



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ
Επόπτης : Σταθόπουλος Α. – Αναπλ. Καθηγητής

Διπλωματική Εργασία

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΛΕΩΦΟΡΕΙΑΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΤΗΣ
ΑΘΗΝΑΣ.**

Δασκαλάκης Νικόλαος Γ.

ΑΘΗΝΑ – Νοέμβριος 2002

Σύνοψη

Τίτλος : «Διερεύνηση της Αξιοπιστίας στη Λειτουργία Συστημάτων.

Εφαρμογή σε Λεωφορειακές Γραμμές τη Αθήνας.»

Όνομα : Δασκαλάκης Νικός Γ.

Επόπτης : Σταθόπουλος Α., Αναπλ.Καθηγητής

2002

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στην έννοια και τις εφαρμογές της αξιοπιστίας και αναπτύσσεται σε δύο επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο επικεντρώνεται στον ορισμό της αξιοπιστίας και αναφέρονται οι όροι τεχνικής αξιοπιστίας οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της λειτουργίας συστημάτων. Δίδονται επίσης παραδείγματα που δείχνουν στην εφαρμογή της αξιοπιστίας στα πρότυπα για προβλέψεις. Στο δεύτερο επίπεδο γίνεται αναφορά στην αξιοπιστία των ΜΜΜ. Από μετρήσεις που έγιναν σε γραμμές της Αθήνα και μελετώντας τις αποκλίσεις των δρομολογίων από τον προγραμματισμό, γίνεται αποτίμηση της αξιοπιστίας των υπηρεσιών. Αναζητούνται πιθανές αιτίες έλλειψης αξιοπιστίας και τρόποι ελαχιστοποίησής της μέσω του συστήματος της Τηλεματικής.

Λέξεις κλειδιά : Αξιοπιστία, Τεχνική Αξιοπιστία, Αναξιοπιστία, Τηλεματική, Απόκλιση δρομολογίου, Κατανομή πιθανότητας Βήτα.

Abstract

Title : Investigation of System Operation Reliability.
Application to Bus Lines in Athens.

Name : Daskalakis Nikolaos G.

Supervisor : Stathopoulos A.

2002

The present diploma thesis is about the significance and the applications of reliability and it is developed onto two levels. On the first level it focuses on the definition of reliability and terms of reliability engineering which are used for the description of operation of systems are reported. Examples showing the applications of forecast models are also given. On the second level, reliability of Public Transportation is discussed. Given count data from Bus lines in Athens and by studying their deviations from the schedules, an assessment of services' reliability is made. Possible causes of lack of reliability and ways of its minimization through Telematics system are inquired.

Key words : Reliability, Reliability Engineering, Telematics, Timetable deviation, Beta probability distribution.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάπτυξη της διπλωματικής αυτής εργασίας γίνεται σε 4 Μέρη. Το Α' Μέρος περιλαμβάνει τα Κεφάλαια 1 έως 3 και αναφέρεται στους ορισμούς των εννοιών της Αξιοπιστίας καθώς και της Τεχνικής Αξιοπιστίας. Τα Κεφάλαια 4 έως και 6 αποτελούν το Β' Μέρος και αναφέρονται στα συστήματα και το πώς η έννοια της αξιοπιστίας υπεισέρχεται στη σχεδιασμό και τη λειτουργία τους. Τα τρία επόμενα κεφάλαια (7,8,9) αναφέρονται στην αξιοπιστία και την αναξιπιστία σε σχέση στα ΜΜΜ ενώ τα τελευταία τέσσερα (Δ' Μέρος) αποτελούν ένα είδος «πειραματικής» εξέτασης σε πραγματικές συνθήκες του συστήματος των Αστικών Λεωφορείων (συγκεκριμένα, αυτών της Τηλεματικής) στην Αθήνα, υπό το πρίσμα της Αξιοπιστίας.

Γενικά Συμπεράσματα

- 1) Η έννοια της Αξιοπιστίας είναι σχετικά πρόσφατη όσον αφορά τη χρησιμοποίησή της για τη περιγραφή συστημάτων συνεχώς όμως διευρύνεται. Σήμερα, βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς τομείς, όπως στη χρήση προτύπων για πρόγνωση και βελτιστοποίηση δεικτών.
- 2) Στα ΜΜΜ και ειδικά στα λεωφορεία, η αποτίμηση της αξιοπιστίας συχνά γίνεται με εμπειρικές μεθόδους και μέσα από ελάχιστο δείγμα μετρήσεων, σε σχέση με τον όγκο των δρομολογίων.
- 3) Το σύστημα Τηλεματικής που χρησιμοποιεί ο ΟΑΣΑ, σε κάποιες γραμμές, είναι δομημένο ώστε να επιτρέπει την αξιοποίηση μεγάλου αριθμού στοιχείων και κατά συνέπεια την επέκταση των μεθόδων αυτών.
- 4) Από μετρήσεις που έγιναν, προέκυψαν βάσιμα στοιχεία που καταδεικνύουν ασυμφωνία της πραγματικής κατάστασης με τον προγραμματισμό του ΟΑΣΑ.
- 5) Χρησιμοποιώντας στοιχεία από την Τηλεματική στον προγραμματισμό θα επιτυγχάνονταν σίγουρα βελτίωση της Αξιοπιστίας. Ο βαθμός αυτής της βελτίωσης αποτελεί πεδίο για περαιτέρω έρευνα.
- 6) Για τη μελέτη της αξιοπιστίας εισάγεται το μέγεθος της αντιληπτής απόκλισης το οποίο σχετίζει την απόκλιση από τον προγραμματισμό, των

χρόνων αναχώρησης από αφετηρία ή άφιξης σε κάποια στάση, με το μέσο ΧΜΑ της γραμμής.

- 7) Έτσι, κατά την περίοδο αιχμής 09:00-20:00, η αξιοπιστία των αναχωρήσεων από την αφετηρία και το τέρμα κρίνεται ως «μέτρια».
- 8) Κατά το ίδιο διάστημα και με κριτήριο το παραπάνω μέγεθος για άφιξη στις στάσεις, η αξιοπιστία της υπηρεσίας καθ' οδόν είναι στα 2/3 των δρομολογίων (εκείνα υπό ευνοϊκές συνθήκες) επίσης «μέτρια», ενώ στο 1/3 των δρομολογίων (εκείνα υπό δυσμενείς συνθήκες) η αξιοπιστία χάνεται εντελώς, αφού προκύπτουν μεγάλες τιμές δ_i (>1).
- 9) Στις τιμές αντιληπτής απόκλισης αναχωρήσεων από το τέρμα και την αφετηρία μπορούν να προσαρμοστεί η Gauss- ανεστραμμένη κατανομή . Η προσαρμογή είναι καλή σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,10$ επομένως «πολύ σημαντική»
- 10) Στις τιμές αντιληπτής απόκλισης αφίξεων στις στάσεις υπό φυσιολογικές συνθήκες κίνησης, μπορεί να προσαρμοστεί η Γενικευμένη Βήτα σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$, ενώ στις εξαιρετικές συνθήκες με τιμές $\delta > 0,66$ η ίδια κατανομή προσαρμόζεται σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,001$ όχι δηλαδή ιδιαίτερος σημαντική.
- 11) Από τη στιγμή που τα στατιστικά δεδομένα της Τηλεματικής χρησιμοποιούνται για να επανατροφοδοτήσουν τον προγραμματισμό, η αξιοπιστία του συστήματος μπορεί να βελτιωθεί τόσο μακροπρόθεσμα (επίπεδο μήνα – ρεαλιστικότερα χρονοδιαγράμματα) όσο και βραχυπρόθεσμα (ώρα – με έλεγχο σε πραγματικό χρόνο).

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

Εισαγωγή.....σελ.	xii
-------------------	-----

Μέρος Α΄

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ

1.1 Τι είναι η Αξιοπιστία ?.....	1
1.2 Αξιοπιστία για Μηχανικούς ?	2
1.3 Σύντομο Ιστορικό Τεχνικής Αξιοπιστίας.....	4
1.4 Αξιοπιστία, Οικονομία και Διαχείριση	6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ

2.1 Γενικότερος Ορισμός.....	8
2.2 Αξιοπιστία, Πιθανότητα και Συστήματα.....	9
2.3 Ποιότητα.....	11
2.4 Διαθεσιμότητα.....	12
2.5 Ασφάλεια – Ασφάλιση.....	13
2.6 Βασιμότητα.....	14
2.7 Προγραμματισμός.....	14

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ

3.1 Περιοχές Εφαρμογής.....	16
3.1.1 Αναλύσεις ασφάλειας / ρίσκου.....	16
3.1.2 Περιβαλλοντική προστασία.	16

3.1.3	Ποιότητα.....	17
3.1.4	Βελτιστοποίηση συντήρησης και λειτουργίας.....	17
3.1.5	Τεχνικός Σχεδιασμός.....	18
3.1.6	Επικύρωση ποιότητας / αξιοπιστίας.....	18
3.2	Κατασκευή Προτύπων.....	19
3.2.1	Συνοριακές Συνθήκες για την Ανάλυση.....	21
3.2.2	Δυναδική Αναπαράσταση.....	22
3.3	Ανθρώπινη Αξιοπιστία.....	23

Μέρος Β'

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο. ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

4.1	Ανάλυση Αξιοπιστίας Συστημάτων.....	26
4.1.1	Αντιμετώπιση Βλαβών	26
4.1.2	Τεχνικές Αξιοπιστίας.....	27
4.1.3	Σύντομο Ιστορικό.....	27
4.1.4	Συμπεριφορά Συστημάτων.....	28
4.1.5	Πρόβλεψη Αξιοπιστίας.....	28
4.1.6	Μελέτη Σχεδιασμού Συστήματος	28
4.1.7	Σημερινή Χρήση Πιθανοτικών προτύπων.....	28
4.2	Δείκτες Αξιοπιστίας Συστημάτων – Γενική Συνάρτηση Αξιοπιστίας.....	31
4.3	Τύποι Βλαβών.....	33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο.ΜΕΛΕΤΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ –
ΜΙΑ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

5.1	Αξιοπιστία Σύνθετων Συστημάτων.....	35
5.2	Βασικές Μέθοδοι Χρησιμοποιούμενες στη Μελέτη της Αξιοπιστίας.....	36
5.3	Επαγωγικές Μέθοδοι.....	37
5.3.1	Μέθοδος του Δέντρου Γεγονότων.....	38
5.3.2	Μέθοδος λογικών Διαγραμμάτων Αξιοπιστίας.....	39
5.2.3	Ανάλυση Τρόπων Βλάβης και Αποτελεσμάτων.....	39
5.4	Αναγωγικές Μέθοδοι.....	40
5.4.1.	Μέθοδος του Δέντρου Σφαλμάτων.....	40
5.5	Παρατηρήσεις και Συμπεράσματα.....	41
5.6	Προγράμματα.....	42

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΡΟΤΥΠΩΝ

6.1	Μακροχρόνια Αποτίμηση Προβλέψεων Σχεδιασμού Μεταφορών.....	44
6.1.1	Εισαγωγή.....	45
6.1.2	Σκοπός και πεδίο δράσης.....	46
6.1.3	Ανασκόπηση.....	47
6.1.4	Ορίζοντας Μικρού Χρόνου μεταξύ των Ετών Βάσης και Πρόβλεψης.....	48
6.1.5	Αλλαγές στη Μακροπρόθεσμη Σχέση.....	49
6.1.6	Σημασία Μακροχρόνιων Μελετών.....	50
6.1.7	Προετοιμασία και Επαλήθευση Δεδομένων.....	50
6.1.8	Εφαρμογή των Προτύπων.....	53
6.1.9	Περίληψη ενός Συγκεκριμένου Προτύπου.....	54

6.1.10 Δομή Προτύπου.....	54
6.1.11 Ποια είναι η Επίδραση της Ακρίβειας της Πρόβλεψης και των Υποθέσεων για το Πρότυπο του Παραδείγματος ;.....	55
6.1.12 Σχολιασμός.....	57
6.1.13 Πρότυπο Εμφανιζόμενο στις εξισώσεις (1) και (2).....	58
6.1.14 Ένα άλλο Παράδειγμα Προτύπου.....	59
6.1.15 Συμπεράσματα.....	61
 6.2 Διαφωτιστικό Παράδειγμα πάνω στο Κόστος και τα Οφέλη της Αξιοπιστίας των Υπηρεσιών	64
6.2.1 Γενικά	64
6.2.2 Παράδειγμα στις Ταχυδρομικές υπηρεσίες	65
6.2.3 Περιορισμοί και Ανάπτυξη.....	66
6.2.4 Συμπεράσματα	76
 6.3 Εισαγωγή Στην Προσομοίωση Monte-Carlo.....	77
6.4 Μια Θεωρητική Εξέταση στη Χρήση Προγνωστικών Προτύπων (forecasting models)	79
 6.5 Μοντέλα Μεταφορών στη Διαδικασία της Πολιτικής των Μεταφορών	84

Μέρος Γ'

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο .ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΣΤΙΣ ΛΕΩΦΟΡΕΙΑΚΕΣ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

7.1 Εισαγωγικά.....	87
7.2 Δείκτες Αξιοπιστίας.....	88
7.3 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Αξιοπιστία.....	91
7.4 Βελτιώνοντας την Αξιοπιστία.....	95
7.4.1 Πιθανότητα καθυστερημένης Αναχώρησης.....	96
7.4.2 Βαθμός Τήρησης του Προγραμματισμού από το προσωπικό.....	98

7.4.3	Μέτρα Προτεραιότητας των Λεωφορείων	98
7.4.4	Ακανόνιστα Χρονοδιαγράμματα	99
7.5	Η Διασύνδεση Ελέγχου/ Επαναπρογραμματισμού.....	99

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΟΥΤΕΩΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ

8.1	Δείκτες για την έκφραση διακυμάνσεων στους χρόνους αφίξεων και κίνησης.....	102
8.2	Υπολογισμός της πιθανότητας καθυστερημένης αναχώρησης.....	104
8.3	Συνθήκες για έλεγχο επί τόπου σε σημείο.....	109

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΖΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΑΝΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΣΤΑ MMM, ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ

9.1	Εφαρμογή για την περίπτωση της Ολλανδίας.....	113
9.1.1	Εισαγωγή.....	113
9.1.2	Γενική Ανασκόπηση.....	114
9.1.3	Σκιαγράφηση της ερευνητικής προσέγγισης.....	117
9.1.4	Εκτιμώντας την αναξιοπιστία στις αλυσίδες δημοσίων συγκοινωνιών.....	118
9.1.5	Επίδραση των πολιτικών για την βελτίωση της αξιοπιστίας των δημοσίων υπηρεσιών μεταφορών στην πρωινή αιχμή.....	124
9.1.6	Αποτίμηση των στρατηγικών ενίσχυσης της αξιοπιστίας για την πρωινή αιχμή.....	127
9.1.7	Συμπεράσματα	131

9.2	Βελτιώνοντας την ποιότητα των υπηρεσιών μεταφορών και την κανονικότητα των χρόνων μεταξύ διαδοχικών αφίξεων οχημάτων μέσω ελέγχου πραγματικού χρόνου	
9.2.1	Γενικά.....	133
9.2.2	Πλαίσιο Συνθηκών.....	134
9.2.3	Διατύπωση Προτύπου.....	136
9.2.4	Παραδοχές.....	137
9.2.5	Συνάρτηση Διασποράς ΧΜΑ.....	137
9.2.6	Περιορισμοί.....	141
9.2.7	Πρότυπο Ελέγχου σε Πραγματικό Χρόνο.....	142
9.2.8	Βελτιστοποίηση.....	142
9.2.9	Ανάλυση Αποτελεσμάτων και Προσομοίωσης.....	148
9.2.10	Συμπεράσματα.....	151

Μέρος Δ΄

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο .ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ Ο.Α.Σ.Α. – VICOS LIO

10.1	Εισαγωγικά – Τωρινή κατάσταση.....	153
10.2	Ανάλυση της Εγκατάστασης.....	155
10.3	Διαδικασία Λειτουργίας.....	158
10.4	Στατιστικά στοιχεία – Επεξεργασία.....	159
10.5	Τεχνική περιγραφή Συστήματος.....	161
10.5.1	Συνιστώσες του Κ.Ο.....	161
10.5.2	Μία γρήγορη ματιά στην εφαρμογή.....	161
10.5.3	Σταθμός ελέγχου.....	162

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11^ο. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ & ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

11.1	Προγραμματισμός και συνθήκες κίνησης.....	164
11.2	Αξιοπιστία Μεθόδου Μετρήσεων.....	165
11.3	Επάρκεια στοιχείων.....	166
11.4	Συλλογή αντιπροσωπευτικών στοιχείων.....	166
11.5	Επιλογή λεωφορειακών γραμμών.....	167
11.5.1	Χαρακτηριστικά Γραμμών.....	168
11.6	Επιλογή Περιόδου Μετρήσεων.....	169
11.6.1	Προκαταρκτικές Μετρήσεις.....	169
11.6.2	Ποιοτική Σχέση δρομολογίων Αυγούστου Σεπτεμβρίου.....	171

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12^ο ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

12.1	Ροή δεδομένων από τις μετρήσεις.....	173
12.1.1	Όροι «Πρέπει και Είναι».....	173
12.2	Δομή προγράμματος.....	173
12.2.1	Τύποι Αναλύσεων.....	174
12.2.2	Αναλύσεις προς έρευνα.....	174
12.2.3	Εισαγωγή στοιχείων.....	175
12.2.4	Ζητούμενοι Υπολογισμοί.....	175
12.2.5	Εύρεση Χρονικών Περιόδων.....	175
12.3	Συγκεντρωτικά Στοιχεία.....	177
12.4	Στοιχεία ανά Στάση.....	179

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13^ο ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

13.1	Επεξεργασία Χρόνων Μεταφοράς.....	182
------	-----------------------------------	-----

13.2	Γενική εικόνα : Είναι χρόνοι Μεταφοράς.....	184
13.3	Σχολιασμός:Είναι-ΠρέπειΧρόνοι Μεταφοράς.....	184
13.4	Αποκλίσεις Δρομολογίων.....	185
13.5	Έκφραση Μέτρων Αξιοπιστίας- Αναξιοπιστίας.....	186
13.5.1	Σχέση Είναι-Πρέπει χρόνων.....	186
13.5.2	Μέτρ.. Αναξιοπιστία.....	186
13.5.3	Σημασία των Headways.....	187
13.6	Αντιληπτή απόκλιση.....	188
13.7	Αποτίμηση Ακρίβειας Αναχωρήσεων από Αφετηρία – Τέρμα.....	189
13.7.1	Στατιστική Ανάλυση και Επεξεργασία.....	190
13.7.2	Σχολιασμός και Αποτίμηση.....	193
13.8	Αποτίμηση Ακρίβειας Αφίξεων στις Στάσεις.....	193
13.8.1	Κατηγοριοποίηση τιμών και έλεγχοι.....	193
13.9	Αξιοποίηση Μετρήσεων – Βελτίωση Αξιοπιστίας.....	200
13.9.1	Βελτιώσεις στον προγραμματισμό... ..	200
13.9.2	Βελτιώσεις με έλεγχο επί τόπου.....	201
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		203
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ		210

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Γενικότητες

Μιλώντας για αξιοπιστία, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι πρόκειται για μια έννοια αρκετά ευρεία.. Τόσο ευρεία, ώστε από μόνη της δεν προσδιορίζει απόλυτα κάποιο χαρακτηριστικό για το οποίο γίνεται αναφορά. Σε κάθε όμως περίπτωση, πρόκειται για μια έννοια με θετική χροιά. Περισσότερο συγκεκριμένος γίνεται κάποιος όταν αναφερθεί στο αντίθετό της. Χαρακτηρίζοντας δηλαδή κάτι ως «χαμηλής αξιοπιστίας», ή ακόμα και «αναξιόπιστο», τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν για το εξεταζόμενο «κάτι» είναι μάλλον περισσότερα. Η παραπάνω άλλωστε προσέγγιση είναι συνηθισμένη στη χρήση των εννοιών. Έτσι π.χ., για να απαντήσει κανείς στο θεμελιώδες ερώτημα της φιλοσοφίας : «Τι είναι Ζωή ?», είναι μάλλον ευκολότερο να προσδιορίσει το αντίθετό της. Στα Κεφάλαια που ακολουθούν δε γίνεται λόγος σε άλλα φιλοσοφικά ερωτήματα αλλά, τουλάχιστον όσον αφορά την αναξιπιστία των ΜΜΜ, αναπτύσσονται θέματα που απασχολούν καθημερινά τη ζωή πολλών εξ ημών.

Ανάπτυξη Θεμάτων

Όπως φανερώνει ο τίτλος στο εξώφυλλο, η ανάπτυξη των θεμάτων γίνεται σε δύο επίπεδα, τα οποία φαινομενικά δεν έχουν μεγάλη επαφή μεταξύ τους. Σε πρώτο επίπεδο γίνεται αναφορά στην έννοια της αξιοπιστίας ως τεχνικό όρο. Ερευνώνται οι μορφές που μπορεί ο όρος αυτός να πάρει για να εκφράσει τον χαρακτήρα μπορεί να δείξει ένα σύστημα κατά τη διάρκεια της ζωής του. Αρχικά, ο όρος «σύστημα» αναφέρεται αόριστα, ώστε να μπορούν οι έννοιες να επεκταθούν σε οποιαδήποτε μορφή ένα σύστημα μπορεί να πάρει. Όλα όμως τα συστήματα, έχουν μια αποστολή να επιτελέσουν. Το κατά πόσο εκπληρώνει την αποστολή του και με ποιο κόστος, για πόσο χρόνο χωρίς αστοχία και η πρόβλεψη της πιθανότητας μερικής αστοχίας η

ακόμα και κατάρρευσης τους συστήματος είναι θέματα τα οποία έχουν απασχολήσει τους επιστήμονες τα τελευταία ιδίως χρόνια.

Οι περισσότερες εφαρμογές έχουν γίνει για ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα τα οποία είναι σχετικά εύκολα προτυποποιήσιμα, μιας και αποτελούνται από διακριτά στοιχεία τα οποία μπορούν να μελετηθούν. Είναι περισσότερο εύκολο να μελετηθεί ο χαρακτήρας του συστήματος ανάρτησης π.χ. ενός αυτοκινήτου Formula 1 παρά του συστήματος ακοής ενός ανθρώπου. Από τη στιγμή που το αντικείμενο είναι σχετικά ευρύ, γίνεται μια πρώτη διερεύνηση της έννοιας της αξιοπιστίας όπως αυτή παρουσιάζεται στη βιβλιογραφία.. Επίσης δίδονται κάποια παραδείγματα χρήσης προτύπων και ερευνάται το κατά πόσο εκείνα μπορούν να λειτουργήσουν.

Το δεύτερο επίπεδο αναφέρεται στα MMM. Εξετάζεται η έννοια της αξιοπιστίας και της αναξιοπιστίας στη λειτουργία και το σχεδιασμό τους. Ως εφαρμογή λαμβάνουμε την περίπτωση των Αστικών Συγκοινωνιών με Λεωφορεία στην Αθήνα και εξετάζουμε το κατά πόσο ο προγραμματισμός τους αντανάκλα την καθημερινή πραγματικότητα στα δρομολόγιά τους. Από τα συμπεράσματα που προκύπτουν, εξάγονται κάποια πρώτα συμπεράσματα και γίνονται κάποιες προτάσεις για την καλύτερη προσαρμογή των δρομολογίων στην πραγματικότητα.. Γίνεται επίσης στατιστική ανάλυση των στοιχείων των δρομολογίων που συλλέχθηκαν για τη κατανόηση των χαρακτηριστικών τους και την εξαγωγή συμπερασμάτων για τη συμπεριφορά ενός από τα μέρη συστήματος των Δημοσίων Μεταφορών στην Αθήνα

Προοπτικές

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το ενδεχόμενο μελέτης ενός συστήματος μεταφορών (όπως π.χ. το σύστημα της Ε.Θ.Ε.Λ) με βάση τη μεθοδολογία και την προσέγγιση που χρησιμοποιείται για ανάλυση συστημάτων όπως αυτά περιγράφονται κατά το πρώτο στάδιο. Η σύγχρονη βιβλιογραφία παρουσιάζει κενό σε αυτόν τον τομέα και για την έκφραση της αξιοπιστίας χρησιμοποιούνται ακόμα σε μεγάλο βαθμό τεχνικές της δεκαετίας του '70. Μια προσπάθεια ανάπτυξης περισσότερο διαδραστικών μεθόδων είναι ενδιαφέρουσα, δεδομένου ότι τα σύγχρονα συστήματα ελέγχου των οχημάτων σε πραγματικό χρόνο, μέσω Τηλεματικής, είναι ήδη γεγονός.

Μέρος Α'

Αξιοπιστία, Αγγλ. : *Reliability*, Γερμ. : *Zuverlässigkeit*, Γαλλ. : *Fiabilité*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ

1.1 Τι είναι η Αξιοπιστία ?

Δε χωρά βέβαια αμφιβολία όσον αφορά την ανάγκη για εκείνα τα οποία λέγονται και γράφονται να είναι αξιόπιστα. Ο μέσος πολίτης επίσης, έχει την οξυδέρκεια να γνωρίζει το πρόβλημα της λιγότερο από τέλειας αξιοπιστίας σε οικιακά προϊόντα όπως τηλεοράσεις και αυτοκίνητα. Οργανισμοί όπως εταιρίες μεταφορών, ο στρατός και οι δημόσιες υπηρεσίες γνωρίζουν από πρώτο χέρι το κόστος της αναξιοπιστίας. Οι κατασκευαστές συχνά πληρώνουν αρκετά τα αποτελέσματα της αστοχίας κατά την εγγύηση. Η συζήτηση και η παρεξήγηση ξεκινά όταν προσπαθεί κανείς να ποσοτικοποιήσει τις τιμές της αξιοπιστίας ή προσπαθεί να θέσει οικονομικές ή άλλες ευεργετικές για τον καταναλωτή τιμές στα επίπεδα της αξιοπιστίας.

Η απλούστερη, καθαρά προσανατολισμένη με βάση τον παραγωγό ή τον ελεγκτή, όψη της αξιοπιστίας είναι εκείνη στην οποία ένα προϊόν βεβαιώνεται έναντι κάποιου χαρακτήρα ή ομάδας όρων και όταν περάσει τον έλεγχο, διανέμεται στον καταναλωτή. Ο πελάτης, έχοντας αποδεχτεί το προϊόν, αποδέχεται ότι μπορεί να αποτύχει σε κάποια στιγμή στο μέλλον. Αυτή η απλή προσέγγιση συχνά δένεται με μια εγγύηση ή ο καταναλωτής μπορεί να έχει κάποια προστασία από το νόμο έτσι ώστε να μπορεί να διεκδικήσει κάποια αποζημίωση για αστοχίες που θα συμβούν εντός μιας ορισμένης ή λογικής χρονικής περιόδου. Εν τούτοις, αυτή η προσέγγιση δεν παρέχει κανένα μέτρο ποιότητας πάνω από μια περίοδο χρόνου, ιδιαίτερα εκτός της περιόδου εγγυήσεως. Ακόμα και εντός αυτής της περιόδου, ο χρήστης συνήθως δεν έχει παραπάνω ερείσματα για περισσότερη δράση εάν το προϊόν αστοχήσει μία,

δύο ή αρκετές φορές υπό τον όρο ότι, ο κατασκευαστής επισκευάζει το προϊόν, ως έχει υποσχεθεί, κάθε φορά. Εάν αποτυγχάνει συχνά, ο κατασκευαστής θα πληρώσει πολλά έξοδα εγγύησης και οι πελάτες θα δυσφορήσουν. Εκτός περιόδου εγγύησης, μόνο ο χρήστης πληρώνει. Σε κάθε περίπτωση, ο κατασκευαστής θα χάσει τη φήμη του, πιθανώς επηρεάζοντας τις μελλοντικές δουλειές.

Προκύπτει έτσι η ανάγκη για της αξιοπιστία με βάση το χρόνο. Το αποτέλεσμα από κάποιο συγκεκριμένο έλεγχο δεν είναι εξαρτημένη από το χρόνο αφού τα προϊόντα είτε περνούν ένα δεδομένο έλεγχο είτε αποτυγχάνουν. Από την άλλη μεριά, η αξιοπιστία συνήθως απασχολείται με αστοχίες υπό το κράτος του χρόνου. Αυτή η διάκριση σημειώνει τη διαφορά μεταξύ του παραδοσιακού ελέγχου ποιότητας και την σύγχρονης προσέγγισης της αξιοπιστίας.

Η αξιοπιστία επομένως, γενικά ασχολείται με τις αστοχίες κατά τη διάρκεια της ζωής ενός προϊόντος. Χρειάζεται έτσι να καταλάβει κανείς το γιατί τα προϊόντα αστοχούν. Ένα αντικείμενο ευρισκόμενο υπό πίεση θα αστοχήσει μόνο όταν το εφαρμοζόμενο φορτίο υπερβαίνει τη δύναμη τη στιγμή της εφαρμογής. Αυτό είναι ευκόλως κατανοητό για τα περισσότερα μηχανικά αντικείμενα, αλλά μπορεί να ληφθεί ως ένα αξίωμα για όλα τα τεχνικά προϊόντα. Για παράδειγμα, ένα τρανζίστορ θα αποτύχει εάν το διερχόμενο απ' αυτό ρεύμα υπερβεί την ικανότητά του να το άγει χωρίς να υπερθερμανθεί μέχρι το σημείο της αστοχίας του υποστρώματος ή του υλικού του καλωδίου.

Επομένως, η αξιοπιστία είναι μια όψη της τεχνικής αβεβαιότητας. Εάν ένα αντικείμενο δουλεύει για μια συγκεκριμένη περίοδο είναι ένα ερώτημα το οποίο μπορεί να απαντηθεί ως μια πιθανότητα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα στο συνήθη τεχνικό ορισμό της αξιοπιστίας (1) (για ένα μη-επισκευασμένο αντικείμενο) ως :

Η πιθανότητα για ένα αντικείμενο να εκτελεί την απαιτούμενη λειτουργία χωρίς αστοχία κάτω από ορισμένες συνθήκες για ορισμένη χρονική περίοδο.

1.2 Αξιοπιστία για Μηχανικούς ?

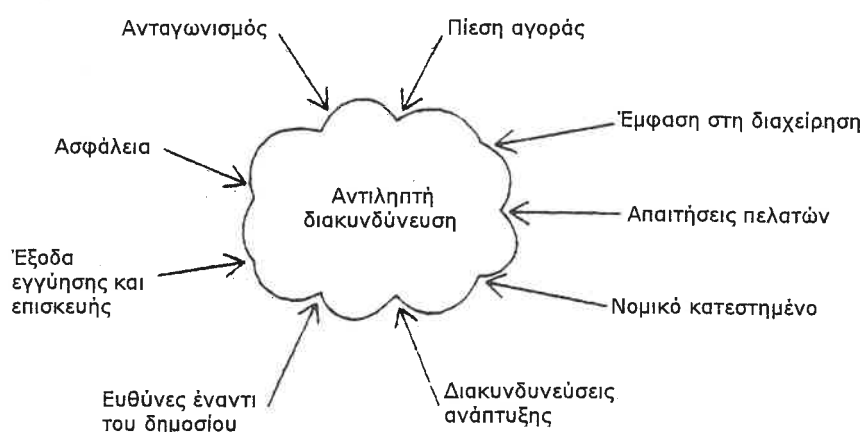
Η τεχνική εκπαίδευση παραδοσιακά ασχολούνταν με την το να διδάσκει το πώς τα κατασκευαστικά προϊόντα λειτουργούν. Οι τρόποι με τους οποίους τα

προϊόντα αστοχούν, οι επιπτώσεις των αστοχιών καθώς και όψεις του σχεδιασμού, κατασκευής, συντήρησης και χρήσης οι οποίες επηρεάζουν την πιθανότητα αστοχίας, συνήθως δε διδάσκονται. Αυτό συμβαίνει κυρίως επειδή είναι απαραίτητο να γίνει κατανοήσει κάποιος το πώς ένα προϊόν λειτουργεί προτού να αναλογιστεί το πώς ενδεχομένως να αστοχήσει. Για πολλά προϊόντα η τάση να προσεγγίσουν την κατάσταση αστοχίας είναι ανάλογη με την εντροπία. Τα καθήκοντα του μηχανικού είναι να σχεδιάσει και να συντηρήσει το προϊόν, έτσι ώστε η κατάσταση αστοχίας να αναβληθεί. Η τεχνική εκπαίδευση είναι κατά βάση ντετερμινιστική (αιτιοκρατική) και συνήθως δε δίνει ιδιαίτερη προσοχή στη διακύμανση. Εν τούτοις, η διακύμανση και η τυχαιότητα παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στο να προσδιορίσουμε την αξιοπιστία των περισσότερων προϊόντων. Το να γίνουν κατανοητοί λοιπόν οι κανόνες του ρίσκου με τα αίτια και τις συνέπειες της διακύμανσης είναι επομένως απαραίτητο για τη δημιουργία αξιόπιστων προϊόντων.

Πάντως, υπάρχουν πρακτικά προβλήματα στο να εφαρμοστεί η στατιστική γνώση στα τεχνικά θέματα αξιοπιστίας. Αυτά τα προβλήματα έχουν αποθαρρύνει τους μηχανικούς στο παρελθόν απ' το να χρησιμοποιήσουν στατιστικές μεθόδους και τα γραπτά στην τεχνική αξιοπιστία και τα μαθηματικά έχουν γενικά προωθήσει τις θεωρητικές απόψεις χωρίς να παρέχουν καθοδήγηση σε πρακτικές εφαρμογές. Για να είναι μια θεωρητική βάση χρήσιμη, πρέπει να είναι και τεκμηριωμένη, καθώς στατιστικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται και λειτουργούν καλά από ασφαλιστικές εταιρίες, ερευνητές αγοράς ή από μετεωρολόγους, μπορεί να μην λειτουργούν το ίδιο καλά για μηχανικούς. Αυτό δε συμβαίνει επειδή η θεωρία είναι λαθεμένη, αλλά επειδή εξαιτίας οι μηχανικοί έχουν συνήθως να αντιμετωπίσουν πολύ μεγαλύτερους βαθμούς αβεβαιότητας, κυρίως λόγω του ανθρωπίνου παράγοντα στην παραγωγή και τη χρήση.

Μερικά προϊόντα υψηλής αξιοπιστίας παράγονται από ομάδες σχεδιασμού και κατασκευής που εφαρμόζουν τις παραδοσιακές αξίες εμπιστοσύνης στην εμπειρία. Δεν προσεγγίζουν την τεχνική αξιοπιστία ως ένα θέμα που απαιτεί θεώρηση από ειδικούς. Έτσι οι μηχανικοί και τα διοικητικά στελέχη μπορεί να κοιτάξουν μια ειδικευμένη μεθοδολογία αξιοπιστίας με σκεπτικισμό. Πάντως, τώρα υπάρχουν πιέσεις που αμφισβητούν την αποτελεσματικότητα 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 ανάγκη για μείωση του κόστους παραγωγής και οι θεωρήσεις για ασφάλεια, όλα

αυξάνουν το ρίσκο της ανάπτυξης στην παραγωγή. Η αντίληψη του ρίσκου (Διάγραμμα 1.1) αποτελείται από τους εξής παράγοντες : ασφάλεια, ανταγωνισμός, πίεση αγοράς, έμφαση στη διαχείριση, απαιτήσεις πελατών, νομικές θεσμοθετήσεις, ρίσκα ανάπτυξης, δημόσιες υποχρεώσεις, έξοδα από εγγυήσεις και ασφάλεια. Μπορεί να βρεθεί το πώς μέθοδοι αξιοπιστίας στις εφαρμογές μηχανικών γίνεται να εφαρμοστούν στο σχεδιασμό, την ανάπτυξη και τη διαχείριση για τον έλεγχο του επιπέδου του ρίσκου. Το κατά πόσο οι μέθοδοι αυτές είναι εφαρμόσιμες πρέπει να αποφασιστεί για κάθε αντικείμενο και την κάθε περιοχή σχεδιασμού.



Διάγραμμα 1.1 .Αντίληψη του ρίσκου. [Πηγή:1]

1.3 Σύντομο Ιστορικό Τεχνικής Αξιοπιστίας

Η αξιοπιστία, ως ένα ανθρώπινο χαρακτηριστικό, έχει υμνηθεί για ένα αρκετά μακρύ χρονικό διάστημα. Για τεχνικά συστήματα, πάντως, το θέμα της αξιοπιστίας δεν έχει εφαρμοστεί για περισσότερα από κάπου 50 χρόνια. Αναδύθηκε με μια τεχνολογική έννοια αμέσως μετά από τον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο, μετά χρησιμοποιήθηκε σε επαφή με το να συγκρίνουμε τη λειτουργική ασφάλεια για μονό, διπλό, ή τετρακινητήρια αεροπλάνα. Η αξιοπιστία μετρούταν ως τον αριθμό των ατυχημάτων ανά ώρα χρόνου πτήσης.

Στην αρχή της δεκαετίας του '30, οι Walter Shewhart, Harold Dodge και ο Harry G. Romig κατέγραψαν τη θεωρητική βάση για τη χρησιμοποίηση στατιστικών μεθόδων στον έλεγχο ποιότητας των βιομηχανικών προϊόντων. Τέτοιες μέθοδοι,

πάντως, δε χρησιμοποιήθηκαν σε μεγάλη έκταση μέχρι την αρχή του Β' Παγκόσμιου Πολέμου. Τα προϊόντα αποτελούνταν από ένα μεγάλο αριθμό μερών, συχνά δε λειτουργούσαν, παρά το γεγονός ότι ήταν φτιαγμένα από μεμονωμένα κομμάτια υψηλής ποιότητας.

Κατά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο μια ομάδα στη Γερμανία εργαζόταν υπό τον Wernher von Braun και τον πύραυλο V-1. Μετά τον πόλεμο αναφέρθηκε ότι οι δέκα πρώτοι V-1 πύραυλοι ήταν μια παταγώδης αποτυχία. Παρά τις προσπάθειες για να παραχθούν μέρη υψηλής ποιότητας και να δοθεί προσοχή σε λεπτομέρειες, όλοι οι πρώτοι πύραυλοι είτε εξερράγησαν στην εξέδρα, είτε προσγειώθηκαν « πολύ νωρίς » (στο Αγγλικό Κανάλι). Τότε κλήθηκε ο Robert Lusser, ένας μαθηματικός, ως σύμβουλος. Το καθήκον του ήταν να αναλύσει το σύστημα πυραύλων και αυτός γρήγορα εξήγε τον *νόμο της πιθανότητας προϊόντος σε σειρές τμημάτων*. Αυτό το θεώρημα αφορά τα συστήματα που λειτουργούν μόνο όταν όλα τα τμήματα λειτουργούν και είναι έγκυρη μόνο κάτω από ειδικές υποθέσεις. Λέει ότι η αξιοπιστία ενός τέτοιου συστήματος είναι ίση με το προϊόν της αξιοπιστίας του καθενός από τα επιμέρους τμήματα που αποτελούν το σύστημα. Εάν το σύστημα περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό τμημάτων, η αξιοπιστία του συστήματος μπορεί να είναι μάλλον μικρή ακόμα και όταν τα μεμονωμένα τμήματα έχουν υψηλή το καθένα αξιοπιστία.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες έγιναν προσπάθειες να αντισταθμίσουν μια χαμηλή αξιοπιστία συστήματος με το να βελτιώσουν την ποιότητα των μεμονωμένων τμημάτων. Απαιτήθηκαν καλύτερες πρώτες ύλες και καλύτεροι σχεδιασμοί για τα προϊόντα. Επετεύχθη υψηλότερη αξιοπιστία συστήματος, αλλά εκτενής συστηματική ανάλυση του προβλήματος της μάλλον δεν έγινε εκείνο τον καιρό.

Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο η ανάπτυξη συνεχίστηκε στον κόσμο καθώς αυξανόταν η παραγωγή περισσότερο περίπλοκων προϊόντων τα οποία αποτελούνταν από ένα συνεχώς αυξανόμενο αριθμό τμημάτων (τηλεοράσεις, ηλεκτρονικοί υπολογιστές, κ.τ.λ.). Με τον αυτοματισμό, η ανάγκη για σύνθετο έλεγχο και συστήματα ασφαλείας έγινε σταθερά πιεστικότερη.

Κατά τα τέλη της δεκαετίας του '50 και την αρχή της δεκαετίας του '60 το ενδιαφέρον στις Ηνωμένες Πολιτείες συγκεντρώθηκε στους διηπειρωτικούς βαλλιστικούς πυραύλους και την έρευνα του διαστήματος, ειδικά συνδεδεμένη με τα προγράμματα Mercury και Gemini. Στον αγώνα με τη Ρωσία για το πρώτο έθνος που θα έφτανε τον άνθρωπο στο φεγγάρι, ήταν πολύ σημαντικό η εκτόξευση ενός επανδρωμένου διαστημικού σκάφους να ήταν επιτυχής. Ιδρύθηκε μια ομοσπονδία

μηχανικών εργαζόμενους με ερωτήματα αξιοπιστίας σύντομα. Το πρώτο τεύχος πάνω στο αντικείμενο, *IEEE – Διεκπεραιώσεις στην Αξιοπιστία*, εκδόθηκε το 1963 και ένας αριθμός εγχειριδίων στο αντικείμενο εκδόθηκαν στη δεκαετία του '60.

Στα 1970, το ενδιαφέρον αυξήθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες όπως επίσης και σε άλλα μέρη του κόσμου, τα θέματα του ρίσκου και της ασφάλειας συνδέθηκαν με την κατασκευή και λειτουργία πυρηνικών σταθμών. Στις Ηνωμένες Πολιτείες μια μεγάλη επιτροπή έρευνας καθοδηγούμενη από τον Normany Rasmussen στήθηκε για να αναλύσει το πρόβλημα. Το έργο αυτό των πολλών εκατομμυρίων δολαρίων κατέληξε σε αυτό που αποκαλείται ως αναφορά Rasmussen, WASH-1400. Παρά την αδυναμία του αυτή η αναφορά αντιπροσωπεύει την πρώτη σοβαρή ανάλυση ενός τόσο σύνθετου συστήματος όπως το πυρηνικό εργοστάσιο. Παρόμοια εργασία έχει εκτελεστεί στην Ευρώπη και στην Ασία. Στην πλειοψηφία των βιομηχανιών αρκετή προσπάθεια έχει παρουσιαστεί στην ανάλυση του ρίσκου και τα προβλήματα αξιοπιστίας. Το ίδιο είναι αλήθεια και στην Νορβηγία, ιδιαίτερα εντός της απομακρυσμένης βιομηχανίας πετρελαίου. Η σημασία της αξιοπιστίας στα υποθαλάσσια συστήματα είναι κατά πολλές απόψεις παράλληλη με την αξιοπιστία των διαστημικών σκαφών, Μια χαμηλή αξιοπιστία δε μπορεί να αντισταθμιστεί με εκτεταμένη συντήρηση.

Μια περισσότερο λεπτομερή ιστορία της αξιοπιστίας της τεχνολογίας της αξιοπιστίας παρουσιάζεται, για παράδειγμα, από τους Knight, [2] και Villemeur, [3].

1.4 Αξιοπιστία, Οικονομία και Διαχείριση

Πάντως, παρά τη διαισθητική έλξη που ασκεί για τη συχνή παρουσίασή της σε κείμενα, καθώς και τα διδάγματα πάνω στην ποιότητα και την αξιοπιστία, αυτή η εικόνα είναι παραπλανητική. Με σκέψη από πιο κοντά εύκολα αποκαλύπτεται το λάθος στην εικόνα. Από τη στιγμή που χαμηλότερη αξιοπιστία από το τέλειο αποφέρει βλάβες, όλες εκ των οποίων έχουν αιτιολογία, θα πρέπει να ρωτήσει κάποιος : “ποιο είναι το κόστος του να αποτραπούν ή να διορθωθούν οι αιτίες, συγκριτικά με το κόστος του να μη γίνει τίποτα ;” Όταν κάθε δυνατή ή πραγματική ενέργεια αναλύεται με αυτόν τον τρόπο είναι σχεδόν πάντοτε φανερό ότι το ολικό κόστος συνεχίζει να μειώνεται ακαθόριστα καθώς η αξιοπιστία βελτιώνεται. Με άλλα

λόγια, όλη η προσπάθεια σε ένα δραστικό πρόγραμμα αξιοπιστίας αντιπροσωπεύει μια επένδυση, συνήθως ένα μεγάλο ανταποδοτικό όφελος σε μικρή περίοδο. Το μόνο πρόβλημα ότι δεν είναι εύκολο να ποσοτικοποιηθούν τα αποτελέσματα των δεδομένων δραστηριοτήτων προγραμμάτων αξιοπιστίας, όπως μια καθορισμένη ποσότητα ελέγχου, στην επιτευχθείσα αξιοπιστία.

Ήταν ο W.E.Deming ο οποίος πρώτος εξήγησε αυτή τη σχέση στη διδασκαλία του στην ποιότητα προϊόντων και η ορθότητά της αλήθεια έχει πλέον καθαρά αποδειχτεί. Το να παραχθούν αξιόπιστα πρότυπα και προϊόντα απαιτούν μια γενικώς ολοκληρωμένη προσέγγιση, η οποία περιλαμβάνει σχεδιασμό, εκπαίδευση, έλεγχο, παραγωγή, όπως επίσης και τις ενέργειες του προγράμματος αξιοπιστίας. Σε μια τέτοια προσέγγιση, είναι δύσκολο να προσδιοριστούν και να κοστολογηθούν αυτές οι δραστηριότητες οι οποίες είναι ιδιαιτέρως αφιερωμένες στην αξιοπιστία, όπως την επίδοση και το κόστος. Η ολοκληρωμένη τεχνική προσέγγιση θέτει υψηλές απαιτήσεις για κρίση και τεχνική γνώση σε διαχειριστές έργων και μέλη ομάδων. Οι ειδικοί στην αξιοπιστία πρέπει να εκτελούν το καθήκον τους ως μέλη σε μια ομάδα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο . ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ

Μέχρι τώρα έγινε γενική αναφορά στο αντικείμενο της παρούσης εργασίας, την αξιοπιστία. χωρίς ακριβείς ορισμούς. Είναι πολύ σημαντικό, πάντως, όλες τις σκέψεις και τις αναφορές μας να ορίζονται με ένα απερίφραστο σαφή τρόπο. Συμφωνώντας πλήρως με τον Kaplan [1] : «Όταν οι λέξεις χρησιμοποιούνται απρόσεκτα, οι έννοιες γίνονται ασαφείς, οι σκέψεις συγκεχυμένες, η επικοινωνία διφορούμενη και οι αποφάσεις δεν είναι ευνοϊκές, το λιγότερο».

Ένας ακριβής ορισμός της αξιοπιστίας και μερικά σχετικά θέματα όπως της ποιότητας δίδονται παρακάτω. Όλες αυτές οι έννοιες είναι λίγο-πολύ διασυνδεδεμένες και υπάρχει μια αξιοσημείωτη αμφισβήτηση που αφορά το ποια είναι η ευρύτερη και γενικότερη.

2.1 Γενικότερος Ορισμός

Παρακάτω, δίδεται ο περισσότερο γενικός ορισμός της αξιοπιστίας όπως επίσης ορίζεται από τα πρότυπα ISO 8402 και British Standard BS 4778 :

Αξιοπιστία (2), είναι η ικανότητα ενός αντικειμένου (υλικού, διαδικασίας) να εκτελεί μια απαιτούμενη λειτουργία, κάτω από δεδομένες περιβαλλοντικές και λειτουργικές συνθήκες και για μια ορισμένη χρονική περίοδο.

- Ο όρος «αντικείμενο» χρησιμοποιείται εδώ για να δηλώσει όποιο τμήμα, υποσύστημα ή σύστημα το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ως μια ενότητα.
- Η «απαιτούμενη λειτουργία» μπορεί να είναι μια απλή λειτουργία ή ένας συνδυασμός λειτουργιών που είναι απαραίτητος για να παρέχει μια καθορισμένη υπηρεσία.

- Όλα τα τεχνικά αντικείμενα (τμήμα, υποσύστημα, σύστημα) σχεδιάζονται για να εκτελέσουν μία ή περισσότερες (απαιτούμενες) λειτουργίες. Μερικές από αυτές τις λειτουργίες είναι ενεργές και μερικές παθητικές. Το περιεχόμενο ενός υγρού σε ένα σωλήνα είναι ένα παράδειγμα παθητικής λειτουργίας. Για να εκτιμηθεί η αξιοπιστία (π.χ. σε ένα αυτοκίνητο), πρέπει πρώτα να καθοριστεί η απαιτούμενη(ες) λειτουργία(ες) που θα εξεταστεί.
- Για να είναι αξιόπιστο ένα αντικείμενο υλικού θα πρέπει να κάνει περισσότερα από το να ανταποκρίνεται μια αρχική εργοστασιακή επίδοση ή ένα χαρακτηριστικό ποιότητας. Θα πρέπει να λειτουργεί ικανοποιητικά για μια καθορισμένη χρονική περίοδο τα πραγματικής εφαρμογής για την οποία προορίζεται.

2.2 Αξιοπιστία, Πιθανότητα και Συστήματα

Στα συστήματα θα γίνει λόγος σε επόμενο κεφάλαιο. Χρήσιμο είναι όμως να δοθεί εδώ ένας πολύ διαδεδομένος και κοινά αποδεκτός ορισμός του όρου «αξιοπιστία» ο οποίος εισάγει την έννοια της πιθανότητας.

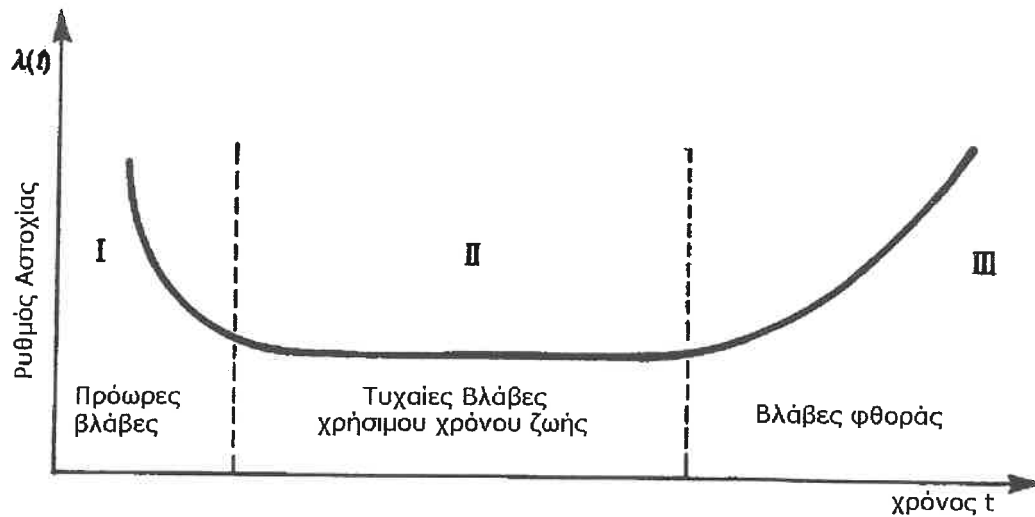
Αξιοπιστία (3), είναι η πιθανότητα μιας συσκευής ή ενός συστήματος να εκτελέσει την αποστολή του επαρκώς όποτε τούτο απαιτηθεί για τη σχεδιαζόμενη χρονική περίοδο και τις επικρατούσες λειτουργικές συνθήκες.

Ο ορισμός αυτός χωρίζεται σε τέσσερα βασικά μέρη : πιθανότητα, επαρκής λειτουργία, χρονική περίοδο, λειτουργικές συνθήκες.

Το πρώτο μέρος, πιθανότητα, αποτελεί την αριθμητική είσοδο της ανάλυσης αξιοπιστίας και τον πρώτο δείκτη αξιολόγησης της λειτουργικής επάρκειας του συστήματος. Σε αρκετές εφαρμογές μπορεί να θεωρηθεί ο σημαντικότερος δείκτης αξιοπιστίας αλλά υπάρχουν αρκετοί άλλοι δείκτες που μπορεί να υπολογιστούν και να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα. Αυτοί οι δείκτες είναι όλοι γενικώς γνωστοί με τον όρο «δείκτες αξιοπιστίας» και επομένως ο όρος «αξιοπιστία» συχνά χρησιμοποιείται σαν ένας γενικό όρος που χαρακτηρίζει το σύνολο το σύνολο των δεικτών και όχι

μόνο την πιθανότητα. Όμως για κάθε εφαρμογή πρέπει να χρησιμοποιούνται οι καταλληλότεροι δείκτες οι οποίοι ικανοποιούν τις ανάγκες του αντίστοιχου συστήματος. Οι δείκτες αξιοπιστίας υπολογίζονται υπολογιστικές τεχνικές που βασίζονται στη θεωρία των πιθανοτήτων. Για την ανάπτυξη των τεχνικών αυτών γίνονται αρκετές υποθέσεις η ακρίβεια των οποίων καθορίζει την ακρίβεια των μοντέλων που προσομοιάζουν τη λειτουργία των αντιστοιχών συστημάτων.

Τα υπόλοιπα τρία μέρη του ορισμού της αξιοπιστίας, επαρκής λειτουργία, χρονική περίοδος και επικρατούσες λειτουργικές συνθήκες, είναι παράμετροι που αφορούν τη φύση της λειτουργίας του συστήματος και τους υπεύθυνους μηχανικούς. Ειδικότερα, το κριτήριο της επαρκούς λειτουργίας είναι ένα πρόβλημα των μηχανικών του συστήματος και απαιτεί μια λεπτομερή εξέταση όλων των τύπων βλαβών για κάθε στοιχείο του συστήματος. Επίσης είναι αδύνατο να προσδιοριστεί μια μοναδική στάθμη επαρκούς αξιοπιστίας γιατί αυτή μεταβάλλεται ανάλογα με το αναλυόμενο σύστημα και τις επιπτώσεις των βλαβών. Σε πολλές πρακτικές εφαρμογές ο σημαντικότερος παράγοντας της ανάλυσης δεν είναι η πραγματική στάθμη της αξιοπιστίας αλλά η σχετική αύξησή της για κάθε χρηματική μονάδα επένδυσης. Επομένως το ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί είναι σε ποιο τμήμα του συστήματος πρέπει να δαπανηθεί η επόμενη χρηματική μονάδα για να αποδώσει τη μέγιστη αύξηση αξιοπιστίας. Για την απάντηση τέτοιων δύσκολων ερωτημάτων είναι αναγκαίο να γίνει μια εμπεριστατωμένη και πλήρης ανάλυση αξιοπιστίας του συστήματος που θα καλύπτει όλα τα τμήματα του συστήματος. Για μη επισκευάσιμα στοιχεία του συστήματος, η καμπύλη του συνόλου των εξωτερικών επιδράσεων σε σχέση με τη διάρκεια ζωής του δίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα :



Διάγραμμα 2.1 Ποιοτική συμπεριφορά της συνάρτησης αστοχίας : Η καμπύλη σχήματος «μπανιέρας»

2.3 Ποιότητα (quality)

Ποιότητα είναι το σύνολο των ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών ενός προϊόντος ή υπηρεσίας που ρυθμίζουν την ικανότητά του να ικανοποιεί καθορισμένες ή δηλωμένες ανάγκες (ISO 8402).

□ «Ποιότητα» επίσης συχνά ορίζεται η συμμόρφωση με τα τεχνικά χαρακτηριστικά [2].

□ Η ποιότητα ενός προϊόντος χαρακτηρίζεται όχι μόνο από την συμμόρφωσή του στα τεχνικά χαρακτηριστικά τη στιγμή που αυτό παρέχεται στο χρήστη αλλά επίσης και στην ικανότητά του να ανταποκρίνεται στα χαρακτηριστικά αυτά για ολόκληρη τη διάρκεια ζωής του.

Εντούτοις, σύμφωνα με τη κοινή χρήση, η ποιότητα υποδηλώνει τη συμμόρφωση του προϊόντος με τα χαρακτηριστικά του ως όταν κατασκευάστηκε, ενώ η αξιοπιστία υποδηλώνει την ικανότητά του να συνεχίζει να είναι συμμορφωμένο με τα χαρακτηριστικά του πάνω από το ωφέλιμό του χρόνο.

Η αξιοπιστία είναι επομένως, μια προέκταση την ποιότητας στο πεδίο ορισμού του χρόνου.

2.4 Διαθεσιμότητα – Availability

Διαθεσιμότητα είναι η ικανότητα ενός αντικείμενου (κάτω από συνδυασμένες όψεις της δικιάς του αξιοπιστίας, συντηρησιμότητας και υποστήριξης) να εκτελεί την απαιτούμενη λειτουργία της σε μια καθορισμένη στιγμιαία χρονική περίοδο ή πάνω από μια καθορισμένη χρονική περίοδο (BS 4778).

- Μπορεί να γίνει ένας διαχωρισμός μεταξύ της διαθεσιμότητας $A(t)$ στο χρόνο t και τη μέση διαθεσιμότητα A_{av} . Η διαθεσιμότητα σε χρόνο t είναι :

$$A(t) = P \text{ (αντικείμενο λειτουργεί σε χρόνο } t\text{)}$$

όπου $P(A)$ δηλώνει την πιθανότητα του ενδεχομένου A . Ο όρος «λειτουργεί» σημαίνει εδώ ότι το αντικείμενο είναι είτε σε ενεργό λειτουργία ή να είναι ικανό να λειτουργήσει αν χρειαστεί.

Η μέση διαθεσιμότητα A_{av} υποδηλώνει το μέσο μέγεθος του χρόνου όπου το αντικείμενο λειτουργεί. Εάν έχουμε ένα αντικείμενο το οποίο επισκευάζεται σε μια «σαν καινούριο» κατάσταση κάθε φορά που αστοχεί, η μέση διαθεσιμότητα είναι :

$$A_{av} = \frac{MXMB}{MXMB + MTΓΕ} \quad (2.1)$$

όπου ο $MXMB$ (Μέσος Χρόνος Μεταξύ Βλαβών) υποδηλώνει το μέσο λειτουργικό χρόνο ενός αντικείμενου και ο $MTΓΕ$ (Μέσος Χρόνος Για Επισκευή) υποδηλώνει το μέσο χρόνο που η συσκευή επισκευάζεται ή το χρόνο που χρειάζεται για επισκευή μετά μια βλάβη.

- Όταν εξετάζεται ένα σύστημα παραγωγής, η μέση διαθεσιμότητα του προϊόντος (δηλ. το μέσο μέρος του χρόνου όπου το σύστημα παράγει), συχνά καλείται ως η κανονικότητα της παραγωγής.

2.5 Συντηρησιμότητα - Maintainability

Συντηρησιμότητα είναι η ικανότητα ενός αντικειμένου, κάτω από καθορισμένες συνθήκες χρήσης, να διατηρηθεί ή να επαναφερθεί σε μια κατάσταση που μπορεί να εκτελέσει τις απαιτούμενες λειτουργίες του, όταν η συντήρησή του γίνεται κάτω από ορισμένες συνθήκες και χρησιμοποιώντας προβλεπόμενες διαδικασίες και πηγές (BS 4778).

- Η «Συντηρησιμότητα» είναι ένας κύριος παράγοντας που καθορίζει τη διαθεσιμότητά ενός αντικειμένου.
- RAM, δηλαδή Reliability-Availability-Maintainability, είναι ένα ακρώνυμο που χρησιμοποιείται στη διεθνή βιβλιογραφία για τις λέξεις Αξιοπιστία – Διαθεσιμότητα – Συντηρησιμότητα. Χρησιμοποιούνται επίσης οι όροι : RAM-σπουδές και RAM- Μηχανική.

2.6 Ασφάλεια - Ασφάλιση

Ασφάλεια είναι η απαλλαγή από συνθήκες τέτοιες οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν θάνατο, τραυματισμό, εργατική ασθένεια ή καταστροφή ή απώλεια εξοπλισμού ή περιουσίας (MIL – STD –882).

- Ο ορισμός αυτός έχει προκαλέσει αξιοσημείωτη αντιπαράθεση. Ένας αριθμός εναλλακτικών ορισμών έχουν επομένως προταθεί. Η κύρια αντιπαράθεση αφορά τη χρήση του όρου «απαλλαγή από». Οι περισσότερες δραστηριότητες περιλαμβάνουν κάποιο είδος ρίσκου και ποτέ δεν είναι ολικά απαλλαγμένοι από ρίσκο. Στους περισσότερους από τους εναλλακτικούς ορισμούς η ασφάλεια ορίζεται ως ένα αποδεκτό επίπεδο ρίσκου.

Ασφάλιση είναι η με φερεγγυότητα και με σεβασμό αποτροπή πρόσβασης χωρίς εξουσιοδότηση και/ή μεταχείριση πληροφοριών.

2.7 Εξαρτησιμότητα - Dependability

Εξαρτησιμότητα είναι ο συγκεντρωτικός όρος που περιγράφει την επίδοση της διαθεσιμότητας και τους παράγοντες που την επηρεάζουν : την επίδοση της αξιοπιστίας, την επίδοση της συντηρησιμότητας και την επίδοση της υποστήριξης στην κατασκευή της (IEC 300-1).

- Ένας ελαφρά διαφορετικός ορισμός δίνεται από τον Laprie [3]. Ορίζει την βασιμότητα ως : «Εμπιστοσύνη που δικαιολογημένα εμπνέει ένα σύστημα για τις υπηρεσίες που διεκπεραιώνει». Στα σχόλιά του γι' αυτόν τον ορισμό, ο Laprie [3] ισχυρίζεται ότι η βασιμότητα είναι ένα παγκόσμιο θέμα που περικλείει τα χαρακτηριστικά της αξιοπιστίας, διαθεσιμότητας, ασφάλειας και ασφάλισης. Αυτό είναι επίσης σύμφωνο με τον ορισμό ο οποίος χρησιμοποιείται από τον Villemeur [1.3].
- Εάν η ασφάλεια και η ασφάλιση περιλαμβάνονται στον ορισμό της βασιμότητας ως παράγοντες που επηρεάζουν, η βασιμότητα θα ήταν παρόμοιοι με την έννοια του RAMS (ακρώνυμο για αξιοπιστία, διαθεσιμότητα, συντηρησιμότητα και ασφάλεια).
- Σύμφωνα με τον Laprie [3] ο ορισμός της βασιμότητας είναι συνώνυμος με τον ορισμό της αξιοπιστίας. Μερικοί συγγραφείς, πάντως, προτιμούν να χρησιμοποιούν την έννοια της βασιμότητας αντί της αξιοπιστίας. Αυτό επίσης αντικατοπτρίζεται στη σημαντική σειρά προτύπων IEC-300 «Διαχείριση Βασιμότητας».

2.8 Προγραμματισμός

Οι διαδικασίες για μια προσέγγιση σε ένα ολικό και ολοκληρωμένο πρόγραμμα αξιοπιστίας στη φάση σχεδιασμού και ανάπτυξης, τη φάση κατασκευής και εγκατάστασης, τη φάση λειτουργίας και συντήρησης και τη φάση απόρριψης ενός

κύκλου ζωής ενός συστήματος παρουσιάζονται, για παράδειγμα, από πολλούς μελετητές και πιο ειδικά στα IEC 300, MIL-STD 785 και τα Βρετανικά Πρότυπα British Standards BS 5760.

Οι ακόλουθοι ορισμοί έχουν υιοθετηθεί από το IEC 300-2 (όπου η «διαθεσιμότητα» έχει αντικατασταθεί από την «αξιοπιστία») :

***Πρόγραμμα αξιοπιστίας** είναι η οργανωτική δομή, οι ευθύνες, οι διαδικασίες, οι ευθύνες και οι πηγές που χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση της αξιοπιστίας.*

***Καθήκοντα προγράμματος αξιοπιστίας** είναι μια ομάδα δραστηριοτήτων που κατευθύνουν θέματα αξιοπιστίας ενός αντικειμένου ή την υποστήριξή του για την παραγωγή ενός αποτελέσματος κάποιου είδους*

***Στοιχεία Προγράμματος Αξιοπιστίας** είναι ένα καθήκον προγράμματος αξιοπιστίας ή ομάδα αντικειμένων, που συνήθως εκτελείται από ειδικούς ή κατηγορία προσωπικού σε κάποια θεματική περιοχή.*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ

3.1 Περιοχές Εφαρμογής

Ο κύριος στόχος μιας μελέτης στην αξιοπιστία θα πρέπει πάντα να παρέχει πληροφορίες ως βάσεις για αποφάσεις. Προτού μια μελέτη αξιοπιστίας ξεκινήσει, εκείνος που παίρνει τις αποφάσεις θα πρέπει να ξεκαθαρίσει το πρόβλημα για την απόφαση και τότε να καθορίσει τους στόχους, τις οριακές συνθήκες, τους περιορισμούς για τη μελέτη έτσι ώστε οι σχετικές πληροφορίες να βρεθούν κοντά στην πραγματικότητα.

Η τεχνολογία της αξιοπιστίας έχει ένα δυνητικά ευρύ πεδίο περιοχών εφαρμογής. Μερικές από αυτές τις περιοχές παρουσιάζονται παρακάτω για να φανεί η ευρεία εμβέλεια της τεχνολογίας αξιοπιστίας.

3.1.1 *Αναλύσεις ασφάλειας / ρίσκου.*

Η ανάλυση αξιοπιστίας είναι ένα καλά καθιερωμένο μέρος των περισσότερων μελετών ασφαλείας και ρίσκου. Σε μια ανάλυση ρίσκου ο παράγων της πρόκλησης κανονικά καλύπτεται από τεχνικές αξιοπιστίας όπως ο τρόπος αστοχίας, η ανάλυση επιδράσεων και δένδρα ανάλυσης αστοχίας.

Οι τεχνικές αξιοπιστίας συχνά εφαρμόζονται με την ανάλυση ρίσκου για να εκτιμήσουμε την διαθεσιμότητα και την καταλληλότητα των συστημάτων ασφαλείας, που κυμαίνονται από συστήματα απλών τμημάτων όπως δικλείδες ασφαλείας (π.χ. βαλβίδες), μέχρι σύνθετα συστήματα ασφαλείας υπολογιστικών διαδικασιών.

3.1.2 *Περιβαλλοντική προστασία.*

Μελέτες αξιοπιστίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση του σχεδιασμού και τη λειτουργική κανονικότητα μέτρων αντιρρυπαντικής τεχνολογίας όπως συστήματα καθαρισμού φυσικού αερίου / νερού.

Πολλές βιομηχανίες έχουν συνειδητοποιήσει ότι μεγάλο μέρος της ρύπανσης από τα εργοστάσιά τους προκαλείται από την ακανόνιστη παραγωγή και συνεπώς η κανονικότητα της παραγωγής του εργοστασίου είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας στο να μειώσουμε την ρύπανση. Μελέτες αξιοπιστίας και κανονικότητας είναι ανάμεσα στα πιο σημαντικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται για τη βελτιστοποίηση της κανονικότητας της παραγωγής.

3.1.3 Ποιότητα.

Η διαχείριση και διασφάλιση ποιότητας είναι με αυξανόμενο ρυθμό στο επίκεντρό, με παρακινήσεις από την σχεδόν επιτακτική εφαρμογή της σειράς προτύπων ISO 9000. Τα θέματα της ποιότητας και της αξιοπιστίας είναι στενά συνδεδεμένα. Η αξιοπιστία μπορεί από κάποιες απόψεις να θεωρηθεί ότι είναι ένα χαρακτηριστικό ποιότητας (ίσως το σπουδαιότερο χαρακτηριστικό της). Συμπληρωματικά συστήματα επομένως, αναπτύσσονται και υλοποιούνται για τη διαχείριση και διασφάλιση αξιοπιστίας ως τμήμα του συστήματος ολικής διαχείρισης. Σημειωτέα η σχέση του ISO 9000 και της IEC 300 σειράς προτύπων που εκφράζεται από τον Strandberg [1].

3.1.4 Βελτιστοποίηση συντήρησης και λειτουργίας.

Η συντήρηση εκτελείται για την αποτροπή αστοχιών στο σύστημα, όπως επίσης και για να επαναφερθεί η λειτουργία του συστήματος όταν η αστοχία έχει συμβεί. Ο πρωταρχικός στόχος της συντήρησης είναι επομένως η διατήρηση ή η βελτίωση της αξιοπιστίας του συστήματος και την κανονικότητα της παραγωγής/λειτουργίας.

Πολλές βιομηχανίες (π.χ. πυρηνικής ενέργειας, αεροναυπηγική, άμυνα, ναυπηγική και πελάγια) έχουν πλήρως συνειδητοποιήσει τη σημαντική σχέση μεταξύ συντήρησης και αξιοπιστίας και έχουν υλοποιήσει τη μεθοδολογία κεντρικής συντήρησης. Η μεθοδολογία αυτή σκοπεύει στο να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα του κόστους και τον έλεγχο της συντήρησης σε όλους τους τύπους βιομηχανιών και έπειτα η βελτίωση της διαθεσιμότητας και της ασφάλειας. Η αποτίμηση της αξιοπιστίας είναι ένα επίσης σημαντικό στοιχείο των ακολούθων

εφαρμογών : Κόστος Κύκλου Ζωής, Κέρδος Κύκλου Ζωής, Λογιστική υποστήριξη, διανομή ανταλλακτικών και ανάλυση του επιπέδου επάνδρωσης.

3.1.5 Τεχνικός Σχεδιασμός.

Η αξιοπιστία θεωρείται να είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των τεχνικών προϊόντων. Η διασφάλιση αξιοπιστίας θα πρέπει επομένως να είναι ένα από τα πιο σημαντικά θέματα κατά της διαδικασία του τεχνικού σχεδιασμού.

Πολλές βιομηχανίες έχουν ολοκληρώσει ένα πρόγραμμα αξιοπιστίας στη διαδικασία σχεδιασμού. Αυτή είναι ιδιαίτερα η περίπτωση εντός των βιομηχανιών πελάγων, πυρηνικής ενέργειας, αεροναυπηγικής και αεροδιαστημικής. Τέτοια ολοκλήρωση μπορεί να επιτευχθεί μέσω του θέματος της συγκλίνουσας μηχανικής που εστιάζεται στην προοπτική ολόκληρου του προϊόντος από την έναρξη μέχρι την παράδοση του προϊόντος. (Βλ. για παράδειγμα Keene [2]).

3.1.6 Επικύρωση ποιότητας / αξιοπιστίας.

Ένας αριθμός αρχών απαιτούν ότι ο παραγωγός και / ή ο χρήστης τεχνικών συστημάτων είναι ικανός να επικυρώσει ότι ο εξοπλισμός τους ικανοποιεί καθορισμένες απαιτήσεις. Τέτοιες απαιτήσεις συνήθως έχουν μια βάση στην προστασία του περιβάλλοντος και / ή της ασφάλειας. Μερικές βιομηχανίες επίσης ικανοποιούν υψηλές αξιώσεις με σεβασμό στην κανονικότητα της παραγωγής. Αυτή είναι ιδιαίτερα η περίπτωση εντός των βιομηχανιών παραγωγής ενέργεια και πετρελαίου.

Ως μέρος του σχηματισμού της Ε.Ε ένας αριθμός των νέων ντιρεκτίβων της Ε.Ε έχουν εκδοθεί. Ανάμεσά τους υπάρχουν ντιρεκτίβες για την ασφάλεια των μηχανών, για την ασφάλεια και τις υποχρεώσεις των προϊόντων. Οι παραγωγοί του εξοπλισμού πρέπει, σύμφωνα με αυτές τις κατευθυντήριες οδηγίες να πιστοποιήσουν ότι ο εξοπλισμός τους συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις. Αναλύσεις αξιοπιστίας και έλεγχος απόδειξης της αξιοπιστίας θα είναι απαραίτητα εργαλεία στη διαδικασία πιστοποίησης.

Κατά τα λίγα τελευταία χρόνια έχει γίνει πιο κοινό για αγοραστές τεχνικού εξοπλισμού να απαιτούν μια ποσοτική αποτίμηση της ποιότητας και της αξιοπιστίας ως κομμάτι ενός συστήματος ολικής τεκμηρίωσης. Η απαιτούμενη τεκμηρίωση

ποικίλει από συμπληρωμένα δελτία μέχρι λεπτομερή αποτελέσματα από τους ελέγχους ζωής του εξοπλισμού (π.χ. επιταχυνόμενοι έλεγχοι). Η τεκμηριωμένη ποιότητα / αξιοπιστία απαιτείται από ορισμένες επιχειρήσεις εδώ και πολλά χρόνια (π.χ. αεροπορία, αεροδιαστημική, αυτοκινητοβιομηχανία, πυρηνική και αμυντική).

3.2 Κατασκευή Προτύπων

Σε πρακτικές καταστάσεις ο αναλυτής εξάγει από κοντά στοχαστικά πρότυπα ενός συστήματος ή τουλάχιστον επιλέγει από διάφορα πιθανά πρότυπα. Για να είναι ρεαλιστικό, το πρότυπο πρέπει να περιγράφει τα στοιχειώδη χαρακτηριστικά του συστήματος : οι λεπτομέρειες δεν θα πρέπει απαραίτητως να είναι ακριβείς. Ένας από τους πρωτοπόρους στη μαθηματική στατιστική, ο Jerzy Neyman [3], εκφράζει το παραπάνω με τον ακόλουθο τρόπο :

« Κάθε προσπάθεια να χρησιμοποιήσουμε μαθηματικά για να μελετήσουμε μερικά αληθινά φαινόμενα πρέπει να ξεκινούν με το κτίσιμο ενός μαθηματικού προτύπου γι' αυτά τα φαινόμενα. Από ανάγκη, το πρότυπο απλοποιεί τις καταστάσεις σε μια μεγαλύτερη ή μικρότερη έκταση και ένας αριθμός λεπτομερειών αγνοούνται. Η επιτυχία βασίζεται στο εάν οι αγνοούμενες λεπτομέρειες είναι πραγματικά ασήμαντες στην ανάπτυξη των υπό μελέτη φαινομένων. Η λύση του μαθηματικού προβλήματος μπορεί να είναι σωστή και εσύ μπορεί να είσαι σε βίαια σύγκρουση με την πραγματικότητα, απλά επειδή οι πρωτότυπες υποθέσεις του μαθηματικού προτύπου αποκλίνουν ουσιωδώς από τις συνθήκες του θεωρούμενου πρακτικού προβλήματος. Εκ των προτέρων, είναι αδύνατο να προβλέψουμε με σιγουριά το εάν ένα δεδομένο μαθηματικό πρότυπο είναι ικανοποιητικό. Για να το βρούμε, είναι απαραίτητο να συμπεράνουμε αφαιρετικά ένα αριθμό συνεπειών του προτύπου και να τις συγκρίνουμε με παρατήρηση ».

Ένας άλλος πρωτοπόρος στη στατιστική, ο George E. P. Box, επαναλαμβάνει ότι :

« κανένα πρότυπο δεν είναι απαραίτητως σωστό. Σε ιδιαίτερες συνθήκες πάντως, μερικά πρότυπα είναι πιο χρήσιμα από άλλα ».

Στις μελέτες αξιοπιστίας και ασφάλειας τεχνικών συστημάτων, κάποιος πάντα πρέπει να δουλεύει με πρότυπα συστημάτων. Αυτά τα πρότυπα μπορεί να είναι γραφικά (δίκτυα διαφορετικών τύπων) ή μαθηματικά. Ένα μαθηματικό πρότυπο είναι απαραίτητο για να καταστήσει ικανό κάποιον να παρουσιάσει δεδομένα και να χρησιμοποιήσει μαθηματικές και στατιστικές μεθόδους για να εκτιμήσει την αξιοπιστία, την ασφάλεια ή παραμέτρους διακινδύνευσης. Με τέτοια πρότυπα δύο αντικρουόμενα συμφέροντα πάντα σχετίζονται :

- Το πρότυπο θα πρέπει να είναι αρκετά απλό για να μεταχειριστεί από τις διαθέσιμες μαθηματικές και στατιστικές μεθόδους.

- Το πρότυπο θα πρέπει να είναι αρκετά ρεαλιστικό έτσι ώστε τα αφαιρετικά συμπεράσματα να έχουν πρακτική συνάφεια.

Θα πρέπει, πάντως, πάντα να έχουμε κατά νου ότι δουλεύουμε με ένα ιδεατό απλοποιημένο πρότυπο του συστήματος. Πιο πέρα τα αποτελέσματα ου εξάγουμε είναι, μιλώντας αυστηρά, έγκυρα μόνο για το πρότυπο και είναι έτσι « σωστά » στο μέγεθος που το πρότυπο είναι ρεαλιστικό.

Κάποιες φορές υπάρχει το σημείο τριβής ότι η χρήση της «ανάλυση πιθανοτικής αξιοπιστίας» έχει περιορισμένη εγκυρότητα και μικρή πρακτική χρήση. Όταν κάτι πάει στραβά, συνήθως αποδίδεται σε ανθρώπινο λάθος. Με άλλα λόγια, κάποιος απέτυχε να κάνει ότι θα έπρεπε να είχε γίνει σε κάποια συγκεκριμένη κατάσταση ή έκανε κάτι το οποίο δε θα έπρεπε να είχε γίνει. Κατ' αρχήν, δεν υπάρχει κάτι για να αποτρέψουμε ανθρώπους «κλειδιά» από το να υπολογίζονται ως «τμήματα» ενός συστήματος με τον τρόπο που τα τεχνικά τμήματα το κάνουν. Θα ήταν προφανώς δύσκολο να εξάγουμε αριθμητικές εκτιμήσεις για την πιθανότητα ανθρωπίνων λαθών για μια δεδομένη κατάσταση, αλλά αυτό είναι ένα άλλο θέμα.

Από τα ήδη λεχθέντα, καταλαβαίνουμε ότι πολλές θεματικές περιοχές είναι εμπλεκόμενες στην ανάλυση αξιοπιστίας τεχνικών συστημάτων :

- Λεπτομερής γνώση απαιτείται για τις τεχνικές όψεις του συστήματος και των φυσικών μηχανισμών που μπορούν να οδηγήσουν σε αστοχία.
- Η γνώση μαθηματικών / στατιστικών θεμάτων και στατιστικών μεθόδων είναι αναγκαία προϋπόθεση (αλλά απέχει από επαρκής) για να είναι κάποιος ικανός ικανός για την εκτέλεση τέτοιων αναλύσεων.
- Εάν οι άνθρωποι μεταχειριστούν ως τμήματα στο σύστημα, ιατρική, ψυχολογική, και κοινωνιολογική έρευνα στη δομή της συμπεριφοράς τους χρειάζεται περιλαμβανομένων πληροφοριών στο πώς οι άνθρωποι αυτοί αντιδρούν κάτω από άγχος.
- Τα δεδομένα πρέπει να είναι διαθέσιμα για την εκτίμηση παραμέτρων και τον έλεγχο των προτύπων.
- Η ανάλυση σύνθετων συστημάτων πρέπει να συνοδεύεται από κατάλληλα προγράμματα ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Η παραπάνω λίστα δεν είναι ολοκληρωμένη, αλλά δείχνει ότι η ανάλυση αξιοπιστίας εμπλέκει πολλές διαφορετικές περιοχές γνώσης και θα πρέπει να θεωρηθεί ως μια αποστολή με πολλές πτυχές.

3.2.1 Συνοριακές Συνθήκες για την Ανάλυση

Μια ανάλυση αξιοπιστίας ενός συστήματος βασίζεται σε ένα ευρύ φάσμα υποθέσεων και συνοριακών συνθηκών. Εδώ αναφέρονται συνοπτικά μερικές τέτοιες συνθήκες :

- Επακριβώς, ποια μέρη του συστήματος θα περιληφθούν στην ανάλυση και ποια όχι ;
- Επακριβώς, ποιοι είναι οι στόχοι της ανάλυσης ; Διαφορετικοί στόχοι μπορεί να επιβάλλουν διαφορετικές προσεγγίσεις.

- Ποιες αλληλεπιδράσεις του συστήματος θα χρησιμοποιηθούν ; Οι λειτουργικές και λογισμικές αλληλεπιδράσεις πρέπει να προσδιοριστούν και να καθοριστούν.
- Τι επίπεδο λεπτομέρειας απαιτείται ;
- Ποιες λειτουργικές φάσεις είναι για να περιληφθούν στην ανάλυση (π.χ. εκκίνηση, σταθερή κατάσταση, συντήρηση, απόρριψη) ;
- Ποιες είναι οι περιβαλλοντικές συνθήκες για το σύστημα ;
- Ποιες εξωτερικές πιέσεις θα πρέπει να θεωρηθούν (π.χ. δολιοφθορές, σεισμοί, κτυπήματα κεραυνών) ;

3.2.2 Δυαδική Αναπαράσταση

Παρακάτω γίνεται λόγος ασχολούμαστε με συστήματα ενός τμήματος ή περισσότερο σύνθετα μπορούμε να τα κατατάξουμε σε δύο κατηγορίες αναλόγως στην κατάσταση που βρίσκονται. Η μια κατάσταση είναι αυτή της λειτουργίας (σύμφωνα με περισσότερο στενά ορισμένα κριτήρια) και η άλλη, εκείνη της αστοχίας. Χάρη συντομίας θα λέμε ότι στην πρώτη περίπτωση η μονάδα λειτουργεί και στη δεύτερη ότι αστοχεί. Η αστοχία είναι επομένως ένα ενδεχόμενο που συμβαίνει σε μια καθορισμένη χρονική στιγμή.

Για μερικές μονάδες είναι εύκολο να αποφασισιστεί την ακριβή στιγμή της αστοχίας. Ένας λαμπτήρας μπορεί να λειτουργεί τέλεια τη μια στιγμή αλλά να αστοχήσει την επόμενη στιγμή. Ο χρόνος αστοχίας παρατηρείται εύκολα. Άλλες μονάδες φθείρονται συνεχώς και μπορεί να είναι δύσκολο να αποφασίσουμε την ακριβή στιγμή της αστοχίας. Για παράδειγμα, το μέγεθος διαρροής μπορεί να αυξάνεται σταδιακά και είναι δύσκολο να παρατηρήσουμε την ακριβή στιγμή όπου υπερβαίνει ένα συγκεκριμένο επίπεδο.

Θα γίνει η υπόθεση ότι η στιγμή για την αστοχία του συστήματος μπορεί να σημειωθεί ακριβώς. Η κατάσταση μιας δεδομένης μονάδας στο χρόνο t μπορεί να εκφραστεί από μια δυαδική μεταβλητή $x(t)$ όπου :

$$x(t) = \begin{cases} 1 & \text{εάν η μονάδα λειτουργεί στο χρόνο } t \\ 0 & \text{εάν η μονάδα έχει αστοχήσει στο χρόνο } t \end{cases} \quad (3.1)$$

Η υπόθεση της δυαδικής κατάστασης είναι μάλλον περιοριστική. Ειδικά δημιουργεί προβλήματα για την ανάλυση μονάδων με βαθμιαία μειούμενη λειτουργικότητα. Στην παρούσα θεωρία κάποιος πρέπει να ορίσει ένα αποδεκτό όριο λειτουργικότητας και να κατηγοριοποιήσει όλες τις καταστάσεις ως αστοχία. Αν κοιτάξει κανείς σε μια καταθλιπτική μονάδα σε ένα σύστημα σωλήνων, το φαινόμενο της κατάθλιψης θα φθίνει συνεχώς εξαιτίας της διάβρωσης. Σ' αυτή την περίπτωση είναι πολύ δύσκολο να καθορίσουμε τον ακριβή χρόνο όταν η «αστοχία» συμβεί. Κατά τα τελευταία χρόνια μια ερευνητική δραστηριότητα έχει ξεκινήσει για την ανάπτυξη μια περισσότερο γενικής θεωρίας πολλών καταστάσεων.

3.3 Ανθρώπινη Αξιοπιστία

Η αναφορά στα ανθρώπινα λάθη ως αιτία άλλότε μικρότερων και άλλότε μεγαλύτερων ατυχημάτων, είναι πολύ συχνή. Στατιστικές μελέτες σχετικές με τις αιτίες ατυχημάτων ή συμβάντων σε διάφορους χώρους εργασίας αποδίδουν στο ανθρώπινο λάθος αρκετά υψηλά ποσοστά. Έτσι, για παράδειγμα, οι ετήσιες εκθέσεις αρμόδιων φορέων αναφέρουν ότι, κατά μέσο όρο, το 30% περίπου των καταγραφέντων εργατικών ατυχημάτων οφείλονται στο ανθρώπινο λάθος. Επίσης, οι αναλύσεις ατυχημάτων τα οποία τα τελευταία χρόνια έλαβαν τεράστια δημοσιότητα, (π.χ. πυρηνικά εργοστάσια Thre Mile Island και Chernobyl, εργοστάσιο Bhopal, διαστημικό λεωφορείο Challenger, οχηματαγωγό Herald της Free Enterprise), έδειξαν ότι το ανθρώπινο λάθος μπορεί να αποτελέσει την αιτία τεραστίων διαστάσεων καταστροφών, ακόμη και σε σύγχρονα τεχνολογικά συστήματα εξοπλισμένα με πλήθος αυτοματισμών και με εξελιγμένα συστήματα ασφαλείας.

Ως τώρα τις συνέπειες των ανθρωπίνων λαθών στο σύγχρονο κόσμο, η απλή αναφορά στα προηγούμενα ατυχήματα αρκεί για να καταδείξει τόσο το είδος τους όσο και το μέγεθός τους : απώλεια ανθρωπίνων ζωών, καταστροφές στο περιβάλλον, προσβολή της υγείας, καταστροφές στον τεχνολογικό εξοπλισμό, αλλά και απώλεια τεράστιων χρηματικών ποσών.

Αντίθετα με τη συχνή αναφορά στα ανθρώπινα λάθη, τα επιτεύγματα της ανθρώπινης αξιοπιστίας δεν τυγχάνουν μιας εξίσου σημαντικής αναγνώρισης και συστηματικής μελέτης, θεωρούμενα μάλλον ως κάτι το δεδομένο. Πόσο συχνά άραγε γίνεται αναφορά ή μελέτη για το πώς ο τάδε πιλότος κατάφερε με κατάλληλους χειρισμούς του να οδηγήσει με ασφάλεια το αεροπλάνο που πετούσε κάτω από αντίξοες καιρικές συνθήκες με βλάβη σε έναν από τους κινητήρες του, ή το πώς οι τάδε εργαζόμενοι στη Δ.Ε.Η. με τους κατάλληλους χειρισμούς τους κατάφεραν να αποφύγουν μια γενική συσκότιση ;

Πώς όμως μπορεί να οριστεί η ανθρώπινη αξιοπιστία και πώς το ανθρώπινο λάθος ; Ο Leplat [4], δίνει για την ανθρώπινη αξιοπιστία τον παρακάτω ορισμό :

« Η ικανότητα του ανθρώπου να πραγματοποιεί μια ενέργεια που έχει εκμάθει, κάτω από δεδομένες συνθήκες για μια καθορισμένη χρονική περίοδο »

Ο Swain [5] ορίζει το ανθρώπινο λάθος ως :

« Μια εκτός των ορίων ανοχών ενέργεια, όπου τα όρια αυτά καθορίζονται από το σύστημα εργασίας »

Έτσι, για παράδειγμα έστω ότι το σύστημα εργασίας των οδηγών σιδηροδρόμων καθορίζει ότι η ταχύτητα της αμαξοστοιχίας, όταν αυτή περνά από μία γέφυρα, δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 50 Km/h. Εάν τώρα κάποιος οδηγός περάσει μια γέφυρα με ταχύτητα 70 Km/h λέμε ότι ο οδηγός διέπραξε ένα λάθος. Το λάθος αυτό μπορεί να έχει ή να μην έχει δυσμενείς συνέπειες. Στην πρώτη περίπτωση μιλάμε για ατύχημα. Μπορούμε επομένως να πει κάποιος; ότι τα ανθρώπινα λάθη είναι ανεπιθύμητα γεγονότα στην εκδήλωση των οποίων εμπλέκονται δύο αλληλεπιδρώντες παράγοντες : ο άνθρωπος και το σύστημα εργασίας, το οποίο καθορίζει τις συνθήκες κάτω και μέσω των οποίων ο άνθρωπος ενεργεί. Σύμφωνα με

αυτή τη θεώρηση, η οποία αποκαλείται κοινωνικό-τεχνική (socio-technical), στην εκδήλωση ενός ανθρώπινου λάθους συμβάλλουν δύο κατηγορίες αιτίων: οι ενδογενείς αιτίες που αναφέρονται στο σύστημα εργασίας και στην κατάσταση στην οποία αυτό βρίσκεται κατά την εκδήλωση του λάθους. Κατά συνέπεια, η μελέτη των ανθρωπίνων λαθών, με στόχο τη βελτίωση της ανθρώπινης αξιοπιστίας προϋποθέτει τη μελέτη τόσο του ανθρώπινου παράγοντα όσο και του συστήματος εργασίας, πάντοτε βέβαια κάτω από το πρίσμα της αλληλεπίδρασης τους.

