

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΓΙΑ ΜΕΓΑΛΕΣ ΔΙΟΡΓΑΝΩΣΕΙΣ



Αθανασόπουλος Θεόδωρος
ΑΜ: 9711038

Ιούνιος 2004

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ:

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε υπό την εποπτεία και επίβλεψη του καθηγητή κ. Μουστάκη Βασίλη, τον οποίο και ευχαριστώ θερμά για την υποστήριξη του.

Επίσης, διενεργήθηκε στα πλαίσια συνεργασίας με την εταιρία PLANNING A.E. Ευχαριστώ θερμά όλους τους συνεργάτες στην εταιρία για τις συμβουλές τους και την σημαντική βοήθεια που προσέφεραν στην ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον καθηγητή κ. Ιωάννη Μίνη του τμήματος μηχανικών οικονομίας & διοίκησης του πανεπιστημίου Αιγαίου για τις πολύτιμες συμβουλές τους στην διεκπεραίωση της διπλωματικής εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ	2
2	ΓΝΩΣΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΩΝ	5
2.1	Στάδια Προγραμματισμού Αστικών Συγκοινωνιών	5
2.2	Σχεδιασμός Δικτύου.....	6
2.3	Προγραμματισμός Δρομολογίων (Ανάπτυξη Προδιαγραφών Υπηρεσιών)	8
2.4	Προγραμματισμός Οχημάτων (Vehicle Scheduling).....	10
2.5	Προγραμματισμός Υπηρεσιών Οδηγών (Βαρδιολόγηση, Crew–Scheduling)	19
2.6	Βραχυπρόθεσμος Προγραμματισμός Οδηγών (Rostering).....	20
3	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΠΟΡΩΝ.....	21
3.1	Πρόβλεψη Ζήτησης Μεταφορικών Υπηρεσιών	21
3.1.1	Μέγεθος Αγοράς και Παρεχόμενες Υπηρεσίες.....	21
3.1.2	Σχεδιασμός Δικτύου	23
3.2	Προδιαγραφές Συγκοινωνιακών Υπηρεσιών.....	27
3.3	Λειτουργικά Στοιχεία και Απαιτήσεις του Δικτύου	28
3.4	Πρόβλεψη Πόρων	29
3.4.1	Περιγραφή Μοντέλου Εκτίμησης	30
3.4.2	Αποτελέσματα Μοντέλου	36
3.5	Ανάλυση Ευαισθησίας.....	39
4	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΛΕΩΦΟΡΕΙΩΝ	45
4.1	Εισαγωγή	45
4.2	Εξαγωγή Δρομολογίων από Χρονοαποστάσεις.....	48
4.3	Σύνδεση Δρομολογίων (Vehicle Blocking).....	50
4.3.1	Τελευταίο – Πρώτο (Last In First Out – LIFO)	50
4.3.2	Πρώτο – Πρώτο (First In First Out – FIFO)	54
4.3.3	Σύγκριση FIFO, LIFO και Συμπεράσματα.....	57
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	60
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	63
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	65

1 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ

Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας

Η αποστολή ενός συγκοινωνιακού δικτύου είναι η παροχή «ποιοτικής» μετακίνησης των επιβατών από την τοποθεσία προέλευσης στον προορισμό τους. Η ποιότητα των υπηρεσιών χαρακτηρίζεται από:

1. την δυνατότητα σύνδεσης των προορισμών και προελεύσεων με την μεγαλύτερη ζήτηση,
2. την ελαχιστοποίηση των μετεπιβιβάσεων
3. την αύξηση της αξιοπιστίας των δρομολογίων
4. την αποφυγή υπερφορτώσεων των μεταφορικών μέσων
5. την παροχή μιας ελάχιστης αποδεκτής εξυπηρέτησης ακόμα και σε τοποθεσίες ή χρονικές περιόδους που η ζήτηση είναι περιορισμένη

Ένας δημόσιος ή ιδιωτικός οργανισμός που παρέχει συγκοινωνιακές υπηρεσίες οργανώνει και διοικεί έναν στόλο οχημάτων, καθώς και το ανθρώπινο δυναμικό που θα παρέχει τις σχετικές υπηρεσίες. Η αποτελεσματική διαχείριση του συνδυασμού έμψυχου και άψυχου υλικού προϋποθέτει την επίλυση σημαντικών επιχειρησιακών θεμάτων όπως, η κατανόηση της ζήτησης του επιβατικού κοινού ανά χρονική περίοδο, η μορφή του μεταφορικού δικτύου που θα επιλεγεί, οι προδιαγραφές των προσφερομένων υπηρεσιών προς το επιβατικό κοινό (συχνότητες δρομολογίων, περίοδοι παροχής υπηρεσιών κλπ.) και η διαχείριση στόλου και ανθρώπινου δυναμικού.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα μελετηθεί ο προγραμματισμός ενός συγκοινωνιακού δικτύου που θα εξυπηρετήσει τις ανάγκες των Αθλητών και των Συνοδών τους κατά την περίοδο των Ολυμπιακών Αγώνων της Αθήνας 2004. Το δίκτυο αυτό έχει μοναδικά χαρακτηριστικά που το ξεχωρίζουν από το κλασσικό δίκτυο αστικών συγκοινωνιών, το οποίο έχει μελετηθεί συστηματικά.

Τα χαρακτηριστικά αυτού περιλαμβάνουν τα εξής

- Προορισμοί και προελεύσεις. Το δίκτυο που θα μελετηθεί έχει το Ολυμπιακό Χωριό ως κοινή αφετηρία για όλες τις λεωφορειακές γραμμές. Η αφετηρία αυτή αποτελεί και τερματικό σταθμό.
- Δυναμικά δρομολόγια. Τα δρομολόγια εξαρτώνται άρρηκτα από το πρόγραμμα των Αγώνων και των προπονήσεων και, συνεπώς, μεταβάλλονται καθημερινά.
- Αυξημένη αξιοπιστία συστήματος. Οι εκτιμήσεις σχετικά με χρόνους διαδρομών πρέπει να είναι αξιόπιστες ώστε να αποφευχθούν καθυστερήσεις στα δρομολόγια. Επιπλέον, δεν επιτρέπονται ακυρώσεις δρομολογίων.
- Εξυπηρέτηση της ζήτησης σε επίπεδο 100%. Σε αντίθεση με τις Δημόσιες Συγκοινωνίες όπου επιτρέπεται (ιδιαίτερα κατά τις ώρες αιχμής)

εξυπηρέτηση μικρότερη του 100%, στο παρόν δίκτυο πρέπει να εξυπηρετηθεί το 100% του επιβατικού κοινού στα προγραμματισμένα χρονικά πλαίσια.

- Σωστή και ακριβής παροχή υπηρεσιών από την πρώτη στιγμή. Κατά την περίοδο των Αγώνων δεν θα υπάρχει χρόνος για αστοχίες, εκμάθηση από τα λάθη και προσαρμογή των υπηρεσιών. Η υλοποίηση των υπηρεσιών θα πρέπει να είναι άρτια από την έναρξη παροχής υπηρεσιών.
- Απλή και κατανοητή μορφή του δικτύου και των προσφερόμενων υπηρεσιών. Λόγω της έλλειψης εμπειρίας των οδηγών στις συγκεκριμένες διαδρομές που θα εκτελέσουν καθώς και στις υπηρεσίες που θα προσφέρουν, τόσο η μορφή του δικτύου, όσο και οι υπηρεσίες θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν απλούστερες. Αυτό θα βοηθήσει σημαντικά και τους επιβάτες του συστήματος, οι οποίοι θα το χρησιμοποιήσουν χωρίς καμία σχεδόν εξοικείωση

Το πρόβλημα σχεδιασμού του δικτύου των αθλητών και των συνοδών τους περιλαμβάνει τον καθορισμό του επιπέδου υπηρεσιών, τον σχεδιασμό των δρομολογίων βάσει της ζήτησης, τον προσδιορισμό του απαραίτητου στόλου οχημάτων για την εξυπηρέτηση της ζήτησης και τον επιχειρησιακό προγραμματισμό των δρομολογίων (ανάθεση δρομολογίων σε οχήματα και οδηγούς).

Στόχοι Διπλωματικής Εργασίας

Ο αρχικός στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η πρόβλεψη του πλήθους των οχημάτων που είναι απαραίτητα για την ομαλή λειτουργία του συγκοινωνιακού δικτύου με βάση το προκαθορισμένο επίπεδο εξυπηρέτησης, την προβλεπόμενη ζήτηση και το πρόγραμμα των Αγώνων και των προπονήσεων. Επισημαίνεται, ότι, λόγω των χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος των Ολυμπιακών Αγώνων, κάθε πρόβλεψη του πλήθους των οχημάτων πρέπει να συνοδεύεται από ανάλυση ευαισθησίας σε σχέση με τους χρόνους διαδρομής προς τους διάφορους προορισμούς του δικτύου.

Έχοντας διενεργήσει την πρόβλεψη του πλήθους των οχημάτων, ο δεύτερος στόχος είναι ο προγραμματισμός των δρομολογίων και των οχημάτων. Ο προγραμματισμός είναι η σύνδεση των δρομολογίων με τρόπο τέτοιο ώστε να εξυπηρετούνται διάφοροι επιχειρησιακοί παράγοντες που κρίνονται καθοριστικοί για την λειτουργία του συγκοινωνιακού δικτύου. Επιχειρησιακοί παράγοντες που, ανάλογα με την περίπτωση, μπορεί να ληφθούν υπ' όψιν είναι η χρησιμοποίηση του ελάχιστου αριθμού οχημάτων, η ελαχιστοποίηση του χρόνου παραμονής των οχημάτων στην αφετηρία και η ισοκατανομή των εργασιών στα διαθέσιμα οχήματα

Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Στο κεφάλαιο 2 της παρούσας εργασίας παρουσιάζεται το γνωστικό υπόβαθρο του προγραμματισμού δρομολογίων και οχημάτων συστήματος αστικών συγκοινωνιών. Γίνεται η εισαγωγή στις διαδικασίες επιχειρησιακού σχεδιασμού ενός συγκοινωνιακού δικτύου και παρουσιάζονται εναλλακτικές προσεγγίσεις σημαντικών προβλημάτων.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται το δίκτυο αθλητών των Ολυμπιακών Αγώνων της Αθήνας και η δομή του. Στην συνέχεια γίνεται η εκτίμηση των απαιτούμενων πόρων του δικτύου με βάση α) το πρόγραμμα των Αγώνων και των προπονήσεων, β) την μεταφορική ζήτηση προς τον κάθε προορισμό και γ) τις προδιαγραφές των προσφερομένων υπηρεσιών. Ακολουθεί, ανάλυση ευαισθησίας στην οποία μελετείται η μεταβλητότητα των απαιτούμενων πόρων σε σχέση με απρόβλεπτες αλλαγές στους χρόνους διαδρομών των δρομολογίων.

Στο κεφάλαιο 4 της παρούσας εργασίας πραγματοποιείται ο προγραμματισμός των οχημάτων, ο οποίος περιλαμβάνει την ανάθεση των δρομολογίων, που ήδη έχουν σχεδιαστεί από το κεφάλαιο 2, στα διαθέσιμα οχήματα. Παρουσιάζονται 2 (2) εναλλακτικές προσεγγίσεις, καθώς και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

Τέλος, στο κεφάλαιο 5 συνοψίζονται τα αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας και παρουσιάζονται τα σχετικά συμπεράσματα.

2 ΓΝΩΣΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

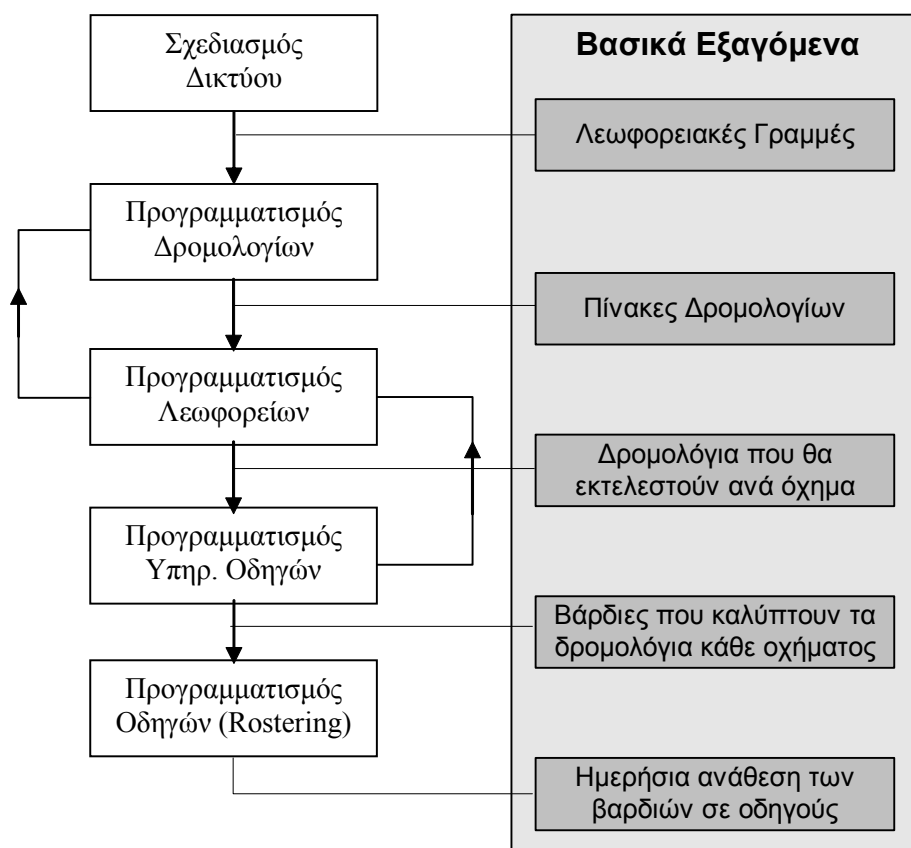
2.1 Στάδια Προγραμματισμού Αστικών Συγκοινωνιών

Το πρόβλημα του προγραμματισμού αστικών συγκοινωνιών (vehicle and crew scheduling problem) μπορεί να θεωρηθεί ως πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με επιπρόσθετους χρονικούς περιορισμούς. Στα συνήθη προβλήματα δρομολόγησης, όπως τα προβλήματα περιπλανώμενου πωλητή [TSP-Traveling Salesman Problem] και δρομολόγησης οχημάτων [VRP-Vehicle Routing Problem] (Bodin *et al*, 1983), το δίκτυο χαρακτηρίζεται από ελευθερία επιλογής στην αλληλουχία των εργασιών που θα διενεργηθούν από τα οχήματα, με συνέπεια οι εργασίες να μην περιορίζονται συνήθως από αυστηρούς χρονικούς περιορισμούς (time windows). Αντίθετα, στον προγραμματισμό αστικών συγκοινωνιών οι εργασίες είναι άμεσα συνδεδεμένες με τον χρόνο. Για παράδειγμα, εργασίες με χρόνους διαδρομής που συμπίπτουν δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν από το ίδιο όχημα. Κατά συνέπεια, το στοιχείο που χαρακτηρίζει τον προγραμματισμό αστικών συγκοινωνιών είναι η αλληλουχία των εργασιών των οχημάτων τόσο στον χώρο (προορισμοί) όσο και στον χρόνο.

Η πολυπλοκότητα του εν λόγω προβλήματος καθιστά αδύνατη την μονολιθική προσέγγιση του. Για αυτόν τον λόγο το ενιαίο πρόβλημα έχει διαχωριστεί σε υποπροβλήματα, τα οποία επιλύονται διαδοχικά (αλλά και κατ' επανάληψη) με σκοπό την προσέγγιση της βέλτιστης λύσης. Πιο συγκεκριμένα, η διάσπαση του γενικού προβλήματος είναι τέτοια ώστε τα αποτελέσματα της επίλυσης του πρώτου υποπροβλήματος (εκροές) να αποτελούν δεδομένα (εισροές) του δεύτερου υποπροβλήματος κ.ο.κ. Τα συνήθη υποπροβλήματα του προγραμματισμού συστήματος αστικών συγκοινωνιών είναι τα εξής (Πατρικαλάκης, 1992):

- Σχεδιασμός Δικτύου γραμμών (Route Planning)
- Προγραμματισμός Δρομολογίων (Timetabling)
- Προγραμματισμός Λεωφορείων (Vehicle Scheduling)
- Προγραμματισμός Υπηρεσιών Οδηγών (Crew Scheduling)
- Προγραμματισμός Οδηγών (Rostering)

Το Σχήμα 2.1 παρουσιάζει την συσχέτιση και τις βασικές αναδράσεις ανάμεσα στα παραπάνω υποπροβλήματα καθώς και τα βασικά εξαγόμενα του κάθε υποπροβλήματος.



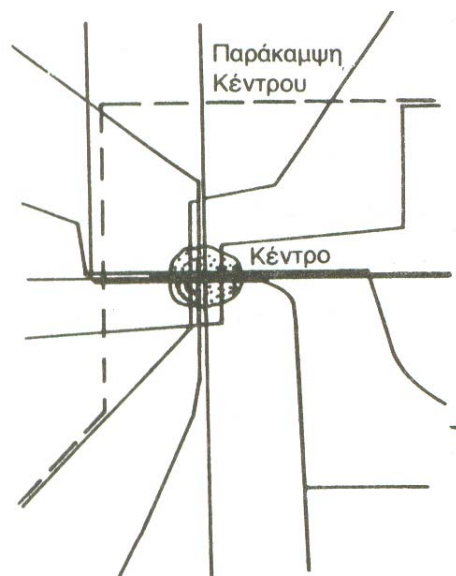
Σχήμα 2.1: Διάγραμμα συσχετίσεων και βασικών εξαγόμενων προγραμματισμού συστήματος αστικών συγκοινωνιών

Στις ενότητες που ακολουθούν γίνεται περιγραφή του κάθε υποπροβλήματος και δίνεται η συσχέτιση του με το συγκεκριμένο λεωφορειακό δίκτυο που θα μελετηθεί.

2.2 Σχεδιασμός Δικτύου

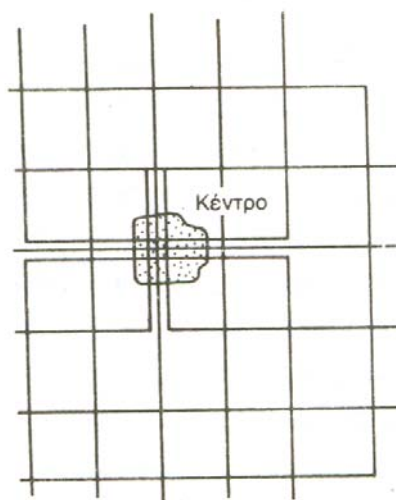
Ο σχεδιασμός του δικτύου περιλαμβάνει τα ζητήματα εκείνα που σχετίζονται με τη μορφή, πυκνότητα γραμμών και υλικοτεχνική υποδομή του δικτύου. Ο σχεδιασμός γίνεται με βάση την ζήτηση του επιβατικού κοινού με γνώμονα την όσο το δυνατόν καλύτερη απόκριση στη ζήτηση αυτή. Οι βασικές μορφές δικτύων περιγράφονται και στα Σχήματα 2.2, 2.3 και 2.4 (Γιαννόπουλος, 1994):

Ακτινική: Αποτελείται από ένα δικτυακό κέντρο που είναι το σημείο όλων των αναχωρήσεων και των αφίξεων, και από πολλούς διαφορετικούς σταθμούς στην περιφέρεια που αποτελούν τους περιφερειακούς πόλους της επιβατικής ζήτησης.



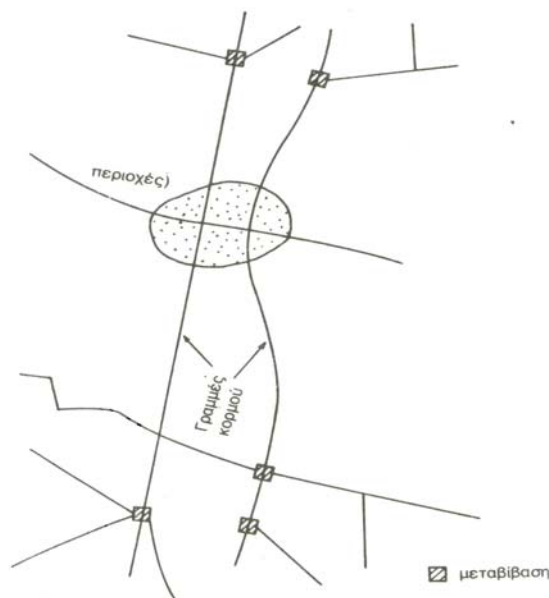
Σχήμα 2.2: Ακτινική Μορφή Δικτύου

Ορθογωνική: Οι λεωφορειακές γραμμές της μορφής αυτής δημιουργούν ένα ορθογώνιο πλέγμα. Προϋπόθεση αποτελεί η ύπαρξη ενός ορθογωνίου οδικού συστήματος. Με το ορθογωνικό δίκτυο επιτυγχάνεται αποσυμφόρηση του οδικού κέντρου και δημιουργείται μια ομοιόμορφη προσπελασιμότητα σε πολλές περιοχές. Στην μορφή αυτή απαιτούνται πολλές μετεπιβιβάσεις των επιβατών και υψηλή συχνότητα δρομολογίων για να διατηρηθεί η εξυπηρέτηση των επιβατών σε καλά επίπεδα.



Σχήμα 2.3: Ορθογωνική Μορφή Δικτύου

Μικτή: Η μικτή μορφή είναι ο συνδυασμός των παραπάνω μορφών δικτύου. Συνήθως αποτελείται από ακτινικό δίκτυο που συνδέει το κέντρο με περιφερειακά σημεία. Τα τελευταία λειτουργούν ως σημεία μετεπιβίβασης των επιβατών σε τοπικά δίκτυα, τα οποία εξυπηρετούν συγκεκριμένες περιοχές και είναι, συνήθως, ορθογωνικής μορφής.



Σχήμα 2.4: Μικτή Μορφή Δικτύου

Το δίκτυο που θα μελετηθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι ακτινικής μορφής. Η μορφή αυτή επιλέγεται όταν υπάρχει υψηλή μεταφορική ζήτηση προς συγκεκριμένα περιφερειακά σημεία και χαμηλή ζήτηση μεταξύ των περιφερειακών σημείων. Είναι εφαρμόσιμη σε αστικές περιοχές μικρού μεγέθους, στις οποίες δεν υπάρχουν προβλήματα επικοινωνίας μεταξύ περιφερειακών σημείων και στα οποία οι κύριες μεταφορικές ροές είναι προς το κέντρο. Οι λεωφορειακές γραμμές του δικτύου πρέπει να έχουν σαφώς καθορισμένα σημεία που θα αποτελέσουν την αφετηρία, το τέρμα και τις πιθανές ενδιάμεσες στάσεις. Δηλαδή πρέπει να οριστεί πλήρως η πορεία της κάθε λεωφορειακής γραμμής στο αστικό οδικό δίκτυο.

Οι αφετηρίες και τα τέρματα του ακτινικού δικτύου απαιτούν προσεκτικό σχεδιασμό καθώς χαρακτηρίζονται από υψηλά επίπεδα κυκλοφοριακής συμφόρησης. Ο λόγος της κυκλοφοριακής συμφόρησης, ειδικότερα για την αφετηρία, είναι ότι αυτή αποτελεί την πηγή αλλά και τελικό προορισμό όλων των δρομολογίων. Περιορισμός στον σχεδιασμό είναι ο διαθέσιμος χώρος και οι διαθέσιμες εισοδοι και έξοδοι των οχημάτων. Τα κριτήρια του σχεδιασμού περιλαμβάνουν την ασφάλεια των επιβιβαζόμενων και αποβιβαζόμενων επιβατών, την απρόσκοπτη διέλευση των λεωφορείων, κλπ.

2.3 Προγραμματισμός Δρομολογίων (Ανάπτυξη Προδιαγραφών Υπηρεσιών)

Απώτερος σκοπός του προγραμματισμού δρομολογίων είναι η εξαγωγή των δρομολογίων που κρίνονται απαραίτητα για την εξυπηρέτηση της ζήτησης ανά γραμμή του αστικού συγκοινωνιακού δικτύου. Η συχνότητα των δρομολογίων καθορίζεται από την μεταφορική ζήτηση, την χωρητικότητα των οχημάτων και από το επιθυμητό επίπεδο των προσφερομένων υπηρεσιών.

Για να εξαχθεί η συχνότητα των δρομολογίων πρέπει αρχικά να καταγραφεί λεπτομερώς η ζήτηση για μεταφορικές υπηρεσίες από το επιβατικό κοινό. Η ζήτηση επηρεάζεται από παράγοντες όπως οι κλιματολογικές συνθήκες, η κυκλοφοριακή συμφόρηση, ο ανταγωνισμός, το κόστος, η δημιουργία νέων πόλων διαμονής κλπ. Γίνεται σαφές ότι οι παράγοντες αυτοί είναι αρκετά δύσκολο να μοντελοποιηθούν. Παρακάτω περιγράφονται τρόποι με τους οποίους καταγράφεται η ζήτηση (Πατρικαλάκης, 1992):

- Έρευνα Μετακινήσεων. Η συνολική περιφέρεια που εξυπηρετείται από το αστικό συγκοινωνιακό δίκτυο διαιρείται σε ζώνες και κατά την διάρκεια την έρευνας συλλέγονται στατιστικά στοιχεία των μετακινήσεων των επιβατών από ζώνη σε ζώνη. Τα στοιχεία αυτά λαμβάνονται υπ' όψιν για επέκταση γραμμών, συγκοινωνιακή ένωση περιοχών κτλ. Επισημαίνεται ότι η έρευνα πρέπει να επικαιροποιείται ανά τακτά χρονικά διαστήματα έτσι ώστε οι μεταβολές της ζήτησης να καταγράφονται έγκαιρα.
- Μετρήσεις Ζήτησης. Διενεργούνται μετρήσεις της επιβατικής ζήτησης σε υπάρχουσες λεωφορειακές γραμμές. Κατά τις μετρήσεις αυτές συλλέγονται δεδομένα σχετικά με τους χρόνους διαδρομής, την επιβατική κίνηση, κλπ.
- Αιτήματα κατοίκων. Ανάλογα με τα αιτήματα κατοίκων από διάφορες περιοχές κρίνονται τα επίπεδα ζήτησης των γραμμών και διενεργούνται οι απαραίτητες αλλαγές στο δίκτυο, τις χρονοαποστάσεις κτλ. Προϋπόθεση αποτελεί η ύπαρξη μιας αμφίδρομης επικοινωνίας του συγκοινωνιακού φορέα με το επιβατικό κοινό π.χ. μέσω τηλεφωνικού κέντρου.
- Ηλεκτρονικά Συστήματα. Γίνεται αυτόματη καταγραφή όλων των απαιτούμενων πληροφοριών με την χρήση ηλεκτρονικών συστημάτων που είναι εγκατεστημένα είτε στα λεωφορεία, ή/και κατά μήκος της διαδρομής.
- Συγκοινωνιακό Μοντέλο. Μοντελοποιείται το συνολικό μεταφορικό δίκτυο και εξάγονται αποτελέσματα σχετικά με τον φόρτο του οδικού δικτύου, την δυνατότητα μέγιστης εξυπηρέτησης του συστήματος, την δοκιμή διαφορετικών σεναρίων της τοπολογίας του δικτύου, της συχνότητας των δρομολογίων, κλπ.

Με βάση τα καταγεγραμμένα στοιχεία της ζήτησης αναπτύσσονται οι ώρες λειτουργίας και οι χρονοαποστάσεις (για κάθε χρονική περίοδο εντός της ημέρας) κάθε λεωφορειακής γραμμής. Ο βαθμός ικανοποίησης της ζήτησης καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα του δικτύου.

Ως χρονοαπόσταση ορίζεται το χρονικό διάστημα ανάμεσα σε δύο διαδοχικές διελεύσεις λεωφορείων της ίδιας λεωφορειακής γραμμής από το σημείο αναφοράς. Το σημείο αναφοράς μπορεί να είναι είτε η αφετηρία της γραμμής είτε το σημείο μέγιστης φόρτωσης της γραμμής. Η χρονοαπόσταση, ως μονάδα μέτρησης, αντιπροσωπεύει την μετατροπή της επιβατικής ζήτησης (που είναι αριθμός ατόμων ανά χρονική περίοδο) σε αριθμό δρομολογίων ανά χρονική περίοδο. Οι χρονοαποστάσεις υπολογίζονται για χρονικές περιόδους της ημέρας, σε κάθε μια από τις οποίες η ζήτηση θεωρείται σταθερή.

Η Χρονοαπόσταση (headway) h που αντιστοιχεί στην χρονική περίοδο T δίνεται από την σχέση, (Γιαννόπουλος, 1994), (Πατρικαλάκης, 1992):

$$h = \left(\frac{T}{E/C} \right) \quad (2.1)$$

όπου

E = Σύνολο διερχομένων επιβατών από το σημείο μέγιστης φόρτισης εντός της περιόδου T

C = Επιθυμητή πληρότητα οχήματος κατά το χρονικό διάστημα T

Προφανώς, η συχνότητα f σε αριθμό διερχομένων οχημάτων για την συγκεκριμένη χρονική περίοδο T δίνεται από:

$$f = \frac{\left(\frac{E}{C} \right)}{T} \quad (2.2)$$

Συνήθως, ως πρότυπη χρονική περίοδος λαμβάνεται $T=1 \text{ hr}$ (Πατρικαλάκης, 1994). Σε περιπτώσεις όπου η ζήτηση είναι χαμηλή (γραμμές με χαμηλή ζήτηση ή χρονικές περίοδοι με χαμηλή ζήτηση) ο υπολογισμός των χρονοαποστάσεων γίνεται με βάση ένα χαμηλότερο αποδεκτό επίπεδο εξυπηρέτησης.

Τα δρομολόγια χαρακτηρίζονται από τέσσερα μεγέθη:

- τον χρόνο έναρξης,
- τον χρόνο λήξης,
- την τοποθεσία έναρξης, και
- την τοποθεσία λήξης

Βάσει των χρονοαποστάσεων της εξ. (2.1) υπολογίζονται οι αντίστοιχες αναχωρήσεις των οχημάτων από αφετηρίες και τέρματα. Για τον σκοπό αυτό, ορίζεται πρώτα η αναχώρηση του πρώτου δρομολογίου και στην συνέχεια προστίθενται διαδοχικά οι εκάστοτε χρονοαποστάσεις για να προσδιορισθούν οι επόμενες αναχωρήσεις.

2.4 Προγραμματισμός Οχημάτων (Vehicle Scheduling)

Ζητούμενο του προγραμματισμού λεωφορείων είναι η διατήρηση του απαιτούμενου αριθμού οχημάτων παράλληλα με την ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους του δικτύου.

Κατά τον προγραμματισμό οχημάτων συνδέονται τα δρομολόγια που δημιουργήθηκαν από τον προγραμματισμό δρομολογίων σε σειρές δρομολογίων. Οι σειρές αυτές ονομάζονται '*blocks*' οχήματος. Κάθε *block* οχήματος είναι μια αλυσίδα διαδοχικών δρομολογίων που εκτελούνται από το ίδιο όχημα.

Οι συνδέσεις μεταξύ των δρομολογίων πρέπει να γίνουν με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιούνται οι «νεκροί» χρόνοι οχημάτων. Ως «νεκροί» χρόνοι ορίζονται:

- a) οι χρόνοι διαδρομών κατά τις οποίες τα οχήματα δεν μεταφέρουν επιβάτες (διαδρομές από και προς το αμαξοστάσιο, από αφετηρία σε άλλη αφετηρία για αλλαγή γραμμής κλπ) και,
- b) οι χρόνοι παραμονής των οχημάτων στις αφετηρίες και τα τέρματα ανάμεσα σε δύο συνδεδεμένες διαδρομές.

Είναι λογικό να γίνεται προσπάθεια μείωσης των «νεκρών» χρόνων μιας και οι τελευταίοι συνδέονται άμεσα με το κόστος λειτουργίας.

Επισημαίνεται ότι ο προγραμματισμός οχημάτων δίνει μια σαφή εικόνα του συγκοινωνιακού φόρτου (απαιτούμενα οχήματα ανά χρονική στιγμή) του δικτύου καθ' όλη την περίοδο των προσφερόμενων υπηρεσιών με αποτέλεσμα να έχουμε μια εκτίμηση τόσο των συνολικών λεωφορειακών πόρων όσο και των περιόδων υψηλού φόρτου του δικτύου. Τα εξαγόμενα του προγραμματισμού οχημάτων είναι τα χρονοπρογράμματα για κάθε όχημα κατά την χρονική περίοδο μελέτης. Τα χρονοπρογράμματα αυτά αποτελούν την καλύτερη δυνατή κατανομή των οχημάτων στα δρομολόγια με σκοπό την ελαχιστοποίηση των «νεκρών» χρόνων.

Συνήθη στοιχεία που απαιτούνται ως δεδομένα εισροής για τον προγραμματισμό οχημάτων είναι:

- Χρόνοι διαδρομής από
 - i. αφετηρία σε τέρματα
 - ii. αμαξοστάσιο σε αφετηρία
- Ελάχιστος χρόνος παραμονής στην αφετηρία και τα τέρματα (Layover Time)
- Χρόνοι αποβίβασης / επιβίβασης
- Χρονοαποστάσεις
- Θέσεις στάσεων
- Θέσεις αφετηριών και τερματισμού
- Πλήθος αμαξοστασίων
- Τύποι Οχημάτων που επιτρέπονται σε κάθε γραμμή
- Περιορισμοί όπως ο μέγιστος αριθμός οχημάτων, επιτρεπτοί χρόνοι διαδρομών, κτλ.

Παράδειγμα

Έστω, ότι μια λεωφορειακή γραμμή με χρόνο διαδρομής 60 λεπτών (Το όχημα μετά το πέρας κάθε διαδρομής είναι ελεύθερο για την ανάθεση του επομένου δρομολογίου). Βάσει των χρονοαποστάσεων που κρίθηκαν απαραίτητες, έχουν εξαχθεί τα παρακάτω δρομολόγια οχημάτων. Οι χρόνοι σε κάθε δρομολόγιο αναφέρονται σε χρόνο έναρξης διαδρομής από την αφετηρία και χρόνο επιστροφής του οχήματος στην αφετηρία αντίστοιχα, δηλ αναφέρονται σε χρόνο κυκλικής διαδρομής:

1. 8:00 – 9:00
2. 8:15 – 9:15
3. 8:30 – 9:30
4. 9:15 – 10:15
5. 9:40 – 10:40
6. 9:50 – 10:50
7. 10:45 – 11:45
8. 11:20 – 12:20
9. 11:30 – 12:30
10. 12:45 – 13:45

Καλούμαστε να συνδέσουμε τα δρομολόγια σε σειρές, κάθε μια από τις οποίες θα εκτελεστούν από ένα και μόνο όχημα έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται ο «νεκρός» χρόνος.

