

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ
ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΕΠΟΠΤΗΣ : Α. ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΑΖΙΚΗΣ
ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ - ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΙΣ ΓΡΑΜΜΕΣ
ΛΕΩΦΟΡΕΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ ΝΙΚΗΤΑΣ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 1999

Ευχαριστίες .

Ευχαριστώ τον καθηγητή μου κ. Αντώνη Σταθόπουλο για την πολύτιμη βοήθειά του και την άψογη συνεργασία που είχα μαζί του . Ευχαριστώ επίσης τους κ.κ. Ν . Παπαχρήστου και Γ. Πατρικαλάκη , καθώς και το προσωπικό του Ο.Α.Σ.Α., όπως και τους οδηγούς του Οργανισμού κ.κ. Ν. Λινό , Δ. Θανάσουλα και Δ. Καραμπέτσο, για την προθυμία τους να βοηθήσουν στην ολοκλήρωση της εργασίας αυτής. Τέλος , θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την κατανόησή τους και τη στήριξη που μου πρόσφεραν καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας .

ΣΥΝΟΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τις αστικές συγκοινωνίες και ειδικά με τα λεωφορεία . Παρουσιάζει τα προβλήματα που υπάρχουν καθώς και τις απαραίτητες προϋποθέσεις για τη βελτίωσή τους. Η προσοχή εστιάζεται κυρίως στα συστήματα προγραμματισμού των υπηρεσιών του προσωπικού. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται δύο τέτοια συστήματα. Τέλος , γίνεται μια εφαρμογή σε μία λεωφορειακή γραμμή της πόλης των Αθηνών στην οποία εξετάζεται η μεταβολή των χαρακτηριστικών μεγεθών όπως είναι το κόστος , κι η επιρροή που έχουν στο τελικό αποτέλεσμα.

Λέξεις – κλειδιά : προγραμματισμός υπηρεσιών , μέθοδος επίλυσης συνόλου , block , συνεχής υπηρεσία , ασυνεχής υπηρεσία , κόστος , υπερωρίες

ABSTRACT

The present diploma thesis is about public transportation operation and specifically bus services. It presents the problems as well as the prerequisites that are necessary for its development. It mainly focus on the crew scheduling problem. In particular two crew scheduling heuristic methods are presented. Finally, an operation that presents the fluctuation of cost and other parameters on a specific bus line of the city of Athens is developed.

Key words: crew scheduling ,cost ,set covering formulation , block , straight duty , split duty , overtimes.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή ξεκινά με μία γενική περιγραφή της κατάστασης στην οποία βρίσκονται οι Μαζικές Αστικές συγκοινωνίες στη χώρα μας σήμερα. Παρουσιάζει τα προβλήματα που υπάρχουν καθώς και το επίπεδο εξυπηρέτησης που προσφέρουν. Η προσοχή εστιάζεται στις γραμμές των λεωφορείων της πόλης της Αθήνας διότι αυτό το μέσο μαζικής συγκοινωνίας καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα της πόλης συγκοινωνιακά.

Τα προβλήματα που παρουσιάζουν οι αστικές συγκοινωνίες αφορούν το επίπεδο εξυπηρέτησης, την οργάνωση και τη συχνότητα των δρομολογίων, την κάλυψη μιας περιοχής από μία λεωφορειακή γραμμή και άλλα. Ανάμεσα σε αυτά είναι και ο προγραμματισμός των υπηρεσιών του προσωπικού. Το τελευταίο αυτό πρόβλημα παρουσιάζεται αναλυτικότερα.

Κύριος σκοπός αυτής της εργασίας – εκτός από την παρουσίαση των προβλημάτων – είναι η ενασχόληση με τις διάφορες μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί σχετικά με τον προγραμματισμό των ωραρίων των οδηγών, καθώς και η παρουσίαση όλων των σχετικών με το πρόβλημα παραμέτρων κι ο βαθμός επιρροής τους στο τελικό αποτέλεσμα.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στις αστικές συγκοινωνίες και μια γενική περιγραφή της σημερινής κατάστασης. Παρουσιάζονται οι στόχοι και τα προτεινόμενα μέτρα βελτίωσης καθώς και η αποτελεσματικότητα αυτών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται οι προϋποθέσεις για το σχεδιασμό και την αποδοτική λειτουργία των αστικών συγκοινωνιών, καθώς και οι περιορισμοί που τίθενται για την επίτευξή τους. Οι προϋποθέσεις αυτές εστιάζονται σε τρεις τομείς: στο σχεδιασμό των δρομολογίων, στο επίπεδο εξυπηρέτησης και στην οικονομική και παραγωγική απόδοση.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο σχεδιασμός ενός δικτύου λεωφορειακών γραμμών. Γίνεται εκτενής αναφορά στα βήματα που ακολουθούνται όπως ο διαχωρισμός της υπό μελέτη περιοχής σε ζώνες, η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος κλπ. Επίσης η δημιουργία ενός δικτύου λεωφορειακών γραμμών αντιμετωπίζεται ως πρόβλημα βελτιστοποίησης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στον προγραμματισμό των υπηρεσιών του προσωπικού. Ακολουθεί μία σύντομη ιστορική αναφορά και

παρουσιάζεται μαθηματικά το πρόβλημα . Ακόμα , οι απαραίτητοι ορισμοί των διαφόρων μεγεθών και τα προγράμματα επίλυσης που έχουν αναπτυχθεί αναφέρονται επιγραμματικά.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναπτύσσεται το σύστημα προγραμματισμού IMPACS. Διατυπώνεται η φιλοσοφία και η βάση από την οποία ξεκινά καθώς επίσης οι περιορισμοί κι οι παραδοχές που θέτει . Ακόμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του σε κάποιες γραμμές.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται μία ανάλογη ανάπτυξη της μεθόδου γεννήτριας στηλών (column generation) . Παρουσιάζονται η φιλοσοφία και οι παραδοχές . Επίσης αναφέρονται και τα αποτελέσματα από μία εφαρμογή της μεθόδου σε μια Αμερικανική πόλη.

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται μία μελέτη των διακυμάνσεων του κόστους , των υπερωριών και άλλων χαρακτηριστικών μεγεθών της εφαρμογής του προηγούμενου κεφαλαίου. Ο υπολογισμός του κόστους και τον υπερωριών γίνεται μέσω της διαδικασίας της βελτιστοποίησης με τη βοήθεια του γραμμικού προγραμματισμού. Εφαρμόζονται τέσσερις διαδικασίες επίλυσης που διαφέρουν μεταξύ τους στους περιορισμούς και στις παραδοχές και παρουσιάζονται τα εξαγόμενα διαγράμματα. Μέσα από τα διαγράμματα αυτά βγαίνουν χρήσιμα συμπεράσματα.

Στο όγδοο κεφάλαιο η προσοχή εστιάζεται στον προγραμματισμό των ωραρίων του προσωπικού στον Ο.Α.Σ.Α. Παρουσιάζεται το σύστημα ορισμού και δημιουργίας των υπηρεσιών . Επίσης , γίνεται και μία εφαρμογή ανάλογη με αυτή του κεφαλαίου 7 σε μία λεωφορειακή γραμμή της Αθήνας . Εφαρμόζονται τρία σενάρια επίλυσης και δημιουργούνται τα ανάλογα διαγράμματα.

Το ένατο κεφάλαιο ασχολείται με το εργασιακό καθεστώς στον Ο.Α.Σ.Α. Αναφέρονται όλες οι λεπτομέρειες σχετικά με τις συνθήκες εργασίας, τις οικονομικές απολαβές , τις αναπαύσεις και άλλα . Τέλος , στο δέκατο κεφάλαιο παρουσιάζονται χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με όλο το φάσμα που ασχολήθηκε η εργασία αυτή.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΣΤΙΚΕΣ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	1
1.1	Εισαγωγή	1
1.2	Οι στόχοι και τα προτεινόμενα μέτρα βελτίωσης	2
2.	ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΩΝ	4
2.1	Εισαγωγή	4
2.2	Προϋποθέσεις σχετικά με το σχεδιασμό των δρομολογίων	4
2.3	Προϋποθέσεις σχετικά με το επίπεδο εξυπηρέτησης	7
3.	Ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΛΕΩΦΟΡΕΙΑΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ	13
3.1	Σχεδιασμός ενός δικτύου αστικών συγκοινωνιών	13
3.2	Διαχωρισμός της υπό μελέτη περιοχής σε ζώνες	13
3.3	Μαθηματική διατύπωση του προβλήματος	14
3.4	Τρόποι επίλυσης - ευρετικές μέθοδοι	16
3.5	Αντικειμενική συνάρτηση	18
4.	Ο ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΩΡΑΡΙΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ	23
4.1	Εισαγωγή	23
4.2	μαθηματική διατύπωση του προβλήματος	25
4.3	Ορισμοί	26
4.4	Μέθοδοι επίλυσης	28
5.	ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ IMPACS	29
5.1	Εισαγωγή	29
5.2	η μέθοδος επίλυσης συνόλου	29
5.3	Η επιλογή των χρονικών σημείων αλλαγής	31
5.4	Η δημιουργία κι η επιλογή του είδους των υπηρεσιών	34
5.5	Η τελική επιλογή του είδους των υπηρεσιών	36
5.6	Το κόστος των υπηρεσιών	37
5.7	Οι υπορουτίνες ZIP	38
5.8	Κλάδος φράγματος (branch and bound)	38
5.9	Παραδείγματα εφαρμογής του IMPACS	40
6	Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΣΤΗΛΩΝ	42
6.1	Εισαγωγή	42
6.2	Η μέθοδος	44
6.3	Η δημιουργία προγραμμάτων προσωπικού	46
6.4	Το πρόβλημα κάλυψης συνόλου	46
6.5	Η επίλυση του προβλήματος	48
6.6	Η μοντελοποίηση του προβλήματος κι η θέση του στο δίκτυο	51
6.7	Παρουσίαση των παραπάνω όρων στο σύστημα	53

6.8	Εφαρμογή της μεθόδου σε μία Αμερικανική πόλη	55
7	Ο ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ	58
7.1	Εισαγωγή	58
7.2	Η διατύπωση του προβλήματος	59
7.3	Η εποπτική αντιμετώπιση του προβλήματος	59
7.3.1	Παραδοχές	59
7.3.2	Μεταβολή των υπηρεσιών – κόστους – υπερωριών ανάλογα με τη διακύμανση του εύρους της υπηρεσίας	61
7.3.3	Μεταβολή των υπερωριών κι υπηρεσιών ανάλογα με τη διακύμανση της διάρκειας του τμήματος υπηρεσίας	62
7.4	Η αντιμετώπιση του προβλήματος μέσω της διαδικασίας βελτιστοποίησης	63
7.4.1	Πρώτη Διερεύνηση	63
7.4.1.1	Διακύμανση των υπερωριών και του κόστους με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών	65
7.4.1.2	Διακύμανση των υπερωριών και του εύρους των υπηρεσιών με βάση τη μεταβολή των υπηρεσιών	66
7.4.2	Δεύτερη διερεύνηση	67
7.4.2.1	Διακύμανση των υπερωριών και του κόστους με βάση τη μεταβολή των υπηρεσιών	68
7.4.2.2	Διακύμανση των υπερωριών και του εύρους των υπηρεσιών με βάση τη μεταβολή των υπηρεσιών	69
7.4.3	Τρίτη διερεύνηση	71
7.4.3.1	Διακύμανση των υπερωριών και του κόστους με βάση τη μεταβολή των υπηρεσιών	72
7.4.3.2	Διακύμανση των υπερωριών και του εύρους των υπηρεσιών με βάση τη μεταβολή των υπηρεσιών	73
7.4.4	Γενικά Συμπεράσματα	74
7.5	Αναλυτική παρουσίαση των διαγραμμάτων των τριών διερευνήσεων και της εποπτικής αντιμετώπισης	75
8.	Ο ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΩΡΑΡΙΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ ΣΤΙΣ ΑΣΤΙΚΕΣ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ	94
8.1	Εισαγωγή	94
8.2	Τα κυριότερα στοιχεία που χαρακτηρίζουν το εργασιακό καθεστώς στον Ο.Α.Σ.Α.	94
8.3	Ο καθορισμός των υπηρεσιών	96
8.4	Η διακύμανση του κόστους και των υπολοίπων παραμέτρων σε μία λεωφορειακή γραμμή	100
8.4.2	Τα δεδομένα του προβλήματος	100
8.4.3	Πρώτο σενάριο επίλυσης	101

8.4.3.1	Διακύμανση των υπερωριών και του κόστους με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών	102
8.4.3.2	Διακύμανση των υπερωριών και του εύρους των υπηρεσιών με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών	104
8.4.4	Δεύτερο σενάριο επίλυσης	105
8.4.4.1	Διακύμανση των υπερωριών και του κόστους με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών	106
8.4.4.2	Διακύμανση των υπερωριών και του εύρους των υπηρεσιών με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών	108
8.4.5	Τρίτο σενάριο επίλυσης	109
8.4.5.1	Διακύμανση των υπερωριών και του κόστους με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών	110
8.4.5.2	Διακύμανση των υπερωριών και του εύρους των υπηρεσιών με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών	112
8.5	Συμπεράσματα	113
8.6	Αναλυτική παρουσίαση των διαγραμμάτων των τριών σεναρίων επίλυσης	114
9.	ΤΟ ΕΡΓΑΣΙΑΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΣΤΟΝ Ο.Α.Σ.Α.	127
9.1	Εισαγωγή	127
9.2	Αξιολόγηση του προσωπικού	127
9.3	Αποδοχές	128
9.4	Εκπαίδευση	129
9.5	Γενικές υποχρεώσεις προσωπικού	130
9.6	Ειδικά Καθήκοντα Προσωπικού Κίνησης	132
9.7	Αναπαύσεις	135
9.8	Υγιεινή κι ασφάλεια των εργαζομένων και χώρων εργασίας	136
10.	ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	138
10.1	Εισαγωγή	138
10.2	Ο σχεδιασμός ενός δικτύου λεωφορειακών γραμμών	139
10.3	Ο προγραμματισμός των ωραρίων	140
10.3.1	IMPACS	140
10.3.2	Γεννήτρια στηλών πίνακα	141
10.4	Ο καθορισμός των υπηρεσιών με βάση τη βελτιστοποίηση του κόστους	142
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	144

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΣΤΙΚΕΣ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

1.1 Εισαγωγή

Οι αστικές συγκοινωνίες και ιδιαίτερα τα λεωφορεία αποτελούν το βασικότερο μέσο μεταφοράς σε πολλές πόλεις , όπως η Αθήνα . Τα τελευταία χρόνια όμως, από σχετικές μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί , παρατηρείται το φαινόμενο της μείωσης του ποσοστού των μεταφερόμενων με Μέσα Μαζικής Μεταφοράς .Συγκεκριμένα στην Αθήνα από το 1965 μέχρι και σήμερα σημειώνεται μια σημαντική και συνεχής πτώση του αριθμού των ανά κάτοικο μετακινήσεων με μαζικά μέσα με ταυτόχρονη αύξηση των μετακινήσεων με ΙΧ .

Πράγματι , ενώ μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 60 δύο στις τρεις μετακινήσεις στην Αθήνα γίνονταν με ΜΜΜ , σήμερα μόνο μία στις τρεις μετακινήσεις πραγματοποιούνται με ΜΜΜ . Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται και στην πόλη της Θεσσαλονίκης όπου σημειώνεται κι εκεί μια εντυπωσιακή αύξηση των μετακινήσεων με ΙΧ σε σχέση με τις μετακινήσεις με ΜΜΜ.

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε να πούμε ότι η βελτίωση των αστικών συγκοινωνιών είναι μια επιτακτική ανάγκη , καθώς οι αστικές συγκοινωνίες αποτελούν βασική προϋπόθεση για την ομαλή λειτουργία και την πραγματοποίηση των δραστηριοτήτων μιας πόλης , και ιδιαίτερα των ελληνικών πόλεων όπου οι δυσχέρειες που προκύπτουν από τη σημερινή πυκνή δόμηση , την τοπογραφία και τους αρχαιολογικούς χώρους δεν επιτρέπουν την εύκολη χρήση του ιδιωτικού αυτοκινήτου.

Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι οι άρτιες αστικές συγκοινωνίες αποτελούν βασική προϋπόθεση και για την επίλυση βασικών κυκλοφοριακών προβλημάτων ενώ παράλληλα παρέχουν σημαντική ευκολία στα άτομα των μεσαίων κοινωνικοοικονομικών στρωμάτων τα οποία δεν έχουν την ικανότητα να μεταφερθούν με ΙΧ

1.2 Οι στόχοι και τα προτεινόμενα μέτρα βελτίωσης

Ο σχεδιασμός των μέτρων για τη βελτίωση των αστικών συγκοινωνιών και ιδιαίτερα των λεωφορείων πρέπει να γίνεται έχοντας σαν γνώμονα την επίτευξη των παρακάτω στόχων :

- Τη μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου των οδών όπου παρατηρείται υψηλή συχνότητα λεωφορείων
- Τη μείωση του χρόνου διαδρομής και της καθυστέρησης των μετακινούμενων ατόμων
- Την αύξηση των μετακινούμενων ατόμων με προσέλκυση νέων επιβατών από τα Ι.Χ. και τα TAXI

Βέβαια λόγοι πολιτικής επιβάλλουν την αύξηση του επιπέδου εξυπηρέτησης των επιβατών , χωρίς όμως την υπερβολική αύξηση του στόλου των οχημάτων ή την αύξηση του κόστους λειτουργίας .

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων οι αποφάσεις που θα ληφθούν πρέπει να ακολουθούν τα εξής βήματα

- i. Αξιολόγηση των υφιστάμενων συνθηκών
- ii. Αναγνώριση των προβλημάτων που αντιμετωπίζει το σύστημα
- iii. Αξιολόγηση των εναλλακτικών προτεινόμενων λύσεων
- iv. Αξιολόγηση του κόστους της νέας λύσης καθώς επίσης την ευκολία εφαρμογής της

Τα μέτρα που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη των παραπάνω στόχων και γενικά για την αξιολόγηση των βελτιώσεων των ΜΜΜ αφορούν κυρίως το κόστος , την προσέλκυση πελατών και τους χρόνους διαδρομών , αποτελούν μετρήσιμες παραμέτρους και θα λέγαμε ότι είναι στοιχεία τα οποία μπορούν άμεσα να επιτευχθούν.

Με την επίτευξη της προσέλκυσης περισσότερων επιβατών στις αστικές συγκοινωνίες μπορούν να πραγματοποιηθούν έμμεσα κι άλλοι στόχοι όπως η ποιότητα περιβάλλοντος , η οικονομία και η χωροταξική ανάπτυξη.

Η αποτελεσματικότητα των μέτρων που εφαρμόζονται για τη βελτίωση είναι απαραίτητο να προσδιορίζεται προκειμένου να διαπιστώνεται το μέγεθος της προόδου . Για το σκοπό αυτό χρήσιμο είναι να υπολογίζεται ο αριθμός των προσελκυσόμενων επιβατών , η εξοικονόμηση χώρου για τους επιβάτες και η μείωση του μήκους των διαδρομών σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Έτσι τα οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή των μέτρων βελτίωσης πρέπει σε κάθε περίπτωση να συγκρίνονται με το κόστος για την εταιρία και τις κοινωνικές επιπτώσεις που συνεπάγονται . Με άλλα λόγια , στόχος είναι η εύρεση της βέλτιστης λύσης που θα επιφέρει τη βελτίωση που αναζητούμε , δηλαδή ο συνδυασμός των κατάλληλων μέτρων θα προσεγγίσει στο μεγαλύτερο ποσοστό το στόχο και που θα αποφέρει το χαμηλότερο κόστος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Η σωτή λειτουργία και ο άρτιος σχεδιασμός των αστικών συγκοινωνιών είναι δύο πολύ βασικά στοιχεία που παίζουν σημαντικό ρόλο στα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς. Χαρακτηριστικό αυτών είναι η πολυπλοκότητα που παρουσιάζουν , η οποία οφείλεται στο ότι εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες.

Οι παράγοντες αυτοί έχουν σα σκοπό τη βελτίωση του επιπέδου εξυπηρέτησης και της παροχής συγκοινωνιακού έργου γενικότερα. Για να γίνουν εφικτά τα παραπάνω στοιχεία τίθενται ορισμένες προϋποθέσεις οι οποίες χωρίζονται σε τρεις ομάδες , ανάλογα με τις πτυχές του συγκοινωνιακού έργου στις οποίες αναφέρονται , και είναι οι εξής :

- Προϋποθέσεις σχετικά με το σχεδιασμό των δρομολογίων
- Προϋποθέσεις σχετικά με το επίπεδο εξυπηρέτησης
- Προϋποθέσεις σχετικά με την οικονομική και παραγωγική απόδοση

2.2 Προϋποθέσεις σχετικά με το σχεδιασμό των δρομολογίων

- **Κάλυψη περιοχής από τη λεωφορειακή γραμμή**

Οι περιορισμοί που εφαρμόζονται στην περίπτωση αυτή έχουν σα σκοπό τη δημιουργία λεωφορειακών γραμμών κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή προσέλευση των επιβατών με όσο το δυνατό μικρότερο κόστος. Οι περιορισμοί αυτοί χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία , η απόσταση μεταξύ δύο λεωφορειακών διαδρομών πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 800 μέτρων και 3 χιλιομέτρων ανάλογα με το μέγεθος της οικιστικής πυκνότητας και της επαγγελματικής δραστηριότητας [12]. Έτσι , όσο πιο πυκνοκατοικημένη είναι η περιοχή κι όσο πιο κοντά στο κέντρο βρίσκεται , τόσο πιο μικρή είναι η απόσταση. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι σκοπός είναι να

αποφασίζονται τέτοιες αποστάσεις ώστε να μην υπάρχει αλληλοκάλυψη των διαδρομών και να γίνεται καλή κατανομή των συγκοινωνιών σε όλη την περιοχή.

Στη δεύτερη κατηγορία δίνεται περισσότερο βάρος στη δυνατότητα πρόσβασης των επιβατών. Έτσι, ορίζεται ένα κατώτατο ποσοστό των κατοίκων μιας περιοχής (50-95%) που εκτιμάται ότι κατοικεί σε μια απόσταση από τη στάση από 400 έως 800 μέτρα. Σύμφωνα με αυτούς τους περιορισμούς θεωρείται ότι για περιοχές υψηλής πυκνότητας που εξυπηρετούνται από τοπικές διαδρομές το 85 ή 95 % των κατοίκων της περιοχής μένουν σε μια απόσταση 400 μέτρων περίπου από τη στάση.

- **Απόσταση μεταξύ των στάσεων**

Αντικειμενικός σκοπός του καθορισμού της απόστασης μεταξύ των στάσεων είναι η μείωση της απόστασης βαδίσματος καθώς και η χωροθέτηση των στάσεων σε όχι πολύ κοντινή μεταξύ τους απόσταση. Η μικρή απόσταση των στάσεων μειώνει το επίπεδο εξυπηρέτησης των επιβαινόντων επιβατών καθώς αυξάνεται ο συνολικός χρόνος διαδρομής λόγω της αύξησης του χρόνου παραμονής στις στάσεις. Παράλληλα προκαλείται ενόχληση λόγω των συχνών επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων του οχήματος. Έτσι, λόγω των παραπάνω παραγόντων έχει καθοριστεί η απόσταση μεταξύ των στάσεων να κυμαίνεται μεταξύ 300 και 800 μέτρων [12].

Η ακριβής απόσταση μεταξύ των στάσεων εξαρτάται επίσης και από την πυκνότητα του πληθυσμού της συγκεκριμένης περιοχής, όπως επίσης και από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των λεωφοριακών γραμμών που εξυπηρετούν τη συγκεκριμένη περιοχή. Επίσης, η τοποθέτηση μιας στάσης σε ένα συγκεκριμένο σημείο εξαρτάται και από το σύνολο των πελατών που τη χρησιμοποιούν.

Όλα τα παραπάνω στοιχεία πρέπει να εξετάζονται συχνά προκειμένου να αποφασίζονται τυχόν αλλαγές και διορθωτικές παρεμβάσεις.

- **Αποκλίσεις από την κύρια διαδρομή**

Σε αρκετές περιπτώσεις οι λεωφορειακές γραμμές, προκειμένου να εξυπηρετήσουν οικιστικούς θήλακες ή κέντρα δραστηριοτήτων, εγκαταλείπουν τις βασικές αρτηρίες. Για να ελεγχθεί ο βαθμός στον οποίο μπορεί να γίνει αυτό τίθενται ορισμένοι περιορισμοί οι οποίοι είναι οι εξής [12]:

- Περιορίζεται η χρονική διάρκεια των οδικών παρακάμψεων σε ένα ανώτατο όριο 5 έως 8 λεπτών για κάθε λεωφορειακή διαδρομή.
- Οι αποστάσεις που καλύπτονται με τα λεωφορεία δε θα πρέπει να ξεπερνούν το 20% με 40% των αποστάσεων που θα κάλυπταν τα επιβατικά αυτοκίνητα για την ίδια διαδρομή.
- Δίνεται ένα ανώτατο όριο στην αύξηση του μέσου χρόνου μετακίνησης ανά επιβάτη της τάξης του 10 με 20%.
- Τίθεται απόλυτος περιορισμός στον αριθμό των επιτρεπόμενων παρακάμψεων ανά διαδρομή , έτσι ώστε να μην επιτρέπονται περισσότερες από δύο παρακάμψεις.
- Οι παρακάμψεις από την κύρια διαδρομή είτε δεν πρέπει να μειώνουν τη μέση παραγωγικότητα της γραμμής είτε πρέπει στο τμήμα της παράκαμψης η παραγωγικότητα να είναι μεγαλύτερη από αυτή του συνόλου της γραμμής.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η απόφαση για την πραγματοποίηση της παράκαμψης από την κύρια διαδρομή λαμβάνεται βάσει μετρήσεων αποστάσεων , χρόνου, επιβατών , καθώς επίσης και βάσει πληθυσμιακών δεδομένων.

• **Μήκος λεωφορειακής γραμμής.**

Το μήκος της λεωφορειακής γραμμής αξιολογείται με βάση την απόσταση ή τη συνολική διάρκεια της γραμμής. Έτσι έχει καθοριστεί ένα ανώτατο όριο στη διάρκεια της διαδρομής μετ' επιστροφή της τάξης των 75-90 λεπτών [12]. Ο καθορισμός του ανώτατου ορίου γίνεται με βάση μετρήσεις του χρόνου διαδρομής και των αποστάσεων που πραγματοποιούνται σε μάλλον αραιά χρονικά διαστήματα.

• **Επικάλυψη λεωφορειακών γραμμών**

Η ελαχιστοποίηση της αλληλοεπικάλυψης των λεωφορειακών διαδρομών έχει σαν αποτέλεσμα την καλύτερη κατανομή του δικτύου στην περιοχή που εξυπηρετεί καθώς και την αυξημένη συγκοινωνιακή εξυπηρέτηση . Με βάση τα παραπάνω επιχειρείται ο περιορισμός της επικάλυψης των διαδρομών όσο αφορά την προσέγγιση σε κέντρα δραστηριοτήτων , μέσω του καθορισμού ενός ανώτατου αριθμού ή ποσοστού επικαλυπτόμενων χιλιομέτρων διαδρομής.

- **Σύνθεση λεωφορειακής γραμμής**

Σκοπός αυτού του μέτρου είναι να ρυθμίσει τη δομή των λεωφορειακών διαδρομών ελαχιστοποιώντας τον αριθμό των διακλαδώσεων , αναστροφών και των παρακαμπτήριων γραμμών. Έτσι καθορίζεται ένας μέγιστος αριθμός των πάνω στοιχείων ιδιαίτερα σε ώρες αιχμής . Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να ελαχιστοποιείται η σύγχυση των επιβατών που μπορεί να προέλθει από την πληθώρα των διακλαδώσεων και τον αυξημένο αριθμό των αναστροφών , κατά τη διάρκεια της διαδρομής

2.3 Προϋποθέσεις σχετικά με το επίπεδο εξυπηρέτησης

- **Αριθμός μεταφερομένων επιβατών**

Για την αποφυγή υπερβολικών φόρτων επιβατών , ιδιαίτερα κατά τις ώρες αιχμής , τίθενται ορισμένοι περιορισμοί σχετικά με το φόρτο κάθε λεωφορείου ατομικά ή στο μέσο φόρτο της διαδρομής κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων χρονικών περιόδων .Οι περιορισμοί αυτοί προκύπτουν από το συνολικό αριθμό των επιβαινόντων σε σχέση με τη χωρητικότητα των καθήμενων του οχήματος και ονομάζονται παράγοντες φόρτου. Για παράδειγμα , παράγοντες φόρτου της τάξεως 100% σημαίνουν ότι όλοι οι επιβάτες είναι καθήμενοι , ενώ παράγοντες φόρτου της τάξεως του 150% σημαίνουν ότι το 50% των επιβατών είναι όρθιοι.

Τα όρια του φόρτου επιβατών διαφέρουν κι εξαρτώνται από τον τύπο της διαδρομής και τους σκοπούς που εξυπηρετεί. Συγκεκριμένα, σε βραχείας διάρκειας κλειστές διαδρομές η επιθυμητή τιμή του παράγοντα φόρτου είναι μεταξύ 350 και 400% . Σε γραμμές Express η επιθυμητή τιμή είναι 200 με 250% ενώ για τις τοπικές υπηρεσίες σε περιόδους αιχμής τα όρια είναι μεταξύ 250 και 300% [12].

- **Επιβάτες ανά δρομολόγιο**

Ο αριθμός των επιβατών ανά δρομολόγιο είναι από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που καθορίζει το βαθμό και την ποιότητα της παρεχόμενης εξυπηρέτησης. Με βάση λοιπόν αυτόν τον παράγοντα καθορίζεται ως κατώτατο όριο απαιτούμενου φόρτου επιβατών για κάθε διαδρομή της τάξης των 24 έως 40 επιβατών ανά δρομολόγιο [12].

Άλλες υπηρεσίες ορίζουν κατώτατους μέσους όρους φόρτου επιβατών για όλα τα δρομολόγια σε μία γραμμή. Επίσης, σύμφωνα με ορισμένους Οργανισμούς, η κάθε γραμμή θα πρέπει να επιτυγχάνει παραγωγικότητες που να είναι μεγαλύτερες ή ίσες από το 80% του συνολικού μέσου όρου παραγωγικότητας του συστήματος.

- **Οι συχνότητες των δρομολογίων**

Οι συχνότητες των λεωφορείων εξαρτώνται από την περίοδο λειτουργίας και από τον αριθμό των επιβατών κυρίως. Έτσι, σε ώρες αιχμής οι συχνότητες είναι αρκετά υψηλές και κυμαίνονται μεταξύ 5 και 20 λεπτών, ενώ για περιόδους εκτός αιχμής κυμαίνονται από 15 έως 60 λεπτά [12]. Το ανώτατο όριο του πενταλέπτου αφορά μόνο μεγάλα συστήματα, ενώ οι μικρότερες υπηρεσίες χρησιμοποιούν μεγαλύτερα ανώτατα όρια.

Επίσης πολλά συστήματα χρησιμοποιούν σταθερές συχνότητες για διαφορετικά είδη παρεχόμενων υπηρεσιών (όπως π.χ. στις γραμμές express) και για διαφορετικές ημέρες λειτουργίας. Συγκεκριμένα, καθορίζονται υψηλές συχνότητες στις κλειστές διαδρομές ενώ χαμηλές συχνότητες καθορίζονται σε διαδρομές από και προς απομακρυσμένες περιοχές ή προάστεια καθώς επίσης και τα Σαββατοκύριακα. Τέλος, τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των εφαρμοζόμενων συχνοτήτων αποτελούνται κυρίως από μετρήσεις δρομολογίων και μετρήσεις επιβατών.

- **Η συμμόρφωση με τα προβλεπόμενα δρομολόγια**

Η συμμόρφωση με τα προβλεπόμενα δρομολόγια αφορά την τήρηση του ωραρίου των δρομολογίων και περιλαμβάνουν αφενός την υποχρέωση του οδηγού να αναφέρει στο Κέντρο Ελέγχου την ώρα άφιξης και αφετέρου τη χρήση του Αυτόματου Ελέγχου Οχημάτων ή του Αυτόματου Συστήματος Μέτρησης Επιβατών που έχουν τη δυνατότητα καταγραφής των πραγματικών ωρών άφιξης, ή του ελέγχου του σημείου που βρίσκεται το όχημα.

- **Μετεπιβιβάσεις**

Ο αριθμός των μετεπιβιβάσεων από ένα συγκοινωνιακό μέσο σε ένα άλλο είναι διαφορετικός κι εξαρτάται από το μέγεθος της συγκοινωνιακής υπηρεσίας. Έτσι τα μικρά ή μεσαίου μεγέθους συστήματα συνήθως επιτρέπουν τη μεταφορά από ένα μέσο σε μία γραμμή συνήθως του ίδιου μέσου. Οι υπηρεσίες μεγαλύτερου βεληνεκούς επιτρέπουν δύο ή τρεις αλλαγές συγκοινωνιακού μέσου.

Επίσης καθορίζονται ανώτατα όρια στο ποσοστό των μετεπιβιβάσεων της τάξης του 20 έως 30% [12]. Κάποιοι φορείς προσθέτουν και τον περιορισμό του απαιτούμενου χρόνου αναμονής των επιβατών στη στάση προκειμένου να μεταβούν σε άλλη γραμμή, ο οποίος εκφράζεται ως ποσοστό της γραμμής σύνδεσης. Ακόμα άλλοι φορείς επιδιώκουν να αξιολογήσουν την επιβίβαση των επιβατών από τη μια γραμμή στην άλλη και το χρόνο αναμονής τους μέσω επεκτάσεων διαδρομών και χρονολογημένων μετεπιβιβάσεων και γενικά εφαρμόζοντας διάφορες τεχνικές χρονικού προγραμματισμού των διαδρομών.

- **Αριθμός εκτελούμενων δρομολογίων**

Ο αριθμός των εκτελούμενων δρομολογίων αποτελεί τη βασική προϋπόθεση για το βαθμό της αξιοπιστίας του συστήματος. Συγκεκριμένα το σύστημα θεωρείται ότι είναι αξιόπιστο όταν εκτελείται το 90% των προγραμματισμένων δρομολογίων με ποσοστό επιτυχίας 95% [12].

- **Καλυπτόμενη χρονική περίοδος από τις παρεχόμενες υπηρεσίες**

Αφορά το χρονικό διάστημα που λειτουργεί το σύστημα και παρέχει τις υπηρεσίες του. Αυτό το διάστημα διαφέρει από σύστημα σε σύστημα. Έτσι τα συστήματα μεσαίου μεγέθους έχουν διαφορετικά πρότυπα για ξεχωριστά είδη γραμμών ενώ άλλες υπηρεσίες καθορίζουν διαφορετικές ώρες λειτουργίας του συστήματος για τις αργίες και τα Σαββατοκύριακα

Συγκεκριμένα τα μεγάλα συστήματα τείνουν να λειτουργούν από νωρίς το πρωί έως αργά το βράδι με εύρος συγκοινωνιακής εξυπηρέτησης από 6π.μ. έως 3π.μ. της άλλης μέρας .Σε άλλα πιο μικρά συστήματα το εύρος κυμαίνεται από τις 6π.μ. έως τις 7μ.μ.

Άλλα συστήματα ορίζουν τις ώρες λειτουργίας ως συνάρτηση της παραγωγικότητας που αφορά τον αριθμό των επιβατών, κυρίως για τις πολύ πρωινές και νυκτερινές περιόδους λειτουργίας. Τέλος, άλλα συστήματα καθορίζουν μια τέτοια λειτουργία των υπηρεσιών ώστε οι επιβάτες που θέλουν να αναχωρήσουν από ή να φτάσουν σε μια περιοχή κάποια χρονική στιγμή, να το πραγματοποιούν μέσω της μετεπιβίβασης από μια γραμμή σε κάποια άλλη.

- **Αριθμός επιβατών ανά οχηματοώρα**

Η μέτρηση του αριθμού επιβατών ανά ώρα λειτουργίας του οχήματος εξαρτάται από μεταβλητές που σχετίζονται με τον ακριβή αριθμό των επιβαινόντων και των ωρών λειτουργίας του οχήματος. Έτσι, ο αριθμός των επιβατών υπολογίζεται σαν συνάρτηση από τον αριθμό των πλήρων διαδρομών που πραγματοποιούν οι επιβαίνοντες ή από τον αριθμό των επιβατών που μπαίνουν σε ένα όχημα, σε όλη τη χρονική διάρκεια λειτουργίας του οχήματος (παραγωγική ή όχι)

Σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα έχουν καθοριστεί τρία πρότυπα σύμφωνα με τα οποία προσδιορίζεται το μέγεθος της παρεχόμενης εξυπηρέτησης με βάση τον αριθμό των επιβατών ανά οχηματοώρα και είναι τα εξής [12] :

- Σύμφωνα με το πρώτο πρότυπο ορίζεται από μέρους των γραμμών ένα κατώτατο όριο παραγωγικότητας της τάξης του 50% έως 100% του συνολικού μέσου όρου της γραμμής ή όλου του συστήματος. Η αποτυχία επίτευξης αποδεκτών επιπέδων επίδοσης έχει σαν αποτέλεσμα την αναθεώρηση των υπηρεσιών και την προσπάθεια βελτίωσής τους.
- Σύμφωνα με το δεύτερο πρότυπο, τα κατώτατα όρια του επιπέδου παραγωγικότητας τα οποία κυμαίνονται από 40 έως 60 επιβάτες / ώρα / όχημα και ποικίλουν ανάλογα με το είδος της παρεχόμενης υπηρεσίας και την ημέρα λειτουργίας. Τα πρότυπα είναι μικρότερων απαιτήσεων για τις εξοχικές περιοχές σε σχέση με τις αστικές και μεγαλύτερων απαιτήσεων για τις υπηρεσίες που εξυπηρετούν απομακρυσμένες περιοχές από αυτές των παραδοσιακών τοπικών υπηρεσιών.
- Σύμφωνα με τον τρίτο τύπο προτύπου χρησιμοποιούνται τεχνικές που κατατάσσουν τις γραμμές βάσει της επίδοσής τους και καθορίζονται τα όρια των επιπέδων επίδοσης όπως δεκαδικές και κλασματικές διαβαθμίσεις για τον εντοπισμό ικανοποιητικών ή μη ικανοποιητικών επιδόσεων. Αυτά τα πρότυπα προτείνουν την αναθεώρηση των γραμμών εκείνων που βρίσκονται στο χαμηλότερο ποσοστό 10 έως 25 % της κατάταξης.

- **Επιβάτες ανά οχηματοχιλιόμετρο**

Η φιλοσοφία στην περίπτωση αυτή είναι ανάλογη με αυτή των επιβατών ανά οχηματοώρα. Και εδώ έχουμε δύο πρότυπα σύμφωνα με τα οποία καθορίζονται τα όρια της ικανοποιητικής επίδοσης κάθε γραμμής με βάση τους επιβάτες ανά οχηματοχιλιόμετρο.

Σύμφωνα με το πρώτο πρότυπο, ορίζονται κατώτατα όρια αναλογιών που είναι από 0,75 έως 3,00 επιβάτες ανά οχηματοχιλιόμετρο. Αυτά τα όρια είτε εφαρμόζονται από κοινού σε όλες τις γραμμές είτε ξεχωριστά σε ορισμένες ομάδες γραμμών, όπως express ή τοπικές.

Σύμφωνα με το δεύτερο πρότυπο, η κάθε γραμμή ξεχωριστά θα πρέπει να αποδίδει ένα επίπεδο που πρέπει να υπερβαίνει είτε ένα συγκεκριμένο ποσοστό του μέσου όρου των αναλογιών του συστήματος είτε την αναλογία που αφορά όλες τις γραμμές εντός των πλαισίων μιας συγκεκριμένης κατάταξης ή ομάδας. Αυτά τα ποσοστά κυμαίνονται μεταξύ 60 και 80%.

- **Ανάκτηση κόστους**

Η ανάκτηση κόστους ορίζεται ως το ποσοστό του άμεσου κόστους λειτουργίας μιας λεωφορειακής γραμμής που καλύπτεται μόνο από το αντίτιμο των εισιτηρίων των επιβατών. Η απόδοση μιας γραμμής εξαρτάται από την αναλογία ανάκτησης του λειτουργικού κόστους. Έτσι ορίζονται οι κατώτατες αποδεκτές αναλογίες ανάκτησης κόστους.

Σε ορισμένες περιπτώσεις ορίζονται ως κατώτατες αποδεκτές αναλογίες ανάκτησης κόστους για τα διαφορετικά είδη γραμμών και υπηρεσιών που κυμαίνονται μεταξύ 10 και 100% [12]. Το 100% εφαρμόζεται σε γραμμές express και σε όσες εξυπηρετούν προάστεια και απομακρισμένες περιοχές.

Σε άλλες περιπτώσεις θεωρείται ότι όλες οι γραμμές, ανεξαρτήτως του είδους της παρεχόμενης υπηρεσίας πρέπει να επιτυγχάνουν μια κατώτατη αναλογία απόδοσης η οποία κυμαίνεται από 50 έως 95% του συνολικού μέσου όρου του συστήματος.

Ορισμένοι Οργανισμοί όμως χρησιμοποιούν μια πιο σύνθετη μέθοδο βαθμολόγησης και ταξινόμησης μιας γραμμής, όσον αφορά την ανάκτηση του κόστους. Συγκεκριμένα, κάθε γραμμή για να θεωρηθεί ότι έχει ικανοποιητική επίδοση πρέπει να επιτυγχάνει σύνθετη βαθμολογία που να αποτελεί το 80% του μέσου όρου σύνθετης βαθμολογίας όλων των γραμμών.

Πρέπει να σημειωθεί ότι, σύνθετοι μέθοδοι καθορισμού των ορίων χρησιμοποιούνται από τους μεγάλους Οργανισμούς, ενώ αντίθετα, μικρότεροι Οργανισμοί καθορίζουν

κατώτατα όρια ανάκτησης του κόστους για όλες τις γραμμές χωρίς να κάνουν διάκριση μεταξύ των διαφόρων ειδών παρεχόμενων υπηρεσιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΛΕΩΦΟΡΕΙΑΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ

3.1 Ο σχεδιασμός ενός δικτύου αστικών συγκοινωνιών (Δ.Α.Σ.)

Το πρόβλημα σχεδιασμού και λειτουργίας ενός δικτύου Αστικών Συγκοινωνιών είναι εξαιρετικά πολύπλοκο . Για την επίλυσή του πρέπει να υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός δεδομένων που να αναφέρεται στις απαιτήσεις του επιβατικού κοινού , στις οικονομικές και λειτουργικές δυνατότητες των αντίστοιχων επιχειρήσεων και στο υπάρχον οδικό δίκτυο.

Λόγω αυτής της πολυπλοκότητας ο σχεδιασμός χωρίζεται σε τέσσερις διαδοχικές φάσεις κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα εξαγόμενα της μιας φάσης να χρησιμοποιούνται ως δεδομένα για την επόμενη. Αυτές οι φάσεις είναι οι εξής :

- i. Ο σχεδιασμός του δικτύου
- ii. Ο υπολογισμός της συχνότητας διέλευσης οχημάτων στις γραμμές και η κατάρτιση πίνακα δρομολογίων ώστε να καλύπτεται η υπάρχουσα ζήτηση.
- iii. Ο υπολογισμός των απαιτούμενων οχημάτων ώστε να ικανοποιούν τη συχνότητα των δρομολογίων
- iv. Η κατανομή των πληρωμάτων στα οχήματα και ο προγραμματισμός των ωραρίων , με τρόπο τέτοιο ώστε να εξασφαλίζεται η επάνδρωση των οχημάτων όλες τις ώρες λειτουργίας με την ταυτόχρονη διατήρηση των περιορισμών ως προς τις συνθήκες εργασίας του προσωπικού. (με τη φάση αυτή θα ασχοληθούμε εκτενέστερα στα επόμενα κεφάλαια)

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι φάσεις αυτές είναι αλληλένδετες και θα έπρεπε να επιλύονται ταυτόχρονα προκειμένου να βρεθεί η βέλτιστη λύση. Στην πράξη , όμως , αυτό δεν είναι εφικτό κι έτσι οι φάσεις αυτές επιλύονται ανεξάρτητα.

3.2 Διαχωρισμός της υπό μελέτη περιοχής σε ζώνες

Ο διαχωρισμός της περιοχής σε ζώνες είναι απαραίτητος προκειμένου να γίνει καλύτερη μελέτη κι επίλυση του αρχικού προβλήματος . Οι ζώνες αυτές είναι γεωγραφικές υποδιαιρέσεις με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

- Είναι αρκετά μικρές ώστε η κίνηση μέσα σε αυτές να μπορεί να αγνοηθεί.
- Είναι ομοιογενείς σχετικά με ότι αφορά τις μετακινήσεις που πραγματοποιούνται μέσα σε αυτές καθώς επίσης και οι κάτοικοι κάθε ζώνης χρησιμοποιούν τα ίδια μέσα μετακίνησης
- Ο σχεδιασμός γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν υπάρχοντα δεδομένα μετακίνησης.

Στη συνέχεια κάθε ζώνη αναπαρίσταται από από έναν κόμβο ο οποίος είναι το κέντρο βάρους των δραστηριοτήτων του πληθυσμού της ζώνης. Κατόπιν κάθε κόμβος ενώνεται μέσω συνδέσμων (τόξων) με τους γειτονικούς του προς τους οποίους υπάρχει δυνατότητα πρόσβασης μέσω του υπάρχοντος οδικού δικτύου. Οι σύνδεσμοι αυτοί απεικονίζουν τις ελάχιστες αποστάσεις ανάμεσα στους κόμβους.

Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ένας γράφος $G (V, A)$ όπου V το σύνολο των κόμβων και A το σύνολο των συνδέσμων.

3.3 Μαθηματική διατύπωση του προβλήματος

Έχοντας σχηματίσει το γράφο $G (V, A)$ του δικτύου και το σύνολο των στοιχείων d_{ij} που αντιπροσωπεύει τη ζήτηση σε μετακινήσεις από τον κόμβο i στον κόμβο j του γράφου , το πρόβλημα επιλογής του βέλτιστου δικτύου λεωφορειακών γραμμών διατυπώνεται ως εξής :

Ζητείται το σύνολο $W = \sum W_i$, $i = 1, 2, \dots, j$ των γραμμών το οποίο να περιλαμβάνει όλες τις κορυφές V του γράφου G , να χρησιμοποιεί ένα υποσύνολο A' των τόξων του G και να ελαχιστοποιεί την παρακάτω αντικειμενική συνάρτηση που εκφράζει το συνολικό κόστος μεταφοράς επιβατών [14] :

$$\text{Min} T(W) = \sum_{i,j} d_{ij} (\sum_{a_s \in P_{ij}} t_s) + \sum d_{ij} \cdot q_{ij} \cdot t_w$$

Οι περιορισμοί της αντικειμενικής συνάρτησης αναφέρονται στα κόστη της επιχείρησης και είναι οι εξής [14] :

$$i. \sum_{a_s \in A} C_s \leq I_C$$

$$\text{ii. } \sum_{W_K \in W} B_K \leq I_W$$

$$\text{iii. } I_A \leq \sum_{a_s \in A(W_K)} O_s \leq I_B \quad \text{για κάθε } W_K \in W$$

όπου :

- d_{ij} : η ζήτηση σε μετακινήσεις από τον κόμβο i στον κόμβο j του γράφου G
- a_s : τόξο του συνόλου A , $a_s \in A'$, $a_s = (i,j)$
- P_{ij} : η συντομότερη διαδρομή από την κορυφή i στην κορυφή j , του γράφου G . Η διαδρομή αυτή είναι άθροισμα τόξων.
- t_s : ο απαιτούμενος χρόνος για να διασχίσουμε το τόξο a_s με λεωφορείο
- q_{ij} : ο αριθμός μετεπιβιβάσεων στη διαδρομή P_{ij} , ανά επιβάτη.
- t_w : η απώλεια χρόνου των επιβατών για τη μετεπιβίβαση από τη μια γραμμή στην επόμενη
- C_s : το κόστος εγκατάστασης του τόξου a_s (π.χ. πινακίδες , λεωφορειολωρίδες , στέγαστρα στάσεων κλπ.)
- I_C : ανώτατο όριο του συνολικού κόστους εγκατάστασης του γράφου G
- B_K : το κόστος εγκατάστασης της λεωφορειακής γραμμής W_K (π.χ. διαμόρφωση χώρου στάθμευσης στα τέρματα κλπ.)
- I_W : το ανώτατο όριο του συνολικού κόστους εγκατάστασης των λεωφορειακών γραμμών.
- O_s : το κόστος λειτουργίας του τόξου a_s
- I_A, I_B : τα άνω και κάτω όρια των κόστων λειτουργίας μιας λεωφορειακής γραμμής.

Η παραπάνω σχέση είναι μια κλασσική διατύπωση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης και αποτελεί μια πολύ δύσκολη περίπτωση συνδυαστικής βελτιστοποίησης.

3.4 Τρόποι επίλυσης του προβλήματος – ευρετικές μέθοδοι

Το πρόβλημα ενός Δ.Λ.Γ μπορεί να επιλυθεί με βάση τη θεωρία των γράφων, το γραμμικό και ακέραιο δυναμικό προγραμματισμό και τη θεωρία κλαδών και ορίων. Φυσικά απαραίτητη είναι και η χρήση H/Y.

Η βέλτιστη λύση είναι δυνατή μόνο σε περιπτώσεις δικτύων με περιορισμένο αριθμό κόμβων, συνήθως έως 50 περίπου. Σε μεγάλα δίκτυα όμως, όπως συμβαίνει στην πραγματικότητα, η εύρεση της βέλτιστης λύσης είναι πρακτικά αδύνατη και συγχρόνως απαγορευτική στη χρήση H/Y.

Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται κατά κανόνα ευρετικοί αλγόριθμοι. Η χρήση του ευρετικού αλγόριθμου δίνει μια ικανοποιητική λύση αλλά όχι κατά κανόνα βέλτιστη. Το πόσο ικανοποιητική είναι αυτή η λύση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εκτίμηση των τιμών των σχεδιαστικών παραμέτρων που επηρεάζουν τη λειτουργία του κάθε αλγόριθμου. Για το λόγο αυτό θα πρέπει σε κάθε πρόβλημα σχεδιασμού και λειτουργίας αστικών συγκοινωνιών να καθορίζονται τα κριτήρια που θα οδηγήσουν στη βέλτιστη λύση.

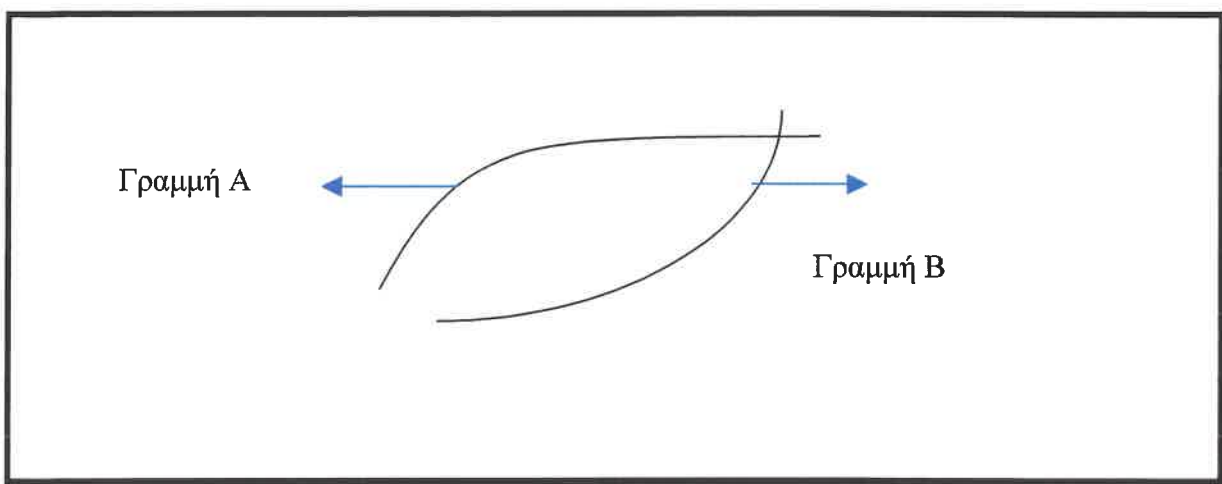
Το κοινό χαρακτηριστικό όλων αυτών των αλγόριθμων είναι ο διαχωρισμός του αρχικού προβλήματος σε ένα αριθμό αλληλοσυσχετιζόμενων υποπροβλημάτων τα οποία τίθενται σε βελτιστοποίηση. Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται ως εξής :

Αρχικά δημιουργείται μια λίστα ζευγών κόμβων που κρίνεται ότι πρέπει να αποτελέσουν άκρα γραμμών. Η εκλογή κάθε ζεύγους κόμβων γίνεται με βάση ορισμένα κριτήρια όπως είναι η μορφή του Δ.Λ.Γ. (κυκλική ή με κανάβους), το μέγεθος της ζήτησης σε μετακινήσεις ανάμεσα στους κόμβους του ζεύγους, η διευκόλυνση των επιβατών προς εμπορικά κέντρα ή άλλα σημεία δραστηριοτήτων, η δυνατότητα εκμετάλλευσης διευκολύνσεων από το ήδη υπάρχον δίκτυο κ.α.

