ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΞΙΟΠΟΙΗΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΛΟΥ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΦΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

ΔΙΟΙΚΗΣΗ LOGISTICS (LOGISTICS MANAGEMENT)

από

ΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΕΛΜΑΛΙΩΤΗΣ ΦΩΤΙΟΣ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ,
ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2017

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Γιαννίκο Ιωάννη, επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας, ο οποίος μου παρείχε την αμέριστη συμπαράσταση και συνεχή καθοδήγηση του, η οποία είχε ως αποτέλεσμα την ολοκλήρωση της παρούσης.

Επιπρόσθετα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Κωνσταντίνο και Ευαγγελία, οι οποίοι διαχρονικά στηρίζουν τις επιλογές μου, χωρίς τη βοήθεια των οποίων η απόκτηση του συγκεκριμένου τίτλου σπουδών δεν θα είχε καταστεί δυνατή.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στη σύζυγό μου Μαρία για την ηθική συμπαράσταση και δύναμη που μου έδωσε, καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου.

ΔΗΛΩΣΗ

Η εργασία αυτή είναι πρωτότυπη και εκπονήθηκε αποκλειστικά και μόνο για την απόκτηση του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού τίτλου.

Τα πνευματικά δικαιώματα χρησιμοποίησης του πρωτότυπου μέρους ΜΔΕ ανήκουν στον μεταπτυχιακό φοιτητή και τον επιβλέποντα από κοινού, δηλαδή δεν μπορεί ο ένας από τους δύο να κάνει χρήση αυτού χωρίς τη συναίνεση του άλλου. Κατ' εξαίρεση, επιτρέπεται η δημοσίευση του πρωτότυπου μέρους της διπλωματικής εργασίας σε επιστημονικό περιοδικό ή πρακτικά συνεδρίου από ένα εκ των δύο, με την προϋπόθεση ότι αναφέρονται τα ονόματα και των δύο ως συν-συγγραφέων. Στην περίπτωση αυτή προηγείται γραπτή ενημέρωση του μη συμμετέχοντα στη συγγραφή του επιστημονικού άρθρου. Δεν επιτρέπεται η κατά οποιοδήποτε τρόπο δημοσιοποίηση υλικού το οποίο έχει δηλωθεί ως απόρρητο.

Πειραιάς, Νοέμβριος 2017

- Ο -	- Ο -
Επιβλέπον Καθηγητής	Μεταπτυχιακός Φοιτητής
Γιαννίκος Ιωάννης	Ελμαλιώτης Φώτιος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη..... 5
1. Εισαγωγή..... 6
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση..... 8
2.1. Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (VRP)..... 8
2.2. Παραλλαγές Προβλήματος..... 11
2.2.1. Asymmetric Capacitated Vehicle Routing Problem (ACVRP)..... 11
2.2.2. Capacitated Arc Routing Problem with Turn Penalties (CARP-TP)..... 11
2.2.3. Consistent Vehicle Routing Problem (ConVRP)..... 12
2.2.4. Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)..... 12
2.2.5. Carrier-Vehicle Traveling Salesman Problem (CVTSP)..... 14
2.2.6. Electric vehicle routing problem with nonlinear charging function (E-VRP-NL)..... 14
2.2.7. Green Vehicle Routing Problem (G-VRP)..... 14
2.2.8. Multicompartment vehicle routing problem with stochastic demands (MC-VRPSD)..... 15
2.2.9. Mixed Capacitated General Routing Problem with Turn Penalties (MCGRP-TP)..... 15
2.2.10. Multi-Depot Periodic Vehicle Routing Problem (MDPVRP)..... 16
2.2.11. Multiple Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP)..... 16
2.2.12. Multi-Depot Vehicle Routing Problem with Time Windows (MDVRPTW)..... 17
2.2.13. Multi-objective generalized consistent vehicle routing problem (MOGenConVRP)..... 17
2.2.14. Multi-Trip Multi-Depot Vehicle Routing Problem with Time Windows and Driver Assignment (MTMDVRPTW-DA)..... 18
2.2.15. Pollution Routing Problem (PRP)..... 18
2.2.16. Periodic Vehicle Routing Problem..... 19
2.2.17. Periodic Vehicle Routing Problem with Time Windows (PVRPTW)..... 19
2.2.18. Swap-body Vehicle Routing Problem (SBVRP)..... 20
2.2.19. Site-Dependent Vehicle Routing Problem [SDVRP (Site-Dependent)]..... 20
2.2.20. Site-Dependent Vehicle Routing Problem with Time Windows [SDVRPTW (Site-Dependent)]..... 20
2.2.21. Vehicle Routing Problem with Service Level Constraints (VRP-SL)..... 21
2.2.22. Vehicle Routing Problem with Backhauls (VRPB)..... 21
2.2.23. Vehicle routing problem with stochastic demands (VRPSD)..... 22
2.2.24. Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)..... 24
2.3. Αλγόριθμοι Επίλυσης..... 24
2.3.1. Ακριβείς Αλγόριθμοι..... 24
2.3.2. Ευρετικοί Αλγόριθμοι..... 24
2.3.3. Μεθευρετικοί Αλγόριθμοι..... 25
2.4. Εκμετάλλευση – Επέκταση..... 26
3. Μεθοδολογία..... 28
3.1. Περιγραφή Αλγορίθμου..... 28
3.2. Μαθηματική Μοντελοποίηση..... 29
3.3. Αλγόριθμος Επίλυσης (The Bee Algorithm)..... 32
3.4. Διαγραμματική Απεικόνιση Εκτέλεσης Αλγορίθμου..... 33
3.5. Ανάλυση Φάσεων Επίλυσης Αλγορίθμου..... 34
3.6. Ψευδοκώδικας Αλγορίθμου Επίλυσης..... 40
4. Ανάλυση των Στοιχείων – Αποτελέσματα..... 45
4.1. Αρχικοποίηση..... 45
4.2.α. Εκτέλεση (Στατικό πρόβλημα) 47
4.2.β. Αποτελέσματα..... 50
4.3.α. Εκτέλεση (Δυναμικά μεταβαλλόμενο πρόβλημα) 52
4.3.β. Αποτελέσματα..... 55
5. Συμπεράσματα..... 56
Βιβλιογραφία..... 58
Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία..... 58
Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία..... 61
Διαδικτυακοί Τόποι – Ιστοσελίδες..... 61