Παρατηρώντας τα παραπάνω δρομολόγια βλέπουμε ότι για παράδειγμα τα δρομολόγια 1 και 3 δεν μπορούν να συνδεθούν καθότι ο χρόνος λήξης του δρομολογίου 1 υπερβαίνει τον χρόνο έναρξης του δρομολογίου 3. Αντίθετα το δρομολόγιο 1 μπορεί να έχει ως επόμενο δρομολόγιο οποιοδήποτε από τα δρομολόγια 5 έως 10. Επιπλέον, εάν το όχημα Α αναλάβει το δρομολόγιο 1 και στην συνέχεια το δρομολόγιο 4 παρατηρείται ότι το όχημα παραμένει στην αφετηρία για 15 λεπτά. Κατ' αναλογία η σύνδεση του δρομολογίου 1 με το δρομολόγιο 5 αντιστοιχεί σε νεκρό χρόνο οχήματος μεταξύ δύο δρομολογίων που ισούται με 40 λεπτά.

Για το παράδειγμα μας, μια εφικτή λύση με συνολικό νεκρό χρόνο 230 λεπτών είναι η:

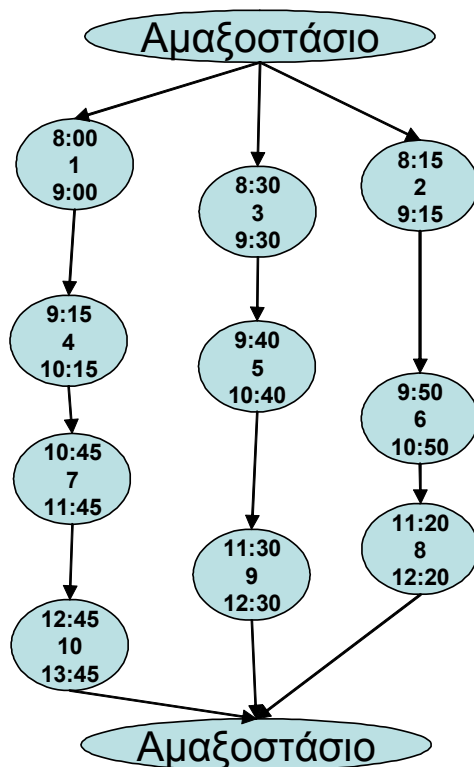
Όχημα Α: Δρομολόγια 1, 4, 7, 10

Όχημα Β: Δρομολόγια 3, 5, 9

Όχημα Γ: Δρομολόγια 2, 6, 8

Στον νεκρό αυτό χρόνο θα πρέπει να προστεθεί ο χρόνος διαδρομής μεταξύ της αφετηρίας και του αμαξοστασίου επί 6, καθότι έξι είναι οι συνδέσεις των κόμβων του δικτύου με το αμαξοστάσιο.

Στο Σχήμα 2.5 παρουσιάζεται η παραπάνω λύση. Κάθε μονοπάτι (*path*) που ξεκινά από το αμαξοστάσιο και καταλήγει σε αυτό αντιστοιχεί σε ένα όχημα.



Σχήμα 2.5: Ροϊκό Δίκτυο Συνδέσεων Δρομολογίων

Ο προγραμματισμός λεωφορείων πολλές φορές αλληλεπιδρά με το στάδιο του προγραμματισμού δρομολογίων με σκοπό την τροποποίηση των δεδομένων του σταδίου αυτού ώστε να βελτιωθεί περαιτέρω η ανάθεση λεωφορείων. Αυτό επιτυγχάνεται με τροποποίηση των ενάρξεων των δρομολογίων και καλύτερη σύνδεση τους ή με την κατάλληλη τροποποίηση των χρονοαποστάσεων, κλπ.

Θεωρείστε παράδειγμα με διαδρομή διάρκειας 30 λεπτών, όπου ένα δρομολόγιο έχει σχεδιαστεί να αναχωρήσει στις 18:35 και το επόμενο στις 19:00. Υπό αυτές τις συνθήκες το όχημα των 18:35 δεν δύναται να αναλάβει το δρομολόγιο των 19:00 (επιστρέφει στην αφετηρία στις 19:05) και ένα επιπλέον όχημα απαιτείται για να αναλάβει το δρομολόγιο των 19:00. Στην περίπτωση όμως που τροποποιούσαμε την αναχώρηση του δρομολογίου των 18:35 σε 18:30 ή νωρίτερα το όχημα αυτό θα επέστρεφε στην αφετηρία στις 19:00 ή νωρίτερα και θα μπορούσε να αναλάβει το δρομολόγιο των 19:00 χωρίς να χρησιμοποιηθεί επιπλέον όχημα.

Παραλλαγές Δρομολόγησης Οχημάτων

Επιπρόσθετες δυσκολίες της εν λόγω διαδικασίας προέρχονται από περιορισμούς που επιβάλλονται από πραγματικές συνθήκες και οι οποίοι, μεταξύ άλλων, περιλαμβάνουν τους εξής:

1. Συγκεκριμένοι τύποι οχημάτων μπορούν να εξυπηρετήσουν συγκεκριμένες γραμμές και/ ή σε συγκεκριμένες ώρες της ημέρας,
2. Τα οχήματα δεν μπορούν να είναι εν υπηρεσία πάνω από έναν συνολικό χρόνο για λόγους ανεφοδιασμού ή / και συντήρησης, και

3. Υπάρχουν περισσότερα του ενός αμαξοστάσια. Στην περίπτωση αυτή, απαιτείται επίλυση ενός επιπρόσθετου προβλήματος που είναι ο καταμερισμός γραμμών και οχημάτων στα αμαξοστάσια βάσει της χωρητικότητας των αμαξοστασίων και της ελαχιστοποίησης του συνολικού χρόνου διαδρομής από και προς κάθε αμαξοστάσιο.

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται οι παραλλαγές του προβλήματος που ορίζονται με βάση διαφορετικούς περιορισμούς, ή με βάση διαφορετικά λειτουργικά στοιχεία (Bodin et al, 1983):

Πίνακας 2.1: Παραλλαγές προβλήματος προγραμματισμού οχημάτων

Ονομασία Προβλήματος	Περιγραφή
Προγραμματισμός Οχημάτων με ένα αμαξοστάσιο (SDVSP)	Οι αλυσίδες των δρομολογίων του κάθε οχήματος ξεκινούν πάντα από το αμαξοστάσιο προς την αφετηρία ή κάποιο άλλο τερματικό σημείο των γραμμών. Τα οχήματα τερματίζουν τα ανατεθειμένα δρομολόγια με την επιστροφή του οχήματος στο αμαξοστάσιο.
Προγραμματισμός Οχημάτων με ένα αμαξοστάσιο και περιορισμό στον συνολικό συνεχόμενο χρόνο διαδρομής οχήματος (VSPLRP)	Ισχύει ότι και στην παραπάνω περίπτωση με τον επιπλέον περιορισμό του συνολικού συνεχόμενου χρόνου διαδρομής των οχημάτων. Ο περιορισμός θέτει ένα άνω φράγμα στην χρονική διάρκεια που το όχημα απέχει από το αμαξοστάσιο και εκτελεί δρομολόγια. Σύμφωνα με τον (Bodin et al, 1983) το συγκεκριμένο πρόβλημα χαρακτηρίζεται από αδυναμία επίλυσης του σε πολυωνυμικό χρόνο
Προγραμματισμός Οχημάτων με πολλαπλά είδη οχημάτων (VSPMVT)	Όλα τα οχήματα ιδίου τύπου πηγάζουν από το ίδιο αμαξοστάσιο (μπορεί να είναι κοινό για όλους τους τύπους οχημάτων). Οι γραμμές, και κατά συνέπεια, και τα δρομολόγια μπορούν να εξυπηρετηθούν από έναν τύπο οχήματος και μόνο ή από πολλαπλούς τύπους.
Προγραμματισμός Οχημάτων με πολλαπλά αμαξοστάσια (MDVSP)	Τα οχήματα επιστρέφουν στο αμαξοστάσιο από το οποίο ξεκίνησαν τις υπηρεσίες τους. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται η ανάθεση στα αμαξοστάσια των οχημάτων και η ανάθεση των δρομολογίων στα οχήματα.

Παρακάτω περιγράφεται λεπτομερειακά ο προγραμματισμός οχημάτων με ένα αμαξοστάσιο καθώς αυτή είναι η περίπτωση που θα αναλυθεί στα επόμενα κεφάλαια.

Προγραμματισμός Οχημάτων με ένα αμαξοστάσιο (SDVSP)

Το πρόβλημα αυτό μπορεί να μοντελοποιηθεί μέσω δικτύου (V, A) κορυφών (κόμβων) και ακμών (τόξων) αντίστοιχα (βλέπε Σχήμα 2.5). Κάθε «εργασία» (δρομολόγιο) αντιπροσωπεύεται από έναν κόμβο (σημείο). Κάθε ακμή που συνδέει ανά δύο τους κόμβους αντιπροσωπεύει μια εφικτή σύνδεση (αλληλουχία) δρομολογίων. Σκοπός του προγραμματισμού λεωφορείων είναι να ενωθούν οι κόμβοι σε μορφή ακυκλικού δικτύου ώστε να ελαχιστοποιείται το συνολικό «μήκος» των ακμών, οι οποίες αντιπροσωπεύουν τους νεκρούς χρόνους του δικτύου. Κάθε «μονοπάτι» του δικτύου αποτελεί το πρόγραμμα δρομολογίων ενός οχήματος. Οπότε, αν η αντικειμενική συνάρτηση επιτυγχάνει την ελαχιστοποίηση του συνολικού μήκους των «μονοπατιών», τότε επιτυγχάνεται και η ελαχιστοποίηση των «νεκρών»

χρόνων. Η συγκεκριμένη ελαχιστοποίηση βελτιστοποιεί το συνολικό λειτουργικό κόστος μιας και μειώνει τον συνολικό χρόνο που ένα όχημα, καθώς και το προσωπικό, βρίσκονται σε υπηρεσία.

Το πρόβλημα μοντελοποιείται ως εξής:

Δίδεται ένα σύνολο εργασιών $T=(T_1, T_2, \dots, T_n)$. Η κάθε εργασία έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- τον χρόνο έναρξης $a_i, i=1, \dots, n$,
- τον χρόνο τερματισμού $b_i, i \in 1, \dots, n$,
- την τοποθεσία εκκίνησης SL_i ,
- και την τοποθεσία τερματισμού EL_i .

Για κάθε ζεύγος τοποθεσιών L_1, L_2 (συμπεριλαμβανόμενου και του αμαξοστασίου) έστω $TM(L_1, L_2)$ ο χρόνος διαδρομής από την πρώτη τοποθεσία στην δεύτερη.

Δημιουργείται ένα ακυκλικό δίκτυο, κάθε κόμβος του οποίου είναι μια εργασία. Επίσης, ορίζονται δύο κόμβοι για το αμαξοστάσιο. Ένας κόμβος s , από όπου πηγάζουν όλες οι ακμές που ενώνουν τις εργασίες (όλες οι διαδρομές αρχίζουν από το αμαξοστάσιο), και ένας κόμβος t , στον οποίο καταλήγουν όλες οι διαδρομές (όλες οι διαδρομές ολοκληρώνονται με την επιστροφή του οχήματος στο αμαξοστάσιο). Το σύνολο ακμών A περιλαμβάνει όλες τις εφικτές συνδέσεις ανάμεσα στις εργασίες. Για παράδειγμα, η σύνδεση δύο εργασιών για τις οποίες ο χρόνος έναρξης της πρώτης είναι νωρίτερα του χρόνου λήξης της δεύτερης δεν είναι εφικτή και, συνεπώς, δεν υπάρχει αντίστοιχη ακμή. Για μια εφικτή σύνδεση μεταξύ δύο δρομολογίων από τον κόμβο i στο κόμβο j ισχύει ότι:

$$ST_j - ET_i \geq TM(EL_i, SL_j) \quad (2.3)$$

Επιπλέον, το σύνολο A περιέχει όλες τις ακμές που συνδέουν τον κόμβο s με όλους τους άλλους κόμβους και όλες τις ακμές που συνδέουν όλους τους κόμβους με τον κόμβο t . Οι ακμές αυτές αντιστοιχούν στην αλληλουχία: αμαξοστάσιο, εργασία i , εργασία j , αμαξοστάσιο. Κάθε δρόμος (path) που αρχίζει από τον κόμβο s περνάει από ενδιάμεσους κόμβους και καταλήγει στον κόμβο t αντιστοιχεί σε ένα πιθανό πρόγραμμα δρομολογίων για ένα όχημα. Στην ακμή που συνδέει τους κόμβους i, j αντιστοιχεί το κόστος $c_{ij} \in \mathbb{R}$ που μοντελοποιεί τους «νεκρούς» χρόνους (χρόνοι διαδρομής χωρίς επιβάτες και χρόνοι που τα οχήματα είναι ανενεργά). Το κόστος c_{ij} αντιστοιχεί στην αλληλουχία των εργασιών i, j και ισούται με $c_{ij} = ST_j - ET_i$ για ενδιάμεσους κόμβους. Ειδικά για το κόστος που συνδέεται με τις διαδρομές από το αμαξοστάσιο προς την αφετηρία και το αντίστροφο το κόστος είναι σταθερό. Σε άλλες περιπτώσεις το κόστος c_{ij} μπορεί να περιλαμβάνει το πάγιο κόστος ή κόστος κεφαλαίου χρήσης ενός οχήματος.

Στόχος είναι να βρεθεί πρόγραμμα δρομολογίων που ελαχιστοποιεί τους νεκρούς χρόνους του δικτύου και ικανοποιεί τους εξής περιορισμούς:

- Κάθε δρομολόγιο να διεξάγεται από μόνο ένα όχημα.

- Κάθε όχημα να αρχίζει και να καταλήγει στο αμαξοστάσιο αφού έχει ολοκληρώσει ένα σύνολο εργασιών
- Ο αριθμός των οχημάτων να μην υπερβαίνει προκαθορισμένο όριο

Η λύση του προβλήματος ορίζει το πρόγραμμα δρομολογίων κάθε οχήματος από την στιγμή που εκκινεί από το αμαξοστάσιο έως την στιγμή που επιστρέφει σε αυτό. Το πρόβλημα προγραμματισμού λεωφορείων μπορεί να μοντελοποιηθεί μέσω της θεωρίας γράφων ως πρόβλημα ροϊκού δικτύου και είναι επιλύσιμο σε πολυωνυμικό χρόνο. Σχετικά μοντέλα περιλαμβάνουν:

- Minimum Cost Flow Model (Dantzig and Fulkerson, 1954)
- Assignment Model (Hoffstadt 1981)
- Quasi-Assignment Model (Paixao and Branco 1987)
- Transportation Problem (Gavish et al, 1978)
- Matching Model (Bertossi et al. 1987)

Η προσέγγιση Minimum Cost Flow είναι η πιο γενική προσέγγιση του προβλήματος.

Έστω οι μεταβλητές απόφασης:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{αν η ακμή που συνδέει τα } (i, j) \text{ περιέχεται στη λύση} \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

Η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος είναι:

$$\min \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (2.4)$$

Όπου το σύνολο A είναι το σύνολο των ακμών του γράφου

Υπό τους περιορισμούς:

1. Περιορισμός Διατήρησης της Ροής

$$\sum_{\substack{i \in V \\ i \neq j}} x_{ij} - \sum_{\substack{i \in V \\ i \neq j}} x_{ji} = 0 \quad \forall \quad j \in V - \{s, t\} \quad (2.5)$$

2. Κάθε κόμβος διαπερνάται από μια διαδρομή (μία ακμή εισέρχεται και μία ακμή εξέρχεται του κόμβου). Ισχύει για όλους τους κόμβους εκτός από τους δύο κόμβους του αμαξοστασίου

$$\sum_{\substack{i \in V - \{s, t\} \\ i \neq j}} x_{ij} = 1 \quad \forall \quad j \in V - \{s, t\} \quad (2.6)$$

3. Περιορισμοί Πλήθους Οχημάτων. Οι ακμές που εξέρχονται από το αμαξοστάσιο είναι ίσες με τις ακμές που εισέρχονται σε αυτό και ίσες με τον αριθμό του πλήθους των οχημάτων.

$$\sum_{j \in V - \{s, t\}} x_{sj} = K \quad (2.7)$$

$$\sum_{i \in V - \{s, t\}} x_{it} = K \quad (2.8)$$

4. Περιορισμός Ακεραιότητας

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad i, j \in V. \quad (2.9)$$

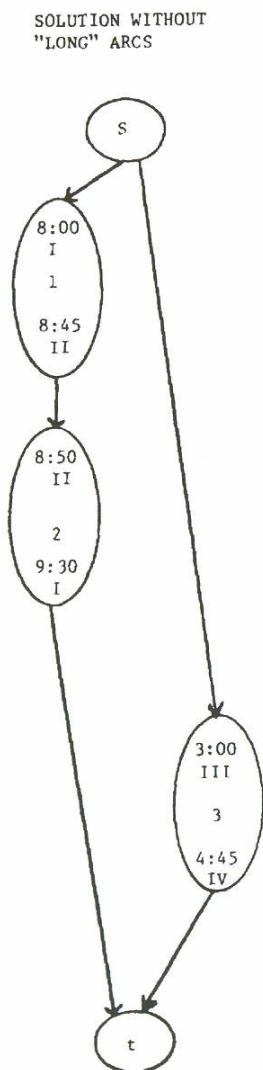
Σημειώνετε ότι οι περιορισμοί 2.5 και 2.6 σε συνδυασμό με την μορφή του πίνακα κόστους (διαγώνια) περιορίζουν την δημιουργία μη εφικτών συνδέσεων ανάμεσα στους κόμβους, όπως για παράδειγμα να δημιουργηθεί η αλληλουχία ‘Αμαξοστάσιο, 2, 6, 3, Αμαξοστάσιο’ στα δρομολόγια του Σχήματος 2.5. Οι περιορισμοί 2.5 και 2.6 επιτρέπουν την δημιουργία μιας και μόνο σύνδεσης ανάμεσα σε κόμβους και ο πίνακας κόστους απαγορεύει την σύνδεση κόμβων που παραβαίνει τον κανόνα 2.3.

Στο παραπάνω μοντέλο έχει γίνει η υπόθεση ότι ο αριθμός των μονοπατιών (όλων των ακμών που πηγάζουν από τον κόμβο s) ισούται με τον αριθμό των οχημάτων. Σε κάθε διαδρομή εντός του γράφου του παραπάνω μοντέλου, από το s έως το t , θα περιέχονται ορισμένες (έως πολλές) ακμές οι οποίες θα είναι αρκετά μεγάλες (long arcs). Οι ακμές αυτές αντιπροσωπεύουν μεγάλους νεκρούς χρόνους κατά την διάρκεια των οποίων θα ήταν προτιμότερο το όχημα να επιστρέψει στο αμαξοστάσιο. Το Σχήμα 2.7 (Bodin *et al*, 1983) δείχνει ένα μονοπάτι το οποίο περιέχει μια «μεγάλη» ακμή. Η ακμή αυτή δεν ανταποκρίνεται ρεαλιστικά στο κόστος «νεκρών» χρόνων.

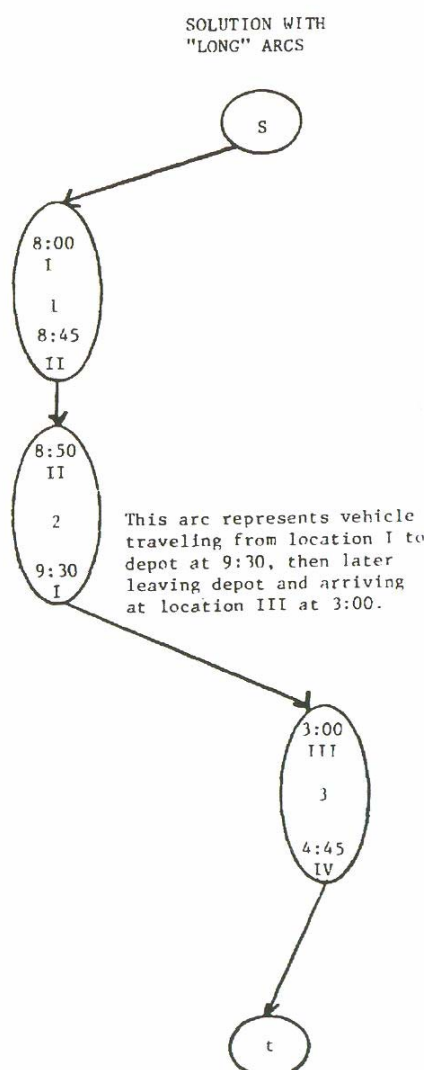
Αντίστοιχα στο Σχήμα 2.6 (Bodin *et al*, 1983) φαίνεται η περίπτωση όπου τα μονοπάτια δεν ανταποκρίνονται στον αριθμό των λεωφορείων (και τα δύο μονοπάτια εκτελούνται από το ίδιο όχημα) αλλά καταγράφονται καλύτερα οι «νεκροί» χρόνοι. Δηλαδή, το όχημα επιστρέφει στο αμαξοστάσιο και αργότερα αναλαμβάνει πάλι υπηρεσία. Οι «μεγάλες» ακμές μπορούν να μην συμπεριληφθούν στο σύνολο A , οπότε η λύση θα συμπεριλαμβάνει τα μπλοκ οχήματος που θα δημιουργηθούν. Στην λύση αυτή δεν φαίνεται ο αριθμός των οχημάτων αλλά γίνεται πολύ καλή προσέγγιση του κόστους «νεκρών» χρόνων.

Συνήθης τρόπος προσέγγισης του προβλήματος είναι, να υπολογίζεται αρχικά, ο αριθμός των απαιτούμενων οχημάτων (στις δημόσιες συγκοινωνίες, ο υπολογισμός γίνεται με βάση την μια από τις δύο χρονικές περιόδους αιχμής). Ο υπολογισμός αυτός είτε διενεργείται με την επίλυση του μοντέλου Εξ.(2.4) – Εξ.(2.9) είτε με άλλο μοντέλο όπως το μοντέλο που αναλύεται στην ενότητα 3. Η επίλυση του μοντέλου προγραμματισμού οχημάτων Εξ.(2.4) – Εξ.(2.9) εξάγει τις σειρές δρομολογίων κάθε οχήματος. Στον υπολογισμό αυτό περιλαμβάνονται και «μεγάλες» ακμές. Ακολουθεί

η διευθέτηση των μεγάλων ακμών ώστε να μειωθούν περαιτέρω οι νεκροί χρόνοι. Αυτό επιτυγχάνεται ορίζοντας ένα άνω όριο στον χρόνο (κόστος). Οποιαδήποτε σύνδεση ανάμεσα σε δύο κόμβους που υπερβαίνει το άνω όριο, περικόπτεται και δημιουργείται μια σύνδεση με τον κόμβο s και μια σύνδεση με τον κόμβο t . Με τον τρόπο αυτό προσομοιώνεται η επιστροφή του οχήματος στο αμαξοστάσιο και η επαναφορά του αργότερα από αυτό.



Σχήμα 2.6: Λύση χωρίς «μεγάλες ακμές»



Σχήμα 2.7: Λύση με «μεγάλες ακμές»

Στο κόστος λειτουργίας μπορεί να προστεθεί και το πάγιο κόστος των απαιτούμενων οχημάτων, δημιουργώντας μια αρκετά καλή προσέγγιση του ρεαλιστικού κόστους.

Ο τρόπος επίλυσης στην παρούσα εργασία θα ακολουθήσει την εξής αλληλουχία: Θα υπολογιστεί αρχικά το πλήθος των απαιτούμενων οχημάτων από μοντέλο σε μορφή υπολογιστικού φύλλου. Στην συνέχεια θα διενεργηθεί προγραμματισμός οχημάτων για την δημιουργία των σειρών (block) οχημάτων και, τελικά, θα γίνει η απαιτούμενη μείωση των «μεγάλων» ακμών.

2.5 Προγραμματισμός Υπηρεσιών Οδηγών (Βαρδιολόγηση, Crew–Scheduling)

Το πρόβλημα του προγραμματισμού υπηρεσιών οδηγών προϋποθέτει την επίλυση του προβλήματος προγραμματισμού οχημάτων. Στόχος του προγραμματισμού υπηρεσιών οδηγών είναι να «επανδρωθούν» τα προγράμματα των λεωφορείων που δημιουργήθηκαν με υπηρεσίες οδηγών (βάρδιες οδηγών) ούτως ώστε (Πατρικαλάκης, 1992):

1. Όλα τα δρομολόγια λεωφορείων να καλύπτονται από βάρδιες οδηγών (υπηρεσίες οδηγών)
2. Οι υπηρεσίες οδηγών να συμμορφώνονται με τους εκάστοτε εργασιακούς κανόνες, όπως μέγιστος χρόνος συνεχόμενης υπηρεσίας οδηγού
3. Το πλήθος των υπηρεσιών οδηγών να είναι το ελάχιστο δυνατό (ή το συνολικό κόστος των υπηρεσιών να είναι ελάχιστο).

Για την μοντελοποίηση του προβλήματος απαιτούνται οι θέσεις και οι ώρες όπου μπορούν οι οδηγοί να αλλάξουν όχημα. Ο προγραμματισμός υπηρεσιών οδηγών και ο προγραμματισμός οχημάτων είναι αλληλένδετα προβλήματα καθότι η επίλυση του ενός περιορίζει την λύση του άλλου.

Οι διάφοροι περιορισμοί που πρέπει να ικανοποιούνται χωρίζονται σε υποχρεωτικούς (σκληρούς) όπως η ελάχιστη διάρκεια διαλείμματος και η μέγιστη διάρκεια υπηρεσίας και σε μαλακούς. Οι μαλακοί περιορισμοί αφορούν συνήθως το μέγιστο ποσοστό ασυνεχών βαρδιών, τη μέγιστη διάρκεια βάρδιας, την ελάχιστη διάρκεια διαλείμματος, την μέγιστη διάρκεια εργασίας των οδηγών χωρίς διάλειμμα και άλλους που αλλάζουν από φορέα σε φορέα.

Οι συνηθέστεροι τρόποι επίλυσης του προβλήματος είναι α) το μοντέλο κατάτμησης συνόλου (Set Partitioning Model) και β) το μοντέλο κάλυψης συνόλου (Set Covering Model) (Πατρικαλάκης, 1992 – Mitra και Welsh, 1981 – Ryan και Foster, 1981 – Ward *et al*, 1981). Επίσης αναφέρονται και οι προσεγγίσεις “Run Cutting” που μιμούνται τον τρόπο αντιμετώπισης του προβλήματος χειρονακτικού προγραμματισμού από τους δρομολογητές που συνήθως δημιουργούν αρκετά καλές λύσεις (Bodin *et al*, 1983). Από τις αρχικές προσεγγίσεις των ευρετικών αυτών αλγορίθμων αναφέρεται η προσέγγιση του (Goeddel, 1975). Άλλοι σχετικοί αλγόριθμοι περιλαμβάνουν την αποσύνθεση των υπηρεσιών (Lessard *et al*, 1981) και τους αλγόριθμους ταιριάσματος (matching based algorithms) (Ball *et al*, 1983).

Επισημαίνεται ότι στην παρούσα διπλωματική εργασία δεν απαιτείται περαιτέρω ανάπτυξη του συγκεκριμένου προβλήματος υπηρεσιών οδηγών καθότι υπάρχει αυστηρή αντιστοιχία κάθε λεωφορείου με έναν ή δύο συγκεκριμένους οδηγούς. Έτσι προγραμματίζοντας τα οχήματα προγραμματίζονται και οι υπηρεσίες οδηγών.

2.6 Βραχυπρόθεσμος Προγραμματισμός Οδηγών (Rostering)

Για να υλοποιηθούν οι βάρδιες που εξάγονται από τον προγραμματισμό υπηρεσιών οδηγών πρέπει να ανατεθεί κάθε ημερήσια βάρδια σε έναν οδηγό.

Η δυσκολία του προβλήματος έγκειται στην προσπάθεια ίσης μεταχείρισης όλων των οδηγών και στην ικανοποίηση περιορισμών όπως, ο μέγιστος αριθμός διαδοχικών ημερών εργασίας των οδηγών, ο ελάχιστος αριθμός διαδοχικών ημερών ανάπαυσης, το ελάχιστο χρονικό διάστημα από την λήξη έως την έναρξη υπηρεσίας, κ.λ.π. Γενικά χρησιμοποιούνται τα κυλιόμενα προγράμματα (rotating rosters) τα οποία εξασφαλίζουν ίση μεταχείριση για όλους τους οδηγούς.

Στο Σχήμα 2.8 (Πατρικαλάκης, 1992) φαίνεται ένα κυκλικό πρόγραμμα βαρδιών. Κάθε οδηγός αναλαμβάνει την εκτέλεση των βαρδιών της μιας γραμμής (σειράς) ανά εβδομάδα. Την επόμενη εβδομάδα ακολουθεί τις βάρδιες της παρακάτω σειράς και ούτω καθ' εξής, με αποτέλεσμα όλοι οι οδηγοί να έχουν ακολουθήσει τα ίδια προγράμματα βραδινών και πρωινών βαρδιών και να έχουν τα ίδια ποσοστά σε μέρες ανάπαυσης.

Σειρά Δευτέρα Τρίτη Τετάρτη Πέμπτη Παρασ Σάββατο Κυριακή

1	R	R	6	7	6	18	28
2	10	R	R	1	2	12	22
3	5	R	R	6	7	17	27
4	9	10	R	R	1	11	21
5	2	3	5	R	R	16	29
6	8	8	10	R	R	13	23
7	3	4	1	5	R	R	26
8	7	9	7	8	10	R	R
9	1	2	3	4	4	14	R
10	R	6	8	9	9	19	R
11	R	1	2	3	5	R	R
12	6	7	9	10	8	R	R
13	4	5	4	2	3	R	R

R: Ανάπαυση

Σχήμα 2.8: Κυκλικό Βαρδιολόγιο

Κάθε σειρά αποτελεί το εβδομαδιαίο πρόγραμμα ενός οδηγού. Οι αριθμοί στις στήλες των ημερών αντιστοιχούν σε κωδικούς αριθμούς βαρδιών. Όλες οι ημερήσιες βάρδιες αριθμούνται ξεκινώντας από τις πρωινές και καταλήγοντας στις βραδινές. Οπότε η βάρδια 1 είναι η πρώτη πρωινή, η 2 η επόμενη και ούτω καθ' εξής. Τα R αντιστοιχούν σε ημέρες ανάπαυσης των οδηγών.

Διάφορες παραλλαγές (ως προς τους περιορισμούς και τους εργασιακούς κανόνες) του προβλήματος έχουν αντιμετωπιστεί εκτενώς στην βιβλιογραφία, π.χ. (Townsend, 1988 – Burns, 1978 – Burns και Koop, 1987 – Laport *et al*, 1980).

3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΠÓΡΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ή εκτίμηση των απαιτούμενων πόρων για την άρτια λειτουργία του δικτύου των αθλητών και συνοδών των Ολυμπιακών Αγώνων του 2004. Η απρόσκοπτη διακίνηση αυτής της ομάδας πελατών κατά την διάρκεια του προπονητικού και αγωνιστικού προγράμματος είναι ζωτικής σημασίας για τους Αγώνες. Οι μετακινήσεις πρέπει να είναι αξιόπιστες, ακριβείς, και όσο το δυνατόν ταχύτερες και άνετες, ώστε οι αθλητές να παραμένουν ανενόχλητοι και συγκεντρωμένοι στις αγωνιστικές τους δραστηριότητες.

Για την εκτίμηση των οχημάτων και οδηγών που θα υλοποιήσουν τις παραπάνω υπηρεσίες διακίνησης ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα:

1. Πρόβλεψη Ζήτησης Συγκοινωνιακών Υπηρεσιών σχετικά με τους αθλητές και τους συνοδούς τους
2. Ανάπτυξη Προδιαγραφών Προσφερόμενων Υπηρεσιών
3. Καταγραφή Λειτουργικών Στοιχείων (Χρόνοι Διαδρομών και Εργασιακοί Κανόνες)
4. Πρόβλεψη Απαιτούμενων Πόρων

Το Σχήμα 3.1 παρουσιάζει συνοπτικά την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε.



Σχήμα 3.1: Μεθοδολογία Εκτίμησης Πόρων Δικτύου Αθλητών

3.1 Πρόβλεψη Ζήτησης Μεταφορικών Υπηρεσιών

3.1.1 Μέγεθος Αγοράς και Παρεχόμενες Υπηρεσίες

Το δίκτυο των αθλητών θα εξυπηρετήσει κατά την διάρκεια των Αγώνων, καθώς και κατά την διάρκεια της προπονητικής περιόδου, 17.200 αθλητές και συνοδούς. Το

σύνολο των αθλητών και των συνοδών τους θα διαμένουν στο Ολυμπιακό Χωριό και θα μεταφέρονται προς όλους τους προορισμούς που έχουν σχέση με το αγωνιστικό ή το προπονητικό πρόγραμμα των Αγώνων.

Σύμφωνα με τα προγράμματα Αγώνων και των Προπονήσεων δύναται να καθοριστούν οι χρονικές περίοδοι για τις οποίες προσφέρονται μεταφορικές υπηρεσίες καθώς και οι σχετικοί χρονικοί περιορισμοί. Οι εν λόγω υπηρεσίες έχουν πολύ συγκεκριμένους χρονικούς περιορισμούς καθότι οι μεταφερόμενοι θα πρέπει να μετακινηθούν συγκεκριμένη ώρα πριν την έναρξη του αγωνίσματος τους. Αυτό καθιστά το πρόγραμμα Αγώνων μια καθοριστική πληροφορία για την μεταφορική ζήτηση ανά ημέρα και χρονική περίοδο.

Οι υπηρεσίες διακίνησης που προσφέρονται στο επιβατικό κοινό χωρίστηκαν σε κατηγορίες ανάλογα με την δραστηριότητα που εξυπηρετούν:

- Υπηρεσίες που αντιστοιχούν στο αγωνιστικό μέρος
- Υπηρεσίες που αντιστοιχούν στο προπονητικό μέρος

Για κάθε μια από τις παραπάνω κατηγορίες, καθώς και για κάθε μια από τις επιμέρους εγκαταστάσεις (αγωνιστικές ή προπονητικές), ορίζεται μια λεωφορειακή γραμμή που θα εξυπηρετεί την συγκεκριμένη εγκατάσταση. Στην περίπτωση εγκαταστάσεων που είναι και αγωνιστικές και προπονητικές ορίζεται μια κοινή λεωφορειακή γραμμή.

Οι υπηρεσίες διαχωρίστηκαν επίσης σε υπηρεσίες «ομαδικών» και «ατομικών» αθλημάτων.

- Υπηρεσίες «Ατομικών» αθλημάτων ορίζονται εκείνες για τις οποίες δεν είναι επακριβώς καθορισμένος ο χρόνος άφιξης και αναχώρησης των αθλητών από την αθλητική εγκατάσταση. Για παράδειγμα, στο Στίβο δεν είναι καθορισμένη η ώρα που οι αθλητές φτάνουν στην εγκατάσταση αλλά ούτε και η ώρα αναχώρησης τους, καθότι αυτή εξαρτάται από την επίδοση των Αθλητών στους Αγώνες. Τα αγωνίσματα αυτά απαιτούν συνεχείς υπηρεσίες.
- Υπηρεσίες «Ομαδικών» αθλημάτων είναι εκείνες στις οποίες διακινούνται όλοι οι αθλητές ταυτόχρονα. Στα συγκεκριμένα αγωνίσματα ορίζεται το πλήθος των οχημάτων που απαιτούνται για την μεταφορά των αθλητών και τα οχήματα δεσμεύονται για τις αντίστοιχες υπηρεσίες.

