

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ &
ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ
ΕΠΟΠΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΤΩΝΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ
ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟΥ ΣΕ
ΜΗΤΡΟΠΟΛΙΤΙΚΟ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΟ
ΔΙΚΤΥΟ»**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΚΑΛΑΦΑΤΑΣ ΓΙΩΡΓΟΣ

Δεκέμβριος 2003

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον κ. Α. Σταθόπουλο, αναπληρωτή καθηγητή του τομέα Μ.Σ.Υ. για την υποστήριξη και την αμέριστη βοήθεια που προσέφερε προκειμένου να εκπονηθεί η παρούσα διπλωματική εργασία, όπως επίσης τον κ. Μ. Καρλαύτη, λέκτορα του τομέα Μ.Σ.Υ. και τα υπόλοιπα μέλη Δ.Ε.Π. του εργαστηρίου Σιδηροδρομικής και Μεταφορών για την τεχνική τους βοήθεια.

Ευχαριστώ τον κ Β. Οικονομόπουλο, διευθύνοντα σύμβουλο της ΑΜΕΛ, που με ιδιαίτερη χαρά μου έδωσε τη δυνατότητα να πραγματοποιήσω την εφαρμογή της διπλωματικής μου στην ΑΜΕΛ, τον Π. Σάρρα, προϊστάμενο του τμήματος Δρομολόγησης και Δεικτών Λειτουργίας, Κ. Χουρμέντη, Π. Σταυρόπουλο και Ι. Κωνσταντινοπούλου, υπαλλήλους του ίδιου τμήματος, καθώς και τον κ. Ν. Σμπαρούνη, εκπαιδευτή προσωπικού.

ΤΙΤΛΟΣ : ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟΥ ΣΕ ΜΗΤΡΟΠΟΛΙΤΙΚΟ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

ΕΠΟΠΤΗΣ : Α. ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : Γ. ΚΑΛΑΦΑΤΑΣ

ΣΥΝΟΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μία διερεύνηση της επίδρασης καθυστέρησης δρομολογίου σε μητροπολιτικό σιδηροδρομικό δίκτυο. Μελετάται η επίδραση της καθυστέρησης στην κυκλοφορία των συρμών εντός του δικτύου, καθώς και στην εξέλιξη των επιβατικών φόρτων επί της αποβάθρας και εντός των συρμών. Από το σύνολο των επιδράσεων εντοπίζεται αυτή που αποτελεί τον κρίσιμο παράγοντα για την διατήρηση ενός ικανοποιητικού επιπέδου ποιότητας εξυπηρέτησης των επιβατών και ορίζεται διαδικασία αντιμετώπισής της. Η εφαρμογή γίνεται στις γραμμές 2 και 3 του μητροπολιτικού σιδηροδρομικού δικτύου Αθηνών. Για την καλύτερη μελέτη της καθυστέρησης δημιουργήθηκε λογισμικό βάσει του οποίου δίνεται η δυνατότητα παραμετρικής μελέτης του φαινομένου με μεταβλητές τις τιμές της καθυστέρησης κάθε γραμμής, των επιβατικών φόρτων του μητρώου προέλευσης προορισμού, της χωρητικότητας του συρμού, της χρονοαπόστασης.

Λέξεις – Κλειδιά: Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος, Καθυστέρηση δρομολογίου, Επίπεδο Εξυπηρέτησης σε Ουρά Αναμονής, Διαδικασία Διαχείρισης Πλήθους

TITLE : A STUDY ON THE EFFECTS OF A TRAIN DELAY IN A METROPOLITAN RAILWAY NETWORK

SUPERVISOR : A. STATHOPOULOS

STUDENT: G. KALAFATAS

ABSTRACT

The diploma thesis is a study on the effects of a train delay in a metropolitan railway network. The effects of the delay are studied in the areas of train circulation in the network and the evolution of pedestrian flows on the platforms and in the trains. Among the effects, the one found to be critical for the maintenance of a decent level of service towards the pedestrians is located, and a certain process to be handled with is defined. The application is made on the lines 2 and 3 of the Metropolitan Railway Network of AMEL, in Athens, Greece. In order to conduct a parametric study of the effects of a train delay, an appropriate software was designed with the parameters of the train delay in each line separately, the pedestrian flows of the Origin-Destination matrix, the train capacity and the headway.

Keywords: Metropolitan Railway, Train Delay, Level of Service in Queuing Areas, Crowd Control Process

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟΥ

- 1.1** Ορισμός καθυστέρησης δρομολογίου
- 1.2** Προέλευση καθυστέρησης δρομολογίου
- 1.3** Διαπίστωση καθυστέρησης δρομολογίου
 - 1.3.1** Άφιξη και αναχώρηση από σταθμό
 - 1.3.2** Τμήματα αποκλεισμού
- 1.4** Επίδραση καθυστέρησης δρομολογίου στο σύστημα
 - 1.4.1** Επίδραση της καθυστέρησης στο ίδιο δρομολόγιο
 - 1.4.2** Επίδραση σε δρομολόγιο της ίδιας γραμμής
 - 1.4.2.1** Πλήθος δρομολογίων στα οποία μεταφέρεται η καθυστέρηση
 - 1.4.2.2** Πλήθος χαμένων δρομολογίων
 - 1.4.3** Επίδραση σε δρομολόγιο γραμμής με ανταπόκριση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΕΠΙΒΑΤΩΝ

- 2.1** Ανομοιομορφία επιβατικών φόρτων
- 2.2** Επίπεδο εξυπηρέτησης επιβατών εντός συρμού
- 2.3** Επίπεδο εξυπηρέτησης επιβατών στην αποβάθρα
- 2.4** Επίπεδο εξυπηρέτησης επιβατών σε διάδρομο, κλιμακοστάσιο, εκδοτήριο και ακυρωτικά μηχανήματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΕΠΙΒΑΤΙΚΟΙ ΦΟΡΤΟΙ ΠΡΟΣΕΛΕΥΣΗΣ ΣΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ

3.1 Ορισμός

3.2 Πηγή

3.3 Επίδραση καθυστέρησης δρομολογίου

3.4 Σχέση επιβατικού φόρτου προσέλευσης και επιπέδου εξυπηρέτησης
επιβατών στην αποβάθρα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΕΠΙΒΑΤΙΚΟΙ ΦΟΡΤΟΙ ΓΡΑΜΜΗΣ

4.1 Ορισμός

4.2 Υπολογισμός με μητρώο προέλευσης - προορισμού

4.2.1 Φόρτοι σχεδιασμού

4.2.2 Επίδραση καθυστέρησης

4.2.2.1 Επιβίβαση όλων των επιβατών

4.2.2.2 Πλήρωση του συρμού – Επιβάτες παραμένουν στις
αποβάθρες

4.3 Υπολογισμός με «ηλεκτρονικό μάτι»

4.4 Υπολογισμός με εποπτεία των συρμών από εμπειρογνώμονα

4.5 Σχέση επιβατικού φόρτου γραμμής και επιπέδου εξυπηρέτησης επιβατών
εντός συρμού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΑΠΟΒΑΘΡΑΣ

5.1 Επιπτώσεις της καθυστέρησης

5.1.1 Εντός του συρμού

- 5.1.2** Επί της αποβάθρας
- 5.2** Αντιμετώπιση της καθυστέρησης
- 5.3** Πλήθος επιβατών επί της αποβάθρας
- 5.4** Χρονική στιγμή έναρξης αντίδρασης συστήματος ανά αποβάθρα
- 5.5** Υλοποίηση της διαδικασίας πρόληψης συμφόρησης αποβάθρας
 - 5.5.1** Με το προσωπικό του σταθμού
 - 5.5.2** Με αυτοματοποιημένο σύστημα
 - 5.5.3** Με μεικτό σύστημα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : ΕΠΑΝΕΚΚΙΝΗΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΜΕΝΟΥ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟΥ

- 6.1** Διαδικασία εκκίνησης καθυστερημένων δρομολογίων
- 6.2** Δυνατότητες προσφοράς αυξημένης κυκλοφοριακής ικανότητας
- 6.3** Εφαρμοσμένη πρόσφορα αυξημένης κυκλοφοριακής ικανότητας
- 6.4** Σχεδιασμός προσφοράς αυξημένης κυκλοφοριακής ικανότητας
- 6.5** Υπολογιστικές τεχνικές διαχείρισης καθυστερημένων δρομολογίων
 - 6.5.1** Συστήματα Διακριτών Γεγονότων
 - 6.5.2** Max – Plus Algebra
 - 6.5.3** Τεχνική Χειριστηρίων προς Πρόβλεψη
 - 6.5.4** Ευρετικές Μεθόδους
 - 6.5.5** Ανασκόπηση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο : ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΗΤΡΩΟΥ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ-ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ

- 7.1** Δόμηση μητρώου προέλευσης προορισμού
 - 7.1.1** Χαρακτηριστικά μητροπολιτικού σιδηροδρομικού

δικτύου Αθηνών

7.1.2 Συντελεστής Πληθυσμού

7.1.3 Συντελεστής Προορισμού

7.2 Περιγραφή λογιστικού βιβλίου μελέτης καθυστερήσεων

7.2.1 Δεδομένα εισόδου

7.2.1.1 Ακυρώσεις

7.2.1.2 Συντελεστές μητρώου προέλευσης προορισμού

7.2.1.3 Καθυστέρηση δρομολογίου

7.2.2 Αποτελέσματα σε μορφή διαγραμμάτων

7.2.2.1 Επιβατικός φόρτος αποβίβασης

7.2.2.2 Κενές θέσεις συρμού μετά την αποβίβαση

7.2.2.1 Επιβατικός φόρτος αναμονής στην αποβάθρα

7.2.2.2 Επιβατικός φόρτος γραμμής

7.2.2.3 Επιβατικός φόρτος παραμονής στην αποβάθρα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο : ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

8.1 Χρόνος συμφόρησης αποβάθρας

8.2 Χρόνος πλήρωσης συρμού

8.3 Κενές θέσεις συρμού μετά την αποβίβαση

8.4 Παραμονή επιβατών στην αποβάθρα

8.5 Μετεπιβίβαση

8.6 Γραμμική εξέλιξη των μεγεθών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

9.1 Συμπεράσματα

9.2 Προτάσεις

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Βιβλιογραφία

Συνοπτικά αποτελέσματα «Τεχνολογικής Εφαρμογής»

Αναλυτικά αριθμητικά αποτελέσματα Διπλωματικής Εργασίας

Αποτελέσματα Διπλωματικής Εργασίας σε μορφή Γραφημάτων

Πληροφοριακό υλικό Τροχαίου Υλικού ΑΜΕΛ ΑΕ

Πληροφοριακό υλικό Συστήματος Επικοινωνίας ΑΜΕΛ ΑΕ

Πληροφοριακό υλικό Συχνότητας Διέλευσης ΑΜΕΛ ΑΕ

Πληροφοριακό υλικό Συλλογής Κομίστρου ΑΜΕΛ ΑΕ

Πληροφοριακό υλικό Σηματοδότησης ΑΜΕΛ ΑΕ

Σημειώσεις στην Max-Plus Algebra

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Σιδηροδρομικό Δίκτυο είναι ένα σύστημα αποτελούμενο από δύο ή περισσότερες σιδηροδρομικές γραμμές με έναν τουλάχιστον κοινό σταθμό στον οποίο πραγματοποιείται ανταπόκριση μεταξύ δρομολογίων των δύο γραμμών. Σκοπός ενός μητροπολιτικού σιδηροδρομικού δικτύου είναι η ασφαλής μεταφορά των επιβατών στον προορισμό τους, έγκαιρα, σύμφωνα με το πρόγραμμα των δρομολογίων. Το σύστημα, όμως, δέχεται κατά τη λειτουργία του, την επίδραση τυχαίων περιστατικών που διαταράσσουν την ομαλή του λειτουργία και το αναγκάζουν σε καθυστερήσεις των δρομολογίων του. Οι καθυστερήσεις των δρομολογίων του δικτύου είναι υπαίτιες για την παρεμπόδιση της κυκλοφορίας και των υπολοίπων συρμών εντός της γραμμής και συνεπώς την καθυστέρηση εξυπηρέτησης των επιβατών που αναμένουν στις αποβάθρες. Σημειώνεται πτώση του επιπέδου εξυπηρέτησης των επιβατών επί των αποβάθρων και εντός των συρμών. Το δίκτυο σε δρομολόγια του οποίου έχουν αναπτυχθεί καθυστερήσεις θεωρούμε ότι βρίσκεται υπό καθεστώς μερικής αστοχίας.

Με τη βοήθεια των σύγχρονων συστημάτων ελέγχου της κυκλοφορίας επιτυγχάνεται αποτελεσματικός έλεγχος της διαταραγμένης κυκλοφορίας. Η διευθέτηση αυτή γίνεται με συστήματα βασιζόμενα στη τεχνική των τμημάτων αποκλεισμού. Παράλληλα στην αποβάθρα αναπτύσσονται ουρές αναμονής των επιβατών που αναμένουν το καθυστερημένο δρομολόγιο. Στην περίπτωση υψηλών επιβατικών φόρτων, σε μικρό χρονικό διάστημα παρατηρείται ο συνωστισμός των επιβατών επί της αποβάθρας. Η μέση επιφάνεια ανά επιβάτη μειώνεται, οι επιβάτες έρχονται σε στενή επαφή και, δεδομένης της ύπαρξης της σιδηροδρομικής γραμμής στην άκρη της αποβάθρας, μία ακούσια μετατόπιση του πλήθους εγκυμονεί σημαντικούς κινδύνους για την ασφάλειά του.

Η παρούσα διπλωματική διερευνά την επίδραση της καθυστέρησης δρομολογίου σε μητροπολιτικό σιδηροδρομικό δίκτυο με κριτήριο την ασφαλή και έγκαιρη μεταφορά των επιβατών στον τελικό τους προορισμό. Αναλύεται ο μηχανισμός διάχυσης των επιπτώσεων της καθυστέρησης δρομολογίου στην ίδια γραμμή καθώς και σε άλλες γραμμές του δικτύου, υπολογίζονται οι επηρεαζόμενοι επιβατικοί φόρτοι και προτείνεται διαδικασία διαχείρισης του πλήθους με κριτήριο την διατήρηση ενός ικανοποιητικού επιπέδου εξυπηρέτησης του επιβατικού κοινού.

Εφαρμογή της θεωρίας γίνεται στο μητροπολιτικό σιδηροδρομικό δίκτυο της Α.Μ.Ε.Λ. στην Αθήνα. Ειδικά για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκε το μάθημα «Τεχνολογική Εφαρμογή» του 8^{ου} εξαμήνου της σχολής Πολιτικών Μηχανικών. Στα πλαίσια του μαθήματος πραγματοποιήθηκε έρευνα με τη διεξαγωγή επιτόπου μετρήσεων των επιβατικών φόρτων και τη διενέργεια συνεντεύξεων επί των επιβατών βάσει των οποίων εκτιμήθηκε το μητρώο προέλευσης-προορισμού του δικτύου της ΑΜΕΛ για το χρονικό διάστημα 9.30 π.μ. – 10.30 π.μ. καθημερινής εργάσιμης ημέρας των τελών του Ιουλίου.

1. ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟΥ

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟΥ

Καθυστέρηση δρομολογίου είναι ο χρόνος που καθυστερεί η πραγματοποίηση ενός συγκεκριμένου γεγονότος του δρομολογίου σε σχέση με τον προγραμματισμένο χρόνο υλοποίησης του ίδιου γεγονότος του δρομολογίου. [29]

Η καθυστέρηση είναι ρητά συνδεδεμένη με ένα γεγονός στο οποίο αναφέρεται. Τέτοια γεγονότα αναφοράς είναι η άφιξη και η αναχώρηση ενός συρμού στην αποβάθρα ενός σταθμού και η κατάληψη ενός τμήματος αποκλεισμού.

Η καθυστέρηση d_i^j του γεγονότος αναφοράς i του δρομολογίου j υπολογίζεται ως η διαφορά του χρόνου tr_i^j που πραγματοποιήθηκε το γεγονός αναφοράς i του δρομολογίου j από τον προγραμματισμένο χρόνο ts_i^j υλοποίησης του ίδιου γεγονότος αναφοράς i από το δρομολόγιο j .

$$d_i^j = tr_i^j - ts_i^j \quad (1.1)$$

Οι καθυστερήσεις που αναπτύσσονται στο δίκτυο λαμβάνουν πάντα θετικές τιμές, καθώς δεν επιτρέπεται η αναχώρηση συρμού νωρίτερα από τον προγραμματισμένο χρόνο. Το πρόγραμμα τηρείται κανονικά όταν όλα τα d_i^j είναι μηδέν.

Όταν οι καθυστερήσεις καταγράφονται από την μεταφορική εταιρία στο ιστορικό μίας ημέρας λειτουργίας, ως γεγονός αναφοράς λαμβάνεται η εκκίνηση ενός νέου κύκλου του δρομολογίου από την αφετηρία της γραμμής. Η παραδοχή αυτή χρησιμοποιείται και για την μετέπειτα μελέτη μίας

καθυστερήσης. Βάση της παραπάνω παραδοχής από τη σχέση (1.1) διαγράφονται οι δείκτες του γεγονότος i , καθώς από εδώ και πέρα θα θεωρείται ότι το γεγονός αναφοράς θα είναι πάντοτε η έναρξη ενός νέου δρομολογίου από την αφετηρία της γραμμής. Η σχέση (1.1) γίνεται :

$$d^j = tr^j - ts^j \quad (1.2)$$

Η καθυστέρηση βάση της σχέσης (1.2) είναι κοινή για όλη τη γραμμή για το ίδιο δρομολόγιο. [107]

1.2 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟΥ

Οι καθυστερήσεις των δρομολογίων δημιουργούνται υπό την επίδραση περιστατικών που δεν επιτρέπουν την ομαλή κυκλοφορία ενός ή περισσότερων οχημάτων εντός του δικτύου. Το όχημα υπό την επίδραση του τυχαία εμφανιζόμενου γεγονότος υποχρεώνεται να ελαττώσει ταχύτητα σε σημείο ή τμήμα της γραμμής αποκλίνοντας από την προσχεδιασμένη δρομολόγησή του. Σε αρκετές περιπτώσεις δε, ακινητοποιείται πλήρως, είτε παρά την αποβάθρα σταθμού, είτε σε σημείο της γραμμής μεταξύ δύο σταθμών. Υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις η καθυστέρηση αυτή ενδέχεται να διαχυθεί στο δίκτυο, σε οχήματα που κινούνται εντός της ίδιας γραμμής ή και σε δεύτερη και τρίτη γραμμή με τις οποίες υπάρχει προγραμματισμένη ανταπόκριση του καθυστερημένου δρομολογίου.

Περιστατικά που προκαλούν συνήθεις καθυστερήσεις δρομολογίων οφείλονται στο ίδιο το όχημα, στην γραμμή, στη συμπεριφορά του επιβατικού κοινού που βρίσκεται εντός του οχήματος ή και στις αποβάθρες. Τέτοια περιστατικά είναι η μηχανική βλάβη ενός οχήματος κατά την ώρα εκτέλεσης του δρομολογίου, η απόπειρα αυτοκτονίας και γενικότερα η πτώση αντικειμένου επί της γραμμής πλησίον της αποβάθρας, λιποθυμία επιβάτη εντός οχήματος,

εισροή υδάτων στη γραμμή μετά από έντονες βροχοπτώσεις, μερική αστοχία στρωτήρα, μερική αστοχία αλλαγής, κτλ. [108]

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει ένα μητρώο συσχέτισης των περιστατικών λειτουργίας με το χρόνο καθυστέρησης που προκαλούν (π.χ. αυτοκτονία στη γραμμή = μέση καθυστέρηση 30 λεπτών, ελάχιστη καθυστέρηση 15 λεπτά, μέγιστη καθυστέρηση 60 λεπτά), τότε η μελέτη του φαινομένου μπορεί να πραγματοποιηθεί για εύρος τιμών καθυστέρησης (π.χ. καθυστέρηση από 0 έως 30 λεπτά), ανεξάρτητα από το περιστατικό που οδήγησε σε αυτήν.

1.3 ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟΥ

Οι καθυστερήσεις των δρομολογίων μπορούν να διαπιστωθούν από συγκεκριμένα περιστατικά λειτουργίας του δρομολογίου. Περιστατικά λειτουργίας ενός δρομολογίου είναι η άφιξη και η αναχώρησή του οχήματος σε ένα σταθμό και η χιλιομετρική του θέση. Γεγονότα ελέγχου ονομάζονται εκείνα τα περιστατικά λειτουργίας που είναι ικανά να περιγράψουν επαρκώς την υπάρχουσα κατάσταση ενός δρομολογίου δικτύου σε συνθήκες πραγματικού χρόνου. Συνεπώς, από τα περιστατικά λειτουργίας του δρομολογίου επιλέγονται ως γεγονότα ελέγχου αυτά για τα οποία υπάρχει η κατάλληλη υλικοτεχνική υποδομή που να δίνει τη δυνατότητα διαρκούς ενημέρωσης επί της κατάστασης του δικτύου σε πραγματικό χρόνο.

Γεγονότα ελέγχου είναι οι αφίξεις και οι αναχωρήσεις των οχημάτων στους σταθμούς και η κατάληψη των τμημάτων αποκλεισμού κατά μήκος της γραμμής. Τα παραπάνω γεγονότα ελέγχου είναι πράγματι ικανά να περιγράψουν την κατάσταση του δικτύου και τη δυναμική της εξέλιξής του κάθε στιγμή. Είναι αυτά που έχουν αποδείξει ιστορικά την επάρκειά τους και διατηρώντας την ίδια τεχνική, αυτή του τμήματος αποκλεισμού, έχουν εξελιχθεί τεχνολογικά και παγιωθεί στον χώρο των σιδηροδρόμων.

1.3.1 ΑΦΙΞΗ ΚΑΙ ΑΝΑΧΩΡΗΣΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟΥ ΑΠΟ ΣΤΑΘΜΟ

Οι αφίξεις και οι αναχωρήσεις δρομολογίων από σταθμούς επιβίβασης επιβατών χρησιμοποιούνται ως γεγονότα ελέγχου των καθυστερήσεων. Διαπιστώνονται έμμεσα μέσω της κατάληψης του τμήματος αποκλεισμού του σταθμού, ή άμεσα με ξεχωριστό σύστημα αυτομάτου ελέγχου. Ενημέρωση για αυτά τα γεγονότα λαμβάνουμε στιγμιαία με την άφιξη ή την αναχώρηση ενός συρμού από σταθμό. Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της αναχώρησης δρομολογίου από σταθμό και της άφιξης του ίδιου δρομολογίου στον επόμενο σταθμό αντιστοιχεί στον χρόνο ταξιδιού.

Η πρακτική αξία των γεγονότων ελέγχου άφιξης – αναχώρησης έγκειται στο ότι αναφέρονται σε υλοποίηση γεγονότων του δρομολογίου που αφορούν εξ ολοκλήρου το επιβατικό κοινό. Είναι αυτά που δίνουν την απάντηση στην στοιχειώδη απαίτηση του επιβάτη να γνωρίζει πότε θα φτάσει στον προορισμό του. Με βάση αυτά τα γεγονότα υπολογίζονται οι επιβατώρες καθυστέρησης των επιβατών. [7], [28], [33], [111]

Μειονέκτημα των αφίξεων και αναχωρήσεων των δρομολογίων ως γεγονότων ελέγχου είναι η υστέρησή τους στην διαπίστωση μίας καθυστέρησης που εκκινεί σε χιλιομετρική θέση της γραμμής μεταξύ δύο σταθμών. Ειδικότερα, στην περίπτωση που συρμός αναχωρεί από σταθμό και αμέσως μετά υποχρεώνεται σε ακινητοποίηση, η ενημέρωση μας για το συμβάν θα καθυστερούσε κατά τον χρόνο ταξιδιού, μέχρι της αναμενόμενης άφιξης του συρμού στον επόμενο σταθμό. Ενημέρωση για το γεγονός ελέγχου αρχής κατάληψης ή πέρατος κατάληψης τμήματος αποκλεισμό λαμβάνεται εντός του κέντρου ελέγχου και λειτουργίας του δικτύου.

Στην πράξη, βεβαίως, δεν υπάρχει αυτό το ενδεχόμενο, καθώς χρησιμοποιούνται τόσο τα τμήματα αποκλεισμού όσο και η άμεση ασύρματη

επικοινωνία οδηγού και κέντρου ελέγχου και λειτουργίας, σύμφωνα και με τον κανονισμό λειτουργίας γραμμής. [8], [108]

1.3.2 ΤΜΗΜΑΤΑ ΑΠΟΚΛΕΙΣΜΟΥ

Τμήμα αποκλεισμού ονομάζεται το μήκος γραμμής μεταξύ δύο κυρίων σημάτων, στο οποίο επιτρέπεται η κατάληψη από έναν το πολύ συρμό τη φορά [1], [8], [9].

Στο δίκτυο της Α.Μ.Ε.Λ. δεν χρησιμοποιείται σηματοδότηση επί της γραμμής, πλην της περιοχής του αμαξοστασίου των Σεπολίων. Το σύστημα αυτομάτου ελέγχου που χρησιμοποιεί η Α.Μ.Ε.Λ. είναι η γραμμική επιρροή συρμού (LZB), όπου η σηματοδότηση γίνεται εντός του θαλάμου του μηχανοδηγού. Η παρουσία ενός συρμού σε τμήμα αποκλεισμού εντοπίζεται με τη βοήθεια του κυκλώματος τροχιάς. Η ενημέρωση για την χρονική στιγμή έναρξης ή πέρατος της κατάληψης τμήματος αποκλεισμού γίνεται στο κέντρο ελέγχου και λειτουργίας, όπου βρίσκεται πίνακας ελέγχου και το αρμόδιο προσωπικό. [8], [108]

Το πλεονέκτημα της κατάληψης των τμημάτων αποκλεισμού ως γεγονότων ελέγχου είναι η έγκυρη πληροφόρηση για την θέση του συρμού εντός του δικτύου και ταυτόχρονα η συντομότερη αναγνώριση της καθυστέρησης του δρομολογίου. Οι πληροφορίες που λαμβάνονται από τις καταλήψεις των τμημάτων αποκλεισμού χρησιμοποιούνται κυρίως για την διαπίστωση των καθυστερήσεων. Για τον υπολογισμό των επιβατωρών καθυστέρησης χρησιμοποιούνται οι αφίξεις επί των σταθμών.

1.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟΥ ΣΤΗΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ **ΤΩΝ ΣΥΡΜΩΝ**

Η καθυστέρηση ενός δρομολογίου στο σύστημα μπορεί να επιδράσει σε τρία επίπεδα, ανάλογα με το μέγεθός της, τους κανονισμούς λειτουργίας του δικτύου και την πολιτική τήρησης των ανταποκρίσεων. Σε μητροπολιτικό σιδηροδρομικό δίκτυο δεν πραγματοποιούνται ανταποκρίσεις δρομολογίων με την αυστηρή έννοια, όπου ένας συρμός δεν αναχωρεί έως την άφιξη ενός άλλου. Η παρουσίαση της επίδρασης σε δρομολόγιο με ανταπόκριση γίνεται ενδεικτικά. [110]

Οι κανονισμοί λειτουργίας που επιδρούν καταλυτικά στην διάχυση μίας καθυστέρησης στο σύστημα είναι η δυνατότητα υπέρβασης του καθυστερημένου δρομολογίου από τα επερχόμενα και η δυνατότητα λειτουργίας της γραμμής στο υπόλοιπο τμήμα πλην του τμήματος γραμμής που βρίσκεται - υπό την επίδραση κάποιου συμβάντος - σε μη διαθεσιμότητα. Η επίδραση των καθυστερήσεων των δρομολογίων θα μελετηθεί με δεδομένη την απαγόρευση υπέρβασης και την μη «διχοτόμηση» της γραμμής με οποιονδήποτε τρόπο (αποκλεισμός σταθμού, χρήση μονής γραμμής υπό όρους). Επίσης, στην ενότητα αυτή μελετάται η περίπτωση επίδρασης μίας καθυστέρησης δρομολογίου στα υπόλοιπα δρομολόγια, όταν δεν υπάρξει καμία πρωτοβουλία του ελεγκτή του δικτύου για την καταπολέμηση της καθυστέρησης, πέραν της τήρησης των ελάχιστων απαιτούμενων χρονοαποστάσεων των ακολουθιών των δρομολογίων. [107]

1.4.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΣΤΟ ΙΔΙΟ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟ

Το καθυστερημένο δρομολόγιο αδυνατεί να εκπληρώσει το προσχεδιασμένο πρόγραμμα δρομολόγησης. Οι επιβάτες που βρίσκονται εντός αυτού καθυστερούν να φθάσουν στον προορισμό τους. Αντίστοιχα και οι επιβάτες που το αναμένουν στις αποβάθρες των επόμενων σταθμών. Στις

αποβάθρες των επόμενων σταθμών συνεχίζεται η προσέλευση του επιβατικού κοινού, η εξέλιξη της οποίας μπορεί να οδηγήσει σε φαινόμενα συμφόρησης των επιβατών τόσο εντός του συρμού όσο και επί της αποβάθρας.

