



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής



ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΣΕ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΟΥΜΕΝΑ ΟΔΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Επιβλέπων Καθηγητής: Αντώνιος Σταθόπουλος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Διπλωματική Εργασία



Ρούσσης Ιωάννης

Νοέμβριος 2006

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΣΕ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΟΥΜΕΝΑ ΟΔΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Φοιτητής: Ιωάννης Ρούσσης

Επιβλέπων καθηγητής: Αντώνιος Σταθόπουλος

ΣΥΝΟΨΗ: Σκοπός αυτής της διπλωματικής είναι η διερεύνηση της αξιοπιστίας σε σηματοδοτούμενα οδικά δίκτυα. Κατ' αρχάς, γίνεται αναφορά σε διάφορες προσεγγίσεις των ορισμών της αξιοπιστίας στη λειτουργία των οδικών δικτύων. Επίσης, έχει γίνει αναφορά σε τεχνικές, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της αξιοπιστίας της λειτουργίας διαφόρων συστημάτων. Επιπρόσθετα, έχει δοθεί έμφαση σε μέτρα, τα οποία υπολογίζουν την αξιοπιστία στα οδικά δίκτυα. Τέλος, έχει λάβει χώρα η επεξεργασία βάσης δεδομένων κυκλοφοριακών φόρτων του οδικού δικτύου της Αθήνας και έχει υπολογιστεί η αξιοπιστία του σε επιλεγμένα σημεία του, σε επιλεγμένες διαδρομές του και σε ένα υποσύστημά του.

INVESTIGATION OF RELIABILITY OF SIGNALISED ROAD NETWORKS

Student: Ioannis Roussis

Supervisor: Antonios Stathopoulos

ABSTRACT: The aim of this thesis is the investigation of reliability of signalised road networks. First of all, reference is made to different approaches of the definitions of the reliability on the road networks function. In addition, there is a reference to techniques, which are used for the evaluation of the reliability of the function of different systems. Moreover, measures, which estimate the reliability of the road network, have been emphasized. Finally, the elaboration of data base of traffic loads of the road network of Athens and the estimation of its reliability on selected points, routes and subsystem have taken place.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι η διερεύνηση της αξιοπιστίας σηματοδοτούμενων συστημάτων. Ακολουθεί, περιληπτικά, η περιγραφή του περιεχομένου των κεφαλαίων της εργασίας.

Στο πρώτο κεφάλαιο, “Γενική παρουσίαση της αξιοπιστίας”, παρουσιάζονται γενικά στοιχεία περί αξιοπιστίας, ένα σύντομο ιστορικό της καθώς επίσης κι ο περισσότερος αποδεκτός ορισμός της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο “Ορισμοί της αξιοπιστίας – Γειτνιάζουσες έννοιες”, γίνεται αναφορά σε ένα γενικό ορισμό της αξιοπιστίας, ο οποίος έχει αποτελέσει βάση για πολλές προσεγγίσεις, και σε διάφορες κατηγορίες της. Επιπρόσθετα, παρουσιάζονται έννοιες συγγενικές με την αξιοπιστία, οι οποίες αποτελούν σημαντικές παραμέτρους στη λειτουργία συστημάτων ή μεμονωμένων στοιχείων.

Στο τρίτο κεφάλαιο, “Η αξιοπιστία στο οδικό δίκτυο”, γίνεται εκτενής αναφορά στην αξιοπιστία στο οδικό δίκτυο και στις ποικίλες εκφάνσεις της. Επιπλέον, γίνεται λόγος για τα αίτια, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν την απώλειά της στο οδικό δίκτυο και για τα μέτρα αξιοπιστίας, τον τρόπο κατασκευής τους, τα είδη τους, τους σκοπούς, τους οποίους επιτελούν καθώς επίσης τις πλευρές, τις οποίες αφορούν.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, “Συστήματα”, διατυπώνεται ένας ορισμός του συστήματος, γίνεται αναφορά σε γενικά χαρακτηριστικά των συστημάτων και σε είδη αστοχιών τους. Επιπλέον, γίνεται ειδική αναφορά στα μεταφορικά συστήματα, σε έναν ορισμό τους και στο διαχωρισμό τους, ώστε να φανεί με ποιο τρόπο το οδικό δίκτυο αποτελεί υποδιαίρεση ενός μεταφορικού συστήματος. Εν συνεχεία, γίνεται γενική αναφορά για το οδικό δίκτυο και παρουσιάζονται γενικά χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου της Αθήνας καθώς επίσης και ο τρόπος, με τον οποίο έφτασε στη σημερινή του μορφή.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, “Τεχνικές αξιοπιστίας συστημάτων”, αναφέρονται διάφορες τεχνικές, οι οποίες εφαρμόζονται για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας συστημάτων. Ιδιαίτερα εκτενής και αναλυτική μνεία γίνεται για τη θεωρία υπολογισμού αξιοπιστίας δικτύων διότι στη θεωρία αυτή βασίστηκε η εκτίμηση της

αξιοπιστίας του οδικού δικτύου της Αθήνας σε επιλεγμένες διαδρομές του, όπως περιγράφεται στο έβδομο κεφάλαιο.

Στο έκτο κεφάλαιο, “Εκτίμηση της αξιοπιστίας του Οδικού Δικτύου της Αθήνας σε επιλεγμένες διατομές του”, περιγράφονται οι μέθοδοι, με τις οποίες υπολογίστηκε η αξιοπιστίας του οδικού δικτύου της Αθήνας σε επιλεγμένες διατομές του. Κατ’ αρχήν, περιγράφεται η βάση δεδομένων, μέσω της οποίας έλαβε χώρα η εκτίμηση της αξιοπιστίας. Στη συνέχεια, περιγράφονται ξεχωριστά οι δύο μέθοδοι, με τις οποίες εκτιμήθηκε η αξιοπιστία του συστήματος, γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων τους και περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο κατασκευάστηκαν οι χάρτες του οδικού δικτύου της Αθήνας, στους οποίους έχουν σημειωθεί οι διατομές ανάλογα με το αν το δίκτυο χαρακτηρίζεται αξιόπιστο ή όχι σε αυτές.

Στο έβδομο κεφάλαιο, “Εκτίμηση της αξιοπιστίας του συστήματος σε ένα υποσύστημα του και σε επιλεγμένες διαδρομές του”, εκτιμάται η αξιοπιστία του συστήματος με βάση τη θεωρία υπολογισμού της αξιοπιστίας δικτύων, όπως αυτή περιγράφηκε στο πέμπτο κεφάλαιο, και τα αποτελέσματα της πρώτης μεθόδου, η οποία περιγράφεται στο έκτο κεφάλαιο. Το υποσύστημα έχει ως ακραίους κόμβους τον κόμβο των οδών Πατησίων και Χαλκοκονδύλη και τον κόμβο των λεωφόρων Κηφισίας και Αλεξάνδρας, ενώ, εξετάζεται, επιπρόσθετα, η αξιοπιστία του συστήματος στην οδό Αλεξάνδρας, στο ρεύμα από τον κόμβο της με τη λεωφόρο Κηφισίας έως τον κόμβο της με την οδό Πατησίων. Τέλος, εκτιμάται η αξιοπιστία του συστήματος στα δύο ρεύματα μεταξύ του κόμβου των οδών Διονυσίου Αρεοπαγίτου και Στρατηγού Μακρυγιάννη και του κόμβου της Λεωφόρου Αμαλίας και της οδού Φιλελλήνων.

Στο όγδοο κεφάλαιο, “Συμπεράσματα”, διατυπώνονται τα τελικά συμπεράσματα, τα οποία εξήχθησαν.

Στο ένατο κεφάλαιο παρέχεται η βιβλιογραφία.

Στο τέλος της εργασίας βρίσκεται το παράρτημα, στο οποίο υπάρχουν τα διαγράμματα, τα οποία κατασκευάστηκαν για τις ανάγκες των κεφαλαίων 6 και 7 καθώς επίσης οι χάρτες του οδικού δικτύου της Αθήνας, στους οποίους έχουν σημειωθεί οι διατομές ανάλογα με το αν το δίκτυο χαρακτηρίζεται αξιόπιστο ή όχι σε αυτές.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως σκοπό τη διερεύνηση της αξιοπιστίας των σηματοδοτούμενων οδικών δικτύων. Η αξιοπιστία ως έννοια έχει αυξημένη σημασία για τις σύγχρονες κοινωνίες. Ιδιαίτερα, η αξιοπιστία του οδικού δικτύου είναι θέμα, το οποίο απασχολεί πολύ μεγάλο κομμάτι του πληθυσμού και δη των κατοίκων των πόλεων. Μέσω του οδικού δικτύου, πραγματοποιείται ένα πολύ σημαντικό ποσοστό των μετακινήσεων και ως εκ τούτου η αναγκαιότητα ύπαρξης της αξιοπιστίας είναι μείζων ζήτημα.

Η εργασία αυτή, αφού προηγηθεί μια αναφορά στην αξιοπιστία και την παρουσία της στο οδικό δίκτυο, καταλήγει στην εκτίμηση της αξιοπιστίας του οδικού δικτύου της πρωτεύουσας σε επιλεγμένα σημεία του, μέσω της χρήσης δύο μεθόδων, σε επιλεγμένες διαδρομές του και σε ένα υποσύστημά του μέσω της χρησιμοποίησης της θεωρίας υπολογισμού της αξιοπιστίας δικτύων. Η βάση δεδομένων, η οποία χρησιμοποιήθηκε, χορηγήθηκε από το Εργαστήριο Σιδηροδρομικής και Μεταφορών του Ε.Μ.Π.

Ένα ιδιαίτερης σπουδαιότητας ζήτημα, ήταν το χρονικό διάστημα, εντός του οποίου θα υπολογιζόταν η αξιοπιστία του συστήματος. Τελικά, επιλέχθηκε η διερεύνηση της αξιοπιστίας του οδικού δικτύου της Αθήνας να γίνει με τη χρησιμοποίηση των δεδομένων που αφορούσαν στο μήνα Φεβρουάριο, διότι κατά τη διάρκειά του δεν παρεμβάλλονται περίοδοι διακοπών και αργίες και κατ' αυτόν τον τρόπο αποφεύγονται οι μέρες, στις οποίες οι συνθήκες είναι ιδιάζουσες, ενώ, περιορίστηκε η εκτίμηση της αξιοπιστίας στο χρονικό διάστημα μεταξύ 6:00 – 24:00, και αγνοήθηκε το εξάωρο 0:00 – 6:00, λόγω του πολύ μικρού ποσοστού μετακινήσεων που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκειά του. Επιπρόσθετα, θέμα έντονου προβληματισμού υπήρξε ο τρόπος με τον οποίο θα χαρακτηριζόταν αξιόπιστο ή αναξιόπιστο το σύστημα σε σημεία ή διαδρομές του ή σε κάποιο υποσύστημά του. Τελικά, χρησιμοποιήθηκε η τιμή του λόγου (v/c) και αναπτύχθηκαν δύο ξεχωριστές μέθοδοι, μέσω των οποίων υπολογίστηκε η αξιοπιστία του συστήματος σε επιλεγμένα σημεία του.

Θα πρέπει σε αυτό το σημείο να ευχαριστήσουμε τον κ. Αντώνιο Σταθόπουλο, για την καθοδήγησή του, τις παροτρύνσεις και την υπομονή του, διότι

δίχως τη δική του μέριμνα, η εργασία αυτή θα ήταν διαφορετική, αν μπορούσε να γίνει. Επιπλέον, ευχαριστίες οφείλονται στη Βασιλική Μπρούτζου, την Πόπη Ρούσση, τη Χαριτίνη Σαμαρά, τον Γιάννη Χαλούλο και τον Αντρέα Χασάπη για τη βοήθειά τους.

Τέλος, μιας κι ομιλούμε για δρόμους, η εργασία αυτή αφιερώνεται στους συνοδοιπόρους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	1
Περιεχόμενα	3
Εισαγωγή	7
1. Γενική παρουσίαση της αξιοπιστίας	9
1.1 Γενικά περί αξιοπιστίας	9
1.2 Ένας διαδεδομένος ορισμός της αξιοπιστίας	11
1.3 Σύντομο ιστορικό της αξιοπιστίας	12
2. Ορισμοί της αξιοπιστίας – Γειτνιάζουσες έννοιες	14
2.1 Γενικός ορισμός της αξιοπιστίας	14
2.2 Κατηγορίες της αξιοπιστίας	14
2.3 Γειτνιάζουσες – Συγγενικές έννοιες	15
2.3.1 Εξαρτησιμότητα	15
2.3.2 Ποιότητα	15
2.3.3 Διαθεσιμότητα	16
2.3.4 Συντηρησιμότητα	17
2.3.5 Ασφάλεια	18
3. Η αξιοπιστία στο οδικό δίκτυο	19
3.1 Εκφάνσεις της αξιοπιστίας στο οδικό δίκτυο	19
3.1.1 Αξιοπιστία χωρητικότητας	19
3.1.2 Αξιοπιστία συνδεσιμότητας	19
3.1.3 Αξιοπιστία χρόνου διαδρομής	20
3.1.4 Αξιοπιστία και διακινδύνευση	20
3.1.5 Αξιοπιστία και βαθμός άρνησης	21
3.1.6 Αξιοπιστία συνάντησης	21
3.1.7 Αξιοπιστία και Θεωρία παιγνίων	21
3.1.8 Αξιοπιστία και Ευπάθεια	22
3.1.8.1 Ορισμοί της ευπάθειας	22
3.1.8.2 Μαθηματική έκφραση της ευπάθειας	23
3.1.9 Κρισιμότητα	22

3.1.10 Επίδραση της αξιοπιστίας	24
3.2 Η αξιοπιστία στο αστικό οδικό δίκτυο	25
3.2.1 Αξιοπιστία και Μεταβλητότητα	25
3.2.2 Η αξιοπιστία στη ζωή της πόλης	25
3.3 Αίτια απώλειας της αξιοπιστίας	26
3.4 Μέτρα αξιοπιστίας	27
3.4.1 Κατασκευή Μέτρων αξιοπιστίας: μια όχι τόσο εύκολη υπόθεση	27
3.4.2 Κατηγορίες μέτρων αξιοπιστίας	29
3.4.2.1 1 ^η κατηγορία : Μέτρα στατιστικού εύρους	31
3.4.2.2 2 ^η κατηγορία : Μέτρα αποθεματικού χρόνου	33
3.4.2.3 3 ^η κατηγορία : Δείκτες καθυστερημένων ταξιδιών	34
3.4.3. Σε ποιους απευθύνονται τα μέτρα της αξιοπιστίας	36
3.4.3.1. Η πλευρά του εργαζομένου που χρησιμοποιεί τα Μ.Μ.Μ	36
3.4.3.2 Η πλευρά του ταξιδιώτη σε περίοδο αιχμής	37
3.4.3.3 Η πλευρά του διαχειριστή του συστήματος	37
4. Συστήματα	39
4.1 Γενικά περί συστημάτων	39
4.1.1 Ορισμός του συστήματος	39
4.1.2 Βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος	41
4.1.3 Αστοχίες Συστημάτων – Τα είδη τους.	43
4.1.4 Σφάλματα	49
4.2 Μεταφορικά συστήματα	43
4.2.1 Ορισμός μεταφορικού συστήματος – Γενικά	51
4.2.1.1 Ορισμός	51
4.2.1.2 Γενικά περί μεταφορικών συστημάτων	51
4.2.2 Κατηγορίες Μεταφορικών Συστημάτων	52
4.3 Το αστικό οδικό δίκτυο	53
4.3.1 Γενικά	53
4.3.2 Το οδικό δίκτυο της Αθήνας	55
5. Τεχνικές αξιοπιστίας συστημάτων	58
5.1 Διαγράμματα ανάλυσης	58

5.2 Ανάλυση State – Space	59
5.3 Προσομοίωση Monte Carlo	59
5.4 Ανάλυση Κρισιμότητας, Αποτελεσμάτων και Τρόπου Αποτυχίας	60
5.5 Μέθοδος του Δέντρου Σφαλμάτων	60
5.6 Η Τεχνική του Πίνακα Σύνδεσης	61
5.7. Θεωρία υπολογισμού αξιοπιστίας δικτύων	62
5.7.1 Γενική μορφή δικτύου	62
5.7.2 Απλές Δομές Δικτύων	64
5.7.2.1 Δίκτυα Σε Σειρά	64
5.7.2.2 Παράλληλα Δίκτυα	65
5.7.2.3 Συνδυασμοί Στοιχείων Παράλληλων Και Σε Σειρά	68
5.7.2.4 Επιλεκτικά Συστήματα	70
5.7.2.5 Συστήματα Σε Ετοιμότητα	72
5.7.3 Σύνθετα Δίκτυα	74
5.7.3.1 Προσέγγιση υποθετικής πιθανότητας	75
5.7.3.2 Σχήματα Άστρου Και Δέλτα	77
6. Εκτίμηση της αξιοπιστίας του Οδικού Δικτύου της Αθήνας σε επιλεγμένες διατομές του	84
6.1 Περιγραφή της βάσης δεδομένων	84
6.2 Οι δύο μέθοδοι	85
6.2.1 Η 1 ^η Μέθοδος	85
6.2.2 Η 2 ^η Μέθοδος	96
6.3 Επεξήγηση του τρόπου σχεδίασης των χαρτών	106
7. Εκτίμηση της αξιοπιστίας του συστήματος σε ένα υποσύστημά του και σε επιλεγμένες διαδρομές του	107
7.1 Επεξήγηση της διαδικασίας που ακολουθείται	107
7.2 Υπολογισμός της αξιοπιστίας του συστήματος σε ένα υποσύστημά του και σε δύο διαδρομές του	108
7.2.ι Το δίκτυο από τον κόμβο Πατησίων και Χαλκοκονδύλη έως τον κόμβο Κηφισίας και Αλεξάνδρας	108

7.3 Υπολογισμός της αξιοπιστίας του συστήματος σε επιπρόσθετες διαδρομές του	120
7.3.1 Τα δύο ρεύματα μεταξύ του κόμβου των οδών Διονυσίου Αρεοπαγίτου και Στρατηγού Μακρυγιάννη και του κόμβου της Λεωφόρου Αμαλίας και της οδού Φιλελλήνων	120
8. Συμπεράσματα	129
9. Βιβλιογραφία	130
10. Παράρτημα	

Εισαγωγή

Γενικά

Στις ημέρες μας, όταν μιλά κανείς για την αξιοπιστία, ουσιαστικά αναφέρεται σε μία ανάγκη, όχι, όμως συγκεκριμένη. Η έννοια της αξιοπιστίας είναι μια έννοια ευρεία και πολύπλευρη. Η τεράστια έκτασή της, ως έννοια, είναι τέτοια, ώστε λέγοντας αξιοπιστία δεν προσδιορίζεται άμεσα ένα μέγεθος αλλά υπάρχει η ανάγκη να δοθούν επιπρόσθετες παράμετροι ώστε να αναφέρεται σε κάτι ειδικά, με συγκεκριμένο τρόπο. Σε περίπτωση, όμως, που περιγράφει ένα αντικείμενο, του αποδίδει ένα χαρακτηριστικό, το οποίο προκαταλαμβάνει θετικά τους πιθανούς χρήστες του. Βέβαια, τις περισσότερες φορές, η απουσία της γίνεται περισσότερο αισθητή από την παρουσία της. Όπως και με την ανθρώπινη υγεία: η ασθένεια και η αδυναμία είναι περισσότερο αντιληπτά μεγέθη, ενώ, μάλιστα, η κάθε ασθένεια πλήττει κατά μοναδικό τρόπο τον οργανισμό. Χαρακτηριστικά αποδεικνύεται αυτό στο στίχο “οι υγιείς είναι όλοι ίδιοι, οι άρρωστοι διαφέρουν μεταξύ τους”, ο οποίος είναι δηλωτικός του γεγονότος πως μπορούμε να αντιληφθούμε τη διαφορά του και να εξάγουμε περισσότερα συμπεράσματα για κάτι που βρίσκεται σε μη ομαλή λειτουργία. Κατ’ αντιστοιχία, οι χαρακτηρισμοί “χαμηλής αξιοπιστίας” και “αναξιόπιστο” τις περισσότερες φορές μπορούν να οδηγήσουν στην εξαγωγή περισσότερων συμπερασμάτων και σε περισσότερο σαφείς, ξεχωριστές και διακριτές εικόνες από τους χαρακτηρισμούς “αξιόπιστο” ή “υψηλής αξιοπιστίας”.

Ο υπολογισμός της αξιοπιστίας συμπεριλήφθηκε στις επιδιώξεις των επιστημόνων τον εικοστό αιώνα. Σποραδικά στις αρχές του, ενώ μετά το μέσον του υπήρχαν αξιοσημείωτες εξελίξεις. Οι ανάγκες, κυρίως της παραγωγής και της βιομηχανίας έδωσαν μεγάλη ώθηση σε αυτή την εξέλιξη. Κατ’ αυτόν τον τρόπο, μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί αρκετές τεχνικές εκτίμησης της αξιοπιστίας διαφόρων συστημάτων. Οι τεχνικές αυτές έχουν εφαρμοστεί σε μεγάλο βαθμό σε ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα, όπου η προσομοίωση είναι αρκετά απλή και οι υπεισερχόμενοι υπολογισμοί δεν είναι πολύπλοκοι.

Πορεία της εργασίας

Όπως μαρτυρά ο τίτλος αυτής της διπλωματικής, ο σκοπός της είναι η διερεύνηση της αξιοπιστίας σε σηματοδοτούμενα οδικά δίκτυα. Στην αρχή γίνεται αναφορά σε διάφορους ορισμούς, με ιδιαίτερη βαρύτητα σε αυτούς που αφορούν άμεσα στη λειτουργία του οδικού δικτύου καθώς επίσης και συσχέτιση της αξιοπιστίας με άλλες έννοιες. Στην πορεία διατυπώνεται ο ορισμός του συστήματος και περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο υποδιαιρείται το μεταφορικό σύστημα έως τον κλάδο του, ο οποίος ερευνάται ως προς την αξιοπιστία : το αστικό οδικό δίκτυο. Εν συνεχεία γίνεται αναφορά στις τεχνικές και τις μεθόδους για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας συστημάτων, με εκτενή αναφορά στη θεωρία, η οποία εφαρμόστηκε για τις ανάγκες της εργασίας.

Ακολούθως ερευνάται η αξιοπιστία του οδικού δικτύου της Αθήνας με δύο τρόπους. Κατ' αρχήν εκτιμάται η αξιοπιστία του σε επιλεγμένα τμήματα οδών του μέσω της χρήσης δύο μεθόδων και, όπως προαναφέραμε σε επιλεγμένες διαδρομές του, χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα της πρώτης εκ των δύο μεθόδων. Τέλος, ακολουθεί το κεφάλαιο των συμπερασμάτων, η βιβλιογραφία και το παράρτημα με τα διαγράμματα που σχεδιάστηκαν για τις ανάγκες επίλυσης των προβλημάτων.

1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ

1.1 Γενικά περί αξιοπιστίας

Είναι αναμφισβήτητη η αναγκαιότητα ύπαρξης της αξιοπιστίας σε οποιονδήποτε τομέα της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η επιθυμία του απλού αγοραστή ενός αντικειμένου να μην παραλάβει ελαττωματικό προϊόν, η ανάγκη του χρήστη μιας υπηρεσίας να τηρηθούν τα υποσχεθέντα χαρακτηριστικά της, η θέληση του ταξιδιώτη να προγραμματίζει την ώρα αναχώρησής του από το σπίτι του για την έγκαιρη άφιξή του στο σημείο προορισμού του είναι ακριβείς εκφάνσεις της ίδιας αναγκαιότητας: της αξιοπιστίας.

Ο βαθμός, με τον οποίο είναι αξιόπιστο ένα αντικείμενο, καθορίζει σε σημαντικό βαθμό την αποδοχή του από το μέρος του κοινού, που είναι πιθανοί χρήστες του. Λόγω αυτής της σπουδαιότητας της, η αξιοπιστία έχει συγκεντρώσει επάνω της την προσοχή των επιστημόνων, για τους οποίους αποτελεί πρόκληση η δημιουργία αντικειμένων ή συστημάτων στα οποία λαμβάνει πολύ υψηλές τιμές ή η λήψη των μέτρων εκείνων, που οδηγούν στη βελτίωσή της.

Πρωτεύον καθήκον του μηχανικού είναι ο σχεδιασμός και η συντήρηση ενός προϊόντος με απώτερο στόχο την αναβολή την απομάκρυνση της αστοχίας ως ενδεχομένου. Η διακύμανση και η τυχαιότητα διαδραματίζουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της αξιοπιστίας. Ως εκ τούτου, για τη δημιουργία αξιόπιστων προϊόντων απαιτείται η βαθύτερη κατανόηση της έννοιας του ρίσκου, των αιτίων και των συνεπειών της διακινδύνευσης.

Μερικά προϊόντα υψηλής αξιοπιστίας παράγονται από ομάδες σχεδιασμού και κατασκευής που εφαρμόζουν τις παραδοσιακές αξίες εμπιστοσύνης στην εμπειρία. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η αξιοπιστία δεν αντιμετωπίζεται ως αντικείμενο, το οποίο πρέπει να εξετάζεται από ειδικούς. Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια υπάρχουν πιέσεις οδηγούν στην αμφισβήτηση των παραδοσιακών προσεγγίσεων. Ο ανταγωνισμός, η πίεση από χρονοδιαγράμματα και προθεσμίες, το κόστος των αστοχιών, η ραγδαία ανάπτυξη νέων υλικών, μεθόδων και σύνθετων συστημάτων, η απαίτηση για μείωση του κόστους παραγωγής και οι θεωρήσεις για ασφάλεια, όλα αυξάνουν τη διακινδύνευση στην παραγωγή προϊόντων. Η αντίληψη

της διακινδύνευσης καθορίζεται από τους εξής παράγοντες: πίεση της αγοράς, ανταγωνισμός, ασφάλεια, έξοδα εγγύησης και επισκευής, ευθύνες έναντι του δημοσίου, διακινδυνεύσεις ανάπτυξης, νομικό κατεστημένο, απαιτήσεις πελατών κι έμφαση στη διαχείριση.

Για το μηχανικό η αξιοπιστία δεν σχετίζεται μόνο με τη φάση λειτουργίας του αντικειμένου, αλλά και με τα στάδια σχεδιασμού και κατασκευής ή υλοποίησης. Διαταραχές της αξιοπιστίας επιφέρουν γεγονότα, τα οποία προκαλούν κάποιο είδος αποτυχίας. Τα αποτελέσματα μιας αποτυχίας έχουν ένα ιδιαίτερα εκτενές εύρος και μπορούν να εγείρουν στον άνθρωπο αισθήματα από μια μικρή μείωση της άνεσής του έως και οργή ή αγανάκτηση, ανάλογα με αυτό το οποίο πλήττεται άμεσα από το είδος της κάθε αποτυχίας και το βαθμό της επίδρασής της. Κατ' αυτόν τον τρόπο, εάν συμβεί μια οικολογική ζημία λόγω της αποτυχίας ενός συστήματος – πλεονάζει η σύγχρονη ιστορία από τέτοια συμβάντα – μπορεί να προκύψει ένα συλλογικό αίσθημα θυμού, ενώ, μία απλή καθυστέρηση ενός δρομολογίου κατά 1 min, μπορεί να μην επηρεάσει καμιά δραστηριότητα κι έτσι, να προκύψει ένα αίσθημα μικρής όχλησης.[17]

Στα αρχικά βήματα της εκτίμησης της αξιοπιστίας στον εικοστό αιώνα, όπως παρουσιάζεται και στο σύντομο ιστορικό της, το οποίο παρατίθεται αργότερα, ο αρμόδιος να αποφανθεί για αυτή ήταν ο μηχανικός. Ελλείπει ποσοτικών κριτηρίων, ο μηχανικός μόνο με την κρίση του χαρακτήριζε ως αξιόπιστα και μη τα αντικείμενα ή τα συστήματα, τα οποία εξέταζε. Η ανάγκη, όμως, για περισσότερο αντικειμενικά και μετρήσιμα μεγέθη οδήγησε στην εισαγωγή ποσοτικοποιήσεων, όχι αψηφώντας και παραμερίζοντας την κρίση του μηχανικού, αφού η τελευταία είναι επιφορτισμένη με τη διευθέτηση σημαντικών ζητημάτων έως την ώρα εφαρμογής της ποσοτικοποίησης. Κατ' αυτόν τον τρόπο οι τεχνικές υπολογισμού της αξιοπιστίας δεν υποκαθιστά την κρίση του μηχανικού, αλλά είναι ένα εργαλείο αναγκαίο για την αντιστοίχιση των ποιοτικών χαρακτηριστικών σε σύνολα τιμών.

Η εκτίμηση της αξιοπιστίας συνδυάζεται τις περισσότερες φορές με την εύρεση του τρόπου, με τον οποίο αποτυγχάνει το υπό εξέταση αντικείμενο, τις συνέπειες κάθε μορφής αποτυχίας του, τις πιθανότητες, με τις οποίες συμβαίνει κάθε αποτυχία κ.ά. Αυτά τα μετρήσιμα στοιχεία, εάν τεθούν υπό το πρίσμα μεθόδων της οικονομικής επιστήμης και της βελτιστοποίησης, τότε είναι δυνατή η εύρεση καλύτερων και οικονομικότερων σχεδιασμών και παράλληλα προσφέρουν μια πληρέστερη εικόνα του συστήματος ή του αντικειμένου.

Από τη στιγμή, στην οποία θα αποφασιστεί πως είναι αναγκαίος ο υπολογισμός της αξιοπιστίας ενός συστήματος, πρέπει να αποφασιστεί η μέθοδος, η οποία θα ακολουθηθεί και οι προσδιοριστέες παράμετροι. Για παράδειγμα, η χρονική βάση επί της οποίας εξετάζεται ένα αντικείμενο διαφέρει ανάλογα με το είδος του αντικειμένου, τη διάρκεια της ζωής του κ.ά. Σε πλειάδα περιπτώσεων υπάρχει η ανάγκη της εκτίμησης της συμπεριφοράς και της αξιοπιστίας του συστήματος σε κάποια μελλοντική στιγμή. Η επίλυση ενός τέτοιου προβλήματος απαιτεί τη χρησιμοποίηση της θεωρίας των πιθανοτήτων.

Για την εφαρμογή της θεωρίας των πιθανοτήτων και την εισαγωγή πιθανοτικών προτύπων, τα οποία προσεγγίζουν τη συμπεριφορά του συστήματος ή του αντικειμένου προϋποτίθεται η βαθιά κατανόηση πολλών παραμέτρων. Για παράδειγμα απαιτείται η κατανόηση της δομής του συστήματος, του τρόπου λειτουργίας του, του τρόπου με τον οποίο παραλαμβάνει τα φορτία του καθώς επίσης και των τρόπων με τους οποίους εμφανίζονται αποτυχίες ή αστοχίες, ενώ, πρέπει να υπάρχει σαφής εικόνα της αλληλεπίδρασής του με το περιβάλλον του. Για τη διευθέτηση όλων αυτών των ζητημάτων είναι αρμόδιος ο μηχανικός, ο οποίος αφού λάβει υπόψη του και επεξεργαστεί όλα τα διατιθέμενα δεδομένα, έπειτα θα χρησιμοποιήσει τη θεωρία πιθανοτήτων στο πρόβλημα που προσπαθεί να επιλύσει.[5]

1.2 Ένας διαδεδωμένος ορισμός της αξιοπιστίας

Υπάρχει μια ποικιλία ορισμών σε ό,τι αφορά την αξιοπιστία. Ο περισσότερο διαδεδωμένος και χρησιμοποιημένος ορισμός είναι ο ακόλουθος :

Αξιοπιστία καλείται η πιθανότητα με την οποία ένα στοιχείο επιτελεί το σκοπό του επαρκώς σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και για δεδομένες συνθήκες.[5,7]

Οι όροι – κλειδιά του παραπάνω ορισμού είναι οι εξής : πιθανότητα, επάρκεια (επαρκώς), χρόνος και συνθήκες. Η πιθανότητα είναι ένας όρος μαθηματικός, ο οποίος προσδιορίζεται και λαμβάνει τιμές ανάλογα με το κριτήριο, το οποίο θα εισαχθεί για την εξέταση της αξιοπιστίας του αντικειμένου. Για παράδειγμα λαμβάνει διαφορετικές τιμές εάν το κριτήριο εξέτασης είναι ο αναμενόμενος αριθμός

αστοχιών σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ή ο μέσος χρόνος μεταξύ των αστοχιών.[5]

Τα υπόλοιπα τρία τμήματα, για τα οποία είναι επιτακτικός ο προσδιορισμός είναι η επαρκής απόδοση, ο χρόνος εξέτασης και οι συνθήκες λειτουργίας. Λόγω της μεγάλης ποικιλίας των στοιχείων και των ιδιοτήτων τους οι παραπάνω τρεις παράμετροι είναι διαφορετικοί σε κάθε περίπτωση. Για παράδειγμα, ο χρόνος λειτουργίας ενός αντικειμένου μπορεί να είναι συνεχής ή τμηματικός ή οι συνθήκες λειτουργίας μπορεί να είναι σταθερές ή μεταβαλλόμενες. Η επιτέλεση αυτής της εργασίας, του προσδιορισμού δηλαδή αυτών των παραμέτρων, είναι αποκλειστική αρμοδιότητα του μηχανικού, ο οποίος τελικά θα αποφανθεί.

1.3 Σύντομο ιστορικό της αξιοπιστίας

Μετά τον Α΄ Παγκόσμιο Πόλεμο η αξιοπιστία αποτέλεσε σημείο εστίασης των κατασκευαστικών εταιρειών αεροσκαφών. Παρόλα αυτά, έως και τις αρχές του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου, υπήρξε μια έννοια περισσότερο υποκειμενική, με ποιοτικά μόνο χαρακτηριστικά, η οποία προσεγγιζόταν μόνο διαισθητικά. Οι περισσότερες προσπάθειες για την ανάπτυξη της αξιοπιστίας βασίζονταν στις έννοιες προσπάθεια και αποτυχία. Ένας σημαντικός λόγος, για τον οποίο οι βιομηχανίες ξεκίνησαν να την εξετάζουν, ήταν η εξερεύνηση του λόγου της αστοχίας ενός υλικού, έτσι ώστε, όταν απαιτούνταν η αντικατάστασή του, να γινόταν από ανθεκτικότερο υλικό. Οι εταιρείες αεροσκαφών εξέφρασαν την αξιοπιστία με τον όρο «ρυθμός αποτυχίας» για ένα συγκεκριμένο τύπο αεροσκάφους ή συστήματος.

Οι απαιτήσεις της σύγχρονης τεχνολογίας και η εμπειρία, η οποία αποκτήθηκε από τα σύνθετα στρατιωτικά συστήματα κατά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, οδήγησαν σε μια περισσότερο ποσοτικοποιημένη προσέγγιση του υπολογισμού της αξιοπιστίας. Η διαστημική τεχνολογία, γέννημα του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου, διαμόρφωσε την ποσοτικοποίηση της αξιοπιστίας. Μετά την μειωμένη αξιοπιστία παραγωγή των πυραύλων V1, ο Lusser, Γερμανός μαθηματικός, αμφισβήτησε την αρχική υπόθεση πως η αξιοπιστία μιας αλυσίδας στοιχείων περιγραφόταν από την αντοχή του πιο αδύναμου κρίκου της και έδειξε ότι ένας μεγάλος αριθμός των φαινομενικά δυνατότερων κρίκων μπορεί να είναι περισσότερο αναξιόπιστοι από έναν μόνο αδύναμο κρίκο εξαιτίας του μεγάλου εύρους των

αντοχών των στοιχείων και των λειτουργικών φορτίων. Η εξασφάλιση της ποιότητας εφαρμόστηκε στην αύξηση της αξιοπιστίας όλων των στοιχείων του συστήματος και οδήγησε στην δραματική βελτίωση των πυραύλων V1, με ρυθμό επιτυχίας στην τελική φάση μεγαλύτερο από 60%. Εξαιτίας της αύξησης της πολυπλοκότητας των σύγχρονων συστημάτων, η αξιοπιστία των συσκευών αυτών είναι σημαντικά μικρότερη από το 100%.

Ο αμερικανικός στρατός απέκτησε αυξημένο ενδιαφέρον για την αξιοπιστία και την μέτρησή της κατά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο λόγω της αναξιοπιστίας του ζωτικού εξοπλισμού και συστημάτων, τα οποία δημιουργούσαν σημαντικά προβλήματα. Για παράδειγμα, στον πόλεμο της Κορέας, η αναξιοπιστία του ηλεκτρονικού εξοπλισμού θεωρήθηκε ότι κόστιζε 2\$ ανά έτος για να διατηρηθεί εξοπλισμός αξίας 1\$. Την ίδια περίοδο στο Ηνωμένο Βασίλειο παρατηρείται επίσης πως η έλλειψη αξιοπιστίας και διατήρησης εξοπλισμού εξανάγκαζε τις υπηρεσίες του στρατού να ξοδεύουν περισσότερο από το μισό των πόρων στη συντήρηση από ότι στη λειτουργία.

Ξεκινώντας από την εκτίμηση της σημαντικότητας της αξιοπιστίας και της διατήρησης, το αμερικανικό Υπουργείο Άμυνας εισήγαγε μια σειρά μέτρων και κριτηρίων. Ακολούθως, το βρετανικό Υπουργείο Άμυνας εισήγαγε αντίστοιχα κριτήρια. Η πρακτική αυτή είχε ως αποτέλεσμα τη θεαματική βελτίωση της αξιοπιστίας και της διατήρησης των στρατιωτικών εξοπλισμών και συστημάτων.

Άλλες μέθοδοι αξιοπιστίας έχουν εισαχθεί στη διαδικασία παραγωγής στον τομέα της βιομηχανίας, όπου ο αντικειμενικό στόχο αποτελεί η βελτίωση της ασφάλειας και της διαθεσιμότητας των παραγομένων προϊόντων. Ο τομέας της αξιοπιστίας έχει διευρυνθεί σε σημαντικό βαθμό εξαιτίας του ενδιαφέροντος των βιομηχανιών και έχει εμπλουτιστεί με ιδέες, όπως οι μη αποκαλυμμένες αποτυχίες, και ιδέες, όπως η ανάλυση αξιοπιστίας κατά Markov, η μέθοδος του Δέντρου Σφαλμάτων και η ανάλυση ανθρώπινης αξιοπιστίας.[17,23]

2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ – ΓΕΙΤΝΙΑΖΟΥΣΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

2.1 Γενικός ορισμός της αξιοπιστίας

Ο γενικότερος ορισμός της αξιοπιστίας είναι «η πιθανότητα, με την οποία ένα στοιχείο εκτελεί μια απαιτούμενη λειτουργία κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα». Με την ευρύτερή του έννοια, αυτός ο ορισμός απαντάται στις ακόλουθες περιοχές δραστηριότητας :

- ανάλυση αποτυχίας συστημάτων
- λειτουργική ή παρατηρημένη αξιοπιστία
- αξιοπιστία βάσεων δεδομένων
- έλεγχοι αξιοπιστίας
- προβλεπόμενη αξιοπιστία
- μέθοδοι πρόβλεψης αξιοπιστίας και ασφάλειας
- διασφάλιση αξιοπιστίας και ποιότητας

Σύμφωνα με την IEC (International Electrotechnical Commission), ο ανωτέρω ορισμός είναι όμοιος με τον ακόλουθο : «η ικανότητα μιας ολότητας να εκτελεί μια απαιτούμενη λειτουργία σε δεδομένες συνθήκες για ένα δεδομένο χρονικό διάστημα». Με τον όρο «ολότητα» μπορεί να περιγραφεί οποιοδήποτε στοιχείο, υποσύστημα ή σύστημα, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί μεμονωμένο και να εξεταστεί χωριστά. Ως «απαιτούμενη λειτουργία» ορίζεται μια λειτουργία ή συνδυασμός λειτουργιών μιας ολότητας, η οποία θεωρείται απαραίτητη για την παροχή της συγκεκριμένης υπηρεσίας. Ανάλογα με τη μορφή του υπό εξέταση ως προς την αξιοπιστία αντικειμένου η έννοια «δεδομένο χρονικό διάστημα μπορεί να αντικατασταθεί από όρους όπως «αριθμός κύκλων», «πραγματοποιούμενη απόσταση» κ.ά.[23]

2.2 Κατηγορίες της αξιοπιστίας

Η αξιοπιστία μπορεί να διακριθεί στις εξής κατηγορίες :

- λειτουργική αξιοπιστία (ή παρατηρημένη αξιοπιστία) η οποία προέρχεται από την παρατήρηση και την ανάλυση της συμπεριφοράς συγκεκριμένων αντικειμένων ευρισκομένων σε συνθήκες λειτουργίας
- προβλεπόμενη αξιοπιστία η οποία αποτελεί ένα μέτρο εκτίμησης της μελλοντικής αξιοπιστίας για την εξαγωγή της οποίας λαμβάνεται υπόψη ο σχεδιασμός του συστήματος και η αξιοπιστία των επιμέρους τμημάτων του
- επεκτεινόμενη χρονικά αξιοπιστία η οποία προκύπτει από τη χρησιμοποίηση γνωστών στοιχείων για την εκτίμηση της σε κάποιο ορίζοντα χρόνου για διαφορετικές διάρκειες και επιβαλλόμενες φορτίσεις.[23]

2.3 Γειτνιάζουσες – Συγγενικές έννοιες

2.3.1 Εξαρτησιμότητα

Στην ευρύτερή της έννοια η εξαρτησιμότητα ορίζεται ως η επιστήμη των αποτυχιών διότι περιστοιχίζει τη γνώση γύρω από αυτές τις αποτυχίες, περιέχει την αξιολόγησή τους και τους τρόπους με τους οποίους αυτή εκτιμάται, την πρόβλεψή τους, τη μέτρησή τους και τέλος τον έλεγχό τους.[23]

2.3.2 Ποιότητα

Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO) η ποιότητα ορίζεται ως «το σύνολο των ιδιοτήτων και των χαρακτηριστικών ενός προϊόντος ή μίας υπηρεσίας που διέπουν την ικανότητά του να ικανοποιεί καθορισμένες ή δεδηλωμένες ανάγκες.

Παρόλα αυτά η ποιότητα ενός προϊόντος δεν αποτελεί αποκλειστικά δείκτη ως προς τη συμμόρφωσή του σε κάποια πρότυπα χαρακτηριστικά αλλά και την ικανότητα του προϊόντος να διατηρεί τα τεχνικά χαρακτηριστικά του καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του. Αυτή η διαπίστωση μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως η αξιοπιστία του προϊόντος αποτελεί ένα χαρακτηριστικό ποιότητας.

Βέβαια, η χρήση του όρου της ποιότητας υποδηλώνει το βαθμό ανταπόκρισης του προϊόντος με τα προαπαιτούμενα χαρακτηριστικά του ως όταν κατασκευάστηκε και για αυτό το λόγο η αξιοπιστία του έχει προσδιορίζεται από την ικανότητα του προϊόντος να συνεχίζει να συμμορφώνεται στα αρχικά χαρακτηριστικά του στον ωφέλιμο χρόνο της λειτουργίας του.[23]

2.3.3 Διαθεσιμότητα

Ως διαθεσιμότητα ορίζεται «η ικανότητα ενός αντικειμένου να βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο βαθμό απόδοσης κατά τη διάρκεια εκτέλεσης μιας απαιτούμενης λειτουργίας κάτω από δεδομένες συνθήκες και σε μια δεδομένη χρονική στιγμή».

Επιπλέον, η διαθεσιμότητα απαντάται και με άλλους ορισμούς. Δηλαδή Διαθεσιμότητα τη χρονική στιγμή t , είναι η πιθανότητα, με την οποία ένα σύστημα ή ένα μεμονωμένο στοιχείο λειτουργούν τη χρονική στιγμή t . Επίσης

Ως διαθεσιμότητα ορίζεται το κλάσμα του συνολικού χρόνου, για τον οποίο ένα σύστημα ή ένα μεμονωμένο στοιχείο είναι ικανό να επιτελέσει την απαιτούμενη από αυτό λειτουργία.

Η διαθεσιμότητα εν γένει μετράται μέσω της πιθανότητας για την οποία ένα αντικείμενο I βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο βαθμό απόδοσης κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της λειτουργίας για την οποία κατασκευάστηκε, κάτω από δεδομένες συνθήκες και για δεδομένο χρονικό διάστημα.

Η μαθηματική αποτύπωση της προηγούμενης διατύπωσης είναι η εξής :

$$A(t) = P(\text{το στοιχείο } I \text{ λειτουργεί τη στιγμή } t)$$

όπου $P(a)$ η πιθανότητα με την οποία συμβαίνει το ενδεχόμενο a . Με τον όρο «λειτουργεί» εννοείται είτε η ενεργός λειτουργία του αντικειμένου είτε η δυνατότητά του να λειτουργήσει ένα αυτό απαιτηθεί.

Το συμπληρωματικό ενδεχόμενο του αντίστοιχου για το οποίο το I λειτουργεί, έχει πιθανότητα

P (το στοιχείο I δε λειτουργεί τη στιγμή t) = $1 - P$ (το στοιχείο I λειτουργεί τη στιγμή t) ή εάν συμβολίσουμε με A^* το αντίθετο μέγεθος της διαθεσιμότητας (unavailability) τότε

$$A^*(t) = 1 - A(t)$$

Η μέση διαθεσιμότητα διαχωρίζεται από τη διαθεσιμότητα. Κατ' αυτόν τον τρόπο ως μέση διαθεσιμότητα $A_{av} = MXMB / (MXMB + MTGE)$

όπου με $MXMB$ (Μέσος Χρόνος Μεταξύ Βλαβών) υποδηλώνεται ο μέσος λειτουργικός χρόνος του αντικειμένου, η διαθεσιμότητα του οποίου υπολογίζεται και με $MTGE$ (Μέσος Χρόνος Για Επισκευή) υποδηλώνεται ο μέσος χρόνος στον οποίο το αντικείμενο επισκευάζεται ή ο χρόνος που απαιτείται για την επισκευή που ακολουθεί μετά από μία βλάβη.[2, 12, 17, 23]

2.3.4 Συντηρησιμότητα

Με τον όρο συντηρησιμότητα ορίζεται η ικανότητα ενός αντικειμένου, με την προϋπόθεση πως αυτό είναι επιδεκτικό συντήρησης ή αποκατάστασης της λειτουργίας του, σε περίπτωση απώλειάς της, να βρίσκεται σε ένα επίπεδο στο οποίο μπορεί να εκτελέσει την απαιτούμενη για αυτό λειτουργία όταν η συντήρησή του έχει γίνει σε δεδομένες συνθήκες, με δεδομένους τρόπους και με συγκεκριμένα μέσα.

Εν γένει η συντηρησιμότητα μετράται μέσω του υπολογισμού της πιθανότητας με την οποία η συντήρηση ενός αντικειμένου (I) το οποίο λειτουργεί εντός δεδομένων συνθηκών κι εφόσον χρησιμοποιηθούν συγκεκριμένες διαδικασίες συντήρησης καθίσταται ολοκληρωμένο και έτοιμο να λειτουργήσει τη χρονική στιγμή t δεδομένου ότι την χρονική στιγμή $t = 0$ το αντικείμενο αυτό αποτυγχάνει ή αστοχεί.

$M(t) = P$ [η συντήρηση του αντικειμένου I έχει ολοκληρωθεί έως τη χρονική στιγμή t]

Για λόγους απλότητας η ίδια πιθανότητα μπορεί να εκφραστεί και με την παρακάτω διατύπωση

$M(t) = P$ [το αντικείμενο I είναι επιδιορθωμένο εκτός του διαστήματος $[0, t]$].

Το αντίθετο μέγεθος της συντηρησιμότητας, εάν συμβολιστεί με M^* , θα δίνεται από τη σχέση

$$M^*(t) = 1 - M(t)$$

Η έννοια της συντηρησιμότητας εφαρμόζεται αποκλειστικά σε επιδιορθώσιμα στοιχεία ή συστήματα. Με διαφορετικό τρόπο η συντηρησιμότητα χαρακτηρίζει την ικανότητα ενός συστήματος να επανακτήσει τη δυνατότητά του να εκτελεί τη λειτουργία του κατόπιν μιας αποτυχίας.[23]

2.3.5 Ασφάλεια

Με τον όρο ασφάλεια περιγράφεται η ικανότητα ενός αντικειμένου να μην προκαλεί, εντός δεδομένων συνθηκών, κρίσιμα ή καταστροφικά γεγονότα.

Η ασφάλεια γενικά μετράται από την πιθανότητα, με την οποία ένα αντικείμενο I , ευρισκόμενο εντός δεδομένων συνθηκών, δε θα προκαλέσει κρίσιμα ή καταστροφικά γεγονότα.

Η αντίθετη της ασφάλειας έννοια καλείται ανασφάλεια.[12, 23]

3. Η ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΣΤΟ ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

3.1. Εκφάνσεις της αξιοπιστίας στο οδικό δίκτυο

3.1.1. Αξιοπιστία χωρητικότητας

Ένας γενικός ορισμός της αξιοπιστίας είναι η πιθανότητα το υπό εξέταση σύστημα να είναι ικανό να εκπληρώσει μια επιδιωκόμενη λειτουργία ή έναν επιθυμητό στόχο. Ο ορισμός αυτός αποτελεί τον περισσότερο διαδεδομένο ορισμό της αξιοπιστίας και συνάμα τον περισσότερο αποδεκτό. Ο ορισμός αυτός στη γενικότητά του μπορεί να εισαχθεί και να περιγράψει μια πληθώρα αντικειμένων και συστημάτων ως προς την αξιοπιστία τους.

Ως capacity reliability (αξιοπιστία χωρητικότητας) ορίζεται η πιθανότητα ένα δίκτυο να μπορεί να εξυπηρετήσει μια συγκεκριμένη κυκλοφοριακή ζήτηση σε ένα απαιτούμενο επίπεδο εξυπηρέτησης [7]. Επιπλέον το πρόβλημα της αξιοπιστίας μπορεί κάλλιστα να χαρακτηριστεί πρόβλημα επάρκειας. Κατ' αυτόν τον τρόπο εάν η χωρητικότητα ενός οδικού δικτύου είναι μεγαλύτερη από ένα συγκεκριμένο επίπεδο ζήτησης τότε το οδικό δίκτυο χαρακτηρίζεται ως ασφαλές ή επαρκές. Στην αντίθετη περίπτωση το δίκτυο χαρακτηρίζεται ως ανεπαρκές ή αναξιόπιστο.

3.1.2. Αξιοπιστία συνδεσιμότητας

Όταν εξετάζουμε ένα οδικό δίκτυο ως προς την αξιοπιστία του θεωρείται αναγκαία η διάκριση της αξιοπιστίας σε αξιοπιστία συνδεσιμότητας (connectivity reliability) και σε αξιοπιστία χρόνου διαδρομής (travel time reliability) [7].

Ως αξιοπιστία συνδεσιμότητας ορίζεται η πιθανότητα οι κόμβοι ενός δικτύου να παραμένουν συνδεδεμένοι. Μια ειδική περίπτωση αυτής της αξιοπιστίας αποτελεί η τελική αξιοπιστία (terminal reliability) η οποία αναφέρεται στην ύπαρξη ενός μονοπατιού ανάμεσα σε ένα συγκεκριμένο ζευγάρι προέλευσης-προορισμού [7]. Ανάλογα, για κάθε ένα ζευγάρι κόμβων, το δίκτυο χαρακτηρίζεται επιτυχές εάν υπάρχει ένα τουλάχιστον λειτουργικό μονοπάτι.

3.1.3. Αξιοπιστία χρόνου διαδρομής

Η αξιοπιστία του χρόνου διαδρομής είναι ένας συντελεστής της μεταβολής του χρόνου διαδρομής. Αναφέρεται στην πιθανότητα ένα ταξίδι ανάμεσα σε ένα δεδομένο ζευγάρι προέλευσης-προορισμού να μπορεί να γίνει σε ένα ορισμένο διάστημα χρόνου. Ένας ορισμός της αποτελεί ο λόγος των χρόνων των διαδρομών που πραγματοποιούνται κάτω από υποβαθμισμένες (degraded) και μη συνθήκες. Όταν ο λόγος αυτός είναι κοντά στη μονάδα, ουσιαστικά το δίκτυο λειτουργεί στην ιδανική χωρητικότητα. Στις περιπτώσεις, όμως, που ο λόγος αυτός τείνει στο άπειρο ο προορισμός δεν είναι προσβάσιμος.

Αβεβαιότητα στο χρόνο διαδρομής μπορούν να επιφέρουν δύο παράγοντες :

1. οι μεταβολές στις ροές ζήτησης
2. οι μεταβολές στη χωρητικότητα [7].

Συνεπώς, μπορούν να προκύψουν δύο προσεγγίσεις στην αξιοπιστία του χρόνου διαδρομής. Η πρώτη προσέγγιση λαμβάνει υπόψη τις ημερήσιες διακυμάνσεις των ροών ζήτησης στην εκτίμηση της λειτουργίας του δικτύου και είναι κατάλληλη για φυσιολογικές κυκλοφοριακές συνθήκες. Η δεύτερη προσέγγιση λαμβάνει υπόψη τις διακυμάνσεις στη χωρητικότητα και είναι κατάλληλη για φυσιολογικές και μη συνθήκες.

3.1.4. Αξιοπιστία και διακινδύνευση

Αποτυχία στο σύστημα και απώλεια της αξιοπιστίας είναι δυνατό να επιφέρουν παράγοντες οι οποίοι σχετίζονται κατά κάποιον τρόπο :

1. με τυχαίες αποτυχίες οι οποίες σχετίζονται με απρόβλεπτες αποτυχίες που προέρχονται από είτε περιβαλλοντικές μεταβολές είτε από εσωτερική αδυναμία του συστήματος
2. με αθροιστικές βλάβες που δημιουργούν διαταραχές στην αξιοπιστία ολόκληρου του συστήματος ως «σύμματα» αίτια
3. με την αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής η οποία μπορεί να έχει θετική ή αρνητική συνεισφορά στην αποτυχία του συστήματος
4. με την προσαρμογή ανάμεσα στα υποσυστήματα [7]

Η αξιοπιστία είναι δυνατό να συσχετισθεί με το βαθμό επικινδυνότητας (hazard rate) με την ακόλουθη μαθηματική σχέση $h(t) = -1/R(t) * dR/dt$ ή διαφορετικά $h(t) = -1/R * 1/(dt/dR) = f(R)$ [24]

3.1.5. Αξιοπιστία και βαθμός άρνησης

Ένας άλλος τρόπος προσέγγισης της αξιοπιστίας είναι ο βαθμός άρνησης (denial rate). Ως βαθμός άρνησης ορίζεται ο λόγος του συνολικού αριθμού των ταξιδιών που δε λαμβάνουν χώρα προς τον συνολικό αριθμό ταξιδιών που επιθυμούν οι χρήστες του συστήματος να εκτελέσουν [14]. Ο βαθμός άρνησης μπορεί πολύ εύκολα να συσχετισθεί με την πιθανότητα να γίνει ένα ταξίδι όταν αυτό ζητηθεί. Σε κάθε σύστημα υπάρχει ένας βέλτιστος βαθμός άρνησης ο οποίος υποδηλώνει πως το κόστος το οποίο πρέπει να δαπανηθεί για τη βελτίωση του είναι μεγαλύτερο από την αξία που αποδίδουν οι χρήστες στη βελτίωση αυτή. Στην αντικειμενική συνάρτηση του κόστους υπεισέρχονται οι όροι :

1. ζήτηση για παροχή της υπηρεσίας
2. παραγωγικότητα της υπηρεσίας
3. ωριαίο κόστος μετακίνησης [14].

3.1.6. Αξιοπιστία συνάντησης

Μια διαφορετική προσέγγιση της αξιοπιστίας είναι η αξιοπιστία συνάντησης η οποία ορίζεται ως η πιθανότητα κάποιος χρήστης του δικτύου να μη συναντήσει κάποιο σύνδεσμο με μειωμένη χωρητικότητα στο μονοπάτι του ελάχιστου κόστους [21].

3.1.7. Αξιοπιστία και Θεωρία παιγνίων

Για την προσομοίωση της συμπεριφοράς των χρηστών ο Bell πρότεινε τη προσέγγιση του προβλήματος μέσω της θεωρίας των παιγνίων. Κατ' αυτόν τον τρόπο στο ίδιο παιχνίδι οι χρήστες προσπαθούν να διαλέξουν συνδέσμους με το μικρότερο αναμενόμενο κόστος ταξιδιού ενώ η «αντίπαλη οντότητα» προσπαθεί να

μεγιστοποιήσει το αναμενόμενο κόστος ταξιδιού μειώνοντας τη χωρητικότητα των κλειδιών-συνδέσμων του οδικού δικτύου. Το σημείο ισορροπίας του Nash είναι η πιθανότητα της χειρότερης κατάστασης η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην εκτίμηση της αξιοπιστίας [21].

Για ένα δοσμένο επίπεδο πιθανότητας a ($a < 1$) η αξιοπιστία βασισμένη στη διακινδύνευση RBR είναι το πιθανό μέγιστο κόστος ταξιδιού κάτω από την πιθανότητα a . Αν συμβολιστεί με $f(t)$ η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της μεταβλητής t τότε $P(t < \text{RBR})$ είναι η πιθανότητα $t < \text{RBR}$ και ισούται με $P(t < \text{RBR}) = 1 - a$ [21].

3.1.8 Αξιοπιστία και Ευπάθεια

3.1.8.1 Ορισμοί της ευπάθειας

Για πολλούς συγκοινωνιολόγους η ευαισθησία ή ευπάθεια (στη συνέχεια θα χρησιμοποιείται μόνο ο όρος ευπάθεια) του συστήματος αποτελεί το αντικρουόμενο και συμπληρωματικό μέγεθος της αξιοπιστίας. Αυτή η ευπάθεια είναι ο βαθμός ευαισθησίας του συστήματος σε περίπτωση διαφόρων κινδύνων (Holmgren)[10]. Όμως, μια προσπάθεια εξέτασης συνδυάζοντας τα δύο αυτά μεγέθη μπορεί να περιπλέξει τα πράγματα εάν δεν εισαχθεί η αντίληψη ενός παρατηρητή.

Ένας άλλος ορισμός της ευπάθειας είναι η ευαισθησία στα συμβάντα εκείνα τα οποία μπορούν να επιφέρουν διάφορες επιπτώσεις στην εξυπηρετικότητα του οδικού δικτύου (Bercida)[10]. Η εξυπηρετικότητα ενός συνδέσμου ή διαδρομής ή δρόμου του οδικού δικτύου περιγράφεται από την πιθανότητα της διαθεσιμότητας στη χρήση του συνδέσμου ή της διαδρομής ή του δρόμου σε μια δεδομένη χρονική περίοδο.

Κατά Husdal η ευπάθεια ορίζεται ως η απουσία της λειτουργισιμότητας του δικτύου κάτω από συγκεκριμένες περιστάσεις, ενώ, αντιστρόφως, η αξιοπιστία αποτελεί την περιγραφή της λειτουργισιμότητας του δικτύου κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες, δηλαδή της ικανότητάς του να συνεχίζει να λειτουργεί.

Οι έννοιες εξυπηρετικότητα και λειτουργισιμότητα είναι συγγενικές με τις έννοιες χωρητικότητα και απόδοση. Κατ' αυτόν τον τρόπο οι τελευταίες μπορούν να περιγράψουν την αξιοπιστία και της δυνατότητας ενός συνδέσμου ή του τμήματος

του δικτύου να είναι εν μέρει υποβιβασμένο σε περιπτώσεις συμφόρησης, ατυχήματος ή οδικών έργων.

3.1.8.2 Μαθηματική έκφραση της ευπάθειας

Η ευπάθεια αποτελεί έννοια εξ ορισμού της συγγενική με την έννοια της διακινδύνευσης. Σύμφωνα με μια γενικώς αποδεκτή προσέγγιση η διακινδύνευση αποτελείται από δύο συστατικά μέρη : την πιθανότητα και τη συνέπεια. Οι συνέπειες αφορούν πολλούς και διάφορους τομείς και γενικά μπορούν να περιγραφούν από τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, στο περιβάλλον και ευρύτερα στη ζωή. Εάν προσεγγιστούν οι συνέπειες από μία οικονομική σκοπιά τότε αντανακλώνται στην ύπαρξη οικονομικού κόστους.

Για την ποσοτικοποίηση της έννοιας της διακινδύνευσης εισάγουμε το αριθμητικό μέγεθος $R(X)$ όπου X κάποιο επιζήμιο γεγονός. Αν παρασταθεί με $Pr(X)$ η πιθανότητα να συμβεί το γεγονός X και με $C(X)$ παρασταθεί το οικονομικό κόστος που επιφέρει το γεγονός X τότε $R(X) = Pr(X) \cdot C(X)$. Ομοίως και η ευπάθεια μπορεί να προσεγγιστεί όπως η διακινδύνευση, δηλαδή ως αποτελούμενη από δύο συστατικά μέρη : την πιθανότητα και τη συνέπεια.

Οι D' Este και Taylor θεωρούν πως η ευπάθεια πρέπει να αναφέρεται μόνο στις συνέπειες και ορίζουν ένα κόμβο ευαίσθητο ή ευπαθή εάν η απώλεια μικρού αριθμού συνδέσμων μειώνει σημαντικά ή μηδενίζει την προσβασιμότητά του συγκρίνοντάς τη με ένα σταθερό δείκτη προσβασιμότητας [10].

3.1.9. Κρισιμότητα

Επιπλέον, η κρισιμότητα ως έννοια ενός συγκεκριμένου στοιχείου του δικτύου (σύνδεσμος, κόμβος ή ομάδα συνδέσμων ή κόμβων) περιέχει την πιθανότητα της αστοχίας του και τις συνέπειες της αστοχίας αυτής σε ολόκληρο το δίκτυο. Ανάλογα με το βαθμό με τον οποίο μπορεί να πλήξει το δίκτυο ένα στοιχείο που αστόχησε εξάγεται και η κρισιμότητά του. Με αυτόν τον τρόπο ένα στοιχείο χαρακτηρίζεται αδύναμο εάν η πιθανότητα να συμβεί κάποιο επιζήμιο γεγονός σε αυτό είναι υψηλή και σημαντικό εάν οι συνέπειες του γεγονότος είναι μεγάλες.

3.1.10 Επίδραση της αξιοπιστίας

Πριν δούμε την επίδραση της αξιοπιστίας, για να κλείσουμε την αναφορά στους διάφορους ορισμούς και τις διάφορες προσεγγίσεις της αξιοπιστίας και της ευπάθειας ή ευαισθησίας να αναφέρουμε πως η ευπάθεια περιγράφει τη μείωση της δυνατότητας λειτουργίας ή της δυνατότητας για εξυπηρέτηση και της προσβασιμότητας. Όμως, υπάρχει μια σημαντική διάκριση των μεγεθών αυτών : η αξιοπιστία και η προσβασιμότητα εξετάζουν το θέμα από την πλευρά της ζήτησης ενώ η δυνατότητα λειτουργίας και η δυνατότητα εξυπηρέτησης επικεντρώνονται στην πλευρά 'παροχής'

Η αξιοπιστία επηρεάζει εμφανώς τη συμπεριφορά των χρηστών σε ό,τι αφορά την επιλογή της διαδρομής τους και των μέσων που θα χρησιμοποιήσουν για την εκτέλεσή της. Ουσιαστικά η βέλτιστη επιλογή για τους χρήστες προκύπτει από τη μεγιστοποίηση μιας αντικειμενικής συνάρτησης : της συνάρτησης χρησιμότητας ή μάλλον καλύτερα από την ελαχιστοποίηση της συνάρτησης μη-χρησιμότητας. Η συνάρτηση μη-χρησιμότητας θεωρείται συνάρτηση του χρόνου και παρουσιάζεται εξαρτώμενη :

1. του συνολικού χρόνου μετακίνησης (διάρκεια του ταξιδιού)
2. της συνολικής απόλυτης διαφοράς των χρονικών στιγμών επιθυμητής και πραγματοποιημένης άφιξης
3. από το αν η χρονική στιγμή της πραγματοποιημένης μετακίνησης είναι ενωρίτερη ή βραδύτερη της επιθυμητής χρονικής στιγμής άφιξης [4].

Οι ανωτέρω χρόνοι και χρονικές διαφορές για να αποτελέσουν δεδομένα από τα οποία μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για το βαθμό της χρησιμότητας τους πολλαπλασιάζονται με ορισμένους συντελεστές οι οποίοι αποδίδουν την αξία του κάθε χρόνου για τον επιβάτη [4].

Σαφέστατα όταν υπάρχει βεβαιότητα για το χρόνο μετακίνησης, με άλλα λόγια όταν υπάρχει αξιοπιστία στο σύστημα αυτή η συνάρτηση της μη-χρησιμότητας μπορεί να λάβει τη μικρότερη τιμή της διότι τότε ο επιβάτης είναι σε θέση να προγραμματίσει ακριβώς τις ώρες αναχώρησης αφαιρώντας απλά τους χρόνους διαδρομής από τις ώρες επιθυμητών αφίξεων. Με αυτόν τον τρόπο η αξιοπιστία εξαλείφει τη χρονική διαφορά επιθυμητής-πραγματοποιημένης άφιξης.[4]

Η επιρροή της αξιοπιστίας είναι ακόμα μεγαλύτερη όταν για την πραγματοποίηση της μετακίνησης του επιβάτη είναι αναγκαία η μετεπιβίβαση του και η χρησιμοποίηση δύο ή και περισσότερων μέσων μεταφοράς. Τότε η ύπαρξη της αξιοπιστίας δεν αρκεί μόνο σε ένα μέσο μεταφοράς αλλά απαιτείται αξιοπιστία σε όλα τα στοιχεία που ορίζουν το σύστημα. Ο συνολικός χρόνος πραγματοποιημένης μετακίνησης συγκρινόμενος με το συνολικό χρόνο που προβλέπουν οι πίνακες δρομολογίων αποτελεί ενδεικτικό στοιχείο του βαθμού ύπαρξης της αξιοπιστίας.

3.2 Η αξιοπιστία στο αστικό οδικό δίκτυο

3.2.1 Αξιοπιστία και Μεταβλητότητα

Η αξιοπιστία και η μεταβλητότητα αποτελούν σημαντικές έννοιες στις μεταφορές και εξετάζονται για ποικίλους και διάφορους λόγους. Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι είναι συγγενικές και σχετιζόμενες έννοιες, διαφέρουν στον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζονται και μετρώνται. Κατ' αυτόν τον τρόπο :

Η αξιοπιστία συνήθως χρησιμοποιείται αναφερόμενη στο επίπεδο σταθερότητας στην μεταφορική εξυπηρέτηση σε έναν κόμβο, σε ένα ταξίδι ή σε μία διαδρομή ενώ

Η μεταβλητότητα μπορεί να θεωρηθεί ως το ποσό της αστάθειας στις συνθήκες λειτουργίας.

Και οι δύο αυτές έννοιες είναι χρήσιμες αλλά ο όρος της αξιοπιστίας είναι περισσότερο εύχρηστος για την εξαγωγή αποδοτικών μέτρων στους χρήστες του οδικού δικτύου επειδή σχετίζεται με ένα «αποτέλεσμα» της μεταφοράς : την ποιότητα της εξυπηρέτησης που παρέχεται. Το κοινό που χρησιμοποιεί το δίκτυο καθώς επίσης και μια μεγάλη ποικιλία εταιρειών ή τομείς προϊόντων χρησιμοποιούν τον όρο *αξιοπιστία* στους επιδιωκόμενους σκοπούς τους και για αυτό το λόγο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ενός μέτρου απόδοσης.

3.2.2 Η αξιοπιστία στη ζωή της πόλης

Οι περισσότερες πόλεις αναπτύσσουν ένα ευρύ πρόγραμμα βελτιώσεων για να αντιμετωπίσουν την κυκλοφοριακή συμφόρηση. Επιπλέον επιδιώκοντας τη

μείωση της αύξησης της συμφόρησης και την παροχή εναλλακτικών επιλογών κίνησης, οι διαχειριστές του συστήματος κατευθύνονται στη βελτίωση της αξιοπιστίας του μεταφορικού συστήματος.

Η σημαντικότητα του θέματος της αξιοπιστίας αφορά σε έναν αρκετά μεγάλο βαθμό στις εταιρείες ιδιαίτερα όταν τα προϊόντα τους πρέπει να διανεμηθούν στις αγορές σε μικρό χρονικό διάστημα μετά από την παραγωγή τους. Επιπλέον άλλη μια προσδοκία των εταιρειών είναι η χαμηλού κόστους μεταφορά των προϊόντων τους που σημαίνει έγκαιρη μεταφορά τους σε αυστηρά χρονικά πλαίσια.

Από την άλλη πλευρά, η αξιοπιστία είναι επίσης σημαντική για τους κατοίκους των πόλεων. Οι χρήστες προσαρμόζουν τα σχέδια του ταξιδιού τους και τις προσδοκίες τους για να κατευθυνθούν σε επιθυμητά ή μάλλον σε περισσότερο ανεκτά επίπεδα συμφόρησης. Μη αναμενόμενα επίπεδα συμφόρησης, μείωση της διαθεσιμότητας των μέσων μαζικής μεταφοράς ή εν γένει διάφορες πιθανές διαταραχές στην εξυπηρέτηση μπορούν να μειώσουν την ικανοποίηση του χρήστη και να αυξήσουν την απογοήτευσή του.

Ακόμα μεγαλύτερη σπουδαιότητα έχει η αξιοπιστία και η «καλύτερη» ρύθμιση της κυκλοφορίας στις πόλεις εκείνες στις οποίες το φαινόμενο της συμφόρησης εντάθηκε πολύ γρήγορα μετά την εμφάνισή του ή από κάποια χρονική στιγμή κι έπειτα ανήλθε σε επίπεδα στα οποία δεν ήταν «συνηθισμένοι» οι κάτοικοί τους.

