, με μία γραμμική παλινδρόμηση στο πρότυπο του Low και με την μέθοδο της μεγιστοποίησης της πιθανότητας κατά τον Holm et al.

Τέλος ο Nguyen (1977) πρότεινε ένα μοντέλο με πρότυπο επιλογής διαδρομής βασιζόμενο στην αρχή του Wardrop¹ (equilibrium assignment). Όπως όμως παρατήρησε και ο ίδιος η μέθοδος του αποτύχαινε να βρεί μία μοναδική λύση.

Ουσιαστικά όμως το βασικό σημείο στο οποίο δέχονταν κριτική όλες οι παραπάνω

¹ Η αρχή του Wardrop (1952) διατυπώνεται ως εξής: "Οι χρόνοι των μετακινήσεων σε όλες τις διαδρομές που χρησιμοποιούνται από τους χρήστες είναι ίσοι μεταξύ τους και σίγουρα μικρότεροι από εκείνους που θα χρειαζόταν ένα όχημα αν επέλεγε μία διαδρομή που δεν χρησιμοποιείται".

μέθοδοι που βασίζονταν στο πρότυπο βαρύτητας, είναι το γεγονός ότι υποχρεώνοντας το μητρώο να ακολουθεί το πρότυπο αυτό στην πραγματικότητα δεν χρησιμοποιούσαν όλη την πληροφορία που περικλείεται στις μετρήσεις των φόρτων. Αυτό είναι βασικό σε μικρές περιοχές, όπου το μεγαλύτερο ποσοστό των άκρων των μετακινήσεων είναι εκτός περιοχής (Van Zuylen & Willumsen, 1980).

2.2. Η συνέχεια της έρευνας στο στοχαστικό επίπεδο.

Μετά από το πρώτο βήμα ακολούθησαν διάφορες άλλες δημοσιεύσεις οι οποίες είτε βασίστηκαν στα δύο προηγούμενα πρότυπα, είτε προσπάθησαν να διαφοροποιηθούν λιγότερο ή περισσότερο από αυτά.

2.2.1. Έρευνα που βασίστηκε στις μεθόδους της εντροπίας και της πληροφορίας.

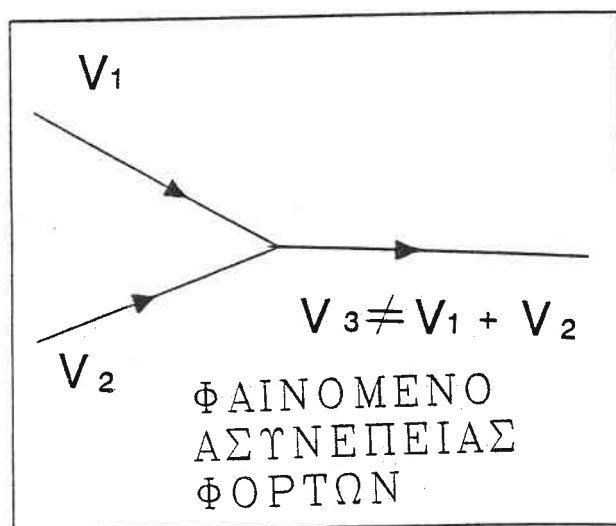
Οι ίδιοι οι Van Zuylen και Willumsen παρουσίασαν στο 8ο Διεθνές Συμπόσιο των Μεταφορών και της Κυκλοφοριακής Τεχνικής, μερικές βελτιώσεις στα πρότυπα τους (Van Zuylen 1981) και μία αξιολόγηση αυτού (το οποίο είχαν ονομάσει ME2), αυτή την φορά θεωρώντας σαν σωστά τα στοιχεία που προέκυψαν από μία εφαρμογή της μεθόδου των πινακίδων στην πόλη Reading της Μεγάλης Βρετανίας.

Το 1981 δημοσιεύεται άρθρο του Willumsen στο οποίο κάνει αναφορά σε πολλές απλοποιημένες μεθόδους υπολογισμού του μητρώου προέλευσης και προορισμού. Αρχίζει με τις μεθόδους που βασίζονται σε διάφορες μορφές του προτύπου βαρύτητας και καταλήγει στις μεθόδους της εντροπίας και της πληροφορίας. Κάνοντας σαφή αναφορά στα προβλήματα και τις ιδιότητες τους παρατηρεί ότι :

- Όλες οι μέθοδοι βασίζουν μεγάλο ποσοστό της αξιοπιστίας τους στα πρότυπα επιλογής διαδρομής που χρησιμοποιούν.
- Ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο δίκτυο είναι δυνατόν η κυκλοφοριακή συμφόρηση να παίζει σημαντικό ή όχι ρόλο στην επιλογή της διαδρομής. Έτσι μπορούμε να οδηγούμαστε από τις επικρατούσες στο δίκτυο συνθήκες, στην επιλογή ενός προτύπου επιλογή διαδρομής που να βασίζεται στην αρχή του Wardrop ή σε ένα

στοχαστικό (όπως το πρότυπο του Dial) ή ακόμα και στο απλούστερο πρότυπο που είναι το "όλα ή τίποτα".

- Άλλοι παράγοντες που επιρρεάζουν την ακρίβεια του μοντέλου είναι το σφάλμα των μετρήσεων των φόρτων, η ανεξαρτησία και η ασυνέπεια τους. **Εξαρτημένοι** είναι εκείνοι οι φόρτοι που δεν προσθέτουν καμία νέα πληροφορία καθώς είναι αποτέλεσμα γραμμικής σχέσης των φόρτων γειτονικών συνδέσμων. **Ασυνεπεία** έχουμε όταν δεν ισχύουν οι εξισώσεις συνέχειας στους κόμβους (σχήμα 2.1).
- Τέλος παρατηρεί ότι όπως οι κυκλοφοριακοί φόρτοι υπόκεινται σε διακυμάνσεις συναρτήσει με το χρόνο, έτσι θα περίμενε κανείς και τα μητρώα προέλευσης-προορισμού να έχουν και αυτά διακυμάνσεις με την πάροδο του χρόνου. Μάλιστα τονίζει ότι οι διακυμάνσεις αυτές θα πρέπει να είναι μεγαλύτερες στα μητρώα σε σχέση με τις αντίστοιχες των φόρτων.



ΣΧΗΜΑ 2.1

Ενα χρόνο αργότερα εμφανίζονται δημοσιεύσεις (L.J. Leblanc, K. Farhangian, 1982) που επιζητούν να αναπτύξουν το πρότυπο του Nguyen (1977), που σαν βάση του είχε τις συνθήκες "ισορροπίας" του δικτύου. Έτσι στόχος των L.J. Leblanc και K. Farhangian ήταν να βρουν έναν αλγόριθμο ο οποίος να επιλέγει το βέλτιστο μητρώο από το σύνολο των παραδεκτών λύσεων που έδινε η λύση του μοντέλου του Nguyen (υπενθυμίζουμε ότι η λύση στο πρότυπο αυτό δεν ήταν μοναδική). Η βελτιστοποίηση αυτή είχε σαν στόχο την

ελαχιστοποίηση της διαφοράς ανάμεσα στις μετρήσεις των φόρτων και στους φόρτους που εκτιμούσε το πρότυπο. Δυστυχώς όμως και ο αλγόριθμος για την βελτιστοποίηση του μητρώου, δεν έδινε μοναδική λύση αλλά είχε εξάρτηση από την αρχική λύση που χρησιμοποιούμε.

2.2.2. Απλοποιημένα πρότυπα που βασίζονται σε διαφορετική αρχή.

Τρία είναι τα πιο γνωστά πρότυπα που βασίζονται σε μετρήσεις κυκλοφοριακών φόρτων, δεν έχουν όμως σαν βάση τους, τους ορισμούς της εντροπίας ή της πληροφορίας. Αυτά είναι τα εξής :

1. Το πρότυπο που ανέπτυξε ο **M.J. Maher** και το οποίο βασίζεται στο στατιστικό θεώρημα του **BAYES** (M.J. Maher, 1983).
2. Το πρότυπο της **μεγιστοποίησης της πιθανότητας** (H. Spiess, 1987).
3. Η μέθοδος των **ελαχίστων τετραγώνων** υπό περιορισμούς (M.G.H. Bell, 1991).

2.2.2.1. Μία θεώρηση του προβλήματος βασισμένη στο θεώρημα του BAYES.

Το 1983 σε άρθρο του, ο M.J. Maher παρατηρεί ότι στο πρότυπο της εντροπίας δίνεται μικρό βάρος στο *a priori* μητρώο, και μεγάλο βάρος στις μετρήσεις των κυκλοφοριακών φόρτων. Αυτή όμως η παραδοχή δεν ισχύει πάντα λόγω των πιθανών σφαλμάτων και στα δύο είδη των δεδομένων. Έτσι περιγράφει ένα μοντέλο με το οποίο είναι δυνατό με την χρήση μητρώων διασποράς, να καθορισθούν τα βάρη με τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στην εκτίμηση, οι φόρτοι και το παλαιότερο μητρώο. Μάλιστα είναι δυνατή η χρησιμοποίηση διαφορετικών βαρών για τα διάφορα στοιχεία του *a priori* μητρώου. Αυτό μπορεί να είναι πολύ χρήσιμο στην περίπτωση που δεν υπάρχει ολοκληρωμένο μητρώο από μία παλαιότερη έρευνα, αλλά γίνεται σύνθεση ενός μητρώου χρησιμοποιώντας διαφορετικές πηγές.

Το μοντέλο του Mayer βασίζεται στο παρακάτω πιθανοτικό θεώρημα.

ΘΕΩΡΗΜΑ BAYES

Εστω η διακριτή τυχαία μεταβλητή X με τις τιμές x_k ($k=1,2,\dots$) και με αντίστοιχη πιθανότητα P_k η οποία εξαρτάται από την παράμετρο Q . Υποθέτουμε ότι η παράμετρος Q παριστάνει διακριτή τυχαία μεταβλητή με τιμές $q_1, q_2, \dots$. Για την παρατηρούμενη τιμή $X=x_k$ μπορούμε να προσδιορίσουμε τη συνάρτηση πιθανότητας με βάση τον τύπο :

$$P(Q=q_i|X=x_k) = \frac{P(Q=q_i)P(X=x_k|Q=q_i)}{\sum_j P(Q=q_j)P(X=x_k|Q=q_j)} \quad (5)$$

Εδώ το θεώρημα αναπτύχθηκε για μία διακριτή κατανομή. Όμως ισχύει το ίδιο ακριβώς και για συνεχείς κατανομές, αρκεί στον παρονομαστή αντί για άθροισμα να υπάρχει το αντίστοιχο ολοκλήρωμα. Αντίστοιχα τότε το αριστερό μέρος του τύπου (4) θα εκφράζει την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της παραμέτρου Q .

Έτσι στην περίπτωση μας, τα στοιχεία του a priori μητρώου θα εκφραστούν με την μορφή μίας στατιστικής κατανομής με συγκεκριμένη μέση τιμή και διασπορά. Οι μετρήσεις των φόρτων θα θεωρηθεί ότι ακολουθούν μία κανονική κατανομή πολλών μεταβλητών (multivariate normal distribution [MVN])².

Η κατανομή αυτή είναι αποδεκτή στην περίπτωση όπου οι μετρήσεις των φόρτων δεν έχουν μικρές μέσες τιμές. Διαφορετικά κάποια μορφή της κατανομής Poisson με πολλές διαστάσεις, θα ήταν πιο σωστή.

² Εστω $X_1, X_2, \dots, X_n$ ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές, οι οποίες ακολουθούν την ίδια τυποποιημένη κανονική κατανομή $N(0,1)$ και $Y_1, Y_2, \dots, Y_k$ τυχαίες μεταβλητές της μορφής :

$$Y_i = \sum_{j=1}^n c_{ij}x_j + m_i$$

όπου c_{ij} και m_i είναι σταθεροί πραγματικοί αριθμοί. Τότε το διάνυσμα Y λέμε ότι ακολουθεί K -διάστατη κανονική κατανομή.

Θα πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι και στο πρότυπο αυτό θεωρούνται γνωστά εκ των προτέρων, τα ποσοστά των οδηγιών που χρησιμοποιούν κάθε ένα από τους συνδέσμους (στους οποίους έγιναν μετρήσεις φόρτου) του δικτύου, για κάθε ένα ζεύγος ζωνών προέλευσης - προορισμού ξεχωριστά. Έτσι είναι και εδώ απαραίτητη η χρήση κάποιου στοχαστικού προτύπου επιλογής της διαδρομής.

Ο Mayer έδειξε στο άρθρο του αυτό ότι τα πρότυπα της πληροφορίας και της εντροπίας είναι υποπεριπτώσεις του δικού του μοντέλου. Συγκεκριμένα όταν δίνουμε, μέσω του μητρώου των διασπορών μικρή αξιοπιστία στα στοιχεία του a priori μητρώου, και μικρό σφάλμα στις μετρήσεις των φόρτων έχουμε ταύτιση των αποτελεσμάτων με εκείνα της μεθόδου της εντροπίας.

Έτσι συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι η αξιοπιστία του προτύπου του Maher εξαρτάται από δύο παράγοντες :

- (i) Την ακριβή γνώση των αναλογιών ανά σύνδεσμο και ζεύγος ζωνών προέλευσης-προορισμού, που προκύπτουν από το πρότυπο επιλογής διαδρομής.
- (ii) Και την υπόθεση της κατανομής που ακολουθούν οι κυκλοφοριακοί φόρτοι.

Τέλος μία τελευταία παρατήρηση που όμως είναι περισσότερο υποθετική και δεν βασίζεται σε εκτενείς ελέγχους, είναι ότι η μέθοδος αυτή χρειάζεται λιγότερο υπολογιστικό χρόνο από ότι η μέθοδος της εντροπίας, αλλά μεγαλύτερο χώρο προσωρινής αποθήκευσης.

2.2.2.2. Πρότυπο μεγιστοποίησης της πιθανότητας.

Το 1986 και το 1987 παρουσιάζεται από τους J.M.Irving et al. και τον H. Spiess, το δεύτερο κυριότερο πρότυπο που βασίζεται σε διαφορετική αρχή από εκείνη που ανέπτυξαν οι Van Zuylen και Willumsen. Το πρότυπο αυτό όπως και το προηγούμενο έχει καθαρά πιθανοτική θεώρηση.

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του προτύπου αυτού είναι το γεγονός ότι το a priori μητρώο δεν το επιλέγουμε εμείς αλλά ενσωματώνεται μέσα στην διαδικασία εκτίμησης. Για να γίνει δυνατό αυτό, θεωρούμε ότι τα στοιχεία του μητρώου ακολουθούν ανεξάρτητες μεταξύ τους κατανομές Poisson με άγνωστες μέσες τιμές, έστω $\rho_i T_i$. Όπου $\{T_i\}$ είναι το μητρώο που θέλω να εκτιμήσω. Σκοπός είναι να υπολογίσω αυτές τις μέσες τιμές. Στην ουσία δηλαδή θέλω να υπολογίσω τους συντελεστές δείγματος ρ_i , οι οποίοι είναι π.χ. το ποσοστό του πληθυσμού που παρατηρήθηκε.

Λαμβάνοντας υπόψη την παραπάνω υπόθεση, η πιθανότητα να παρατηρηθεί το στοιχείο t_i είναι :

$$Prob[t_i = (\rho_i T_i)] = \frac{(\rho_i T_i)^{t_i} e^{-\rho_i T_i}}{t_i!}, \quad i \in I \quad (6)$$

όπου i είναι ένα ζεύγος ζωνών προέλευσης-προορισμού.

Η πιθανότητα για την παρατήρηση ολόκληρου του μητρώου είναι :

$$Prob[\{t_i\}] = \prod_{i \in I} Prob[t_i] = \prod_{i \in I} \frac{(\rho_i T_i)^{t_i} e^{-\rho_i T_i}}{t_i!} \quad (7)$$

Όπου I είναι το σύνολο των ζευγαριών των ζωνών του μητρώου. Οι περιορισμοί που θέτονται από τις μετρήσεις των φόρτων, μπορούν να εκφραστούν μαθηματικά με τις παρακάτω σχέσεις :

$$\sum_{i \in I} n_{i\alpha} T_i = V_\alpha, \quad \alpha \in A \quad (8)$$

$$T_i \geq 0, \quad i \in I \quad (9)$$

όπου A είναι το σύνολο των συνδέσμων στους οποίους υπάρχουν μετρήσεις φόρτων, και $n_{i\alpha}$ είναι το ποσοστό των μετακινήσεων του ζεύγους i , το οποίο χρησιμοποιεί το σύνδεσμο α . Τέλος V_α είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος που μετρήθηκε στο σύνδεσμο α .

Λογαριθμίζοντας την σχέση (7) και κάνοντας την παραδοχή ότι $0 \cdot \text{Log}(0) = 0$, το πρόβλημα εκφράζεται ως εξής :

$$\text{Max} \sum_{i \in I} (t_i \log(\rho_i T_i) - \rho_i T_i - \log t_i!) \quad (10)$$

λαμβάνοντας πάντα υπ' όψη τους περιορισμούς των εξισώσεων (8) και (9).

Παρατηρούμε ότι και στο πρότυπο αυτό τα ποσοστά $n_{i\alpha}$, θεωρούνται σταθερά και εξωγενείς παράγοντες της διαδικασίας εκτίμησης, επομένως είναι γνωστοί από την αρχή. Ο H. Spiess στο ίδιο άρθρο περιγράφει ένα αλγόριθμο για την επίλυση του προβλήματος, όπως επίσης και δύο επεκτάσεις του μοντέλου.

- Η πρώτη αναφέρεται στην περίπτωση που γνωρίζω την συνολική έλξη και παραγωγή κάθε ζώνης ξεχωριστά.
- Η δεύτερη αφορά την περίπτωση που θεωρώ ότι οι μετρήσεις των φόρτων δεν είναι σταθερές αλλά ακολουθούν την κατανομή Poisson με μέση τιμή $\rho_\alpha V_\alpha$. Στην περίπτωση αυτή η μορφή του προβλήματος είναι :

$$\text{Min} \sum_{i \in I} (\rho_i T_i - t_i \log T_i) + \sum_{\alpha \in A} (\rho_\alpha V_\alpha - v_\alpha \log V_\alpha) \quad (11)$$

όπου v_α είναι οι μετρούμενοι φόρτοι.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε ότι η παραπάνω έκφραση (11), προέκυψε έχοντας υποθέσει ότι οι παρατηρούμενοι φόρτοι είναι αμοιβαία ανεξάρτητοι μεταξύ τους. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι οι μετρήσεις έχουν γίνει σε διαφορετικές χρονικές περιόδους για κάθε σύνδεσμο, διότι διαφορετικά κάποια μετακίνηση είναι πολύ πιθανό να έχει μετρηθεί σε περισσότερους από ένα συνδέσμους.

Σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής έναντι της εντροπίας είναι το γεγονός ότι σε αντίθεση με την τελευταία, στην οποία τα μηδενικά στοιχεία του μητρώου μπορεί να

οδηγήσουν σε αδυναμία εύρεσης λύσης, έχει πάντοτε δυνατή λύση αρκεί οι φόρτοι των συνδέσμων να είναι συνεπείς (δηλαδή να ισχύουν οι εξισώσεις συνέχειας). Από την άλλη όμως η αξιοπιστία της μεθόδου εξαρτάται πολύ από την υπόθεση της κατανομής Poisson, η οποία όπως έχουμε ξανατονίσει δεν ισχύει πάντα.

2.2.2.3. Πρότυπο ελαχίστων τετραγώνων υπό περιορισμούς

Το τρίτο και τελευταίο από τα κυριότερα πρότυπα που δεν βασίζονται στην αρχή της εντροπίας ή της πληροφορίας, αναπτύχθηκε το 1984 (E.Cascetta, 1984) και συμπληρώθηκε αργότερα (M.G.H. Bell, 1991). Η βασική ιδέα του προτύπου αυτού είναι η γνωστή μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων, ειδικά τροποποιημένη για να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του προβλήματος.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι το γεγονός ότι μπορεί να γίνει ταυτόχρονα χρήση δεδομένων τόσο από κυκλοφοριακούς φόρτους όσο και από άλλες έρευνες, που έχουν γίνει με τις συμβατικές μεθόδους. Μάλιστα όπως και στο μοντέλο του Maher μπορούμε να δώσουμε και τα κατάλληλα βάρη στα δύο είδη δεδομένων, ανάλογα με το πόσο ακριβή τα θεωρούμε.

Αντίθετα το σημαντικότερο μειονέκτημα της μεθόδου είναι το γεγονός ότι μπορούν να προκύψουν μη αποδεκτά αρνητικά αποτελέσματα. Ένας τρόπος με τον οποίο μπορεί να γίνει αποφυγή αυτού, είναι να οριστούν επιπλέον περιορισμοί μη αρνητικότητας, οι οποίοι όμως μπορούν να επιρρεάσουν το αποτέλεσμα του προτύπου.

Ο Bell θεωρεί ότι το πρότυπο αυτό προσεγγίζει εκείνο της εντροπίας όταν οι φόρτοι των συνδέσμων θεωρούνται ότι είναι μεγάλη ακρίβειας. Επίσης σημειώνει ότι το πρότυπο των ελαχίστων τετραγώνων έχει τυπικά την ίδια προσέγγιση στο θέμα με εκείνη που αναφέρει ο Mayer βάση του θεωρήματος του Bayes.

Τέλος στο άρθρο του, ο Bell περιγράφει ένα αλγόριθμο για την επίλυση του προβλήματος με την μέθοδο αυτή και αποδεικνύει την σύγκλιση του στην λύση του προβλήματος.

2.3. Η έρευνα με βάση την αρχή του Wardrop

2.3.1. Η μία πλευρά της αντιμετώπισης του προβλήματος.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει υπάρχουν δύο κατηγορίες μεθόδων που βασίζονται στις μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου.

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα πρότυπα που αναφέραμε στις προηγούμενες παραγράφους και στα οποία σημαντική παραδοχή ήταν ότι τα ποσοστά των μετακινήσεων που χρησιμοποιούν κάθε σύνδεσμο, για κάθε ζεύγος προέλευσης - προορισμού, αποτελούν εξωγενής παράγοντες της διαδικασίας εκτίμησης, γνωστοί από την αρχή. Αυτά τα πρότυπα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε δίκτυα στα οποία η κυκλοφοριακή συμφόρηση δεν παίζει ουσιαστικό παράγοντα στην διαμόρφωση της συμπεριφοράς και των επιλογών του οδηγού. Έτσι είναι σωστή η χρήση στοχαστικών προτύπων επιλογής διαδρομής, καθώς η επιλογή αυτή γίνεται από τον οδηγό στην αρχή της μετακίνησης του και παραμένει αμετάβλητη σε όλο το χρονικό διάστημα της πραγματοποίησής της.

Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα πρότυπα που βασίζονται στην αρχή του Wardrop και στην "κατάσταση της ισορροπίας". Τα πρότυπα αυτά πρέπει να χρησιμοποιούνται σε δίκτυα στα οποία λόγω των συνθηκών υψηλή συμφόρησης που κυριαρχούν, κάθε χρήστης επιχειρεί "διαρκώς" να βελτιώσει την κατάσταση του, αλλάζοντας διαδρομή μέχρι την στιγμή που το δίκτυο θα βρεθεί σε κατάσταση ισορροπίας. Στην κατάσταση αυτή καμία μεταβολή της διαδρομής από κανένα χρήστη, δεν του μειώνει το κόστος της μετακίνησης.

Αυτό το είδος της συμπεριφοράς είναι ο βέλτιστος για κάθε χρήστη ξεχωριστά τρόπος συμπεριφοράς, και αποτελεί την βάση για ένα σημαντικό κομμάτι των προτύπων που έχουν αναφερθεί στην διεθνή βιβλιογραφία.

Έτσι το 1988 και το 1989 η C.S. Fisk (C.S. Fisk, 1988 & 1989) παρουσίασε το πρόβλημα για την δεύτερη περίπτωση και ανέπτυξε αλγόριθμους για την επίλυση του. Οι υπάρχοντες τρόποι αντιμετώπισης του προβλήματος μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες.

1. Σε εκείνους που βασίζονται στο πρότυπο του Nguyen (1977), για την εύρεση ενός μητρώου προέλευσης - προορισμού που να επαληθεύει τα δεδομένα για το κόστος μετακίνησης, και τα οποία πιθανώς προέρχονται από μετρήσεις φόρτων.
2. Σε εκείνους που βασίζονται στο πρότυπο της μεγιστοποίησης της εντροπίας των Van Zuylen και Willumsen, το οποίο έχει τροποποιηθεί έτσι ώστε να εισαχθούν οι συνθήκες ισορροπίας σαν περιορισμοί.
3. Τέλος σε εκείνους στους οποίους οι μετρήσεις των φόρτων χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα, τόσο για την εύρεση του μητρώου όσο και για την επιλογή της διαδρομής.

Πρέπει εδώ να παρατηρήσουμε ότι από τις τρεις κατηγορίες που αναφέρθησαν μόνο η τρίτη έχει καταστεί δυνατόν να επιλυθεί. Οι δύο πρώτες κατηγορίες οδηγούν σε προβλήματα δύο επιπέδων τα οποία είναι πολύ δύσκολο να επιλυθούν.

Γίνεται βέβαια φανερό ότι όταν το πρόβλημα έχει την μορφή αυτή των συνθηκών ισορροπίας, είναι απαραίτητη η γνώση συναρτήσεων κόστους - φόρτου για κάθε σύνδεσμο του δικτύου. Έτσι τίθενται και προβλήματα επιλογής της μορφής που πρέπει να έχουν οι συναρτήσεις αυτές.

Στο άρθρο της Fisk (1989), γίνεται εκτενή αναφορά στα πρότυπα και των τριών κατηγοριών και σύγκριση αυτών. Έτσι η συγγραφέας καταλήγει στο σημαντικό συμπέρασμα ότι υπάρχει στενή σχέση μεταξύ τους, παρά τις διαφορές τους στον τρόπο με τον οποίο ενσωματώνουν τα δεδομένα των φόρτων. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό αφού λύνει τα χέρια των ερευνητών στην ανάλυση μεγάλων δικτύων.

Η όλη ανάλυση έχει γίνει θεωρώντας ανεξαρτησία μεταξύ των συναρτήσεων κόστους των συνδέσμων. Σε αντίθετη περίπτωση το πρόβλημα περιπλέκεται πολύ και δεν έχει μέχρι σήμερα ερευνηθεί αρκετά.

2.3.2. Η άλλη πλευρά της αντιμετώπισης του προβλήματος.

Τα προβλήματα με πολλαπλά επίπεδα, αποτελούν την άλλη πλευρά της αντιμετώπισης του προβλήματος στα πρότυπα που λαμβάνουν υπόψη την κυκλοφοριακή συμφόρησης.

Το 1992 οι H. Yang, T. Sasaki, Y. Iida και Y. Asakura, αναπτύσσουν σε άρθρο τους το θέμα αυτό, σε μεγάλη έκταση. Περιγράφουν και αναλύουν δύο πρότυπα, που βασίζονται στην γενικευμένη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων και στην μέθοδο της μεγιστοποίησης της εντροπίας. Και τα δύο αυτά πρότυπα έχουν εκφραστεί σε δύο επίπεδα. Για να γίνει πιο σαφές αυτό θα δώσουμε την γενική μορφή που έχει ένα πρόβλημα δύο επιπέδων.

Γενικά θα μπορούσαμε να εκφράσουμε το πρόβλημα αυτό με την παρακάτω μορφή. Η αντικειμενική συνάρτηση είναι :

$$\min_x F(x,y) \quad (12)$$

υπό τον περιορισμό :

$$G(x,y) \leq 0 \quad (13)$$

όπου η μεταβλητή y βρίσκεται από την λύση του παρακάτω προβλήματος :

$$\min_y f(x,y) \quad (14)$$

όταν υπόκειται στον περιορισμό :

$$g(x,y) \leq 0 \quad (15)$$

Στην δικιά μας περίπτωση η αντικειμενική συνάρτηση $F(x,y)$ εκφράζει την "απόσταση" του μητρώου προέλευσης - προορισμού από το *a priori* μητρώο, και μπορεί να λάβει διάφορες μορφές όπως της εντροπίας ή των ελαχίστων τετραγώνων. Η συνάρτηση $g(x,y)$ εκφράζει τις συνθήκες ισορροπίας. Αντίστοιχα οι εξισώσεις (13) και (15) εκφράζουν τους

απαραίτητους περιορισμούς τόσο για να ισχύουν οι μετρήσεις των φόρτων όσο και οι συνθήκες ισορροπίας.

Οι εξισώσεις (12) και (13) αποτελούν το ανώτερο επίπεδο του προβλήματος, ενώ οι εξισώσεις (14) και (15) το κατώτερο.

Σημαντική ιδιότητα των προτύπων αυτών είναι ότι δίνουν πάντοτε λύση, ακόμα και στην περίπτωση που δεν ισχύουν οι συνθήκες συνέχειας στους κόμβους, δηλαδή υπάρχει ασυνέχεια. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο άμα σκεφτούμε ότι λόγω των σφαλμάτων στις μετρήσεις τέτοιες ιδιότητες είναι πολύ πιθανές, όπως επίσης και ότι λόγω των χρονικών μεταβολών, στους συνδέσμους όπου μετρούμε τους φόρτους, είναι πολύ πιθανό να μην ισχύουν συνέχεια οι συνθήκες ισορροπίας. Πάντως θα πρέπει να παρατηρηθεί ότι δεν έχει βρεθεί ακόμα τρόπος με τον οποίο από ένα υποσύνολο των συνδέσμων του δικτύου να μπορεί να αποδειχθεί άμα υπάρχουν συνθήκες ισορροπίας ή όχι.

Στο άρθρο παρουσιάζεται και ένα αλγόριθμος επίλυσης του προβλήματος, ο οποίος σαν βασική του αρχή έχει την σειριακή επαγωγική λύση του προβλήματος κάθε επιπέδου χωριστά. Οι συγγραφείς επισημαίνουν ότι ο αλγόριθμος τους εκτιμά το πραγματικό μητρώο όταν το αρχικό μητρώο βρίσκεται κοντά στο τελικό. Εντούτοις δεν υπάρχει γενική απόδειξη της σύγκλισης του αλγορίθμου προς την βέλτιστη λύση του προβλήματος. Αυτό είναι άλλωστε και το σημαντικότερο μειονέκτημα των προτύπων αυτών.

Κατά τα άλλα όμως έχουν και πολλά πλεονεκτήματα. Το πρότυπο επιλογής της διαδρομής αποτελεί ενδογενή παράγοντα της διαδικασίας εκτίμησης του μητρώου. Η κυρτή μορφή του προβλήματος εγγυάται για την ύπαρξη λύσης πάντοτε. Επίσης τα πρότυπα αυτά χρειάζονται παρατηρήσεις μονάχα από ένα υποσύνολο των συνδέσμων του δικτύου (σε αντίθεση με το πρότυπο του Nguyen). Τέλος έχουμε την δυνατότητα να δίνουμε βάρη τόσο στα στοιχεία του a priori μητρώου, όσο και στις μετρήσεις των φόρτων.

2.4. Η χρήση πολυαντικειμενικού προγραμματισμού σε δίκτυα στα οποία δεν ισχύουν οι συνθήκες συμφόρησης.

Στην προηγούμενη παράγραφο αναφερθήκαμε στην ύπαρξη προβλημάτων δύο επιπέδων

στην περίπτωση των δικτύων που η συμφόρηση παίζει σημαντικό ρόλο. Η ίδια ιδέα υπάρχει και για την άλλη κατηγορία των προτύπων και μάλιστα σε περισσότερη πολύπλοκη μορφή.

Η ιδέα αυτή αναπτύχθηκε από τους M.B. Göthe, K.O. Jörnsten, και J.T. Lundgren το 1989. Σκοπός του άρθρου αυτού ήταν να δείξουν την δυνατότητα που υπάρχει για την χρήση του πολυαντικειμενικού προγραμματισμού (multiobjective programming) στην επίλυση του προβλήματος μας.

Εφάρμοσαν δύο μεθόδους :

- τη μέθοδο της μεγιστοποίησης της εντροπίας (Van Zuylen και Willumsen).
- ένα πρότυπο μορφής πολυονύμου δευτέρου βαθμού, των McNeil και Hendrickson (1985).

Μέσα από την ανάλυση τους φαίνεται η πολυπλοκότητα του προβλήματος ειδικότερα όταν αναφέρονται στην περίπτωση που θέτουμε μία χωριστή αντικειμενική συνάρτηση για κάθε ζεύγος ζωνών, και για κάθε σύνδεσμο που έχουμε μετρήσει, χωριστά.

Παρότι τα πλεονεκτήματα με την διάσπαση του προβλήματος σε πολλά μικρότερα, είναι πολλά και εμφανή εντούτοις και η υπολογιστική δυσκολία αυξάνεται τρομακτικά. Περισσότερη έρευνα πάνω στο θέμα αυτό είναι απαραίτητο να γίνει, πριν μπορέσουμε να το εφαρμόσουμε έστω και απλά πραγματικά δίκτυα.

2.5. Σχόλια - Απορίες.

Στο σχήμα 2.2 δίνονται υπό μορφή διαγράμματος τα κυριότερα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί. Όμως μετά από όλη αυτή την ανάλυση σίγουρα τίθεται στον αναγνώστη μία σημαντική απορία.

" Ποιο από όλα τα παραπάνω πρότυπα είναι το καλύτερο και πρέπει να εφαρμόζουμε ;".

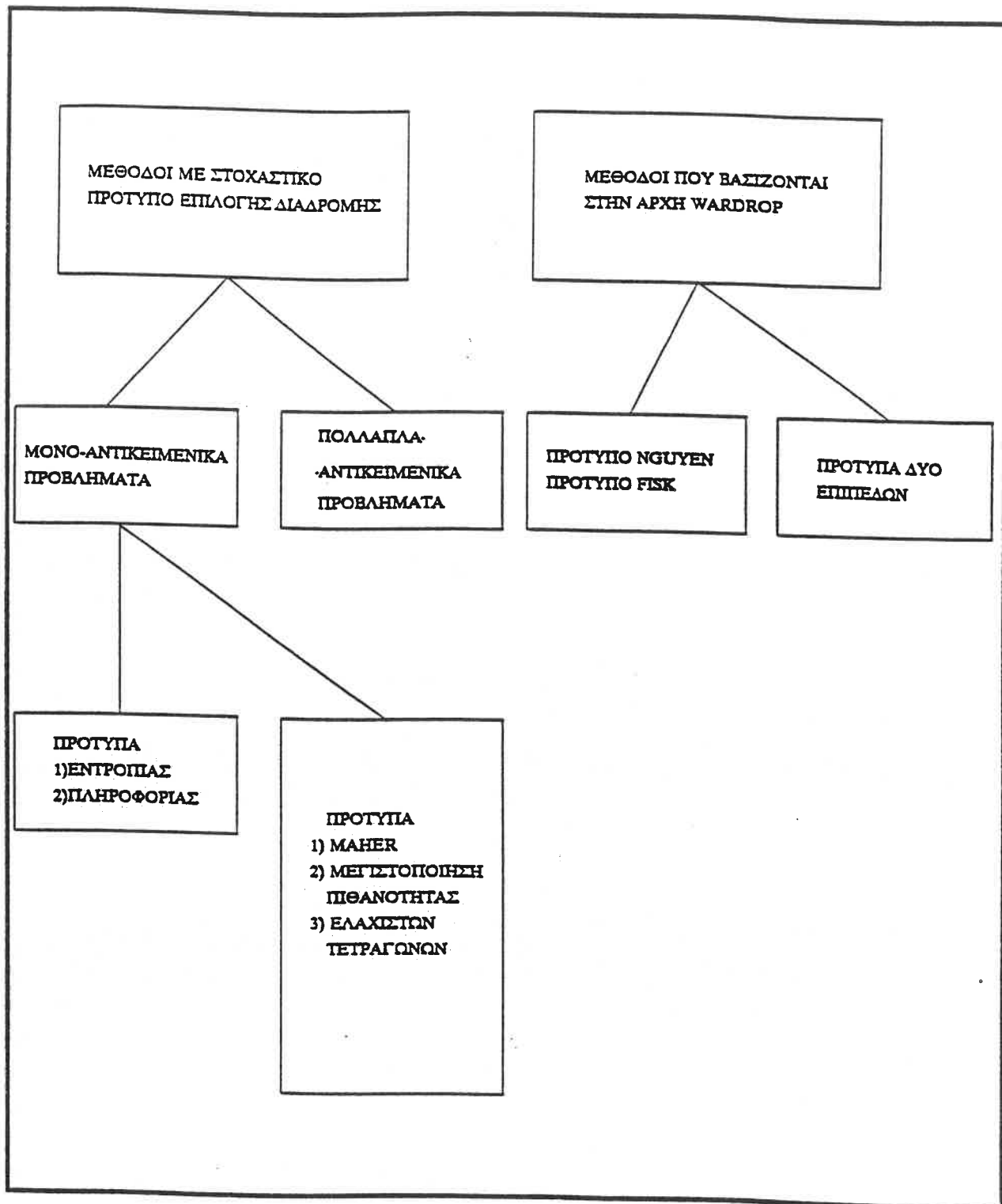
Σε αυτό το ερώτημα μπορούμε να δώσουμε μόνο μία απάντηση στην οποία έχουν

καταλήξει όλοι οι ερευνητές μέχρι σήμερα.

Δεν υπάρχει θεωρητική απόδειξη για το ποιό πρότυπο είναι το καλύτερο και δίνει τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Έτσι επαφίεται στην κρίση του μελετητή, ο οποίος πρέπει να ελένξει όλες τις συνθήκες που επικρατούν στο δίκτυο και να έχει σαφή γνώση των ιδιοτήτων των μοντέλων πριν επιλέξει κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο. Τέλος από την διεθνή βιβλιογραφία η οποία συνεχώς εμπλουτίζεται με μελέτες των προτύπων, και αξιολογήσεις τους με πραγματικά δεδομένα, θα μπορέσει να βοηθηθεί στην επιλογή του. Αλλωστε υπάρχουν και άλλα κριτήρια με τα οποία θα γίνει η επιλογή, όπως :

- Η απαιτούμενη ακρίβεια της εφαρμογής.
- Το είδος και η σημασία της εφαρμογής.
- Και η απαιτούμενη υπολογιστική υποδομή την οποία διαθέτουμε για την πραγματοποίηση της εφαρμογής.

Στο επόμενο κεφάλαιο θα περιγράψουμε λεπτομερώς τις δύο πρώτες μεθόδους που αναπτύχθηκαν : την ελαχιστοποίηση της πληροφορίας και την μεγιστοποίηση της εντροπίας, όπως επίσης και μία μέθοδο αξιολόγησης αυτών.



Σχήμα 2.2. Τα διάφορα πρότυπα εκτίμησης μητρώων
Προέλευσης - Προορισμού.

Κεφάλαιο Τρίτο

ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΓΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ ΚΑΙ

ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

3.1. Μέθοδος ελαχιστοποίησης της πληροφορίας.

Το 1980 δημοσιεύεται σε άρθρο των Van Zuylen και Willumsen, η μέθοδος της ελαχιστοποίησης της πληροφορίας, την οποία θα περιγράψουμε στην επόμενη παράγραφο.

3.1.1. Περιγραφή του προβλήματος.

Εστω ότι θεωρούμε μία περιοχή μελέτης την οποία διαιρούμε σε n ζώνες. Μεταξύ των ζωνών αυτών πραγματοποιούνται μετακινήσεις, και έστω ότι παραβλέπονται η εσωτερικές μετακινήσεις κάθε ζώνης. Εσωτερικές μετακινήσεις ονομάζουμε τις μετακινήσεις εκείνες οι οποίες έχουν τα δύο άκρα τους μέσα στην ίδια ζώνη, δηλαδή τα σημεία προέλευσης και προορισμού βρίσκονται μέσα στην ίδια περιοχή. Ανάλογα με το είδος της μελέτης που πραγματοποιείται, οι ζώνες αυτές μπορεί να αποτελούν στην πραγματικότητα απλούς κόμβους, από τους οποίους έχουμε είσοδο προς την περιοχή μελέτης ή έξοδο από αυτή. Τέλος θεωρούμε το οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης που κωδικοποιημένο αποτελείται από τους κόμβους και τους συνδέσμους¹.

Εστω ότι $\{T_{ij}\}$ είναι το μητρώο προέλευσης - προορισμού που περιγράφει τις μετακινήσεις που πραγματοποιούνται στην περιοχή μελέτης. Με i συμβολίζουμε την ζώνη προέλευσης, και με j την ζώνη προορισμού. Λόγω της παραπάνω παραδοχής για τις εσωτερικές μετακινήσεις, θα ισχύει $T_{ij}=0$ για κάθε $i=j$. Επίσης έστω ότι έχουν πραγματοποιηθεί μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου σε ένα σύνολο συνδέσμων, που αποτελεί υποσύνολο του συνόλου των συνδέσμων του δικτύου.

Σκοπός μας είναι να εκτιμηθεί το μητρώο $\{T_{ij}\}$.

Σημάντικό σημείο της ανάλυσης είναι το ποσοστό των χρηστών από κάθε ζεύγος ζωνών ξεχωριστά, που χρησιμοποιεί κάθε σύνδεσμο (a). Το ποσοστό αυτό το ονομάζουμε p_{ij}^a και θα ισχύει :

¹ Σύνδεσμο ονομάζουμε την ευθεία που ενώνει δύο κόμβους, και η οποία συνήθως ταυτίζεται με οδικά τμήματα.

$$0 \leq p_{ij}^a \leq 1 \quad \forall i, j, a \quad (1)$$

Αν ονομάσουμε V_a το φόρτο του συνδέσμου a τότε θα πρέπει για κάθε σύνδεσμο να ισχύει η εξίσωση :

$$V_a = \sum_i \sum_j p_{ij}^a T_{ij} \quad (2)$$

Τα ποσοστά p_{ij}^a όπως έχει ήδη τονισθεί μπορούν να αποτελούν είτε εξωγενή είτε ενδογενή παραμέτρους της διαδικασίας εκτίμησης. Στην περίπτωση που αποτελούν εξωγενής παραμέτρους, θεωρούμε ότι είναι γνωστά από την αρχή της ανάλυσης και προκύπτουν από το πρότυπο επιλογής διαδρομής που επιλέγουμε. Το πρότυπο αυτό μπορεί να είναι το απλούστερο, που είναι το "όλα ή τίποτα", ή κάποιο άλλο στοχαστικό πρότυπο όπως του Dial. Στην περίπτωση που η κυκλοφοριακή συμμόρφωση αποτελεί βασικό παράγοντα στην επιλογή της διαδρομής, τα ποσοστά αυτά υπολογίζονται ταυτόχρονα με την εκτίμηση του μητρώου, δηλαδή αποτελούν ενδογενής παράγοντες της διαδικασίας εκτίμησης.

Στην ανάλυση μας θα θεωρηθεί ότι είναι γνωστά από την αρχή της διαδικασίας. Επίσης για απλοποίηση του μοντέλου θα γίνουν δύο ακόμα παραδοχές που αφορούν τις μετρήσεις των φόρτων :

- Θεωρούμε ότι δεν υπάρχουν σφάλματα στις μετρήσεις των φόρτων, οπότε ισχύουν οι εξισώσεις συνέχειας για κάθε κόμβο του δικτύου.
- Οι φόρτοι των συνδέσμων για τους οποίους υπάρχουν μετρήσεις, είναι γραμμικά ανεξάρτητοι μεταξύ τους.

Το μητρώο $\{T_{ij}\}$ έχει n^2 -η αγνώστους ενώ εμείς έχουμε ένα περιορισμένο αριθμό από a εξισώσεις της μορφής (2). Στις περισσότερες μελέτες ο αριθμός των αγνώστων είναι πολύ μεγαλύτερος από τον αριθμό των εξισώσεων. Έτσι το πρόβλημα γίνεται αόριστο. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει μοναδική λύση του προβλήματος, αλλά ένα σύνολο από

παραδεκτές λύσεις. Πρέπει λοιπόν να βρούμε ένα τρόπο με τον οποίο να εκτιμούμε την πιθανότερη από τις παραδεκτές λύσεις, δηλαδή εκείνη που βρίσκεται πιο κοντά στην πραγματική τιμή του μητρώου.

3.1.2. Θεώρηση της αντικειμενικής συνάρτησης.

Βασική αρχή του προτύπου της ελαχιστοποίησης της πληροφορίας είναι να υπολογισθεί το μητρώο εκείνο το οποίο προσθέτει όσο το δυνατόν λιγότερη επιπλέον πληροφορία από εκείνη που δίνουν οι εξισώσεις (2).

Ο Brillouin (1956) καθόρισε την πληροφορία που περιέχουν N παρατηρήσεις στις οποίες έχει εμφανισθεί η κατάσταση k , n_k φορές με τον παρακάτω μαθηματικό τύπο :

$$I = -\log_e N! \prod_k \left[\frac{q_k^{n_k}}{n_k!} \right] \quad (3)$$

όπου q_k είναι η a priori πιθανότητα να παρατηρηθεί η κατάσταση k . Στην συγκεκριμένη περίπτωση του προβλήματος, η κατάσταση ij είναι η περίπτωση κατά την οποία το όχημα που μετρήθηκε στον σύνδεσμο, έχει σαν άκρα της μετακίνησης του τα i και j . Οπότε θα ισχύει :

$$n_{ij}^a = T_{ij} p_{ij}^a \quad (4)$$

Εστω ότι γνωρίζουμε ένα a priori μητρώο από μία άλλη πηγή (π.χ. παλαιότερη έρευνα που είχε γίνει με συμβατικές μεθόδους), το οποίο συμβολίζουμε $\{t_{ij}\}$. Τότε η a priori πιθανότητα να παρατηρηθεί η κατάσταση ij είναι :

$$q_{ij}^a = \frac{t_{ij} p_{ij}^a}{\sum_{ij} t_{ij} p_{ij}^a} \quad (5)$$

Τελικά αντικαθιστώντας τις εξισώσεις (4) και (5) στην σχέση (3) θα έχουμε ότι η

πληροφορία της μέτρησης του φόρτου είναι ίση με

$$I_a = -\log_e V_a! \prod_{ij} \left[\frac{\{t_{ij} p_{ij}^a\}^{T_{ij} p_{ij}^a}}{S^a (T_{ij} p_{ij}^a)!} \right] \quad (6)$$

όπου

$$S^a = \sum_{ij} t_{ij} p_{ij}^a \quad (7)$$

Χρησιμοποιώντας τον προσεγγιστικό τύπο του Stirling, $\log_e X! \approx X \cdot \log_e X - X$, ο τύπος (6) γίνεται :

$$I_a \approx \sum_{ij} T_{ij} p_{ij}^a \log_e \frac{T_{ij} S^a}{V_a t_{ij}} \quad (8)$$

Αθροίζοντας την πληροφορία για όλους τους συνδέσμους του δικτύου για τους οποίους υπάρχουν μετρήσεις, καταλήγουμε ότι η συνολική πληροφορία που παρέχουν οι μετρήσεις είναι :

$$I_a = \sum_a \sum_{ij} T_{ij} p_{ij}^a \log_e \frac{T_{ij} S^a}{V_a t_{ij}} \quad (9)$$

Σύμφωνα με την βασική αρχή της μεθόδου θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί η σχέση (9), όταν αυτή υπόκειται στους περιορισμούς που εκφράζονται από τις σχέσεις (2). Το πρόβλημα αυτό είναι ένα πρόβλημα ολικού ακροτάτου συνάρτησης της οποίας το πεδίο ορισμού υπόκειται σε περιορισμούς και μπορεί να λυθεί με την μέθοδο των

πολλαπλασιαστών του Lagrange¹.

Ετσι σχηματίζεται η παρακάτω σχέση :

$$\mathcal{L} = \sum_a \sum_{ij} T_{ij} p_{ij}^a \log_e \frac{T_{ij} S^a}{V_a t_{ij}} + \sum_a \lambda_a (\sum_{ij} T_{ij} p_{ij}^a - V_a) \quad (10)$$

όπου λ_a είναι ο πολλαπλασιαστής του Lagrange για τον σύνδεσμο a . Παραγωγίζοντας ως προς T_{ij} έχω :

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial T_{ij}} = \sum_a p_{ij}^a \log_e \left[\frac{T_{ij} S^a}{V_a t_{ij}} \right] + \sum_a T_{ij} p_{ij}^a \cdot \frac{1}{T_{ij}} + \sum_a \lambda_a p_{ij}^a \quad (11)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial T_{ij}} = \sum_a p_{ij}^a \log_e \left[\frac{T_{ij} S^a}{V_a t_{ij}} \right] + \sum_a p_{ij}^a (1 + \lambda_a) = 0 \quad (12)$$

$$\log_e \left\{ \prod_a \left[\frac{T_{ij} S^a}{V_a t_{ij}} \right]^{p_{ij}^a} \right\} = - \sum_a p_{ij}^a (1 + \lambda_a) \quad (13)$$

$$\left(\frac{T_{ij}}{t_{ij}} \right)^{\sum_a p_{ij}^a} = \prod_a \left(\frac{V_a}{S^a} \right)^{p_{ij}^a} \exp \left[- \sum_a p_{ij}^a (1 + \lambda_a) \right] \quad (14)$$

και θέτοντας

¹ Για περισσότερες πληροφορίες και την απόδειξη της μεθόδου των Πολλαπλασιαστών Lagrange, βλέπε το παράρτημα Α.

$$g_{ij} = \sum_a p_{ij}^a \quad (15)$$

καταλήγουμε στην σχέση :

$$T_{ij} = t_{ij} \prod_a \left\{ \frac{V_a}{S^a} \cdot e^{-(1+\lambda_a)} \right\}^{\frac{p_{ij}^a}{g_{ij}}} \quad (16)$$

Αντικαθιστώντας

$$X_a = \frac{V_a}{S^a} \cdot e^{-(1+\lambda_a)} \quad (17)$$

καταλήγουμε στον τελικό τύπο :

$$T_{ij} = t_{ij} \prod_a X_a^{\frac{p_{ij}^a}{g_{ij}}} \quad (18)$$

Οι όροι X_a θα υπολογιστούν από τους περιορισμούς του προβλήματος, δηλαδή τις εξισώσεις (2).

3.2. Μέθοδος μεγιστοποίησης της Εντροπίας.

3.2.1. Γενικά.

Η περιγραφή του προβλήματος που έγινε για την μέθοδο της ελαχιστοποίησης της πληροφορίας, ισχύει χωρίς καμία αλλαγή και για την μέθοδο της εντροπίας. Έτσι και στο πρότυπο αυτό το ποσοστό των χρηστών που χρησιμοποιούν κάθε σύνδεσμο, για κάθε

ζεύγος ζωνών ξεχωριστά, θεωρούνται εξωγενής παράμετροι της διαδικασίας εκτίμησης του μητρώου και γνωστό από την αρχή.

Σύμφωνα με τον ορισμό που έδωσε ο Wilson το 1970, ως εντροπία ορίζεται το πιο πιθανό μητρώο προέλευσης - προορισμού, εκείνο το οποίο συσχετίζεται με τον μεγαλύτερο αριθμό καταστάσεων. Ο αριθμός των μητρώων $\{T_{ij}\}$ που μπορούν να προκύψουν αν είναι δεδομένος ο συνολικός αριθμός των μετακινήσεων $\{T\}$ είναι :

$$W(\{T_{ij}\}) = \frac{T!}{\prod_{ij} T_{ij}!} \quad (19)$$

3.2.2. Αντικειμενική Συνάρτηση.

Στόχος της μεθόδου, όπως φαίνεται και από την ονομασία του προτύπου, είναι να μεγιστοποιηθεί η συνάρτηση της εντροπίας (19), ή μία μονότονη συνάρτηση της μεταβλητής $W(\{T_{ij}\})$. Δηλαδή να επιλεγεί το μητρώο εκείνο που σύμφωνα με τις πληροφορίες είναι το πλέον πιθανό. Επειδή μας διευκολύνει στις μαθηματικές πράξεις θεωρείται η παρακάτω συνάρτηση :

$$S = \log_e W(\{T_{ij}\}). \quad (20)$$

Αντικαθιστώντας την σχέση (19) στον τύπο (20), και χρησιμοποιώντας τον προσεγγιστικό τύπο του Stirling για το $\log X!$ το πρόβλημα γίνεται :

$$Max S = \log_e T! - \sum_{ij} (T_{ij} \log_e T_{ij} - T_{ij}) \quad (21)$$

Στο σημείο αυτό γίνεται η υπόθεση ότι ο αριθμός των μετακινήσεων που πραγματοποιούνται είναι σταθερός και επομένως ο πρώτος όρος του δεξιού μέρους μπορεί να φύγει από την σχέση και έτσι η έκφραση του προβλήματος να γίνει :

$$\text{Min} - \sum_{ij} (T_{ij} \log_e T_{ij} - T_{ij}) \quad (22)$$

$$\text{υπό τους περιορισμούς} \quad V_a - \sum_{ij} T_{ij} p_{ij}^a = 0$$

για όλους τους συνδέσμους a στους οποίους υπάρχουν μετρήσεις.

Θεωρούμε το πρόβλημα με την μορφή των πολλαπλασιαστών Lagrange οπότε δημιουργείται η συνάρτηση :

$$\mathcal{F}' = \sum_{ij} (T_{ij} \log_e T_{ij} - T_{ij}) + \sum_a \lambda_a (V_a - \sum_{ij} T_{ij} p_{ij}^a) \quad (23)$$

και μετά την παραγωγή ως προς T_{ij} :

$$\frac{\partial \mathcal{F}'}{\partial T_{ij}} = -\log_e T_{ij} - \sum_a \lambda_a p_{ij}^a = 0. \quad (24)$$

Οπότε και ο τελικός τύπος είναι :

$$T_{ij} = e^{[-\sum_a \lambda_a p_{ij}^a]}. \quad (25)$$

Αντικαθιστώντας

$$X_a = e^{-\lambda_a} \quad (26)$$

θα έχουμε :

$$T_{ij} = \prod_a X_a^{p_{ij}^a} \quad (27)$$

όπου οι όροι X_a θα υπολογιστούν από τις εξισώσεις (2) των περιορισμών. Μέχρι το σημείο αυτό δεν έχει χρησιμοποιηθεί το a priori μητρώο. Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί η σχέση της εντροπίας γίνεται :

$$W'(T_{ij}, t_{ij}) = \frac{T! \prod_{ij} q_{ij}^{T_{ij}}}{\prod_{ij} T_{ij}!} \quad (28)$$

$$\text{όπου } q_{ij} = \frac{t_{ij}}{\sum_{ij} t_{ij}}$$

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία όπως και πριν, καταλήγουμε στις παρακάτω σχέσεις:

$$T_{ij} = t_{ij} \prod_a X_a^{p_{ij}^a} \quad (29)$$

$$X_a = \left(\sum_{ij} t_{ij} \right)^{\frac{1}{L}} \cdot e^{-\lambda_a} \quad (30)$$

όπου L είναι ο αριθμός των συνδέσμων στους οποίους υπάρχουν μετρήσεις.

3.3. Αλγόριθμος επίλυσης του προβλήματος.

Το πρόβλημα αυτό αποτελεί κλασσικό παράδειγμα των προβλημάτων που ονομάζονται **πολλαπλά αναλογικά προβλήματα**. Ο Murchland το 1977 ήταν από τους πρώτους που απέδειξαν την ισοδυναμία τέτοιων προβλημάτων με κυρτά προβλήματα, και πρότειναν αλγόριθμους για την επίλυση τους. Έτσι ένας αλγόριθμος επίλυσης του μοντέλου της εντροπίας που πρότεινε ο Willumsen είναι ο εξής:

- (i) Χρησιμοποιώντας ένα πρότυπο επιλογής διαδρομής υπολογίζουμε τα ποσοστά p_{ij}^a και θέτουμε τον δείκτη των επαναλήψεων στο μηδέν ($n=0$).
- (ii) Θέτουμε $X_{an}=1$ για όλους τους συνδέσμους.
- (iii) Θέτουμε $a=0$.
- (iv) Αυξάνουμε τον δείκτη των συνδέσμων (a) κατά ένα. Για τον σύνδεσμο αυτό εκτιμούμε με το μοντέλο τον φόρτο.

$$V_a^n = \sum_{ij} t_{ij} \left(\prod_a X_a^{np_{ij}^a} \right) \cdot p_{ij}^a \quad (31)$$

και θέτω $X_a^{n+1} = X_a^n \cdot Y_a$ όπου ο δεύτερος όρος του δεξιού μέρους βρίσκεται από την επίλυση της παρακάτω σχέσης :

$$\hat{V}_a = \sum_{ij} p_{ij}^a t_{ij} \left(\prod_a X_a^{np_{ij}^a} \right) \cdot Y_a^{p_{ij}^a} \quad (32)$$

όπου V_a είναι ο φόρτος που μετρήθηκε στον σύνδεσμο a .

- (v) Αμα δεν τελείωσε η λίστα των συνδέσμων ($a < L$) τότε γυρνάμε στο βήμα (iv) αλλιώς ελέγχουμε αν υπάρχει σύγκλιση στο βήμα (vi).
- (vi) Αμα όλοι οι εκτιμώμενοι φόρτοι προσεγγίζουν τους μετρούμενους σταματάμε, αλλιώς αυξάνουμε τον δείκτη των επαναλήψεων κατά 1 και γυρνάμε στο βήμα (iii).

Παρότι ο Murchland απέδειξε την μοναδικότητα της λύσης του πολλαπλά αναλογικού προβλήματος, εντούτοις δεν έχει αποδειχτεί ότι ο παραπάνω αλγόριθμος συγκλίνει στην μοναδική αυτή λύση. Ομως δεν έχει παρατηρηθεί, σε αριθμητικές εφαρμογές, λύση που να

μην επαληθευεί τις μετρήσεις των φόρτων.

3.4. Σύγκριση των δύο μεθόδων.

3.4.1. Συγγένεια μεταξύ των δύο μοντέλων.

Βλέποντας τους δύο τελικούς τύπους των προτύπων της πληροφορίας και εντροπίας, φαίνεται καθαρά η στενή τους σχέση για η οποία αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Στην πραγματικότητα η μοναδική διαφορά έγκειται στον εκθέτη του X_a , ο οποίος στο μεν πρότυπο του Van Zuylen είναι $p_{ij}^a / \sum p_{ij}^a$ στο δε πρότυπο του Willmsen είναι p_{ij}^a . Οι εκθέτες αυτοί έχουν τον ρόλο βαρών με τα οποία θα συμμετέχουν οι μετρήσεις των κυκλοφοριακών φόρτων στην διαδικασία της εκτίμησης του μητρώου προέλευσης-προορισμού. Η μοναδική ουσιαστική διαφορά που υπάρχει στην θεωρητική βάση των αποδείξεων των μοντέλων, είναι η διαφορετική κατάσταση που θεωρεί ο κάθε ερευνητής. Συγκεκριμένα ο Van Zuylen θεωρεί το μεμονωμένο όχημα ενώ ο Willmsen ολόκληρη την μετακίνηση. Η στενή σχέση αποδεικνύεται και από το γεγονός ότι ο τύπος του μοντέλου του Van Zuylen μπορεί να προκύψει και με την χρήση της σχέσης της εντροπίας (Van Zuylen & Willmsen, 1980).

3.4.2. Γενικές παρατηρήσεις.

Στο πρώτο αυτό άρθρο ο Willmsen έκανε και τους πρώτους ελέγχους με τεχνητά δεδομένα. Συγκεκριμένα εφάρμοσε σε ένα δίκτυο που αποτελείται από 15 κεντροειδή και 36 συνδέσμους διπλής κατευθύνσεως, τέσσερις φορές τις δύο μεθόδους, με τα εξής δεδομένα:

1. Σε όλες τις περιπτώσεις δεν χρησιμοποιήθηκε a priori μητρώο αλλά θεωρήθηκε ότι $t_{ij} = 1$. Επίσης πάντοτε χρησιμοποιήθηκε σαν πρότυπο επιλογής διαδρομής το "όλα ή τίποτα". Σε κάθε μία από τις τέσσερις περιπτώσεις ένα διαφορετικό "σωστό" μητρώο φόρτισε το δίκτυο.
2. Στην πρώτη περίπτωση, κάθε στοιχείο του "σωστού" μητρώου ήταν ίσο με 50.

3. Στην δεύτερη και τρίτη περίπτωση, το "σωστό" μητρώο προέκυψε από την χρήση ενός μοντέλου βαρύτητας, για συγκεκριμένες τιμές παραγωγής και έλξης για κάθε ζώνη. Εντούτοις στην τρίτη περίπτωση το μήκος όλων των συνδέσμων που οδηγούν από τα κεντροειδή στην περιοχή μελέτης δεκαπλασιάστηκε.
4. Τέλος στην τέταρτη περίπτωση τα στοιχεία του μητρώου περιείχαν τυχαία νούμερα από το 1 έως το 100.

Σε όλες τις περιπτώσεις η ακρίβεια των αποτελεσμάτων του μοντέλου καθορίστηκε ίση με 2% (δηλαδή η σχετική διαφορά των πραγματικών και των εκτιμώμενων φόρτων). Ως μέτρο σύγκρισης χρησιμοποιήθηκε η τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου της διαφοράς μεταξύ των στοιχείων του εκτιμώμενου και του "σωστού" μητρώου (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_k (E_k - O_k)^2}{n}}$$

όπου

n είναι ο αριθμός των στοιχείων του μητρώου (210),

E_k είναι οι μετακινήσεις του μητρώου που εκτιμά το μοντέλο και

O_k είναι οι μετακινήσεις του "σωστού" μητρώου.

Τα αποτελέσματα και των δύο μεθόδων ήταν πολύ καλά στην πρώτη περίπτωση (μέση $RMSE=1.1-1.2$). Στην δεύτερη και τρίτη περίπτωση το πρότυπο της εντροπίας έδωσε επίσης πολύ καλά αποτελέσματα (μέση $RMSE=1.7$), ενώ το πρότυπο της πληροφορίας έδωσε $RMSE=21.3$ στην δεύτερη περίπτωση και 16.3 στην τρίτη. Τα καλά αποτελέσματα του προτύπου της εντροπίας στην δεύτερη και τρίτη περίπτωση πιστεύεται ότι οφείλονται στην στενή σχέση του προτύπου αυτού και του προτύπου βαρύτητας. Τέλος και τα δύο πρότυπα έδωσαν άσχημα αποτελέσματα στην τέταρτη περίπτωση (25.8 και 25.5 αντίστοιχα), όπως και αναμενόταν λόγω της πλήρους τυχειότητας των μετακινήσεων στο δίκτυο.

Μία άλλη παρατήρηση που μπορούμε να κάνουμε για τις μεθόδους, είναι ότι ενώ δεν μπορούμε να έχουμε μετρήσεις φόρτων σε όλους τους συνδέσμους του δικτύου, όσο

περισσότερους έχουμε τόσο καλύτερη εκτίμηση του μητρώου θα κάνουμε.

Από πρακτικής πλευράς η μέθοδος της εντροπίας σε αυτό το μικρό δίκτυο, βρέθηκε ότι είναι λίγο πιο γρήγορη από την μέθοδο της πληροφορίας (λόγω του απλούστερου εκθέτη), ενώ και οι δύο μέθοδοι χρειάστηκαν περίπου τον ίδιο αριθμό επαναλήψεων για να συγκλίνουν με ανοχή 5% στις μετρήσεις των φόρτων.

3.4.3. Μειονεκτήματα των προτύπων.

Το 1981 στο 8^ο Διεθνές Συμπόσιο για την Κυκλοφοριακή Τεχνική και την Θεωρία της Κυκλοφορίας, ο Van Zuylen παρουσίασε κάποια λεπτά σημεία των προτύπων, στα οποία η συμπεριφορά των τελευταίων δεν είναι η σωστή.

(i) Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε με εφαρμογή σε απλά δίκτυα, ότι το πρότυπο της εντροπίας δίνει συστηματικό σφάλμα όταν ο συνολικός αριθμός των μετακινήσεων στο πραγματικό μητρώο προέλευσης προορισμού, διαφέρει πολύ από τον αριθμό των μετακινήσεων του *a priori* μητρώου.

Ειδικότερα υπάρχει υποεκτίμηση των μετακινήσεων εκείνων που συμπεριλαμβάνονται μονάχα μία φορά στους κυκλοφοριακούς φόρτους που έχουμε στην διάθεση μας. Αντίθετα όταν ο συντελεστής X_a είναι μεγαλύτερος από 1, και η μετακίνηση μετρείται δύο φορές, τότε έχουμε υπερεκτίμηση. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει υπερεκτίμηση των μεγάλων σε απόσταση μετακινήσεων.

Δεν παρατηρείται παρόμοιο φαινόμενο κατά την εκτίμηση με το πρότυπο της πληροφορίας, λόγω του διαφορετικού εκθέτη.

Το σφάλμα αυτό δεν υπάρχει άμα το *a priori* μητρώο πολλαπλασιαστεί με ένα συντελεστή όπως $\Sigma t_{ij} = \Sigma T_{ij}$. Αυτό βέβαια είναι δυνατόν μονάχα άμα είναι γνωστός από την αρχή, ο συνολικός αριθμός των μετακινήσεων.

(ii) Το πρότυπο της πληροφορίας είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στις μετρήσεις γραμμικά εξαρτημένων κυκλοφοριακών φόρτων. Αυτό σημαίνει ότι θεωρεί ότι δίνουν επιπλέον πληροφορίες, ενώ στην πραγματικότητα δεν προσφέρουν καινούργιες πληροφορίες. Αυτή

η ευαισθησία αντικατοπτρίζεται σε σημαντικό σφάλμα στην εκτίμηση όταν υπάρχουν μετρήσεις φόρτων οι οποίες είναι γραμμικά εξαρτημένες.

3.4.4. Τροποποιημένο Μοντέλο.

Μετά την περιγραφή των παραπάνω αρνητικών σημείων των αρχικών προτύπων, ο Van Zuylen προχώρησε στην μόρφωση ενός τροποποιημένου προτύπου λαμβάνοντας υπ'όψη δύο σημαντικά σημεία :

1. Το αρνητικό σημείο του προτύπου της εντροπίας οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την ανάλυση μας θεωρήσαμε ως παραδοχή ότι ο συνολικός αριθμός των μετακινήσεων είναι σταθερός.
2. Το αρνητικό σημείο του προτύπου της πληροφορίας οφείλεται στο γεγονός ότι η εφαρμογή του τύπου του Brillouin έγινε ξεχωριστά για κάθε σύνδεσμο, κάτι που προϋποθέτει αμοιβαία ανεξαρτησία των συνδέσμων. Αυτό όμως γενικά δεν ισχύει.

Ετσι συνδυάζοντας τον τύπο της πληροφορίας και την λογική της εντροπίας κατάληξε στον εξής τύπο :

$$T_{ij} = t_{ij} X_o \prod_a X_a^{p_{ij}^a} \quad (34)$$

όπου

$$X_o = \frac{\sum_{ij} T_{ij}}{\sum_{ij} t_{ij}}. \quad (35)$$

Οι όροι X_o και X_a θα προκύψουν από την λύση των σχέσεων :

$$V_a = \sum_{ij} p_{ij}^a [t_{ij} X_o \prod_a X_a^{p_{ij}^a}] \quad (36)$$

$$\sum_{ij} t_{ij} = \sum_{ij} t_{ij} \prod_a X_a^{p_{ij}^a}. \quad (37)$$

Ο αλγόριθμος για την επίλυση του τροποποιημένου προτύπου είναι λίγο διαφορετικός από εκείνον που περιγράψαμε στις προηγούμενες παραγράφους.

- (i) Θέτουμε τον δείκτη των επαναλήψεων στο μηδέν, $n=0$.
- (ii) Θέτουμε $X_a^n = 1$ για όλους τους συνδέσμους.
- (iii) Εστω

$$X_o^n = \frac{\sum_a V_a}{\sum_a \sum_{ij} p_{ij}^a t_{ij}} \quad (38)$$

- (iv) Θέτουμε $a=0$.
- (v) Αυξάνουμε τον δείκτη των συνδέσμων κατά ένα και υπολογίζουμε τον X_a^{n+1} λύνοντας την σχέση :

$$V_a = \sum_{ij} p_{ij}^a X_o^n t_{ij} \left(\prod_a X_a^{p_{ij}^a} \right) Y_a^{p_{ij}^a} \quad (39)$$

και θέτουμε :

$$X_a^{n+1} = X_a^n \cdot Y_a \quad (40)$$

- (vi) Αν οι σύνδεσμοι δεν έχουν τελειώσει γυρνάμε στο βήμα (v).

(vii) Υπολογίζουμε την σχέση :

$$X_o^{n+1} = X_o^n \frac{\sum_{ij} t_{ij} \prod_a (X_a^{n+1})^{p_{ij}^a}}{\sum_{ij} t_{ij}} \quad (41)$$

(viii) Αμα έχουμε επιτύχει την επιθυμητή ακρίβεια τότε σταματάμε, αλλιώς αυξάνουμε τον δείκτη των επαναλήψεων κατά 1 και γυρνάμε στο βήμα (iv).