Όταν η καθυστέρηση d^j είναι μικρότερη του χρόνου άνεσης $tl^{j,j+1}$ μεταξύ του δρομολογίου j και του επόμενου του $j+1$, τότε δεν επηρεάζεται το επόμενο δρομολόγιο της ίδιας γραμμής, και συνεπώς κανένα άλλο δρομολόγιο της ίδιας γραμμής, πλην του αρχικού.

$$d^j < tl^{j,j+1} \quad (1.3)$$

Ο χρόνος άνεσης $tl^{j,j+1}$ του δρομολογίου $j+1$ από το προπορευόμενο δρομολόγιο j είναι το χρονικό όριο που αν το υπερβεί η καθυστέρηση d^j τότε το δρομολόγιο $j+1$ υποχρεούται σε καθυστέρηση προκειμένου να μην τεθεί το επιβατικό κοινό σε κατάσταση αυξημένης επικινδυνότητας. Ο χρόνος άνεσης $tl^{j,j+1}$ είναι:

$$tl^{j,j+1} = ts^{j+1} - ts^j - hs^{j,j+1} \quad (1.4)$$

όπου hs^j ο ελάχιστος χρόνος ακολουθίας των συρμών $j, j+1$.

Ο ελάχιστος χρόνος ακολουθίας συρμών $hs^{j,j+1}$ εξαρτάται από τα τεχνικά μέσα αυτομάτου ελέγχου της θέσης του συρμού εντός της γραμμής, από το μέγιστο χρόνο στάσης, από το χρόνο αναστροφής στα άκρα της γραμμής, από τον μέγιστο χρόνο ταξιδιού μεταξύ δύο σταθμών και συνεπώς, από την αναπτυσσόμενη επιτάχυνση, την ικανότητα πέδησης, την μέγιστη αναπτυσσόμενη ταχύτητα και την μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα της γραμμής. [1]

Προγραμματισμένη και αυστηρά τηρούμενη ανταπόκριση δεν πραγματοποιείται σε μητροπολιτικό σιδηροδρομικό δίκτυο. Οι παρακάτω

σχέσεις παρουσιάζονται ενδεικτικά για την περίπτωση όπου τηρούνταν αυστηρά η ανταπόκριση. [110]

Όταν το καθυστερημένο δρομολόγιο j έχει ανταπόκριση με δρομολόγιο k και η καθυστέρηση d^j είναι μικρότερη του περιθωρίου άνεσης $tlc^{j,k}$ της ανταπόκρισής τους, τότε η ανταπόκριση πραγματοποιείται και αποφεύγεται η καθυστέρηση των μετεπιβιβαζόμενων επιβατών.

$$d^j < tlc^{j,k} \quad (1.5)$$

όπου το περιθώριο άνεσης της ανταπόκρισης $tlc^{j,k}$ μεταξύ του δρομολογίου j και του δρομολογίου k είναι:

$$tlc^{j,k} = ts^k - ts^j - tc \quad (1.6)$$

όπου ts^j ο προγραμματισμένος χρόνος άφιξης του δρομολογίου j στον σταθμό ανταπόκρισης και ts^k η προγραμματισμένη αναχώρηση του δρομολογίου k της άλλης γραμμής.

Ο tc είναι ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για την μετεπιβίβαση όλων των επιβατών που προέρχονται από την άφιξη του δρομολογίου j και κατευθύνονται προς την αναχώρηση του άλλου δρομολογίου k .

Η μη ικανοποίηση των δύο παραπάνω συνθηκών ((1.3) , (1.5)) οδηγεί σε μεταφορά των καθυστερήσεων και σε άλλα δρομολόγια. [29]

1.4.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΕ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟ ΤΗΣ ΙΔΙΑΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

Στην περίπτωση που δεν ικανοποιείται η συνθήκη (1.3) τότε μέρος της καθυστέρησης d^j του δρομολογίου j θα μεταφερθεί στο επόμενο δρομολόγιο

$j+1$ της ίδιας γραμμής που ακολουθεί το δρομολόγιο j . Η καθυστέρηση θα σημειωθεί στην αναχώρηση $i-1$ του επόμενου δρομολογίου, καθώς ο επόμενος συρμός θα αναμένει στην αποβάθρα του προηγούμενου σταθμού $i-1$. Η καθυστέρηση d^{j+1} του επόμενου δρομολογίου $j+1$ θα είναι :

$$d^{j+1} = d^j - tl^{j+1,j} \quad (1.6)$$

οπότε και η επόμενη αναχώρηση tr^{j+1} του επόμενου δρομολογίου $j+1$ θα είναι :

$$tr^{j+1} = ts^{j+1} + d^{j+1} \quad (1.7)$$

η οποία από την (1.6) θα γίνει :

$$tr^{j+1} = ts^j + d^j - tl^{j+1,j} \quad (1.8)$$

Η μεταφερόμενη καθυστέρηση d^{j+1} στο επόμενο δρομολόγιο $j+1$ είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η καθυστέρηση που σημείωσε το προπορευόμενο δρομολόγιο j και τόσο μικρότερη, όσο μεγαλύτερο είναι το περιθώριο άνεσης μεταξύ των δύο δρομολογίων.

1.4.2.1 ΠΛΗΘΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΑ ΟΠΟΙΑ ΜΕΤΑΦΕΡΕΤΑΙ Η ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ

Μεταφορά μέρους της καθυστέρησης d^j μπορεί να γίνει και σε μεθεπόμενο δρομολόγιο $j+2$, μέσω του ενδιάμεσου δρομολογίου $j+1$. Η μεταφορά της καθυστέρησης πραγματοποιείται εφόσον δεν ικανοποιείται η σχέση (1.2) για τα δρομολόγια $j+1$, $j+2$. Για το μεθεπόμενο δρομολόγιο $j+2$ ισχύουν αντίστοιχα οι σχέσεις (1.6), (1.7), (1.8). Το πλήθος των

επηρεαζόμενων δρομολογίων n_y προκύπτει από την επαγωγική εφαρμογή των σχέσεων (1.6), (1.7), (1.8). Για σταθερή χρονοαπόσταση μεταξύ των δρομολογίων και κοινό περιθώριο άνεσης tl μεταξύ όλων των επόμενων δρομολογίων, είναι:

$$n_y = \text{int} \left(\frac{d^j}{tl} \right) + 1 \quad (1.9)$$

Για την ΑΜΕΛ, το περιθώριο ασφαλείας για χρονοαπόσταση λειτουργίας σε ώρα αιχμής 3 λεπτών είναι 1 λεπτό. Η σχέση (1.9), όσον αφορά τις ώρες αιχμής, γίνεται :

$$n_y = \text{int}(d) + 1 \quad (1.10)$$

Οι παραπάνω σχέσεις αφορούν αποκλειστικά την θεωρητική περίπτωση κατά την οποία κάθε δρομολόγιο χρησιμοποιεί όλο τον νεκρό χρόνο της χρονοαπόστασής του με το επόμενο. Στην πράξη, όμως, ειδικά κατά την ώρα αιχμής της χρονοαπόστασης λειτουργίας των 3 λεπτών, οι επηρεαζόμενοι συρμοί είναι περισσότεροι, διότι δεν χρησιμοποιούνται άμεσα οι νεκροί χρόνοι. Το κέντρο ελέγχου της κυκλοφορίας επιλέγει για λόγους απλότητας και συμβατότητας με τις ήδη καταχωρημένες εγγραφές δρομολογίων στο σύστημα και για μικρές καθυστερήσεις να πραγματοποιεί «ολίσθηση» του προγράμματος, με την μεταφορά ακέραιης της καθυστέρησης στα επόμενα δρομολόγια της ώρας αιχμής των 3 λεπτών. Τα επηρεαζόμενα δρομολόγια αυξάνονται. Κατόπιν, μετά το πέρας της ώρας αιχμής, και με την εκκίνηση χρονοαπόστασης 4 λεπτών, τα καθυστερημένα δρομολόγια ακυρώνονται, ή σύμφωνα με την επίσημη ορολογία της ΑΜΕΛ «χάνονται». [107]

Αξιοποίηση των νεκρών χρόνων γίνεται σε περιπτώσεις μεγαλύτερων καθυστερήσεων για τις οποίες και εκκρεμούν σημαντικοί επιβατικοί φόρτοι στις αποβάθρες. Σε ειδικές περιπτώσεις εμφάνισης μεγάλων φόρτων (π.χ. λήξη ποδοσφαιρικού αγώνα) και για μεγαλύτερες των 4 λεπτών χρονοαποστάσεις, δρομολογούνται έκτακτα πρόσθετοι συρμοί. Οι πρόσθετοι συρμοί μπορούν να τοποθετηθούν μεταξύ των προσχεδιασμένων δρομολογίων για χρονοαποστάσεις μεγαλύτερες των 6 λεπτών. Για χρονοαποστάσεις μεταξύ 4 και 6 λεπτών σχεδιάζεται πύκνωση των δρομολογίων. [105], [107]

1.4.2.2 ΠΛΗΘΟΣ ΧΑΜΕΝΩΝ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΩΝ

Χαμένα δρομολόγια n_x ονομάζονται τα δρομολόγια που ακυρώνονται. Η ακύρωση ενός δρομολογίου δεν είναι μία φυσική διαδικασία κατά την οποία ο συρμός, του οποίου το δρομολόγιο χάθηκε, αποσύρεται από την κυκλοφορία. Είναι μία διαδικασία αντιστοίχισης των συρμών που εκτελούν τα καθυστερημένα δρομολόγια στα δρομολόγια που εκτελούνται στην πράξη από τους ίδιου συρμούς βάση της θέσης τους στο δίκτυο. Η διαδικασία αυτή λέγεται επαναρίθμηση. [105]

Η επαναρίθμηση είναι μία διαδικασία που ακολουθεί πάντα την ακύρωση ενός τουλάχιστον δρομολογίου. Γι αυτό το λόγο, με βάση τα όσα διατυπώθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, δεν πραγματοποιείται ποτέ κατά την περίοδο αιχμής των 3 λεπτών.

Το πλήθος των χαμένων δρομολογίων δίνεται από την σχέση :

$$n_x = \text{int} \left(\frac{d + h_{\min}}{h} \right) \quad (1.11)$$

όπου $h_{\min}$ η ελάχιστη χρονοαπόσταση μεταξύ των δρομολογίων και

h η χρονοαπόσταση λειτουργίας

Παρατηρούμε πως το πλήθος των χαμένων δρομολογίων n_x είναι αντιστρόφως ανάλογο της χρονοαπόστασης h. Με την ολίσθηση της καθυστέρησης σε χρονική περίοδο με μεγαλύτερη χρονοαπόσταση (4 λεπτά) σημειώνεται μείωση των χαμένων δρομολογίων. [107]

1.4.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΕ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕ ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ

Προγραμματισμένη και αυστηρά τηρούμενη ανταπόκριση δεν πραγματοποιείται σε μητροπολιτικό σιδηροδρομικό δίκτυο. Οι παρακάτω σχέσεις παρουσιάζονται ενδεικτικά για την περίπτωση όπου τηρούνταν αυστηρά η ανταπόκριση. [110]

Όταν δεν ικανοποιείται η συνθήκη (1.4) όπου το καθυστερημένο δρομολόγιο j έχει ανταπόκριση με το δρομολόγιο k της άλλης γραμμής και όταν η ανταπόκριση μεταξύ των δύο δρομολογίων πραγματοποιείται, τότε μεταφέρεται μέρος της καθυστέρησης d^j του δρομολογίου j στο δρομολόγιο k, το οποίο και καθυστερεί με τη σειρά του κατά d^k :

$$d^k = d^j - tlc^{j,k} \quad (1.12)$$

οπότε και η επόμενη αναχώρηση του δρομολογίου k θα είναι :

$$tr^k = ts^k + d^k \quad (1.13)$$

η οποία από την (1.12) θα γίνει:

$$tr^k = ts^j + d^j - tlc^{j,k} \quad (1.14)$$

Η νέα καθυστέρηση d^k επιδράει και αυτή με τη σειρά της, στα δρομολόγια της δικής της γραμμής σύμφωνα με τα όσα διατυπώθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους.

2. ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΕΠΙΒΑΤΩΝ

2.1 ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΕΠΙΒΑΤΩΝ

Η καθυστέρηση ενός δρομολογίου επηρεάζει τους επιβατικούς φόρτους που αναπτύσσονται εντός του δικτύου. Συγκεκριμένα, επιβάτες συσσωρεύονται στις αποβάθρες χωρίς να μπορούν να εξυπηρετηθούν. Όταν αφιχθεί ο καθυστερημένος συρμός, οι επιβάτες συνωστιζονται εντός του συρμού. Η βιβλιογραφία που αναζητήθηκε εστιάζεται στο επίπεδο εξυπηρέτησης των επιβατών επί της αποβάθρας ως χώρου αναμονής και εντός του συρμού. Κατ' επέκταση εξετάζεται το επίπεδο εξυπηρέτησης στους διαδρόμους, του σταθμού και στο κλιμακοστάσιο. Η κλίμακα που χρησιμοποιείται είναι έξι βαθμίδων διότι οι χειριστές μεταφορικών δικτύων είναι ήδη εξοικειωμένοι με αυτή την κλίμακα, όπως και μεγάλη μερίδα του επιβατικού κοινού. [6], [18], [19], [20], [21], [22], [23]

2.2.1 ΑΝΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ

Οι επιβατικοί φόρτοι που αναπτύσσονται στο σιδηροδρομικό δίκτυο δεν εμφανίζονται ομοιόμορφα κατανεμημένοι στο χώρο και το χρόνο. Διακρίνονται τρία επίπεδα ανομοιομορφίας των επιβατικών φόρτων. [19]

Το πρώτο επίπεδο ανομοιομορφίας είναι εντός του ίδιου σιδηροδρομικού οχήματος (βαγονιού). Οι υψηλότερες πυκνότητες επιβατών παρατηρούνται κοντά στις θύρες επιβίβασης-αποβίβασης και οι χαμηλότερες στα άκρα των οχημάτων. Πολλοί ευρωπαϊκοί οργανισμοί, μάλιστα,

χρησιμοποιούν οχήματα με θύρες στα άκρα προκειμένου να αντιμετωπίσουν το παραπάνω φαινόμενο. Σ' αυτούς ανήκει και η Α.Μ.Ε.Λ..

Δεύτερο επίπεδο ανομοιομορφίας των επιβατικών φόρτων είναι μεταξύ των οχημάτων του ίδιου συρμού. Υψηλότερες συγκεντρώσεις επιβατών παρατηρούνται σε οχήματα που βρίσκονται πλησιέστερα στις εισόδους της αποβάθρας. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται ιδιαίτερα στις περιπτώσεις μικρού μήκους συρμού σε σχέση με αρκετά μεγαλύτερο μήκος αποβάθρας, και σε χρονικά διαστήματα της ημέρας με μικρή χρονοαπόσταση μεταξύ των συρμών.

Τρίτο επίπεδο ανομοιομορφίας είναι το δεκαπεντάλεπτο αιχμής κατά την ώρα αιχμής. Οι επιβάτες δεν προσέρχονται ομοιόμορφα στους σταθμούς, αλλά με σημαντικές διακυμάνσεις ακόμα και εντός της ίδιας ώρας μελέτης. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ο Συντελεστής Ώρας Αιχμής (Σ.Ω.Α.) (PHF) ο οποίος είναι ο λόγος του ενός τετάρτου του ωριαίου φόρτου (R_{hour}) προς τον φόρτο του δεκαπενταλέπτου αιχμής (R_{15min}).

$$PHF = \frac{R_{hour}}{4R_{15min}}$$

Ο Συντελεστής Δεκαπενταλέπτου Αιχμής λαμβάνει τιμές από 0,25 για πλήρως ανομοιόμορφη φόρτιση μέχρι 1,00 για πλήρως ομοιόμορφη φόρτιση. Συντελεστές δεκαπεντάλεπτου αιχμής που έχουν παρατηρηθεί παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2.1

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΩΡΑΣ ΑΙΧΜΗΣ

ΒΑΡΥΣ ΜΗΤΡΟΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΟΣ	
ΣΚΑΪΤΡΕΪΝ (ΒΑΝΚΟΥΒΕΡ)	0,84
ΣΤΑ (ΣΙΚΑΓΟ)	0,81
ΜΑΡΤΑ (ΑΤΛΑΝΤΑ)	0,76
ΜΕΤΡΟΠΕΪΛ (ΜΑΪΑΜΙ)	0,63
ΝΥΣΤ (ΝΕΑ ΥΟΡΚΗ)	0,81
ΠΑΤΗ (ΝΕΑ ΥΕΡΣΕΪ)	0,79
ΣΤΚΥΜ (ΜΟΝΤΡΕΑΛ)	0,71
ΤΤΣ (ΤΟΡΟΝΤΟ)	0,79

Πηγή : [19]

Αναφέρεται πως έχει παρατηρηθεί και ανομοιομορφία μεταξύ διαδοχικών δρομολογίων, όταν χρησιμοποιούνται συρμοί διαφορετικοί, οι οποίοι προσφέρουν διαφορετικό επίπεδο εξυπηρέτησης. Συγκεκριμένα αναφέρθηκε σε ανομοιομορφία φόρτισης κατά τους θερινούς μήνες μεταξύ συρμών εξοπλισμένους με κλιματιστικό σύστημα σε αντιπαράθεση με συρμούς δίχως κλιματιστικό σύστημα. [109]

2.2.2 ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΕΠΙΒΑΤΩΝ ΕΝΤΟΣ ΣΥΡΜΟΥ

Το επίπεδο εξυπηρέτησης εντός συρμού εξαρτάται από το πλήθος των επιβατών ανά όχημα. Στην κλίμακα επιπέδου εξυπηρέτησης διαφοροποιούνται το ένα επίπεδο από το άλλο όταν παρατηρούνται αισθητές αλλαγές, δευτερεύοντος, δε, επιδιώκεται τα εύρη τιμών που προσδιορίζουν το κάθε επίπεδο εξυπηρέτησης, να είναι περίπου ίσα. [19]

Επίπεδο εξυπηρέτησης Α παρατηρείται όταν κανένας επιβάτης δεν υποχρεώνεται να καθίσει δίπλα σε άλλον. Ο λόγος των επιβατών προς τα καθίσματα λαμβάνει μέγιστη τιμή 0,50 η οποία και αντιστοιχεί σε 1,85 μ²/επ. Επίπεδο εξυπηρέτησης Β παρατηρείται όταν οι επιβάτες εξακολουθούν να μπορούν να επιλέξουν πού θα καθίσουν. Ο λόγος των επιβατών προς τα καθίσματα λαμβάνει μέγιστη τιμή 0,75 η οποία και αντιστοιχεί σε 1,30 μ²/επ.. Επίπεδο εξυπηρέτησης C παρατηρείται όταν όλοι οι επιβάτες μπορούν να καθίσουν. Ο λόγος επιβατών προς τα καθίσματα λαμβάνει μέγιστη τιμή 1,00 η οποία και αντιστοιχεί σε 0,95 μ²/επ.. Επίπεδο εξυπηρέτησης D παρατηρείται όταν επιβάτες υποχρεώνονται μεν να μείνουν όρθιοι ελλείψει άδειων καθισμάτων, στέκονται όμως άνετα και σε ικανοποιητική απόσταση μεταξύ τους. Ο λόγος των επιβατών προς τα καθίσματα λαμβάνει μέγιστη τιμή 2,00 η οποία και αντιστοιχεί σε 0,50 μ²/επ.. Το επίπεδο εξυπηρέτησης D είναι αυτό που προτείνεται για το σχεδιασμό του δικτύου. Επίπεδο εξυπηρέτησης E ενδείκνυται ως μέγιστο φορτίο σχεδιασμού. Ο λόγος των επιβατών προς τα καθίσματα λαμβάνει μέγιστη τιμή 3,00 η οποία και αντιστοιχεί σε 0,30 μ²/επ.. Το Επίπεδο εξυπηρέτησης F θεωρείται φορτίο αστοχίας . Ο λόγος των επιβατών προς τα καθίσματα λαμβάνει τιμή μεγαλύτερη από 3,00 η οποία και αντιστοιχεί σε λιγότερο από 0,30 μ²/επ..

Πίνακας 2.2

Ε.Ε. ΕΠΙΒΑΤΩΝ ΕΝΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Ε.Ε.	ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΟΣ		ΣΧΟΛΙΑ
	Μ2/επ.	επ./κάθισμα*	
A	>1,85	0,00-0,50	ΚΑΝΕΝΑΣ ΕΠΙΒΑΤΗΣ ΔΕΝ ΧΡΕΙΑΖΕΤΑΙ ΝΑ ΚΑΨΕΙ ΚΟΝΤΑ ΣΕ ΑΛΛΟΝ
B	1,30-1,85	0,51-0,75	ΟΙ ΕΠΙΒΑΤΕΣ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΕΠΙΛΕΞΟΥΝ ΠΟΥ ΘΑ ΚΑΘΙΣΟΥΝ
C	0,95-1,29	0,76-1,00	ΟΛΟΙ ΟΙ ΕΠΙΒΑΤΕΣ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΚΑΘΙΣΟΥΝ
D	0,50-0,94	1,01-2,00	ΑΝΕΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΟΡΘΙΟΥΣ
E	0,30-0,49	2,01-3,00	ΜΕΓΙΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΕΝΟ ΦΟΡΤΙΟ
F	<0,30	>3,00	ΦΟΡΤΙΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

* ΤΙΜΕΣ ΚΑΤΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΓΙΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗ.

ΤΟ Ε.Ε. ΒΑΣΙΖΕΤΑΙ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΝΑ ΕΠΙΒΑΤΗ

Πηγή : [19]

Όλοι οι επιβατικοί συρμοί της ΑΜΕΛ είναι ίδιου τύπου και διαθέτουν 224 καθίσματα και συνολική χωρητικότητα 1030 ατόμων. Οι όρθιοι επιβάτες είναι 806 και έχουν υπολογιστεί με αντιστοιχία 5 ατόμων ανά $1 \mu^2$. Το πλήθος των επιβατών ανά συρμό που διαφοροποιεί το επίπεδο εξυπηρέτησης είναι: 112, 168, 224, 448, 672 για επίπεδο εξυπηρέτησης Α, Β, C, D, E, F αντίστοιχα. Οι αριθμοί αυτοί αναφέρονται στο μέσο επίπεδο εξυπηρέτησης για κάθε συρμό, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι ανομοιομορφίες φόρτισης, όπως αυτές αναφέρθηκαν παραπάνω.

2.2.3 ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΕΠΙΒΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΒΑΘΡΑ

Η αποβάθρα ενός σταθμού είναι ένας χώρος αναμονής και αντίστοιχα σχηματισμού ουράς αναμονής. Προκειμένου να αξιολογηθεί το προσφερόμενο επίπεδο εξυπηρέτησης των επιβατών επί της αποβάθρας χρησιμοποιείται η προτεινόμενη εξαβάθμια κλίμακα για περιοχές σχηματισμού ουρών αναμονής. Το επίπεδο εξυπηρέτησης στην αποβάθρα εξαρτάται από το πλήθος των επιβατών ανά μ^2 ή αντίστοιχα την επιφάνεια που αντιστοιχεί σε έναν επιβάτη.

Επίπεδο εξυπηρέτησης Α έχουμε όταν η σχηματιζόμενη ουρά αναμονής επιτρέπει διαμέσου της την ελεύθερη διέλευση επιβατών, δίχως την ενόχληση των αναμένοντων επιβατών. Η ελάχιστη επιφάνεια που αντιστοιχεί σε επίπεδο εξυπηρέτησης Α είναι $1,2 \mu^2/\text{επ.}$ Επίπεδο εξυπηρέτησης Β έχουμε όταν η σχηματιζόμενη ουρά αναμονής επιτρέπει μερικώς περιορισμένη διέλευση επιβατών προκειμένου να αποφευχθεί η ενόχληση των αναμένοντων επιβατών. Η ελάχιστη επιφάνεια που αντιστοιχεί σε επίπεδο εξυπηρέτησης Β είναι $0,9 \mu^2/\text{επ.}$ Επίπεδο εξυπηρέτησης C έχουμε όταν η σχηματιζόμενη ουρά αναμονής οδηγεί σε περιορισμένη διέλευση επιβατών διαμέσου της με ενόχληση των αναμένοντων επιβατών. Μέχρι αυτό το επίπεδο εξυπηρέτησης διατηρείται η άνεση των αναμένοντων επιβατών. Η ελάχιστη επιφάνεια που αντιστοιχεί σε επίπεδο εξυπηρέτησης C είναι $0,7 \mu^2/\text{επ.}$ Επίπεδο εξυπηρέτησης D έχουμε όταν οι αναμένοντες επιβάτες στέκονται οριακά χωρίς να έρχονται σε επαφή. Η

διέλευση είναι σημαντικά περιορισμένη και η αναμονή σε αυτό το επίπεδο εξυπηρέτησης για μακρύ χρονικό διάστημα προκαλεί δυσφορία. Η ελάχιστη επιφάνεια που αντιστοιχεί σε επίπεδο εξυπηρέτησης D είναι $0,3 \mu^2/\text{επ.}$ Επίπεδο εξυπηρέτησης E έχουμε όταν οι αναμένοντες επιβάτες έρχονται αναπόφευκτα σε επαφή. Η διέλευση διαμέσου της ουράς αναμονής είναι αδύνατη και η αναμονή των επιβατών σε αυτή είναι ανεκτή μόνο για πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Η ελάχιστη επιφάνεια που αντιστοιχεί σε επίπεδο εξυπηρέτησης E είναι $0,2 \mu^2/\text{επ.}$ Επίπεδο εξυπηρέτησης F έχουμε όταν οι αναμένοντες επιβάτες βρίσκονται σε στενή επαφή. Έντονα είναι τα αισθήματα δυσφορίας που αναπτύσσονται, ενώ εμφανίζεται η πιθανότητα πανικού. Καμίας μορφής κίνηση των αναμενόντων δεν είναι δυνατή. Η μέγιστη επιφάνεια που αντιστοιχεί σε επίπεδο εξυπηρέτησης F είναι $0,2 \mu^2/\text{επ.}$

Οι αποβάθρες της ΑΜΕΛ έχουν όλες μήκος 110,0 μέτρα και πλάτος 5,5. Από αυτά αν αφαιρέσουμε το 1 μέτρο απόστασης των επιβατών από την άκρη της αποβάθρας από την μεριά της σιδηροδρομικής γραμμής, τότε το διατιθέμενο εμβαδόν είναι $495 \mu^2$. Το εμβαδόν αυτό μπορεί να προσαυξηθεί αν προστεθεί σε αυτό και η περιοχή μπροστά από την κατάληξη των κλιμακοστασίων πίσω από την αποβάθρα. Το πλήθος των ατόμων που διαφοροποιεί το προσφερόμενο επίπεδο εξυπηρέτησης είναι 412, 550, 707, 1650, 2475 για επίπεδο εξυπηρέτησης A, B, C, D, E, F αντίστοιχα.

Ειδικά οι αποβάθρες των σταθμών Σύνταγμα και Μοναστηράκι έχουν μήκος 140 μέτρα και πλάτος 5,5 μέτρα με εμβαδό $630 \mu^2$ και θα αναφέρονται ως τύπου 2. Το πλήθος των ατόμων που διαφοροποιεί το προσφερόμενο επίπεδο εξυπηρέτησης είναι 525, 700, 900, 2100, 3150 για επίπεδο εξυπηρέτησης A, B, C, D, E, F αντίστοιχα.

