



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας – Πολυτεχνική Σχολή –
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

ΚΥΡΙΑΚΟΣ ΤΣΑΡΠΑΛΙΑΣ

ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΑΝΑΘΕΣΗ ΜΗΧΑΝΩΝ ΚΑΙ ΒΑΓΟΝΙΩΝ ΕΝΟΣ ΤΡΕΝΟΥ ΣΕ ΕΝΑ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΟ



Επιβλέπων καθηγητής
Δρ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ Κ.Δ. ΣΑΧΑΡΙΔΗΣ



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

Αριθ. Εισ.: 13552/1
Ημερ. Εισ.: 17-06-2015
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΜΜ
2015
ΤΣΑ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Λυμπερόπουλος Γεώργιος, Καθηγητής

Παντελής Δημήτριος, Επίκουρος Καθηγητής

Σαχαρίδης Γεώργιος, Λέκτορας (επιβλέπων καθηγητής)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αποτελεί η επίλυση του προβλήματος της ταυτόχρονης ανάθεσης μηχανών και βαγονιών σε επιβατικά τρένο. Στη μελέτη αυτή παρουσιάζεται η γενική περιγραφή του προβλήματος (Κεφάλαιο 1). Στη συνέχεια γίνεται αναφορά σε επιλεγμένες επιστημονικές δημοσιεύσεις όπου αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο μελετάται το πρόβλημα σε κάθε μια από αυτές (Κεφάλαιο 2). Στο βασικό μέρος της παρούσας μελέτης, παρουσιάζεται η μικτή-ακέραια γραμμική μοντελοποίηση με την οποία επιλύεται το πρόβλημα της ταυτόχρονης ανάθεσης μηχανών και βαγονιών σε επιβατικά τρένα ξεκινώντας από ένα απλό πρόβλημα, το οποίο λαμβάνει υπόψη μερικές από τις παραμέτρους του προβλήματος και στη συνέχεια προστίθενται κάποιες επεκτάσεις που κάνουν το πρόβλημα πιο σύνθετο και πιο αντιπροσωπευτικό με την πραγματικότητα (Κεφάλαιο 3). Στη συνέχεια γίνεται η παρουσίαση του αριθμητικού παραδείγματος που δημιουργήθηκε και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το μοντέλο και τις επεκτάσεις του (Κεφάλαιο 4). Επίσης γίνεται σύγκριση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων μεταξύ του βασικού μοντέλου και των επεκτάσεων (Κεφάλαιο 5). Τέλος, παρουσιάζεται η λύση από κάθε μοντέλο και κάθε επέκταση, η οποία απεικονίζει τον αριθμό των μηχανών και τον αριθμό από κάθε τύπο βαγονιών που θα χρησιμοποιηθούν στην κάθε διαδρομή ώστε να ικανοποιηθεί η ζήτηση (Κεφάλαιο 7).

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την βοήθεια, τις γνώσεις καθώς και τις πολύτιμες συμβουλές κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας κο Σαχαρίδη Γεώργιο, εκλεγμένο λέκτορα του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Επίσης, για τη βοήθεια σε καίρια σημεία, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που εργάζονται στο σταθμό τρένων της πόλης του Βόλου.

Ακόμη, ευχαριστώ τους φίλους μου για τη συμπαράσταση, την ανοχή όλο το διάστημα της υλοποίησης της εργασίας καθώς και τη βοήθεια που λίγο πολύ όλοι μου προσέφεραν

Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς μου για την υπομονή που έδειξαν μαζί μου τους τελευταίους μήνες και για τη στήριξή τους εδώ και 24 χρόνια.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	7
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	11
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	11
1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	12
1.1 Εισαγωγή.....	12
1.2 Περιγραφή προβλήματος	12
1.3 Επίλογος.....	16
2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ	18
2.1 Εισαγωγή.....	18
2.2 Περιγραφή Επιστημονικών δημοσιεύσεων.....	18
2.2.1 Simultaneous locomotive and car assignment at VIA Rail Canada.....	18
2.2.2 Operational car assignment at VIA Rail Canada	19
2.2.3 A Benders decomposition approach for the locomotive and car assignment problem	19
2.3 Επίλογος.....	20
3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	21
3.1 Εισαγωγή.....	21
3.2 Περιγραφή βασικού μοντέλου	21
3.3 Επεκτάσεις βασικού μοντέλου.....	24
3.3.1 Πρώτη επέκταση του βασικού μοντέλου	24
3.3.2 Δεύτερη επέκταση του βασικού μοντέλου.....	26
3.3.3 Τρίτη επέκταση του βασικού μοντέλου	27
3.3.4 Τέταρτη επέκταση του βασικού μοντέλου.....	29
3.4 Διαφορετική προσέγγιση του προβλήματος	31
3.5 Επίλογος.....	33

4	ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	34
4.1	Εισαγωγή.....	34
4.2	Μέθοδοι Επίλυσης.....	34
4.3	Αριθμητικό παράδειγμα και παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	35
4.3.1	Αποτελέσματα βασικού μοντέλου.....	37
4.3.2	Αποτελέσματα επεκτάσεων βασικού μοντέλου.....	38
4.3.2.1	Αποτελέσματα πρώτης επέκτασης του βασικού μοντέλου.....	38
4.3.2.2	Αποτελέσματα δεύτερης επέκτασης του βασικού μοντέλου.....	39
4.3.2.3	Αποτελέσματα τρίτης επέκτασης του βασικού μοντέλου.....	40
4.3.2.4	Αποτελέσματα τέταρτης επέκτασης του βασικού μοντέλου.....	41
4.3.3	Αποτελέσματα διαφορετικής προσέγγισης του προβλήματος.....	44
4.4	Επίλογος.....	44
5	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	45
5.1	Εισαγωγή.....	45
5.2	Σύγκριση και σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	45
5.3	Επίλογος.....	47
6	ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	48
7	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	50
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	55

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1: Μηχανή αμαξοστοιχίας.....	13
Εικόνα 1-2: Ολοκληρωμένη αμαξοστοιχία.....	14
Εικόνα 1-3: Βαγόνι πρώτης θέσης.....	15
Εικόνα 1-4: Βαγόνι δεύτερης θέσης	16

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3-1: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης για το βασικό μοντέλο	23
Πίνακας 3-2: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης για την πρώτη επέκταση του βασικού μοντέλου	25
Πίνακας 3-3: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης νέας αντικειμενικής συνάρτησης.....	28
Πίνακας 3-4: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης για την τέταρτη επέκταση του βασικού μοντέλου	31
Πίνακας 3-5: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης της προσέγγισης του προβλήματος με βάση τα κιλά	33
Πίνακας 4-1: ζήτηση για κάθε τύπο εξοπλισμού σε κάθε διαδρομή	36
Πίνακας 4-2: διάσταση προβλήματος βασικού μοντέλου.....	37
Πίνακας 4-3: παρουσίαση αποτελεσμάτων βασικού μοντέλου	37
Πίνακας 4-4: αρχικό απόθεμα σταθμών	38
Πίνακας 4-5: διάσταση προβλήματος πρώτης επέκτασης του βασικού μοντέλου	39
Πίνακας 4-6: παρουσίαση αποτελεσμάτων πρώτης επέκτασης του βασικού μοντέλου.....	39
Πίνακας 4-7: διάσταση προβλήματος δεύτερης επέκτασης του βασικού μοντέλου.....	39
Πίνακας 4-8: παρουσίαση αποτελεσμάτων δεύτερης επέκτασης του βασικού μοντέλου	40
Πίνακας 4-9: διάσταση προβλήματος τρίτης επέκτασης του βασικού μοντέλου	40
Πίνακας 4-10: παρουσίαση αποτελεσμάτων τρίτης επέκτασης του βασικού μοντέλου.....	41
Πίνακας 4-11: ονοματολογία διαδρομών που συνδέουν δύο σταθμούς	41
Πίνακας 4-12: αντιστοιχία αριθμού διαδρομής και ονόματος διαδρομής	42
Πίνακας 4-13: αριθμοί σταθμών μεταξύ δύο διαδρομών	43
Πίνακας 4-14: διάσταση προβλήματος τέταρτης επέκτασης του βασικού μοντέλου.....	43

Πίνακας 4-15: παρουσίαση αποτελεσμάτων τέταρτης επέκτασης του βασικού μοντέλου	43
Πίνακας 4-16: διάσταση προβλήματος της διαφορετικής προσέγγισης	44
Πίνακας 4-17: παρουσίαση αποτελεσμάτων της διαφορετικής προσέγγισης.....	44
Πίνακας 5-1: συγκεντρωτικός πίνακας μεγέθους προβλήματος	45
Πίνακας 5-2: συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων.....	46
Πίνακας 7-1: Λύση βασικού μοντέλου	51
Πίνακας 7-2: Λύση της πρώτης επέκτασης του βασικού μοντέλου	51
Πίνακας 7-3: Λύση της δεύτερης επέκτασης του βασικού μοντέλου.....	52
Πίνακας 7-4: Λύση της τρίτης επέκτασης του βασικού μοντέλου	53
Πίνακας 7-5: Λύση της τέταρτης επέκτασης του βασικού μοντέλου	54
Πίνακας 7-6: Λύση του μοντέλου της διαφορετικής προσέγγισης του προβλήματος	54

1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

1.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η περιγραφή του προβλήματος της ταυτόχρονης ανάθεσης μηχανών και βαγονιών ενός τρένου σε ένα σιδηρόδρομο. Επίσης, αναλύεται η σημασία που παρουσιάζει το συγκεκριμένο πρόβλημα της ανάθεσης μηχανών και βαγονιών αλλά και η δυσκολία που συναντάται στην προσέγγιση του. Επίσης, θα παρουσιαστούν και οι διάφοροι τύποι εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθούν για τη διερεύνηση του προβλήματος.

1.2 Περιγραφή προβλήματος

Στη παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται το πρόβλημα της ταυτόχρονης ανάθεσης μηχανών και βαγονιών για επιβατικά τρένα, στο οποίο έχοντας ως δεδομένο ένα πρόγραμμα δρομολογίων τρένων και έναν στόλο, ο οποίος απαρτίζεται από διαφορετικούς τύπους εξοπλισμού, έχει ως στόχο τον προσδιορισμό του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί, έτσι ώστε κάθε αμαξοστοιχία να διαθέτει τον εξοπλισμό ώστε να ικανοποιεί τη ζήτηση και παράλληλα να ελαχιστοποιεί το κόστος. Μία μεγάλη ποικιλία περιορισμών προέρχεται από τη λειτουργία ή τα χαρακτηριστικά του δικτύου. Για παράδειγμα κάθε μηχανή έχει τη δυνατότητα να έλκει συγκεκριμένο αριθμό από κάθε τύπο εξοπλισμού. Επίσης, ο μέγιστος αριθμός βαγονιών τα οποία μπορούν να παραμένουν αδρανή σε ένα σταθμό περιορίζεται από τη χωρητικότητα του σταθμού.