Πάντως πρέπει να παρατηρήσουμε ότι η σύγκλιση του αλγορίθμου αυτού είναι αργή, και η ομαλοποίηση του όρου X_o μπορεί να αυξήσει της ταχύτητα του. Τέλος ο Van Zuylen σημειώνει ότι δεν υπάρχει γενική απόδειξη ότι το τροποποιημένο πρότυπο δεν παρουσιάζει συστηματικές υπο- ή υπερ- εκτιμήσεις. Εντούτοις οι έλεγχοι που έγιναν δίνουν θετικά αποτελέσματα. Ομως δεν θα πρέπει να ξεχνάμε ότι παρότι το τροποποιημένο πρότυπο δεν είναι ευαίσθητο στο a priori μητρώο, εντούτοις το τελευταίο είναι θεμελιώδης κρίκος για μία καλή εκτίμηση.

3.4.5. Αποτελέσματα της Μελέτης του Maher.

Το πρόβλημα της υπερεκτίμησης και της υποεκτίμησης των πραγματικών αποτελεσμάτων εξετάστηκε και από τον Maher το 1987. Έτσι και ο Maher διαπίστωσε το πρόβλημα που είχε αναφέρει ο Van Zuylen.

Πιο συγκεκριμένα εξέτασε την περίπτωση όπου τα στοιχεία του a priori μητρώου έχουν υποστεί ομοιόμορφη αύξηση. Διαπίστωσε τότε ότι η μέθοδος της εντροπίας δίνει αποτελέσματα των οποίων ο λόγος (εκτιμώμενη τιμή)/(πραγματική τιμή) αυξάνει όσο αυξάνει ο αριθμός των μετρήσεων φόρτου στις οποίες συμπεριλαμβάνεται η μετακίνηση του αντίστοιχου στοιχείου του μητρώου. Στην ίδια περίπτωση η μέθοδος της πληροφορίας δεν παρουσιάζει κανένα πρόβλημα.

Στην περίπτωση που η αύξηση δεν είναι ομοιόμορφη, αλλά κάθε στοιχείο του μητρώου

έχει αυξηθεί σύμφωνα με ένα συντελεστή ο οποίος αποτελεί τυχαία μεταβλητή μίας στατιστικής κατανομής, η μέθοδος της πληροφορίας δίνει αποτελέσματα των οποίων ο λόγος (εκτιμώμενη τιμή)/(πραγματική τιμή) μειώνεται όσο αυξάνει ο αριθμός των μετρήσεων φόρτου.

Αυτά τα δύο συμπεράσματα φαίνονται στα δύο σχήματα 3.1 και 3.2, τα οποία προέρχονται από την μελέτη του Maher.

Αφού πρώτα κάνει αναφορά στο τροποποιημένο πρότυπο του Van Zuylen, το οποίο επισημαίνει ότι δεν έχει τάσεις υπερ- ή υπο- εκτίμησης των αποτελεσμάτων, στην περίπτωση ομοιόμορφης ή μη αύξησης των στοιχείων του a priori μητρώου, ο Maher προτείνει ένα διαφορετικό πρότυπο που βασίζεται σε εκείνο της εντροπίας. Σύμφωνα με το πρότυπο αυτό και με χρήση της μεθόδου της εντροπίας αναζητούμε το μητρώο εκείνο που ταυτόχρονα :

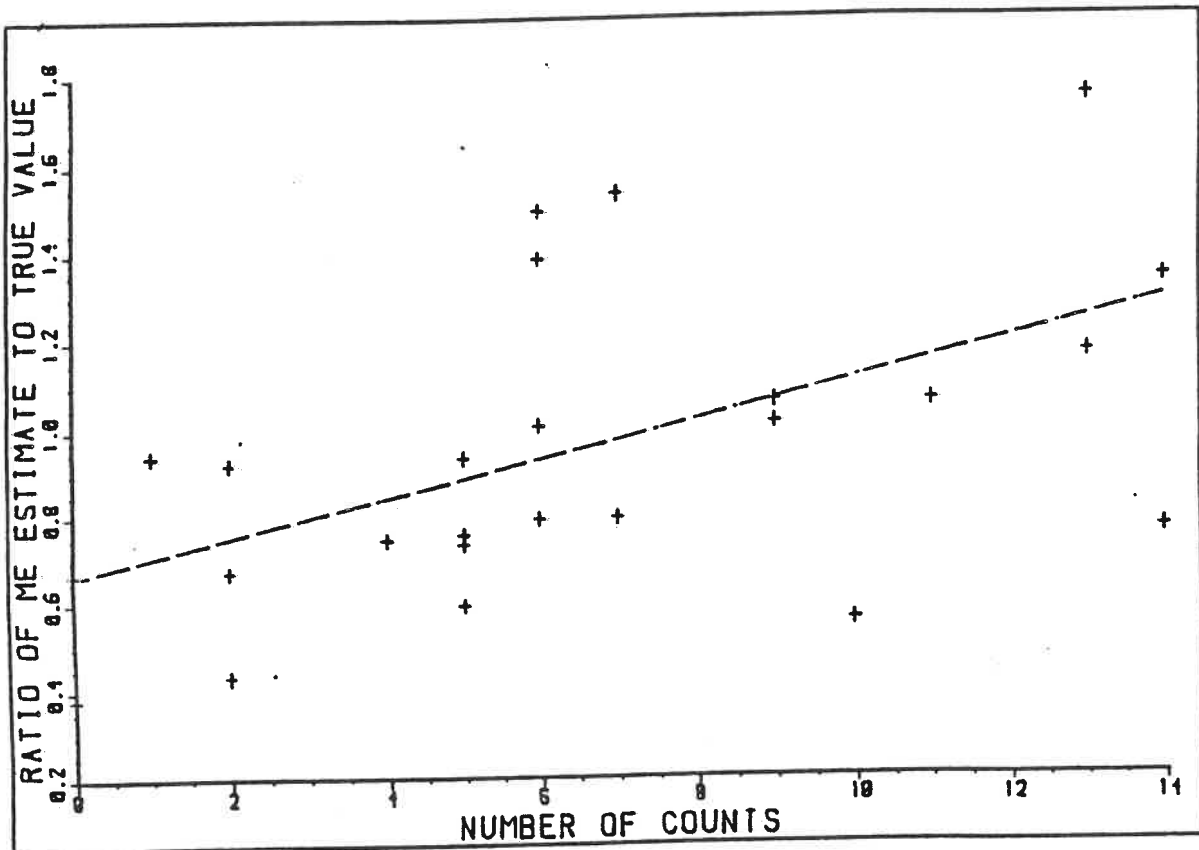
- (1) Ικανοποιεί τους περιορισμούς των μετρήσεων των κυκλοφοριακών φόρτων.
- (2) Το εκτιμώμενο μητρώο είναι της μορφής $A_i B_j t_{ij}$.
(όπου A_i είναι παράγοντας γέννησης μετακινήσεων από την ζώνη i , και B_j είναι παράγοντας έλξης στην ζώνη j).

Σύμφωνα με τις παρατηρήσεις και τα αριθμητικά παραδείγματα του Maher, το πρότυπο αυτό έχει τέτοιες ιδιότητες που δεν εμφανίζει τις παραπάνω αναφερθείσες αρνητικές εκτιμήσεις.

3.4.6. Σύγκριση των προτύπων με πραγματικά δεδομένα.

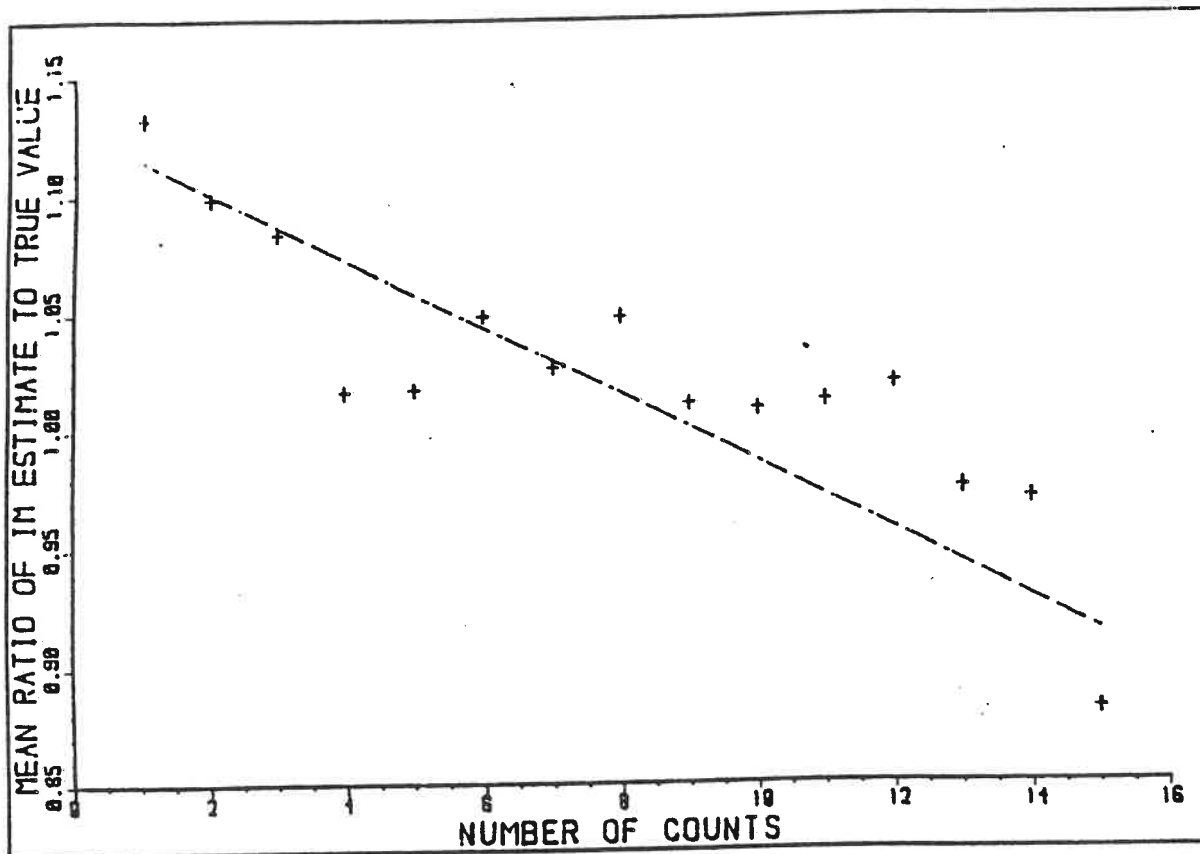
Το 1991 οι W.H.K. Lam και H.P. Lo παρουσιάζουν ένα άρθρο τους το οποίο έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για ένα κυρίως λόγο :

Διότι κάνει σύγκριση των αποτελεσμάτων των μεθόδων της πληροφορίας και της εντροπίας με αποτελέσματα τα οποία προέρχονται από εφαρμογή έρευνας με συμβατικές μεθόδους.



Πηγή : M.J.Maher,1987.

Σχήμα 3.1. Μέθοδος Εντροπίας.



Πηγή : M.J.Maher, 1987.

Σχήμα 3.2. Μέθοδος Πληροφορίας.

Συγκεκριμένα η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε στην περιοχή Shenzhen της Κίνας, με την μέθοδο των συνεντεύξεων παρά την οδό. Υπάρχουν δύο σημεία τα οποία είναι ιδιαίτερα ενδιαφέροντα για την έρευνα αυτή :

- Κατά την διάρκεια της έρευνας αυτής εκτός από τις ζώνες προέλευσης και προορισμού, οι χρήστες ερωτήθηκαν και για την ακριβή διαδρομή που ακολούθησαν στο δίκτυο.
- Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε τέσσερεις ώρες αιχμής (δύο πρωινής και δύο απογευματινής) και το δείγμα ήταν αρκετά μεγάλο (13.300 χρήστες ερωτήθηκαν).

Τα χαρακτηριστικά των δύο μεθόδων που επισημαίνονται στη μελέτη αυτή είναι :

1. Το μητρώο προέλευσης - προορισμού εκτιμάται με την χρήση συντελεστών οι οποίοι είναι χρονικά και τοπικά εξαρτημένοι. Αυτό σημαίνει ότι μία αλλαγή στους φόρτους θα επιφέρει αλλαγή στους συντελεστές αυτούς.
2. Θα υπάρξει μεγάλο πρόβλημα στην εκτίμηση, όταν το a priori μητρώο περιέχει πολλά μηδενικά στοιχεία, διότι και η εκτίμηση θα δώσει μηδενικά τα αντίστοιχα στοιχεία.
3. Ασυνέπειες στις εξισώσεις των περιορισμών θα οδηγήσουν το μοντέλο σε αδυναμία εύρεσης λύσης.
4. Τόσο το πρότυπο της εντροπίας όσο και της πληροφορίας έχουν αναπτυχθεί με την παραδοχή ότι ο συνολικός αριθμός των μετακινήσεων είναι σταθερός.

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης μας δείχνουν ότι ανεξάρτητα από το αν χρησιμοποιήθηκε το πρότυπο "όλα ή τίποτα" ή οι διαδρομές που είχαν επιλέξει οι χρήστες οι εκτίμηση του μοντέλου της εντροπίας είναι καλύτερη όταν δεν υπάρχει a priori μητρώο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μέθοδος της πληροφορίας είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην a priori πληροφορία. Αντίθετα όταν υπήρχε το a priori μητρώο βρέθηκε ότι η μέθοδος της πληροφορίας έδωσε καλύτερα αποτελέσματα.

Εντούτοις άμα διαθέτουμε ελάχιστες μετρήσεις φόρτων, και τα δύο πρότυπα μας δίνουν της ίδιας περίπου ακρίβειας αποτελέσματα. Επίσης όπως ήταν αναμενόμενο βρέθηκε ότι με την αύξηση των μετρήσεων έχουμε και μεγαλύτερη ακρίβεια στην εκτίμηση.

Ενα σημαντικό συμπέρασμα της μελέτης είναι το γεγονός ότι τα μικρά (από 0 έως 30 μετακινήσεις) στοιχεία του μητρώου υπερεκτιμούνται από τα μοντέλα, ενώ τα μεγάλα υποεκτιμούνται.

3.5. Μία Ανάλυση της Αξιοπιστίας της Εκτίμησης των Μητρώων.

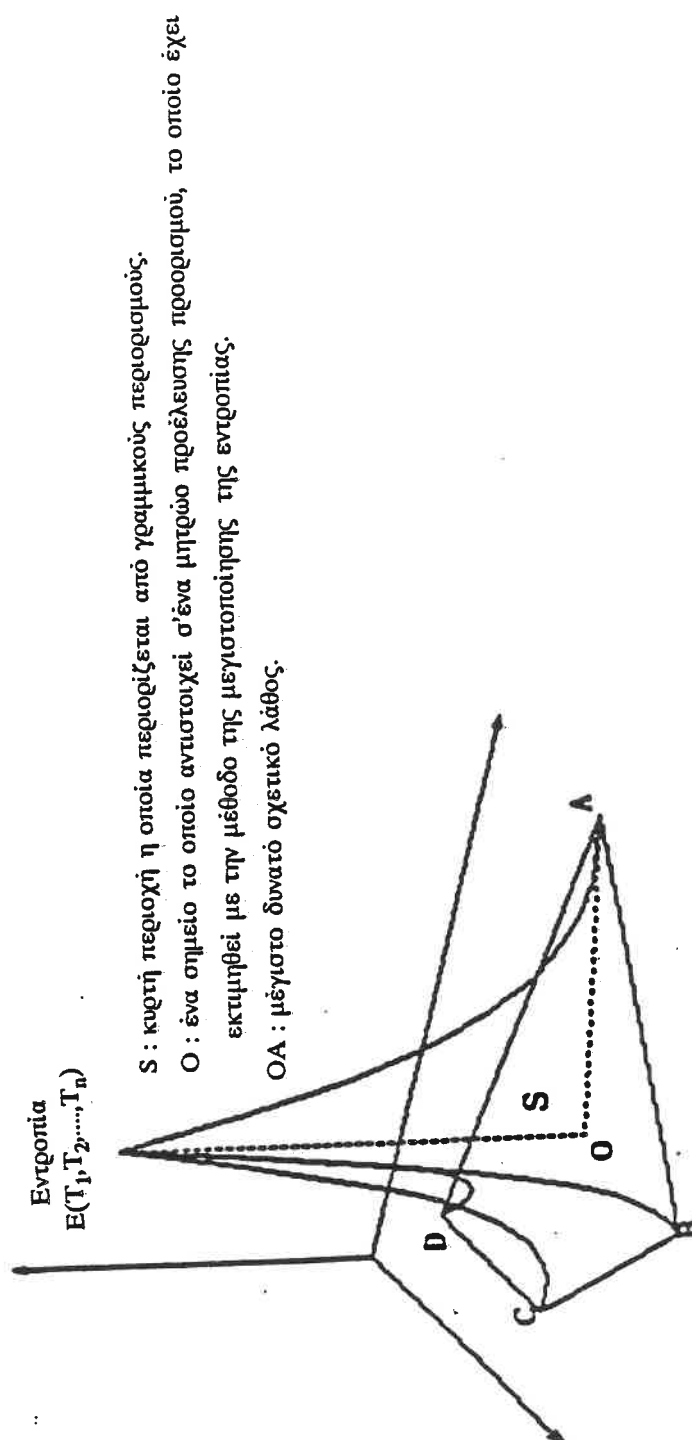
Ενας τομέας στον οποίο λίγα πράγματα έχουν γίνει διεθνώς, είναι η ανάπτυξη μεθόδων με τις οποίες θα μπορούμε να έχουμε μία ιδέα για την αξιοπιστία του μοντέλου. Δεδομένου βέβαια, ότι το πραγματικό μητρώο είναι άγνωστο γίνεται άμεσα αντιληπτό πόσο δύσκολη είναι η ανάπτυξη τέτοιων μεθόδων.

Το 1991 οι H. Yang, Y. Iida και T. Sasaki δημοσίευσαν ένα άρθρο τους στο οποίο περιγράφουν και αναλύουν την έννοια του μέγιστου δυνατού σχετικού λάθους (MPRE). Θεωρούν ότι η έννοια αυτή μαζί με την μαθηματική της οντότητα, μπορούν να μας βοηθήσουν στην εύρεση της αξιοπιστίας της εκτίμησης ενός προτύπου.

ΟΡΙΣΜΟΣ. MPRE (Μέγιστο Δυνατό Σχετικό Λάθος) είναι η μέγιστη δυνατή σχετική απόκλιση του εκτιμώμενου μητρώου προέλευσης-προορισμού, από το πραγματικό όταν το πρότυπο επιλογής διαδρομής είναι το σωστό και οι μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου δεν περιέχουν σφάλμα.

Για να γίνει πιο αντιληπτή η παραπάνω έννοια θεωρούμε το σχήμα 3.3.. Το σύνολο των μετακινήσεων για κάθε ζεύγος ζωνών χωριστά $(T_1, T_2, \dots, T_n)$, που ικανοποιεί τους περιορισμούς εκφράζεται με το επίπεδο S. Κάθε σημείο του επιπέδου αυτού αποτελεί μία δυνατή παραλλαγή του μητρώου. Θεωρούμε τώρα για ένα δεδομένο α priori μητρώο t_i , την σχέση της εντροπίας $E(T_1, T_2, \dots, T_n)$.

Σύμφωνα με το πρότυπο της εντροπίας βρίσκουμε σαν πιο πιθανό μητρώο εκείνο το οποίο την μεγιστοποιεί. Στο σχήμα αυτό το μητρώο απεικονίζεται με το σημείο O. Γενικά το



Πηγή : H. Yang, Y. Iida, T. Sasaki, 1991

Σχήμα 3.3. Γραφική αναπαράσταση του ΜΡΕ.

σωστό μητρώο είναι άγνωστο. Υποθέτουμε ότι το πραγματικό μητρώο βρίσκεται στο πιο απομακρυσμένο σημείο, που είναι το A, παρότι αυτό δεν είναι το πιθανότερο. Η σχετική απόσταση μεταξύ των σημείων O και A αντιπροσωπεύει αυτό που ονομάζουμε μέγιστο δυνατό σχετικό λάθος.

ΑΠΟΔΕΙΞΗ ΤΗΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΤΟΥ MPRE.

Εστω ότι οι σωστές και οι εκτιμώμενες μετακινήσεις για κάθε ζεύγος ζωνών i, είναι T_i^* και T_i αντίστοιχα. Τότε ο λόγος μεταξύ τους θα είναι :

$$\delta_i = \frac{T_i^*}{T_i} \quad (T_i > 0, \delta_i \geq 0), \quad i=1,2,\dots,n \quad (42)$$

Γίνεται η παραδοχή ότι όλα τα στοιχεία του εκτιμώμενου μητρώου είναι μεγαλύτερα από το 0.

Η σύγκλιση αυξάνει όταν ο λόγος δ τείνει προς την μονάδα. Από την εξίσωση (42) έχουμε:

$$T_i^* = \delta_i T_i \quad (43)$$

και

$$T^* = \begin{bmatrix} \delta_1 & \dots & 0 \\ \cdot & \delta_2 & \cdot \\ \cdot & & \cdot \\ 0 & \dots & \delta_n \end{bmatrix} \cdot T = D \cdot T \quad (44)$$

όπου D είναι ένας διαγώνιος πίνακας με στοιχεία τους λόγους δ_i . Εστω ότι οι πίνακες T^* , T και V (οι μετρήσεις των φόρτων) έχουν την μορφή διανύσματος για ευκολία. Ονομάζουμε τα ποσοστά των m παρατηρούμενων συνδέσμων για κάθε ένα από τα n ζεύγη ζωνών ξεχωριστά, ως p_{ia} . Τα ποσοστά αυτά θεωρούνται εξωγενείς σταθερές, γνωστές από την αρχή της διαδικασίας εκτίμησης. Σε μορφή πίνακα μπορούν να γραφτούν :

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mn} \end{bmatrix} \quad (45)$$

Το πραγματικό και το εκτιμώμενο μητρώο πρέπει να ικανοποιούν τις παρακάτω γραμμικές σχέσεις :

$$\begin{aligned} V &= PT \\ V &= PT^* \end{aligned} \quad (46)$$

Από τις εξισώσεις (44), (45) και (46) έχουμε :

$$P(T^* - T) = 0 \Rightarrow P(D - I)T = 0 \Rightarrow PHT = 0. \quad (47)$$

όπου I είναι ένας μοναδιαίος πίνακας διαστάσεων (n X n) και ο H είναι ο παρακάτω πίνακας :

$$H = D - I = \begin{bmatrix} \lambda_1 & \dots & 0 \\ \cdot & & \cdot \\ \cdot & \lambda_2 & \cdot \\ \cdot & & \cdot \\ 0 & \dots & \lambda_n \end{bmatrix} \quad (48)$$

Οι όροι λ_i ορίζονται ως εξής :

$$\lambda_i = \delta_i - 1 = \frac{T_i^* - T_i}{T_i} \geq -1, \quad \forall i \quad (49)$$

Στην ουσία ο όρος λ_i δείχνει την σχετική απόσταση του στοιχείου i του εκτιμώμενου μητρώου, από το αντίστοιχο του πραγματικού. Η μέση σχετική απόκλιση $Av(\lambda)$ στο εκτιμώμενο μητρώο είναι :

$$Av(\lambda) = \sqrt{\phi_v(\lambda)/n} \quad (50)$$

όπου

$$\phi_v(\lambda) = \sum_{i=1}^n \lambda_i^2 = \lambda \cdot \lambda^T, \quad (51)$$

$$\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}.$$

Ο όρος HT στην σχέση (47) μπορεί να γραφτεί και με την μορφή $T^d \lambda^T$, όπου T^d είναι ένας διαγώνιος πίνακας στον οποίο τα διαγώνια στοιχεία είναι ίσα με T_i , και λ^T είναι ο ανάστροφος του πίνακα λ . Επομένως τελικά έχω :

$$PHT = PT^d \lambda^T = 0 \quad (52)$$

Αρα για ένα δεδομένο εκτιμώμενο μητρώο T_i μπορεί να υπολογισθεί το μέγιστο δυνατό μέσο σχετικό σφάλμα από την σχέση (50) υπό των περιορισμών :

1. Οι όροι λ είναι πάντοτε μεγαλύτεροι ή ίσοι από το -1,
2. Ισχύουν οι εξισώσεις (52).

Το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί με την χρήση ενός απλού αλγορίθμου, από εκείνους που χρησιμοποιούνται για την επίλυση των προβλημάτων Quadratic (δηλαδή μορφής πολυωνύμου 2ου βαθμού).

Με την ίδια λογική οι Yang, Iida και Sasaki διατύπωσαν και το πρόβλημα για τον υπολογισμό του μέγιστου δυνατού σχετικού σφάλματος με χρήση βαρών (MPWRE). Στο πρόβλημα αυτό εισέρχεται σαν δεδομένο και το a priori μητρώο και βρίσκουμε το σφάλμα σε σχέση με τα στοιχεία αυτού.

Προσπάθησαν επίσης να δώσουν και μία μαθηματική έκφραση της αξιοπιστίας της εκτίμησης. Ορισαν σαν Αξιοπιστία Της Εκτίμησης $Re(T)$, τον παρακάτω λόγο :

$$Re(T) = \frac{1}{1 + Av(\lambda)}, \quad (Av(\lambda) \geq 0) \quad (53)$$

Γίνεται φανερό ότι όταν $Re(T)=1$ έχει γίνει τέλεια εκτίμηση του μητρώου, ενώ όταν $Re(T)=0$ το μέγιστο σφάλμα τείνει στο άπειρο.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί ότι, στην πραγματικότητα η αξιοπιστία της εκτίμησης έτσι όπως ορίζεται εδώ, δείχνει πόσο η πληροφορίες που περιέχονται στους φόρτους και στο πρότυπο επιλογής διαδρομής μπορούν να βελτιώσουν την εκτίμηση όταν ισχύουν οι παραδοχές που έχουν επισημανθεί. Δηλαδή στην ουσία δεν είναι η αξιοπιστία της εκτίμησης του μητρώου διότι αυτή εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως το a priori μητρώο. Αυτό σημαίνει ότι η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άμεση σύγκριση δύο διαφορετικών μοντέλων όταν αυτά βασίζονται στα ίδια δεδομένα.

Οι συγγραφείς του άρθρου έκαναν και ορισμένα παραδείγματα με τεχνικά δεδομένα και απλοποιημένο δίκτυο. Από τα αποτελέσματα φάνηκε ότι :

- Το MPRE μειώνεται με την αύξηση του αριθμού των φόρτων που διαθέτουμε. Με άλλα λόγια όσες περισσότερες μετρήσεις φόρτου έχουμε τόσο καλύτερη εκτίμηση θα κάνουμε.
- Μείωση του MPRE σημαίνει και μείωση του πραγματικού λάθους της εκτίμησης.

Πολύ περισσότερη έρευνα πρέπει να πραγματοποιηθεί στον τομέα αυτό, και ιδιαίτερα με εφαρμογή πραγματικών δεδομένων. Ιδιαίτερα ενδιαφέρων θα είναι να δούμε την πορεία του συντελεστή MPRE με την πάροδο του χρόνου σε δυναμικές εφαρμογές των προτύπων.

ΣΧΟΛΙΑ ΠΑΝΩ ΣΤΙΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Σημαντική επίσης θα ήταν και η δημιουργία ενός μοντέλου που να βασίζεται στην ελαχιστοποίηση του.

Κεφάλαιο Τέταρτο

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ
ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ

4.1. Εισαγωγή.

Μία από τις πιο ενδιαφέρουσες ιδιότητες των συνθηκών ενός δικτύου, είναι οι χρονικές μεταβολές χαρακτηριστικών του, όπως η ζήτηση, οι καθυστερήσεις, και η επιλογή της διαδρομής για δεδομένες ζώνες. Αλλωστε στην διεθνή βιβλιογραφία έχει επισημανθεί πολλές φορές το γεγονός ότι πολλά δύσκολα προβλήματα κυκλοφοριακής συμφόρησης, συσχετίζονται με τις μεταβολές αυτές.

Είναι συνηθισμένο σε πολλούς μεγάλους αυτοκινητόδρομους των ανεπτυγμένων ευρωπαϊκών χωρών, να παρατηρείται ο σχηματισμός μακρών ουρών σε συγκεκριμένες διασταυρώσεις. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται συχνά στο γεγονός ότι τα προγράμματα σηματοδότησης των συγκεκριμένων διασταυρώσεων, είναι στατικά ή ημι-δυναμικά, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να αντιμετωπίσουν την γρήγορη χρονική μεταβολή της ζήτησης προς ή από κάποιες ζώνες.

Για την δυναμική παρακολούθηση της κυκλοφορίας έχουν αναπτυχθεί αρκετά πρότυπα προσομοίωσης της κυκλοφορίας, στην Μεγάλη Βρετανία και στις Ηνωμένες Πολιτείες, (π.χ. δύο βρετανικά προιόντα είναι τα CONTRAM και SATURN). Ομως γίνεται φανερό ότι για να έχουμε σωστό έλεγχο της κυκλοφορίας, πρέπει στα πρότυπα αυτά να δωθούν και τα στοιχεία της ζήτησης για διάφορες χρονικές περιόδους.

Η δυναμική παρακολούθηση της κυκλοφορίας επιτυγχάνεται με την τμηματική ανάλυση των δεδομένων σε διάφορα χρονικά διαστήματα, το εύρος των οποίων το ορίζουμε εμείς. Συχνά είναι γύρω στα 15-20 λεπτά. Δεν υπάρχει κάποια μέθοδος ή τρόπος ο οποίος να μας υποδεικνύει το πόσο θα είναι το χρονικό αυτό διάστημα. Δηλαδή η επιλογή του είναι λίγο αυθαίρετη ή καλύτερα βασίζεται στην διεθνή εμπειρία από πρακτικές εφαρμογές. Το εύρος αυτό μας επιτρέπει να εμφανίζεται στα αποτελέσματα η χρονική μεταβολή του χαρακτηριστικού που εξετάζουμε, και πιθανά άμα αναφερόμαστε σε εφαρμογή στρατηγικών, να υπάρχει η δυνατότητα απόδοσης αποτελεσμάτων του μέτρου που εφαρμόσαμε. Μικρότερο εύρος, είτε δεν είναι πρακτικά εφικτό καθότι η διάρκεια των υπολογισμών είναι μεγαλύτερη από το χρονικό διάστημα, είτε χρησιμοποιείται μόνο σε ειδικές εφαρμογές.

Η επιρροή του χρονικά μεταβαλλόμενου μητρώου προέλευσης - προορισμού, στον τρόπο πραγματοποίησης των μετακινήσεων, είναι πολύ σημαντική. Σε μερικές περιπτώσεις το μητρώο ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος μπορεί να θεωρηθεί ότι επιρρεάζει μονάχα την κίνηση στο χρονικό αυτό διάστημα (παρότι η δημιουργία κάποιας ουράς θα επιρρεάσει σίγουρα και το επόμενο). Όταν όμως τα χρονικά διαστήματα δεν είναι αρκετά μεγαλύτερα από τον χρόνο που χρειάζεται ο χρήστης για να διασχίσει την περιοχή μελέτης, η παραπάνω παραδοχή δεν είναι ρεαλιστική.

Ετσι είναι πολύ σημαντικό στην ανάλυση μας να εισέρθει και ο παράγοντας χρόνος, όχι μόνο της γέννησης της ζήτησης αλλά και της στιγμής που η ζήτηση αυτή θα επιρρεάσει ένα συγκεκριμένο σύνδεσμο. Αυτά είναι μερικά από τα θέματα που θα αναλύσουμε στο κεφάλαιο αυτό, και θα δούμε πως μπορούν να αντιμετωπιστούν, και σε τελευταία ανάλυση πως θα εκτιμήσουμε "δυναμικά" το μητρώο προέλευσης - προορισμού.

4.2. Η πρώτη ανάλυση του θέματος.

Ο Willumsen (Willumsen, 1984) ήταν ο πρώτος ερευνητής που άρχισε να ασχολείται με το ζήτημα της δυναμικής εκτίμησης μητρώων προέλευσης - προορισμού. Συγκεκριμένα προσπάθησε να συνδυάσει το δικό του πρότυπο εκτίμησης μητρώων (της μεγιστοποίησης της εντροπίας), με το CONTRAM.

Η νέα μορφή της μεταβλητής που εκφράζει το ποσοστό των χρηστών που χρησιμοποιούν ένα συγκεκριμένο σύνδεσμο είναι :

$$P_{ijs}^{ar} \quad (1)$$

οπου s είναι το χρονικό διάστημα στο οποίο ξεκινά η μετακίνηση από το ένα άκρο (ή την είσοδο της περιοχής μελέτης), και r είναι το χρονικό διάστημα στο οποίο διασχίζει τον σύνδεσμο a .

Τώρα η παραπάνω μεταβλητή (η οποία αποτελεί ενδογενή παράγοντα της διαδικασίας εκτίμησης), έχει δύο ιδιότητες :

1. Εκφράζει την μεταβολή, συναρτήσει του χρόνου, της διαδρομής που επιλέγουν οι χρήστες για την μετακίνηση τους ανάμεσα στις ζώνες i και j .
2. Λαμβάνει υπόψη τον χρόνο που απαιτεί ένα όχημα για να διασχίσει την περιοχή και να φθάσει στον σύνδεσμο a , από την στιγμή που θα έχει εισέρθει στην περιοχή μελέτης.

Οι εξισώσεις των κυκλοφοριακών φόρτων γίνονται για την περίπτωση αυτή :

$$V_{ar} = \sum_{ijs} T_{ijs} P_{ijs}^{ar} \quad (2)$$

όπου T_{ijs} είναι ο αριθμός των μετακινήσεων ανάμεσα στα άκρα i και j που αναχωρούν το χρονικό διάστημα s .

Επισημαίνουμε για μία ακόμα φορά ότι ο όρος "αναχώρηση", μπορεί να έχει και την έννοια της εισόδου στην περιοχή μελέτης, όταν η έρευνα που πραγματοποιείται είναι περιορισμένης έκτασης (τοπική).

Ετσι τώρα η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος γίνεται :

$$Max - \sum_{ijs} [T_{ijs} \log \left(\frac{T_{ijs}}{t_{ijs}} \right) - T_{ijs}] \quad (3)$$

Περιορισμοί του προβλήματος είναι οι εξισώσεις (2) και οι ανισώσεις που εξασφαλίζουν την μη αρνητικότητα των στοιχείων του μητρώου ($T_{ijs} \geq 0$).

Εγινε μία αξιολόγηση του προτύπου αυτού με την χρήση των ίδιων δεδομένων, της πόλης του Reading, που είχαν χρησιμοποιηθεί κατά την αξιολόγηση του προτύπου ME2 από τους Van Zuylen και Willumsen.

Τα αποτελέσματα ήταν ιδιαίτερα ενθαρρυντικά καθότι βρέθηκε ότι με το νέο πρότυπο υπήρξε μία μεγάλη μείωση της σχετικής μέσης απόλυτης διαφοράς (%MAE) των τιμών του εκτιμώμενου μητρώου από εκείνα του πραγματικού. Συγκεκριμένα από 101 που ήταν με το πρότυπο ME2, η %MAE έγινε 85. Στο σημείο αυτό να τονίσουμε ότι μόνο τα σχετικά

στατιστικά μεγέθη μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην σύγκριση, καθώς με την μεταβολή του χρονικού διαστήματος μεταβάλλεται και ο απόλυτος αριθμός των μετακινήσεων στα μητρώα του κάθε χρονικού διαστήματος.

4.3. Εφαρμογή της Μεθόδου της Εντροπίας για των υπολογισμό των Χρόνων Αναχωρήσεων των Μετακινήσεων.

Μετά την πρώτη θεώρηση του θέματος από τον Willumsen, οι Bruce N. Janson και Frank Southworth (Preprints of the International Conference on Dynamic Travel Behaviour Analysis - 1989), παρουσίασαν μία επέκταση της μεθόδου της εντροπίας για τον υπολογισμό του χρόνου αναχωρήσεως των μετακινήσεων, με τη χρήση δυναμικού προτύπου.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονίσουμε ότι όταν κάνουμε αναφορά σε δυναμική ανάλυση δικτύου και συγκεκριμένα σε μικρά χρονικά διαστήματα (των 10 έως 15 λεπτών, αυτό εξαρτάται από το μέγεθος του δικτύου), τα μητρώα που εκτιμούμε με τα διάφορα πρότυπα δεν είναι ουσιαστικά μητρώα προέλευσης - προορισμού, αλλά μητρώα αναχωρήσεων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο μικρό αυτό χρονικό διάστημα το όχημα δεν προλαβαίνει να διασχίσει την περιοχή μελέτης και να εξέλθει από αυτήν. Φυσικά αυτό το γεγονός όπως επίσης και τον ακριβή χρόνο που χρειάζεται, εξαρτάται από το μέγεθος του δικτύου και τις συνθήκες που επικρατούν σε αυτό και για κάθε ζεύγος ζωνών ξεχωριστά.

Χαρακτηριστική παραδοχή της μεθόδου αυτής είναι το γεγονός ότι η αναλογία των μετακινήσεων που αναχωρούν από μία ζώνη προελεύσεως προς τις διάφορες ζώνες προορισμού, είναι η ίδια με εκείνη που ισχύει στο a priori μητρώο.

Η σχέση της εντροπίας στην περίπτωση των Janson και Southworth διαμορφώθηκε με την παρακάτω μορφή :

$$W(\{q_{r*}^d\}) = \ln \left[\frac{Q!}{\prod_{rd} q_{r*}^d!} \right] \quad (4)$$

όπου ισχύουν οι παρακάτω συμβολισμοί :

q_{r*}^d είναι ο αριθμός των οχημάτων που αναχωρούν από την ζώνη r στο χρονικό διάστημα d , προς όλες τις κατευθύνσεις.

Q είναι το ολικό άθροισμα των αναχωρήσεων από όλες τις ζώνες προελεύσεων κατά την διάρκεια όλων των χρονικών διαστημάτων, και προς όλους τους προορισμούς.

Το πρόβλημα τώρα είναι η μεγιστοποίηση της σχέσης :

$$S = - \sum_{r \in Z} \sum_{d \in D} (q_{r*}^d \ln q_{r*}^d - q_{r*}^d) \quad (5)$$

όταν αυτή υπόκειται στους εξής περιορισμούς :

$$v_k^t = \sum_{r \in Z} \sum_{d \in D} q_{r*}^d p_{rk}^{dt} \quad \forall k \in L, t \in D \quad (6)$$

$$q_{r*}^d \geq 0 \quad \forall r \in Z, d \in D \quad (7)$$

όπου

v_k^t είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος που μετρήθηκε στο σύνδεσμο k το χρονικό διάστημα t .

p_{rk}^{dt} είναι η πιθανότητα ένας χρήστης που αναχωρεί από την ζώνη r χρονικό διάστημα d να χρησιμοποιήσει τον σύνδεσμο k το χρονικό διάστημα d . Η πιθανότητα αυτή ορίζεται με την σχέση :

$$p_{rk}^{dt} = \frac{a_{rk}^{dt}}{\sum_{t \in D} a_{rk}^{dt}} \quad \forall r \in Z, k \in L, d \in D, t \in D \quad (8)$$

άμα ο παρονομαστής είναι διάφορος του μηδενός, αλλιώς είναι μηδέν.

a_{rk}^{dt} είναι ο αριθμός των οχημάτων που φορτίζουν τον σύνδεσμο k στο χρονικό διάστημα t , από εκείνα που αναχωρούν από την ζώνη r στο χρονικό διάστημα d . Η τιμή στην μεταβλητή αυτή δίδεται από το δυναμικό πρότυπο επιλογής διαδρομής.

Αν ακολουθήσουμε την ίδια διαδικασία επίλυσης με εκείνη που ανέφεραν οι Van Zuylen, Willumsen θα έχουμε :

$$\begin{aligned} \text{Max} S = & - \sum_{r \in Z} \sum_{d \in D} (q_{r*}^d \ln q_{r*}^d - q_{r*}^d) + \\ & \sum_{k \in L} \sum_{t \in D} \mu_k^t \cdot [v_k^t - \sum_{r \in Z} \sum_{d \in D} q_{r*}^d p_{rk}^{dt}] \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{όπου } q_{r*}^d = e^{[-\sum_{k \in L} \sum_{t \in D} \mu_k^t p_{rk}^{dt}]}, \quad \forall r \in Z, d \in D$$

Ο όρος μ_k^t είναι ο πολλαπλασιαστής Lagrange ο οποίος είναι απαραίτητος για να ισχύει ο περιορισμός της μέτρησης του φόρτου στον σύνδεσμο k, κατά το χρονικό διάστημα t.

Τελικά η λύση του προβλήματος μετά την παραγωγή της σχέσης (9) ως προς q_{r*}^d και την εξίσωση της με το μηδέν, είναι αυτή που δίνεται από την εξίσωση (10).

$$q_{r*}^d = \prod_{k,t} (B_k^t)^{p_{rk}^{dt}}, \quad \forall r \in Z, d \in D \quad (10)$$

όπου

$$B_k^t = e^{(-\mu_k^t)} \quad \forall k \in L, t \in D. \quad (11)$$

Η ανάλυση του προβλήματος όπως δόθηκε παραπάνω δεν θέτει περιορισμούς για το συνολικό αριθμό των αναχωρήσεων από κάθε σημείο προέλευσης. Αμα υπήρχαν και τέτοιοι περιορισμοί, τότε το πρόβλημα θα ήταν υπερ-ορισμένο, καθώς θα υπήρχε περίπτωση να μην είναι δυνατή η εύρεση λύσης που να τηρεί τους περιορισμούς των μετρήσεων των φόρτων.

Μπορούμε να εισάγουμε στο πρότυπο αυτό και a priori πληροφορίες, που θα αφορούν το συνολικό αριθμό των αναχωρήσεων για όλη την περίοδο της μελέτης, και οι οποίες θα

βελτιώσουν τις εκτιμήσεις. Εστω, λοιπόν, ότι ονομάζουμε :

- g_{rs}^* τον αριθμό των μετακινήσεων από την ζώνη r προς την ζώνη s , που υπάρχουν στο a priori μητρώο για όλη την χρονική περίοδο της ανάλυσης.
- g_{rs}^d την εκτίμηση του αριθμού των αναχωρήσεων από την ζώνη r , στο χρονικό διάστημα d , προς την ζώνη s (προκύπτει από τα στοιχεία του a priori μητρώου).
- g_{r*}^* το άθροισμα των μετακινήσεων από την ζώνη r προς πάσα ζώνη προορισμού, και για όλη την χρονική διάρκεια της ανάλυσης.
- G το άθροισμα των μετακινήσεων για οποιοδήποτε ζεύγος ζωνών και για όλη την χρονική περίοδο της ανάλυσης.
- DL (αριθμός των χρονικών διαστημάτων στα οποία διαιρείται η περίοδος της ανάλυσης)
- X (σύνολο των σημείων στα οποία υπάρχουν μετρήσεις φόρτου).
- L το σύνολο των συνδέσμων στους οποίους έχουμε μετρήσεις φόρτων.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι το a priori μητρώο είναι ένα μητρώο προέλευσης - προορισμού, που περιέχει ολοκληρωμένες τις μετακινήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε όλη την διάρκεια της ανάλυσης, ενώ εμείς ενδιαφερόμαστε για τα μητρώα των αναχωρήσεων ξεχωριστά για κάθε χρονικό διάστημα. Στην γενική περίπτωση είναι άγνωστη η κατανομή των αναχωρήσεων των μετακινήσεων του a priori μητρώου, στα διάφορα χρονικά διαστήματα. Μία αρχική εκτίμηση θα ήταν να θεωρήσουμε την ομοιόμορφη κατανομή. Δηλαδή σε κάθε χρονικό διάστημα και όσο αφορά την ίδια ζώνη προελεύσεως θα είχαμε τον ίδιο αριθμό αναχωρήσεων (g_{r*}^d).

Αν ακολουθήσουμε την ίδια μαθηματική διαδικασία όπως και πριν, θα καταλήξουμε στον τελικό τύπο του προβλήματος, για την περίπτωση που έχουμε a priori πληροφορίες :

$$q_{r*}^d = g_{r*}^d \prod_{k \in X} (B_k^t)^{p_{rk}^{dt}} \quad \forall r \in Z, d \in D, \quad (12)$$

όπου

$$B_k^t = G^{\frac{1}{DL}} e^{[-\mu_k^t]} \quad \forall k \in L, t \in D. \quad (13)$$

Επειτα οι Janson και Southworth, δίνουν έναν αλγόριθμο για την επίλυση της εξίσωσης (12). Ο αλγόριθμος αυτός είναι παρόμοιος με εκείνο που είχαν δώσει οι Van Zuylen και Willumsen (1980).

1. Με κάποιο δυναμικό πρότυπο επιλογής διαδρομής, βρίσκουμε τους πιθανοτικούς όρους, και θέτουμε τον δείκτη των επαναλήψεων ίσο με μηδέν ($n=0$). Επίσης θέτουμε $B_k^t=1$, $\forall k \in L$ και $t \in D$.
2. Αυξάνουμε τον δείκτη των επαναλήψεων κατά 1.
3. Διαλέγουμε τυχαία ένα ζεύγος συνδέσμου-χρονικού διαστήματος (k,t) το οποίο δεν έχει υπολογιστεί στην επανάληψη n . Υπολογίζουμε και εκτιμούμε την ροή $\dot{e}_k^t(n)$ σύμφωνα με την εξίσωση (14).

$$e_k^t(n) = \sum_{r \in Z} \sum_{d \in D} p_{rk}^{dt} g_{r*}^d \left[\prod_{kt} [B_k^t(n)]^{p_{rk}^{dt}} \right] \quad (14)$$

4. Υπολογίζουμε τον νέο όρο $B_k^t(n+1)$, λύνοντας τις παρακάτω εξισώσεις :

$$v_k^t = \sum_{r \in Z} \sum_{d \in D} p_{rk}^{dt} g_{r*}^d \left[\prod_{kt} [B_k^t(n)]^{p_{rk}^{dt}} \right] (U_k^t)^{p_{rk}^{dt}} \quad (15)$$

$$B_k^t(n+1) = B_k^t(n) U_k^t \quad (16)$$

Αν έχουν εκτιμηθεί οι ροές και έχουν υπολογισθεί οι όροι B για όλα τα ζεύγη (k,t) πηγαίνουμε στο βήμα 5. Αλλιώς γυρνάμε στο βήμα 3.

5. Αν οι ροές που εκτιμήσαμε προσεγγίζουν, με ένα ανεκτό σφάλμα, τις μετρήσεις σταματάμε. Αλλιώς γυρνάμε στο βήμα 2.

Μετά τον υπολογισμό του προφίλ των αναχωρήσεων για κάθε ζώνη προελεύσεως ξεχωριστά, θεωρούμε ότι το ίδιο προφίλ ισχύει και για όλες τις ζώνες προορισμού από ένα

δεδομένο σημείο προέλευσης σύμφωνα με το a priori μητρώο.

Οπότε μπορούμε να υπολογίσουμε το καινούργιο μητρώο αναχωρήσεων με βάση την σχέση:

$$q_{rs}^d = q_{r*}^d \left(\frac{g_{rs}^*}{g_{r*}^*} \right) \quad \forall r \in Z, s \in Z, d \in D. \quad (17)$$

Εντούτοις είναι πιθανό να υπάρχουν αποκλίσεις από το συνολικό άθροισμα των μετακινήσεων του a priori μητρώου. Οι αποκλίσεις αυτές θα οφείλονται στο πρότυπο επιλογής διαδρομής που έχουμε επιλέξει και στην διαδικασία της εκτίμησης.

Ενας τρόπος με το οποίο μπορούν να διορθωθούν οι αποκλίσεις αυτές είναι να γίνει χρήση του τύπου (18), στην θέση της σχέσης (17).

$$q_{rs}^d = q_{r*}^d \left(\frac{g_{rs}^*}{q_{r*}^*} \right) \quad \forall r \in Z, s \in Z, d \in D \quad (18)$$

Με την χρήση της σχέσης αυτής, η κατανομή των αναχωρήσεων που θα προκύψει δεν θα επαληθεύουν τις εξισώσεις (5),(6) και (7) αλλά το ποσοστό των μετακινήσεων που αναχωρούν από κάθε ζώνη ανά χρονικό διάστημα, θα είναι το ίδιο.

Δύο σημεία τα οποία είναι θέματα για μελλοντική έρευνα και που επισημαίνουν οι ερευνητές, είναι :

1. Ποιά είναι η επιρροή των θέσεων των μετρήσεων των κυκλοφοριακών φόρτων στην διαδικασία εκτίμησης του μητρώου.
2. Ποιά πρέπει να είναι η πυκνότητα των μετρήσεων για να πετύχουμε την επιθυμητή ακρίβεια στην εκτίμηση μας.

4.4. Χρήσεις της Μεθόδου.

Η παραπάνω μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μία ποικιλία εφαρμογών. Αρχικά μπορεί να εξετασθεί, αν είναι δυνατή η μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης με την

κατάλληλη μεταβολή των χρόνων αναχώρησης των χρηστών του δικτύου. Δεδομένου μάλιστα ότι κατά την διάρκεια των ωρών αιχμής οι πλειοψηφία των μετακινήσεων που πραγματοποιούνται είναι από ή προς τον χώρο εργασίας, η μεταβολή των χρόνων αναχώρησης μπορεί να επιτευχθεί με την μεταβολή των ωρών έναρξης της εργασίας. Μία τέτοια προσπάθεια έρευνας έγινε με την διπλωματική εργασία της Π. Μαυρουδή (Π.Μαυρουδή, 1990).

Επίσης μπορούμε να εκτιμήσουμε τις μεταβολές που θα πραγματοποιηθούν σε διάφορα χαρακτηριστικά, όπως οι καθυστερήσεις, η κατανάλωση καυσίμου και οι εκπομπές ρύπων.

Μία άλλη πιθανή εφαρμογή είναι ο έλεγχος των ραμπών, των αρτηριών ταχείας κυκλοφορίας κατά την διάρκεια των ωρών αιχμής, και η χρήση της μεθόδου για δυναμική λειτουργία των σηματοδοτών κρίσιμων διασταυρώσεων.

Τέλος η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνεργασία με διάφορα συστήματα ελέγχου της κυκλοφορίας. Μία πρόσφατη τέτοια εφαρμογή αποτελεί και το ερευνητικό πρόγραμμα PARCMAN, που πραγματοποιήθηκε στο κέντρο της Αθήνας στους τελευταίους μήνες του 1991 και τους πρώτους του 1992. Η εφαρμογή αυτή είχε ως στόχο την πρόγνωση της ζήτησης για στάθμευση, στην περιοχή ελέγχου, και την καθοδήγηση των χρηστών προς διάφορους στεγασμένους χώρους σταθμεύσεως στους οποίους θα υπάρχουν ελεύθερες θέσεις την χρονική στιγμή που θα φθάσουν οι χρήστες σε αυτά.

Κεφάλαιο Πέμπτο

ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ

ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

5.1. Γενικά - Αναγκαιότητα δυναμικού προτύπου επιλογής διαδρομής.

Όπως έγινε κατανοητό από την ανάπτυξη της μεθόδου της εντροπίας, για την δυναμική εκτίμηση μητρώων προέλευσης προορισμού, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη ενός **δυναμικού προτύπου επιλογής της διαδρομής**.

Η ανάγκη αυτή υπαγορεύεται από πολλούς λόγους. Αρχικά θα πρέπει να τονίσουμε ότι η δυναμική ανάλυση της κίνησης των οχημάτων σ'ένα δίκτυο, θέτει εκτός των υπολοίπων γνωστών παραμέτρων και μία νέα παράμετρο, εκείνη του **χρόνου πραγματοποίησης του γεγονότος**, η οποία περιπλέκει αρκετά τα πράγματα.

Συγκεκριμένα, όπως τονίσαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, ανάλογα με το μέγεθος της περιοχής μελέτης, των συνθηκών που επικρατούν σε αυτή (επιρροή κυκλοφοριακής συμφόρησης ή όχι), και το κυριώτερο ανάλογα με τον αριθμό των χρονικών διαστημάτων στον οποίο έχουμε χωρίσει την περίοδο της ανάλυσης, είναι πολύ πιθανό ένας σημαντικός αριθμός μετακινήσεων να μην προλάβουν να πραγματοποιηθούν μέσα σ'ένα χρονικό διάστημα. Έτσι οι μετακινήσεις αυτές ενώ θα έχουν ξεκινήσει στο χρονικό διάστημα t , ένα τμήμα τους θα πραγματοποιηθεί στο χρονικό διάστημα $t+1$. Δηλαδή στην πραγματικότητα το δυναμικό πρότυπο επιλογής της διαδρομής θα πρέπει να μπορεί να περιγράψει και τμήματα μετακινήσεων.

Στο σημείο αυτό προκύπτει εύλογα το ερώτημα του χρονικού διαστήματος στο οποίο θα πρέπει να χωρίσουμε την χρονική περίοδο της ανάλυσης. Έχει βρεθεί ότι για δυναμικές εφαρμογές όπως ο έλεγχος της κυκλοφορίας, το χρονικό διάστημα των δεκαπέντε (15) λεπτών είναι "αρκετό". Φυσικά ο ορος "αρκετός" δεν είναι αυθαίρετος αλλά εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως :

- Το είδος της εφαρμογής το οποίο εξετάζουμε,
- Πρακτικούς λόγους όπως ο χρόνος συλλογής των δεδομένων και ο "υπολογιστικός χρόνος".
- Η επιθυμητή ακρίβεια, η οποία συνδυάζεται τόσο με την οικονομική δυνατότητα του μελετητή, όσο και με το είδος της εφαρμογής.

Πάντως ενώ δεν υπάρχει θεωρητική ή πειραματική απόδειξη για την επιλογή του χρονικού διαστήματος, στην διεθνή επιστημονική κοινότητα επικρατεί η άποψη ότι με την χρήση του δεκαπεντάλεπτου διαστήματος μπορούμε να διαπιστώσουμε όλες τις σημαντικές χρονικές μεταβολές που πραγματοποιούνται κατά την κίνηση των οχημάτων στο δίκτυο, με ικανοποιητική ακρίβεια.

Το ιδανικότερο θα ήταν η δημιουργία ενός προτύπου που να δημιουργεί το δένδρο των ελαχίστων διαδρομών, για κάθε ζεύγος ζωνών προέλευσης - προορισμού, κάθε φορά που ο οδηγός έχει την δυνατότητα να πάρει κάποια απόφαση και να αλλάξει την προηγούμενη διαδρομή του. Όμως η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα και πολύπλοκη. Έτσι ταυτόχρονα γίνεται αδύνατη η εφαρμογή της σε δυναμικές περιπτώσεις. Τελικά ακολουθείται η λογική ότι οι οδηγοί πραγματοποιούν πιθανή αλλαγή της διαδρομής τους μόνο κατά τακτά χρονικά διαστήματα, και όλοι ταυτόχρονα.

Στην παρακάτω παράγραφο θα κάνουμε την περιγραφή ενός δυναμικού προτύπου επιλογής της διαδρομής, που αναπτύχθηκε από τους Α.Σταθόπουλο και Θ.Παρμαξίζογλου το 1989 και χρησιμοποιήθηκε στο πιλοτικό πρόγραμμα του ερευνητικού προγράμματος PARCMAN. Το τελευταίο αποτελεί ένα φιλόδοξο πρόγραμμα διαχείρισης της ζήτησης για στάθμευση, και πραγματοποιήθηκε στο κέντρο της Αθήνας.

5.2. Περιγραφή Δυναμικού προτύπου επιλογής διαδρομής.

Το δυναμικό αυτό πρότυπο επιλογής διαδρομής, είχε σαν στόχο, για δεδομένο μητρώο προέλευσης προορισμού, να κάνει την κατανομή των μετακινήσεων στους διάφορους συνδέσμους και να υπολογίσει τα ποσοστά των αναχωρήσεων από κάθε ζώνη προέλευσης, που χρησιμοποιούν τον σύνδεσμο σε κάθε χρονικό διάστημα (κύκλος). Τα ποσοστά αυτά τα είχαμε ονομάσει στο προηγούμενο κεφάλαιο p_{ik}^{dt}

Με μορφή αλγορίθμου το πρότυπο κάνει τα εξής :

1) Διαβάζει τα δεδομένα του δικτύου και :

- Θέτει τις αρχικές συνθήκες του δικτύου, δηλαδή τους φόρτους που υπάρχουν ήδη στους διάφορους συνδέσμους, και τους αρχικούς χρόνους διάνυσης των συνδέσμων.
- Θέτει το αρχικό μητρώο προέλευσης - προορισμού των ουρών, δηλαδή τον αριθμό των οχημάτων που βρίσκονται σε κάθε κόμβο και τον προορισμό αυτών. Θέτει τον δείκτη των χρονικών διαστημάτων (t) ίσο με το μηδέν (0).

2) Αυξάνει τον δείκτη των χρονικών διαστημάτων κατά ένα ($t=t+1$). Διαβάζει το μητρώο των μετακινήσεων και των ουρών του προηγούμενου χρονικού διαστήματος.

3) Επιλέγει με τυχαία σειρά τις ζώνες και σχηματίζει για κάθε μία από αυτές το δένδρο των ελαχίστων διαδρομών προς όλους τους κόμβους του δικτύου.

-Για κάθε ζώνη προορισμού βρίσκει τους συνδέσμους της ελάχιστης διαδρομής και την απόσταση από την ζώνη ή τον κόμβο προέλευσης.

-Ξεκινώντας από τον κοντινότερο (προς το σημείο προέλευσης) σύνδεσμο, εξετάζεται άμα ο σύνδεσμος αυτός έχει φθάσει σε όρια κορεσμού ή όχι. Αν ο υπάρχον φόρτος του συνδέσμου συν τον επιπλέον φόρτο δεν υπερβαίνουν την κυκλοφοριακή ικανότητα του συνδέσμου, τότε προστίθεται ο νέος φόρτος. Σε αντίθετη περίπτωση προστίθεται ο επιπλέον φόρτος στο προσωρινό μητρώο ουρών, ώστε να κατανεμηθεί στο επόμενο χρονικό διάστημα. Όλες οι μετακινήσεις που δεν έχουν φθάσει στον προορισμό τους τοποθετούνται στο προσωρινό μητρώο προέλευσης - προορισμού στον κόμβο μέχρι τον οποίο έχουν φθάσει στο χρονικό διάστημα.

-Επαναλαμβάνει τον έλεγχο της ουράς για χρόνο ίσο με ένα χρονικό διάστημα.

4) Επαναλαμβάνει το βήμα 3 για όλες τις ζώνες προέλευσης και έπειτα προσθέτει το προσωρινό μητρώο των ουρών, στο μητρώο προέλευσης - προορισμού.

5) Αν όλα τα χρονικά διαστήματα της περιόδου (κύκλοι) έχουν τελειώσει τότε τελειώσει το πρόγραμμα αφού πρώτα γραφτούν τα συνολικά στατιστικά στοιχεία. Σε αντίθετη περίπτωση γράφει τον αριθμό των μετακινήσεων για κάθε σύνδεσμο και επιστρέφει στο βήμα 2.

Στο σχήμα 5.1 φαίνονται τα παραπάνω μητρώα ζήτησης και ουρών, για την περίπτωση ενός απλού δικτύου.

5.3. Παραδοχές του προτύπου.

Το παραπάνω πρότυπο στηρίζεται σε ορισμένες παραδοχές που άλλες λιγότερο και άλλες περισσότερες, είναι μη ρεαλιστικές και που σαν στόχο είχαν την απλοποίηση του μοντέλου και την δυνατότητα εφαρμογής του σε δυναμική εφαρμογή. Το τελευταίο σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η εφαρμογή του ερευνητικού προγράμματος PARCMAN έγινε σε Personal Computer και όχι σε Mainframe υπολογιστή, οδήγησε σε αναζήτηση απλούστερων μαθηματικά αλγορίθμων οι οποίοι θα επέτρεπαν στο συνολικό σύστημα να κλείσει ένα "κύκλο" σε χρόνο μικρότερο από το χρονικό διάστημα στο οποίο είχε χωριστεί η περίοδο ανάλυσης.

Ετσι θεωρήθηκε ότι ο χρόνος που χρειάζεται ένα όχημα για να διανύσει ένα σύνδεσμο στο χρονικό διάστημα t , είναι ίσος με τον χρόνο που έχει υπολογιστεί στο προηγούμενο χρονικό διάστημα $t-1$, και το οποίο περιλαμβάνει και τον χρόνο καθυστέρησης λόγω της ουράς στο τρέχων χρονικό διάστημα. Ο χρόνος καθυστέρησης λόγω της ουράς δίνεται από τον τύπο :

$$Q_t = aV^n + \frac{1}{2} Ts \frac{Q}{C} \quad (1)$$

όπου

$$a = \frac{(C_t - F_t)}{C^n} \quad (2)$$

C_t είναι ο χρόνος διάνυσης του συνδέσμου σε συνθήκες κορεσμού,

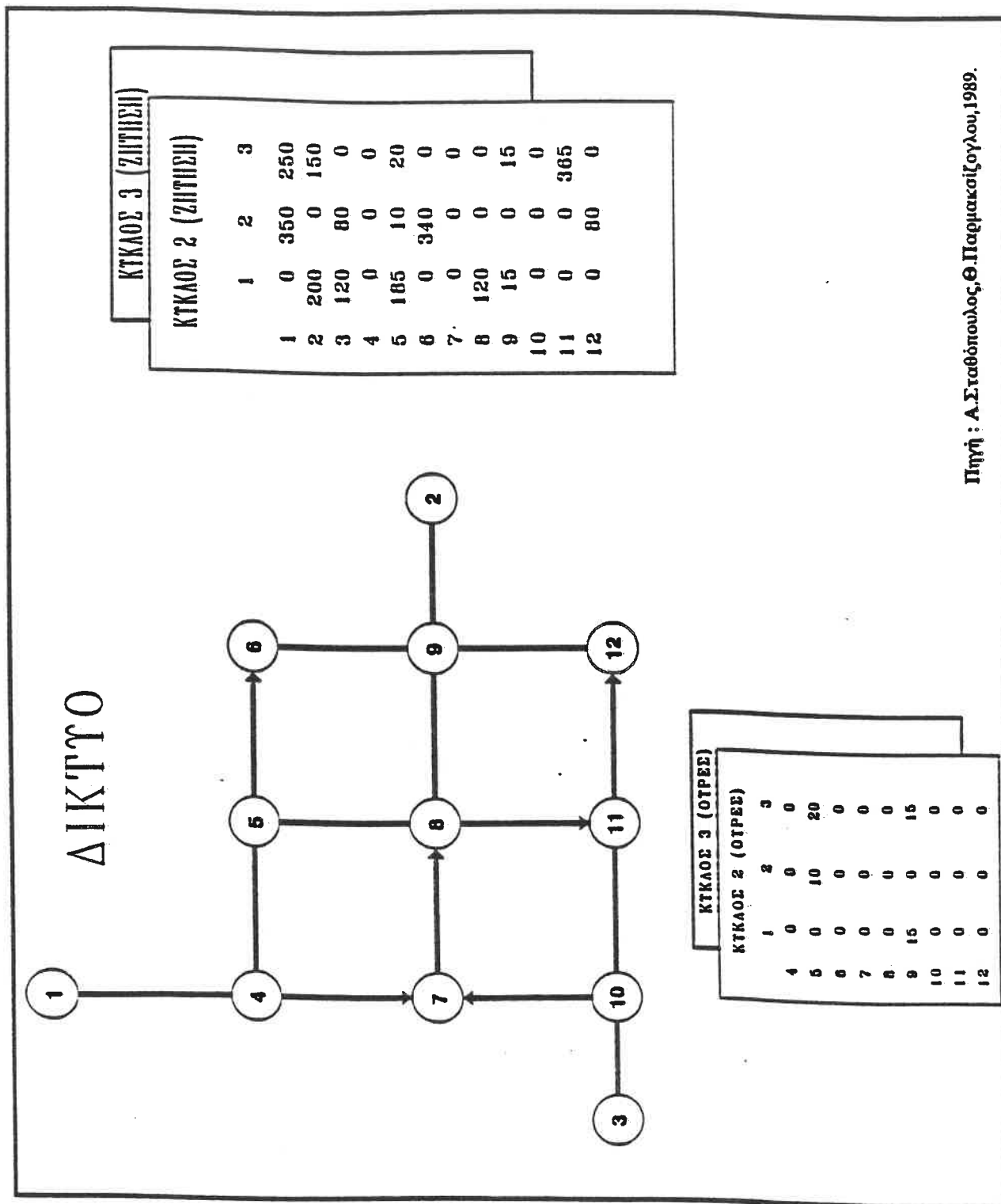
F_t είναι ο χρόνος διάνυσης του συνδέσμου σε συνθήκες ελευθέρας ροής,

Ts είναι το χρονικό διάστημα στο οποίο υποδιαιρείται η περίοδος ανάλυσης,

C είναι η κυκλοφοριακή ικανότητα του συνδέσμου,

V είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος και

n είναι μία σταθερά που πρέπει να καλιμπραριστεί.



Σχήμα 5.1. Προσωρινό Μητρώο και Μητρώο Ουρών

Ο ρόλος του εκθέτη η ίσως να μην είναι απόλυτα καθαρός. Σκοπός του είναι να ελέγχει τον ρυθμό με τον οποίο η κυκλοφοριακή συμφόρηση επιδρά στο χρόνο μετακίνησης. Αυτό σημαίνει ότι αν επιλεγεί ένας μεγάλος εκθέτης, π.χ. 5, τότε οι χρόνοι μετακίνησης παραμένουν κοντά σε εκείνους που προκύπτουν σε συνθήκες ελεύθερης ροής, μέχρι την στιγμή που η ροή των οχημάτων πλησιάσει πολύ τον κυκλοφοριακό φόρτο οπότε και αυξάνεται με πολύ γρήγορο ρυθμό. Αντίθετα με ένα μικρό εκθέτη, π.χ. 2, η μεταβολή είναι περισσότερο ομαλή. Πρακτικότερα, ο εκθέτης έχει υψηλές τιμές σε οδικά τμήματα με υψηλή ικανότητα, όπως είναι οι ελεύθερες λεωφόροι, ενώ οι αστικές οδοί έχουν μικρότερους εκθέτες.

Τέλος θα πρέπει να τονισθεί ότι σύμφωνα με μία ακόμα παραδοχή του προτύπου, δεν πραγματοποιείται μεταφορά της ουράς προς τα πίσω. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι θεωρείται ότι ολόκληρη η ουρά συγκεντρώνεται σε ένα μονάχα σημείο. Το σημείο αυτό είναι ο κοντινότερος στο σημείο που γίνεται η ουρά, κόμβος. Επίσης θεωρείται ότι η διάλυση της ουράς πραγματοποιείται με σταθερό ρυθμό, καθόλο το χρονικό διάστημα και εξαφανίζεται ολόκληρη στο τέλος αυτού.

Κατά την σύνταξη του προσωρινού μητρώου προέλευσης - προορισμού στο τέλος του κύκλου, οι μετακινήσεις που δεν έχουν ολοκληρωθεί μεταφέρονται στο κοντινότερο κόμβο που έχουν φθάσει μέσα στο δεκαπεντάλεπτο. Αυτή όμως η παραδοχή οδηγεί σε μικρά σφάλματα που εξαρτώνται από το μήκος των συνδέσμων και την εκτιμώμενη ταχύτητα. Έτσι για παράδειγμα, σ'ένα σύνδεσμο με μήκος 200 μέτρα και μέση ταχύτητα 30 χιλ./ώρα, το μέγιστο σφάλμα θα είναι:

$$0.5 (200 * 3.6/30) = 12 \text{ sec.}$$

Αμα το χρονικό διάστημα είναι πολύ μικρό (1 λεπτό) τότε μπορεί να παρουσιαστεί το πρόβλημα, μερικές μετακινήσεις να παγιδευτούν σε κάποιο κόμβο και να μην μπορούν να προχωρήσουν. Το πρόβλημα από μπορεί να λυθεί με την δημιουργία ψεύτικων κόμβων, οι οποίοι χωρίζουν κάποιους συνδέσμους σε δύο μικρότερους σε μήκος συνδέσμους.

5.4. Αρχικές Συνθήκες.