Ο Πίνακας 3.1 παρουσιάζει τον διαχωρισμό των υπηρεσιών σε ατομικά και ομαδικά αθλήματα.

Πίνακας 3.1: Ομαδικά και Ατομικά Αθλήματα

Ομαδικά Αθλήματα		
Υδατοσφαίριση	Ποδόσφαιρο	Χειροσφαίριση
Μπέιζμπολ	Χόκεϋ	Πετοσφαίριση
Καλαθοσφαίριση	Σόφτμπολ	
Ατομικά Αθλήματα		
Κολύμβηση	Ποδηλασία	Σκοποβολή
Συγχρονισμένη Κολύμβηση *	Ιππασία	Επιτραπέζια Αντισφαίριση
Καταδύσεις	Ξιφασκία	Τάεκβοντο
Τοξοβολία	Γυμναστική	Αντισφαίριση
Στίβος	Τζούντο	Τρίαθλο
Αντιπτερίση	Μοντέρνο Πένταθλο	Άρση Βαρών
Πυγμαχία	Κωπηλασία *	Πάλη
Κανό/ Καγιάκ	Ιστιοπλοΐα *	Μπιτς Βόλεϊμπολ *

3.1.2 Σχεδιασμός Δικτύου

Εκτός από το μέγεθος της αγοράς, σημαντικό και απαραίτητο στοιχείο είναι ο καθορισμός των προορισμών και των προελεύσεων των μεταφερόμενων. Το πρόγραμμα των Αγώνων και των προπονήσεων καθορίζει απολύτως τα σημεία τα οποία θα εξυπηρετήσει το δίκτυο.

Όσον αφορά το Αγωνιστικό πρόγραμμα οι παρεχόμενες υπηρεσίες έχουν σχεδιαστεί με βάση τον διαχωρισμό σε «ομαδικά» και «ατομικά» αθλήματα. Όσον αφορά το προπονητικό πρόγραμμα οι παρεχόμενες υπηρεσίες διακίνησης είναι ανεξάρτητες του τύπου του αθλήματος και έχουν σχεδιαστεί ως υπηρεσίες διακίνησης ατομικών αθλημάτων.

Επισημαίνεται ότι, το Ολυμπιακό Χωριό αποτελεί την αφετηρία όλων των διαδρομών. Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 2 ο τύπος αυτός του δικτύου ονομάζεται «ένα σε πολλά» ή ακτινικό δίκτυο. Η μορφή αυτή του δικτύου προκύπτει λόγω του ότι δεν απαιτούνται μεταφορές από εγκατάσταση σε εγκατάσταση.

Στους Πίνακες 3.2 και 3.4 παρουσιάζονται οι γραμμές του δικτύου των Αθλητών που ορίστηκαν από την Οργανωτική Επιτροπή των Ολυμπιακών Αγώνων 2004. Οι γραμμές του Πίνακα 3.2 εξυπηρετούν τις συνδέσεις του Ολυμπιακού Χωριού με τις αγωνιστικές εγκαταστάσεις. Αθλήματα που διεξάγονται στην ίδια αθλητική εγκατάσταση εξυπηρετούνται από την ίδια λεωφορειακή γραμμή. Αθλήματα που

* Τα συγκεκριμένα ομαδικά αθλήματα έχουν θεωρηθεί ως ατομικά ως προς τον τύπο των παρεχόμενων υπηρεσιών διακίνησης.

διεξάγονται στην ίδια περιοχή αλλά σε διαφορετικές εγκαταστάσεις¹ εξυπηρετούνται από διαφορετικές λεωφορειακές γραμμές.

Πίνακας 3.2: Γραμμές Αγωνιστικών Εγκαταστάσεων

ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΓΩΝΙΣΤΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ			
ΓΡΑΜΜΗ	ΑΘΛΗΜΑ	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΠΕΡΙΟΧΗ
AGK	Ιστιοπλοΐα	Ολυμπιακό Κέντρο Ιστιοπλοΐας Αγ. Κοσμά	ΑΓΙΟΣ ΚΟΣΜΑΣ
PAN	Μαραθώνιος (Τερματισμός) Τοξοβολία	Παναθηναϊκό Στάδιο	ΑΘΗΝΑ
ANL	Πάλη Τζούντο	Ολυμπιακό Γυμναστήριο Άνω Λιοσίων	ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ
VOU	Ποδηλασία Δρόμου Τρίαθλο	Ολυμπιακό Κέντρο Βουλιαγμένης	ΒΟΥΛΙΑΓΜΕΝΗ
GAL	Επιτραπέζια Αντισφαίριση Ρυθμική Γυμναστική	Ολυμπιακό Γυμναστήριο Γαλατίου	ΓΑΛΑΤΣΙ
GOC	Μοντέρνο Πένταθλο	Ολυμπιακό Κέντρο Μοντέρνου Πεντάθλου	ΓΟΥΔΙ
GOU	Αντιπτερίση	Ολυμπιακό Γυμναστήριο Γουδιού	ΓΟΥΔΙ
CKS	Κανό/ Καγιάκ σλάλομ	Ελληνικό – Ολυμπιακό Κέντρο Κανό/ Καγιάκ Σλάλομ	ΕΛΛΗΝΙΚΟ
FEN	Ξιφασκία	Αίθουσα Ξιφασκίας Ελληνικού	ΕΛΛΗΝΙΚΟ
CEN	Ποδηλασία Δρόμου	Διαδρομή Ποδηλασίας Δρόμου Κέντρου Αθήνας	ΚΕΝΤΡΟ ΑΘΗΝΑΣ
MAR	Μαραθώνιος (Εναρξη)	Μαραθώνας	ΜΑΡΑΘΩΝΑΣ
EQU	Ιππασία	Ολυμπιακό Κέντρο Ιππασίας Μαρκόπουλου	ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ
SHO	Σκοποβολή	Ολυμπιακό Κέντρο Σκοποβολής Μαρκόπουλου	ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ
NIK	Άρση Βαρών	Ολυμπιακό Γυμναστήριο Άρσης Βαρών Νίκαιας	ΝΙΚΑΙΑ
OIG	Γυμναστική (Trampoline) Γυμναστική (Artistic)	Ολυμπιακό Στάδιο	ΟΑΚΑ
TEN	Αντισφαίριση	Ολυμπιακό Στάδιο	ΟΑΚΑ
AQU1	Καταδύσεις	Ολυμπιακό Κέντρο Υγρού Στίβου	ΟΑΚΑ
AQU2	Κολύμβηση Συγχρονισμένη Κολύμβηση		
VEL	Ποδηλασία (Track)	Ολυμπιακό Στάδιο	ΟΑΚΑ
STA	Στίβος	Ολυμπιακό Στάδιο	ΟΑΚΑ
PAR	Ορεινή Ποδηλασία	Ολυμπιακή Εγκατάσταση Ορεινής Ποδηλασίας Πάρνηθας	ΠΑΡΝΗΘΑ
BOX	Πυγμαχία	Ολυμπιακό Γυμναστήριο Πυγμαχίας Περιστερίου	ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ
SCH	Κανό/ Καγιάκ Flatwater Κωπηλασία	Ολυμπιακό Κωπηλατοδρόμιο Σχοινιά	ΣΧΟΙΝΙΑΣ
BVB	Μπιτς Βόλεϊμπολ	Ολυμπιακό Κέντρο Μπιτς Βόλεϊμπολ	ΦΑΛΗΡΟ
FTAE	Τάεκβοντο	Ολυμπιακό Συγκρότημα Παραλιακής Ζώνης Φαλήρου	ΦΑΛΗΡΟ
BAS	Μπείζμπολ	Ολυμπιακό Κέντρο Μπείζμπολ	ΕΛΛΗΝΙΚΟ
HAC	Καλαθοσφαίριση Χειροσφαίριση	Κλειστό Γυμναστήριο Ελληνικού	ΕΛΛΗΝΙΚΟ
HHC	Χόκεϋ	Ολυμπιακό Κέντρο Χόκεϊ	ΕΛΛΗΝΙΚΟ
SFB	Σόφτμπολ	Ολυμπιακό Γήπεδο Σόφτμπολ	ΕΛΛΗΝΙΚΟ
FVB	Πετοσφαίριση	Στάδιο Ειρήνης και Φιλίας	ΦΑΛΗΡΟ
MWP	Υδατοσφαίριση	Ολυμπιακό Κέντρο Υγρού Στίβου	ΟΑΚΑ

¹ Π.χ. Στο ΟΑΚΑ διεξάγονται αγωνίσματα ταυτόχρονα αλλά σε διαφορετικές εγκαταστάσεις εντός του συγκροτήματος. Για να προσεγγίσει το όχημα τις εσωτερικές αυτές εγκαταστάσεις ακολουθεί διαφορετική πορεία στο τέλος της διαδρομής και για τον λόγο αυτό δημιουργήθηκαν διαφορετικές λεωφορειακές γραμμές.

Στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις των χρόνων διαδρομής από το Ολυμπιακό Χωριό προς τις αγωνιστικές εγκαταστάσεις. Οι χρόνοι αυτοί αντιστοιχούν σε «καθαρό» χρόνο διαδρομής, δηλ. σε χρόνο κίνησης του οχήματος. Στον υπολογισμό των πόρων περιλαμβάνονται και άλλοι λειτουργικοί χρόνοι (π.χ. χρόνοι αποβίβασης, επιβίβασης, κλπ.) που περιγράφονται στην Ενότητα 3.4.

Πίνακας 3.3: Χρόνοι Διαδρομής ανά Γραμμή Αγωνιστικής Εγκατάστασης

ΧΡΟΝΟΙ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΑΝΑ ΓΡΑΜΜΗ ΑΓΩΝΙΣΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ			
ΓΡΑΜΜΗ	ΧΡΟΝΟΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ (λεπτά)	ΓΡΑΜΜΗ	ΧΡΟΝΟΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ (λεπτά)
AGK	35	AQU1	18
PAN	30	AQU2	17
ANL	16	VEL	18
VOU	52	STA	14
GAL	16	PAR	15
GOC	26	BOX	15
GOU	26	SCH	45
CKS	35	BVB	21
FEN	33	FTAE	22
CEN	25	BAS	35
MAR	38	HAC	33
EQU	41	HHC	35
SHO	40	SFB	33
NIK	29	FVB	21
OIG	17	MWP	17
TEN	14		

Στον Πίνακα 3.4 παρουσιάζονται οι συνδέσεις του Ολυμπιακού Χωριού με τις προπονητικές εγκαταστάσεις και οι αντίστοιχοι χρόνοι διαδρομής από το Ολυμπιακό Χωριό. Όπως και στον Πίνακα 3.3, οι χρόνοι διαδρομής αντιστοιχούν σε «καθαρό» χρόνο διαδρομής.

Πίνακας 3.4: Γραμμές Προπονητικών Εγκαταστάσεων

ΓΡΑΜΜΕΣ ΠΡΟΠΟΝΗΤΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ			
ΓΡΑΜΜΗ	ΑΘΛΗΜΑ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΧΡΟΝΟΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ (λεπτά)
AGK1	Χόκεϋ	ΑΓΙΟΣ ΚΟΣΜΑΣ	37
AGK2	Ιστιοπλοΐα	ΑΓΙΟΣ ΚΟΣΜΑΣ	35
AGPT	Καλαθοσφαίριση	ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	18
AL1	Κολύμβηση	ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ	15
AL2	Καλαθοσφαίριση	ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ	17
AL3	Καλαθοσφαίριση	ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ	18
ARST	Επιτραπέζια Αντισφαίριση	ΑΡΣΑΚΕΙΟ	14
CEN	Ποδηλασία Δρόμου	ΚΕΝΤΡΟ	25
ELL1	Μπέιζμπολ Καλαθοσφαίριση Κανό/ Καγιάκ σλάλομ	ΕΛΛΗΝΙΚΟ	40
ELL2	Χειροσφαίριση	ΕΛΛΗΝΙΚΟ	37
ELL3	Χόκεϋ	ΕΛΛΗΝΙΚΟ	35

ΓΡΑΜΜΕΣ ΠΡΟΠΟΝΗΤΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ			
ΓΡΑΜΜΗ	ΑΘΛΗΜΑ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΧΡΟΝΟΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ (λεπτά)
ELL4	Σόφτμπολ	ΕΛΛΗΝΙΚΟ	33
EQT	Ιππασία	ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	41
FALT	Μπιτς Βόλεϊμπολ Χειροσφαίριση Πετοσφαίριση	ΦΑΛΗΡΟ	21
FT1	Ποδόσφαιρο (Αθήνα)	Γήπεδο Αθήνας 1	18
FT2	Ποδόσφαιρο (Αθήνα)	Γήπεδο Αθήνας 2	19
FT3	Ποδόσφαιρο (Αθήνα)	Γήπεδο Αθήνας 3	19
FT4	Ποδόσφαιρο (Αθήνα)	Γήπεδο Αθήνας 4	34
FYLT	Στίβος	ΦΥΛΗ	25
GAL	Ρυθμική Γυμναστική Επιτραπέζια Αντισφαίριση Υδατοσφαίριση	ΓΑΛΑΤΣΙ	16
GER	Καλαθοσφαίριση	ΓΕΡΑΚΑΣ	19
GOU	Αντιπέρση Μοντέρνο Πένταθλο	ΓΟΥΔΙ	26
HALT	Υδατοσφαίριση	ΧΑΛΑΝΔΡΙ	16
ILIT	Πετοσφαίριση	ΙΛΙΟΝ	22
MBT	Καλαθοσφαίριση	ΜΑΡΟΥΣΙ	15
NEVT	Πετοσφαίριση	ΝΕΑ ΕΡΥΘΡΑΙΑ	10
NFWT	Χειροσφαίριση	ΝΕΑ ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ	14
NWT	Άρση Βαρών	ΝΙΚΑΙΑ	29
OAK1	Στίβος Αντισφαίριση	ΟΑΚΑ	14
OAK2	Καλαθοσφαίριση	ΟΑΚΑ	16
OAK3	Γυμναστική (Artistic)	ΟΑΚΑ	17
OAK4	Ποδηλασία (Track) Συγχρονισμένη Κολύμβηση Υδατοσφαίριση	ΟΑΚΑ	18
PALT	Χειροσφαίριση	ΠΑΛΛΗΝΗ	20
PART	Ορεινή Ποδηλασία	ΠΑΡΝΗΘΑ	15
PER1	Καλαθοσφαίριση	ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ	20
PER2	Πυγμαχία	ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ	15
PER3	Κολύμβηση Υδατοσφαίριση	ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ	25
RENT	Χειροσφαίριση	ΡΕΝΤΗΣ	19
SCT	Κανό/ Καγιάκ Flatwater Κωπηλασία	ΣΧΟΙΝΙΑΣ	45
SHT	Σκοποβολή	ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	40
THR	Πετοσφαίριση	ΘΡΑΚΟΜΑΚΕΔΟΝΕΣ	6
VAR	Ποδηλασία Δρόμου Τρίαθλο	ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗ	15
VOU1	Τρίαθλο	ΒΟΥΛΙΑΓΜΕΝΗ	52
VOU2	Τρίαθλο	ΒΟΥΛΙΑΓΜΕΝΗ	56
VRI	Πετοσφαίριση	ΒΡΙΛΗΣΣΙΑ	21
XOLT	Αντιπέρση	ΧΟΛΑΡΓΟΣ	25
ZIR	Χειροσφαίριση	ΖΗΡΙΝΕΙΟ	15

Σημειώνεται ότι για τα υπόλοιπα αθλήματα που δεν αναφέρονται στον παραπάνω πίνακα οι προπονήσεις διεξάγονται σε γειτονικές εγκαταστάσεις του Ολυμπιακού Χωριού και οι συγκεκριμένοι λεωφορειακοί πόροι δεν υπολογίζονται στην παρούσα εργασία.

Για κάθε μια από τις γραμμές έχει εκπονηθεί από την Γενική Διεύθυνση Μεταφορών της ΑΘΗΝΑ 2004 η διαδρομή που θα ακολουθηθεί. Το Σχήμα 3.2 δείχνει τις αγωνιστικές εγκαταστάσεις.

Οι χρόνοι διαδρομής έχουν εκτιμηθεί σε σχέση με τις κυκλοφοριακές συνθήκες που αναμένονται κατά την περίοδο Ιουλίου – Αυγούστου του 2004. Φυσικά, οι χρόνοι αυτοί δεν είναι σταθεροί καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας. Ως χρόνος διαδρομής χρησιμοποιείται ο εκτιμώμενος χρόνος κατά την ώρα αιχμής της πιο φορτωμένης ημέρας.



Σχήμα 3.2: Δίκτυο Αγωνιστικών Εγκαταστάσεων και Διαδρομών

3.2 Προδιαγραφές Συγκοινωνιακών Υπηρεσιών

Σύμφωνα με τον διαχωρισμό σε «ομαδικά» και «ατομικά» αθλήματα, ορίζονται και οι αντίστοιχες προδιαγραφές των υπηρεσιών. Στην περίπτωση των «ατομικών» αθλημάτων οι προδιαγραφές αυτές έχουν αναπτυχθεί με την μορφή των **χρονοαποστάσεων** ή συχνοτήτων δρομολογίων (βλέπε ενότητες 2.3 και 3.4.1). Στην

περίπτωση των «ομαδικών» αθλημάτων οι προδιαγραφές ορίζονται ως αριθμός λεωφορείων ανά περίοδο .

Ακόμα ορίζεται μια **ελάχιστη στάθμη εξυπηρέτησης**. Η τακτική αυτή οδηγεί σε διατήρηση της αντίστοιχης συγκοινωνιακής υπηρεσίας ακόμα και αν η ζήτηση δεν το απαιτεί. Σκοπός της ελάχιστης στάθμης εξυπηρέτησης είναι να καθορισθεί συνεχόμενη παρεχόμενη υπηρεσία προς τους προορισμούς για να καλυφθούν απρόβλεπτες διακυμάνσεις στην ζήτηση, καθώς και να διατηρηθεί ένα επίπεδο στην ποιότητα των προσφερόμενων υπηρεσιών (ελάχιστος χρόνος παραμονής στην στάση κ.α.). Για την αγωνιστική περίοδο, η ελάχιστη στάθμη εξυπηρέτησης είναι μια διέλευση οχήματος ανά 30 λεπτά, ενώ στην προπονητική περίοδο είναι μία διέλευση ανά 60 λεπτά. Σημειώνεται ότι σε περιόδους κατά τις οποίες δεν υπάρχει ανάγκη μετακίνησης αθλητών στην αθλητική εγκατάσταση δεν παρέχονται υπηρεσίες (π.χ. σε μέρες που δεν λαμβάνει χώρα το συγκεκριμένο άθλημα ή σε περιόδους που η εγκατάσταση δεν μπορεί να εξυπηρετήσει τους αθλητές για προπόνηση). Η ελάχιστη στάθμη εξυπηρέτησης εφαρμόζεται καθ' όλη την διάρκεια του προπονητικού και αγωνιστικού προγράμματος των ατομικών αθλημάτων. Στα ομαδικά αθλήματα δεν απαιτούνται παρόμοιες προδιαγραφές υπηρεσιών, καθ' ότι οι αθλητές μετακινούνται κατά ομάδες.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό των προδιαγραφών είναι η **φόρτωση ή πληρότητα του οχήματος**, η οποία είναι ο συντελεστής χρήσης του οχήματος σε σχέση με την συνολική χωρητικότητα του. Στην περίπτωση που μελετήθηκε θεωρήθηκε φόρτωση των οχημάτων της τάξεως 80%. Δηλαδή, επειδή τα οχήματα που θα χρησιμοποιηθούν είναι συνολικής χωρητικότητας 50 θέσεων, όλοι οι υπολογισμοί έγιναν βάσει μέγιστης πληρότητας των οχημάτων τα 40 άτομα.

3.3 Λειτουργικά Στοιχεία και Απαιτήσεις του Δικτύου

Εκτός από τις προδιαγραφές των υπηρεσιών ορίζονται και τα χαρακτηριστικά του δικτύου από τα οποία εξαρτάται η λειτουργία του (βλέπε Πίνακα 3.5).

Πίνακας 3.5: Λειτουργικά Χαρακτηριστικά Δικτύου

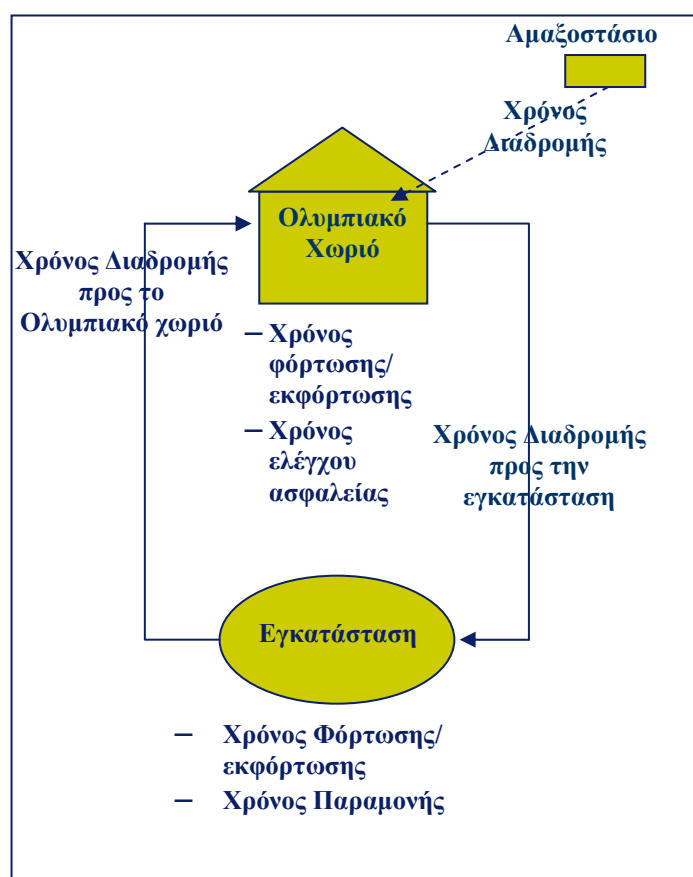
Λειτουργικό Χαρακτηριστικό	Τιμή
Χρόνος διαδρομής	Ορίζεται ανάλογα από την διαδρομή (βλέπε πίνακες 3.3 και 3.4)
Χρόνος ελέγχου ασφαλείας	5 λεπτά
Χρόνος Φόρτωσης (και εκφόρτωσης)	10 λεπτά
Χρόνος παραμονής (Layover Time)	10 λεπτά
Χρόνος αμαξοστασίου ²	15 λεπτά
Κανονισμοί οδηγών	Αφορούν συνολικό χρόνο εργασίας των οδηγών, χρόνους διαλείμματος, κλπ.

Ο χρόνος παραμονής αναφέρεται στο ελάχιστο χρονικό διάστημα που θα πρέπει να περιμένει το όχημα στην εγκατάσταση. Ο χρόνος αυτός υποστηρίζει τον σχεδιασμό

² Ο χρόνος αμαξοστασίου αναφέρεται στην σύνδεση Αμαξοστασίου και Ολυμπιακού Χωριού

σύνδεσης εφικτών δρομολογίων για τα οχήματα, διασφαλίζοντας μια χρονική περίοδο ~10 λεπτών ανάμεσα στην άφιξη του οχήματος και την επόμενη αναχώρηση του. Ο χρόνος φόρτωσης/ εκφόρτωσης είναι υπερεκτιμημένος και εμπεριέχει και απρόοπτα όπως καθυστέρηση εντός της εγκατάστασης λόγω δυσκολιών στην στάθμευση, κίνηση, κλπ.

Για την εκτίμηση των απαιτούμενων πόρων υπολογίζεται ο χρόνος κυκλικής διαδρομής, ο οποίος ορίζεται ως το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να είναι το όχημα πάλι έτοιμο για να αναχωρήσει από την αφετηρία του (δηλ. θα είναι πάλι διαθέσιμο για ανάθεση εργασίας). Στον χρόνο κυκλικής διαδρομής συμπεριλαμβάνονται εκτός των καθαρών χρόνων διαδρομής και όλοι οι υπόλοιποι χρόνοι, ήτοι χρόνος φόρτωσης/ εκφόρτωσης, χρόνος ελέγχου ασφαλείας (βλέπε Σχήμα 3.3).



Σχήμα 3.3: Συνιστώσες του Χρόνου Κυκλικής Διαδρομής

3.4 Πρόβλεψη Πόρων

Όλα τα στοιχεία που περιγράφηκαν παραπάνω αποτελούν τα δεδομένα εισροής του μοντέλου υπολογισμού (εκτίμησης) των λεωφορειακών πόρων του συστήματος. Το μοντέλο υπολογίζει τους λεωφορειακούς πόρους που απαιτούνται για κάθε ημέρα, ανά τέταρτο της ώρας καθ' όλη την αγωνιστική και προπονητική περίοδο. Η ημέρα που θα παρουσιάσει τον μεγαλύτερο αριθμό λεωφορείων σε κάποια χρονική στιγμή

θα αποτελεί την ημέρα αιχμής και θα καθορίσει τον ελάχιστο αριθμό λεωφορείων που απαιτούνται για να λειτουργήσει το δίκτυο.

3.4.1 Περιγραφή Μοντέλου Εκτίμησης

Για τον υπολογισμό των λεωφορειακών πόρων ανά ημέρα, κατηγορία αθλήματος (ατομικό ή ομαδικό) και κατηγορία προγράμματος (προπονητικό ή αγωνιστικό) χρησιμοποιήθηκε μοντέλο εκτίμησης λεωφορειακών πόρων το οποίο λαμβάνει υπόψη του τη ζήτηση των υπηρεσιών και τα λειτουργικά στοιχεία του δικτύου. Το μοντέλο αυτό βασίζεται σε συγκεκριμένες εισροές και δομείται σε δύο λογικές ενότητες:

- Ανάπτυξη προδιαγραφών υπηρεσιών και,
- Εκτίμηση πόρων, ατομικών και ομαδικών αθλημάτων

Οι εισροές και οι δύο ενότητες του μοντέλου περιγράφονται κατωτέρω.

Εισροές Μοντέλου

Οι εισροές του μοντέλου περιλαμβάνουν τους λειτουργικούς χρόνους ανά γραμμή τη ζήτηση ανά γραμμή και το πρόγραμμα Αγώνων.

Οι λειτουργικοί χρόνοι ανά λεωφορειακή γραμμή περιλαμβάνουν:

- Χρόνος διαδρομής³ από το Ολυμπιακό Χωριό προς αγωνιστικές/προπονητικές εγκαταστάσεις (T_{trip})
- Χρόνος επιβίβασης / αποβίβασης (T_{load})
- Χρόνος Ελέγχου Ασφαλείας (T_{secure})
- Χρόνος Αναμονής ($T_{layover}$)
- Λοιποί Χρόνοι (T_{rest})
- Χρόνος διαδρομής από το αμαξοστάσιο (T_{depot})

Για κάθε λεωφορειακή γραμμή που έχει δημιουργηθεί, έχει γίνει η υπόθεση ότι οι παραπάνω λειτουργικοί χρόνοι είναι σταθεροί για όλη την διάρκεια της ημέρας.

Για τον υπολογισμό του συνολικού χρόνου διαδρομής ενός δρομολογίου από τους επιμέρους χρόνους που αναφέρθηκαν ανωτέρω απαιτείται για τα μεν «ατομικά» αθλήματα ο υπολογισμός του συνολικού κυκλικού χρόνου διαδρομής (T_{round}) και για τα «ομαδικά» ο χρόνος μονής απλής διαδρομής (T_{team}).

Για τα «Ατομικά» αθλήματα

$$T_{round} = 2 \cdot (T_{trip} + T_{load}) + T_{secure} + T_{layover} + T_{rest}$$

³ Αναφέρεται στο «καθαρό» χρόνο ταξιδιού από την αφετηρία έως το τέρμα.

Για τα «Ομαδικά» αθλήματα ⁴

$$T_{team} = T_{trip} + T_{load} + (T_{secure} + T_{layover})/2 + T_{rest}$$

Ανάπτυξη Προδιαγραφών Υπηρεσιών

Ο υπολογισμός των απαιτήσεων πόρων ανά γραμμή και χρονική περίοδο βασίζεται στο πρόγραμμα των Αγώνων και την εκτιμώμενη ζήτηση ανά άθλημα. Ανάλογα αν η λεωφορειακή γραμμή εξυπηρετεί «ατομικό» ή «ομαδικό» άθλημα διαφοροποιείται ο τρόπος που εκφράζονται οι απαιτήσεις πόρων. Για τα «ατομικά» αθλήματα οι απαιτήσεις εκφράζονται σε χρονοαποστάσεις (συχνότητες δρομολογίων) ανά λεωφορειακή γραμμή για κάθε χρονική περίοδο παροχής υπηρεσιών. Όσον αφορά τα «ομαδικά» αθλήματα οι απαιτήσεις εκφράζονται σε πλήθος λεωφορείων στην κάθε γραμμή ανά χρονική περίοδο.

Για τις ημέρες $d_c = 1, \dots, 16$ του αγωνιστικού προγράμματος και τις ημέρες $d_t = -14, \dots, 16$ του προπονητικού προγράμματος η ημέρα έχει χωριστεί σε χρονικές περιόδους t_i^d , $i = 1, \dots, 24 \times 4$, διάρκειας ενός τετάρτου. Σε κάθε τέτοια χρονική περίοδο t_i^d και για κάθε άθλημα r αντιστοιχούμε την τιμή της αντίστοιχης χρονοαπόστασης $h(r, t_i^d)$.

Για τα ατομικά αθλήματα οι χρονοαποστάσεις υπολογίστηκαν βάσει του προγράμματος Αγώνων και Προπονήσεων. Σε κάθε Αγώνα ή/ και προπόνηση, ο συνολικός αριθμός των αθλητών και συνοδών (P) που πρέπει να διακινηθούν προς μια εγκατάσταση είτε για Αγώνα είτε για προπόνηση κατανέμεται ομοιόμορφα σε περιόδους πριν από την έναρξη του Αγώνισματος/ προπόνησης και, ομοίως, με την λήξη του Αγώνισματος/ προπόνησης. Το πλήθος των διακινούμενων οχημάτων ανά ώρα είναι:

$$v(r, t_i^d) = \frac{P(r, t_i^d)}{Oc}$$

Όπου $P(r, t_i^d)$ είναι το πλήθος των διακινούμενων ατόμων για το άθλημα r και την περίοδο t_i^d και Oc είναι ο ονομαστικός φόρτος των οχημάτων. Γνωρίζοντας το $v(r, t_i^d)$ εξάγεται η χρονοαπόσταση των οχημάτων:

$$h(r, t_i^d) = \frac{60}{v(r, t_i^d)}$$

Για τα ομαδικά αθλήματα, το πλήθος λεωφορείων υπολογίστηκε βάσει του πλήθους των ατόμων που πρέπει να διακινηθούν προς μια εγκατάσταση. Από το πλήθος των ατόμων υπολογίζεται ο αριθμός των λεωφορείων που θα τους ανατεθούν μέχρι και την επιστροφή τους στο Ολυμπιακό Χωριό. Όπως και προηγουμένως, για τις ημέρες $d_c = 1, \dots, 16$ του αγωνιστικού προγράμματος και για κάθε λεωφορειακή γραμμή r , η

⁴ Οι χρόνοι ελέγχου ασφαλείας (T_{secure}) και αναμονής ($T_{layover}$) έχουν εκτιμηθεί για την κυκλική διαδρομή και για τον λόγο αυτό διαιρούνται δια 2

ημέρα έχει χωριστεί σε χρονικές περιόδους t_i^d , $i = 1, \dots, 24 \times 4$. Για κάθε ημέρα d και σε κάθε χρονική περίοδο t_i^d το πλήθος των ανατεθειμένων λεωφορείων $v(r, t_i^d)$ στην γραμμή r ισούται με:

$$v(r, t_i^d) = \frac{P(r, t_i^d)}{Oc}$$

Όπου το $P(r, t_i^d)$ είναι το συνολικό πλήθος που θα διακινηθεί για το συγκεκριμένο αγώνισμα και Oc είναι ο ονομαστικός φόρτος των οχημάτων

Για κάθε λεωφορειακή γραμμή r τα $h(r, t_i^d)$ ή $v(r, t_i^d)$ εισάγονται σε πίνακα υπολογιστικού φύλλου. Κάθε κελί μιας γραμμής αντιστοιχεί στην προδιαγραφή υπηρεσίας (χρονοαπόσταση για τα ατομικά ή πλήθος λεωφορείων για τα ομαδικά αθλήματα) για ένα τέταρτο της ώρας. Ο πίνακας συνιστά τις προδιαγραφές υπηρεσιών.

Οι Πίνακες 3.6 και 3.7 που ακολουθούν δείχνουν την μορφή του υπολογιστικού μοντέλου για τα «ατομικά» και τα «ομαδικά» αθλήματα αντίστοιχα. Για τα ατομικά αθλήματα κάθε σειρά του πίνακα αντιστοιχεί σε μια και μόνο λεωφορειακή γραμμή. Στα «ομαδικά» αθλήματα οι λεωφορειακές γραμμές δεν περιλαμβάνονται σε μια και μόνο γραμμή του πίνακα προδιαγραφών υπηρεσιών αλλά σε περισσότερες ανάλογα με το πλήθος των διαφορετικών προπονητικών περιόδων εντός της ημέρας για την ίδια λεωφορειακή γραμμή. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.7 υπάρχουν περισσότερες της μίας γραμμής που αντιστοιχούν στην λεωφορειακή γραμμή 1.