Στη συνέχεια, για τον περιορισμό των μετεπιβιβάσεων μερικοί κόμβοι προσδιορίζονται σαν οι μοναδικοί κόμβοι μετεπιβιβάσεων. Οι κόμβοι αυτοί είναι είτε αφετηρίες – τέρματα είτε κοινοί κόμβοι δύο ή περισσότερων γραμμών. Επίσης, οι κόμβοι αυτοί πρέπει να είναι διασκορπισμένοι σε όλο το δίκτυο και κάθε γραμμή του δικτύου πρέπει να διέρχεται τουλάχιστον από έναν από αυτούς τους κόμβους.

Στο επόμενο στάδιο κάθε ζεύγος κόμβων εξετάζεται χωριστά και δημιουργείται μια κύρια γραμμή που είναι η ελάχιστη απόσταση ανάμεσα στα δύο άκρα της γραμμής ή ανάμεσα στα δύο άκρα και τους κόμβους μετεπιβίβασης της γραμμής. Ύστερα, τίθενται οι παρακάτω βασικές προϋποθέσεις για την εκλογή του Δ.Λ.Γ. [14] :

- i. **Το μήκος της γραμμής.** Συνήθως επιλέγεται το μήκος μιας γραμμής να βρίσκεται μεταξύ ενός κάτω κι ενός άνω ορίου, κι όχι μικρών διαστάσεων διότι σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζονται ορισμένα προβλήματα όπως αυξημένο κόστος λειτουργίας και δυσκολίες στη δρομολόγηση.
- ii. **Η αραίωση των γραμμών.** Οι γραμμές δεν πρέπει να πλησιάζουν η μία την άλλη και κατόπιν να τέμνονται μεταξύ τους, όπως, για παράδειγμα, στο Σχήμα 3.1 :



Σχήμα 3.1 : Αραίωση γραμμών

Στην περίπτωση που ορισμένες γραμμές δεν πληρούν την πρώτη προϋπόθεση τότε συγχωνεύονται μεταξύ τους και σχηματίζουν μία μοναδική γραμμή, ή σχεδιάζονται εναλλακτικά από την αρχή. Στην περίπτωση που δεν πληρείται το δεύτερο κριτήριο, δηλαδή δύο γραμμές τέμνονται μεταξύ τους, τότε επιλέγεται η γραμμή με το μικρότερο κόστος μεταφοράς και λειτουργίας, ενώ η άλλη ξανασχεδιάζεται από την αρχή.

Τελικά υπολογίζεται το επίπεδο εξυπηρέτησης του εκλεγέντος Δ.Λ.Γ. σύμφωνα με το συνολικό κόστος μεταφοράς των επιβατών. Αν το επίπεδο εξυπηρέτησης θεωρηθεί χαμηλό, και το κόστος λειτουργίας πολύ υψηλό τότε επαναλαμβάνεται ολόκληρη η διαδικασία από την αρχή για ολόκληρο το δίκτυο ή για ένα μέρος αυτού.

Οι ευρετικοί αλγόριθμοι έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν καλύτερα να επεξεργάζονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του προβλήματος για το οποίο δημιουργούνται, όμως έχουν το μειονέκτημα ότι η χρήση τους περιορίζεται μόνο σε μια κατηγορία προβλημάτων.

3.5 Η αντικειμενική συνάρτηση

Το βασικότερο μέρος στη λειτουργία του αλγόριθμου βελτιστοποίησης είναι η αντικειμενική συνάρτηση, η οποία διατυπώνεται μαθηματικά ως εξής [8,10,14]:

$$\max Z_K = \alpha_1 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N P_{ijk} \cdot S_{ij} - \alpha_2 (N) \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N S_{ij} + \alpha_3 \sum_{j=1}^N R_i$$

$\longleftrightarrow$ $\longleftrightarrow$ $\longleftrightarrow$
 (α) (β) (γ)

όπου :

- K : η γραμμή για την οποία εφαρμόζεται η συνάρτηση
- N : ο αριθμός των κόμβων που έχουν οριστεί πάνω στην εξεταζόμενη γραμμή
- P_{ijk} : ο φόρτος της γραμμής (σε επιβάτες) στο σύνδεσμο (i,j)
- S_{ij} : η συντομότερη απόσταση μεταξύ δύο κόμβων i, j
- R_i : ο αριθμός των ήδη υπαρχουσών γραμμών που διέρχονται από τον κόμβο i της γραμμής k
- $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$: οι συντελεστές βαρύτητας της αντικειμενικής συνάρτησης.

Όπως βλέπουμε, η αντικειμενική συνάρτηση αποτελείται από τρεις όρους οι οποίοι έχουν την εξής φυσική έννοια :

- Η μεγιστοποίηση του (α) όρου εκφράζει την καλύτερη ικανοποίηση της ζήτησης. Δηλαδή σκοπός είναι η αύξηση του μεταφορικού έργου σε όσο το δυνατό μεγαλύτερες αποστάσεις. Αυτό σημαίνει ταυτόχρονα ότι πρέπει να σχεδιαστούν γραμμές οι οποίες να μεταφέρουν όσο το δυνατό περισσότερους επιβάτες σε όλο το μήκος της διαδρομής τους κι όχι σε ορισμένα τμήματα αυτής. Επίσης δίνεται με αυτό τον τρόπο και κάποια προτεραιότητα και στις μακρινές μετακινήσεις.

- Η ελαχιστοποίηση του (β) όρου εξασφαλίζει ότι η διαδρομή θα προσεγγίζει όσο το δυνατό περισσότερο την ευθεία ,ενώ παράλληλα θα ελαχιστοποιεί το χρόνο διαδρομής , το κόστος εγκατάστασης της γραμμής καθώς επίσης και το πιο σημαντικό , το κόστος λειτουργίας (αφού αυτά τα κόστη είναι ανάλογα του μήκους της γραμμής). Ο συντελεστής βαρύτητας a_2 είναι συνάρτηση του αριθμού των κόμβων N .
- Η μεγιστοποίηση του τρίτου όρου εξασφαλίζει ότι θα προκύψει ένα δίκτυο όπου οι διασυνδέσεις των γραμμών θα είναι επαρκείς με αποτέλεσμα να εξασφαλίζεται η δυνατότητα μετεπιβίβασης και να μειώνεται ο αριθμός των γραμμών που χρειάζεται για την εξυπηρέτηση της ζήτησης.

Στον παραπάνω τύπο της αντικειμενικής συνάρτησης μπορούν να προστεθούν κι άλλοι όροι στην πορεία της επίλυσης αν θεωρηθεί αυτό αναγκαίο. Έτσι προκύπτει ο τελικός τύπος .

Η αντικειμενική συνάρτηση χρησιμοποιείται σε τρία σημεία της επίλυσης ,που είναι τα ακόλουθα :

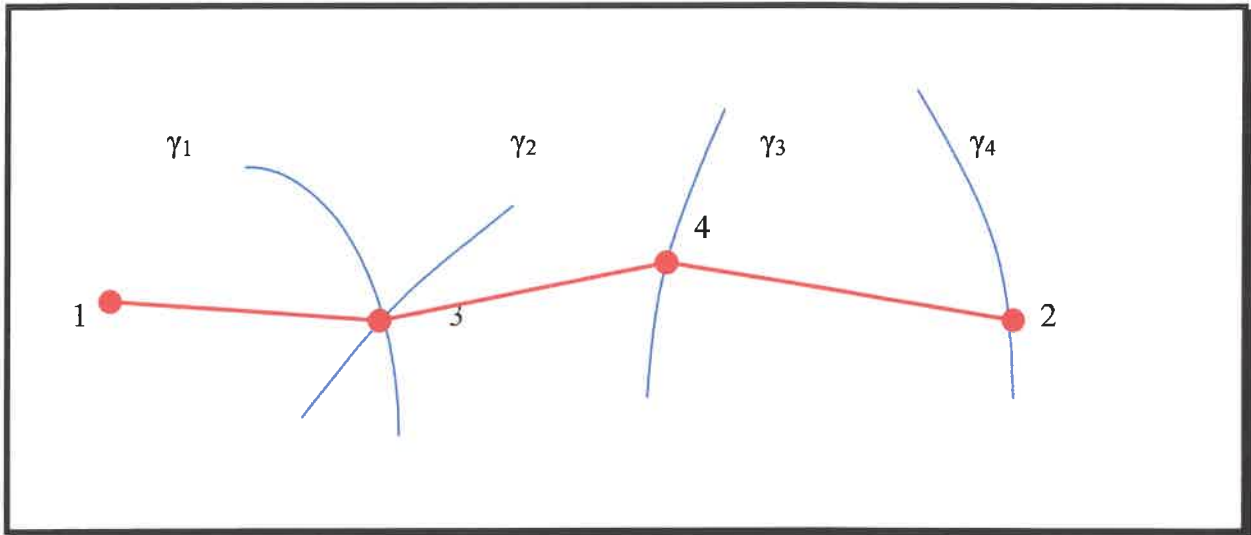
- Στην επιλογή της βέλτιστης κύριας γραμμής από όλες αυτές που έχουν δύο συγκεκριμένους κόμβους στα άκρα τους.
- Στη διάταξη των κυρίων γραμμών κατά τέτοιο τρόπο ώστε πρώτη να είναι αυτή που να δίνει τη μέγιστη τιμή στην αντικειμενική συνάρτηση.
- Στην επιλογή του βέλτιστου ενδιάμεσου κόμβου.

Όσον αφορά τους συντελεστές της αντικειμενικής συνάρτησης , αυτοί αντιπροσωπεύουν τις σχετικές βαρύτητες των τριών όρων της ,δηλαδή το βαθμό που επηρεάζει ο κάθε παράγοντας από τους τρεις την τελική τιμή της συνάρτησης., και επομένως και του αλγορίθμου. Η τιμή των συντελεστών αυτών καθορίζεται κυρίως από την πολιτική που επιθυμεί να εφαρμόσει η διοίκηση των αστικών συγκοινωνιών.

Συγκεκριμένα η τιμή του συντελεστή a_2 καθορίζεται από τον αριθμό των κόμβων . Έτσι, όσο μεγαλύτεροι είναι οι κόμβοι της γραμμής , τόσο η γραμμή πλησιάζει προς την τελική μορφή της κι επομένως τόσο λιγότερο πρέπει να αυξάνει το μήκος της. Άρα ο $a_2(N)$ θα πρέπει να είναι μια αύξουσα συνάρτηση του N .

Στη συνέχεια δίνονται δύο παραδείγματα της χρήσης της αντικειμενικής συνάρτησης :

- Επιλογή κύριας γραμμής



Σχήμα 3.2 : Επιλογή κύριας γραμμής

Έστω η κύρια γραμμή $\gamma : 1-3-4-2$, με άκρα τους κόμβους 1,2 και ενδιάμεσους κόμβους τους 3,4, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2. Ο πρώτος όρος της συνάρτησης γράφεται [14] :

$$Z_{1,\gamma} = \sum_{I=1}^{N-1} \sum_{j=I+1}^N P_{ijK} \cdot S_{ij} = P_{13} \cdot S_{13} + P_{34} \cdot S_{34} + P_{42} \cdot S_{42} =$$

$$= d_{13} S_{13} + d_{14} (S_{13} + S_{34}) + d_{12} (S_{13} + S_{34} + S_{42}) + d_{34} S_{34} + d_{32} (S_{34} + S_{42}) + d_{42} S_{42}$$

όπου d_{ij} είναι η ζήτηση ανάμεσα στους κόμβους I και j και S_{ij} είναι το μήκος του σύνδεσμου (I, j) , αν πρόκειται για διαδοχικούς συνδέσμους, διαφορετικά είναι το μήκος της συντομότερης δυνατής διαδρομής από το I έως το j .

Ο δεύτερος όρος της συνάρτησης γράφεται :

$$Z_{2,\gamma} = \sum_{j=1}^{N-1} \sum_{i=j+1}^N S_{ij} = S_{13} + S_{34} + S_{42}$$

Παρατηρούμε ότι ο δεύτερος παράγοντας είναι το συνολικό μήκος της γραμμής.

Ο τρίτος παράγοντας της αντικειμενικής συνάρτησης γράφεται :

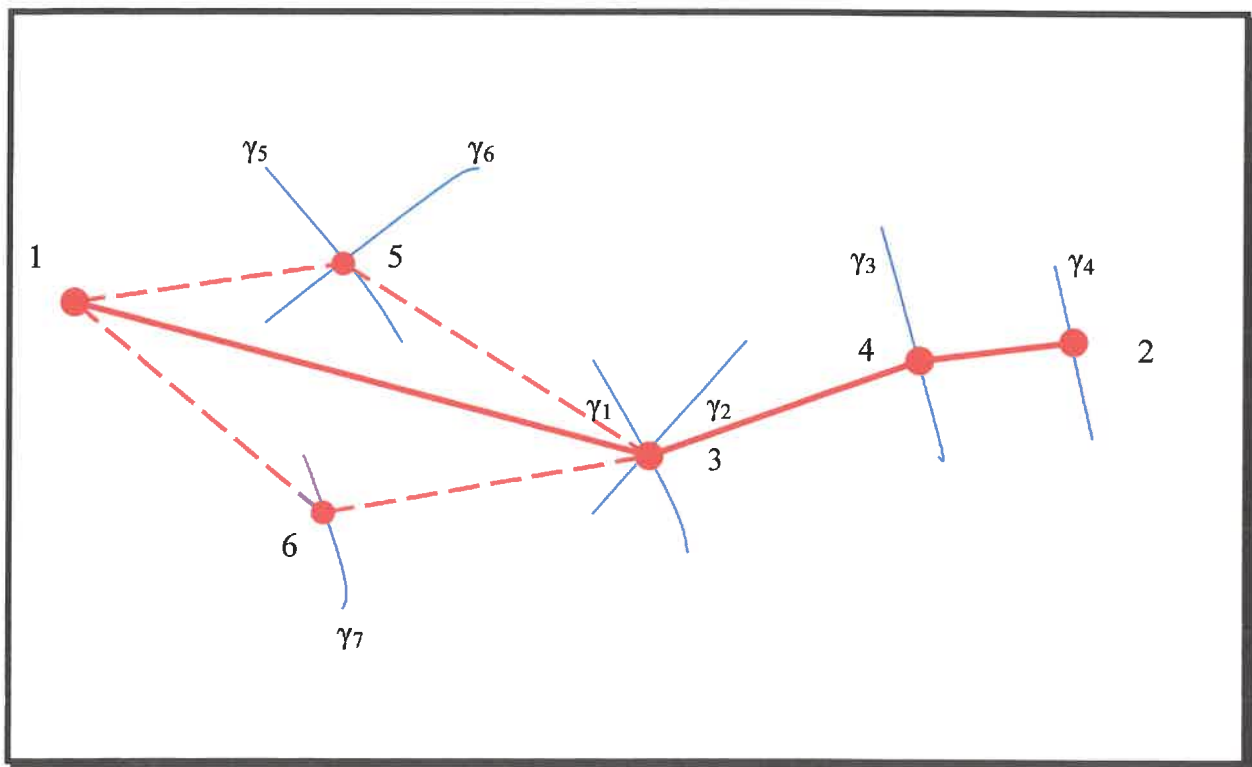
$$Z_{3,\gamma} = \sum_{j=1}^N R_j = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 0 + 2 + 1 + 1 = 4$$

Δηλαδή ο τρίτος όρος είναι ο συνολικός αριθμός των ήδη υπαρχουσών γραμμών που συναντούν την κύρια γραμμή.

Κάνοντας τους παραπάνω υπολογισμούς βρίσκονται οι τιμές των τριών όρων για κάθε υποψήφια κύρια γραμμή και στο τέλος επιλέγεται εκείνη η κύρια γραμμή για την οποία ισχύει :

$$\max Z_\gamma = \max (\alpha_1 Z_{1,\gamma} - \alpha_2 Z_{2,\gamma} + \alpha_3 Z_{3,\gamma})$$

- Επιλογή ενδιάμεσου κόμβου



Σχήμα 3.3 : Επιλογή ενδιάμεσου κόμβου

Θεωρούμε ότι έχουμε το δίκτυο του Σχήματος 3.3 το οποίο αποτελείται από την κύρια γραμμή 1-3-4-2 . Το ζητούμενο είναι η επιλογή του ενδιάμεσου κόμβου ανάμεσα στους κύριους κόμβους 1 και 3. Η επιλογή θα γίνει μεταξύ των κόμβων 5 και 6.

Το πρώτο βήμα είναι ο υπολογισμός της αντικειμενικής συνάρτησης για τη γραμμή 1-5-3-4-2 και για τη γραμμή 1-6-3-4-2 . Ο κόμβος που θα προστεθεί θα είναι αυτός που δίνει τη μεγαλύτερη τιμή στην αντικειμενική συνάρτηση.

Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται , εισάγοντας νέους κόμβους έως ότου να συμπληρωθεί η τελική γραμμή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Ο ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΩΡΑΡΙΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ

4.1 Εισαγωγή

Όλοι οι Οργανισμοί Μαζικής Μεταφοράς στον κόσμο αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της δημιουργίας των προγραμμάτων εργασίας του προσωπικού τους . Το πρόβλημα αυτό είναι , χωρίς αμφιβολία , πολυσύνθετο και ενδεχομένως αρκετά δύσκολο διότι πρέπει ταυτόχρονα να πληρεί τρεις απαιτήσεις : την εξασφάλιση της ζήτησης (δηλ. την πλήρη εξυπηρέτηση του επιβατικού κοινού) , την ελαχιστοποίηση του κόστους και την εφικτότητα που πρέπει να έχει το προσωπικό ώστε να εκτελέσει στο ακέραιο την εργασία του.

Τα τελευταία χρόνια οι περισσότερες επιχειρήσεις (δημόσιες και ιδιωτικές) αστικών συγκοινωνιών αντιμετωπίζουν διαρκώς διογκούμενα προβλήματα από τη μείωση της επιβατικής κίνησης που είναι συνέπεια του ανταγωνισμού με το ιδιωτικό επιβατικό αυτοκίνητο καθώς και της χειροτέρευσης των κυκλοφοριακών συνθηκών στις πόλεις. Έτσι , ενώ τα έσοδα μειώνονται συνεχώς , το λειτουργικό κόστος αυξάνει , ενώ παράλληλα οι ανάγκες για μετακίνηση μεταβάλλονται. Για όλους αυτούς τους λόγους , η παραγωγικότητα των επιχειρήσεων έχει γίνει στόχος τόσο των ίδιων όσο και της πολιτείας. Έτσι , η διαδικασία προγραμματισμού των λεωφορείων και των οδηγών , των δύο βασικών συνιστωσών του λειτουργικού κόστους , είναι κάτι που έχει απασχολήσει αρκετούς ειδικούς στην προσπάθεια βελτίωσης της παραγωγικότητας.

Πιο συγκεκριμένα , σε μια λεωφορειακή γραμμή , το πρόγραμμα λειτουργίας της γραμμής αποτελείται από τα επιμέρους προγράμματα :

- Τον πίνακα δρομολογίων (time schedule) που περιγράφει την παρεχόμενη εξυπηρέτηση στο επιβατικό κοινό
- Το πρόγραμμα των οχημάτων (vehicle or bus schedule) που περιγράφει τις μετακινήσεις των οχημάτων της γραμμής κατά τη διάρκεια της ημέρας.
- Το πρόγραμμα του προσωπικού (crew schedule) που εξασφαλίζει την επάνδρωση των οχημάτων κατά τις ώρες κίνησής τους και την τήρηση των κανόνων απασχόλησης του προσωπικού.

- Το πρόγραμμα εργασίας και ανάπαυσης (duty roster) του προσωπικού , που προσδιορίζει τις υπηρεσίες και τις ημέρες ξεκούρασης των οδηγών , σύμφωνα πάντα με τους κανόνες απασχόλησής του.

Η σύνθεση του προγράμματος μιας γραμμής γίνεται για μια τυπική εβδομάδα και συνήθως περιλαμβάνει τρεις πίνακες δρομολογίων , έναν από Δευτέρα έως Παρασκευή , κι άλλους δύο για τα Σάββατα και τις Κυριακές , καθώς και τα αντίστοιχα προγράμματα λεωφορείων και οδηγών.

Ο προγραμματισμός των λεωφορείων και των οδηγών μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του '70 γινόταν χειρογραφικά από έμπειρους προγραμματιστές . Έκτοτε , αυτά τα προγράμματα άρχισαν να δημιουργούνται με τη βοήθεια υπολογιστών .Έτσι, σήμερα με τη βοήθεια κατάλληλων αλγορίθμων και της επαναληπτικής διαδικασίας δημιουργούνται προγράμματα με περισσότερα πλεονεκτήματα από τα προηγούμενά τους , καθώς είναι γενική διαπίστωση ότι η εφαρμογή αυτών των προγραμμάτων είναι επιθυμητή για τους παρακάτω λόγους [5,9]:

- Η εφαρμογή αυτή θα μπορούσε να ενσωματωθεί σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα υποστήριξης του προγραμματισμού του ανθρώπινου δυναμικού και του τροχαίου υλικού της επιχείρησης .
- Γίνεται δυνατή η συστηματική διερεύνηση νέων πολιτικών στην απασχόληση του προσωπικού ή στην εξυπηρέτηση του επιβατικού κοινού .
- Μειώνεται ο όγκος εργασίας στις υπηρεσίες προγραμματισμού . Υπολογίζεται ότι απαιτείται ,κατά μέσο όρο ,μια ανθρωποώρα για τον προγραμματισμό ενός λεωφορείου. Έτσι το θερινό πρόγραμμα μιας επιχείρησης με 1.200 λεωφορεία μπορεί να απαιτήσει 3.000 – 3.500 ώρες έμπειρου προσωπικού .
- Η γενική εμπειρία είναι ότι τα συστήματα προγραμματισμού με τη βοήθεια Η/Υ μειώνουν κατά ένα μικρό ποσοστό (περίπου 1%) το κόστος λεωφορείων και οδηγών της επιχείρησης . Δεδομένου όμως του μεγέθους των αστικών συγκοινωνιών ακόμη και το 1% είναι πολύ σημαντικό .

Έτσι άρχισαν να δημιουργούνται τα πρώτα προγράμματα με αρχή το TRACS (Wren 1971 και Parker and Smith 1981) και το RUCUS (Wilhelm 1975). Άλλο διακεκριμένο σύστημα που έχει σημειώσει ιδιαίτερη επιτυχία και που εφαρμόστηκε αρχικά στη Βόρεια Αμερική είναι το HASTUS . Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί μαθηματικές μεθόδους και

αρχικά παράγει ένα σύνολο από θεωρητικές υπηρεσίες προκειμένου να σχηματίσει το προφίλ του προγράμματος , και στη συνέχεια δημιουργεί το τελικό πρόγραμμα.

Τα συστήματα αυτά είναι πολύτιμα διότι μπορούν να παράγουν προγράμματα πιο εφικτά κι εφαρμόσιμα από αυτά των απλών προγραμματιστών και σε πολύ λιγότερο χρόνο. Σήμερα , οι περισσότερες εταιρίες αστικών συγκοινωνιών χρησιμοποιούν τέτοια προγράμματα , αν κι είναι γεγονός ότι τέτοιου είδους προβλήματα είναι δύσκολο να επιλυθούν από υπολογιστή όσο δύσκολο είναι να επιλυθούν από έναν απλό προγραμματιστή.

4.2 Η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος

Το πρόβλημα προγραμματισμού των οδηγών διατυπώνεται σαν μοντέλο κάλυψης συνόλου . Συγκεκριμένα δημιουργείται ένας μεγάλος αριθμός δυνατών υπηρεσιών και επιλέγονται αυτές που καλύπτουν όλα τα δρομολόγια με το ελάχιστο κόστος. Δηλαδή το πρόβλημα επιλύεται κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο έτσι ώστε να πετυχαίνεται η βελτιστοποίηση του αποτελέσματος.

Μαθηματικά το πρόβλημα διατυπώνεται ως εξής [8,9,10] :

$$\begin{aligned} \text{Min } \sum_{j=1} c_j x_j \quad \text{τ.ω. } \sum a_{ij} x_j \geq 1 \quad i = 1,2,3 \dots m \\ \text{με } x_j = 0 \text{ ή } 1, j = 1,2,3, \dots n \end{aligned}$$

όπου :

- m είναι το σύνολο των τμημάτων υπηρεσίας του προγράμματος
- j είναι η εξεταζόμενη υπηρεσία
- $a_{ij} = 1$ όταν η υπηρεσία j καλύπτει το i τμήμα.
- c_j είναι το κόστος της υπηρεσίας j
- x_j είναι συντελεστής ο οποίος είναι ίσος με τη μονάδα όταν ο τύπος της υπηρεσίας περιέχεται στο αντίστοιχο πρόγραμμα , διαφορετικά είναι 0.

Ανάμεσα στους παραπάνω περιορισμούς προστίθεται κι ο εξής : η υπηρεσία ενός οδηγού πρέπει να γίνεται τουλάχιστον σε ένα λεωφορείο

Σημείωση : Η παραπάνω μαθηματική διατύπωση αναφέρεται και στα επόμενα κεφάλαια πιο ειδικά.

4.3 Ορισμοί

Ένα τυπικό λεωφορείο θα αρχίσει το καθημερινό του πρόγραμμα από το αμαξοστάσιο νωρίς το πρωί θα ταξιδέψει στην αφετηρία ή στο τέρμα μιας γραμμής , στη συνέχεια θα εκτελέσει αρκετά δρομολόγια αυτής της γραμμής ή κάποιων άλλων και τελικά θα επιστρέψει πάλι στο αμαξοστάσιο .

Αντίστοιχα, ένας οδηγός , θα οδηγήσει ένα λεωφορείο για κάποιο τμήμα του καθημερινού προγράμματός του, στη συνέχεια θα κάνει ένα διάλειμμα κι ύστερα θα συνεχίσει με κάποιο άλλο λεωφορείο.

Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε καλύτερα το πρόβλημα και να δούμε τις διαστάσεις του πρέπει να δώσουμε τους ορισμούς ορισμένων μεγεθών , οι οποίοι αναφέρονται παρακάτω [1,5,6,8,9,10] :

- Πίνακας δρομολογίων (time schedule or timetable) : Είναι το χρονικό πρόγραμμα της γραμμής και περιλαμβάνει τις ώρες αναχώρησης των λεωφορείων από τα τερματικά σημεία της γραμμής καθώς και τις ώρες διέλευσης από τις ενδιάμεσες στάσεις .
- Πρόγραμμα οχημάτων (vehicle or bus schedule) : Είναι το πρόγραμμα που περιγράφει πλήρως τις μετακινήσεις των οχημάτων της γραμμής κατά τη διάρκεια της ημέρας .
- Πρόγραμμα προσωπικού (crew schedule) : Είναι το πρόγραμμα που εξασφαλίζει την επάνδρωση των οχημάτων όλες τις ώρες κίνησής τους και την τήρηση των κανόνων απασχόλησης του προσωπικού .
- Πρόγραμμα εργασίας και ανάπαυσης (duty roster) : Είναι το πρόγραμμα που προσδιορίζει τις συγκεκριμένες υπηρεσίες και ημέρες ανάπαυσης μέσα στον ορίζοντα προγραμματισμού (scheduling orizon) , σύμφωνα πάντα με τους ισχύοντες κανόνες απασχόλησής του.
- Χρονοδιάστημα (headway) : Είναι η χρονική περίοδος μεταξύ διαδοχικών διελεύσεων των λεωφορείων από ένα σημείο μιας λεωφορειακής γραμμής .

- Σημεία αλλαγής (relief points) : Είναι οι θέσεις μιας γραμμής όπου ένας οδηγός μπορεί να αρχίσει ή να τελειώσει την υπηρεσία του , ή να κάνει το διάλειμμά του. Ανάλογα με την τοπολογία της γραμμής, τα σημεία αυτά μπορεί να είναι κι ενδιάμεσες στάσεις . Στις θέσεις αυτές , αναγκαίο είναι να υπάρχουν κι ορισμένες διευκολύνσεις για τους οδηγούς.
- Τμήμα (piece) : Είναι το μέρος της υπηρεσίας του οδηγού που γίνεται πάνω σε ένα λεωφορείο
- Υπηρεσία του οδηγού (duty) : Είναι το σύνολο των δρομολογίων που αποτελούν το ημερήσιο πρόγραμμα του οδηγού .
- Ακραίες υπηρεσίες (trippers) : Είναι υπηρεσίες των οδηγών που αποτελούνται από ένα τμήμα κι έχουν μειωμένη διάρκεια
- Διάλειμμα (break) : Περιέχεται σε κάθε υπηρεσία του οδηγού όταν αυτή αποτελείται από δύο τμήματα . Τα διαλείμματα δίνονται στα σημεία αλλαγής κι έχουν μια ελάχιστη διάρκεια . Οι ακραίες υπηρεσίες δεν έχουν διάλειμμα .
- Ασυνεχής υπηρεσία οδηγού (split duty) : Είναι η υπηρεσία με ένα διάλειμμα μεγάλο (τρεις με πέντε ώρες) που δεν προσμετράται στον υπολογισμό της χρονικής διάρκειας της υπηρεσίας . Οι ασυνεχείς υπηρεσίες θεωρούνται ανεπιθύμητες στους οδηγούς λόγω του μεγάλου διαστήματος της βάρδιας (περίπου δέκα με δώδεκα ώρες) .
- Μπλόκ (block) : Είναι το σύνολο των δρομολογίων που εκτελούνται από ένα λεωφορείο στην έξοδό του από το αμαξοστάσιο
- Πρόγραμμα λεωφορείου (bus schedule) : Είναι ο συνδυασμός των μπλόκ που εκτελούνται από ένα λεωφορείο
- Νεκρές διαδρομές (deadhead trips) : Είναι οι διαδρομές που άμεσα δεν αποφέρουν έσοδα π.χ. διαδρομές από και προς το αμαξοστάσιο , διαδρομές για αλλαγή γραμμής ή από αφετηρία σε τέρμα (χωρίς επιβάτες) και αντίστροφα .
- Νεκρός χρόνος (dead time) : Είναι ο χρόνος που ένα λεωφορείο δε δημιουργεί έσοδα, δηλαδή ο χρόνος των νεκρών διαδρομών και ο χρόνος παραμονής στα σημεία αλλαγής.

4.3 Μέθοδοι επίλυσης

Στα περισσότερα πετυχημένα συστήματα ο σχεδιασμός των ωραρίων έχει γίνει με βάση μαθηματικά πρότυπα. Για να μπορέσει κανείς να αντιμετωπίσει τέτοιου είδους προβλήματα ,θα πρέπει πρώτα να καθορίσει και να κατανοήσει το ίδιο το πρόβλημα.

Ας υποθέσουμε , λοιπόν ότι διαθέτουμε m λεωφορεία κι ότι ο πιθανός αριθμός των ωραρίων είναι n τότε ζητάμε να βρεθεί μια σχέση ανάμεσα σ' αυτά τα δύο μεγέθη έτσι ώστε να επιτυγχάνεται το βέλτιστο συνολικό κόστος ή ο βέλτιστος (προς το ελάχιστο) αριθμός ωραρίων.

Δυστυχώς, στην πράξη, το εύρος των τιμών των m και n είναι πολύ μεγάλο , της τάξης των χιλιάδων κι εκατομμυρίων αντίστοιχα. Γι αυτό λοιπόν αυτόματα γίνεται αναγκαία η εξειδίκευση του προβλήματος κι ο απόλυτος περιορισμός του έτσι ώστε να εξασφαλιστεί μια λύση που να είναι ικανή να το επιλύσει με επιτυχία.

Οι κυριότερες μέθοδοι που έχουν έως σήμερα παρουσιαστεί διαφέρουν μεταξύ τους σε πολλές παραδοχές και άλλα σημεία . Για παράδειγμα , οι Heurgon, Falkner και Ryan παρουσίασαν μια μέθοδο στην οποία όλες οι δραστηριότητες πρέπει να πραγματοποιούνται μέσα σε κάθε βάρδια. Αντίθετα οι Wren και Smith δημιούργησαν ορισμένες βάρδιες οι οποίες είχαν σα στόχο να καλύψουν όλες τις δραστηριότητες , έχοντας ως κύριο σκοπό να μειώσουν στο ελάχιστο δυνατό τις υπερωρίες.

Επίσης, οι Blais , Rousseau και Eusebio θεώρησαν ότι η καλύτερη δυνατή λύση ήταν να δημιουργηθεί ένας αριθμός βαρδιών κατάλληλος, ώστε να καλύψει όλα τα δρομολόγια που ήταν προγραμματισμένα να πραγματοποιηθούν. Ακόμα οι Πατρικαλάκης και Ξηρόκωστας δημιούργησαν μια μέθοδο στην οποία πρώτα γινόταν ο καθορισμός των βαρδιών και στη συνέχεια ο προγραμματισμός των δρομολογίων γινόταν με βάση τη βάρδια του κάθε οδηγού.

Σήμερα οι μέθοδοι αυτές δε χρησιμοποιούνται πάρα πολύ. Αντίθετα , αυτές που συναντούνται σε πολλά συστήματα είναι οι εξής :

- HASTUS
- IMPACS
- Η μέθοδος της Γεννήτριας στηλών (Column Generation). Για αυτή τη μέθοδο θα αναφερθούμε εκτενέστερα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ IMPACS

5.1 Εισαγωγή

Η ανάπτυξη του συστήματος αυτού ξεκίνησε το 1978 στο Πανεπιστήμιο του Leeds. Προγενέστερα είχε αναπτυχθεί το σύστημα TRACS το οποίο δημιουργεί ένα πρόγραμμα σχεδιασμού ωραρίων χρησιμοποιώντας ανάλογες μεθόδους με αυτές που χρησιμοποιούσαν οι κλασσικοί προγραμματιστές των οργανισμών, εκείνης της εποχής, και στη συνέχεια παρουσιάζει κάποιες τεχνικές βελτιστοποίησης προκειμένου να εξάγει το τελικό πρόγραμμα. Με το πρόγραμμα IMPACS γίνεται η προσπάθεια δημιουργίας ενός συστήματος προγραμματισμού των ωραρίων των οδηγών τέτοιου ώστε να είναι πιο εύχρηστο και αποδοτικό.

5.2 Η χρησιμοποίηση της μεθόδου επίλυσης συνόλου ως πρώτου βήματος στο σχεδιασμό. (set covering formulation)

Το πρόβλημα σχεδιασμού των ωραρίων μετατρέπεται σε ένα πρόβλημα επίλυσης συνόλου δημιουργώντας ένα αρκετά μεγάλο σύνολο πιθανών υπηρεσιών κατά τέτοιο τρόπο κάθε μία από αυτές να έχει ένα συγκεκριμένο κόστος. Στη συνέχεια επιλέγουμε ένα υποσύνολο αυτών και τις χρησιμοποιούμε για να δημιουργήσουμε το πρόγραμμα των λεωφορείων έτσι ώστε να έχουμε το ελάχιστο κόστος . Αυτό μαθηματικά παριστάνεται από τις ακόλουθες σχέσεις [5,10] :

$$\begin{aligned} \text{Min } \sum c_j x_j \quad \text{τ.ω. } \sum_{j=1} a_{ij} x_j \geq 1 \quad i = 1, 2, 3 \dots m \\ \text{με } x_j = 0 \text{ ή } 1, j = 1, 2, 3, \dots n \end{aligned}$$

όπου :

- m είναι τα τμήματα υπηρεσίας του προγράμματος
- n είναι το σύνολο των υπηρεσιών

- $a_{ij} = 1$ όταν η υπηρεσία j καλύπτει το i τμήμα.
- c_j είναι το κόστος της υπηρεσίας j
- x_j είναι συντελεστής ο οποίος είναι ίσος με τη μονάδα όταν ο τύπος της υπηρεσίας περιέχεται στο αντίστοιχο πρόγραμμα, διαφορετικά είναι 0.

Οι περιορισμοί που αναφέρονται παραπάνω πιστοποιούν ότι κάθε τμήμα πρέπει να καλύπτεται από τουλάχιστον μία υπηρεσία (δηλαδή το μέρος της υπηρεσίας του οδηγού που γίνεται πάνω σε ένα λεωφορείο (piece) μπορεί να είναι κι ολόκληρη η υπηρεσία του οδηγού) Αυτό εξασφαλίζεται με την ανισότητα των άνω σχέσεων. Αν οι ανισότητες γίνουν ισότητες τότε κάθε τμήμα πρέπει να καλύπτεται ακριβώς από μία υπηρεσία

Επίσης το σύστημα IMPACS εισάγει τις παραμέτρους της ατέλειας (slack) και του πλεονάσματος (surplus). Μη μηδενική τιμή της ατέλειας σημαίνει ότι τα τμήματα υπηρεσίας δεν καλύπτονται πλήρως. Αντίθετα, μη μηδενική τιμή του πλεονάσματος σημαίνει ότι ένα τμήμα καλύπτεται από περισσότερες από μία υπηρεσίες.

Επιπρόσθετα στους παραπάνω περιορισμούς το σύστημα αυτό εισάγει κι άλλον ένα που αναφέρεται στα είδη των υπηρεσιών και εκφράζεται ως εξής [5] :

$$\sum x_j \geq l_k \quad \text{ή} \quad \sum x_j \leq l_k \quad \text{με} \quad l_k \in J_k \quad \text{με} \quad J_k \subseteq J = \{1, 2, \dots, n\}$$

όπου l_k είναι το ανώτατο ή το κατώτατο όριο του αριθμού των υπηρεσιών ενός συγκεκριμένου είδους, ή ο συνολικός αριθμός των υπηρεσιών, όταν ισχύει $J_k = J$.

Με τη βοήθεια αυτής της σχέσης (side constraint) καθορίζονται τα όρια των ειδών των υπηρεσιών. Δηλαδή μπορεί να καθοριστεί ο αριθμός των συνεχών, ασυνεχών, ακραίων και άλλων υπηρεσιών μέσα σε ένα πρόγραμμα. Αυτό μπορεί να γίνει από την αρχή ή κατά τη διάρκεια του προγράμματος όταν θα χρειαστεί να γίνει βελτιστοποίηση και ανασχεδιασμός.

Συνήθως το μέτρο αυτό εφορμάζεται κυρίως στις ασυνεχείς υπηρεσίες όπου τίθεται μόνο ανώτατο όριο. Για παράδειγμα, αν ο Οργανισμός επιδιώκει να μειώσει τις ασυνεχείς υπηρεσίες, τότε μεταβάλλεται το ανώτατο όριο των ασυνεχών υπηρεσιών με ταυτόχρονη μεταβολή του ανώτατου ορίου των συνολικών υπηρεσιών. Έτσι, μπορεί ο συνολικός αριθμός των υπηρεσιών να αυξηθεί ή μπορεί ένα τμήμα της συνολικής εργασίας εν τέλει να μη πραγματοποιηθεί.

Πρέπει να τονιστεί ότι η μέθοδος κάλυψης συνόλου επιτρέπει όποιες αλλαγές που κρίνεται απαραίτητο να πραγματοποιηθούν διότι αυτές οι αλλαγές δεν επηρεάζουν τελικά την επίλυση του προβλήματος που βασίζεται στη μέθοδο αυτή. Έτσι, το σύνολο και το είδος

των υπηρεσιών που πρόκειται να καταρτίσουν το πρόγραμμα μπορεί να αλλάξει , όποτε υπάρξει κάποια εξέλιξη στις εργασιακές σχέσεις , αλλά πάντοτε οι λύσεις που θα προκύπτουν θα είναι οι βέλτιστες, και θα αποδίδουν το ελάχιστο κόστος.

Το πιο συχνό εμπόδιο που παρουσιάζεται κατά τη διάρκεια της εφαρμογής της μεθόδου επίλυσης συνόλου είναι ότι σε μεγάλα συστήματα αστικών συγκοινωνιών ο αριθμός των τμημάτων υπηρεσίας είναι μεγάλος και κατά συνέπεια ο αριθμός των περιορισμών είναι τεράστιος κι έτσι η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να εφαρμοστεί. Συνεπώς , ο σκοπός είναι να μειωθεί αυτός ο υπέρογκος αριθμός περιορισμών , είτε με τη δημιουργία υποπροβλημάτων είτε με τη μείωση άλλων επιμέρους παραμέτρων , όπως αναφέρεται παρακάτω, έτσι ώστε να εφαρμοστεί η μέθοδος και να βρεθεί η βέλτιστη λύση.

5.3 Επιλογή των χρονικών σημείων αλλαγής προσωπικού

Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο χρονικών σημείων αλλαγής σε ένα λεωφορείο είναι ένα τμήμα υπηρεσίας το οποίο πραγματοποιείται από έναν εργαζόμενο. Γνωρίζοντας ότι τα τμήματα υπηρεσίας αντιστοιχούν στους περιορισμούς της μεθόδου κάλυψης συνόλου , συμπεραίνουμε ότι το μέγεθος αυτών των περιορισμών είναι έμμεσα συνδεδεμένο με τον αριθμό των χρονικών σημείων αλλαγής.

Στην περίπτωση που το χρονικό σημείο αλλαγής δε συνοδεύεται με την έναρξη ή τη λήξη του διαλείμματος , τότε θεωρούμε ότι το σημείο αυτό δεν υφίσταται κι ως εκ τούτου μπορεί να παραληφθεί. Έτσι τα τμήματα υπηρεσίας τα οποία διαχωρίζονταν από αυτό το χρονικό σημείο ενσωματώνονται σε ένα. Κατά αναλογία , στη μέθοδο επίλυσης συνόλου αυτοί οι περιορισμοί που αντιστοιχούν στα συγκεκριμένα τμήματα υπηρεσίας, είναι περιττοί και μπορούν να παραλειφθούν.

Με βάση την παραπάνω σκέψη, σε ένα πρόγραμμα προσωπικού όπου έχει καθοριστεί ένας συγκεκριμένος αριθμός υπηρεσιών , καθώς και το συνολικό μέγεθος των χρονικών σημείων αλλαγής , μπορούμε να επιλέξουμε ένα συγκεκριμένο αριθμό των σημείων αυτών , μικρότερο φυσικά από το αρχικό μέγεθος με βάση το οποίο θα ξανακαθορίσουμε τις υπηρεσίες ενώ ταυτόχρονα για όποιο χρονικό σημείο αλλαγής που δεν έχουμε επιλέξει , ο αριθμός των περιορισμών μειώνεται κατά έναν. Ταυτόχρονα μειώνεται κι ο αριθμός των μεταβλητών των αρχικών σχέσεων αφού μειώνεται ταυτόχρονα ο αριθμός των υπηρεσιών.

Το πρώτο βήμα στην επιλογή των χρονικών σημείων αλλαγής πραγματοποιείται με τη δημιουργία διαστημάτων των οποίων τα άκρα αποτελούνται από δύο χρονικά σημεία αλλαγής και το εύρος του οποίου να είναι περίπου μικρότερο ή ίσο με τη βάρδια του οδηγού.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η υπηρεσία ενός οδηγού ξεκινά από τη στιγμή που το λεωφορείο εξέρχεται από το αμαξοστάσιο ενώ η χρονική στιγμή κατά την οποία ο οδηγός θα εγκαταλείψει το λεωφορείο τελειώνοντας τη βάρδιά του, έστω τη χρονική στιγμή t . Η στιγμή αυτή δεν είναι σταθερή αλλά εξαρτάται από τη συμφωνία μεταξύ των συνδικαλιστικών οργάνων και του Οργανισμού. Εν τούτοις θεωρούμε ότι το εύρος αυτού του διαστήματος είναι ίσο με το μέσο όρο της διάρκειας οδήγησης σε μια υπηρεσία.

Επίσης ορίζουμε το χρονικό σημείο t' το οποίο είναι το πιο αργό σημείο αλλαγής που είναι νωρίτερα τοποθετημένο από το μέσο όρο της διάρκειας της βάρδιας που αναφέρθηκε παραπάνω. Έτσι συμπεραίνουμε ότι ισχύει $t' < t$. Στην πράξη αυτό μεταφράζεται ως εξής : Όταν το προσωπικό είναι υποχρεωμένο να τελειώσει τη βάρδιά του (ή το τμήμα της υπηρεσίας του ή το ποσοστό της υπηρεσίας του) στη χρονική στιγμή t μπορεί να την τελειώσει τη χρονική στιγμή t' . Στη συνέχεια η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται ξεκινώντας από τη χρονική στιγμή t' , κοκ. μέχρι να φτάσουμε στο τέλος της καθημερινής λειτουργίας του λεωφορείου. Αυτός ο συνδυασμός των χρόνων ονομάζεται **forward marked times** [5] .

Στη συνέχεια η διαδικασία αυτή ξεκινά από το τέλος της λειτουργίας του λεωφορείου , δηλαδή από τη στιγμή που το λεωφορείο επιστρέφει στο αμαξοστάσιο , και συνεχίζεται μέχρι τη στιγμή που το λεωφορείο φεύγει από το αμαξοστάσιο. Ο συνδυασμός αυτός των χρόνων ονομάζεται **backward marked times** [5] .

Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται χρονικά διαστήματα από τους χρόνους που υπολογίζονται από τις δύο παραπάνω διαδικασίες με άκρα τις πιο κοντινές χρονικές στιγμές που έχουν βρεθεί. Στη συνέχεια τίθενται ως χρονικά σημεία αλλαγής , τα σημεία τα οποία βρίσκονται στα παραπάνω διαστήματα.

❖ Παράδειγμα

Ας θεωρήσουμε ότι το λεωφορείο φεύγει από το αμαξοστάσιο στις 07:00 και επιστρέφει στις 21:00 , ενώ η μέγιστη χρονικά υπηρεσία όπως έχει καθοριστεί είναι $4^h 45^{min}$ και η μέση διάρκεια έχει υπολογιστεί ότι είναι $3^h 45^{min}$, δηλαδή μια ώρα λιγότερη. Επίσης , θεωρούμε ότι τα χρονικά σημεία αλλαγής είναι κάθε μισή ώρα.

Ξεκινώντας από τις 07:00 η μέγιστη χρονικά υπηρεσία δίνει ένα χρονικό σημείο στις 11:30 αφού δεν υπάρχει σημείο αλλαγής στις 11:45 . Σύμφωνα με τη μέση διάρκεια υπηρεσίας παίρνουμε ένα χρονικό σημείο στις 10:30. Στη συνέχεια η διαδικασία συνεχίζεται προς τα εμπρός και ξεκινώντας από τις 10:30 παίρνουμε τα επόμενα σημεία που είναι τα : 14:00 , 17:30 . Μετά ,αρχίζοντας από τις 11:30 παίρνουμε τα χρονικά σημεία 15:00 και 18:30

Κατόπιν επαναλαμβάνουμε το προηγούμενο σκεπτικό με τη διαφορά ότι ξεκινάμε από τις 21:00. Έτσι η μέγιστη επιτρεπόμενη υπηρεσία θα δώσει τους χρόνους : 16:30 , 13:00 , 09:30, ενώ η μέση διάρκεια υπηρεσίας θα δώσει τους χρόνους : 17:30 , 14:00, και 10:00

Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται γραφικά στο ακόλουθο Σχήμα 5.1 :



(διάγραμμα 1)



(διάγραμμα 2)



(διάγραμμα 3)

Σχήμα 5.1 : Forward marked times – Backward marked times

Ο συνδυασμός των διαγραμμάτων 1 και 2 μας δίνει το διάγραμμα 3 που ουσιαστικά είναι η πρόσθεση αυτών. Σε αυτό παρατηρούμε ότι έχουν σχηματιστεί τρία χρονικά διαστήματα : [9:30-11:30] , [13:00-15:00] , [16:30-18:30] . Συνεπώς τα χρονικά σημεία αλλαγής που περιέχονται στα διαστήματα αυτά είναι τα πιο κατάλληλα για την τελική επιλογή των σημείων αυτών κι επομένως τον καθορισμό των τμημάτων υπηρεσίας.

Επίσης , τα χρονικά σημεία αλλαγής τα οποία βρίσκονται μέσα σε αυτά τα διαστήματα που σχηματίζονται με τον τρόπο αυτό θα έλεγε κανείς ότι είναι λογικό να απορρίπτονται. Εν τούτοις , αυτό δε συμβαίνει διότι ορισμένες φορές έχουν παρουσιαστεί

περιπτώσεις στις οποίες έχουν επιλεγεί σημεία αλλαγής που βρίσκονται εκτός των σχηματιζόμενων διαστημάτων, προκειμένου να καλυφθούν ειδικές ανάγκες του προγράμματος.

5.4 Η δημιουργία και η επιλογή του είδους των υπηρεσιών

Το επόμενο βήμα από τον ορισμό των χρονικών σημείων αλλαγής του προσωπικού είναι η επιλογή του κατάλληλου τρόπου των υπηρεσιών του προσωπικού. Η επιλογή αυτή πρέπει να είναι τέτοια ώστε να είναι σύμφωνη με τις ανάλογες συμβάσεις μεταξύ των εργαζομένων και του προσωπικού καθώς επίσης και να αποφέρει το ελάχιστο κόστος σε συνδυασμό με τη μέγιστη παραγωγικότητα.

Το σύστημα IMPACS χρησιμοποιεί κυρίως υπηρεσίες δύο και τριών λεωφορείων . Στις πρώτες, συμπεριλαμβάνεται κι ένα ενδιάμεσο διάλειμμα για γεύμα , ενώ στις δεύτερες το ένα διάλειμμα είναι αρκετά μεγάλο για γεύμα ενώ το δεύτερο (δηλαδή η μετάβαση από το δεύτερο λεωφορείο στο τρίτο ή από το πρώτο στο δεύτερο) είναι πολύ λίγου χρόνου και διαρκεί για τη μετάβαση από το ένα λεωφορείο στο άλλο. Σε περίπτωση που κριθεί απαραίτητο , υπηρεσίες ενός λεωφορείου μπορεί να πραγματοποιηθούν. Συνήθως αυτό εφαρμόζεται στις υπερωρίες.

Υπάρχουν πέντε τύποι υπηρεσιών δύο και τριών λεωφορείων [5,10] :

- Οι υπηρεσίες που παίρνουν τα λεωφορεία από τα αμαξοστάσια (early duties)
- Οι υπηρεσίες που παίρνουν τα λεωφορεία από το δρόμο όταν σταματά μια άλλη υπηρεσία ή που παίρνουν τα λεωφορεία από το αμαξοστάσιο όταν είναι προγραμματισμένο να ξεκινήσουν αργότερα το δρομολόγιό τους (day duties)
- Οι υπηρεσίες κατά τις οποίες τα λεωφορεία επιστρέφουν στα αμαξοστάσια. (late duties)
- Οι υπηρεσίες στις οποίες τα λεωφορεία μεταφέρονται στα αμαξοστάσια πριν από τα βραδινά δρομολόγια. (middle duties)
- Οι ασυνεχείς υπηρεσίες.

Το πότε θα χρησιμοποιηθεί το κάθε είδος εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του , από διάφορες άλλες παραμέτρους που καθορίζονται από τον προγραμματιστή , όπως ο δεδουλευμένος χρόνος πριν και μετά την έναρξη της υπηρεσίας (sign on) , το μέγιστο εύρος της υπηρεσίας κ.ο.κ.

Ορισμένες φορές είναι σύμφορο να χρησιμοποιούνται οι υπηρεσίες τριών λεωφορείων όπως για παράδειγμα στη Μεγάλη Βρετανία όπου οι περιορισμοί όσον αφορά το εύρος των τμημάτων υπηρεσίας είναι αρκετά αυστηροί . Αντίθετα , όμως σε άλλες περιπτώσεις οι υπηρεσίες αυτές είναι ασύμφορες διότι κοστίζουν περισσότερο από τις υπηρεσίες δύο λεωφορείων που έχουν την ίδια διάρκεια οδήγησης.

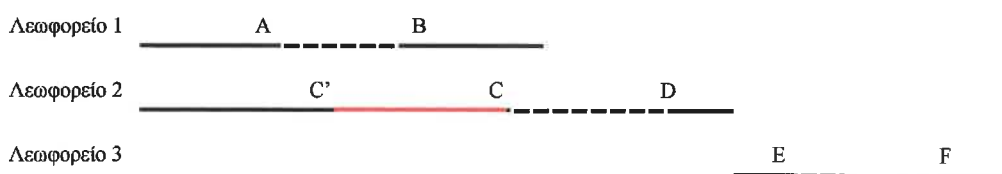
Αξίζει να σημειωθεί ότι λογικά ο αριθμός των σχηματιζόμενων υπηρεσιών τριών λεωφορείων είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των σχηματιζόμενων υπηρεσιών δύο λεωφορείων καθώς επίσης είναι και πολύ δύσκολο να αποφασίσει κανείς ποιο είδος από αυτές χρειάζονται για τον τελικό σχηματισμό του προγράμματος.

Σε γενικές γραμμές , πάντως , επειδή οι υπηρεσίες τριών λεωφορείων έχουν μεγαλύτερο κόστος επιδιώκουμε να τις περιορίζουμε και τις χρησιμοποιούμε μόνο όταν υπάρχουν ειδικά κριτήρια που μας οδηγούν στο αντίθετο συμπέρασμα.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα που μας δείχνει μία περίπτωση στην οποία συμφέρει η χρησιμοποίηση μιας υπηρεσίας δύο λεωφορείων

• Παράδειγμα

Θεωρούμε ότι έχουμε μια υπηρεσία τριών λεωφορείων . Η υπηρεσία αυτή αποτελείται από τα τμήματα AB , CD , EF, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2 :



Σχήμα 5.2 : Σχηματική διατύπωση της υπηρεσίας σε δύο λεωφορεία

Όπως βλέπουμε το σημείο C' είναι το πιο κοντινό σημείο αλλαγής για το λεωφορείο 2 . Επομένως περισσότερο η υπηρεσία C'D και EF . Η υπηρεσία AB , CD , EF θα ήταν εξίσου συμφέρουσα και άρα εφαρμόσιμη στις ακόλουθες δύο περιπτώσεις:

- Αν καλύπτει τουλάχιστον το ίδιο μέγεθος εργασίας με την υπηρεσία C'D,EF.
Στην περίπτωση αυτή όχι μόνο είναι πιθανό να αυξηθεί το μέγεθος της εργασίας , αλλά επιπρόσθετα αυξάνεται το εύρος από το C'F στο AF
- Αν το B είναι το τέλος του μπλοκ του λεωφορείου (δηλαδή το τέλος των δρομολογίων) κι επομένως το λεωφορείο 1 επιστρέφει στο αμαξοστάσιο. Στην περίπτωση αυτή , το

μεσαίο τμήμα μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς την ύπαρξη μεγάλου ενδιάμεσου διαλείμματος.