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή ασχολείται με το πρόβλημα της δρομολόγησης στόλου οχημάτων, εστιάζοντας στην κατά το μέγιστο βαθμό εκμετάλλευση της αναξιοποίητης μεταφορικής δυναμικότητας που προκύπτει κατά τη φάση της διανομής. Προς επίλυση του ανωτέρω προβλήματος δημιουργήθηκε εκ του μηδενός ένας ευρετικός αλγόριθμος (the Bee algorithm), ο οποίος δύναται να τροποποιηθεί κατά περίπτωση, προκειμένου να εφαρμοστεί σε διαφορετικές παραλλαγές του προβλήματος δρομολόγησης.

Στόχος της διατριβής είναι να παρουσιάσει μια επίλυση στο πρόβλημα, η οποία να μην έχει μόνο θεωρητικό υπόβαθρο, αλλά ενσωματώνοντας σύγχρονες πρακτικές και μεθόδους του κλάδου των logistics να παρέχει μία απτή λύση έτοιμη προς αξιοποίηση από τις επιχειρήσεις του κλάδου. Για το λόγο αυτό, η προσέγγιση του προβλήματος δεν θα ακολουθήσει τη συμβατική βιβλιογραφική μελέτη, αν και θα βασιστεί σε αυτή σε μεγάλο μέρος της, αλλά θα εισαγάγει ένα νέο τρόπο παρατήρησης του προβλήματος δρομολόγησης, επί του οποίου θα βασιστεί και η προτεινόμενη επίλυσή του.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί αναλυτικά ο τρόπος προσέγγισης του προβλήματος δρομολόγησης καθώς και η μοντελοποίηση του, προκειμένου να καταλήξουμε στη δημιουργία και εφαρμογή του προτεινόμενου αλγορίθμου.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Σε ένα απαιτητικό και συνεχώς εξελισσόμενο επιχειρηματικό περιβάλλον, το οποίο προσπαθεί να απαλλαγεί από τις πρακτικές του παρελθόντος και να αναγεννηθεί χρησιμοποιώντας δοκιμασμένες και αποδοτικές μεθόδους εξοικονόμησης πόρων, προκειμένου να τους διαθέσει σε στρατηγικούς τομείς που θα αποφέρουν την κερδοφορία, ολοένα και περισσότεροι παίκτες, αντιλαμβανόμενοι τον έντονο ανταγωνισμό και τα στενά όρια διαφοροποίησης που παρέχονται, υιοθετούν έννοιες και πρακτικές όπως η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (Logistics Management) δεν είναι κάτι νέο. Είναι το σύνολο των ενεργειών που εκούσια ή ακούσια οι επιχειρήσεις χρησιμοποιούν δεκαετίες τώρα, προκειμένου να παράγουν και να διαθέσουν τα προϊόντα τους στους καταναλωτές. Καθώς όμως η παγκόσμια οικονομική κρίση έχει επηρεάσει τόσο τον ιδιωτικό όσο και τον επιχειρηματικό βίο, η ανάγκη για τυποποίηση και διασφάλιση της λειτουργικότητας των δομών μιας επιχείρησης οδήγησε στην περαιτέρω μελέτη, εξέλιξη και εφαρμογή του όρου των Logistics.