Το πρόβλημα της ανάθεσης μηχανών και βαγονιών, που αναλύεται σε αυτή την εργασία επιλύεται συνήθως κάθε μερικούς μήνες, όταν αλλάζουν τα δρομολόγια των τρένων και έτσι κατατάσσεται στο τακτικό επίπεδο σχεδιασμού. Βέβαια, ο χρονικός ορίζοντας βελτιστοποίησης κανονικά είναι μικρότερος και αντιστοιχεί σε μια προκαθορισμένη περίοδο, η οποία συχνά αντιστοιχεί σε μια εβδομάδα. Από τη στιγμή που εξετάζεται μια κυκλική λύση η οποία θα επαναλαμβάνεται σε κάθε περίοδο, το πρόβλημα μπορεί εύκολα να χαρακτηριστεί ως τακτικό και περιοδικό πρόβλημα ταυτόχρονης ανάθεσης μηχανών και βαγονιών σε ένα τρένο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Στο πρόβλημα θεωρείται μια αμαξοστοιχία, η οποία χρησιμοποιεί μηχανές και βαγόνια διαφορετικών τύπων. Ενώ οι μηχανές εξυπηρετούν τον ίδιο σκοπό, τα επιβατικά βαγόνια μπορεί να καλύπτουν διαφορετικές υπηρεσίες, όπως για παράδειγμα, τα βαγόνια της πρώτης και δεύτερης θέσης. Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά που ξεχωρίζουν ένα τύπο εξοπλισμού από έναν άλλο είναι η χωρητικότητα και το είδος του. Για μια μηχανή, η χωρητικότητα μετριέται με τον αριθμό των βαγονιών που μπορεί να τραβήξει, ενώ για ένα βαγόνι, η χωρητικότητα, είναι ανάλογη με τις θέσεις που έχει το βαγόνι.



Εικόνα 1-1: Μηχανή αμαξοστοιχίας¹

¹ <http://www.sofokleousin.gr/archives/176180.html>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ



Εικόνα 1-2: Ολοκληρωμένη αμαξοστοιχία²

Από τη στιγμή που εξετάζεται ένας ορίζοντας μερικών μηνών ο εξοπλισμός μπορεί να θεωρηθεί σταθερός. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ο αριθμός κάθε τύπου μηχανών και βαγονιών, που είναι διαθέσιμα, να θεωρείται ως δεδομένο του προβλήματος. Επίσης, για κάθε τύπο εξοπλισμού δεδομένο θεωρείται το κόστος ανά χιλιόμετρο που προκύπτει από τα καύσιμα και την συντήρηση. Στην παρούσα διπλωματική εργασία αυτό το κόστος είναι το ίδιο για τη μετάβαση μεταξύ δύο οποιονδήποτε σταθμών για κάθε τύπο εξοπλισμού. Έτσι τα συνολικά έξοδα από τη χρήση ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού προκύπτουν με πολλαπλασιασμό του κόστους για το συγκεκριμένο εξοπλισμό με τις συνολικές διαδρομές που θα καλύψει.

Οι τύποι του εξοπλισμού που είναι διαθέσιμοι μπορούν να συνδυαστούν με διάφορους τρόπους ώστε να σχηματίσουν ένα τρένο. Γενικά, ένα τρένο αποτελείται από έναν αριθμό μηχανών, συνήθως μια

² <http://www.inewsg.com/13/kovontai-dromologia-ose-kai-proastikou-apo-simera-mechri-tin-triti-22-apriliou.htm>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

ή δύο, και έναν αριθμό από βαγόνια πρώτης και δεύτερης θέσης και ορισμένες φορές υπάρχουν επιπρόσθετα βαγόνια με εστιατόρια και κυλικεία.



Εικόνα 1-3: Βαγόνι πρώτης θέσης³

³ <http://www.roninrome.com/wp-content/uploads/2001/07/Eurostar-Frecciargento-Train-First-Class.jpg>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ



Εικόνα 1-4: Βαγόني δεύτερης θέσης⁴

Ένα από τα πιο σημαντικά δεδομένα στο πρόβλημα της ταυτόχρονη ανάθεση μηχανών και βαγονιών είναι ο περιοδικός προγραμματισμός που προσδιορίζει, για κάθε τρένο που θα χρησιμοποιηθεί, τις απατήσεις σε εξοπλισμό για τη συγκεκριμένη περίοδο. Για ένα συγκεκριμένο δρομολόγιο οι ποσότητες αυτές δεν είναι συγκεκριμένες, αλλά εξαρτώνται από τον τύπο του τρένου που θα χρησιμοποιηθεί για το συγκεκριμένο δρομολόγιο. Οι απαιτήσεις σε εξοπλισμό για κάθε δρομολόγιο τρένου είτε προσεγγίζονται με τον αριθμό των επιβατών πρώτης και δεύτερης θέσης, όπως γίνεται συνήθως, είτε με τον αριθμό των βαγονιών πρώτης και δεύτερης θέσης.

1.3 Επίλογος

Στο παρών κεφάλαιο, έγινε η περιγραφή του προβλήματος της ταυτόχρονης ανάθεσης μηχανών και βαγονιών στα επιβατικά τρένα. Με τα παραπάνω έγινε κατανοητή η πολυπλοκότητα του

⁴ <http://www.mybeijingchina.com/beijing-train/beijing-shanghai-high-speed-trains/>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

προβλήματος, αλλά και η σημασία της επίλυσής του. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, θα γίνει ανάλυση τριών επιστημονικών δημοσιεύσεων που σχετίζονται με το πρόβλημα της ανάθεσης μηχανών και βαγονιών σε επιβατικά τρένα.

2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται επιστημονικές δημοσιεύσεις που σχετίζονται με το πρόβλημα της ανάθεσης μηχανών και βαγονιών σε επιβατικά τρένα. Στη βιβλιογραφία της επιχειρησιακής έρευνας υπάρχουν αρκετές αναφορές σχετικά με το πρόβλημα της ταυτόχρονης ανάθεσης μηχανών και βαγονιών σε ένα επιβατικό τρένο και ορισμένες από αυτές θα αναλυθούν στο συγκεκριμένο κεφάλαιο.

2.2 Περιγραφή Επιστημονικών δημοσιεύσεων

2.2.1 Simultaneous locomotive and car assignment at VIA Rail Canada

Μια σημαντική προσέγγιση για την ταυτόχρονη ανάθεση μηχανών και βαγονιών σε επιβατικά τρένα παρουσιάστηκε από τους Cordeau et al. (1999). Σε αυτή την εργασία παρουσιάστηκε ένα σοφιστικό μοντέλο και μια ευρετική μέθοδος επίλυσης βασισμένη σε μαθηματικό προγραμματισμό για την ανάθεση των μηχανών και των βαγονιών σε επιβατικά τρένα. Έχοντας ως δεδομένο ένα περιοδικό πρόγραμμα δρομολογίων και έναν στόλο, ο οποίος απαρτίζεται από διαφορετικούς τύπους μηχανών και βαγονιών, η προσέγγιση, που αναλύεται σε αυτή την εργασία, μας καθορίζει τον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίοδο, ώστε να ικανοποιηθεί το πρόγραμμα των δρομολογίων, ικανοποιώντας παράλληλα και έναν αριθμό από λειτουργικούς περιορισμούς.

Αρχικά, παρουσιάζεται μια βασική μοντελοποίηση η οποία λαμβάνει υπόψη τις απαιτήσεις για συντήρηση και άλλες βασικές δυσκολίες του προβλήματος. Στη συνέχεια, αναλύεται μερικές επεκτάσεις, όπως είναι οι δυνατότητες εναλλαγής και οι ελαχιστοποίηση των διαδικασιών εναλλαγής βαγονιών, οι οποίες απαιτούνται σε πραγματικές εφαρμογές. Το μοντέλο των αποτελεσμάτων βελτιστοποιείται με τη μέθοδο branch- and- bound, στην οποία, οι γραμμικές χαλαρώσεις επιλύονται με την δημιουργία νέων στηλών. Το μοντέλο και η στρατηγική επίλυσης δοκιμάστηκαν με δεδομένα από την VIA Rail στον

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ

Καναδά και ένα πλήρες λογισμικό βασισμένο πάνω σε αυτή την προσέγγιση χρησιμοποιείται πλέον από την συγκεκριμένη εταιρία.

2.2.2 Operational car assignment at VIA Rail Canada

Η ανάθεση μηχανών και βαγονιών σε ένα δοσμένο πρόγραμμα τρένων είναι περίπλοκο, αλλά είναι σημαντικό για τους σιδηρόδρομους. Η διαδικασία της ανάθεσης μηχανών και βαγονιών, συνήθως, διεξάγεται σε δύο φάσεις, στις οποίες αυξάνεται το επίπεδο της λεπτομέρειας που λαμβάνεται υπόψη. Σε αυτή την εργασία των Cordeau et al. (2002), περιγράφεται ένα μοντέλο και μια μεθοδολογία επίλυσης για το πρόβλημα ανάθεσης βαγονιών που προκύπτει όταν πρέπει να καθοριστούν δρομολόγια για το κάθε βαγόνι, τα οποία θα ικανοποιούν όλους τους λειτουργικούς περιορισμούς. Αυτή η μεθοδολογία περιλαμβάνει κλασσικούς περιορισμούς, όπως οι απαιτήσεις για συντήρηση, αλλά, επίσης, περιλαμβάνει και πιο σύνθετους περιορισμούς, όπως είναι οι ελάχιστες φορές σύνδεσης που εξαρτώνται από τη θέση του κάθε μεμονωμένου βαγονιού από τα οποία αποτελείται η αμαξοστοιχία. Το πρόβλημα επιλύεται ευρετικά με τη χρήση της μεθόδου branch- and- bound, στην οποία, οι γραμμικές χαλαρώσεις επιλύονται με την δημιουργία νέων στηλών. Τα πειράματα προσομοίωσης, που εκτελέστηκαν για πραγματικά δεδομένα, έδειξαν ότι η συγκεκριμένη προσέγγιση επίλυση του προβλήματος αποδίδει καλής ποιότητας λύσεις σε πολύ μικρούς υπολογιστικούς χρόνους.

2.2.3 A Benders decomposition approach for the locomotive and car assignment problem

Ένα από τα πολλά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι εταιρίες σιδηροδρομικών μεταφορών είναι να βελτιστοποιηθεί η χρησιμοποίηση του διαθέσιμου αποθέματος των μηχανών και των βαγονιών. Η συγκεκριμένη εργασία, περιγράφει μια μέθοδο αποσύνθεσης για την ταυτόχρονη ανάθεση μηχανών και βαγονιών στα πλαίσια της μεταφοράς επιβατών. Λαμβάνοντας υπόψη ένα σύνολο διαδρομών και έναν στόλο που αποτελείται από διάφορους τύπους εξοπλισμού, το πρόβλημα είναι να προσδιοριστεί ένα πρόγραμμα χρησιμοποίησης εξοπλισμού, το οποίο θα εφαρμόζεται περιοδικά, έτσι ώστε να καλύπτεται η κάθε διαδρομή και να ελαχιστοποιείται το κόστος. Το σύνολο των περιορισμών, οι οποίοι εμφανίζονται όταν εξετάζεται ταυτόχρονα η ανάθεση μηχανών και βαγονιών, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός μεγάλου προβλήματος ακέραιου προγραμματισμού. Στην εργασία αυτή, προτείνεται, ένας ακριβής αλγόριθμος, με βάση την προσέγγιση αποσύνθεσης τύπου Benders, που εκμεταλλεύεται τη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ

διαχωριστικότητα του προβλήματος. Τα υπολογιστικά πειράματα που έγιναν, έδειξαν ότι σε ορισμένες περιπτώσεις πραγματικών εφαρμογών, η μέθοδος βρίσκει τη βέλτιστη λύση με μικρό υπολογιστικό χρόνο. Επίσης, είναι καλύτερη σε σχέση με άλλες προσεγγίσεις που βασίζονται σε χαλάρωση Lagrange, μέθοδο αποσύνθεσης Dantzig–Wolfe, όπως επίσης και απλές μεθόδους branch- and- bound.