Ενα αρκετά δύσκολο θέμα είναι οι αρχικές συνθήκες που πρέπει να χρησιμοποιήσουμε. Στο πρότυπο των Α.Σταθόπουλου και Θ.Παρμαξίζογλου οι αρχικές συνθήκες του δικτύου υπολογίζονται με την χρήση της μεθόδου της ποσοτικής φόρτισης (quantal loading). Αυτός ο τρόπος φόρτισης του δικτύου πραγματοποιείται με τα εξής βήματα :

- (1) Θέτουμε τους φόρτους όλων των συνδέσμων ίσους με μηδέν.
- (2) Υπολογίζουμε το κόστος διάνυσης κάθε συνδέσμου βάσει του φόρτου του.
- (3) Φορτίζουμε τις επόμενες n ζώνες προορισμού με βάση τα κόστη του βήματος (2) και αυξάνουμε τους φόρτους των συνδέσμων.
- (4) Αν όλες οι ζώνες φορτίσαν το δίκτυο σταματάμε διαφορετικά γυρνάμε στο βήμα (2).

Επίσης στην αρχή του πρώτου κύκλου το μητρώο προέλευσης - προορισμού πρέπει να περιλαμβάνει και τις μετακινήσεις που έχουν απομείνει από τα αμέσως προηγούμενα χρονικά διαστήματα. Ενας τρόπος για να γίνει αυτό είναι να θεωρήσουμε σαν αρχικό χρονικό διάστημα ανάμεσα στις ώρες 4.00 και 5.00 π.μ., οπότε και πρακτικά οι φόρτοι των συνδέσμων είναι μηδενικοί. Στο πρότυπο αυτό και προκειμένου να έχουμε ένα ομαλό αρχικό μητρώο, πραγματοποιείται μία ομοιόμορφη φόρτιση όλων των κόμβων της διαδρομής του κάθε ζεύγους ζωνών. Η σειρά με την οποία επιλέγονται οι ζώνες προέλευσης είναι τυχαία.

5.5. Διερεύνηση του χρονικού διαστήματος του κύκλου του προτύπου επιλογής διαδρομής.

Μετά την δημιουργία του παραπάνω δυναμικού προτύπου επιλογής της διαδρομής, οι Α.Σταθόπουλος και Θ.Παρμαξίζογλου προχώρησαν στην διενέργεια ορισμένων ελέγχων, με βάση το δίκτυο της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών.

Η ευρύτερη περιοχή των Αθηνών φαίνεται στον συνημμένο χάρτη, και περικλείεται περιμετρικά από την παραλιακή λεωφόρο, την λεωφόρο Αλίου, την λεωφόρο Κατεχάκη, την προβλεπόμενη λεωφόρο Σταυρού-Ελευσίνος, και περιλαμβάνει και το κεντρικό οδικό δίκτυο του Πειραιά. Συνολικά το δίκτυο αποτελείται από 582 κόμβους και 1760

ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

συνδέσμους. Εγινε προσομοίωση των συνθηκών που επικρατούν στο δίκτυο, κατά την διάρκεια της πρωινής αιχμής με την χρήση διάφορων κύκλων του προτύπου επιλογής διαδρομής. Οι υποθέσεις των ωρών αναχώρησης των μετακινήσεων (departure times) θεωρήθηκαν εξωγενής παράγοντες, γνωστοί από την αρχή της φόρτισης του δικτύου.

Συγκεκριμένα οι κύκλοι που επιλέχθηκαν, ήσαν των 60 (ή συνηθισμένη επιλογή), 30,15,10 και 5 λεπτών. Τα διάφορα στατιστικά στοιχεία που προέκυψαν φαίνονται στον **πίνακα 5.1..**

Διάρκεια Χρονικού Διαστήματος	(σε λεπτά)				
	60	30	15	10	5
Αριθμός Διαστημ.	1	2	4	6	12
Πρότυπο Αναχωρήσεων	1x1.0	2x0.5	4x0.25	6x0.167	12x0.08
Μέση Ταχύτητα	19.54	21.46	21.28	20.70	19.70
Καθυστερηση	13833	12032	12848	14037	16770
Οχηματοχιλιόμετρα	453187	458582	483099	504203	554168
Συνολ.Χρόνος Κίνησης	23187	21370	22702	24355	28123
Μονάδες :	Ταχύτητας km/hr,Καθυστερησης & Συνολικού				
	Χρόν.Κίνησης pcu-h/h, Οχηματοχιλ. pcu-km/hr				

Πίνακα 5.1. Αποτελέσματα Φόρτισης του δικτύου για διάφορες διάρκειες κύκλου.

Από τα παραπάνω στοιχεία, τα οποία υπό μορφή διαγραμμάτων φαίνονται στα

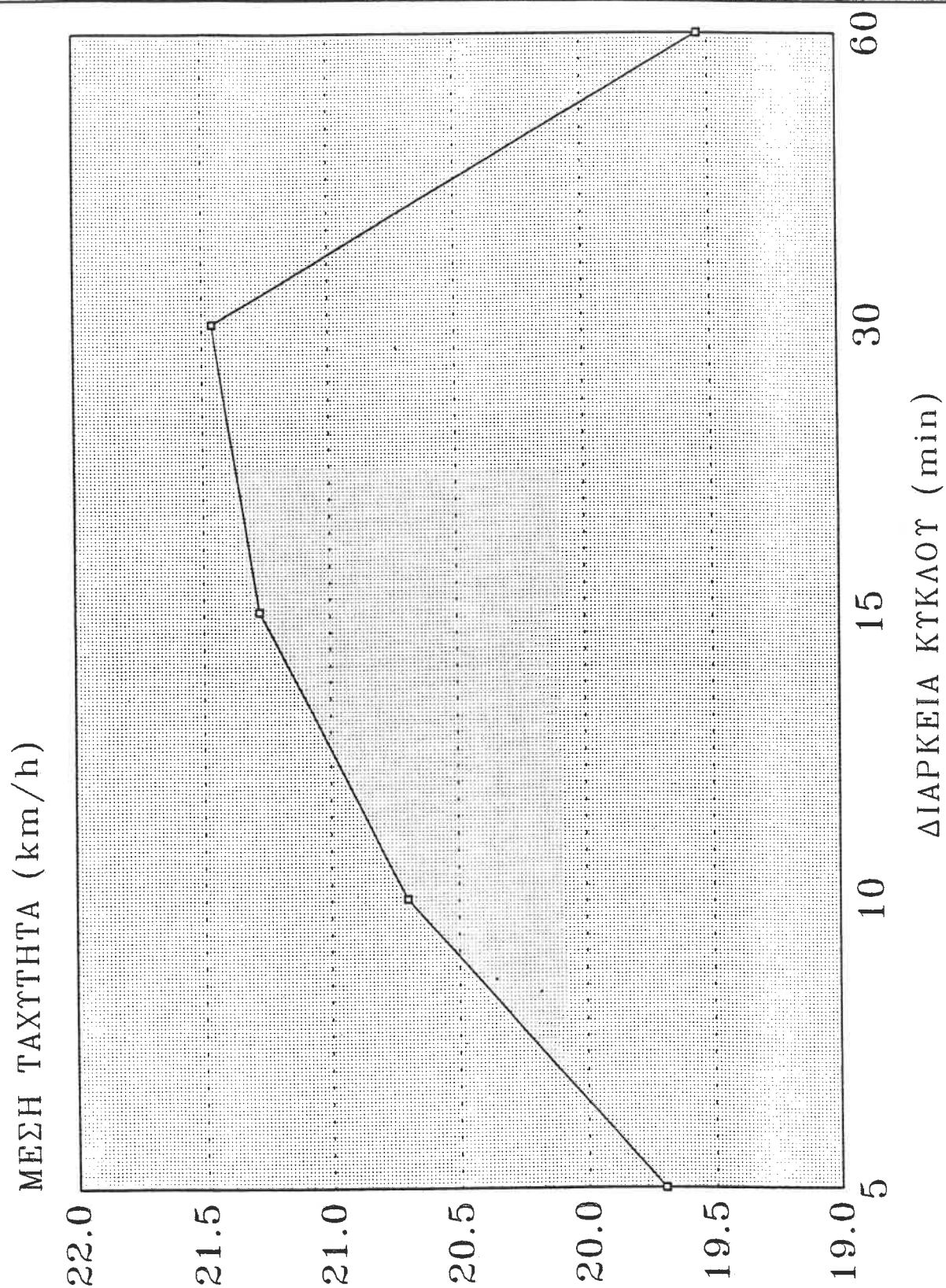


διαγράμματα 5.2., 5.3., 5.4., και 5.5., μπορούμε να δούμε ότι γενικά με την μείωση του κύκλου, έχουμε μία μεγαλύτερη διασπορά των διαδρομών που επιλέγουν οι χρήστες του δικτύου, με συνέπεια την αύξηση των συνολικών οχηματοχιλιομέτρων που διανύονται. Συγκεκριμένα για μείωση του χρονικού διαστήματος από τα 60 λεπτά στα 5 λεπτά, έχουμε αύξηση των οχηματοχιλιομέτρων κατά 22.3%.

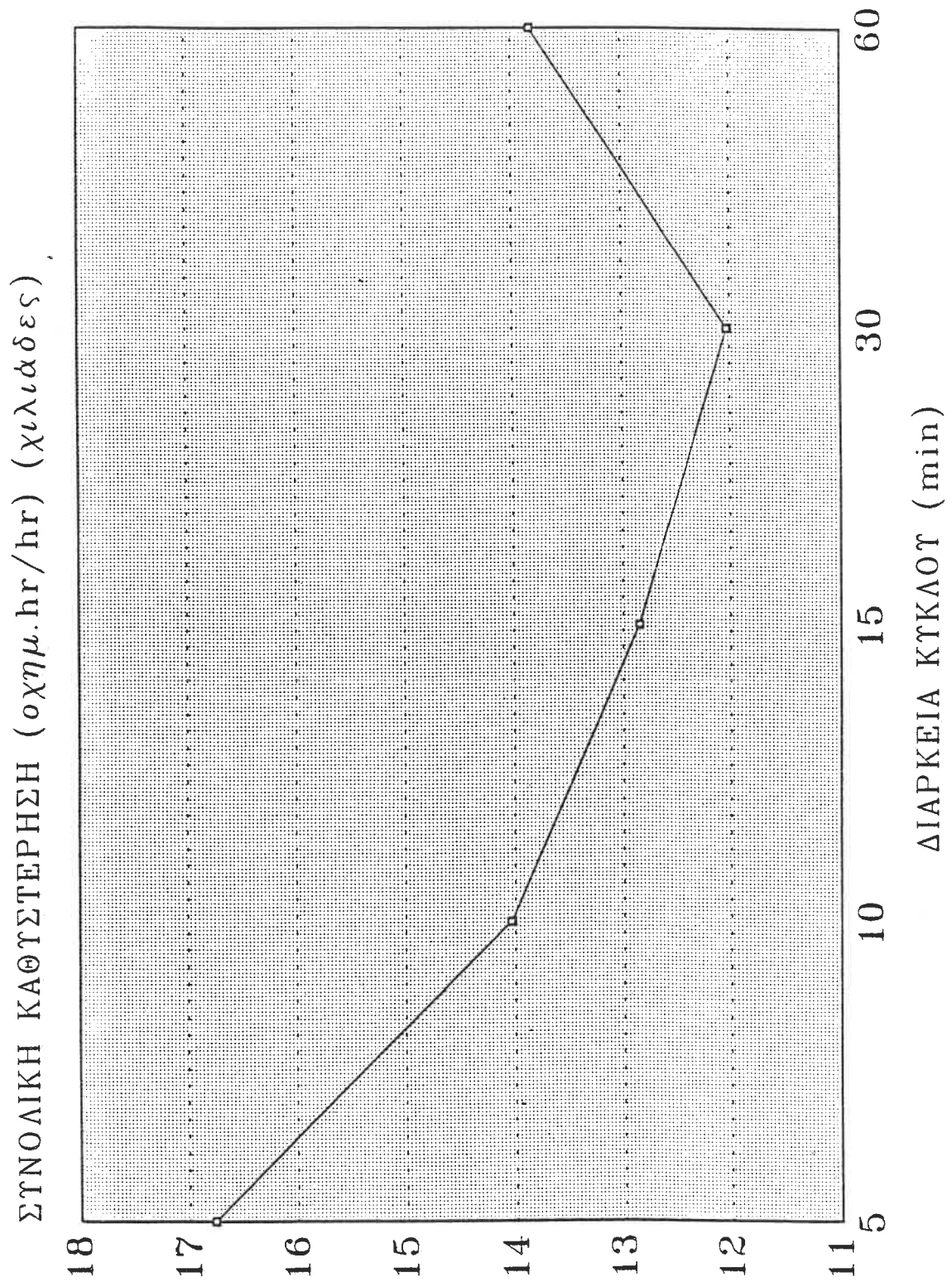
Η μέση ταχύτητα η οποία για χρονικό διάστημα 60 λεπτών είναι 19.5 χιλ/ώρα, αυξάνεται στα 21.5 km/hr όταν το χρονικό διάστημα είναι 30 λεπτά και έπειτα σταδιακά πέφτει στα 19.7 km/hr. Όλες οι άλλες παράμετροι με εξαίρεση την συνολικά διανυόμενη απόσταση ακολουθούν παρόμοια πορεία.

Αντίθετα η διανυόμενη απόσταση παρουσιάζει συνεχή αύξηση, με την σταδιακή μείωση του χρόνου του κύκλου, κάτι που επιβεβαιώνει αυτό που τονίσαμε λίγο πριν για την μεγαλύτερη διασπορά των μετακινήσεων κατά την μείωση του κύκλου.

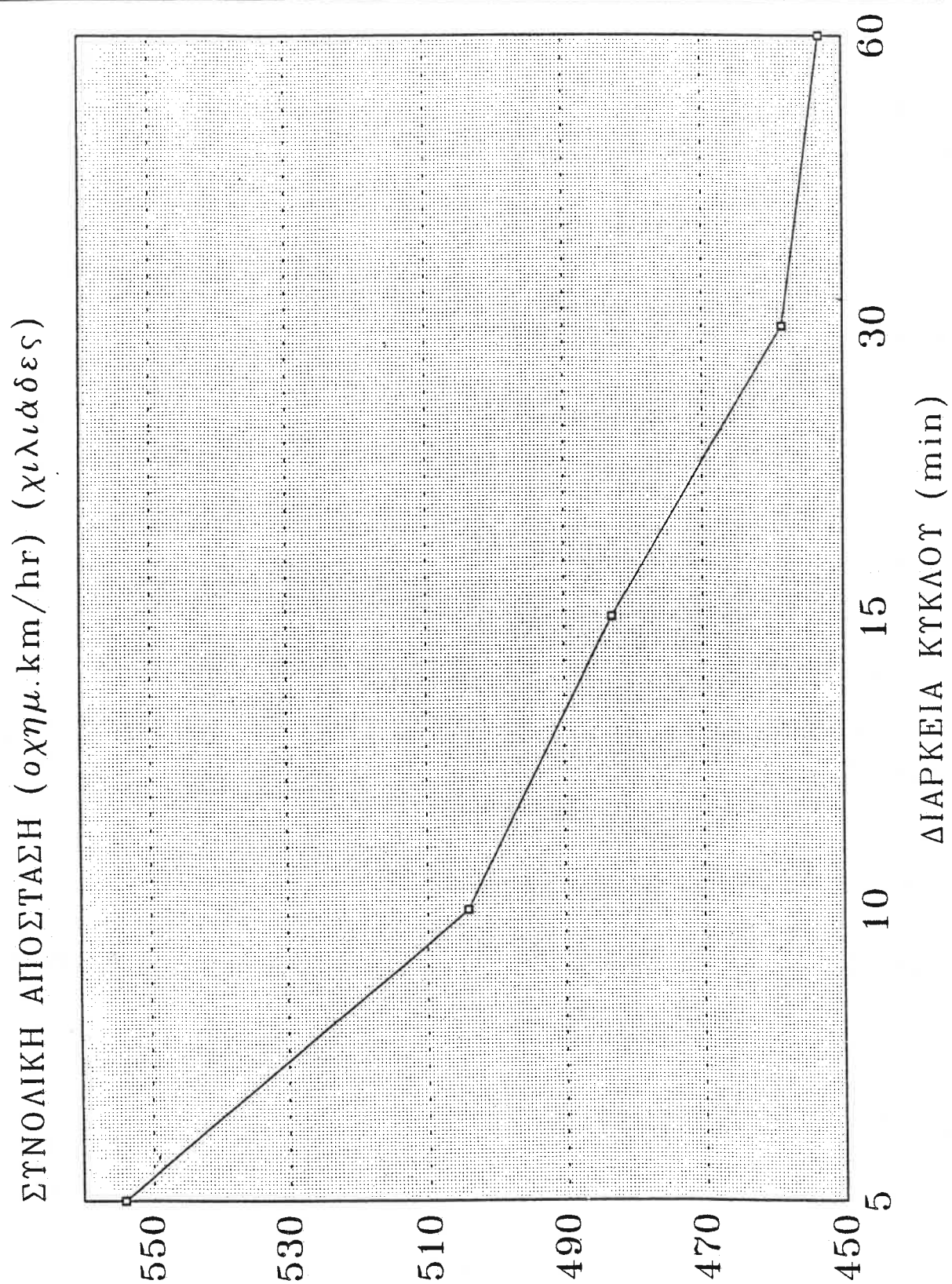
Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημάνουμε ότι η επιλογή της συντομότερης διαδρομής κατά την διάρκεια ενός κύκλου, γίνεται με βάση του υπολογισμένους για κάθε σύνδεσμο χρόνους του προηγούμενου χρονικού διαστήματος. Αυτή η παραδοχή δίνει στο πρότυπο τον χαρακτήρα του βέλτιστου για τον χρήστη (user-optimised assignment). Αυτό όμως δεν ισχύει πάντοτε. Έτσι το πρότυπο στο σημείο αυτό φαίνεται να ξεφεύγει από την πραγματικότητα σε ορισμένες περιπτώσεις.



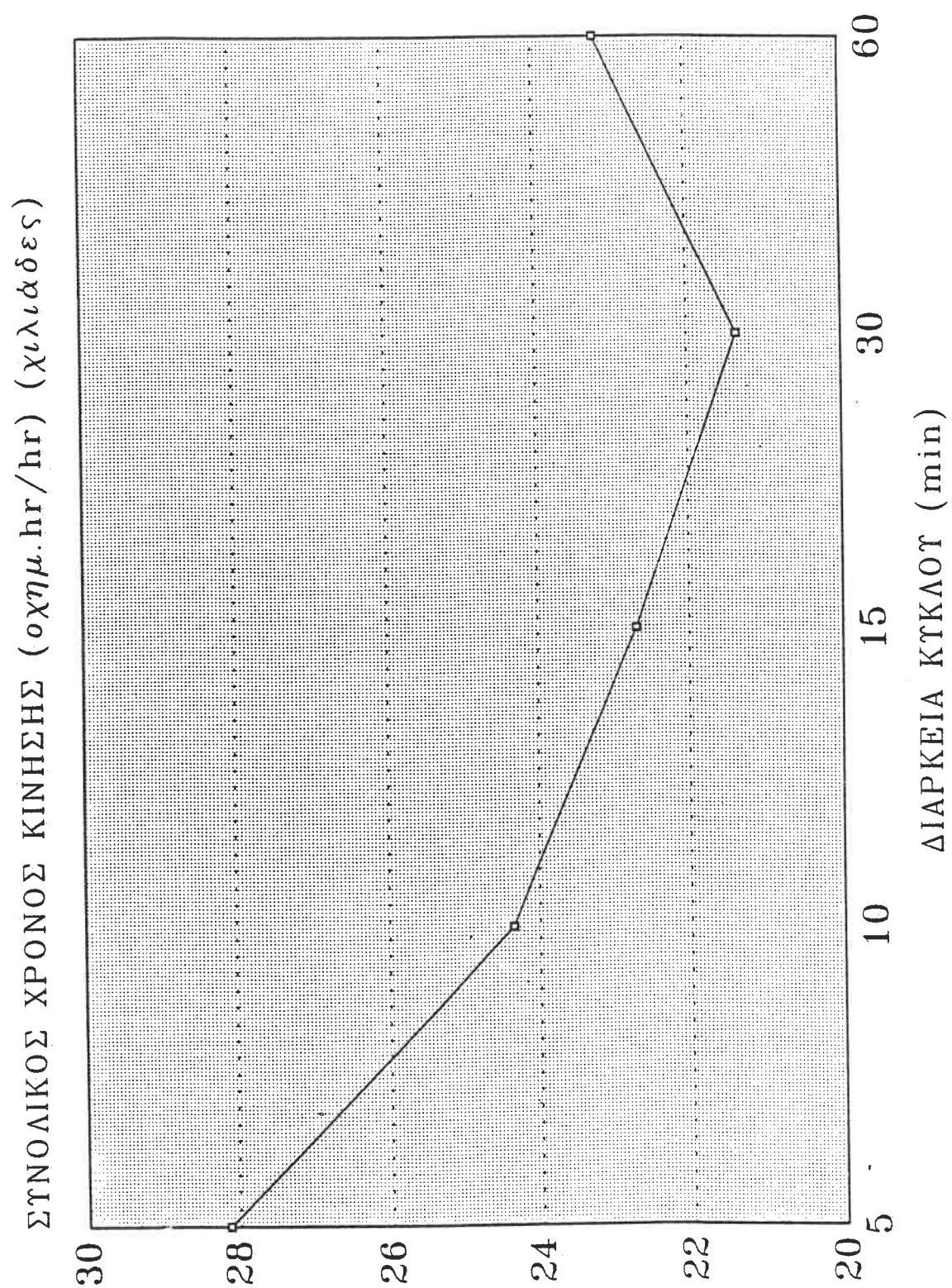
Διάγραμμα 5.1. Μέση Ταχύτητα - Διάρκεια Κύκλου



Διάγραμμα 5.2 Συνολική Καθυστέρηση - Διάρκεια Κύκλου



Διάγραμμα 5.3 Συνολική Διανυθίσα Απόσταση - Διάρκεια Κύκλου



Διάγραμμα 5.4. Συνολικός Χρόνος Κίνησης - Διάρκεια κύκλου

Κεφάλαιο Έκτο

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

6.1. ΓΕΝΙΚΑ.

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφεί λεπτομερώς η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στην υπολογιστική προσομοίωση, που εφαρμόστηκε.

6.1.1 Επιλογή του είδους της εφαρμογής.

Μετά την θεωρητική ανάλυση των μεθόδων εκτίμησης των μητρώων προέλευσης-προορισμού από μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου, η οποία έγινε στα προηγούμενα κεφάλαια, έγινε αρκετά σαφής η πολυπλοκότητα του θέματος και οι διάφορες παράμετροι που το επιρρεάζουν. Ειδικότερα μάλιστα όταν αναφερόμαστε σε δυναμική ανάλυση της διαδικασίας εκτίμησης, οι δυσκολίες όχι μόνο πολλαπλασιάζονται αλλά πέρνουν και διαφορετική μορφή.

Πάντοτε εκτός από την θεωρητική ανάλυση μιας μεθόδου είναι απαραίτητη και η αριθμητική εφαρμογή, προκειμένου να διαπιστώσουμε το αληθές των σκέψεων μας, και την δυνατότητα να περιγράψουμε όσο το δυνατόν πιο πιστά την πραγματική κατάσταση που επικρατεί στο δίκτυο.

Στην περίπτωση μας και για το θέμα το οποίο εξετάζουμε, υπήρχαν δύο εναλλακτικοί τρόποι με τους οποίους θα μπορούσε να γίνει αξιολόγηση της μεθόδου.

- Ο πρώτος τρόπος θα ήταν να γίνει εφαρμογή μίας εκ των συμβατικών μεθόδων εκτίμησης του μητρώου προέλευσης - προορισμού, σε κάποιο πραγματικό δίκτυο και ταυτόχρονα μετρήσεις φόρτων σε ορισμένους συνδέσμους. Επειτα θεωρώντας σαν "πραγματικό" το μητρώο που θα προέκυπτε από την συμβατική μέθοδο, θα γινόταν σύγκριση του με το μητρώο που θα εκτιμούσαμε με την σύγχρονη μέθοδο.
- Ο δεύτερος τρόπος είναι η χρήση τεχνητών παραδειγμάτων, δηλαδή η χρήση τεχνητών δεδομένων ζήτησης, σε ένα δίκτυο (το οποίο μπορεί να είναι είτε τεχνητό είτε πραγματικό). Δηλαδή ουσιαστικά θα γίνει μία προσομοίωση της κίνησης των χρηστών στο δίκτυο, από την οποία θα προκύψουν και οι μετρήσεις φόρτων σε κάποιο σύνολο συνδέσμων του δικτύου. Με βάση τους φόρτους αυτούς θα γίνει η εκτίμηση του μητρώου προέλευσης - προορισμού.

Κάθε ένας από τους δύο τρόπους έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Συγκεκριμένα ο πρώτος τρόπος, δηλαδή η εφαρμογή κάποιας συμβατικής μεθόδου, μας δίνει την δυνατότητα να εξετάσουμε την αξιοπιστία της μεθόδου με πραγματικά δεδομένα και με τις συνθήκες που επικρατούν σ'ένα πραγματικό δίκτυο. Με άλλα λόγια έχουμε μία αξιολόγηση της σύγχρονης μεθόδου εκτίμησης των μητρώων όταν θα ισχύουν όλες οι ειδικές συνθήκες ενός πραγματικού δικτύου. Αντίθετα με τον δεύτερο τρόπο μπορούμε να ορίσουμε εμείς το δίκτυο στο οποίο θα κάνουμε εφαρμογή της μεθόδου, όπως επίσης και των συνθηκών που θα επικρατούν σ'αυτό. Αυτό σημαίνει ότι παραδοχές που πιθανά έχουμε υποθέσει ότι ισχύουν, προκειμένου να γίνει η εφαρμογή της μεθόδου και που στην πραγματικότητα δεν ισχύουν (πλήρως ή καθόλου), μπορούν να εφαρμοστούν στο δίκτυο, και σαν αποτέλεσμα αυτού τα αποτελέσματα να είναι ικανοποιητικά.

Από την άλλη πλευρά με τον πρώτο τρόπο κάνουμε την χονδροειδή παραδοχή ότι το μητρώο που υπολογίζεται με την συμβατική μέθοδο είναι σωστό και δεν επιδέχεται αμφισβήτηση. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με όλα όσα διατυπώθηκαν στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας αυτής, σχετικά με την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων των συμβατικών μεθόδων. Αντίθετα με τον δεύτερο τρόπο, επειδή το μητρώο των μετακινήσεων καθορίζεται από τον ερευνητή, είναι γνωστό και οι μετρήσεις των φόρτων στους συνδέσμους του δικτύου είναι οι πραγματικοί, χωρίς προβλήματα ασυνέχειας που στον πρώτο τρόπο οφείλονται κυρίως σε λάθη κατά την διάρκεια των μετρήσεων.

Τέλος με την χρήση του πρώτου τρόπου δεν είναι εύκολος και πολλές φορές δυνατός, ο διαχωρισμός των επιμέρους χαρακτηριστικών γνωρισμάτων μίας μεθόδου, ώστε να είναι δυνατή η ανάλυση ευαισθησίας της μεθόδου στα γνωρίσματα αυτά. Αντίθετα αυτό είναι δυνατό και επιθυμητό με τον δεύτερο τρόπο. Ένα τελευταίο μειονέκτημα του πρώτου τρόπου είναι το γεγονός ότι σε περίπτωση μη ύπαρξης αξιόπιστων στοιχείων από παλαιότερη έρευνα, τίθεται οικονομικό θέμα για την διεξαγωγή εκ νέου της συμβατικής μεθόδου, σε τέτοια κλίμακα ώστε να θεωρηθεί το δείγμα στατιστικά επαρκές. Αντίθετα δεν τίθεται ανάλογο πρόβλημα για τον δεύτερο τρόπο ανάλυσης.

Ετσι ζυγίζοντας ανάλογα τα διάφορα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δύο τρόπων πρακτικής εφαρμογής επιλέξαμε την υπολογιστική προσομοίωση. Στην επιλογή αυτή οδήγησε και το γεγονός ότι η ανάλυση των μοντέρνων μεθόδων εκτίμησης μητρώων προέλευσης-προορισμού από μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου, είναι μέθοδοι πολύ πρόσφατες, των οποίων

οι ιδιότητες δεν έχουν αναλυθεί επαρκώς, ιδιαίτερα μάλιστα όταν πρόκειται για την δυναμική τους εφαρμογή. Επομένως είναι αρκετά νωρίς να γίνουν εφαρμογές τους σε πολύπλοκα δίκτυα ή συγκρίσεις με συμβατικές μεθόδους, όταν δεν έχουν αποκρυσταλλωθεί τα γνωρίσματα τους.

6.1.2. Στόχοι της Προσομοίωσης.

Οι στόχοι της υπολογιστικής προσομοίωσης θα μπορούσαν να συνοψιστούν στα εξής :

- Να αναπτυχθούν τα απαραίτητα προγράμματα της μεθόδου της μεγιστοποίησης της εντροπίας, για την εκτίμηση των μητρώων προέλευσης - προορισμού, και να γίνει συνδυασμός αυτών με το υπάρχον δυναμικό πρότυπο επιλογής διαδρομής.
- Να διαπιστωθεί κατά πόσο είναι δυνατό να εφαρμοστεί η μέθοδος της μεγιστοποίησης της εντροπίας σε συνδυασμό με ένα δυναμικό πρότυπο επιλογής διαδρομής, σε δυναμική εκτίμηση του μητρώου προέλευσης - προορισμού. Η διαπίστωση αυτή θα βασιζόταν κυρίως στην αξιοπιστία των αποτελεσμάτων και λιγότερο σε πρακτικούς λόγους όπως είναι ο υπολογιστικός χρόνος.
- Να βρεθούν και να αναλυθούν τα γνωρίσματα και τα πιθανά προβλήματα της μεθόδου που ανέπτυξαν οι Janson & Southworth (και η οποία τελικά επιλέχθηκε) σε συνδυασμό με το δυναμικό πρότυπο επιλογής διαδρομής που εφαρμόστηκε και στο πιλοτικό πρόγραμμα PARCMAN, των Α.Σταθόπουλο και Θ.Παρμακίζογλου.
- Να ομαδοποιηθούν και να χωριστούν σε επίπεδα προτεραιότητας, τα διάφορα σημεία των προτύπων, τα οποία θα πρέπει να ερευνηθούν και να βελτιωθούν ή να αλλαχθούν με μελλοντική έρευνα στο θέμα αυτό.

6.2. Υπολογιστικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση.

Ενα πολύ σημαντικό στοιχείο της υπολογιστικής προσομοίωσης, ιδιαίτερα μάλιστα όταν αναφερόμαστε σε δυναμικές αναλύσεις, οπότε και ο υπολογιστικός χρόνος είναι περιορισμένος, είναι τα υπολογιστικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν. Δυστυχώς ενώ στην διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται παραδείγματα υπολογιστικού χρόνου για συγκεκριμένες εφαρμογές, αυτά είναι

δίχως αξία όταν δεν γνωρίζουμε δύο επιπλέον πράγματα:

- Το μέγεθος των υπολογιστών που χρησιμοποιήθηκαν και
- Το μέγεθος του δικτύου που αναλύθηκε και του μητρώου που εκτιμήθηκε.

Στην υπολογιστική προσομοίωση που έγινε στην εργασία αυτή, χρησιμοποιήθηκε ένας υπολογιστής OLIVETTI M300, του οποίου η συχνότητα είναι 16 MHz. Διέθεται επεξεργαστή 386 (Intel), μαθηματικό συνεπεξεργαστή 387 και η εκτέλεση όλων των προγραμμάτων έγινε σε λειτουργικό σύστημα SCO-UNIX.

Σίγουρα ο υπολογιστής αυτός δεν είναι ότι καλύτερο υπάρχει στην αγορά, από πλευράς ταχύτητας, για την κατηγορία των προσωπικών υπολογιστών, αλλά όπως ήδη τονίσαμε σκοπός της προσομοίωσης δεν ήταν η πραγματική δυναμική εφαρμογή της διαδικασίας εκτίμησης, οπότε και θα μας ήταν απαραίτητος ο όσο το δυνατόν μικρότερος υπολογιστικός χρόνος.

Αλλωστε και το δίκτυο που επιλέχθηκε για την προσομοίωση ήταν περιορισμένης έκτασης.

6.3. Περιγραφή της υπολογιστικής προσομοίωσης.

6.3.1. Περιγραφή του δικτύου.

Σε αντίθεση με πολλούς ερευνητές, οι οποίοι κατασκεύασαν τεχνητά δίκτυα με σχετικά απλή δομή, εμείς επιλέξαμε ένα πραγματικό δίκτυο με πραγματικά χαρακτηριστικά συνδέσεων.

Ενδιαφέρον θα είχε να γινόταν η προσομοίωση στο δίκτυο της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών (δηλαδή της περιοχής στην οποία διεξήχθησαν και τα παραδείγματα του προτύπου επιλογής διαδρομής από τους Σταθόπουλο και Παρμακίζογλου). Όμως οι χρονικοί και τεχνικοί περιορισμοί μιάς διπλωματικής εργασίας, μας επέβαλαν την επιλογή ενός μικρότερου δικτύου.

Ετσι από το κωδικοποιημένο κύριο δίκτυο του κέντρου της πόλης των Αθηνών (το οποίο φαίνεται στο συνημμένο χάρτη), επιλέχθηκε το δίκτυο του σχήματος 6.1., στο οποίο είναι αριθμημένα τα όρια του δικτύου που χρησιμοποιήσαμε. Τα όρια αυτά αποτελούν ουσιαστικά τις

εισόδους και εξόδους από την περιοχή μελέτης. Όπως μάλιστα είχαμε τονίσει και σε προηγούμενα κεφάλαια, λόγω της περιορισμένης έκτασης του δικτύου σαν "ζώνες" προέλευσης - προορισμού θεωρούνται οι εισοδοί και έξοδοι αντίστοιχα της περιοχής μελέτης.

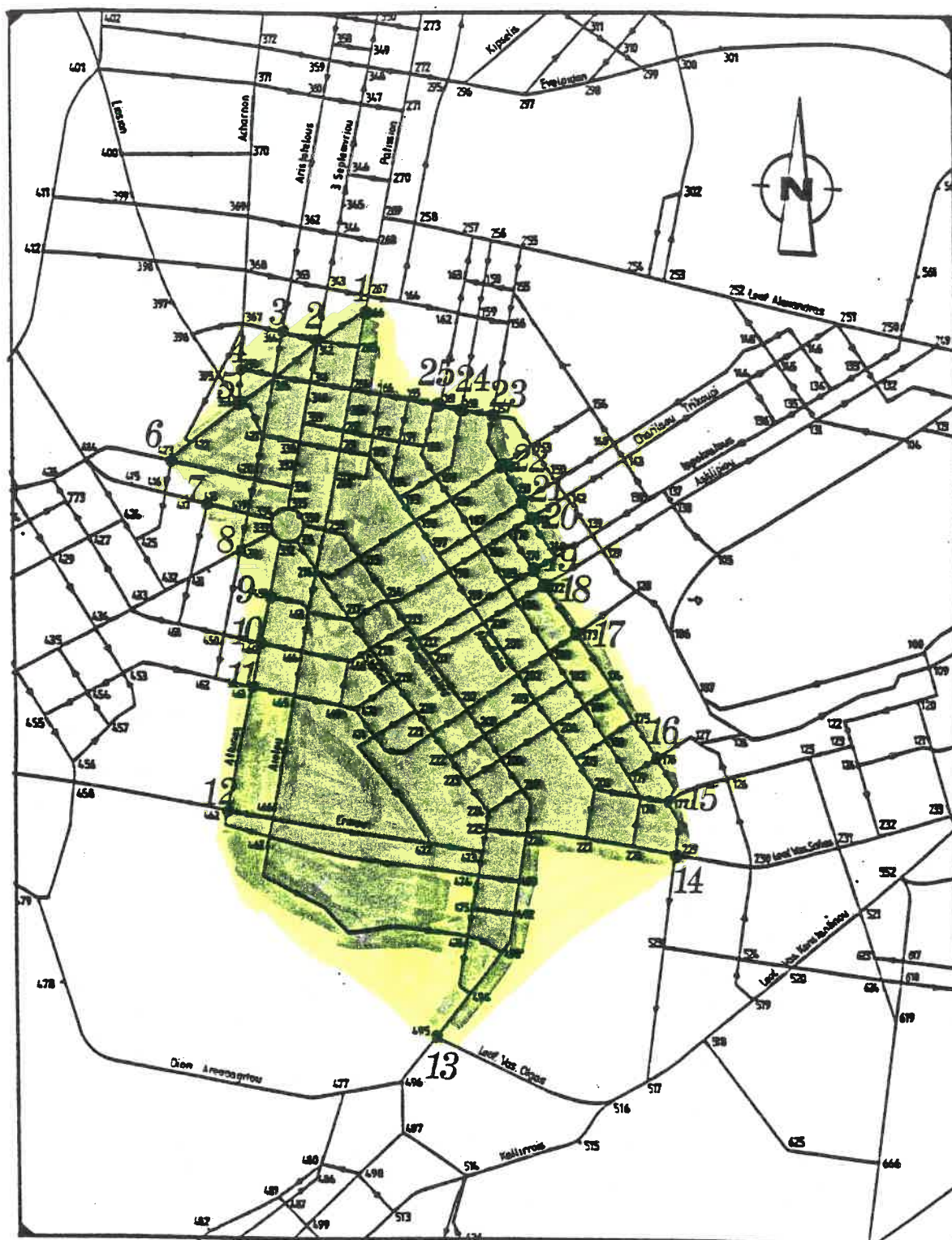
Λόγω του ότι δεν υπήρχε κανένας ουσιαστικός λόγος για το αντίθετο, κρατήσαμε την υπάρχουσα κωδικοποίηση του δικτύου. Αυτό μας έδωσε την δυνατότητα για την άμεση χρήση των δεδομένων των συνδέσμων (κυκλοφοριακή ικανότητα, ταχύτητα ελεύθερης ροής, ταχύτητα σε συνθήκες κορεσμού και μήκη), από τα αρχεία που υπήρχαν στο Εργαστήριο Σιδηροδρομική & Μεταφορών.

Στους πίνακες 6.1 και 6.2 δίνεται η αντιστοιχία των ζωνών προέλευσης και προορισμού του δικτύου, με τους κωδικούς των κόμβων.

Αριθμός Ζώνης Προέλ.-Προορ.	Κωδικός Κόμβου
1	266
2	342
3	364
4	394
5	366
6	423
7	418

Πίνακας 6.1. Ζώνες Προέλευσης - Προορισμού.





Σχήμα 6.1. Δίκτυο Προσομοίωσης.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Αριθμός Ζώνης Προέλ.-Προορ.	Κωδικός Κόμβου
8	430
9	459
10	460
11	461
12	462
13	495
14	229
15	177
16	176
17	173
18	172
19	171
20	141
21	151
22	152
23	157
24	160
25	161

Πίνακας 6.2 Ζώνες Προέλευσης-Προορισμού.

Τα αναλυτικά στοιχεία του κάθε συνδέσμου ξεχωριστά δίνονται στο παράρτημα Δ.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

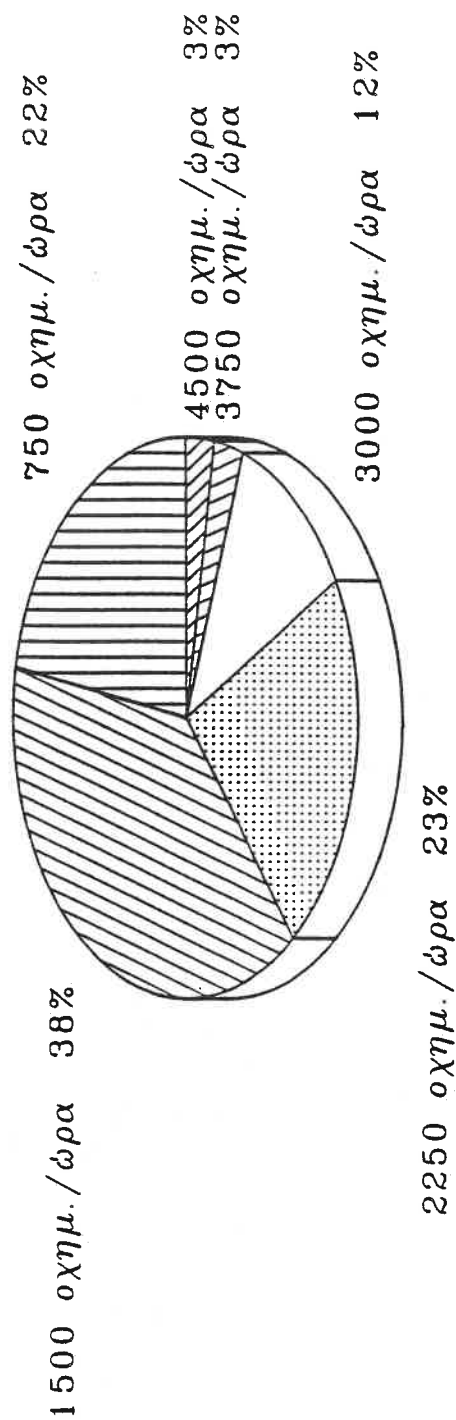
Συνοπτικά όμως, μπορούμε να πούμε ότι στο δίκτυο υπάρχουν συνολικά 119 κόμβοι και 226 σύνδεσμοι (κάθε κατεύθυνση ενός φυσικού συνδέσμου θεωρείται ξεχωριστός σύνδεσμος). Όπως φαίνεται στο σχήμα 6.2. η πλειοψηφία των συνδέσμων του δικτύου (38%) έχει κυκλοφορική ικανότητα 1500 οχημ./ώρα. Αναλυτικά οι σύνδεσμοι χωρίζονται βάσει την κυκλοφοριακή τους ικανότητα σε έξι κατηγορίες :

Κυκλοφοριακή Ικαν. (οχήμ./ώρα)	Αριθμός Συνδέσμων	Ποσοστό Συνδέσμων
		(%)
4500	6	3
3750	6	3
3000	26	11
2250	51	23
1500	87	38
750	50	22

Πίνακας 6.3. Κυκλοφοριακή Ικανότητα των Συνδέσμων του Δικτύου.

Επίσης η πλειοψηφία των συνδέσμων του δικτύου (45%), όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.3., έχει ταχύτητα ελεύθερης ροής ίση με 40 χιλ./ώρα. Αναλυτικά οι σύνδεσμοι χωρίζονται στις κατηγορίες που δείχνει ο πίνακας 6.4.. Τέλος το σχήμα 6.4. και ο πίνακας 6.5. δείχνουν την κατάταξη των συνδέσμων του δικτύου σε σχέση με την ταχύτητα υπό συνθήκες κορεσμού (δηλαδή όταν ο φόρτος του συνδέσμου είναι ίσος με την κυκλοφοριακή ικανότητα). Η πλειοψηφία των συνδέσμων (50%) έχει ταχύτητα κορεσμού 25 χιλ./ώρα.

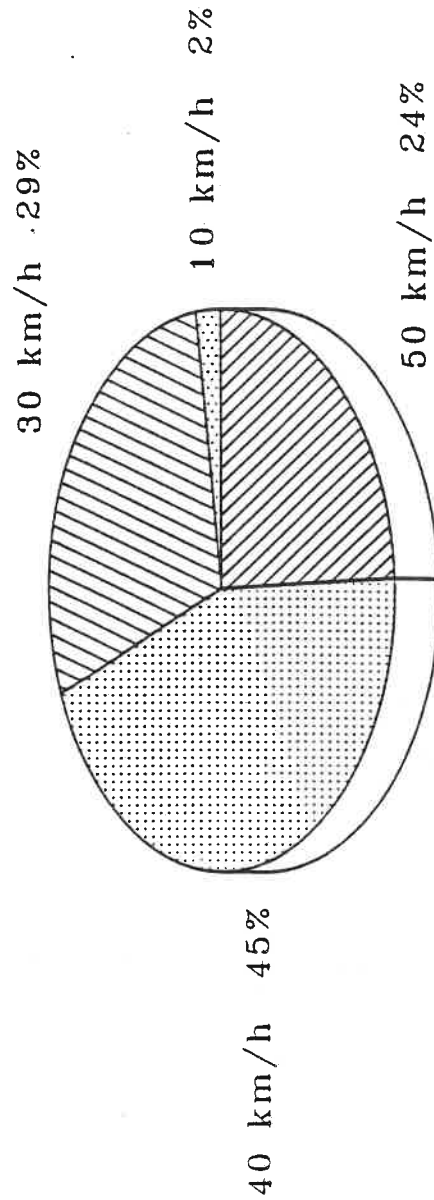
Χαρακτηριστικά Δικτύου Κυκλοφοριακή Ικανότητα Συνδέσμων



Αριθμός Συνδέσμων 226

Σχήμα 6.2. Κυκλοφοριακή Ικανότητα των Συνδέσμων του Δικτύου.

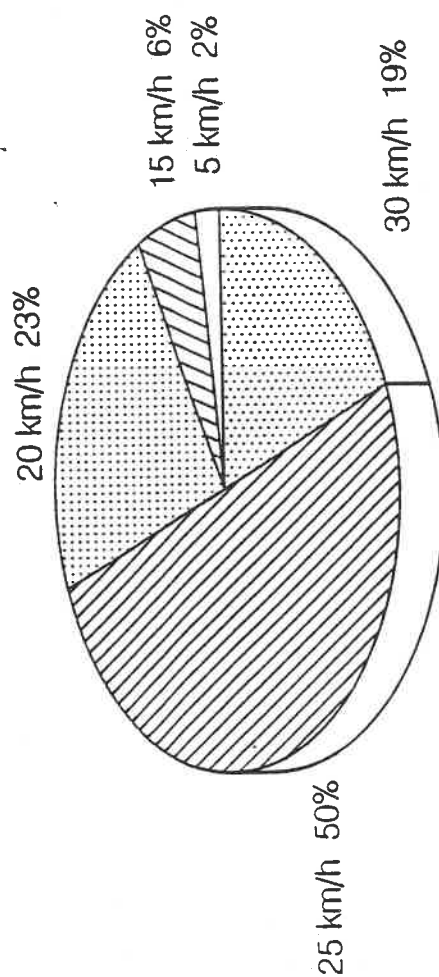
Χαρακτηριστικά Δικτύου Ταχύτητα Ελεύθερης Ροής



Αριθμός Συνδέσμων 226

Σχήμα 6.3. Ταχύτητα Ελεύθερης Ροής των Συνδέσμων του Δικτύου.

Χαρακτηριστικά Δικτύου Ταχύτητα σε Συνθήκες Κορεσμού



Αριθμός Συνδέσμων 226

Σχήμα 6.4. Ταχύτητα σε Συνθήκες Κορεσμού των Συνδέσμων
του δικτύου.

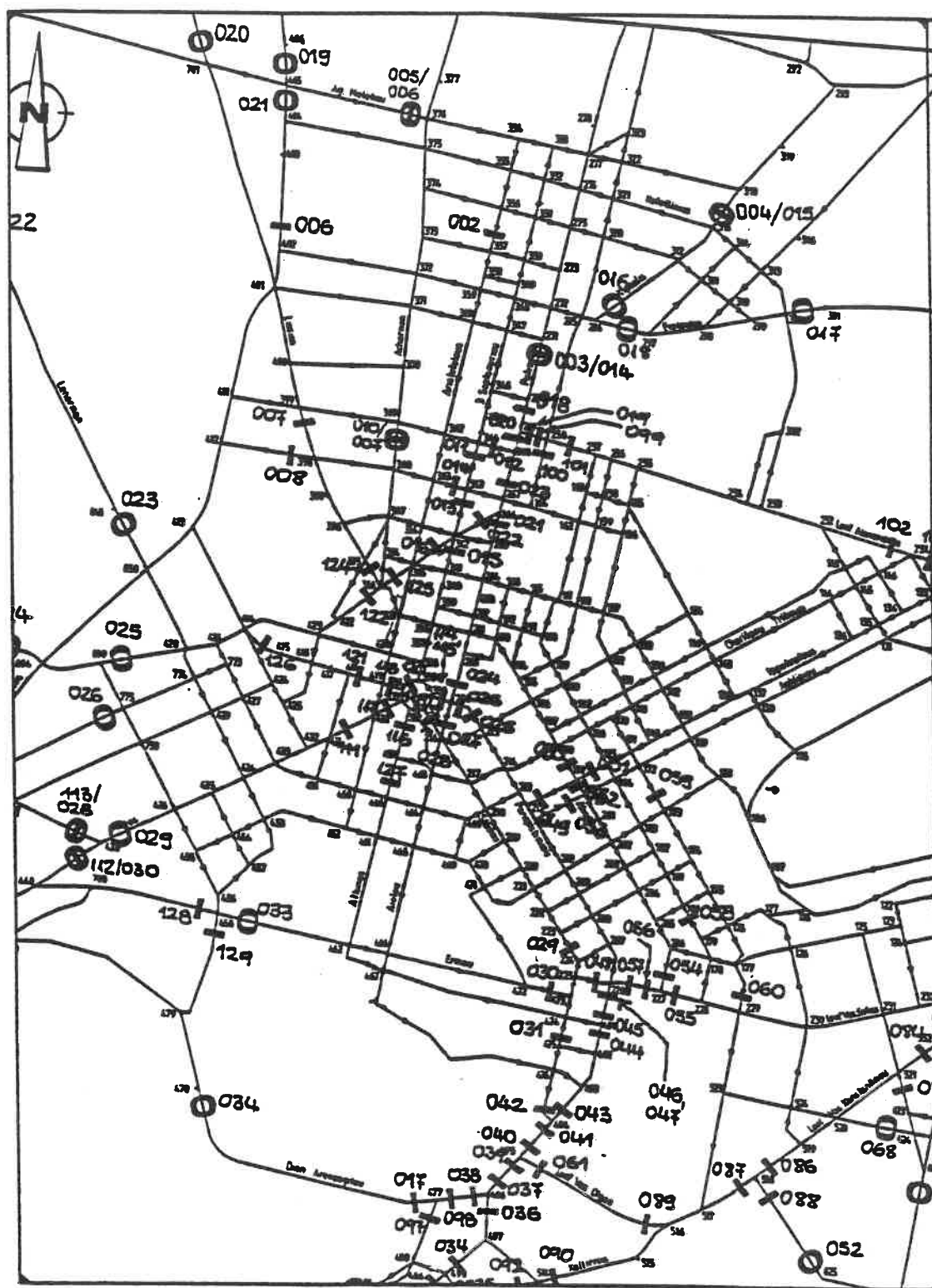
Ταχύτητα Ελευθέρης Ροής (χιλ./ώρα)	Αριθμός Συνδέσμων	Ποσοστό Συνδέσμων
		(%)
50	55	24
40	101	45
30	65	29
10	5	2

Πίνακας 6.4. Ταχύτητα Ελεύθερης Ροής Των Συνδέσμων του Δικτύου.

Ταχύτητα Συνθηκών Κορεσμού (χιλ./ώρα)	Αριθμός Συνδέσμων	Ποσοστό Συνδέσμων
		(%)
30	43	19
25	114	50
20	51	23
15	13	6
5	5	2

Πίνακας 6.4. Ταχύτητα Συνθηκών Κορεσμού των Συνδέσμων.

Στο δίκτυο είναι εγκατεστημένοι μόνιμα 43 επαγωγικοί φορατές, οι οποίοι μας δίνουν την δυνατότητα να έχουμε τους φόρτους σε 39 διαφορετικούς συνδέσμους. Οι θέσεις των φορατών φαίνονται στο χάρτη του σχήματος 6.5., ενώ η αναλυτική του απαρίθμηση γίνεται στους πίνακες 6.5., 6.6., και 6.7..



Σχήμα 6.5. Θέσεις των Φορατών στο Δίκτυο.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Αρ.Φορατή	Οδός	Κατεύθυνση	Σύνδεσμος	Παρατηρήσεις
015	Γ' Σεπτεμβρ.	Μάρνη	341-342	
016	Μάρνη	Γ' Σεπτεμβρ.	365-342	
021	Πατησίων	Μάρνη	266-265	
022	Μάρνη	Πατησίων	342-266	
024	Πατησίων	Πανεπιστημ.	260-259	
025	Πανεπιστημ.	Πατησίων	259-215	(1)
026	Πανεπιστημ.	Πατησίων	259-215	(2)
027	Αιόλου	Σταδίου	259-216	
028	Σταδίου	Αιόλου	331-216	
029	Σταδίου	Βουκουρεστ.	223-224	
030	Ερμού	Πλ.Συντάγμ.	472-473	
031	Φιλελλήνων	Ξενοφώντος	474-475	
040	Αμαλίας	Β. Ολγας	494-495	
041	Αμαλίας	Φιλελλήνων	495-494	
042	Φιλελλήνων	Αμαλίας	476-494	
043	Αμαλίας	Φιλελλήνων	493-494	
044	Αμαλίας	Οθωνος	492-491	
045	Αμαλίας	Οθωνος	226-491	
046	Αμαλίας	Β.Γεωργίου	491-226	(1)
047	Αμαλίας	Β.Γεωργίου	491-226	(2)
048	Β.Γεωργίου	Αμαλίας	225-226	

Πίνακας 6.5. Κατάλογος των Φορατών του Δικτύου. (1)

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Αρ.Φορατή	Οδός	Κατεύθυνση	Σύνδεσμος	Παρατηρήσεις
049	Ιπποκράτους	Πανεπιστημ.	199-212	
050	Ακαδημίας	Ιπποκράτους	198-199	
051	Ιπποκράτους	Ακαδημίας	185-199	
052	Ακαδημίας	Ρ. Φεραίου	199-200	
053	Ρήγα Φεραίου	Ακαδημίας	211-200	
054	Ακαδημίας	Β. Σοφίας	206-227	
055	Β. Σοφίας	Ακαδημίας	228-227	
056	Β. Σοφίας	Ακαδημίας	226-227	
057	Β. Σοφίας	Αμαλίας	227-226	
058	Σόλωνος	Βουκουρεστ.	179-180	
059	Σκουφά	Σίνα	172-173	
060	Κουμπάρη	Β. Σοφία	177-229	
114	Πανεπιστημ.	Πλ. Ομονοίας	259-330	(1)
115	Πανεπιστημ.	Πλ. Ομονοίας	259-330	(2)
116	Αθηνάς	Πλ. Ομονοίας	459-332	
117	Πειραιώς	Πλ. Ομονοίας	430-333	
118	Αγ.Κων/νου	Πλ. Ομονοίας	419-334	
119	Πλ. Ομονοίας	Αθηνάς	332-331	
120	Πλ. Ομονοίας	Γ' Σεπτεμβρ.	335-334	
121	Αγ.Κων/νου	Μενάνδρου	419-418	
125	Μάρνη	Λιοσίων	365-366	

Πίνακας 6.6. Κατάλογος των Φορατών του Δικτύου. (2)

Αρ.Μετρητή	Οδός	Κατεύθυνση	Σύνδεσμος	Παρατηρήσ.
127	Αθηνάς	Σοφοκλέους	459-460	

Πίνακας 6.7. Κατάλογος των Φορατών του Δικτύου. (3)

Σε ορισμένους φορατές, στην στήλη παρατηρήσεις, έχουν σημειωθεί τα νούμερα 1 και 2. Αυτό σημαίνει ότι οι δύο αυτοί φορατές μετρούν φόρτο στον ίδιο σύνδεσμο (διαφορετικές όμως λωρίδες κυκλοφορίας) και προκειμένου να λάβουμε το συνολικό φόρτο του συνδέσμου πρέπει να προστεθούν οι φόρτοι από τις επιμέρους λωρίδες.

6.3.2. Δεδομένα ζήτησης.

Το επόμενο στάδιο της υπολογιστικής προσομοίωσης, μετά την ανάλυση και κωδικοποίηση του δικτύου ήταν η εύρεση των δεδομένων της ζήτησης. Στο πρόβλημα μας τα δεδομένα της ζήτησης εκφράζονται από τα μητρώα προέλευσης - προορισμού. Δηλαδή έπρεπε να καθορίσουμε τον τρόπο με τον οποίο θα υπολογίζαμε τα μητρώα αυτά.

Προκειμένου να έχουμε ένα δείγμα σημαντικού στατιστικά μεγέθους επιλέξαμε να θεωρήσουμε μία χρονική περίοδο ανάλυσης των 50 κύκλων. Η διάρκεια κάθε κύκλου είναι δεκαπέντε λεπτά (15 min). Η επιλογή της διάρκειας του κύκλου δεν είναι τυχαία, αλλά όπως έχουμε ήδη τονίσει σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι μία επιλογή που χρησιμοποιείται ευρέως διεθνώς σε δυναμικές αναλύσεις δικτύων.

Επειτα με την χρήση μίας γεννήτριας τυχαίων αριθμών, σχηματίσαμε ένα a priori (ή "ιστορικό") μητρώο, στο οποίο κάθε "δυνατό" ζεύγος ζωνών προέλευσης προορισμού είχε αριθμό μετακινήσεων από 1 έως 24. Με τον όρο "δυνατό" ζεύγος ζωνών προέλευσης - προορισμού ij, ονομάζουμε το ζεύγος εκείνο στο οποίο η ζώνη i μπορεί να είναι ζώνη προέλευσης και η ζώνη j μπορεί να είναι ζώνη προορισμού. Αυτός ο διαχωρισμός γίνεται διότι λόγω της μορφής του δικτύου, δηλαδή των μονοδρομήσεων των οδών, δεν είναι δυνατό κάθε ζώνη να αποτελεί τόσο ζώνη προέλευσης όσο και ζώνη προορισμού. Τέλος η επιλογή του διαστήματος των μετακινήσεων [1-24] δεν έγινε τυχαία. Αντίθετα σκοπός ήταν η φόρτιση του δικτύου να είναι τέτοια ώστε να υπάρξουν προβλήματα κυκλοφορικής συμφόρησης. Αυτό έγινε για δύο λόγους :

- Το πρότυπο επιλογής που χρησιμοποιήθηκε αποτελεί ένα στοχαστικό πρότυπο και μάλιστα στην απλούστερη μορφή του (όλα ή τίποτα).
- Λόγω του γεγονότος ότι είναι η πρώτη εργασία στο θέμα της εκτίμησης μητρώων προέλευσης - προορισμού από μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου, η ανάλυση έπρεπε να περιοριστεί σε απλούστερες μορφές.

Μετά τον καθορισμό του *a priori* μητρώου έγινε ο πιθανοτικός τρόπος δημιουργίας των μητρώων των 50 κύκλων για κάθε παράδειγμα, της υπολογιστικής προσομοίωσης. Έτσι έγιναν οι παρακάτω παραδοχές :

- Κάθε μη μηδενικό στοιχείο του *a priori* μητρώου αποτελεί ανεξάρτητη μεταβλητή, δηλαδή δεν επιρρεάζεται από την τιμή κάποιου άλλου στοιχείου του ίδιου μητρώου.
- Κάθε μη μηδενικό στοιχείο του *a priori* μητρώου ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή την αντίστοιχη τιμή του ιστορικού μητρώου, και τυπική απόκλιση που την ορίζουμε με κατάλληλο τρόπο.

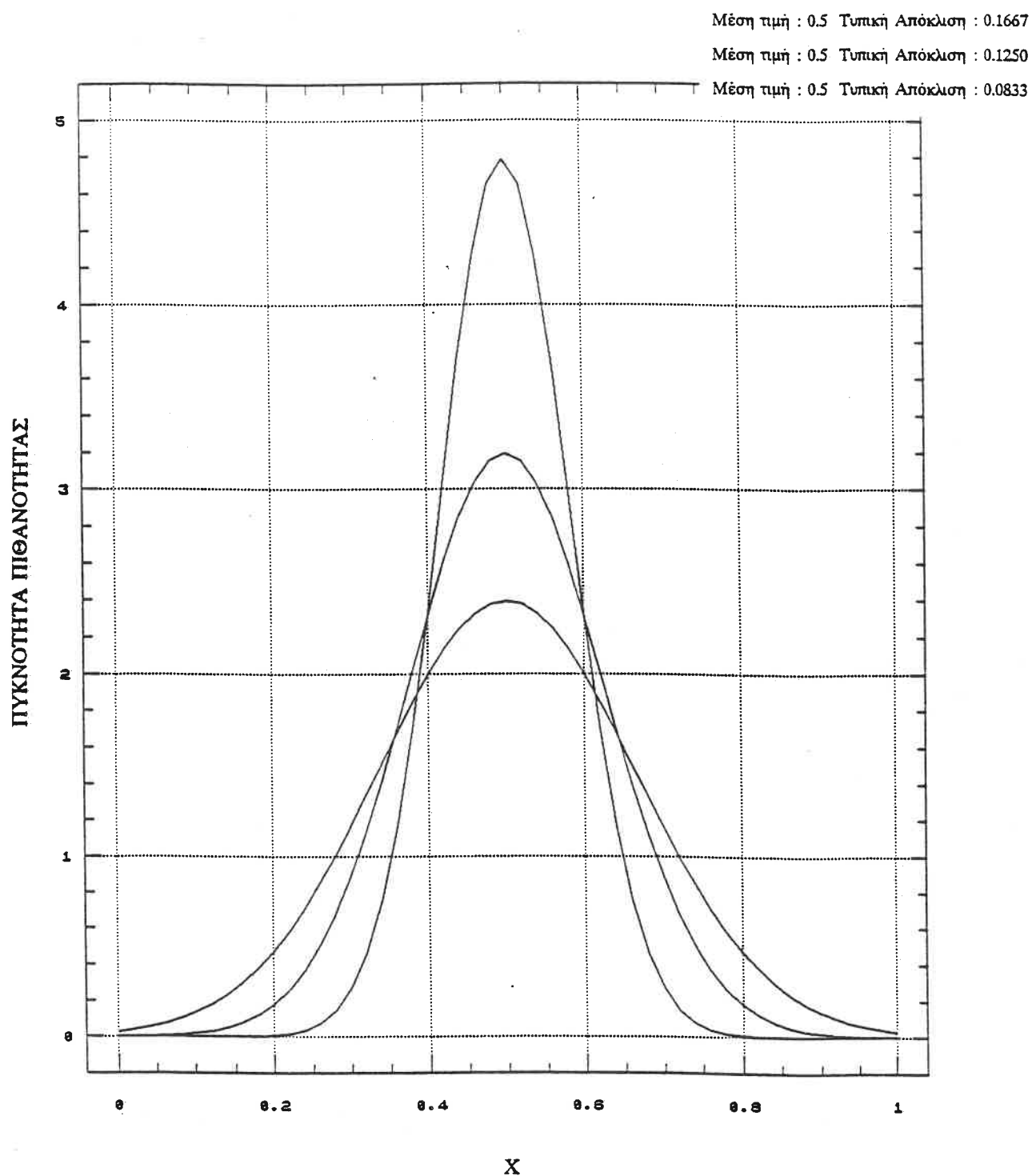
Με άλλα λόγια θεωρούμε ότι το *a priori* μητρώο, με βάση το οποίο θα γίνει η εκτίμηση των σωστών μητρώων, περιέχει τις μέσες τιμές των μετακινήσεων για κάθε ζεύγος ζωνών προέλευσης - προορισμού.

Αρχικά έγιναν τρία βασικά παραδείγματα των 50 κύκλων και με διαφορετική απόκλιση το καθ'ένα. Συγκεκριμένα :

- Στο 1ο παράδειγμα η τυπική απόκλιση ορίστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε οι τιμές κάθε στοιχείου του μητρώου προέλευσης - προορισμού, να κυμαίνονται από το 50% έως το 150% της μέσης τιμής.
- Στο 2ο παράδειγμα το εύρος των τιμών κάθε στοιχείου του μητρώου προέλευσης - προορισμού, ήταν από 25% έως 175% της μέσης τιμής.
- Τέλος στο 3ο παράδειγμα το εύρος των τιμών κάθε στοιχείου του μητρώου προέλευσης - προορισμού, ήταν από 0% έως 200% της μέσης τιμής.

Στο σχήμα 6.6. φαίνονται οι τρεις κανονικές κατανομές που χρησιμοποιήθηκαν, με μέση

ΟΙ ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΩΝ



Σχήμα 6.6. Οι κανονικές κατανομές των τριών παραδειγμάτων.

τιμή ίση με 0.5.

Ο τρόπος παραγωγής των στοιχείων κάθε μητρώου και οι συνδυασμός αυτών έγινε με εντελώς τυχαίο τρόπο, και συγκεκριμένα με γεννήτρια παραγωγής τυχαίων αριθμών που έχουν συγκεκριμένη μέση τιμή και τυπική απόκλιση και ακολουθούν κανονική κατανομή. Για να γίνει αυτό ήταν απαραίτητη η εύρεση ενός αλγορίθμου παραγωγής τυχαίων αριθμών που ακολουθούν την κανονική κατανομή.

Ετσι χρησιμοποιήθηκε η **πολική μέθοδος** (polar method) η οποία παράγει τυχαία ζευγάρια μεταβλητών που ακολουθούν την κανονική κατανομή $N(0,1)$. Ο αλγόριθμος είναι ο εξής :

- (i) Παράγουμε δύο τυχαίες μεταβλητές U_1 και U_2 από μία γεννήτρια τυχαίων αριθμών (IID), ανάμεσα στο 0 και το 1 και οι οποίοι ακολουθούν ορθογωνική κατανομή. Εστω $V_i = 2U_i - 1$ για $i = 1, 2$, και έστω $W = V_1^2 + V_2^2$.
- (ii) Αν $W > 1$ πηγαίνουμε πίσω στο βήμα (i), αλλιώς έστω $Y = [(-2 \ln W)/W]^{1/2}$. Τότε οι μεταβλητές $X_1 = V_1 Y$, και $X_2 = V_2 Y$ ακολουθούν την κανονική κατανομή $N(0,1)$.

Ο αλγόριθμος αυτός για να χρησιμοποιηθεί, πρέπει να βρεθεί μία γεννήτρια τυχαίων αριθμών από το 0 έως το 1, που να ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή. Ετσι έγινε η χρήση της ρουτίνας του Schrage, η οποία είναι μία από της καλύτερες και πιο γρήγορες ρουτίνες που υπάρχουν για προσωπικούς υπολογιστές (το πηγαίο πρόγραμμα της υπορουτίνας αυτής δίνεται στο παράρτημα Β).

6.3.3. Αλγόριθμος της Υπολογιστικής Προσομοίωσης.

Ισως το σημαντικότερο σημείο της υπολογιστικής προσομοίωσης για την δυναμική εκτίμηση μητρώων προέλευσης-προορισμού είναι ο αλγόριθμος της. Συγκεκριμένα έγινε κατάλληλη σύνθεση όλων των επιμέρους προγραμμάτων (πρότυπο επιλογής διαδρομής, εκτίμηση μητρώων, βοηθητικά προγράμματα) με κατάλληλη διάταξη, ώστε να είναι δυνατή τόσο η δυναμική φόρτιση του δικτύου με τα έτοιμα μητρώα προέλευσης - προορισμού, όσο και η δυναμική εκτίμηση αυτών.

Για να πραγματοποιηθεί, με σωστό και ρεαλιστικό τρόπο, η σύνθεση αυτή έγιναν ορισμένες

παρατηρήσεις.

Σε μία πραγματική δυναμική εφαρμογή το μόνο πραγματικό δεδομένο που είναι γνωστό, μέσω των μετρήσεων, είναι οι κυκλοφοριακοί φόρτοι σε ένα υποσύνολο του συνόλου των συνδέσμων του δικτύου. Δεν είναι γνωστά ούτε τα ποσοστά των χρηστών, για κάθε ζώνη προέλευσης ξεχωριστά, που χρησιμοποιούν τους συνδέσμους αυτούς. Επίσης λόγω της δυναμική μεταβολή της ζήτησης (σε σχέση με το χρόνο), τα ποσοστά αυτά μπορεί να μεταβάλλονται σημαντικά. Έτσι στην προσομοίωση μας δεν μπορούσαν να θεωρηθούν σταθερά τα ποσοστά αλλά πρέπει να μεταβάλλονται με κάποιο τρόπο. Ο πιο σωστός τρόπος είναι να θεωρηθεί ότι στο κύκλο n , γίνεται χρήση των ποσοστών του κύκλου $n-1$, δηλαδή του προηγούμενου κύκλου. Μάλιστα όσο μικρότερο είναι το χρονικό διάστημα του κύκλου τόσο μικρότερο θα είναι το σφάλμα, καθώς η δυναμική μεταβολή των ποσοστών θα είναι ομαλότερη. Ο υπολογισμός των ποσοστών του κάθε κύκλου γίνεται με την φόρτιση του δικτύου, με τα μητρώα προέλευσης - προορισμού που εκτιμούνται σε κάθε κύκλο.

Ουσιαστικά κατά την διάρκεια της προσομοίωσης, δεν εκτιμούνται μονάχα τα μητρώα αλλά φορτίζουμε και το δίκτυο μας ώστε να υπολογίζουμε τα ποσοστά των χρηστών που χρησιμοποιούν τους συνδέσμους που μας ενδιαφέρουν.