Παρατηρούμε πως στο επίπεδο εξυπηρέτησης D το πλήθος των επιβατών που αναμένει στην αποβάθρα υπερβαίνει το πλήθος των 1030

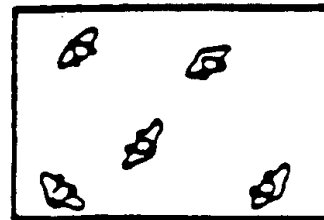
επιβατών που μπορεί να εξυπηρετηθεί από την θεωρητική άφιξη ενός άδειου συρμού, οπότε και η αύξηση των επιβατών πέρα από το πλήθος των 1030 δεν αποδίδει κανένα επιπρόσθετο όφελος. Δόκιμο είναι, επίσης, να αποφεύγονται καταστάσεις στενής επαφής μεταξύ των αναμένοντων επιβατών, διότι εμφανίζεται η πιθανότητα ώθησης επιβάτη επί της σιδηροδρομικής γραμμής. Όταν το πλήθος των ατόμων διατηρηθεί πάνω από το επίπεδο εξυπηρέτησης D τότε περιορίζεται η στενή επαφή μεταξύ των αναμένοντων επιβατών. Για το πλήθος των 1030 ατόμων διασφαλίζεται οριακά η παραπάνω συνθήκη.

Πίνακας 2.3

ΣΤΑΘΜΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ Α

Μέση επιφάνεια καταλαμβανόμενη
από πεζούς: $> 1,21$ τ.μ./πεζό

Μέση απόσταση μεταξύ πεζών:
 $1,22$ μ. ή περισσότερο.

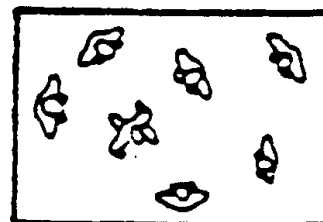


Περιγραφή: Ελεύθερη επιλογή θέσης για αναμονή και ελεύθερη κυκλοφορία στο χώρο αναμονής χωρίς την ενόχληση άλλων που αναμένουν.

ΣΤΑΘΜΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ Β

Μέση καταλαμβανόμενη επιφάνεια
από τους πεζούς: $0,93 - 1,21$ τ.μ./πεζό

Μέση απόσταση μεταξύ πεζών: $1,07 - 1,22$ μ.

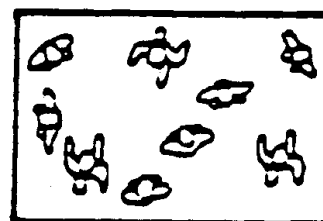


Περιγραφή: Ελεύθερη επιλογή θέσης για αναμονή και μερικές φορές περιορισμένη κυκλοφορία στον χώρο αναμονής. Η πυκνότητα είναι υποφερτή και δεν δημιουργούνται ενοχλήσεις σε όσους αναμένουν.

ΣΤΑΘΜΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ Γ

Μέση καταλαμβανόμενη επιφάνεια
από τους πεζούς: $0,65 - 0,93$ τ.μ./πεζό

Μέση απόσταση μεταξύ των πεζών: $0,91 - 1,07$ μ.

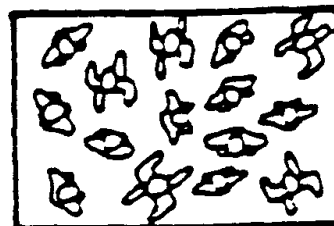


Περιγραφή: Ελεύθερη επιλογή θέσης για αναμονή. Η κυκλοφορία στο χώρο αναμονής είναι δυνατή, αλλά με περιορισμούς και ενοχλήσεις στους υπόλοιπους που αναμένουν. Η πυκνότητα είναι σε αποδεκτά επίπεδα.

ΣΤΑΘΜΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ D

Μέση καταλαμβανόμενη επιφάνεια
από τους πεζούς: 0,28 - 0,65 τ.μ./πεζό

Μέση απόσταση μεταξύ των πεζών: 0.61 - 0,91 μ.

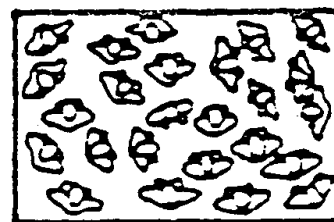


Περιγραφή: Ελεύθερη επιλογή θέσης για αναμονή δυνατή, χωρίς να αγγίζει ο ένας τον άλλο. Η κυκλοφορία είναι πολύ περιορισμένη και η κίνηση προς τα εμπρός είναι δυνατή μόνο σε ομάδες. Μεγάλες χρονικές περίοδοι αναμονής μ'αυτή την πυκνότητα δεν είναι υποφερτές.

ΣΤΑΘΜΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ E

Μέση καταλαμβανόμενη επιφάνεια
από τους πεζούς: 0,19 - 0,28 τ.μ./πεζό

Μέση απόσταση μεταξύ των πεζών: <0,61 μ.

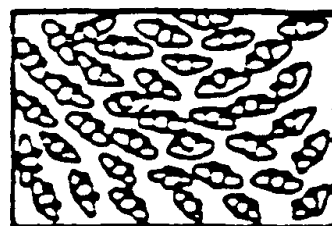


Περιγραφή: Η επαφή των πεζών όταν στέκονται όρθιοι είναι αναπόφευκτη. Δεν είναι δυνατή η κυκλοφορία στο χώρο αναμονής. Γι' αυτή την πυκνότητα αναμονή συνιστάται να υπάρχει μόνο για μικρά χρονικά διαστήματα.

ΣΤΑΘΜΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ F

Μέση καταλαμβανόμενη επιφάνεια
από τους πεζούς: <0,19 τ.μ./πεζό

Μέση απόσταση μεταξύ των πεζών:
Στενή επαφή των ατόμων.



Περιγραφή: Σχεδόν όλα τα άτομα που αναμένουν στέκονται αγγίζοντας τους διπλανούς τους. Καμμία κίνηση δεν μπορεί να γίνει και η πιθανότητα να δημιουργηθεί πρόβλημα υγείας ή πανικός μεταξύ των αναμενόντων είναι μεγάλη. Η πυκνότητα δεν είναι υποφερτή.

Πηγή : [6]

2.2.4 ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΕΠΙΒΑΤΩΝ ΣΕ ΔΙΑΔΡΟΜΟ, ΚΛΙΜΑΚΟΣΤΑΣΙΟ, ΕΚΔΟΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΑΚΥΡΩΤΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

Το επίπεδο εξυπηρέτησης επιβατών στους χώρους των διαδρόμων, του κλιμακοστασίου, των εκδοτηρίων και των ακυρωτικών παρατίθεται βιβλιογραφικά, δεν εξετάζεται όμως αναλυτικά στους σταθμούς της ΑΜΕΛ. Ο λόγος είναι ότι καθώς αναπτύσσεται μία καθυστέρηση στο μητροπολιτικό σιδηροδρομικό δίκτυο, η πρώτη περιοχή που εμφανίζεται αστοχία είναι ο χώρος αναμονής στις αποβάθρες και κατόπιν εντός του πρώτου καθυστερημένου συρμού. Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης της καθυστέρησης οι περιοχές των διαδρόμων, του κλιμακοστασίου, των εκδοτηρίων και των ακυρωτικών συνεχίζουν να εξυπηρετούν την διαμπερή κίνηση των επιβατών, χωρίς να χρησιμοποιούν την αποθηκευτική τους ικανότητα. Προκειμένου να την χρησιμοποιήσουν θα πρέπει πρώτα να έχει εξαντληθεί η αποθηκευτική ικανότητα της αποβάθρας, στην οποία και θα έχουν αυξηθεί σημαντικά τα επίπεδα επικινδυνότητας. Όταν αρχίσει να αναπτύσσεται η αποθηκευτική ικανότητα των κλιμακοστασίων και των διαδρόμων, δεν εμφανίζονται τόσο αυξημένες καταστάσεις επικινδυνότητας όσο στην αποβάθρα, αντιθέτως μάλιστα δυσχεραίνουν την κατάσταση συμφόρησης στην αποβάθρα.

Το επίπεδο εξυπηρέτησης ενός διαδρόμου εξαρτάται από την μέση επιφάνεια που αντιστοιχεί σε κάθε επιβάτη. Όσο μεγαλύτερη επιφάνεια αναλογεί σε ένα επιβάτη τόσο μεγαλύτερη είναι και η ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει.

Επίπεδο εξυπηρέτησης Α έχουμε όταν οι επιβάτες είναι σε θέση να επιλέξουν ελεύθερα την ταχύτητα βαδίσματός τους. Η πιθανότητα επαφής με άλλους επιβάτες είναι απίθανη. Κατώτερο όριο μέσης επιφάνειας ανά επιβάτη είναι $12,1 \text{ μ}^2/\text{επ.}$ και μέγιστος επιβατικός φόρτος ανά μέτρο πλάτους είναι $6,1 \text{ επ./λεπτό/μέτρο}$. Επίπεδο εξυπηρέτησης Β έχουμε όταν οι επιβάτες διατηρούν μεν τη δυνατότητα να επιλέγουν αυτοί την ταχύτητα κίνησής τους, είναι, δε, σε επιφυλακή προκειμένου να αποφύγουν σύγκρουση με άλλο επιβάτη. Κατώτερο

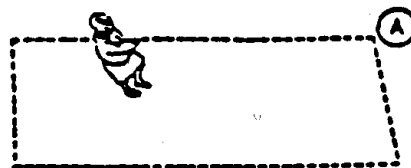
όριο μέσης επιφάνειας ανά επιβάτη είναι $3,7 \text{ μ}^2/\text{επ.}$ και μέγιστος επιβατικός φόρτος ανά μέτρο πλάτους είναι $21,3 \text{ επ./λεπτό/μέτρο}$. Επίπεδο εξυπηρέτησης C έχουμε όταν οι επιβάτες διατηρούν μεν τη δυνατότητα να επιλέγουν αυτοί την ταχύτητα κίνησής τους, είναι, δε, πιθανές οι μικροσυγκρούσεις με επιβάτες που κινούνται σε κάθετη ή αντίθετη κατεύθυνση. Κατώτερο όριο μέσης επιφάνειας ανά επιβάτη είναι $2,2 \text{ μ}^2/\text{επ.}$ και μέγιστος επιβατικός φόρτος ανά μέτρο πλάτους είναι $30,5 \text{ επ./λεπτό/μέτρο}$. Επίπεδο εξυπηρέτησης D έχουμε όταν περιορίζεται η ελευθερία επιλογής ταχύτητας και υπέρβασης άλλων επιβατών. Οι συγκρούσεις με επιβάτες που κινούνται σε κάθετη ή αντίθετη κατεύθυνση είναι αναπόφευκτες. Κατώτερο όριο μέσης επιφάνειας ανά επιβάτη είναι $1,4 \text{ μ}^2/\text{επ.}$ και μέγιστο επιβατικός φόρτος ανά μέτρο πλάτους είναι $45,7 \text{ επ./λεπτό/μέτρο}$. Επίπεδο εξυπηρέτησης E έχουμε όταν περιορίζεται η ταχύτητα βαδίσματος και η υπέρβαση άλλων επιβατών. Οι συγκρούσεις με επιβάτες που κινούνται σε παράλληλη, κάθετη ή αντίθετη κατεύθυνση είναι συχνές, ενώ ο επιβατικός φόρτος πλησιάζει την κυκλοφοριακή ικανότητα διαδρόμου που είναι $75 \text{ επ./λεπτό/μέτρο}$. Κατώτερο όριο μέσης επιφάνειας ανά επιβάτη είναι $0,6 \text{ μ}^2/\text{επ.}$ και μέγιστο επιβατικός φόρτος ανά μέτρο πλάτους είναι $76,2 \text{ επ./λεπτό/μέτρο}$. Επίπεδο εξυπηρέτησης F έχουμε όταν η ταχύτητα βαδίσματος περιορίζεται πλήρως. Οι συγκρούσεις με επιβάτες που κινούνται σε κάθετη ή αντίθετη κατεύθυνση είναι αναπόφευκτες σε σημείο που να καθίσταται αδύνατη η κίνηση με αντίθετη κατεύθυνση. Η ροή είναι σποραδική και ασταθής. Κατώτερο όριο μέσης επιφάνειας ανά επιβάτη είναι $76,2 \text{ μ}^2/\text{επ.}$

Η Α.Μ.Ε.Λ χρησιμοποιεί διαφορετικό πλάτος διαδρόμων ανά σταθμό, και συνεπώς δεν υπάρχουν κοινοί χαρακτηριστικοί φόρτοι που να καθορίζουν το επίπεδο εξυπηρέτησης για το σύνολο των σταθμών.

Πίνακας_2.4

ΣΤΑΘΜΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ Α

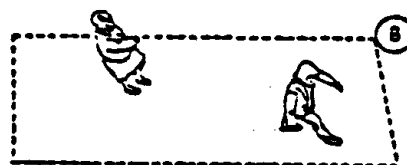
Επιφάνεια πεζού: >12 τ.μ./πεζό
Μοναδιαία Ροή: <6,6 πεζοί/λεπτό/μ.



Σε πεζοδρόμιο με επίπεδο εξυπηρέτησης Α, οι πεζοί ουσιαστικά κινούνται επιλέγοντας μόνοι τους το τμήμα του πεζοδρομίου που θα κινηθούν χωρίς ν'αλλάξουν την πορεία τους λόγω των άλλων πεζών. Η ταχύτητα βαδίσματος επιλέγεται ελεύθερα και η πιθανότητα σύγκρουσης πεζών είναι μηδαμινή.

ΣΤΑΘΜΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ Β

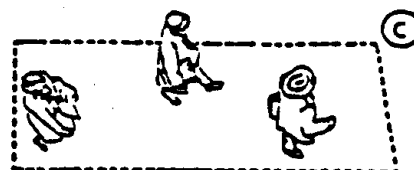
Επιφάνεια πεζού: >3,7τ.μ./πεζό,
αλλά <12 τ.μ./πεζό
Μοναδιαία Ροή: < 23 πεζοί/λεπτό/μ.



Σε επίπεδο εξυπηρέτησης Β υπάρχει αρκετός χώρος, ώστε να μπορούν οι πεζοί να επιλέγουν ελεύθερα την ταχύτητα βαδίσματος, να προσπερνούν άλλους πεζούς και να αποφεύγουν τις συγκρούσεις μεταξύ τους. Στο επίπεδο αυτό οι πεζοί αρχίζουν να αντιλαμβάνονται άλλους πεζούς και αντιδρούν στην παρουσία τους επιλέγοντας το τμήμα του πεζοδρομίου που θα περπατήσουν.

ΣΤΑΘΜΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ C

Επιφάνεια πεζού: >2,2τ.μ./πεζό
αλλά <3,7τ.μ./πεζό
Μοναδιαία Ροή: <33 πεζοί/λεπτό/μ.



Στο επίπεδο εξυπηρέτησης C, υπάρχει αρκετός χώρος, ώστε να επιλέγουν οι πεζοί κανονική ταχύτητα βαδίσματος και να προσπερνούν άλλους πεζούς σε ρεύματα μιας κατεύθυνσης. Οπου υπάρχει αντίθετη κατεύθυνση ή διασταύρωση πεζών, συμβαίνουν μικρές συγκρούσεις και τόσο η ταχύτητα όσο και ο αριθμός των πεζών που μπορούν να εξυπηρετηθούν σε δεδομένη επιφάνεια ελλατώνονται.

ΣΤΑΘΜΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ D

Επιφάνεια πεζού: $>1,4$ τ.μ./πεζό
αλλά $<2,2$ τ.μ./πεζό
Μοναδιαία Ροή: <49 πεζοί/λεπτό/μ.



Στο επίπεδο εξυπηρέτησης D, περιορίζεται η ελευθερία επιλογής της ταχύτητας βαδίσματος και η δυνατότητα προσπέρασης άλλων πεζών. Οπου παρουσιάζεται διασταύρωση πεζών ή κίνηση αντίθετης ροής, η πιθανότητα σύγκρουσης είναι μεγάλη, και η αποφυγή της σύγκρουσης απαιτεί συχνές αλλαγές στην ταχύτητα και τη θέση.

ΣΤΑΘΜΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ E

Επιφάνεια πεζού: $>0,6$ τ.μ./πεζό
αλλά $<1,4$ τ.μ./πεζό
Μοναδιαία Ροή: <82 πεζοί/λεπτό/μ.



Στο επίπεδο εξυπηρέτησης E σχεδόν όλοι οι πεζοί έχουν περιορίσει την κανονική ταχύτητα βαδίσματος, αφού είναι απαραίτητο να προσαρμόζουν συχνά το βάδισμά τους ανάλογα με τους άλλους πεζούς. Όσο η επιφάνεια ανά πεζό πλησιάζει τα $0,6$ τ.μ. τόσο η κίνηση γίνεται όλο και πιο αργά. Υπάρχει λίγος χώρος για προσπέραση των πιο αργών πεζών. Διασταυρώσεις ή κινήσεις πεζών αντίθετης ροής γίνονται μόνο με μεγάλη δυσκολία. Οι φόρτοι σχεδιασμού πλησιάζουν τα όρια της κυκλοφοριακής ικανότητας, με αποτέλεσμα συχνές στάσεις και διακοπές της ροής.

ΣΤΑΘΜΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ F

Επιφάνεια πεζού: $<0,6$ τ.μ./πεζό
Μοναδιαία Ροή: μεταβλητή



Στο επίπεδο εξυπηρέτησης F η ταχύτητα βαδίσματος περιορίζεται πάρα πολύ και η κίνηση γίνεται μόνο με αργό βάδισμα. Συχνά παρατηρείται αναπόφευκτη επαφή με άλλους πεζούς. Διασταυρώσεις και κινήσεις αντίθετης ροής είναι σχεδόν αδύνατες. Η ροή είναι σποραδική και ασταθής. Η διαθέσιμη επιφάνεια πλησιάζει αυτή των περιπτώσεων πεζών που δημιουργούν ουρά.

Πηγή : [6]

Πίνακας 2.5

Επίπεδο Εξυπηρέτησης Πεζών	Επιφάνεια (μ ² /επ.)	Αναμενόμενοι Φόρτοι και ταχύτητες		
		Μέση Ταχύτητα (μ/λεπτό)	Ροή ανά μέτρο πλάτους και ανά λεπτό	Φόρτος προς Χωρητικότητα
A	>12,1	>79,2	<6,1	<0,08
B	>3,7	>76,2	<21,3	<0,28
C	>2,2	>73,2	<30,5	<0,40
D	>1,4	>68,6	<45,7	<0,60
E	>0,6	>45,7	<76,2	<1,00
F	<0,6	<45,7	Μεταβλητό	

Πηγή : [19]

Το επίπεδο εξυπηρέτησης E συνδέεται άμεσα με την κυκλοφοριακή ικανότητα. Αντίστοιχα συμβαίνει και για το επίπεδο εξυπηρέτησης των επιβατών επί της αποβάθρας, και εντός του συρμού. Στα παραπάνω μεγέθη πάντοτε πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το ενεργό πλάτος της διατομής, δηλαδή αυτό που προκύπτει από την αφαίρεση 0,5 μέτρων από το κάθε άκρο των οριογραμμών του διαδρόμου.

Η κυκλοφοριακή ικανότητα ενός κλιμακοστασίου επηρεάζεται σημαντικά από το πλάτος του. Σε αντίθεση με τους διαδρόμους μία μικρή ροή αντίθετης κατεύθυνσης μπορεί να περιορίσει στο μισό την κυκλοφοριακή ικανότητα του κλιμακοστασίου. Επίσης, λόγω της μεγαλύτερης ενεργειακής απαίτησης κατά την άνοδο του κλιμακοστασίου, χαμηλότερη κυκλοφοριακή ικανότητα εμφανίζεται στην άνοδο, στην οποία και αναφέρεται το επίπεδο εξυπηρέτησης. Ενδεικτικά παρουσιάζονται και το επίπεδο εξυπηρέτησης στην περιοχή του κλιμακοστασίου. Ειδικά για τις κυλιόμενες σκάλες, ιδιαίτερη σημασία έχει το γεγονός ότι στο «Transit Capacity and Quality of Service Manual» του Transportation Research Board παρατηρείται ότι το βάδισμα σε μία από τις λωρίδες μίας κυλιόμενης κλίμακας δεν αυξάνει σημαντικά την κυκλοφοριακή ικανότητα της, καθώς ο επιβάτης που βαδίζει καταλαμβάνει δύο σκαλοπάτια. Και για τους δύο τύπους κλιμακοστασίου πολύ σημαντική είναι η

ύπαρξη επαρκούς χώρου αναμονής στα άκρα του κλιμακοστασίου, ο οποίος και υπολογίζεται με ξεχωριστή μεθοδολογία.

Για την περιοχή των εκδοτηρίων, το επίπεδο εξυπηρέτησης διαφοροποιείται ανάλογα με τη μορφή του κομίστρου και τα χαρακτηριστικά του μηχανήματος. Απαιτείται ειδικότερη μελέτη για τον προσδιορισμό του παρεχόμενου επιπέδου εξυπηρέτησης των εκδοτηρίων της ΑΜΕΛ. Επίσης πρέπει να ληφθεί υπόψη το γεγονός της δυνατότητας έκδοσης εισιτηρίου για την Α.Μ.Ε.Λ. από εκδοτήριο διαφορετικού τύπου από σταθμό του ΗΣΑΠ.

Η ικανότητα εξυπηρέτησης επιβατών των ακυρωτικών μηχανημάτων εξαρτάται από τον ελάχιστο χρόνο που απαιτείται προκειμένου ένας επιβάτης να περάσει από τον χώρο του ακυρωτικού. Αυτός ο χρόνος εξαρτάται τόσο από την ταχύτητα βαδίσματος του επιβάτη όσο και από το αν θα ακυρώσει εισιτήριο. Ο χρόνος ακύρωσης διαφοροποιείται ανάλογα με τον τύπο του ακυρωτικού μηχανήματος, και συνεπώς απαιτείται ειδικότερη μελέτη. [19]

3. ΕΠΙΒΑΤΙΚΟΙ ΦΟΡΤΟΙ ΠΡΟΣΕΛΕΥΣΗΣ ΣΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ

Οι κύριοι επιβατικοί φόρτοι που εμφανίζονται στους μητροπολιτικούς σιδηρόδρομους είναι

α) οι επιβατικοί φόρτοι $Q_{m_{i,j,k}}$ προσέλευσης ανά σταθμό προέλευσης i ανά σταθμό προορισμού j , ανά ώρα k

β) ο επιβατικός φόρτος $Q_{b_{i,i+1}}$ εντός των Συρμών μεταξύ δύο διαδοχικών σταθμών $i, i+1$

γ) οι επιβατικοί φόρτοι $Q_{p_{i,i+1}}$ που ενδέχεται να μην μπορούν να επιβιβαστούν στον σταθμό i προς τον σταθμό $i+1$ και να παραμείνουν στον σταθμό λόγω υπερπλήρωσης του συρμού.

Μονάδα μέτρησης των παραπάνω φόρτων είναι οι Επιβάτες / Ώρα, ενώ όταν θα αναφερόμαστε σε αυτούς σε μονάδες Επιβατών, τότε θα συμβολίζονται με q . Χάριν συντομίας οι παραπάνω επιβατικοί φόρτοι θα αναφέρονται και ως Φόρτος Προσέλευσης, Φόρτος Συρμού και Φόρτος Παραμονής. [5]

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται οι επιβατικοί φόρτοι $Q_{m_{i,j,k}}$ προσέλευσης ανά σταθμό προέλευσης i ανά σταθμό προορισμού j ανά ώρα k

3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Ο επιβατικός φόρτος Προσέλευσης $Q_{m_{i,j,k}}$ ανά σταθμό Προέλευσης i και ανά σταθμό Προορισμού j κατά το χρονικό διάστημα k είναι ο λόγος του συνόλου των επιβατών $q_{m_{i,j,k}}$ που προσέρχεται στο σταθμό προέλευσης i και

κατευθύνεται προς τον σταθμό προορισμού j κατά το χρονικό διάστημα k , προς το χρονικό διάστημα t_k σε ώρες.

$$Qm_{i,j,k} = \frac{qm_{i,j,k}}{t_k} \quad (3.1)$$

Ο παραπάνω ορισμός είναι ορισμός ωριαίου επιβατικού φόρτου. Στην παρούσα μελέτη, όμως, συναντάται πληθώρα ωριαίων επιβατικών φόρτων εντός του σιδηροδρομικού συστήματος, γι αυτό και απαιτείται ο ειδικότερος ορισμός τους.

Ο επιβατικός φόρτος Προσέλευσης $Qm_{i,j,k}$ ορίζει το μητρώο προέλευσης - προορισμού του δικτύου. Από αυτόν εξαρτάται ο αρχικός σχεδιασμός του δικτύου καθώς και η συμπεριφορά του δικτύου σε περίπτωση καθυστέρησης των δρομολογίων.

Ο επιβατικός φόρτος Προσέλευσης $Qm_{i,j,k}$ ορίζει επίσης τον επιβατικό φόρτο Προσέλευσης σε κάθε αποβάθρα $Qr_{i,1-2,k}$, ως άθροισμα όλων των $Qm_{i,j,k}$ που αφότου εισέλθουν στον σταθμό i κατά το χρονικό διάστημα j επιλέγουν την αποβάθρα της κατεύθυνσης 1 ή την αποβάθρα της κατεύθυνσης 2 ανάλογα με τον τελικό τους προορισμό j .

Κατά το σχεδιασμό του δικτύου οι φόρτοι προσέλευσης θεωρούνται σταθεροί συνήθως ανά 30 λεπτά. Το χρονικό διάστημα των 30 λεπτών είναι το ελάχιστο χρονικό διάστημα κατά το οποίο μπορεί να μεταβληθεί η χρονοαπόσταση λειτουργίας της γραμμής με άνεση και ασφάλεια, με την προσθήκη ή αφαίρεση συρμών επί της γραμμής, και συνεπώς βάσει αυτού γίνεται και η διαστασιολόγηση των χρονοαποστάσεων της γραμμής. [107]

Ο φόρτος προσέλευσης $Qm_{i,j,k}$ εξαρτάται από:

α) τη χρήση της γης στην περιοχή που περιβάλλει το σταθμό, και συνεπώς τις δραστηριότητες που συγκεντρώνει (κατοικία, υπηρεσίες)

β) τη χρήση της γης της περιοχής που περιβάλλει τους λοιπούς σταθμούς, και συνεπώς τις δραστηριότητες που συγκεντρώνουν (κατοικία, υπηρεσίες)

γ) το χρονικό διάστημα αναφοράς κατά τη διάρκεια μίας ημέρας (πρωινή αιχμή, απογευματινή αιχμή, βραδινό πρόγραμμα)

δ) την ύπαρξη σύνδεσης του σιδηροδρομικού σταθμού με άλλα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς (προαστιακός και υπεραστικός σιδηρόδρομος, θερμικά λεωφορεία, ηλεκτροκίνητα λεωφορεία, ταξί)

ε) συγκεκριμένα χαρακτηριστικά εντός μίας ημέρας, όπως το αν είναι εργάσιμη ή αργία, αν έχουν αποκλεισθεί δρόμοι λόγω έργων που αποτελούν μέρος του συμπληρωματικού μεταφορικού δικτύου της πόλης.

ζ) συγκεκριμένα χαρακτηριστικά περιόδου ημερών όπως είναι η αγοραστική περίοδος των Χριστουγέννων, η περίοδος εκπτώσεων, η περίοδος των θερινών διακοπών, η περίοδος των Ολυμπιακών αγώνων.