2.3 Επίλογος

Στο παρόν κεφάλαιο, έγινε ανάλυση τριών επιστημονικών δημοσιεύσεων που σχετίζονται με το πρόβλημα της ανάθεσης μηχανών και βαγονιών σε επιβατικά τρένα. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, θα γίνει περιγραφή των μαθηματικών μοντέλων επίλυσης του, που έχουν δημιουργηθεί στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας για την επίλυση του προβλήματος.

3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Στα προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάστηκε το πρόβλημα της ταυτόχρονης ανάθεσης μηχανών και βαγονιών σε επιβατικά τρένα, που έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους για την κάθε διαδρομή, καθώς και οι επιστημονικές έρευνες που έχουν γίνει με σκοπό την επίλυση του προβλήματος. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, θα γίνει η περιγραφή μαθηματικών μοντέλων που δημιουργήθηκαν στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας για την επίλυση του προβλήματος της ταυτόχρονης ανάθεσης μηχανών και βαγονιών σε επιβατικά τρένα. Αρχικά, παρουσιάζεται ένα βασικό μοντέλο και στη συνέχεια θα παρουσιαστούν οι επεκτάσεις που γίνονται σε αυτό το μοντέλο, ώστε να ληφθούν υπόψη διαφορετικές εκδοχές του προβλήματος.

3.2 Περιγραφή βασικού μοντέλου

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστεί το βασικό μοντέλο για την επίλυση του προβλήματος της ταυτόχρονης ανάθεσης μηχανών και βαγονιών σε επιβατικά τρένα. Το μαθηματικό μοντέλο αυτό αποτελεί μια απλοποίηση του μαθηματικού μοντέλου έτσι όπως διατυπώθηκε από τους (J. – F. Cordeau et al., 1999). Για τη δημιουργία του συγκεκριμένου μοντέλου λαμβάνονται υπόψη μια σειρά από παραδοχές ώστε το πρόβλημα να μπορεί να μορφοποιηθεί.

Η πρώτη παραδοχή που λαμβάνεται υπόψη αφορά την εξάλειψη των διαφορετικών ημερών. Για να γίνει αυτό κάθε διαδρομή που συνδέει δύο σταθμούς θεωρείται μοναδική, ανεξάρτητα από το αν η συγκεκριμένη διαδρομή εμφανίζεται σε περισσότερες από μια ημέρες, δηλαδή, η διαδρομή μεταξύ δύο σταθμών A και B, θεωρείται διαφορετική, για παράδειγμα την πρώτη και την δεύτερη ημέρα. Επίσης και η αντίστροφη διαδρομή μεταξύ δύο σταθμών θεωρείται ανεξάρτητη διαδρομή, δηλαδή, η διαδρομή από έναν σταθμό A σε έναν σταθμό B είναι διαφορετική από τη διαδρομή από τον σταθμό B προς τον σταθμό A. Επίσης για την εξάλειψη των διαφορετικών ημερών, ο προγραμματισμός που γίνεται αφορά μια συγκεκριμένη αμαξοστοιχία, της οποίας η διαδρομή είναι συνεχόμενη μεταξύ των διαφορετικών ημερών, δηλαδή, αν για μια ημέρα ο προγραμματισμός τελείωσε σε ένα σταθμό A, τότε την επόμενη η αμαξοστοιχία θα ξεκινάει από αυτό τον σταθμό A.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Μια δεύτερη παραδοχή που παρουσιάζεται σε αυτό το μοντέλο, αφορά τον εξοπλισμό που είναι διαθέσιμος σε κάθε σταθμό. Στο βασικό μοντέλο, το οποίο θα παρουσιαστεί παρακάτω, υπάρχει μόνο η δυνατότητα να αφήσει η αμαξοστοιχία εξοπλισμό σε ένα σταθμό και όχι να παραλάβει εξοπλισμό από αυτόν. Επίσης, στον αρχικό και τελικό σταθμό δεν υπάρχει περιορισμός σχετικά με τον εξοπλισμό και μία αμαξοστοιχία μπορεί να ξεκινήσει με όσο εξοπλισμό χρειάζεται και να τερματίσει με όσο εξοπλισμό της έχει απομείνει. Τέλος, στο συγκεκριμένο μοντέλο, όλοι οι ενδιάμεσοι σταθμοί έχουν την ίδια χωρητικότητα σε εξοπλισμό.

Η τελευταία παραδοχή που χρησιμοποιείται σε αυτό το μοντέλο έχει να κάνει με τον αριθμό των βαγονιών που είναι ικανή κάθε μηχανή να σύρει. Στο βασικό μοντέλο θεωρείται ότι υπάρχει μόνο ένας τύπος μηχανής.

Αρχικά, πριν την παρουσίαση του μαθηματικού μοντέλου για την επίλυση του προβλήματος της ταυτόχρονης ανάθεσης δίνεται ο παρακάτω πίνακας, ο οποίος περιέχει τους δείκτες, τον συμβολισμό των δεδομένων και τις μεταβλητές απόφασης που χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο μοντέλο.

Ονοματολογία

Δείκτες

k τύπος εξοπλισμού,

w διαδρομή,

$w1$ διαδρομή.

Σύνολα

K αριθμός διαφορετικών τύπων εξοπλισμού,

K_c αριθμός διαφορετικών τύπων βαγονιών επιβατών,

W συνολικός αριθμός των διαδρομών.

Δεδομένα

$C_{k,w}$ κόστος για τη χρησιμοποίηση του εξοπλισμού τύπου k , στη διαδρομή w ,

$N_{k,w}$ ελάχιστος αριθμός εξοπλισμού τύπου k που απαιτείται για τη διαδρομή w ,

$A_{w,w1}$ δυαδική παράμετρος (0-1) η οποία είναι ίση με 1, αν η διαδρομή w συνδέεται με τη διαδρομή $w1$, 0 αν όχι,

Z_{max} ο μέγιστος αριθμός βαγονιών που μπορεί να σύρει μια μηχανή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

H	χωρητικότητα ενός σταθμού για αποθήκευση εξοπλισμού.
Μεταβλητές Απόφασης	
$Y_{k,w,w1}$	θετική ακεραία μεταβλητή, που δείχνει τον αριθμό των μονάδων εξοπλισμού τύπου k , που απεμπλέκονται από την αμαξοστοιχία στο σταθμό που βρίσκεται μεταξύ των διαδρομών w και $w1$.
$TH_{k,w}$	θετική ακεραία μεταβλητή, που δείχνει τον αριθμό των μονάδων εξοπλισμού τύπου k , που χρησιμοποιούνται στη διαδρομή w .

Πίνακας 3-1: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης για το βασικό μοντέλο

Ο Πίνακας 3-1 παρουσιάστηκαν οι δείκτες τα δεδομένα και οι μεταβλητές απόφασης που θα χρησιμοποιηθούν στο βασικό μοντέλο. Στον πίνακα αυτόν παρουσιάζεται ο συνολικός αριθμός διαφορετικών τύπων εξοπλισμού. Ο αριθμός αυτός προκύπτει από την πρόσθεση του αριθμού των διαφορετικών τύπων βαγονιών και του αριθμού των διαφορετικών τύπων μηχανών που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ίσος με ένα, δηλαδή είναι ίσος με $K_c + 1$ και όταν χρησιμοποιείται ως δείκτης αναφέρεται στη μηχανή. Το βασικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για την επίλυση του προβλήματος της ταυτόχρονης ανάθεσης μηχανών και βαγονιών σε επιβατικά τρένα είναι το εξής:

$$\text{Minimize } Z = \sum_{k \in K} \sum_{w \in W} TH_{k,w} * C_{k,w} \quad (3.1)$$

$$\text{Περιορισμοί: } TH_{k,w} \geq N_{k,w}, \quad k \in K, \quad w \in W \quad (3.2)$$

$$TH_{K,w} * Z_{max} \geq \sum_{k \in K_c} TH_{k,w}, \quad w \in W \quad (3.3)$$

$$(TH_{k,w} - TH_{k,w1} - Y_{k,w,w1}) * A_{w,w1} = 0, \quad k \in K, \quad w \in W, \quad w1 \in W \quad (3.4)$$

$$\sum_{k \in K} Y_{k,w,w1} \leq H, \quad w \in W, \quad w1 \in W \quad (3.5)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση (3.1) εξασφαλίζει την ελαχιστοποίηση του κόστους, το οποίο προκύπτει από το άθροισμα, για όλες τις ημέρες που εξετάζονται, του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για μια διαδρομή w , πολλαπλασιασμένο με το κόστος για τη χρησιμοποίηση του εξοπλισμού αυτού. Ο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

περιορισμός (3.2) εγγυάται ότι οι μονάδες εξοπλισμού, που θα περιλαμβάνει ένα τρένο, θα είναι τουλάχιστον ίσες με τις απαιτήσεις για τη συγκεκριμένη διαδρομή. Ο περιορισμός (3.3) εξασφαλίζει ότι ο αριθμός των βαγονιών που σέρνει μια μηχανή, είναι μικρότερος ή ίσος με τον μέγιστο αριθμό που μπορεί να σύρει η συγκεκριμένη μηχανή. Ο περιορισμός (3.4) δηλώνει τη συνέχιση της ροής του εξοπλισμού μεταξύ δύο διαδρομών, δηλαδή, ο εξοπλισμός που εισέρχεται σε ένα σταθμό από τη διαδρομή w , πρέπει να είναι ίσος με αυτόν που εξέρχεται από το σταθμό από τη διαδρομή w_1 , συν τον εξοπλισμό που αποθηκεύτηκε στο σταθμό. Ο περιορισμός αυτός όμως πρέπει να ισχύει μόνο στην περίπτωση που οι διαδρομές w και w_1 συνδέονται μεταξύ τους. Ο τελευταίος περιορισμός (3.5) του συγκεκριμένου μοντέλου εξασφαλίζει ότι ο εξοπλισμός που θα αποθηκεύεται σε κάθε σταθμό θα είναι μικρότερος ή ίσος από τη χωρητικότητα του σταθμού σε εξοπλισμό.

3.3 Επεκτάσεις βασικού μοντέλου

Στην ενότητα αυτή θα αναλυθούν οι επεκτάσεις που δημιουργήθηκαν έτσι ώστε το βασικό μοντέλο, το οποίο αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα, να γίνει πιο σύνθετο και να αντικατοπτρίζει καλύτερη το πραγματικό πρόβλημα της ταυτόχρονης ανάθεσης μηχανών και βαγονιών σε επιβατικά τρένα.

3.3.1 Πρώτη επέκταση του βασικού μοντέλου

Στην ενότητα αυτή θα αναλυθεί η πρώτη από τις επεκτάσεις του βασικού μοντέλου. Η πρώτη αυτή επέκταση γίνεται με σκοπό να εξαλειφθεί η δεύτερη παραδοχή που αναλύθηκε νωρίτερα και αφορά τη χωρητικότητα των σταθμών. Πριν την παρουσίαση της πρώτης επέκτασης δίνεται η ονοματολογία των δεικτών, των δεικτών και των μεταβλητών απόφασης.