Στο σημείο αυτό μας απασχόλησε το θέμα των αρχικών τιμών. Δηλαδή με βάση ποιά ποσοστά θα γινόταν η εκτίμηση του μητρώου στο πρώτο κύκλο. Αρχικά εξετάστηκε η περίπτωση να θεωρηθούν σταθερά ποσοστά για όλες τις ζώνες προέλευσης. Όμως η σκέψη αυτή ήταν πολύ πιθανό ότι δεν θα οδηγούσε ποτέ σε σύγκλιση των μετρήσεων των συνδέσμων και τα αποτελέσματα θα ήταν ιδιαίτερα άσχημα. Μάλιστα επειδή ο επόμενος κύκλος έχει εξάρτηση από την εκτίμηση του προηγούμενου, ήταν πιθανή η διαιώνιση του λάθους, πράγμα που επιβεβαιώθηκε και από αριθμητικά παραδείγματα.

Έτσι επιλέχθηκε ένας διαφορετικός τρόπος. Συγκεκριμένα στον πρώτο κύκλο γίνεται φόρτιση του δικτύου με βάση το a priori μητρώο, χωρίς να γίνεται εκτίμηση του μητρώου προέλευσης - προορισμού, αλλά προκειμένου να υπολογιστούν τα ποσοστά για το επόμενο κύκλο. Σε μία πραγματική δυναμική εφαρμογή αυτό το τέχνασμα δεν θα είχε ιδιαίτερες επιπτώσεις, καθώς το μόνο που θα έπρεπε να γίνει είναι να αρχίσει η περίοδος ανάλυσης ένα κύκλο νωρίτερο από εκείνο που μας ενδιαφέρει.

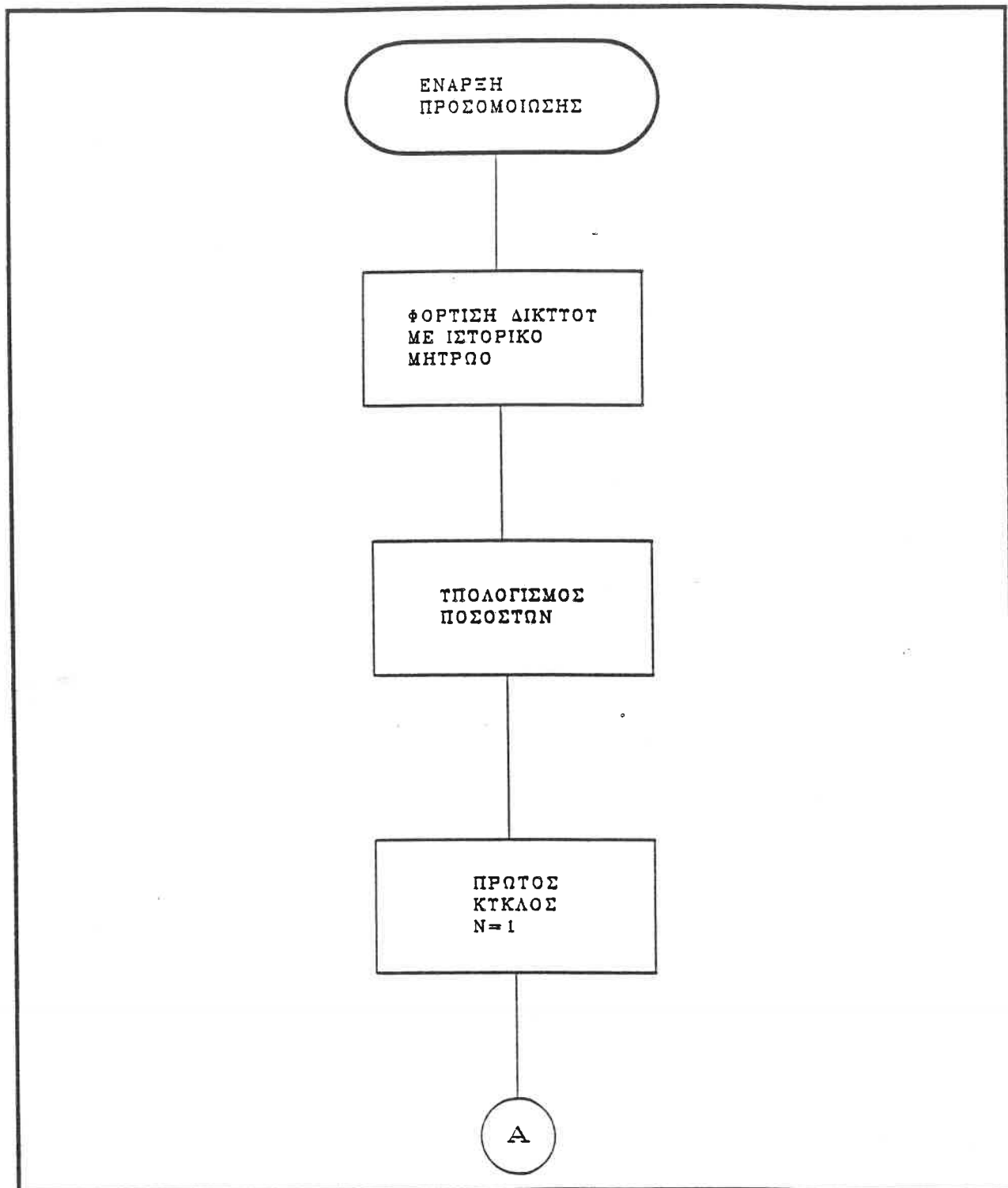
Φυσικά υπάρχουν και άλλοι τρόποι με τους οποίους θα μπορούσε πιθανά, να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα, όπως με τυχαία επιλογή των ποσοστών (πιθανά βάση κάποιων κριτηρίων), ή με έναρξη της περιόδου ανάλυσης τις πρωινές ώρες οπότε και η κυκλοφοριακή κίνηση είναι στατιστικώς αμελητέα. Ο δεύτερος όμως τρόπος όπως θα φανεί αργότερα εγκυμονεί κινδύνους για την μέθοδο της μεγιστοποίησης της εντροπίας.

Ο υπολογισμός των ποσοστών είναι ένα ακόμα λεπτό σημείο για την εκτίμηση των μητρώων. Τα προγράμματα του προτύπου επιλογής διαδρομής, έτσι όπως δόθηκαν στον συγγραφέα της εργασίας αυτής, δεν υπολόγιζαν τα ποσοστά των χρηστών που περνούν από συγκεκριμένους συνδέσμους. Απλά εύρισκαν τα δένδρα των ζωνών προέλευσης που περιείχαν τους συνδέσμους και θεωρούσαν ποσοστό 100%. Φυσικά αυτός ο τρόπος δεν μπορούσε να οδηγήσει σε σωστά αποτελέσματα. Από την άλλη πλευρά όμως ο ακριβής υπολογισμός των ποσοστών είναι ιδιαίτερα δύσκολος και χρονοβόρος. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι στην δυναμική ανάλυση δεν ενδιαφέρει μονάχα πόσοι χρήστες θα περάσουν από ένα συγκεκριμένο σύνδεσμο αλλά και σε ποιο κύκλο θα γίνει αυτό. Έτσι προκειμένου να υπολογίζονται με μεγαλύτερη ακρίβεια τα ποσοστά έγινε τροποποίηση του προτύπου επιλογής διαδρομής στο σημείο του υπολογισμού των ποσοστών. Ο υπολογισμός τους βασιζόταν στο ποια ζεύγη ζωνών προέλευσης προορισμού, περνούσαν από τον σύνδεσμο στον οποίο υπήρχε μέτρηση φόρτου. Αυτό πραγματοποιήθηκε με την χρήση του πίνακα που προκύπτει από την εφαρμογή της μεθόδου "όλα ή τίποτα" (στην οποία βασιζόταν το πρότυπο), με βάση τον αλγόριθμο του Moore. Έπειτα θεωρήθηκε ότι όλες οι μετακινήσεις που ξεκινούν από τις ζώνες προορισμού στον κύκλο n , φθάνουν στον προορισμό τους στον ίδιο κύκλο. Φυσικά αυτό ισχύει μονάχα όταν ο χρήστης, λόγω των συνθηκών του δικτύου (μέγεθος, κυκλοφοριακή συμφόρηση) της διαδρομής που έχει να πραγματοποιήσει, και του χρονικού διαστήματος του κύκλου, μπορεί να φθάσει στον προορισμό του μέσα στον ίδιο κύκλο. Στα παραδείγματα μας αυτό ισχύει αφού η περιοχή είναι σχετικά μικρή και ένα όχημα μπορεί να την διασχίσει στο χρονικό διάστημα των δεκαπέντε λεπτών.

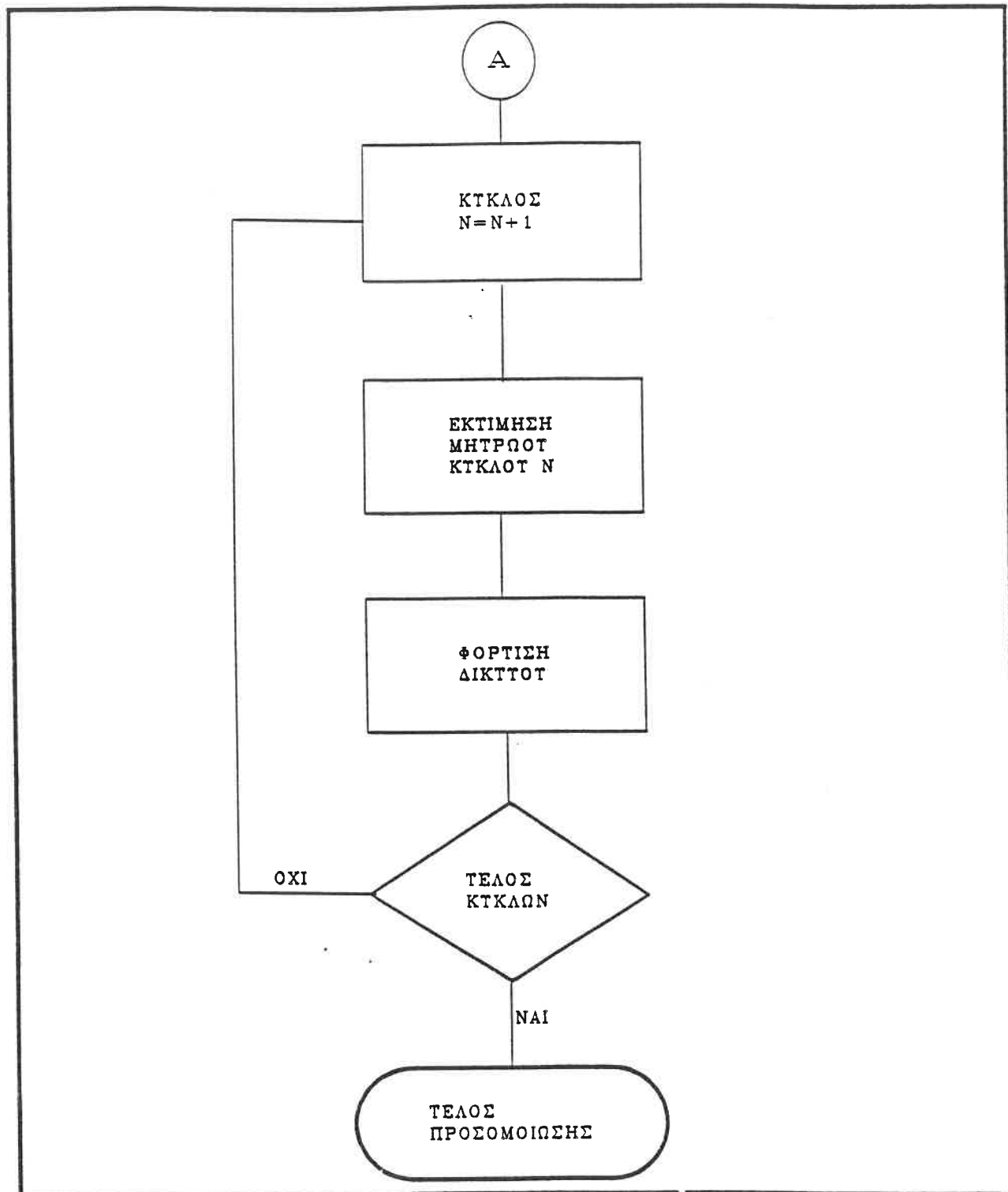
Στο σχήμα 6.7. φαίνεται το λογικό διάγραμμα της υπολογιστικής προσομοίωσης.

Συνοπτικά ο αλγόριθμος της υπολογιστικής προσομοίωσης ακολουθεί τα παρακάτω βήματα :

(1) Μηδενισμός του δείκτη των κύκλων ($n=0$).



Σχήμα 6.7.1. Λογικό διάγραμμα της Προσομοίωσης (1).



Σχήμα 6.7.2. Λογικό διάγραμμα της Προσομοίωσης (2).

- (2) Αύξηση κατά 1 του n.
- (3) Αν πρόκειται για τον πρώτο κύκλο φορτίζουμε το δίκτυο με το a priori μητρώο και υπολογίζουμε τα ποσοστά.
- (4) Αν πρόκειται για τον πρώτο κύκλο γυρνάμε στο βήμα 2. Διαφορετικά εκτιμάμε το μητρώο προέλευσης - προορισμού.
- (5) Ενημερώνουμε το δίκτυο με το μητρώο που μόλις εκτιμήσαμε και υπολογίζουμε τα ποσοστά.
- (6) Αν δεν τελείωσαν οι κύκλοι γυρνάμε στο βήμα 2, αλλιώς τελείωσε η προσομοίωση.

6.4. Αποτελέσματα των αριθμητικών παραδειγμάτων.

Φυσικά επειδή η μέθοδος της μεγιστοποίησης της εντροπίας, την οποία εφαρμόσαμε στο δίκτυο μας, είναι μία μέθοδος η οποία εφαρμόζεται σε αόριστα προβλήματα (δηλαδή όταν οι άγνωστοι είναι περισσότεροι από τις εξισώσεις του προβλήματος), περιορίστηκε ο αριθμός των υποτιθέμενων μετρήσεων φόρτου στους εξής δώδεκα:

- (1) Σύνδεσμος 260-259
- (2) Σύνδεσμος 215-259
- (3) Σύνδεσμος 223-224
- (4) Σύνδεσμος 226-421
- (5) Σύνδεσμος 225-226
- (6) Σύνδεσμος 198-199
- (7) Σύνδεσμος 206-227
- (8) Σύνδεσμος 332-331
- (9) Σύνδεσμος 419-334
- (10) Σύνδεσμος 459-460
- (11) Σύνδεσμος 199-200
- (12) Σύνδεσμος 185-199

Η επιλογή των παραπάνω συνδέσμων (οι οποίοι φαίνονται και στο σχήμα 6.8., πάνω στο δίκτυο) έγινε με τρία κριτήρια :

- Να σύνδεσμοι στους οποίους υπάρχουν φορατές στο πραγματικό δίκτυο.
- Να είναι σχετικά ισοκατανεμημένοι στο δίκτυο σε σχέση με τις ζώνες προέλευσης.
- Να περνά από τους συνδέσμους αυτούς, κάποιο ποσοστό χρηστών από όλες τις ζώνες προέλευσης. Ο έλεγχος αυτός έγινε με παραδείγματα φόρτισης του δικτύου και ελέγχου των ποσοστών που περνούσαν από τους συνδέσμους αυτούς.

Επίσης για την σύγκριση του εκτιμώμενου με το "πραγματικό" μητρώο, χρησιμοποιήθηκαν πέντε μεγέθη :

(i) Η μέση απόλυτη διαφορά (MAE).

$$MAE = \frac{\sum_{ij} |T_{ij}^a - T_{ij}^b|}{n} \quad (1)$$

(ii) Η σχετική μέση απόλυτη διαφορά (RMAE).

$$RMAE = 100 \cdot \frac{\sum_{ij} |T_{ij}^a - T_{ij}^b|}{\sum_{ij} T_{ij}^a} \quad (2)$$

(iii) Η τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλματος (RMSE).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{ij} (T_{ij}^a - T_{ij}^b)^2}{n}} \quad (3)$$

(iv) Η σχετική τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλματος (RRMSE).



Σχήμα 6.8. Οι 12 φορατές που τελικά επιλέχθηκαν.

$$RRMSE=100 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{ij} (T_{ij}^a - T_{ij}^b)^2}{n}} \cdot \frac{\sum_{ij} T_{ij}^a}{n}$$

(v) Ο συντελεστής διαφοροποίησης (R^2).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{ij} (T_{ij}^a - T_{ij}^b)^2}{\sum_{ij} (T_{ij}^a - T_*^a)^2} \quad (5)$$

όπου

$$T_*^a = \frac{\sum_{ij} T_{ij}^a}{n} \quad (6)$$

T_{ij}^a είναι το στοιχείο ij του πραγματικού μητρώου.

T_{ij}^b είναι το στοιχείο ij του εκτιμώμενου μητρώου.

n είναι ο αριθμός των μη μηδενικών στοιχείων του πραγματικού μητρώου.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι λόγω του ότι πραγματοποιούμε δυναμική ανάλυση του δικτύου μονάχα τα **σχετικά** μεγέθη είναι κατάλληλα για σύγκριση. Δίνονται όμως και τα απόλυτα μεγέθη, ώστε να υπάρχει μία πλήρη εικόνα για το μέγεθος των τιμών στις οποίες αναφερόμαστε.

6.4.1. Πρώτο παράδειγμα.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, στο πρώτο αριθμητικό παράδειγμα, οι τιμές των στοιχείων των μητρώων προέλευσης - προορισμού κυμαίνονταν ανάμεσα στο 50% και το 150% της μέσης τιμής (η οποία εκφραζόταν με τα αντίστοιχα στοιχεία του a priori μητρώου). Δηλαδή με άλλα

λόγια ήταν η ευμενέστερη των περιπτώσεων που εξετάσαμε, καθώς οι τιμές είχαν την μικρότερη τυπική απόκλιση από όλα τα παραδείγματα.

Στα σχήματα 6.9. - 6.15. υπάρχουν ορισμένα στοιχεία, υπό μορφή διαγραμμάτων, που περιγράφουν την κυκλοφοριακή κατάσταση που επικρατεί στο δίκτυο κατά την διάρκεια των 50 δεκαπενταλέπτων της υπολογιστικής προσομοίωσης. Συγκεκριμένα στο σχήμα 6.9. φαίνονται τα ποσοστά των συνδέσμων του δικτύου στους οποίους ο λόγος (φόρτου)/(κυκλοφοριακή ικανότητα) βρισκόταν σε μία από τις κατηγορίες :

(1) 0.0 - 0.2

(2) 0.2 - 0.4

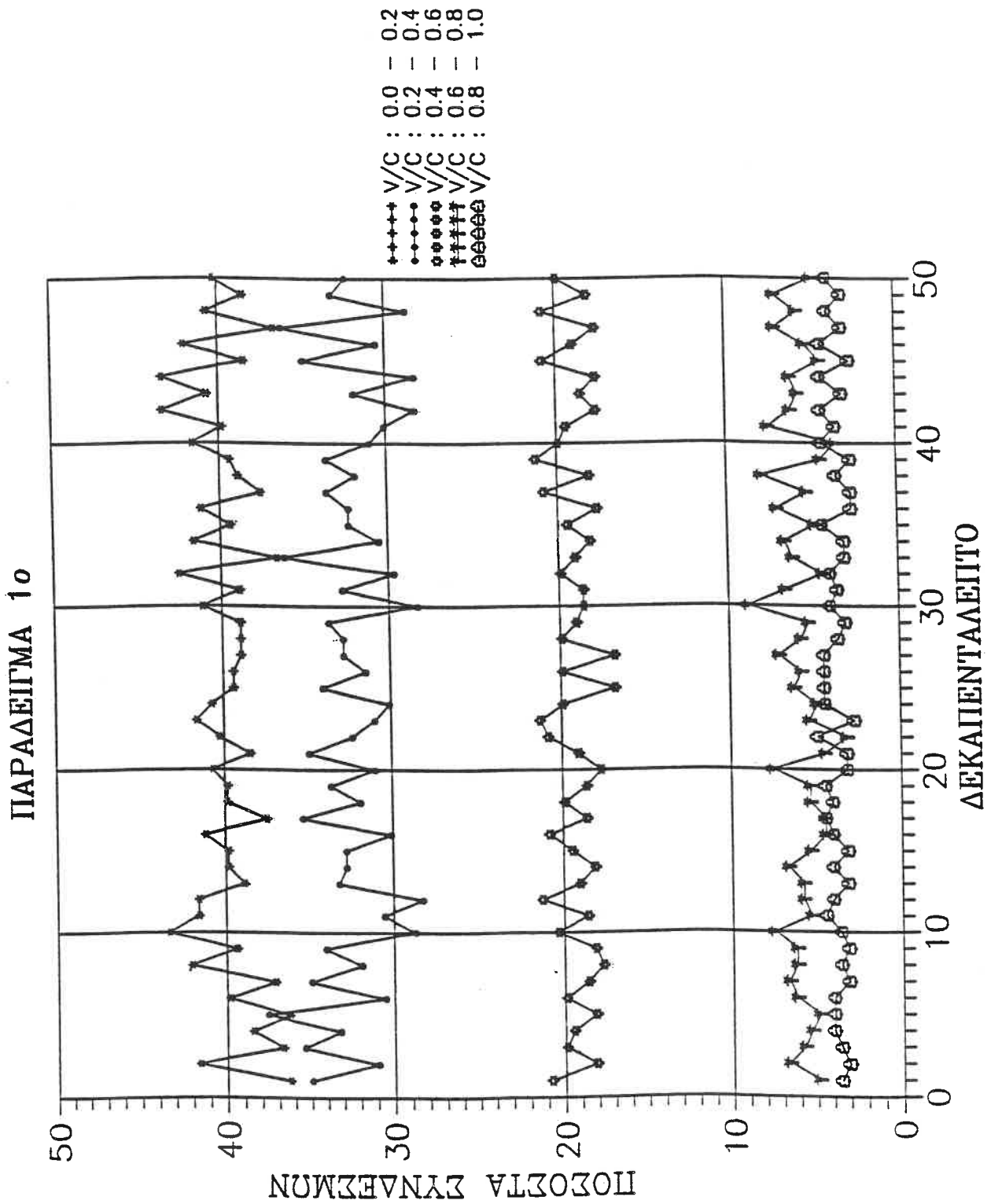
(3) 0.4 - 0.6

(4) 0.6 - 0.8

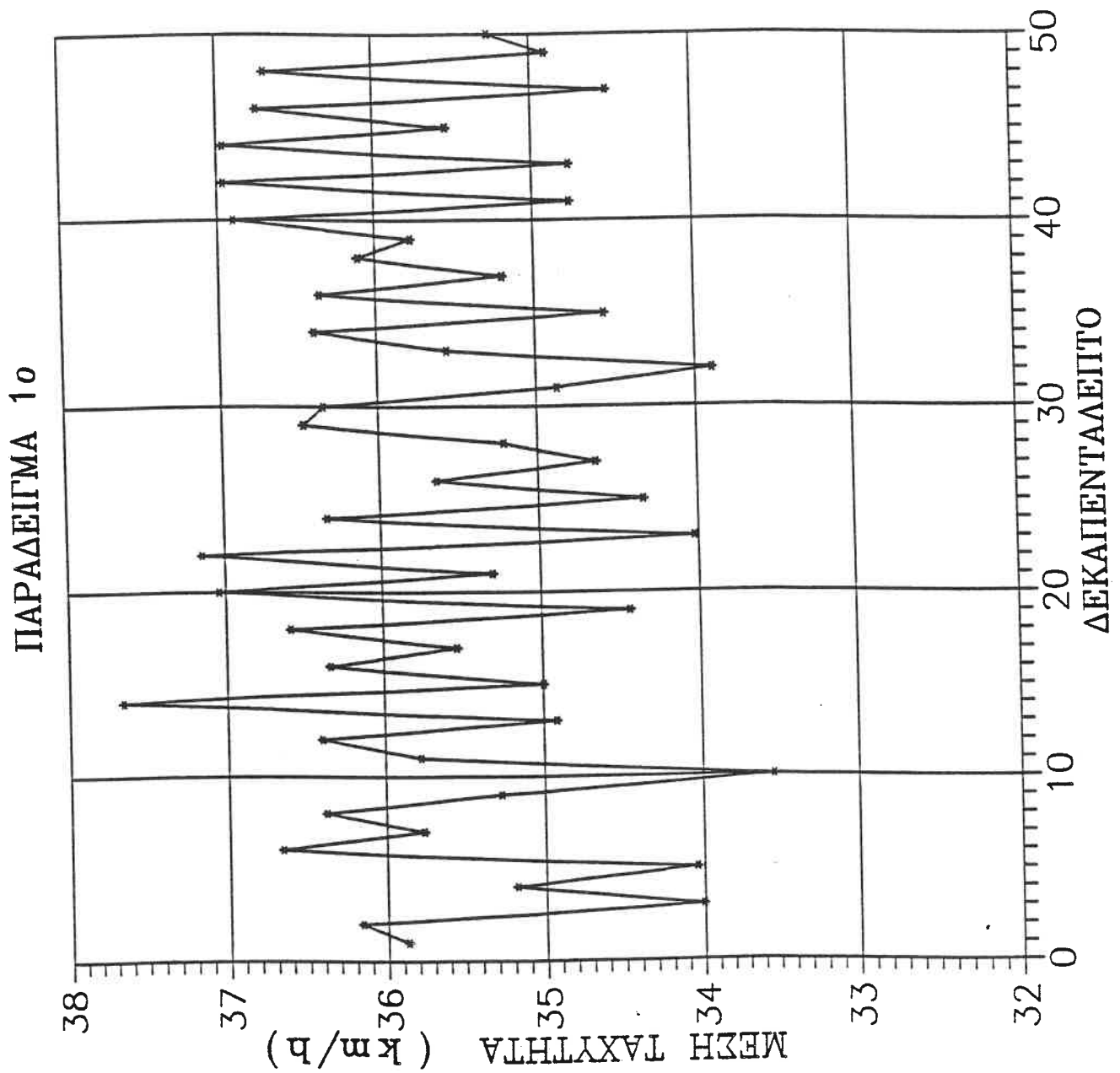
(5) 0.8 - 1.0

Ετσι είναι φανερό ότι στο δίκτυο δεν επικρατούσαν συνθήκες κορεσμού, αφού το 70% των συνδέσμων είχαν φόρτους μικρότερους από το 40% της κυκλοφοριακής ικανότητάς τους, ενώ μόνο το 4% είχε φόρτους μεγαλύτερους από το 80% της κυκλοφοριακής ικανότητάς.

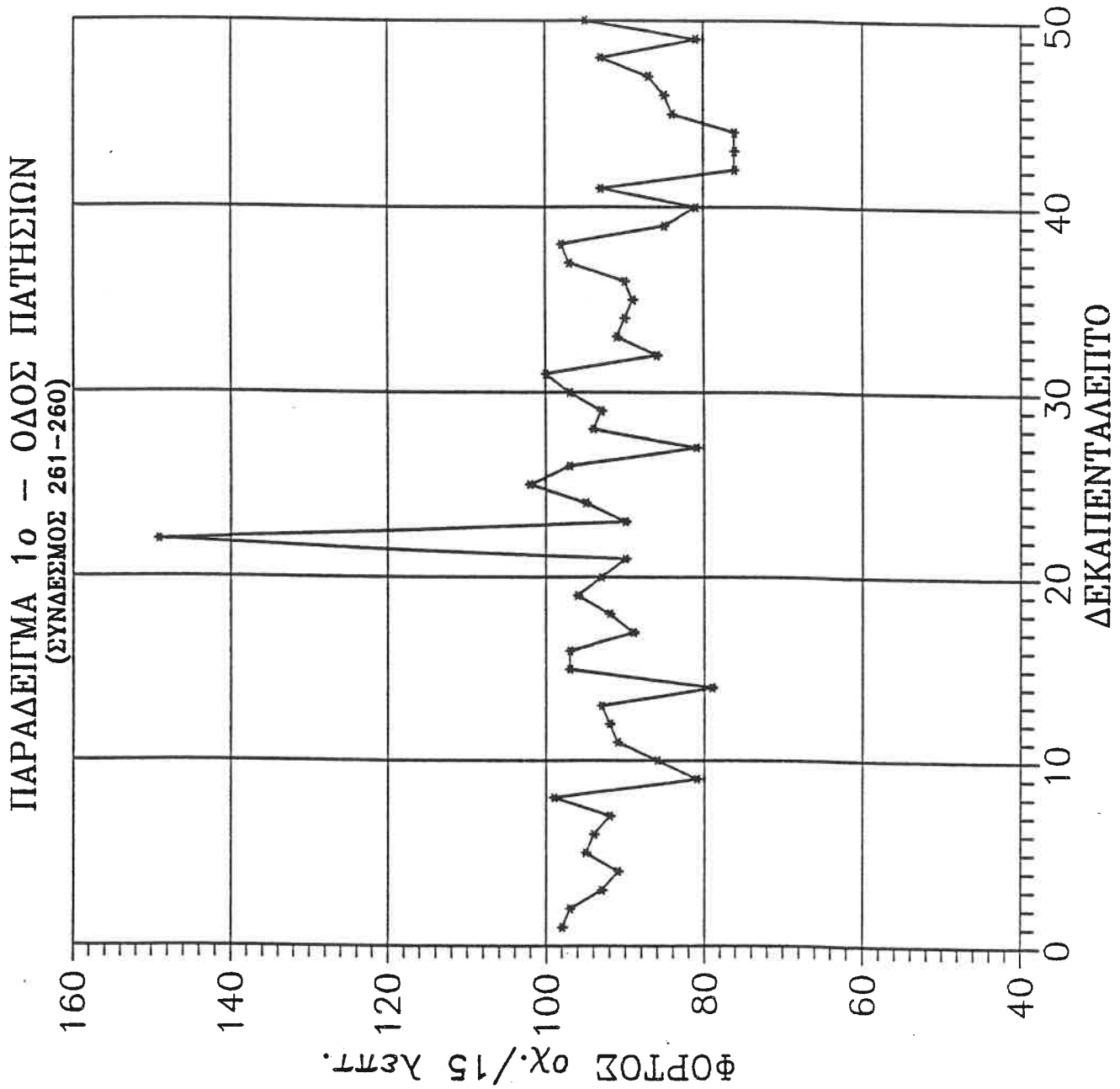
Στο σχήμα 6.10. φαίνεται η μεταβολή της μέσης ταχύτητας με την οποία κυκλοφορούσαν οι χρήστες στο δίκτυο και η οποία κυμαίνεται από 34 χιλ./ώρα μέχρι 37.5 χιλ./ώρα. Τέλος στα σχήματα 6.11.-6.15. φαίνονται οι κυκλοφοριακοί φόρτοι του κάθε δεκαπενταλέπτου της προσομοίωσης, σε πέντε από τους κυριώτερους συνδέσμους του δικτύου, οι οποίοι βρίσκονταν στις οδούς : Πατησίων, Πανεπιστημίου, Σταδίου, Ακαδημίας και Σόλωνος. Σε μερικούς από αυτούς, όπως στο σύνδεσμο της οδού Πανεπιστημίου είναι εμφανής η συνεχή μεταβολή του φόρτου χωρίς κάποιο συγκεκριμένο προφίλ, πράγμα που οφείλεται στον τυχαίο τρόπο δημιουργίας των μητρώων προέλευσης - προορισμού.



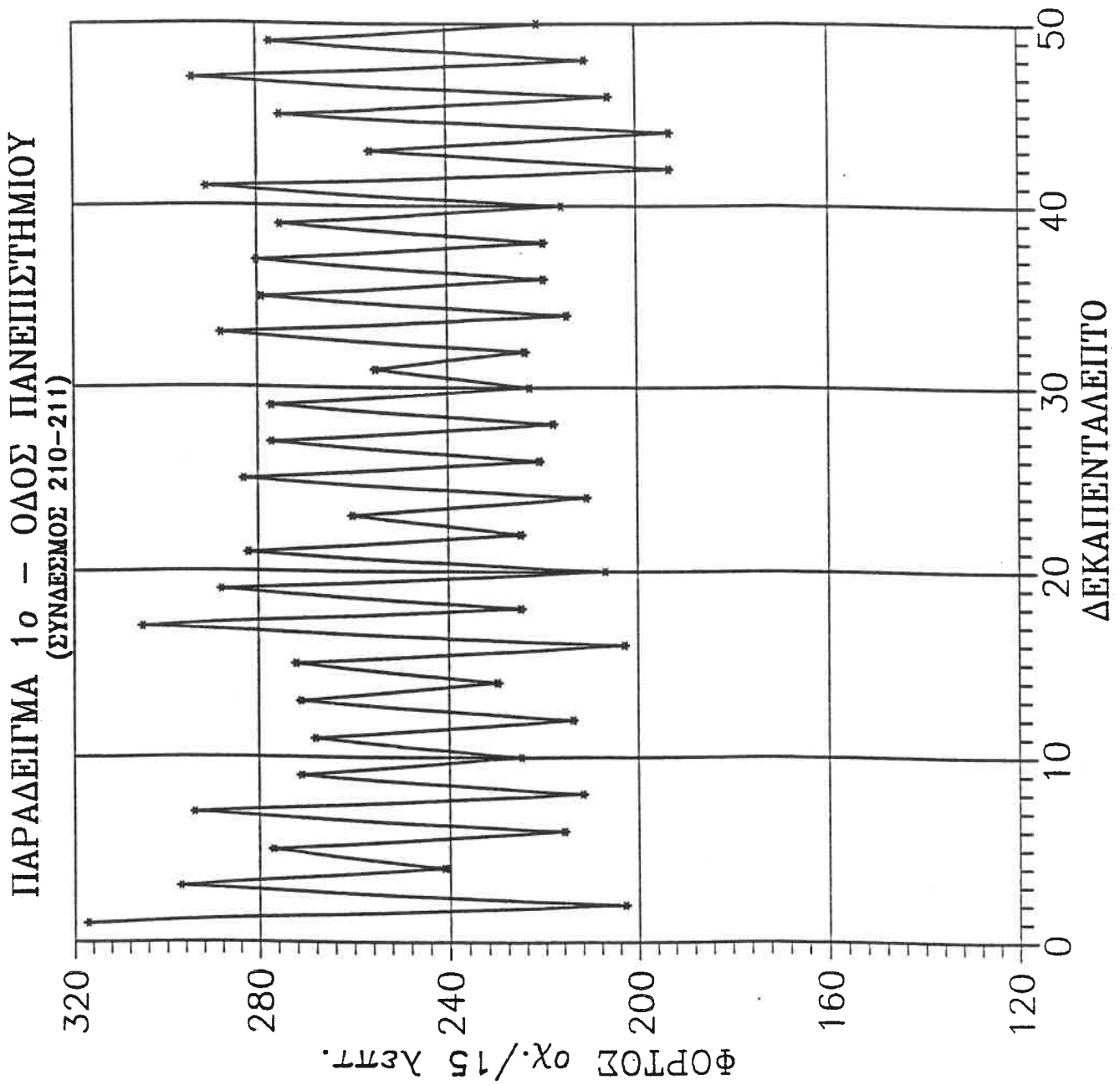
Σχήμα 6.9. 1ο Παράδειγμα. Διάγραμμα Διακύμανσης του Λόγου V/C



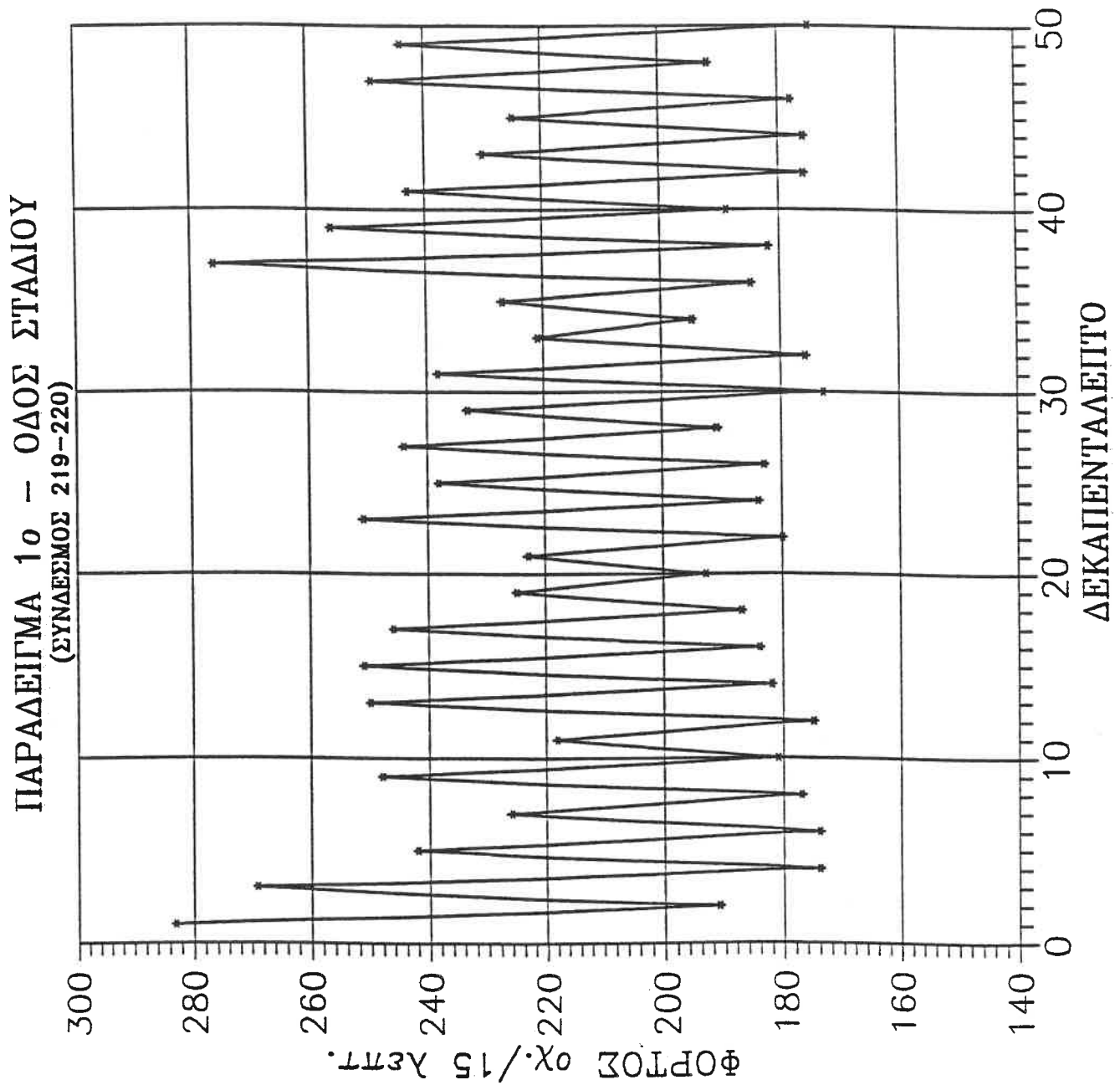
Σχήμα 6.10. 1ο Παράδειγμα. Διακύμανση της μέσης ταχύτητας.



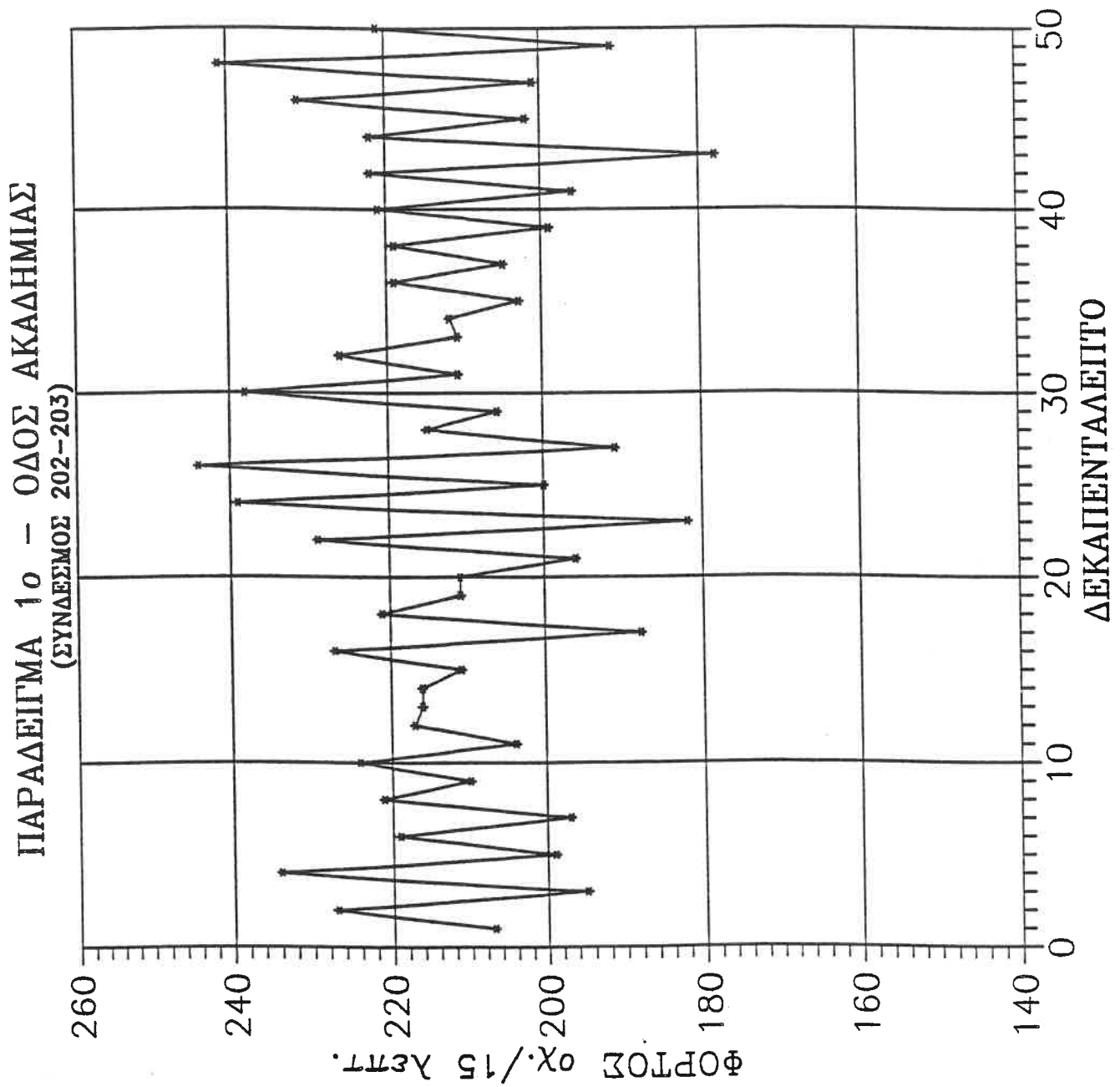
Σχήμα 6.11. 1ο Παράδειγμα. Διακύμανση του φόρτου στην οδό Πατησίων.



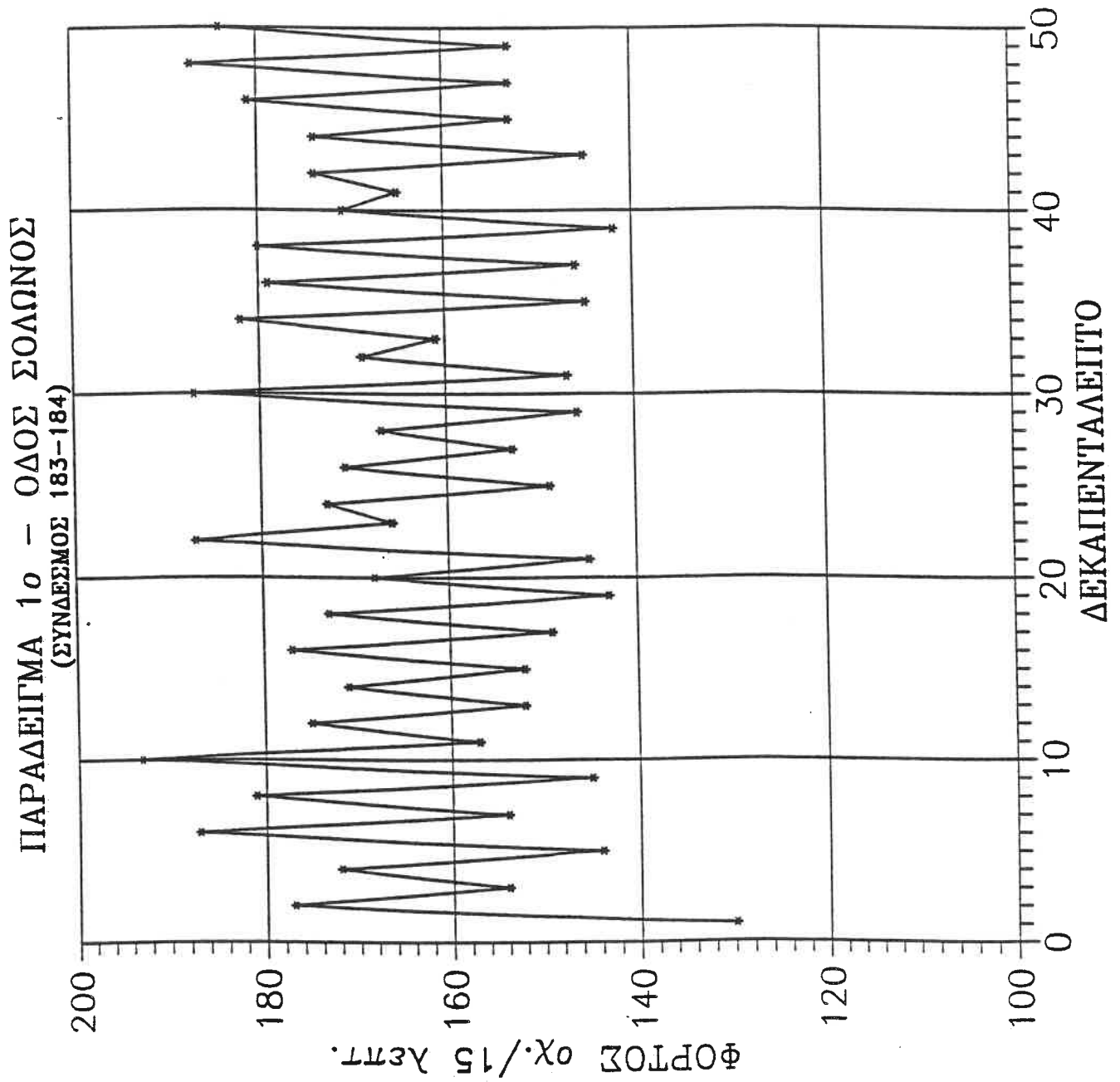
Σχήμα 6.12. 1ο Παράδειγμα. Διακύμανση του φόρτου στην οδό Πανεπιστημίου



Σχήμα 6.13. 1ο Παράδειγμα. Διακύμανση του φόρτου στην οδό
Σταδίου.



Σχήμα 6.14. 1ο Παράδειγμα. Διακύμανση του φόρτου στην οδό
Ακαδημίας.



Σχήμα 6.15. 1ο Παράδειγμα. Διακύμανση του φόρτου στην οδό Σόλωνος.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Τα αποτελέσματα της υπολογιστικής προσομοίωσης, με την χρήση των προαναφερθέντων μεγεθών φαίνονται στους πίνακες 6.8, 6.9, και 6.10.

Κύκλος	MAE	RMAE	RMSE	RRMSE	R ²
1	1.72	13.82	2.50	20.04	.983106
2	2.95	23.81	4.10	33.13	.953945
3	3.58	28.62	4.79	38.24	.938071
4	3.03	24.16	4.52	36.03	.945357
5	3.17	25.37	4.44	35.51	.946947
6	3.05	24.52	4.58	36.84	.943581
7	2.87	23.36	3.91	31.76	.957407
8	3.17	25.45	4.76	38.26	.938553
9	3.03	24.75	4.30	35.12	.947805
10	3.39	27.36	4.88	39.37	.935658
11	2.68	21.94	3.70	30.24	.961742
12	2.90	23.14	4.42	35.28	.947872
13	2.83	22.58	4.02	32.08	.956844
14	2.98	24.43	4.24	34.78	.949401
15	2.50	20.18	3.45	27.91	.967310
16	2.97	23.97	4.20	33.95	.951646
17	3.60	29.08	4.97	40.17	.932368
18	2.87	23.14	4.26	34.39	.950227

Πίνακας 6.8. Αποτελέσματα 1ου παραδείγματος (1)

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Κύκλος	MAE	RMAE	RMSE	RRMSE	R ²
19	3.13	25.00	4.48	35.80	.946190
20	3.02	24.93	4.53	37.33	.941792
21	3.44	28.19	4.89	40.03	.932365
22	3.21	26.05	4.80	38.97	.936789
23	3.16	25.71	4.46	36.29	.944587
24	3.15	25.00	4.69	37.29	.941620
25	2.88	23.06	4.04	32.32	.956238
26	3.21	25.82	4.91	39.48	.934415
27	3.08	24.69	4.20	33.67	.952487
28	2.92	23.52	4.20	33.87	.952111
29	2.38	19.66	3.30	27.29	.968409
30	3.45	27.35	5.06	40.10	.933094
31	3.09	24.88	4.36	35.16	.948183
32	2.94	24.44	4.31	35.85	.945891
33	2.63	21.19	3.75	30.15	.962012
34	2.89	23.16	4.13	33.06	.954290
35	2.75	22.17	3.91	31.51	.958273
36	3.14	25.68	4.62	37.73	.940567
37	2.74	22.00	3.80	30.56	.960772
38	3.14	24.86	4.55	36.01	.946047

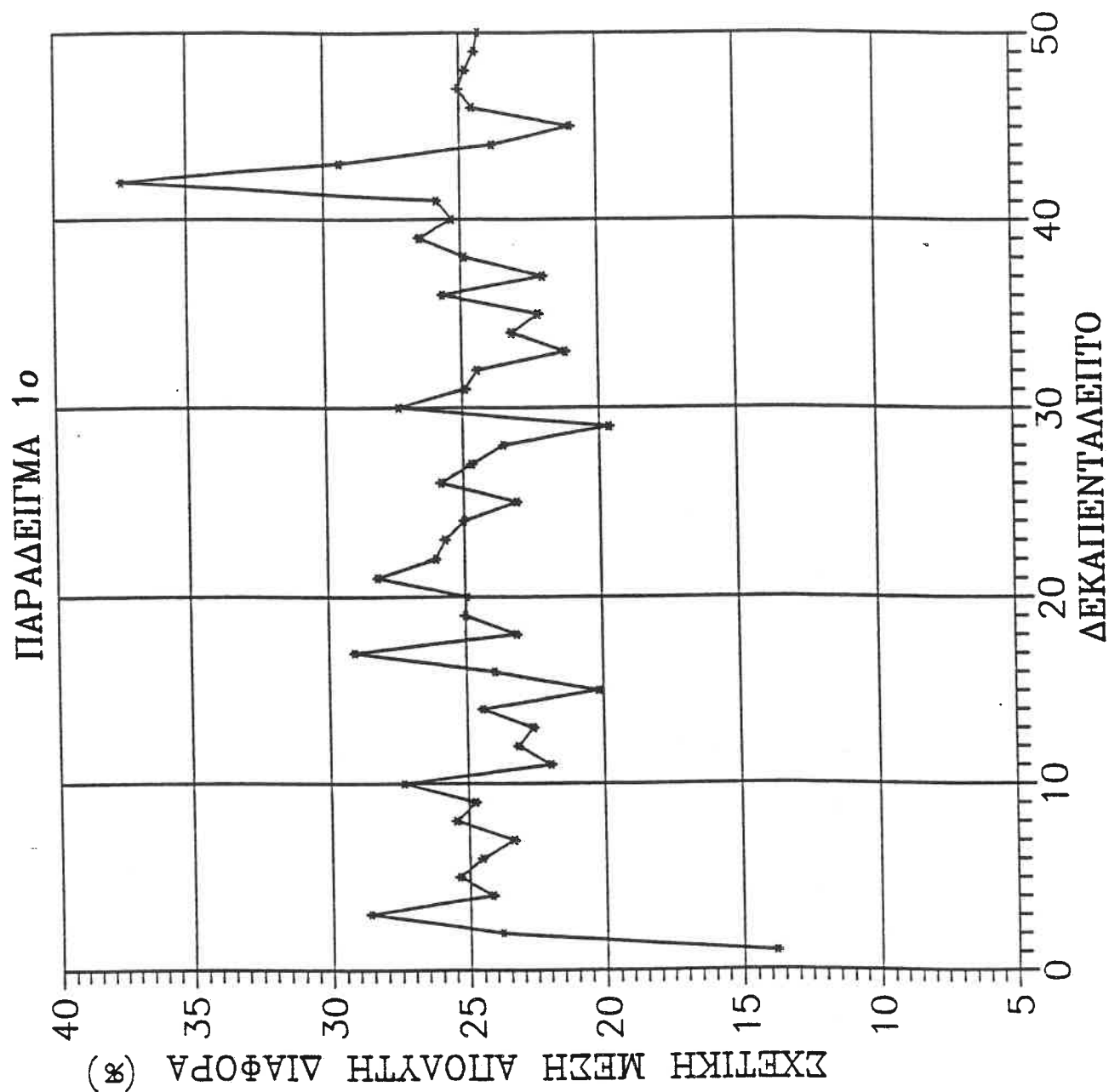
Πίνακας 6.9. Αποτελέσματα 1ου Παραδείγματος (2).

Κύκλος	MAE	RMAE	RMSE	RRMSE	R ²
39	3.26	26.51	4.65	37.79	.940091
40	3.10	25.32	4.55	37.20	.942067
41	3.21	25.86	4.49	36.11	.944960
42	4.61	37.44	6.58	53.34	.880372
43	3.62	29.40	5.25	42.60	.923707
44	2.94	23.82	4.28	34.69	.949417
45	2.51	20.93	3.73	31.04	.959549
46	3.04	24.54	4.62	37.33	.941364
47	3.14	25.04	4.54	36.21	.945167
48	3.13	24.78	4.61	36.51	.944116
49	3.05	24.45	4.22	33.80	.952120
50	3.00	24.30	4.50	36.42	.944365

Πίνακας 6.10. Αποτελέσματα 1ου Παραδείγματος (3).

Στο σχήμα 6.16. φαίνεται η διακύμανση της σχετικής μέσης απόλυτης διαφοράς (MAE), του πρώτου παραδείγματος. Τα διαγράμματα των υπολοίπων μεγεθών τόσο του πρώτου παραδείγματος όσο και των υπολοίπων παραδειγμάτων δίνονται στο παράρτημα Ε.

Συνοπτικά μπορούμε να πούμε ότι η μέση τιμή της σχετικής μέσης απόλυτης διαφοράς για όλη της διάρκεια της προσομοίωσης ήταν **24.8%**. Το εύρος των τιμών της (με εξαίρεση τον πρώτο κύκλο στο οποίο δεν πραγματοποιείται εκτίμηση μητρώου) κυμαίνεται από 19.7% έως 37.4%. Η μέγιστη όμως τιμή λαμβάνεται μονάχα σε ένα κύκλο.

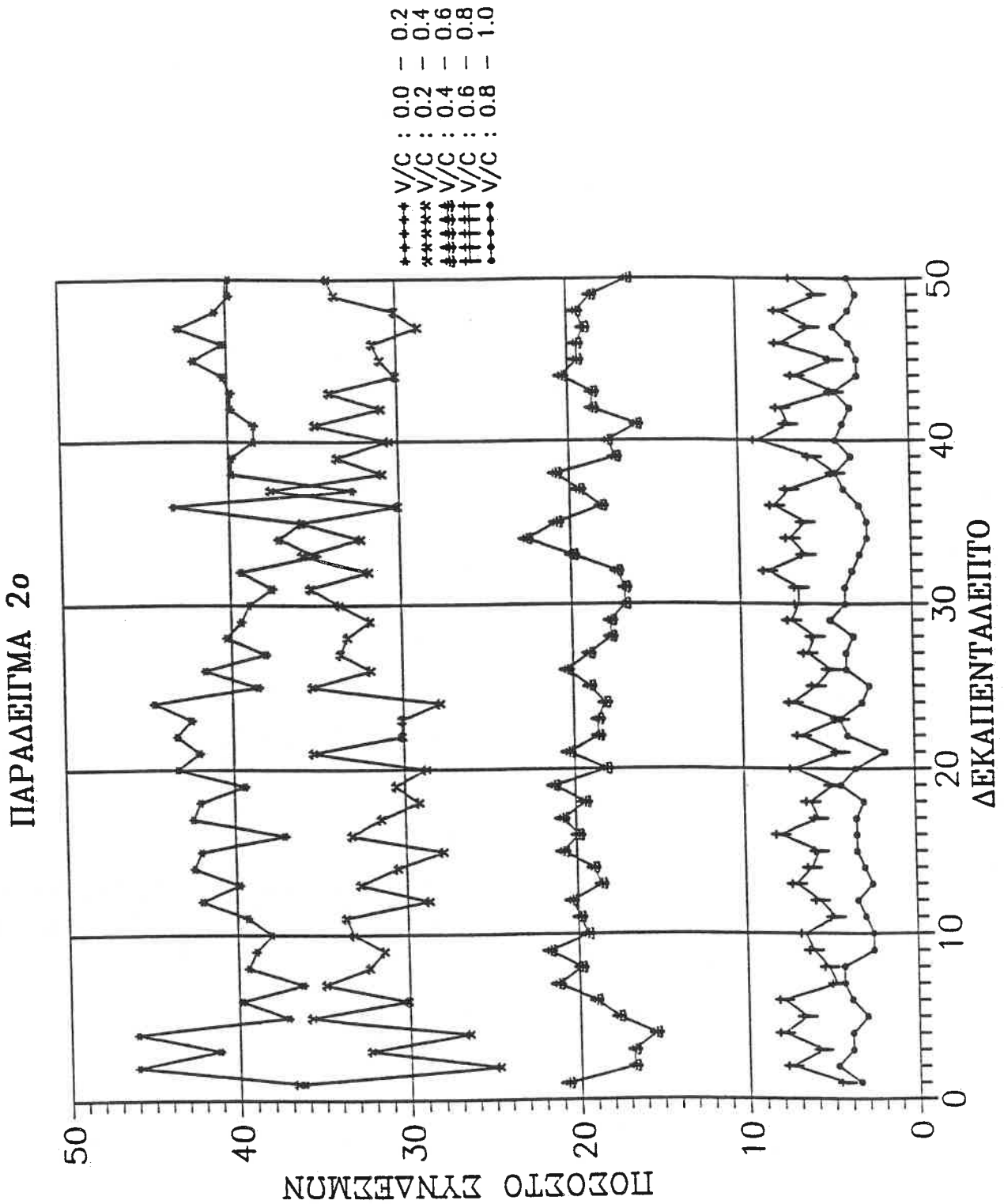


Σχήμα 6.16. 1ο Παράδειγμα. Σχετική Μέση Απόλυτη Διαφορά.

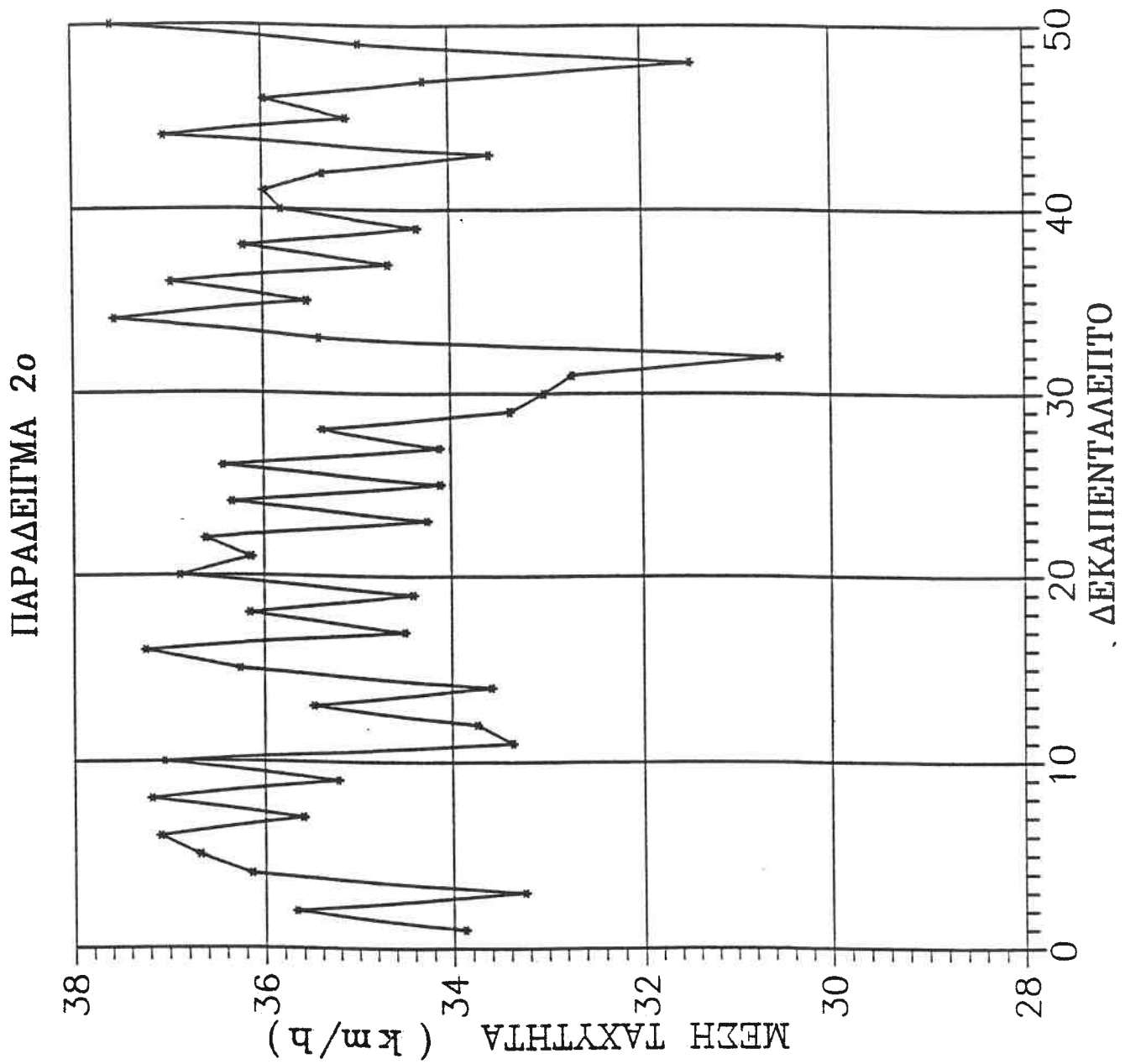
6.4.2. Δεύτερο Παράδειγμα.

Στο δεύτερο παράδειγμα οι τιμές των στοιχείων των μητρώων προέλευσης - προορισμού, μεταβάλλονταν από το 25% έως το 175% της μέσης τιμής. Στα σχήματα 6.17 - 6.23 φαίνονται υπό μορφή διαγραμμάτων τα χαρακτηριστικά του δικτύου στο παράδειγμα αυτό.

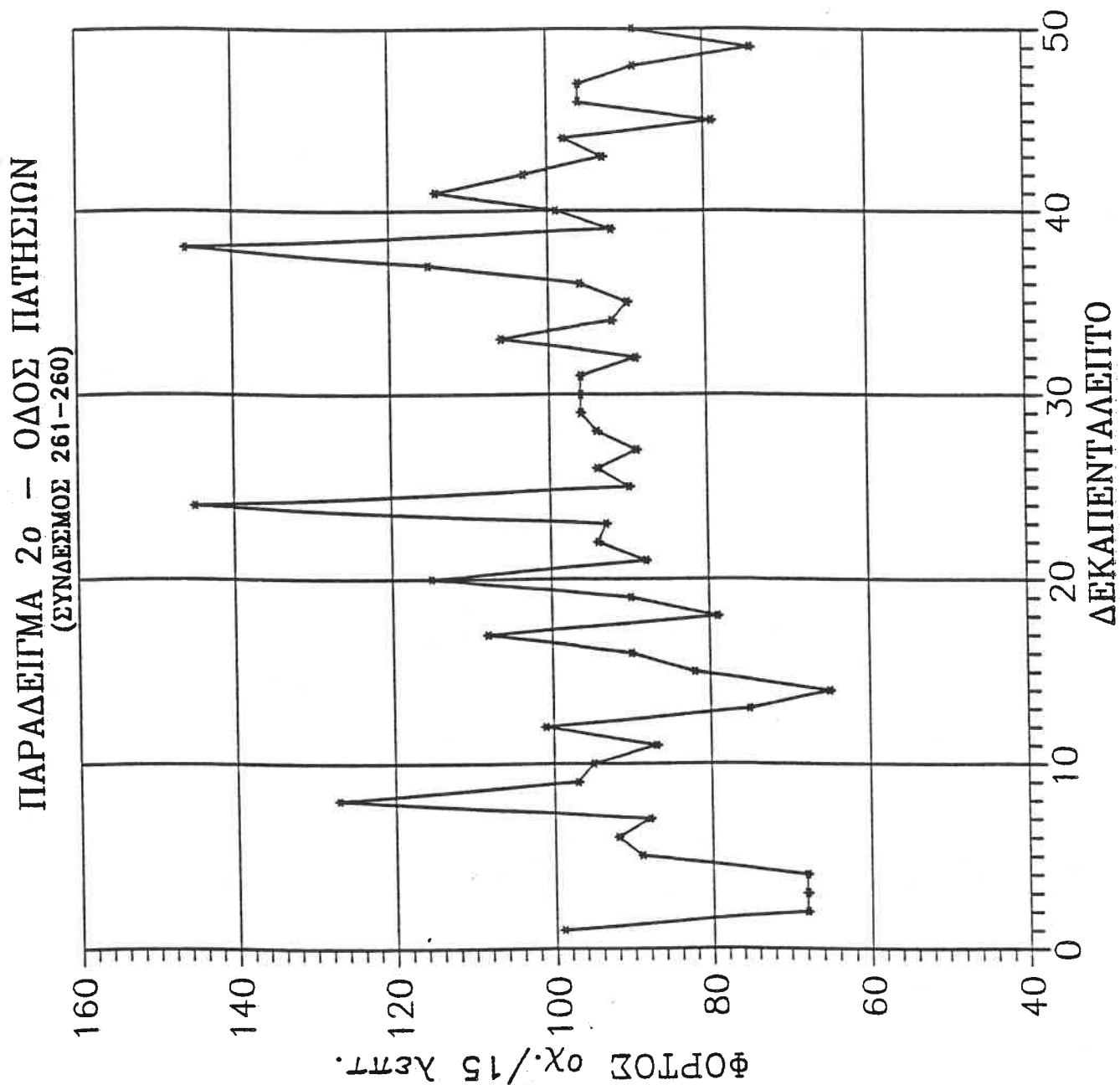
Τα αναλυτικά αποτελέσματα της υπολογιστικής προσομοίωσης δίνονται στους πίνακες 6.11., 6.12., 6.13., ενώ στο σχήμα 6.24. φαίνεται η διακύμανση της σχετικής μέσης απόλυτης διαφοράς.