Οι περισσότερες από τις μέχρι σήμερα προσπάθειες μείωσης των ανθρωπίνων λαθών και βελτίωσης της ανθρώπινης αξιοπιστίας, ιδιαίτερα στα σύγχρονα σύνθετα τεχνολογικά συστήματα παραγωγής, προσκρούουν, μεταξύ των άλλων, σε δύο σημαντικούς περιορισμούς : (1) στην έλλειψη ή την παραγνώριση των γνώσεων γύρω από τη νοητική δραστηριότητα του εργαζόμενου ανθρώπου και, επομένως, των δεδομένων για τις ενδογενείς αιτίες του ανθρώπινου λάθους, και (2) στην έλλειψη κατάλληλης μεθοδολογικής προσέγγισης για το συστηματικό προσδιορισμό και πρόβλεψη των εξωγενών αιτιών που σε ένα συγκεκριμένο σύστημα εργασίας μπορούν να οδηγήσουν στην εκδήλωση του ανθρώπινου λάθους.

Μέρος Β'

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο. ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

4.1 Ανάλυση Αξιοπιστίας Συστημάτων

4.1.1. Αντιμετώπιση Βλαβών

Στις σημερινές κοινωνικές συνθήκες, οι επαγγελματίες μηχανικοί είναι υπεύθυνοι για το σχεδιασμό, κατασκευή και λειτουργία προϊόντων και συστημάτων τα οποία ποικίλουν σε μέγεθος από ένα απλό βιομηχανικό προϊόν έως ένα πολύπλοκο σύστημα παραγωγικής διαδικασίας. Η μόρφωση των Μηχανικών παραδοσιακά ασχολείται με τη διδασκαλία της λειτουργίας των παραγομένων μηχανικών συστημάτων. Οι τρόποι με τους οποίους τα μηχανικά συστήματα υφίστανται βλάβες, τα αποτελέσματα των βλαβών και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της διαδικασίας σχεδίασης των συστημάτων που επηρεάζουν τα γεγονότα βλαβών συνήθως δε διδάσκονται. Η κύρια αιτία είναι ότι οι μηχανικοί πρέπει να γνωρίζουν πώς ένα σύστημα λειτουργεί πριν γνωρίσουν τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να υποστεί βλάβη. Όμως, οι χρήστες των μηχανικών συστημάτων απαιτούν για τα συστήματα που αγοράζουν να είναι ασφαλή και αξιόπιστα. Οι βλάβες των συστημάτων μπορεί να προκαλέσουν ποικίλα αποτελέσματα τα οποία εκτείνονται από απλές ενοχλήσεις των χρηστών έως και σημαντικές επιπτώσεις στην κοινωνία και το περιβάλλον. Το καθήκον των μηχανικών είναι να σχεδιάσουν, να κατασκευάσουν και να συντηρήσουν τα συστήματα με τις κατάλληλες διαδικασίες έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι καταστάσεις βλαβών τους και ταυτόχρονα να αναπτύξουν τεχνικές οι οποίες να υπολογίζουν την αξιοπιστία τους.

4.1.2 Τεχνικές Αξιοπιστίας

Η ανάλυση αξιοπιστίας συστημάτων δεν είναι μια νέα μεθοδολογία αξιολόγησης των μηχανικών συστημάτων αλλά έχει χρησιμοποιηθεί εκτενέστατα στο παρελθόν από τους μηχανικούς για τη σχεδίαση συστημάτων που παρουσιάζουν ελάχιστο αριθμό βλαβών κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους. Όμως, στο παρελθόν η σχεδίαση τέτοιων συστημάτων έχει επιτευχθεί με τη χρησιμοποίηση μόνο εμπειρικών τεχνικών οι οποίες είναι γνωστές με τον όρο «εμπειρία σχεδίασης και λειτουργίας συστημάτων». Αντίθετα, οι σημερινές τεχνικές ανάλυσης της αξιοπιστίας συστημάτων βασίζονται στην εμπειρία σχεδίασης της λειτουργίας των συστημάτων για την ανάπτυξη ρεαλιστικών μοντέλων προσομοίωσης της λειτουργίας τους και τον υπολογισμό ενός κατάλληλου συνόλου αριθμητικών δεικτών αξιοπιστίας. Επιπρόσθετα, οι τεχνικές αξιοπιστίας μπορούν να αναγνωρίσουν όλους τους τρόπους με τους οποίους το σύστημα μπορεί να υποστεί βλάβη, τις επιπτώσεις των βλαβών και να δώσουν πληροφορίες για τη συσχέτιση της ποιότητας λειτουργίας του συστήματος με το κόστος λειτουργίας και το κόστος επενδύσεων κεφαλαίου.

4.1.3 Σύντομο Ιστορικό

Οι πρώτες τεχνικές υπολογισμού αξιοπιστίας συστημάτων αναπτύχθηκαν για διαστημικές και στρατιωτικές εφαρμογές. Ακολούθησε μια εκτεταμένη ανάπτυξη τεχνικών στις εφαρμογές εκμετάλλευσης της πυρηνικής ενέργειας όπου υπάρχει συνεχής πίεση για ασφαλή και αξιόπιστα πυρηνικά εργοστάσια, για εφαρμογές στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας όπου ο καταναλωτής αναμένει υψηλό βαθμό αξιοπιστίας παροχής και για εφαρμογές σε μεγάλα εργοστάσια παραγωγής χημικών προϊόντων ή χάλυβα όπου οι βλάβες του συστήματος οδηγούν σε μεγάλες απώλειες του παραγόμενου υλικού. Ο κυριότερος λόγος για την εφαρμογή τεχνικών αξιοπιστίας στα παραπάνω συστήματα ήταν το μεγάλο οικονομικό ή κοινωνικό κόστος που είχαν οι βλάβες τέτοιων συστημάτων. Σήμερα, όμως, οι μοντέρνες τεχνικές υπολογισμού αξιοπιστίας έχουν επεκταθεί σε ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών, όπως οι οικιακές συσκευές, τα αυτοκίνητα και άλλα προϊόντα των οποίων η βλάβη έχει μικρό οικονομικό ή κοινωνικό κόστος αλλά συνεισφέρει σημαντικά στο κόστος παραγωγής των προϊόντων. Είναι επομένως φανερό ότι η μόρφωση των μηχανικών

πρέπει να επεκταθεί και να περιλαμβάνει τις βασικές αρχές ανάπτυξης και εφαρμογές των τεχνικών υπολογισμού της αξιοπιστίας συστημάτων.

4.1.4 Συμπεριφορά Συστημάτων

Η αρχή της τυχαίας συμπεριφοράς ενός συστήματος κατά τη διάρκεια του χρόνου λειτουργίας του είναι μια βασική αρχή της επιστημονικής διαδικασίας γιατί είναι παραδεκτό ότι καμία παρατήρηση της λειτουργίας του συστήματος δεν μπορεί να θεωρηθεί απόλυτα ακριβής. Επομένως, η μεταβολή των χαρακτηριστικών του συστήματος και η τύχη αποτελούν δυο σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την αξιοπιστία τους. Βασικοί παράμετροι της σχεδίασης και λειτουργίας των συστημάτων δεν έχουν ποτέ σταθερές τιμές γιατί μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου ή επηρεάζονται σημαντικά από την τυχαία μεταβολή των υλικών και των διαδικασιών, από ανθρώπινους παράγοντες και από διαφορετικού τύπου εφαρμογές. Είναι επομένως φανερό ότι η μελλοντική συμπεριφορά του συστήματος δεν είναι προσδιοριζόμενη επακριβώς αλλά μπορεί να χαρακτηριστεί σα μια στοχαστική διαδικασία.

4.1.5 Πρόβλεψη Αξιοπιστίας

Η πλήρης ανάλυση των στοχαστικών διαδικασιών απαιτεί την εφαρμογή πιθανοτικών τεχνικών οι οποίες όμως δε μπορούν μόνες τους να προβλέψουν την αξιοπιστία ή ασφάλεια της λειτουργίας του συστήματος. Η μεθοδολογία πρόβλεψης απαιτεί πλήρη γνώση των αρχών λειτουργίας και σχεδίασης του συστήματος η οποία δε μπορεί να αποκτηθεί από τη θεωρία πιθανοτήτων αλλά μόνο από την εμπειρία του συστήματος. Επομένως, η θεωρία πιθανοτήτων είναι ένα όργανο το οποίο χρησιμοποιείται για να μετασχηματίσει τη γνώση του συστήματος σε μια τεχνική η οποία θα προβλέπει τη μελλοντική συμπεριφορά του συστήματος.

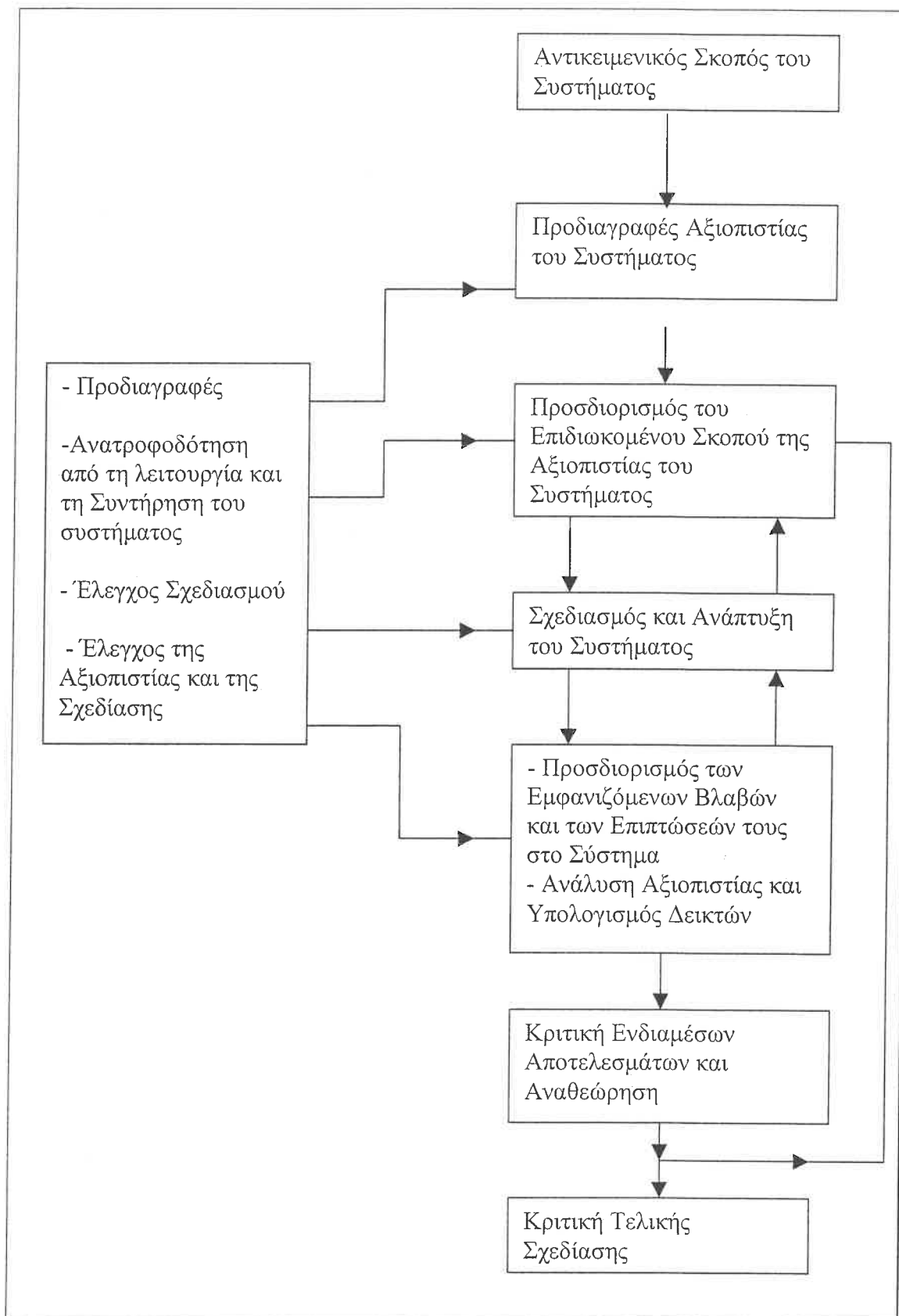
4.1.6 Μελέτη Σχεδιασμού Συστήματος

Τα βασικά στάδια μιας μελέτης σχεδιασμού συστημάτων παρουσιάζεται στο παρακάτω Διάγραμμα 4.1. Πρέπει να τονιστεί ότι η σχεδίαση ενός συστήματος αποτελεί μια επαναληπτική διαδικασία κατά τη διάρκεια της οποίας τα διαφορετικά στάδια, επομένως και η ανάλυση αξιοπιστίας, μπορεί να εκτελεστούν αρκετές φορές πριν αποφασισθεί η τελική σχεδίαση του συστήματος. Επίσης είναι σημαντικό να αναγνωρισθεί και να κατανοηθεί ότι η ανάλυση αξιοπιστίας των συστημάτων πρέπει να εκτελείται κατά τη διαδικασία σχεδίασης του συστήματος και να αποτελεί ένα αναπόσπαστο τμήμα της. Δεν είναι πρακτικό να γίνει προσπάθεια αύξησης της αξιοπιστίας σε ένα μεταγενέστερο στάδιο γιατί μια τέτοια προσπάθεια μπορεί να αποδειχθεί ότι δεν είναι τεχνικά δυνατή ή απαιτεί κόστος επένδυσης.

4.1.7 Σημερινή Χρήση Πιθανοτικών Πρότυπων

Οι κύριοι λόγοι για τη μη χρησιμοποίηση, σε ευρεία κλίμακα στο παρελθόν, πιθανοτικών μεθόδων υπολογισμού της αξιοπιστίας των συστημάτων ήταν η έλλειψη δεδομένων αξιοπιστίας, η έλλειψη κατάλληλων και ρεαλιστικών τεχνικών υπολογισμού, η έλλειψη κατάλληλων ψηφιακών υπολογιστών, η αντιπάθεια σε χρήση πιθανοτικών κριτηρίων και τεχνικών και η άγνοια της αξίας των πιθανοτικών κριτηρίων και τεχνικών. Αρκετοί από τους παραπάνω λόγους έχουν ήδη εκλείψει γιατί υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα αξιοπιστίας για πολλές πρακτικές εφαρμογές, οι αριθμητικές τεχνικές υπολογισμού της αξιοπιστίας έχουν αναπτυχθεί σημαντικά ενώ οι ψηφιακοί υπολογιστές έχουν αποκτήσει μεγάλη υπολογιστική δύναμη και ευελιξία. Ο μοναδικός σημαντικός λόγος που ακόμη υπάρχει στους περισσότερες χώρες είναι ο σκεπτικισμός των μηχανικών και των οικονομικών υπευθύνων του συστήματος ότι η ανάλυση αξιοπιστίας είναι μια διαδικασία πολύ ειδικευμένη. Όμως πολλοί παράγοντες έχουν αρχίσει ήδη να αμφισβητούν τη χρησιμότητα των παραδοσιακών τρόπων υπολογισμού της αξιοπιστίας και πιέζουν για μια ολοκληρωτική αλλαγή τους. Ο συναγωνισμός, η πίεση για βέλτιστο προγραμματισμό της παραγωγής προϊόντων, το κόστος των βλαβών, η αλματώδης ανάπτυξη νέων υλικών, μεθόδων και πολύπλοκων συστημάτων, η ανάγκη για μείωση του κόστους παραγωγής και οι αυξημένες προδιαγραφές ασφαλείας των εγκαταστάσεων έχουν σημαντικά αυξήσει τους κινδύνους απώλειας της παραγωγής. Ο έλεγχος στάθμης των κινδύνων απώλειας

της παραγωγής μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή των αναλυτικών τεχνικών αξιοπιστίας συστημάτων στο σχεδιασμό και τη λειτουργία τους.

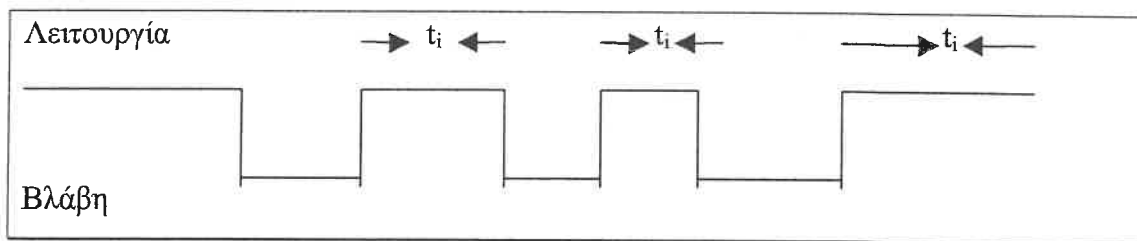


Διάγραμμα 4.1 Βασικές Υποχρεώσεις της Διαδικασίας Σχεδιασμού Συστημάτων [Πηγή : 1]

4.2 Δείκτες Αξιοπιστίας Συστημάτων – Γενική Συνάρτηση Αξιοπιστίας

Είναι συχνά αναγκαίο να εκφραστούν ποσοτικά και να αποδοθούν αριθμητικές τιμές στην αξιοπιστία και επισκευασιμότητα ενός συστήματος. Τέτοιοι παράμετροι (δείκτες) είναι ο Ρυθμός Βλάβης λ , ο Μέσος Χρόνος Μεταξύ Βλαβών (MXMB), θ και ο Μέσος Χρόνος Μεταξύ Επισκευών (MXME).

Για τον ορισμό των παραμέτρων αυτών θεωρούμε ένα σύνολο N παρομοίων στοιχείων και υποθέτουμε ότι K στοιχεία έχουν υποστεί βλάβη σε κάθε χρονική περίοδο t . Η συνολική διάρκεια βλάβης και επισκευής του στοιχείου i φαίνεται παρακάτω :



Διάγραμμα 4.2 Διαδικασία Βλάβης και επισκευής [Πηγή : 1]

Ο συνολικός χρόνος λειτουργίας T όλων των στοιχείων θα είναι : $T = Nt$ εάν υποτεθεί ότι μετά από κάθε βλάβη τα στοιχεία αντικαθίστανται αυτόματα,

$$\text{ή} \quad T = t_1 + t_2 + \dots + t_K + (N-K)t \quad (4.1)$$

εάν υποτεθεί ότι τα στοιχεία που έχουν υποστεί βλάβη δεν αντικαθίστανται και t_i είναι ο χρόνος λειτουργίας του στοιχείου i μέχρι τη στιγμή βλάβης του.

Ο όρος «βλάβη» ή «κατάσταση βλάβης» ορίζεται ως «η μη συμμόρφωση με κάποιο κριτήριο απόδοσης της λειτουργίας».

Ρυθμός Βλάβης λ : Ορίζεται ως ο λόγος του ολικού αριθμού παρατηρούμενων βλαβών προς το συνολικό χρόνο λειτουργίας για την περίοδο της ανάλυσης. Ο υπολογιζόμενος μέσος Ρυθμός Βλάβης $\bar{\lambda}$ για την αναλυόμενη περίοδο δίδεται από την εξίσωση :

$$\bar{\lambda} = \frac{K}{T} \quad (4.2)$$

όπου K ο ολικός αριθμός παρατηρούμενων βλαβών

T ο συνολικός χρόνος λειτουργίας.

Ο $\bar{\lambda}$ έχει μονάδες αντίστροφου χρόνου. Συνήθως εκφράζεται με τιμή επί της εκατό για 1000 ώρες ή ένα ημερολογιακό έτος (8760 ώρες) λειτουργίας.

Μέσος Χρόνος Μεταξύ Βλαβών (MXMB), θ : Ορίζεται ως η μέση τιμή της διάρκειας των χρονικών περιόδων μεταξύ διαδοχικών βλαβών για ορισμένη περίοδο της ζωής ενός στοιχείου και υπολογίζεται ως ο λόγος του συνολικού χρόνου λειτουργίας προς τον ολικό αριθμό παρατηρουμένων βλαβών. Ο υπολογιζόμενος Μέσος Χρόνος Μεταξύ Βλαβών $\bar{\theta}$ για την αναλυόμενη περίοδο δίδεται από την εξίσωση :

$$\bar{\theta} = \frac{T}{K} \quad (4.3)$$

όπου T ο συνολικός χρόνος λειτουργίας.

K ο ολικός αριθμός παρατηρούμενων βλαβών

επομένως ισχύει $\theta = \frac{1}{\lambda}$. Η τελευταία αυτή εξίσωση πρέπει να χρησιμοποιείται με μεγάλη προσοχή γιατί ισχύει μόνο όταν ο ρυθμός βλάβης λ είναι σταθερός στη διάρκεια του χρόνου.

Μέσος Χρόνος για Εμφάνιση Βλάβης (MXEB) : Ορίζεται ως ο λόγος του συνολικού χρόνου λειτουργίας και του ολικού αριθμού παρατηρουμένων βλαβών

δηλαδή υπολογίζεται από την ίδια εξίσωση $\bar{\theta} = \frac{T}{K}$. Η μόνη διαφορά μεταξύ των δύο δεικτών είναι ο τρόπος χρησιμοποίησής τους. Ο MXEB εφαρμόζεται σε στοιχεία που δεν επισκευάζονται (όπως π.χ. τρανζίστορ, ρουλεμάν, κ.λ.π.), ενώ ο MXMB εφαρμόζεται σε στοιχεία που επισκευάζονται.

Μέση Ζωή : Ορίζεται ως η μέση τιμή των χρονικών περιόδων για εμφάνιση βλάβης κατά τη διάρκεια του συνολικού διαστήματος που το στοιχείο μπορεί να υποστεί βλάβη. Ο δείκτης αυτός πολλές φορές συγχέεται με τους προηγούμενους δύο δείκτες. Η ουσιώδης διαφορά τους, είναι ότι οι δείκτες MXEB και MXMB υπολογίζονται για τις περιόδους της ζωής των στοιχείων κατά τη διάρκεια των οποίων ο ρυθμός βλάβης λ είναι σταθερός, ενώ ο δείκτης της Μέσης Ζωής καλύπτει όλη τη χρονική περίοδο της ζωής τους. Όταν ο ρυθμός βλάβης είναι σταθερός για όλη τη ζωή ενός στοιχείου οι δείκτες συμπίπτουν.

4.3 Τύποι Βλαβών Συστημάτων

Ακολουθεί στον Πίνακα 4.1 μια κατάταξη των βλαβών ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους.

Αναλογα με :	Την αιτία της βλάβης	Τον τρόπο εκδήλωσής της βλάβης	Το βαθμό επίδρασης της βλάβης	Το αποτέλεσμα της βλάβης
Τύπος βλάβης	Βλάβη συνεχούς λειτουργίας	Άμεση βλάβη Βλάβη σε στάδια	Καταστροφική βλάβη	Πολύ σοβαρή (καταστροφική) βλάβη
	Βλάβη καταπόνησης		Διακοπή λειτουργίας	Σοβαρή βλάβη
	Βλάβη μη καλής χρησιμοποίησης		Βλάβη μερικής απόδοσης	Απλή βλάβη
	Βλάβη φθοράς			
	Βλάβη κακής συντήρησης			

Πίνακας 4.1 Τύποι Βλαβών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο.

ΜΕΛΕΤΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ – ΜΙΑ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

5.1 Αξιοπιστία Σύνθετων Συστημάτων

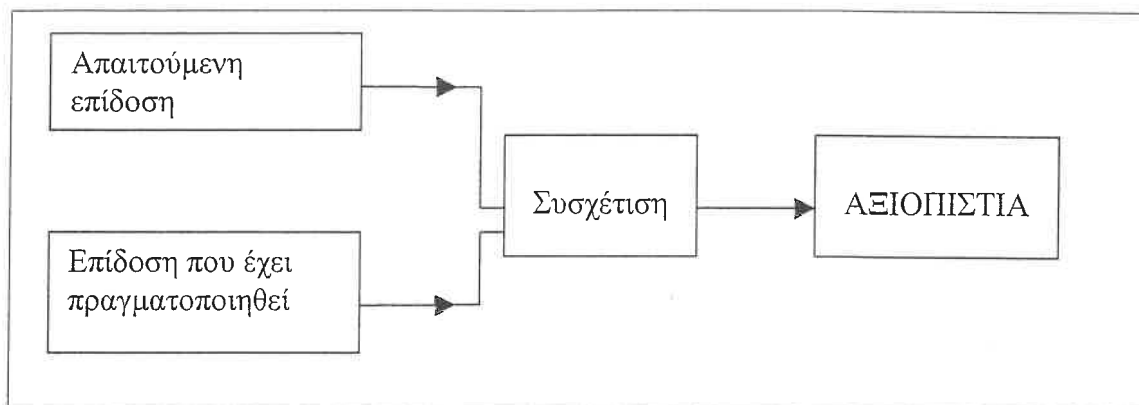
Η έννοια της αξιοπιστίας σήμερα δεν χρησιμοποιείται μόνο σαν μέτρο που εκφράζει το επίπεδο εμπιστοσύνης στις διατομικές σχέσεις μιας κοινωνικής ομάδας, αλλά επεκτείνεται στη μέτρηση της επίδοσης κάθε λειτουργικού συστήματος που επινοεί και κατασκευάζει ο άνθρωπος, με σκοπό τον καθορισμό του επιπέδου εμπιστοσύνης στη σχέση άνθρωπος-λειτουργικό σύστημα.

Η αξιοπιστία ως παράμετρος της επίδοσης ενός συστήματος άρχισε να μελετάται συστηματικά από το 1930 που, με τη βοήθεια της θεωρίας των πιθανοτήτων εμπειρικές εκφράσεις όπως : «είναι πολύ ή αρκετά αξιόπιστο», αντικαταστάθηκαν βαθμιαία από ποσοτικές εκφράσεις μαθηματικά τεκμηριωμένες. Από τότε και μέχρι σήμερα η τεράστια ανάπτυξη της τεχνολογίας έδωσε μεγάλη ώθηση στη διαμόρφωση μεθόδων και τεχνικών για τη μελέτη της αξιοπιστίας σύνθετων συστημάτων. ([1] , [2] , [3] , [4] , [5])

Ένας γενικά αποδεκτός ορισμός της αξιοπιστίας, ο οποίος χρησιμοποιεί την έννοια της πιθανότητας, δόθηκε στο προηγούμενο Μέρος της παρούσας εργασίας.

Από τον ορισμό γίνεται φανερό ότι η αξιοπιστία εκφράζει το βαθμό ικανοποιητικής επίδοσης ενός συστήματος. Στη γενικότερη έκφρασή της, η αξιοπιστία μπορεί να θεωρηθεί ως ένα μέτρο της σχέσης ανάμεσα στην επίδοση του συστήματος που έχει πραγματοποιηθεί και στην αντίστοιχη απαιτούμενη επίδοση, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα του Διαγράμματος 5.1.

Η «συσχέτιση» (Διάγραμμα 5.1) εκφράζει την πιθανότητα : η επίδοση ενός συστήματος που έχει πραγματοποιηθεί να βρίσκεται μέσα στα όρια της απαιτούμενης επίδοσης



Διάγραμμα 5.1. Γενική Αρχή Αξιοπιστίας

5.2 Βασικές Μέθοδοι Χρησιμοποιούμενες στη Μελέτη της Αξιοπιστίας

Στη μελέτη της αξιοπιστίας ενός συστήματος βασική επιδίωξη είναι ο υπολογισμός της πιθανότητας αποτυχίας του (ποσοτική μελέτη αξιοπιστίας) καθώς επίσης και οι καταστάσεις του συστήματος που οδηγούν στην αποτυχία (ποιοτική μελέτη αξιοπιστίας). Μια τέτοια ανάλυση διευκολύνεται με τη χρήση μεθόδων που αντικαθιστούν το πραγματικό φυσικό σύστημα με κάποιο συμβολικό ή λογικό μοντέλο. Το μοντέλο αυτό πρέπει να συνδυάζει την απλότητα με την ικανότητα προσαρμογής στις ιδιαίτερες λειτουργικές απαιτήσεις των διαφόρων συστημάτων που αναλύονται.

Η χρησιμοποίηση των κατάλληλων μεθόδων για τη μελέτη της αξιοπιστίας πολύπλοκων συστημάτων επιτρέπει στην ομάδα σχεδιασμού ενός συστήματος να δώσει απαντήσεις σε ερωτήματα της μορφής : «πόσο ασφαλές είναι το σύστημα»; και : «ποιο είναι το ανώτατο όριο ασφαλείας που πρέπει να επιδιώκεται»; Απάντηση στο δεύτερο ερώτημα μπορεί να δοθεί με ανάλυση των πιθανών κινδύνων, που μπορεί να προέλθουν από κακή λειτουργία του συστήματος, σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες κοινωνικές επιπτώσεις και τις πρόσθετες οικονομικές επιβαρύνσεις που επιβάλλονται για την κατασκευή ενός πιο αξιόπιστου συστήματος. Οι μεθοδολογίες που αναφέρονται εδώ χρησιμοποιούνται για να δοθεί απάντηση σε ερωτήματα της μορφής « πόσο ασφαλές είναι το σύστημα ; » και συγχρόνως για να εντοπιστούν τα αίτια και οι πιθανές συνέπειες από τη μη σωστή λειτουργία του συστήματος.

Οι περισσότεροι διαδεδομένες μέθοδοι, με εφαρμογή σε σύνθετα συστήματα ανεξάρτητα από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, είναι :

- 1) Η μέθοδος του δέντρου γεγονότων (Event Tree Method)
- 2) Η μέθοδος των λογικών διαγραμμάτων αξιοπιστίας (Reliability Logic Diagram Method)
- 3) Η ανάλυση τρόπων βλάβης και αποτελεσμάτων (Failure Modes and Effects Analysis)
- 4) Η μέθοδος του δέντρου σφαλμάτων (Fault Tree Method)

Σκοπός των μεθόδων αυτών είναι κατ' αρχήν να προσδιοριστεί ποιοτικά η επίδραση κάθε στοιχείου του συστήματος στο σύστημα ως σύνολο. Κατόπιν, οι συντελεστές της επίδοσης του συστήματος που ενδιαφέρουν το μελετητή μπορούν να υπολογιστούν ποσοτικά με τη βοήθεια ορισμένων κανόνων και την κατάλληλη χρησιμοποίηση των αριθμητικών δεδομένων που συνοδεύουν κάθε στοιχείο του συστήματος.

Από τις τέσσερις μεθόδους, που αναφέρθηκαν προηγούμενα, οι τρεις πρώτες είναι επαγωγικές ενώ η τέταρτη είναι αναγωγική. Οι δυο αυτές κατηγορίες μεθόδων δεν είναι ανταγωνιστικές, αλλά αλληλοσυμπληρώνονται και κάθε μια έχει ιδιαίτερη εφαρμογή στη μελέτη της αξιοπιστίας. Η εκλογή της κατάλληλης κατηγορίας εξαρτάται μόνο από τον τύπο της ανάλυσης που επιδιώκει ο μελετητής.

5.3 Επαγωγικές Μέθοδοι

Οι τρεις επαγωγικές μέθοδοι, δηλαδή η μέθοδος του δένδρου γεγονότων, η μέθοδος των λογικών διαγραμμάτων αξιοπιστίας και η ανάλυση τρόπων βλάβης και αποτελεσμάτων, χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση και μελέτη των καταστάσεων ενός συστήματος που προκαλούνται από κάποιο αρχικό γεγονός. Από αυτές τις μεθόδους, οι δύο πρώτες χρησιμοποιούνται για ποιοτική και ποσοτική μελέτη της αξιοπιστίας συστημάτων ενώ η τρίτη είναι κυρίως ποιοτική μέθοδος.

Η μέθοδος του δέντρου γεγονότων έχει ευρεία εφαρμογή ακόμη και σε πολύπλοκα λειτουργικά συστήματα και θεωρείται η βασικότερη από τις επαγωγικές μεθόδους.

Η μέθοδος των λογικών διαγραμμάτων αξιοπιστίας έχει περιορισμένες εφαρμογές κυρίως λόγω της πολυπλοκότητας των διαγραμμάτων σε περιπτώσεις λειτουργικής αλληλεξάρτησης μεταξύ των στοιχείων μεγάλων συστημάτων. Τέλος, η ανάλυση τρόπων βλάβης και αποτελεσμάτων, που είναι κυρίως ποιοτική, περιορίζεται από το γεγονός ότι δεν έχει αυτοματοποιηθεί τελείως με αποτέλεσμα να είναι προβληματική η εφαρμογή της σε μεγάλα συστήματα με χιλιάδες επιμέρους στοιχεία.

5.3.1 Μέθοδος του Δένδρου Γεγονότων

Από τις επαγωγικές μεθόδους, αυτή του δέντρου γεγονότων έχει αποκτήσει πλατιά εφαρμογή στη μελέτη της αξιοπιστίας και ασφάλειας των πυρηνικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. ([6], [7], [8], [9])

Η μέθοδος αυτή δίνει απάντηση στο ερώτημα : «Ξεκινώντας από ένα αρχικό γεγονός ποια μπορεί να είναι τα αποτελέσματα και ποια η πιθανότητα να συμβεί καθένα από αυτά »;

Σ' αυτή τη μέθοδο, ένα αρχικό γεγονός, όταν συνδυαστεί με άλλα γεγονότα, που έχουν αβέβαια αποτελέσματα, δημιουργεί ένα σύνολο από διαφορετικούς κλάδους («δέντρο»), που οδηγούν σε διάφορα τελικά αποτελέσματα. Το αρχικό γεγονός είναι η βάση του δέντρου, ενώ κάθε επόμενο γεγονός παράγει τους διάφορους κλάδους του.

Η κατασκευή του δέντρου αρχίζει με τον καθορισμό του αρχικού γεγονότος καθώς και των υπολοίπων γεγονότων με τη μορφή επικεφαλίδων. Το δέντρο αναπτύσσεται από αριστερά προς τα δεξιά με την προσθήκη, κάτω από κάθε επικεφαλίδα, κλάδων που αντιστοιχούν σε δύο πιθανά αποτελέσματα : επιτυχία του γεγονότος (πάνω κλάδος) και αποτυχία του γεγονότος (κάτω κλάδος). Μετά την πλήρη ανάπτυξή του, το δέντρο περιέχει όλους τους πιθανούς συνδυασμούς των πιθανών αποτελεσμάτων όλων των γεγονότων που αναφέρονται ως επικεφαλίδες, καθώς και όλα τα δυνατά αποτελέσματα που μπορούν να προέλθουν από το θεωρούμενο αρχικό γεγονός. Σ' ένα δέντρο με N επικεφαλίδες, εκτός από τα αρχικά γεγονότα, ο συνολικός αριθμός των δυνατών κλάδων είναι 2^N .

Σε πολλές περιπτώσεις το δέντρο γεγονότων, που αντιστοιχεί σ' ένα σύστημα μπορεί να απλοποιηθεί σημαντικά. Αυτό συμβαίνει όταν ένα γεγονός οδηγεί σ' ένα τελικό αποτέλεσμα ανεξάρτητα από την έκβαση που έχουν τα επόμενά του γεγονότα. Έτσι, το απλοποιημένο δέντρο γεγονότων ενός συστήματος έχει, συνήθως, σημαντικά μικρότερο αριθμό κλάδων από το πλήρες δέντρο. Επομένως, η χρησιμοποίηση του διευκολύνει τον υπολογισμό των πιθανοτήτων των διάφορων φυσικών αποτελεσμάτων.

5.3.2 Μέθοδος λογικών Διαγραμμάτων Αξιοπιστίας

Η μέθοδος των λογικών διαγραμμάτων αξιοπιστίας βρίσκει κυρίως εφαρμογή στη μελέτη μικρών συστημάτων με προκαθορισμένο τρόπο λειτουργίας ([5], [10], [11], [12]).

Τα λογικά διαγράμματα αποτελούνται από τετράγωνα που παριστάνουν κάποιο ιδιαίτερο γεγονός ή τη λειτουργία ενός στοιχείου ενός συστήματος. Τα τετράγωνα αυτά ενώνονται σε αλυσίδες γεγονότων, που με τη σειρά τους συνδέονται μεταξύ τους με λογικές πύλες « ΕΙΤΕ », « ΚΑΙ » ή « ΟΧΙ » ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος το οποίο εξετάζεται. Τα λογικά διαγράμματα μπορεί να είναι διαγράμματα είτε επιτυχίας είτε αποτυχίας. Αυτό καθορίζεται από την τοποθέτηση των κατάλληλων λογικών πυλών στα σημεία ένωσης των αλυσίδων γεγονότων.

5.3.3 Ανάλυση Τρόπων Βλάβης και Αποτελεσμάτων

Η μέθοδος αυτή είναι η πιο σημαντική από αρκετές ποιοτικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται για να βοηθήσουν τον αναλυτή ενός συστήματος στην εξακρίβωση των επιδράσεων που έχουν διάφοροι παράγοντες στο σύστημα ([11], [14]).

Βασικά, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί πίνακες φτιαγμένους από το επιτελείο σχεδιασμού και κατασκευής ενός συστήματος και περιέχει, για κάθε στοιχείο του συστήματος, όλα τα δυνατά σφάλματα που μπορεί να παρουσιάσουν μαζί με την επίδραση κάθε σφάλματος τόσο στο ίδιο το στοιχείο, όσο και στο υπόλοιπο σύστημα. Η ανάλυση τρόπων βλάβης και αποτελεσμάτων εφαρμόζεται είτε μόνη της είτε σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους μελέτης της αξιοπιστίας συστημάτων.

5.4 Αναγωγικές Μέθοδοι

5.4.1. Μέθοδος του Δέντρου Σφαλμάτων

Η μέθοδος του δέντρου σφαλμάτων είναι η μόνη αναγωγική μέθοδος που έχει αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό τα τελευταία 15 χρόνια ([11], [14], [16], [17]).

Η μέθοδος ουσιαστικά δίνει απάντηση στο ερώτημα : «Ποια είναι τα αίτια που προκαλούν ένα ορισμένο γεγονός »;

Σ' αυτή τη μέθοδο ένα δέντρο αναπτύσσεται «προς τα πίσω», δηλ. από το τελικό γεγονός προς τα αρχικά γεγονότα που οδηγούν σ' αυτό.

Στην κατασκευή του δέντρου σφαλμάτων χρησιμοποιούνται ορισμένα σύμβολα, μαζί με τα σύμβολα των πυλών «ΚΑΙ» , «ΕΙΤΕ» και «ΟΧΙ»,τα οποία χρησιμοποιούνται και στα λογικά διαγράμματα αξιοπιστίας μόνο που στη μέθοδο του δέντρου σφαλμάτων παριστάνονται διαφορετικά. Το παραλληλόγραμμο χρησιμοποιείται για να δηλώνει ενδιάμεσα γεγονότα ή το τελικό γεγονός που λέγεται και γεγονός κορυφής (Top Event). Ο ρόμβος συμβολίζει γεγονότα που δεν έχουν αναπτυχθεί τελείως επειδή, σ' ένα ορισμένο στάδιο της ανάλυσης, δεν υπάρχουν τα αντίστοιχα δεδομένα. Σ' ένα μετέπειτα στάδιο ο ρόμβος πρέπει να αντικαθίσταται με άλλες λογικές πύλες ή αρχικά γεγονότα με γνωστά γεγονότα, γιατί αλλιώς το δέντρο σφαλμάτων δεν θεωρείται πλήρες. Τέλος, ο κύκλος δηλώνει αρχικά γεγονότα εισόδου, συνήθως την αποτυχία ενός στοιχείου να λειτουργήσει, με αρκετά δεδομένα ώστε η ανάλυση να μπορεί να σταματήσει σ' εκείνο το σημείο.

Για να αρχίσει να αναπτύσσεται ένα δέντρο σφαλμάτων είναι αναγκαίο να καθοριστεί το γεγονός κορυφής. Μόλις γίνει αυτό, το δέντρο αναπτύσσεται με την εύρεση γεγονότων που, είτε μόνα τους, είτε σε συνδυασμό με άλλα, οδηγούν στο γεγονός κορυφής. Σύνολα γεγονότων, που είναι όλα απαραίτητα για την πραγματοποίηση ενός άλλου γεγονότος οδηγούν σε πύλες «ΚΑΙ». Σύνολα γεγονότων που το καθένα ξεχωριστά μπορεί να συντελέσει στην πραγματοποίηση ενός άλλου γεγονότος οδηγούν σε πύλες «ΕΙΤΕ». Για ένα ορισμένο γεγονός κορυφής μπορεί να υπάρχουν πολλά διαφορετικά, αλλά ισοδύναμα, δέντρα σφαλμάτων.

5.5 Παρατηρήσεις και Συμπεράσματα

Παραπάνω αναπτύχθηκαν τέσσερις βασικές μέθοδοι που εφαρμόζονται στη μελέτη της αξιοπιστίας συστημάτων. Η εφαρμογή των μεθόδων μπορεί να γίνει στην πράξη είτε με συμβατικό τρόπο, είτε με τη βοήθεια ενός ψηφιακού υπολογιστή. Σήμερα, η χρησιμοποίηση συμβατικού τρόπου στην εφαρμογή των μεθόδων αξιοπιστίας είναι πρακτικά αδύνατη λόγω της πολυπλοκότητας των συστημάτων που αναλύονται, αλλά συγχρόνως και αντιοικονομική. Η με το χέρι ανάπτυξη των διαγραμμάτων που αντιστοιχούν σε κάθε μέθοδο αξιοπιστίας έχει πλέον μόνο διδακτική αξία.

Κάτω από τις σημερινές συνθήκες ανάπτυξης τόσο του μεγέθους όσο και της πολυπλοκότητας λειτουργίας των πραγματικών συστημάτων, μόνο ο ηλεκτρονικός υπολογιστής, με κατάλληλα προγράμματα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη της αξιοπιστίας τους. Έτσι, οι περισσότερες ερευνητικές προσπάθειες στρέφονται προς την ανάπτυξη κατάλληλων τεχνικών που να επιτρέπουν την εφαρμογή των μεθόδων αξιοπιστίας μέσω των υπολογιστών. Τέτοιες τεχνικές πρέπει να μην εξαρτώνται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ειδικών συστημάτων, αλλά να είναι δυνατό να εφαρμόζονται σε κάθε σύστημα. Επίσης, η ανάπτυξη τους πρέπει να γίνεται με γνώμονα την οικονομική χρησιμοποίηση του ηλεκτρονικού υπολογιστή (Execution Time) όσο και στο μέγεθος της μνήμης (Storage) που χρησιμοποιείται.

Από τις μεθόδους αξιοπιστίας, η μέθοδος των λογικών διαγραμμάτων έχει περιορισμένη εφαρμογή, όπως αναπτύχθηκε και στην παράγραφο 2.1. Γι' αυτή τη μέθοδο έχουν αναπτυχθεί προγράμματα ([10], [12], [18]) που δέχονται ως δεδομένα τις εισόδους και τις εξόδους κάθε τετραγώνου του διαγράμματος και παρέχουν ως αποτέλεσμα τόσο τις πιθανότητες να συμβούν τα διάφορα φυσικά αποτελέσματα που προέρχονται από το θεωρούμενο αρχικό γεγονός όσο και τους συνδυασμούς καταστάσεων του συστήματος που οδηγούν στα φυσικά αποτελέσματα (Out Sets). Το μειονέκτημα των προγραμμάτων αυτών είναι ότι οι συνδυασμοί των καταστάσεων του συστήματος που οδηγούν στα φυσικά αποτελέσματα δίνονται υπό τη μορφή λογικών προτάσεων. Επομένως, ο μελετητής πρέπει να αναλύσει με το χέρι

τις λογικές προτάσεις, ώστε οι παρεχόμενες πληροφορίες να μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν από την ομάδα σχεδιασμού του συστήματος.

5.6 Προγράμματα

Προγράμματα υπάρχουν, επίσης και για τις πιο διαδεδομένες μεθόδους αξιοπιστίας, δηλαδή, τη μέθοδο του δέντρου σφαλμάτων και αυτή του δέντρου γεγονότων. Για τη μέθοδο του δέντρου γεγονότων αναφέρονται προγράμματα που έχουν εφαρμογή σε καθορισμένα συστήματα ([6] , [8]), καθώς επίσης και ένα μόνο πρόγραμμα ([13]) (απ' όσο τουλάχιστον γνωρίζει ο συγγραφέας) που έχει εφαρμογή σε οποιοδήποτε πολύπλοκο σύστημα. Τα προγράμματα αυτά δέχονται ως δεδομένα την τοπολογία και λειτουργία του συστήματος καθώς επίσης και ένα αρχικό γεγονός και παρέχουν, ποιοτικά και ποσοτικά (εφ' όσον υπάρχουν αριθμητικά δεδομένα), τη συμπεριφορά του συστήματος μετά την εμφάνιση του θεωρούμενου αρχικού γεγονότος. Επιπλέον το πρόγραμμα ([13]) αναγνωρίζει τους συνδυασμούς καταστάσεων του συστήματος που οδηγούν στα διάφορα φυσικά αποτελέσματα (Out Sets) και υπολογίζει τις αντίστοιχες πιθανότητες (εφ' όσον απαιτείται).

Για τη μέθοδο του δέντρου σφαλμάτων αναφέρονται προγράμματα που είτε αναπτύσσουν το δέντρο ([11] , [19] , [20]), είτε το επιλύουν αριθμητικά ([21] , [22] , [23] , [24] , [25] , [26] , [27] , [28] , [29]). Τα προγράμματα που αναπτύσσουν το δέντρο δέχονται σα δεδομένα την τοπολογία και τη λειτουργία του συστήματος καθώς επίσης και το γεγονός κορυφής και παρέχουν σαν αποτέλεσμα όλες τις πύλες του δέντρου μαζί με τις εισόδους κάθε πύλης. Τα προγράμματα ([21] , [22] , [23] , [24] , [25] , [26]) επιλύουν το δέντρο απ' ευθείας, όπως ακριβώς και το παράδειγμα της παραγράφου 2.2.1. Τα προγράμματα ([25] , [27] , [28] , [29]) επιλύουν το δέντρο μέσω των συνδυασμών καταστάσεων του συστήματος που οδηγούν στο γεγονός κορυφής (Out Sets). Τα προγράμματα και των δύο κατηγοριών δέχονται σα δεδομένα που συνοδεύουν τα στοιχεία του συστήματος και παρέχουν σαν αποτέλεσμα την πιθανότητα να συμβεί το γεγονός κορυφής.

Πριν κλείσει το άρθρο, πρέπει ακόμα να τονιστεί ότι εκτός από τις βασικές μεθόδους, έχουν αναπτυχθεί ειδικές μέθοδοι για τη μελέτη την αξιοπιστίας ειδικών συστημάτων. Από αυτές ιδιαίτερη ανάπτυξη και εφαρμογή έχουν οι μέθοδοι που

χρησιμοποιούνται στη μελέτη της αξιοπιστίας των ηλεκτρικών δικτύων μεταφοράς και διανομής.

Η ανάλυση, όμως, των μεθόδων αυτών πιστεύεται ότι ξεφεύγει από τα όρια τού άρθρου και γι 'αυτό, παραπομπή γίνεται στα βιβλία του R.Billinton ([30] , [31]).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΡΟΤΥΠΩΝ

6.1 Μακροχρόνια Αποτίμηση Προβλέψεων Σχεδιασμού Μεταφορών

Οι εφαρμογές σχεδιασμού μεταφορών συνήθως ρυθμίζουν τα πρότυπα για κάποιο έτος βάσης και έπειτα προβάλλουν ετήσιες προγνώσεις. Εντούτοις, οι κατασκευαστές προτύπων σπανίως αποτιμούν την ακρίβεια των προβλέψεών τους χρησιμοποιώντας σειρές δεδομένων παρελθόντων ετών για να προβλέψουν τις παρούσες συνθήκες. Αυτό περιπλέκεται από το γεγονός ότι οι μακροχρόνιες σειρές δεδομένων για μια γεωγραφική περιοχή υπερβαίνουν την ασυμβατότητα των δεδομένων - υπάρχουν αλλαγές εκεί που δίνεται έμφαση στο σχεδιασμό, προσωρινές αλλαγές στα χαρακτηριστικά των μετακινήσεων και προστιθέμενη πολυπλοκότητα στα πρότυπα. Επιπροσθέτως, εάν νέα στοιχεία δεδομένων χρειάζονται για τη βελτίωση των προτύπων, αυτά δε θα είναι διαθέσιμα στην ιστορική σειρά δεδομένων. Σε μια προσπάθεια να δοκιμαστεί η ικανότητα, χρησιμοποιώντας δεδομένα παλαιότερου σχεδιασμού, να προβλέφθει το παρόν, επιλέχθηκε μια περιοχή μελέτης για την οποία ήταν διαθέσιμα δεδομένα μεταφορικού σχεδιασμού σε τρεις χρονικές στιγμές για μια 25-ετή περίοδο. Γίνεται επίσης λόγος για την εμπειρία της δημιουργίας μιας μακροχρόνιας σειράς δεδομένων για έλεγχο και παρουσίαση του πώς μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει μακροχρόνια δεδομένα για να εξακριβώσει την ικανότητα παράτασης των δομών των δεδομένων με το χρόνο. Μερικές απλές πραγματοποιήσιμες προσεγγίσεις μπορούν να παρουσιαστούν. Παρόλο που μπορεί να είναι σε πιο αδρές γραμμές από το επιθυμητό, μεταφέρουν το πώς κάποιος μπορεί να σχεδιάσει πρότυπα τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν και στο χρόνο βάσης και αργότερα, στο έτος πρόβλεψης, παρά τις αλλαγές στις μεταφορές και τις δραστηριότητες χρήσεις γης.

6.1.1 Εισαγωγή

Στις 27 Ιανουαρίου 1997, η περιφερειακή δικαστής Ηνωμένων Πολιτειών Suzanne B. Conlon έβγαλέ απόφαση για μια Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Μ.Π.Ε.) η οποία κατατέθηκε από την Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Αυτοκινητοδρόμων και άλλους φορείς. Η μελέτη αφορούσε μια οδό μήκους 20,1 Km με διόδια η οποία απέτυχε να συμμορφωθεί με τις εθνικές οδηγίες για το περιβάλλον. Οι ενάγοντες εξέφρασαν το ότι « οι εθνικές οδοί παράγουν ζήτηση μετακινήσεις και γενικώς επέκταση, μόνο και μόνο από την ύπαρξή τους » και επομένως η Μ.Π.Ε θα έπρεπε να είχε περιλάβει προβλέψεις βασισμένες στο σενάριο του να φτιαχτεί ή όχι ο δρόμος με διόδια. Οι κατηγορούμενοι ανταπάντησαν ότι μια τέτοια μελέτη δεν ήταν εφικτή. Η επίσημη δικαστική απόφαση σημείωνε ότι, για να συμμορφωθεί με την Πράξη Εθνική Περιβαλλοντικής Πολιτικής « η τελική μελέτη επιπτώσεων απαιτείτο το ελάχιστο να εξηγήσει με ένα εκφραστικό τρόπο γιατί μια τέτοια μελέτη δεν ήταν δυνατή ». Εν συντομία, στην απόφαση δηλώνεται ότι το δικαστήριο δεν απαιτεί « ότι η τελική δήλωση μελέτης πρέπει να περιέχει μια κοινωνική και οικονομική πρόβλεψη η οποία να αντανakλά τις επιδράσεις συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης του δρόμου διόδων ». Αντιθέτως, το δικαστήριο έδωσε τη δυνατότητα είτε να συμπεριληφθεί μια τέτοια πρόβλεψη, είτε να δηλώσουν στη Μ.Π.Ε. ότι γιατί μια τέτοια πρόβλεψη δεν μπορούσε να πραγματοποιηθεί.

Κατά την τελευταία άποψη, η χρήση ιστορικών δεδομένων μπορεί να θέσει το εξής ερώτημα : μπορεί κανείς να υπολογίσει την σωστή πρόβλεψη εντός αποδεκτών ορίων ακριβείας ; Για να απαντηθεί αυτή η ερώτηση, χρειάζεται να είναι γνωστή η ακρίβεια των μεταφορικών προτύπων του σχεδιασμού μας. Δηλαδή, ενώ μπορεί να αξιώνει κανείς πολυάριθμες συσχετίσεις οι οποίες να εξηγούν την εξελισσόμενη αιτιότητα μεταξύ μεταφορών και χρήσεων γης, μπορεί να είναι δύσκολο γι' αυτές να τεθούν ως δεδομένες για το κοινό, εάν η μόνη απόδειξη είναι ο λόγος των σχεδιαστών. Θα ήταν καλύτερα εάν κάποιος θα μπορούσε να καταθέσει με αυτοπεποίθηση το πόσο εφικτό είναι το να γίνουν τέτοιες προβλέψεις.

Μια πορεία δράσης θα ήταν να γίνουν οι προγνώσεις τώρα, να περιμένει κανείς το μέλλον και τότε να συγκριθεί το τι έχει προβλεφθεί με αυτό που συνέβη. Παρομοίως, για να αποκομίσουν μερικές απαντήσεις σήμερα, κάποιος μπορεί να χρησιμοποιήσει ιστορικά δεδομένα για να βρούμε την σημερινή κατάσταση. Οι προγνώσεις ποτέ δε θα αντιγράψουν τα πραγματικά αποτελέσματα στην εντέλεια,

καθώς τα ιστορικά δεδομένα μπορεί να μην είναι τόσο πλήρη όσο τα τωρινά και κάθε γεωγραφική περιοχή μελέτης αναμφίβολα θα αλλάζει σε όρους μεγέθους, εμβέλειας, αλληλεπιδράσεων και συμπεριφοράς γενέσεως μετακινήσεων. Από εκεί και πέρα, η θεωρία προχωρεί. Ακόμα, με μια διαδικασία ιστορικής εξέλιξης, κάποιος μπορεί να υποθέτει την πιθανή ακρίβεια των προβλέψεων που παράχθηκαν από μια απλή σειρά δεδομένων πολλά χρόνια πριν. Εν συντομία, εάν κανείς ξέρει πόσο καλά ένα πρότυπο δούλεψε όταν χρησιμοποιούσαμε δεδομένα της δεκαετίας του '70 για να γίνουν προβλέψεις για τα δεδομένα της δεκαετίας του '90, τότε μπορεί κάποιος να έχει μια ιδέα για το πόσο καλά αυτή η προσέγγιση μπορεί να κάνει προβλέψεις για το έτος 2010 με δεδομένα του '90. Υπό τον όρο ότι κάποιος μπορεί να αποκτήσει παρόμοια στοιχεία δεδομένων μεταξύ δύο περιόδων μελέτης, αυτό θα είναι ένας λογικός έλεγχος.

6.1.2 Σκοπός και πεδίο δράσης

Για να προσδιοριστεί το επίπεδο αξίας ενός προτύπου, οι σχέσεις μεταξύ των μεταφορών και χρήσεων γης, οι οποίες εγκαθίστανται στο έτος βάσης, θα πρέπει να ελεγχθούν για εγκυρότητα στο έτος πρόβλεψης. Άρα ο στόχος αυτής της προσπάθειας είναι να εκτελεστεί ένας τέτοιος έλεγχος με μια κατάλληλη περιοχή μελέτης, υπερνικώντας προκλήσεις που θα απέρρεαν από συλλογή δεδομένων από μια 20-ετή περίοδο. Είναι, φυσικά, αναμενόμενο ότι λάθη στο έτος πρόβλεψης θα είναι μεγαλύτερα από λάθη στο έτος βάσης καθώς το έτος βάσης αντιπροσωπεύει τη σειρά δεδομένων «δοκιμασίας» και το έτος πρόβλεψης αντιπροσωπεύει τη σειρά δεδομένων «απαιτήσεων». Κάποιος τότε θα έδειχνε το πώς συγκεκριμένες δυνατότητες πολιτικής θα παρουσιάζονταν στο κοινό ως μια λειτουργία της προκύπτουσας επίδοσης του προτύπου με δεδομένα από το έτος βάσης και δεδομένα από το έτος πρόβλεψης. Δηλαδή, οι προβλέψεις θα πρέπει να παρουσιάζονται όχι σαν ακατέργαστα στοιχεία δεδομένων αλλά αντιθέτως, με μια εκτίμηση του έμφυτου λάθους σε κάθε πρόβλεψη.

Η άποψη αυτής της μελέτης είναι περιορισμένη σε θέματα που θα πρέπει να ξεπεραστεί για να διεξαχθεί ρεαλιστικά ένα τέτοιο έλεγχο. Για να φτάσει κανείς σε αυτό το στόχο της μελέτης τα παρακάτω θέματα ανέκυψαν :

- Προετοιμασία μιας σειράς δεδομένων για το έτος βάσης και μια δεύτερη σειρά δεδομένων για το έτος πρόβλεψης για μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Η περίοδος βάσης και πρόβλεψης θα πρέπει να είναι διαφορετικές κατά μια δεκαετία ή κάποια παρόμοια ποσότητα χρόνου που επιτρέπει σε κάποιον να αποτιμήσει την προσωρινή σταθερότητα των υποθέσεων του προτύπου-κλειδιού.
- Χρήση της σειράς δεδομένων για την ανάπτυξη ενός προτύπου που υπολογίζει την ανάπτυξη γης για το έτος βάσης σε συνάρτηση της δραστηριότητας του μεταφορικού συστήματος για το έτος βάσης.
- Χρήση του προτύπου για να γίνει πρόγνωση της ανάπτυξης της γης στο έτος πρόβλεψης για τη δραστηριότητα των μεταφορικών συστημάτων στο έτος πρόβλεψης.
- Σύγκριση της προβλεπόμενης από το πρότυπο ανάπτυξης γης για το έτος πρόβλεψης με την πραγματική ανάπτυξη γης για το έτος πρόβλεψης.

6.1.3 Ανασκόπηση

Εξαιτίας του ότι η προετοιμασία των δεδομένων είναι τόσο χρονοβόρα, είναι φυσική η ερώτηση : « τι έχουν κάνει άλλοι στην περιοχή αυτή ; ». Η αξία της βιβλιογραφικής ανασκόπησης είναι η ενδελεχής διερεύνηση των περιπτώσεων όπου αποτιμήσεις προγνώσεων για το έτος πρόβλεψης έχουν γίνει. Υπήρξαν πρόσφατες απαιτήσεις για την αποτίμηση της ακρίβειας των προβλέψεων από πρότυπα τα οποία αφορούν ελαττώματα προτύπων ευρείας κλίμακας, όπως μια μη ρεαλιστική κατάσταση της ακρίβειας. Το Συμβούλιο Εθνικών Ερευνών σημειώνει ότι βελτιώσεις σε πρότυπα μπορεί να αποτιμηθούν με το «να βαθμονομηθούν πρώτα τα πρότυπα σε ιστορικά δεδομένα και μετά να ελεγχθεί την ικανότητά τους να προβλέψουν το παρόν» [1]. Ακόμα, υπάρχουν λίγες περιπτώσεις μακροπρόθεσμης αποτίμησης για ολόκληρη τη διαδικασία σχεδιασμού. Οι μακροχρόνιες μελέτες που διεξάγονται πρέπει να έχουν μικρό ορίζοντα ή να θέτουν το πρόβλημα της αλλαγής των συσχετισμών όσο περνάει ο χρόνος.

6.1.4 Ορίζοντας Μικρού Χρόνου μεταξύ των Ετών Βάσης και Πρόβλεψης

Ο μικρότερου χρονικού ορίζοντα προγραμματισμός είναι περισσότερο εφικτός. Σε μια επισκόπηση μεθόδων κατανομής χρήσεων γης έχει σημειωθεί σημείωσε ότι πρακτικά δεν υπήρξαν εξελίξεις στην ακρίβεια του σχεδιασμού προγνωστικών προτύπων. Μια εξαίρεση ήταν το πρότυπο της βελτιστοποίησης του Προγράμματος του Συστήματος Χρήσης Γης όπου, με μια 5-ετή διαφορά μεταξύ της βαθμονόμησης του έτους βάσης και του έτους πρόβλεψης, προέβλεψε την κατοίκηση και την απασχόληση με τιμές του R^2 στα 0,74 και 0,78 αντίστοιχα. Παραπέρα, χρησιμοποιώντας έτος βάσης το 1980 και το 1985 ως έτος πρόβλεψης ανακτήθηκε σχετικά καλή συσχέτιση μεταξύ τις προβλεπόμενες τιμές του 1985 και τις πραγματικές τιμές του 1985 για την απασχόληση και τον τύπου νοικοκυριού. Ακόμα και με αυτή την 5-ετή διαφορά ο ίδιος συγγραφέας κατέδειξε προβλήματα τα οποία ανακύπτουν από την ασυμβατότητα των δεδομένων, όπως ανομοιότητα μεταξύ του πώς η απασχόληση ταξινομήθηκε μεταξύ των δύο χρονικών περιόδων.

Δεδομένα αποτύπωσης από την περιοχή του Orlando έδειξαν ότι οι γνώμες που αφορούν την επιλογή μέσου παρέμειναν σταθερές μεταξύ του 1973 και του 1978. Παρομοίως, από μια σειρά δεδομένων προηγούμενη της κατασκευής του Συστήματος Ταχείας Διέλευσης από την Bay Area, μια έρευνα του 1973-1974 μια του 1975, βγήκε ως συμπέρασμα ότι οι εκτιμήσεις συντελεστών ενός προτύπου που προέβλεπε την επιλογή μέσου για διαδρομές εργασίας θα παρέμεναν σταθερές στο άμεσο μέλλον. Μια προειδοποίηση έγινε, το ότι καθώς ο ορίζοντας σχεδιασμού αυξάνει, τόσο γίνεται λιγότερο πιθανό ένα πρότυπο να συνεχίσει να αντανακλά επιλογές διαδρομών

Τελικά, η επιμήκυνση της διαφοράς μεταξύ των ετών βάσης και πρόβλεψης μπορεί να θέσει προβλήματα δεδομένων : Μια σύγκριση μεταξύ των ανταποδοτικών προτύπων του San Francisco μεταξύ του 1981 και του 1989 απέδωσε « ασυμβατότητες στις πηγές δεδομένων » παρόλο που, ο ερευνητής μπορούσε να μελετήσει σχέσεις μεταξύ της συνολικής απόστασης και του εισοδήματος τα οποία εκτυλίσσονταν εκείνη την περίοδο. Η ανάπτυξη της περιοχής μελέτης και επομένως η μετακίνηση της ζώνης ελέγχου είναι ένα σύνηθες αποτέλεσμα της ανάπτυξης και περιπλέκει περισσότερο της διαδικασίας συλλογής δεδομένων.

6.1.5 Αλλαγές στη Μακροπρόθεσμη Σχέση

Καθώς ο ορίζοντας μεγαλώνει πέραν μερικών χρόνων, οι ακριβείς προβλέψεις είναι δυσκολότερο να επιτευχθούν. Μια επισκόπηση προβλέψεων των επιπέδων επιβιβάσεων για μεγάλα έργα σιδηροδρομικών δημοσίων μεταφορών έδειξε ότι τα πραγματικά επίπεδα επιβιβάσεων ήταν μεταξύ 28 και 85% μικρότερα από αυτά που είχαν προβλεφθεί πριν από την κατασκευή των εγκαταστάσεων. Ο μακρύς ορίζοντας μεταξύ του έτους βάσης και πρόβλεψης προσφέρεται ως ένας συνεισφέρον παράγοντας στη ανομοιότητα μεταξύ των προβλεπόμενων και των πραγματικών επιπέδων επιβιβάσεων, καθώς προσθέτει αβεβαιότητα σε ανεξάρτητες μεταβλητές κλειδιά που αντανακλούν τα πρότυπα απασχόλησης και πληθυσμού, το κόστος των αυτοκινήτων, ή οικονομικές συνθήκες. Παρόλο που ανέφερθηκε ότι οι αποτυπώσεις των νοικοκυριών για την περιοχή του San Francisco από το 1965, 1981 και το 1990 ήταν αρκετά συμβατές με την επικυρωμένη σύγκριση των ρυθμών γενέσεως μετακινήσεων, σημείωσε την ανάγκη αναβάθμισης των προτύπων γενέσεως μετακινήσεων εκτός εργασίας. Μια άλλη μελέτη αποκάλυψε ότι τα επίπεδα κυκλοφορίας του 1989 που είχαν προβλεφτεί από το έτος βάσης 1983, ήταν ουσιαδώς χαμηλότερα από τα πραγματικά επίπεδα κυκλοφορίας. Αυτό, εξαιτίας των παραμέτρων επιλογής διαδρομής που καθορίζουν το κόστος του χρήστη το οποίο αρχικά αναπτύχθηκε το 1981 και είχαν αξιοσημείωτα αλλάξει από τότε. Βασιζόμενοι σε μια έρευνα του 1983 πριν το άνοιγμα ενός συστήματος σιδηροδρόμου εντός πανεπιστημιούπολης, είχε εκτιμηθεί ότι 427 άτομα θα χρησιμοποιούσαν το σύστημα ημερησίως. Μια έρευνα του 1987, αφού το σύστημα κατασκευάστηκε, έθεσε την τιμή αυτή στο 350. Κρατάμε ότι το λάθος αυτό του 18%, προέκυψε μετά μια μονό 4-ετή διαφορά μεταξύ των ετών βάσης και πρόβλεψης, αντικατοπτρίζει ένα συναθροιστικό χαρακτηριστικό και αντιπροσωπεύει μόνο ένα βήμα σε μια τυπική διαδικασία σχεδιασμού πολλών βημάτων. Εάν ο υπολογισμός αυτός είχε γίνει μέρος ενός μεγαλύτερου σχεδίου μεταφορών, το λάθος από τις επιβιβάσεις θα είχε πολλαπλασιαστεί σε συνύπαρξη με άλλα προκύπτοντα λάθη από τη γένεση των μετακινήσεων, την κατανομή των μετακινήσεων και τα βήματα κατανομής κυκλοφορίας όπως επίσης και από μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ των ετών βάσης και πρόβλεψης.

6.1.6 Σημασία Μακροχρόνιων Μελετών

Η βιβλιογραφία επίσης αποδεικνύει ότι οι διορατικές απόψεις μπορούν να σταχυολογηθούν όταν κάποιος διεξάγει μακροχρόνιες αποτιμήσεις. Σε μια αναδρομική εξέταση της Μελέτης Μεταφορών περιοχής Chiacago του 1962 εξήγηθηκε ότι οι προβλέψεις του 1980 για τη ζήτηση των μετακινήσεων οι οποίες ήταν ακριβείς εν μέρει εξαιτίας υπερεκτιμήσεων πληθυσμού και απασχόλησης, μετριάστηκαν με υποεκτιμήσεις του αριθμού των μετακινήσεων ανά άτομο. Ένα παράδειγμα δοσμένο για την πόλη είναι το ότι ο πληθυσμός υπέρ -προβλέφθηκε κατά 23% όταν η κατοχή οχημάτων υπό – προβλέφθηκε κατά 24%. Επτά πρότυπα επιλογής μέσου (για τον προσδιορισμό του εάν οι μετακινήσεις θα πρέπει να είναι με αυτοκίνητο, με δημόσιες μεταφορές ή πεζή) τα οποία καθορίστηκαν λεπτομερώς από μια σειρά δεδομένων του 1964, ελέγχθηκαν με δεδομένα του 1986 για το Torondo. Το πρότυπο το οποίο είχε την καλύτερη προσαρμογή με την βαθμονόμηση των δεδομένων από το 1964 δεν παρουσίασε το καλύτερο με τα δεδομένα του 1986. Οι ερευνητές πρότειναν ότι το πρότυπο υπέφερε εξαιτίας ενός φαινομένου υπερβολικής εκπαίδευσης : ήταν τόσο προσανατολισμένο στα δεδομένα του 1964, ώστε αλλαγές στο αστικό περιβάλλον ήταν περισσότερο επιζήμιες σε αυτό το πρότυπο από τα περισσότερο γενικευμένα πρότυπα.

Τα αποτελέσματα από τη βιβλιογραφία εμφανίζονται αδρά, με σεβασμό στη μέτρηση της επίδοσης της διαδικασίας σχεδιασμού του έτους πρόβλεψης στην ολότητά της. Καθώς ο ορίζοντας σχεδιασμού γίνεται ευρύτερος, η σύγκριση της επίδοσης του έτους πρόβλεψης με πραγματικά περιστατικά γίνεται όλο και λιγότερο εφικτή, ιδιαιτέρως όταν πολλαπλά μέρη της μεθοδολογίας σχεδιασμού παρουσιάζονται, καθένα κτιζόμενο πάνω στο αποτέλεσμα του προηγούμενου μέρους. Είναι σπάνιο ένας να κατακυρώνει τις τιμές για το έτος προβλέψεων από ένα σημείο στο παρελθόν, ιδιαιτέρως όταν υπάρχουν επακόλουθα υπολογιστικά βήματα. Όταν κάποιος εκτελεί μια τέτοια κατακύρωση, τα αποτελέσματα είναι μη αναμενόμενα και μη διαισθητικά.

6.1.7 Προετοιμασία και Επαλήθευση Δεδομένων

Η περιοχή μελέτης του Charlottesville, Va. επιλέχθηκε για την ανάλυση του προτύπου και τον έλεγχό του. Κάποιοι λόγοι κλειδιά είναι υπεύθυνοι γι' αυτή την απόφαση. Πρώτον, πρόσφατα δεδομένα σχεδιασμού ήταν διαθέσιμα για την περιοχή μελέτης. Δεύτερον, ιστορικά δεδομένα ήταν επίσης διαθέσιμα για την περιοχή μελέτης, παρόλο που αυτά τα δεδομένα θα πρέπει να αποκτηθούν από πολλαπλές υπηρεσίες και ο απαιτούμενος ουσιαστικός χειρισμός να είναι προσφερόμενος με συνέπεια στο χρόνο. Τρίτον, η περιοχή μελέτης ήταν εύχρηστου μεγέθους με ένα πληθυσμό περί τις 100.000, αντιθέτως με μεγαλύτερες περιοχές με κάποια εκατομμύρια κατοίκους. Αυτό επέτρεπε σε κάποιον να εστιάζει σε φαινόμενα προτυποποίησης παρά να ξοδεύει ενέργεια αποκλειστικά στη συλλογή δεδομένων, αφού θα έχει περιοχές με δεκάδες χιλιάδες ζώνες. Παραπέρα, υπήρχε μια υπηρεσιακή υποστήριξη για την ανάκτηση χαμένα στοιχεία δεδομένων : λεπτομερή αρχεία έργων σε διαφορετικές τοποθεσίες αποδείχτηκαν ζωτικής σημασίας. Τελικά, οι συγγραφείς και αρκετά άτομα τα οποία επιθεώρησαν την αναφερόμενη εδώ μακροχρόνια μελέτη, ήταν οικεία με τη γεωγραφική περιοχή και μπορούσαν να ερμηνεύσουν τη σημασία των αποτελεσμάτων των προτύπων.

Τρεις βασικές σχεδιαστικές μελέτες διεξήχθησαν στην περιοχή Charlottesville από τα τέλη της δεκαετίας του '60 : μια δημοσιεύτηκε το 1967, μια βασισμένη σε δεδομένα του 1979 και μια δημοσιευμένη το 1990. Οι μελέτες του 1967 και 1990 έγιναν μέσα σε μικρή χρονική περίοδο. Η μελέτη του 1979 ξεκίνησε το 1974, βασίστηκε σε κυκλοφοριακές μετρήσεις του 1979, χρησιμοποίησε μια τεχνική έκθεση του 1982 και δημοσιεύτηκε το 1985. Η περιοχή άλλαξε ουσιαστικά κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου και σε μέγεθος και σε κατανομή δραστηριοτήτων χρήσης γης. Γι' αυτό το λόγο τα μεταφορικά δεδομένα του έτους βάσης ήταν δεδομένα για τρία χρονικά σημεία : 1967, 1979 και 1990, παρόλο που τα τρία αυτά « φωτογραφικά στιγμιότυπα » ήταν ατελή.

Οι μελέτες σχεδιασμού διαφέρουν από γεωγραφικής άποψης, με ουσιαστική ανάπτυξη μεταξύ του 1967 και 1990. Τα δεδομένα σχεδιασμού οργανώθηκαν κατά ζώνη και κάθε μια μελέτη χρησιμοποίησε μία διαφορετική διάταξη ζώνης : η περιοχή μελέτης αποτελούνταν από 43 ζώνες το 1967, 128 ζώνες το 1979 και 228 το 1990. Αρχικές προσπάθειες να επικαλύφθουν παραστατικά τις μελέτες δεν αποδείχθηκαν καρποφόρες εξαιτίας του ότι μια ακέραιη αντιστοιχία δεν υπάρχει απαραίτητως ανάμεσα στις ζώνες : για παράδειγμα, η ζώνη x από τη μελέτη του 1967 δεν

αντιστοιχούσε κατευθείαν στις ζώνες a και b από τη μελέτη του 1979. Συνεπώς, ρέματα, οδοί, δικαιοδοτικά όρια και άλλα χαρακτηριστικά αναλύθηκαν με τα αρχεία του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) του 1990 για να κατανοηθούν καλύτερα τα όρια των ζωνών για τα έτη 1967, 1979 και 1990.

Η εφαρμογή του GIS είχε ως αποτέλεσμα να βρεθούν δεδομένα κοινωνικοοικονομικά, χρήσεων γης και μεταφορών για μια περιοχή μελέτης 50 ζωνών. Έτσι από τις μελέτες του 1967, του 1979 και του 1990, όπως επίσης και την προσπάθεια του GIS, μία λεπτομερή μακροπρόθεσμη σειρά δεδομένων σχεδιασμού συντέθηκαν με χρήση του συστήματος των 50 ζωνών. Εξετάζοντας τότε τα αρχικά δεδομένα βάσης που χρησιμοποιήθηκαν για τις μεταφορικές μελέτες του 1967, 1979, 1990 σε αυτό το περιβάλλον του GIS, ήταν γενικά πιθανό να προσδιοριστούν δεδομένα χρήσης γης, όπως εμπορικές και οικιστικές χρήσεις, κοινωνικοοικονομικά δεδομένα, όπως πληθυσμός, απασχόληση, μονάδες κατοικίας, ιδιοκτησία Ι.Χ. και εργασία. Επίσης προσδιορίστηκε ένα μητρώο μετακινήσεων οχημάτων προέλευσης-προορισμού μεταξύ διαφόρων ζωνών σε μια 24-ωρη περίοδο, για κάθε ζώνη σε κάθε χρονική περίοδο. Κάθε διασύνδεση του δικτύου οδών σχετίστηκε με την (τις) ανάλογη(ες) ζώνη(ες). Αυτά τα δεδομένα περιελάμβαναν αποστάσεις, ταχύτητες, 24-ώρους φόρτους, τύπους οδών, και τον αριθμό των λωρίδων.

Υπήρξε μια δυνατότητα να επαληθευσης μερικά από τα βήματα σύνθεσης δεδομένων. Για παράδειγμα, ήταν πιθανό να εκτιμήθει πόσο καλά οι ζώνες επικαλύπτονταν ανάμεσα στις μελέτες. Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, η απογραφή της περιοχής των οδών, ρεμάτων, και δικαιοδοτικών ορίων εξετάστηκαν για να δημιουργηθούν ζωνικές επικαλύψεις για τα έτη 1976, 1979, 1990. Αυτό επιτρέπει να ξέρει κάποιος, για παράδειγμα, ποιες ζώνες του 1979 αντιστοιχούν σε ποιες ζώνες του 1967 και τι σχέση έχουν αυτές οι ίδιες ζώνες με τις ζώνες του 1990, κ.ο.κ. Σε ένα ξεχωριστό μνημόνιο, βρισκόμενο στο αρχείο του έργου, οι 43 ζώνες σχετικές με τη μελέτη του 1967, είχαν ταξινομηθεί σε 16 περιφέρειες. Για 10 από αυτές τις περιοχές το ολικό μέρος της περιοχής ήταν διαθέσιμο. Παρόλο που τα μεγέθη των ζωνών του 1967 δεν μπορούσαν να αποκτηθούν τα μεγέθη των ζωνών του 1979 ήταν διαθέσιμα. Έτσι, τα ολικά δεδομένα περιοχών περιφέρειας συγκρίθηκαν με τα υπολογισμένα ολικά δεδομένα του 1967, όπου αυτά τα τελευταία ήταν βασισμένα σε δεδομένα με συσχέτιση ζωνών του 1979 (των οποίων οι περιοχές είναι γνωστές) με ζώνες του 1967 (των οποίων οι περιοχές δεν είναι γνωστές).

Οι δημοσιευμένες τελικές αναφορές από σπουδές σχεδιασμού δεν περιείχαν όλα τα απαραίτητα δεδομένα, ιδιαιτέρως στο έγγραφο του 1990. Για να γεμιστεί αυτά τα κενά δεδομένων, επιπρόσθετες πληροφορίες αναζητήθηκαν από μεμονωμένα άτομα, αδημοσίευτες έρευνες, προηγούμενες προσπάθειες σχεδιασμού, ιστορικά υπομνήματα, περιοδικές κυκλοφοριακές μετρήσεις και αποθηκευμένες χειρόγραφες σημειώσεις. Το επίσημο αρχείο του έργου έργο Virginia DOT των σχετικών αναφορών αποδείχτηκε ανεκτίμητης αξίας καθώς πολλά δεδομένα ήταν στοιχειώδη αλλά αδημοσίευτα. Ουσιώδη εμπόδια όπως ημιτελείς πληροφορίες, αντιφάσεις όπως το πώς κάποιες μεταβλητές μετρήθηκαν και η ανακατασκευή των οδών παρακώλυσαν τις συνδέσεις των δεδομένων. Οι μέθοδοι για να ξεπεράσουν αυτούς τους περιορισμούς είναι πλήρως τεκμηριωμένες.

Παρ' όλα αυτά, αφού αναλογιστεί κανείς αυτές τις ατέλειες, κάποιος μπορεί να ρωτήσει εάν αυτές υποστηρίζουν μια βαθύτερη ανάλυση, αφού ατέλειες με άλλες σειρές δεδομένων σχεδιασμού δεν έχουν παρατεθεί. Αυτό είναι ακριβώς το σημείο : τα δεδομένα σχεδιασμού έχουν ατέλειες ακόμα και εντός μιας μεμονωμένης χρονικής περιόδου. Εντός πολλαπλών χρονικών περιόδων τα δεδομένα γίνονται ακόμα πιο προβληματικά. Μέχρι κάποιος να ξεκινήσει να χρησιμοποιεί δεδομένα γι' αυτόν τον τύπο αποτίμησης, αυτές οι « ατέλειες » πιθανότατα θα αγνοηθούν. Ακόμα οι ατέλειες έχουν αντίκτυπο όχι μόνο στην ικανότητά κάποιου να προβλέψει αλλά ακόμα και στην δυναμικότητά του να καταλάβει την χρησιμότητα των προβλέψεων του σε μια μικροσκοπική κλίμακα.

6.1.8 Εφαρμογή των Προτύπων

Όταν δυο σειρές δεδομένων από τη μελέτη έχουν συντεθεί, κάποιος μπορεί τότε να χρησιμοποιήσει αυτές τις σειρές δεδομένων των ετών βάσης και πρόβλεψης για να βαθμονομήσει και να αποτιμήσει, αντιστοίχως, την ικανότητα ενός προτύπου να προβλέπει. Μπορούν να δώθουν διαφορετικά παραδείγματα που αντικατοπτρίζουν πεποιθήσεις σχετικά με την αιτιότητα. Για να δείχθει πώς αυτό μπορεί να γίνει, μια παραδειγματική προσέγγιση παρουσιάζεται. Πάντως, και άλλες στρατηγικές προτύπων μπορούν να ελεγχθούν με αυτές τις σειρές δεδομένων.

6.1.9 Περίληψη ενός Συγκεκριμένου Προτύπου

Μια τεχνική αναπτύχθηκε η οποία εκτιμά απευθείας τις ζωνικές απολήξεις μετακινήσεων ως μια συνάρτηση όγκων συνδέσεων, τύπων οδών, αποστάσεων ταξιδίων, τη θέση της ζώνης σε σχέση με άλλες ζώνες και τις αλλαγές στην κυκλοφοριακή δραστηριότητα στο συγκεκριμένο σύνδεσμο. Επιπλέον, έγινε παλινδρόμηση της απασχόλησης λιανικού και της απασχόλησης μη-λιανικού εμπορίου και του πληθυσμού με τις ζωνικές καταλήξεις των μετακινήσεων. Αυτό έγινε για το έτος βάσης 1979. Επόμενα, η χρήση του συστήματος μεταφορών του 1990 τροφοδοτήθηκε μέσα σ' αυτό το πρότυπο, για να προβλεφθεί η χρήση γης του 1990. Η ανομοιότητα μεταξύ των της προβλεπόμενης από το 1990 χρήσης γης και της πραγματικής χρήσης γης του 1990 καταδεικνύουν την ακρίβεια των προβλέψεων του προτύπου.

6.1.10 Δομή Προτύπου

Η δομή του προτύπου αντιπροσωπεύεται ως δύο σχέσεις :

Απολήξεις Ζωνικών Μετακινήσεων =

$$= -827 + 0,027 * X_1 + 0,039 * X_2 - 1,807 * \ln(X_3) + 685 * \ln(X_4) + 96,1 * X_5 + 1,729 * \ln(X_6)$$

(6.1)

όπου οι μεταβλητές για κάθε ζώνη καθορίζονται ως :

X_1 = ο αριθμός των συνδέσμων τους οποίους διατρέχουν οι μετακινήσεις, όπως διαδημοτικές και μεγάλες αρτηρίες, πολλαπλασιασμένες με τους αντιστοιχούντες κυκλοφορικούς φόρτους.

X_2 = άθροισμα όλων των όγκων συνδέσεων που είναι ολόκληροι μέσα στη ζώνη.

X_3 = αριθμός ζωνών μεταξύ της ζώνης και του κέντρου

X_4 = μικρότερη απόσταση διαδρομής μεταξύ της ζώνης και του κέντρου

X_5 = αριθμός δείγματος τοποθεσιών που χρησιμοποιείται για τα οδικά τμήματα της ζώνης στη μελέτη σχεδιασμού του έτους βάσης π.χ. εάν η διαδρομή α έχει μετρήσεις φόρτου από τρεις τοποθεσίες κατά μήκος της διαδρομής και η διαδρομή b έχει μετρήσεις φόρτων από μια μόνο τοποθεσία, τότε αυτές οι πληροφορίες θα αντανακλώνταν στη μεταβλητή X_5).

X_6 = ο αριθμός των ζωνών που συνορεύουν με τη συγκεκριμένη ζώνη.

Απολήξεις Ζωνικών Μετακινήσεων =

$$= 1,64 * \text{μη λιανικής εμπορικής απασχόλησης} + 9,36 * \text{λιανικής εμπορικής απασχόλησης} + 1,11 * \text{πληθυσμό} \quad (6.2)$$

Κάποιος χρησιμοποιεί χαρακτηριστικά κυκλοφορίας για να εξάγει τις απολήξεις των μετακινήσεων από την (6.1). Μετά χρησιμοποιεί τις αναλογίες του έτους βάσης για την μη-λιανική εμπορική απασχόληση, τη λιανική εμπορική απασχόληση και ο πληθυσμός για κάθε ζώνη για να απλοποιήσει το δεξί μέρος της (6.2) σε μια αθροιστική κοινωνικοοικονομική μεταβλητή που εξήχθη από τις απολήξεις των μετακινήσεων ζωνών που υπολογίστηκαν από την (6.1).

6.1.11 Ποια είναι η Επίδραση της Ακρίβειας της Πρόβλεψης και των Υποθέσεων για το Πρότυπο του Παραδείγματος ;

Καθώς είναι συνήθεια, οι σχέσεις μεταφορών και χρήσεων γης βαθμονομήθηκαν χρησιμοποιώντας δεδομένα του έτους βάσης. Δεν είναι όμως συνήθεια η χρησιμότητα τέτοιων σχέσεων για την αποτίμηση για το έτος πρόβλεψης.

Μπορεί να συγκριθεί η γενικευμένη κοινωνικοοικονομική μεταβλητή από τη (6.2) με τις πραγματικές απολήξεις διαδρομών και τις υπολογισμένες απολήξεις διαδρομών από την (6.1), αντιστοίχως. Ο λόγος του μέσου απολύτου λάθους με τις μέσες προβλεπόμενες τιμές είναι στις τιμές 14% και 38%. Εξέταση του δικτύου απεκάλυψε ότι μόνο λίγοι φόρτοι συνδέσμων ήταν διαθέσιμοι για εκείνη τη ζώνη,

κάτι που είναι λογική εξήγηση για τη δυσκολία του να προβλέψει σωστά τις απολήξεις διαδρομών στη συγκεκριμένη ζώνη. Αυτή η εφαρμογή ιστορικών δεδομένων επιτρέπει σε κάποιον να αναγνωρίζει τα δυνατά σημεία και τις αδυναμίες της προγνωστικής δύναμης των προτύπων.