Ονοματολογία

Δείκτες

k	Τύπος εξοπλισμού,
w	διαδρομή,
w_1	διαδρομή.
Σύνολα	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

K	αριθμός διαφορετικών τύπων εξοπλισμού,
K_c	αριθμός διαφορετικών τύπων βαγονιών επιβατών,
W	συνολικός αριθμός των διαδρομών.
Δεδομένα	
$C_{k,w}$	κόστος για τη χρησιμοποίηση του εξοπλισμού τύπου k , στη διαδρομή w ,
$N_{k,w}$	ελάχιστος αριθμός εξοπλισμού τύπου k που απαιτείται για τη διαδρομή w ,
$A_{w,w1}$	δυαδική παράμετρος (0-1) η οποία είναι ίση με 1, αν η διαδρομή w συνδέεται με τη διαδρομή $w1$, 0 αν όχι,
Z_{max}	ο μέγιστος αριθμός βαγονιών που μπορεί να σύρει μια μηχανή,
$H_{w,w1}$	χωρητικότητα του σταθμού, που βρίσκεται μεταξύ των διαδρομών w και $w1$, για αποθήκευση εξοπλισμού,
$E_{k,w,w1}$	η ποσότητα εξοπλισμού τύπου k , που βρίσκεται αποθηκευμένη στο σταθμό μεταξύ των διαδρομών w και $w1$,
FS_CAP_k	η μέγιστη ποσότητα εξοπλισμού τύπου k , με τον οποίο μπορεί να ξεκινήσει η αμαξοστοιχία από τον πρώτο σταθμό,
LS_CAP	η χωρητικότητα του τελευταίου σταθμού.
Μεταβλητές Απόφασης	
$Y_{k,w,w1}$	θετική ακέραια μεταβλητή, που δείχνει τον αριθμό των μονάδων εξοπλισμού τύπου k , που απεμπλέκονται από την αμαξοστοιχία στο σταθμό που βρίσκεται μεταξύ των διαδρομών w και $w1$,
$TH_{k,w}$	θετική ακέραια μεταβλητή, που δείχνει τον αριθμό των μονάδων εξοπλισμού τύπου k , που χρησιμοποιούνται στη διαδρομή w .
$X_{k,w,w1}$	θετική ακέραια μεταβλητή, με άνω όριο τη διαθέσιμη ποσότητα εξοπλισμού τύπου k , που βρίσκεται αποθηκευμένη στο σταθμό μεταξύ των διαδρομών w και $w1$, και δείχνει τον αριθμό των μονάδων εξοπλισμού τύπου k , που εμπλέκονται στην αμαξοστοιχία στο σταθμό που βρίσκεται μεταξύ των διαδρομών w και $w1$.

Πίνακας 3-2: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης για την πρώτη επέκταση του βασικού μοντέλου

Το μαθηματικό μοντέλο της πρώτης επέκτασης είναι το εξής:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Η αντικειμενική συνάρτηση, όπως και κάποιοι περιορισμοί είναι κοινοί με το βασικό μοντέλο που αναλύθηκε στην ενότητα 3.2. Συγκεκριμένα η αντικειμενική συνάρτηση είναι η (3.1) και οι περιορισμοί είναι οι (3.2) και (3.3). Οι επιπρόσθετοι περιορισμοί είναι οι ακόλουθοι:

$$(TH_{k,w} - TH_{k,w1} - Y_{k,w,w1} + X_{k,w,w1}) * A_{w,w1} = 0, \quad k \in K, \quad w \in W, \quad w1 \in W \quad (3.6)$$

$$\sum_{k \in K} Y_{k,w,w1} - \sum_{k \in K} X_{k,w,w1} \leq H_{w,w1} - E_{k,w,w1}, \quad w \in W, \quad w1 \in W \quad (3.7)$$

$$TH_{k,0} \leq FS_CAP_k, \quad k \in K \quad (3.8)$$

$$\sum_{k \in K} TH_{k,W-1} \leq LS_CAP \quad (3.9)$$

Ο περιορισμός (3.6) δηλώνει τη συνέχιση της ροής του εξοπλισμού μεταξύ δύο διαδρομών, δηλαδή, ο εξοπλισμός που εισέρχεται σε ένα σταθμό από τη διαδρομή w , συν τον εξοπλισμό που εμπλέκεται στην αμαξοστοιχία στο συγκεκριμένο σταθμό, πρέπει να είναι ίσος με αυτόν που εξέρχεται από το σταθμό από τη διαδρομή $w1$, συν τον εξοπλισμό που απεμπλέκεται από την αμαξοστοιχία στο συγκεκριμένο σταθμό. Ο περιορισμός (3.7) εξασφαλίζει ότι ο εξοπλισμός που θα αποθηκεύεται σε κάθε σταθμό θα είναι μικρότερος ή ίσος από τη χωρητικότητα του σταθμού σε εξοπλισμό. Ο περιορισμός (3.8) εξασφαλίζει ότι ο κάθε τύπος εξοπλισμού που θα χρησιμοποιεί η αμαξοστοιχία ξεκινώντας από τον πρώτο σταθμό θα είναι μικρότερος ή ίσος με τον εξοπλισμό που είναι διαθέσιμος στο συγκεκριμένο σταθμό. Τέλος, ο περιορισμός (3.9) εξασφαλίζει ότι ο εξοπλισμός της αμαξοστοιχίας στην τελευταία διαδρομή δεν θα υπερβαίνει την χωρητικότητα του τελευταίου σταθμού.

3.3.2 Δεύτερη επέκταση του βασικού μοντέλου

Η δεύτερη επέκταση του βασικού μοντέλου έχει να κάνει με τα εστιατόρια – κυλικεία που υπάρχουν στα επιβατικά τρένα. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων τα εστιατόρια – κυλικεία αποτελούν ξεχωριστά βαγόνια και ο αριθμός τους είναι ανάλογος με τον αριθμό των επιβατών, άρα και κατά συνέπεια είναι ανάλογος και με τον αριθμό των επιβατικών βαγονιών της αμαξοστοιχίας. Επίσης, στη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

συγκεκριμένη διπλωματική εργασία θεωρείται ότι για κάθε δύο επιβατικά βαγόνια χρειάζεται και ένα βαγόκι εστιατορίου.

Για την εισαγωγή του αριθμού των εστιατορίων – κυλικείων στο μοντέλο, ο οποίος θα είναι ανάλογος με τον αριθμό των επιβατικών βαγονιών της αμαξοστοιχίας, εισάγεται ο παρακάτω περιορισμός

$$\frac{\sum_{k \in K_c} (N_{k,w})}{2} \leq TH_{k_{max}-1,w}, \quad w \in W \quad (3.10)$$

Ο περιορισμός (3.10) εξασφαλίζει ότι σε κάθε διαδρομή, ο αριθμός των εστιατορίων θα πρέπει να μπορεί να ικανοποιήσει τη ζήτηση, σύμφωνα με τον αριθμό των βαγονιών που χρειάζονται για τη συγκεκριμένη διαδρομή. Στο δεξιό μέλος του περιορισμού εμφανίζεται ο δείκτης $k_{max}-1$ ο οποίος αναφέρεται στα βαγόνια εστιατορίων.

3.3.3 Τρίτη επέκταση του βασικού μοντέλου

Στην τρίτη επέκταση του βασικού μοντέλου γίνεται αλλαγή στην αντικειμενική συνάρτηση. Η αλλαγή αυτή γίνεται για να εισαχθούν στο μοντέλο και τα κόστη που προκύπτουν από τις λειτουργίες που αναλύθηκαν στις προηγούμενες επεκτάσεις του βασικού μοντέλου.

Εκτός από το κόστος που προκύπτει από τη χρήση του εξοπλισμού για μια διαδρομή, το οποίο αναλύθηκε στην αντικειμενική συνάρτηση (3.1), υπάρχουν και άλλα λειτουργικά κόστη. Πριν την παρουσίαση της νέας αντικειμενικής συνάρτησης δίνεται ο πίνακας των δεικτών, των δεδομένων και των μεταβλητών απόφασης που χρησιμοποιούνται στη νέα αντικειμενική συνάρτηση.

Ονοματολογία

Δείκτες

k	τύπος εξοπλισμού,
w	διαδρομή.

Σύνολα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

K	αριθμός διαφορετικών τύπων εξοπλισμού,
K_c	αριθμός διαφορετικών τύπων βαγονιών επιβατών,
W	συνολικός αριθμός των διαδρομών.
Δεδομένα	
$C_{k,w}$	κόστος για τη χρησιμοποίηση του εξοπλισμού τύπου k , στη διαδρομή w ,
$N_{k,w}$	ελάχιστος αριθμός εξοπλισμού τύπου k που απαιτείται για τη διαδρομή w ,
C_{out_k}	κόστος απεμπλοκής του εξοπλισμού τύπου k σε ένα σταθμό,
C_{in_k}	κόστος εμπλοκής του εξοπλισμού τύπου k σε ένα σταθμό,
C_{rest}	κέρδος που προκύπτει από τη χρήση ενός εστιατορίου – κυλικείου.
Μεταβλητές Απόφασης	
$Y_{k,w,w1}$	θετική ακεραία μεταβλητή, που δείχνει τον αριθμό των μονάδων εξοπλισμού τύπου k , που απεμπλέκονται από την αμαξοστοιχία στο σταθμό που βρίσκεται μεταξύ των διαδρομών w και $w1$,
$TH_{k,w}$	θετική ακεραία μεταβλητή, που δείχνει τον αριθμό των μονάδων εξοπλισμού τύπου k , που χρησιμοποιούνται στη διαδρομή w ,
$X_{k,w,w1}$	θετική ακεραία μεταβλητή, με άνω όριο τη διαθέσιμη ποσότητα εξοπλισμού τύπου k , που βρίσκεται αποθηκευμένη στο σταθμό μεταξύ των διαδρομών w και $w1$, και δείχνει τον αριθμό των μονάδων εξοπλισμού τύπου k , που εμπλέκονται στην αμαξοστοιχία στο σταθμό που βρίσκεται μεταξύ των διαδρομών w και $w1$.

Πίνακας 3-3: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης νέας αντικειμενικής συνάρτησης

Η νέα αντικειμενική συνάρτηση λοιπόν είναι η εξής:

$$\begin{aligned}
 \text{Minimize } Z = & \sum_{k \in K} \sum_{w \in W} TH_{k,w} * C_{k,w} + \sum_{k \in K} \sum_{w \in W} \sum_{w1 \in W} Y_{k,w,w1} * C_{out_k} \\
 & + \sum_{k \in K} \sum_{w \in W} \sum_{w1 \in W} X_{k,w,w1} * C_{in_k} - \sum_{k \in K_c} \sum_{w \in W} \frac{N_{k,w}}{2} * C_{rest}
 \end{aligned} \tag{3.11}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Η αντικειμενική συνάρτηση (3.11) εξασφαλίζει την ελαχιστοποίηση του κόστους που προκύπτει αν λάβουμε υπόψη και τις νέες παραμέτρους. Ο πρώτος όρος της αντικειμενικής συνάρτησης εκφράζει το κόστος που προκύπτει από τα λειτουργικό κόστος χρήσης του εξοπλισμού για μία διαδρομή. Ο δεύτερος όρος εκφράζει το κόστος απεμπλοκής μιας μονάδας εξοπλισμού σε κάποιον σταθμό μεταξύ δύο διαδρομών. Ο τρίτος όρος εκφράζει το κόστος που προκύπτει από την εμπλοκή μιας μονάδας εξοπλισμού σε κάποιον σταθμό μεταξύ δύο διαδρομών. Τέλος, ο τέταρτος όρος της αντικειμενικής εκφράζει το κέρδος που προκύπτει από τη χρησιμοποίηση ενός εστιατορίου – κυλικείου. Το κέρδος αυτό είναι ανάλογο με τη ζήτηση που υπάρχει για μια συγκεκριμένη διαδρομή και όχι με τον αριθμό των εστιατορίων που χρησιμοποιούνται, καθώς αυτά μπορεί να μην είναι όλα απαραίτητα, αλλά να αποτελούν μέρος της αμαξοστοιχίας για χρήση σε κάποια από τις επόμενες διαδρομές.

