



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας – Πολυτεχνική Σχολή –
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΤΣΕΛΕΜΠΑΝΗΣ

ΑΝΑΘΕΣΗ ΛΕΩΦΟΡΕΙΩΝ ΣΕ ΘΕΣΕΙΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ



Επιβλέπων καθηγητής
Δρ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ Κ.Δ. ΣΑΧΑΡΙΔΗΣ



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 13551/1
Ημερ. Εισ.: 09-06-2015
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜ
2015
ΤΣΕ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Παντελής Δημήτρης, Επίκουρος Καθηγητής

Λυμπερόπουλος Γεώργιος, Καθηγητής

Σαχαρίδης Γεώργιος, Λέκτορας (Επιβλέπων Καθηγητής)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αποτελεί η επίλυση του προβλήματος της ανάθεσης των αστικών λεωφορείων σε θέσεις στάθμευσης με στόχο την ελαχιστοποίηση των διασταυρώσεων/ελιγμών που πραγματοποιούνται τη στιγμή της αναχώρησής τους για την εκτέλεση των καθηκόντων/υπηρεσιών τους. Γίνεται περιγραφή του προβλήματος της ανάθεσης των λεωφορείων και της δυσκολίας στην επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος (Κεφάλαιο 1). Στην συνέχεια πραγματοποιείται ανασκόπηση επιλεγμένων επιστημονικών δημοσιεύσεων καθώς και σύγκριση με το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία (Κεφάλαιο 2). Έπειτα, παρουσιάζεται η μικτή-ακέραια γραμμική μοντελοποίηση με την οποία επιλύουμε το πρόβλημα της ανάθεσης των αστικών λεωφορείων σε θέσεις στάθμευσης (Κεφάλαιο 3). Οι πληροφορίες που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία και τη διαμόρφωση των συνόλων δεδομένων που μελετήθηκαν στην παρούσα διπλωματική αντλήθηκαν από το σταθμό των αστικών λεωφορείων στην πόλη του Βόλου. Προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την καταλληλότητα κάθε παραλλαγής του μοντέλου, ανάλογα με το μέγεθος του προβλήματος και τις απαιτήσεις του χρήστη (ποιότητα λύσης), πραγματοποιούνται συγκρίσεις μεταξύ των λύσεων που προέκυψαν για την επίλυση. Στη συνέχεια, (Κεφάλαιο 4) παρουσιάζονται τα τελικά αποτελέσματα και οι μέθοδοι επίλυσης τους για το βασικό μοντέλο και για τις επεκτάσεις του αλλά και για το δεύτερο μοντέλο. Στόχο έχουν την ελαχιστοποίηση των διασταυρώσεων αλλά και του αριθμού των στηλών για τις θέσεις στάθμευσης των λεωφορείων. Τέλος, στο τελευταίο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 5) γίνεται η σύγκριση και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων της εφαρμογής του μοντέλου της ανάθεσης των αστικών λεωφορείων στις θέσεις στάθμευσης.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας Κο Γεώργιο Κ.Δ. Σαχαρίδη, λέκτορα του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την βοήθεια, τις γνώσεις, την παρότρυνση αλλά και για τις πολύτιμες συμβουλές του κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους ανθρώπους που εργάζονται στο σταθμό αστικών λεωφορείων στην πόλη του Βόλου για τις πολύτιμες πληροφορίες που μου παρείχαν.

Ακόμη, ευχαριστώ όλους τους φίλους μου για την ηθική υποστήριξη που μου προσέφεραν κατά την διάρκεια υλοποίησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ πάρα πολύ τους γονείς μου που με μεγάλωσαν με πολύ αγάπη και φρόντισαν πάντοτε να είναι δίπλα μου έτσι ώστε να μπορώ να επιτυγχάνω τους στόχους μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	9
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	11
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	11
ΛΙΣΤΑ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ	12
1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	13
1.1 Εισαγωγή	13
1.2 Περιγραφή προβλήματος	13
1.3 Επίλογος	20
2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ	21
2.1 Εισαγωγή	21
2.2 Περιγραφή Επιστημονικών Δημοσιεύσεων	22
2.3 Επίλογος	29
3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	30
3.1 Εισαγωγή	30
3.2 Περιγραφή του Μοντέλου	30
3.3 Μοντελοποίηση Βασικού Μοντέλου	33
3.4 Περιορισμοί Βασικού μοντέλου	33
3.4.1 Αντικειμενική Συνάρτηση	35
3.5 Επεκτάσεις του Βασικού Μοντέλου	36
3.5.1 Επέκταση για μεταβλητό αριθμό και μήκος στηλών	38
3.6 Περιγραφή του Δεύτερου Μοντέλου	40
3.7 Μοντελοποίηση Δεύτερου Μοντέλου	42
3.8 Περιορισμοί Δεύτερου μοντέλου	42
3.8.1 Αντικειμενική Συνάρτηση	44

3.9	Επίλογος	44
4	ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	45
4.1	Εισαγωγή	45
4.2	Μέθοδοι Επίλυσης	45
4.3	Αριθμητικό Παράδειγμα	46
4.4	Αριθμητικά Αποτελέσματα	47
4.5	Επίλογος	51
5	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	52
5.1	Εισαγωγή	52
5.2	Σύγκριση και Σχολιασμός των Αποτελεσμάτων	52
5.3	Επίλογος	54
6	ΕΠΙΛΟΓΟΣ	55
7	ΒΙΒΛΙΟΦΡΑΦΙΑ	57

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Διάγραμμα σταθμού.....	14
Εικόνα 2: Διάγραμμα σταθμού με προσπέραση.....	15
Εικόνα 3: Λεωφορείο μικρού μεγέθους	16
Εικόνα 4: Λεωφορείο μεγάλου μεγέθους.....	17
Εικόνα 5: Λεωφορείο που εξυπηρετεί άτομα με ειδικές ανάγκες.....	18
Εικόνα 6: Λεωφορείο που περιέχει διαφήμιση	19
Εικόνα 7: Χώρος Στάθμευσης Λεωφορείων	22
Εικόνα 8: Δομή Σταθμού Τραμ	24
Εικόνα 9: Δομή LIFOσε Σταθμό Τραμ	25
Εικόνα 10: Πλάγια Όψη Εμπορικού Πλοίου.....	27
Εικόνα 11: Σταθμός Λεωφορείων	28
Εικόνα 12: Σχηματική απεικόνιση δομής FIFO	32
Εικόνα 13: Σχηματική απεικόνιση διασταύρωσης.....	36
Εικόνα 14: Σχηματική απεικόνιση του περιορισμού (9).....	37
Εικόνα 15: Διάταξη σταθμού με διασταυρώσεις του πρώτου μοντέλου.....	48
Εικόνα 16: Διάταξη σταθμού με μεταβλητό αριθμό στηλών.....	49
Εικόνα 17: Διάταξη σταθμού με διασταυρώσεις του δεύτερου μοντέλου	50

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης.....	32
Πίνακας 2: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης.....	41

ΛΙΣΤΑ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ

Dispatching problem	Πρόβλημα Ανάθεσης
Min Non-Crossing	Ελαχιστοποίηση των διασταυρώσεων/ελιγμών
Matching	
Generalized Assignment	Γενικευμένη Ανάθεση
Quadratic Assignment model	Μοντέλο Τετραγωνικής Ανάθεσης
One-block or two-block patterns	Διάταξη ενός μπλοκ ή δύο μπλοκ
First-in first-out (FIFO)	Πρώτο μπαίνει Πρώτο βγαίνει
Bus dispatching problem	Πρόβλημα Ανάθεσης Λεωφορείων
Last-in first-out (LIFO)	Τελευταίο μπαίνει Πρώτο βγαίνει
Containers	Εμπορευματοκιβώτια
Overstowage	Μετατόπιση

1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

1.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η περιγραφή του προβλήματος της ανάθεσης των λεωφορείων σε χώρους στάθμευσης σε σταθμό λεωφορείων. Στη συνέχεια, αναλύεται η σημασία του προβλήματος της ανάθεσης των οχημάτων αλλά και η δυσκολία που συναντάται στην προσέγγιση του. Επίσης, θα παρουσιαστούν και οι διάφοροι τύποι λεωφορείων που θα χρησιμοποιηθούν για τη διερεύνηση του προβλήματος.

1.2 Περιγραφή προβλήματος

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε με σκοπό τη βελτιστοποίηση της κατανομής των οχημάτων, τα οποία φτάνουν στους χώρους στάθμευσης σε σταθμούς λεωφορείων. Η βελτιστοποίηση επιτυγχάνεται με την ελαχιστοποίηση των ελιγμών/διασταυρώσεων που είναι πιθανόν να διενεργηθούν κατά την αναχώρηση των λεωφορείων από το σταθμό για την πραγματοποίηση των δρομολογίων τους. Με τον όρο ελιγμοί εννοούνται οι προσπεράσεις που πρέπει να κάνει ένα λεωφορείο στους χώρους στάθμευσης έναντι των άλλων οχημάτων έτσι ώστε να γίνει διαθέσιμο και να πραγματοποιήσει το δρομολόγιό του. Το αποτέλεσμα που θα προκύψει θα παρουσιάζει τη βέλτιστη κατανομή των λεωφορείων στις θέσεις στάθμευσης που σκοπό έχει να μην απαιτούνται καθόλου ή να ελαχιστοποιούνται όσο είναι εφικτό οι ελιγμοί στο σταθμό.

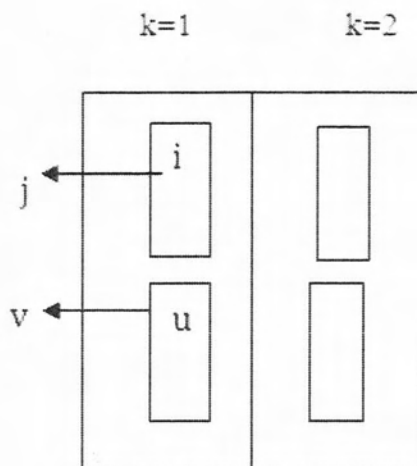
Μεταξύ των πολλών και διαφορετικών προβλημάτων που προκύπτουν καθημερινά στις εταιρίες αστικών μεταφορών, το πρόβλημα της βέλτιστης διαχείρισης του χώρου στάθμευσης σε σταθμό λεωφορείων έχει προσελκύσει ελάχιστη προσοχή. Το πρόβλημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε αστικές περιοχές με υψηλή κυκλοφοριακή συμφόρηση, όπου ο χώρος στάθμευσης των λεωφορείων είναι μικρός. Τα οχήματα που φτάνουν μετά το τέλος των δρομολογίων τους τοποθετούνται σε σχετικά περιορισμένο χώρο, γεγονός που σημαίνει ότι, όταν ένα όχημα πρέπει να αναχωρήσει για να ξεκινήσει νέο δρομολόγιο, τις περισσότερες φορές, άλλα οχήματα θα πρέπει να μετακινηθούν έτσι ώστε να γίνει διαθέσιμο. Το πρόβλημα της βέλτιστης κατανομής των οχημάτων που φτάνουν στους χώρους στάθμευσης σε σταθμούς λεωφορείων αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως πρόβλημα ανάθεσης (dispatching problem).

Τα οχήματα τοποθετούνται σε οριζόντια σειρά το μήκος της οποίας είναι γνωστό. Από το ένα άκρο εισέρχονται τα οχήματα και από το άλλο αναχωρούν προκειμένου να εκτελέσουν τα καθήκοντά τους. Τα λεωφορεία είναι σταθμευμένα σε στήλες το ένα πίσω από το άλλο. Κάθε όχημα φτάνει στο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

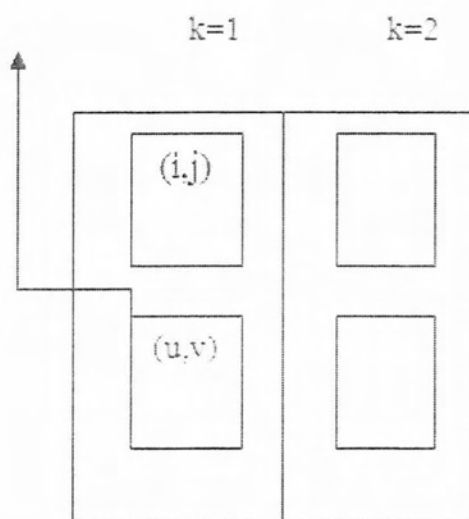
σταθμό τη νύχτα και αναχωρεί την επόμενη ημέρα το πρωί. Μέρος του προβλήματος που εξετάζεται είναι και η ανάθεση των οχημάτων σε καθήκοντα/υπηρεσίες.

Για την λύση του προβλήματος αυτού χρησιμοποιείται ένα πραγματικό παράδειγμα που αφορά το χώρο στάθμευσης των αστικών λεωφορείων στην πόλη του Βόλου. Ο συγκεκριμένος σταθμός δέχεται 14 λεωφορεία, εκ των οποίων τα 10 είναι μεγάλου μεγέθους και τα υπόλοιπα 4 μικρότερου μεγέθους, τα οποία σταθμεύουν σε 5 στήλες των δύο θέσεων και σε 4 στήλες με μία θέση. Το ότι κάθε θέση στάθμευσης της στήλης καταλαμβάνεται από ένα και μόνο λεωφορείο είναι ένας ρεαλιστικός περιορισμός που ισχύει στην πραγματικότητα. Επίσης, κάθε δρομολόγιο/καθήκον θα πρέπει να πραγματοποιείται αποκλειστικά από ένα όχημα. Όμως, κάθε λεωφορείο θα πραγματοποιεί περισσότερα από ένα δρομολόγια κατά τη διάρκεια της ημέρας.



Εικόνα 1: Διάγραμμα σταθμού

Στο παραπάνω παράδειγμα (εικόνα 1) υπάρχουν δύο στήλες k ($k=1$ και $k=2$) όπου τα οχήματα μπορούν να σταθμεύσουν. Πρώτο είναι σταθμευμένο το όχημα i και δεύτερο το όχημα u . Στο όχημα i ανατίθεται το καθήκον j και στο όχημα u το καθήκον v . Και τα δύο οχήματα ικανοποιούν τους περιορισμούς αφού κάθε θέση στάθμευσης της στήλης ικανοποιείται από ένα και μόνο λεωφορείο αλλά και σε αυτά ανατίθεται από ένα καθήκον.