5.5 Η τελική επιλογή του είδους (και της σύνθεσης) των υπηρεσιών

Αφού ο αρχικός αριθμός των υπηρεσιών και η σύνθεση αυτών έχει καθοριστεί, το επόμενο βήμα της μεθόδου είναι η απόρριψη των τμημάτων υπηρεσίας τα οποία κρίνονται ως ασύμφορα κι επομένως ακατάλληλα. Η βασική σκέψη είναι να προτιμούνται οι υπηρεσίες με τη μεγαλύτερη δυνατή διάρκεια.

Η απόρριψη αυτή γίνεται με δύο τρόπους. Αρχικά, οι υπηρεσίες συγκρίνονται ανά δύο και κάθε υπηρεσία η οποία περιλαμβάνεται σε μια άλλη μεγαλύτερη και κοστίζει όσο αυτή απορρίπτεται. Αυτό μπορεί να γίνει σε δύο περιπτώσεις : όταν υπάρχει ένα ελάχιστο όριο πληρωμής για μια υπηρεσία και οι δύο υπηρεσίες μαζί θα μπορούσαν διαφορετικά να πληρωθούν λιγότερο από το ελάχιστο, ή όταν τα διαλείμματα φαγητού πληρώνονται και οι δύο υπηρεσίες έχουν την ίδια κατανομή των ωρών εργασίας.

Επίσης, ορισμένες φορές είναι δυνατό να επιλέγεται μια μεγαλύτερη υπηρεσία ακόμα κι αν παρουσιάζει μεγαλύτερο κόστος. Αυτό γίνεται διότι το μεγαλύτερο κόστος αντιστοιχεί στον επιπρόσθετο χρόνο οδήγησης, αφού η υπηρεσία είναι μεγαλύτερης διάρκειας, καθώς επίσης και στο δεδουλευμένο χρόνο πριν και μετά την έναρξη των δρομολογίων. Γενικά, πάντως προτιμάται η μεγαλύτερη από τη μικρότερη υπηρεσία.

Σύμφωνα με το δεύτερο τρόπο, μία υπηρεσία απορρίπτεται όταν καλύπτει ένα τμήμα το οποίο ταυτόχρονα καλύπτεται από έναν άλλο συγκεκριμένο αριθμό υπηρεσιών. Η κύρια ιδέα αυτής της τεχνικής είναι ότι κάθε τμήμα πρέπει να καλύπτεται από ένα συγκεκριμένο αριθμό υπηρεσιών, ο οποίος αριθμός περιέχεται ως παράμετρος στο πρόγραμμα.

Πάντως πέρα από αυτόν τον αριθμό, επιπλέον υπηρεσίες δεν έχει αποδειχθεί ότι συνεισφέρουν σημαντικά στην κατάρτιση του προγράμματος γι αυτό απορρίπτονται. Η εμπειρία έχει δείξει ότι αυτός ο αριθμός κάλυψης είναι τουλάχιστον 50 υπηρεσίες. Αυτό γίνεται για να μειωθεί ο αριθμός των παραμέτρων στη μέθοδο κάλυψης συνόλου κι έτσι να είναι πιο αξιόπιστα τα αποτελέσματα.

Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται οι μικρότερες υπηρεσίες, όταν οι μεγαλύτερες δεν μπορούν να προσαρμοστούν στο πρόγραμμα του λεωφορείου.

5.6 Ο καθορισμός του κόστους των υπηρεσιών

Ένα από τα κύρια ζητούμενα στο σχεδιασμό του προγράμματος του προσωπικού στις αστικές συγκοινωνίες είναι η επίτευξη του ελάχιστου λειτουργικού κόστους , μέσω της ελαχιστοποίησης του αριθμού των υπηρεσιών. Ακόμα κι αν το λειτουργικό κόστος του προγράμματος (δηλαδή ο συνολικός χρόνος πληρωμής των υπηρεσιών) μπορεί να ελαχιστοποιηθεί μέσω της προσαρμογής ορισμένων επιπλέον υπηρεσιών , αυτό τελικά αποφεύγεται να εφαρμόζεται και τελικά αυτές οι υπηρεσίες δε χρησιμοποιούνται.

Με βάση αυτή τη λογική , το πρόγραμμα IMPACS δε χρησιμοποιεί ορισμένα είδη υπηρεσιών τα οποία ,για λόγους που εναπόκεινται στην κρίση του Οργανισμού καθώς και των εργαζομένων , κρίνονται ως «ανεπιθύμητες» κι ως εκ τούτου μη εφαρμόσιμες. Έτσι η μείωση των υπηρεσιών γίνεται ως ένα σημείο με την απόρριψη των «ανεπιθύμητων» υπηρεσιών. Για να χαρακτηριστεί μία υπηρεσία ως ανεπιθύμητη εισάγεται η έννοια του **κόστους ποινής** . Σε ένα σύνολο υπηρεσιών αντιστοιχεί ένα κόστος ποινής κι έτσι οι υπηρεσίες με το μεγαλύτερο κόστος ποινής δεν συμπεριλαμβάνονται στην κατάρτιση του προγράμματος. Το ύψος του κόστους καθορίζεται από τον οργανισμό.

Όμως πώς καθορίζεται το λειτουργικό κόστος μίας υπηρεσίας ; Το κόστος αυτό είναι ο συνδυασμός τριών παραμέτρων [5,10] :

- Μία μεγάλη σταθερά που καθορίζεται από τον οργανισμό. Σκοπός αυτής της σταθεράς είναι να διασφαλίζεται πάντα ότι η πρώτη προτεραιότητα είναι η ελαχιστοποίηση του αριθμού των υπηρεσιών στο πρόγραμμα. Μία συνηθισμένη τιμή είναι περίπου 2.000 λεπτά.
- Το κόστος των μισθών . Αυτό κυμαίνεται περίπου στα 450 λεπτά , ενώ υπάρχουν παράλληλα και επιπρόσθετα επιδόματα περίπου 300 λεπτών. Πρέπει να σημειωθεί ότι το κόστος των μισθών είναι συνάρτηση του χρόνου οδήγησης , ο οποίος είναι σταθερός
- Το κόστος ποινής το οποίο κυμαίνεται περίπου στα 100 λεπτά.

Αυτές οι παράμετροι υπολογισμού δείχνουν επίσης και την προτεραιότητα που πρέπει να υπάρχει στον υπολογισμό του λειτουργικού κόστους. Παρόλα αυτά ο προγραμματιστής μπορεί να αποκλίνει από αυτή την αρχή όποτε κρίνει ότι αυτό είναι αναγκαίο .

5.7 Η χρησιμοποίηση των υπορουτίνων ZIP

Το πρόβλημα κάλυψης συνόλου επιλύεται με τέτοιο τρόπο ώστε οι μεταβλητές οι οποίες εκφράζουν τους περιορισμούς να είναι ακέραιες. Στη συνέχεια το προκύπτον πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού επιλύεται και σε περίπτωση που η λύση δεν είναι ακέραια τότε με τη χρησιμοποίηση κατάλληλων αλγορίθμων γίνεται η μετατροπή σε ακέραια τιμή.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται οι υπορουτίνες ZIP της γλώσσας προγραμματισμού FORTRAN . Αυτές οι υπορουτίνες αποτελούνται από ένα σύνολο από κύριες ρουτίνες οι οποίες περιέχουν τη βασική δομή της ζητούμενης μετατροπής στην οποία εμπεριέχονται τα απαραίτητα στοιχεία της μεθόδου simplex , καθώς επίσης κι από ένα σύνολο από άλλες ρουτίνες οι οποίες σκοπό έχουν να μεταφέρουν τα ειδικά χαρακτηριστικά του προβλήματος (περιορισμοί) στην επίλυσή του.

5.8 Κλάδος φράγματος (branch and bound)

Η εύρεση ακέραιων λύσεων του προβλήματος κάλυψης συνόλου , όταν η λύση του απλοποιημένου προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού δεν είναι ακέραια , είναι πολύ χρονοβόρα και δύσκολη. Ο σκοπός της χρησιμοποίησης της μεθόδου κλάδου φράγματος (branch and bound) είναι η εύρεση της βέλτιστης λύσης όσο το δυνατό πιο γρήγορα, με την προϋπόθεση ότι η καλύτερη ακέραιη λύση πρέπει να είναι όχι πέρα του 0.5% του ακέραιου βέλτιστου [5] .

Επειδή η αντικειμενική συνάρτηση εξαρτάται από την ελαχιστοποίηση του συνολικού αριθμού των υπηρεσιών , έχει αποδειχθεί ότι ο αριθμός των υπηρεσιών που προκύπτει μετά από μια ακέραια λύση είναι μικρότερος από το συνολικό αριθμό των υπηρεσιών που εκφράζονται ως παράμετροι στη διαδικασία βελτιστοποίησης μέσω του γραμμικού προγραμματισμού. Για παράδειγμα , αν ο συνολικός αριθμός των μεταβλητών αυτών είναι 66,01 , τότε είναι πιθανό να βρεθεί μια ακέραια λύση του προβλήματος με 66 υπηρεσίες. Αντίθετα , αν ο συνολικός αριθμός είναι 66,5 , τότε κάθε ακέραια λύση πρέπει να έχει τουλάχιστον 67 υπηρεσίες. Συνεπώς είναι απαραίτητο να τεθεί ένας περιορισμός όπου , στην προκειμένη περίπτωση , ο συνολικός αριθμός των υπηρεσιών να είναι τουλάχιστον 67 κι έτσι να ξεκινήσει μία νέα διαδικασία βελτιστοποίησης (μέσω Γ.Π) χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο simplex. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η απόκλιση μεταξύ του συνολικού

αριθμού των υπηρεσιών και της ακέραιης βέλτιστης λύσης , πράγμα που αποτελεί ένα από τα ζητούμενα της μεθόδου branch and bound.

Δύο νέοι περιορισμοί προστίθενται προκειμένου να διασφαλίσουν την παραπάνω απαίτηση , δηλαδή το άθροισμα των υπηρεσιών να είναι ίσο με το βέλτιστο αποτέλεσμα της διαδικασίας του γραμμικού προγραμματισμού , σε όλους τους κόμβους του σχηματιζόμενου δέντρου. Έτσι η διαφορά μεταξύ του κόστους μιας καλής ακέραιης λύσης και ενός άγνωστου ακέραιου βέλτιστου αντιπροσωπεύει τη χρήση ορισμένων πιο ακριβών ή λιγότερο αποτελεσματικών υπηρεσιών.

Επίσης , χρησιμοποιώντας μια άλλη τεχνική μπορούμε να βρούμε ορισμένες καλές ακέραιες λύσεις οι οποίες είναι παρόμοιες με τις βέλτιστες που έχουν αναφερθεί πιο πάνω. Συγκεκριμένα , έχει παρατηρηθεί ότι ο τρόπος με τον οποίο ορισμένες κλασματικές υπηρεσίες καλύπτουν το πρόγραμμα , είναι το ίδιο αποτελεσματικός με αυτόν των ακέραιων λύσεων.

Ως γνωστό , οι υπηρεσίες που αντιστοιχούν στις μη μηδενικές μεταβλητές στη διαδικασία βελτιστοποίησης , προέρχονται από ένα υποσύνολο των χρονικών σημείων αλλαγής του προγράμματος του λεωφορείου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι υπηρεσίες που προέρχονται από την ακέραια επίλυση να προέρχονται από ακόμα μικρότερο υποσύνολο. Η τεχνική αυτή αναφέρει ότι μία αποδεκτή ακέραια λύση μπορεί να βρεθεί αν η επιλογή των σημείων αλλαγής είναι περιορισμένη στο υποσύνολο των χρονικών σημείων αλλαγής που χρησιμοποιείται από τη διαδικασία της βελτιστοποίησης. Έτσι, κάθε υπηρεσία η οποία προέρχεται από τα χρονικά σημεία αλλαγής που δεν περιέχονται σε αυτό το υποσύνολο αυτόματα απορρίπτεται από τη διαδικασία εύρεσης μιας ακέραιας λύσης του προβλήματος.

Η χρησιμοποίηση αυτού του σκεπτικού έχει δώσει στην πράξη πολύ καλά αποτελέσματα. Έτσι ο αριθμός των παραμέτρων χρησιμοποιώντας τα υποσύνολα μπορεί να μειωθεί από 25 έως 50% του αρχικού συνόλου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η διαδικασία επίλυσης , μέσω του υπολογιστή , να γίνεται σε πολύ μικρότερο χρόνο , καθώς επίσης και οι τελικές λύσεις να είναι ικανοποιητικές σε αρκετά μεγάλο βαθμό. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η ακέραια βέλτιστη λύση που προέρχεται από το υποσύνολο των δεδομένων δεν μπορεί να είναι καλύτερη από τη λύση που προκύπτει από το σύνολο των μεταβλητών , διότι η λύση που βρίσκεται δεν είναι απαραίτητα και η βέλτιστη. Πάντως , η πράξη έχει δείξει ότι η ποιότητα των λύσεων με αυτή την τεχνική είναι πολύ ικανοποιητική.

Το σύστημα IMPACS αρχικά χρησιμοποιεί μια στρατηγική περιορισμών και τοποθέτησης φραγμάτων σύμφωνα με την οποία ένα σύνολο μεταβλητών ενσωματώνεται κατά μήκος κάθε φράγματος .

5.9.Παραδείγματα εφαρμογής του IMPACS

Η πρώτη έκδοση του προγράμματος IMPACS εφαρμόστηκε σε περίπου δώδεκα εταιρίες αστικών συγκοινωνιών στις οποίες επικρατούσαν πολυποίκιλοι τρόποι εργασίας που διέφεραν σε αρκετά σημεία μεταξύ τους. Εν τούτοις , το σύστημα έδειξε ότι κατάφερε και προσαρμόστηκε τελικά σε αυτές τις συνθήκες με αρκετή επιτυχία . Για παράδειγμα σε τρεις εταιρίες με πολύ διαφορετικές συνθήκες εργασίας δημιουργήθηκαν προγράμματα τα οποία κρίθηκαν επιτυχημένα κι έγιναν αποδεκτά.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ,όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως , όταν ο αριθμός των περιορισμών που τοποθετούνται στο πρόβλημα επίλυσης συνόλου γίνει αρκετά μεγάλος τότε δημιουργούνται δυσκολίες στη λειτουργία του προγράμματος. Από τις εφαρμογές αυτές αποδείχτηκε ότι προβλήματα με μέχρι 350 περιορισμούς και 5000 μεταβλητές περίπου μπορούν να επιλυθούν μέσα σε ένα αποδεκτό χρονικό διάστημα . Πάντως από αυτές τις εφαρμογές δείχτηκε ότι προβλήματα με περίπου μέχρι 80 υπηρεσίες μπορούν να επιλυθούν γρήγορα και με επιτυχία.

Αυτό δε σημαίνει πάντως ότι το σύστημα δε μπορεί να αντιμετωπίσει προβλήματα με μεγαλύτερο αριθμό υπηρεσιών από 80 . Στην περίπτωση αυτή δημιουργούνται υποπροβλήματα με τέτοιο αριθμό υπηρεσιών ώστε να επιλυθούν γρήγορα και με επιτυχία.

Ένα άλλο στοιχείο που είναι βασικό στο IMPACS είναι ότι το πρόγραμμα αυτό δε χρησιμοποιεί στο σχεδιασμό υπηρεσίες πέρα από αυτές των τριών λεωφορείων. Παρ' όλα αυτά επιλύθηκαν προβλήματα που περιείχαν και υπηρεσίες τεσσάρων λεωφορείων χρησιμοποιώντας αποτελεσματικές τεχνικές οι οποίες μετατρέπουν τις υπηρεσίες αυτές σε άλλες μικρότερου εύρους αλλά το ίδιο αποτελεσματικές.

Το σύστημα IMPACS εφαρμόστηκε στη μεγαλύτερη εταιρία αστικών συγκοινωνιών της Μεγάλης Βρετανίας , στο Λονδίνο. Τότε η εταιρία αυτή περιελάμβανε πάνω από 4500 λεωφορεία. Όλα τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν προς επίλυση απαιτούσαν τη χρησιμοποίηση λιγότερων από 80 οδηγούς κι επομένως ήταν μέσα στις δυνατότητες του προγράμματος. Το σύστημα εφαρμόστηκε πειραματικά για 18 μήνες και καθ' όλη τη

διάρκεια αυτής της εφαρμογής γίνονταν νέες προσαρμογές και βελτιώσεις ανάλογα με τα δεδομένα. Τελικά αυτή η πειραματική εφαρμογή τέθηκε με επιτυχία και η Εταιρία αποφάσισε να το χρησιμοποιήσει.

Στον Πίνακα 5.1 δίνονται ορισμένα στατιστικά στοιχεία σχετικά με 9 προγράμματα στα οποία χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα . Μπορεί να δει κανείς ότι η μεγαλύτερη σημασία δίνεται στο συνδυασμό της διαδικασίας βελτιστοποίησης μέσω του γραμμικού προγραμματισμού και της καλύτερης ακέραιας λύσης. Ο χρόνος που δίνεται είναι ο συνολικός χρόνος επίλυσης της διαδικασίας βελτιστοποίησης .

Problem	Pieces of work	Constraints	Variables	Iterations to LP optimum	LP optimum	Nodes in b&b tree	Best integer found	Time (sec)	Duties required
1	178	153	2728	667	74499,2	47	74687	78	28
2	165	141	3139	545	81732,2	11	91835	34	34
3	207	186	2467	590	102559,2	2	102605	27	38
4	214	165	1633	345	100186,7	13	100965	23	39
5	274	211	3100	917	120520,7	11	120745	102	44
6	224	198	3226	809	123285	(naturally integer)	(naturally integer)	44	46
7	358	256	3686	991	150270,1	7	150426	73	59
8	477	277	4414	1076	230562,6	15	231058	177	74
9	379	309	4892	1545	323228,8	35	324502	238	74

Πίνακας 5.1 : Στατιστικά στοιχεία από εφαρμογή του προγράμματος IMPACS

Επίσης το IMPACS εφαρμόστηκε και στην εταιρία Greater Manchester Transport όπου εκεί τα προγράμματα προσωπικού περιείχαν περισσότερες από 80 υπηρεσίες , για την ακρίβεια πάνω από 190, με αποτέλεσμα να δημιουργήσει αποδοτικά προγράμματα.

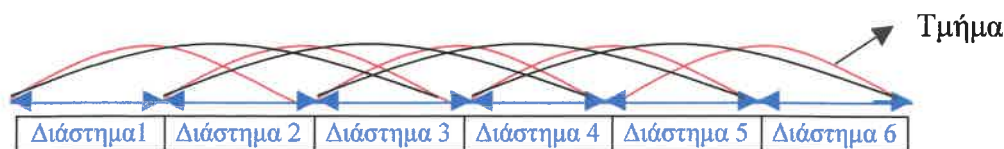
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΣΤΗΛΩΝ (COLUMN GENERATION APPROACH)

6.1 Εισαγωγή

Η μέθοδος που παρουσιάζεται εδώ διαιρεί το πρόβλημα σε δύο μέρη :ένα πρόβλημα κάλυψης συνόλου (set covering) κι ένα υποπρόβλημα . Το πρόβλημα κάλυψης συνόλου δημιουργεί ένα πρόγραμμα από ένα σύνολο ήδη γνωστών κι εφικτών εργασιακών ημερών. Δηλαδή δημιουργείται ένας μεγάλος αριθμός δυνατών υπηρεσιών οδηγών κι επιλέγονται αυτές που καλύπτουν όλα τα δρομολόγια με το ελάχιστο κόστος . Το υποπρόβλημα χρησιμοποιείται για να δημιουργεί καινούργιες εφικτές υπηρεσίες κι έτσι να βελτιώνει την υφιστάμενη λύση που έχει που έχει επιλεγεί .Αυτή η προσέγγιση μπορεί να αποφέρει τη βέλτιστη λύση του προβλήματος.

Η μέθοδος επίλυσης ξεκινά καθορίζοντας πρώτα τα block. Στη συνέχεια , ορίζονται τα σημεία αλλαγής , τα οποία χωρίζουν το block σε επιμέρους πιο μικρά διαστήματα (task) . Το τμήμα της υπηρεσίας (piece of work) του κάθε οδηγού πάνω σε ένα συγκεκριμένο λεωφορείο αποτελείται από ένα ή δύο συνεχόμενα διαστήματα . Η αποδοτικότητα αυτών των τμημάτων περιορίζεται από μια μέγιστη και μια ελάχιστη διάρκεια . Στο σχήμα 6.1 παρουσιάζεται ένα block διαιρεμένο σε διαστήματα και τα αντίστοιχα τμήματα υπηρεσίας που μπορούν να προκύψουν .



Σχήμα 6.1 : Ο διαχωρισμός ενός block σε τμήματα υπηρεσίας

Από το Σχήμα 6.1 μπορούμε να διακρίνουμε ότι η εργάσιμη μέρα (workday) ενός οδηγού αποτελείται από ένα ή το πολύ δύο τμήματα εργασίας . Στη δεύτερη περίπτωση τα διαλείμματα τοποθετούνται ανάμεσα στα τμήματα αυτά . Το επίπεδο

της αποδοτικότητας μιας εργάσιμης μέρας από τη διάρκεια των τμημάτων υπηρεσίας και των διαλειμμάτων , καθώς επίσης και από τις συνθήκες που επικρατούν σε κάθε τμήμα (κίνηση , κατάσταση του οδοστρώματος κλπ.) .

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε τις τέσσερις μορφές του κόστους σε μια εργάσιμη μέρα . Έτσι έχουμε :

- Το βασικό μισθό για το χρόνο εργασίας , το χρόνο ταξιδιού και για το ποσοστό του χρόνου των διαλειμμάτων .
- Κατανομές (allocations)
- Τις εγγυήσεις που είναι το ελάχιστο ποσοστό του μισθού που δίδεται για μια εργάσιμη μέρα ή για ένα τμήμα υπηρεσίας .
- Τις υπερωρίες .

Ακόμα καθορίζονται και τρεις τύποι των εργάσιμων ημερών (οι οποίοι αναφέρθηκαν και στην αρχή) και είναι οι εξής :

- Οι ακραίες υπηρεσίες (trippers) που είναι οι υπηρεσίες των οδηγών που αποτελούνται από ένα τμήμα κι έχουν μειωμένη διάρκεια .
- Οι συνεχόμενες υπηρεσίες (straight) οι οποίες αποτελούνται από δύο τμήματα υπηρεσίας με ένα μικρό διάλειμμα ανάμεσα σε αυτά .
- Οι μεγάλης διάρκειας υπηρεσίες (split) οι οποίες αποτελούνται από δύο ή και περισσότερα τμήματα υπηρεσίας .

Τέλος , πρέπει να πούμε ότι τα δύο πρώτα και δύο τελευταία διαστήματα του σχήματος 6.1 μπορούμε να τα συγχωνεύσουμε αφού κανένα τμήμα υπηρεσίας δεν ξεκινά και καταλήγει σε κάποιο δεδομένο σημείο αλλαγής κι έτσι στα σημεία αυτά δεν είναι δυνατή η αλλαγή των οδηγών .

Σύμφωνα με τη μέθοδο κάλυψης συνόλου ορίζεται ένας μεγάλος αριθμός δυνατών υπηρεσιών οδηγών κι επιλέγονται αυτές που καλύπτουν όλα τα δρομολόγια με το ελάχιστο κόστος

Εστω D το σύνολο των νόμιμων υπηρεσιών των οδηγών με $|D| = d$ και M το σύνολο των δρομολογίων με $|M| = m$. Τότε το μοντέλο κάλυψης συνόλου διατυπώνεται ως εξής [1,5,8] :

$$\min \sum c_j x_j \text{ για } j = 1, \dots, n \quad (6.1)$$

$$\text{s.t. } \sum a_{ij} x_j \geq 1 \text{ για } i = 1, \dots, m \quad (6.2)$$

$$\sum_{j=1}^n g_{kj} x_j \leq h_k \quad k = 1 \dots K \quad (6.3)$$

$$\text{με } x_j = \begin{cases} 1 & \text{αν η υπηρεσία } j \text{ περιέχεται στη λύση} \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases} \quad (6.4)$$

$$\text{και } a_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{αν η υπηρεσία } j \text{ καλύπτει το δρομολόγιο } i \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

Οι περιορισμοί της μεθόδου (2) αναφέρουν ότι κάθε διάστημα (task) i της διαδρομής πρέπει να καλύπτεται από μία υπηρεσία (workday) . Έτσι ο συντελεστής a_{ij} είναι 1 αν ο άνω περιορισμός καλύπτεται ενώ στην αντίθετη περίπτωση είναι 0 .

Από όλες τις μεθόδους που αναφέρθηκαν παραπάνω μόνο η μέθοδος κάλυψης συνόλου μπορεί να αποφέρει τη βέλτιστη λύση με την προϋπόθεση ότι οι υπηρεσίες υπολογίζονται σύμφωνα με τη διαδικασία που προβλέπει η μέθοδος .

6.2 Η μέθοδος

Η μέθοδος γεννήτριας στηλών (column generation approach) χρησιμοποιείται για την επίλυση γραμμικών προβλημάτων με πολλές columns . Στην περίπτωση μας , τα προβλήματα είναι προβλήματα επίλυσης συνόλου και οι στήλες είναι οι υπηρεσίες των οδηγών ή οι διαδρομές , και κάθε σειρά αντιστοιχεί σε ένα διάστημα (task) ή έναν πελάτη . Για να εφαρμοστεί αυτή η μέθοδος σε ένα πρόβλημα κάλυψης συνόλου απαραίτητη προϋπόθεση είναι να υπολογίσουμε αρχικά το ελάχιστο οριακό κόστος μιας υπηρεσίας ή μιας διαδρομής (the minimum marginal cost column)

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή , δεν είναι απαραίτητο για τον προγραμματισμό να χρησιμοποιηθούν όλες οι δυνατές υπηρεσίες αλλά μόνο ένα υποσύνολο N από αυτές . Έτσι το πρόβλημα αντιμετωπίζεται χρησιμοποιώντας τον κατάλληλο αλγόριθμο. Με τον αλγόριθμο αυτό κοστολογούνται οι μεταβλητές προκειμένου να μπει σε μια σειρά ανάλογα με το κόστος, κι έτσι να επιλεγεί η μεταβλητή που θα

χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής είναι δυνατό να προκύψουν δύο περιπτώσεις :

1. Η βελτιστοποίηση να μην επέλθει μέσω του υποσυνόλου N των μεταβλητών που έχουμε επιλέξει. Τότε κοστολογούμε όλες τις μεταβλητές του συνόλου N για να επιλέξουμε τη ζητούμενη μεταβλητή.
2. Η βελτιστοποίηση να επέλθει μέσω του υποσυνόλου N των μεταβλητών που έχουμε επιλέξει. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να επιλέξουμε τη ζητούμενη μεταβλητή εκτός του υποσυνόλου N , μεταξύ άγνωστων υπηρεσιών λύνοντας ένα κατάλληλο υποπρόβλημα. Αν η τιμή της βέλτιστης λύσης (δηλαδή το ελάχιστο οριακό κόστος που αποφέρει η μεταβλητή αυτή) του υποπροβλήματος είναι αρνητική, τότε προστίθεται ως νέα μεταβλητή στο αρχικό υποσύνολο κι έτσι με τα νέα στοιχεία αυτού ξανακάνουμε βελτιστοποίηση η οποία είναι απαραίτητη διότι δεν είναι δυνατό μια μεταβλητή με αρνητική τιμή του ελάχιστου οριακού κόστους να είναι βέλτιστη λύση του περιορισμένου προβλήματος κάλυψης συνόλου και ταυτόχρονα να είναι και βέλτιστη λύση του προβλήματος.

Πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση που δε διατίθεται μια αρχική εφικτή λύση για το πρόβλημά μας τότε πρέπει να ακολουθήσουμε την πρώτη φάση της προσέγγισης για να προκύψει μια αρχική λύση. Η πρώτη φάση της μεθόδου column generation βασίζεται στη χρησιμοποίηση μιας αντικειμενικής συνάρτησης με την οποία ελαχιστοποιείται το άρθροισμα των «αρνητικών» (με την έννοια μη επιτευχθεισών λύσεων) παραγόντων του προβλήματος. Αν η βέλτιστη λύση που υπολογίζεται στην πρώτη φάση έχει μηδενική τιμή, τότε αυτή η λύση είναι εφικτή δηλαδή πραγματοποιήσιμη. Διαφορετικά δεν υπάρχει εφικτή λύση στο πρόβλημα. Στη δεύτερη φάση, εφαρμόζεται η αντικειμενική συνάρτηση (6.1)

Ο Desrosiers et al ασχολείται με το σχεδιασμό των δρομολογίων σχολικών λεωφορείων. Κάθε σχολικό δρομολόγιο αποτελείται από την αφετηρία, τον προορισμό και τα χρονικά περιθώρια, μέσα στα οποία το δρομολόγιο πρέπει να ξεκινήσει. Η συνολική διαδρομή αποτελείται από επιμέρους μικρότερες διαδρομές που τις διανύει το ίδιο όχημα. Σκοπός είναι να κτίσουμε με τη μέθοδο column generation τέτοιες διαδρομές ώστε να χρησιμοποιείται ο ελάχιστος δυνατός αριθμός λεωφορείων και να επιτυγχάνεται ταυτόχρονα το βέλτιστο κόστος, πάντα μέσα στα δεδομένα χρονικά περιθώρια. Κάθε δυνατή πορεία (column) αντιστοιχεί σε μια ακολουθία από μικρές διαδρομές, πάντα μέσα στα χρονικά περιθώρια, και το υποπρόβλημα είναι ένα πρόβλημα εύρεσης της ελάχιστης διαδρομής.

6.3 Η δημιουργία προγραμμάτων προσωπικού με τη βοήθεια της μεθόδου γεννήτριας στηλών

Χρησιμοποιώντας την προσέγγιση column generation για να δημιουργήσουμε το πρόγραμμα του προσωπικού , μπορούμε να συμπεριλάβουμε στα δεδομένα μας όλες τις πιθανές εργάσιμες ή υπηρεσίες και να προκύψει η βέλτιστη λύση . Στην προσπάθεια αυτή απαραίτητη είναι η εύρεση κι ενός υποπροβλήματος το οποίο θα δημιουργεί τις υπηρεσίες με το ελάχιστο οριακό κόστος , καθώς κι ένα branch and bound πλάνο από το οποίο θα νπροκύπτει η ακέραιη βέλτιστη λύση .

Παρακάτω περιγράφεται λεπτομερώς το υφιστάμενο πρόβλημα κάλυψης συνόλου καθώς επίσης και οι περιορισμοί του προβλήματος οι οποίοι είναι χωρισμένοι σε δύο μέρη : αυτοί που αφορούν στο γενικό πρόγραμμα , κι αυτοί που αφορούν στις εφικτές υπηρεσίες .

6.4 Το πρόβλημα κάλυψης συνόλου

Η μέθοδος κάλυψης συνόλου (σχέσεις 6.1-6.4) επιλέγει το πρόγραμμα με το ελάχιστο κόστος . Η αντικειμενική συνάρτηση (6.1) ελαχιστοποιεί το άθροισμα των κόστων των υπηρεσιών . Η σχέση (6.2) εκφράζει την απαίτηση ότι κάθε διάστημα (task) πρέπει να καλύπτεται τουλάχιστον μία φορά από την κάθε υπηρεσία .

Στον πίνακα 6.1 παρουσιάζονται ορισμένοι αντικειμενικοί περιορισμοί που αποτελούν και χαρακτηριστικά ενός προγράμματος προσωπικού , και βοηθούν στην καλύτερη ερμηνεία της σχέσης (6.3)

MIN_PERC_STRAIGHT	Μέγιστο κι ελάχιστο ποσοστό των συνεχόμενων υπηρεσιών. Αυτοί οι περιορισμοί μπορούν να εφαρμοστούν σε όλους τους τύπους των υπηρεσιών.
MAX_NB_TRIPPER	Μέγιστος αριθμός των ακραίων υπηρεσιών (trippers) . Κι αυτός ο περιορισμός μπορεί να εφαρμοστεί για το μέγιστο ή τον ελάχιστο αριθμό οποιαδήποτε τύπου υπηρεσίας.
SPREAD A_1 [less/more][min/max] P_2	Περιορίζει το ποσοστό των υπηρεσιών με εύρος μικρότερο (μεγαλύτερο) ή ίσο με το A_1 σε ένα ελάχιστο (μέγιστο) ποσοστό του P_2

Πίνακας 6.1 : χαρακτηριστικά στοιχεία ενός προγράμματος προσωπικού

Προκειμένου να γίνει καλύτερη κατανόηση των περιορισμών, εισάγουμε την έννοια του αριθμούν των υπηρεσιών στην επίλυση του προβλήματος [1] :

$$NWD = \sum_{j \in SS} x_j \quad (6.5)$$

Όπου SS είναι το σύνολο των συνεχόμενων και των μεγάλης διάρκειας υπηρεσιών .Έτσι οι περιορισμοί που τίθενται στον πίνακα 6.1 μπορούν να ερμηνευτούν ως εξής :

Μέγιστο κι ελάχιστο ποσοστό των συνεχόμενων υπηρεσιών [1]:

$$\sum x_j - MIN_PERC_STRAIGHT \cdot NWD \geq 0 \quad (6.6)$$

$$\sum x_j - MAX_PERC_STRAIGHT \cdot NWD \leq 0 \quad (6.7)$$

Μέγιστος αριθμός των ακραίων υπηρεσιών (trippers) [1] .

$$\sum_{j \in TR} x_j \leq MAX_NB_TRIPPER \quad (6.8)$$

όπου TR είναι το σύνολο των ακραίων υπηρεσιών .

Ο περιορισμός του ποσοστού των υπηρεσιών με μικρότερο (μεγαλύτερο) ή ίσο με το A_1 σε ένα ελάχιστο (μέγιστο) ποσοστό του P_2

$$\sum_{j \in JA1} x_j - P_1 \cdot NWD \geq (\leq) 0 \quad (6.9)$$

όπου JA1 είναι το σύνολο των υπηρεσιών με εύρος μεγαλύτερο / μικρότερο ή ίσο με A_1

6.5 Η επίλυση του προβλήματος

Για να πετύχουμε το βέλτιστο δυνατό πρόγραμμα του προσωπικού πρέπει να επιλύσουμε το πρόβλημα κάλυψης συνόλου . Γι αυτό χρειάζεται να γίνει σωστή τοποθέτηση των αρχικών τιμών μέσω της κατάλληλης διαδικασίας και επίσης σωστή προσαρμογή του υποπροβλήματος , καθώς και άλλες παρεμβάσεις – βελτιώσεις στην προκείμενη μέθοδο . Έτσι λοιπόν η επίλυση δεν είναι ενιαία , αλλά χωρίζεται σε ορισμένα βήματα τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω .

6.5.1 Τοποθέτηση αρχικών τιμών

Στην προσπάθεια να βρούμε μια εφικτή λύση για το πρόβλημά μας , μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μόνο ακραίες υπηρεσίες οι οποίες θα καλύπτουν όλα τα μικρά διαστήματα (tasks) . Αυτή η μέθοδος είναι σχεδόν εφικτή αφού μόνο η σχέση (6.9) δεν τηρείται , και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ξεκινήσει η μέθοδος column generation . Η σχέση (9) μπορεί να επιβληθεί μέσω μιας μεθόδου κυρώσεων .

Πάντως , θα ήταν προτιμότερο να ξεκινούσαμε την εφαρμογή της μεθόδου κάλυψης συνόλου με τις εφικτές υπηρεσίες , διότι το κόστος θα ήταν μικρότερο. Αυτές οι υπηρεσίες μπορούν να προκύψουν από την ταξινόμηση όλων των πιθανών υπηρεσιών , οπότε αυτόματα παρουσιάζονται οι εφικτές υπηρεσίες. Ένας αποδοτικός τρόπος για να προκύψει μια καλή αρχική λύση , είναι να ταξινομήσουμε ένα είδος υπηρεσιών όπως οι συνεχείς και σε συνδυασμό με τις ακραίες υπηρεσίες να πάρουμε το αρχικό πλήθος των υπηρεσιών.

6.5.2 Η διατάραξη του προβλήματος

Το πρόβλημα κάλυψης συνόλου είναι πολλές φορές εκφυλισμένο διότι κάθε θετική βασική μεταβλητή μπορεί να καλύπτει πολλές σειρές. Αυτές οι μεταβλητές μπορεί να έχουν μηδενικές τιμές και μπορούν να επιλεγούν μεταξύ των μη χρησιμοποιούμενων μεταβλητών. Γι αυτό το λόγο υπάρχουν πολλές δυσαναλογίες σε κάθε πρόγραμμα προσωπικού, όπως οι αναβολές , οι καθυστερήσεις και οι κυκλικές επαναλήψεις. Για να αποφύγουμε όσο το δυνατό περισσότερο αυτό το φαινόμενο τροποποιούμε τις τέσσερις πρώτες σχέσεις που περιγράφουν το μοντέλο κάλυψης συνόλου. Έτσι έχουμε :

$$\min c x$$

$$A x \geq 1 + \epsilon_1$$

$$G x \leq h + \epsilon_2$$

$$x \geq 0$$

όπου τα ϵ_1 , ϵ_2 είναι συντελεστές οι οποίοι μειώνουν τα παραπάνω ανεπιθύμητα φαινόμενα.

6.5.4 Τροποποιώντας τους αντικειμενικούς περιορισμούς

Πολλές φορές οι αντικειμενικοί περιορισμοί οι οποίοι περιγράφονται με τις σχέσεις (6.6-6.9) δεν είναι πάντοτε τόσο απόλυτοι όσο πρέπει . Για παράδειγμα η σχέση (6.7) σύμφωνα με την οποία τουλάχιστον οι μισές από τις υπηρεσίες πρέπει να είναι συνεχείς , δεν μπορεί να ισχύσει , όταν ο συνολικός αριθμός των υπηρεσιών ,NWD, δεν είναι ταξινομημένος αλλά ακανόνιστος. Σε τέτοιες περιπτώσεις , αν γνωρίζουμε το συνολικό αριθμό των υπηρεσιών τότε μπορούμε να κάνουμε πιο σαφή τον περιορισμό, κι έτσι η σχέση (6.7) γίνεται [1,5,8] :

$$\sum x_j \geq [\text{MIN_PERC_STRAIGHT} \cdot \text{NWD}]$$

όπου η ποσότητα $[x]$ είναι το ελάχιστο ακέραιο μέρος του x . Όταν ο αριθμός των υπηρεσιών είναι γνωστός , τότε μπορούμε να κάνουμε πιο στενούς τους άνω περιορισμούς στρογγυλεύοντας προς το μεγαλύτερο νούμερο όλα τα κάτω όρια (περιορισμούς) και αντίστροφα.

6.5.5 . Γεννήτρια Στηλών κι η μέθοδος κλάδου φράγματος (*Branch and Bound Method*)

Κατά την εφαρμογή του πλάνου branch and bound μέσω της προσέγγισης column generation ,απαραίτητο είναι να διαχωρίσουμε τις υπηρεσίες που προκύπτουν από τα υποπροβλήματα με αυτές που είναι οι καταλληλότερες για τη συγκεκριμένη

γραμμή (δέντρο) .Αυτό επιτυγχάνεται με την τροποποίηση του υποπροβλήματος σύμφωνα με το υφιστάμενο δένδρο και κυρίως ως προς τους κόβους.

Έτσι , αν $J(t_1, t_2)$ είναι το σύνολο των υπηρεσιών που καλύπτουν τα διαστήματα $task_1$ και $task_2$, τότε αυτό που θέλουμε να ισχύει είναι :

$$0 < \sum_{j \in J(t_1, t_2)} x_j < 1$$

Επειδή , όμως , ορισμένες υπηρεσίες δεν ικανοποιούν αυτή τη σχέση , κυρίως λόγω υψηλού κόστους, χωρίζουμε το αρχικό πρόβλημα σε δύο υποπροβλήματα που περιγράφονται από τις παρακάτω σχέσεις :

$$0-1 \text{ branch : } \sum_{j \in J(t_1, t_2)} x_j = 0 \quad (6.10)$$

$$0-2 \text{ branch : } \sum_{j \in J(t_1, t_2)} x_j \geq 0 \quad (6.11)$$

Στη συνέχεια , ορίζουμε το σύνολο $T(t_1, t_2)$ των υπηρεσιών όπου το διάστημα t_2 καλύπτεται αμέσως μετά το διάστημα t_1 . Στην ουσία το σύνολο αυτό είναι ένα υποσύνολο του συνόλου J , και στο οποίο τα διαστήματα είναι τέτοια ώστε να ικανοποιείται η παρακάτω σχέση :

$$0 < \sum_{j \in T(t_1, t_2)} x_j < 1$$

Η παραπάνω διαδικασία είναι πολύ πιο εύκολο να εφαρμοστεί αν τα εν λόγω διαστήματα είναι χρονικά σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους.

Κάνοντας χρήση αυτής της μεθόδου , όταν ισχύει η σχέση (6.10) , τότε αποκλείουμε όλες τις υπηρεσίες να καλύπτουν τα διαστήματα t_1 και t_2 , ενώ στο

δίκτυο που αντιστοιχεί στο υποπρόβλημα αυτό , διαγράφουμε όλα τα τόξα που αντιστοιχούν στα τμήματα υπηρεσίας που καλύπτουν τα διαστήματα t_1 και t_2 . Ανάλογα , όταν ισχύει η σχέση (6.11) , ενδυναμώνουμε όλες τις υπηρεσίες που καλύπτουν τα διαστήματα αυτά , ενώ στο δίκτυο τα διαστήματα t_1 και t_2 συμπυκνώνονται σε ένα απλό διάστημα.

6.6 Η μοντελοποίηση του προβλήματος κι η θέση του στο δίκτυο

Με τη μέθοδο Column Generation έχουν επιλυθεί πολλά προβλήματα σχετικά με τα προγράμματα του προσωπικού στις μεταφορές. Στην περίπτωση των αστικών συγκοινωνιών , το ζητούμενο είναι να επιλύσουμε ένα πρόβλημα εύρεσης της συντομότερης διαδρομής στην οποία κάθε διαδρομή θα αντιπροσωπεύει μια υπηρεσία . Η αντικειμενική συνάρτηση που θα επιλεγεί θα είναι τέτοια ώστε να μας δίνει το ελάχιστο οριακό κόστος της κάθε υπηρεσίας .

Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζεται η αποδοτικότητα , η εφικτότητα και το κόστος της κάθε υπηρεσίας [1] :

A. Ορισμοί επί της διαδικασίας	
PIECE_LG_MAX	Μέγιστο κι ελάχιστο μήκος ενός τμήματος υπηρεσίας
PIECE_LG_MIN	
PIECE_NB_MAX	Μέγιστος αριθμός τμημάτων υπηρεσίας σε μια εργάσιμη μέρα
NBPCE	Αριθμός των τμημάτων υπηρεσίας
DAY_LG_MAX	Μέγιστος κι ελάχιστος εργάσιμος χρόνος σε μια μέρα
DAY_LG_MIN	
SPREAD_MAX	Μέγιστο εύρος (spread) μιας εργάσιμης
SPREAD	Το εύρος μιας υπηρεσίας
BREAK_LG_MIN	Ελάχιστο και μέγιστο εύρος ενός διαλείμματος
BREAK_LG_MAX	
B. Ορισμοί επί του κόστους	
1. Βασικό κόστος	
HOURLY_RATE	Ωριαίος βασικός μισθός του οδηγού
BREAK_RATE	Κλασματικός συντελεστής για την ωριαία πληρωμή κατά τη διάρκεια ενός διαλείμματος
HRPAID	Ημερομίσθιο
2. Κατανομές	
SIGN_ON	Δεδουλευμένος χρόνος πριν από την έναρξη της υπηρεσίας και μετά τη λήξη της
SIGN_OF	
HRWORK	Δεδουλευμένος χρόνος (συνολικός)
3. Ασφάλειες κι εγγυήσεις	
PIECE_GUARANTEE	Εγγυήσεις που εξασφαλίζουν την πληρωμή ενός μέρους ενός τμήματος εργασίας , μιας εργάσιμης και μιας ακραίας υπηρεσίας
DAY_GUARANTEE	
TRIPPER_GUARANTEE	
OVERTIME_RATE	Επιδόματα για υπερωρίες, μεγάλα spread ή μεγάλες ακραίες υπηρεσίες
SPREAD_RATE	
TRIPPER_RATE	

Γ. Ταξινόμηση των υπηρεσιών	
STRAIGHT_BREAK_MAX SPLIT_BREAK_MAX SPLIT_BREAK_MIN	Μέγιστη διάρκεια του διαλείμματος για κάθε τύπο υπηρεσίας. Κάθε τύπος μπορεί να έχει μέγιστα κι ελάχιστα όρια για το χρόνο της υπηρεσίας , το εύρος (spread) το χρόνο πληρωμής και τον αριθμό των τμημάτων υπηρεσίας

Πίνακας 6.2 : Χαρακτηριστικά μιας υπηρεσίας

Στο πρόβλημά μας έστω N το σύνολο των κόμβων του δικτύου και A το σύνολο των τόξων. Ως κόμβους θεωρούμε τα άκρα ενός διαστήματος (task) ενώ τα τόξα εκφράζουν τα μέρη μιας εργάσιμης μέρας (διαλείμματα , τμήματα υπηρεσίας , έναρξη και λήξη της υπηρεσίας). Σε κάθε τόξο $arc (i,j)$ αντιστοιχεί το κόστος c_{ij} .

Για την καλύτερη κατανόηση του κειμένου παραθέτουμε τους παρακάτω ορισμούς [1,5,8] :

- πηγή πόρων (resource) : είναι το σύνολο των πόρων που διατίθενται για τη πραγματοποίηση ενός δρομολογίου μεταξύ δύο κόμβων. Οι πόροι αυτοί μπορεί να είναι ο συνολικός αριθμός του διατιθέμενου στόλου οχημάτων , ο αριθμός των οδηγών τα αποθέματα καυσίμων , και άλλα.
- d_{ij}^l : το ποσοστό της πηγής πόρων l που καταναλώνεται από τον κόμβο i στο κόμβο j .
- a_j^l, b_j^l : το άνω και κάτω όριο αντίστοιχα των πόρων l που μπορεί να διατεθούν για την πραγματοποίηση του δρομολογίου από το i στο j
- T_j^l : το ποσοστό των πόρων που καταναλώνεται κατά την δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα από το αρχικό μέρος (πχ αμαξοστάσιο) στον κόμβο j .

Οι παρακάτω εξισώσεις δίνουν το πλαίσιο μέσα στο οποίο πρέπει να κινείται η κατανάλωση των πόρων μέσα σε ένα τόξο i,j .

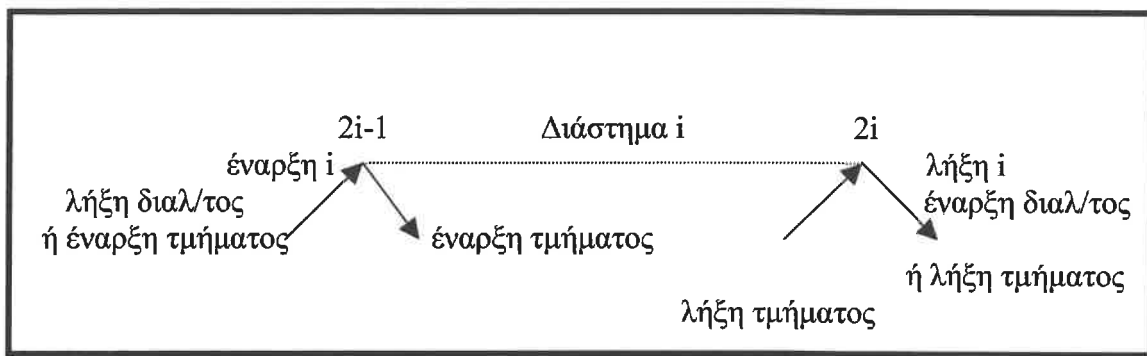
$$T_i^l + d_{ij}^l \leq T_j^l \text{ και } a_j^l \leq T_j^l \leq b_j^l \quad l = 1 \dots 4$$

Αν ισχύει : $T_i^l + d_{ij}^l < a_j^l$, δηλαδή , η κατανάλωση των πόρων είναι εκτός πλαισίου και κάτω από το κατώτατο όριο , τότε αντικαθιστούμε το a_j^l με το T_j^l . Με βάση αυτούς τους ορισμούς , οι παρακάτω εξισώσεις εκφράζουν το πλαίσιο. Αντίθετα , αν ισχύει $T_i^l + d_{ij}^l > b_j^l$ τότε η διαδρομή είναι αντιοικονομική και άρα μη εφικτή .

Το παραπάνω μοντέλο εφαρμόζεται για όλους τους τύπους υπηρεσιών εκτός από τις ακραίες υπηρεσίες διότι είναι υπηρεσίες που έχουν μειωμένη διάρκεια κι έτσι θεωρούνται ως υπερωρίες.

Τέλος , επίλυση του υποπροβλήματος που , όπως αναφέρθηκε , τελικά ανάγεται σε πρόβλημα εύρεσης της ελάχιστης διασρομής , γίνεται με τη βοήθεια του δυναμικού προγραμματισμού

6.7 Παρουσίαση των παραπάνω όρων στο σύστημα



Σχήμα 6.2 : Παραδείγματα διαφορετικών τόξων

Το Σχήμα 6.2 δείχνει τα διάφορα χαρακτηριστικά ενός τόξου που αντιπροσωπεύει έναν τύπο υπηρεσίας , όπως γνωρίζουμε. Σύμφωνα , λοιπόν με αυτό , μπορούμε να διακρίνουμε το διάστημα i (task i) το οποίο αποτελείται από δύο κόμβους , τον $2i-1$ και τον $2i$. Ένα τμήμα υπηρεσίας αποτυπώνεται με το τόξο $(2i-1, 2i)$ με φορά από το διάστημα i στο διάστημα j , του ίδιου block. Ένα διάλειμμα αποτυπώνεται από το τόξο $(2i, 2j-1)$ από το τέλος του προηγούμενου διαστήματος , προς την αρχή του επόμενου. Η αρχή μιας υπηρεσίας ή μιας εργάσιμης μέρας αποτυπώνεται από το τόξο $(p, 2i-1)$ δηλαδή από την αφετηρία μέχρι το διάστημα $2i$, ενώ το τέλος της από το τόξο $(2i, q)$ δηλαδή από το διάστημα $2i$ μέχρι το τέλος q .

Με βάση αυτά τα στοιχεία τα ποσοστά των πόρων που καταναλώνονται και αποτυπώνονται από το τόξο (i,j) είναι τα παρακάτω [1,5,8] :

$$d^1_{ij} : \begin{cases} 1 \text{ αν το τόξο εκφράζει διάλειμμα} \\ 0 \text{ άλλως} \end{cases}$$

d^2_{ij} : είναι η διάρκεια του τμήματος υπηρεσίας ή του διαλείμματος

d^3_{ij} : είναι ο χρόνος που πληρώνεται για ένα τμήμα υπηρεσίας ή για ένα διάλειμμα.

d^4_{ij} : είναι ο εργάσιμος χρόνος σε ένα τμήμα υπηρεσίας ή σε ένα διάλειμμα

Ένα τμήμα υπηρεσίας αντιστοιχεί σε ένα τόξο $(2i-1, 2j)$ και περιλαμβάνει ένα ή και περισσότερα διαστήματα . Το μήκος του τμήματος πρέπει να είναι ενδιάμεσα στα όρια που αναφέρονται στον πίνακα 2 και είναι $PIECE_LG_MIN$ και $PIECE_LG_MAX$. Αν υποθέσουμε ότι L_{ij} είναι το σύνολο των διαστημάτων που καλύπτονται από το παραπάνω τμήμα , τότε το κόστος και η αντίστοιχη κατανάλωση πόρων που καταναλώνεται σε αυτό είναι τα εξής [1] :

$$- \text{Κόστος} : c_{2i-1, 2j} = \text{HOURLY_RATE} \cdot (\text{τέλος } j - \text{αρχή } i) - \sum_{k \in L_{ij}} \pi_k$$

όπου π_k , η τιμή των διπλών παραμέτρων που αντιστοιχούν στα διαστήματα και καλύπτονται από το εν λόγω τμήμα.