3.3 Αίτια απώλειας της αξιοπιστίας.

Στο πρόσφατα συμπληρωμένο σχέδιο έρευνας σε ό,τι αφορά την αξιοπιστία το Future Strategic Highway Research Program συμπεριέλαβε μια λίστα στην οποία καταγράφονται τα αίτια της μεταβλητότητας του χρόνου διαδρομής. Αυτοί οι επτά διατυπωμένοι λόγοι περιγράφουν τις υφυπάρχουσες συνθήκες που μεταβάλλονται συναρτήσει του χρόνου και επιφέρουν μεταβολή στο χρόνο ταξιδιού. Στην πραγματικότητα στις αυτές οι πηγές που προκαλούν τη μείωση στην αξιοπιστία αλληλεπιδρούν καθιστώντας συνθετότερες την εξέλιξη και την πρόβλεψη της αξιοπιστίας. Τα αίτια είναι τα εξής :

1. Ατυχήματα – συγκρούσεις αυτοκινήτων, βλάβες ή χαλάσματα τα οποία παρεμποδίζουν ή και διακόπτουν παντελώς τη φυσιολογική ροή της κυκλοφορίας, είτε αυτά συμβαίνουν δίπλα στην οδό είτε στις κύριες λωρίδες

2. Ζώνες εργασίας οι οποίες σχηματίζονται λόγω πιθανών κατασκευών ή δραστηριοτήτων σχετικών με τη συντήρηση

3. Οι καιρικές συνθήκες, το ευρύ φάσμα των γεγονότων που δυσχεραίνουν την ευκρίνεια από τη μειωμένη ορατότητα που οφείλεται στην ομίχλη ή στο χιόνι ή στη βροχή έως την έντονη ηλιοφάνεια που μπορεί να είναι εκτυφλωτική στα μάτια του οδηγού αλλά και η επιφάνεια του οδοστρώματος που επηρεάζει την κίνηση του οχήματος

4. Διακυμάνσεις στη ζήτηση που αποδίδονται στις μεταβολές που γίνονται μέρα με τη μέρα εξαιτίας των αλλαγών στα επίπεδα και στα σχέδια των δραστηριοτήτων

5. Ειδικά συμβάντα τα οποία δύνανται να επιφέρουν δραματικές αλλαγές στην επιλογή διαδρομής ή στους φόρτους σε γειτνιάζοντα των συμβάντων αυτών σημεία

6. Οι μηχανισμοί του ελέγχου κυκλοφορίας είτε μέσω εσφαλμένα ρυθμιζόμενων σημάτων είτε μέσω περιοδικών σημαντικών συμβάντων, όπως για παράδειγμα το πέρασμα από κάποια σιδηροδρομική διάβαση ή από κάποια κινητή γέφυρα

7. Ανεπαρκής χωρητικότητα που αποτελεί πιο σπάνιο λόγο και οι δρόμοι με συμφόρηση είναι περισσότερο επιδεκτικοί και ευάλωτοι στους ανωτέρω έξι λόγους.[13]

Η επιρροή στο χρόνο ταξιδιού καθενός από τους ανωτέρω παράγοντες μπορεί να ποικίλλει σε ένα σχετικά ευρύ φάσμα. Για παράδειγμα, εάν σε κάποιο δρόμο στον οποίο έχει συμβεί κάποιο ατύχημα εισέλθει ένα όχημα και αφήνει «πίσω» του το ατύχημα είναι δυνατό να κινείται σε καλύτερες συνθήκες.

3.4 Μέτρα αξιοπιστίας

3.4.1 Κατασκευή Μέτρων αξιοπιστίας: μια όχι τόσο εύκολη υπόθεση

Ένα κομβικό σημείο στην κατασκευή μέτρων αξιοπιστίας είναι ο τρόπος προσέγγισης του ανθρώπινου παράγοντα. Τίθεται δηλαδή το ερώτημα εάν θα πρέπει να εξεταστεί η ανθρώπινη συμπεριφορά ανάλογα με τη μεταβολή της συμπεριφοράς του κάθε ξεχωριστού χρήστη του δικτύου ή αν θα πρέπει να εκτιμηθεί η μέρα με τη μέρα μεταβολή του μέσου χρήστη. Το πρώτο σκέλος του ερωτήματος αφορά περισσότερο τις κοινωνιολογικές επιστήμες εφόσον εξετάζεται η αλληλεπίδραση της ανθρώπινης συμπεριφοράς και της ελευθερίας διαμόρφωσης κάποιας απόφασης μέσα σε συγκεκριμένους φυσικούς και λειτουργικούς περιορισμούς. Η μεταβολή στην ταχύτητα ταξιδιού είναι σημαντικότερη στις περιόδους εκτός αιχμής διότι σε αυτές ευνοείται η διαμόρφωση της ταχύτητας από τους ίδιους τους οδηγούς.

Οι τελικές επιλογές πραγματοποίησης ταξιδιών μπορούν να «ενημερώνονται» από δεδομένα τα οποία αναφέρονται στην αναμενόμενη μεταβολή του χρόνου διαδρομής και αναλόγως να επηρεάζεται η ώρα αναχώρησης. Τα μέτρα της αξιοπιστίας ίσως φανούν χρησιμότερα εάν τυπικά επικεντρώνονται σε συγκεκριμένα σχέδια διαδρομών και αφορούν καθορισμένα χρονικά διαστήματα της ημέρας από την περίπτωση που αναφέρονται σε πολύ ευρείες περιοχές και σε μεγάλα χρονικά διαστήματα. Παρόλα αυτά οι εξελίξεις του συστήματος ή συγκεκριμένων στοιχείων του είναι καλύτερα να προσδιορίζονται από πληροφορίες που αφορούν τις ώρα με την ώρα, μέρα με τη μέρα και τις ετήσιες τάσεις μεταβολής. Με αυτόν τον τρόπο τα μέτρα αξιοπιστίας ξεφεύγουν από την εξάρτησή τους από το κάθε μοναδικό ταξίδι και γίνονται περισσότερο εξαρτημένα από στατιστικούς μέσους όρους ευρειών περιοχών.

Οι λύσεις ή οι θεραπευτικές δράσεις για τους ποικίλους λόγους που δημιουργούν προβλήματα στην αξιοπιστία είναι διαφορετικές. Μια συνολική περιγραφή είναι χρήσιμη στους διαχειριστές του συστήματος οι οποίοι μπορούν να αποφασίσουν και να κατευθύνουν τις απαραίτητες βελτιώσεις. Για παράδειγμα :

1. Τα προβλήματα στην κυκλοφορία τα οποία οφείλονται στις καιρικές συνθήκες μπορεί να είναι σημαντικά αλλά αυτές τις συνθήκες δε μπορούμε να τις ελέγξουμε. Όμως, η επίδραση των καιρικών συνθηκών μπορεί να εκτιμηθεί και με αυτόν τον τρόπο ο χρόνος ταξιδιού γίνεται προβλέψιμος μέσα σε ένα συγκεκριμένο διάστημα.

2. Η ανάγκη για εφαρμογή στρατηγικών με στόχο τη μείωση του αριθμού των ατυχημάτων είναι ίσως λιγότερο προβλέψιμη σε σχέση με την τοποθεσία, αλλά

γνωρίζοντας την επιρροή και τη συχνότητα του προβλήματος μπορούμε να προσδιορίσουμε το επίπεδο της αναγκαιότητας το οποίο είναι αιτιολογημένο.

3. Καθυστερήσεις στην κατασκευή και τις δραστηριότητες συντήρησης μπορούν να κατευθυνθούν σε διάφορα στάδια του σχεδιασμού και της εφαρμογής. Όμως, δεδομένα και μέτρα που αφορούν την επίδραση των καθυστερήσεων αυτών μπορούν να οδηγήσουν στο χαρακτηρισμό δρόμων και ταξιδιών ως υψηλής προτεραιότητας.[13]

Ένα μοναδικό μέτρο δεν μπορεί να περιγράψει και να αποδώσει τα πραγματικά αποτελέσματα που επιφέρουν οι συγκρούσεις των αυτοκινήτων για όλους τους χρήστες του δικτύου. Κατ' αυτόν τον τρόπο, ταξίδια που πραγματοποιούνται χρησιμοποιώντας ρεύμα αυτοκινητοδρόμου προς περιοχή όπου συμβαίνουν συχνά ατυχήματα μπορεί να διαρκέσουν λιγότερο χρονικό διάστημα στις ημέρες ατυχημάτων σε σύγκριση με τις ημέρες οπότε δεν έχουμε ατυχήματα. Η συμφόρηση που δημιουργείται από τα ατυχήματα έχει μια καθαρά αριθμητική επίδραση στους κυκλοφοριακούς φόρτους των ίδιων με τα ατυχήματα ρευμάτων και είναι πιθανό σε μέρες ατυχημάτων να εμφανίζεται «καλύτερη» λειτουργία του συστήματος.

3.4.2 Κατηγορίες μέτρων αξιοπιστίας

Οι επιλογές που διατίθενται για τη δημιουργία μέτρων αξιοπιστίας της μεταφορικής εξυπηρέτησης μπορούν να ενταχθούν σε τρεις κατηγορίες

1. Στατιστικού εύρους μέτρα. Πρόκειται για μέτρα που εισάγονται συχνά για παρόμοιους σκοπούς. Χρησιμοποιούν τη σταθερή στατιστική απόκλιση για να παρουσιάσουν μια εκτίμηση του εύρους των συνθηκών μεταφοράς όπως αυτές εισπράττονται από τους χρήστες του συστήματος. Η τυπική μορφή των μέτρων αυτών παρουσιάζεται με διαστήματα που δημιουργούνται από την προσθαφαίρεση μιας τιμής από το μέσο όρο και περιέχουν συνήθως από το 68% έως το 95% του συνολικού αριθμού των ταξιδιών. Η τιμή που προσθαφαιρείται είναι 1 ή 2 τυπικές αποκλίσεις αντίστοιχα. Αυτά τα μέτρα παρουσιάζονται συχνά και ως μέτρα μεταβλητότητας.

2. Μέτρα αποθεματικού χρόνου. Αυτά τα μέτρα δείχνουν την επιρροή των μη συνηθισμένων συνθηκών στη διαμόρφωση του ποσού του επιπρόσθετου χρόνου που θα πρέπει να δαπανήσει ένας χρήστης του δικτύου για να φτάσει στον

προορισμό του για ένα μεγάλο ποσοστό ταξιδιών. Το μέτρο αυτό δεν αναφέρεται υποχρεωτικά στο μέσο χρόνο διαδρομής, αλλά θα μπορούσε να εκφραστεί είτε ως ποσοστό του μέσου χρόνου διαδρομής είτε σε μια τιμή με μονάδες λεπτών ανά χιλιόμετρο ή μίλι ή σε λεπτά κάποιου τυπικού ταξιδιού. Στην πράξη αυτό που αποτιμάται είναι ο υπολογισμός του χρήστη του δικτύου που φανερώνεται στη σκέψη «πρέπει να αναχωρήσω νωρίτερα κατά τόσο χρονικό διάστημα για να είμαι στην ώρα μου στον προορισμό μου για κάποιο ποσοστό των ταξιδιών μου.

3. Δείκτες καθυστερημένων ταξιδιών. Αυτή η κατηγορία των μέτρων απαντά στο ερώτημα «πόσο συχνά ένας χρήστης του δικτύου θα είναι σε ανεπίτρεπτο βαθμό καθυστερημένος». Αυτό το μέτρο πάλι δεν αναφέρεται στον στατιστικά μέσο χρόνο ταξιδιού, αλλά χρησιμοποιεί κάποιο αριθμητικό κατώφλι πέρα από το οποίο μια άφιξη χαρακτηρίζεται καθυστερημένη. Ο χρόνος μπορεί να περιγράφεται είτε ως ποσοστό του συνολικού χρόνου ταξιδιού, μιας επαυξημένης χρονικής διάρκειας πάνω από το μέσο χρόνο ταξιδιού είτε ως κάποια απόλυτη τιμή με χρονικές μονάδες, παραδείγματος χάριν λεπτά. Οι δείκτες αυτοί συνήθως μετρούν την αξιοπιστία.[13]

Μια απόφαση η οποία είναι ιδιαίτερος σημαντική και απαραίτητη κατά τη δημιουργία των μέτρων αξιοπιστίας είναι το μέγεθος στο οποίο θα αναφέρονται, δηλαδή αν θα αναφέρονται σε κάποιο αντιπροσωπευτικό μήκος ταξιδιού ή θα αποτελούν στατιστικοί όροι ανεξάρτητα του μήκους διαδρομής. Η πιο συχνή παρουσίαση των στατιστικών μέσων όρων που χρησιμοποιούν δείκτες χρόνου διαδρομής είναι ένα ανεξάρτητο του μήκους διαδρομής μέτρο, με μια συνοδευτική υποσημείωση που επεξηγεί τη σχέση με το χρόνο διαδρομής. Ο βαθμός απόκλισης ταξιδιού (μετρημένος σε λεπτά ανά χιλιόμετρο ή μίλι) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ανεξάρτητο του μήκους διαδρομής υποκατάστατο μέγεθος για την περιγραφή της μεταβολής του χρόνου διαδρομής. Επιλέγοντας κάποιο αντιπροσωπευτικό μήκος διαδρομής ίσως είναι πιο δύσκολο στη χρήση του και εγείρει σχέσεις που εκφράζονται με έναν τρόπο όμοιο με αυτό της διατύπωσης «εδώ το μέσο ταξίδι είναι διπλάσιο από αυτό» το οποίο μπορεί να μειώνει τη σαφήνεια και την καθαρότητα του μηνύματος.

Μέτρα στα οποία το μήκος και ο χρόνος ταξιδιού είναι ακέραιοι, όπως είναι τα μέτρα προσβασιμότητας, μπορούν να συνεχίσουν να χρησιμοποιούν στατιστικά μεγέθη που περιγράφουν τη διακύμανση και τη μεταβολή μετρημένα σε χρονικές μονάδες, για παράδειγμα σε λεπτά. Αυτά τα μέτρα συνήθως εφαρμόζονται σε τοπικές αναλύσεις ή σε εξελίξεις υποπεριοχών όταν αυτές εκτιμώνται ή όταν η

χρήση ανεξαρτήτων του μήκους ταξιδιού μέτρων δε θεωρείται σημαντική. Στην ίδια προσέγγιση θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν μέτρα τα οποία είναι ανεξάρτητα του μήκους ταξιδιού. Σε μια τοπική προσέγγιση της αξιοπιστίας μπορεί επίσης να περιέχεται μια εξέταση ενός μικρού συνόλου σημαντικών διαδρομών που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή αυτή.

3.4.2.1 1^η κατηγορία : Μέτρα στατιστικού εύρους

Αυτός ο τύπος μέτρων γενικά χαρακτηρίζεται από πληροφορίες που παρουσιάζονται σε ένα σχετικά μη χρησιμοποιήσιμο σχήμα διότι πλησιάζουν αρκετά σε ιδέες οικείες περισσότερο στους στατιστικούς. Δεν πρόκειται περί υπερβολικά σύνθετων μέτρων, αλλά παρουσιάζουν δυσκολίες στην περιγραφή και την επεξήγησή τους σε μη στατιστικούς. Το πρόβλημα είναι άμεσα ορατό όταν χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν από τους χρήστες του δικτύου οπότε και δυσχεραίνουν τη λήψη αποφάσεων για τη διαμόρφωση της ευνοϊκότερης για το χρήστη διαδρομής.

Η τυπική απόκλιση αναπαριστά το βαθμό απόκλισης των δεδομένων. Εάν η τιμή της σταθερής τυπικής απόκλισης προστεθεί και αφαιρεθεί από τη μέση τιμή, τότε στο διάστημα τιμών το οποίο δημιουργείται εμπεριέχεται το 68% των δεδομένων. Εάν προσθαφαιρεθεί στη μέση τιμή η τιμή δύο τυπικών αποκλίσεων τότε στο διάστημα που δημιουργείται εμπεριέχεται το 95% των δεδομένων.

Για τα ανωτέρω έχει υποτεθεί πως τα δεδομένα ακολουθούν την κανονική (normal) κατανομή. Οι κατανομές του χρόνου διαδρομής σε κάποιο δρόμο ή διάδρομο ή σε κάποια περιοχή είναι συνήθως log-normal μια και οι τιμές του χρόνου δεν μπορούν να λάβουν αρνητικές τιμές. Παρόλα αυτά η περιγραφή των μέτρων δεν επηρεάζεται στη διατύπωσή τους τουλάχιστον από την κατανομή που ακολουθούν τα δεδομένα.

Παράθυρο χρόνου διαδρομής : η σταθερή τυπική απόκλιση μπορεί του χρόνου διαδρομής ή του αριθμού ταξιδιών μπορεί να συνδυαστεί με το μέσο όρο για κάθε ένα από διάφορα μέτρα για να δημιουργήσουν ένα μέτρο αξιοπιστίας ή απόκλισης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί παίρνοντας τη μορφή «συν ή πλην» ώστε να δώσει στον αναγνώστη μια ιδέα περί του βαθμού στον οποίο μπορεί να κυμαίνεται ο χρόνος διαδρομής. Όπως έχουμε αναφέρει πρωτύτερα, χρησιμοποιώντας μία τυπική

απόκλιση θα περιβάλλει το 68% των ημερών, των περιόδων αιχμής ή οποιουδήποτε χρονικού βήματος αναφοράς των μετρήσεων.

Παράθυρο χρόνου διαδρομής =

Μέσος χρόνος διαδρομής $\pm$ τυπική απόκλιση

Επίσης μπορεί να εισαχθεί ένας πολλαπλασιαστικός παράγοντας επί της τυπικής απόκλισης για να αυξηθεί ο αριθμός των ταξιδιών που εμπεριέχονται στο εύρος του διαστήματος ενώ γίνεται επίσης συχνή χρήση του διαστήματος με άκρα τις δύο τιμές αριστερά των οποίων βρίσκεται το 25% και το 75% των δεδομένων με τη μορφή του «συν ή πλην» από τη μέση τιμή και εντός του οποίου βρίσκεται ο μισός αριθμός δεδομένων.

Αυτό το μέτρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάθε τρόπο ταξιδιού και για ένα ευρύ φάσμα μεγεθών δικτύου. Συνδυάζοντας τα διαφορετικά τμήματα του δικτύου ή διάφορους τρόπους ταξιδιού προκύπτει μια διαδικασία με την οποία σταθμίζεται το κάθε στοιχείο από τον αριθμό των χρηστών ή από την από την απόσταση ταξιδιού σε ανθρωποχιλιόμετρα ή αμθροπομίλια.

Ποσοστιαία απόκλιση: η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση μπορούν να συνδυασθούν στη μορφή ενός λόγου για να εξαχθεί άλλο ένα μέτρο το οποίο είναι γνωστό στη στατιστική και ως συντελεστής μεταβολής. Αναλύοντας ένα αρχείο δεδομένων με χρόνους διαδρομής, ο συντελεστής μεταβολής παρέχει μια πιο καθαρή εικόνα της τάσης και της απόδοσης από μόνη την τυπική απόκλιση αφαιρώντας το μήκος διαδρομής από τους υπολογισμούς.

Ποσοστιαία μεταβολή =

*(Τυπική απόκλιση / μέσος χρόνος διαδρομής) * 100%*

Παράγοντες αυτού του τύπου παρέχουν τη δυνατότητα να εξετάζονται οι συνθήκες των ταξιδιών για μια μεγάλη ποικιλία διαφορετικών μηκών διαδρομής με έναν τρόπο όμοιο με την περιγραφή του βαθμού ταξιδιών για μέσες συνθήκες.

Δείκτης μεταβολής: πρόκειται για έναν δείκτη ο οποίος μπορεί να περιγράψει αποτελεσματικά την αξιοπιστία. Ο δείκτης είναι ένας λόγος της μεταβολής των συνθηκών ταξιδιού στις περιόδους αιχμής σε σχέση με τις αντίστοιχες

συνθήκες στις περιόδους εκτός αιχμής. Υπολογίζεται ως ο λόγος της διαφοράς του ανώτερου και του κατώτερου άκρου του διαστήματος εμπιστοσύνης με ποσοστό 95% σε περίοδο αιχμής και μη αιχμής. Ουσιαστικά οι διαφορές των διαστημάτων, οι οποίες αναπαριστούν 2 τυπικές αποκλίσεις πάνω και κάτω από το μέσο όρο, στις περιόδους αιχμής είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες στις περιόδους εκτός αιχμής. Για το λόγο αυτό ο δείκτης μεταβολής αναμένεται να λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας.

Δείκτης μεταβολής=

*διαφορά του διαστήματος εμπιστοσύνης 95% σε περίοδο αιχμής/
διαφορά του διαστήματος εμπιστοσύνης 95% σε περίοδο μη αιχμής*

3.4.2.2 2^η κατηγορία : Μέτρα αποθεματικού χρόνου

Η ιδέα του αποθεματικού χρόνου μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη στους χρήστες του δικτύου διότι τους βοηθά εάν τη λάβουν υπόψη τους στη διαμόρφωση των αποφάσεών τους. Οι αποφάσεις που παίρνονται από τους ταξιδιώτες εξαρτώνται από τις απαντήσεις που δίνονται στα ερωτήματα «πόσο μακριά είναι;», «πότε πρέπει να φτάσω;», «πόσο άσχημη είναι η κυκλοφορία;», «πόσο νωρίτερα πρέπει να φύγω για να είμαι στην ώρα μου;». Στο τελευταίο ερώτημα υπάρχει η εκτίμηση του επιπρόσθετου χρόνου που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την πραγματοποίηση του ταξιδιού λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες του ταξιδιού. Σε αυτές περιέχονται οι καιρικές συνθήκες, τα ατυχήματα, οι ζώνες εργασίας, ειδικά γεγονότα ή άλλοι λόγοι που δυσχεραίνουν την κυκλοφορία. Συγκρίνοντας τις πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας με τις αντίστοιχες που επικρατούν στη μέση ημέρα ή πιο συχνά, φαίνεται η επιρροή της αβεβαιότητας στη διαμόρφωση της απόφασης.

Απόθεμα χρόνου: ένα μέτρο που χρησιμοποιεί λεπτά επιπρόσθετου χρόνου που πρέπει να προγραμματίσει ο ταξιδιώτης για την πραγματοποίηση του ταξιδιού του μπορεί σχετικά εύκολα να υπολογιστεί και δίνει μια καλή εκτίμηση της αβεβαιότητας. Το πρόβλημα είναι ο ορισμός ενός ταξιδιού που θα λειτουργεί ως βάση.

Η σκέψη «μπορώ να φτάσω αργοπορημένα στο χώρο της εργασίας μου μία ημέρα το μήνα χωρίς να αντιμετωπίσω κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα»

μεταφράζεται στη χρήση ενός 95^{ου} εκατοστομεριδίου του χρόνου διαδρομής (1 ημέρα από τις 20±εργάσιμες ημέρες). Το απόθεμα χρόνου είναι η διαφορά ανάμεσα στο 95^ο εκατοστομερίδιο του χρόνου ταξιδιού μείον το μέσο χρόνο διαδρομής.

$$\text{Απόθεμα χρόνου} = \\ 95^{\circ} \% \text{ του χρόνου ταξιδιού} - \text{μέσος χρόνος διαδρομής}$$

Δείκτης αποθεματικού χρόνου: χρησιμοποιώντας το απόθεμα χρόνου ανάλογα με το βαθμό ταξιδιού (σε λεπτά ανά χιλιόμετρο) και όχι το μέσο χρόνο ταξιδιού ξεφεύγουμε από το σκόπελο του προσδιορισμού του αντιπροσωπευτικού μέσου ταξιδιού. Για κάθε ταξίδι εξάγεται ο αριθμός που ισούται με το λόγο του αποθέματος χρόνου με το μέσο χρόνο διαδρομής. Ο δείκτης αποθεματικού χρόνου είναι ο μέσος όρος των προηγούμενων λόγων.

$$\text{Δείκτης αποθεματικού χρόνου} = \\ \text{Μέσος όρος } [(95^{\circ} \% \text{ του χρόνου ταξιδιού} - \text{μέσος χρόνος διαδρομής}) / \\ \text{μέσος χρόνος διαδρομής}]$$

Το μέτρο μπορεί να περιγραφεί ως «τέτοιο ποσοστό του συνολικού χρόνου διαδρομής πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την πραγματοποίηση του ταξιδιού εξαιτίας της επιρροής της κυκλοφορίας στη δημιουργία καθυστερήσεων του ταξιδιού».

Δείκτης σχεδιασμένου χρόνου: επίσης ως μέτρο αξιοπιστίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ανώτερο άκρο του διαστήματος του χρόνου αποθέματος. Το 95^ο εκατοστομερίδιο του δείκτη του χρόνου διαδρομής παρέχει μια προγραμματισμένη αναμονή του χρόνου διαδρομής ενώ αποτελεί ένα σχετικά εύκολο ως προς την επεξηγηματικότητά του μέγεθος και μπορεί να ληφθεί υπόψη για το σχεδιασμό των ταξιδιών από τους χρήστες.

$$\text{Δείκτης σχεδιασμένου χρόνου} = \\ 95^{\circ} \text{ εκατοστομερίδιο στην κατανομή του χρόνου διαδρομής}$$

3.4.2.3 3^η κατηγορία : Δείκτες καθυστερημένων ταξιδιών

Ενώ τα μέτρα αποθέματος χρόνου εκτιμούν τις συνέπειες της αναξιόπιστης λειτουργίας του συστήματος στο χρόνο ταξιδιού. Οι δείκτες καθυστερημένων ταξιδιών υπολογίζουν τις επιπτώσεις της αναξιοπιστίας χρησιμοποιώντας το ποσό των καθυστερημένων ταξιδιών. Εάν ένας ταξιδιώτης χρησιμοποιεί για τα σχέδιά τους το μέσο χρόνο διαδρομής τότε θα φτάνουν καθυστερημένα στους προορισμούς τους για το μισό αριθμό ταξιδιών. Ένας περισσότερο προνοητικός ταξιδιώτης θα υπολογίσει τις διακυμάνσεις στις κυκλοφοριακές συνθήκες και θα εκτιμά το χρόνο ταξιδιού του προσθέτοντας κάποιο αριθμό στο μέσο χρόνο ταξιδιού του. Μπορούμε να διαλέξουμε μία τιμή ή κάποιο ποσοστό που να αναπαριστά τα μη αποδεκτά διαστήματα των καθυστερημένων αφίξεων.

Μέθοδος αξιοπιστίας της Florida: το μέτρο της Florida χρησιμοποιεί ένα ποσοστό του μέσου χρόνου ταξιδιού σε περιόδους αιχμής για να υπολογίσει το όριο του αποδεκτού επιπρόσθετου χρόνου διαδρομής. Το άθροισμα του μέσου χρόνου διαδρομής και του επιπρόσθετου χρόνου αποτελεί την αναμενόμενη διάρκεια του ταξιδιού. Η Florida πειραματίζεται με τέσσερα διαφορετικά επίπεδα για να καθορίσει τη δεξιά τιμή του επιπρόσθετου χρόνου. Ταξίδια με διάρκεια μεγαλύτερη από την αναμενόμενη χαρακτηρίζονται ως αναξιόπιστα.

Μέτρο αξιοπιστίας της Florida =

100%-ποσοστό ταξιδιών με χρόνο διαδρομής μεγαλύτερο από το αναμενόμενο

Αφιξη στην ώρα : μια ιδέα όμοια με αυτή της μεθόδου της Florida χρησιμοποιεί ένα αποδεκτό κατώφλι καθυστέρησης σε κάποιο ποσοστό για να χαρακτηρίσει το ποσοστό των ταξιδιών που είναι αξιόπιστα. Αυτό το μέτρο χρησιμοποιείται για μια μεγάλη ποικιλία τρόπου ταξιδιών και υπηρεσιών και μπορεί να αποτελεί μέτρο σύγκρισης. Ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών των ταξιδιών ίσως αποτελεί μια δύσκολη και σύνθετη πρακτική, όμως, εάν το μέτρο είναι υπολογίσιμο σε επίπεδο μετρητή τότε ο υπολογισμός των στατιστικών αποτελεί μια εύκολη υπόθεση.

Δύο ιδιότητες για την τιμή που δηλώνει την καθυστέρηση πρέπει να διέπουν την τιμή για την αποδεκτή καθυστερημένη άφιξη,

- 1) ότι μπορεί να μην κυμαίνεται γραμμικά για όλα τα ταξίδια
- 2) ότι δε σχετίζεται μόνο με τη διάρκεια του ταξιδιού.

Το να είναι κανείς καθυστερημένος κατά 10% του χρόνου ταξιδιού του όταν αυτός ισούται με 16 ώρες ίσως είναι περισσότερο ανεκτό από την τρίλεπτη καθυστέρηση σε ένα ταξίδι διάρκειας 30 λεπτών. Το ποσό της αποδεκτής καθυστέρησης είναι συνάρτηση της προηγούμενης του ταξιδιού δραστηριότητας και της μετά την άφιξη δραστηριότητας. Το ενδεχόμενο καθυστέρησης μπορεί να είναι περισσότερο αποδεκτό εάν ο ταξιδιώτης ξεκινά από μια σημαντική δραστηριότητα από ότι στην περίπτωση άφιξης σε μία σημαντική δραστηριότητα.

Άφιξη στην ώρα =

100% - ποσοστό ταξιδιών διάρκειας μεγαλύτερης του 110% της μέσης διάρκειας

Δείκτης 'δυστυχίας' : η αρνητική πλευρά της αξιοπιστίας του ταξιδιού μπορεί να εξετασθεί από το μέσο αριθμό των λεπτών που υπερέχουν του μέσου όρου τα χειρότερα ταξίδια. Μία πρακτική είναι η χρήση του μέσου όρου της διάρκειας του 20% των χειρότερων ταξιδιών

Δείκτης 'δυστυχίας' =

(μέσος χρόνος ταξιδιού του 20% των μεγαλύτερων ταξιδιών-μέση διάρκεια ταξιδιών)/(μέση διάρκεια ταξιδιών)

3.4.3 Σε ποιους απευθύνονται τα μέτρα της αξιοπιστίας

Τα μέτρα αξιοπιστίας απευθύνονται κυρίως σε τρεις κατηγορίες, σε καθεμία χωριστά για διαφορετικό λόγο, ενώ τα αποτελέσματά τους και τα συμπεράσματά τους οδηγούν σε ανάλογες με τις ιδιότητές τους συμπεριφορές[13]. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι εξής:

3.4.3.1 Η πλευρά του εργαζομένου που χρησιμοποιεί τα M.M.M για την εξυπηρέτησή του

Η μεταφορική ζήτηση στις περιόδους αιχμής περιλαμβάνει πολλά ταξίδια που χαρακτηρίζονται 'συνήθη'. Εργαζόμενοι, μαθητές κ.ά. χρήστες του δικτύου οι οποίοι έχουν μια συνηθισμένη ώρα αναχώρησης μπορεί να επωφεληθούν από ένα

επικεντρωμένο σε αυτούς μέτρο αξιοπιστίας. Η πείρα τους αφορά ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα στο σύνολο της ημέρας και όχι ολόκληρες τις περιόδους αιχμής. Κατ' αυτόν τον τρόπο εάν ένα μέτρο συμπεριλάβει όλες τις περιόδους αιχμής θα μεγαλοποιήσει το ποσό της διακύμανσης όπως αυτό έχει διαμορφωθεί από την εμπειρία τους.

3.4.3.2 Η πλευρά του ταξιδιώτη σε περίοδο αιχμής

Ταξιδιώτες οι οποίοι έχουν συγκεκριμένες διαδρομές να εκτελέσουν βλέπουν την αξιοπιστία σε σύγκριση με τις συνθήκες κυκλοφορίας που περιμένουν να υφίστανται σε μία συνήθη ημέρα. Για αυτούς που χρησιμοποιούν το σύστημα για πολλά διαφορετικά ταξίδια σε διάφορες περιόδους κατά τη διάρκεια της ημέρας ένα μέτρο αξιοπιστίας το οποίο βασίζεται στις περιόδους αιχμής μπορεί να είναι πραγματικά χρήσιμο. Οι προσδοκίες για ένα ταξίδι το οποίο λαμβάνει χώρα στην περίοδο αιχμής εξαρτώνται από το χρόνο που αυτό συμβαίνει, από τις καιρικές συνθήκες, από τα αναμενόμενα έργα κατασκευής ή συντήρησης και από ειδικά γεγονότα. Όμως τα δεδομένα που μας διατίθενται αφορούν τις περισσότερες φορές αποκλειστικά το χρόνο.

3.4.3.3 Η πλευρά του διαχειριστή του συστήματος

Ο υπολογισμός που θα πρέπει να γίνει από αυτή τη σκοπιά θα είναι παρόμοιος με τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να χρησιμοποιήσει ο διαχειριστής τα συμπεράσματα από τους δείκτες αποθεματικού χρόνου για να βελτιώσει την αποδοτικότητα του συστήματος κάθε ημέρα. Υποτίθεται πως οι κάτοικοι της πόλης έχοντας κάποια γνώση των τυπικών συνθηκών ενδιαφέρονται να υπολογίσουν το ποσό του επιπρόσθετου χρόνου που απαιτείται για να ολοκληρώσουν τα ταξίδια τους στην προγραμματισμένη ώρα. Η απάντηση στο ερώτημά τους είναι η τιμή του 95^{ου} εκατοστομεριδίου του χρόνου διαδρομής για μια συγκεκριμένη ημέρα ή ορισμένη περίοδο αιχμής συγκρινόμενη με το μηνιαίο ή ετήσιο μέσο όρο της διάρκειας του ταξιδιού. Παρόλο που οι συγκρίσεις αυτές θεωρούνται ακατάλληλες, εφόσον τα συγκρινόμενα μεγέθη δεν έχουν το ίδιο χρονικό βήμα αναφοράς μια και η μία τιμή είναι ημερήσιο μέγεθος ενώ οι άλλες μηνιαίο ή ετήσιο, αποτελούν τον τρόπο τον

οποίο χρησιμοποιούν οι ταξιδιώτες παρατηρώντας την εικόνα του συστήματος και τα σχέδιά τους.

4. Συστήματα

4.1 Γενικά περί συστημάτων

4.1.1 Ορισμός του συστήματος

Με τον όρο σύστημα καλείται μία αιτιοκρατική ολότητα η οποία αποτελείται από μία συλλογή από αλληλοσυνδεδεμένα ή αλληλεπιδρώντα διακριτά στοιχεία.

Με τον όρο «αιτιοκρατικό» υπονοείται ότι το θεωρούμενο σύστημα μπορεί να αναγνωριστεί και να προσδιοριστεί. Επιπρόσθετα, το σύστημα δεν αποτελεί μια αδιάφορη παράθεση στοιχείων αλλά είναι μία ενότητα, της οποίας τα στοιχεία έχουν μια ζωτική σχέση αλληλεπίδρασης και εξάρτησης. Επίσης, εάν τροποποιηθεί το φυσικό περιβάλλον ενός υποσυστήματος ή στοιχείου, τότε αυτόματα συνεπάγεται και η αλλαγή ολόκληρου του συστήματος. Κατ' αυτόν τον τρόπο ένα σύστημα το οποίο περιέχει ένα στοιχείο, το οποίο αστοχεί και δε λειτουργεί για ποικιλία λόγων από μια χρονική στιγμή κι έπειτα, αποκτά ολότελα διαφορετική μορφή έπειτα από την αστοχία, με αποτέλεσμα να διαφέρει από την αρχική του μορφή.

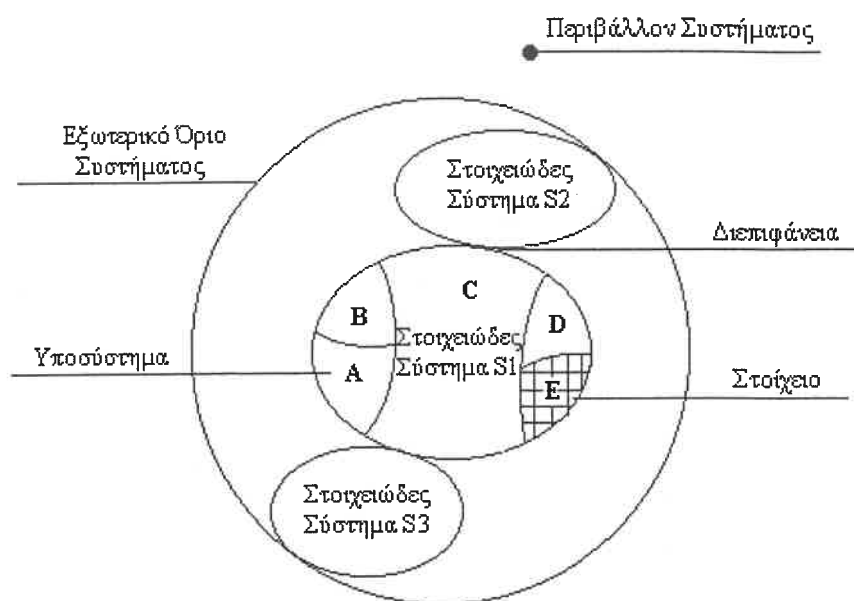
Στη βιβλιογραφία υπάρχει ένα ευρύ φάσμα ορισμών για τους όρους τμήμα, στοιχείο, υποσύστημα και σύστημα, οι οποίοι όμως εξαρτώνται από τη μορφή και την επιτελούμενη λειτουργία του συστήματος κι ως εκ τούτου διαφέρουν μεταξύ τους. Στη γενική όμως περίπτωση, εάν χρησιμοποιηθεί ο τρόπος συμβολισμού της θεωρίας συνόλων, η σχέση των περιγραφομένων αντικειμένων με τους παραπάνω όρους είναι η εξής :

(ΤΜΗΜΑ) < (ΣΤΟΙΧΕΙΟ) < (ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ) < (ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΕΣ
ΣΥΣΤΗΜΑ) < (ΣΥΣΤΗΜΑ)

όπου το σύμβολο “<” υπονοεί τους όρους “ ανήκει” ή “ περιέχεται”.

Στην Εικόνα 1, που ακολουθεί, παρουσιάζεται μία τυπική εικόνα ενός συστήματος, στην οποία φαίνονται συμβολικά όλα τα επιμέρους τμήματά του, από τη

μικρότερη του μονάδα έως το στοιχειώδες υποσύστημα καθώς επίσης και το περιβάλλον του.[6]



Εικόνα 1.

Το ανωτέρω σύστημα διαμορφώνεται από τα εξής :

- Την επιλογή του επιπέδου διαχωρισμού των στοιχείων του τα οποία θα θεωρηθούν πως του ανήκουν. Αυτή η επιλογή είναι ιδιαίτερος σημαντική διότι είναι αυτή που τελικά θα καθορίσει το επίπεδο της ανάλυσης που θα εφαρμοστεί στην παρουσίαση και την εξέταση του συστήματος. Επιπρόσθετα, μεταξύ των υποσυστημάτων του συστήματος υπάρχουν διαχωριστικές επιφάνειες οι οποίες καθορίζουν τα όριά τους και τις περιοχές των οποίων τα στοιχεία θα περιληφθούν σε αυτά. Μια τέτοια διεπιφάνεια φαίνεται στην παραπάνω εικόνα.
- Την επιλογή του ορίου του συστήματος, το οποίο το προσδιορίζει κατά μοναδικό τρόπο και το διαχωρίζει από το περιβάλλον του. Το όριο του συστήματος περικλείει όλα τα αλληλεπιδρώντα με το θεωρούμενο σύστημα στοιχειώδη συστήματα και κατ' αυτόν τον τρόπο καθίσταται ευκολότερη η κατανόηση της δομής του, του τρόπου λειτουργίας του και κατ' επέκταση του τρόπου με τον οποίο αστοχεί και το ίδιο ή μέρος από αυτό.

Υπάρχουν διάφορες μορφές συστημάτων οι οποίες ανήκουν σε διάφορες τεχνολογίες, όπως :

- ηλεκτρικά ή ηλεκτρονικά συστήματα
- θερμοδραυλικά συστήματα
- μηχανικά συστήματα
- προγραμματισμένα συστήματα και συστήματα επεξεργασίας δεδομένων
- άλλες μορφές συστημάτων, όπως τα συστήματα μεταφοράς, για τα οποία γίνεται εκτενέστερη αναφορά σε επόμενη ενότητα στο ίδιο κεφάλαιο.

4.1.2 Βασικά χαρακτηριστικά συστημάτων

Κάθε σύστημα, οποιασδήποτε μορφής κι αν είναι σε οποιαδήποτε κατηγορία και αν ανήκει, υπάρχει για ένα συγκεκριμένο λόγο : την επιτέλεση ενός συνόλου λειτουργιών ή μιας αποκλειστικά λειτουργίας. Οι λειτουργίες ή η λειτουργία του, τα στοιχεία, τα οποία το απαρτίζουν, οι συνθήκες, εντός των οποίων υπάρχει και βρίσκεται ενεργό και το περιβάλλον του, το οποίο το περιστοιχίζει είναι χαρακτηριστικά του τα οποία εάν προσδιοριστούν, αυτόματα το προσδιορίζουν και διαμορφώνουν την ταυτότητά του.

Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά που πρέπει να προσδιοριστούν και να αναφερθούν πριν την εξέταση ή την ανάλυση ή την οποιαδήποτε εφαρμογή επί ενός τυχαίου συστήματος είναι τα ακόλουθα :

1. Η λειτουργία του συστήματος, όπως αυτή διαμορφώνεται και χαρακτηρίζεται από

- Τη βασικότερη λειτουργία που επιτελεί το σύστημα και η οποία ήταν ο βασικότερος λόγος της κατασκευής του
- Δευτερεύουσες λειτουργίες που επιτελούνται, οι οποίες δεν πρέπει να παραλείπονται
- Το επίπεδο σημαντικότητας των λειτουργιών αυτών.

2. Η δομή του συστήματος, όπως την προσδιορίζουν και τη χαρακτηρίζουν τα εξής :

- Τα διαφορετικά στοιχεία του συστήματος, ο ρόλος που επιτελούν στη λειτουργία του συστήματος, τα χαρακτηριστικά τους και η απόδοσή τους
 - Οι σχέσεις μεταξύ των στοιχείων
 - Η θέση των στοιχείων
3. Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί το σύστημα
- Η κατάσταση λειτουργίας
 - Οι συνθήκες λειτουργίας, εντός των οποίων λειτουργούν τα στοιχεία του αλλά και ολόκληρο το σύστημα
 - Αλλαγές στη μορφή του, όπως αυτές πιθανόν να συμβαίνουν και κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του.
4. Ο τρόπος, με τον οποίο διευθύνεται το σύστημα από τον χειριστή του
- Οι ελεγκτικοί μηχανισμοί και οι συνθήκες εντός των οποίων λειτουργούν
 - Ο τρόπος με τον οποίο συντηρείται το σύστημα (προληπτική συντήρηση, επιδιορθωτικές ενέργειες κ.ά.)
 - Οι τεχνικές προδιαγραφές λειτουργίας με τις οποίες πρέπει να συμμορφωθεί το λειτουργούν σύστημα .
5. Το περιβάλλον του συστήματος
- Τα άλλα στοιχειώδη συστήματα, τα οποία βρίσκονται στην ευχέρεια του συστήματος ή ανήκουν στη συνολική διαδικασία του υπό εξέταση συστήματος
 - Οι χειριστές του συστήματος
 - Το περιβάλλον με την κυριολεκτική σημασία του όρου, το οποίο επηρεάζει το σύστημα με διάφορους τρόπους και μπορεί να πάρει τη μορφή δυσμενών περιβαλλουσών συνθηκών (σκόνη, υγρασία), συγκεκριμένων καιρικών φαινομένων (πάγος, χιόνι), φυσικά φαινόμενα (σεισμοί).[6]

Ενώ τα χαρακτηριστικά, τα οποία περιγράφονται στα τμήματα του κειμένου με αρίθμηση 1 – 3 αποτελούν βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος και απαιτούνται για τον προσδιορισμό της ομαλής λειτουργίας του, για την πλήρη περιγραφή του είναι αναγκαία η ύπαρξη και ο προσδιορισμός πρόσθετων παραμέτρων που αφορούν στη λειτουργία του και αναφέρονται στα τμήματα του κειμένου με αρίθμηση 4 και 5.

Επίσης, κατά τη διάρκεια των αρχικών φάσεων σχεδιασμού ή λειτουργίας ενός συστήματος, τα ανωτέρω χαρακτηριστικά δεν καλύπτονται πλήρως από τα δεδομένα που διατίθενται και για το λόγο αυτό υπάρχει η ανάγκη προσεγγίσεων, διατυπώσεων υποθέσεων. Με την εξέλιξη, όμως, του σχεδιασμού η πρόσβαση σε πληροφορίες απαραίτητες για τον προσδιορισμό του συστήματος διευρύνεται και συνεπώς ο έλεγχος της αξιοπιστίας του συστήματος καθίσταται σφικτός και ασφαλέστερος από τον αντίστοιχό του στα αρχικά στάδια υλοποίησης και κατασκευής του συστήματος.

4.1.3 Άστοχίες Συστημάτων – Τα είδη τους.

Ο όρος αστοχία χρησιμοποιείται για να περιγράψει «τον τερματισμό της ικανότητας μίας ολότητας να επιτελέσει μία απαιτούμενη λειτουργία». Στα συστήματα που ερευνώνται, ο όρος «αστοχία» ίσως ενδείκνυται περισσότερο. Μία ολότητα θεωρείται πως αποτυγχάνει ή αστοχεί όταν δεν είναι ικανή να επιτελέσει τις λειτουργίες της και συνεπώς μια αστοχία θεωρείται πως συμβαίνει, όταν η ικανότητα μιας ολότητας να επιτελεί μια λειτουργία αναστέλλεται ή διακόπτεται. Επειδή, όμως, γίνεται αναφορά σε σχετικά μεγέθη, τα οποία δεν είναι εξ ορισμού γνωστά και δεδομένα, όπως είναι άγνωστο το όριο εκείνο πέραν του οποίου ένα σύστημα ή ένα στοιχείο θεωρείται πως αποτυγχάνει, υπάρχει η αναγκαιότητα προσδιορισμού των σχετικών ανοχών. Ανάλογα με κάποια παράμετρο της αστοχίας υπάρχει μια πληθώρα ορισμών.[6]

Ορισμοί ανάλογα με το αιφνίδιο της αστοχίας

Ανάλογα με το αιφνίδιο της αστοχίας μπορούν να διακριθούν δύο ξεχωριστοί ορισμοί.

Σταδιακή αστοχία ή σωρευμένη αστοχία : με τους όρους αυτούς προσδιορίζεται η αστοχία η οφειλόμενη στη σταδιακή μεταβολή των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών μιας ολότητας σε συνάρτηση με το χρόνο. Η αστοχία αυτή, στη γενική περίπτωση, είναι εκ των προτέρων ανιχνεύσιμη και εντοπίζεται εύκολα μέσω της διαδικασίας ελέγχου.

Ξαφνική ή απρόσμενη αστοχία : με τους όρους αυτούς προσδιορίζεται η αστοχία, η οποία δεν είναι αποκύημα μιας σταδιακής απώλειας των χαρακτηριστικών απόδοσης και δεν μπορεί να ανιχνευθεί η πιθανότητά της ή το ενδεχόμενό της μετά την επεξεργασία των δεδομένων, τα οποία προκύπτουν από τον έλεγχο του συστήματος. Για αυτό το λόγο δεν μπορεί να αποφευχθεί ούτε να προβλεφθεί εκ των προτέρων.[6]

Ορισμοί ανάλογα με το βαθμό ή την έκταση

Μερική αστοχία : με τον όρο αυτό περιγράφεται μία απόκλιση των χαρακτηριστικών του συστήματος ή ενός μεμονωμένου στοιχείου πέρα από συγκεκριμένα όρια, όχι, όμως, σε τέτοιο βαθμό εκτενής κι ευρεία, ώστε να προκαλέσει παντελή έλλειψη και αδυναμία εξακολούθησης της επιτέλεσης της απαιτούμενης λειτουργίας

Πλήρης αστοχία : με τον όρο αυτό περιγράφεται η αστοχία, η οποία προέρχεται από μία απόκλιση των χαρακτηριστικών του συστήματος ή ενός μεμονωμένου στοιχείου πέρα από συγκεκριμένα όρια, η οποία επιφέρει παντελή έλλειψη της δυνατότητας να εξακολουθήσει το υπό εξέταση αντικείμενο να επιτελεί την απαιτούμενη από αυτό λειτουργία του.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, τα όρια τα οποία υπερβαίνονται είναι ειδικά όρια εξ αρχής συγκεκριμενοποιημένα για το σκοπό αυτό και για την αποφυγή συγκεχυμένων και μη ξεκάθαρων αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων.

Ορισμοί προερχόμενοι από το συνδυασμό του αιφνίδιου και του εύρους της αστοχίας

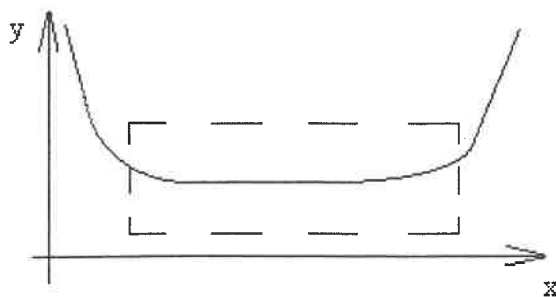
Καταστροφική αστοχία : με τον όρο αυτό περιγράφεται η αστοχία, η οποία ανήκει ταυτόχρονα και στις δύο κατηγορίες αστοχίας : “Ξαφνική ή απρόσμενη” και “πλήρης”.

Υποβιβασμένη αστοχία : με τον όρο αυτό περιγράφεται η αστοχία, η οποία ανήκει ταυτόχρονα και στις δύο κατηγορίες “Σταδιακή ή σωρευμένη” και “μερική”.

Ορισμοί ανάλογα με τη χρονική στιγμή εμφάνισης της αστοχίας και η θέση της στη διάρκεια ζωής του υπό εξέταση αντικειμένου

Ως ρυθμός αστοχίας ορίζεται η αναλογία – ανηγμένη στη μονάδα του χρόνου – του αριθμού των αντικειμένων, τα οποία, έχοντας επιβιώσει και λειτουργούν ομαλά έως τη χρονική στιγμή t , εντούτοις είτε αποτυγχάνουν είτε αστοχούν εντός του διαστήματος $[t, t + \Delta t]$. Καθώς $\Delta t \rightarrow 0$ υπολογίζεται ο στιγμιαίος ρυθμός αστοχίας, ο οποίος αποτελεί συνάρτηση του χρόνου και από τη μαθηματική ανάλυση γνωρίζουμε πως ισούται με την πρώτη παράγωγο της συνάρτησης που αποδίδει τον αριθμό των αντικειμένων τα οποία επιβιώνουν ή λειτουργούν ομαλά έως τη χρονική στιγμή t .

Στη γενική περίπτωση, η πλειονότητα των αντικειμένων έχουν μια σταθερή και όμοια μεταξύ τους συμπεριφορά σε ότι αφορά στην συνάρτηση του ρυθμού αστοχίας με το χρόνο, της οποίας η συνάρτηση έχει μορφή “μπανιέρας”. [2, 15, 17, 22, 24]



Διάγραμμα 1. Το γράφημα της συνάρτησης του ρυθμού αστοχίας.

Κατ’ αυτόν τον τρόπο ορίζονται τρεις περίοδοι αστοχίας :

Ενωρίτερη περίοδος αστοχίας : αυτή η πιθανώς ενωρίτερη περίοδος είναι το χρονικό διάστημα, το οποίο ξεκινώντας από ένα δεδομένο αρχικό χρονικό σημείο διαρκεί για τέτοιο ποσό χρόνου ώστε ο ρυθμός αστοχίας ξεκινά από μία πολύ υψηλή τιμή και μειώνεται σχετικά γρήγορα εν συγκρίσει με την ακόλουθή του περίοδο. Στο διάγραμμα του σχήματος η περίοδος πριν (δεξιότερα) από το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο με τις διακεκομμένες πλευρές.

Περίοδος σταθερού ρυθμού αστοχίας : η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από σχετικά σταθερό ρυθμό αστοχίας και συνήθως καλείται χρήσιμη περίοδος. Στο διάγραμμα του σχήματος η περίοδος εντός του ορθογωνίου παραλληλογραμμού με τις διακεκομμένες πλευρές.

Περίοδος αποτυχιών που επιφέρουν εξάντληση : κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, ο ρυθμός αστοχίας αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου και οι τιμές, που λαμβάνει, είναι υψηλότερες από τις αντίστοιχες της προηγούμενης περιόδου. Στο διάγραμμα του σχήματος, η περίοδος αργότερα (αριστερά) από την περίοδο του ορθογωνίου παραλληλογραμμού με τις διακεκομμένες πλευρές.[2, 15, 17, 22, 24]

Οι αποτυχίες, οι οποίες λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια των περιόδων αυτών, καλούνται ενωρίτερες αποτυχίες, τυχαίες σταθερού ρυθμού αποτυχίες και αποτυχίες που οδηγούν στην εξάντληση αντίστοιχα.

Κατ' αυτόν τον τρόπο οι αποτυχίες επιδέχονται τους παρακάτω ορισμούς

Ενωρίτερες αποτυχίες : είναι οι αποτυχίες εκείνες, οι οποίες συμβαίνουν στην αρχική φάση λειτουργίας του αντικειμένου και των οποίων ο ρυθμός μειώνεται ραγδαία. Η αρχική στιγμή, η οποία εκλαμβάνεται ως εναρκτήρια της διάρκειας ζωής του αντικειμένου, είναι η στιγμή, παραδείγματος χάριν στην οποία το κατασκευασμένο αντικείμενο εγκαταλείπει το εργοστάσιο που το παρήγαγε ή η στιγμή της διανομής του, αλλά εξαρτάται από τη μορφή του αντικειμένου και τη λειτουργία του το γεγονός της σήμανσής της.

Τυχαίες σταθερού ρυθμού αποτυχίες : είναι οι αποτυχίες εκείνες, οι οποίες συμβαίνουν με ένα σχετικά σταθερό ρυθμό κατά τη διάρκεια της χρήσιμης ζωής του έργου.

Αποτυχίες που οδηγούν στην εξάντληση : είναι οι αποτυχίες εκείνες, οι οποίες συμβαίνουν με ένα σχετικά γρήγορα αυξανόμενο ρυθμό και εξαρτώνται απόλυτα από τη μορφή και το είδος του αντικειμένου αφού διαφοροποιούνται

ανάλογα με την ύπαρξη ή μη διαδικασιών που δυσχεραίνουν τη λειτουργία του όπως η οξείδωση ή η διάβρωση.

Ορισμοί ανάλογα με τα αποτελέσματα

Οι διάφορες αποτυχίες, οι οποίες ταλανίζουν ένα σύστημα, επιφέρουν διαφορετικά αποτελέσματα. Κάποιες αποτυχίες, οι ευνοϊκότερες από όσες υπάρχουν, δεν επηρεάζουν άμεσα τις λειτουργίες του συστήματος, καθώς επίσης αποκαθίστανται με εύκολο και γρήγορο τρόπο. Άλλες πάλι αποτυχίες μπορούν να επηρεάσουν τη διαθεσιμότητα του συστήματος ή την ασφάλειά του. Όμως, η εκτίμηση και η αξιολόγηση των αποτυχιών ενός συστήματος είναι απαραίτητη και αναγκαία. Χωρίς την αξιολόγηση των αποτυχιών η εικόνα τους και αυτή του δικτύου είναι συγκεχυμένες, δεν μπορεί να εφαρμοστεί μια τεκμηριωμένη πολιτική λήψης μέτρων και οποιαδήποτε απόπειρα επέμβασης στο σύστημα θα είναι επιδερμική, άνευ συγκεκριμένου στόχου και ως εκ τούτου αναποτελεσματική, το ελάχιστο.

Για να επιτευχθεί μια επιμελημένη και βάσιμη κατηγοριοποίηση των αποτυχιών ως προς τα αποτελέσματα, τα οποία επιφέρουν, πρέπει κατ' αρχήν να εισαχθεί μια κλίμακα κρισιμότητας των αποτελεσμάτων – πρακτική, η οποία λαμβάνει χώρα σε πλείστες περιπτώσεις – και χρησιμοποιούνται επίπεδα δηλωτικά της επιδεινωμένης κατάστασης που γεννά μια αστοχία, τα οποία τίθενται σε κατηγορίες ή κλάσεις κρισιμότητας.

Συνήθως χρησιμοποιούνται τέσσερις κατηγορίες ή κλάσεις, εντός των οποίων καταλέγεται κάθε αστοχία με κριτήρια ποιοτικά χαρακτηριστικά. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι κάτωθι :

Ελάσσοнос σημασίας αποτυχίες : σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι αποτυχίες εκείνες, οι οποίες επιφέρουν υποβιβασμό στις επιτελούμενες από το σύστημα λειτουργίες και αμελητέα ζημιά είτε στο σύστημα είτε στο περιβάλλον.

Σημαντικές αποτυχίες : σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι αποτυχίες εκείνες, οι οποίες υποβιβάζουν τις λειτουργίες του συστήματος, αλλά δεν επιφέρουν αξιοσημείωτη ζημιά ούτε σε αυτό ούτε στο περιβάλλον.

Κρίσιμες αποτυχίες : σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι αποτυχίες εκείνες, οι οποίες θα μπορούσαν να προκαλέσουν απώλεια στην απόδοση των αρχικών λειτουργιών του συστήματος, επιφέροντας σημαντική ζημιά στο

προαναφερθέν σύστημα ή στο περιβάλλον του, χωρίς όμως απειλητικές επιπτώσεις για το φαινόμενο της ζωής.

Καταστροφικές αποτυχίες : σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι αποτυχίες εκείνες, οι οποίες δυνητικά προκαλούν απώλεια στις αρχικές λειτουργίες του συστήματος σε τέτοιο βαθμό, ώστε να επιφέρει σημαντική ζημία στο σύστημα ή στο περιβάλλον του, καθώς επίσης και να αποτελεί, ενδεχομένως, απειλητική συνισταμένη για τη ζωή.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί μια ειδοποιός διαφορά ανάμεσα στο αποτέλεσμα και τη συνέπεια, όταν αυτά προκύπτουν από μια αστοχία. Κατ' αυτόν τον τρόπο

- ως αποτέλεσμα ορίζεται οποιαδήποτε μεταβολή ακολουθεί την πραγματοποίηση ενός μεμονωμένου υποθετικού γεγονότος, ενώ
- με τον όρο συνέπεια καλείται κάθε λογικό επακόλουθο της πραγματοποίησης ενός γεγονότος.

Οι συνέπειες περικλείουν τα αποτελέσματα του προαναφερθέντος υποτιθέμενου συμβάντος. Αντίστοιχα, οι συνέπειες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν και να ενταχθούν προκύψουν οι εξής κλάσεις :

Ελάχιστος σημασίας συνέπειες, σημαντικές συνέπειες, κρίσιμες συνέπειες και τέλος καταστροφικές συνέπειες.

Ορισμοί ανάλογα με τα αίτια

Οποιαδήποτε αστοχία ενός αντικειμένου αποτελεί τη συνισταμένη ενεργουσών συνιστωσών. Οι λόγοι αστοχίας ορίζονται ως «οι περιστάσεις κατά το σχεδιασμό, την κατασκευή ή τη χρήση του αντικειμένου, οι οποίες οδηγούν στην αστοχία. Ως προς αυτά τα ενεργούντα αίτια κατορθώνεται άλλη μία ταξινόμηση των αποτυχιών. Επιπλέον ως μηχανισμός αστοχίας καλείται η διαδικασία εκείνη, μέσω της οποίας τα συνδυαζόμενα αίτια παράγουν την αστοχία και μπορεί να είναι φυσική, χημική ή άλλης μορφής.

Οι αποτυχίες, ταξινομημένες ανάλογα με τα αίτια που τις προκαλούν ανήκουν στις εξής κατηγορίες :

- Πρωτεύουσα αστοχία : με τον όρο αυτό περιγράφονται οι αποτυχίες εκείνες οι οποίες δε συνδέονται με κάποιο τρόπο, άμεσο ή έμμεσο, με την αστοχία κάποιου άλλου αντικειμένου.

Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε πως από αυτό το είδος αστοχίας βάλλεται ένα στοιχείο ενός συστήματος. Τότε συνεπάγεται πως, μια κι η αστοχία είναι πρωτεύουσα, οι λόγοι της δεν σχετίζονται σε καμία περίπτωση με τη λειτουργία ή την αστοχία κάποιου άλλου στοιχείου, αλλά αυτό από το οποίο είναι άμεσα εξαρτώμενοι αφορά αποκλειστικά στο ίδιο το στοιχείο και τις περισσότερες φορές είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με κάποια από τις παρακάτω φάσεις της ζωής του: με το σχεδιασμό ή την κατασκευή ή τη χρήση του.

Στη γενική περίπτωση, ένα αντικείμενο, το οποίο έγινε δεκτικό αυτής της μορφής αστοχίας, πρέπει να επισκευαστεί για να είναι σε θέση να λειτουργήσει.

- Δευτερεύουσα αστοχία : με τον όρο αυτό περιγράφονται οι αποτυχίες ενός αντικειμένου, όταν αυτές προέρχονται είτε άμεσα είτε έμμεσα από την αστοχία ενός άλλου αντικειμένου, το οποίο δε σχεδιάστηκε για το λόγο αυτό.

Σε αυτή την κατηγορία συγκαταλέγονται οι περιβαλλοντικές συνθήκες ή τα ανθρώπινα λάθη, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν δευτερεύουσα αστοχία σε ένα στοιχείο.

Στη γενική περίπτωση, ένα αντικείμενο, το οποίο έγινε δεκτικό αυτής της μορφής αστοχίας, πρέπει να επισκευαστεί για να είναι σε θέση να λειτουργήσει.

- Επιβαλλόμενη αστοχία : με τον όρο αυτό περιγράφονται οι αποτυχίες εκείνες, οι οποίες προκαλούνται είτε άμεσα είτε έμμεσα από την αστοχία ενός άλλου αντικειμένου το οποίο σχεδιάστηκε για αυτό το λόγο.

Στη γενική περίπτωση, ένα αντικείμενο, το οποίο έγινε δεκτικό αυτής της μορφής αστοχίας, δεν είναι απαραίτητο να επισκευαστεί ή να ανακαινιστεί για να είναι σε θέση να λειτουργήσει.

4.1.4 Σφάλματα

Άλλη μια σημαντική έννοια, η οποία πρέπει να συνεκτιμάται στην εξέταση ενός συστήματος ως προς την αξιοπιστία, είναι η έννοια του σφάλματος. Με τον όρο σφάλμα καλείται η αδυναμία ενός αντικειμένου να επιτελέσει την

απαιτούμενη από αυτό λειτουργία. Κατ' αυτόν τον τρόπο, όταν συμβεί μια αστοχία, το αντικείμενο θεωρείται ελαττωματικό και συμπεραίνουμε πως το σφάλμα είναι αποκύημα μίας αστοχίας.

Ο παραπάνω ορισμός είναι, γενικά, αμφισβητήσιμος. Υπάρχει και η προσέγγιση εκείνη, η οποία θέλει το λάθος να μην σημαίνει αναγκαστικά διακοπή της ικανότητας για λειτουργία του αντικειμένου και συνεπώς δεν προϋποθέτει αστοχία, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση εκείνη, στην οποία το αντικείμενο δεν είχε λειτουργήσει ποτέ, έως τη στιγμή της εμφάνισης του λάθους. Η τελευταία περίπτωση ανακλάται σε συνθήκες ύπαρξης λαθών κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού.

Όπως παραπάνω έχουμε εντάξει τις αποτυχίες σε διάφορες κατηγορίες, μπορούμε να κατατάξουμε τα λάθη στις παρακάτω κλάσεις : λάθη ελάσσονος σημασίας, σημαντικά λάθη, κρίσιμα λάθη, καταστροφικά λάθη ή λάθη πρωτεύοντα, δευτερεύοντα, μερικά ή πλήρη.

Μια επιπρόσθετη, όμως, κατηγοριοποίηση των λαθών έρχεται να δημιουργήσει το κριτήριο της ανιχνευσιμότητάς τους :

- Περιοδικά λάθη : σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα λάθη εκείνα, τα οποία παρουσιάζονται για μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο, ενώ ακολούθως το αντικείμενο ανακτά την αρχική του ικανότητα να επιτελεί τη λειτουργία του, την οποία είχε απολέσει, δίχως τη μεσολάβηση ή την παρέμβαση καμίας ενέργειας συντήρησης ή επιδιόρθωσης.

- Εφήμερα λάθη : σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα λάθη εκείνα, τα οποία έχουν μεν συχνότητα περιοδικής εμφάνισης, είναι δε δύσκολο να διακριθούν και να παρατηρηθούν.

- Εξακολουθητικά ή μόνιμα λάθη : σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα λάθη εκείνα, τα οποία σταματούν να εμφανίζονται, όταν εφαρμοστεί μια διαδικασία συντήρησης ή επιδιόρθωσης.

- Αφανή λάθη : σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα λάθη εκείνα, τα οποία δεν έχουν αναγνωριστεί ή παραμένουν ανεντόπιστα.

Επιπλέον, ένα σφάλμα χαρακτηρίζεται από

- Μία λανθασμένη κατάσταση, για παράδειγμα την κατάσταση ενός αντικειμένου, το οποίο χαρακτηρίζεται από την ανικανότητά του να επιτελέσει την απαιτούμενη από αυτό λειτουργία του.

- Έναν τρόπο λάθους, για παράδειγμα το αποτέλεσμα, μέσω του οποίου ένα λάθος γίνεται παρατηρήσιμο.

4.2 Μεταφορικά Συστήματα

4.2.1 Ορισμός μεταφορικού συστήματος – Γενικά

4.2.1.1 Ορισμός

Ένα μεταφορικό σύστημα μπορεί να οριστεί ως εξής : είναι η ολότητα εκείνη, η οποία αποτελείται από τις μόνιμες εγκαταστάσεις, τις οντότητες ροής και το σύστημα ελέγχου το οποίο επιτρέπει σε ανθρώπους και αγαθά να υπερνικούν αποτελεσματικά γεωγραφικούς περιορισμούς με απώτερο σκοπό τη συμμετοχή τους σε συγκεκριμένες στιγμές ή χρονικά διαστήματα σε κάποιες επιθυμητές δραστηριότητες.[18]

4.2.1.2 Γενικά περί μεταφορικών συστημάτων

Τα μεταφορικά συστήματα είναι μία μεγάλη κατηγορία συστημάτων. Το εύρος τους καθορίζεται ανάλογα με την έκταση της γεωγραφικής περιοχής στην οποία εντάσσονται ή εξυπηρετούν. Υπάρχουν πολλές κατηγορίες μεταφορικών συστημάτων ανάλογα με το ειδικό έργο που επιτελούν.

Βασική επιδίωξη του σχεδιαστή ενός μεταφορικού συστήματος είναι η κατασκευή ενός συστήματος, το οποίο επιτρέπει την κάλυψη των αναγκών μετακίνησης. Κατ' αυτόν τον τρόπο ένα μεταφορικό σύστημα επιτελεί δύο βασικές λειτουργίες

τη μετακίνηση ανθρώπων, η οποία γίνεται για την κάλυψη των προσωπικών τους αναγκών

τη μεταφορά αγαθών, η οποία σε γενικές γραμμές γίνεται για την κάλυψη αναγκών των διαδικασιών παραγωγής και κατανάλωσης.[1, 18]

Σε ένα σύστημα μεταφορών ανήκουν

Τα οχήματα κάθε τύπου μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η μεταφορά προσώπων και αγαθών.

Τα μεταφορικά δίκτυα, επί των οποίων διεξάγεται η κίνηση των οχημάτων

Τις τερματικές εγκαταστάσεις, στις οποίες περιλαμβάνονται οι σταθμοί επιβίβασης, αποβίβασης και μετεπιβίβασης, οι χώροι φορτοεκφόρτωσης και οι χώροι στάθμευσης

Διάφορα συνεργεία επισκευής και συντήρησης και άλλες απαραίτητες εγκαταστάσεις, άνευ των οποίων καθίσταται ανέφικτη η λειτουργία του συστήματος (όπως παραδείγματος χάριν πρατήρια καυσίμων) ή γενικά διευκολύνουν ή προστατεύουν τον εξοπλισμό του συστήματος (όπως οι χώροι στάθμευσης των αστικών λεωφορείων

Ένα μεταφορικό σύστημα μπορεί να κατηγοριοποιηθεί με διάφορους τρόπους. Υπάρχει πληθώρα κριτηρίων, ως προς τα οποία μπορεί να γίνει αυτή η κατηγοριοποίηση. Ενδεικτικά να αναφέρουμε πως η διάκρισή τους μπορεί να επιτευχθεί ανάλογα με τα τεχνολογικά μέσα που χρησιμοποιούν, τη λειτουργία ή τον τύπο της υπηρεσίας που παρέχουν, τον κτήτορα ή τον υπεύθυνο για τη λειτουργία τους.[1, 18]

4.2.2 Κατηγορίες Μεταφορικών Συστημάτων

Το μεταφορικό σύστημα υποδιαιρείται σε τέσσερα μεγάλα υποσυστήματα ανάλογα με το μέσο το οποίο στηρίζει τα στοιχεία ροής. Τα υποσυστήματα αυτά είναι τα εξής

1. Χερσαίες μεταφορές

Οι χερσαίες μεταφορές υποδιαιρούνται με τη σειρά τους σε

α. Οδικά δίκτυα

β. Σιδηροδρομικά δίκτυα

Εναέριες Μεταφορές

Οι εναέριες μεταφορές υποδιαιρούνται σε

- α. Εσωτερικές
- β. Διεθνής

Μεταφορές μέσω νερού

Οι μεταφορές μέσω νερού διακρίνονται σε

- α. Εσωτερικές ή μεσόγειες
- β. Παράκτιες
- γ. Ωκεάνιες

Αγωγοί Ενέργειας

Ανάλογα με τη μορφή τις ενέργειας έχουμε αγωγούς

- α. Πετρελαίου
- β. Φυσικού αερίου
- γ. Άλλων μορφών.[18]

4.3 Το αστικό οδικό δίκτυο

4.3.1 Γενικά

Όπως παρατηρούμε ένα σημαντικό υποσύστημα των μεταφορικών συστημάτων είναι οι χερσαίες μεταφορές οι οποίες διακρίνονται στο αστικό και το σιδηροδρομικό δίκτυο. Με τη σειρά του το οδικό δίκτυο διακρίνεται σε υπεραστικό και αστικό. Με τη σειρά του το αστικό δίκτυο αποτελείται από τέσσερις κατηγορίες οδών :

- α. Τις κύριες αρτηρίες
- β. Τις δευτερεύουσες αρτηρίες
- γ. Τις συλλεκτήριες οδούς
- δ. Και τέλος τις τοπικές οδούς.[3]

Οι μεταφορές διαδραματίζουν, αναμφίβολα, πολύ σπουδαίο ρόλο στη ζωή μιας πόλης. Το μεταφορικό σύστημα εξυπηρετεί τις μετακινήσεις ατόμων και τη

μεταφορά προϊόντων. Εντός του αστικού χώρου υπάρχουν υπεράριθμα σημεία γένεσης των μετακινήσεων και εξ ίσου υπεράριθμα σημεία προορισμού. Αυτά τα σημεία πρέπει να είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους και το αστικό οδικό δίκτυο είναι επιφορτισμένο με αυτή την αποστολή.