Εικόνα 2: Διάγραμμα σταθμού με προσπέραση

Αναφέρθηκε παραπάνω ότι σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ελαχιστοποίηση του αριθμού των διασταυρώσεων. Αν το (u,v) αναχωρήσει νωρίτερα από το (i,j) τότε θα υπάρξει μία διασταύρωση, όπως παρατηρούμε στην εικόνα 2. Σε αντίθετη περίπτωση, δεν υπάρχει διασταύρωση με αποτέλεσμα να μην μεταβάλλεται η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης.

Το συγκεκριμένο πρόβλημα της ανάθεσης δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικό, όταν υπάρχει αρκετός χώρος στο σταθμό. Επίσης, δεν είναι σημαντικό και στην περίπτωση όπου οι θέσεις στάθμευσης είναι χωροθετημένες με τέτοιο τρόπο ώστε κανένα σταθμευμένο όχημα να μπορεί να εμποδίσει την κυκλοφορία κάθε εισερχόμενου ή εξερχόμενου οχήματος. Δυστυχώς, όμως, αυτό δεν παρατηρείται σε πολλές ευρωπαϊκές πόλεις όπου οι σταθμοί των λεωφορείων είναι μικροί και παρατηρείται συνωστισμός λόγω μεγάλου αριθμού οχημάτων. Ακόμη και στην περίπτωση αυτή, η επίλυση του προβλήματος θα ήταν εύκολη εφόσον όλα τα οχήματα ήταν ίδιων διαστάσεων. Τα λεωφορεία με τα οποία ασχολείται η μελέτη έχουν διαφορετικό μέγεθος και διακρίνονται σε λεωφορεία μικρού μεγέθους (εικόνα 3) που απαιτούνται για δρομολόγια που πραγματοποιούνται σε παλιά αστικά κέντρα και



Εικόνα 3: Λεωφορείο μικρού μεγέθους¹

σε λεωφορεία μεγάλου μεγέθους (εικόνα 4).

¹<http://img691.imageshack.us/img691/2880/leoforeio474x316.jpg>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ



Εικόνα 4: Λεωφορείο μεγάλου μεγέθους²

Ορισμένα λεωφορεία μπορεί να διαθέτουν και ειδικές συσκευές ανύψωσης για άτομα με ειδικές ανάγκες όπως της εικόνας 5, τα οποία είναι απαραίτητα για ορισμένα δρομολόγια σε δεδομένες ώρες.

²<http://asset.tovima.gr/vimawebstatic//FCD333ACDD6B3D68E87A2B847E647734.jpg>



Εικόνα 5: Λεωφορείο που εξυπηρετεί άτομα με ειδικές ανάγκες³

Επίσης, τα λεωφορεία είναι δυνατόν να φέρουν διαφημίσεις στις πλευρές τους, και οι συμβάσεις με τους διαφημιζόμενους να προσδιορίζουν τα δρομολόγια και τις ώρες στις οποίες τα οχήματα αυτά θα πρέπει να κινούνται (εικόνα 6). Τα λεωφορεία αυτά χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- οχήματα με ολική επικάλυψη στα οποία οι εξωτερικές επιφάνειες καλύπτονται εξολοκλήρου από το διαφημιστικό μήνυμα
- οχήματα με επικάλυψη πίσω όψης στα οποία η πίσω μόνο όψη καλύπτεται από το διαφημιστικό μήνυμα
- και στα οχήματα με επικάλυψη πλαϊνών επιφανειών στα οποία η επικάλυψη βρίσκεται στην πλευρά του οδηγού και του συνοδηγού.

³<http://static.newsitamea.gr/wp-content/uploads/2013/07/λεωφορεία-για-τα-ΑμεΑ.jpg>



Εικόνα 6: Λεωφορείο που περιέχει διαφήμιση⁴

Στην περίπτωση αυτή, μια εκχώρηση των οχημάτων σε θέσεις στάθμευσης κατά την άφιξη μπορεί να οδηγήσει σε χρονοβόρους ελιγμούς κατά την αναχώρηση τους.

Στην παρούσα εργασία, θα παρουσιαστεί μια λύση του συγκεκριμένου προβλήματος που προτείνεται από τους Giorgio Gallo και Federico Di Miele και η οποία επιλύεται με τη χρήση μοντέλου γραμμικού προγραμματισμού. Το μοντέλο των παραπάνω είναι το μόνο που είναι γνωστό από την βιβλιογραφία και το οποίο καταγράφει τα κύρια χαρακτηριστικά του προβλήματός μας. Στη συνέχεια παρουσιάζεται μοντέλο το οποίο λαμβάνει υπόψη το γεγονός ότι τα οχήματα έχουν διαφορετικά μήκη. Αυτό επιτρέπει μια περισσότερο ελαστική χρήση του διαθέσιμου χώρου στάθμευσης, χωρίς την ανάγκη να χωρίζεται σε στήλες ίσου μεγέθους, όπως συμβαίνει στο μοντέλο τους.

⁴http://4.bp.blogspot.com/QmfVbAuuAwU/TZ6_srv1C5I/AAAAAAAAAStI/z4E4oTeGy6k/s1600/ASTIKA%2B%2528HOT%2529.jpg

1.3 Επίλογος

Στο παρόν κεφάλαιο, έγινε περιγραφή του προβλήματος της ανάθεσης των λεωφορείων σε χώρους στάθμευσης σε ένα σταθμό αλλά και η παρουσίαση των διαφόρων τύπων λεωφορείων που θα πραγματοποιούν τα δρομολόγια. Με τα παραπάνω παρουσιάστηκε η πολυπλοκότητα του προβλήματος αλλά και το που μπορεί να εφαρμοστεί η λύση του. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, θα γίνει αναφορά και περιγραφή των επιστημονικών δημοσιεύσεων που υπάρχουν για τα μοντέλα και τους τρόπους επίλυσης του προβλήματος της ανάθεσης των λεωφορείων σε θέσεις στάθμευσης.

2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται το πρόβλημα το οποίο αφορά την ανάθεση λεωφορείων σε χώρους στάθμευσης. Ειδικότερα αφορά στη σειρά που θα τοποθετηθούν τα λεωφορεία στο σταθμό, έτσι ώστε το πρωί της επόμενης ημέρας να ξεκινήσουν το δρομολόγιό τους με τον ελάχιστο αριθμό μετακινήσεων. Σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση των ελιγμών των οχημάτων πριν αναχωρήσουν για το δρομολόγιό τους. Στο πρόβλημα παρουσιάζεται ένα νέο μοντέλο, το οποίο βασίζεται στην ελαχιστοποίηση των ελιγμών (Min Non-Crossing Matching) και στην γενικευμένη ανάθεση (Generalized Assignment). Στο μοντέλο αυτό, χώροι στάθμευσης διατίθενται στο σταθμό για να σταθμεύσουν τα οχήματα, με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους των ελιγμών. Οι Giorgio Gallo και Federico Di Miele παρουσιάζουν μια προσεγγιστική λύση του προβλήματος που προτάθηκε από τους Winter και Zimmermann το έτος 2000 και η οποία βασίστηκε σε ένα μοντέλο Τετραγωνικής Ανάθεσης (Quadratic Assignment model). Το νέο μοντέλο, σε σχέση με αυτό των Winter και Zimmermann, λαμβάνει υπόψη ότι τα λεωφορεία αλλά και οι θέσεις στις οποίες είναι σταθμευμένα έχουν διαφορετικά μήκη. Η παρούσα εργασία βασίζεται στο μοντέλο που παρέθεσαν και ασχολήθηκαν οι παραπάνω. Στη συνέχεια παρατίθενται ορισμένες μελέτες και δημοσιεύσεις, οι οποίες εκπονήθηκαν από κάποιους άλλους ερευνητές, και οι οποίες ασχολούνται με την ανάθεση οχημάτων σε σταθμούς και μας βοηθούν στο να κατανοήσουμε περαιτέρω το πρόβλημά μας.

2.2 Περιγραφή Επιστημονικών Δημοσιεύσεων

Οι M. Hamdouni et. al (2005) εξετάζουν το πρόβλημα της ανάθεσης των διαφόρων τύπων λεωφορείων σε θέσεις στάθμευσης, έτσι ώστε τα απαιτούμενα λεωφορεία να μπορούν εύκολα να αναχωρήσουν το πρωί για τα δρομολόγια. Ακριβέστερα, εάν ένα λεωφορείο συγκεκριμένου τύπου χρειάζεται σε μια δεδομένη χρονική στιγμή να πραγματοποιήσει το δρομολόγιό του, τα λεωφορεία που προηγούνται στη λωρίδα πρέπει να έχουν ήδη αναχωρήσει. Έτσι, θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα ώστε να διασφαλιστεί ότι τα λεωφορεία που φθάνουν το βράδυ είναι σταθμευμένα σε μια συμβατή σειρά με τους τύπους που απαιτούνται για τις πρωινές αναχωρήσεις. Ελιγμοί, δηλαδή αναδιατάξεις των λεωφορείων μέσα στις λωρίδες, μπορεί να είναι αναγκαίοι για την επίτευξη του στόχου αυτού. Οι συγγραφείς έχουν διαμορφώσει ένα μοντέλο στο οποίο οι λωρίδες-γραμμές του σταθμού πληρούνται σύμφωνα με ένα συγκεκριμένο πρότυπο, που ονομάζεται διάταξη ενός μπλοκ ή δύο μπλοκ (one-block or two-block patterns), προκειμένου να επιτύχουν ακριβείς λύσεις. Επομένως, οι λωρίδες στάθμευσης είναι διαμορφωμένες όχι με το μήκος της κάθε στήλης-λωρίδας αλλά χωρισμένες σε "κουτάκια" όπου σε κάθε κουτάκι αντιστοιχεί και ένα λεωφορείο.

Τα λεωφορεία μπορεί να ανήκουν σε διαφορετικούς τύπους, όπως για παράδειγμα να είναι προσαρμοσμένα για ηλικιωμένους ή για άτομα με ειδικές ανάγκες ή να έχουν επιπλέον ισχύ ώστε να χρησιμοποιούνται για απότομες κλίσεις. Δεδομένου ότι τα λεωφορεία των διαφόρων τύπων φθάνουν στο σταθμό κάθε βράδυ, ο σταθμός γίνεται σχεδόν πλήρης και υπάρχει λίγος χώρος μέσα στο σταθμό για να πραγματοποιούνται οι ελιγμοί. Άρα, πρέπει να είναι σωστά τοποθετημένα κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι ελιγμοί. Επίσης, οι λωρίδες σε κάθε σταθμό έχουν μεταβλητό μήκος. Η εικόνα 7 παρουσιάζει ένα τέτοιο χώρο στάθμευσης των λεωφορείων.



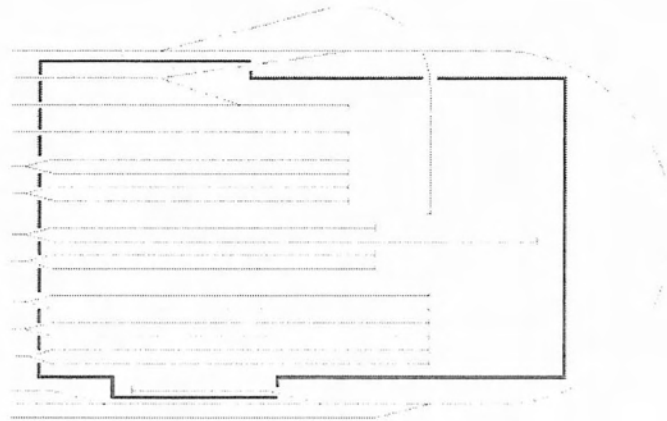
Εικόνα 7: Χώρος Στάθμευσης Λεωφορείων⁵

⁵<http://thecityfix.com/blog/photo-essay-a-tale-of-two-bus-systems-in-bogota/>

Η προσέγγιση που ακολουθείται σχετικά με την άφιξη των λεωφορείων είναι ότι το πρώτο που θα φτάσει σε μία δεδομένη λωρίδα στο τέλος της ημέρας, θα είναι το πρώτο που θα αναχωρήσει το πρωί της επόμενης. Δηλαδή ακολουθείται η δομή first-in first-out (FIFO). Στην περίπτωση που τα λεωφορεία είναι σταθμευμένα σε μία λωρίδα με τέτοια σειρά που δεν είναι συμβατή με τις πρωινές αναχωρήσεις, πρέπει να πραγματοποιηθούν ελιγμοί έξω από το σταθμό κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Επομένως, διαπιστώνεται ότι και η εν λόγω μελέτη έχει αρκετές ομοιότητες αλλά και διαφορές με τη μελέτη που θα αναλυθεί στην παρούσα διπλωματική. Μια ομοιότητα, η οποία είναι και αρκετά σημαντική, αφορά στο γεγονός ότι στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του αριθμού των ελιγμών των λεωφορείων. Επίσης, μια ακόμη ομοιότητα εμφανίζεται στη δομή του τρόπου στάθμευσης των οχημάτων. Στο μοντέλο που θα παρουσιαστεί ακολουθείται η δομή first-in first-out (FIFO) όπως και στη συγκεκριμένη εργασία. Μία διαφορά παρουσιάζεται στις λωρίδες-στήλες στο σταθμό. Στην παρούσα εργασία, το μήκος των θέσεων που βρίσκονται στην εκάστοτε λωρίδα είναι διαμορφωμένο ανάλογα με το μήκος των λεωφορείων, ενώ στην εργασία M. Hamdouni et. al (2005) το μήκος κάθε θέσης είναι σταθερό και ίδιο με αυτό των λεωφορείων. Επιπλέον, και οι δύο εργασίες αναφέρονται στα γενικότερα προβλήματα ανάθεσης των λεωφορείων (bus dispatching problem).

Οι U. Balsum et. al. (1999) ασχολήθηκαν με τα δρομολόγια των τραμ που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Στην εργασία τους λαμβάνουν υπόψη ένα σύνολο τραμ, διαφόρων τύπων, τα οποία τοποθετούνται σε ένα σταθμό από τον οποίο είναι προγραμματισμένο να αναχωρήσουν με συγκεκριμένη σειρά το πρωί της επόμενης ημέρας. Σκοπός τους είναι να ελαχιστοποιήσουν τις μετακινήσεις των τραμ τη στιγμή της αναχώρησής τους. Μέχρι σήμερα, έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα και έχουν λυθεί αρκετά προβλήματα προγραμματισμού για τον καθορισμό των δρομολογίων και την ανάθεση των οχημάτων σ' αυτά. Η εργασία έχει επικεντρωθεί σ' αυτά τα προβλήματα που παρουσιάζονται στο σταθμό. Επίσης, εξετάζεται το πρόβλημα της ανάθεσης των τραμ στις θέσεις στάθμευσης ενός σταθμού, αλλά και τα προγραμματισμένα δρομολόγια που θα πραγματοποιηθούν την επόμενη ημέρα. Η μεθοδολογία που προτάθηκε από τους παραπάνω ερευνητές για την επίλυση του προβλήματος της ανάθεσης των οχημάτων εφαρμόστηκε για το σταθμό του Braunschweig στη Γερμανία και αποτυπώνεται στην εικόνα 8.