3.3.4 Τέταρτη επέκταση του βασικού μοντέλου

Η τέταρτη επέκταση του βασικού μοντέλου αποτελεί το πιο σύνθετο μοντέλο και είναι το μοντέλο, που πλησιάζει περισσότερο από όλα, το πραγματικό πρόβλημα της ταυτόχρονης ανάθεσης μηχανών και βαγονιών σε επιβατικά τρένα. Στην τέταρτη και τελευταία επέκταση θα προστεθούν τα δεδομένα που απαιτούνται ώστε σε κάθε σταθμό να υπάρχει μνήμη σχετικά με τον εξοπλισμό που είναι αποθηκευμένος ανά πάσα στιγμή στον συγκεκριμένο σταθμό.

Τα προηγούμενα μοντέλα που παρουσιάστηκαν θεωρούσαν διαφορετική και ανεξάρτητη κάθε πιθανή διαδρομή. Στην επέκταση αυτή εισάγονται και οι σταθμοί στο πρόβλημα. Η εισαγωγή των σταθμών γίνεται με μια παράμετρο η οποία δείχνει το σταθμό που αντιστοιχεί μεταξύ δύο διαδρομών. Πριν την παρουσίαση του μοντέλου δίνεται ο πίνακας των δεικτών, των δεδομένων και των μεταβλητών απόφασης που χρησιμοποιούνται στην τέταρτη επέκταση του βασικού μοντέλου.

Ονοματολογία

Δείκτες

k	τύπος εξοπλισμού,
w	διαδρομή,
$w1$	διαδρομή,
b	σταθμός.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Σύνολα

K	αριθμός διαφορετικών τύπων εξοπλισμού,
K_c	αριθμός διαφορετικών τύπων βαγονιών επιβατών,
W	συνολικός αριθμός των διαδρομών,
B	αριθμός σταθμών.

Δεδομένα

$C_{k,w}$	κόστος για τη χρησιμοποίηση του εξοπλισμού τύπου k , στη διαδρομή w ,
$N_{k,w}$	ελάχιστος αριθμός εξοπλισμού τύπου k που απαιτείται για τη διαδρομή w ,
$A_{w,w1}$	δυαδική παράμετρος (0-1) η οποία είναι ίση με 1, αν η διαδρομή w συνδέεται με τη διαδρομή $w1$, 0 αν όχι,
Z_{max}	ο μέγιστος αριθμός βαγονιών που μπορεί να σύρει μια μηχανή,
H_b	χωρητικότητα του σταθμού b , για αποθήκευση εξοπλισμού,
$E_{k,b}$	η ποσότητα εξοπλισμού τύπου k , που βρίσκεται αποθηκευμένη στο σταθμό b , πριν ξεκινήσει ο προγραμματισμός,
FS_CAP_k	η μέγιστη ποσότητα εξοπλισμού τύπου k , με τον οποίο μπορεί να ξεκινήσει η αμαξοστοιχία από τον πρώτο σταθμό,
LS_CAP	η χωρητικότητα του τελευταίου σταθμού,
C_{out_k}	κόστος απεμπλοκής του εξοπλισμού τύπου k σε ένα σταθμό,
C_{in_k}	κόστος εμπλοκής του εξοπλισμού τύπου k σε ένα σταθμό,
C_{rest}	κέρδος που προκύπτει από τη χρήση ενός εστιατορίου – κυλικείου,
$L_{w,w1}$	εκφράζει τον αριθμό του σταθμού που βρίσκεται μεταξύ των διαδρομών w και $w1$.

Μεταβλητές Απόφασης

$Y_{k,w,w1}$	θετική ακέραια μεταβλητή, που δείχνει τον αριθμό των μονάδων εξοπλισμού τύπου k , που απεμπλέκονται από την αμαξοστοιχία στο σταθμό που βρίσκεται μεταξύ των διαδρομών w και $w1$,
$TH_{k,w}$	θετική ακέραια μεταβλητή, που δείχνει τον αριθμό των μονάδων εξοπλισμού τύπου k , που χρησιμοποιούνται στη διαδρομή w ,
$X_{k,w,w1}$	θετική ακέραια μεταβλητή, με άνω όριο τη διαθέσιμη ποσότητα εξοπλισμού τύπου k , που βρίσκεται αποθηκευμένη στο σταθμό μεταξύ των διαδρομών w και $w1$, και δείχνει τον αριθμό των

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

μονάδων εξοπλισμού τύπου k , που εμπλέκονται στην αμαξοστοιχία στο σταθμό που βρίσκεται μεταξύ των διαδρομών w και $w1$.

Πίνακας 3-4: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης για την τέταρτη επέκταση του βασικού μοντέλου

Το μαθηματικό μοντέλο της τέταρτης επέκτασης είναι το εξής:

Η αντικειμενική συνάρτηση, όπως και κάποιοι περιορισμοί είναι κοινοί με το βασικό μοντέλο που αναλύθηκε στην ενότητα 3.2 και τις επεκτάσεις του που έχουν αναλυθεί μέχρι τώρα. Συγκεκριμένα η αντικειμενική συνάρτηση είναι η (3.11) και οι περιορισμοί είναι οι (3.2), (3.3), (3.6), (3.8), (3.9) και (3.10). Οι περιορισμοί που προστίθενται σε αυτή την επέκταση είναι οι ακόλουθοι:

$$0 \leq \sum_{w \in W} \sum_{w1 \in W} (if (L_{w,w1} = b) then \{ \sum_{k \in K} Y_{k,w,w1} - X_{k,w,w1} \}) \leq H_{w,w1}, \quad b \in B \quad (3.12)$$

$$\sum_{w \in W} \sum_{w1 \in W} (if (L_{w,w1} = b) then \{ X_{k,w,w1} - Y_{k,w,w1} \}) \leq E_{k,b}, \quad b \in B, \quad k \in K \quad (3.13)$$

Ο περιορισμός (3.12), που προστίθεται στο μοντέλο σε αυτή την επέκταση, εξασφαλίζει ότι ο εξοπλισμός που βρίσκεται αποθηκευμένος σε κάθε σταθμό, ο οποίος ισούται με το άθροισμα του αριθμού του εξοπλισμού που απεμπλέκεται στην αμαξοστοιχία, μείων τον αριθμό του εξοπλισμού που εμπλέκεται στην αμαξοστοιχία στο συγκεκριμένο σταθμό, όλες τις φορές που η αμαξοστοιχία επισκέπτεται τον συγκεκριμένο σταθμό, δεν ξεπερνά τη χωρητικότητα του σταθμού. Επίσης, εξασφαλίζει ότι ο αριθμός του εξοπλισμού που είναι αποθηκευμένος σε κάθε σταθμό είναι μεγαλύτερος ή ίσος του μηδενός. Ο περιορισμός (3.13) εξασφαλίζει ότι ο αριθμός του εξοπλισμού που εμπλέκεται στην αμαξοστοιχία σε κάθε σταθμό, από κάθε τύπο εξοπλισμού, είναι μικρότερος ή ίσος με τον αριθμό του εξοπλισμού που βρισκόταν αρχικά στο σταθμό πριν την έναρξη του προγραμματισμού, συν τον αριθμό του συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού που απεμπλέχθηκε από την αμαξοστοιχία.

3.4 Διαφορετική προσέγγιση του προβλήματος

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστεί μια διαφορετική προσέγγιση για την επίλυση του προβλήματος της ταυτόχρονης ανάθεσης μηχανών και βαγονιών σε επιβατικά τρένα. Η προσέγγιση αυτή χρησιμοποιείται κυρίως σε εμπορικές αμαξοστοιχίες και όχι σε επιβατικές. Παρόλα αυτά όμως στη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

συγκεκριμένη διπλωματική εργασία γίνεται μια προσπάθεια να προσεγγιστεί το πρόβλημα για τα επιβατικά τρένα με αυτόν τον τρόπο.

Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στα κιλά που έχει τη δυνατότητα να τραβήξει κάθε τύπος μηχανής. Για την προσέγγιση του προβλήματος, όμως, με αυτόν τον τρόπο χρειάζεται να γίνει μια παραδοχή. Η παραδοχή που γίνεται αφορά το βάρος κάθε βαγονιού. Στα επιβατικά τρένα το βάρος των βαγονιών εξαρτάται από τον αριθμό των ατόμων που μεταφέρει το κάθε βαγόνι. Στη συγκεκριμένη προσέγγιση τα βαγόνια θεωρούνται ότι είναι πάντα γεμάτα με επιβάτες και ότι το βάρος τους παραμένει σταθερό και είναι το μέγιστο για κάθε βαγόνι.

Πριν την παρουσίαση του μοντέλου δίνεται ο πίνακας των δεικτών, των δεδομένων και των μεταβλητών απόφασης που χρησιμοποιούνται σε αυτή την προσέγγιση για την επίλυση του βασικού μοντέλου.

Ονοματολογία

Δείκτες

k τύπος εξοπλισμού,

w διαδρομή,

$w1$ διαδρομή.

Σύνολα

K αριθμός διαφορετικών τύπων εξοπλισμού,

K_c αριθμός διαφορετικών τύπων βαγονιών επιβατών,

W συνολικός αριθμός των διαδρομών.

Δεδομένα

$C_{k,w}$ κόστος για τη χρησιμοποίηση του εξοπλισμού τύπου k , στη διαδρομή w ,

$N_{k,w}$ ελάχιστος αριθμός εξοπλισμού τύπου k που απαιτείται για τη διαδρομή w ,

$A_{w,w1}$ δυαδική παράμετρος (0-1) η οποία είναι ίση με 1, αν η διαδρομή w συνδέεται με τη διαδρομή $w1$, 0 αν όχι,

$weight_pull$ ο μέγιστος αριθμός κιλών που μπορεί να σύρει μια μηχανή,

H χωρητικότητα ενός σταθμού για αποθήκευση εξοπλισμού,

$weight_k$ συνολικό βάρος βαγονιού τύπου k .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Μεταβλητές Απόφασης

$Y_{k,w,w1}$	θετική ακεραία μεταβλητή, που δείχνει τον αριθμό των μονάδων εξοπλισμού τύπου k , που απεμπλέκονται από την αμαξοστοιχία στο σταθμό που βρίσκεται μεταξύ των διαδρομών w και $w1$.
$TH_{k,w}$	θετική ακεραία μεταβλητή, που δείχνει τον αριθμό των μονάδων εξοπλισμού τύπου k , που χρησιμοποιούνται στη διαδρομή w .

Πίνακας 3-5: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης της προσέγγισης του προβλήματος με βάση τα κιλά

Το μαθηματικό μοντέλο της προσέγγισης του προβλήματος με βάση τα κιλά είναι το παρακάτω:

Η αντικειμενική συνάρτηση, όπως και κάποιοι περιορισμοί είναι κοινói με το βασικό μοντέλο που αναλύθηκε στην ενότητα 3.2. Συγκεκριμένα η αντικειμενική συνάρτηση είναι η (3.1) και οι περιορισμοί είναι οι (3.2), (3.4), (3.5). Ο μοναδικός περιορισμός που αντικαθίσταται σε σχέση με το βασικό μοντέλο είναι ο περιορισμός (3.3), ο οποίος αντικαθίσταται από τον παρακάτω περιορισμό:

$$TH_{K,w} * weight_{pull} \geq \sum_{k \in K_c} TH_{k,w} * weight_k, \quad w \in W \quad (3.14)$$

Ο περιορισμός (3.14) είναι αντίστοιχος με τον περιορισμό (3.3) και εξασφαλίζει ότι το συνολικό βάρος των βαγονιών που σέρνει μια μηχανή, είναι μικρότερο ή ίσο από το μέγιστο βάρος που μπορεί να σύρει η συγκεκριμένη μηχανή.