Πηγή : [2], [3], [4], [83], [84], [85]

3.2 ΠΗΓΗ

Οι επιβατικοί φόρτοι προσέλευσης εκτιμώνται κατόπιν σχετικής μελέτης ή καταγράφονται, με ευθύνη του εκάστοτε υπευθύνου δρομολόγησης της μεταφορικής εταιρίας. Η ακρίβειά τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εμπειρία του υπευθύνου κατά την εκτίμηση ή την προσφερόμενη ακρίβεια της μεθόδου καταγραφής τους. [24], [25], [26]

Η μέθοδος καταγραφής τύπου «Smart Card» («Έξυπνη Κάρτα») δίνει τα πλέον έγκυρα και έγκαιρα αποτελέσματα αλλά απαιτεί το μεγαλύτερο αρχικό κόστος εγκατάστασης σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη μέθοδο. Το μητροπολιτικό δίκτυο δομείται ως ένα κλειστό σύστημα στο οποίο καταγράφεται ο σταθμός εισόδου και ο σταθμός εξόδου κάθε επιβάτη μέσω της υποχρεωτικής διέλευσής του από ειδική θύρα στην οποία ελέγχεται η «έξυπνη κάρτα» που κατέχει. Με τον τρόπο αυτό καταγράφεται η ώρα εισόδου του στο δίκτυο, ο σταθμός προέλευσης και ο σταθμός προορισμού, παρέχοντας πλήρη δεδομένα για την κατάρτιση του μητρώου προέλευσης - προορισμού. Η μέθοδος καταγραφής «Έξυπνη Κάρτα» συναντάται στο μητροπολιτικό σιδηροδρομικό δίκτυο του Λονδίνου και του Παρισιού. [24]

Στον μητροπολιτικό σιδηρόδρομο Αθηνών η εκτίμηση των φόρτων προσέλευσης έχει γίνει κατόπιν σχετικής μελέτης. Τα ηλεκτρονικά ακυρωτικά μηχανήματα που βρίσκονται εγκατεστημένα στους σταθμούς παρέχουν μόνο μία γενική εικόνα - ένδειξη των φόρτων. Ο λόγος είναι ότι αδυνατούν να προσδιορίσουν το πλήθος των επιβατών που εισέρχονται στο σταθμό και χρησιμοποιούν άλλο κόμιστρο πέραν του εισιτηρίου (τα ακυρωτικά μηχανήματα καταγράφουν μόνο όσους ακυρώνουν εισιτήριο). Επίσης αδυνατούν να προσδιορίσουν την αποβάθρα επιβίβασης και τον σταθμό προορισμού για οποιαδήποτε κατηγορία επιβατών, ανεξαρτήτως κομίστρου. Για την εκτίμηση των παραπάνω μεγεθών πραγματοποιείται εξειδικευμένη μελέτη. [112]

Στην πράξη, συχνά συναντάται ο προσδιορισμός της χρονοαπόστασης λειτουργίας, βάσει απλής εποπτείας επί της πληρότητας των συρμών. Σε περίπτωση υπερπλήρωσης των συρμών (φαινόμενα συνωστισμού εντός των συρμών ή και επιβατικού φόρτου επί της αποβάθρας που αδυνατεί να επιβιβαστεί στον πρώτο συρμό που αφικνείται στο σταθμό) η χρονική απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών συρμών ελαττώνεται, προσθέτοντας συρμούς στη γραμμή, ενώ για μικρά ποσοστά πλήρωσης (φαινόμενο «άδειων βαγονιών») αυξάνεται η χρονική απόσταση, αφαιρώντας συρμούς από τη γραμμή κατά το αντίστοιχο χρονικό διάστημα αναφοράς. Η εποπτεία της

πλήρωσης των συρμών μπορεί να πραγματοποιηθεί από ομάδα εμπειρογνομόνων της μεταφορικής εταιρίας, από το προσωπικό του σταθμού και τις αναφορές του σταθμάρχη. [107]

3.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟΥ

Η καθυστέρηση ενός δρομολογίου d^j μπορούμε να θεωρήσουμε ότι δεν επιδρά αισθητά επί των φόρτων προσέλευσης $Q_{m_{i,j,k}}$, παρά μόνο όταν η καθυστέρηση είναι τόσο μεγάλη ώστε να συγκρίνεται με το χρονικό διάστημα Tcd_1 για το οποίο ο φόρτος προσέλευσης έχει θεωρηθεί σταθερός κατά τον χρόνο σχεδιασμού του δικτύου.

$$d^j < Tcd_1 \quad (3.2)$$

Επιπρόσθετα, στην περίπτωση που εκτιμηθεί από τον Επόπτη Γραμμής εντός του Κέντρου Ελέγχου και Λειτουργίας του δικτύου σημαντικός χρόνος καθυστέρησης Tcd_2 και κοινοποιηθεί στους επιβάτες σημαντικός χρόνος καθυστέρησης Tcd_2 επόμενου συρμού, τότε αναμένεται μέρος του επιβατικού κοινού να επιλέξει άλλο μέσο μεταφοράς. Ο χρόνος καθυστέρησης που κοινοποιείται δεν έχει την ίδια επίδραση σε όλους του φόρτους $Q_{m_{i,j,k}}$. Ανάλογα με τον προορισμό j και τον σταθμό αναμονής i διαφοροποιείται η διαθεσιμότητα των εναλλακτικών μέσων μεταφοράς, ο χρόνος ταξιδιού, το κόστος και το επίπεδο εξυπηρέτησης.

$$d^j < Tcd_2 \quad (3.3)$$

Θεωρώ ότι $Tcd_2 = 30$ λεπτά, βάσει διαπιστώσεων των σταθμαρχών της ΑΜΕΛ, οπότε και χρησιμοποιείται η εξής παραδοχή :

$Qm_{i,j,k}$ είναι ανεξάρτητο της καθυστέρησης d^j

$$\text{για } d^j < 30 \text{ min} \quad (3.4)$$

Με σταθερό $Qm_{i,j,k}$ η καθυστέρηση δρομολογίου επιδρά άμεσα επί του πλήθους $qm_{i,j,k}$ που αναμένεται να προσέλθει στο σταθμό i και να κατευθυνθεί στον σταθμό j με το δρομολόγιο k . Εδώ παρατηρούμε πως ο όρος k αναφέρεται ουσιαστικά στο χρονικό διάστημα που ορίζεται μεταξύ δύο διαδοχικών αναχωρήσεων δρομολογίων από τον σταθμό i .

Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση της καθυστέρησης μόνο, θεωρούμε τα υπόλοιπα μεγέθη σταθερά (*ceteris paribus*) κατά το χρονικό διάστημα μελέτης. Το τελευταίο δρομολόγιο πριν το δρομολόγιο που παρουσιάζει την καθυστέρηση θεωρείται πως υλοποιεί το προσχεδιασμένο πρόγραμμα δρομολόγησης με αμελητέα απόκλιση δd_i^j από αυτό και δεν παρουσιάζονται πρόσθετοι επιβατικοί φόρτοι προσέλευσης επιβατών στον σταθμό i πέραν των φόρτων σχεδιασμού $Qm_{i,j,k}$. Το πλήθος των επιβατών $qm'_{i,j,k}$ που έχουν συγκεντρωθεί στην αποβάθρα του σταθμού i προς την κατεύθυνση του σταθμού προορισμού j είναι :

$$qm'_{i,j,k} = Qm_{i,j,k} \times t'_k \quad (3.5)$$

όπου τώρα το χρονικό διάστημα t'_k γίνεται :

$$t'_k = tr_i^j = d_i^j + ts_i^j \quad (3.6)$$

Η ανάλυση αυτή του χρόνου t_k ισοδυναμεί με την αναγνώριση των εξής δύο φόρτων:

α) του επιβατικού φόρτου $qts_{i,j,k}$:

$$qts_{i,j,k} = Q_{i,j,k} \times ts_i^j \quad (3.7)$$

ο οποίος και είναι ο φόρτος σχεδιασμού που αντιστοιχεί στο πλήθος των επιβατών $qts_{i,j,k}$ που προσέρχονται στην αποβάθρα του σταθμού i , με κατεύθυνση τον σταθμό j μετά την αναχώρηση του προηγούμενου δρομολογίου $j-1$ και μέχρι την στιγμή που θα έφτανε το επόμενο δρομολόγιο αν η καθυστέρηση του ήταν μηδέν.

β) του επιβατικού φόρτο $qd_{i,j,k}$:

$$qd_{i,j,k} = Q_{i,j,k} \times d_i^j \quad (3.8)$$

ο οποίος και είναι ο επιβατικός φόρτος που αντιστοιχεί στο πλήθος των επιβατών $qd_{i,j,k}$ που προσέρχονται στον σταθμό i , με κατεύθυνση τον σταθμό j μετά τη χρονική στιγμή που θα αναχωρούσε το επόμενο δρομολόγιο αν η καθυστέρηση του ήταν μηδέν, μέχρι τη στιγμή που αναχωρεί αυτό στην πραγματικότητα, υλοποιώντας την καθυστέρηση του d_i^j .

Ο υπολογισμός του νέου επιβατικού φόρτου $qm'_{i,j,k}$ που έχει συγκεντρωθεί στην αποβάθρα είναι σημαντικός, καθώς βάσει αυτού :

α) θα εκτιμηθεί ο μέγιστος αναμενόμενος φόρτος επί της αποβάθρας. Ο φόρτος αυτός παρουσιάζεται ακριβώς τη στιγμή της αναχώρησης του καθυστερημένου δρομολογίου. Με βάση αυτόν μπορεί να εκτιμηθεί εάν θα παρουσιαστεί συνωστισμός επί της αποβάθρας, και συνεπώς απαιτείται η παρέμβαση του προσωπικού του σταθμού, [4], [110], [111]

β) θα επαναυπολογιστεί το νέο μητρώο προέλευσης - προορισμού για τον καθυστερημένο συρμό. Ο νέος υπολογισμός γίνεται διότι ενδέχεται να παρουσιαστεί υπερπλήρωση του συρμού σε κάποιο τμήμα της γραμμής, με

αποτέλεσμα να μην μπορούν να επιβιβαστούν όλοι οι επιβάτες στο συρμό, οπότε και θα χρειαστεί να αναμείνουν τον επόμενο. [4], [110], [111]

3.4 ΣΧΕΣΗ ΕΠΙΒΑΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΟΥ ΠΡΟΣΕΛΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΕΠΙΒΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΒΑΘΡΑ

Οι επιβάτες που καταφθάνουν στην αποβάθρα αναμένουν την άφιξη του επόμενου συρμού, σχηματίζοντας ουρές. Όταν εμφανίζεται στο δίκτυο καθυστέρηση ενός δρομολογίου, οι αποβάθρες συσσωρεύουν όλο και περισσότερους επιβάτες, η μέση επιφάνεια ανά επιβάτη ελαττώνεται, οπότε και μειώνεται αντίστοιχα το επίπεδο εξυπηρέτησης των επιβατών στην ουρά αναμονής επί της αποβάθρας. [6], [18], [19], [20], [21], [22], [23]

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το επίπεδο εξυπηρέτησης των αναμένοντων επιβατών στην αποβάθρα σε σχέση με τον επιβατικό φόρτο προσέλευσης και την καθυστέρηση του δρομολογίου. Το επίπεδο εξυπηρέτησης πεζών σε ουρά αναμονής εξαρτάται από τη μέση επιφάνεια που αναλογεί στον κάθε πεζό. Η επιφάνεια της αποβάθρας είναι $110 \times (5,5 - 1,0) = 495 \mu^2$ (πλην Συντάγματος και Μοναστηράκι οι οποίες έχουν μεγαλύτερο μήκος), όπως και βρέθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Το πλήθος των πεζών που αναμένουν σε αυτή αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου, ανάλογα του επιβατικού φόρτου προσέλευσης στην κάθε αποβάθρα. Συνεπώς, κατά την ανάπτυξη μίας καθυστέρησης μειώνεται η μέση επιφάνεια ανά πεζό. Το εκάστοτε επίπεδο εξυπηρέτησης εξαρτάται αποκλειστικά από το πλήθος των πεζών $q_{r,i,1,2,k}$ επί της αποβάθρας, δηλαδή, από το γινόμενο μία τιμή καθυστέρησης d και μίας τιμή επιβατικού φόρτου προσέλευσης $Q_{r,i,1,2,k}$ στην αποβάθρα.

Όπως είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, το πλήθος των ατόμων που διαφοροποιεί το προσφερόμενο επίπεδο εξυπηρέτησης είναι 412, 550, 707, 1650, 2475 για επίπεδο εξυπηρέτησης A, B, C, D, E, F αντίστοιχα. Για κάθε τιμή

πλήθους πεζών που αντιστοιχεί σε μεταβολή του επιπέδου εξυπηρέτησης, αντιστοιχεί ένας γεωμετρικός τόπος σημείων – συνδυασμών καθυστέρησης και φόρτου προσέλευσης στην αποβάθρα, ο οποίος και είναι μία υπερβολή, καθώς αναφέρεται σε σημεία των οποίων οι συντεταγμένες έχουν σταθερό γινόμενο.

Για να μελετηθεί μία συγκεκριμένης διάρκειας καθυστέρηση d τότε θεωρείται η ευθεία της μορφής $x = d$. Σε αυτήν γίνεται φανερό ποιοι επιβατικοί φόρτοι οδηγούν σε χαμηλά επίπεδα εξυπηρέτησης και συνεπώς απαιτείται η επέμβαση των χειριστών του δικτύου. Αντίστοιχα, όταν πρόκειται να μελετηθεί η επίδραση ενός εύρους καθυστερήσεων σε μία συγκεκριμένη αποβάθρα με μέσο φόρτο προσέλευσης, τότε ορίζεται ευθεία $y = Q_{ri,1,2,k}$, όπου $Q_{ri,1,2,k}$ ο επιβατικός φόρτος προσέλευσης στην αποβάθρα 1-2 του σταθμού i για το διάστημα μελέτης k . Από την θεωρούμενη ευθεία παρατηρούμε την εξέλιξη της πτώσης του επιπέδου εξυπηρέτησης της αποβάθρας συναρτήσει της καθυστέρησης του δρομολογίου.

Από το ίδιο διάγραμμα δύναται να οριστεί και η χρονική στιγμή κατά την οποία καλείται να εκκινήσει μία διαδικασία διαχείρισης του πλήθους, προκειμένου να αποτραπεί η ανάπτυξη φαινομένων συνωστισμού στην αποβάθρα. Ας θεωρήσουμε πως η μεταφορική εταιρία επιλέγει να προσφέρει κατώτερο επίπεδο εξυπηρέτησης του επιβάτη στην αποβάθρα C. Ο χρόνος αντίδρασης t_{av} του προσωπικού του σταθμού είναι 4 λεπτά, και περιέχει την ενημέρωση μέσω ασυρμάτου όλου του προσωπικού που διαρκεί 1 λεπτό και τον χρόνο διαδρομής μέχρι την αποβάθρα που διαρκεί 3 λεπτά. Ο χρόνος διαδρομής λαμβάνεται προσαυξημένος διότι σε μία κατάσταση υψηλών επιβατικών φόρτων εντός του σταθμού το προσωπικό περιορίζει την ταχύτητα βαδίσματός του. Η χρονική στιγμή έναρξης της διαδικασίας ελέγχου του εισερχόμενου πλήθους βρίσκεται με την παράλληλη μετατόπιση της καμπύλης «C-D» 4 λεπτά νωρίτερα, μετατόπιση ίση με τον χρόνο αντίδρασης.

4. ΕΠΙΒΑΤΙΚΟΙ ΦΟΡΤΟΙ ΓΡΑΜΜΗΣ

4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Ο επιβατικός φόρτος $Qb_{i,i+1,k}$ εντός των Συρμών μεταξύ δύο διαδοχικών σταθμών $i, i+1$ κατά το χρονικό διάστημα k είναι ο λόγος του συνόλου των επιβατών $qb_{i,i+1,k}$ που πραγματοποιεί τη μετακίνηση από το σταθμό i προς τον σταθμό $i+1$ κατά το χρονικό διάστημα k προς το χρονικό διάστημα αυτό t_k σε ώρες. [15]

$$Qb_{i,j,k} = \frac{qb_{i,j,k}}{t_k} \quad (4.1)$$

Μονάδα μέτρησης του επιβατικού φόρτου $Qb_{i,i+1,k}$ είναι οι Επιβάτες / Ώρα. Οι επιβάτες $qb_{i,i+1,k}$ είναι όλοι όσοι πραγματοποιούν την μετακίνηση από τον σταθμό i στον σταθμό $i+1$, έχοντας επιβιβαστεί στον σταθμό i ή προηγούμενό του και θα αποβιβαστούν στον σταθμό $i+1$ ή επόμενο του. Κοινό χαρακτηριστικό τους είναι η διέλευσή τους από το συγκεκριμένο τμήμα της διαδρομής, κατά την ίδια κατεύθυνση.

Ο επιβατικός φόρτος $Qb_{i,i+1,k}$, κατά το σχεδιασμό του δικτύου, εξαρτάται αποκλειστικά από το μητρώο προέλευσης – προορισμού, όπως αυτό συντίθεται από τους επιμέρους επιβατικούς φόρτους $Qm_{i,j,k}$ προέλευσης ανά σταθμό προέλευσης i και ανά σταθμό προορισμού j το χρονικό διάστημα k . Κάθε στοιχειώδης φόρτος $Qm_{i,j,k}$ οδηγεί σε πλήρωση των συρμών κατά το τμήμα της διαδρομής από τον σταθμό i στον σταθμό j . Οι φόρτοι $Qb_{i,i+1,k}$ αποτελούν στην πράξη την υλοποίηση των μετακινήσεων του μητρώου προέλευσης - προορισμού κατά μήκος της γραμμής.

Η καθυστέρηση ενός δρομολογίου επιδρά άμεσα στον φόρτο $qb_{i,i+1,k}$, ο οποίος και εκφράζει το πλήθος των επιβατών που βρίσκονται εντός του συρμού k κατά το τμήμα της διαδρομής από τον σταθμό i στον επόμενο του $i+1$. Ο φόρτος $qb_{i,i+1,k}$ είναι καθοριστικός όταν λάβει τιμή ίση με τη χωρητικότητα του συρμού C_t (συντελεστής πλήρωσης οχήματος = 1). Τότε, ο συρμός δεν διαθέτει περισσευούμενη χωρητικότητα (είναι υπερπλήρης) προκειμένου να εξυπηρετήσει επιβατικούς φόρτους που επιθυμούν να διέλθουν το τμήμα της διαδρομής από τον σταθμό i στον σταθμό $i+1$. Οι πρώτοι επιβάτες που δεν μπορούν να εισέλθουν είναι μέρος αυτών που αναμένουν στον σταθμό i με κατεύθυνση τον $i+1$.

Οι επιβατικοί φόρτοι $Qb_{i,i+1,k}$ υπολογίζονται με τρεις τρόπους, ανάλογα με τα διαθέσιμα στοιχεία της μεταφορικής εταιρίας :

α) από το μητρώο προέλευσης – προορισμού, ανεξάρτητα του τρόπου καταγραφής του (εκτίμηση κατόπιν σχετικής μελέτης ή με το σύστημα «Smart Card»

β) από συλλογή δεδομένων επιβίβασης και αποβίβασης ανά αποβάθρα («ψευδο - μητρώο» προέλευσης προορισμού) που προέρχεται είτε από σχετική επιτόπια έρευνα, ή από κατάλληλα τοποθετημένες ηλεκτρονικές συσκευές που φέρουν ειδικό ευαίσθητο φωτοκύτταρο που μπορεί να καταγράψει ξεχωριστά τη διέλευση εισερχόμενων και εξερχόμενων επιβατών (ηλεκτρονικό ματάκι)

γ) με απλή εποπτεία και εκτίμηση του συντελεστή πλήρωσης κάθε συρμού για κάθε τμήμα της διαδρομής από ομάδα εμπειρογνομόνων της μεταφορικής εταιρίας.

4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕ ΜΗΤΡΩΟ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ - ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΥ

4.2.1 ΦΟΡΤΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Ο υπολογισμός των επιβατικών φόρτων $Qb_{i,i+1,k}$, με βάση το μητρώο προέλευσης – προορισμού πραγματοποιείται με απλή σχετικά μεθοδολογία, η οποία όμως απαιτεί πολλές αριθμητικές και λογικές πράξεις. Η εφαρμογή γίνεται πάντοτε για το ίδιο χρονικό διάστημα αναφοράς k .

Αρχικά, για κάθε εγγραφή $Qm_{i,j,k}$ του μητρώου προέλευσης προορισμού αναγνωρίζεται ποιο είναι το τμήμα της γραμμής που θα χρησιμοποιήσει ο επιβάτης προκειμένου να επιβιβαστεί στο σταθμό i και να αποβιβαστεί στον σταθμό j . Αν για παράδειγμα επιβιβάζεται σε σταθμό i και προορίζεται σε σταθμό $i+4$, τότε τα τμήματα της γραμμής $[i] - [i+1]$, $[i+1] - [i+2]$, $[i+2] - [i+3]$, $[i+3] - [i+4]$ θα φορτιστούν με τον $Qm_{i,i+4,k}$. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην περίπτωση όπου ο τελικός προορισμός ανήκει σε άλλη γραμμή και συνεπώς οι επιβάτες αποβιβάζονται πρώτα στον κατάλληλο σταθμό μετεπιβίβασης, αλλάζουν γραμμή και επιλέγουν την σωστή κατεύθυνση προς τον τελικό τους προορισμό. Κατόπιν, οι επιβατικοί φόρτοι που έχουν προκύψει για κάθε τμήμα γραμμής i , $i+1$ αθροίζονται, δίνοντας τον τελικό φόρτο γραμμής $Qb_{i,i+1,k}$ που αντιστοιχεί στο τμήμα της διαδρομής από τον σταθμό i προς τον σταθμό $i+1$ το χρονικό διάστημα k .

Η παραπάνω μέθοδος εμπεριέχει την παραδοχή πως όλοι οι φόρτοι $Qm_{i,i+4,k}$ επιβιβάζονται στους συρμούς. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται κυρίως για την διαστασιολόγηση του δικτύου κατά τη φάση σχεδιασμού του. Κατόπιν επιλογής του επιθυμητού συντελεστή πλήρωσης συρμών σ για το μέγιστο φόρτο γραμμής $Qb_{i,i+1,k}^{\max}$ κάθε γραμμής υπολογίζεται η χρονοαπόσταση λειτουργίας της κάθε γραμμής του δικτύου. [15]

$$hs = \frac{Ct \times \sigma \times 60}{Qb_{i,i+1,k}^{\max}} \quad (4.2)$$

4.2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ

4.2.2.1 ΕΠΙΒΙΒΑΣΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΕΠΙΒΑΤΩΝ

Για την μελέτη της επίδρασης της καθυστέρησης δρομολογίου d_i^j στους φόρτους γραμμής, η παραπάνω μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο στην περίπτωση που ο συρμός, παρά την καθυστέρηση, διαθέτει κενές θέσεις σε όλα τα τμήματα της διαδρομής. Μόνο, δηλαδή αν πραγματοποιεί καθυστέρηση μικρότερη από την τιμή de_i^j , για την οποία η τελικά υλοποιούμενη χρονοαπόσταση από τον προηγούμενο συρμό να είναι ίση με τη χρονοαπόσταση που θα προέκυπτε από το σχεδιασμό του δρομολογίου για συντελεστή πλήρωσης σ του μέγιστου $Qb_{i,i+1,k}^{\max}$ ίσο με 1 (ένα). Συνολικά, είναι :

$$hs = \frac{Ct \times \sigma \times 60}{Qb_{i,i+1,k}^{\max}} \quad (4.2)$$

, όπου hs η χρονοαπόσταση σχεδιασμού (χρονοαπόσταση λειτουργίας), επίσης σε λεπτά, με συντελεστή πλήρωσης σ . Για $\sigma = 1$ είναι :

$$hc = \frac{Ct \times 60}{Qb_{i,i+1,k}^{\max}} \quad (4.3)$$

, όπου hc η χρονοαπόσταση (σε λεπτά) η οποία όταν υλοποιείται κατά το χρονικό διάστημα k μόλις που επιβιβάζονται όλοι οι επιβάτες στους συρμούς οριακά. Από τις (4.2) και (4.3) και με διαίρεση κατά μέλη προκύπτει :

$$hs = \sigma \times hc \quad (4.4)$$

Όταν η οριακή καθυστέρηση του δρομολογίου de_i^j είναι :

$$de^j = hc - hs \quad (4.5)$$

και από την (4.4) η (4.5) γίνεται :

$$de^j = \frac{1-\sigma}{\sigma} \times hs \quad (4.6)$$

4.2.2.2 ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΟΥ ΣΥΡΜΟΥ – ΕΠΙΒΑΤΕΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΥΝ ΣΤΙΣ ΑΠΟΒΑΘΡΕΣ

Όταν $d^j > de^j$ ο υπολογισμός των φόρτων με βάση το μητρώο προέλευσης – προορισμού γίνεται με μία διαφορά: ο συρμός που αφικνείται σε ένα σταθμό αποβιβάζει, όπως και προηγουμένως, όλους τους επιβάτες που έχουν τελικό προορισμό αυτόν το σταθμό. Τώρα όμως, στον συρμό επιβιβάζονται όλοι μόνο εάν υπάρχουν οι απαιτούμενες κενές θέσεις. Διαφορετικά επιβιβάζεται μόνο ποσοστό ίσο με τον λόγο των κενών θέσεων προς το σύνολο του επιβατικού κοινού που αναμένει. Από τους επιβατικούς φόρτους $qm_{i,j,k}$ που αναμένουν στην αποβάθρα, θεωρούμε πως οι επιβάτες που επιβιβάζονται από τον κάθε φόρτο είναι ανάλογοι του ποσοστού επιβίβασης. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε σταθμό στον οποίο πραγματοποιεί στάση ο συρμός. Από την ίδια διαδικασία υπολογίζονται προφανώς και οι φόρτοι που δεν επιβιβάζονται και παραμένουν στην αποβάθρα.

Ο υπολογισμός των επιβατικών φόρτων $Qb_{i,i+1,k}$ που πραγματοποιείται με βάση το μητρώο προέλευσης – προορισμού προσφέρει τη μεγαλύτερη ευχέρεια ανάλυσης σεναρίων. Επειδή είναι γνωστό και αξιοποιείται το γενεσιουργό αίτιο της επιβατικής φόρτισης της γραμμής - οι φόρτοι προέλευσης $qm_{i,j,k}$ - μπορούμε με αυτούς να επαναυπολογίσουμε τους νέους φόρτους γραμμής. Επίσης, με τον συγκεκριμένο τρόπο μπορούμε να πετύχουμε

προσομοίωση με την καλύτερη δυνατή ακρίβεια ενός περιστατικού λειτουργίας της γραμμής, και της εξέλιξής του.

Μειονέκτημα της μεθόδου είναι η συχνή απουσία ενός μητρώου προέλευσης – προορισμού, ελλείψει συστήματος «Smart Card». Στις περιπτώσεις αυτές, και προκειμένου να δομηθεί το μητρώο προέλευσης – προορισμού, απαιτείται εκτεταμένη επιτόπια έρευνα με πλήθος προσωπικού που θα πραγματοποιεί μετρήσεις και συνεντεύξεις των επιβατών στο χώρο των αποβάθρων. [112]

4.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΜΑΤΙ

Τα δεδομένα μας σε αυτήν την περίπτωση είναι μόνο το πλήθος των εισερχόμενων και των εξερχόμενων επιβατών από ένα σταθμό. Η πληροφορία αυτή δεν συνοδεύεται από τη γνώση του σταθμού προέλευσης για τους εξερχόμενους και του σταθμού προορισμού για τους εισερχόμενους. Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι οι επιβατικοί φόρτοι $Q_{b,i+1,k}$ υπολογίζονται πολύ γρήγορα και εύκολα σε σχέση με την προηγούμενη μέθοδο. Το μεγάλο μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν μπορεί να γίνει εκτίμηση της κατάστασης σε περίπτωση καθυστέρησης d^j μεγαλύτερη της de^j (καθυστέρηση για την οποία παρουσιάζεται το φαινόμενο υπερπλήρωσης συρμού, και επιβάτες μη μπορώντας να επιβιβαστούν παραμένουν σε μία τουλάχιστον αποβάθρα). Επίσης, για τους φόρτους που αναμένουν μπορεί να γίνει μόνο μία γενική ποιοτική εκτίμηση, χωρίς να μπορεί να περιγραφεί ο ακριβής μηχανισμός αστοχίας.

Η μέθοδος αυτή δεν αποτελεί αντικείμενο εφαρμογής της παρούσας διπλωματικής, και γι αυτό δεν θα αναλυθεί περαιτέρω.

4.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕ ΕΠΟΠΤΕΙΑ ΤΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΣΥΡΜΩΝ ΑΠΟ ΕΜΠΕΙΡΟΓΝΩΜΟΝΑ

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται όταν τα δεδομένα των δύο άλλων μεθόδων δεν είναι άμεσα διαθέσιμα, ενώ συγχρόνως απαιτείται μία άμεση εκτίμηση των επιβατικών φόρτων $Q_{b,i+1,k}$.

Ομάδα εμπειρογνομόνων, συνήθως αποτελούμενη από κατάλληλα εκπαιδευμένο και έμπειρο προσωπικό της μεταφορικής εταιρίας, εκτιμούν για κάθε τμήμα της διαδρομής μεταξύ όλων των σταθμών $i, i+1$, τον συντελεστή πλήρωσης των συρμών. Κατόπιν, πολλαπλασιάζοντας με την χωρητικότητα του συρμού βρίσκεται ο φόρτος του αντίστοιχου τμήματος της γραμμής.

Η πρακτική αξία της μεθόδου είναι η με μικρό κόστος άμεση και γρήγορη αξιολόγηση του προγράμματος δρομολόγησης της μεταφορικής εταιρίας, προκειμένου να υπάρξει μία προεκτίμηση των δυνατοτήτων αύξησης ή μείωσης των χρονοαποστάσεων των δρομολογίων.

Μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν μπορούν να υπολογιστούν οι επιβατικοί φόρτοι προσέλευσης και οι επιβατικοί φόρτοι αναμονής, και συνεπώς να εξαχθούν περαιτέρω συμπεράσματα για την συμπεριφορά του συστήματος σε περιπτώσεις καθυστέρησης.

4.5 ΣΧΕΣΗ ΕΠΙΒΑΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΟΥ ΓΡΑΜΜΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΕΠΙΒΑΤΩΝ ΕΝΤΟΣ ΣΥΡΜΟΥ

Οι συρμοί της ΑΜΕΛ έχουν συνολική χωρητικότητα 1030 ατόμων υπολογισμένη με θεώρηση 5 ατόμων ανά μ^2 . Το πλήθος των καθισμάτων είναι 224, ενώ οι όρθιοι επιβάτες είναι 806. Το επίπεδο εξυπηρέτησης που προσφέρεται εντός του συρμού εξαρτάται αποκλειστικά από τη διατιθέμενη μέση επιφάνεια που αντιστοιχεί σε κάθε επιβάτη. Γι το λόγο αυτό είναι

διαφορετικό μεταξύ των διαφόρων τμημάτων της γραμμής καθώς αυτά παρουσιάζουν διαφορετική πλήρωση του συρμού.

Οι επιβατικοί συρμοί της ΑΜΕΛ είναι ίδιου τύπου όλοι και διαθέτουν 224 καθίσματα και συνολική χωρητικότητα 1030 ατόμων. Οι όρθιοι επιβάτες είναι 806 και έχουν υπολογιστεί με αντιστοιχία 5 ατόμων ανά 1 μ^2 . Το πλήθος των επιβατών ανά συρμό που διαφοροποιεί το επίπεδο εξυπηρέτησης είναι: 112, 168, 224, 448, 672 για επίπεδο εξυπηρέτησης Α, Β, C, D, E, F αντίστοιχα. Οι αριθμοί αυτοί αναφέρονται στο μέσο επίπεδο εξυπηρέτησης για κάθε συρμό, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη ανομοιομορφίες φόρτισης.

5. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ

ΑΠΟΒΑΘΡΑΣ

5.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ

Η καθυστέρηση ενός δρομολογίου, όπως είδαμε μέχρι τώρα, είναι δυνατόν να δημιουργήσει φαινόμενα κορεσμού εντός των συρμών, αλλά και υπερσυσσώρευσης επιβατών στις αποβάθρες. Και στις δύο περιπτώσεις το επίπεδο εξυπηρέτησης μειώνεται σημαντικά, ενώ συγχρόνως αυξάνεται η πιθανότητα εκδήλωσης περιστατικού αυξημένης επικινδυνότητας.

5.1.1 ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ ΣΥΡΜΟΥ

Εντός του ίδιου δρομολογίου, η μείωση του επιπέδου εξυπηρέτησης σταματάει με την πλήρωση του συρμού. Αυτή είναι και η δυσμενέστερη κατάσταση στην οποία μπορεί να περιέλθει ένας επιβάτης εντός του συρμού, και οφείλεται στο γεγονός ότι δεν μπορούν να προστεθούν νέοι επιβάτες στο συρμό. Σε αυτή την κατάσταση το δυσμενέστερο πιθανό περιστατικό είναι η λιποθυμία κάποιου επιβάτη υπό την πίεση του πλήθους, ή κάποια μικροσυμπλοκή με συνακόλουθο μικροτραυματισμό. Αυξημένη είναι η επικινδυνότητα εντός του δρομολογίου όταν υψηλό ποσοστό των επιβαινόντων είναι παιδιά. Το παραπάνω περιστατικό μπορεί να συναντηθεί στην περίπτωση που εμφανίζεται καθυστέρηση σε δρομολόγιο που εξυπηρετεί τις μεταφορικές ανάγκες μεγάλου αθλητικού ή ψυχαγωγικού γεγονότος.

Σε καμία περίπτωση δεν αναμένεται η πτώση επιβατών και ποδοπάτημα αυτών εντός του συρμού κατά την διάρκεια του ταξιδιού και την επιβίβαση. Κατά τη διάρκεια του ταξιδιού οι επιβάτες βρίσκονται «καλώς εγκιβωτισμένοι» εντός των βαγονιών, χωρίς να έχουν την δυνατότητα να πραγματοποιήσουν την παραμικρή κίνηση. Στο χώρο της «πλατείας» όλων των βαγονιών, ο οποίος

είναι και ο πιο ασταθής χώρος τους, υπάρχει ένας κατ' ελάχιστον κατακόρυφος μεταλλικός στύλος, ο οποίος πέρα από ενδεχόμενη στατική λειτουργία στήριξης της οροφής (απίθανο), βοηθάει στην ελάττωση της μεταφοράς των μετακινήσεων του πλήθους προς άλλες κατευθύνσεις. Αυτό γίνεται με δύο τρόπους : α) οι επιβάτες μπορούν να κρατηθούν από αυτό, όπως και από κάποια χειρολαβή, και συνεπώς να στηρίζονται με την ίδια τους τη δύναμη β) στην περίπτωση μίας απότομης πέδησης ο στύλος μπορεί να προλάβει την βίαια μετακινούμενη μάζα των επιβατών που έχασαν την ισορροπία τους, από το να καταπλακώσει τρίτους επιβάτες.

Πιθανότερη, θεωρητικά, είναι η εμφάνιση του φαινομένου της πτώσης επιβατών και ποδοπατήματος αυτών κατά την αποβίβαση. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι ο αποβιβαζόμενος δέχεται την ώθηση των επιβατών από τον συρμό προς την κατεύθυνση της εξόδου, στην οποία δεν υπάρχει κάτι να τον στηρίξει, παρά ένας χώρος σχετικά πιο άδειος, στον οποίο μπορεί να επιταχυνθεί απότομα, να χάσει την ισορροπία του και να πέσει. Το αντίθετο συμβαίνει κατά την επιβίβαση, όπου ο επιβιβαζόμενος ωθείται προς την ακίνητη μάζα των ήδη επιβιβασμένων επιβατών η οποία και τον αντιστηρίζει ακριβώς ανάλογα της δύναμης που δέχεται, με αποτέλεσμα να τον ακινητοποιεί. Επειδή, όμως, η μέση ταχύτητα αποβίβασης των επιβατών είναι γενικά μικρή και οι επιβάτες που αναμένουν να επιβιbastούν «αντιστηρίζουν» τους αποβιβαζόμενους, προστατεύοντάς τους από μία βίαια εκτόνωσή τους, το ενδεχόμενο να εμφανιστεί φαινόμενο πτώσης επιβατών και ποδοπάτησής τους είναι πρακτικά απίθανο. [107]

5.1.2 ΕΠΙ ΤΗΣ ΑΠΟΒΑΘΡΑΣ

Στην περίπτωση της συσσώρευσης επιβατών επί της αποβάθρας, η εξέλιξη του φαινομένου διαφοροποιείται. Οι φόρτοι προσέλευσης είναι ανεξάρτητοι της εμφανιζόμενης καθυστέρησης. Παρόλη την καθυστέρηση του συρμού, νέοι επιβάτες συνεχίζονται να προστίθενται σε αυτούς που ήδη αναμένουν.

Στην αρχή, όλοι οι επιβάτες κάθονται στα καθίσματα των σταθμών επί της αποβάθρας. Κατόπιν, η αποβάθρα αρχίζει να γεμίζει, εμφανίζοντας υψηλότερες συγκεντρώσεις ατόμων στην περιοχή απόληξης των κλιμακοστασίων. Ουρά αναμονής αρχίζει να σχηματίζεται επί του κλιμακοστασίου και να επεκτείνεται μέχρι το αμέσως ανώτερο επίπεδο του σταθμού πάνω από την αποβάθρα. Η κυλιόμενη σκάλα, στην περίπτωση που συνεχίσει τη λειτουργία της, δημιουργεί ιδιαίτερα αυξημένη κατάσταση επικινδυνότητας καθώς οι επιβάτες που επιβιβάζονται στην κορυφή της προκειμένου να κατέλθουν, τελικά μεταφέρονται στην περιοχή της απόληξης του κλιμακοστασίου επί της αποβάθρας, όπου ελλείπει επαρκούς χώρου να αποβιβαστούν, συμπιέζουν τους ήδη κατελθόντες εκεί παρευρισκόμενους επιβάτες, και συμπιέζονται και αυτοί με τη σειρά τους. Ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο είναι ότι ο κόσμος που πλησιάζει την αποβάθρα κινείται καθοδικά προς αυτήν, οπότε και μία αστάθεια του πλήθους, όχι μόνο θα οδηγήσει στην πτώση και τον τραυματισμό ανθρώπων επί του κλιμακοστασίου, αλλά θα ασκήσει μία ακόμη ώθηση στους επιβάτες της αποβάθρας προς την σιδηροδρομική γραμμή.

Επιπρόσθετα, το σύνολο των ατόμων που συνεχώς προσέρχονται στο σταθμό και κατευθύνονται προς την αποβάθρα, ωθεί τους ήδη παρευρισκόμενους στην αποβάθρα όλο και πιο άκρη προς την περιοχή της γραμμής. Δεδομένο είναι πλέον, πως ο συρμός θα πρέπει να κινηθεί με πολύ μικρότερη ταχύτητα καθώς κινείται κατά μήκος της αποβάθρας μέχρι την πλήρη ακινητοποίησή του, γεγονός που οδηγεί σε περαιτέρω καθυστέρησή του. Τέλος, η πιθανότητα εμφάνισης του πλέον επικίνδυνου περιστατικού, του να ωθηθεί κάποιος επιβάτης και να βρεθεί επί της σιδηροδρομικής γραμμής αυξάνεται σημαντικά.

5.2 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ

Στόχος μίας διαδικασίας αποκατάστασης της ομαλής λειτουργίας του δικτύου μετά από καθυστέρηση δρομολογίου είναι πρωτίστως η ασφάλεια του επιβατικού κοινού καθ' όλη τη διάρκεια του περιστατικού και κατ' επέκταση η

όσο το δυνατόν συντομότερη ολοκλήρωση της μεταφοράς των επιβατών που αναμένουν στις αποβάθρες στους τελικούς τους προορισμούς. [90]

Το αίτιο της αύξησης της επικινδυνότητας εντός του δικτύου είναι η υπερσυσσώρευση επιβατών στις αποβάθρες, οπότε και ο στόχος μίας διαδικασίας αποκατάστασης της ομαλής λειτουργίας του δικτύου εξειδικεύεται στην αποσυμφόρηση των αποβάθρων. Η μείωση των συσσωρευμένου πλήθους επί των αποβάθρων γίνεται με την επιβίβαση των επιβατών στους συρμούς και την τελική τους εξυπηρέτηση (όπως και συμβαίνει όταν τηρείται το κανονικό πρόγραμμα δρομολόγησης), και την μείωση έως και μηδενισμό του ρυθμού προσέλευσής τους $Q_{m_{i,j,k}}$ (όταν δεν τηρείται το κανονικό πρόγραμμα δρομολόγησης).

Συνολικά, η αντιμετώπιση της καθυστέρησης συνίσταται σε δύο διαδικασίες αντίδρασης :

α) η πρώτη είναι η πρόληψη της συμφόρησης των αποβάθρων με τον έλεγχο της ροής προσέλευσης των επιβατών στον σταθμό. Η εκτέλεσή της εκκινεί με την διαπίστωση της καθυστέρησης δρομολογίου που δύναται να προκαλέσει σημαντική μείωση του επιπέδου εξυπηρέτησης και παύει με την αποκατάσταση της ομαλής λειτουργίας του δικτύου. Κύριος στόχος είναι η πρόληψη περιστατικών συμφόρησης του επιβατικού κοινού

β) η κατάλληλη δρομολόγηση συμπληρωματικών δρομολογίων προκειμένου να καλύψουν τα δρομολόγια που χάθηκαν και να εξυπηρετήσουν τους επιβάτες αυτών. Η εκτέλεσή της εκκινεί με την λήξη της καθυστέρησης δρομολογίου και παύει με την αποκατάσταση της ομαλής λειτουργίας του δικτύου. Κύριος στόχος είναι η αποκατάσταση της ομαλής λειτουργίας του δικτύου, σύμφωνα με τον πίνακα δρομολογίων.

Η ασφάλεια της μεταφοράς λαμβάνει επικίνδυνα χαμηλές τιμές στην περιοχή της αποβάθρας κατά το χρονικό διάστημα της αύξησης της

καθυστέρησης. Πηγή της συνεχούς αύξησης των επιβατών επί της αποβάθρας είναι ο φόρτος προσέλευσης $Q_{m_{i,j,k}}$ ο οποίος και με σταθερό ρυθμό συνεχίζει να συσσωρεύει επιβάτες στην αποβάθρα i κατά το χρονικό διάστημα k . Δεδομένης της καθυστέρησης του συρμού, η αποβάθρα πρέπει να αποφορτιστεί με άλλα μέσα.

Η αντιμετώπιση των επιπτώσεων της καθυστέρησης, όπως και κάθε περιστατικού εντός του δικτύου της μεταφορικής εταιρίας είναι ευθύνη όλου του προσωπικού. [90]

5.3 ΠΛΗΘΟΣ ΕΠΙΒΑΤΩΝ ΕΠΙ ΤΗΣ ΑΠΟΒΑΘΡΑΣ

Απαραίτητη είναι η αποτροπή της αύξησης του επιβατικού κοινού επί της αποβάθρας, πέραν μίας τιμής q_p . Η τιμή αυτή πρέπει να είναι μικρότερη της μέγιστης χωρητικότητας C_p της αποβάθρας προκειμένου να αποφευχθεί η συμφόρησή της, και μεγαλύτερη του πλήθους των κενών θέσεων q_e του αναμενόμενου καθυστερημένου δρομολογίου προκειμένου να εξυπηρετηθεί ο μέγιστος αριθμός επιβατών. Η τιμή C_t θεωρείται κρίσιμη από το «Transit Capacity and Quality of Service Manual» του Transportation Research Board.

$$q_e \leq q_p \leq C_p \quad (5.1)$$

Η αποβάθρα ενός σταθμού έχει πάντα μήκος l_p μεγαλύτερο του μήκους του συρμού l_t που εξυπηρετεί. Επίσης, το πλάτος της b_p είναι επίσης μεγαλύτερο του πλάτους b_t του συρμού, ενώ συγχρόνως το πλήθος των καθισμάτων της N_{sp} είναι μικρότερο του πλήθους των καθισμάτων N_{st} του συρμού. Για την περίπτωση της ΑΜΕΛ είναι $l_p = 110 > 106 = l_t$ και $b_p = 5,5 > 2,8 = b_t$

$$l_t \leq l_p, b_t \leq b_p, N_{sp} \leq N_{st} \quad (5.2)$$

Συνολικά μπορούμε να παρατηρήσουμε πως οποιαδήποτε αποβάθρα διαθέτει πάντοτε περισσότερη επιφάνεια E_p για τους επιβάτες από την επιφάνεια που διαθέτει ο συρμός E_t , και συνεπώς μπορεί να εξυπηρετήσει περισσότερους επιβάτες C_p από τη χωρητικότητα του συρμού C_t προσφέροντας υψηλότερο επίπεδο εξυπηρέτησης. Επειδή όμως το μέγιστο πλήθος των επιβατών που μπορούν να εξυπηρετηθούν από έναν συρμό είναι ίσο με το πλήθος των άδειων θέσεων του q_e το οποίο και είναι μικρότερο από τη χωρητικότητα του συρμού C_t είναι τελικά :

$$q_e \leq C_t \quad (5.3)$$

$$E_t \leq E_p \Rightarrow C_t \leq C_p \quad (5.4)$$

Από τις (5.1), (5.3) και (5.4) προκύπτει τελικά ότι η τιμή του βέλτιστου πλήθους των επιβατών q_p που μπορούν να αναμένουν στην αποβάθρα που ικανοποιεί τις παραπάνω συνθήκες είναι :

$$q_e \leq C_t \leq C_p \quad (5.5)$$

$$q_p = C_t \quad (5.6)$$

Συνοψίζοντας, το πλήθος των επιβατών το οποίο μπορεί να εισέλθει στην αποβάθρα κατόπιν της αναχώρησης του τελευταίου συρμού και να αναμένει με ασφάλεια τον επόμενο συρμό, ενώ συγχρόνως εξασφαλίζεται η εξυπηρέτηση του μέγιστου ποσοστού αυτών, είναι πλήθος επιβατών q_p ίσο με τη χωρητικότητα του συρμού C_t . Για την τιμή $q_p = C_t$ αξιοποιείται πλήρως και η χωρητικότητα της αποβάθρας ως χώρου αναμονής.

Η τιμή $q_p = C_t$ αναφέρεται στο χρονικό διάστημα μεταξύ των αναχωρήσεων δύο διαδοχικών συρμών, εκ των οποίων στον πρώτο συρμό

επιβιβάστηκαν όλοι οι επιβάτες που ανέμεναν στην αποβάθρα εκκενώνοντάς τη. Στην πράξη, η τιμή αυτή αναφέρεται στο σύνολο των επιβατών που εισέρχονται στην αποβάθρα μεταξύ των διαδοχικών αναχωρήσεων του τελευταίου δρομολογίου που τηρεί το κανονικό πρόγραμμα (εκκενώνοντας πλήρως την αποβάθρα) και του αμέσως επόμενου δρομολογίου που πραγματοποιεί την καθυστέρηση.

5.4 ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΤΙΓΜΗ ΕΝΑΡΞΗΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑ ΑΠΟΒΑΘΡΑ

Η πρακτική αξία της τιμής $q_p = C_t$ έγκειται στο γεγονός ότι μπορεί να προσδιοριστεί η χρονική στιγμή T_p έναρξης αντίδρασης του συστήματος απέναντι σε ένα συμβάν του συστήματος με αυξημένη επικινδυνότητα, την υπερσυσσώρευση των επιβατών επί της αποβάθρας.

Η εύρεση της χρονικής στιγμής έναρξης αντίδρασης του συστήματος μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους :

A) με προεκτίμηση του χρόνου T_p , ως λόγου της χωρητικότητας του συρμού C_t προς τον μέσο ωριαίο φόρτο $Q_{p,i,1-2,k}$ που εισέρχεται στον σταθμό, ανά αποβάθρα. Είναι :

$$T_p = \frac{C_t}{Q_{p,i,1-2,k}} \quad (5.7)$$

Η σχέση αυτή μπορεί να υλοποιηθεί ιδιαίτερα εύκολα, καθώς το C_t είναι γνωστό και το μόνο άγνωστο μέγεθος είναι το $Q_{p,i,1-2,k}$. Το $Q_{p,i,1-2,k}$ μπορεί να βρεθεί είτε από τα ιστορικά δεδομένα συστήματος «Smart Card», είτε από τα αντίστοιχα ιστορικά δεδομένα συστήματος «Ηλεκτρονικό Μάτι».

Β) Με μέτρηση, σε πραγματικό χρόνο, του πλήθους των εισερχόμενων στην αποβάθρα μετά την αναχώρηση του τελευταίου δρομολογίου. Η μέτρηση υλοποιείται με οποιαδήποτε από τα δύο προαναφερθέντα συστήματα, με την προϋπόθεση ότι δίνουν ένδειξη σε πραγματικό χρόνο. Το «Ηλεκτρονικό Μάτι» έχει εδώ το πλεονέκτημα ότι είναι το σύστημα με το μικρότερο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας, καλύπτοντας πλήρως τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης εργασίας. [24], [26]

Έμμεσα, η μέτρηση των εισερχομένων εντός του σταθμού μπορεί να γίνει και με την μέτρηση σε πραγματικό χρόνο των ακυρώσεων όπως αυτές λαμβάνονται από τα ακυρωτικά μηχανήματα. Μειονεκτήματα της μεθόδου είναι: α) η μη μετάδοση των ακυρώσεων σε πραγματικό χρόνο (τα αποτελέσματα μεταφέρονται με δισκέτα από κάθε ακυρωτικό μηχάνημα ξεχωριστά στο τέλος κάθε μέρας), β) η μη καταμέτρηση των εισερχόμενων επιβατών με κόμιστρο άλλο του εισιτηρίου (κάρτες απεριορίστων διαδρομών, παραβάτες), γ) η αδυναμία γνώσης της αποβάθρας επιβίβασης όλων των εισερχόμενων επιβατών ανεξαρτήτως κομίστρου, ώστε να είναι δυνατή η άμεση αναγνώριση της αποβάθρας όπου αναπτύσσεται η συμφόρηση. Στα παραπάνω προστίθεται και το γεγονός ότι όταν η συμφόρηση μίας αποβάθρας έχει δημιουργήσει ουρές αναμονής μέχρι και την πλατεία του σταθμού στην θέση των ακυρωτικών, τότε ο έλεγχος των εισιτηρίων από τους ελεγκτές της εταιρίας είναι αδύνατος, τόσο στον συμφορημένο σταθμό, όσο και εντός του συμφορημένου συρμού. Η αδυναμία αυτή μπορεί να γίνει αισθητή από αρκετούς επιβάτες προτού ακυρώσουν το εισιτήριό τους, οπότε και τα ακυρωτικά μηχανήματα αναμένεται να καταγράψουν ακόμη λιγότερες εισόδους στον σταθμό. Συνολικά, συμπεραίνουμε πως τα ακυρωτικά μηχανήματα, στην καλύτερη των περιπτώσεων, δίνουν μία ένδειξη μόνο του πλήθους των εισερχόμενων επιβατών ανά αποβάθρα. Η ένδειξη αυτή είναι λιγότερο λειτουργική ακόμη και από την εποπτεία των εισερχόμενων επιβατών από τις οθόνες επιτήρησης εντός του σταθμαρχείου. [107]

Γ) Με εκτίμηση, σε πραγματικό χρόνο, του πλήθους των εισερχόμενων στην αποβάθρα μετά την αναχώρηση του τελευταίου κανονικού δρομολογίου. Η εκτίμηση πραγματοποιείται από εμπειρογνώμονα του Κέντρου Ελέγχου και Λειτουργίας, αποκλειστικά υπεύθυνο για αυτή την εργασία, ο οποίος εποπτεύει τις αποβάθρες μέσω εγκατεστημένου κλειστού κυκλώματος στις αποβάθρες. Την ίδια εργασία μπορεί να πραγματοποιήσει και μέλος του προσωπικού του σταθμού, καθώς υπάρχει και εκεί οθόνη παρακολούθησης της αποβάθρας.

5.5 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ

ΑΠΟΒΑΘΡΑΣ

Η διαδικασία πρόληψης της συμφόρησης της αποβάθρας ποικίλει ανάλογα με την ύπαρξη ή μη εντός των σταθμών αυτοματοποιημένου συστήματος διαχείρισης του πλήθους.

5.5.1 ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ

Στον μητροπολιτικό σιδηρόδρομο Αθηνών, δεν υπάρχει αυτοματοποιημένο σύστημα διαχείρισης πλήθους. Για την διαχείριση του πλήθους κινητοποιείται το προσωπικό του σταθμού. Τουλάχιστον ένα άτομο στέκεται στην κεφαλή του κλιμακοστασίου που τροφοδοτεί την αποβάθρα προκειμένου να σταματήσει τους επιβάτες από το να κατέλθουν στην ήδη γεμάτη αποβάθρα. Ένα ακόμη άτομο στέκεται στην απόληξη του κλιμακοστασίου επί της αποβάθρας διατηρώντας οπτική επαφή με την περιοχή της αποβάθρας και την υπόλοιπη ομάδα ταυτόχρονα. Ο ρόλος του συνίσταται στον να εκτιμάει την πλήρωση της αποβάθρας, και αντίστοιχα να ειδοποιεί την υπόλοιπη ομάδα προκειμένου να επιτρέψει ή να αποτρέψει την κάθοδο των επιβατών.

Σημαντικό ρόλο για την εξέλιξη και την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας παίζει η θέση στην οποία συγκρατείται το πλήθος που προσέρχεται.

Στην θέση αυτή δημιουργείται νέα ουρά αναμονής οπότε και εκκινεί μία νέα διαδικασία συμφόρησης των επιβατών. Για το λόγο αυτό, η νέα θέση αναμονής πρέπει να είναι έτσι εκλεγμένη, ώστε να βρίσκεται σε θέση πλατείας του σταθμού όπου και υπάρχει μεγάλη διατιθέμενη χωρητικότητα για τις νέες ουρές αναμονής. Επιπρόσθετα, πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση ασφαλείας από το κλιμακοστάσιο, ειδικά δε την κυλιόμενη σκάλα, προκειμένου να εξασφαλίζεται η ασφάλεια του πλήθους.

Ενδεικτικά, μπορούμε να αναφέρουμε πως σε περίπτωση καταμέτρησης με απλή εποπτεία η μέτρηση του πλήθους των επιβατών μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μονάδες «μήκους κλιμακοστασίου», οι οποίες έχουν πολλαπλάσιό τους την μονάδα «μήκους αποβάθρας». [107], [90]

5.5.2 ΜΕ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Η διαδικασία πρόληψης της συμφόρησης αποβάθρας μπορεί να υλοποιηθεί με αυτοματοποιημένο σύστημα όταν υπάρχουν τόσο τα μηχανικά μέσα όσο και το ηλεκτρονικό σύστημα αυτομάτου ελέγχου που μπορούν να υποκαταστήσουν της αντίστοιχες λειτουργίες που επιτελεί η ομάδα προσωπικού, όπως αυτές αναφέρθηκαν παραπάνω. Συνοπτικά, απαιτείται ένα σύστημα που θα παρέχει διαρκή πληροφόρηση για το πλήθος των επιβατών επί της αποβάθρας και επίσης θα διαθέτει τα κατάλληλα μέσα προκειμένου να αποτρέψει την είσοδο των επιβατών επί της αποβάθρας.

Το πλήθος των επιβατών αρ επί της αποβάθρας αυξάνεται με την προσέλευση των φόρτων επιβίβασης (και μετεπιβίβασης) του σταθμού, και μειώνεται με την επιβίβαση των επιβατών στους συρμούς. Με συστήματα τύπου «Smart Card» και «Ηλεκτρονικό Μάτι» μπορούμε να μετρήσουμε το πλήθος των επιβατών qm που εισέρχεται στην αποβάθρα από την είσοδο του σταθμού, καθώς και το πλήθος των επιβατών που αποβιβάστηκαν στον σταθμό και εξέρχονται από την αποβάθρα. Δεν μπορούμε, όμως, να μετρήσουμε το πλήθος των επιβατών που επιβιβάστηκε στο συρμό. Η πληροφορία που

απουσιάζει από ένα τέτοιο σύστημα είναι οι κενές θέσεις του συρμού, ή αλλιώς, το πλήθος των επιβατών που βρίσκεται εντός του συρμού. Η παραπάνω πληροφορία βρίσκεται στην καταγραφή του κόσμου που εισήλθε και εξήλθε στην αποβάθρα των προηγούμενων σταθμών.

Η επίλυση του παραπάνω προβλήματος βρίσκεται στην διασύνδεση των συστημάτων ελέγχου κάθε σταθμού τόσο μεταξύ τους, με την μεταβίβαση των πληροφοριών επιβίβασης και αποβίβασης, όσο και με το σύστημα ελέγχου της κυκλοφορίας, το οποίο θα πληροφορεί για την άφιξη ή αναχώρηση συρμού από την αποβάθρα. Με την παραπάνω τεχνική επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή γνώση του πλήθους και της θέσης των επιβατών εντός του δικτύου. [24]

Στην παρούσα διπλωματική εργασία δεν διερευνάται περαιτέρω η ύπαρξη, οι δυνατότητες, η αξιοπιστία, και το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος διότι η μελέτη των καθυστερήσεων των δρομολογίων της παρούσας διπλωματικής βασίζεται σε ιστορικά δεδομένα και όχι σε σειρά πειραμάτων που διεξάχθηκε σε πραγματικό χρόνο.