Εικόνα 8: Δομή Σταθμού Τραμ⁶

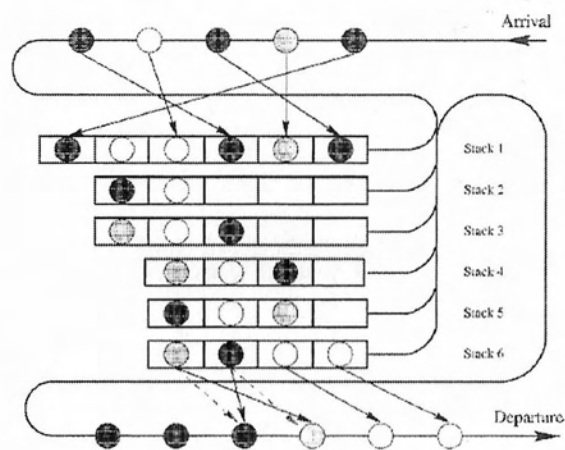
Το σύνολο των τραμ υποδιαιρείται σε ομάδες διαφόρων τύπων. Αυτοί οι τύποι μπορούν να καθοριστούν από το έτος κατασκευής, ορισμένα ειδικά χαρακτηριστικά, όπως την προτεραιότητα για τη μεταφορά ατόμων με ειδικές ανάγκες, τα χιλιόμετρα, ή άλλες λειτουργικές ιδιότητες. Στόχος είναι να βρεθεί μια αντιστοιχία της σειράς με την οποία τα οχήματα φτάνουν στο σταθμό με τη σειρά όπου είναι προγραμματισμένο να αναχωρούν από αυτόν κατά τη διάρκεια της ημέρας. Δηλαδή σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση του αριθμού των ελιγμών μεταξύ των οχημάτων. Οι ελιγμοί αυτοί, όπως και στο πρόβλημά μας, έχουν ως αποτέλεσμα αυξημένο λειτουργικό κόστος, το οποίο και είναι επιθυμητό να μειωθεί.

Οι ομοιότητες της εργασίας των U. Balsum et. al. (1999) με την παρούσα εργασία είναι αρκετές. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι ελιγμοί που πραγματοποιούνται δημιουργούν αυξημένο λειτουργικό κόστος το οποίο και είναι επιθυμητό να μειωθεί. Επίσης, κοινό χαρακτηριστικό είναι και η ανάθεση των δρομολογίων που θα ακολουθήσουν την επόμενη ημέρα. Η μόνη διαφορά έγκειται στην δομή που ακολουθείται στην τοποθέτηση των οχημάτων. Στην εργασία των U. Balsum et. al. (1999) ακολουθείται ο κανόνας “last-in first-out” (LIFO), σε αντίθεση με τη δική μας εργασία που ακολουθείται ο κανόνας FIFO, δηλαδή το όχημα το οποίο φτάνει τελευταίο στο σταθμό και τοποθετείται στη στήλη, θα είναι το πρώτο που θα αναχωρήσει την επόμενη ημέρα το δρομολόγιό του.

Οι T. Winter και U. Zimmermann (2000) ασχολήθηκαν με τα δρομολόγια των τραμ και τη στάθμευσή τους σε ένα σταθμό, αλλά σε πραγματικό χρόνο. Στην εργασία τους συμπεριλήφθηκε και ένας επιπλέον παράγοντας, ο χρόνος της άφιξης των τραμ στο σταθμό, αλλά και τότε θα αναχωρήσουν από αυτόν. Σκοπός τους είναι η ελαχιστοποίηση των ελιγμών που ίσως να συμβούν κατά την άφιξη ή την αναχώρηση των οχημάτων από και προς το σταθμό.

⁶<http://imo.rz.tu-bs.de/~bussieck/finalmmor.pdf>

Ειδικότερα, επικεντρώνονται στους σταθμούς στους οποίους τα οχήματα σταθμεύουν σε σειρά το ένα πίσω από το άλλο. Στο τέλος του δρομολογίου του, το κάθε τραμ φτάνει στον σταθμό και παραμένει εκεί μέχρι να αναχωρήσει για το επόμενο προγραμματισμένο δρομολόγιό του. Η ώρα άφιξης καθώς και η ώρα αναχώρησης του τραμ ορίζεται σύμφωνα με το καθημερινό πρόγραμμα δρομολογίων. Με βάση το συγκεκριμένο πρόγραμμα επιλέγεται και ο αντίστοιχος τύπος τραμ για κάθε δρομολόγιο. Λόγω καθυστερήσεων, ατυχημάτων ή και κυκλοφοριακών συμφορήσεων, οι προγραμματισμένοι χρόνοι άφιξης συνήθως διαφέρουν σημαντικά από τους πραγματικούς χρόνους άφιξης. Δεδομένου ότι το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών αφίξεων είναι μικρό, τα τραμ φτάνουν σε διαφορετική σειρά από αυτή που είναι προκαθορισμένη, βάση του προγράμματος δρομολογίων.



Εικόνα 9: Δομή LIFOσε Σταθμό Τραμ⁷

Οι περισσότερες εταιρίες μεταφορών ορίζουν το συγκεκριμένο πρόγραμμα κατά τη διάρκεια της νύχτας όταν δεν πραγματοποιούνται δρομολόγια. Δεδομένου ότι τα τραμ θα παραμείνουν σταθμευμένα κατά τη διάρκεια της νύχτας, ο υπεύθυνος μπορεί ανά πάσα στιγμή να αναθέσει το τραμ σε ένα επόμενο δρομολόγιο και σε μία θέση στάθμευσης. Εναλλακτικά, μπορεί να λάβει αυτή την απόφαση μετά την άφιξη και του τελευταίου οχήματος. Σε κάθε περίπτωση, ο υπεύθυνος οφείλει να λάβει υπόψη το γεγονός ότι διαφορετικά δρομολόγια μπορεί να απαιτούν διαφορετικούς τύπους τραμ. Κατά τον καθορισμό των θέσεων στάθμευσης αλλά και των δρομολογίων ο υπεύθυνος προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει τους ελιγμούς που πραγματοποιούνται. Κι αυτό διότι για τους ελιγμούς απαιτείται χρόνος, επιπλέον προσωπικό αλλά και πολλά λειτουργικά κόστη. Τέλος, όταν ένα τραμ φτάνει στο σταθμό, ο οδηγός του θα πρέπει να ενημερώνεται για το πού θα το σταθμεύσει. Ο χρόνος που έχουν

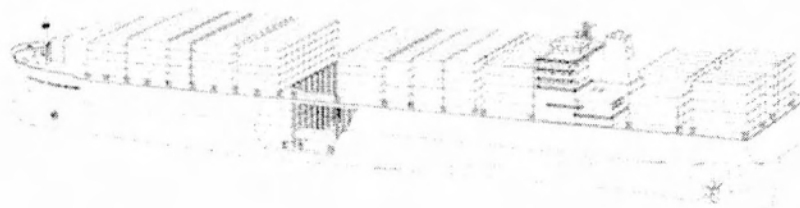
⁷<http://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1018907720194>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ

στη διάθεσή τους μέχρι να ειδοποιήσουν τον οδηγό για την θέση που πρέπει να καταλάβει στο σταθμό είναι μεταξύ δύο και πέντε λεπτών.

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει ομοιότητες με την εργασία που θα αναλυθεί στη διπλωματική. Κι οι δύο αναφέρονται σε οχήματα τα οποία στο τέλος των δρομολογίων τους σταθμεύουν κατά τη διάρκεια της νύχτας και αναχωρούν το επόμενο πρωί. Η σειρά με την οποία θα σταθμεύσουν θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μην εμφανίζονται ελιγμοί μεταξύ των οχημάτων ή αν εμφανίζονται να είναι όσο το δυνατόν λιγότεροι. Άρα και στις δύο εργασίες η ανάλυση που γίνεται για την ελαχιστοποίηση των ελιγμών είναι παρόμοια. Ένα άλλο κοινό στοιχείο είναι η διαδικασία λύσης του προβλήματος η οποία πραγματοποιείται με τετραγωνική ανάθεση. Μία σημαντική διαφορά των δύο εργασιών έχει να κάνει με τον τρόπο που ένα όχημα θα σταθμεύσει. Η συγκεκριμένη εργασία ακολουθεί τον κανόνα LIFO (εικόνα 9) ενώ η εργασία που παρουσιάζουμε τον κανόνα FIFO.

Οι M.Avgiel και M.Penn (1993) ασχολήθηκαν με ένα σχέδιο τοποθέτησης των εμπορευματοκιβωτίων (containers) σε εμπορικό πλοίο, όπως παρατηρείται και στην εικόνα 10. Τα κιβώτια τοποθετούνται στο πλοίο σε στήλες. Η πρόσβαση σε αυτά γίνεται μόνο από την κορυφή της στήλης. Έτσι, αν τα κιβώτια που προορίζονται για κάποιο λιμάνι j , βρίσκονται πάνω από τα κιβώτια που προορίζονται για κάποιο λιμάνι i , το οποίο προηγείται του j , θα πρέπει να εκφορτωθούν στο i και να επανατοποθετηθούν στο πλοίο για να είναι διαθέσιμα του i . Αυτή η λειτουργία ονομάζεται μετατόπιση (overstowage). Αν ένα πλοίο είναι προγραμματισμένο να σταθμεύσει σε πολλά λιμάνια, ενδέχεται να παρουσιαστεί μεγάλος αριθμός μετατοπίσεων. Οι μετατοπίσεις αυτές μπορούν να αποφευχθούν με ένα αποτελεσματικό σχεδιασμό τοποθέτησης των κιβωτίων. Στόχος, δηλαδή, είναι να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των μετατοπίσεων. Η αποτελεσματική τοποθέτηση των εμπορευματοκιβωτίων μπορεί, στις περισσότερες περιπτώσεις, να μειώσει τον αριθμό των μετατοπίσεων και κατ' επέκταση το λειτουργικό κόστος αλλά και το χρόνο μεταφοράς.



Εικόνα 10: Πλάγια Όψη Εμπορικού Πλοίου⁸

Τα εμπορευματοκιβώτια που έχουν κοινό προορισμό τοποθετούνται στο βαθμό που είναι εφικτό στις ίδιες στήλες. Τα υπόλοιπα τοποθετούνται σύμφωνα με το μοντέλο του δυαδικού γραμμικού προγραμματισμού με το οποίο ασχολήθηκαν. Το πρόβλημα της αποτελεσματικής λειτουργίας ενός στόλου πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων που εξυπηρετούν πολλούς λιμένες αποτελείται από πολλά επιμέρους προβλήματα, μεταξύ των οποίων και η εξεύρεση των βέλτιστων μεγεθών των σκαφών αλλά και η δρομολόγησή τους. Επιπλέον, η μεταφορά των εμπορευματοκιβωτίων προς και από το πλοίο πρέπει να πραγματοποιείται ταχέως και αποτελεσματικά. Με τα πολύ μεγάλα πλοία που χρησιμοποιούνται σήμερα και τα οποία απαιτούν χιλιάδες κινήσεις των εμπορευματοκιβωτίων όσον αφορά την φορτοεκφόρτωση, είναι αρκετά δύσκολο να επιτευχθεί μια τέτοια απόδοση.

Το συγκεκριμένο πρόβλημα της τοποθέτησης των κιβωτίων μπορεί να ταυτιστεί με το πρόβλημα που αντιμετωπίζεται, δηλαδή της ανάθεσης των λεωφορείων σε θέσεις στάθμευσης. Και στις δύο περιπτώσεις στόχος είναι η ελαχιστοποίηση των διασταυρώσεων. Μία διαφορά αφορά τη δομή που ακολουθούν τα οχήματα στην τοποθέτησή τους. Η δομή που ακολουθείται είναι η LIFO, δηλαδή τα εμπορευματοκιβώτια/λεωφορεία που θα φτάσουν τελευταία, θα είναι τα πρώτα που θα φύγουν. Σε αντίθεση με τη δική μας εργασία που ακολουθούν τη δομή FIFO. Αποτέλεσμα της παραπάνω δομής είναι η εμφάνιση μετατοπίσεων/ελιγμών που δημιουργούν ένα επιπλέον κόστος, το οποίο πρέπει να ελαχιστοποιηθεί.

Οι M. Hamdouniet. al. (2006) ασχολήθηκαν περαιτέρω με το συγκεκριμένο θέμα και παρουσίασαν μία επιπλέον μελέτη. Στην εργασία τους προτείνουν ένα τρόπο επίλυσης του προβλήματος της ανάθεσης λεωφορείων (bus dispatching problem) σε ένα σταθμό (εικόνα 11) με στοχαστικούς χρόνους άφιξης. Η εργασία τους αναφέρεται σε λεωφορεία τα οποία είναι διαφορετικού τύπου και φτάνουν στο σταθμό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το πρόβλημα της στάθμευσης με το οποίο ασχολούνται αφορά τον τρόπο ανάθεσης των λεωφορείων σε θέσεις στάθμευσης έτσι ώστε να μπορούν να αποσταλούν στα δρομολόγια της επόμενης ημέρας χωρίς να μετακινούνται κατά τη διάρκεια των αφίξεων και των αναχωρήσεων. Στην εργασία τους οι ερευνητές λαμβάνουν υπόψη τον παράγοντα του χρόνου και θεωρούν ότι οι χρόνοι άφιξης των οχημάτων αποκλίνουν στοχαστικά από το προβλεπόμενο χρονοδιάγραμμα.

Κατά τη διάρκεια της ημέρας, διάφοροι παράγοντες μπορούν να τροποποιήσουν τα προγραμματισμένα δρομολόγια των λεωφορείων. Οι παράγοντες αυτοί, περιλαμβάνουν την

⁸http://logpedia.com/images/cargo_2.jpg

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ

κυκλοφοριακή συμφόρηση, η οποία μπορεί να καθυστερήσει ορισμένες αφίξεις αλλά και πρόωρες αφίξεις λόγω μειωμένου αριθμού επιβατών.