Τα αίτια, τα οποία γεννούν τις μετακινήσεις ποικίλλουν σε μία πόλη. Ανήκουν σε ένα ευρύ σύνολο και μπορεί να είναι λόγοι εργασίας, εκπαίδευσης, ψυχαγωγίας, αγορών και άλλοι, ενώ όλοι εντάσσονται στην επιθυμία ή την ανάγκη των προσώπων να βρεθούν σε διαφορετικό από αυτό που βρίσκονται σημείο. Η μεταφορά των αγαθών γίνεται για ανάγκες παραγωγής, κατανάλωσης ή αποθήκευσης αγαθών. Οι οδικοί άξονες συμβάλλουν καθοριστικά σε αυτές τις μετακινήσεις και τις μεταφορές, διότι πλήθος εκ των τελευταίων τους χρησιμοποιούν και πραγματοποιούνται είτε εξ ολοκλήρου μέσω του οδικού δικτύου αποκλειστικά, είτε μερικώς.

Γενικά υπάρχουν δύο βασικά είδη μορφών αστικού οδικού δικτύου : η ορθογωνική και η ακτινωτή, κι έχουν να κάνουν κυρίως με το δίκτυο των αρτηριών μια πόλης. Σε ένα δίκτυο ακτινωτής μορφής οι αρτηρίες της πόλης έχουν, συνήθως, κοινό σημείο το κέντρο της και συμβάλλουν σε αυτό. Στις μεγαλύτερες πόλεις με αυτή τη μορφή παρατηρείται η ύπαρξη περιφερειακών δακτυλίων που εξυπηρετούν στη μεταξύ των αρτηριών σύνδεση.[3]

Στο δίκτυο ορθογωνικής μορφής οι αρτηρίες ακολουθούν έναν κάνναβο και, συνήθως, οι μεταξύ τους αποστάσεις είναι αναγκαίο να είναι μικρότερες στις πλησιέστερες στο κέντρο της πόλης περιοχές εν συγκρίσει με τις αντίστοιχες αρτηρίες των περισσότερο απομακρυσμένων σημείων.

Επιπρόσθετα οι ισόπεδοι κόμβοι ενός σύγχρονου αστικού οδικού δικτύου είναι κατά κανόνα σηματοδοτούμενοι. Κατ' αυτόν τον τρόπο η ρύθμιση της κυκλοφορίας σε κόμβους όπου συντρέχουν οι αρτηρίες μιας πόλης γίνεται μέσω φωτεινής σηματοδότησης. Η κυκλοφοριακή ικανότητα των οδών ενός δικτύου επηρεάζεται άμεσα από την ύπαρξη ή μη σηματοδότησης αφού άλλωστε η εφαρμογή της τελευταίας ως στόχο έχει τη συνολική βελτίωσή της.

Υπάρχουν διάφορα συστήματα σηματοδότησης, τον τελευταίο όμως καιρό υπάρχει η τάση εφαρμογής συστημάτων καθολικής ρύθμισης της κυκλοφορίας. Σε αυτά τα συστήματα, καταγράφονται οι κυκλοφοριακοί φόρτοι σε ορισμένες θέσεις του σηματοδοτούμενου δικτύου και αποστέλλονται σε έναν κεντρικό υπολογιστή. Εν συνεχεία, ο υπολογιστής καθορίζει τις ενδείξεις των σηματοδοτών και τη διάρκεια

τους με απώτερο σκοπό τη βελτιστοποίηση των κυκλοφοριακών ροών σε ολόκληρο το δίκτυο (για παράδειγμα η ελαχιστοποίηση του κόστους των καθυστερήσεων και των στάσεων).

Υπάρχουν, όμως, και απλούστερες μορφές συστημάτων καθολικής ρύθμισης της σηματοδότησης. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν με ένα απλό υπολογιστή στον οποίο αποστέλλονται κυκλοφοριακά στοιχεία, τα οποία αναλύει και επιλέγει το καταλληλότερο πρόγραμμα με βάση το οποίο θα επιτευχθεί η καλύτερη ρύθμιση της σηματοδότησης. Ένα τέτοιο σύστημα εφαρμόζεται και στο οδικό δίκτυο της πρωτεύουσας.[9]

Ένα αστικό οδικό δίκτυο αποτελείται από τις τέσσερις κατηγορίες οδών, που προαναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα, και τους κόμβους, τους οποίους σχηματίζουν διασταυρούμενες. Σημαντικά στοιχεία για τη λειτουργία ενός οδικού δικτύου στην πόλη είναι η ύπαρξη ή μη "Αστικών Διοδίων" καθώς επίσης και η εφαρμογή ή όχι δακτυλίων, τα οποία είναι ρυθμιστικά μέτρα κυκλοφορίας. Επιπλέον η επιτρεπόμενη ή όχι στάθμευση σε μια περιοχή επηρεάζει την κίνηση των οχημάτων σε αυτή και στις γύρω από αυτή περιοχές. Οι καιρικές συνθήκες, η ημέρα και η ώρα καθώς και πλειάδα παραμέτρων επηρεάζουν την κυκλοφορία σε ένα οδικό δίκτυο.

4.3.2 Το οδικό δίκτυο της Αθήνας

Η μορφή του οδικού δικτύου της Αθήνας είναι μια σύνθετη μορφή αστικού οδικού δικτύου. Η πορεία, την οποία ακολούθησε για να κατασταλάξει στη σημερινή του μορφή έχει την αφετηρία της στον 19ο αιώνα, έναν αιώνα μεγάλων αλλαγών και ζυμώσεων. Η Αθήνα, ως Ευρωπαϊκή πόλη, μετέχει των τάσεων και των εξελίξεων που επικρατούν στις αντίστοιχες της με κάποια χρονική υστέρηση.

Ο 19ος αιώνας, αιώνας της βιομηχανικής επανάστασης, είναι κατάμεστος από σημαντικότερες αλλαγές σε πολλούς τομείς της ζωής, στις κοινωνικές δομές, τις πολιτικές συνθήκες, τα οικονομικά μεγέθη. Η γενεσιουργός ώθηση αυτών των αλλαγών ήταν η θέληση για ελεύθερη δράση σε κάθε τομέα της ανθρώπινης δραστηριότητας.

Η πόλη, ως οντότητα, έπρεπε να προσαρμοστεί και να λάβει τη μορφή εκείνη, η οποία θα της εξασφάλιζε την επιτέλεση όλων των καινοφανών δραστηριοτήτων στο χώρο της με αποδοτικό τρόπο. Κατ' αυτόν τον τρόπο, υπάρχει η

ανάγκη διεύρυνσης του έως τότε υπάρχοντος πεδίου έρευνας στην επιστήμη της Πολεοδομίας, η οποία την οδηγεί στην οριστική αποκοπή της από την επιστήμη της Αρχιτεκτονικής.

Στα μισά του αιώνα δεσπόζει αναπάντητο το κομβικό για την εξέλιξη της πόλης ερώτημα : " ο χώρος της κίνησης, δηλαδή ο δρόμος, ή ο χώρος στάσης, δηλαδή το οικοδομικό τετράγωνο, πρέπει να αποτελεί το αφετηριακό στοιχείο του σχεδιασμού της πόλεως;" Δύο οι εναλλακτικές προσεγγίσεις, δύο κι οι μερίδες των επιστημόνων που κατάθεταν την άποψή τους σε ειδικά εγχειρίδια.[3]

Η πρώτη κατηγορία επιστημόνων ήθελε ως βάση του σχεδιασμού το χώρο κίνησης και ισχυρίζονταν πως η υποδομή, η οποία εξυπηρετεί την κίνηση, πρέπει να διαμορφώσει την εικόνα της πόλης. Απαύγασμα αυτών των ισχυρισμών είναι η πρόταση της Γραμμικής πόλης, η οποία έχει ως κεντρικό άξονα ένα σταθερό μέσο τροχιάς και δομείται περί αυτόν. Εξέλιξη της παραπάνω πρότασης είναι αυτή που θέλει την πόλη κτισμένη σε επί καννάβου.

Η δεύτερη κατηγορία αξιώνει το οικοδομικό τετράγωνο ως θεμελιώδες κύτταρο της πόλης. Η άποψη αυτή περιγράφεται και στην παρατήρηση : "κόβουν οικοδομικά τετράγωνα υπό μορφή κανονικών σχημάτων και ό,τι απομένει το ονομάζουν δρόμους, πλατείες κ.ά. Ουσιαστικά οι δρόμοι σε αυτήν την περίπτωση έρχονται να φράξουν και να διαχωρίσουν ιδιοκτησίες.

Η Αθήνα, κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, αναπτύχθηκε χωρίς σχέδιο αλλά ασύνδετα μεταξύ τους αστικά αποσπάσματα εισάγονται στο σχέδιο πόλης, δίχως η διαδικασία αυτή να διέπεται από συγκεκριμένη στρατηγική και με την απουσία του κράτους. Σε αυτή ακριβώς την αλόγιστη πρακτική οφείλεται η αδυναμία της πρωτεύουσας να αποκτήσει έναν ενιαίο συγκοινωνιακό ιστό.

Η αρχή του 20ου αιώνα έρχεται σχεδόν ταυτόχρονα με την κατασκευή του αυτοκινήτου και την εισαγωγή του στην καθημερινότητα των ανθρώπων των Ευρωπαϊκών πρωτευουσών. Η πρόσθεση των νέων δεδομένων αναγκαιοτήτων βρίσκει ανέτοιμη την πόλη να τις υποδεχτεί, αφού στο τέλος του 19ου αιώνα οι πόλεις ήταν έφοδιασμένες με κάποιους άξονες και στα νέα τμήματά τους εφαρμόζονταν γεωμετρικά σχήματα τύπου καννάβου. Αυτά τα χαρακτηριστικά, όμως, δεν κατάφεραν να δώσουν στην πόλη τη δυνατότητα να αντεπεξέλθει στην επερχόμενη έξαρση.

Ο τρόπος, με τον οποίο προσπάθησαν να επεκτείνουν την πόλη στην εποχή των Βαυαρών, είναι ο εξής : Χαράχτηκε ένα ισοσκελές τρίγωνο, το οποίο στο

εσωτερικό του περιείχε την παλιά πόλη. Ακολούθως, η πόλη επεκτάθηκε μέσω καννάβων, καθέτων στις πλευρές του τριγώνου αυτού. Η προσπάθεια εισαγωγής του καννάβου στο εσωτερικό του τριγώνου έγινε αποσπασματικά κι έδωσε ελάχιστους καρπούς. Στη συνέχεια, η επέκταση της πόλης δεν είχε κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση και κατ' αυτόν τον τρόπο φτάνουμε στη σημερινή μορφή του δικτύου. Το σχέδιο της πόλης είναι μικτό, στο οποίο επαναλαμβάνονται, δίχως να υπακούουν σε κάποια λογική τάξης αλλά απολύτως με άναρχο τρόπο το ακτινωτό και το ορθογωνικό σύστημα.[3]

Η εικόνα του οδικού δικτύου της Αθήνας παρουσιάζεται στο Παράρτημα σε δύο σχέδια. Στο πρώτο φαίνονται οι οδοί του δικτύου με αριθμημένους τους κόμβους - διασταυρώσεις μεταξύ τους ενώ στο δεύτερο σχέδιο παρουσιάζονται επιπρόσθετα οι αριθμημένες διατομές, στις οποίες είχαμε δεδομένα μετρήσεων κυκλοφοριακών φόρτων.

5. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας ενός μεμονωμένου στοιχείου ή συστήματος έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι. Καθεμία από αυτές τις μεθόδους έχει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και εφαρμόζεται ανάλογα με τη μορφή του υπό εξέταση αντικειμένου και τις παραμέτρους που καθορίζουν κάθε πρόβλημα.

Οι τεχνικές αυτές εκτίμησης της αξιοπιστίας μπορούν να εφαρμοστούν ανάλογα με τη φάση στην οποία βρίσκεται το αντικείμενο. Κατ' αυτόν τον τρόπο υπολογίζεται η αξιοπιστία ενός συστήματος κατά το σχεδιασμό του, παρέχοντας έτσι μια μελλοντική εκτίμηση της αξιοπιστίας λαμβάνοντας υπόψη δεδομένα και τάσεις. Επιπλέον, μέσω των τεχνικών αυτών, μπορεί να υπολογιστεί η αξιοπιστία ενός λειτουργούντος συστήματος και να εντοπιστούν οι ιδανικότεροι τρόποι για την βελτίωσή της. Ακολουθώς, περιγράφονται συνοπτικά κάποιες από τις βασικότερες τεχνικές υπολογισμού της αξιοπιστίας.

5.1 Διαγράμματα ανάλυσης

Η λογική, με την οποία αποτυγχάνει ένα σύστημα μπορεί να αποτυπωθεί σε ένα διάγραμμα αξιοπιστίας (reliability block diagram – RBD), στο οποίο αναπαρίστανται οι λογικές συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων του συστήματος. Στη γενική περίπτωση ένα τέτοιο διάγραμμα δεν αποτελεί ένα απλό σκαρίφημα της μορφής του συστήματος, αλλά η κατασκευή του στηρίζεται στους τρόπους με τους οποίους αποτυγχάνει. Στα συστήματα, τα οποία προέρχονται από στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά ή από στοιχεία συνδεδεμένα παράλληλα, η μορφή του δικτύου ταυτίζεται με το σχήμα του διαγράμματος ανάλυσης. Σε συνθετότερα, όμως, συστήματα, όπου οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων δεν είναι τόσο απλές, η σχεδίαση αυτών των διαγραμμάτων φαντάζει δυσκολότερη υπόθεση. Να σημειωθεί επίσης πως σε αυτά τα συνθετότερης μορφής συστήματα, ανάλογα με τον τρόπο που θα οριστεί η αποτυχία, θα καταρτιστεί διαφορετικό διάγραμμα. Για το λόγο αυτό οι σχέσεις μεταξύ των στοιχείων πρέπει να προσδιορίζονται όσο το δυνατόν καλύτερα διότι είναι πιθανό να διαφοροποιούνται εξαρτώμενες σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο θεώρησης της αποτυχίας. Η τελική καταγραφή ενός διαγράμματος ανάλυσης

αξιοπιστίας επιτρέπει την απλοποίηση του προβλήματος, αφού καταλήγουμε σε μια απλή μορφή, στην οποία οι σχέσεις μεταξύ των στοιχείων είναι ευδιάκριτες και δηλωτικές του τρόπου αστοχίας.[2, 6, 17]

5.2 Ανάλυση State – Space

Η Ανάλυση Χωρικής Κατάστασης έχει εφαρμογή σε εκείνα τα στοιχεία και τα συστήματα, τα οποία μπορούν να βρίσκονται σε μία εκ δύο δυνατών καταστάσεων. Κατ' αυτόν τον τρόπο εφαρμόζεται σε συστήματα και σε στοιχεία, τα οποία λειτουργούν ή όχι, αποτυγχάνουν ή όχι κ.ά. Εάν είναι γνωστές ή ορισμένες οι πιθανότητες, με τις οποίες σε κάθε συνθήκη μπορεί να συμβεί καθένα εκ των δύο δυνατών ενδεχομένων, είναι δυνατός ο υπολογισμός της συνολικής πιθανότητας, με την οποία τι σύστημα ή το στοιχείο βρίσκεται σε μία από τις δύο καταστάσεις. Στην ανάλυση της αξιοπιστίας οι προσδιοριστέες παράμετροι είναι η πιθανότητα αποτυχίας και η πιθανότητα να επιστρέψει σε κατάσταση διαθεσιμότητας ένα σύστημα ή ένα στοιχείο ή ο ρυθμός αποτυχίας και ο ρυθμός επισκευής.

Μία από τις σημαντικότερες κατηγορίες της παραπάνω τεχνικής είναι η ανάλυση Markov, η οποία για να εφαρμοστεί πρέπει οι πιθανότητες, με τις οποίες το υπό εξέταση αντικείμενο βρίσκεται σε μία εκ των δύο καταστάσεων είναι σταθερές και η κατάσταση, στην οποία βρίσκεται το σύστημα ή το στοιχείο, εξαρτάται μόνο από την αμέσως προγενέστερη της και όχι από όλες όσες προηγήθηκαν. Για το λόγο αυτό, η ανάλυση Markov να μεν μπορεί να εφαρμοστεί όταν έχουμε σταθερό ρυθμό αποτυχίας ή διακινδύνευσης, έχει, όμως, μεγάλη εφαρμοσιμότητα στα στοιχεία και τα συστήματα τα επιδεχόμενα συντήρησης, μια κι όταν λαμβάνει χώρα η διαδικασία της το αντικείμενο θεωρείται πως ανανεώθηκε πλήρως και ξεκινά εκ νέου να λειτουργεί.[2, 15, 17]

5.3 Προσομοίωση Monte Carlo

Στην προσομοίωση Monte Carlo, ένα ζητούμενο μέγεθος σ' ένα λογικό ομοίωμα του συστήματος, το οποίο τίθεται υπό εξέταση, εκτιμάται επαναλαμβανόμενα χρησιμοποιώντας διαφορετικές παραμέτρους στην καθεμία

επανάληψη. Η επιλογή των παραμέτρων αυτών γίνεται τυχαία, αλλά με πιθανότητες που διέπονται από συγκεκριμένες συναρτήσεις κατανομών.

Η προσομοίωση Monte Carlo στην εκτίμηση της αξιοπιστίας ενός συστήματος γίνεται με τη χρήση προγραμμάτων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Επειδή τα μαθηματικά που υπεισέρχονται στη μέθοδο δεν είναι πολύπλοκα, η μέθοδος είναι ιδιαίτερος προσφιλής ενώ η προσομοίωση και συνθέτων συστημάτων γίνεται σχετικά εύκολα, με απλούς κι εύκολα αντιληπτούς αλγορίθμους. Σε αντίθεση με την ανάλυση Markov, στη μέθοδο προσομοίωσης Monte Carlo δεν υπεισέρχεται κανένας περιορισμός σε ό,τι αφορά τις παραμέτρους, όπως οι ρυθμοί αποτυχίας και επισκευής και οι τιμές μπορούν να μεταβάλλονται δίχως αυτό να βλάψει τη χρησιμοποίησή της.

Ένα μειονέκτημα της μεθόδου είναι η πιθανή χρονοτριβή κατά τη διάρκεια των υπολογιστικών διαδικασιών στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Κατ' αυτόν τον τρόπο όταν προσομοιώνεται ένα μεγάλο σύστημα, για το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη και η μεταβολή όλων των στοιχείων του, ο απαιτούμενος χρόνος είναι αρκετός.[2, 17]

5.4 Ανάλυση Κρισιμότητας, Αποτελεσμάτων και Τρόπου Αποτυχίας

Η ανάλυση κρισιμότητας, αποτελεσμάτων και τρόπου αποτυχίας είναι η πιο ευρεία μέθοδος ως προς τη χρησιμοποίησή της. Σε πίνακες ειδικά διαμορφωμένους για τη μέθοδο αυτή, καταγράφεται κάθε τρόπος αποτυχίας κάθε στοιχείου του συστήματος και τα εξακριβωμένα αποτελέσματα των αποτυχιών αυτών. Τα αποτελέσματα των αποτυχιών μπορούν και να μην παραμείνουν και να αφορούν σε ένα μόνο επίπεδο αλλά να επεκταθούν σε επίπεδο ενός υποσυστήματος ή του ολικού συστήματος. Για τη χρησιμοποίηση αυτής της μεθόδου απαιτείται πληθώρα δεδομένων από τη φάση σχεδιασμού, όπως σχέδια, βάσεις δεδομένων, αποτελέσματα δοκιμών ή πειραμάτων κ.ά. Επιπλέον είναι απαραίτητα τα διαγράμματα ανάλυσης της αξιοπιστίας για την εκτίμηση των αποτελεσμάτων κάθε τρόπου αποτυχίας.[2, 6, 15, 17]

5.5 Μέθοδος του Δέντρου Σφαλμάτων

Η μέθοδος του δέντρου σφαλμάτων επιδιώκει την ανάλυση όλων των μορφών αποτυχίας του συστήματος μέσω της εύρεσης του τρόπου με τον οποίο αποτυγχάνουν τα επιμέρους στοιχεία του συστήματος. Κατ' αυτόν τον τρόπο αυτή η μέθοδος, έχοντας ως δεδομένη μία μορφή τελικής αποτυχίας του συστήματος, αναζητά τις αποτυχίες που έχουν συντελέσει στη διαμόρφωσή της.

Στη μέθοδο του δέντρου σφαλμάτων χρησιμοποιείται μια σειρά από σύμβολα για την περιγραφή των γεγονότων και των λογικών συνδέσεων, καθώς επίσης προσδιορίζονται οι πιθανότητες των γεγονότων αποτυχίας του συστήματος, όπως στην αντίστοιχη περίπτωση των διαγραμμάτων ανάλυσης.

Για κάθε μορφή αποτυχίας λαμβάνει χώρα μία διαφορετική ανάλυση δέντρου σφαλμάτων διότι διαφορετικά αίτια / λογικές συνδέσεις ή διαφορετικοί συνδυασμοί αιτιών οδηγούν σε διαφορετικά γεγονότα. [2, 6, 12, 15, 17]

5.6 Η Τεχνική του Πίνακα Σύνδεσης

Η μέθοδος αυτή υπολογίζει την αξιοπιστία του συστήματος μέσω της δημιουργίας πινάκων σύνδεσης. Για την εφαρμογή της προϋποθέτει την χάραξη του δικτύου του συστήματος ή των διαγραμμάτων της αξιοπιστίας για να ορίζεται ο τρόπος, με τον οποίο συνδέονται τα στοιχεία του.

Ο πίνακας συνδέσεως είναι ένας τετραγωνικός πίνακας διαστάσεων $n \times n$ όπου n ο αριθμός των κόμβων του συστήματος. Κάθε στοιχείο a_{ij} του πίνακα δείχνει εάν υπάρχει ροή ανάμεσα στους κόμβους i και j με τον εξής τρόπο: εάν δεν υπάρχει ροή από τον κόμβο i προς τον κόμβο j $a_{ij} = 0$, τα διαγώνια στοιχεία $a_{kk} = 1$, κι όταν υπάρχει ροή από τον κόμβο i προς τον κόμβο j ο δείκτης a_{ij} ισούται με την αξιοπιστία του στοιχείου διαμέσου του οποίου περνά η ροή από τον κόμβο i προς τον κόμβο j .

Με μία μέθοδο απλοποίησης πίνακας γίνεται $(n - 1) \times (n - 1)$ διαστάσεων και απαλείφεται κάποιος εσωτερικός κόμβος. Εφαρμόζοντας επαναληπτικά τη μέθοδο απαλοιφής των εσωτερικών κόμβων στο τέλος καταλήγουμε σε έναν τετραγωνικό πίνακα 2×2 , στον οποίο το στοιχείο a_{12} ισούται με την αξιοπιστία του συστήματος για τη ροή από τον αρχικό κόμβο εισόδου προς τον τελικό κόμβο εξόδου και το στοιχείο a_{21} ισούται με την αξιοπιστία του συστήματος για την αντίστροφη ροή.[17]

5.7. Θεωρία υπολογισμού αξιοπιστίας δικτύων

Ο γενικός σκοπός μιας εκτίμησης της διακινδύνευσης είναι η πρόβλεψη της απόδοσης ενός ολόκληρου συστήματος. Διάφορες μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί οι οποίες παρέχουν τη δυνατότητα υπολογισμού της απόδοσης ενός ολόκληρου συστήματος χρησιμοποιώντας τα χαρακτηριστικά απόδοσης μεμονωμένου στοιχείου. Σε αυτές τις μεθόδους συγκαταλέγονται τα δίκτυα αξιοπιστίας, η μέθοδος του δέντρου σφαλμάτων, τα μοντέλα Markov και η προσομοίωση, τα οποία παρατέθηκαν προηγουμένως. Η θεωρία που ακολουθεί χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της αξιοπιστίας δικτύων και εφαρμόζεται στο Κεφάλαιο 7 για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας του οδικού δικτύου της πρωτεύουσας σε επιλεγμένες διαδρομές του.

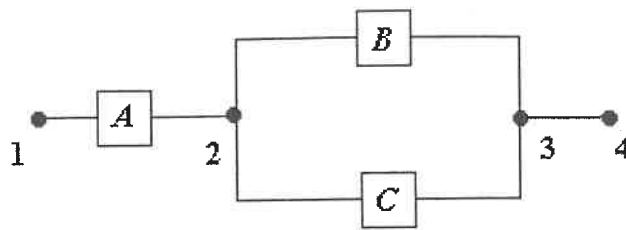
5.7.1 Γενική μορφή δικτύου

Ένα δίκτυο αξιοπιστίας αποτελεί την αναπαράσταση των εξαρτήσεων ανάμεσα στα στοιχεία του συστήματος και το βαθμό της αξιοπιστίας των στοιχείων και των εξαρτήσεων αυτών. Οι εξαρτήσεις χρησιμοποιούνται με σκοπό την παρουσίαση του τρόπου με τον οποίο λειτουργεί το σύστημα. Για να υπάρχει η δυνατότητα υπολογισμού της αποτυχίας ενός συστήματος με τη μέθοδο αυτή θα πρέπει το σύστημα να διαθέτει τα εξής χαρακτηριστικά :

- α.) να έχει έναν κόμβο αρχής
- β) να έχει έναν κόμβο τέλους
- γ) να έχει ένα σύνολο κόμβων V
- δ) να έχει ένα σύνολο συνδέσμων E
- ε) να υπάρχει μια συγκεκριμένη συνάρτηση φ η οποία συνδέει κάθε σύνδεσμο με ένα διατεταγμένο ζευγάρι κόμβων.[2, 11, 15, 16, 22]

Το σύνολο των συνδέσμων E συνήθως αναπαριστά τα στοιχεία του συστήματος. Οι κόμβοι είναι τα μέσα, με τα οποία ορίζεται η δομή του συστήματος, αφού αποτελούν τα σημεία, στα οποία τέμνονται οι σύνδεσμοι του συστήματος. Στη συνέχεια παρατίθεται η εικόνα ενός απλού συστήματος αξιοπιστίας, το οποίο αποτελείται από τρία στοιχεία και δημιουργεί το σύνολο των συνδέσμων

$$E = \{A, B, C\}$$



Εικόνα 1. Μια τυχαία μορφή δικτύου

Οι κόμβοι του δικτύου είναι τα συνδετικά σημεία :

$$V = \{1, 2, 3, 4\}$$

Και ϕ , η λειτουργία η οποία εκτελείται από το δίκτυο, χαρακτηρίζει μέσω ενός διατεταγμένου ζεύγους συνδετικών σημείων κάθε στοιχείο :

$$\phi = A \rightarrow (1,2)$$

$$B \rightarrow (2,3)$$

$$C \rightarrow (2,3)$$

Ο αριστερός κόμβος, ο κόμβος 1, είναι ο κόμβος αρχής του δικτύου και ο δεξιός κόμβος, ο κόμβος 4, είναι ο κόμβος τέλους.

Το σύνολο των ζευγών $Z \rightarrow (i,j)$ αναπαριστά τον τρόπο λειτουργίας του δικτύου με τον ακόλουθο τρόπο. Όταν ένα στοιχείο λειτουργεί φυσιολογικά τότε υπάρχει μία διαδρομή από τον κόμβο i στον κόμβο j μέσα στο σύνολο Z . Αντιθέτως, όταν το Z αποτυγχάνει τότε η διαδρομή από τον κόμβο i στον κόμβο j θεωρείται εκτός λειτουργίας.

Κατ' αυτόν τον τρόπο οι διαδρομές που υπάρχουν προσδιορίζουν τη λειτουργικότητα του συστήματος. Εάν υπάρχει τουλάχιστον μία διαδρομή, η οποία ξεκινά από τον κόμβο αρχής και καταλήγει στον κόμβο τέλους, τότε εξασφαλίζεται η σύνδεση των δύο κόμβων κι εφόσον ο σκοπός, ο οποίος επιτελεί το σύστημα είναι να διατηρήσει συνδεδεμένους αυτούς τους κόμβους, το σύστημα θεωρείται πως λειτουργεί επιτυχώς. Όταν αποτυχίες των συνδέσμων του συστήματος καθιστούν αδύνατη την ύπαρξη μιας διαδρομής μέσα στο δίκτυο μεταξύ των δύο κόμβων και οι κόμβοι αρχής και τέλους είναι αποξενωμένοι, σχηματίζονται δύο ασύνδετα τμήματα στο δίκτυο, και τότε το σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση αστοχίας.

Η διαδρομή, η οποία διέρχεται από κάθε στοιχείο έχει μια σταθερή και συγκεκριμένη διεύθυνση, κατευθυνόμενη από τα αριστερά προς τα δεξιά. Εξαίρεση στον ανωτέρω κανόνα συμβαίνει όταν στοιχεία του συστήματος βρίσκονται κάθετα

στην κύρια διεύθυνση της ροής. Τα κάθετα αυτά στοιχεία αναπαριστούν διαφορετικής κατεύθυνσης στοιχεία στα οποία η “ροή” μπορεί να θεωρηθεί πως είτε διέρχεται από το στοιχείο είτε όχι.

5.7.2 Απλές Δομές Δικτύων

Το εξαγόμενο δίκτυο έχει στοιχεία που συνδέονται μεταξύ τους με έναν τρόπο που εκφράζει διάφορους βαθμούς πολυπλοκότητας. Σε αυτήν την ενότητα ο τύπος του δικτύου που ερευνάται, ανήκει στο σύνολο των δικτύων που χαρακτηρίζονται ως “απλά δίκτυα”. Με τον όρο “απλά δίκτυα” περιγράφονται μόνον τα δίκτυα των οποίων η δομή συνίσταται σε συνδυασμούς στοιχείων παράλληλων και σε σειρά. Αυτός ο τύπος των δικτύων μπορεί να εξεταστεί μέσω μιας διαδικασίας υποβιβασμού της ούτως ή άλλως μειωμένης τους πολυπλοκότητας, η οποία ορίζει εκ νέου και δίνει μια νέα μορφή στο δίκτυο, καταλήγοντας σε μια απλούστερη δομή. Εάν η μορφή του δικτύου δε μπορεί να περιγραφεί ως συνδυασμός στοιχείων παράλληλων και σε σειρά, τότε αυτό χαρακτηρίζεται ως σύνθετο ή πολύπλοκο.

5.7.2.1 Δίκτυα Σε Σειρά

Σε συστήματα στα οποία η αστοχία καθενός συνδέσμου δεν μπορεί να θεωρηθεί ανεκτή, η αναπαράσταση του συστήματος αξιοπιστίας γίνεται με την τοποθέτηση των συνδέσμων του σε σειρά. Η αστοχία οποιουδήποτε από τους συνδέσμους ενός μη – ανθεκτικού συστήματος θα επιφέρει την κατάρρευση ολόκληρου του συστήματος και θα καταστρέψει τη μοναδική διαδρομή που συνδέει τον κόμβο αρχής με τον κόμβο τέλους.



Εικόνα 2 . Τυπική μορφή δικτύου σε σειρά

Για κάθε δίκτυο δύο στοιχείων σε σειρά, όπως αυτό που αναπαρίσταται στην εικόνα 2 οι πιθανότητες επιτυχίας και αποτυχίας του συστήματος μπορούν να

εκφραστούν κάνοντας χρήση των αντιστοίχων πιθανοτήτων καθενός εκ των δύο στοιχείων. Κατ' αυτόν τον τρόπο, για να υπολογίσουμε την αξιοπιστία του δικτύου συμβολίζουμε με R_A και R_B τις πιθανότητες να λειτουργούν επιτυχώς οι σύνδεσμοι A και B και με Q_A και Q_B τις αντίστοιχες πιθανότητες αποτυχίας τους (οπότε ισχύει $R_A + Q_A = 1$ και $R_B + Q_B = 1$). Το σύστημα θα βρίσκεται σε κατάσταση αποτυχίας είτε εάν το A αστοχήσει (περίπτωση A_F) είτε εάν το B βρεθεί εκτός λειτουργίας (περίπτωση B_F).

$$\begin{aligned} \text{Συνεπώς } Q_{\text{SYS}} &= P(A_F \text{ OR } B_F) \\ &= P(A_F) + P(B_F) - P(A_F \text{ AND } B_F) \\ &= Q_A + Q_B - Q_A \cdot Q_B \\ &= 1 - (1 - Q_A) \cdot (1 - Q_B) \end{aligned}$$

Συνεπώς το σύστημα θα λειτουργεί αν και μόνο αν και οι δύο σύνδεσμοι A και B λειτουργούν (περιπτώσεις A_w και B_w αντίστοιχα). Άρα αναγκαία συνθήκη για τη λειτουργία ενός συστήματος, του οποίου τα στοιχεία βρίσκονται σε σειρά, είναι η επιτυχής λειτουργία όλων των στοιχείων.

Οπότε

$$\begin{aligned} R_{\text{SYS}} &= P(A_w \text{ AND } B_w) \\ &= R_A \cdot R_B \end{aligned}$$

Στην γενική περίπτωση δικτύου που αποτελείται από n στοιχεία σε σειρά, η πιθανότητα αστοχίας και η πιθανότητα επιτυχίας δίνονται από τις ακόλουθες εκφράσεις :

$$Q_{\text{SYS}} = 1 - \prod (1 - Q_i) \quad (1.1)$$

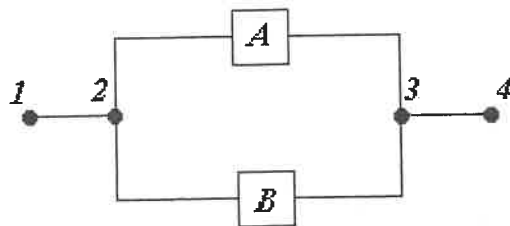
$$R_{\text{SYS}} = \prod R_i \quad (1.2)$$

Παρατήρηση : εφόσον η πιθανότητα R_i είναι μικρότερη της μονάδας, αυξανόμενου του αριθμού των στοιχείων του δικτύου, η αξιοπιστία του συστήματος μειώνεται. [2, 11, 15, 16, 22]

5.7.2.2 Παράλληλα Δίκτυα

Οι περιπτώσεις εκείνες, στις οποίες ένα σύστημα λειτουργεί με την

προϋπόθεση ότι ένα οποιοδήποτε στοιχείο του λειτουργεί, περιγράφονται από τη δομή ενός παράλληλου δικτύου. Μια τυπική μορφή των παράλληλων δικτύων φαίνεται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3. Τυπική μορφή παράλληλου δικτύου

Στα παράλληλα δίκτυα δύο στοιχείων υπάρχει μία διαδρομή μέσα στο δίκτυο είτε αν αποτύχει το στοιχείο A είτε αν αποτύχει το στοιχείο B. Για να απουσιάζει παντελώς η δυνατότητα ύπαρξης μίας διαδρομής, η οποία συνδέει τον κόμβο αρχής με τον κόμβο τέλους, απαιτείται η αστοχία και των δύο στοιχείων. Κατ' αυτόν τον τρόπο αναπαριστάται ένα ανθεκτικό σύστημα.

Για να αστοχεί το σύστημα θα πρέπει και οι δύο σύνδεσμοι A και B να αστοχούν. Συνεπώς :

$$Q_{SYS} = P(A_F \text{ AND } B_F)$$

$$= Q_A \cdot Q_B$$

Δεδομένου ότι το σύστημα λειτουργεί είτε όταν το A λειτουργεί, είτε όταν το B λειτουργεί

$$R_{SYS} = P(A_w \text{ OR } B_w)$$

$$= 1 - (1 - R_A) \cdot (1 - R_B)$$

Στην γενική περίπτωση δικτύου που αποτελείται από n παράλληλα στοιχεία, η πιθανότητα αποτυχίας και η πιθανότητα επιτυχίας δίνονται από τις ακόλουθες εκφράσεις :

$$Q_{SYS} = \prod Q_i \quad (1.3)$$

$$R_{SYS} = 1 - \prod (1 - R_i) \quad (1.4)$$

Οι εξισώσεις από τις οποίες μπορεί κανείς να εκτιμήσει την αξιοπιστία και την αναξιπιστία στα δίκτυα σε σειρά και στα παράλληλα δίκτυα έχουν μορφολογική ομοιότητα. Εάν το R και το Q αντικαταστήσουν το ένα το άλλο τότε το ένα σύστημα δίνει τις εξισώσεις υπολογισμού της αξιοπιστίας στο άλλο. [2, 11, 15, 16, 22]

Παρατήρηση : εφόσον η πιθανότητα Q_i είναι μικρότερη της μονάδας, η έλλειψη αναξιοπιστίας ενός παράλληλου δικτύου μειώνεται αυξανόμενου του αριθμού των στοιχείων του συστήματος. Παρόλα αυτά ο ωφελιμότερος τρόπος βελτίωσης της αξιοπιστίας και της αποδοτικότητας ενός τέτοιου δικτύου δεν είναι η μεγάλη αύξηση του αριθμού των συνδέσμων που το αποτελούν, αλλά μια αρχική αύξηση του αριθμού των παραλλήλων στοιχείων. Μια διαρκής προσθήκη συνδέσμων πέρα από κάποιο όριο δεν επιφέρει την ανάλογη αύξηση της αξιοπιστίας. Για παράδειγμα ο βαθμός κατά τον οποίο βελτιώθηκε το σύστημα της αξιοπιστίας που αποτελείται από συνδέσμους ευρισκομένους παράλληλα μεταξύ τους και με βαθμό αξιοπιστίας 0,9 για κάθε σύνδεσμο παρουσιάζεται στον κάτωθι Πίνακα 1.

Πίνακας 1

Αριθμός των παράλληλων στοιχείων	Αξιοπιστία του συστήματος	Επαύξηση της αξιοπιστίας	Ποσοστό Επαύξησης της αξιοπιστίας (%)
1	0,9		
2	0,99	0,09	10
3	0,999	0,009	11
4	0,9999	0,0009	11,1
5	0,99999	0,00009	11,11
6	0,999999	0,000009	11,111

Ένας μόνο σύνδεσμος δίνει στο σύστημα αξιοπιστία 0.9. Προσθέτοντας ένα δεύτερο σύνδεσμο παράλληλα στον πρώτο με στόχο την βελτίωση του αρχικού επιπέδου της αξιοπιστίας δίνει στο σύστημα πιθανότητα επιτυχούς λειτουργίας ίση με 0.99, μια κατά 10% αύξηση με βάση την αρχική τιμή της. Χρησιμοποιώντας έναν τρίτο σύνδεσμο για να βελτιώσουμε ακόμα περισσότερο το επίπεδο ασφάλειας, η αξιοπιστία του συστήματος είναι ίση με 0.999, τιμή κατά 11% σε σχέση με την αρχική. Κατ' αυτόν τον τρόπο η προσθήκη ενός τρίτου συνδέσμου στο δίκτυο βελτιώνει κατά 1% την αξιοπιστία του σε σχέση με την τιμή που το χαρακτήριζε όταν αποτελούνταν από δύο συνδέσμους. Η επιπρόσθετη τοποθέτηση συνδέσμων φέρει τα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Σε ορισμένα συστήματα παρουσιάζει περισσότερο ενδιαφέρον η εξέταση της πιθανότητας αστοχίας. Ακολουθώντας την ίδια λογική διαδρομή, όπως αυτή που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο και ξεκινώντας από ένα σύνδεσμο με αξιοπιστία 0,9, η πιθανότητα αστοχίας του συστήματος είναι 0,1. Τοποθετώντας ένα

δεύτερο σύνδεσμο ίδιου βαθμού αξιοπιστίας παράλληλα στον πρώτο, η πιθανότητα αστοχίας του συστήματος είναι 0,01. Συνεχίζοντας την ίδια διαδικασία μέχρι την τοποθέτηση του έκτου συνδέσμου, παρατηρούμε πως η τελική πιθανότητα αστοχίας ισούται με 1×10^{-6} .

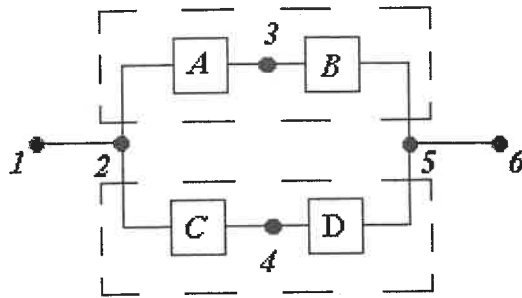
Συνεπώς, όταν επιδιώκεται η βελτίωση της αξιοπιστίας, υπάρχει ένα όριο στο βαθμό της αναμενόμενης βελτίωσης. Κατ' αυτόν τον τρόπο το πλεόνασμα συνδέσμων που προστίθεται μπορεί να μειώσει σε σημαντικό βαθμό την πιθανότητα αστοχίας αλλά μέχρι ενός ορίου.

Ένας δεύτερος λόγος, για τον οποίο η ύπαρξη πλεονάσματος και η αύξησή του δεν παρέχουν πάντα την ανάλογη μείωση της πιθανότητας αστοχίας, είναι το γεγονός πως οι επιβλαβείς κίνδυνοι, που επιφέρουν βλάβη στον ένα μόνο σύνδεσμο αλλά και στους όμοιούς του, που βρίσκονται παράλληλα με αυτόν, είναι κοινοί. Εύκολα μπορεί να παρατηρήσει κανείς πως σε περίπτωση εμφάνισης ενός αιτίου που δυσχεραίνει ή και ανακόπτει τη λειτουργία ενός συνδέσμου, λόγω μορφής των περισσοτέρων συστημάτων, όλα τα παράλληλα στοιχεία του πλεονάσματος ή των εφεδρειών είναι εξίσου τρωτά και ευάλωτα απέναντι στον ίδιο κίνδυνο.

5.7.2.3. Συνδυασμοί Στοιχείων Παράλληλων Και Σε Σειρά

Όταν ένα δίκτυο αποτελείται μόνο από συνδυασμούς συνδέσμων παράλληλων και σε σειρά, η ανάλυσή του γίνεται σε στάδια. Σε κάθε στάδιο απλοποιείται το δίκτυο συνδυάζοντας τμήματα παράλληλα και σε σειρά. Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (1.1) και (1.2) που αφορούν στα συστήματα στοιχείων ευρισκομένων σε σειρά καθώς επίσης τις αντίστοιχες τους (1.3) και (1.4) των παράλληλων συστημάτων σε κάθε στάδιο μπορούμε να εξάγουμε τις εκφράσεις της αξιοπιστίας και της έλλειψής της στα απλοποιημένα τμήματα του δικτύου σε κάθε στάδιο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι την κατασκευή ενός μοναδικού υπερστοιχείου το οποίο ενώνει τον κόμβο αρχής με τον κόμβο τέλους. Η απόδοση αυτού του υπερστοιχείου – υπερσυνδέσμου ισούται με την απόδοση του συστήματος και με την απόδοση του δικτύου οποιαδήποτε μορφή και αν έλαβε αυτό κατά τη διάρκεια των συνεχών επαναλήψεων της διαδικασίας μείωσης της πολυπλοκότητάς του.

Παράδειγμα



Εικόνα 4. Τυπική μορφή δικτύου – συνδυασμού συνδέσμων παραλλήλων και σε σειρά.

Εφόσον το δίκτυο της Εικόνας 4 αποτελείται από συνδυασμό παράλληλων και σε σειρά στοιχείων ικανοποιεί το κριτήριο για την εφαρμογή της διαδικασίας μείωσης της πολυπλοκότητας, όπως αυτή περιγράφηκε παραπάνω.

Πρώτο βήμα : Ας υποθεθεί πως καθένα από τους τέσσερις συνδέσμους λειτουργεί με αξιοπιστία 0,8 και η λειτουργία του ενός είναι ανεξάρτητη από τη λειτουργία του άλλου. Κατ' αυτόν τον τρόπο $R_A = R_B = R_C = R_D = 0,8$ και $Q_A = Q_B = Q_C = Q_D = 0,2$. Συνδυάζοντας τα σε σειρά ευρισκόμενα στοιχεία A και B , μορφώνοντας έτσι το υπερστοιχείο – υπερσύνδεσμο AB , καθώς επίσης και τα C και D , μορφώνοντας το υπερστοιχείο – υπερσύνδεσμο CD , έχουμε

$$R_{AB} = R_A \cdot R_B$$

$$= 0,64$$

$$Q_{AB} = 1 - (1 - Q_A) \cdot (1 - Q_B)$$

$$= 0,36$$

$$R_{CD} = R_C \cdot R_D$$

$$= 0,64$$

$$Q_{CD} = 1 - (1 - Q_C) \cdot (1 - Q_D)$$

$$= 0,36$$

Δεύτερο βήμα : συνδυάζοντας τα παράλληλα υπερστοιχεία – υπερσυνδέσμους AB και CD και μορφώνουμε το τελικό υπερστοιχείο SYS .

Όπου

$$R_{SYS} = 1 - (1 - R_{AB}) \cdot (1 - R_{CD})$$

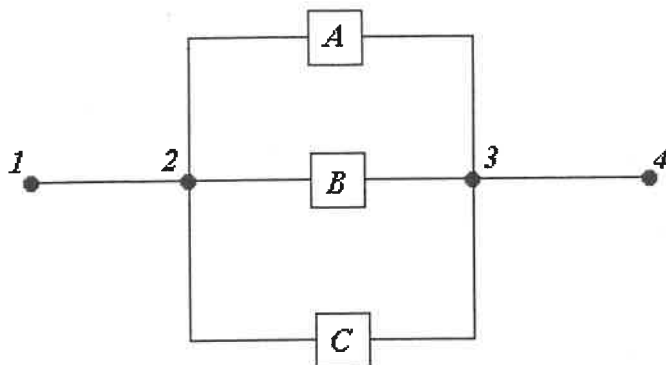
$$= 0,8704$$

και

$$Q_{\text{SYS}} = Q_{AB} \cdot Q_{CD} \\ = 0,1296$$

5.7.2.4 Επιλεκτικά Συστήματα

Είναι συνήθης πρακτική σε ορισμένα συστήματα να χρησιμοποιείται επιλεκτική λογική για να επιτελεστεί μία διαδρομή. Τα επιλεκτικά συστήματα σχεδιάζονται με την εγκατάσταση αισθητήρων και μια λειτουργία εκτελείται εάν και εφόσον τουλάχιστον ένα συγκεκριμένο σύνολο αισθητήρων καταγράφουν τη συνθήκη του ταξιδιού. Αυτός ο τύπος σχεδιασμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μειωθούν οι πιθανότητες λαθών του συστήματος. Ένα k -από- n επιλεκτικό σύστημα διαθέτει n στοιχεία εκ των οποίων k πρέπει να καταγράφουν μια συνθήκη ταξιδιού για να λειτουργεί το δίκτυο [2, 11, 15, 16, 22]. Ένα μερικώς πλεονάζον εκλεκτικό σύστημα τύπου 2 – από – 3 φαίνεται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5. Επιλεκτικό σύστημα τύπου 2 – από – 3.

A) Ταυτόσημοι Σύνδεσμοι

Εάν το σύστημα της Εικόνας 5 συντίθεται από ταυτόσημα στοιχεία αναπαριστά πλεονάζοντα στοιχεία και

$$R_A = R_B = R_C = R \quad \text{και} \quad Q_A = Q_B = Q_C = Q$$

Το σύστημα χαρακτηρίζεται επιτυχές όταν τουλάχιστον δύο σύνδεσμοί του λειτουργούν. Συνεπώς, εάν οποιοδήποτε σύνολο συνδέσμων, το οποίο δημιουργείται από τους τρεις συνδέσμους A , B και C λειτουργεί, τότε το σύστημα επιτελεί τον επιδιωκόμενο σκοπό του. Για να εξάγουμε την πιθανότητα αστοχίας του

συστήματος, μπορεί να εφαρμοστεί η διωνυμική κατανομή. Έχουμε n προσπάθειες (ο αριθμός των συνδέσμων του επιλεκτικού συστήματος), κάθε προσπάθεια μπορεί να είναι επιτυχημένη (ο σύνδεσμος λειτουργεί) ή αποτυχημένη (ο σύνδεσμος αστοχεί) ενώ, όλοι οι σύνδεσμοι έχουν την ίδια πιθανότητα αστοχίας. Για κάθε προσπάθεια απαιτούμε r επιτυχίες (όπου r είναι ίσο με δύο ή τρία, όσοι οι σύνδεσμοι, οι οποίοι πρέπει να λειτουργούν σε ένα 2 – από – 3 επιλεκτικό σύστημα) για να χαρακτηριστεί επιτυχές το δίκτυο.

$$P(\text{λειτουργούν μόνο δύο στοιχεία}) = {}^3C_2 R^2 Q$$

$$= 3R^2 Q$$

$$P(\text{λειτουργούν τρία στοιχεία}) = {}^3C_3 R^3$$

$$= R^3$$

Αθροίζοντας τις πιθανότητες των ενδεχομένων, κατά τα οποία το σύστημα λειτουργεί, έχουμε

$$R_{\text{SYS}} = 3R^2 Q + R^3$$

Στο συγκεκριμένο σύστημα, αστοχία συμβαίνει εάν ένας μόνο ή κανένας σύνδεσμος δε λειτουργεί. Από μια άλλη οπτική γωνία, αυτά τα ενδεχόμενα περιγράφονται και ως εξής : αποτυγχάνουν να λειτουργήσουν δύο ή τρία στοιχεία. Κάνοντας ξανά χρήση της διωνυμικής κατανομής έχουμε

$$P(\text{δε λειτουργούν δύο στοιχεία}) = {}^3C_2 Q^2 R$$

$$= 3Q^2 R$$

$$P(\text{δε λειτουργούν τρία στοιχεία}) = {}^3C_3 Q^3$$

$$= Q^3$$

Αθροίζοντας τις πιθανότητες των ενδεχομένων, κατά τα οποία το σύστημα δε λειτουργεί, έχουμε

$$Q_{\text{SYS}} = 3Q^2 R + Q^3$$

B) Μη Ταυτόσημοι Σύνδεσμοι

Χρησιμοποιώντας μη ταυτόσημους συνδέσμους στο επιλεκτικό σύστημα, οι εξισώσεις, μέσω των οποίων υπολογίζεται η αξιοπιστία του δικτύου, είναι λίγο

συνθετότερες. Οι πιθανότητες κάθε συνδέσμου να λειτουργεί και να αστοχεί είναι άνισες μεταξύ τους στη γενική περίπτωση και η πιθανότητα κάθε συνδυασμού συνδέσμων να λειτουργεί ή όχι πρέπει να υπολογίζεται χωριστά.

Συνεπώς, στην ίδια μορφή συστήματος όπως αυτού με τα ταυτόσημα στοιχεία, για την πιθανότητα επιτυχίας έχουμε

$$P(\text{λειτουργούν δύο στοιχεία}) = R_A R_B Q_C + R_A R_C Q_B + R_B R_C Q_A$$

$$P(\text{λειτουργούν τρία στοιχεία}) = R_A R_B R_C$$

Οπότε η πιθανότητα να λειτουργεί το σύστημα ισούται με

$$R_{\text{SYS}} = R_A R_B Q_C + R_A R_C Q_B + R_B R_C Q_A + R_A R_B R_C$$

Για την αστοχία του συστήματος

$$P(\text{δε λειτουργούν δύο στοιχεία}) = Q_A Q_B R_C + Q_A Q_C R_B + Q_B Q_C R_A$$

$$P(\text{δε λειτουργούν τρία στοιχεία}) = Q_A Q_B Q_C$$

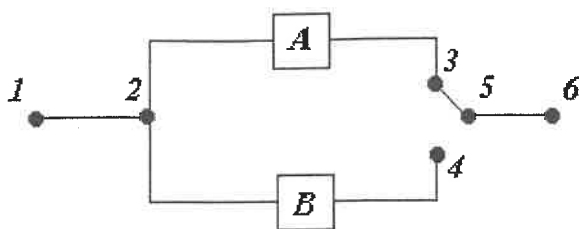
Συνεπώς,

$$Q_{\text{SYS}} = Q_A Q_B R_C + Q_A Q_C R_B + Q_B Q_C R_A + Q_A Q_B Q_C$$

5.7.2.5 Συστήματα Σε Ετοιμότητα

Το εφεδρικό πλεόνασμα όπως αυτό αναπαρίσταται στα παράλληλα δίκτυα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μοντέλα δικτύων που είτε λειτουργούν συνεχώς αλλά κρατούνται σε ετοιμότητα είτε τίθενται σε λειτουργία όταν ο τυπικά λειτουργών σύνδεσμος αστοχεί. Όταν προσομοιάζονται τα εφεδρικά συστήματα, πρέπει στην εκτίμηση της αξιοπιστίας τους να συνυπολογιστεί κι η αξιοπιστία του διακόπτη ή του επιλογέα. Υπάρχουν τρεις περιπτώσεις στις οποίες ο διακόπτης ή επιλογέας μπορεί να συμπεριληφθεί στην εξαγωγή της αξιοπιστίας. [2, 11, 15, 16, 22]

Περίπτωση 1. Τέλεια διακοπή



Εικόνα 6. Τυπική μορφή συστήματος σε ετοιμότητα με τέλεια διακοπή.

Για τέλεια διακοπή, ο διακόπτης S θεωρείται 100% αξιόπιστος και λειτουργεί κατά τη διάρκεια της φυσιολογικής λειτουργίας και κατά τη διάρκεια της πλήρους μεταβολής και χρήσης του αποθέματος του συστήματος όταν αστοχήσει το σύστημα στην αρχική του μορφή.

Εάν ο σύνδεσμος B δεν αστοχήσει όταν βρίσκεται σε κατάσταση ετοιμότητας τότε μόνο όταν κληθεί να λειτουργήσει το σύστημα μπορεί να αποτύχει, δηλαδή όταν το A αποτύχει.

$$P(\text{αποτυχία του συστήματος}) = P(\text{αποτυγχάνει } A \text{ και μετά αποτυγχάνει το } B)$$

$$Q_{\text{SYS}} = Q_A Q_{B|A}$$

Περίπτωση 2 : Ατελής διακοπή

Εάν η διακοπή ή η αλλαγή, η οποία λαμβάνει χώρα στο σύστημα και αντικαθίσταται η χρήση ενός τμήματός του από τη χρήση κάποιου άλλου, θεωρηθεί ως δραστηριότητα που ενδέχεται να αστοχήσει, τότε ο σύνδεσμος αυτός πρέπει να συμπεριληφθεί στους υπολογισμούς της αξιοπιστίας. Το σύστημα μπορεί να αστοχήσει δεδομένης μιας επιτυχούς αλλαγής μέσω του διακόπτη (που συμβαίνει με πιθανότητα R_S) είτε μέσω μιας ανεπιτυχούς αλλαγής (που συμβαίνει με πιθανότητα Q_S)

Κατ' αυτόν τον τρόπο

$$P(\text{αποτυχία του συστήματος}) = P(\text{αποτυχία συστήματος με επιτυχή διακοπή}) \\ \times P(\text{επιτυχούς διακοπής}) \\ + P(\text{αποτυχία συστήματος με ανεπιτυχή διακοπή}) \\ \times P(\text{ανεπιτυχούς διακοπής})$$

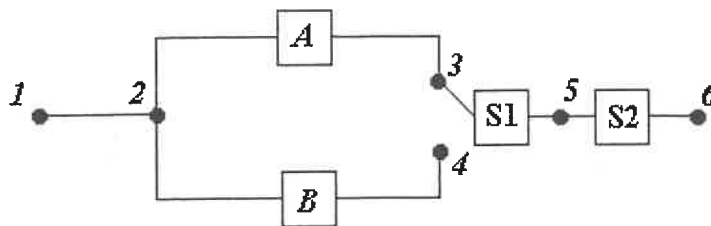
$$Q_{\text{SYS}} = Q_A Q_B R_S + Q_A Q_S$$

$$= Q_A Q_B (1 - Q_S) + Q_A Q_S$$

$$= Q_A(Q_B + Q_S - Q_B Q_S)$$

Περίπτωση 3. Αποτυχίες διακοπής κατά τη διάρκεια φυσιολογικής λειτουργίας και διακοπής

Εάν ο μηχανισμός διακοπής μπορεί να αστοχήσει σε φυσιολογική λειτουργία και αποτύχει να ενώσει το εφεδρικό τμήμα όταν χρειαστεί, τότε εφόσον μπορεί να αποτύχει είτε όταν ο σύνδεσμος A είτε ο σύνδεσμος B λειτουργούν πρέπει να θεωρηθεί ως ένα επιπρόσθετο σε σειρά με το δίκτυο στοιχείο.



Εικόνα 7. Τυπική μορφή συστήματος σε ετοιμότητα με πιθανή αστοχία διακόπτη.

Ο διακόπτης αναπαρίσταται από δύο στοιχεία μέσα στο δίκτυο για να προσομοιάσει τον ακριβή τρόπο αποτυχίας. Το S_1 προσομοιάζει την ατελή διακοπή και το S_2 προσομοιάζει την αποτυχημένη διακοπή κατά τη διάρκεια της φυσιολογικής λειτουργίας.

Εάν η πιθανότητα αποτυχίας της διακοπής συμβολιστεί με Q_{S1} και αντίστοιχα η πιθανότητα η διακοπή να αποτυγχάνει σε φυσιολογική λειτουργία με Q_{S2} , τότε

$$R_{S1} = 1 - Q_{S1} \quad \text{και} \quad R_{S2} = 1 - Q_{S2}$$

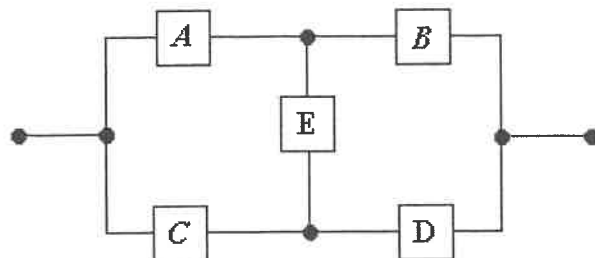
$$P(\text{αποτυχία του συστήματος}) = P[(\text{αποτυχία } A \text{ και διακοπής}) \text{ ή } (\text{αποτυχία } A \text{ και } B, \text{ επιτυχής διακοπή}) \text{ ή } (\text{αποτυχία διακοπής σε φυσιολ. λειτουργία})]$$

$$\text{Άρα } Q_{SYS} = Q_A Q_{S1} R_C + Q_A Q_B R_{S1} + Q_{S2}$$

5.7.3 Σύνθετα Δίκτυα

Όταν η δομή του δικτύου έχει τέτοιο σχήμα, στο οποίο δε μπορεί επαναληπτικά να εφαρμοστεί η διαδικασία απλοποίησης που έχει περιγραφεί

προηγουμένως σε αυτό το κεφάλαιο, δηλαδή, δεν αναλύεται σε συνδυασμούς στοιχείων παράλληλων και σε σειρά, τότε αυτό το δίκτυο καλείται σύνθετο. Κατ' αυτόν τον τρόπο τα παράλληλα δίκτυα και τα δίκτυα σε σειρά δεν είναι πάντα επαρκή για την περιγραφή ενός τυχαίου συστήματος. Ένα παράδειγμα τέτοιου δικτύου αποτελεί το δίκτυο – γέφυρα της Εικόνας 8.



Εικόνα 8. Τυπική μορφή σύνθετου δικτύου – γέφυρας

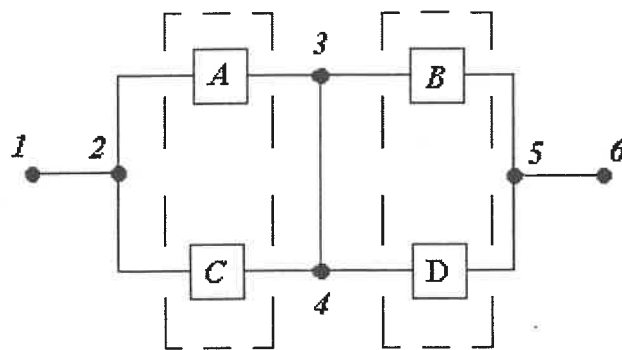
Αυτό το δίκτυο δεν έχει ούτε τμήματα σε σειρά, ούτε τμήματα παράλληλα για να επιτευχθεί η απλοποίησή του με τον τρόπο που έχει επεξηγηθεί έως τώρα. Για το λόγο αυτό, υπάρχει ανάγκη μιας διαφορετικής προσέγγισης. Στην πορεία θα παρουσιαστούν τρεις δυνατοί εναλλακτικοί τρόποι, εκ των οποίων οι δύο πρώτοι, δηλαδή η προσέγγιση υποθετικής πιθανότητας και η μετατροπή από δέλτα σε μορφή άστρου είναι κατάλληλοι για ικανοποιητικά μικρά δίκτυα τα οποία περιέχουν το πολύ μόνο ένα ή δύο τμήματα τα οποία καθιστούν αδύνατη την εφαρμογή της μεθόδου απλοποίησης. Στην τρίτη προσέγγιση ανιχνεύονται όλες οι πιθανές διαδρομές μέσα στο δίκτυο. Αυτή η μέθοδος μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή και στο εξής μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα οποιοδήποτε σύστημα, όσο πολύπλοκο κι αν είναι αυτό.

5.7.3.1 Προσέγγιση υποθετικής πιθανότητας

Αυτό που δυσχεραίνει και καθίσταται απαγορευτικό για τη χρήση της μεθόδου απλοποίησης στο δίκτυο – γέφυρα είναι η τοποθέτηση του συνδέσμου E . Εάν ο σύνδεσμος E δεν υπήρχε στο δίκτυο και δεν υπήρχε σύνδεση στο άκρο της διαδρομής που δημιουργεί με την παρουσία του, το δίκτυο θα απλοποιούνταν εύκολα και θα μετέπιπτε στη γνωστή πια μορφή που παρουσιάζεται στην Εικόνα 4 αυτού του κεφαλαίου. Επίσης εάν ο σύνδεσμος E αντικαθιστούνταν από ένα απόλυτα αξιόπιστο

τμήμα, θα είχαμε πάλι μια απλή μορφή δικτύου. Εφόσον το E είναι το γενεσιουργό αίτιο της δυσκολίας εφαρμογής της απλοποιητικής διαδικασίας, η προσέγγιση της υποθετικής πιθανότητας λαμβάνει υπόψη της όλες τις δυνατές καταστάσεις στις οποίες μπορεί να μετέχει το εν λόγω στοιχείο. Για κάθε κατάσταση του E εξάγεται η αξιοπιστία του συστήματος. Εάν γίνει αυτό για όλα τα πιθανά σενάρια υπολογίζεται η συνολική αξιοπιστία του συστήματος.

Για παράδειγμα, εάν το E λειτουργεί, τότε το δίκτυο μετατρέπεται σε συνδυασμό παράλληλων και σε σειρά στοιχείων το οποίο ονομάζουμε σύστημα X και φαίνεται στην Εικόνα 9.



Εικόνα 9. Μορφή συστήματος X , όταν ο σύνδεσμος E λειτουργεί.

Αυτό το σύστημα X μπορεί εύκολα να αναλυθεί σε δυο υπερστοιχεία σε σειρά που το καθένα αποτελείται από ένα ζευγάρι παράλληλων στοιχείων. Κάνοντας χρήση των εξισώσεων (1.1), (1.2), (1.3) και (1.4) έχουμε τα ακόλουθα

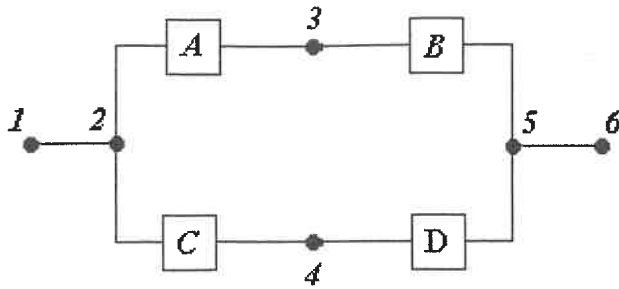
$$P(\text{αποτυχία συστήματος } X) = P[(A \text{ και } C \text{ αποτυχαίνουν}) \text{ ή } (B \text{ και } D \text{ αποτυχαίνουν})]$$

$$Q_X = Q_A Q_C + Q_B Q_D - Q_A Q_B Q_C Q_D$$

$$P(\text{επιτυχία συστήματος } X) = P[(A \text{ ή } C \text{ λειτουργούν}) \text{ και } (B \text{ ή } D \text{ λειτουργούν})]$$

$$R_X = (R_A + R_C - R_A R_C)(R_B + R_D - R_B R_D)$$

Εάν το στοιχείο E αστοχεί, τότε η δομή του δικτύου μεταβάλλεται και παράγεται το σύστημα Y , όπως αυτό φαίνεται στην Εικόνα 10.



Εικόνα 10. Μορφή συστήματος Y, όταν ο σύνδεσμος E δεν λειτουργεί.

$$P(\text{αστοχία συστήματος } Y) = P[(A \text{ ή } B \text{ αστοχούν}) \text{ και } (C \text{ ή } D \text{ αστοχούν})]$$

$$Q_Y = (Q_A + Q_B - Q_A Q_B)(Q_C + Q_D - Q_C Q_D)$$

$$P(\text{επιτυχία συστήματος } Y) = P[(A \text{ και } B \text{ λειτουργούν}) \text{ ή } (C \text{ και } D \text{ λειτουργούν})]$$

$$R_Y = (R_A R_B + R_C R_D - R_A R_B R_C R_D)$$

Για να εξάγουμε την τιμή της αξιοπιστίας για το καθολικό σύστημα συνδυάζουμε τα παραπάνω και καταλήγουμε στα εξής

$$\begin{aligned} P(\text{επιτυχία συστήματος}) &= P[(\text{επιτυχία συστήματος δεδομένου ότι το E λειτουργεί}) \\ &\quad \times P(E \text{ λειτουργεί}) \\ &\quad + P[(\text{επιτυχία συστήματος δεδομένου ότι το E δε λειτουργεί}) \\ &\quad \times P(E \text{ δε λειτουργεί})] \end{aligned}$$

Δηλαδή

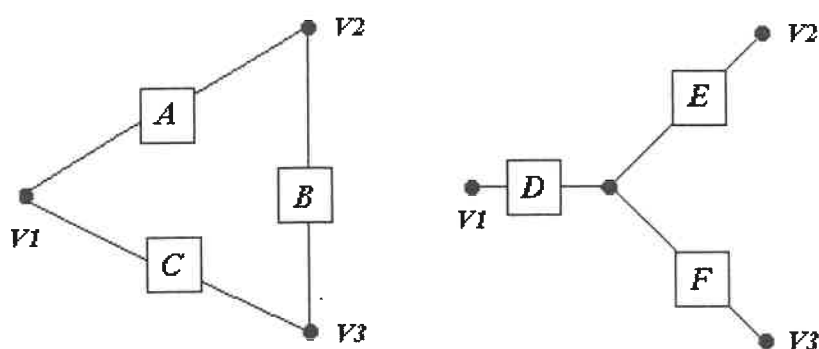
$$R_{\text{SYS}} = (R_A + R_C - R_A R_C)(R_B + R_D - R_B R_D) R_E + (R_A R_B + R_C R_D - R_A R_B R_C R_D)(1 - R_E)$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{SYS}} &= (Q_A Q_C + Q_B Q_D - Q_A Q_B Q_C Q_D)(1 - Q_E) \\ &\quad + (Q_A + Q_B - Q_A Q_B)(Q_C + Q_D - Q_C Q_D) Q_E \end{aligned}$$

Αυτή η μέθοδος πολλές φορές ονομάζεται και “στοιχείο κλειδί” εφόσον για να εφαρμοστεί προαπαιτείται ο χαρακτηρισμός των στοιχείων – κλειδιών, τα οποία, εάν αναγνωριστούν και ακολουθηθεί η μέθοδος που περιγράφηκε, οδηγούμαστε σε απλά δίκτυα, των οποίων η επίλυση γίνεται με την απλοποιητική μέθοδο.

5.7.3.2 Σχήματα Άστρου Και Δέλτα

Μια ιδιαίτερος χρήσιμη κάποιες φορές τεχνική για την απλοποίηση της διαδικασίας υπολογισμού της αξιοπιστίας σε σύνθετα δίκτυα είναι η μετατροπή του σχήματος δέλτα που δημιουργούν τρεις σύνδεσμοι σε σχήμα άστρου. Δύο τουλάχιστον σύνδεσμοι πρέπει να είναι ισοδύναμοι από άποψη αξιοπιστίας. Δηλαδή, εάν οι σύνδεσμοι A , B και C δημιουργούν ένα δέλτα όπως αυτό της Εικόνας 11, το πρόβλημα μετατρέπεται στην αναζήτηση των πιθανοτήτων αξιοπιστίας που προσδιορίζονται για το δίκτυο που αποτελείται από τους φανταστικούς συνδέσμους D , E , και F , έχει σχήμα άστρου, είναι ισοδύναμο με το δίκτυο σχήματος δέλτα και μπορούν να εναλλάσσονται αντιστοιχώντας το ένα στο άλλο κατά μοναδικό τρόπο.