Πίνακας 3.6: Ενδεικτικός Πίνακας Προδιαγραφών Υπηρεσιών «ατομικών» αθλημάτων

Ημέρα d				
Ονομασία Λεωφορειακής Γραμμής	Συνολικός Χρόνος Διαδρομής	t_1^d	...	t_{96}^d
Γραμμή 1	t_1	$h(1, t_1^d)$	...	$h(1, t_{96}^d)$
...
Γραμμή r	t_r	$h(r, t_1^d)$	...	$h(r, t_{96}^d)$

Πίνακας 3.7: Ενδεικτικός Πίνακας Προδιαγραφών Υπηρεσιών «ομαδικών» αθλημάτων

Ονομασία Λεωφορειακής Γραμμής	Συνολικός Χρόνος Διαδρομής	t_1^d	...	t_{96}^d
Γραμμή 1	t_1	$v_a(1, t_1^d)$	...	$v_a(1, t_{96}^d)$
Γραμμή 1	t_1	$v_b(1, t_1^d)$	...	$v_b(1, t_{96}^d)$
...
Γραμμή 2	t_2	$v_a(2, t_1^d)$	...	$v_a(2, t_{96}^d)$

Επισημαίνεται ότι για το προπονητικό πρόγραμμα, το οποίο εκκινεί 14 ημέρες προ του Αγωνιστικού προγράμματος και συνεχίζει καθ' όλη τη διάρκεια του, όλα τα αθλήματα έχουν θεωρηθεί ως ατομικά (ακόμα και τα «ομαδικά» αθλήματα), έτσι

ώστε να μην δεσμεύονται τα οχήματα στην εγκατάσταση αλλά να είναι ελεύθερα να δρομολογηθούν προς άλλες κατευθύνσεις αν κριθεί απαραίτητο. Υπενθυμίζουμε ότι στα ομαδικά αθλήματα τα οχήματα περιμένουν τους αθλητές στην εγκατάσταση, οπότε είναι δεσμευμένα και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Στα ατομικά, όμως, αγωνίσματα τα οχήματα αποβιβάζουν τους αθλητές στην εγκατάσταση και επαναδρομολογούνται για εξυπηρέτηση νέας υπηρεσίας. Έτσι επιτυγχάνεται μείωση των απαιτούμενων πόρων θεωρώντας όλα τις υπηρεσίες που σχετίζονται με το προπονητικό πρόγραμμα ως υπηρεσίες ατομικών αθλημάτων. Στον Πίνακα 3.8 παρουσιάζονται οι προδιαγραφές υπηρεσιών για το Αγωνιστικό και το προπονητικό πρόγραμμα σε σχέση με τον τύπο του αθλήματος (ατόμικο ή ομαδικό).

Πίνακας 3.8: Μορφή προδιαγραφών υπηρεσιών ανά τύπο αθλήματος

	Αγωνιστικό Πρόγραμμα	Προπονητικό Πρόγραμμα
Ατομικά Αθλήματα	Χρονοαποστάσεις	Χρονοαποστάσεις
Ομαδικά Αθλήματα	Πλήθος Λεωφορείων	Χρονοαποστάσεις

Εκτίμηση Πόρων «Ατομικών» Αθλημάτων

Με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 3.6 υπολογίζονται οι αναχωρήσεις λεωφορείων ανά ατομικό άθλημα και τέταρτο της ώρας κάθε ημέρας, $A(r, t_i^d)$, χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$A(r, t_i^d) = \frac{15}{h(r, t_i^d)}$$

Όπου $A(r, t_i^d)$ είναι το πλήθος των αναχωρήσεων της λεωφορειακής γραμμής r , την ημέρα d και την χρονική περίοδο t_i^d . Σε περίπτωση που για κάποια χρονική περίοδο δεν παρέχεται υπηρεσία (και επομένως δεν έχει οριστεί χρονοαπόσταση), τότε

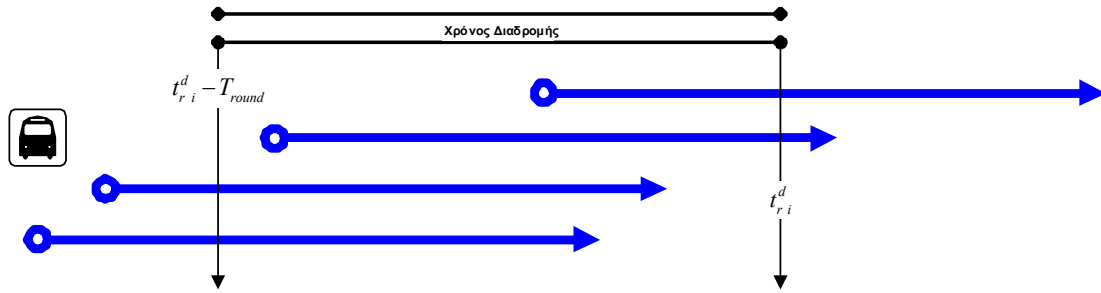
$$A(r, t_i^d) = 0.$$

Έχοντας υπολογίσει τα οχήματα που αναχωρούν ανά τέταρτο της ώρας υπολογίζονται τα «λεωφορεία που βρίσκονται σε υπηρεσία»⁵, $S(r, t_i^d)$, για κάθε λεωφορειακή γραμμή r και για κάθε τέταρτο της ώρας t_i^d κάθε ημέρας d . Η τιμή $S(r, t_i^d)$ ισούται με το σύνολο των αναχωρήσεων $A(r, t_j^d)$, που δεν έχουν ολοκληρώσει τον χρόνο κυκλικής διαδρομής τους T_{round}^r στην χρονική στιγμή t_i^d . Έστω χρόνος κυκλικής διαδρομής T_{round}^r και χρονική στιγμή t_i^d . Το πλήθος οχημάτων της γραμμής r σε υπηρεσία ισούται με:

⁵ Δηλαδή οχήματα που εκτελούν διαδρομές με επιβάτες

$$S(r, t_i^d) = \sum_{t < t_i^d} A(r, t) - \sum_{t \leq t_i^d - T_{round}} A(r, t).$$

Στο Σχήμα 3.4 παρουσιάζεται γραφική επεξήγηση της παραπάνω εξίσωσης. Έστω το χρονικό σημείο t_i^d . Το πλήθος οχημάτων σε υπηρεσία της γραμμής r ισούται με το άθροισμα των αναχωρήσεων A της ίδιας γραμμής εντός της περιόδου $(t_i^d - T_{round}, t_i^d]$, ήτοι 2 στο παράδειγμα του Σχήματος 3.4.

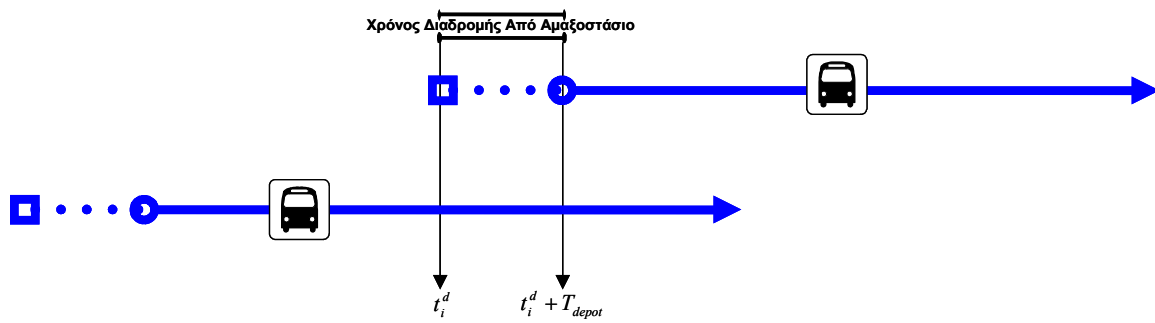


Σχήμα 3.4: Εκτίμηση πόρων ανά λεωφορειακή γραμμή

Η παραπάνω μέθοδος υπολογίζει τα λεωφορεία σε υπηρεσία ανάμεσα στο Ολυμπιακό Χωριό και τους διάφορους προορισμούς. Σε αυτά τα οχήματα πρέπει να προστεθούν και τα οχήματα που βρίσκονται μεταξύ του αμαξοστασίου και του τερματικού σταθμού για να αναλάβουν υπηρεσία. Για τον σκοπό αυτό εκτιμώνται οι αναχωρήσεις από το αμαξοστάσιο $S_{depot}(r, t_i^d)$ προς τον τερματικό σταθμό ανά τέταρτο. Το πλήθος των οχημάτων της γραμμής r που βρίσκονται μεταξύ του αμαξοστασίου και του Ολυμπιακού Χωριού την χρονική στιγμή t_i^d ισούται με:

$$S_{depot}(r, t_i^d) = \max \left\{ \sum_{t < t_i^d + T_{depot}} A(r, t) - \sum_{t \leq t_i^d} A(r, t), 0 \right\}$$

Δηλαδή, αν την χρονική στιγμή $t_i^d + T_{depot}$ τα οχήματα που βρίσκονται σε υπηρεσία, $S(r, t_i^d + T_{depot})$, είναι περισσότερα των οχημάτων $S(r, t_i^d)$ που βρίσκονται σε υπηρεσία την χρονική στιγμή t_i^d , τότε πρέπει να αναχωρήσουν από το αμαξοστάσιο οχήματα πλήθους $S_{depot}(r, t_i^d)$. Στο παράδειγμα του Σχήματος 3.5 παρατηρείται ότι την χρονική στιγμή t_i^d πρέπει να αναχωρήσει 1 όχημα από το αμαξοστάσιο για να αναλάβει το δρομολόγιο που εκκινεί την χρονική στιγμή $t_i^d + T_{depot}$. Το όχημα αυτό προστίθενται στα υπόλοιπα οχήματα σε υπηρεσία για την εξαγωγή του συνολικού αριθμού οχημάτων σε υπηρεσία ανά τέταρτο.



Σχήμα 3.5: Εκτίμηση συνολικών πόρων

Σημειώνεται ότι οι διαδρομές που σχετίζονται με την αποχώρηση των οχημάτων προς το αμαξοστάσιο και την προσωρινή ή μόνιμη λήξη των υπηρεσιών του δεν υπολογίζονται στο παρόν μοντέλο εκτίμησης πόρων καθότι δεν επηρεάζουν τον συνολικό απαιτούμενο αριθμό λεωφορείων. Ο λόγος που δεν επηρεάζονται τα συνολικά οχήματα μπορεί να γίνει κατανοητός αν ληφθεί υπόψη ότι σε περιπτώσεις υψηλής ζήτησης τα οχήματα δεν επιστρέφουν στο αμαξοστάσιο αλλά παραμένουν στην αφετηρία για το επόμενο δρομολόγιο. Οι συνδέσεις προς το αμαξοστάσιο δεν μπορούν να παρουσιασθούν στην παρούσα φάση, αλλά η απόφαση για να επιστρέψει ένα λεωφορείο στο αμαξοστάσιο ή να παραμείνει στην αφετηρία αντιμετωπίζεται στα πλαίσια του προγραμματισμού λεωφορείων στο κεφάλαιο 4.

Η παραδοχή βάσει της οποίας εκτελείται ο υπολογισμός είναι ότι τα οχήματα σε διαδρομή από το αμαξοστάσιο εκτιμώνται για την κάθε μία λεωφορειακή γραμμή ξεχωριστά.

Τελικά στο υπολογιστικό φύλλο αθροίζονται όλα τα οχήματα σε υπηρεσία ανά τέταρτο της ώρας και δημιουργούνται οι συνολικοί πόροι ανά τέταρτο και ανά ημέρα.

Εκτίμηση Πόρων «Ομαδικών» Αθλημάτων

Για τα «ομαδικά» αθλήματα οι υπολογισμοί των πόρων είναι απλοί καθότι (βάση των προδιαγραφών) τα λεωφορεία δεσμεύονται από την εκάστοτε ομάδα αθλητών που εξυπηρετούν. Συνεπώς, τα λεωφορεία είναι δεσμευμένα σε υπηρεσία από την στιγμή που παραλαμβάνουν τους επιβάτες τους έως την στιγμή που τους επιστρέφουν πίσω στο Ολυμπιακό Χωριό.

Για τον υπολογισμό των συνολικών πόρων του συστήματος που σχετίζονται με «ομαδικά» αθλήματα αθροίζονται ανά τέταρτο οι πόροι $v_n(r, t_i^d)$ $n=a, b, c, \dots$ από κάθε λεωφορειακή γραμμή r . Ο δείκτης υποδεικνύει την ύπαρξη περισσότερων της μιας σειράς για κάθε λεωφορειακή γραμμή (βλέπε Σχήμα 3.7). Στους πόρους αυτούς θα πρέπει να προστεθούν και οι πόροι που σχετίζονται με τις διαδρομές του αμαξοστασίου $S_n^{depot}(r, t_i^d)$ για κάθε t_i^d από το αμαξοστάσιο προς την αφετηρία. Για τον υπολογισμό χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

$$S_n^{depot}(r, t_i^d) = \begin{cases} v_n(r, t_{i+T_{depot}}^d) & \text{εάν } \sum_{x=i-T_{depot}}^{x=i-T_{depot}} S_n^{depot}(r, t_x^d) = 0 \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

Η παραπάνω εξίσωση δίνει τον απαραίτητο αριθμό οχημάτων προς αναχώρηση από το αμαξοστάσιο ούτως ώστε να βρίσκονται στο Ολυμπιακό Χωριό την κατάλληλη ώρα για αναχώρηση σε υπηρεσία. Η διαφοροποίηση της με την αντίστοιχη εξίσωση των ατομικών αθλημάτων έγκειται στο ότι εκτιμούνται άμεσα τα οχήματα και όχι οι αναχωρήσεις όπως προηγουμένως.

Η παραδοχή βάσει της οποίας εκτελείται ο υπολογισμός είναι ότι κάθε όχημα αντιστοιχεί σε μια μόνο λεωφορειακή γραμμή r , οπότε τα οχήματα από το αμαξοστάσιο υπολογίζονται για την κάθε γραμμή χωριστά.

Τελικά στο υπολογιστικό φύλλο αθροίζονται όλα τα οχήματα σε υπηρεσία ανά τέταρτο της ώρας και δημιουργούνται οι συνολικοί πόροι ανά τέταρτο και ανά ημέρα.

3.4.2 Αποτελέσματα Μοντέλου

Οι εισροές του μοντέλου, η ζήτηση των υπηρεσιών, καθώς και οι προορισμοί των οχημάτων διαφοροποιούνται για το Αγωνιστικό και το προπονητικό πρόγραμμα. Ομοίως και τα αποτελέσματα του μοντέλου είναι διαχωρισμένα σε απαιτούμενους πόρους ανά ημέρα για α) το αγωνιστικό πρόγραμμα και β) το προπονητικό πρόγραμμα, αντίστοιχα. Στις ημέρες που διενεργούνται ταυτόχρονα Αγώνες και προπονήσεις οι απαιτούμενοι πόροι αθροίζονται και εκτιμώνται οι συνολικοί πόροι.

Το μοντέλο υπολογίζει τους πόρους για τα ατομικά και ομαδικά αθλήματα ξεχωριστά και στο τέλος προσθέτει τις τιμές για τις αντίστοιχες χρονικές στιγμές. Τα παρακάτω διαγράμματα δείχνουν τις λεωφορειακές ανάγκες για τις ημέρες $d_c = 1, \dots, 16$ και ανά τέταρτο της ώρας, δηλαδή το άθροισμα:

$$\sum_{r=1}^m [S(r, t_i^d) + S_{depot}(r, t_i^d)] + \sum_{q=1}^k \left[\sum_{n(q)}^{n(q)} [v_{n(q)}(q, t_i^d) + S_{n(q)}^{depot}(q, t_i^d)] \right] \quad \forall d = 1, \dots, 16 \\ \forall i = 1, \dots, 96$$

όπου

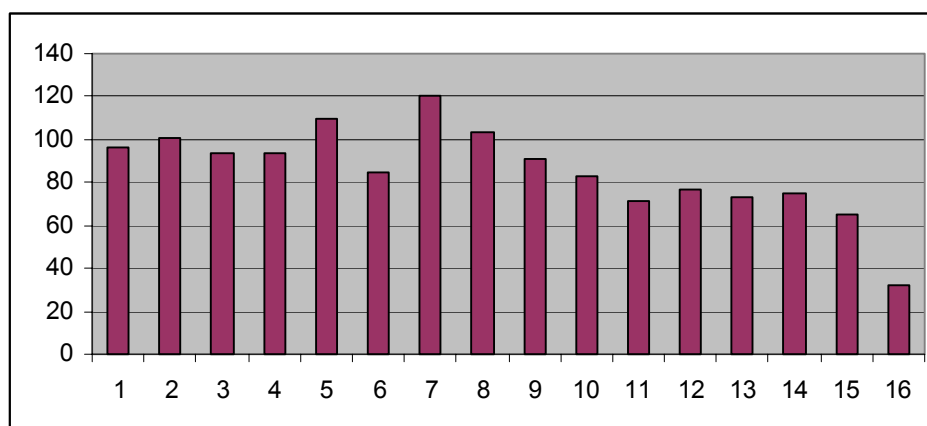
- m = Πλήθος λεωφορειακών γραμμών για τα «ατομικά» αθλήματα
- k = Πλήθος λεωφορειακών γραμμών για τα «ομαδικά» αθλήματα
- $n(q)$ = Πλήθος διαφορετικών σειρών του πίνακα προδιαγραφών για κάθε λεωφορειακή γραμμή ομαδικού αθλήματος q

Αγωνιστικό Πρόγραμμα

Ο Πίνακας 3.9 και το Σχήμα 3.6 παρουσιάζουν το μέγιστο αριθμό οχημάτων ανά ημέρα για το Αγωνιστικό πρόγραμμα. Σύμφωνα με τον πίνακα αυτό η ημέρα που παρουσιάζει την μέγιστη ανάγκη για λεωφορειακούς πόρους είναι η 7^η ημέρα του αγωνιστικού προγράμματος.

Πίνακας 3.9: Αριθμός Απαιτούμενων Οχημάτων ανά Ημέρα Αγώνων

Ημέρα	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Απαιτούμενα Οχήματα	96	101	94	94	110	85	120	103	91	83	71	77	73	75	65	32



Σχήμα 3.6: Απαιτούμενα οχήματα (ανάγκες Αγώνων) ανά ημέρα Αγωνιστικού προγράμματος

Στο Παράρτημα παρουσιάζονται τα λεπτομερή διαγράμματα των αθροιστικών συνολικών πόρων ανά ημέρα που σχετίζονται με τις υπηρεσίες διακίνησης προς τις αγωνιστικές εγκαταστάσεις για το Αγωνιστικό πρόγραμμα (βλέπε Σχήματα Π1 έως Π4 του Παραρτήματος).

Πρόγραμμα Προπονήσεων

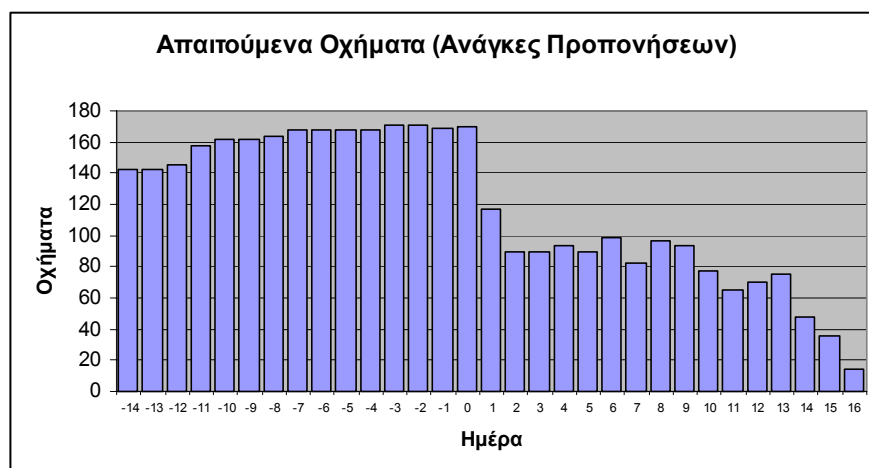
Οι Πίνακες 3.10 και 3.11, καθώς και το Σχήμα 3.7 παρουσιάζουν το μέγιστο αριθμό οχημάτων που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη των αναγκών των προπονήσεων ανά ημέρα. Σύμφωνα με τους Πίνακες αυτούς παρατηρούμε ότι οι ημέρες που παρουσιάζουν τις μέγιστες απαιτήσεις σε λεωφορειακούς πόρους, σχετικά με το προπονητικό πρόγραμμα, είναι οι ημέρες **-3** και **-2**.

Πίνακας 3.10: Αριθμός Απαιτούμενων Οχημάτων για το προπονητικό πρόγραμμα (Ημέρες -14 έως 0)

Ημέρα	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
Απαιτήσεις Προπονήσεων	142	142	145	158	162	162	164	168	168	168	168	171	171	169	170

Πίνακας 3.11: Αριθμός Απαιτούμενων Οχημάτων για το προπονητικό πρόγραμμα (Ημέρες 1 έως 16)

Ημέρα	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Απαιτήσεις Προπονήσεων	117	90	90	94	90	99	82	97	94	77	65	70	75	48	36	14



Σχήμα 3.7: Απαιτούμενα οχήματα (ανάγκες προπονήσεων) ανά ημέρα προπονητικού και αγωνιστικού προγράμματος

Επισημαίνεται ότι οι προδιαγραφές υπηρεσιών μορφοποιήθηκαν ως χρονοαποστάσεις ανεξάρτητα του τύπου του αγωνίσματος (ατομικό ή ομαδικό). Βλέπε Πίνακα 3.8. Στο Παράρτημα παρουσιάζονται τα λεπτομερή διαγράμματα των αθροιστικών συνολικών πόρων ανά ημέρα που σχετίζονται με τις υπηρεσίες διακίνησης για το προπονητικό πρόγραμμα (βλέπε Σχήματα Π5 έως Π12 του Παραρτήματος).

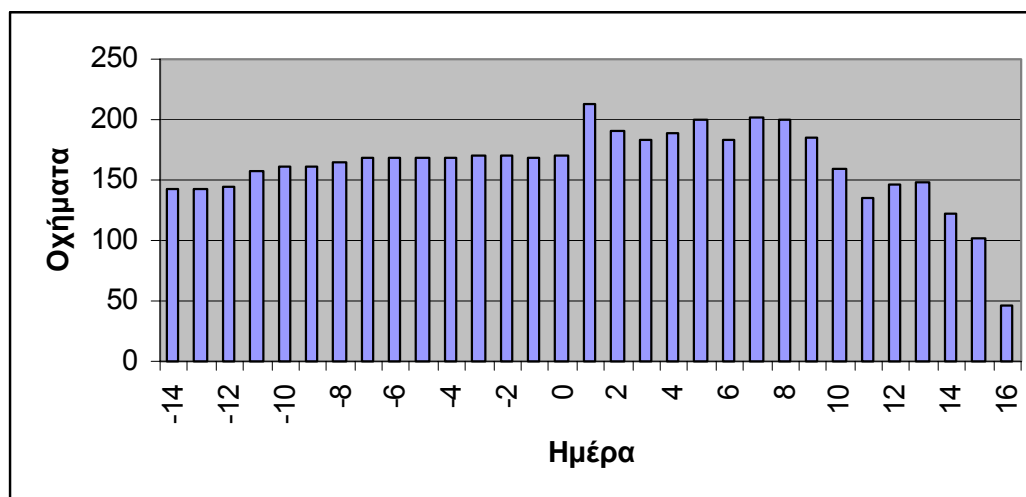
Συνολική Εκτίμηση Πόρων

Για την συνολική εκτίμηση των πόρων, κατά την αγωνιστική περίοδο αθροίζονται τα απαιτούμενα οχήματα ανά ημέρα που σχετίζονται με τις προπονητικές και τις αγωνιστικές ανάγκες. Ο Πίνακας 3.12 και το Σχήμα 3.8 παρουσιάζουν τα συνολικά οχήματα αιχμής για κάθε ημέρα των παρεχόμενων υπηρεσιών.

Πίνακας 3.12: Συνολικά Απαιτούμενα Οχήματα ανά Ημέρα

Ημέρα	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
Οχήματα Αιχμής	142	142	145	158	162	162	164	168	168	168	168	171	171	169	170

Ημέρα	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Οχήματα Αιχμής	213	191	184	188	200	184	202	200	185	160	136	147	148	123	101	46



Σχήμα 3.8: Συνολικά Απαιτούμενα Οχήματα ανά Ημέρα

Ο αριθμός οχημάτων αιχμής (συνολικά απαιτούμενα οχήματα) της κάθε ημέρας αναφέρεται στον μέγιστο φόρτο που παρουσιάζεται σε κάποια χρονική στιγμή εντός της περιόδου των προσφερομένων υπηρεσιών. Είναι το άθροισμα των επιμέρους φόρτων, του αγωνιστικού και προπονητικού προγράμματος για κάθε χρονική περίοδο.

Συμπεράσματα

Από τον Πίνακα 3.12 και το Σχήμα 3.8 γίνεται σαφές ότι στις πρώτες 9 ημέρες των Αγώνων οι λεωφορειακές απαιτήσεις κυμαίνονται σε αρκετά υψηλά επίπεδα, αρκετά κοντά στις απαιτήσεις αιχμής ενώ στην συνέχεια ακολουθούν πτωτική πορεία. Έτσι μετά την ημέρα 10 το λεωφορειακό δίκτυο απελευθερώνεται από τον υψηλό φόρτο και, συνεπώς, από τον κίνδυνο ανεπαρκούς ικανοποίησης της ζήτησης. Η ημέρα αιχμής, καθώς και οι υπόλοιπες που κυμαίνονται αρκετά κοντά στην συγκεκριμένη αιχμή, καθιστούν απαραίτητη την αυξημένη προσοχή όλων των εμπλεκόμενων στο λεωφορειακό δίκτυο, την διαθεσιμότητα εφεδρικών οχημάτων για την εξυπηρέτηση τυχόν προβλημάτων, την άρτια οργάνωση και διαχείριση του εμπλεκόμενου προσωπικού και την άριστη επικοινωνία μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών.

Κατά την περίοδο των προπονήσεων παρατηρείται μια σταθερότητα στα απαιτούμενα οχήματα σχεδόν καθ' όλη την διάρκεια κάθε ημέρας. Ο αριθμός των οχημάτων κυμαίνεται στα 150 + οχήματα, δηλαδή αρκετά υψηλός παρότι δεν πλησιάζει το πλήθος των οχημάτων αιχμής. Η συγκεκριμένη σταθερότητα που παρουσιάζει το προπονητικό πρόγραμμα βοηθά στην ανάπτυξη μιας ομοιομορφίας στις προσφερόμενες υπηρεσίες με αποτέλεσμα την καλύτερη εξυπηρέτηση του συγκεκριμένου επιβατικού κοινού, την γνώση των επικείμενων προβλημάτων και των αντιστοίχων λύσεων και την έγκαιρη αντιμετώπιση τους.

3.5 Ανάλυση Ευαισθησίας

Ένας από τους κρίσιμότερους παράγοντες που επηρεάζουν ένα συγκοινωνιακό δίκτυο είναι οι χρόνοι διαδρομής. Από μόνος του ο παράγοντας αυτός είναι τυχαία

μεταβλητή και καθιστά την εκτίμηση του περίπλοκη. Στην υπό εξέταση περίπτωση οι χρόνοι διαδρομής έχουν καθοριστεί βάσει:

- των αποστάσεων μεταξύ των συνδεδεμένων προορισμών,
- του εκτιμώμενου φόρτου του οδικού δικτύου την συγκεκριμένη περίοδο,
- των πολεοδομικών και γεωγραφικών στοιχείων των διαδρομών (δηλ. αν η διαδρομή διέρχεται μέσα σε σημεία της πόλης με έντονη κυκλοφοριακή κίνησης κλπ) και, τέλος,
- εμπειρίας και γνώσης των συγκεκριμένων διαδρομών.

Οι τιμές αυτές χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς που αντιστοιχούν σε όλες τις ημέρες στις οποίες θα παρασχεθούν υπηρεσίες παρότι είναι γνωστό και αναμενόμενο οι χρόνοι διαδρομής να διαφέρουν από μέρα σε μέρα καθότι επηρεάζονται από τον φόρτο του οδικού δικτύου και την κυκλοφοριακή κίνηση.

Σκοπός της συγκεκριμένης ενότητας είναι να δημιουργηθεί μια στιβαρή πρόβλεψη των λεωφορειακών πόρων, η οποία θα λαμβάνει υπόψη τις μεταβολές στους χρόνους διαδρομής. Το ποσοστό ασφάλειας θα καθορίζει τελικά την απόφαση που θα ληφθεί σε σχέση με το ύψος του λεωφορειακού στόλου του δικτύου.

Οι ημέρες για τις οποίες διεξήχθη η ανάλυση ευαισθησίας είναι εκείνες στις οποίες το δίκτυο παρουσιάζει τις μέγιστες ανάγκες σε λεωφορειακούς πόρους. Εξετάστηκαν:

1. Οι μέρες -3, -2, 0 που παρουσιάζουν τις μέγιστες ανάγκες σε σχέση με το προπονητικό πρόγραμμα και,
2. Οι μέρες 1, 5, 7, 8 για αποτελούν τις μέρες με τις μέγιστες αθροιστικά (αγωνιστικές και προπονητικές απαιτήσεις) ανάγκες

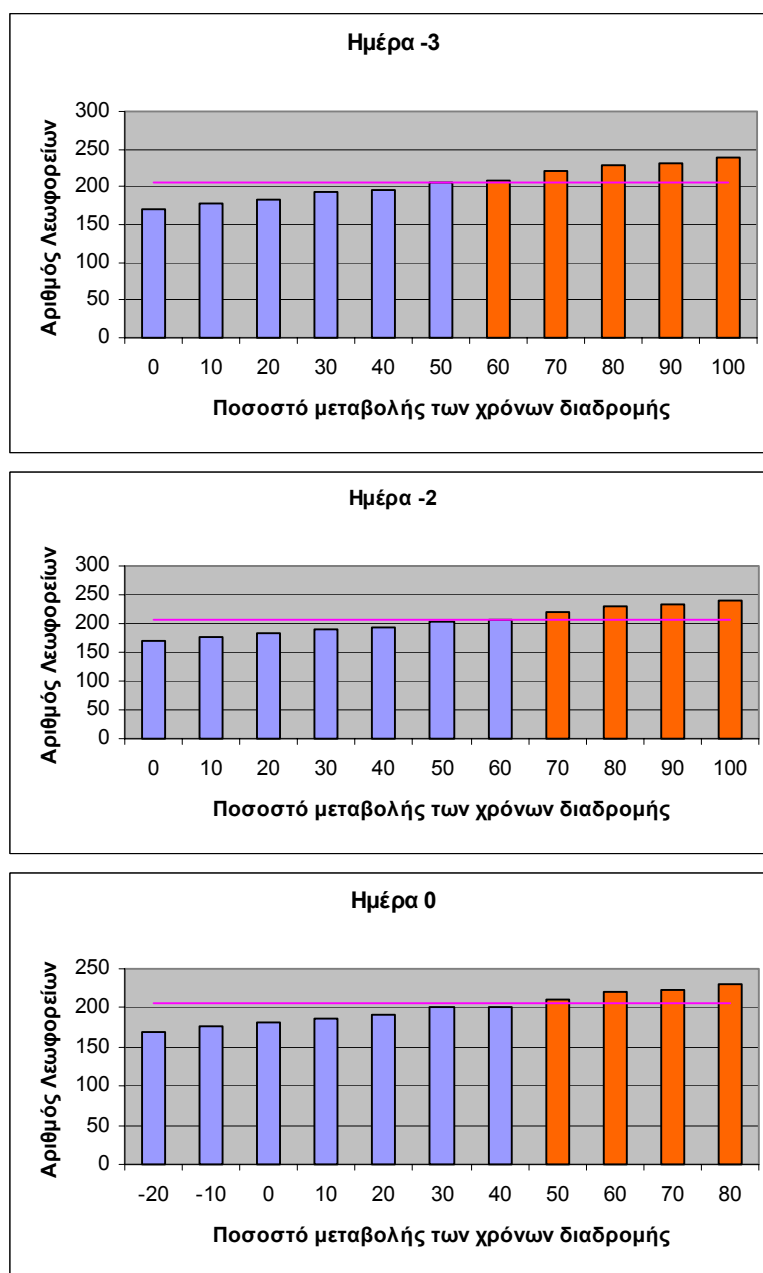
Σημειώνεται ότι οι ημέρες 5 και 8 παρουσιάζουν και μέγιστες ανάγκες σε σχέση με το αγωνιστικό πρόγραμμα.

Στην ανάλυση ευαισθησίας ελήφθησαν υπόψη οι ακόλουθες παραδοχές:

- Θεωρήθηκε κοινός χρόνος διαδρομής (ανά διαδρομή) καθ' όλο το χρονικό διάστημα παροχής υπηρεσιών εντός της ημέρας και για όλες τις ημέρες παρεχόμενων υπηρεσιών
- Το ποσοστό αύξησης των χρόνων διαδρομής είναι κοινό και για το προπονητικό πρόγραμμα και για το αγωνιστικό πρόγραμμα.

Πρώτα διερευνήθηκε η ευαισθησία της εκτίμησης των λεωφορειακών πόρων με ενδεχόμενες μεταβολές των χρόνων διαδρομής για τις ημέρες -3, -2, και 0 του προπονητικού προγράμματος. Οι χρόνοι διαδρομής αυξήθηκαν έως και 100%. Για την ανάλυση ευαισθησίας χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο εκτίμησης πόρων που περιγράφηκε στην ενότητα 3.5. Στο Σχήμα 3.9 παρουσιάζεται η αύξηση των λεωφορειακών απαιτήσεων του δικτύου για τις ημέρες αυτές σε σχέση με την ποσοστιαία αύξηση των χρόνων διαδρομής.

Καθότι στις συγκεκριμένες ημέρες δεν διεξάγονται Αγώνες⁶ παρατηρούμε ότι ακόμα και με διπλασιασμό των χρόνων διαδρομής η υπέρβαση της υπολογισμένης μέγιστης τιμής⁷ των λεωφορειακών πόρων διατηρείται σε περιορισμένα επίπεδα.



Σχήμα 3.9: Διαγράμματα απαιτούμενων πόρων σε σχέση με την μεταβολή των χρόνων διαδρομής

Ο Πίνακας 3.13 παρουσιάζει τον αριθμό των επιπλέον απαιτούμενων οχημάτων και το αντίστοιχο ποσοστό αύξησης των πόρων σε σχέση με τον αριθμό των αναγκαίων οχημάτων που υπολογίστηκε με βάση τους ονομαστικούς χρόνους διαδρομής.