Σημειώνεται ότι η (6.2) απαιτεί μια υπόθεση ότι εντός μιας συγκεκριμένης ζώνης, οι ισορροπίες ότι πληθυσμός, η λιανική εμπορική εργασία και η μη λιανική εμπορική εργασία θα παραμένουν σχετικά σταθερές από το έτος βάσης στο έτος πρόβλεψης. Ένας τρόπος θεώρησης της σημασίας αυτού του περιορισμού είναι ότι εντός της κάθε ζώνης, ένας «υπολογιζόμενος» αριθμός απολήξεων διαδρομών μπορεί να γεννηθεί από αρκετούς διαφορετικούς συνδυασμούς χρήσεων γης. Για παράδειγμα, από τη (6.2), μια ζώνη που στεγάζει 100 ανθρώπους και 100 θέσεις λιανικής εμπορικής εργασίας θα γεννήσει γύρω στις 1050 μετακινήσεις. Ακόμα, είναι επίσης πιθανό για την ίδια ζώνη να γεννήσει τον ίδιο αριθμό μετακινήσεων με καθόλου απασχόληση αλλά με ένα πληθυσμό των περίπου 950 ατόμων. Άρα η αδυναμίες αυτής της προσέγγισης με όρους ικανότητας πρόβλεψης είναι ότι κάνει μικρή δουλειά στο να διαχωρίζει μεταξύ μεμονωμένες παραμέτρους ανάπτυξης γης, όπως πληθυσμός αντί λιανικής εμπορικής εργασίας. Ακόμα η δύναμή του είναι το ότι δίνει ένα προσεγγιστικό μέτρο χρήσης γης, αντικατοπτριζόμενο ως η αθροιστική κοινωνικοοικονομική μεταβλητή. Αυτό το μέτρο της επίδοσης δε σημαίνει ότι οι συναθροισμένες προβλέψεις είναι λιγότερο ή περισσότερο χρήσιμες από τις μη συναθροισμένες. Σημαίνει ωστόσο, ότι οι συναθροισμένοι υπολογισμοί είναι περισσότερο ακριβείς από τους μη συναθροισμένους δεδομένου του συγκεκριμένου προτύπου.

Υπάρχει ένα πρόβλημα που φαίνεται ότι δε λαμβάνεται συχνά υπ' όψη με συμβατική πρακτική προτύπων : ότι τα λάθη μπορούν να διαδίδονται διαμέσου του προτύπου. Είναι δεδομένο ότι ένας ο οποίος πρέπει να πάρει την απόφαση θα ήθελε να ξέρει κάποιο αθροιστικό μέτρο της χρήσης γης το οποίο μπορεί να διατηρηθεί από ένα συγκεκριμένο κυκλοφοριακό φόρτο. Με την εισαγωγή δεδομένων πολίτη, οι κυκλοφοριακοί φόρτοι για τις διάφορες ζώνες συμφωνήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στο δεξιό σκέλος της (6.1) για την ανάπτυξη των εκτιμήσεων των απολήξεων μετακινήσεων για κάθε ζώνη. Χάριν διαλόγου υποτίθεται ότι το αποτέλεσμα της (6.1) σ' αυτό το σενάριο για μια συγκεκριμένη ζώνη είναι 1050 μετακινήσεις. Αυτός που θα πάρει την απόφαση, αναγνωρίζει τα αξιοπρόσεκτα χαρακτηριστικά της (6.2)- ότι ο ίδιος αριθμός μετακινήσεων σε μια ζώνη μπορεί να γεννηθεί από

διαφορετικούς σχηματισμούς χρήσης γης. Εκείνος θα ήθελε να σιγουρέψει, πάντως, ότι αυτοί οι αριθμοί είναι ακριβείς καθώς θα πρέπει να πάει πριν το ζωνικό πίνακα και να εξηγήσει γιατί όρια μπορούν να τοποθετηθούν στον πληθυσμό ή την απασχόληση για μια συγκεκριμένη ζώνη. Με άλλα λόγια, όταν ο αποφασίζων δείχνει ότι αυτή η συγκεκριμένη ζώνη θα περιοριζόταν σε 100 άτομα και 100 θέσεις λιανικής εμπορικής απασχόλησης ή 950 άτομα και καθόλου θέσεις λιανικής εμπορικής απασχόλησης ή κάτι ενδιάμεσο, εκείνος αναμφίβολα θα ερωτούταν : «απλώς πόσο ακριβής είναι αυτή η αθροιστική παράμετρος» ; Πρέπει να είναι γνωστό και δικαιολογημένα, εάν το πρότυπο μπορεί αληθινά να προσδιορίσει την επίδραση της υπέρβασης των, για παράδειγμα 950 ατόμων κατά 50, 100, 500, η 5000 άτομα στη ζώνη.

Μπορεί ναδειχθεί πόσο καλά το γραμμικό πρότυπο μπορεί να δουλέψει εάν κάποιος μπορούσε να υπολογίσει τις απολήξεις των μετακινήσεων τέλεια, αφού η μόνη ανομοιογένεια απορρέει από τη (6.2). Από ‘δω και πέρα μπορούμε να δούμε κάποιο λάθος, αλλά ολικά τα αποτελέσματα είναι πολύ κοντά στην ιδανική γραμμή των 45°. Χρησιμοποιώντας μαζί τις (6.1) και (6.2), τα συνδυασμένα λάθη αυξάνουν την απόκλιση από την γραμμή των 45° στο γράφημα που θα απεικόνιζε την κοινωνικοοικονομική μεταβλητή σε σχέση με την άμεση εκτίμηση των υπολογισμένων απολήξεων μετακινήσεων (σε ισοσταθμισμένους άξονες). Αυτό δίνει μία διαισθητική κατανόηση αυτού του οποίου ο αποφασίζων θα πρέπει να μεταφέρει στο ακροατήριο : η εφαρμογή του ολικού προτύπου είναι ατελής αλλά κάποιος μπορεί να εμπιστευτεί το μέρος απόληξης μετακίνησης να είναι σχετικά σταθερό στο χρόνο. Η εμπειρία επίσης δείχνει ότι η αξιοπιστία ενός προτύπου εξαρτάται μόνο από την εφαρμογή του προτύπου εντός των συνθηκών για τις οποίες αναπτύχθηκε.

6.1.12 Σχολιασμός

Για να δει κάποιος αυτή την ανάλυση από όλες τις όψεις, αναλογίζεται ότι για συμβατικές μελέτες σχεδιασμού η κανονική πρακτική είναι να θεωρηθεί το πρότυπο χρησιμοποιώντας δεδομένα του έτους βάσης. Οι έλεγχοι για ακρίβεια είναι τότε βασισμένοι σε αυτά τα δεδομένα και όχι τα δεδομένα του έτους πρόβλεψης. Σε αυτή την τάση η προσαρμογή που αναφέρθηκε παραπάνω δε θα αντικατοπτριζόταν σε μια τυπική μελέτη σχεδιασμού. Παρομοίως θα συμβεί αν, κατά τη διάρκεια του έτους

βάσης, κάποιος δεν έχει επίγνωση μελλοντικών τάσεων όπως μεγέθη μονάδων κατοικιών και αύξηση γυναικείου εργατικού δυναμικού. Εάν κάποιος τότε πάρει τη δεκαετία του '90 ως έτος βάσης για την περίοδο μελέτης, μπορεί να εξάγει συμπεράσματα ότι θα υπάρξουν τάσεις μέσα στα επόμενα 20 χρόνια που επηρεάζουν τη συμπεριφορά της δημιουργίας μετακινήσεων, αλλά αν δεν έχει κάποιος μια κρυστάλλινη σφαίρα δεν μπορεί να ξέρει κατηγορηματικά αυτές τις τάσεις. Η χρήση ιστορικών δεδομένων για την πρόβλεψη του παρόντος, εισηγείται το πώς αυτές οι τάσεις που δεν έχουν ήδη συμβεί θα επηρεάζουν τη χρησιμοποίηση συγκεκριμένων τύπων εφαρμογών σχεδιασμού.

6.1.13 Πρότυπο Εμφανιζόμενο στις (6.1) και (6.2)

Κάτι που είναι περισσότερο σημαντικό, η χρήση ιστορικών δεδομένων δείχνει ποιες υποθέσεις είναι μοιραίες και σε ποιες μπορεί κανείς να είναι περισσότερο ανθεκτικός. Αρκετά πρότυπα αναπτύχθηκαν, ελέγχθηκαν, και απορρίφθηκαν, πριν φθάσουν σε αυτά που χρησιμοποιήθηκαν εδώ. Για παράδειγμα, ένα πρότυπο που δούλεψε καλά για δεδομένα του 1967 αλλά δεν απέδωσε με δεδομένα πρόβλεψης 12 χρόνια μετά, είχε στηριχθεί κατά πολύ στο CBD. Από ύστερη γνώση, είναι αλήθεια ότι η σημασία του CBD έχει μειωθεί μέσα στο χρόνο αλλά αυτός που θα κάνει το σχεδιασμό δε θα είναι κατ' ανάγκη ενήμερος για τέτοιες αλλαγές από το 1967. (Εξαιρέσεις στον κανόνα όντως υπάρχουν, εντούτοις, υπήρξε βιβλιογραφία κατά καιρούς που υπονοεί ότι οι τάσεις σχήματα μετακινήσεων θα γινόταν περισσότερο διασκορπισμένες μέσα στα επόμενα 20 χρόνια. Ένας άλλος λόγος για την απόρριψη των προτύπων είναι η δομή τους : αρκετά μη-γραμμικά πρότυπα έδειξαν ότι το δυναμικό κατά τη διάρκεια του έτους βάσης απέδωσε λίγα κατά τη διάρκεια του έτους πρόβλεψης όταν συγκρίνονται με γραμμικά πρότυπα. Κατ' ουσία τα μη-γραμμικά πρότυπα ήταν σε μεγάλο βαθμό βασισμένα στα συγκεκριμένα σημεία δεδομένων στο έτος βάσης, με το κόστος της αντανάκλασης σε αυτά τα δεδομένα των σχέσεων χρήσης γης για μεταφορές.

Κάποιος θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει αυτά τα ιστορικά δεδομένα για να εκτιμήσει προγνωστικές τάσεις. Για παράδειγμα, εφαρμογή των (6.1) και (6.2) για την πρόβλεψη του μη-γνωστού πληθυσμού του έτους 1990 για μόνο 16 από τις 50 ζώνες. Μιλώντας στατιστικά μπορούμε να είναι κάποιος 95% πεπεισμένος ότι υπάρχει πολύ

μικρή πιθανότητα για μια πρόβλεψη πληθυσμού να είναι μεταξύ 0,19 και 0,45, εάν δει κανείς τις προγνώσεις ως μια δοκιμή επιτυχιών και αποτυχιών. Καθαρά η τάση σε αυτό το σημείο είναι ότι ο πληθυσμός τείνει να είναι υπερεκτιμημένος όταν εφαρμοστεί το βαθμονομημένο από το έτος βάσης 1979 σε δεδομένα του 1990. Παρόλο που κανένας καθαρός τύπος δεν αναδύεται από την εξέταση της περιοχής μελέτης στη διάταξη αυτών των ζωνών, φαίνεται ότι κάποια από τα απρόβλεπτα στοιχεία του πληθυσμού έτειναν να συμβαίνουν σε απομακρυσμένες περιοχές.

Σημειώνεται επίσης ότι διαφορετικές μεταβλητές μπορούν να προβλεφτούν με διαφορετικούς βαθμούς ακριβείας. Η πρακτική υποστηρίζει αυτό το εύρημα. Για παράδειγμα, όταν αποτιμήθηκε η επίδοση των προτύπων για την αποκόμιση των μητρώων διαδρομών προέλευσης-προορισμού από κυκλοφοριακές μετρήσεις, βρέθηκε ότι ακόμα και όταν προβλέφθηκαν και οι πραγματικοί αυτοί πίνακες ήταν ουσιωδώς διαφορετικοί, εκχωρώντας καθέναν στο οδικό δίκτυο, αυτός παρήγαγε παρόμοια αποτελέσματα. Προτού φτάσει κανείς στο πρότυπο που φάνηκε από τις (6.1) και (6.2), προσπάθειες έγιναν να προβλεφθούν άλλα μέτρα χρήσης γης, όπως την εμπορική περιοχή ή τον αριθμό των οχημάτων εντός μιας συγκεκριμένης ζώνης. Εκείνα τα πρότυπα, πάντως, απέδωσαν λίγα ακόμα και στο έτος βάσης, έτσι ώστε έκανε μεγαλύτερη αίσθηση να εστιαστούν σε ζωνικές παραμέτρους οι οποίες θα μπορούσαν να υπολογιστούν με κάποιο βαθμό ακριβείας, όπως ο πληθυσμός.

6.1.14 Ένα άλλο Παράδειγμα Προτύπου

Τελικά, ο ιστορικός έλεγχος αξιοπιστίας μπορεί να υποδείξει την μακροπρόθεσμη ικανότητα παράτασης ενός προτύπου. Οι σχέσεις (6.3) έως (6.8) δείχνουν μερικές εναλλακτικές σχηματοποιήσεις για τις οποίες έγιναν προσπάθειες πριν πάει κανείς στην (6.2). Δύο διαφορές σε αυτές τις διατυπώσεις μπορούν να σημειωθούν : Πρώτον, αντανακλούν μόνο 43 από τις 50 ζώνες. Δεύτερον, αυτές οι σχέσεις αναπτύχθηκαν ταιριάζοντας κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές του έτους βάσης με απολήξεις διαδρομών του έτους βάσης. Παρόλο που αυτό αποκλίνει από τα προηγούμενα σχόλια, αξίζει να αποτιμηθεί για χρονική σταθερότητα. Σε αυτή την περίπτωση, έγινε παλινδρόμηση των απολήξεων των μετακινήσεων για κάθε ζώνη με τον πληθυσμό, τη λιανική εμπορική απασχόληση και τη μη-λιανική, απασχόληση γραφείου. Εδώ να σημειωθεί ότι το 1967, η απασχόληση ταξινομούταν όχι σε

λιανική εμπορική και μη-λιανική εμπορική αλλά άντ' αυτού σε εργασία μπλε και λευκών κολάρων.

$$\begin{aligned} \text{Απολήξεις μετακινήσεων 1967} &= \\ &= 325 + 6,08 * \text{απασχόληση γραφείου} + 1,10 * \text{πληθυσμός} \end{aligned} \quad (6.3)$$

$$\begin{aligned} \text{Απολήξεις μετακινήσεων 1979} &= \\ &= 85,9 + 8,89 * \text{εμπορική απασχόληση} + 1,04 * \text{πληθυσμός} \end{aligned} \quad (6.4)$$

$$\begin{aligned} \text{Απολήξεις μετακινήσεων 1990} &= \\ &= 160 + 7,19 * \text{εμπορική απασχόληση} + 1,42 * \text{απασχόληση γραφείου} + 1,35 * \text{πληθυσμός} \end{aligned} \quad (6.5)$$

Οι τιμές του R^2 για τις τρεις παραπάνω εκφράσεις ήταν αποδεκτές στα 0,80 0,98 και 0,94 αντιστοίχως. Εάν κάποιος διαλέξει να χρησιμοποιήσει μια προσαρμογή προτύπου χωρίς διακοπή, οι τιμές του R^2 , παρόλο που υπολογίζεται ελαφρώς διαφορετικότερα, έγιναν ήταν 0,89 0,99 και 0,98 αντιστοίχως και οι συντελεστές παραμέτρου είναι παρόμοιοι.

$$\begin{aligned} \text{Απολήξεις μετακινήσεων 1967} &= \\ &= 6,23 + 6,08 * \text{απασχόληση γραφείου} + 1,26 * \text{πληθυσμός} \end{aligned} \quad (6.6)$$

$$\begin{aligned} \text{Απολήξεις μετακινήσεων 1979} &= \\ &= 8,90 * \text{εμπορική απασχόληση} + 1,56 * \text{μη εμπορική απασχόληση} + 1,07 * \text{πληθυσμός} \end{aligned} \quad (6.7)$$

$$\begin{aligned} \text{Απολήξεις μετακινήσεων 1990} &= \\ &= 7,28 * \text{εμπορική απασχόληση} + 1,45 * \text{μη εμπορική απασχόληση} + 1,40 * \text{πληθυσμός} \end{aligned} \quad (6.8)$$

Ακόμα θεωρούμε τις περιπτώσεις του 1979 και του 1980, οι οποίες και οι δύο δείχνουν την απασχόληση και τη μη-λιανική εμπορική απασχόληση ανά ζώνη :

κάποιος σημειώνει ότι μια αύξηση στις θέσεις μη-λιανικής εμπορικής απασχόλησης στο 1,0, αντιστοιχεί σε επιπλέον 8,9 μετακινήσεις το 1979 και 1,5 μετακινήσεις το 1990, τα οποία είναι σχετικά κοντά. Παρομοίως, μια αύξηση στον πληθυσμό της ζώνης κατά 1,0 αντιστοιχεί σε 1,1 μετακινήσεις το 1979 και επιπλέον 1,4 μετακινήσεις το 1990. Ειδικά για τα χρόνια του 1979 και 1990 κάποιος μπορεί να σημειώσει παρόμοιες δομές και συντελεστές : και στις δυο περιπτώσεις, για παράδειγμα, ο συντελεστής για τον πληθυσμό είναι σχετικά χαμηλό συγκρινόμενο με τον συντελεστή για τη λιανική εμπορική εργασία. Η έμφαση δίνεται στο να είναι κανείς ικανός να χρησιμοποιήσει αυτές τις εκφράσεις στην πρόβλεψη. Ένα πρότυπο για το έτος 2010, για παράδειγμα, θα έχει ίδια διασπορά σε συντελεστές, ακόμα και αν πανομοιότυπα στοιχεία δεδομένων είναι διαθέσιμα.

6.1.15 Συμπεράσματα

Οι συγκεκριμένες προσεγγίσεις προτύπων οι οποίες αναπτύχθηκαν σε αυτό το σημείο είναι λιγότερο σημαντικές από διδάγματα τα οποία μπορούν να εξαχθούν από την πράξη της ανάπτυξης ενός σχεδιαστικού προτύπου μεταφορών, βαθμονομώντας το με μια σειρά δεδομένων από το έτος βάσης και τότε αναπτύσσοντας την επίδοση αυτού του προτύπου με μία μελλοντική σειρά δεδομένων :

- Η ιστορική επαλήθευση μπορεί να αποκαλύψει πολύτιμη επίγνωση στην επίδοση του προτύπου. Το πρότυπο που παρουσιάζεται στις (6.1) και (6.2) είναι περισσότερο ακριβές για συναθροιστικές προβλέψεις για ολόκληρη την περιοχή μελέτης παρά για μεμονωμένες ζωνικές προβλέψεις. Αυτό ταιριάζει με τη διαίσθηση επειδή το πρότυπο δεν πρέπει να περικλείσει ζωνικές αλληλεπιδράσεις στο επίπεδο του αθροιστικού προτύπου και οι αλλαγές στις προτάσεις των κοινωνικοοικονομικών μεταβλητών δεν είναι τόσο μεγάλες στο αθροιστικό επίπεδο όσο στο ζωνικό επίπεδο.

- Οι σχέσεις (6.3) – (6.8) κάνουν μια διαφορετική προσέγγιση μέσα από την επανα-βαθμονόμηση ενός προτύπου για κάθε έτος βάσης, όπου ένας μπορεί να υποθέσει τις αλλαγές στους συντελεστές στο χρόνο. Οι δύο προσεγγίσεις - ο προγνωστικός έλεγχος αξιοπιστίας των (6.1) και (6.2) ή η επαναβαθμονόμηση των

(6.3) – (6.8), υπερτονίζουν την δυναμική φύση των σχέσεων χρήσης γης για μεταφορές. Εδώ συγκεκριμένα το θέμα είναι η γένεση των μετακινήσεων ως μια συνάρτηση χρήσεων γης, αλλά κάποιος μπορεί να δει το ίδιο να εφαρμόζεται σε άλλες όψεις της διαδικασίας μεταφορικού σχεδιασμού.

- Τα επακόλουθα λάθη υποδηλώνουν το τι μπορεί ή δε μπορεί να προβλεφτεί με αξιοπιστία. Δε χρειάζεται και πολύ φαντασία να δει κανείς πώς οι πολίτες θα πρέπει να επηρεάζονται από την ακρίβεια αυτών των προτύπων. Όταν κάποιος αποτιμά τα μέτρα πολιτικής, είναι περισσότερο ρεαλιστικό να πάρει κανείς το δεδομένο ότι ευρείες αλλαγές μπορούν να εκτιμηθούν με κάποιο τρόπο και ότι μικρές επιπτώσεις μπορούν να σκιαστούν από το λάθος της προτυποποίησης. Θα ήταν λάθος να παρουσιαστεί μια εκτίμηση μόνο ως απλούς αριθμούς χωρίς εύρος λάθους. Κάνοντας το αυτό μπορεί να παραπλανήσει τους παρατηρητές στο να πιστέψουν ότι οι επιπτώσεις μπορούν να προσδιοριστούν με ακρίβεια προκαταβολικά. Η ιστορική αποτίμηση δείχνει ποιες παράμετροι μπορούν ρεαλιστικά να υπολογιστούν. Σε αυτή την περίπτωση, για παράδειγμα, οι ρυθμοί γενέσεως μετακινήσεων αποδείχτηκαν περισσότερο εφικτοί από αναλυτικές μετρήσεις πληθυσμού και απασχόλησης κατά ζώνη. Μπορούν να συγκρίνθούν τα πραγματικά με τα προβλεπόμενα αποτελέσματα και να υπάρχει μια εικόνα της επίδοσης του προτύπου.

- Οι συναθροισμένοι υπολογισμοί είναι ευκολότεροι στην πρόβλεψη από τις αναλυτικές μετρήσεις. Εάν κάποιος αναλογίζεται το μέγεθος μιας περιοχής (π.χ. ολόκληρη η περιοχή παρά μια απομονωμένη ζώνη) ή την πρόσθεση μιας δραστηριότητας (π.χ. ολική ανάπτυξη χρήσης γης εν αντιθέσει με μεμονωμένες μετρήσεις πληθυσμού και απασχόλησης), αυτό σημαντικά επηρεάζει την ακρίβεια των μετρήσεων. Για παράδειγμα, τα λάθη που απορρέουν από την εφαρμογή της (6.1) στο χρόνο – ολικές μετακινήσεις παραγόμενες ανά ζώνη – ήταν μικρότερες από τα λάθη που προέρχονται από προσπάθειες να προβλεφθεί τον πληθυσμό ή τη λιανική εμπορική και μη εργασία. Παρομοίως, ήταν ευκολότερο να υπολογιστεί τον πληθυσμό για μια ολόκληρη περιοχή μελέτης παρά να εκτιμηθεί ο πληθυσμός για μια συγκεκριμένη ζώνη. Παρόλο που αυτό έχει διαισθητικά μια λογική, έχει ισχυρές επιδράσεις για εκείνους οι οποίοι σχηματοποιούν την πολιτική βασιζόμενοι στα αποτελέσματα των προτύπων μεταφορικού σχεδιασμού.

- Οι ιστορικοί έλεγχοι αξιοπιστίας παρέχουν μια εκτίμηση για την ευαισθησία του προτύπου σε αλλαγές στην αιτιότητα. Ένα πρότυπο αντιπροσωπεύει μια σειρά πεποιθήσεων για τη σχέση, σε αυτή την περίπτωση, μεταξύ μεταφορών και χρήσης γης. Όπως φαίνεται από τις (6.4) και (6.5), για παράδειγμα είναι κατανοητό ότι οι τοποθεσίες εμπορικής απασχόλησης θα γεννήσουν μετακινήσεις, όπως και ο πληθυσμός. Ακόμα, αν και η εμπορική απασχόληση παρήγαγε λιγότερες μετακινήσεις, καθώς ο χρόνος πήγαινε εμπρός, ο πληθυσμός γέννησε περισσότερες μετακινήσεις. Αυτή η αλλαγή στην αιτιότητα – μια αύξηση στην σημαντικότητα του πληθυσμού ως παράγοντα γέννησης μετακινήσεων σε σχέση με την απασχόληση – θα επηρεάσει την ακρίβεια των προβλέψεων που έγιναν στο έτος βάσης πριν αυτή την αλλαγή στην αιτιότητα.
- Οι ιστορικοί έλεγχοι αξιοπιστίας δείχνουν ποιοι τύποι από σχηματισμούς προτύπων είναι παραγωγικοί. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση δείχνει ότι τα πρότυπα που απαιτούν πολλαπλά διαδοχικά βήματα δεν είναι τυπικά επικυρωμένα. Αντιθέτως, κάποιος απλά ελέγχει το αποτέλεσμα ενός μονού βήματος, όπως επίπεδα επιβιβάσεων. Τα αποτελέσματα από τη μελέτη καταδεικνύουν το γιατί αυτή υπήρξε η περίπτωση και γιατί μειώνοντας τον αριθμό των υπολογιστικών βημάτων, όπως έγινε στις (6.1)-(6.8), μπορεί σε μερικές καταστάσεις να αποβεί ευεργετικό.
- Είναι μια πρόκληση να αποτιμηθούν οι προβλέψεις για το έτος πρόγνωσης. Τέσσερα εμπόδια έγιναν ορατά. Οι ορισμοί στοιχείων δεδομένων αλλάζουν με το χρόνο (π.χ. η απασχόληση κατηγοριοποιείται σε λιανική εμπορική / μη-λιανική εμπορική αντί για μπλε / λευκά κολάρα), το μέγεθος της περιοχής μελέτης αλλάζει, τα δεδομένα δεν είναι πάντοτε συστηματικά αποκτημένα σε μια απλή θέση και τελικά, οι πραγματικές συσχετίσεις οι οποίες προτυποποιούνται θα εξελιχθούν. Αυτό δε δικαιολογεί την απόφαση να μη εξελεγχουν τα πρότυπα τις προβλέψεις των προτύπων μεταφορικού σχεδιασμού, αλλά εξηγεί το γιατί τέτοιες προβλέψεις δεν είναι συνηθισμένες.

Παρόλο που κάποιος μπορεί να δει αυτόν τον τύπο της αποτίμησης – με μια εκπαιδευτική ή μια δοκιμαστική σειρά δεδομένων – ως διαισθητική ή κοινή λογική, η

βιβλιογραφική ανασκόπηση δείχνει ότι δεν είναι ο κανόνας για την ολική σχεδιαστική διαδικασία. Αυτό εξηγήθηκε παραπάνω, αρχίζοντας με το πρόβλημα της ασυμβατότητας δεδομένων και φτάνοντας στις επιλογές του τι θα προβλεφτεί. Ακόμα, όπως φαίνεται παραπάνω και σε μερικές περιπτώσεις της βιβλιογραφίας, υπάρχουν μερικές απλές πραγματοποιήσιμες προσεγγίσεις που δίνουν υποσχέσεις για να πρακτική κατά τα έτη βάσης και πρόβλεψης. Η πρόκληση είναι διπλή : 1) Να αναπτυχθούν πρότυπα τα οποία επιτυχώς προβλέπουν περισσότερο αναλυτικά φαινόμενα και, 2) να ξεκινήσει η πρακτική της μέτρησης της ακρίβειας των προβλέψεων. Το μακροπρόθεσμο αποτέλεσμα της απάντησης σ' αυτές τις προκλήσεις δε θα εξαλείψουν την πολιτική όψη του σχεδιασμού μεταφορών αλλά αντιθέτως, θα επιτρέψουν στα πρότυπα να εκπληρώσουν το ρόλο τους : να εξασφαλίσουν χρήσιμες, αξιόπιστες και ρεαλιστικές προβλέψεις. [2]

6.2 Διαφωτιστικό Παράδειγμα πάνω στο Κόστος και τα Οφέλη της Αξιοπιστίας των Υπηρεσιών

6.2.1 Γενικά

Το παρόν υποκεφάλαιο εστιάζει στην περίπτωση ενός παρόχου υπηρεσιών ο οποίος, αντιμετωπίζοντας τον ανταγωνισμό, πρέπει να καθορίσει το βέλτιστο επίπεδο της ποιότητας των υπηρεσιών που πρέπει να προσφέρει έτσι ώστε να μεγιστοποιήσει τα κέρδη.

Στον επιχειρησιακό ανταγωνισμό ο αντικειμενικός σκοπός είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους. Πλεονέκτημα για την επίτευξη του στόχου αυτού είναι το να εκπληρώνονται οι απαιτήσεις του κοινού όσον αφορά την ποιότητα.

Παραδείγματα έχουν δοθεί από υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών και ταχυδρομικών υπηρεσιών. Οι επιχειρήσεις αυτές πρέπει να χαράζουν την πολιτική που θα ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των πελατών. Για να γίνει αυτό χρειάζεται η πληροφορία για την επιρροή της ποιότητας και στο κόστος και στη ζήτηση.

Ενώ αρκετή φιλολογία έχει αφιερωθεί μέχρι τώρα στο να κατανοηθεί η επίπτωση της ποιότητας υπηρεσιών είτε στο κόστος, είτε στη ζήτηση, λιγότερη

δουλειά έχει επικεντρωθεί στην επίδραση της ποιότητας υπηρεσιών πάνω σε ταυτόχρονα το κόστος και τη ζήτηση.

Παραδοσιακά, η έμφαση στην ποιότητα υπηρεσιών από την προοπτική της διαχείρισης ή της αγοράς εστιάζει στον αντίκτυπο που έχει η αυξημένη ποιότητα στην πλευρά της ζήτησης. Εναλλακτικά, από τη σκοπιά του κέντρου λήψης αποφάσεων, μπορεί να γίνει εξέταση για την επίδραση της αυξημένης ποιότητας πάνω στο κόστος.

Το πρότυπο που εδώ σχολιάζεται καταδεικνύει το πώς αμφότερες οι προοπτικές μπορεί ενιαία να θεωρηθούν για να καθοριστεί το βέλτιστο επίπεδο παροχής ποιότητας υπηρεσίας. Ειδικότερα, το πρότυπο ενσωματώνει τα τμήματα λήψης αποφάσεων και πελατείας θεωρώντας α) πώς η ποιότητα υπηρεσιών επιδρά στη ζήτηση και β) πώς η ποιότητα υπηρεσιών και η ζήτηση ταυτόχρονα επιδρούν στο συνολικό κόστος από το οποίο οι βέλτιστες τιμές αποφάσεων αλλά και η ποιότητα υπηρεσιών μπορεί να καθοριστεί.

Ιδιαίτερα, η ποιότητα υπηρεσιών μετράται από την αξιοπιστία τους. Η αξιοπιστία καθορίζεται από την πιθανότητα οι υπηρεσίες να ανταποκρίνονται σε *ex-ante* δηλωμένες προδιαγραφές υπηρεσιών.

6.2.2 Παράδειγμα στις ταχυδρομικές υπηρεσίες

Οι υπηρεσίες ταχυδρομικής παράδοσης προσφέρουν διαφορετικές κατηγορίες ταχυδρομείου, όπως Επείγοντα – Προτεραιότητας – και Πρώτης Τάξης. Με σκοπό να ανταποκριθεί σε προδιαγραφές υπηρεσιών όπως παράδοση σε μία νύχτα, οι ταχυδρομικές υπηρεσίες θα πρέπει να εγκαταστήσουν χωρητικότητα, της οποίας το επίπεδο πρέπει να αποφασιστεί εκ των προτέρων πάνω σε μια προβλεπόμενη ζήτηση. Αυτό το επίπεδο χωρητικότητας θα αντιπροσώπευε μια αρχέτυπη μεταβλητή για το εγχείρημα. Από τη στιγμή που το παρουσιαζόμενο εδώ παράδειγμα υποθέτει ότι η ζήτηση είναι στοχαστική, για κάθε επίπεδο εγκατεστημένης χωρητικότητας υπάρχει μία πιθανότητα η ζήτηση θα υπερβεί τη χωρητικότητα. Σε αυτή την περίπτωση αυτή η επιπλέον ζήτηση δε θα επεξεργαστεί μέσα στο κρίσιμο άνοιγμα που εγγυάται ότι οι προδιαγραφές εξυπηρέτησης ακόμα ισχύουν. Αυξάνοντας τη χωρητικότητα αυξάνεται αυτή η πιθανότητα ή η αξιοπιστία, παρόλο που αυτομάτως αυξάνεται και το κόστος της παραγόμενης υπηρεσίας. Επιπλέον, η αυξημένη αξιοπιστία επίσης έχει αντίκτυπο στη ζήτηση, εκεί όπου υποτίθεται ότι η αυξημένη αξιοπιστία οδηγεί σε αυξημένη ζήτηση. Για όλ' αυτά, υψηλότερη αξιοπιστία αυξάνει και τα έσοδα και το

κόστος της παροχής των υπηρεσιών. Το ερώτημα που έχει το ενδιαφέρον στο παραπάνω παράδειγμα εμπεριέχει τον προσδιορισμό του ενός βέλτιστου επιπέδου παρεχόμενης αξιοπιστίας, μαζί με το συσχετιζόμενο ποσό εγκατεστημένης χωρητικότητας που απαιτείται με σκοπό να εγγυηθούμε ότι η αξιοπιστία αυτή θα διατηρηθεί.

Ας υποθεθεί μια υπηρεσία διανομής για Ταχυδρομείο Express που εξυπηρετεί ένα ομογενή πληθυσμό του οποίου η ζήτηση για υπηρεσία είναι στοχαστική. Ο παροχέας προσφέρει παράδοση μέσα σε μία νύχτα με τιμή p και πρέπει να καθορίσει την αξιοπιστία της υπηρεσίας (r) που πρέπει να προσφέρει ώστε, να μεγιστοποιήσει τα αναμενόμενα κέρδη (π). Η ανάγκη για υπηρεσία (X) επηρεάζεται από την αξιοπιστία, καθοριζόμενη από την πιθανότητα κάποιο express πακέτο να φτάσει στον προορισμό του εγκαίρως. Με σκοπό να ανταποκριθεί στις ex-ante δηλωμένες προϋποθέσεις ποιότητας για παράδοση μέσα σε μια νύχτα, όλες οι διανομές πρέπει να διεκπεραιώνονται μέσα σε ένα κρίσιμο πλαίσιο του τυπικού γύρου υπηρεσίας. Η χωρητικότητα (y) της διεκπεραίωσης σε κανονικό χρόνο μέσα σ' αυτό το πλαίσιο πρέπει να καθοριστεί εκ των προτέρων προβλέποντας τη ζήτηση και αντιπροσωπεύει την τοπική επιχειρησιακή μεταβλητή. Τα πακέτα που δε διεκπεραιώνονται μέσα σ' αυτό το πλαίσιο παρατίθενται στο υπόλοιπο του γύρου, όπου επεξεργάζονται χρησιμοποιώντας κάποια μορφή τεχνολογίας για πρόστιμα. Αυτή η τεχνολογία υποτίθεται ότι έχει μεγαλύτερο κόστος ανά μονάδα (b_2) από το σύνηθες κόστος ανά μονάδα χρόνου (b_1) και χρησιμοποιείται έτσι ώστε οι αποστολές που δε θα ανταποκρίνονται τις απαιτήσεις των υπηρεσιών θα φτάνουν όσο πιο κοντά γίνεται σε αυτές τις δεδομένες απαιτήσεις ποιότητας. Ένας περιοριστικός όρος αξιοπιστίας προσαρτάται στον αντικειμενικό στόχο της μεγιστοποίησης του κέρδους με σκοπό να διασφαλιστεί ότι επαρκής χωρητικότητα είναι εγκατεστημένη με τέτοιο τρόπο που η δεδηλωμένη αξιοπιστία επιτυγχάνεται. Ειδικότερα, ο περιορισμός αξιοπιστίας εγγυάται ότι η χωρητικότητα τίθεται τόσο υψηλά ώστε ο μη ανταποκρινόμενος στις προϋποθέσεις υπηρεσιών αναμενόμενος όγκος ταχυδρομείου δε θα υπερβαίνει το δεδηλωμένο ποσοστό r του αναμενόμενου όγκου ζήτησης.

6.2.3 Περιορισμοί & Ανάπτυξη

Το προκύπτον πρόβλημα μεγιστοποίησης εσόδων το οποίο πρέπει να λυθεί ακολουθεί ακριβώς κάτω :

Μεγιστοποιείται :

$$E\{\Pi(X(r),r,y)\} = E\{pX(r) - C(X(r),y,r)\} \quad (6.9)$$

με περιορισμούς ώστε :

$$E\{\Pi(X - y)^+ - (1 - r)E(X)\} \leq 0 \quad (6.10)$$

$$\text{όπου } C(X(r),y,r) = b_1y + b_2(X - y)^+ \quad (6.11)$$

Ο όρος $C(X(r),y,r)$ αντιπροσωπεύει το κόστος επεξεργασίας για το express ταχυδρομείο, με το y να είναι το νούμερο των μονάδων της χωρητικότητας επεξεργασίας για τις κανονικού χρόνου παραδόσεις η οποία έχει εγκατασταθεί μέσα στο κρίσιμο παράθυρο.

Το ανά μονάδα κόστος επεξεργασίας για το κανονικού χρόνου ταχυδρομείο μέσα στο κρίσιμο παράθυρο δίδεται από το b_1 . Αυτό εφαρμόζεται σε κάθε μονάδα της εγκατεστημένης χωρητικότητας y , προσδιοριζόμενη από τον αριθμό των μονάδων ταχυδρομείου που μπορούν να επεξεργαστούν εντός του κρίσιμου παραθύρου. Ο παράγοντας $(X - y)^+$ αντιπροσωπεύει τον όγκο του express ταχυδρομείου το οποίο δεν επεξεργάζεται μέσα σε αυτό το παράθυρο και πρέπει να επεξεργαστεί κάνοντας εφαρμογή τεχνολογίας προστίμου με κόστος ανά μονάδα χρόνου $b_2 > b_1$. Σημειωτέον ότι $(X - y)^+ = (X - y)$ εάν $X > y$, ειδικά 0 και ότι εμπειρικές εκτιμήσεις για αμφότερα τα b_1 και b_2 δεν είναι καλά τεκμηριωμένες αφού η κατανομή του κόστους για τις ταχυδρομικές υπηρεσίες είναι, στην καλύτερη περίπτωση, προβληματική. Παρόλο ο ακριβής προσδιορισμός για τα κόστη αυτά είναι σημαντικού ενδιαφέροντος, το πρωταρχικό μέλημα εδώ δεν είναι η λεπτομερειακή δομή του κόστους των ταχυδρομικών λειτουργιών αλλά η εφαρμογή των χαρακτηριστικών συνθηκών για τη αξιοπιστία και τη χωρητικότητα, όπως αυτή εκφράζεται από τα Θεωρήματα 1 και 2.

Ο περιοριστικός όρος αξιοπιστίας (6.10) εγγυάται ότι η αναμενόμενη ποσότητα του express ταχυδρομείου το οποίο απαιτεί τεχνολογία ποινης $(X - y)^+$ είναι μικρότερο από ένα καθορισμένο ποσοστό $(1 - r)$ του αναμενόμενου όγκου express ταχυδρομείου που απαιτεί επεξεργασία.

Με σκοπό να κατανοηθεί πώς η αξιοπιστία επιδρά στη ζήτηση η ακόλουθη εκθετική συνάρτηση ζήτησης χρησιμοποιείται :

$$\mu_{X(r)} = E(X(r)) = \alpha e^{-\beta(1-r)} \quad (6.12)$$

Υποστήριξη για συναρτήσεις εκθετικής ζήτησης βρίσκονται στη βιβλιογραφία. Μια εναλλακτική επιλογή για τη συνάρτηση ζήτησης, η γραμμική ζήτηση, λαμβάνεται υπ' όψη και σχολιάζεται κατά την ανάλυση ευαισθησίας. Επιπροσθέτως στην συνάρτηση ζήτησης (6.12), η ζήτηση επίσης παρουσιάζει στοχαστική αβεβαιότητα.. Η στοχαστική αβεβαιότητα υποτίθεται ότι κατευθύνεται από την ακόλουθη εκθετική αθροιστική συνάρτηση κατανομής

$$F(x) = 1 - e^{-\frac{x}{\mu_x}} \quad (6.13)$$

Αυτή η μορφή στοχαστικής αβεβαιότητας ίσως να χαρακτηρίζει εκείνη που συναντούμε στις ταχυδρομικές υπηρεσίες παράδοσης. Γενικά, η ζήτηση για ταχυδρομικές υπηρεσίες τείνει να παρουσιάζει αιχμές, δηλαδή, η ζήτηση είναι σχετικά επίπεδη εκτός από περιόδους αιχμής, όπου υφίστανται μεγάλες προσωρινές αυξήσεις στη ζήτηση. Κατά τις περιόδους αυτές, η ζήτηση υπερβαίνει κατά πολύ το μέσο όρο, ενώ για τις περισσότερες άλλες περιόδους η μέση τιμή υπερβαίνει τη ζήτηση. Η εκθετική κατανομή καταλήγει σε αποτελέσματα που υπερβαίνουν τη μέση τιμή κατά περίπου το 37% του χρόνου. Από τη στιγμή που αιχμές στη ζήτηση ταχυδρομικών υπηρεσιών φυσιολογικά συμβαίνουν 2 φορές τη μέρα, με τη ζήτηση να είναι σχετικώς σταθερή στην υπόλοιπη μέρα, η εκθετική κατανομή, μέχρι ενός ορίου, συλλαμβάνει αυτό το χαρακτηριστικό ζήτησης. Παρ' όλα αυτά, άλλες μορφές στοχαστικής αβεβαιότητας μπορούν επίσης να ληφθούν υπ' όψη και παραμένουν ως ανάγκες για περαιτέρω έρευνα..

Η λύση στο πρόβλημα που καθορίστηκε από τις σχέσεις (6.9)–(6.11) βρίσκεται χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα από τα Θεωρήματα 1 και 2. Ειδικότερα, τα ακόλουθα αποτελέσματα αποκομίζονται :

Θεώρημα 3 : Η βέλτιστη λύση στο πρόβλημα του καταλληλότερου περιοριστικού όρου που δίνεται από τις σχέσεις (6.9)–(6.11) χαρακτηρίζεται από τα ακόλουθα :

$$y^* = E(X(r)) \ln \frac{b_2}{b_1}, \quad r^* = 0 \forall p < b_1 \left(1 + \ln \frac{b_2}{b_1} \right), \quad (6.14)$$

$$\text{αλλιώς} \quad y^* = E(X(r)) \ln(1-r)^{-1}, \quad (6.15)$$

με

$$p\beta - b_2(1-r)\beta - \frac{b_1}{1-r} + b_2 - b_1\beta \ln(1-r)^{-1} = 0 \quad (6.16)$$

που αντιπροσωπεύει την χαρακτηριστική συνθήκη για το r^* .

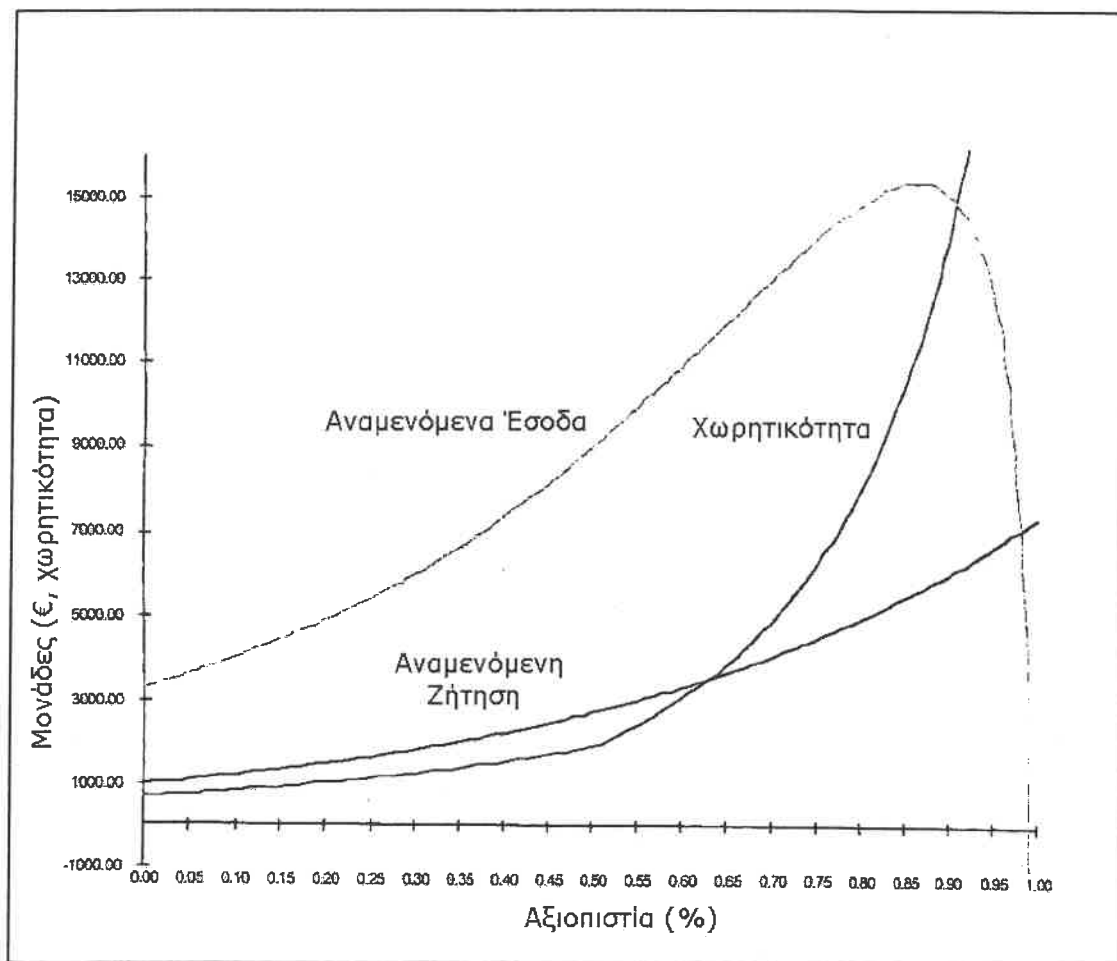
Από την εξίσωση (6.14) παρατηρείται ότι αν η τιμή είναι επαρκώς χαμηλή, τότε είναι βέλτιστο να τεθεί η αξιοπιστία ίση με μηδέν. Τα επίπεδα αυτά τιμές αντιπροσωπεύουν τιμές για τις οποίες και κέρδη θα είναι αρνητικά και αυξημένη αξιοπιστία θα μπορούσε παραπέρα μόνο να μειώσει αυτά τα κέρδη. Για την περισσότερο πελατειακή περίπτωση όπου η τιμή είναι αρκετά υψηλή ώστε να καλύπτει το κόστος επεξεργασίας, οι σχέσεις (6.15) και (6.16) εφαρμόζονται. Παρόλο που δεν υπάρχει καμία λύση κλειστής φόρμας για τη λύση τη (6.16), λύσεις μπορούν εύκολα να αποκτηθούν αριθμητικά χρησιμοποιώντας λογισμικό λογιστικών φύλλων.

Συγκεκριμένα αριθμητικά αποτελέσματα μπορεί να δημιουργηθούν με σκοπό να αναπαρασταθούν αυτά τα αποτελέσματα. Για παράδειγμα, αν $b_1 = 1\text{€}/\text{μονάδα χωρητικότητας κανονικού χρόνου}$, $b_2 = 2\text{€}/\text{μονάδα για εφαρμογή τεχνολογίας προστίμου}$, $p = 5.00\text{€}$ και οι συντελεστές ζήτησης τεθούν στα $\alpha = 1000$ και $\beta = 2.0$ τότε με αντικατάσταση των τιμών αυτών στις σχέσεις (6.15) –(6.16) οι ακόλουθες αριθμητικές λύσεις προκύπτουν :

$$r^* = 0.87 \quad \text{και} \quad y^* = 11624 \quad (6.17)$$

Θα πρέπει σύντομα να αναφερθεί ότι σαφείς τιμές για την παράμετρο αξιοπιστίας β δεν είναι διαθέσιμοι για ταχυδρομικές υπηρεσίες. Η συνεπακόλουθη αντικατάσταση στην Εξίσωση (6.12) δεικνύει ότι οι αναμενόμενη βέλτιστη μέση ζήτηση ισούται με 5697 μονάδες. Τα μεγαλύτερα κέρδη προκύπτουν με

αντικατάσταση στην Εξίσωση (6.9) και βρίσκονται ίσα με 15382 €. Άρα, ο παροχέας υπηρεσιών θα πρέπει να εγκαταστήσει 11624 μονάδες χωρητικότητας κανονικού χρόνου με σκοπό να ανταποκριθεί το αναμενόμενο επίπεδο ζήτησης των 5697 μονάδων. Αυτό το επίπεδο χωρητικότητας απαιτείται για να διασφαλιστεί η δηλωμένη χωρητικότητα του 0.87 απαντάται. Η λύση της αξιοπιστίας δείχνει ότι είναι αναμενόμενο το 87% της ζήτησης για επείγων ταχυδρομείο θα επιτύχει την προδιαγραφή για την παράδοση σε μια νύχτα. Αυτά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω στο Διάγραμμα. 6.1



Διάγραμμα 6.1 Λύσεις για Εκθετική Ζήτηση κάτω από Εκθετική Αβεβαιότητα [Πηγή :3]

Από το διάγραμμα 6.1 φαίνεται ότι όσο η αξιοπιστία αυξάνεται, η αναμενόμενη ζήτηση επίσης αυξάνεται. Η κυρτότητα της καμπύλης ζήτησης είναι αντιπροσωπευτική του τύπου της καμπύλης ζήτησης που παράγεται από την Εξίσωση (6.12). Όσο η αξιοπιστία αυξάνεται, η χωρητικότητα επίσης αυξάνεται. Σημειωτέα είναι η αλλαγή στο ρυθμό της αύξησης της χωρητικότητας $\forall r > 0.50$. Αυτό

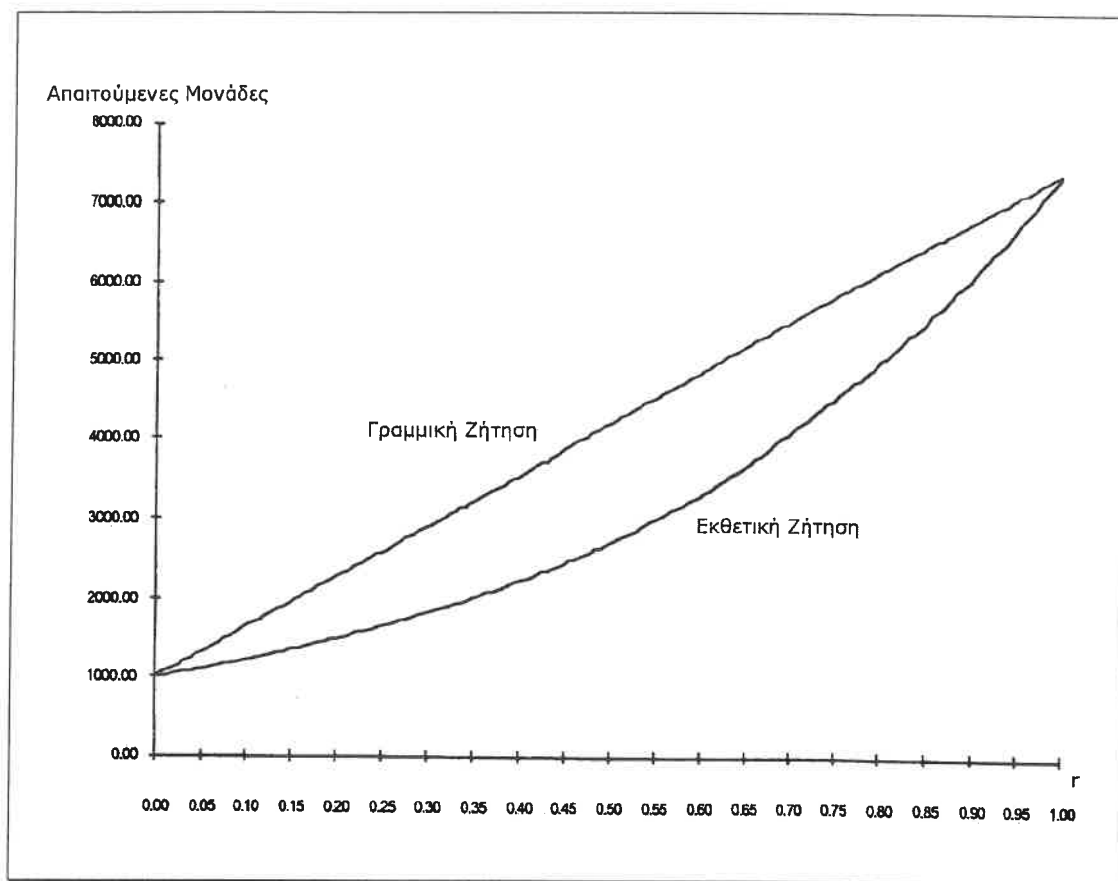
προκύπτει από το ότι ο περιορισμός αξιοπιστίας καθίσταται ενεργός $\forall r \geq 1-b_1/b_2$, κάτι που αποδεικνύεται από τη βιβλιογραφία [6.3]. Για $r < 0.50$, ο περιοριστικός παράγοντας αξιοπιστίας δεν είναι ενεργός και η χωρητικότητα μπορεί να εμφανιστεί ίση με $y = ae^{br} \ln(\frac{b_2}{b_1})$. Το γεγονός ότι η χωρητικότητα δεν τίθεται ίση με 0 $\forall r < 0.5$

δείχνει ότι ακόμα και όταν ο περιορισμός αξιοπιστίας είναι ανενεργός, είναι ευεργετικό να εγκατασταθεί χωρητικότητα με σκοπό να ισορροπήσουν τα αναμενόμενα κόστη από τη τεχνολογία κανονικού χρόνου και προστίμων. Για $r \geq 0.50$, ο περιοριστικός παράγοντας αξιοπιστίας καθίσταται ενεργός και η βέλτιστη χωρητικότητα ευρίσκεται χρησιμοποιώντας την Εξίσωση (6.15). Περαιτέρω αυξήσεις στη χωρητικότητα απαιτούν μεγαλύτερες αυξήσεις στη χωρητικότητα με σκοπό να εγγυηθούμε ότι το δηλωμένο επίπεδο αξιοπιστίας ακολουθείται πιστά. Από την καμπύλη κόστους, βλέπει κάποιος ότι τελικά τα οφέλη αυξημένης της αξιοπιστίας, τα οποία αποδίδονται σε μεγαλύτερη ζήτηση και υψηλότερα έσοδα, δεν υπερακοντίζουν παραπέρα το κόστος του εγχειρήματος, σ' εκείνο το χρόνο που η καμπύλη κέρδους φτάνει σε μέγιστο. Αυτό συμβαίνει στην τιμή η οποία αναφέρθηκε νωρίτερα ονομαστικά, $r^* = 0.87$. Πιο πέρα αυξήσεις στην αξιοπιστία μείνουν τα κέρδη με ένα αυξανόμενο ρυθμό, όπου τα κέρδη τελικά καθίστανται αρνητικά για υπερβολικά υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας.

Για παραπέρα εξερεύνηση της επίδραση της συνάρτησης ζήτησης σε βέλτιστες λύσεις, χρησιμοποιείται μία εναλλακτική συνάρτηση ζήτησης, όπως η γραμμική συνάρτηση ζήτησης που δίδεται παρακάτω :

$$\mu_{X(r)} = E(X(r)) = \gamma + \varepsilon r \quad (6.18)$$

Οι τιμές των γ και ε μπορεί να τεθούν έτσι ώστε η αναμενόμενη ζήτηση στα $r = 0$ και $r = 1$ να είναι ίσες για την Εξίσωση (6.12) και την Εξίσωση (6.18), χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους βάσης που περιγράφηκαν νωρίτερα, για να μπορούν να γίνουν συγκρίσεις. Μπορεί να φανεί ότι αυτό έχει ως αποτέλεσμα τις ακόλουθες τιμές : $\gamma = \alpha$ και $\varepsilon = \alpha(e^b - 1)$. Οι προκύπτουσες καμπύλες ζήτησης για τις δύο κατανομές ζήτησης φαίνονται παρακάτω στο διάγραμμα 6.2.



Διάγραμμα 6.2 Σύγκριση μεταξύ Συναρτήσεων Εκθετικής και Γραμμικής Ζήτησης [Πηγή : 3]

Μπορεί επίσης ναδειχθεί ότι η χρήση της Εξίσωσης (6.18) καταλήγει στην Εξίσωση (6.14) και στη (6.15) για τη γραμμική περίπτωση ζήτησης όπως επίσης και στην εκθετική περίπτωση, αλλά ότι η αντίστοιχη χαρακτηριστική συνθήκη (6.16) για βέλτιστη αξιοπιστία υπό γραμμική ζήτηση γίνεται :

$$pe + b_2 \{ \gamma + 2\epsilon r - \epsilon \} - b_1 \left[\frac{\gamma + \epsilon r}{1-r} + \epsilon \ln(1-r)^{-1} \right] = 0 \quad (6.19)$$

Με χρήση των παραμέτρων της βασικής περίπτωσης $\gamma = \alpha = 1000$, $\epsilon = \alpha(e^\beta - 1) = 6390$, $b_1 = 1 \text{€} / \text{μονάδα χωρητικότητας κανονικού χρόνου}$, $b_2 = 2 \text{€} / \text{μονάδα για την τεχνολογία προστίμου}$ και $p = 5 \text{€}$, μπορεί να φανεί από τις σχέσεις (16) και (12) ότι οι ακόλουθες λύσεις προκύπτουν :

$$r^* = 0.80 \quad \text{και} \quad y^* = 9836 \quad (6.20)$$

Η αντίστοιχη ζήτηση στο βέλτιστο ισούται με 6111 μονάδες με τα μεγαλύτερα κέρδη στα 18276 €. Επομένως, υπό γραμμικής ζήτηση η αξιοπιστία μειώνεται και η ζήτηση αυξάνεται στο μέγιστο. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι η ζήτηση που δημιουργείται από την Εξίσωση (6.18) είναι μεγαλύτερη ή ίση με την ζήτηση που παράγεται από την Εξίσωση (6.12) $\forall r \in [0,1]$. Η προκύπτουσα χωρητικότητα η οποία απαιτείται με σκοπό να τηρηθεί η αξιοπιστία του 0.80 είναι κατά πολύ λιγότερη από την απαιτούμενη για να καλύψει την υψηλότερη, όπως έχει προκύψει, αξιοπιστία του για την περίπτωση εκθετικής ζήτησης. Αυτή η οικονομία κόστους, μαζί με μεγαλύτερα έσοδα που δημιουργούνται μέσω της υψηλότερης ζήτησης για τη γραμμική υπόθεση, οδηγεί σε μεγαλύτερα κέρδη όταν η ζήτηση είναι γραμμική. Το προηγούμενο αποτέλεσμα είναι ότι τα μεγαλύτερα κέρδη από την Εξίσωση (6.18) είναι πάντοτε μεγαλύτερα ή ίσα με αυτά που προκύπτουν από την Εξίσωση (6.12), αποδιδόμενα σε μεγαλύτερη και χαμηλότερο κόστος όταν η ζήτηση είναι γραμμική.

Για να διερευνηθεί η επίδραση της μεταβλητότητας πάνω στη ζήτηση, εισάγεται η ομοιόμορφη αβεβαιότητα. Η εκθετική αβεβαιότητα δε θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από τη στιγμή που η διακύμανση της ζήτησης για την εκθετική περίπτωση, σ_e^2 , είναι πάντοτε ίση με το τετράγωνο της μέσης ζήτησης. Πάντως, για την ομοιόμορφη αβεβαιότητα, η μεταβλητότητα μπορεί να τροποποιηθεί για κάθε αναμενόμενο επίπεδο ζήτησης απλά μεταβάλλοντας τα ανώτερα και κατώτερα όρια της συνάρτησης ομοιόμορφης πυκνότητας.

Χρησιμοποιώντας την ίδια προσέγγιση όπως στο Θεώρημα 3, οι βέλτιστες λύσεις μπορεί να προσδιοριστούν για την περίπτωση της εκθετικής ζήτησης κάτω από ομοιόμορφη αβεβαιότητα. Για παράδειγμα μπορεί να αποδειχτεί ότι :

$$\forall p < b_1, r^* = 0 \quad \text{και} \quad y^* = E(X(r)) \left\{ 1 + \phi \left[-\frac{2b_1}{b_2} \right] \right\}, \quad (6.21)$$

και

$$\forall p \geq b_1 \quad y^* = E(X(r)) \left\{ 1 + \phi - 2\sqrt{\phi(1-r)} \right\} \quad (6.22)$$

το ϕ αντιπροσωπεύει μια παράμετρο μεταβλητότητας, με την προκύπτουσα ομοιόμορφη συνάρτηση πυκνότητας καθορισμένη μέσα στο διάστημα $X[\mu \pm \phi\mu]$. Για την περίπτωση της εκθετικής ζήτησης κάτω από ομοιόμορφη αβεβαιότητα,

μπορεί ναδειχθεί ότι, $E(X-y)^+ = E(X(r))(1-r)$ με τη λύση r^* για προσδιορισμένο από την ακόλουθη χαρακτηριστική συνθήκη :

$$p\beta - b_1 \left\{ \sqrt{\frac{\varphi}{1-r}} + \beta [1 + \varphi - 2\sqrt{\varphi(1-r)}] \right\} + b_2 \{1 - \beta(1-r)\} = 0 \quad (6.23)$$

Πριν από τον αριθμητικό προσδιορισμό των λύσεων, η μεταβλητότητα της ζήτησης φ πρέπει να τεθεί. Για λόγους σύγκρισης, να σημειωθεί ότι η μεταβλητότητα μπορεί να μην τεθεί ίση για την εκθετική και την ομοιόμορφη αβεβαιότητα, αφού μπορεί να φανεί ότι αυτό θα αξίωνε για την ομοιόμορφη κατανομή ζήτησης να είναι καθορισμένη μέσα στο διάστημα $[\mu \pm \sqrt{3}\mu]$, το οποίο είναι μη πρακτικό καθώς επιτρέπει για τη ζήτηση αν είναι αρνητική. Η μέγιστη διακύμανση αποκτάται για την ομοιόμορφη κατανομή καθορίζοντας το εφικτό διάστημα ζήτησης στο $[0.2\mu]$. Γενικά, η μεταβλητότητα για την ομοιόμορφη κατανομή μπορεί να τροποποιηθεί με αλλαγές στο φ , όπου η κατανομή της ζήτησης καθορίζεται μέσα στο διάστημα $[\mu \pm \varphi\mu]$ και $\varphi \in [0,1]$. Για την περίπτωση της μέγιστης μεταβλητότητας, $\varphi = 1$.

Αναλογιζόμενοι τις ακόλουθες παραμέτρους βάσης $b_1 = 1$, $b_2 = 2$, $p = 5$, με τις παραμέτρους ζήτησης $\alpha = 1000$ και $\beta = 2$. Θέτοντας $\varphi = 1$ θα φανεί ότι οι ακόλουθες λύσεις προκύπτουν για την περίπτωση της εκθετικής ζήτησης κάτω από ομοιόμορφη αβεβαιότητα :

$$r^* = 0.88, \quad y^* = 7598$$

όπου τα r^* και y^* ευρίσκονται χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (6.23) και (6.22), αντιστοίχως. Η σχετική αναμενόμενη ζήτηση, η οποία βρίσκεται χρησιμοποιώντας την Εξίσωση (6.12), είναι 5812 μονάδες, όπου η ζήτηση μεταβάλλεται μέσα στο διάστημα $[0,11624]$, αφού $\varphi = 1$. Το αντίστοιχο αναμενόμενο βέλτιστο επίπεδο κέρδους καθορίζεται από τη χρήση της Εξίσωσης (6.9) μαζί με την Εξίσωση (6.11), και προκύπτει ίσο με 2632 €. Για λόγους σύγκρισης οι ίδιες παράμετροι βάσης μπορούν να εφαρμοστούν στην περίπτωση της εκθετικής ζήτησης κάτω από εκθετική αβεβαιότητα. Με χρήση των σχέσεων (6.15) και (6.16) η βέλτιστες λύσεις βρίσκονται να είναι :

$$r^* = 0.61, \quad y^* = 3189.$$

Η αντίστοιχη αναμενόμενη ζήτηση σ' αυτό το επίπεδο αξιοπιστίας ισούται με 3387 με ένα σχετικό βέλτιστο αναμενόμενο κέρδος 943 €.

Τα αποτελέσματα αυτά δεικνύουν ότι τα αναμενόμενα βέλτιστα κέρδη είναι υψηλότερα κάτω με την υπόθεση της ομοιόμορφης αβεβαιότητας όταν αυτή συγκρίνεται με την εκθετική αβεβαιότητα. Η αξιοπιστία τίθεται σε ένα υψηλότερο επίπεδο με ένα αντίστοιχο με ένα αναμενόμενο υψηλότερο επίπεδο αναμενόμενης ζήτησης. Παρόλο που η απαιτούμενη χωρητικότητα με ομοιόμορφη αβεβαιότητα είναι πολύ υψηλότερη από εκείνη με εκθετική αβεβαιότητα, κάτι που αποδίδεται στη μεγαλύτερη ζήτηση η οποία πρέπει να εκπληρωθεί σε ένα υψηλότερο επίπεδο αξιοπιστίας, υπάρχει αύξηση των εσόδων εξ αιτίας της αυξημένης ζήτησης περισσότερο από ότι αντισταθμίζουν τα αυξημένα έξοδα επεξεργασίας, με αποτέλεσμα τα προκύπτοντα κέρδη να είναι μεγαλύτερα κάτω από την ομοιόμορφη αβεβαιότητα. Αυτή η αύξησης στα κέρδη μπορεί επίσης να αποδοθεί στο γεγονός ότι κάτω από την υπόθεση εκθετικής αβεβαιότητας υπάρχει ένα μικρό ποσοστό πιθανότητας η ζήτηση να είναι εξαιρετικά υψηλή, από τη στιγμή που η ζήτηση μπορεί υποθετικά να κυμανθεί εντός του $[0, +\infty]$, στην οποία περίπτωση τα αναμενόμενα έξοδα από τα πρόστιμα θα είναι πολύ υψηλά, ενόσω για την περίπτωση της ομοιόμορφης αβεβαιότητας τα δυνατά έξοδα από πρόστιμα είναι περιορισμένα από το γεγονός ότι η ζήτηση είναι φραγμένη από ένα άνω όριο. Σημειώνεται ότι το μέγεθος του προηγούμενου διαφορικού κέρδους θα πρέπει να μετρηθεί με το γεγονός ότι ακόμα και με τη μέγιστη μεταβλητότητα ($\varphi = 1$), η ομοιόμορφη κατανομή δεν επιτυγχάνει ένα τόσο μεγάλο μέγεθος μεταβλητότητας όσο η εκθετική κατανομή. Γενικά πάντως, τα αποτελέσματα που προκύπτουν εδώ, δείχνουν ότι χαμηλότερη μεταβλητότητα μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένα κέρδη. Η επέκταση αυτών των αποτελεσμάτων σε άλλες μορφές ζήτησης και στοχαστικής αβεβαιότητας παραμένουν ως επαγωγικά συμπεράσματα για μελλοντική έρευνα.

Για να διευκρινιστεί παραπέρα την επίδραση της μεταβλητότητας πάνω στα κέρδη, η παράμετρος μεταβλητότητας φ είναι συνεχώς επαναλαμβανόμενη πάνω στο $[0,1]$ για την περίπτωση της εκθετικής ζήτησης κάτω από ομοιόμορφη αβεβαιότητα.

Όπως ήταν αναμενόμενο, υψηλότερες τιμές του φ μεταφράζονται σε χαμηλότερα επίπεδα αξιοπιστίας, στο βέλτιστο. Στην ακραία τιμή του $\varphi = 0$, για την οποία, καμία μεταβλητότητα στη ζήτηση δεν υπάρχει, η αξιοπιστία τίθεται ίση με τη

μονάδα, συνεπώς υποδηλώνεται ότι η χωρητικότητα θα τεθεί ίση με τη ζήτηση, θέτοντας ως εγγύηση ότι κάθε μονάδα επεξεργάζεται μέσα στο κρίσιμο πλαίσιο του b_1 . Αλλιώς, για ορισμένη ζήτηση και εάν είναι επικερδές να εξυπηρετείται μια μονάδα ζήτησης, τότε είναι επικερδές να εξυπηρετείται ολόκληρη τη ζήτηση χωρίς να χρησιμοποιείται καθόλου τεχνολογία προστίμων. Επίσης φαίνεται ότι όσο η μεταβλητότητα μειώνεται, η βέλτιστη αξιοπιστία αυξάνεται.

Μπορεί ναδειχθεί ότι η βέλτιστη χωρητικότητα είναι πάντοτε ίση ή μεγαλύτερη από τη μέση ζήτηση, παρόλα αυτά, όσο η μεταβλητότητα μειώνεται, η ποσότητα της υπερβολικής χωρητικότητας, οριζόμενης ως η διαφορά μεταξύ χωρητικότητας και αναμενόμενης χωρητικότητας, μειώνεται. Κατά συνέπεια, η απόδοση με όρους οικονομίας χρημάτων επιφέρεται μέσω συνεχών μειώσεων στη μεταβλητότητα. Με άλλα λόγια, η μειωμένη μεταβλητότητα μεταφράζεται σε : α) αυξημένα έσοδα, και β) σε μειωμένα έξοδα οριακής επεξεργασίας, εξ αίτιας της μειωμένης αιχμής χωρητικότητα που απαιτείται με σκοπό να ανταποκριθεί στην αυξημένη ζήτηση με χαμηλότερη μεταβλητότητα. Ως αποτέλεσμα, η αξιοπιστία στο βέλτιστο, αυξάνεται. Για υψηλά επίπεδα μεταβλητότητας, τα βέλτιστα κέρδη είναι περίπου 3000 $\square$ και η απαιτούμενη χωρητικότητα υπερβαίνει την αναμενόμενη ζήτηση. Εν τούτοις, όσο η μεταβλητότητα μειώνεται, το ποσό της απαιτούμενης υπερβολικής χωρητικότητας μειώνεται. Όσο η μεταβλητότητα συνεχίσει να μειώνεται, η απαιτούμενη χωρητικότητα αυξάνεται με μειούμενο ρυθμό και τελικά αρχίζει να μειώνεται όσο η μεταβλητότητα φτάνει το μηδέν. Ακολούθως, οι περικοπές αυτές των εξόδων μεταφράζονται σε υψηλότερη αξιοπιστία στο βέλτιστο, πράγμα που οδηγεί σε αύξηση των βέλτιστων εσόδων. Τα αποτελέσματα φανερώουν ότι, από το παράδειγμα που παρουσιάστηκε, α) αυξημένα κέρδη προκύπτουν από μειωμένη μεταβλητότητα ζήτησης. Τα αριθμητικά παραδείγματα σε αυτόν τον τομέα επίσης δείχνουν ότι β) τα καθαρά οφέλη από προκύπτουν από την αυξημένη αξιοπιστία είναι τελικά εξισωμένα με τα αναμενόμενα έξοδα επεξεργασίας, στο σημείο εκείνο όπου τα αναμενόμενα κέρδη αρχίζουν να φθίνουν, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6.1 και ότι γ) η κατανομή ζήτησης έχει επίδραση στις βέλτιστες λύσεις μέσω των λεπτομερών όρων μιας συνάρτησης ζήτησης και της στοχαστικής αβεβαιότητας.

6.2.4 Συμπεράσματα

Μέχρι τώρα έχουν έρθει στο προσκήνιο στην ιδιαίτερη επίδραση που η αξιοπιστία έχει στη ζήτηση και εάν η ζήτηση αυτή παρουσιάζει σταθερή ζήτηση, όπως προτείνεται από ένα εφαρμοστέο πρότυπο ζήτησης, ή ένα πρότυπο ελαστικότητας η οποία έχει διακυμάνσεις (γραμμικές ή εκθετικές).

Εκτεταμένη δουλειά στην πράξη θα μπορούσε να παράσχει λογικές εκτιμήσεις για την ελαστικότητα της ζήτησης όπως επίσης, για την αξιοπιστία των υπηρεσιών για πολλαπλές κατηγορίες χρηστών.

Γενικά,, η προηγούμενη ανάπτυξη παράγοντας ένα δέσιμο για το μάρκετινγκ και τη διοίκηση δείχνει ένα σημαντικό κενό στη φιλολογία γύρω από την αξιοπιστία των υπηρεσιών. Αυτό που μπορεί να γίνει είναι να συμπεριληφθούν στην πράξη τα θεωρητικά αποτελέσματα των Θεωρημάτων 1 και 2 και να διερευνηθούν εμπειρικά την εξάρτηση μεταξύ ζήτησης και αξιοπιστίας υπηρεσιών.

Καταλήγοντας, τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται εδώ προσφέρουν μελέτη στο θέμα των λύσεων που αφορούν χωρητικότητα, σχεδιασμό και τα χαρακτηριστικά της ποιότητας των υπηρεσιών για μεγιστοποίηση κερδών ενός παροχέα υπηρεσιών που λειτουργεί κάτω από συνθήκες στοχαστικής ζήτησης. Τέτοια παραδείγματα είναι Υπεραγορές, επιχειρήσεις μέσω διαδικτύου, μηχανήματα ΑΤΜ αλλά και ιατρικές εφαρμογές. Επιπλέον έρευνα στην περιοχή αυτή θα βοηθούσε στην αύξηση της αποτελεσματικότητας των προσφερομένων υπηρεσιών από τον εταιρικό ανταγωνισμό. Βοηθά επίσης να διασφαλιστεί ότι οι απαιτήσεις των πελατών θα ικανοποιούνται.

6.3 Εισαγωγή Στην Προσομοίωση Monte-Carlo

Μερικά συστήματα είναι τόσο σύνθετα για να τα αναλύθουν εύκολα με αναλυτικές μεθόδους. Σε μερικές περιπτώσεις όπως αυτές, η προσομοίωση Monte-Carlo συχνά χρησιμοποιείται, καθώς είναι πολύ ευπροσάρμοστη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξέταση διαφορετικών πολιτικών συντήρησης, λύσεων σχεδιασμού, διαθέσιμων υλικών και πολλών άλλων παραγόντων που επηρεάζουν την αξιοπιστία, τη διαθεσιμότητα ή άλλα μέτρα αποτελεσματικότητας.

Θεωρούμε ένα τμήμα το οποίο έχει αξιοπιστία 95 τοις εκατό σε μια δεδομένη κατάσταση. Βασικά, ο ισχυρισμός αυτός προέρχεται από μια δοκιμή η οποία

εκτελέστηκε, στη οποία ένας αριθμός τμημάτων ελέγχθηκε, με 5 τοις εκατό αυτών να αποτυγχάνουν ενώ, 95 τοις εκατό αυτών να λειτουργεί επιτυχώς. Μια έκθεση αυτής της δοκιμής θα ήταν πλήρης πληροφοριών οι οποίες δε θα ήταν άμεσα συσχετιζόμενες με το θέμα, όπως καιρικές συνθήκες κατά τη δοκιμή, ο κατασκευαστής ή οι κατασκευαστές του τμήματος, κτλ, ενώ οι πληροφορίες που ενδιαφέρουν, δηλαδή τα δεδομένα το πιθανότερο είναι να περιληφθούν σε ένα παράρτημα. Αυτό θα είναι απλά μια καταγραφή επιτυχίας ή αποτυχίας κάθε ενός τμήματος και στη βάση του α περιλαμβάνει μια λίστα από Ε(πιτυχίες) ή Α(ποτυχίες) για κάθε τμήμα. Μπορούν να υπάρξουν 20 δοκιμές με μια αποτυχία, 100 δοκιμές με 5 αποτυχίες ή 1000 αποτυχίες με 50 δοκιμές.

Θα ήταν πιθανό να παράχθουν δεδομένα παρόμοιας φύσης με τη χρήση ενός 20-πλευρου ζαριού, του οποίου η μία πλευρά περιγράφεται με Α για την αποτυχία και οι υπόλοιπες 19 πλευρές με το Ε για τις επιτυχίες. Αυτό το ζάρι ρίχνεται όσες φορές απαιτείται με το κατάλληλο σύμβολο να καταγράφεται, αναλόγως με την όψη που εμφανίζεται. Η λίστα των Α και Ε η οποία έτσι παράγεται, ενώ δεν είναι ταυτόσημη με τα πραγματικά δεδομένα, θα ομοίαζε με αυτά κατά κάποιο τρόπο. Εντός των επιτρεπόμενων ορίων από τη στατιστική μεταβλητότητα, η ποσοστιαία αναλογία των αποτυχιών θα ήταν παρόμοια, όπως επίσης οι φορές όπου δύο αποτυχίες θα εμφανίζονταν η μία μετά την άλλη. Τα μήκη των εν σειρά επιτυχιών θα ήταν παρομοίως κατανεμημένα. Θα ήταν αδύνατο να πούμε ποια σειρά δεδομένων ήταν ποια από οποιουσδήποτε στατιστικούς ελέγχους οι οποίοι θα μπορούσαν να εφαρμοστούν. Αυτό είναι εκείνο το γεγονός το οποίο χρησιμοποιείται στην προτυποποίηση Monte-Carlo ή την προσομοίωση Monte-Carlo όπως μερικές φορές λέγεται.

Στην πράξη, δε χρησιμοποιούνται πλέον ζάρια για την παραγωγή των τυχαίων δεδομένων τα οποία χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση. Οι περισσότεροι εκτιμητές έχουν μια γεννήτρια τυχαίων αριθμών, η οποία συχνά ονομάζεται RAN, δηλαδή Random-τυχαίο, και αυτή μπορεί να χρησιμοποιείται αντί ενός ζαριού. Εάν το κουμπί RAN πατηθεί, ένας αριθμός μεταξύ του 0 και του 1 θα εμφανιστεί. Εάν πατηθεί κάποιες φορές συνεχόμενα, διαφορετικοί αριθμοί θα εμφανιστούν προφανώς χωρίς κάποιο μοτίβο. Είναι σα να υπάρχει μια εγκατάσταση στον υπολογιστή η οποία να ρίχνει ένα ζάρι με πολλές πλευρές και στέλνει τα αποτελέσματα σε μια οθόνη. Στην πραγματικότητα οι αριθμοί δεν είναι πραγματικά τυχαία, αλλά υπολογίζονται από ένα μαθηματικό τύπο. Λέγονται ψευδό-τυχαίοι και παρουσιάζουν πολλές

ιδιότητες τυχαίων αριθμών. Όλοι οι αριθμοί μεταξύ του 0 και του 1 είναι εξίσου πιθανοί, με την έννοια ότι εάν ένας μεγάλος αριθμός αυτών παραχθεί και ένα ιστόγραμμα δεδομένων σχεδιαστεί, θα ήταν λίγο ή πολύ επίπεδο. Δεν υπάρχει καμία σημαντική σχέση μεταξύ κάθε αριθμού και του επόμενου, κτλ. Ο καλός σχεδιασμός γεννητριών τυχαίων αριθμών είναι ένα καθήκον που απαιτεί ικανότητα και ακαδημαϊκές προσπάθειες έχουν γίνει για την έρευνα της θεωρίας πίσω απ' αυτό.

Μια γεννήτρια τυχαίων αριθμών μπορεί να χρησιμοποιηθεί όπως το ζάρι το οποίο αναφέρθηκε παραπάνω. Εάν η αξιοπιστία ενός τμήματος είναι R , τότε παράγεται ένας τυχαίος αριθμός r και εφαρμόζεται ο παρακάτω κανόνας :

Εάν

$$r < R, \text{ τότε επιτυχία}$$

αλλιώς αποτυχία.

τότε η πιθανότητα αποτυχίας είναι ακριβώς R , αφού όλοι οι αριθμοί μεταξύ του 0 και του 1 είναι εξίσου ίσοι.

Η σύντομη αυτή εισαγωγή στην προσομοίωση Monte-Carlo δείχνει ότι η μέθοδος στην πολύ απλή κατάσταση στην οποία ένα τμήμα είτε λειτουργεί είτε αποτυγχάνει. Στην πράξη, μπορεί να είναι απαραίτητο να αποκομιστούν πολύ περισσότερα δεδομένα για ένα σύστημα, όπως ο MXGB και ο MXMB, η διαθεσιμότητά του και η επίδραση των παραμέτρων όπως ο MXGE, ο αριθμός των ομάδων επισκευής, των διαθεσίμων υλικών, κτλ.

6.4 Μία θεωρητική εξέταση στη χρήση προγνωστικών προτύπων (forecasting models)

Συγκεκριμένα : Εφαρμογή στην εξέλιξη παρεμβάσεων για λόγους ασφαλείας.

Ζητείται την εκτίμηση του αναμενόμενου αριθμού ατυχημάτων μετά την παρέμβαση, αν αυτή δεν είχε γίνει. Κάτι που σημαίνει εκ των υστέρων πρόγνωση

Υπάρχουν 2 είδη προτύπων πρόγνωσης :

1) Εξάρτησης αιτίων – αποτελέσματος ("casual") με σχετικά δύσκολη ανάπτυξη και συχνά αμφισβητήσιμη αξιοπιστία.

2) Συμπερασματικής εξαγωγής ή παρέκτασης ("extrapolation") .

Τα πρότυπα αυτά δεν ασχολούνται με τους υποκείμενους μηχανισμούς που παράγουν π.χ. τα ατυχήματα , τους αντανακλούν όμως. Τα τελευταία αυτά πρότυπα αποτελούν αντικείμενο αναφοράς

Συχνό λάθος : Η υπόθεση ότι πρότυπα που ταιριάζουν στα δεδομένα του παρελθόντος είναι κατ' ανάγκη και αξιόπιστα μοντέλα πρόγνωσης.

Στα πρότυπα προβλέψεων διακρίνονται 2 πηγές λάθους :

Λάθος στις προδιαγραφές (specification error)

Λάθος στην εφαρμογή (application error)

Η επίδοση της πρόγνωσης κρίνεται από το πόσο καλά το μοντέλο προβλέπει και όχι απ' το πόσο καλά ταιριάζει στα προηγούμενα δεδομένα.

Εμπειρικό μέτρο σύγκρισης προτύπων : Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (Mean Square Error)

Με βάση τους τύπους τους μπορούν να ομαδοποιηθούν τα πρότυπα που εξετάζονται παρακάτω σε 3 κατηγορίες :

α) Βασιζόμενα αποκλειστικά σε Μέσους Όρους παρελθόντων γεγονότων. Εδώ οι προβλέψεις δεν εξαρτώνται από το πόσο βαθιά στο μέλλον θέλει κάποιος να πάει.

β) Βασιζόμενα σε παρεκτάσεις πολυνύμων που ταιριάζουν στα ιστορικά δεδομένα. Σ' αυτή την περίπτωση οι προβλέψεις εξαρτώνται από το χρόνο.

γ) Βασιζόμενα σε «ομαλοποιημένες» (ζυγισμένες) τιμές παρελθόντων ατυχημάτων. Αυτά τα πρότυπα είναι παρόμοια με αυτά των ανωτέρω περιπτώσεων. Ο ομαλοποιητικός παράγοντας επιτρέπει το ζύγισμα των τιμών έτσι ώστε, οι πιο πρόσφατες παρατηρήσεις να συνεισφέρουν περισσότερο στην πρόβλεψη.

Διάφορα μοντέλα που συγκρίνονται :

Naive (απλούστερο, προβλέπει την ίδια με την τελευταία τιμή)

AVEn (Μέσος Όρος n προηγούμενων μετρήσεων)

LREGn,all (γραμμική παρεμβολή, n προηγούμενων ή όλων των όρων)

QREGn,all (παραβολική παρεμβολή, n προηγούμενων ή όλων)

LPROJ (γραμμική προβολή 2 τελευταίων τιμών)

SES_{I,II,III,IV} (απλή εκθετική ομαλοποίηση αναλόγως αρχικής τιμής)

Σε καθένα από τους παρακάτω τύπους SES :

SES_I, η αρχική τιμή είναι η πρώτη χρονικά παρατήρηση

SES_{II}, η αρχική τιμή είναι ο Μ.Ο όλων των παρατηρήσεων μέχρι κάποια χρονική στιγμή i

SES_{III}, η αρχική τιμή βρίσκεται από τη διαδικασία της πίσω-απόρριψης

SES_{IV}, η χρησιμοποιούμενη εδώ αρχική τιμή είναι αυτή που ελαχιστοποιεί το ολικό Άθροισμα των Τετραγωνισμένων ιστορικών λαθών πρόβλεψης.

DES (διπλή εκθετική ομαλοποίηση) με δύο μορφές

Case 1 : όπου οι πρώτες 4 παρατηρήσεις χρησιμοποιούνται για να προσδιοριστούν οι πρώτες τιμές , και

Case 2 : εδώ, όλες οι παρατηρήσεις της σειράς του χρόνου μέχρι τη χρονική στιγμή i χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των πρώτων τιμών.

TES (τριπλή εκθετική ομαλοποίηση) με ανάλογες μορφές όπως στην DES.

Η εμπειρική εκτίμηση της επίδοσης ενός προγνωστικού προτύπου εμπεριέχει μια αποτίμηση των επιδόσεων του πάνω στο κατά πόσο μπορούσε να προβλέψει στο παρελθόν. Μέτρο αυτών των επιδόσεων είναι το «ιστορικό» MSE υπολογιζόμενο για προβλέψεις και πραγματοποιήσεις.

Προχωρώντας τώρα μπορεί να διατυπωθεί μια εναλλακτική αναλυτική προσέγγιση. Έστω μια στοχαστική διαδικασία με χρονικά κυμαινόμενο Μ.Ο, $m(t)$. Από αυτή τη διαδικασία ανακύπτουν πραγματικά $x_1, x_2, \dots, x_i$. Χρησιμοποιώντας αυτά και κάποιο πρότυπο πρόγνωσης, παράγονται οι προγνώσεις $f_{i,1}, f_{i,2}, \dots, f_{i,k}$ για $t = i+1, i+2, \dots, i+k$. Επιθυμητή είναι η γώση του ποιο από δύο εναλλακτικά πρότυπα είναι πιθανό να παράγει καλύτερες προβλέψεις.

Ένα πρότυπο είναι καλύτερο από κάποιο άλλο εάν οι προβλέψεις του είναι, κατά μέσο όρο, «πλησιέστερα» σε ότι τελικά πραγματοποιείται.

Ορίζεται το σφάλμα πρόγνωσης ως : $e_{i,k} = f_{i,k} - x_{i,k}$

Το πρότυπο το οποίο θα έχει το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα γύρω από το 0 θα κριθεί καλύτερο.

Σε μια πρόγνωση k-βημάτων εμπρός, για το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE) ισχύει

$$MSE_k = VAR(e_{i,k}) + (E[e_{i,k}])^2$$

Το πρότυπο πρόγνωσης συμπεριφέρεται ως ένα γραμμικό φίλτρο στο οποίο εισάγονται n-πίσω τιμές και αφού τις επεξεργαστεί, παράγει k-εμπρός προβλέψεις.

Μπορούμε αυτό το πούμε Γενική Γραμμική Προγностική (General Linear Forecaster, GLF). Γενικά, ο τύπος του είναι ο εξής :

$$f_{i,k} = \Delta + \sum_{t=1}^n [g(t,k,n)]x_{i+t-n} \quad \text{όπου :}$$

Δ είναι μια σταθερά και $g(t,k,n)$, είναι μια συνάρτηση των t,k,n .

Για κάθε ένα πρότυπο μπορούν από πίνακες να βρεθούν τιμές για τα παραπάνω και έτσι να προσαρμοστεί η GLF σε καθένα πρότυπο. Μετά, μέσω αυτής για γραμμικό $m(t)$ με κλίση b μπορεί να βρεθεί το MSE για καθένα πρότυπο.

Έτσι, είναι τώρα δυνατή σύγκριση μεταξύ των προτύπων με βάση το MSE του καθενός. Επειδή όμως, όπως είπαμε, ο τύπος του MSE εξαρτάται από τα $m(t)$, την κλίση b , την ασφάλεια σε χρόνο i , παρατηρούμε ότι υπάρχουν περιοχές του m και του b όπου το ένα ή το άλλο πρότυπο συμπεριφέρεται καλύτερα. Το MSE για κάθε πρόβλεψη είναι το άθροισμα της διασποράς του σφάλματος και του τετραγώνου της μεροληψίας.