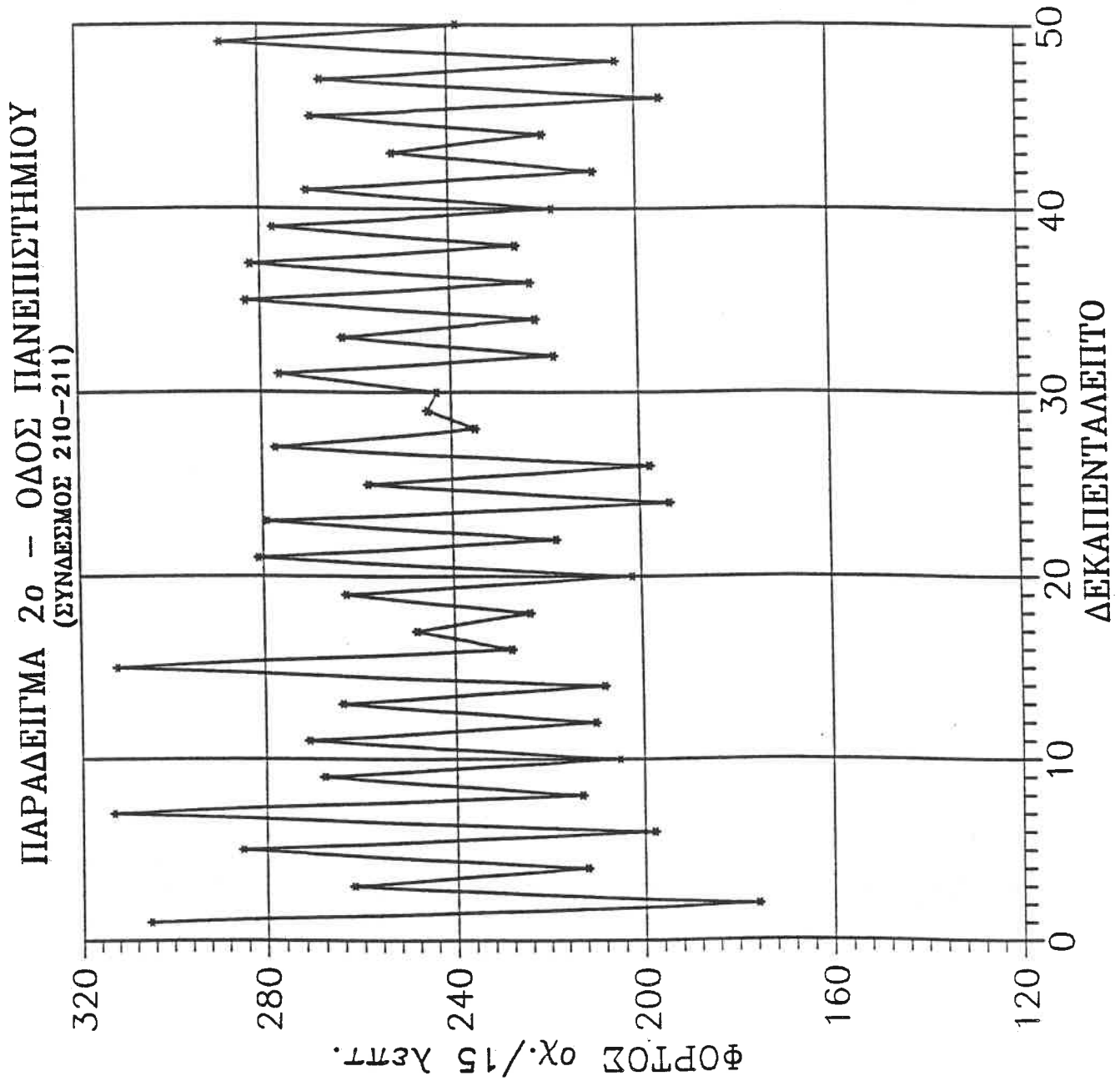
Σχήμα 6.17. 2ο Παράδειγμα. Διακύμανση του λόγου V/C .



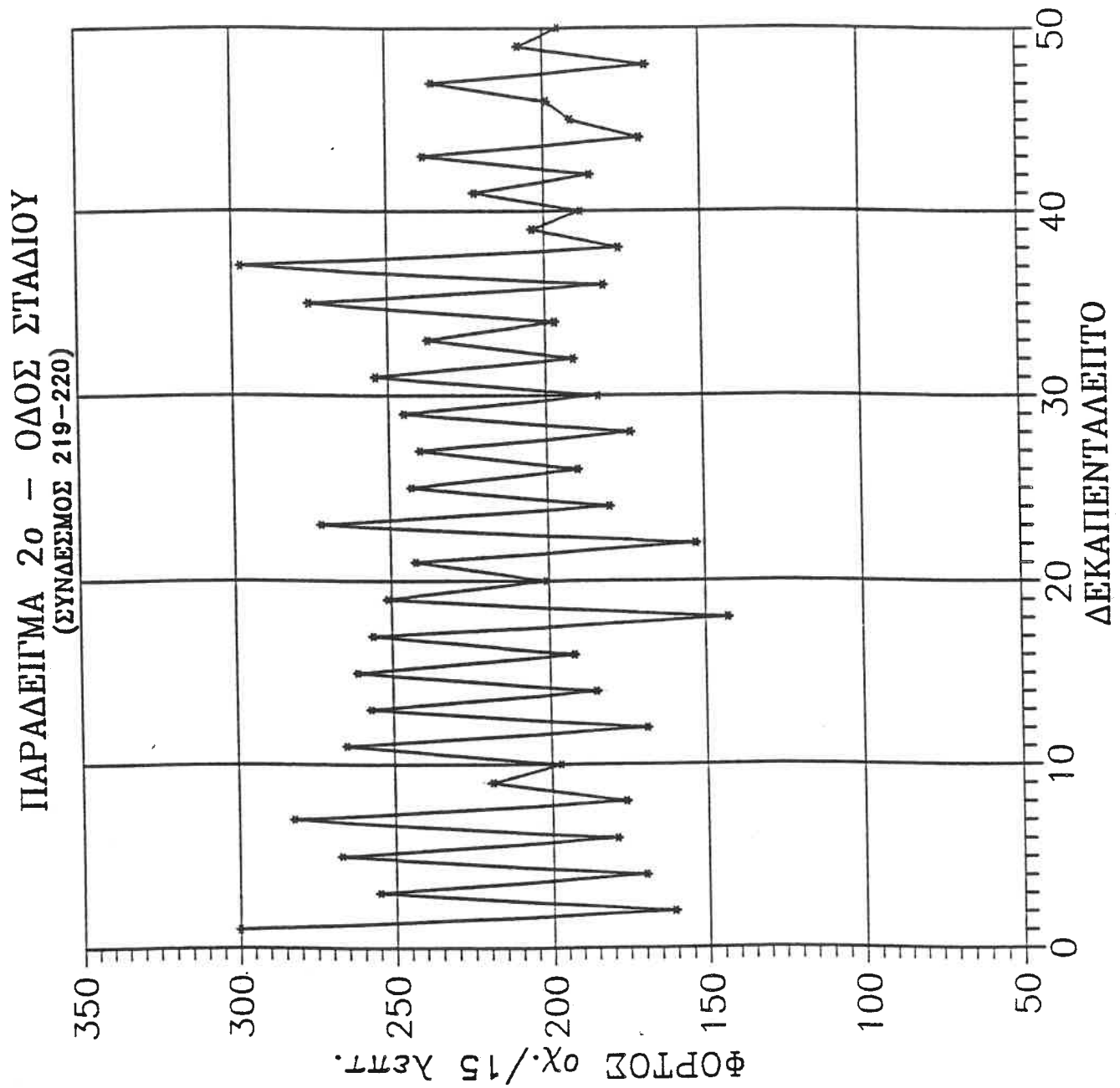
Σχήμα 6.18. 2ο Παράδειγμα. Διακύμανση της Μέσης Ταχύτητας.



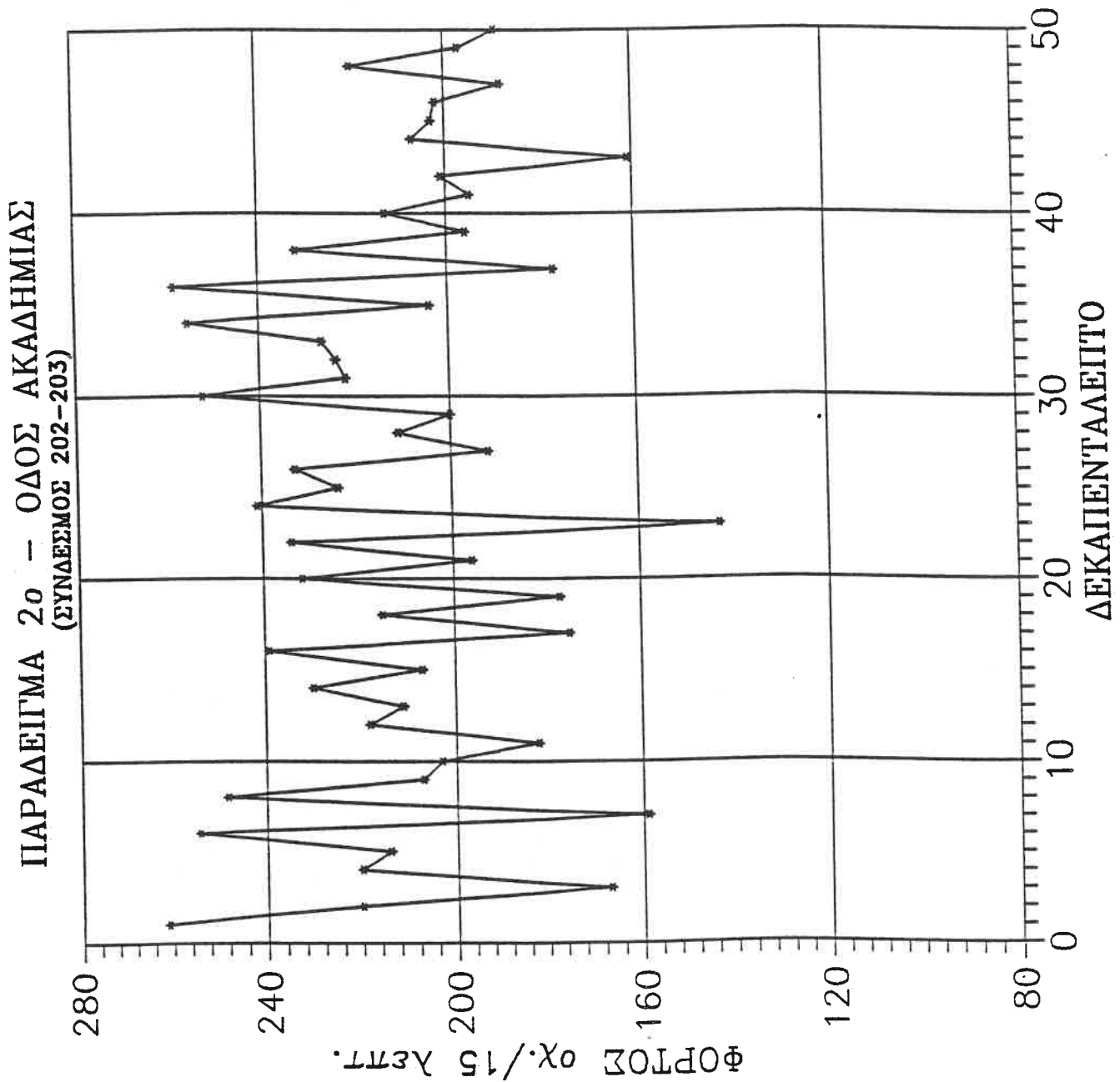
Σχήμα 6.19. 2ο Παράδειγμα. Διακύμανση του φόρτου στην οδό Πατησίων.



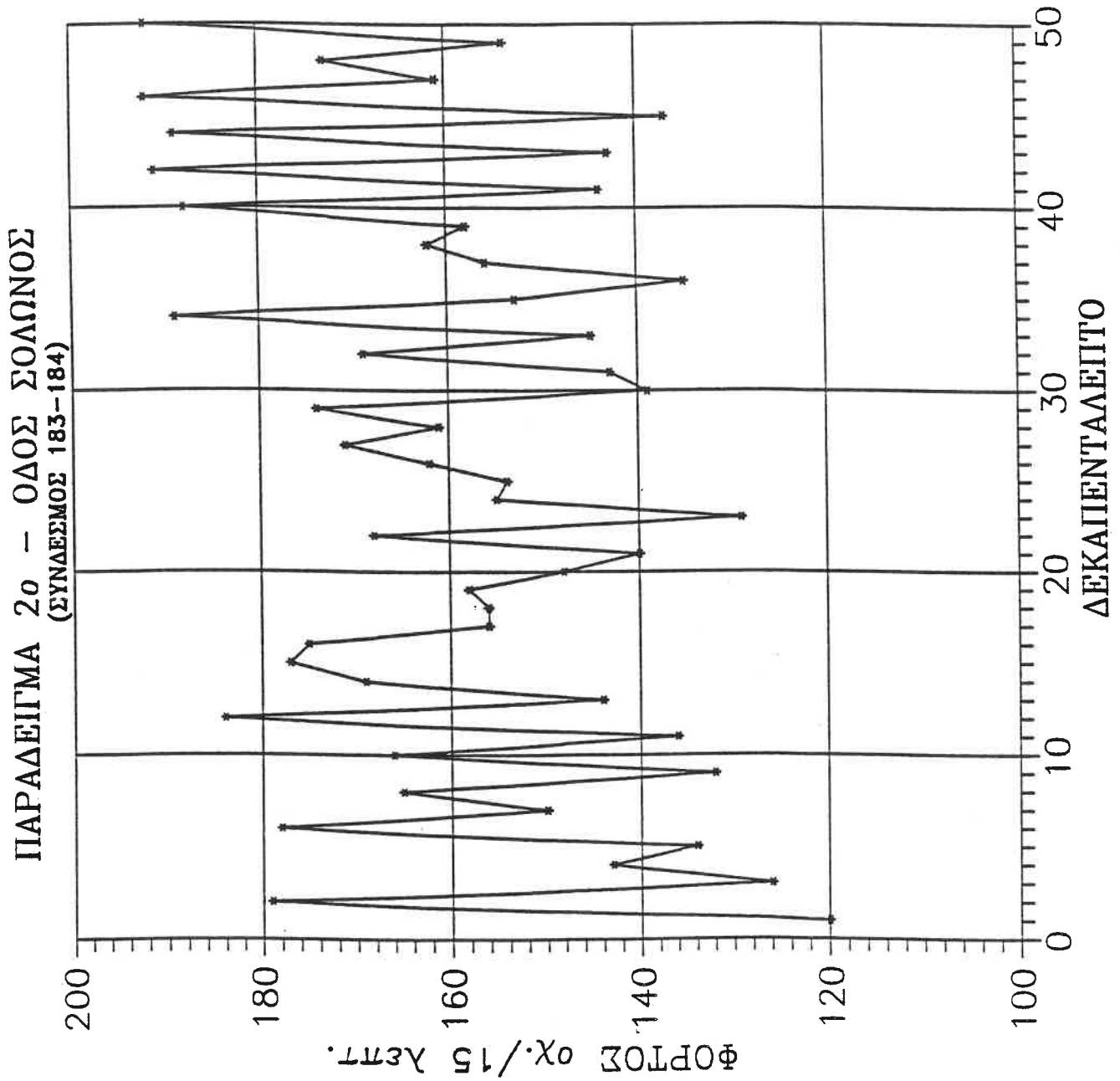
Σχήμα 6.20. 2ο Παράδειγμα. Διακύμανση του φόρτου στην οδό Πανεπιστημίου.



Σχήμα 6.21. 2ο Παράδειγμα. Διακύμανση του φόρτου στην οδό
Σταδίου.



Σχήμα 6.22. 2ο Παράδειγμα. Διακύμανση του φόρτου στην οδό
Ακαδημίας.



Σχήμα 6.23. 2ο Παράδειγμα. Διακύμανση του φόρτου στην οδό Σόλωνος.

Κύκλος	MAE	RMAE	RMSE	RRMSE	R ²
1	2.10	16.77	3.17	25.38	.973358
2	3.63	29.35	5.17	41.72	.927934
3	4.33	34.99	6.17	49.85	.897112
4	3.63	29.35	5.12	41.37	.929120
5	3.20	26.28	4.56	37.42	.942570
6	4.01	32.03	6.02	48.05	.905097
7	3.94	31.95	5.63	45.60	.914246
8	4.08	33.23	5.74	46.74	.910556
9	3.32	26.96	4.80	38.98	.937187
10	3.74	30.92	5.44	44.99	.917861
11	4.13	32.71	5.70	45.22	.916215
12	3.46	27.71	5.18	41.48	.928792
13	3.04	24.94	4.35	35.73	.946691
14	3.41	28.25	4.92	40.72	.931794
15	3.24	25.92	4.73	37.87	.942039
16	3.77	31.02	5.80	47.78	.906174
17	4.15	33.28	5.81	46.60	.909499
18	3.47	28.65	5.32	43.92	.919249

Πίνακας 6.11. Αποτελέσματα 2ου παραδείγματος (1)

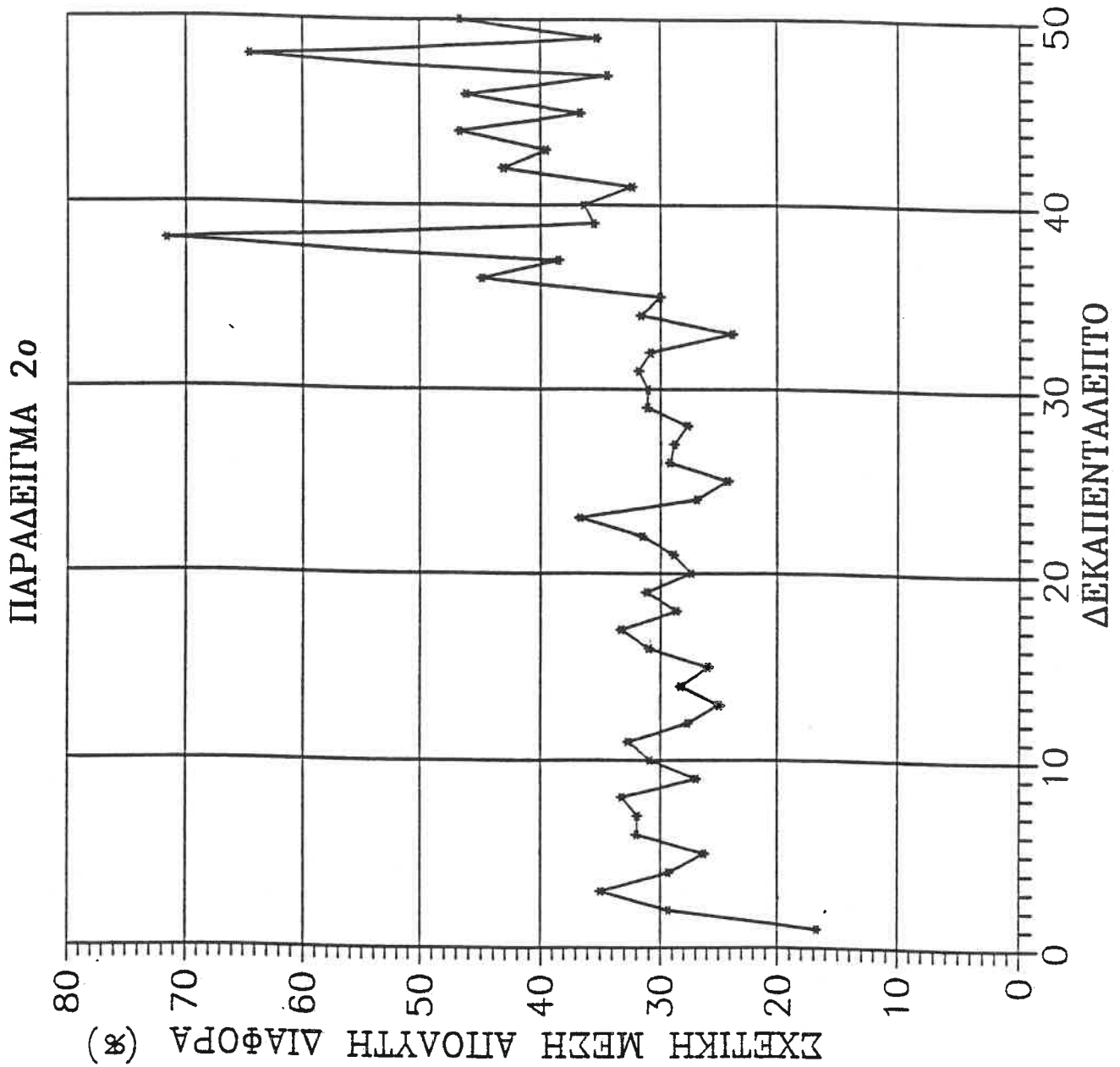
Κύκλος	MAE	RMAE	RMSE	RRMSE	R ²
19	3.90	31.23	5.66	45.35	.915167
20	3.43	27.38	4.80	38.34	.939752
21	3.47	28.90	5.09	42.44	.925804
22	3.86	31.53	5.79	47.30	.906430
23	4.47	36.66	6.36	52.23	.887722
24	3.30	26.89	4.66	37.91	.940688
25	2.95	24.19	4.16	34.09	.951934
26	3.61	29.18	5.39	43.56	.922616
27	3.64	28.83	5.17	40.92	.931090
28	3.42	27.69	5.19	41.93	.927416
29	3.90	31.13	5.37	42.83	.924177
30	3.90	31.09	5.78	46.09	.912207
31	3.99	31.83	5.62	44.82	.916967
32	3.83	30.87	5.72	46.06	.912617
33	3.00	23.78	4.23	33.51	.953699
34	3.84	31.64	5.51	45.38	.914488
35	3.65	30.05	5.59	46.07	.912758
36	5.39	44.90	7.99	66.57	.817774
37	4.93	38.51	6.99	54.60	.878604
38	8.89	71.61	18.21	146.63	.112621

Πίνακας 6.12. Αποτελέσματα 2ου Παραδείγματος (2).

Κύκλος	MAE	RMAE	RMSE	RRMSE	R ²
39	4.39	35.53	6.60	53.44	.881984
40	4.65	36.35	7.28	56.95	.867673
41	3.97	32.36	6.11	49.87	.898413
42	5.41	43.12	8.94	71.23	.790787
43	4.86	39.55	7.44	60.49	.851299
44	5.66	46.64	9.22	75.98	.762828
45	4.42	36.64	6.85	56.80	.866153
46	5.76	46.09	8.94	71.56	.788857
47	4.23	34.37	6.57	53.47	.882097
48	8.15	64.42	14.29	112.99	.474284
49	4.29	35.26	6.59	54.15	.878442
50	5.64	46.65	9.14	75.53	.767000

Πίνακας 6.13. Αποτελέσματα 2ου Παραδείγματος (3).

Στο δεύτερο παράδειγμα η μέση τιμή της σχετικής μέσης απόλυτης διαφοράς βρέθηκε ίση με 33.92%, ενώ το εύρος τιμών της, από 23.8% έως 71.6%.



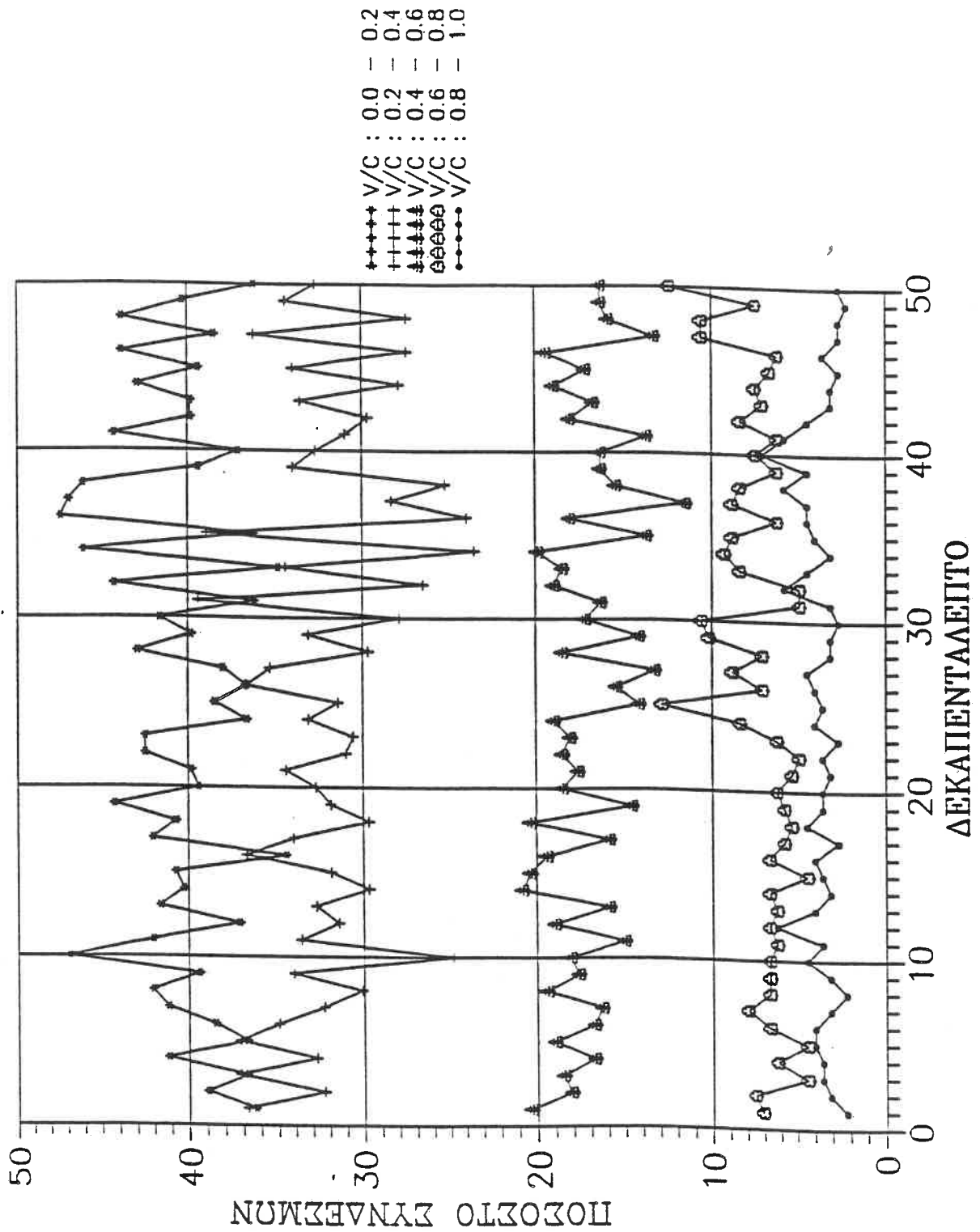
Σχήμα 6.24. Παράδειγμα 2ο. Σχετική Μέση Απόλυτη Διαφορά.

6.4.3. Τρίτο Παράδειγμα.

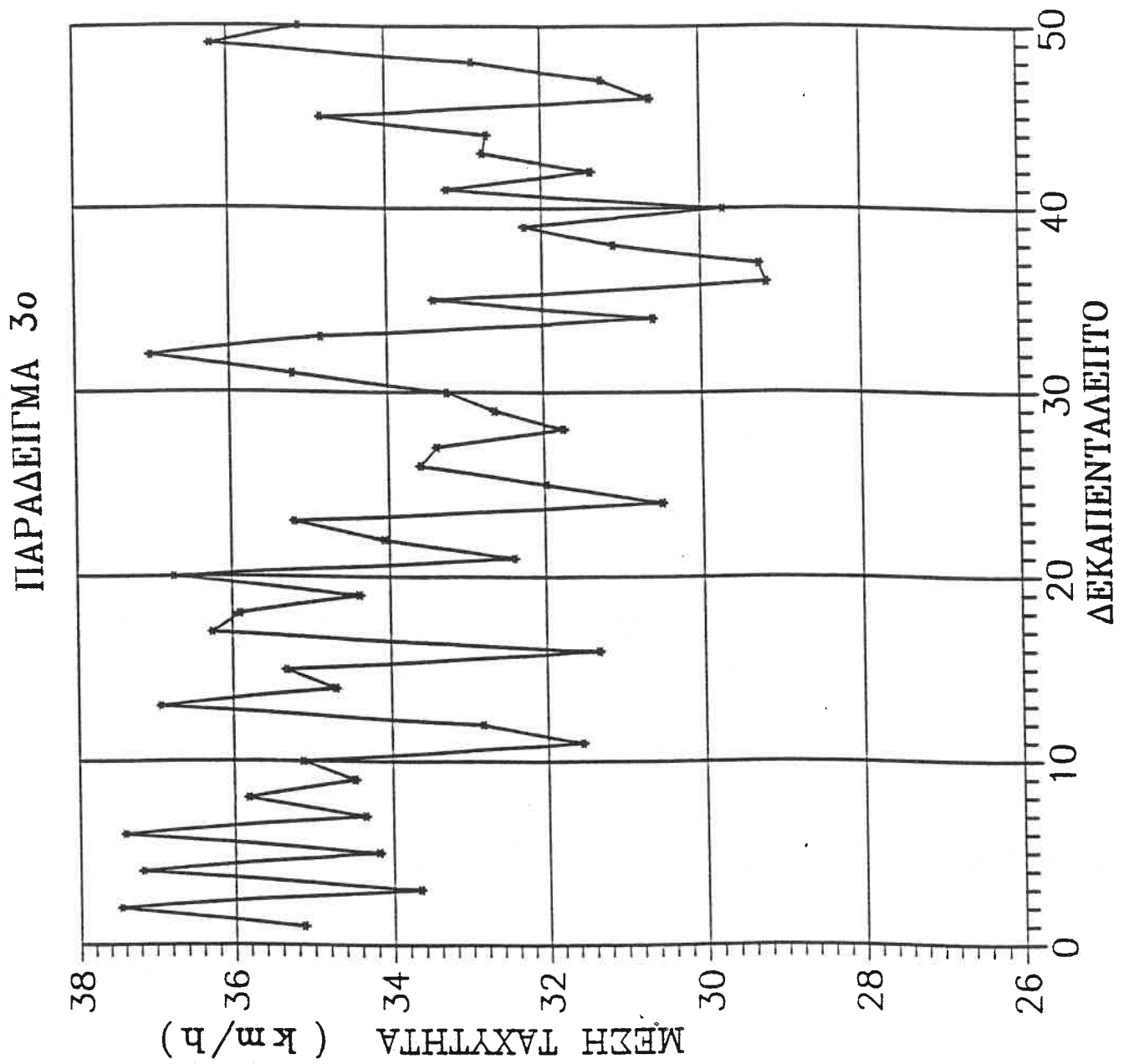
Στο τρίτο παράδειγμα, το οποίο ήταν και το δυσμενέστερο, οι τιμές των στοιχείων των μητρώων προέλευσης - προορισμού κυμαίνονταν από 0% έως 200% της μέσης τιμής τους.

Στα σχήματα 6.25 - 6.31 φαίνονται τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του δικτύου, στο παράδειγμα αυτό. Οι πίνακες 6.14, 6.15 και 6.16 περιέχουν τα αναλυτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης, ενώ το σχήμα 6.32 δείχνει την διακύμανση της σχετικής μέσης απόλυτης διαφοράς.

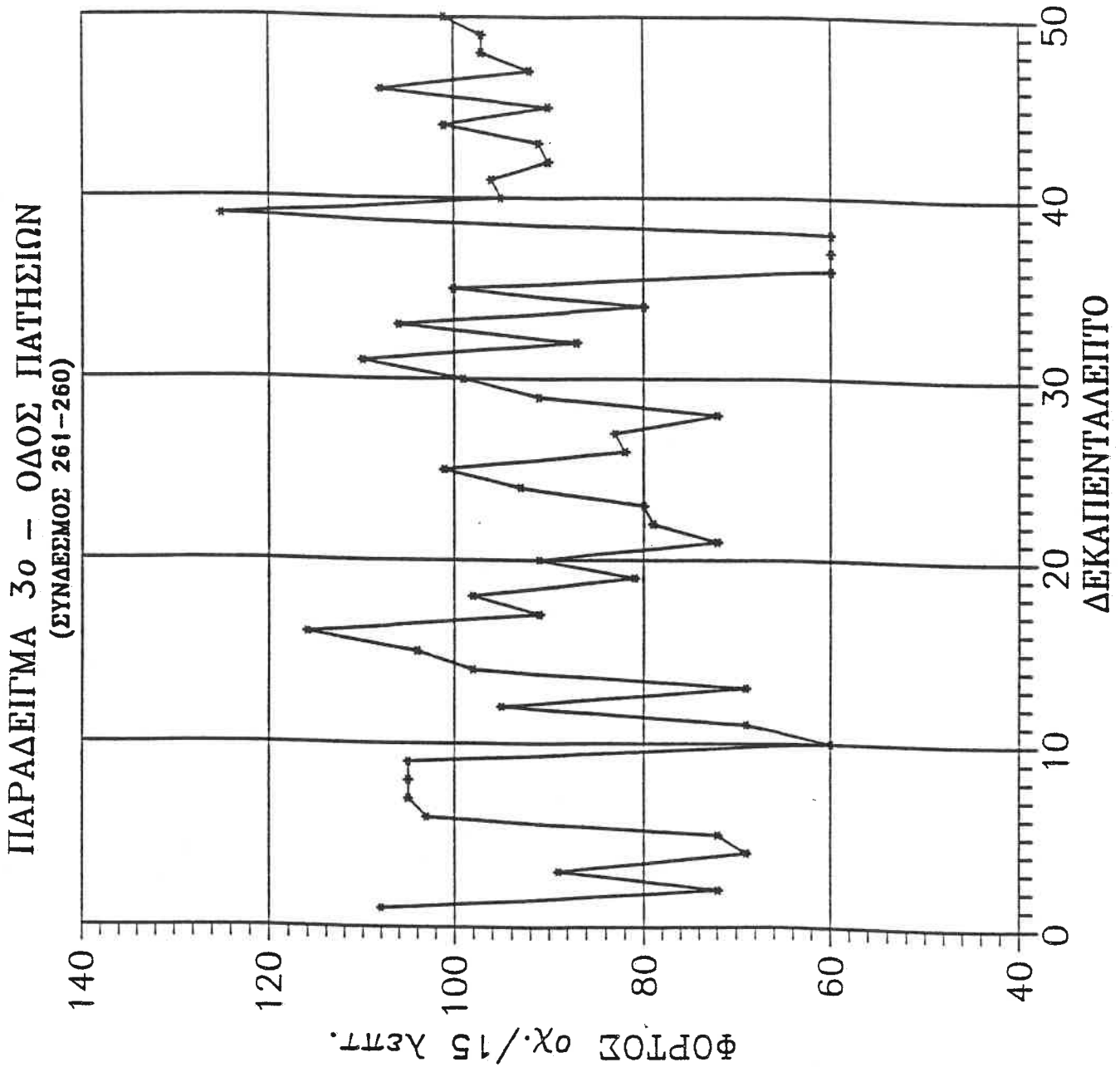
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3ο



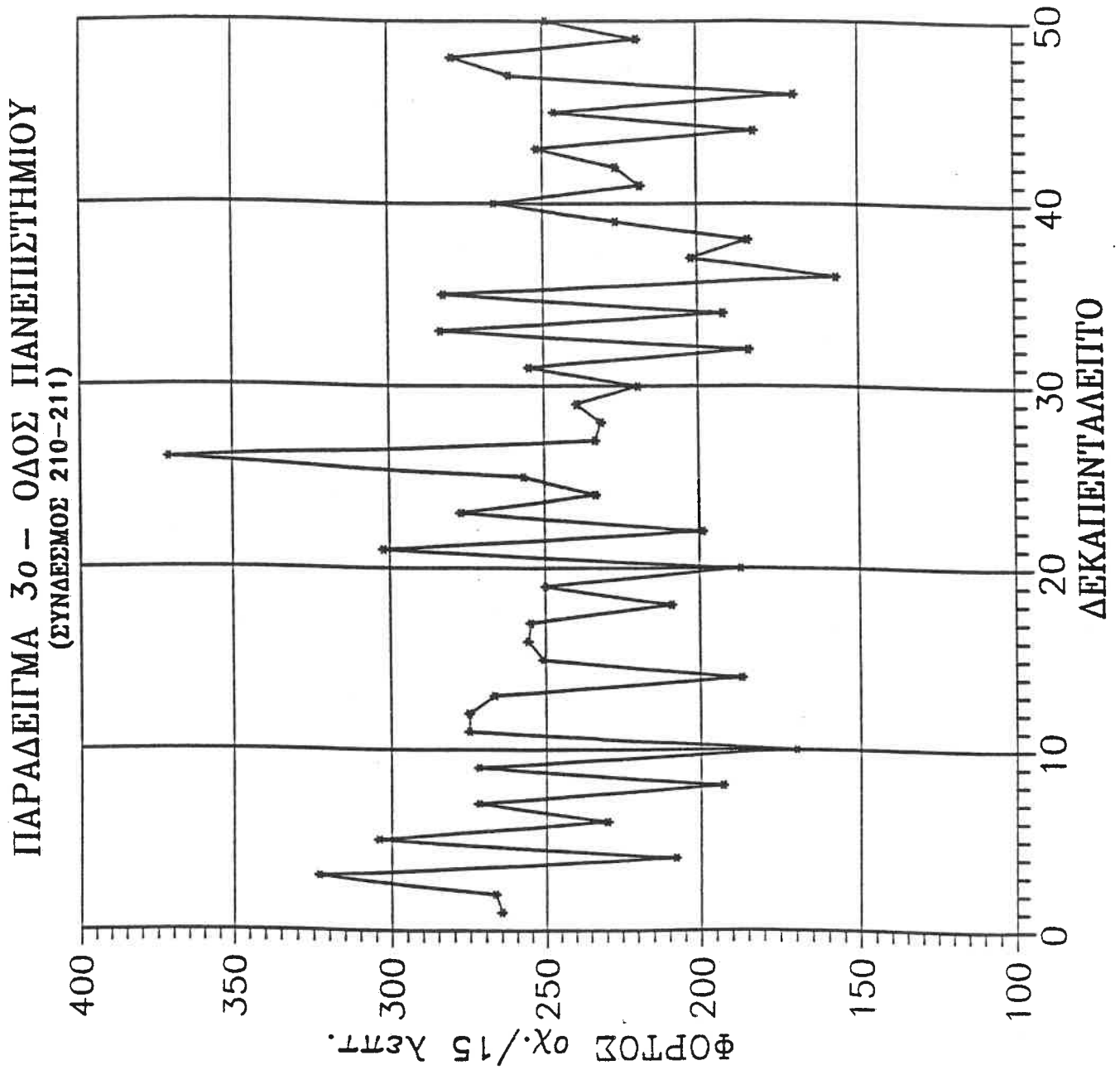
Σχήμα 6.25. 3ο Παράδειγμα. Διακύμανση του λόγου V/C .



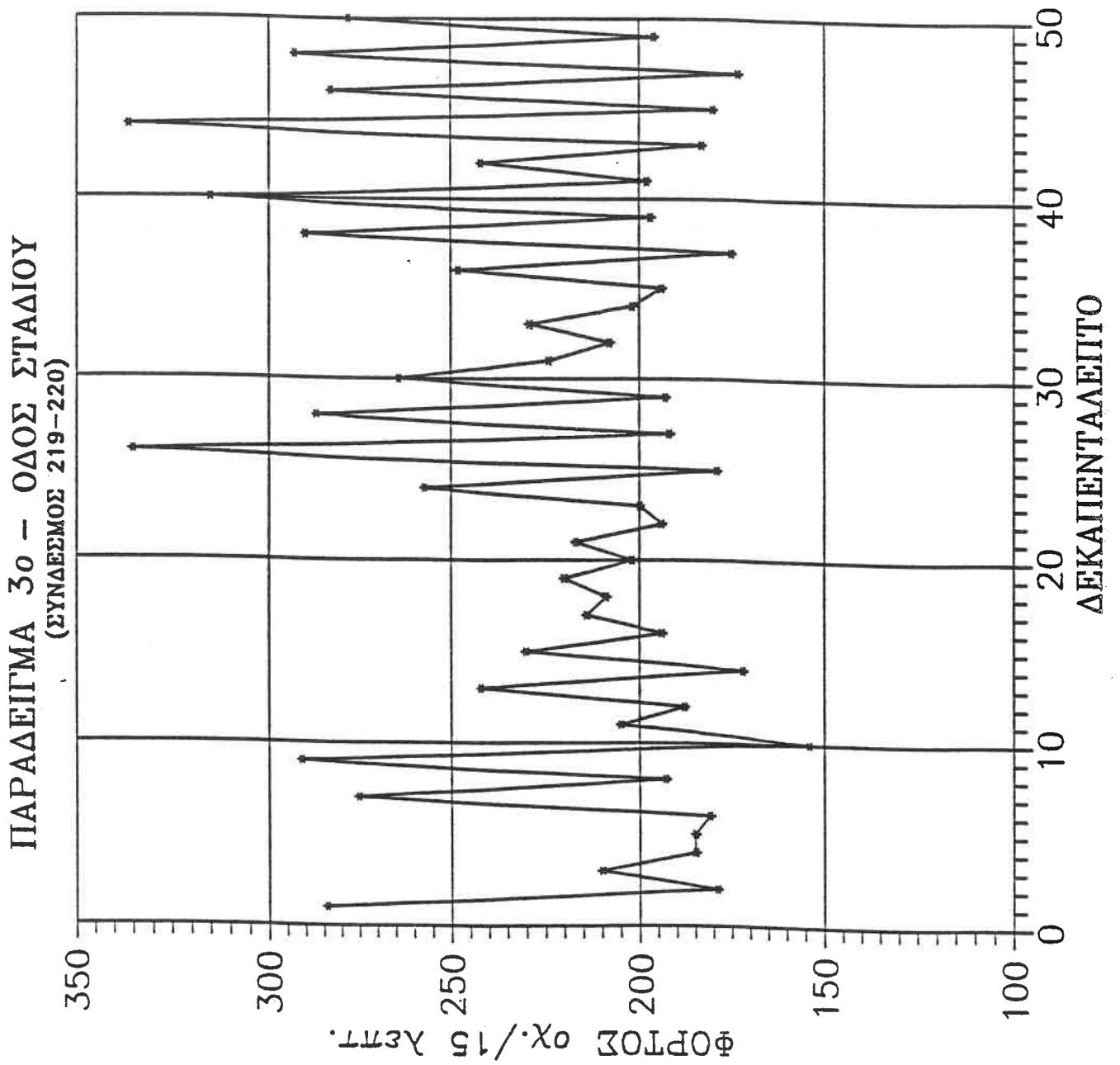
Σχήμα 6.26. 3ο Παράδειγμα. Διακύμανση της Μέσης Ταχύτητας.



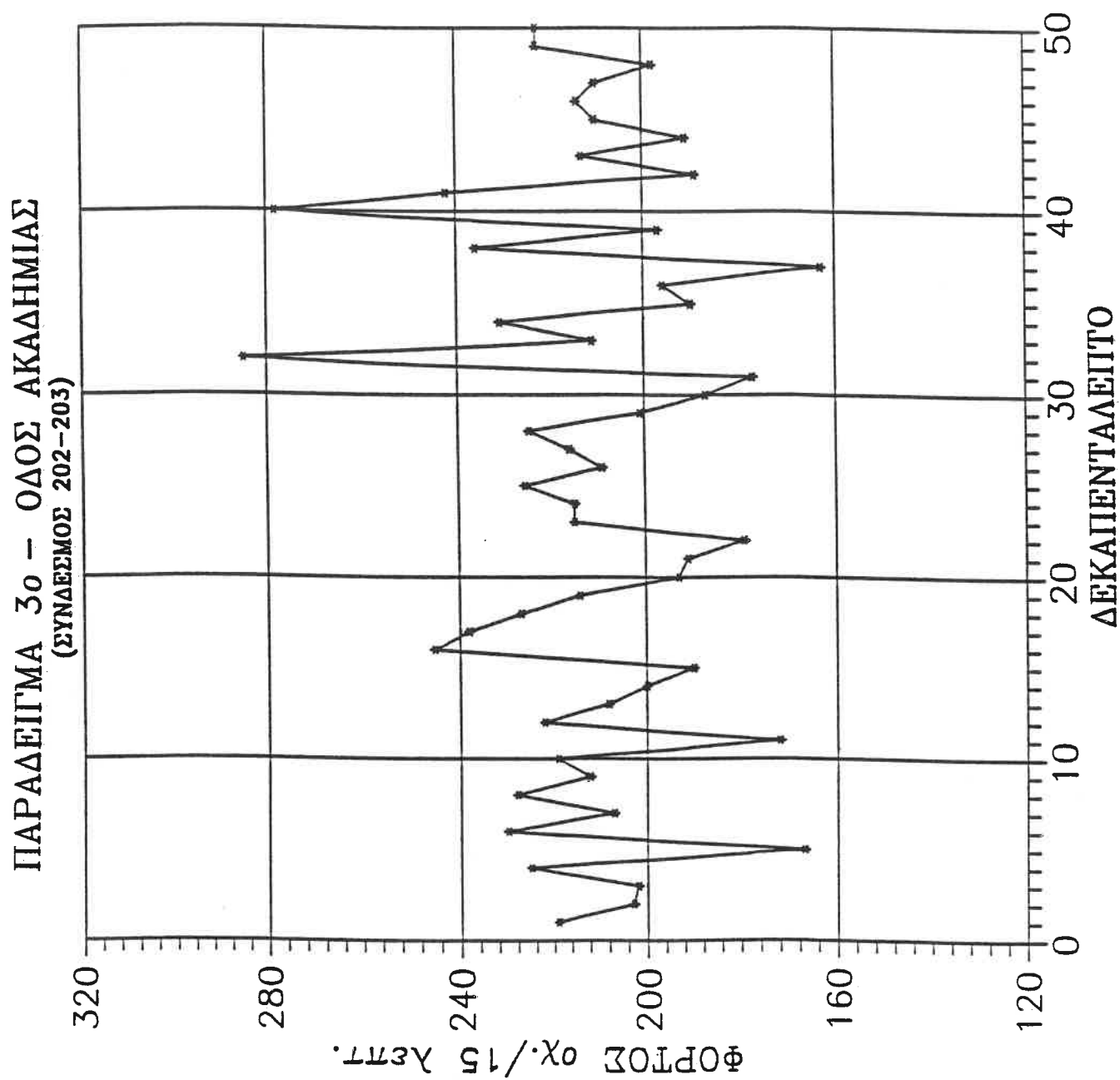
Σχήμα 6.27. 3ο Παράδειγμα. Διακύμανση του φόρτου στην οδό Πατησίων.



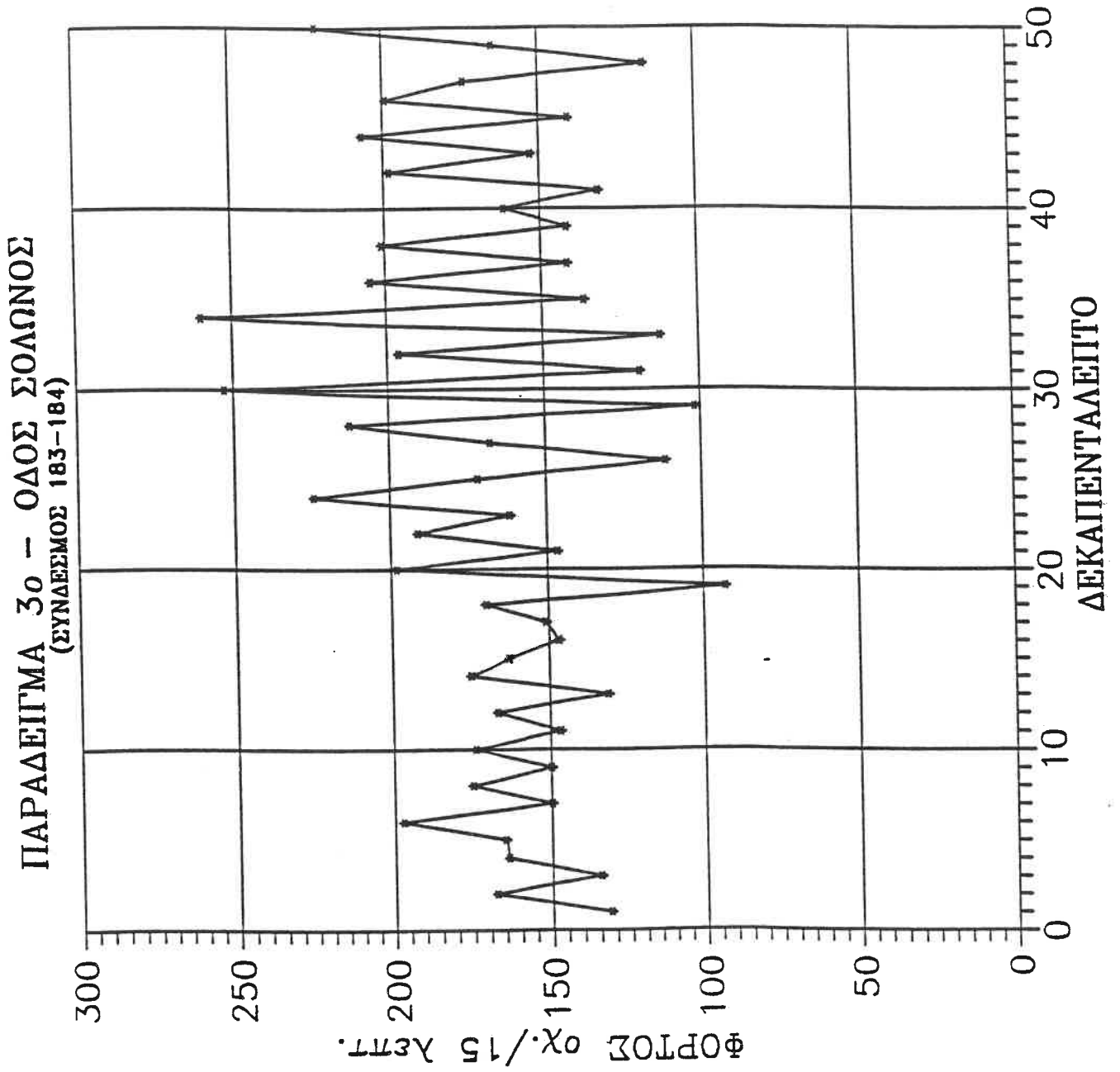
Σχήμα 6.28. 3ο Παράδειγμα. Διακύμανση του φόρτου στην οδό Πανεπιστημίου.



Σχήμα 6.29. 3ο Παράδειγμα. Διακύμανση του φόρτου στην οδό
Σταδίου.



Σχήμα 6.30. 3ο Παράδειγμα. Διακύμανση του φόρτου στην οδό
Ακαδημίας.



Σχήμα 6.31. 3ο Παράδειγμα. Διακύμανση του φόρτου στην οδό Σόλωνος.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Κύκλος	MAE	RMAE	RMSE	RRMSE	R ²
1	3.37	26.24	4.77	37.12	.945131
2	4.20	33.83	6.13	49.38	.903515
3	4.33	33.49	6.19	47.91	.907314
4	4.57	37.40	6.53	53.47	.886200
5	4.30	34.38	6.43	51.40	.895328
6	4.37	35.09	6.26	50.24	.900470
7	3.52	28.08	4.90	39.12	.938960
8	4.09	32.62	5.45	43.49	.924570
9	4.00	31.95	5.50	43.86	.923276
10	4.53	36.50	6.26	50.40	.897862
11	4.22	33.99	6.19	49.85	.902237
12	3.82	29.36	5.53	42.52	.926077
13	4.15	33.99	6.12	50.06	.900255
14	3.83	31.35	5.30	43.35	.923924
15	4.17	33.70	6.07	49.03	.904084
16	4.78	37.17	6.78	52.78	.889056
17	4.54	38.51	6.39	54.12	.883063
18	6.49	50.74	11.01	86.06	.699242
19	4.41	36.80	6.35	52.97	.888166

Πίνακας 6.14. Αποτελέσματα 3ου Παραδείγματος (1).

Κύκλος	MAE	RMAE	RMSE	RRMSE	R ²
20	5.49	42.35	7.94	61.34	.848800
21	4.82	38.80	6.99	56.23	.874031
22	4.85	40.15	7.39	61.24	.847631
23	4.25	35.33	6.10	50.66	.898331
24	5.79	44.69	9.34	72.12	.793080
25	4.46	34.67	6.51	50.62	.898393
26	5.85	46.24	8.38	66.25	.828987
27	4.09	33.33	6.09	49.64	.899945
28	5.83	48.35	9.44	78.25	.756221
29	4.93	38.90	7.10	56.03	.873698
30	4.57	38.03	6.91	57.46	.868257
31	4.37	36.28	6.17	51.23	.894763
32	5.30	42.78	8.30	66.99	.820848
33	5.42	40.90	7.55	56.92	.869918
34	9.49	77.61	17.51	143.20	.162890
35	4.69	37.37	6.74	53.71	.884510
36	5.33	42.94	7.88	63.40	.838367
37	4.96	39.94	7.45	59.96	.855435
38	5.93	47.75	8.50	68.47	.811488
39	4.80	38.49	6.69	53.56	.884014

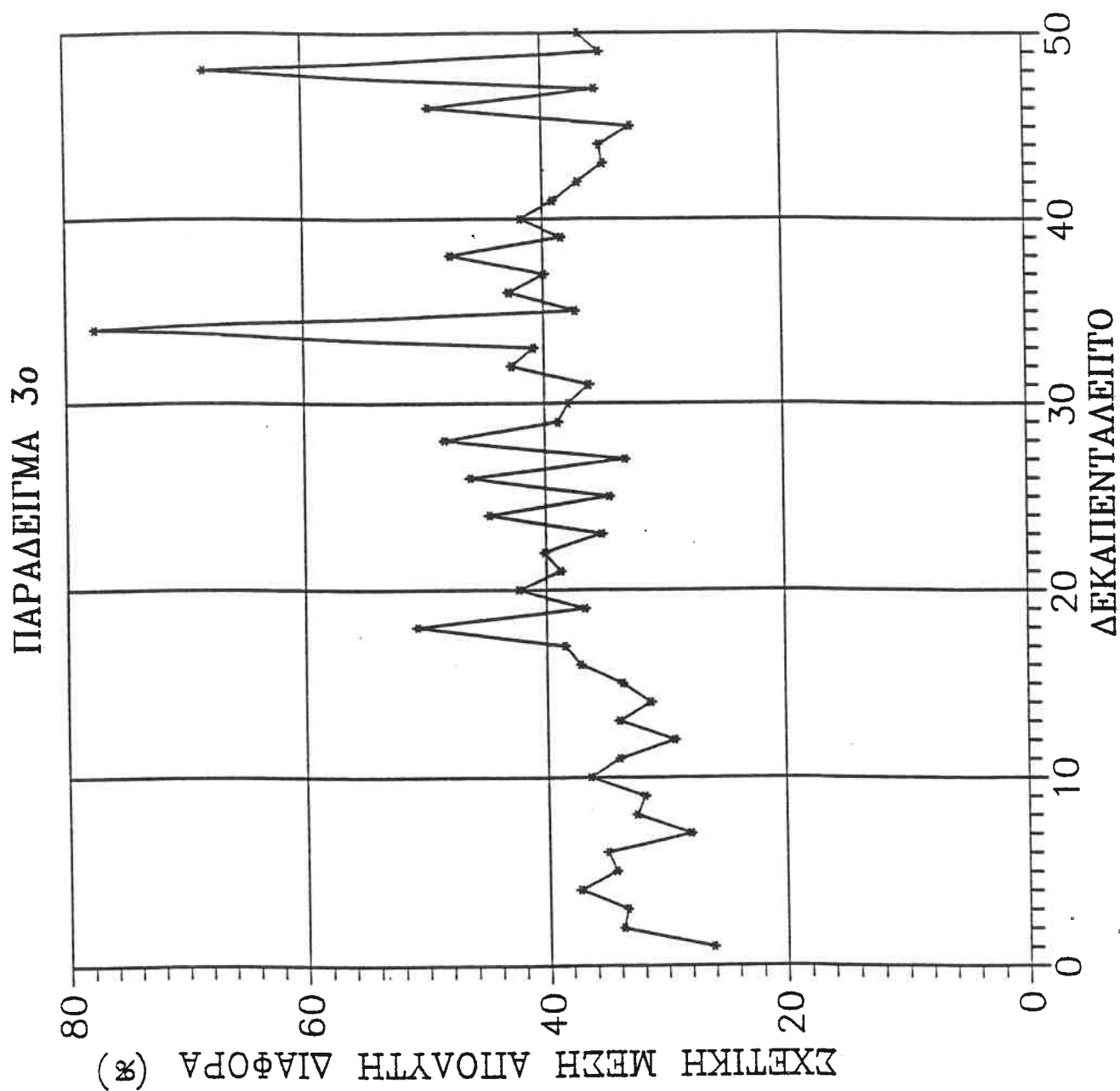
Πίνακας 6.15. Αποτελέσματα 3ου παραδείγματος (2).

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Κύκλος	MAE	RMAE	RMSE	RRMSE	R ²
40	5.50	41.93	8.77	66.80	.818409
41	4.67	39.15	6.96	58.33	.864921
42	4.61	37.03	6.91	55.54	.877302
43	4.41	34.93	6.56	51.90	.890412
44	4.41	35.23	6.30	50.29	.898929
45	3.84	32.60	5.46	46.30	.911834
46	6.01	49.42	9.48	77.96	.756853
47	4.49	35.56	6.49	51.45	.894059
48	8.38	68.22	12.09	98.46	.609112
49	4.27	35.13	6.35	52.16	.892133
50	4.69	36.86	7.02	55.18	.879112

Πίνακας 6.16. Αποτελέσματα 3ου παραδείγματος (3).

Η μέση τιμή της σχετικής μέσης απόλυτης διαφοράς βρέθηκε ίση με 39.18% για όλη την χρονική διάρκεια της προσομοίωσης, ενώ το εύρος τιμών της ήταν από 28.08% μέχρι 77.61%.



Σχήμα 6.32. 3ο Παράδειγμα. Σχετική Μέση Απόλυτη Διαφορά.

Κεφάλαιο Εβδομο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΣΧΟΛΙΑ

7.1. Γενικά.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάσαμε τόσο με αριθμητική μορφή όσο και με τη μορφή διαγραμμάτων, τα αναλυτικά αποτελέσματα της υπολογιστικής προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια τριών διαφορετικών παραδειγμάτων. Μετά την εξαγωγή των αποτελεσμάτων ακολούθησε μία στατιστική τους ανάλυση, και ένας σχολιασμός τους, ώστε να διαπιστωθούν οι ιδιότητες της μεθόδου και να γίνει σύγκριση με όσα έχουν διαπιστωθεί από άλλους ερευνητές.

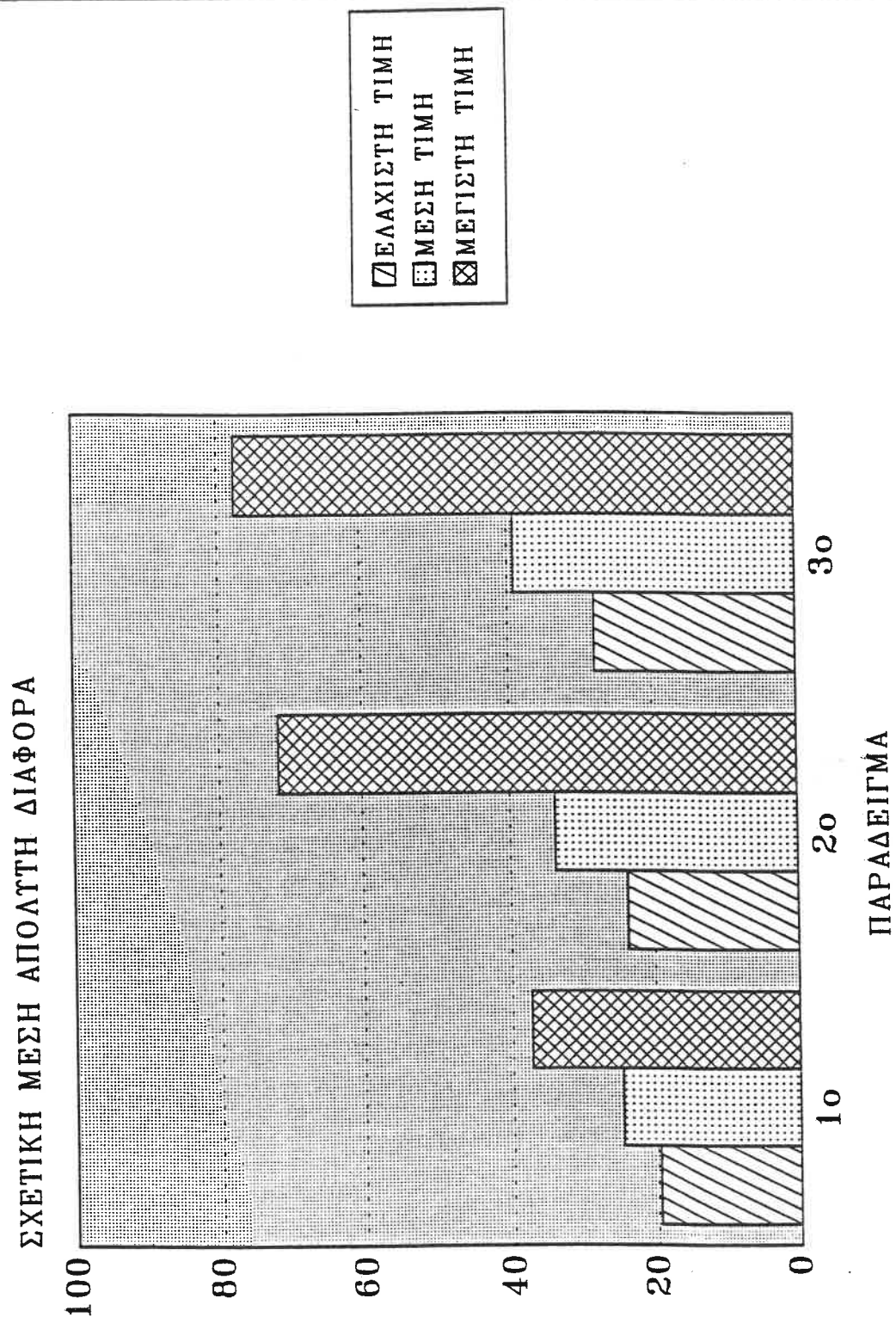
7.2. Συγκριτική Ανάλυση των Αποτελεσμάτων.

Στον πίνακα 7.1 και στο σχήμα 7.1. παρουσιάζονται η μέση τιμή της σχετικής μέσης απόλυτης διαφοράς του εκτιμώμενου και του πραγματικού μητρώου, όπως επίσης και το φάσμα τιμών στο οποίο κυμαίνεται το παραπάνω μέγεθος, για κάθε παράδειγμα ξεχωριστά.

Παράδειγμα	Σχετική Μέση Απόλυτη Διαφορά		
	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
1ο	24.80	37.44	19.66
2ο	33.92	71.61	23.78
3ο	39.18	77.61	28.08

Πίνακας 7.1. Η σχετική μέση απόλυτη διαφορά των τριών παραδειγμάτων.

Από τον παραπάνω πίνακα γίνεται άμεσα αντιληπτό, κάτι το οποίο ήταν και αναμενόμενο, ότι δηλαδή με την αύξηση της απόκλισης των τιμών των πραγματικών μητρώων σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές του a priori μητρώου, υπάρχει μία αύξηση του σφάλματος της μεθόδου εκτίμησης.



Σχήμα 7.1. Σχετική Μέση Απόλυτη Διαφορά των 3 παραδειγμάτων.

Συγκεκριμένα η αύξηση αυτή του δευτέρου παραδείγματος σε σχέση με το πρώτο παράδειγμα (όσο αναφορά την μέση τιμή) είναι 37% , ενώ για το τρίτο παράδειγμα σε σχέση με το δεύτερο είναι 16%. Εκείνο που παρουσιάζεται όμως ιδιαίτερα έντονο στα αποτελέσματα του προηγούμενου πίνακα, είναι το γεγονός ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά στην μέγιστη τιμή της σχετικής μέσης απόλυτης διαφοράς του δεύτερου και τρίτου παραδείγματος σε σχέση με εκείνη του πρώτου. Αυτό το γεγονός, όπως θα φανεί παρακάτω οφείλεται σε μία ιδιότητα της μεθόδου της εκτίμησης και των τρόπων με τον οποίο πραγματοποιείται η δυναμική προσομοίωση.

7.3. Ευαισθητά σημεία της μεθόδου εκτίμησης.

Υπάρχουν μερικά σημεία στα οποία η μέθοδος εκτίμησης είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη. Τα σημεία αυτά μπορεί να έχουν σχέση είτε με το πρότυπο της μεγιστοποίησης της εντροπίας είτε με την διαδικασία της δυναμικής προσομοίωσης, έτσι όπως την ορίσαμε. Συγκεκριμένα μπορούν να επισημανθούν τα εξής :

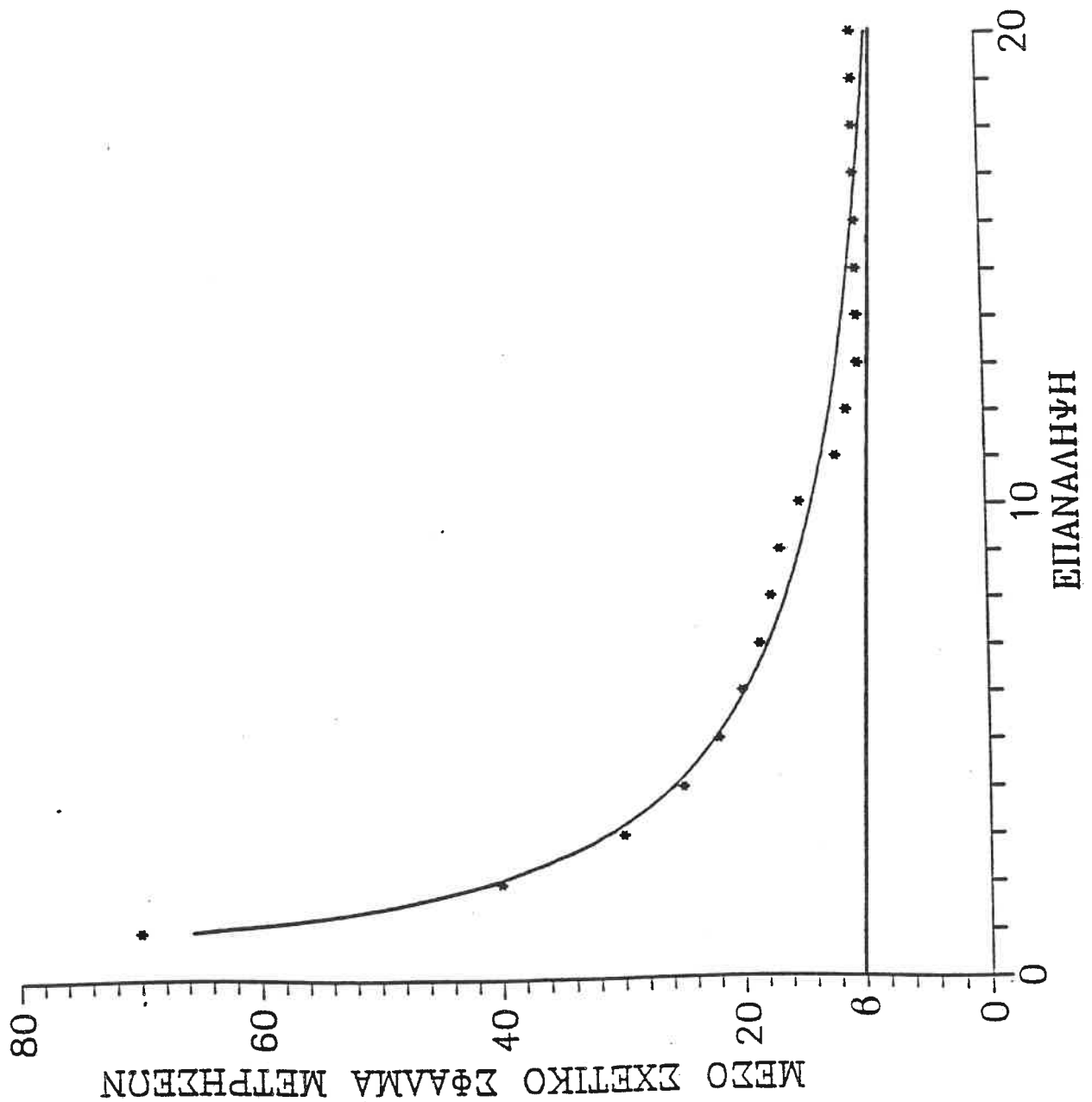
- Το ίδιο το πρότυπο της μεγιστοποίησης της εντροπίας είναι ευαίσθητο στα μηδενικά στοιχεία του *a priori* μητρώου. Αυτό σημαίνει ότι τα υπάρχοντα μηδενικά στοιχεία του *a priori* μητρώου δεν μεταβάλλονται, αλλά παραμένουν μηδενικά και στο εκτιμώμενο μητρώο. Αυτή την παρατήρηση την έχουν κάνει και οι Van Zuylen & Willumsen στις δικές τους δημοσιεύσεις (Van Zuylen, Willumsen, 1980). Βέβαια στην προσομοίωση εφαρμόσθηκε η μέθοδος της μεγιστοποίησης της εντροπίας με τον τρόπο με τον οποίο διατυπώθηκε από τους Janson και Southworth. Δηλαδή δεν γινόταν εκτίμηση κάθε στοιχείου του μητρώου ξεχωριστά αλλά συνολικά των αναχωρήσεων από τις ζώνες προέλευσης. Έτσι σε περίπτωση που το *a priori* μητρώο έδινε μηδενικές αναχωρήσεις για κάποια ζώνη προέλευσης, κάθε εκτιμώμενο μητρώο θα δώσει επίσης μηδενικές αναχωρήσεις για την ζώνη αυτή. Προκειμένου να μην αντιμετωπίσουμε τέτοιο πρόβλημα φροντίσαμε στο *a priori* μητρώο κάθε ζώνη προέλευσης να δίνει κάποιο αριθμό αναχωρήσεων.