⁶ Η περίοδος αυτή είναι πριν την έναρξη των Αγώνων και διεξάγονται μόνο προπονήσεις

⁷ Αναφέρεται η συνολική μέγιστη τιμή και όχι μόνο της συγκεκριμένης εξεταζόμενης περιόδου των τριών αυτών ημερών

Πίνακας 3.13: Επιπρόσθετοι Πόροι σε σχέση με την αύξηση των χρόνων διαδρομής

Αύξηση Χρόνων Διαδρομής	Ημέρα -3		Ημέρα -2		Ημέρα 0	
	Επιπρόσθετα Οχήματα	Ποσοστό Αύξησης	Επιπρόσθετα Οχήματα	Ποσοστό Αύξησης	Επιπρόσθετα Οχήματα	Ποσοστό Αύξησης
60%	2	1,0%	-	-	-	-
70%	14	6,8%	13	6,3%	5	2,4%
80%	22	10,6%	24	11,6%	13	6,3%
90%	25	12,1%	27	13,0%	16	7,7%
100%	33	15,9%	34	16,4%	24	11,6%

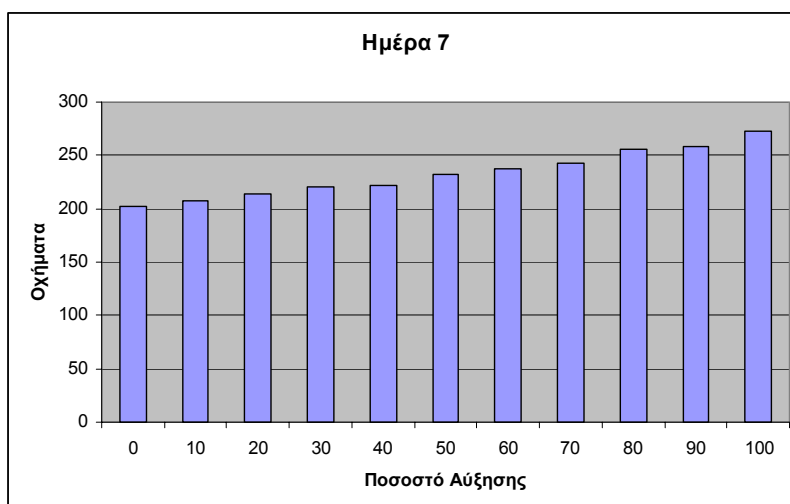
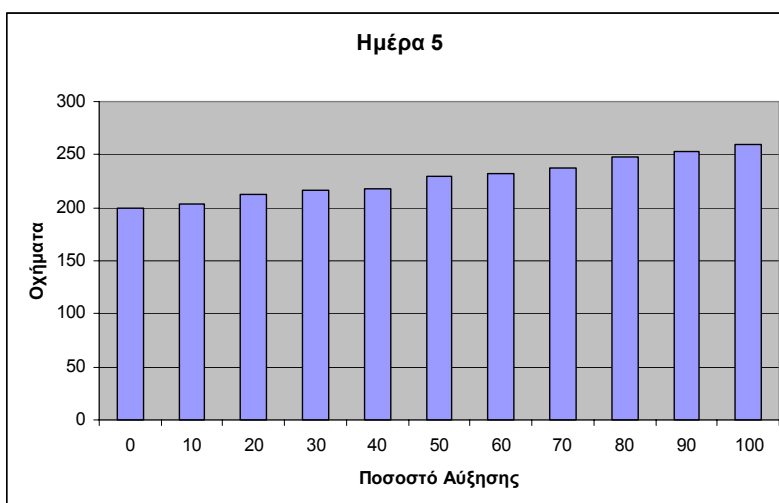
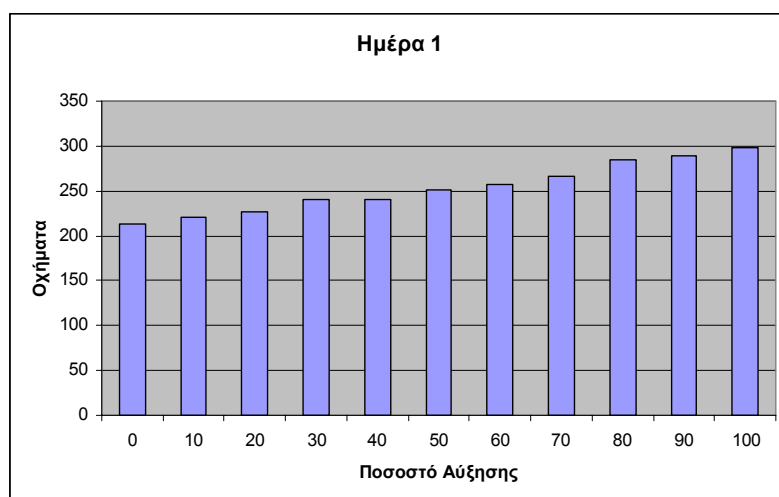
Από τον Πίνακα 3.13 παρατηρούμε ότι για μεταβολή των χρόνων διαδρομής κατά τις συγκεκριμένες ημέρες έως και 100% η μέγιστη μεταβολή των απαιτούμενων πόρων για την λειτουργία του δικτύου είναι της τάξης του 16,4 % και αντιστοιχεί σε 34 επιπλέον οχήματα κατά την ημέρα -2.

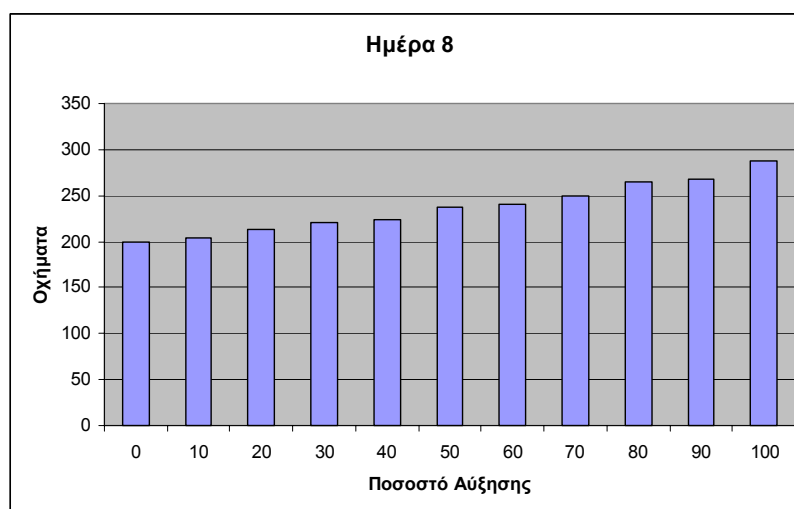
Κατά την διάρκεια του αγωνιστικού προγράμματος είναι φυσικό να παρατηρηθούν μεγαλύτερες μεταβολές στους χρόνους διαδρομών λόγω του αυξημένου κυκλοφοριακού φόρτου του οδικού δικτύου και λόγω της συνύπαρξης αγωνιστικών και προπονητικών υπηρεσιών μεταφορών. Ο Πίνακας 3.14 δείχνει τον αριθμό των επιπλέον απαιτούμενων οχημάτων και το αντίστοιχο ποσοστό αύξησης των πόρων σε σχέση με τον αριθμό των οχημάτων που υπολογίστηκε με βάση τους ονομαστικούς χρόνους διαδρομής για τις ημέρες 1, 5, 7 και 8 του αγωνιστικού προγράμματος (συμπεριλαμβάνονται αγωνιστικές και προπονητικές απαιτήσεις).

Πίνακας 3.14: Επιπρόσθετοι Πόροι βάσει Αύξησης Χρόνων Διαδρομής

Αύξηση Χρόνων Διαδρομής	Ημέρα 1		Ημέρα 5		Ημέρα 7		Ημέρα 8	
	Επιπρόσθετα Οχήματα	Ποσοστό Αύξησης	Επιπρόσθετα Οχήματα	Ποσοστό Αύξησης	Επιπρόσθετα Οχήματα	Ποσοστό Αύξησης	Επιπρόσθετα Οχήματα	Ποσοστό Αύξησης
0%	-	-	-	-	-	-	-	-
10%	7	3,3%	4	2,0%	5	2,5%	4	2,0%
20%	13	6,1%	13	6,5%	12	5,9%	13	6,5%
30%	27	12,7%	17	8,5%	19	9,4%	20	10,0%
40%	28	13,1%	18	9,0%	20	9,9%	23	11,5%
50%	38	17,8%	29	14,5%	30	14,9%	37	18,5%
60%	44	20,7%	32	16,0%	35	17,3%	40	20,0%
70%	54	25,4%	37	18,5%	41	20,3%	49	24,5%
80%	71	33,3%	48	24,0%	54	26,7%	65	32,5%
90%	76	35,7%	53	26,5%	56	27,7%	68	34,0%
100%	85	39,9%	60	30,0%	70	34,7%	87	43,5%

Στο Σχήμα 3.10 παρουσιάζεται η αύξηση των λεωφορειακών απαιτήσεων του δικτύου για τις ημέρες αυτές σε σχέση με την ποσοστιαία αύξηση των χρόνων διαδρομής.





Σχήμα 3.10: Διαγράμματα απαιτούμενων πόρων σε σχέση με την αύξηση των χρόνων διαδρομής

Από τα Σχήματα 3.9, 3.10 και τους Πίνακες 3.13, 3.14 παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη μεταβολή στον απαιτούμενο αριθμό οχημάτων συμβαίνει την ημέρα 8, με αύξηση της τάξης του 43,5%, δηλαδή 87 οχήματα πλέον των 200 οχημάτων για αύξηση 100% των χρόνων διαδρομής. Παρόλα αυτά η ημέρα 1 για το ίδιο ποσοστό αύξησης των χρόνων διαδρομής παρουσιάζει τον μεγαλύτερο απαιτούμενο αριθμό συνολικών πόρων, ο οποίος ισούται με 298 οχήματα. Συνεπώς η ημέρα 1 και η ημέρα 8 είναι οι ημέρες που θα καθορίσουν τον απαιτούμενο αριθμό των λεωφορειακών πόρων, καθώς και την ποιότητα των προσφερόμενων μεταφορικών υπηρεσιών.

4 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΛΕΩΦΟΡΕΙΩΝ

4.1 Εισαγωγή

Το Κεφάλαιο αυτό επικεντρώνεται στο πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων, δηλαδή, τον προγραμματισμό δρομολογίων και οχημάτων για κάθε χρονική περίοδο.

Στόχος του προγραμματισμού λεωφορείων είναι η ένωση συγκεκριμένων διαδοχικών δρομολογίων και η ανάθεση τους σε ένα όχημα. Τα δρομολόγια που ενώνονται θα αποτελούν τις υπηρεσίες του οχήματος για την συγκεκριμένη χρονική περίοδο⁸. Οι «αλυσίδες» δρομολογίων που δημιουργούνται χαρακτηρίζονται από:

- Τον χρόνο υπηρεσίας, που είναι ο χρόνος κατά τον οποίο το όχημα κινείται σε μια προεπιλεγμένη διαδρομή με επιβάτες, και από
- Τους νεκρούς χρόνους, που αναφέρονται α) σε μετακίνηση του οχήματος χωρίς επιβάτες (μετακινήσεις από αμαξοστάσιο προς αφετηρίες / τέρματα), ή β) σε χρόνους αναμονής σε αφετηρίες και τέρματα (χρόνοι αναμονής μέχρι το επόμενο δρομολόγιο).

Το επιθυμητό αποτέλεσμα του προγραμματισμού οχημάτων είναι η μείωση, όσο το δυνατόν, των συνολικών «νεκρών» χρόνων. Η μείωση νεκρού χρόνου συνεπάγεται μείωση των απαιτήσεων σε οχήματα και οδηγούς, δηλαδή, μείωση τόσο του λειτουργικού κόστους, όσο και του επενδεδυμένου, σε πάγια, κεφαλαίου.

Το αποτέλεσμα του προγραμματισμού οχημάτων εξάγει τις «αλυσίδες» δρομολογίων (μπλοκ οχημάτων) που θα εκτελεστούν ανά όχημα⁹. Στα εξελιγμένα πακέτα λογισμικού δρομολόγησης τα αποτελέσματα του προγραμματισμού λεωφορείων αποτυπώνονται σε μια σειρά αναφορών:

- Αναφορά δρομολογίων ανά γραμμή (βλέπε Σχήμα 4.1)
Περιέχει όλα τα διαδοχικά δρομολόγια (αριθμός μπλοκ, αφετηρία, τερματισμός και αντίστοιχοι χρόνοι άφιξης και αναχώρησης) που θα εξυπηρετήσουν την συγκεκριμένη γραμμή.
- Αναφορά μπλοκ οχημάτων (βλέπε Σχήμα 4.2)
Αποτελεί μια γραφική απεικόνιση των αλυσίδων δρομολογίων που δημιουργήθηκαν. Η γραφική απεικόνιση διευκολύνει τους δρομολογητές στην επέμβασή τους στα εξαγόμενα του προγραμματισμού δρομολογίων σύμφωνα με τις εκάστοτε ανάγκες. Με διαφορετικό χρώμα εμφανίζονται οι διαφορετικοί τύποι οχημάτων. Κάθε γραμμή της συγκεκριμένης αναφοράς αποτελείται από τα δρομολόγια εκείνα που έχουν ανατεθεί σε κάθε όχημα (χρωματισμένες γραμμές). Οι χρονικοί περίοδοι που αντιστοιχούν στις

⁸ Οι φορείς αστικών συγκοινωνιών προγραμματίζουν για χρονικό ορίζοντα μίας ημέρας.

⁹ Αξίζει να αναφερθεί ότι στο παρόν σημείο δεν καθορίζονται τα ακριβή οχήματα που θα εκτελέσουν το κάθε μπλοκ, αλλά ορίζονται οι υπηρεσίες οχημάτων που αργότερα θα καταναμεθούν στα οχήματα και τους οδηγούς, ονομαστικά.

ενδιάμεσες περιοχές των χρωματισμένων δρομολογίων αποτελούν νεκρούς χρόνους ή περιόδους όπου τα οχήματα βρίσκονται στο αμαξοστάσιο.

- Αναφορά δρομολογίων ανά οδηγό (βλέπε Σχήμα 4.3)

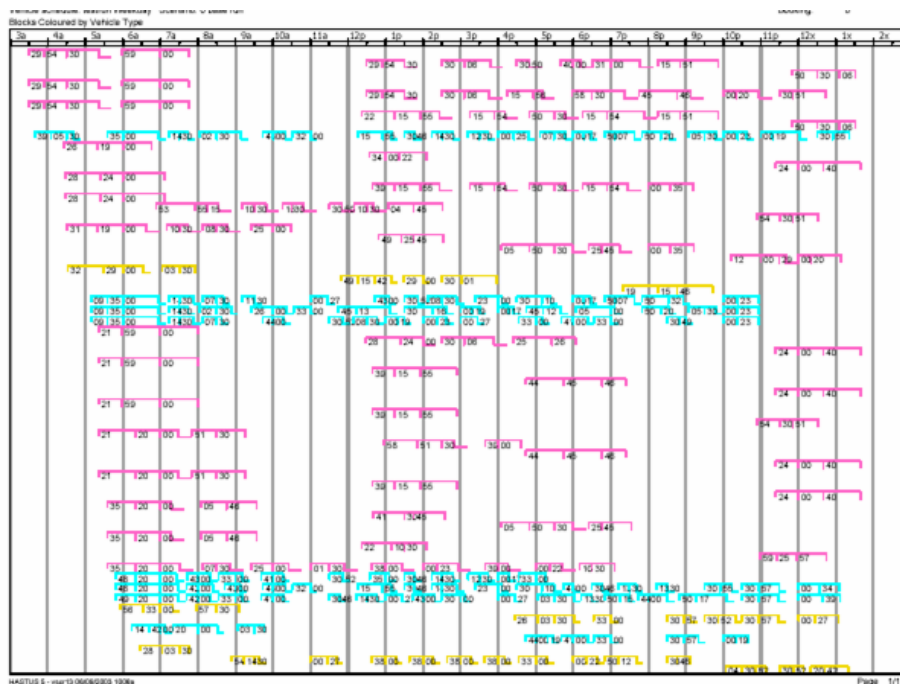
Περιέχει όλα τα δρομολόγια που θα εκτελέσει κάθε οδηγός. Σχετικές πληροφορίες που εμπεριέχονται είναι: Ο χρόνος και τόπος αναχώρησης και ο χρόνος και τόπος άφιξης κάθε δρομολογίου. Αποτελεί το έγγραφο που λαμβάνει κάθε οδηγός στην έναρξη της βάρδιας του για να εκτελέσει τις υπηρεσίες που του έχουν ανατεθεί.

- Αναφορά δρομολογίων ανά στάση (βλέπε Σχήμα 4.4)

Αποτελεί υποσύνολο της αναφοράς δρομολογίων ανά γραμμή. Παρέχει μόνο τις πληροφορίες εκείνες που κρίνονται απαραίτητες για τους επιβάτες.

Γραμμή: SCH ΟΛ.ΧΩΡΙΟ- ΣΧΙΝΙΑ ΚΑΝΟΕ ΚΑΓΙΑΚ								
Αμαξοστάσιο: AM ΔΕΚ ΑΜΑΞΟΣΤΑΣΙΟ ΔΕΚΕΛΕΙΑΣ								
Κατεύθυνση: 1 - 2								
Μπλοκ	Από	Σημ	OLV	SCH	SCH	OLV	Σημ	Μέχρι
1	(4:10)		4:30	5:15	5:25	6:10		
2	(4:25)		4:45	5:30	5:40	6:25		
3	(4:40)		5:00	5:45	5:55	6:40		
4	(4:45)		5:05	5:50	6:00	6:45		
5	(4:50)		5:10	5:55	6:05	6:50		
6	(4:55)		5:15	6:00	6:10	6:55		
7	(5:10)		5:30	6:15	6:25	7:10		
8	(5:14)		5:34	6:19	6:29	7:14		
9	(5:18)		5:38	6:23	6:33	7:18		
10	(5:22)		5:42	6:27	6:37	7:22		
11	(5:26)		5:46	6:31	6:41	7:26		
12	(5:30)		5:50	6:35	6:45	7:30		
13	(5:34)		5:54	6:39	6:49	7:34		
14	(5:38)		5:58	6:43	6:53	7:38		
15	(5:42)		6:02	6:47	6:57	7:42		
16	(5:55)		6:15	7:00	7:10	7:55		
1			6:30	7:15	7:25	8:10		
2			6:45	7:30	7:40	8:25		
4			7:00	7:45	7:55	8:40		
6			7:15	8:00	8:10	8:55		
8			7:30	8:15	8:25	9:10		
12			7:45	8:30	8:40	9:25		
15			8:00	8:45	8:55	9:40		
16			8:15	9:00	9:10	9:55		
1			8:30	9:15	9:25	10:10		
2			8:45	9:30	9:40	10:25		
6			9:15	10:00	10:10	10:55		
8			9:45	10:30	10:40	11:25		

Σχήμα 4.1: Αναφορά δρομολογίων ανά γραμμή (από πρόγραμμα HASTUS)



Σχήμα 4.2: Αναφορά μπλοκ οχημάτων (από πρόγραμμα HASTUS)

2A Καθημερινά	Duty Type ΣΥΝΕ 2	Block 2	Report Time 4:25	Start Place AM ΔΕΚ	Start Time 4:25	End Time 12:45	End Place OLV	Clear Time 12:45
Μπλοκ 2								
- ΑΜΑΞΟΣΤΑΣΙΟ ΔΕΚΕΛΕΙΑΣ.....			4:25			SCH ΟΛΥΜΠΙΑΚΟ ΧΩΡΙΟ.....		
ΟΛΥΜΠΙΑΚΟ ΧΩΡΙΟ.....			4:45			SCH ΣΧΙΝΙΑΣ ΚΑΝΟΕ ΚΑΓΙΑΚ -ΚΩΠΗ		
SCH ΟΛΥΜΠΙΑΚΟ ΧΩΡΙΟ.....			4:45			SCH ΣΧΙΝΙΑΣ ΚΑΝΟΕ ΚΑΓΙΑΚ -ΚΩΠΗ		
SCH ΣΧΙΝΙΑΣ ΚΑΝΟΕ ΚΑΓΙΑΚ -ΚΩΠΗ			5:30			SCH ΟΛΥΜΠΙΑΚΟ ΧΩΡΙΟ.....		
SCH ΟΛΥΜΠΙΑΚΟ ΧΩΡΙΟ.....			6:25			SCH ΣΧΙΝΙΑΣ ΚΑΝΟΕ ΚΑΓΙΑΚ -ΚΩΠΗ		
SCH ΟΛΥΜΠΙΑΚΟ ΧΩΡΙΟ.....			6:45			SCH ΣΧΙΝΙΑΣ ΚΑΝΟΕ ΚΑΓΙΑΚ -ΚΩΠΗ		
SCH ΣΧΙΝΙΑΣ ΚΑΝΟΕ ΚΑΓΙΑΚ -ΚΩΠΗ			7:30			SCH ΟΛΥΜΠΙΑΚΟ ΧΩΡΙΟ.....		
SCH ΟΛΥΜΠΙΑΚΟ ΧΩΡΙΟ.....			8:25					

Σχήμα 4.3: Αναφορά δρομολογίων ανά οδηγό (από πρόγραμμα HASTUS)

ΘΕΣΗ ΕΝΑΡΞΗΣ	ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	ΟΝΟΜΑ ΓΡΑΜΜΗΣ
OLV	4:30	SCH
OLV	4:45	SCH
OLV	5:00	SCH
OLV	5:05	SCH
OLV	5:10	SCH
OLV	5:15	SCH
OLV	5:15	EQU
OLV	5:30	EQU
OLV	5:30	SCH
OLV	5:34	SCH
OLV	5:38	SCH
OLV	5:42	SCH
OLV	5:45	EQU

Σχήμα 4.4: Αναφορά δρομολογίων ανά στάση (από πρόγραμμα HASTUS)

Στο παρόν κεφάλαιο αναπτύσσεται η δρομολόγηση μιας ενδεικτικής γραμμής του Συστήματος Διακίνησης Αθλητών & Συνοδών για επιλεγμένη ημέρα. Η δρομολόγηση εκτελείται σε δύο βήματα:

1. Εξαγωγή δρομολογίων από χρονοαποστάσεις
2. Σύνδεση δρομολογίων σε υπηρεσίες οχημάτων

Για το δεύτερο βήμα χρησιμοποιούνται δύο (2) ευρετικοί αλγόριθμοι. Τα αποτελέσματα των μεθόδων αυτών συγκρίνονται και εξάγονται σχετικά συμπεράσματα.

4.2 Εξαγωγή Δρομολογίων από Χρονοαποστάσεις

Από τις γραμμές που αναπτύχθηκαν στο Κεφάλαιο 3 επιλέχθηκε η γραμμή του Ολυμπιακού Γυμναστηρίου Άνω Λιοσίων (ANL). Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της γραμμής που είναι απαραίτητα για την δρομολόγηση των οχημάτων.

Πίνακας 4.1: Λειτουργικά Χαρακτηριστικά Γραμμής ANL

Γραμμή ANL (Ολυμπιακό Γυμναστήριο Άνω Λιοσίων)	
Χρόνος Διαδρομής	16 λεπτά
Χρόνος Αμαξοστασίου	15 λεπτά

Εκτός των λειτουργικών χαρακτηριστικών του Πίνακα 4.1, έχουν ληφθεί υπόψη και τα στοιχεία του Πίνακα 3.5.

Λόγω της υψηλής ζήτηση καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας η γραμμή αυτή απαιτεί μεγάλο πλήθος αναχωρήσεων τόσο κατά την πρωινή περίοδο όσο και κατά την απογευματινή. Οι χρονοαποστάσεις που ορίστηκαν για την συγκεκριμένη γραμμή για την ημέρα 1 του αγωνιστικού προγράμματος παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2. Τα στοιχεία αυτά μετατρέπονται σε ώρες αναχωρήσεων και αφίξεων των δρομολογίων από την αφετηρία (Πίνακας 4.3) ορίζοντας την πρώτη αναχώρηση και υπολογίζοντας τον χρόνο κυκλικής διαδρομής σύμφωνα με τον τύπο της Ενότητας 3.4.1 για τα ατομικά αθλήματα.

Πίνακας 4.2: Χρονοαποστάσεις Δρομολογίων Γραμμής ANL

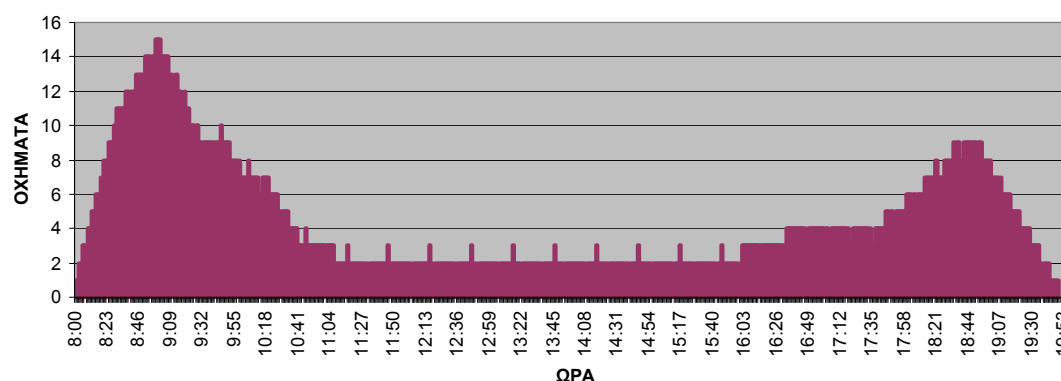
Από	Έως	Χρονοαπόσταση (λεπτά)
8:00	8:30	3
8:30	9:45	7
9:45	10:15	20
10:15	15:45	30
15:45	17:45	16
17:45	18:50	7

Πίνακας 4.3: Πίνακας Δρομολογίων της γραμμής ANL για την ημέρα 1 των Αγώνων

#	Αναχώρηση	Άφιξη	#	Αναχώρηση	Άφιξη	#	Αναχώρηση	Άφιξη
1	8:00	9:01	19	9:26	10:27	37	16:17	17:18
2	8:03	9:04	20	9:33	10:34	38	16:33	17:34
3	8:06	9:07	21	9:40	10:41	39	16:49	17:50
4	8:09	9:10	22	9:45	10:46	40	17:05	18:06
5	8:12	9:13	23	10:05	11:06	41	17:21	18:22
6	8:15	9:16	24	10:15	11:16	42	17:37	18:38
7	8:18	9:19	25	10:45	11:46	43	17:45	18:46
8	8:21	9:22	26	11:15	12:16	44	17:52	18:53
9	8:24	9:25	27	11:45	12:46	45	17:59	19:00
10	8:27	9:28	28	12:15	13:16	46	18:06	19:07
11	8:30	9:31	29	12:45	13:46	47	18:13	19:14
12	8:37	9:38	30	13:15	14:16	48	18:20	19:21
13	8:44	9:45	31	13:45	14:46	49	18:27	19:28
14	8:51	9:52	32	14:15	15:16	50	18:34	19:35
15	8:58	9:59	33	14:45	15:46	51	18:41	19:42
16	9:05	10:06	34	15:15	16:16	52	18:48	19:49
17	9:12	10:13	35	15:45	16:46			
18	9:19	10:20	36	16:01	17:02			

Τα παραπάνω δεν αποτελούν τον πίνακα δρομολογίων που αναρτάται στις αφετηρίες, αλλά τα στοιχεία που απαιτούνται για την δρομολόγηση οχημάτων. Σημειώνεται ότι οι παραπάνω χρόνοι αφίξεων και αναχωρήσεων αφορούν κυκλικές διαδρομές, στις οποίες η αφετηρία είναι ταυτόσημη με το τέρμα. Κατά συνέπεια και οι δύο χρόνοι (αναχώρησης και άφιξης) αντιστοιχούν στο κοινό σημείο αφετηρίας – τέρματος. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό απλοποιεί το πρόβλημα καθότι δεν απαιτούνται μετακινήσεις οχημάτων από τέρμα σε αφετηρία, κλπ, καθότι μετά την άφιξη κάθε όχημα είναι άμεσα διαθέσιμο για ανάθεση σε επόμενο δρομολόγιο.

Στο Σχήμα 4.5 παρουσιάζεται ο υπολογισμός των ενεργών δρομολογίων ανά χρονική στιγμή με βάση τον Πίνακα 4.3. Από τον πίνακα αυτό μπορούμε να βρούμε άμεσα το συνολικό πλήθος απαιτούμενων οχημάτων για την εν λόγω γραμμή. Ο αριθμός αυτός ισούται με το μέγιστο πλήθος εκτελούμενων δρομολογίων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση της γραμμής ANL παρατηρείται ότι απαιτείται πλήθος 15 οχημάτων για την εκτέλεση των δρομολογίων κατά την περίοδο της πρωινής αιχμής.



Σχήμα 4.5: Πλήθος ενεργών δρομολογίων ανά χρονική στιγμή

Σημειώνεται ότι τα ανωτέρω οχήματα εκτελούν ενεργά δρομολόγια, στα οποία δεν περιλαμβάνονται οι χρόνοι των διαδρομών από το αμαξοστάσιο. Τα οχήματα που εκτελούν διαδρομές αμαξοστασίου δεν είναι δυνατόν να παρουσιασθούν σε αυτή την φάση καθώς δεν είναι ακόμα γνωστή η αλληλουχία των συνδεδεμένων δρομολογίων. Παρόλα αυτά ο μέγιστος απαιτούμενος αριθμός οχημάτων είναι ο ίδιος με αυτόν του Σχήματος 4.5 καθώς κατά την αιχμή δεν υπάρχουν οχήματα που εκτελούν δρομολόγια από και προς το αμαξοστάσιο.

Οι απότομες κορυφές που παρουσιάζονται, κυρίως μεταξύ 11:00 και 16:00 οφείλονται σε δρομολόγια που αναχωρούν λίγα λεπτά προτού αφιχθεί κάποιο άλλο δρομολόγιο. Οι κορυφές αυτές μπορούν να διορθωθούν μετακινώντας τα αντίστοιχα δρομολόγια λίγα λεπτά προς τα εμπρός ή προς τα πίσω. Η διαδικασία αυτή θα πρέπει να δοκιμασθεί και για τη μέγιστη αιχμή με τον στόχο να εξοικονομηθεί (ενδεχόμενα) ένα όχημα.

4.3 Σύνδεση Δρομολογίων (Vehicle Blocking)

Θα παρουσιάσουμε δύο ευρετικές μεθόδους για την σύνδεση δρομολογίων και ανάθεση των αποτελεσμάτων σε οχήματα. Σκοπός των προσεγγίσεων αυτών είναι η δημιουργία αλυσίδων δρομολογίων που θα εκτελεστούν από κάθε όχημα. Παρότι ο συνολικός αριθμός των απαιτούμενων οχημάτων παραμένει ίδιος και στις δύο προσεγγίσεις η κάθε προσέγγιση προσδίδει διαφορετικά χαρακτηριστικά στον λειτουργικό σχεδιασμό της δρομολόγησης.

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 2, ο προγραμματισμός αστικών συγκοινωνιών δεν μπορεί να αντιμετωπισθεί μονολιθικά, λόγω πολυπλοκότητας, και για τον λόγο αυτό διασπάται σε υποπροβλήματα. Η χρησιμοποίηση ενός αλγορίθμου βέλτιστης επίλυσης του προγραμματισμού λεωφορείων για το σύνολο των δημιουργημένων δρομολογίων κάθε ημέρας του αγωνιστικού και προπονητικού προγράμματος θα καθιστούσε χρονοβόρα την διενέργεια αλλαγών στα δρομολόγια και τις συχνότητες τους και θα παρείχε επιπρόσθετη πολυπλοκότητα στις δημιουργημένες «αλυσίδες» δρομολογίων. Για τον λόγο αυτό παρουσιάζονται 2 ευρετικοί αλγόριθμοι (παρότι στο Κεφάλαιο 2 γίνεται αναφορά σε βιβλιογραφικές έρευνες βέλτιστης επίλυσης του προβλήματος) με μικρό χρόνο επίλυσης ακόμα και για μεγάλα πλήθη δρομολογίων.

4.3.1 Τελευταίο – Πρώτο (Last In First Out – LIFO)

Ο εν λόγω κανόνας στοχεύει στο να ανατίθενται τα άμεσα διαθέσιμα δρομολόγια στα οχήματα που παρουσιάστηκαν τελευταία στην αφετηρία. Με την τακτική αυτή ορισμένα οχήματα έχουν όσο το δυνατόν περισσότερο φορτωμένο πρόγραμμα με αποτέλεσμα τα υπόλοιπα οχήματα να είναι σε θέση να επιστρέψουν στο αμαξοστάσιο. Το βασικό πλεονέκτημα την προσέγγισης αυτής είναι η αποσυμφόρηση της αφετηρίας ή του σταθμού μετεπιβίβασης.

Έστω ένα σύνολο N δρομολογίων. Κάθε δρομολόγιο περιγράφεται από δύο χαρακτηριστικά: Την ώρα αναχώρησης από την αφετηρία και την ώρα άφιξης στην

αφετηρία. Η υλοποίηση του αλγορίθμου LIFO διεξήχθη σε υπολογιστικό περιβάλλον JAVA με τον τρόπο που περιγράφεται κάτωθι:

Από την ώρα αναχώρησης του 1^{ου} δρομολογίου έως τη ώρα άφιξης του τελευταίου δρομολογίου, ένας εσωτερικός μετρητής του προγράμματος προσομοιώνει τον χρονικό ορίζοντα μετρώντας ανά λεπτό. Μια λίστα¹⁰ Q περιέχει τα δρομολόγια τα οποία στην χρονική στιγμή t έχουν επιστρέψει στην αφετηρία και δεν έχουν συνδεθεί με άλλα δρομολόγια μέχρι την στιγμή αυτή. Ακόμα, δημιουργείται ο πίνακας «Blocks». Η κάθε γραμμή του πίνακα αυτού αντιστοιχεί σε ένα όχημα και τα στοιχεία της κάθε γραμμής, με το πέρας του αλγορίθμου περιέχουν τα διαδοχικά δρομολόγια που θα εκτελέσει το κάθε όχημα. Για την συμπλήρωση του Πίνακα *Blocks* ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

1^ο βήμα: Ο αλγόριθμος αρχικοποιείται την χρονική στιγμή της πρώτης αναχώρησης δρομολογίου και τίθεται:

$t = \text{Ώρα αναχώρησης πρώτου δρομολογίου.}$

2^ο βήμα: Αν την χρονική στιγμή t υπάρχει αναχώρηση κάποιου δρομολογίου K , τότε:

Αν η λίστα Q είναι άδεια, καλείται όχημα από το αμαξοστάσιο (στο σημείο αυτό προστίθεται μια σειρά στον πίνακα *Blocks*). Στην νέα σειρά του πίνακα *Blocks* τοποθετείται ο αριθμός του δρομολογίου αυτού (δηλαδή το K) στο πρώτο στοιχείο της σειράς αυτής. Το στοιχείο αυτό αποτελεί το πρώτο δρομολόγιο του νέου οχήματος.

Αλλιώς αν η λίστα Q περιέχει στοιχεία τότε αφαιρείται το δρομολόγιο που βρίσκεται στην κορυφή της (Εστω ότι βρίσκεται το δρομολόγιο M). Στην συνέχεια στον πίνακα *Blocks*, στην σειρά που βρίσκεται το δρομολόγιο M , τοποθετείται ως επόμενο στοιχείο του δρομολογίου M το δρομολόγιο K . Το M αποτελεί το δρομολόγιο που θα εκτελέσει το όχημα με το πέρας του δρομολογίου K .

3^ο βήμα: Αν υπάρχει άφιξη του δρομολογίου N , τότε στην κορυφή της λίστας Q τοποθετείται το δρομολόγιο N .

4^ο βήμα: Αν δεν υπάρχει ούτε αναχώρηση ούτε άφιξη δρομολογίου, τότε πηγαινε στο 5^ο βήμα.

5^ο βήμα: Επόμενη χρονική στιγμή ($t = t + 1$)

Αν $t = \text{Ώρα άφιξης τελευταίου δρομολογίου}$ τότε τερματίζει ο αλγόριθμος

Αλλιώς πηγαινε στο 2^ο βήμα.