Με προσεγγίση κατά Bayes όπου τα m, b έχουν πιθανοτική συμπεριφορά και είναι στατιστικά ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές, όπως άλλωστε συνήθως συμβαίνει, η βάση για την αποτίμηση της επίδοσης αντί για το MSE είναι το $E[MSE_k]$

Στην περίπτωση, ειδικά, των παρεμβάσεων για λόγους ασφαλείας :

Όπως ήδη αναφέρθηκε με τα πρότυπα προγνώσεων μπορεί να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα των βελτιώσεων. Αυτό γίνεται συγκρίνοντας τον προβλεπόμενο (μέσω κάποιου προτύπου) αριθμό ατυχημάτων, αν η παρέμβαση δεν είχε γίνει, με τα ατυχήματα που συνέβησαν μετά την βελτίωση.

Αν : λ είναι η ασφάλεια του τμήματος στην περίοδο «μετά»

π η ασφάλεια που θα ήταν εάν η παρέμβαση δεν είχε γίνει.

Τότε ο λόγος $\theta = \lambda/\pi$ δίνει την αποτελεσματικότητα της παρέμβασης. Όταν $\theta < 1$ έχουμε αποτελεσματική βελτίωση σε ποσοστό $100 \cdot (1 - \theta)$.

Αφού βρεθούν τα $\bar{\lambda}$ και $\bar{\pi}$ ως τιμές και διακυμάνσεις μπορεί να βρεθεί το $\bar{\theta}$ και τη διακύμανσή του. Το $\bar{\pi}$ θα βρεθεί χρησιμοποιώντας κάποιο από τα πρότυπα που αναφέρθηκαν πιο πάνω λαμβάνοντας ως δεδομένα από I περιόδους πριν στο προς εξέταση τμήμα. Το $\bar{\lambda}$ βρίσκεται από μετρήσεις σε I περιόδους μετά την επέμβαση.

$$\text{Έτσι } \bar{\theta} = \frac{\bar{\lambda}}{\bar{\pi}}, \text{ η επίδραση της παρέμβασης.}$$

Συμπερασματικά : Έγινε μια εισαγωγή στην επιλογή του προτύπου που φαίνεται να είναι το καταλληλότερο κάτω από διάφορες συνθήκες για να γίνει κάποια πρόγνωση. Το μέτρο της επίδοσης της πρόγνωσης που χρησιμοποιήθηκε είναι το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα. Υπό ορισμένες υποθέσεις βρίσκεται τις εκφράσεις του MSE για διάφορα πρότυπα παρέκτασης και έτσι να συγκριθούν υπό διάφορες συνθήκες. Ειδικότερα οι εκφράσεις αναπτύσσονται για την περίπτωση όπου υπάρχει γραμμική εξέλιξη της ασφάλειας ενός τμήματος με το χρόνο ενώ τα ατυχήματα ακολουθούν κατανομή Poisson. Εξετάζονται περιπτώσεις για διάφορα m και b , ενώ δοκιμάζονται και μια προσέγγιση κατά Bayes με τυχαίες τιμές σε αυτές τις παραμέτρους. Τέλος, παραθέτονται εκφράσεις για την αποτίμηση της παρέμβασης καθώς και το πόσο ακριβής αυτή η αποτίμηση είναι [4].

Περαιτέρω μελέτη : Είχαμε θέσει περιορισμούς στο ότι υπάρχει γραμμική μεταβολή στη συνάρτηση $m(t)$ και ότι η δομή του σφάλματος είναι κατανεμημένο κατά Poisson αλλά μπορεί να επεκταθεί σε άλλες μορφές όπως η παραβολική ή κυβική μεταβολή με το χρόνο και άλλες κατανομές αντίστοιχα.

6.5 Μοντέλα Μεταφορών στη Διαδικασία της Πολιτικής των Μεταφορών

Λειτουργία : Το να γίνουν πρότυπα και ανάλυση, ενώ δεν παράγει πάντα αξιόπιστα αποτελέσματα ή πληροφορίες εμπιστοσύνης, είναι η καλύτερη διαθέσιμη μέθοδος να δοκιμάσουν τις πιθανές επιπτώσεις εναλλακτικών δρόμων δράσης σε πραγματικά κοινωνιοοικονομικά συστήματα.

Επίσης προσφέρουν τα προς το ζην σε αυτούς που φτιάχνουν τα πρότυπα και στους διάφορους συμβούλους !

Όμως : μια πρόσφατη έρευνα του TRB έδειξε ότι η ανάμιξη στη διαδικασία με τα πρότυπα μπορεί μερικές φορές να παράγει λάθη συχνά μεγαλύτερα από τις διαφορές των επιδόσεων των εκτιμώμενων εναλλακτικών λύσεων.

Πέρα όμως από τα τεχνικά όρια των προγνώσεων, τα πρότυπα και οι εμπνευστές τους μπορούν, και συχνά είναι, συμβιβαστικοί στην πράξη από πολιτικές πιέσεις.

Παραδείγματα Εφαρμογής διαφόρων προτύπων:

Τοπικό Σχέδιο NY : Εδώ έγινε φανερό ότι τα πρότυπα για τη συγκεκριμένη περίπτωση θα πρέπει να είναι αρκετά εύρωστα για να αντισταθούν στην εξονυχιστική εξέταση, αλλά αρκετά απλά για να είναι καθαρά σε αυτούς που παίρνουν τις αποφάσεις. Επίσης πρέπει να δίνουν λογικά αποτελέσματα. Επίσης χρήσιμο θα ήταν οι δημιουργοί προτύπων να τα «έτρεχαν» στο παρελθόν για να δουν πώς θα προέβλεπαν το παρόν.

Επίσης : Μετρό του Όρεγκον Vs Freeway
 Μετρό του Portland
 Κονδύλια Ενεργειακής Άμυνας
 Intercity – California
 State-of-the-Art αεροδρόμιο Vs επίγεια μεταφορά

Η ανικανότητα των δημιουργών προτύπων να μάθουν τον «Νόμο των Μη Αναμενόμενων Συνεπειών» είναι προβληματική. Είναι αξιοθαύμαστο ότι η έλλειψη επιτυχίας σε προσπάθειες να περιοριστεί ο φόρτος με τη επέκταση της

χωρητικότητα φαίνεται να εκπλήσσει επαγγελματίες μιας κοινότητας που έχει εδώ και καιρό καταλάβει τα φαινόμενα της δημιουργίας ζήτησης.

Καινοτομίες στην Ανάλυση των Μεταφορών.

Η πρώτη γενιά προτύπων διακριτής επιλογής όπως π.χ. το STEP, βασιζόταν σε ένα ολοκληρωμένο -βασισμένο στη διαδρομή- πλαίσιο που υπέθετε την εξάρτηση ανάμεσα στις διαδρομές σπίτι-δουλειά και σπίτι-άλλες δραστηριότητες.

Η δεύτερη γενιά προτύπων διακριτής επιλογής, το πλαίσιο της οποίας αναπτύχθηκε στην Ολλανδία, είναι βασισμένη στο ταξίδι.

Η πιο πρόσφατη ιδέα προτύπου είναι το βασιζόμενο στις δραστηριότητες πλαίσιο που επιδιώκει να συλλάβει το πρόγραμμα ταξιδιού της δραστηριότητας ολόκληρης της μέρας.

Τρία μεγάλης κλίμακας πρότυπα συστημάτων, τώρα σε χρήση ή υπό ανάπτυξη, αντιπροσωπεύουν τον τύπο του προτύπου με το οποίο οι επαγγελματίες σχεδιαστές θα δουλεύουν στο μέλλον. Αυτά είναι τα : TSM, TRANSIMS και HERS.

TSM : Σύστημα Διαχείρισης Κυκλοφορίας – φιλικότητα στο χρήστη, σχεδόν λειτουργία σε πραγματικό χρόνο, δυνατότητες ανάλυσης σεναρίου και στρατηγικές βελτιστοποίησης.

TRANSIMS : Πρότυπο ζήτησης σχεδιασμένο να συλλαμβάνει ένα ολόκληρο σύστημα ενδιαφέροντος και επίσης να παράγει πληροφορίες σε μικρό-επίπεδο. Όπως το TSM, έχει τη δυνατότητα να αναλύει εναλλακτικά σενάρια και χρειάζεται τεράστια ποσά δεδομένων.

Το HERS είναι ένα μεγάλο πρότυπο μεταφορών που προβλέπει ταξίδια, διαχείριση πεζοδρομίου, αλλαγή ταχυτήτων, ατύχημα, λειτουργικό κόστος, κόστος συντήρησης και βελτίωσης.

Πέντε δυνάμεις θα επηρεάσουν τη δημιουργία προτύπων στο μέλλον :

Υπολογιστική ικανότητα

Καλύτερη κατανόηση των συστημάτων

Δημόσιες προσδοκίες

Δημοκρατικοποίηση δεδομένων.

Ειδίκευση πολιτών

Καταλήγοντας παραθέτονται :

15 Αρχές Δεοντολογίας στα Πρότυπα και στην Πρόγνωση [5]

Οι δημιουργοί προτύπων και όσοι κάνουν προγνώσεις έχουν τις ακόλουθες ηθικές ευθύνες :

- 1) Να παράγουν πληροφορίες και τιμές που πληροφορούν τη διαδικασία ανάλυσης με καθαρό και ανοικτό τρόπο.
- 2) Να υπογράφουν και να αναλαμβάνουν τις ευθύνες για τις δημοσιευμένες προβλέψεις.
- 3) Να υποβάλλουν την ανάλυσή τους σε ανεξάρτητες ερευνητικές ματιές.
- 4) Να καθοδηγούν τις έρευνες αυτές με ένα δημιουργικό τρόπο που αποβλέπει στη πρόταση ειδικών βελτιώσεων.
- 5) Να καταγράφουν τα πρότυπα και τις παραδοχές με ένα καθαρό και δημοσίως προσβάσιμο τρόπο.
- 6) Να εκφράζουν αποτελέσματα σε ένα αποδεκτό επίπεδο ακρίβειας και με καθαρή άρθρωση της αβεβαιότητας.
- 7) Να διεξάγουν ακολούθως σπουδές που αποτιμούν τις προβλέψεις και τις προγνώσεις στο χρόνο.
- 8) Να διευκολύνουν την ανεξάρτητη αναπαράσταση των αποτελεσμάτων με το να κάνουν πλήρη σετ δεδομένων και την εξήγηση του στήσιμο των προτύπων στο κοινό.
- 9) Να προτρέπουν την ανεξάρτητη γένεση και ανάλυση εναλλακτικών.
- 10) Να αναπτύσσουν και να αναλύουν εναλλακτικές που αντιπροσωπεύουν το εύρος των πραγματικών επιλογών και των τιμών της κοινότητας.
- 11) Να παράσχουν επαρκείς και χρονικές δυνατότητες για επηρεαζόμενα συμφέροντα στο πρόγραμμα της εργασίας κατά τη διαδικασία σχεδιασμού.
- 12) Να κάνουν τα αναλυτικά εργαλεία διαθέσιμα σε όλες τις ενδιαφερόμενες ομάδες.
- 13) Να προβάλλουν μια διαδικασία ανοικτής και συνεχούς καινοτομίας στην ανάλυση μητροπολιτικών συστημάτων.
- 14) Να συνεργάζονται με τους κατόχους των μετοχών και να τους σέβονται.
- 15) Να μάχονται για την τιμιότητα στην επαγγελματική τους συμπεριφορά.

Μέρος Γ'

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο. ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΣΤΙΣ ΛΕΩΦΟΡΕΙΑΚΕΣ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

7.1 Εισαγωγικά

Σε σύγκριση με την πλειοψηφία των χαρακτηριστικών των υπηρεσιών λεωφορείων σχετικά με το ποιοι επιβάτες μπορούν να είναι σχετικά σίγουροι για το από πού μπορούν να πάρουν το λεωφορείο, ποιο δρομολόγιο αυτό θα ακολουθήσει και τη στάθμη της παρεχόμενης ποιότητας, η αξιοπιστία αφορά θέματα λειτουργίας λεωφορειακών γραμμών σχετικά με τα οποία οι επιβάτες είναι γενικώς αβέβαιοι. Μια υπηρεσία μπορεί να θεωρηθεί ως αναξιόπιστη εάν τα λεωφορεία δεν εμφανίζονται στις στάσεις, εάν οι χρόνοι αναμονής ποικίλουν σημαντικά, εάν υπάρχει πιθανότητα το πρώτο λεωφορείο να είναι γεμάτο ή εάν οι μεταβολές στους χρόνους διαδρομής είναι ουσιαστικές.

Δύσκολα επομένως εκπλήσσει το γεγονός ότι, εκτός από τα κόμιστρα, η αξιοπιστία παράγει περισσότερη κριτική από κάθε άλλο θέμα λειτουργίας λεωφορείων. Αυτό δε, με τη σειρά του, τονίζει ακόμα περισσότερο στη σημασία η οποία θα πρέπει να δοθεί στην παροχή αξιόπιστων υπηρεσιών.

Από μια λειτουργική σκοπιά υπάρχουν δύο κύρια προβλήματα τα οποία συσχετίζονται με το να διαχειριζόμαστε αξιόπιστες υπηρεσίες. Πρώτον, να αποκτήσουμε ένα πλήρες σύνολο από οχήματα και πλήρωμα και δεύτερον, να διασφαλίσουμε όσο το δυνατό περισσότερο ότι τα λεωφορεία κινούνται εντός των προγραμματισμένων χρόνων λειτουργίας και δε συμβάλλουν σε καθυστερημένες ροές

στα υποκείμενα δρομολόγια. Οποιοδήποτε από τα παραπάνω δεν ελεγχθεί μπορεί να δημιουργήσει σε ακραίες και μερικές φορές ολοφάνερες συνθήκες αναξιопιστίας.

Η αναφορά εδώ γίνεται με την αναγνώριση του φαινομένου της χαμηλής αξιοπιστίας, τις αιτίες και τους τρόπους με τους οποίους μπορεί αυτό να αντιμετωπιστεί. Οι πέντε ενότητες είναι οι ακόλουθες :

1. Δείκτες αξιοπιστίας και επιλογή προτιμώμενων δεικτών
2. Παράγοντες που επηρεάζουν την αξιοπιστία και σχετική σημασία αυτών.
3. Ανάπτυξη μεθόδων για τον έλεγχο και τη βελτίωση των τωρινών επιπέδων αξιοπιστίας.
4. Τις συνθήκες επαναπρογραμματισμού ή ελέγχου αλληλεπίδρασης κάτω από τις οποίες θα πρέπει ο επί-τόπου έλεγχος από επιθεωρητές να αντικαταστήσει την προγραμματισμένη χρονικά λειτουργία.
5. Ένα παράδειγμα

7.2 Δείκτες Αξιοπιστίας

Το επίπεδο της προσφερόμενης αξιοπιστίας από μια υπηρεσία είναι μια συνάρτηση όλων των όψεών της οι οποίες μπορεί να ποικίλουν, όπως για παράδειγμα οι χρόνοι αναχωρήσεως των λεωφορείων, οι ταχύτητες δρόμου των λεωφορείων, κ.τ.λ. Κατ' αρχήν, θα μπορούσε να ήταν δυνατόν να εκφράσουμε την αξιοπιστία με όρους ενός απλού δείκτη. Όμως, ένας τέτοιος ολικός δείκτης θα ήταν δύσκολο να οριστεί και δε θα έδινε καμία ένδειξη της αιτίας κάθε ανεπάρκειας, ούτε και του τι θα έπρεπε να γίνει για τη βελτίωση της αξιοπιστίας. Έτσι, στην πράξη, είναι και επιθυμητό και απαραίτητο να έχουμε έναν αριθμό δεικτών οι οποίοι εκφράζουν τη διακύμανση και την επίδοση μεμονωμένων θεμάτων λειτουργίας. Αποκλίσεις μπορούν να εμφανιστούν σε :

1. Στάση των λεωφορείων στο αμαξοστάσιο.

2. Χρόνους αναχώρησης από τα αμαξοστάσια ή τις τερματικές στάσεις.
3. Αναμενόμενους χρόνους άφιξης λεωφορείων στις στάσεις.
4. Χρόνους διαδρομής.
5. Το ενδεχόμενο ενός πλήρους λεωφορείου.

Παρόλο που ο τελευταίος τύπος της διακύμανσης μπορεί να γίνεται αντιληπτός από τους επιβάτες ως αναξιопιστία, είναι πρωτίστως ζήτημα διευθέτησης της προσφοράς λεωφορείων πάνω στη μορφή της ζήτησης και αναφέρεται στο θέμα της ρύθμισης συχνοτήτων.

Οι αποκλίσεις πάνω στις οποίες μπορούν οι διαχειριστές να έχουν τον μεγαλύτερο έλεγχο είναι αυτές των τύπων (1) και (2). Δείκτες οι οποίοι αντικατοπτρίζουν αυτές τις αποκλίσεις είναι όπως ακολουθούν :

A. Το μέρος των λεωφορειακών υπηρεσιών που λειτούργησαν, εκφραζόμενη ως χαμένα οχηματοχιλιόμετρα ή ως λόγος πραγματικών με προγραμματισμένων οχηματοχιλιομέτρων, λεωφορείων ή πληρωμάτων.

B. Οι αναλογίες των καθυστερημένων ή πρόωρων αναχωρήσεων από τα αμαξοστάσια ή τις τερματικές στάσεις, σχετικά με το αντίστοιχο προγραμματισμένο χρονοδιάγραμμα.

Γ. Μέση τιμή και τυπική απόκλιση των χρόνων κυκλικής διαδρομής, καθώς αυτοί μπορούν να έχουν μια επίδραση στους χρόνους αναχώρησης των λεωφορείων.

Όλοι αυτοί οι δείκτες εύκολα δείχνουν την έκταση και πιθανές αιτίες αναξιопιστίας και θα πρέπει όλοι να παρακολουθηθούν εάν κάποιος οργανισμός ήθελε να αποκτήσει πλήρη έλεγχο πάνω στις υπηρεσίες που προσφέρει.

Για τους επιβάτες η αξιοπιστία εκφράζεται ως αποκλίσεις στα θέματα (3) και (4) της πιο πάνω παραγράφου. Έχει δειχθεί ότι γενικά ένας υψηλότερος συντελεστής βαρύτητας πρέπει να δοθεί στο χρόνο αναμονής παρά στο χρόνο διαδρομής άρα επομένως, οι αποκλίσεις στους χρόνους αναχώρησης των λεωφορείων, οι οποίες επηρεάζουν το σύνολο του χρόνου αναμονής των επιβατών για τα λεωφορεία, είναι

πιθανότερο να έχουν μεγαλύτερη σημασία από τις αποκλίσεις στους χρόνους διαδρομής.

Υπάρχει ένας αριθμός τρόπων μέσω των οποίων μπορούν οι αποκλίσεις στους χρόνους αναχώρησης λεωφορείων να εκφραστούν. Αυτοί δίδονται παρακάτω στο 13^ο Κεφάλαιο. Από τους αντικειμενικούς δείκτες για τον ορισμό των αποκλίσεων στους χρόνους άφιξης στις στάσεις λεωφορείων, υπάρχουν δύο οι οποίοι φαίνεται να είναι ιδιαίτερος κατάλληλοι :

1. Οι υπερβάλλοντες χρόνοι αναμονής.
2. Η ποσοστιαία αναλογία των επιβατών οι οποίοι περιμένουν πάνω από ένα προκαθορισμένο χρόνο.

Ο υπερβάλλον χρόνος αναμονής απαντάται σε υπηρεσίες σχετικές με παράγοντες υψηλού φόρτου. Σε αυτή την περίπτωση ο υπερβάλλον χρόνος αναμονής προκύπτει από άλλα θέματα αναξιοπιστίας και είναι το μέγιστο ποσό από το οποίο θα μπορούσε ο χρόνος αναμονής να μειωθεί δεδομένης μιας τελείως αξιόπιστης υπηρεσίας. Αυτό επομένως δείχνει ότι την τάξη των προνομίων που θα προκύψουν από τη βελτίωση την αξιοπιστία των υπηρεσιών. Αντιθέτως με άλλα μέτρα, ο υπερβάλλον χρόνος αναμονής έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να υπολογιστεί για υπηρεσίες και με μικρές και με μεγάλες διαφορές χρόνων μεταξύ οχημάτων. Επίσης, όταν εκφράζεται ως ποσοστό στο μέσο χρόνο αναμονής, ο υπερβάλλον χρόνος αναμονής αντιπροσωπεύει την ποσοστιαία αλλαγή στο χρόνο αναμονής η οποία θα μπορούσε να γίνει δηλαδή χονδρικά, τη βελτίωση η οποία θα γίνει αντιληπτή από τους επιβάτες. Η αξία μιας ένδειξης η οποία δίνει το μέρος των επιβατών οι οποίοι θα πρέπει να περιμένουν περισσότερο από κάποιο προκαθορισμένο είναι ότι μπορεί να συγκριθεί εύκολα με κάθε στόχο για το χρόνο αναμονής, όπως για παράδειγμα ότι κανένας επιβάτης δεν πρέπει να περιμένει περισσότερο από 15 λεπτά της ώρας για ένα λεωφορείο.

Δείκτες οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για απεικονίσουμε την διακύμανση του χρόνου διαδρομής επίσης είναι διαθέσιμοι [1]. Συχνά, μία επαρκής έκφραση της διακύμανσης του χρόνου διαδρομής μπορεί να εκτιμηθεί από τους πλήρεις χρόνους κίνησης λεωφορείων. Από τη στιγμή που μόνο αυτοί χρειάζονται για

να εκτιμήσουμε τη διακύμανση στο χρόνο κυκλικής διαδρομής, δε χρειάζονται επιπλέον δεδομένα για την εκτίμηση της διακύμανσης των χρόνων διαδρομής.

Επομένως συνοψίζοντας, η αξιοπιστία μιας υπηρεσίας μπορεί πλήρως να οριστεί από πέντε δείκτες :

1. Η αναλογία των λεωφορειακών υπηρεσιών που λειτούργησαν, κατά προτίμηση ο λόγος πραγματικών με προγραμματισμένων οχηματοχλιομέτρων.
2. Χρόνοι αναχώρησης από τα αμαξοστάσια ή τις τερματικές στάσεις.
3. Ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των χρόνων κίνησης των λεωφορείων.
4. Ο υπερβάλλον χρόνος αναμονής.
5. Το μέρος των επιβατών οι οποίοι πρέπει να περιμένουν περισσότερο από κάποιο προκαθορισμένο χρονικό όριο.

7.3 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Αξιοπιστία

Οι αιτίες μιας αναξιόπιστης λειτουργίας λεωφορειακής γραμμής είναι τριών κυρίων τύπων :

1. Απολεσθέντα λεωφορεία από τα χρονοδιαγράμματα.
2. Διακυμάνσεις στους χρόνους λειτουργίας λεωφορείων – οι οποίες επηρεάζουν τους χρόνους αναμονής των επιβατών και των χρόνων διαδρομής στην υπό εξέταση γραμμή αλλά και πιθανώς, το χρόνο αναχώρησης του επόμενου δρομολογίου.
3. Διακυμάνσεις σε προγραμματισμένου Χρόνους Μεταξύ διαδοχικών Αφίξεων οχημάτων (XMA – headways).

Τα λεωφορεία μπορούν να χάνονται από τα χρονοδιαγράμματα για δύο λόγους. Πρώτον, ένας διαχειριστής μπορεί να μην είναι ικανός να βγάλει τα λεωφορεία από τα αμαξοστάσια εξ αιτίας ελλείψεως προσωπικού ή βλάβης οχήματος. Δεύτερον, εάν υπάρχει μια σοβαρή κυκλοφοριακή συμφόρηση ή κάτι παρόμοιο, δε θα είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί ο κύκλος του λεωφορείου εγκαίρως και έτσι μερικά δρομολόγια θα πρέπει να διαγραφούν.

Η διασφάλιση ότι η αποτυχία εξ αιτίας μιας εκ των ανωτέρω περιπτώσεων θα ελαχιστοποιηθεί, βασίζεται σε :

1. Επίτευξη στόχων σε ποσοστά λειτουργίας καθημερινώς, όπως για παράδειγμα να διασφαλίσουμε ότι τα λεωφορεία και τα πληρώματα θα είναι διαθέσιμα να κινούνται ας πούμε, στο 95% της προγραμματισμένης υπηρεσίας.
2. Το χρονοπρογραμματισμό της λειτουργίας των λεωφορείων έτσι ώστε θεωρητικά να υπάρχει ένας μικρός μόνο αριθμός λεωφορείων τα οποία να αναχωρούν αργοπορημένα από τις τερματικές στάσεις.

Διακυμάνσεις στο χρόνο κίνησης των λεωφορείων μπορεί να οφείλεται σε μεταβολές σε ένα ή περισσότερα μέρη των επιμέρους χρόνους που αποτελούν το χρόνο κίνησης :

1. Χρόνοι αναχώρησης λεωφορείων από τερματικές στάσεις ή σημεία μέτρησης.
2. Χρόνος « ποινής » για σταμάτημα σε στάση, δηλαδή χρόνοι επιβράδυνσης ή επιτάχυνσης.
3. Χρόνοι επιβίβασης επιβατών.
4. Χρόνοι αποβίβασης επιβατών
5. « Νεκρός χρόνος » δηλαδή, ο χρόνος για το άνοιγμα – κλείσιμο των θυρών και την επιστροφή του λεωφορείου στην κυκλοφορία.
6. Χρόνος καθυστέρησης, δηλαδή χρόνος δαπανούμενος σε ελέγχους κυκλοφορίας ή σε κυκλοφοριακή συμφόρηση.

(το υπολειπόμενο κομμάτι, ο ελεύθερος χρόνος διαδρομής, δε συμπεριλαμβάνεται αφού υπόκειται σε μικρή μόνο διακύμανση).

Πιθανοί τρόποι μείωσης της διακύμανσης των χρόνων κίνησης και το πόσο αυτοί μπορούν να αλλαχθούν δίδονται στον παρακάτω Πίνακα 1. Υπάρχουν τρεις κύριοι τρόποι βελτίωσης της αξιοπιστίας :

1. Βελτίωση του έλεγχου της αποστολής λεωφορείων. Ιδιαίτερως να διασφαλίσουμε ότι τα πληρώματα προσκολλώνται σε χρονοδιαγράμματα όταν τα χρονοδιαγράμματα έχουν γίνει με ρεαλιστικό τρόπο.
2. Επιτάχυνση των περισσότερο μεταβλητών διαδικασιών – για παράδειγμα με χρήση ακυρωτικών μηχανισμών εισιτηρίων.
3. Υλοποίηση μέτρων διαχείρισης κυκλοφορίας. Ιδιαίτερως, μέτρων προτεραιότητας λεωφορείων, τα οποία μειώνουν σημαντικά την διακύμανση στους χρόνους καθυστέρησης.

Πίνακας 7.1 Πηγές μεταβλητότητας στους Χρόνους Κίνησης Λεωφορείων, Πιθανές Διορθωτικές Ενέργειες και ενδεχόμενες μειώσεις στην έκταση της μεταβλητότητας

Πηγές μεταβλητότητας στους χρόνους κίνησης λεωφορείων, πιθανές διορθωτικές ενέργειες και ενδεχόμενες μειώσεις στην έκταση της μεταβλητότητας				
Πηγή Μεταβλητότητας	Αιτία-ες	Διορθωτική Ενέργεια	Ενέργεια από ποιόν	Δυνατή μείωση στην ολική μεταβλητότητα
Χρόνος αναχώρησης από τεμαχικές στάσεις και σημεία χρονόμετρησης	Ανεπαρκές χρονοδιάγραμμα (οι πραγματικοί χρόνοι κίνησης των λεωφορείων συχνά υπερβαίνουν τους προγραμματισμένους χρόνους), χαλαρός έλεγχος απαστολής οχήματος, μικρή προσήλωση του πληρώματος στα χρονοδιαγράμματα, κυκλοφοριακές συνθήκες καθ' οδόν.	Επανασχεδιασμός δε μια περισσότερο ρεαλιστική βάση, βελτίωση του ελέγχου εξόδου οχημάτων, εκπαίδευση και υπευθυνότητα στα πληρώματα, βελτίωση στις στρατηγικές ελέγχου, π.χ. έλεγχος με ραδιοκύματα.	Οργανισμός διαχείρισης	Ουσιαστική
Χρόνος ποινής για στάση (χρόνος επιβράδυνσης και επιτάχυνσης)	Μεταβλητή πιθανότητα σταματήματος σε κάθε στάση.	Μείωση αριθμού στάσεων λεωφορείων, αύξηση αριθμού αναγκαστικών στάσεων.	Οργανισμός διαχείρισης	Ελαφρά
Χρόνος επιβίβασης	Μεταβλητός αριθμός και τύπος επιβατών. Αργή ακύρωση εισιτηρίων σε π.χ. πιθανώς χαλασμένα ακυρωτικά μηχανήματα.	Βελτίωση της ποιότητας των μηχανημάτων εισιτηρίων, ρύθμιση επιπέδων κομίστρων, αύξηση των πωλήσεων καρτών διαρκείας, βελτίωση τρόπου εισόδου όπως π.χ. από πλατφόρμες.	Οργανισμός διαχείρισης	Ουσιαστική
Χρόνος αποβίβασης	Μεταβλητός αριθμός και τύπος επιβατών, τρόπος εξόδου.	Βελτίωση σχεδιασμού οχήματος.	Οργανισμός διαχείρισης	Ελαφρά
Μεγάλος χρόνος	Ταχύτητα ανοίγματος θυρών, ικανότητα οδηγού, μεταβλητά κενά στην κυκλοφοριακή ροή.	Τροποποίηση του μηχανισμού manδάλωσης των θυρών, μετακίνηση στάσεων ώστε να διευκολύνεται η επαναφορά του οχήματος στην κυκλοφορία με τη μικρότερη καθυστέρηση.	Οργανισμός διαχείρισης, Συγκοινωνολόγοι	Ελαφρά
Χρόνος καθυστέρησης	Ουρές, ειδικά οι μακρές ουρές, σε σηματοδοτούμενους κυκλοφοριακούς κόμβους, διαβάσεις πεζών, κ.τ.λ., μεταβλητή κυκλοφορική ροή	Μέτρα διαχείρισης κυκλοφορίας (λεωφορειολωρίδες, προτεραιότητα λεωφορείων σε κόμβους, ευρεία περιοχή προτεραιότητας λεωφορείων, έλεγχος στάθμευσης, απομάκρυνση αντικρουόμενων κυκλοφοριακών ελιγμών).	Συγκοινωνολόγοι	Ουσιαστική
Πηγή : Στοιχεία βασισμένα σε μελέτες που διενεργήθηκαν στο Πανεπιστήμιο του Newcastle. (Chapman, Gault και Jenkins (1976))				

Διακυμάνσεις στις προγραμματισμένες διαφορές χρόνων οχημάτων συχνά συμβαίνουν όταν αρκετές υπηρεσίες λειτουργούν στους ίδιους τομείς του δρομολογίου, π.χ. όταν γραμμές από διαφορετικές περιφέρειες συγκλίνουν και ακολουθούν το ίδιο ακτινικό δρομολόγιο μέχρι το κέντρο της πόλης. Τέτοιες διακυμάνσεις έχουν ως συνέπεια οι ολικές υπηρεσίες που προσφέρονται στους επιβάτες να είναι ακανόνιστες.

7.4 Βελτιώνοντας την Αξιοπιστία

Εάν ο εξοπλισμός εισιτηρίων βελτιωθεί όσο το δυνατόν καλύτερα, οι μόνοι παράγοντες οι οποίοι μπορούν να αλλάξουν ή να αλλαχθούν για να βελτιώσουμε την αξιοπιστία των λεωφορείων είναι :

1. Η κατανομή των λεωφορείων που εξέρχονται από τα αμαξοστάσια.
2. Η πιθανότητα τα λεωφορεία να αναχωρούν αργοπορημένα από τις τερματικές στάσεις εξ αιτίας άφιξης του προηγούμενου δρομολογίου.
3. Χαλαρή τήρηση προγραμμάτων από τα πληρώματα
4. Η δυνατότητα εισαγωγής μέτρων προτεραιότητας λεωφορείων.
5. Το ακανόνιστο των χρονοδιαγραμμάτων.

Κατανομή των λεωφορείων τα οποία εξέρχονται από τα αμαξοστάσια :

Χωρίς αμφιβολία είναι επιθυμητό να έχουμε πλήρες συμπλήρωμα λεωφορείων και προσωπικού για να υπάρχει έξοδος λεωφορείων από τα αμαξοστάσια στο 100%. Εάν το μέρος επανειλημμένως πέφτει κάτω από το 100%, θα άξιζε να αναλογιστούμε τον επαναπροσδιορισμό των αριθμών στόχου για τα πληρώματα και τα λεωφορεία και τον επαναπρογραμματισμό των λεωφορείων στους νέους (χαμηλότερους) αριθμούς. Το εάν τέτοια ενέργεια είναι ευεργετική πιθανόν να βασίζεται στην κατάσταση επιβατικού φόρτου του λεωφορείου σε κάθε περίπτωση. Εάν τα λεωφορεία λειτουργούν στο μισό της χωρητικότητάς τους, η επίδραση εισαγωγής μιας περισσότερο αξιόπιστης, αλλά κατά κάποιο τρόπο λιγότερο συχνής γραμμής, θα ήταν για να ανταλλάξουμε τους χρόνους αναμονής με μεγάλη υπέρβαση, εξ αιτίας χαμένων λεωφορείων με μικρές αυξήσεις στο χρόνο αναμονής για όλους τους επιβάτες. Από

την άλλη μεριά εάν τα λεωφορεία είναι σχεδόν γεμάτα, οι υπερβάλλοντες χρόνοι αναμονής για μερικούς επιβάτες, εξ αιτίας χαμένων λεωφορείων, θα έπρεπε να συγκριθούν με τους υπερβάλλοντες χρόνους αναμονής για ένα μεγαλύτερο αριθμό επιβατών οι οποίοι ίσως δε θα ήταν ικανοί να επιβιβαστούν στη γραμμή με λεωφορεία που έχουν τη μικρότερη συχνότητα.

Στο ενδεχόμενο που οι μειώσεις στόχων κριθούν ότι αξίζουν τον κόπο, μια περισσότερο αξιόπιστη γραμμή θα προσφερόταν γενικά, αλλά μερικές συχνότητες γραμμών θα ήταν χαμηλότερες. Κάθε ελεύθερο λεωφορείο και πλήρωμα πέρα από τους νέους στόχους θα μπορούσαν είτε να κρατηθούν σε μια διαθέσιμη έκταση έτοιμη να γεμίσει κενά στις ήδη χρονικά προγραμματισμένες γραμμές ή, για γραμμές με ΧΜΑ μικρότερους από 15 λεπτά, θα μπορούσαν να διοχετευθούν για τη μείωση των μέσων ΧΜΑ της γραμμής.

7.4.1 Πιθανότητα καθυστερημένης αναχώρησης :

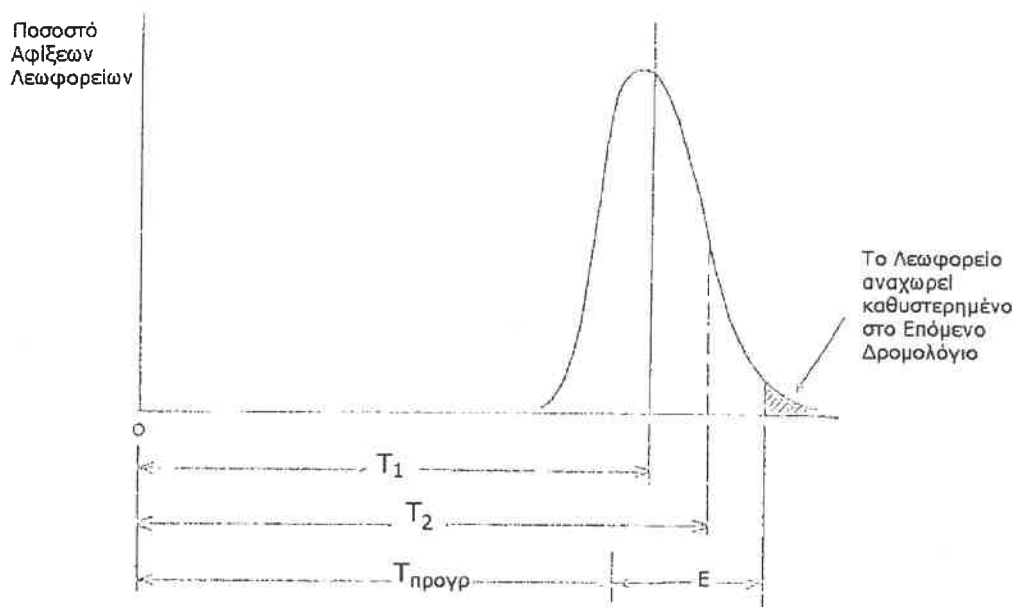
Η πιθανότητα τα λεωφορεία να αναχωρούν αργά στο επόμενο τους δρομολόγιο εξαρτάται στο μέσο χρόνο κίνησης του λεωφορείου και την τυπική απόκλιση των χρόνων κίνησης. Καθώς η κυκλοφορία ρέει και η κυκλοφοριακή συμφόρηση αυξάνει, οι χρόνοι κίνησης των λεωφορείων αυξάνονται και διαβρώνουν τον ενδιάμεσο χρόνο μεταξύ δρομολογίων (layover time) στα χρονοδιαγράμματα. Αυτή η διάβρωση του ενδιάμεσου χρόνου μεταξύ δρομολογίων με τη σειρά της μειώνει την πιθανότητα να αναχωρήσουν τα λεωφορεία στην ώρα τους. Έτσι, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 7.1, ένα λεωφορείο θα είναι καθυστερημένο στην αναχώρηση για το επόμενο δρομολογίό του εάν

$$T > T_{\text{προγ}} + E. \text{ όπου :}$$

T Ο πραγματικός χρόνος κίνησης

$T_{\text{προγ}}$ Ο προγραμματισμένος χρόνος κίνησής του λεωφορείου

E Ο ενδιάμεσος χρόνος μεταξύ δρομολογίων, ανάμεσα στον προγραμματισμένο χρόνο άφιξης και τον προγραμματισμένο χρόνο αναχώρησης του επομένου δρομολογίου.



Διάγραμμακ.7.1 Σχέση Μεταξύ Χρόνων Κίνησης Λεωφορείων και Πιθανότητας Καθυστερημένης Αναχώρησης. [Πηγή: 1]

Ο προγραμματισμένος χρόνος κίνησης λεωφορείου μπορεί ή όχι να είναι ο ίδιος με το μέσο χρόνο κίνησης λεωφορείου. Εάν δεν είναι, μια ρύθμιση πρέπει να γίνει στον ενδιάμεσο χρόνο μεταξύ δρομολογίων. Υποθέτοντας για λίγο ότι $T_{\text{προγ}} = T$, ο ενδιάμεσος χρόνος μεταξύ δρομολογίων που απαιτείται για δεδομένη πιθανότητα καθυστερημένης αναχώρησης (p) είναι συνάρτηση της τυπικής απόκλισης των χρόνων κίνησης λεωφορείων, $E_p = f(T_{\text{τυπ.Αποκ}})$

Η μέθοδος υπολογισμού τη συνάρτηση και τις τιμές τις για διαφορετικές πιθανότητες για καθυστερημένη αναχώρηση δίδονται στο 8^ο Κεφάλαιο.

Ο προσδιορισμός του ποια πιθανότητα αργοπορημένης αναχώρησης είναι αποδεκτή, βασίζεται σε τέσσερις παράγοντες :

1. Την αξίωση που έχουμε από το λεωφορείο για ικανοποίηση της επιβατικής ζήτησης.
2. Το μήκος του χρόνου πάνω από το οποίο κάθε διάρρηξη στα χρονοδιαγράμματα θα πρέπει να συγκρατηθεί, π.χ. διάρρηξη προγράμματος στις 17.00 θα μπορούσε να παραβλεφθεί μέχρι τις 18.30 όταν και τα απογευματινά εκτός-αιχμής προγράμματα τίθενται σε λειτουργία.

3. Τον αριθμό των επιβατών οι οποίοι επηρεάζονται από υπερβάλλον χρόνο αναμονής εξ αιτίας καθυστερημένων αναχωρήσεων.
4. Την τυπική απόκλιση των χρόνων κίνησης σε σχέση με το μέσο όρο.

Γενικά, αποδεκτές πιθανότητες καθυστερημένων αναχωρήσεων θα μπορούσαν όλες να επιτευχθούν με την ίδια απαίτηση λεωφορείων. Στις πάντως ίδιες συνθήκες η λογική του καταρτισμού προγράμματος με ένα μικρότερο αριθμό λεωφορείων θα πρέπει να συμβιβαστεί με το μέγεθος του χρόνου στον οποίο μπορεί να συμβεί διάρρηξη του προγράμματος. Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις όπου η τυπική απόκλιση των χρόνων κινήσεων αποτελεί σημαντικό μέρος του μέσου χρόνου κίνησης ή προσεγγίζει το χρόνο διαφοράς των οχημάτων της γραμμής, ο εκ νέου χρονικός προγραμματισμός για να δοθούν αποδεκτές πιθανότητες καθυστερημένων αναχωρήσεων θα ήταν λιγότερο δραστικός από επί τόπου επεμβάσεις ελέγχου, τη στιγμή που τα προβλήματα συμβαίνουν. Περισσότερος λόγος για το θέμα γίνεται στο επόμενο υποκεφάλαιο.

7.4.2 Βαθμός τήρησης του προγράμματος από το προσωπικό :

Σε περιπτώσεις όπου τα λεωφορεία φθάνουν πριν από την ώρα αναχώρησης του επομένου δρομολογίου, παρατηρήσεις μπορεί να γίνουν για την προτροπή των αναχωρήσεων σχετικά με τους προγραμματισμένους χρόνους αναχώρησης. Εάν η τήρηση του χρόνου δεν είναι πιστή, βελτιώσεις μπορούν αποκομιστούν μακροχρόνια εάν τα πληρώματα γίνουν περισσότερο προσεκτικά στο να αναχωρούν εγκαίρως. Ο μόνος τρόπος για να το πετύχουμε αυτό είναι η διαχείριση να κάνει δυνατό τα πληρώματα να τηρούν το πρόγραμμα και κατόπι να τα ενθαρρύνει για να συνεχίσουν μέχρι η πιστή τήρηση του προγράμματος να γίνει μια φυσική συνήθεια.

7.4.3 Μέτρα προτεραιότητας των λεωφορείων :

Η ανάγκη και η αξία για μέτρα προτεραιότητας των λεωφορείων εξαρτάται από το μέγεθος του ποιους χρόνους κίνησης θα πρέπει να μειώσουμε και το εάν αυτές οι μειώσεις θα επέτρεπαν τουλάχιστο ένα λεωφορείο να «σωθεί ». Εναλλακτικά σε κάποιες περιπτώσεις, η εισαγωγή μέτρων προτεραιότητας των λεωφορείων θα

μπορούσε να είναι ο μόνος τρόπος διατήρησης ενός αποδεκτού επιπέδου αξιοπιστίας χωρίς να αυξήσουμε τον αριθμό απαιτούμενων λεωφορείων.

7.4.4 Ακανόνιστα χρονοδιαγράμματα :

Η μη κανονικότητα στα χρονοδιαγράμματα είναι συχνά πιθανό να προκύπτει από ανεπαρκή θεώρηση τρόπων με τους οποίους λειτουργούν οι γραμμές σε κοινά τμήματα της διαδρομής. Αυτό θεραπεύεται με το να αναζητήσουμε δυνατότητες για αλλαγή μερικών χρόνων αναχώρησης λεωφορείων ή τις συχνότητες των γραμμών έτσι ώστε να δώσουμε μια περισσότερο κανονική μορφή αναχωρήσεων σε κοινά τμήματα της διαδρομής.

7.5 Η Διασύνδεση Ελέγχου /Επαναπρογραμματισμού

Καθώς η τυπική απόκλιση αυξάνει, το ίδιο κάνει και η ποσότητα του χρόνου που απαιτείται στα χρονοδιαγράμματα για να διατηρηθεί το δεδομένο ποσοστό καθυστερημένων αναχωρήσεων. Στο βαθμό που σ' αυτό δεν εμπλέκονται νέα λεωφορεία, δεν υπάρχει κανένα όριο στη μεταβλητότητα των χρόνων κίνησης η οποία να μπορεί να διαρρυθμιστεί εντός των χρονοδιαγραμμάτων. Γενικά όμως, ένα όριο φτάνεται γρήγορα και η ερώτηση που τότε ανακύπτει είναι το εάν θα φέρουμε ένα επιπλέον λεωφορείο να εξυπηρετήσει την αξιοπιστία της γραμμής ή εάν ο αριθμός των λεωφορείων θα πρέπει να κρατηθεί σταθερός και οι ελεγκτές δρομολογίων (επιθεωρητές-σταθμάρχες) θα πρέπει να προσπαθήσουν πολύ για να εξομαλύνουν προβλήματα, όπως π.χ. όταν τα λεωφορεία είναι πολύ καθυστερημένα

Το κατώφλι πάνω απ' το οποίο οι τακτικές επί τόπου ελέγχου θα πρέπει χρησιμοποιηθούν, είναι συνάρτηση όχι μόνο της τυπικής απόκλισης των χρόνων κίνησης αλλά επίσης της συχνότητας της γραμμής και του μέσου χρόνου κυκλικής διαδρομής. Όπως δείχνεται παρακάτω στο 8^ο Κεφάλαιο, αυτό δε μπορεί να προσδιοριστεί επακριβώς, αλλά ένα χρήσιμο κριτήριο σύγκρισης το οποίο ανακύπτει είναι ότι ο έλεγχος θα πρέπει να υποκατασταθεί από τον επανασχεδιασμό εάν ο λόγος της τυπικής απόκλισης των χρόνων κίνησης κατά μέσο όρο υπερβαίνει το 0,2, εκτός

εάν μεγαλύτερη διακύμανση μπορεί να διαρρυθμιστεί στα χρονοδιαγράμματα χωρίς να αυξήσουμε τον αριθμό των απαιτούμενων λεωφορείων (μερικές φορές η περίπτωση με γραμμές χαμηλών συχνοτήτων).

Μέθοδοι με τις οποίες οι αναχωρήσεις των λεωφορείων μπορούν να προσαρμοστούν και συνθήκες υπό τις οποίες οι έλεγχοι τακτικής θα πρέπει να υποκατασταθούν από επαναπρογραμματισμό αναπτύσσονται πλήρως στο επόμενο μέρος Κεφάλαιο 8.

Συνοπτικά :

Η χαμηλή αξιοπιστία μπορεί να αποδοθεί κυρίως στην απόδοση στην κυκλοφορία λιγότερων από τα προγραμματισθέντα λεωφορείων από τα αμαξοστάσια και σε καθυστερημένες αναχωρήσεις από τις τερματικές στάσεις. Η αξιοπιστία μπορεί επομένως να βελτιωθεί διασφαλίζοντας ότι τουλάχιστο τα λεωφορεία και τα πλήρώματα ο αριθμός των οποίων έχει τεθεί ως στόχος, κυκλοφορούν. Επίσης βελτιώνεται με τον επαναπρογραμματισμό των λεωφορείων για να δοθούν μεγαλύτεροι ενδιάμεσοι χρόνοι μεταξύ δρομολογίων, αποφεύγοντας έτσι επιπτώσεις σε υποκείμενες αναχωρήσεις λεωφορείων, με σφικτότερο έλεγχο στην τήρηση του χρονοδιαγράμματος από το πλήρωμα ή υιοθετώντας μέρα προτεραιότητας λεωφορείων. Πέρα από ένα σημείο, όπου οι διακυμάνσεις στους χρόνους κίνησης καθίστανται υπερβολικές, η διατήρηση ενός αξιόπιστου συστήματος μπορεί να γίνει περισσότερο αποδοτική από τον επί τόπου έλεγχο των λεωφορείων κάνοντας επαναπρογραμματισμό των δρομολογίων με τεράστιους ενδιάμεσους χρόνους μεταξύ δρομολογίων.

Γενικά θα υπήρχαν αξιοπρεπή οφέλη για το επιβατικό κοινό από μια βελτίωση της αξιοπιστίας και κάποια αυξημένα εισοδήματα για τους διαχειριστές. Βελτιώσεις στην αξιοπιστία άπαξ σχεδιαστούν και υλοποιηθούν, δε θα πρόσθεταν συχνά στους διαχειριστές ημερήσια έξοδα κίνησης.

Παρ' όλα τα οφέλη των επιβατών από την αυξημένη αξιοπιστία, υπάρχουν κάποιες αμφιβολίες στο εάν το μέγεθός τους θα δικαιολογούσε τον απαιτούμενο

χρόνο μελέτης εναλλακτικών προγραμμάτων εάν οι βελτιώσεις σε αυτά ήταν το μέσο με το οποίο η αξιοπιστία θα μπορούσε να βελτιωθεί.

Σύντομη Αναφορά στους Ελληνικούς Σιδηρόδρομους :

Μελέτες τέλος, στους ελληνικούς σιδηρόδρομους έδειξαν ότι [2] : «Το μεγάλο θέμα που ανακύπτει για τους ελληνικούς σιδηρόδρομους δεν είναι η μείωση των χρόνων όσο και αν οι σημερινοί χρόνοι είναι πολλοί μεγαλύτεροι των αντιστοίχων ευρωπαϊκών δικτύων ακόμα και όταν αυτοί αναφέρονται σε κοινά τραίνα και όχι σε ταχείες ή υπερταχείες. Το θέμα που είναι σημαντικό είναι η αξιοπιστία των δρομολογίων».

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο. ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΟΨΕΩΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια, θέματα αξιοπιστίας τα οποία θίχτηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Οι πέντε ενότητες είναι :

1. Δείκτες αξιοπιστίας για την έκφραση της μεταβλητότητας των χρόνων άφιξης σε στάσεις και των χρόνων κίνησης.
2. Μια μέθοδος για τον υπολογισμό την πιθανότητα καθυστερημένων αναχωρήσεων από τις τερματικές στάσεις.
3. Συνθήκες κάτω από τις οποίες ο πιο δραστικός τρόπος προσφοράς αξιόπιστων υπηρεσιών είναι ο επί τόπου έλεγχος.

8.1 Δείκτες για την έκφραση διακυμάνσεων στους χρόνους αφίξεων και κίνησης

Υπάρχει ένας αριθμός τρόπων με τους οποίους η διακύμανση στους χρόνους άφιξης των λεωφορείων στις στάσεις μπορεί να εκφραστεί :

1. Υπερβολικός χρόνος αναμονής – η διαφορά μεταξύ του μέσου χρόνου αναμονής στην πράξη και του μέσου χρόνου αναμονής εάν οι γραμμές ήταν πλήρως αξιόπιστες.
2. Η τυπική απόκλιση ή η διακύμανση των ΧΜΑ των λεωφορείων – τα μέτρα της διακύμανσης των ΧΜΑ περί τον μέσο.
3. Η διακύμανση των ΧΜΑ ζυγισμένη από τον αριθμό των επιβατών σε κάθε στάση – η ελαχιστοποίηση της ζυγισμένης μέσης διακύμανσης ελαχιστοποιεί τον μέσο χρόνο αναμονής όλων των επιβατών σε μια διαδρομή.
4. Η τυπική απόκλιση των χρόνων άφιξης των λεωφορείων – για γραμμές με ΧΜΑ μεταξύ των λεωφορείων μεγαλύτερες από περίπου 20 λεπτά.

5. Η ζυγισμένη απόκλιση των χρόνων άφιξης των λεωφορείων – όπως παραπάνω, με τις πρόωρες αφίξεις ζυγισμένες περισσότερο από τις καθυστερημένες αφίξεις.
6. Μέρος των επιβατών που θα πρέπει να περιμένει πάνω από κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Όλοι οι παραπάνω δείκτες είναι αποκτήσιμοι χρησιμοποιώντας τυπικές τεχνικές μελετών. Λιγότερο εύκολο να εξασφαλίσουμε με ένα μεθοδικό τρόπο είναι :

7. Το ποσοστό των επιβατών οι οποίοι διαμαρτύρονται για αναξιόπιστες υπηρεσίες.

Ακόμα, λιγότερο δύσκολο να μετρηθούν είναι :

8. Οι κανονικές διακυμάνσεις από το χρονοδιάγραμμα, π.χ. οι αφίξεις λεωφορείων διαρκώς με καθυστέρηση κατά περιόδους αιχμής, αλλά στην ώρα τους κατά τις υπόλοιπες περιόδους.
9. Η αντίληψη των επιβατών για την αξιοπιστία

Δείκτες οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετρήσουμε τη διακύμανση στους χρόνους ταξιδιού είναι οι εξής :

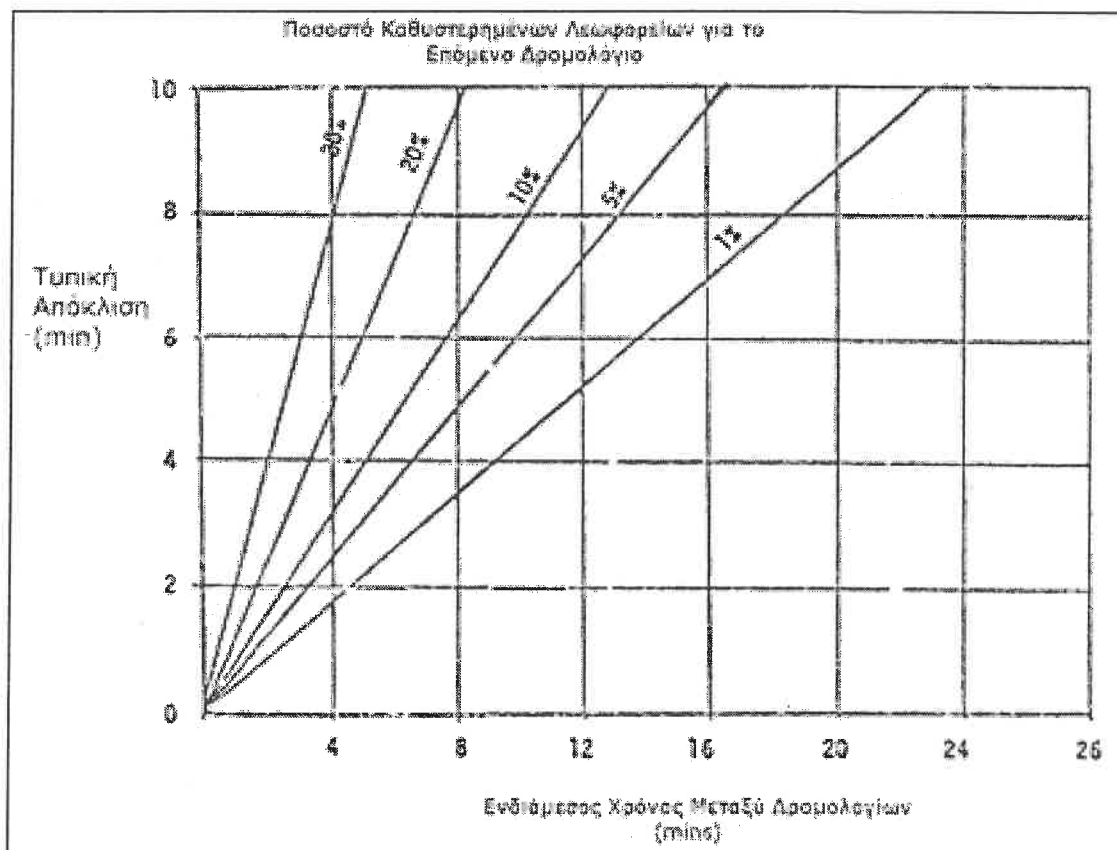
1. Μέση τιμή και τυπική απόκλιση χρόνων από-πόρτα –σε-πόρτα (η οποία περιλαμβάνει τη διακύμανση σε αμφοτέρους χρόνους αναμονής και εντός του οχήματος).
2. Μέση τιμή και τυπική απόκλιση των χρόνων επιβατών εντός του οχήματος
3. Πιθανότητα επιβατών για ολοκλήρωση της διαδρομής τους σε κάποιο καθορισμένο χρόνο.

8.2 Υπολογισμός της πιθανότητας καθυστερημένης αναχώρησης

Η πιθανότητα ότι ένα λεωφορείο θα αναχωρήσει καθυστερημένο στο επόμενο δρομολόγιό του, εξαρτάται στο μέσο χρόνο κίνησης του λεωφορείου και την τυπική απόκλιση των χρόνων κίνησης. Από τη στιγμή που η στατιστική κατανομή των χρόνων κίνησης είναι γενικά κοντά σε μια κανονική κατανομή, η κατανομή των πιθανοτήτων των υπερβαλλόντων του μέσου χρόνων κίνησης λεωφορείων μπορεί να υπολογιστεί. Για κάποιο εύρος πιθανοτήτων καθυστερημένης αναχώρησης. Ο Πίνακας 8.1 δίνει τους κατ' ελάχιστο ενδιάμεσος χρόνος μεταξύ δρομολογίων εκφραζόμενους ως ένα παράγοντα επί την τυπική απόκλιση των χρόνων κίνησης των λεωφορείων. Αυτές οι σχέσεις μεταξύ της τυπικής απόκλισης και τον ενδιάμεσο χρόνο μεταξύ δρομολογίων φαίνονται παραστατικά στο Διάγραμμα 8.1. Εάν για παράδειγμα η τυπική απόκλιση των χρόνων κίνησης είναι 2 λεπτά και θεωρήθηκε αποδεκτό για το 5% των λεωφορείων να αναχωρήσουν αργά, ο ενδιάμεσος χρόνος μεταξύ δρομολογίων (E05) θα ήταν 3,3 λεπτά. Αυτός ενδιάμεσος χρόνος μεταξύ δρομολογίων όταν προστεθεί στο μέσο χρόνο κίνησης λεωφορείων (T) δίνει το λειτουργικό χρόνο, το οποίο είναι ένα πολύ χρήσιμο κομμάτι χρόνου για τον έλεγχο και τη ρύθμιση των χρονοδιαγραμμάτων. Μέχρι το σημείο όπου αυτός είναι μικρότερος από τον προγραμματισμένο χρόνο κίνησης λεωφορείων (Ts), υπάρχει ένας επιπρόσθετος ενσωματωμένος ενδιάμεσος χρόνος μεταξύ δρομολογίων από T-Ts λεπτά. Εάν πάντως, ο μέσος χρόνος κίνησης υπερβεί τον προγραμματισμένο χρόνο κίνησης λεωφορείων, πρόσθεση του T-Ts πρέπει να γίνει στον απαιτούμενο ενδιάμεσο χρόνο μεταξύ δρομολογίων.

Πίνακας 8.1 : Ενδιάμεσος χρόνος μεταξύ δρομολογίων για διαφορετικές πιθανότητες καθυστερημένης αναχώρησης στο επόμενο δρομολόγιο. [Πηγή : 1]

Πιθανότητα καθυστερημένης αναχώρησης	Απαιτούμενος ενδιάμεσος χρόνος μεταξύ δρομολογίων
1%	$L_{01} = 2.33 * \text{Τυπική Απόκλιση (SD) των χρόνων κίνησης του λεωφορείου}$
5%	$L_{05} = 1,65 * S.D$
10%	$L_{10} = 1,28 * S.D$
15%	$L_{15} = 1,04 * S.D$
20%	$L_{20} = 0,84 * S.D$
30%	$L_{30} = 0,52 * S.D$



Διάγραμμα 8.1 Απαιτήσεις Ενδιάμεσου Χρόνου για συγκεκριμένη Τυπική Απόκλιση Δρομολογίων

[Πηγή : 1]

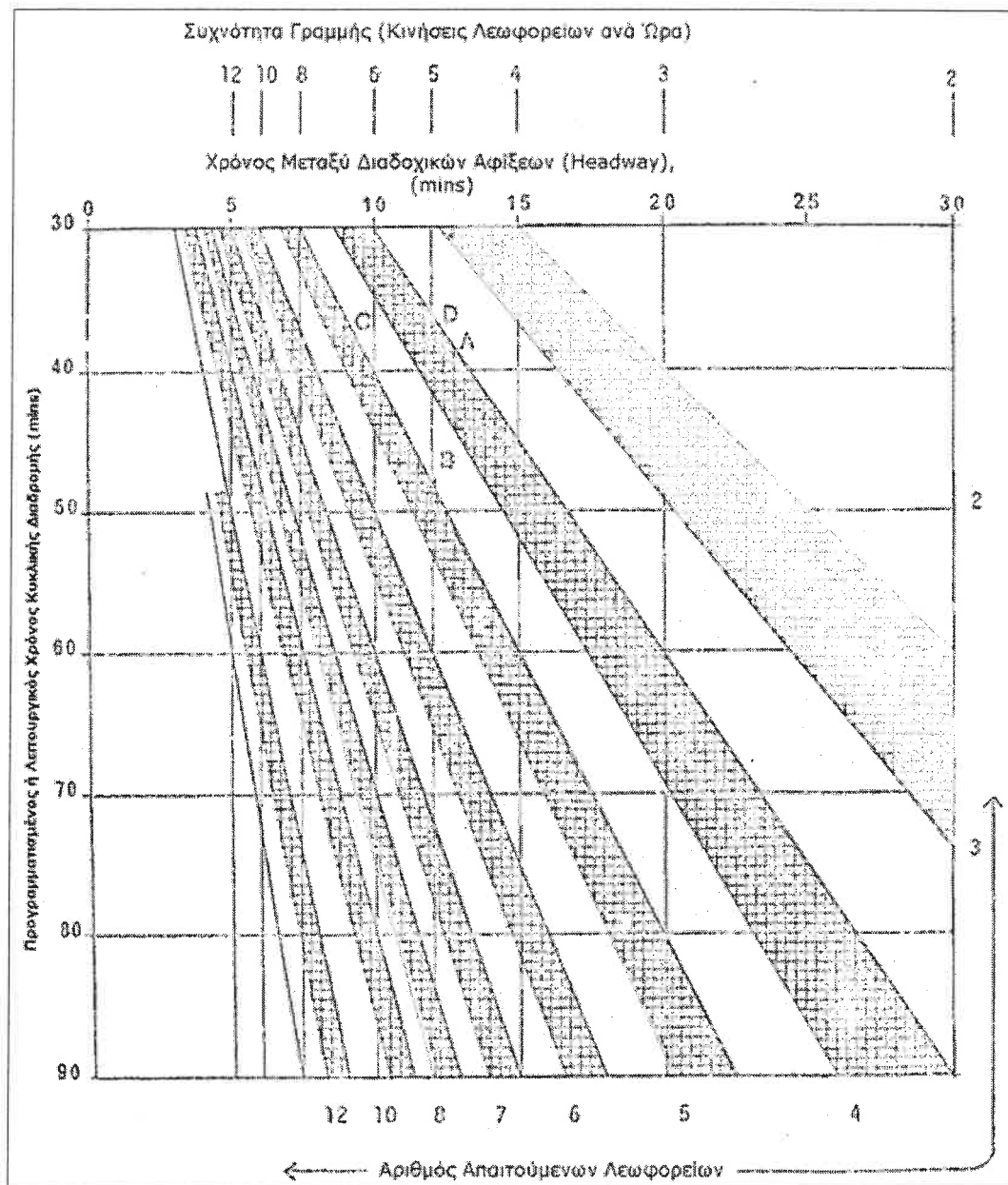
Σε περιπτώσεις όπου ένα ελάχιστος ενδιάμεσος χρόνος μεταξύ δρομολογίων απαιτείται για να συμμορφωθούμε με τοπικές συμφωνίες για παράδειγμα, φυσικά αυτό θα έτεινε να αποτρέψει μια μεγάλη πιθανότητα καθυστερημένης αναχώρησης.

Ένα παράδειγμα μιας μεθόδου με την οποία η αξιοπιστία χρονικών προγραμμάτων με διαφορετικές επιλογές ενδιάμεσου χρόνου μεταξύ δρομολογίων δίνεται στον Πίνακα 8.2 Η πιθανότητα καθυστερημένης αναχώρησης μπορεί να υπολογιστεί για μία κυκλική διαδρομή ή για ξεχωριστές κινήσεις λεωφορείων οι οποίες αποτελούν την κυκλική διαδρομή. Το δεύτερο μέρος του Πίνακα 8.2 δείχνει ένα αριθμό επιλογών ενδιάμεσου χρόνου μεταξύ δρομολογίων, οποιοσδήποτε από τους οποίους μπορεί να κριθεί κατάλληλος. Από τη πλευρά των οφελών για τους επιβάτες, η επιλογή ένα θα ήταν κατάλληλη για καταστάσεις όπου περίπου ο ίδιος αριθμός επιβατών κινούνται σε κάθε κατεύθυνση. Η επιλογή 2 θα μπορούσε να είναι κατάλληλη εάν σημαντικά περισσότεροι επιβάτες κινούνται προς την είσοδο από αυτούς προς την έξοδο. Οι επιλογές ενδιάμεσου χρόνου μεταξύ δρομολογίων για ολόκληρες κυκλικές διαδρομές υποτίθεται ότι ολόκληρος ο ενδιάμεσος χρόνος μεταξύ δρομολογίων θα χρειαστεί στο τέλος κάθε κυκλικής διαδρομής – γενικά η πιο κρίσιμη άκρη για την τήρηση του χρονοδιαγράμματος, ίσως η άκρη της κίνησης εξόδου για τις πρωινές ώρες και η άκρη της εσόδου για τις απογευματινές και βραδινές ώρες.

Πίνακας 8.2 : Παράδειγμα χαρακτηριστικών Λεωφορειακής Γραμμής.

Παράδειγμα μεθόδου για τον υπολογισμό του επιπέδου της αξιοπιστίας που μπορούμε να επιτύχουμε με διαφορετικές επιλογές ενδιάμεσου χρόνου μεταξύ δρομολογίων (layover time)				
	Ακτινική Γραμμή : Πρωινή ώρα αιχμής			
	Έξοδος από το κέντρο	Είσοδος στο κέντρο	Κυκλική διαδρομή	
Μέσος χρόνος κίνησης (T , min)	17,6	19,6	37,2	
Τυπική απόκλιση (σ_T , min)	1,0	4,1	2,1	
Ενδιάμεσος χρόνος μεταξύ δρομολογίων ο οποίος απαιτείται για διαφορετικές πιθανότητες καθυστερημένης αναχώρησης για το επόμενο λεπτό (mins)				
$L_{05} = 1,65 * S.D$	1,6	6,8	3,5	
$L_{10} = 1,28 * S.D$	1,3	5,2	2,7	
$L_{20} = 0,84 * S.D$	0,8	3,4	1,8	
$L_{30} = 0,52 * S.D$	0,5	2,2	1,1	
Συχνότητα γραμμής (λεωφορεία / h)	6			
	Επιλογές ενδιάμεσου χρόνου μεταξύ διαδρομών			
	1	2	3	4
	Έξοδος L_{10}	Έξοδος L_{10}	Κυκλική Διαδρομή L_{10}	Κυκλική Διαδρομή L_{10}
	Είσοδος L_{10}	Είσοδος L_{30}		
Ολικός ενδιάμεσιος χρόνος ανά κυκλική διαδρομή (L_T , mins)	6,5	3,5	3,5	2,7
Απαιτούμενος λειτουργικός χρόνος για κυκλική διαδρομή ($T+L_T$, mins)	43,7	40,7	40,7	39,9
Απαιτούμενα λεωφορεία για τη λειτουργία της γραμμής	5	5	5	4
Περιοριστικός λειτουργικός χρόνος για μειωμένη απαίτηση λεωφορείων (mins)	40			

Ένας σημαντικός έλεγχος όταν σκεπτόμαστε την πιθανότητα καθυστέρημένης αναχώρησης η οποία θα μπορούσε να επιτευχθεί είναι το εάν η υπάρχουσα απαίτηση λεωφορείων ξεπεραστεί ή όχι. Τα απαιτούμενα λεωφορεία για κάθε επιλογή μπορούν να προσδιοριστούν από τον επιχειρησιακό χρόνο που απαιτείται για μια κυκλική διαδρομή και τη συχνότητα της γραμμής χρησιμοποιώντας το παρακάτω Διάγραμμα 8.2.



Διάγραμμα 8.2: Σχέση μεταξύ Χρόνου Κυκλικής Διαδρομής, Συχνότητας Λεωφορείου και Αριθμού Απαιτούμενων Λεωφορείων

Η μέθοδος που περιγράφεται παραπάνω δε δείχνει το πώς τα λεωφορεία συμπεριφέρονται μεταξύ των τερματικών στάσεων ούτε πώς η πιθανότητα καθυστερημένης αναχώρησης αυξάνεται ή μειώνεται σε κάθε κυκλική διαδρομή. Η μέθοδος υποθέτει ότι στην αρχή τα λεωφορεία λειτουργούν υπό συνθήκες σταθερής κατάστασης, δηλαδή ότι όλες οι αναχωρήσεις είναι στην ώρα τους. Πράγματι, το αθροιστικό αποτέλεσμα ενός δεδομένου ποσοστού καθυστερημένων αναχωρήσεων είναι δύσκολο να το αποτιμήσουμε. Ένας αναλογικός καταμερισμός μπορεί να λύσει το πρόβλημα αυτό στην πορεία ενός ή δύο κυκλικών διαδρομών αλλά, χωρίς έλεγχο,

οι άλλες μπορεί να γίνουν σημαντικά χειρότερες. Για να ελαχιστοποιήσουμε τη μακροπρόθεσμη επίδραση των ακραίων διαταραχών στο χρόνο κίνησης, χρειάζεται να εισαχθούν κενά στα χρονοδιαγράμματα, ας πούμε κάθε τρεις ώρες.

Σε πολλές δευτερεύουσες γραμμές υπάρχει μια τάση για τους μέσους όρους και την τυπική απόκλιση των χρόνων κίνησης να είναι μεγαλύτερα στις ώρες αιχμής από τις ώρες μη-αιχμής. Αυτό σημαίνει ότι εάν οι προγραμματισμένοι χρόνοι κίνησης λεωφορείων είναι οι ίδιοι κατά τη διάρκεια της μέρας, το επίπεδο της αξιοπιστίας των υπηρεσιών σε περιόδους εκτός αιχμής θα είναι μεγαλύτερες από περιόδους αιχμής. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να προλάβει την ανάγκη εισαγωγής κενών μέσα στα χρονοδιαγράμματα, όπως σημειώθηκε παραπάνω.

8.3 Συνθήκες για έλεγχο επί τόπου σε σημείο

Όταν είναι ακατάλληλο να βελτιώσουμε την αξιοπιστία με τον επαναπρογραμματισμό, η αξιοπιστία μπορεί να διατηρηθεί σε ένα λογικό επίπεδο με την υλοποίηση μιας ή περισσοτέρων από τις ακόλουθες τακτικές επί τόπου ελέγχου σημείου :

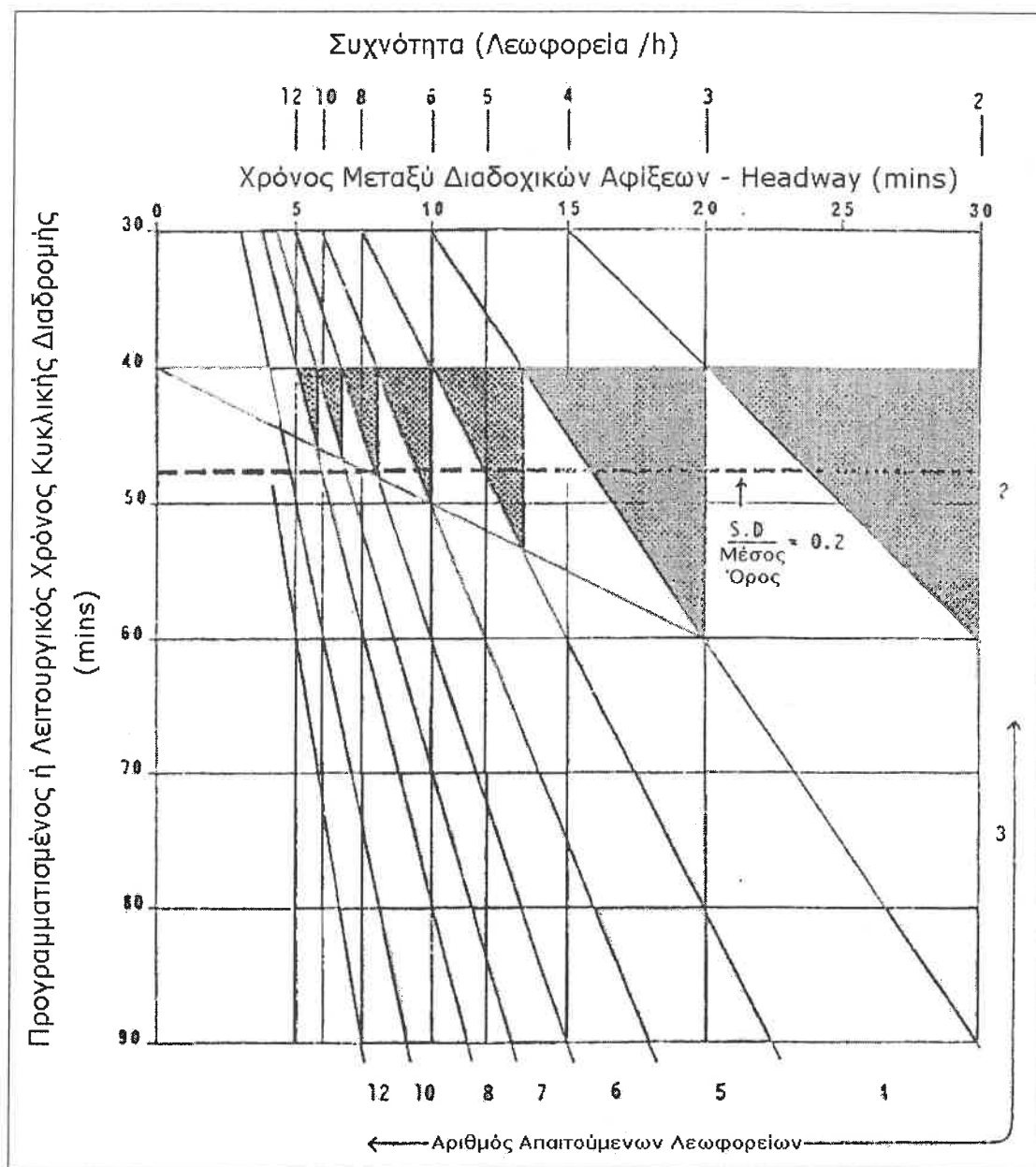
1. Δυναμικός σχεδιασμός – κατάλληλος για υπηρεσίες με μικρούς ΧΜΑ με περίπου τυχαίες αφίξεις επιβατών και για μεταβαλλόμενες οδικές συνθήκες. Σε αυτό το παράδειγμα, οι ΧΜΑ των λεωφορείων θα ήταν προοδευτικά αυξανόμενες καθώς οι συνθήκες καθίστανται περισσότερο συμφορημένες δηλαδή, θα ήταν μια επί τούτου μείωση στη συχνότητα τέτοια ώστε να διατηρήσουμε την αξιοπιστία.
2. Περικοπές γραμμών – λεωφορεία τα οποία ακολουθούν καθυστερημένα λεωφορεία επιστρέφονται πίσω για να εξαλείψουν μεγάλα κενά στους χρόνους μεταξύ δρομολογίων. Δηλαδή, τα λεωφορεία ανταλλάζουν δραστικά θέσεις στο χρονοδιάγραμμα. Ο μικρότερος αριθμός επιβατών στο δεύτερο λεωφορείο σε κάθε περίπτωση θα μεταφερθεί στο πρώτο λεωφορείο και τα πληρώματα θα αλλάξουν λεωφορεία έτσι ώστε να διατηρηθούν τα προγράμματα των πληρωμάτων.

3. Διαχωρισμός ενός μακρού δρομολογίου σε δύο ή περισσότερα μέρη. Ο σκοπός αυτού του μέτρου είναι να διασφαλίσουμε ότι οι διακυμάνσεις στους χρόνους διαδρομής σε ένα τμήμα της διαδρομής να μην επηρεάζουν τα άλλα τμήματα. (Εάν σημαντικές διακυμάνσεις στους χρόνους ταξιδιού συμβαίνουν τακτικά, θα ίσως είναι κατάλληλο να επανασχεδιάσουμε τις γραμμές στα τμήματα χωρισμού της).

Οι συνθήκες κάτω από τις οποίες θα πρέπει οι επιτόπιες τακτικές ελέγχου να υποκαταστήσουν τον επανασχεδιασμό των δρομολογίων μπορούν να αποτιμηθούν με αναφορά στη διακύμανση των χρόνων κίνησης των λεωφορείων και κατωφλίων πάνω από τα οποία επιπρόσθετα λεωφορεία απαιτούνται για τη διαρρύθμιση αυτών των μεταβολών. Ανατρέχοντας στο Διάγραμμα 8.3 και για μια γραμμή με μέσο χρόνο κυκλικής διαδρομής των 40 λεπτών, η διακύμανση στους χρόνους κίνησης, η οποία μπορεί να γίνει ανεκτή στα χρονοδιαγράμματα χωρίς να καταφύγουμε σε επιπρόσθετα λεωφορεία, μεταβάλλεται με ένα ακανόνιστο τρόπο (η γραμμή ζικ-ζακ η οποία φαίνεται), έχοντας μια μέγιστη τιμή ίση με το ΧΜΑ των οχημάτων της γραμμής και μια ελάχιστη ίση με μηδέν. Για προφανείς λόγους δεν υπάρχει κανένας τρόπος με τον οποίο ένα και μόνο κριτήριο μπορεί να αναπτυχθεί για να καλύψει όλες αυτές τις καταστάσεις.

Από μια υπάρχουσα άποψη, οι τυπικές αποκλίσεις των χρόνων κίνησης με κυκλοφοριακές συνθήκες χωρίς συμφόρηση σε λογικά πλαίσια είναι γύρω στο 0,1 των μέσων χρόνων κίνησης των λεωφορείων. Άρα μια τυπική απόκλιση του : $0,2 * \text{το μέσο χρόνο κίνησης}$, αντιπροσωπεύει συνθήκες στις οποίες αλλά και πάνω από αυτές είναι επιθυμητό να γίνουν μερικές βελτιώσεις (εισάγοντας μία από τις τακτικές ελέγχου που αναφέρθηκαν πιο πάνω). Από την άλλη, ο αριθμός των υποθέσεων όταν ο επιτόπιος έλεγχος εφαρμόζεται, πρέπει να διατηρηθεί εντός των δυνατοτήτων του διαθέσιμου προσωπικού ελέγχου. Εκτός εάν μια λειτουργία αναβαθμιστεί με δυναμικό σχεδιασμό (ειδικά εάν χρησιμοποιηθεί ράδιο-έλεγχος και/ ή αυτόματη παρακολούθηση οχήματος με τηλεματική) όπου σε αυτή την περίπτωση ένας μικρότερος λόγος τυπικής απόκλισης / μέσο όρο θα έχει βάση, ένας λόγος του 0,2 αντιπροσωπεύει ένα πραγματοποιήσιμο επίπεδο.

Για το παράδειγμα, ο χρόνος ο οποίος είναι ισοδύναμος σε μια αναλογία τυπικής απόκλισης / μέσο όρο του 0,2 είναι ίσος με 8 λεπτά και αυτό φαίνεται στο Διάγραμμα 8.3. Χρησιμοποιώντας αυτή τη συνθήκη μπορεί να φανεί ότι σε γραμμές υψηλής συχνότητας, ένα ή δύο επιπρόσθετα λεωφορεία θα μπορούσαν να διοχετευθούν στους προγραμματισμούς δρομολογίων προτού κριθεί αναγκαίο να χρησιμοποιήσουμε τακτικές ελέγχου. Από την άλλη θα υπάρξουν περιπτώσεις σε γραμμές χαμηλών συχνοτήτων όπου ο έλεγχος θα ήταν άχρηστος χωρίς ένα λόγο καθαρά πάνω από το 0,2, όταν φτάσει η ανάγκη για ένα πρόσθετο λεωφορείο.



Διάγραμμα 8.3 : Συνθήκες για εφαρμογή επί τόπου ελέγχου εικονιζόμενα για μια Γραμμή με Μέσο Λειτουργικό Χρόνο Κυκλικής Διαδρομής 40 λεπτών. ($0,2 = 8\text{min}$). [Πηγή : 1]

Για παράδειγμα, σε γραμμή με προγραμματισμένο χρόνο κυκλικής διαδρομής 40 λεπτών, η οποία έχει ΧΜΑ (Headway) 10 min, μπορεί να έχει μέχρι 60 min λειτουργικό χρόνο διαδρομής και να ελέγχεται μέσω επί τόπου έλεγχου, χωρίς να γίνει επαναπρογραμματισμός. Τα οχήματα που χρειάζονται για τη λειτουργία της παραπάνω γραμμής είναι 3.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΑΝΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΣΤΑ Μ.Μ.Μ.

ΠΡΟΤΥΠΟ ΒΕΛΤΙΩΣΕΩΝ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ.

9.1 Εφαρμογή για την περίπτωση της Ολλανδίας

9.1.1 Εισαγωγή

Η αναξιοπιστία είναι ένα μείζον πρόβλημα σε αμφότερες ιδιωτικές και δημόσιες μεταφορές σε πολλές χώρες. Στις ιδιωτικές μεταφορές ένα μεγάλο αίτιο αναξιοπιστίας είναι η συμφόρηση στους δρόμους, κάτι το οποίο μπορεί περαιτέρω να αναλυθεί σε περιοδική και μη-περιοδική συμφόρηση. Η περιοδική συμφόρηση συμβαίνει τις καθημερινές σε συγκεκριμένους χρόνους και σημεία, οδηγώντας σε αύξηση του ολικού χρόνου διαδρομής. Για τους κανονικούς οδικούς χρήστες, ή περιοδική συμφόρηση βασικά δεν οδηγεί σε θέματα αναξιοπιστίας ή αβεβαιότητας· απλά ξέρουν ότι μια διαδρομή η οποία χρειάζεται φυσιολογικά 30 λεπτά, απαιτεί 15 επιπλέον λεπτά. Η αντίθετη περίπτωση είναι εκείνη της μη περιοδικής συμφόρησης. Τα απρόβλεπτα συμβάντα διαφόρων ειδών μπορούν να οδηγήσουν σε μια κατάσταση πλέγματος η οποία δεν οδηγεί μόνο σε αύξηση του μέσου χρόνου ταξιδιού, αλλά και σε μια μεγάλη διασπορά, άρα και σε αναξιοπιστία. Με όρους μέσων καθυστερήσεων, η περιοδική συμφόρηση δείχνει να είναι περισσότερο σημαντική από τη μη-περιοδική στις ιδιωτικές μεταφορές.

Στις δημόσιες μεταφορές η ισορροπία μεταξύ περιοδικών (προβλέψιμων) και μη-περιοδικών (μη-προβλέψιμων) καθυστερήσεων τείνει να διαφοροποιείται όταν συγκρίνεται με την κατάσταση των μεταφορών στους δρόμους. Εδώ ο απρόβλεπτος παράγων τείνει να είναι μεγαλύτερος, λόγω του ότι οι διαχειριστές των μέσων μαζικής μεταφοράς κανονικά κάνουν χρήση πινάκων δρομολογίων για τις υπηρεσίες τους. Εάν υποθεθεί ότι οι διαχειριστές προσπαθήσουν να σχεδιάσουν ρεαλιστικούς πίνακες, θα προσαρμόσουν τα χρονοδιαγράμματα οποτεδήποτε υπάρχουν συχνές καθυστερήσεις. Έτσι, κάποιος θα περίμενε ότι ειδικά οι επιβάτες που χρησιμοποιούν δημόσιες συγκοινωνίες θα αντιμετωπίζουν καθυστερήσεις που θα διαφέρουν από μέρα σε μέρα.

Υπάρχει ακόμα, και ένας άλλος λόγος γιατί η μεταβλητότητα του χρόνου διαδρομής στις δημόσιες συγκοινωνίες μπορεί να αποτελέσει ιδιαίτερο σημείο ενδιαφέροντος. Πολλοί χρήστες δημοσίων συγκοινωνιών κινούνται μέσω μιας αλυσίδας από περισσότερα του ενός στοιχεία, έτσι το πρόβλημα καθίσταται οξύ όταν οι επαφές χάνονται. Ειδικά στην περίπτωση των χαμηλών συχνοτήτων, μία καθυστέρηση 5 λεπτών στο πρώτο κομμάτι τα αλυσίδας μπορεί να σημάνει ότι η επαφή θα χαθεί και η καθυστέρηση εκτινάσσεται στα 30 λεπτά. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να γίνει ιδιαίτερος δριμύ όταν διαφορετικοί μεταφορικοί φορείς εμπλέκονται σε διάφορα κομμάτια σε μια αλυσίδα, ειδικά όταν υπάρχει λίγος συντονισμός μεταξύ των μεταφορικών φορέων, κάτι το οποίο είναι συχνά γεγονός. Αξιοπρόσεκτο είναι το ότι το θέμα αυτό της αξιοπιστίας στις δημόσιες συγκοινωνίες έχει τύχει ισχνής προσοχής στη βιβλιογραφία και ότι η αξιοπιστία των αλυσίδων στις δημόσιες συγκοινωνίες δεν έχει ακόμα μελετηθεί με ένα συστηματικό τρόπο.

Μια συνέπεια της μελέτης της αξιοπιστίας στις αλυσίδες δημοσίων συγκοινωνιών είναι το ότι η προσοχή μετατοπίζεται από την πλευρά εισόδου (αξιοπιστία χρόνων άφιξης οχημάτων) προς την πλευρά εξόδου (αξιοπιστία χρόνων αφίξεων επιβατών). Η διαφορά μεταξύ αυτών των δύο είναι μικρή στην περίπτωση αλυσίδων με ένα μόνο στοιχείο, αλλά είναι ουσιώδης στην περίπτωση αλυσίδων με περισσότερα από ένα στοιχεία εξαιτίας του προβλήματος των χαμένων συνδέσεων. Η προσέγγισή μας στην ανάλυση της αναξιοπιστίας στο περιβάλλον των αλυσίδων έτσι, είναι σε συμφωνία με μια προσανατολιζόμενη για τον πελάτη ανάλυση υπηρεσιών για τις δημόσιες συγκοινωνίες. Λαμβάνεται υπ' όψη το θέμα της αξιοπιστίας δημοσίων συγκοινωνιών από την προοπτική του καταναλωτή παρά από αυτή του παραγωγού.

9.1.2. Γενική Ανασκόπηση

Για τις εταιρίες δημοσίων συγκοινωνιών το θέμα της αξιοπιστίας είναι συνήθως περιορισμένο από την αξιοπιστία των δρομολογίων, όπου ως δρομολόγιο ορίζεται μια διαδρομή μεταξύ δυο (φυσικών) σημείων με ένα δεδομένο μέσο μεταφοράς. Η αξιοπιστία ενός τέτοιου δρομολογίου μπορεί να οριστεί σε όρους διαφοράς ανάμεσα στην κατανομή των πραγματικών χρόνων διαδρομής και τους προγραμματισμένους χρόνους διαδρομής. Αυτός ο ορισμός μπορεί να γίνει ακριβέστερος με το να προσδιορίσουν την κατανομή κάτω από διάφορες εξωτερικές συνθήκες (π.χ καθημερινή ή σαββατοκύριακο, κανονικές καιρικές συνθήκες ή ακραία

καιρικά φαινόμενα). Ένας τέτοιος ορισμός υπό αντικειμενικούς όρους θα πρέπει καθαρά να αποκοπεί από υποκειμενικές αντιλήψεις χρόνων διαδρομής, όπου (δυνάμενοι) χρήστες μπορούν να εκλάβουν τον προγραμματισμένο χρόνο και την πραγματική του κατανομή κάτω από διάφορες περιστάσεις που είναι μάλλον απομακρυσμένες από την πραγματική κατάσταση. Έχει βρεθεί ότι η αντίληψη μη χρηστών δημοσίων συγκοινωνιών για την αξιοπιστία αυτών είναι χαμηλότερη από αυτή των τακτικών χρηστών.