3.5 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκαν το βασικό μαθηματικό μοντέλο και οι επεκτάσεις του που επιλύουν το πρόβλημα της ταυτόχρονης ανάθεσης μηχανών και βαγονιών σε επιβατικά τρένα., με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους. Επίσης παρουσιάστηκε και μια διαφορετική προσέγγιση για την επίλυση του προβλήματος η οποία εφαρμόζεται κυρίως σε εμπορικά τρένα. Αναλύθηκαν μοντέλα και οι παραδοχές που γίνονται σε κάθε ένα από αυτά. 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 ταυτόχρονης ανάθεσης μηχανών και βαγονιών σε επιβατικά τρένα. 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 IBM CPLEX Optimization Studio Academic Research Edition 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 Microsoft Visual Studio 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 Microsoft Visual Studio 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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

μεταβλητών απόφασης. Για τους περιορισμούς ορίζονται αντικείμενα των κλάσεων «PoRangeArray» ή «PoRangeMatrix» 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 τη συνάρτηση του χρόνου αναμονής στους ενδιαμέσους, αποτέλεσε και ο χρόνος εκτέλεσης κάθε προγράμματος. Για τον παραπάνω λόγο όλα τα αποτελέσματα λήφθηκαν από τον ίδιο υπολογιστή.

4.3 Αριθμητικό παράδειγμα και παρουσίαση αποτελεσμάτων

Για την επίλυση του προβλήματος και την συλλογή των αποτελεσμάτων, δημιουργήθηκε ένα υποθετικό παράδειγμα. Στο παράδειγμα αυτό υπάρχουν διαφορές σε ορισμένα σημεία ανάλογα με το μοντέλο που χρησιμοποιείται, καθώς δεν έχουν όλα τα μοντέλα τις ίδιες απαιτήσεις σε ότι αφορά τα δεδομένα.

Αρχικά παρουσιάζονται τα δεδομένα που είναι κοινά για όλα τα μοντέλα. Στο παράδειγμα που δημιουργήθηκε, χρησιμοποιούνται δύο τύποι βαγονιών τα οποία μπορούν να μεταφέρουν επιβάτες. Ο αριθμός των βαγονιών που ζητείται σε κάθε διαδρομή παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

# διαδρομής	Τύπος A	Τύπος B
1 ^η ημέρα		
0	5	3
1	3	2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

2	5	2
3	5	0
4	2	1
2 ^η ημέρα		
5	1	5
6	1	1
7	5	0
8	7	3
3 ^η ημέρα		
9	5	1
10	1	1
11	5	4
12	6	2
4 ^η ημέρα		
13	2	1
14	3	1
15	5	2
16	1	2
5 ^η ημέρα		
17	4	2
18	5	3
19	8	1
6 ^η ημέρα		
20	4	2
21	6	0
22	6	0
7 ^η ημέρα		
23	5	4
24	2	2
25	7	3
26	6	1

Πίνακας 4-1: ζήτηση για κάθε τύπο εξοπλισμού σε κάθε διαδρομή

Οι συνδέσεις μεταξύ των διαδρομών δεν παρουσιάζονται σε κάποιο πίνακα, καθώς συνδέονται διαδοχικά ο ένας με τον άλλο. Δηλαδή η διαδρομή w συνδέεται αποκλειστικά και μόνο με τη διαδρομή $w + 1$. Για παράδειγμα η διαδρομή 1 συνδέεται αποκλειστικά και μόνο με τη διαδρομή 2, η διαδρομή 2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

με την 3 και ούτω καθεξής. Σε ότι αφορά το κόστος για τη χρησιμοποίηση μιας, οποιασδήποτε, μονάδας εξοπλισμού είναι μονάδα για κάθε διαδρομή που χρησιμοποιείται αυτή η μονάδα. Τέλος κάθε μηχανή έχει την ικανότητα να σύρει μέχρι τέσσερις μονάδες εξοπλισμού.

4.3.1 Αποτελέσματα βασικού μοντέλου

Στον Πίνακα 4-2 γίνεται η παρουσίαση του πλήθους των μεταβλητών απόφασης και των περιορισμών του βασικού μοντέλου. Στη συνέχεια, στον Πίνακα 4-3 γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων του βασικού μοντέλου που δημιουργήθηκε για την επίλυση του προβλήματος της ταυτόχρονης ανάθεσης μηχανών και βαγονιών σε επιβατικά τρένα.

Πλήθος μεταβλητών απόφασης		Πλήθος περιορισμών	
$K*W*W + K*W$	2268	$(K+1)*(W+W*W)$	3024

Πίνακας 4-2: διάσταση προβλήματος βασικού μοντέλου

Όνομα μοντέλου	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης (Objective value)	Υπολογιστικός χρόνος επίλυσης (CPU solution time) (σε δευτερόλεπτα)
Βασικό μοντέλο (BM)	403	0,05

Πίνακας 4-3: παρουσίαση αποτελεσμάτων βασικού μοντέλου

Στο βασικό μοντέλο παρατηρείται από τα αποτελέσματα ότι η αμαξοστοιχία, όταν ξεκινάει την πρώτη διαδρομή, αποτελείται από τον εξοπλισμό εκείνο που θα της επιτρέψει να εξυπηρετήσει τη μέγιστη ζήτηση για κάθε τύπο εξοπλισμού, και μόλις εξυπηρετήσει τη μέγιστη ζήτηση για το συγκεκριμένο τύπο εξοπλισμού, τότε ο αριθμός των βαγονιών από το συγκεκριμένο τύπο ελαττώνεται στην μέγιστη ζήτηση από τις διαδρομές που ακολουθούν. Αυτό συμβαίνει καθώς υπάρχει η δυνατότητα να γίνει απεμπλοκή ενός στοιχείου του σε κάποιο σταθμό μεταξύ δύο διαδρομών, αλλά δεν υπάρχει η δυνατότητα να εμπλακεί στην αμαξοστοιχία κάποιο νέο στοιχείο του εξοπλισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.3.2 Αποτελέσματα επεκτάσεων βασικού μοντέλου

4.3.2.1 Αποτελέσματα πρώτης επέκτασης του βασικού μοντέλου

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται το αρχικό απόθεμα του κάθε σταθμού, που βρίσκεται μεταξύ δύο διαδρομών w και $w1$.

Σταθμός		αρχικό απόθεμα σταθμού			
διαδρομή W	διαδρομή W1	τύπος A	τύπος B	Μηχανές	Εστιατόρια- κυλικεία
0	1	2	4	1	1
1	2	3	0	1	1
2	3	0	1	1	1
3	4	3	1	2	2
4	5	5	0	1	1
5	6	6	1	0	0
6	7	0	0	1	1
7	8	1	4	1	1
8	9	2	2	1	1
9	10	0	0	0	0
10	11	3	0	4	2
11	12	2	2	2	2
12	13	5	1	0	0
13	14	2	3	0	0
14	15	1	2	1	1
15	16	1	1	2	2
16	17	0	1	2	2
17	18	5	2	1	1
18	19	3	1	3	1
19	20	1	2	3	3
20	21	4	3	1	1
21	22	6	1	0	0
22	23	2	0	4	2
23	24	1	0	1	1
24	25	2	2	2	2
25	26	2	1	2	2

Πίνακας 4-4: αρχικό απόθεμα σταθμών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στους παρακάτω πίνακες, Πίνακας 4-5 και Πίνακας 4-6, παρουσιάζεται το μέγεθος του προβλήματος και τα αποτελέσματα της πρώτης επέκτασης του βασικού μοντέλου, αντίστοιχα.

Πλήθος μεταβλητών απόφασης		Πλήθος περιορισμών	
$2*K*W*W + K*W$	4455	$(K+1)*(W+W*W+1)$	3028

Πίνακας 4-5: διάσταση προβλήματος πρώτης επέκτασης του βασικού μοντέλου

Όνομα μοντέλου	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης (Objective value)	Υπολογιστικός χρόνος επίλυσης (CPU solution time) (σε δευτερόλεπτα)
Πρώτη επέκταση του βασικού μοντέλου (extension1)	335	0,08

Πίνακας 4-6: παρουσίαση αποτελεσμάτων πρώτης επέκτασης του βασικού μοντέλου

Στο μοντέλο αυτό παρατηρείται από τα αποτελέσματα ότι σε ορισμένους σταθμούς, μεταξύ δύο διαδρομών, στην αμαξοστοιχία εμπλέκονται και απεμπλέκονται βαγόνια ίδιου τύπου. Αυτό συμβαίνει καθώς κάτι τέτοιο δεν περιορίζεται από κάποιο περιορισμό, όπως επίσης δεν υπάρχει κάποιο κόστος κατά την εμπλοκή ή την απεμπλοκή ενός στοιχείου εξοπλισμού στην αμαξοστοιχία, κάτι που διορθώνεται με την αλλαγή της αντικειμενικής συνάρτησης στην τρίτη επέκταση του βασικού μοντέλου.

4.3.2.2 Αποτελέσματα δεύτερης επέκτασης του βασικού μοντέλου

Στους πίνακες που ακολουθούν, παρουσιάζεται το μέγεθος του προβλήματος και τα αποτελέσματα της δεύτερης επέκτασης του βασικού μοντέλου, αντίστοιχα.

Πλήθος μεταβλητών απόφασης		Πλήθος περιορισμών	
$2*K*W*W + K*W$	5940	$(K+1)*(W+W*W+2)$	3790

Πίνακας 4-7: διάσταση προβλήματος δεύτερης επέκτασης του βασικού μοντέλου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Όνομα μοντέλου	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης (Objective value)	Υπολογιστικός χρόνος επίλυσης (CPU solution time) (σε δευτερόλεπτα)
Δεύτερη επέκταση του βασικού μοντέλου (extension2)	478	0.08

Πίνακας 4-8: παρουσίαση αποτελεσμάτων δεύτερης επέκτασης του βασικού μοντέλου

Η δεύτερη επέκταση αφορά την εισαγωγή εστιατορίων- κυλικείων στην αμαξοστοιχία. Αυτό που παρατηρείται σε αυτή την επέκταση είναι ότι ο αριθμός των εστιατορίων δεν συμβαδίζει με τον αριθμό των βαγονιών τύπου Α και Β που υπάρχουν στην αμαξοστοιχία σε κάθε διαδρομή, καθώς ο αριθμός των εστιατορίων είναι ανάλογος της ζήτησης και όχι ανάλογος του αριθμού του εξοπλισμού από τον οποίο αποτελείται η αμαξοστοιχία σε κάθε διαδρομή.

4.3.2.3 Αποτελέσματα τρίτης επέκτασης του βασικού μοντέλου

Η συγκεκριμένη επέκταση του βασικού μοντέλου αφορά την αντικειμενική συνάρτηση και την εισαγωγή του κόστους από την εμπλοκή ή την απεμπλοκή στοιχείων εξοπλισμού στην αμαξοστοιχία, όπως επίσης και την εισαγωγή του κέρδους από κάθε εστιατόριο- κυλικείο που χρησιμοποιείται για κάθε μονάδα εξοπλισμού που εμπλέκεται ή απεμπλέκεται από την αμαξοστοιχία το κόστος ανέρχεται στη μισή μονάδα (0,5), ενώ το κέρδος από τη χρήση ενός εστιατορίου ανέρχεται στο ένα τέταρτο της μονάδας (0,25).

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζεται το μέγεθος του προβλήματος και τα αποτελέσματα της τρίτης επέκτασης του βασικού μοντέλου.