- Ένα δεύτερο σημαντικό σημείο του προτύπου της μεγιστοποίησης της εντροπίας, είναι ο αλγόριθμος που πρότειναν οι Van Zuylen & Willumsen (1980) για την επίλυση του πολλαπλά αναλογικού προβλήματος. Όπως τονίσθηκε και στο τρίτο κεφάλαιο, το 1977 ο

Murchland είχε μελετήσει το είδος αυτό των προβλημάτων και είχε αποδείξει την ύπαρξη μοναδικής λύσης. Είχε προτείνει μάλιστα και ένα αλγόριθμο για την επίλυση τους χωρίς όμως να μπορέσει να αποδείξει την σύγκλιση του στην λύση του προβλήματος. Τον αλγόριθμο αυτό διαμόρφωσαν κατάλληλα και χρησιμοποίησαν οι Van Zuylen & Willumsen. Ο ίδιος αλγόριθμος χρησιμοποιήθηκε και στην υπολογιστική προσομοίωση. Όμως σε αντίθεση με αυτά που τονίσαν οι Van Zuylen & Willumsen βρέθηκαν παραδείγματα στα οποία ο αλγόριθμος δεν σύγκλινε στην λύση του προβλήματος, παρά την τάση που έδειχνε. Μάλιστα στα τρία παραδείγματα της υπολογιστικής προσομοίωσης ο αλγόριθμος, γενικά, δεν σύγκλινε στην ανοχή του 5% που είχαμε επιλέξει.

Με εκτεταμένη ανάλυση της σύγκλισης του αλγορίθμου βρήκαμε ότι η τάση που εμφάνιζε ο αλγόριθμος ήταν της μορφής $y = a/x + \beta$ (όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.2). Οπου x είναι ο αριθμός των επαναλήψεων και y είναι το μέσο σφάλμα των φόρτων στους συνδέσμους στους οποίους υπήρχαν μετρήσεις. Από την μορφή της εξίσωσης φαίνεται ότι όταν ο αριθμός των επαναλήψεων τείνει στο άπειρο τότε το μέσο σφάλμα των εκτιμώμενων φόρτων τείνει στην τιμή β . Η τιμή αυτή μπορεί να διαφέρει ακόμα και για τον ίδιο κύκλο, ανάλογα με την επιλογή των συνδέσμων στους οποίους υποθέτουμε ότι έχουμε μετρήσεις. Έτσι με διάφορα παραδείγματα και για τον ίδιο κύκλο μπορέσαμε να επιτύχουμε είτε την επιθυμητή ακρίβεια είτε ακρίβεια που έφθανε στα επίπεδα του 20%. Μάλιστα στην υπολογιστική προσομοίωση υπήρξαν κύκλοι στους οποίους η σύγκλιση ήταν πολύ χειρότερη από 20%, και τα αποτελέσματα των οποίων θα σχολιάσουμε αργότερα.

Προκειμένου να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα της μή σύγκλισης του αλγορίθμου, επιλέχθηκε ένας μέγιστος αριθμός επαναλήψεων ίσο με 20. Ο αριθμός αυτός δεν είναι τυχαίος, αφού από την ανάλυση που είχε γίνει διαπιστώθηκε ότι σε δώδεκα περίπου επαναλήψεις (κατά μέσο όρο) ο αλγόριθμος είχε ήδη συγκλίνει στην τιμή β .



Σχήμα 7.2. Αριθμός Επαναλήψεων - Μέσο σφάλμα εκτιμώμενων φόρτων.

- Ενα τρίτο σημείο στο οποίο είναι ευαίσθητη η μέθοδος εκτίμησης, και το οποίο δεν αφορά το πρότυπο της εντροπίας, είναι το γεγονός ότι για την εκτίμηση των αναχωρήσεων από κάθε ζώνη προέλευσης, χρησιμοποιούνται τα ποσοστά που προέκυψαν μετά την φόρτιση του δικτύου με το εκτιμώμενο μητρώο του προηγούμενου κύκλου. Αυτός είναι οπωσδήποτε ένας λόγος που μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά σφάλματα στην περίπτωση κατά την οποία οι μεταβολές των ποσοστών από τον ένα κύκλο στον άλλο, είναι σημαντικές. Τέτοιο φαινόμενο μπορεί να υπάρξει σε περίπτωση που έχουμε σημαντικές και ταυτόχρονα τυχαίες μεταβολές στην ζήτηση (σε μικρό χρονικό διάστημα) από συγκεκριμένες ζώνες προέλευσης.

Στην περίπτωση μας, όπως έχουμε ήδη τονίσει, επιδιώχθηκε να μην παρουσιάζονται συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης. Έτσι και τα ποσοστά δεν διαφέρανε σημαντικά από τον ένα κύκλο στον άλλο.

Επίσης και το πρότυπο της μεγιστοποίησης της εντροπίας είναι ευαίσθητο στα ποσοστά των χρηστών των ζωνών προέλευσης που χρησιμοποιούν τους συνδέσμους. Συγκεκριμένα άμα υπάρχει κάποια ζώνη προέλευσης η οποία δεν εμφανίζεται σε κανένα σύνδεσμο στον οποίο έχουμε μέτρηση του φόρτου, τότε το πρότυπο δεν θα εκτιμήσει τις αναχωρήσεις της ζώνης αυτής αλλά θα τις θεωρήσει ίσες με τις αναχωρήσεις του *a priori* μητρώου. Βλέπουμε δηλαδή ότι είναι ιδιαίτερα σημαντική η επιλογή των θέσεων των μετρήσεων των φόρτων. Το θέμα αυτό θα σχολιασθεί και παρακάτω.

- Τέλος το τελευταίο ευαίσθητο σημείο οφείλεται στην παραδοχή που θέσανε οι Janson και Southworth, σύμφωνα με την οποία τα στοιχεία του εκτιμώμενου μητρώου διαφέρουν σε σχέση με εκείνα του *a priori* μόνο ως προς τις ζώνες προέλευσης και όχι ως προς τις ζώνες προορισμού. Δηλαδή με άλλα λόγια, τα ποσοστά των μετακινήσεων από μία συγκεκριμένη ζώνη προέλευσης προς όλες τις ζώνες προορισμού είναι τα ίδια με εκείνα που ισχύουν στο *a priori* μητρώο. Φυσικά στα δεδομένα μας, τα οποία τα ορίσαμε με τυχαίο τρόπο κάτι τέτοιο δεν ισχύει.

7.4. Το σφάλμα της εκτίμησης των αναχωρήσεων.

Όπως φάνηκε από τα προηγούμενα συμπεράσματα, ιδιαίτερη σημασία έχει το σφάλμα της

εκτίμησης των αναχωρήσεων ανά ζώνη προέλευσης. Ακολούθησε λοιπόν, μία ανάλυση του μέσου σφάλματος των εκτιμώμενων φόρτων σε σχέση με τους πραγματικούς, σε κάθε παράδειγμα ξεχωριστά. Στον πίνακα 7.2. φαίνεται η μέση τιμή, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του μέσου σχετικού σφάλματος για κάθε παράδειγμα.

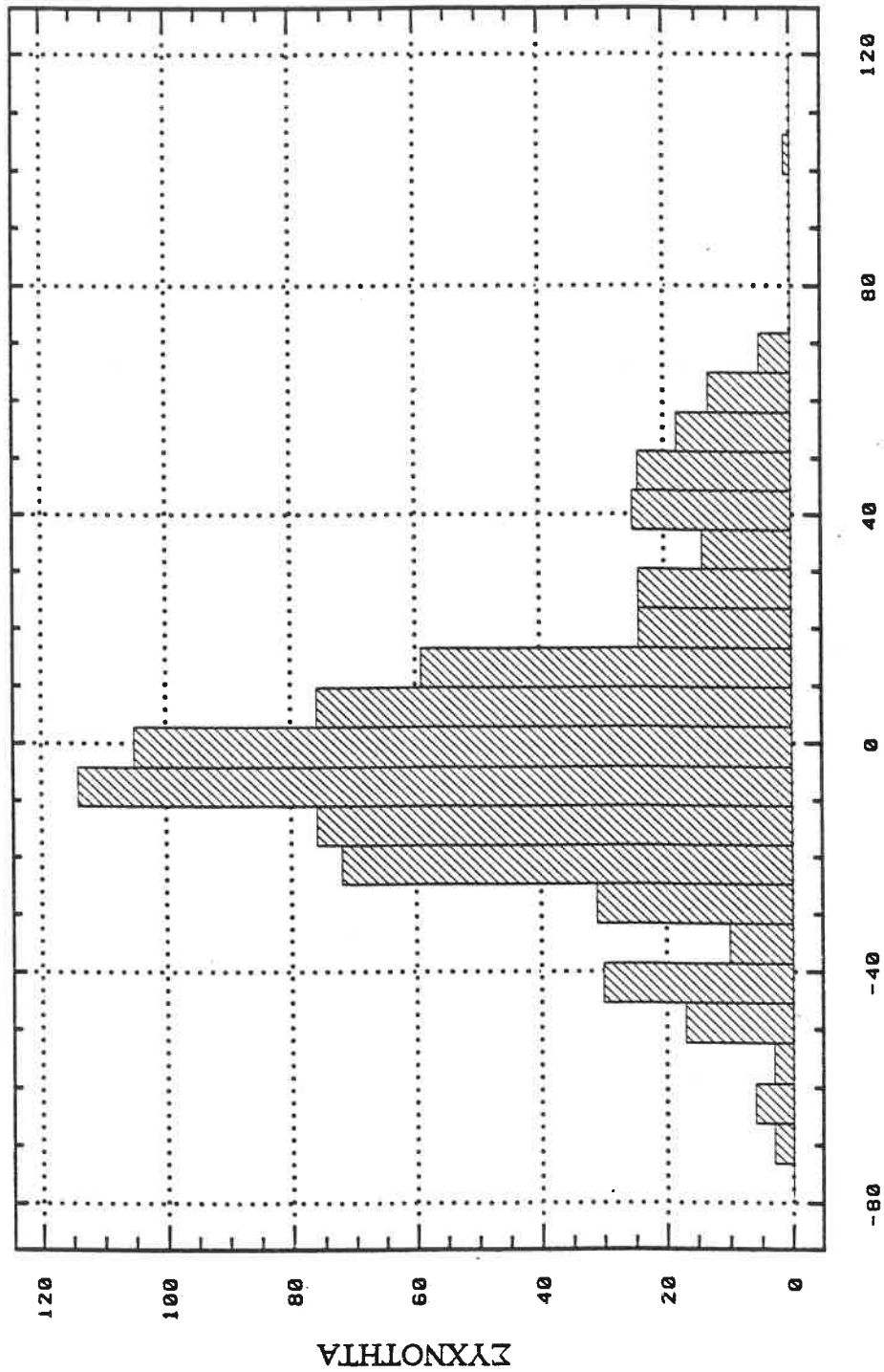
Στον πίνακα αυτό φαίνεται ότι η μέση τιμή του σφάλματος δεν μεταβάλλεται ουσιαστικά από το ένα παράδειγμα στο άλλο. Συγκεκριμένα στο πρώτο παράδειγμα είχαμε 21.8%, στο δεύτερο παράδειγμα 22.6% και στο τρίτο παράδειγμα 23.7%. Ομως υπάρχει τεράστια διαφορά στο εύρος των τιμών του μέσου σφάλματος. Στο πρώτο παράδειγμα κυμαινόταν από 16.8% έως 29.2%, στο δεύτερο παράδειγμα από 8.0% έως 36.5%, ενώ στο τρίτο από 10.2% έως 120.0%.

Παράδειγμα	Μέσο Σχετικό Σφάλμα Των Εκτιμώμενων Φόρτων		
	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
1ο	21.82	29.15	16.86
2ο	22.61	36.45	8.00
3ο	23.72	120.05	10.21

Πίνακας 7.2. Μέσο σχετικό σφάλμα των εκτιμώμενων φόρτων.

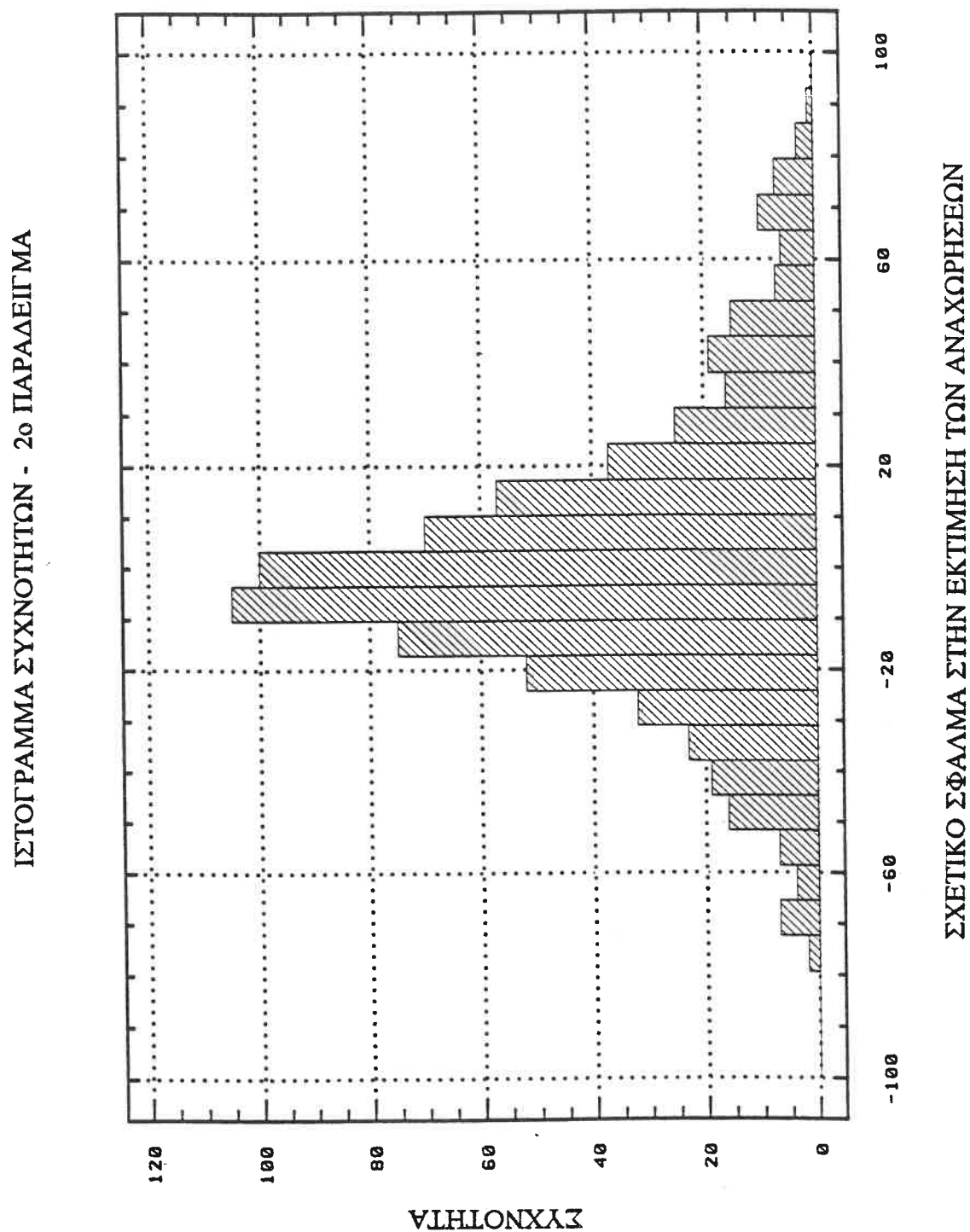
Το επόμενο στάδιο ήταν να βρεθεί τι γίνεται με τις εκτιμώμενες αναχωρήσεις, αφού αυτή είναι η πρώτη και ίσως σημαντικότερη πηγή σφάλματος της μεθόδου. Έτσι εξετάζοντας ξεχωριστά για κάθε ζώνη προέλευσης, την εκτίμηση και το σφάλμα αυτής σε σχέση με την πραγματική της τιμή, προέκυψαν τα ιστογράμματα των σχημάτων 7.3., 7.4., και 7.5.. Στα ιστογράμματα αυτά φαίνεται ότι στην πλειοψηφία των εκτιμήσεων το σφάλμα συγκεντρώνεται στην περιοχή του μηδενός. Ομως η απόκλιση των σφαλμάτων σε σχέση με το μηδέν είναι σημαντική ιδιαίτερα όσο μεγαλύτερη είναι η απόκλιση των τιμών των μητρώων προέλευσης - προορισμού σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές του a priori μητρώου. Με άλλα λόγια η απόκλιση είναι μέγιστη στο τρίτο παράδειγμα.

ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ - 1ο ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

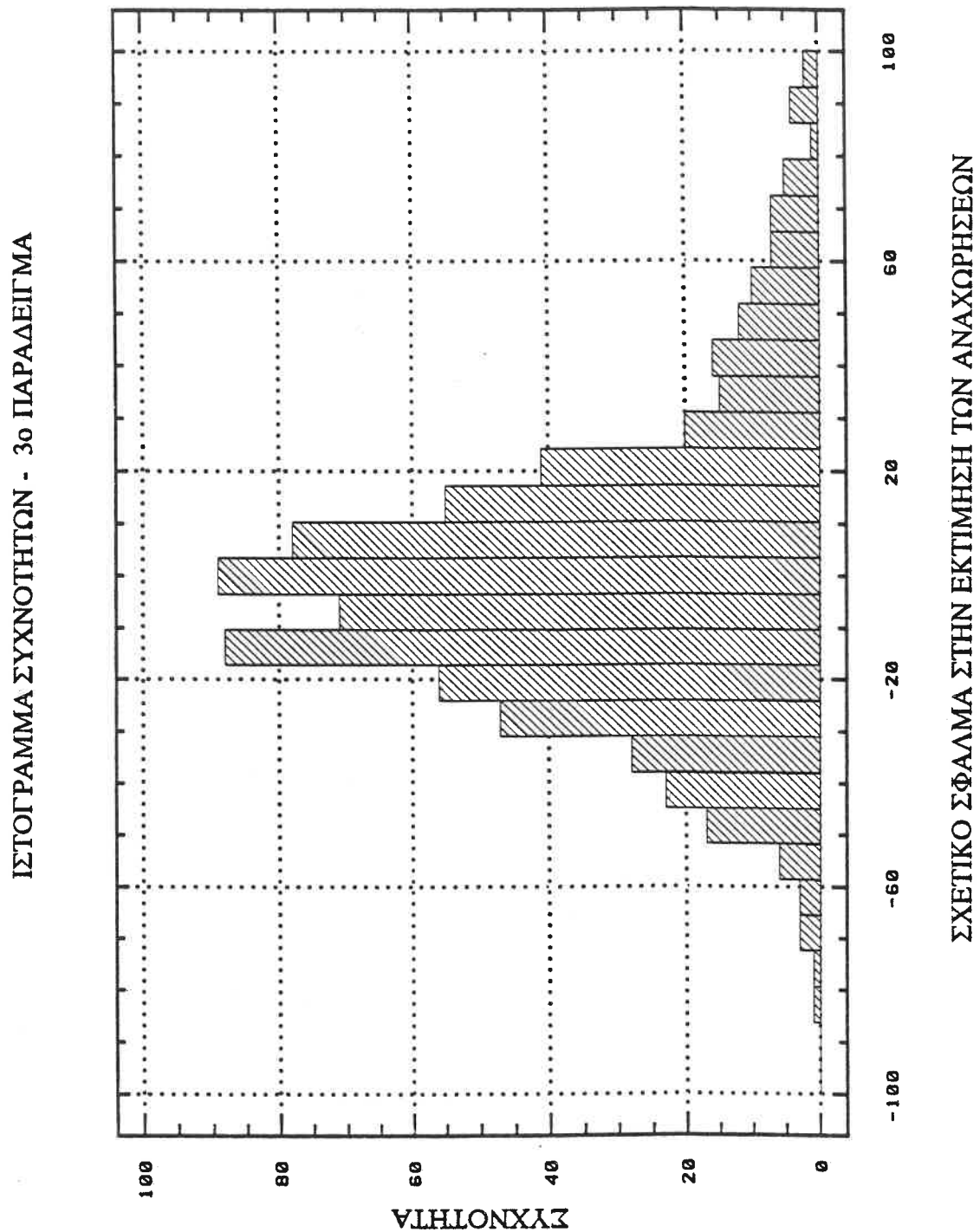


ΣΧΕΤΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΝΑΧΩΡΗΣΕΩΝ

Σχήμα 7.3. 1ο Παράδειγμα. Ιστόγραμμα Σχετικού Σφάλματος της εκτίμησης των αναχωρήσεων.



Σχήμα 7.4. 2ο Παράδειγμα. Ιστόγραμμα του σχετικού σφάλματος των εκτιμώμενων αναχωρήσεων.



Σχήμα 7.5. 3ο Παράδειγμα. Ιστόγραμμα το σχετικού σφάλματος των εκτιμώμενων αναχωρήσεων.

Τέλος η μορφή του ιστογράμματος προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό την κανονική κατανομή και ειδικότερα δεν δείχνει συστηματική υπερεκτίμηση ή υποεκτίμηση των τιμών.

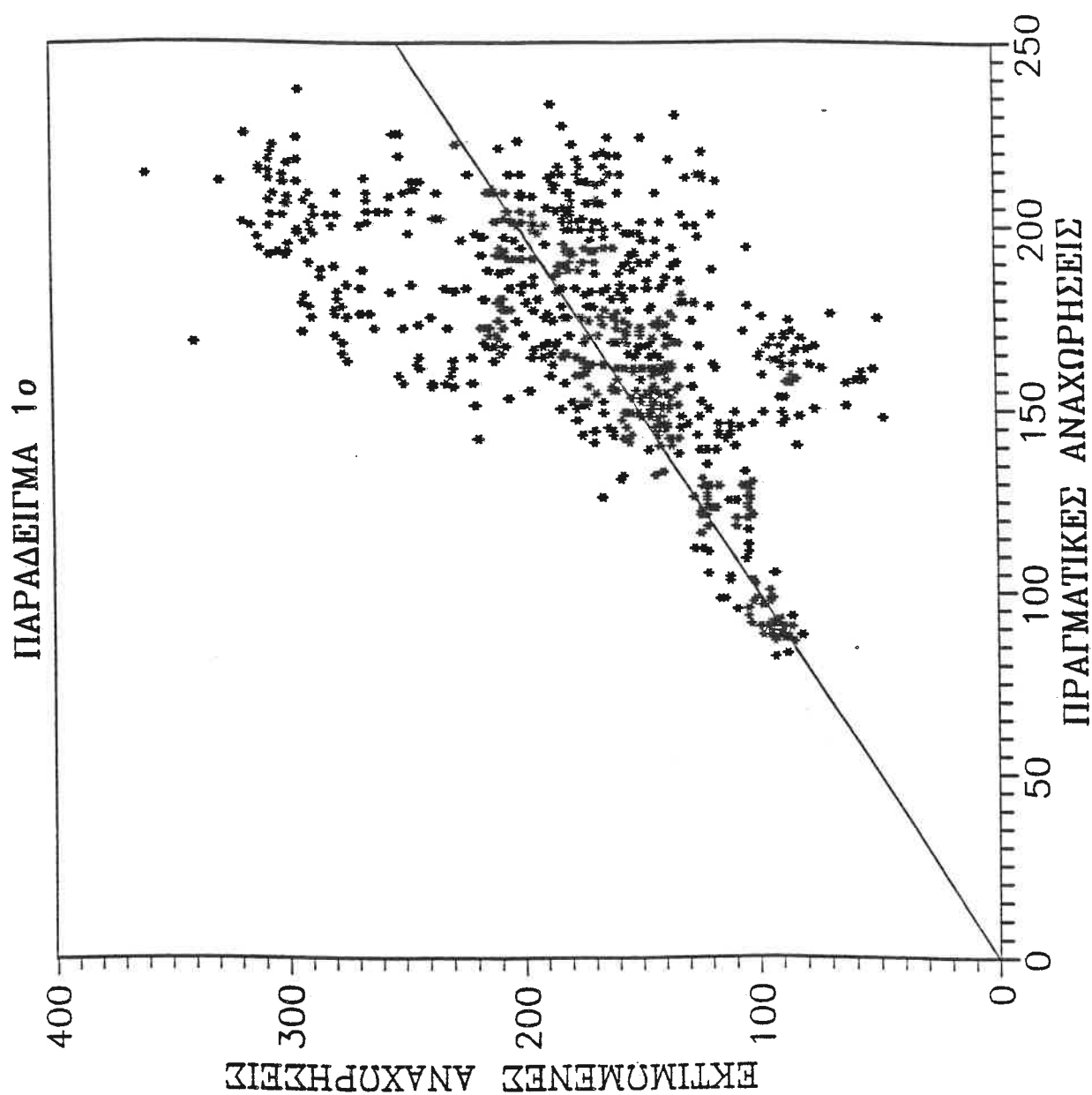
Στις επόμενες σελίδες ακολουθούν τα σχήματα 7.6., 7.7., και 7.8., στα οποία υπάρχουν τα διαγράμματα των πραγματικών αναχωρήσεων σε σχέση με τις εκτιμώμενες αναχωρήσεις για κάθε παράδειγμα ξεχωριστά. Στα διαγράμματα αυτά έχει σχεδιαστεί και η ευθεία $y=x$, πάνω στην οποία θα βρίσκονταν τα σημεία άμα γινόταν τέλεια εκτίμηση των αναχωρήσεων, με την χρήση του προτύπου της μεγιστοποίησης της εντροπίας.

Δύο αξιολογικά συμπεράσματα που προκύπτουν από τα διαγράμματα αυτά είναι τα πιο κάτω:

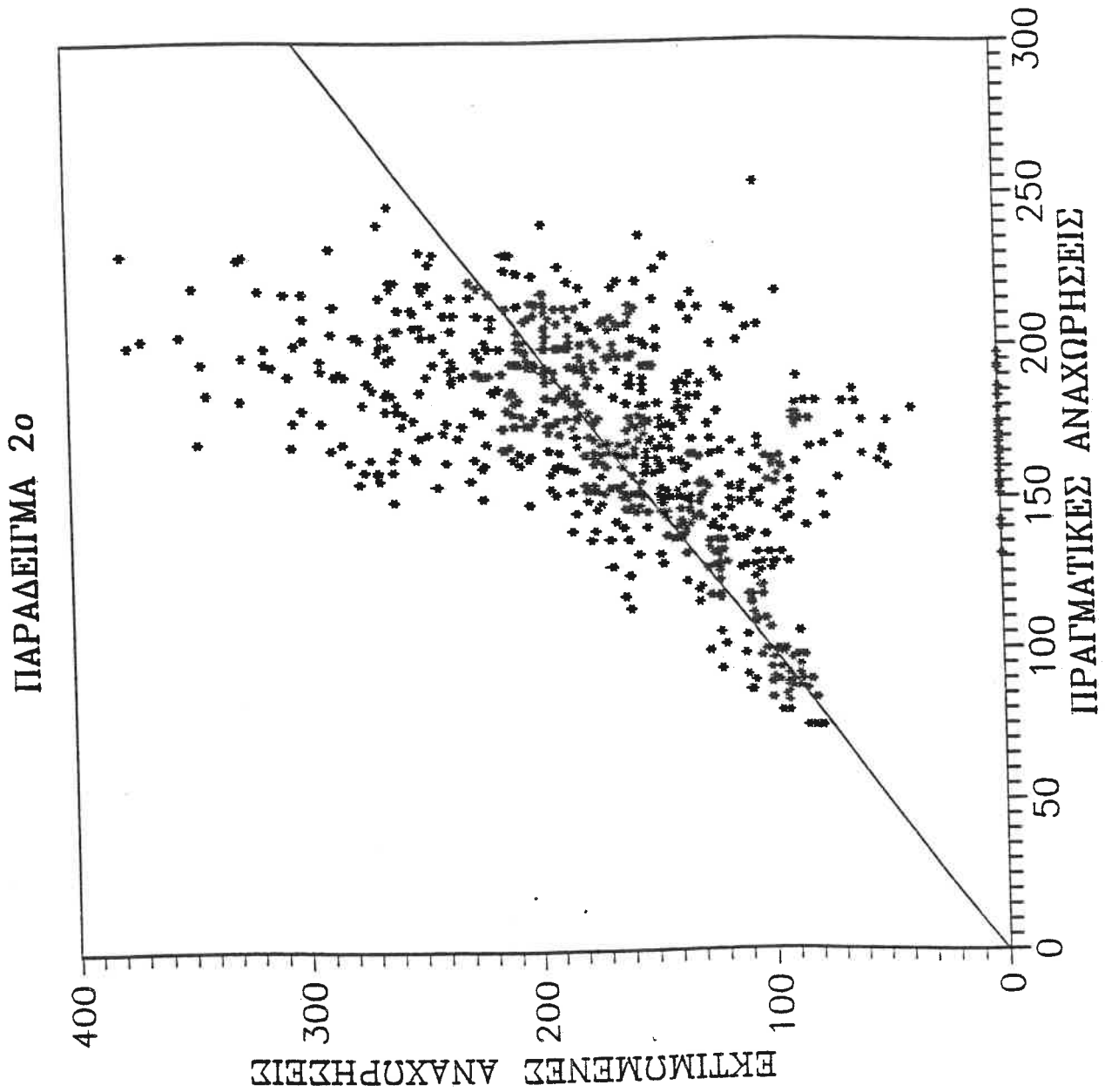
- Το πρώτο είναι ότι στα διαγράμματα όλων των παραδειγμάτων παρατηρούμε δύο περιοχές τιμών των πραγματικών αναχωρήσεων σε σχέση με την απόκλιση από αυτές των αντίστοιχων εκτιμώμενων τιμών. Συγκεκριμένα για αριθμό αναχωρήσεων από 85 έως 150, η απόκλιση των εκτιμώμενων αναχωρήσεων από τις πραγματικές είναι σχετικά μικρή, ενώ αντιθέτα για αριθμό αναχωρήσεων μεγαλύτερο από 150 το "σύννεφο" των σημείων διογκώνεται υπέρμετρα, χωρίς όμως να δείχνει τάσεις συστηματικής υπερεκτίμησης ή υποεκτίμησης των αναχωρήσεων.

Τα συμπεράσματα αυτά φαίνονται καλύτερα στα διαγράμματα των σχημάτων 7.9., 7.10., και 7.11., στα οποία απεικονίζεται το "φάσμα της εκτίμησης" ανάλογα με τον αριθμό των μετακινήσεων. Το φάσμα αυτό ορίζεται σαν το διάστημα $[m-s, m+s]$, όπου m είναι η μέση τιμή των εκτιμώμενων τιμών για συγκεκριμένο αριθμό πραγματικών αναχωρήσεων, και s είναι η τυπική απόκλιση. Η παρατήρηση ότι δεν υπάρχει υπο- ή υπερεκτίμηση ήταν αναμενόμενη αφού με την επιλογή των συνδέσμων που έγινε δεν υπήρχαν ζώνες προέλευσης που να υστερούν έναντι των υπολοίπων στον αριθμό των συνδέσμων στους οποίους εμφανίζονταν.

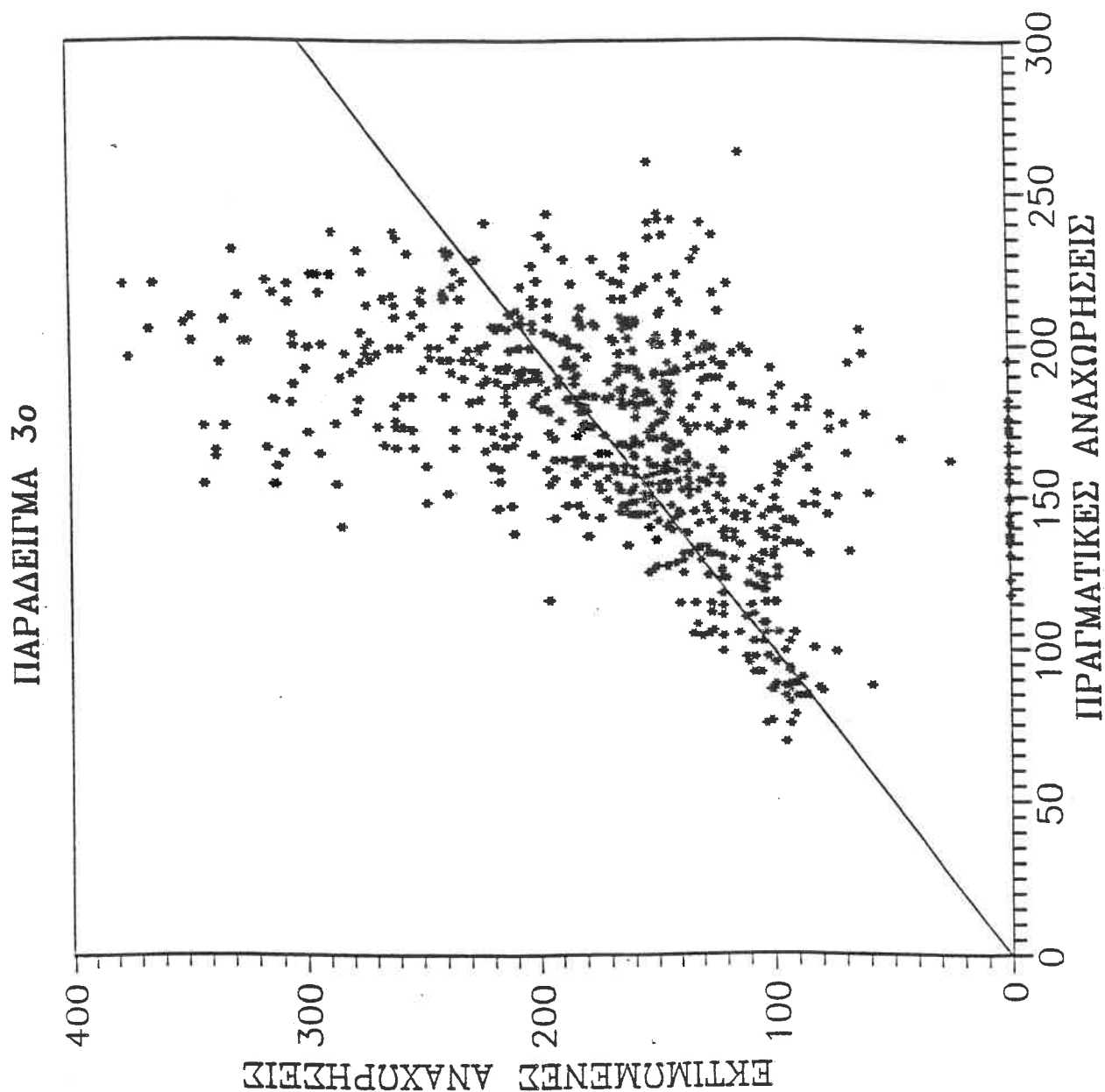
- Το δεύτερο σημείο είναι ότι στο δεύτερο και τρίτο παράδειγμα εμφανίζονται ορισμένα σημεία πάνω στον άξονα των X . Αυτό σημαίνει ότι σε κάποιους κύκλους η εκτίμηση για κάποιες ζώνες προέλευσης ήταν μηδενική. Αρχικά αυτό το φαινόμενο φάνηκε ιδιαίτερα περίεργο. Όμως μία προσεκτικότερη ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι όλα αυτά τα



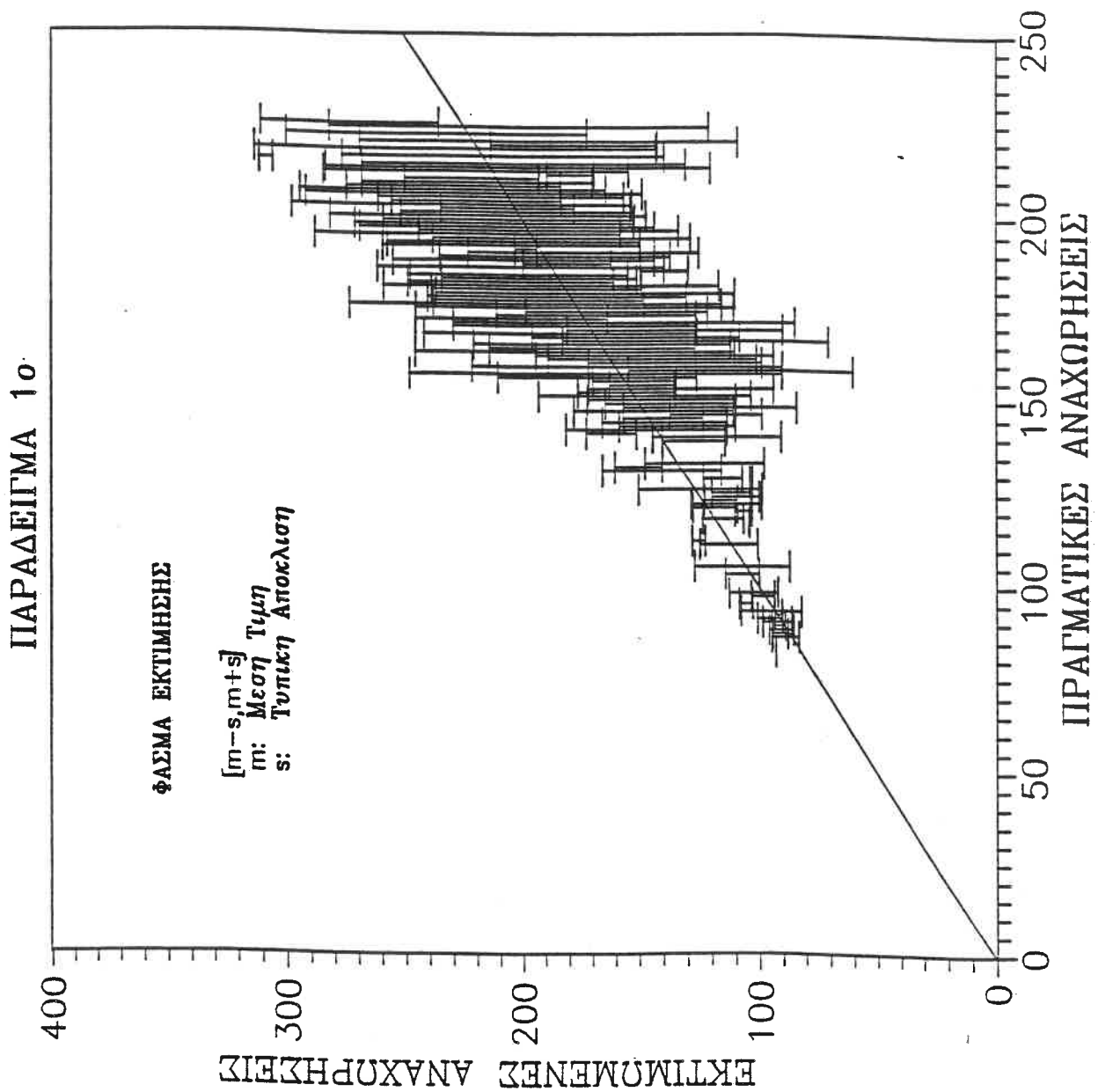
Σχήμα 7.6. 1ο Παράδειγμα. Πραγματικές-Εκτιμώμενες Αναχωρήσεις.



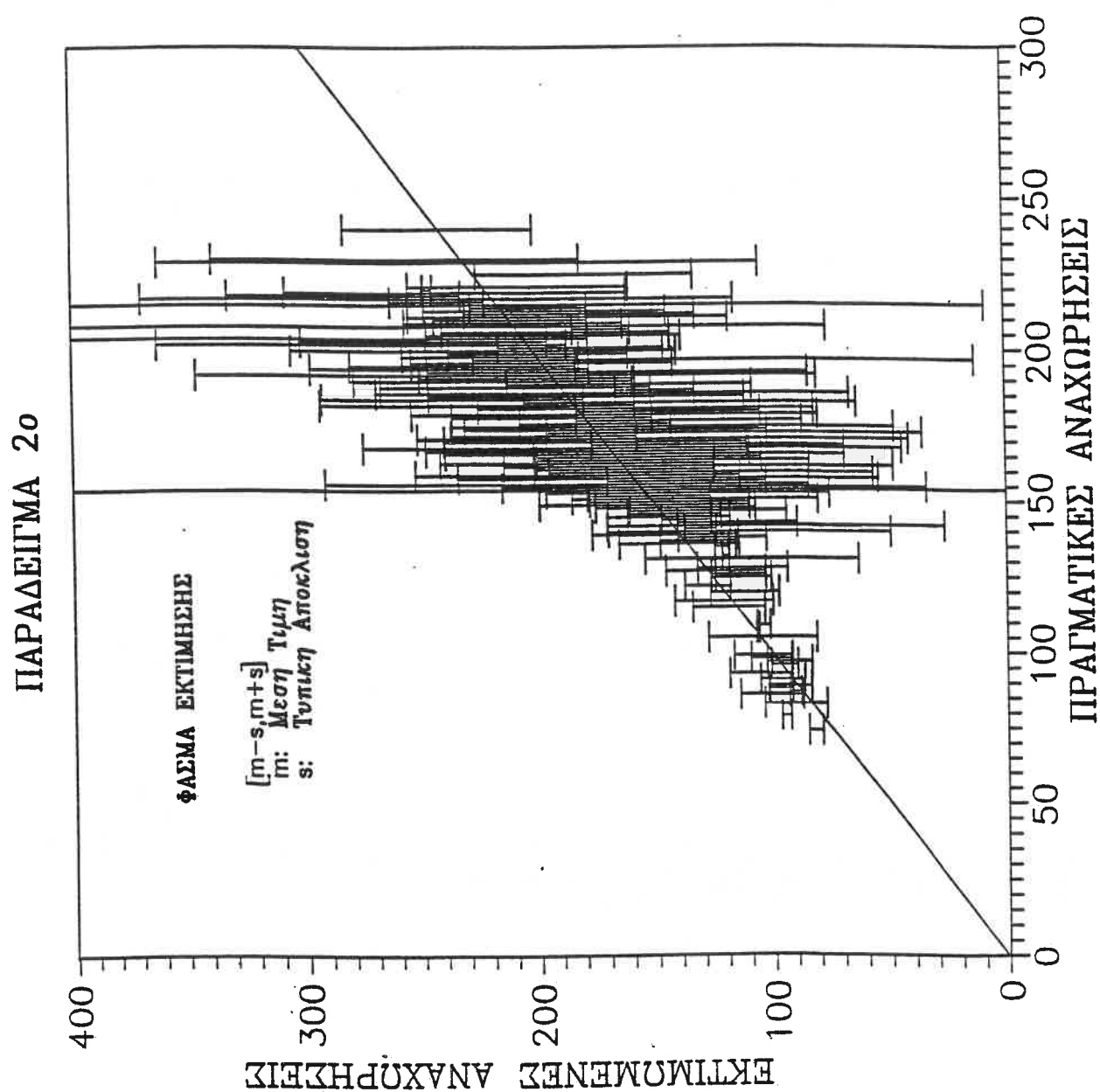
Σχήμα 7.7. 2ο Παράδειγμα. Πραγματικές-Εκτιμώμενες Αναχωρήσεις.



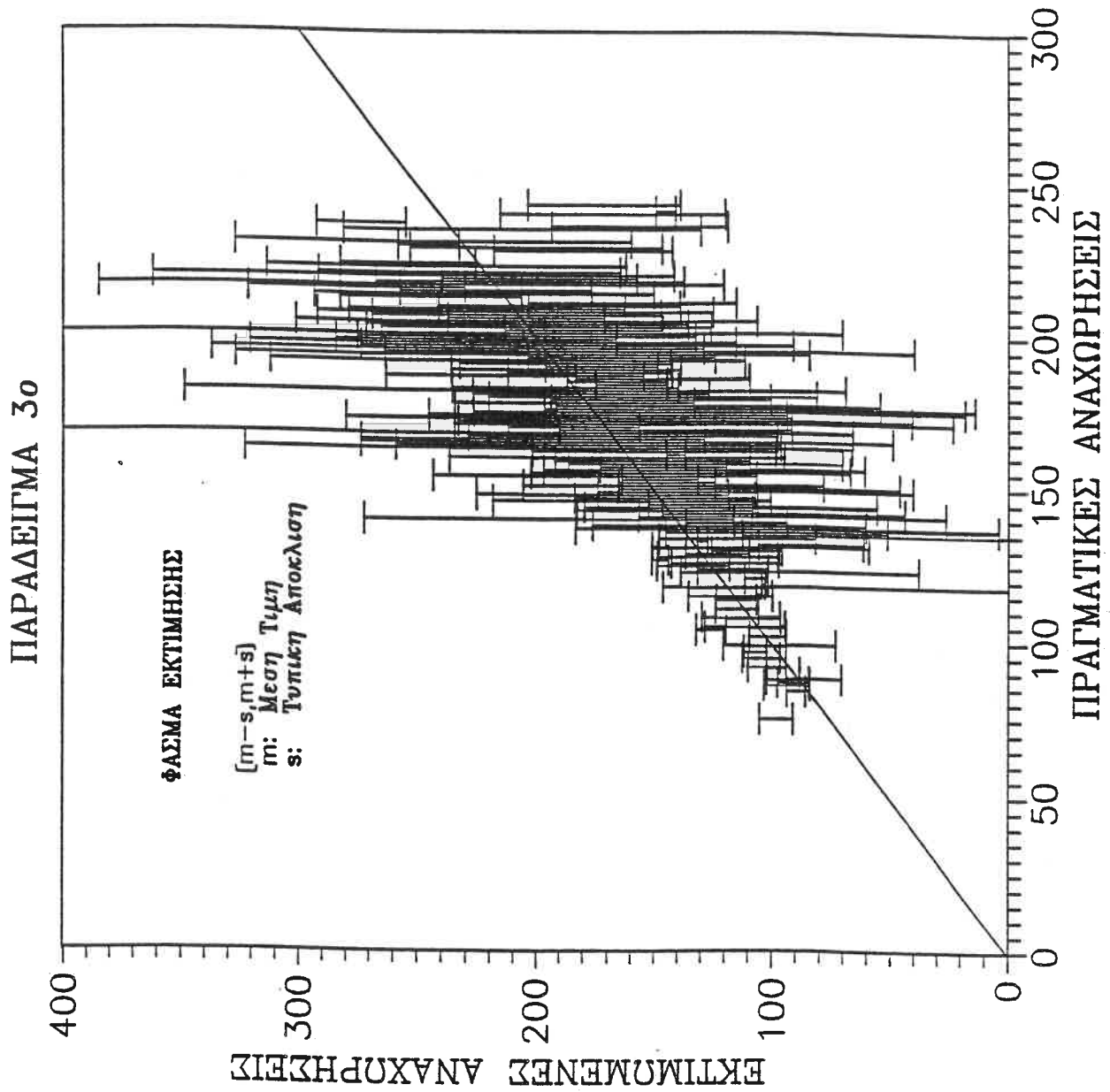
Σχήμα 7.8. 3ο Παράδειγμα. Πραγματικές-Εκτιμώμενες Αναχωρήσεις.



Σχήμα 7.9. 1ο Παράδειγμα. Φάσμα Εκτίμησης Αναχωρήσεων.



Σχήμα 7.10. 2ο Παράδειγμα. Φάσμα Εκτίμησης Αναχωρήσεων.



Σχήμα 7.11. 3ο Παράδειγμα. Φάσμα Εκτίμησης Αναχωρήσεων.

σημεία ανήκουν στην ίδια ζώνη προέλευσης. Επίσης βρέθηκε ότι η αιτία του κακού υπήρξε η πολύ κακή προσέγγιση των μετρήσεων των φόρτων, σε κάποιο συγκεκριμένο κύκλο (π.χ. στο δεύτερο παράδειγμα επρόκειτο για τον 380) η οποία δεν επέτρεψε την εμφάνιση ποσοστού της ζώνης αυτής στο επόμενο κύκλο. Και όπως έχουμε ήδη αναφέρει λόγω του τρόπου με τον οποίο γίνεται η δυναμική ανάλυση, η διαδικασία εκτίμησης δεν είναι δυνατόν να εκτιμήσει αναχωρήσεις στην ζώνη αυτή σε μετεγενέστερο κύκλο. Έτσι παρουσιάζονται τα σημεία αυτά πάνω στον άξονα των X και επιπλέον υπάρχει αύξηση του σχετικού μέσου σφάλματος από τον κύκλο αυτό και έπειτα.

Ενας πιθανός τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος αυτού θα ήταν η ομαλοποίηση των ποσοστών με κάποιο τρόπο.

7.5. Η ευαισθησία της μεθόδου ανάλογα με τη θέση των φορατών.

Στην δημοσίευση τους οι Janson & Southworth (1989) είχαν απλά αναφέρει το πρόβλημα της ευαισθησίας της μεθόδου ανάλογα με την θέση των φορατών στο δίκτυο. Δεν είχαν όμως αναφέρει τίποτα για το είδος της ευαισθησίας αυτής.

Έτσι εμείς αναζητήθηκε η ύπαρξη της ευαισθησίας αυτής στο δίκτυο των παραδειγμάτων, και με την χρήση των αρχικών δεδομένων. Χρησιμοποιήθηκε το τρίτο παράδειγμα το οποίο υπενθυμίζεται ότι ήταν η δυσμενέστερη περίπτωση. Αυτή τη φορά επιλέχθηκαν δώδεκα σύνδεσμοι, η πλειοψηφία των οποίων βρισκόταν κοντά σε κάποια ζώνη προέλευσης:

- (1) Σύνδεσμος 419 - 418
- (2) Σύνδεσμος 265 - 264
- (3) Σύνδεσμος 365 - 421
- (4) Σύνδεσμος 421 - 420
- (5) Σύνδεσμος 418 - 419
- (6) Σύνδεσμος 430 - 333
- (7) Σύνδεσμος 465 - 469
- (8) Σύνδεσμος 466 - 472
- (9) Σύνδεσμος 185 - 191
- (10) Σύνδεσμος 187 - 188

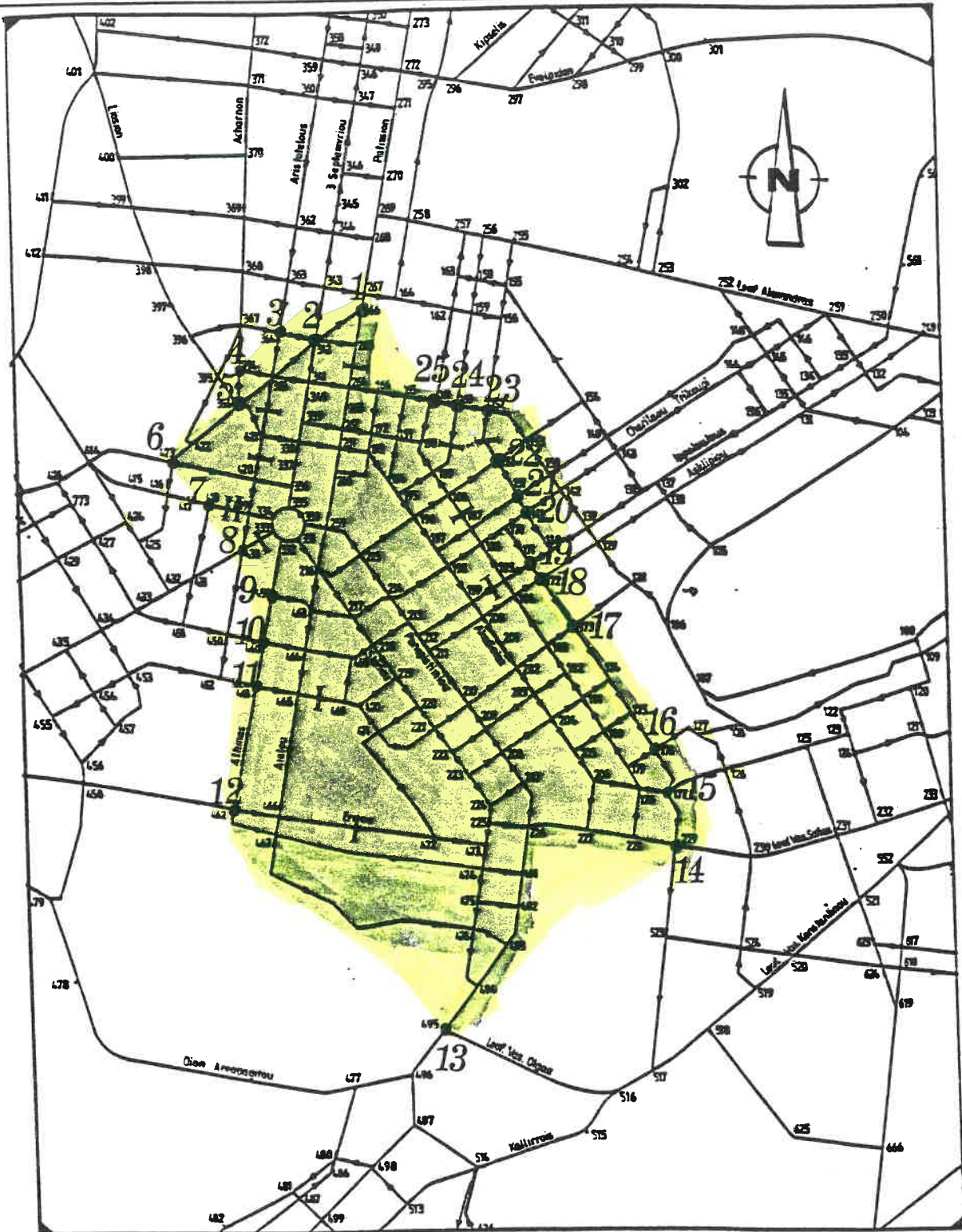
(11) Σύνδεσμος 157 - 152

(12) Σύνδεσμος 160 - 189

Η χωρική διάταξη των φορατών αυτών (οι οποίοι δεν είναι όλοι πραγματικοί) δίνεται στον χάρτη του δικτύου στο σχήμα 7.12..Ακολούθησε η ίδια διαδικασία υπολογιστικής προσομοίωσης.

Τα αποτελέσματα ήταν πραγματικά εξαιρετικά. Το μέσο σφάλμα στις μετρήσεις των φόρτων μειώθηκε κατά 50% και έφθασε το 11.59%, με ελάχιστη τιμή 4.21% και μέγιστη 25.39%. Στους πίνακες 7.3., 7.4., και 7.5., δίνονται αναλυτικά για κάθε κύκλο, τα συγκριτικά μεγέθη που ορίστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Επίσης στο σχήμα 7.13. δίνεται η διακύμανση της σχετική μέσης απόλυτης διαφοράς του εκτιμώμενου και του πραγματικού μητρώου.



Σχήμα 7.12. Οι νέες θέσεις των φορατών στο δίκτυο.

Κύκλος	MAE	RMAE	RMSE	RRMSE	R ²
1	3.37	26.24	4.77	37.12	.945131
2	3.84	30.94	5.27	42.47	.928633
3	3.79	29.31	5.54	42.86	.925834
4	3.86	31.58	5.43	44.43	.921436
5	3.64	29.09	5.22	41.70	.931099
6	3.35	26.94	4.84	38.85	.940497
7	3.70	29.54	5.35	42.68	.927360
8	3.44	27.45	4.89	39.02	.939262
9	3.79	30.25	5.58	44.48	.921077
10	3.58	28.85	4.81	38.76	.939586
11	3.57	28.72	5.28	42.50	.928936
12	3.28	25.20	4.80	36.88	.944378
13	3.67	30.02	5.37	43.93	.923175
14	3.15	25.76	4.27	34.93	.950628
15	3.37	27.24	4.98	40.20	.935501
16	3.56	27.68	5.09	39.63	.937449
17	3.70	31.37	5.24	44.40	.921297
18	3.23	25.28	4.58	35.76	.948081
19	3.96	32.98	5.77	48.08	.907833
20	3.59	27.75	4.86	37.55	.943345

Πίνακας 7.3. Αναλυτικά αποτελέσματα-Νέες θέσεις φορατών (1).

Κύκλος	MAE	RMAE	RMSE	RRMSE	R ²
21	3.94	31.67	5.64	45.34	.918092
22	3.28	27.20	4.71	39.00	.938222
23	4.12	34.23	5.89	48.88	.905358
24	3.21	24.79	4.73	36.51	.946973
25	3.96	30.77	5.95	46.31	.914969
26	4.28	33.84	5.92	46.81	.914645
27	3.77	30.71	5.50	44.83	.918386
28	3.42	28.36	4.88	40.44	.934885
29	3.92	30.90	5.68	44.84	.919117
30	3.57	29.67	5.25	43.67	.923881
31	3.40	28.22	4.80	39.91	.936131
32	3.67	29.60	5.38	43.41	.924778
33	3.70	27.90	5.34	40.27	.934897
34	3.81	31.21	5.33	43.60	.922391
35	3.84	30.57	5.47	43.61	.923841
36	3.51	28.30	4.75	38.27	.941119
37	3.47	27.94	4.70	37.87	.942332
38	3.74	30.07	5.06	40.77	.933160
39	3.22	25.83	4.81	38.52	.940013
40	3.27	24.91	4.47	34.04	.952845

Πίνακας 7.4. Αναλυτικά Αποτελέσματα-Νέες Θέσεις φορατών (2).

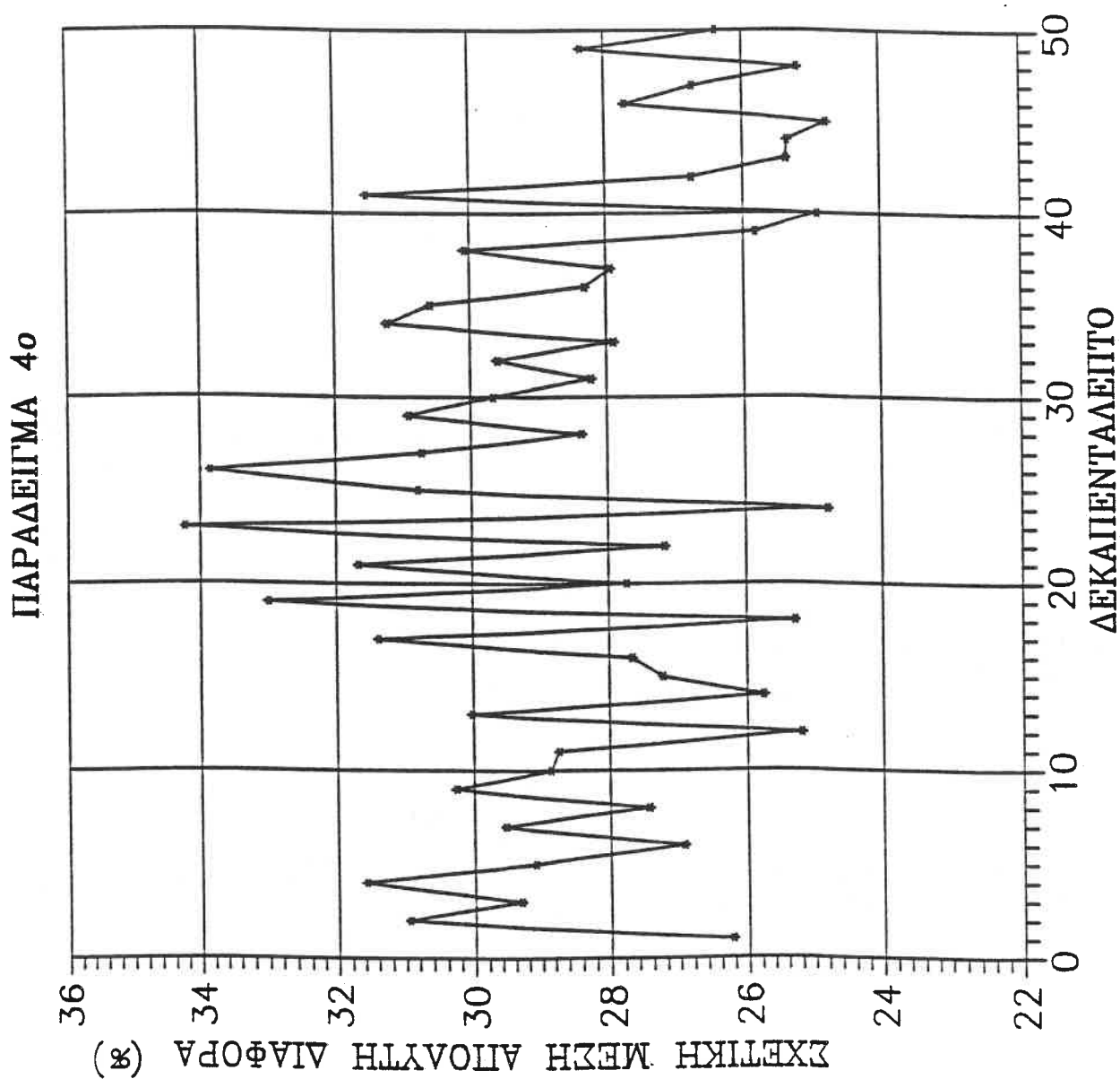
Κύκλος	MAE	RMAE	RMSE	RRMSE	R ²
41	3.76	31.51	5.31	44.52	.921326
42	3.33	26.76	4.99	40.09	.936066
43	3.20	25.36	4.39	34.76	.950840
44	3.18	25.34	4.64	37.04	.945163
45	2.92	24.78	4.33	36.71	.944557
46	3.37	27.72	4.89	40.24	.935221
47	3.37	26.74	4.80	38.04	.942077
48	3.09	25.19	4.48	36.51	.946241
49	3.45	28.32	4.86	39.91	.936863
50	3.36	26.39	4.82	37.86	.943075

Πίνακας 7.5. Αναλυτικά Αποτελέσματα-Νέες Θέσεις Φορατών (3).

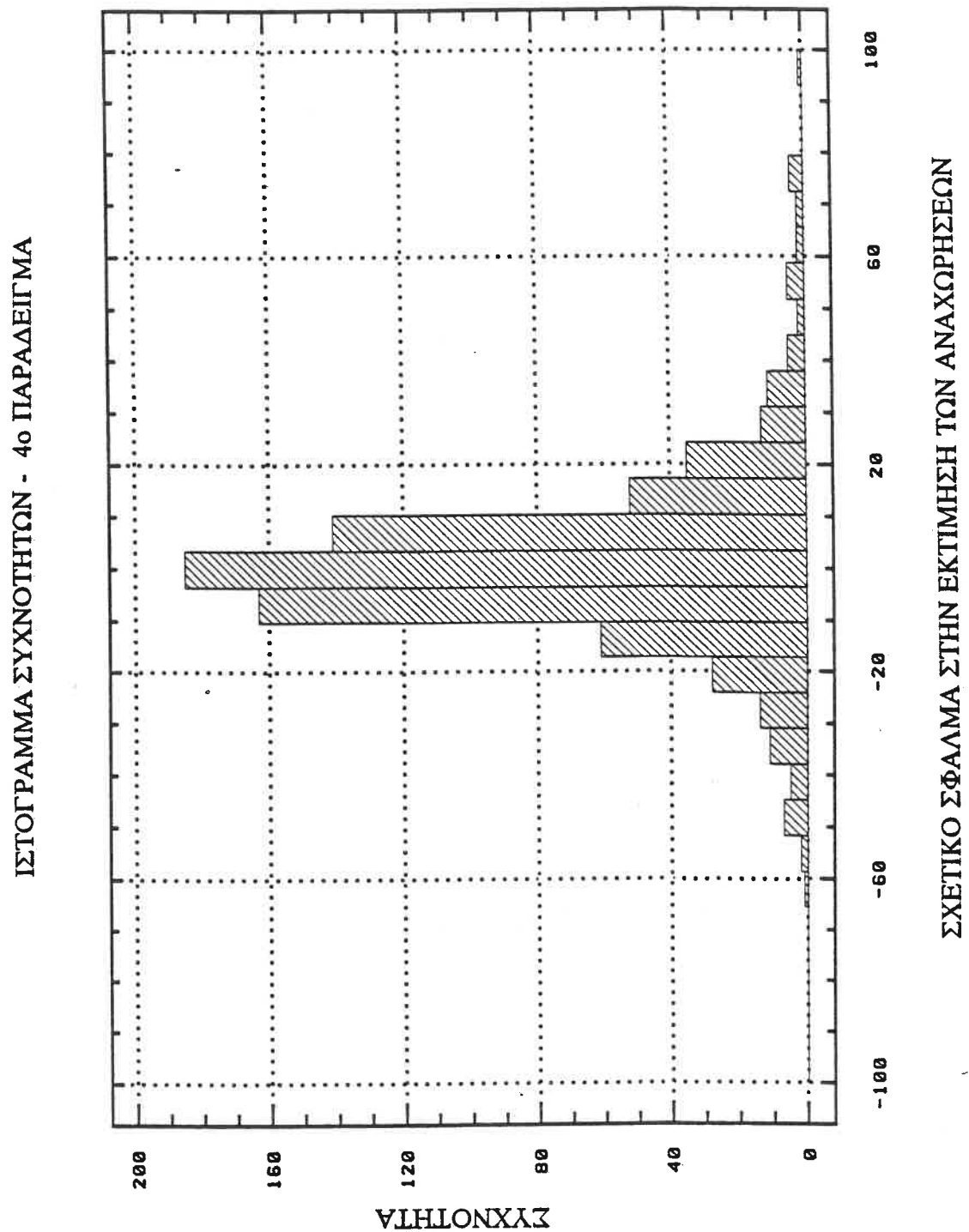
Η μέση τιμή της σχετικής μέσης απόλυτης διαφοράς βρέθηκε ίση με 28.58% έναντι 39.18% στο παράδειγμα 3. Δηλαδή υπήρξε μία σημαντική μείωση της τάξης του 27%. Επίσης η μέγιστη τιμή ήταν 34.23% και η ελάχιστη 24.78%.

Τέλος στο σχήμα 7.14. δίνεται το ιστόγραμμα του σχετικού σφάλματος στην εκτίμηση των αναχωρήσεων, στο οποίο φαίνεται καθαρά ότι η συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων έχουν σφάλμα που κυμαίνεται από -20% έως 20%. Στα σχήματα 7.15. και 7.16. δίνονται τα διαγράμματα των πραγματικών έναντι των εκτιμώμενων αναχωρήσεων και το "φάσμα της εκτίμησης".

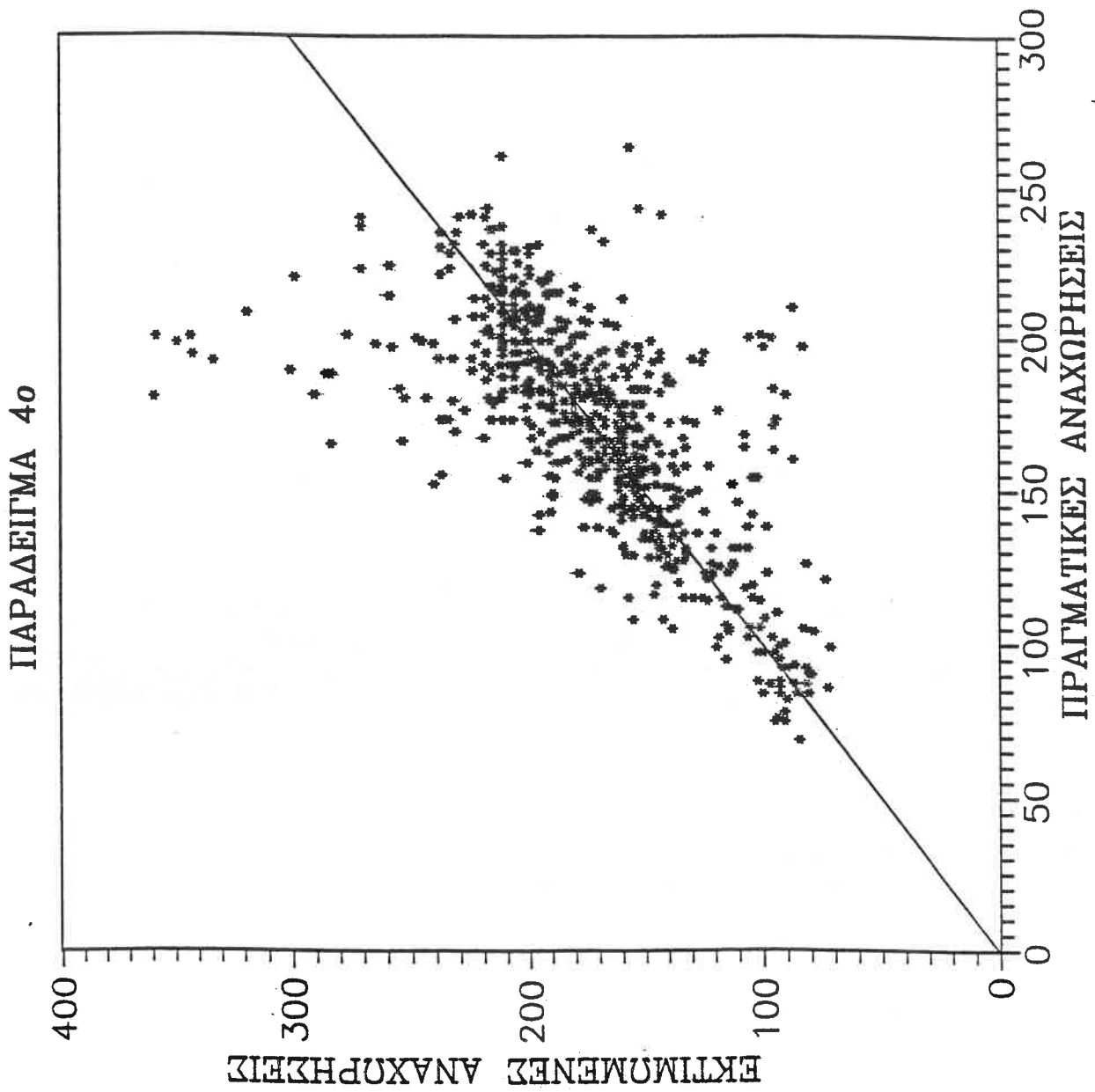
Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι όσο πιο κοντά στις ζώνες προέλευσης βρίσκονται οι φορατές, τόσο καλύτερη θα είναι η εκτίμηση.