Οι εταιρίες δημοσίων συγκοινωνιών γενικά ενημερώνουν τους χρήστες σχετικά με τους προγραμματισμένους χρόνους δρομολογίων (π.χ. μέσω της διανομής των δρομολογίων και των χρόνων σε φυλλάδια, τηλεφωνικώς ή μέσω Internet). Μια πρόσθετη πολιτική είναι να δίνονται προειδοποιήσεις για τις τωρινές και τις προβλεπόμενες μελλοντικές καθυστερήσεις (π.χ. μεγάλες καθυστερήσεις στην περίπτωση ανακατασκευής οδοστρώματος). Η πληροφορία για την κατανομή των *πραγματικών* χρόνων διαδρομής συνήθως παρέχεται σε ένα συγκεντρωτικό επίπεδο (βλ. π.χ. Πίνακα.9.1) τέτοιο το οποίο να μην είναι προς χρήση για τους ανθρώπους που ταξιδεύουν και πρέπει να γνωρίζουν τις διαφοροποιήσεις των χρόνων διαδρομών σε συγκεκριμένες γραμμές.

Στις δημόσιες συγκοινωνίες το θέμα της αξιοπιστίας είναι στενά συνδεδεμένο με αυτό της κατασκευής των χρονοδιαγραμμάτων αφίξεων-αναχωρήσεων. Όπως έχει σημειωθεί, η κατασκευή των διαγραμμάτων και το επόμενο θέμα τις αξιοπιστίας έχουν τύχει ανεπαρκούς προσοχής στη βιβλιογραφία στους διαχειριστές δημοσίων συγκοινωνιών. Ένας από τους φανερούς παράγοντες που πρέπει να συμβιβάσει κανείς στην κατασκευή των χρονοδιαγραμμάτων είναι το ότι γρηγορότερη μεταφορά ή μικρότεροι χρόνοι στάσεων θα βελτιώσουν τους προγραμματισμένους χρόνους διαδρομών, αλλά θα έχουν μία ενάντια συνέπεια στην αξιοπιστία της υπηρεσίας. Έχουν γίνει επίσης σχετικές αναλύσεις στο πεδίο των θαλασσίων μεταφορών.

Πρόβλημα το οποίο ανακύπτει είναι το ότι για να αυξήσουν την αξιοπιστία των υπηρεσιών, οι εταιρίες συνήθως επιτρέπουν για κάποιον επιπρόσθετο χρόνο για μέρη ενός δρομολογίου εντός του χρονοδιαγράμματος. Εντούτοις, όταν περισσότερος χρόνος αποδίδεται για αυτά τα τμήματα των δρομολογίων, το δρομολόγιο συχνά τείνει να διαρκεί περισσότερο εξαιτίας της αντίδρασης στη συμπεριφορά των οδηγών. Έτσι, το πραγματικό κέρδος της αξιοπιστίας μπορεί να είναι μικρότερο από το προσδοκώμενο κέρδος. Να σημειωθεί ότι αυτή η άποψη πρέπει να ληφθεί υπ' όψη όταν αναπτύσσονται τα βέλτιστα χρονικά προγράμματα.

Πίνακας 9.1 - Αξιοπιστία σε Γραμμές Ευρωπαϊκών Χωρών (πιθανότητες σε ποσοστό το τραίνο να φτάσει στον προορισμό του με καθυστέρηση μικρότερη των 5 λεπτών). [Πηγή : 3]

Χώρα	Τραίνα Intercity	Υπόλοιπα Τραίνα
Ολλανδία	91,3	97,1
Γερμανία	82,3	93,6
Γαλλία (λιγότερο από 3 min)	81,1	93,4
Ην. Βασίλειο (λιγότερο από 10 min)	90,6	92

Ένα σχετικό πεδίο όπου η αξιοπιστία είναι σημαντική αφορά την επιλογή των μορφών των μεταφορικών δικτύων (π.χ. ακτινωτά δίκτυα ή πλήρως συνδεδεμένα δίκτυα). Τα ακτινωτά δίκτυα οδηγούν σε πλεονεκτήματα με όρους οικονομιών σε μέγεθος και συχνότητες, αλλά μπορούν να λειτουργήσουν μόνο κανονικά όταν μέτρα έχουν έχον παρθεί για να διασφαλίσουμε την αξιοπιστία στο κεντρικό κομβικό σημείο, αλλιώς πάρα πολλοί χρήστες μπορούν να χάσουν την επαφή στην κόμβο. Η μέτρηση της αξιοπιστίας μπορεί να γίνει με αρκετούς τρόπους. Ένα κοινό μέτρο είναι αυτό που παρουσιάζεται στον Πίνακα 1 : η πιθανότητα P για ένα όχημα να φτάσει x λεπτά αργοπορημένο. Υπάρχουν διάφοροι άλλοι ορισμοί της αξιοπιστίας, ο καθένας εκ των οποίων εστιάζει σε μια ειδική άποψη της κατανομής των αναχωρήσεων ή των χρόνων αφίξεων, όπως :

η πιθανότητα για μια πρόωρη αναχώρηση

η μέση διαφορά ανάμεσα στον αναμενόμενο χρόνο και στον προγραμματισμένο χρόνο άφιξης

η μέση καθυστέρηση μιας άφιξης δεδομένου ότι το μέσον καταφθάνει αργοπορημένο

η μέση καθυστέρηση μιας άφιξης δεδομένου ότι το μέσον καταφθάνει αργοπορημένο κατά περισσότερο από x λεπτά

η τυπική απόκλιση των χρόνων αφίξεων

η προσαρμοσμένη τυπική απόκλιση των χρόνων αφίξεων (αγνοώντας τις πρόωρες αφίξεις

και διάφορα άλλα πιο σύνθετα μέτρα για να αναπαραστήσουμε την βαρύτητα της αναξιοπιστίας.

Μία άλλη προσέγγιση στη μέτρηση της αναξιοπιστίας είναι η διατύπωση σε όρους κόστους. Αυτό έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να περιληφθεί εντός της ανάλυσης των βέλτιστων χρονοδιαγραμμάτων όπου τα έξοδα του

προγραμματισμένου χρόνου διαδρομής σε συνδέσμους και χρόνο αναμονής στις στάσεις πρέπει να αντισταθμιστεί με τα έξοδα της αναξιοπιστίας. Τα έξοδα που σχετίζονται με την αναξιοπιστία μπορούν να μετρηθούν ως τα έξοδα της πρόωρης ή καθυστερημένης άφιξης από το προγραμματισμένο σε μια στάση, συν τα έξοδα μιας πρόωρης ή καθυστερημένης αναχώρησης από μια στάση. Μια σχετική διάκριση εδώ είναι η διαφορά ανάμεσα στα έξοδα της εταιρίας δημοσίων συγκοινωνιών και τον πελάτη. Αμφότερες οι πλευρές είναι σημαντικές όταν κάποιος θέλει να φτάσει με τα βέλτιστα χρονοδιαγράμματα.

9.1.3 Σκιαγράφηση της ερευνητικής προσέγγισης

Ο ορισμός της αξιοπιστίας ενός δρομολογίου μπορεί ευθέως να επεκταθεί στην αξιοπιστία του ταξιδιού. Ένα ταξίδι, ή αλλιώς μια μεταφορική αλυσίδα, ορίζεται ως μια ορισμένη ακολουθία δρομολογίων όπου το τελευταίο σημείο κάθε δρομολογίου ταυτίζεται με το αρχικό σημείο του ακολουθούμενου δρομολογίου της αλυσίδας. Το αρχικό σημείο του πρώτου δρομολογίου είναι το αρχικό σημείο της αλυσίδας και το τελικό σημείο του τελευταίου δρομολογίου ταυτίζεται με το τέλος της αλυσίδας. Στο υπόλοιπο του άρθρου εκτελείται μια εμπειρική ανάλυση της αναξιοπιστίας σε αλυσίδες δημοσίων μεταφορών στην Ολλανδία. Η προσέγγισή σκιαγραφείται ως εξής :

1. Ανάλυση της αναξιοπιστίας των υπηρεσιών δημοσίων συγκοινωνιών για δρομολόγια με διάφορα μέσα όπως τραίνα, τραμ, αστικό λεωφορείο, υπεραστικό λεωφορείο, μετρό. Αυτό οδηγεί σε *συναρτήσεις εκτιμήσεων της πυκνότητας των χρόνων αναχωρήσεων και (υπό όρους) αφίξεων* βασισμένες σε δεδομένα που παρέχονται από συγκεκριμένους διαχειριστές δημοσίων συγκοινωνιών στην Ολλανδία.

2. Χάραξη ενός αντιπροσωπευτικό δείγματος αλυσίδων δημοσίων συγκοινωνιών για τους Ολλανδούς.

3. Υπολογισμός των προγραμματισμένων χρόνων αφίξεων που χαραχτήκαν στο 2.

4. Προσομοίωση της πραγματικής κατάστασης των αλυσίδων βασιζόμενη στο 1.

5. Υπολογισμός των διαφόρων μέτρων αναξιοπιστίας των αλυσίδων βασιζόμενα στα αποτελέσματα προσομοίωσης του 4.

6. Διατύπωση ενός αριθμού στρατηγικών ενίσχυσης της αξιοπιστίας των παροχών υπηρεσιών δημοσίων συγκοινωνιών και χρηστών.

7. Προσομοίωση των επιπτώσεων των εναλλακτικών στρατηγικών του 6 στην αξιοπιστία, στο χρόνο ταξιδιού και το χρόνο αναμονής.

8. Εκτίμηση αυτών των στρατηγικών βασισμένη στην αποτίμηση των χρηστών για την αξιοπιστία, το χρόνο διαδρομής και τον χρόνο αναμονής.

Ένας λιτός απολογισμός των βημάτων 1-5 δίδεται στο 4^ο μέρος. Τα μέρη 5 και 6 περιέχουν μια περισσότερο λεπτομερή ανάπτυξη των τριών τελικών βημάτων

9.1.4. Εκτιμώντας την αναξιοπιστία στις αλυσίδες δημοσίων συγκοινωνιών.

Τα πρώτα πέντε βήματα της προσέγγισης μας διεξήχθησαν ως ακολούθως :

Βήμα 1. Ανάλυση της αναξιοπιστίας των υπηρεσιών δημοσίων συγκοινωνιών για δρομολόγια : Η αναξιοπιστία για τις προγραμματισμένες υπηρεσίες μπορούν να αναλυθούν σε όρους κατανομής σε τρία αντικείμενα : χρόνους αναχώρησης T_D , τους χρόνους ταξιδιού T_R και χρόνους άφιξης T_A , όπου, προφανώς,

$$T_A = T_D + T_R$$

Για τον σκοπό της μελέτης μας χρειαζόμαστε τις κατανομές των χρόνων αναχωρήσεων και τους χρόνους διαδρομών. Οι είσοδοι δεδομένων για διάφορα μεταφορικά μέσα είναι διαθέσιμες σε μια μάλλον αθροιστική μορφή. Ένα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό είναι το ότι τα λεωφορεία συχνά καταφθάνουν ή αναχωρούν αργά σε σύγκριση με τους προγραμματισμένους χρόνους. Αυτό το φαινόμενο δεν παρατηρείται για άλλα μέσα μεταφοράς, όπου οι πρόωρες αναχωρήσεις δε συμβαίνουν τόσο συχνά.

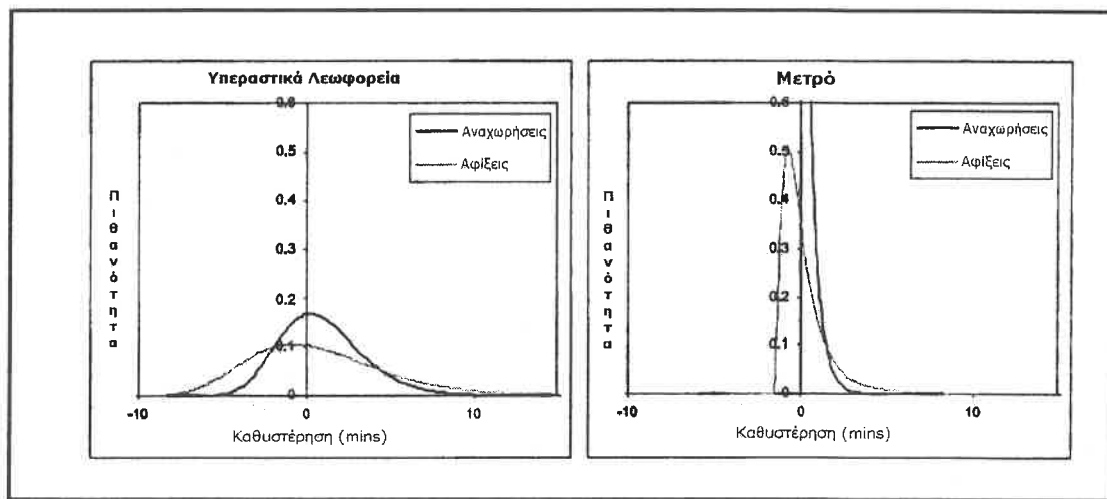
Η δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από τους διαχειριστές δημοσίων συγκοινωνιών διαφέρουν στον αριθμό των γραμμών, τα σημεία μετρήσεων και την χρονική περίοδο (έτος, εποχή, ώρα της μέρας) που αυτά συλλέχθηκαν.

Για να ξεπεράσουμε το πρόβλημα των πιθανών μακροχρόνιων διαστημάτων (πάνω από 10 λεπτά) οι παράμετροι μιας συνάρτησης κανονικής κατανομής πρέπει να εκτιμηθούν. Όταν αυτές οι παράμετροι είναι γνωστές, οι τεχνικές προσομοίωσης

μπορούν να εφαρμοστούν για να πραχθούν τιμές πιθανών εκτιμήσεων χρόνων αφίξεων. Η αναχώρηση και οι κατανομές ενδεχόμενων χρόνων άφιξης είναι συχνά ασύμμετρες : τα οχήματα δημοσίων συγκοινωνιών μπορεί να αναχωρούν ελαφρώς πρόωρα, αλλά η πιθανότητα καθυστερημένων αναχωρήσεων είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερη. Έτσι, σε πολλές περιπτώσεις κάποιος θα ήθελε να κάνει ένα πρότυπο των αποκλίσεων από τους προγραμματισμένους χρόνους αναχωρήσεων και αφίξεων με μια κατανομή με επικρατούσα τιμή γύρω στο μηδέν και μικρότερη μάζα πιθανότητας αριστερά της επικρατούσας τιμής (πρόωρες αναχωρήσεις / αφίξεις) παρά δεξιά της επικρατούσας τιμής (καθυστερημένες αναχωρήσεις/ αφίξεις). Φυσικές υποψήφιος για το χρόνο αναχώρησης και άφιξης κατανομές είναι Γάμμα, λογαριθμοκανονική και κατανομή Weibull [1] και [2]. Στην τυπική μορφή αυτές οι κατανομές χαρακτηρίζονται από δύο παραμέτρους : το μέσο όρο και την διασπορά. Εντούτοις, στην τυπική μορφή αυτών των κατανομών αυτές είναι έτσι που δεν επιτρέπουν αρνητικές τιμές για τους χρόνους αναχωρήσεων και αφίξεων : οι πρόωρες αναχωρήσεις και οι πρόωρες αφίξεις θα αποκλειστούν, κάτι που είναι προφανώς μη παραδεκτό, δεδομένων των αποτελεσμάτων που είχαμε. Έτσι, μια παράμετρος μετατόπισης πρέπει να προστεθεί για να επιτρέψει την πιθανότητα πρόωρων αναχωρήσεων και αφίξεων. Αυτές οι κατανομές έχουν εκτιμηθεί με τη χρήση της διαδικασίας μέγιστης πιθανότητας. Εκτός των μέσων αστικών λεωφορείων και τραμ, τα οποία αποδείχθηκε να προσεγγίζονται καλύτερα με την κανονική κατανομή, εικονικά όλα τα δεδομένα αναχωρήσεων και αφίξεων είναι προσαρμόσιμες καλύτερα στην κανονική κατανομή. Μόνο οι αναχωρήσεις του Μετρό θα μπορούσαν να προσαρμοστούν καλύτερα από την εκθετική κατανομή, αφού το μέσο αυτό δε φεύγει τόσο νωρίς.

Εκτός από το Μετρό βρίσκουμε ότι όλα τα μεταφορικά μέσα μερικές φορές αναχωρούν πολύ νωρίς, τα τραίνα δε, σπάνια αναχωρούν πάνω από 1 λεπτό νωρίς. Μια πρόωρη αναχώρηση μπορεί να έχει σοβαρότερες επιδράσεις από μια καθυστερημένη αναχώρηση : οι επιβάτες μπορεί να χάσουν τις συνδέσεις τους στην αλυσίδα στην αλυσίδα του ταξιδιού. Επιπροσθέτως, αναγκάζονται να φτάνουν αρκετά λεπτά νωρίτερα στις στάσεις δημοσίων συγκοινωνιών για να αποφεύγουν το ρίσκο ότι το λεωφορείο, το τραμ, ή το τραίνο να έχει ήδη αναχωρήσει. Δεν είναι έκπληξη ότι οι υπηρεσίες του μετρό λειτουργούν εντός προγράμματος στο καλύτερο, τα υπεραστικά λεωφορεία στο χειρότερο (βλ. Διάγραμμα 9.1). Το Μετρό κινείται σε ένα μάλλον απλό δίκτυο και έχει τη δικιά του ξεχωριστή τροχιά εκτός της υπόλοιπης

κυκλοφορίας. Τα υπεραστικά λεωφορεία συχνά είναι διάσημα για τις, μάλλον μεγάλων αποστάσεων, υπηρεσίες που προσφέρουν σε ποικίλες κυκλοφοριακές συνθήκες : περιφερειακές και αστικές περιοχές είναι εντός του ίδιου δρομολογίου. Αυτό φανερά κάνει δύσκολο για τους οδηγούς λεωφορείων να οδηγούν σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα και τις ενδιάμεσες στάσεις.



Διάγραμματα 9.1α,β : Εκτιμώμενες Αποκλίσεις Χρόνων Αναχώρησης και Αφίξης για τα Υπεραστικά Λεωφορεία και το Μετρό. [Πηγή : 3]

Η κατανομή που παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 1 σχετίζεται με χρόνους αφίξεων και αναχωρήσεων (T_A και T_D). Αν κάποιος θέλει να την κατανομή των χρόνων ταξιδιού T_R , μπορεί να κάνει χρήση μιας ελικοειδούς προσέγγισης βασιζόμενης στην ισότητα $T_R = T_A - T_D$ σε συνδυασμό με τις κατανομές των T_A και T_D . Ενώ σ' αυτή τη προσέγγιση η συσχέτιση μεταξύ του χρόνου αναχώρησης και του χρόνου άφιξης είναι ξεκάθαρη – μια αργή αναχώρηση οδηγεί σε μια υψηλή πιθανότητα μιας αργής άφιξης – κάποιος πρέπει να κάνει την υπόθεση ότι ο χρόνος αναχώρησης και ο χρόνος ταξιδιού δεν συσχετίζονται – δεδομένου του τύπου των δεδομένων που είναι διαθέσιμα σ' εμάς. Σε μια πρώτη ματιά αυτό μπορεί να φανεί ως μια σοβαρή υπόθεση, αλλά κάποιος πρέπει να συνειδητοποιήσει ότι υπάρχουν αντίθετες επιδράσεις, οι οποίες μπορεί να ακυρώνουν η μια την άλλη. Από την άλλη ο οδηγός μπορεί να είναι ικανός να κερδίσει την καθυστέρηση του χαμένου χρόνου οδηγώντας γρηγορότερα, αλλά από την άλλη οι καθυστερήσεις συσσωρεύονται. Αυτή η τελευταία πιθανότητα φαίνεται π.χ. στη συμφόρηση τραίνων σε περιοχή διασταύρωσης.

Βήμα 2. Χάραξη ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος των αλυσίδων δημοσίων συγκοινωνιών για τους Ολλανδούς πολίτες : Η ολλανδική ετήσια ταξιδιωτική έρευνα (OVG) έχει χρησιμοποιηθεί για τη χάραξη ενός τυχαίου διαστρωματωμένου δείγματος 300 μετακινήσεων δημοσίων συγκοινωνιών. Το δείγμα διαστρωματώθηκε ανάλογα με πέντε βαθμούς αστικοποίησης της περιοχής κατοικίας του ανταποκρινόμενου και σύμφωνα με τέσσερις τάξεις οι οποίες αντιπροσωπεύουν το μήκος του ταξιδιού. Οι βαθμοί αστικοποίησης κυμαίνονται από πολύ έντονη αστικοποίηση μέχρι καθόλου αστικοποίηση και οι τάξεις απόστασης έχουν τιμές άκρων 0, 7.5, 20 και 50 χιλιομέτρων. Για κάθε μια από τις 20 περιπτώσεις, 15 παρατηρήσεις σχεδιάστηκαν με τυχαίο τρόπο από τη βάση δεδομένων μας. Οι παρατηρήσεις σε τάξεις με μικρό αριθμό περιπτώσεων έχουν ληφθεί με μικρότερη βαρύτητα στο υπόλοιπο της ανάλυσης. Είναι καθαρό ότι αφού το μάλλον μικρό μέγεθος δείγματος των 300 παρατηρήσεων τα αποτελέσματα της ανάλυσής μας πρέπει να ερμηνευθούν με τη δέουσα σύνεση.

Βήμα 3. Υπολογισμός του προγραμματισμένου χρόνου άφιξης των δρομολογίων που χαράχθηκαν στο 2. : Από τη στιγμή που η έρευνα δεν είναι επαρκώς λεπτομερειακή για να αποκαλύψει το ακριβές επιλεγμένο δρομολόγιο, το λογισμικό επιλογής διαδρομής (το οποίο λέγεται OV Reizigersinformatie) για διαδρομές δημοσίων συγκοινωνιών έχει χρησιμοποιηθεί για την αναπαράσταση την ακριβή επιλεγμένη διαδρομή. Το λογισμικό επίσης παρέχει πληροφορίες για τις συχνότητες υπηρεσιών για τα διάφορα στοιχεία της μεταφορικής αλυσίδας κάτι το οποίο είναι αναγκαίο ως είσοδος για τη προσομοίωση αργότερα. Οι προγραμματισμένοι χρόνοι ταξιδιού υπολογίστηκαν για τρεις διαφορετικές χρονικές ζώνες της εβδομάδας :

- (α) καθημερινή, αναχώρηση περίπου στις 7.30 π.μ.,
- (β) καθημερινή, αναχώρηση περίπου στη 1.00 μ.μ.,
- (γ) Κυριακή, αναχώρηση περίπου στις 11.00 π.μ.

Περί το 70% των αλυσίδων αποτελούνται από παραπάνω από 1 στοιχείο, αυτό υπογραμμίζει τη σημασία της θεμελιώδους ιδέας μας ότι η αναξιοπιστία είναι ιδιαίτερος σημαντική από την άποψη ότι το ρίσκο του να χάσει κάποιος τη σύνδεσή του με το επόμενο τραίνο/λεωφορείο/τραμ.

Βήμα 4. Προσομοίωση των αλυσίδων που βασίζονται στις κατανομές οι οποίες εκτιμήθηκαν στο 1: Για κάθε στοιχείο της κάθε αλυσίδας, 2500 εκτιμήσεις χαράχθηκαν βασισμένες στις εκτιμήσεις των συναρτήσεων πυκνότητας του βήματος 1. Αυτές οι προσομοιώσεις έχουν συνδυαστεί για την παροχή εκτιμήσεων των πραγματικών κατανομών των χρόνων ταξιδιού. Στο ενδεχόμενο οι επιβάτες να χάσουν συνδέσεις, η πληροφορία της συχνότητας του βήματος 3 χρησιμοποιείται για την προσομοίωση του χρόνου άφιξης του επομένου τραίνου/ λεωφορείου/ τραμ. Μια βασική υπόθεση υποκείμενη στην προσέγγισή μας με προσομοίωση είναι ότι οι χρόνοι αναχώρησης και άφιξης σε διαφορετικά στοιχεία διαδρομής είναι ανεξάρτητοι. Ξέρουμε ότι στην πραγματικότητα αυτό μπορεί να μην είναι πάντα σωστό. Για παράδειγμα, μπορεί να βρούμε ότι οι οδηγοί των λεωφορείων που περιμένουν σε ένα σταθμό λεωφορείων λαμβάνουν υπ' όψη καθυστερήσεις λεωφορείων με αφικνούμενους επιβάτες. Αυτό θα βελτίωνε φανερά την αξιοπιστία για επιβάτες που αλλιώς θα έχαναν τις συνδέσεις τους. Σημειωτέον ότι το δυσοίωνα είναι η μείωση της αξιοπιστίας για τους επιβάτες που είναι ήδη στο πρώτο λεωφορείο. Μια άλλη όψη που δε λαμβάνουμε υπ' όψη είναι το ότι οι καθυστερήσεις διαφορετικών οχημάτων μπορεί να μην είναι ανεξάρτητες ή μια από την άλλη εξαιτίας των ολικών εξωτερικών συνθηκών (ακραία καιρικά φαινόμενα, ένα ειδικό σιδηροδρομικό ατύχημα που επηρεάζει ένα μεγάλο τομέα του δικτύου κτλ). Συνεπώς, καταλήγουμε ότι η εξέταση των δια- εξαρτήσεων μεταξύ των εκτιμήσεων σε διαφορετικά στοιχεία της ίδιας αλυσίδας μπορεί να αποκαλύψει τάσεις προς μια αύξηση όπως επίσης και μια μείωση στην αξιοπιστία. Εάν τα δεδομένα καθυστερήσεων και οι στρατηγικές των οδηγών για να αντιμετωπίζουμε αυτές τις καθυστερήσεις ήταν περισσότερο ακριβή, θα ήταν δυνατό να αναπτύξουμε προχωρημένες αναπτυξιακές προσεγγίσεις που περιλαμβάνουν αυτές τις δια- εξαρτήσεις. Εντούτοις, τέτοια δεδομένα δεν ήταν δυστυχώς διαθέσιμα σε μας. Τα αποτελέσματα από τις κατανομές των πραγματικών χρόνων αφίξεων από τους προγραμματισμένους χρόνους κατά τις ώρες της πρωινής αιχμής φαίνονται στο Σχ.2. Η πυκνότητα κουφώνεται γύρω από το μηδέν, αλλά έχει και μερικές ακόμα κορυφές στις καθυστερήσεις των 30, 60, και 120 λεπτών. Αυτό προφανώς σχετίζεται με τις η βασικές συχνότητες πολλών δημοσίων μεταφορικών υπηρεσιών στην Ολλανδία.

Είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε ότι αυτή η συνάρτηση πυκνότητας με πολλαπλά μέσα είναι τελείως διαφορετικές από την, με μία κορύφωση και ομαλή συνάρτηση πυκνότητας που βρίσκεται για τα μεμονωμένα στοιχεία των αλυσίδων. Το άθροισμα αυτών των ομαλών συναρτήσεων στο περιβάλλον των αλυσίδων παράγει μια συνάρτηση πυκνότητας η οποία απέχει πολύ από το ομαλό.

Βημα5. Υπολογισμός διαφορών μέτρων της αξιοπιστίας των αλυσίδων βασιζόμενες στα αποτελέσματα της προσομοίωσης στο 4. Βρίσκουμε ότι η μέση καθυστέρηση των αλυσίδων δημοσίων συγκοινωνιών είναι μάλλον μικρή : περίπου 6 λεπτά, δοσμένου μιας μέσης διάρκειας διαδρομής περίπου 1 ώρας. Ένας λόγος είναι το ότι ένα ουσιαστικό τμήμα όλων των διαδρομών (περίπου το 30%) φτάνει (ελαφρώς) αργά. Η πιθανότητα μιας άφιξης εντός χρόνου ή μιας μικρής καθυστέρησης μεταξύ 0 και 5 λεπτά εκτιμάται γύρω στο 45%. Καθυστερήσεις μεταξύ 5 και 30 λεπτά συμβαίνουν στο 20% περίπου των περιπτώσεων. Εξαιρετικά μεγάλες καθυστερήσεις (πάνω από 30 λεπτά) συμβαίνουν στο περίπου 5% των περιπτώσεων.

Όταν συγκρίνουμε τις διάφορες χρονικές στιγμές της εβδομάδας, γίνεται καθαρό ότι παρόλο που στην πρωινή αιχμή υπάρχει περισσότερη συμφόρηση έτσι που οι χρόνοι ταξιδιού ποικίλουν περισσότερο, ο μέσος χρόνος αναμονής είναι σχετικά χαμηλός συγκρινόμενος με μια διαδρομή εκτός ώρας αιχμής ή την Κυριακή. Ο λόγος είναι ότι η χαμηλή αξιοπιστία των διαδρομών είναι μεγαλύτερος από αυτού που αντισταθμίζεται από την υψηλή συχνότητα των υπηρεσιών. Η αντίθετη περίπτωση είναι εκείνη του κυριακάτικου δρομολογίου όπου η διακύμανση των υπηρεσιών είναι σχετικά χαμηλή, αλλά και οι συχνότητες είναι επίσης χαμηλές. Αυτό οδηγεί σε μια υψηλή πιθανότητα μεγάλων καθυστερήσεων (8% για περισσότερο από 30 λεπτά).

Μια άλλη ενδιαφέρουσα άποψη είναι ότι το ποσοστό του χρόνου αναμονής στις εξόδους είναι περίπου 10% του χρόνου ταξιδιού όταν οι υπηρεσίες τρέχουν σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα, το υπόλοιπο 90% αφιερώνεται στην κίνηση με το όχημα. Η αναξιοπιστία οδηγεί σε μια ευδιάκριτη αλλαγή σε αυτά τα ποσοστά. Η αύξηση στον ολικό χρόνο είναι σχεδόν ολοκληρωτική, εξ 'αιτίας μιας αύξησης στους χρόνους αναμονής στις εξόδους (ο χρόνος αναμονής αυξάνεται περίπου στο 20%). Έτσι, η αναξιοπιστία δεν οδηγεί μόνο σε μια αύξηση του ολικού χρόνου διαδρομής, αλλά επίσης και σε ένα ποσοστό χρόνου διαδρομής ο οποίος είναι στο ελάχιστο

άνετος, καθώς οι ταξιδιώτες προτιμούν να κάθονται σ' ένα όχημα παρά να περιμένουν στην εξέδρα (van der Waard, 1989).

Πέντε τύποι αλυσίδων δημοσίων συγκοινωνιών έχουν επιλεγεί για να αντιπροσωπεύουν για την ποικιλία των αλυσίδων. Αυτό μας επιτρέπει να κάνουμε συγκρίσεις σύμφωνα με τον τύπο της αλυσίδας των δημοσίων μεταφορών και της περιόδου της μέρας όπου η διαδρομή λαμβάνει χώρα. Φαίνεται ότι η περίοδος της μέρας έχει μικρή επίδραση στη διαφορά μεταξύ του προσομοιωμένου και του προγραμματισμένου χρόνου ταξιδιού. Ο αριθμός των μετεπιβιβάσεων, ωστόσο, δείχνει να είναι πιο αποφασιστικός. Η διαφορά μεταξύ του μέσου προσομοιωμένου χρόνου ταξιδιού και του προγραμματισμένου είναι χαμηλός (λιγότερο από 2.5%) σε μεταφορές χωρίς μετεπιβίβαση και υψηλός (περί το 11%) σε αλυσίδες με δύο μετεπιβιβάσεις (3 μέσα).

9.1.5 Επίδραση των πολιτικών για την βελτίωση της αξιοπιστίας των δημοσίων υπηρεσιών μεταφορών στην πρωινή αιχμή.

Οι ταξιδιώτες και οι διαχειριστές δημοσίων μεταφορών μπορούν να πάρουν κάποια μέτρα ώστε να βελτιώσουν την αξιοπιστία των αλυσίδων (βήμα 6). Σημαντικοί καθοριστικοί παράγοντες της αξιοπιστίας μιας μεταφορικής αλυσίδας είναι οι χρόνοι της μετεπιβίβασης, συχνότητα της υπηρεσίας, αξιοπιστία του χρόνου αναχώρησης και αξιοπιστία του χρόνου άφιξης.

Το πρότυπο προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε στο Μέρος 4 για να αναλύσουμε την κατανομή των χρόνων ταξιδιού (και άφιξης) για μέτρα πολιτικής για να βελτιώσουμε περαιτέρω την αξιοπιστία των αλυσίδων δημοσίων συγκοινωνιών. Αυτό οδηγεί σε αλλαγές στις κατανομές των χρόνων ταξιδιού και των χρόνων άφιξης για όλα τα πιθανά μέτρα πολιτικής. Μια βασική αξίωση που υπόκειται στις προσομοιώσεις είναι ότι οι παράμετροι των κατανομών με μια κορυφή του χρόνου αναχώρησης και του χρόνου άφιξης παραμένουν ανεπηρέαστες. Αυτό μπορεί να μη συμβαίνει πάντα στην πραγματικότητα. Για παράδειγμα, να σημειωθεί ότι όταν οι οδηγοί των λεωφορείων έχουν περισσότερο χρόνο για καθορισμένα καθήκοντα. (όπως να οδηγήσουν από το Α στο Β), αυτά τα καθήκοντα τείνουν να διαρκούν περισσότερο εξ αιτίας των αποκρίσεων της συμπεριφοράς Δεδομένης της

περιορισμένης ποιότητας των διαθέσιμων δεδομένων αποφασίζουμε να μην πάρουμε αυτή τη θεώρηση υπ' όψη.

Στην Ολλανδία, το ποδήλατο είναι ένα σημαντικό μέσον εισόδου για τους επιβάτες τρενών : περί το ένα τρίτο όλων των επιβατών φτάνουν με το ποδήλατο στους σταθμούς σιδηροδρόμων (και στο σπίτι στο τέλος της αλυσίδας). Από τη σκοπιά της αξιοπιστίας, το ποδήλατο είναι ενδιαφέρον επειδή είναι συνεχώς διαθέσιμο έτσι ώστε να μην υπάρχει ρίσκο μια ένωση να χαθεί. Αναλογιζόμενοι τις ταχύτητες των ποδηλάτων συμπεραίνουν ότι ένα δρομολόγιο με ποδήλατο παίρνει :

- όσο χρόνο και ένα δρομολόγιο με αστικό λεωφορείο,
- 1.25 του χρόνου ενός δρομολογίου με τραμ,
- 1.5 του χρόνου ενός δρομολογίου με υπεραστικού λεωφορείο
- διπλάσιο χρόνο από ένα δρομολόγιο με μετρό

Αυτοί οι αριθμοί θεωρούνται ως λογικές προσεγγίσεις για δρομολόγια που απαιτούν περισσότερο από 15 λεπτά με λεωφορείο : για μακρύτερα δρομολόγια αυτοί οι παράγοντες ταχύτητας μπορούν να αλλάξουν. Για παράδειγμα, το υπεραστικό λεωφορείο καθίσταται πολύ γρηγορότερο από το ποδήλατο σε μεγαλύτερες περιφερειακές αποστάσεις. Στην ανάλυση έχουμε μόνο λάβει τα δρομολόγια των ποδηλάτων που είναι μικρότερα από 15 λεπτά. Οι μεταβλητές που αφορούν υπεραστικά λεωφορεία δεν είναι μέτρα με την αυστηρή αίσθηση. Έχουν προστεθεί για να είμαστε ικανοί να διερευνήσουμε τις συνέπειες που η « αυξημένη αξιοπιστία ενός μονού μέσου » θα είχε στην αξιοπιστία της αλυσίδας. Για τις μεταβλητές όπου έχουμε χρόνους ταξιδιών μειωμένους κατά 10% (αύξηση στο χρόνο μετεπιβίβασης και υψηλότερες λειτουργικές ταχύτητες των μέσων), οι αλυσίδες έχουν προσαρμοστεί. Σ' αυτή την προσαρμογή ο χρόνος αναχώρησης λαμβάνεται ως σημείο εκκίνησης. Το ακόλουθο παράδειγμα, με 10% αύξηση στην ταχύτητα λειτουργίας των υπεραστικών λεωφορείων, έχει ανακατασκευαστεί ως ακολούθως :

Πίνακας 9.2 : Παράδειγμα αύξησης 10% σε λειτουργικές ταχύτητες. [Πηγή : 3]

Μέσο	Συχνότητα (λεπτά)	Αναχώρηση	Άφιξη		Αναχώρηση	Άφιξη
Υπεραστικό λεωφορείο	30	7.30	8.04	Γίνονται	7.30	8.01
Τραμ	5	8.07	8.10		8.02	8.05

Σε αυτή την ιδιαίτερη περίπτωση ο ολικός χρόνος μειώνεται κατά 12.5%, αυτό εν μέρει προκαλείται από μια μείωση στο χρόνο αναμονής. Από την άλλη είναι πιθανό ότι η νέα αλυσίδα θα είναι λιγότερο αξιόπιστη, καθώς ο χρόνος μετεπιβίβασης μειώνεται από τα 2 λεπτά στο 1 λεπτό. Πάντως, σε άλλες αλυσίδες αντίστροφες επιδράσεις στους χρόνους αναμονής μπορεί να συμβούν. Κατά μέσο όρο ο χρόνος μετεπιβίβασης ελαφρώς μειώνεται με ένα 10% αύξησης της λειτουργικής ταχύτητας των υπεραστικών λεωφορείων.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα, η αξιοπιστία μετριέται ως η διαφορά μεταξύ του αναμενόμενου πραγματικού χρόνου ταξιδιού και του προγραμματισμένου χρόνου ταξιδιού. Στην παρούσα κατάσταση ο προσομοιωμένος μέσος χρόνος ταξιδιού κατά την πρωινή αιχμή με τις δημόσιες συγκοινωνίες είναι 65.9 λεπτά. Ο ολικός χρόνος ταξιδιού μοιράζεται σε 55.3 λεπτά εντός οχήματος και 10.7 λεπτά χρόνου αναμονής στα σημεία μετεπιβίβασεων. Η μέση αναξιοπιστία, μετρημένη ως η διαφορά μεταξύ του ολικού χρόνου σύμφωνα με το επίσημο χρονοδιάγραμμα και τον προσομοιωμένο ολικό χρόνο, είναι 6.0 λεπτά. Η μείωση στον χρόνο εντός-οχήματος προστιθέμενη στη μείωση του χρόνου αναμονής είναι το ολικό κέρδος ταξιδιού κάθε μεταβλητής. Η μείωση στην αναξιοπιστία μετράται ως η μείωση στη διαφορά μεταξύ του μέσου χρόνου ταξιδιού και του προγραμματισμένου χρόνου ταξιδιού (το αρνητικό πρόσημο υποδηλώνει μια αύξηση). Σημειωτέον ότι τα αποτελέσματα δείχνουν την επίδραση κάθε μεταβλητής για χρήση στις δημόσιες συγκοινωνίες στην Ολλανδία γενικώς και όχι μερικώς για τις αλυσίδες που επηρεάζονται από τη συγκεκριμένη μεταβλητή (βλ. βήμα 2).

Η επίπτωση της χρήσης του ποδηλάτου ως ένα μέσο εισόδου και/ ή εξόδου στις αλυσίδες δημοσίων συγκοινωνιών είναι σχετικά μεγάλη : μιας και τα ποδήλατα είναι αργά, η εισαγωγή τους οδηγεί σε μια ουσιαστική αύξηση του «εντός-οχήματος χρόνου» (σ' αυτή την περίπτωση θα ήταν καλύτερα να μιλάγαμε για « επί-οχήματος χρόνο». Πάντως, εξ' αιτίας μιας περισσότερο αξιόπιστης επαφής, αυτή η αύξηση του εντός-οχήματος χρόνου είναι κάτι περισσότερο από εξισορροπημένη από μια μείωση στον χρόνο αναμονής και από μια ισχυρή βελτίωση της αξιοπιστίας. Αξιοπρόσεκτο είναι ότι όταν τα λεωφορεία λειτουργούν σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα οι χρόνοι

εντός-οχήματος αυξάνονται ελαφρά. Πάντως, οι ολικοί χρόνοι ταξιδιού βελτιώνονται εξαιτίας μιας μεγαλύτερης μείωσης του χρόνου αναμονής. Σε όλες τις μεταβλητές στις; Οποίες ένα μέσο γίνεται πιο αξιόπιστο, όλη η μεταφορική αλυσίδα καθίσταται ελαφρώς πιο αξιόπιστη. Αυξημένοι χρόνοι μετεπιβιβάσεων οδηγούν σε μια ελαφρά αύξηση του μέσου χρόνου αναμονής. Εντούτοις, αυτή η αύξηση στον χρόνο αναμονής εξισορροπείται από μια βελτίωση της αξιοπιστίας. Η αύξηση των λειτουργικών ταχυτήτων των μέσων οδηγεί σε βελτίωση του ολικού χρόνου ταξιδιού που προκαλείται από μια μείωση του χρόνου εντός οχήματος. Όμως, εκτός και αν δεν αυξηθούν κατά 10% οι λειτουργικές ταχύτητες όλων των μέσων, η επίδραση στον εντός-οχήματος χρόνο είναι σχετικά μικρή. Επίσης, η επίδραση στην αξιοπιστία είναι μικρή.

Αυτό δεν είναι σύμφωνο με τις προσδοκίες μας. Κάποιος μπορεί να περιμένει ότι υψηλότερες λειτουργικές ταχύτητες οδηγούν σε μια αύξηση των χρόνων μετεπιβιβάσεων (χρόνοι αναμονής) και απ' αυτό σε μια αύξηση της αξιοπιστίας. Η βελτίωση της αξιοπιστίας. Η βελτίωση των συχνοτήτων οδηγεί σε καθαρή μείωση των χρόνων αναμονής, ειδικά στην περίπτωση των συχνών υπηρεσιών από υπεραστικά λεωφορεία. Οι υπηρεσίες υπεραστικών λεωφορείων χαρακτηρίζονται από σχετικά χαμηλές συχνότητες στην Ολλανδία. Μια ημίωρη υπηρεσία θα ελάττωνε καθαρά τους χρόνους αναμονής και θα έκανε το σύστημα πιο αξιόπιστο. Τελικά, οι περιπτώσεις όπου εάν τα λεωφορεία δεν αναχωρούν νωρίς, καθαρά δείχνουν ότι εάν τα λεωφορεία δεν αναχωρούν πλέον από τις στάσεις πιο νωρίς, οι συνέπειες στον χρόνο εντός-οχήματος, ο χρόνος αναμονής η αξιοπιστία θα ευνοηθούν. Δεδομένων αυτών των επιδράσεων των στρατηγικών ενίσχυσης της αξιοπιστίας το ερώτημα είναι τώρα το πώς αυτές οι στρατηγικές μπορούν να αποτιμηθούν (βήμα 8). Αυτό είναι το αντικείμενο του 6^ο μέρους.

9.1.6. Αποτίμηση των στρατηγικών ενίσχυσης της αξιοπιστίας για την πρώιμη αιχμή.

Με σκοπό να γίνει αποτίμηση της αξιοπιστίας στις μεταφορές, δόθηκαν συνεντεύξεις, [3] το 1997 από ένα δείγμα 781 χρηστών για την πρόσβασή τους στα μεταφορικά μέσα και την συμπεριφορά τους στις μετακινήσεις με αυτοκίνητο αλλά

και με δημόσια συγκοινωνία και τον τρόπο που αντιμετωπίζουν την κυκλοφοριακή συμφόρηση και την αναξιοπιστία στις αλυσίδες δημοσίων συγκοινωνιών.

Οι ερωτώμενοι κλήθηκαν να δείξουν την προτίμησή τους σε διάφορες καταστάσεις επιλογών. Ένα παράδειγμα περίπτωσης που παρουσιάστηκε σε ερωτώμενο ήταν :

Υποθέστε ότι έχετε αποφασίσει να κάνετε ένα δρομολόγιο με δημόσια συγκοινωνία από το Α στο Β. Μπορείτε να επιλέξετε μεταξύ δύο εναλλακτικών επιλογών (1 και 2) :

Η επιλογή 1 χαρακτηρίζεται από τα ακόλουθα στοιχεία :

<i>Προγραμματισμένος χρόνος ταξιδιού</i>	<i>80 λεπτά</i>
<i>Πιθανότητα καθυστέρησης</i>	<i>0%</i>
<i>Πιθανότητα να βρεθεί ελεύθερη θέση</i>	<i>100%</i>
<i>Τιμή</i>	<i>5.7€</i>

Η επιλογή 2 περιλαμβάνει τα εξής χαρακτηριστικά :

<i>Προγραμματισμένος χρόνος ταξιδιού</i>	<i>70 λεπτά</i>
<i>Πιθανότητα καθυστέρησης 15 λεπτών</i>	<i>50%</i>
<i>Πιθανότητα να βρεθεί ελεύθερη θέση</i>	<i>100%</i>
<i>Τιμή</i>	<i>5.7€</i>

Ποια από τις δύο εναλλακτικές προτάσεις θα προτιμούσατε ;

Απάντηση : επιλογή 1 ή επιλογή 2.

Εάν οι χρήστες δημοσίων συγκοινωνιών έχουν μια ουδέτερη συμπεριφορά στο ρίσκο, προτιμούν τη δεύτερη επιλογή επειδή ο αναμενόμενος χρόνος είναι μικρότερος από την Επιλογή 1 (77.5 αντί 80 λεπτά). Στην πραγματικότητα οι περισσότεροι χρήστες μέσω μαζικής μεταφοράς μάλλον αντιπαθούν το ρίσκο. Μια πλειοψηφία του 85% των ερωτώμενων προτιμούν τη συγκεκριμένη επιλογή 1 παρά τη γρηγορότερη αλλά λιγότερο προκαθορισμένη επιλογή 2.

Βασιζόμενες σε ερωτήσεις αυτού του τύπου όπου οι δύο εναλλακτικές διαφέρουν σύμφωνα με δύο σημεία και με τα υπόλοιπα δύο σημεία να είναι

παρόμοια, έχουμε εκτιμήσει τις παραμέτρους για μια γενική συνάρτηση με τις ακόλουθες παραμέτρους : χρόνος εντός οχήματος (μετρημένος σε λεπτά), 50% πιθανότητα της 15λεπτης καθυστέρησης, 25% πιθανότητα του να μη βρεθεί θέση και την τιμή του εισιτηρίου. Ένας καλώς αναγνωρισμένος τρόπος για να κάνουμε πρότυπο γι' αυτού του τύπου της δηλωμένων δεδομένων προτίμησης διακριτής επιλογής είναι το πρότυπο logit. Οι εκτιμώμενες τιμές που προέκυψαν για τους προγραμματιζόμενο χρόνο διαδρομής είναι κοντά σε άλλες εκτιμήσεις για την Ολλανδία. Η εκτίμηση της αναξιοπιστίας σημαίνει ότι οι χρήστες δημοσίων συγκοινωνιών προτίθενται να πληρώσουν ένα πρόσθετο ποσό των 2.2 € με σκοπό να μειώσουμε το 50% πιθανότητας των 15 λεπτών καθυστέρησης στο μηδέν. Αυτό είναι ένα μάλλον υψηλό έξοδο δεδομένου του κόστους αναφοράς των 5.7 € για το δρομολόγιο.

Με σκοπό να κάνουμε συγκρίσιμες τις εκτιμήσεις του χρόνου εντός-οχήματος και της αξιοπιστίας, τους έχουμε υπολογίσει ξανά για μια μονάδα τυπικού χρόνου 1 λεπτού στο χαμηλότερο του Πιν.11, υποθέτοντας ότι οι εκτιμήσεις είναι αναλογικές με το μέγεθος των μονάδων χρόνου που τις αφορούν. Η αποτίμηση μιας καθορισμένης εντός του οχήματος απώλειας χρόνου ενός λεπτού είναι 13 €λεπτά, όπου η αποτίμηση ενός 50% πιθανότητας για μια 2λεπτη καθυστέρησης είναι 32 €λεπτά. Έτσι, στις μετεπιβιβάσεις « ένα λεπτό αβεβαιότητας » ζυγίζεται με ένα συντελεστή $29/12 = 2.4$ υψηλότερος από ένα σίγουρο λεπτό. Στην περίπτωση ενός ουδέτερου από ρίσκο χρήστη, οι τιμές αυτές θα ήταν ίσες. Η κατάληξη είναι ότι οι ερωτώμενοι δείχνουν μια ουσιαστική αντιπάθεια για τις αναξιόπιστες υπηρεσίες μεταφορών. ,

Πίνακας 9.3. Αποτίμηση χρόνου διαδρομής, αξιοπιστίας και πιθανότητας εύρεσης θέσης σε €.

[Πηγή : 3]

	Δημόσιες Μεταφορές
Μείωση του Προγραμματισμένου Χρόνου (ανά ώρα)	7,94
Μείωση μέχρι μηδενός, πιθανότητας 50% για καθυστέρηση 15 λεπτών	2,38
Μείωση μέχρι μηδενός, πιθανότητας να μην υπάρχει θέση	1,53
Μείωση του Προγραμματισμένου Χρόνου Εντός Οχήματος (ανά λεπτό)	0,13
Μείωση μέχρι μηδενός, για πιθανότητα καθυστέρησης 2 λεπτών	0,32

Ένα παρόμοιο αποτέλεσμα βρίσκεται για το πρόβλημα άνεσης ότι δηλαδή κάποιος βρίσκει ή όχι θέση στο όχημα. Φαίνεται ότι (στο επίπεδο της διάρκειας του

δρομολογίου πάνω από 1 ώρα) οι χρήστες προτίθενται να πληρώσουν ένα ποσό περίπου 1.4€ όταν μπορούν να αποφύγουν ένα 25% πιθανότητας να μην υπάρχει ελεύθερη θέση.

Μια σημαντική επίπτωση των παραπάνω εκτιμήσεων είναι ότι όταν οι διαχειριστές των δημοσίων συγκοινωνιών επιτυγχάνουν στο να βελτιώσουν την αξιοπιστία (μικρές καθυστερήσεις) και άνεσης (διαθεσιμότητα θέσης), οι πελάτες τους είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν περισσότερο για τις υπηρεσίες αυτές. Μέτρα για την αύξηση της αξιοπιστίας μπορούν επομένως να έχουν ουσιώδεις επιδράσεις στις απολαβές των εταιριών δημοσίων συγκοινωνιών.

Είναι καθαρό ότι μια αποτίμηση των μέτρων ενίσχυσης της αξιοπιστίας δεν πρέπει μόνο να λαμβάνουν χώρα στη βάση των προγραμματισμένων χρόνων ταξιδιού, αλλά επίσης στη βάση των πραγματικών χρόνων ταξιδιού με σκοπό να λάβουμε υπ' όψη την αβεβαιότητα. Για παράδειγμα, ο επαναπρογραμματισμός των δρομολογίων των τραίνων έτσι ώστε ο προγραμματισμένος χρόνος από στη διασταύρωση από ένα τραίνο σε άλλο είναι τουλάχιστο 10 λεπτά, οδηγεί σε μια αύξηση του προγραμματισμένου χρόνου διαδρομής, αλλά και σε μια αύξηση της αξιοπιστίας. Μια άλλη συνέπεια μιας τέτοιας πολιτικής θα ήταν το ότι η αναμονή στις εξέδρες θα έπαιρνε περισσότερο χρόνο.

Εμείς επίσης δίνουμε προσοχή στην άποψη ότι η αναμονή στις εξέδρες γενικά θεωρείται να είναι λιγότερο άνετη από το να κάθεται κανείς μέσα στο μεταφορικό όχημα. Ο χρόνος αναμονής στις εξέδρες μπορεί να ζυγιστεί με ένα παράγοντα του περίπου 1.5 συγκρινόμενου με το χρόνο εντός-οχήματος. Η αποτίμησή μας επομένως, βασίζεται στο γενικευμένο χρόνο ταξιδιού, όπου τρεις παράγοντες υπογραμμίστηκαν : ο προγραμματιζόμενος χρόνος ταξιδιού εντός-οχήματος (βαρύτητα 1), προγραμματισμένος χρόνος αναμονής στις εξέδρες (βαρύτητα 1,5) και μια ποινή αβεβαιότητας για το μέσο αριθμό των λεπτών πάνω από τον προγραμματισμένο χρόνο ταξιδιού (βαρύτητα 2,4).

Ιδιαίτερα, εξαιτίας της ισχυρής βελτίωσης στη αξιοπιστία στην αλυσίδες δημοσίων συγκοινωνιών, ο μέσος επιβάτης κερδίζει τα περισσότερα όταν τα ποδήλατα χρησιμοποιούνται ως μέσον εισόδου και / ή εξόδου. Άλλα μέτρα, τα οποία είναι σχετικά όχι ακριβά στην εκτέλεση και αποφέρουν σχετικώς μεγάλο κέρδος για το μέσο επιβάτη δημοσίων συγκοινωνιών, είναι η αύξηση των χρόνων μετεπιβιβάσεων και ένας αυστηρός όρος για τους οδηγούς λεωφορείων που να τους αποτρέπει από το να αναχωρούν νωρίς. Το πρώτο μέτρο οδηγεί σε μια αύξηση της

χαλάρωσης στο σύστημα, κάτι που οδηγεί σε μεγαλύτερους χρόνους αναμονής αλλά υψηλότερη αξιοπιστία. Το δεύτερο μέτρο μπορεί να επιτευχθεί με ακριβή προγραμματισμό των δρομολογίων και με οδηγίες για τους οδηγούς των λεωφορείων. Άλλα μέτρα που έχουν αποτέλεσμα λογικά κέρδη για το μέσο επιβάτη των μέσων μαζικής μεταφοράς είναι η αύξηση του μέσου χρόνου για όλα τα μέσα δημοσίων συγκοινωνιών και η αύξηση των συχνοτήτων των υπηρεσιών δημοσίων συγκοινωνιών, ειδικά των υπεραστικών λεωφορείων.

Το κόστος για τους διαχειριστές των μεταφορών δε λαμβάνεται υπ' όψη. Επίσης, δεν μελετήσαμε τη διαφορά στην άνεση μεταξύ της χρήσης δημοσίων συγκοινωνιών και της χρήσης του ποδηλάτου ως ένα μέσο εισόδου ή εξόδου. Από τη στιγμή που τα έξοδα του διαχειριστή δεν περιλαμβάνονται, ο αριθμός δεν δίνει την τελευταία απάντηση στο ποια στρατηγική είναι η καλύτερη. Οι αριθμοί από τις αναλύσεις επίσης δείχνουν ότι μια πιθανή αποδοχή της αύξησης των κομίστρων για τις μεταφορές, εάν η αξιοπιστία βελτιωνόταν.

9.1.7 Συμπεράσματα

Η αναξιопιστία στις μεταφορές σημαίνει ότι οι πραγματικοί χρόνοι αναχώρησης και άφιξης μπορεί να παρεκκλίνουν από το επίσημο προγραμματισμένο χρονοδιάγραμμα. Τα δεδομένα στην αξιοπιστία συνήθως έχουν μια κορύφωση. Εδώ στραφήκαμε στην αναξιопιστία από μια προοπτική πολλών κορυφών. Αυτό σημαίνει ότι ιδιαίτερη προσοχή έχει δοθεί στην πιθανότητα ένας να χάσει μια επαφή μεταξύ των στοιχείων της αλυσίδας. Αυτό επίσης υποδηλώνει μια μετατόπιση της προσοχής από τον παροχέα προς τον πελάτη.

Τα δεδομένα στην αναξιопιστία των αλυσίδων δημοσίων μεταφορών δεν είναι αμέσως διαθέσιμα στην Ολλανδία. Τα δεδομένα από διάφορες πηγές με μια κορυφή, όντας μερικώς μάλλον πενιχρά, έπρεπε να συνδυαστούν. Αυτό προφανώς στα αποτελέσματα της προσομοίωσης ένα χαρακτήρα αβεβαιότητας. Σύμφωνα με τις προσομοιώσεις, η πυκνότητα των χρόνων άφιξης κορυφώνεται γύρω απ' το μηδέν, αλλά έχει και μερικές ακόμα κρυφές στις καθυστερήσεις των 30, 60 και 120 λεπτών. Αυτό σχετίζεται με τις βασικές συχνότητες των περισσότερων υπηρεσιών δημοσίων συγκοινωνιών στην Ολλανδία. Έτσι, οι συχνότητες των υπηρεσιών δημοσίων

συγκοινωνιών δείχνουν να επηρεάζουν ισχυρά την ολική κατανομή των χρόνων άφιξης των επιβατών.

Βρέθηκε ότι η μέση καθυστέρηση των δημοσίων συγκοινωνιών είναι μάλλον μικρή : περίπου 6 λεπτά, δεδομένου μιας μέσης διάρκειας περί τη 1 ώρα. Ένας λόγος είναι ότι ένα σημαντικό μέρος όλων των δρομολογίων αφικνούνται (ελαφρώς) νωρίς. Η πιθανότητα μιας άφιξης εντός χρόνου ή με μικρή καθυστέρηση μεταξύ 0 και 5 λεπτών εκτιμάται γύρω στο 45%. Πολύ μεγάλες καθυστερήσεις (παραπάνω από 30 λεπτά) συμβαίνουν στο 5% των περιπτώσεων. Τις Κυριακές η αξιοπιστία μεμονωμένων στοιχείων των αλυσίδων είναι υψηλότερη από εκείνη των καθημερινών, αλλά εξαιτίας των χαμηλών συχνοτήτων η πιθανότητα των μεγάλων καθυστερήσεων είναι επίσης υψηλότερη.

Η αποτίμηση του καταναλωτή για την αξιοπιστία εκτιμάται μέσω μιας προσέγγισης δεδομένης προτίμησης. Βρήκαμε ότι η εκτίμηση μιας συγκεκριμένης απώλειας χρόνου του 1 λεπτού είναι 12 λεπτά, όταν η αποτίμηση της πιθανότητας για μια 2λεπτη καθυστέρηση είναι 29 λεπτά. Αυτό καταδεικνύει μια ισχυρή αποστροφή από το ρίσκο έναντι του χρόνου ταξιδιού από τους περισσότερους επιβάτες. Ο χρόνος αναμονής στις εξέδρες αποτιμάται με ένα παράγοντα του 1.5 συγκρινόμενος με τον χρόνο εντός του οχήματος. Στη βάση αυτών των τιμών, μια αποτίμηση των στρατηγικών ενίσχυσης της αξιοπιστίας έγινε. Συμπεραίνουμε ότι ανάμεσα στα ανάμεσα στα πιο υποσχόμενα μέσα για την βελτίωση της ολικής ποιότητας των αλυσίδων είναι η χρήση του ποδηλάτου ως μέσου εισόδου ή εξόδου. Σε μια χώρα όπως την Ολλανδία όπου ο μέσος αριθμός των δρομολογίων με το ποδήλατο είναι 1 ανά μέρα και ανά άτομο υπάρχει αυτή η ρεαλιστική εναλλακτική λύση. Γνωρίζουμε ότι αυτή η στρατηγική δεν μεταφέρεται εύκολα σε άλλες χώρες με λιγότερο ανεπτυγμένες ευκολίες για τα ποδήλατα.. Άλλα μέτρα τα οποία είναι σχετικά φτηνά στην υλοποίησή τους και αποδίδουν σε σαφώς ικανοποιητικά κέρδη για το μέσο επιβάτη είναι η αύξηση στους χρόνους μετεπιβίβάσεων και ένας περιοριστικός όρος για τους οδηγούς λεωφορείων να μην αναχωρούν νωρίς. Το αποτέλεσμα για τη σημασία του ποδηλάτου ως ένα μέσο μεταφοράς στις αλυσίδες δημοσίων συγκοινωνιών υποδηλώνει ότι οι διαχειριστές δημοσίων συγκοινωνιών θα πρέπει να δείχνουν προσοχή σε θέματα όπως καλές εγκαταστάσεις στάθμευσης κοντά στις στάσεις των δημοσίων συγκοινωνιών (σιδηροδρομικοί σταθμοί) και βελτιωμένα μέτρα για την αποτροπή της κλοπής. Ένα μείζον εμπόδιο κατά της χρήσης των ποδηλάτων στην Ολλανδία είναι η αντιλαμβανόμενη πιθανότητα κλοπής. Ένα άλλο

σημείο θα ήταν να επιτρεπόταν η στους επιβάτες να κρατούν τα ποδήλατά τους μαζί τους στα δρομολογία τους με τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Αυτό επιτρέπει στους επιβάτες να χρησιμοποιούν το ποδήλατό τους ως ένα μέσο εισόδου και εξόδου και λύνει το πρόβλημα της κλοπής.

Η προσέγγιση σε μια ανάλυση αναξιοπιστίας που αναπτύχθηκε σ' αυτό το άρθρο μπορεί να αναπτυχθεί πιο πέρα. Ιδιαίτερης σημασίας είναι ο συνυπολογισμός των στοιχείων της συμπεριφοράς των οδηγών δημοσίων συγκοινωνιών και των ελεγκτών κυκλοφορίας, όπως η προσαρμογή των ταχυτήτων ή της διάρκειας των στάσεων στο ενδεχόμενο καθυστερήσεων και αναμονή για τα καθυστερημένα οχήματα για να διασφαλίσουν ότι οι επιβάτες που θέλουν να μετεπιβιβαστούν δε θα χάσουν την επαφή τους. Μια άλλη σημαντική κατεύθυνση για περισσότερη έρευνα είναι ο συνυπολογισμός των δια-εξαρτήσεων των διαταράξεων στο σύστημα εξαιτίας γενικών εξωγενών παραγόντων. Κάποιος μπορεί να σκεφτεί για δια-δρομολογιακές εξαρτήσεις, όπου ο χρόνος αναχώρησης ενός συγκεκριμένου δρομολογίου εντός μιας αλυσίδας μπορεί να εξαρτάται από το χρόνο άφιξης του προηγούμενου δρομολογίου στην ίδια αλυσίδα.

9.2 Βελτιώνοντας την ποιότητα των υπηρεσιών μεταφορών και την κανονικότητα των χρόνων μεταξύ διαδοχικών αφίξεων οχημάτων μέσω ελέγχου πραγματικού χρόνου

9.2.1 Γενικά

Οι διαταραχές στις μεταφορικές υπηρεσίες συχνά προκαλούνται από στοχαστικές διακυμάνσεις ζήτησης επιβατών σε σταθμούς καθώς και σε κυκλοφοριακές συνθήκες κατά τις διαδρομές των γραμμών. Τα παραπάνω, αυξάνουν το χρόνο αναμονής των επιβατών στις στάσεις και κατά συνέπεια τους αποθαρρύνει από το να χρησιμοποιούν το σύστημα μεταφορών. Ο επαρκής έλεγχος σε πραγματικό χρόνο (Real-Time Control) είναι επιθυμητός για τη διατήρηση της την

κανονικότητας του χρόνου και να μειώσουν τις αρνητικές επιδράσεις των διαταραχών στις μεταφορικές γραμμές. Παρακάτω, προτείνεται ένα πρότυπο ελέγχου σε πραγματικό χρόνο με σκοπό τη διατήρηση των επιθυμητών χρονικών διαστημάτων άφιξης σε μια στάση για ζευγάρια διαδοχικών οχημάτων. Αυτό γίνεται ελαχιστοποιώντας την ολική διασπορά του χρόνου αυτού σε όλες τις στάσεις με χρήση Ενισχυμένων Συστημάτων Μαζικής Μεταφοράς (Advanced Public Transportation Systems) και συγκεκριμένα του συστήματος Αυτόματου Προσδιορισμού Θέσεως Οχήματος (Automatic Vehicle Location System - AVL) μέσω Τηλεματικής. Ο χρόνος αναχώρησης ενός οχήματος μπορεί να ρυθμιστεί βασιζόμενος στο βέλτιστο χρόνο άφιξης του στην επόμενη στάση, λαμβάνοντας υπ' όψη τις μέγιστες εφικτές λειτουργικές ταχύτητες και τα χρονικά διαστήματα μεταξύ του επόμενου και του προηγούμενου οχήματος. Το πρότυπο αυτό του ελέγχου σε πραγματικό χρόνο μπορεί κατόπιν να ελεγχθεί με προσομοίωση σε κάποιο υπαρκτό δίκτυο και έπειτα να γίνει παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

9.2.2 Πλαίσιο Συνθηκών

Μέσα σ' ένα αστικό περιβάλλον οι μεταφορικές λειτουργίες διαταράσσονται από πολλούς παράγοντες περιλαμβανομένων αυξομειώσεων των επιβατών σε στάσεις, καθυστερήσεις από φωτεινούς σηματοδότες σε κόμβους όπως επίσης και μη αναμενόμενη συμφόρηση η οποία προκαλείται από το φόρτο της κυκλοφορίας ή από επί της οδού συμβάντα. Η συνδυασμένη επίδραση αυτών των παραγόντων σε μεταφορικές λειτουργίες αυξάνει τη δυσκολία διατήρησης της πιστότητας τους χρόνους μεταξύ διαδοχικών αφίξεων. Οι επιβάτες οι οποίοι βρίσκονται να έχουν μεγαλύτερους από τους αναμενόμενους χρόνους αναμονής, θα αποθαρρυνθούν από το να χρησιμοποιήσουν τις συγκεκριμένες αυτές μεταφορικές υπηρεσίες. Μια προηγμένη στρατηγική για έλεγχο σε πραγματικό χρόνο των μεταφορών, η οποία μπορεί να ρυθμίζει τις λειτουργίες των υπηρεσιών σε πραγματικό χρόνο για να διατηρήσει την κανονικότητα των ΧΜΑ και να μειώσει το μέσο χρόνο αναμονής μπορεί να εφαρμοστεί για να λύσει το πρόβλημα. Τα μέτρα δραστηριότητας τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αξιολογήσουμε την προτεινόμενη στρατηγική ελέγχου περιλαμβάνουν στοχαστικές διακυμάνσεις της επίδοσης (π.χ. διακυμάνσεις

ΧΜΑ και χρονοδιαγραμμάτων και μέσων χρόνων κίνησης) και μέσους χρόνους αναμονής επιβατών.

Στις σιδηροδρομικές μεταφορές οι στρατηγικές έλεγχου οι οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί, κατηγοριοποιούνται σε : (1) χειροκίνητος έλεγχος και (2) αυτόματος έλεγχος. Στην πρώτη κατηγορία οι οδηγοί είναι εκείνοι οι οποίοι συνήθως οδηγούν τα οχήματα βάσει συστήματος σημάτων για να διατηρηθούν αποστάσεις ασφαλείας μεταξύ διαδοχικών οχημάτων. Ο χειροκίνητος έλεγχος θεωρείται αποτελεσματικός σε περιπτώσεις ελαφρών φόρτων και λειτουργικών ταχυτήτων μικρότερων από 70 Km/h. Σε αντίθετη περίπτωση συνίσταται η δεύτερη κατηγορία, του αυτόματου ελέγχου.

Αντιθέτως με τον χειροκίνητο (μηχανικό) έλεγχο, οι λειτουργίες των οχημάτων κατά τον αυτόματο έλεγχο καθοδηγούνται από ένα κεντρικό υπολογιστικό σύστημα, ενώ οι οδηγοί ασχολούνται μόνο με το να εκκινήσουν τη διαδικασία αυτόματης οδήγησης ή να επέμβουν σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Το υπολογιστικό αυτό σύστημα βασίζεται σε πληροφορίες όπως οι θέσεις των οχημάτων, οι ταχύτητες και οι καθυστερήσεις, πληροφορίες οι οποίες λαμβάνονται από συστήματα παρακολούθησης και επικοινωνίας για τις μεταφορές (π.χ. AVLS). Μέσω τέτοιου ελέγχου μπορούν να προσδιοριστούν οι βέλτιστες ταχύτητες και οι ρυθμοί επιτάχυνσης / επιβράδυνσης για αναχωρούντα οχήματα.

Προηγούμενες μελέτες έχουν αναπτύξει αρκετά προηγμένα πρότυπα ελέγχου για να τηρηθεί ομοιόμορφος ΧΜΑ ή το προγραμματισμένο χρονοδιάγραμμα με το να συγκρατούμε ή να επιταχύνουμε τα οχήματα. Αρκετά πρότυπα ελέγχου για συγκράτηση έχουν αναπτυχθεί για να καθυστερούν εσκεμμένα ένα καθ' οδό όχημα το οποίο είναι «μπροστά » από το χρονοδιάγραμμα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εγκατάσταση ελέγχου συγκράτησης μπορεί να προκαλέσει επιπρόσθετες καθυστερήσεις για τους εντός οχήματος επιβάτες και να αυξήσει τους χρόνους διαδρομής του οχήματος. Τα πρότυπα ελέγχου επιτάχυνσης αναπτύχθηκαν για να μειώσουν τους χρόνους διαδρομής, αυξάνοντας τις λειτουργικές ταχύτητες (π.χ. αγνοώντας στάσεις). Αυτά τα πρότυπα ήταν εφαρμόσιμα μόνο όταν ένα όχημα υστερήσει από το χρονοδιάγραμμα ή είχε ένα ΧΜΑ από το προπορευόμενό του όχημα. Η περίπτωση να αγνοηθούν στάσεις (όπως π.χ. σε γραμμές Express) χρησιμοποιείται συχνά και παρότι βελτιώνει την ταχύτητα του οχήματος και να κάνει οικονομία στο χρόνο των επιβατών εντός και εκτός οχήματος, μπερδεύει πολλές φορές τους επιβάτες όταν εκείνοι προορίζονται για τις προς παράλειψη στάσεις. Το εφαρμοζόμενο σύστημα μπορεί να ρυθμίσει τις αναχωρήσεις των οχημάτων σε

πραγματικό χρόνο βασιζόμενο στο βέλτιστο χρόνο άφιξης στην επόμενη στάση κάτι που υπόκειται στους περιορισμούς της μέγιστης εφικτής ταχύτητας και το ΧΜΑ των προπορευόμενων και ακολουθούντων οχημάτων του.

Πίνακας 9.5 : Χρησιμοποιούμενοι Συμβολισμοί.

Σύμβολο Μεταβλητής	Περιγραφή	Μονάδες
H	Προγραμματισμένος ΧΜΑ	ώρα
E(w)	Μέσος χρόνος αναμονής επιβατών	ώρα
E(h)	Μέσος ΧΜΑ	ώρα
$\sigma^2(h)$	Διασπορά ΧΜΑ	ώρα ²
$h_{k,i}^{(t)}$	ΧΜΑ δύο οχημάτων k-1 και k στη στάση i στο χρόνο t	ώρα
$\Pi^{(t)}$	η ολική διασπορά ΧΜΑ για όλες τις στάσεις κατά τη διαδρομή στο χρόνο t	ώρα ²
$\pi_i^{(t)}$	Διασπορά ΧΜΑ στη στάση i σε χρόνο t	ώρα ²
$\alpha_{k,i}$	Χρόνος άφιξης οχήματος k στη στάση i	ώρα
$\rho_{k,i}$	Χρόνος αναχώρησης οχήματος k στη στάση i	ώρα
$d_{k,i}$	Χρόνος παραμονής οχήματος k στη στάση i	ώρα
$\lambda_i^{(t)}$	Ρυθμός άφιξης επιβατών στη στάση i	επιβ/ώρα
t_b	Μέσος χρόνος επιβίβασης	ώρα
$e_0^{(t)}$	Ελαχιστο της ολικής διασποράς $\Pi^{(t)}$	ώρα
$e_{k,i}^{(t)}$	Βέλτιστος χρόνος άφιξης για όχημα k στην επόμενη στάση i στο χρόνο t	ώρα
$L_{k,i}^{(t)}$	Ο ελάχιστος χρόνος άφιξης που το όχημα k μπορεί να κάνει στη στάση ii στο χρόνο t	ώρα
$w_i^{(t)}$	Παράγων βαρύτητας για τη στάση i	-
$\Delta_{k,i}^{(t)}$	Απόκλιση μεταξύ των $h_{k,ii}$ και H	ώρα
$\varphi_i^{(t)}$	Παράγων που συνδέεται με το ρυθμό άφιξης επιβατών στη στάση i	-

9.2.3 Διατύπωση Προτύπου

Το 1957, ο Welding [4] ανέπτυξε ένα πρότυπο για να εκτιμήσει το μέσο χρόνο αναμονής για μια μεταφορική διαδρομή θεωρώντας στοχαστικές (τυχαίες) αφίξεις επιβατών και οχημάτων στις στάσεις..

$$E(W) = \frac{E(h)}{2} + \frac{\sigma^2(h)}{2E(h)} \quad (9.1)$$

όπου : E(W) είναι ο Μέσος Χρόνος Αναμονής

E(h), Μέσος Χρόνος Μεταξύ Διαδοχικών Αφίξεων (ΧΜΑ-Headway)

$\sigma^2(h)$, η διασπορά του ΧΜΑ.

Οι δύο τελευταίες παράμετροι είναι γνωστές, έτσι στην σχέση. 9.1 ο όρος $E(h)$ μπορεί να τεθεί ως ο προγραμματισμένος ΧΜΑ-Η. Έτσι, ο μέσος χρόνος αναμονής επιβατών μπορεί να μειωθεί ώστε η διασπορά του ΧΜΑ, $\sigma^2(h)$ να ελαχιστοποιείται.

9.2.4 Παραδοχές

Για να αναπτύξουμε ένα πρότυπο πραγματικού χρόνου για να ελαχιστοποιήσουμε την ολική διασπορά του ΧΜΑ σε όλες τις στάσεις, οι ακόλουθες παραδοχές γίνονται [5]:

1) Οι αφίξεις επιβατών στις στάσεις ακολουθούν κατανομή Poisson. Αυτή η παραδοχή χρησιμοποιείται σε αρκετές εργασίες και είναι λογική όταν ο ΧΜΑ των δρομολογίων που εκτελούνται είναι μικρός.

2) Η διασπορά των ρυθμών άφιξης των επιβατών και η κατανομή της ζήτησης κατά στάση και χρόνο είναι δεδομένη ή ακόμα και προβλέψιμες με τις νέες τεχνολογικές όπως οι αυτόματοι μετρητές επιβατών.

3) Δε συμβαίνει προσπέραση ενός οχήματος από ένα άλλο.

4) Το σύστημα ελέγχου διαχειρίζεται όλα τα κυκλοφορούντα οχήματα ενώ οδηγίες ελέγχου δίδονται σε οχήματα μόνο όταν αναχωρούν από τις τερματικές στάσεις. Έτσι, κάθε όχημα υποτίθεται ότι κυκλοφορεί σε πλήρη ταχύτητα.

5) Μόνο ένα όχημα λαμβάνει οδηγίες ελέγχου κάθε στιγμή. Εάν παραπάνω από ένα όχημα αναχωρεί από τις στάσεις (παρόλο που αυτό σπάνια συμβαίνει), το προπορευόμενο όχημα θα πάρει τις οδηγίες ελέγχου πρώτο και έπειτα τα ακολουθούντα οχήματα θα καθοδηγηθούν με τη σειρά τους.

6) Οι χρόνοι άφιξης του οχήματος στις κατάντι στάσεις μπορούν να προβλεφθούν. Η ακρίβεια των προβλεπόμενων χρόνων άφιξης κατά πολύ επαφίεται στην ποιότητα των προτύπων πρόβλεψης τα οποία θα επηρεάσουν την επίδοση του προτεινόμενου συστήματος ελέγχου.

9.2.5 Συνάρτηση Διασποράς ΧΜΑ

στη στάση i . Στην Σχ.9.3, το $d_{k,i}$ είναι ίσο με τον αριθμό των επιβιβαζόμενων πολλαπλασιασμένο με το μέσο χρόνο επιβίβασης t_b .

Επίσης,

$$d_{k,i} = t_b \lambda_i^{(t)} (\alpha_{k,i} - p_{k-1,i}) \quad \text{για } k = 2, 3, \dots, N \text{ και } i = 1, 2, \dots, S \quad (9.4)$$

Ο παράγον $\lambda_i^{(t)}$ είναι οι ωριαίες αφίξεις επιβατών στη στάση i ενώ,

ο $(\alpha_{k,i} - p_{k-1,i})$ μας δίνει τη χρονική διάρκεια μεταξύ των χρόνων αναχώρησης του προηγούμενου και αυτών της άφιξης του τρέχοντος οχήματος.

Βασιζόμενοι στους ΧΜΑ των $N-1$ ζευγαριών κυκλοφορούντων οχημάτων, η διασπορά των ΧΜΑ $\pi_i^{(t)}$ η οποία παρατηρείται στη στάση i στο χρόνο t μπορεί να

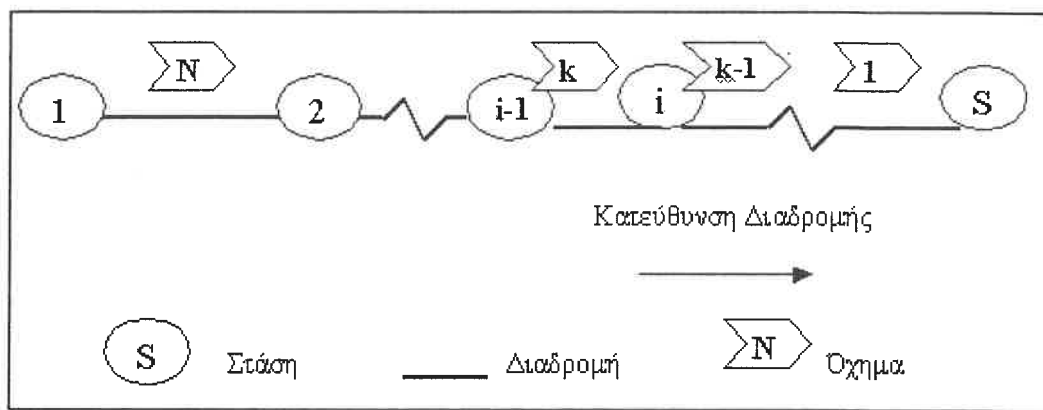
$$\text{μορφωθεί ως : } \pi_i^{(t)} = \frac{\sum_{k=2}^N (h_{k,i}^{(t)} - H)^2}{N-1} \quad \text{για } i = 1, 2, \dots, S \quad (9.5)$$

Ένας από τους σημαντικούς παράγοντες της διατάραξη του ΧΜΑ της γραμμής η οποία προκαλείται από ζήτηση επιβατών σε στάσεις θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψη ενώ καταστρώνουμε την αντικειμενική συνάρτηση ολικού ΧΜΑ. Για παράδειγμα, σε μια στάση με υψηλή επιβατική ζήτηση, υπερβολικός χρόνος παραμονής του οχήματος στη στάση μπορεί να παρουσιαστεί, κάτι το οποίο συνεισφέρει σε περαιτέρω καθυστερήσεις και επιμηκύνει τους χρόνους αναμονής των επιβατών στις κατάντι στάσεις. Τέτοια επίπτωση μπορεί να φανεί σε μια αντικειμενική συνάρτηση με την επιβολή ενός υψηλότερου παράγοντα βαρύτητας ο οποίος ονομάζεται $w_i^{(t)}$, όπως καταστρώνεται στην Σχέση 9.6.

$$w_i^{(t)} = \frac{\lambda_i^{(t)}}{\sum_{j=1}^S \lambda_j^{(t)}} \quad \text{για } i = 1, 2, \dots, S \quad (9.6)$$

όπου το i αντιπροσωπεύει τον αριθμό-δείκτη της στάσης. Εάν η ζήτηση στη στάση i αυξηθεί, το w_i αυξάνεται αναλόγως. Έτσι, η αντικειμενική συνάρτηση $\Pi^{(t)}$ στο χρόνο t μπορεί να παρασταθεί ως ένα ζυγισμένο άθροισμα των διασπορών των ΧΜΑ σε όλες τις στάσεις.:

Υποθέτουμε ότι κάποιος μπορεί να έχει πρόσβαση σε μια μεταφορική διαδρομή (Διάγραμμα 9.2) από Σ δεδομένες στάσεις όπου οι αφίξεις των επιβατών σ' αυτές τις στάσεις ακολουθούν κατανομή Poisson. Εάν υπάρχουν N οχήματα, αριθμούμενα από το 1 στο N (κατάντι προς ανάντι), τα οποία έχουν δρομολογηθεί, το όχημα k είναι έτοιμο να αναχωρήσει από το σταθμό $i-1$, του οποίου η επόμενη στάση ονομάζεται i .



Διάγραμμα 9.2 : Ρύθμιση μίας Μεταφορικής Διαδρομής [Πηγή : 5]

Στο χρόνο t , ο ΧΜΑ $h_{k,i}^{(t)}$ μεταξύ των οχημάτων $k-1$ και k στη στάση i ($i=1,2,\dots,S$) μπορεί να προσδιοριστεί από την Σχέση 9.2 :

$$h_{k,i}^{(t)} = p_{k,i} - p_{k-1,i} \quad \text{για } k = 2,3,\dots,N \quad (9.2)$$

όπου τα $p_{k,i}$ και $p_{k-1,i}$ αντιπροσωπεύουν τους χρόνους αναχώρησης των οχημάτων $k-1$ και k στη στάση i , αντιστοίχως.

Σημειωτέον ότι το $p_{k,i}$ είναι ή γνωστό εάν η στάση i εξυπηρετείται από το όχημα k ($p_{k-1,i} \leq t, \forall k,i$), είτε διαφορετικά, ($p_{k-1,i} > t, \forall k,i$) μπορεί να εκτιμηθεί από την Σχέση 9.3 :

$$p_{k-i} = \alpha_{k,i} + d_{k,i} \quad \text{για } k = 2,3,\dots,N \text{ και } i = 1,2,\dots,S \quad (9.3)$$

όπου το $\alpha_{k,i}$ αντιπροσωπεύει το χρόνο άφιξης του οχήματος k στο σταθμό i το οποίο είναι ή γνωστό είτε προβλέψιμο και το $d_{k,i}$ είναι ο χρόνος παραμονής του οχήματος

$$\Pi^{(t)} = \sum_{i=1}^S w_i^{(t)} \pi_i^{(t)} \quad (9.7)$$

Με αντικατάσταση στην παραπάνω Σχέση 9.7 της Σχέσης 9.5 η αντικειμενική συνάρτηση ολικής διασποράς ΧΜΑ μπορεί να εξαχθεί ως εξής :

$$\Pi^{(t)} = \sum_{i=1}^S w_i^{(t)} \frac{\sum_{k=2}^N (h_{k,i}^{(t)} - H)^2}{N-1} \quad (9.8)$$

Με την ελαχιστοποίηση της την παραπάνω συνάρτησης $\Pi^{(t)}$ όταν ένα όχημα αναχωρεί από τη στάση, η κανονικότητα των ΧΜΑ μπορεί να διατηρηθεί και ο μέσος χρόνος αναμονής των επιβατών μπορεί επομένως να μειωθεί.

Οι Σχέσεις που έχουν αναπτυχθεί για την εκτίμηση των χρόνων στη στάση i συγκεντρώνονται στον Πίνακα 9.6, στον οποίο το όχημα k θεωρείται ότι αναχωρεί από το σταθμό $i-1$. Σημειωτέον ότι ο χρόνος άφιξης $a_{k,i}$ και ο χρόνος αναχώρησης $p_{k,i}$ ($k = 1, 2, \dots, N$) στις Σχέσεις οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.6 είναι ή γνωστές (εάν το όχημα έχει αφιχθεί ή έχει αναχωρήσει από τη στάση i πριν από το χρόνο t) ή αλλιώς, μπορεί να προβλεφθεί. Στο χρόνο t ο βέλτιστος χρόνος για το όχημα k στο σταθμό i δηλώνεται ως $e_{k,i}^{(t)}$, είναι μια μεταβλητή απόφασης στο προτεινόμενο σύστημα ελέγχου σε πραγματικό χρόνο. Με το να αντικαταστήσουμε τους χρόνους αναχώρησης $p_{k,i}$ ($k = 1, 2, \dots, N$) όπως είναι στον Πίνακα 9.6 στις Σχέσεις 9.2 και 9.5, η διασπορά των ΧΜΑ στη στάση i μπορεί να εξαχθεί. Επομένως, οι ολικές διασπορές των ΧΜΑ για όλες τις στάσεις όπως φαίνονται στη Σχέση 9.8, μια συνάρτηση του $e_{k,i}^{(t)}$ μπορεί να εξαχθεί.

Πίνακας 9.6 : Χρόνοι Άφιξης και Αναχώρησης στη Στάση i [Πηγή :5]

Αριθμός Οχήματος	Χρόνος Άφιξης	Χρόνος Αναχώρησης
1	$\alpha_{1,i}$	$p_{1,i}$
...	...	...
$k-1$	$\alpha_{k-1,i}$	$p_{k-1,i} = \alpha_{k-1,i} + t_b \lambda_i^{(t)} (\alpha_{k-1,i} - p_{k-2,i})$
K	$e_{k,i}^{(t)}$	$p_{k,i} = e_{k-1,i}^{(t)} + t_b \lambda_i^{(t)} (e_{k,i}^{(t)} - p_{k-1,i})$
$k+1$	$\alpha_{k+1,i}$	$p_{k+1,i} = \alpha_{k+1,i} + t_b \lambda_i^{(t)} (\alpha_{k+1,i} - p_{k,i})$
...	...	...
N	$\alpha_{N,i}$	$p_{N,i} = \alpha_{N,i} + t_b \lambda_i^{(t)} (\alpha_{N,i} - p_{N-1,i})$

9.2.6 Περιορισμοί

Από τη στιγμή που η λειτουργική ταχύτητα των οχημάτων είναι πάντοτε μικρότερη από τη μέγιστη λειτουργική ταχύτητα (π.χ. 70 Km/h για τα περισσότερα οχήματα), η βέλτιστος χρόνος άφιξης $e_{k,i}^{(t)}$ αναμένεται να είναι μεγαλύτερος ή ίσος από το νωρίτερο χρόνο άφιξης του $L_{k,i}^{(t)}$. Έτσι ο περιορισμός του χρόνου άφιξης μπορεί να εκφραστεί ως :

$$L_{k,i}^{(t)} \leq e_{k,i}^{(t)} \quad \text{για} \quad k = 1, 2, \dots, N \quad \text{και} \quad i = 1, 2, \dots, S \quad (9.9)$$

όπου το $L_{k,i}^{(t)}$ προσδιορίζεται ως ο χρόνος αναχώρησης του οχήματος από τη στάση $i-1$, συν τον ελάχιστο χρόνο ταξιδιού από τη στάση $i-1$ στη στάση i . Ο ελάχιστος χρόνος από σταθμός σε στάση προσδιορίζεται κυρίως βάσει των αποστάσεων των στάσεων και χαρακτηριστικά κίνησης του οχήματος στη συγκεκριμένη διαδρομή όπως τη μέγιστη επιτρεπόμενη λειτουργική ταχύτητα κατά τη συγκεκριμένη διαδρομή.