5.5.3 ΜΕ ΜΕΙΚΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Στην πράξη μπορεί να εφαρμόζεται συνδυασμός των δύο παραπάνω. Ο ρόλος του επόπτη πλήρωσης της αποβάθρας μπορεί να αντικατασταθεί με την εποπτεία της αποβάθρας από κάμερα σε οθόνη που βρίσκεται στο Κέντρο Ελέγχου και Λειτουργίας ή στον ίδιο το σταθμό και διαθέτει ειδικά προσαρμοσμένο λογισμικό το οποίο αναγνωρίζει το πλήθος των επιβατών επί της αποβάθρας. Τέτοιο λογισμικό βασίζεται στην τεχνολογία των νευρωνικών δικτύων. Η ενημέρωση της ομάδας ελέγχου της ροής του πλήθους πραγματοποιείται με ασύρματη επικοινωνία. Η εκτίμηση των επιβατών επί της αποβάθρας με τη χρήση λογισμικού που αναγνωρίζει το πλήθος των επιβατών από το σήμα της κάμερας έχει ιδιαίτερη αξία καθώς η εγκατάστασή του απαιτεί μόνο έναν υπολογιστή και το λογισμικό. Η παρέμβαση στον υπόλοιπο σταθμό

είναι μηδαμινή, καθώς δεν απαιτούνται οικοδομικές εργασίες. Επίσης, αποφεύγεται η εγκατάσταση θυρών καταμέτρησης, οι οποίες και μειώνουν την κυκλοφοριακή ικανότητα των διαδρόμων.

Τέλος, η ομάδα που ελέγχει τη ροή του πλήθους, σύμφωνα πάντα με τις υποδείξεις του επόπτη, μπορεί να αντικατασταθεί από ειδικές θύρες με δυνατότητα κλειδώματος με ή χωρίς τηλεχειρισμό. Επίσης, η καταμέτρηση του πλήθους μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε μέσω της κάμερας του κλιμακοστασίου, είτε με ηλεκτρονική καταμέτρηση μέσω εξοπλισμού της θύρας.

[24]

6. ΕΠΑΝΕΚΚΙΝΗΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΜΕΝΩΝ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΩΝ

6.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΜΕΝΩΝ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΩΝ

Τα δρομολόγια με καθυστέρηση βρίσκονται επί των αποβάθρων και αναμένουν. Στο υπάρχον μητροπολιτικό σιδηροδρομικό δίκτυο Αθηνών, οι αποβάθρες έχουν χωρητικότητα ενός μόνο συρμού και απαγορεύεται η υπέρβαση. Συνεπώς στην περίπτωση καθυστέρησης δρομολογίου, οι συρμοί που επηρεάζονται εντός της ίδιας γραμμής κάνουν στάση σε διαδοχικούς σταθμούς. [90], [107]

Με το πέρας της καθυστέρησης οι συρμοί καλούνται να επανεκκινήσουν το ταχύτερο δυνατό διότι: α) πρέπει να εξυπηρετηθούν άμεσα οι επιβάτες που αναμένουν εντός των συρμών και στους σταθμούς β) να επανέλθει το δίκτυο στο προσχεδιασμένο πρόγραμμα δρομολόγησης το συντομότερο δυνατό. Η επανεκκίνηση των δρομολογίων γίνεται με την ελάχιστη επιτρεπτή χρονοαπόσταση της γραμμής.

Στην περίπτωση γρήγορης διαπίστωσης μίας μεγάλης καθυστέρησης, η γραμμή λειτουργεί κατά τμήματα, «διχοτομείται», προκειμένου να εξυπηρετηθούν έστω και μερικώς οι επιβάτες. Νέοι τερματικοί σταθμοί είναι οι πλησιέστεροι του τμήματος που έχει σταματήσει η κυκλοφορία. Βασική προϋπόθεση είναι να διαθέτουν διπλή αλλαγή προκειμένου να πραγματοποιηθεί η αναστροφή του συρμού. Στην παρούσα διπλωματική δεν εξετάζεται η διαδικασία «διχοτόμησης» της γραμμής. [107]

6.2 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ ΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

Η αποκατάσταση της ομαλής λειτουργίας του δικτύου, χωρίς διχοτόμηση της γραμμής, επιτυγχάνεται με την άμεση παροχή σημαντικής μεταφορικής ικανότητας. Ειδικότερα, γίνεται με :

α) την μείωση του χρόνου ταξιδιού, με την ανάπτυξη μεγαλύτερων ταχυτήτων από τους καθυστερημένους συρμούς, όπως αντίστοιχα και την ανάπτυξη της μέγιστης επιτάχυνσης και επιβράδυνσης

β) την μείωση του χρόνου στάσης σε κάθε σταθμό

γ) την αξιοποίηση του νεκρού χρόνου στους τερματικούς σταθμούς μετά την αναστροφή του συρμού

δ) την μείωση της χρονοαπόστασης από τον προηγούμενο συρμό.

ε) την μη αναμονή στις ανταποκρίσεις των συρμών της άλλης γραμμής.

Πηγή : [29], [110]

6.3 ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

Στην πράξη, δεν χρησιμοποιούνται όλα τα παραπάνω μέσα στον μητροπολιτικό σιδηρόδρομο Αθηνών για την ταχύτερη επαναφορά του δικτύου σε συνθήκες ομαλής λειτουργίας. Εξετάζοντας τα παραπάνω μέσα διεξοδικά, έχουμε :

α) ο χρόνος ταξιδιού δεν μπορεί να μειωθεί αισθητά. Ήδη στο κανονικό πρόγραμμα δρομολόγησης αξιοποιείται όλη η διαθέσιμη ελκτική δύναμη καθώς και η δύναμη πέδησης. Επίσης, στο κανονικό δρομολόγιο ο συρμός επιταχύνει μέχρι αναπτύξεως της μέγιστης επιτρεπόμενης ταχύτητας του δικτύου, η οποία και είναι τα 80 χλμ/ώρα. Η μέγιστη ταχύτητα δεν επιτυγχάνεται σε τμήματα της διαδρομής με μικρό μήκος ανωφέρειες και κατωφέρειες.

β) η μείωση του χρόνου στάσης χρησιμοποιείται από τον μητροπολιτικό σιδηρόδρομο Αθηνών. Ο μέγιστος προσχεδιασμένος χρόνος στάσης είναι 30 δευτερόλεπτα ενώ ο μικρότερος προσχεδιασμένος χρόνος στάσης είναι 15 δευτερόλεπτα. Ο χρόνος που μπορεί να εξοικονομηθεί από τις στάσεις κυμαίνεται αντίστοιχα μεταξύ 10 και 5 δευτερολέπτων αντίστοιχα, ανά στάση. Ο χρόνος αυτός και είναι μικρός σε σχέση με το μέγεθος των καθυστερήσεων που καλείται το σύστημα να αποκαταστήσει. Επιπρόσθετα η εξοικονόμηση αυτού του χρόνου δεν είναι διασφαλισμένη καθώς ο κόσμος που, όντας καθυστερημένος, βρίσκεται συγκεντρωμένος στην αποβάθρα και αντιμετωπίζει το θέαμα ενός υπερπλήρους συρμού, δεν επιτρέπει στον συρμό να εκκινήσει έως ότου εξαντληθεί κάθε ελπίδα επιβίβασης.

γ) ο νεκρός χρόνος ενός δρομολογίου που βρίσκεται πριν την εκκίνηση του δρομολογίου από τερματικό σταθμό αξιοποιείται πάντοτε για την αποκατάσταση της ομαλής λειτουργίας του δικτύου. Ο χρόνος αυτός, συνήθως βρίσκεται ισοκατανεμημένος στους δύο τερματικούς σταθμούς της γραμμής. Κατά τις περιόδους αιχμής των 3 λεπτών χρονοαπόστασης ο νεκρός χρόνος είναι περίπου 0,5 λεπτά, και συνεπώς δεν προσφέρει σημαντικά στην αντιμετώπιση της καθυστέρησης.

δ) η μείωση της χρονοαπόστασης μεταξύ δύο διαδοχικών συρμών με καθυστέρηση είναι επίσης ένα μέτρο που χρησιμοποιείται πάντοτε. Η χρονοαπόσταση μεταξύ δύο συρμών μπορεί να ελαττωθεί μέχρι και τα 2 λεπτά στο μητροπολιτικό σιδηροδρομικό δίκτυο Αθηνών. Η ελάχιστη αυτή χρονοαπόσταση λειτουργίας ικανοποιεί την απαίτηση της μη αλληλεμπλοκής

των τμημάτων αποκλεισμού. Η μεγαλύτερη χρονική απόσταση μεταξύ δύο σταθμών είναι 1 λεπτό και 49 δευτερόλεπτα και πραγματοποιείται από τον σταθμό του Μοναστηρακίου προς τον σταθμό του Συντάγματος. Με ελάχιστη χρονοαπόσταση 2 λεπτά εξασφαλίζεται και η ύπαρξη ενός το περισσότερο συρμού μεταξύ δύο σταθμών, ακόμη και στο παραπάνω δυσμενέστερο τμήμα της διαδρομής. Τέλος, για το συγκεκριμένο μέτρο πρέπει να σημειώσουμε πως ο μέχρι σήμερα διατιθέμενος στόλος του ΜΕΤΡΟ των Αθηνών δεν επαρκεί για να πραγματοποιηθεί η ελάχιστη χρονοαπόσταση των 2 λεπτών.

ε) ανταπόκριση των συρμών στον μητροπολιτικό σιδηρόδρομο Αθηνών πραγματοποιείται στον σταθμό του Συντάγματος μεταξύ των γραμμών 2 και 3. Οι γραμμές 2 και 3 σχεδιάζονται με κοινή χρονοαπόσταση και συνεπώς μπορούν να συγχρονιστούν «ένας προς έναν» οι συρμοί από τις τέσσερις κατευθύνσεις των δύο γραμμών. Ο χρόνος στάσης και των τεσσάρων κατευθύνσεων είναι 30 δευτερόλεπτα, ο οποίος και είναι ο μέγιστος χρόνος στάσης του δικτύου, στον συγκεκριμένο σταθμό έχει και το ρόλο της αναμονής του ανταποκρινόμενου συρμού. Η μορφή της ανταπόκρισης είναι μορφής προσχεδιασμένης σύγχρονης παρουσίας των συρμών στον σταθμό του Συντάγματος, και όχι υποχρέωσης των συρμών που φθάνουν πρώτοι στον σταθμό να αναμένουν τους αντίστοιχους της ανταπόκρισης πέραν του προγραμματισμένου χρόνου στάσης των 30 δευτερολέπτων. Κάτι τέτοιο, άλλωστε, δεν έχει πρακτική αξία για μητροπολιτικό σιδηροδρομικό δίκτυο. Η μέγιστη χρονοαπόσταση σχεδιασμού είναι τα 10 λεπτά και η ελάχιστη τα 3 λεπτά, γεγονός που σημαίνει ότι η δρομολόγηση των συρμών είναι πολύ ευαίσθητη στις καθυστερήσεις, πόσο μάλλον αν αυτές μεταφέρονται μεταξύ των γραμμών με την αναμονή των καθυστερημένων συρμών στο σταθμό ανταπόκρισης. Επιπρόσθετα, επειδή οι χρονοαποστάσεις είναι μικρές (μικρότερες των 10 λεπτών), οι επιβάτες που ενδέχεται να χάσουν την ανταπόκριση του Συντάγματος δεν θα χρειαστεί να αναμείνουν για πολύ στην αποβάθρα.

Πηγή : [108]

6.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ ΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

Καταρχήν, καλούμαστε να επιλέξουμε τον σταθμό στον οποίο θα εμφανιστεί η καθυστέρηση. Όσο πιο κοντά είναι ο σταθμός που θα εμφανιστεί η καθυστέρηση στο τέρμα της γραμμής, τόσο μικρότερες θα είναι οι επιπτώσεις της καθυστέρησης στο δίκτυο. Οι φόρτοι προσέλευσης γενικά είναι μικροί σε αποβάθρες σταθμών που βρίσκονται κοντά σε τερματικούς σταθμούς, και αφορούν επιβιβάσεις με κατεύθυνση το τέρμα. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της αποβάθρας της Αττικής με κατεύθυνση τα Σεπόλια, μεταξύ 9.00 και 9.30 εργάσιμης ημέρας στα τέλη του Ιουνίου εμφανίστηκε μόνο ένας επιβάτης να αναμένει το επόμενο δρομολόγιο. Επιπρόσθετα, ο συρμός θα συναντήσει σύντομα θέση με σημαντικό νεκρό χρόνο (νεκρός χρόνος κύκλου σε τερματικό σταθμό), όπου θα καλύψει μέρος της καθυστέρησης. Συμπερασματικά, καταλήγουμε πως ο σταθμός στον οποίο η ίδια εμφανιζόμενη καθυστέρηση d έχει τις δυσμενέστερες άμεσες επιπτώσεις στο δίκτυο είναι η αφετηρία κάθε κατεύθυνσης. Αυτό συμβαίνει διότι ο καθυστερημένος συρμός αναμένεται να συναντήσει άμεσα αυξημένους επιβατικούς φόρτους, χωρίς να έχει άμεσα διαθέσιμα τα αντίστοιχα μέσα προκειμένου να ελαττώσει αισθητά την καθυστέρησή του και συνεπώς τις επιπτώσεις της στον ίδιο και στο δίκτυο.

Κατά τον σχεδιασμό μίας διαδικασίας επανεκκίνησης των καθυστερημένων δρομολογίων, καλούμαστε να επιλέξουμε εκείνα τα μέτρα από τα προαναφερθέντα, τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν σε κάθε περίπτωση καθυστέρησης και πετυχαίνουν αισθητή εξοικονόμηση χρόνου, άρα και μείωση της καθυστέρησης.

Γι' αυτό το λόγο μελετούμε το καθυστερημένο δρομολόγιο χωρίς να θεωρούμε μείωση του χρόνου ταξιδιού. Η αύξηση της ταχύτητας του συρμού πέραν των 80 χλμ/ώρα, ναι μεν είναι εφικτή, αλλά δεν συνίσταται καθώς είναι

πέρα από τις προδιαγραφές ασφαλείας της γραμμής. Επίσης η χρησιμοποίηση μεγαλύτερης ελκτικής δύναμης και δύναμης πέδησης επηρεάζει σημαντικά την ευστάθεια των επιβατών εντός του συρμού, τους καταπονεί, και μειώνει σημαντικά το επίπεδο εξυπηρέτησης.

Η μείωση του χρόνου στάσης είναι ένα μέτρο που επιδιώκεται η χρήση του στην πράξη. Δεν σημαίνει, όμως, ότι είναι πάντοτε εφικτό, κυρίως λόγω της δυσκολίας του να εξέλθουν οι επιβάτες που βρίσκονται εντός του συρμού και της επιμονής αυτών στην αποβάθρα να εισέλθουν παρά την πλήρωση του συρμού. Ο χρόνος στάσης για την μελέτη του καθυστερημένου δρομολογίου θεωρείται ίσος με το χρόνο σχεδιασμού της στάσης για κανονική λειτουργία.

Τέλος, θεωρείται πως η έτερη γραμμή με την οποία πραγματοποιείται η ανταπόκριση στο Σύνταγμα μπορεί να μελετηθεί σαν να συνεχίζει κανονικά τη λειτουργία της ή σαν να πραγματοποιεί καθυστέρηση.

6.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΜΕΝΩΝ **ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΩΝ**

Η διαχείριση των καθυστερήσεων σε μητροπολιτικό σιδηροδρομικό δίκτυο είναι μία δυναμική διαδικασία. Εκκινεί με την αναγνώριση σε πραγματικό χρόνο της καθυστέρησης του δρομολογίου. Υπολογίζει την αναμενόμενη διάχυση της καθυστέρησης σε άλλα δρομολόγια της ίδιας γραμμής και του δικτύου. Αλληλεπιδρά με τα καθυστερημένα δρομολόγια του δικτύου, δίνοντάς τις κατάλληλες εντολές λειτουργίας προκειμένου να μεταφερθούν με ασφάλεια και το συντομότερο δυνατό οι επιβάτες στον τελικό τους προορισμό.

Παρατηρούμε πως η όλη διαδικασία αντίδρασης, εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τη μορφή των παρεχόμενων πληροφοριών του συστήματος ελέγχου και παρακολούθησης της γραμμής. Το σύστημα αυτό, το οποίο εξακολουθεί να διατηρεί τη βασική φιλοσοφία των τμημάτων

αποκλεισμού, είναι ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου. Η ροή των παρεχόμενων πληροφοριών, όπως και σε κάθε ηλεκτρονικό υπολογιστικό σύστημα, δεν έχει το χαρακτήρα μία συνεχούς ροής δεδομένων. Η ροή των δεδομένων που προέρχεται από συστήματα αυτομάτου ελέγχου έχει πάντοτε τη μορφή διακριτών τιμών μεγεθών, ακόμη και αν αυτά τα μεγέθη έχουν μια συνεχή ροή όπως ο χρόνος. Παρατίθεται σύνοψη σχετικών υπολογιστικών τεχνικών χωρίς όμως να πραγματοποιείται σχετική εφαρμογή στο σιδηροδρομικό δίκτυο της ΑΜΕΛ.

6.5.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ

Σύγχρονες δημοσιεύσεις αναζητούν λύση στο πρόβλημα της διαχείρισης των καθυστερήσεων των δρομολογίων σιδηροδρομικού δικτύου με την βοήθεια μεθοδολογιών δόμησης προτύπου που έχουν εφαρμοστεί ή αναπτύσσονται για συστήματα αυτόματου ελέγχου. Τέτοιες μεθοδολογίες είναι η max-plus Άλγεβρα για Σύστημα Διακριτών Γεγονότων (Discrete Event System ή DES), το Πρότυπο Χειριστηρίων προς Πρόβλεψη (Model Predictive Control ή MPC) για Σύστημα Διακριτού Χρόνου (Discrete Time System) και άλλες ευρετικοί αλγόριθμοι που βασίζονται σε Σύστημα Διακριτών Γεγονότων (Discrete Event System ή DES). [35], [68], [78]

Σύστημα Διακριτών Γεγονότων μπορεί να είναι κάθε σύστημα το οποίο μπορεί να προσομοιωθεί επαρκώς από ένα ικανό σύνολο διακριτών γεγονότων του ιδίου. Η κλάση των Συστημάτων Διακριτών Γεγονότων περιλαμβάνει συστήματα κατασκευασμένα από τον άνθρωπο, που αποτελούνται από ένα πεπερασμένο πλήθος πόρων (συρμοί, σταθμοί, σιδηροδρομική υποδομή) οι οποίοι χρησιμοποιούνται από πλήθος χρηστών (συρμοί, επιβάτες) προκειμένου να εκπληρωθεί ένας κοινός σκοπός (ασφαλή και έγκαιρη μεταφορά των επιβατών στους προορισμούς τους). [71]

Χαρακτηριστικό των Συστημάτων Διακριτών Γεγονότων είναι ότι εξελίσσονται υπό την επίδραση συγκεκριμένων γεγονότων (event-driven) σε αντίθεση με τα Συστήματα Διακριτού Χρόνου τα οποία και εξελίσσονται ανά συγκεκριμένο χρονικό βήμα (με τους χτύπους του ρολογιού). Ένα Γεγονός αντιστοιχεί στην αρχή ή στο πέρας ενός γεγονότος. Τα Γεγονότα συμβαίνουν σε διακριτές χρονικές στιγμές. Κατά τη δόμηση ενός Συστήματος Διακριτών Γεγονότων μεγάλη σημασία δύνανται στην στάθμιση μεταξύ εύρους ανάλυσης και ταχύτητας απόφασης. Μεγάλο εύρος ανάλυσης ισοδυναμεί με μεγάλο υπολογιστικό φόρτο, οπότε και μεγάλους χρόνους απόκρισης του συστήματος σε ένα συμβάν. Αντίθετα, σε περιπτώσεις που απαιτείται απόκριση σε πραγματικό χρόνο θυσιάζεται μέρος της ανάλυσης προκειμένου να υπάρξει ικανοποιητική ταχεία απόκριση στο συμβάν. [39], [53]

Ένα σύστημα διαχείρισης των καθυστερήσεων μητροπολιτικού σιδηροδρομικού δικτύου απαιτεί ικανό βάθος ανάλυσης προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφάλεια των επιβατών, αλλά συγχρόνως και ταχύτητα απόκρισης, ιδιαίτερα στις ώρες αιχμής κατά την διάρκεια των οποίων ελαχιστοποιούνται τα περιθώρια άνεσης. Η Max-plus Άλγεβρα είναι σε θέση να «γραμμικοποιήσει» ένα πρόβλημα Συστήματος διακριτών γεγονότων, και συνεπώς να μειώσει τον υπολογιστικό φόρτο. [45], [71]

6.5.2 MAX – PLUS ALGEBRA

Η Max-plus Άλγεβρα έχει πεδίο ορισμού το A όπου

$$A = \mathbb{R} \cup \{-\infty\} \quad (6.5.1)$$

Για κάθε $a, b \in A$, ορίζονται οι δύο πράξεις της Max-plus Άλγεβρας :

$$\begin{aligned} a \oplus b &= \max(a, b) \\ a \otimes b &= a + b \end{aligned} \quad (6.5.2)$$

Περισσότερα πάνω στις βασικές πράξεις της Max-plus Άλγεβρας μπορούν να βρεθούν στο Παράρτημα, το οποίο περιέχει αναλυτικά ιδιότητες των πράξεων της, τις πράξεις με πίνακες, τη συσχέτισή τους με προσανατολισμένους γράφους με βάρη, και τον παραλληλισμό με τις πράξεις της κοινής άλγεβρας που όλοι γνωρίζουμε. [77]

Στο πρόβλημα αναγνωρίζονται ως γεγονότα ελέγχου οι αναχωρήσεις από τους σταθμούς. Δεν γίνεται αναφορά σε τμήματα αποκλεισμού. Οι χρόνοι ταξιδιού θεωρούνται ανεξάρτητοι του χρόνου. Περιορισμός του προβλήματος είναι πως οι αναχωρήσεις από τους σταθμούς πραγματοποιούνται το νωρίτερο κατά τον προγραμματισμένο χρόνο. Στόχος είναι ο περιορισμός της διάχυσης των καθυστερήσεων στο δίκτυο μέσω του περιορισμού της καθυστέρησης των ανταποκρίσεων. Εισάγεται χρονικό κριτήριο ελαχιστοποίησης των συνολικών καθυστερήσεων. Κατόπιν ανάπτυξης όλων των δυνατών συνδυασμών λύσεων επιλέγεται αυτή που ικανοποιεί καλύτερα το παραπάνω κριτήριο. [71]

Παρατηρούμε πως η ανάλυση επικεντρώνεται στην ανάπτυξη του εργαλείου, τη στιγμή που υπολείπεται σε επαρκή ορισμό των συγκοινωνιακών μεγεθών και αναγνώριση της ιδιαιτερότητας του προβλήματος ως συγκοινωνιακού. Έτσι εξηγείται και το γεγονός πως η μεθοδολογία που αναπτύσσεται δεν μπορεί να διακρίνει άμεσα ποιες είναι οι ανταποκρίσεις που πράγματι επηρεάζονται, προκειμένου να αγνοήσει από τους υπολογισμούς τις υπόλοιπες και να επικεντρωθεί στις απαραίτητες.

6.5.3 ΤΕΧΝΙΚΗ ΧΕΙΡΙΣΤΗΡΙΩΝ ΠΡΟΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗ

Ο ορισμός του προβλήματος είναι αντίστοιχος με τον ορισμό που δίδεται στην Max-plus Άλγεβρα. Αναγνωρίζονται στο σύστημα χειριστήρια τα

οποία ελέγχουν την ολική ή μερική πραγματοποίηση μίας ανταπόκρισης. Η ακύρωση μίας ανταπόκρισης πραγματοποιείται με κάποιο κόστος, το οποίο είναι απλώς ενδεικτικό των επιβατωρών καθυστέρησης. Ρητή αναφορά σε προβλήματα κυκλοφορίας του δικτύου δεν γίνεται. Στη διατύπωση του προβλήματος αναγνωρίζονται «άκαμπτοι» περιορισμοί συγχρονισμού (hard synchronization constraints) οι οποίοι αναφέρονται στο γεγονός ότι ο συρμός που θα αναχωρήσει από ένα σταθμό πρέπει πρώτα να έχει φθάσει σε αυτόν. «Εύκαμπτοι» περιορισμοί του προβλήματος είναι η δυνατότητα ακύρωσης μίας ανταπόκρισης. [29], [30], [33], [34], [43], [50], [61]

Οι εξισώσεις που έχουν καταστρωθεί οδηγούν σε χώρο λύσεων μη κυρτό και μη γραμμικό, σε αντίθεση με τη γραμμικότητα της Max-plus Άλγεβρας. Η επίλυση γίνεται με τη βοήθεια του Διευρυμένου Προβλήματος Γραμμικής Συμπληρωματικότητας (Extended Linear Complementarity Problem ή ELCP), το οποίο παρέχει γρηγορότερα αποτελέσματα από μία συμβατική επίλυση. [37], [47]

Αναγνωρίζεται ορίζοντας μελέτης ο οποίος και ισούται με το πλήθος των περιόδων του δρομολογίου μετά το πέρας των οποίων η καθυστέρηση έχει μηδενιστεί με την βοήθεια των περιθωρίων άνεσης μόνο (μηδενική λύση). Ο υπολογιστικός φόρτος μειώνεται σημαντικά, παραμένει δε, υψηλός. Δεν γίνεται καμία αναφορά σε ζητήματα υπερπλήρωσης σταθμών και συρμών. Τέλος, προτείνεται χειριστήριο αύξησης της ταχύτητας του καθυστερημένου δρομολογίου προκειμένου να ελαττωθεί ο χρόνος καθυστέρησης, επίσης, με το αντίστοιχο κόστος. [29], [30], [33], [34]

6.5.4 ΕΥΡΕΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Η διαχείριση των καθυστερήσεων μπορεί να γίνει και με τη χρήση ευρετικών αλγορίθμων στη βάση συστήματος διακριτών γεγονότων. Οι ευρετικοί αλγόριθμοι έχουν το χαρακτηριστικό ότι όσο περισσότερο «ευρετικοί»

είναι, τόσο περισσότερο εξειδικεύονται σε ένα πρόβλημα. Συνήθως είναι και οι πιο γρήγοροι, καθώς ελαχιστοποιούν τον υπολογιστικό φόρτο με τεχνικές «απληστίας» ή Branch and Bound. [31], [32], [67], [106]

Εφαρμογή ευρετικού αλγορίθμου για τη διαχείριση της κυκλοφορίας υπό καθεστώς ύπαρξης καθυστερημένων δρομολογίων εντός του δικτύου υπάρχει σε σχετική βιβλιογραφία. Αναφέρεται δε σε δίκτυο που επιτρέπονται οι υπερβάσεις, ενώ διακρίνεται και η έννοια της χωρητικότητας σε συρμούς του χώρου στάθμευσης ενός σταθμού. Επιπρόσθετα, γίνεται έλεγχος χωρητικότητας της γραμμής προς αποφυγήν κυκλοφορικής συμφόρησης των συρμών.

Η βελτιστοποίηση γίνεται με τρία κριτήρια:

- A) την ελαχιστοποίηση των συνολικών επιβατοωρών αναμονής
- B) τη μέγιστη καθυστέρηση και
- Γ) το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μέχρι την ομαλή επαναλειτουργία της γραμμής.

Αναφέρεται ρητώς πως δεν βρίσκονται απαραίτητα οι βέλτιστες λύσεις, εντούτοις, επιτυγχάνονται εξαιρετικοί χρόνοι απόκρισης, ακόμη και από συμβατικά υπολογιστικά συστήματα.

6.5.5 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Οι τεχνικές Συστημάτων Διακριτών Γεγονότων που αναπτύχθηκαν, αξιολογούνται με βάση της επισημάνσεις των συγγραφέων τους, καθώς δεν υπάρχει ως τώρα εφαρμογή τους σε κάποιο σιδηροδρομικό δίκτυο. Σύμφωνα λοιπόν με αυτές, κύρια χαρακτηριστικά του προβλήματος της διαχείρισης των καθυστερήσεων δρομολογίων σε πραγματικό χρόνο είναι η εξισορρόπηση ενός σημαντικού υπολογιστικού φόρτου, ιδίως στην περίπτωση σιδηροδρομικού

δικτύου πολλών και μεγάλων γραμμών, σε αντιδιαστολή με την απαίτηση ταχείας απόκρισης του συστήματος.

Είναι πρωτεύουσας σημασίας συνεπώς, η εύρεση τόσο των ελάχιστων χαρακτηριστικών παραμέτρων που περιγράφουν επαρκώς το σύστημα, όσο και των ελάχιστων χειριστηρίων προς πρόβλεψη, τα οποία θα επαναφέρουν ένα δίκτυο με καθυστερημένα δρομολόγια σε κανονική λειτουργία.

Η τεχνική του Προτύπου προς Πρόβλεψη Χειριστηρίων κινείται προς αυτή τη κατεύθυνση με τον ορισμό του ορίζοντα μελέτης, με τη βοήθεια του οποίου η επίλυση περιορίζεται σε συγκεκριμένους χειρισμούς. Ο ορίζοντας μελέτης αναφέρεται σε πλήθος περιόδων συνόλου διακριτών γεγονότων, δηλαδή σε πλήθος γεγονότων κύκλου του συνόλου των δρομολογίων του δικτύου.