- Αριθμός των τμημάτων υπηρεσίας (NBCE): $d^1_{2i-1, 2j} = 0$
- Εύρος (SPREAD) : $d^2_{2i-1, 2j} = \text{τέλος } j - \text{αρχή } i$
- Ημερομίσθιο (HRPAID) : $d^3_{2i-1, 2j} = \max\{PIECE_GUARANTEE, \text{τέλος } j - \text{αρχή } i\}$
- Δεδουλευμένος χρόνος (συνολικός) (HRWORK) : $d^4_{2i-1, 2j} = \text{τέλος } j - \text{αρχή } i$

Παρόμοιοι υπολογισμοί έχουν γίνει και για τα διαλείμματα , για τα οποία ισχύει ο περιορισμός : $BREAK_LG_MIN < \text{start}_i - \text{end}_j < BREAK_LG_MAX$

Έτσι λοιπόν έχουμε :

- Κόστος : $c_{2j, 2i-1} = BREAK_RATE \cdot \text{HOURLY_RATE} \cdot (\text{αρχή } i - \text{τέλος } j)$
- Αριθμός των τμημάτων υπηρεσίας (NBCE): $d^1_{2j, 2i-1} = 1$
- Εύρος (SPREAD) : $d^2_{2j, 2i-1} = \text{τέλος } i - \text{αρχή } j$
- Ημερομίσθιο (HRPAID) : $d^3_{2j, 2i-1} = BREAK_RATE \cdot (\text{αρχή } i - \text{τέλος } j)$
- Δεδουλευμένος χρόνος (συνολικός) (HRWORK) : $d^4_{2j, 2i-1} = 0$

Ανάλογοι υπολογισμοί έχουν γίνει και για την έναρξη της υπηρεσίας η οποία είναι μια προετοιμασία του οδηγού πριν την έναρξη του πρώτου τμήματος υπηρεσίας. Έτσι έχουμε :

- Κόστος : $c_{p, 2i-1} = BREAK_RATE \cdot \text{HOURLY_RATE} \cdot \text{SIGN_ON}$
- Αριθμός των τμημάτων υπηρεσίας (NBCE): $d^1_{p, 2i-1} = 1$
- Εύρος (SPREAD) : $d^2_{p, 2i-1} = \text{SIGN_ON}$
- Ημερομίσθιο (HRPAID) : $d^3_{p, 2i-1} = \text{SIGN_ON}$
- Δεδουλευμένος χρόνος (συνολικός) (HRWORK) : $d^4_{p, 2i-1} = \text{SIGN_ON}$

Με την ίδια σκέψη γίνονται και οι αντίστοιχοι υπολογισμοί για το τέλος της υπηρεσίας η οποία επέρχεται μετά το τέλος και του τελευταίου τμήματος υπηρεσίας. Έτσι έχουμε :

- Κόστος : $c_{2i,q} = \text{HOURLY_RATE} \cdot \text{SIGN_OFF}$
- Αριθμός των τμημάτων υπηρεσίας (NBCE): $d^1_{2i,q} = 0$
- Εύρος (SPREAD) : $d^2_{2i,q} = \text{SIGN_OFF}$
- Ημερομίσθιο (HRPAID) : $d^3_{2i,q} = \text{SIGN_OFF}$
- Δεδουλευμένος χρόνος (συνολικός) (HRWORK) : $d^4_{2i,q} = \text{SIGN_OFF}$

Οι τιμές που δίνουν οι παραπάνω υπολογισμοί για να είναι εφαρμόσιμες πρέπει να βρίσκονται μέσα σε κάποια όρια τα οποία είναι τα εξής :

1. Για τον αριθμό των τμημάτων υπηρεσίας :

$$[\alpha^1_i, b^1_i] = [0, \text{PIECE_NB_MAX}] \text{ για όλους τους κόμβους}$$

2. Για το εύρος :

$$[\alpha^2_i, b^2_i] = [0, \text{SPREAD_MAX}] \text{ για όλους τους κόμβους}$$

3. Για το χρόνο πληρωμής :

$$[\alpha^3_i, b^3_i] = [0, \infty] \text{ για όλους τους κόμβους}$$

4. Για το δεδουλευμένο χρόνο

$$[\alpha^4_i, b^4_i] = [0, \text{DAY_LG_MAX}] \text{ για όλους τους κόμβους}$$

6.8 Εφαρμογή της μεθόδου σε μια Αμερικανική πόλη

Η μέθοδος που παρουσιάζουμε , εφαρμόστηκε μαζί με άλλες μεθόδους σε μια Αμερικανική πόλη. Το σύστημα αποτελείται από 25 blocks με συνολική διάρκεια 347 ωρών . Επίσης έχουμε δύο τύπους υπηρεσιών : τις συνεχείς και τις ασυνεχείς υπηρεσίες . Οι συνεχείς υπηρεσίες αποτελούνται από δύο τμήματα με ένα μικρό διάλειμμα διάρκειας 30 λεπτών και μίας ώρας. Οι ασυνεχείς υπηρεσίες αποτελούνται κι αυτές από δύο τμήματα υπηρεσίας . Επίσης υπάρχουν δύο σημαντικοί αντικειμενικοί περιορισμοί στο πρόβλημά μας : τουλάχιστον το 50% των υπηρεσιών πρέπει να είναι συνεχείς και τουλάχιστον το 65% των υπηρεσιών επίσης πρέπει να έχουν εύρος τουλάχιστον 10 ωρών

Στον Πίνακα 6.3 παρουσιάζονται τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών , κωδικοποιημένα σύμφωνα με τον Πίνακα 6.2

Παράμετροι	Τιμές
PIECE_LG_MAX	6 h
PIECE_NB_MAX	3
SPREAD_MAX	13 h
SIGN_ON	10 min
SIGN_OF	5 min
OVERTIME_RATE	0,5
STRAIGHT_BREAK_MAX	11 h
SPLIT_BREAK_MAX	13 h
DAY_GUARANTEE	8 h
TRIPPER_GUARANTEE	2 h 40min
SPREAD_RATE_BEGIN	11 h
SPREAD_RATE	0,5
TRIPPER_RATE	0,5

Πίνακας 6.3 : Χαρακτηριστικά στοιχεία της γραμμής που εφαρμόζεται το παράδειγμα της μεθόδου

Το σύστημα περιλαμβάνει 167 διαστήματα (tasks) . Η επίλυση του προβλήματος έγινε σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση , έγινε η επίλυση του προβλήματος κάλυψης συνόλου, και στη δεύτερη ελήφθησαν υπόψη οι αντικειμενικοί περιορισμοί .

Στον Πίνακα 6.4 παρουσιάζονται συγκριτικά τα αποτελέσματα της επίλυσης του προβλήματος με τη μέθοδο HASTUS την current solution και την column generation . Όπως μπορούμε να διακρίνουμε , η μέθοδος column generation είναι οικονομικότερη κατά 0,8% της μεθόδου current solution και κατά 0,9% της μεθόδου HASTUS . \$

Μέθοδος	HASTUS	Current	C. Generation
Κόστος	\$4,073.50	\$4,069.50	\$4,036.33
Αρ. Υπηρεσιών	45	45	45
Συνεχείς υπηρεσίες	32	36	23
Ασυνεχείς υπηρεσίες	13	9	22
Ακραίες υπηρεσίες	0	0	0
Κατανομή του χρόνου πληρωμής			
Δεδουλευμένος χρόνος	347h03	347h03	347h03
Sign_on and_off	11h15	11h15	11h15
Χρόνος διαδρομής	4h10	4h10	4h10
Πληρωτέος χρόνος διαλειμμάτων	31h06	31h54	29h27
Εγγυήσεις	5h24	4h30	4h39
Υπερωρίες	7h49	7h55	7h06.5
Spread premium	0h34	0h10	0h02.5
Συνολικός πληρωτέος χρόνος	407h21	406h57	403h38
Αποδοτικότητα	85.2%	85,30%	86%

Πίνακας 6.4 : Συγκριτικά αποτελέσματα των τριών μεθόδων επίλυσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Ο ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ

7.1 Εισαγωγή

Ο υπολογισμός του κόστους των υπηρεσιών των οδηγών στις αστικές συγκοινωνίες εξαρτάται από πολλές παραμέτρους , όπως οι συμβάσεις εργασίας μεταξύ προσωπικού και εταιρίας , το νομικό πλαίσιο μέσα στο οποίο πρέπει να κινείται η όλη διαδικασία , και άλλα.

Για το λόγο αυτό , η μείωση του κόστους μπορεί να επιτευχθεί με αρκετούς τρόπους , έμμεσα και άμεσα. Έτσι , σε μία λεωφορειακή γραμμή στην οποία γνωρίζουμε την απαιτούμενη συχνότητα των δρομολογίων και κατά συνέπεια το συνολικό χρόνο εργασίας του προσωπικού , μπορούμε να επιτύχουμε τη βελτιστοποίηση του κόστους , μέσω της μείωσης του αριθμού των υπερωριών ή της μείωσης του αριθμού των υπηρεσιών . Με αυτή τη σκέψη μπορεί να βρεθεί ο κατάλληλος συνδυασμός των υπερωριών και των υπηρεσιών μιας λεωφορειακής γραμμής ο οποίος θα αποφέρει τη βελτιστοποίηση του κόστους.

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια εφαρμογή του παραπάνω σκεπτικού στο παράδειγμα του προηγούμενου κεφαλαίου με τη βοήθεια του προγράμματος Microsoft Excel. Ο σκοπός αυτής της εφαρμογής δεν είναι η επίλυση του προβλήματος , αλλά ο βαθμός προσέγγισης των εξαγόμενων τιμών με αυτές της μεθόδου Column Generation . Σκοπός επίσης είναι και η μελέτη των διακυμάνσεων των διαφόρων παραμέτρων του προβλήματος και ο βαθμός επιρροής που έχουν μεταξύ τους . Αυτό θα βοηθήσει στην εξαγωγή των απαραίτητων συμπερασμάτων που θα μας οδηγήσει στη σωστή κατεύθυνση για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Η διερεύνηση του προβλήματος γίνεται σε δύο στάδια : Στο πρώτο στάδιο το πρόβλημα αντιμετωπίζεται εποπτικά , και απλά παρουσιάζεται η εικόνα της διακύμανσης των διαφόρων μεγεθών . Στο δεύτερο στάδιο το πρόβλημα αντιμετωπίζεται σαν πρόβλημα βελτιστοποίησης , και το ενδιαφέρον εστιάζεται κυρίως στο βαθμό επιρροής που έχει η διακύμανση των διάφορων περιορισμών στο τελικό αποτέλεσμα.

7.2 Η διατύπωση του προβλήματος

Θεωρούμε μια λεωφορειακή γραμμή στην οποία η συνολική διάρκεια των δρομολογίων είναι 347 ώρες . Επίσης , το σύστημα αποτελείται από 25 blocks , δηλαδή κάθε λεωφορείο εκτελεί 25 δρομολόγια συνολικά από την αναχώρηση μέχρι την επιστροφή του στο αμαξοστάσιο.

Επίσης , χρησιμοποιούνται δύο τύποι υπηρεσιών , οι ασυνεχείς κι οι συνεχείς υπηρεσίες με τον περιορισμό ότι τουλάχιστον το 50 % των υπηρεσιών πρέπει να είναι συνεχείς.

7.3 Η εποπτική αντιμετώπιση του προβλήματος

7.3.1. Παραδοχές

Στο πρώτο στάδιο αντιμετώπισης , κάνουμε τις παρακάτω παραδοχές :

- Δύο σχέσεις πρέπει να ισχύουν ταυτόχρονα : το άθροισμα του αριθμού των συνεχών κι ασυνεχών υπηρεσιών επί το αντίστοιχο εύρος της μίας υπηρεσίας πρέπει να ισούται με το συνολικό αριθμό των ωρών εργασίας , δηλαδή 347 ώρες. Επίσης , ο συνολικός αριθμός των υπηρεσιών πρέπει να ισούται με το άθροισμα των συνεχών κι ασυνεχών υπηρεσιών.
- Η κανονική διάρκεια μιας υπηρεσίας (συνεχούς κι ασυνεχούς) είναι 8 ώρες .
- Οι υπερωρίες υπολογίζονται ως εξής :

$$(\text{Συνολικός αριθμός ωρών εργασίας}) - (\text{Αριθμός υπηρεσιών}) \cdot (\text{Κανονική διάρκεια υπηρεσίας})$$
- Οι συνεχείς υπηρεσίες αποτελούνται από δύο τμήματα κι οι ασυνεχείς από τρία.
- Το διάλειμμα μιας συνεχούς υπηρεσίας διαρκεί μία ώρα ενώ το διάλειμμα μιας ασυνεχούς υπηρεσίας διαρκεί δύο ώρες.
- Το εύρος μιας υπηρεσίας (συνεχούς ή ασυνεχούς) υπολογίζεται ως εξής :

$$(\text{Διάρκεια ενός τμήματος}) \cdot (\text{αρ. τμημάτων της υπηρεσίας}) + (\text{διάλειμμα})$$

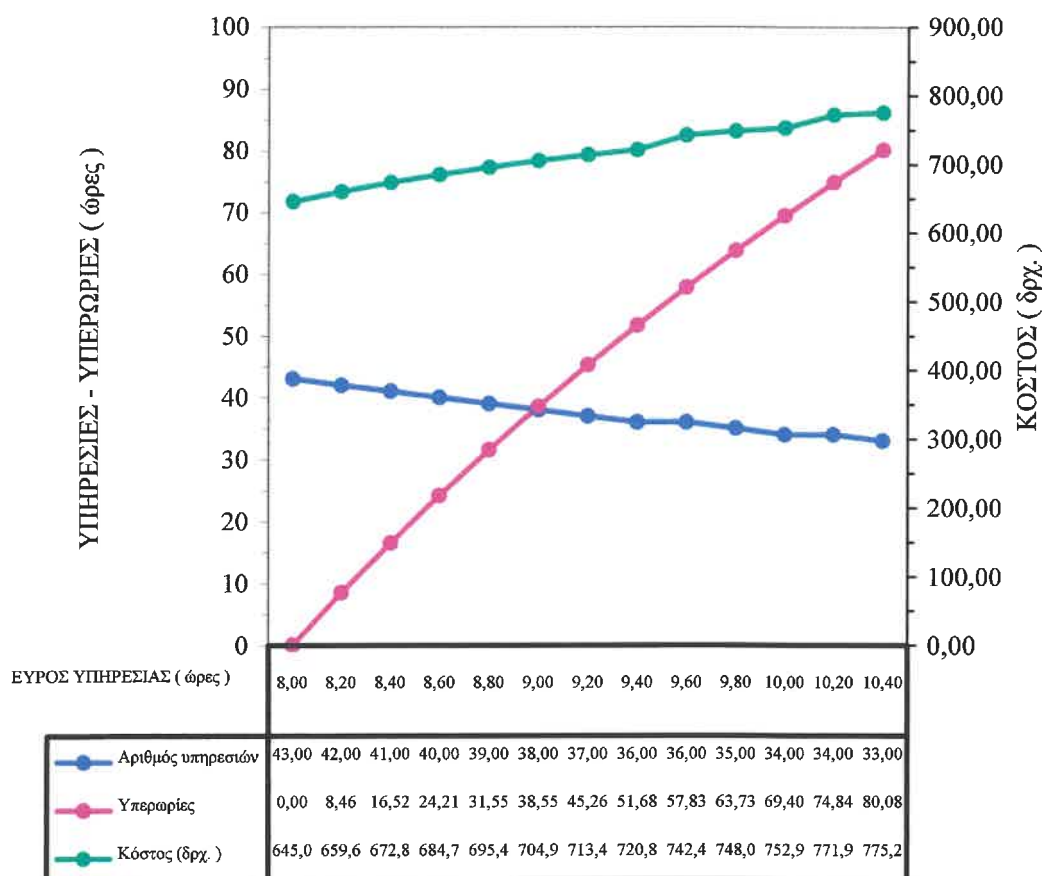
Οι παραπάνω παραδοχές παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 7.1:

α/α	A	B	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ
1	Συνολικός αριθμός ωρών εργασίας (ώρες)	347,00	$B1 = B3*B14+B4*B13$
2	Αριθμός υπηρεσιών		$B2 = B3+B4$
3	Ασυνεχείς υπηρεσίες		
4	Συνεχείς υπηρεσίες		
5	Διάρκεια ενός τμήματος (ώρες)		
6	Διάλειμμα μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	2,00	
7	Διάλειμμα μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	1,00	
8	Υπερωρίες (ώρες)		$B8 = B1-B2*8$
9	Αριθμός τμημάτων μιας συνεχούς υπηρεσίας	2,00	
10	Αριθμός τμημάτων μιας ασυνεχούς υπηρεσίας	3,00	
11	Κανονική διάρκεια μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
12	Κανονική διάρκεια μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
13	Έυρος μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$B13 = B5*B9+B8$
14	Έυρος μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$B14 = B5*B10+B7$

Πίνακας 7.1 : Συνοπτική παρουσίαση των παραδοχών της εποπτικής αντιμετώπισης

Με βάση τις παραπάνω παραδοχές έγινε η κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων τιμών και δημιουργήθηκαν τα κατάλληλα διαγράμματα τα οποία μας οδηγούν σε πολύ χρήσιμα συμπεράσματα. Η παρουσίαση των διαγραμμάτων αυτών γίνεται τμηματικά παρακάτω και συνολικά στο τέλος του κεφαλαίου.

7.3.2 Μεταβολή των υπηρεσιών – κόστους – υπερωριών ανάλογα με τη διακύμανση του εύρους της υπηρεσίας.

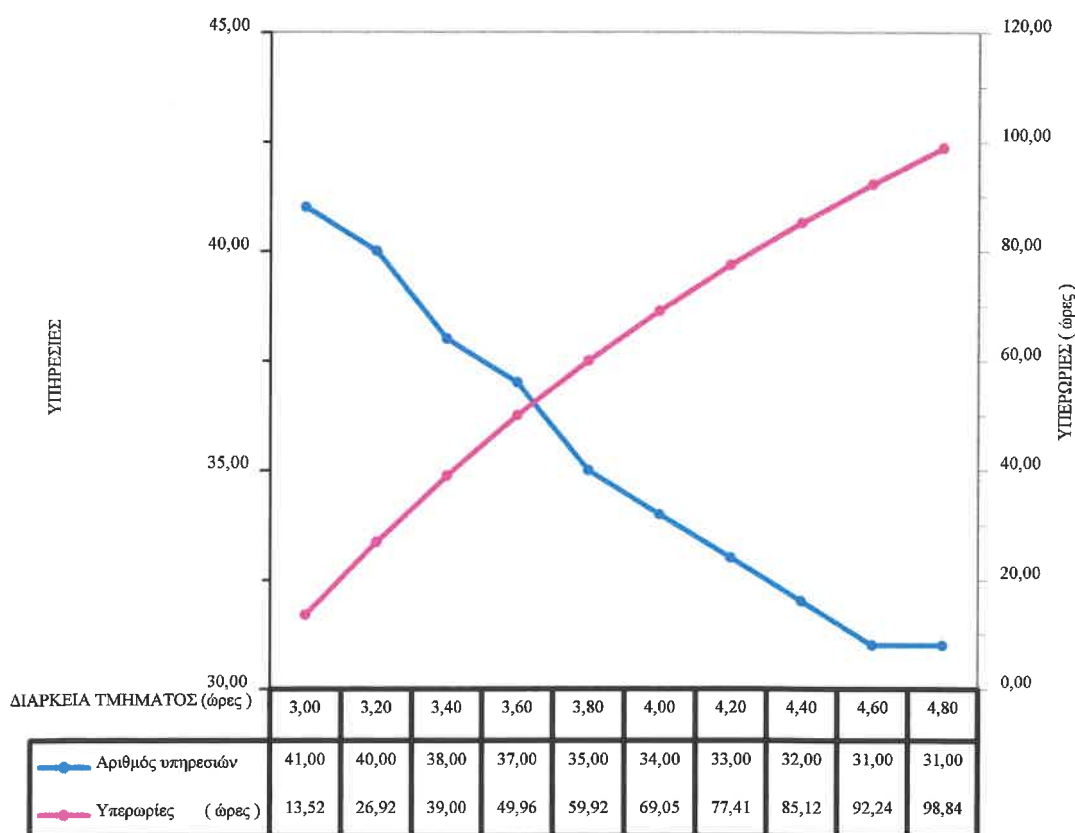


Σχήμα 7.1 : Διάγραμμα υπηρεσιών – κόστους – υπερωριών με βάση τη μεταβολή του εύρους της υπηρεσίας (εποπτική αντιμετώπιση)

Στο Σχήμα 7.1 παρατηρούμε τη μεταβολή του κόστους , των υπερωριών και των υπηρεσιών ανάλογα με το εύρος της υπηρεσίας . Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η διακύμανση του εύρους είναι ίδια και για τις συνεχείς και για τις ασυνεχείς υπηρεσίες . Βλέπουμε επίσης ότι ο ελάχιστος αριθμός υπερωριών είναι 8,20 ώρες και αντιστοιχεί σε 42 υπηρεσίες . Στη μέθοδο Column Generation ο ελάχιστος αριθμός υπερωριών είναι 7,92 ώρες με 45 υπηρεσίες όμως . Παρατηρούμε ότι έχουμε μια απόκλιση της τάξης του 13,41 % όσον αφορά τις υπερωρίες , αλλά εδώ η ελάχιστη

τιμή των υπερωριών επιτυγχάνεται με 3 υπηρεσίες λιγότερο. Με άλλα λόγια , μπορούμε να πετύχουμε μείωση του κόστους , μέσω της μείωσης των υπερωριών και της αντίστοιχης μείωσης των υπηρεσιών , χωρίς αυτό να έχει καμία επίπτωση στη συχνότητα των δρομολογίων . Έτσι οι υπηρεσίες οι οποίες δε χρησιμοποιούνται εδώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία άλλη γραμμή.

7.3.3 Μεταβολή των υπερωριών και των υπηρεσιών ανάλογα με τη διακύμανση της διάρκειας του τμήματος υπηρεσίας



Σχήμα 7.2 : Διάγραμμα υπηρεσιών – υπερωριών

Στο Σχήμα 7.2 παρατηρούμε τη μεταβολή των υπερωριών και των υπηρεσιών σε σχέση με την αύξηση του τμήματος υπηρεσίας . Θυμίζουμε εδώ ότι οι συνεχείς

υπηρεσίες αποτελούνται από δύο τμήματα και οι ασυνεχείς από τρία. Η διάρκεια ενός τμήματος κυμαίνεται από 3 έως 5 ώρες. Βέβαια, οι 5 ώρες είναι αρκετά μεγάλη διάρκεια για ένα τμήμα και δε χρησιμοποιείται.

Όπως βλέπουμε η ελάχιστη τιμή των υπερωριών είναι 13,52 ώρες με 41 υπηρεσίες. Εδώ η απόκλιση είναι της τάξης του 47,44%, πολύ μεγαλύτερη από πριν. Αυτό σημαίνει ότι η επιλογή της διάρκειας του τμήματος υπηρεσίας ως μεγέθους αναφοράς, υστερεί σε σχέση με το εύρος υπηρεσίας, διότι αποφέρει δυσμενέστερο αποτέλεσμα.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι η βελτιστοποίηση του κόστους προέρχεται μέσω της μείωσης των υπερωριών και των υπερωριών, ενώ παράλληλα εξαρτάται και από την παράμετρο αναφοράς.

7.4 Η αντιμετώπιση του προβλήματος μέσω της διαδικασίας της βελτιστοποίησης

Στο δεύτερο στάδιο επίλυσης, η αντιμετώπιση του προβλήματος εστιάζεται κυρίως στη μείωση των υπερωριών. Συγκεκριμένα, βλέποντας το πρόβλημα ως πρόβλημα βελτιστοποίησης, αλλάζοντας τους περιορισμούς βρίσκουμε κάθε φορά τη λύση που είναι η βέλτιστη, δηλαδή την ελάχιστη τιμή των υπερωριών.

Όσον αφορά το κόστος, του οποίου η μείωση είναι αυτό που μας ενδιαφέρει τελικά, αυτό εξαρτάται από τον αριθμό των υπερωριών και από τις απαιτούμενες υπηρεσίες. Συνεπώς αν κάθε φορά πετυχαίνουμε τη βέλτιστη τιμή των υπερωριών, πετυχαίνουμε αυτόματα και τη βέλτιστη τιμή του κόστους.

Πρέπει να σημειωθεί ότι σε αυτό το στάδιο δεν παρουσιάζει ενδιαφέρον ο βαθμός προσέγγισης των τιμών με αυτές της μεθόδου Column Generation αλλά η μεταβολή των εξεταζόμενων παραμέτρων σε σχέση με την αλλαγή των περιορισμών. Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τρεις διερευνήσεις του προβλήματος, η κάθε μία με διαφορετικούς περιορισμούς.

7.4.1 Πρώτη διερεύνηση

Και στις τρεις διερευνήσεις μεγαλύτερη σημασία δίνεται στα όρια του εύρους (διάρκειας) της συνεχούς και της ασυνεχούς υπηρεσίας. Στην πρώτη διερεύνηση η διάρκεια της συνεχούς υπηρεσίας κυμαίνεται μεταξύ 7,5 και 8 ωρών ενώ της ασυνεχούς υπηρεσίας μεταξύ 9,5 και 10 ωρών. Παρατηρούμε δηλαδή ότι το διάστημα

διακύμανσης είναι πολύ μικρό .Το προς βελτιστοποίηση μέγεθος είναι οι υπερωρίες.
Ο υπολογισμός των διαφόρων μεγεθών γίνεται με βάση τους παρακάτω τύπους :

- (Ασυνεχείς υπηρεσίες) = (συνολ. αριθ. υπηρεσιών) – (Συνεχείς υπηρεσίες)
- (Υπερωρίες) = (Συνολ. Αριθ. ωρών) – (συνεχείς) · (διάρκεια) – (ασυνεχείς) · (διάρκεια)
- (Κόστος) = [(αριθ. υπηρεσιών) · (15.000 δρχ.) + (αριθ. υπερωριών) · (2.000 δρχ./ώρα) · 1,75] / 1000

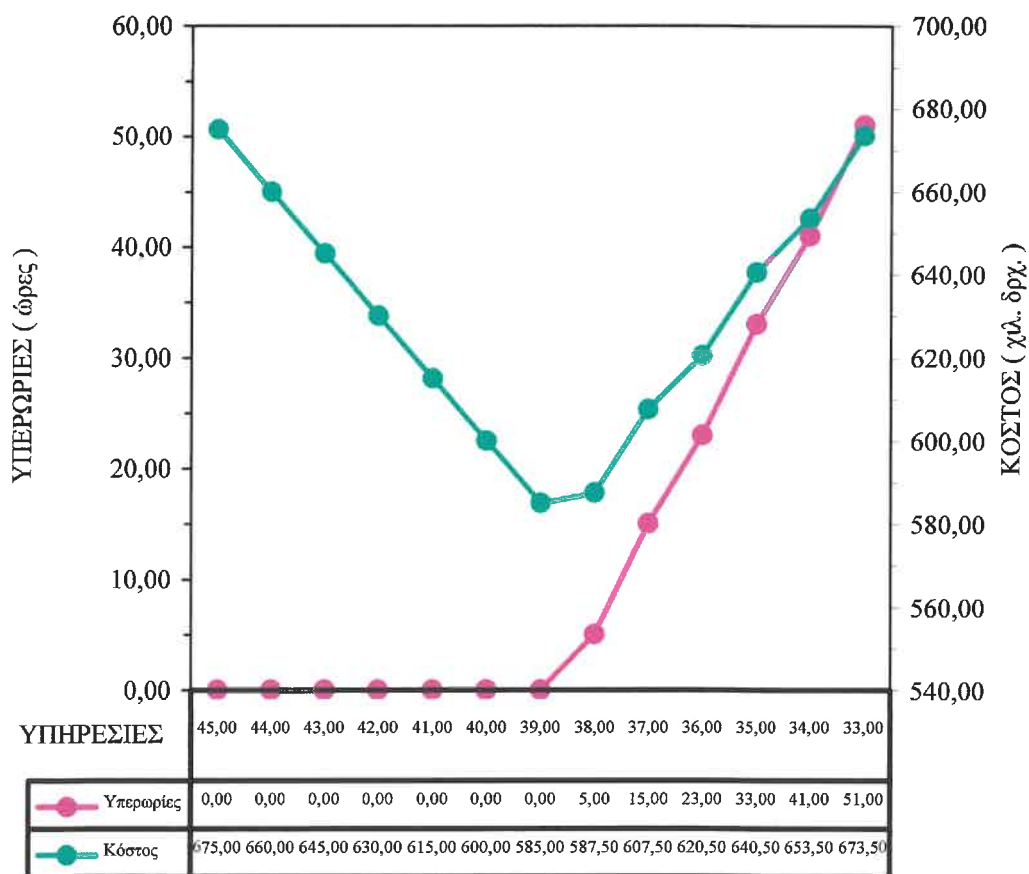
Για τον υπολογισμό του κόστους θεωρήσαμε σα βασικό ημερομίσθιο τις 15.000 χιλ. δρχ. κι ότι κάθε ώρα υπερωρίας πολλαπλασιάζεται με συντελεστή 1,75 .

Οι παραπάνω τύποι και οι αντίστοιχοι περιορισμοί παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 7.2 :

α/α	A	B	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ
1	Συνολικός αριθμός ωρών εργασίας (ώρες)	347,00	
2	Αριθμός υπηρεσιών		
3	Ασυνεχείς υπηρεσίες		$B3 = B2 + B4$
4	Συνεχείς υπηρεσίες		
5	Αριθμός τμημάτων μιας συνεχούς υπηρεσίας	2,00	
6	Αριθμός τμημάτων μιας ασυνεχούς υπηρεσίας	3,00	
7	Κανονική διάρκεια μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
8	Κανονική διάρκεια μιας ασυνεχούς υπηρεσίας	8,00	
9	Έυρος μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$7,5 \leq B9 \leq 8$
10	Έυρος μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$9,5 \leq B10 \leq 10$
11	Αριθμός υπερωριών (ώρες)	Minimum	$B1 - (B3 \cdot B10) - (B4 \cdot B9)$
12	Κόστος (χιλ. Δρχ.)		$B4 \cdot 15000 + B11 \cdot 2000 \cdot 1,75$

Πίνακας 7.2 : Συνοπτική παρουσίαση των περιορισμών της πρώτης διερεύνησης

7.4.1.1 Διακύμανση των υπερωριών και του κόστους με βάση τη μεταβολή των υπηρεσιών

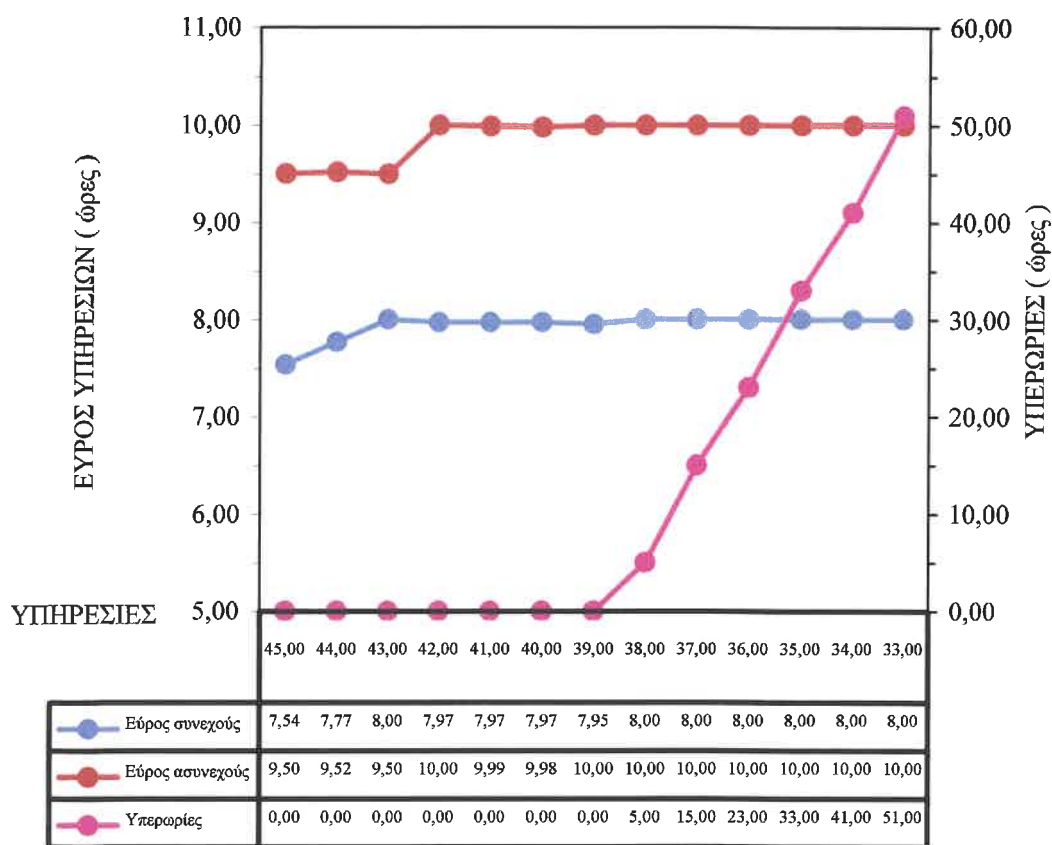


Σχήμα 7.3 : Διάγραμμα υπερωριών – κόστους με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών (πρώτη διερεύνηση)

Στο Σχήμα 7.3 βλέπουμε τη μεταβολή του κόστους και των υπερωριών σε σχέση με τη μεταβολή των υπηρεσιών . Το βέλτιστο κόστος επιτυγχάνεται στις 39 υπηρεσίες κάτι που σημαίνει ότι 6 υπηρεσίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια άλλη γραμμή , χωρίς – όπως προηγουμένως – αυτό να μεταβάλλει τη συχνότητα των δρομολογίων .

Επίσης παρατηρούμε ότι μία τιμή του κόστους που είναι πολύ κοντά στη βέλτιστη αντιστοιχεί σε 38 υπηρεσίες και σε 5 ώρες υπερωριών . Τούτο σημαίνει ότι και αυτή η τιμή μπορεί να θεωρηθεί δεκτή με την προϋπόθεση ότι αντικειμενικός σκοπός είναι και η μείωση των υπηρεσιών στη συγκεκριμένη λεωφορειακή γραμμή.

7.4.1.2 Διακύμανση των υπερωριών και του εύρους των υπηρεσιών με βάση τη μεταβολή των υπηρεσιών



Σχήμα 7.4 : Διάγραμμα εύρους υπηρεσιών – υπερωριών με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών (πρώτη διερεύνηση)

Στο Σχήμα 7.4 βλέπουμε τη διακύμανση του εύρους των υπηρεσιών (συνεχών κι ασυνεχών) σε σχέση με τη μεταβολή των υπηρεσιών . Όπως βλέπουμε το ανώτατο όριο του εύρους πετυχαίνεται πολύ νωρίς και συγκεκριμένα για τις συνεχείς υπηρεσίες από την 43^η υπηρεσία ενώ για τις συνεχείς από την 42^η. Έτσι , στην υπηρεσία στην οποία το κόστος παίρνει τη βέλτιστη τιμή του οι υπηρεσίες έχουν μέγιστο εύρος .

Τούτο συμβαίνει διότι η ανώτατη τιμή των υπηρεσιών που έχουμε θέσει είναι μικρή κι ότι το διάστημα διακύμανσης του εύρους είναι επίσης μικρό . Έτσι , καθώς

μειώνεται ο αριθμός των υπηρεσιών το εύρος αυξάνεται προκειμένου να καλύψει τις ώρες της χαμένης υπηρεσίας και παίρνει γρήγορα τη μέγιστη τιμή του.

7.4.2 Δεύτερη διερεύνηση

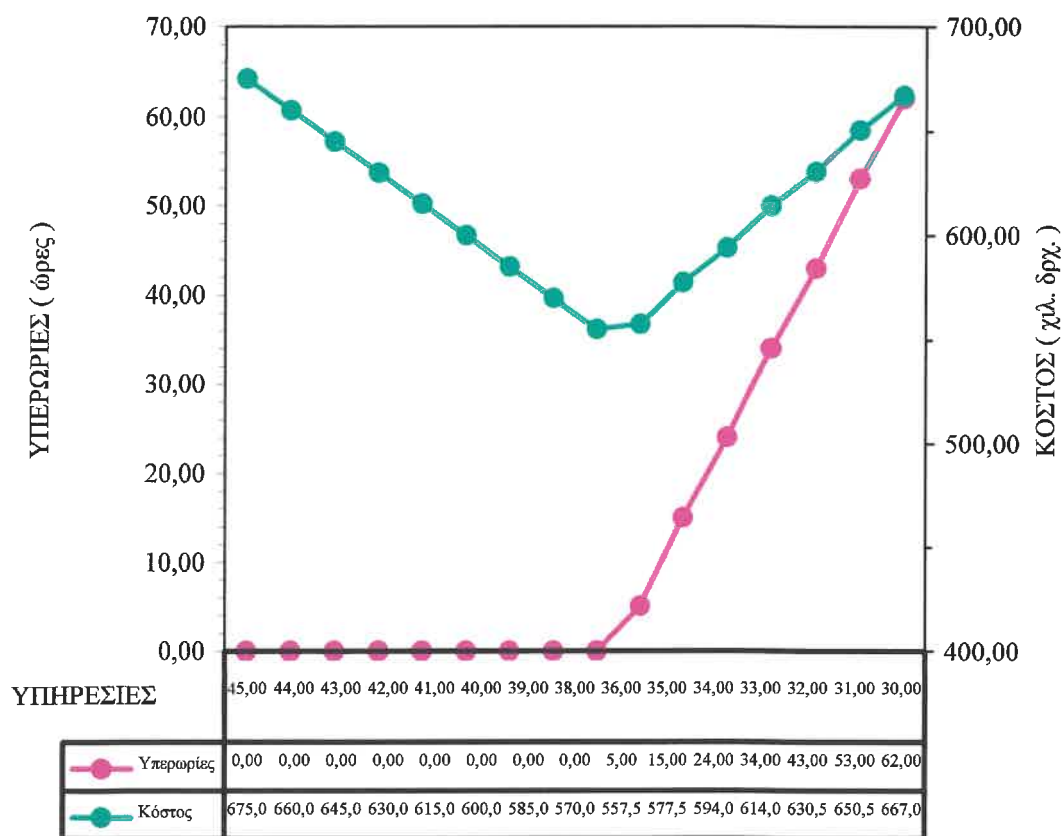
Στη δεύτερη διερεύνηση αυξήθηκαν τα άνω όρια της διάρκειας των υπηρεσιών, ενώ παράλληλα καταργήθηκαν τα κάτω όρια. Αυτό δίνει τη δυνατότητα να γίνει πιο έντονη η διακύμανση του εύρους των υπηρεσιών σε σχέση με την πρώτη διερεύνηση όπου τα όρια ήταν πιο στενά με αποτέλεσμα να παρατηρείται η μέγιστη τιμή του εύρους πολύ νωρίς.

Έτσι, το ανώτατο όριο της συνεχούς υπηρεσίας αυξήθηκε κατά μία ώρα κι είναι 9 ώρες ενώ το αντίστοιχο όριο της ασυνεχούς υπηρεσίας παραμένει το ίδιο, δηλαδή στις 10 ώρες. Ο υπολογισμός των μεγεθών γίνεται με τους ίδιους τύπους που χρησιμοποιούνται στην πρώτη διερεύνηση. Η συνοπτική παρουσίαση των τύπων και των νέων περιορισμών παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.3 :

a/a	A	B	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ
1	Συνολικός αριθμός ωρών εργασίας (ώρες)	347,00	
2	Αριθμός υπηρεσιών		
3	Ασυνεχείς υπηρεσίες		$B3 = B2 + B4$
4	Συνεχείς υπηρεσίες		
5	Αριθμός τμημάτων μιας συνεχούς υπηρεσίας	2,00	
6	Αριθμός τμημάτων μιας ασυνεχούς υπηρεσίας	3,00	
7	Κανονική διάρκεια μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
8	Κανονική διάρκεια μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
9	Εύρος μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$B9 \leq 9$
10	Εύρος μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$B10 \leq 10$
11	Αριθμός υπερωριών (ώρες)	minimum	$B1 - (B3 * B10) - (B4 * B9)$
12	Κόστος (χιλ. Δρχ.)		$B4 * 15000 + B11 * 2000 * 1,75$

Πίνακας 7.3 : Συνοπτική παρουσίαση των περιορισμών της δεύτερης διερεύνησης

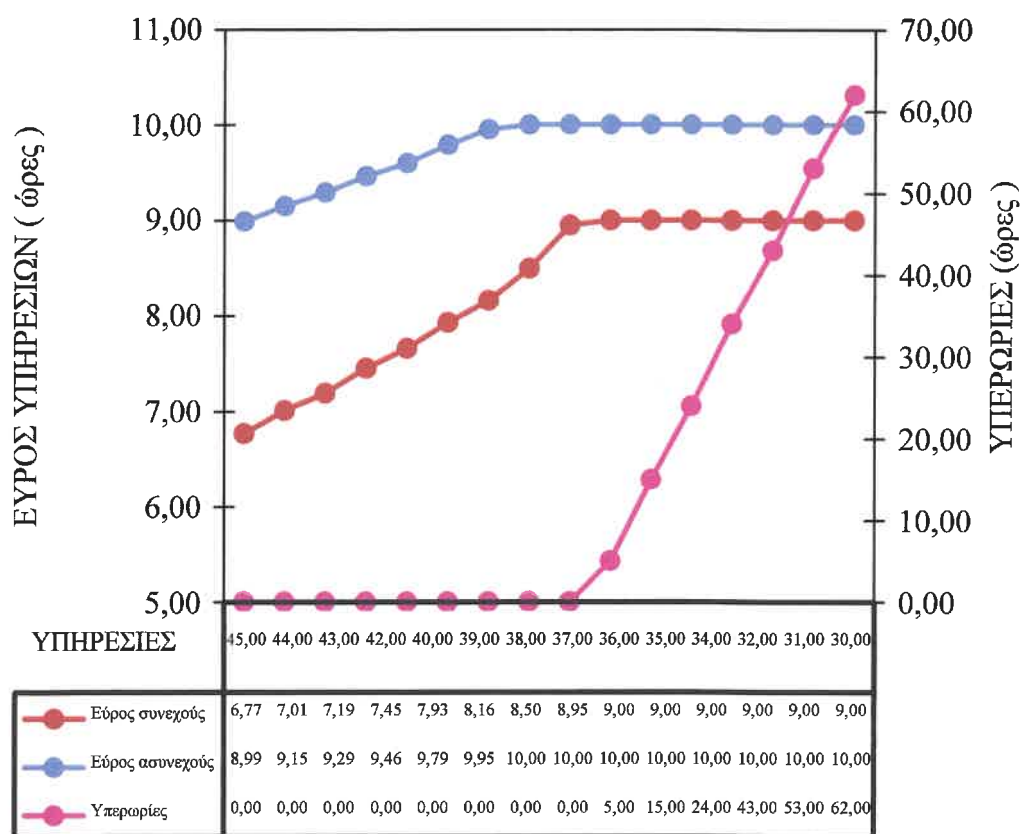
7.4.2.1 Διακύμανση των υπερωριών και του κόστους με βάση τη μεταβολή των υπηρεσιών.



Σχήμα 7.5 : Διάγραμμα υπερωριών – κόστους με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών (Δεύτερη διερεύνηση)

Στο Σχήμα 7.5 βλέπουμε τη μεταβολή του κόστους και των υπηρεσιών σε σχέση με τη μείωση των υπηρεσιών. Εδώ παρατηρούμε ότι η βέλτιστη τιμή του κόστους παρουσιάζεται στις 37 υπηρεσίες , ενώ η μικρότερη τιμή των υπερωριών είναι 5 ώρες και παρατηρείται στις 36 υπηρεσίες

7.4.2.2 Διακύμανση των υπερωριών και του εύρους των υπηρεσιών με βάση τη μεταβολή των υπηρεσιών



Σχήμα 7.6 : Διάγραμμα εύρους υπηρεσιών κι υπερωριών με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών (Δεύτερη διερεύνηση)

Στο Σχήμα 7.6 βλέπουμε τη μεταβολή της διάρκειας των συνεχών κι ασυνεχών υπηρεσιών σε σχέση με τη μείωση των υπηρεσιών. Παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή παρουσιάζεται στην 36^η υπηρεσία για τις συνεχείς και στην 38^η για τις ασυνεχείς υπηρεσίες .

Με βάση τα δύο παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να κάνουμε μια σύγκριση ανάμεσα στις δύο διερευνήσεις και να διαπιστώσουμε τις αλλαγές που επέφερε η αύξηση του ανώτατου ορίου διάρκειας της συνεχούς υπηρεσίας :

- Το βέλτιστο κόστος στην πρώτη διερεύνηση είναι 585 χιλ. δρχ. , ενώ στη δεύτερη 555 χιλ.δρχ. Έχουμε δηλαδή μία μείωση της τάξης του 5,13 %
- Το βέλτιστο κόστος παρατηρείται στην πρώτη διερεύνηση στις 39 υπηρεσίες , ενώ στη δεύτερη στις 37 , δηλαδή κατά δύο υπηρεσίες λιγότερο. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε , διατηρώντας την επιθυμητή συχνότητα των δρομολογίων να επιτύχουμε μειωμένο κόστος και μειωμένο αριθμό υπηρεσιών με αποτέλεσμα να δίνεται η δυνατότητα οι υπηρεσίες αυτές να χρησιμοποιηθούν σε μία άλλη λεωφορειακή γραμμή.
- Το ανώτατο όριο της διάρκειας των υπηρεσιών στην πρώτη διερεύνηση παρατηρείται πολύ νωρίς (42 υπηρεσίες) σε σχέση με τη βέλτιστη τιμή του κόστους . Αντίθετα , στη δεύτερη διερεύνηση το όριο αυτό παρατηρείται στις 36 υπηρεσίες για τις συνεχείς και στις 38 υπηρεσίες για τις ασυνεχείς . Παρατηρούμε , δηλαδή ότι στην πρώτη διερεύνηση υπάρχει μια ανακολουθία των μεγίστων τιμών σε σχέση με το βέλτιστο αποτέλεσμα , ενώ στη δεύτερη δεν ισχύει κάτι τέτοιο αφού οι μέγιστες τιμές επιτυγχάνονται σχεδόν ταυτόχρονα με το βέλτιστο αποτέλεσμα . Αυτό οφείλεται στο ότι δεν υπάρχει κατώτατο όριο στη διάρκεια των υπηρεσιών της δεύτερης διερεύνησης και στο ότι το διάστημα μεταβολής του εύρους στην πρώτη διερεύνηση είναι αρκετά μικρό.
- Παρατηρώντας τα διαγράμματα της μεταβολής του κόστους και στις δύο διερευνήσεις , παρατηρούμε ότι υπάρχει μία τιμή πολύ κοντά στη βέλτιστη η οποία ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στη γραμμή μπορεί να θεωρηθεί κι αυτή βέλτιστη. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε μία υπηρεσία λιγότερη από αυτή του βέλτιστου κόστους , ενώ παράλληλα συνοδεύεται με την ελάχιστη τιμή των υπερωριών μετά τη μηδενική.

Συγκεκριμένα , στην πρώτη διερεύνηση η τιμή αυτή είναι 587,5 χιλ.δρχ. στις 38 υπηρεσίες με 5 ώρες υπερωριών. Δηλαδή το κόστος παρουσιάζεται αυξημένο κατά 0,43% , όμως έχουμε μία υπηρεσία λιγότερη. Έτσι, αν αντικειμενικός σκοπός είναι η μείωση του αριθμού των υπηρεσιών ,τότε μπορεί να θεωρηθεί σαν βέλτιστη και αυτή η λύση.

Ανάλογα ισχύουν και στη δεύτερη διερεύνηση όπου η αντίστοιχη τιμή είναι 557,5 χιλ.δρχ. στις 36 υπηρεσίες με 5 ώρες υπερωριών , με αύξηση του κόστους κατά 0,43 % .

7.4.3 Τρίτη διερεύνηση

Στην τρίτη διερεύνηση του προβλήματος αυξάνονται τα άνω όρια της διάρκειας των υπηρεσιών χωρίς παράλληλα να υπάρχουν κάτω όρια, όπως συμβαίνει στη δεύτερη διερεύνηση. Συγκεκριμένα, το εύρος των ασυνεχών υπηρεσιών φτάνει μέχρι τις 13 ώρες, ενώ το εύρος των συνεχών υπηρεσιών φτάνει μέχρι τις 11 υπηρεσίες.

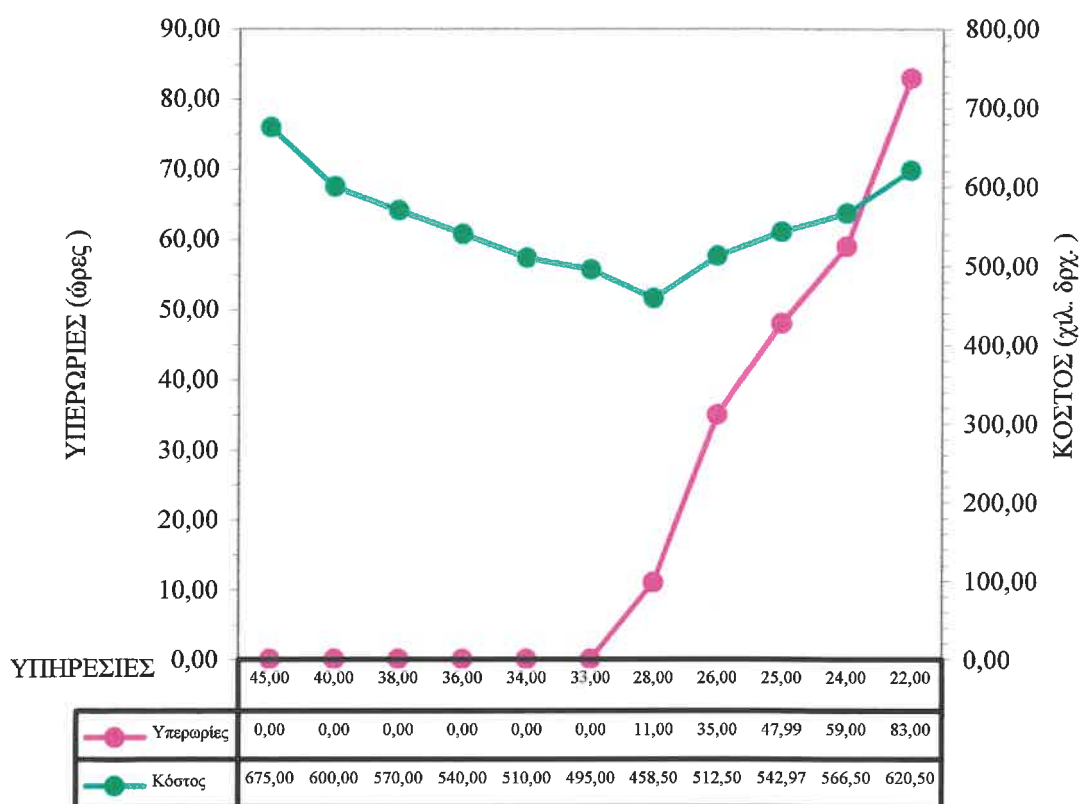
Πρέπει να σημειωθεί ότι τόσο μεγάλη διάρκεια για μία ασυνεχή υπηρεσία μπορεί να πραγματοποιηθεί διότι τα διαλείμματα αυτού του είδους των υπηρεσιών κυμαίνονται μεταξύ των δύο και τεσσάρων ωρών. Αντίθετα, για τις συνεχείς υπηρεσίες δε συμβαίνει αυτό διότι τα διαλείμματα είναι πολύ μικρά κι επομένως δεν είναι δυνατό ένας οδηγός να εργάζεται συνεχόμενα για μια τόσο μεγάλη διάρκεια..

Παρόλα αυτά κι αυτή η διερεύνηση αυτή παρουσιάζει το δικό της ενδιαφέρον από την αποψη ότι επιβεβαιώνει τα συμπεράσματα που εξάγονται από τις δύο προηγούμενες διερευνήσεις. Οι παραπάνω περιορισμοί καθώς και οι αλλαγές που υπάρχουν σε σχέση με προηγούμενα παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 7.4.