9.2.7 Πρότυπο Ελέγχου σε Πραγματικό Χρόνο

Από την αντικειμενική συνάρτηση διασποράς των ολικών ΧΜΑ κάτω από τους περιορισμούς ο έλεγχος σε πραγματικό χρόνο μπορεί να προκύψει ως ακολούθως :

$$Min_{e_{k,i}^{(t)}} \sum_{j=1}^S w_j^{(t)} \frac{\sum_{k=2}^N (h_{k,j}^{(t)} - H)^2}{N-1} \quad (9.10)$$

Έτσι ώστε : $L_{k,i}^{(t)} \leq e_{k,i}^{(t)}$ για $k = 1, 2, \dots, N$ και $i = 1, 2, \dots, S$

Από τη στιγμή που ο ΧΜΑ $h_{k,j}^{(t)}$ συσχετίζεται με τον προπορευόμενο ΧΜΑ $h_{k-1,j}^{(t)}$ και εξαρτάται από το χρόνο άφιξης $e_{k,i}^{(t)}$ όπως φαίνεται στον Πίνακα 9.6 το πρότυπο ελέγχου που φαίνεται πιο πάνω είναι ένα δεσμευμένο μη-γραμμικό πρόβλημα βελτιστοποίησης. Με την ελαχιστοποίηση την ολική διασπορά των ΧΜΑ οποτεδήποτε ένα όχημα αναχωρεί από τη στάση $i-1$, ο βέλτιστος χρόνος άφιξης $e_{k,i}^{(t)}$ στη στάση i μπορεί να βρεθεί, όπως αναλύεται ακολούθως.

9.2.8 Βελτιστοποίηση

Η πρώτη και η δεύτερη παράγωγος της συνάρτησης της ολικής διασποράς των ΧΜΑ εξάγονται με σκοπό να ευρεθεί η βέλτιστη λύση και να ελέγξουμε την κυρτότητα της αντικειμενικής συνάρτησης $\Pi^{(t)}$. Η πρώτη παράγωγος της $\Pi^{(t)}$ ως προς το χρόνο άφιξης $e_{k,i}^{(t)}$ προκύπτει ως :

$$\frac{\partial \Pi^{(t)}}{\partial e_{k,i}^{(t)}} = \sum_{j=1}^S w_j^{(t)} \frac{\partial \pi_j^{(t)}}{\partial e_{k,i}^{(t)}} \quad \text{για } k = 1, 2, \dots, N \text{ και } i = 1, 2, \dots, S \quad (9.11)$$

Για ένα δεδομένο ρυθμό άφιξης επιβατών $\lambda_j^{(t)}$ στη στάση j στο χρόνο t η απόκλιση

$\frac{\partial \pi_j^{(t)}}{\partial e_{k,j}^{(t)}}$ εξετάζεται θεωρώντας τις παρακάτω περιπτώσεις :

Κατάσταση 1 :

Στο χρόνο t , εάν το όχημα k είναι έτοιμο να αναχωρήσει από τη στάση $i-1$, οι χρόνοι αναχώρησής του από τις στάσεις 1 έως $i-1$ είναι γνωστοί. Έτσι, οι πρώτες παράγωγοι της διασποράς των ΧΜΑ σε αυτές της στάσεις είναι ανεξάρτητοι από τον βέλτιστο χρόνο άφιξης $e_{k,i}^{(t)}$,

$$\text{έτσι ώστε} \quad \frac{\partial \pi_j^{(t)}}{\partial e_{k,i}^{(t)}} = 0 \quad \text{για } j=1,2,\dots,i-1 \quad (9.12)$$

Κατάσταση 2 :

Η πρώτη παράγωγος της διασποράς των ΧΜΑ στην επόμενη στάση i ως προς $e_{k,i}^{(t)}$ μπορεί να εξαχθεί χρησιμοποιώντας τους χρόνους αναχώρησης των N οχημάτων όπως φαίνονται στον Πίνακα 9.6 έτσι ώστε :

$$\frac{\partial \pi_j^{(t)}}{\partial e_{k,i}^{(t)}} = \frac{2}{N-1} \left\{ \Delta_{k,i}^{(t)} \varphi_i^{(t)} - \Delta_{k+1,i}^{(t)} (\varphi_i^{(t)})^2 + \sum_{n=k+2}^N [(-1)^{n-1} (t_b \lambda_i^{(t)})^{n-k-1} \Delta_{n,i}^{(t)} (\varphi_i^{(t)})^2] \right\} \quad (9.13)$$

για $j=i$

Στην παραπάνω Σχέση (9.13), ο παράγοντας $\varphi_j^{(t)}$ εξαρτάται από το ρυθμό άφιξης των επιβατών $\lambda_j^{(t)}$, έτσι ώστε :

$$\varphi_j^{(t)} = 1 + t_b \lambda_j^{(t)} \quad \text{για } j = 1,2,\dots,S \quad (9.14)$$

Η απόκλιση ανάμεσα στους πραγματικούς ΧΜΑ $h_{k,j}^{(t)}$ και τους προγραμματισμένους ΧΜΑ αντιπροσωπεύονται από $\Delta_{k,j}^{(t)}$,

$$\Delta_{k,j}^{(t)} = h_{k,j}^{(t)} - H \quad \text{για } k = 1, 2, \dots, N \text{ και } j = 1, 2, \dots, S \quad (9.15)$$

Κατάσταση 3 :

Ο ΧΜΑ διαφοροποιείται από τη στάση $i+1$ στη στάση S είναι εξαρτημένος από τους βέλτιστους χρόνους άφιξης $e_{k,i+1}^{(t)}, \dots, e_{k,S}^{(t)}$ σε αυτές τις στάσεις αντιστοίχως μπορούν να προβλεφθούν βάσει του $e_{k,i}^{(t)}$ στη στάση i . Άρα η πρώτη παράγωγος της διασποράς των ΧΜΑ σε αυτές τις στάσεις ως προς το $e_{k,i}^{(t)}$ προκύπτει ως :

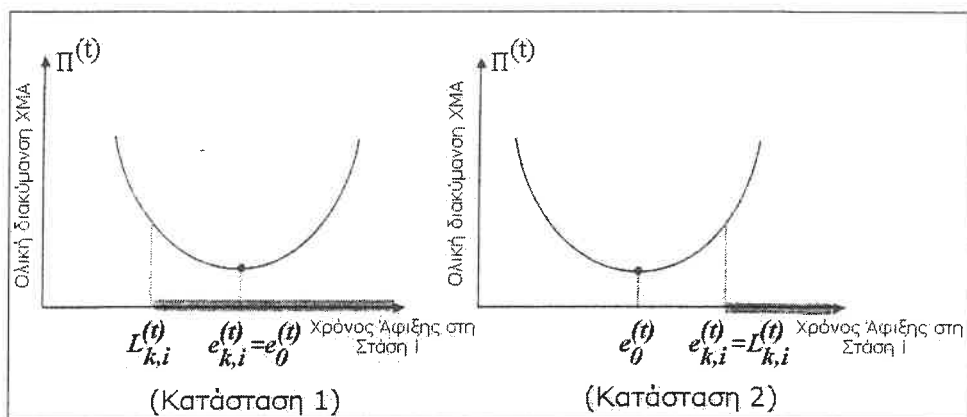
$$\frac{\partial \pi_j^{(t)}}{\partial e_{k,i}^{(t)}} = \frac{2\varphi_i^{(t)} \varphi_{i+1}^{(t)} \dots \varphi_{j-1}^{(t)}}{N-1} \left\{ \Delta_{k,j}^{(t)} \varphi_j^{(t)} - \Delta_{k+1,j}^{(t)} (\varphi_j^{(t)})^2 + \sum_{n=k+2}^N [(-1)^{n-1} (t_b \lambda_j^{(t)})^{n-k-1} \Delta_{n,j}^{(t)} (\varphi_j^{(t)})^2] \right\}$$

για $j = i+1, \dots, S$ (9.16)

όπου τα $\varphi_j^{(t)}$ και $\Delta_{k,j}^{(t)}$,μπορούν να βρεθούν από τις Σχέσεις 9.14 και 9.15 αντιστοίχως. Η Σχέση 9.16 δείχνει ότι η ζήτηση των επιβατών στις ανάντι στάσεις $i+1$, $i+2$, και $j-1$ συνεισφέρει στη διασπορά του ΧΜΑ $\pi_j^{(t)}$ στη στάση j , κάτι που δείχνει ότι η επίδραση της ζήτησης των επιβατών σε μια στάση πάνω στην διασπορά των ΧΜΑ θα επισωρευτεί παραπέρα στις κατάντι στάσεις. Αυτός είναι ο πρωταρχικός λόγος ο οποίος προκαλεί στα οχήματα μαζικών μεταφορών να δημιουργούν ομάδα (φαινόμενο bunching) καθώς κινούνται κατά μήκος της διαδρομής.

Η πρώτη παράγωγος τα αντικειμενικής συνάρτησης ως προς $e_{k,i}^{(t)}$ μπορεί να παραχθεί από την άθροιση των Σχέσεων 9.12, 9.13 και 9.16. Επί πλέον η δεύτερη παράγωγος της ολικής διασποράς των ΧΜΑ προκύπτει θετική. Έτσι, η αντικειμενική συνάρτηση $\Pi^{(t)}$ είναι κυρτή και ο ελάχιστο μπορεί να βρεθεί χρησιμοποιώντας ένα αλγόριθμο εύρεσης γραμμής όπως χρυσής τομής ή διχοτόμησης.

Αναλογιζόμενοι το γραμμικό περιορισμό όπως παρουσιάστηκε στην Σχέση 9.9, δύο περιπτώσεις δείχνονται στο Διάγραμμα 9.3 στην εφαρμογή για την αναζήτηση της βέλτιστης λύσης $e_{k,i}^{(t)}$ κάτι το οποίο αναπτύσσεται παρακάτω.



Διάγραμμα 9.3 : Βέλτιστη Λύση στο Πρότυπο Ελέγχου Οχήματος [Πηγή : 5]

Κατάσταση Α.

Σε αυτήν την κατάσταση, ο χρόνος άφιξης $e_0^{(t)}$ για το όχημα k στη στάση i ο οποίος βρίσκεται ελαχιστοποιώντας την ολική διασπορά του ΧΜΑ είναι μεγαλύτερος ή ίσος από τον νωρίτερο χρόνο άφιξης $L_{k,i}^{(t)}$. Όπως παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 9.3, εφικτές λύσεις στον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο στο χρόνο t θα πρέπει να ικανοποιήσει τον περιοριστικό παράγοντα χρόνου άφιξης ο οποίος παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 9.3, ο οποίος κυμαίνεται εντός $[L_{k,i}^{(t)}, +\infty)$. Έτσι, ο $e_0^{(t)}$ είναι εφικτός και προσδιορίζεται ως η βέλτιστη λύση έτσι ώστε :

$$\text{Εάν } e_0^{(t)} \geq L_{k,i}^{(t)} \text{ τότε } e_{k,i}^{(t)} = e_0^{(t)} \text{ για } k = 1, 2, \dots, N \text{ και } j = 1, 2, \dots, S$$

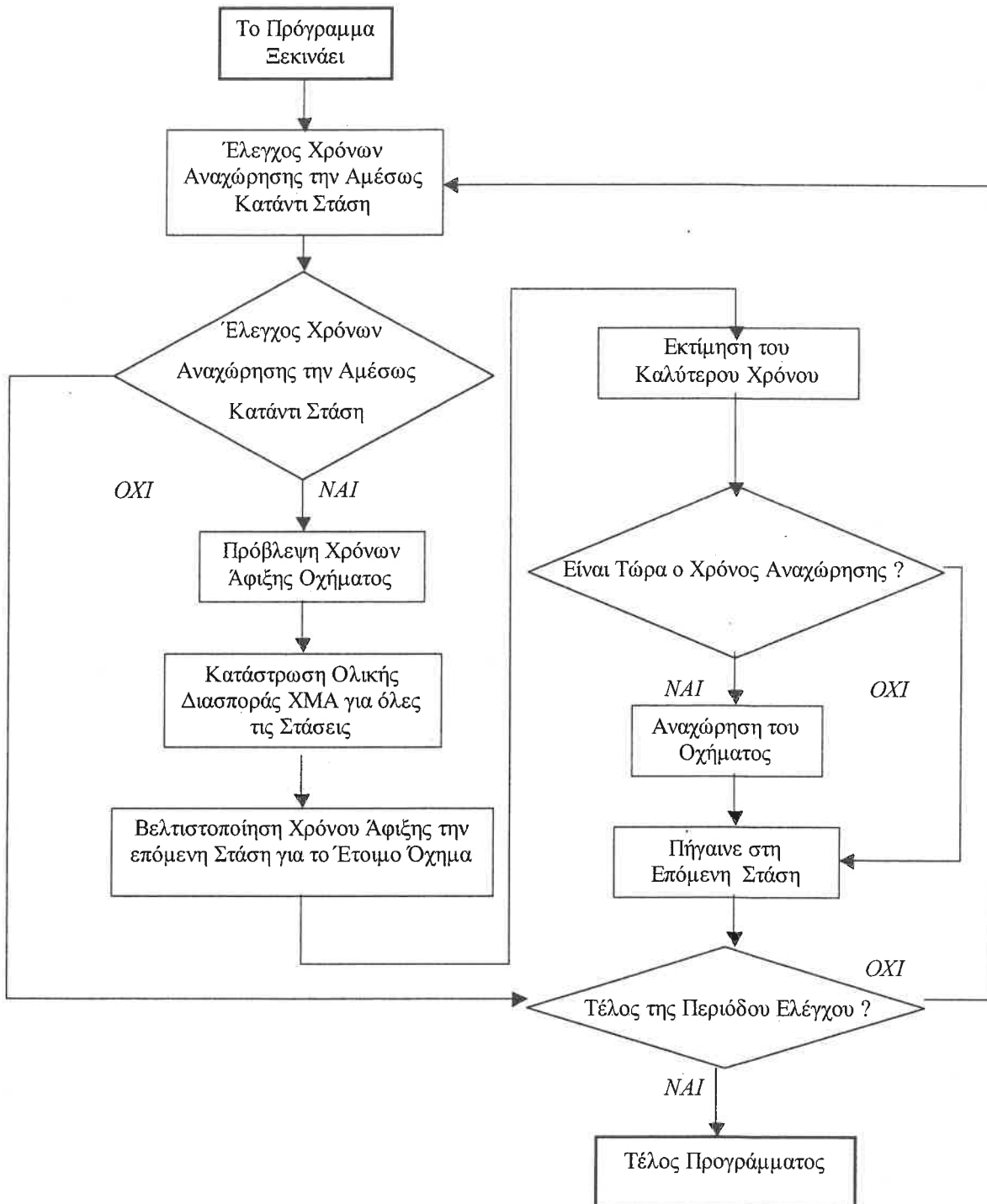
(9.17α)

Κατάσταση Β.

Σε αυτή την κατάσταση, ο χρόνος άφιξης $e_0^{(t)}$ προέρχεται από τη Σχέση 9.10 ελαχιστοποιώντας την ολική διασπορά ΧΜΑ είναι λιγότερος από τον νωρίτερο χρόνο άφιξης $L_{k,i}^{(t)}$. Το Διάγραμμα 9.3 δείχνει ότι $e_0^{(t)}$ εντοπίζεται αριστερά από το εφικτό εύρος $[L_{k,i}^{(t)}, +\infty)$. Επομένως, η βέλτιστη λύση η οποία ικανοποιεί τον περιορισμό του χρόνου άφιξης θα πρέπει να είναι $L_{k,i}^{(t)}$, η οποία δείχνει ότι το όχημα k θα χειριστεί ώστε να αναχωρήσει από τη στάση i αμέσως με τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα :

$$\text{Εάν } e_0^{(t)} < L_{k,i}^{(t)} \text{ τότε } e_0^{(t)} = L_{k,i}^{(t)} \text{ για } k = 1, 2, \dots, N \text{ και } j = 1, 2, \dots, S \quad (9.17\beta)$$

Η διαμόρφωση του προτύπου πραγματικού χρόνου φαίνεται στο Διάγραμμα 9.4. Οποτεδήποτε ένα όχημα είναι έτοιμο να αναχωρήσει από μια στάση το σύστημα ελέγχου τίθεται σε εφαρμογή για να καθορίσει τον καλύτερο χρόνο αναχώρησης βάσει του βέλτιστου χρόνου άφιξης στην επόμενη στάση, θεωρώντας τα χαρακτηριστικά λειτουργίας όπως ρυθμούς επιτάχυνσης / επιβράδυνσης και τη μέγιστη ταχύτητα. Το προτεινόμενο πρότυπο θα μπορούσε να προσφέρει υπηρεσίες ως ένα μείζον τμήμα στον κεντρικό έλεγχο λειτουργίας, το οποίο θα παρακολουθεί και θα ελέγχει τις λειτουργίες των οχημάτων και καθοδηγεί σε εύρος το σύστημα και τις δραστηριότητες υποστήριξης. Το σύστημα ελέγχου αλληλεπιδρά με διάφορα πρότυπα (π.χ. ελέγχου στάσης, ελέγχου σημάτων και του συστήματος κίνησης των οχημάτων) και με εγκαταστάσεις (π.χ. οχήματα, στάσεις) μέσω του συστήματος των δικτύων επικοινωνίας των Ενισχυμένων Συστημάτων Μαζικής Μεταφοράς. Τα δεδομένα τροφοδοτούν το πρότυπο ελέγχου του οχήματος και περιλαμβάνουν τις θέσεις των οχημάτων, τις ταχύτητες και τις καθυστερήσεις κατά μήκος της διαδρομής, τη ζήτηση των επιβατών στις στάσεις. Επίσης, το προκύπτον προφίλ ταχύτητας για κάθε όχημα βάσει του βέλτιστου χρόνου άφιξής του στην επόμενη στάση μεταδίδεται στη διαχείριση καθοδήγησης οχήματος. Ένα τέτοιο σύστημα ελέγχου είναι περισσότερο κατάλληλο για τα συστήματα τα οποία λειτουργούν σε λωρίδες αποκλειστικής κίνησης. Για μεταφορικά οχήματα κινούμενα σε μεικτή κυκλοφορία όπως αρκετές λεωφορειακές γραμμές, η δυσκολία του ελέγχου των οχημάτων αυξάνεται.

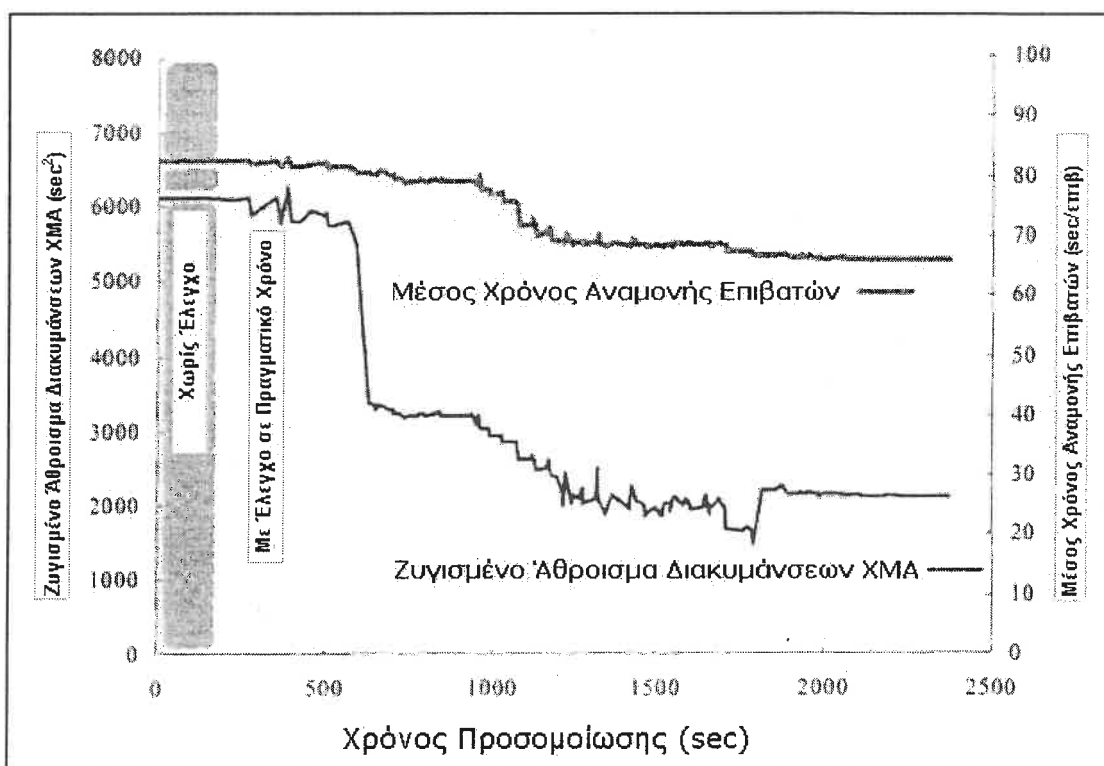
**Διάγραμμα 9.4 :**

Ρύθμιση και Εφαρμογές του Προτύπου Ελέγχου Οχήματος σε Πραγματικό Χρόνο

9.2.9 Ανάλυση Αποτελεσμάτων και Προσομοίωσης

Το προτεινόμενο πρότυπο ελέγχου σε πραγματικό χρόνο ελέγχθηκε με την προσομοίωση ενός συστήματος ελαφριάς υπόγειας σιδηροδρομικής γραμμής του υπογείου του Newark City όπου και εγκαταστάθηκε ενισχυμένο σύστημα ελέγχου τραίνων. Το πρότυπο χρησιμοποιήθηκε προσομοιώνοντας το αστικό περιβάλλον κατά τις ώρες αιχμής 5.00-6.00 μ.μ. Προβλέπονται οι χρόνοι άφιξης των οχημάτων σε όλες τις κατάντι στάσεις. Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της γραμμής, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως εισαγόμενα στην προσομοίωση περιλαμβάνουν εκτελούμενους χρόνους 2 λεπτών ΧΜΑ κατά τις περιόδους αιχμής, μέσο χρόνο επιβίβασης 1,7 sec ανά επιβάτη, μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας 70 Km/h, τιμές επιτάχυνσης / επιβράδυνσης 5,6 Km/h/sec και τιμή επείγουσας πέδησης 7,6 Km/h/sec. Οι ρυθμοί άφιξης επιβατών και η ζήτηση σε διαφορετικές στάσεις προέκυψαν από μελέτη επιβατικής κίνησης.

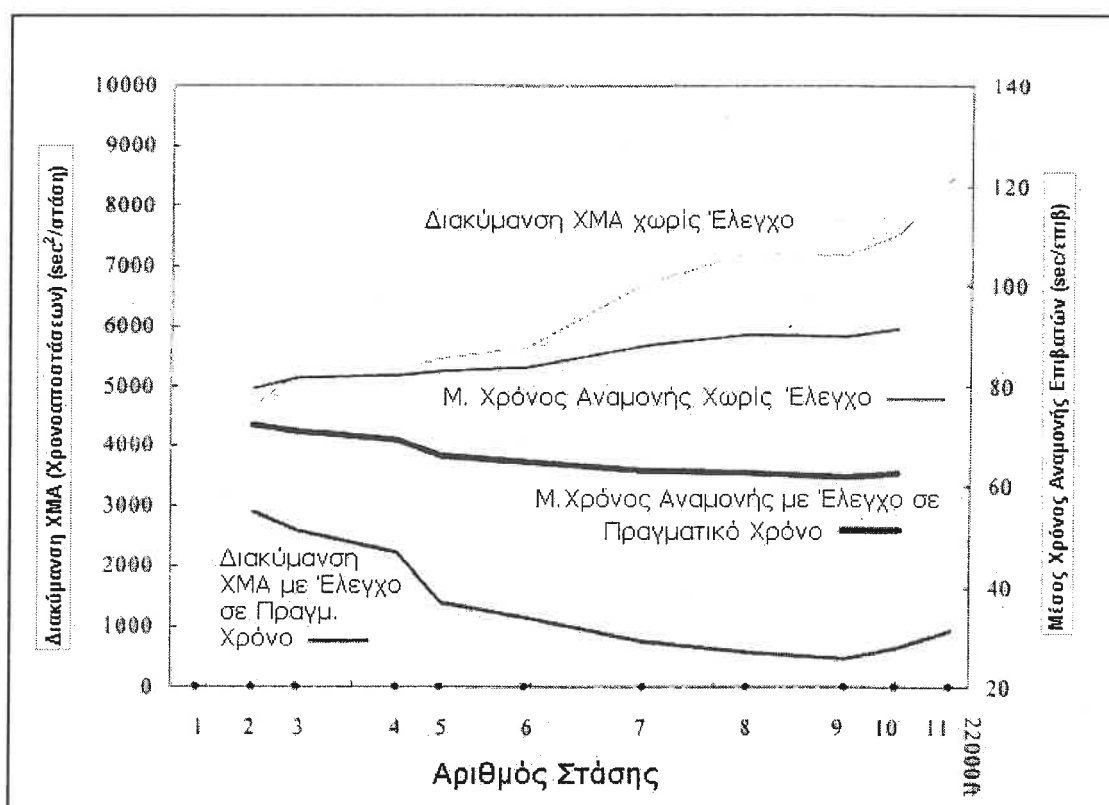
Χωρίς τον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο, οι ΧΜΑ έχουν σημαντική διασπορά. Όταν το προτεινόμενο πρότυπο χρησιμοποιηθεί, η ακανόνιστη κατανομή των ΧΜΑ στις στάσεις μπορεί σημαντικά να εξομαλυνθεί. Το Διάγραμμα 9.5 δείχνει τις μεταβολές των διασπορών του ολικού ΧΜΑ κατά την περίοδο προσομοίωσης. Βρίσκουμε ότι υπό τον έλεγχο η ολική διασπορά μειώνεται από τα 6114 σε 2368 sec², ενώ ο μέσος χρόνος αναμονής επιβατών μειώνεται από τα 83 στα 66 sec/επιβάτη.



Διάγραμμα 9.5 : Ολική Διασπορά ΧΜΑ και Μέσος Χρόνος Αναμονής συναρτήσει του Χρόνου Προσομοίωσης

Το κέρδος (μείωση των διακυμάνσεων των ΧΜΑ και των μέσων χρόνων αναμονής των επιβατών) της εφαρμογής του ελέγχου σε πραγματικό χρόνο σε

διάφορους σταθμούς οι οποίοι απεικονίζονται στο Διάγραμμα 9.6. Η εικόνα δείχνει ότι χωρίς έλεγχο οι διακυμάνσεις ΧΜΑ και οι μέσοι χρόνοι αναμονής στις κατάντι στάσεις αυξάνονται καθώς ο αριθμός των διανυόμενων στάσεων αυξάνεται. Μικρή διαταραχή στους ΧΜΑ στις ανάντι στάσεις μπορούν να ενισχυθούν στις κατάντι στάσεις, όπου οι επιβάτες θα βιώσουν μεγαλύτερους χρόνους αναμονής. Πάντως, αφού ο έλεγχος σε πραγματικό χρόνο εφαρμόστηκε, η διασπορά των ΧΜΑ μειώθηκε αισθητά, ιδιαίτερα στις τελευταίες στάσεις. Για παράδειγμα, η διασπορά των ΧΜΑ στη στάση #11 μειώθηκε από 8463 σε 944 sec^2 (ή η τυπική απόκλιση των ΧΜΑ στη στάση μειώνεται από τα 92 στα 31 sec). Επιπροσθέτως, οι τιμές μέσου χρόνου αναμονής των επιβατών στις κατάντι στάσεις μειώνονται, δηλαδή, ο μέσος χρόνος αναμονής στη στάση #10 μειώνεται από 91 στα 63 sec.



Διάγραμμα 9.6 : Εικόνα Διακυμάνσεις ΧΜΑ και Μέσοι Χρόνοι Αναμονής Επιβατών σε Στάσεις.

Η επίδραση του ελέγχου σε πραγματικό χρόνο στην παραγωγικότητα των μεταφορών της αναλυόμενης διαδρομής έχει επίσης αναλυθεί. Σε αυτή τη μελέτη, ο δείκτης της παραγωγικότητας ορίζεται ως το προϊόν του αριθμού των λειτουργούντων οχημάτων και η μέση τους ταχύτητα αποτιμάται σε 562,22 $\text{οχ} \cdot \text{Km/h}$ και χωρίς έλεγχο και 562,3 $\text{οχ} \cdot \text{Km/h}$ με έλεγχο. Αυτό δείχνει ότι η ολική ταχύτητα λειτουργίας δε θα επηρεαστεί αρνητικά από το προτεινόμενο πρότυπο ελέγχου. Προκύπτει επίσης ότι

παρόλο που μερικά οχήματα επιβραδύνονται ηθελημένα από το πρότυπο ελέγχου για την κανονικοποίηση των ΧΜΑ, άλλα οχήματα μπορούν να κινηθούν ταχύτερα εξ αιτίας των σοβαρών καθυστερήσεων οι οποίες συμβαίνουν χωρίς έλεγχο, καθώς καθυστερήσεις στους σηματοδότες και μεγάλοι χρόνοι παραμονής στις στάσεις θα μειωθούν δραστικά. Επιπλέον, η μείωση στο μέσο χρόνο αναμονής επιβατών θα μειώσει επίσης το μέσο χρόνο ταξιδιού των επιβατών, κατά συνέπεια η μεταφορική ζήτηση θα παρακινηθεί. Έτσι, ο προτεινόμενος έλεγχος προβλέπεται να αυξήσει την παραγωγικότητα της μεταφορικής γραμμής της αναλυόμενης διαδρομής.

9.2.10 Συμπεράσματα

Στις μεταφορικές γραμμές οι ΧΜΑ είναι αναπόφευκτα διαταραγμένες από στοχαστικές διακυμάνσεις και κυκλοφοριακές συνθήκες. Μικρή διαταραχή στους ΧΜΑ στα ανάντι της μεταφορικής διαδρομής μπορεί να μεγεθυνθεί στο υπόλοιπο τμήμα, κάτι το οποίο τους χρόνους αναμονής των επιβατών και μειώνει την παραγωγικότητα των μεταφορών. Το πρότυπο ελέγχου σε πραγματικό χρόνο σχεδιάστηκε για να διατηρήσει τους επιθυμητούς ΧΜΑ για κάθε ζεύγος διαδοχικών οχημάτων μέσω της ελαχιστοποίησης της ολικής διασποράς των ΧΜΑ σε όλες στάσεις. Ο χρόνος αναχώρησης του οχήματος από μια στάση προσδιορίζεται από το βέλτιστο χρόνο άφιξης του στην επόμενη στάση, ενώ λαμβάνονται υπ' όψη οι μέγιστες εφικτές λειτουργικές ταχύτητες, οι ΧΜΑ από τα προπορευόμενα και ακολουθούντα οχήματα και οι προβλεπόμενοι χρόνοι άφιξης και αναχώρησης από κατάντι στάσεις.

Το πρότυπο ελέγχου σε πραγματικό χρόνο ελέγχθηκε με προσομοίωση σε γραμμή υψηλής συχνότητας υπόγειου σιδηρόδρομου. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι το προτεινόμενο πρότυπο ελέγχου σε πραγματικό χρόνο ρυθμίζει τους ΧΜΑ δραστικά και μειώνει τους μέσους χρόνους αναμονής επιβατών. Για παράδειγμα, αφότου το πρότυπο ελέγχου εφαρμόστηκε, η μέση διασπορά των ΧΜΑ στην τελευταία στάση μειώθηκε από 8463 σε 944 sec², ενώ ο μέσος χρόνος αναμονής επιβατών στην προτελευταία στάση μειώθηκε από τα 91 στα 63 sec. Πιο πέρα τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η μέση λειτουργική ταχύτητα δε θα μειωθεί. Η επιβατική κίνηση ίσως αυξηθεί εξ αιτίας της μείωσης των χρόνων

αναμονής των επιβατών. Επομένως, η παραγωγικότητα της μεταφορικής γραμμής προβλέπεται να αυξηθεί εάν το πρότυπο ελέγχου χρησιμοποιηθεί.

Παραπέρα έρευνα μπορεί να εστιαστεί στις ακόλουθες τρεις θέσεις :

Η ανάλυση της ελαστικότητας επιβατικής ζήτησης όπως επίσης και της παραγωγικότητας της μεταφορικής γραμμής θα πρέπει να διεξαχθεί αναλογιζόμενοι και τα οφέλη (π.χ. οικονομία στους χρόνους αναμονής των επιβατών) και το κόστος (π.χ. επιβατικές καθυστερήσεις καθ' οδόν) ενός τέτοιου ελέγχου.

Στο προτεινόμενου πρότυπο ελέγχου οχήματος, επισημαίνονται στάσεις με υψηλή επιβατική ζήτηση. Σε άλλες μελέτες, εναλλακτικές στρατηγικές ελέγχου μπορούν να χρησιμοποιηθούν, όπως οχήματα ελέγχου πριν από μια στάση με υψηλή ζήτηση, άρα θα προσελκυστούν περισσότεροι επιβάτες από τη μείωση των χρόνων αναμονής τους.

Το πρότυπο ελέγχου θα μπορούσε να ενισχυθεί στην εφαρμογή του για λεωφορειακές γραμμές, αναλογιζόμενοι την επίδραση της ανάμειξης της κυκλοφορίας των Ι.Χ στις μεταφορικές γραμμές.

Μέρος Δ'

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο .ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ Ο.Α.Σ.Α. – VICOS LIO

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

VICOS : Vehicle and Infrastructure Control and Operating System

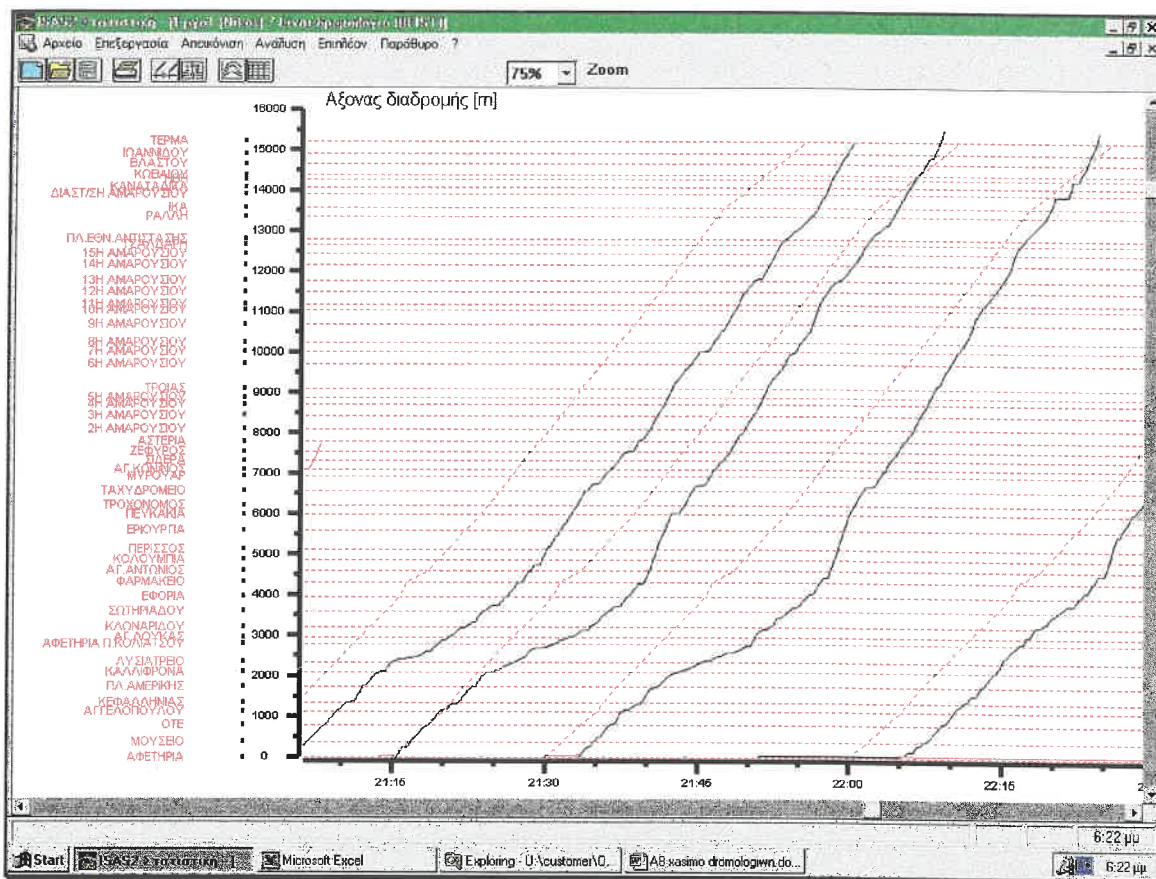
LIO : Leiten, Informieren, Organisieren (καθοδηγώντας, πληροφορώντας, οργανώνοντας)

10.1 Εισαγωγικά – Τωρινή κατάσταση

Παραδοσιακά, η άσκηση του ελέγχου των οχημάτων στις λεωφορειακές γραμμές γινόταν από τους σταθμάρχες. Ο έλεγχος αυτός βέβαια εξακολουθεί να γίνεται ακόμα για όλες τις γραμμές, περιλαμβανόμενων και αυτών οι οποίες χρησιμοποιούν αυτή τη στιγμή σύστημα Τηλεματικής, για τις οποίες θα γίνει λόγος παρακάτω. Έτσι μπορεί η υπηρεσία να αντεπεξέλθει με ανθρώπινη παρέμβαση επί τόπου σε προβλήματα τα οποία μπορεί να προκύψουν κατά τη διάρκεια της μέρας.

Ο σταθμάρχης έχοντας τα καθορισμένα χρονοδιαγράμματα, εποπτεύει τις βάρδιες-διαλείμματα των οδηγών και παρεμβαίνει όπου χρειάζεται τροποποιώντας τα δρομολόγια. Επίσης κρατάει καρτέλες με χρόνους άφιξης και αναχώρησης των οχημάτων που έχει υπό την εποπτεία του. Έτσι κατόπιν, συγκεντρώνοντας όλες αυτές τις καρτέλες, ο διαχειριστής έχει συγκεντρωμένους τους χρόνους άφιξης και αναχώρησης για κάθε όχημα καθ' όλη τη μέρα. Μπορεί με αυτόν τον τρόπο κατόπιν, να επαναπρογραμματίσει την όλη διαδικασία της δρομολόγησης, ορίζοντας τους χρόνους αναχώρησης και καταγράφοντας τους χρόνους άφιξης, μέσα από τους οποίους μπορεί να υπάρξει και ένα δείγμα αξιοπιστίας. Το δείγμα αυτό βέβαια θα είναι ελάχιστο αφού ο σταθμάρχης και η διαχείριση δεν ξέρουν το τι συμβαίνει κατά τη διάρκεια της διαδρομής (βλ. Διάγραμμα 9.1). Αυτό το βιώνουν οι επιβάτες και οι οδηγοί μόνον. Δημιουργείται έτσι η ανάγκη για επίβλεψη και αξιολόγηση των

οχημάτων κατά τη διάρκεια της κυκλικής διαδρομής, η οποία μπορεί να φτάσει ακόμα και τις 3 ώρες.



Διάγραμμα 10.1 : Απόκλιση δρομολογίων κατά τη διαδρομή. [Πηγή: ISAS-OΑΣΑ]

Επεξήγηση Διαγράμματος 1 : Μπλε διακεκομμένη γραμμή – Πρέπει δρομολόγια. Μαύρη συνεχής γραμμή – Εκτελεσθέντα δρομολόγια. Παρατηρούμε ότι το όχημα το οποίο αναχώρησε κανονικά από την αφετηρία στις 21:15 έφθασε στο τέρμα με ελαφριά προπορία λίγο μετά τις 22:05. Κατά τη διάρκεια όμως της διαδρομής παρουσίαζε συνεχώς βραδυπορία η οποία έφτασε ακόμα και τα 10 λεπτά (συγκεκριμένα, στη στάση «ΕΦΟΡΙΑ»). Κάτι ανάλογο παρουσιάστηκε και στο επόμενο δρομολόγιο των 21:30. Το διάγραμμα προέρχεται από το πρόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας των δεδομένων της Τηλεματικής, ISAS2. Τα δεδομένα αφορούν τη γραμμή Α8 «Πολυτεχνείο – Ν. Ιωνία – Μαρούσι» κατά την ημέρα Τρίτη 24/09/02.

Από τις αρχές του 2001 ο ΟΑΣΑ κάνει χρήση, σε κάποιες λεωφορειακές γραμμές, της δυνατότητας κεντρικού ελέγχου της θέσεως και κίνησης των οχημάτων μέσω συστήματος Τηλεματικής. Το σύστημα αυτό κατασκευής και τεχνικώς υποστηριζόμενο από τη Siemens προς το παρόν ελέγχει τα οχήματα της ΕΘΕΛ μάρκας Renault τα οποία κινούνται με φυσικό αέριο. Από μακριά μπορούμε να διακρίνουμε τα οχήματα αυτά από τη χαρακτηριστική βαφή τους με έντονες

φυσαλίδες πράσινης απόχρωσης σε λευκό φόντο. Αυτή τη στιγμή 35 λεωφορειακές γραμμές από τις 330 περίπου που διαχειρίζεται η ΕΘΕΛ, ελέγχονται μέσω του παραπάνω συστήματος. Τα οχήματα στα οποία έχει εγκατασταθεί το σύστημα είναι 295 από τα οποία τα 250 είναι ενεργά και τα υπόλοιπα εφεδρικά.



Εικόνα 10.1: Γενική άποψη λεωφορείου φυσικού αερίου. [Πηγή : ΟΑΣΑ]

Διακρίνονται : στα αριστερά του παρμπρίζ ο αριθμός του οχήματος και στην οροφή, η κεραία επικοινωνίας με το δέκτη στον Υμηττό.

10.2 Ανάλυση της Εγκατάστασης

Τέσσερα είναι τα βασικά τμήματα της όλης εγκατάστασης. Το πρώτο είναι το σύνολο του εξοπλισμού το οποίο βρίσκεται μονίμως εντός του οχήματος (συγκεκριμένα πίσω από τη θέση του οδηγού), ονομάζεται IBIS2 και είναι η καρδιά του συστήματος πάνω στο όχημα. Από εκεί ελέγχονται οι περιφερειακές συσκευές συλλογής-μετάδοσης πληροφοριών καθώς και μέσω αυτού γίνεται η λήψη- μετάδοση



Εικόνα 10.3 : Φάρος σε στύλο. [Πηγή : ΟΑΣΑ]

Ο αναμεταδότης ραδιοσημάτων ο οποίος βρίσκεται στον Υμηττό αποτελεί το τρίτο κομμάτι. Τα σήματα λαμβάνονται από τα οχήματα καθ' όδον και μεταδίδονται στο σημαντικότερο τμήμα της Τηλεματικής, το οποίο λέγεται ΚΔΟ, δηλαδή Κέντρο Διαχείρισης Οχημάτων.

Το κέντρο αυτό βρίσκεται στο Αμαξοστάσιο της ΕΘΕΛ στην οδό Πέτρου Ράλλη (Δήμος Ταύρου). Εκεί βρίσκονται οι συσκευές ραδιοεπικοινωνίας με τους οδηγούς, υπολογιστικά συστήματα και τερματικά μέσω των οποίων το προσωπικό εποπτεύει και διαχειρίζεται τα κινούμενα οχήματα μέσα από το σύστημα ΛΙΟ.

Σε γενικές γραμμές ο όλος έλεγχος και η επόπτευση της κίνησης και της θέσης των οχημάτων γίνεται σε δύο επίπεδα. Το πρώτο σε πραγματικό χρόνο, ενώ το δεύτερο αποτελεί μέρος του προγραμματισμού και προκύπτει από επεξεργασία των στοιχείων που συλλέγονται κατά τις διαδρομές. Η διαδικασία μέσω της οποίας γίνεται ο έλεγχος κατά το πρώτο επίπεδο περιγράφεται σε αδρές γραμμές ακολούθως : στον εξοπλισμό που φέρει το κάθε όχημα έχουν «φορτωθεί» ηλεκτρονικά τα στοιχεία της δρομολόγησης που έχουν προκύψει από το λογισμικό HASTUS 5 το οποίο χρησιμοποιεί ο ΟΑΣΑ για τη δρομολόγηση. Επίσης στον υπολογιστή του οχήματος

είναι καταχωρημένες οι αποστάσεις μεταξύ στάσεων για όλες τις γραμμές Τηλεματικής. Τα παραπάνω στοιχεία τηρούνται σε μνήμη flash 4MB στον υπολογιστή του λεωφορείου. Στο όχημα ανατίθεται ένας αριθμός μπλοκ, ο οποίος αντιπροσωπεύει την καθημερινή του βάρδια σε κάποια συγκεκριμένη γραμμή. Ο εξοπλισμός είναι επίσης συνδεδεμένος με το οδόμετρο και το σύστημα ανάρτησης του οχήματος. Η χρησιμότητα του τελευταίου στη μέτρηση των επιβατών θα γίνει αναφορά παρακάτω.

10.3 Διαδικασία Λειτουργίας

Κατά την εκκίνηση του οχήματος, ο οδηγός εισάγει στην κονσόλα τον αριθμό γραμμής στην οποία θα δρομολογηθεί το όχημα καθώς και τον αριθμό «μπλοκ». Κατά την κίνησή του το όχημα στέλνει σήμα στους φάρους από τους οποίους διέρχεται και εκείνοι απαντούν με τον αριθμό τους, δηλαδή τη θέση τους. Έτσι το όχημα προσδιορίζει το στίγμα του, αφού περνάει από σημείο γνωστής θέσης. Για τον προσδιορισμό κάθε ενδιάμεσης στάσης χρησιμοποιείται το οδόμετρο του οχήματος, αφού οι αποστάσεις από στάση σε στάση είναι ήδη μετρημένες και «φορτωμένες» στο λογισμικό της εγκατάστασης εντός του οχήματος. Τα στοιχεία επεξεργάζονται με χρήση αλγορίθμων και από το όχημα αποστέλλεται τηλεγράφημα προς τον δέκτη στον Υμηττό το οποίο κατόπιν από εκεί αναμεταδίδεται και επεξεργάζεται στο ΚΔΟ. Έτσι εμφανίζεται ανά πάσα στιγμή η θέση του οχήματος στον ηλεκτρονικό χάρτη του τερματικό στο οποίο παρακολουθεί ο χειριστής τις γραμμές. Στο λογισμικό του υπολογιστή που ελέγχει ο χειριστής βρίσκονται καταχωρημένα τα στοιχεία όλων των δρομολογίων όπως αυτά προήλθαν από τη δρομολόγηση του ΟΑΣΑ. Αυτά συγκρίνονται σε πραγματικό χρόνο με τα δεδομένα εκείνης της στιγμής και ανάλογα χρωματίζεται το όχημα στις οθόνες εποπτείας των γραμμών. Έτσι βλέπει ο χειριστής αν το συγκεκριμένο όχημα έχει προπορία ή βραδυπορία με χρώμα πράσινο ή κόκκινο αντιστοίχως και κατά πόσο, σε σύγκριση πάντα με τον προγραμματισμό του. Οι οθόνες των χειριστών ανανεώνονται κάθε 20 sec. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα επικοινωνίας φωνητικής και γραπτής μεταξύ οδηγού και ελεγκτή και το αντίστροφο μέσω της κονσόλας η οποία βρίσκεται δίπλα στη θέση οδήγησης κάθε οχήματος (Εικόνα 9.4). Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να δοθεί οδηγία για βραδύτερη κίνηση του

οχήματος, καθυστερημένη ή πρόωρη αναχώρηση από το τέρμα καθώς και ενημέρωση για τυχόντα εμπόδια. Επίσης ο οδηγός από την πλευρά του μπορεί να ειδοποιηθεί για εμπόδια που συναντά, για τις κυκλοφοριακές συνθήκες που επικρατούν, καθώς και για ενδεχόμενες αλλαγές στη διαδρομή που μπορεί να χρειαστούν. Το ΚΔΟ κατόπιν μπορεί να ειδοποιηθεί το σταθμάρχη και εκείνος να ρυθμίσει τη συμπεριφορά των επόμενων δρομολογίων.

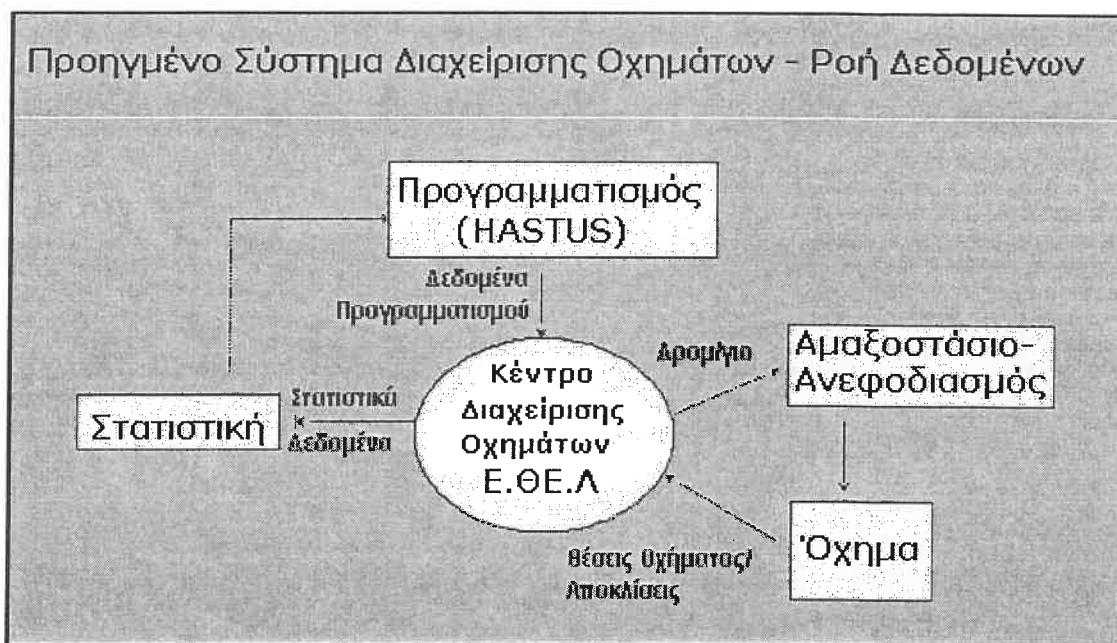


Εικόνα 9.4 : Κονσόλα επικοινωνίας οδηγού-ΚΔΟ [Πηγή : ΟΑΣΑ]

Η αναγώριση της στάσης από το όχημα έχει και μια άλλη εφαρμογή η οποία είναι η παρουσίαση στους επιβάτες του ονόματος της επόμενης στάσης σε φωτεινό κυλιόμενο μήνυμα, καθώς και η αναγγελία της με ηχητικό σήμα.

10.4 Στατιστικά στοιχεία - Επεξεργασία

Το δεύτερο επίπεδο διαχείρισης αφορά στοιχεία τα οποία δε μεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο, αλλά αποθηκεύονται εντός του οχήματος. Αυτά είναι τα στοιχεία των ακριβών χρονικών στιγμών διέλευσης από κάθε στάση καθ' όλη την ημέρα, καθώς και την πληροφορία της πληρότητας του οχήματος μετά τη διέλευση από κάθε στάση. Για τον προσδιορισμό της πληρότητας, λαμβάνονται περί τις δέκα μετρήσεις για να εξαλειφθούν λάθη από την κίνηση του οχήματος σε σχέση με το οδόστρωμα και ενώ το όχημα έχει διανύσει 25m μετά από τη στάση. Από τις μετρήσεις αυτές κρατιέται ο Μέσος Όρος και η ακρίβεια της μέτρησης είναι ± 4 επιβάτες. Όταν το όχημα στο τέλος της μέρας αποσυρθεί στο Αμαξοστάσιο για ανεφοδιασμό με Φυσικό Αέριο, τα στατιστικά στοιχεία αυτά των χρονικών στιγμών και της πληρότητας «ανεβαίνουν» σε κεντρικό υπολογιστή του ΚΔΟ όπου γίνεται η συλλογή τους και η στατιστική επεξεργασία τους με χρήση κατάλληλου λογισμικού. Τα παραπάνω συνοψίζονται στο παρακάτω Διάγραμμα :



Διάγραμμα 10.2 : Σχηματική Απεικόνιση ροής δεδομένων εντός του Συστήματος Διαχείρισης οχημάτων. [Πηγή ISAS-ΟΑΣΑ]

Προς το παρόν (Σεπτέμβριος 2002), τα στοιχεία απλώς συλλέγονται και δε χρησιμοποιούνται για επαναπρογραμματισμό των δρομολογίων κάτι που αποτελεί το ζητούμενο και τον τελικό βήμα για την παροχή περισσότερο αξιόπιστων υπηρεσιών της εταιρίας προς το επιβατικό κοινό.

10.5 Τεχνική περιγραφή Συστήματος

Το Σύστημα Ελέγχου VICOS-LIO είναι ένα προϊόν της Siemens TTS AG. Το Κέντρο διαχείρισης Οχημάτων (Κ.Ο) VICOS-LIO συνεργάζεται με τους υπολογιστές οχήματος IBIS2 και τους κομβικούς υπολογιστές PACOS/SmartInfo. Η επικοινωνία διεξάγεται μέσω ραδιοδικτύου δεδομένων και φωνής. Δεδομένα οχημάτων και διαδρομών μπορούν να τροφοδοτηθούν μέσω του σχεδιαστικού λογισμικού.

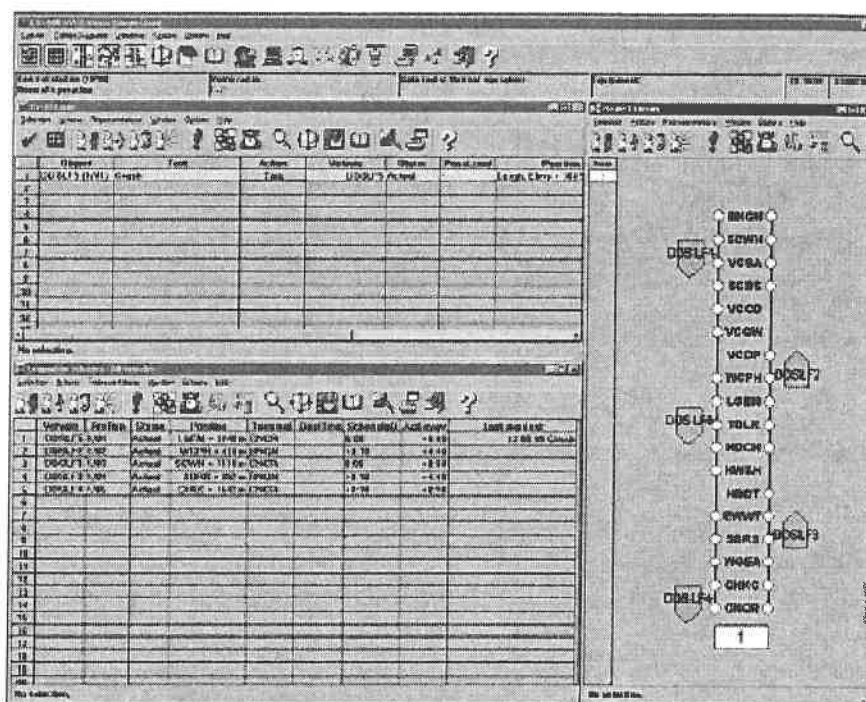
10.5.1 Συνιστώσες του Κ.Ο

Το Κ.Ο VICOS-LIO απαρτίζεται από έναν server H/Y- Ελέγχου και έναν τουλάχιστον σταθμό ελέγχου, έναν ραδιοελεγκτή επικοινωνίας ("SIF-500 radio interface" ή "MFI radio interface") καθώς και ένα ειδικό ραδιοδίκτυο για τη μετάδοση και λήψη δεδομένων και φωνής. Επιπλέον, περιλαμβάνονται περιφερειακά, όπως εκτυπωτές, δέκτες GPS (ώρα συστήματος) και κάρτες ήχου. Το Κ.Ο μπορεί να λειτουργήσει και με έναν H/Y, που εκτελεί χρέη server και σταθμού ελέγχου (μονοθέσιο σύστημα).

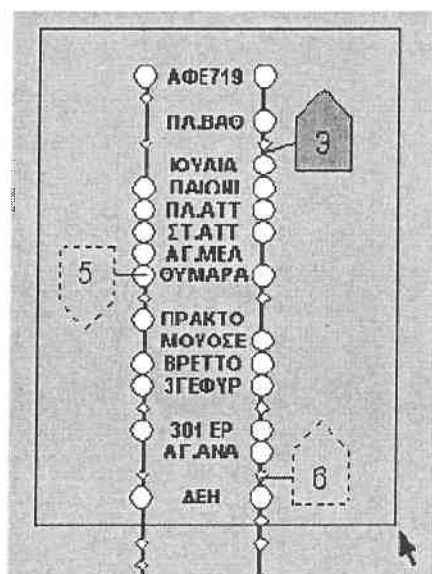
10.5.2 Μία γρήγορη ματιά στην εφαρμογή

Ο Η /Y -Ελέγχου VICOS-LIO χρησιμοποιείται από τους χειριστές μιας συγκοινωνιακής επιχείρησης για την παρακολούθηση και τη διαχείριση λεωφορείων και τραμ. Οι υπολογιστές οχήματος αναφέρουν αυτόματα συμβάντα όπως είναι η άφιξη σε / αναχώρηση από στάσεις , επείγουσες κλήσεις , αποκλίσεις δρομολογίων, κ.λ.π. στο Κ.Ο μέσω του ραδιοδικτύου δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι ο Η /Y – Ελέγχου γνωρίζει συνεχώς τη θέση και την κατάσταση όλων των οχημάτων. Ο χειριστής μπορεί να δει τη λειτουργική κατάσταση μέσω ενός αριθμού διαφόρων απεικονίσεων στις οθόνες του, συμπεριλαμβανομένων γεωγραφικών και σχηματικών γραμμμάτων, παράθυρα λεπτομερειών και πίνακες . Οι χειριστές του Κ.Ο είναι επίσης σε θέση να ξεκινήσουν ενέργειες όπως είναι η φωνητική επικοινωνία με τους οδηγούς, η αποστολή πληροφοριών στους επιβάτες, η αποστολή εντολών στους οδηγούς και πολλά περισσότερα .Ο Η /Y -Ελέγχου παρακολουθεί επίσης την τεχνική λειτουργία του οχήματος και του εξοπλισμού του Κ.Ο. Μόλις παρουσιαστεί ένα

σφάλμα, ο χειριστής ενημερώνεται και το σφάλμα καταγράφεται σε ένα αρχείο κειμένου.



Εικόνα 9.5 : Οθόνη Η /Υ –Ελέγχου. [Πηγή – ISAS-OASA]



Εικόνα 9.6 : Απεικόνιση οχημάτων κατά μήκος της γραμμής. [Πηγή – ISAS-OASA]

10.5.3 Σταθμός ελέγχου

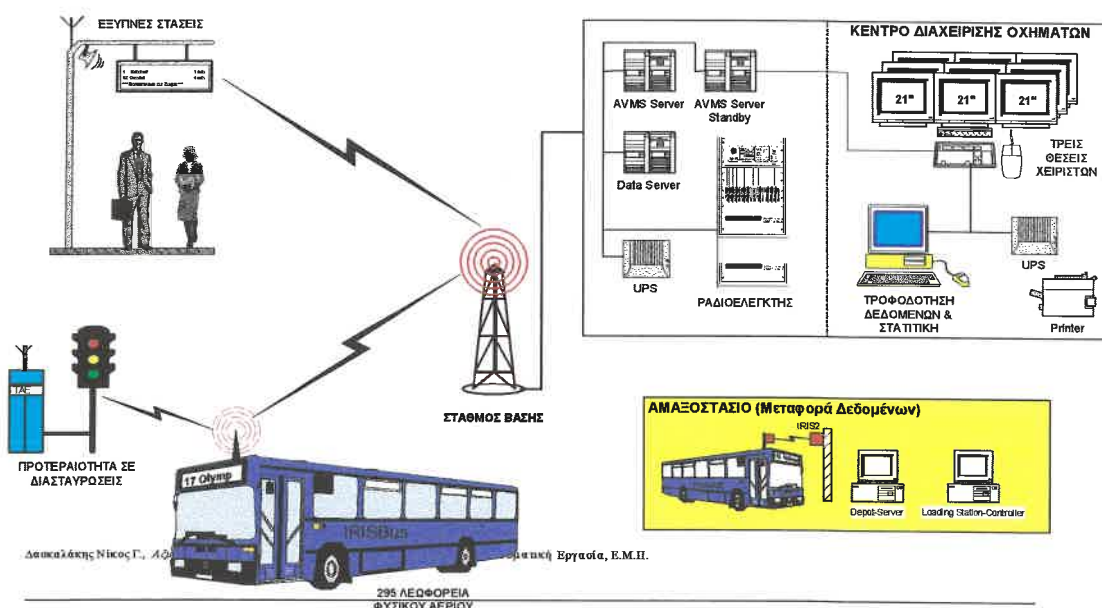
Ο σταθμός ελέγχου με την έννοια του Η /Υ -Ελέγχου VICOS-LIO αντιπροσωπεύει μια πλήρη θέση εργασίας χειριστή. Διευκολύνει στην απεικόνιση

των δεδομένων, των διαδικασιών και στην εκτέλεση των εντολών του χειριστή. Κάθε θέση εργασίας είναι εξοπλισμένη με μία κονσόλα χειρισμού SIF-500 (ραδιοελεγκτής 500). Ο σταθμός ελέγχου μπορεί να λειτουργήσει και «από απόσταση». Σε αυτήν την περίπτωση ο σταθμός ελέγχου είναι συνδεδεμένος με τον server μέσω γραμμής ISDN. Η τηλεσύνδεση δημιουργεί ορισμένους περιορισμούς στην επίδοση και λειτουργικότητα των απομακρυσμένων σταθμών.

Χρησιμοποιώντας ραδιοεπικοινωνίες φωνής, ο χειριστής μπορεί να επικοινωνήσει με τα οχήματα και/ή τις μονάδες ακουστικής ενημέρωσης σε κατάλληλα εξοπλισμένες στάσεις. Αντίθετα με τις συνομιλίες, μόνο ο διαχειριστής του Κ.Ο επιτρέπεται να κάνει αναγγελίες. Σε διασύνδεση με τις ραδιοεπικοινωνίες φωνής SIF, οι αναγγελίες και από κάρτα ήχου είναι επίσης εφικτές. Μια αναγγελία μπορεί να σταλεί σε μια ή περισσότερες στάσεις, σε ένα ή περισσότερα οχήματα (κλήση οχήματος), στα οχήματα μιας ή περισσότερων γραμμών (κλήση γραμμής) ή σε όλα τα οχήματα του δικτύου (κλήση όλων).

10 ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗΣ Ο.Α.Σ.Α

ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΟΠΤΕΙΑΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (ΑΣΕΟ) ΟΑΣΑ



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11^ο. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ & ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικών με την αξιοπιστία μιας λεωφορειακής γραμμής θα πρέπει να αναλυθούν τα κατάλληλα στοιχεία. Τα στοιχεία αυτά θα πρέπει να υπάρχουν από πρόσφατες μετρήσεις ενδιαφερομένων φορέων. Αυτό δε συμβαίνει όμως πάντα. Μπορεί να υπάρχουν κάποια στοιχεία από μετρήσεις του παρελθόντος αλλά αυτά να είναι πλέον ξεπερασμένα. Αλλαγές στη λειτουργία των λεωφορείων, σε διαφορετικές εξωτερικές συνθήκες ή και σε συνδυασμός των δύο, μπορεί να μεταβάλλει τη λειτουργία των παρεχομένων υπηρεσιών

11.1 Προγραμματισμός και συνθήκες κίνησης

Οι αλλαγές στη λειτουργία των λεωφορείων είναι αποτέλεσμα διαφοροποιήσεων στο χωρικό και χρονικό σχεδιασμό τους, αλλά και πολιτικών αποφάσεων όπως π.χ. μέτρα προνομιακής διαχείρισης λεωφορείων. Το ίδιο συμβαίνει με την εισαγωγή νέων τεχνολογιών, όπως ο έλεγχος μέσω Τηλεματικής των οχημάτων. Συχνά οι διαδρομές των λεωφορείων αλλάζουν ελαφρά για την εξυπηρέτηση κα άλλων περιοχών ή εξ αιτίας τοπικών μονοδρομήσεων, παράκαμψεων κτλ. Μερικές γραμμές καταργούνται ή μετονομάζονται, άλλες δε, κυρίως αυτές που διέρχονται από το κέντρο, διασπώνται σε κλάδους. Επόμενο βέβαια είναι ότι πολλές από τις παραπάνω τροποποιήσεις συνοδεύονται και από τις ανάλογες προσαρμοστικές ρυθμίσεις στις προς προγραμματισμό συχνότητες των λεωφορείων.

Όσον αφορά τις μεταβολές στις εξωτερικές συνθήκες, αυτές συνίστανται στις αλλαγές κυκλοφοριακών φόρτων, αλλαγές στη σηματοδότηση αλλά και αλλαγές στη συμπεριφορά των υπολοίπων οδηγών. Συνήθειες όπως η στάθμευση οχημάτων σε σημεία ακατάλληλα και η χρήση των λεωφορειολωρίδων από Ι.Χ., είναι παράγοντες που μπορούν με κατάλληλα μέτρα να αλλάξουν, μεταβάλλοντας έτσι και τη συμπεριφορά του όλου συστήματος. Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα στις λεωφορειακές γραμμές κατά την εισαγωγή νέων ΜΜΜ όπως το Μετρό ή το τραμ.

Εκτός από τις παραπάνω μεταβολές, οι οποίες συμβαίνουν μέσα σε χρονικό διάστημα μέσου μεγέθους υπάρχουν και οι καθημερινές ιδιαίτερες συνθήκες. Τέτοιες

μπορεί να είναι πορείες στις οδούς, ασυνήθιστες καιρικές συνθήκες, εορταστικές περίοδοι κ.τ.λ. Συνεπώς, για το σχεδιασμό μας θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε μετρήσεις, οι οποίες θα είναι πρόσφατες αλλά και όσο το δυνατό λιγότερο επηρεαζόμενες από συνθήκες που βραχυπρόθεσμα πρόκειται να αλλάξουν.

11.2 Αξιοπιστία Μεθόδου Μετρήσεων

Έχει αναφερθεί ότι κατά καιρούς έχουν διεξαχθεί μετρήσεις χρόνων διαδρομής σε λεωφορειακές γραμμές από παρατηρητές εντός του οχήματος, κατά τις πολύ πρωινές ώρες Σαββάτου και Κυριακής. Οι χρόνοι αυτοί πρόκειται να αντιπροσωπεύσουν τους χρόνους της πρωινής αιχμής μιας καθημερινής, π.χ. της Τετάρτης, όταν οι ημερήσιοι φόρτοι το Σαββατοκύριακο είναι μειωμένοι τουλάχιστο κατά 15% από τις καθημερινές για οδούς στο κέντρο της πόλης. Χρειάζεται επομένως οργάνωση ώστε δεδομένα που θα συλλεχθούν να είναι τα ίδια αξιόπιστα. Οι παράγοντες αξιοπιστίας εκείνοι οι οποίοι θα καθορίσουν τις κατάλληλες συνθήκες και προϋποθέσεις για τη συλλογή τέτοιων στοιχείων είναι [1] :

- α) Η ύπαρξη «φυσιολογικών» συνθηκών
- β) Ο χρόνος συλλογής των πληροφοριών
- γ) Η «αμεροληψία του δείγματος»
- δ) Η εξασφάλιση της συγκρισιμότητας των στοιχείων που συλλέγονται με ομοειδή στοιχεία από άλλες τοποθεσίες ή χρονικές περιόδους.
- ε) Η επάρκεια του δείγματος

Για τα δύο πρώτα έγινε ήδη λόγος. Η αμεροληψία του δείγματος εξαρτάται από το πόσο αντιπροσωπευτικό του μετρούμενου πληθυσμού είναι το δείγμα αυτό. Ως μεροληψία νοείται ο σταθερός επηρεασμός της μέτρησης από κάποιον αστάθμητο εξωτερικό παράγοντα. Επομένως, η διεξαγωγή της μέτρησης πρέπει να γίνεται κατά τέτοιον τρόπο ώστε τα στοιχεία και τα δεδομένα που αποτελούν το δείγμα να είναι στατιστικά ανεξάρτητα μεταξύ τους. Όσον αφορά τη «συγκρισιμότητα» των στοιχείων που συλλέγονται με άλλα ομοειδή τους, αναφέρεται στη δυνατότητα σύγκρισης και συσχέτισμού των στοιχείων, τόσο μεταξύ τους και με άλλα ομοειδή τους τα οποία μετρήθηκαν σε άλλο τόπο. Τα παραπάνω συνίστανται στη χρήση ίδιων

μεθόδων και διαδικασίας μέτρησης, συλλογή δεδομένων στις αντίστοιχες χρονικές περιόδους και χρήση μηχανημάτων του ίδιου ή ανάλογου τύπου. Εάν τα παραπάνω δεν πληρούνται, η χρήση δεδομένων από διαφορετικές μετρήσεις πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή και επιφύλαξη επειδή σημαντικά σφάλματα συχνά προέρχονται από τη χρησιμοποίηση μη «συγκρίσιμων» στοιχείων.

11.3 Επάρκεια στοιχείων

Το σύνολο των στοιχείων μπορεί να αποτελέσει ένα ικανό δείγμα για την παραπέρα στατιστική τους επεξεργασία. Για κάθε δείγμα μεγέθους n θα υπάρχει και διαφορετικό $\bar{x}$. Σύμφωνα με το θεώρημα της κεντρικής θέσης, όλα τα x που θα βρεθούν από επανειλημμένες δειγματοληψίες, τείνουν να κατανεμηθούν σε μια κανονική κατανομή. Αυτό θα συμβεί ανεξάρτητα από το είδος της κατανομής του πληθυσμού του μετρούμενου μεγέθους, καταρχήν εφόσον το n είναι μεγαλύτερο του 30.

Σχετικά λοιπόν με το κριτήριο επάρκειας ϵ) σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις μετρήσεων, το μέγεθος του δείγματος πρέπει να είναι τουλάχιστον το 40-50% των δρομολογίων που γίνονται την ώρα των μετρήσεων.

11.4 Συλλογή αντιπροσωπευτικών στοιχείων

Η αξιοπιστία των δρομολογίων μπορεί να μετρηθεί με πολλούς τρόπους. Παλιότερα γινόταν μέτρηση των χρόνων άφιξης των οχημάτων σε επιλεγμένες στάσεις και συσχέτιση των χρόνων αυτών με τους προγραμματισμένους. Εναλλακτικά μπορούσε να μετρηθεί η συχνότητα των δρομολογίων σε επιλεγμένες στάσεις και να συγκριθεί με την προγραμματισμένη. Η σύγκριση μπορούσε να γίνει είτε με μια απλή έκφραση της μέσης διαφοράς των παρατηρούμενων από τις προγραμματισμένες συχνότητες ή χρόνους, είτε με υπολογισμό της μέσης απόκλισης τετραγώνου των παρατηρήσεων από τους προγραμματισμένους χρόνους ή συχνότητες.

Σήμερα, με χρήση των μεθόδων της τηλεματικής στα ΜΜΜ, μπορούν να καταγραφούν και κατόπιν να συγκεντρωθούν πολλά στοιχεία για κάθε δρομολόγιο και για κάθε ημέρα λειτουργίας. Το κάθε όχημα έχει κατάλληλα συστήματα συλλογής, αποθήκευσης και μετάδοσης των στοιχείων προς επεξεργασία. Ικανοποιούνται έτσι και τα κριτήρια της προηγούμενης παραγράφου για ίδιες μεθόδους μέτρησης και το μέγεθος του δείγματος. Για να γίνει το ίδιο και με τα υπόλοιπα κριτήρια, λήφθηκε ιδιαίτερη μέριμνα για :

- 1) Την επιλογή των προς εξέταση λεωφορειακών γραμμών.
- 2) Την επιλογή του μήνα και των ημερών της εβδομάδας κατά τον οποίο θα γίνει η συλλογή των στοιχείων.
- 3) Τη σωστή λειτουργία των συστημάτων καταγραφής και μετάδοσης των στοιχείων.
- 4) Την ύπαρξη «φυσιολογικών» συνθηκών στα χωρικά και χρονικά όρια κατά τη συλλογή των στοιχείων.

11.5 Επιλογή λεωφορειακών γραμμών

Η Εταιρία Θερμικών Λεωφορείων (Ε.ΘΕ.Λ.) για λογαριασμό του ΟΑΣΑ, αυτή τη στιγμή διαχειρίζεται περί τις 330 λεωφορειακές γραμμές, από τις οποίες οι 35 έχουν τη δυνατότητα της Τηλεματικής. Για να υπάρξουν αρκετά στοιχεία χωρίς την χρήση καταμετρητών, επιλέχθηκαν γραμμές Τηλεματικής η μελέτη αξιοπιστίας των οποίων παρουσιάζει επιπλέον ενδιαφέρον. Αυτό συμβαίνει επειδή δεν έχει γίνει προς το παρόν παρόμοια έρευνα για τις συγκεκριμένες γραμμές. Εξάλλου, από τη στιγμή που υπάρχουν βλέψεις για εξ' ολοκλήρου χρήση τεχνολογίας Τηλεματικής στο σύνολο των γραμμών, θα μπορούσαν να εξεταστούν στοιχεία από μετρήσεις των γραμμών αυτών για τον ορθολογικότερο σχεδιασμό τους και να γίνει διάγνωση των συνήθων αιτίων της τωρινής αναξιπιστίας. Από το σύνολο των 35 γραμμών αυτών, για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας εξετάζονται οι εξής τρεις (με την διαδρομή ανά κατεύθυνση):

1. A14. « Ομόνοια – Νέα Ζωή »

A↑ ΑΓΗΣΙΛΑΟΥ - ΚΟΛΩΝΟΥ - ΛΕΝΟΡΜΑΝ - ΕΘΝ.ΜΑΚΑΡΙΟΥ - ΒΑΣ.ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ - ΠΕΛΑΣΓΙΑΣ - ΚΥΛΛΗΝΗΣ - ΠΕΛΟΠΙΔΑ - ΜΙΣΤΡΙΩΤΟΥ 32 - ΔΙΑΜ.ΧΩΡΟ.ΠΑΡΚΟΥ

B↓ ΔΙΑΜ.ΧΩΡΟ.ΠΑΡΚΟΥ - ΑΓ. ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ - ΠΑΛΙΓΓΕΝΕΣΙΑΣ - ΠΕΛΟΠΙΔΑ - ΚΥΛΛΗΝΗΣ - ΠΕΛΑΣΓΙΑΣ - ΒΑΣ. ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ - ΒΑΣ.ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ - ΕΘΝ.ΜΑΚΑΡΙΟΥ - ΛΕΝΟΡΜΑΝ - ΚΟΛΟΚΥΝΘΟΥΣ - ΑΓΗΣΙΛΑΟΥ

2. A8. « Πολυτεχνείο – Νέα Ιωνία – Μαρούσι »

A↑ ΣΤΟΥΡΝΑΡΗ - ΠΑΤΗΣΙΩΝ - ΛΕΩΦ.ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ - ΛΕΩΦ.ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ - ΛΕΩΦ.ΕΙΡΗΝΗΣ - ΠΕΡΙΚΛΕΟΥΣ - ΘΕΜΙΣΤΟΚΛΕΟΥΣ - ΝΕΡΑΤΖΙΩΤΙΣΣΗΣ - ΧΑΝΤΖΗΑΝΤΩΝΙΟΥ - ΒΑΣ.ΣΟΦΙΑΣ - Α.ΚΗΦΙΣΙΑΣ - ΠΟΛΥΚΡΑΤΟΥΣ

B↓ ΠΟΛΥΚΡΑΤΟΥΣ - Α.ΚΗΦΙΣΙΑΣ - ΒΑΣ.ΣΟΦΙΑΣ - ΒΑΣ.ΟΛΓΑΣ - ΠΕΡΙΚΛΕΟΥΣ - ΛΕΩΦ.ΕΙΡΗΝΗΣ - Α.ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ - ΛΕΩΦ.ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ - ΑΓ.ΛΑΥΡΑΣ - ΠΑΤΗΣΙΩΝ - ΣΤΟΥΡΝΑΡΗ

3. 813. « Αφέρωφ – Προύσσης »

A↑ ΚΑΛΒΟΥ - Α.ΑΛΕΞΑΝΔΡΑΣ - ΙΠΠΟΚΡΑΤΟΥΣ - ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ - ΠΕΙΡΑΙΩΣ - ΜΥΛΛΕΡΟΥ - ΛΕΩΝΙΔΟΥ - ΙΕΡΑ ΟΔΟΣ - ΣΠ.ΠΑΤΗΝ - ΑΓ.ΠΟΛΥΚΑΡΠΟΥ - ΧΑΡΤΕΡΓΑΤΩΝ - ΙΕΡΑ ΟΔΟΣ - ΠΡΟΥΣΣΗΣ - ΚΟΛΟΚΟΤΡΩΝΗ - ΠΛΑΣΤΗΡΑ - Ν.ΠΛΑΣΤΗΡΑ

B↓ Ν.ΠΛΑΣΤΗΡΑ - ΠΑΛ.ΚΑΒΑΛΑΣ - ΠΡΟΥΣΣΗΣ - ΚΟΥΝΤΟΥΡΙΩΤΟΥ - ΔΗΜΑΡΧΕΙΟΥ - ΙΕΡΑ ΟΔΟΣ - ΧΑΡΤΕΡΓΑΤΩΝ - ΑΓ.ΠΟΛΥΚΑΡΠΟΥ - ΣΠ.ΠΑΤΗΝ - ΙΕΡΑ ΟΔΟΣ - ΜΕΓ.ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ - ΚΟΛΟΚΥΝΘΟΥΣ - ΠΕΙΡΑΙΩΣ - ΣΤΑΔΙΟΥ - Χ.ΤΡΙΚΟΥΠΗ - Α.ΑΛΕΞΑΝΔΡΑΣ - ΔΗΜΗΤΣΑΝΗΣ - ΚΕΔΡΗΝΟΥ - ΚΑΛΒΟΥ

1.5.1 Χαρακτηριστικά Γραμμών

Το κοινό χαρακτηριστικό τους είναι ότι έχουν μικρούς χρόνους μεταξύ δρομολογίων (headways) επομένως πολλές προς καταγραφή διαδρομές μέσα στην περίοδο μετρήσεων.

Εντούτοις η κάθε γραμμή έχει κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Οι γραμμές A14 και A8 είναι ακτινικού τύπου, αφού ξεκινούν από το κέντρο της πόλης και φτάνουν στα προάστια ενώ η 813 ξεκινάει από περιοχή λίγο έξω από το μικρό δακτύλιο, διασχίζει την κεντρικότερη περιοχή της πόλης και καταλήγει στα δυτικά αυτής. Όσον αφορά τις δύο πρώτες η διαφορά τους έγκειται στο μήκος της διαδρομής καθώς η μεν A14 έχει μήκος 7300 m, είναι από τις μικρότερες σε μήκος γραμμές Τηλεματικής και καλύπτει μια συνοικιακή περιοχές εκτός κέντρου, η δε A8 έχει μήκος διαδρομής 14300 m και σε αντίθεση με την A14 διατρέχει μεγάλες λεωφόρους, και κομβικά σημεία ανταπόκρισης με άλλα μέσα όπως ο ΗΣΑΠ. Επίσης η γραμμή

Α8, από τον προγραμματισμό της έχει αισθητά μεγαλύτερους χρόνους μεταξύ δρομολογίων από την αρκετά συχνή

11.6 Επιλογή Περιόδου Μετρήσεων

Για την χρονική περίοδο κατά την οποία θα γίνει η συλλογή των στοιχείων λήφθηκαν υπ' όψη τρεις παράγοντες. Πρώτα, το κριτήριο του αντιπροσωπευτικού δείγματος. Τέτοιο δείγμα θα προκύψει αν επιλέξουμε ημέρες και ώρες οι οποίες δε θα θεωρηθούν ακραίες. Τέτοιες μέρες είναι βεβαίως οι καθημερινές και συγκεκριμένα η Τρίτη και η Πέμπτη, αφού η Δευτέρα και η Παρασκευή παρουσιάζουν κάποιες ιδιαιτερότητες ως αρχή και τέλος της εργάσιμης εβδομάδας. Ο δεύτερος παράγων επιλογής περιόδου είναι ο ανά μήνα προγραμματισμός του ΟΑΣΑ. Υπάρχουν τέσσερις περίοδοι προγραμματισμού και ο ΟΑΣΑ εφαρμόζει τρία προγράμματα (χειμερινό, Ιουλίου και Αυγούστου) και τα κατανέμει σε τέσσερις χρονικές περιόδους. Το χειμερινό εφαρμόζεται από 15/9 – 31/05 και είναι βεβαίως εκείνο το οποίο θα πρέπει να εξεταστεί. Ο Σεπτέμβριος είναι κατάλληλος μήνας, αφού το δίκτυο έχει φορτιστεί αρκετά μετά τους καλοκαιρινούς μήνες, οι καιρικές συνθήκες δεν παρουσιάζουν εξάρσεις και δεν είναι τόσο συχνοί οι αποκλεισμοί δρόμων. Επομένως οι μετρήσεις μπορούν να γίνουν μέσα στο Σεπτέμβριο όχι όμως στο διάστημα 1-15/9 αφού σε αυτή την περίοδο εφαρμόζεται ο προγραμματισμός του Ιουλίου. Ο τρίτος, τέλος παράγοντας είναι η λειτουργία του συστήματος Τηλεματικής. Το σύστημα βρίσκεται στα πρώτα στάδια της λειτουργίας του και παρουσιάζει συχνά αστάθεια λόγω ευαισθησίας στις καιρικές συνθήκες των πομπών στον Υμηττό και στην ηλεκτρονική υποστήριξη. Έχοντας υπ' όψη τα παραπάνω, καθώς και τον όγκο των δεδομένων που μπορούν να συλλεχθούν ανά μέρα επιλέχθηκαν δύο μέρες μετρήσεων, η Τρίτη 24 και η Πέμπτη 26 Σεπτεμβρίου 2002.

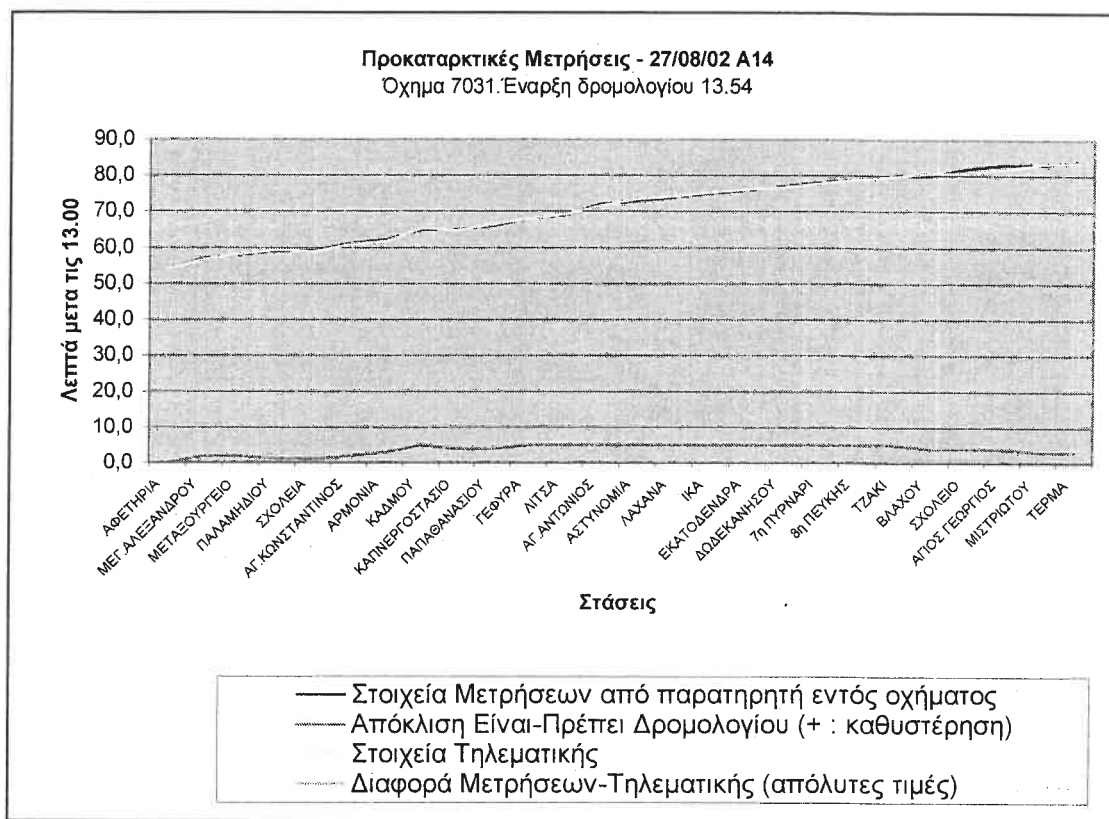
11.6.1 Προκαταρκτικές Μετρήσεις

Περί τα τέλη Αυγούστου έγιναν δοκιμαστικές διαδρομές επί των οχημάτων με σκοπό να συλλεχθούν προκαταρκτικά στοιχεία για τα δρομολόγια με σκοπό να

εξετάσουμε την κατάσταση καθ' οδόν για τις παραπάνω γραμμές, αλλά και να διαπιστώσουμε την πιστότητα των συστημάτων καταγραφής της Τηλεματικής των στοιχείων, συγκρίνοντάς τα με αυτά που μετρήθηκαν. Έγιναν 7 κυκλικές διαδρομές για τις παραπάνω γραμμές σε ώρες αιχμής και μη αιχμής και καταγράφηκε η ώρα άφιξης για κάθε μια στάση, ενώ κρατήθηκαν στοιχεία και για τον αριθμό των επιβατών. Ταυτόχρονα με την καταγραφή, γινόταν και σύγκριση με τους προγραμματισμένους χρόνους άφιξης σε κάθε στάση, αφού τα στοιχεία του προγραμματισμού για την περίοδο εκείνη είχαν παραχωρηθεί από τον ΟΑΣΑ.