Προσπαθώντας λοιπόν να δώσουμε έναν πλήρη ορισμό της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας θα καταλήγαμε στο εξής:

Είναι η διαδικασία της στρατηγικής διαχείρισης των προμηθειών, της διανομής και της αποθήκευσης των τελικών ή ενδιάμεσων προϊόντων και των σχετικών ροών πληροφοριών σε ολόκληρο τον οργανισμό και τα κανάλια μάρκετινγκ, με τέτοιο τρόπο ώστε να μεγιστοποιείται η τρέχουσα και μελλοντική κερδοφορία, μέσω της αποδοτικής εκτέλεσης των παραγγελιών (Christopher, 1998).

Από τον παραπάνω ορισμό διαφαίνεται εύκολα ότι η διαδικασία της διανομής παίζει σημαντικό ρόλο και είναι ο συνδετικός κρίκος μεταξύ επιχείρησης και καταναλωτή. Η βέλτιστη μεταφορά αγαθών και υπηρεσιών προς εξυπηρέτηση των καταναλωτών αποτελεί ένα χρόνιο πρόβλημα στο οποίο έχει δοθεί πλήθος διαφορετικών λύσεων, ανάλογα με τα δεδομένα που παρέχονται κάθε φορά. Το ζητούμενο όμως παραμένει πάντα σταθερό: Η ανάγκη για ελαχιστοποίηση του κόστους διανομής, η οποία έδωσε την ώθηση για τη

μορφοποίηση του προβλήματος δρομολόγησης. Το πρόβλημα αυτό (Vehicle Routing Problem - VRP), πρωτοεμφανίστηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1950 (Dantzig and Ramser, 1959) και αποτελεί μετεξέλιξη του προβλήματος «πλανόδιου πωλητή», το οποίο παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 1800 από τον Ιρλανδό μαθηματικό W. R. Hamilton.

Σκοπός της παρούσης είναι, μέσω της μελέτης των υφιστάμενων αλγορίθμων και μεθόδων επίλυσης του προβλήματος δρομολόγησης και των παραλλαγών αυτού, να αναπτυχθεί ένας νέος αλγόριθμος επίλυσης του προβλήματος, με ικανότητα προσαρμογής σε ένα περιβάλλον συνεχώς μεταβαλλόμενων δεδομένων, ο οποίος λαμβάνοντας υπόψη τις σύγχρονες ανάγκες του κλάδου των logistics, να παρέχει με ακρίβεια σε κάθε του εκτέλεση, το βέλτιστο αποτέλεσμα δρομολόγησης. Για το λόγο αυτό, η ανάπτυξη του προαναφερθέντος αλγορίθμου, θα ξεκινήσει με την αναδρομή του θεωρητικού υπόβαθρου του προβλήματος δρομολόγησης, παρουσιάζοντας τις σπουδαιότερες παραλλαγές του και τους αντίστοιχους αλγόριθμους που έχουν αναπτυχθεί προς επίλυσή τους και στη συνέχεια θα περάσει στην προσπάθεια αποτύπωσης και καταγραφής του συνόλου των ιδιοτήτων και κανόνων που διέπουν τη λειτουργία του, μέσω των οποίων θα πραγματοποιηθεί ο σχεδιασμός και η λειτουργία του, προκειμένου να διαπιστωθεί η ορθότητα των αναγραφομένων και η ικανότητα παροχής του βέλτιστου κάθε φορά αποτελέσματος.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων και οι πιο γνωστές παραλλαγές αυτού, σε συνδυασμό με τους αλγόριθμους επίλυσής τους.

Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (VRP)

Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (VRP) έχει ως σκοπό τη σχεδίαση της βέλτιστης διαδρομής παράδοσης ή παραλαβής προϊόντων, από ένα κεντρικό σημείο (κεντρική αποθήκη), σε ένα σύνολο γεωγραφικά διασκορπισμένων πελατών, λαμβάνοντας υπόψη διάφορους περιορισμούς όπως η χωρητικότητα των οχημάτων, το μήκος της διαδρομής, τα χρονικά περιθώρια (χρονικά παράθυρα) κ.α.. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται καθημερινά από εκατοντάδες χιλιάδες επιχειρήσεις διανομών παγκοσμίως και αποτελεί τον πλέον καθοριστικό παράγοντα εξοικονόμησης ή κατασπατάλησης των πόρων μιας επιχείρησης. Οι απαιτήσεις επίλυσης του προβλήματος διαφοροποιούνται επίσης, ανάλογα με τα προς παράδοση προϊόντα. Είναι προφανές ότι, διαφορετική σχεδίαση και υλοποίηση χρειάζεται μια επιχείρηση διανομής εφημερίδων, όπου ο στόχος της είναι η έγκαιρη διανομή στα σημεία πώλησης μιας και το προϊόν έχει μικρό όριο ζωής (όχι ως προς τις φυσικές του ιδιότητες) και διαφορετική μια εταιρεία μεταφοράς αυτοκινήτων που αναλαμβάνει την υλοποίηση της διαδρομής εργοστάσιο – αντιπροσωπεία.

Η πολυπλοκότητα αυτή που εμφανίζεται στο VRP, δεν επιτρέπει τη δημιουργία μιας κοινώς αποδεκτής τεχνικής επίλυσης, ικανής να αντιμετωπίσει όσο το δυνατόν περισσότερες εκδοχές του προβλήματος. Αντί αυτού, η κυρία προσπάθεια δημιουργίας αλγορίθμων επίλυσης του προβλήματος, κυρίως ευρετικών, εστιάζει στην επίλυση του βασικού VRP με δυνατότητα επέκτασης – υιοθέτησής τους σε προβλήματα πραγματικών συνθηκών.

Το βασικό VRP (Christofides, 1985) είναι ένα πρόβλημα ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού στο οποίο δίνεται ένα κατευθυνόμενο γράφημα $G = (V, A)$ όπου $V = \{v1, \dots, uN\}$ είναι ένα σετ κόμβων που αναπαριστούν N πελάτες, με το $v1$ να αποτελεί την κεντρική αποθήκη από όπου ξεκινούν K ίδια οχήματα, χωρητικότητας Q. Κάθε κόμβος πλην του αρχικού (κεντρική αποθήκη), έχει μη αρνητική ζήτηση q_i και μη αρνητικό χρόνο εξυπηρέτησης s_i . Επιπρόσθετα δίνεται ένας NxN πίνακας (c_{ij}) όπου το c_{ij} μπορεί να ερμηνευτεί ως κόστος διαδρομής, χρόνος διαδρομής ή απόσταση διαδρομής για οποιοδήποτε από τα όμοια οχήματα. Συνεπώς οι όροι κόστος, χρόνος και απόσταση

χρησιμοποιούνται εναλλασσόμενοι μεταξύ τους. Το πρόβλημα αναζητά μια διαδρομή (βέλτιστη) με κόμβο έναρξης και τερματισμού την κεντρική αποθήκη, διατρέχοντας όλους τους λοιπούς κόμβους από μια φορά προκειμένου να καλύψει τις απαιτήσεις των πελατών, μειώνοντας παράλληλα το κόστος διαδρομής στο ελάχιστο. Το μαθηματικό μοντέλο του προβλήματος, σύμφωνα με τους Bodin et al. (1983) και Filipec et al. (1998), παρουσιάζεται παρακάτω:

$$x_{ij}^{k} \triangleq \begin{cases} 1 & \textit{σε περίπτωση που το όχημα κινείται από τον κόμβο } i \textit{ στον } j, \textit{όπου} \\ & i, j \in \{1,2,\dots,N\} | i \neq j, \textit{και } k \in \{1,2,\dots,K\} \\ 0 & \textit{αλλιώς} \end{cases} \tag{1}$$

$$\min z = \sum_{i=0}^{N} \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{N} \sum_{k=1}^{K} c_{ij}\, x_{ij}^{k} \tag{2}$$