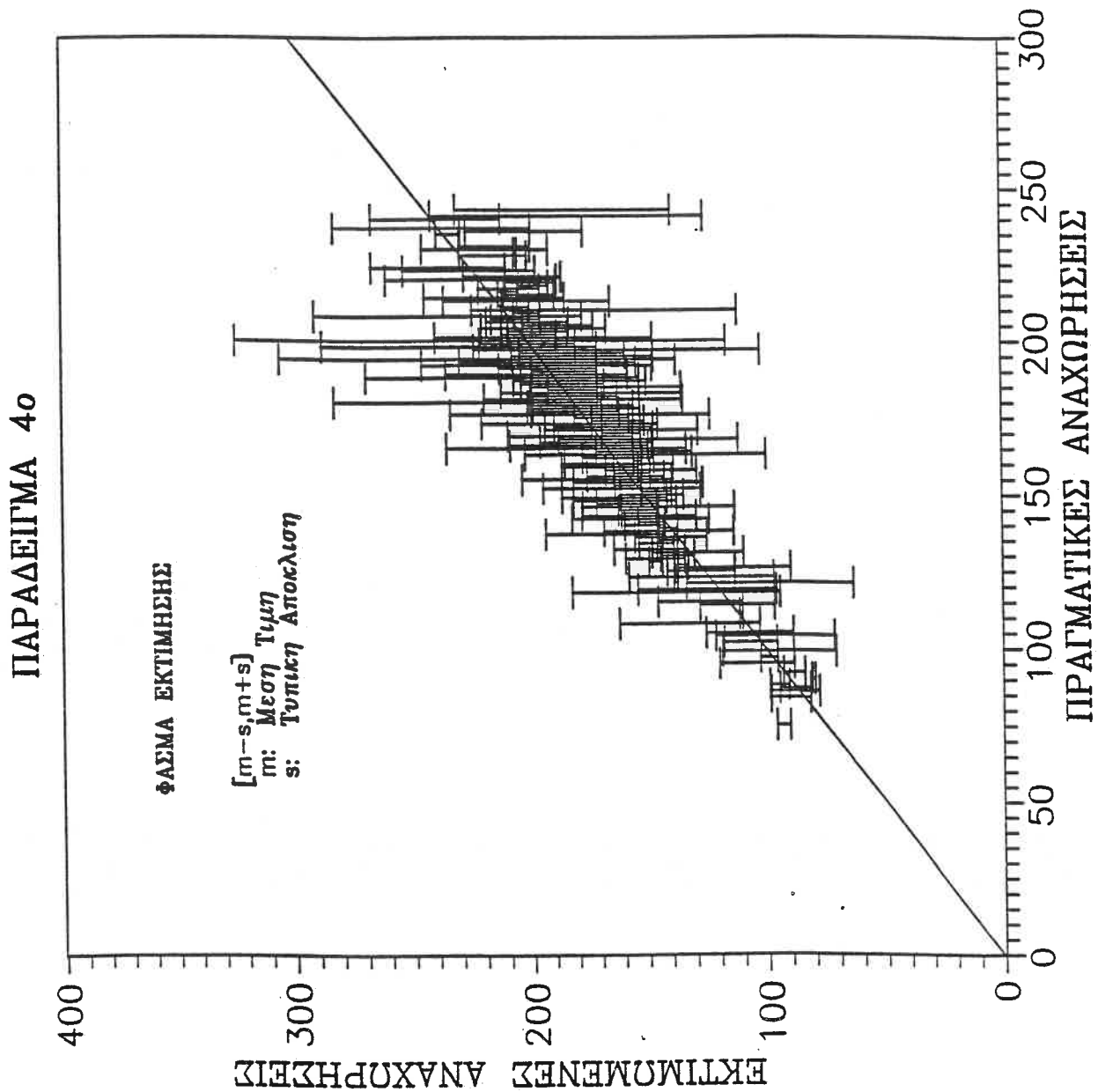
Σχήμα 7.13. Σχετική Μέση Απόλυτη Διαφορά. Νεες θέσεις φορατών.



Σχήμα 7.14. Ιστόγραμμα σφάλματος εκτίμησης των αναχωρήσεων.



Σχήμα 7.15. Πραγματικές-Εκτιμώμενες Αναχωρήσεις. Νέες Θέσεις
φοροτών.



Σχήμα 7.16. Φάσμα Εκτίμησης. Νέες θέσεις φορατών.

Κεφάλαιο Ογδοο

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ
ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

8.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

8.1.1. Ανάγκη για περισσότερη έρευνα.

Όπως φαίνεται από την ακρίβεια των αποτελεσμάτων της υπολογιστικής προσομοίωσης, δεν βρισκόμαστε σε τέτοιο σημείο στο οποίο να μπορούμε να εφαρμόσουμε ανεπιφύλακτα την μέθοδο της μεγιστοποίησης της εντροπίας, ιδιαίτερα σε δυναμικές μεθόδους. Παρότι η ακρίβεια των αποτελεσμάτων που επιθυμούμε είναι πάντοτε συνάρτηση του είδους της εφαρμογής που πραγματοποιούμε, και της σημασίας αυτής, εντούτοις, για δυναμικές εφαρμογές, είναι επιθυμητή η περαιτέρω μείωση των σφαλμάτων της μεθόδου, όπως επίσης και η μικρότερη ευαισθησία της στις θέσεις των μετρήσεων φόρτου.

Όμως τα αποτελέσματα της υπολογιστικής προσομοίωσης που πραγματοποιήσαμε δείχνουν ότι στο άμεσο μέλλον θα καταστεί δυνατό να εφαρμόζουμε τις σύγχρονες αυτές μεθόδους, και θα μπορούμε να εκμεταλλευτούμε όλα τα πλεονεκτήματά τους. Αλλωστε από το 1980 υπάρχει μία συνεχής και σταθερή έρευνα και αναζήτηση πάνω στο θέμα αυτό, με συνεχή βελτίωση των αποτελεσμάτων και την δημιουργία νέων προτύπων.

Ο τρίτος στόχος της διπλωματικής εργασίας ήταν ο καθορισμός του πλαισίου στο οποίο πρέπει να κατευθυνθεί η μελλοντική έρευνα, τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα, για το θέμα αυτό. Αυτό το πλαίσιο θα αναφέρουμε στο κεφάλαιο αυτό.

8.2. Τρία επίπεδα για περαιτέρω έρευνα.

Σύμφωνα με τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν στην υπολογιστική προσομοίωση και τις ιδιότητες της μεθόδου, χωρίστηκε το πλαίσιο που πρέπει να έχει η μελλοντική έρευνα σε τρία επίπεδα.

1ο Επίπεδο.

Όπως φάνηκε και στην ανάλυση των αποτελεσμάτων, η σημαντικότερη πηγή σφάλματος υπήρξε ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση του πολλαπλά αναλογικού προβλήματος, και ο οποίος βρέθηκε ότι δεν συγκλίνει πάντοτε. Έτσι δεν μπορούσαμε να

έχουμε μία ανεκτή απόκλιση των εκτιμώμενων φόρτων από τους πραγματικούς φόρτους (π.χ. 5%) σε κάθε κύκλο, και επομένως δεν γινόταν απόλυτα σωστή χρήση της πληροφορίας που μας έδιναν οι φόρτοι. Επομένως η περαιτέρω βελτίωση του αλγορίθμου που αποδεδειγμένα να συγκλίνει στις μετρήσεις των φόρτων, θα βελτίωνε σημαντικά τα αποτελέσματα. Στο σημείο αυτό ας σημειωθεί ότι έγινε μία μικρή προσπάθεια προς την κατεύθυνση αυτή από τον γραφόντα, κυρίως στο σημείο εκείνο του αλγορίθμου στο οποίο γίνεται η επιλογή του όρου X για την επόμενη επανάληψη, χωρίς όμως ουσιαστικά αποτελέσματα. Δυστυχώς όμως υπήρξε δυσχέρεια στη μαθηματική προσέγγιση του προβλήματος, καθώς όσο και αν αναζητήθηκε στην βιβλιογραφία σχετική ανάλυση παρόμοιων προβλημάτων (πολλαπλά αναλογικών), δεν στάθηκε δυνατόν να βρεθεί στα πλαίσια και χρονικά όρια αυτής της διπλωματικής εργασίας. Επιπλέον οι μελέτες του Murchland πάνω στο θέμα αυτό δεν βρέθηκαν δημοσιευμένες στη διεθνή βιβλιογραφία.

Ενα δεύτερο σημαντικό σημείο στο οποίο πρέπει να πραγματοποιηθούν βελτιώσεις, βρίσκεται στον τρόπο με τον οποίο υπολογίζονται τα ποσοστά των χρηστών κάθε ζώνης προέλευσης που θα διέλθουν από τους συνδέσμους στους οποίους υπάρχουν μετρήσεις φόρτων. Θα πρέπει να είναι δυνατή η πρόβλεψη της διέλευσης των χρηστών από κάποιους συνδέσμους, η οποία θα πραγματοποιηθεί σε μετεγενέστερους κύκλους, ώστε να προσεγγίζονται τα ποσοστά που θα υπολογιστούν στις περιπτώσεις που οι χρήστες δεν προλαβαίνουν να διασχίσουν την περιοχή μελέτης μέσα στο χρονικό διάστημα ενός κύκλου.

2ο Επίπεδο

- Στο δεύτερο επίπεδο του πλαισίου μελλοντικής έρευνας, έτσι όπως ορίστηκε, περιλαμβάνει την κατάργηση της παραδοχής σύμφωνα με την οποία οι μετακινήσεις μεταβάλλονται μόνο ως προς τις ζώνες προέλευσης και όχι και ως προς τις ζώνες προορισμού. Έτσι θα γίνει εφικτή η δυναμική ανάλυση ενός δικτύου στο οποίο πραγματοποιούνται και τυχαίες μεταβολές της ζήτησης από μεμονωμένες ζώνες προέλευσης, λόγω κάποιου ειδικού συμβάντος (π.χ. τέλος ποδοσφαιρικού αγώνα).

Ενας τρόπος με τον οποίο θα μπορούσαμε να καταργήσουμε την παραδοχή των Janson & Southworth, θα ήταν η "διπλή" εφαρμογή της μεθόδου. Δηλαδή ο υπολογισμός βάσει των ποσοστών όχι μόνο τον αριθμό των αναχωρήσεων των χρηστών από κάθε ζώνη προέλευσης

αλλά και τον αριθμό των αφίξεων σε κάθε ζώνη προορισμού, και έπειτα με τον ορισμό κάποιο μέτρου απόστασης ανάμεσα στο εκτιμώμενο και το a priori μητρώο, ο υπολογισμός του εκτιμώμενου μητρώου. Βέβαια γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι ο υπολογιστικός χρόνος θα πολλαπλασιαστεί, οπότε είναι κρίσιμη η εύρεση γρήγορων αλγορίθμων επίλυσης του πολλαπλά αναλογικού προβλήματος και των ποσοστών των χρηστών που διέρχονται από κάποιους συνδέσμους.

3ο Επίπεδο

- Τέλος στο τρίτο και τελευταίο επίπεδο του πλαισίου, η μελλοντική έρευνα, θα πρέπει επεκταθεί στην περίπτωση των δικτύων στα οποία η κυκλοφοριακή συμφόρηση παίζει σημαντικό ρόλο στην επιλογή της διαδρομής, με την ανάπτυξη προτύπων που να βασίζονται στο πρότυπο του Nguyen (C.S.Fisk 1988,1989).

Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να αλλάξουν εκ νέου πολλά από τα δεδομένα της μεθόδου, αφού τα ποσοστά θα αποτελούν πλέον ενδογενή παράγοντα της διαδικασίας εκτίμησης.

8.3. Περισσότερα θέματα για έρευνα.

Εκτός από το παραπάνω γενικό πλαίσιο, υπάρχουν μία πληθώρα θεμάτων πάνω στα οποία μπορούν να βασιστούν ερευνητικές προσπάθειες. Έτσι θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο :

- Να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά πρότυπα επιλογής διαδρομής, στοχαστικά ή όχι, και να βρεθεί η επιρροή τους στην εκτίμηση. Αυτό θα μπορούσε να γίνει με σύγκριση των εκτιμώμενων αποτελεσμάτων και των αποτελεσμάτων κάποιας συμβατικής μεθόδου, όπως εφάρμοσαν οι Lam & Lo (Lam W., Lo H., 1991).

- Να αναλυθεί η δεύτερη παρατήρηση των Janson & Southworth δηλαδή να βρεθεί ο απαιτούμενος αριθμός των φορατών, που πρέπει να υπάρχουν στο δίκτυο ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή ακρίβεια. Ένα επιπλέον ενδιαφέρον στοιχείο θα ήταν μία ανάλυση της ακρίβειας της μεθόδου σε σχέση με την ποιότητα του a priori μητρώου, όπως επίσης και η δημιουργία προτύπων που να βασίζονται στην μεγιστοποίηση της εντροπία,

αλλά στα οποία θα μπορούν να ενσωματωθούν και πληροφορίες διαφορετικού είδους. Το τελευταίο μπορεί να πραγματοποιηθεί με εφαρμογή πολλαπλά-αντικειμενικού προγραμματισμού.

8.4. Επίλογος.

Η εργασία αυτή συνιστά μία πρώτη προσπάθεια εμβάθυνσης σ'ένα θέμα, το οποίο αναμένεται να απασχολήσει την διεθνή επιστημονική κοινότητα για πολλά ακόμα χρόνια, και του οποίου η εφαρμογή θα ανοίξει νέους ορίζοντες σε τομείς όπως η δυναμική διαχείριση οδικών συστημάτων και η εφαρμογή στατηγικών με δυναμικό τρόπο.

Παρότι υπάρχουν πολλά περιθώρια για την ανάπτυξη των μεθόδων και την βελτίωση των αποτελεσμάτων τους, είναι ορατές από την μέχρι σήμερα έρευνα οι μεγάλες προοπτικές που ανοίγονται για την εφαρμογή των σύγχρονων μεθόδων εκτίμησης μητρώων προέλευσης προορισμού από μετρήσεις κυκλοφοριακών φόρτων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α. : ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΥΠΕΝΘΥΜΙΣΗ

Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΤΩΝ LAGRANGE

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να υπολογίσουμε τα ακρότατα μίας συνάρτησης της οποίας το πεδίο ορισμού υπόκειται σε κάποιου είδους περιορισμό.

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή τα ακρότατα μιας συνάρτησης $f(x,y,z)$ της οποίας οι μεταβλητές υπόκεινται σ'έναν περιορισμό της μορφής $g(x,y,z)=0$ θα βρίσκονται στην επιφάνεια $g=0$, σε σημεία όπου :

$$\nabla f = \lambda \nabla g \quad (1)$$

για κάποια αριθμητική ποσότητα λ (που ονομάζεται *πολλαπλασιαστής Lagrange*).

Για να διερευνήσουμε τη μέθοδο κάπως περισσότερο και να δούμε πως δουλεύει, πρώτα κάνουμε τις ακόλουθες διαπιστώσεις, που τις διατυπώνουμε σαν θεώρημα.

ΘΕΩΡΗΜΑ. Υποθέστε ότι η $f(x,y,z)$ έχει συνεχείς μερικές παραγώγους πρώτης τάξης, σε μία περιοχή που περιέχει την παραγωγίσιμη καμπύλη,

$$C: \mathbf{R}(t) = x(t) \mathbf{i} + y(t) \mathbf{j} + z(t) \mathbf{k} \quad (2)$$

Εάν P_0 είναι ένα σημείο της C , όπου η f έχει τοπικό μέγιστο ή ελάχιστο ως προς τις τιμές της στην C , τότε η f είναι κάθετη στην C στο P_0 .

Απόδειξη. Θα δείξουμε ότι $f \cdot \mathbf{v} = 0$, στα υπό εξέταση σημεία όπου $\mathbf{v} = d\mathbf{R}/dt$ είναι το εφαπτόμενο στην C διάνυσμα. Οι τιμές της f στην C , δίνονται από τη σύνθετη συνάρτηση

$$f(x(t), y(t), z(t)), \quad (3)$$

της οποίας η παράγωγος ως προς t , είναι

$$\frac{df}{dt} = \frac{\partial f}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial f}{\partial z} \frac{dz}{dt} = \nabla f \cdot \mathbf{v} \quad (4)$$

Σε κάθε σημείο P_0 όπου η f έχει τοπικό μέγιστο ή ελάχιστο, σε σχέση με τις τιμές στην καμπύλη, $df/dt=0$, οπότε

$$\nabla f \cdot \mathbf{v} = 0 \quad \bullet \quad (5)$$

Το παραπάνω θεώρημα είναι το κλειδί στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο δουλεύει η μέθοδος των πολλαπλασιαστών Lagrange. Υποθέτουμε ότι οι $f(x,y,z)$ και $g(x,y,z)$ έχουν συνεχείς πρώτες μερικές παραγώγους και ότι P_0 είναι ένα σημείο της επιφάνειας $g(x,y,z)=0$ όπου η f έχει τοπικό μέγιστο ή ελάχιστο, σε σχέση με τις τιμές της πάνω στην επιφάνεια. Τότε η f έχει στο P_0 τοπικό μέγιστο ή ελάχιστο, σε σχέση με τις τιμές της σε κάθε διαφορίσιμη καμπύλη που περνά από το P_0 και βρίσκεται στην $g(x,y,z)=0$. Επομένως, το ∇f είναι κάθετο στο διάνυσμα της ταχύτητας κάθε παρόμοιας διαφορίσιμης καμπύλης που διέρχεται από το P_0 . Το ίδιο όμως ισχύει και για το ∇g (επειδή το ∇g είναι κάθετο στην ισούψη επιφάνεια $g=0$). Συνεπώς στο P_0 η ∇f είναι ένα βαθμωτό πολλαπλάσιο λ της ∇g .

Επομένως η μέθοδος μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

Η Μέθοδος των Πολλαπλασιαστών του Lagrange

Υποθέστε, ότι οι $f(x,y,z)$ και $g(x,y,z)$ έχουν συνεχείς μερικές παραγώγους. Για να βρούμε τα τοπικά μέγιστα και ελάχιστα της f οι μεταβλητές της οποίας υπόκεινται στον περιορισμό $g(x,y,z)=0$, βρίσκουμε τις τιμές των x,y,z και λ , που ικανοποιούν τις εξισώσεις :

$$\nabla f = \lambda \cdot \nabla g \text{ και } g(x,y,z)=0 \quad (6)$$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΥΠΕΝΘΥΜΙΣΗ

Η μέθοδος των πολλαπλασιαστών του Lagrange μπορεί να εκφραστεί και με ένα διαφορετικό αλλά ισοδύναμο τρόπο. Συγκεκριμένα κατασκευάζουμε τη βοηθητική συνάρτηση :

$$H(x, y, z, \lambda) = f(x, y, z) - \lambda g(x, y, z) \quad (7)$$

Επειτα βρίσκουμε τις τιμές των x, y, z και λ , για τις οποίες οι μερικές παράγωγοι της H είναι όλες μηδέν:

$$H_x = 0, \quad H_y = 0, \quad H_z = 0, \quad H_\lambda = 0 \quad (8)$$

Αυτές οι απαιτήσεις είναι ισοδύναμες με εκείνες που προκύπτουν από την (6) διότι

$$H_x = f_x - \lambda g_x = 0 \Rightarrow f_x = \lambda g_x \quad (9)$$

$$H_y = f_y - \lambda g_y = 0 \Rightarrow f_y = \lambda g_y \quad (10)$$

$$H_z = f_z - \lambda g_z = 0 \Rightarrow f_z = \lambda g_z \quad (11)$$

$$H_\lambda = -g(x, y, z) = 0 \Rightarrow g(x, y, z) = 0 \quad (12)$$

Οι πρώτες τρεις εξισώσεις δίνουν $\nabla f = \lambda \nabla g$ και η τελευταία $g(x, y, z) = 0$.

ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΤΕΣ ΤΟΥ LAGRANGE ΜΕ ΔΥΟ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥΣ

Εαν υπάρχουν δύο περιορισμοί στις μεταβλητές της $f(x, y, z)$, ας πούμε :

$$g(x, y, z) = 0 \text{ και } h(x, y, z) = 0$$

μπορούμε να βρούμε τα υπό περιορισμό μέγιστα και ελάχιστα της f , εισάγοντας δύο πολλαπλασιαστές του Lagrange λ και μ . Δηλαδή εντοπίζουμε τα σημεία $P(x, y, z)$ όπου η f παίρνει τις υπό περιορισμό ακρότατες τιμές, βρίσκοντας τις τιμές των x, y, z, λ και μ που ικανοποιούν ταυτόχρονα τις εξισώσεις:

$$\nabla f = \lambda \nabla g + \mu \nabla h \quad (12)$$

$$g(x, y, z) = 0 \quad (13)$$

$$h(x, y, z) = 0 \quad (14)$$

Οι συναρτήσεις f, g και h , πρέπει να έχουν συνεχείς μερικές παραγώγους.

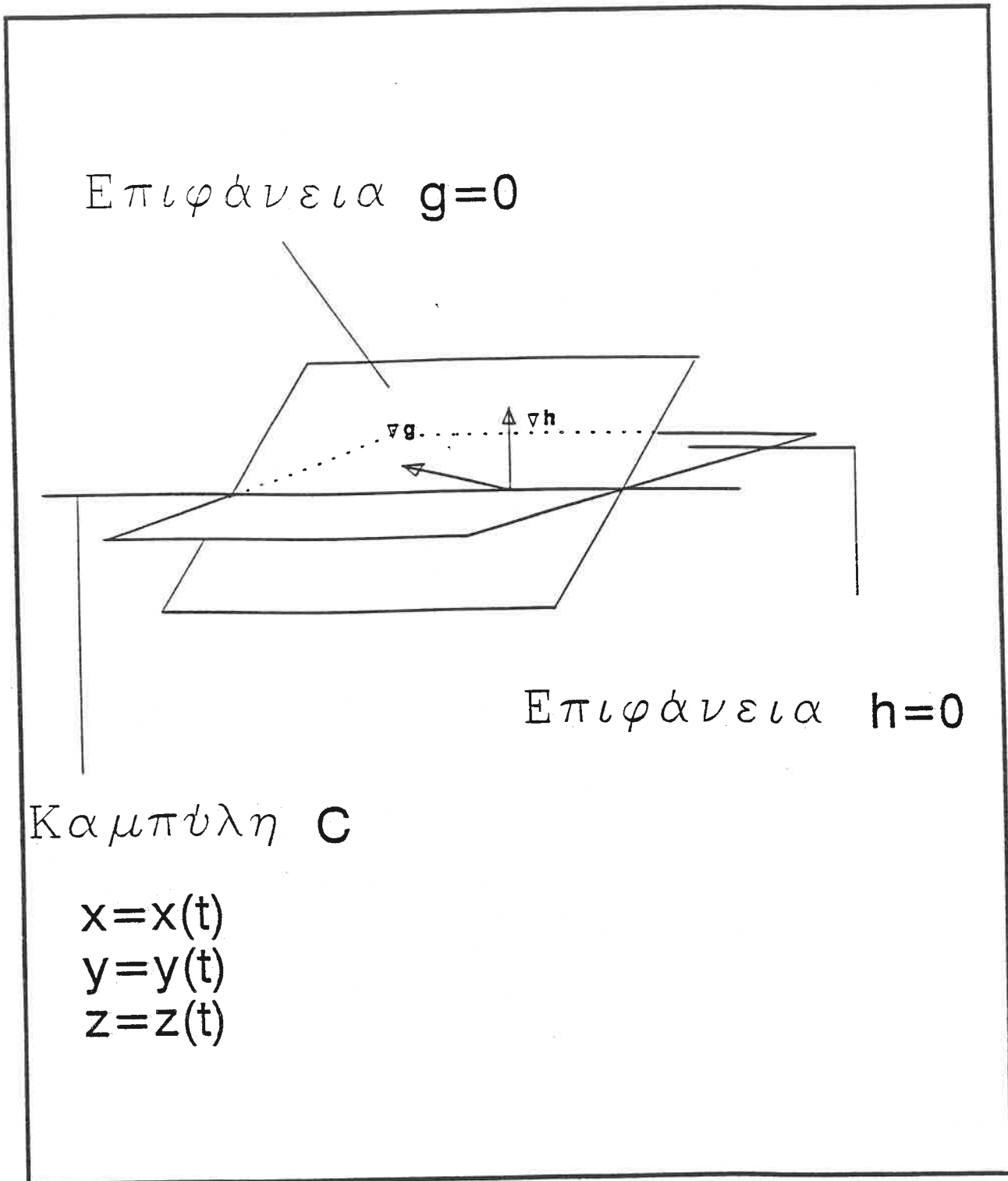
Οι παραπάνω εξισώσεις έχουν μία ωραία γεωμετρική ερμηνεία. Οι επιφάνειες $g=0$ και $h=0$ (συνήθως) τέμνονται σε μία παραγωγίσιμη καμπύλη, ας πούμε C (όπως φαίνεται και στο σχήμα Α.1.) και πάνω σ'αυτή την καμπύλη ψάχνουμε για τα σημεία, όπου η f έχει τοπικά μέγιστα ή ελάχιστα, σε σχέση με άλλες τιμές της στην καμπύλη. Αυτά είναι τα σημεία όπου το ∇f είναι κάθετο στην C . Αλλά τα ∇g και ∇h είναι επίσης κάθετα στην C στα σημεία αυτά, επειδή η C βρίσκεται πάνω στις καμπύλες $g=0$ και $h=0$. Επομένως το ∇f βρίσκεται στο επίπεδο που ορίζεται από τα ∇g και ∇h , που σημαίνει

$$\nabla f = \lambda \nabla g + \mu \nabla h$$

για κάποια λ και μ . Αφού τα σημεία που θέλουμε, επίσης ανήκουν και στις δύο επιφάνειες, οι συντεταγμένες τους πρέπει να ικανοποιούν τις εξισώσεις

$$g(x, y, z) = 0 \text{ και } h(x, y, z) = 0$$

που είναι οι υπόλοιποι περιορισμοί των παραπάνω εξισώσεων.



Σχήμα Α.1. Γεωμετρική Ερμηνεία Της Μεθόδου
των Πολλαπλασιαστών Lagrange.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ Η/Υ.

B.1.1. Γενικά.

Για την πραγματοποίηση της διπλωματικής εργασίας αυτής, υπήρξε η ανάγκη να γίνει η συγγραφή αρκετών προγραμμάτων για ηλεκτρονικό υπολογιστή, προκειμένου να γίνει δυνατή τόσο η προσομοίωση της ζήτησης στο δίκτυο των παραδειγμάτων και η κίνηση των χρηστών σε αυτό, όσο και η ανάλυση της πληθώρας των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από αυτή. Όλα τα προγράμματα γράφτηκαν σε γλώσσα FORTRAN και μάλιστα για λειτουργικό σύστημα UNIX. Η επιλογή του λειτουργικού συστήματος έγινε περισσότερο για πρακτικούς λόγους, αφού και τα προγράμματα μπορούν εύκολα να τροποποιηθούν για λειτουργικό σύστημα DOS και για την Microsoft FORTRAN. Η γλώσσα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η LPI-FORTRAN (version 3.4) για υπολογιστές με επεξεργαστή Intel 386/486 και λειτουργικό σύστημα UNIX V.4., της LIANT SOFTWARE CORPORATION. Ο υπολογιστής στον οποίο εκτελέστηκαν όλα τα προγράμματα ήταν ένας OLIVETTI M300 (επεξεργαστής 386) με συχνότητα 16 MHz, και στον οποίο υπήρχε και μαθηματικός συνεπεξεργαστής (Intel 387).

B.1.2. Προγράμματα Προτύπου Επιλογής Διαδρομής.

Το πρότυπο επιλογής διαδρομής που χρησιμοποιήθηκε στη διπλωματική εργασία, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είχε φτιαχθεί από τους Α.Σταθόπουλο και Θ.Παρμακίζογλου για τις ανάγκες του πιλοτικού προγράμματος του PARCMAN. Τα προγράμματα που το αποτελούν είναι δύο:

- Το **DNAINIT**, το οποίο κάνει την αρχική φόρτιση του δικτύου με την μέθοδο quantal, στην αρχή του πρώτου κύκλου και,
- Το **DNALoop**, το οποίο πραγματοποιεί τους επαναληπτικούς κύκλους για κάθε χρονικού διάστημα διάρκεια ίσης με εκείνη που ορίζεται στο DNAINIT.

Τα προγράμματα αυτά αποτελούν πνευματική ιδιοκτησία των συγγραφέων τους και του εργαστηρίου Σιδηροδρομικής και Μεταφορών, και η παρουσίαση τους δεν είναι δυνατή.

Οποιος επιθυμεί να δει και να μελετήσει τα προγράμματα αυτά πρέπει να ζητήσει την άδεια των συγγραφέων των.

Ο συγγραφέας της διπλωματικής αυτής εργασίας, πραγματοποίησε όλες τις απαραίτητες αλλαγές προκειμένου να εκτελεστούν τα παραπάνω προγράμματα σε υπολογιστή με λειτουργικό σύστημα UNIX. Επίσης έγινε και η προσθήκη του παρακάτω τμήματος, στην υπορουτίνα SAPIJA του προγράμματος DNALoop, προκειμένου εκτός από τον υπολογισμό των ζωνών, των οποίων χρήστες περνούν από κάποιο σύνδεσμο, να γίνεται και ο ακριβής υπολογισμός των ποσοστών των αναχωρήσεων από κάποια ζώνη προέλευσης που παίρνει από το σύνδεσμο αυτό. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται αφού πρώτα βρεθούν ποιά ζευγάρια ζωνών προέλευσης - προορισμού περνούν από το συγκεκριμένο σύνδεσμο, βάσει του δένδρου που έχει κατασκευασθεί από την υπορουτίνα TREE του προγράμματος.

Υπορουτίνα εύρεσης των ποσοστών των αναχωρήσεων της κάθε ζώνης που περνούν από κάποιο σύνδεσμο.

c ***** routine to find the zones-path which passes over*****

c ***** the link *****

```
Line=0
Icol=0
istatus=0
ior=ixx
iz=0
do 5006 l1=1,nzones
ist2=1
iifr=l1
do while (ist2.le.nnodes)
it1=iifr
if1=IPATH(ior,it1)
if (if1.eq.0) then
ist2=nnodes+1
goto 5100
```

```

endif
m1=Name(If1)-300
m2=Name(It1)-300
if (m1.eq.Lsa(link).and.m2.eq.Lsb(link)) then
  iz=iz+1
  izon(iz)=l1
  Icol=Icol+Imatr(ior,l1)
  ist2=nnodes+1
endif
iifr=if1
ist2=ist2+1
5100 end do
5006 continue

```

```

do 5300 mine=1,nzones
  Line=Line+Imatr(ior,mine)
5300 continue

```

```

c*****
c*****

```

B.1.3. Προγράμματα της μεθόδου της Μεγιστοποίησης της Εντροπίας.

Παρακάτω δίνονται τα προγράμματα της μεθόδου της μεγιστοποίησης της εντροπίας, όπως αυτά γράφτηκαν από τον συγγραφέα της διπλωματικής εργασίας, και βάση του αλγορίθμου που ανέφεραν στις δημοσιεύσεις τους οι Van Zyulen και Willumsen. Για την επίλυση των μη γραμμικών εξισώσεων που προκύπτουν, έγινε η χρήση είτε της μεθόδου Newton-Raphson, είτε της μεθόδου της διχοτόμησης. Έγινε χρήση της πρώτης μεθόδου όταν ο λόγος του πραγματικού προς τον εκτιμώμενο φόρτο του συνδέσμου ήταν μεγαλύτερος της μονάδας, διαφορετικά γινόταν χρήση της δεύτερης μεθόδου.

Προγράμματα Μεθόδου Μεγιστοποίησης της Εντροπίας

```

c*****
c*****
c***** entropy *****
      subroutine entropy(ncurts,ktc,k,n,nj,maxit)
      implicit double precision (a-h,o-z)
      dimension v(100),err(100)
      common /new/ xo,vol(100),x(100),linkor(100,50),tt(200),told(198)
      common /s2/ t(198,100),lp(198,100),rl(550),ae(550)
      common /new1/ x5(100),pro(50)
      real*4 t,rl,ae
      logical*2 conv1,conv3

      do 10 i=1,n
      told(i)=t(i,ncurts)
      tt(i)=told(i)
10 continue

      do 12 i=1,100
      do 14 j=1,50
      linkor(i,j)=0
14 continue
12 continue
c***** reading the proportions of the link *****
      numl=k
      nor=n
      do 100 l=1,k
      read(5,20) np,ivol,ier
      vol(l)=dfloat(ivol)
20 format(25x,3i5)
      do 30 i=1,n
      do 40 j=1,nj

```

```

    lp(i,j)=0
40 continue
30 continue
    if (np.ne.0) then
        do 60 m=1,np
            read(5,50) io,jd,ifr
50 format(10x,3i5)
            jd=jd+ktc
            lp(io,jd)=ifr
            linkor(l,io)=ifr
60 continue
        else
            do 65 i=1,n
                do 70 j=1,nj
                    if (i.ne.j) then
                        lp(i,j)=1
                    endif
70 continue
65 continue
            endif
100 continue
c*****
c***** reading convergence limits*****
c***** convergence of link's vollume*****
    s=5.
c**** convergence of Newton-Raphson Method****
    e=0.0001
c*****
c*** number of iteration *****
    niter=0
c*****
    do 140 k=1,numl
        x(k)=1.0

```

```

    x5(k)=1.0
140 continue
    do 400 il=1,nor
        pro(il)=1.
    400 continue
c*****
c***** k is the index for link *****
150 k=0
    niter=niter+1
    call writeite(niter)
160 k=k+1
    v(k)=0.0
    do 170 i=1,nor
        prec1=dfloat(linkor(k,i))/100.
        v(k)=v(k)+told(i)*pro(i)*prec1
    170 continue
    xx=vol(k)/v(k)
c** if xx greater 1 then Newton-Raphson method
c** if xx less 1 then bisection method
c** if xx equal 1 then convergion
    if (xx.lt.1.) then
        call bisect(1.d-6,xx,k,nor)
    else if (xx.gt.1.) then
        call newton(e,xx,nor,k,numl)
    endif
c*****
    do 900 jl=1,numl
        x(jl)=x5(jl)
    900 continue
c**** update of departures *****
175 do 180 i=1,nor
    prod=1.
    do 190 j=1,numl

```

```

    prec=dfloat(linkor(j,i))/100.
    prod=prod*exp(prec*dlog(x(j)))
190 continue
    pro(i)=prod
    tt(i)=told(i)*prod
180 continue
c*****
c***** if all links are over *****
    if (k.lt.numl) goto 160
c*****
c*****
c**** converence of link flows*****
    do 210 i = 1,numl
    v(i)=0.
    do 220 j = 1,nor
    v(i)=v(i)+tt(j)*dfloat(linkor(i,j))/100.
220 continue
210 continue
    conv1=.true.
    do 230 i = 1,numl
    err(i)=dabs(v(i)-(vol(i)))*100./vol(i)
    if (err(i).gt.s) conv1=.false.
230 continue
c*****
    av=0.
    do 1200 ji = 1,numl
    av=av+err(ji)
1200 continue
    av=av/numl
c*****
    conv3=.false.
    if (niter.ge.maxit) conv3=.true.
    if (conv1) goto 500

```

```

    if (conv3) goto 500
    goto 150

500 do 300 i=1,nor
    t(i,ncurts)=tt(i)
300 continue
    write(44,634) ncurts,av
634 format("time slice ",i5,1x,"average: ",f8.2)
    k=numl
    n=nor
    return
end

c*****
c***** Newton Rapson method *****
    subroutine newton (e,xx,nor,k,numl)
    implicit double precision (a-h,o-z)
    common /new/ xo,vol(100),x(100),linkor(100,50),tt(200),told(198)
    common /new1/ x5(100),pro(50)

c e : the acceptable error *****
    ind=0
    x1=xx
20 f1=0.
    f2=0.
    do 10 i=1,nor
    prec1=dfloat(linkor(k,i))/100.
    prod=pro(i)
    f1=f1+told(i)*prod*prec1*dexp(prec1*dlog(x1))
    f2=f2+told(i)*prod*(prec1**2)*dexp((prec1-1.)*dlog(x1))
10 continue
    x2=x1+((vol(k)-f1)/f2)
    if (x2.le.0.) then
    call bisect(1.d-6,x1,k,nor)

```

```

goto 40
endif
diaf=dabs(x2-x1)
ind=ind+1
if (ind.gt.400) then
goto 40
endif
if (diaf.gt.e) then
x1=x2
goto 20
endif
if (x2.le.0.) goto 40
x5(k)=0.5*(x2+x(k))
40 return
END

```

c*****

c***** bisection routine*****

subroutine bisect(a,b,k,nor)

implicit double precision (a-h,o-z)

common /new/ xo,vol(100),x(100),linkor(100,50),tt(200),told(198)

common /new1/ x5(100),pro(50)

c**** a:the lower bound of search interval *****

c**** b:the upper bound of search interval *****

c**** n:maximum number of iterations *****

c**** err=0.5*E-6 :acceptable error *****

ind=0

a0=a*1.e-10

b0=b

20 xb=(a0+b0)/2.

fx=0.0

fb=0.0

f1=0.0

f2=0.0

```

do 10 i=1,nor
prec=dfloat(linkor(k,i))/100.
prod=pro(i)
f1=f1+told(i)*prod*prec*dexp(prec*dlog(xb))
f2=f2+told(i)*prod*prec*dexp(prec*dlog(b0))
10 continue
fx=vol(k)-f1
fb=vol(k)-f2
if (ind.gt.200) then
goto 40
endif
if (dabs(fx).le.0.5E-6) goto 30
pol=fx*fb
if (fx.eq.0.) then
goto 30
endif
if (fb.eq.0.) then
x5(k)=0.5*(x(k)+b0)
goto 40
endif
if (pol.gt.0.) b0=xb
if (pol.lt.0.) a0=xb
ind=ind+1
goto 20
30 x5(k)=0.5*(x(k)+xb)
40 return
end
c*****

```

Β.1.4. Πρόγραμμα Δημιουργίας Των Μητρώων Προέλευσης-Προορισμού.

Για την δημιουργία των μητρώων προέλευσης-προορισμού των οποίων τα στοιχεία να ακολουθούν την κανονική κατανομή, με μέση τιμή την τιμή που είχαν στο ιστορικό μητρώο,

και τυπική απόκλιση την οποία ορίζαμε εμείς με κατάλληλο τρόπο, γράφτηκε το παρακάτω πρόγραμμα το οποίο ακολουθεί την πολική μέθοδο (polar method), η οποία αποτελεί μία από τις πιο γρήγορες και τις σωστότερες μεθόδους. Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής είναι απαραίτητη μία γεννήτρια παραγωγής τυχαίων αριθμών από το μηδέν έως το 1, οι οποίοι να ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή. Έτσι έγινε χρήση μίας από τις καλύτερες υπορουτίνες παραγωγής τυχαίων αριθμών για PC, του Schrage. Ο σπόρος (seed) της γεννήτριας "δινόταν" από το ρολόι του συστήματος.

Πρόγραμμα παραγωγής μητρώων των οποίων τα στοιχεία ακολουθούν κανονική κατανομή.

```
program randnumber
IMPLICIT double precision (a-h,o-z)
integer*4 pr(25,25),new(25,25)
real*4 z(206)
double precision cz,drand,seed1,seed2
character*1 ch
character ar1(8)*1
character*12 name

open(1,file='randod.dat',form='formatted',status='old')
open(2,file='od25',form='formatted')
do 10 i=1,34
  read(2,20) ch
10 continue
20 format(a1)
  do 30 i=1,25
    read(2,40) idu,(pr(i,j),j=1,25)
30 continue
40 format(15i5)
  close(2)
  read(1,50) nod,s
50 format(i5,2x,f8.4)
```

```

do 9999 i1=1,nod
  read(1,60) name
  write(*,60) name
60 format(a12)
  call time(ar1)
  isec=(10*(ichar(ar1(7))-48)+i1*(ichar(ar1(8))-48))
  seed1=192938.*dfloat(isec)
  seed2=216452.*dfloat(isec)
  index=0
  do while (index.lt.206)
    u1=drand(seed1)
    u2=drand(seed2)
    v1=2*u1-1
    v2=2*u2-1
    w=v1**2+v2**2
    if (w.gt.1.) goto 100
    y=sqrt((-2*log(w))/w)
    x1=v1*y
    x2=v2*y
c ***** m,s *****
    index=index+2
    z(index)=x2
    z(index-1)=x1
100 end do
    ind=1
    do 200 i3=1,25
      do 300 i4=1,25
        if (pr(i3,i4).ne.0) then
          cz=(0.5+z(ind))*0.083333*s)
          df=dfloat(pr(i3,i4))
c    df2=dfloat(pr(i3,i4))/24.
c    new(i3,i4)=nint(df+df2*z(ind)*s)
          new(i3,i4)=nint(df*cz/0.50)

```

```

ind=ind+1
endif
300 continue
200 continue
    open(3,file=name,form='formatted')
    ch=' '
    do 400 i4=1,34
        write(3,410) ch
400 continue
410 format(a1)
    do 500 i5=1,25
        write(3,510) i5,(new(i5,j),j=1,25)
500 continue
510 format(15i5)
    close(3)
9999 continue
    close(1)
    stop
end
c*****
c*****subroutine for random number between [0,1]*****
double precision function drand(ix)
double precision a,p,ix,b15,b16,xhi,xalo,leftlo,fhi,k
data a/16807.d0/,b15/32768.d0/,b16/65536.d0/,p/2147483647.d0/
xhi=ix/b16
xhi=xhi-dmod(xhi,1.d0)
xalo=(ix-xhi*b16)*a
leftlo=xalo/b16
leftlo=leftlo-dmod(leftlo,1.d0)
fhi=xhi*a+leftlo
k=fhi/b15
k=k-dmod(k,1.d0)
ix=((xalo-leftlo*b16)-p)+(fhi-k*b15)*b16+k

```

```

if (ix.lt.0.d0) ix=ix+p
drand=ix*4.656612875d-10
return
end

```

```

c*****
c*****

```

B.1.5. Πρόγραμμα σύγκρισης του Πραγματικού και του Εκτιμώμενου Μητρώου.

Εκτός από τα παραπάνω προγράμματα τα οποία ήσαν απαραίτητα για τη προσομοίωση της ζήτησης, γράφτηκαν και μερικά προγράμματα για την σύγκριση του πραγματικού και του εκτιμώμενου μητρώου. Τα μεγέθη που χρησιμοποιήθηκαν για την σύγκριση, είναι η μέση απόλυτη διαφορά (MAE), η σχετική μέση απόλυτη διαφορά (RMAE), η τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλματος (RMSE), η σχετική τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλματος (RRMSE), και ο συντελεστής διαφοροποίησης (R^2).

Πρόγραμμα Σύγκρισης Μητρώων.

```

programe compare
c *****
c It makes a statistical analysis for the prior and the
c estimated o/d matrix.
c *****
implicit double precision(a-h,o-z)
character*1 pr1,pr2
character*12 matr1,matr2
integer*2 pm(60,60),em(60,60)
c common pm,em,nor
double precision mae,me
call clearscr
open(3,file='compare.res',form='formatted')
open (4,file='compare.dat',form='formatted',status='old')
write(3,200) 'TSLICE','MAE','%MAE','RMSE','%RMSE','R**2'

```

```
200 format(a6,4x,a3,4x,a4,5x,a4,4x,1x,a5,6x,2x,a4)
```

```
read (4,4) nmat,nor
```

```
4 format(i3,1x,i3)
```

```
do 9999 id=1,nmat
```

```
read(4,10) matr1,matr2
```

```
10 format(a12,1x,a12)
```

```
open (1,file=matr1,form='formatted',status='old')
```

```
open (2,file=matr2,form='formatted',status='old')
```

```
c skip 34 lines
```

```
do 30 i=1,34
```

```
read(1,40) pr1
```

```
read(2,40) pr2
```

```
30 continue
```

```
40 format(a)
```

```
c reading the prior o/d matrix
```

```
call rmatr(pm,nor,1)
```

```
c reading the estimated o/d matrix
```

```
call rmatr(em,nor,2)
```

```
c
```

```
me=0.
```

```
mae=0.
```

```
rmae=0.
```

```
rmse=0.
```

```
rrmse=0.
```

```
r=0.
```

```
nn=0
```

```
do 50 i=1,nor
```

```
do 60 j=1,nor
```

```
if (pm(i,j).ne.0) then
```

```
nn=nn+1
```

```
endif
```

```

mae = mae + dfloat(iabs(pm(i,j)-em(i,j)))
if (pm(i,j).ne.0) then
me = me + (dfloat(em(i,j)-pm(i,j)))/(dfloat(pm(i,j)))
endif
rmae = rmae + dfloat(pm(i,j))
rmse = rmse + dfloat((pm(i,j)-em(i,j))**2)
60 continue
50 continue

```

```

arit = rmse
tm = rmae/dfloat(nn)
rmse = dsqrt(rmse/dfloat(nn))
rrmse = 100*rmse*dfloat(nn)/rmae
r1 = rmae
me = 100*me
rmae = 100*mae/rmae
mae = mae/dfloat(nn)

```

```

pil = 0.
do 70 i = 1,nor
do 80 j = 1,nor
pil = pil + ((float(pm(i,j))-tm)**2)
80 continue
70 continue
r = 1-(arit/pil)

```

```

write(3,90) id,mae,rmae,rmse,rrmse,r
90 format(i6,1x,f8.2,1x,f6.2,1x,f8.2,4x,f6.2,6x,f8.6)
9999 continue
stop
end
c end of main program
c *****

```

```

subroutine clearscr
write (*,*) char(27),char(91),char(50),char(74)
return
end
c *****
c ***** subroutine for reading the matrix file *****
subroutine rmatr(imat,n,nfile)
integer*2 imat(60,60)
do 100 i=1,n
read(nfile,300) idu, (Imat(i,j),j=1,n)
100 continue
300 format(15(i5))
rewind (nfile)
return
end
c *****
c *****

```

Τα δύο επόμενα προγράμματα υπολογίζουν για κάθε ένα μη μηδενικό στοιχείο του πραγματικού μητρώου (UNDER1) ή για το σύνολο των αναχωρήσεων από κάθε ζώνη προέλευσης ξεχωριστά (UNDER2), την σχετική υπερεκτίμηση ή υποεκτίμηση του εκτιμώμενου μητρώου.

Πρόγραμμα UNDER1.

```

program under1
character*1 ch
dimension ar1(198,198),ar2(198,198)
character*12 str1,str2
integer*2 ar1,ar2

open(1,file='compare.dat',form='formatted',status='old')

```

```
      read(1,10) inum,nz
10  format(i3,i3)
      open(4,file='under.res',form='formatted')
      write(4,15) "Time Slice","Correct","Estimated","Relative
+ Difference"
15  format(1x,a10,2x,a10,2x,a10,2x,a10)

      do 9999 i = 1,inum
      read(1,20) str1,str2
20  format(a12,1x,a12)
      write(*,20) str1,str2
      open(2,file=str1,form='formatted',status='old')
      open(3,file=str2,form='formatted',status='old')
      do 30 jj = 1,34
      read(2,40) ch
      read(3,40) ch
40  format(a1)
30  continue
      do 50 k = 1,nz
      read(2,60) idu,(ar1(k,l),l = 1,nz)
      read(3,60) idu,(ar2(k,l),l = 1,nz)
60  format(15i5)
50  continue
      do 70 k = 1,nz
      do 80 l = 1,nz
      if (ar1(k,l).ne.0) then
      a1=float(ar1(k,l))
      a2=float(ar2(k,l))
      dif=a2-a1
      rdif=dif/a1
      write(4,90) i,ar1(k,l),ar2(K,L),100*rdif
90  format(1x,i8,2x,i8,2x,i8,2x,f11.0)
      endif
```

```

80 continue
70 continue
  close(2)
  close(3)
9999 continue
  close(1)
  close(4)
  stop
  end
C*****
C*****

```

Πρόγραμμα UNDER2.

```

program under2
character*1 ch
dimension ar1(198,198),ar2(198,198)
character*12 str1,str2
integer*2 ar1,ar2

open(1,file='compare.dat',form='formatted',status='old')
read(1,10) inum,nz
10 format(i3,i3)
  open(4,file='under.res',form='formatted')
  write(4,15) "Time Slice","Correct","Estimated","Relative
+ Difference"
15 format(1x,a10,2x,a10,2x,a10,2x,a10)
  do 9999 i=1,inum
    read(1,20) str1,str2
20 format(a12,1x,a12)
    write(*,20) str1,str2
    open(2,file=str1,form='formatted',status='old')
    open(3,file=str2,form='formatted',status='old')

```

```
do 30 jj = 1,34
  read(2,40) ch
  read(3,40) ch
40 format(a1)
30 continue
  do 50 k = 1,nz
    read(2,60) idu,(ar1(k,l),l = 1,nz)
    read(3,60) idu,(ar2(k,l),l = 1,nz)
60 format(15i5)
50 continue
  do 70 k = 1,nz
    isum = 0
    jsum = 0
    do 80 l = 1,nz
      if (ar1(k,l).ne.0) then
        isum = isum + float(ar1(k,l))
        jsum = jsum + float(ar2(k,l))
80 format(1x,i8,2x,i8,2x,i8,2x,f11.0)
      endif
    endif
70 continue
    if (isum.ne.0) then
      dif = float(jsum-isum)
      rdif = dif*100/float(isum)
      write(4,90) i,isum,jsum,rdif
    endif
90 format(1x,i8,2x,i8,2x,i8,2x,f11.0)
9999 continue
  close(1)
  close(4)
  stop
end
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ. ΑΡΧΕΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Γ.1. Γενικά.

Λόγω της μεγάλης πολυπλοκότητας του τελικού προγράμματος της προσομοίωσης (ALL.FTN), ήταν απαραίτητη και η διάσπαση των δεδομένων, σε μικρότερα αρχεία δεδομένων, ώστε κάθε υποπρόγραμμα να αναζητεί τα δικά του δεδομένα σ'ένα ξεχωριστό αρχείο και να μην υπάρχει σύγχυση αυτών. Έτσι στο παράρτημα αυτό θα γίνει μία περιγραφή των διαφόρων αρχείων των δεδομένων, τόσο ως προς την μορφή όσο και ως προς το είδος των δεδομένων που πρέπει να περιέχει το κάθε ένα.

Γ.2. Περιγραφή των Αρχείων.

Γ.2.1. Το κύριο αρχείο δεδομένων του προτύπου επιλογής διαδρομής.

Το κύριο αρχείο δεδομένων που χρειάζεται το πρόγραμμα ALL.FTN, το οποίο είναι και το τελικό πρόγραμμα της υπολογιστικής προσομοίωσης, ονομάζεται LOOP.DAT και έχει την παρακάτω μορφή.