Πίνακας 11.1 : Προκαταρκτικές Μετρήσεις επί του οχήματος και σύγκριση με Προγραμματισμό.
(Γραμμή Α14)

(Προς Νέα Ζωή)	Προγραμματισμός	Πραγματική	+/-
27/08/02	ΟΧΗΜΑ 7031	Ωρα	(min)
060174;ΑΦΕΤΗΡΙΑ;0;13:54		54	0
060203;ΜΕΓ.ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ;385;13:55		57	-2
060204;ΜΕΤΑΞΟΥΡΓΕΙΟ;277;13:56		58	-2
060205;ΠΑΛΑΜΗΔΙΟΥ;495;13:58		59	-1
060206;ΣΧΟΛΕΙΑ;162;13:58		59	-1
060207;ΑΓ.ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ;219;13:59		61	-2
060208;ΑΡΜΟΝΙΑ;222;13:59		62	-3
060209;ΚΑΔΜΟΥ;296;14:00		65	-5
060210;ΚΑΠΝΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ;250;14:01		65	-4
060211;ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΟΥ;353;14:02		66	-4
420001;ΓΕΦΥΡΑ;287;14:03		68	-5
420018;ΛΙΤΣΑ;387;14:04		69	-5
420085;ΑΓ.ΑΝΤΩΝΙΟΣ;557;14:07		72	-5
420086;ΑΣΤΥΝΟΜΙΑ;264;14:08		73	-5
420087;ΛΑΧΑΝΑ;301;14:09		74	-5
420088;ΙΚΑ;280;14:10		75	-5
420196;ΕΚΑΤΟΔΕΝΔΡΑ;318;14:11		76	-5
420090;ΦΟΥΡΝΟΣ;279;14:12		77	-5
420199;7Η ΣΤΑΣΗ;205;14:13		78	-5
420091;8Η ΣΤΑΣΗ;248;14:14		79	-5
420092;ΤΖΑΚΙ;219;14:15		80	-5
420093;ΒΛΑΧΟΥ;211;14:16		80	-4
420094;ΣΧΟΛΕΙΟ;340;14:18		82	-4
420095;ΑΓΙΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ;162;14:19		83	-4
420256;ΜΙΣΤΡΙΩΤΟΥ;232;14:20		83	-3
420257;ΤΕΡΜΑ;215;14:21		84	-3



Διάγραμμα.11.2 : Σύγκριση στοιχείων από τις προκαταρκτικές μετρήσεις, με στοιχεία τηλεματικής και προγραμματισμένους χρόνους διαδρομής.

Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα, αλλά και όπως διαπιστώθηκε από το σύνολο των μετρήσεων, οι τιμές τις οποίες καταγράφει το σύστημα της Τηλεματικής ανταποκρίνονται επακριβώς στην πραγματικότητα. Κάποιες αποκλίσεις της τάξεως του 1 λεπτού οφείλονται στο ότι η Τηλεματική καταγράφει τα δεδομένα με ακρίβεια δευτερολέπτων, ενώ οι μετρήσεις έγιναν με ακρίβεια λεπτού, αλλά και θέμα συγχρονισμού με την πραγματική ώρα. Η σύγκριση επίσης που έγινε όσον αφορά την πληρότητα των οχημάτων έδειξε αρκετά καλή λειτουργία του συστήματος καταγραφής της.

11.6.2 Ποιοτική Σχέση δρομολογίων Αυγούστου-Σεπτεμβρίου

Ένα άλλο χρήσιμο ποιοτικό στοιχείο που μπορεί να εξαχθεί από τις καθ' οδόν μετρήσεις του Αυγούστου είναι το ότι στο μεγαλύτερο μέρος τους, τα δρομολόγια δεν παρουσιάζουν καθυστερήσεις άνω του 1x Headway. Στο μεγαλύτερο ποσοστό τους, τα δρομολόγια για τα οποία έγιναν προκαταρκτικές μετρήσεις, προπορεύονται του

προγραμματισμένου δρομολογίου μέσα στο μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής. Στα αντίστοιχα δρομολόγια του Σεπτεμβρίου η εικόνα είναι βέβαια διαφορετική, αφού κατά κανόνα διαπιστώνονται βραδυπορίες, όπως θα φανεί από την ανάλυση των μετρήσεων.

Η παραπάνω αναφορά δεν αποτελεί συμπέρασμα αφού δεν έχει γίνει επαρκής διερεύνηση της υπόθεσης. Η συμπεριφορά όμως του συστήματος των λεωφορειακών γραμμών κατά την περίοδο του Αυγούστου, όπως καταγράφηκε από τις προκαταρκτικές μετρήσεις, σε σχέση με αυτή του Σεπτεμβρίου, μας δίνει κάποια ένδειξη για την ισχύ της παραπάνω υπόθεσης (κάτι το οποίο συμφωνεί άλλωστε και με τη διαισθητική μας άποψη).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12^ο ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ & ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.

12.1 Ροή δεδομένων από τις μετρήσεις

Τα στοιχεία από τις μετρήσεις οι οποίες έγιναν, όπως ήδη αναφέρθηκε, στις 24 και 26 Σεπτεμβρίου 2002 κατ' αρχήν κρατήθηκαν στις μονάδες υπολογιστή των οχημάτων. Κατά την εισαγωγή των οχημάτων στο αμαξοστάσιο για ανεφοδιασμό με φυσικό αέριο, μεταφέρθηκαν και αποθηκεύτηκαν στην υπολογιστική μονάδα του Κέντρου Διαχείρισης Οχημάτων. Εκεί γίνεται η μετατροπή τους σε μορφή τέτοια ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το λογισμικό παρουσίασης και στατιστικής επεξεργασίας, το οποίο είναι το ISAS 2.

12.1.1 Όροι «Πρέπει-» και «Είναι-»

Με τον όρο «Πρέπει» δηλώνεται κάποιο στοιχείο το οποίο προέρχεται από τον προγραμματισμό. Έτσι αναφέρεται π.χ., «πρέπει χρόνος μεταφοράς» για να δηλωθεί ο προγραμματισμένος χρόνος μεταφοράς (επίσης χρησιμοποιούνται οι όροι χρόνος διαδρομής - χρόνος ταξιδιού). Κατ' αναλογία με τον όρο «πρέπει χρόνος αναχώρησης» αναφέρεται κανείς στη χρονική στιγμή κατά την οποία έχει προγραμματιστεί η αναχώρηση κάποιου οχήματος.

Ο όρος «Είναι» δηλώνει κάποιο στοιχείο το οποίο έχει προέλθει από την πραγματική κατάσταση και επομένως κατεγράφη από μετρήσεις. Αντιστοίχως λοιπόν με τα προηγούμενα παραδείγματα, ο όρος : «είναι- χρόνος μεταφοράς» αποτελεί την καταγραφείσα διάρκεια μιας διαδρομής. Ομοίως, ο αναφερόμενος «είναι- χρόνος αναχώρησης» δηλώνει την καταγεγραμμένη από μια μέτρηση χρονική στιγμή αναχώρησης κάποιου οχήματος.

12.2 Δομή προγράμματος

Το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιείται έχει την ικανότητα ανάλυσης όλων των υπηρεσιών που παρέχονται από τη συγκοινωνιακή αρχή. Ο βασικός όρος του

προγράμματος είναι το «στατιστικό έργο». Σε αυτό περιλαμβάνονται τα πρωτογενή στοιχεία προς ανάλυση, οι αναλύσεις οι οποίες θα εκτελεστούν και τα αποτελέσματα των ατομικών αναλύσεων.

12.2.1 Τύποι Αναλύσεων

Τα στοιχεία προς ανάλυση προσδιορίζονται από τη Γραμμή και το χρόνο για τον οποίο ενδιαφερόμαστε, ο οποίος αντιστοιχεί σε κάποια από τις 4 περιόδους προγραμματισμού. Οι αναλύσεις οι οποίες θα μπορούσαν να εκτελεστούν χωρίζονται στους παρακάτω βασικούς τύπους :

1. Σημειακές αναλύσεις
2. Αναλύσεις με βάση την απόσταση
3. Συνόψεις αναλύσεων
4. Συγκριτικές αναλύσεων
5. Τεχνικές Αναλύσεις
6. Αναλύσεις ανταποκρίσεων
7. Μηνιαία στατιστική

Οι σημειακές αναλύσεις επικεντρώνονται σε ένα συγκεκριμένο σημείο του δικτύου γραμμών, το οποίο μπορεί να επιλεγεί. Οι συνοπτικές αναλύσεις συγκρίνουν αρκετές αναλύσεις του ίδιου τύπου. Στις περιπτώσεις συγκρίσεων, οι αναλύσεις που βασίζονται στην απόσταση υπολογίζονται για δύο διαφορετικές χρονικές περιόδους και τα αποτελέσματα απεικονίζονται στον ίδιο πίνακα ή διάγραμμα. Οι αναλύσεις ανταποκρίσεων περιλαμβάνουν τον έλεγχο των ανταποκρίσεων οι οποίες έχουν πλήρως ορισθεί στην παροχή δεδομένων. Η μηνιαία στατιστική δίνει τη μηνιαία κατανομή συχνοτήτων για τέσσερις διαφορετικούς τύπους αποκλίσεων. Οι αποκλίσεις αναλύονται και απεικονίζονται ανά γραμμή και μήνα. Αφορούν αποκλίσεις εισόδου-εξόδου από το αμαξοστάσιο, δρομολόγησης και αναστροφής.

12.2.2 Αναλύσεις προς έρευνα

Από τους παραπάνω τύπους αναλύσεων επιλέχθηκαν οι αναλύσεις οι οποίες που βασίζονται σε απόσταση. Κάνουμε ανάλυση δρομολογίων ανά ημέρα (βλ. Πιν. 12.2 & Πιν. 12.3) και ανάλυση χρόνων διαδρομής. Σε αυτές, οι επιμέρους τιμές

υπολογίζονται σε διάφορα σημεία συμπεριλαμβανομένων και των τακτικών στάσεων. Τα σημεία αυτά είναι όσα εμείς επιλέξουμε βάσει του μεγέθους κατάτμησης της διαδρομής. Ενδεικτική παρουσίαση της Ανάλυσης «Χρόνου Διαδρομής» γίνεται παρακάτω στον Πίνακα 12.4.

12.2.3 Εισαγωγή στοιχείων

Ανοίγοντας το αρχείο με το στατιστικό έργο του ISAS, έγινε η εισαγωγή του χειμερινού προγράμματος (15 Σεπτεμβρίου-31 Μαΐου). Έπειτα επιλέχθηκαν οι μέρες μετρήσεων. Για κάθε μια γραμμή από τις A14, A8 και 813 και για κάθε μια κατεύθυνση A και B επιλέξαμε ως απόσταση κατάτμησης τα 100m ώστε να συμβιβάσουμε την επιθυμητή ακρίβεια με τον όγκο των εξαγομένων αποτελεσμάτων.

12.2.4 Ζητούμενοι Υπολογισμοί

Έγινε επιλογή επίσης τους επιθυμητούς υπολογισμούς για το σύνολο που ορίζουν οι εκτελεσθείσες μετρήσεις :

1. Το μέσο όρο : (mean)
2. Τη μέση τιμή ή διάμεσο : (median)
3. Την τιμή 84%. Αυτή είναι η τιμή η οποία σε σύνολο π.χ. 100 μετρήσεων, τοποθετημένων σε μια αύξουσα σειρά, θα βρισκόταν στην 84^η θέση.
4. Την ελάχιστη τιμή
5. Τη μέγιστη τιμή
6. Τη διασπορά ή Τυπική Απόκλιση (S.D.): $\sqrt{s^2}$

12.2.5 Εύρεση Χρονικών Περιόδων

Με σκοπό να τεθούν χρονικές περίοδοι ώστε να γίνει δυνατή η καταγραφή της ημερήσιας διακύμανσης αρχικά έγινε μια απλή ανάλυση των δεδομένων του προγραμματισμού. Συμπεράσματα που εξήχθησαν από την παραπάνω ανάλυση :

1. Κάθε μια γραμμή μπορεί να αναλυθεί, με κάποια μικρή ανοχή, σε τρεις φάσεις ανά ημέρα : Πρωινή, αιχμής και βραδινή.
2. Η περίοδος αιχμής για όλες τις γραμμές καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της μέρας και στις δύο κατευθύνσεις.
3. Υπάρχουν διαφορετικά όρια ανάμεσα στην αρχή των δρομολογίων και την πρωινή περίοδο και ανάμεσα στη βραδινή περίοδο και το τέλος της μέρας ανά γραμμή και ανά κατεύθυνση.
4. Σε όλες τις γραμμές και κατά για δύο κατευθύνσεις η περίοδος αιχμής (σύμφωνα πάντα με τον προγραμματισμό) είναι 09:00 – 20:00.

Το τελευταίο συμπέρασμα είναι αρκετά σημαντικό γιατί επιτρέπει να τεθεί ως περίοδος ανάλυσης μετρήσεων η ώρα αιχμής και από ένα αρκετά μεγάλο δείγμα να εξαχθούν συμπεράσματα κοινά για όλες τις γραμμές και τις κατευθύνσεις γι' αυτήν την περίοδο όπου πραγματοποιείται μεγάλο μέρος των μετακινήσεων.

Συνοπτικά μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης των δεδομένων του προγραμματισμού στον παρακάτω Πίνακα :

Πίνακας 12.1 : Προγραμματισμένοι Πρέπει - Χρόνοι Μεταφοράς ανά ώρα, γραμμή και κατεύθυνση.

	Κατεύθυνση Α (Αφετηρία-Τέρμα)				Κατεύθυνση Β (Τέρμα-Αφετηρία)		
	A14	A8	813		A14	A8	813
Ωρα	mins				mins		
0500-0529		52	33		20	54	33
0530-0559	20	53	36		20	59	36
0600-0629	23	60	37		24	60	37
0630-0659	24	63	38		24	62	43
0700-0729	26	64	44	----->	27	63	45
0730-0759	26	66	45	πρωινά	27	65	45
0800-0829	26	69	46	δρομολόγια	28	67	46
0830-0859	27	70	47		30	72	47
0900 -	27	71	47		30	72	47
...	27	71	47	----->	30	72	46
...	27	71	47	δρομολόγια	30	72	48
- 1959	27	71	46	αιχμής	27	70	47
2000-2059	25	60	42		25	65	43
2100-2129	24	60	39		24	60	42
2130-2159	24	60	39	----->	24	60	42
2200-2229	22	60	38	βραδινά	23	55	40
2230-2259	21	55	36	δρομολόγια	22	55	36
2300-2329	21	55	36		21	55	36
2330-2359	21	55	36		21	55	36
2400+	21	55	36		21	55	36

Βάσει των διακυμάνσεων στους χρόνους μεταφοράς οι οποίες καθορίζονται από τον προγραμματισμό, έγινε ο διαχωρισμός των περιόδων ημέρας για κάθε γραμμή, κατεύθυνση και περίοδο ημέρας. Τα χρώματα στον παραπάνω Πίνακα 12.1, ορίζουν τις χρονικές περιόδους και οι αναγραφόμενες αριστερά χρονικές περίοδοι, αφορούν ώρες προγραμματισμένων αναχωρήσεων.

12.3 Συγκεντρωτικά στοιχεία

Για κάθε μέρα, γραμμή και κατεύθυνση δημιουργήθηκε από το ISAS2 ένα αρχείο κειμένου (μορφής .txt) το οποίο περιγράφει συνοπτικά τις μετρήσεις οι οποίες έγιναν. Όπως είναι αναμενόμενο, ο αριθμός αυτών των αρχείων είναι $\{\text{μέρες}\} * \{\text{κατευθύνσεις}\} * \{\text{γραμμές}\} = 2 * 2 * 3 = 12$ αρχεία. Ως παράδειγμα, παραθέτουμε τμήμα από το αρχείο το οποίο αφορά τη Γραμμή A14, κατεύθυνση Α κατά την Τρίτη 24/09/02.

Πίνακας 12.2 : Τμήμα συγκεντρωτικών στοιχείων διαδρομών ημέρας. [Πηγή : ISAS]

Κατεύθυνση: Α / Εγγραφή: 24/09/2002 / Αριθμός: 123						
Ημερ/Μα	Τεχ/Αρ/Οχημ	Πρέπει-χρ	Είναι-Χρόν	Ωρα άφιξη	Σειρά/Μπλ	Χαρακτ. Δρομ.
24/9/2002	7015	5:47:00	5:05:33	5:17:06	3	Απουσία σημείου στάσης, Δρομολόγιο με άκυρες τιμές, Χειροκίνητη
24/9/2002	7044	5:25:00	5:27:53	5:48:32	1	OK
24/9/2002	7015	5:47:00	5:50:07	6:18:07	3	OK
24/9/2002	7133	5:58:00	5:56:45	6:16:16	4	OK
24/9/2002	7049	6:09:00	6:09:02	6:31:18	6	OK
24/9/2002	7044	6:20:00	6:20:01	6:42:01	1	OK
24/9/2002	7054	6:38:00	6:39:54	7:05:30	7	OK
24/9/2002	7133	6:54:00	6:48:15	7:17:36	4	OK
24/9/2002	7015	6:46:00	6:57:40	7:46:58	3	OK
24/9/2002	7094	7:02:00	7:07:20	7:47:12	8	OK
24/9/2002	7049	7:10:00	7:13:20	7:57:18	6	OK
24/9/2002	7044	7:18:00	7:17:50	8:06:24	1	OK
24/9/2002	7021	7:26:00	7:30:06	8:10:55	9	OK
24/9/2002	7040	7:42:00	7:46:25	8:24:45	10	OK
24/9/2002	7054	7:49:00	7:56:53	8:32:07	7	OK
24/9/2002	7024	8:03:00	8:09:06	8:45:37	11	OK
24/9/2002	7015	7:56:00	8:41:07	9:17:23	3	OK
24/9/2002	7049	8:17:00	8:47:49	9:17:39	6	Δρομολόγιο με άκυρες τιμές
24/9/2002	7044	8:24:00	8:52:27	9:26:46	1	OK
24/9/2002	7094	9:30:00	8:56:50	8:57:06	8	Πολλαπλή έναρξη δρομολογίου, Απουσία σημείου στάσης, Δρομολόγιο με άκυρες τιμές, Χειροκίνητη
24/9/2002	7094	9:30:00	8:57:07	9:58:28	8	Πολλαπλή έναρξη δρομολογίου, Απουσία σημείου στάσης, Το οδό
24/9/2002	7021	8:38:00	8:58:19	9:26:55	9	OK
24/9/2002	7075	9:07:00	9:11:44	9:15:12	13	Πολλαπλή έναρξη δρομολογίου, Απουσία σημείου στάσης, Δρομολόγιο με άκυρες τιμές, Χειροκίνητη
24/9/2002	7075	9:07:00	9:15:15	9:37:32	13	Πολλαπλή έναρξη δρομολογίου, Απουσία σημείου στάσης
24/9/2002	7054	9:00:00	9:27:00	9:42:43	7	Απουσία σημείου στάσης, Δρομολόγιο με άκυρες τιμές, Χειροκίνητη
24/9/2002	7024	9:23:00	9:43:42	10:18:00	11	OK
24/9/2002	7021	9:53:00	10:01:37	10:04:33	9	Απουσία σημείου στάσης, Δρομολόγιο με άκυρες τιμές, Χειροκίνητη
24/9/2002	7040	8:52:00	10:02:11	10:30:11	10	OK
24/9/2002	7054	10:15:00	10:14:01	10:43:06	7	OK
24/9/2002	7075	10:23:00	10:22:43	10:52:51	13	OK
24/9/2002	7049	9:37:00	10:24:32	11:09:29	6	OK
24/9/2002	7094	10:45:00	10:44:22	11:17:38	8	OK
24/9/2002	7024	10:37:00	10:53:56	10:54:12	11	Απουσία σημείου στάσης, Δρομολόγιο με άκυρες τιμές, Χειροκίνητη
24/9/2002	7044	11:07:00	11:06:22	11:43:58	1	OK
24/9/2002	7021	11:23:00	11:18:27	11:55:05	9	OK
24/9/2002	7054	11:30:00	11:30:24	12:02:33	7	OK
24/9/2002	7040	10:07:00	11:38:09	12:09:11	10	OK
24/9/2002	7075	11:54:00	11:53:58	12:22:23	13	OK
24/9/2002	7015	12:02:00	12:04:50	12:31:22	3	OK
24/9/2002	7024	12:10:00	12:11:49	12:41:45	11	OK
24/9/2002	7044	12:18:00	12:18:11	12:48:00	1	OK
24/9/2002	7094	12:26:00	12:25:56	12:55:36	8	OK
24/9/2002	7021	12:40:00	12:40:29	13:13:27	9	OK
24/9/2002	7049	12:47:00	12:43:19	13:33:48	6	OK
24/9/2002	7040	11:38:00	12:54:01	13:27:33	10	OK
24/9/2002	7054	13:01:00	13:01:19	13:04:48	7	Πολλαπλή έναρξη δρομολογίου, Απουσία τέρματος δρομολογίου, Δρομολόγιο με άκυρες τιμές, Χειροκίνητη
24/9/2002	7054	13:01:00	13:06:02	13:33:54	7	Πολλαπλή έναρξη δρομολογίου, Απουσία σημείου στάσης
24/9/2002	7075	13:08:00	13:07:58	13:38:51	13	OK
24/9/2002	7024	13:22:00	13:14:45	13:51:44	11	OK
24/9/2002	7015	13:29:00	13:28:31	13:56:53	3	OK
24/9/2002	7044	13:36:00	13:36:47	14:11:17	1	OK
24/9/2002	7094	13:42:00	13:43:19	14:14:40	8	OK
24/9/2002	7021	13:54:00	13:53:38	14:28:47	9	OK
24/9/2002	7049	14:18:00	14:01:04	14:08:38	7	Απουσία σημείου στάσης, Δρομολόγιο με άκυρες τιμές, Χειροκίνητη
24/9/2002	7079	14:12:00	14:02:19	14:51:24	5	OK
24/9/2002	7040	12:54:00	14:05:08	14:10:14	10	Απουσία σημείου στάσης, Δρομολόγιο με άκυρες τιμές, Χειροκίνητη
24/9/2002	7049	14:00:00	14:08:41	14:37:24	6	Απουσία σημείου στάσης
24/9/2002	7040	14:06:00	14:12:20	14:12:27	10	Πολλαπλή έναρξη δρομολογίου, Απουσία σημείου στάσης, Δρομολόγιο με άκυρες τιμές, Χειροκίνητη
24/9/2002	7040	14:06:00	14:12:29	14:13:07	10	Πολλαπλή έναρξη δρομολογίου, Απουσία σημείου στάσης, Απουσία τέρματος δρομολογίου, Δρομολόγιο με άκυρες τιμές, Χειροκίνητη
24/9/2002	7040	14:06:00	14:13:13	14:38:02	10	Πολλαπλή έναρξη δρομολογίου, Απουσία σημείου στάσης
24/9/2002	7054	14:18:00	14:17:56	14:52:08	7	OK
24/9/2002	7075	14:24:00	14:23:33	15:01:36	13	OK
24/9/2002	7024	14:36:00	14:36:45	15:14:33	11	OK
24/9/2002	7015	14:42:00	14:41:30	15:15:32	3	OK
24/9/2002	7044	14:48:00	14:48:09	15:29:22	1	OK
24/9/2002	7094	14:54:00	14:53:21	15:32:09	8	OK
24/9/2002	7021	15:06:00	14:55:22	14:56:42	9	Πολλαπλή έναρξη δρομολογίου, Απουσία σημείου στάσης, Δρομολόγιο με άκυρες τιμές, Χειροκίνητη
24/9/2002	7021	15:06:00	14:57:49	14:59:37	9	Πολλαπλή έναρξη δρομολογίου, Απουσία σημείου στάσης, Μηδέν

Τα δρομολόγια τα οποία σημειώνονται με «ΟΚ» είναι τα δρομολόγια με έγκυρες τιμές. τα οποία αποτελούν και τα δρομολόγια τα οποία εξετάστηκαν ανά στάση όπως φαίνεται παρακάτω.

Επεξηγηματικά, με τον όρο «έγκυρες τιμές» εννοούνται οι τιμές στις οποίες το ίδιο το σύστημα δε διέκρινε να περιέχεται περίπτωση σφάλματος. Συνολικά τα δρομολόγια που έγιναν και για τις δύο μέρες, όλες τις ώρες, ήταν 1007. Τα έγκυρα κατά το ίδιο διάστημα ήταν 606. Δηλαδή το σύστημα επεξεργάζεται ως έγκυρα, το 60% περίπου των συνολικών εκτελεσθέντων δρομολογίων.

12.4 Στοιχεία ανά στάση

Για κάθε ένα από τα 606 δρομολόγια με έγκυρες τιμές, δημιουργήθηκε ένα ξεχωριστό αρχείο .txt το οποίο αναφέρει τα συμβάντα αναλυτικά όπως φαίνεται στο παρακάτω παράδειγμα. Αφορά το δρομολόγιο των 05:25 της γραμμής Α14 –Α– στις 24/09/02.

Να σημειωθεί ότι αρνητική απόκλιση στα στοιχεία του ISAS περιγράφουν βραδυπορία (καθυστέρηση), ενώ στη δικιά μας ανάλυση έχει γίνει κατάλληλη μετατροπή και αρνητικές τιμές αντιπροσωπεύουν προπορεία.

Πίνακας 12.3 : Αναλυτικά στοιχεία ανά στάση. [Πηγή: ISAS]

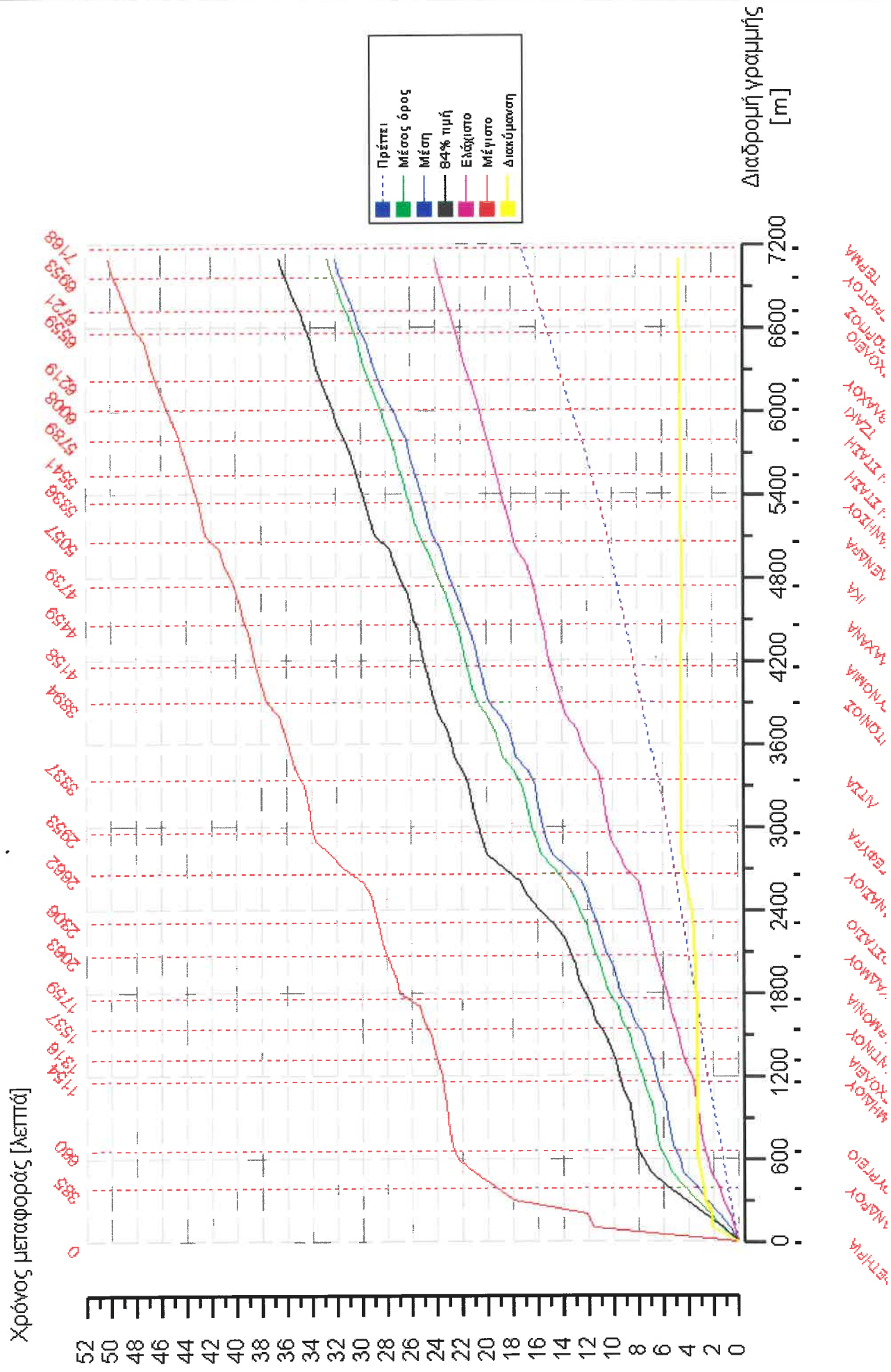
Είναι-Αναχώρηση: 05:27:53 / Σύνολο: 38 / Έκτακτες στάσεις: 6 / Τακτικές στάσεις: 16 / Φάροι: 3							
Στάση	Στ	Θέση [m]	Αφιξη	Χρόνος Στ	Αναχώρησ	Απόκλιση	Συμβάν
ΑΦΕΤΗΡΙΑ	ΑΓΗΣΙΑ (0)	0			5:27:53	-2:53	Έναρξη δρομολογίου
		224	5:28:38	0:35	5:29:13		*** Έκτακτη στάση ***
		233	5:29:15				Φάρος (4486)
ΜΕΓ.ΑΛΕΞ	ΜΕΓ.03 (0)	378	5:29:41	0:00	5:29:41	-3:49	Δρομολόγιο
ΜΕΤΑΞΟΥ	ΜΕΤ01 (1)	675	5:30:32	0:00	5:30:32	-4:07	Δρομολόγιο
		682	5:30:36	0:03	5:30:39	-4:14	Τακτική στάση
ΠΑΛΑΜΗΔ	ΠΑΛΑ35 (0)	1178	5:31:36	0:08	5:31:44	-4:27	Τακτική στάση
ΣΧΟΛΕΙΑ	ΣΧΟΛ79 (0)	1341	5:32:12	0:05	5:32:17	-4:37	Τακτική στάση
ΑΓ.ΚΩΝΣΤ	ΑΓ.Κ02 (1)	1565	5:32:49	0:03	5:32:52	-4:51	Τακτική στάση
ΑΡΜΟΝΙΑ	ΑΡΜΟΝ (1)	1787	5:33:40	0:02	5:33:42	-5:33	Τακτική στάση
		1787	5:33:42	0:10	5:33:52		*** Έκτακτη στάση ***
		2078	5:34:40	0:21	5:35:01		*** Έκτακτη στάση ***
ΚΑΔΜΟΥ	ΚΑΔΜΟΥ	2125	5:35:09	0:00	5:35:09	-6:14	Δρομολόγιο
ΚΑΠΝΕΡΓ	ΚΑΠΝΕΡ (0)	2386	5:35:52	0:00	5:35:52	-6:27	Δρομολόγιο
		2448	5:35:58				Φάρος (4471)
ΠΑΠΑΘΑΝ	ΠΑΠΑΘ (1)	2710	5:36:32	0:00	5:36:32	-6:29	Δρομολόγιο
		2827	5:36:50	0:16	5:37:06		*** Έκτακτη στάση ***
ΓΕΦΥΡΑ	ΓΕΦ (1)	2977	5:37:27	0:04	5:37:31	-7:04	Τακτική στάση
		3277	5:38:08	0:14	5:38:22		*** Έκτακτη στάση ***
ΛΙΤΣΑ	ΛΙΤΣΑ (1)	3359	5:38:38	0:05	5:38:43	-7:26	Τακτική στάση
		3812	5:39:53	0:44	5:40:37		*** Έκτακτη στάση ***
ΑΓ.ΑΝΤΩΝ	ΑΓ.ΑΝΤ (0)	3923	5:41:00	0:04	5:41:04	-8:28	Τακτική στάση
ΑΣΤΥΝΟΜ	ΑΣΤΥ03 (1)	4219	5:41:37	0:00	5:41:37	-8:26	Δρομολόγιο
ΛΑΧΑΝΑ	ΛΑΧΑΝΑ (0)	4544	5:41:57	0:00	5:41:57	-8:06	Δρομολόγιο
		4719	5:42:08				Φάρος (4303)
ΙΚΑ	ΙΚΑ03 (1)	4765	5:42:16	0:08	5:42:24	-7:58	Τακτική στάση
ΕΚΑΤΟΔΕ	ΕΚΑΤΟΔ (0)	5093	5:43:20	0:03	5:43:23	-8:12	Τακτική στάση
ΔΩΔΕΚΑΝ	ΦΟΥΡΝ (1)	5370	5:43:58	0:03	5:44:01	-8:14	Τακτική στάση
7Η ΣΤΑΣΗ	7Η ΣΤΑ (1)	5572	5:44:31	0:03	5:44:34	-8:05	Τακτική στάση
8Η ΣΤΑΣΗ	8Η ΣΤΑ (1)	5822	5:45:11	0:03	5:45:14	-7:55	Τακτική στάση
ΤΖΑΚΙ	ΤΖΑΚΙ (1)	6065	5:45:52	0:00	5:45:52	-7:41	Δρομολόγιο
ΒΛΑΧΟΥ	ΒΛΑΧ01 (1)	6251	5:46:24	0:04	5:46:28	-7:41	Τακτική στάση
ΣΧΟΛΕΙΟ	ΣΧΟΛ03 (1)	6627	5:47:13	0:00	5:47:13	-7:07	Δρομολόγιο
ΑΓΙΟΣ ΓΕΩ	ΑΓΙΟ07 (0)	6803	5:47:33	0:00	5:47:33	-6:55	Δρομολόγιο
ΜΙΣΤΡΙΩΤ	ΜΙΣΤ01 (0)	7054	5:48:18	0:00	5:48:18	-6:45	Δρομολόγιο
		7184	5:48:32			-6:27	Τέρμα δρομολογίου
ΤΕΡΜΑ	Ν.ΖΩΗ (0)	7184	5:48:32	0:01	5:48:33		Τακτική στάση
ΤΕΡΜΑ	Ν.ΖΩΗ (0)	7184	5:48:33	0:12	5:48:45		Τακτική στάση

Παρακάτω παρατίθεται χάριν παραδείγματος, τμήμα από την Ανάλυση των Χρόνων Διαδρομής για την οποία γίνεται αναφορά στην 12.2.2. Αφορά τη γραμμή 813 –Α– και τα δρομολόγια της περιόδου 09:00-20:00 (συνολικά 51 διαδρομές).

Πίνακας 12.4 : Τμήμα ανάλυσης Χρόνων Διαδρομής (τιμές σε sec) [Πηγή : ISAS]

ISAS2 – Αποτελέσματα μιας ανάλυσης								
Κριτήρια επιλογής								
Ανάλυση: Χρόνος μεταφοράς (BZW)								
Γραμμή: 813								
Βασική έκδοση:	20020914							
Ημερ/νία έναρξης:	23/9/2002							
Ημερ/νία-Λήξη:	27/9/2002							
Έναρξη ώρας ημέρας:	9:00:00							
Τέλος ώρας ημέρας:	20:00:00							
Εργάσιμες ημέρες:	Τρι, Περ							
Υπολογίζει από θέση:	0							
Υπολογίζει έως θέση:	9060							
Απόσταση σημείων υπολ/μού:	100							
Εντοπισμένα δρομολόγια:	51							
Αποτελέσματα								
Στάση	Θέση	Μέσος όρ	Μέση	Διακύμανσ	84τεκ	Ελάχιστο	Μέγιστο	Υπολογ. Τ
ΑΒΕΡΩΦ (0)	0	0	0	0	0	0	0	51
	100	103,51	46	201,63	86	14	970	51
	200	136,18	74	202,17	146	29	997	51
	300	185,24	117	205,85	243	43	1024	51
ΙΚΑ05 (422)	400	269,88	207	208,64	348	84	1079	51
	500	305	237	210,86	390	119	1108	51
	600	327,2	254	211,38	412	142	1123	51
	700	354,9	284	217,89	439	169	1137	51
ΙΠΠΟΚΡ (795)	800	380,98	301	216,24	475	201	1152	51
	900	409,51	336	220,59	507	227	1199	51
	1000	427,02	352	220,58	525	243	1217	51
ΛΑΣΚ01 (1100)	1100	449,06	373	222,42	538	259	1254	51
	1200	479	407	223,61	567	296	1277	51
ΤΣΙΜ01 (1298)	1300	496,71	423	223,48	584	313	1293	51
	1400	522,16	445	224,14	615	327	1313	51
	1500	542,08	464	224,21	639	339	1328	51
ΚΑΛΛΙΔ (1582)	1600	573,06	494	224,23	663	363	1371	51
	1700	596,55	519	225,79	692	382	1390	51
ΔΙΔΟ01 (1801)	1800	625,65	555	226,97	723	401	1425	51
	1900	670,86	604	230	760	450	1475	51
ΑΚΑΔ16 (2037)	2000	699,76	624	233,04	781	466	1491	51
	2100	743,92	690	235,97	846	496	1543	51
	2200	767,57	719	235,53	867	519	1561	51
	2300	822,53	768	244,08	933	541	1637	51
	2400	855,92	790	248,07	989	564	1677	51
ΟΜΟΝ (2503)	2500	883,02	834	247,7	1010	605	1697	51
	2600	936,08	904	250,73	1079	647	1770	51
	2700	972,73	930	250,3	1125	668	1789	51
	2800	1001,45	958	253,04	1193	689	1808	51
	2900	1031,96	978	260,19	1259	706	1827	51
	3000	1089,63	1050	269,67	1316	732	1898	51
ΟΜΟΝ04 (3076)	3100	1164,69	1113	265,66	1368	833	1959	51
	3200	1212,51	1172	270,14	1437	876	2010	51
	3300	1256,47	1207	273,5	1508	917	2055	51
	3400	1278,84	1242	275,33	1531	934	2070	51
ΚΟΥΜΟΥ (3453)	3500	1318,96	1279	275,68	1573	965	2096	51
	3600	1359,9	1319	275,9	1616	1009	2152	51
	3700	1383,1	1348	274,97	1634	1023	2169	51
ΙΚΑ18 (3751)	3800	1413,04	1382	274,75	1659	1036	2189	51

Ενδεικτικό σχετικό διάγραμμα Χρόνων Μεταφοράς παρατίθεται στο επόμενο Κεφάλαιο.



Διάγραμμα 12.1 : Πρέπει και Είναι - Χρόνοι μεταφοράς, μέσος χρόνος μεταφοράς, διακύμανση, τιμές : μεσαία, 84%, μέγιστη και ελάχιστη. Γραμμή A14, κατεύθυνση Α. Ωρες 09:00-20:00 Δρομολόγια : 117. Πηγή : [ISAS - ΟΑΣΑ]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13^ο ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

13.1 Επεξεργασία Χρόνων Μεταφοράς

Παρακάτω, στο Διάγραμμα 13.1 παρουσιάζεται ως παράδειγμα το διάγραμμα με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη γραμμή Α14 την κατεύθυνση Α (Αφετηρία –Τέρμα). Η επεξεργασία που έγινε στα συγκεκριμένα δρομολόγια αφορά 117 διαδρομές.

Για τις υπόλοιπες γραμμές , τα σχετικά διαγράμματα παρατίθενται στο Παράρτημα..

13.2 Γενική εικόνα : Είναι-Χρόνοι Μεταφοράς

Από το σύνολο των διαγραμμάτων παρατηρούμε ότι το κάθε δρομολόγιο έχει τη δική του ιδιαίτερη συμπεριφορά ανά κατεύθυνση αλλά και κατά τη διάρκεια της μέρας. Μπορούμε έτσι να συμπληρώσουμε τον προηγούμενο Πίνακα 12.1 με στοιχεία από τα παραπάνω διαγράμματα, ώστε να δούμε και την Είναι-κατάσταση σε παράθεση με την Πρέπει-.

Σημείωση :Οι παρακάτω τιμές των προγραμματισμένων (Πρέπει-) χρόνων μεταφοράς, αφορούν τον προγραμματισμό που έδωσε ο ΟΑΣΑ μέσα από το HASTUS και στα οποία δεν έχει γίνει τροποποίηση λόγω στοιχείων Τηλεματικής (όπως άλλωστε συνέβαινε κατά την περίοδο των μετρήσεων). Σήμερα, τα στοιχεία της Τηλεματικής επανατροφοδοτούν τον προγραμματισμό και έτσι οι Πρέπει- χρόνοι μεταφοράς προσαρμόζονται καλύτερα με στην Είναι κατάσταση.

Πίνακας 13.1 : Σύγκριση «Πρέπει-» με : Μέσες, Ελάχιστες, Μέγιστες και 84% «Είναι-» τιμές χρόνων, ανά γραμμή, κατεύθυνση και περίοδο ημέρας.

Να σημειωθεί ότι για η Γραμμή Α14-Α-0900-2000 χαρακτηρίζεται ως «κόκκινη» και όχι «ροζ» λόγω της μεγάλης απόκλισης της τιμής 84% (+10min) και του μεγάλου δείγματος (1176ρομολόγια) που έδωσαν minΤιμή 3 λεπτά μικρότερη από τον προγραμματισμό.

Όρα	Κατεύθυνση Α (Αφειρησία-Τέρμα)				Κατεύθυνση Β (Τέρμα-Αφειρησία)			
	A14	A8	B13		A14	A8	B13	
	mins	mins	mins		mins	mins	mins	
0500-0529			33		20	54	33	
0530-0559			36		20	59	36	
0600-0629			37		24	60	37	
0630-0659			38		24	62	43	
0700-0729	M:31 ελάχιστ:25 84%:40	M:83 ελάχιστ:81 84%:94	M:39 ελάχιστ:33 84%:42		M:40 ελάχιστ:33 84%:45	M:70 ελάχιστ:63 84%:78	M:58 ελάχιστ:48 84%:65	45
0730-0759			45				45	
0800-0829			46				46	
0830-0859			47		30	72	47	
0900 -	M:32 ελάχιστ:24 84%:37	M:74 ελάχιστ:60 84%:92	M:42 ελάχιστ:32 84%:50		M:28 ελάχιστ:22 84%:31	M:75 ελάχιστ:62 84%:86	M:62 ελάχιστ:48 84%:83	47
...			47					
- 1959			46		27	70	47	
2000-2059	25	M:59 ελάχιστ:47 84%:65	M:34 ελάχιστ:30 84%:43		M:26 ελάχιστ:21 84%:35		M:41 ελάχιστ:39 84%:47	43
2100-2129	24		39		24	60	42	
2130-2159	24		39		24	60	42	
2200-2229	M:25 ελάχιστ:22 84%:29		38		23	55	40	
2230-2259			36		22	M:51 ελάχιστ:43 84%:68	36	
2300-2329			36		21	55	36	
2330-2359			36		21	55	36	
2400+	21		36		21	55	36	
				Σε χρωματιστό πλαίσιο : Πρέπει- Χρόνο-Διαδρομής (από προγραμμ.) (mins)				
				Σε μαύρο πλαίσιο : Μέσοι & Ελάχιστοι Χρόνοι-Είναι Διαδρομής (mins)				
Κόκκινο	Ο ελάχιστος Είναι-χρόνος είναι > Πρέπει-χρόνο							
Ρόζ	Το 84% των τιμών της αύξουσας σειράς των Είναι -χρόνων είναι > Πρέπει-χρόνο							
Μαύρο	Τιμές Μ.Ο. ελάχιστ. και 84% οι οποίες συμφωνούν σε ικανοποιητικό επίπεδο με τους Πρέπει-χρόνους							
Πράσινο	Τιμές οι οποίες θα δικαιολογούσαν το σχεδιασμό με μικρότερους Πρέπει-χρόνους							

13.3 Σχολιασμός:Είναι-ΠρέπειΧρόνοι Μεταφοράς

Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει κάποια ενιαία σχέση η οποία να καλύπτει το σύνολο των Πρέπει- και των Είναι- χρόνων. Σε κάποιες περιπτώσεις η γραμμή λειτουργεί ως «κόκκινη» καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας (A14A), ενώ άλλοτε παρουσιάζει διακυμάνσεις σε σχέση πάντα με τους Πρέπει- χρόνους, επομένως και τον προγραμματισμό (A14B). Γενικά μπορούμε να αναφερθούμε στα εξής σημεία :

Σύνολο	Περίοδων	18	Ανά Γραμμή (6ημέρες/γραμμή)			Ανά Κατεύθυνση (9)		Ανα περίοδο μέρας(6)		
	Αριθμός	%	A14	A8	813	A	B	Πρωί	Αιχμής	Βράδυ
Κόκκινες	8	44	67	33	33	44	44	83	33	17
Ρόζ	4	22	17	33	17	11	33	0	33	33
Μαύρες	4	22	0	33	33	33	11	0	17	0
Πράσινες	2	11	17	0	17	11	11	17	17	50
Ολικά	18	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Πίνακας 13.2 : Κατηγοριοποίηση Είναι- διαδρομών σε σχέση με τους Πρέπει Χρόνους.

Έτσι π.χ. : Το 17% των δρομολογίων του 813 (A,B, όλες τις μέρες και ώρες) είναι «ροζ». Το 50% των βραδινών

δρομολογίων είναι «πράσινες». Η σημασία των χρωμάτων αναφέρεται στον Πίνακα 13.1 β.

- 1) Από τις 3 γραμμές το καλύτερο ταίριασμα Πρέπει- και Είναι- χρόνων μεταφοράς έχει η 813. Ακολουθεί η A8 και τελευταία αναδεικνύεται η A14, αφού τα 2/3 των δρομολογίων της είναι «κόκκινα».
- 2) Στα πρωινά δρομολόγια είναι εμφανής η ασυμφωνία Πρέπει και Είναι, εις βάρος των Είναι- χρόνων, αφού το 83 % του αριθμού δρομολογίων (λαμβάνοντας ως εξαρτημένες μεταβλητές τη γραμμή και την κατεύθυνση) είναι «κόκκινα». Αντιθέτως, τα βραδινά, εμφανίζονται να διατηρούν μεγαλύτερη προπορία από το κανονικό («πράσινα»), τέτοια ώστε να δικαιολογούσε τον επανασχεδιασμό των Πρέπει- με μικρότερους χρόνους διαδρομής.
- 3) Από τον Πίνακα 13.1 παρατηρούμε ότι για τη γραμμή A14 (09:00-20:00) η μία κατεύθυνση (A) λειτουργεί σε «κόκκινες» συνθήκες, ενώ η αντίθετη κατεύθυνση (B) κατά την ίδια περίοδο λειτουργεί σε «πράσινες». Ενώ η

δρομολόγηση δίνει 3 λεπτά περισσότερο χρόνο διαδρομής στην κατεύθυνση B, η Μέση τιμή δίνει 5 λεπτά περισσότερα στην κατεύθυνση A. Έχουμε δηλαδή μια απόκλιση 8 λεπτών, η οποία μεταφράζεται σε 1 δρομολόγιο την ώρα να προστίθεται στη μέση ώρα αναμονής επιβατών όσον αφορά το βαθμό αξιοπιστίας.

- 4) Για την ίδια γραμμή και το ίδιο διάστημα παρατηρούμε το εξής : έχει προγραμματισμένο χρόνο κυκλικής διαδρομής $27+30+5=62$ min [θεωρούμε layover time =5 στο τέρμα) και Μέσο χρόνο κυκλικής διαδρομής $32+28=60$ min. , κάτι που σημαίνει ότι θέτοντας : Πρέπει χρόνους $A = 32$, $B=28$ και layover time =2 min, χωρίς να χρειαστούν περισσότερα οχήματα, πετυχαίνουμε καλύτερη ταύτιση κατά μήκος της διαδρομής και επομένως μεγαλύτερη αξιοπιστία, μόνο με επαναπρογραμματισμό. Χρησιμοποιώντας την εφαρμογή [3] και τον Πίνακα 8.1 και με δεδομένη την διακύμανση την οποία παίρνουμε από μετρήσεις (και από τον αντίστοιχο διάγραμμα A14a 09:00-20:00) για τη συγκεκριμένη γραμμή ίση με 4,5 min, η πιθανότητα για καθυστερημένη αναχώρηση είναι γύρω στο 33%. Αν δώσουμε λίγο παραπάνω layover time στα 4 min η πιθανότητα αυτή μειώνεται στο 15%.

13.4 Αποκλίσεις Δρομολογίων

Τα στοιχεία για την επεξεργασία των αποκλίσεων συλλέχθηκαν, όπως αναφέρθηκε, από τα αρχεία καταγραφής των δρομολογίων όλων των οχημάτων τα οποία διαχειρίζεται το σύστημα Τηλεματικής, μέσω του προγράμματος στατιστικής ISAS. Τα στοιχεία αφορούν τα δρομολόγια των τριών λεωφορειακών γραμμών και για τις δύο κατευθύνσεις τα οποία καταγράφηκαν, με έγκυρες τιμές, για τις μέρες των μετρήσεων και τις ώρες 09:00-20:00 (ώρες αιχμής προγραμματισμού, κοινές για όλες τις γραμμές και κατευθύνσεις. Βλ. §12.2.5).

Οι τιμές οι οποίες συλλέχθηκαν αποτελούν ένα δείγμα αποτελούμενο από 12.000 τιμές. Αυτές οι τιμές αντιπροσωπεύουν τις αποκλίσεις χρόνων (βλ Πιν. 12.5) από τον προγραμματισμό σε κάθε στάση για όλες τις γραμμές, για κάθε κατεύθυνση, συμπεριλαμβανομένων και των αναχωρήσεων από αφετηρία και τέρμα.

13.5 Έκφραση Μέτρων Αξιοπιστίας-Αναξιοπιστίας

13.5.1 Σχέση Είναι-Πρέπει χρόνων

Ζητούμενο πάντα είναι το να βρούμε ένα μέτρο αξιοπιστίας. Θα πρέπει να γίνει αποτίμηση εκείνου του μεγέθους το οποίο θα είναι συσχετιζόμενο με κάποιο άλλο, άμεσα αντιληπτό από το χρήστη των ΜΜΜ. Τέτοιο μέγεθος θα μπορούσε να είναι ο χρόνος αναμονής πέρα από τον μέσο χρόνο αναμονής (υπερβάλλον χρόνος αναμονής) ή πέρα από την προγραμματισμένη άφιξη των οχημάτων ή ακόμα και η πρόωρη αναχώρηση από την αφετηρία ή τέρμα. Από τη στιγμή που ο προγραμματισμός του ΟΑΣΑ στο Κέντρο Τηλεματικής γίνεται ώστε να υπάρχει ακρίβεια στη σχέση Είναι και Πρέπει – Χρόνων άφιξης σε στάσεις, εξετάζεται αν η αξιοπιστία του συστήματος μπορεί να αποτιμηθεί εξετάζοντας δείγμα από μετρήσεις αποκλίσεων.

13.5.2 Μέτρα Αναξιοπιστίας

Αν προσπαθήσουμε να προσεγγίσουμε το θέμα της αξιοπιστίας στις μεταφορές από την απέναντι πλευρά, αυτή της αναξιοπιστίας δηλαδή, θα διαπιστώσουμε σχετικό κενό στη σύγχρονη βιβλιογραφία. Όσον αφορά μηχανολογικά – οικονομοτεχνικά συστήματα τα θέματα της αξιοπιστίας μπορούν να προσομοιωθούν με κατάλληλα πρότυπα και να γίνουν οι ανάλογες συγκρίσεις. Στα θέματα μεταφορών, οι αναφορές στην αξιοπιστία οι οποίες γίνονται, αφορούν περισσότερο διάρκεια ζωής οχημάτων και Μέσους Χρόνους Μεταξύ Βλαβών (ΜΧΜΒ - βλ. Κεφ.2) παρά τομείς περισσότερο άμεσα συνδεδεμένους με τον επιβάτη.

Από το [13.1] βρίσκουμε δείκτες μέτρησης της αξιοπιστίας οι οποίοι εκφράζουν διαφοροποιήσεις α) στους χρόνους διαδρομής από της αφετηρία μέχρι τις διάφορες στάσεις της γραμμής, β) στις προγραμματισμένες αναχωρήσεις και γ) στους χρόνους μεταξύ διαδοχικών αφίξεων σε μια στάση. Μία περισσότερο σύγχρονη αναφορά [9.3] αναφέρει ότι «Αναξιοπιστία στις δημόσιες Συγκοινωνίες σημαίνει ότι

οι Είναι- χρόνοι μπορεί να αποκλίνουν από το επίσημο χρονοδιάγραμμα». Στην τελευταία θεώρηση μπορούν να συνοψισθούν και οι α),β) και γ). Επομένως, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το δείγμα των 12.000 τιμών αποκλίσεων.

13.5.3 Σημασία των XMA- (Headways)

Είναι γνωστό από προηγούμενες εργασίες επί του θέματος [9.4] ότι ο χρόνος αναμονής για τους επιβάτες που φτάνουν τυχαία (χωρίς να έχουν συμβουλευτεί το πρόγραμμα) σε μια στάση είναι (επίσης σχέση 9.1) :

$$E(W) = \frac{E(h)}{2} + \frac{\sigma^2(h)}{2E(h)} \quad (13.1)$$

όπου : $E(W)$ είναι ο Μέσος Χρόνος Αναμονής
 $E(h)$, Μέσος Χρόνος Μεταξύ Διαδοχικών Αφίξεων (XMA-
 way)
 $\sigma^2(h)$, η διασπορά του XMA.

Στην περίπτωση όμως, όπου τα λεωφορεία τείνουν να τηρούν κάποιο πρόγραμμα και υπάρχουν επιβάτες που κάνουν το δρομολόγιο συχνά, είναι αναμενόμενο ότι κάποιοι θα κανονίσουν την άφιξή τους στη στάση έτσι ώστε να είναι εκεί μόλις προτού το λεωφορείο φτάσει. Σε αυτήν την περίπτωση μπορούμε να περιμένουμε ότι ο μέσος χρόνος αναμονής θα είναι λιγότερος από αυτόν που δίνει η παραπάνω εξίσωση. Από μελέτες βρέθηκε ότι ο μέσος χρόνος αναμονής είναι εμφανώς μικρότερος από τον προβλεπόμενο βάσει της τυχαιότητας άφιξης των επιβατών και γραμμική παλινδρόμηση μπορούμε να καταλήξουμε σε μια σχέση της μορφής :

$${}_{sch} E(w) = 1,71 + 0,57 * E(w_r)$$

ή για δεδομένα Αθήνας από πρόσφατη Δ.Ε στο Ε.Μ.Π :

$${}_{sch} E(w) = 0,157 + 0,295 * E(w_r) \quad (\text{σε min})$$

όπου : $\text{schE}(w)$ = ο παρατηρούμενος χρόνος αναμονής επιβατών οι οποίοι προσέρχονται στις στάσεις σύμφωνα με το πρόγραμμα.

Ένα άλλο μέτρο διακύμανσης των Είναι - χρόνων μεταξύ δρομολογίων το οποίο χρησιμοποιείται, είναι ο λόγος των ΧΜΑ οι οποίοι είναι 50 % μεγαλύτεροι από τους προγραμματισμένους ΧΜΑ (ένα μέτρο περισσότερο άμεσα κατανοητό στον φορέα διαχείρισης από άλλα στατιστικά μεγέθη όπως η μεταβλητότητα –CV -των ΧΜΑ). Επίσης χρησιμοποιείται το αναμενόμενο κλάσμα των επιβατών οι οποίοι πρέπει να περιμένουν περισσότερο από 1*προγραμματισμένο ΧΜΑ. Αυτό το κλάσμα υπολογίζεται ως το ποσοστό της περιόδου στην οποία ο χρόνος σε μια στάση από την πιο πρόσφατη αναχώρηση ήταν περισσότερος από ένα προγραμματισμένο ΧΜΑ. Σε διαδρομές οι οποίες έχουν μια αρκετά υψηλή συχνότητα ώστε να μη συμβουλευονται το πρόγραμμα των δρομολογίων, οι διαταραχές στο χρόνο αναμονής περισσότερο οφείλονται στη διακύμανση των ΧΜΑ παρά στις μεταβολές των χρονοδιαγραμμάτων. Υποθέτοντας ότι οι επιβάτες μπορούν πάντοτε να επιβιβάζονται στο πρώτο όχημα που φτάνει, ο μέσος χρόνος αναμονής τους είναι το $\frac{1}{2}$ του μέσου ΧΜΑ, συν ένα όρο ο οποίος είναι ανάλογος με το τετράγωνο της μεταβλητότητας (CV, ισούται με την τυπική απόκλιση των ΧΜΑ δια του μέσου ΧΜΑ). Ο φόρτος των επιβατών επηρεάζεται ανάλογα. Για παράδειγμα, εάν η τυπική απόκλιση των ΧΜΑ είναι η μισή του μέσου όρου, η μέσος χρόνος αναμονής θα είναι 25% μεγαλύτερος από την περίπτωση όπου οι ΧΜΑ δεν παρουσίαζαν διακύμανση.

13.6 Αντιληπτή απόκλιση

Με βάση τα παραπάνω, μπορούμε να εισάγουμε την έννοια της αντιληπτής από τον επιβάτη απόκλισης η οποία εκφράζεται ως ο λόγος της απόκλισης σε μια στάση από τον προγραμματισμένο χρόνο ως προς το μέσο χρόνο μεταξύ δρομολογίων της συγκεκριμένης γραμμής.

$$\delta_i = \frac{|D_i|}{H}$$

όπου : δ_i = η τιμή της αντιληπτής καθυστέρησης (καθαρός αριθμός)

D_i = η διαφορά της Είναι-ώρας άφιξης στη στάση i από την Πρέπει-προγραμματισμένη .

H = ο χρόνος μεταξύ διαδοχικών αφίξεων κατά την περίοδο μετρήσεων.

Το μέγεθος αυτό είναι ανεξάρτητο από τη γραμμή που εξετάζουμε και η φυσική του σημασία μπορεί να έχει άμεση επίδραση στον επιβάτη ως το χρόνο που θα περιμένει σε μια στάση πέρα από τον προγραμματισμένο, γνωρίζοντας τη μέση συχνότητα της συγκεκριμένης γραμμής.

Στις μετρήσεις χρονικών αποκλίσεων έγινε αναγωγή σε τιμές αντιληπτής απόκλισης ώστε να έχουμε κοινή βάση για όλες τις γραμμές, τις κατευθύνσεις και τις μέρες μετρήσεων. Έτσι καταλήξαμε σε 12.000 περίπου τιμές. Σε αυτές έγινε στατιστική επεξεργασία με το πρόγραμμα BestFit 4.0.4 [6] και προσαρμογή κατανομών. Αυτό έγινε με σκοπό την εύρεση μιας κατανομής η οποία να περιγράφει ικανοποιητικά το δείγμα των παραπάνω τιμών.

13.7 Αποτίμηση Ακρίβειας Αναχωρήσεων από Αφετηρία – Τέρμα

13.7.1 Στατιστική Ανάλυση και Επεξεργασία

Οι τιμές αποκλίσεων Πρέπει με Είναι οι οποίες μετρήθηκαν για τις δύο μέρες μετρήσεων και την περίοδο αιχμής συγκρότησαν ένα δείγμα από 330 τιμές.

Στατιστικά στοιχεία των τιμών αυτών δίνονται παρακάτω. Οι αρνητικές τιμές (το 44 % των 330) φανερώνουν πρόωρη αναχώρηση αλλά και αυτές φανερώνουν αναξιοπιστία η οποία είναι φανερή στις τερματικές στάσεις για τους επιβάτες που περιμένουν αναχώρηση σύμφωνα με το πρόγραμμα. Αναξιοπιστία βιώνουν εκείνοι οι οποίοι χάνουν το λεωφορείο ή πρέπει να φτάσουν νωρίτερα στη στάση για να προλάβουν μια ενδεχόμενη πρόωρη αναχώρηση. Θεωρούμε θετικές τις τιμές και

προσπαθούμε να προσαρμόσουμε μια κατανομή η οποία να μπορεί να πάρει θετικές τιμές και να έχει μεγάλη κύρτωση όπως φαίνεται από τα περιγραφικά χαρακτηριστικά

Πίνακας 13.3: Στατιστικά για αναχωρήσεις από Αφετηρία -Τέρμα

	τιμές * headway
Μέσος	0,220238593
Τυπικό σφάλμα	0,018949682
Διάμεσος	0,078534031
Επικρατούσα τιμή	0,004444444
Μέση απόκλιση τετραγώνου	0,344238077
Διακύμανση	0,118499853
Κύρτωση	10,94764327
Ασυμμετρία	2,918542792
Εύρος	2,544502618
Ελάχιστο	0
Μέγιστο	2,544502618
Άθροισμα	72,67873568
Πλήθος	330
Μεγαλύτερο(1)	2,544502618
Μικρότερο(1)	0
Βαθμός εμπιστοσύνης(95,0%)	0,037277828

Παραθέτουμε την αντιστοιχία των ΧΜΑ για κάθε διαδρομή ανά δρομολόγιο έτσι ώστε να μπορούμε άμεσα να μεταφράσουμε σε χρόνους τις παραπάνω τιμές

Πίνακας 13.4 : ΧΜΑ ανά γραμμή

Μέσοι Headways για την περίοδο αιχμής (sec)		
Γραμμή	Κατεύθυνση	
	A	B
A14	450	455
A8	762	747
813	393	382

Έτσι π.χ ο Μ.Ο απόκλισης για την γραμμή 813 - Α είναι 62sec με τυπική απόκλιση 136 sec. Προσπαθώντας να προσαρμόσουμε μια κατανομή διαλέγουμε την Λογαριθμοκανονική, την ανεστραμμένη Gauss και την κατανομή Pareto οι οποίες αναφέρονται στη βιβλιογραφία [4],[5] σχετικά με αξιοπιστία. Επιλέγονται οι έλεγχοι καλής προσαρμογής χ^2 , Anderson –Darling και Kolmogorov- Smirnov (για τους δύο τελευταίους βλ. Παράρτημα). Το δείγμα χωρίστηκε σε 19 κλάσεις ίσης πιθανότητας. Συγκριτικά τα αποτελέσματα έδειξαν :

Πίνακας 13.5 : Έλεγχοι καλής προσαρμογής.

	Κριτήριο $\alpha=0,10$			Κριτήριο $\alpha=0,05$			Κριτήριο $\alpha=0,01$			P τιμές
	χ^2	Anderson - Darling	Kolmogorov - Smirnov	χ^2	Anderson - Darling	Kolmogorov - Smirnov	χ^2	Anderson - Darling	Kolmogorov - Smirnov	
Τιμές Ελέγχου Inv Gauss	20,2909	1,1094	0,041	20,2909	1,1094	0,041	20,2909	1,1094	0,041	0,3167
	25,99			28,87			34,81			
Τιμές Ελέγχου Λογαριθμοκανονική	26,0485	0,8487	0,0414	26,0485	0,8487	0,0414	26,0485	0,8487	0,0414	0,0987
	25,99			28,87			34,81			
Τιμές Ελέγχου Pareto	24,0909		0,0399	24,0909		0,0399	24,0909		0,0399	0,1521
	25,99			28,87			34,81			

* P-τιμές : παρατηρούμενο επίπεδο σημαντικότητας

Από τον έλεγχο χ^2 Προκύπτει ότι και οι τρεις κατανομές μπορούν να περιγράψουν ικανοποιητικά σε επίπεδα σημαντικότητας $\alpha = 0,05$ και $\alpha = 0,01$, το εξεταζόμενο δείγμα. Μόνο όμως η ανεστραμμένη κατάνομη Gauss μπορεί να περιγράψει το δείγμα σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,10$. Σε αυτό το επίπεδο τα αποτελέσματα μπορεί να χαρακτηριστούν «-πολύ σημαντικά».

Ο έλεγχος Anderson-Darling έδειξε καλύτερη προσαρμογή στη Λογαριθμοκανονική κατανομή, ενώ ο αντίστοιχος έλεγχος Kolmogorov-Smirnov δείχνει τη κατανομή Pareto ως την καταλληλότερη.

Από τις τρεις περιπτώσεις δεν μπορούμε να πούμε ότι εξαιρούμε καμία, αλλά θα προτιμηθεί η κατανομή ΑνεστρGauss μιας και έχει και την μεγαλύτερη P-τιμή, κάτι που ενισχύει την άποψή μας

Να σημειωθεί ότι οι κατανομές ΑνεστρGauss και Λογαριθμοκανονική είναι μεταξύ τους σχετικές. Αμφότερες χρησιμοποιούνται σε ελέγχους αξιοπιστίας και μπορούν να περιγράψουν περιπτώσεις όπου ο ρυθμός βλάβης είναι αύξουσα συνάρτηση του χρόνου t , για τιμές του t από 0 έως t_0 , ενώ μετά μειώνεται σταθερά και τείνει προς μια τιμή. Στη μέν Λογαριθμοκανονική κατανομή η τιμή αυτή είναι το 0, στη σε ΑνεστρGauss είναι ένα όριο το οποίο εξαρτάται από τις παραμέτρους της.

Η Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας της ανεστραμμένης κατανομής Gauss (InvGauss) (μ, λ) μπορεί να εκφραστεί σε αρκετές μορφές αναλόγως την παραμετροποίησή της. Από [4] παίρνουμε την ακόλουθη μορφή :

$$f_T(t; \mu, \lambda) = \sqrt{\frac{\lambda}{2\pi t^3}} e^{-\left(\frac{\lambda}{2\mu^2}\right) \left[\frac{(t-\mu)^2}{t}\right]} \quad \text{για } t > 0, \mu > 0, \lambda > 0$$

0

σε άλλη περίπτωση

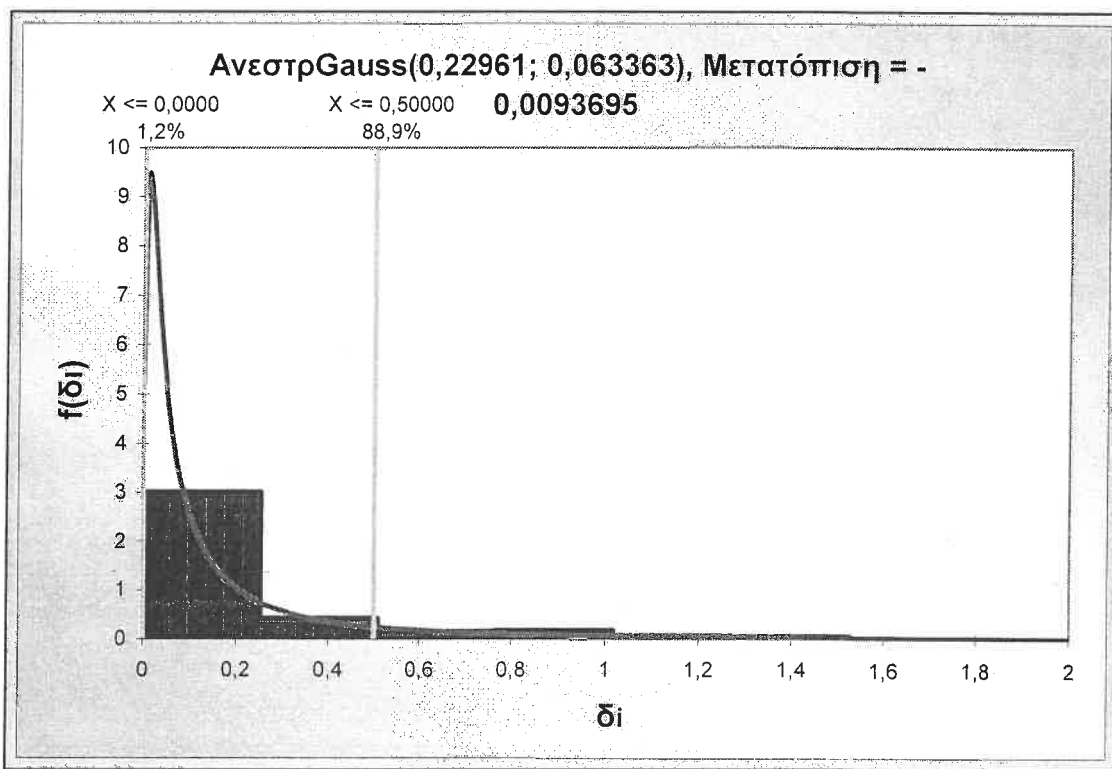
Η παραπάνω μορφή αναφέρεται ως $I_G(\mu, \lambda)$.

Η συνάρτηση συγκλίνει στην τιμή $\frac{\lambda}{2\mu^2}$ καθώς το $t \rightarrow \infty$.

Μέση Τιμή : μ

Επικρατούσα τιμή : $\mu \left(\sqrt{1 + \frac{9\mu^2}{4\lambda^2}} - \frac{3\mu}{2\lambda} \right)$, Διασπορά : $\frac{\mu^3}{\lambda}$

Η προσαρμογή των δεδομένων στην I_G γίνεται ως εξής :



Διάγραμμα 13.1 : Προσαρμογή Κατανομής στα Δεδομένα για δ_i αναχώρησης από αφετηρία και τέρμα

Τα λ και μ εκτιμήθηκαν με Εκτιμητήρια Μέγιστης Πιθανοφάνειας.

Πίνακας 13.6 : Σύγκριση στοιχείων προσαρμογής - δεδομένων

	Προσαρμογή	Δεδομένα
Function	RiskInvGauss(0,22961; 0,063363; RiskShift(-0,0093695))	
Μετατόπιση	-0,0093695	
μ	0,2296081	
λ	0,0633626	
Μέση Τιμή	0,2202400	0,2202400
Επικρατούσα	0,0115760	0,0044444 [est]
Μεσαία Τιμή	0,0759410	0,0785340
Τυπ.Απόκλιση	0,4370800	0,3442400
Διασπορά	0,1910420	0,1181400
Ασυμμετρία	5,7108000	2,9053000
Κύρτωση	57,3557000	13,7643000

13.7.2 Σχολιασμός και Αποτίμηση

Παρατηρούμε από το διάγραμμα 9.1 ότι μπορούμε να έχουμε μια πιθανότητα 89 % το όχημα να αναχωρήσει με απόκλιση μικρότερη από 0,5xH. Η αντίστοιχη πιθανότητα για απόκλιση μικρότερη από 0,25xH είναι 77%. Δηλαδή μπορούμε να πούμε ότι το 77% των επιβατών οι οποίοι φτάνουν σε μια στάση σε χρόνο 0,25xH πριν την καθορισμένη αναχώρηση, θα έχουν Μέσο Χρόνο Αναμονής μικρότερο από 0,5xH (όριο Υπερβάλλοντος Χρόνου Αναμονής). Επομένως, μπορούμε να πούμε ότι η αξιοπιστία τήρησης των χρονοδιαγραμμάτων αναχωρήσεων από αφετηρίες και τέρματα είναι «Μέτρια».

3.8 Αποτίμηση Ακρίβειας Αφίξεων στις Στάσεις

13.8.1 Κατηγοριοποίηση τιμών & Έλεγχοι

Το δείγμα των 12.000 μετρήσεων αποτελείται από τιμές αντιληπτής απόκλισης σε όλες τις στάσεις των τριών γραμμών, συμπεριλαμβανομένων και των αποκλίσεων στις στάσεις Αφετηρίας-Τέρματος. Έγινε ταξινόμηση και απορρίφθηκαν κάποιες τιμές οι οποίες κρίθηκαν μη πραγματικές και συνέπεια λαθών μετρήσεων από το σύστημα της Τηλεματικής (όπως π.χ. καθυστέρηση 3xH, τουτέστιν 22,5 min καθυστέρηση δρομολογίου σε γραμμή με συχνότητα 7,5 min, εν ώρα αιχμής). Οι υπόλοιπες τιμές χωρίστηκαν, από μια πρώτη ταξινόμηση που έγινε, σε δύο κατηγορίες :

Κατηγορία Α : ευνοϊκές συνθήκες $0 < \delta < \frac{2}{3}$ με 7695 τιμές (το 64,1 %)

Κατηγορία Β : δυσμενείς συνθήκες με τιμές υπερβολικής αντιληπτής απόκλισης

$$\frac{2}{3} \leq \delta < 3 \text{ με } 3886 \text{ τιμές (το } 32,5 \% \text{).}$$

(στην Κατηγορία Β, η έννοια της αξιοπιστίας έχει εξ ορισμού αναιρεθεί, παρόλα αυτά, μελετάται ως μια αναφορά στις περιπτώσεις ακραίων τιμών)

Οι υπόλοιπες τιμές $11.955 - 7695 - 3886 = 374$ (το 3,1 %) είναι τιμές με εξαιρετικά υπερβολική αντιληπτή απόκλιση και απορρίπτονται.

13.8.2 Στατιστική ανάλυση και επεξεργασία

Κατηγορία Α. :

Τα περιγραφικά στατιστικά έδωσαν :

Πίνακας 13.7 : Περιγραφικά Στατιστικά Α

Μέσος	0,26139424
Τυπικό σφάλμα	0,00208085
Διάμεσος	0,23516484
Επικρατούσα τιμή	0,04855643
Μέση απόκλιση τετραγώνου	0,18253457
Διακύμανση	0,03331887
Κύρτωση	-0,92774457
Ασυμμετρία	0,41567649
Εύρος	0,66462173
Ελάχιστο	0,00131234
Μέγιστο	0,66593407
Αθροισμα	2011,42868616
Πλήθος	7695
Μεγαλύτερο(1)	0,66593407
Μικρότερο(1)	0,00131234
Βαθμός εμπιστοσύνης(95,0%)	0,00407903

Επιλέχθηκαν οι κατανομές Weibull, Βήτα (Γενικευμένη) λόγω της μεγάλης ποικιλίας μορφών που μπορούν να πάρουν και της ευρείας χρήσης τους σε αναλύσεις αξιοπιστίας.

Η κατανομή Weibull παρέχει πιστή προσέγγιση στους νόμους πιθανοτήτων σε πολλά φυσικά φαινόμενα. είναι η κατ' εξοχήν χρησιμοποιούμενη στην προτυποποίηση του χρόνου βλάβης ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων [5].

$$f_x(x) = \frac{\beta}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^\beta} \quad \text{για } x > 0, \\ \text{αλλιώς} \quad 0$$

Από την Weibull μπορούν να προκύψουν για $\beta=1$ η Εκθετική και για $\beta=2$ η κατανομή Rayleigh.

Η κατανομή Βήτα συνδέεται με τη θεωρία Bayes η οποία σε θέματα αξιοπιστίας μπορεί να προσεγγίσει μία κατάσταση κατά την οποία ένα σύστημα αποτελούμενο από n μεμονωμένα τμήματα με πιθανότητα p το καθένα να αστοχήσει. Σε κάποιο κτύπημα, κάποια θα αστοχήσουν, κάποια όχι και ο αριθμός των αστοχούντων τμημάτων ακολουθεί διωνυμική κατανομή. Μια προσέγγιση κατά Bayes θεωρεί ότι η πιθανότητα p μεταβάλλεται από κτύπημα σε κτύπημα αναλόγως των προηγούμενων αποτελεσμάτων. Η πιθανότητα p τότε, ακολουθεί κατανομή Βήτα.

$$\text{Η συνάρτηση Βήτα είναι η εξής : } B(\alpha, \beta) = \int_0^1 u^{\alpha-1} (1-u)^{\beta-1} du \quad \alpha, \beta > 0$$

Η Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας δίνεται από τη σχέση :

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} \quad \text{για } 0 < x < 1, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0 \quad \text{αλλιώς.}$$

Στη γενικευμένη Βήτα κατανομή το x δεν αντιπροσωπεύει αναγκαστικά πιθανότητα, επομένως αντί να κυμαίνεται στο $[0,1]$ μπορεί να κυμανθεί σε ένα $[\min, \max]$ δείγματος διάστημα.

Η Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας δίνεται από τη σχέση :

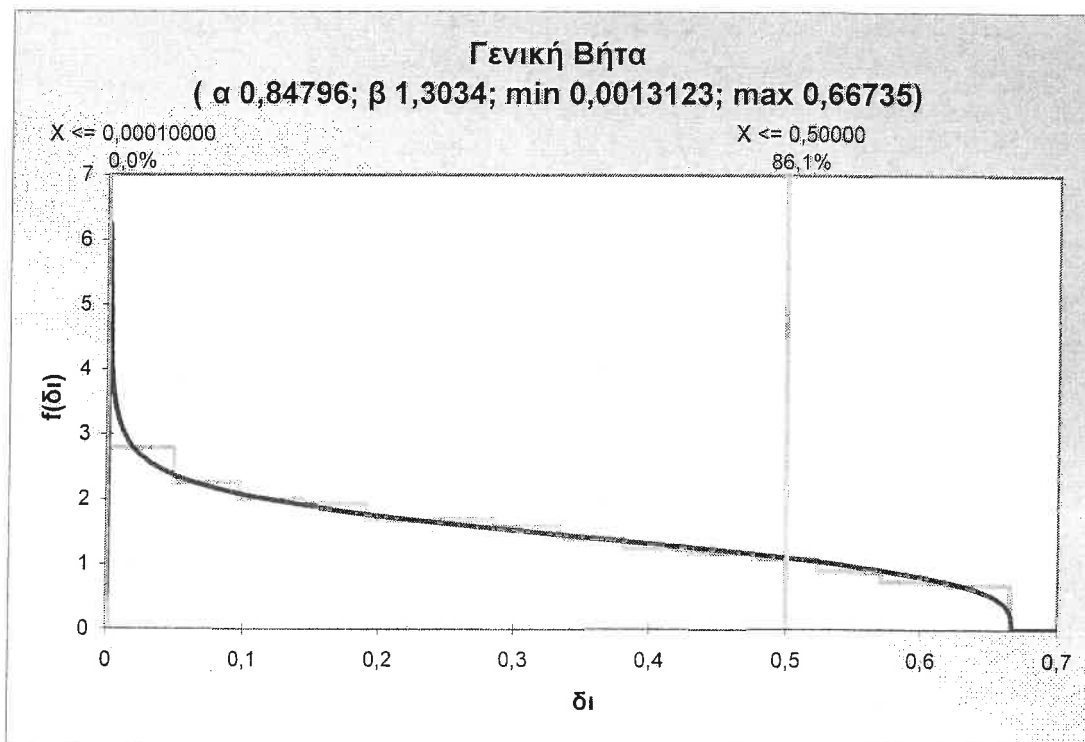
$$f(x) = \frac{(x - \min)^{\alpha-1} (\max - x)^{\beta-1}}{(\max - \min)^{\alpha+\beta-1} B(\alpha, \beta)} \quad \text{για} \quad \alpha > 0, \beta > 0, \max > \min$$

Στις τιμές έγινε χωρισμός σε 67 κλάσεις διαστημάτων ίσης πιθανότητας για τον έλεγχο καλής προσαρμογής στις δύο παραπάνω κατανομές :

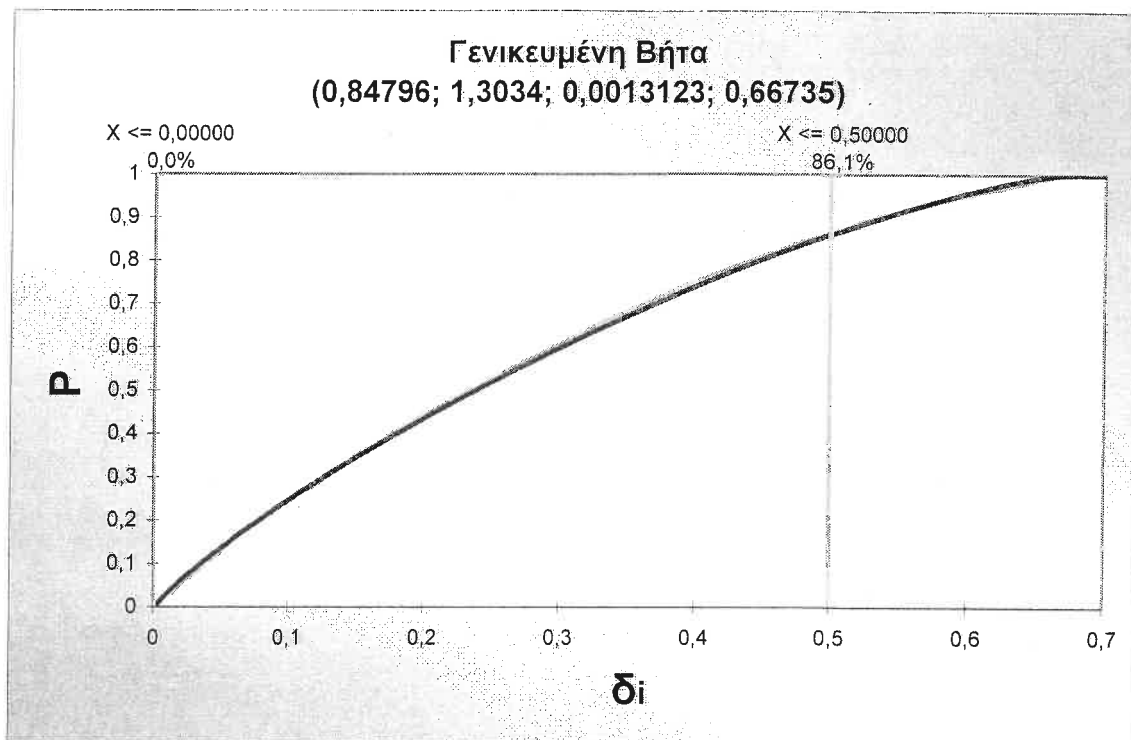
Πίνακας 13.8 : Έλεγχοι καλή προσαρμογής

	Κριτήριο $\alpha=0,10$			Κριτήριο $\alpha=0,05$			Κριτήριο $\alpha=0,01$			P τιμές
	χ^2	Anderson - Darling	Kolmogorov - Smirnov	χ^2	Anderson - Darling	Kolmogorov - Smirnov	χ^2	Anderson - Darling	Kolmogorov - Smirnov	
Τιμές Ελέγχου	1108,6259	66,9961	0,0581	1108,6259	66,9961	0,0581	1108,6259	66,9961	0,0581	
Weibull	81,0855			85,9649			95,6257			-
Τιμές Ελέγχου	85,1932			85,1932			85,1932			0,0561
Βήτα Γενικευμένη	81,0855		0,0135	85,9649		0,0135	95,6257		0,0135	

Επομένως απορρίπτουμε την κατανομή Weibull και διαλέγουμε την γενικευμένη κατανομή Βήτα, η οποία προσαρμόζεται καλά σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$ και $\alpha=0,01$.



Διάγραμμα 13. 2: Προσαρμογή Γενικευμένης Βήτα Κατανομής



Διάγραμμα 13.3 : Αθροιστική Καμπύλη Πιθανότητας

Πίνακας 13.9 : Σύγκριση στοιχείων προσαρμογής - δεδομένων

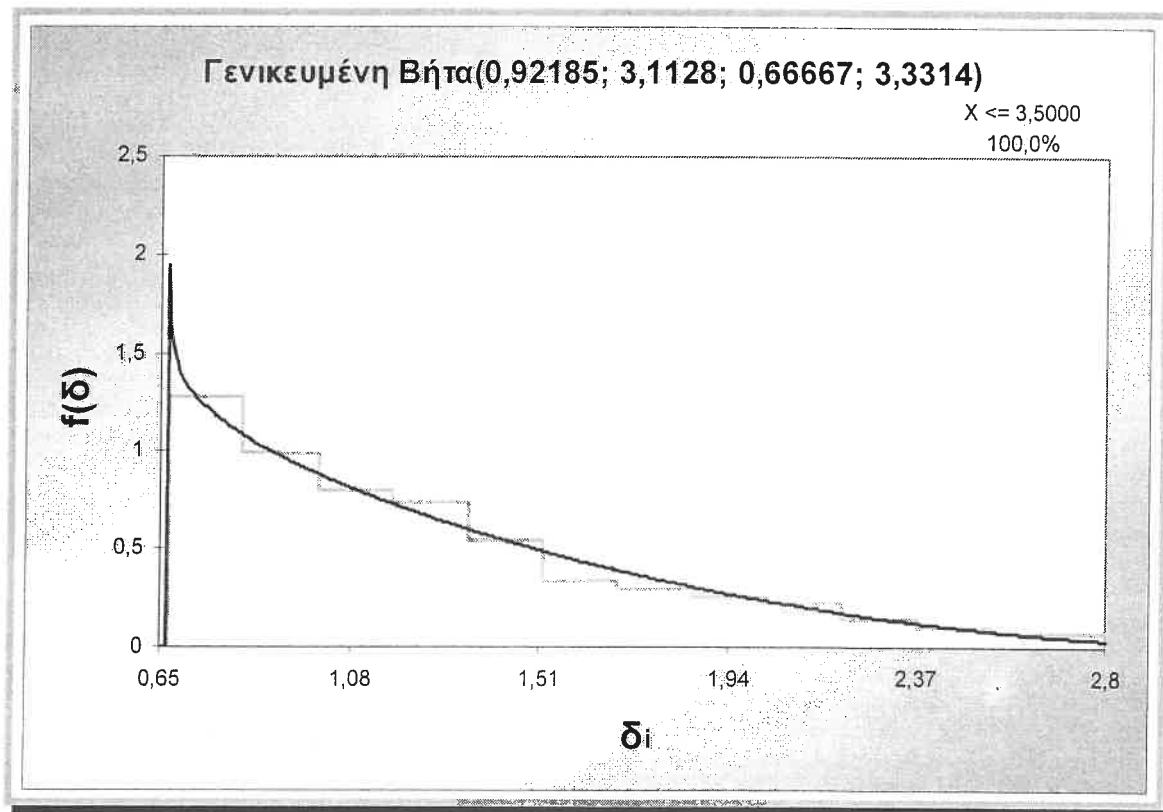
	Προσαρμογή	Δεδομένα
Κατανομή	BetaGeneral(0,84796; 1,3034; 0,0013123; 0,66735)	
a1	0,8479594	
a2	1,3033784	
min	0,0013123	
max	0,6673523	
Ελάχιστο	0,0013123	0,0013123
Μέγιστο	0,6673500	0,6659300
Μέση Τιμή	0,2638300	0,2613900
Επικρατούσα Τιμή	0,0013123	0,048556 [est]
Μεσαία Τιμή	0,2390300	0,2351600
Τυπ. Απόκλιση	0,1833400	0,1825300
Διασπορά	0,0336150	0,0333150
Ασυμμετρία	0,3705000	0,4156000
Κύρτωση	2,0012000	2,0721000

Κατηγορία Β: $\frac{2}{3} \leq \delta < 3$

Πίνακας 13.10 : Περιγραφικά Στατιστικά Β

Μέσος	1,2720991
Τυπικό σφάλμα	0,0081221
Διάμεσος	1,1455207
Επικρατούσα τιμή	0,7377778
Μέση απόκλιση τετραγώνου	0,5063135
Διακύμανση	0,2563534
Κύρτωση	0,4384520
Ασυμμετρία	1,0402402
Εύρος	2,2162850
Ελάχιστο	0,6666667
Μέγιστο	2,8829517
Άθροισμα	4943,3771980
Πλήθος	3886
Μεγαλύτερο(1)	2,8829517
Μικρότερο(1)	0,6666667
Βαθμός εμπιστοσύνης(95,0%)	0,0159240

Η γενικευμένη κατανομή Βήτα περιγράφει το δείγμα σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,001$, με $\chi^2=84,2043$ με κριτήριο $\chi^2_{\alpha=0,005}=79,49$ και $\chi^2_{\alpha=0,001}=86,6608$ (σε 51 κλάσεις)



Διάγραμμα 13. 4: Προσαρμογή Γενικευμένης Βήτα Κατανομής

Πίνακας 13.11 : Σύγκριση στοιχείων προσαρμογής - δεδομένων

	Προσαρμογή	Δείγμα
Κατανομή	BetaGeneral(0,92185; 3,1128; 0,66667; 3,3314)	
a1	0,9218493	
a2	3,1128086	
min	0,6666667	
max	3,3313556	
Minimum	0,6666700	0,6666700
Maximum	3,3314000	2,8830000
Μέσος Όρος	1,2755000	1,2721000
Επικρατούσα Τιμή	0,6666700	0,73778 [est]
Μεσαία Τιμή	1,1514000	1,1455000
Τυπ.Απόκλιση	0,4986100	0,5063100
Διασπορά	0,2486100	0,2562900
Ασυμμετρία	0,9618000	1,0398000
Κύρτωση	3,3374000	3,4363000

13.8.3 Συμπεράσματα

Υπό ευνοϊκές συνθήκες κίνησης όπου τα δρομολόγια του ενός οχήματος δεν επικαλύπτουν ή επικαλύπτονται από άλλα, η αξιοπιστία διατηρεί κάποιο επίπεδο ανάλογο με εκείνο των αναχωρήσεων από τις στάσεις. Μπορεί να υπολογιστεί ότι το 86,1% των επιβατών μπορεί να έχει $\delta_i < 0,5$. Αν ληφθούν υπόψη οι πρόωρες αφίξεις (περίπου 10%) ζητάμε $\delta'_i < 0,45 = 0,5/1,1$ και το ποσοστό πέφτει στο **80%**. Το ποσοστό αυτό χαρακτηρίζεται «μέτριο», αφού θα έπρεπε, μιας και οι συνθήκες είναι ευνοϊκές, ο αριθμός αυτός να ήταν πάνω από 90%.