Εικόνα 11: Σταθμός Λεωφορείων⁹

Για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος παρουσιάζονται δύο προσεγγίσεις, ανθεκτικές στις αλλαγές των χρόνων άφιξης των λεωφορείων. Η πρώτη προσέγγιση ακολουθεί ένα ντετερμινιστικό μοντέλο όπου οι χρόνοι άφιξης και αναχώρησης είναι γνωστοί με ακρίβεια. Παρόλα αυτά θεωρείται ότι κάθε άφιξη αποκλίνει από την προγραμματισμένη κατά ένα αριθμό θέσεων, ο οποίος είναι προγραμματισμένος. Η δεύτερη προσέγγιση ακολουθεί ένα στοχαστικό μοντέλο στο οποίο οι χρόνοι άφιξης των λεωφορείων έχουν ένα ορισμένο επίπεδο αβεβαιότητας. Κατόπιν πειραμάτων που διεξήχθησαν στις παραπάνω προσεγγίσεις συμπεράναν ότι η στοχαστική προσέγγιση είχε καλύτερα αποτελέσματα. Για περιπτώσεις μεγάλης κλίμακας και οι δύο προσεγγίσεις είναι συγκρίσιμες και παρέχουν πολύ ισχυρές λύσεις.

Στα μοντέλα που ανέπτυξαν θεωρούν ότι υπάρχει ένας τυπικός σταθμός λεωφορείων ο οποίος αποτελείται από λωρίδες, κάθε μία από τις οποίες έχει μία είσοδο και μία έξοδο. Κατά την προσέγγισή τους, οι γραμμές-λωρίδες έχουν το ίδιο μέγεθος, γεγονός που ισχύει και για το μέγεθος των λεωφορείων. Υπέθεσαν ότι ο σταθμός είναι άδειος πριν την πρώτη άφιξη καθώς, επίσης, και ότι όλες οι γραμμές μπορεί να έχουν πρόσβαση ή να θεωρηθούν ανεξάρτητες από τις υπόλοιπες.

Η συγκεκριμένη δημοσίευση παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά με τη διπλωματική εργασία καθόσον και οι δύο εργασίες αναφέρονται στο πρόβλημα ανάθεσης λεωφορείων (bus dispatching problem) και στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση των ελιγμών κατά την αναχώρησή τους. Επιπλέον, μία σημαντική διαφορά αφορά στο γεγονός ότι η εργασία μας ασχολείται με λεωφορεία και θέσεις στάθμευσης διαφορετικού μήκους σε αντίθεση με τη συγκεκριμένη όπου και τα λεωφορεία και οι θέσεις στάθμευσης είναι του ίδιου μήκους.

⁹<http://resources0.news.com.au/images/2007/12/14/1111119/892640-bird-victims.jpg>

2.3 Επίλογος

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο έγινε η ανάλυση ορισμένων επιστημονικών δημοσιεύσεων, των οποίων το αντικείμενο είναι η μελέτη της ανάθεσης οχημάτων. Παρουσιάστηκαν οι διαφορές και οι ομοιότητες που υπήρχαν ανάμεσα σε κάθε μία από αυτές με το πρόβλημα της ανάθεσης λεωφορείων σε αποβάθρες στάθμευσης, που εξετάζεται στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Συνοψίζοντας, στην πρώτη και τελευταία εργασία, συμπεριλαμβανομένου και της διπλωματικής, εξετάζεται το πρόβλημα της ανάθεσης των λεωφορείων σε θέσεις στάθμευσης, ενώ σε άλλες τρεις το πρόβλημα της ανάθεσης πλοίων και τραμ σε θέσεις στάθμευσης. Κάθε λεωφορείο θα πρέπει να καταλαμβάνει μία θέση και τα δρομολογία τους θα πρέπει να ξεκινούν στην αρχή της ημέρας και να τελειώνουν το ίδιο βράδυ. Ακόμα, στόχος όλων των εργασιών είναι η ελαχιστοποίηση των ελιγμών-διασταυρώσεων. Τέλος, στις περισσότερες επιστημονικές έρευνες το μοντέλο που έχει δημιουργηθεί είναι δύσκολο να εφαρμοστεί σε πρόβλημα μεγάλης κλίμακας και γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται ευρετικές μέθοδοι για την επίλυση του εκάστοτε προβλήματος.

3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

3.1 Εισαγωγή

Στα προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάστηκε το πρόβλημα της ανάθεσης λεωφορείων σε χώρους στάθμευσης σε σταθμό, καθώς επίσης και η ανασκόπηση επιστημονικών άρθρων και μελετών. Στην συγκεκριμένη ενότητα γίνεται η περιγραφή των μαθηματικών μοντέλων που αναπτύχθηκαν με στόχο την ελαχιστοποίηση του αριθμού των διασταυρώσεων/ελιγμών μεταξύ των οχημάτων αναθέτοντας παράλληλα τα οχήματα σε όσο το δυνατόν περισσότερα καθήκοντα.

3.2 Περιγραφή του Μοντέλου

Μια βασική παραδοχή για την προσέγγιση της μοντελοποίησης είναι ότι ο χώρος στάθμευσης στο σταθμό των λεωφορείων χωρίζεται σε ένα δεδομένο αριθμό στηλών γνωστού μήκους. Τα οχήματα σταθμεύουν σε μία στήλη στην οποία είτε εισέρχονται είτε εξέρχονται. Το κάθε όχημα καταλαμβάνει μία ακριβώς θέση σε κάθε στήλη, η οποία περιέχει περισσότερες από μία θέσεις. Άλλη μία βασική παραδοχή έχει να κάνει με το γεγονός ότι οι G. Gallo και F. Di Miele δεν λαμβάνουν υπόψη τους την ελαχιστοποίηση των διασταυρώσεων σε αντίθεση με τη συγκεκριμένη εργασία όπου διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο, καθώς αποτελεί την αντικειμενική μας συνάρτηση. Επίσης, μια ιδιαίτερα σημαντική παραδοχή αποτελεί ο κανόνας first-in first-out που ακολουθείται στην εργασία. Επομένως το λεωφορείο που φτάνει πρώτο στο σταθμό και σταθμεύει στη θέση στάθμευσης της κάθε στήλης που ορίζει το πρόγραμμα στάθμευσης όλων των οχημάτων θα είναι το πρώτο που την επόμενη ημέρα θα αναχωρήσει για το δρομολόγιό του. Κι αυτό γιατί θα είναι το πρώτο διαθέσιμο αλλά και αυτό που θα συμβάλλει αρκετά στην ελαχιστοποίηση των διασταυρώσεων/ελιγμών. Η μοντελοποίηση περιλαμβάνει μόνο δυαδικές μεταβλητές ως μεταβλητές απόφασης. Στην επόμενη ενότητα, παρουσιάζεται ένα μοντέλο βελτιστοποίησης που σκοπό έχει να ελαχιστοποιήσει τις διασταυρώσεις/ελιγμούς μεταξύ των λεωφορείων κατά τη στιγμή της αναχώρησής τους από το σταθμό. Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει την ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης, στην οποία παρουσιάζουμε όλους τους δείκτες, παραμέτρους και μεταβλητές απόφασης που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο. Παρακάτω παρουσιάζεται και μια σχηματική απεικόνιση της δομής FIFO που ακολουθείται στην παρούσα εργασία.

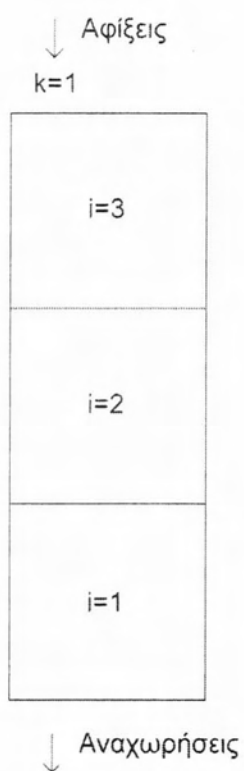
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Δείκτες	
I	Υποδεικνύει κάθε λεωφορείο που φτάνει στο σταθμό
J	Υποδεικνύει το καθήκον/υπηρεσία που ανατίθεται στο όχημα i
K	Υποδεικνύει την κάθε στήλη στάθμευσης του λεωφορείου
U	Υποδεικνύει κάθε λεωφορείο που φτάνει στο σταθμό ($u < i$)
V	Υποδεικνύει το καθήκον/υπηρεσία που ανατίθεται στο όχημα u ($v > j$)
H	Υποδεικνύει το καθήκον/υπηρεσία που ανατίθεται σε ένα όχημα ($h \geq j$)
Σύνολα	
A	Το σύνολο των συμβατών ζευγαριών (i, j)
V	Ο συνολικός αριθμός των οχημάτων
D	Ο συνολικός αριθμός των καθηκόντων/υπηρεσιών
C	Ο συνολικός αριθμός των στηλών
$P(h)$	Ο συνολικός αριθμός των σταθμευμένων οχημάτων πριν πραγματοποιηθεί η εργασία h
Παράμετροι	
l'_i	Το μήκος του οχήματος i που φθάνει στο σταθμό
l''_j	Το μήκος του οχήματος που απαιτείται από το καθήκον/υπηρεσία j
L_k	Το μήκος της κάθε στήλης k
Max_T	Μέγιστο μήκος της κάθε στήλης k
Μεταβλητές Απόφασης	
X_{ik}	Ισούται με 1 αν το όχημα i είναι σταθμευμένο στη στήλη k
Y_{jk}	Ισούται με 1 αν το καθήκον/υπηρεσία j εκτελείται από ένα όχημα που είναι σταθμευμένο στη στήλη k
Z_{ijk}	Ισούται με 1 αν το καθήκον/υπηρεσία j εκτελείται από ένα όχημα i που είναι σταθμευμένο στη στήλη k

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

W_{ijnk}	Ισούται με 1 αν και μόνο αν οι αναθέσεις του i στο j και του u στο v στη στήλη k οδηγούν σε μία διασταύρωση
S_k	Ισούται με 1 αν θα χρησιμοποιηθεί η συγκεκριμένη στήλη k
T_k	Το μεταβλητό μήκος της κάθε στήλης k

Πίνακας 1: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης



Εικόνα 12: Σχηματική απεικόνιση δομής FIFO

3.3 Μοντελοποίηση Βασικού Μοντέλου

Η μοντελοποίηση επικεντρώνεται στο σταθμό εστιάζοντας στα δρομολόγια των λεωφορείων που αναχωρούν και φθάνουν σε αυτόν. Θα παρουσιαστούν τρεις διαφορετικές παραλλαγές του μοντέλου, καθεμία από τις οποίες αντικαθιστά και κάποιο περιορισμό του βασικού μοντέλου. Επίσης, θα παρουσιαστεί και θα αναλυθεί μία ακόμη επέκταση του βασικού μοντέλου που αφορά τον αριθμό στηλών του σταθμού και όχι τις διασταυρώσεις κατά την αναχώρησή τους. Η ακόλουθη μοντελοποίηση στοχεύει στην ελαχιστοποίηση των διασταυρώσεων/ελιγμών μεταξύ των λεωφορείων. Η σωστή τοποθέτηση των λεωφορείων στις θέσεις στάθμευσης διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην ελαχιστοποίηση αυτών των διασταυρώσεων/ελιγμών.

3.4 Περιορισμοί Βασικού μοντέλου

Ο περιορισμός (1) δηλώνει ότι κάθε λεωφορείο που είναι στο σταθμό θα πρέπει να κατέχει ακριβώς μία θέση στάθμευσης της στήλης. Επομένως, η δυαδική μεταβλητή X_{ik} θα πρέπει οπωσδήποτε να είναι ίση με το 1 έτσι ώστε να εξασφαλίζει ότι κάθε λεωφορείο θα καταλαμβάνει μία θέση στάθμευσης για όλες τις στήλες του σταθμού. Λογικός περιορισμός αφού δεν μπορεί ένα λεωφορείο να φτάνει σε ένα σταθμό και να μην έχει χώρο να σταθμεύσει κατά τη διάρκεια της νύχτας.

$$\sum_{k \in C} X_{ik} = 1, \quad \forall i \in V \quad (1)$$

Σύμφωνα με τον περιορισμό (2), το μήκος όλων των λεωφορείων που είναι σταθμευμένα σε κάθε στήλη δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το μήκος της στήλης. Συνεπώς, για κάθε στήλη k το μήκος l'_i των οχημάτων που θα είναι σταθμευμένα σε αυτή (δηλαδή αν η δυαδική μεταβλητή X_{ik} πάρει την τιμή 1 και όχι την τιμή 0) είναι υποχρεωτικό να μην υπερβαίνουν το αρχικό και προκαθορισμένο μήκος της στήλης που είναι τοποθετημένα.

$$\sum_{i \in V} l'_i * X_{ik} \leq Lk, \quad \forall k \in C \quad (2)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Ο περιορισμός (3) υποδηλώνει ότι κάθε καθήκον/υπηρεσία που ανατίθεται σε ένα όχημα θα πρέπει να καταλαμβάνει μία θέση στάθμευσης στη στήλη του σταθμού. Ο συγκεκριμένος περιορισμός έχει πολλές ομοιότητες με τον περιορισμό (1). Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η μεταβλητή που λαμβάνει μέρος και η οποία είναι υποχρεωτικό να παίρνει την τιμή 1 είναι η Y_{jk} που δηλώνει την ανάθεση των καθηκόντων που έχει κάθε λεωφορείο σε κάθε μία στήλη στάθμευσης. Δηλαδή, θα πρέπει κάθε καθήκον/υπηρεσία να ανατίθεται σε ένα όχημα το οποίο θα κατέχει και μία ακριβώς θέση στη στήλη.

$$\sum_{k \in C} Y_{jk} = 1, \quad \forall j \in D \quad (3)$$

Ο περιορισμός (4) καθορίζει ότι τα μήκη των οχημάτων που εκτελούν το συγκεκριμένο καθήκον j δεν μπορεί να υπερβαίνουν το συνολικό μήκος της στήλης που είναι σταθμευμένα. Όπως έχει αναφερθεί στον περιορισμό (3) κάθε καθήκον θα ανατίθεται και σε ένα λεωφορείο. Επομένως, αν η δυαδική μεταβλητή Y_{jk} πάρει την τιμή 1 και πολλαπλασιαστεί με το μήκος του οχήματος που απαιτείται για το καθήκον j , θα σημαίνει ότι η κάθε λωρίδα στάθμευσης απαρτίζεται από αυτά τα οχήματα. Όμως, το συνολικό μήκος όλων των οχημάτων που είναι σταθμευμένα στην κάθε στήλη θα πρέπει να είναι ή ίσο ή μικρότερο από το μήκος όλης της στήλης.