Εικόνα 11. Τυπικές μορφές δικτύων σχήματος δέλτα και άστρου.

Οι κόμβοι και στα δύο σχήματα άστρου και δέλτα σημαίνονται με τον ίδιο τρόπο, δηλαδή ονομάζονται V_1 , V_2 και V_3 . Εφόσον οι διαδρομές έχουν κατεύθυνση από αριστερά προς τα δεξιά, V_1 είναι ο κόμβος εισόδου και V_2 και V_3 είναι οι κόμβοι εξόδου.

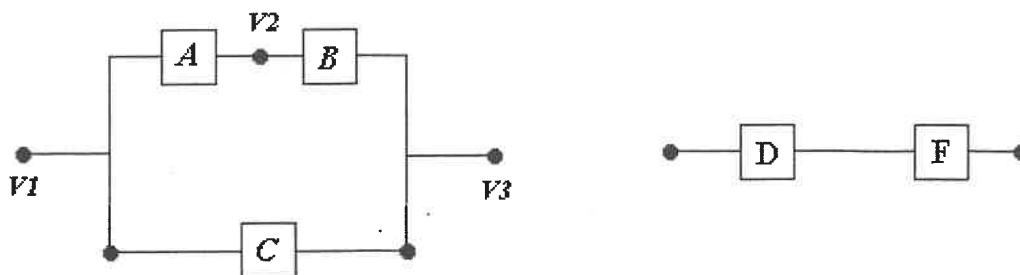
Υπάρχουν αποκλειστικά τρεις περιπτώσεις για ενεργή ροή ανάμεσα στον κόμβο V_2 και τον κόμβο V_3 στο σχήμα δέλτα.

- α) ενεργής ροή διαμέσου του B από το V_2 προς το V_3
- β) ενεργής ροή διαμέσου του B από το V_3 προς το V_2
- γ) απουσία ενεργούς ροής διαμέσου του B

Ακολουθεί η κατασκευή των εξισώσεων για την εύρεση της αξιοπιστίας στο φανταστικό δίκτυο το αποτελούμενο από τους συνδέσμους D , E , και F που ισοδυναμεί με αυτό του σχήματος δέλτα το αποτελούμενο από τους συνδέσμους A , B και C .

A) Ενεργής Ροή Διαμέσου Του B Από Το V_2 Προς Το V_3

Εάν η ενεργός ροή διαμέσου του B έχει φορά από το V_2 προς το V_3 , τότε υπάρχουν δύο διαδρομές από τον κόμβο εισόδου V_1 προς τον κόμβο εξόδου V_3 στο σχήμα μορφής δέλτα. Η μία διαδρομή διέρχεται κατ' αρχήν από το A κι έπειτα από το B κι η άλλη διαδρομή διέρχεται διαμέσου του C . Στο σχήμα μορφής άστρου οι αντίστοιχες διαδρομές από τον κόμβο εισόδου V_1 προς τον κόμβο εξόδου V_3 απαιτούν και τους δύο φανταστικούς συνδέσμους D και F να λειτουργούν. Οι απεικονίσεις των δικτύων για την περίπτωση του σχήματος άστρου και του σχήματος δέλτα φαίνονται στην Εικόνα 12.



Εικόνα 12. Τα σχήματα άστρου και δέλτα σε ενεργή ροή από V_2 προς V_3 .

Στο δίκτυο μορφής δέλτα έχουμε δύο παράλληλους συνδέσμους : ο C παράλληλος με το υπερστοιχείο - υπερσύνδεσμο που δημιουργείται από τους συνδέσμους A και B που βρίσκονται σε σειρά. Στο δίκτυο μορφής άστρου η διαδρομή δημιουργείται από τη σύνδεση σε σειρά των συνδέσμων D και F .

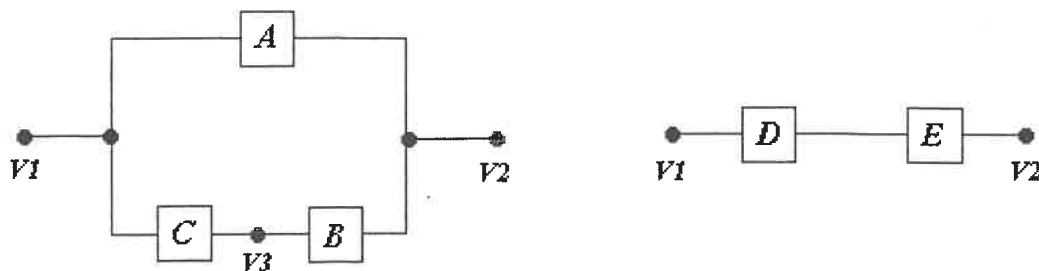
Εφόσον αρχικά θεωρήθηκε πως τα δύο συστήματα είναι ισοδύναμα, οπότε κι η αξιοπιστία του ενός είναι ίση με αυτή του άλλου.

$$R_A R_B + R_C - R_A R_B R_C = R_D R_F \quad (1.5)$$

Β) Ενεργής Ροή Διαμέσου Του B Από Το V_3 Προς Το V_2

Υπάρχουν πολλές ομοιότητες ανάμεσα σε αυτή την περίπτωση και αυτή που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Η μορφή του δικτύου φαίνεται στην Εικόνα 13. Εφόσον ο κόμβος V_2 γίνεται ο κόμβος εξόδου οι παράλληλες διαδρομές στο δίκτυο μορφής δέλτα είναι αυτές οι οποίες διέρχονται η μεν πρώτη από το σύνδεσμο A και η δεύτερη από το υπερστοιχείο - υπερσύνδεσμο, το οποίο δημιουργείται από τη σε σειρά σύνδεση των συνδέσμων C και B . Για το δίκτυο

μορφής άστρου η διαδρομή από το V_3 προς το V_2 γίνεται διαμέσου των συνδέσμων D και E που συνδέονται σε σειρά μεταξύ τους.



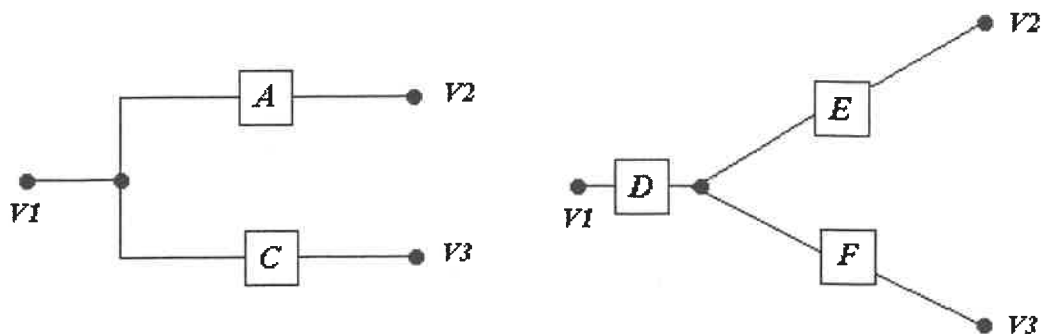
Εικόνα 13. Τα σχήματα άστρου και δέλτα σε ενεργή ροή από V_3 προς V_2 .

Εξισώνοντας τις τιμές της αξιοπιστίας των δύο συστημάτων έχουμε

$$R_A + R_B R_C - R_A R_B R_C = R_D R_E \quad (1.6)$$

Γ) Απουσία Ενεργούς Ροής Διαμέσου Του B

Στην περίπτωση αυτή ο σύνδεσμος B είναι άχρηστος και απαλείφεται από το δίκτυο μορφής δέλτα που φαίνεται με το δίκτυο μορφής άστρου στην Εικόνα 14.



Εικόνα 14. Τα σχήματα άστρου και δέλτα σε απουσία ενεργούς ροής διαμέσου του B .

Οι δύο διαδρομές στο δίκτυο μορφής δέλτα περνούν από τους συνδέσμους A και C , οι οποίοι είναι παράλληλοι μεταξύ τους. Οι διαδρομές στο φανταστικό δίκτυο περνούν από τα παράλληλα υπερστοιχεία - υπερσυνδέσμους που προκύπτουν από τη σε σειρά σύνδεση του D με τα E και F αντίστοιχα. Εξισώνοντας τις τιμές της αξιοπιστίας για τα δύο δίκτυα έχουμε

$$R_A + R_C - R_A R_C = R_D (R_E + R_F - R_E R_F) \quad (1.7)$$

Εάν συγκεντρωθούν οι εξισώσεις (1.5), (1.6) και (1.7) θα προκύψει ένα σύστημα τριών εξισώσεων με τρεις αγνώστους

Εάν γίνουν οι εξής αντικαταστάσεις

$$K_1 = R_A R_B + R_C - R_A R_B R_C$$

$$K_2 = R_A + R_B R_C - R_A R_B R_C$$

$$K_3 = R_A + R_C - R_A R_C$$

Θα προκύψει

$$R_D R_F = K_1$$

$$R_D R_E = K_2$$

$$R_D (R_E + R_F - R_E R_F) = K_3$$

Επιδύοντας το σύστημα, σχηματίζονται οι εξής εξισώσεις:

$$R_D = K_1 K_2 / (K_1 + K_2 - K_3)$$

$$R_E = (K_1 + K_2 - K_3) / K_1$$

$$R_F = (K_1 + K_2 - K_3) / K_2 \quad (1.8)$$

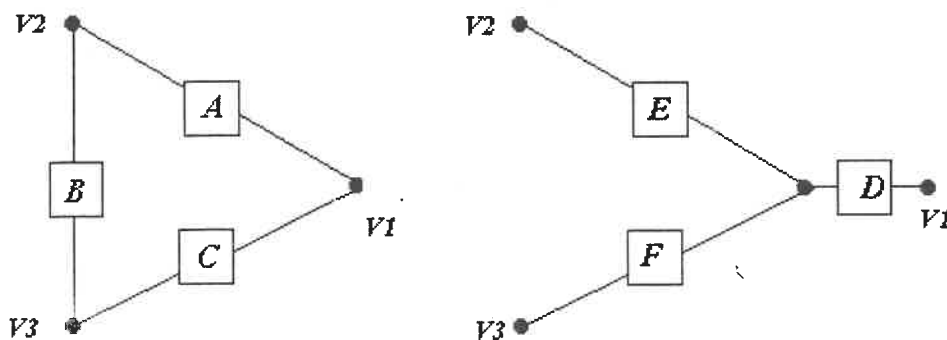
Σε περίπτωση που οι σύνδεσμοι A , B και C είναι ταυτόσημοι, τότε προκύπτει πως

$R_A = R_B = R_C = r$ και τελικά ισχύει ότι:

$$R_D = (1 + r - r^2)^2 / (3 - 2r)$$

$$R_E = R_F = r (3 - 2r) / (1 + r - r^2)$$

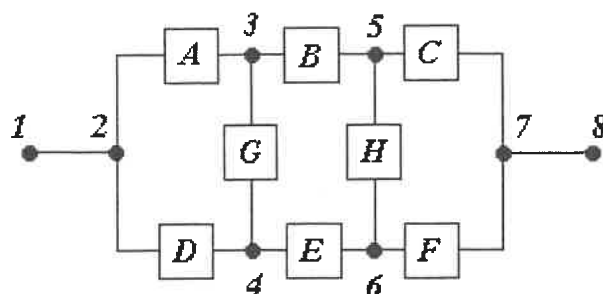
Στην Εικόνα 15 φαίνονται τα αντίστροφα σχήματα δικτύων μορφής δέλτα και άστρου με κόμβους εισόδου τους κόμβους V_2 και V_3 και κόμβο εξόδου τον κόμβο V_1 . Θεωρώντας τις ίδιες τρεις εναλλακτικές για τον σύνδεσμο B στο δέλτα, μπορούν να εξαχθούν με τον ίδιο τρόπο οι εξισώσεις που υπολογίζουν τις τιμές αξιοπιστίας των φανταστικών συνδέσμων D , E , και F . Εάν τηρηθεί η τοποθέτηση των ονομάτων των συνδέσμων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 15, οι εξαγχθείσες εξισώσεις της προηγούμενης περίπτωσης ισχύουν και για αυτή τη μορφή των δικτύων.



Εικόνα 15.

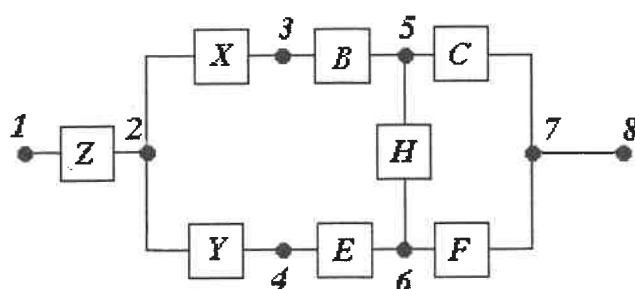
Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να γίνει η παρατήρηση πως ένα δίκτυο μορφής δέλτα έχει κατά μονοσήμαντο τρόπο το αντίστοιχό του δίκτυο μορφής

άστρου και ισχύει και το αντίστροφο. Κατ' αυτόν τον τρόπο όταν συναντάται μία από τις δύο μορφές και η μετατροπή της στην άλλη μορφή απλουστεύει τη συνολική δομή του δικτύου, με τη χρήση των εξισώσεων υπολογισμού της αξιοπιστίας εύκολα μεταπίπτει ολόκληρο το δίκτυο σε απλούστερη εικόνα.



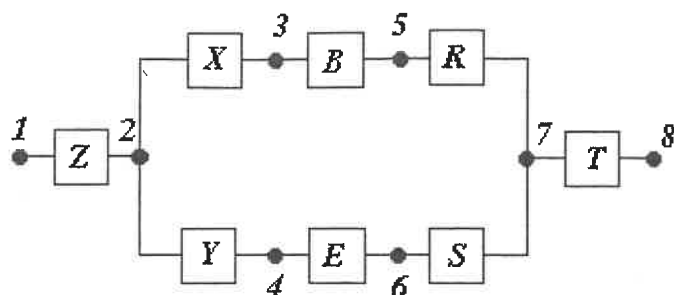
Εικόνα 16. Εικόνα ενός δικτύου – διπλής γέφυρας

Για παράδειγμα το δίκτυο διπλής γέφυρας της Εικόνας 16 απλοποιείται σε δύο στάδια ως εξής : οι σύνδεσμοι A, D, G σχηματίζουν ένα δίκτυο μορφής δέλτα με κόμβο εισόδου τον κόμβο 1 και κόμβους εξόδου τους κόμβους 3 και 4, το οποίο μετατρέπόμενο στο αντίστοιχό του δίκτυο μορφής άστρου μεταβάλλει την ολική εικόνα του δικτύου όπως αυτή φαίνεται στην Εικόνα 17.



Εικόνα 17. Σχήμα μετά το 1^ο στάδιο απλοποίησης.

Οι τιμές της αξιοπιστίας κάθε συνδέσμου εκ των Z, X, Y υπολογίζονται μέσω των εξισώσεων (1.8). Αντικαθιστώντας το δίκτυο μορφής δέλτα με κόμβους εισόδου τους κόμβους 5 και 6 και κόμβο εξόδου τον κόμβο 7 και συνδέσμους C, H, F με το ισοδύναμό του δίκτυο μορφής άστρου με τα στοιχεία R, S, T η μορφή του συστήματος παρουσιάζεται στην Εικόνα 18.



Εικόνα 18. Σχήμα μετά το 2^ο στάδιο απλοποίησης.

Παρατηρείται, λοιπόν, πως η τελική μορφή του δικτύου αποτελείται από συνδυασμό στοιχείων σε σειρά και παραλλήλων και για αυτό το λόγο μπορεί να εφαρμοστεί η απλοποιητική μέθοδος για την εκτίμηση της αξιοπιστίας του δικτύου.

6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΤΟΥ.

Στο κεφάλαιο αυτό θα ερευνηθεί η αξιοπιστία του δικτύου σε επιμέρους διατομές του. Η εκτίμηση της αξιοπιστίας γίνεται μέσω της χρήσης της βάσης δεδομένων, η οποία περιγράφεται παρακάτω. Η επεξεργασία της βάσης των δεδομένων φτάνει έως ένα σημείο, από το οποίο εκκινούν δύο διακριτές μέθοδοι υπολογισμού της αξιοπιστίας του συστήματος. Επίσης έχουν κατασκευαστεί χάρτες του οδικού δικτύου της Αθήνας, στους οποίους έχουν σημειωθεί οι διατομές ανάλογα με το αν είναι αξιόπιστο το σύστημα σε αυτές.

6.1 Περιγραφή της βάσης δεδομένων και του τρόπου επεξεργασίας της

Η βάση δεδομένων, η οποία χρησιμοποιήθηκε περιείχε στοιχεία κυκλοφοριακών φόρτων σε εκατόν τριάντα πέντε σημεία του οδικού δικτύου της Αθήνας, τα οποία λαμβάνονταν με συχνότητα ενενήντα δευτερολέπτων. Με τον όρο “κυκλοφοριακός φόρτος” ορίζεται ο αριθμός των οχημάτων, τα οποία περνούν από μία διατομή σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο[9]. Για κάθε ημέρα, τα δεδομένα καταγράφονταν από τις 23:45 της προηγούμενης της. Κατ’ αυτόν τον τρόπο τα δεδομένα κάθε ημέρας αρχίζουν από τις 23:45 της προηγούμενης της και τελειώνουν στις 23:45 της ημέρας.

Επιπλέον διетίθεντο από το Εργαστήριο Σιδηροδρομικής και Μεταφορών του Ε.Μ.Π. στοιχεία των κυκλοφοριακών ικανοτήτων των διατομών μετρημένα σε οχήματα / ώρα. Με τον όρο “κυκλοφοριακή ικανότητα” ορίζεται ο μέγιστος αριθμός οχημάτων που μπορούν να περάσουν από μία διατομή στη μονάδα του χρόνου, συνήθως κατά τη διάρκεια μιας ώρας[9].

Η επεξεργασία, η οποία πραγματοποιήθηκε, αφορούσε στα δεδομένα για το μήνα Φεβρουάριο. Επιλέχθηκε αυτός ο μήνας, διότι κατά τη διάρκειά του δεν υπάρχουν διακοπές και αργίες, οι οποίες πρέπει να αποφεύγονται εάν είναι επιθυμητό να εξαχθούν συμπεράσματα που αφορούν σε τυπικές συνθήκες, τα οποία αλλοιώνονται σε περίπτωση που συμπεριληφθούν περιπτώσεις ειδικών συνθηκών. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από την 01/02/2000 έως την 27/02/2000, δηλαδή 27 ημερών. Πρώτη κίνηση ήταν η μεταφορά των δεδομένων

αυτών σε αρχεία του προγράμματος του Excel με σκοπό να λάβουν περισσότερη επεξεργάσιμη μορφή. Στην πορεία αθροίστηκαν οι τιμές των κυκλοφοριακών φόρτων ανά δέκα συνεχόμενες τιμές και κατ' αυτόν τον τρόπο προέκυψαν οι κυκλοφοριακοί φόρτοι ανά δεκαπεντάλεπτο. Παράλληλα, για την ορθότερη εξαγωγή συμπερασμάτων, αποβλήθηκαν από τις διαδικασίες αυτές οι τιμές, οι οποίες δήλωναν προβληματική ή λανθασμένη μέτρηση. Επιπρόσθετα, μεταφέρθηκαν οι τιμές των φόρτων του πρώτου δεκαπενταλέπτου, δηλαδή του δεκαπενταλέπτου από τις 23:45 έως τις 00:00 καθεμίας ημέρας στο αρχείο της προηγούμενης της και κατ' αυτόν τον τρόπο τα αρχεία επεξεργασίας κάθε ημέρας εκκινούσαν από τις 00:00 και ολοκληρώνονταν στις 24:00. Έπειτα χωρίστηκε η ημέρα σε τέσσερα εξάωρα, τα εξάωρα που καλύπτουν τα εξής διαστήματα : 00:00 – 06:00, 06:00 – 12:00, 12:00 – 18:00 και τέλος 18:00 – 24:00. Από αυτά τα εξάωρα ελήφθησαν υπόψη στην περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων τα τρία τελευταία εξάωρα, μιας και είναι αυτά, στα οποία οι κυκλοφοριακοί φόρτοι είναι περισσότερο αυξημένοι και κατά τη διάρκειά τους λαμβάνει χώρα το σημαντικότερο ποσοστό των μετακινήσεων.

Το επόμενο βήμα ήταν η διαίρεση των κυκλοφοριακών φόρτων κάθε δεκαπενταλέπτου με το εν τέταρτο της κυκλοφοριακής ικανότητας για να εξαχθούν οι λόγοι (v/c) για κάθε δεκαπεντάλεπτο, για κάθε διατομή. Στο σημείο αυτό εκκινούν δύο διακριτές και ξεχωριστές μεταξύ τους μέθοδοι υπολογισμού της αξιοπιστίας σε διάφορες διατομές του. Ακολουθώς, παρουσιάζονται αναλυτικά.

6.2 Οι δύο μέθοδοι

6.2.1 Η 1^η Μέθοδος

Σε αυτή την ενότητα θα ερευνηθεί η αξιοπιστία του δικτύου σε επιμέρους διατομές του, δίχως να ληφθεί υπόψη η αλληλουχία τους. Για να υπολογιστεί η αξιοπιστία του συστήματος σε κάποια τυχαία διατομής τίθεται ως βάση η εύλογη υπόθεση πως «ο μελετητής του οδικού δικτύου σχεδιάζει μία οδό με ενιαία κυκλοφοριακή ικανότητα, με σκοπό η ικανότητα αυτή να είναι η μέγιστη τιμή φόρτου, την οποία μπορεί να εξυπηρετεί η οδός. Επίσης, πέραν της τιμής αυτής, η λειτουργία της οδού είναι ασταθής και, συνεπώς, αστοχεί». Παρόλα αυτά, υπάρχουν κάποια όρια ανοχών και η λειτουργία της οδού σε συνθήκες, όπου ο λόγος (v/c) είναι

μεγαλύτερος από τη μονάδα, για περίοδο μιας ή δύο φάσεων της σηματοδότησης, είναι ανεκτή. Όμως, για χρονικά διαστήματα μεγαλύτερα από τη διάρκεια δύο φάσεων σηματοδότησης, η λειτουργία της οδού με λόγους (v/c) μεγαλύτερους από τη μονάδα είναι πιθανώς αναξιόπιστη. Η μικρότερη μονάδα χρόνου, στην οποία εξάγεται ο λόγος (v/c) στην επεξεργασία είναι το ένα τέταρτο της ώρας. Κατ' αυτόν τον τρόπο, θεωρήθηκε πως μία διατομή λειτουργεί αξιόπιστα κατά τη διάρκεια ενός τετάρτου της ώρας, όταν η μέση τιμή του λόγου (v/c) είναι μικρότερη ή ίση της μονάδας. Αντίστοιχα, η διατομή λειτουργεί με έλλειψη αξιοπιστίας κατά τη διάρκεια ενός τετάρτου της ώρας, όταν η μέση τιμή του λόγου (v/c) είναι μεγαλύτερη από τη μονάδα. Στο οδικό δίκτυο, η διάκριση αυτή περιγράφεται με τον εξής τρόπο : αξιόπιστο είναι το δίκτυο στη διατομή εκείνη, η οποία, κατά μέσο όρο, λειτουργεί κατά τη διάρκεια ενός δεκαπενταλέπτου με στάθμη εξυπηρέτησης A, B, C, D ή E και αναξιόπιστο είναι στη διατομή εκείνη, η οποία λειτουργεί αντίστοιχα με στάθμη εξυπηρέτησης F, αφού για λόγους (v/c) μεγαλύτερους από τη μονάδα η στάθμη εξυπηρέτησης είναι η στάθμη F, ενώ, για λόγους (v/c) μικρότερους από τη μονάδα οι στάθμες εξυπηρέτησης είναι οι στάθμες A, B, C, D ή E [9]. Κατ' αυτόν τον τρόπο χρησιμοποιήθηκε η δεκαδική αναπαράσταση για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας, και αν η f είναι συνάρτηση της αξιοπιστίας του συστήματος στη διατομή x , τότε λαμβάνει τις τιμές 0 ή 1 σε κάθε δεκαπεντάλεπτο όπως δείχνει η παρακάτω συνάρτηση :

$$f(x) = \begin{cases} 0, & \text{εάν } (v/c) > 1 \\ 1, & \text{εάν } (v/c) \leq 1 \end{cases}$$

Εν συνεχεία, εφαρμόστηκε η παραπάνω συνάρτηση για κάθε δεκαπεντάλεπτο, και για κάθε εξάωρο υπολογίστηκε ο λόγος του αριθμού των δεκαπενταλέπτων, στα οποία η τιμή της συνάρτησης ισούται με τη μονάδα προς το συνολικό αριθμό των δεκαπενταλέπτων εντός εξεταζομένου εξαώρου (γενικά προς τον αριθμό 24 εκτός από το χρονικό διάστημα 18:00 – 23:45 της τελευταίας ημέρας όπου ο αριθμός των δεκαπενταλέπτων είναι 23 και η διαίρεση έγινε με τον αριθμό 23). Επίσης υπολογίστηκε ο λόγος του αριθμού των δεκαπενταλέπτων, στα οποία η τιμή της συνάρτησης ισούται με το μηδέν προς το συνολικό αριθμό των δεκαπενταλέπτων εντός εξεταζομένου εξαώρου. Δηλαδή, υπολογίστηκε το ποσοστό

του χρόνου στο οποίο η συνάρτηση λαμβάνει τιμή ίση με τη μονάδα και τιμή ίση με το μηδέν.

Η αιτία, χάριν της οποίας έλαβε χώρα η εύρεση αυτών των λόγων είναι η εξής : θεωρήθηκε, όπως, άλλωστε, πληροφορεί η θεωρία πιθανοτήτων, πως η πιθανότητα να συμβεί ένα γεγονός ισούται με τον λόγο του αριθμού όλων των ευνοϊκών περιπτώσεων προς το πλήθος των συνολικών περιπτώσεων. Δηλαδή, υπολογίστηκε σε κάθε εξάωρο η πιθανότητα, με την οποία το σύστημα λειτουργεί αξιόπιστα στην κάθε διατομή, δηλαδή η αξιοπιστία του σε εκείνο το σημείο. Εάν συμβολιστεί με R_i η πιθανότητα με την οποία το σύστημα είναι αξιόπιστο στη διατομή i και με Q_i η πιθανότητα με την οποία το σύστημα χαρακτηρίζεται από έλλειψη αξιοπιστίας στη διατομή i , τότε $R_i + Q_i = 1$. Για παράδειγμα, εάν μία διατομή λειτουργεί σε λόγους (v/c) μεγαλύτερους από τη μονάδα σε 5 δεκαπεντάλεπτα που ανήκουν στο ίδιο εξάωρο τότε η αξιοπιστία του συστήματος σε αυτό το εξάωρο ισούται με $R_i = (24 - 5) / 24$, δηλαδή είναι ίση με 0,792 και ο δείκτης έλλειψης της αξιοπιστίας ισούται με $Q_i = 1 - 0,792 = 0,208$. Ακολούθως συγκεντρώθηκαν τα αποτελέσματα αυτά για κάθε εξάωρο του μηνός Φεβρουαρίου – πλην αυτών που χρονικά εκτείνονται από τις 00:00 έως τις 06:00, όπως έχει ήδη αναφερθεί – σε ένα αρχείο. Σε αυτό το σημείο να αναφερθεί πως ο συνολικός αριθμός εξαώρων, για τα οποία εξήχθησαν οι μέσες τιμές των δεικτών R_i και Q_i είναι 3×27 , δηλαδή 81.

Από τα εξαγόμενα αποτελέσματα, δημιουργήθηκε ο Πίνακας 1, ο οποίος ακολουθεί στην επόμενη σελίδα. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται πως κατανέμονται οι διατομές στις κλάσεις ανάλογα με τις του δείκτη αξιοπιστίας του δικτύου σε αυτές R_i , ποιες διατομές ανήκουν σε κάθε κλάση καθώς επίσης και το πλήθος των διατομών σε κάθε κλάση. Κατ' αρχάς εκτιμάται η αξιοπιστία του συστήματος σε 114 διατομές. Εν συνεχεία παρατηρούμε πως σε ένα ικανό αριθμό διατομών (42), το σύστημα έχει αξιοπιστία ίση με τη μονάδα, είναι δηλαδή 100% αξιόπιστο αφού σε αυτά τα σημεία το σύστημα δε λειτουργεί κατά μέσο όρο σε κανένα δεκαπεντάλεπτο σε συνθήκες κορεσμού και ο λόγος (v/c) είναι κατά μέσο όρο στη διάρκεια κάθε δεκαπενταλέπτου μικρότερος της μονάδας. Επιπλέον, σε άλλες 29 διατομές, το σύστημα είναι αξιόπιστο περισσότερο από 99%, γεγονός που σημαίνει πως οι διατομές λειτουργούν κατά μέσο όρο κατά τη διάρκεια ενός δεκαπενταλέπτου σε συνθήκες κορεσμού με πιθανότητα μικρότερη από 1%.

Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν αρκετές διατομές, οι οποίες λειτουργούν στο μεγαλύτερο ποσοστό του χρόνου, εντός του οποίου εξετάζονται, σε συνθήκες

ΚΛΑΣΕΙΣ ΤΙΜΩΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ	ΔΙΑΤΟΜΕΣ	ΠΛΗΘΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ
= 1	25, 26, 28, 34, 42, 49, 51, 53, 54, 56, 60, 62, 65, 66, 68, 69, 71, 72, 74, 75, 77, 78, 81, 85, 88, 89, 91, 97, 105, 107, 109, 110, 113, 114, 115, 116, 118, 119, 120, 124 και 131	41
0,99 – 1	5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 27, 33, 36, 52, 61, 80, 83, 92, 102, 111, 117, 121, 126 και 132	29
0,975 – 0,99	2, 63, 98, 101, 104 και 108	6
0,95 – 0,975	17, 23, 24, 40 και 128	5
0,90 – 0,95	4, 38, 64, 70, 125 και 129	6
0,85 – 0,90	32, 99, 103 και 112	4
0,80 – 0,85	59, 76	2
0,75 – 0,80	39, 55, 58, 94 και 122	5
0,70 – 0,75	50	1
0,65 – 0,70		0
0,60 – 0,65		0
0,55 – 0,60	84	1
0,50 – 0,55		0
0,45 – 0,50	37	1
0,40 – 0,45		0
≤0,40	3, 18, 29, 31, 35, 41, 67, 86, 87, 90, 93, 106, 133	13

κορεσμού και σε κυκλοφοριακούς φόρτους μεγαλύτερους από τη μονάδα. Αυτές είναι οι διατομές, στις οποίες ο δείκτης αξιοπιστίας του συστήματος λαμβάνει πολύ μικρές

Πίνακας 1. Κατάταξη των διατομών σε κλάσεις ανάλογα με το δείκτη της αξιοπιστίας του συστήματος σε αυτές με βάση την 1^η μέθοδο.

τιμές. Τιμές αξιοπιστίας μικρότερες από 0,8 σημαίνουν κυκλοφορία σε συνθήκες κορεσμού για ποσοστό χρόνου μεγαλύτερο από το 20% του χρόνου εξέτασης

Αθροίζοντας το πλήθος των διατομών, στις οποίες η υπολογισθείσα αξιοπιστία είναι χαμηλότερη του 0,8, παρατηρείται πως αυτές ανέρχονται σε ένα σημαντικό αριθμό για το δίκτυο : 21. Δηλαδή σε ποσοστό 18,42 % των διατομών το σύστημα έχει χαμηλή αξιοπιστία, κρίνοντας μόνο από τους μέσους όρους του δείκτη αξιοπιστίας.

Στο σημείο αυτό θα εξεταστεί, αναλυτικά, η αξιοπιστία του δικτύου σε συγκεκριμένες διατομές του. Η αξιοπιστία του συστήματος δε θα εξεταστεί στα σημεία, στα οποία λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες από 0,975 κατά μέσο όρο. Ούτως ή άλλως, στα σημεία αυτά, η αξιοπιστία δεν αναμένεται να έχει μεγάλες διακυμάνσεις και για το λόγο ερευνάται η αξιοπιστία στις διατομές εκείνες, στις οποίες ο δείκτης αξιοπιστίας λαμβάνει κατά μέσο όρο τιμές μικρότερες ή ίσες της τιμής 0,95.

Ακολούθως παρατίθεται η παρουσίαση της εξέτασης της αξιοπιστίας του συστήματος σε διάφορα σημεία του. Ενδεικτικά, επιλέχθηκε να ερευνηθεί η αξιοπιστία του συστήματος σε μία διατομή από κάθε κλάση από τις κλάσεις [0,95 – 0,975], [0,90 – 0,95], [0,85 – 0,90], [0,80 – 0,85], [0,75 – 0,80], [0,70 – 0,75] και [0,55 – 0,60]. Η επιλογή της διατομής έγινε τυχαία. Κατ' αυτόν τον τρόπο η εξέταση της αξιοπιστίας του συστήματος γίνεται στις διατομές με την εξής αρίθμηση: 40, 4, 99, 59, 122, 50, 84 και 37.

Η διατομή 40 στον χάρτη βρίσκεται μεταξύ των κόμβων 494 και 495, αποτελεί τμήμα της Λεωφόρου Αμαλίας, έχει διεύθυνση ροής προς τον κόμβο 496, ο οποίος είναι η διασταύρωση της Λεωφόρου Αμαλίας με την Λεωφόρο Βασιλίσσης Όλγας. Επιπλέον, ανήκει στην πρώτη κλάση [0,95 – 0,975]. Επιπρόσθετα αποτελεί διατομή, από την οποία διέρχεται μία από τις δύο διαδρομές, στις οποίες ελέγχεται η αξιοπιστία του συστήματος στην ενότητα 7.3. Η αξιοπιστία του συστήματος σε εκείνο το σημείο έχει μέση τιμή 0,974. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι τιμές του δείκτη αξιοπιστίας του συστήματος σε κάθε διατομή και για κάθε εξάωρο είναι συγκεντρωμένες σε ένα αρχείο. Σε αυτό το αρχείο απομονώνονται οι τιμές που αφορούν στη διατομή 40. Αρχικά, τίθενται οι τιμές του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας Q_{40} σε αύξουσα σειρά, δημιουργώντας τη στήλη Α, με στοιχεία α_i , και δίπλα τους σχηματίζεται μία στήλη Β, με στοιχεία β_i , τα οποία είναι οι κατ' αύξουσα σειρά ρητοί αριθμοί $1/81, 2/81, \dots, n/81, \dots, 80/81, 1$. Κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται ζευγάρια τιμών (α_i, β_i) στα οποία το πρώτο μέρος α_i είναι μία τιμή του δείκτη αναξιοπιστίας Q_{40} και η δεύτερη τιμή β_i , το ποσοστό του χρόνου για το οποίο η τιμή του δείκτη έλλειψης αξιοπιστίας λαμβάνει μικρότερη ή ίση τιμή με την

τιμή α_i . Δηλαδή, η τιμή α_i είναι μία τιμή του δείκτη αναξιοπιστίας Q_{40} και η τιμή β_i , η πιθανότητα με την οποία η τιμή του δείκτη έλλειψης αξιοπιστίας λαμβάνει μικρότερη ή ίση τιμή με την τιμή α_i ή $\beta_i = P(Q_{40} \leq \alpha_i)$.

Κατ' αυτόν τον τρόπο προκύπτουν οι πιθανότητες με τις οποίες η τιμή του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας του συστήματος στη διατομή 40 είναι μικρότερη ή ίση κάποιας τιμής. Αποσπασματικά, δίνεται μία αντιπροσωπευτική εικόνα στον Πίνακα 2.

Στήλη A	Στήλη B
0,333333	0,985915
0,416667	1

Πίνακας 2. Τμήμα από τις στήλες A και B, οι οποίες αφορούν στη διατομή 24

Στον Πίνακα 2, ο οποίος προέρχεται από το συγκεντρωτικό Πίνακα της επεξεργασίας για τη διατομή 40, παρατηρείται πως με πιθανότητα 0,938272 η τιμή του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας είναι μικρότερη ή ίση της τιμής 0,208833, ενώ, με πιθανότητα 1 η τιμή του είναι μικρότερη ή ίση της τιμής 0,333333.

Σε αυτό το σημείο δημιουργείται ένα γράφημα στο πρόγραμμα του Excel, στο οποίο ο άξονας x είναι ο άξονας των τιμών του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας Q_{24} , δηλαδή, της στήλης A, και ο άξονας y είναι ο άξονας των πιθανοτήτων, δηλαδή, οι τιμές της στήλης B. Μέσω της δυνατότητας προσθήκης γραμμής τάσης στο πρόγραμμα του Excel, όπως φαίνεται στο γράφημα, το οποίο παρουσιάζεται στο παράρτημα, παρατηρείται πως η σχηματιζόμενη καμπύλη προσεγγίζεται από τη συνάρτηση

- $y = 0,0899 \ln(x) + 1,0967$ με $R^2 = 0,9408$, δηλαδή
 $P(Q_{40} \leq x) = 0,0899 \ln(x) + 1,0967$

Δηλαδή, προκύπτει η καμπύλη αθροιστικής συνάρτησης πιθανότητας. Για να έχει νόημα η παραπάνω διατύπωση να ισχύουν οι ανισότητες

$$0 \leq x \leq 1 \quad \text{και} \quad 0 \leq P(Q_{40} \leq x) \leq 1$$

Το διάστημα των τιμών του x, το οποίο αποτελεί λύση του συστήματος των ανισοτήτων, κι ως εκ τούτου το πεδίο ορισμού της συνάρτησης είναι το διάστημα $(5,03 \times 10^{-6}, 0,341)$. Δηλαδή με την προσέγγιση αυτή η τιμή του δείκτη έλλειψης αξιοπιστίας Q_{40} ανήκει στο διάστημα $(5,03 \times 10^{-6}, 0,341)$, γεγονός που σημαίνει πως

λαμβάνει πολύ μικρές τιμές, ενώ, είναι μικρότερος από τις τιμές 0,1 και 0,2 με πιθανότητες 0,8897 και 0,9520, αντίστοιχα. Άρα η αξιοπιστία του συστήματος στη διατομή 40 είναι πολύ υψηλή, όπως αναμενόταν, άλλωστε, από τον υψηλό μέσο όρο.

Στη συνέχεια, από την κλάση [0,90 – 0,95] ερευνάται η αξιοπιστία του συστήματος στη διατομή 4. Η διατομή 4 συνδέει τους κόμβους 315 και 318 στο χάρτη, βρίσκεται επί της οδού Κυψέλης και έχει κατεύθυνση προς τον κόμβο 315. Η αξιοπιστία του συστήματος σε αυτή έχει μέση τιμή 0,9295. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, όπως στη διατομή 40, δηλαδή συγκεντρώνοντας τις τιμές του δείκτη έλλειψης αξιοπιστίας που αφορούν σε αυτή τη διατομή, ταξινομώντας τις κατ' αύξουσα σειρά και τέλος εξάγοντας τις πιθανότητες, με τις οποίες η τιμή του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας του συστήματος στη διατομή 4 είναι μικρότερη ή ίση συγκεκριμένων τιμών, δημιουργούνται οι στήλες Α και Β. Ακολουθώντας, εισάγονται σε ένα γράφημα στο πρόγραμμα του Excel, στον άξονα x οι τιμές του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας και στον άξονα y οι τιμές των πιθανοτήτων. Έπειτα, με τη δυνατότητα προσέγγισης της προκύπτουσας καμπύλης μέσω της προσθήκης γραμμής τάσης, εξάγεται η συνάρτηση, η οποία περιγράφει το φαινόμενο με μία σχετική ακρίβεια. (Το γράφημα παρουσιάζεται στο παράρτημα). Η συνάρτηση αυτή είναι η εξής

$$\bullet \quad y = 0,3364 \ln(x) + 1,4466 \quad \text{με} \quad R^2 = 0,9362, \text{ δηλαδή}$$

$$P(Q_4 \leq x) = 0,3364 \ln(x) + 1,4466$$

Δηλαδή, προκύπτει η καμπύλη αθροιστικής συνάρτησης πιθανότητας. Για να έχει φυσική σημασία, πρέπει να ισχύουν οι ανισότητες

$$0 \leq x \leq 1 \quad \text{και} \quad 0 \leq P(Q_4 \leq x) \leq 1$$

Το διάστημα των τιμών του x, το οποίο αποτελεί λύση του συστήματος των ανισοτήτων, κι ως εκ τούτου το πεδίο ορισμού της συνάρτησης είναι το διάστημα (0,0136, 0,2651). Δηλαδή με την προσέγγιση αυτή η τιμή του δείκτη έλλειψης αξιοπιστίας Q_4 ανήκει στο διάστημα (0,0136, 0,2651), γεγονός που σημαίνει πως λαμβάνει πολύ μικρές τιμές, ενώ, είναι μικρότερος από τις τιμές 0,1 και 0,2 με πιθανότητες 0,6720 και 0,9052, αντίστοιχα. Άρα η αξιοπιστία του συστήματος στη διατομή 4 είναι υψηλή, όπως μαρτυρά ο υψηλός μέσος όρος.

Εν συνεχεία εξετάζεται η αξιοπιστία του συστήματος στη διατομή 99. Στον χάρτη η διατομή 99 συνδέει τους κόμβους 269 και 258, με φορά προς τον τελευταίο κόμβο, ενώ βρίσκεται επί της Λεωφόρου Αλεξάνδρας. Από την πλευρά της επεξεργασίας μας, η αξιοπιστία του συστήματος στην διατομή αυτή, ανήκει στην κλάση $[0,85, 0,90]$ και ταυτόχρονα η διατομή 99 αποτελεί ενδιάμεση διατομή στη διαδρομή της πρώτης επιλογής στο δίκτυο με κόμβο εισόδου τον κόμβο Πατησίων και Χαλκοκονδύλη και κόμβο εξόδου τον κόμβο Κηφισίας και Αλεξάνδρας, όπως αυτό παρουσιάζεται στην ενότητα 7.2. Επιπρόσθετα, η αξιοπιστία του συστήματος έχει μέση τιμή 0,89. Για τον έλεγχο της αξιοπιστίας του δικτύου σε αυτή τη διατομή ακολουθείται η γνωστή διαδικασία. Αρχικά, συγκεντρώνονται οι τιμές του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας που αφορούν σε αυτή τη διατομή και ταξινομούνται κατ' αύξουσα σειρά. Έπειτα, εξάγουμε τις πιθανότητες με τις οποίες ο δείκτης έλλειψης της αξιοπιστίας του συστήματος στη διατομή είναι μικρότερος ή ίσος με συγκεκριμένες τιμές και κατασκευάζεται στο πρόγραμμα του Excel ένα γράφημα, θέτοντας στον άξονα των τετμημένων τις τιμές του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας και στον άξονα των τεταγμένων τις τιμές των πιθανοτήτων. Τέλος, με τη δυνατότητα προσθήκης γραμμής τάσης του προγράμματος, παρατηρείται πως η συνάρτηση, η οποία προσεγγίζει την προκύπτουσα καμπύλη είναι η εξής (Το γράφημα παρουσιάζεται στο παράρτημα)

$$\bullet \quad y = 0,1573 \ln(x) + 1,0578 \quad \text{με} \quad R^2 = 0,9634, \text{ δηλαδή}$$

$$P(Q_{99} \leq x) = 0,1573 \ln(x) + 1,0578$$

Δηλαδή, προκύπτει η καμπύλη αθροιστικής συνάρτησης πιθανότητας. Για να έχει φυσική σημασία, πρέπει να ισχύουν οι ανισότητες

$$0 \leq x \leq 1 \quad \text{και} \quad 0 \leq P(Q_{99} \leq x) \leq 1$$

Το διάστημα των τιμών του x , το οποίο προκύπτει μετά την επίλυση του συστήματος των ανισοτήτων, κι ως εκ τούτου αποτελεί το πεδίο ορισμού της συνάρτησης είναι το διάστημα $(0,0012, 0,6925)$. Δηλαδή με την προσέγγιση αυτή η τιμή του δείκτη έλλειψης αξιοπιστίας Q_{99} ανήκει στο διάστημα $(0,0012, 0,6925)$, γεγονός που σημαίνει πως λαμβάνει σχετικά μικρές τιμές, ενώ, είναι μικρότερος από τις τιμές 0,1 και 0,2 με πιθανότητες 0,6956 και 0,8046, αντίστοιχα. Άρα η αξιοπιστία του συστήματος στη διατομή 99 είναι μέτρια προς υψηλή.

Ακολουθώς ερευνάται η αξιοπιστία του συστήματος στη διατομή με αρίθμηση 59. Στον χάρτη η διατομή αυτή συνδέει τους κόμβους 172 και 173, με κατεύθυνση ροής προς τον τελευταίο κόμβο και βρίσκεται επί της οδού Σκουφά. Μέσω της επεξεργασίας, η αξιοπιστία του δικτύου στη διατομή αυτή έχει μέση τιμή, η οποία ανήκει στην κλάση $[0,80, 0,85]$. Κατ' αρχάς, συγκεντρώνονται οι τιμές του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας του δικτύου στη διατομή αυτή κι έπειτα λαμβάνει χώρα η κατ' αύξουσα ταξινόμησή τους. Συνεχίζοντας, εξάγονται οι πιθανότητες, με τις οποίες ο δείκτης έλλειψης της αξιοπιστίας του συστήματος είναι μικρότερος ή ίσος με συγκεκριμένες τιμές. Θέτοντας τις τιμές των προκυπτουσών στηλών σε ένα γράφημα στο πρόγραμμα του Excel, και χρησιμοποιώντας τη δυνατότητα προσθήκης γραμμής τάσης, παρατηρείται πως η σχεδιαζόμενη καμπύλη προσεγγίζεται από τη συνάρτηση

$$\bullet \quad y = 0,2308 \ln(x) + 1,062 \quad \text{με} \quad R^2 = 0,9334, \text{ δηλαδή}$$

$$P(Q_{59} \leq x) = 0,2308 \ln(x) + 1,062$$

Δηλαδή, προκύπτει η καμπύλη αθροιστικής συνάρτησης πιθανότητας. Για να έχει φυσική σημασία, πρέπει να ισχύουν οι ανισότητες

$$0 \leq x \leq 1 \quad \text{και} \quad 0 \leq P(Q_{59} \leq x) \leq 1$$

Το διάστημα στο οποίο επαληθεύονται ταυτόχρονα οι ανισότητες, κι ως εκ τούτου αποτελεί το πεδίο ορισμού της συνάρτησης είναι το διάστημα $(0,0100, 0,7644)$. Δηλαδή με την προσέγγιση αυτή η τιμή του δείκτη έλλειψης αξιοπιστίας Q_{59} ανήκει στο διάστημα $(0,0100, 0,7644)$, γεγονός που σημαίνει πως λαμβάνει σχετικά μικρές τιμές, ενώ, είναι μικρότερος από τις τιμές 0,1 και 0,2 με πιθανότητες 0,5306 και 0,6905, αντίστοιχα. Άρα η αξιοπιστία του συστήματος στη διατομή 59 είναι μέτρια.

Το επόμενο σημείο, στο οποίο εξετάζεται η αξιοπιστία του συστήματος είναι η διατομή 122. Σε ό,τι αφορά στον χωρικό προσδιορισμό της διατομής αυτής, είναι η διατομή που συνδέει τους κόμβους 422 και 366 στον χάρτη, έχει κατεύθυνση προς τον κόμβο 366 και βρίσκεται επί της οδού Μάρνης. Από την επεξεργασία, η αξιοπιστία του συστήματος στη διατομή αυτή ανήκει στην κλάση $[0,75, 0,80]$ και έχει μέση τιμή 0,7826. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, όπως στις προηγούμενες περιπτώσεις, συγκεντρώνονται όλες οι τιμές του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας του

συστήματος που αφορούν σε αυτή τη διατομή, ταξινομούνται κατ' αύξουσα σειρά και κατόπιν εξάγονται οι πιθανότητες, με τις οποίες η τιμή του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας του συστήματος στη διατομή είναι μικρότερος ή ίσος με συγκεκριμένες τιμές. Ακολουθώντας, δημιουργείται ένα γράφημα στο πρόγραμμα του Excel, με τις τιμές της στήλης του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας στον άξονα των τετμημένων και τις τιμές της στήλης των πιθανοτήτων στον άξονα των τεταγμένων. Το τελευταίο βήμα είναι η χρησιμοποίηση της επιλογής προσθήκης γραμμής τάσης, από την οποία προκύπτει, πως η σχεδιασθείσα καμπύλη προσεγγίζεται από τη συνάρτηση

$$\bullet \quad y = 0,3144 \ln(x) + 1,0453 \quad \text{με} \quad R^2 = 0,9695, \text{ δηλαδή}$$

$$P(Q_{122} \leq x) = 0,3144 \ln(x) + 1,0453$$

Δηλαδή, προκύπτει η καμπύλη αθροιστικής συνάρτησης πιθανότητας. Για να έχει φυσική σημασία, πρέπει να ισχύουν οι ανισότητες

$$0 \leq x \leq 1 \quad \text{και} \quad 0 \leq P(Q_{122} \leq x) \leq 1$$

Το διάστημα (0,0360, 0,8658), στο οποίο επαληθεύονται ταυτόχρονα οι ανισότητες, αποτελεί το πεδίο ορισμού της συνάρτησης. Δηλαδή με την προσέγγιση αυτή η τιμή του δείκτη έλλειψης αξιοπιστίας Q_{122} ανήκει στο διάστημα (0,0360, 0,8658), γεγονός που σημαίνει πως λαμβάνει σχετικά μικρές τιμές, ενώ, είναι μικρότερος από τις τιμές 0,1 και 0,2 με πιθανότητες 0,3214 και 0,5393, αντίστοιχα. Άρα η αξιοπιστία του συστήματος στη διατομή 59 είναι χαμηλή.

Η επόμενη διατομή, στην οποία θα εξεταστεί η αξιοπιστία του συστήματος είναι η διατομή με αριθμό 50. Στον χάρτη η διατομή συνδέει τους κόμβους 198 και 199, με φορά ροής προς τον κόμβο 199 και βρίσκεται επί της οδού Ακαδημίας. Η αξιοπιστία του συστήματος σε αυτή έχει μέση τιμή, η οποία ανήκει στην κλάση [0,70 – 0,75], για την ακρίβεια ισούται με 0,7067. Εν συνεχεία, ακολουθείται η ίδια διαδικασία, όπως προηγουμένως. Αρχικά, συγκεντρώνονται όλες οι τιμές του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας του δικτύου σε αυτή τη διατομή, ταξινομούνται κατ' αύξουσα σειρά και τέλος εξάγονται οι πιθανότητες, με τις οποίες η τιμή του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας του συστήματος είναι μικρότερη ή ίση με συγκεκριμένες τιμές. Κατόπιν εισάγεται ένα γράφημα στο πρόγραμμα του Excel στο οποίο ο άξονας των x έχει τις τιμές του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας και ο άξονας των y τις τιμές των πιθανοτήτων. Στο τελικό στάδιο, μέσω της προσθήκης γραμμής

τάσης ευρίσκεται η συνάρτηση, η οποία προσεγγίζει την προκύπτουσα καμπύλη και είναι η εξής

$$\bullet \quad y = 0,4325 \ln(x) + 1 \quad \text{με} \quad R^2 = 0,7591, \text{ δηλαδή}$$
$$P(Q_{50} \leq x) = 0,4325 \ln(x) + 1$$

Δηλαδή, προκύπτει η καμπύλη αθροιστικής συνάρτησης πιθανότητας. Για να έχει φυσική σημασία, πρέπει να ισχύουν οι ανισότητες

$$0 \leq x \leq 1 \quad \text{και} \quad 0 \leq P(Q_{50} \leq x) \leq 1$$

Παρατηρείται πως ο συντελεστής συσχέτισης λαμβάνει μικρή τιμή και η συνάρτηση δεν προσεγγίζει το φαινόμενο επαρκώς. Στο γράφημα, το οποίο διατίθεται στο παράρτημα είναι εμφανής η διαφορά της καμπύλης των δεδομένων από τη λογαριθμική συνάρτηση.

Η τελευταία διατομή, στην οποία εξετάζεται η αξιοπιστία του συστήματος είναι η διατομή με αρίθμηση 84. Στον χάρτη είναι η διατομή που συνδέει τους κόμβους 521 και 522 με φορά ροής προς τον κόμβο 522 και βρίσκεται επί της Λεωφόρου Κωνσταντίνου. Μετά την επεξεργασία που εφαρμόστηκε, η αξιοπιστία του συστήματος σε αυτή είχε μέση τιμή 0,5723 και για αυτό το λόγο καταλέγεται στην κλάση [0,55 – 0,60]. Κατ' αρχήν συγκεντρώνονται οι τιμές του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας του συστήματος σε αυτή τη διατομή, ταξινομούνται κατ' αύξουσα σειρά και εξάγονται οι πιθανότητες, με τις οποίες ο δείκτης έλλειψης της αξιοπιστίας είναι μικρότερος ή ίσος με συγκεκριμένες τιμές. Στη συνέχεια, λαμβάνει χώρα η εισαγωγή ενός γραφήματος στο πρόγραμμα του Excel, το οποίο στον άξονα των x έχει τις τιμές του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας και στον άξονα των y τις τιμές των πιθανοτήτων και μέσω της επιλογής προσθήκης γραμμής τάσης, προκύπτει πως η συνάρτηση που προσεγγίζει την σχεδιασθείσα καμπύλη είναι η εξής

$$\bullet \quad y = 0,5110 \ln(x) + 1 \quad \text{με} \quad R^2 = 0,9264, \text{ δηλαδή}$$
$$P(Q_{84} \leq x) = 0,5110 \ln(x) + 1$$

Δηλαδή, προκύπτει η καμπύλη αθροιστικής συνάρτησης πιθανότητας. Για να έχει φυσική σημασία, πρέπει να ισχύουν οι ανισότητες

$$0 \leq x \leq 1 \quad \text{και} \quad 0 \leq P(Q_{84} \leq x) \leq 1$$

Το διάστημα $(0,1413, 1)$, στο οποίο επαληθεύονται ταυτόχρονα οι ανισότητες, αποτελεί το πεδίο ορισμού της συνάρτησης. Δηλαδή με την προσέγγιση αυτή η τιμή του δείκτη έλλειψης αξιοπιστίας Q_{84} ανήκει στο διάστημα $(0,1413, 1)$, γεγονός που σημαίνει πως λαμβάνει σχετικά μικρές τιμές, ενώ, είναι μικρότερος από την τιμή 0,2 με πιθανότητες 0,1775. Άρα η αξιοπιστία του συστήματος στη διατομή 84 είναι πολύ χαμηλή.

Παρατήρηση. Πρέπει σε αυτό το σημείο να επισημανθεί πως όταν οι τιμές του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας είναι μικρές, δηλαδή, η αξιοπιστία του συστήματος είναι υψηλή, τότε η λογαριθμική συνάρτηση προσεγγίζει με μεγάλο βαθμό συσχέτισης την καμπύλη των δεδομένων των γραφημάτων και μπορεί να θεωρηθεί πως γενικά η αθροιστική συνάρτηση πιθανότητας είναι της μορφής $\alpha \ln(x) + \beta$, με $\alpha, \beta > 0$. Η συνάρτηση αυτή δίνει υψηλές τιμές για μικρές τιμές του x , δηλαδή το σύστημα λειτουργεί με μικρούς δείκτες έλλειψης αξιοπιστίας με μεγάλες πιθανότητες. Όταν η μέση τομή της αξιοπιστίας του συστήματος μειώνεται, τότε δεν είναι βέβαιο πως η λογαριθμική συνάρτηση προσεγγίζει το φαινόμενο.

6.2.2 Η 2^η Μέθοδος

Στη δεύτερη μέθοδο ακολουθήθηκε μια εντελώς διαφορετική λογική από αυτή της πρώτης μεθόδου. Η πρώτη παραδοχή που γίνεται είναι πως πιθανά σημεία, στα οποία η αξιοπιστία του δικτύου μπορεί να λάβει χαμηλές τιμές είναι αυτά στα οποία ο λόγος (v/c) λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες ή ίσες με 0,7. Η τιμή αυτή αποτελεί το κατώτερο όριο της στάθμης εξυπηρέτησης D . Κατ' αυτόν τον τρόπο εισάγεται ένα πρώτο κριτήριο, το οποίο διαδραματίζει ένα διττό ρόλο :

1. Οδηγεί στο επόμενο στάδιο εξέτασης της αξιοπιστίας του συστήματος σε μια διατομή, όταν η διατομή αυτή δέχεται μία σεβαστή τιμή κυκλοφοριακού φόρτου ως προς την ικανότητά της, και για την οποία η ταχύτητα κίνησης ενός οχήματος δεν καθορίζεται μόνο από τη βούληση του οδηγού, αλλά η συνολική κίνηση επηρεάζει σημαντικά την ταχύτητα και συνεπώς το χρόνο διαδρομής.

2. Θεωρεί εξ αρχής αξιόπιστο το σύστημα σε μια διατομή, στην οποία ο λόγος (v/c) είναι μικρότερος από μία τιμή, όσο αιφνίδια και αν ανέλθει σε μια μεγάλη τιμή από μία ανάλογη αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου, και η ταχύτητα κίνησης παραμένει σχετικά υψηλή και ο χρόνος διαδρομής δεν επηρεάζεται σημαντικά.

Κατ' αυτόν τον τρόπο, με το κριτήριο αυτό, σε κάθε δεκαπεντάλεπτο εντοπίζονται τα πρώτα σημεία, στα οποία το σύστημα είναι αξιόπιστο. Σε κάθε διατομή συγκεντρώνονται οι τιμές των λόγων (v/c), οι οποίες είναι μέσες τιμές δεκαπενταλέπτου. Εν συνεχεία, ταξινομούνται κατ' αύξουσα χρονική σειρά και κατ' αυτόν τον τρόπο προκύπτουν ζεύγη τιμών: κάθε τιμή λόγου (v/c) συνδυάζεται με τον αύξοντα αριθμό δεκαπενταλέπτου, εντός του οποίου υπολογίζεται. Έπειτα εισάγονται τα ζεύγη των τιμών αυτών σε ένα γράφημα, με τις τιμές της αρίθμησης των δεκαπενταλέπτων να τίθενται επί του άξονα των x , και τις τιμές των λόγων (v/c) να τίθενται επί του άξονα των y . Στην πορεία, χαράζεται μια ευθεία παράλληλη στον άξονα των τετμημένων, η οποία τέμνει των άξονα των τεταγμένων στο σημείο $(0, 0,7)$.

Επιπρόσθετα, ο παράγοντας ο οποίος εγείρει πιθανή έλλειψη αξιοπιστίας είναι ο βαθμός με τον οποίο «απέχει» το γράφημα των λόγων (v/c) από την ευθεία $(v/c) = 0,7$. Έχοντας υπολογίσει τις μέσες τιμές των λόγων με μια απλή αφαίρεση της τιμής 0,7 από τις μέσες τιμές προκύπτει μια δηλωτική διαφορά. Στη γενική, όμως, περίπτωση, στην οποία το γράφημα της συνάρτησης των λόγων (v/c) με το χρόνο δεν είναι τμηματικά παράλληλο με τον άξονα του χρόνου, το κριτήριο που δηλώνει το κατά πόσο “απέχει” το γράφημα από την ευθεία $y = 0,7$ είναι το εμβαδόν του χωρίου που περικλείεται από τις εξής γραμμές:

- Από το γράφημα της συνάρτησης των λόγων (v/c) με το χρόνο, το οποίο στη γενική περίπτωση δεν αποτελείται από σταθερών τιμών τμήματα
- Από την ευθεία $y = \alpha$, όπου α η οριακή τιμή του λόγου (v/c), η οποία καθορίζει αφενός ποιες θέσεις μπορεί να χαρακτηρίζονται από την έλλειψη της αξιοπιστίας του συστήματος και αφετέρου τη στάθμη ως προς την οποία υπολογίζονται τα εμβαδά, εδώ $\alpha = 0,7$

- Την ευθεία $x = \beta$ όπου β το αριστερό όριο του χρονικού διαστήματος στο οποίο υπολογίζεται το εμβαδόν
- Την ευθεία $y = \gamma$ όπου γ το δεξιό όριο του χρονικού διαστήματος στο οποίο υπολογίζεται το εμβαδόν, ενώ η διαφορά $(\gamma - \alpha)$ ισούται με τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος, εδώ 15 min.

Σε κάθε δεκαπεντάλεπτο, προσδιορίζονται τα ανωτέρω στοιχεία και υπολογίζονται τα εμβαδά σε καθένα από αυτά και για κάθε διατομή, εφόσον στο διάστημα $[\beta, \gamma]$ οι τιμές της συνάρτησης του λόγου (v/c) με το χρόνο λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες από την τιμή α , δηλαδή την τιμή 0,7. Όταν υπολογίζεται ένα εμβαδόν, οι μονάδες του είναι το γινόμενο των μονάδων των μεγεθών, τα οποία το σχηματίζουν. Οι τιμές, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τις ανάγκες αυτής της εργασίας, είναι τιμές μεγεθών που εκφράζουν χρόνο και ένταση. Κατ' αυτόν τον τρόπο, τα εμβαδά αυτά είναι δείκτες “χρονοέντασης”, δηλαδή ενός μεγέθους, το οποίο φανερώνει το βαθμό της έντασης του φόρτου, ο οποίος διέρχεται από μία διατομή κι έχει μια σταθερά αυξημένη τιμή – στη γενική περίπτωση μεγαλύτερη από την τιμή α – σε συνδυασμό με τη διάρκεια της έντασης αυτής. Η μαθηματική διατύπωση εύρεσης των εν λόγω εμβαδών είναι η εξής

$$E = \int_{\beta}^{\gamma} (y(t) - \alpha) dx dy$$

όπου $y(t)$ η συνάρτηση των λόγων (v/c) με το χρόνο, η οποία λαμβάνει θετικές τιμές στο διάστημα $[\beta, \gamma]$, α η στάθμη ως προς την οποία υπολογίζονται τα εμβαδά και β και γ τα όρια ολοκλήρωσης [20].

Στην περίπτωση των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για τις ανάγκες αυτής της εργασίας, η συνάρτηση y λαμβάνει σταθερή τιμή στο διάστημα υπολογισμού του εμβαδού και η διαφορά $(\gamma - \beta)$ ισούται με 15 min. Συνεπώς, η εύρεση των εμβαδών είναι ο υπολογισμός των εμβαδών ορθογωνίων παραλληλογράμμων, των οποίων η μία διάσταση είναι ίση με $(y(t) - \alpha)$ και η άλλη διάσταση ίση με 15 min. Για την εύρεση των μονάδων μέτρησης αυτών των εμβαδών

παρατηρείται πως σε ό,τι αφορά τις μονάδες του χρόνου αυτές τα δεκαπεντάλεπτα (15 min), ενώ σε ό,τι αφορά την μονάδα μέτρησης της έντασης, η μονάδα του λόγου (v/c) είναι μονάδα του λόγου δύο μεγεθών με την ίδια μονάδα μέτρησης και ως εκ τούτου είναι καθαρός αριθμός. Άρα, η μονάδα μέτρησης των εμβαδών είναι το δεκαπεντάλεπτο έντασης.

Σε αυτό το σημείο ας δοθεί ένα κατατοπιστικό παράδειγμα : ας υποτεθεί πως σε μία διατομή, η οποία από τις 10:15 έως τις 10:30, η μέση τιμή λόγου (v/c) είναι ίση με 0,9. Τότε με βάση τους συμβολισμούς που έχουν εισαχθεί έως τώρα, $\beta = 10:15$, $\gamma = 10:30$ και θεωρείται $\alpha = 0,7$. Τότε, το εμβαδόν, το οποίο πρέπει να υπολογιστεί, είναι το εξής ολοκλήρωμα

$$E = \int_{10:15}^{10:30} (0,9 - 0,7) \, dx \, dy$$

το οποίο, τελικά, ισούται με $0,2 \times 1 = 0,2$ δεκαπεντάλεπτα έντασης.

Με τη διαδικασία, η οποία περιγράφηκε έως τώρα, υπολογίζεται για κάθε διατομή σε κάθε δεκαπεντάλεπτο το εμβαδόν του χωρίου ανάμεσα στο γράφημα και την ευθεία $y = 0,7$ εφόσον η συνάρτησης λαμβάνει μέση τιμή μεγαλύτερη από 0,7 στο ίδιο χρονικό διάστημα και ταξινομούνται αυτά τα εμβαδά κατά φθίνουσα σειρά. Κατ' αναλογία με τον δείκτη δυστυχίας, ο οποίος αναφέρεται στην ενότητα 3.4.3, χαρακτηρίζεται αναξιόπιστο το σύστημα σε κάθε δεκαπεντάλεπτο στο 12% των διατομών των οποίων το εμβαδόν λαμβάνει τις μεγαλύτερες τιμές, δηλαδή σε 14 διατομές. Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο, πως δεν υπήρχαν πάντοτε 14 τιμές εμβαδών αφού σε ορισμένα δεκαπεντάλεπτα δεν υπήρχαν τόσες διατομές, οι οποίες είχαν λόγο (v/c) μεγαλύτερο από 0,7. Σε αυτή την περίπτωση χαρακτηρίστηκε το σύστημα αναξιόπιστο μόνο σε όσες διατομές είχαν τιμή εμβαδού. Εάν συμβολιστεί με f η συνάρτηση αξιοπιστίας του συστήματος στη διατομή x , τότε η f , εάν γίνει χρήση της δεκαδικής αναπαράστασης, λαμβάνει την τιμή 0 όταν η διατομή ανήκει στις 14 διατομές με τα μεγαλύτερα εμβαδά και την τιμή 1 στις υπόλοιπες. Εάν συμβολιστεί με $\{\max 14\}$ το σύνολο των διατομών με τις μεγαλύτερες τιμές εμβαδών στη διάρκεια ενός δεκαπενταλέπτου τότε η συνάρτηση f είναι της εξής μορφής

$$f(x) = \begin{cases} 0, & \text{εάν } x \text{ ανήκει στο } \{\max 14\} \\ 1, & \text{εάν } x \text{ δεν ανήκει στο } \{\max 14\} \end{cases}$$

Αυτή η συνάρτηση εφαρμόζεται σε κάθε δεκαπεντάλεπτο και σε κάθε διατομή αποδίδεται η τιμή 0 ή 1, ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι αξιοπιστίας του συστήματος σε εκείνο το σημείο. Έπειτα αθροίζονται οι τιμές αυτές σε κάθε εξάωρο και για να εξαχθεί μία μέση τιμή της αξιοπιστίας διαιρούνται με το πλήθος των δεκαπενταλέπτων, δηλαδή με τον αριθμό 24 εκτός από το χρονικό διάστημα 18:00 – 23:45 της τελευταίας ημέρας όπου ο αριθμός των δεκαπενταλέπτων είναι 23 και η διαίρεση έγινε με τον αριθμό 23. Ο λόγος, για τον οποίο υπολογίστηκαν αυτοί οι λόγοι είναι ο εξής : θεωρήθηκε, όπως, άλλωστε, πληροφορεί η θεωρία πιθανοτήτων, πως η πιθανότητα να συμβεί ένα γεγονός ισούται με τον λόγο του αριθμού όλων των ευνοϊκών περιπτώσεων προς το πλήθος των συνολικών περιπτώσεων. Δηλαδή, υπολογίστηκε σε κάθε εξάωρο η πιθανότητα, με την οποία το σύστημα λειτουργεί αξιόπιστα στην κάθε διατομή, δηλαδή η αξιοπιστία του σε εκείνο το σημείο. Εάν συμβολιστεί με R_i η πιθανότητα με την οποία το σύστημα είναι αξιόπιστο στη διατομή i και με Q_i η πιθανότητα με την οποία το σύστημα χαρακτηρίζεται από έλλειψη αξιοπιστίας στη διατομή i , τότε $R_i + Q_i = 1$. Μια γενική εικόνα παρέχει ο Πίνακας 3, ο οποίος ακολουθεί στην επόμενη σελίδα, στον οποίο έχουν κατηγοριοποιηθεί οι διατομές σε κλάσεις ανάλογα με την μέση τιμή της αξιοπιστίας του συστήματος σε αυτές.

Γενικά, παρατηρείται πως οι διατομές, οι οποίες έχουν καταταχθεί σε κλάσεις ανάλογα με την μέση τιμή του δείκτη αξιοπιστίας του συστήματος σε αυτές, και στις δύο μεθόδους ανήκουν σε μεγάλο ποσοστό στις ίδιες κλάσεις. Κατ' αυτόν τον τρόπο αλλάζει κλάση η αξιοπιστία του συστήματος σε 37 διατομές και σε 31 διατομές η αξιοπιστία του συστήματος ανήκει σε γειτνιάζουσες κλάσεις. Χαρακτηριστικά παρατηρείται πως η αξιοπιστία του συστήματος στις διατομές που κατά την πρώτη μέθοδο λαμβάνει μεγάλες τιμές, να λαμβάνει ακόμα μεγαλύτερες τιμές με μόνη εξαίρεση τις διατομές 25, 26, 28, 34, 42, 74, 124, στις οποίες η αξιοπιστία, ενώ στην πρώτη μέθοδο είναι ίση με τη μονάδα, στη δεύτερη ανήκει στο διάστημα $[0,99, 1)$. Επίσης, μόνο μία διατομή αλλάζει κλάση λόγω της μείωσης της αξιοπιστίας του δικτύου σε αυτή, η διατομή 17 η οποία από την κλάση των $[0,95, 0,975)$ της πρώτης μεθόδου ανήκει στην κλάση των $[0,9, 0,95)$ της δεύτερης μεθόδου.