Στις δυσμενείς συνθήκες, όπου δηλαδή οι ΧΜΑ των οχημάτων δεν καταφέρνουν να διατηρούν μια κανονικότητα και εμφανίζονται φαινόμενα όπως η συνάθροιση οχημάτων (bunching), η αξιοπιστία χάνεται και μάλιστα, στο 63% των περιπτώσεων έχουμε $\delta_i > 1$ κάτι που σημαίνει ότι το σύστημα βρίσκεται στην αρχή μιας πιθανής κατάρρευσης.

13.9 Αξιοποίηση Μετρήσεων – Βελτίωση Αξιοπιστίας

Από τα παραπάνω συμπεράσματα γίνεται κατανοητό πως υπάρχει έλλειμμα στην αξιοπιστία των λεωφορειακών γραμμών, κάτι που άλλωστε βιώνει καθημερινά ο μέσος χρήστης. Κάνοντας σύγκριση δε με την αξιοπιστία αντιστοίχων Ευρωπαϊκών υπηρεσιών [9.3], γίνεται κατανοητό πως θα πρέπει να βρεθούν τρόποι για την επίτευξη ανάλογων επιδόσεων.

Στα προηγούμενα κεφάλαια, έγινε λόγος για πιθανές αιτίες αναξιοπιστίας. Το κατά πόσο η κάθε μια από αυτές συνεισφέρει στο σύνολο, είναι θέμα το οποίο απαιτεί διερεύνηση. Σε κάθε περίπτωση όμως η βελτίωση της αξιοπιστίας μπορεί να χωριστεί σε τρία επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο αφορά τον προγραμματισμό, το δεύτερο τις συνθήκες κίνησης και το τρίτο, τον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο. Όσον αφορά τις συνθήκες κίνησης, ο σχεδιασμός περιλαμβάνει μέτρα προνομιακής διαχείρισης των λεωφορείων και εξασφάλιση καλύτερων συνθηκών κίνησης των οχημάτων (π.χ. πρόληψη της στάθμευσης Ι.Χ. σε σημεία που εμποδίζουν την κίνηση των οχημάτων). Επίσης, σημαντική είναι και η συμμόρφωση του προσωπικού με το πρόγραμμα. Σήμερα, με την εισαγωγή της τεχνολογίας της Τηλεματικής, μπορεί να δοθεί περισσότερο βάρος στα δύο άλλα επίπεδα : του προγραμματισμού και του επί-τόπου ελέγχου σε πραγματικό χρόνο.

13.9.1 Βελτιώσεις στον προγραμματισμό

Οι βελτιώσεις στο σχεδιασμό των χρονοδιαγραμμάτων κίνησης των λεωφορείων αφορούν κάποιο χρονικό ορίζοντα μεγαλύτερου εύρους. Έτσι χρησιμοποιώντας δεδομένα από πολλά δρομολόγια για διαφορετικές περιόδους όπως π.χ. τους χρόνους μεταφοράς όπως εκείνοι παρουσιάζονται στον Πίνακα 13.1, οι τιμές 84 % θα μπορούσαν να αποτελέσουν αρχικά δεδομένα για τους Χρόνους Μεταφοράς Σχεδιασμού.

Ένα παράδειγμα βελτίωσης του προγραμματισμού δόθηκε παραπάνω στο υποκεφάλαιο 13.3 για τη γραμμή Α14.Αν στα στοιχεία των χρόνων μεταφοράς (μέρος των οποίων εμείς επεξεργαστήκαμε) προστεθούν στοιχεία ταχύτητας κατά μήκος της διαδρομής μπορεί να προσαρμοστεί ακόμα περισσότερο το σύστημα στην πραγματικότητα. Επίσης, από τις μετρήσεις της Τηλεματικής μπορούν να κρατηθούν

στοιχεία πληρότητας οχημάτων και έτσι να υπάρξει «δικαιότερη» κατανομή του στόλου των οχημάτων, (στοιχείο το οποίο αποτελεί πάντα περιοριστικό παράγοντα.) υπό δεδομένη στάθμη εξυπηρέτησης, ανά γραμμή, κατεύθυνση και περίοδο.

13.9.2 Βελτιώσεις με έλεγχο επί τόπου

Όσο καλός και να είναι ο προγραμματισμός, η κάθε μέρα κίνησης αποτελεί μια διαδικασία η οποία υπόκειται σε παράγοντες τυχαιότητας οι οποίοι αναπόφευκτα οδηγούν σε κάποιες αποκλίσεις από τα προγραμματισμένα. Ο έλεγχος με Τηλεματική μπορεί να βοηθήσει και σ' αυτή την περίπτωση. Είναι η περίπτωση των βελτιώσεων σε μικρή κλίμακα χρόνου. Στο Κέντρου Διαχείρισης Οχημάτων, οι ελεγκτές έχουν ανά πάσα στιγμή την εικόνα της κατάστασης στα τερματικά τους. Αυτό το οποίο σήμερα παρατηρείται είναι μια γενική κατάσταση βραδυπορίας των οχημάτων, ιδιαίτερα στις ώρες αιχμής. Οι ελεγκτές δίνουν συμβουλές στους οδηγούς για την αντιμετώπιση των καταστάσεων που ανακύπτουν στη λειτουργία των γραμμών. Προς το παρόν το κύριο μέλημά τους είναι η διατήρηση ενός σταθερού ρυθμού ΧΜΑ στη γραμμή και όχι τόσο η ακριβής τήρηση των χρονοδιαγραμμάτων. Το φαινόμενο το οποίο θεωρείται περισσότερο «επιζήμιο» στη λειτουργία της γραμμής, είναι η συσσώρευση των οχημάτων (bunching), το οποίο κατά τη διάρκεια των μετρήσεων δεν αποφεύχθηκε. Εκείνη την περίοδο όμως, τα στατιστικά δεδομένα της Τηλεματικής δε χρησιμοποιούντο ως στοιχεία επανατροφοδότησης του προγραμματισμού. Δυο μήνες μετά (Νοέμβριος 2002) τα στατιστικά έχουν αρχίσει να επεξεργάζονται και να χρησιμοποιούνται. Οι πρώτες αναφορές από την ανταπόκριση του συστήματος δείχνουν θετικά δείγματα.

Η διατήρηση ενός σταθερού ΧΜΑ αποτελεί βέβαια τον πρώτο στόχο σε μια λεωφορειακή γραμμή. Άλλωστε, συχνά ο έλεγχος αξιοπιστίας γινόταν και γίνεται χρησιμοποιώντας μεγέθη που αφορούν κανονικότητα στους ΧΜΑ. Το επόμενο βήμα είναι σίγουρα η κανονικότητα στους προγραμματισμένους με τους πραγματικούς χρόνους άφιξης.

Η Τηλεματική δίνει τη δυνατότητα στις λεωφορειακές υπηρεσίες ακόμα και μιας πόλης όπως η Αθήνα να πληροφορούν με «έξυπνες στάσεις» τους επιβάτες για τον ακριβή χρόνο άφιξης του επόμενου δρομολογίου το οποίο και θα έχει σχεδόν πάντα μια τόσο μικρή απόκλιση από το αρχικό πρόγραμμα , ώστε και οι περισσότεροι

ανυπόμονοι επιβάτες να αισθάνονται πιο άνετα, οι ανασφαλείς να ξέρουν ότι το λεωφορείο θα περάσει σίγουρα, οι οξύθυμοι να μην έχουν αφορμή να ξεσπάσουν στον οδηγό και οι φοιτητές να μην έχουν δικαιολογία όταν φτάνουν στη μέση της παράδοσης...

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Boronico ,J.S., (1998), *An Investigation into the Costs and Benefits of Reliability of Service*. Omega, Int. J. Mgmt Sci. Vol. 26 No. 1, pp. 99-114.

Høyland, A. Rausand, M., (1994), *System Reliability Theory, Models and Statistical Methods*. John Wiley & Sons, Inc, Canada.

Journal Of Infrastructure Systems, (September 1999), Malini ,E., Kumar A., Kansal ,M.L., Minocha, V.K., Kumar ,S., Lam H.K., Tam ,M.L. *Risk Analysis Of Traffic and Revenue Forecasts for Road Investment Projects*. Delhi College of Engineering and The Hong Kong Polytechnic University.

Journal Of Infrastructure Systems, (March 1998), Lam, William H.K., Tam, M.L. *Risk Analysis Of Traffic and Revenue Forecasts for Road Investment Projects*. The Hong Kong Polytechnic University.

Lewis ,D., Evans ,T., Koffman ,D., (1998), *Impact of Reliability on Paratransit Demand and Operating Costs*. Transportation Planning and Technology, Vol 21, pp. 323-346, Amsterdam B.V.

Quaye ,K., Hauer ,E., (1993), *The Use of Forecasting Models in the Evaluation of Safety Interventions : A Theoretical Enquiry*. Transportation and Traffic Theory, Elsevier Science Publishers B.V.

University Of California Transportation Center, (1998), *Transportation Models In the Policy-Making Process : Uses, Misuses, and Lessons for the Future*. Proceedings from a symposium on the problems of transportation analysis and modeling in the world of politics, California USA.

Barlow ,R., Proschan ,F., (1975), *Statistical theory of Reliability and Life Testing Probability Models*. International series in Decision Making Processes. Holt, Rinehart and Winston Inc., USA.

Barlow, R., Proschan ,F., (1996), *Mathematical Theory of Probability*. Society for Industrial and Applied Mathematics. Philadelphia, USA.

Billinton R., Allan, R.N, (1983), *Reliability evaluation of Engineering Systems : Concepts and Techniques*. Pitman Books Limited, London, U.K.

Flamm ,J., Luigi, T., (1992), *Reliability Data Collection and Analysis*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.

Gitlow H., Oppenheim A., Oppenheim R., (1995), *Quality Management, Tools and Methods for Improvement. Second Edition*. Richard D. Irwin Inc., Illinois, USA.

Kottegoda ,N.T., Rosso, R., (1997), *Statistics, Probability, and Reliability for Civil and Environmental Engineers*. McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series, Singapore.

Meeker ,W.Q., Escobar ,L.A, (1998), *Statistical Methods for Reliability Data*. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.

O'Connor ,P.D.T., (1991), *Practical Reliability Engineering Third Edition Revised*. John Wiley & Sons Ltd. West Sussex, England.

Tobias ,P.A., Trindade ,D.C., (1995), *Applied Reliability, Second Edition*. Chapman & Hall/CRC, USA.

Villemeur ,Alain, (1992), *Reliability, Availability, Maintainability, and Safety Assessment*. Vol.1: Methods and Assessments, Vol.2:Assessment, Hardware, Software and Human Factors. John Wiley & Sons. West Sussex, England.

British Standard, BS 4778. *Glossary of Terms used in Quality Assurance Including Reliability and Maintainability Terms*. British Standards Institution, London.

British Standard, BS 5760. *Reliability of constructed or Manufactured Products, Systems, Equipments and Components*. British Standards Institution, London.

ISO 8402. International Standard. *Quality Vocabulary*. International standards Organization.

ISO 9002. International Standard. *Quality Management and Quality Assurance Standards: Guidelines for Selection and Use*. International Standards Organization.

IEC- 300. 1992. *Dependability Management*. International Electrotechnical commission, Geneva.

MIL – STD. 882B. 1984. *System Safety Program Requirements*. U.S Department of Defense, Washington, D.C.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [1]. Leitch, Roger D., (1995), *Reliability Analysis for Engineers – An Introduction*. Oxford University Press, New York, USA.
- [2] Knight, C.R, (1991). *Four decades of Reliability process*. Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, IEEE, Reliability Society, pp. 156-159.
- [3] Villemeur, A. 1992. *Reliability, Availability, Maintainability and Safety Assessment. Vol. 1 : Methods and Techniques. Vol.2 : Assessment, Hardware, Software and Human Factors*. Wiley, New York.

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [1] Kaplan, S. 1990. Bayes for Eagles. *IEEE Transactions on Reliability* 39: 130-131.
- [2] Smith, D.J., 1988. *Reliability and Maintainability in Perspective : Practical, Contractual, Commercial and Software Aspects*. Macmillan Education, London.
- [3] Laprie, J.C ed. *Dependability :Basic Concepts and Terminology*. Springer-Verlag, NY.

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [1] Strandberg, K. 1992. *Elements of a Dependability Programme*. Paper Presented to NSDCS'92, the Nordic Seminar on Dependable Computing Systems, 19-21 August, Trondheim, Norway.
- [2] Keene, S.J. 1992. *Concurrent engineering for better product development*. Reliability Review 12:3-5.
- [3] Neyman, J. 1945. *On the problem of Estimating the Number of of schools of Fish*. Publications on Statistics, vol.1 university of California, Berkeley.
- [4] Leplat, J., *Erreur humaine, fiabilité humaine, dans le travail*. Paris, Armand Colin, 1985.
- [5] Swain, A.D., Human Reliability Analysis : Need, Status,Trends and Limitations, *Reliability Engineering and System Safety*, 29, 301-313, 1990.

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

[1] O'Connor, P.D.T., (1991), *Practical Reliability Engineering Third Edition Revised*. John Wiley & Sons Ltd. West Sussex, England.

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

[1]. Bazovsky, I., *Reliability Theory and Practice*, Prentice-Hall, 1961.

[2]. Shooman, M., *Probabilistic Reliability ; An Engineering Approach* , McGraw-Hill, 1968.

[3]. Barlow, R., Proschan, F., *Statistical Theory of Reliability and Life Testing ; Probability Models*, Rinehart and Winston, 1975.

[4]. Ryabinin, I., *Reliability of Engineering Systems ; Principles and Analysis*, MIR Publishers, Moscow, 1976.

[5]. Green, A.E., Bourne, A.J., *Reliability Technology*, Wiley-Interscience, New-York, 1972.

[6]. Rondiris, I.L., *Reliability Evaluation of Auxiliary Supply Systems for Nuclear Power Stations*. M.Sc. Dissertation, University of Manchester Institute of Science and Technology, Manchester, England, October 1976.

[7]. U.S Atomic Energy Commision, *Reactor Safety Study. An Assesment of Accident Risks in U.S Commercial Nuclear Power Plants, Report WASH-1400 (NUREG-75/104), Appendix I Accident Definition and Use of Tree Events*, Washington D.C., USA, October 1975.

[8]. Wredenberg, L., Billington R., *Computer Determination of Event Maps with Application to Auxiliary Supply Systems*, The National Center of Systems Reliability UKAEA, Authority Health and Safety Branch, Risley, Warrington, Lancashire, England, 1975.

[9]. Rondiris, I.L., *Reliability Evaluation of Nuclear Power Plants*, Ph.D. Thesis UMIST ; Manchester, England, October 1978.

[10]. Brock, P., *The Reliability Analysis of Logical Networks by the Computer Program ALMONA*, National Center of Systems Reliability UKAEA, Risley

[11]. Salem, S.L., Apostolakis, G.E., Okrent, D., *A Computer-oriented Approach to Fault Tree Construction*, Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, EPRI NP-288, November 1976.

[12]. Woodcock E.R., *The Calculation o Reliability of Systems : The Program NOTED*, UKAEA, Authority Health and Safety Branch, Risley, Warrington, Lancashire, England, AHSB(S) R153, 1971.

[13]. Allan, R.N., Rondiris, I.L., Fryer, D.M., Tye, C., *Computational Development of Event Trees in Nuclear Reactor Systems*, Second National Reliability Conference, March 1979, Birmingham, England.

- [14]. Lambert, H.E., *Systems Safety Analysis and Fault Tree Analysis*, Laurence Livermore Laboratory, University of California, Livermore, California (UCID-16238), May 1973.
- [16]. Haasl, D.F., *Advanced Concepts in Fault Tree Analysis*, System Safety Symposium, June 8-9, 1965, Seattle, Washington Co-sponsors The Boeing Co. and the University of Washington.
- [17]. U.S Atomic Energy Commision, *Reactor Safety Study. An Assesment of Accident Risks in U.S Commercial Nuclear Power Plants, Report WASH-1400 (NUREG-75/104), Appendix II Fault Tree Methology*, Washington D.C., USA, October 1975.
- [18]. Gateley, W.Y., Stoddard, D.W., Williams, R.L., GO, *A Computer Program for the Reliability Analysis of Complex Systems*, Kaman Scienes Corporation, Colorado Springs, Colorado, KN-67-704 (R), April 1968.
- [19]. Fussel, J.B., *A Formal Methology for Fault Tree Construction*, Nucl. Sci. and Engr., Vol. 52, pp. 421-432, 1973.
- [20]. Powers, G.J., Tompkins, F.C. Jr., *Fault Tree Synthesis for Chemical Processes*, AIChE Journal, Vol. 20, No. 2, pp.376-387, March 1974.
- [21]. Garrick, B.J., *Principles of Unifield Systems Safety Analysis*, Nucl. Engr. And Design, Vol. 13, No. 2, pp. 245-321, August 1970.
- [22]. Kongso H.E., *REDIS, a Computer Program for System Reliability Analysis by Direct Simulation*, International Symposium on Reliability of Nuclear Power Plants, Innsbruck, Austria, April 14-18, 1975, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, IEA A-SM-195/17, 1975.
- [23]. McKnight, C.W., et al., *Automatic Reliability Mathematical Model*, North American Aviation Inc. Downey, California, NA-66-838, 1966.
- [24]. Rumble, E.T., Leverenz F.L. Jr., Erdmann, R.C., *Generalized Fault Tree Analysis for Reactor Safety*, Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, EPRI 217-2-2, Interim Report, June 1975.
- [25]. Fussel, J.B., Vesely, W.E., *A New Methology for Obtaining Cut Sets for Vault Trees*, Trans. ANS, Vol. 15, p. 262, 1972.
- [26]. Leverenz F.L. Jr., Rumble E.T., Erdmann, R.C., *A Dependent-Event Model for Fault Trees*, Trans ANS, Vol, 21, p. 212-213, 1975.
- [27]. Pande, P.K., et al., *Computerized Fault Tree Analysis : TREEL and MICSUP*, Operations Research Center, University of California, Berkeley, ORC 75-3, April 1975.

[28]. Semanderes, S.N., *ELRAFT, A Computer Program for the Efficient Logic Reduction Analysis of Fault Trees*, IEEE Trans. on Nucl.Sci., Vol. NS-18, No 1, pp. 481-487, February 1971.

[29]. Vesely, W.E., Narum, R.E., *PREP and KITT Computr Codes for the Automatic Evaluation of a Fault Tree*, Idaho, Nuclear, Corporation, Idaho Falls, Idaho, IN-1349, 1970.

[30]. Billinton, R., *Power System Reliability Evaluation*, Gordon and Breach, 1970.

[31]. Billinton, R., Ringlee, R.J., Wood, A.J., *Power-System Reliability Calculations*, The MIT Press, 1973.

6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

[1] TRB. (1995). *Expanding metropolitan hightways : implications for air quality and and energy use*. Spec. Rep. 245, Transportation Research Board Committee for Study of Impact of Highway Capacity Improvements on Air Quality and Energy Consumption, National Research Council, Washington D.C.

[2] Miller, J.S. & Demetsky, Michael J., *Longitudal Assesment of Transportation Planning Forecasts*. Journal of Transportation Engineering/ March April 2000.

[3] Boronico, Jess, S., *An Investigation into the Cost and Benefits of Reliability of Service*, Elsevier Science Ltd.,GB.

[4] Quaye, K. & Hauer, E. *The Use of Forecasting Models in the Evaluation of Safety Interventions : A Theoretical Enquiry*. Department of Civil Engineering, University of Toronto, Ontario CA.

[5] *Transportational Models In the Policy-Making Process, Uses, Misuses for the Future*. University of California Transportation Center.

7^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

[1] Travers Morgan & Partners, (1977), *Bus Planning Methods*. Department of Transport

[2] Γιαννακός, Κ. , (ΟΣΕ. ΠΣΔΜ), *Παρούσα και μελλοντική κατάσταση του ΟΣΕ-Αθήνα : ΤΕΕ , 1989*

8^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

[1] Travers Morgan & Partners, (1977), *Bus Planning Methods*. Department of Transport

9^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [1] Dauber, F.J., 1986. *Einflussgrossen auf die bedienungsqualitat von Buslinkerverkehr unter besondere beachtung von Fahrplanu und Folgezeitabweichungen*. PhD Thesis, Aachen. (Influence-large on operation quality from bus left traffic, special considering timetable and future deviating doing gene)
- [2] Tijmms, H.C., 1994. *Stochastic Models : an algorithmic approach*. Wiley, Chichester.
- [3] Rietveld, P., Bruinsma, F.R. van Vuuren, D.J. 2001. *Coping with Unreliability in Public transport chains : A case Study for Netherlands*. Elsevier Science Ltd.
- [4] Welding, P.I., (1957). *The Instability Close Interval Service*. Operational Research Quarterly Vol. 8 133-148.
- [5] Ding, Y. & Chien S.I., *Improving Transit Service Quality and Headway Regularity with Real-Time Control*, T.R.B., Washington, D.C, 2001.

10^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [1] *VICOS-LIO @ 1993-2001 Siemens TTS AG, Bronschhofen/Schweiz*

11^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [1] Φραντζεσκάκης, Ι.Μ., Γιαννόπουλος, Γ.Α., *Σχεδιασμός των Μεταφορών και Κυκλοφοριακή Τεχνική*, Παρατηρητής, Αθήνα 1986.

13^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- [1] Καρπούζας, Γ., Παλιοθόδωρος, Γ.(1984). *Η Αξιοπιστία των Αστικών Μαζικών Μέσων Μεταφοράς*. Διπλωματική Εργασία,Κ. Αμπακούμκινμ – Ι.Φραντζεσκάκης, Ε.Μ.Π.
- [2] Αμπακούμκιν, Κ., Σταθόπουλος, Α., (1999) *Διερεύνηση της κανονικότητας στη λειτουργία των Συστημάτων Μαζικών Μεταφορών, Συνδυασμένες μεταφορές –Ειδικά Βοηθήματα*, Ε.Μ.Π.
- [3] Αμπακούμκιν, Κ., Σταθόπουλος, Α., (1999) *Πιστότητα εκτέλεσης δρομολογίων των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς. Συνδυασμένες μεταφορές –Ειδικά Βοηθήματα*, Ε.Μ.Π.
- [4] Høyland, A. Rausand, M., (1994), *System Reliability Theory, Models and Statistical Methods*. John Wiley & Sons, Inc, Canada.
- [5] Kottegoda ,N.T., Rosso, R., (1997), *Statistics, Probability, and Reliability for Civil and Environmental Engineers*. McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series, Singapore.

- [6] © 2002, Palisade Corporation, NY

ΕυχαριστίεςThanks to :

Προς : τον κ. Γ. Πατρικαλάκη (Ο.Α.Σ.Α.), τον Κ.Κλωστερίδη (Siemens), προσωπικό του Κ.Δ.Ο. της Ε.Θ.Ε.Λ. και τον προϊστάμενο του, Β. Μάρο, και τον κ. Χ.Χαμηλοθώρη στον ΟΑΣΑ,

Τέλος, οι περισσότερες ευχαριστίες ανήκουν στον επόπτη της Διπλωματικής αυτής Εργασίας και καθηγητή μου κ. Α. Σταθόπουλο από το Εργ. Σιδ/δρομικής και Μεταφορών - ΤΜΣΥ - Ε.Μ.Π. Χωρίς τις συμβουλές, την υπομονή και την υποδομή που προσέφερε, η εργασία αυτή θα ήταν διαφορετική.

ΕύσημαCredits to :

ΤΜΣΥ : Νίκη Δ., Νόρα Π., Μαθιός Κ., Ελένη Β., Γιώργος Γ., Κώστας Λ., κα.Ε.Τ.,Τ.,Χ.,Μ.Κ.

Ακόμα εύσημα στους : Σοφία Ζ.-Γιώργος Κ., Νίκος Α., Μάνια Χ.-Γιώργος Π., Άννα Κ., Θόδωρος Λ., Μάριος Δ., Αντρέας Γ., Βαγγέλης Δ., Θοδωρής Β., Αναστασία Χ., Γ.Γ., Μαρία Κ., Μαρία Ν. και όλους τους καθηγητές μου στο Ε.Μ.Π - από τον καθένα πήρα κάτι - (όταν παρακολουθούσα)

Ιδιαίτερα εύσημα στους: Δημήτρη Γ. και Νίκο Κ.

Τελευταίως αλλά όχι εσχάτως, πολλά εύσημα στους :

Μαρία-Αντζελα Δ., Μιχάλης Δ., Οικ. Ε, Οικ/ς Α., Οικ. Β

Όσον αφορά την Αξιοπιστία των προϊόντων, μη ξεχνάτε ότι : «η εγγύηση των 60 ημερών, μας πληροφορεί ότι η συσκευή θα χαλάσει την 61^η μέρα»

Για τα όποια λάθη περιέχονται σε όλες τις προηγούμενες σελίδες, η ανάλογη προέκταση του Νόμου του Μέρφου λέει ότι :

«Το να κάνεις λάθος είναι ανθρώπινο αλλά το να τα φορτώνεις σε άλλον είναι ακόμα πιο ανθρώπινο».-

Αφιερώνεται ...σ' εκείνους που επί 24 χρόνια μου χαρίζουν το «ευ ζην» .-

Παράρτημα

- Περιλαμβάνονται :
- 1) Ανάπτυξη Στατιστικών Ελέγχων Kolmogorov-Smirnov και Anderson-Darling και
 - 2) Διαγράμματα Χρόνων Διαδρομής για τις 3 γραμμές ανά κατεύθυνση και περίοδο ημέρας.

1)

Ο στατιστικός έλεγχος Kolmogorov- Smirnov μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δεδομένα που προέρχονται από δείγμα συνεχούς μεταβλητής. Ορίζεται ως :

$$D_n = \sup \left[\left| F_n(x) - \tilde{F}(x) \right| \right]$$

όπου : n , ο συνολικός αριθμός σημείων δεδομένων

$\tilde{F}(x)$ η προσαρμοζόμενη αθροιστική συνάρτηση κατανομής

$$F_n(x) = \frac{N_x}{n}$$

N_x , ο αριθμός των X_i 's τα οποία είναι μικρότερα από x .

Ο έλεγχος K-S δεν απαιτεί χωρισμό σε κλάσεις, κάτι το οποίο τον κάνει λιγότερο απαιτητικό από τον έλεγχο χ^2 . Το μειονέκτημά του είναι ότι δεν ανακαλύπτει τις διαφοροποιήσεις στις ουρές πολύ καλά.

Ο έλεγχος Anderson-Darling επίσης χρησιμοποιείται για δεδομένα που προέρχονται από δείγμα συνεχούς μεταβλητής. Ορίζεται ως :

$$A_n^2 = n \int_{-\infty}^{\infty} \left[F_n(x) - \tilde{F}(x) \right]^2 \Psi(x) \tilde{f}(x) dx$$

όπου :

$$\Psi^2 = \frac{1}{\tilde{F}(x)[1 - \tilde{F}(x)]}$$

$\tilde{F}(x)$ = η αθροιστική συνάρτηση κατανομής την οποία ελέγχουμε

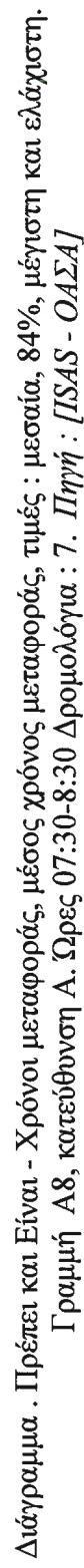
$\tilde{f}(x)$ = συνάρτηση πυκνότητας της κατανομής που ελέγχουμε

$$F_n(x) = \frac{N_x}{n}$$

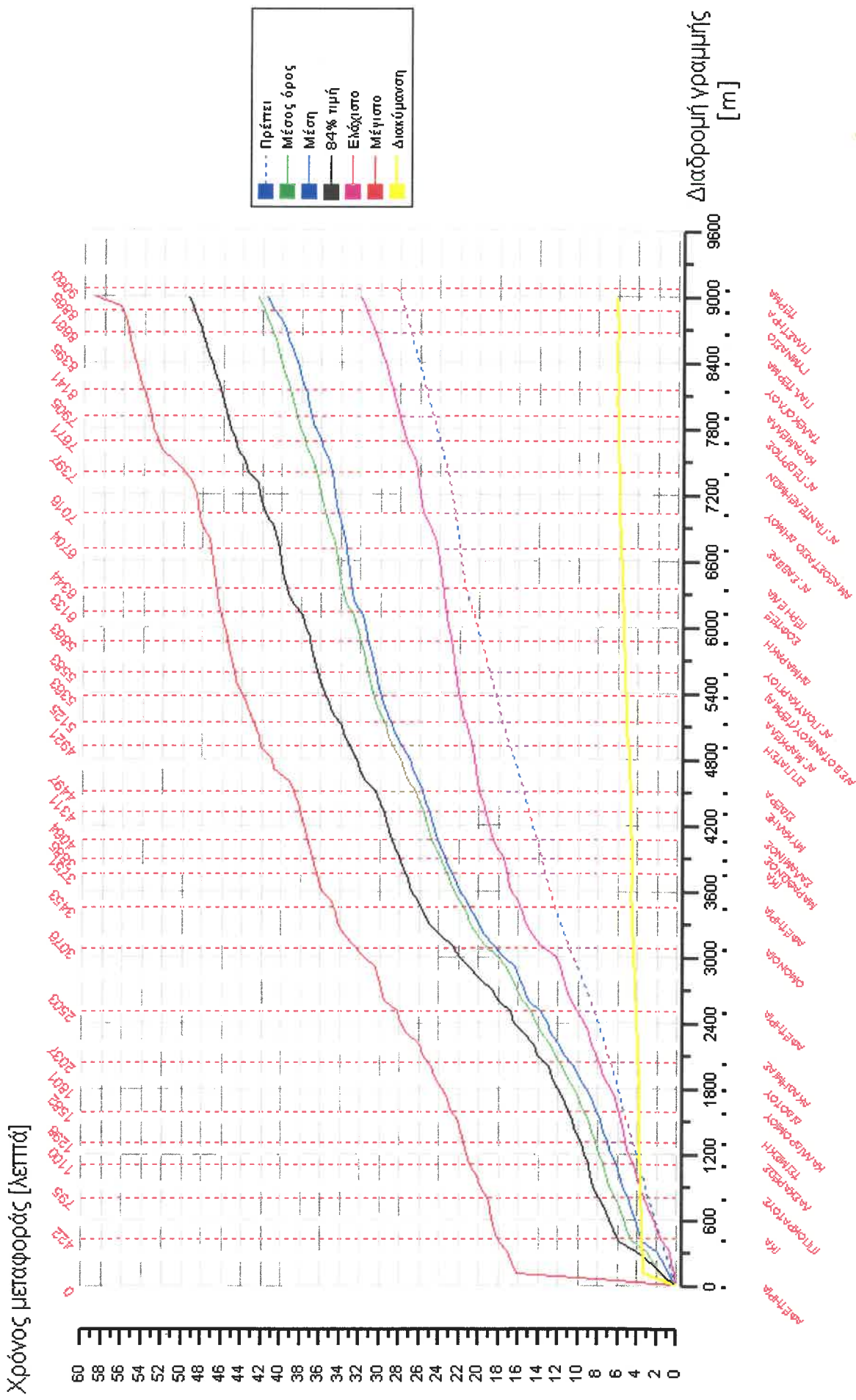
N_x , ο αριθμός των X_i 's τα οποία είναι μικρότερα από x .

Όπως και ο έλεγχος K-S, ο έλεγχος A-D δεν απαιτεί χωρισμό σε κλάσεις . Αλλά σε αντίθεση με τον έλεγχο K-S, ο οποίος εστιάζει στο μέσο της κατανομής, ο A-D στατιστικός έλεγχος φανερώνει διαφοροποιήσεις στις ουρές της προσαρμοζόμενης κατανομής και των δεδομένων εισόδου.

Χρόνος μεταφοράς [λεπτά]



813 A 09:00-20:00

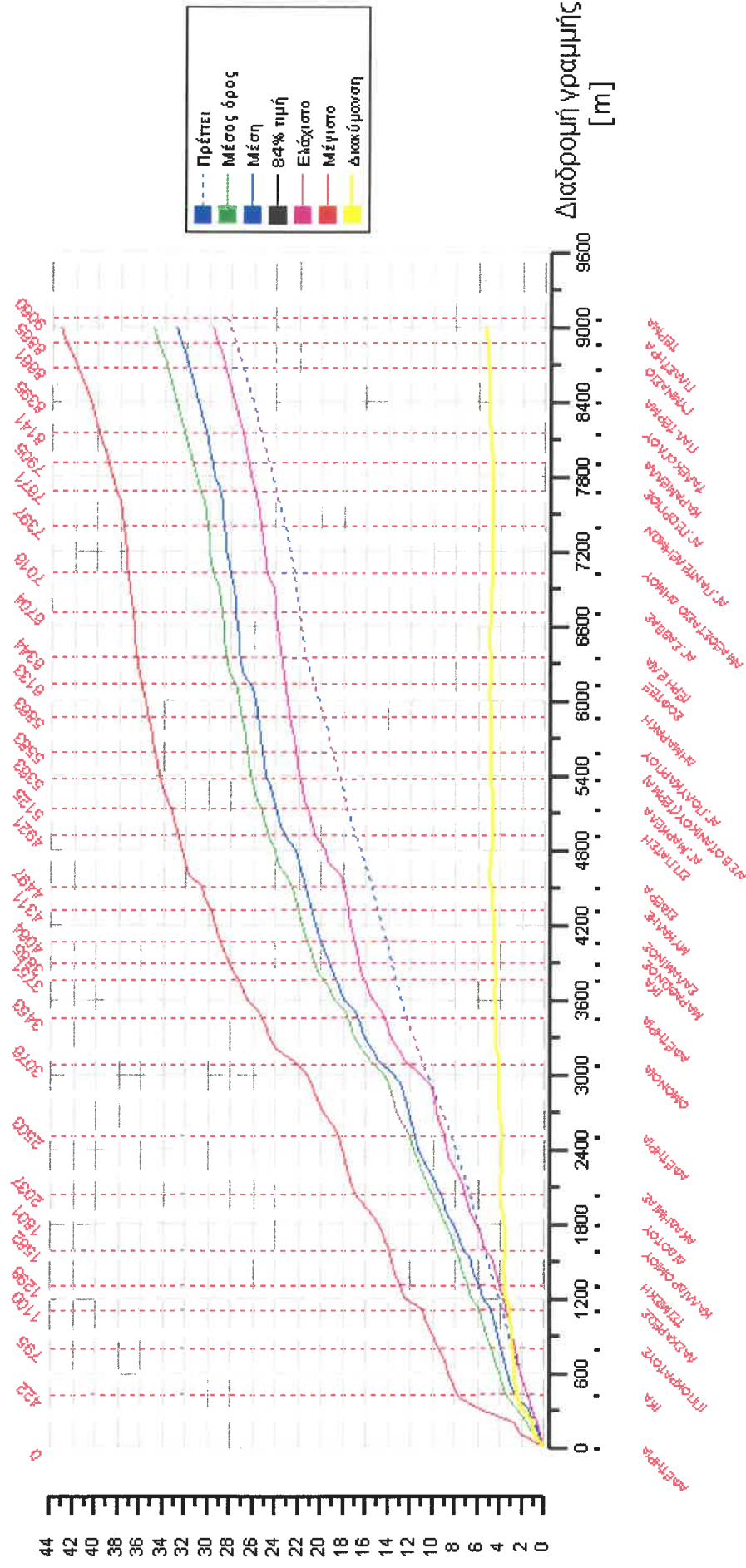


Διάγραμμα. Πρέπει και Είναι - Χρόνοι μεταφοράς, μέσος χρόνος μεταφοράς, τιμές : μεσαία, 84%, μέγιστη και ελάχιστη.

Γραμμή 813, κατεύθυνση Α. Ώρες 09:00-20:00 Δρομολόγια : 51. Πηγή : [ISAS - OASAI]

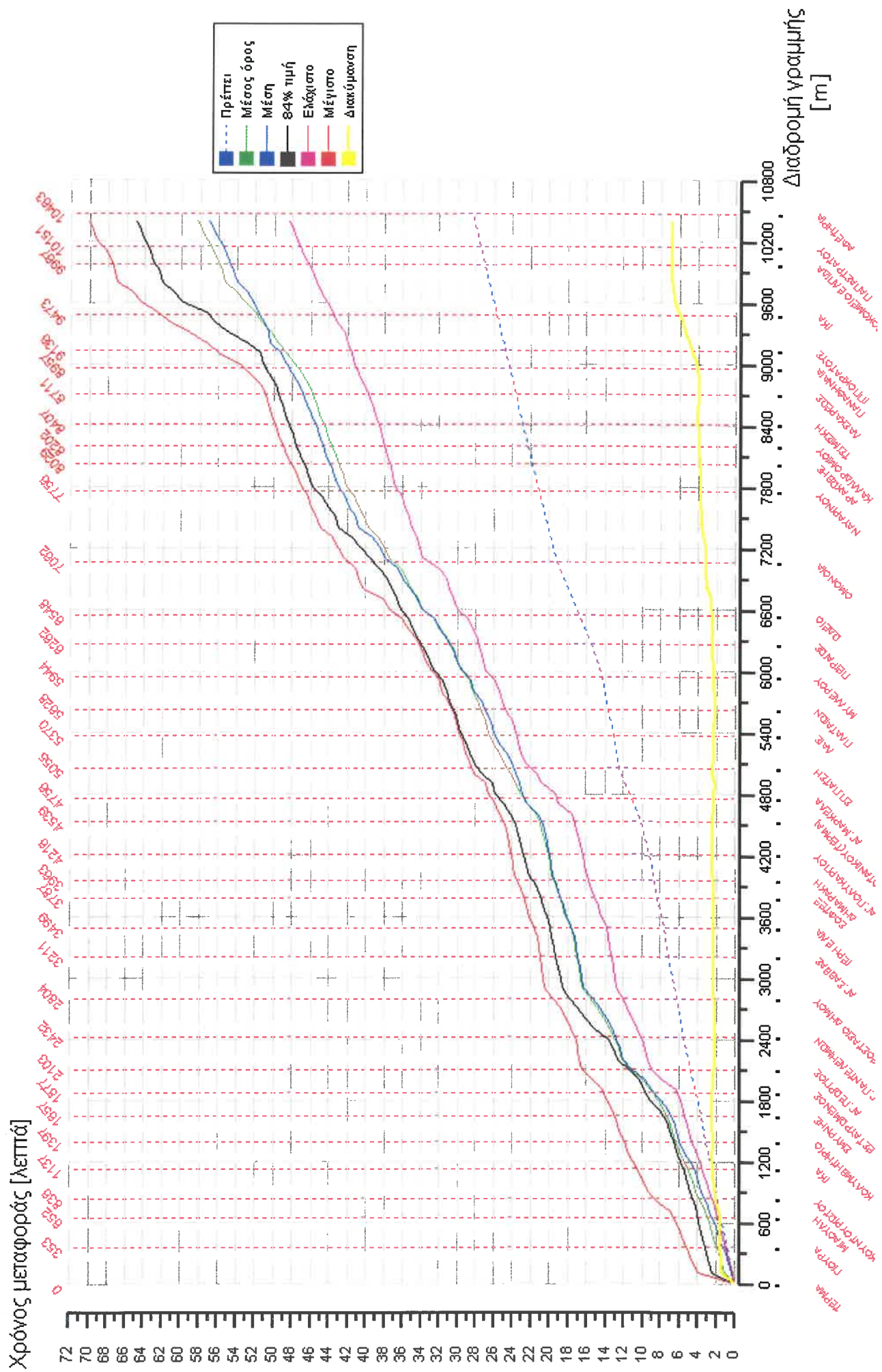
813 A 20:30 - 22:30

Χρόνος μεταφοράς [λεπτά]



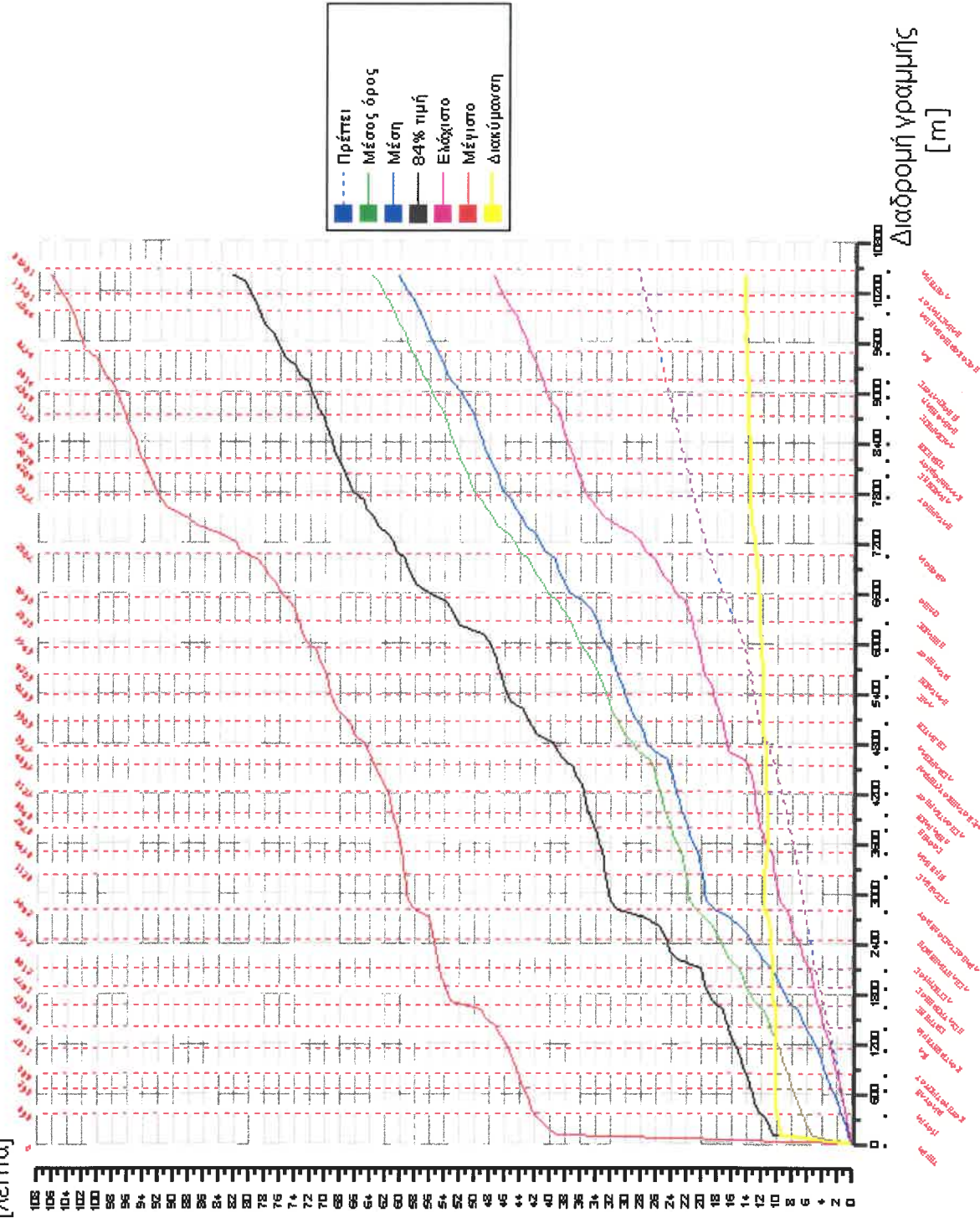
Διάγραμμα. Πρέπει και Είναι - Χρόνοι μεταφοράς, μέσος χρόνος μεταφοράς, διακύμανση, τιμές : μεσαία, 84%, μέγιστη και ελάχιστη.
Γραμμή 813, κατεύθυνση Α. Ωρες 20:30-22:30 Δρομολόγια : 5. Πηγή : [ISAS - ΟΑΣΑ]

813 B 07:00-08:30



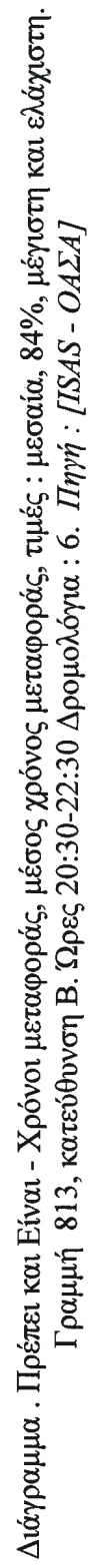
Διάγραμμα . Πρέπει και Είναι - Χρόνοι μεταφοράς, μέσος χρόνος μεταφοράς, τιμές : μεσαία, 84%, μέγιστη και ελάχιστη.
Γραμμή 813, κατεύθυνση Β. Ώρες 07:00-08:30 Δρομολόγια : 8. Πηγή : [ISAS - ΟΑΣΑ]

Χρόνος
μεταφοράς
[λεπτά]

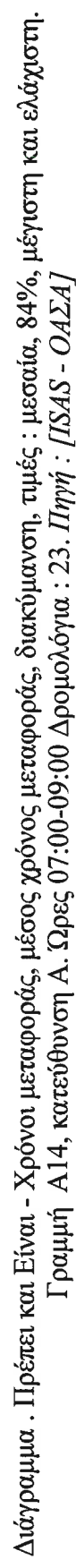


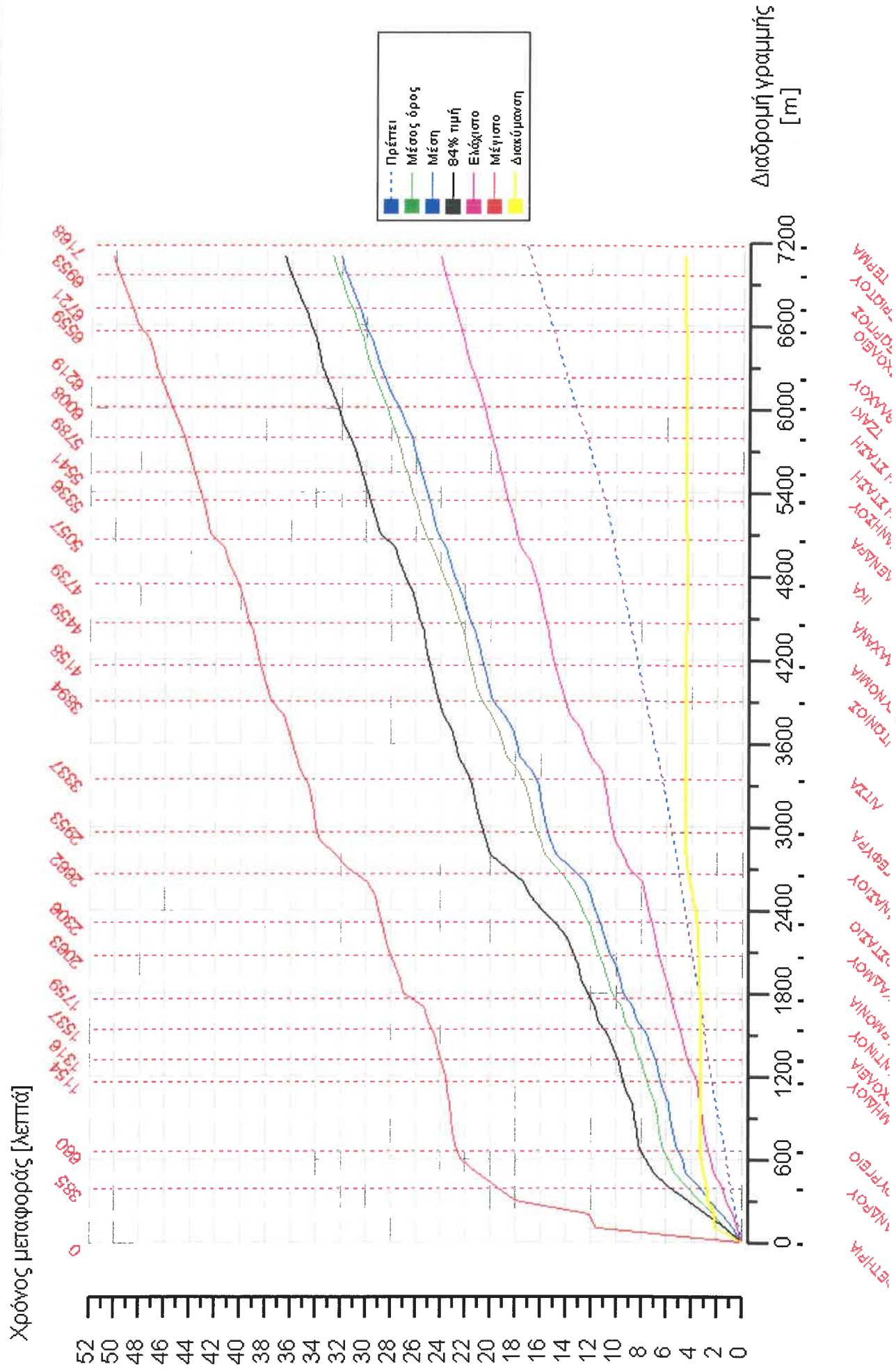
Διήγημα . Πρέπει και Είναι - Χρόνοι μεταφοράς, μέσος χρόνος μεταφοράς, τιμές : μεσαία, 84%, μέγιστη και ελάχιστη.
Γραμμή 813, κατεύθυνση Β. Ώρες 09:00-20:00 Δρομολόγια : 44. Πηγή : [ISAS - OASAJ]

Χρόνος μεταφοράς [λεπτά]



Χρόνος μεταφοράς [λεπτά]

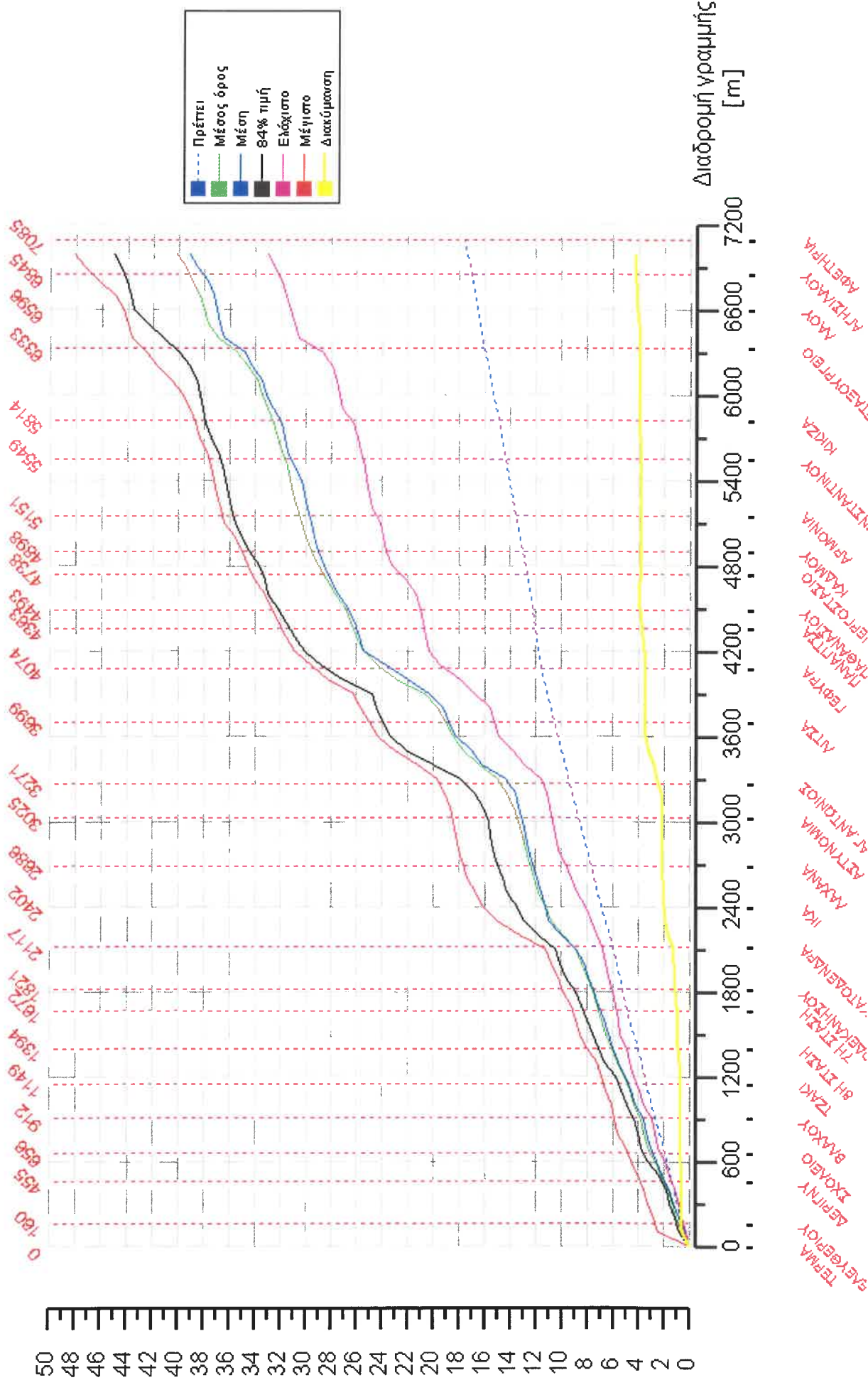




Διάγραμμα 12.1 : Πρόχειρο και Είμαι - Χρόνοι μεταφοράς, μέσος χρόνος μεταφοράς, διακύμανση, τιμές : μεσαία, 84%, μέγιστο και ελάχιστο.
Γραμμή A14, κατεύθυνση Α. Ωρες 09:00-20:00 Δρομολόγια : 117. Πηγή : [ISAS - ΟΑΣΑ]

A14 B 07:30-08:30

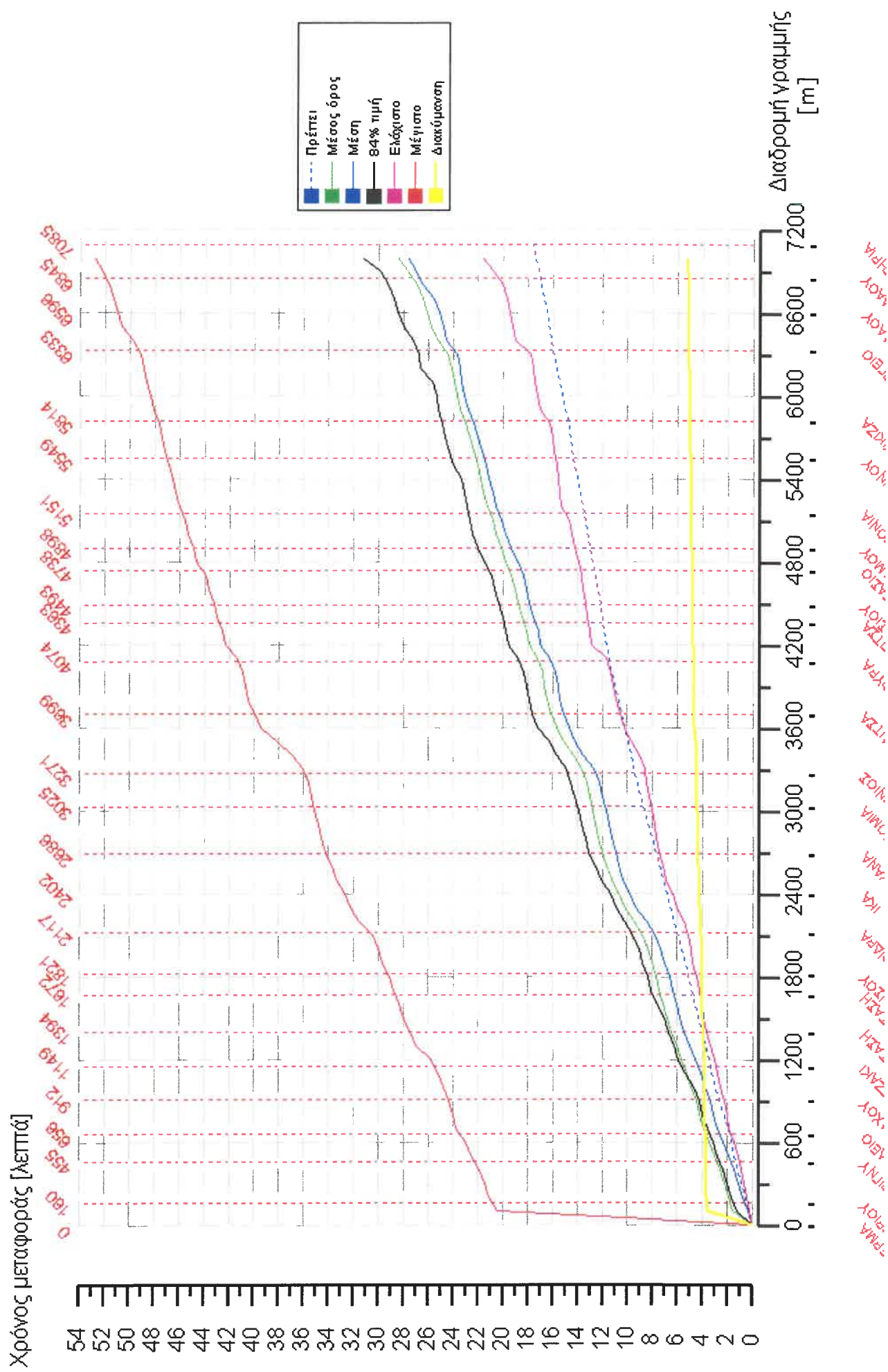
Χρόνος μεταφοράς [λεπτά]



Διάγραμμα . Πρέπει και Είναι - Χρόνοι μεταφοράς, μέσος χρόνος μεταφοράς, τιμές : μεσαία, 84%, μέγιστη και ελάχιστη.

Γραμμή Α14, κατεύθυνση Β. Ωρες 07:30-8:30 Δρομολόγια :17. Πηγή : [ISAS - ΟΑΣΑ]

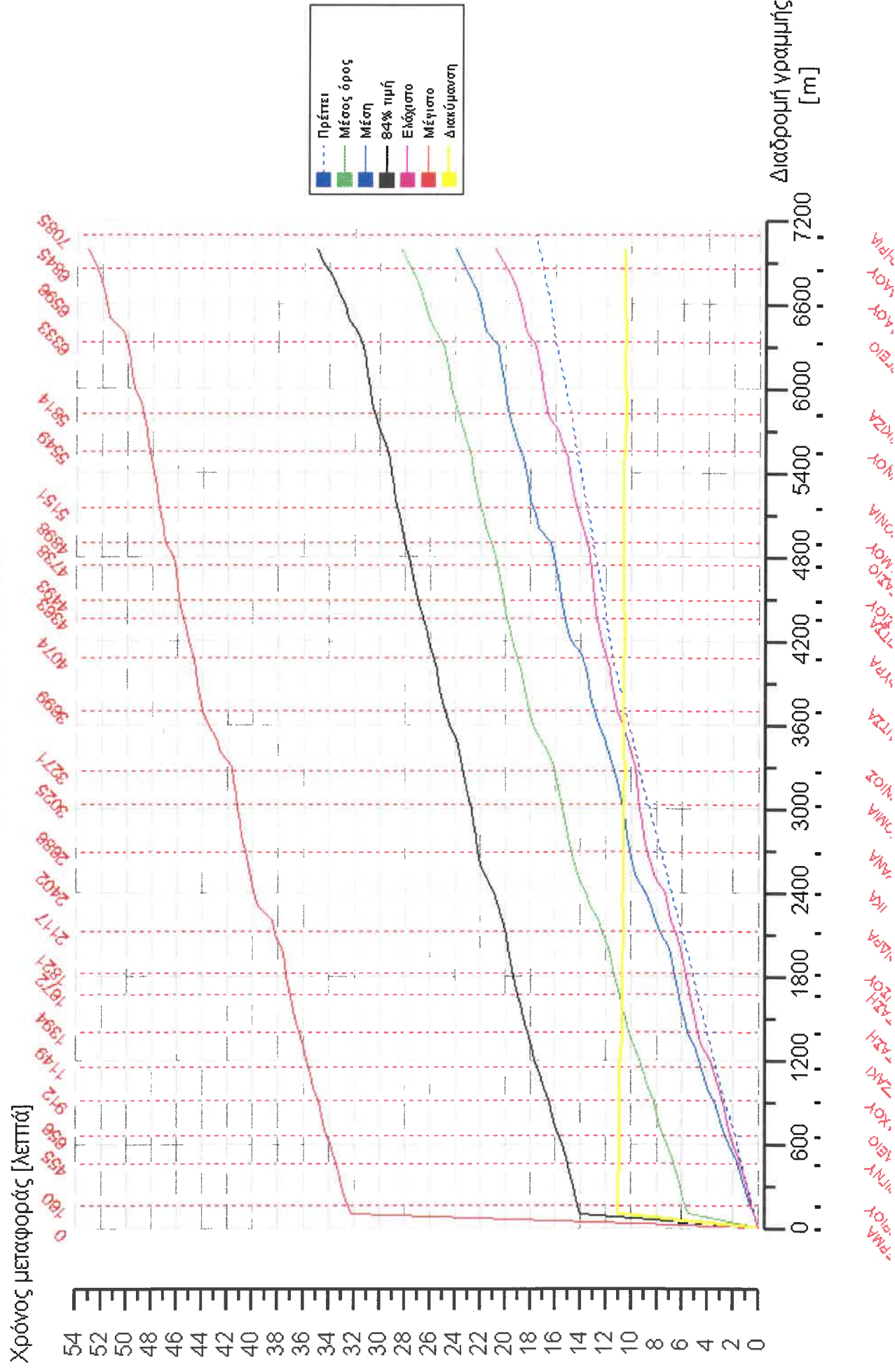
Χρόνος μεταφοράς [Λεπτά]



Διάργραμμα . Πρέπει και Είναι - Χρόνοι μεταφοράς, μέσος χρόνος μεταφοράς, τιμές : μεσαία, 84%, μέγιστη και ελάχιστη.

Γραμμή A14, κατεύθυνση Β. Ωρες 09:00-20:00 Δρομολόγια : 77. Πιγή : [ISAS - OASIA]

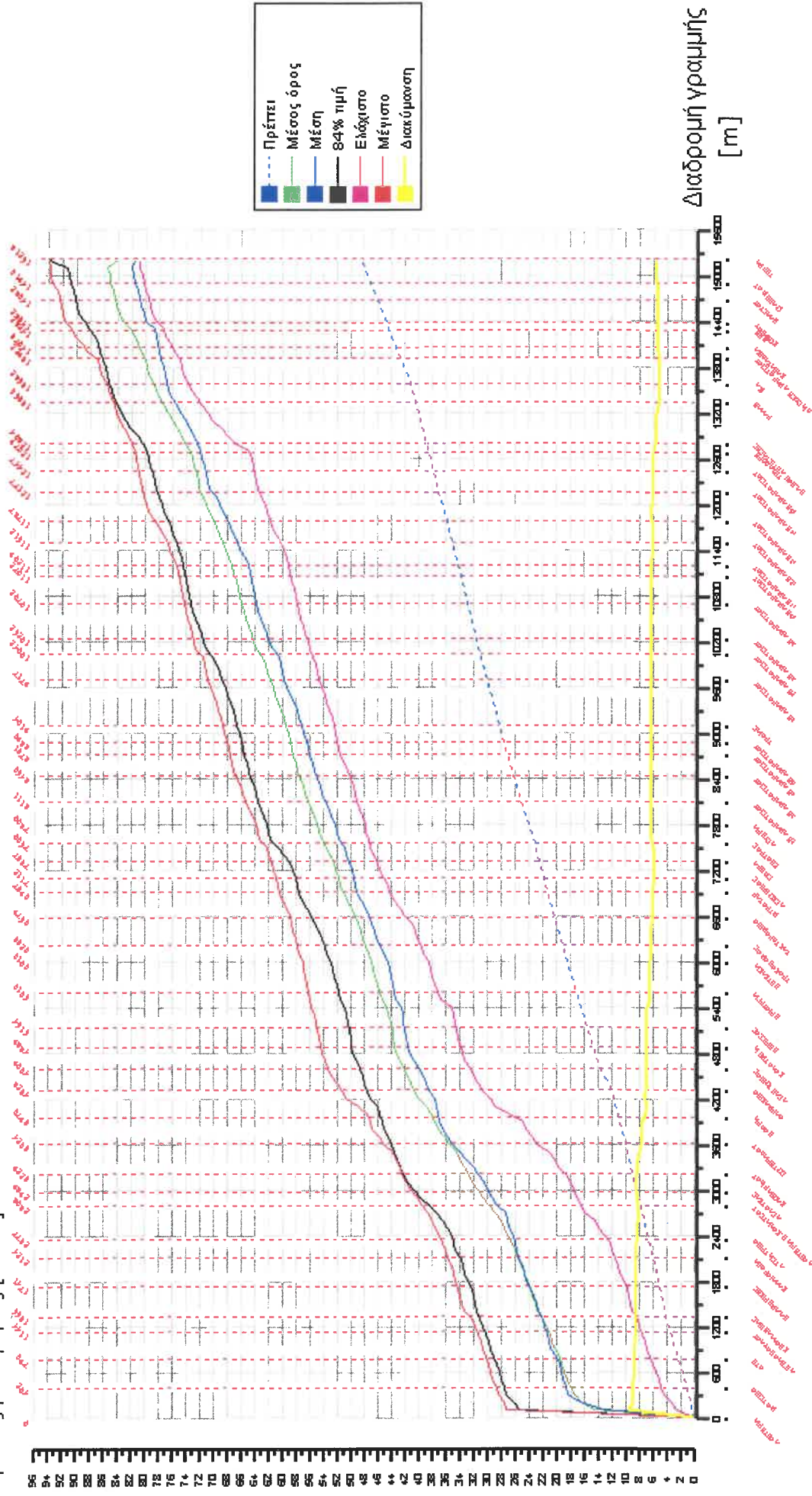
A14 B 20:30-22:30



Διάγραμμα . Πρόβλεψη και Είσοδοι - Χρόνοι μεταφοράς, μέσος χρόνος μεταφοράς, τιμές : μεσαία, 84%, μέγιστο και ελάχιστο
Γραμμή A14, κατεύθυνση Β. Ωρες 20:30-22:30 Δρομολόγια : 9. Πηγή : [ISAS - ΟΑΣΑ]

A8 A 07:00-09:00

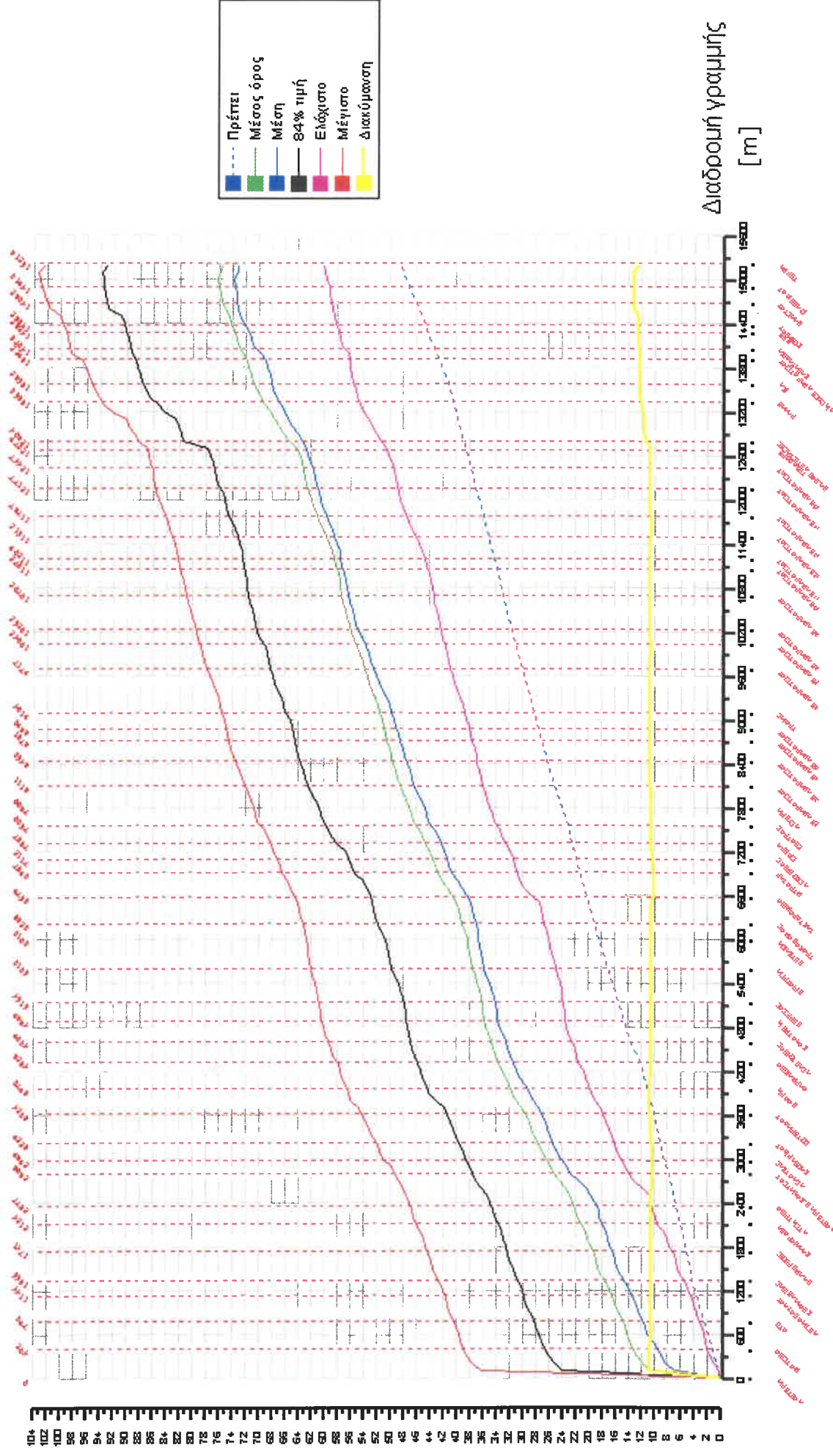
Χρόνος μεταφοράς [λεπτά]



Διάγραμμα . Πρέπει και Είναι - Χρόνοι μεταφοράς, μέσος χρόνος μεταφοράς, διακύμανση, τιμές : μεσαία, 84%, μέγιστη και ελάχιστη.
 Γραμμή A8, κατεύθυνση Α. Ωρες 07:00-09:00 Δρομολόγια : 7. Πηγή : [ISAS - ΟΑΣΑ]

A8 A 09:00 - 20:00

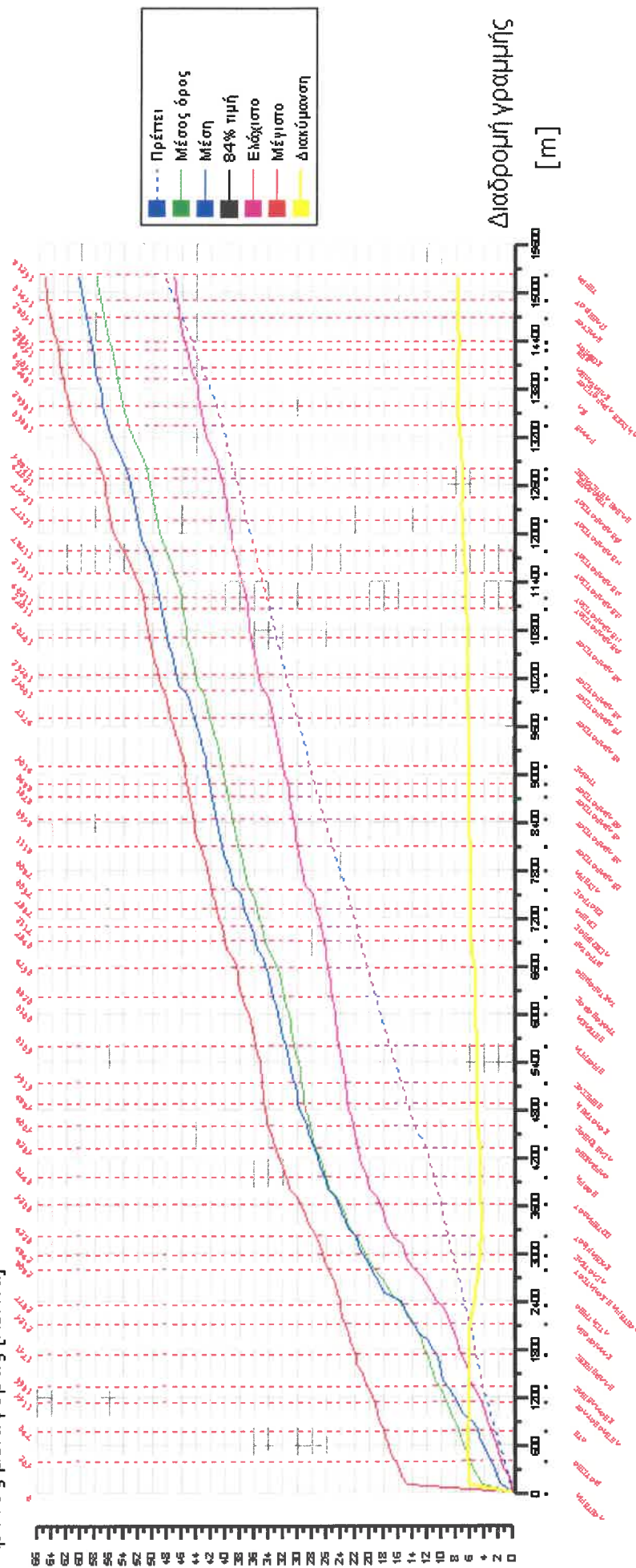
Χρόνος μεταφοράς [λεπτά]



Διάγραμμα. Πρόβει και Είναι - Χρόνοι μεταφοράς, μέσος χρόνος μεταφοράς, διακύμανση, τιμές : μεσαία, 84%, μέγιστη και ελάχιστη.
 Γραμμή A8, κατεύθυνση Α. Ώρες 09:00-20:00 Δρομολόγια : 30. Πηγή : [ISAS - ΟΑΣΑ]

A8 A 20:30 - 22:00

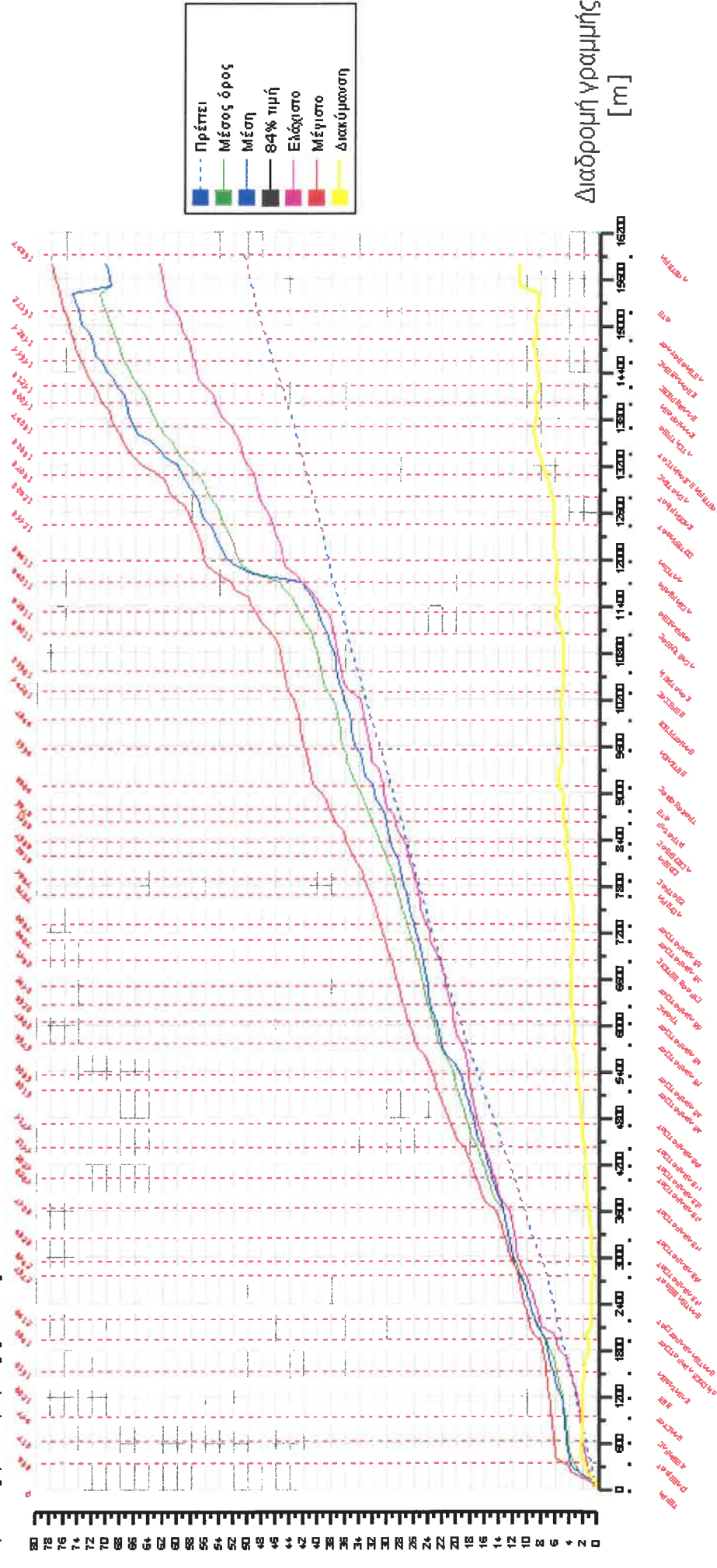
Χρόνος μεταφοράς [λεπτά]



Διάγραμμα . Πρέπει και Είναι - Χρόνοι μεταφοράς, μέσος χρόνος μεταφοράς, διακύμανση, τιμές : μεσαία, 84%, μέγιστη και ελάχιστη.
Γραμμή A8, κατεύθυνση Α. Ωρες 20:30-22:00 Δρομολόγια : 5. Πηγή : [ISAS - ΟΑΣΑ]

A8 B 07:00-08:30

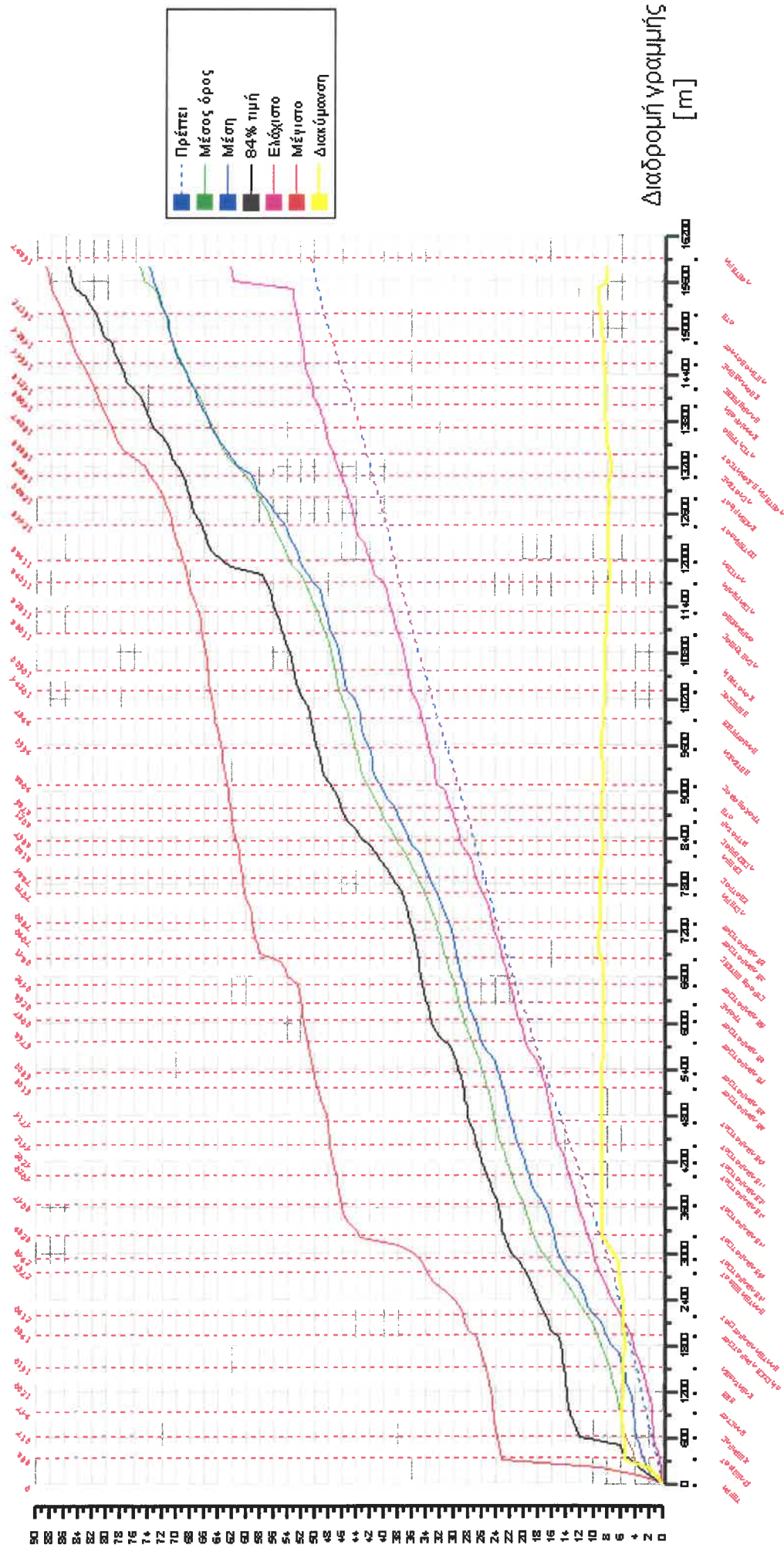
Χρόνος μεταφοράς [λεπτά]



Διάγραμμα . Πρέπει και Είναι - Χρόνοι μεταφοράς, μέσος χρόνος μεταφοράς, τιμές : μεσαία, 84%, μέγιστη και ελάχιστη.
 Γραμμή A8, κατεύθυνση Β. Ώρες 07:00-08:30 Δρομολόγια : 3. Πηγή : [ISAS - ΟΑΣΑ]

A8 B 09:00-20:00

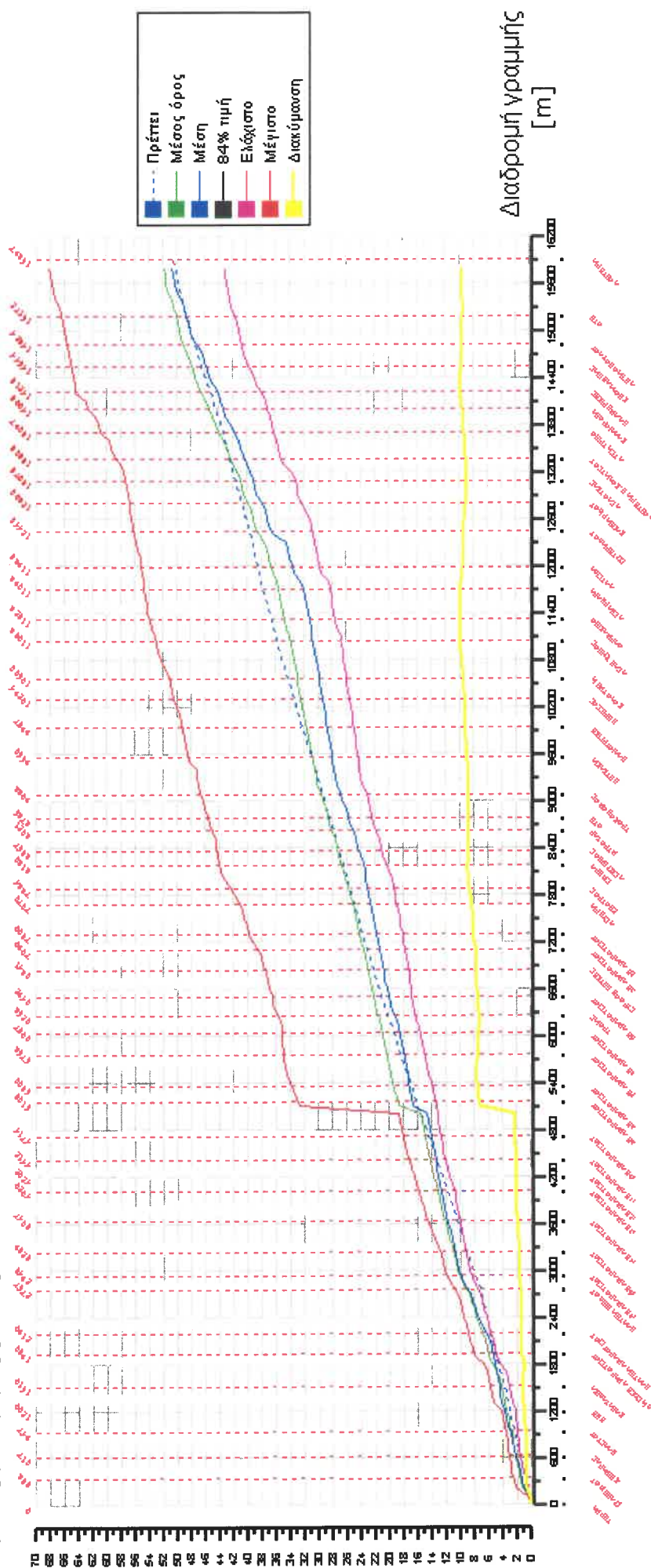
Χρόνος μεταφοράς [λεπτά]



Διάγραμμα . Πρόβει και Είναι - Χρόνοι μεταφοράς, μέσος χρόνος μεταφοράς, τιμές : μεσαία, 84%, μέγιστη και ελάχιστη.
Γραμμή A8, κατεύθυνση Β. Ώρες 09:00-20:00 Δρομολόγια : 18. Πηγή : [ISAS - OASIA]

A8 B 22:00-24:00

Χρόνος μεταφοράς [λεπτά]



Διάγραμμα . Πρόβλεψη και Είναι - Χρόνοι μεταφοράς, μέσος χρόνος μεταφοράς, τιμές : μεσαία, 84%, μέγιστη και ελάχιστη.
Γραμμή A8, κατεύθυνση Β. Ώρες 22:00-24:00 Δρομολόγια : 6. Πηγή : [ISAS - ΟΑΣΑ]