α/α	A	B	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ
1	Συνολικός αριθμός ωρών εργασίας (ώρες)	347,00	
2	Αριθμός υπηρεσιών		
3	Ασυνεχείς υπηρεσίες		$B3 = B2 + B4$
4	Συνεχείς υπηρεσίες		
5	Αριθμός τμημάτων μιας συνεχούς υπηρεσίας	2,00	
6	Αριθμός τμημάτων μιας ασυνεχούς υπηρεσίας	3,00	
7	Κανονική διάρκεια μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
8	Κανονική διάρκεια μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
9	Εύρος μιας συνεχούς υπηρεσίας		$B9 \leq 11$
10	Εύρος μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$B10 \leq 13$
11	Αριθμός υπερωριών (ώρες)	minimum	$B1 - (B3 * B10) - (B4 * B9)$
12	Κόστος (χιλ. Δρχ.)		$B4 * 15000 + B11 * 2000 * 1,75$

Πίνακας 7.4: Συνοπτική παρουσίαση των περιορισμών της τρίτης διερεύνησης

7.4.3.1 Διακύμανση των υπερωριών και του κόστους με βάση τη μεταβολή των υπηρεσιών

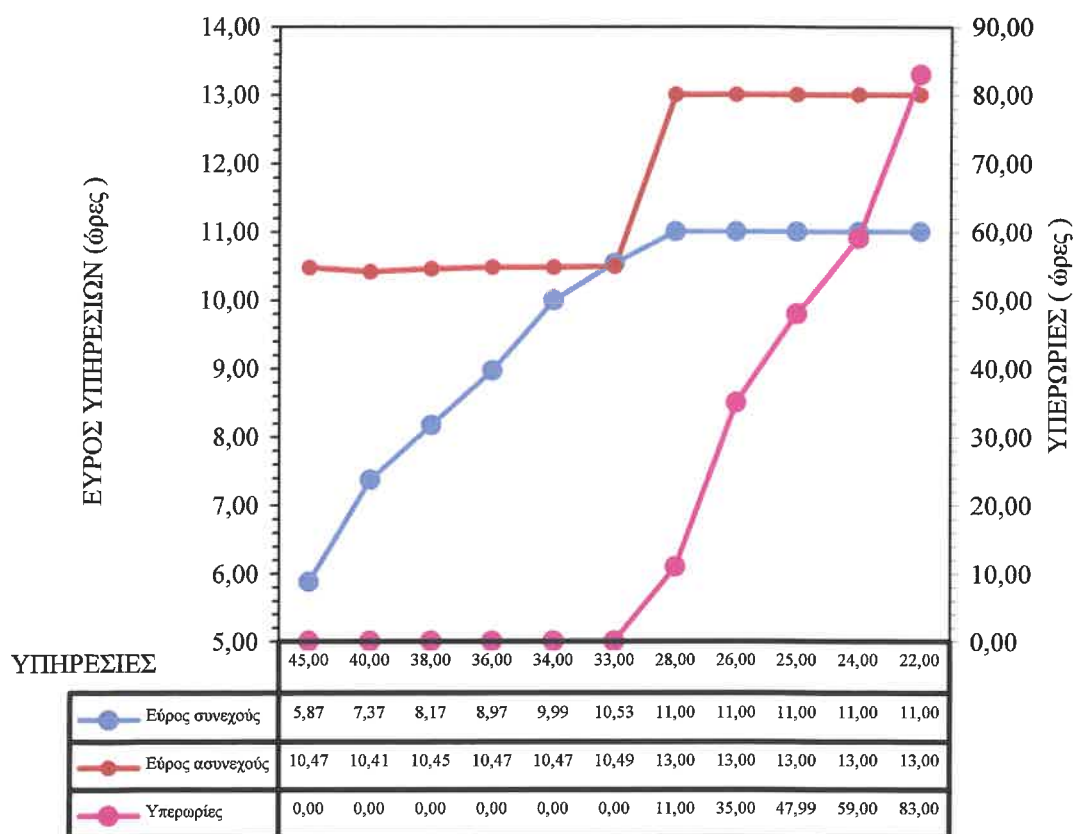


Σχήμα 7.7 : Διάγραμμα υπερωριών – κόστους με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών (Τρίτη διερεύνηση)

Στο Σχήμα 7.7 παρατηρούμε τη μεταβολή του κόστους και των υπερωριών σε σχέση με τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών. Η βέλτιστη τιμή του κόστους είναι 458,5 χιλ.δρχ. και παρουσιάζεται στις 28 υπηρεσίες . Βλέπουμε ότι υπάρχει μείωση του κόστους κατά 17,39 % σε σχέση με τη δεύτερη διερεύνηση και κατά 21,6 % σε σχέση με την πρώτη .

Επίσης , η βέλτιστη τιμή παρατηρείται στις 28 υπηρεσίες κατά 9 λιγότερες σε σχέση με τη δεύτερη διερεύνηση και κατά 11 σε σχέση με την πρώτη. Ακόμα , έχουμε και 11 ώρες υπερωριών , πράγμα το οποίο δε συμβαίνει στις προηγούμενες διερευνήσεις όπου στη βέλτιστη τιμή δεν έχουμε καθόλου υπερωρίες.

7.4.3.2 Διακύμανση των υπερωριών και του εύρους των υπηρεσιών με βάση τη μεταβολή των υπηρεσιών



Σχήμα 7.8 : Διάγραμμα εύρους υπηρεσιών κι υπερωριών με βάση τη μεταβολή του εύρους των υπηρεσιών (Τρίτη διερεύνηση)

Στο Σχήμα 7.8 παρατηρούμε τη διακύμανση του εύρους των συνεχών κι ασυνεχών υπερωριών καθώς και τη μεταβολή των υπερωριών σε σχέση με τη μείωση των υπηρεσιών. Όπως βλέπουμε , η διακύμανση είναι πολύ πιο έντονη σε σχέση με τις δύο προηγούμενες διερευνήσεις..

Συγκεκριμένα , το εύρος της συνεχούς υπηρεσίας ξεκινά από τις 5,87 ώρες και καταλήγει στη μέγιστη τιμή , δηλαδή στις 11 ώρες . Έχουμε δηλαδή μια διακύμανση 5,13 ωρών. Η διακύμανση του εύρους της ασυνεχούς υπηρεσίας είναι πιο ήπια η οποία ξεκινά από τις 10,47 ώρες και καταλήγει στις 13 ώρες δηλαδή στη μέγιστη τιμή. Η μεταβολή εδώ είναι 2,53 ώρες .

Ακόμα παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή του εύρους επιτυγχάνεται για πρώτη φορά όταν το κόστος παίρνει τη βέλτιστη τιμή του.

7.4.4 Γενικά συμπεράσματα

Με βάση τις τρεις διερευνήσεις που έγιναν στον υπολογισμό του κόστους και από τη μελέτη των σχετικών διαγραμμάτων, μπορούμε να βγάλουμε ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα:

- Το βέλτιστο κόστος είναι το μέγεθος που μας ενδιαφέρει μπορεί να επιτευχθεί άμεσα κι έμμεσα από τους εξής παράγοντες:
 - Το βέλτιστο αριθμό των υπερωριών (ως προς το ελάχιστο)
 - Τη μείωση του συνολικού αριθμού των υπηρεσιών
 - Τη μεταβολή της χρονικής διάρκειας των υπηρεσιών
- Η μορφή της καμπύλης του κόστους είναι σχεδόν ίδια και στις τρεις διερευνήσεις. Αυτό σημαίνει ότι το κόστος εξαρτάται αποκλειστικά από τους παραπάνω παράγοντες κι επομένως μπορούμε να γνωρίζουμε το βαθμό επιρροής κάποιου άλλου παράγοντα στη διακύμανση του κόστους. Για παράδειγμα, αν αυξηθεί η τιμή του βασικού μισθού, αυτό δε σημαίνει ότι θα αλλάξει η καμπύλη του κόστους. Επομένως, μπορούμε πάλι να προσδιορίσουμε τη βέλτιστη τιμή. Αν όμως μεταβληθεί το εύρος των υπηρεσιών και γίνει πολύ μικρό ή πολύ μεγάλο, τότε οδηγούμαστε σε διαφορετικά συμπεράσματα.
- Αν πρώτιστος στόχος είναι η όσο το δυνατό πιο μεγάλη μείωση του αριθμού των υπηρεσιών τότε μπορούμε να επιλέξουμε την τιμή του κόστους που είναι πολύ κοντά στη βέλτιστη και η οποία αντιστοιχεί σε μικρότερο αριθμό υπηρεσιών αλλά σε μεγαλύτερο αριθμό υπερωριών.
- Όταν δεν υπάρχει κατώτατο όριο στο εύρος των υπηρεσιών τότε έχουμε καλύτερα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, το εύρος παίρνει τη μέγιστη τιμή του στην περιοχή κοντά στη βέλτιστη τιμή του κόστους. Σε αντίθετη περίπτωση – δηλαδή αν υπάρχει κάτω όριο – η μέγιστη τιμή παρατηρείται πολύ νωρίς. Ακόμα η διαφορά της μέγιστης από την ελάχιστη τιμή είναι μεγαλύτερη, πράγμα που σημαίνει ότι η διακύμανση του εύρους είναι πιο ελεύθερη σε αυτή την περίπτωση ενώ παράλληλα επιφέρει και πιο θετικά αποτελέσματα, όπως πιο μειωμένη τιμή του κόστους και σε μικρότερο αριθμό υπηρεσιών.

- Το ανώτατο όριο του εύρους δεν μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή αλλά η τιμή αυτή πρέπει να είναι τέτοια , ώστε να μπορεί να είναι εφαρμόσιμη. Μια αρκετά καλή τιμή που μπορεί να πάρει το ανώτατο όριο του εύρους είναι αυτή που χρησιμοποιείται στη δεύτερη διερεύνηση.
- Οι συνεχείς υπηρεσίες είναι αυτές που προτιμούνται πιο πολύ . Γι αυτό στο παράδειγμα που εξετάσαμε θέσαμε τον περιορισμό ότι οι συνεχείς υπηρεσίες πρέπει να είναι τουλάχιστον οι μισές από το συνολικό αριθμό των υπηρεσιών. Αυτό γίνεται διότι οι ασυνεχείς υπηρεσίες , λόγω του μεγάλου διαλείμματος που έχουν είναι ανεπιθύμητες στους οδηγούς λόγω του ότι η βάρδιές τους είναι πολύ μακρές.

7.5 Αναλυτική παρουσίαση των διαγραμμάτων των τριών διερευνήσεων και της εποπτικής αντιμετώπισης

Οι πίνακες και τα σχήματα που παρουσιάζονται παρακάτω ανακεφαλαιώνουν τα όσα αναφέρονται στο κεφάλαιο αυτό και παρουσιάζουν συνοπτικά τις τρεις διερευνήσεις του προβλήματος , καθώς και την εποπτική αντιμετώπιση, μαζί με τις τιμές που παίρνουν τα σχετικά μεγέθη σε κάθε μία από αυτές.

α/α	A	B	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ
1	Συνολικός αριθμός ωρών εργασίας (ώρες)	347,00	$B1 = B3*B14+B4*B13$
2	Αριθμός υπηρεσιών		$B2 = B3+B4$
3	Ασυνεχείς υπηρεσίες		
4	Συνεχείς υπηρεσίες		
5	Διάρκεια ενός τμήματος (ώρες)		
6	Διάλειμμα μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	2,00	
7	Διάλειμμα μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	1,00	
8	Υπερωρίες (ώρες)		$B8 = B1-B2*8$
9	Αριθμός τμημάτων μιας συνεχούς υπηρεσίας	2,00	
10	Αριθμός τμημάτων μιας ασυνεχούς υπηρεσίας	3,00	
11	Κανονική διάρκεια μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
12	Κανονική διάρκεια μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
13	Έυρος μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$B13 = B5*B9+B8$
14	Έυρος μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$B14 = B5*B10+B7$

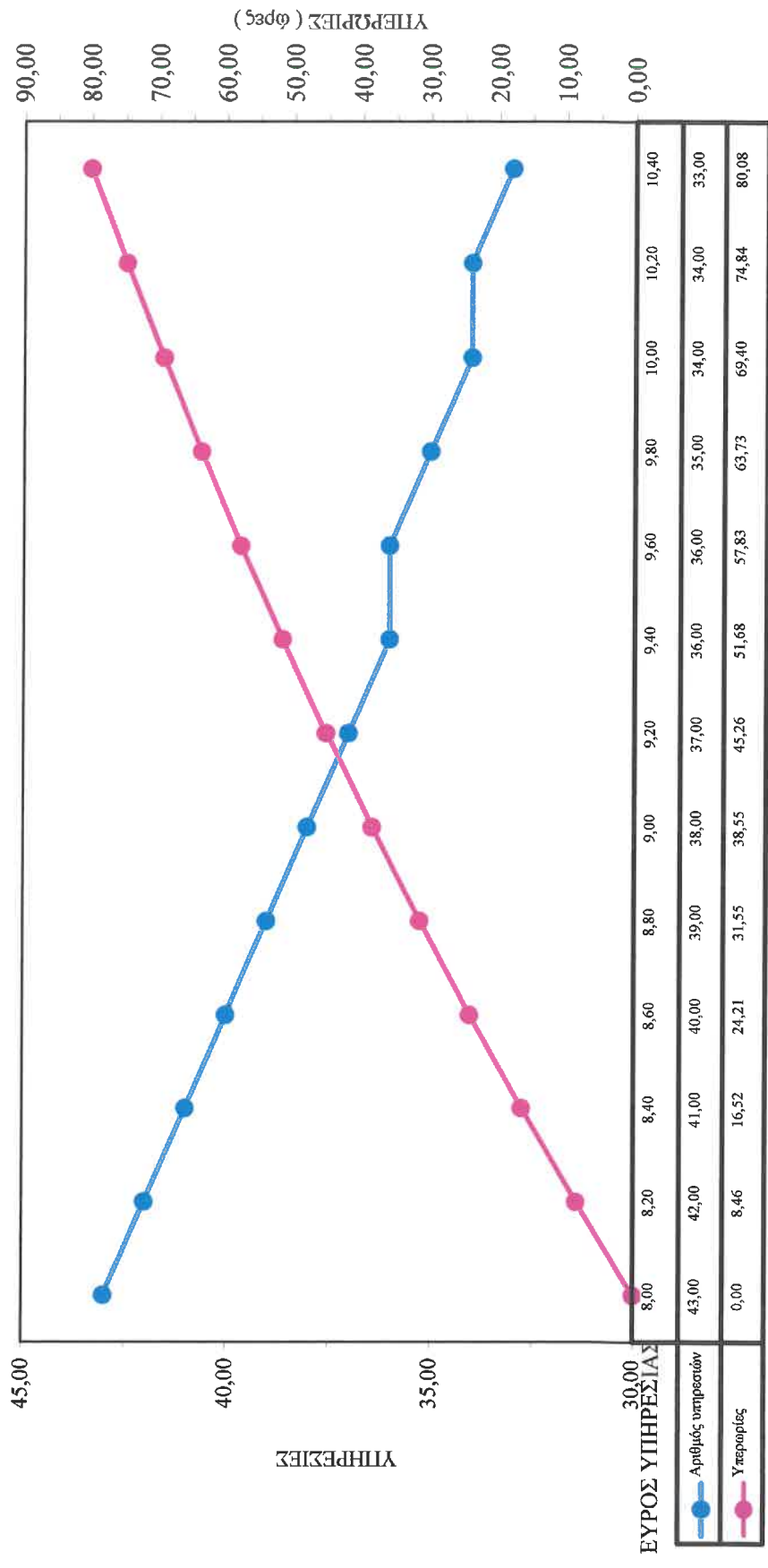
Εποπτική αντιμετώπιση

Πίνακας 7.5 : Συνοπτική παρουσίαση των δεδομένων και περιορισμών της εποπτικής αντιμετώπισης

Διάρκεια τημήματος (ώρες)	Αριθμός υπηρεσιών	Υπερφορτίες (ώρες)	Ευρος μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	Ευρος ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	Αριθμός υπηρεσιών	Υπερφορτίες	Κόστος (δρχ.)	Κόστος (χιλ. δρχ.)
3,00	41,00	13,52	8,00	8,00	43,00	0,00	645000,00	645,00
3,20	40,00	26,92	8,20	8,20	42,00	8,46	659610,00	659,61
3,40	38,00	39,00	8,40	8,40	41,00	16,52	672820,00	672,82
3,60	37,00	49,96	8,60	8,60	40,00	24,21	684735,00	684,74
3,80	35,00	59,92	8,80	8,80	39,00	31,55	695425,00	695,43
4,00	34,00	69,05	9,00	9,00	38,00	38,55	704925,00	704,93
4,20	33,00	77,41	9,20	9,20	37,00	45,26	713410,00	713,41
4,40	32,00	85,12	9,40	9,40	36,00	51,68	720880,00	720,88
4,60	31,00	92,24	9,60	9,60	36,00	57,83	742405,00	742,41
4,80	31,00	98,84	9,80	9,80	35,00	63,73	748055,00	748,06
5,00			10,00	10,00	34,00	69,40	752900,00	752,90
5,20			10,20	10,20	34,00	74,84	771940,00	771,94
5,40			10,40	10,40	33,00	80,08	775280,00	775,28

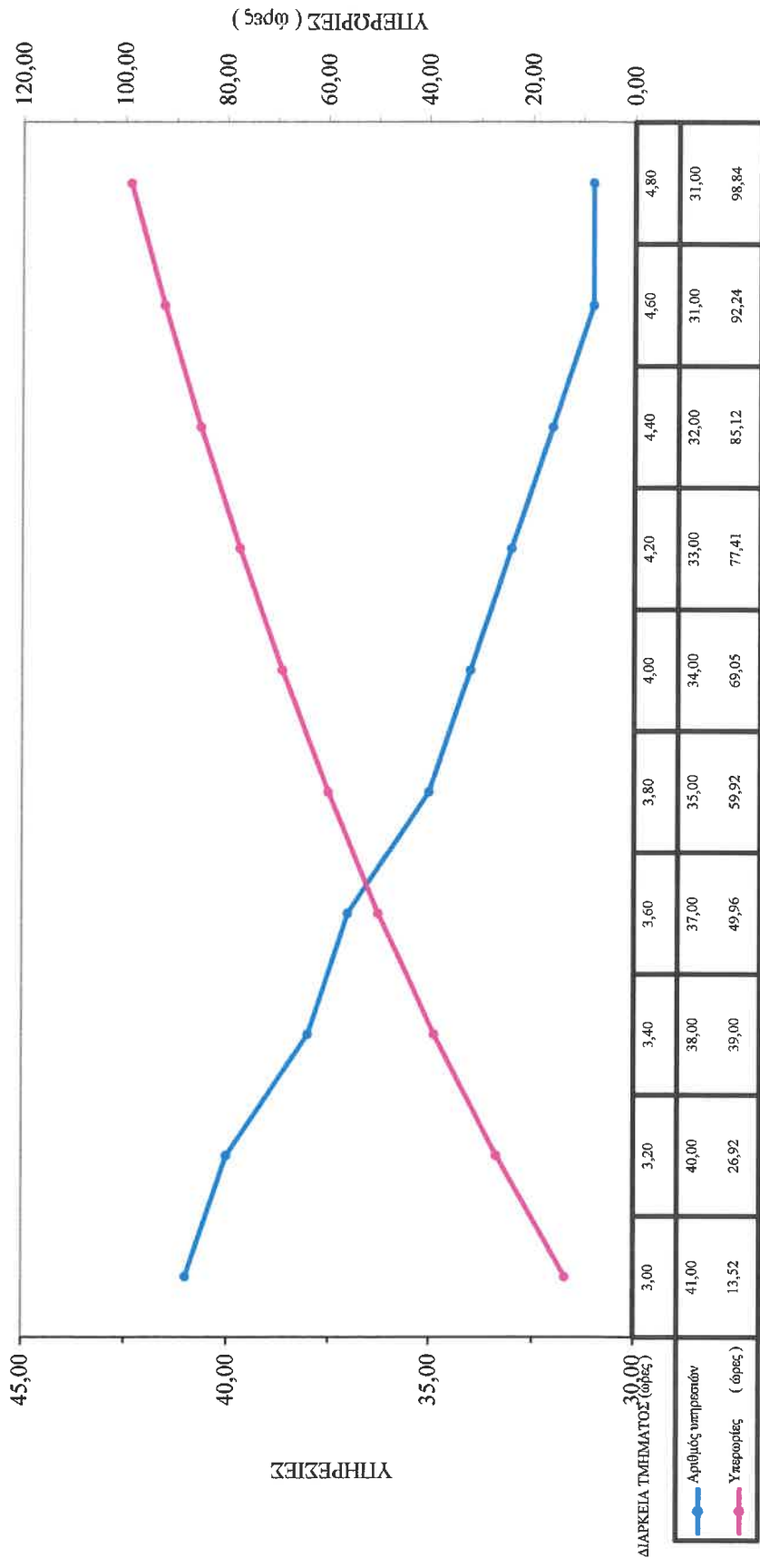
Εποπτική αντιμετώπιση

Πίνακας 7.6 : Συγκεντρωτικός πίνακας των τιμών των παραμέτρων της εποπτικής αντιμετώπισης



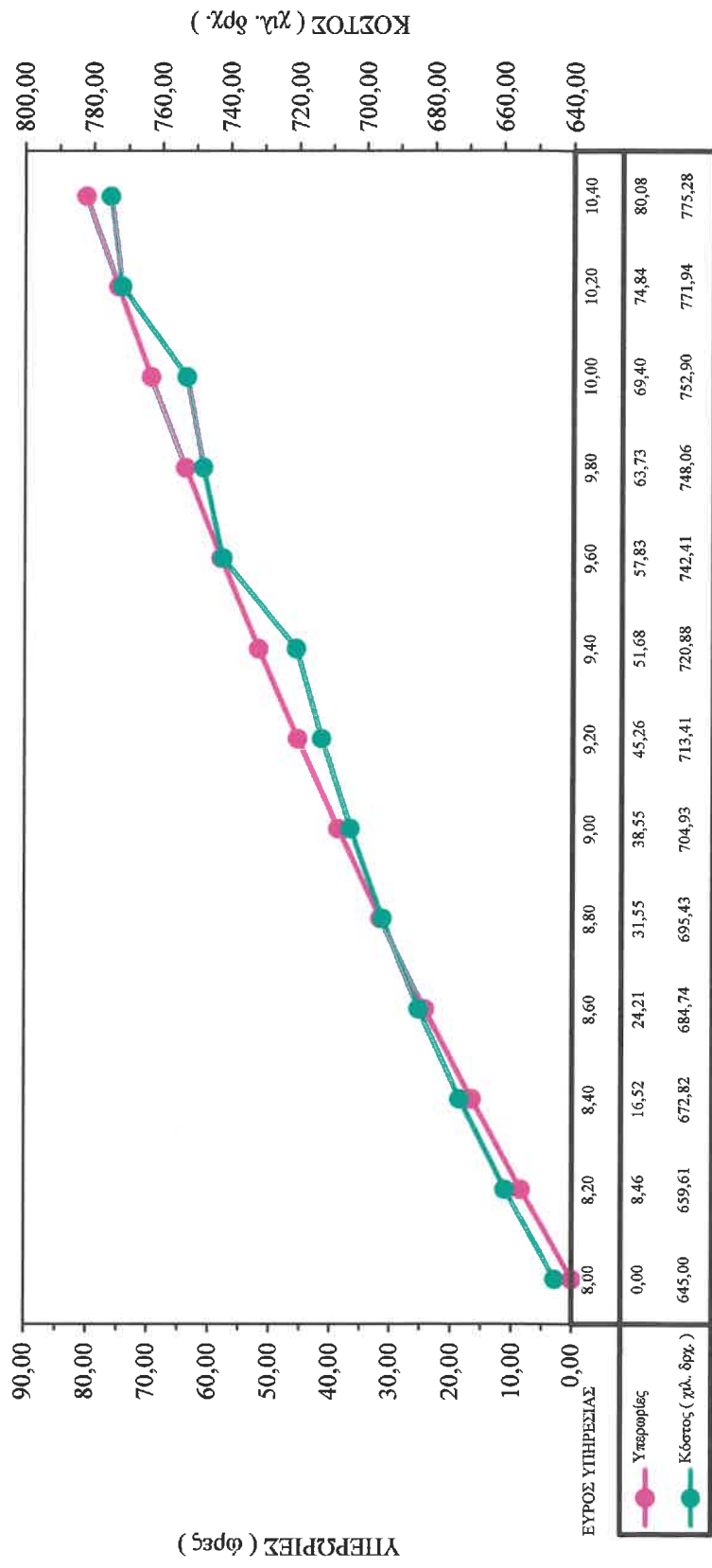
Εποπτική αντιμετώπιση

Σχήμα 7.9 : Διάγραμμα υπηρεσιών - υπερωριών με βάση τη μεταβολή του εύρους της υπηρεσίας
 Σημείωση : οι συνεχείς κι οι ασυνεχείς υπηρεσίες έχουν την ίδια διακύμανση .



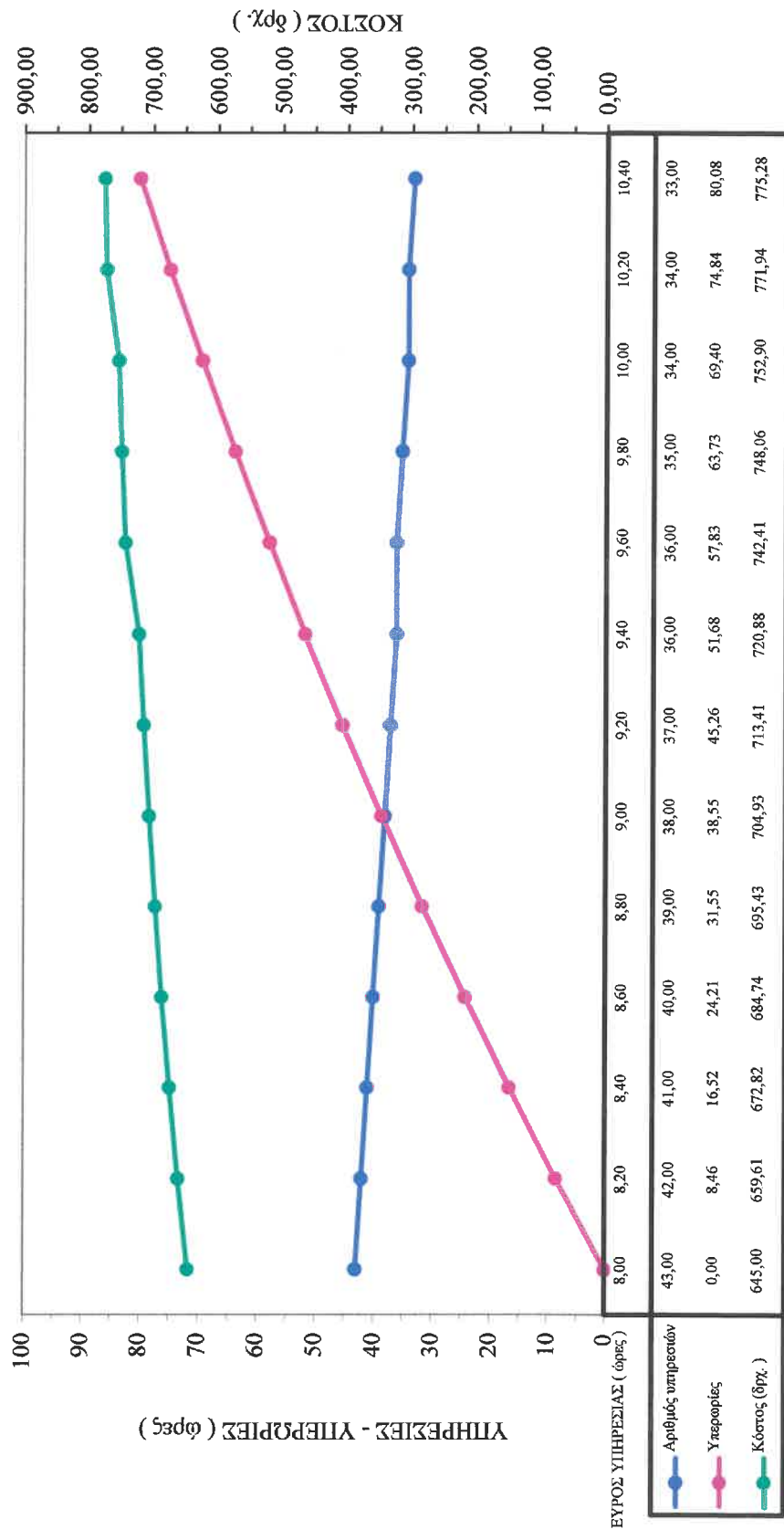
Εποπτική αντιμετώπιση

Σχήμα 7.10 : Διάγραμμα υπηρεσιών - υπερπλεών με βάση τη διάρκεια ενός τμήματος υπηρεσίας
 Σημείωση : Οι συνεχείς υπηρεσίες αποτελούνται από δύο και οι ασυνεχείς από τρία τμήματα υπηρεσίας



Εποπτική αντιμετώπιση

Σχήμα 7.1.1 : Διάγραμμα υπερωριών - κόστους με βάση τη διακύμανση του εύρους της υπηρεσίας
 Σημείωση : Τα εύρη των συνεχών και των ασυνεχών υπηρεσιών έχουν την ίδια διακύμανση



Εποπτική αντιμετώπιση

Σχήμα 7.12: Διάγραμμα υπηρεσιών - κόστους - υπερωριών με βάση τη μεταβολή της διάρκειας της υπηρεσίας
Σημείωση : Τα εύρη των συνεχών και των ασυνεχών υπηρεσιών έχουν την ίδια διακύμανση

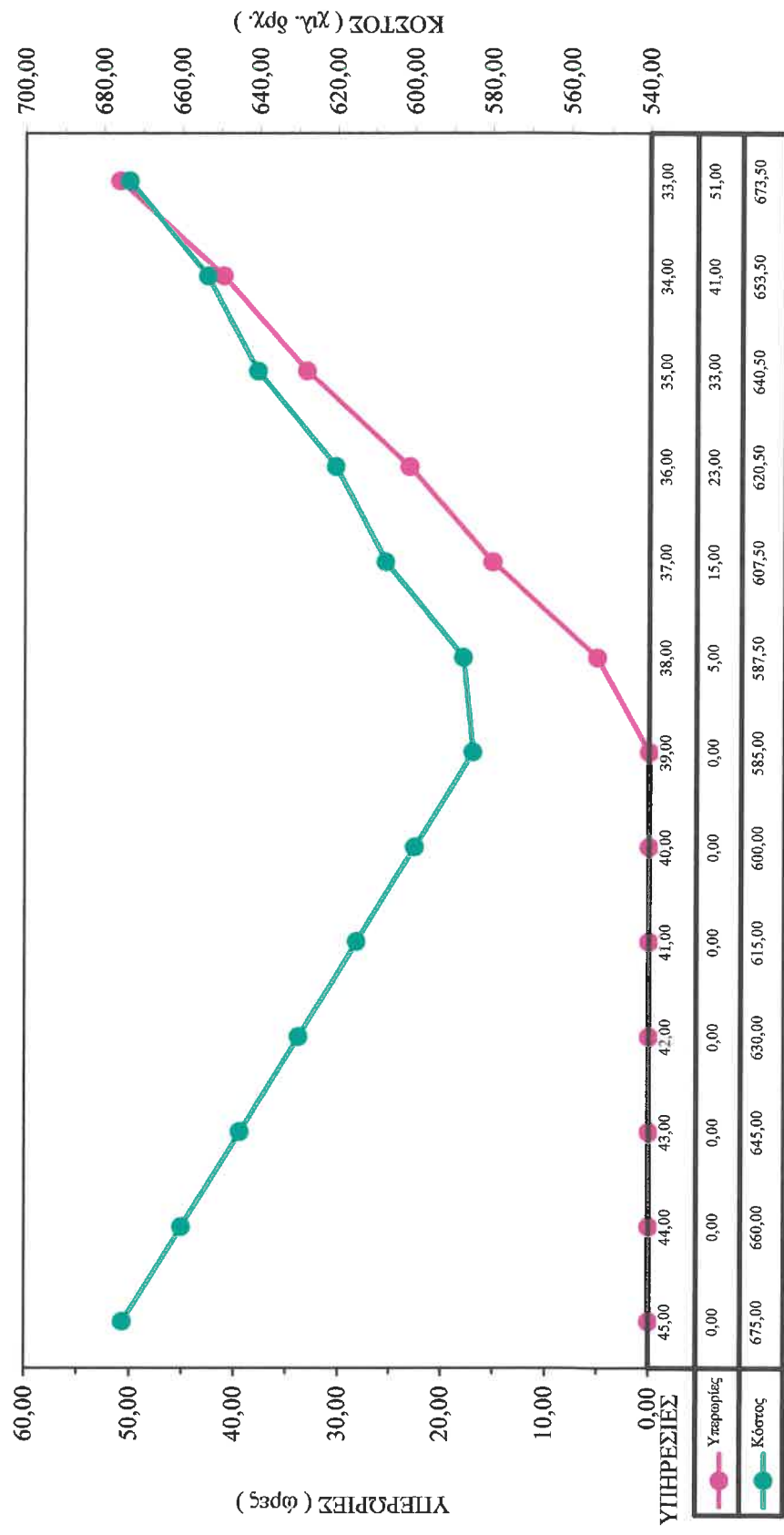
α/α	A	B	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ
1	Συνολικός αριθμός ωρών εργασίας (ώρες)	347,00	
2	Αριθμός υπηρεσιών		
3	Ασυνεχείς υπηρεσίες		$B3 = B2 + B4$
4	Συνεχείς υπηρεσίες		
5	Αριθμός τμημάτων μιας συνεχούς υπηρεσίας	2,00	
6	Αριθμός τμημάτων μιας ασυνεχούς υπηρεσίας	3,00	
7	Κανονική διάρκεια μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
8	Κανονική διάρκεια μιας ασυνεχούς υπηρεσίας	8,00	
9	Έυρος μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$7,5 \leq B9 \leq 8$
10	Έυρος μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$9,5 \leq B10 \leq 10$
11	Αριθμός υπερωριών (ώρες)	minimum	$B1 - (B3 * B10) - (B4 * B9)$
12	Κόστος (χιλ. Δρχ.)		$B4 * 15000 + B11 * 2000 * 1,75$

Πρώτη Διερεύνηση
πίνακας 7.7 : Συνοπτική παρουσίαση των δεδομένων και περιορισμών της πρώτης διερεύνησης

Υπηρεσίες	Υπερωρίες	Ασυνεχείς υπηρεσίες	Συνεχείς υπηρεσίες	Εύρος συνεχούς	Εύρος ασυνεχούς	Κόστος
	(ώρες)			(ώρες)	(ώρες)	(χιλ. δρχ.)
45,00	0,00	4,00	41,00	7,54	9,50	675,00
44,00	0,00	3,00	41,00	7,77	9,52	660,00
43,00	0,00	2,00	41,00	8,00	9,50	645,00
42,00	0,00	6,00	36,00	7,97	10,00	630,00
41,00	0,00	10,00	31,00	7,97	9,99	615,00
40,00	0,00	14,00	26,00	7,97	9,98	600,00
39,00	0,00	18,00	21,00	7,95	10,00	585,00
38,00	5,00	19,00	19,00	8,00	10,00	587,50
37,00	15,00	18,00	19,00	8,00	10,00	607,50
36,00	23,00	18,00	18,00	8,00	10,00	620,50
35,00	33,00	17,00	18,00	8,00	10,00	640,50
34,00	41,00	17,00	17,00	8,00	10,00	653,50
33,00	51,00	16,00	17,00	8,00	10,00	673,50

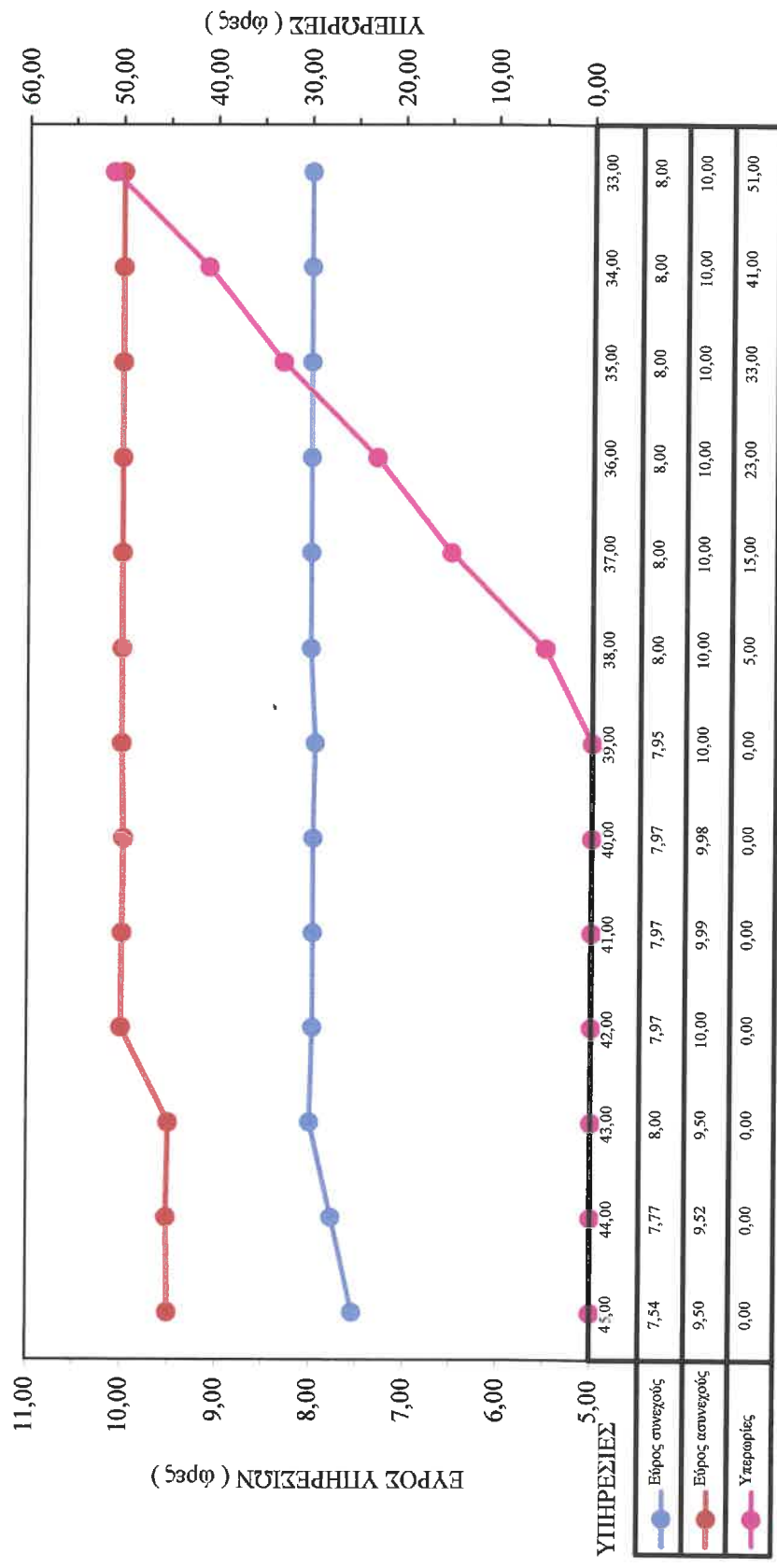
Πρώτη διερεύνηση

Πίνακας 7.8 : Συγκεντρωτικός πίνακας των τιμών των παραμέτρων της πρώτης διερεύνησης



Πρώτη διερεύνηση

Σχήμα 7.13 : Διάγραμμα υπερωριών - κόστους με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών



Σχήμα 7.14 : Διάγραμμα εύρους υπηρεσιών κι υπερφορτίων με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών

a/a	A	B	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ
1	Συνολικός αριθμός ωρών εργασίας (ώρες)	347,00	
2	Αριθμός υπηρεσιών		
3	Ασυνεχείς υπηρεσίες		$B3 = B2 + B4$
4	Συνεχείς υπηρεσίες		
5	Αριθμός τμημάτων μιας συνεχούς υπηρεσίας	2,00	
6	Αριθμός τμημάτων μιας ασυνεχούς υπηρεσίας	3,00	
7	Κανονική διάρκεια μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
8	Κανονική διάρκεια μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
9	Έυρος μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$B9 \leq 9$
10	Έυρος μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$B10 \leq 10$
11	Αριθμός υπερωριών (ώρες)	minimum	$B1 - (B3 * B10) - (B4 * B9)$
12	Κόστος (χιλ. Δρχ.)		$B4 * 15000 + B11 * 2000 * 1,75$

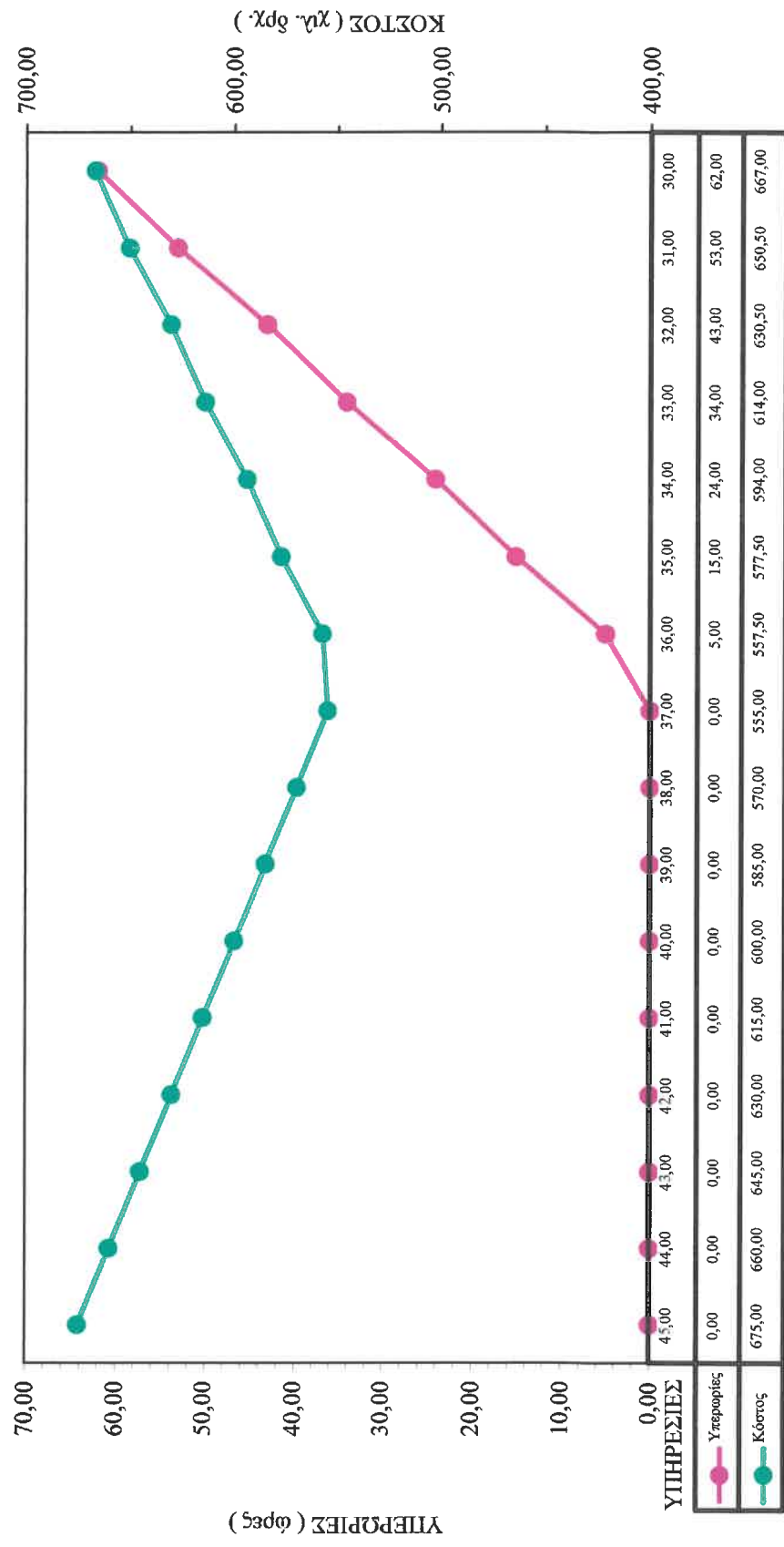
Δεύτερη διερεύνηση

Πίνακας 7.9 : Συγκεντρωτική παρουσίαση των δεδομένων και περιορισμών της δεύτερης διερεύνησης

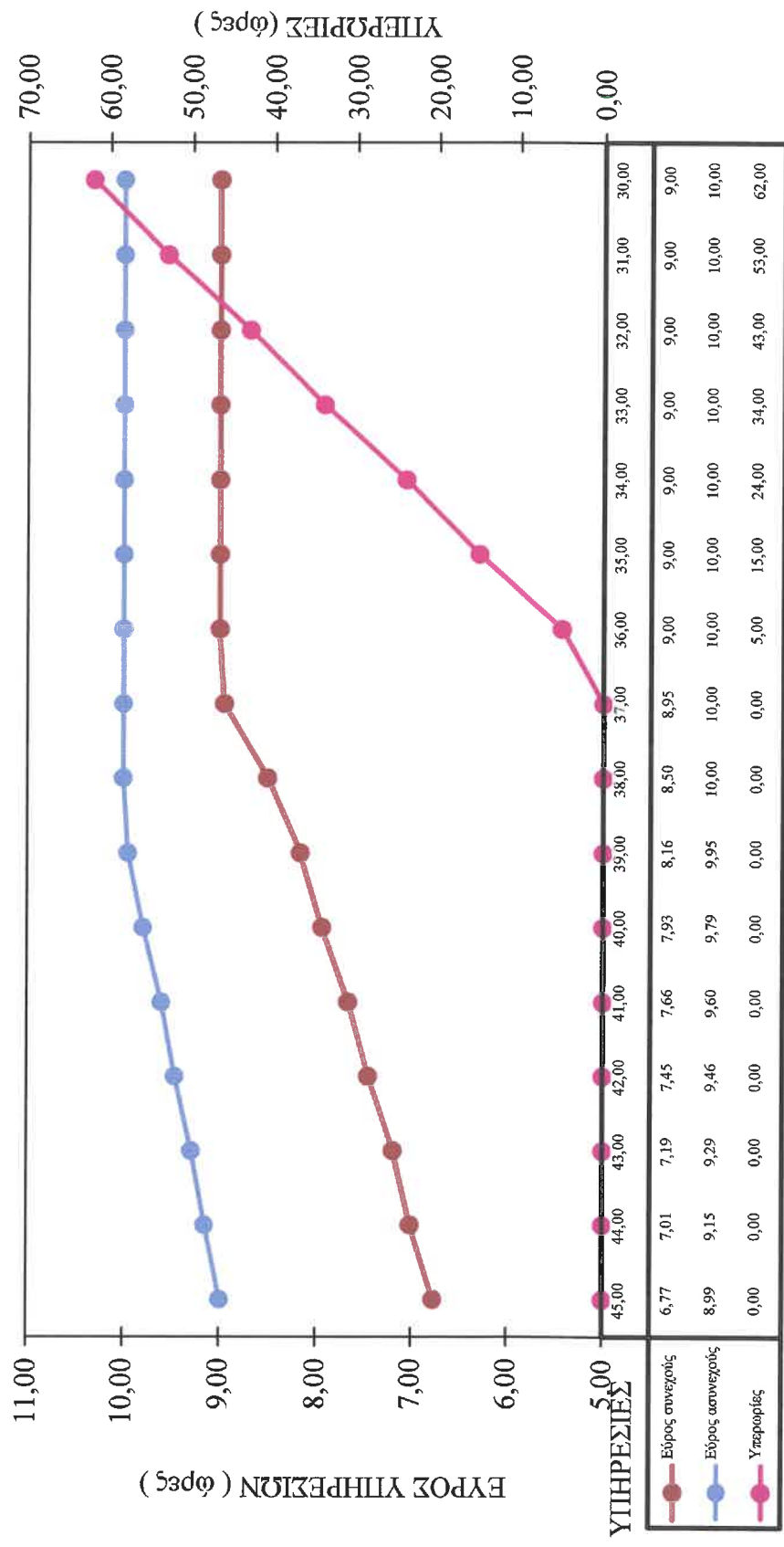
Υπηρεσίες	Υπερωρίες	Ασυνεχείς υπηρεσίες	Συνεχείς υπηρεσίες	Εύρος συνεχούς	Εύρος ασυνεχούς	Κόστος
	(ώρες)			(ώρες)	(ώρες)	(χιλ. δρχ.)
45,00	0,00	19,00	26,00	6,77	8,99	675,00
44,00	0,00	18,00	26,00	7,01	9,15	660,00
43,00	0,00	18,00	25,00	7,19	9,29	645,00
42,00	0,00	17,00	25,00	7,45	9,46	630,00
41,00	0,00	17,00	24,00	7,66	9,60	615,00
40,00	0,00	16,00	24,00	7,93	9,79	600,00
39,00	0,00	16,00	23,00	8,16	9,95	585,00
38,00	0,00	16,00	22,00	8,50	10,00	570,00
37,00	0,00	15,00	22,00	8,95	10,00	555,00
36,00	5,00	18,00	18,00	9,00	10,00	557,50
35,00	15,00	17,00	18,00	9,00	10,00	577,50
34,00	24,00	17,00	17,00	9,00	10,00	594,00
33,00	34,00	16,00	17,00	9,00	10,00	614,00
32,00	43,00	16,00	16,00	9,00	10,00	630,50
31,00	53,00	15,00	16,00	9,00	10,00	650,50
30,00	62,00	15,00	15,00	9,00	10,00	667,00

Δεύτερη διερεύνηση

Πίνακας 7.10 : Συγκεντρωτικός πίνακας των τιμών των παραμέτρων της δεύτερης διερεύνησης



Δεύτερη διερεύνηση
 Σχήμα 7.15 : Διάγραμμα υπερωριών - κόστους με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών



Σχήμα 7.16 : Διάγραμμα εύρους υπηρεσιών κι υπερφορών με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών

Δεύτερη διερεύνηση

α/α	A	B	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ
1	Συνολικός αριθμός ωρών εργασίας (ώρες)	347,00	
2	Αριθμός υπηρεσιών		
3	Ασυνεχείς υπηρεσίες		$B3 = B2 + B4$
4	Συνεχείς υπηρεσίες		
5	Αριθμός τμημάτων μιας συνεχούς υπηρεσίας	2,00	
6	Αριθμός τμημάτων μιας ασυνεχούς υπηρεσίας	3,00	
7	Κανονική διάρκεια μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
8	Κανονική διάρκεια μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
9	Έυρος μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$B9 \leq 11$
10	Έυρος μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$B10 \leq 13$
11	Αριθμός υπερωριών (ώρες)	minimum	$B1 - (B3 * B10) - (B4 * B9)$
12	Κόστος (χιλ. Δρχ.)		$B4 * 15000 + B11 * 2000 * 1,75$

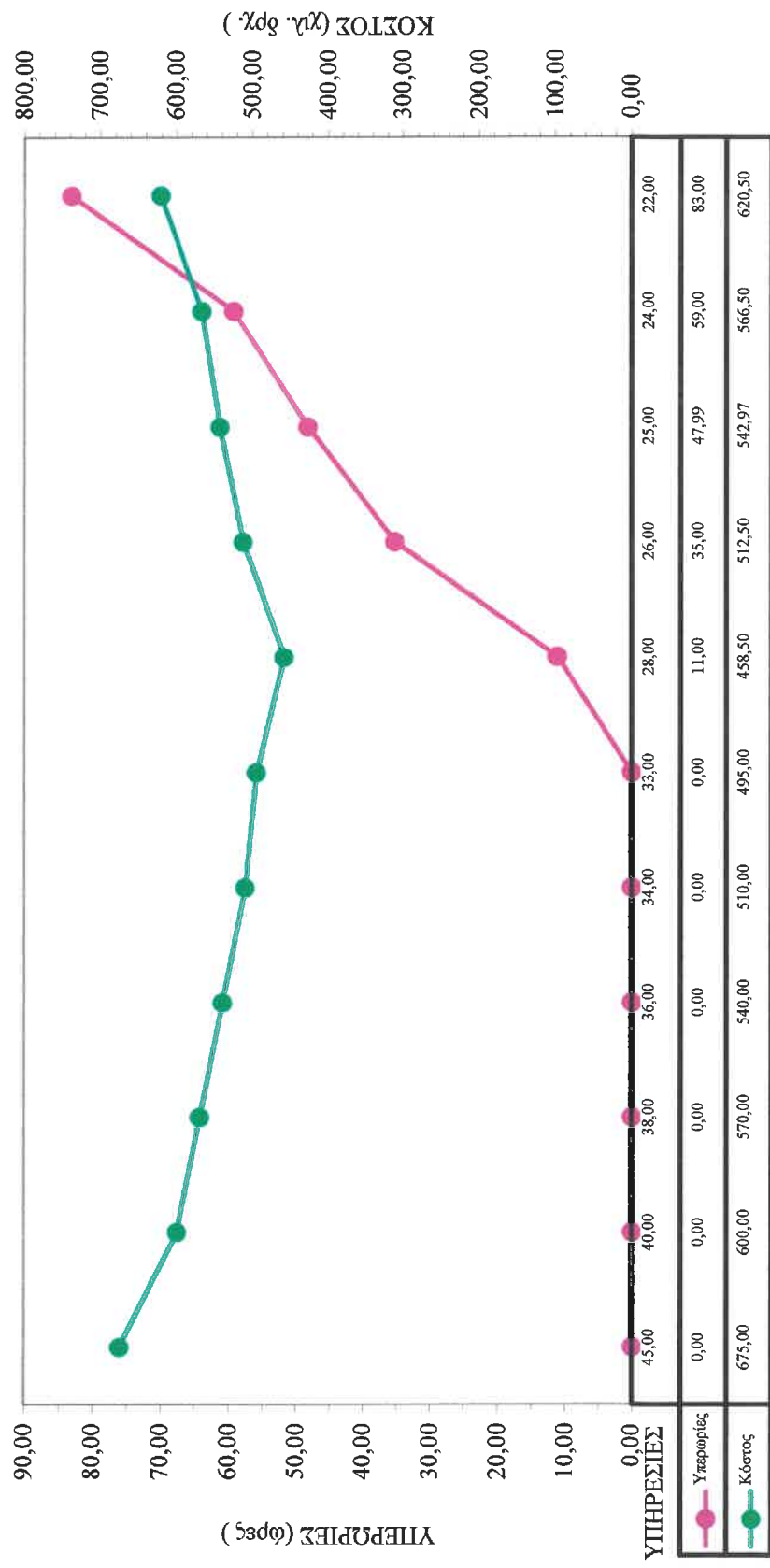
Τρίτη διερεύνηση

Πίνακας 7.11. : Συνοπτική παρουσίαση των δεδομένων και περιορισμών της τρίτης διερεύνησης

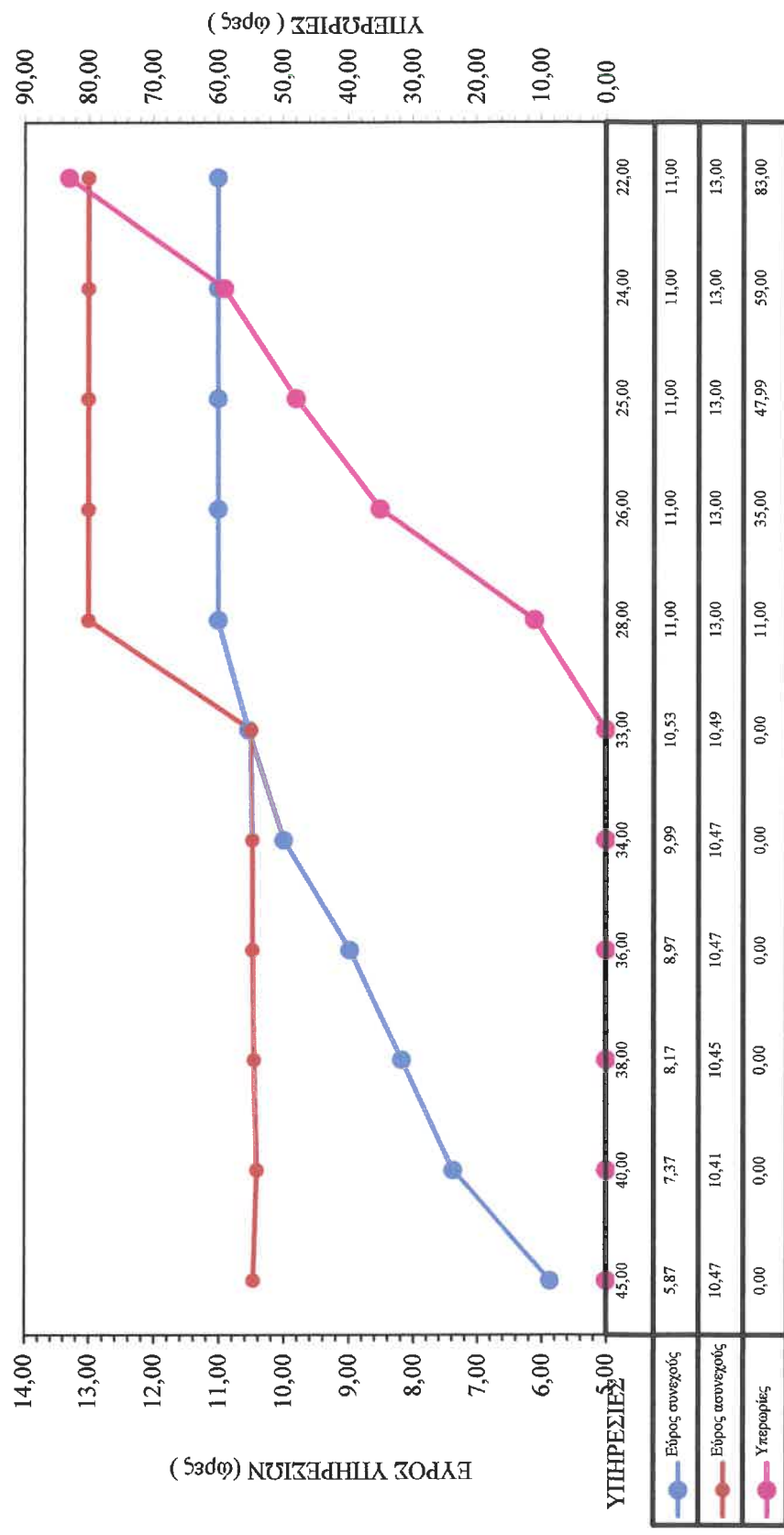
Υπηρεσίες	Υπερωρίες	Ασυνεχείς	Συνεχείς	Εύρος συνεχούς	Εύρος ασυνεχούς	Κόστος
	(ώρες)			(ώρες)	(ώρες)	(χιλ. δρχ.)
45,00	0,00			5,87	10,47	675,00
40,00	0,00	17,00	23,00	7,37	10,41	600,00
38,00	0,00	16,00	22,00	8,17	10,45	570,00
36,00	0,00	16,00	20,00	8,97	10,47	540,00
34,00	0,00	15,00	19,00	9,99	10,47	510,00
33,00	0,00	14,00	19,00	10,53	10,49	495,00
28,00	11,00	14,00	14,00	11,00	13,00	458,50
26,00	35,00	13,00	13,00	11,00	13,00	512,50
25,00	47,99	12,00	13,00	11,00	13,00	542,97
24,00	59,00	12,00	12,00	11,00	13,00	566,50
22,00	83,00	11,00	11,00	11,00	13,00	620,50

Τρίτη διερεύνηση

Πίνακας 7.12 : Συγκεντρωτικός πίνακας των τιμών των παραμέτρων της τρίτης διερεύνησης



Σχήμα 7.17 : Διάγραμμα υπερωρίων - κόστους με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών



Σχήμα 7.18 : Διάγραμμα εύρους υπηρεσιών - υπερφορτών με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Ο ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΩΡΑΡΙΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ ΣΤΙΣ ΑΣΤΙΚΕΣ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ

8.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο προγραμματίζονται οι υπηρεσίες των οδηγών στον Ο.Α.Σ.Α. . Ειδικότερα , ο προγραμματισμός αυτός γίνεται σε δύο στάδια : Στο πρώτο στάδιο περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο καθορίζονται οι υπηρεσίες , και στο δεύτερο περιγράφεται η κατανομή τους στους εργαζόμενους.