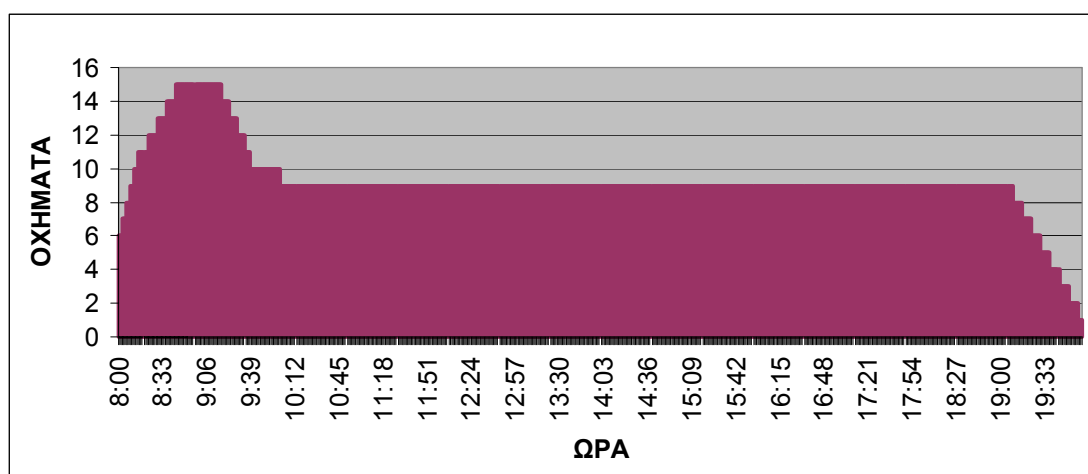
¹⁰ Στην περίπτωση του αλγορίθμου LIFO αναφέρεται, συνήθως, ως στίβα

Με την εφαρμογή του παραπάνω αλγορίθμου στα στοιχεία του Πίνακα 4.3 δημιουργούνται οι αλυσίδες των δρομολογίων που ανατίθενται σε κάθε όχημα που «τραβήχτηκε» από το αμαξοστάσιο. Τα οχήματα και τα δρομολόγια που θα εκτελέσουν παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4. Κάθε γραμμή περιλαμβάνει τα διαδοχικά δρομολόγια που θα εκτελεστούν από ένα όχημα. Εκτός από τα διαδοχικά δρομολόγια ανά όχημα, δίνονται και οι αρχικοί και τελικοί χρόνοι διαδρομής από και προς το αμαξοστάσιο. Οι αριθμοί δρομολογίων αντιστοιχούν σε αυτούς του Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.4: Αλυσίδες (blocks) δρομολογίων

Block	Αναχώρηση από Αμαξοστάσιο	επιστροφή σε Αμαξοστάσιο	Διαδοχικά Δρομολόγια ανά Όχημα									
1	8:15	20:04	11	20	43	52						
2	8:12	19:57	10	22	38	42	51					
3	8:36	19:50	14	50								
4	8:22	19:43	12	21	25	28	31	34	37	41	49	
5	7:48	19:36	2	16	48							
6	7:54	19:29	4	17	24	27	30	33	36	40	47	
7	8:00	19:22	6	18	46							
8	8:09	19:15	9	19	45							
9	8:43	19:08	15	23	26	29	32	35	39	44		
10	8:29	10:00	13									
11	8:06	9:37	8									
12	8:03	9:34	7									
13	7:57	9:28	5									
14	7:51	9:22	3									
15	7:45	9:16	1									

Σύμφωνα με αυτήν την δρομολόγηση η χρήση ορισμένων οχημάτων παρουσιάζεται αυξημένη λόγω της συνεχόμενης ανάθεσης δρομολογίων σε αυτά. Το Σχήμα 4.6 παρουσιάζει την χρήση των οχημάτων καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας. Από το Σχήμα αυτό παρατηρείται ότι τα οχήματα της δεύτερης αιχμής (φαίνονται στο Σχήμα 4.5) διατηρούνται εν ενεργεία καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας. Εκείνα τα οχήματα που δεν εκτελούν δρομολόγια παραμένουν στην αφετηρία.



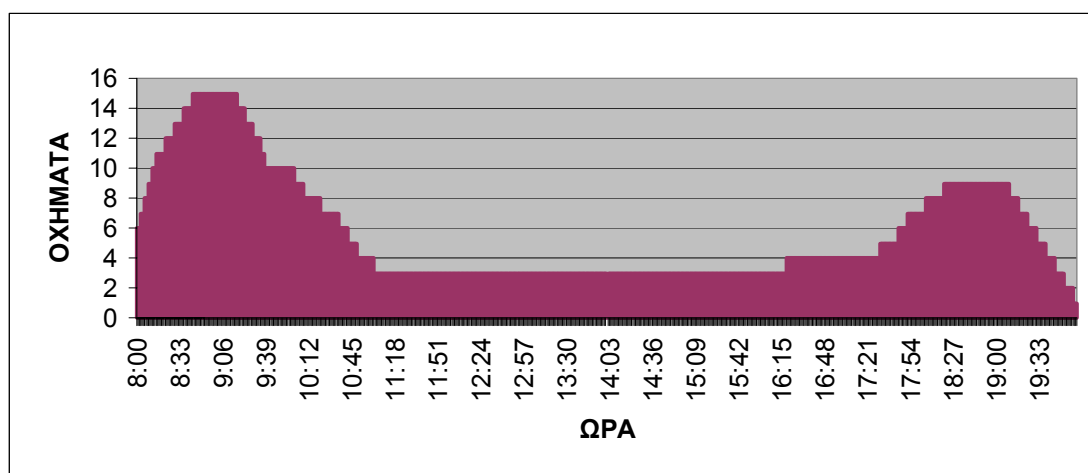
Σχήμα 4.6: Απαιτούμενα Οχήματα (LIFO) (Συμπεριλαμβάνεται ο χρόνος από/ προς το αμαξοστάσιο του κάθε block)

Όπως είχε προβλεφθεί ο αριθμός των συνολικών απαιτούμενων οχημάτων έχει παραμείνει ίδιος με αυτόν του Σχήματος 4.5. Στην συγκεκριμένη δρομολόγηση έχουμε **3519 λεπτά** «νεκρών» χρόνων από τα οποία τα **450 λεπτά** αφορούν χρόνους διαδρομών από και προς το αμαξοστάσιο ($15 \text{ οχήματα} \times 15 \text{ λεπτά} \times 2$) και τα υπόλοιπα **3069 λεπτά** αφορούν χρόνους παραμονής των οχημάτων στην αφετηρία.

Λόγω του τρόπου σύνδεσης των δρομολογίων (το τελευταίο λεωφορείο που αφίκνυται στην αφετηρία αναχωρεί πρώτο), κάποια οχήματα εκτελούν δρομολόγια συνεχώς και για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Άλλα, όμως, οχήματα παραμένουν στην αφετηρία για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Τα οχήματα αυτά μπορούν να αποσταλούν στο αμαξοστάσιο επιτρέποντας την αποσυμφόρηση της αφετηρίας που, στην περίπτωση του ακτινικού δικτύου, αποτελεί επιτακτική ανάγκη (βλέπε Κεφάλαιο 2.2).

Με βάση την παραπάνω τακτική αναθεωρούνται τα αποτελέσματα του Σχήματος 4.6. Στην αναθεωρημένη δρομολόγηση, αφαιρούνται τα οχήματα που έχουν χρόνο παραμονής στην αφετηρία μεγαλύτερο από 90 λεπτά. Τα οχήματα αυτά επιστρέφουν στο αμαξοστάσιο. Η επιλογή της τιμής των 90 λεπτών βασίζεται στο χρόνο διαδρομής μεταξύ αμαξοστασίου και αφετηρίας που ισούται με 15 λεπτά.

Τα αναθεωρημένα blocks των οχημάτων προέρχονται από τα προηγούμενα blocks, από τα οποία μερικά έχουν διαχωριστεί αφού αφαιρέθηκαν οι μεγάλες περίοδοι (long arcs) στην αφετηρία. Τα αποτελέσματα της αναθεώρησης του προγράμματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.7 και στον Πίνακα 4.5. Ο αριθμός των συνολικών απαιτούμενων οχημάτων έχει παραμείνει, φυσικά, ίδιος. Στην συγκεκριμένη δρομολόγηση έχουμε **987 λεπτά** «νεκρών» χρόνων από τα οποία τα **630 λεπτά** αφορούν χρόνους διαδρομών από και προς το αμαξοστάσιο και τα υπόλοιπα **357 λεπτά** αφορούν χρόνους παραμονής των οχημάτων στην αφετηρία.



Σχήμα 4.7: Απαιτούμενα οχήματα αναθεωρημένου προγράμματος. Συμπεριλαμβάνεται ο χρόνος από/προς το αμαξοστάσιο

Επισημαίνεται ότι με την παραπάνω τακτική έχουν δημιουργηθεί ασυνεχείς υπηρεσίες οχημάτων καθότι ορισμένα οχήματα επιστρέφουν στο αμαξοστάσιο και αργότερα επανέρχονται στην αφετηρία για να συνεχίσουν τις υπηρεσίες τους.

Πίνακας 4.5: Αλυσίδες (blocks) δρομολογίων με αναθεωρημένη τακτική 'LIFO'

Block	Αναχώρηση από Αμαξοστάσιο	Επιστροφή σε Αμαξοστάσιο	Διαδοχικά Δρομολόγια ανά Όχημα									
1	8:15	10:49	11	20								
2	8:12	11:01	10	22								
3	8:36	10:07	14									
4	8:22	19:43	12	21	25	28	31	34	37	41	49	
5	7:48	10:21	2	16								
6	7:54	19:29	4	17	24	27	30	33	36	40	47	
7	8:00	10:35	6	18								
8	8:09	10:42	9	19								
9	8:43	19:08	15	23	26	29	32	35	39	44		
10	17:30	20:04	13									
11	8:29	10:00	8									
12	8:06	9:37	7									
13	8:03	9:34	5									
14	7:57	9:28	3									
15	7:51	9:22	1									
16	7:45	9:16	38	42	51							
17	16:18	19:57	50									
18	18:19	19:50	48									
19	18:05	19:36	46									
20	17:51	19:22	45									
21	17:44	19:15	11	20								

Τέλος, επισημαίνονται τα εξής:

- Οι ασυνεχείς υπηρεσίες που δημιουργήθηκαν είναι ανεξάρτητες και μπορούν να συνδεθούν με μπλοκ οχημάτων και από άλλες λεωφορειακές γραμμές
- Καθότι στον προγραμματισμό οχημάτων μας ενδιαφέρει και η συνολική διάρκεια των υπηρεσιών που θα εκτελέσει μια βάρδια (χρόνος εργασίας οδηγών) είναι δυνατόν να συνδεθούν οι ασυνεχείς υπηρεσίες (αν το επιτρέπουν οι αναχωρήσεις και οι αφίξεις) ούτως ώστε να επιτυγχάνουμε συνολική διάρκεια υπηρεσιών των οχημάτων που να προσεγγίζει τον επιθυμητό χρόνο βάρδιας.

4.3.2 Πρώτο – Πρώτο (First In First Out – FIFO)

Ο εν λόγω κανόνας στοχεύει στο να ανατίθενται τα άμεσα διαθέσιμα δρομολόγια στα οχήματα που παρουσιάστηκαν πρώτα στην αφετηρία. Με την τακτική αυτή επιτυγχάνεται ισοκατανομή των δρομολογίων στα οχήματα με αποτέλεσμα την διαρκή απασχόληση των οχημάτων καθ' όλη την διάρκεια την ημέρας.

Ο αλγόριθμος υλοποίησης του κανόνα FIFO είναι παρόμοιος με τον αλγόριθμο της Ενότητας 4.3.1 με την διαφορά ότι κατά την αφαίρεση δρομολογίου από την λίστα Q των οχημάτων που αναμένουν στην αφετηρία για ανάθεση υπηρεσίας, κατά το 2^ο βήμα, επιλέγεται το όχημα που βρίσκεται στην τέλος της λίστας (και όχι στην κορυφή όπως στην τακτική LIFO), δηλαδή το όχημα που έχει παρουσιασθεί πρώτο στην

αφετηρία. Με τον τρόπο αυτό το όχημα που εισήλθε νωρίτερα στην αφετηρία είναι και το όχημα που θα αναλάβει το αμέσως επόμενο διαθέσιμο δρομολόγιο.

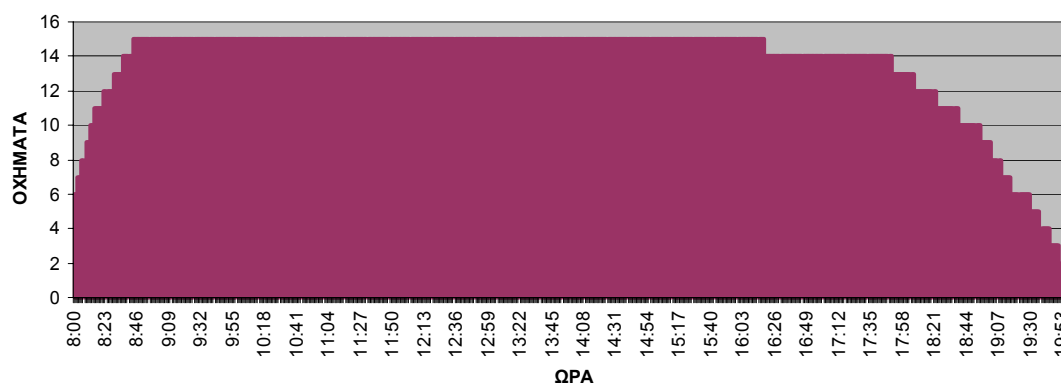
Χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης προσέγγισης είναι η ομοιόμορφη κατανομή των δρομολογίων στα οχήματα με αποτέλεσμα την συνεχή απασχόληση του συνόλου των οχημάτων και την αυξημένη συμφόρηση της αφετηρίας, λόγω του ότι τα οχήματα αναγκάζονται να παραμένουν στην αφετηρία.

Ο Πίνακας 4.6 και το Σχήμα 4.8 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα του αλγορίθμου που υλοποιεί την τακτική FIFO.

Πίνακας 4.6: Αλυσίδες (blocks) δρομολογίων με την τακτική 'FIFO'

Block	Αναχώρηση από Αμαξοστάσιο	Επιστροφή σε Αμαξοστάσιο	Διαδοχικά Δρομολόγια ανά Όχημα			
1	7:45	19:22	1	16	31	46
2	7:48	19:29	2	17	32	47
3	7:51	19:36	3	18	33	48
4	7:54	19:43	4	19	34	49
5	7:57	19:50	5	20	35	50
6	8:00	19:57	6	21	36	51
7	8:03	20:04	7	22	37	52
8	8:06	17:49	8	23	38	
9	8:09	18:05	9	24	39	
10	8:12	18:21	10	25	40	
11	8:15	18:37	11	26	41	
12	8:22	18:53	12	27	42	
13	8:29	19:01	13	28	43	
14	8:36	19:08	14	29	44	
15	8:43	19:15	15	30	45	

Από τον Πίνακα 4.6 παρατηρείται ότι όλες οι υπηρεσίες οχημάτων είναι, όσο το δυνατόν, ομοιόμορφα κατανεμημένες. Από το Σχήμα 4.8 επιβεβαιώνεται η χρησιμοποίηση του συνόλου του στόλου κατά την μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας που καλύπτει την χρονική περίοδο ανάμεσα στις δύο αιχμές. Σε αντίθεση με την περίπτωση της Ενότητας 4.3.1 (στην τακτική LIFO η απογευματινή αιχμή καθόριζε την όγκο των οχημάτων που είναι δεσμευμένα στην διάρκεια της ημέρας) παρατηρείται ότι η πρωινή αιχμή είναι αυτή που καθορίζει την χρήση των οχημάτων στην διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 4.8: Απαιτούμενα Οχήματα (FIFO) (Συμπεριλαμβάνεται ο χρόνος από/ προς το αμαξοστάσιο των blocks οχημάτων)

Ο αριθμός των συνολικών απαιτούμενων οχημάτων έχει παραμείνει ίδιος. Στην συγκεκριμένη δρομολόγηση έχουμε **6728 λεπτά** «νεκρών» χρόνων από τα οποία τα **450 λεπτά** αφορούν χρόνους διαδρομών από και προς το αμαξοστάσιο ($15 \text{ οχήματα} \times 15 \text{ λεπτά} \times 2$) και τα υπόλοιπα **6278 λεπτά** αφορούν χρόνους παραμονής των οχημάτων στην αφετηρία.

Χρησιμοποιείται και εδώ, η τακτική της Ενότητας 4.3.1 για την αναθεώρηση των αποτελεσμάτων του Πίνακα 4.6 και του Σχήματος 4.8. Στην νέα δρομολόγηση αφαιρούνται όλοι οι «νεκροί» χρόνοι που σχετίζονται με χρόνο παραμονής στην αφετηρία μεγαλύτερο από 90 λεπτά. Τονίζεται ότι λόγω των χαρακτηριστικών του παρόντος δικτύου (όπως είναι μικρός χρόνος διαδρομής αμαξοστασίου, λίγα δρομολόγια κτλ.) πολλά blocks αποσυντίθενται στα συστατικά τους. Ο Πίνακας 4.7 παρουσιάζει τα αποτελέσματα του αναθεωρημένου προγράμματος.

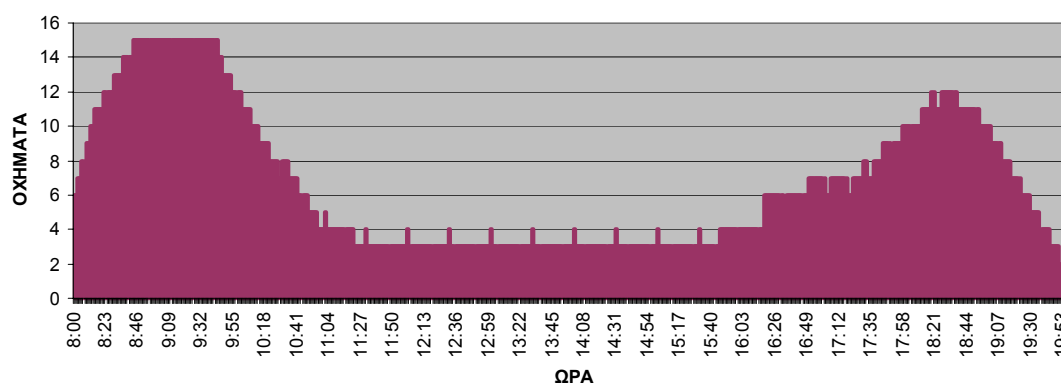
Πίνακας 4.7: Αλυσίδες (blocks) Δρομολογίων

Block	Αναχώρηση από Αμαξοστάσιο	Επιστροφή σε Αμαξοστάσιο	Διαδοχικά Δρομολόγια ανά Όχημα	
1	7:45	10:21	1	16
2	7:48	10:28	2	17
3	7:51	10:35	3	18
4	7:54	10:42	4	19
5	7:57	10:49	5	20
6	8:00	10:56	6	21
7	8:03	11:01	7	22
8	8:06	11:21	8	23
9	8:09	11:31	9	24
10	8:12	9:43	10	
11	8:15	9:46	11	
12	8:22	9:53	12	
13	8:29	10:00	13	
14	8:36	10:07	14	
15	8:43	10:14	15	
16	10:30	12:01	25	
17	11:00	12:31	26	
18	11:30	13:01	27	
19	12:00	13:31	28	
20	12:30	14:01	29	
21	13:00	14:31	30	
22	13:30	15:01	31	
23	14:00	15:31	32	
24	14:30	16:01	33	
25	15:00	16:31	34	
26	15:30	17:01	35	
27	15:46	17:17	36	
28	16:02	17:33	37	
29	16:18	17:49	38	
30	16:34	18:05	39	
31	16:50	18:21	40	
32	17:06	18:37	41	

Block	Αναχώρηση από Αμαξοστάσιο	Επιστροφή σε Αμαξοστάσιο	Διαδοχικά Δρομολόγια ανά Όχημα	
33	17:22	18:53	42	
34	17:30	19:01	43	
35	17:37	19:08	44	
36	17:44	19:15	45	
37	17:51	19:22	46	
38	17:58	19:29	47	
39	18:05	19:36	48	
40	18:12	19:43	49	
41	18:19	19:50	50	
42	18:26	19:57	51	
43	18:33	20:04	52	

Παρατηρούμε ότι σε σύνολο 52 δρομολογίων σχηματίζονται 43 blocks. Σημειώνεται, όμως, ότι το συγκεκριμένο φαινόμενο οφείλεται στα χαρακτηριστικά του δικτύου που μελετείται. Σε συνθήκες δρομολόγησης Δημοσίων Αστικών Συγκοινωνιών ο χρόνος παραμονής ενός οχήματος στην αφετηρία που θεωρείται το κατώφλι για την αποστολή του στο αμαξοστάσιο κυμαίνεται στις 3 ώρες. Οπότε το μεγάλο αυτό χρονικό όριο σε συνδυασμό με ένα αρκετά μεγάλο πλήθος δρομολογίων δημιουργεί καλύτερες συνδέσεις δρομολογίων από αυτές που εξάχθηκαν για την γραμμή ANL.

Το Σχήμα 4.9 παρουσιάζει την χρήση των οχημάτων σε αυτήν την περίπτωση.



Σχήμα 4.9: Απαιτούμενα Οχήματα (Συμπεριλαμβάνεται ο χρόνος από/ προς το αμαξοστάσιο)

Ο αριθμός των συνολικών απαιτούμενων οχημάτων έχει παραμείνει, φυσικά, ο ίδιος. Η συγκεκριμένη δρομολόγηση αντιστοιχεί σε **1493 λεπτά** «νεκρών» χρόνων από τα οποία τα **1290 λεπτά** αφορούν χρόνους διαδρομών από και προς το αμαξοστάσιο και τα υπόλοιπα **203 λεπτά** αφορούν χρόνους παραμονής των οχημάτων στην αφετηρία.

4.3.3 Σύγκριση FIFO, LIFO και Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα των δύο τακτικών που ακολουθήθηκαν παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά. Στον Πίνακα 4.8 παρουσιάζεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων των αναθεωρημένων προγραμμάτων μετά την αφαίρεση των «μεγάλων ακμών», η

οποία οδηγεί σε σημαντικότερες μειώσεις των χρόνων παραμονής στην αφετηρία, αλλά αύξηση των χρόνων από και προς το αμαξοστάσιο.

Πίνακας 4.8: Χαρακτηριστικά αναθεωρημένων προγραμμάτων δρομολόγησης (λεπτά)

	LIFO	FIFO
Πλήθος Οχημάτων	15	15
Ωφέλιμος Χρόνος Διαδρομής	3172	3172
Χρόνος από/ προς αμαξοστάσιο	630	1290
Χρόνος Παραμονής σε Αφετηρία	357	203
Συνολικός Νεκρός Χρόνος	987	1493

Συγκρίνοντας το αρχικό και το αναθεωρημένο πρόγραμμα για την κάθε μια τακτική, παρατηρείται η τάξη της μείωσης του συνολικού νεκρού χρόνου, που είναι άλλωστε και το τελικό ζητούμενο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.9.

Πίνακας 4.9: Ποσοστά μεταβολής χαρακτηριστικών προγραμμάτων δρομολόγησης

	LIFO	FIFO
Χρόνος από/ προς αμαξοστάσιο	40 %	187 %
Χρόνος Παραμονής σε Αφετηρία	-88 %	-97 %
Συνολικός Νεκρός Χρόνος	-72 %	-78 %

Για την επιλογή της προτεινόμενης δρομολόγησης πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η λεωφορειακή γραμμή που μελετήθηκε αποτελεί μέρος ενός μεγάλου ακτινικού δικτύου με ένα κέντρο που χρησιμοποιείται ως αφετηρία και τέρμα. Η μορφή αυτή του δικτύου, καθώς και ο περιορισμένος χώρος του τερματικού σταθμού του δικτύου κάνουν το αναθεωρημένο πρόγραμμα της τακτικής FIFO αποδεκτό προς υλοποίηση παρά το γεγονός ότι δεν παρουσιάζει τον ελάχιστο συνολικό χρόνο. Η απόφαση αυτή έγκειται στο ότι:

- η συγκεκριμένη τακτική έχει τον ελάχιστο χρόνο παραμονής στην αφετηρία, με αποτέλεσμα σε αυτήν να βρίσκεται ο ελάχιστος αριθμός οχημάτων ανά πάσα στιγμή
- παρότι που ο χρόνος διαδρομής από/ προς το αμαξοστάσιο είναι αυξημένος σε σχέση με την αναθεωρημένη τακτική LIFO, το αμαξοστάσιο είναι αρκετά κοντά στην αφετηρία, μειώνοντας τον κίνδυνο να χαθούν δρομολόγια λόγω κυκλοφοριακών προβλημάτων στην διαδρομή αφετηρίας – αμαξοστασίου.

Ολοκληρώνοντας, να τονισθεί ότι υπάρχει η δυνατότητα εύρεσης βέλτιστης λύσης του προβλήματος που μελετείται, μέσω μεθόδων γραμμικού προγραμματισμού. Ο αλγόριθμος που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2.4 δύναται να εφαρμοστεί στην επίλυση προβλημάτων δρομολόγησης οχημάτων με ένα αμαξοστάσιο (SDVSP).

Στις ενότητες 4.3.1 και 4.3.2 παρουσιάστηκαν δύο ευρετικές μέθοδοι προγραμματισμού οχημάτων, οι οποίες εφαρμόστηκαν σε μια λεωφορειακή γραμμή από τις 78 γραμμές του λεωφορειακού δικτύου που μελετήθηκε. Ο βέλτιστος προγραμματισμός ενός τέτοιου συγκοινωνιακού δικτύου εμπεριέχει και την σύνδεση δρομολογίων οι οποίες ανήκουν σε διαφορετικές λεωφορειακές γραμμές. Η δυνατότητα αυτή παρέχει καλύτερες λύσεις μιας και επιτυγχάνεται καλύτερη σύνδεση

των δρομολογίων αλλά, παράλληλα, αυξάνει δραματικά τα δεδομένα που πρέπει να αναλυθούν ταυτόχρονα.

Όπως τονίσθηκε και στο Κεφάλαιο 2 η βελτιστοποίηση του προγραμματισμού λεωφορείων δεν αποτελεί, απαραίτητα, και την βέλτιστη ποιοτικά λύση για την διαχείριση του δικτύου καθότι υπάρχουν παράγοντες που δεν μπορούν να ληφθούν υπόψη κατά την διενέργεια του. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.1, ο προγραμματισμός υπηρεσιών οδηγών παρέχει ανάδραση στον προγραμματισμό λεωφορείων για τροποποίηση των αποτελεσμάτων του. Μια τέτοια μεταβολή του προγραμματισμού λεωφορείων είναι επιθυμητή σε περιπτώσεις που οι συνδέσεις των δρομολογίων, παρόλο που μειώνουν τον συνολικό νεκρό χρόνο, δεν παρέχουν καλά αποτελέσματα για αποτελεσματική βαρδιολόγηση του προσωπικού (για παράδειγμα, πολλές βάρδιες οδηγών υπερβαίνουν το καθορισμένο χρόνο βάρδιας). Για την επίτευξη μια βέλτιστης ποιοτικά λύσης απαιτείται ανάδραση ανάμεσα σε όλα τα υποπροβλήματα που λαμβάνουν χώρα.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το πρόβλημα προγραμματισμού συγκοινωνιακού δικτύου αποτελεί ένα βασικό σημείο μελέτης στην διεθνή βιβλιογραφία για το οποίο έχουν αναπτυχθεί εμπορικές εφαρμογές που υποστηρίζουν την λήψη αποφάσεων επιχειρησιακού προγραμματισμού. Το πρόβλημα αυτό είναι αρκετά πολύπλοκο και η διάσπαση του σε υποπροβλήματα είναι αναγκαία για την εξαγωγή αξιοποιήσιμων αποτελεσμάτων σε εύλογο χρονικό διάστημα. Τα υποπροβλήματα στα οποία διασπάται είναι τα εξής:

- Σχεδιασμός Δικτύου γραμμών (Route Planning)
- Προγραμματισμός Δρομολογίων (Timetabling)
- Προγραμματισμός Λεωφορείων (Vehicle Scheduling)
- Προγραμματισμός Υπηρεσιών Οδηγών (Crew Scheduling)
- Προγραμματισμός Οδηγών (Rostering)

Η ανάδραση πληροφοριών και δεδομένων ανάμεσα στα υποπροβλήματα επιτρέπει την βελτίωση της τελικής λύσης, καθότι είναι αδύνατη η ενιαία επίλυση του αρχικού προβλήματος.

Το πρόβλημα που μελετήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει ορισμένα χαρακτηριστικά που το διαχωρίζουν από ένα κλασσικό δίκτυο αστικών συγκοινωνιών όπως η πεπερασμένη χρονική διάρκεια λειτουργίας του συγκοινωνιακού δικτύου και η ανάγκη για αξιοπιστία 100% των παρεχομένων υπηρεσιών. Τα χαρακτηριστικά αυτά καθιστούν αναγκαία την επιλογή ενός δικτύου απλής μορφής, όπως είναι το ακτινικό, το οποίο αποτελείται από ένα δικτυακό κέντρο που είναι το σημείο όλων των αναχωρήσεων και των αφίξεων, και από πολλούς διαφορετικούς σταθμούς στην περιφέρεια που αποτελούν τους περιφερειακούς πόλους της επιβατικής ζήτησης.

Οι προδιαγραφές των υπηρεσιών για το δίκτυο που μελετήθηκε καθορίστηκαν από το Αγωνιστικό και το προπονητικό πρόγραμμα των Ολυμπιακών Αγώνων ΑΘΗΝΑ 2004 και την ζήτηση υπηρεσιών διακίνησης προς κάθε προορισμό του συγκοινωνιακού δικτύου. Επιπρόσθετα εκτιμήθηκαν λειτουργικά χαρακτηριστικά του δικτύου όπως είναι οι χρόνοι διαδρομών από την αφετηρία προς τις εγκαταστάσεις και το αμαξοστάσιο, οι χρόνοι αποβίβασης και επιβίβασης επιβατών, ο χρόνος ελέγχου ασφαλείας, η χωρητικότητα και η φόρτωση (πληρότητα) των οχημάτων. Αρχικά, κάθε ημέρα παροχής υπηρεσιών διαχωρίστηκε σε χρονικές περιόδους του ενός τετάρτου.

Για το Αγωνιστικό πρόγραμμα τα αγωνίσματα διαχωρίστηκαν σε ατομικά και ομαδικά. Για τα ατομικά αθλήματα οι προδιαγραφές παρεχομένων υπηρεσιών μοντελοποιήθηκαν ως χρονοαποστάσεις, ενώ για τα ομαδικά ως πλήθος λεωφορείων. Για κάθε ημέρα και κάθε τέταρτο της ώρας αθροίστηκαν τα οχήματα που εκτιμήθηκαν ότι θα βρίσκονται 'εν κινήσει' (σε διαδρομές από/ προς το αμαξοστάσιο και σε διακίνηση επιβατών προς και από εγκαταστάσεις). Το τέταρτο της ώρας εντός μίας ημέρας που παρουσίαζε την μέγιστη τιμή λαμβανόταν ως ο απαιτούμενος αριθμός λεωφορείων για το Αγωνιστικό πρόγραμμα για την ημέρα αυτή.

Για το προπονητικό πρόγραμμα οι προδιαγραφές των υπηρεσιών μοντελοποιήθηκαν ως χρονοαποστάσεις για όλα τα αγωνίσματα. Η τακτική αυτή είχε ως αποτέλεσμα να μην δεσμεύονται οχήματα για μεγάλα χρονικά διαστήματα, χαρακτηριστικό πρόβλημα των ομαδικών αθλημάτων, δεδομένου του αυξημένου όγκου υπηρεσιών που σχετίζονται με το προπονητικό πρόγραμμα. Ομοίως, αθροίστηκαν τα οχήματα που εκτιμήθηκαν ότι θα βρίσκονται 'εν κινήσει' για κάθε τέταρτο της ώρας και εξάχθηκε ο απαιτούμενος αριθμός λεωφορείων για το προπονητικό πρόγραμμα για κάθε ημέρα.

Οι συνολικές λεωφορειακές απαιτήσεις του συγκοινωνιακού δικτύου που μελετήθηκε υπολογίστηκαν αθροίζοντας τους πόρους σε υπηρεσία του Αγωνιστικού και του προπονητικού προγράμματος για κάθε ημέρα και τέταρτο της ώρας. Οι μέγιστες λεωφορειακές απαιτήσεις ανέρχονται σε 213 λεωφορεία και εμφανίζονται την ημέρα 1. Ο υπολογισμός των λεωφορειακών απαιτήσεων βασίστηκε στην ζήτηση των υπηρεσιών διακίνησης προς και από κάθε αγωνιστική και προπονητική εγκατάσταση και στα λειτουργικά χαρακτηριστικά του δικτύου.

Λαμβάνοντας υπόψη τις απρόβλεπτες μεταβολές των χρόνων διαδρομής στο οδικό δίκτυο της Αθήνας, διενεργήθηκε ανάλυση ευαισθησίας των απαιτούμενων πόρων ανά ημέρα. Η ημέρα 8 παρουσίασε την μεγαλύτερη, ποσοτικά, αύξηση σε λεωφορειακούς πόρους. Ενδεικτικά, για αύξηση των χρόνων διαδρομής της ημέρας 8 κατά 100% υπήρξε μια αύξηση των λεωφορειακών πόρων της τάξεως του 43,5% (87 οχήματα επιπλέον των 200). Παρόλα αυτά όμως, η ημέρα 1 αποτελεί και πάλι την ημέρα αναφοράς καθότι τα 213 αρχικώς απαιτούμενα λεωφορεία αυξάνονται σε 298, που αποτελεί το μέγιστο απαιτούμενο πλήθος οχημάτων για αύξηση των χρόνων διαδρομής κατά 100%. Από την συγκεκριμένη ανάλυση ευαισθησίας προκύπτει ότι κατά τις ημέρες 1 και 8 πρέπει να δοθεί μεγάλο βάρος και προσοχή στη λειτουργία του λεωφορειακού στόλου διότι είναι οι ημέρες εκείνες που καθορίζουν τον μέγιστο απαιτούμενο αριθμό λεωφορειακών πόρων, καθώς και την ποιότητα των προσφερόμενων μεταφορικών υπηρεσιών.

Για την προσαρμογή του μοντέλου εκτίμησης λεωφορειακών πόρων σε δίκτυα αστικών συγκοινωνιών απαιτείται τροποποίηση της εκτίμησης της ζήτησης υπηρεσιών διακίνησης. Στις αστικές συγκοινωνίες, οι επιβάτες μετακινούνται μεταξύ πολλών αφετηριών, πολλών στάσεων και πολλών τερμάτων. Το χαρακτηριστικό αυτό καθιστά την εκτίμηση της ζήτησης πιο πολύπλοκη σε σχέση με το παράδειγμα που μελετήθηκε και θα πρέπει να ακολουθηθεί διαφορετική προσέγγιση. Διαφοροποιήσεις παρουσιάζονται ακόμα στα λειτουργικά χαρακτηριστικά του δικτύου, τα οποία όμως αποτελούν μεταβλητές του μοντέλου και, συνεπώς, μπορούν να προσαρμοστούν ανάλογα (για παράδειγμα, η πληρότητα των οχημάτων μπορεί να οριστεί ίση με την χωρητικότητα τους, στις ώρες αιχμής).