Πλήθος μεταβλητών απόφασης		Πλήθος περιορισμών	
$2*K*W*W + K*W$	5940	$(K+1)*(W+W*W+2)$	3790

Πίνακας 4-9: διάσταση προβλήματος τρίτης επέκτασης του βασικού μοντέλου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Όνομα μοντέλου	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης (Objective value)	Υπολογιστικός χρόνος επίλυσης (CPU solution time) (σε δευτερόλεπτα)
Τρίτη επέκταση του βασικού μοντέλου (extension3)	453	0,05

Πίνακας 4-10: παρουσίαση αποτελεσμάτων τρίτης επέκτασης του βασικού μοντέλου

4.3.2.4 Αποτελέσματα τέταρτης επέκτασης του βασικού μοντέλου

Για την τέταρτη επέκταση του βασικού μοντέλου το αριθμητικό παράδειγμα περιλαμβάνει ορισμένες αλλαγές σε σχέση με αυτό που αναλύθηκε στις προηγούμενες επεκτάσεις. Η βασικότερη διαφορά αφορά τις διαδρομές και κατ' επέκταση τους σταθμούς, οι οποίες στη συγκεκριμένη επέκταση είναι καθορισμένες και επαναλαμβάνονται. Έτσι λοιπόν θεωρείται ένα δίκτυο με τέσσερις σταθμούς (1,2,3,4) οι οποίοι συνδέονται όλοι μεταξύ τους. Το δίκτυο αυτό αποτελεί ένα μικρό ρεαλιστικό παράδειγμα καθώς δεν εξετάζονται όλοι οι σταθμοί ενός συστήματος αλλά μόνο εκείνοι όπου μπορεί να γίνει εμπλοκή ή απεμπλοκή εξοπλισμού από την αμαξοστοιχία. Τα ονόματα των διαδρομών που συνδέουν τους αντίστοιχους σταθμούς παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

όνομα διαδρομής	μεταξύ των σταθμών	
A	1-2	2-1
B	2-3	3-2
C	3-4	4-3
D	4-1	1-4
E	1-3	3-1
F	2-4	4-2

Πίνακας 4-11: ονοματολογία διαδρομών που συνδέουν δύο σταθμούς

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4-11 κάθε διαδρομή είναι ίδια είτε η μετάβαση γίνεται από το σταθμό i στο σταθμό j , είτε από το σταθμό j στο σταθμό i . Στους Πίνακες 4-12 και Πίνακας 4-13 παρουσιάζεται, αντίστοιχα, το όνομα τη διαδρομής που αντιστοιχεί σε κάθε μια από τις 27 διαδρομές που υπήρχαν στα παραδείγματα του βασικού μοντέλου και των προηγούμενων επεκτάσεων και ο αριθμός του σταθμού που βρίσκεται μεταξύ δύο διαδρομών, λαμβάνοντας ως αφετηρία και τερματισμό το σταθμό 1.

αριθμός διαδρομής (w)	όνομα διαδρομής
0	A
1	B

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

2	B
3	A
4	D
5	F
6	A
7	E
8	C
9	F
10	B
11	E
12	A
13	F
14	C
15	B
16	F
17	D
18	D
19	C
20	E
21	A
22	F
23	C
24	B
25	F
26	D

Πίνακας 4-12: αντιστοιχία αριθμού διαδρομής και ονόματος διαδρομής

Μεταξύ των διαδρομών	Αριθμός σταθμού
0-1	2
1-2	3
2-3	2
3-4	1
4-5	4
5-6	2
6-7	1
7-8	3
8-9	4
9-10	2
10-11	3
11-12	1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

12-13	2
13-14	4
14-15	3
15-16	2
16-17	4
17-18	1
18-19	4
19-20	3
20-21	1
21-22	2
22-23	4
23-24	3
24-25	2
25-26	4

Πίνακας 4-13: αριθμοί σταθμών μεταξύ δύο διαδρομών

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζεται το μέγεθος του προβλήματος και τα αποτελέσματα της τρίτης επέκτασης του βασικού μοντέλου.

Πλήθος μεταβλητών απόφασης		Πλήθος περιορισμών	
$2 * K * W * W + K * W$	5940	$(K+1) * (B+W) + K(W * W + 1)$	3817

Πίνακας 4-14: διάσταση προβλήματος τέταρτης επέκτασης του βασικού μοντέλου

Όνομα μοντέλου	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης (Objective value)	Υπολογιστικός χρόνος επίλυσης (CPU solution time) (σε δευτερόλεπτα)
Τέταρτη επέκταση του βασικού μοντέλου (extension4)	368.5	0,05

Πίνακας 4-15: παρουσίαση αποτελεσμάτων τέταρτης επέκτασης του βασικού μοντέλου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.3.3 Αποτελέσματα διαφορετικής προσέγγισης του προβλήματος

Τα δεδομένα των ζητήσεων για κάθε διαδρομή και του κόστους στην προσέγγιση αυτή είναι αντίστοιχα με το βασικό μοντέλο και παρουσιάστηκαν στην αρχή της ενότητας. Η αλλαγή που γίνεται σε αυτή την προσέγγιση του προβλήματος αφορά την ικανότητα έλξης μιας μηχανής και των κιλών που ζυγίζει το κάθε βαγόνι. Κάθε βαγόνι γεμάτο με επιβάτες θεωρείται ότι ζυγίζει 25 τόνους. Αντίστοιχα, κάθε μηχανή, για να υπάρχει αντιστοιχία των δεδομένων με το βασικό μοντέλο, θεωρείται ότι μπορεί να σύρει μέχρι 100 τόνους, δηλαδή τέσσερις μονάδες εξοπλισμού.

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται το μέγεθος του προβλήματος και τα αποτελέσματα της διαφορετικής προσέγγισης του προβλήματος της ταυτόχρονης ανάθεσης μηχανών και βαγονιών σε επιβατικά τρένα.

Πλήθος μεταβλητών απόφασης		Πλήθος περιορισμών	
$K*W*W + K*W$	2268	$(K+1)*(W+W*W)$	3024

Πίνακας 4-16: διάσταση προβλήματος της διαφορετικής προσέγγισης

Όνομα μοντέλου	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης (Objective value)	Υπολογιστικός χρόνος επίλυσης (CPU solution time) (σε δευτερόλεπτα)
Διαφορετική προσέγγιση (DA)	403	0,03

Πίνακας 4-17: παρουσίαση αποτελεσμάτων της διαφορετικής προσέγγισης

4.4 Επίλογος

Στο παρόν κεφάλαιο έλαβε χώρα η παρουσίαση των μεθόδων επίλυσης αλλά και ενός αριθμητικού παραδείγματος. Επίσης, αναλύθηκαν τα αποτελέσματα των μαθηματικών μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση του προβλήματος της ταυτόχρονης ανάθεσης μηχανών και βαγονιών σε επιβατικά τρένα και έγιναν διευκρινήσεις σχετικά με τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε κάθε μοντέλο. Στο επόμενο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων που προήλθαν από την επίλυση των μοντέλων. Επίσης γίνεται και σχολιασμός της παραπάνω σύγκρισης.

5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο 1 παρουσιάστηκε ένα αριθμητικό παράδειγμα και τα αποτελέσματα των μαθηματικών μοντέλων που δημιουργήθηκαν για την επίλυση του προβλήματος της ταυτόχρονης ανάθεσης μηχανών και βαγονιών σε επιβατικά τρένα. Στο παρών κεφάλαιο θα γίνει σύγκριση και σχολιασμός μεταξύ των αποτελεσμάτων.

5.2 Σύγκριση και σχολιασμός αποτελεσμάτων

Στους Πίνακες 5-1 και Πίνακας 5-2, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά το μέγεθος του προβλήματος και τα αποτελέσματα από κάθε μαθηματικό μοντέλο αντίστοιχα, για το αριθμητικό παράδειγμα που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Όνομα μοντέλου	Πλήθος μεταβλητών απόφασης	Πλήθος περιορισμών
BM	2268	3024
Extension 1	4455	3028
Extension 2	5940	3790
Extension 3	5940	3790
Extension 4	5940	3817
DA	2268	3024

Πίνακας 5-1: συγκεντρωτικός πίνακας μεγέθους προβλήματος

Όνομα μοντέλου	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης (Objective value)	Υπολογιστικός χρόνος επίλυσης (CPU solution time) (σε δευτερόλεπτα)
BM	403	0,05
Extension 1	335	0,08

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Extension 2	478	0,08
Extension 3	453	0,05
Extension 4	368,5	0,05
DA	403	0,03

Πίνακας 5-2: συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

Αρχικά, το πρώτο συμπέρασμα που παρατηρείται, από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων, είναι το γεγονός ότι σε όλα τα μοντέλα ο υπολογιστικός χρόνος επίλυσης είναι κάτω του ενός δευτερολέπτου, παρόλο που τα μοντέλα δεν έχουν το ίδιο μέγεθος.

Παρατηρώντας τις τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης σε κάθε μοντέλο και συγκρίνοντάς τα ανά δύο παρατηρούμε τα παρακάτω αποτελέσματα. Η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης στο μοντέλο Extension1 είναι μικρότερη από την τιμή στο μοντέλο BM. Αυτό συμβαίνει γιατί στο BM υπάρχει η δυνατότητα μόνο να απεμπλακεί ένα στοιχείο του εξοπλισμού από την αμαξοστοιχία, σε αντίθεση με το μοντέλο Extension1 στο οποίο υπάρχει και η δυνατότητα της εμπλοκής στοιχείων εξοπλισμού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, στο BM, η αμαξοστοιχία να περιέχει τον εξοπλισμό για την ικανοποίηση της μέγιστης ζήτησης από τις διαδρομές που ακολουθούν. Σε αντίθεση, στο μοντέλο Extension1, η αμαξοστοιχία μπορεί να έχει λιγότερο εξοπλισμό από το μέγιστο από τις διαδρομές που ακολουθούν, καθώς υπάρχει η δυνατότητα εμπλοκής εξοπλισμού στην αμαξοστοιχία μεταξύ δύο διαδρομών.

Η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης στο μοντέλο Extension2 είναι μεγαλύτερη από την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης στο Extension1. Αυτό προκύπτει γιατί στο μοντέλο Extension2 εισάγονται και νέα βαγόνια στην αμαξοστοιχία, αυτά των εστιατορίων- κυλικείων. Εκτός όμως από τα βαγόνια αυτά χρειάζεται σε ορισμένες περιπτώσεις και επιπλέον μηχανές καθώς υπάρχει περισσότερος εξοπλισμός.

Στο μοντέλο Extension3 η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης είναι διαφορετική από το μοντέλο Extension2 καθώς προστίθεται το κόστος από την εμπλοκή ή την απεμπλοκή των μονάδων του εξοπλισμού από την αμαξοστοιχία και αφαιρείται το κέρδος που προκύπτει από τη χρήση των εστιατορίων- κυλικείων.

Στο μοντέλο Extension4 παρατηρείται η μικρότερη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης από όλα τα μοντέλα που εξετάστηκαν. Η τιμή αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι χρησιμοποιείται ένα ελαφρός διαφορετικό παράδειγμα σε σχέση με τα προηγούμενα μοντέλα και δεν υπάρχει η δυνατότητα να γίνει σύγκριση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Το τελευταίο μοντέλο, που δημιουργήθηκε για την επίλυση του προβλήματος της ταυτόχρονης ανάθεσης μηχανών και βαγονιών σε επιβατικά τρένα, είναι το μοντέλο DA. Η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης αυτού του μοντέλου είναι ίδια με την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης του μοντέλου BA. Η ισότητα των δύο τιμών είναι απολύτως φυσιολογική, καθώς τα δεδομένα του αριθμητικού παραδείγματος είναι ίδια.