```
50 net25 15
mod1 out1 rjjs1
mod2 out2 rjjs2
mod3 out3 rjjs3
```

όπου 50 : συνολικός αριθμός κύκλων.

net25 : αρχείο δεδομένων δικτύου.

15 : χρονικό διάστημα του κύκλου (σε λεπτά).

mod1 : μητρώο προέλευσης προορισμού σε binary μορφή, με το οποίο θα φορτισθεί το δίκτυο στον κύκλο 1.

out1 : αποτελέσματα της φόρτισης του δικτύου (φόρτοι ανά σύνδεσμο, μέση ταχύτητα κ.τ.λ.) του κύκλου 1.

rjjs1 : αρχείο ποσοστών από την φόρτιση του δικτύου στον κύκλο 1.

Γ.2.2. Το κύριο αρχείο δεδομένων της διαδικασίας εκτίμησης.

Το κύριο αρχείο δεδομένων της διαδικασίας εκτίμησης ονομάζεται estim.dat και έχει την παρακάτω μορφή.

5a.5 5b.5 5adja.5 5adjb.5 5upa.5 5upb.5
rijs4 5 1 2 3 4 38 od25

όπου 5a.5 : δεδομένο του αρχείου timedist.dat.

5b.5 : δεδομένο του αρχείου timedist.dat.

5adja.5 : δεδομένο του αρχείου adjmatr.dat.

5adjb.5 : δεδομένο του αρχείου adjmatr.dat.

5upa.5 : δεδομένο του αρχείου upmatrix.dat.

5upb.5 : δεδομένο του αρχείου upmatrix.dat.

rijs4 : αρχείο ποσοστών πουθα χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση στον κύκλο.

5 : αύξων αριθμός κύκλου.

1 2 3 4 : οι κύκλοι που θα χρησιμοποιηθούν για την διαμόρφωση του a priori μητρώου.

38 : αριθμός μετρήσεων φόρτου.

od25 : αρχικό a priori μητρώο.

Γ.2.3. Επιμέρους αρχεία δεδομένων της διαδικασίας εκτίμησης.

1) Αρχείο changes2.dat.

50 : συνολικός αριθμός κύκλων προσομοίωσης.

25 : αριθμός ζωνών.

100 : συνολικός αριθμός κύκλων της περιόδου ανάλυσης.

basis.dat: μητρώο ζωνών προέλευσης-κύκλων.

rijs49 : αρχείο ποσοστών.

11 : αριθμός μετρήσεων.

1 : αύξων αριθμός τρέχοντος κύκλου.

basis.dat: μητρώο ζωνών προέλευσης-κύκλων.

2) Αρχείο timedist.dat.

25 : αριθμός ζωνών προέλευσης.

100 : συνολικός αριθμός κύκλων.

50 : συνολικός αριθμός κύκλων προσομοίωσης.

11 : αριθμός μετρήσεων φόρτου.

1 : αυξων αριθμός τρέχοντος κύκλου.

20 :

dept : μητρώο που περιέχει τις a priori αναχωρήσεις.

rijs49: μητρώο ποσοστών.

5a.50 : μητρώο εκτιμώμενων αναχωρήσεων και στοιχεία λαθών.

5b.50 : μητρώο εκτιμώμενων αναχωρήσεων.

3) Αρχείο depmatrix.dat.

25 : αριθμός ζωνών προέλευσης.

50 : συνολικός αριθμός κύκλων προσομοίωσης.

100 : συνολικός αριθμός κύκλων περιόδου ανάλυσης.

basis.dat : μητρώο ζωνών προέλευσης-κύκλων.

5b.50 : μητρώο εκτιμώμενων αναχωρήσεων.

mfinal.dat: μητρώο τελικών αναχωρήσεων ανά κύκλο.

mfinal.dat: μητρώο τελικών αναχωρήσεων ανά κύκλο.

4) Αρχείο adjmatr.dat.

25 : αριθμός ζωνών προέλευσης.

100 : συνολικός αριθμός κύκλων περιόδου ανάλυσης.

1 2 3 4 : οι κύκλοι οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη στην διαμόρφωση του τελικού a priori μητρώου.

mfinal.dat: μητρώο τελικών αναχωρήσεων ανά κύκλο.

od25 : αρχικό a priori μητρώο.

5adja.50 : εκτιμώμενο μητρώο προέλευσης προορισμού με σφάλματα.

5adjb.50 : εκτιμώμενο μητρώο προέλευσης προορισμού.

5) Αρχείο upmatrix.dat.

25 : αριθμός ζωνών προέλευσης.

5 : τρέχον κύκλος.

100 : συνολικός αριθμός κύκλων όλης της περιόδου ανάλυσης.

mfinal.dat: μητρώο τελικών αναχωρήσεων ανά κύκλο.

5adjb.50 : εκτιμώμενο μητρώο προέλευσης προορισμού.

5upb.50 : διορθωμένο μητρώο προέλευσης προορισμού με σφάλματα.

5upb.50 : διορθωμένο μητρώο προέλευσης προορισμού.

Γ.2.4. Αρχεία δεδομένων βοηθητικών προγραμμάτων.

1) Αρχείο mkcount.dat (διόρθωση των αρχείων που περιέχουν τα ποσοστά).

out25.001 rij1

out25.002 rij2

out25.003 rij3

όπου out25.001 : το αρχείο με τα αποτελέσματα από την φόρτιση του δικτύου με τα πραγματικά μητρώα προέλευσης προορισμού.

rij1 : αρχείο ποσοστών που θα τροποποιηθεί ώστε να περιέχει τις σωστές μετρήσεις.

2) Αρχείο unf.dat (μετατροπή των αρχείων των μητρώων προέλευσης προορισμού από ASCII μορφή σε BINARY μορφή).

od25 mod1 25

5upb.2 mod2 25

5upb.3 mod3 25

όπου 5upb.2 : το μητρώο σε ASCII μορφή.

mod2 : το μητρώο σε BINARY μορφή.

25 : αριθμός ζωνών προέλευσης - προορισμού.

3) Αρχείο count.dat (περιέχει τους συνδέσμους στους οποίους έχουμε μετρήσεις).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.

Δ.1. Γενικά.

Στο παράρτημα αυτό δίνονται σε πίνακες όλα τα δεδομένα των συνδέσμων του δικτύου, που χρησιμοποιήθηκαν στην υπολογιστική προσομοίωση. Τα δεδομένα αυτά είναι :

- (1) Ταχύτητα ελεύθερης ροής (χιλ./ώρα).
- (2) Ταχύτητα σε συνθήκες κορεσμού (χιλ./ώρα).
- (3) Κυκλοφοριακή Ικανότητα (οχήμ./ώρα).
- (4) Σύνδεσμος μονής ή διπλής κατεύθυνσης.
- (5) Μήκος συνδέσμου (μέτρα).

Δ.2. Δεδομένα Συνδέσμων.

Σύνδεσμος	Ταχύτητα Ελεύθερης Ροής	Ταχύτητα Κορεσμού	Κυκλοφοριακή Ικανότητα	Αριθ. Κατευθ.	Μήκος
151 141	40	25	750	1	55
151 187	40	25	750	1	165
152 151	40	25	750	1	120
157 152	40	25	750	1	158
157 160	40	25	1500	1	87
160 161	40	25	1500	1	66
160 189	40	25	1500	1	215
161 165	40	25	1500	1	78
165 166	40	25	1500	1	79
165 191	40	25	750	1	126

Πίνακας Δ.1. Χαρακτηριστικά των συνδέσμων του δικτύου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

Σύνδεσμος	Ταχύτητα Ελεύθ.Ροής	Ταχύτητα Κορεσμού	Κυκλοφοριακή Ικανότητα	Αριθ. Κατευθ.	Μήκος
166 192	40	25	1500	1	120
166 264	40	25	1500	1	79
170 141	40	25	1500	1	73
170 171	40	25	1500	1	127
171 172	40	25	1500	1	52
171 185	40	25	2250	1	91
172 173	40	25	1500	1	165
173 174	40	25	1500	1	187
174 175	40	25	1500	1	114
175 176	40	25	1500	1	129
175 180	40	25	1500	1	100
176 177	40	25	1500	1	129
176 179	40	25	1500	1	96
177 229	40	25	2250	1	153
178 177	40	25	1500	1	84
178 179	50	25	1500	1	70
179 180	50	25	1500	1	129
180 181	50	25	1500	1	112
180 205	40	25	750	1	105

Πίνακας Δ.2. Χαρακτηριστικά των συνδέσμων του δικτύου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

Σύνδεσμος	Ταχύτητα Ελευθ.Ροής	Ταχύτητα Κορεσμού	Κυκλοφοριακή Ικανότητα	Αριθ. Κατευθ.	Μήκος
181 174	40	25	750	1	98
181 182	50	25	1500	1	90
182 183	50	25	1500	1	93
182 203	40	25	1500	1	105
183 173	40	25	750	1	95
183 184	50	25	1500	1	173
184 172	40	25	1500	1	91
184 185	50	25	1500	1	52
185 186	50	25	1500	1	126
185 199	40	25	2250	1	112
186 170	40	25	1500	1	87
186 187	50	25	1500	1	49
187 188	50	25	1500	1	117
187 197	40	25	750	1	107
188 152	40	25	750	1	171
188 189	50	25	1500	1	78
189 190	50	25	1500	1	96
189 195	40	25	750	1	116
190 161	40	25	1500	1	131
190 191	40	25	1500	1	62

Πίνακας Δ.3. Χαρακτηριστικά των συνδέσμων δικτύου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

Σύνδεσμος	Ταχύτητα Ελευθ.Ροής	Ταχύτητα Κορεσμού	Κυκλοφοριακή Ικανότητα	Αριθ. Κατευθ.	Μήκος
191 192	40	25	1500	1	74
191 194	40	25	1500	1	122
192 193	40	25	1500	1	55
192 262	40	25	750	1	84
193 194	50	30	2250	1	99
193 260	40	25	750	1	146
194 195	50	30	2250	1	51
195 196	50	30	2250	1	82
196 188	40	25	1500	1	116
196 197	50	30	2250	1	109
197 198	50	30	2250	1	53
198 186	40	25	1500	1	115
198 199	50	30	2250	1	124
199 200	50	30	3000	1	52
199 212	40	25	2250	1	179
200 184	40	25	1500	1	111
200 201	50	30	3000	1	100
201 202	50	30	3000	1	78
202 183	40	25	750	1	108
202 203	50	30	3000	1	91

Πίνακας Δ.4. Χαρακτηριστικά των συνδέσμων του δικτύου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

Σύνδεσμος	Ταχύτητα Ελευθ.Ροής	Ταχύτητα Κορεσμού	Κυκλοφοριακή Ικανότητα	Αριθ. Κατευθ.	Μήκος
203 204	50	30	3000	1	84
203 209	40	25	1500	1	176
204 181	40	25	750	1	108
204 205	50	30	3000	1	116
205 206	50	30	3000	1	104
206 178	40	25	750	1	135
206 227	50	30	3000	1	147
207 208	50	30	4500	1	106
207 224	40	25	750	1	115
208 204	40	25	750	1	174
208 209	50	30	4500	1	81
209 210	50	30	4500	1	88
209 222	40	25	1500	1	115
210 202	40	25	750	1	176
212 213	50	30	3750	1	52
213 214	50	30	3750	1	83
213 218	40	25	1500	1	117
214 198	40	25	1500	1	181
214 215	50	30	3750	1	156
215 196	40	25	1500	1	181

Πίνακας Δ.5. Χαρακτηριστικά των συνδέσμων του δικτύου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

Σύνδεσμος	Ταχύτητα Ελευθ.Ροής	Ταχύτητα Κορεσμού	Κυκλοφοριακή Ικανότητα	Αριθ. Κατευθ.	Μήκος
215 259	50	30	3750	1	132
216 215	40	25	750	1	146
216 217	50	30	2250	1	180
216 463	30	20	750	1	124
217 214	40	25	1500	1	119
217 218	50	30	2250	1	96
218 219	50	30	2250	1	116
218 468	30	20	1500	1	67
219 220	50	30	2250	1	103
220 221	50	30	2250	1	75
220 471	30	20	750	1	131
221 210	40	25	1500	1	117
221 222	50	30	2250	1	82
222 223	50	30	2250	1	82
223 208	40	25	1500	1	114
223 224	50	30	2250	1	110
224 225	50	30	3000	1	54
225 226	40	25	3000	1	115
225 473	40	25	3000	1	63

Πίνακας Δ.6. Χαρακτηριστικά των συνδέσμων του δικτύου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

Σύνδεσμος	Ταχύτητα Ελευθ.Ροής	Ταχύτητα Κορεσμού	Κυκλοφοριακή Ικανότητα	Αριθ. Κατευθ.	Μήκος
226 207	50	30	4500	1	130
226 227	50	30	1500	1	167
226 491	50	30	3000	2	140
227 226	50	30	3000	1	167
227 228	50	30	2250	2	137
228 178	40	25	1500	1	142
228 229	50	30	2250	2	128
259 216	40	25	2250	1	117
259 260	10	5	750	1	167
259 330	50	30	3750	1	61
260 259	40	25	2250	1	167
260 261	10	5	750	1	68
261 193	50	30	3750	1	81
261 260	40	25	2250	1	68
261 262	10	5	750	1	56
262 261	40	25	2250	1	56
262 263	10	5	750	1	63
262 339	40	25	750	1	118
263 262	40	25	2250	1	63

Πίνακας Δ.7. Χαρακτηριστικά των συνδέσμων του δικτύου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

Σύνδεσμος	Ταχύτητα Ελευθ.Ροής	Ταχύτητα Κορεσμού	Κυκλοφοριακή Ικανότητα	Αριθ. Κατευθ.	Μήκος
263 264	10	5	750	1	56
264 263	40	25	2250	1	56
264 265	40	25	1500	1	128
264 341	30	20	1500	1	118
265 264	40	25	3000	1	128
265 266	40	25	1500	1	99
265 342	30	20	750	1	117
266 265	40	25	3000	1	99
330 335	30	20	2250	1	64
331 216	40	25	2250	1	97
331 330	30	20	2250	1	50
332 331	30	20	2250	1	46
332 459	30	20	1500	2	165
333 332	30	20	2250	1	37
333 430	40	25	1500	2	104
334 333	30	20	2250	1	34
334 419	30	20	1500	2	64
335 334	30	20	2250	1	63
335 336	40	25	2250	1	63
336 337	40	25	2250	1	66

Πίνακας Δ.8. Χαρακτηριστικά των συνδέσμων του δικτύου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

Σύνδεσμος	Ταχύτητα Ελευθ.Ροής	Ταχύτητα Κορεσμού	Κυκλοφοριακή Ικανότητα	Αριθμ. Κατευθ.	Μήκος
337 338	40	25	2250	1	65
338 261	30	20	2250	1	115
338 339	40	25	2250	1	59
339 340	40	25	2250	1	70
340 341	40	25	2250	1	48
341 342	40	25	2250	1	125
341 365	30	20	1500	1	100
342 266	30	20	2250	1	154
342 364	30	20	750	1	107
364 365	40	25	1500	1	133
365 342	30	20	2250	1	163
365 366	30	20	1500	2	126
365 394	30	20	1500	1	99
365 421	30	20	1500	1	169
366 394	30	20	1500	1	98
366 421	30	20	1500	1	113
418 419	30	20	1500	2	123
419 430	30	20	1500	1	105
420 336	30	20	750	1	106

Πίνακας Δ.9. χαρακτηριστικά των συνδέσμων του δικτύου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

Σύνδεσμος	Ταχύτητα Ελεύθ.Ροής	Ταχύτητα Κορεσμού	Κυκλοφοριακή Ικανότητα	Αριθμ. Κατευθ.	Μήκος
420 419	30	20	1500	1	103
421 338	30	20	2250	1	111
421 420	30	20	1500	1	134
423 420	30	20	750	1	246
459 460	30	20	1500	2	138
459 463	30	15	750	1	122
460 461	30	20	1500	2	130
461 462	30	20	1500	2	371
461 465	30	15	750	1	121
462 466	30	20	1500	1	128
463 217	30	20	750	1	124
463 464	30	20	750	1	117
464 460	30	20	750	1	118
464 465	30	15	750	1	132
465 466	30	15	750	1	363
465 469	30	15	750	1	136
466 467	30	15	750	1	54
466 472	30	20	1500	1	442
467 462	30	15	750	1	185

Πίνακας Δ.10. Χαρακτηριστικά των συνδέσμων του δικτύου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

Σύνδεσμος	Ταχύτητα Ελευθ.Ροής	Ταχύτητα Κορεσμού	Κυκλοφοριακή Ικανότητα	Αριθ. Κατευθ.	Μήκος
467 476	30	15	750	1	736
468 464	30	15	1500	1	139
469 468	30	15	750	1	131
469 470	30	15	750	1	47
470 219	30	20	1500	1	129
471 221	30	20	750	1	196
471 470	30	15	750	1	94
471 472	30	15	750	1	369
472 473	30	20	2250	1	141
473 225	40	25	1500	1	63
473 474	40	25	3000	2	69
474 467	30	20	750	1	584
474 475	40	25	2250	1	99
475 476	40	25	2250	1	84
476 493	30	20	1500	1	99
476 494	30	25	2250	1	181
491 474	30	20	2250	1	118
491 492	40	25	3000	2	100
492 475	40	25	1500	1	113
492 493	40	25	3000	2	119

Πίνακας Δ.11. Χαρακτηριστικά των συνδέσμων του δικτύου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ

Σύνδεσμος	Ταχύτητα Ελευθ.Ροής	Ταχύτητα Κορεσμού	Κυκλοφοριακή Ικανότητα	Αριθμ. Κατευθ.	Μήκος
493 494	40	25	3000	2	148
494 495	40	25	3000	2	158

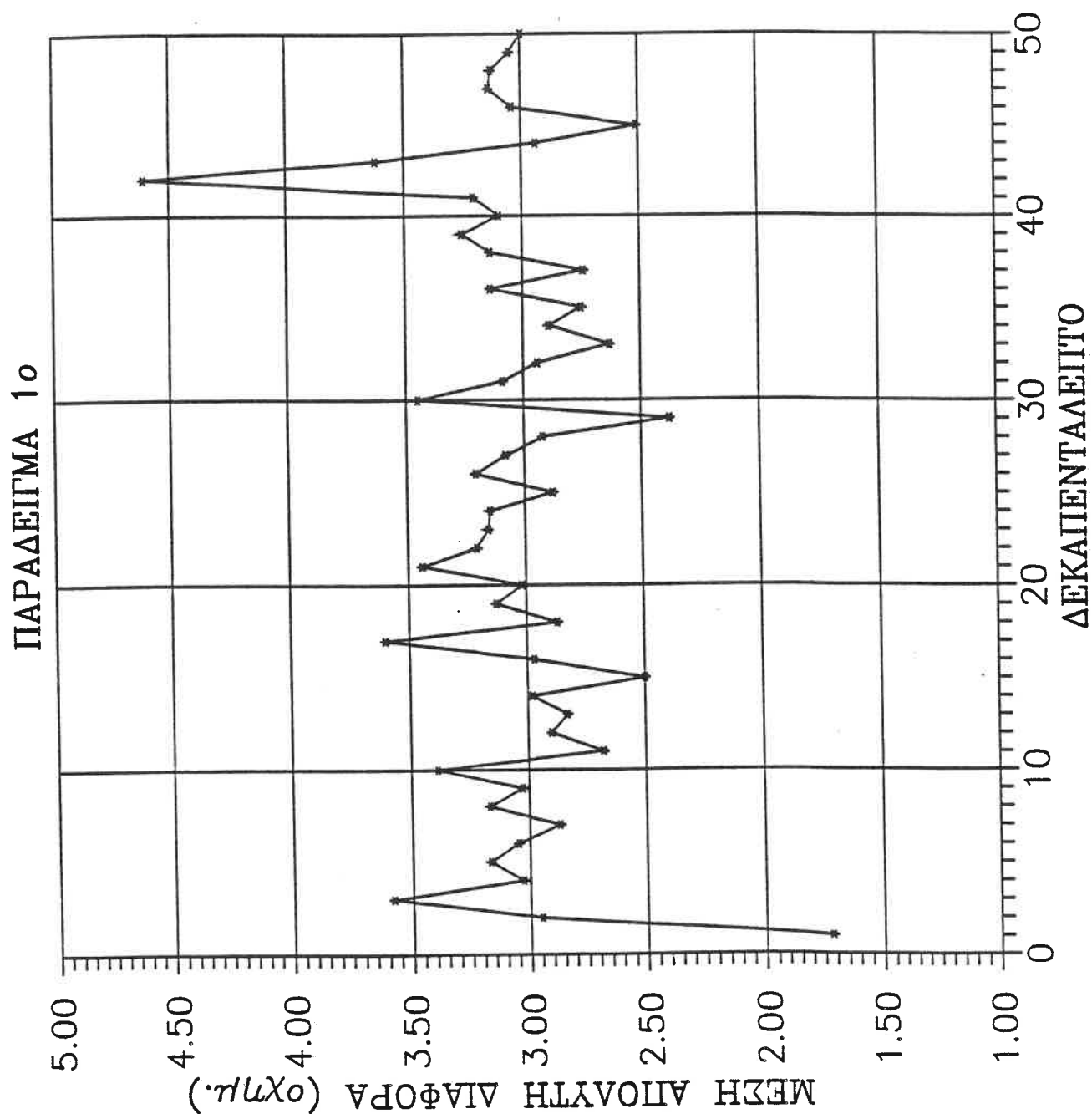
Πίνακας Δ.12. Χαρακτηριστικά των συνδέσμων του δικτύου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

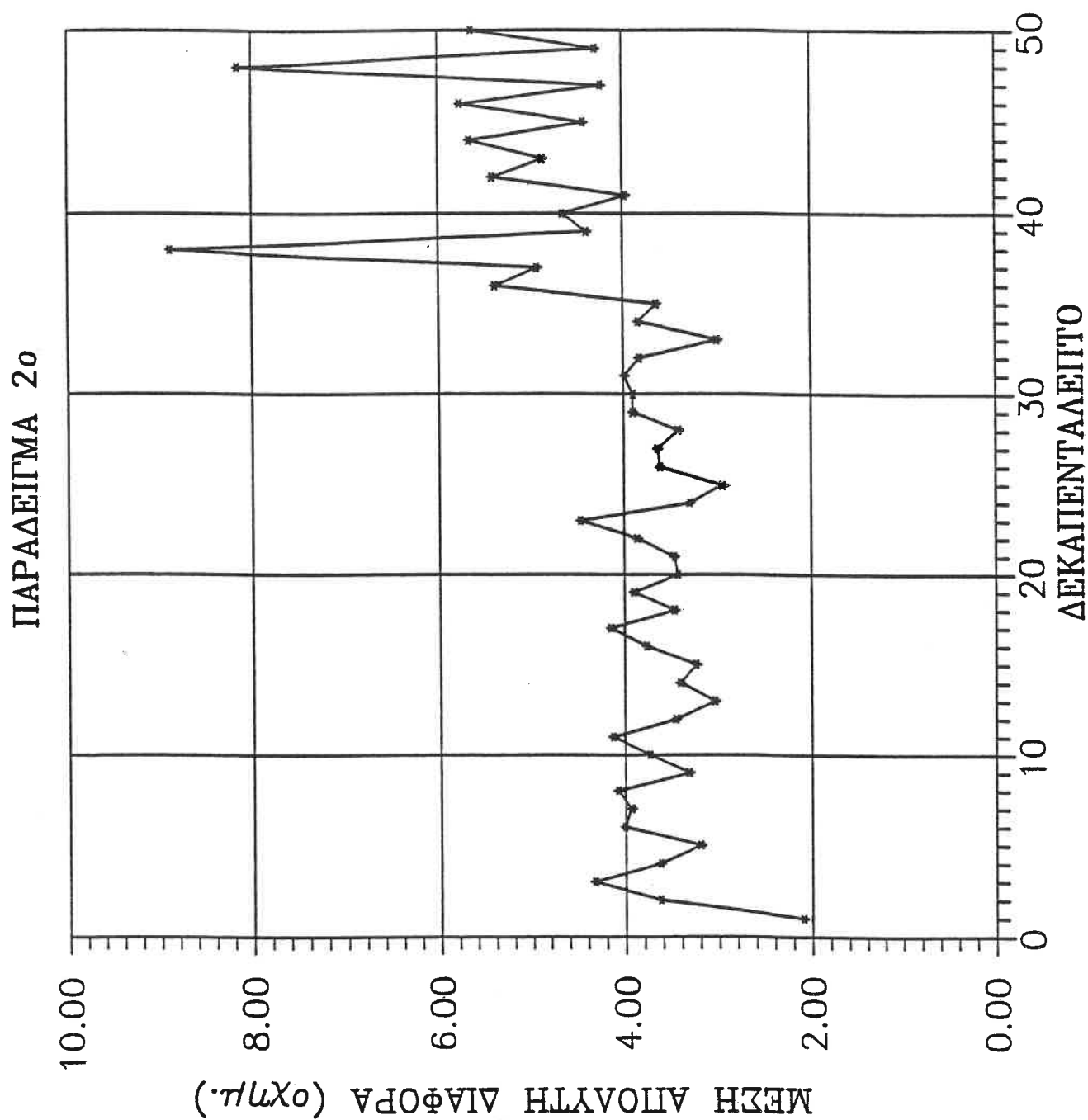
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε.: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Ε.1 Γενικά.

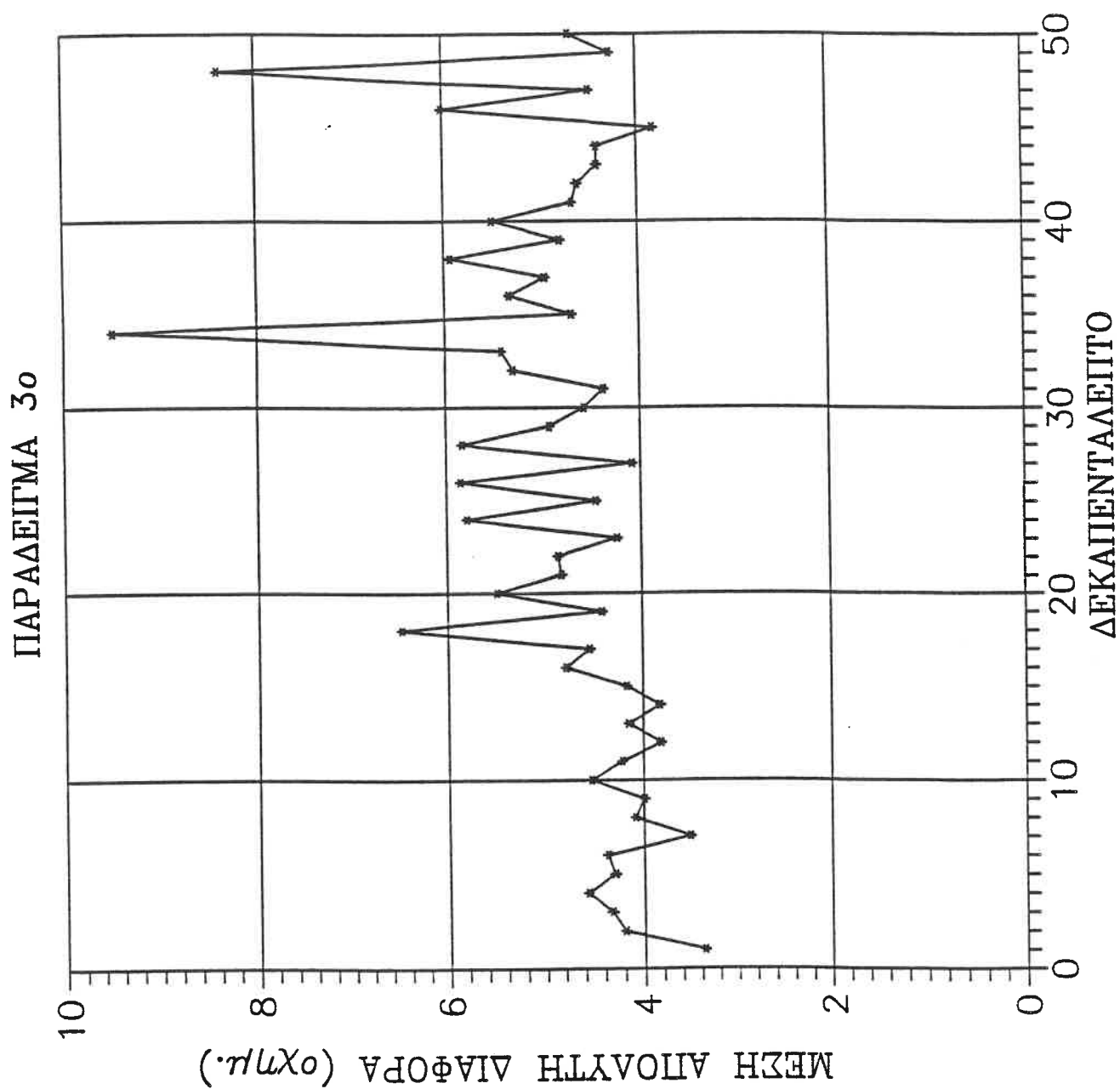
Στο παράρτημα αυτό δίνονται υπό μορφή διαγραμμάτων η διακύμανση των διαφόρων μεγεθών, με τα οποία έγινε η σύγκριση του εκτιμώμενου με το πραγματικό μητρώο, και για τα τέσσερα παραδείγματα.



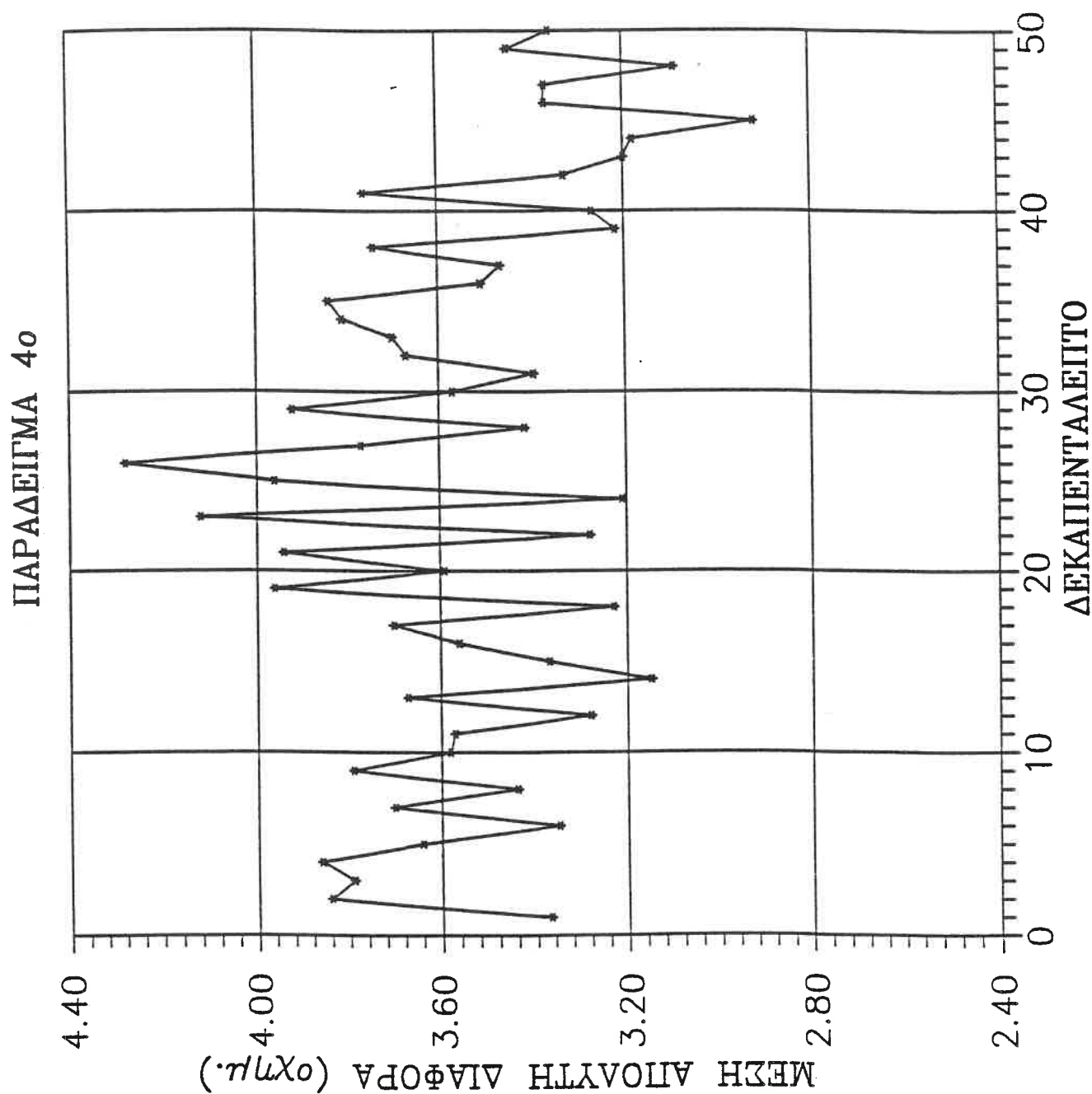
Σχήμα Ε.1. 1ο Παράδειγμα. Μέση απόλυτη διαφορά.



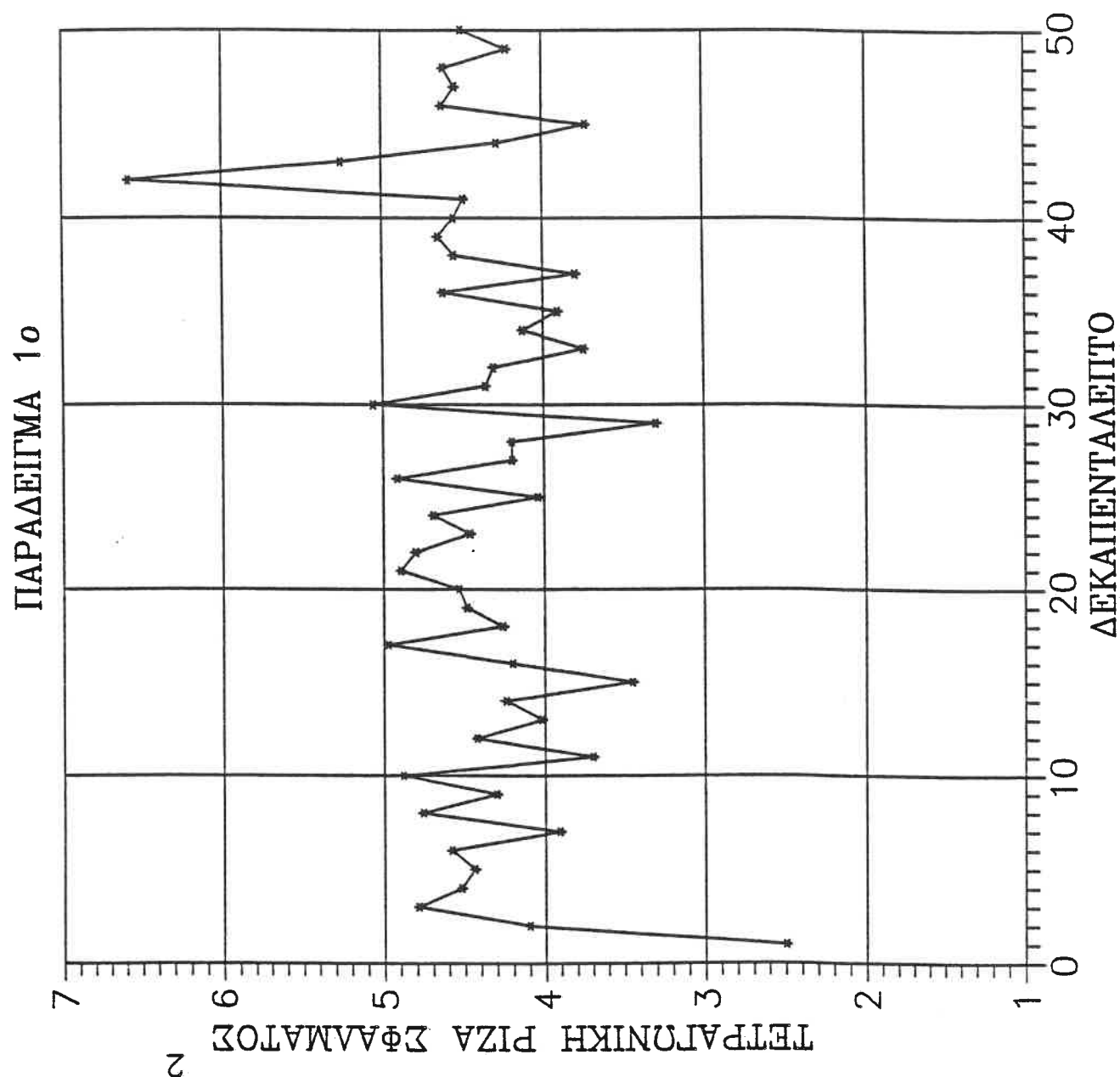
Σχήμα Ε.2. 2ο Παράδειγμα. Μέση απόλυτη διαφορά.



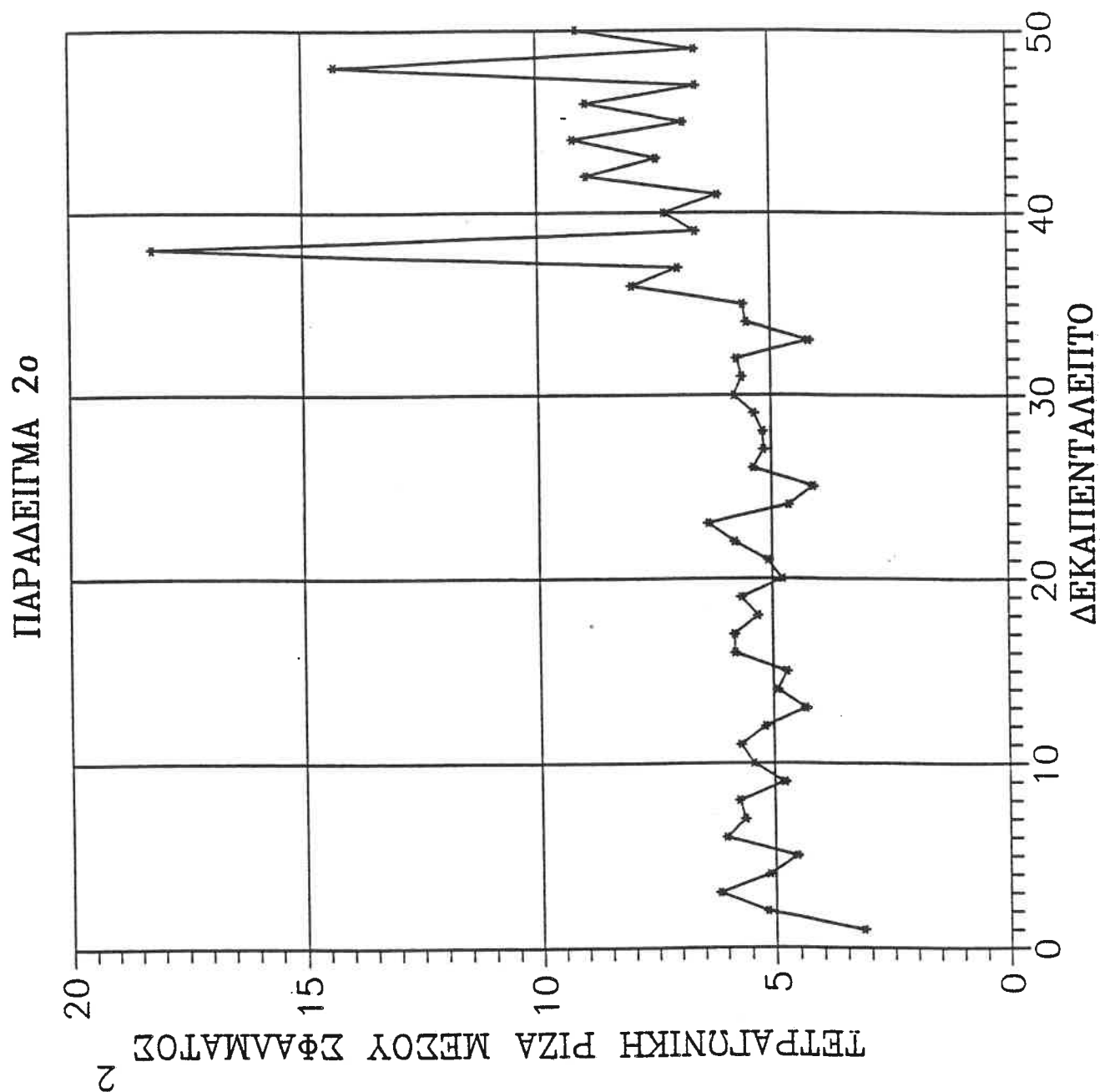
Σχήμα Ε.3. 3ο Παράδειγμα. Μέση απόλυτη διαφορά.



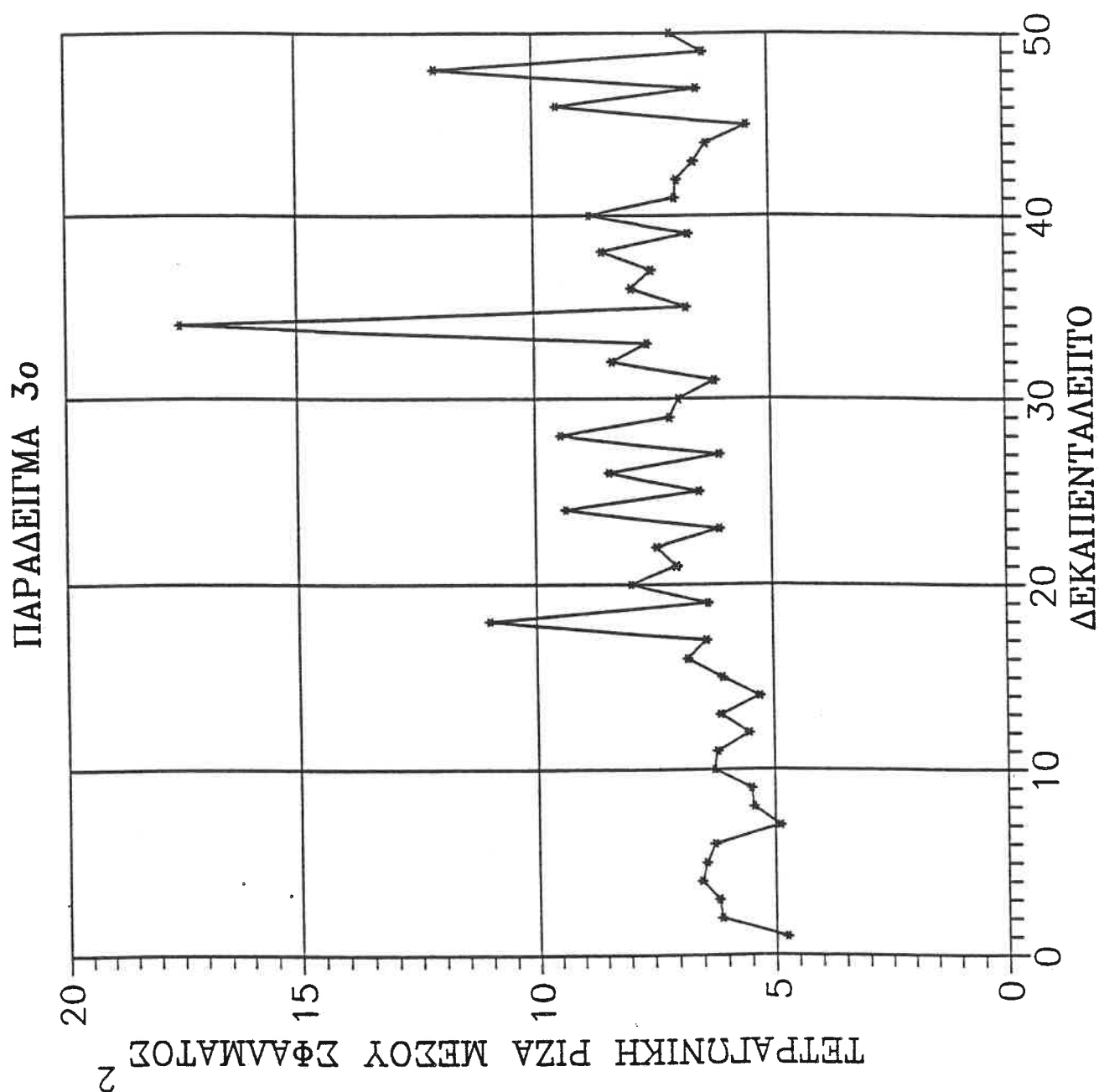
Σχήμα Ε.4. 4ο Παράδειγμα. Μέση απόλυτη διαφορά.



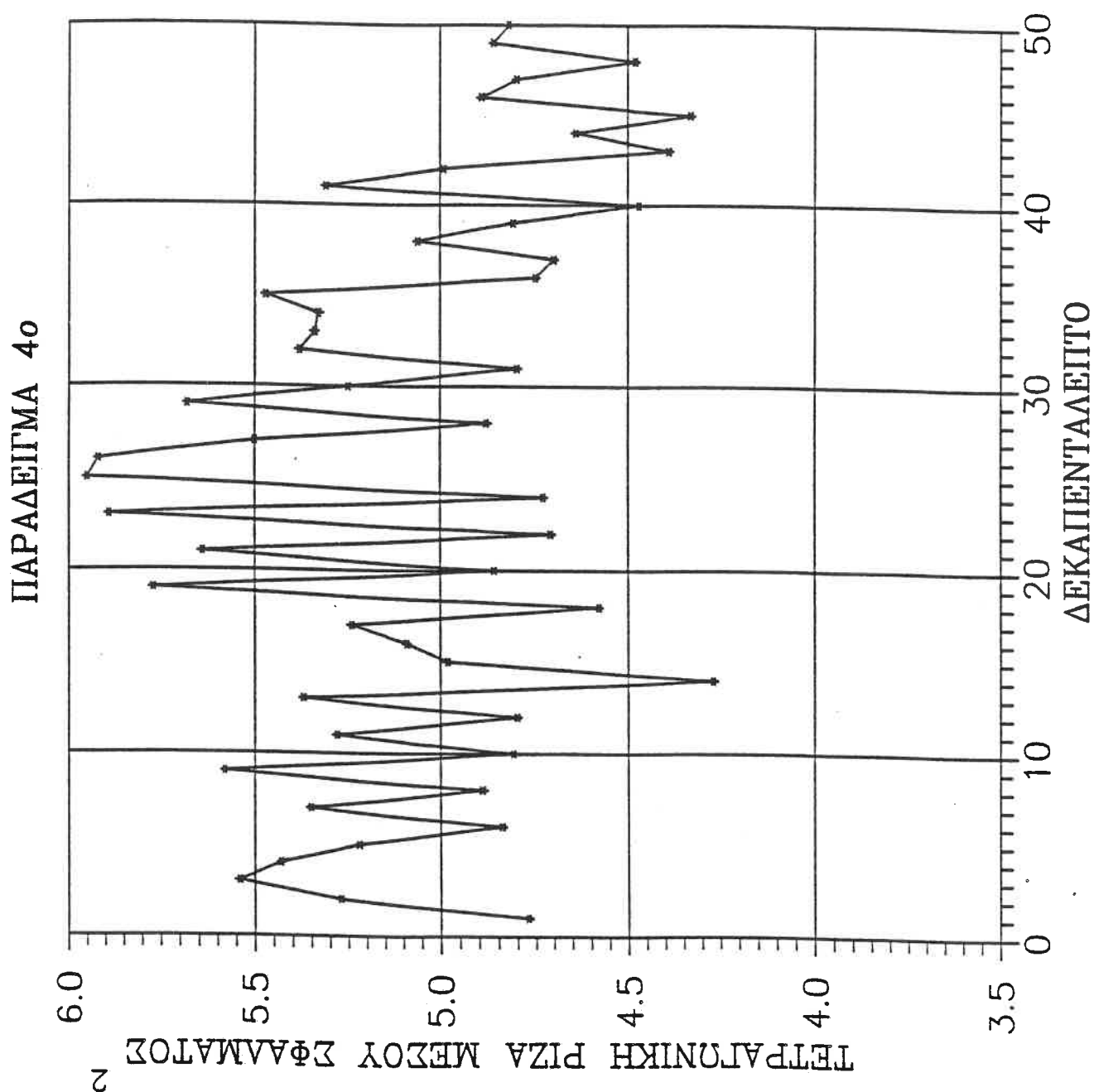
Σχήμα Ε.5. 1ο Παράδειγμα. Τετραγ. ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλματος.



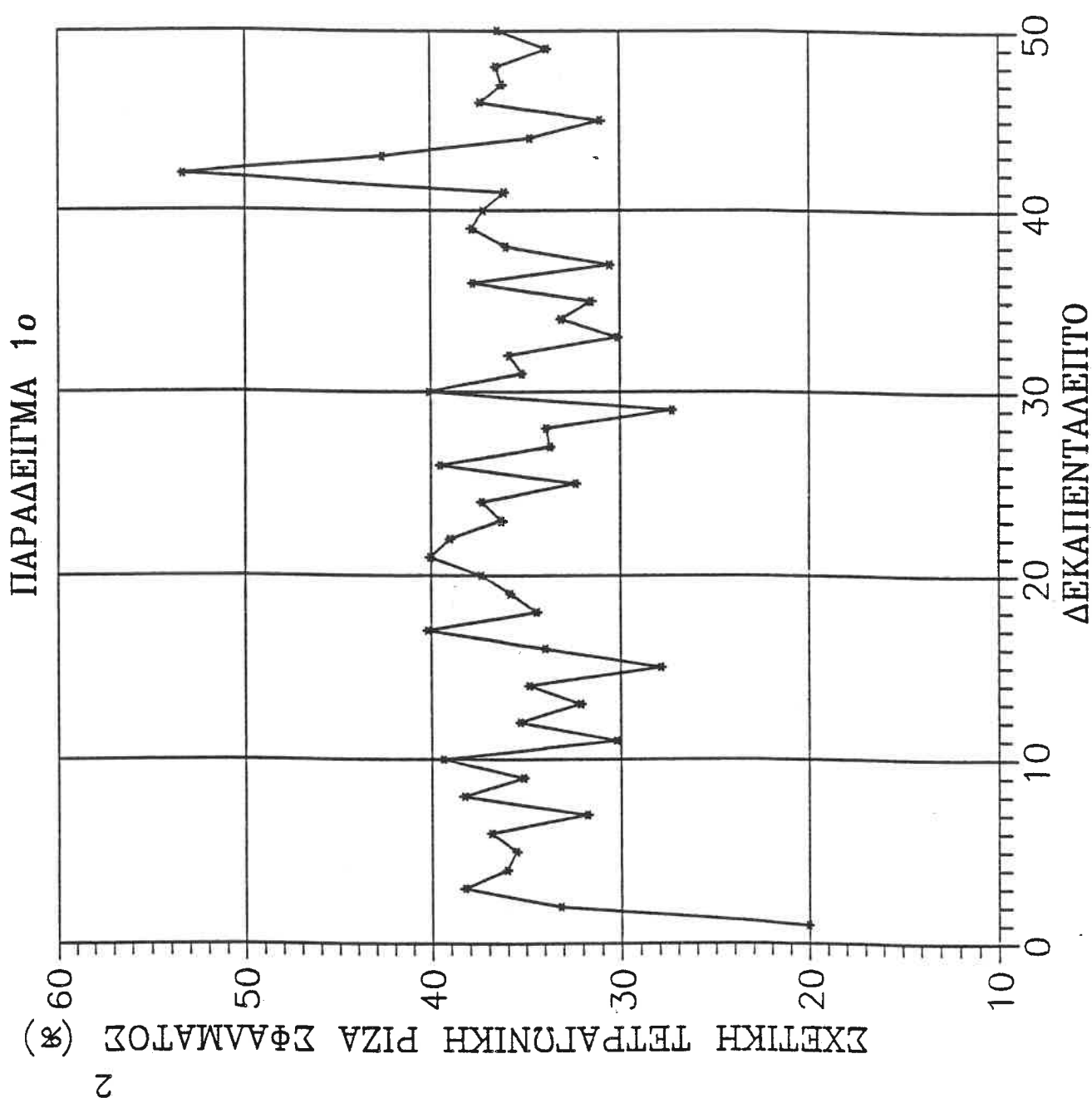
Σχήμα Ε.6. 2ο Παράδειγμα. Τετραγ. ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλματος.



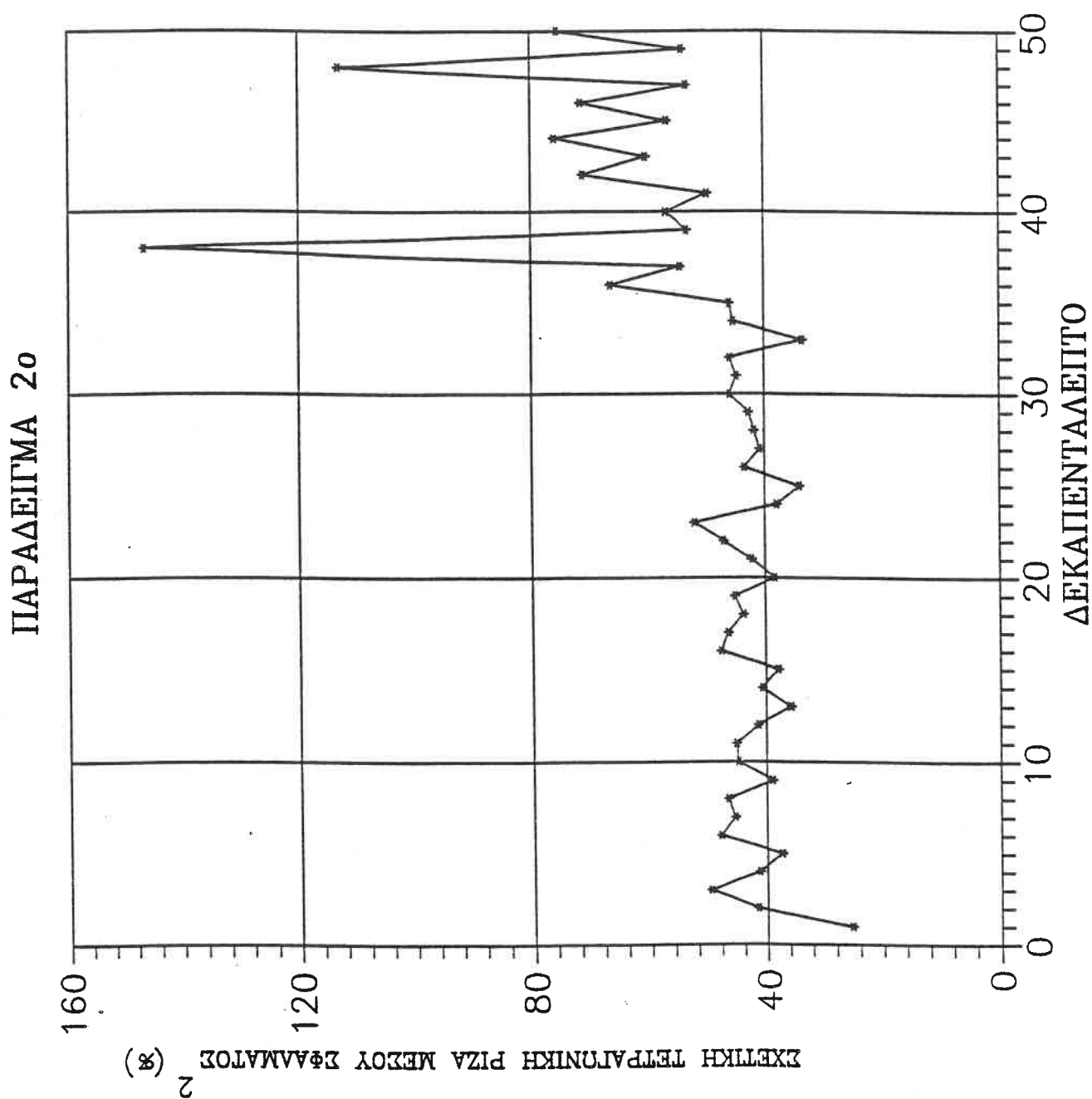
Σχήμα Ε.7. 3ο Παράδειγμα. Τετραγ. ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλματος.



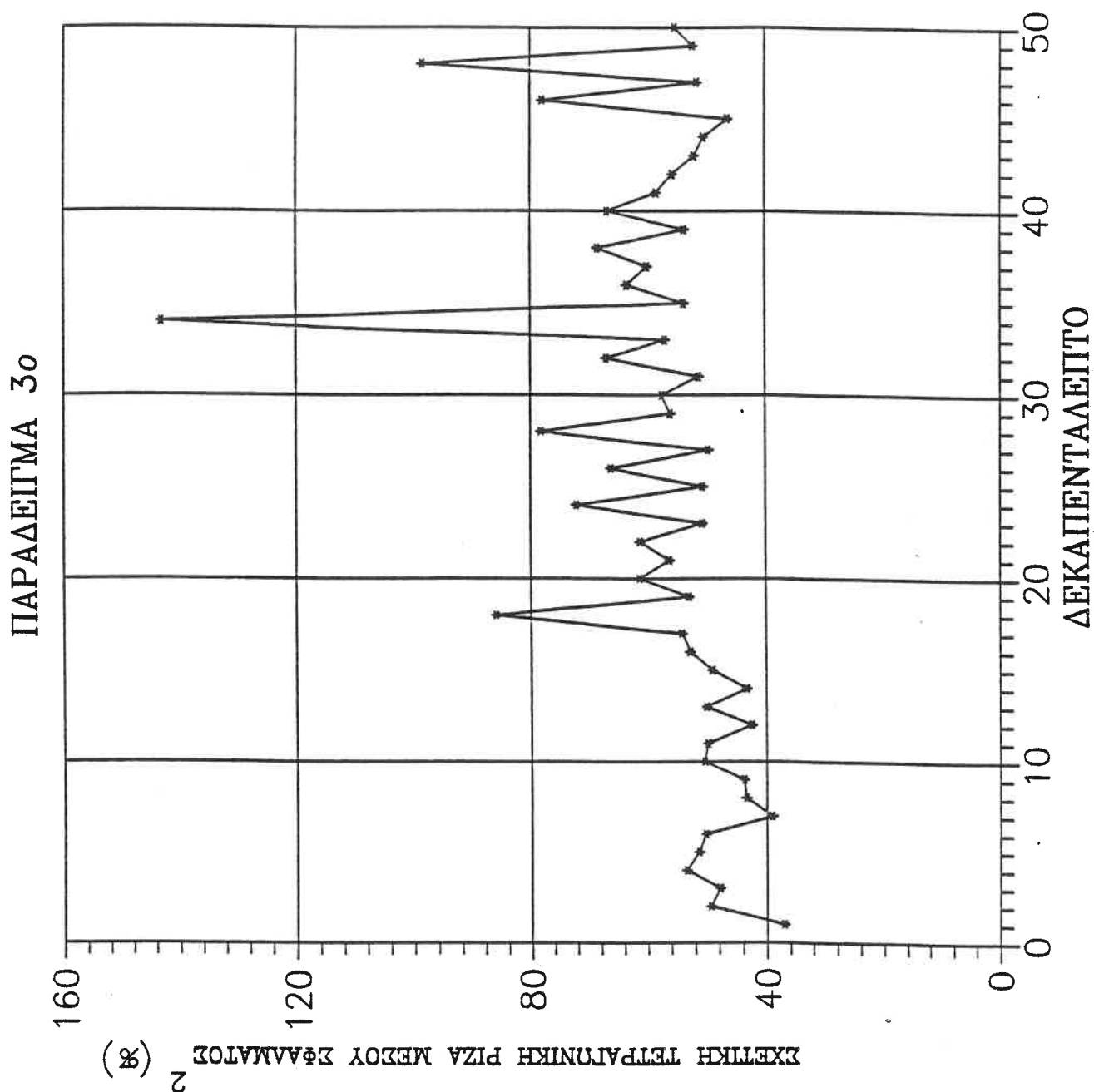
Σχήμα Ε.8. 4ο Παράδειγμα. Τετραγ. ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλματος.



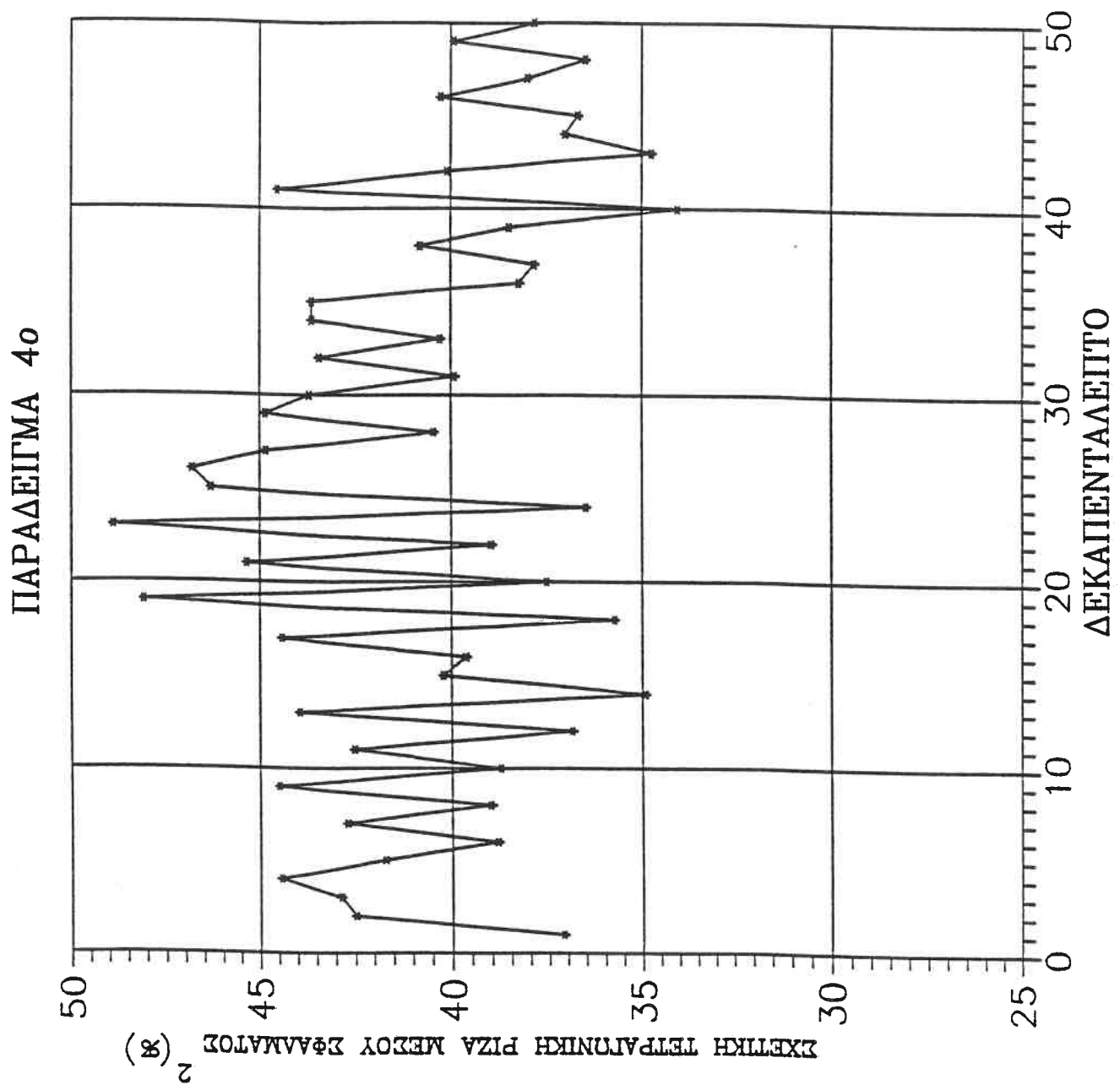
Σχήμα Ε.9. 1ο Παράδειγμα Σχετική τετρ. ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλματος.



Σχήμα Ε.10. 2ο Παράδειγμα. Σχετική τετρ. ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλματος.

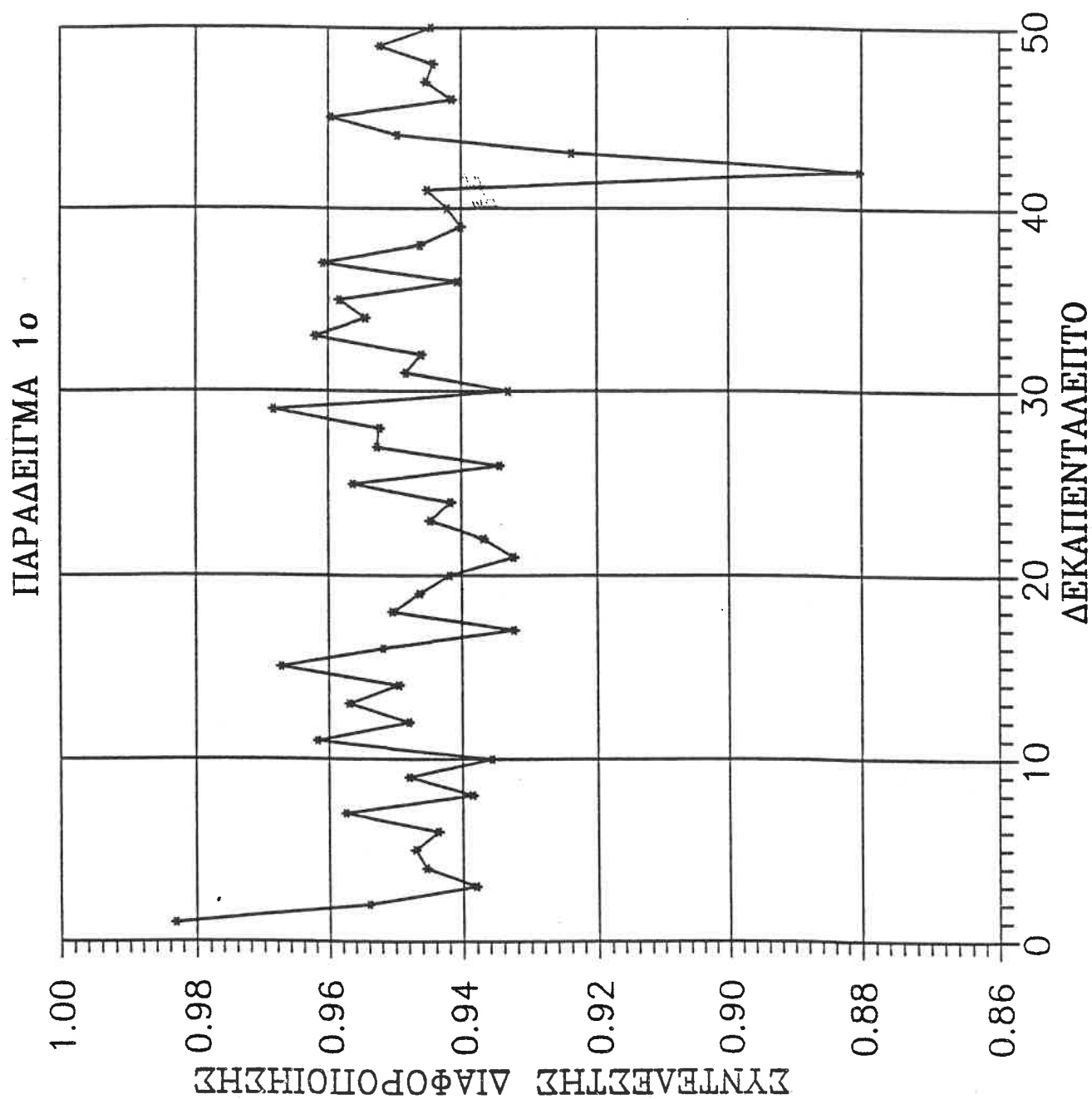


Σχήμα Ε.11. 3ο Παράδειγμα. Σχετική τετρ. ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλματος.



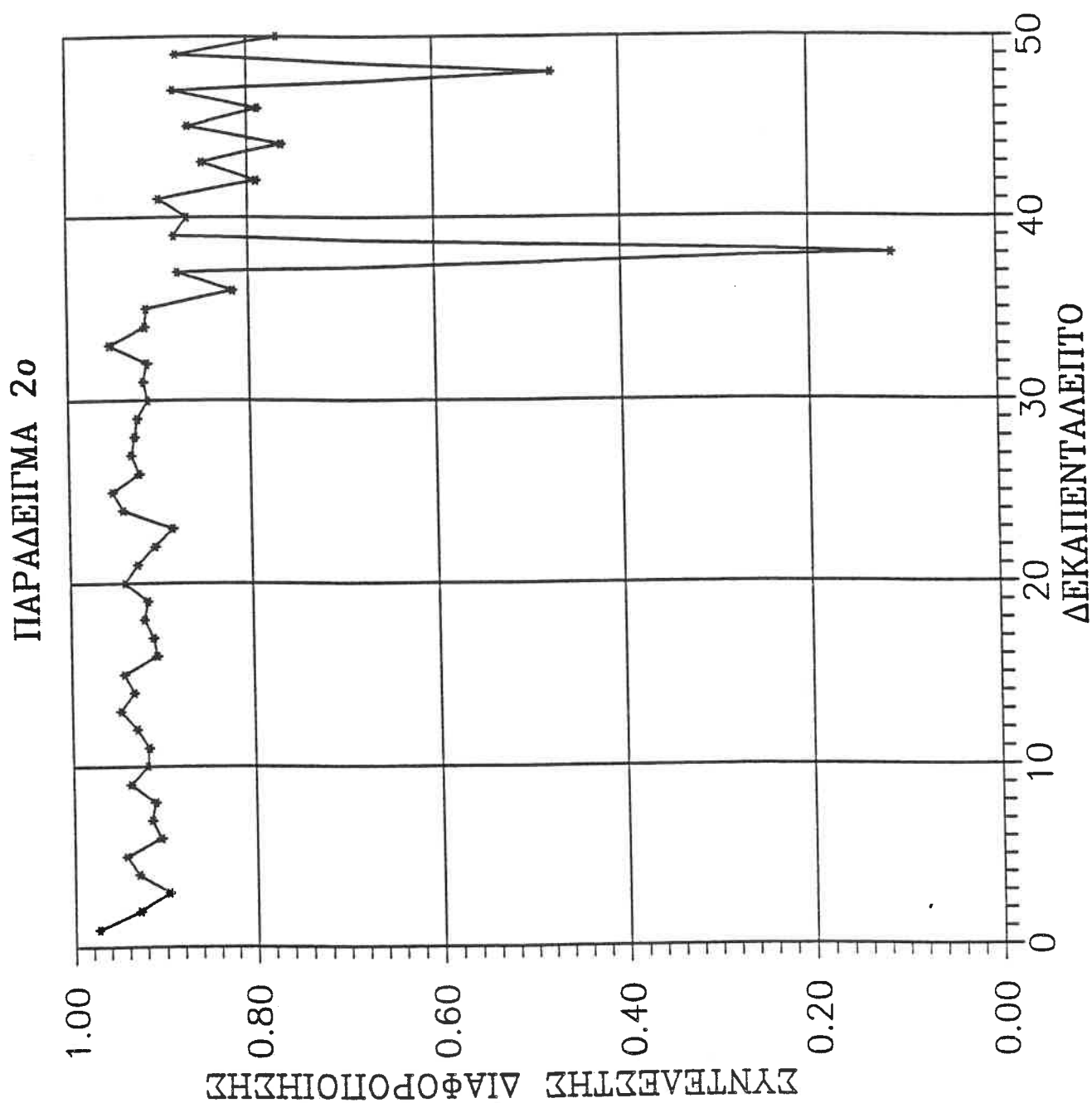
Σχήμα Ε.12. 4ο Παράδειγμα. Σχετική τετρο.ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλματος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΚΩΣΗΣ



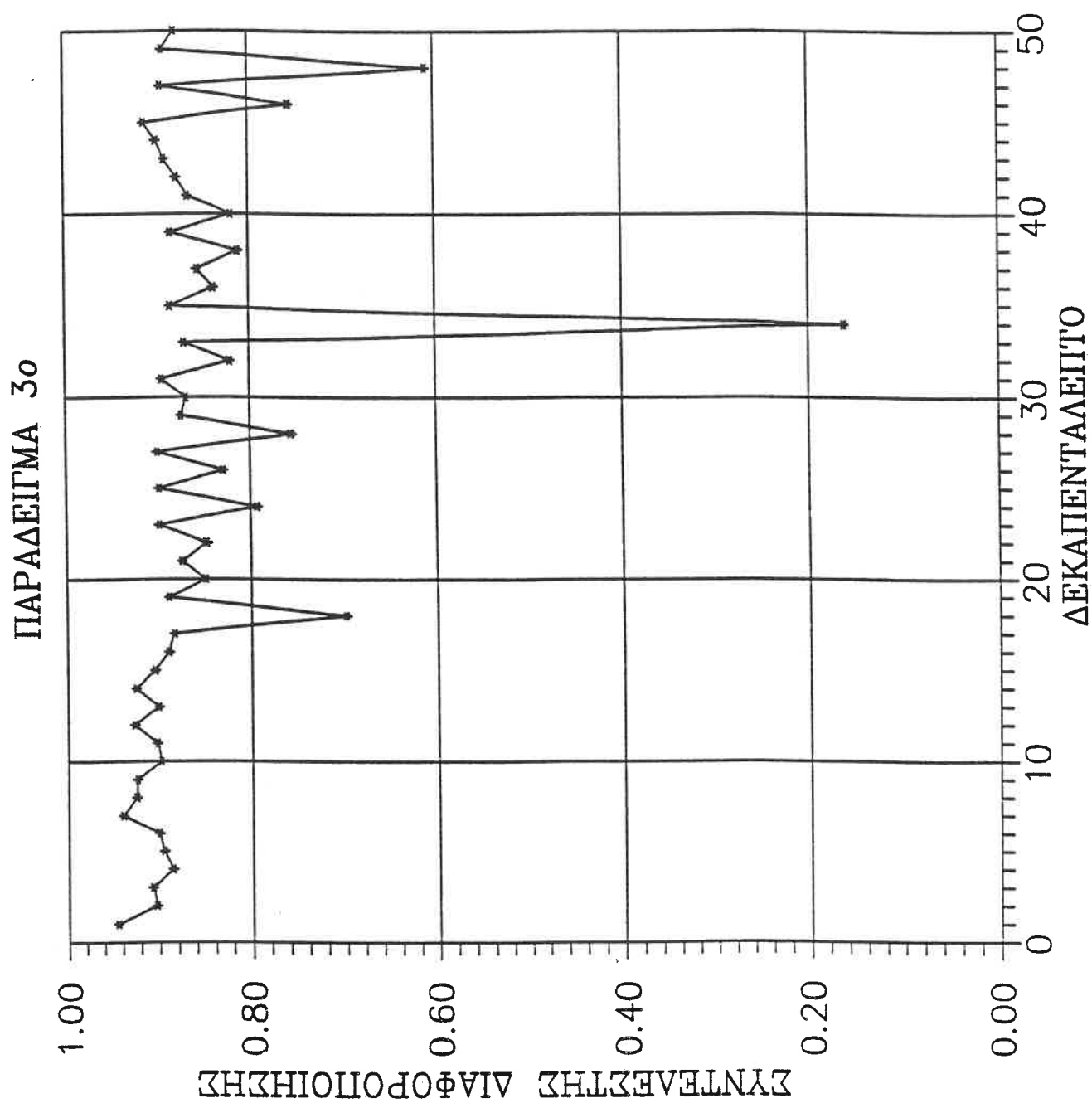
Σχήμα Ε.13. 1ο Παράδειγμα. Συντελεστής διαφοροποίησης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

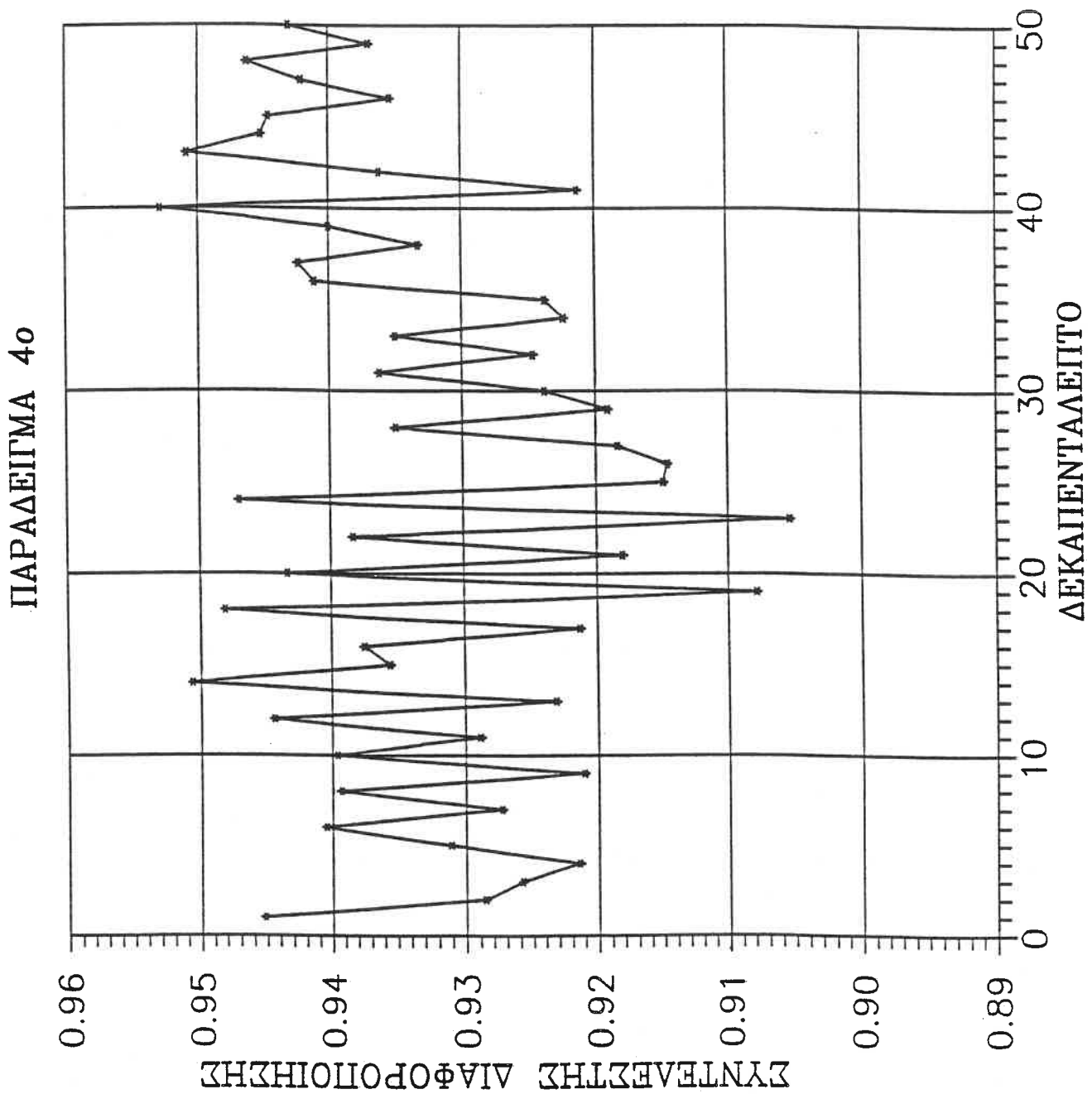


Σχήμα Ε.14. 2ο Παράδειγμα. Συντελεστής διαφοροποίησης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ



Σχήμα Ε.15. 3ο Παράδειγμα. Συντελεστής διαφοροποίησης.



Σχήμα Ε.16. 4ο Παράδειγμα. Συντελεστής διαφοροποίησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αμπακούμκιν Κ.Γ., Σχεδιασμός Μεταφορικών Συστημάτων (Μεταφορές Ι), Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1990.
- Ansorge R. (1990), What does the entropy condition mean in traffic flow theory ?, Transpn.Res. 24B, pp. 133-143.
- Bell M.G.H. (1991), The estimation of origin - destination matrices by constrained generalised least squares, Transpn.Res. 25B, pp. 13-22.
- Bell M.G.H. (1991), The real time estimation of origin - destination flows in the presence of platoon dispersion, Transpn.Res. 25B, pp.115-125.
- Boyce D.E. (1988), Route guidance systems for improving urban travel and location choices, Transpn.Res. 22A, pp. 275-281.
- Brenninger-Gothe M., Jornsten K.O., Lundgren J.T. (1989), Estimation of origin - destination matrices from traffic counts using multiobjective programming formulation, Transpn.Res. 23B, pp. 257-26.
- Carey M., Hendrickson C., Siddharthan K., A method for direct estimation of origin - destination trip matrices (February 1981), Transpn.Science Vol.15.
- Cremer M., Keller H. (1987), A new class of dynamic methods for the identification of origin-destination flows, Transpn.Res. 21B, pp. 117-132.
- Davies P., Salter D.R., Reliability of classified traffic count data, Transportation Research Record 905, pp. 17-27.
- Davis G.A., Nihan N.L., Stochastic Process Approach to the Estimation of Origin-Destination Parameters from Time Series of Traffic Counts, Transportation Research Record 1328 (1991), pp 36-42.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Dial R.B., Voorhees and Associates, A multipath traffic assignment model.
- DRIVE Programme, PARCMAN - Parking Management Control and Information System (V1045), Final Report, Athens 1992.
- Eash R.W., Janson B.N., Boyce D.E., Equilibrium Trip Assignment : Advantages and Implications for Practice.
- Echenique M.L., William I.N., Origin - destination matrix production from cordon survey data (December 1982), Traffic Engineering & Control.
- Φραντζεσκάκης I.M., Γιαννόπουλος Γ.Α., Σχεδιασμός των μεταφορών και κυκλοφοριακή τεχνική, τόμος 1, εκδόσεις Παρατηρητής, 1986.
- Fisk C.S. (1988), On combining maximum entropy trip matrix estimation with user optimal assignment, Transpn.Res. 22B, pp.69-73.
- Fisk C.S., Trip matrix estimation from link traffic counts: the congested network case (1989), Transpn.Res. 23B, pp. 331-336.
- Irving J.M., Oakley C.F., Ramsey J.B.H. (December 1986), The updating of an origin - destination matrix : a maximum likelihood approach, Traffic Engineering + Control, pp.442-446.
- Janson B.N., Convergent Algorithm for Dynamic Traffic Assignment, Transportation Research Record 1328, pp. 69-80.
- Janson B.N., Southworth F.(1992), Estimating Departure Times from Traffic Counts Using Dynamic Assignment, Transpn.Res. 26B,pp. 3-16.
- Janson B.N., Southworth F., Estimating Departure Times from Traffic Counts Using Dynamic Assignment, Preprints of the International Conference on Dynamic Travel Behaviour Analysis (18 - 19 July 1989) University Hall Kyoto Japan.

- Lam W., Lo H., Estimation of origin - destination matrix from traffic counts : A comparison of entropy maximising and information misimizing models (1991), Transportation Planning and Technology Vol.16, pp. 85-104.
- Law A.M., Kelton W.D., Simulation modeling and analysis, McGraw-Hill Book Company, New York, 1982, pp. 219-236,258-259.
- Leblanc L.J., Farhangian K.(1982), Selection of a trip table which reproduces observed link flows, Transpn.Res. 16B, pp. 83-88.
- Μαυρουδή Π., Δυναμική προσαρμογή της ώρας αναχώρησης στις κυκλοφοριακές συνθήκες αστικού δικτύου, Διπλωματική εργασία στον Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Μάρτιος 1990, Ε.Μ.Π..
- Maher M.J. (December 1987), Bias in the estimation of origin - destination flows from link counts, Traffic Enginnering + Control.
- Maher M.J. (1983), Inferences on trip matrices from observation on link volumes : a Bayesion statistical approach, Transpn.Res. 17B, pp.435-447.
- Spiess H. (1987), A maximum likelihood model for estimating origin - destination matrices, Transpn.Res. 21B, pp 395-412.
- Stathopoulos A., Parmaksizoglou T., A time - dependent traffic assignment procedure using transient O/D matrices (October 1989), Work from Laboratory of Railways and Transport of NTUA.
- Stathopoulos A., Polak J., Tillis A., Mitropoulos S., Ryan B., Parking Management and Control, Proceeding of the Drive Conference Brussels February 4-6 1991.
- Tamin O.Z., Willumsen L.G. (1989), Transport demand model estimation from traffic counts, Transportation 16, pp 3-26.

- Taylor M.A.P., Young W., Wigan M.R., Ogden K.W., Designing a large-scale travel demand survey: New challenges and new opportunities, Transpn.Res. 26A, pp. 247-261.
- Tobin R. (1977), An extension of Dial's algorithm utilizing a model of tripmakers perceptions, Transpn.Res. Vol.11, pp. 337-342.
- Thomas J.B., Finney R.L., Απειροστικός Λογισμός II (Σειρές και Συναρτήσεις πολλών μεταβλητών), Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο 1992, σ.340-354.
- Van Vliet D., Dow P.O. (June 1979), Capacity-restrained road assignment, Traffic Engineering & Control.
- Van Vliet D., Willumsen L.G., Validation of the ME2 model for estimating trip matrices from traffic counts, Proceeding of the 8th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, June 24-26 1981 Toronto Canada.
- Van Zuylen H.J., Willumsen L.G. (1980), The most likely trip matrix estimated from traffic counts, Transpn.Res. 14B, pp. 281-293.
- Van Zuylen H.J., Some improvements in the estimation of an O-D matrix from traffic counts, Proceeding of the 8th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, June 24-26 Toronto Canada.
- Willumsen L.G. (1981), Simplified Transport models based on traffic counts, Transportation 10, pp.257-278.
- Willumsen L.G., Estimating time dependent trip matrices from traffic counts, 9th International Symposium on Transportation and Traffic Theory 1984, VNU Science Press, pp.397-411.
- Yang H., Iida Y., Sasaki T. (1991), An analysis of the reliability of an O-D trip matrix estimated from traffic counts, Transpn.Res. 25B, pp. 351-363.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Yang H., Sasaki T., Iida Y., Asakura Y. (1992), Estimation of origin - destination matrices from traffic counts on congested networks, Transpn.Res. 26B, pp. 417-414.