Παράλληλα με τα παραπάνω , γίνεται κι η διερεύνηση του κόστους και άλλων παραμέτρων που σχετίζονται με το αντικείμενο που εξετάζεται πάνω σε μία λεωφορειακή γραμμή , τη 046 (Αθήνα – Ελληνορώσων), για την οποία έχουν συλλεχθεί τα απαραίτητα στοιχεία για τη διερεύνηση . Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι ο υπολογισμός του κόστους , με τη διαδικασία που εφαρμόζεται σε αυτό αλλά και στο προηγούμενο κεφάλαιο, δεν είναι τόσο απλή στην πραγματικότητα. Όμως , η εφαρμογή του γραμμικού προγραμματισμού για το σκοπό αυτό έγινε με τη λογική ότι όλα τα συστήματα καθορισμού των υπηρεσιών και του κόστους βασίζονται στο γραμμικό προγραμματισμό και στη συνέχεια αναπτύσσονται περισσότερο. Επίσης , η μεταβολή του αριθμού των υπερωριών καθώς κι η μείωση του αριθμού των υπηρεσιών που αποφέρουν το βέλτιστο κόστος είναι δύο μεγέθη τα οποία μπορούν να υπολογιστούν με τη μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού.

Πρέπει να σημειωθεί ότι , όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο , σκοπός αυτής της διερεύνησης δεν είναι η επίλυση του προβλήματος , αλλά η μελέτη των διακυμάνσεων των διαφόρων παραμέτρων κι ο προσδιορισμός του βαθμού επιροής που έχουν στο πρόβλημα που εξετάζουμε

8.2 Τα κυριότερα στοιχεία που χαρακτηρίζουν το εργασιακό καθεστώς στον Ο.Α.Σ.Α.

Όπως σε όλες οι εταιρίες αστικών συγκοινωνιών , έτσι και στον Ο.Α.Σ.Α. υπάρχουν ορισμένα στοιχεία όσον αφορά τον καθορισμό των υπηρεσιών και τη

λειτουργία τους που αποτελούν την αρχή για το σχεδιασμό των ωραρίων του προσωπικού και όχι μόνο. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά είναι τα εξής:

- Διάρκεια μιας υπηρεσίας : Η κανονική διάρκεια είναι 7h45 . Υπάρχουν , όμως αυξομειώσεις σε σχέση με την κανονική διάρκεια ανάλογα με τις απαιτήσεις των δρομολογίων.
- Υπερωρίες : Στον Οργανισμό δεν υπάρχουν υπερωρίες . Υπάρχει όμως ένας απαιτούμενος αριθμός ωρών εργασίας σε εβδομαδιαία βάση που ο οδηγός είναι υποχρεωμένος να εργαστεί.
- Αμοιβές : Το ημερομίσθιο ανέρχεται στις 20.000 δρχ. Επίσης , σύμφωνα με υπολογισμούς του Οργανισμού , ένας οδηγός κοστίζει στον Ο.Α.Σ.Α. περίπου 10.000.000 δρχ.ετησίως.
- Έδος των υπηρεσιών : Εφαρμόζονται κυρίως συνεχείς κι ασυνεχείς υπηρεσίες με τέτοιο τρόπο ώστε η μία στις έξι υπηρεσίες να είναι ασυνεχής . Οι ακραίες υπηρεσίες αποφεύγονται και πολύ σπάνια χρησιμοποιούνται.
- Υπηρεσίες ενός – δύο -τριών λεωφορείων : Οι περισσότεροι οδηγοί έχουν το δικό τους λεωφορείο . Αυτό γίνεται διότι κατά το παρελθόν είχε εφαρμοστεί το σύστημα των υπηρεσιών σε δύο λεωφορεία , αλλά αυτό είχε αποφέρει δυσμενή αποτελέσματα στη συντήρηση των λεωφορείων , διότι ο ένας οδηγός ανέθετε στον άλλο την επιμέλεια του λεωφορείου (δηλαδή απαλλασσόταν από την επιμέλεια του λεωφορείου) με αποτέλεσμα να μη γινόταν εκτενής αναφορά στην τεχνική υπηρεσία σχετικά με τυχόν βλάβες του λεωφορείου.

Εν τούτοις , σήμερα ορισμένοι οδηγοί εργάζονται σε τέσσερα λεωφορεία , χωρίς όμως να έχουν αυτοί την επίβλεψη του λεωφορείου . Αυτοί οι οδηγοί δουλεύουν στα λεωφορεία αυτά όποτε οι οδηγοί που έχουν την επιμέλεια των λεωφορείων έχουν αργία ή άναπαυση. Σήμερα δύο στους δέκα οδηγούς δουλεύουν σε τέσσερα λεωφορεία.

- Διάρκεια των block : Δεν υπάρχει κάποιο όριο στη διάρκεια των block αλλά αυτό εξαρτάται από τη διάρκεια που έχουν τα δρομολόγια της εκάστοτε γραμμής που εργάζεται ο οδηγός.
- Διαλείμματα : Τα διαλείμματα των συνεχών υπηρεσιών είναι 20 – 30 λεπτά. Για τις ασυνεχείς υπηρεσίες ως διάλειμμα θεωρείται η χρονική απόσταση μεταξύ των δύο τμημάτων της υπηρεσίας. Επίσης τα διαλείμματα των συνεχών υπηρεσιών πληρώνονται εξ ‘ ολοκλήρου , σε αντίθεση με αυτά των ασυνεχών υπηρεσιών.

- Σημεία αλλαγής του προσωπικού : Συνήθως , η αλλαγή των βαρδιών γίνεται στην αφετηρία ή στο τέρμα της γραμμής , κι αρκετές φορές στα αμαξοστάσια . Σπάνια η αλλαγή γίνεται ενδιάμεσα στη διαδρομή.

8.3 Ο καθορισμός των υπηρεσιών

Στον Ο.Α.Σ.Α. το πρόγραμμα των ωραρίων του προσωπικού είναι ανεξάρτητο από την λεωφορειακή γραμμή . Αναλυτικότερα , όλοι οι οδηγοί εργάζονται σε όλες τις γραμμές οι οποίες εξυπηρετούνται από τα λεωφορεία που ανήκουν στο ίδιο αμαξοστάσιο. Έτσι , ένας οδηγός που δουλεύει σε ένα λεωφορείο το οποίο σταθμεύει στο αμαξοστάσιο του Βοτανικού , κάνει τα δρομολόγια όλων των γραμμών στις οποίες χρησιμοποιούνται τα λεωφορεία από αυτό το αμαξοστάσιο.

Για να υπάρχει δίκαιη κατανομή των υπηρεσιών , όλοι οι οδηγοί εκτελούν ακριβώς τις ίδιες υπηρεσίες . Συγκεκριμένα , ορίζεται για κάθε γραμμή ένας αριθμός , διαφορετικών μεταξύ τους , υπηρεσιών τις οποίες εκτελούν όλοι οι οδηγοί. Η κάθε υπηρεσία έχει έναν κωδικό αριθμό , αντιστοιχεί σε μία συγκεκριμένη λεωφορειακή γραμμή , ενώ ακόμα η έναρξη και η λήξη πραγματοποιούνται σε συγκεκριμένα σημεία

Στον Πίνακα 8.1 παρουσιάζεται ένα τέτοιο σύνολο υπηρεσιών από λεωφορεία που προέρχονται από το αμαξοστάσιο της Πέτρου Ράλλη :

A BA	ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	ΠΑΜΜΗ	ΔΙΑΚΕΚΟΜΕΝΗ ΒΑΡΔΙΑ	ΛΗΞΗ	B BA	ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	ΔΙΑΚΕΚΟΜΕΝΗ ΒΑΡΔΙΑ	ΛΗΞΗ
1	AM 07:25 T 08:18	A5		15:25 ΑΦ	26	ΑΦ 15:20		23:20 AM
2	AM 06:30 T 07:05	608		14:30 ΑΦ	27	ΑΦ 14:30		22:24 AM
K1	AM 05:36 ΑΦ 06:06	550	→	09:07 AM - ZEP 12	17:08 ΑΦ	28	AM 17:05 T 17:50 (550)	01:05 AM
4	AM 05:10 ΑΦ 05:40	450		12:54 ZEP	K29	←	ZEP 12:54	00:15 AM
5	AM 06:40 T 07:15	608		14:40 ΑΦ	30	ΑΦ 14:40		22:40 AM
6	AM 04:35 T 05:10	B12		12:31 ΑΦ	31	ΑΦ 12:31		20:07 AM
7	AM 07:50 T 08:25	608		15:50 ΑΦ	32	ΑΦ 15:50		23:43 AM
8	AM 05:15 T 05:50	B10		13:15 ΑΦ	33	ΑΦ 13:15		21:00 AM
K9	AM 04:35 T 05:10	608	08:47 AM AM 12:05 ΑΦ 12:3	15:30 ΑΦ	34	ΑΦ 15:30		22:45 ΑΦ
10	AM 04:25 T 05:00	608		11:59 ΑΦ	K35	ΑΦ 11:59		00:15 AM
11	AM 05:55 T 06:30	B10		13:55 ΑΦ	36	ΑΦ 13:55		21:25 AM
12	M 07:15 T 07:50(Σ)	608		15:00 ΑΦ	37	ΑΦ 15:00		21:48 ΑΦ
K13	AM 04:55 T 05:30	B12	09:19 AM AM 12:10 ΑΦ 12:3	15:44 ΑΦ	38	ΑΦ 15:44		23:18 AM
14	AM 07:21 ΑΦ 07:41	B12		14:52 ΑΦ	39	ΑΦ 14:52		22:03 AM
15	AM 06:19 T 06:54	B12		14:18 ΑΦ	40	ΑΦ 14:18		21:53 AM
16	AM 05:10 T 05:45	B12		13:10 ΑΦ	41	ΑΦ 13:10		20:30 AM
17	AM 07:15 T 08:06	A5		15:15 ΑΦ	42	ΑΦ 15:10		22:50 AM
18	AM 06:40 T 07:27	A5		14:40 ΑΦ	43	ΑΦ 14:30		22:30 AM
K19	AM 05:42 ΑΦ 06:12	450	→	08:59 - ZEP 13:04	16:53 ZEP	Δ44	←	AM 18:53 ΑΦ 19:23 (450)
20	AM 05:30 ΑΦ 06:00	450		13:06 ZEP	K45	←	ZEP 13:06	7:03 AM - ZEP 21:1
21	AM 06:25 ΑΦ 06:45	B12		13:44 ΑΦ	46	ΑΦ 13:44		21:07 AM
22	AM 04:55 T 05:37	A5		12:10 ΑΦ	47	ΑΦ 12:00		19:00 AM
23	AM 06:25 T 07:00	B10		14:25 ΑΦ	48	ΑΦ 14:25		21:50 AM
24	AM 04:35 ΑΦ 05:00	A5		12:25 ΑΦ	49	ΑΦ 12:15		20:15 AM
K25	AM 05:50 T 06:30	A5	09:30 AM AM 12:30 ΑΦ 13:0	16:50 ΑΦ	50	ΑΦ 16:40		00:10 AM

Πίνακας 8.1 : Πρόγραμμα υπηρεσιών καθημερινής από το αμαξοστάσιο Π. Ράλλη
 Σημ. : AM (= Αμαξοστάσιο) , ΑΦ (= Αφετηρία) ,
 ZEP (=Στάση Ζέρβα , ενδιάμεσο σημείο αλλαγής)

Στον πίνακα αυτό παρουσιάζονται 50 σχηματισμένες υπηρεσίες οι οποίες έχουν δημιουργηθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε ανά δύο να είναι συνεχόμενες . Για παράδειγμα , η βάρδια 1 έχει ώρα έναρξης 07:25 και λήγει στις 15:25. Η υπηρεσία αυτή αντιστοιχεί στη βάρδια 26 η οποία έχει ώρα έναρξης 15:20 και λήγει στις 23:20 . Και οι δύο αυτές υπηρεσίες αφορούν τη γραμμή Α5.

Για την καλύτερη ερμηνεία του πίνακα αυτού γίνεται μια αναλυτική περιγραφή της βάρδιας 1 και της 26 : Σύμφωνα με τη βάρδια 1 , ο οδηγός πρέπει να βρίσκεται στο αμαξοστάσιο στις 07:25 το πρωί από όπου θα πάρει το λεωφορείο του και θα το οδηγήσει στο τέρμα της γραμμής Α5 . Εκεί πρέπει να βρίσκεται το αργότερο στις 08:18 από όπου θα ξεκινήσει το πρώτο δρομολόγιο . Στη συνέχεια , θα κάνει ενδιάμεσα ένα διάλειμμα 20 λεπτών και θα τελειώσει τη βάρδιά του στην αφετηρία της γραμμής , στις 15:25 .

Σύμφωνα με τη βάρδια 26 , ο δεύτερος οδηγός πρέπει να βρίσκεται στην αφετηρία της γραμμής Α5 στις 15:20 , πέντε λεπτά νωρίτερα από την προγραμματισμένη άφιξη του πρώτου οδηγού, προκειμένου να παραλάβει το λεωφορείο και να ξεκινήσει τη βάρδιά του. Στη συνέχεια , θα κάνει ένα ενδιάμεσο διάλειμμα 20-30 λεπτών και θα τελειώσει τη βάρδιά του στις 23:20 στο αμαξοστάσιο.

Η υπηρεσία Κ3 είναι διακεκομμένη (ασυνεχής) υπηρεσία. Ο οδηγός , πρέπει να βρίσκεται στο αμαξοστάσιο στις 05:36 όπου θα παραλάβει το λεωφορείο και θα το οδηγήσει στην αφετηρία της γραμμής 550 . Εκεί πρέπει να βρίσκεται το αργότερο μέχρι τις 06:06 . Στη συνέχεια θα δουλέψει σε αυτή τη γραμμή μέχρι τις 09:07 όπου θα πάρει το λεωφορείο στο αμαξοστάσιο , τελειώνοντας παράλληλα και το πρώτο τμήμα της υπηρεσίας . Το δεύτερο τμήμα αρχίζει στις 12:52 και τελειώνει στις 17:08 στη αφετηρία.

Με αυτή τη λογική έχουν σχηματιστεί 25 ζεύγη υπηρεσιών που η μία υπηρεσία είναι συνέχεια της άλλης. Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς , από τις 50 συνολικά υπηρεσίες , οι 8 είναι ασυνεχείς ενώ οι υπόλοιπες είναι συνεχείς και καμία δεν είναι ακραία . Από τον πίνακα αυτό προκύπτουν τα προγράμματα δρομολόγησης για κάθε γραμμή ξεχωριστά . Στον Πίνακα 8.7 που βρίσκεται στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζεται αναλυτικά το πρόγραμμα δρομολόγησης για τη γραμμή Α5.

Ακόμα , κάθε οδηγός είναι υποχρεωμένος να κάνει όλες αυτές τις υπηρεσίες με σειρά που καθορίζεται από το δημιουργό του προγράμματος . Το πρόγραμμα αυτό

αναρτάται στα σταθμαρχεία και μοιράζεται ταυτόχρονα στους οδηγούς, ενώ η ισχύς του δεν είναι καθορισμένη , μπορεί δηλαδή να ισχύσει για δέκα μόνο ημέρες αλλά και για αρκετούς μήνες . Πάντως , το πόσο θα ισχύσει εξαρτάται από τις ανάγκες του επιβατικού αλλά και από το βαθμό της αποδοτικότητας που παρουσιάζει.

Το επόμενο βήμα από τη δημιουργία των υπηρεσιών είναι ο καθορισμός του ατομικού προγράμματος του κάθε οδηγού. Ο καθορισμός αυτός γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε όλοι οι οδηγοί να κάνουν όλες τις προβλεπόμενες υπηρεσίες με αποτέλεσμα να υπάρχει απόλυτη ισονομία. Επίσης η κατασκευή του ατομικού προγράμματος προβλέπει την ύπαρξη δύο ή τριών ημερών ανάπαυσης ανά πέντε ή έξι εργάσιμες ημέρες .

Στον Πίνακα 8.2 παρουσιάζεται το πρόγραμμα του μηνός Ιουνίου για 40 οδηγούς . Πρέπει να σημειωθεί ότι οι χαρακτηριστικοί αριθμοί των υπηρεσιών δεν είναι οι ίδιοι με αυτούς του Πίνακα I , δηλαδή πρόκειται για διαφορετικές υπηρεσίες.

			ΙΟΥΝΙΟΣ 1999																													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
α/α	ΟΜΑΔΕΣ	ΛΕΩΦ.	T	T	Π	Π	Σ	Κ	Δ	T	T	Π	Π	Σ	Κ	Δ	T	T	Π	Π	Σ	Κ	Δ	T	T	Π	Π	Σ	Κ	Δ	T	T
1	1	1	30	31	32	29	R	R	14	15	16	13	14	R	R	23	24	25	26	27	28	R	R	7	8	9	10	11	R	R	R	17
2	2	2	31	32	29	30	R	R	1	2	3	4	5	6	R	R	23	24	25	26	27	R	R	R	7	8	9	10	11	12	R	R
3	3	3	18	19	20	21	22	R	R	1	2	3	4	5	R	R	R	23	24	25	26	27	28	R	R	7	8	9	10	11	12	R
4	4	4	17	18	19	20	21	R	R	R	1	2	3	4	5	6	R	R	23	24	25	26	27	28	R	R	7	8	9	10	11	12
5	5	5	R	17	18	19	20	21	22	R	R	1	2	3	4	5	6	R	R	23	24	25	26	27	28	R	R	7	8	9	10	11
6	6	6	R	R	17	18	19	20	21	22	R	R	1	2	3	4	5	6	R	R	23	24	25	26	27	28	R	R	R	8	9	10
7	7	7	12	R	R	17	18	19	20	21	22	R	R	1	2	3	4	5	6	R	R	R	24	25	26	27	28	R	R	13	14	15
8	8	8	11	12	R	R	17	18	19	20	21	22	R	R	R	2	3	4	5	6	R	R	29	30	31	32	29	28	R	14	15	16
9	9	1 3 5 7	10	11	12	R	R	R	18	19	20	21	22	R	R	13	14	15	16	13	R	R	30	31	32	29	30	29	R	7	8	9
10	10	2 4 6 8	9	10	11	12	R	R	31	32	29	30	31	R	R	14	15	16	13	14	R	R	23	24	25	26	27	28	R	R	7	8
11	1	1	14	15	16	13	R	R	30	31	32	29	30	R	R	7	8	9	10	11	12	R	R	23	24	25	26	27	R	R	R	1
12	2	2	15	16	13	14	R	R	17	18	19	20	21	22	R	R	7	8	9	10	11	R	R	R	23	24	25	26	27	28	R	R
13	3	3	2	3	4	5	6	R	R	17	18	19	20	21	22	R	R	7	8	9	10	11	12	R	R	23	24	25	26	27	28	R
14	4	4	1	2	3	4	5	R	R	17	18	19	20	21	22	R	R	7	8	9	10	11	12	R	R	23	24	25	26	27	28	
15	5	5	R	1	2	3	4	5	6	R	R	17	18	19	20	21	22	R	R	7	8	9	10	11	12	R	R	23	24	25	26	27
16	6	6	R	R	1	2	3	4	5	6	R	R	17	18	19	20	21	22	R	R	7	8	9	10	11	12	R	R	R	24	25	26
17	7	7	28	R	R	1	2	3	4	5	6	R	R	17	18	19	20	21	22	R	R	R	8	9	10	11	12	R	R	29	30	31
18	8	8	27	28	R	R	1	2	3	4	5	6	R	R	R	18	19	21	21	22	R	R	13	14	15	16	13	R	R	30	31	32
19	9	1 3 5 7	26	27	28	R	R	R	2	3	4	5	6	R	R	29	30	31	32	29	R	R	14	15	16	13	14	R	R	23	24	25
20	10	2 4 6 8	25	26	27	28	R	R	15	16	13	14	15	R	R	30	31	32	29	30	R	R	7	8	9	10	11	12	R	R	23	24
21	1	9	32	29	30	31	R	R	16	13	14	15	16	R	R	17	18	19	20	21	22	R	R	1	2	3	4	5	R	R	R	23
22	2	10	29	30	31	32	R	R	7	8	9	10	11	12	R	R	17	18	19	20	21	22	R	R	1	2	3	4	5	6	R	R
23	3	11	24	25	26	27	28	R	R	7	8	9	10	11	R	R	R	17	18	19	20	21	22	R	R	1	2	3	4	5	6	R
24	4	12	23	24	25	26	27	R	R	R	7	8	9	10	11	12	R	R	17	18	19	20	21	22	R	R	1	2	3	4	5	6
25	5	13	R	23	24	25	26	27	28	R	R	7	8	9	10	11	12	R	R	17	18	19	20	21	22	R	R	1	2	3	4	5
26	6	14	R	R	23	24	25	26	27	28	R	R	7	8	9	10	11	12	R	R	17	18	19	20	21	22	R	R	R	2	3	4
27	7	15	6	R	R	23	24	25	26	27	28	R	R	7	8	9	10	11	12	R	R	R	18	19	20	21	22	R	R	15	16	13
28	8	16	5	6	R	R	23	24	25	26	27	28	R	R	R	8	9	10	11	12	R	R	31	32	29	30	31	R	R	16	13	14
29	9	9 11 13 15	4	5	6	R	R	R	24	25	26	27	28	R	R	15	16	13	14	15	R	R	32	29	30	31	32	R	R	1	2	3
30	10	10 12 14 16	3	4	5	6	R	R	29	30	31	32	29	R	R	16	13	14	15	16	R	R	17	18	19	20	21	22	R	R	1	2
31	1	9	16	13	14	15	R	R	32	29	30	31	32	R	R	1	2	3	4	5	6	R	R	17	18	19	20	21	R	R	R	7
32	2	10	13	14	15	16	R	R	23	24	25	26	27	28	R	R	1	2	3	4	5	R	R	R	17	18	19	20	21	22	R	R
33	3	11	8	9	10	11	12	R	R	23	24	25	26	27	R	R	R	1	2	3	4	5	6	R	R	17	18	19	20	21	22	R
34	4	12	7	8	9	10	11	R	R	R	23	24	25	26	27	28	R	R	1	2	3	4	5	6	R	R	17	18	19	20	21	22
35	5	13	R	7	8	9	10	11	12	R	R	23	24	25	26	27	28	R	R	1	2	3	4	5	6	R	R	17	18	19	20	21
36	6	14	R	R	7	8	9	10	11	12	R	R	23	24	25	26	27	28	R	R	1	2	3	4	5	6	R	R	R	18	19	20
37	7	15	22	R	R	7	8	9	10	11	12	R	R	23	24	25	26	27	28	R	R	R	2	3	4	5	6	R	R	30	31	32
38	8	16	21	22	R	R	7	8	9	10	11	12	R	R	R	24	25	26	27	28	R	R	15	16	13	14	15	R	R	29	30	31
39	9	9 11 13 15	20	21	22	R	R	R	8	9	10	11	12	R	R	31	32	29	30	31	R	R	16	13	14	15	16	R	R	17	18	19
40	10	10 12 14 16	19	20	21	22	R	R	13	14	15	16	13	R	R	32	29	30	31	32	R	R	1	2	3	4	5	6	R	R	17	18

Πίνακας 8.2 : Πρόγραμμα υπηρεσιών μηνός Ιουνίου 1999

Σημείωση : R (= Ρεπό)

Στον πίνακα αυτό παρουσιάζεται το πρόγραμμα για το μήνα Ιούνιο που ισχύει για 40 οδηγούς , 16 λεωφορεία και για 32 υπηρεσίες . Επίσης είναι σχηματισμένες και 10 ομάδες στις οποίες ανήκουν οι 40 οδηγοί κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι υπηρεσίες των οδηγών που ανήκουν στην ίδια ομάδα να είναι η μία συνέχεια της άλλης. Για παράδειγμα , ο οδηγός 11 που ανήκει στην ομάδα 1 και που κάνει τη βάρδια 14 αντιστοιχεί στον οδηγό 1 πάλι της πρώτης ομάδας που εκτελεί τη βάρδια 30 η οποία είναι η συνέχεια της 14.

Ακόμα βλέπουμε ότι οι οδηγοί που ανήκουν στην 9^η και 10^η ομάδα δουλεύουν σε τέσσερα λεωφορεία , σε αντίθεση με τους οδηγούς των άλλων ομάδων οι οποίοι δουλεύουν σε ένα μόνο λεωφορείο. Αυτό συμβαίνει διότι οι οδηγοί των ομάδων αυτών καλύπτουν τα ρεπό των άλλων οδηγών.

Η δημιουργία του ατομικού προγράμματος του κάθε οδηγού για όλο το μήνα γίνεται με το σκεπτικό ότι ο επόμενος οδηγός εκτελεί τη βάρδια του προηγούμενου (δηλαδή ότι ο ένας οδηγός ακολουθεί τον άλλο) , κι ότι μετά από πέντε ή έξι ημέρες εργασίας ακολουθούν δύο ή τρεις μέρες ανάπαυσης αντίστοιχα.

Ακόμα , παρατηρούμε ότι τα ζεύγη των υπηρεσιών : (13 , 29) , (14 , 30) , (15 , 31) και (16 , 32) είναι αποτυπωμένα με διαφορετικό χρώμα σε σχέση με τα άλλα ζεύγη . Αυτό σημαίνει ότι έχουν κάποια ιδιαιτερότητα η οποία τις περισσότερες φορές έχει να κάνει με το είδος της υπηρεσίας . Στο παράδειγμά μας οι υπηρεσίες αυτές είναι ασυνεχείς.

Τα προγράμματα αυτά είναι σταθερά με την έννοια ότι μπορεί η υπηρεσία που αντιστοιχεί σε ένα αριθμό να αλλάξει , αλλά αυτό δεν επηρεάζει τη μορφή του προγράμματος η οποία είναι δεδομένη. Η κατανομή των υπηρεσιών δίνεται στους οδηγούς έτσι ώστε να γνωρίζουν την κατανομή της εργασίας τους όλο το μήνα και κυρίως να γνωρίζουν τις ημέρες ανάπαυσης.

8.4 Η διακύμανση του κόστους και των υπολοίπων παραμέτρων σε μία λεωφορειακή γραμμή

Στην περάγραφο αυτή μελετάται η διακύμανση του κόστους , των υπερωριών και του εύρους των υπηρεσιών σε μία λεωφορειακή γραμμή της Αθήνας. Για τη μελέτη αυτή προτιμήθηκε η γραμμή 046 (Αθήνα – Αμπελόκηποι –Ελληνόρωσων) της οποίας ήταν γνωστά όλα τα δεδομένα που χρειάζονταν για να γίνει η επίλυση του προβλήματος.

Κύριος στόχος κι εδώ είναι η μείωση του κόστους , γι αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε ως πρόβλημα βελτιστοποίησης . Για την επίλυση χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Microsoft Excel . Πρέπει να σημειωθεί ότι η αντιμετώπιση του προβλήματος στηρίζεται στην εύρεση μιας βέλτιστης τιμής για τις υπερωρίες η οποία θα αποφέρει τη μείωση του κόστους . Επειδή όμως ,όπως έχει αναφερθεί προηγούμενα ,το εργασιακό καθεστώς στον Ο.Α.Σ.Α. δεν ορίζει υπερωρίες , η επίλυση του προβλήματος με αυτή τη λογική είναι μια ευκαιρία παράλληλα για να γίνει μία σύγκριση της διακύμανσης που παρουσιάζει το κόστος με την ύπαρξη ή όχι των υπερωριών.

Πρέπει να σημειωθεί , τέλος, ότι δημιουργήθηκαν τρία σενάρια επιλύσεων που διαφέρουν μεταξύ τους στους περιορισμούς που τίθενται στο πρόβλημα.

8.4.2 Τα δεδομένα του προβλήματος

Η γραμμή εξυπηρετείται από 8 λεωφορεία και 16 οδηγούς. Από τις 16 υπηρεσίες , μόνο οι δύο είναι ασυνεχείς και οι υπόλοιπες συνεχείς υπηρεσίες. Το πρόγραμμα που παρουσιάζεται στον Πίνακα 8.3 αφορά τις υπηρεσίες μίας καθημερινής κι επιλέχθηκε αυτό γιατί αποτελεί τη δυσμενέστερη περίπτωση.

Ο συνολικός χρόνος διαδρομής είναι 112h12 . Επίσης , η διάρκεια των υπηρεσιών δεν είναι σταθερή αλλά παρουσιάζει διακυμάνσεις . Για την ευκολία της επίλυσης επιλέχθηκε η μέση τιμή που είναι 7h42.

Α' ΒΑΡΙΑ	ΤΥΠΟΣ	ΛΕΩΦΟΡΕΙΟ	ΕΝΑΡΞΗ	ΩΡΑ	ΔΙΑΔΕΙΜΜΑ /ΔΙΑΚΕΚΟΜΕΝΕΣ ΒΑΡΕΙΣ				ΛΗΞΗ	ΩΡΑ	ΛΕΩΦΟΡΕΙΟ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (ώρες)
					ΕΝΑΡΞΗ	ΘΕΣΗ	ΛΗΞΗ	ΘΕΣΗ				
1	ΣΥΝΕΧΗΣ	1	ΑΜ 04:40 Τ 05:15	4:40	9:24	ΤΕ	9:45	ΤΕ	ΑΦ12:14	12:14	1	7:34
2	ΑΣΥΝΕΧΗΣ	2	ΑΜ 04:55 Τ 05:30	4:55	9:15	ΤΖΩΡΤΖ	12:48	ΤΖΩΡΤΖ	ΑΦ15:48	15:48	6	7:20
3	ΣΥΝΕΧΗΣ	3	ΑΜ 05:10 Τ 05:45	5:10	8:35	ΤΕ	9:00	ΤΕ	ΑΦ12:59	12:59	3	7:49
4	ΣΥΝΕΧΗΣ	4	ΑΜ 05:25 Τ 06:00	5:25	9:00	ΤΕ	9:30	ΤΕ	ΑΦ13:22	13:22	4	7:57
5	ΣΥΝΕΧΗΣ	5	ΑΜ 05:38 Τ 06:13	5:38	10:45	ΤΕ	11:16	ΤΕ	ΑΦ13:33	13:33	5	7:55
6	ΣΥΝΕΧΗΣ	6	ΑΜ 05:40 ΑΦ 06:04	5:40	9:48	ΤΕ	10:24	ΤΕ	ΑΦ12:48	12:48	6	7:08
7	ΣΥΝΕΧΗΣ	7	ΑΜ 06:43 Τ 07:18	6:43	10:15	ΤΕ	10:50	ΤΕ	ΑΦ14:40	14:40	7	7:57
8	ΣΥΝΕΧΗΣ	8	ΑΜ 07:31 Τ 08:06	7:31	9:36	ΤΕ	10:12	ΤΕ	ΑΦ15:26	15:26	8	7:55

Β' ΒΑΡΙΑ	ΤΥΠΟΣ	ΛΕΩΦΟΡΕΙΟ	ΕΝΑΡΞΗ	ΩΡΑ	ΔΙΑΔΕΙΜΜΑ /ΔΙΑΚΕΚΟΜΕΝΕΣ ΒΑΡΕΙΣ				ΛΗΞΗ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (ώρες)
					ΕΝΑΡΞΗ	ΘΕΣΗ	ΛΗΞΗ	ΘΕΣΗ		
9	ΑΣΥΝΕΧΗΣ	1	ΑΦ 12:14	12:14	17:05	ΑΜ	21:40	ΑΦ	ΑΜ24:10	7:21
10	ΣΥΝΕΧΗΣ	2	ΑΦ 09:15	9:15	11:30	ΤΕ	11:52	ΤΕ	ΑΜ16:57	7:42
11	ΣΥΝΕΧΗΣ	3	ΑΦ 12:59	12:59	16:45	ΤΕ	17:20	ΤΕ	ΑΜ20:05	7:06
12	ΣΥΝΕΧΗΣ	4	ΑΦ 13:22	13:22	17:15	ΤΕ	17:40	ΤΕ	ΑΜ21:15	7:53
13	ΣΥΝΕΧΗΣ	5	ΑΦ 13:33	13:33	17:30	ΤΕ	17:55	ΤΕ	ΑΦ21:33	8:00
14	ΣΥΝΕΧΗΣ	6	ΑΦ 15:48	15:48	18:10	ΤΕ	18:30	ΤΕ	ΑΜ23:45	7:57
15	ΣΥΝΕΧΗΣ	7	ΑΦ 14:40	14:40	18:30	ΤΕ	18:50	ΤΕ	ΑΜ22:35	7:55
16	ΣΥΝΕΧΗΣ	8	ΑΦ 15:26	15:26	17:50	ΤΕ	18:10	ΤΕ	ΑΜ23:15	7:49

ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ (ώρες) = 7:42

Πίνακας 8.3 :Πρόγραμμα Δρομολόγησης Οδηγών - Αναλυτική Μορφή
Γραμμή : 046 (Αθήνα - Αμπελόκηποι - Ελληνορώσων)

8.4.3 Πρώτο σενάριο επίλυσης

Στο πρώτο σενάριο επίλυσης η διάρκεια της συνεχούς και της ασυνεχούς υπηρεσίας κυμαίνεται μέχρι 7,75 ώρες. Παρατηρούμε δηλαδή ότι και τα δύο είδη έχουν το ίδιο ανώτατο όριο, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι έχουν και την ίδια διακύμανση. Το προς βελτιστοποίηση μέγεθος είναι οι υπερωρίες. Ο υπολογισμός των διαφόρων μεγεθών γίνεται με βάση τους παρακάτω τύπους :

- (Ασυνεχείς υπηρεσίες) = (συνολ. αριθ. υπηρεσιών) – (Συνεχείς υπηρεσίες)
- (Υπερωρίες) = (Συνολ. Αριθ. ωρών) – (συνεχείς) · (διάρκεια) – (ασυνεχείς) · (διάρκεια)
- (Κόστος) = [(αριθ. υπηρεσιών) · (20.000 δρχ.) + (αριθ. υπερωριών) · (2.000 δρχ./ώρα) · 1,75] / 1000

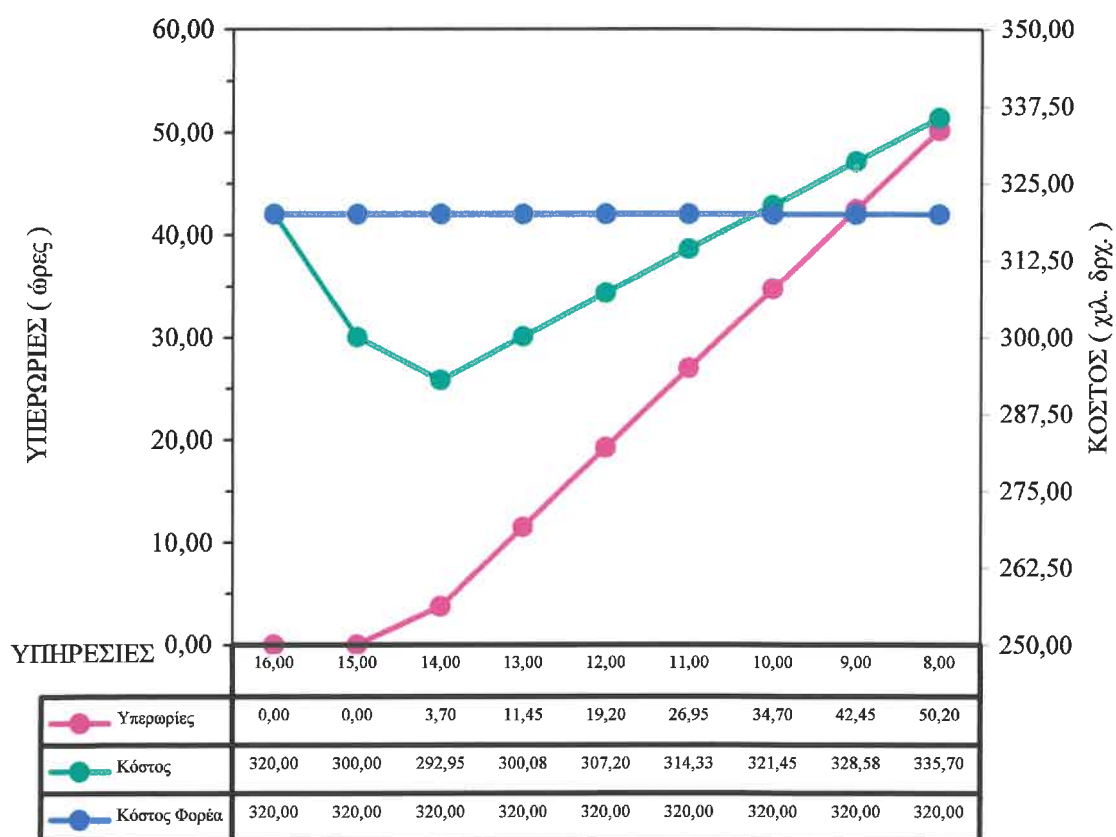
Για τον υπολογισμό του κόστους θεωρήσαμε σα βασικό ημερομίσθιο τις 20.000 χιλ. δρχ. κι ότι κάθε ώρα υπερωρίας πολλαπλασιάζεται με συντελεστή 1,75 .

Οι παραπάνω τύποι και οι αντίστοιχοι περιορισμοί παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 8.3

α/α	A	B	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ
1	Συνολικός αριθμός ωρών εργασίας (ώρες)	347,00	
2	Αριθμός υπηρεσιών		
3	Ασυνεχείς υπηρεσίες		$B3 = B2 + B4$
4	Συνεχείς υπηρεσίες		
5	Αριθμός τμημάτων μιας συνεχούς υπηρεσίας	2,00	
6	Αριθμός τμημάτων μιας ασυνεχούς υπηρεσίας	3,00	
7	Κανονική διάρκεια μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
8	Κανονική διάρκεια μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
9	Έυρος μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$B9 \leq 7,75$
10	Έυρος μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$B10 \leq 7,75$
11	Αριθμός υπερωριών (ώρες)	minimum	$B1 - (B3 \cdot B10) - (B4 \cdot B9)$
12	Κόστος (χιλ. Δρχ.)		$B4 \cdot 20000 + B11 \cdot 2000 \cdot 1,75$

Πίνακας 8.3 : Συνοπτική παρουσίαση των δεδομένων του πρώτου σεναρίου επίλυσης

8.4.3.1 Διακύμανση των υπερωριών και του κόστους με βάση μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών



Σχήμα 8.1 : Διάγραμμα υπερωριών – κόστους με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών (πρώτο σενάριο επίλυσης)

Στο Σχήμα 8.1 βλέπουμε τη μεταβολή του κόστους και των υπερωριών σε σχέση με τη μεταβολή των υπηρεσιών . Το βέλτιστο κόστος επιτυγχάνεται στις 14 υπηρεσίες κάτι που σημαίνει ότι 2 υπηρεσίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια άλλη γραμμή , χωρίς – όπως προηγουμένως – αυτό να μεταβάλλει τη συχνότητα των δρομολογίων .

Επίσης παρατηρούμε ότι μία τιμή του κόστους που είναι πολύ κοντά στη βέλτιστη αντιστοιχεί σε 13 υπηρεσίες και σε 11,45 ώρες υπερωριών . Τούτο σημαίνει

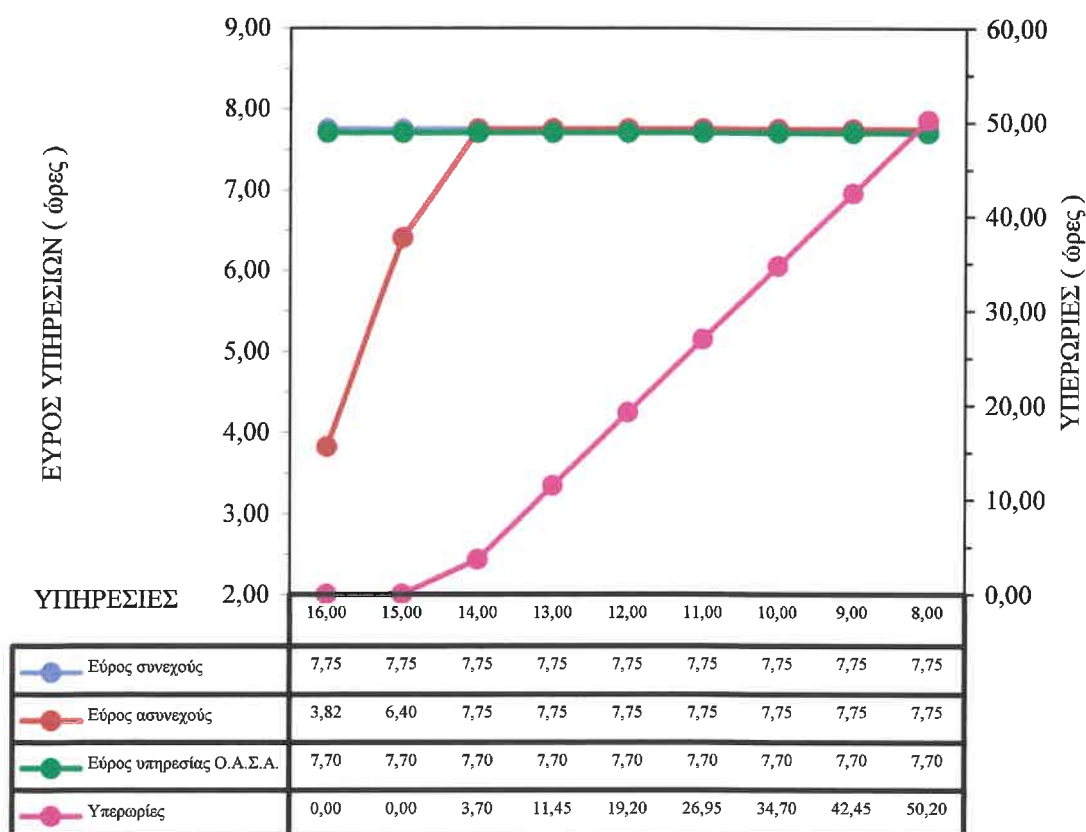
ότι και αυτή η τιμή μπορεί να θεωρηθεί δεκτή με την προϋπόθεση ότι αντικειμενικός σκοπός είναι και η μείωση των υπηρεσιών στη συγκεκριμένη λεωφορειακή γραμμή.

Το κόστος των υπηρεσιών σύμφωνα με τα όσα ισχύουν σήμερα στον Ο.Α.Σ.Α. είναι σταθερό και ισούται με 320.000 δραχμές . Η τιμή του κόστους σύμφωνα με τα δεδομένα της έρευνας , παρατηρώντας το διάγραμμα , είναι στο μεγαλύτερο μέρος χαμηλότερη από αυτή του κόστους του Οργανισμού (για συντομία το ονομάζουμε κόστος Φορέα). Μάλιστα , η τιμή του βέλτιστου κόστους ανέρχεται στις 292.950 δρχ. κι είναι μειωμένη κατά 8,45%.

Επειδή , η καμπύλη του κόστους είναι στα περισσότερα σημεία του διαγράμματος χαμηλότερα από αυτή του κόστους Φορέα μπορούμε να θεωρήσουμε ως δεκτές και άλλες τιμές του κόστους που αντιστοιχούν σε μικρότερο αριθμό υπηρεσιών και μεγαλύτερο αριθμό υπερωριών.

Το σημείο τομής των δύο διαγραμμάτων είναι στις 10 υπηρεσίες και η τιμή του κόστους είναι 321.450 δρχ. , ενώ η τιμή του κόστους Φορέα είναι σταθερή στις 320.000 δρχ. . Η μέγιστη τιμή , τέλος , του κόστους είναι 335.700 δρχ. και παρουσιάζει αύξηση κατά 4,91 % από την τιμή του κόστους Φορέα και 14,95 % από τη βέλτιστη τιμή.

8.4.3.2 Διακύμανση των υπερωριών και του εύρους των υπηρεσιών με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών



Σχήμα 8.2 : Διάγραμμα εύρους υπηρεσιών κι υπερωριών με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών (πρώτο σενάριο επίλυσης)

Στο Σχήμα 8.2 βλέπουμε τη διακύμανση του εύρους των υπηρεσιών (συνεχών κι ασυνεχών) σε σχέση με τη μεταβολή των υπηρεσιών . Όπως βλέπουμε το ανώτατο όριο του εύρους πετυχαίνεται πολύ νωρίς και συγκεκριμένα για τις συνεχείς υπηρεσίες από την 16^η υπηρεσία ενώ για τις ασυνεχείς από την 14^η Έτσι , στην υπηρεσία στην οποία το κόστος παίρνει τη βέλτιστη τιμή του οι υπηρεσίες έχουν μέγιστο εύρος . Το εύρος της υπηρεσίας του Ο.Α.Σ.Α. είναι σταθερό και ίσο με το μέσο όρο που έχει υπολογιστεί προηγουμένα , δηλαδή στις 7,70 ώρες.

Παρατηρούμε επίσης ότι αν εξαιρέσουμε τις δύο πρώτες τιμές των ασυνεχών υπηρεσιών , δεν έχουμε καμία άλλη διακύμανση των υπηρεσιών . Αυτό συμβαίνει

διότι , καθώς μειώνεται ο αριθμός των υπηρεσιών το εύρος αυξάνεται προκειμένου να καλύψει τις ώρες της χαμένης υπηρεσίας και παίρνει γρήγορα τη μέγιστη τιμή του.

8.4.4 Δεύτερο σενάριο επίλυσης

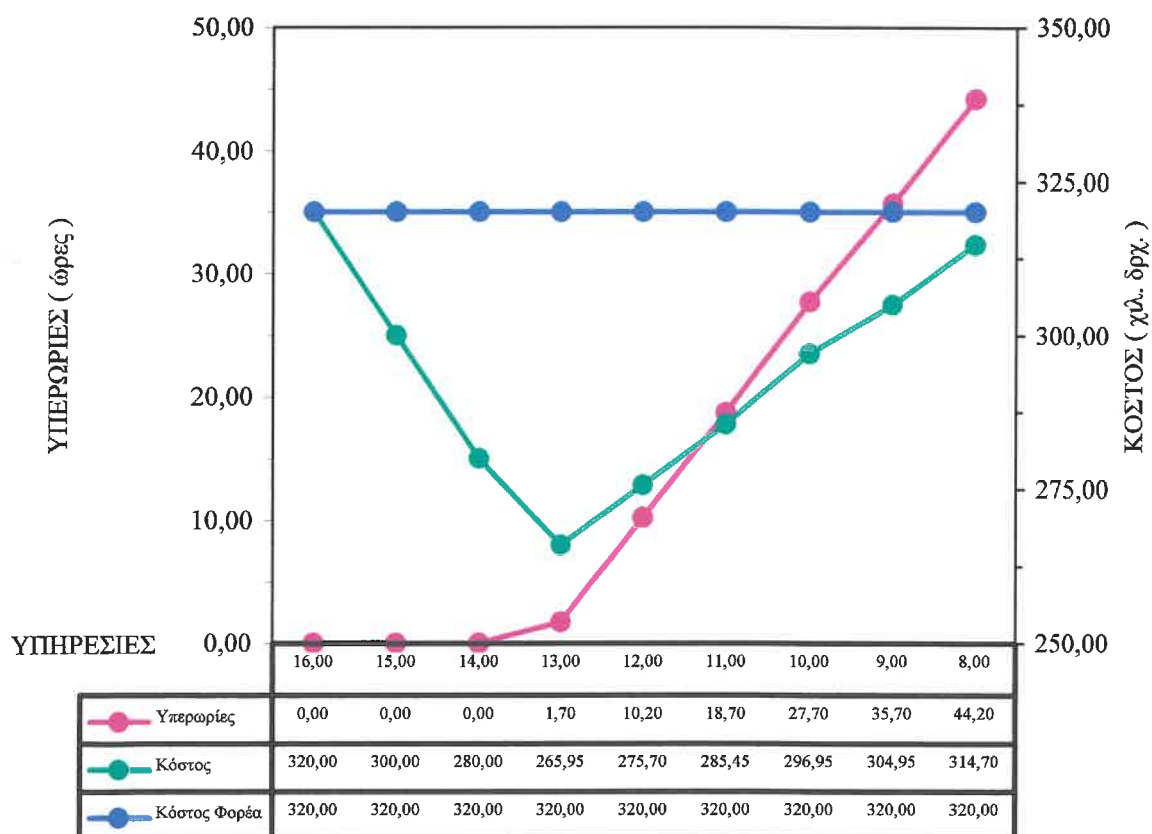
Στο δεύτερο σενάριο επίλυσης αυξήθηκαν τα όρια της διάρκειας των υπηρεσιών . Αυτό δίνει τη δυνατότητα να γίνει πιο έντονη η διακύμανση του εύρους των υπηρεσιών σε σχέση με το πρώτο σενάριο όπου τα όρια ήταν πιο στενά με αποτέλεσμα να παρατηρείται η μέγιστη τιμή του εύρους πολύ νωρίς.