$$\sum_{j \in D} l_j'' * Y_{jk} \leq L_k, \quad \forall k \in C \quad (4)$$

Ο περιορισμός (5) δηλώνει ότι κάθε όχημα που είναι σταθμευμένο σε μία στήλη υποχρεούται να εκτελεί ακριβώς ένα καθήκον/υπηρεσία. Για κάθε όχημα που είναι σταθμευμένο σε κάθε μία στήλη η δυαδική μεταβλητή Z_{ijk} θα πάρει την τιμή 1 όταν σε αυτό το όχημα ανατεθεί ένα καθήκον. Η μεταβλητή αυτή θα πρέπει να ισούται με την X_{ik} έτσι ώστε κάθε όχημα να αναλαμβάνει ένα καθήκον δηλαδή να πραγματοποιήσει ένα δρομολόγιο κάθε φορά. Απόλυτα λογικός περιορισμός που αν δεν υπήρχε δεν θα είχε νόημα η στάθμευση των λεωφορείων χωρίς την πραγματοποίηση δρομολογίων.

$$\sum_{j \in D(i)} Z_{ijk} = X_{ik}, \quad \forall i \in V, k \in C \quad (5)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Ο περιορισμός (6) είναι παρόμοιος με τον περιορισμό (5) αλλά παρουσιάζει μία μικρή διαφορά η οποία είναι αρκετά σημαντική. Για κάθε καθήκον και για κάθε στήλη στάθμευσης θα πρέπει να υπάρχει ένα λεωφορείο που να εκτελεί ακριβώς ένα καθήκον/υπηρεσία. Με άλλα λόγια κάθε καθήκον υποχρεούται να ανατίθεται σε ένα όχημα, δηλαδή δεν είναι δυνατόν το ίδιο δρομολόγιο να εκτελείται από παραπάνω από ένα όχημα. Όλα τα λεωφορεία που είναι σταθμευμένα θα πρέπει να εκτελούν από ένα καθήκον το καθένα το οποίο είναι διαφορετικό από τα καθήκοντα των υπόλοιπων οχημάτων.

$$\sum_{i \in V(j)} Z_{ijk} = Y_{jk} \quad , \quad \forall j \in D, k \in C \quad (6)$$

Ο περιορισμός (7) αφορά στην πραγματοποίηση ή μη των διασταυρώσεων/ελιγμών. Συγκεκριμένα δηλώνει ότι δεν θα υπάρχουν διασταυρώσεις κατά την αναχώρηση των λεωφορείων για την πραγματοποίηση των δρομολογίων τους εκτός και αν οι αναθέσεις του i στο j και του u στο v σε κάθε στήλη k οδηγούν σε μία διασταύρωση. Διασταύρωση θα πραγματοποιηθεί μόνο εάν το όχημα u που εκτελεί το καθήκον v ξεκινήσει νωρίτερα από ότι πρέπει το δρομολόγιο του. Σε αυτήν την περίπτωση θα δημιουργηθεί διασταύρωση αφού το όχημα i που εκτελεί το καθήκον j δεν θα έχει ξεκινήσει ακόμα.

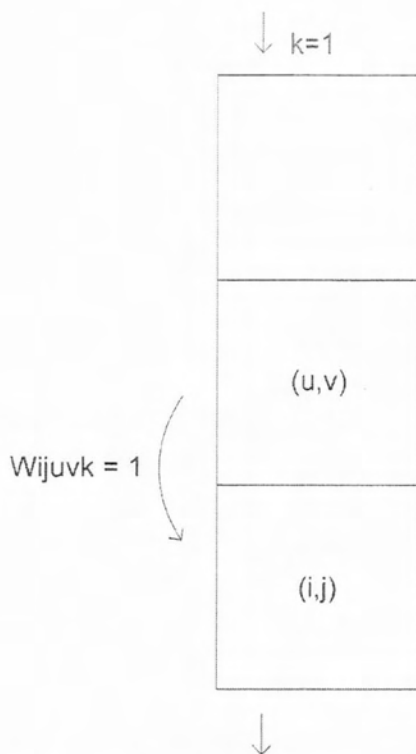
$$Z_{ijk} + Z_{uvk} - W_{ijuvk} \leq 1 \quad , \quad i > u, j < v, (i, j) \in A, (u, v) \in A, k \in C \quad (7)$$

3.4.1 Αντικειμενική Συνάρτηση

$$\min \sum_{k \in C} \sum_{(i, j) \in A} \sum_{(u, v) \in A} W_{ijuvk} \quad (8)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση έχει σαν στόχο την ελαχιστοποίηση του αριθμού των διασταυρώσεων/ελιγμών. Για όλες τις στήλες k και για όλα τα δυνατά ζεύγη (i, j) και (u, v) η δυαδική μεταβλητή W_{ijuvk} είναι επιθυμητό να λαμβάνει όσο το δυνατόν μικρότερη τιμή. Υπενθυμίζεται ότι η W_{ijuvk} γίνεται 1 όταν πραγματοποιείται μία διασταύρωση (εικόνα 13) και 0 σε περίπτωση που δεν υπάρχει διασταύρωση. Σκοπός της εργασίας είναι η ελαχιστοποίηση της

συγκεκριμένης μεταβλητής για το λόγο αυτό είναι επιθυμητή μια κατάλληλη τοποθέτηση των λεωφορείων στις θέσεις στάθμευσης έτσι ώστε η μεταβλητή αυτή να λαμβάνει όσο το δυνατό λιγότερες φορές την τιμή 1.



Εικόνα 13: Σχηματική απεικόνιση διασταύρωσης

3.5 Επεκτάσεις του Βασικού Μοντέλου

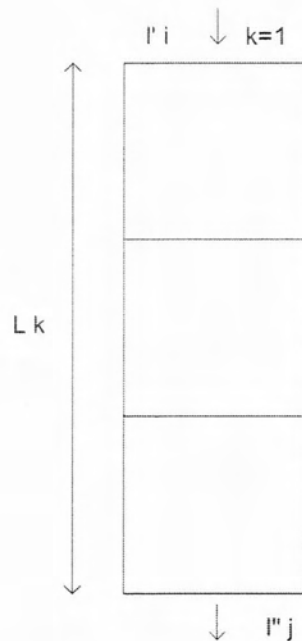
Στην ενότητα αυτή θα περιγραφούν οι επεκτάσεις που πραγματοποιήθηκαν στο βασικό μοντέλο. Έχει ήδη αναφερθεί πως η πρώτη αναχώρηση ξεκινά μετά την τελευταία άφιξη. Στην πράξη αυτό δεν συμβαίνει λόγω της άνισης κατανομής των καθηκόντων/υπηρεσιών κατά τη διάρκεια της νύχτας. Υπάρχουν λεωφορεία που πραγματοποιούν δρομολόγια περισσότερες από μία φορές. Οπότε, αυτό που είναι επιθυμητό οποιαδήποτε χρονική στιγμή είναι να μην γίνει υπέρβαση της

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

χωρητικότητας μιας δεδομένης λωρίδας στάθμευσης, έστω κι αν το συνολικό μήκος των οχημάτων που χρησιμοποιούν τη συγκεκριμένη στήλη κατά τη διάρκεια της ημέρας μπορεί να είναι μεγαλύτερο.

Η πρώτη επέκταση, δηλαδή ο περιορισμός (9) αντικαθιστά τον περιορισμό (2). Δηλώνει ότι το συνολικό μήκος των οχημάτων που φτάνουν και είναι σταθμευμένα σε μία στήλη ($i \in P(h)$) μείον το συνολικό μήκος των οχημάτων που έχουν αναχωρήσει από τη στήλη ($j < h$) πρέπει να είναι μικρότερο από το μήκος της στήλης (εικόνα 14). Λόγω του ότι τα λεωφορεία εκτελούν πολλά δρομολόγια κατά τη διάρκεια της ημέρας οι αφίξεις και οι αναχωρήσεις είναι πολλές. Για το λόγο αυτό αντικαθίσταται ο περιορισμός (2) που ισχύει για ένα δρομολόγιο κάθε φορά από κάθε όχημα με τον (9) που ισχύει για πολλά δρομολόγια των λεωφορείων.

$$\sum_{i \in P(h)} l'_i * X_{ik} - \sum_{j < h} l''_j * Y_{jk} \leq L_k, \quad h \in D, k \in C \quad (9)$$



Εικόνα 14: Σχηματική απεικόνιση του περιορισμού (9)

Η δεύτερη επέκταση αφορά τον περιορισμό (10) ο οποίος αντικαθιστά τον περιορισμό (4).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Συγκεκριμένα, υποδηλώνει ότι το συνολικό μήκος των οχημάτων που έχουν ήδη αποχωρήσει από το σταθμό ($j < h$) δεν μπορεί να υπερβαίνει το συνολικό μήκος των σταθμευμένων οχημάτων για κάθε στήλη. Σε κάθε στήλη το συνολικό μήκος των λεωφορείων που είναι σταθμευμένα σε αυτήν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο από το συνολικό μήκος των οχημάτων που έχουν αποχωρήσει για να πραγματοποιήσουν το δρομολόγιό τους.

$$\sum_{i \in P(h)} l'_i * X_{ik} - \sum_{j \leq h} l''_j * Y_{jk} \geq 0, \quad h \in D, k \in C \quad (10)$$

Η τρίτη και τελευταία επέκταση έχει πολλές ομοιότητες με τη δεύτερη επέκταση, δηλαδή τον περιορισμό (10). Η μόνη διαφορά έγκειται στα μήκη των σταθμευμένων οχημάτων και σε αυτά που έχουν αναχωρήσει. Ο περιορισμός (11) δηλώνει ότι ο αριθμός των οχημάτων που έχουν ήδη αποχωρήσει για να ικανοποιήσουν τα καθήκοντα, δεν μπορεί να υπερβαίνει το αριθμό των οχημάτων που έχουν σταθμεύσει πριν πραγματοποιηθεί η συγκεκριμένη εργασία.

$$\sum_{i \in P(h)} X_{ik} - \sum_{j \leq h} Y_{jk} \geq 0, \quad h \in D, k \in C \quad (11)$$

Διαπιστώνεται ότι οι περιορισμοί (10) και (11) είναι παρόμοιοι. Συγκεκριμένα τα συνολικά μήκη των οχημάτων που είναι σταθμευμένα και των οχημάτων που έχουν αναχωρήσει μπορεί να είναι διαφορετικά ακόμη και αν ο αριθμός τους είναι ο ίδιος. Αντίστροφα, στον ίδιο αριθμό των οχημάτων που έχουν αναχωρήσει και αυτών που έχουν αφιχθεί μπορεί να αντιστοιχούν διαφορετικά μήκη.

3.5.1 Επέκταση για μεταβλητό αριθμό και μήκος στηλών

Σε αυτήν την επέκταση, θεωρούμε ότι στις θέσεις στάθμευσης των λεωφορείων δεν υπάρχουν καθόλου διασταυρώσεις/ελιγμοί μεταξύ των οχημάτων κατά την αναχώρησή τους. Αυτό που επιζητούμε στη συγκεκριμένη επέκταση είναι να ελαχιστοποιήσουμε τον αριθμό των στηλών, με την κάθε στήλη να είναι γεμάτη από λεωφορεία που θα έχουν σταθμεύσει στις θέσεις στάθμευσης της

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

καθεμίας. Υποθέτουμε πλέον ότι το μήκος της κάθε στήλης T_k δεν αποτελεί παράμετρο αλλά μεταβλητή απόφασης. Εισάγουμε, επίσης, και μια νέα δυαδική μεταβλητή απόφασης την S_k η οποία παίρνει την τιμή 1 αν θα χρησιμοποιηθεί η συγκεκριμένη στήλη k και 0 αν όχι. Η μεταβλητή S_k επιθυμούμε να ελαχιστοποιείται κι αυτό γιατί η T_k θα χρησιμοποιούσε πολλές στήλες μία μόνο θέσης στάθμευσης, ενώ στη συγκεκριμένη περίπτωση ελαχιστοποιούμε τις στήλες. Οι περιορισμός (12) και (13) αντικαθιστούν τους περιορισμούς (2) και (4). Ο μεν (12) δηλώνει ότι το μήκος των λεωφορείων που είναι σταθμευμένα στη στήλη k θα πρέπει να είναι ακριβώς ίσο με το μήκος της στήλης k . Ο δε (13) υποδηλώνει ότι τα μήκη των λεωφορείων που εκτελούν το συγκεκριμένο καθήκον/υπηρεσία j δεν πρέπει να ξεπερνούν αλλά να είναι ίσα με το μήκος της κάθε στήλης.

$$\sum_{i \in V} l'_i * X_{ik} \leq T_k \quad , \quad \forall k \in C \quad (12)$$

$$\sum_{j \in D} l''_j * Y_{jk} \leq T_k \quad , \quad \forall k \in C \quad (13)$$

Ο περιορισμός (14) αντικαθιστά τον περιορισμό (7) κι αυτό διότι σε αυτήν την επέκταση δεν έχουμε διασταυρώσεις/ελιγμούς. Οπότε η μεταβλητή W_{ijnk} παίρνει την τιμή 0 και ο περιορισμός γίνεται ως εξής.

$$Z_{ijk} + Z_{vjk} - 0 \leq 1 \quad , \quad i > u, j < u, (i, j) \in A, (u, v) \in A, k \in C \quad (14)$$

Ο περιορισμός (15) προστίθεται στην επέκταση και δηλώνει ότι το μήκος της κάθε στήλης δεν μπορεί να ξεπερνάει το μέγιστο μήκος της κάθε στήλης που πολλαπλασιάζεται με το S_k όταν θα χρησιμοποιηθεί η συγκεκριμένη στήλη.

$$T_k \leq Max_T * S_k \quad , \quad \forall k \in C \quad (15)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Ο περιορισμός (16) αποτελεί την αντικειμενική συνάρτηση της επέκτασης που πλέον αλλάζει και απαιτεί την ελαχιστοποίηση του S_k δηλαδή τον αριθμό των στηλών που θα χρησιμοποιηθούν.