Στον προγραμματισμό λεωφορείων που διεξήχθη επιλέχθηκε μια λεωφορειακή γραμμή από το σύνολο των λεωφορειακών γραμμών η οποία παρουσιάζει υψηλή ζήτηση κατά την πρωινή και την απογευματινή περίοδο. Η ζήτηση της λεωφορειακής γραμμής αυτής μοιάζει με την ζήτηση που παρουσιάζουν συγκοινωνιακά δίκτυα αστικών περιοχών, όπως η Αθήνα. Αρχικά, εξάχθηκε από τις χρονοαποστάσεις το πρόγραμμα δρομολογίων, το οποίο περιέχει τις αναχωρήσεις και αφίξεις όλων των δρομολογίων της λεωφορειακής γραμμής. Από το πρόγραμμα δρομολογίων αυτό

εκτιμήθηκε το πλήθος των οχημάτων που απαιτεί η συγκεκριμένη λεωφορειακή γραμμή (15 λεωφορεία στην ώρα αιχμής).

Στην συνέχεια, μελετήθηκαν δύο διαφορετικές ευρετικές τακτικές σύνδεσης δρομολογίων σε υπηρεσίες οχημάτων: Η τακτική LIFO αναθέτει το επόμενο δρομολόγιο στο τελευταίο όχημα που εισέρχεται στην αφετηρία και η τακτική FIFO που αναθέτει το δρομολόγιο αυτό στο πρώτο όχημα που εισέρχεται σε αυτή. Οι συνδέσεις δρομολογίων χαρακτηρίζονται από τον νεκρό χρόνο, ο οποίος αποτελείται από τους χρόνους διαδρομών χωρίς επιβάτες. Η σύγκριση των δύο τακτικών έδειξε ότι η FIFO παρουσίασε σχεδόν διπλάσιο νεκρό χρόνο, με τιμή 6728 λεπτά, από την LIFO (3519 λεπτά). Η σημασία του αποτελέσματος αυτού είναι ότι με την τακτική FIFO τα οχήματα παραμένουν στην αφετηρία και, συνεπώς, παρουσιάζεται αυξημένη συμφόρηση του δικτυακού κέντρου.

Λόγω των «μεγάλων ακμών» που δημιουργούνται με τις δύο αυτές τακτικές, επιχειρήθηκε η αναθεώρηση τους με αφαίρεση όλων των συνδέσεων που αντιστοιχούν σε παραμονή οχημάτων στην αφετηρία πάνω από 90 λεπτά. Στα σχετικά αποτελέσματα παρουσιάστηκε αύξηση των χρόνων διαδρομής από και προς το αμαξοστάσιο. Όμως, παρατηρήθηκε ότι η αύξηση αυτή είναι σαφώς μικρότερη της μείωσης του χρόνου παραμονής στην αφετηρία. Και οι δύο αναθεωρημένες τακτικές παρουσίασαν σημαντική βελτίωση με την LIFO να αντιστοιχεί σε 987 λεπτά νεκρού χρόνου και την FIFO να αντιστοιχεί σε 1493 λεπτά.

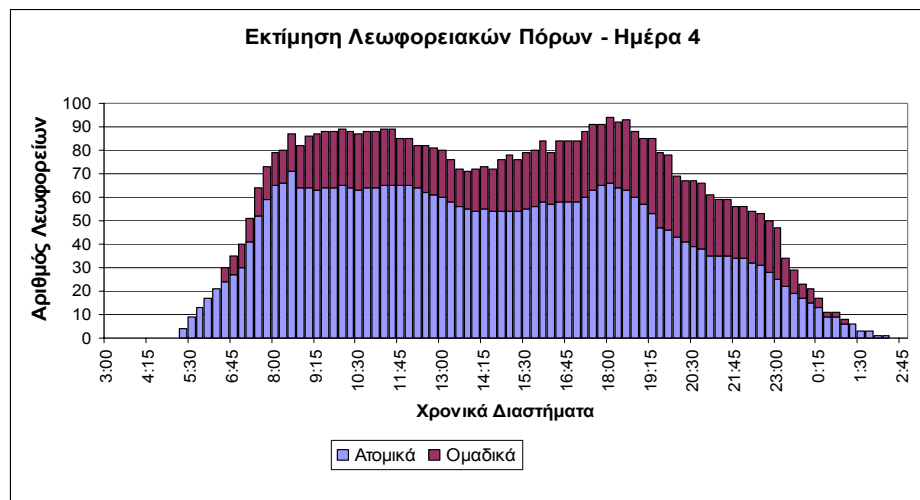
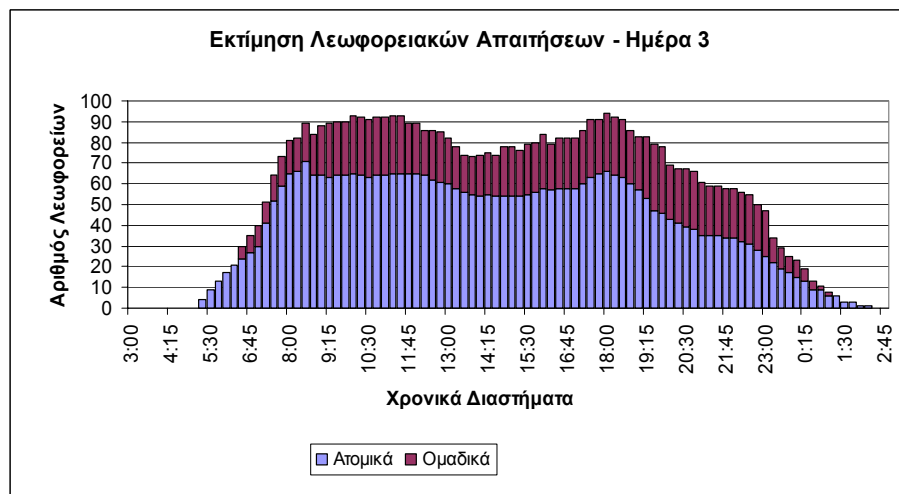
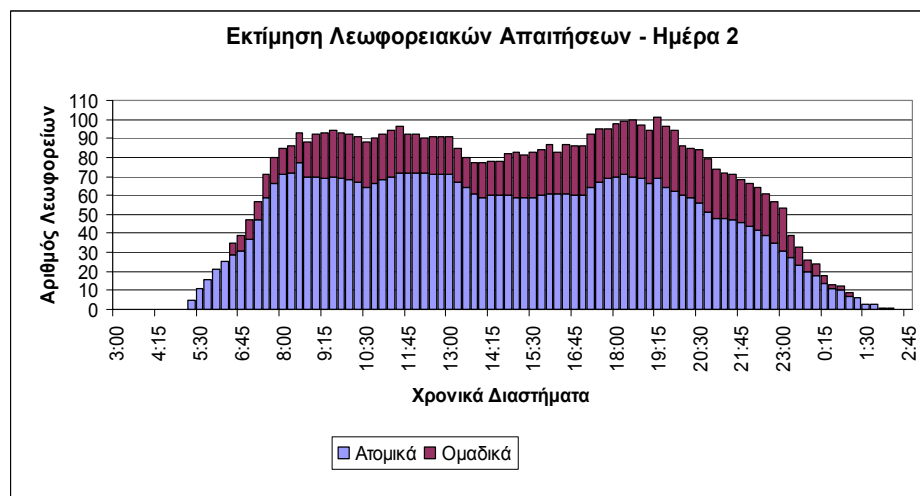
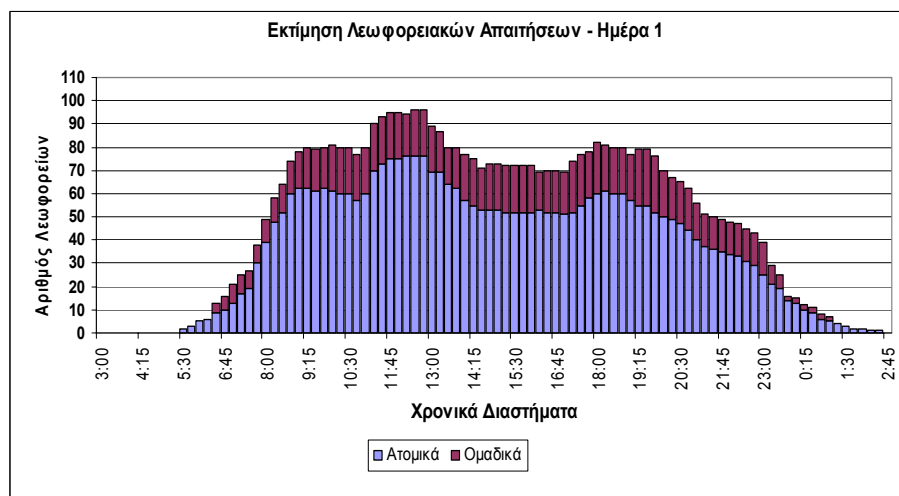
Τελικά, από τις δύο τακτικές κρίθηκε σκόπιμο να επιλεγεί η αναθεωρημένη FIFO προς υλοποίηση λόγω του ότι ο συνολικός χρόνος παραμονής των οχημάτων στην αφετηρία μειώνεται στο ελάχιστο. Σημειώνεται ότι η συγκεκριμένη υλοποίηση δεν εμφανίζει τον ελάχιστο συνολικό νεκρό χρόνο. Η επιλογή της αναθεωρημένης FIFO δηλώνει ότι το κριτήριο μείωσης του συνολικού νεκρού χρόνου δεν μπορεί να αποτελέσει μοναδικό κριτήριο απόφασης, αλλά θα πρέπει και άλλοι παράγοντες να ληφθούν υπόψη, όπως η αποφυγή της συμφόρησης του δικτυακού κέντρου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

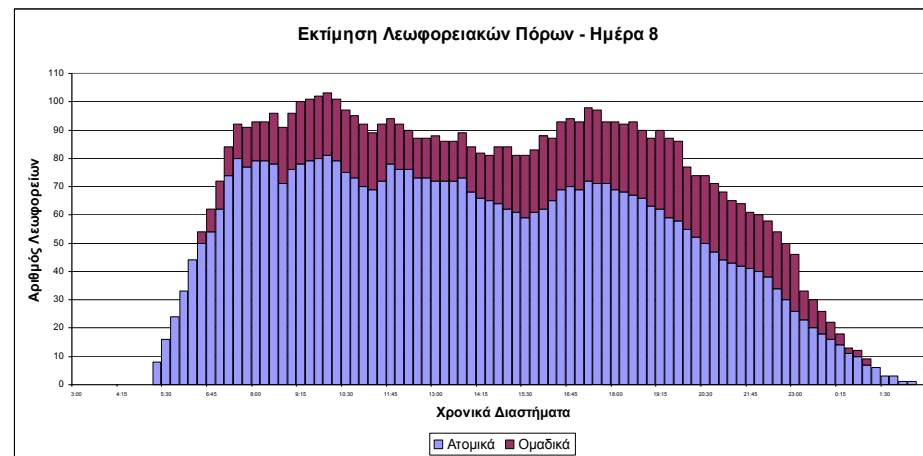
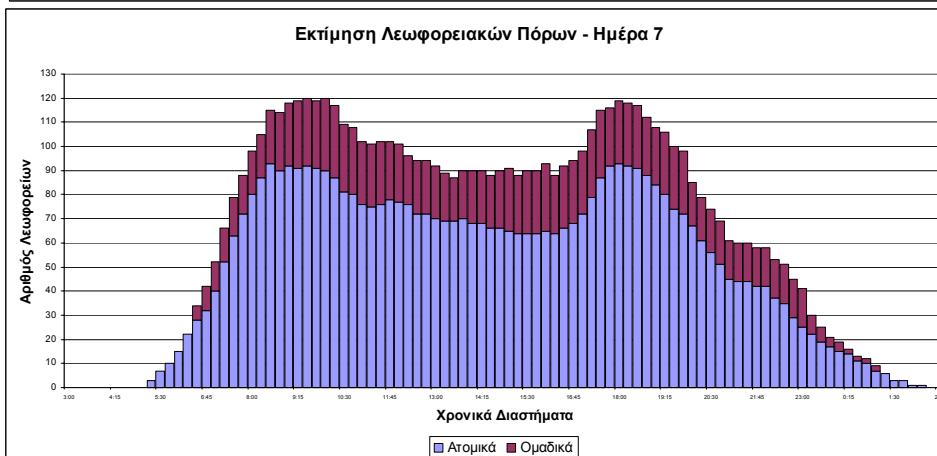
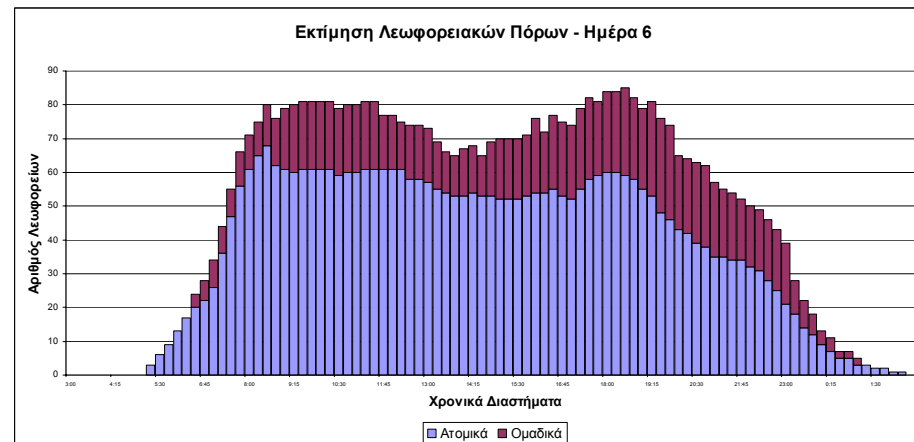
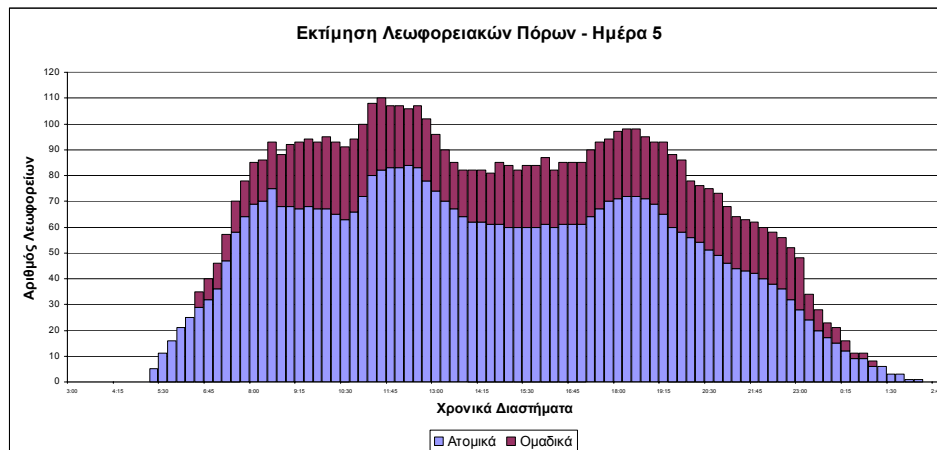
1. Γιαννόπουλος Γ. Α., *Δημόσιες Αστικές Συγκοινωνίες*, Τόμος Ι, Εκδόσεις Παρατηρητής, 1994
2. Μυγδαλάς Α., Μαρινάκης Ι., *Σημειώσεις Συνδυαστικής Βελτιστοποίησης*, Φεβρουάριος 2002
3. Πατρικαλάκης Ι. Σ., *Βέλτιστος Προγραμματισμός Οδηγών και Λεωφορείων στις Αστικές Συγκοινωνίες*, Διδακτορική Διατριβή Ε.Μ.Π., Ιούλιος 1992
4. Σίσκος Γ., *Γραμμικός Προγραμματισμός*, 1998
5. Bodin L., *Twenty years of Routing and Scheduling*, Operations Research, Vol. 38, No. 4, July – August 1990
6. Bodin et al, *Routing and Scheduling of Vehicles and Crews – The State of the Art*, Comp. & Ops Res., Vol. 10, No. 2, pp. 63-211, 1983
7. Burns R., Koop G., *A modular approach to optimal, Multiple-Shift Manpower Scheduling*, Operations Research, Vol. 35, 100-110, 1987
8. Burns R., *Manpower Scheduling with Variable Demands and Alternate weekends off*, INFOR, Vol. 16, 101-111, 1978
9. Carraresi P. and Gallo G., *Network Models for Vehicle Scheduling*, European Journal of Operational Research, Vol. 16, 139-151, 1984
10. Carraresi P., Gallo G., *Network Models for Vehicle Scheduling* European Journal Of Operational Research, Vol. 16, 139-151, 1984
11. Dantzig G., Fulkerson D., *Minimizing the number of Tankers to meet a Fixed Schedule*, Naval Research Logistics Quarterly, Vol. 1, 217-222, 1954
12. Dell' Amico M., Fischetti M., Toth P., *Heuristic Algorithms for the Multiple Depot Vehicle Scheduling Problem*, Management Science, Vol. 39, No. 1, 1993
13. Foster B., Ryan D., *An Integer programming approach to the vehicle scheduling problem*, Ops Res., Quart. 27, 367-384, 1976
14. Freling R., Wagelmans A., Paixao J., *Models and Algorithms for Vehicle Scheduling*, Transportation Science, Vol. 35, No.2, 165-180, 2001
15. Gertsbach I., Gurevich Y., *Constructing an optimal fleet for a transportation schedule*, Transportation Sci., 11, 20-36, 1977
16. Goeddel D., *An examination of the Run Cutting and Scheduling System – a case analysis*. Preprints, Workshop on Automated techniques for Scheduling of Vehicle Operators for Urban Public Transportation Services (edited by Bodin L., Bergmann D.), Chicago, Illinois (1975)
17. Haghani A. Banihashemi M., *Heuristic approaches for solving large-scale bus transit vehicle scheduling problem with route time constraints*, Transportation Research Part A 36, 309-333, 2002
18. Haghani A., Banihashemi M., Chiang K., *A comparative analysis of bus transit vehicle scheduling models*, Transportation Research, Part B 37, 301-322, 2003
19. Kern G., Bobrowski P., *A multiple Vehicle Scheduling Algorithm Employing Subtour Elimination and Operator Theory*, Logistics and Transportation Review, Vol. 25, No.1
20. Laport G., Nobert Y., Biron J., *Rotating Schedules*, European J.Opl.Res., Vol. 4, 24-30, 1980
21. Laporte G., Nobert Y., *Exact Algorithms For the Vehicle Scheduling Problem*, Annals of Discrete Mathematics, Vol. 31, 147-184, 1987
22. Lessard R., Rousseau J., DuPuis D., *Hastus I: a mathematical programming approach to the bus driver scheduling problem*, Computer Scheduling of Public

- Transport: Urban Passenger Vehicle and Crew Scheduling (Edited by A. Wren), pp 259 – 268, North – Holland, Amsterdam, 1981
23. Loebel A., *Solving Large-Scale Real-World Minimum-Cost Flow Problems by a Network Simplex Method*, Pre-print February 1996
 24. Loebel A., *Vehicle Scheduling in Public Transit and Lagrangean Pricing*, December 1997
 25. Mitra G., Welsh A., *A computer based crew scheduling system using a mathematical programming approach*, Computer Scheduling of Public Transport: Urban Passenger Vehicle and Crew Scheduling (Edited by A. Wren), pp 281 – 296, North – Holland, Amsterdam, 1981
 26. Ribeiro C., Soumis F., *A column Generation Approach to the Multiple-Depot Vehicle Scheduling Problem*, Operations Research, Vol. 42, No. 1, 1994
 27. Ryan D., Foster B., *An integer programming approach to scheduling*, Computer Scheduling of Public Transport: Urban Passenger Vehicle and Crew Scheduling (Edited by A. Wren), pp 269 – 280, North – Holland, Amsterdam, 1981
 28. Silva G., Gualda N., Kwan R., *Bus Scheduling based on an Arc Generation – Network Flow Approach*
 29. Townsend D., *An approach to Bus – Crew Roster Design in London Regional Transport*, Journal of Opl.Res.Soc., Vol. 39, 543-550, 1988
 30. Ward D., Durant P., Hallman A., *A problem Decomposition Approach to Scheduling the Drivers and Crews of Mass Transit Systems*, Computer Scheduling of Public Transport: Urban Passenger Vehicle and Crew Scheduling (Edited by A. Wren), pp 297 – 312, North – Holland, Amsterdam, 1981

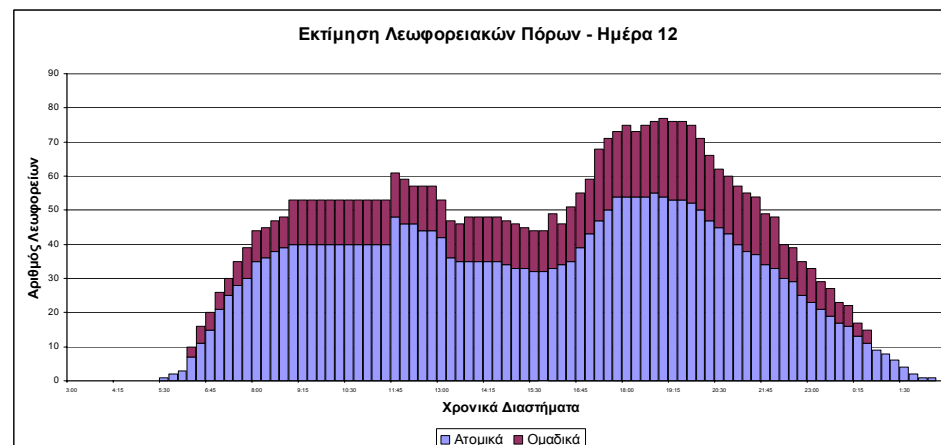
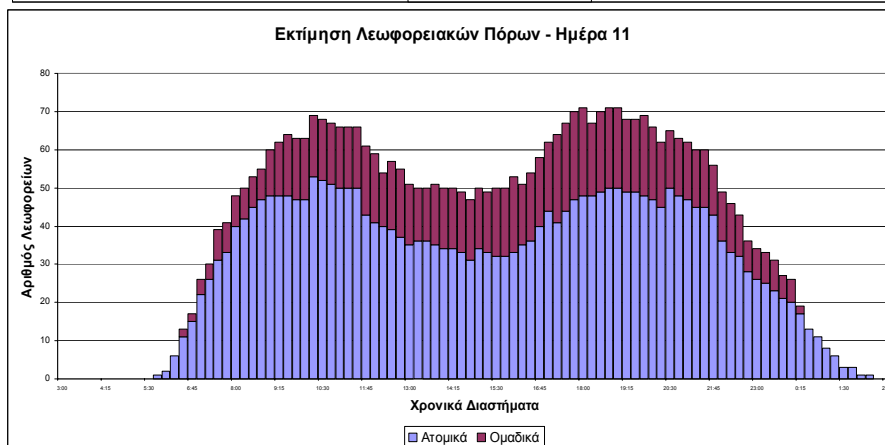
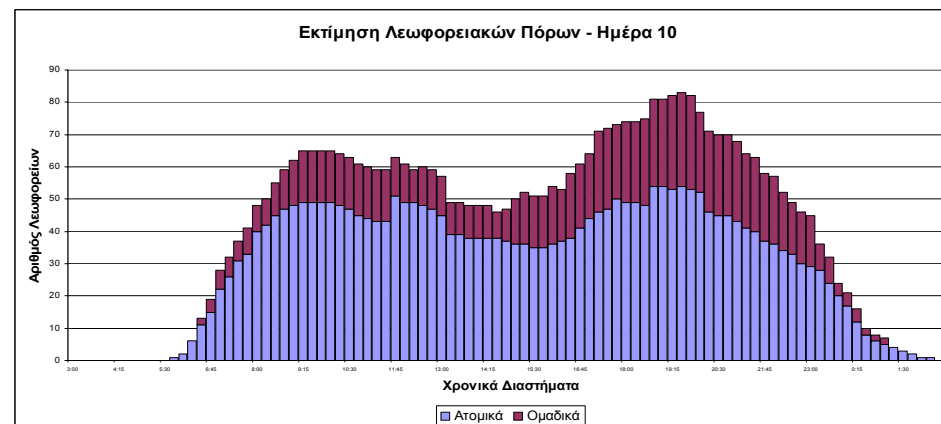
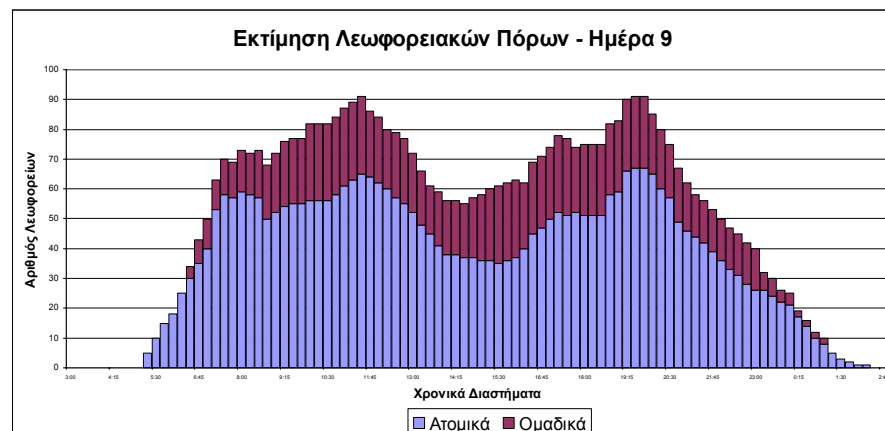
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



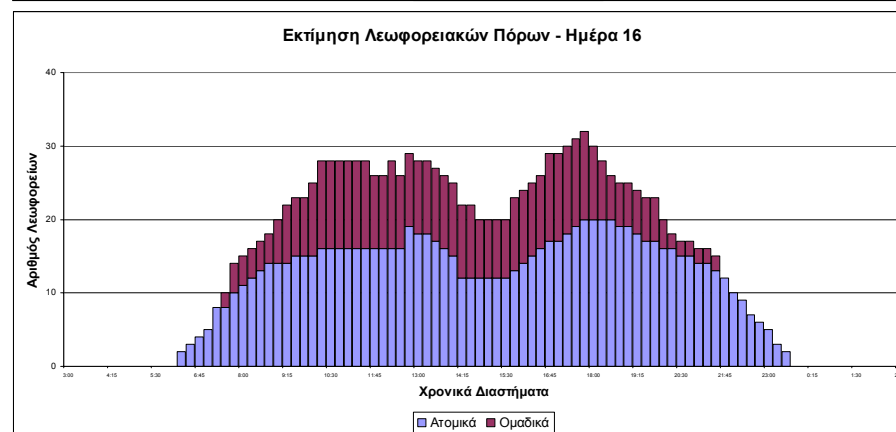
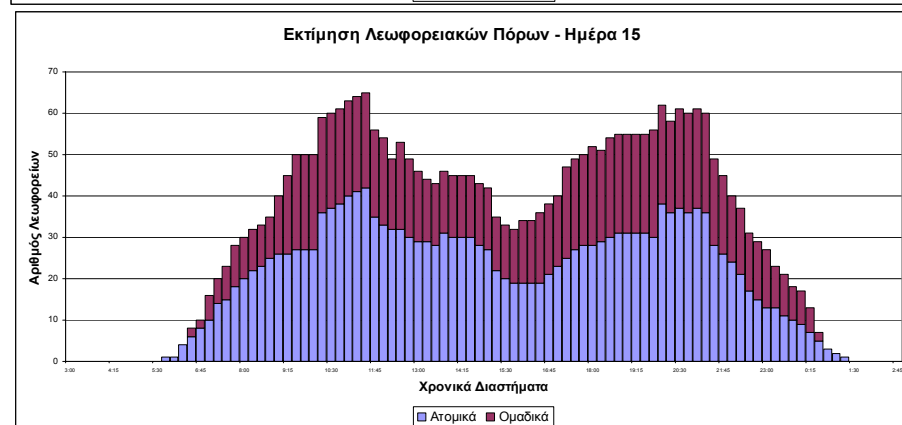
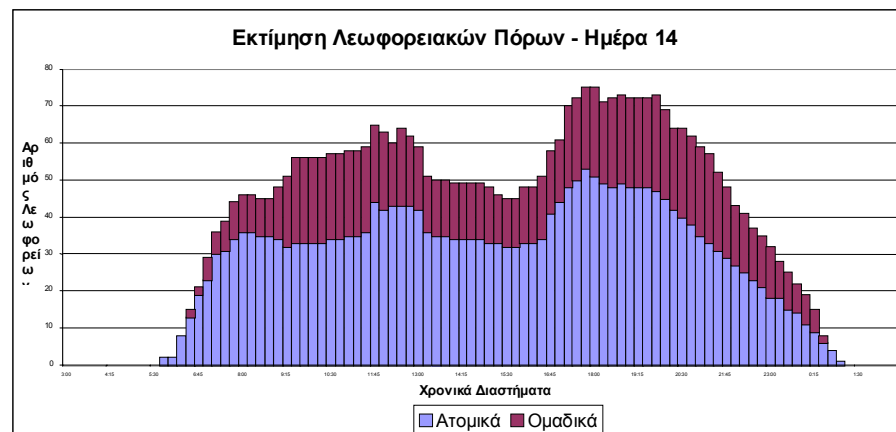
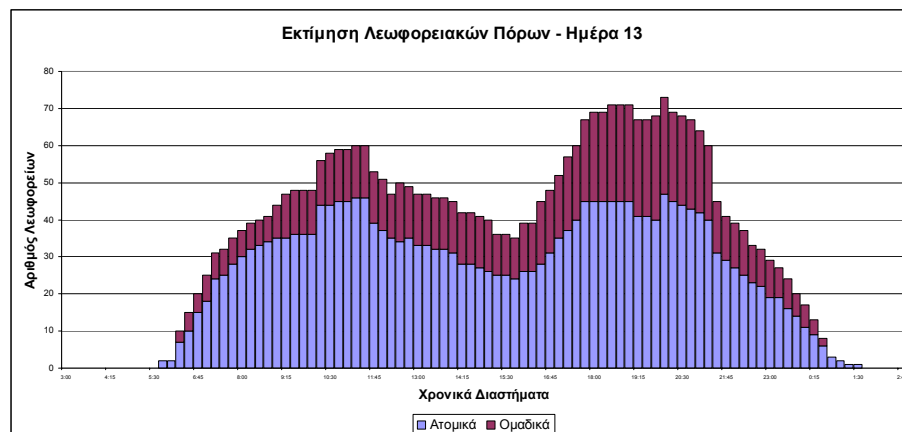
Σχήμα Π 1: Εκτίμηση Λεωφορειακών Απαιτήσεων για τις ημέρες 1 έως 4 του Αγωνιστικού προγράμματος



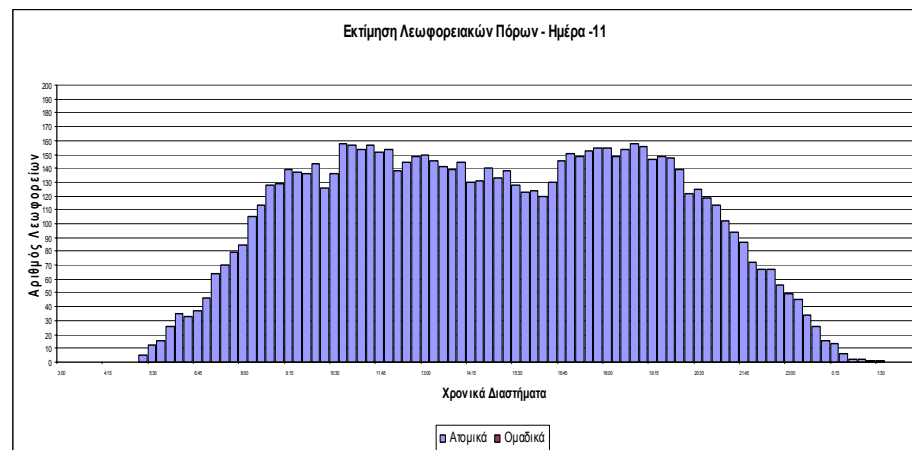
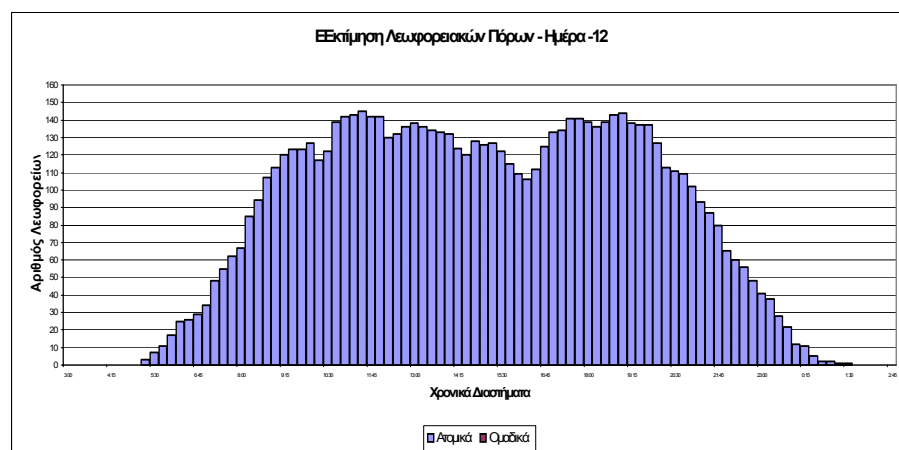
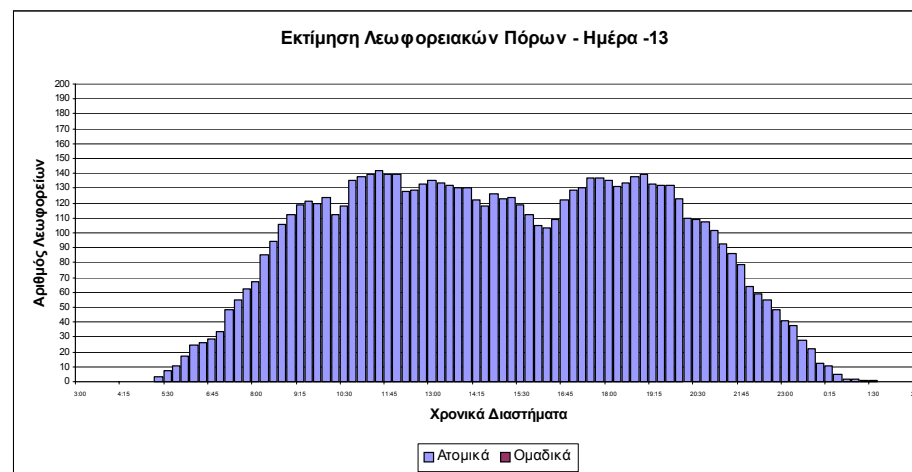
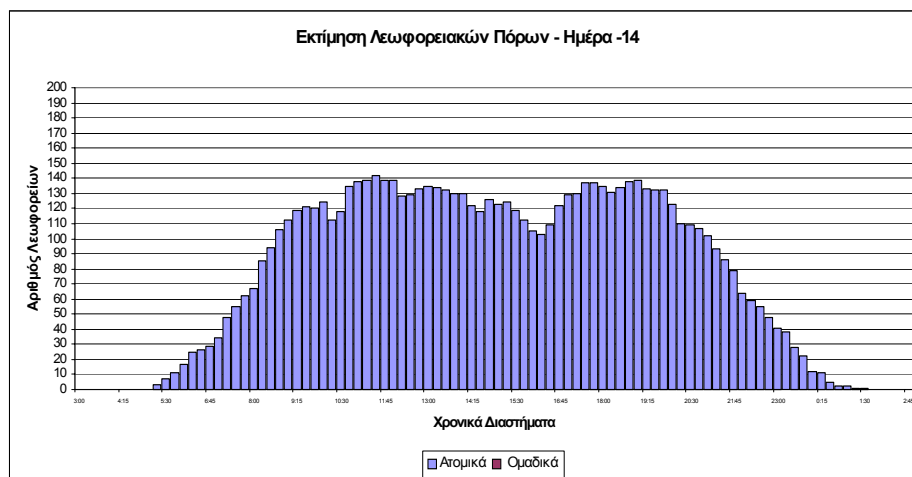
Σχήμα Π 2: Εκτίμηση Λεωφορειακών Απαιτήσεων για τις ημέρες 5 έως 8 του Αγωνιστικού προγράμματος