Έτσι , το ανώτατο όριο της συνεχούς και της ασυνεχούς υπηρεσίας αυξήθηκε κατά $\frac{3}{4}$ της ώρας κι είναι 8,5 ώρες Ο υπολογισμός των μεγεθών γίνεται με τους ίδιους τύπους που χρησιμοποιούνται στην πρώτη διερεύνηση . Η συνοπτική παρουσίαση των τύπων και των νέων περιορισμών παρουσιάζεται στον Πίνακα 8.4:

α/α	A	B	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ
1	Συνολικός αριθμός ωρών εργασίας (ώρες)	347,00	
2	Αριθμός υπηρεσιών		
3	Ασυνεχείς υπηρεσίες		$B3 = B2 + B4$
4	Συνεχείς υπηρεσίες		
5	Αριθμός τμημάτων μιας συνεχούς υπηρεσίας	2,00	
6	Αριθμός τμημάτων μιας ασυνεχούς υπηρεσίας	3,00	
7	Κανονική διάρκεια μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
8	Κανονική διάρκεια μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
9	Εύρος μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$B9 \leq 8,5$
10	Εύρος μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$B10 \leq 8,5$
11	Αριθμός υπερωριών (ώρες)	minimum	$B1 - (B3 * B10) - (B4 * B9)$
12	Κόστος (χιλ. Δρχ.)		$B4 * 20000 + B11 * 2000 * 1,75$

Πίνακας 8.4 :Συνοπτική παρουσίαση των περιορισμών του δεύτερου σενάριου επίλυσης

8.4.4.1 Διακύμανση των υπερωριών και του κόστους με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών.



Σχήμα 8.3 : Διάγραμμα υπηρεσιών – κόστους με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών (δεύτερο σενάριο επίλυσης)

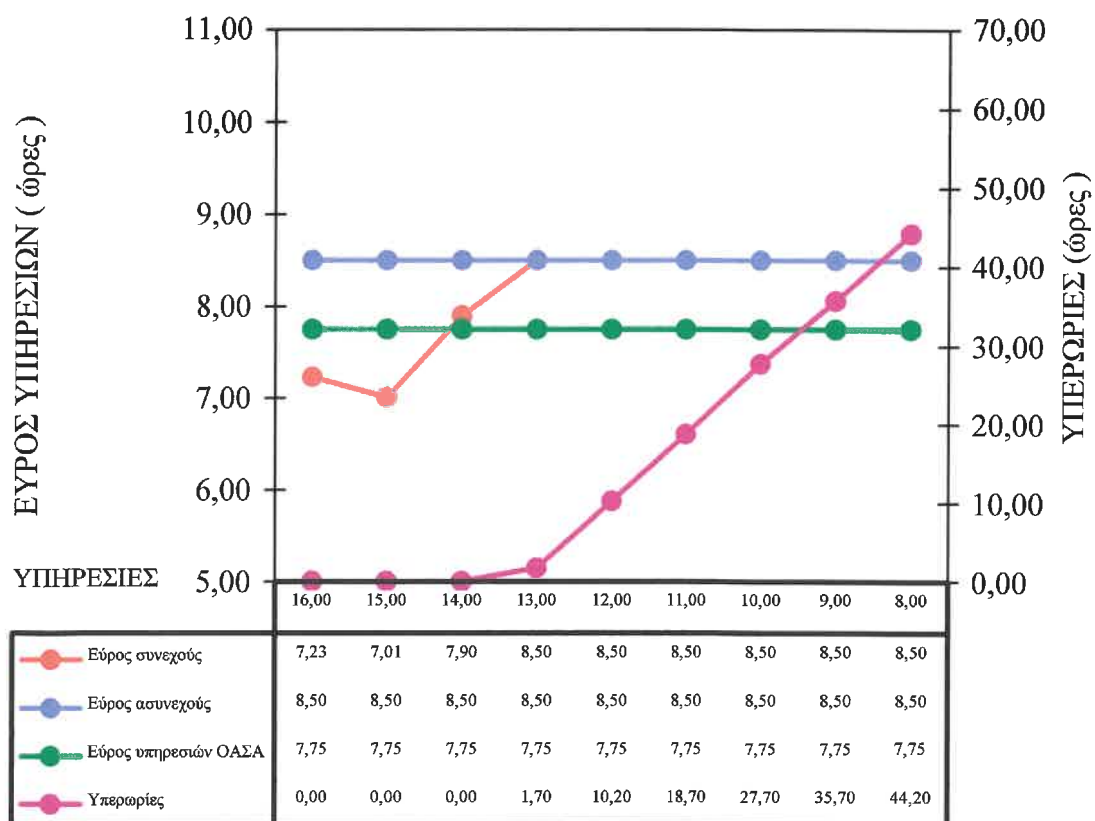
Στο Σχήμα 8.3 βλέπουμε τη μεταβολή του κόστους και των υπερωριών σε σχέση με τη μείωση των υπηρεσιών . Η βέλτιστη τιμή του κόστους είναι 265.950δρχ και παρουσιάζεται στις 13 υπηρεσίες με μόλις 1,70 ώρες υπερωρίας. Άυξηση δηλαδή του ορίου κατά $\frac{3}{4}$ της ώρας , έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της βέλτιστης τιμής του κόστους κατά 9,21 % σε σχέση με πριν ,με ταυτόχρονη μείωση των υπηρεσιών κατά μία.

Η τιμή του κόστους Φορέα είναι σταθερή και ίση με την προηγούμενη , δηλαδή 320.000 δρχ. , και είναι πάνω από την καμπύλη του κόστους που έχει

υπολογιστεί σύμφωνα με τη μέθοδο επίλυσης που εφαρμόζεται . Επίσης η βέλτιστη τιμή του κόστους είναι μικρότερη κατά 16,89% από την τιμή του κόστους Φορέα., ενώ η τιμή που πλησιάζει πιο πολύ τις 320.000 είναι 314.700 δρχ. , αντιστοιχεί σε 8 υπηρεσίες με 44,20 ώρες υπερωριών.

Παρατηρούμε , δηλαδή ότι η αύξηση της μέγιστης διάρκειας κατά 45 λεπτά έχει σαν αποτέλεσμα η καμπύλη του κόστους να είναι σε όλο το φάσμα του διαγράμματος πιο χαμηλότερα από αυτή του κόστους Φορέα εκτός από τις πρώτες τιμές που είναι ίσες διότι αντιστοιχεί σε μηδενικό αριθμό υπερωριών. Για το λόγο αυτό , όπως και πριν , ορισμένες τιμές του κόστους που είναι κοντά στη βέλτιστη τιμή και αντιστοιχούν σε μικρότερο αριθμό υπηρεσιών μπορούν να θεωρηθούν δεκτές και να χρησιμοποιηθούν στο πρόγραμμα των υπηρεσιών της συγκεκριμένης γραμμής , αν κριθεί αυτό αναγκαίο.

8.4.4.2 Διακύμανση των υπερωριών και του εύρους των υπηρεσιών με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών



Σχήμα 8.4 : Διάγραμμα υπερωριών – κόστους με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών (δεύτερο σενάριο επίλυσης)

Στο παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε τη διακύμανση του εύρους των υπηρεσιών (συνεχών κι ασυνεχών) σε σχέση με τη μεταβολή των υπηρεσιών . Όπως βλέπουμε ,το ανώτατο όριο του εύρους για τις συνεχείς υπηρεσίες παρατηρείται για πρώτη φορά στις 13 υπηρεσίες ενώ οι ασυνεχείς παίρνουν μόνο τη μέγιστη τιμή τους. Πρέπει να σημειωθεί ότι και τα δύο όρια που έχουν τεθεί και για τα δύο είδη των υπηρεσιών δεν είναι αυτά που ορίζει ο Οργανισμός, αλλά η απόκλιση που έχουν από αυτή είναι μικρή και μπορεί να εφαρμοστεί.

Επίσης , στον αριθμό των υπηρεσιών που το κόστος παίρνει τη βέλτιστη τιμή του οι υπηρεσίες έχουν μέγιστο εύρος .Όπως παρατηρούμε στο διάγραμμα η

διακύμανση του εύρους είναι κι εδώ μικρή με αποτέλεσμα καθώς μειώνεται ο αριθμός των υπηρεσιών το εύρος να αυξάνεται προκειμένου να καλύψει τις ώρες της χαμένης υπηρεσίας και παίρνει γρήγορα τη μέγιστη τιμή του.

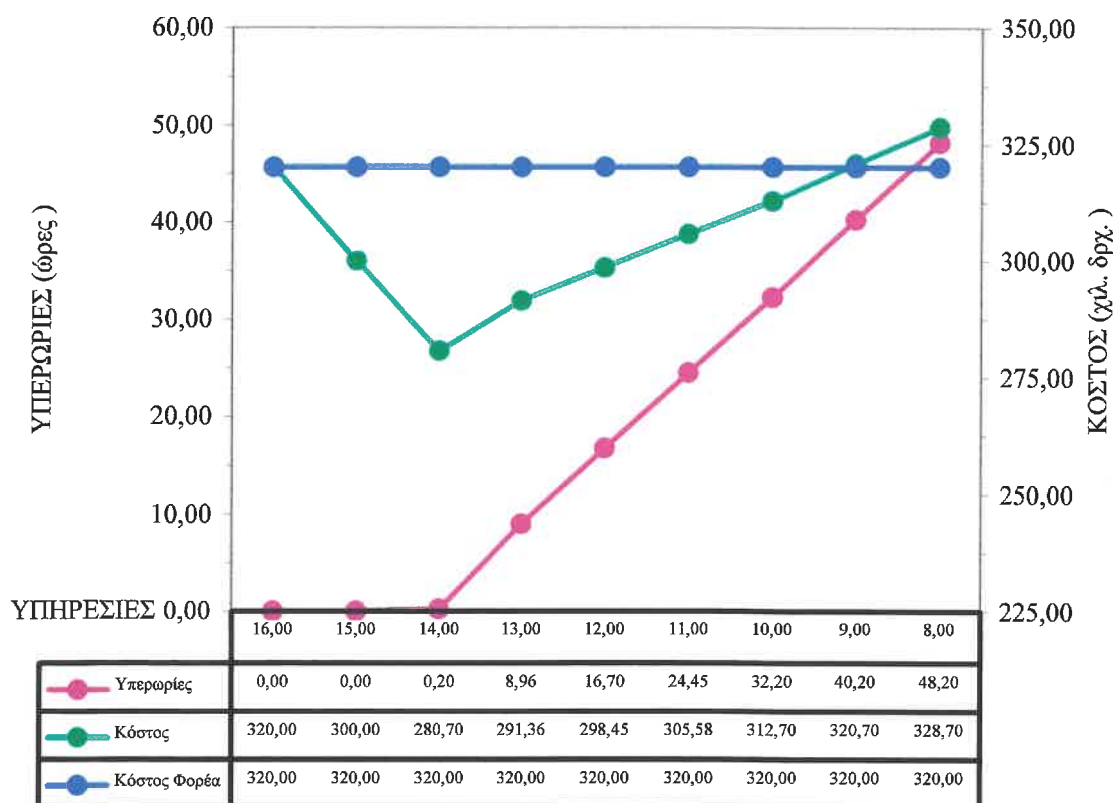
8.4.5 Τρίτο σενάριο επίλυσης

Στο τρίτο σενάριο επίλυσης αυξήθηκε κατά μισή ώρα ακόμα το ανώτατο όριο της ασυνεχούς υπηρεσίας σε αντίθεση με το αντίστοιχο όριο της συνεχούς υπηρεσίας που μειώθηκε κατά 45 λεπτά. Έτσι, τα νέα όρια είναι : 9 ώρες για τις ασυνεχείς και 7,75 (ίδιο με το πρώτο σενάριο) ώρες για τις ασυνεχείς υπηρεσίες. Η συνοπτική παρουσίαση των τύπων και των νέων περιορισμών παρουσιάζεται στον Πίνακα 8.5:

α/α	A	B	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ
1	Συνολικός αριθμός ωρών εργασίας (ώρες)	347,00	
2	Αριθμός υπηρεσιών		
3	Ασυνεχείς υπηρεσίες		$B3 = B2 + B4$
4	Συνεχείς υπηρεσίες		
5	Αριθμός τμημάτων μιας συνεχούς υπηρεσίας	2,00	
6	Αριθμός τμημάτων μιας ασυνεχούς υπηρεσίας	3,00	
7	Κανονική διάρκεια μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
8	Κανονική διάρκεια μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
9	Έυρος μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$B9 \leq 7,75$
10	Έυρος μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$B10 \leq 9$
11	Αριθμός υπερωριών (ώρες)	minimum	$B1 - (B3 * B10) - (B4 * B9)$
12	Κόστος (χιλ. Δρχ.)		$B4 * 20000 + B11 * 2000 * 1,75$

Πίνακας 8.5 :Συνοπτική παρουσίαση των περιορισμών του τρίτου
σενάριου επίλυσης

8.4.5.1 Διακύμανση των υπερωριών και του κόστους με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών.



Σχήμα 8.5 : Διάγραμμα υπερωριών – κόστους με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών (τρίτο σενάριο επίλυσης)

Στο Σχήμα 8.5 βλέπουμε τη μεταβολή του κόστους και των υπερωριών σε σχέση με τη μείωση των υπηρεσιών . Η βέλτιστη τιμή του κόστους είναι 280.700δρχ. και παρουσιάζεται στις 14 υπηρεσίες με μόλις 0,20 ώρες υπερωρίας .

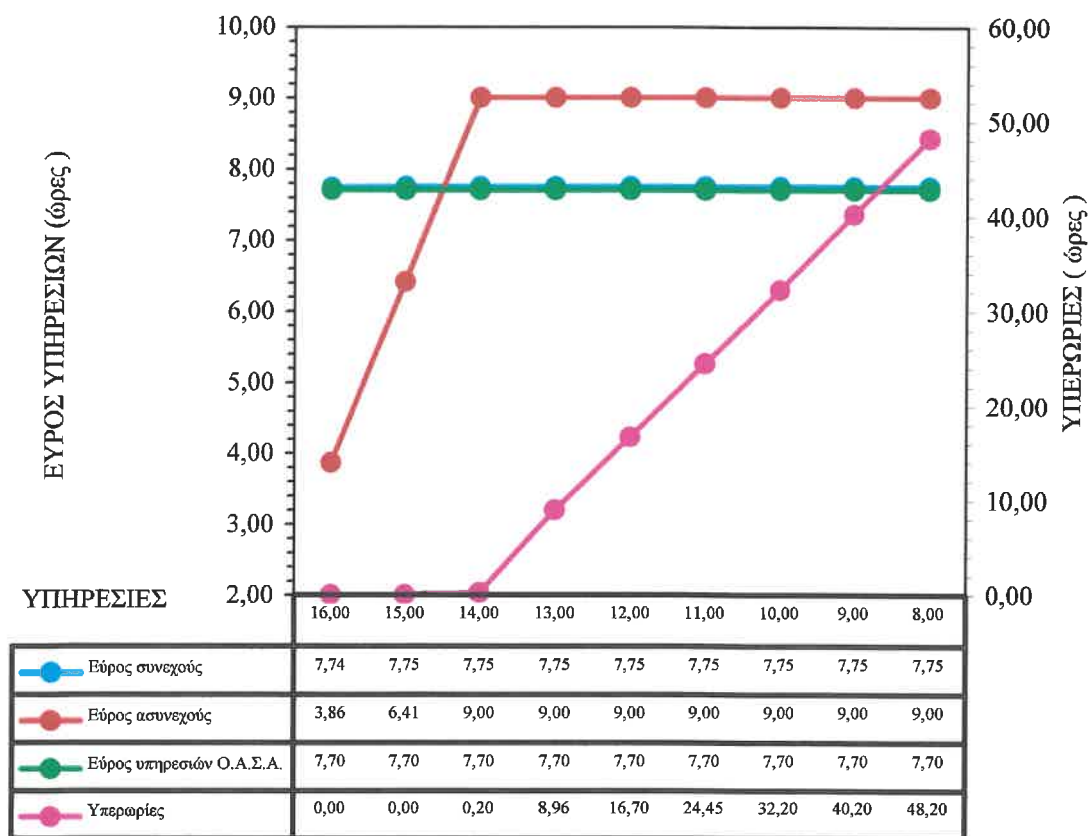
Η μεταβολή αυτή των ορίων , βλέπουμε ότι αποφέρει λιγότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα σε σχέση με αυτά που απέφερε το δεύτερο σενάριο. Πιο συγκεκριμένα η τιμή του κόστους παρουσιάζεται κατά 5,5 % αυξημένη σε σχέση με πριν , όμως ο αριθμός των υπερωριών είναι μικρότερος .

Η τιμή του κόστους Φορέα είναι σταθερή και ίση με την προηγούμενη , δηλαδή 320.000 δρχ. , και είναι πάνω από την καμπύλη του κόστους που έχει υπολογιστεί σύμφωνα με τη μέθοδο επίλυσης που εφαρμόζεται . Επίσης η βέλτιστη τιμή του κόστους είναι μικρότερη κατά 12,28% από την τιμή του κόστους Φορέα

Επίσης , οι δύο καμπύλες τέμνονται δύο φορές , στις 16 και στις 9 υπηρεσίες με αντίστοιχες τιμές υπερωριών 0 και 40,20 ώρες . Ακόμα μόνο στις 8 υπηρεσίες η τιμή του κόστους είναι μεγαλύτερη από την τιμή του κόστους Φορέα , και συγκεκριμένα κατά 8,97%.

Και σε αυτή την περίπτωση , ορισμένες τιμές του κόστους που είναι κοντά στη βέλτιστη και αντιστοιχούν σε μικρότερο αριθμό υπηρεσιών μπορούν να θεωρηθούν δεκτές και να χρησιμοποιηθούν στο πρόγραμμα των υπηρεσιών της συγκεκριμένης γραμμής , αν κριθεί αυτό αναγκαίο.

8.4.5.2 Διακύμανση των υπερωριών και του εύρους των υπηρεσιών με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών



Σχήμα 8.6 : Διάγραμμα εύρους υπηρεσιών κι υπερωριών με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών (τρίτο σενάριο επίλυσης)

Στο Σχήμα 8.6 βλέπουμε τη διακύμανση του εύρους των υπηρεσιών (συνεχών κι ασυνεχών) σε σχέση με τη μεταβολή των υπηρεσιών . Όπως βλέπουμε ,το ανώτατο όριο του εύρους για τις συνεχείς υπηρεσίες παρατηρείται σχεδόν από την πρώτη τιμή , δηλαδή από τις 16 υπηρεσίες ενώ οι ασυνεχείς έχουν μεγαλύτερο εύρος διακύμανσης και παίρνουν τη μέγιστη τιμή στις 14 υπηρεσίες. Πρέπει να σημειωθεί ότι το όριο που έχει τεθεί για τις συνεχείς υπηρεσίες είναι αυτό που προβλέπει το εργασιακό καθεστώς του Ο.Α.Σ.Α. σε αντίθεση με το αντίστοιχο όριο που έχει τεθεί για τις ασυνεχείς υπηρεσίες. Αυτό , όμως δε σημαίνει ότι δε μπορεί να εφαρμοστεί.

Επίσης , στον αριθμό των υπηρεσιών που το κόστος παίρνει τη βέλτιστη τιμή του οι υπηρεσίες έχουν μέγιστο εύρος .Όπως παρατηρούμε στο διάγραμμα η διακύμανση του εύρους είναι κι εδώ μικρή με αποτέλεσμα καθώς μειώνεται ο αριθμός των υπηρεσιών το εύρος να αυξάνεται προκειμένου να καλύψει τις ώρες της χαμένης υπηρεσίας και παίρνει γρήγορα τη μέγιστη τιμή του.

8.5 Συμπεράσματα

Από τη μελέτη των παραπάνω διαγραμμάτων που προέκυψαν από τα τρία σενάρια επίλυσης , μπορούμε να εξάγουμε ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα :

- Από τη μελέτη των καμπυλών του κόστους προέκυψε ότι και στα τρία σενάρια επίλυσης υπάρχουν ζεύγη τιμών των αριθμών των υπηρεσιών και υπερωριών που αποφέρουν κόστος μικρότερο από αυτό που δίνει η μέθοδος που χρησιμοποιεί ο Ο.Α.Σ.Α. κι είναι σταθερό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα , να μπορεί να χρησιμοποιηθεί μικρότερος αριθμός υπηρεσιών από τον υφιστάμενο με ταυτόχρονη μείωση του κόστους.
- Η μικρή αύξηση του εύρους των υπηρεσιών αποφέρει σημαντικές αλλαγές στο βέλτιστο κόστος. Συγκεκριμένα , η αύξηση του ανώτατου ορίου κατά 45 λεπτά στο δεύτερο σενάριο επίλυσης έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους κατά 9,21 % σε σχέση με το πρώτο σενάριο ενώ ο αντίστοιχος αριθμός των υπηρεσιών είναι μειωμένος κατά μία υπηρεσία.
- Ένα ακόμα σημαντικό στοιχείο παρατηρείται στο τρίτο σενάριο επίλυσης. Συγκεκριμένα , η αύξηση του εύρους των συνεχών με παράλληλη μείωση του εύρους των ασυνεχών υπηρεσιών φέρει λιγότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα σε σχέση με το δεύτερο σενάριο. Έτσι , η τιμή του βέλτιστου κόστους είναι αυξημένη κατά 5,5% και παρατηρείται επίσης σε περισσότερες υπηρεσίες. Το γεγονός αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η μεταβολή των ορίων των υπηρεσιών πρέπει να είναι ομοειδής.
- Οι τιμές των ορίων που τέθηκαν και στα τρία σενάρια επίλυσης δεν απέχουν πάρα πολύ από τα όρια που εφαρμόζει ο Ο.Α.Σ.Α. που είναι 7h45 . Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα όρια που χρησιμοποιούνται στο δεύτερο σενάριο , που

παρατηρείται κι η πιο μικρή τιμή του κόστους , να μπορούν να θεωρηθούν εφαρμόσιμα.

- Από τη μελέτη των προγραμμάτων των υπηρεσιών παρατηρείται ότι προτιμούνται οι συνεχείς υπηρεσίες. Για το λόγο αυτό , κατά την επίλυση τέθηκε ο περιορισμός ότι το ποσοστό του αριθμού των ασυνεχών υπηρεσιών πρέπει να είναι μέχρι και 15% του συνολικού αριθμού των υπηρεσιών.

8.6 Αναλυτική παρουσίαση των διαγραμμάτων των τριών σεναρίων επίλυσης

Οι πίνακες και τα σχήματα που παρουσιάζονται παρακάτω ανακεφαλαιώνουν τα όσα αναφέρονται στο κεφάλαιο αυτό και παρουσιάζουν συνοπτικά τα τρία σενάρια επίλυσης μαζί με τις τιμές που παίρνουν τα σχετικά μεγέθη σε κάθε μία από αυτές.

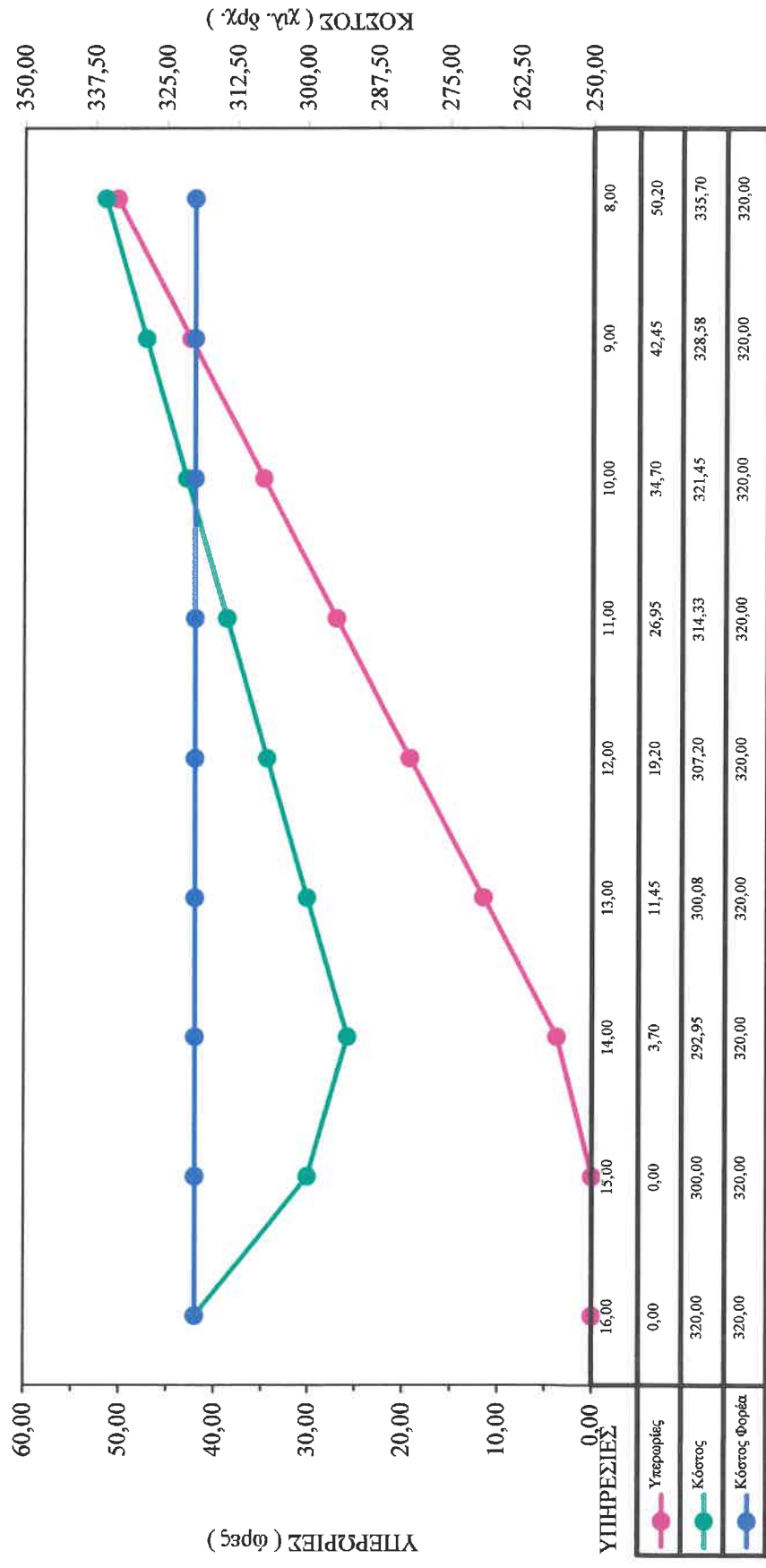
a/a	A	B	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ
1	Συνολικός αριθμός ωρών εργασίας	347,00	
2	Αριθμός υπηρεσιών		
3	Ασυνεχείς υπηρεσίες		$B3 = B2 + B4$
4	Συνεχείς υπηρεσίες		
5	Αριθμός τμημάτων μιας συνεχούς υπηρεσίας	2,00	
6	Αριθμός τμημάτων μιας ασυνεχούς υπηρεσίας	3,00	
7	Κανονική διάρκεια μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
8	Κανονική διάρκεια μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
9	Έυρος μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$B9 \leq 7,75$
10	Έυρος μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$B10 \leq 7,75$
11	Αριθμός υπερωριών	minimum	$B1 - (B3 * B10) - (B4 * B9)$
12	Κόστος (χιλ. Δρχ.)		$B4 * 15000 + B11 * 2000 * 1,75$

Πρώτο σενάριο επίλυσης
Πίνακας 8.6 : Αναλυτική παρουσίαση των δεδομένων
του πρώτου σεναρίου επίλυσης

Υπηρεσίες	Υπερωρίες (ώρες)	Ασυνεχείς υπηρεσίες	Συνεχείς υπηρεσίες	Εόρος συνεχούς (ώρες)	Εόρος ασυνεχούς (ώρες)	Εόρος υπηρεσίας Φορέα (ώρες)	Κόστος (χιλ. δρχ.)	Κόστος· Φορέα (χιλ. δρχ.)
16,00	0,00	3,00	13,00	7,75	3,82	7,70	320,00	320,00
15,00	0,00	3,00	12,00	7,75	6,40	7,70	300,00	320,00
14,00	3,70	3,00	11,00	7,75	7,75	7,70	292,95	320,00
13,00	11,45	2,00	11,00	7,75	7,75	7,70	300,08	320,00
12,00	19,20	2,00	10,00	7,75	7,75	7,70	307,20	320,00
11,00	26,95	2,00	9,00	7,75	7,75	7,70	314,33	320,00
10,00	34,70	2,00	8,00	7,75	7,75	7,70	321,45	320,00
9,00	42,45	2,00	7,00	7,75	7,75	7,70	328,58	320,00
8,00	50,20	1,00	7,00	7,75	7,75	7,70	335,70	320,00

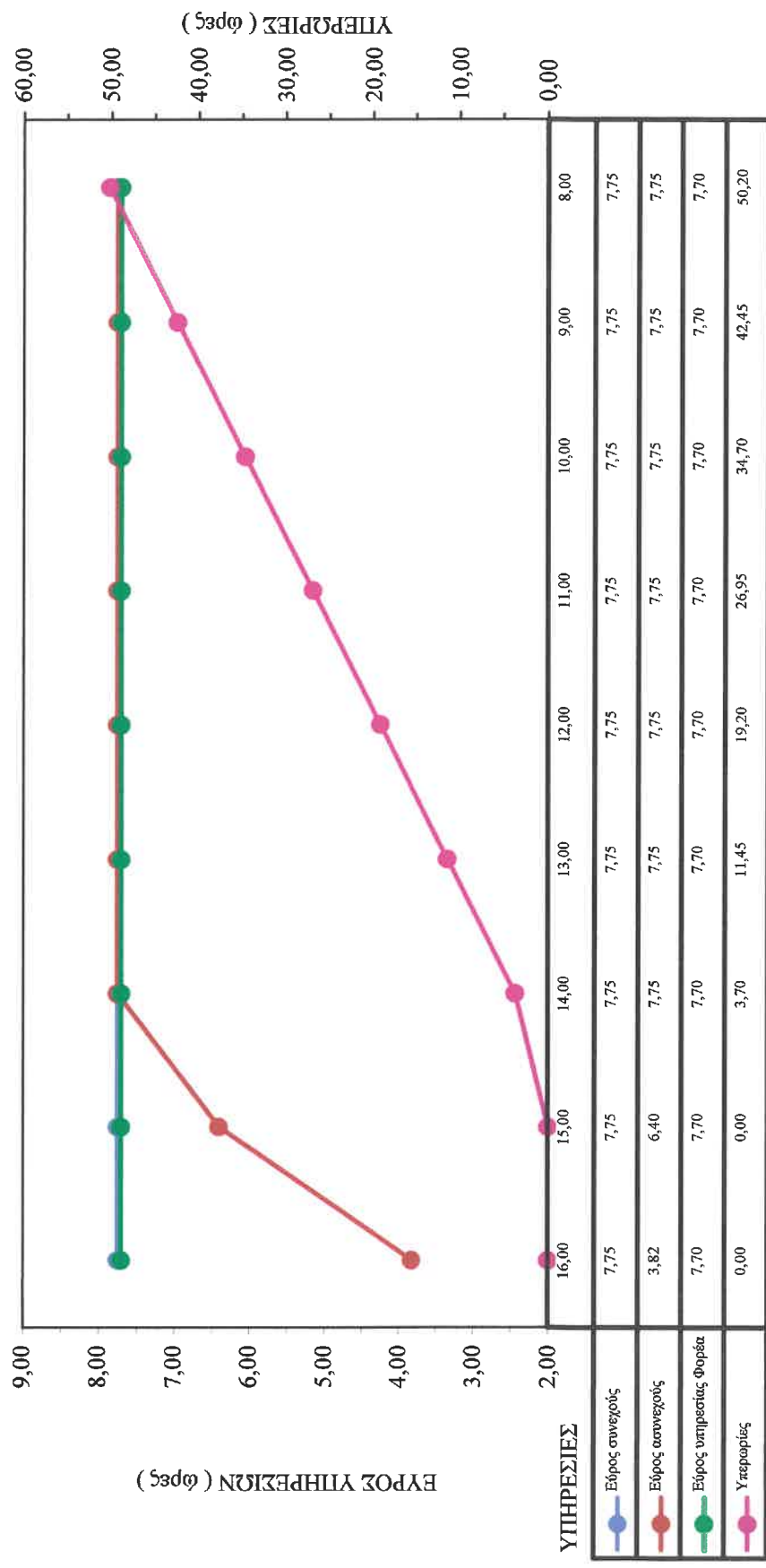
Πρώτο σενάριο επίλυσης

Πίνακας 8.7 : Συγκεντρωτικός πίνακας των τιμών των παραμέτρων του δεύτερου σενάριου επίλυσης



Πρώτο σενάριο επίλυσης

Σχήμα 8.7 : Διάγραμμα υπηρεσιών - κόστους με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών
Σημείωση: Κόστος Φορέα (= Το κόστος που υπολογίζεται με βάση στοιχεία του Ο.Α.Σ.Α.)



Πρώτο σενάριο επίλυσης

Σχήμα 8.8 : Διάγραμμα εύρους υπηρεσιών κι υπερωρίων με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών
Σημείωση : Εύρος υπηρεσίας Φορέα (= το εύρος της υπηρεσίας με βάση στοιχεία του Ο.Α.Σ.Α.)

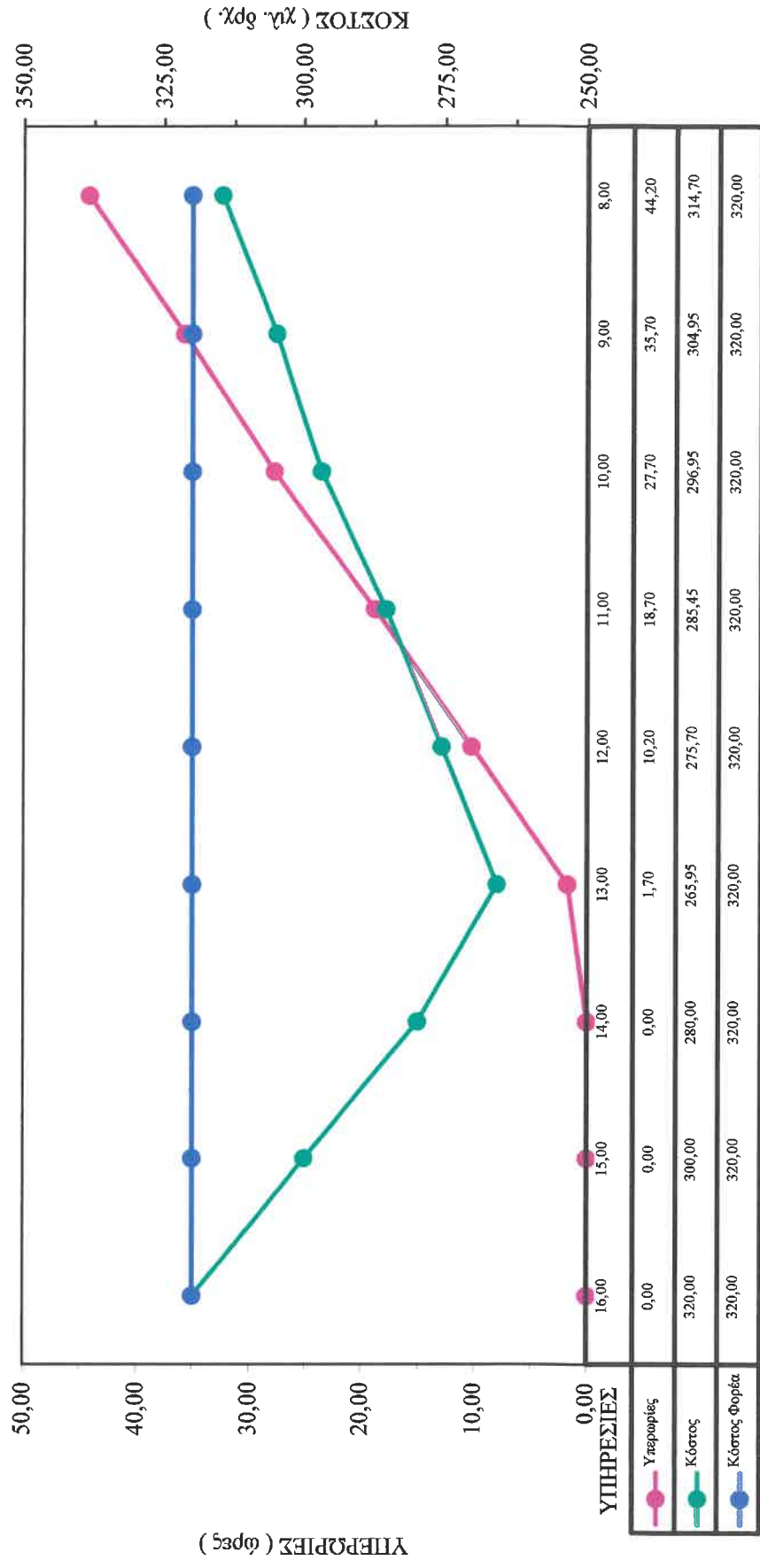
α/α	A	B	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ
1	Συνολικός αριθμός ωρών εργασίας	347,00	
2	Αριθμός υπηρεσιών		
3	Ασυνεχείς υπηρεσίες		$B3 = B2 + B4$
4	Συνεχείς υπηρεσίες		
5	Αριθμός τμημάτων μιας συνεχούς υπηρεσίας	2,00	
6	Αριθμός τμημάτων μιας ασυνεχούς υπηρεσίας	3,00	
7	Κανονική διάρκεια μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
8	Κανονική διάρκεια μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
9	Έυρος μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$B9 \leq 8,5$
10	Έυρος μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$B10 \leq 8,5$
11	Αριθμός υπερωριών	minimum	$B1 - (B3 * B10) - (B4 * B9)$
12	Κόστος (χιλ. Δρχ.)		$B4 * 20000 + B11 * 2000 * 1,75$

Δεύτερο σενάριο επίλυσης

Πίνακας 8.8 : Αναλυτική παρουσίαση των δεδομένων του δεύτερου σενάρου επίλυσης

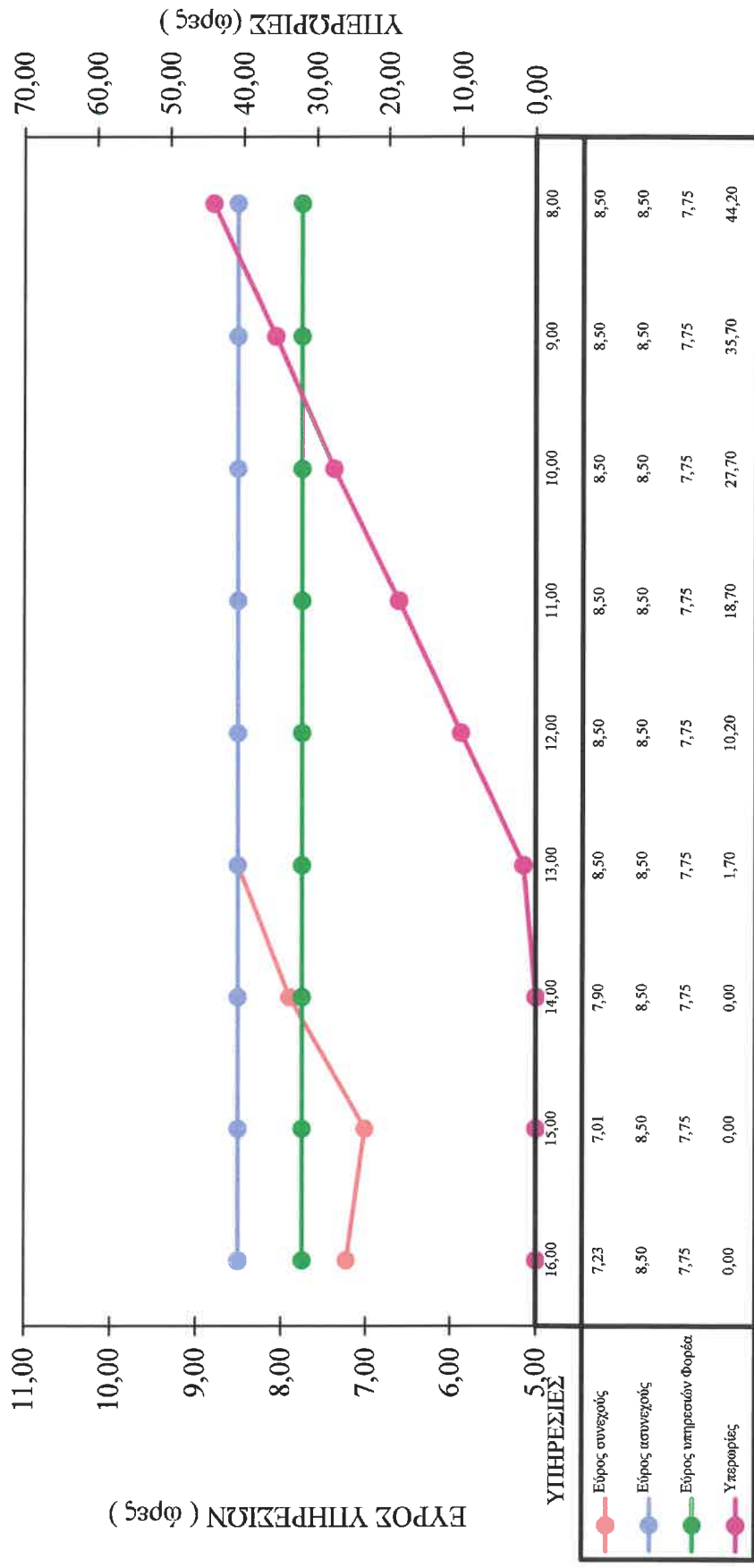
Υπηρεσίες	Υπερφορίες (ώρες)	Ασυνεχείς υπηρεσίες	Συνεχείς υπηρεσίες	Εύρος συνεχούς (ώρες)	Εύρος ασυνεχούς (ώρες)	Εύρος υπηρεσιών Φορέα (ώρες)	Κόστος (χιλ. δρχ.)	Κόστος Φορέα (χιλ. δρχ.)
16,00	0,00	3,00	12,00	7,23	8,50	7,75	320,00	320,00
15,00	0,00	3,00	12,00	7,01	8,50	7,75	300,00	320,00
14,00	0,00	2,00	12,00	7,90	8,50	7,75	280,00	320,00
13,00	1,70	2,00	11,00	8,50	8,50	7,75	265,95	320,00
12,00	10,20	2,00	10,00	8,50	8,50	7,75	275,70	320,00
11,00	18,70	2,00	11,00	8,50	8,50	7,75	285,45	320,00
10,00	27,70	2,00	10,00	8,50	8,50	7,75	296,95	320,00
9,00	35,70	1,00	8,00	8,50	8,50	7,75	304,95	320,00
8,00	44,20	1,00	7,00	8,50	8,50	7,75	314,70	320,00

Δεύτερο σενάριο επίλυσης
Πίνακας 8.9 : Συγκεντρωτικός πίνακας των τιμών των παραμέτρων του δεύτερου σενάριου επίλυσης



Δεύτερο σενάριο επίλυσης

Σχήμα 8.9 : Διάγραμμα υπερωριών - κόστους με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών
 Σημείωση : Κόστος φορέα (= το κόστος που υπολογίζεται με βάση στοιχεία του Ο.Α.Σ.Α.)



Δεύτερο σενάριο επίλυσης

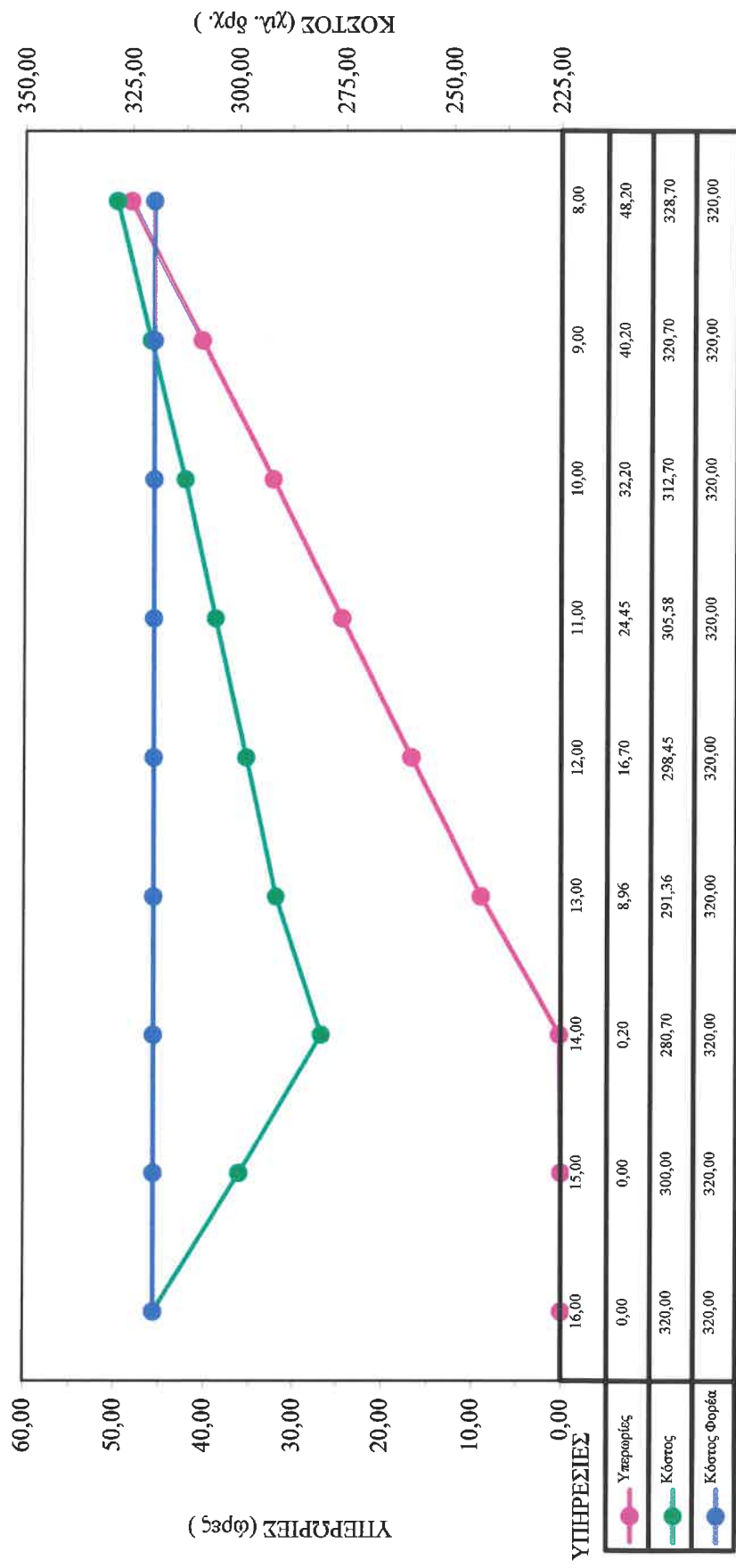
Σχήμα 8.10 : Διάγραμμα εύρους υπηρεσιῶν - υπερφοριῶν με βάση τη μεταβολή του αριθμοῦ των υπηρεσιῶν
 Σημείωση : Εύρος υπηρεσιῶν Φορέα(= το εύρος με βάση στοιχεία του Ο.Α.Σ.Α.)

α/α	A	B	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ
1	Συνολικός αριθμός ωρών εργασίας	347,00	
2	Αριθμός υπηρεσιών		
3	Ασυνεχείς υπηρεσίες		$B3 = B2 + B4$
4	Συνεχείς υπηρεσίες		
5	Αριθμός τμημάτων μιας συνεχούς υπηρεσίας	2,00	
6	Αριθμός τμημάτων μιας ασυνεχούς υπηρεσίας	3,00	
7	Κανονική διάρκεια μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
8	Κανονική διάρκεια μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)	8,00	
9	Έυρος μιας συνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$B9 \leq 7,75$
10	Έυρος μιας ασυνεχούς υπηρεσίας (ώρες)		$B10 \leq 9$
11	Αριθμός υπερωριών	minimum	$B1 - (B3 * B10) - (B4 * B9)$
12	Κόστος (χιλ. Δρχ.)		$B4 * 20000 + B11 * 2000 * 1,75$

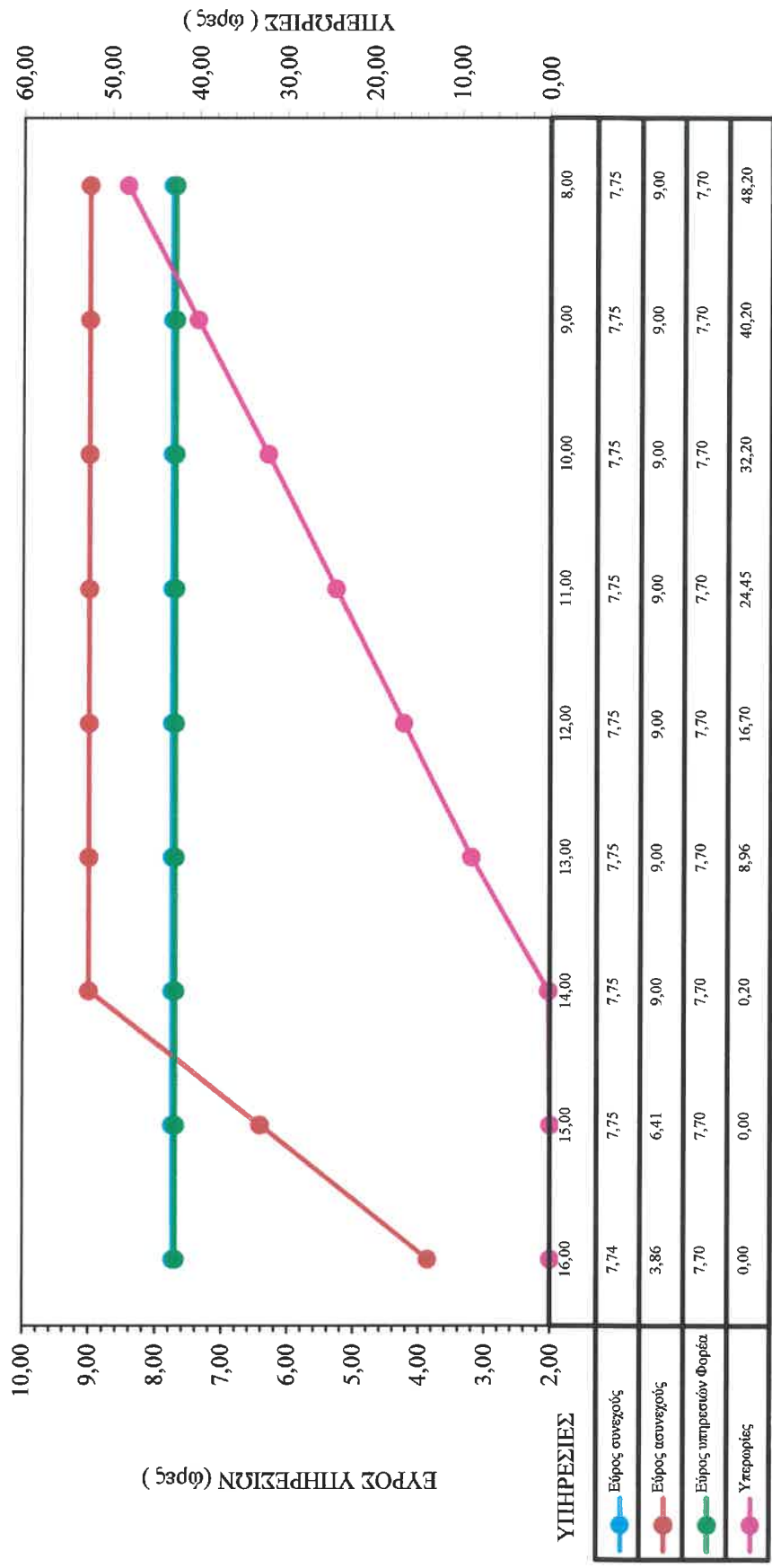
Τρίτο σενάριο επίλυσης
Πίνακας 8.10 Αναλυτική παρουσίαση των δεδομένων
του τρίτου σεναρίου επίλυσης

Υπηρεσίες	Υπερφορίες (ώρες)	Ασυνεχείς Υπηρεσίες	Συνεχείς Υπηρεσίες	Εύρος συνεχούς (ώρες)	Εύρος ασυνεχούς (ώρες)	Εύρος υπηρεσίας Φορέα (ώρες)	Κόστος (χιλ. δρχ.)	Κόστος Φορέα (χιλ. δρχ.)
16,00	0,00	3,00	13,00	7,74	3,86	7,70	320,00	320,00
15,00	0,00	3,00	12,00	7,75	6,41	7,70	300,00	320,00
14,00	0,20	3,00	11,00	7,75	9,00	7,70	280,70	320,00
13,00	8,96	2,00	11,00	7,75	9,00	7,70	291,36	320,00
12,00	16,70	2,00	10,00	7,75	9,00	7,70	298,45	320,00
11,00	24,45	2,00	9,00	7,75	9,00	7,70	305,58	320,00
10,00	32,20	2,00	8,00	7,75	9,00	7,70	312,70	320,00
9,00	40,20	2,00	7,00	7,75	9,00	7,70	320,70	320,00
8,00	48,20	2,00	7,00	7,75	9,00	7,70	328,70	320,00

Τρίτο σενάριο επίλυσης
Πίνακας 8.11 : Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών των παραμέτρων του τρίτου σενάριου επίλυσης



Τρίτο σενάριο επίλυσης
 Σχήμα 8.11 : Διάγραμμα υπηρεσιών - κόστους με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών
 Σημείωση : Κόστος Φορέα (= το κόστος των υπηρεσιών με βάση στοιχεία του Ο.Α.Σ.Α.)