$$\min S_k, \quad \forall k \in C \quad (16)$$

3.6 Περιγραφή του Δεύτερου Μοντέλου

Μια βασική παραδοχή για την προσέγγιση της δεύτερης μοντελοποίησης είναι ότι ο χώρος στάθμευσης στο σταθμό των λεωφορείων, όπως και στο αρχικό μοντέλο, χωρίζεται σε ένα δεδομένο αριθμό στηλών γνωστού μήκους. Η συγκεκριμένη μοντελοποίηση περιλαμβάνει μόνο δυαδικές μεταβλητές ως μεταβλητές απόφασης. Στην επόμενη ενότητα, παρουσιάζεται ένα μοντέλο βελτιστοποίησης που σκοπό έχει να ελαχιστοποιήσει τις διασταυρώσεις/ελιγμούς μεταξύ των λεωφορείων κατά τη στιγμή της αναχώρησής τους από το σταθμό. Σημαντική διαφορά αποτελεί ο αριθμός των περιορισμών που είναι μειωμένος όπως και ο αριθμός των μεταβλητών απόφασης. Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει την ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης, στην οποία παρουσιάζουμε όλους τους δείκτες, παραμέτρους και μεταβλητές απόφασης που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Δείκτες	
I	Υποδεικνύει κάθε λεωφορείο που φτάνει στο σταθμό
J	Υποδεικνύει το καθήκον/υπηρεσία που ανατίθεται στο όχημα i
K	Υποδεικνύει την κάθε στήλη στάθμευσης του λεωφορείου
U	Υποδεικνύει κάθε λεωφορείο που φτάνει στο σταθμό ($u < i$)
V	Υποδεικνύει το καθήκον/υπηρεσία που ανατίθεται στο όχημα u ($v > j$)
Σύνολα	
A	Το σύνολο των συμβατών ζευγαριών (i, j)
V	Ο συνολικός αριθμός των οχημάτων
D	Ο συνολικός αριθμός των καθηκόντων/υπηρεσιών
C	Ο συνολικός αριθμός των στηλών
Παράμετροι	
l'_i	Το μήκος του οχήματος i που φθάνει στο σταθμό
L_k	Το μήκος της κάθε στήλης k
M	Ένας μεγάλος αριθμός
Μεταβλητές Απόφασης	
X_{ik}	Ισούται με 1 αν το όχημα i είναι σταθμευμένο στη στήλη k
X_{uk}	Ισούται με 1 αν το όχημα u είναι σταθμευμένο στη στήλη k
Y_{ij}	Ισούται με 1 αν το καθήκον/υπηρεσία j εκτελείται από ένα όχημα i
Y_{uv}	Ισούται με 1 αν το καθήκον/υπηρεσία v εκτελείται από ένα όχημα u
W_{iu}	Ισούται με 1 αν και μόνο αν οι αναθέσεις του i στο u οδηγούν σε μία διασταύρωση

Πίνακας 2: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης

3.7 Μοντελοποίηση Δεύτερου Μοντέλου

Η μοντελοποίηση του δεύτερου μοντέλου επικεντρώνεται επίσης στο σταθμό εστιάζοντας στα δρομολόγια των λεωφορείων που αναχωρούν και φθάνουν σε αυτόν. Η ακόλουθη μοντελοποίηση στοχεύει στην ελαχιστοποίηση των διασταυρώσεων/ελιγμών μεταξύ των λεωφορείων όπως και στο αρχικό μοντέλο. Η βασική διαφορά του συγκεκριμένου μοντέλου με το βασικό είναι ότι σε αυτό οι περιορισμοί είναι λιγότεροι όπως και οι μεταβλητές απόφασης. Επομένως, μειώνεται ο όγκος του προβλήματος. Η σωστή τοποθέτηση των λεωφορείων στις θέσεις στάθμευσης διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην ελαχιστοποίηση αυτών των διασταυρώσεων/ελιγμών.

3.8 Περιορισμοί Δεύτερου μοντέλου

Ο περιορισμός (17) είναι ακριβώς ίδιος με τον πρώτο περιορισμό του βασικού μοντέλου που περιγράφηκε. Δηλώνει ότι κάθε λεωφορείο που είναι στο σταθμό θα πρέπει να κατέχει ακριβώς μία θέση στάθμευσης της στήλης. Επομένως, η δυαδική μεταβλητή X_{ik} θα πρέπει οπωσδήποτε να είναι ίση με το 1 έτσι ώστε να εξασφαλίζει ότι κάθε λεωφορείο θα καταλαμβάνει μία θέση στάθμευσης για όλες τις στήλες του σταθμού.

$$\sum_{k \in C} X_{ik} = 1, \quad \forall i \in V \quad (17)$$

Ο περιορισμός (18) είναι επίσης παρόμοιος με τον περιορισμό (2) του βασικού μοντέλου. Συγκεκριμένα, το μήκος όλων των λεωφορείων που είναι σταθμευμένα σε κάθε στήλη δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το μήκος της στήλης. Συνεπώς, για κάθε στήλη k το μήκος l'_i των οχημάτων που θα είναι σταθμευμένα σε αυτή (δηλαδή αν η δυαδική μεταβλητή X_{ik} πάρει την τιμή 1 και όχι την τιμή 0) είναι υποχρεωτικό να μην υπερβαίνουν το αρχικό και προκαθορισμένο μήκος της στήλης που είναι τοποθετημένα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

$$\sum_{i \in V} l'_i * X_{ik} \leq L_k \quad , \quad \forall k \in C \quad (18)$$

Ο περιορισμός (19) υποδηλώνει ότι σε κάθε καθήκον/υπηρεσία θα πρέπει να ανατεθεί ένα ακριβώς όχημα. Ο συγκεκριμένος περιορισμός διαφέρει από τους περιορισμούς του βασικού μοντέλου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η μεταβλητή που λαμβάνει μέρος και η οποία είναι υποχρεωτικό να παίρνει την τιμή 1 είναι η Y_{ij} που δηλώνει την ανάθεση των καθηκόντων στα λεωφορεία που εκτελούν τα δρομολόγια.

$$\sum_{i \in V(j)} Y_{ij} = 1 \quad , \quad \forall j \in D \quad (19)$$

Ο περιορισμός (20) είναι παρόμοιος με τον περιορισμό (19) αλλά παρουσιάζει μία μικρή διαφορά η οποία είναι αρκετά σημαντική. Σε κάθε όχημα του σταθμού θα πρέπει να ανατίθεται το πολύ μία υπηρεσία. Με άλλα λόγια για κάθε όχημα και για όλες τις υπηρεσίες η μεγαλύτερη τιμή που μπορεί να λάβει η μεταβλητή Y_{ij} είναι 1. Μπορεί, όμως, να πάρει και την τιμή 0, δηλαδή σε κάθε όχημα μπορεί να μην ανατεθεί κάποια υπηρεσία.

$$\sum_{j \in D(i)} Y_{ij} \leq 1 \quad , \quad \forall i \in V \quad (20)$$

Ο περιορισμός (21) δηλώνει ότι εάν τα λεωφορεία i, u ανήκουν στην ίδια στήλη k και εφόσον το όχημα i πραγματοποιεί την εργασία j ($Y_{ij}=1$) και το όχημα u πραγματοποιεί την εργασία v τότε η μεταβλητή W_{iu} θα λάβει αναγκαστικά την τιμή 1. Σε αντίθετη περίπτωση η τιμή που θα πάρει θα είναι η μηδενική.

$$-M(2 - X_{ik} - X_{uk}) + Y_{ij} + Y_{uv} - 1 \leq W_{iu} \quad , \quad i > u, j < v, (i, j) \in A \quad (u, v) \in A, \quad k \in C \quad (21)$$

3.8.1 Αντικειμενική Συνάρτηση

$$\min \sum_{i \in V} \sum_{u \in V} W_{iu} \quad (22)$$

Η συγκεκριμένη αντικειμενική συνάρτηση ελαχιστοποιεί τον αριθμό των διασταυρώσεων/ελιγμών μεταξύ των οχημάτων i και u . Για όλα τα οχήματα i και u η δυαδική μεταβλητή W_{iu} είναι επιθυμητό να λαμβάνει όσο το δυνατόν μικρότερη τιμή. Υπενθυμίζεται ότι η W_{iu} γίνεται 1 όταν πραγματοποιείται μία διασταύρωση και 0 σε περίπτωση που δεν υπάρχει διασταύρωση. Σκοπός του δεύτερου αυτού μοντέλου είναι η ελαχιστοποίηση της συγκεκριμένης μεταβλητής, όπως και στο αρχικό μοντέλο, μόνο που στο εν λόγω οι δείκτες της είναι 2 αντί για 5 πράγμα που σημαίνει ότι μειώνουμε τον όγκο του προβλήματος, όπως προείπαμε.

3.9 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκαν τα μαθηματικά μοντέλα που επιλύουν το πρόβλημα της ελαχιστοποίησης των διασταυρώσεων/ελιγμών μεταξύ των λεωφορείων σε ένα σταθμό αποθήκευσής τους. Αναλύθηκαν το βασικό μοντέλο και οι επεκτάσεις του αλλά και το δεύτερο μοντέλο για να κατανοηθεί περαιτέρω η σημασία που έχει η σωστή και αποτελεσματική ανάθεση των οχημάτων στις θέσεις στάθμευσης έτσι ώστε να μειώνονται στο ελάχιστο οι διασταυρώσεις των λεωφορείων. Και αυτό γιατί η πιθανή διασταύρωση ενός λεωφορείου με ένα άλλο απαιτεί αρκετό χρόνο αλλά κυρίως κόστος. Το κεφάλαιο που ακολουθεί αναφέρεται στα αποτελέσματα που προκύπτουν από την επίλυση των παραπάνω μοντέλων.

4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε η παρουσίαση και η περιγραφή των μαθηματικών μοντέλων που επιλύουν το πρόβλημα της ελαχιστοποίησης των διασταυρώσεων/ελιγμών σε σταθμό αποθήκευσης λεωφορείων. Στο κεφάλαιο αυτό, θα γίνει η παρουσίαση των μεθόδων επίλυσης και των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την λύση των παραπάνω μοντέλων.

4.2 Μέθοδοι Επίλυσης

Για την υλοποίηση των μοντέλων χρησιμοποιήθηκε το IBMCPLEXOptimizationStudioAcademicResearchEdition 12.5. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα χρησιμοποιείται για την επίλυση προβλημάτων γραμμικού και ακέραιου προγραμματισμού. Το όνομα CPLEX προέρχεται από την καινοτομία του λογισμικού αυτού που αφορά στην ενσωμάτωση του αλγορίθμου βελτιστοποίησης Simplex σε προγραμματιστικό περιβάλλον της γλώσσας C. Κατόπιν στο πρόγραμμα εισήχθη και η χρήση άλλων γλωσσών προγραμματισμού για την μοντελοποίηση προβλημάτων βελτιστοποίησης.

Η μοντελοποίηση των προγραμμάτων στην παρούσα μελέτη έγινε με τη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού C++. Η συγκεκριμένη γλώσσα προγραμματισμού είναι αντικειμενοστραφής και είναι συνδυασμός των ευρέως χρησιμοποιούμενων γλωσσών C και Java. Επίσης, το λογισμικό ανάπτυξης που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση των προγραμμάτων είναι το MicrosoftVisualStudio 2010.

Το πακέτο βελτιστοποίησης της IBM σε συνδυασμό με τη διαδικασία του αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού (C++) δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα της αποτελεσματικής υλοποίησης κάθε είδους βελτιστοποίησης. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται στο MicrosoftVisualStudio η βιβλιοθήκη της CPLEX, πράγμα το οποίο δίνει τη δυνατότητα εισαγωγής αντικειμένων των κλάσεων της CPLEX. Για παράδειγμα, για τον ορισμό των μεταβλητών απόφασης χρησιμοποιούνται αντικείμενα της κλάσης «IloNumVarArray» ή «IloNumVarMatrix» για μονοδιάστατους ή πολυδιάστατους πίνακες αριθμητικών μεταβλητών απόφασης. Για τους

περιορισμούς ορίζονται αντικείμενα των κλάσεων «HoRangeArray» ή «HoRangeMatrix» αντίστοιχα. Τέλος, εφόσον έχουν εισαχθεί τα δεδομένα, οι μεταβλητές απόφασης, οι περιορισμοί και η αντικειμενική συνάρτηση ορίζεται στο σύστημα ο τύπος της βελτιστοποίησης (μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση) και χρησιμοποιείται η εντολή «cplexsolve» που ορίζει την επίλυση με το υπολογιστικό πακέτο της IBM.

Η υλοποίηση των προγραμμάτων έλαβε χώρα στο εργαστήριο Οργάνωσης Παραγωγής της Πολυτεχνικής σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, που βρίσκεται στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών. Τα χαρακτηριστικά του υπολογιστή που χρησιμοποιήθηκε είναι τα εξής:

- Επεξεργαστής: Intel(R) Core(TM) i5-3330 CPU 3.00GHz,
- Εγκατεστημένη μνήμη: 8,00 GB,
- Λογισμικό: Windows 7 Professional 64-bit.

Αντικείμενο μελέτης εκτός από την εύρεση της βέλτιστης λύσης που ελαχιστοποιεί τις διασταυρώσεις/ελιγμούς σε θέσεις στάθμευσης στο σταθμό, αποτέλεσε και ο χρόνος εκτέλεσης κάθε προγράμματος. Για τον παραπάνω λόγο όλα τα αποτελέσματα λήφθηκαν από τον ίδιο υπολογιστή.

4.3 Αριθμητικό Παράδειγμα

Αυτή η ενότητα περιγράφει ένα πραγματικό παράδειγμα που αφορά το χώρο στάθμευσης των αστικών λεωφορείων στην πόλη του Βόλου. Με βάση τις πληροφορίες που ελήφθησαν από τα αστικά του Βόλου, εισαγάγαμε τα στοιχεία που απαιτούνται για τη μοντελοποίηση.

Τα λεωφορεία που δέχεται ο συγκεκριμένος σταθμός είναι 14 και σταθμεύουν όλα στις θέσεις στάθμευσης που περιέχει. Οι στήλες του σταθμού είναι 9 από τις οποίες οι 5 περιέχουν δύο θέσεις στάθμευσης για τα λεωφορεία και οι υπόλοιπες 4 μία θέση στάθμευσης. Από τα 14 οχήματα που περιέχει ο σταθμός τα 10 είναι του ίδιου μεγέθους και μεγαλύτερα από τα υπόλοιπα 4.