ΚΛΑΣΕΙΣ ΤΙΜΩΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ	ΔΙΑΤΟΜΕΣ	ΠΛΗΘΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ
= 1	8, 49, 51, 53, 54, 56, 60, 62, 65, 66, 68, 69, 71, 72, 75, 77, 78, 81, 85, 88, 89, 91, 97, 105, 107, 109, 110, 113, 114, 115, 116, 118, 119, 120 και 131	35
0,99 – 1	2, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 25, 26, 27, 28, 33, 34, 36, 40, 42, 52, 61, 74, 80, 83, 92, 102, 108, 111, 117, 121, 124, 126 και 132	38
0,975 – 0,99	23, 63, 70, 98, 101 και 104	6
0,95 – 0,975	4, 24, 38 και 128	4
0,90 – 0,95	17, 32, 64, 99, 112, 125 και 129	7
0,85 – 0,90	39, 59 και 103	3
0,80 – 0,85	50, 58, 76	3
0,75 – 0,80		0
0,70 – 0,75	55, 84, 94 και 122	4
0,65 – 0,70		0
0,60 – 0,65		0
0,55 – 0,60	37	1
0,50 – 0,55		0
0,45 – 0,50	86	1
0,40 – 0,45		0
≤0,40	3, 18, 29, 31, 35, 41, 67, 87, 90, 93, 106, 133	12

Πίνακας 3 Κατάταξη των διατομών σε κλάσεις ανάλογα με το δείκτη της αξιοπιστίας του συστήματος σε αυτές με βάση την 2^η μέθοδο.

Επιπρόσθετα, εάν υπολογιστεί το πλήθος των διατομών, στο οποίο η αξιοπιστία του συστήματος είναι κατά μέσο όρο μικρότερη της τιμής 0,8, τότε παρατηρείται πως αυτό ισούται με 18 διατομές (21 είναι το αντίστοιχο στην πρώτη μέθοδο) δηλαδή ποσοστό 15,79%.

Σε αυτό το σημείο θα εξεταστεί η αξιοπιστία του συστήματος σε διάφορες διατομές του. Ο έλεγχος γίνεται ενδεικτικά σε μία διατομή από κάθε κλάση. Κατ' αυτόν τον τρόπο εξετάζεται η αξιοπιστία του συστήματος σε μία διατομή από κάθε κλάση $[0,95 - 0,975]$, $[0,90 - 0,95]$, $[0,85 - 0,90]$, $[0,80 - 0,85]$ και $[0,7 - 0,75]$ στις οποίες ανήκει η μέση τιμή της αξιοπιστίας του συστήματος στις διατομές 38, 112, 59, 50 και 122 αντίστοιχα. Στην κλάση $[0,75 - 0,80]$ δεν ανήκει η μέση τιμή της αξιοπιστίας του συστήματος σε κανένα σημείο του.

Αρχικά η διερεύνηση της αξιοπιστίας του δικτύου γίνεται στη διατομή 38. Η διατομή αυτή συνδέει τους κόμβους 477 και 496, έχει φορά ροής προς τον κόμβο 496 και βρίσκεται επί της οδού Διονυσίου Αρεοπαγίτου. Ο δείκτης αξιοπιστίας του συστήματος έχει μέση τιμή 0,9511. Συγκεντρώνονται οι τιμές της αξιοπιστίας για κάθε εξάωρο και ταξινομούνται κατ' αύξουσα σειρά δημιουργώντας τη στήλη Α. Έπειτα, δημιουργείται η στήλη Β, τα στοιχεία της οποίας είναι οι κατ' αύξουσα σειρά ταξινομημένοι ρητοί αριθμοί $1/81, 2/81, \dots, 80/81, 1$. Εάν α_i τα στοιχεία της στήλης Α και β_i τα στοιχεία της στήλης Β, τότε δημιουργούνται ζεύγη τιμών (α_i, β_i) , στα οποία το πρώτο μέρος είναι μία τιμή του δείκτη έλλειψης αξιοπιστίας Q και το δεύτερο μέρος η πιθανότητα, με την οποία η τιμή του δείκτη Q είναι μικρότερη ή ίση της τιμής του πρώτου μέρους. Δηλαδή, $\beta_i = P(Q_{38} \leq \alpha_i)$. Οι τιμές των προκύπτουσών στηλών εισάγονται σε ένα γράφημα στο πρόγραμμα του Excel. Με την επιλογή της προσθήκης γραμμής τάσης, παρατηρείται πως η σχεδιασθείσα καμπύλη προσεγγίζεται από τη συνάρτηση

- $y = 0,1592 \ln(x) + 1,1612$ με $R^2 = 0,9031$, δηλαδή

$$P(Q_{38} \leq x) = 0,1592 \ln(x) + 1,1612$$

Δηλαδή, προκύπτει η καμπύλη αθροιστικής συνάρτησης πιθανότητας. Για να έχει νόημα η παραπάνω διατύπωση να ισχύουν οι ανισότητες

$$0 \leq x \leq 1 \quad \text{και} \quad 0 \leq P(Q_{38} \leq x) \leq 1$$

Το διάστημα των τιμών του x , το οποίο αποτελεί λύση του συστήματος των ανισοτήτων, κι ως εκ τούτου το πεδίο ορισμού της συνάρτησης είναι το διάστημα $(6,80 \times 10^{-4}, 0,3633)$. Δηλαδή με την προσέγγιση αυτή η τιμή του δείκτη έλλειψης αξιοπιστίας Q_{40} ανήκει στο διάστημα $(6,80 \times 10^{-4}, 0,3633)$, γεγονός που σημαίνει πως λαμβάνει πολύ μικρές τιμές, ενώ, είναι μικρότερος από τις τιμές 0,1 και 0,2 με

πιθανότητες 0,7946 και 0,9050, αντίστοιχα. Άρα η αξιοπιστία του συστήματος στη διατομή 40 είναι πολύ υψηλή, όπως αναμενόταν, άλλωστε, από τον υψηλό μέσο όρο.

Η επόμενη διατομή, στην οποία εξετάζεται η αξιοπιστία του συστήματος είναι η διατομή 112. Στον χάρτη, η διατομή συνδέει τους κόμβους 438 και 440, έχει φορά ροής προς τον κόμβο 438 ενώ βρίσκεται επί της οδού Πειραιώς. Ο δείκτης αξιοπιστίας του συστήματος σε αυτή τη διατομή έχει μέση τιμή 0,9388. Εν συνεχεία, απομονώνονται οι τιμές του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας που αφορούν σε αυτή τη διατομή, ταξινομούνται κατ' αύξουσα σειρά και εξάγονται οι πιθανότητες, με τις οποίες ο δείκτης έλλειψης της αξιοπιστίας του συστήματος στη διατομή είναι μικρότερος ή ίσος με συγκεκριμένες τιμές, δηλαδή δημιουργείται η στήλη Β, όπως στη διατομή 38. Οι τιμές των δύο στηλών εισάγονται σε ένα γράφημα στο πρόγραμμα του Excel. Τέλος, με τη δυνατότητα προσθήκης γραμμής τάσης, η καμπύλη προσεγγίζεται από τη συνάρτηση

$$\bullet \quad y = 0,1937 \ln(x) + 1,1876 \quad \text{με} \quad R^2 = 0,9883, \text{ δηλαδή}$$

$$P(Q_{112} \leq x) = 0,1937 \ln(x) + 1,1876$$

Δηλαδή, προκύπτει η καμπύλη αθροιστικής συνάρτησης πιθανότητας. Για να έχει νόημα η παραπάνω διατύπωση να ισχύουν οι ανισότητες

$$0 \leq x \leq 1 \quad \text{και} \quad 0 \leq P(Q_{112} \leq x) \leq 1$$

Το διάστημα (0,0022, 0,3796) των τιμών του x , το οποίο είναι η κοινή λύση των ανισοτήτων, αποτελεί το πεδίο ορισμού της συνάρτησης. Δηλαδή, με την προσέγγιση αυτή η τιμή του δείκτη έλλειψης αξιοπιστίας Q_{112} ανήκει στο διάστημα (0,0022, 0,3796), γεγονός που σημαίνει πως λαμβάνει πολύ μικρές τιμές, ενώ, είναι μικρότερος από τις τιμές 0,1 και 0,2 με πιθανότητες 0,741 και 0,8759, αντίστοιχα. Άρα η αξιοπιστία του συστήματος στη διατομή 40 είναι πολύ υψηλή, όπως αναμενόταν, άλλωστε, από τον υψηλό μέσο όρο.

Η επόμενη διατομή στην οποία εξετάζεται η αξιοπιστία του συστήματος είναι η διατομή με αρίθμηση 59. Η διατομή αυτή συνδέει τους κόμβους 172 και 173, έχει φορά ροής προς τον κόμβο 173 και βρίσκεται επί της οδού Σκουφά. Η μέση τιμή του δείκτη αξιοπιστίας σε αυτή ισούται με 0,8639. Συγκεντρώνονται οι τιμές του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας σε κάθε εξάωρο, ταξινομούνται κατ' αύξουσα σειρά

και εξάγονται οι πιθανότητες, με τις οποίες ο δείκτης έλλειψης της αξιοπιστίας του συστήματος στη διατομή είναι μικρότερος ή ίσος με συγκεκριμένες τιμές, δηλαδή δημιουργείται η στήλη B, όπως στη διατομή 38. Οι τιμές των δύο στηλών τίθενται σε γράφημα, με τις τιμές του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας να βρίσκονται επί του άξονα των τετμημένων και τις τιμές των πιθανοτήτων επί του άξονα των τεταγμένων. Τέλος, με τη δυνατότητα προσθήκης γραμμής τάσης, προκύπτει πως η συνάρτηση που προσεγγίζει την σχεδιασθείσα καμπύλη είναι η εξής

$$\bullet \quad y = 0,2431 \ln(x) + 1,1145 \quad \text{με} \quad R^2 = 0,9591, \text{ δηλαδή}$$

$$P(Q_{59} \leq x) = 0,2431 \ln(x) + 1,1145$$

Δηλαδή, προκύπτει η καμπύλη αθροιστικής συνάρτησης πιθανότητας. Για να έχει νόημα η παραπάνω διατύπωση να ισχύουν οι ανισότητες

$$0 \leq x \leq 1 \quad \text{και} \quad 0 \leq P(Q_{59} \leq x) \leq 1$$

Το διάστημα (0,0102, 0,6244) είναι η λύση του συστήματος των ανισοτήτων και για το λόγο αυτό, αποτελεί το πεδίο ορισμού της συνάρτησης. Δηλαδή, με την προσέγγιση αυτή η τιμή του δείκτη έλλειψης αξιοπιστίας Q_{59} ανήκει στο διάστημα (0,0102, 0,6244), γεγονός που σημαίνει πως λαμβάνει σχετικά μικρές τιμές, ενώ, είναι μικρότερος από τις τιμές 0,1 και 0,2 με πιθανότητες 0,5542 και 0,7227, αντίστοιχα. Άρα η αξιοπιστία του συστήματος στη διατομή 40 είναι μέτρια προς υψηλή.

Ακολούθως, εξετάζεται η αξιοπιστία του συστήματος στη διατομή 50. Η διατομή 50 συνδέει τους κόμβους 198 και 199, έχει φορά ροής προς τον κόμβο 199 και βρίσκεται επί της οδού Ακαδημίας. Η μέση τιμή του δείκτη αξιοπιστίας του δικτύου στη διατομή αυτή είναι 0,8302. Αρχικά, συγκεντρώνονται οι τιμές του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας που αφορούν σε αυτή τη διατομή και ταξινομούνται κατ' αύξουσα σειρά, δημιουργώντας τη στήλη A. Στη συνέχεια, δημιουργείται η στήλη B, της οποίας οι τιμές ισούνται με τις πιθανότητες, με τις οποίες ο δείκτης έλλειψης αξιοπιστίας του συστήματος στη διατομή αυτή είναι μικρότερος ή ίσος με τις τιμές της στήλης A. Έπειτα, οι τιμές των στηλών εισάγονται σε ένα γράφημα στο πρόγραμμα του Excel και μέσω της επιλογής προσθήκης γραμμής τάσης εξάγεται πως η συνάρτηση, η οποία προσεγγίζει τη σχεδιασθείσα καμπύλη είναι η εξής

- $y = 0,2704 \ln(x) + 1,0941$ με $R^2 = 0,9722$, δηλαδή

$$P(Q_{50} \leq x) = 0,2704 \ln(x) + 1,0941$$

Δηλαδή, προκύπτει η καμπύλη αθροιστικής συνάρτησης πιθανότητας. Για να έχει νόημα η παραπάνω διατύπωση να ισχύουν οι ανισότητες

$$0 \leq x \leq 1 \quad \text{και} \quad 0 \leq P(Q_{50} \leq x) \leq 1$$

Το διάστημα των τιμών του x , το οποίο αποτελεί λύση του συστήματος των ανισοτήτων, κι ως εκ τούτου το πεδίο ορισμού της συνάρτησης είναι το διάστημα $(0,0175, 0,7061)$. Δηλαδή με την προσέγγιση αυτή η τιμή του δείκτη έλλειψης αξιοπιστίας Q_{40} ανήκει στο διάστημα $(0,0175, 0,7061)$, γεγονός που σημαίνει πως λαμβάνει πολύ τιμές από ένα σχετικά μεγάλο εύρος, ενώ, είναι μικρότερος από τις τιμές 0,1 και 0,2 με πιθανότητες 0,4615 και 0,6489, αντίστοιχα. Άρα η αξιοπιστία του συστήματος στη διατομή 40 είναι πολύ μέτρια, όπως αναμενόταν

Τέλος, εξετάζεται η αξιοπιστία του συστήματος στη διατομή 122. Η διατομή 122 συνδέει τους κόμβους 422 και 366, έχει φορά ροής προς τον κόμβο 366 και βρίσκεται επί της οδού Μάρνης. Ο δείκτης αξιοπιστίας του δικτύου στη διατομή αυτή έχει μέση τιμή 0,7494. Αρχικά συγκεντρώνονται οι τιμές του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας που αφορούν σε αυτή τη διατομή και ταξινομούνται κατ' αύξουσα σειρά, δημιουργώντας τη στήλη Α. Στη συνέχεια, δημιουργείται η στήλη Β, της οποίας οι τιμές ισούνται με τις πιθανότητες, με τις οποίες ο δείκτης έλλειψης αξιοπιστίας του συστήματος στη διατομή αυτή είναι μικρότερος ή ίσος με τις τιμές της στήλης Α. Έπειτα, οι τιμές των στηλών εισάγονται σε ένα γράφημα στο πρόγραμμα του Excel και μέσω της επιλογής προσθήκης γραμμής τάσης εξάγεται πως η συνάρτηση, η οποία προσεγγίζει τη σχεδιασθείσα καμπύλη είναι η εξής

- $y = 0,3261 \ln(x) + 1,0594$ με $R^2 = 0,9716$, δηλαδή

$$P(Q_{122} \leq x) = 0,3261 \ln(x) + 1,0594$$

Δηλαδή, προκύπτει η καμπύλη αθροιστικής συνάρτησης πιθανότητας. Για να έχει νόημα η παραπάνω διατύπωση να ισχύουν οι ανισότητες

$$0 \leq x \leq 1 \quad \text{και} \quad 0 \leq P(Q_{122} \leq x) \leq 1$$

Η λύση του συστήματος των ανισοτήτων είναι το διάστημα (0,0388, 0,8335), το οποίο αποτελεί το πεδίο ορισμού της συνάρτησης,. Δηλαδή, με την προσέγγιση αυτή η τιμή του δείκτη έλλειψης αξιοπιστίας Q_{122} ανήκει στο διάστημα (0,0388, 0,8335), γεγονός που σημαίνει πως λαμβάνει τιμές από ένα μεγάλο εύρος, ενώ, είναι μικρότερος από τις τιμές 0,1 και 0,2 με πιθανότητες 0,3085 και 0,5346, αντίστοιχα. Άρα η αξιοπιστία του συστήματος στη διατομή 40 είναι χαμηλή.

6.3 Επεξήγηση του τρόπου σχεδίασης των χαρτών

Στο παράρτημα διατίθενται οι χάρτες του οδικού δικτύου της Αθήνας, στους οποίους έχουν σημειωθεί με κόκκινο χρώμα οι διατομές στις οποίες το σύστημα χαρακτηρίζεται αναξιόπιστο και με πράσινο χρώμα οι διατομές στις οποίες το σύστημα χαρακτηρίζεται αξιόπιστο. Πηγή των συντεταγμένων των κόμβων του οδικού δικτύου είναι το Εργαστήριο Σιδηροδρομικής και Μεταφορών του Ε.Μ.Π. Για το χαρακτηρισμό του συστήματος ως αναξιόπιστου και αξιόπιστου στις διατομές του χρησιμοποιήθηκε η εξής διαδικασία: αθροίστηκαν τα εμβαδά – δείκτες χρονοέντασης, τα οποία είχαν υπολογιστεί για τις ανάγκες της δεύτερης μεθόδου, για κάθε διατομή για κάθε εξάωρο από την 01/02/2000 έως και την 07/02/2000. Τα αθροίσματα αυτά, ταξινομήθηκαν κατά φθίνουσα σειρά και χαρακτηρίστηκε το δίκτυο ως αναξιόπιστο στις 14 διατομές με τα μεγαλύτερα αθροίσματα, μέσω της χρήσης του μέτρου αξιοπιστίας, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στη δεύτερη μέθοδο. Κατ' αυτόν τον τρόπο σχεδιάστηκαν 3x7, δηλαδή 21 σχέδια για τα εξάωρα 6:00 – 12:00, 12:00 – 18:00 και 18:00 – 24:00, για την πρώτη εβδομάδα του Φεβρουαρίου του 2000.

7. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΕΝΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΚΑΙ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΕΣ ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ ΤΟΥ.

Το κεφάλαιο αυτό στοχεύει στην εκτίμηση της αξιοπιστίας επιλεγμένων διαδρομών στο εσωτερικό του οδικού δικτύου της Αθήνας. Κατ' αρχήν γίνεται αναφορά στην πορεία, η οποία ακολουθήθηκε για την εξαγωγή της αξιοπιστίας της κάθε μεμονωμένης διατομής.

7.1 Επεξήγηση της διαδικασίας που ακολουθείται

Για να υπολογιστεί η αξιοπιστία του συστήματος σε κάποια τυχαία διατομής τίθεται ως βάση η εύλογη υπόθεση πως «ο μελετητής του οδικού δικτύου σχεδιάζει μία οδό με ενιαία κυκλοφοριακή ικανότητα, με σκοπό η ικανότητα αυτή να είναι η μέγιστη τιμή φόρτου, την οποία μπορεί να εξυπηρετεί η οδός. Επίσης, πέραν της τιμής αυτής, η λειτουργία της οδού είναι ασταθής και, συνεπώς, αστοχεί». Παρόλα αυτά, υπάρχουν κάποια όρια ανοχών και η λειτουργία της οδού σε συνθήκες, όπου ο λόγος (v/c) είναι μεγαλύτερος από τη μονάδα, για περίοδο μιας ή δύο φάσεων της σηματοδότησης, είναι ανεκτή. Η μικρότερη μονάδα χρόνου, στην οποία εξάγεται ο λόγος (v/c) για την επίλυση των προβλημάτων αυτού του κεφαλαίου είναι το ένα τέταρτο της ώρας. Κατ' αυτόν τον τρόπο, θεωρήθηκε πως μία διατομή λειτουργεί αξιόπιστα κατά τη διάρκεια ενός τετάρτου της ώρας, όταν η μέση τιμή του λόγου (v/c) είναι μικρότερη ή ίση της μονάδας. Αντίστοιχα, η διατομή λειτουργεί με έλλειψη αξιοπιστίας κατά τη διάρκεια ενός τετάρτου της ώρας, όταν η μέση τιμή του λόγου (v/c) είναι μεγαλύτερη από τη μονάδα.

Κατ' αυτόν τον τρόπο χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα της πρώτης μεθόδου για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας του συστήματος σε τυχαίες διατομές του, όπως αυτή περιγράφηκε στο 6^ο Κεφάλαιο (6.2.1). Συνεπώς, εάν συμβολιστεί με R_i η τιμή της αξιοπιστίας της διατομής i , όταν στην διατομή i κατά τη διάρκεια ενός δεκαπενταλέπτου $(v/c)_i \leq 1$, τότε $R_i = 1$, ενώ, όταν $(v/c)_i \geq 1$, τότε $R_i = 0$.

Ακολουθώντας, κατασκευάζονται τα διαγράμματα αξιοπιστίας για κάθε διαδρομή, ανάλογα με τη ροή και την αλληλουχία των διατομών, από τις οποίες περνά, με βάση τη θεωρία υπολογισμού της αξιοπιστίας δικτύων, όπως αυτή περιγράφηκε στο 5^ο Κεφάλαιο (5.7).

Μετά από αυτό το στάδιο ακολουθεί η διατύπωση των εξισώσεων που εκτιμούν την αξιοπιστία στα επιμέρους τμήματα του δικτύου και η εξαγωγή της τελικής εξίσωσης που παρέχει τον υπολογισμό της αξιοπιστίας για όλο το δίκτυο, από τον κόμβο εισόδου έως τον κόμβο εξόδου.

7.2 Υπολογισμός της αξιοπιστίας του συστήματος σε ένα υποσύστημά του και σε δύο διαδρομές του

7.2.1 Το δίκτυο από τον κόμβο Πατησίων και Χαλκοκονδύλη έως τον κόμβο Κηφισίας και Αλεξάνδρας

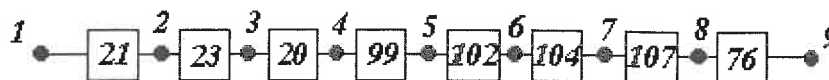
Η πρώτη απόπειρα υπολογισμού της αξιοπιστίας αφορά στο τμήμα του δικτύου από τη διασταύρωση των οδών Χαλκοκονδύλη και Πατησίων έως τη διασταύρωση των λεωφόρων Αλεξάνδρας και Κηφισίας. Δημιουργήθηκαν όλες οι πιθανές διαδρομές μέσω των οποίων ένας υποτιθέμενος οδηγός, ο οποίος βρίσκεται στη διασταύρωση των οδών Χαλκοκονδύλη και Πατησίων, επιθυμεί να φτάσει στη διασταύρωση των λεωφόρων Αλεξάνδρας και Κηφισίας, χρησιμοποιώντας αποκλειστικά εκείνες τις διατομές του δικτύου, για τις οποίες διετίθεντο στοιχεία φόρτων.

Η πρώτη επιλογή που έχει ο οδηγός είναι να διανύσει το τμήμα της οδού Πατησίων έως τον κόμβο της με τη λεωφόρο Αλεξάνδρας κι έπειτα να κατευθυνθεί στο σημείο προορισμού του που είναι ο κόμβος Κηφισίας και Αλεξάνδρας διατρέχοντας το μήκος της λεωφόρου Αλεξάνδρας¹.

Η δεύτερη επιλογή του, η οποία εξετάζεται και διαφέρει σημαντικά από την προηγούμενη είναι να διανύσει το τμήμα της Χαλκοκονδύλη έως την αρχή της οδού Ακαδημίας, εν συνεχεία να διανύσει το τμήμα της οδού Ακαδημίας έως τη διασταύρωσή της με την οδό Ασκληπιού, έπειτα να διανύσει ολόκληρη την οδό Ασκληπιού έως τη διασταύρωσή της με τη λεωφόρο Αλεξάνδρας και τέλος να διανύσει το αποδέλοιπο τμήμα της λεωφόρου Αλεξάνδρας έως τον κόμβο της με τη λεωφόρο Κηφισίας.

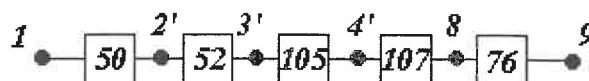
¹ Εκ παραδρομής, δεν λήφθηκε υπόψη πως το τμήμα της οδού Πατησίων από τον κόμβο της με την οδό Χαλκοκονδύλη έως τον κόμβο της με την οδό Στουρνάρη είναι τμήμα λεωφορειολωρίδας.

Για την πρώτη του επιλογή ο οδηγός θα πρέπει να περάσει με τη σειρά από τις διατομές με αρίθμηση : 21, 23, 20, 99, 102, 104, 107 και 76. (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Διαδρομή πρώτης επιλογής

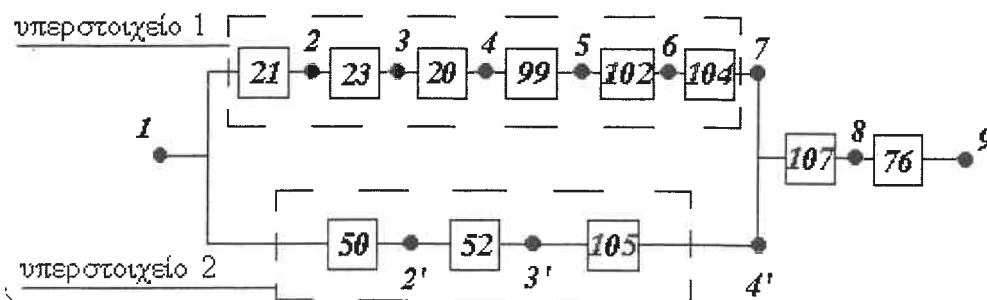
Για την δεύτερη του επιλογή θα πρέπει να περάσει με τη σειρά από τις διατομές με αρίθμηση : 50, 52, 105, 106, 107 και 76. (Εικόνα 2.)



Εικόνα 2. Διαδρομή δεύτερης επιλογής

Στη διαδρομή που περιγράφεται στην πρώτη επιλογή ο οδηγός ξεκινά από τη διατομή 21, στη συνέχεια διέρχεται από τις διατομές 23, 20, 99, 102, 104, 106, 107 και εν τέλει φτάνει στη διατομή 76. Στη διαδρομή που περιγράφεται στη δεύτερη επιλογή, ο οδηγός αρχικά διέρχεται από τις διατομές 50, 52 και 105 κι εν συνεχεία από την 107 για να φτάσει τελικά στη διατομή 76.

Τώρα πια αφού έχουν εντοπιστεί τα κοινά και διαφορετικά στοιχεία κάθε διαδρομής μπορούν να ενοποιηθούν οι δύο ανωτέρω εικόνες των διαδρομών και να παραχθεί η Εικόνα 4 του δικτύου.



Εικόνα 3. Εικόνα δικτύου ανάμεσα στους κόμβους Πατησίων και Χαλκοκονδύλη και Κηφισίας και Αλεξάνδρας με τα υπερστοιχεία 1 και 2 και τις διατομές 107 και 76.

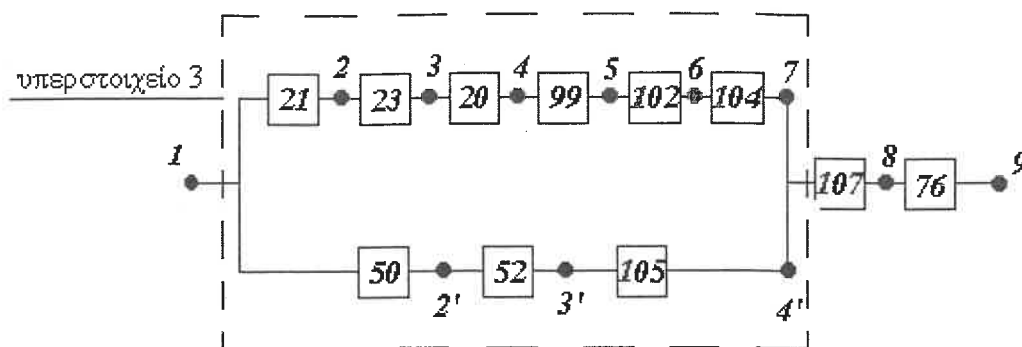
Στην Εικόνα 4 παρουσιάζεται η όψη του δικτύου, όπως αυτή είναι χρήσιμη για την εφαρμογή της μεθόδου εκτιμήσεως της αξιοπιστίας. Έχει τους εξής κόμβους

- Κόμβος 1 : αποτελεί τον κόμβο εισόδου του δικτύου του σχήματος και αντιστοιχεί στη διασταύρωση των οδών Πατησίων και Χαλκοκονδύλη
- Κόμβοι 2 – 6 : αποτελούν τους ενδιάμεσους κόμβους ένωσης των διατομών της διαδρομής της πρώτης επιλογής στο μη κοινό τμήμα
- Κόμβοι 2' και 3' : αποτελούν τους κόμβους σύνδεσης των διατομών της διαδρομής της δεύτερης επιλογής στο μη κοινό τμήμα
- Κόμβοι 7 και 4' : αποτελούν τους κόμβους σύνδεσης των μη κοινών τμημάτων με τη διατομή 107 για τη διαδρομή της πρώτης και της δεύτερης επιλογής αντίστοιχα
- Κόμβος 8 : αντιστοιχεί στον κόμβο Ασκληπιού και Αλεξάνδρας.
- Κόμβος 9 : αποτελεί τον κόμβο εξόδου του δικτύου και αντιστοιχεί στον κόμβο Αλεξάνδρας και Κηφισίας.

Στο σημείο αυτό θα αιτιολογηθούν οι σχέσεις μεταξύ των διατομών, στις οποίες στηρίζεται το σχήμα του δικτύου της Εικόνας 4.. Η αλληλουχία των διατομών, ιδιαίτερα η μορφή της, καθορίζεται από λογικούς συσχετισμούς που σχολιάζονται αμέσως πιο μετά και βασίζονται στη θεωρία υπολογισμού της αξιοπιστίας δικτύων, όπως αυτή περιγράφηκε στο 5^ο Κεφάλαιο (5.7).

Κατ' αρχήν στην πρώτη επιλογή οι διατομές 21, 23, 20, 99, 102 και 104 συνδέονται σε σειρά διότι εάν μία εκ των έξι έχει μηδενική απόδοση, γεγονός που σημαίνει την απώλεια της συνδεσιμότητας των άκρων του οδικού τμήματος που αναπαριστά και κατ' επέκταση απαγορεύει τη σύνδεση όποιων άκρων βρίσκονται εκατέρωθεν των σημείων που την ορίζουν, τότε ολόκληρο το τμήμα αυτό της διαδρομής έχει μηδενική απόδοση. Συνεπώς για να λειτουργεί και να επιτρέπει στη ροή να το διαπερνά θα πρέπει και οι έξι διατομές να λειτουργούν σχηματίζοντας το υπερστοιχείο 1.

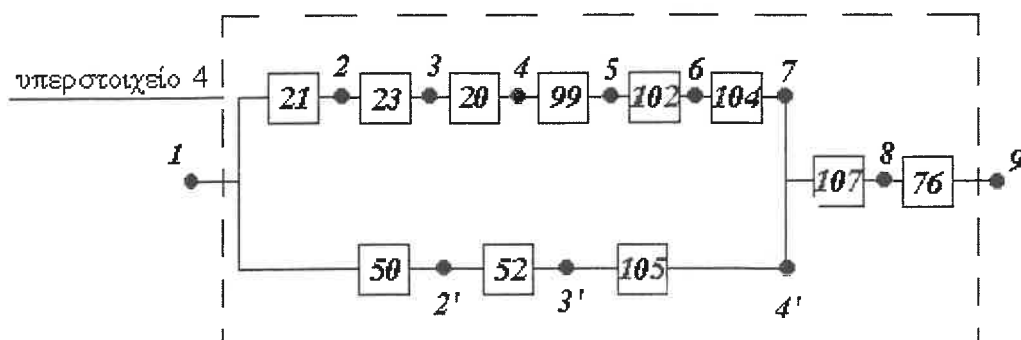
Επιπλέον για να υπάρχει ροή από τον κόμβο 3 έως τον κόμβο 7 πρέπει να λειτουργούν και οι τρεις διατομές 50, 52, 105. Οπότε οι σύνδεσμοι αυτοί συνδέονται σε σειρά δημιουργώντας το υπερστοιχείο 2.



Εικόνα 4. Εικόνα δικτύου ανάμεσα στους κόμβους Πατησίων και Χαλκοκονδύλη και Κηφισίας και Αλεξάνδρας με το υπερστοιχείο 3 και τις διατομές 107 και 76.

Για να υπάρχει σύνδεση μεταξύ του κόμβου εισόδου και του κόμβου 5 πρέπει ένα τουλάχιστον εκ των υπερστοιχείων 1 και 2 να λειτουργεί ή με διαφορετικό τρόπο διατυπώνοντας για να μην υπάρχει σύνδεση ανάμεσα στον κόμβο εισόδου και τον κόμβο 5 πρέπει και τα δύο υπερστοιχεία να αστοχούν. Για το λόγο αυτό συνδέονται παράλληλα, δημιουργώντας το υπερστοιχείο 3.

Τέλος για να υπάρχει σύνδεση ανάμεσα στον κόμβο εισόδου και στον κόμβο εξόδου, πρέπει να λειτουργούν το υπερστοιχείο 3 και οι διατομές 107, 76 ή για να εκλείπει η δυνατότητα σύνδεσης των κόμβων εισόδου και εξόδου πρέπει να μην αστοχεί κανένα σύνδεσμος από τις διατομές 107 και 76. για το λόγο αυτό η σύνδεση των συγκεκριμένων διατομών και του υπερστοιχείου 3 είναι σειριακή. Κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργείται το υπερστοιχείο 4 του οποίου η αξιοπιστία είναι ίση με αυτή του δικτύου ως ισοδύναμη του μορφή ως προς την αξιοπιστία



Εικόνα 5. Εικόνα δικτύου ανάμεσα στους κόμβους Πατησίων και Χαλκοκονδύλη και Κηφισίας και Αλεξάνδρας με το υπερστοιχείο 4.

Όπως έχει προαναφερθεί, εάν αναπαρασταθεί με R_i η πιθανότητα να λειτουργεί η διατομή i και με Q_i η πιθανότητα να μη λειτουργεί, τότε ο δείκτης R_i αποτελεί μέτρο αξιοπιστίας και ο δείκτης Q_i αποτελεί μέτρο έλλειψης της αξιοπιστίας, ενώ $R_i = 1 - Q_i$. Όπως έχει αποδειχθεί στην ενότητα 5.7 του 5^{ου} Κεφαλαίου το σύστημα των n σε σειρά στοιχείων έχει συνολική αξιοπιστία :

$$R_{SYS} = R_1 R_2 \dots R_n \text{ και } Q_{SYS} = 1 - (1 - Q_1)(1 - Q_2) \dots (1 - Q_n)$$

Ενώ το σύστημα των n παράλληλων στοιχείων έχει συνολική αξιοπιστία :

$$R_{SYS} = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) \dots (1 - R_n) \text{ και } Q_{SYS} = Q_1 Q_2 \dots Q_n$$

Τώρα πια υπάρχει η δυνατότητα να εξαχθούν οι σχέσεις, οι οποίες θα οδηγήσουν στην τελική εξίσωση της αξιοπιστίας.

Για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας του υπερστοιχείου 1 : έχει αποδειχθεί πως το υπερστοιχείο 1 αποτελείται από έξι σε σειρά συνδέσμους, δηλαδή τις διατομές 23, 20, 99, 21, 102 και 104.

$$\text{Οπότε } R_{\text{υπερ}1} = R_{23} R_{20} R_{99} R_{21} R_{102} R_{104} \quad (1.1)$$

Για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας του υπερστοιχείου 2 : έχει αποδειχθεί πως το υπερστοιχείο 2 δημιουργείται από τη σειριακή σύνδεση των διατομών 50, 52, 105.

$$\text{Οπότε } R_{\text{υπερ}2} = R_{50} R_{52} R_{105} \quad (1.2)$$

Για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας του υπερστοιχείου 3 : έχει αποδειχθεί πως το υπερστοιχείο 3 δημιουργείται από την παράλληλη σύνδεση των υπερστοιχείων 1 και 2.

$$\text{Οπότε } R_{\text{υπερ}3} = 1 - (1 - R_{\text{υπερ}1})(1 - R_{\text{υπερ}2}) \quad (1.3)$$

Για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας του υπερστοιχείου 4 : έχει αποδειχθεί πως το υπερστοιχείο 4 δημιουργείται από τη σειριακή σύνδεση του υπερστοιχείου 3 και των διατομών 107, 76.

$$\text{Οπότε } R_{\text{υπερ}4} = R_{\text{υπερ}3} R_{107} R_{76} \quad (1.4)$$

Όμως, η αξιοπιστία του συστήματος ισούται με την αξιοπιστία του υπερστοιχείου 4 και λαμβάνοντας υπόψη τις εξισώσεις (1.1) έως (1.4) εξάγεται η εξίσωση, η οποία υπολογίζει την αξιοπιστία του δικτύου:

$$R_{SYS} = [1 - (1 - R_{23} R_{20} R_{99} R_{21} R_{102} R_{104})(1 - R_{50} R_{52} R_{105})] R_{107} R_{76} \quad (1.5)$$

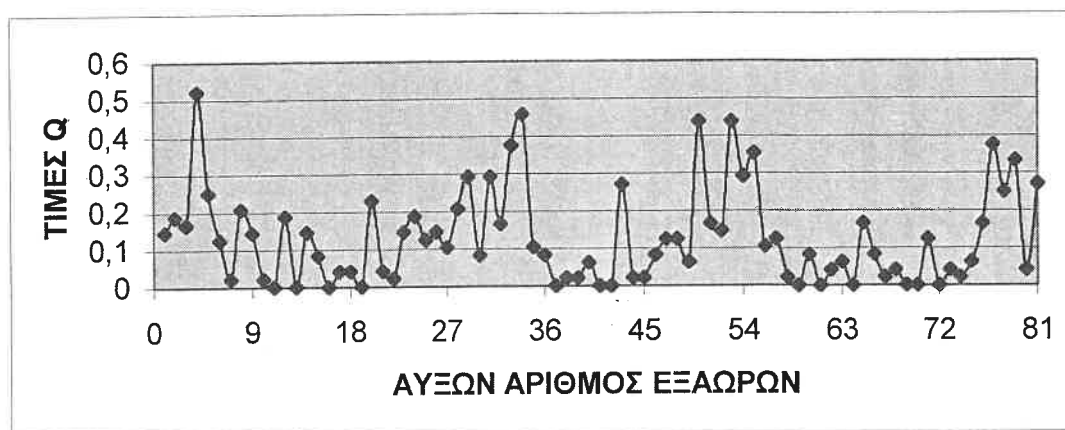
Επιπρόσθετα ισχύει πως

$$Q_{SYS} = 1 - [1 - (1 - R_{23} R_{20} R_{99} R_{21} R_{102} R_{104})(1 - R_{50} R_{52} R_{105})] R_{107} R_{76} \quad (1.6)$$

Ακολούθως, χωρίστηκε η ημέρα σε τέσσερα εξάωρα, όπως περιγράφηκε στην ενότητα 6.1 του 6^{ου} Κεφαλαίου και χρησιμοποιήθηκαν οι εξαγχθείσες τιμές της αξιοπιστίας για τα εξάωρα που καλύπτουν τις ώρες 6:00 – 12:00, 12:00 – 18:00, 18:00 – 24:00.

Εφαρμόζοντας τη σχέση (1.6) για κάθε ένα δεκαπεντάλεπτο σε καθένα από τα τρία εξάωρα της ημέρας ώστε να προκύψει η τιμή της έλλειψης αξιοπιστίας Q του δικτύου σε κάθε δεκαπεντάλεπτο. Στην πορεία εξάγεται η μέση τιμή της έλλειψης της αξιοπιστίας Q του δικτύου για 81 εξάωρα του Φεβρουαρίου.

Εάν παρατεθούν οι τιμές της Q ανάλογα με τη χρονολογική τους σειρά θα κατασκευαστεί το Γράφημα 1.

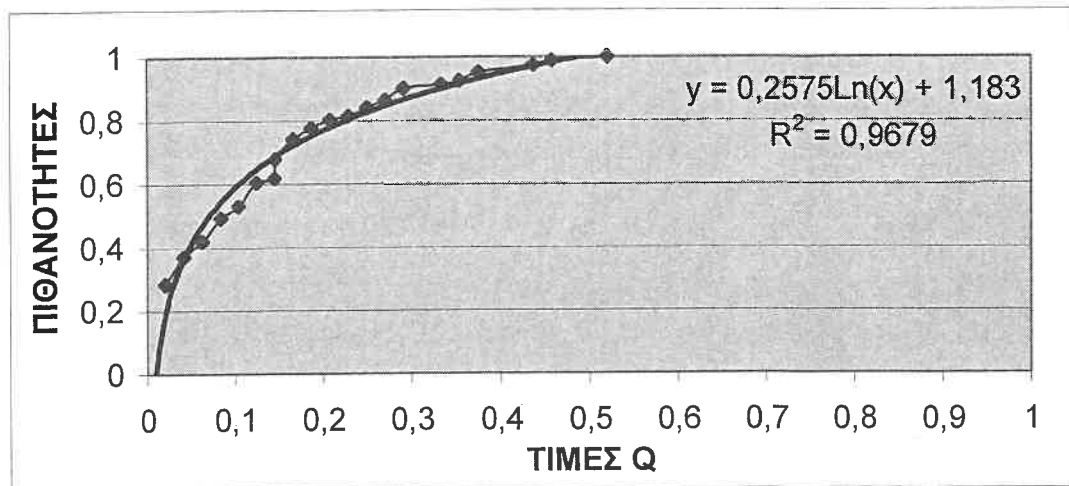


Γράφημα 1. Ζεύγη τιμών Q με τους αύξοντες αριθμούς των εξάωρων.

Όπως παρατηρείται από το γράφημα, γενικά ο δείκτης έλλειψης αξιοπιστίας Q λαμβάνει τιμές από ένα σχετικά μεγάλο εύρος τιμών, όμως εν γένει κινείται σε χαμηλά επίπεδα.

Για την καλύτερη, όμως, εποπτεία του φαινομένου κατασκευάζονται δύο στήλες Α και Β. Η στήλη Α, με στοιχεία α_i , αποτελείται από τις κατ' αύξουσα σειρά ταξινομημένες τιμές του δείκτη Q . Η στήλη Β, με στοιχεία β_i , αποτελείται από τους κατ' αύξουσα σειρά ρητούς αριθμούς $1/81, 2/81 \dots 80/81, 1$. Κατ' αυτόν τον τρόπο, δημιουργούνται ζευγάρια τιμών (α_i, β_i) , στα οποία ο πρώτος αριθμός α_i ισούται με κάποια τιμή του δείκτη αξιοπιστίας Q , και ο δεύτερος αριθμός β_i ισούται με το κλάσμα του χρόνου στα οποία η τιμή του δείκτη Q είναι μικρότερη ή ίση της τιμής α_i , δηλαδή ο δείκτης β_i δεν είναι τίποτα άλλο από την πιθανότητα με την οποία η τιμή του δείκτη Q είναι μικρότερη ή ίση κάποιας τιμής, εν προκειμένω της τιμής α_i . Εάν τοποθετηθούν τα ζευγάρια αυτά σε ένα γράφημα, με τις τιμές των α_i , δηλαδή του δείκτη Q , να βρίσκονται στον άξονα των τετμημένων και τις τιμές των β_i , δηλαδή των

πιθανοτήτων, να βρίσκονται στον άξονα των τεταγμένων προκύπτει το γράφημα 2. Επιπρόσθετα, με τη δυνατότητα προσθήκης γραμμής τάσης στο πρόγραμμα του Excel, παρατηρείται πως το γράφημα προσεγγίζεται από τη συνάρτηση f , η οποία τελικά είναι η καμπύλη της αθροιστικής συνάρτησης πιθανότητας.



Γράφημα 2. Γράφημα σειράς δεδομένων και της συνάρτησης, η οποία τα προσεγγίζει και αφορά σε όλο το δίκτυο.

Παρατηρείται λοιπόν μέσω της δυνατότητας προσθήκης γραμμής τάσης στο πρόγραμμα του Excel πως οι τιμές προσεγγίζονται με υψηλό συντελεστή R^2 από τη συνάρτηση $f(x) = 0,2575 \ln(x) + 1,183$. Αυτή η συνάρτηση f ισούται με $f = P(Q_{\text{SYS}} \leq x)$. Για να έχει φυσική σημασία η συνάρτηση, πρέπει οι τιμές του δείκτη Q και οι τιμές των πιθανοτήτων να είναι μικρότερες ή ίσες από τη μονάδα και μεγαλύτερες ή ίσες από το μηδέν. Κατ' αυτόν τον τρόπο το γράφημα της συνάρτησης βρίσκεται εξ ολοκλήρου στο τετράγωνο $[0,1] \times [0,1]$. Δηλαδή, πρέπει να ισχύουν ταυτόχρονα $0 \leq x \leq 1$ και $0 \leq f(x) \leq 1$. Επιλύοντας αυτές τις δύο ανισότητες, προκύπτει πως το πεδίο ορισμού της συνάρτησης είναι το διάστημα $(0,0101, 0,4913]$. [19]

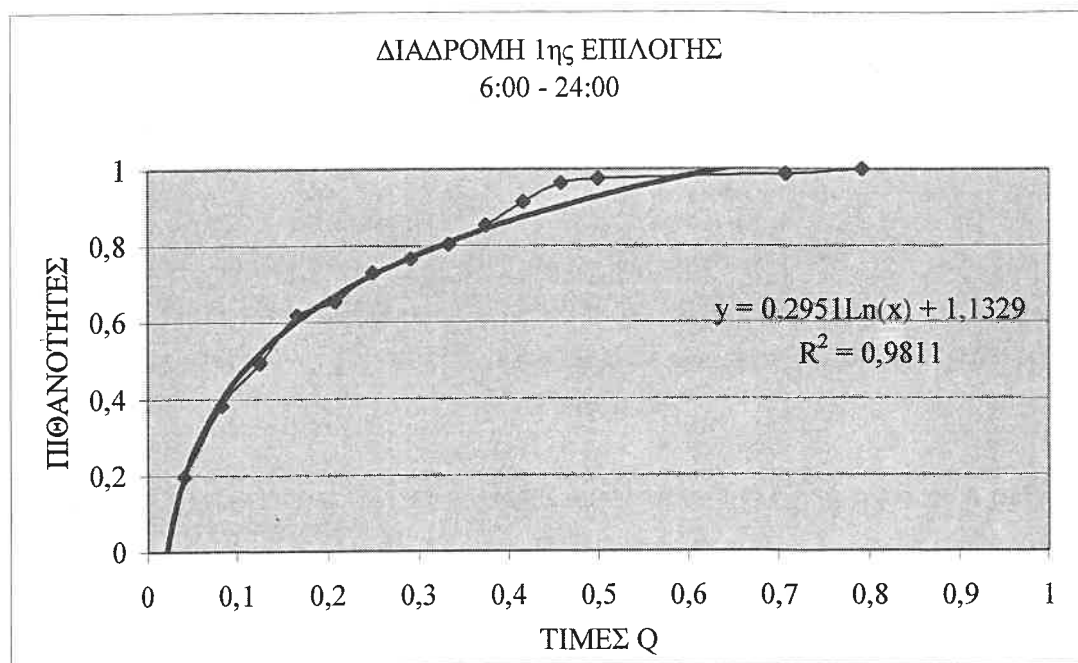
Η συνάρτηση αυτή δίνει σχετικά χαμηλές τιμές του δείκτη έλλειψης αξιοπιστίας με μεγάλη πιθανότητα. Για παράδειγμα η τιμή του δείκτη αξιοπιστίας Q_{SYS} είναι μικρότερη ή ίση από την τιμή 0,2 για το 76,85% του χρόνου, δηλαδή, με πιθανότητα 0,7685 η αξιοπιστία του συστήματος υπερβαίνει την τιμή 0,8.

Στη συνέχεια κατασκευάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα για την πορεία του οδηγού στα μη κοινά τμήματα των δύο επιλογών του και ερευνώνται ως προς την έλλειψη αξιοπιστίας τα τμήματα

- Στην πρώτη επιλογή για τη σε σειρά πια θεωρούμενη σύνδεση των διατομών 21, 23, 20, 99, 102 και 104, όπως έχει προηγούμενα αιτιολογηθεί

- Στη δεύτερη επιλογή για τη σε σειρά πια θεωρούμενη σύνδεση των διατομών 50, 52 και 105, όπως έχει προηγούμενα αιτιολογηθεί

Για την πρώτη διαδρομή :



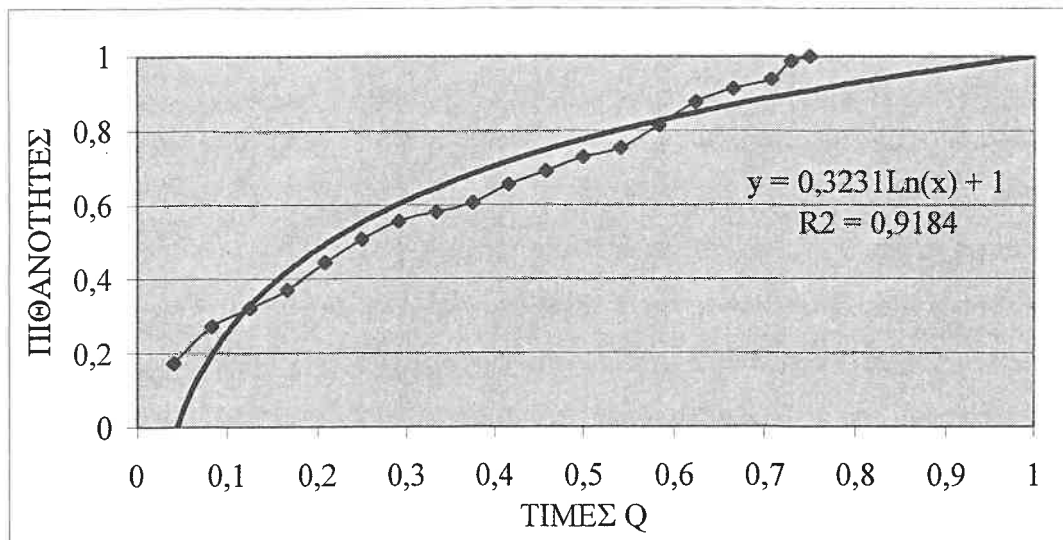
Γράφημα 3. Γράφημα σειράς δεδομένων και της συνάρτησης, η οποία τα προσεγγίζει και αφορά στη διαδρομή της πρώτης επιλογής.

Παρατηρείται πως η καμπύλη των δεδομένων προσεγγίζεται με σημαντική ακρίβεια από τη συνάρτηση $P(Q_{\text{περ}1} \leq x) = 0,2951 \ln(x) + 1,1329$. Η συνάρτηση αυτή είναι μια τυπική λογαριθμική συνάρτηση της μορφής $\alpha \ln(x) + \beta$. Για να έχει φυσική σημασία πρέπει το γράφημά της να βρίσκεται εντός του τετραγώνου $[0,1] \times [0,1]$. Δηλαδή, πρέπει να ισχύουν ταυτόχρονα $0 \leq x \leq 1$ και $0 \leq y(x) \leq 1$. Επιλύοντας αυτές τις δύο ανισότητες, προκύπτει πως το πεδίο ορισμού της συνάρτησης είναι το διάστημα $(0,02151, 0,6374]$. Η συνάρτηση αυτή δίνει σχετικά χαμηλές τιμές του δείκτη έλλειψης αξιοπιστίας αφού η πιθανότητα με την οποία η τιμή του είναι μικρότερη από 0,1 είναι 0,4534 και μικρότερη από 0,2 είναι 0,6580.[19]

Για τη δεύτερη διαδρομή :

Παρατηρείται πως η συνάρτηση $P(Q_{\text{περ}2} \leq x) = 0,3231 \ln(x) + 1$ προσεγγίζει τα δεδομένα του γραφήματος με συντελεστή $R^2 = 0,9184$, δηλαδή με

σχετικά σημαντική ακρίβεια (Γράφημα 4). Συνεπώς, η συνάρτηση αυτή δίνει μέτριες τιμές του δείκτη έλλειψης αξιοπιστίας αφού η πιθανότητα με την οποία η τιμή του είναι μικρότερη από 0,1 είναι 0,256 και μικρότερη από 0,2 είναι 0,4780 $P(Q_{\text{υπερ}2} \leq 0,8)$



Γράφημα 4. Γράφημα σειράς δεδομένων και της συνάρτησης, η οποία τα προσεγγίζει και αφορά στη διαδρομή της πρώτης επιλογής.

Εάν υπολογιστούν οι λόγοι $P(Q_{\text{υπερ}1} \leq 0,1) / P(R_{\text{υπερ}2} \leq 0,1)$ και $P(Q_{\text{υπερ}1} \leq 0,2) / P(R_{\text{υπερ}2} \leq 0,2)$ παρατηρείται πως λαμβάνουν τις τιμές 1,77 και 1,38, αντίστοιχα. Για να συγκριθεί η έλλειψη της αξιοπιστίας του συστήματος στις δύο διαδρομές σχηματίζεται η συνάρτηση ϕ , η οποία ισούται με τη διαφορά τους.

Δηλαδή, $\phi(x) = P(Q_{\text{υπερ}2} \leq x) - P(Q_{\text{υπερ}1} \leq x) = 0,028 \ln(x) - 0,1329$, η οποία έχει νόημα στο διάστημα, το οποίο προέρχεται από την τομή των πεδίων ορισμού των συναρτήσεων, οι οποίες δίνουν την πιθανότητα με την οποία η αξιοπιστία του συστήματος είναι μικρότερη ή ίση κάποιας τιμής x . Δηλαδή, το πεδίο ορισμού της συνάρτησης είναι το διάστημα $(0,02151, 0,4913]$. Η συνάρτηση ϕ έχει μερική παράγωγο τη συνάρτηση $\phi' = 0,028 / x$. Άρα είναι γνησίως αύξουσα [19]. Συνεπώς τη μέγιστη τιμή της τη λαμβάνει στο δεξιό άκρο του πεδίου ορισμού της, δηλαδή για $x = 0,4913$. Όμως, $\phi(0,4913) = -0,1528$. Άρα, εφόσον η μέγιστη τιμή της συνάρτησης είναι η τιμή $-0,1528$, λαμβάνει μόνο αρνητικές τιμές. Συνεπώς, $\phi(x) < 0$ ή $P(Q_{\text{υπερ}2} \leq x) < P(Q_{\text{υπερ}1} \leq x)$, δηλαδή το υπερστοιχείο 1 λειτουργεί με τον ίδιο δείκτη έλλειψης αξιοπιστίας με το υπερστοιχείο 2 με μικρότερη πιθανότητα, ή διαφορετικά λειτουργεί περισσότερο αξιόπιστα.

Έως τώρα δεν έχει φανεί ο λόγος για τον οποίο χωρίστηκε η ημέρα σε τέσσερα εξάωρα. Μια επιπρόσθετη επιδίωξη ήταν να ερευνηθεί η αξιοπιστία του δικτύου όχι μόνο στο σύνολο της ημέρας αλλά και σε επιμέρους τμήματά της, με απώτερο σκοπό την εύρεση του βαθμού της αξιοπιστίας και του τρόπου με τον οποίο αυτή διαφοροποιείται από εξάωρο σε εξάωρο. Για να κατασταθεί εφικτή αυτή η προσδοκία ακολουθήθηκε η ίδια πορεία, όπως παραπάνω, για κάθε εξάωρο και χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις (1.1) έως (1.5). Κατασκευάστηκαν οι στήλες Α και Β με την ίδια μέθοδο με τη διαφορά πως τα στοιχεία της στήλης Β είναι οι ρητοί $1/27, 2/27, \dots, 26/27, 1$, διότι για κάθε εξάωρο εξήχθησαν συνολικά 27 τιμές του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας. Με την κατασκευή των αντίστοιχων διαγραμμάτων, τα οποία παρουσιάζονται στο παράρτημα αυτής της εργασίας, και την προσέγγιση των καμπυλών με την προσθήκη γραμμών τάσεως στο πρόγραμμα του Excel εξάγονται τα ακόλουθα :

1. Για την συνολική αξιοπιστία του δικτύου, δηλαδή την αξιοπιστία του υπερστοιχείου 4 οι σχέσεις έχουν την εξής μορφή

- Για το εξάωρο 6:00 – 12:00 $P(Q_{SYS} \leq x) = 0,2136 \ln(x) + 1,1182$ με $R^2 = 0,9860$ και η συνάρτηση έχει πεδίο ορισμού το διάστημα $(0,0053, 0,5750]$. Η μέση τιμή του δείκτη αξιοπιστίας R είναι ίση με 0,875
- Για το εξάωρο 12:00 – 18:00 $P(Q_{SYS} \leq x) = 0,2974 \ln(x) + 1,2072$ με $R^2 = 0,9362$ και η συνάρτηση έχει πεδίο ορισμού το διάστημα $(0,0076, 0,4328]$. Η μέση τιμή του δείκτη αξιοπιστίας R είναι ίση με 0,8565
- Για το εξάωρο 18:00 – 24:00 $P(Q_{SYS} \leq x) = 0,3437 \ln(x) + 1,3450$ με $R^2 = 0,9520$ και η συνάρτηση έχει πεδίο ορισμού το διάστημα $(0,0200, 0,3664]$. Η μέση τιμή του δείκτη αξιοπιστίας R είναι ίση με 0,8820

2. Για την αξιοπιστία της διαδρομής της επιλογής 1, δηλαδή την αξιοπιστία του υπερστοιχείου 1 οι εξισώσεις έχουν την εξής μορφή

- Για το εξάωρο 6:00 – 12:00 $P(Q_{SYS} \leq x) = 0,2636 \ln(x) + 1,25$ με $R^2 = 0,9500$ και η συνάρτηση έχει πεδίο ορισμού το διάστημα $(0,0087, 0,3873]$. Η μέση τιμή του δείκτη αξιοπιστίας R είναι ίση με 0,9059
- Για το εξάωρο 12:00 – 18:00 $P(Q_{SYS} \leq x) = 0,3326 \ln(x) + 1,1274$ με $R^2 = 0,9476$ και η συνάρτηση έχει πεδίο ορισμού το διάστημα $(0,0034, 0,6818]$. Η μέση τιμή του δείκτη αξιοπιστίας R είναι ίση με 0,7994

- Για το εξάωρο 18:00 – 24:00 $P(Q_{SYS} \leq x) = 0,3051 \ln(x) + 1,1173$ με $R^2 = 0,9775$ και η συνάρτηση έχει πεδίο ορισμού το διάστημα $(0,0256, 0,6808]$. Η μέση τιμή του δείκτη αξιοπιστίας R είναι ίση με 0,8009

3. Για την αξιοπιστία της διαδρομής της επιλογής 2, δηλαδή την αξιοπιστία του υπερστοιχείου 2 οι εξισώσεις έχουν την εξής μορφή

- Για το εξάωρο 6:00 – 12:00 $P(Q_{SYS} \leq x) = 0,3788 \ln(x) + 1$ με $R^2 = 0,6057$ και η συνάρτηση έχει πεδίο ορισμού το διάστημα $(0,0377, 1]$. Η μέση τιμή του δείκτη αξιοπιστίας R είναι ίση με 0,6713
- Για το εξάωρο 12:00 – 18:00 $P(Q_{SYS} \leq x) = 0,4706 \ln(x) + 1$ με $R^2 = 0,8330$ και η συνάρτηση έχει πεδίο ορισμού το διάστημα $(0,1194, 1]$. Η μέση τιμή του δείκτη αξιοπιστίας R είναι ίση με 0,5741
- Για το εξάωρο 18:00 – 24:00 $P(Q_{SYS} \leq x) = 0,3937 \ln(x) + 1,3914$ με $R^2 = 0,9572$ και η συνάρτηση έχει πεδίο ορισμού το διάστημα $(0,0292, 0,3700]$. Η μέση τιμή του δείκτη αξιοπιστίας R είναι ίση με 0,875

Παρατηρείται και σε αυτά τα γραφήματα, όπως και στα αντίστοιχα του 6^{ου} Κεφάλαιο, πως, όταν ο δείκτης αξιοπιστίας R λαμβάνει μεγάλες τιμές, τότε και ο συντελεστής R^2 λαμβάνει υψηλές τιμές.

Καθεμία από τις παραπάνω συναρτήσεις για να είναι συμβατή με την πραγματικότητα του προβλήματος πρέπει να διαθέτει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Κατ' αρχήν με την ευρύτερη έννοια το πεδίο ορισμού της D_f πρέπει να είναι το κλειστό διάστημα $[0,1]$ καθώς επίσης και το σύνολο τιμών της A_f πρέπει να είναι το κλειστό διάστημα $[0,1]$ διότι και οι δύο άξονες, ουσιαστικά, είναι άξονες πιθανοτήτων. Όμως, το σύνολο τιμών και το πεδίο ορισμού της καθεμίας συνάρτησης μπορούν να προκύψουν από την προβολή του γραφήματος της συνάρτησης στους άξονες y και x αντίστοιχα. Τα προκύπτοντα σύνολα είναι υποσύνολα του πεδίου ορισμού και του συνόλου τιμών. Άρα η κάθε συνάρτηση f από τις παραπάνω έχει νόημα και φυσική σημασία στο χωρίο για το οποίο ισχύουν ταυτόχρονα $0 \leq x \leq 1$ και $0 \leq f(x) \leq 1$.

Για τις συναρτήσεις που προσεγγίζουν και περιγράφουν την κατάσταση του δικτύου που εξετάζεται, παρατηρείται πως η συνάρτηση $f(x)$, η οποία προσεγγίζει τα δεδομένα του γραφήματος, είναι της μορφής $\alpha \ln(x) + \beta$. Κάνοντας χρήση των δεικτών 1 για το εξάωρο 6:00 – 12:00, 2 για το εξάωρο 12:00 – 18:00 και 3 για το εξάωρο 18:00 – 24:00, προκύπτει πως $\alpha_1 = 0,2136$, $\beta_1 = 1,1182$, $\alpha_2 = 0,2974$,

$\beta_2 = 1,2072$, $\alpha_3 = 0,3437$ και $\beta_3 = 1,3450$. Οι συντελεστές συσχέτισης είναι υψηλοί και γίνεται η παραδοχή πως για την εξαγωγή των συμπερασμάτων οι συναρτήσεις αυτές ανταποκρίνονται πλήρως στο φαινόμενο και το περιγράφουν. Κατ' αρχήν ένα στόχο αποτελεί η σύγκριση των συναρτήσεων f_1 , f_2 και f_3 , για την εύρεση του τρόπου με τον οποίο η αξιοπιστία του συστήματος μεταβάλλεται, ανάλογα με το εξάωρο. Για τη σύγκριση των συναρτήσεων σχηματίζονται οι συναρτήσεις $h_{k,l}$, οι οποίες ισούνται με τη διαφορά των συναρτήσεων $f_k - f_l$, όπου οι αριθμοί k, l ανήκουν στο σύνολο $\{1, 2, 3\}$ και είναι άνισα μεταξύ τους. Για να έχει νόημα η οικογένεια των συναρτήσεων $h_{k,l}$ πρέπει το πεδίο ορισμού τους να είναι το διάστημα, το οποίο αποτελεί την τομή των πεδίων ορισμού των συναρτήσεων f_k και f_l . Κατ' αυτόν τον τρόπο η συνάρτηση $h_{1,2}(x)$ ισούται με $h_{1,2}(x) = -0,0838 \ln(x) - 0,089$ κι έχει πεδίο ορισμού το διάστημα $[0,0076, 0,4328]$. Η συνάρτηση αυτή είναι γνησίως φθίνουσα διότι $(h_{1,2}(x))' = -0,0838 / x < 0$ στο $[0,0076, 0,4328]$ και μηδενίζεται για $x = 0,3900$. Άρα στο διάστημα $[0,0076, 0,3900)$, $h_{1,2}(x) > 0$, δηλαδή με πιθανότητα $f_1(0,39) = f_2(0,39) = 0,917$ ισχύει $f_1 > f_2$ και στο διάστημα $(0,3900, 0,4328]$ $h_{1,2}(x) < 0$, δηλαδή με πιθανότητα $1 - 0,917 = 0,083$ $f_1 < f_2$. [19]. Άρα με πιθανότητα 0,917 η αξιοπιστία του συστήματος για τη διαδρομή της πρώτης επιλογής είναι μεγαλύτερη στο εξάωρο 6:00 – 12:00 σε σύγκριση με το εξάωρο 12:00 – 18:00.

Επιπλέον, η συνάρτηση $h_{1,3}(x)$ έχει πεδίο ορισμού το διάστημα $[0,0200, 0,3664]$ και ισούται με $h_{1,3}(x) = -0,1301 \ln(x) - 0,2268$. Η συνάρτηση αυτή είναι γνησίως φθίνουσα διότι $(h_{1,3}(x))' = -0,1301 / x < 0$ στο $[0,0200, 0,3664]$ και μηδενίζεται για $x = 0,1749$. Άρα στο διάστημα $[0,0200, 0,1749)$ $h_{1,3}(x) > 0$, δηλαδή με πιθανότητα $f_1(0,1749) = f_3(0,1749) = 0,7458$ ισχύει $f_1 > f_3$ και στο διάστημα $(0,1749, 0,3664]$ $h_{1,3}(x) < 0$, δηλαδή με πιθανότητα $1 - 0,7458 = 0,2542$ $f_1 < f_3$. Άρα με πιθανότητα 0,7458 η αξιοπιστία του συστήματος για τη διαδρομή της πρώτης επιλογής είναι μεγαλύτερη στο εξάωρο 6:00 – 12:00 σε σύγκριση με το εξάωρο 18:00 – 24:00.

Επίσης η συνάρτηση $h_{2,3}(x)$ έχει πεδίο ορισμού το διάστημα $[0,0200, 0,3664]$ και ισούται με $h_{2,3}(x) = -0,0463 \ln(x) - 0,1378$. Η συνάρτηση αυτή είναι γνησίως φθίνουσα διότι $(h_{2,3}(x))' = -0,0463 / x < 0$ στο $[0,0200, 0,3664]$ και για $x = 0,0510$ μηδενίζεται. Άρα στο διάστημα $[0,0200, 0,0510)$ $h_{2,3}(x) > 0$, δηλαδή με πιθανότητα 0,3222 $f_2 > f_3$ και στο διάστημα $(0,0510, 0,3664]$ $h_{2,3}(x) < 0$, δηλαδή με πιθανότητα $1 - 0,3222 = 0,6778$ $f_2 < f_3$. Άρα με πιθανότητα 0,3222 η αξιοπιστία του

συστήματος για τη διαδρομή της πρώτης επιλογής είναι μεγαλύτερη στο εξάωρο 12:00 – 18:00 σε σύγκριση με το εξάωρο 18:00 – 24:00.

Για τη διαδρομή της δεύτερης επιλογής παρατηρείται πως η συνάρτηση που προσεγγίζει το φαινόμενο για το εξάωρο 6:00 – 12:00 έχει χαμηλό συντελεστή συσχέτισης, για το εξάωρο 12:00 – 18:00 μεγαλύτερο αλλά όχι ικανοποιητικό, ενώ για το εξάωρο 18:00 – 24:00 έχει υψηλό βαθμό συσχέτισης. Γενικά, η αξιοπιστία κατά το τελευταίο εξάωρο λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές σε σύγκριση με τα άλλα δύο εξάωρα. Παρατηρείται λοιπόν κι εδώ, όπως στο Κεφάλαιο 6, πως όταν παρατηρείται μείωση της αξιοπιστίας η λογαριθμική συνάρτηση δεν προσεγγίζει το φαινόμενο ικανοποιητικά. Για τα δύο πρώτα εξάωρα οι συναρτήσεις είναι της μορφής $\alpha \ln(x) + 1$, συγκεκριμένα για το πρώτο εξάωρο $\alpha_1 = 0,3788$ και για το δεύτερο εξάωρο $\alpha_2 = 0,4706$, ενώ στο τρίτο εξάωρο είναι της μορφής $\alpha \ln(x) + \beta$, με $\alpha = 0,3937$ και $\beta = 1,3914$.

Ωστόσο, εάν παραβλεφθεί ο πρώτος πολύ χαμηλός συντελεστή συσχέτισης και δημιουργηθούν οι συναρτήσεις $h_{k,l}$, τότε θα προκύψει πως $h_{1,2}(x) = -0,0918 \ln(x)$. Η συνάρτηση αυτή έχει ως πεδίο ορισμού την τομή των πεδίων ορισμού των συναρτήσεων f_1 και f_2 , δηλαδή το διάστημα $(0,1194, 1]$. Επιπλέον, η συνάρτηση λαμβάνει θετικές τιμές σε όλο το πεδίο ορισμού της, διότι ο λογάριθμος των πραγματικών, οι οποίοι είναι μικρότεροι από τη μονάδα, είναι αρνητικός αριθμός. Άρα $h_{1,2}(x) > 0$, δηλαδή $f_1 > f_2$ και η αξιοπιστία του συστήματος για τη διαδρομή της δεύτερης επιλογής είναι μεγαλύτερη στο εξάωρο 6:00 – 12:00 σε σύγκριση με το εξάωρο 12:00 – 18:00.

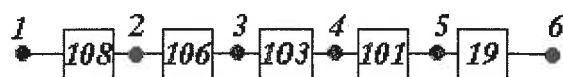
Επιπρόσθετα, εάν σχηματισθεί η συνάρτηση $h_{1,3}(x)$, τότε αυτή έχει πεδίο ορισμού το διάστημα $[0,0377, 0,3700]$ και ισούται με $h_{1,3}(x) = -0,0149 \ln(x) - 0,3914$. Η συνάρτηση αυτή είναι γνησίως φθίνουσα διότι $(h_{1,3}(x))' = -0,0149 / x < 0$ στο $[0,0377, 0,3700]$ και $h_{1,3}(0,0377) = -0,3426 < 0$. Λόγω της μονοτονίας της στο διάστημα $[0,0377, 0,3700]$ $h_{1,3}(x) < h_{1,3}(0,0377)$, δηλαδή $f_1 < f_3$. Άρα η αξιοπιστία του συστήματος για τη διαδρομή της δεύτερης επιλογής είναι μικρότερη στο εξάωρο 6:00 – 12:00 σε σύγκριση με το εξάωρο 18:00 – 24:00.