Σχήμα 8.12 : Διάγραμμα εύρους υπηρεσιών κι υπερφοριών με βάση τη μεταβολή του αριθμού των υπηρεσιών

Τρίτο σενάριο επίλυσης

Σημείωση : Εύρος υπηρεσίας Φορέα (= Το εύρος υπολογισμένο με στοιχεία του Ο.Α.Σ.Α.)

Α' ΒΑΡΔΙΑ Α/Α	Β' ΒΑΡΔΙΑ Α/Α	ΛΕΩΦΟΡΕΙΟ ΚΩΔ.	ΛΕΩΦΟΡΕΙΟ	ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	ΔΙΑΚΕΚΟΜΕΝΗ ΒΑΡΔΙΑ	ΛΗΞΗ	Β' ΒΑΡΔΙΑ Α/Α	ΚΩΔ.	ΛΕΩΦΟΡΕΙΟ	ΩΡΑ ΕΝΑΡΞΗΣ	ΔΙΑΚΕΚΟΜΕΝΗ ΒΑΡΔΙΑ	ΛΗΞΗ
1	28	1		ΑΜ 04:30 Τ 05:10		ΑΦ12:00	11	76	1	ΑΦ 11:50		23:10 ΑΜ
2	24	2		ΑΜ 04:35 Τ 05:00		ΑΦ12:25	12	72	2	ΑΦ 12:15		20:15 ΑΜ
3	40	3		ΑΜ 04:50 Τ 05:30		ΑΦ12:30	13	88	3	ΑΦ 12:20		20:20 ΑΜ
4	22	4		ΑΜ 04:55 Τ 05:37		ΑΦ12:10	14	70	4	ΑΦ 12:00		19:00 ΑΜ
5	27	5		ΑΜ 04:55 Τ 05:20		ΑΦ12:55	15	75	5	ΑΦ 12:45		20:45 ΑΜ
6	25	6		ΑΜ 05:50 Τ 06:30	09:30 ΑΜ ΑΜ 12:30 - ΑΦ 13:00	ΑΦ16:50	16	73	6	ΑΦ 16:40		00:10 ΑΜ
7	18	7		ΑΜ 06:40 Τ 07:27		ΑΦ14:40	17	66	7	ΑΦ 14:30		22:30 ΑΜ
8	26	8		ΑΜ 07:10 Τ 08:00		ΑΦ15:10	18	74	8	ΑΦ 15:10		23:10 ΑΜ
9	17	9		ΑΜ 07:15 Τ 08:26		ΑΦ15:15	19	65	9	ΑΦ 15:10		22:50 ΑΜ
10	1	10		ΑΜ 07:25 Τ 08:18		ΑΦ15:25	20	49	10	ΑΦ 15:20		23:20 ΑΜ

Πίνακας 8.7
Πρόγραμμα Δρομολόγησης Οδηγών - Γραμμή Α5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΤΟ ΕΡΓΑΣΙΑΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΣΤΟΝ Ο.Α.Σ.Α.

9.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αποσπάσματα από το Γενικό Κανονισμό του προσωπικού που ισχύει σήμερα στον Ο.Α.Σ.Α.[13]. Ο Κανονισμός αυτός ρυθμίζει τις σχέσεις , τους όρους απασχόλησης και την υπηρεσιακή κατάσταση του προσωπικού όχι μόνο στον Ο.Α.Σ.Α. αλλά και στην Ε.Θ.Ε.Λ. καθώς επίσης και στα Ηλεκτροκίνητα Λεωφορεία Περιοχής Αθηνών – Πειραιώς (Η.Λ.Π.Α.Π.) .

Στις διατάξεις του Κανονισμού υπάγεται το δόκιμο και μόνιμο προσωπικό που συνδέεται με την εταιρία με σχέση εξαρτημένης εργασίας. Επίσης το προσωπικό διακρίνεται σε μόνιμο και δόκιμο . Μόνιμο , είναι το προσωπικό που κατέχει τις οργανικές θέσεις , καλύπτει μόνιμες και πάγιες ανάγκες και συνδέεται με σύμβαση εργασίας αορίστου χρόνου. Δόκιμο είναι το προσωπικό που προσλαμβάνεται για να καλύψει , μετά από δοκιμασία , μόνιμες και πάγιες ανάγκες , συνδέεται δε με την εταιρία με σύμβαση ορισμένου χρόνου.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται αναλυτικά το ισχύον καθεστώς σχετικά με το αντικείμενο που ασχολείται αυτή η εργασία.

9.2 Αξιολόγηση του προσωπικού

Η αξιολόγηση του προσωπικού γίνεται με σύστημα αξιολόγησης , που καθορίζεται με απόφαση του Δ.Σ της εταιρίας , καθώς επίσης και με βάση στοιχεία του προσωπικού μητρώου του κάθε υπαλλήλου από τα οποία μεγαλύτερη έμφαση δίνεται στα εξής [13] :

- Στην άρτια επαγγελματική κατάρτιση
- Στη δραστηριότητα στην υπηρεσία , στην ικανότητα και την ανάπτυξη πρωτοβουλιών κι ευθυνών.
- Στην ευχέρεια προγραμματισμού και συντονισμού.
- Στη επιτυχή άσκηση των καθηκόντων προϋσταμένου διοικητικής ενότητας οποιουδήποτε επιπέδου , στη συμβολή για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της ικανότητας παρακίνησης των υφιστάμενων για αυξημένη απόδοση στην υπηρεσία.

- Στη διαρκή παρακολούθηση εκπαιδευτικών ή επιμορφωτικών προγραμμάτων , καθώς επίσης και σε εργασίες ή μελέτες οι οποίες αφορούν βελτιώσεις ή καινοτομίες για την αύξηση της αποδοτικότητας , τη βελτίωση των συνθηκών εργασίας και την εξυπηρέτηση του επιβατικού κοινού.
- Τέλος , αρνητικά στοιχεία κρίσης αποτελούν τα στοιχεία του πειθαρχικού φακέλλου , όπως και αυτά που αποτελούν απροθυμία ή αδιαφορία στην εκτέλεση των καθηκόντων και ιδιαίτερα οι συνεχείς αναρρωτικές άδειες και οι αδικαιολόγητες απουσίες.

9.3 Αποδοχές

Όσον αφορά τις αποδοχές , ισχύουν τα ακόλουθα :

- Καθορίζονται σύμφωνα με τις Συλλογικές Συμβάσεις Εργασίας που ισχύουν κάθε φορά.
- Υπερωριακή αποζημίωση δε δικαιούνται οι προϊστάμενοι των Οργανωτικών Μονάδων και οι οδηγοί . Οι πρώτοι δεν υπόκεινται στους περιορισμούς περί ωρών εργασίας . Παρόλα αυτά σε όλως έκτακτες περιπτώσεις και με απόφαση του Διευθύνοντος Συμβούλου μπορεί να δοθεί αποζημίωση ως πριμ.
- Οι εργαζόμενοι που δεν ασκούν τα καθήκοντα της κατηγορίας ή της θέσης που έχουν ενταχθεί , δε λαμβάνουν όσα επιδόματα συνδέονται με την ενεργό άσκηση των καθηκόντων αυτών
- Μισθοί , γενικά και ειδικά επιδόματα , δώρα Χριστουγέννων και Πάσχα , επιδόματα άδειας και αποζημιώσεις κάθε φύσης , καταβαλλόμενα τυχόν εκ παραδρομής , θεωρούνται ως προκαταβολή και κρατούνται σε δόσεις άτοκα από τις αποδοχές επόμενων μηνών εντός εύλογου χρόνου. Η κάθε δόση δεν υπερβαίνει το 1/10 των μηνιαίων αποδοχών του μισθωτού. Σε περίπτωση λύσης της σχέσης εργασίας κρατείται ολόκληρο το ποσό από τη σχετική αποζημίωση.
- Η καταβολή των τυχόν οφειλόμενων αποδοχών , σε εκείνους που για οποιονδήποτε λόγο αποχωρούν πραγματοποιείται μετά την πλήρη εκκαθάριση και μετά από την υπογραφή δήλωσης εξόφλησης κάθε απαίτησης κατά του εργοδότη.

9.4 Εκπαίδευση

- Για την εξασφάλιση της συνεχούς αξιοποίησης κι ενημέρωσης του προσωπικού , ώστε αυτό να μπορεί να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της τεχνολογίας και της εκμετάλλευσης , η Εταιρία μπορεί να οργανώσει προγράμματα επαγγελματικής κατάρτισης , επιμόρφωσης κι εκπαίδευσης , τα οποία στοχεύουν στο να καταστήσουν το προσωπικό ικανό να προσφέρει τις υπηρεσίες του στο μεγαλύτερο δυνατό φάσμα των λειτουργιών και των δραστηριοτήτων της Εταιρείας.
- Οι πιο πάνω προγραμματιζόμενες εκπαιδεύσεις είναι υποχρεωτικές για το προσωπικό . Ο τρόπος διαπίστωσης της απόδοσης του εκπαιδευόμενου προσωπικού γίνεται από τα αρμόδια όργανα της εταιρείας. Η επίδοση του προσωπικού στις εκπαιδεύσεις αυτές λαμβάνεται υπόψη στην εξέλιξή του.
- Για την κάλυψη των εκπαιδευτικών αναγκών της :
 - i. Οργανώνει προγράμματα εσωτερικής εκπαίδευσης ή επιμόρφωσης αυτοδύναμα ή σε συνεργασία με εκπαιδευτικούς οργανισμούς , ιδρύματα , προμηθευτές κλπ.
 - ii. Στέλνει προσωπικό για εκπαίδευση , μετεκπαίδευση , επιμόρφωση ή ενημέρωση στο εσωτερικό ή εξωτερικό.
 - iii. Στα πλαίσια της προβλεπόμενης ενδοεπιχειρησιακής σχολής οργανώνει κι εφαρμόζει ολοκληρωμένα προγράμματα εκπαίδευσης μέσα από τα οποία το προσωπικό μπορεί να αποκτήσει νέα ουσιαστικά προσόντα όπως αυτά προβλέπονται από τον Υπηρεσιακό Οργανισμό.
 - iv. Να ιδρύσει σχολή επαγγελματικής κατάρτισης ή εκπαίδευσης.
- Στον εργαζόμενο που έχει τουλάχιστον πέντε χρόνια υπηρεσία είναι δυνατή η χορήγηση εκπαιδευτικής άδειας με αποδοχές μέχρι δύο χρόνια για ειδικότερες σπουδές ,στο εσωτερικό ή εξωτερικό της χώρας, που έχουν σχέση με την ειδικότητά του και τις ανάγκες της εταιρείας. Η παραπάνω εκπαιδευτική άδεια χορηγείται ύστερα από αίτηση του ενδιαφερόμενου μετά από εισήγηση της αρμόδιας υπηρεσίας και απόφαση του Δ.Σ.

Σε περίπτωση μετάβασης στο εξωτερικό ο εργαζόμενος πρέπει να είναι γνώστης αποδεδειγμένα της γλώσσας της χώρας που θα εκπαιδευτεί.

Οι εργαζόμενοι στους οποίους χορηγείται εκπαιδευτική άδεια παίρνουν πλήρεις αποδοχές. Όσοι τελούν σε εκπαιδευτική άδεια έχουν υποχρέωση να κρατούν ανά εξάμηνο ενήμερη την Ετερία για την πορεία της εκπαίδευσής τους και στη λήξη αυτής να υποβάλουν τους τίτλους σπουδών.

Σε περίπτωση που δεν αποκτήθηκε τίτλος σπουδών , ο εργαζόμενος υποχρεούται να καταβάλει στο ακέραιο τις αποδοχές που έλαβε κατά τη διάρκεια της εκπαιδευτικής άδειας , καθώς και τα επιπλέον έξοδα που κατέβαλε η εταιρία. Ο εργαζόμενος που έλαβε εκπαιδευτική άδεια κι απέκτησε τίτλους σπουδών δεν έχει δικαίωμα να αποχωρήσει , παραιτούμενος , πριν την παρέλευση διπλάσιου της χορηγηθείσας εκπαιδευτικής άδειας χρόνου. Στην αντίθετη περίπτωση , που θα αποχωρήσει κατά παράβαση αυτής της διάταξης , υποχρεούται να επιστρέψει τις αποδοχές , τα έξοδα μετακίνησης και τα έξοδα σπουδών που η Εταιρία κατέβαλε.

Η εκπαιδευτική άδεια ανακαλείται μόνο με απόφαση του Διοικητικού Συμβουλίου. Ο χρόνος της εκπαιδευτικής άδειας είναι χρόνος πραγματικής υπηρεσίας για κάθε συνέπεια.

9.5 Γενικές υποχρεώσεις προσωπικού

- Το προσωπικό οφείλει να γνωρίζει και να τηρεί αυτό τον Κανονισμό και τις εκάστοτε αποφάσεις , εγκυκλίους , ανακοινώσεις και οδηγίες των αρμόδιων οργάνων της εταιρίας. Για κάθε αμφιβολία επί του περιεχομένου του Κανονισμού , των αποφάσεων , εγκυκλίων και οδηγιών πρέπει να ζητά τη γνώμη των Προϊσταμένων του.
- Το προσωπικό έχει την υποχρέωση να επιδεικνύει τη μεγαλύτερη δυνατή επιμέλεια και να αφιερώνει ανεπιφύλακτα τις γνώσεις και την εμπειρία του , όπως και τη δραστηριότητα και τη ενεργητικότητά του στην εκτέλεση της εργασίας του.
- Έχει υποχρέωση να εξυπηρετεί ευσυνείδητα και μέσα στα όρια των κειμένων νόμων και κανονισμών τα συμφέροντα της εταιρίας , συμβάλλοντας έτσι με όλες τις δυνάμεις του στην αρτιότερη λειτουργία της.
- Έχει υποχρέωση να προσέρχεται ανελλιπώς και να εργάζεται κανονικά καθ' όλο το καθοριζόμενο κάθε φορά ωράριο και να ασχολείται αποκλειστικά με την εκτέλεση των καθηκόντων , τα οποία συνεπάγεται η θέση που κατέχει
- Το προσωπικό , αδυνατώντας λόγω ασθένειας ή άλλου ανυπέρβλητου κωλύματος , να προσέλθει στην εργασία του οφείλει να το γνωστοποιεί αμέσως και με οποιοδήποτε τρόπο στον Προϊστάμενό του.
- Το προσωπικό είναι υποχρεωμένο να εκτελεί τις προφορικές και γραπτές εντολές των προϊσταμένων του. Σε περίπτωση που οι οδηγίες που του δίνονται είναι ,

κατά την άποψή του , αντίθετες με άλλες , έχει δικαίωμα να επιστήσσει την προσοχή του Προϊσταμένου , αλλά όταν αυτός επιμένει είναι υποχρεωμένος να τις εκτελέσει , αφού ζητήσει και λάβει έγγραφη εντολή και στη συνέχεια δύναται να αναφερθεί έγγραφα στην ιεραρχία.

Σε περίπτωση που ο μισθωτός κρίνει ότι κινδυνεύει η σωματική ακεραιότητα του ίδιου ή άλλων συναδέλφων ή ακόμα και του επιβατικού κοινού μπορεί να ζητήσει έγγραφη εντολή , διαφορετικά δικαιούται να μην εκτελέσει την εντολή.

- Το προσωπικό είναι υποχρεωμένο να τηρεί αυστηρά όλα τα καθορισμένα μέτρα ατομικής και συλλογικής προστασίας και ασφάλειας.
- Εξαιτίας του αντικειμένου των εργασιών ορισμένων λειτουργιών , οι απασχολούμενοι σε αυτές μισθωτοί είναι υποχρεωμένοι , όταν αυτό είναι αναγκαίο , να υπόκεινται σε έλεγχο. Κατά τον έλεγχο , ο οποίος πρέπει να είναι ομαδικός , μπορεί να είναι παρών εκπρόσωπος της συνδυκαλιστικής οργάνωσης και πάντα θα διενεργείται από αρμόδια όργανα και θα γίνεται με τρόπο που δε θα θίγει την αξιοπρέπεια και την προσωπικότητα των εργαζομένων.
- Το προσωπικό οφείλει να συμπεριφέρεται προς τους ανωτέρους του, προς τους συναδέλφους και τους υφιστάμενούς του με λεπτότητα κι ευγένεια , καθώς και με πνεύμα συναδελφικής συνεργασίας για την εξυπηρέτηση και προαγωγή των συμφερόντων της Εταιρίας , τα οποία πρέπει να αποτελούν το γνώμονα κάθε προσπάθειας κι ενέργειάς του. Την ίδια συμπεριφορά επίσης πρέπει να έχει και προς το επιβατικό κοινό και σε κάθε τρίτο που , για λόγους υπηρεσιακούς , έρχεται σε επαφή.
- Προσωπικό που βρίσκεται σε ανάγκη να λάβει , με προσωπική του ευθύνη , μέτρα που αντίκεινται στις υπηρεσιακές διατάξεις , οφείλει να ειδοποιεί αμέσως τον Προϊστάμενό του , δικαιολογώντας την ενέργειά του αυτή. Η λήψη των μέτρων αυτών δικαιολογείται μόνο από την αδυναμία της άμεσης επικοινωνίας του με οποιονδήποτε Προϊστάμενο , άμεσο ή έμμεσο.
- Το προσωπικό υποχρεούται να αναφέρεται πάντοτε ιεραρχικά δια του άμεσου Προϊστάμενού του . Αιτήσεις , ενστάσεις , παράπονα ή αναφορές για οποιοδήποτε θέμα υποβάλλονται ιεραρχικά. Μόνο σε περίπτωση εξαιρετικά επείγουσας ανάγκης επιτρέπεται υπέρβαση με ταυτόχρονη ανακοίνωση προς τον άμεσο Προϊστάμενο. Σε περίπτωση κατά την οποία παρέλθει , από την επιβολή της αναφοράς , το προσωπικό μπορεί να αναφερθεί απευθείας στο Διευθύνοντα Σύμβουλο , με σύγχρονη ανακοίνωση στον άμεσο Προϊστάμενό του.

- Οι Προϊστάμενοι κάθε βαθμού οφείλουν να κατατοπίζουν και να καθοδηγούν τους υφισταμένους τους στο αντικείμενο της εργασίας τους και για κάθε γενικό θέμα που έχει σχέση με την εργασία. Οφείλουν επίσης να μεριμνούν ώστε οι υφισταμένοι τους να λαμβάνουν πάντοτε γνώση των αποφάσεων, ανακοινώσεων κι εγκυκλίων.
- Απαγορεύεται η συμμετοχή του προσωπικού άμεσα ή έμμεσα σε δημοπρασίες προμηθειών ή έργων , καθώς κι η παροχή υπηρεσιών στην εταιρία με οποιονδήποτε τρόπο.
- Απαγορεύεται στο προσωπικό :
 - i. Η απασχόληση κατά τις ώρες εργασίας σε προσωπικές ή ξένες προς το έργο του ασχολίες.
 - ii. Κάθε απασχόληση εκτός ωρών εργασίας που συνδέεται άμεσα ή έμμεσα με τους σκοπούς ή και τις αρμοδιότητες της Εταιρίας εκτός αν κάτι τέτοιο έχει ζητηθεί κι έχει χορηγηθεί έγγραφη άδεια από τη Διοίκηση.
 - iii. Η απασχόληση υφισταμένου από ιεραρχικά ανώτερο σε εργασίες ξένες προς την υπηρεσία κατά τη διάρκεια του ωραρίου εργασίας ή και μετά τη λήξη αυτού. Η σχετική παράβαση αποτελεί πειθαρχικό παράπτωμα.
 - iv. Να εξασφαλίζει άμεσα ή έμμεσα υπέρ αυτού ή των οικείων του ωφελήματα κάθε φύσης από οποιοδήποτε τρίτο πρόσωπο για την άσκηση των υπηρεσιακών του καθηκόντων . Η σχετική παράβαση , εκτός των άλλων ποινικών ή αστικών συνεπειών αποτελεί πειθαρχικό παράπτωμα.
 - v. Να μεταδίδει ή να συμμετάσχει στη μετάδοση ανακριβών ή ψευδών ειδήσεων για τη Εταιρία.
 - vi. Η συμμετοχή του , ατομικά ή συλλογικά , στο να επιλαμβάνεται θέματος για το οποίο έχει συμφέρον το ίδιο ή συγγενής του εξ αίματος ή αγχιστείας μέχρι και τρίτου βαθμού. Η παράβαση της παραγράφου αυτής αποτελεί λόγο ακύρωσης της απόφασης.

9.6 Εδικά Καθήκοντα Προσωπικού Κίνησης

Τα καθήκοντα του Προσωπικού Κίνησης , στη διάρκεια της εργασίας του είναι :

- Να συμπεριφέρεται αξιοπρεπώς και με ευγένεια προς το επιβατικό κοινό και να παρέχει κάθε δυνατή πληροφορία σχετική με τη συγκοινωνία.

- Να προσέρχεται έγκαιρα στο χρόνο και τον τόπο , που είναι προγραμματισμένος για την έναρξη της εργασίας του. Σε περίπτωση αδυναμίας προσέλευσης για οποιονδήποτε λόγο οφείλει να ειδοποιεί έγκαιρα και τουλάχιστο τρεις ώρες νωρίτερα από την έναρξη της βάρδιας την υπηρεσία.
- Πριν από την παραλαβή του οχήματος οφείλει να κάνει τον απαραίτητο έλεγχο του. Ο οδηγός δεν υποχρεούται στη συντήρηση του οχήματος , η οποία πραγματοποιείται από την τεχνική υπηρεσία.
- Να καταλαμβάνει τη θέση του μόλις το λεωφορείο καλείται για δρομολόγηση.
- Να σταθμεύει το λεωφορείο στα σημεία που έχουν τοποθετηθεί οι ενδεικτικές πινακίδες των στάσεων.,
- Να τηρεί τις σχετικές με τα καθήκοντά του διατάξεις του Κ.Ο.Κ. .
- Να σβήνει τη μηχανή του λεωφορείου και να φροντίζει για την ασφαλή στάθμευσή του , μόλις φτάνει στις αφετηρίες και στα τέρματα , για λόγους ασφάλειας και οικονομίας και για την αποφυγή μόλυνσης του περιβάλλοντος.
- Να μην αφήνει τη θέση του σε τέρματα και αφετηρίες όπου το έδαφος είναι επικλινές για την αποφυγή ατυχημάτων.
- Να φροντίζει να παραλαμβάνει από τις στάσεις το επιβατικό κοινό , καταβάλλοντας κάθε δυνατή προσπάθεια.
- Να τοποθετεί κατά την έναρξη του δρομολογίου την ενδεικτική πινακίδα και τον αριθμό προορισμού του λεωφορείου .
- Να αποφεύγει τις συζητήσεις και να μη διαπληκτίζεται με το επιβατικό κοινό.
- Να συμμορφώνεται με τις υποδείξεις των προϊσταμένων για την απόσπαση του λεωφορείου σε άλλες γραμμές εντός του ωραρίου εργασίας. Απαγορεύεται οποιαδήποτε παραβίαση του διαλείμματος.
- Να κάνει χρήση της κόρνας του λεωφορείου μόνο σε εντελώς εξαιρετικές περιπτώσεις για να αποφεύγεται η ηχορύπανση.
- Να φροντίζει για την ασφαλή και κανονική οδήγηση του λεωφορείου και να είναι υπεύθυνος για κάθε υπαίτια βλάβη ή φθορά του.
- Να καταθέτει , εντός 48ώρου , δήλωση στον ασφαλιστικό φορέα ή στον αρμόδιο για τούτο υπάλληλο , για κάθε βλάβη ή ζημιά που προκλήθηκε από το λεωφορείο, ανεξάρτητα από την υπαιτιότητά του.
- Να φροντίζει για την άμεση μεταφορά των τυχόν τραυματιών στο σταθμό Α' βοηθειών ή στο πλησιέστερο νοσοκομείο.

- Σε περίπτωση που κατά τη διάρκεια της υπηρεσίας το λεωφορείο πάθει κάποια βλάβη , να γνωστοποιεί αμέσως τη βλάβη στην τεχνική υπηρεσία ή στο σταθμάρχη , ενώ να ολοκληρώνει το δρομολόγιο αν αυτή είναι επουσιώδης και δε δημιουργεί κάποια προβλήματα στην ασφαλή μεταφορά του επιβατικού κοινού.
- Κατά την παράδοση του οχήματος στον επόμενο οδηγό , είτε αυτή προέρχεται από διάλειμμα ή από αλλαγή βάρδιας , ο οδηγός υποχρεούται να ενημερώνει για την κατάσταση του οχήματος και να συντάσσει σχετικό δελτίο βλαβών.
- Να ειδοποιεί αμέσως την υπηρεσία του σε περίπτωση ανώτερης βίας , η οποία τον αναγκάζει να βρίσκεται εκτός υπηρεσίας. Η σχετική ειδοποίηση καταγράφεται σε ειδικό βιβλίο.
- Να μη συμπεριφέρεται ανάρμοστα σε συνάδελφο ή προϊστάμενό του.
- Να εκτελεί επακριβώς στην ώρα της κάθε διαδρομή ακόμα κι όταν βρίσκεται νωρίτερα στην αφετηρία ή στο τέρμα , σύμφωνα με τα αναφερόμενα στο σχετικό καρτελάκι του λεωφορείου ή σύμφωνα με την εντολή που θα του δώσει ο υπεύθυνος σταθμάρχης. Ως επίσημη ώρα θεωρείται η εμφανιζόμενη στο τηλεχειριστήριο της ακυρωτικής μηχανής του λεωφορείου , στο οποίο εργάζεται ο οδηγός.
- Να παραδίδει στην υπηρεσία κάθε αντικείμενο , που τυχόν βρέθηκε στο λεωφορείο ή στο αμαξοστάσιο και είναι στην κατοχή του. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται οι σχετικές διατάξεις.
- Να μην κάνει χρήση οινοπνευματωδών ποτών ή ψυχοτρόπων φαρμάκων κατά τη διάρκεια της υπηρεσίας του ή να βρίσκεται υπό την επήρεια αυτών.
- Να τοποθετεί καρτελάκι με τα στοιχεία του στην καθορισμένη θέση του λεωφορείου.
- Να μην παραποιεί ή αλλοιώνει ιατρικές βεβαιώσεις ή χορηγηθείσες άδειες και κάθε υπηρεσιακό έγγραφο.
- Ο οδηγός , κατά την αλλαγή της βάρδιάς του στα τέρματα και τις αφετηρίες , είναι υποχρεωμένος να παραμείνει μέχρι τη λήξη της βάρδιάς του στο λεωφορείο μέχρι να αντικατασταθεί. Εάν αυτή δε γίνει , υποχρεούται έστω και υπερωριακά να μεταφέρει το λεωφορείο στο αμαξοστάσιο , αν ο σταθμάρχης δώσει τη σχετική εντολή .

Σε λεωφορειακές γραμμές που η αλλαγή γίνεται σε ενδιάμεσα σημεία , εάν δεν παρουσιαστεί ο οδηγός της επόμενης βάρδιας έγκαιρα , είναι υποχρεωμένος στη χωρίς καθυστέρηση ολοκλήρωση του δρομολογίου. Αν για την εργασία αυτή

- υπερβεί το χρόνο της προγραμματισμένης βάρδιάς του , λαμβάνει τη νόμιμη υπερωριακή αμοιβή.
- Σε περίπτωση που η βλάβη στο λεωφορείο γίνεται σε σημείο όπου δε δύναται να ειδοποιήσει την υπηρεσία , να ασφαλίζει το όχημα , να λαμβάνει όλα τα απαραίτητα μέτρα που ορίζει ο Κ.Ο.Κ. και να μεταβαίνει στο πλησιέστερο σημείο όπου μπορεί να ειδοποιήσει την υπηρεσία. Τα έξοδα μεταφοράς κι επικοινωνίας επιβαρύνουν την Εταιρία.
 - Σε περίπτωση που η βλάβη στο όχημα υποχρεώσει τον οδηγό να παραμείνει στο όχημα τόση ώρα , όση δε θα του επιτρέπεται να έχει 12ωρη ανάπαυση από την επόμενη βάρδια, τότε η αρμόδια υπηρεσία χορηγεί στον οδηγό τέτοια επόμενη βάρδια ώστε να καλύπτεται το 12ωρο.
 - Απαγορεύεται η αλλαγή βάρδιας μεταξύ των οδηγών , εκτός αν υπάρχει έγκριση της υπηρεσίας , μετά από σχετική αίτηση των οδηγών.
 - Να εκτελεί την τελευταία νυκτερινή διαδρομή (δρομολόγιο) υποχρεωτικά . Σε περίπτωση υπέρβασης του ωραρίου εργασίας χορηγείται υπερωρία.
 - Τα πρόστιμα που επιβάλλονται από την Τροχαία για υπεράριθμους επιβάτες ή εκπομπή καυσαερίων πληρώνονται από την Εταιρία.
 - Να επιβιβάζει και αποβιβάζει το επιβατικό κοινό σύμφωνα με τις διατάξεις του Κ.Ο.Κ. , τις εγκυκλίους του Ο.Α.Σ.Α. κι ανάλογα με τις διαμορφωμένες συνθήκες.
 - Με απόφαση του Δ.Σ. της Εταιρίας ρυθμίζεται η πώληση εισιτηρίων από τους οδηγούς. Η ίδια απόφαση , μετά από πρόταση Συλλογικού Οργάνου των εργαζομένων , ρυθμίζει τη διαδικασία και τις λεπτομέρειες , καθώς και τη σχέση του οδηγού με το σύστημα είσπραξης κομίστρου.
 - Η παραλαβή και παράδοση του λεωφορείου γίνεται σε περισσότερα του ενός σημεία σύμφωνα με τον προγραμματισμό και τις ανάγκες της υπηρεσίας.

9.7 Αναπαύσεις

- Οι αναπαύσεις όλου του προσωπικού πλήρους ετήσιας απασχόλησης ισούνται με τον αριθμό των Σαββάτων και Κυριακών του έτους.
- Οι αργίες που ισχύουν για το προσωπικό της εταιρίας χορηγούνται στο σύνολό τους την αντίστοιχη ημερομηνία , δε μεταφέρονται ως πρόσθετες αναπαύσεις , πλην των περιπτώσεων που ορίζει η εργατική νομοθεσία, και παύουν να

εφαρμόζονται τυχόν αντίθετες ρυθμίσεις . Σε περίπτωση σύμπτωσης αργίας με ημέρα προγραμματισμένης ανάπαυσης συμψηφίζεται με αυτήν. Εργασία κατά ημέρα αργίας αποζημιώνεται με βάση τα όσα ορίζει η εκάστοτε ισχύουσα Εργατική Νομοθεσία για τις επίσημες αργίες χωρίς καμία παρέκκλιση.

- Σε περίπτωση που η ανάπαυση συμπίπτει με ημέρα ασθένειας η ανάπαυση δε μεταφέρεται.
- Επιτρέπεται η μεταβολή των ημερών εργασίας και ανάπαυσης ή μεταφοράς της συνήθους ημέρας πραγματοποίησης της ανάπαυσης σε μια άλλη ημέρα , εφόσον σοβαρές ανάγκες για τη εύρυθμη λειτουργία της υπηρεσίας το επιβάλλουν ή μετά από αίτηση του ενδιαφερομένου κι έγκριση του αρμόδιου οργάνου , λαμβανομένων υπόψη των αναγκών της υπηρεσίας.

9.8 Υγιεινή και ασφάλεια των εργαζομένων και χώρων εργασίας

- Η Εταιρία θέτει κανόνες υγιεινής και ασφάλειας με ειδικούς κανονισμούς ασφάλειας , με εγκυκλίους , ανακοινώσεις κι οδηγίες.
- Οι κανόνες αυτοί γνωστοποιούνται στο προσωπικό σύμφωνα με τις διατάξεις του παρόντος Κανονισμού , σε καμία δε περίπτωση δε δικαιολογείται άγνοια αυτών και η μη τήρησή τους αποτελεί , σύμφωνα με τη σοβαρότητα της περίπτωσης , βαρύ ή ιδιαίτερα βαρύ πειθαρχικό παράπτωμα.
- Γενικές οδηγίες υγιεινής κι ασφάλειας : Ο εργαζόμενος οφείλει :
 - i. Να συμμορφώνεται προς κάθε γραπτή ή προφορική οδηγία κάθε Προϊσταμένου σχετικά με τον τρόπο εργασίας και τους όρους υγιεινής κι ασφάλειας.
 - ii. Να εκτελεί πάντοτε την εργασία του με γνώμονα την ασφάλεια , χρησιμοποιώντας όλα τα ατομικά μέσα προστασίας χωρίς να εξοικειώνεται με τον επαγγελματικό κίνδυνο , αλλά τηρώντας στο ακέραιο τους κανόνες ασφαλείας.
 - iii. Να αναφέρει αμέσως στον προϊστάμενό του κάθε ανώμαλία ή βλάβη που παρουσιάζεται στις εγκαταστάσεις ή τον εξοπλισμό της Εταιρίας.
 - iv. Να παρακολουθεί όλα τα σχετικά σεμινάρια σε θέματα υγιεινής και ασφάλειας που κρίνει σκόπιμα η εταιρία και να συνεργάζεται όποτε απαιτείται με το γιατρό εργασίας και τον τεχνικό ασφαλείας.
 - v. Οι αρχιτεχνίτες , επιστάτες , εργοδηγοί και λοιποί προϊστάμενοι των διαφόρων τμημάτων οφείλουν να επιθεωρούν πριν και μετά τη λήξη της εργασίας , την

καταλληλότητα και την ασφάλεια των εγκαταστάσεων , των εργαλείων και λοιπού εξοπλισμού και γενικά των χώρων εργασίας , αναφέροντας ιεραρχικά οποιαδήποτε , έστω πιθανή , ανωμαλία.

- vi. Οι ανωτέρω οφείλουν να αναθέτουν στο προσωπικό που έχουν στη δικαιοδοσία τους εργασία ανάλογη προς τη σωματική και πνευματική του ικανότητα , την πείρα και την ειδικότητά του , να επιβλέπουν την αυστηρή τήρηση των κανονισμών , διαδικασιών οδηγιών κι εντολών υγιεινής κι ασφάλειας στους χώρους εργασίας , αναφέροντας ιεραρχικά κάθε απειθαρχούντα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

10.1 Εισαγωγή

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη ορισμένων βασικών χαρακτηριστικών των αστικών μαζικών συγκοινωνιών κι ο υπολογισμός του βαθμού επιρροής τους στο τελικό αποτέλεσμα που είναι η αποδοτικότητα και η κατά το δυνατό καλύτερη εξυπηρέτηση του επιβατικού κοινού.

Οι αστικές συγκοινωνίες κι ιδιαίτερα τα λεωφορεία αποτελούν το βασικότερο μέσο μεταφοράς στις μεγάλες πόλεις, όπως η Αθήνα. Τα τελευταία χρόνια, όμως, έχει παρατηρηθεί το φαινόμενο της μείωσης του ποσοστού των μεταφερομένων με Μέσα Μαζικής Μεταφοράς (MMM). Πράγματι σήμερα μόνο μία στις τρεις μετακινήσεις πραγματοποιείται με MMM σε αντίθεση με τα μέσα της δεκαετίας του 60 όπου δύο στους τρεις μεταφερόμενους χρησιμοποιούσαν το λεωφορείο σα βασικό μέσο μετακίνησης.

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε να πούμε ότι η δημιουργία άρτιων αστικών συγκοινωνιών ικανών να προσφέρουν υψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης αποτελεί βασική προϋπόθεση για την επίλυση των μεγάλων κυκλοφοριακών προβλημάτων καθώς και για τη παροχή σημαντικής ευκολίας στη μεταφορά των ατόμων που ανήκουν στα μεσαία κοινωνικοοικονομικά στρώματα.

Το πρώτο βήμα για την επίλυση του προβλήματος είναι ο καθορισμός των στόχων. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι οι εξής :

- Η μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου των οδών όπου παρατηρείται υψηλή συχνότητα λεωφορείων.
- Η μείωση του χρόνου διαδρομής και της καθυστέρησης των μετακινούμενων ατόμων.
- Η αύξηση των μετακινούμενων ατόμων με προσέλκυση νέων επιβατών από τα Ι.Χ. και τα TAXI.

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων είναι απαραίτητη η αξιολόγηση των υφιστάμενων συνθηκών προκειμένου να διαπιστωθούν τα σημεία στα οποία το σύστημα είναι περισσότερο αδύναμο κι έτσι να αποφασιστεί πού θα δοθεί πιο πολύ βάρος. Παράλληλα, η αξιολόγηση των εναλλακτικών προτεινόμενων λύσεων, όπως

κι ο έλεγχος της ευκολίας εφαρμογής τους είναι ένα ακόμα σημαντικό στοιχείο στη μελέτη .

10.2 Ο σχεδιασμός ενός δικτύου λεωφορειακών γραμμών

Το πρόβλημα σχεδιασμού και λειτουργίας ενός δικτύου Αστικών Συγκοινωνιών είναι εξαιρετικά πολύπλοκο . Για την επίλυσή του πρέπει να υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός δεδομένων που να αναφέρονται στις απαιτήσεις του επιβατικού κοινού , στις οικονομικές και λειτουργικές δυνατότητες των αντίστοιχων επιχειρήσεων και στο υπάρχον οδικό δίκτυο.

Λόγω αυτής της πολυπλοκότητας ο σχεδιασμός χωρίζεται σε τέσσερις διαδοχικές φάσεις κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα εξαγόμενα της μιας φάσης να χρησιμοποιούνται ως δεδομένα για την επόμενη. Αυτές οι φάσεις είναι οι εξής :

- i. Ο σχεδιασμός του δικτύου
- ii. Ο υπολογισμός της συχνότητας διέλευσης οχημάτων στις γραμμές και η κατάρτιση πίνακα δρομολογίων ώστε να καλύπτεται η υπάρχουσα ζήτηση.
- iii. Ο υπολογισμός των απαιτούμενων οχημάτων ώστε να ικανοποιούν τη συχνότητα των δρομολογίων
- iv. Η κατανομή των πληρωμάτων στα οχήματα και ο προγραμματισμός των ωραρίων , με τρόπο τέτοιο ώστε να εξασφαλίζεται η επάνδρωση των οχημάτων όλες τις ώρες λειτουργίας με την ταυτόχρονη διατήρηση των περιορισμών ως προς τις συνθήκες εργασίας του προσωπικού.

Για την καλύτερη μελέτη κι επίλυση του προβλήματος γίνεται ο διαχωρισμός της περιοχής σε ζώνες , οι οποίες είναι αρκετά μικρές κι ομογενείς έτσι ώστε μέσα σε αυτές να πραγματοποιούνται παρόμοιες μετακινήσεις κι οι κάτοικοι να χρησιμοποιούν τα ίδια μέσα μετακίνησης. Παράλληλα , ο σχεδιασμός πρέπει να γίνεται με τη βασική προϋπόθεση ότι θα χρησιμοποιηθούν και τα υπάρχοντα δεδομένα μετακίνησης .

Στη συνέχεια το πρόβλημα αντιμετωπίζεται ως πρόβλημα βελτιστοποίησης . Τα προς βελτιστοποίηση μεγέθη είναι βασικά το κόστος , η μεταφορική ζήτηση , ο χρόνος διαδρομής κι η επάρκεια των γραμμών . Συγκεκριμένα , βασική επιδίωξη είναι η αύξηση του μεταφορικού έργου σε όσο το δυνατό μεγαλύτερες αποστάσεις , η ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας κι η εξασφάλιση της δυνατότητας μετεπιβίβασης.

Το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία της αντικειμενικής συνάρτησης μαζί με τους απαραίτητους περιορισμούς έτσι ώστε με τη σωστή διατύπωση της συνάρτησης αυτής να φαίνεται και ο σκοπός που θέλουμε να επιτύχουμε.

10.3 Ο προγραμματισμός των ωραρίων

Όλοι οι Οργανισμοί Μαζικής Μεταφοράς στον κόσμο αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της δημιουργίας των προγραμμάτων εργασίας του προσωπικού τους. Το πρόβλημα αυτό είναι, χωρίς αμφιβολία, πολυσύνθετο και ενδεχομένως αρκετά δύσκολο διότι πρέπει ταυτόχρονα να πληρεί τρεις απαιτήσεις: την εξασφάλιση της ζήτησης (δηλ. την πλήρη εξυπηρέτηση του επιβατικού κοινού), την ελαχιστοποίηση του κόστους και την εφικτότητα που πρέπει να έχει το προσωπικό ώστε να εκτελέσει στο ακέραιο την εργασία του.

Για το σκοπό αυτό έχουν δημιουργηθεί εξειδικευμένα προγράμματα που καθορίζουν τις βάρδιες του προσωπικού κατά τέτοιο τρόπο ώστε πετυχαίνεται βελτιστοποίηση του κόστους και της αποδοτικότητας. Τα προγράμματα αυτά βασίζονται στη μέθοδο κάλυψης συνόλου (set covering formulation). Συγκεκριμένα δημιουργείται ένας μεγάλος αριθμός δυνατών υπηρεσιών κι επιλέγονται αυτές που καλύπτουν όλα τα δρομολόγια με το χαμηλότερο κόστος. Η διαφορά που παρατηρείται μεταξύ τους αφορά τους διάφορους περιορισμούς που τίθενται, καθώς επίσης και τις αντίστοιχες παραδοχές.

Στην εργασία αυτή έγινε παρουσίαση δύο τέτοιων προγραμμάτων: του IMPACS και της Μεθόδου Γεννήτριας Στηλών (Column Generation Approach).

10.3.1 Το πρόγραμμα IMPACS

Η ανάπτυξη του συστήματος αυτού έγινε για πρώτη φορά το 1978 στο Πανεπιστήμιο του Leeds. Το πρόγραμμα αυτό χρησιμοποιεί υπηρεσίες πάνω σε δύο και τρία λεωφορεία, χωρίς όμως να αποκλείεται κι η υπηρεσία σε ένα λεωφορείο όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο.

Βασική επιδίωξη είναι η προτίμηση των υπηρεσιών με τη μεγαλύτερη διάρκεια, καθώς επίσης και η μη εφαρμογή όποιων υπηρεσιών έχουν μεγάλο κόστος. Άλλο ένα χαρακτηριστικό στοιχείο του προγράμματος αυτού είναι η χρησιμοποίηση των υπορουτίνων ZIP και της μεθόδου branch and bound (κλάδου

φράγματος) που χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της βέλτιστης λύσης σε ακέραια και την γρήγορη εύρεση αυτής αντίστοιχα.

Για τη δημιουργία ενός τέτοιου προγράμματος ακολουθούνται τα εξής στάδια:

- Αποκλείονται από όλα τα πιθανά σημεία αλλαγής αυτά που είναι λιγότερο εφικτά και αποδοτικά και επιλέγονται τα βέλτιστα.
- Δημιουργείται ένα μεγάλο σύνολο από πιθανές υπηρεσίες (βάρδιες)
- Αποκλείονται οι υπηρεσίες οι οποίες περιέχονται εξ' ολοκλήρου σε άλλες .
- Αποκλείονται οι υπηρεσίες που τα τμήματα υπηρεσίας που καλύπτουν , καλύπτονται ταυτόχρονα από ένα ελάχιστο αριθμό συγκεκριμένων υπηρεσιών
- Χρησιμοποιώντας Ακέραιο Γραμμικό Προγραμματισμό επιλέγουμε από τις εναπομείναντες υπηρεσίες αυτές που είναι πιο οικονομικές , δηλαδή που αποδίδουν το ελάχιστο κόστος.
- Χρησιμοποιούνται κατάλληλες τεχνικές που βελτιώνουν το εξαγόμενο αποτέλεσμα.
- Δίνουμε τη δυνατότητα στο πρόγραμμα να είναι ευέλικτο έτσι ώστε να δέχεται διάφορες αλλαγές που έχουν να κάνουν με τα χαρακτηριστικά της πόλης και την ιδιομορφία του κάθε Οργανισμού.

10.3.2 Γεννήτρια Στηλών Πίνακα (Column Generation Approach)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την επίλυση γραμμικών προβλημάτων αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και για τον προγραμματισμό των υπηρεσιών του προσωπικού κάνοντας την παραδοχή ότι είναι κι αυτό ένα γραμμικό πρόβλημα. Και σε αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιείται η μέθοδος κάλυψης συνόλου ενώ παράλληλα για την καλύτερη δυνατή αντιμετώπιση χωρίζεται το πρόβλημα σε επιμέρους υποπροβλήματα.

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της Γεννήτριας Στηλών Πίνακα για να δημιουργήσουμε το πρόγραμμα του προσωπικού , μπορούμε να συμπεριλάβουμε στα δεδομένα μας όλες τις πιθανές εργάσιμες ή υπηρεσίες και να προκύψει η βέλτιστη λύση . Στην προσπάθεια αυτή απαραίτητη είναι η εύρεση κι ενός υποπροβλήματος το οποίο θα δημιουργεί τις υπηρεσίες με το ελάχιστο οριακό κόστος , καθώς κι ένα branch and bound πλάνο από το οποίο θα προκύπτει η ακέραιη βέλτιστη λύση .

Στην επίλυση , η μέθοδος αυτή δίνει ιδιαίτερη βαρύτητα στα παρακάτω μεγέθη :

- Μέγιστο κι ελάχιστο μήκος ενός τμήματος υπηρεσίας
- Μέγιστος αριθμός τμημάτων υπηρεσίας σε μία εργάσιμη μέρα
- Μέγιστο κι ελάχιστο εύρος μιας υπηρεσίας
- Διάρκεια ενός διαλείμματος
- Δεδουλευμένος χρόνος πριν και μετά τη λήξη της υπηρεσίας
- Υπερωρίες

Από πολλές εφαρμογές της μεθόδου αυτής οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορες Βρετανικές και Αμερικανικές πόλεις έχει αποδειχθεί ότι η column generation approach απέφερε οικονομικότερα αποτελέσματα και σε πιο γρήγορο χρόνο σε σχέση με άλλες αντίστοιχες μεθόδους.

10.4 Ο καθορισμός των υπηρεσιών με βάση τη βελτιστοποίηση του κόστους

Στο 8^ο και 9^ο κεφάλαιο γίνεται μια προσπάθεια υπολογισμού του κόστους με τη χρησιμοποίηση του γραμμικού προγραμματισμού πάνω σε δύο λεωφορειακές γραμμές : σε μία γραμμή μιας Αμερικανικής πόλης και στη γραμμή 046 της πόλης της Αθήνας . Η επιλογή δύο διαφορετικών λεωφορειακών γραμμών από δύο διαφορετικές πόλεις έγινε γιατί οι συνθήκες που επικρατούν είναι διαφορετικές μεταξύ τους , με αποτέλεσμα τα συμπεράσματα που βγήκαν να είναι πιο ακριβή.

Η έρευνα επικεντρώθηκε στον υπολογισμό του βέλτιστου κόστους μέσω της μείωσης του αριθμού των υπηρεσιών. Τα κυριότερα μεγέθη που μας απασχόλησαν είναι τα εξής :

- Το είδος των υπηρεσιών . Οι υπηρεσίες που χρησιμοποιήθηκαν είναι συνεχείς κι ασυνεχείς με τις πρώτες να αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό.
- Το εύρος των υπηρεσιών .
- Τη διάρκεια των διαλειμμάτων
- Τα τμήματα από τα οποία αποτελείται μία υπηρεσία. Οι συνεχείς υπηρεσίες αποτελούνται από ένα τμήμα ενώ οι ασυνεχείς από δύο ή τρία τμήματα.

Οι διαπιστώσεις που έγιναν είναι παρόμοιες και στις δύο εφαρμογές . Συγκεκριμένα η μορφή της καμπύλης του κόστους είναι σχεδόν ίδια. Αυτό σημαίνει ότι το κόστος εξαρτάται αποκλειστικά από τους παραπάνω παράγοντες κι επομένως μπορούμε να γνωρίζουμε το βαθμό επιρροής κάποιου άλλου παράγοντα στη διακύμανση του κόστους. Για παράδειγμα , αν αυξηθεί η τιμή του βασικού μισθού , αυτό δε σημαίνει ότι θα αλλάξει η καμπύλη του κόστους . Επομένως , μπορούμε πάλι

να προσδιορίσουμε τη βέλτιστη τιμή. Αν όμως μεταβληθεί το εύρος των υπηρεσιών και γίνει πολύ μικρό ή πολύ μεγάλο , τότε οδηγούμαστε σε διαφορετικά συμπεράσματα.

Το βασικότερο στοιχείο που αποκομίστηκε είναι ότι το βέλτιστο κόστος και στις δύο εφαρμογές επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση μικρότερου αριθμού υπηρεσιών σε σχέση με τα δεδομένα που ισχύουν στις γραμμές αυτές . Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ορισμένες υπηρεσίες σε κάποια άλλη γραμμή.

Στον Ο.Α.Σ.Α. , επειδή δεν υπάρχουν υπερωρίες , το κόστος μιας γραμμής είναι σταθερό αφού χρησιμοποιείται συγκεκριμένος αριθμός οδηγών. Το βέλτιστο κόστος είναι κατά ένα σημαντικό ποσοστό μικρότερο από αυτή τη σταθερή τιμή ανεξαρτήτου του εύρους της υπηρεσίας.

Όσον αφορά το εύρος της υπηρεσίας , αποδείχθηκε ότι η αύξηση ή μείωση έστω κατά λίγα λεπτά της ώρας επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις στο κόστος. Μάλιστα σημαντικό ρόλο σε αυτό παίζει και η ομοιόμορφη μεταβολή του εύρους των συνεχών κι ασυνεχών υπηρεσιών. Συγκεκριμένα , ενώ η ταυτόχρονη αύξηση της διάρκειας των συνεχών κι ασυνεχών υπηρεσιών επιφέρει χαμηλότερο κόστος , η μείωση με παράλληλη αύξηση της συνεχούς κι ασυνεχούς υπηρεσίας αντίστοιχα έχει σαν αποτέλεσμα το βέλτιστο κόστος που προκύπτει να έχει μεγαλύτερη τιμή από πριν.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Martin Desrochers , “A Column Generation Approach to the Urban Transit Crew Scheduling Problem” , Transportation Science , Vol. 23 , No 1 , February 1989
2. Malachy Carey , “Optimizing Scheduled Times allowing for Behavioural Response” , Malachy Carey , Transportation Research – B , Vol. 32 , No. 5, pp. 329-342, 1998
3. Sam R. Thangiah , Ibrahim H Osman , Rajini Vinayagamoorthy and Tong Sun “Algorithmics for the Vehicle Routing Problems with Time Deadlines” , American journal of Mathematical and Management Sciences , 13(3&4), 323-355
4. Anthony Wren & Jean – Marc Rousseau , “Bus Driver Scheduling – an Overview”, University of Leeds , School of Computer Studies , Research of Report Series, Report 93.31 July 1993
5. Ana Paias and J. Paixao , “State Relaxation for Set Covering Problems related to Bus Driver Scheduling” , European Journal of Operational Research 71 (1993) 303-316
6. Jose Paixao , “A structural Lagrangean Relaxation for two – duty period Bus Driver Scheduling” , European Journal of Operational Research 39 (1989) 213-222
7. Alberto Caprara , Mateo Fischetti , Pier Luigi Guida , Paolo Toth and Daniele Vigo , “Solution of Large – Scale Railway Crew Planning Problems : The Italian Experience” , DEIS- University of Bologna , DMI- University of Udine, Ferrovie dello Stato SpA
8. Christian Friberg and Knut Haase , “An Exact Algorithm for the vehicle and Crew scheduling Problem” , Haase November 7 , 1996

9. Γ. Πατρικαλάκης , Δ. Ξηρόκωστας “Σύστημα προγραμματισμού λεωφορείων κι οδηγών των αστικών συγκοινωνιών της Αθήνας” , Τεχν. Χρον. Β , 1989, Τόμ. 9 , Τεύχος 3 (Tech. Chron. –B , Greece, 1989, Vol. 9n , No 3)
10. Barbara Smith and Anthony Wren , “A Bus Crew Scheduling using a Set Covering Formulation” , Transportation Research A Vol. 22A. No. 2. pp. 97-108 , 1988
11. Ana Paias and J. Paixao , “State Space Relaxation for Set Covering Problems Related to Bus Driver Scheduling” , European Journal of Operational Research 71 (1993) 303-316 North Holland
12. Ι. Μ Φρατζεσκάκης , Μ.Χ. Πιτσιάβα – Λατινοπούλου , Δ.Α. Τσαμπούλας , “Διαχείριση κυκλοφορίας” , Εκδόσεις Παπασωτηρίου , Αθήνα 1997
13. Ο.Α.Σ.Α. – Ε.Θ.Ε.Λ. – Η.Λ.Π.Α.Π. , “Γενικός κανονισμός Προσωπικού” , Αθήνα Ιανουάριος 1999
14. Δ.Α. Ξηρόκωστας “Βέλτιστος Σχεδιασμός δικτύου αστικών συγκοινωνιών” , Αθήνα 22 Δεκεμβρίου 1988