Κάθε λεωφορείο θα πρέπει να καταλαμβάνει και ακριβώς μία θέση στάθμευσης, όπως απαιτούν και οι περιορισμοί του μοντέλου. Η μοντελοποίηση που αναφέρεται στο Κεφάλαιο 3 εφαρμόστηκε για το σύνολο αυτού του αστικού δικτύου λεωφορείων. Σύμφωνα με αυτές τις βασικές παραδοχές περιγράφονται παρακάτω τρία διαφορετικά παραδείγματα που αφορούν τον τρόπο που θα πρέπει να σταθμεύσουν κατάλληλα τα λεωφορεία ώστε να αποσταλούν χωρίς καθυστερήσεις στα δρομολόγια τους.

Στο πρώτο αριθμητικό παράδειγμα θεωρήθηκε ότι όλα τα λεωφορεία σταθμεύουν στις θέσεις στάθμευσης του σταθμού με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται ο αριθμός των διασταυρώσεων/ελιγμών. Λόγω του ότι τα λεωφορεία πραγματοποιούν πολλά δρομολόγια κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι φυσικό να υπάρχουν διασταυρώσεις και κατ' επέκταση καθυστερήσεις στην αναχώρησή τους. Για το λόγο αυτό τοποθετήσαμε τα λεωφορεία μικρότερου μεγέθους στις μονές θέσεις στάθμευσης και τα υπόλοιπα που είναι μεγάλου μεγέθους στις 5 στήλες που περιέχουν διπλές θέσεις στάθμευσης. Έτσι μικρύνουμε στο ελάχιστο τις διασταυρώσεις που πραγματοποιούνται.

Το δεύτερο αριθμητικό παράδειγμα αφορά τη δεύτερη επέκταση που παρουσιάστηκε στο μοντέλο. Πλέον αυτό που επιθυμούμε είναι να ελαχιστοποιήσουμε τον αριθμό των στηλών οι οποίες χρησιμοποιούνται. Τοποθετούμε τα λεωφορεία στις στήλες με εκθετική κατανομή έτσι ώστε σχεδόν όλες οι στήλες που χρησιμοποιούνται να περιέχουν περίπου τον ίδιο αριθμό οχημάτων. Οι διασταυρώσεις δεν μας αφορούν αλλά αυτό που επιθυμούμε είναι ο σταθμός να περιέχει όσο το δυνατόν λιγότερες στήλες. Έτσι μειώνουμε το μέγεθος του σταθμού και ιδιαίτερα τον αριθμό των στηλών του.

Το τρίτο αριθμητικό παράδειγμα αφορά το δεύτερο μοντέλο που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 3. Στόχος είναι η ελαχιστοποίηση των διασταυρώσεων/ελιγμών μεταξύ των λεωφορείων κατά την αναχώρησή τους από το σταθμό. Όπως στο βασικό μοντέλο έτσι και σε αυτό τα μεγάλα λεωφορεία είναι σταθμευμένα σε 5 στήλες των δύο θέσεων και σε 4 μονές στήλες όπου σταθμεύουν τα μικρότερα οχήματα. Έτσι μειώνουμε στο ελάχιστο τις διασταυρώσεις μεταξύ των λεωφορείων.

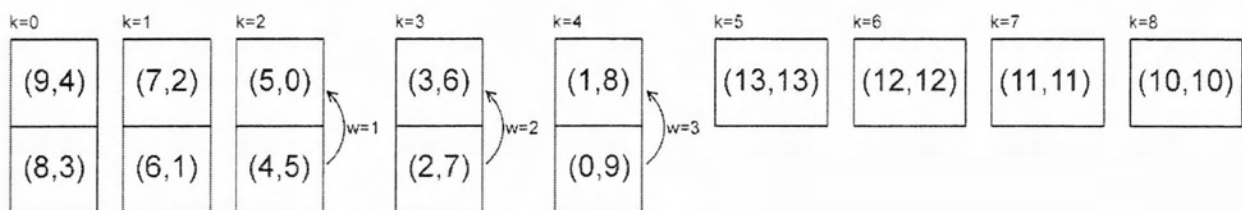
4.4 Αριθμητικά Αποτελέσματα

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αριθμητικών παραδειγμάτων. Αυτά περιλαμβάνουν τα οχήματα i και τις υπηρεσίες/καθήκοντα j που αυτά εκτελούν και τις στήλες k στις οποίες τοποθετούνται. Περιλαμβάνουν, επίσης, τις διασταυρώσεις που παρουσιάζονται, οι οποίες εμφανίζονται με τη μεταβλητή W_{ijk} η οποία δείχνει ακριβώς ποιο όχημα που εκτελεί ένα καθήκον προσπερνά το μπροστινό του όχημα που εκτελεί ένα άλλο καθήκον. Ακόμη, δείχνουν τον ελάχιστο αριθμό στηλών που θα χρησιμοποιηθούν, οι οποίες εμφανίζονται με τη μεταβλητή S_k . Τέλος, περιλαμβάνουν τις διασταυρώσεις που πραγματοποιούνται στο δεύτερο μοντέλο με τη μεταβλητή W_w η οποία δείχνει σε ποια οχήματα πραγματοποιείται διασταύρωση. Η εξαγωγή των αποτελεσμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

έγινε με βάση την ελαχιστοποίηση των διασταυρώσεων/ελιγμών και των στηλών που θα χρησιμοποιηθούν.

Αρχικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πρώτου παραδείγματος σύμφωνα με τις παραδοχές που προαναφέρθηκαν. Από την εικόνα διαπιστώνουμε ότι ο ελάχιστος αριθμός διασταυρώσεων/ελιγμών που πραγματοποιούνται είναι τρεις και εμφανίζονται όπως είναι λογικό στις στήλες που περιέχουν δύο θέσεις στάθμευσης. Συγκεκριμένα, η πρώτη διασταύρωση παρατηρείται στη στήλη 3 ($k=2$) όπου το όχημα 5 που εκτελεί την υπηρεσία/καθήκον 0 προσπερνιέται από το όχημα 4 που εκτελεί το καθήκον 5. Η δεύτερη διασταύρωση παρατηρείται στη στήλη 4 ($k=3$) όπου το όχημα 2 με την υπηρεσία 7 προσπερνά το όχημα 3 που εκτελεί την υπηρεσία 6. Η τρίτη και τελευταία διασταύρωση πραγματοποιείται στη στήλη 5 ($k=4$) όπου το όχημα 1 με την υπηρεσία 8 προσπερνιέται από το όχημα 0 με την υπηρεσία 9. Επομένως, παρατηρούμε ότι ο ελάχιστος αυτός αριθμός διασταυρώσεων/ελιγμών είναι ο καλύτερος δυνατός που μπορεί να υπάρξει στο συγκεκριμένο σταθμό. Τα υπόλοιπα λεωφορεία πραγματοποιούν κανονικά τα δρομολόγιά τους χωρίς διασταυρώσεις και κυρίως χωρίς καθυστερήσεις. Θέτουμε τα 4 μικρά λεωφορεία μόνο τους στις στήλες 6 έως 9 ($k=5$ έως $k=8$) και τα υπόλοιπα λεωφορεία που είναι μεγαλύτερου μεγέθους τα τοποθετούμε στις στήλες 1 έως και 5 ($k=0$ έως $k=4$) στις οποίες πραγματοποιούνται και οι 3 διασταυρώσεις. Στην εικόνα 15 γίνεται μια σχηματική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από το συγκεκριμένο παράδειγμα και σύμφωνα με τα αρχικά δεδομένα.



Εικόνα 15: Διάταξη σταθμού με διασταυρώσεις του πρώτου μοντέλου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δεύτερου παραδείγματος σύμφωνα με τις παραδοχές που προαναφέρθηκαν. Από την εικόνα παρατηρούμε ότι ο ελάχιστος αριθμός στηλών που χρησιμοποιήθηκαν για την τοποθέτηση των λεωφορείων στις θέσεις στάθμευσης είναι 7. Παρατηρούμε ότι δύο στήλες, η πρώτη και η έκτη, περιέχουν περίπου τον ίδιο αριθμό οχημάτων. Από την άλλη οι 4 ενδιάμεσες στήλες και η τελευταία αποτελούνται από μία θέση στάθμευσης και κατ'επέκταση από ένα όχημα. Αυτό προέκυψε σύμφωνα με την εκθετική κατανομή, όπως προείπαμε, λόγω του ότι επιθυμούμε οι στήλες που θα χρησιμοποιηθούν να είναι περίπου του ίδιου μεγέθους και να ταιριάζουμε λεωφορεία και υπηρεσίες όσο το δυνατόν καλύτερα. Οι 5 αυτές στήλες αποτελούνται από ένα λεωφορείο μεγάλου μεγέθους η καθεμιά. Συγκεκριμένα η στήλη 2 ($k=1$) αποτελείται από το όχημα 1 με την υπηρεσία 8, η στήλη 3 ($k=2$) από το όχημα 2 που εκτελεί την υπηρεσία 7, η στήλη 4 ($k=3$) από το όχημα 3 με την υπηρεσία 6 και η στήλη 5 ($k=4$) από το όχημα 4 με την υπηρεσία 5. Η τελευταία στήλη αποτελείται από το όχημα 9 που εκτελεί το καθήκον/υπηρεσία 4. Η πρώτη στήλη αποτελείται από ένα όχημα μεγάλου μεγέθους 0 που εκτελεί την υπηρεσία 9 και από 4 οχήματα μικρότερου μεγέθους τα 10, 11, 12, 13 που εκτελούν αντίστοιχα τις υπηρεσίες 10, 11, 12, 13. Η προτελευταία στήλη αποτελείται από 4 οχήματα εκ των οποίων και τα τέσσερα 5, 6, 7 και 8 είναι μεγάλου μεγέθους και εκτελούν τις υπηρεσίες 0, 1, 2 και 3 αντίστοιχα. Στην παρακάτω εικόνα 16 γίνεται μια σχηματική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από το συγκεκριμένο παράδειγμα και σύμφωνα με τα αρχικά δεδομένα.

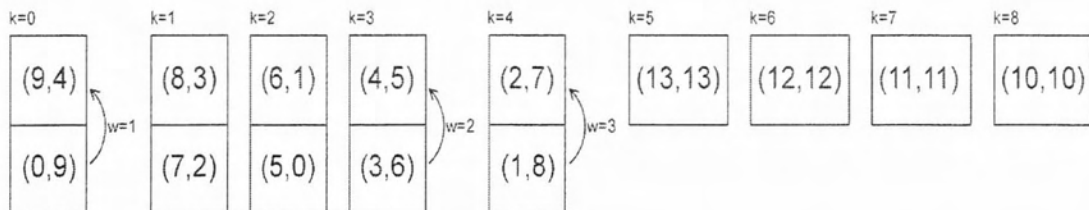
k=0	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6
(0,9)	(1,8)	(2,7)	(3,6)	(4,5)	(5,0)	(9,4)
(10,10)					(6,1)	
(11,11)					(7,2)	
(12,12)					(8,3)	
(13,13)						

Εικόνα 16: Διάταξη σταθμού με μεταβλητό αριθμό στηλών

Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του τρίτου παραδείγματος που αφορά το δεύτερο μοντέλο σύμφωνα με τις παραδοχές που προαναφέρθηκαν. Από την εικόνα διαπιστώνουμε ότι ο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

ελάχιστος αριθμός διασταυρώσεων/ελιγμών που πραγματοποιούνται είναι τρεις και εμφανίζονται όπως είναι λογικό στις στήλες που περιέχουν δύο θέσεις στάθμευσης. Συγκεκριμένα, η πρώτη διασταύρωση παρατηρείται στην πρώτη στήλη ($k=0$) όπου το όχημα 9 που εκτελεί την υπηρεσία/καθήκον 4 προσπερνιέται από το όχημα 0 που εκτελεί το καθήκον 9. Η δεύτερη διασταύρωση παρατηρείται στη στήλη 4 ($k=3$) όπου το όχημα 3 με την υπηρεσία 6 προσπερνά το όχημα 4 που εκτελεί την υπηρεσία 5. Η τρίτη και τελευταία διασταύρωση πραγματοποιείται στη στήλη 5 ($k=4$) όπου το όχημα 2 με την υπηρεσία 7 προσπερνιέται από το όχημα 1 που εκτελεί την υπηρεσία 8. Επομένως, παρατηρούμε ότι ο ελάχιστος αυτός αριθμός διασταυρώσεων/ελιγμών είναι ο καλύτερος δυνατός που μπορεί να υπάρξει στο συγκεκριμένο σταθμό και ακριβώς ίδιος με τον αριθμό του πρώτου παραδείγματος, όπως περιμέναμε. Τα υπόλοιπα λεωφορεία πραγματοποιούν κανονικά τα δρομολογία τους χωρίς διασταυρώσεις και κυρίως χωρίς καθυστερήσεις. Θέτουμε τα 4 μικρά λεωφορεία μόνα τους στις στήλες 6 έως 9 ($k=5$ έως $k=8$) και τα υπόλοιπα λεωφορεία που είναι μεγαλύτερου μεγέθους τα τοποθετούμε στις στήλες 1 έως και 5 ($k=0$ έως $k=4$) στις οποίες πραγματοποιούνται και οι 3 διασταυρώσεις. Παρατηρούμε ότι και στα δύο μοντέλα ο αριθμός των διασταυρώσεων/ελιγμών είναι ο ίδιος. Η εικόνα 17 που ακολουθεί αποτυπώνει μια σχηματική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από το συγκεκριμένο παράδειγμα και σύμφωνα με τα αρχικά δεδομένα.



Εικόνα 17: Διάταξη σταθμού με διασταυρώσεις του δεύτερου μοντέλου

4.5 Επίλογος

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκαν για τα μαθηματικά μοντέλα οι μέθοδοι επίλυσης τους και τα αποτελέσματα τριών διαφορετικών περιπτώσεων κατάλληλης εναπόθεσης των οχημάτων σε θέσεις στάθμευσης στο σταθμό. Στόχος των μαθηματικών μοντέλων, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, είναι η ελαχιστοποίηση των διασταυρώσεων/ελιγμών που πραγματοποιούνται κατά την αναχώρηση των λεωφορείων για την πραγματοποίηση των δρομολογίων τους. Στο επόμενο κεφάλαιο, γίνεται σχολιασμός και συγκρίνονται τα αποτελέσματα που προήλθαν από την επίλυση των μαθηματικών μοντέλων για την κάθε μια περίπτωση.