7.3 Υπολογισμός της αξιοπιστίας του συστήματος σε επιπρόσθετες διαδρομές του

7.3.1 Η διαδρομή από τον κόμβο της λεωφόρου Κηφισίας με τη λεωφόρο Αλεξάνδρας έως τον κόμβο της οδού Πατησίων με τη λεωφόρο Αλεξάνδρας.

Στην ίδια περιοχή πάλι, μπορεί να ερευνηθεί η αξιοπιστία της λεωφόρου Αλεξάνδρας, μιας οδικής αρτηρίας μεγάλης σπουδαιότητας στην κυκλοφορία της πόλης, όχι μόνο διότι συνδέει δύο άλλες μεγάλες λεωφόρους του οδικού δικτύου της Αθήνας αλλά σε αυτή καταλήγουν ή από αυτή εκκινούν δρόμοι σημαντικής κυκλοφορίας.

Η προσομοίωση που λαμβάνει χώρα για την εξέταση της αξιοπιστίας της λεωφόρου Αλεξάνδρας μπορεί να αποδοθεί σχηματικά στην κάτωθι Εικόνα 5.



Εικόνα 5. Εικόνα δικτύου για τη λεωφόρο Αλεξάνδρας από τον κόμβο της με την λεωφόρο Κηφισίας έως τον κόμβο της με την οδό Πατησίων.

Όπως είναι εμφανές από την ανωτέρω εικόνα, στη λεωφόρο Αλεξάνδρας στο ρεύμα από τον κόμβο της με τη λεωφόρο Κηφισίας προς τον κόμβο της με τη λεωφόρο Πατησίων διετίθεντο στοιχεία μετρήσεων σε πέντε διατομές της. Οι αρίθμηση που λαμβάνει χώρα στο σχήμα υποδηλώνει αυτές τις διατομές. Επίσης

- Ο κόμβος 1 αποτελεί κόμβο εισόδου για το εικονιζόμενο δίκτυο και τοπογραφικά αντιστοιχεί στον κόμβο των λεωφόρων Αλεξάνδρας και Κηφισίας.
- Ο κόμβος 6 αποτελεί κόμβο εξόδου για το εικονιζόμενο δίκτυο και τοπογραφικά αντιστοιχεί στον κόμβο των λεωφόρων Αλεξάνδρας και Πατησίων.

Ένας οδηγός, ο οποίος βρίσκεται στον κόμβο 1 και επιθυμεί να βρεθεί στον κόμβο 6 διατρέχοντας τη λεωφόρο Αλεξάνδρας είναι υποχρεωμένος να περάσει από τις διατομές 108, 106, 103, 101 και 99. Για να υπάρχει ενεργός ροή από τον κόμβο 1 προς τον κόμβο 6 πρέπει να λειτουργούν ταυτόχρονα οι συγκεκριμένες πέντε διατομές διότι στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή στο ενδεχόμενο μία τουλάχιστον διατομή να αστοχεί η ροή αναστέλλεται. Συνεπώς, στην προσομοίωσή τους επιβάλλεται να τοποθετηθούν σε σειρά.

Εάν αναπαρασταθεί με R_i η πιθανότητα να μην αστοχεί η διατομή i και με το γράμμα Q_i η πιθανότητα να αστοχεί, κατά τα γνωστά από την πρώτη μέθοδο του 6^{ου} Κεφαλαίου, τότε ο δείκτης R_i αποτελεί μέτρο αξιοπιστίας και ο δείκτης Q_i

αποτελεί μέτρο έλλειψης της αξιοπιστίας, ενώ $R_i = 1 - Q_i$. Όπως έχει αποδειχθεί στο 5^ο κεφάλαιο, στην ενότητα 5.7, το σύστημα των n σε σειρά στοιχείων έχει συνολική αξιοπιστία :

$$R_{SYS} = R_1 R_2 \dots R_n \text{ και } Q_{SYS} = 1 - (1 - Q_1)(1 - Q_2) \dots (1 - Q_n)$$

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, όπου σύστημα είναι η λεωφόρος Αλεξάνδρας, $R_{SYS} = R_{108} R_{106} R_{103} R_{101} R_{19}$ (1.6)

$$\text{και } Q_{SYS} = 1 - R_{SYS} \quad (1.7)$$

Ακολουθως εφαρμόζεται η σχέση (1.7) για κάθε δεκαπεντάλεπτο και εξάγεται μία μέση τιμή του δείκτη έλλειψης της αξιοπιστίας για κάθε εξάωρο. Συγκεντρώνοντας τις τιμές του δείκτη Q , δημιουργούνται οι στήλες Α και Β για κάθε εξάωρο. Η στήλη Α, με στοιχεία α_i , αποτελείται από τις κατ' αύξουσα σειρά ταξινομημένες τιμές του δείκτη Q . Η στήλη Β, με στοιχεία β_i , αποτελείται από τους κατ' αύξουσα σειρά ρητούς αριθμούς 1/27, 2/27...26/27, 1. Κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται ζευγάρια τιμών (α_i, β_i) στα οποία ο πρώτος αριθμός α_i ισούται με κάποια τιμή του δείκτη αξιοπιστίας Q , και ο δεύτερος αριθμός β_i ισούται με το κλάσμα του χρόνου στα οποία η τιμή του δείκτη Q είναι μικρότερη ή ίση της τιμής α_i , δηλαδή ο δείκτης β_i δεν είναι τίποτα άλλο από την πιθανότητα με την οποία η τιμή του δείκτη Q είναι μικρότερη ή ίση κάποιας τιμής, εν προκειμένω της τιμής α_i . Εάν τοποθετηθούν τα ζευγάρια αυτά σε ένα γράφημα, με τις τιμές των α_i , δηλαδή του δείκτη Q , να βρίσκονται στον άξονα των τετμημένων και τις τιμές των β_i , δηλαδή των πιθανοτήτων, να βρίσκονται στον άξονα των τεταγμένων προκύπτει το γράφημα 2. Επιπρόσθετα, με τη δυνατότητα προσθήκης γραμμής τάσης στο πρόγραμμα του Excel, παρατηρείται πως το γράφημα προσεγγίζεται από τη συνάρτηση f , η οποία τελικά είναι η καμπύλη της αθροιστικής συνάρτησης πιθανότητας.

2. Κατ' αυτόν τον τρόπο προκύπτουν τα παρακάτω :

- Για το εξάωρο 6:00 – 12:00 $P(Q_{SYS} \leq x) = 0,8966 \ln(x) + 1$ με $R^2 = 0,8309$ και η συνάρτηση έχει πεδίο ορισμού το διάστημα (0,3278, 1]. Η μέση τιμή του δείκτη αξιοπιστίας R είναι ίση με 0,358
- Για το εξάωρο 12:00 – 18:00 $P(Q_{SYS} \leq x) = 2,3895 \ln(x) + 1$ με $R^2 = 0,5598$ και η συνάρτηση έχει πεδίο ορισμού το διάστημα (0,6580, 1]. Η μέση τιμή του δείκτη αξιοπιστίας R είναι ίση με 0.1204

- Για το εξάωρο 18:00 – 24:00 $P(Q_{\text{SYS}} \leq x) = 2,7785 \ln(x) + 1$ με $R^2 = 0,8469$ και η συνάρτηση έχει πεδίο ορισμού το διάστημα $(0,6448, 1]$. Η μέση τιμή του δείκτη αξιοπιστίας R είναι ίση με 0,1451

Ο συντελεστής συσχέτισης της συνάρτησης με τα δεδομένα, κατά το εξάωρο 12:00 – 18:00 είναι χαμηλός, ενώ, στα άλλα δύο εξάωρα είναι μεγαλύτερος όχι, όμως, ικανοποιητικά αυξημένος. Εάν συμβολιστούν με τους δείκτες 1, 2 και 3 τα εξάωρα 6:00 – 12:00, 12:00 – 18:00 και 18:00 – 24:00 αντίστοιχα και f η συνάρτηση που προσεγγίζει το φαινόμενο, τότε παρατηρείται πως και οι τρεις συναρτήσεις f_1 , f_2 και f_3 έχουν την ίδια μορφή, δηλαδή $f_i(x) = \alpha_i \ln(x) + 1$ με $\alpha_1 = 0,8966$, $\alpha_2 = 2,3895$, $\alpha_3 = 2,7785$. Από τα πεδία ορισμού των συναρτήσεων παρατηρείται πως ο δείκτης έλλειψης αξιοπιστίας λαμβάνει υψηλές τιμές και για το λόγο αυτό η αξιοπιστία της συνολικής διαδρομής χαρακτηρίζεται πολύ χαμηλή. Εάν σχηματιστούν οι συναρτήσεις $h_{k,l}$, τότε θα προκύψει πως $h_{1,2}(x) = -1,4929 \ln(x)$. Η συνάρτηση αυτή έχει ως πεδίο ορισμού την τομή των πεδίων ορισμού των συναρτήσεων f_1 και f_2 , δηλαδή το διάστημα $(0,6580, 1]$. Επιπλέον, η συνάρτηση λαμβάνει θετικές τιμές σε όλο το πεδίο ορισμού της, διότι ο λογάριθμος των πραγματικών, οι οποίοι είναι μικρότεροι από τη μονάδα, είναι αρνητικός αριθμός. Άρα $h_{1,2}(x) > 0$, δηλαδή $f_1 > f_2$ και η αξιοπιστία του συστήματος για τη διαδρομή είναι μεγαλύτερη στο εξάωρο 6:00 – 12:00 σε σύγκριση με το εξάωρο 12:00 – 18:00.

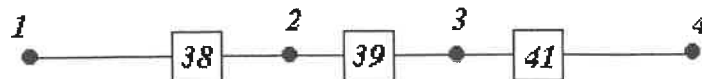
Επιπρόσθετα, εάν σχηματισθεί η συνάρτηση $h_{2,3}(x)$, τότε αυτή έχει πεδίο ορισμού το διάστημα $[0,6580, 1]$ και ισούται με $h_{2,3}(x) = -0,389 \ln(x)$. Η συνάρτηση αυτή, λαμβάνει θετικές τιμές σε όλο το πεδίο ορισμού της, διότι ο λογάριθμος των πραγματικών, οι οποίοι είναι μικρότεροι από τη μονάδα, είναι αρνητικός αριθμός. Δηλαδή, $h_{2,3}(x) > 0$ ή $f_2 > f_3$. Άρα η αξιοπιστία του συστήματος για τη διαδρομή της δεύτερης επιλογής είναι μικρότερη στο εξάωρο 12:00 – 18:00 σε σύγκριση με το εξάωρο 18:00 – 24:00.

7.3.2 Τα δύο ρεύματα μεταξύ του κόμβου των οδών Διονυσίου Αρεοπαγίτου και Στρατηγού Μακρυγιάννη και του κόμβου της Λεωφόρου Αμαλίας και της οδού Φιλελλήνων

Ένα άλλο σημαντικό τμήμα εντός του δικτύου της Αθήνας, από το οποίο περνούν πολυάριθμες διαδρομές, αποτελεί το τμήμα το οποίο σχηματίζεται από τη

σύνδεση των κόμβων 477, 496, 495, 494 και 493. Το κομμάτι της διαδρομής ανάμεσα στον κόμβο 477 και τον κόμβο 496 βρίσκεται επί της οδού Διονυσίου Αρεοπαγίτου ενώ η αποδέλοιπη διαδρομή βρίσκεται επί της οδού Αμαλίας. Για τη συνολική διαδρομή, οι διατομές για τις οποίες διαθέταμε μετρήσεις είναι οι 37, 38, 39, 40, 41 και 98. Από αυτές οι διατομές 38 (η μοναδική διατομή επί της οδού Διονυσίου Αρεοπαγίτου για αυτή την κατεύθυνση), 39 και 41 αποτελούν διαδοχικές διατομές της ίδιας κατεύθυνσης, αυτής προς το κέντρο, με τη σειρά που παρατέθηκαν ενώ οι διατομές 37, 40 και 98 (η μοναδική διατομή επί της οδού Διονυσίου Αρεοπαγίτου για αυτή την κατεύθυνση) αποτελούν διαδοχικές διατομές στην ίδια κατεύθυνση, αυτή του ρεύματος που απομακρύνεται από το κέντρο, με τη σειρά που παρατέθηκαν.

Ας εξεταστεί για αρχή το ρεύμα το οποίο οδηγεί προς το κέντρο. Τότε η μορφή του δικτύου που περιγράφει αποκλειστικά αυτή τη διαδρομή παρουσιάζεται στην Εικόνα 6



Εικόνα 6. Η μορφή του δικτύου τον κόμβο των οδών Διονυσίου Αρεοπαγίτου και Στρατηγού Μακρυγιάννη έως τον κόμβο της Λεωφόρου Αμαλίας με την οδό Φιλελλήνων.

- Ο κόμβος 1 αποτελεί κόμβο εισόδου του εικονιζόμενου δικτύου και αντιστοιχεί στη διασταύρωση της οδού Διονυσίου Αρεοπαγίτου με την οδό Στρατηγού Μακρυγιάννη.

- Ο κόμβος 4 αποτελεί κόμβο εξόδου για το εικονιζόμενο δίκτυο και αντιστοιχεί στη διασταύρωση της Λεωφόρου Αμαλίας με την οδό Φιλελλήνων.

Οι διατομές 38, 39 και 41 συνδέονται σε σειρά μεταξύ τους. Αυτό αιτιολογείται ως εξής : για να είναι εφικτή η σύνδεση των κόμβων 477 και 494 πρέπει να λειτουργούν και οι τρεις διατομές ή διαφορετικά για να μην επιτυγχάνεται η εν λόγω σύνδεση πρέπει να αστοχεί μία τουλάχιστον εκ των τριών διατομών. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η σύνδεση των διατομών είναι σειριακή και ως τέτοια ισχύουν για αυτή οι γνωστές εξισώσεις, μέσω των οποίων υπολογίζεται η αξιοπιστία στα σειριακά δίκτυα. Δηλαδή, με προσαρμογή των σχέσεων $R_{SYS} = R_1 R_2 \dots R_n$ και $Q_{SYS} = 1 - (1 - Q_1)(1 - Q_2) \dots (1 - Q_n)$ στο δίκτυο προκύπτουν τα ακόλουθα :

$$R_{SYS} = R_{38} R_{39} R_{41} \text{ και } Q_{SYS} = 1 - R_{SYS} \quad (1.8)$$

με χρήση της οποίας εξάγεται η τιμή της αξιοπιστίας για καθένα από τα εξάωρα 6:00 – 12:00, 12:00 – 18:00 και 18:00 – 24:00. Εν συνεχεία, δημιουργούνται οι στήλες Α

και Β Η στήλη Α, με στοιχεία α_i , αποτελείται από τις κατ' αύξουσα σειρά ταξινομημένες τιμές του δείκτη Q . Η στήλη Β, με στοιχεία β_i , αποτελείται από τους κατ' αύξουσα σειρά ρητούς αριθμούς $1/27, 2/27 \dots 26/27, 1$. Κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται ζευγάρια τιμών (α_i, β_i) στα οποία ο πρώτος αριθμός α_i ισούται με κάποια τιμή του δείκτη αξιοπιστίας Q , και ο δεύτερος αριθμός β_i ισούται με το κλάσμα του χρόνου στα οποία η τιμή του δείκτη Q είναι μικρότερη ή ίση της τιμής α_i , δηλαδή ο δείκτης β_i δεν είναι τίποτα άλλο από την πιθανότητα με την οποία η τιμή του δείκτη Q είναι μικρότερη ή ίση κάποιας τιμής, εν προκειμένω της τιμής α_i . Εάν τοποθετηθούν τα ζευγάρια αυτά σε ένα γράφημα, με τις τιμές των α_i , δηλαδή του δείκτη Q , να βρίσκονται στον άξονα των τετμημένων και τις τιμές των β_i , δηλαδή των πιθανοτήτων, να βρίσκονται στον άξονα των τεταγμένων προκύπτει το γράφημα 2. Επιπρόσθετα, με τη δυνατότητα προσθήκης γραμμής τάσης στο πρόγραμμα του Excel, παρατηρείται πως το γράφημα προσεγγίζεται από τη συνάρτηση f , η οποία τελικά είναι η καμπύλη της αθροιστικής συνάρτησης πιθανότητας. Κατ' αυτόν τον τρόπο προκύπτουν τα κάτωθι:

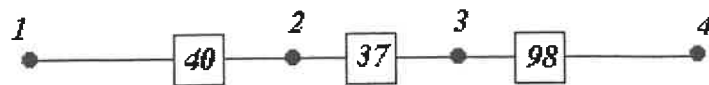
- Για το εξάωρο 6:00 – 12:00 $P(Q_{\text{SYS}} \leq x) = 1,1979 \ln(x) + 1$ με $R^2 = 0,8617$ και η συνάρτηση έχει πεδίο ορισμού το διάστημα $(0,4340, 1]$. Η μέση τιμή του δείκτη αξιοπιστίας R είναι ίση με 0,3056
- Για το εξάωρο 12:00 – 18:00 $P(Q_{\text{SYS}} \leq x) = 2,5760 \ln(x) + 1$ με $R^2 = 0,3277$ και η συνάρτηση έχει πεδίο ορισμού το διάστημα $(0,6783, 1]$. Η μέση τιμή του δείκτη αξιοπιστίας R είναι ίση με 0,088
- Για το εξάωρο 18:00 – 24:00 $P(Q_{\text{SYS}} \leq x) = 1,9369 \ln(x) + 1$ με $R^2 = 0,8818$ και η συνάρτηση έχει πεδίο ορισμού το διάστημα $(0,5967, 1]$. Η μέση τιμή του δείκτη αξιοπιστίας R είναι ίση με 0,1744

Παρατηρείται πως οι συντελεστές συσχέτισης δεν είναι ιδιαίτερα υψηλοί, ενώ, κατά τη διάρκεια του εξάωρου 12:00 – 18:00 λαμβάνει πολύ μικρή τιμή. Εάν συμβολιστούν με τους δείκτες 1, 2 και 3 τα εξάωρα 6:00 – 12:00, 12:00 – 18:00 και 18:00 – 24:00 αντίστοιχα και f η συνάρτηση που προσεγγίζει το φαινόμενο, τότε παρατηρείται πως και οι τρεις συναρτήσεις f_1, f_2 και f_3 έχουν την ίδια μορφή, δηλαδή $f_i(x) = \alpha_i \ln(x) + 1$ με $\alpha_1 = 1,1979, \alpha_2 = 2,5760, \alpha_3 = 1,9369$. Από τα πεδία ορισμού των συναρτήσεων παρατηρείται πως ο δείκτης έλλειψης αξιοπιστίας λαμβάνει υψηλές τιμές και για το λόγο αυτό η αξιοπιστία της συνολικής διαδρομής χαρακτηρίζεται πολύ χαμηλή. Λόγω του πολύ χαμηλού συντελεστή συσχέτισης του δευτέρου

εξάωρου υπολογίζεται μόνο η συνάρτηση $h_{1,3}(x)$, η οποία έχει ως πεδίο ορισμού το διάστημα $[0,5967, 1]$ και ισούται με $h_{1,3}(x) = -0,0739 \ln(x)$. Η συνάρτηση αυτή, λαμβάνει θετικές τιμές σε όλο το πεδίο ορισμού της, διότι ο λογάριθμος των πραγματικών, οι οποίοι είναι μικρότεροι από τη μονάδα, είναι αρνητικός αριθμός.

Άρα στο διάστημα $[0,5967, 1]$ $h_{1,3}(x) > 0$, δηλαδή ισχύει $f_1 > f_3$. Άρα η αξιοπιστία του συστήματος για τη διαδρομή είναι μεγαλύτερη στο εξάωρο 6:00 – 12:00 σε σύγκριση με το εξάωρο 18:00 – 24:00.

Τέλος, εξετάζεται η αξιοπιστία στην ακριβώς αντίθετη διαδρομή από αυτή που εξετάστηκε αμέσως προηγουμένως. Η σχηματική αναπαράσταση του δικτύου για τη διαδρομή αυτή παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.



Εικόνα 7. Η μορφή του δικτύου τον κόμβο της Λεωφόρου Αμαλίας με την οδό Φιλελλήνων έως τον κόμβο των οδών Διονυσίου Αρεοπαγίτου και Στρατηγού Μακρυγιάννη.

- Ο κόμβος 1 αποτελεί κόμβο εισόδου του εικονιζόμενου δικτύου και αντιστοιχεί στη διασταύρωση της Λεωφόρου Αμαλίας με την οδό Φιλελλήνων
- Ο κόμβος 4 αποτελεί κόμβο εξόδου για το εικονιζόμενο δίκτυο και αντιστοιχεί στη διασταύρωση της οδού Διονυσίου Αρεοπαγίτου με την οδό Στρατηγού Μακρυγιάννη.

Παρατηρείται πως ο κόμβος εισόδου του δικτύου της Εικόνας 6 ταυτίζεται με τον κόμβο εξόδου του δικτύου της Εικόνας 7 και ο κόμβος εξόδου του δικτύου της Εικόνας 6 είναι ταυτόσημος με τον κόμβο εισόδου του δικτύου της Εικόνας 7. Οι διατομές 40, 37 και 98 συνδέονται σειριακά. Αυτό το συμπέρασμα εξάγεται από μια απλή εποπτεία του οδικού χάρτη της Αθήνας, στον οποίο εντοπίζεται η αλληλουχία των διατομών και πως η μοναδική σύνδεση των κόμβων 477 και 494 στην κατεύθυνση προς το κέντρο επιτυγχάνεται αποκλειστικά διαμέσου των προαναφερθεισών διατομών και μάλιστα αν και μόνο αν λειτουργούν ταυτόχρονα και οι τρεις. Δεδομένου πια ότι η σύνδεση των διατομών είναι σειριακή, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας οι ανάλογες σχέσεις, οι οποίες προσαρμόζονται στη μορφή του δικτύου. Συνεπώς, η αξιοπιστία σε κάθε

δεκαπεντάλεπτο υπολογίζεται μέσω της προσαρμογής της σχέσης $R_{SYS} = R_1 R_2 \dots R_n$ για την δεδομένη ακολουθία διατομών και προκύπτει πως

$$R_{SYS} = R_{40} R_{37} R_{98} \text{ και } Q_{SYS} = 1 - R_{SYS}$$

Μέσω αυτών των σχέσεων υπολογίζεται ο δείκτης έλλειψης της αξιοπιστίας του συστήματος στη διαδρομή, σε κάθε δεκαπεντάλεπτο, για όλες τις ημέρες στο διάστημα από την 01/02/2000 έως την 27/02/2000 για τα εξάωρα 6:00 – 12:00, 12:00 – 18:00 και 18:00 – 24:00. Εν συνεχεία, δημιουργούνται οι στήλες A και B. Η στήλη A, με στοιχεία α_i , αποτελείται από τις κατ' αύξουσα σειρά ταξινομημένες τιμές του δείκτη Q . Η στήλη B, με στοιχεία β_i , αποτελείται από τους κατ' αύξουσα σειρά ρητούς αριθμούς 1/27, 2/27...26/27, 1. Κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται ζευγάρια τιμών (α_i, β_i) στα οποία ο πρώτος αριθμός α_i ισούται με κάποια τιμή του δείκτη αξιοπιστίας Q , και ο δεύτερος αριθμός β_i ισούται με το κλάσμα του χρόνου στα οποία η τιμή του δείκτη Q είναι μικρότερη ή ίση της τιμής α_i , δηλαδή ο δείκτης β_i δεν είναι τίποτα άλλο από την πιθανότητα με την οποία η τιμή του δείκτη Q είναι μικρότερη ή ίση κάποιας τιμής, εν προκειμένω της τιμής α_i . Εάν τοποθετηθούν τα ζευγάρια αυτά σε ένα γράφημα, με τις τιμές των α_i , δηλαδή του δείκτη Q , να βρίσκονται στον άξονα των τετμημένων και τις τιμές των β_i , δηλαδή των πιθανοτήτων, να βρίσκονται στον άξονα των τεταγμένων προκύπτει το γράφημα 2. Επιπρόσθετα, με τη δυνατότητα προσθήκης γραμμής τάσης στο πρόγραμμα του Excel, παρατηρείται πως το γράφημα προσεγγίζεται από τη συνάρτηση f , η οποία τελικά είναι η καμπύλη της αθροιστικής συνάρτησης πιθανότητας. Κατ' αυτόν τον τρόπο προκύπτουν τα κάτωθι:

- Για το εξάωρο 6:00 – 12:00 $P(Q_{SYS} \leq x) = 0,4131 \ln(x) + 1$ με $R^2 = 0,8582$ και η συνάρτηση έχει πεδίο ορισμού το διάστημα $(0,0889, 1]$. Η μέση τιμή του δείκτη αξιοπιστίας R είναι ίση με 0,6019
- Για το εξάωρο 12:00 – 18:00 $P(Q_{SYS} \leq x) = 0,6148 \ln(x) + 1$ με $R^2 = 0,5444$ και η συνάρτηση έχει πεδίο ορισμού το διάστημα $(0,1966, 1]$. Η μέση τιμή του δείκτη αξιοπιστίας R είναι ίση με 0,4475
- Για το εξάωρο 18:00 – 24:00 $P(Q_{SYS} \leq x) = 0,9672 \ln(x) + 1,0131$ με $R^2 = 0,8818$ και η συνάρτηση έχει πεδίο ορισμού το διάστημα $(0,3556, 1]$. Η μέση τιμή του δείκτη αξιοπιστίας R είναι ίση με 0,3812

Με τους δείκτες 1, 2 και 3 συμβολιστούν τα μεγέθη, τα οποία εξετάζονται όταν αυτά προσδιορίζονται για τα εξάωρα 6:00 – 12:00, 12:00 – 18:00 και 18:00 – 24:00 αντίστοιχα και έστω f η συνάρτηση που προσεγγίζει το φαινόμενο.

Παρατηρείται ότι οι συντελεστές συσχέτισης δεν είναι ιδιαίτερα υψηλοί, ενώ, κατά τη διάρκεια του εξαώρου 12:00 – 18:00 ο συντελεστής R^2 είναι πολύ χαμηλός. Αυτό αιτιολογείται από τη μειωμένη αξιοπιστία του συστήματος σε αυτή τη διαδρομή, αφού αδυνατεί η λογαριθμική συνάρτηση να περιγράψει το φαινόμενο. Κατ' αυτόν τον τρόπο μπορεί να δημιουργηθεί μόνο η συνάρτηση $h_{l,3}$. Η συνάρτηση αυτή δίνεται από τον τύπο $h_{l,3}(x) = -0,5541 \ln(x)$ και έχει ως πεδίο ορισμού την τομή των πεδίων ορισμού των συναρτήσεων των συναρτήσεων f_l και f_3 , δηλαδή το διάστημα $(0,3556, 1]$. Η συνάρτηση αυτή, λαμβάνει θετικές τιμές σε όλο το πεδίο ορισμού της, διότι ο λογάριθμος των πραγματικών, οι οποίοι είναι μικρότεροι από τη μονάδα, είναι αρνητικός αριθμός.

Άρα στο διάστημα $(0,3556, 1]$ $h_{l,3}(x) > 0$, δηλαδή ισχύει $f_l > f_3$. Άρα η αξιοπιστία του συστήματος για τη διαδρομή είναι μεγαλύτερη στο εξάωρο 6:00 – 12:00 σε σύγκριση με το εξάωρο 18:00 – 24:00.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας επεξηγήθηκαν δύο τρόποι, με τους οποίους υπολογίζεται η αξιοπιστία ενός οδικού δικτύου και εφαρμόστηκαν στην περίπτωση του οδικού δικτύου της Αθήνας.

Κατ' αρχήν, το ένα σκέλος της εργασίας ήταν ο χαρακτηρισμός του οδικού δικτύου ως αξιόπιστου ή αναξιόπιστου σε επιλεγμένες διατομές του. Για το σκοπό αυτό παρουσιάστηκαν δύο μέθοδοι και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματά τους. Το δεύτερο σκέλος της εργασίας ήταν ο χαρακτηρισμός του οδικού δικτύου, ως αξιόπιστου ή αναξιόπιστου σε ένα υποσύστημά του και σε επιλεγμένες διαδρομές του.

Παρατηρήθηκε, λοιπόν, πως όταν ο δείκτης αξιοπιστίας R του συστήματος σε μία διατομή ή σε μία διαδρομή ή στο υποσύστημα ήταν υψηλός, τότε η λογαριθμική συνάρτηση προσέγγιζε με υψηλό συντελεστή συσχέτισης το γράφημα, το οποίο δημιουργούνταν από τα ζεύγη τιμών (α_i, β_i) , όπου

- α_i , οι τιμές οι οποίες θέτονταν στον άξονα των τετμημένων και αποτελούσαν τις τιμές του δείκτη έλλειψης αξιοπιστίας Q , όπως υπολογίζονταν σε κάθε περίπτωση
- β_i , οι τιμές οι οποίες θέτονταν στον άξονα των τεταγμένων και αποτελούσαν τις πιθανότητες, με τις οποίες ο δείκτης έλλειψης αξιοπιστίας Q ήταν μικρότερος ή ίσος με συγκεκριμένες τιμές.

Κατ' αυτόν τον τρόπο προέκυπτε πως $P(Q \leq x) = a \ln(x) + b$

Όταν ο δείκτης αξιοπιστίας R του συστήματος δεν ήταν υψηλός, τότε υπήρξαν περιπτώσεις, στις οποίες η λογαριθμική συνάρτηση αδυνατούσε να προσεγγίσει τα γραφήματα που προέκυπταν, διότι ο συντελεστής συσχέτισης λάμβανε χαμηλές τιμές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αμπακούμκιν Κ.Γ., *Σχεδιασμός Μεταφορικών Συστημάτων*, Αθήνα, 2000.
2. Andrews J. D. and Moss T. R., *Reliability and Risk Assessment*, 2nd edn, Great Britain, 2002.
3. Αραβαντινός Αθανάσιος Ι., *Πολεοδομικός Σχεδιασμός για μια Βιώσιμη Ανάπτυξη του Αστικού Χώρου*, Αθήνα, 1997.
4. Bates J., Polak J., Jones P., Cook A., “The valuation of reliability for personal travel”, *Transportation Research*, Part E 37(2001)191-229.
5. Billinton Roy, Ronald Allan N., *Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and techniques*, 2nd edn, 1985.
6. Blische Wallace R., Murthy D. N. P., *Reliability: Modelling, Prediction, and Optimization*, U.S.A., 2000.
7. Chen A., Yang H., Lo H.K., Tang W.H., “Capacity reliability of a road network: an assessment methodology and numerical results”, *Transportation Research*, Part B 36(2002)225-252.
8. Evans John. W., Evans Jillian. Y., *Product Integrity and Reliability in Design*, Great Britain, 2001.
9. Φραντζεσκάκης Ι. Μ. – Γιαννόπουλος Γ. Α., *Σχεδιασμός Μεταφορών και Κυκλοφοριακή Τεχνική* Τόμος 1, Γ’ έκδοση, Θεσσαλονίκη, 1986.
10. Jenelius Erik, Petersen Tom, Mattson Lars, “Importance and exposure in road network vulnerability analysis”,

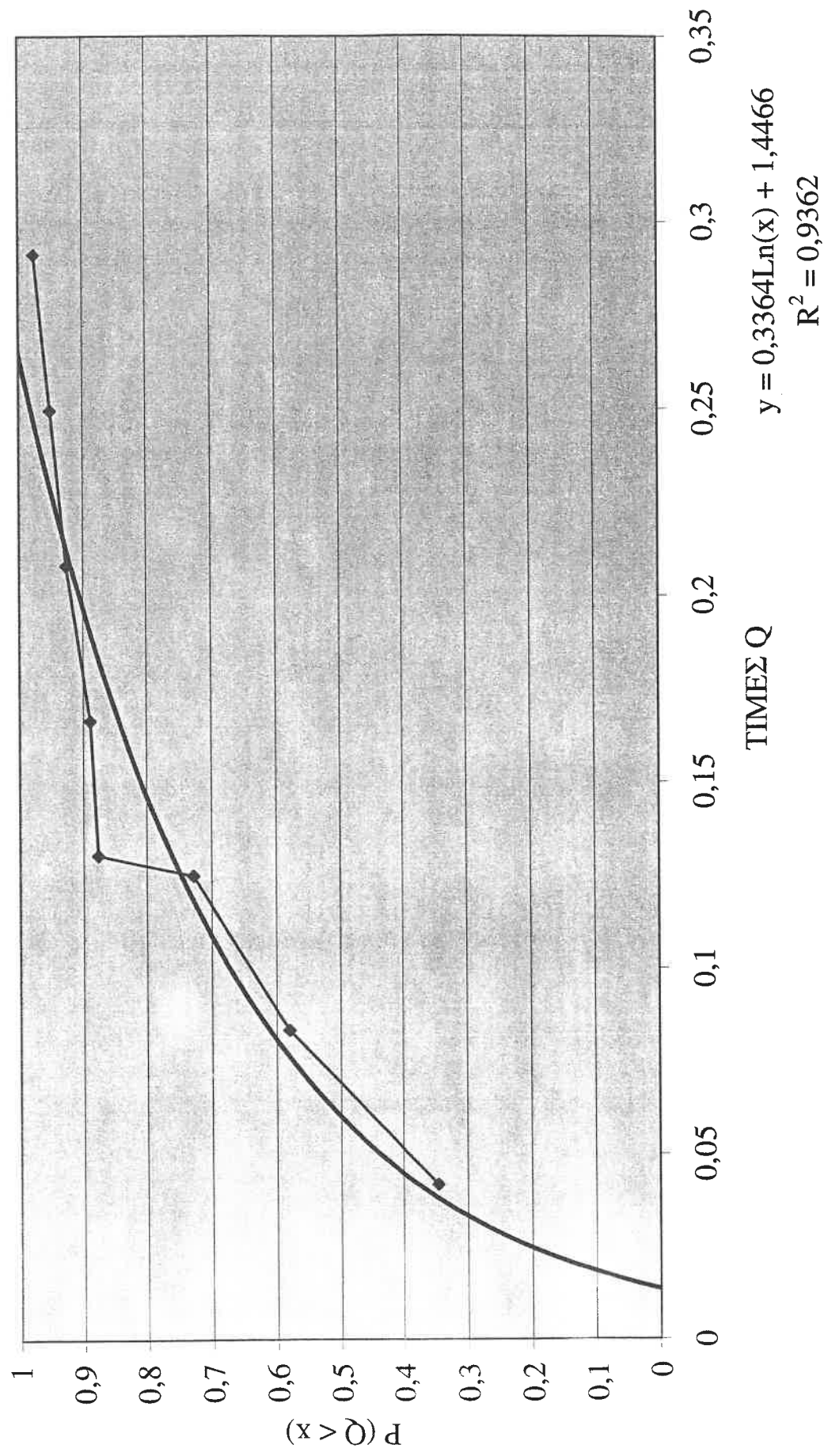
11. Kapur K.C., Lamberson L.R., *Reliability in Engineering Design*, U.S.A., 1997.
12. Kumamoto Hiromitsu, Henley Ernest, *Probabilistic Risk Assessment for Engineers and Scientists*, New York, 1996.
13. Lamax Tim, Schrank David, Turner Shawn, Margiotta Richard, "Selecting Travel Reliability Measures" 2003.
14. Lewis D., Evans T., Koffman D., "Impact of reliability on paratransit demand and operating costs", *Transportation Planning and Technology*, 21(1998)323-346.
15. Lewis E. E., *Introduction to Reliability Engineering* 2nd edn, U.S.A. 1996.
16. Meeker William Q., Escobar Luis A., *Statistical Methods for Reliability Data*, U.S.A. 1998.
17. O' Connor Patrick D.T., *Practical Reliability Engineering* (3rd edn), England, 1991.
18. Papacostas C.S., Prevedouros P.D., *Transportation Engineering and Planning*, New Jersey, 2001.
19. Ρασσιάς Θεμιστοκλής, Μαθηματική Ανάλυση I, Αθήνα, 2005
20. Ρασσιάς Θεμιστοκλής, Μαθηματική Ανάλυση II, Αθήνα, 2005
21. Shoufeng M., Kai N., "The road network reliability: a method based on risk", *Working Paper Series Transportation Systems Planning and Transport Telematics* 36:2005.

22. Tobias Paul A., Trindade David C., *Applied Reliability*, 2nd edn, New York, 1995.
23. Villemeur Alain, *Reliability, availability, maintainability and safety assessment: Methods and Techniques*, Vol.1, England, 1992.
24. Wang K.S., Hsu F.S., Liu P.P., "Modeling the bathtub shape hazard rate function in terms of reliability", *Reliability Engineering and System Safety*, 75(2002)397-406.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

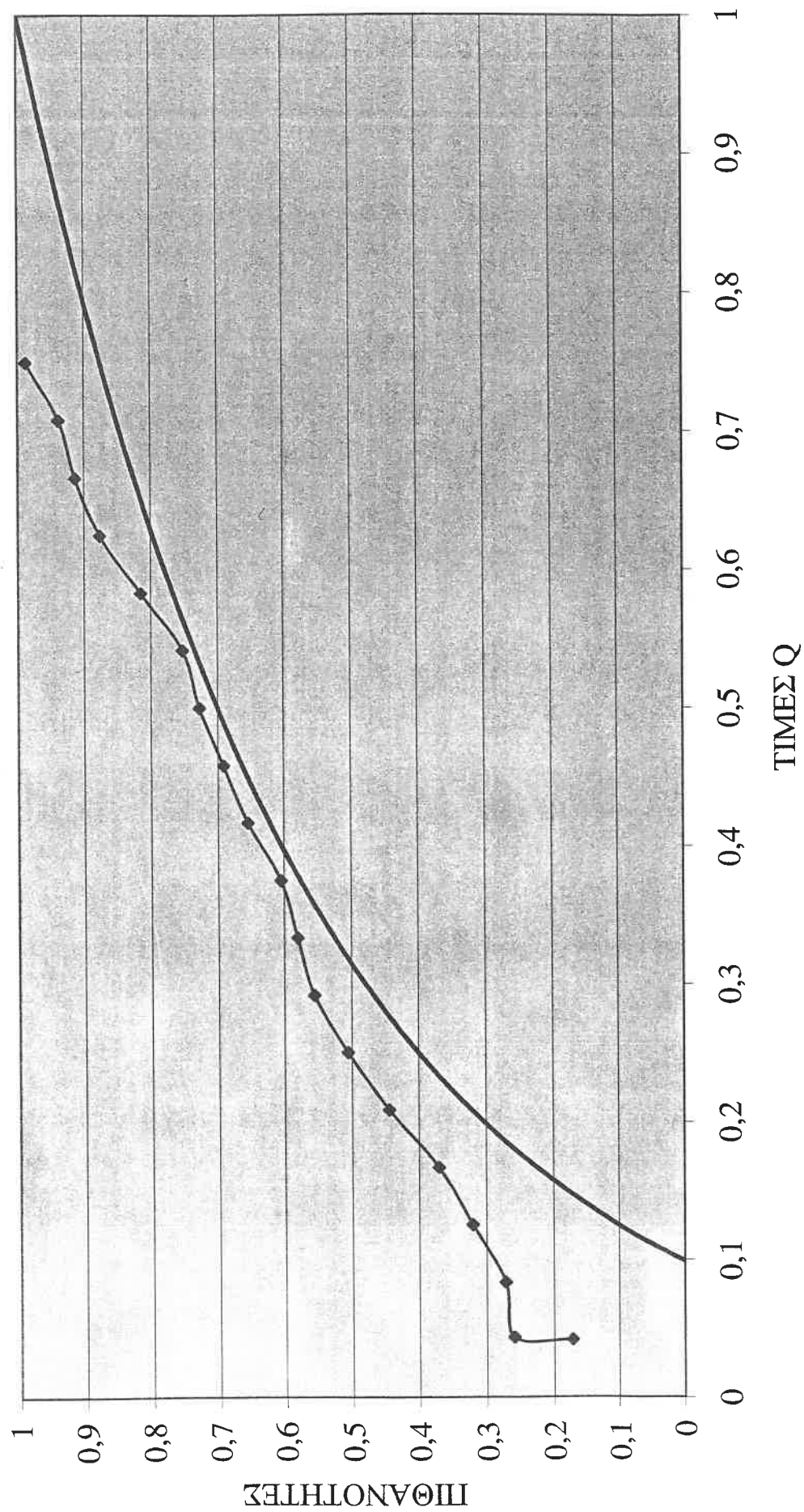
Α' ΜΕΡΟΣ : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

ΔΙΑΤΟΜΗ 4 (1η Μέθοδος)

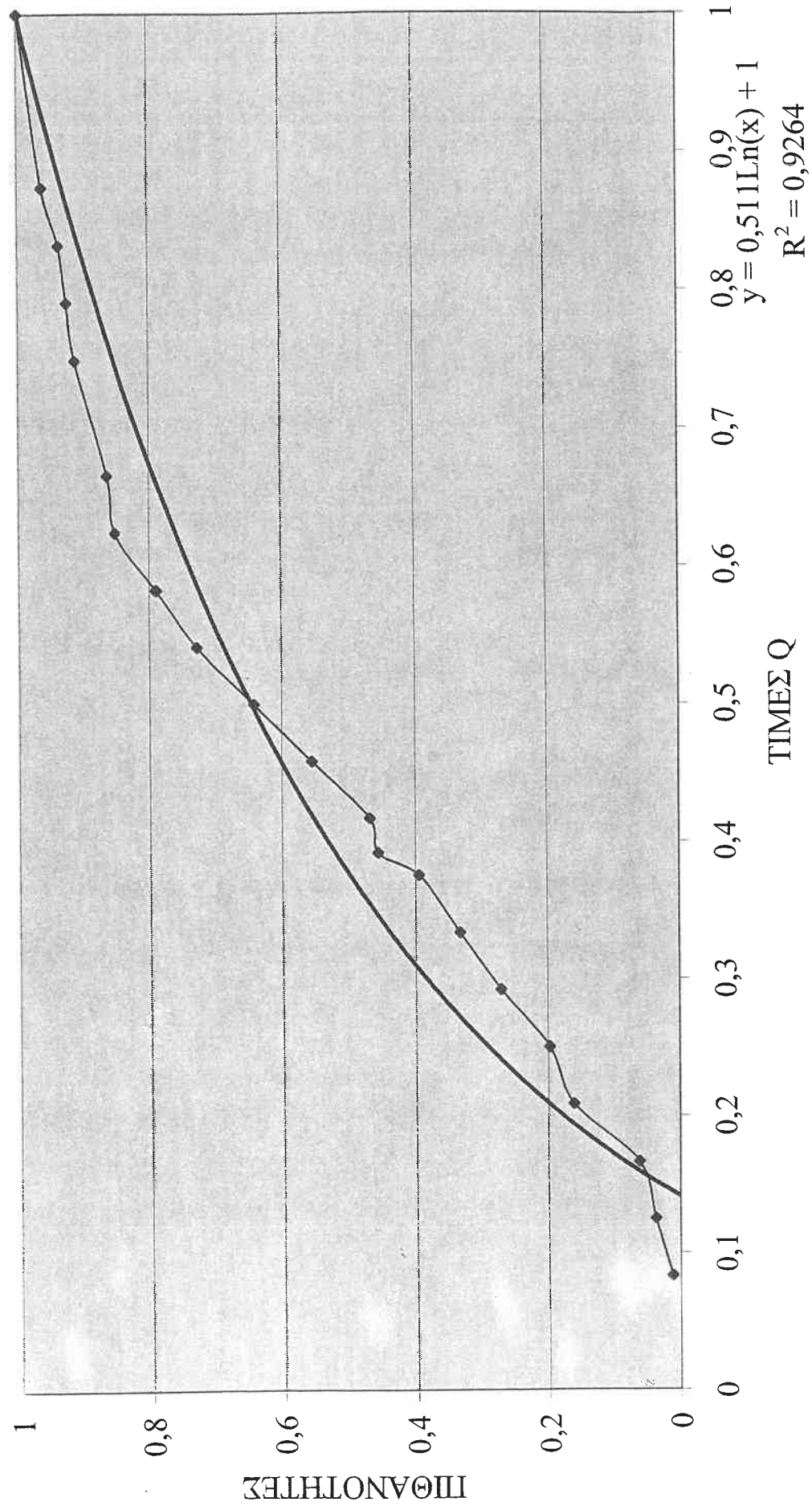


ΔΙΑΤΟΜΗ 50 (1η Μέθοδος)

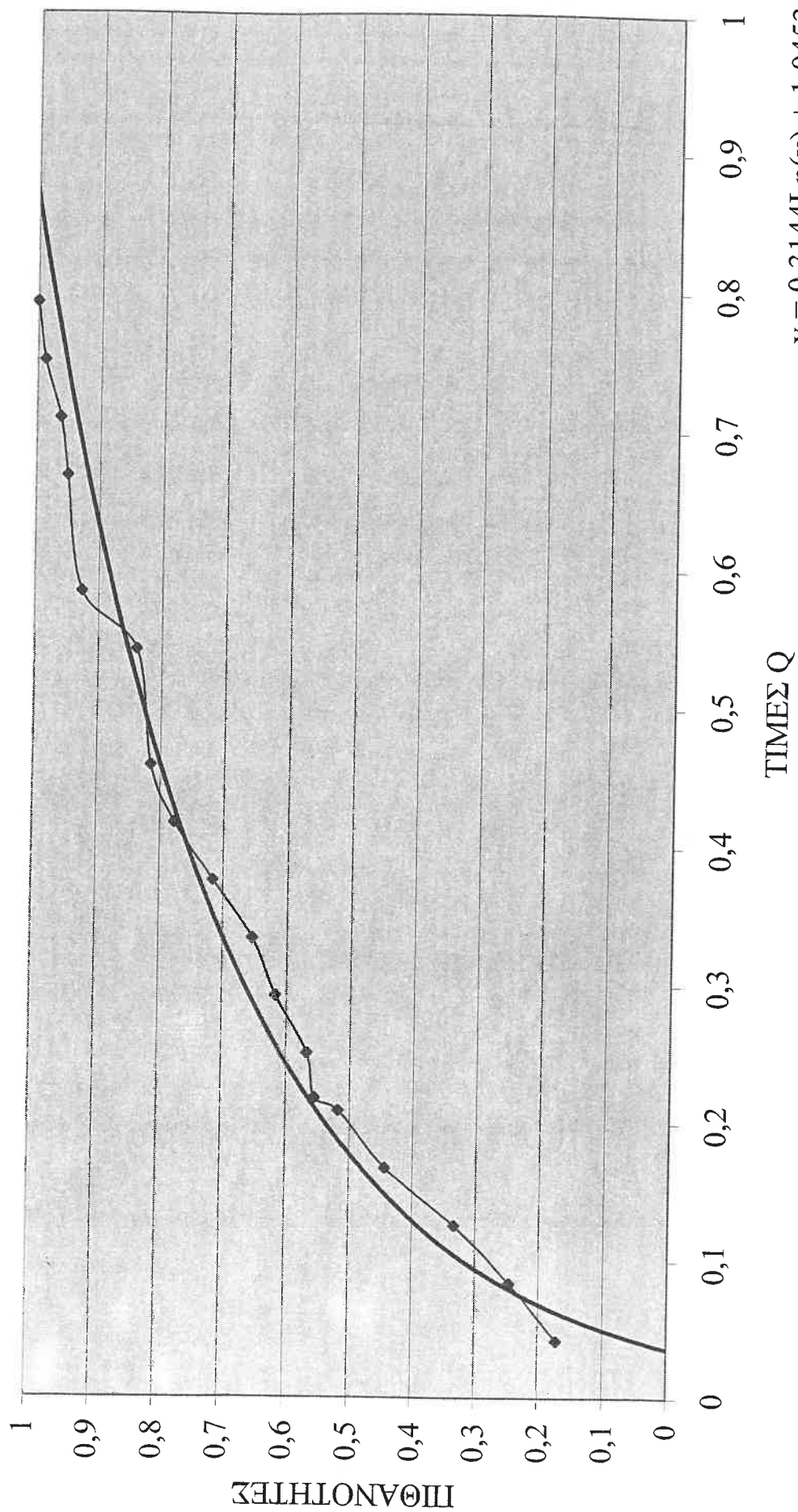
$$y = 0,4325 \ln(x) + 1$$
$$R^2 = 0,7591$$



ΔΙΑΤΟΜΗ 84 (1η Μέθοδος)



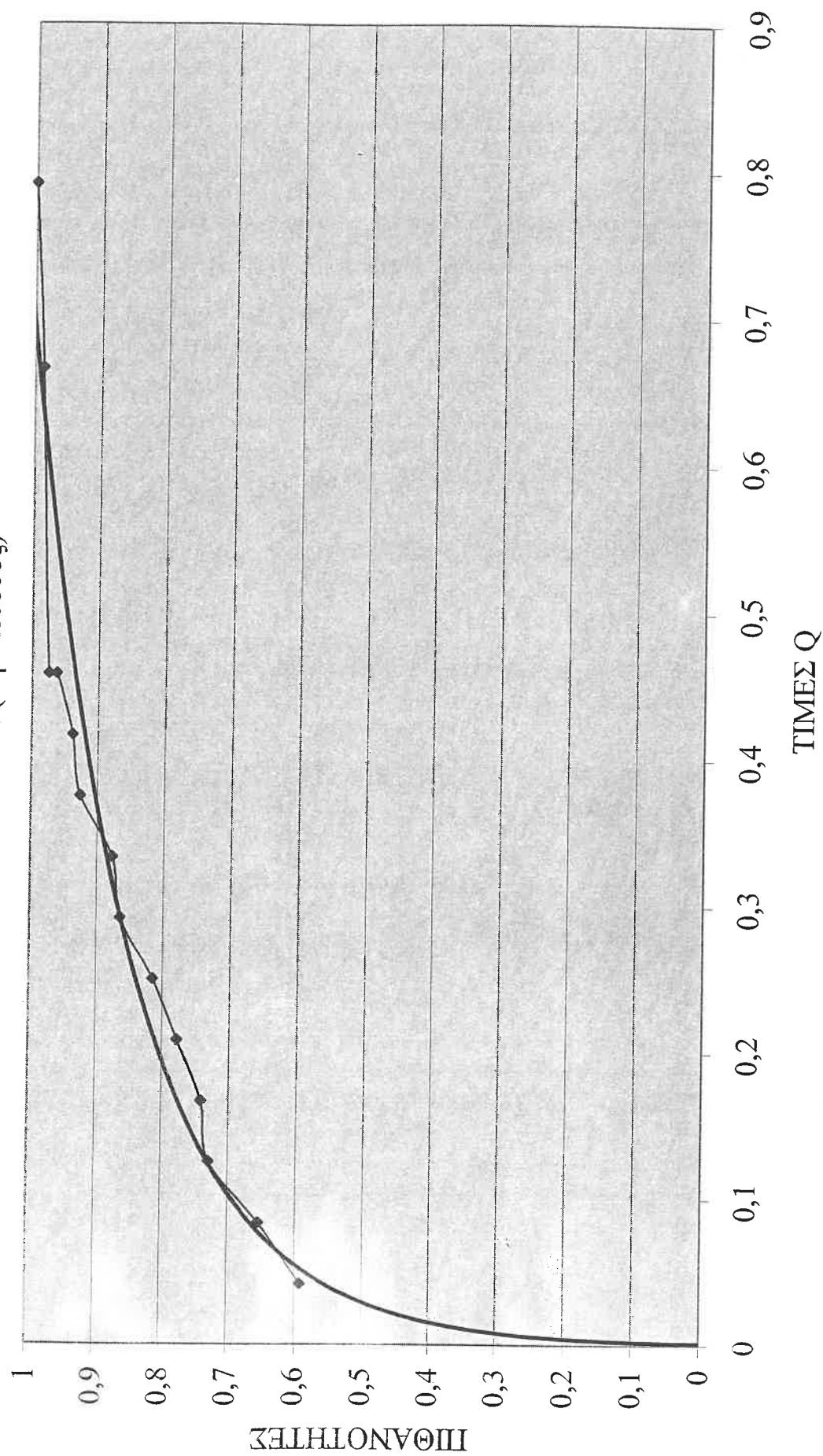
ΔΙΑΤΟΜΗ 122 (1η Μεθόδος)



$$y = 0,3144\ln(x) + 1,0453$$

$$R^2 = 0,9695$$

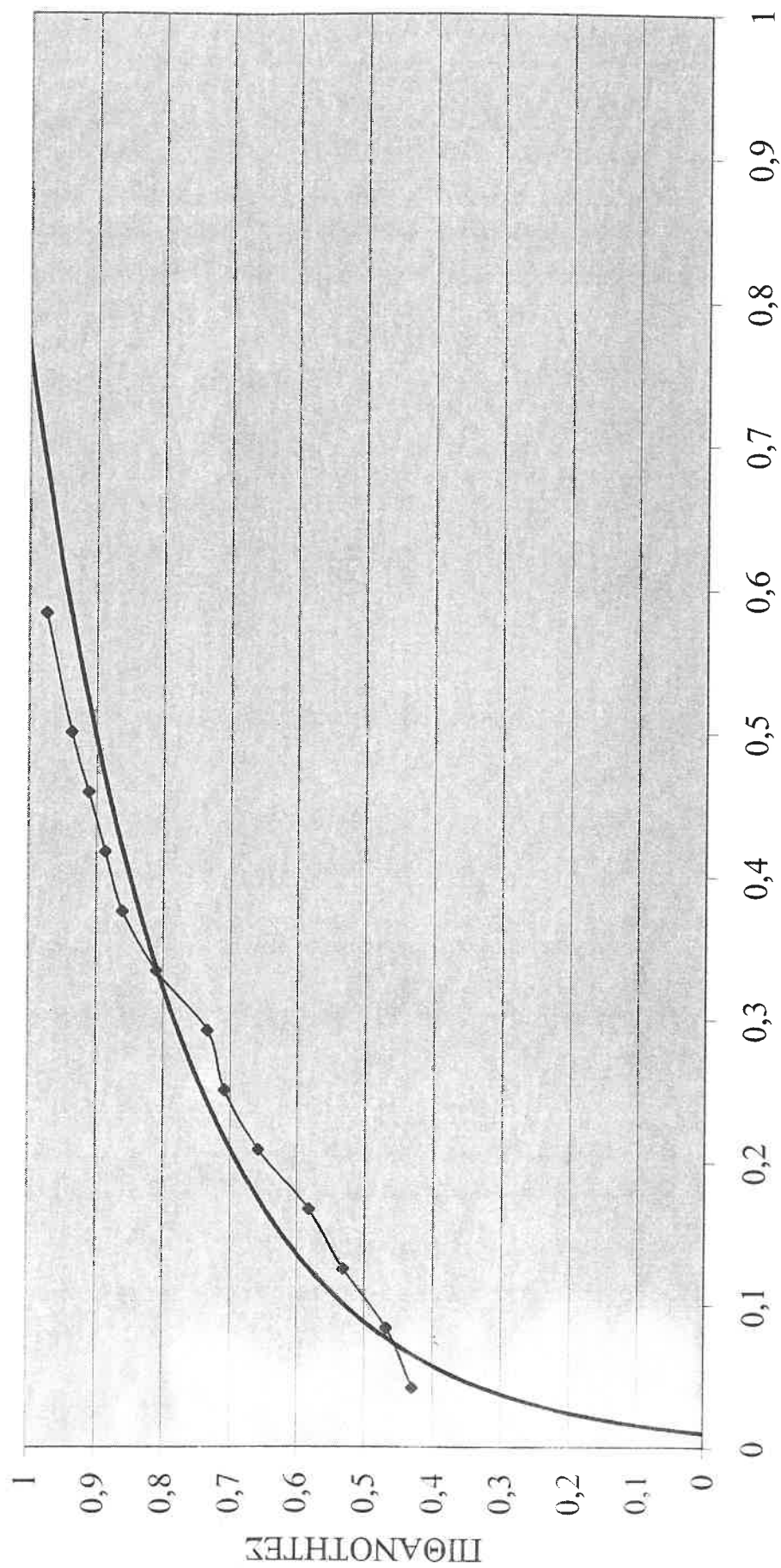
ΔΙΑΤΟΜΗ 99 (1η Μέθοδος)



$$y = 0,1573\text{Ln}(x) + 1,0578$$

$$R^2 = 0,9634$$

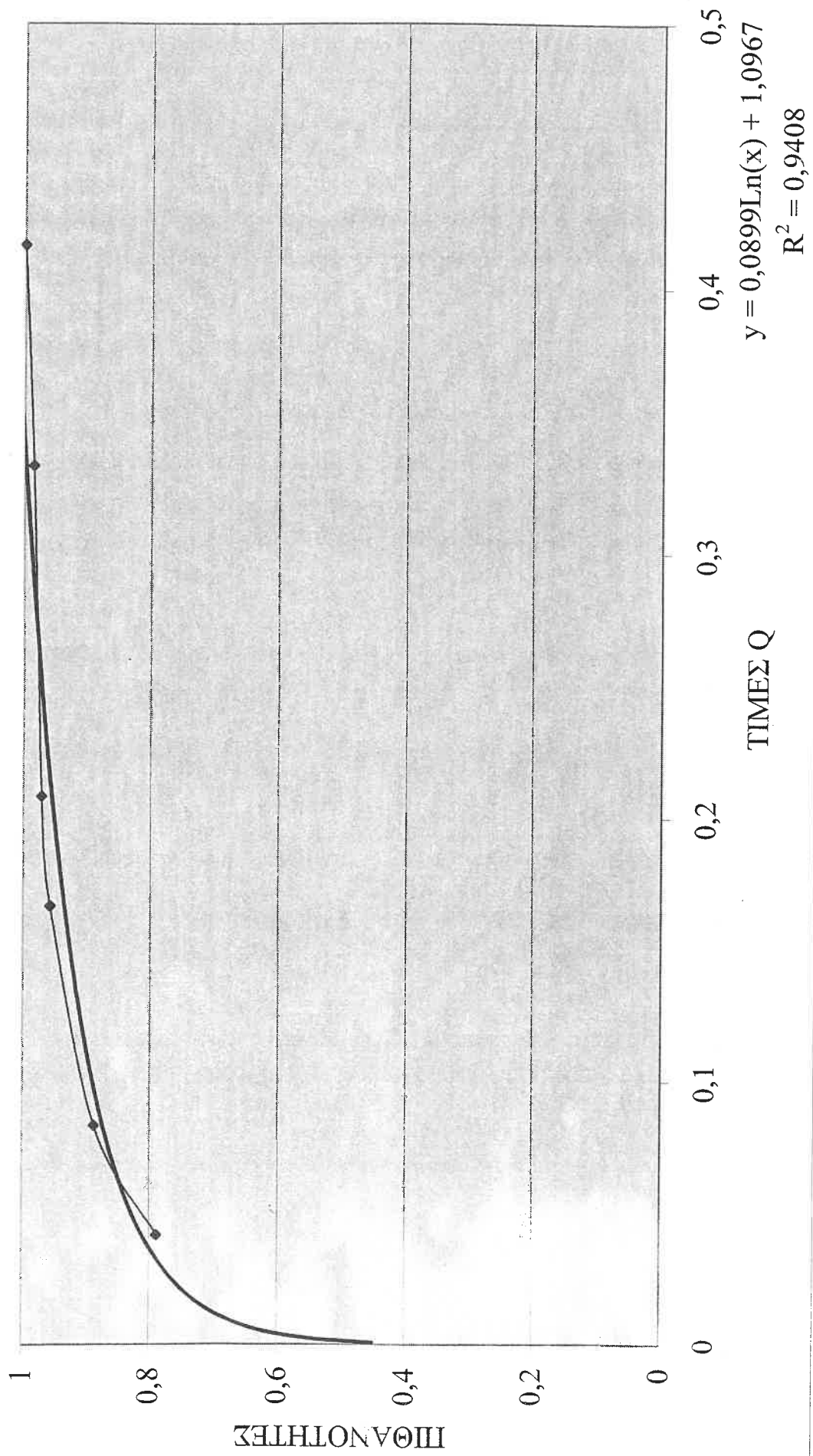
ΔΙΑΤΟΜΗ 59 (1η Μέθοδος)



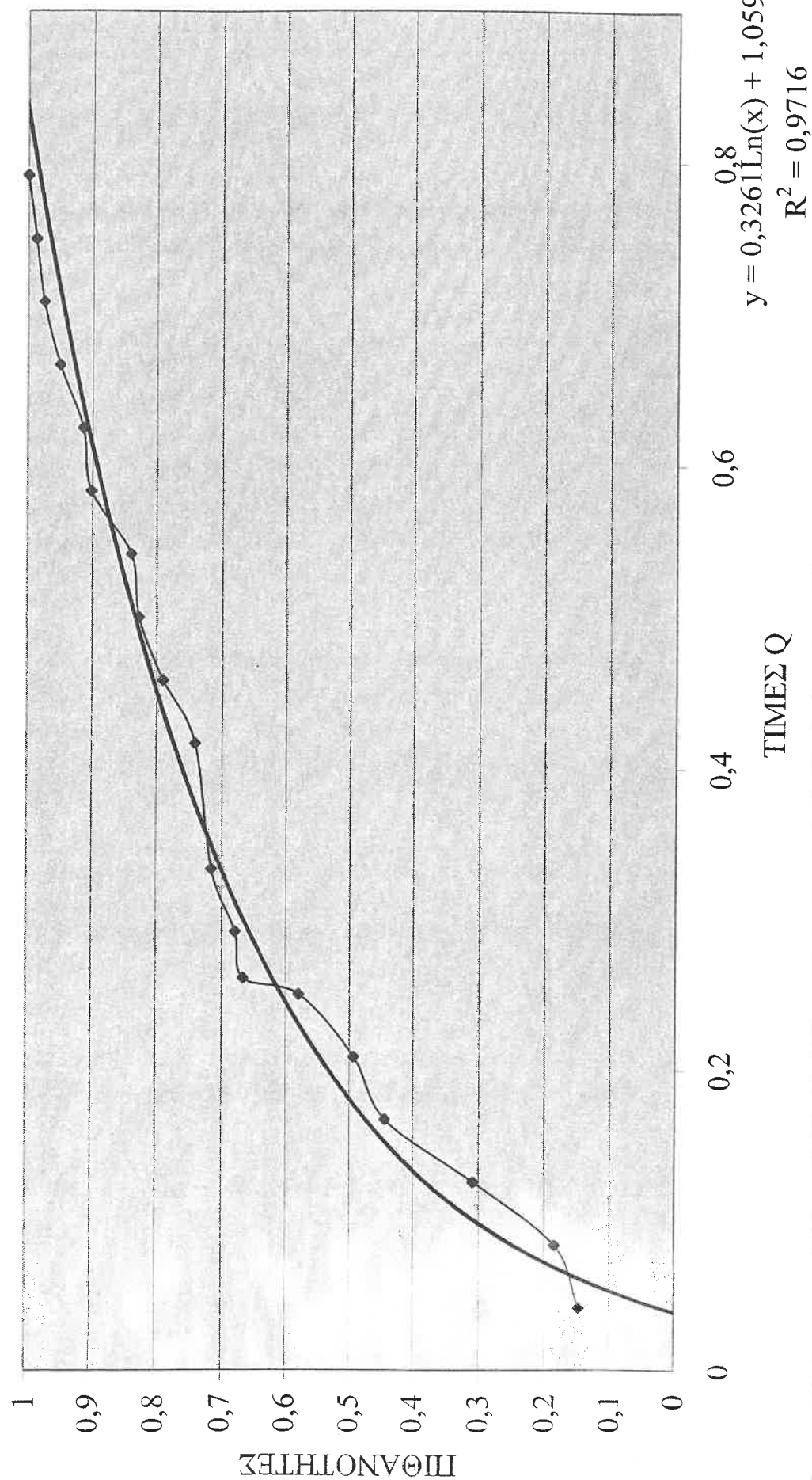
$$y = 0,2308\ln(x) + 1,062$$

$$R^2 = 0,9334$$

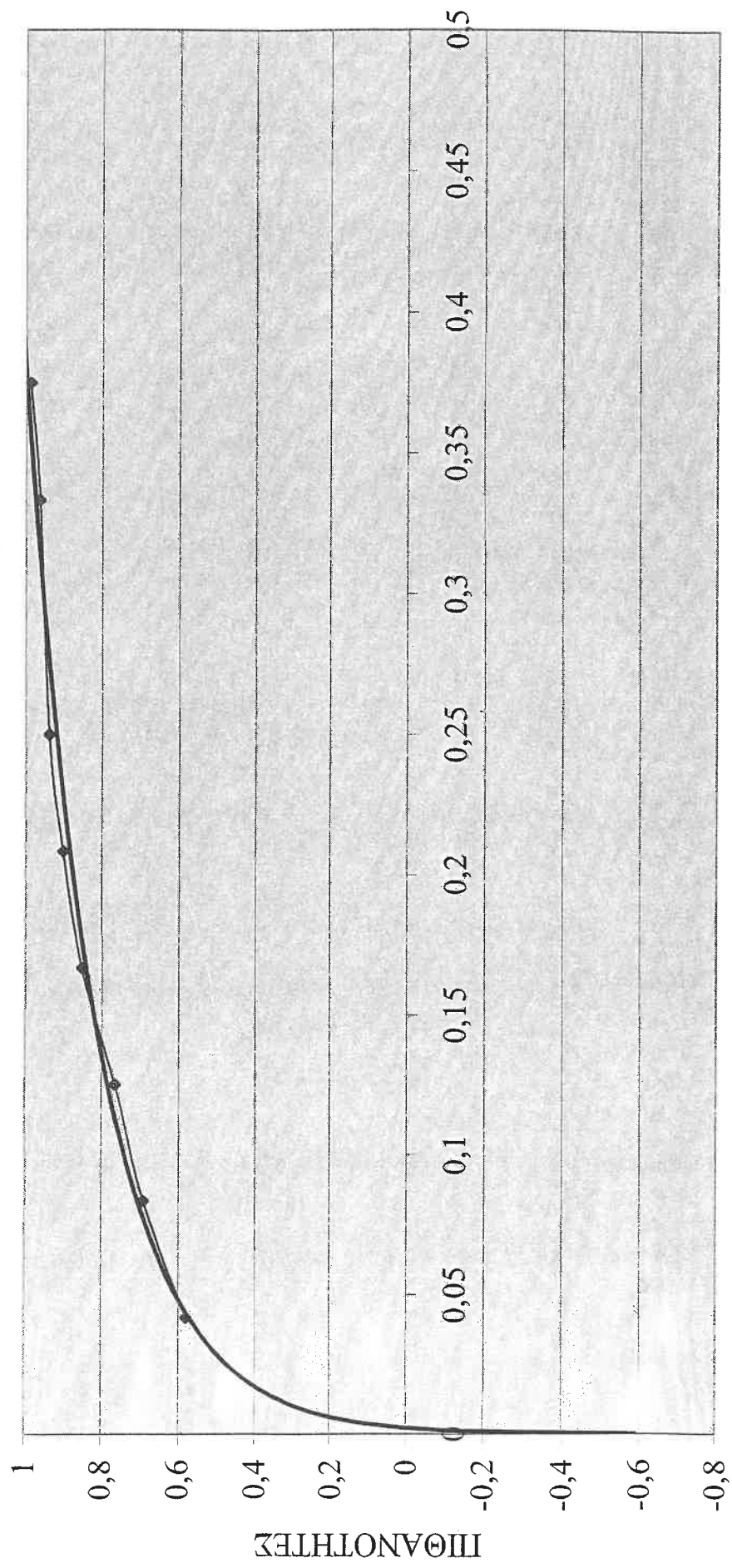
ΔΙΑΤΟΜΗ 40 (1η Μέθοδος)



ΔΙΑΤΟΜΗ 122 (2η Μέθοδος)



ΔΙΑΤΟΜΗ 112 (2η Μέθοδος)