5.3 Επίλογος

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, έγινε η σύγκριση και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων των μοντέλων. Η σύγκριση που έγινε βασίστηκε στους υπολογιστικούς χρόνους επίλυσης και στις τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης του κάθε μοντέλου. Η σύγκριση έγινε σε συνδυασμούς δύο μοντέλων καθώς όλα τα μοντέλα ήταν διαφορετικά μεταξύ τους και εξέταζαν ένα διαφορετικό μέρος του ίδιου προβλήματος. Έτσι επιλέχθηκε η σύγκριση να γίνει μεταξύ των μοντέλων που ήταν πιο “κοντά” μεταξύ τους.

6 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία βασίστηκε στην προσέγγιση της λύσης του προβλήματος της ταυτόχρονης ανάθεσης μηχανών και βαγονιών σε επιβατικά τρένα με στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους.

Στο πρώτο κεφάλαιο έγινε μια εισαγωγή στο πρόβλημα και έγινε η ανασκόπηση των επιστημονικών δημοσιεύσεων, που σχετίζονται με το πρόβλημα της ανάθεσης εξοπλισμού σε τρένα. Επίσης, παρουσιάστηκαν οι διαφορές αλλά και οι ομοιότητες που έχει η κάθε δημοσίευση με το πρόβλημα που εξετάζεται στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Στη συνέχεια, έλαβε χώρα η περιγραφή του προβλήματος.

Έπειτα, παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν τα μοντέλα και οι επεκτάσεις τα οποία δημιουργήθηκαν για την επίλυση του προβλήματος της ελαχιστοποίησης του κόστους στην ταυτόχρονη ανάθεση μηχανών και βαγονιών σε επιβατικά τρένα. Το μοντέλο αυτό ανήκει στα προβλήματα μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού (MILP) και στοχεύει στην ελαχιστοποίηση του κόστους, που προκύπτει από τον εξοπλισμό που χρησιμοποιεί μια αμαξοστοιχία. Οι επεκτάσεις που αναλύθηκαν δίνουν τη δυνατότητα να συμπεριλήφθην επιπλέον δεδομένα για το πρόβλημα. Για την συλλογή των αποτελεσμάτων από την επίλυση των μοντέλων δημιουργήθηκε, επίσης, ένα αριθμητικό παράδειγμα, με τα δεδομένα που χρειαζόταν κάθε μοντέλο.

Κατά το ερευνητικό μέρος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε η υλοποίηση των παραπάνω μοντέλων για την επίλυση του προβλήματος της ελαχιστοποίησης του κόστους κατά την ταυτόχρονη ανάθεση μηχανών και βαγονιών σε επιβατικά τρένα, χρησιμοποιώντας το παράδειγμα που έχει παρουσιαστεί. 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. Επίσης, είναι εύχρηστο σε συνδυασμό με τη διαδικασία του αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού καθώς εισάγεται σαν βιβλιοθήκη στον κώδικα.

Στην συνέχεια, παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα όλων των μοντέλων και επεκτάσεων. Η παρουσίαση αυτή περιελάμβανε το μέγεθος του προβλήματος σε κάθε ένα από τα μοντέλα, την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης και τον υπολογιστικό χρόνο επίλυσης. Επίσης, έγινε αναφορά σε όποια σημεία χρειαζόταν επιπλέον επεξήγηση σε κάθε μοντέλο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Τέλος, έγινε σύγκριση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα η σύγκριση που έγινε βασίστηκε στους υπολογιστικούς χρόνους επίλυσης και στις τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης του κάθε μοντέλου. Η σύγκριση έγινε σε συνδυασμούς δύο μοντέλων καθώς όλα τα μοντέλα ήταν διαφορετικά μεταξύ τους και εξέταζαν ένα διαφορετικό μέρος του ίδιου προβλήματος. Έτσι επιλέχθηκε η σύγκριση να γίνει μεταξύ των μοντέλων που ήταν πιο “κοντά” μεταξύ τους.

Η προσέγγιση που παρουσιάστηκε παραπάνω θα μπορούσε να βελτιωθεί με διάφορους τρόπους, όπως η εισαγωγή επιπλέον δεδομένων στο πρόβλημα. Αυτά τα δεδομένα θα μπορούσαν να αφορούν για παράδειγμα την συντήρηση του εξοπλισμού. Με τον τρόπο αυτό θα μπορούσαν να δημιουργηθούν νέες επεκτάσεις στο βασικό μοντέλο. Επίσης θα μπορούσε να αναλυθεί και η ταυτόχρονη δρομολόγηση για περισσότερες από μια αμαξοστοιχίες.

Το κεφάλαιο που ακολουθεί είναι το ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ, στο οποίο θα παρουσιαστεί η λύση του κάθε μοντέλου. Το κάθε μοντέλο θα μας απεικονίσει τον αριθμό των βαγονιών από κάθε τύπο εξοπλισμού που χρησιμοποιείται σε κάθε διαδρομή.

7 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι λύσεις του βασικού μοντέλου και των επεκτάσεων για τα δεδομένα που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 1. Η πρώτη στήλη στον κάθε πίνακα αναφέρεται στον αριθμό της διαδρομής, η δεύτερη αναφέρεται στον αριθμό των μηχανών για τη συγκεκριμένη διαδρομή, η τρίτη στον αριθμό των βαγονιών τύπου Α, η τέταρτη στον αριθμό των βαγονιών τύπου Β και η πέμπτη, στις περιπτώσεις που υπάρχει, αναφέρεται στον αριθμό των εστιατορίων- κυλικείων.

διαδρομή W	μηχανές	Τύπος Α	Τύπος Β
0	4	8	5
1	4	8	5
2	4	8	5
3	4	8	5
4	4	8	5
5	4	8	5
6	3	8	4
7	3	8	4
8	3	8	4
9	3	8	4
10	3	8	4
11	3	8	4
12	3	8	4
13	3	8	4
14	3	8	4
15	3	8	4
16	3	8	4
17	3	8	4
18	3	8	4
19	3	8	4
20	3	7	4
21	3	7	4
22	3	7	4
23	3	7	4
24	3	7	3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

25	3	7	3
26	2	6	1

Πίνακας 7-1: Λύση βασικού μοντέλου

διαδρομή W	μηχανές	Τύπος A	Τύπος B
0	2	5	3
1	2	3	3
2	2	5	3
3	3	5	4
4	5	2	5
5	3	4	5
6	3	8	1
7	3	8	1
8	3	7	3
9	3	5	5
10	3	5	5
11	3	6	4
12	5	6	2
13	3	7	3
14	3	4	6
15	3	5	5
16	3	4	6
17	3	4	6
18	3	7	3
19	3	9	1
20	6	5	2
21	3	6	4
22	3	6	4
23	4	5	4
24	3	6	4
25	3	7	3
26	3	9	1

Πίνακας 7-2: Λύση της πρώτης επέκτασης του βασικού μοντέλου

διαδρομή W	μηχανές	Τύπος A	Τύπος B	Εστιατόρια- κυλικεία
0	3	5	3	4
1	3	3	3	3
2	3	5	3	4
3	3	5	4	3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

4	3	2	5	5
5	3	1	5	6
6	3	6	3	3
7	3	6	2	4
8	4	7	3	5
9	5	5	4	5
10	5	5	4	5
11	5	5	4	5
12	7	6	2	4
13	7	5	3	4
14	7	4	4	4
15	4	5	6	4
16	6	4	7	2
17	4	4	7	4
18	4	8	3	4
19	4	8	2	5
20	7	4	2	6
21	5	6	5	3
22	4	6	6	3
23	5	5	4	5
24	4	5	4	6
25	4	7	3	5
26	5	6	1	7

Πίνακας 7-3: Λύση της δεύτερης επέκτασης του βασικού μοντέλου

διαδρομή W	μηχανές	Τύπος A	Τύπος B	Εστιατόρια- κυλικεία
0	3	5	3	4
1	3	3	3	4
2	3	5	3	4
3	3	5	4	3
4	3	4	5	3
5	3	4	5	3
6	3	6	3	3
7	3	6	2	4
8	4	7	3	5
9	4	6	4	5
10	4	6	4	5
11	4	6	4	5
12	4	6	4	5
13	4	6	4	5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

14	4	7	3	5
15	4	7	3	5
16	4	7	3	5
17	4	7	3	5
18	4	7	3	5
19	4	8	2	5
20	4	8	2	5
21	4	7	3	5
22	4	6	4	5
23	4	6	4	5
24	4	6	4	5
25	4	7	3	5
26	4	7	3	5

Πίνακας 7-4: Λύση της τρίτης επέκτασης του βασικού μοντέλου

διαδρομή W	μηχανές	Τύπος A	Τύπος B	Εστιατόρια- κυλικεία
0	3	5	3	4
1	3	5	2	4
2	3	5	2	4
3	2	5	0	3
4	2	2	1	3
5	3	1	5	3
6	2	1	1	3
7	2	5	0	3
8	4	7	3	5
9	3	5	1	3
10	3	5	1	3
11	4	5	4	5
12	3	6	2	4
13	2	3	1	2
14	2	3	1	2
15	3	5	2	4
16	3	4	2	3
17	3	4	2	3
18	3	5	3	4
19	4	8	2	5
20	3	6	2	3
21	3	6	0	3
22	3	6	0	3
23	4	5	4	5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

24	4	5	3	5
25	4	7	3	5
26	3	6	1	4

Πίνακας 7-5: Λύση της τέταρτης επέκτασης του βασικού μοντέλου

διαδρομή W	μηχανές	Τύπος A	Τύπος B
0	4	8	5
1	4	8	5
2	4	8	5
3	4	8	5
4	4	8	5
5	4	8	5
6	3	8	4
7	3	8	4
8	3	8	4
9	3	8	4
10	3	8	4
11	3	8	4
12	3	8	4
13	3	8	4
14	3	8	4
15	3	8	4
16	3	8	4
17	3	8	4
18	3	8	4
19	3	8	4
20	3	7	4
21	3	7	4
22	3	7	4
23	3	7	4
24	3	7	3
25	3	7	3
26	2	6	1

Πίνακας 7-6: Λύση του μοντέλου της διαφορετικής προσέγγισης του προβλήματος

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Jean- François Cordeau, Guy Desaulniers, Norbert Lingaya, François Soumis, Jacques. (1999). Simultaneous locomotive and car assignment at VIA Rail Canada. *Transportation Research Part B: Methodological*, 35, 767-787.

Norbert Lingaya, Jean-François Cordeau, Guy Desaulniers, Jacques Desrosiers, François Soumis. (2002). Operational car assignment at VIA Rail Canada. *Transportation Research Part B: Methodological*, 36, 755-778

Ramani K. V., Mandal B. K. (1992). Operational Planning of Passenger Trains in Indian Railways. *Interface*, 22, 39- 51

Nejib Ben-Khedher, Josephine Kintanar, Cecile Queille, William Stripling. (1997). Schedule Optimization at SNCF: From Conception to Day of Departure. *Interface*, 28, 6-23

Jean-François Cordeau, François Soumis, Jacques Desrosiers. (2001). A Benders decomposition approach for the locomotive and car assignment problem. *Transportation Science*, 34, 133- 149

Jean-François Cordeau, Paolo Toth, Daniele Vigo. (1998). A survey of optimization models for train routing and scheduling. *Transportation Science*, 32, 380- 404



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000124395