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμη, κατ' επέκταση της φιλοσοφίας του ορίζοντα μελέτης, η ανάπτυξη αλγορίθμου εύρεσης ορίζοντα δρομολογίων, με αφετηρία την μηδενική λύση. Ο ορίζοντας δρομολογίων περιέχει όλα εκείνα τα δρομολόγια στα οποία θα αναπτυχθεί μία καθυστέρηση όταν μοναδικό μέσο εξάλειψης των καθυστερήσεων είναι τα περιθώρια άνεσης (slack time). Ο υπολογιστικός φόρτος μπορεί να περιοριστεί ακόμη περισσότερο, ενώ η διαδικασία διαχείρισης των καθυστερήσεων των δρομολογίων αποκτάει ευρετικό χαρακτήρα. Τέλος, η ακριβής γνώση των καθυστερημένων δρομολογίων σε συνδυασμό με την ύπαρξη ενός μητρώου προέλευσης - προορισμού του δικτύου, οδηγεί στον εντοπισμό των επιβατωρών καθυστέρησης, οπότε και την καλύτερη αξιολόγηση των προτεινόμενων λύσεων καθώς και την αποτίμηση της κατάστασης.

Στην πράξη, η διαχείριση των καθυστερημένων δρομολογίων στην Α.Μ.Ε.Λ. πραγματοποιείται από το Κέντρο Λειτουργίας και Ελέγχου (Κ.Ε.Λ.), το οποίο βρίσκεται στο σταθμό του Συντάγματος. Στο Κ.Ε.Λ. δεν χρησιμοποιείται κανένα πληροφοριακό εργαλείο διαχείρισης των καθυστερημένων δρομολογίων.

Η διαχείριση γίνεται εξολοκλήρου από τον υπεύθυνο λειτουργίας του Κ.Ε.Λ., ο οποίος και παρακολουθεί την θέση των συρμών στο δίκτυο από τον φωτεινό πίνακα ελέγχου του Κ.Ε.Λ.. Από την μέχρι τώρα εμπειρία η εφαρμοζόμενη διαδικασία διαχείρισης των καθυστερημένων δρομολογίων διασφαλίζει την αποκατάσταση της κανονικής λειτουργίας του δικτύου.

7. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΗΤΡΩΟΥ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ- ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ

7.1 ΔΟΜΗΣΗ ΜΗΤΡΩΟΥ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΥ

Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση των καθυστερήσεων σε μητροπολιτικό δίκτυο πραγματοποιήθηκε από τον συγγραφέα εκτίμηση του μητρώου προέλευσης προορισμού στα πλαίσια του μαθήματος «Τεχνολογικής Εφαρμογή» του 7^{ου} εξαμήνου των Πολιτικών Μηχανικών. Η εκτίμηση έγινε βάση επιτόπου μετρήσεων του συνόλου των εισερχομένων επιβατών ανά αποβάθρα και συνέντευξης δείγματος επιβατών σε κάθε αποβάθρα που πραγματοποιήθηκε μελέτη. Το μητρώο προέλευσης-προορισμού που συντάχθηκε αναφέρεται στο χρονικό διάστημα 8.30 με 10:00, για τις εργάσιμες μέρες τελών Ιουλίου. [112]

7.1.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΗΤΡΟΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΘΗΝΩΝ

Το μητροπολιτικό σιδηροδρομικό δίκτυο Αθηνών της ΑΜΕΛ αποτελείται από 2 γραμμές, τις γραμμές 2 (κόκκινη) και 3 (μπλε). Η γραμμή 1 (πράσινη) ανήκει στον ΗΣΑΠ και μελετήθηκε μόνο ως προς τις μετεπιβιβάσεις της από και προς τις γραμμές της ΑΜΕΛ. Η γραμμή 2 έχει αυτή τη στιγμή τους εξής 12 σταθμούς : Σεπόλια, Αττική, Λαρίσσης, Μεταξουργείο, Ομόνοια, Πανεπιστήμιο, Σύνταγμα, Ακρόπολη, Συγγρού-Φιξ, Ν. Κόσμος, Αγ. Ιωάννης, Δάφνη. Η γραμμή 3 έχει αυτή τη στιγμή του εξής 8 σταθμούς : Μοναστηράκι, Σύνταγμα, Ευαγγελισμός, Μ. Μουσικής, Αμπελόκηποι, Πανόρμου, Κατεχάκη, Εθνική Άμυνα. Η γραμμή 2 έχει ανταπόκριση με την γραμμή 1 στους σταθμούς Αττική, και

Ομόνοια, η γραμμή 3 με την γραμμή 1 στον σταθμό Μοναστηράκι, και η γραμμή 2 με την γραμμή 3 στο σταθμό Σύνταγμα.

Κύριο διατιθέμενο δεδομένο από την ΑΜΕΛ για την δόμηση ενός μητρώου προέλευσης-προορισμού είναι οι ακυρώσεις των εισιτηρίων κάθε σταθμού. Τα ακυρωτικά μηχανήματα είναι τοποθετημένα σε πλατεία εντός του σταθμού μπροστά από το σταθμαρχείο. Η πληροφορία που δίνουν είναι το άθροισμα των ακυρώσεων που πραγματοποιήθηκε σε αυτά ανά δεκαπέντε λεπτά, ανά μηχανήμα. Η πληροφορία αυτή δίνεται για το σύνολο της ημέρας και δεν λαμβάνεται σε πραγματικό χρόνο. Απαραίτητες πληροφορίες για την δόμηση του μητρώου είναι το σύνολο των εισερχομένων στον σταθμό και η γνώση του σταθμού προορισμού τους, πληροφορίες που δεν παρέχονται από τις ακυρώσεις.

Ειδικότερα, στους σταθμούς Αττική, Ομόνοια, και Μοναστηράκι πραγματοποιείται μετεπιβίβαση μεγάλου επιβατικού φόρτου από και προς τις γραμμές 2 και 3 στη γραμμή 1, ο οποίος και δεν καταγράφεται από τα ακυρωτικά μηχανήματα, λόγω της χρησιμοποίησης κοινού εισιτηρίου και για τις δύο γραμμές. Στον σταθμό της Ομόνοιας χρησιμοποιούνται κοινά ακυρωτικά, ιδιοκτησίας της ΑΜΕΛ, για την γραμμή 1 και τη γραμμή 2, και συνεπώς μέρος των ακυρώσεων ανήκει στη γραμμή 1.

Οι σταθμοί που μελετήθηκαν (καταμέτρηση εισερχομένων και συνεντεύξεις επιβατών ανά αποβάθρα) είναι οι :

Γραμμή 2 : Σεπόλια, Αττική, Ομόνοια, Πανεπιστήμιο, Σύνταγμα, Δάφνη.

Γραμμή 3: Μοναστηράκι, Σύνταγμα, Εθνική Άμυνα.

Οι παραπάνω σταθμοί διότι παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς είναι τερματικοί σταθμοί του δικτύου, κεντρικοί, και αυτοί στους οποίους πραγματοποιείται ανταπόκριση με δρομολόγια των δύο άλλων γραμμών του δικτύου.

7.1.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ

Στα ακυρωτικά της ΑΜΕΛ δεν καταγράφεται το σύνολο των εισερχομένων σε κάθε σταθμό της εταιρίας, παρά μόνο όσοι χρησιμοποιούν εισιτήριο. Η είσοδος των επιβατών που είναι κάτοχοι κάρτας απεριορίστων διαδρομών ή ελευθέρας δεν καταγράφεται. Για το λόγο αυτό μετρήθηκε το σύνολο του πληθυσμού $qm_{i,k}$ που εισήλθε στον σταθμό i κατά το χρονικό διάστημα μελέτης k , το οποίο διαιρώντας το με το πλήθος των ακυρώσεων $qti_{i,k}$ του σταθμού i κατά το ίδιο χρονικό διάστημα μελέτης k ορίστηκε ο συντελεστής πληθυσμού $p_{i,k}$.

$$p_{i,k} = \frac{qm_{i,k}}{qti_{i,k}} \quad (7.1)$$

Ο συντελεστής πληθυσμού $p_{i,k}$ είναι διαφορετικός ανά σταθμό i και ανά χρονικό διάστημα k . Εξαρτάται κυρίως από τα χαρακτηριστικά μετακινήσεως των κατόχων κάρτας, τις ώρες μετακίνησης και τους σταθμούς εισόδου αυτών. Πρακτικά μετριέται ως άθροισμα των εισελθέντων επιβατών σε κάθε αποβάθρα στους μη τερματικούς σταθμούς, ή ως άθροισμα αυτών πέρασαν από την περιοχή των ακυρωτικών μηχανημάτων χωρίς να ακυρώσουν εισιτήριο και των ακυρώσεων για το ίδιο χρονικό διάστημα για τους τερματικούς σταθμούς.

7.1.3 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΥ

Τα ακυρωτικά μηχανήματα δεν παρέχουν καμία πληροφορία για τον προορισμό των επιβατών, τόσο για αυτούς που έχουν ακυρώσει εισιτήριο, όσο και για αυτούς που δεν έχουν ακυρώσει εισιτήριο.

Η πληροφορία της κατεύθυνσης των επιβατών λαμβάνεται από επιτόπου συνεντεύξεις των επιβατών που πραγματοποιήθηκαν στις αποβάθρες των σταθμών. Σε κάθε αποβάθρα παρευρέθηκε ένας υπεύθυνος για τις συνεντεύξεις, ο οποίος λάμβανε κατά μέσο όρο 50 συνεντεύξεις ανά 30 λεπτά. Ο πληθυσμός εισόδου σε κάθε σταθμό μετρήθηκε ως άθροισμα των πληθυσμών εισόδου ανά αποβάθρα προκειμένου να είναι γνωστός ο πληθυσμός στον οποίο αντιστοιχεί το δείγμα των συνεντεύξεων.

Ο συντελεστής προορισμού des είναι ο λόγος του συνόλου $qs_{i,j,k}$ των επιβατών οι οποίοι βρέθηκαν στο σταθμό i κατά το χρονικό διάστημα k και απάντησαν, κατόπιν συνέντευξης, ότι κατευθύνονται στον σταθμό j , προς τον πληθυσμό εισόδου $qp_{i,k}$ στην αντίστοιχη αποβάθρα του σταθμού i κατά το χρονικό διάστημα k .

$$des_{i,j,k} = \frac{qs_{i,j,k}}{qp_{i,k}}$$

7.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΕΩΝ

Για την μελέτη της επίδρασης των καθυστερήσεων των δρομολογίων στους επιβατικούς φόρτους του δικτύου σχεδιάστηκε λογιστικό βιβλίο με τη βοήθεια της Visual Basic for Applications στο λογιστικό πρόγραμμα Excell XP. Κύριο χαρακτηριστικό του λογισμικού είναι η δυνατότητα δυναμικής παραμετρικής μελέτης του φαινομένου της καθυστέρησης δρομολογίου, τόσο ανά γραμμή, όσο και στο σύνολο του δικτύου. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τους φόρτους εισόδου κάθε σταθμού, να θέσει ειδικούς συντελεστές επί αυτών, να διαστασιολογήσει τις χρονοαποστάσεις των γραμμών του δικτύου βάση των

επιβατικών φόρτων και κατόπιν να μελετήσει την επίδραση μίας καθυστέρησης στο δίκτυο.

7.2.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ

Δεδομένα εισόδου του λογισμικού είναι οι ακυρώσεις των σταθμών, οι συντελεστές επί των ακυρώσεων που δίνουν το μητρώο προέλευσης - προορισμού, και η καθυστέρηση που σημειώνεται σε δρομολόγιο της γραμμής.

7.2.1.1 ΑΚΥΡΩΣΕΙΣ

Οι ακυρώσεις προέρχονται από τα ιστορικό των ακυρώσεων που διατηρεί η εταιρία ΑΜΕΛ. Αναφέρονται, δε, στο χρονικό διάστημα μελέτης της τεχνολογικής εφαρμογής, το οποίο και είναι 8.30 με 10:00 εργάσιμης μέρας τελών Ιουλίου.

Είναι, δε, στην ευχέρεια του μελετητή επιλογή διαφορετικών ακυρώσεων, προκειμένου να μελετηθεί η ταυτόχρονη εκδήλωση ενός περιστατικού αύξησης του επιβατικού φόρτου και μίας καθυστέρησης του δρομολογίου.

7.2.1.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΗΤΡΩΟΥ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΥ

Ο συντελεστής πληθυσμού και ο συντελεστής προορισμού είναι οι συντελεστές που δομούν το μητρώο προέλευσης προορισμού. Ως προκαθορισμένες τιμές αυτών έχουν ληφθεί οι τιμές που προέκυψαν από την εκτίμηση του μητρώου προέλευσης-προορισμού που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος «Τεχνολογική Εφαρμογή». Αναφέρονται στο χρονικό διάστημα μελέτης 8.30 με 10:00 εργάσιμης μέρας τελών Ιουλίου.

Είναι, επίσης, στην ευχέρεια του χρήστη να τροποποιήσει τους παραπάνω συντελεστές προκειμένου να μελετήσει την επίδρασή τους στις συνέπειες της ανάπτυξης των καθυστερήσεων στο δίκτυο.

7.2.1.3 ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟΥ

Η καθυστέρηση δρομολογίου εισάγεται από το χρήστη ανά γραμμή. Θωρείται, δε, πως παρουσιάζεται στον πρώτο σταθμό του δρομολογίου, και των δύο κατευθύνσεων της γραμμής. Δεν λαμβάνεται υπόψη πιθανή μείωση του χρόνου στάσης ή του χρόνου ταξιδιού, όσον αφορά την παρούσα μελέτη, αν και από το λογισμικό δίνεται αυτή η δυνατότητα με την θεώρηση διαφορετικής καθυστέρησης ανά σταθμό. Η δυνατότητα αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί στην περίπτωση που σε συγκεκριμένους σταθμούς μόνο δεν πραγματοποιηθεί στάση για επιβίβαση, και συνεπώς μπορεί να θεωρηθεί για τους συγκεκριμένους σταθμούς μόνο ισοδύναμη καθυστέρηση.

7.2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕ ΜΟΡΦΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Τα αποτελέσματα που εξάγονται είναι ο επιβατικός φόρτος της γραμμής για κανονικά δρομολόγια, ο επιβατικός φόρτος γραμμής για καθυστερημένο δρομολόγιο, ο επιβατικός φόρτος που αναμένει στην αποβάθρα το καθυστερημένο δρομολόγιο και ο επιβατικός φόρτος παραμονής στην αποβάθρα. Ο επιβατικός φόρτος παραμονής στην αποβάθρα είναι το σύνολο των επιβατών που σε περίπτωση πλήρωσης του συρμού δεν μπορεί να επιβιβαστεί στο συρμό, και συνεπώς παραμένει στην αποβάθρα. Επίσης, παρουσιάζονται οι αποβιβαζόμενοι επιβάτες και οι κενές θέσεις του καθυστερημένου συρμού σε κάθε αποβάθρα.

Όλα τα αποτελέσματα τα οποία παραστάθηκαν σε διαγράμματα αφορούν σενάρια καθυστέρησης δρομολογίου της μία γραμμής και κανονικής λειτουργίας της άλλης. Η καθυστέρηση μελετάται ανά ένα λεπτό. Η μέγιστη καθυστέρηση που μελετάται είναι 30 λεπτά. Η χρονοαπόσταση στην οποία εξετάζονται οι καθυστερήσεις είναι η ελάχιστη που υλοποιεί η ΑΜΕΛ και είναι τα 3 λεπτά. Η χρονοαπόσταση αυτή είναι αυτή που πραγματοποιήθηκε κατά το διάστημα μελέτης της τεχνολογικής εφαρμογής. Η ίδια χρονοαπόσταση

προκύπτει, σύμφωνα με το μητρώο προέλευσης προορισμού που εκτιμήθηκε στα πλαίσια της τεχνολογικής εφαρμογής, για σχεδιασμό του δικτύου με μέγιστο συντελεστή πλήρωσης συρμού 0,8. Στα διαγράμματα παρουσιάζεται και αρνητική καθυστέρηση από -3 έως 0, η οποία και αντιστοιχεί στην περίπτωση νωρίτερης εκκίνησης του συρμού.

Οι επιβατικοί φόρτοι παρουσιάζονται αναλυτικά για κάθε σταθμό προς κάθε κατεύθυνση. Σε κάθε σταθμό αντιστοιχούν δύο κατευθύνσεις. Οι σταθμοί είναι 20 στο σύνολο του δικτύου, και συνεπώς παρουσιάζονται συνολικά σε 40 διαγράμματα.

7.2.2.1 ΕΠΙΒΑΤΙΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ ΑΠΟΒΙΒΑΣΗΣ

Οι επιβατικοί φόρτοι γραμμής είναι το πλήθος των ατόμων που αποβιβάζονται στην αποβάθρα ενός σταθμού. Στις αφετηρίες των δύο κατευθύνσεων κάθε γραμμής είναι προφανώς μηδενικός. Επίσης στο τέρμα της γραμμής είναι ίσος με την πλήρωση του συρμού. Λαμβάνει τιμές μεταξύ 0 και 1030.

7.2.2.2 ΚΕΝΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΣΥΡΜΟΥ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΒΙΒΑΣΗ

Οι κενές θέσεις ενός συρμού μετά την επιβίβαση είναι το μέγιστο πλήθος επιβατών που μπορεί να εξυπηρετήσει ο συρμός. Πρακτικά ισοδυναμεί με την μεταφορική ικανότητα του συρμού για την συγκεκριμένη αποβάθρα.

7.2.2.3 ΕΠΙΒΑΤΙΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΒΑΘΡΑ

Ο επιβατικός φόρτος αναμονής ανά αποβάθρα είναι το πλήθος των ατόμων που αναμένεται να συσσωρευτεί στην αποβάθρα προκειμένου να επιβιβαστεί στον αμέσως επόμενο συρμό. Πρακτικά υποδηλώνει την μεταφορική ζήτηση που εκδηλώνεται στο αντίστοιχο διάστημα μεταξύ της αναχώρησης και της άφιξης δύο διαδοχικών συρμών. Σε ορισμένους σταθμούς και για σημαντική καθυστέρηση ο επιβατικός φόρτος επί της αποβάθρας

λαμβάνει τιμές που αντιστοιχούν σε επίπεδο εξυπηρέτησης μικρότερο του D. Στις θέσεις αυτές θεωρείται πως οι ουρές αναμονής επεκτείνονται πέραν της αποβάθρας, επί των κλιμακοστασίων και της πλατείας του σταθμού.

7.2.2.4 ΕΠΙΒΑΤΙΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

Οι επιβατικοί φόρτοι γραμμής είναι η πλήρωση του συρμού σε κάθε τμήμα της διαδρομής του μεταξύ δύο διαδοχικών σταθμών. Ο φόρτος που αναπαριστάται σε κάθε διάγραμμα είναι το πλήθος των ατόμων που εκκινούν από το σταθμό στον οποίο αναφέρεται το διάγραμμα.

7.2.2.5 ΕΠΙΒΑΤΙΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΒΑΘΡΑ

Ο επιβατικός φόρτος παραμονής σε κάθε αποβάθρα είναι το πλήθος των ατόμων που παραμένουν επί της αποβάθρας μη μπορώντας να επιβιβαστούν στον συρμό. Ο επιβατικός φόρτος παραμονής εκκινεί να λαμβάνει θετικές τιμές μεγαλύτερες του μηδέν κατόπιν τέτοιας καθυστέρησης ώστε ο συρμός να εκκινεί πλήρης από αποβάθρα. Κατά το σχεδιασμό ενός δικτύου επιδιώκεται να χρησιμοποιείται χρονοαπόσταση για την οποία ο επιβατικός φόρτος αναμονής είναι μηδενικός.

8. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

8.1 ΧΡΟΝΟΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΑΠΟΒΑΘΡΑΣ

Χρόνος συμφόρησης αποβάθρας είναι ο χρόνος που μεσολαβεί από τη χρονική στιγμή της αναχώρησης ενός συρμού και την πλήρη αποφόρτιση της αποβάθρας, μέχρι την χρονική στιγμή όπου στην αποβάθρα συσσωρευτεί πλήθος επιβατών ίσο με τη χωρητικότητα ενός συρμού.

Ο χρόνος συμφόρησης της αποβάθρας εξαρτάται από τον επιβατικό φόρτο προσέλευσης και την καθυστέρηση που σημειώνεται σε κάθε αποβάθρα. Γι αυτό και είναι διαφορετικός ανά σταθμό και κατεύθυνση, και ανά χρονική περίοδο μίας ημέρας. Επαληθεύτηκε από τα αποτελέσματα της τεχνολογικής εφαρμογής και της διπλωματικής πως οι μικρότεροι χρόνοι συμφόρησης εμφανίζονται κατά τις πρωινές ώρες αιχμής στους τερματικούς σταθμούς - Δάφνη, Σεπόλια, Εθνική Άμυνα, Μοναστηράκι - στους σταθμούς μετεπιβίβασης από μητροπολιτικό σιδηρόδρομο – Αττική , Ομόνοια, Μοναστηράκι, Σύνταγμα – και στους σταθμούς με αυξημένη προσέλευση λεωφορείων – Δάφνη, Συγγρού-Φιξ, Αττική, Κατεχάκη. Όλοι οι παραπάνω επιβατικοί φόρτοι αναφέρονται στις αποβάθρες με κατεύθυνση προς τον κεντρικό σταθμό του Συντάγματος.

Ο χρόνος συμφόρησης παρουσιάζεται στα διαγράμματα αποτελεσμάτων ως η τομή της γραφικής παράστασης του φόρτου αναμονής με την τεταγμένη των 1030 επιβατών, μέγεθος το οποίο και είναι το μέγιστο πλήθος κόσμου που μπορεί να εξυπηρετήσει η αποβάθρα.

8.2 ΧΡΟΝΟΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΣΥΡΜΟΥ

Ο χρόνος πλήρωσης συρμού είναι το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από τη χρονική στιγμή της αναχώρησης του τελευταίου συρμού που εκκενώνει την αποβάθρα, μέχρι τη χρονική στιγμή κατά την οποία αν έλθει ο αμέσως επόμενος συρμός θα επιβιβαστεί τόσος κόσμος ώστε ο συρμός θα αναχωρήσει πλήρης για τον επόμενο σταθμό, χωρίς να παραμείνει κανένας επιβάτης στην αποβάθρα.

Από την μελέτη των αποτελεσμάτων προκύπτει πως ο χρόνος πλήρωσης συρμού συμπίπτει με τη χρονική στιγμή που μπορεί να εξυπηρετηθεί από το δρομολόγιο το μέγιστο πλήθος επιβατών. Ο λόγος είναι το γεγονός ότι αν έρθει νωρίτερα ο συρμός στην αποβάθρα τότε ο επιβατικός φόρτος που θα αναμένει σε αυτή θα είναι μικρότερος του επιβατικού φόρτου του χρόνου πλήρωσης, ενώ συγχρόνως ο συρμός θα διαθέτει περισσότερες κενές θέσεις κατά την άφιξή του.

8.3 ΚΕΝΕΣ ΘΕΣΕΙΣ ΣΥΡΜΟΥ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΒΙΒΑΣΗ

Οι κενές θέσεις του συρμού μετά την αποβίβαση ισοδυναμούν με την προσφερόμενη μεταφορική ικανότητα στην κάθε αποβάθρα. Παρατηρούμε στα διαγράμματα των αποτελεσμάτων πως με την αύξηση της καθυστέρησης οι κενές θέσεις του συρμού μετά την αποβίβαση (κόκκινη σειρά δεδομένων) ελαττώνονται. Από μία συγκεκριμένη τιμή της καθυστέρησης και μετά οι κενές θέσεις μετά την αποβίβαση συμπίπτουν με το πλήθος των αποβιβαζόμενων επιβατών στην αποβάθρα αναφοράς. Η χρονική στιγμή αυτή είναι ίση με το χρόνο πλήρωσης συρμού της αμέσως προηγούμενης αποβάθρας. Ο συρμός αναχωρεί πλήρης από την προηγούμενη αποβάθρα, φθάνει πλήρης στην αποβάθρα αναφοράς και συνεπώς οι κενές θέσεις του μετά την αποβίβαση είναι ίσες με τους αποβιβαζόμενους.

Για καθυστερήσεις μεγαλύτερες του χρόνου συμφόρησης της προηγούμενης αποβάθρας, η προσφορά μεταφορικής ικανότητας εξαρτάται αποκλειστικά από τον τρόπο που αλλάζει το μητρώο προέλευσης προορισμού και συνεπώς μπορούμε να αναμένουμε μικρές αυξομειώσεις. Η τελική τιμή στην οποία σταθεροποιείται η προσφορά μεταφορικής ικανότητας είναι ο μέγιστος χρόνος πλήρωσης συρμού από όλες τις προηγούμενες αποβάθρες. Ο λόγος είναι ότι σταθεροποιούνται οι αναλογίες του μητρώου προέλευσης προορισμού εντός του συρμού.

8.4 ΠΑΡΑΜΟΝΗ ΕΠΙΒΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΒΑΘΡΑ

Επιβάτες παραμένουν στην αποβάθρα κατόπιν της διέλευσης του χρόνου πλήρωσης συρμού. Ο ρυθμός αύξησής τους στην αρχή είναι μεγαλύτερος του ρυθμού προσέλευσης επιβατών στην αποβάθρα, διότι παρατηρείται ταυτόχρονα με την μείωση των κενών θέσεων του συρμού μετά την επιβίβαση. Κατόπιν, με την σταθεροποίηση της προσφερόμενης μεταφορικής ικανότητας, ο ρυθμός αύξησης των επιβατών που παραμένουν στην αποβάθρα σταθεροποιείται και γίνεται ίσος με τον ρυθμό προσέλευσης επιβατών στην αποβάθρα.

8.5 ΜΕΤΕΠΙΒΙΒΑΣΗ

Τα αποτελέσματα που έχουν παρασταθεί σε μορφή διαγραμμάτων έχουν υπολογιστεί με βάση τη θεώρηση κανονικής λειτουργίας της άλλης γραμμής. Το γεγονός αυτό ισοδυναμεί με την εμφάνιση «αλμάτων» στην γραφική παράσταση των επηρεαζόμενων επιβατικών φόρτων. Τα άλματα αυτά εμφανίζονται με περίοδο ίση με την χρονοαπόσταση λειτουργίας της άλλης γραμμής.

Το μέγεθος της επίδρασή τους στην λειτουργία της γραμμής δεν είναι σταθερό σε κάθε χρονική περίοδο. Το μέγεθος των παρατηρούμενων «αλμάτων» φθίνει με την αύξηση της καθυστέρησης. Το παραπάνω φαινόμενο εξηγείται από το γεγονός ότι όσο πιο πλήρης αφικνείται ο συρμός στην αποβάθρα του σταθμού στον οποίο πραγματοποιείται η μετεπιβίβαση, τόσο λιγότερος είναι και ο επιβατικός φόρτος που επιβιβάζεται εντός του συρμού, και συνεπώς τόσο μικρότερη είναι και η επιρροή του.

8.6 ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

Στα διαγράμματα των αποτελεσμάτων παρατηρείται η γραμμική εξέλιξη όλων των μεγεθών για καθυστέρηση μικρότερη μιας συγκεκριμένης τιμής. Η τιμή αυτή είναι ίση με τον μικρότερο χρόνο πλήρωσης συρμού από όλες τις προηγούμενες αποβάθρες της γραμμής.

Ο μικρότερος χρόνος πλήρωσης συρμού της γραμμής 2 είναι 1 λεπτό και της γραμμής 3 είναι 3 λεπτά. Οι χρονοαποστάσεις που αντιστοιχούν σε αυτούς τους χρόνους είναι και οι χρονοαποστάσεις σχεδιασμού του δικτύου για μέγιστο συντελεστή πλήρωσης συρμού ίσο με 1. Ειδικά για την γραμμή 3 η χρονοαπόσταση που αντιστοιχεί σε σχεδιασμό του δικτύου με συντελεστή πλήρωσης ίσο με 1 είναι 4,5 λεπτά. Ο λόγος που παρουσιάζεται αυτή η διαφορά είναι ότι ο σχεδιασμός γίνεται με θεώρηση των επιβατικών φόρτων ως μεγέθη με σταθερή και συνεχή ροή. Αντίθετα στον σταθμό του Συντάγματος της γραμμής 3 ο φόρτος μετεπιβίβασης εμφανίζεται περιοδικά συγκεντρωμένος μετά τη αποβίβαση του δρομολογίου ανταπόκρισης.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

9.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το δίκτυο της ΑΜΕΛ βρίσκεται εν αναμονή άμεσης επέκτασης ενόψει της Ολυμπιάδας του 2004, και συνεπώς προκειμένου να προκύψουν περισσότερα αξιόπιστα δεδομένα για όλες τις κρίσιμες ώρες αιχμής απαιτείται μεγαλύτερο δείγμα καταμέτρησης και συνεντεύξεων, το οποίο και ξεπερνάει τις δυνατότητες μίας διπλωματικής εργασίας.