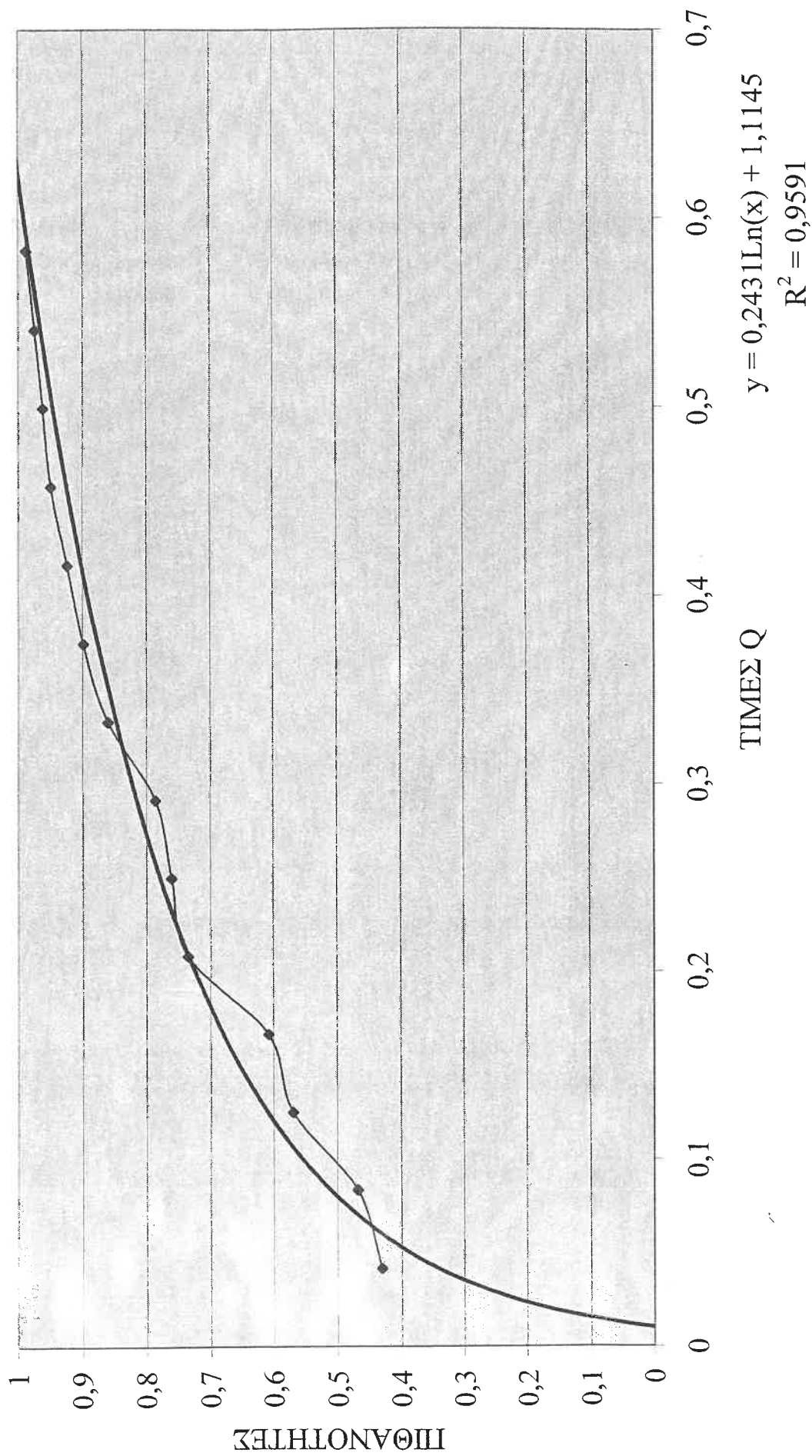


ΤΙΜΕΣ Q

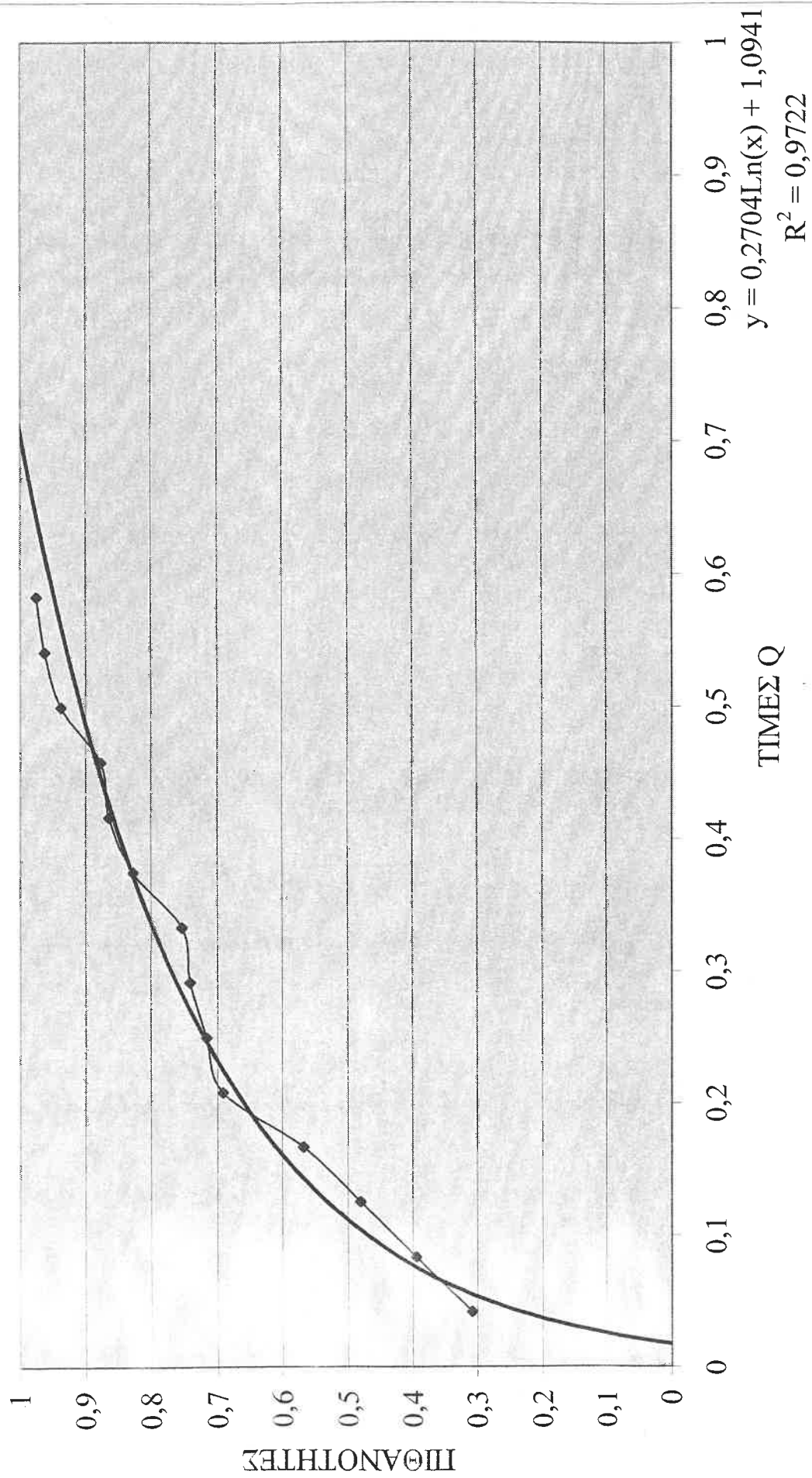
$$y = 0,1937\ln(x) + 1,1876$$

$$R^2 = 0,9883$$

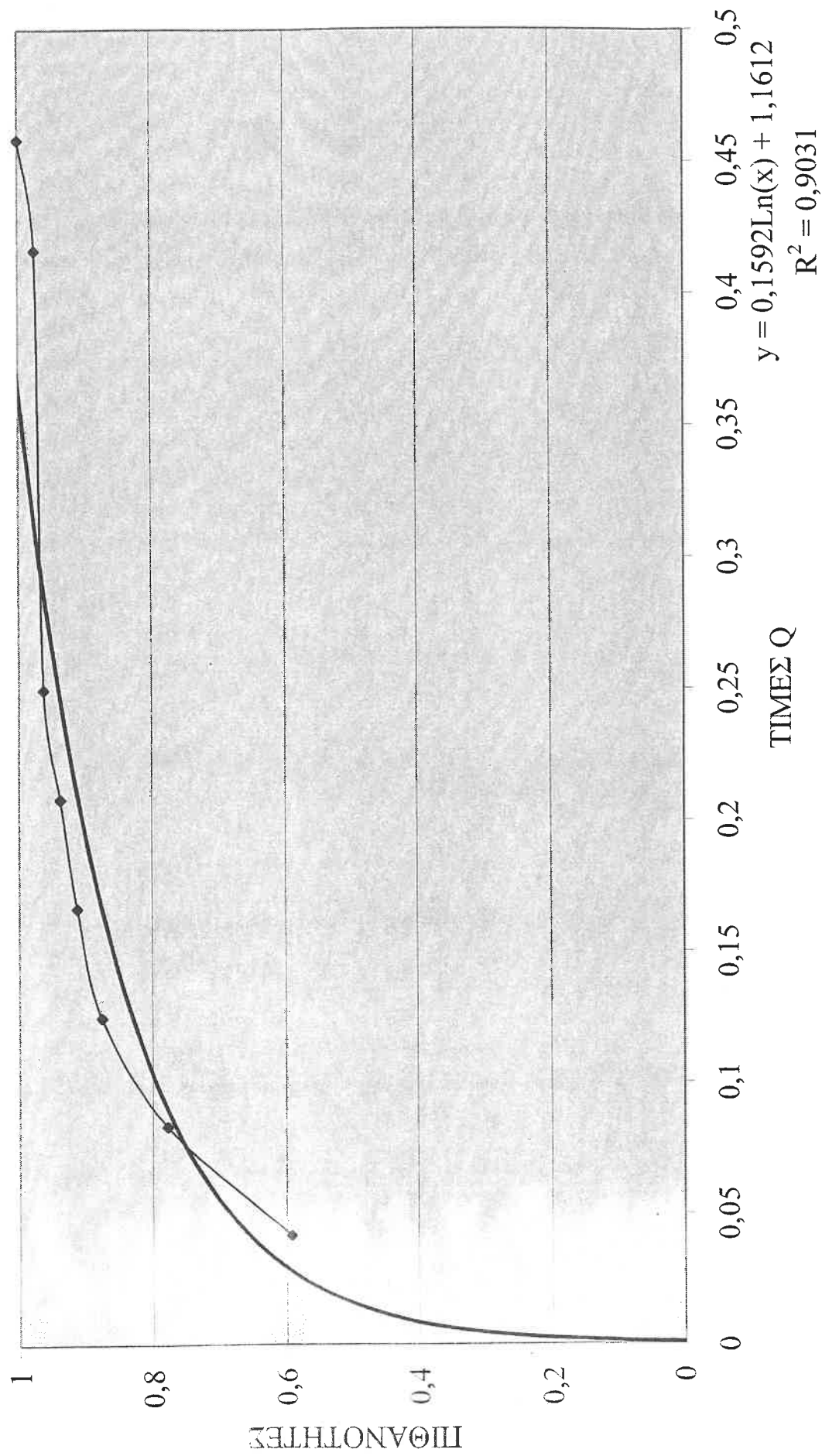
ΔΙΑΤΟΜΗ 59 (2η Μέθοδος)



ΔΙΑΤΟΜΗ 50 (2η Μέθοδος)

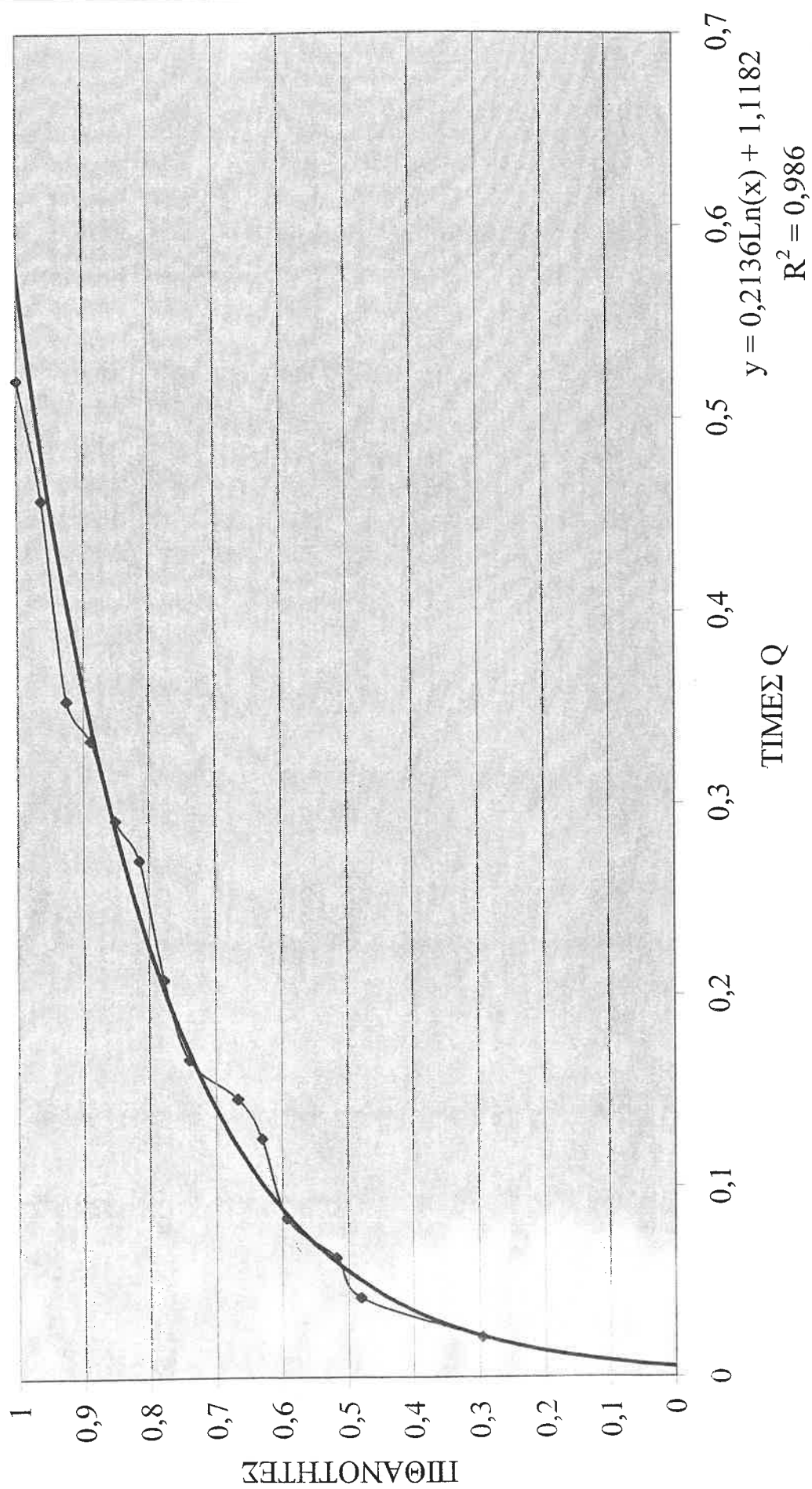


ΔΙΑΤΟΜΗ 38 - 2η Μέθοδος

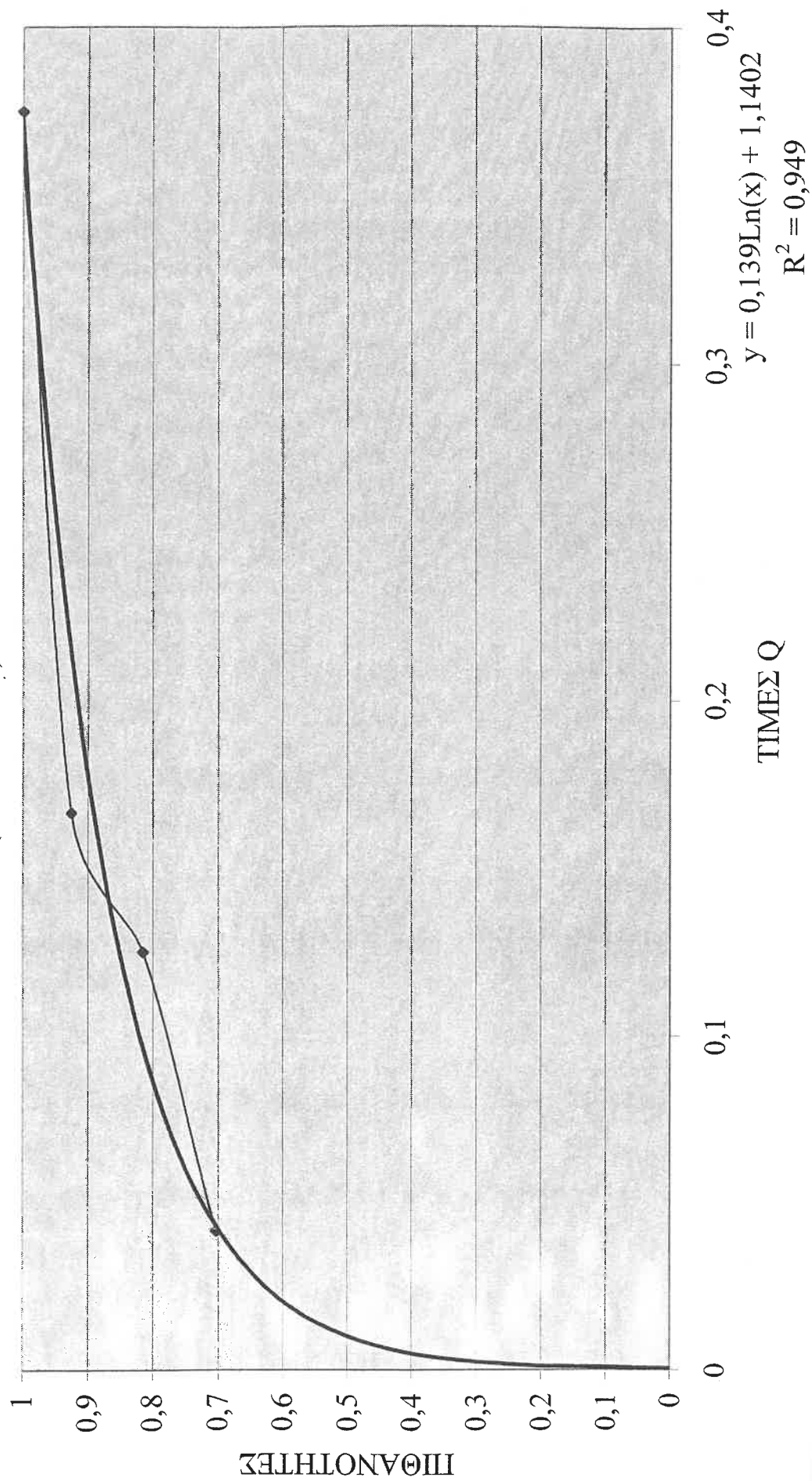


ΥΠΕΡΣΤΟΙΧΕΙΟ 4

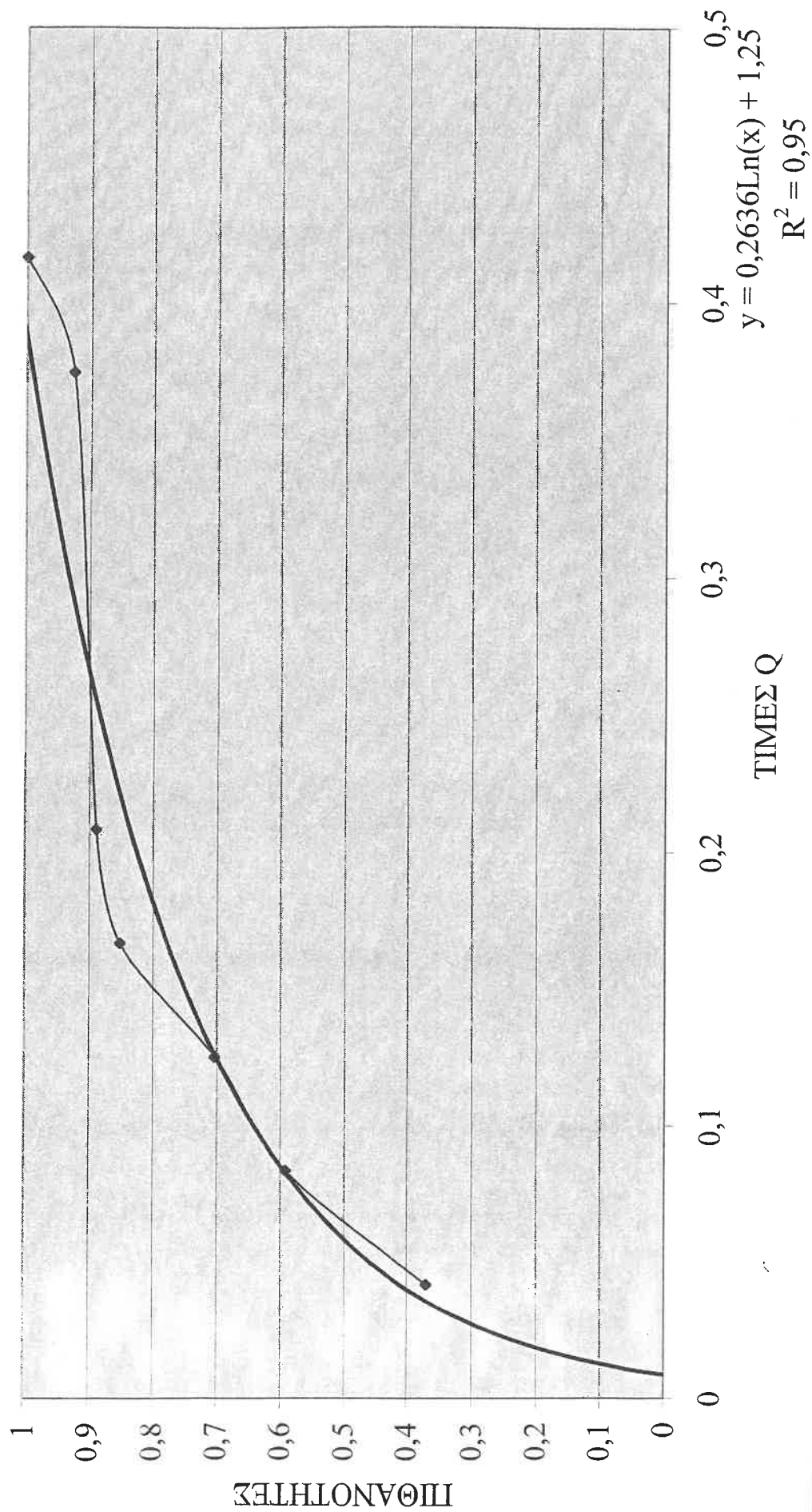
6:00 - 12:00



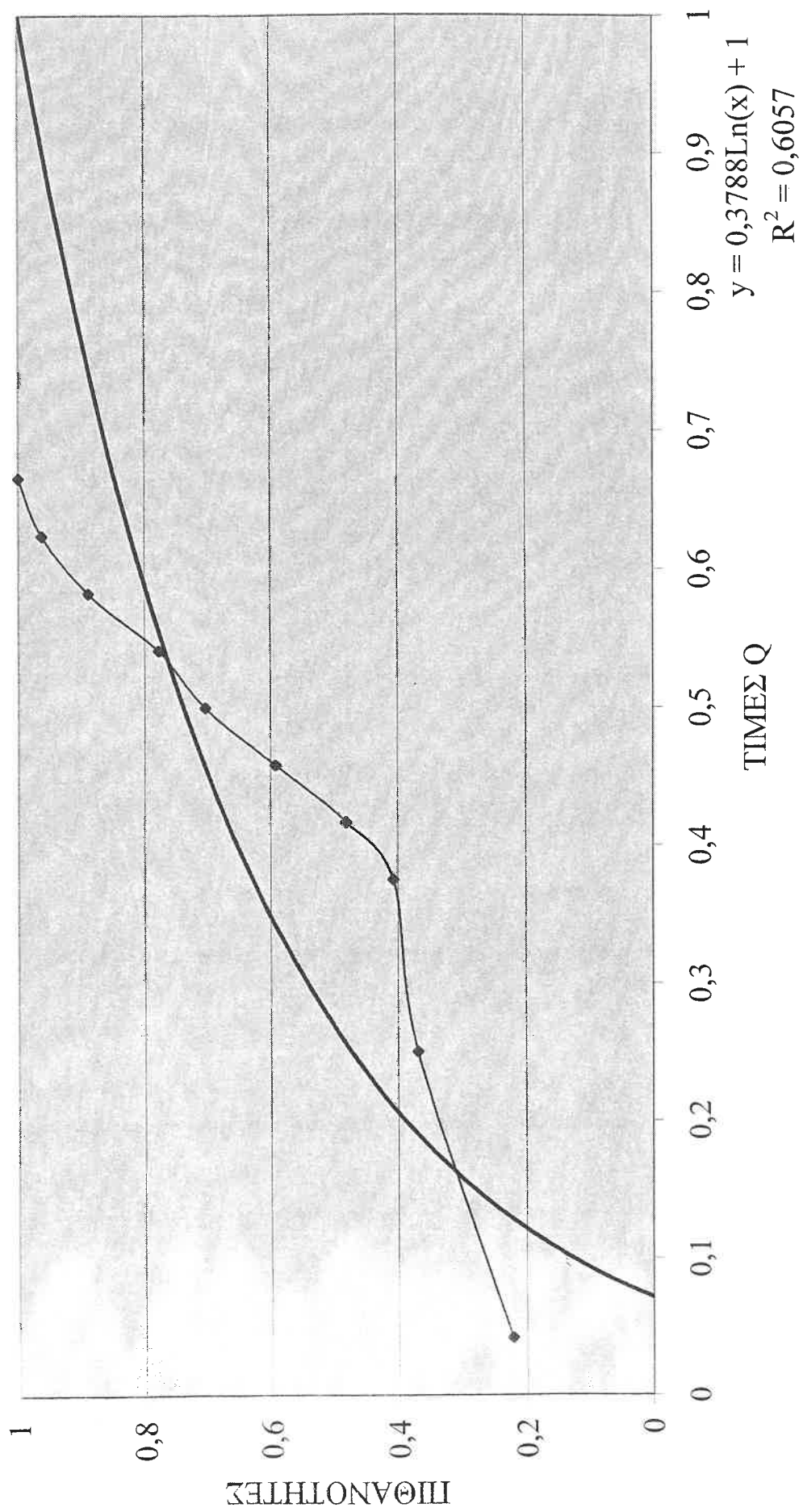
ΥΠΕΡΣΤΟΙΧΕΙΟ 3
(6:00 - 12:00)



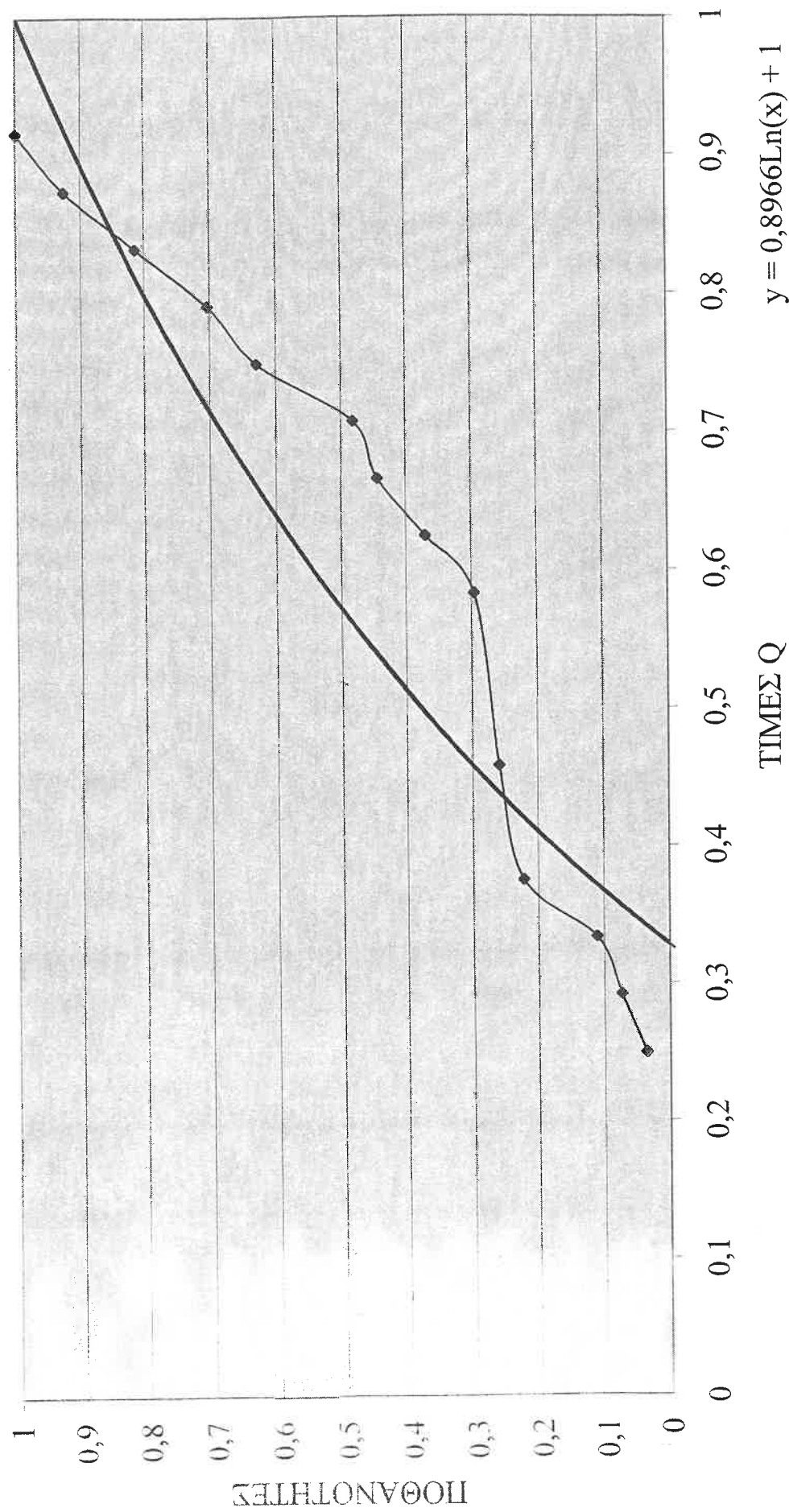
ΔΙΑΔΡΟΜΗ 21 - 104
6:00 - 12:00



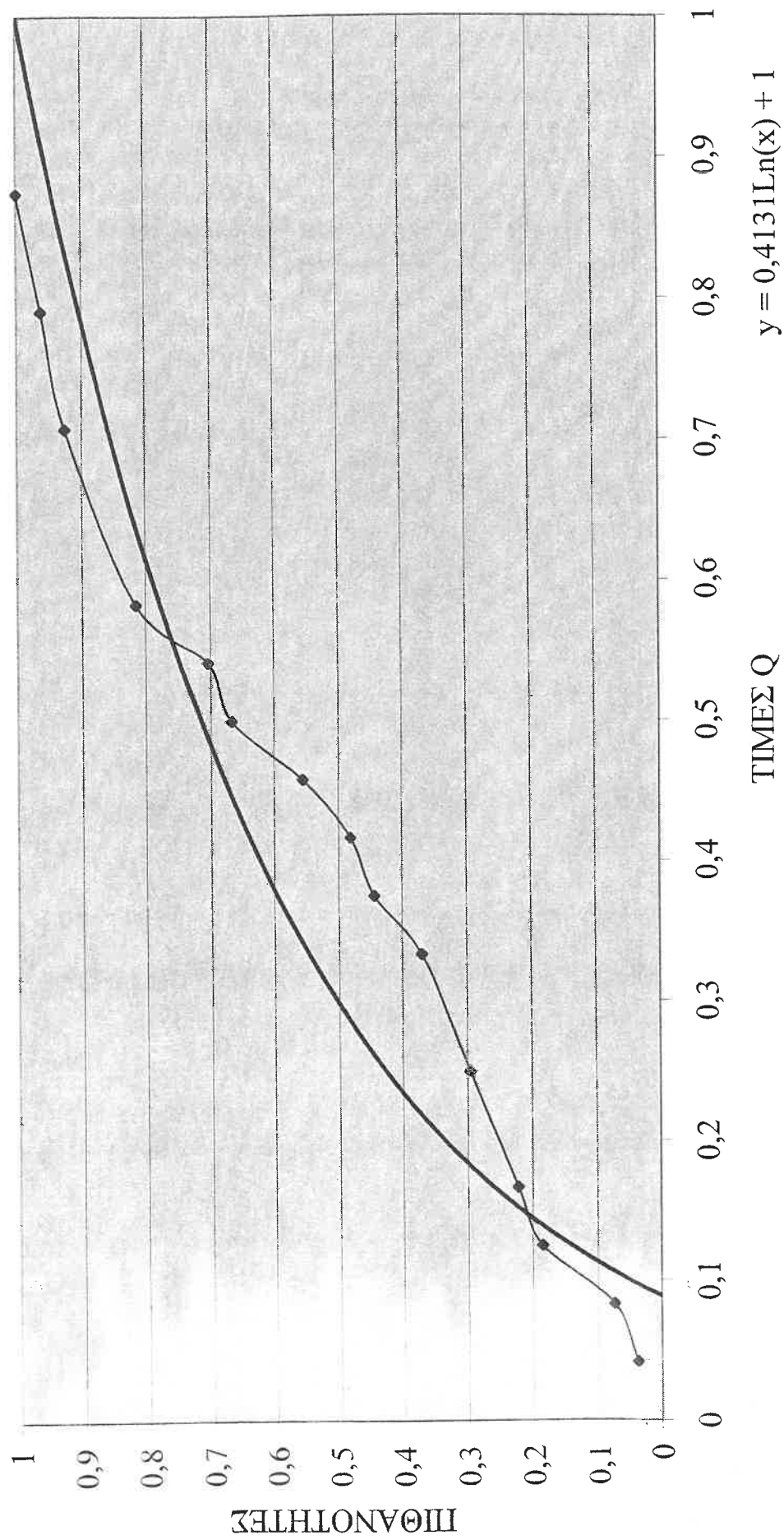
ΔΙΑΔΡΟΜΗ 50 - 105
6:00 - 12:00



ΔΙΑΔΡΟΜΗ 108 - 19
6:00 - 12:00

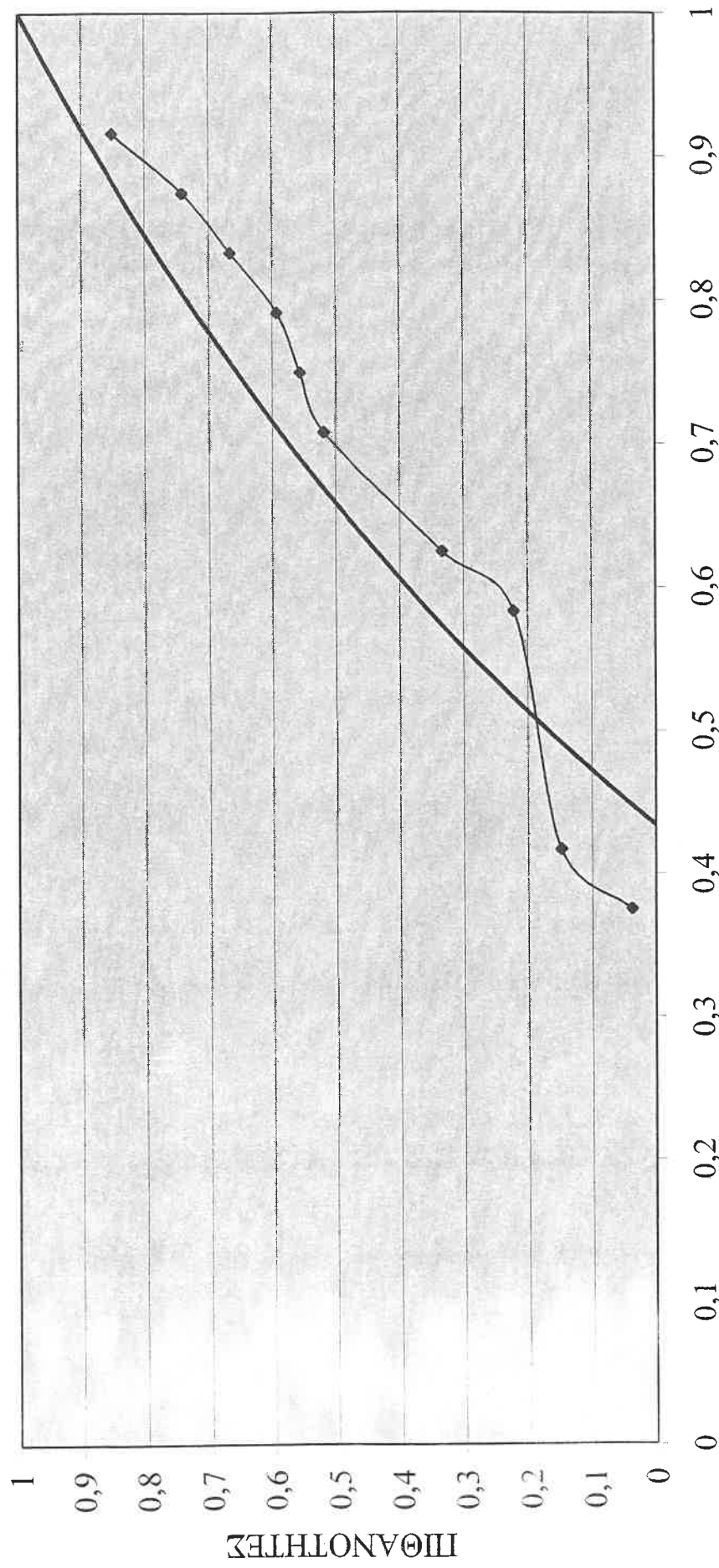


ΔΙΑΔΡΟΜΗ 40 - 98
6:00 - 12:00



$$y = 0,4131\text{Ln}(x) + 1$$
$$R^2 = 0,8582$$

ΔΙΑΔΡΟΜΗ 38 - 41
6:00 - 12:00

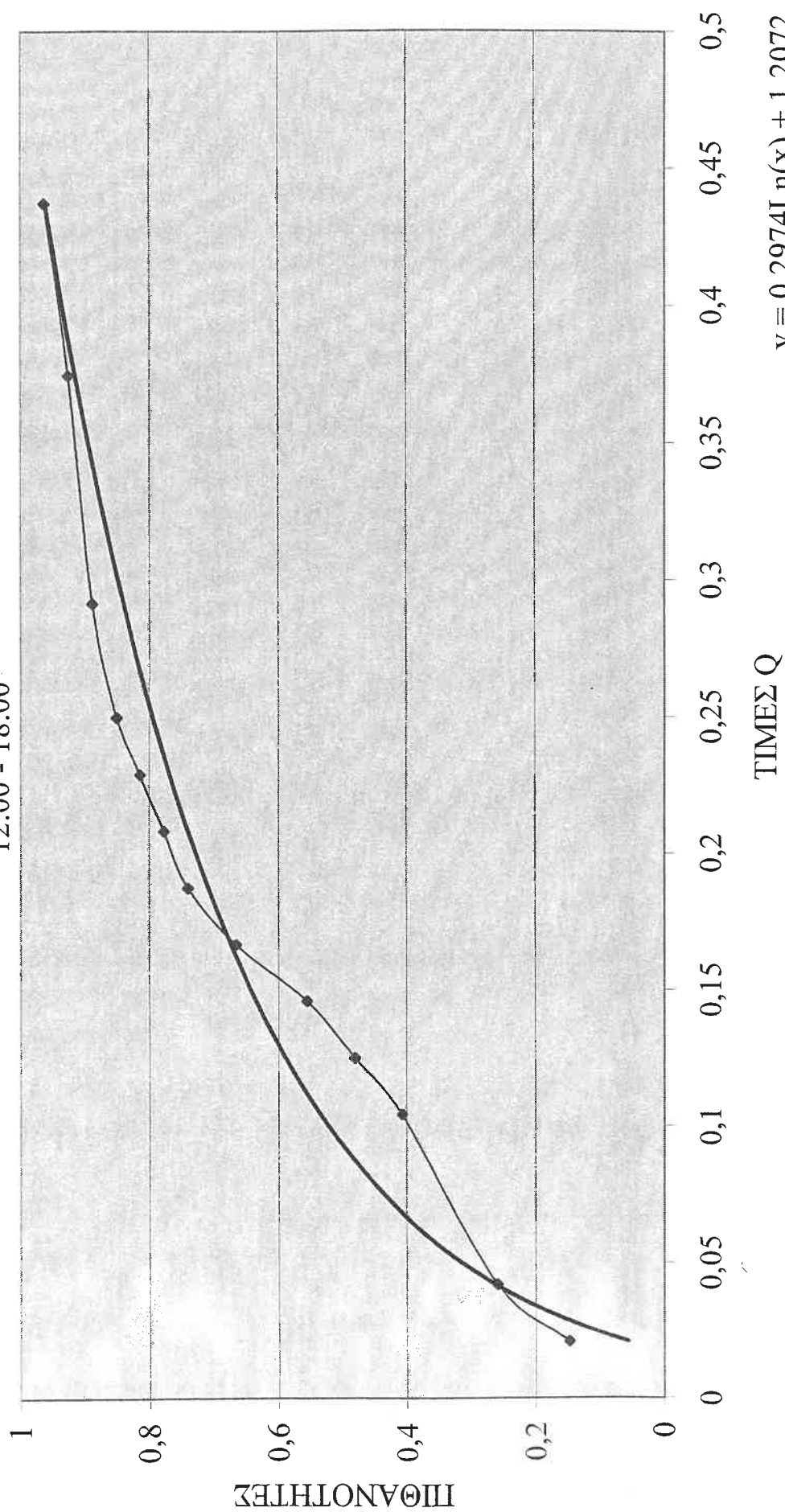


$$y = 1,1979\text{Ln}(x) + 1$$

$$R^2 = 0,8617$$

ΥΠΕΡΣΤΟΙΧΕΙΟ 4

12:00 - 18:00

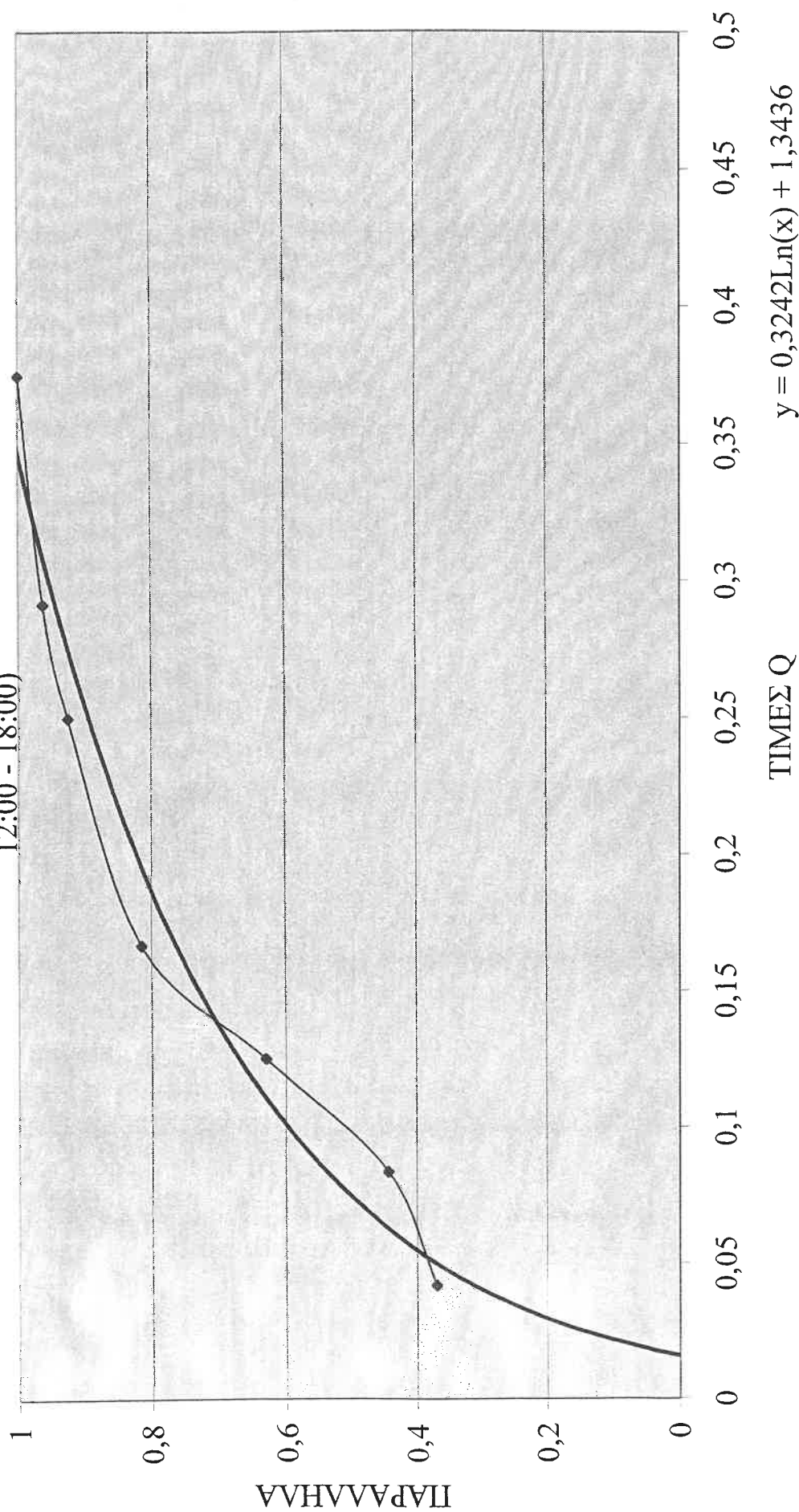


$$y = 0,2974\text{Ln}(x) + 1,2072$$

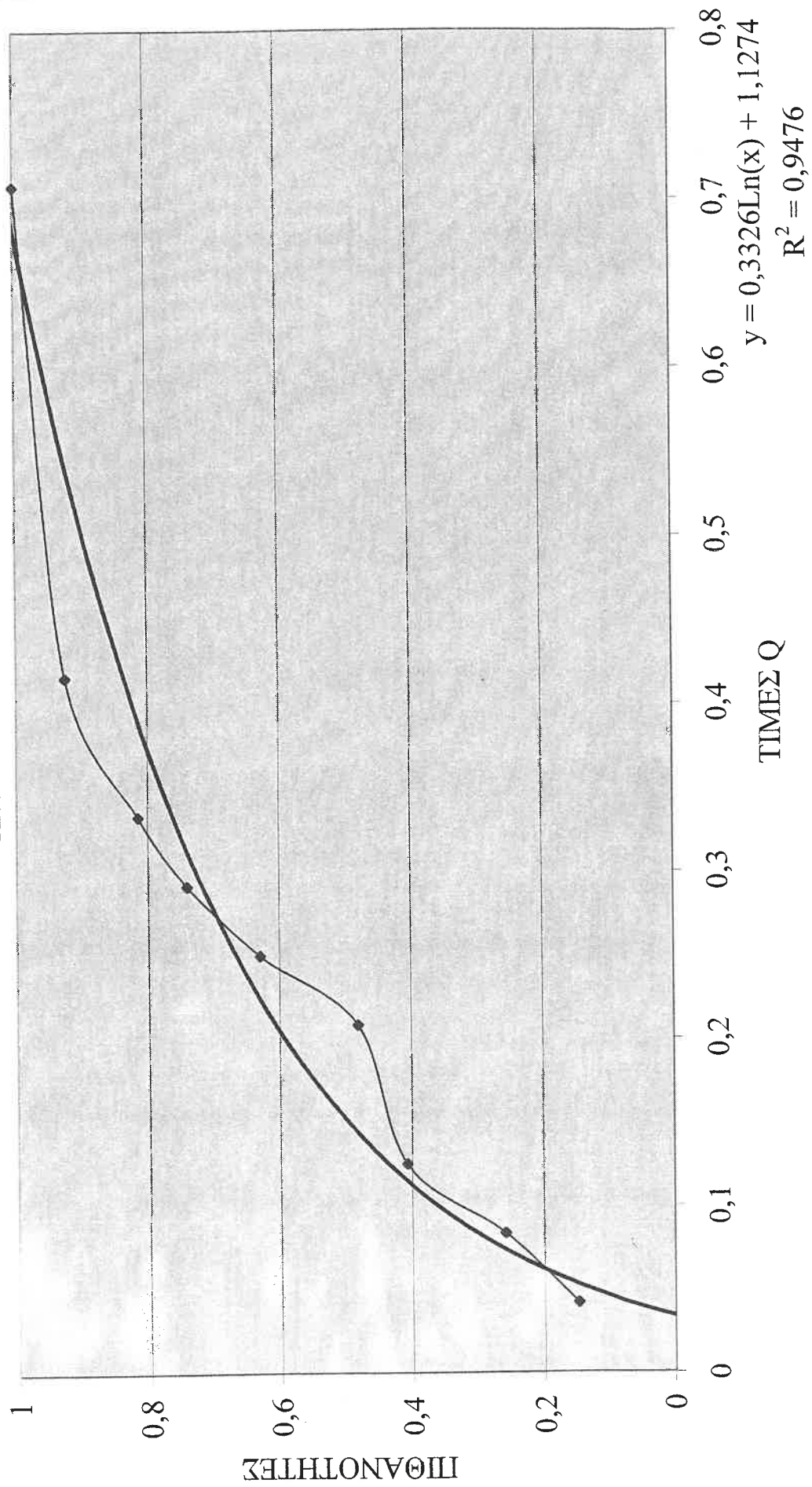
$$R^2 = 0,9362$$

ΥΠΕΡΣΤΟΙΧΕΙΟ 3

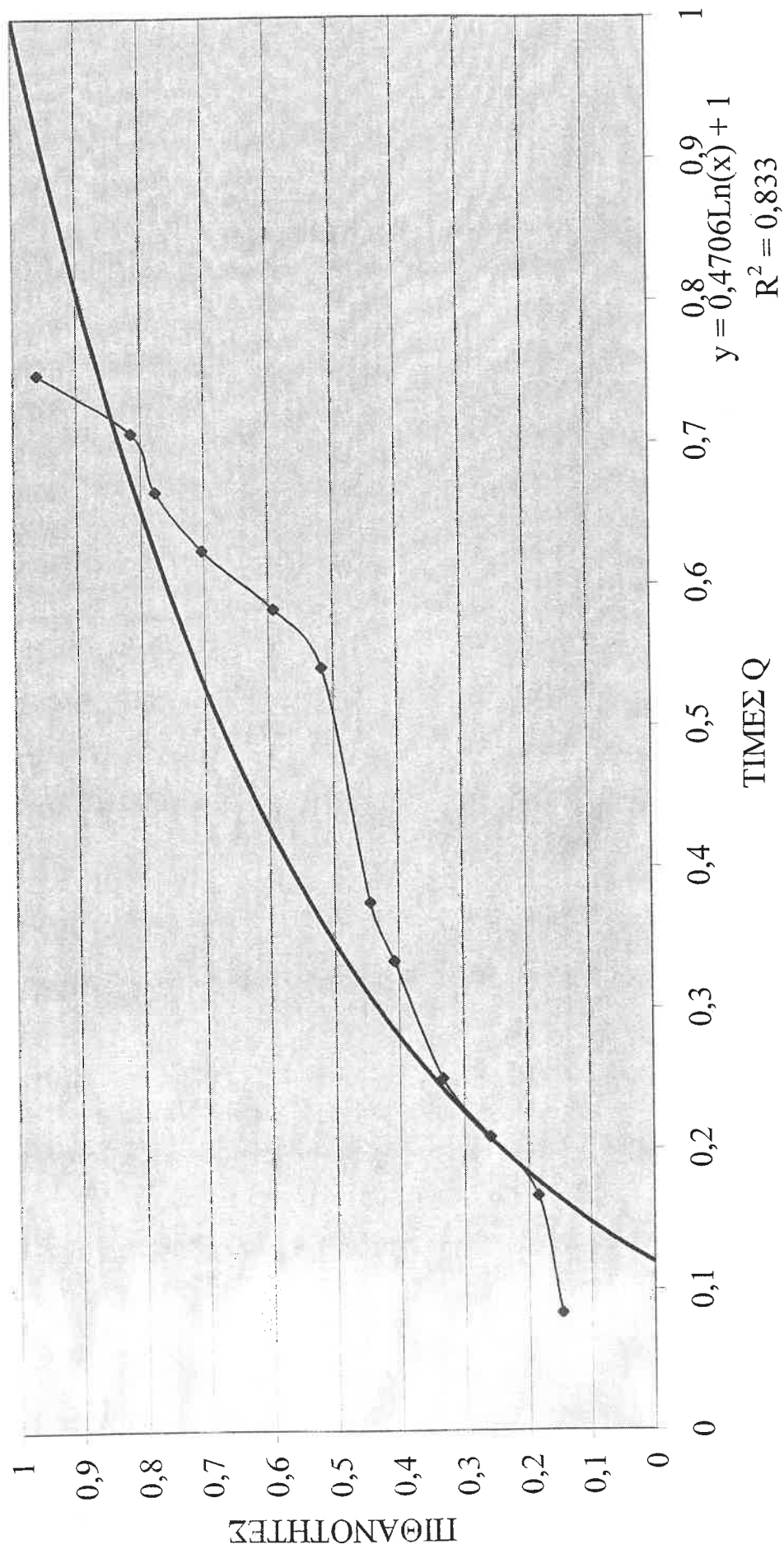
12:00 - 18:00)