5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1 Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάστηκαν οι μέθοδοι επίλυσης αλλά και τα αποτελέσματα των μαθηματικών μοντέλων. Παράλληλα, έγινε σύγκριση μεταξύ των συνδυασμών που θα μπορούσε να έχει κάποιο μαθηματικό μοντέλο. Στο παρών κεφάλαιο θα γίνει σύγκριση και σχολιασμός μεταξύ των αποτελεσμάτων.

5.2 Σύγκριση και Σχολιασμός των Αποτελεσμάτων

Το πρώτο αριθμητικό παράδειγμα αφορά τον αριθμό των διασταυρώσεων/ελιγμών που πραγματοποιούνται μεταξύ των λεωφορείων στο σταθμό. Το αποτέλεσμα που εξάγεται μας δείχνει ακριβώς πόσες διασταυρώσεις θα πραγματοποιηθούν και συγκεκριμένα τον ελάχιστο αριθμό τους. Λόγω των δρομολογίων που πραγματοποιούν καθημερινά τα οχήματα είναι λογικό να παρουσιάζονται προσπεράσεις μεταξύ τους κατά την αναχώρησή τους από τις θέσεις στάθμευσης. Για το λόγο αυτό προσπαθούμε να ελαχιστοποιήσουμε τον αριθμό τους, που στην προκειμένη περίπτωση είναι 3. Σε κάθε όχημα ανατίθεται και από μία υπηρεσία/καθήκον οπότε είναι λογικό και πιθανό να υπάρξουν προσπεράσεις κατά την εκτέλεσή τους. Οι 5 από τις 9 στήλες του σταθμού περιέχουν δύο θέσεις στάθμευσης ενώ οι υπόλοιπες 4 από μία θέση. Επίσης, τα 10 από τα 14 λεωφορεία που εκτελούν τα δρομολόγια είναι μεγαλύτερου μεγέθους από τα υπόλοιπα 4. Συνεπώς, τοποθετούμε τα 4 μικρότερα λεωφορεία στις 4 στήλες που περιέχουν μία θέση στάθμευσης και τα 10 μεγάλα στις υπόλοιπες 5 στήλες. Και οι 3 διασταυρώσεις πραγματοποιούνται από εκείνες τις στήλες που περιέχουν μεγάλα οχήματα. Συγκεκριμένα η πρώτη διασταύρωση πραγματοποιείται στη στήλη 3 όπου το όχημα 5 με την υπηρεσία 0 προσπερνιέται από το όχημα 4 που εκτελεί την υπηρεσία 5. Η δεύτερη διασταύρωση εμφανίζεται στην τέταρτη στήλη του σταθμού όπου το λεωφορείο 3 με την υπηρεσία 6 προσπερνιέται από το λεωφορείο 2 με την υπηρεσία 7. Η τρίτη και τελευταία διασταύρωση εμφανίζεται στην στήλη 5. Το όχημα 0 με την υπηρεσία 9 προσπερνά το όχημα 1 που εκτελεί την υπηρεσία 8. Παρατηρούμε, επομένως, ότι ο ελάχιστος αριθμός διασταυρώσεων που μπορεί να υπάρξει στο σταθμό είναι 3.

Το δεύτερο αριθμητικό παράδειγμα όπως έχουμε ήδη αναφέρει διαφέρει σημαντικά από το πρώτο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ελαχιστοποιούμε τον αριθμό των στηλών που θα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

χρησιμοποιηθούν για την τοποθέτηση των λεωφορείων στις θέσεις στάθμευσης. Πλέον το μήκος της κάθε στήλης δεν είναι γνωστό αλλά αποτελεί μεταβλητή απόφασης. Η μεταβλητή S_k είναι αυτή που ελαχιστοποιείται και δείχνει αν θα χρησιμοποιηθεί η συγκεκριμένη στήλη. Η ελάχιστη τιμή που μπορεί να λάβει είναι 7 πράγμα που σημαίνει ότι ο σταθμός θα αποτελείται από 7 στήλες στάθμευσης των λεωφορείων. Προσπαθούμε να ισοκατανήσουμε τα λεωφορεία στις στήλες και να ταιριάζουμε τα οχήματα με τις υπηρεσίες. Η στήλη 1 ($k=0$) θα καταλαμβάνεται από 5 οχήματα εκ των οποίων τα 4 είναι μικρού μεγέθους και το ένα μεγάλο μεγέθους. Οι στήλες 2,3,4,5 και 7 δέχονται από ένα όχημα μεγάλου μεγέθους και η 6 και προτελευταία στήλη καταλαμβάνεται από 4 οχήματα μεγάλου μεγέθους. Η εν λόγω περίπτωση δεν λαμβάνει υπόψη τις διασταυρώσεις μεταξύ των οχημάτων πράγμα που σημαίνει ότι δεν μας ενδιαφέρει αν θα γίνουν προσπεράσεις στις θέσεις στάθμευσης των στηλών. Αυτό στο οποίο επικεντρωνόμαστε είναι οι στήλες του σταθμού και η όσο το δυνατόν κατάλληλη τοποθέτηση των οχημάτων σε αυτές. Επομένως, παρατηρούμε ότι για να υπάρξουν καλύτερα αποτελέσματα με μικρότερο κόστος και χωρίς καθυστερήσεις θα ήταν προτιμότερο να αναβαθμίσουμε το υπάρχον σταθμό.

Το τρίτο αριθμητικό παράδειγμα αφορά τον αριθμό των διασταυρώσεων/ελιγμών που πραγματοποιούνται μεταξύ των λεωφορείων στο σταθμό. Το αποτέλεσμα που εξάγεται μας δείχνει ακριβώς πόσες διασταυρώσεις θα πραγματοποιηθούν και συγκεκριμένα τον ελάχιστο αριθμό τους. Για το λόγο αυτό προσπαθούμε να ελαχιστοποιήσουμε τον αριθμό τους, που στην προκειμένη περίπτωση είναι 3. Σε κάθε όχημα ανατίθεται και από μία υπηρεσία/καθήκον οπότε είναι λογικό και πιθανό να υπάρξουν προσπεράσεις κατά την εκτέλεσή τους. Οι 5 από τις 9 στήλες του σταθμού περιέχουν δύο θέσεις στάθμευσης ενώ οι υπόλοιπες 4 από μία θέση. Επίσης, τα 10 από τα 14 λεωφορεία που εκτελούν τα δρομολόγια είναι μεγαλύτερου μεγέθους από τα υπόλοιπα 4. Συνεπώς, τοποθετούμε τα 4 μικρότερα λεωφορεία στις 4 στήλες που περιέχουν μία θέση στάθμευσης και τα 10 μεγάλα στις υπόλοιπες 5 στήλες. Και οι 3 διασταυρώσεις πραγματοποιούνται από εκείνες τις στήλες που περιέχουν μεγάλα οχήματα. Συγκεκριμένα η πρώτη διασταύρωση πραγματοποιείται στη στήλη 1 όπου το όχημα 9 με την υπηρεσία 4 προσπερνιέται από το όχημα 0 που εκτελεί την υπηρεσία 9. Η δεύτερη διασταύρωση εμφανίζεται στην τέταρτη στήλη του σταθμού όπου το λεωφορείο 4 με την υπηρεσία 5 προσπερνιέται από το λεωφορείο 3 με την υπηρεσία 6. Η τρίτη και τελευταία διασταύρωση εμφανίζεται στην στήλη 5. Το όχημα 1 με την υπηρεσία 8 προσπερνά το όχημα 2 που εκτελεί την υπηρεσία 7. Παρατηρούμε, επομένως, ότι το δεύτερο μοντέλο είναι σαφώς καλύτερο από το πρώτο. Κι αυτό γιατί, αν και ο χρόνος είναι αμελητέος, ο όγκος του προβλήματος είναι σαφώς μειωμένος και κυρίως παρατηρείται μείωση στον αριθμό των μεταβλητών αλλά και των περιορισμών. Η λύση που λαμβάνουμε από τα δύο αυτά μοντέλα είναι ίδια παρόλο που είναι διαφορετικά. Συγκεκριμένα η βέλτιστη τιμή που μπορούμε να λάβουμε από το πρώτο μοντέλο είναι τρεις διασταυρώσεις πράγμα που σημαίνει ότι και στο δεύτερο μοντέλο η βέλτιστη τιμή θα είναι τρεις

διασταυρώσεις, όπως και αποδείχθηκε. Ακόμη, στο νέο μοντέλο δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν όλα τα οχήματα για να πραγματοποιήσουν τις υπηρεσίες/καθήκοντα. Αυτό φαίνεται στον περιορισμό (20) όπου σε κάθε όχημα θα ανατεθεί το πολύ μία υπηρεσία, που σημαίνει ότι μπορεί να ανατεθεί και καμία υπηρεσία. Για παράδειγμα, αυτό μπορεί να συμβεί σε αργίες όπου οι υπηρεσίες είναι λιγότερες, επομένως δεν θα χρησιμοποιηθούν όλα τα οχήματα για να τις πραγματοποιήσουν. Για τους λόγους αυτούς καταλήγουμε στο ότι το δεύτερο μοντέλο είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί αν και παρουσιάζει τα ίδια αποτελέσματα.

5.3 Επίλογος

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, έγινε η σύγκριση και ο σχολιασμός μεταξύ των δύο παραδειγμάτων. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από την εφαρμογή της κάθε μιας περίπτωσης παρατηρούμε μια σημαντική βελτίωση. Αυτή η βελτίωση εμφανίζεται στο δεύτερο παράδειγμα όπου πλέον δεν υπάρχουν καθόλου διασταυρώσεις/ελιγμοί και η διάταξη των λεωφορείων είναι τέτοια που διευκολύνει την εκτέλεση των δρομολογίων, μικραίνει τη χωρητικότητα του σταθμού και μειώνει το κόστος που εμφανίζεται κατά τους ελιγμούς.

6 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία βασίστηκε στην προσέγγιση λύσης του προβλήματος της ανάθεσης αστικών λεωφορείων σε θέσεις στάθμευσης με στόχο την ελαχιστοποίηση των διασταυρώσεων/ελιγμών που πραγματοποιούνται κατά την αναχώρησή τους για την εκτέλεση των καθηκόντων τους.

Στο πρώτο κεφάλαιο έγινε η περιγραφή του προβλήματος και δόθηκαν ορισμένα δεδομένα τα οποία βοήθησαν στην καλύτερη κατανόηση του όγκου του προβλήματος και της δυσκολίας που παρουσιάζει στην επίλυσή του. Επίσης, αναλύθηκαν οι διάφοροι τύποι αστικών λεωφορείων αλλά και η σημασία που παρουσιάζει το συγκεκριμένο πρόβλημα.

Στη συνέχεια, έλαβε χώρα η ανασκόπηση επιστημονικών δημοσιεύσεων, που σχετίζονται με το πρόβλημα της ανάθεσης των λεωφορείων. Παρουσιάστηκαν οι διαφορές αλλά και οι ομοιότητες που έχει η κάθε δημοσίευση με το πρόβλημα που εξετάζεται στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

Έπειτα, παρουσιάστηκε και αναλύθηκε το μοντέλο και οι επεκτάσεις του το οποίο δημιουργήθηκε για την επίλυση του προβλήματος της ελαχιστοποίησης των διασταυρώσεων/ελιγμών στις θέσεις στάθμευσης του σταθμού. Το μοντέλο αυτό ανήκει στα προβλήματα μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού. Η επέκταση που αναλύθηκε δίνει τη δυνατότητα να γίνει ελαχιστοποίηση των διασταυρώσεων μεταξύ των λεωφορείων τη στιγμή της πραγματοποίησης των δρομολογίων τους κατά τη διάρκεια της ημέρας. Παράλληλα, περιγράφηκε επέκταση που ελαχιστοποιεί τις στήλες στάθμευσης των οχημάτων στο σταθμό. Τέλος, αναλύθηκε και το δεύτερο μοντέλο που αποτελεί παραλλαγή του αρχικού και ελαχιστοποιεί τις διασταυρώσεις μεταξύ των οχημάτων. Το συγκεκριμένο μοντέλο, όπως και το αρχικό, ανήκει και αυτό στα προβλήματα μικτού ακέραιου προγραμματισμού.

Κατά το ερευνητικό μέρος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε η υλοποίηση των παραπάνω δύο μοντέλων για την επίλυση του προβλήματος της ελαχιστοποίησης των διασταυρώσεων των λεωφορείων στις θέσεις στάθμευσης, χρησιμοποιώντας το παράδειγμα που έχει παρουσιαστεί. Επίσης, η υλοποίηση αυτή πραγματοποιήθηκε και στην επέκταση του αρχικού μοντέλου που αφορά το μήκος και τον αριθμό των στηλών που θα χρησιμοποιηθούν στον εν λόγω σταθμό. Η υλοποίηση έγινε σε γλώσσα προγραμματισμού C++ ενώ για την επίλυση χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό CPLEX. Το συγκεκριμένο λογισμικό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την επίλυση προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στην συνέχεια, παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα των δύο μοντέλων και των επεκτάσεων που πραγματοποιήθηκαν. Επίσης, έγινε σύγκριση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από την πραγματοποίηση των δύο μοντέλων αλλά και της επέκτασης του πρώτου μοντέλου και παρατηρήθηκε μια σημαντική βελτίωση του δεύτερου αλλά και της επέκτασης σε σχέση με το αρχικό μοντέλο.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Hamdouni, M., Desaulniers, G., Soumis, F. (2005). Dispatching Buses in a Depot Using Block Patterns. *Computers & Operations Research*, Volume 34 Issue 11, 3362-3379.

Blasum, U., Bnssieck, M., Hochstattler, W., Moll, C., Scheel, H., Winter, T. (1999). Scheduling Trams in the Morning. *Mathematical Methods of Operations Research*. Volume 49, Issue 1, 137-148.

Winter, T., Zimmermann, U. (2000). Real-Time Dispatch of Trams in Storage Yards. *Annals of Operations Research*, Volume 96, Issue 1-4, 287-315.

Avriel, M., Penn, M. (1993). Exact and approximate solutions of the container ship stowage problem. *Computers and Industrial Engineering*, Volume 25, Issues 1-4, 271-274.

Hamdouni, M., Soumis, F., Desaulniers, G. (2006). Parking buses in a depot with stochastic arrival times. *European Journal of Operational Research*, Volume 183, Issue 2, Pages 502-515.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000124392