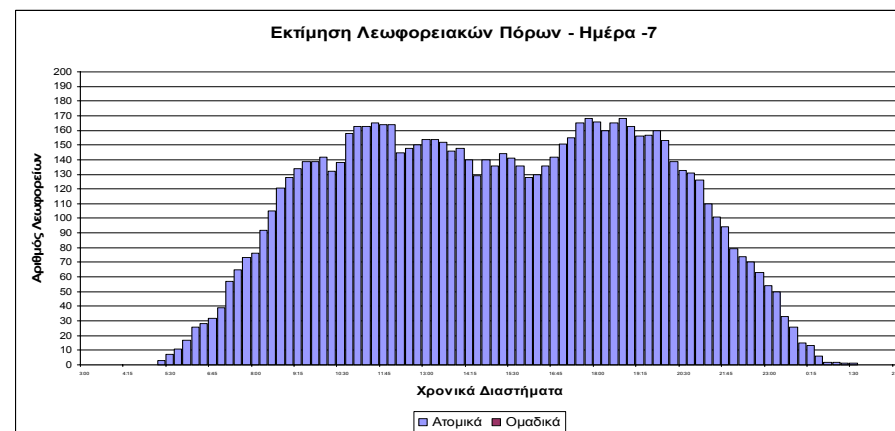
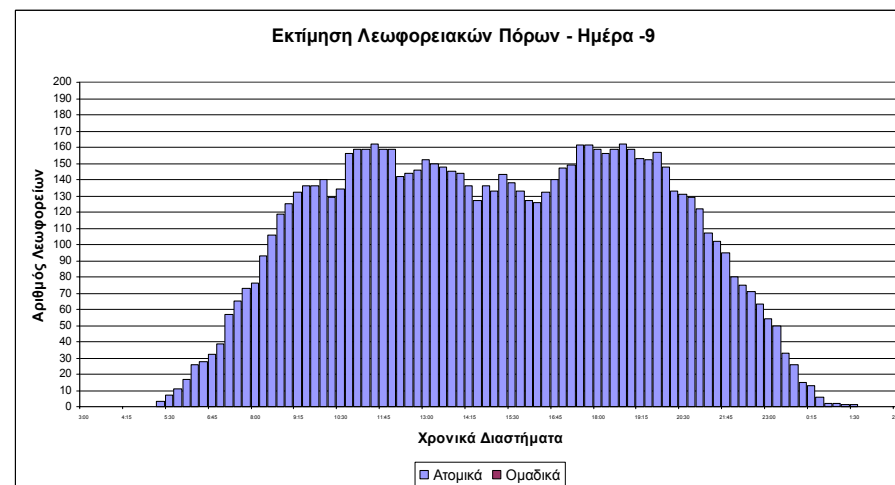
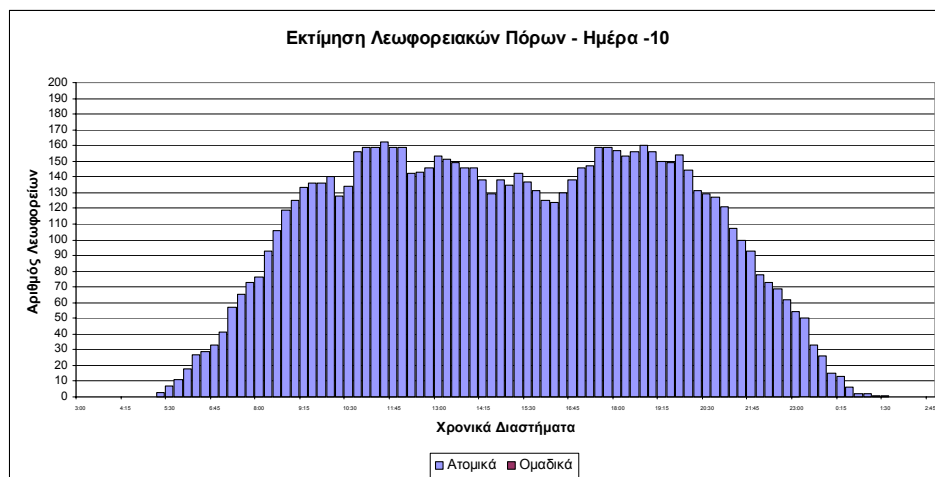
Σχήμα Π 3: Εκτίμηση Λεωφορειακών Απαιτήσεων για τις ημέρες 9 έως 12 του Αγωνιστικού προγράμματος



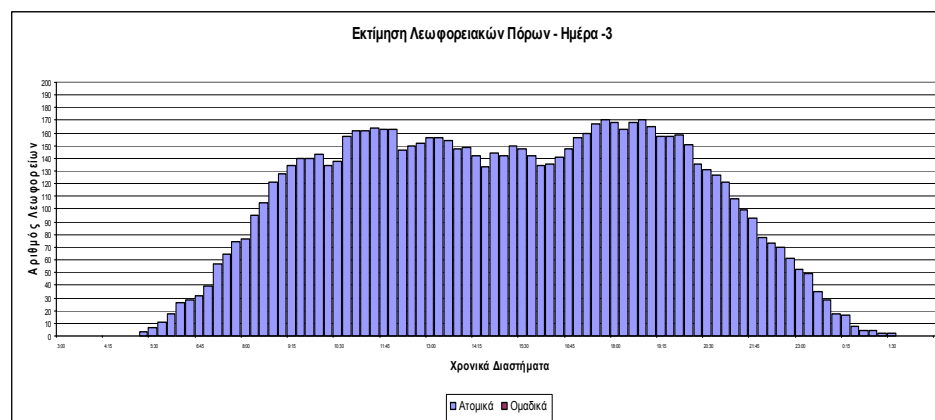
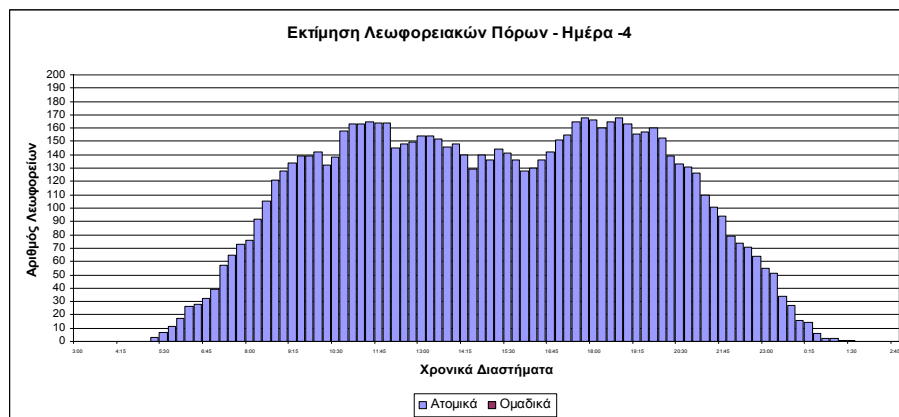
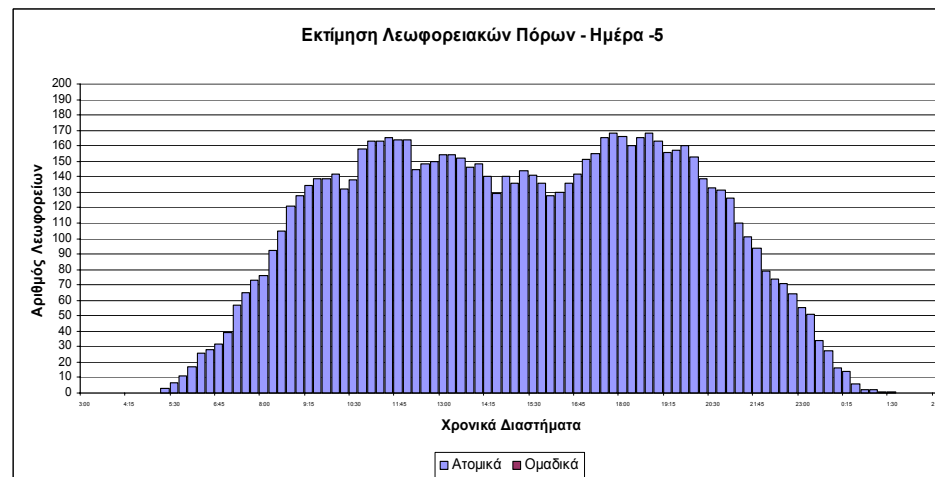
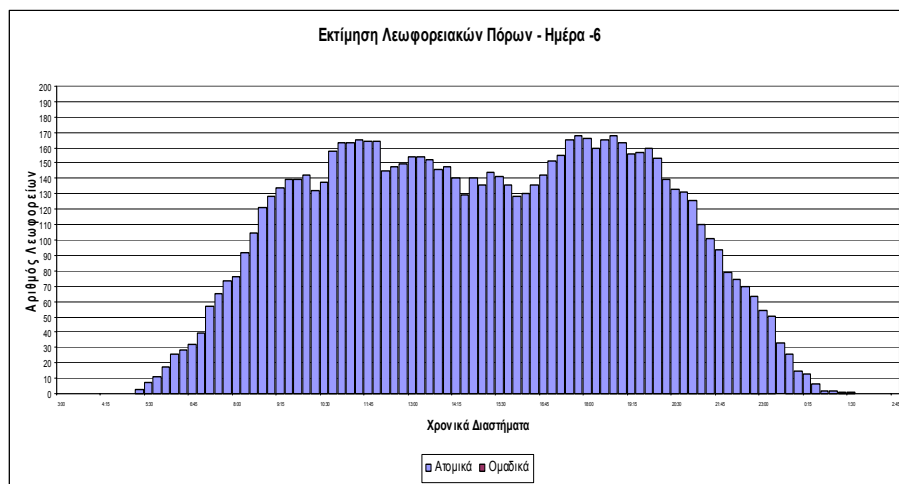
Σχήμα Π 4: Εκτίμηση Λεωφορειακών Απαιτήσεων για τις ημέρες 13 έως 16 του Αγωνιστικού προγράμματος



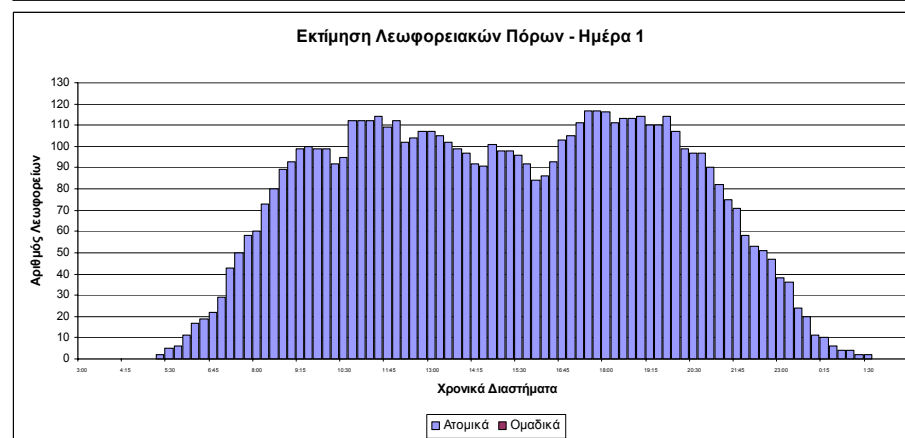
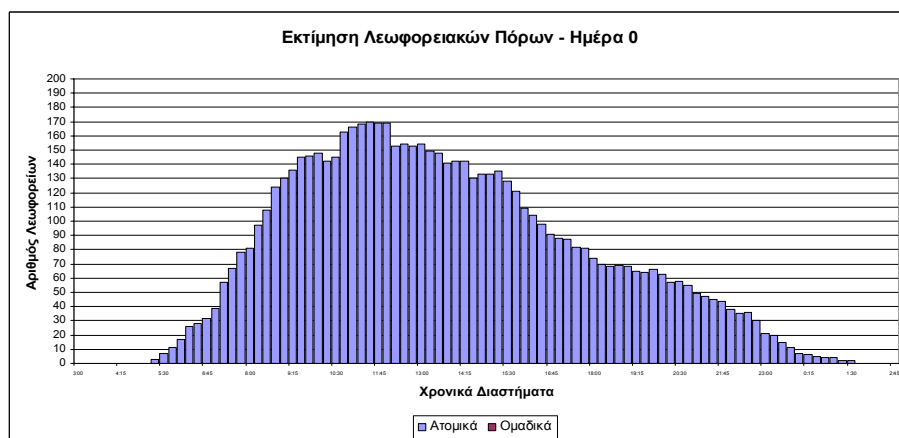
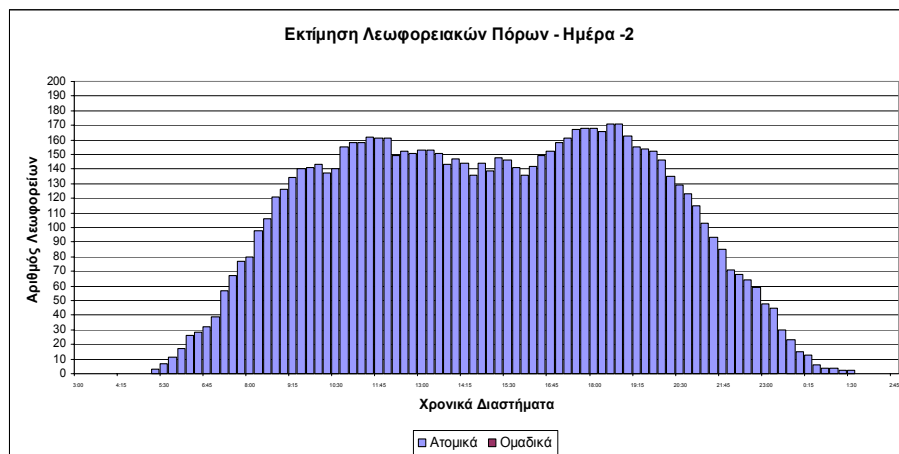
Σχήμα Π 5: Εκτίμηση Λεωφορειακών Απαιτήσεων για τις ημέρες -14 έως -11 του προπονητικού προγράμματος



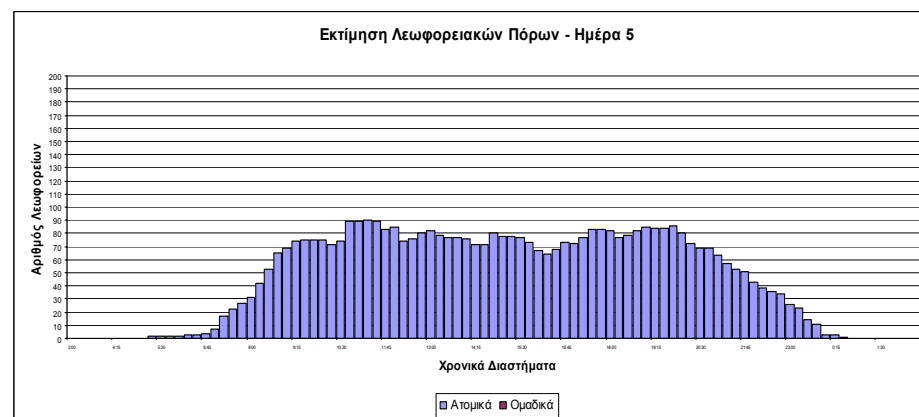
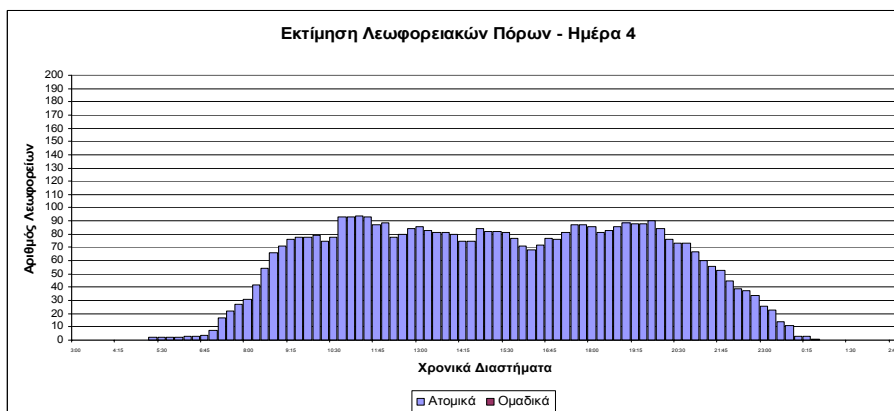
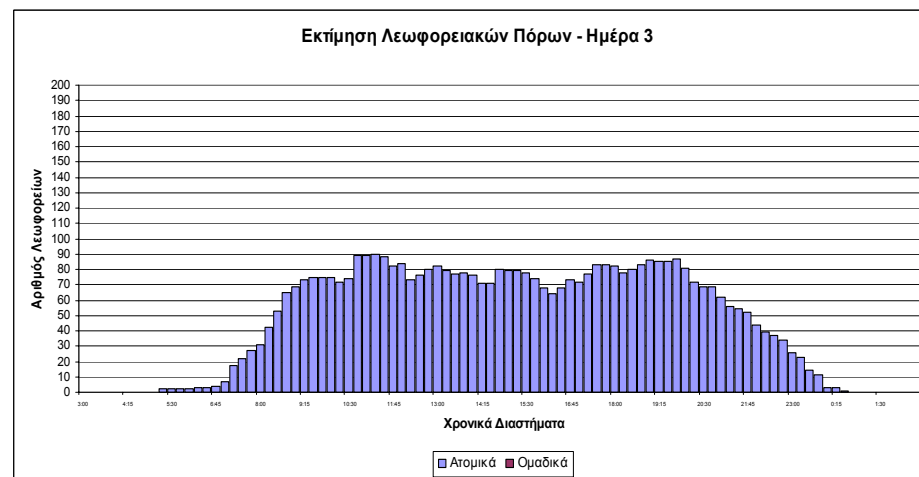
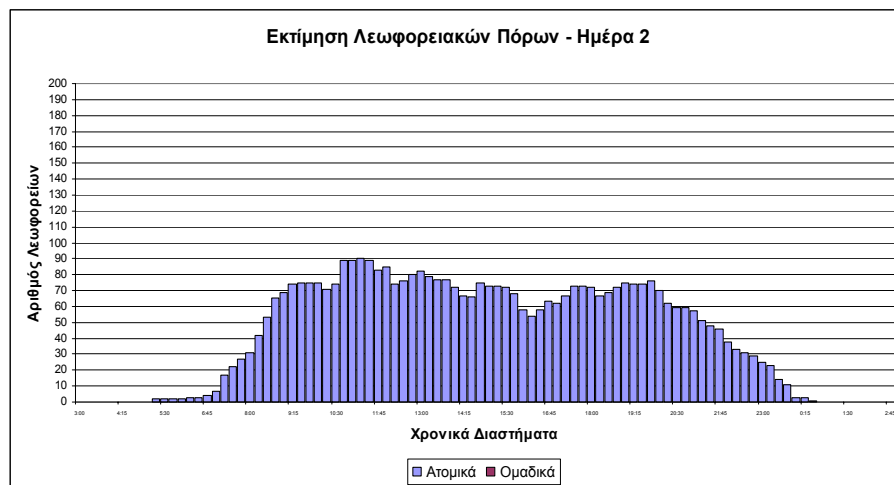
Σχήμα Π 6: Εκτίμηση Λεωφορειακών Απαιτήσεων για τις ημέρες -10 έως -7 του προπονητικού προγράμματος



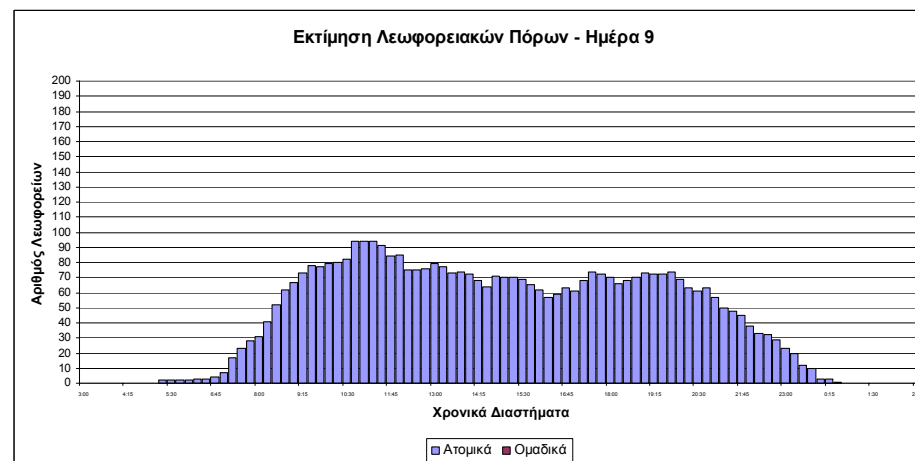
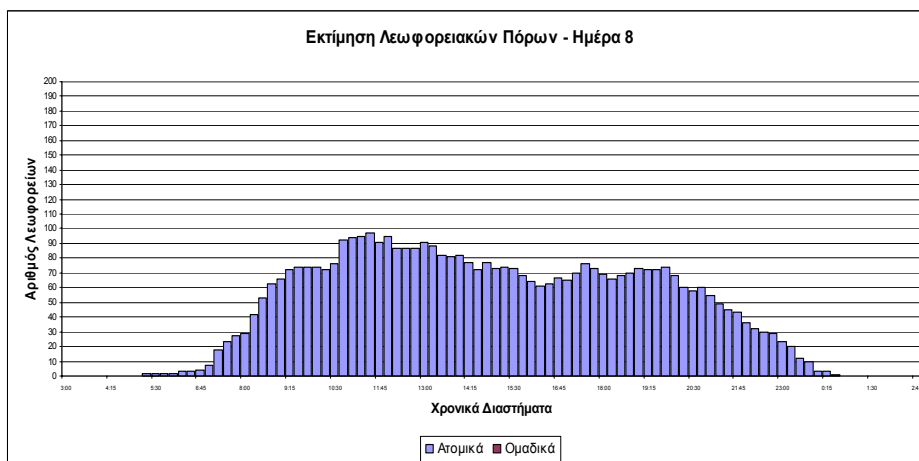
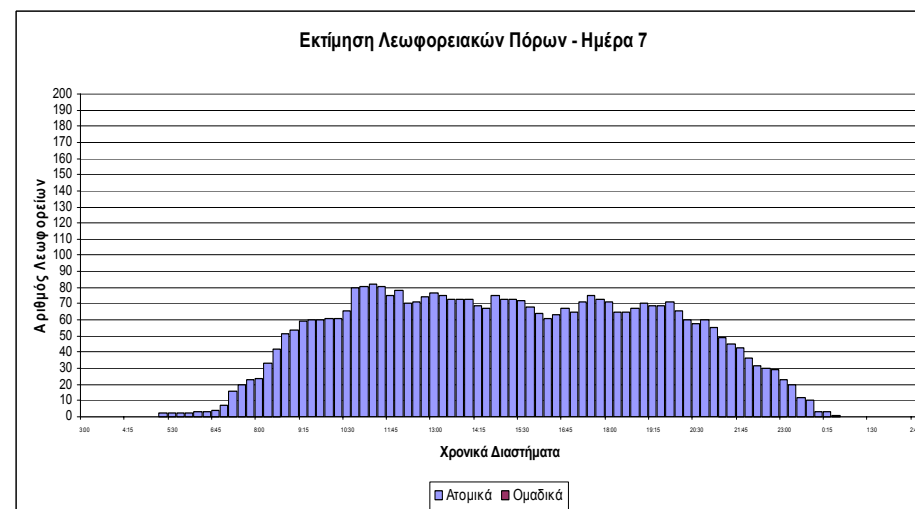
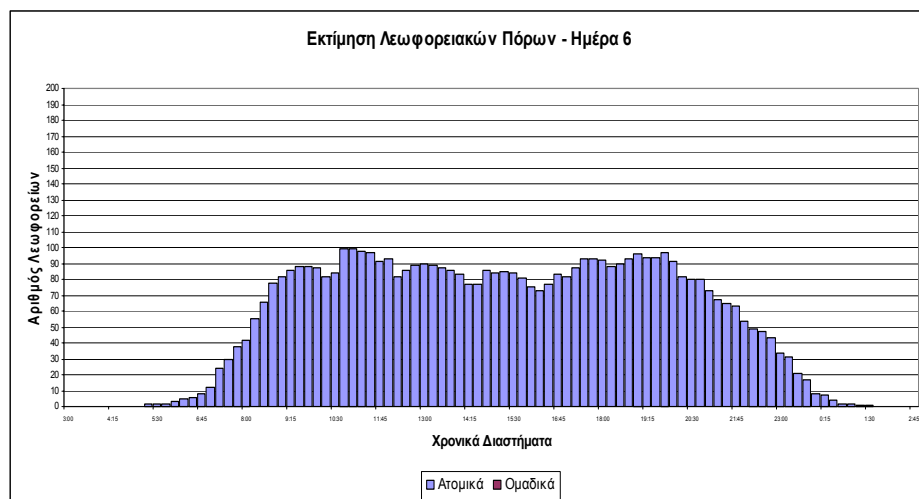
Σχήμα Π 7: Εκτίμηση Λεωφορειακών Απαιτήσεων για τις ημέρες -6 έως -3 του προπονητικού προγράμματος



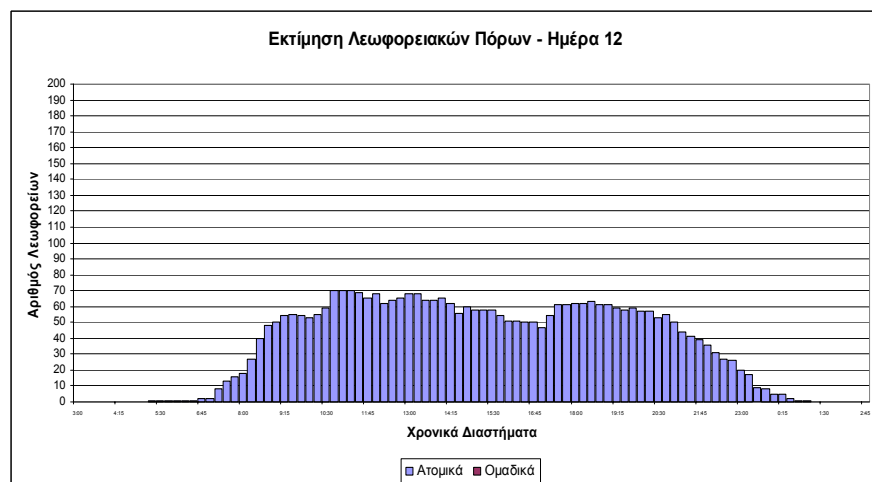
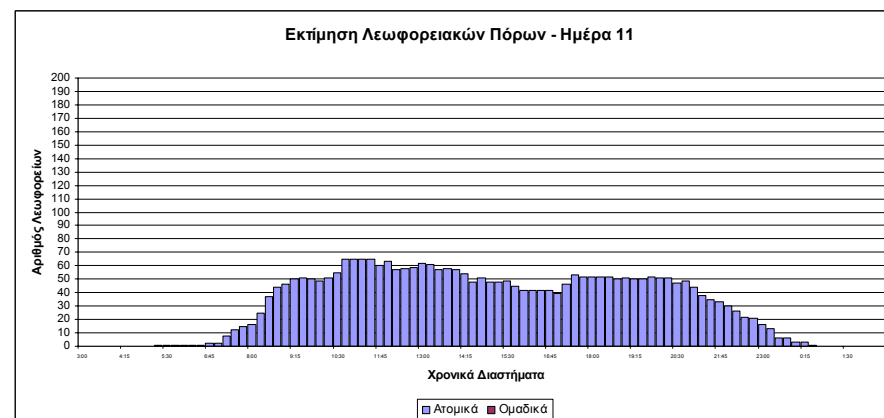
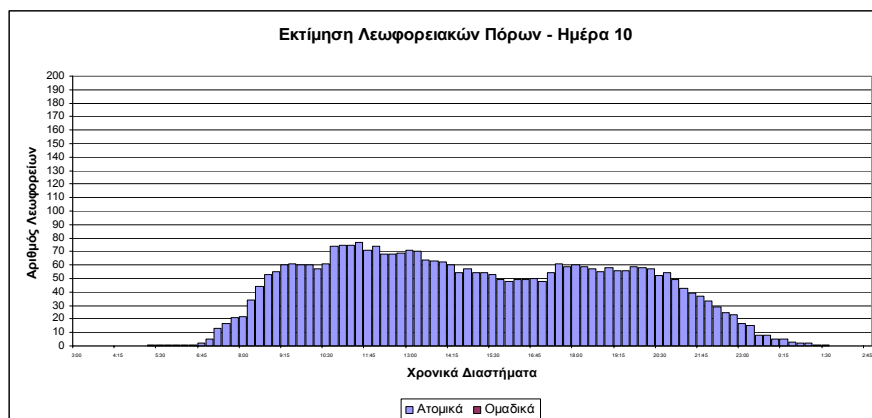
Σχήμα Π 8: Εκτίμηση Λεωφορειακών Απαιτήσεων για τις ημέρες -2, -1, 0 και 1 του προπονητικού προγράμματος



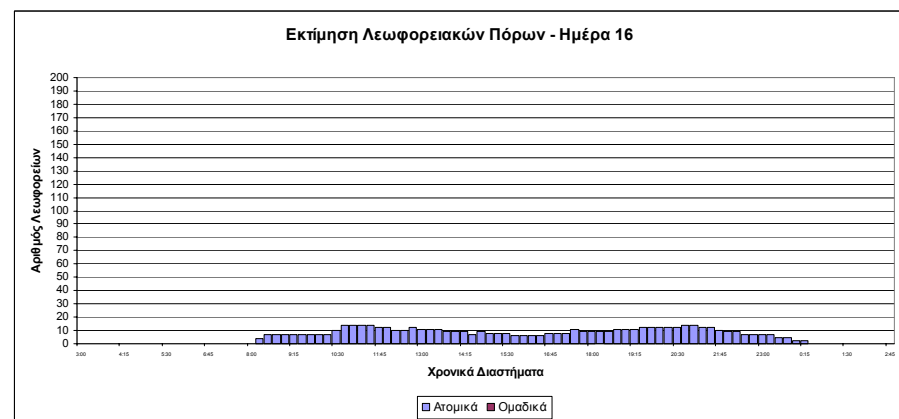
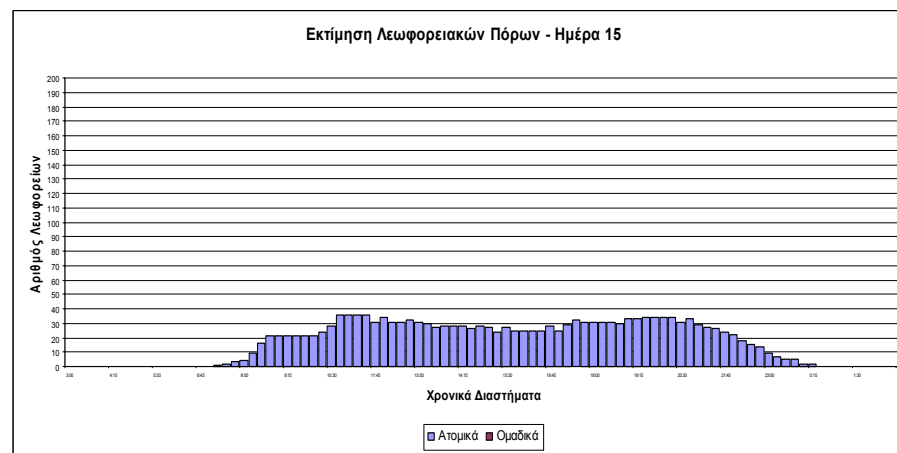
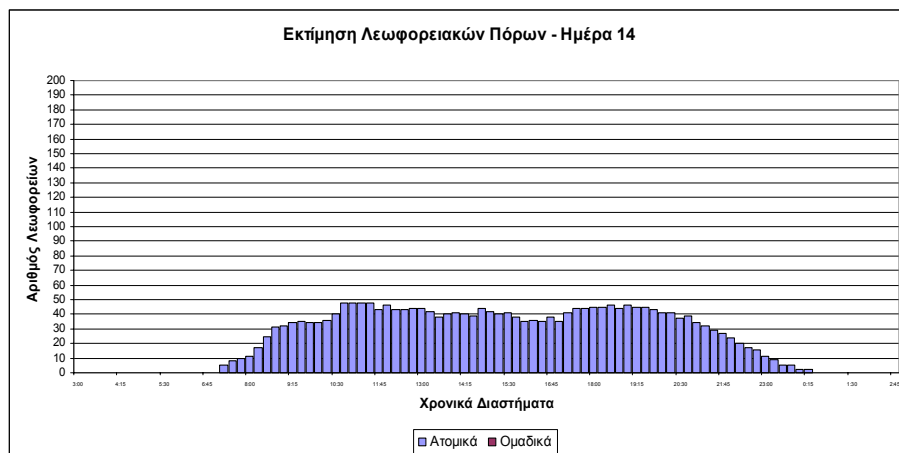
Σχήμα Π 9: Εκτίμηση Λεωφορειακών Απαιτήσεων για τις ημέρες 2 έως 5 του προπονητικού προγράμματος



Σχήμα Π 10: Εκτίμηση Λεωφορειακών Απαιτήσεων για τις ημέρες 6 έως 9 του προπονητικού προγράμματος



Σχήμα Π 11: Εκτίμηση Λεωφορειακών Απαιτήσεων για τις ημέρες 10 έως 13 του προπονητικού προγράμματος



Σχήμα Π 12: Εκτίμηση Λεωφορειακών Απαιτήσεων για τις ημέρες 14 έως 16 του προπονητικού προγράμματος