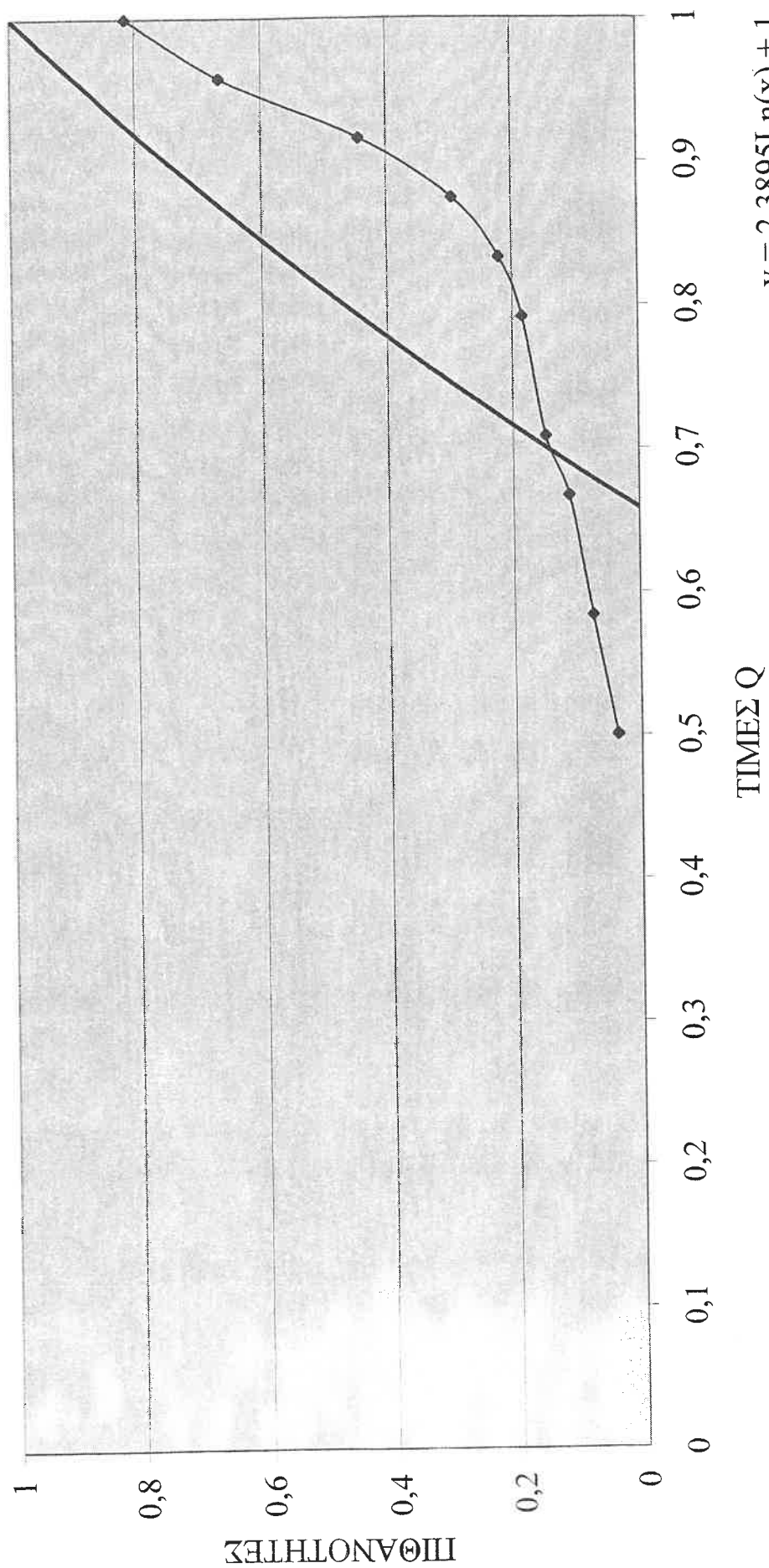
ΔΙΑΔΡΟΜΗ 21 - 104
12:00 - 18:00



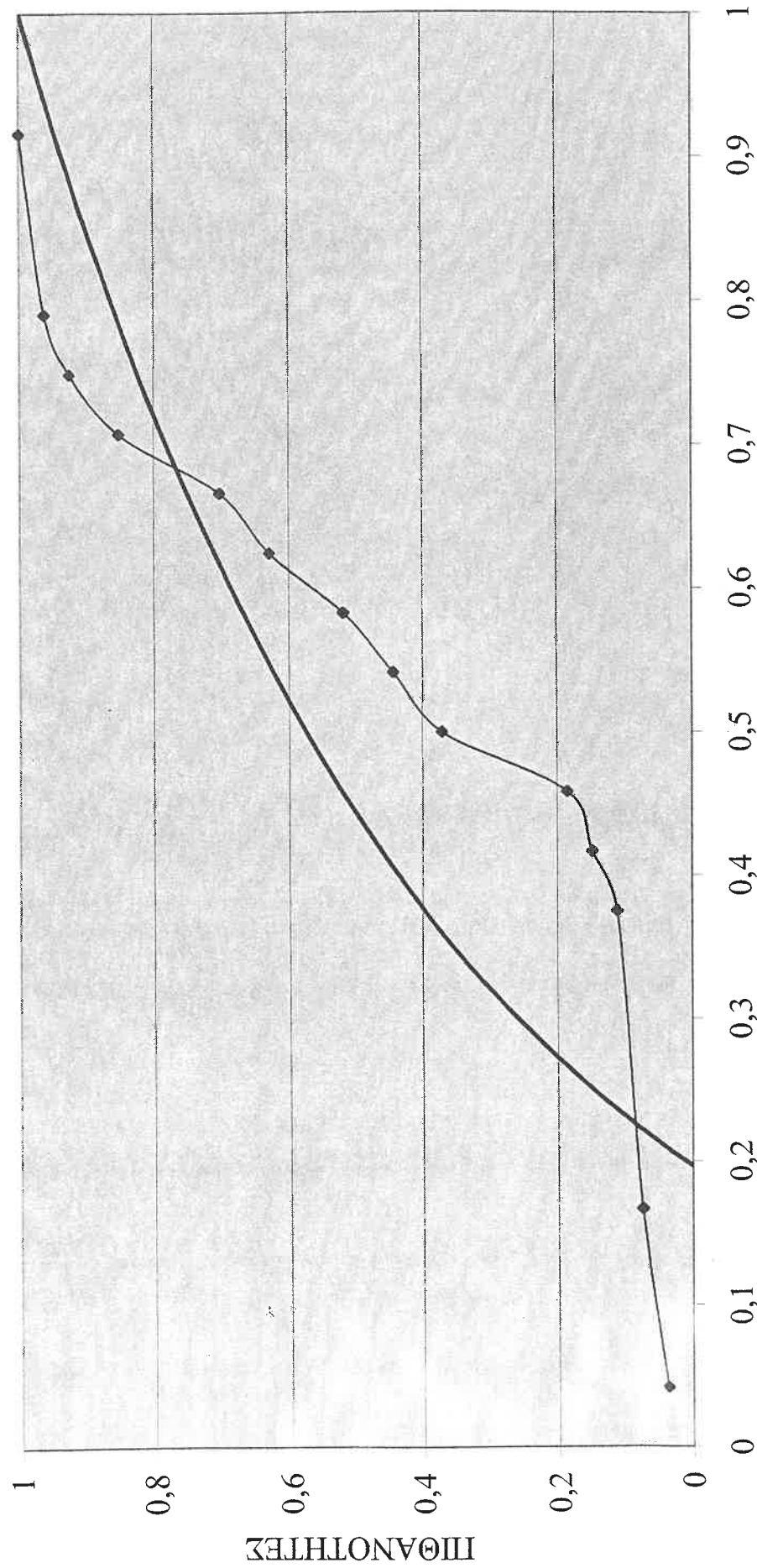
ΔΙΑΔΡΟΜΗ 50 - 105
12:00 - 18:00



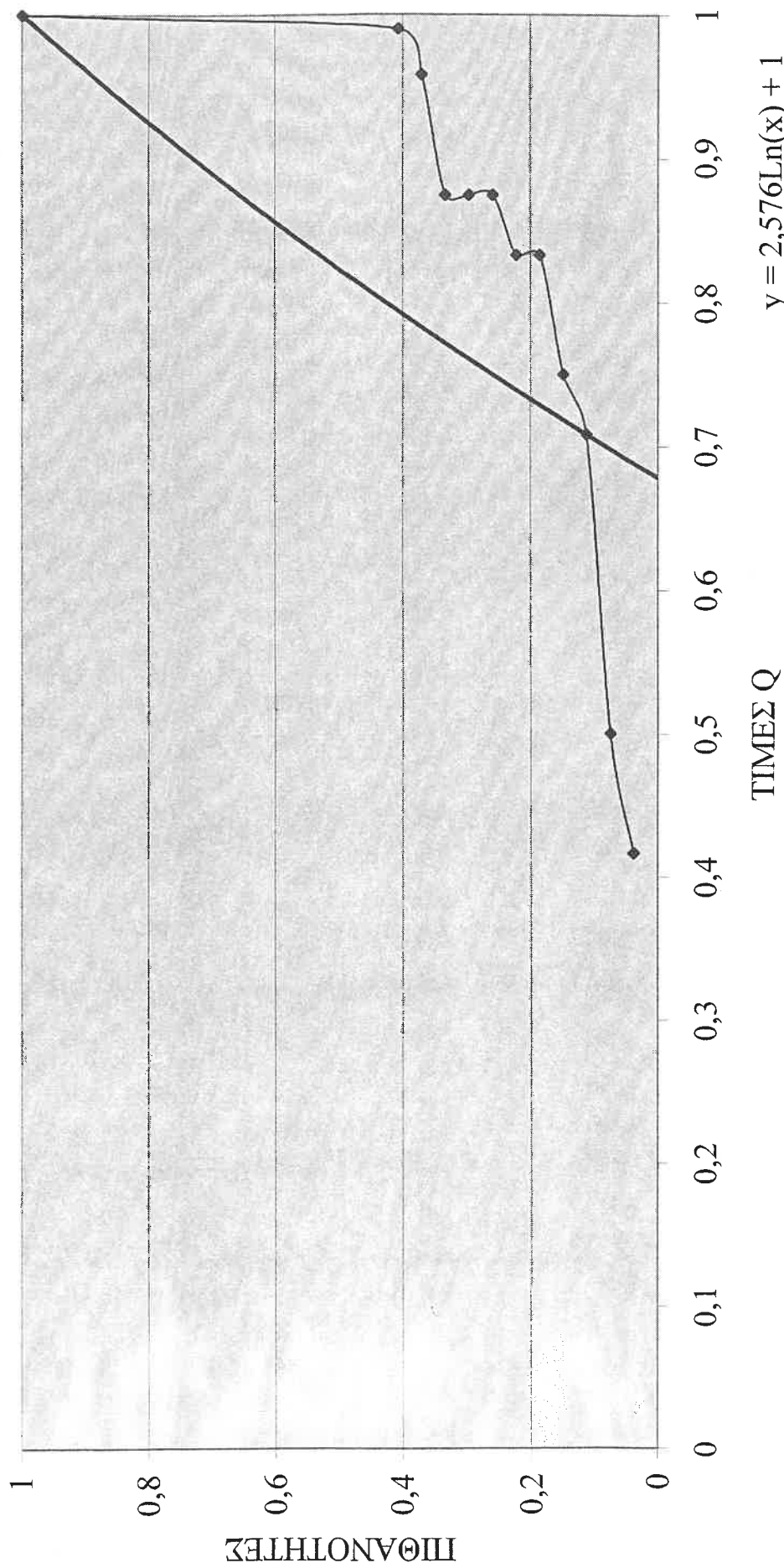
ΔΙΑΔΡΟΜΗ 108 - 19
12:00 - 18:00



ΔΙΑΔΡΟΜΗ 40 - 98
12:00 - 18:00

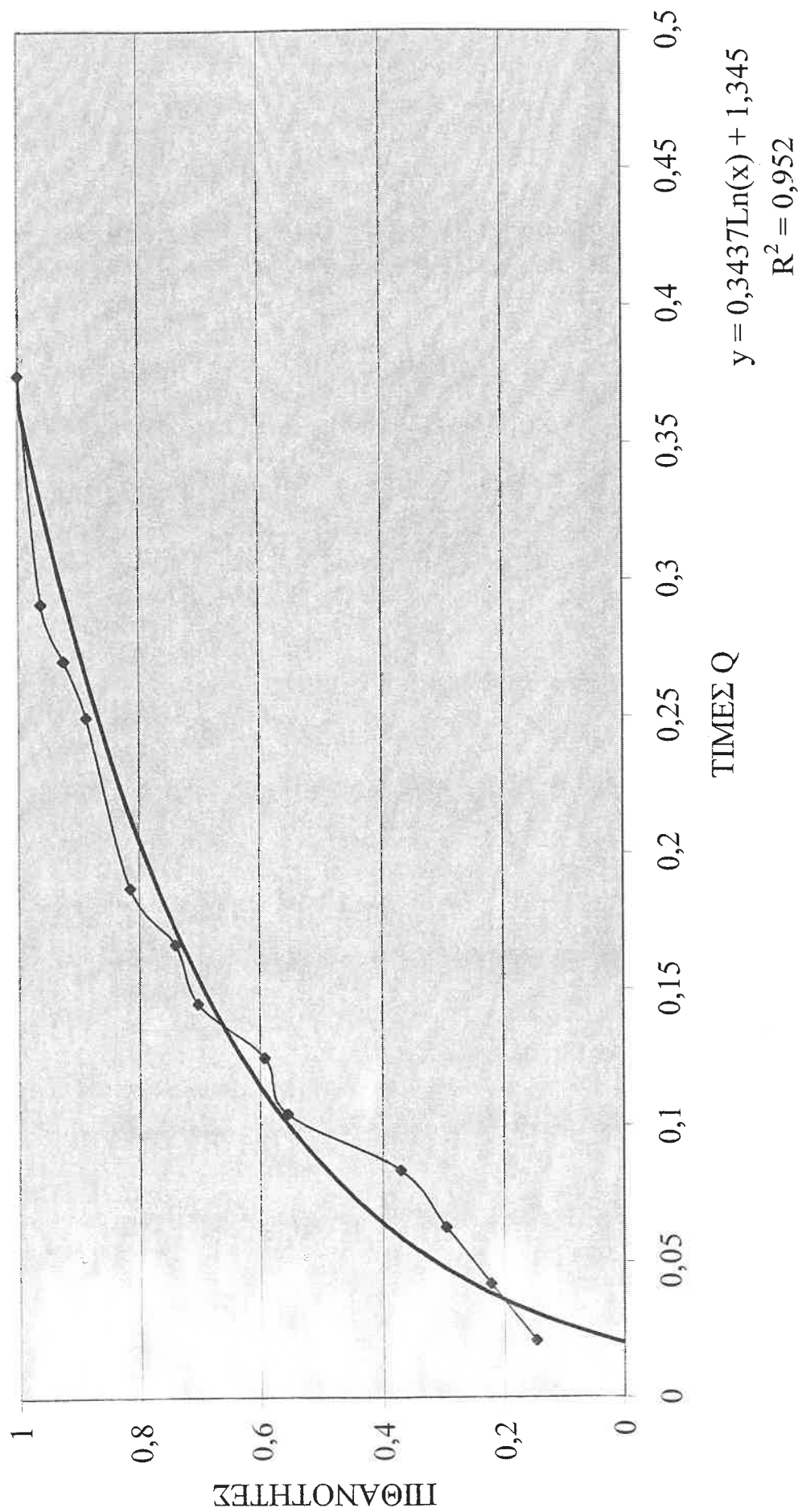


ΔΙΑΔΡΟΜΗ 38 - 41
12:00 - 18:00

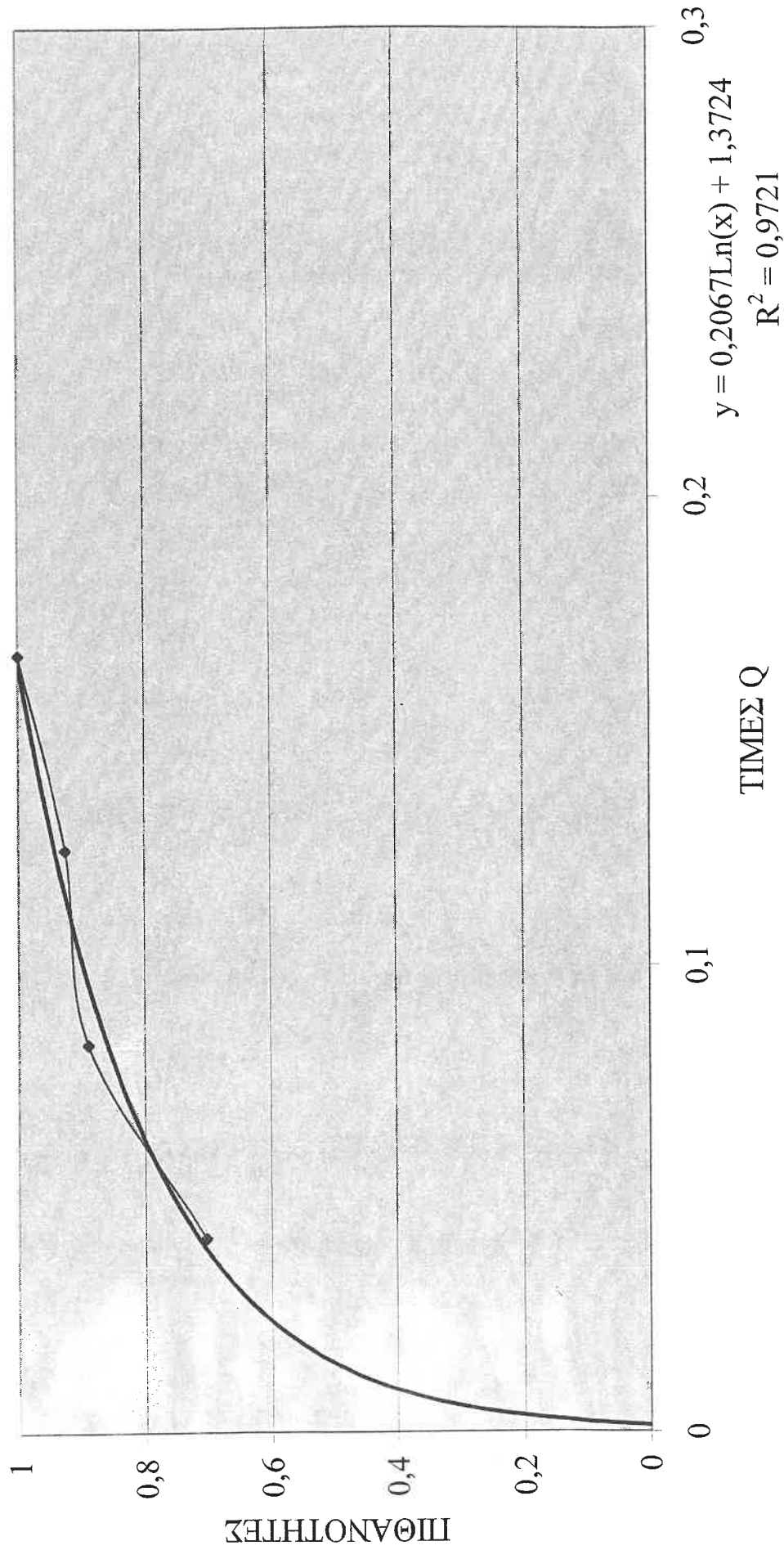


ΥΠΕΡΣΤΟΙΧΕΙΟ 4

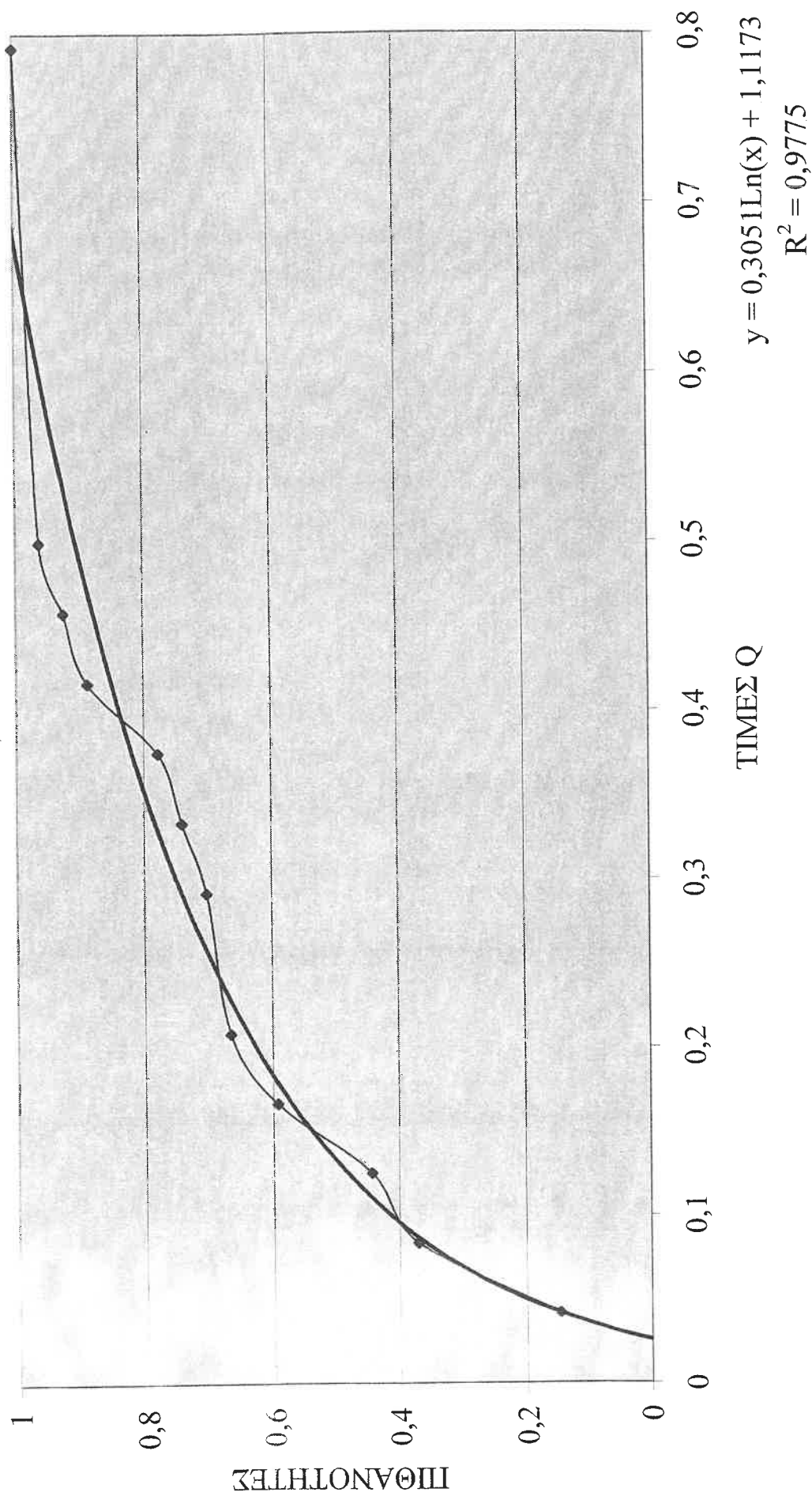
18:00 - 24:00



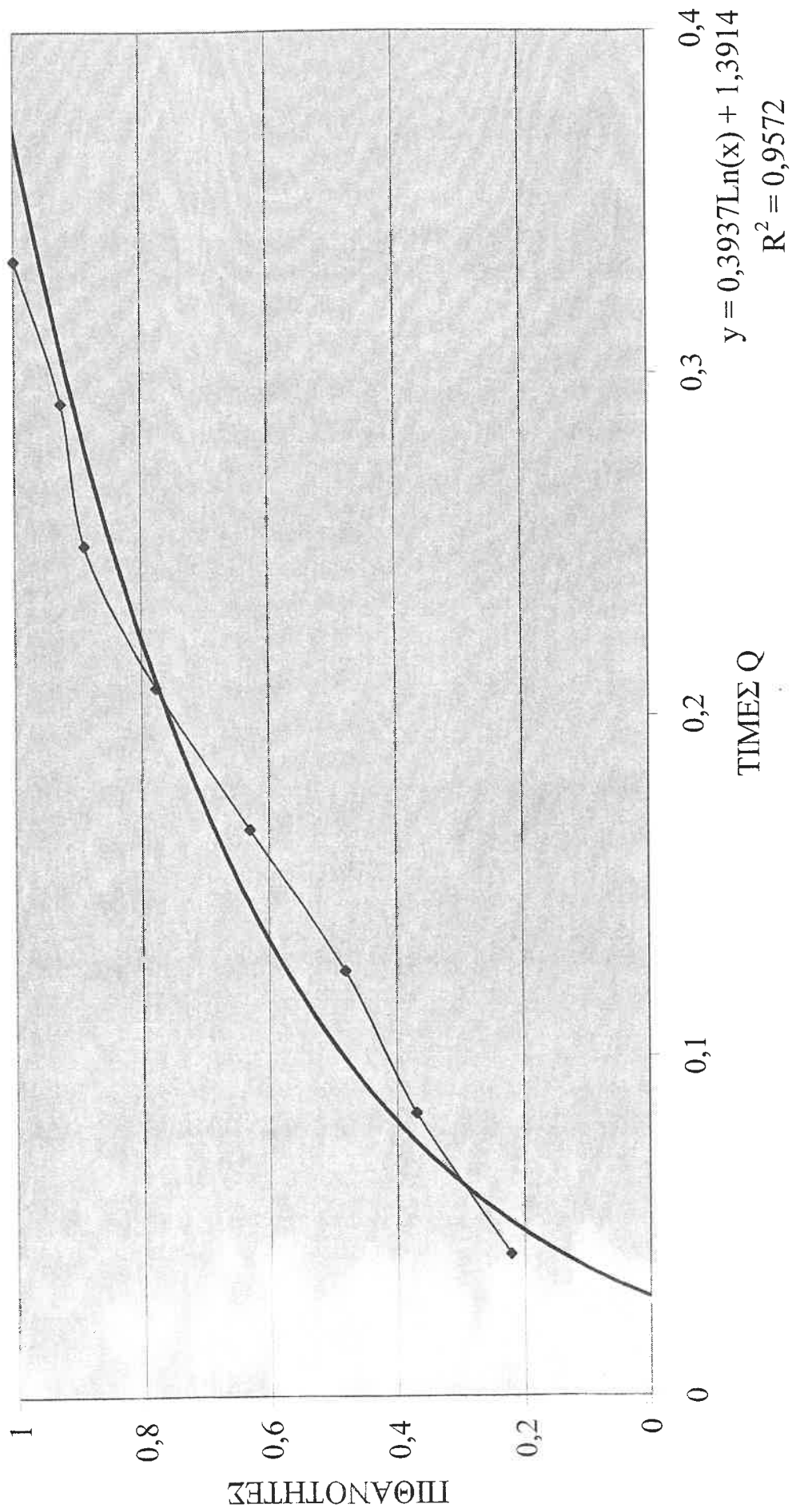
ΥΠΕΡΣΤΟΙΧΕΙΟ 3
18:00 - 24:00



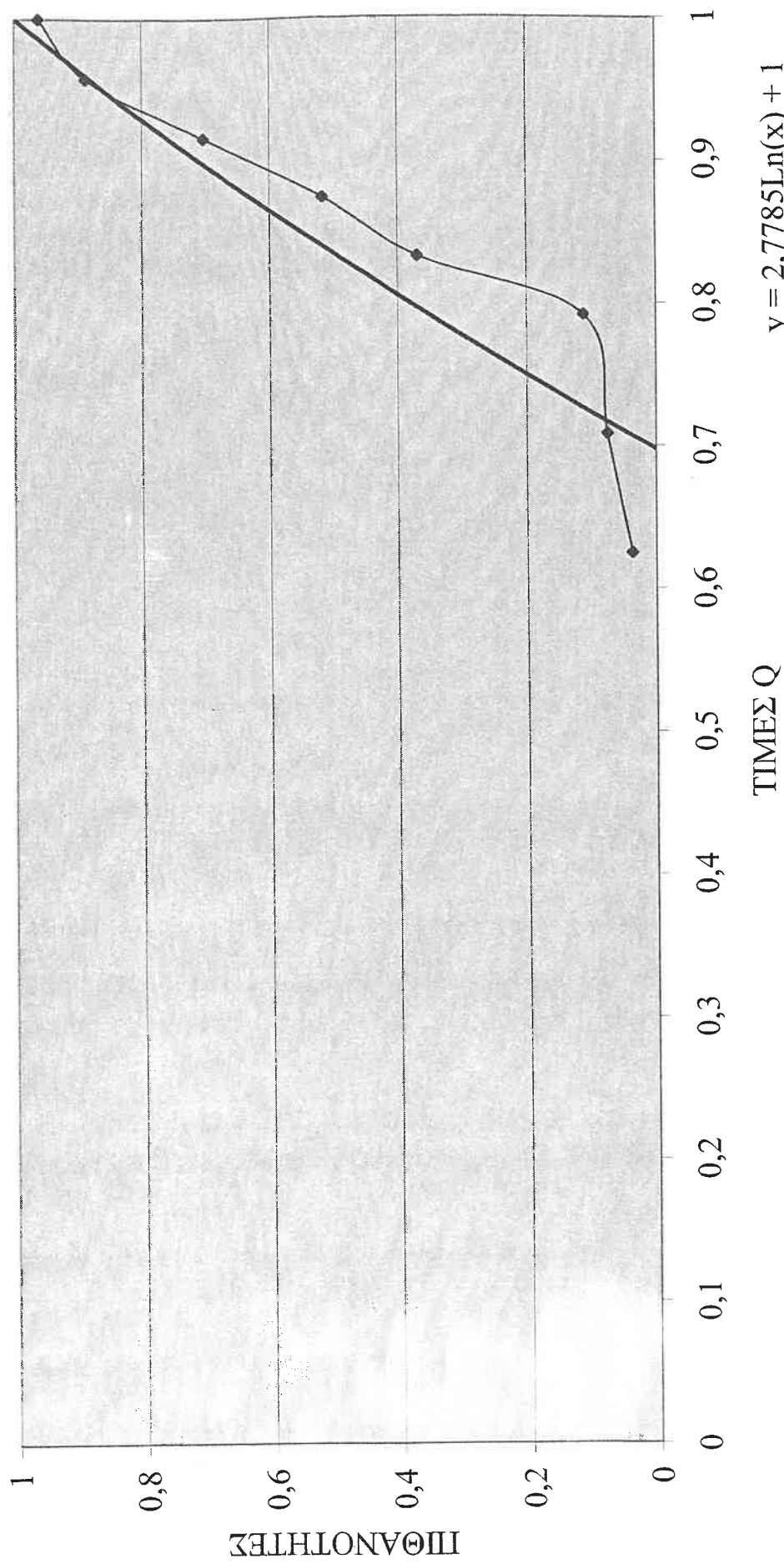
ΔΙΑΔΡΟΜΗ 21 - 104
18:00 - 24:00



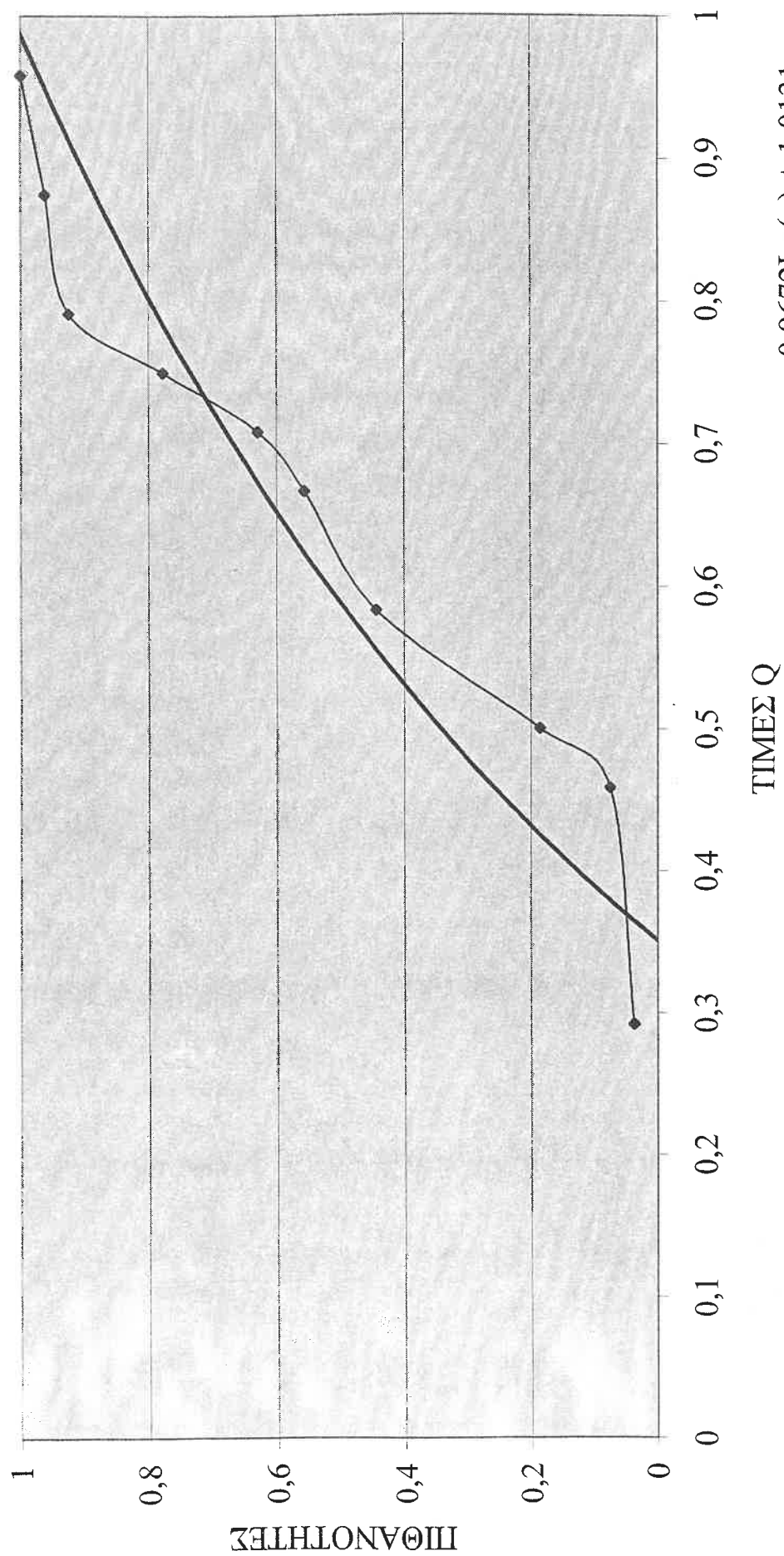
ΔΙΑΔΡΟΜΗ 50 - 105
18:00 - 24:00



ΔΙΑΔΡΟΜΗ 108 - 19
18:00 -24:00



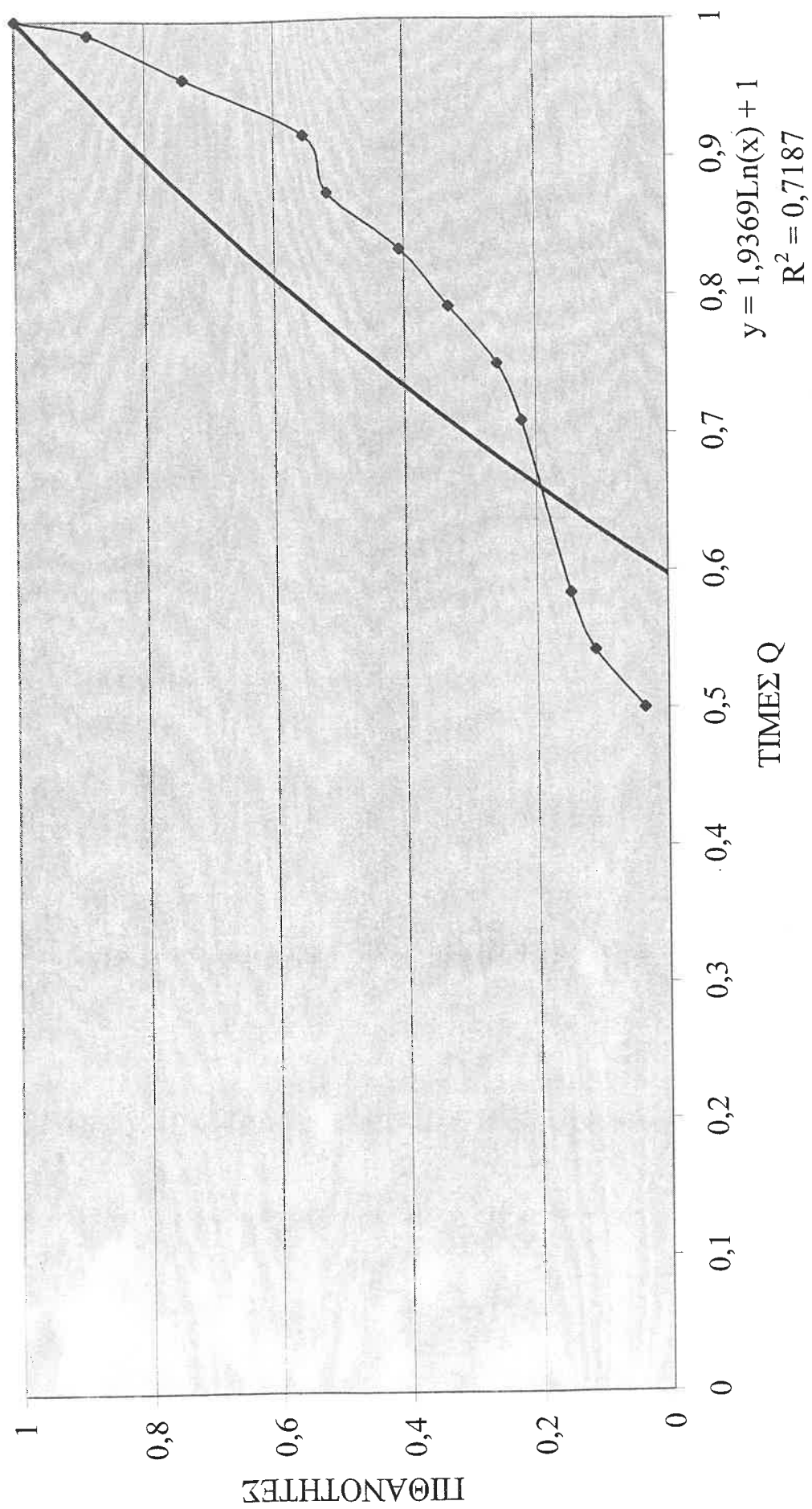
ΔΙΑΔΡΟΜΗ 40 - 98
18:00 - 24:00



$$y = 0,9672\text{Ln}(x) + 1,0131$$

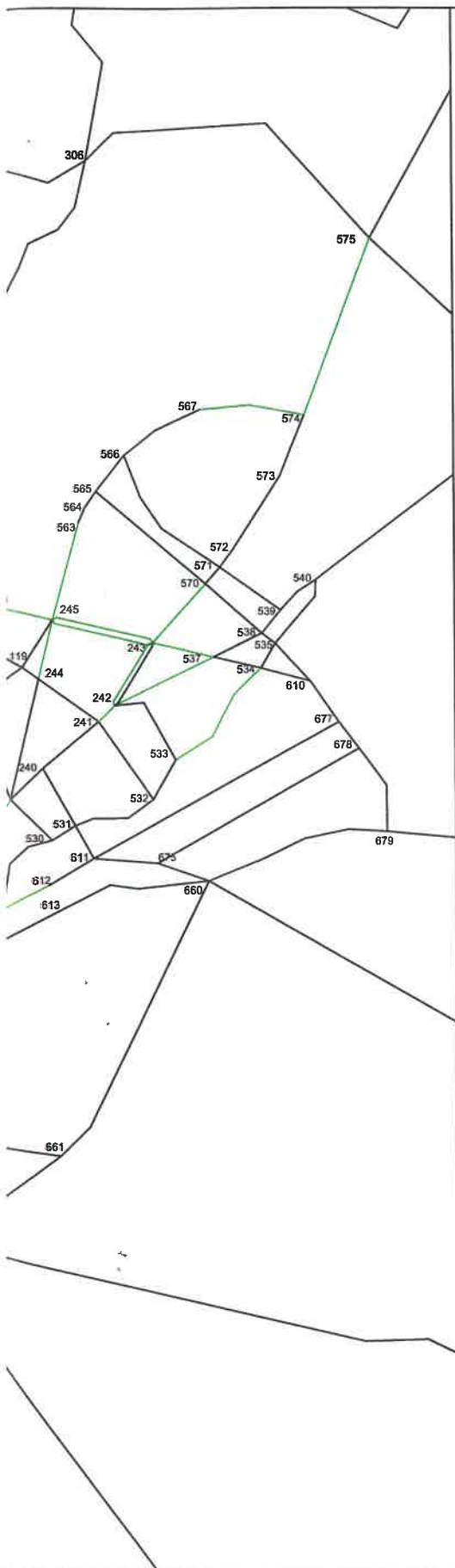
$$R^2 = 0,8818$$

ΔΙΑΔΡΟΜΗ 38 - 41
18:00 - 24:00



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Β' ΜΕΡΟΣ : ΣΧΕΔΙΑ

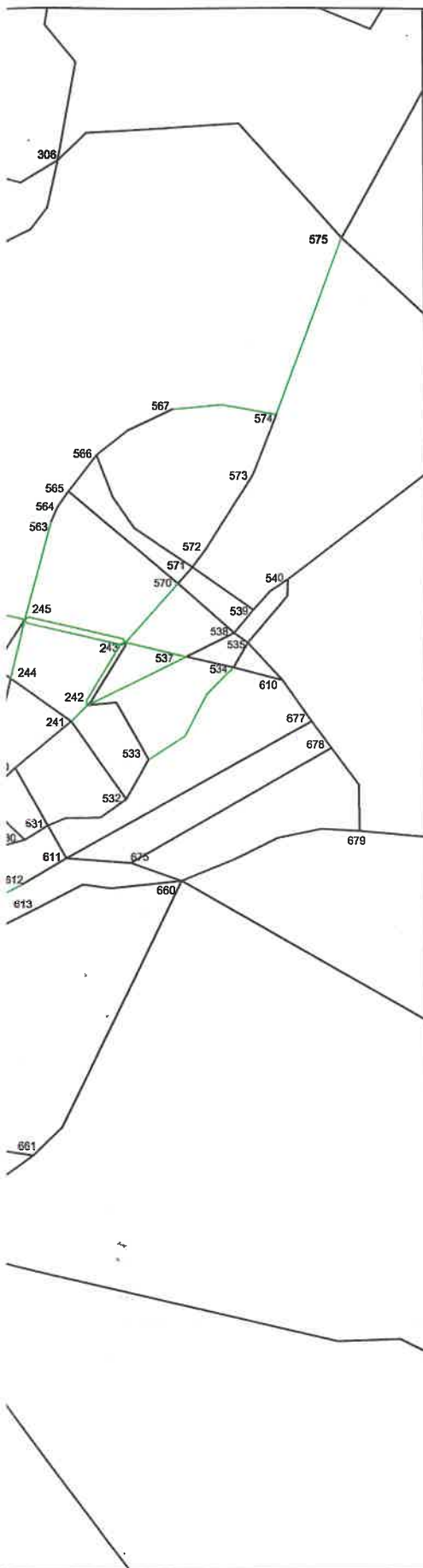


ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

ΗΜΕΡΑ : 01/02/2000
ΕΞΑΩΡΟ : 12:00 – 18:00

-  ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ
-  ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20000



ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

ΗΜΕΡΑ : 01/02/2000

ΕΞΑΩΡΟ : 6:00 – 12:00

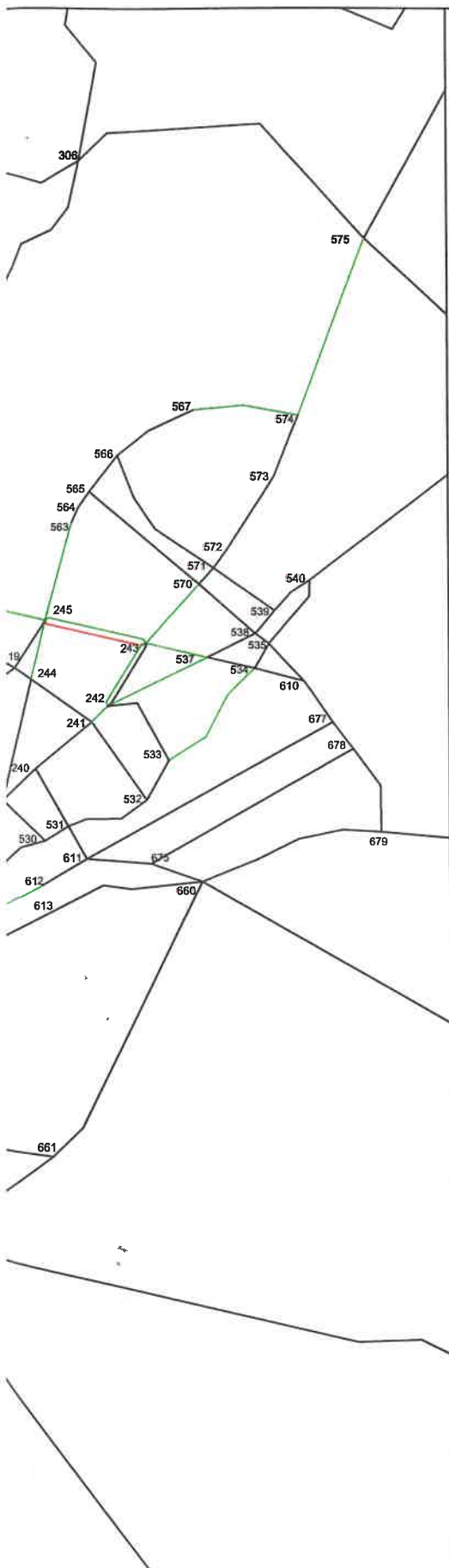


ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ



ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20000



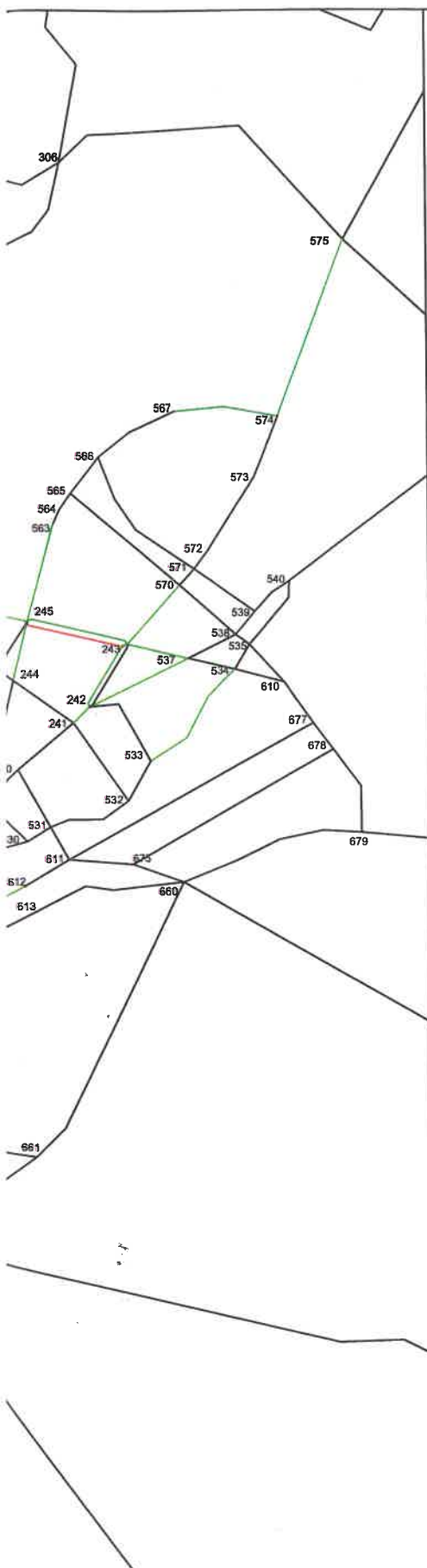
ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

ΗΜΕΡΑ : 01/02/2000

ΕΞΑΩΡΟ : 18:00 – 24:00

- ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ
- ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20000



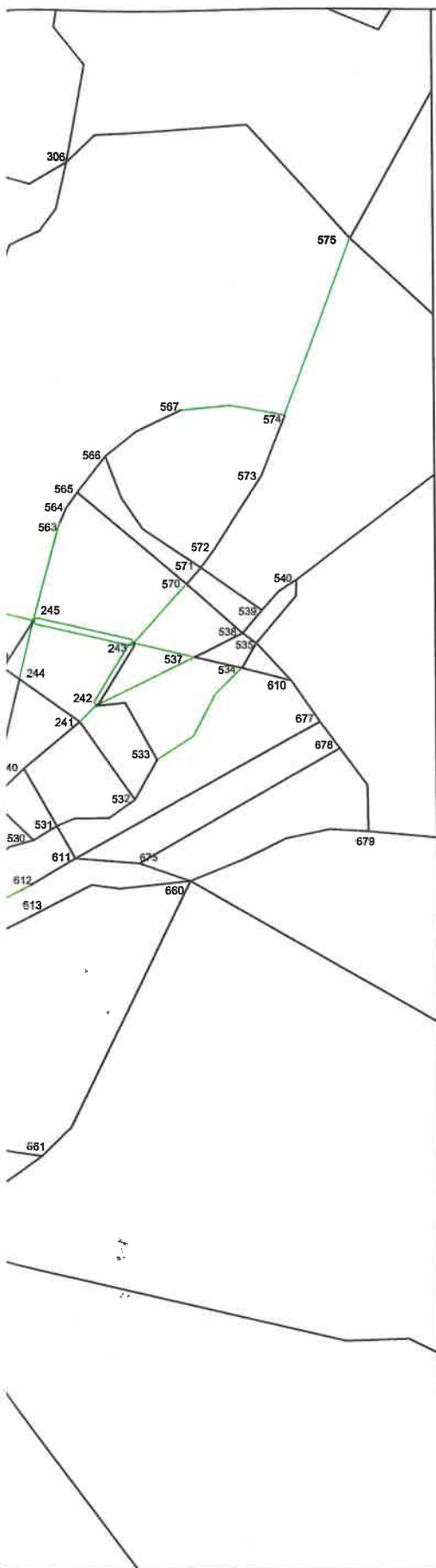
ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

ΗΜΕΡΑ : 02/02/2000

ΕΞΑΩΡΟ : 6:00 – 12:00

-  ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ
-  ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20000



ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

ΗΜΕΡΑ : 02/02/2000

ΕΞΑΩΡΟ : 12:00 – 18:00

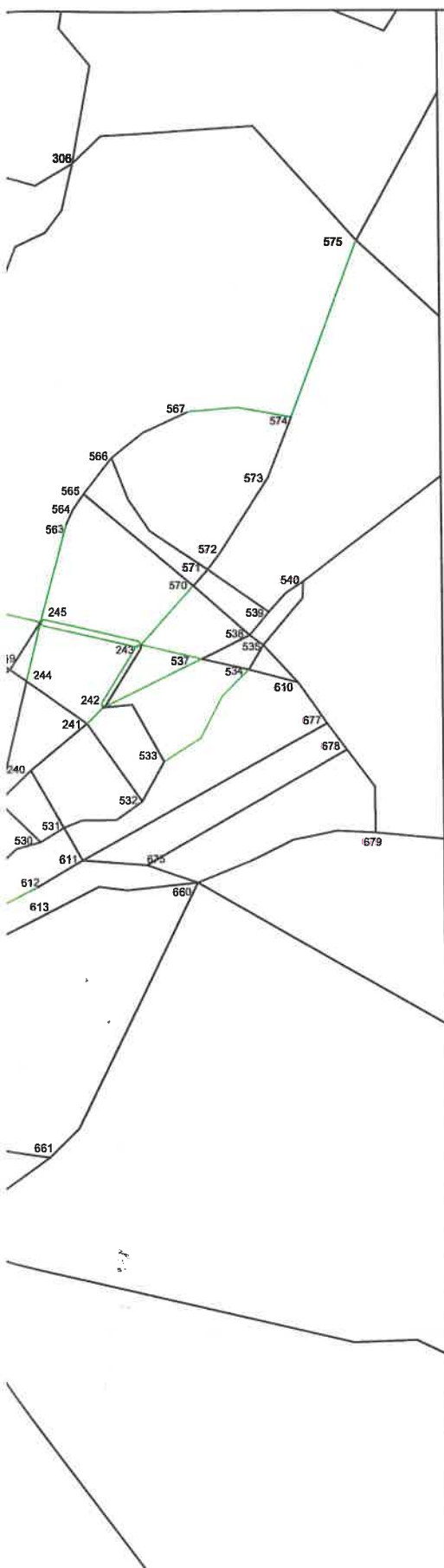


ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ



ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20000



ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

ΗΜΕΡΑ : 02/02/2000

ΕΞΑΩΡΟ : 18:00 – 24:00

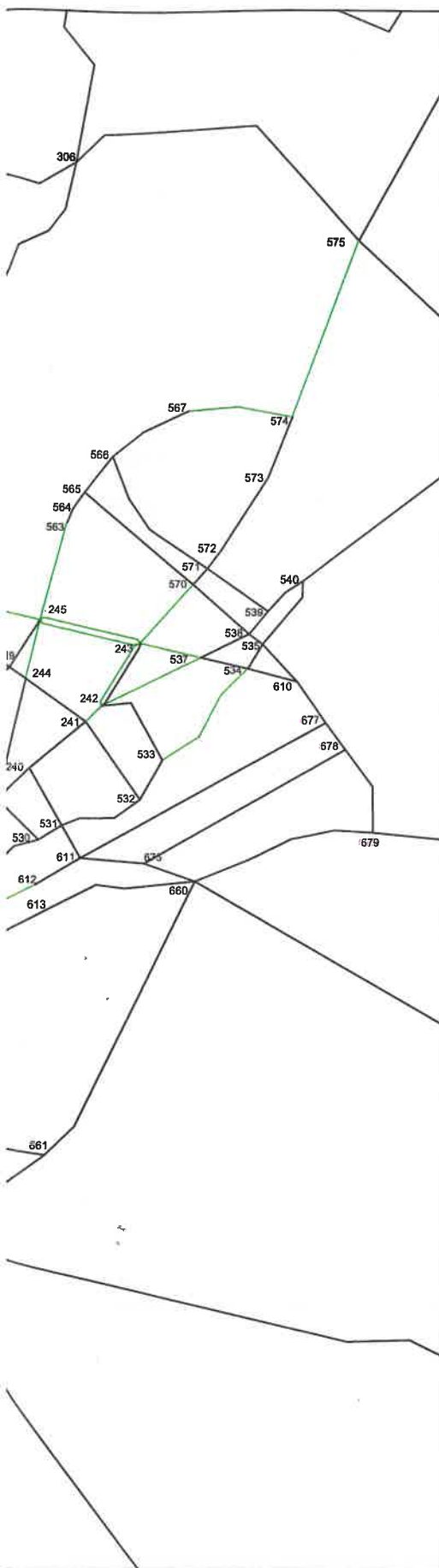


ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ



ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20000



ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

ΗΜΕΡΑ : 03/02/2000

ΕΞΑΩΡΟ : 6:00 – 12:00

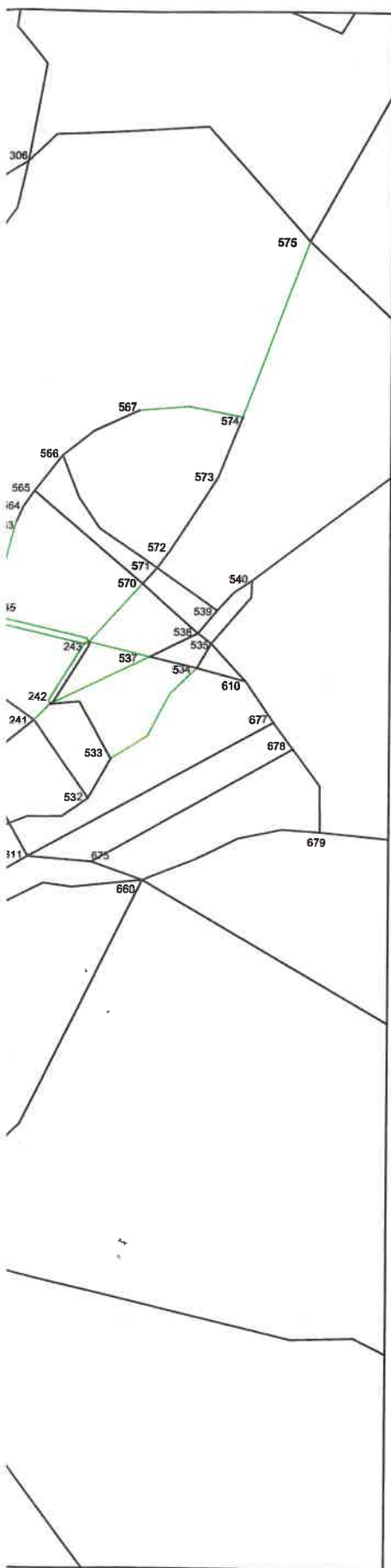


ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ



ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20000



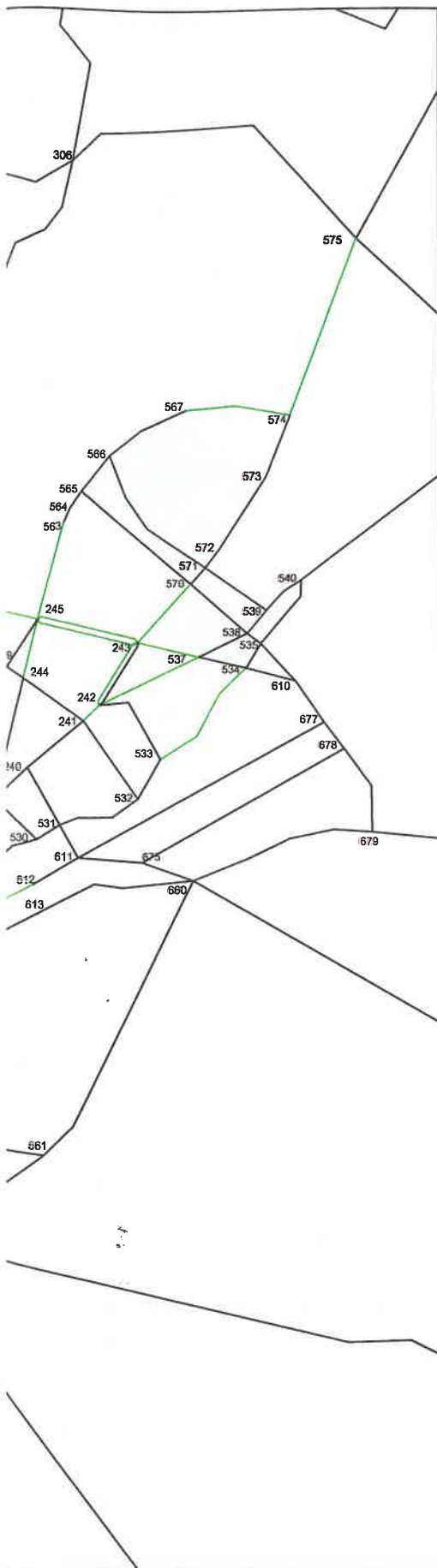
ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

ΗΜΕΡΑ : 03/02/2000

ΕΞΑΩΡΟ : 12:00 – 18:00

-  ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ
-  ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20000



ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

ΗΜΕΡΑ : 03/02/2000

ΕΞΑΩΡΟ : 18:00 – 24:00

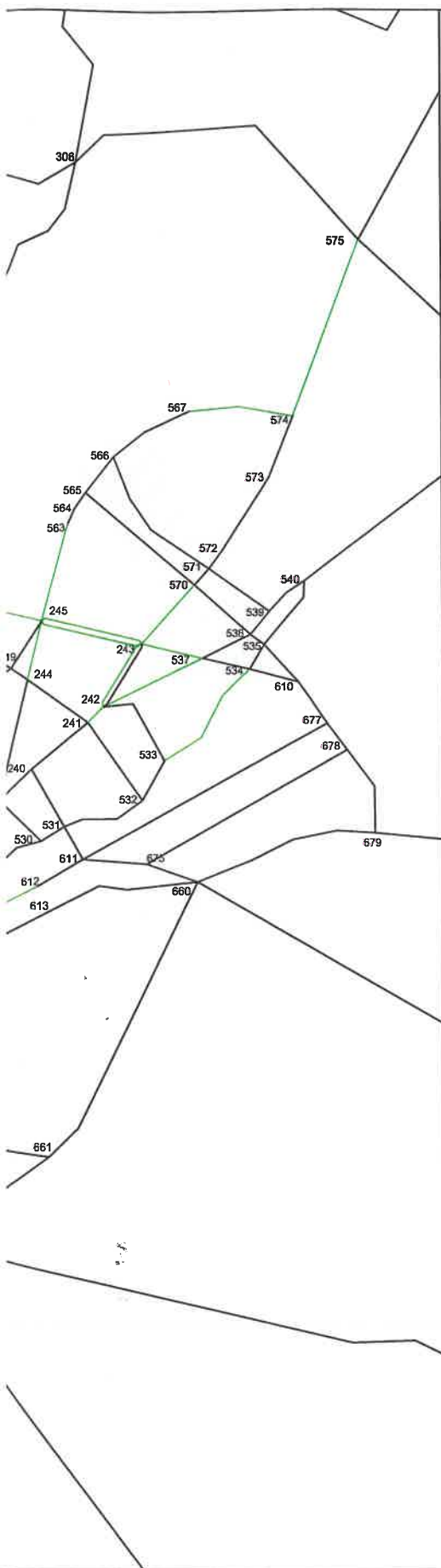


ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ



ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20000



ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

ΗΜΕΡΑ : 04/02/2000

ΕΞΑΩΡΟ : 6:00 – 12:00

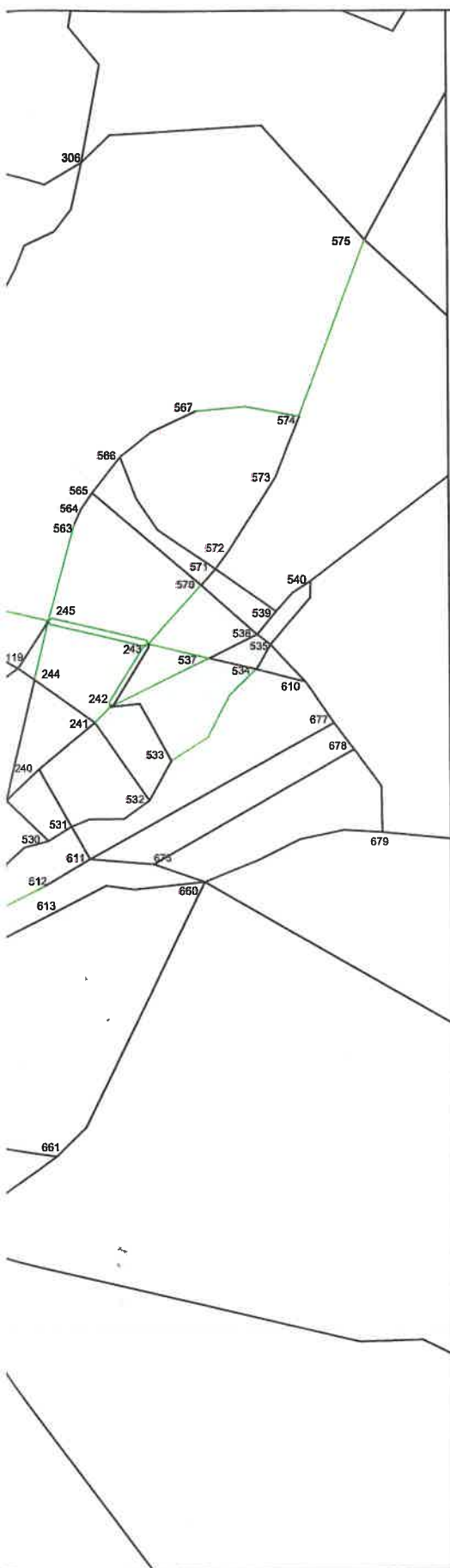


ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ



ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20000



ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

ΗΜΕΡΑ : 04/02/2000

ΕΞΑΩΡΟ : 12:00 – 18:00

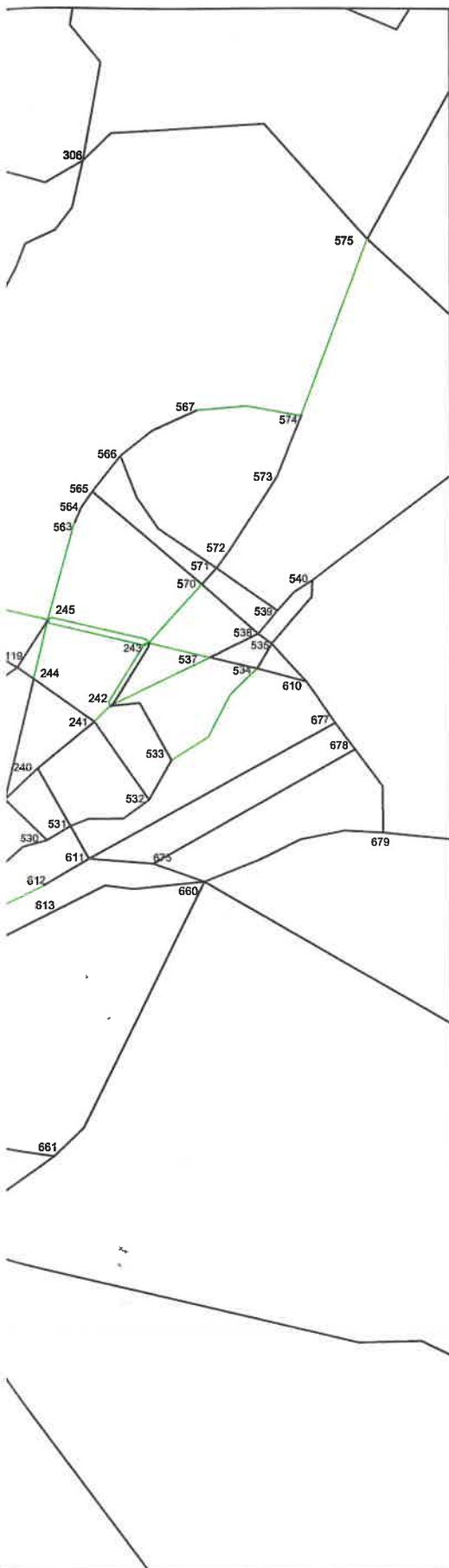


ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ



ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20000



ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

ΗΜΕΡΑ : 04/02/2000

ΕΞΑΩΡΟ : 18:00 – 24:00

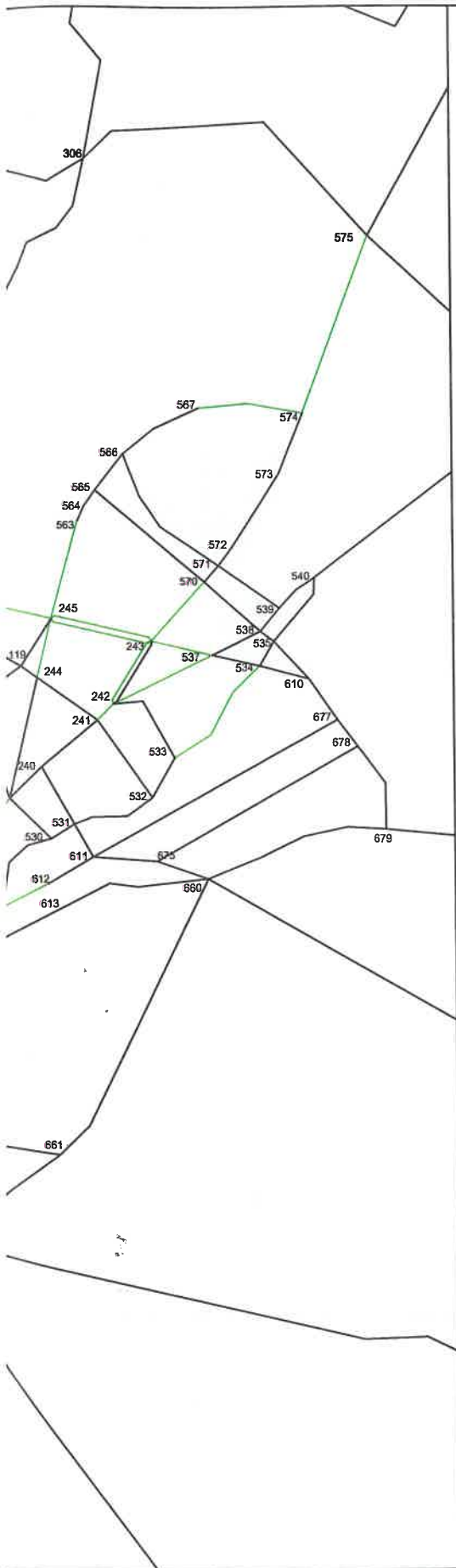


ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ



ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20000



ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

ΗΜΕΡΑ : 05/02/2000

ΕΞΑΩΡΟ : 6:00 – 12:00

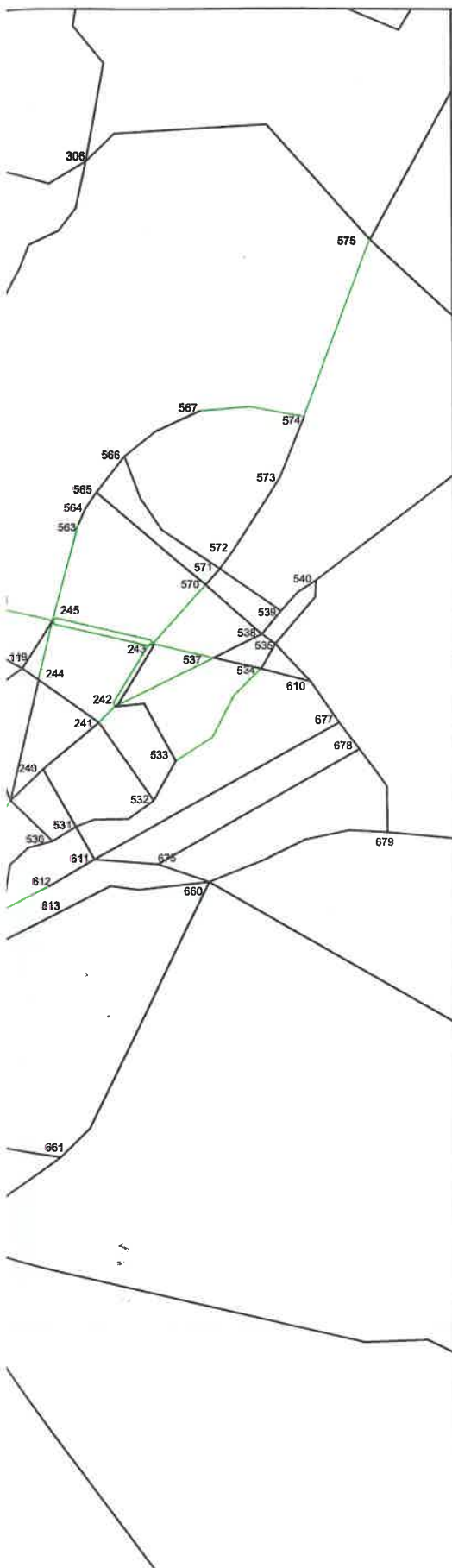


ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ



ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20000

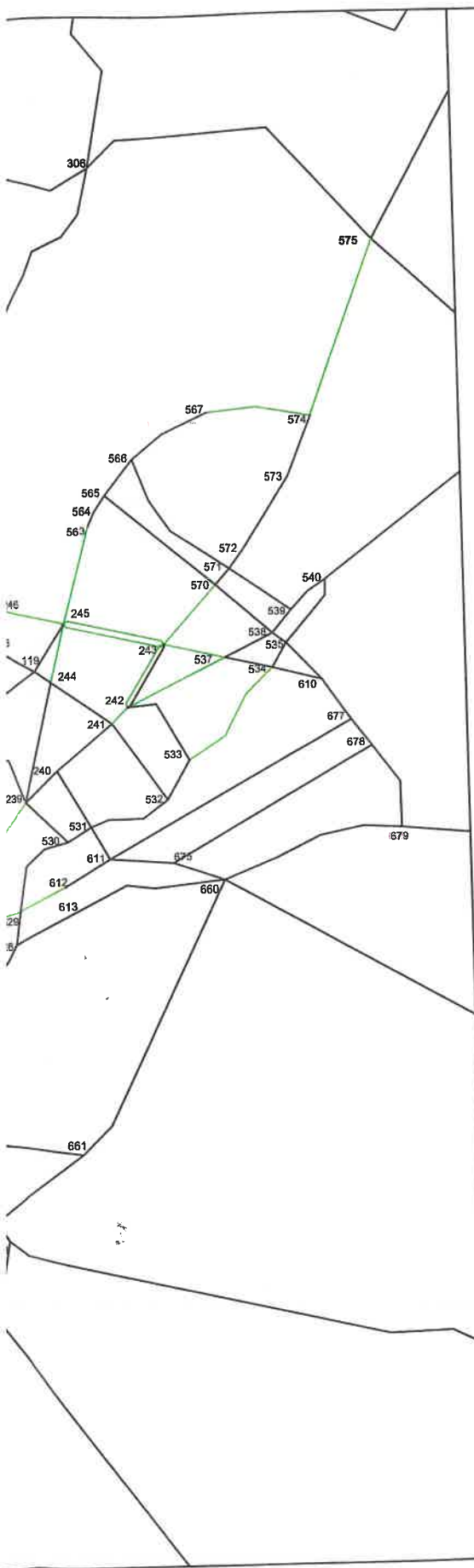


ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

ΗΜΕΡΑ : 05/02/2000
ΕΞΑΩΡΟ : 12:00 – 18:00

-  ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ
-  ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20000

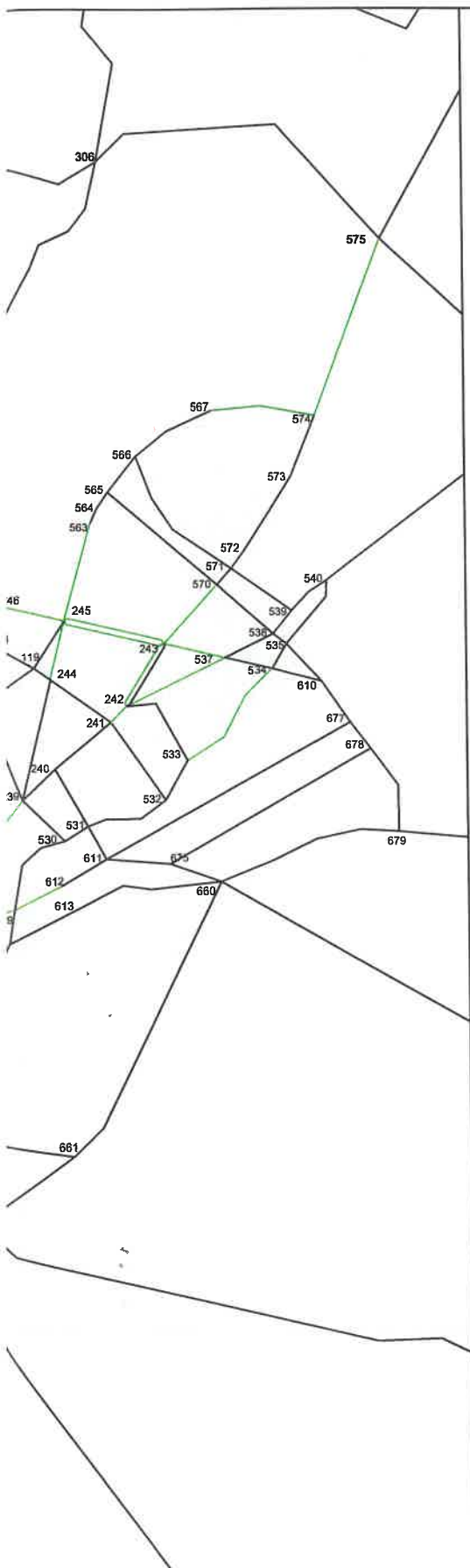


ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

ΗΜΕΡΑ : 05/02/2000
ΕΞΑΩΡΟ : 18:00 – 24:00

-  ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ
-  ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20000

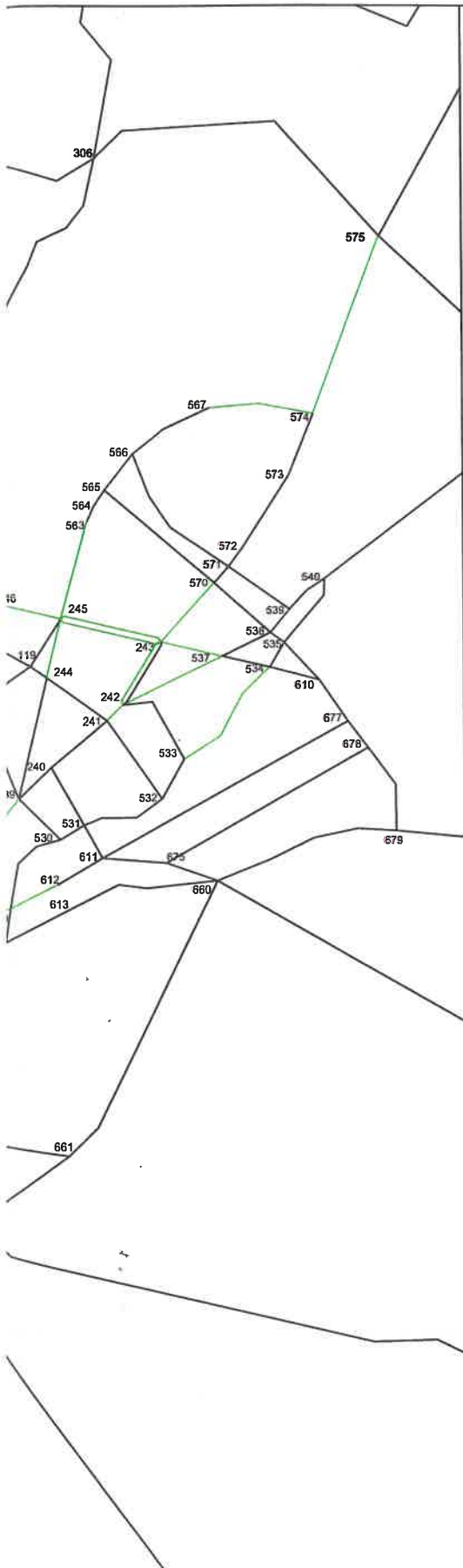


ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

ΗΜΕΡΑ : 06/02/2000
ΕΞΑΩΡΟ : 6:00 – 12:00

-  ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ
-  ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20000

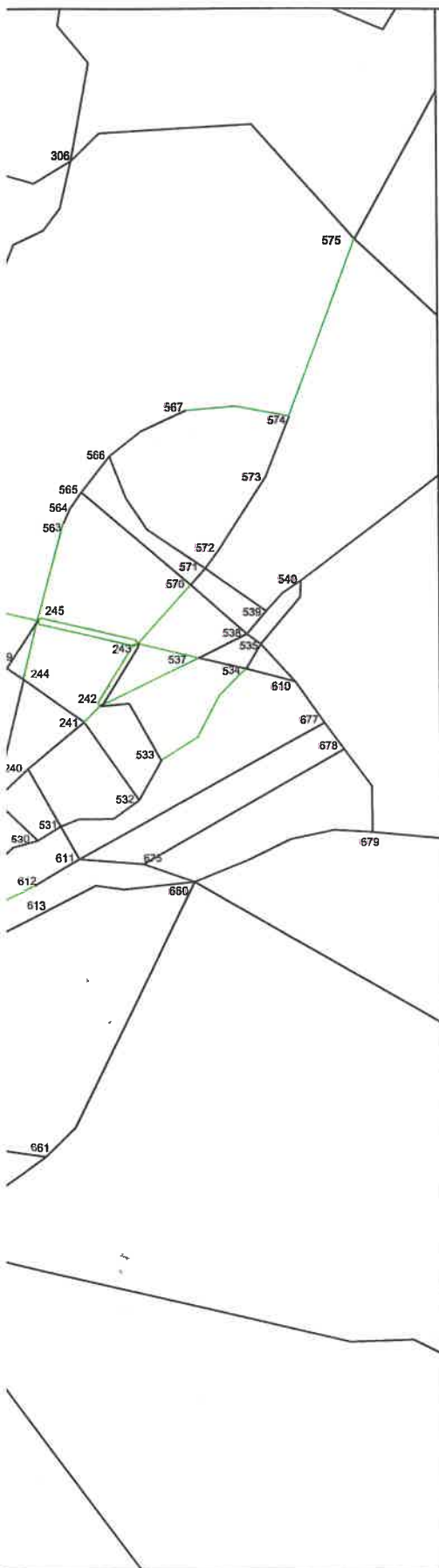


ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

ΗΜΕΡΑ : 06/02/2000
ΕΞΑΩΡΟ : 12:00 – 18:00

-  ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ
-  ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20000



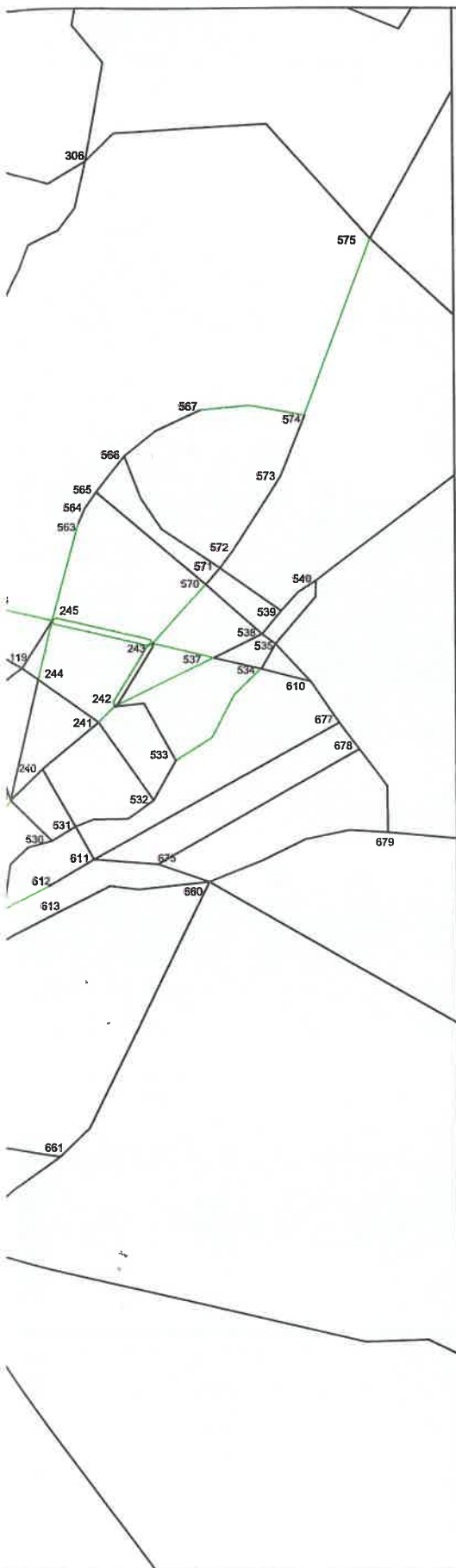
ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

ΗΜΕΡΑ : 06/02/2000

ΕΞΑΩΡΟ : 18:00 – 24:00

- ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ
- ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20000

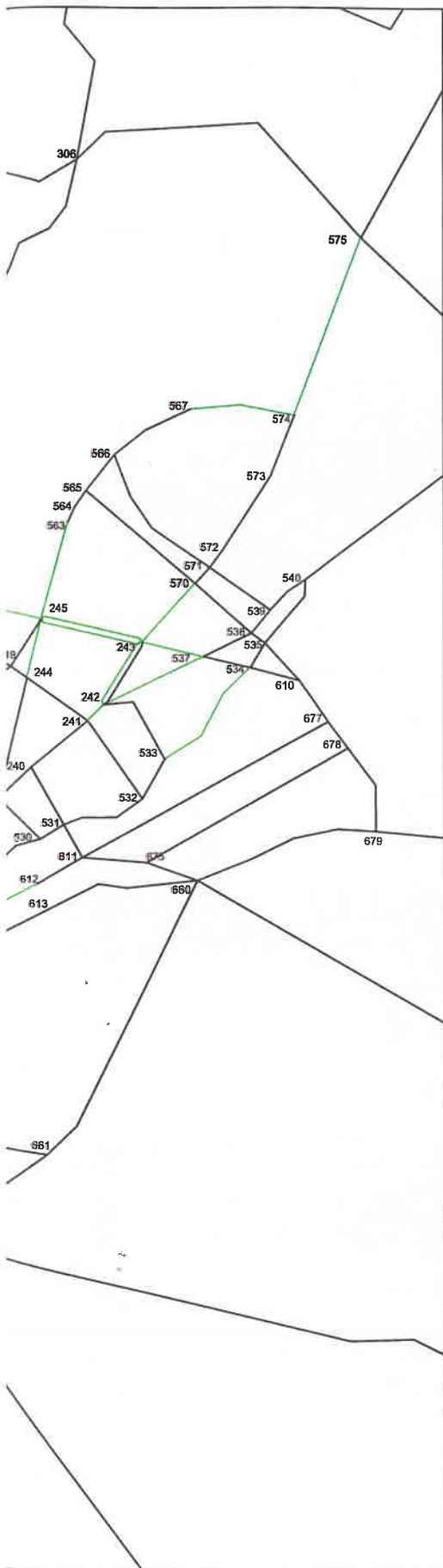


ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

ΗΜΕΡΑ : 07/02/2000
ΕΞΑΩΡΟ : 6:00 – 12:00

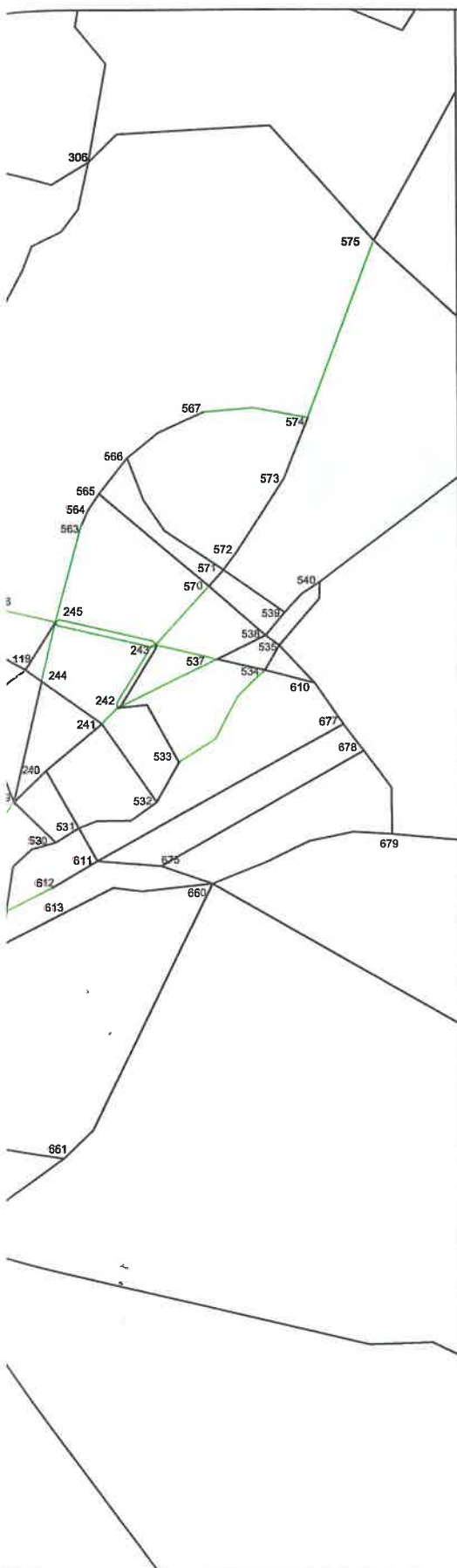
- ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ
- ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20000



ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

KΛΙΜΑΚΑ 1:20000



ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

ΗΜΕΡΑ : 07/02/2000

ΕΞΑΩΡΟ : 18:00 – 24:00

-  ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ
-  ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΟΠΟΥ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20000