Η μέγιστη κυκλοφοριακή ικανότητα του δικτύου ισοδυναμεί με 21.000 επιβάτες ανά ώρα (60 λεπτά / 3 λεπτά * 1030 επιβάτες ανά συρμό) και επιτυγχάνεται με την ελάχιστη χρησιμοποιούμενη απόσταση των 3 λεπτών. Σε περίπτωση καθυστέρησης δρομολογίου πραγματοποιείται ολίσθηση του προγράμματος δρομολόγησης με την μεταφορά ακέραιης της καθυστέρησης. Ο λόγος είναι ότι η αναστροφή του συρμού στους τερματικούς σταθμούς από την μπροστινή αλλαγή πραγματοποιείται με κόστος που έχει αποδειχτεί κατόπιν σχετικής οικονομοτεχνικής μελέτης ασύμφορο για τη λειτουργία του δικτύου. Αντίθετα, η αναστροφή πραγματοποιείται στους τερματικούς σταθμούς στην αλλαγή μετά την αποβάθρα, διαδικασία που απαιτεί 2 λεπτά για την ολοκλήρωσή της.

Η ΑΜΕΛ δεν διαθέτει ένα μητρώο συσχέτισης περιστατικών λειτουργίας, χιλιομετρικών θέσεων γραμμής όπου παρουσιάστηκαν αυτά και χρόνων καθυστέρησης που επέβαλαν στο δίκτυο. Η αξία ενός τέτοιου μητρώου είναι ότι ο ελεγκτής του δικτύου μπορεί να εκτιμήσει με βάση το υπάρχον ιστορικό την διάρκεια της καθυστέρησης αμέσως μετά την διαπίστωσή της και να καθοδηγήσει καλύτερα τις αντιδράσεις του συστήματος. Επίσης θα μπορεί

να κοινοποιηθεί η εκτιμώμενη διάρκεια της καθυστέρησης ώστε οι επιβάτες, οι οποίοι διαφορετικά απλώς θα συσσωρεύονταν στους σταθμούς, να είναι σε θέση να προγραμματίσουν καλύτερα τη μετακίνησή τους αλλάζοντας μέσο μεταφοράς.

Στην ηλεκτρονική σελίδα της AMEL αναφέρεται πως είναι εντός του προγραμματισμού της εταιρίας η εγκατάσταση πλήρως αυτοματοποιημένου συστήματος οδήγησης, το οποίο και θα μειώσει την ελάχιστη χρονοαπόσταση στα 90 δευτερόλεπτα, και θα προσφέρει αυξημένους νεκρούς χρόνους για την αντιμετώπιση των καθυστερήσεων. Η νέα μεταφορική ικανότητα του δικτύου αναμένεται να φθάνει τους 42.000 επιβάτες ανά ώρα. Προκειμένου δε να πραγματοποιηθεί η παραπάνω χρονοαπόσταση ο σημερινός στόλος των 28 συρμών δεν επαρκεί. Η εταιρία ενόψει της κάλυψης των αναγκών της επέκτασης της γραμμής 3 μέχρι τον σταθμό Δ. Πλακεντίας και Αεροδρόμιο βρίσκεται εν αναμονή 16 νέων συρμών. Στην ίδια ιστοσελίδα αναφέρεται πως στο εντός του προγραμματισμού της εταιρίας είναι επίσης η εγκατάσταση συστήματος τύπου «Smart Card», το οποίο και θα αποτελέσει ένα πολύ σημαντικό εργαλείο τόσο για τη μελέτη της επίδρασης των καθυστερήσεων στους επιβατικούς φόρτους, όσο και για την αντιμετώπισή τους σε πραγματικό χρόνο.

Σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση της ανάπτυξης σημαντικών επιβατικών φόρτων εντός του δικτύου στην περίπτωση καθυστέρησης παίζει η έγκαιρη πληροφόρηση των επιβατών για την ύπαρξη καθυστέρησης και την εκτιμώμενη διάρκειά της. Αυτή τη στιγμή δεν πραγματοποιείται εκτίμηση της διάρκειας μίας καθυστέρησης. Ιστορικό γεγονότων που οδήγησαν σε καθυστέρηση τηρείται από την εταιρία, δεν έχει όμως επεξεργαστεί ακόμα προκειμένου να προκύψει μία πρώτη εκτίμηση για το εύρος των καθυστερήσεων ανάλογα με το αίτιο της ανάπτυξής τους.

Οι κυλιόμενες κλίμακες λειτουργούν ιδιαίτερα επιβαρυντικά σε περιπτώσεις συμφόρησης επί της αποβάθρας όταν λειτουργούν με φορά προς

την αποβάθρα και απαιτούν ιδιαίτερη αντιμετώπιση από τους υπεύθυνους του δικτύου.

Οι σταθμοί στους οποίους εμφανίζεται γρήγορη μείωση του επιπέδου εξυπηρέτησης στην αποβάθρα είναι οι σταθμοί που εμφανίζουν τους υψηλότερους φόρτους προσέλευσης και είναι : της Αττικής, του Συντάγματος με κατεύθυνση προς Σεπόλια, της Δάφνης, του Μοναστηρακίου και της Εθνικής Άμυνας. Είναι οι τερματικοί σταθμοί του δικτύου και είναι αναμενόμενο να είναι αυτή καθώς η διερεύνηση πραγματοποιήθηκε σε ώρα πρωινής αιχμής όπου οι μετακινήσεις πραγματοποιούνται με κύρια κατεύθυνση προς το κέντρο της πόλης. Ο σταθμός του Συντάγματος εμφανίζει υψηλό φόρτο προσέλευσης αποκλειστικά και μόνο λόγω της μετεπιβίβασης από την γραμμή 3.

Τα τμήματα της γραμμής στα οποία παρατηρείται πρώτα η πλήρωση των συρμών είναι από Αττική με κατεύθυνση προς Σύνταγμα, και στη γραμμή 3 στο τμήμα Ευαγγελισμός προς Σύνταγμα.

9.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η μελέτη της επίδρασης καθυστέρησης δρομολογίου στο σιδηροδρομικό δίκτυο παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον αυτή την περίοδο διότι κατά την περίοδο της Ολυμπιάδας τον Αύγουστο του 2004 αναμένονται σημαντικοί επιβατικοί φόρτοι στις γραμμές της ΑΜΕΛ καθώς αυτή μαζί με τον ΗΣΑΠ θα αποτελέσουν τον κύριο μεταφορέα της ολυμπιακής μεταφορικής ζήτησης.

Προκειμένου να μειωθούν οι καθυστερήσεις των δρομολογίων γενικότερα, όσο και κατά την διάρκεια των Ολυμπιακών αγώνων, η ΑΜΕΛ μπορεί να δρομολογεί επιλεκτικά, ιδιαίτερα κατά τις ώρες αιχμής, συρμούς που έχουν αποδείξει ιστορικά την αξιοπιστία τους, οπότε και αναμένεται μικρότερη εμφάνιση μηχανικού προβλήματος και συνεπώς καθυστέρησης. Αντίστοιχα, για

τις ώρες αιχμής ενδείκνυται να επιλεχθούν οι πιο έμπειροι και αξιόπιστοι οδηγοί. Συχνά αιτία καθυστέρησης είναι η είσοδος επιβάτη εντός της σήραγγας ή της σιδηροδρομικής γραμμής γενικότερα. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη τόσο η καλύτερη εποπτεία των αποβάθρων όσο και η άμεση επέμβαση του προσωπικού σε περιπτώσεις ανάγκης. Η άμεση επέμβαση του προσωπικού μπορεί να πραγματοποιηθεί με την τοποθέτησή του σε στρατηγικές θέσεις όπως στο μέσο ή τα άκρα της αποβάθρας, ανάλογα πάντοτε και με το διατιθέμενο πλήθος προσωπικού και την διαθεσιμότητα εθελοντών.

Αυτή τη στιγμή η εγκατάσταση συστήματος τύπου «Smart Card» δεν είναι άμεσα εφαρμόσιμη. Οι απαιτήσεις διαχείρισης των επιβατικών φόρτων θα σχεδιάζεται να καλυφθούν με την βοήθεια εθελοντών. Από την διερεύνηση που πραγματοποιήθηκε κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας, προτείνεται η δημιουργία πληροφοριακού εργαλείου εκτίμησης σε πραγματικό χρόνο των φόρτων προσέλευσης επί των αποβάθρων. Στην απλή του μορφή, το περιβάλλον επικοινωνίας με το χρήστη αποτελείται από 6 προβαλλόμενες βιντεοσκοπήσεις φόρτων προσέλευσης, οι οποίοι και θα αναφέρονται σε γνωστές τιμές φόρτων. Δίπλα σε αυτές θα προβάλλεται η εικόνα που έρχεται σε πραγματικό χρόνο και θα παρουσιάζει τον επιβατικό φόρτο προσέλευσης εκείνη τη στιγμή. Ο χρήστης θα επιλέγει την βιντεοσκόπηση που εκτιμάει ότι ταιριάζει καλύτερα, οπότε και θα έχει σε σύντομο χρόνο μία εκτίμηση των επιβατικών φόρτων που έχουν εμφανιστεί, καθώς και του χρόνου που αναμένεται συμφόρηση της αποβάθρας. Μια πιο εξελιγμένη εκδοχή του ίδιου λογισμικού θα κάνει αυτόματα την εκτίμηση με την αξιοποίηση της τεχνολογίας των νευρωνικών δικτύων. Εξελιγμένο σύστημα τέτοιου τύπου είναι το Autoscope [103], [104], [105]

Προτείνεται η λειτουργία των κυλιόμενων κλιμάκων σε περιόδους υψηλών φόρτων να πραγματοποιείται με κατεύθυνση από την αποβάθρα προς το παραπάνω επίπεδο του σταθμού, ώστε να μειώνεται ο επιβατικός φόρτος προσέλευσης προς την αποβάθρα, και επιπρόσθετα, να λειτουργεί

αποσυμφορητικά για την περιοχή της αποβάθρας σε περιόδους υψηλών επιβατικών φόρτων αναμονής.

Προτείνεται η δημιουργία ενός μητρώου περιστατικών λειτουργίας συσχετισμένων με την καθυστέρηση που έχουν παρουσιάσει αυτά ιστορικά (π.χ. μέση καθυστέρηση για αυτοκτονία = 30 λεπτά), ώστε να γίνεται καλύτερη εκτίμηση των επιδράσεων μίας καθυστέρησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κ. Γ. Αμπακούμκιν (2000), «Σιδηρόδρομοι Ι», Εκδόσεις Συμμετρία
2. Κ. Γ. Αμπακούμκιν (2000), «Σχεδιασμός Μεταφορικών Συστημάτων», Εκδόσεις Συμμετρία
3. Κ. Γ. Αμπακούμκιν - Α. Σταθόπουλος (2000), «Συνδυασμένες Μεταφορές - Ειδικά Συστήματα», ΕΜΠ
4. Κ. Γ. Αμπακούμκιν - Α. Σταθόπουλος (2002), «Σχεδιασμός Μεταφορικών Συστημάτων», ΕΜΠ
5. Κ. Γ. Αμπακούμκιν - Α. Σταθόπουλος, «Ειδικά Θέματα Μεταφορών», ΕΜΠ
6. Ι. Μ. Φραντζεσκάκης - Μ. Χ. Πιτσιάβα - Λατινοπούλου - Δ. Α. Τσαμπούλας (1997), «Διαχείριση Κυκλοφορίας», Εκδόσεις Παπασωτηρίου
7. Ι. Γκόλιας - Μ. Καρλαύτης (2002), «Ειδικά Θέματα Κυκλοφοριακής Τεχνικής, Σημειώσεις για την Εφαρμογή Θεωρίας Ουρών στην Κυκλοφοριακή Τεχνική», ΕΜΠ
8. Κ. Γ. Αμπακούμκιν - Κ. Λυμπέρης (2001), «Ειδικά Θέματα Σιδηροδρομικής», ΕΜΠ
9. Α. Καλτσούνης (2000), «Σιδηροδρομική», ΕΜΠ
10. Ε. Γ. Κ. Ματσούκης (1993), «Σχεδιασμός των Μεταφορών», Πανεπιστήμιο Πατρών
11. Ι. Σχίζας (1994), «Οδοποιία»
12. Κ.Γ. Αμπακούμκιν (1990), «Αεροδρόμια», Εκδόσεις Συμμετρία
13. Δ. Ξηροκώστα (1999), «Επιχειρησιακή Έρευνα - Εφαρμοσμένη Θεωρία Αναμονής», Εκδόσεις Συμμετρία
14. Alan Black (1995), «Urban Mass Transportation Planning», Mac Graw Hill International Editions
15. C. S. Papakostas - P. D. Prevedouros (2001), «Transportation Engineering & Planning», Prentice Hall
16. James A. Payne (1988), «Introduction to Simulation», Mac Graw Hill International Editions
17. Harald Krueger (1999), «Parametric Modeling In Rail Capacity Planning», Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference

18. TCRP (1999), «Highlights of the Transit Capacity and Quality of Service Manual: First Edition» Research Results Digest, Number 35
19. TCRP (1999), «Contractor's Final Report: Transit Capacity and Quality of Service Manual», Web Document 6 (Project A - 15)
20. Tom Parkinson et al (1996), «Report 13: Rail Transit Capacity», Transit Cooperative Research Program, National Academy Press - Washington D.C.
21. Joe Milazzo (2001), «Walkability, Level of Service and the new Highway Capacity Manual», Transportation Research Board 80th Annual Meeting, Washington D.C.
22. William H. K. Lam et al (1999), «A study of crowding effects at the Hong Kong light rail transit stations», Journal of Rail and Rapid Transit, Proceedings part F
23. TCRP (1985), «Highway Capacity Manual»
24. TCRP Synthesis 29, «Passenger Counting Technologies And Procedures»
25. TCRP Synthesis 34, «Data Analysis for Bus Planning and Monitoring»
26. TCRP Synthesis 26, «Bus Transit Fare Collection Practices»
27. TCRP Synthesis 45, «Customer - Focused Transit, A Synthesis of Transit Practice»
28. CJ Goodman et al (2001), «Metro traffic regulation from the passenger perspective», Journal of Rail and Rapid Transit
29. De Schutter et al, «A model predictive control approach for recovery from delays in railway systems», Delft University of Technology, URL: <http://lcewww.et.tudelft.nl>, <http://www.dcsc.tudelft.nl/~bdeschutter/pub/abstracts/0111abstr.html>
30. B. De Schutter et al (2002), «Connection and speed control in railway systems - A model predictive control approach», Proceedings of the 6th International Workshop on Discrete Event Systems (WODES '02), Zaragoza, Spain
31. Carole Giesemann (2002), «Periodic Timetable Generation», Seminar on Algorithms and Models for Railway Optimization, University of Constance
32. Tijs Huisman et al, «A solvable queuing network model for railway networks and its validation and applications for the Netherlands», University of Amsterdam
33. B. De Schutter et al (2002), «A model predictive control approach for

recovery from delays in railway systems», Proceedings of the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC

34. B. De Schutter et al (2001), «Model predictive control for railway networks», Proceedings of the 2001 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM»01), Como, Italy
35. M.J. Dorfman et al (2002), «Scheduling trains on a railway network using a discrete event model of railway traffic», Coordinated Science Laboratory, University of Illinois
36. «Έκθεση Πεπραγμένων Διοικητικού Συμβουλίου Ο.Α.Σ.Α. Από 1.1.2001 Έως 31.12.2001 Προς Τη Γενική Συνέλευση Των Μετόχων Του Ο.Α.Σ.Α.»
37. B. De Schutter et al (1996), «Applications of the extended linear complementarity problem in the max - plus algebra», Proceedings of the International Workshop on Discrete Event Systems (WODES»96), Edinburgh UK
38. Laura Blow et al, «London's Congestion Charge, Briefing Note No. 31», The Institute For Fiscal Studies
39. C. G. Cassandras, «From Programmable Logic Control (PLC) To Discrete Event Systems (DES)», Boston University
40. T.J.J. van den Boom et al (2002), «Complexity reduction in MPC for stochastic max - plus - linear systems by variability expansion», Proceedings of the 41st IEEE Conference on Decision and Control, Las Vegas
41. Martin Gavalec, «Discrete Applied Mathematics, Computing orbit period in $\max\{\min$ algebra», Technical University, Slovakia
42. Β. Μάγκλαρης (2002), «Συστήματα Αναμονής», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
43. Arthur Richards - Prof. Jonathan How, «Model Predictive Control of Vehicles using Mixed - Integer Linear Programming», MIT
44. Railway Association of Canada (2002), «Border Challenges: Solutions for a Better Transportation Future in Ontario», Presentation to the Transportation Club of Hamilton
45. M. Akian et al (1994), «Max - Plus Algebra and Applications to System Theory and Optimal Control», Zurich, Switzerland
46. G. J. Olsder (1993), «Unbiased Estimates for Gradients of Stochastic Network Performance Applic. Math.», Postdoctoral Research Fellow, Faculty of Mathematics and Mechanics, St.Petersburg, Russia

47. B. De Schutter et al (2002), «Max - plus - algebraic problems and the extended linear complementarity problem | Algorithmic aspects», Proceedings of the 15th IFAC World Congress, Barcelona, Spain
48. David Mayne (Imperial College) (2002), «Robust model predictive control», Workshop on uncertain dynamical systems, Cascais, Portugal
49. The MathWorks Inc. (1996), «Model Predictive Control Toolbox 1.0, Controller Design/Simulation with Step - Response and State - Space Models»
50. Alberto Bemporad, «Model Predictive Control of Hybrid Systems», Università degli Studi di Siena, bemporad@dii.unisi.it
<http://www.dii.unisi.it/~bemporad>
51. Enrique Blanco (2003), «Instrumentation & Process Control», Sector Temperature Control, LHC CP Workshop
52. Ton J.J. van den Boom, «Model Predictive Control ET 4 - 096», Control System Engineering Group, Faculty ITS, TU Delft
53. B. De Schutter et al (2001), «Model predictive control for discrete - event systems with soft and hard synchronization constraints», Proceedings of the Workshop on Max - Plus Algebras and Their Applications to Discrete - Event Systems, Theoretical Computer Science, and Optimization, Prague, Czech Republic
54. B. De Schutter et al (2000), «Model predictive control for max - min - plus systems», in Discrete Event Systems: Analysis and Control (R. Boel and G. Stremersch, eds.), vol. 569 of The Kluwer International Series in Engineering and Computer Science, Boston: Kluwer Academic Publishers
55. B. De Schutter et al (2002), «Model predictive control for max - min - plus - scaling systems - Efficient implementation», Proceedings of the 6th International Workshop on Discrete Event Systems (WODES'02), Zaragoza, Spain
56. B. De Schutter et al (2001), «Model predictive control for max - min - plus - scaling systems», Proceedings of the 2001 American Control Conference, Arlington, Virginia
57. B. De Schutter et al (2000), «Model predictive control for max - plus - linear systems», Proceedings of the 2000 American Control Conference, Chicago, Illinois
58. T.J.J. van den Boom et al (2001), «Model predictive control for perturbed max - plus - linear systems: A stochastic approach», Proceedings of the 40th IEEE Conference on Decision and Control, Orlando, Florida

59. Gang Mei (2001), «Model Predictive Control Schemes For The Mitigation Of Natural Hazards: Theoretical And Experimental Studies», A Dissertation Submitted to the Graduate School of the University of Notre Dame in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy
60. Srikanth Voorakaranam et al, «Model Predictive Inferential Control with Application to a Composites Manufacturing Process», Department of Chemical Engineering, Washington University e - mail: joseph@wuche.wustl.edu
61. T. Bellemans et al (2002), «Models for traffic control», URL:<http://lcewww.et.tudelft.nl>
<http://www.dcsc.tudelft.nl/~bdeschutter/pub/abstracts/0111abstr.html>
62. T. van den Boom et al (2000), «MPC for max - plus - linear systems: Closed - loop behaviour and tuning», Proceedings of the Workshop on Systems with Time - Domain Constraints, Eindhoven, The Netherlands
63. T. van den Boom et al (2001), «MPC for max - plus - linear systems: Closed - loop behavior and tuning», Proceedings of the 2001 American Control Conference, Arlington, Virginia
64. Manfred Morari et al, «Computation - Visualization - Programming For Use with MATLAB® User's Guide Version 1 Model Predictive Control Toolbox» www.mathworks.com Web
65. Pascal Grieder et al (2002), «The Explicit Linear Quadratic Regulator for Constrained Systems», Swiss Federal Institute of Technology, Università di Siena
66. Dennis Huisman et al (2003), «Integrated Vehicle and Crew Scheduling», ECOPT Newsletter 1
67. Christian Liebchen Leon Peeters (2002), «On Cyclic Timetabling and Cycles in Graphs», Fakultät AT II, Mathematik Und Naturwissenschaften, Institut für Mathematik
68. B. De Schutter et al, «On model predictive control for max - min - plus - scaling discrete event systems», Delft University of Technology
69. T. van den Boom et al (2002), «Properties of MPC for max - plus - linear systems», European Journal of Control, vol. 8, no. 5, pp. 453-462, 2002
70. Florida Department of Transportation (2002), «FDOT Quality/Level of Service Handbook», Executive Summary
<http://www11.myflorida.com/planning/systems/sm/los/default.htm>
71. R. de Vries et al (1998), «On max - algebraic models for transportation networks», Proceedings of the International Workshop on Discrete Event

Systems (WODES»98), Cagliari, Italy

72. Shigeru Morichi et al (2001), «Tokyo Metropolitan Rail Network Long - Range Plan for the 21st Century», Paper No.01 - 0475, Department of Civil Engineering, University of Tokyo
73. Goran Tegner (2003), «Personal Automated Transportation: Status and Potential of Personal Rapid Transit, Ridership Analysis», ATRA: PRT Ridership Analysis
74. P. Brezillon et al, «SART: An Intelligent Assistant System for Subway Control», Universite Paris 6, Universidade Federal do Rio de Janeiro
75. Gabriel Wainer - Andrea Díaz Verónica Vázquez, «Defining Congestion Control Mechanisms in ATLAS», Carleton University, Canada - Universidad de Buenos Aires, Argentina
76. Joerg Raisch et al, «Systems and Control Theory at MPI Magdeburg», Max - Planck - Institut fuer Dynamik komplexer technischer Systeme raisch,vollmer,mayer,conradi_@mpi - magdeburg.mpg.de http://www.mpi - magdeburg.mpg.de/people/_raisch,vollmer,mayer,conradi
77. Blanka Semančíková, «Extremal Algebras», Technical University in Košice
78. Y.C.Ho (2003), «Discrete Event Dynamic Systems», Tsinghua University, Beijing, China
79. Stefan Lewandowski (1999), «Optimization Criteria for Public Transportation Services», Institut fuer Informatik, Universitaet Stuttgart
80. ΟΑΣΑ, ANYΣΜΑ Α.Ε. (2002), «Εκτίμηση Επιβατικής Κίνησης Και Χρήσης Τύπων Κομίστρων Στο Σύστημα Αστικών Συγκοινωνιών Αθηνών», Μεθοδολογία - Τελικά Εξαγόμενα, Τελική Έκθεση - Τόμος1
81. Alan R. Danaher, «New Transit Capacity and Quality of Service Manual», Kittelson & Associates Inc., Orlando, Florida, USA
82. DJ Horgan (1999), «Vertical transportation in modern metro stations», Journal of Rail and Rapid Transit
83. ΟΑΣΑ, ANYΣΜΑ Α.Ε. (2002), «Εκτίμηση Επιβατικής Κίνησης Και Χρήσης Τύπων Κομίστρων Στο Σύστημα Αστικών Συγκοινωνιών Αθηνών», Παραρτήματα, Τελική Έκθεση - Τόμος 2 - Τεύχος 1
84. ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.,TRADEMCO (2000), «Έρευνες Επιβατών Μετρό Μετά Την Μερική Λειτουργία Των Γραμμών 2 Και 3», Τελική Τεχνική Έκθεση, Στάδιο 2 - Φάση Πρώτη

85. ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε., TRADEMCO (2000), «Έρευνες Επιβατών Μετρό Μετά Την Μερική Λειτουργία Των Γραμμών 2 Και 3», Τελική Τεχνική Έκθεση, Στάδιο 2 - Φάση Δεύτερη
86. Osama Masoud - Nikolaos P. Papanikolopoulos, «A Novel Method For Tracking And Counting Pedestrians In Real - Time Using A Single»
87. Integrated Design Limited (2001), «Manual for Pedestrian Counting Solutions», Middlesex UK
88. I.Pavlidis et al, «Automatic Passenger Counting in the High Occupancy Vehicle (HOV) Lanes»
89. SIEMENS, «FALKO : Design and Validation of Timetables (Optimised Operational Planning and Control)»
90. ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΤΑΙΡΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ Α.Ε. (2002), «Κανονισμοί για το Σιδηροδρομικό Δίκτυο», Υπηρεσία Εκπαίδευσης
91. Microsoft, «MS - DOS User»s Guide»
92. Michael Halvorson - David Rygmyr, «Ο οδηγός της Microsoft για την MS - DOS Q Basic», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Microsoft Press
93. Νίκος Παρούσης (2001), «Προγραμματίστε με την Visual Basic v 6.0», Εκδόσεις Anubis
94. Bob Reselman - Richard Peasly, «Βήμα προς Βήμα Visual Basic 6», Εκδοτική Β. Γκιούρδας, MacMillan
95. «Εγχειρίδιο χρήσης Microsoft Excel», Microsoft Corporation
96. Peter Norton - Michael Groh, «Peter Norton»s Guide to Visual Basic 6», SAMS
97. «Microsoft Visual Basic 6.0 Ο οδηγός του Προγραμματιστή», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Microsoft Press
98. John Green, «Excel 2000 VBA Programmer»s Reference», Wrox Press
99. Χρ. Στασινός, «Το πρώτο βιβλίο της ελληνικής Access 2002», Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών
100. Wallace Wang, «Visual Basic 6 για πρωτάρηδες», Κλειδάριθμος, IDG Books
101. Ivar Jacobson et al, «Object - Oriented Software Engineering, A Use Case Driven Approach», acm Press, Addison - Wesley
102. Andy Olsen et al, «Visual Basic.NET Class Design», Wrox Press

103. "Autoscope: Wide Area Video Vehicle Detection System",
www.autoscope.com
104. Eva Lemer - Lam et al (1997), "Use of ITS Data for Transit Planning",
Workshop on ITS as a DATA Resource, Washington DC (1998)
105. Σ. Θεοδώρου (2002), «Λογισμικό ιεράρχησης δρομολογίων με κριτήριο
την ελαχιστοποίηση του χρόνου κατάληψης μονής γραμμής»,
Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ
106. Θ. Παπαθεοδώρου (2001), «Αλγόριθμοι: εισαγωγικά θέματα και
παραδείγματα», Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών
107. ΑΜΕΛ (2003), «Προσωπική Επικοινωνία με Π. Σάρρα, προϊστάμενο
τμήματος Δρομολόγησης και Δεικτών Λειτουργίας» , ΑΜΕΛ
108. ΑΜΕΛ (2003), «Προσωπική Επικοινωνία με Ν. Σμπαρούνη, εκπαιδευτή
προσωπικού» , ΑΜΕΛ
109. ΑΜΕΛ (2003), «Προσωπική Επικοινωνία με Π. Σταυρόπουλο, γενικό
διευθυντή» ,ΑΜΕΛ
110. ΕΜΠ (2003), «Προσωπική Επικοινωνία με Α. Σταθόπουλο, αναπληρωτή
καθηγητή» ,ΕΜΠ
111. ΕΜΠ (2003), «Προσωπική Επικοινωνία με Μ. Καρλαύτη, λέκτορα» ,ΕΜΠ
112. Γ. Καλαφατάς (2003), «Εκτίμηση μητρώου προέλευσης - προορισμού
υπογείου μητροπολιτικού σιδηρόδρομου Αθηνών της ΑΜΕΛ και εύρεση
χρονοαπόστασης λειτουργίας» , ΕΜΠ