με τους περιορισμούς

$$\sum_{i=0}^{N} \sum_{k=1}^{K} x_{ij}^{k} = 1 \qquad \forall j \in \{1,\dots,N\} \tag{3}$$

$$\sum_{j=0}^{N} \sum_{k=1}^{K} x_{ij}^{k} = 1 \qquad \forall i \in \{1,\dots,N\} \tag{4}$$

$$\sum_{i=0}^{N} x_{ip}^{k} - \sum_{j=0}^{N} x_{pj}^{k} = 0 \qquad \forall p \in \{1,\dots,N\}, k \in \{1,\dots,K\} \tag{5}$$

$$\sum_{j=0}^{N} q_j \left(\sum_{i=0}^{N} x_{ij}^{k} \right) \leq Q \qquad \forall k \in \{1,\dots,K\} \tag{6}$$

$$\sum_{i=0}^{N} \sum_{j=0}^{N} t_{ij}\, x_{ij}^{k} \leq D \qquad \forall k \in \{1,\dots,K\} \tag{7}$$

$$\sum_{j=1}^{N} x_{0j}^{k} \leq 1 \qquad \forall k \in \{1, \dots, K\} \qquad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{N} x_{i0}^{k} \leq 1 \qquad \forall k \in \{1, \dots, K\} \qquad (9)$$

$$x_{ij}^{k} \in \{0,1\} \qquad \forall i, j \in \{1, \dots, N\}, k \in \{1, \dots, K\} \qquad (10)$$

- Στο τμήμα (1) καθορίζεται ότι όλες οι μεταβλητές απόφασης είναι δυαδικές (0,1).
- Η αντικειμενική συνάρτηση φαίνεται στο τμήμα (2).
- Οι περιορισμοί (3) και (4) εκφράζουν το γεγονός ότι, το όχημα k επισκέπτεται μόνο μια φορά τον κάθε πελάτη.
- Ο περιορισμός (5) εκφράζει ότι, εάν ένα όχημα επισκεφτεί έναν κόμβο, πρέπει επίσης να φύγει από αυτόν.
- Ο περιορισμός (6) εκφράζει ότι, κανένα όχημα δεν μπορεί να εξυπηρετήσει ζήτηση μεγαλύτερη από την χωρητικότητά του.
- Ο περιορισμός (7) το μέγιστο μήκος διαδρομής.
- Οι περιορισμοί (8) και (9) εξασφαλίζουν ότι, το κάθε όχημα μπορεί να κάνει μόνο μια διαδρομή.

2.2 Παραλλαγές Προβλήματος

Το κλασσικό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων, προβαίνει σε κάποιες παραδοχές όπως η ομοιογένεια του στόλου, η μοναδικότητα της κεντρικής αποθήκης, η πολιτική της μιας διαδρομής ανά όχημα κ.α.. Προσπαθώντας να εξαλείψουμε τις παραδοχές αυτές και να φέρουμε το πρόβλημα όσο το δυνατόν πιο κοντά στην επιχειρηματική πραγματικότητα, οδηγούμαστε στην ανάγκη εφαρμογής περισσοτέρων περιορισμών οι οποίοι με τη σειρά τους αυξάνουν την πολυπλοκότητα του προβλήματος. Ανάλογα λοιπόν με τους περιορισμούς που ισχύουν κάθε φορά στο πρόβλημα, προκύπτουν και αντίστοιχες παραλλαγές αυτού όπως παρακάτω (αλφαβητική σειρά):

2.2.1 Asymmetric Capacitated Vehicle Routing Problem (ACVRP)

Ομοίως με το πρόβλημα CVRP (2.2.4) με τη διαφορά ότι το κόστος μεταξύ διαδρομών είναι ασύμμετρο.

Πηγές:

- Fischetti et al. 1994 | A branch-and-bound algorithm for the capacitated vehicle routing problem on directed graphs.

2.2.2 Capacitated Arc Routing Problem with Turn Penalties (CARP-TP)

Επέκταση του προβλήματος δυναμικής κατεύθυνσης τόξου (CARP) στο οποίο καθορίζονται ποινές για στροφές μεταξύ οποιουδήποτε ζεύγους τόξων (i, j) (j, k). Η παραλλαγή επιτρέπει τον διαχωρισμό των ποινών για τις αριστερές στροφές, τις δεξιές στροφές ή τις αναστροφές, καθώς και τις καθυστερήσεις στις διασταυρώσεις.

Πηγές:

- Vidal 2017 | Node, edge, arc routing and turn penalties: Multiple problems -- One neighborhood extension.

2.2.3 Consistent Vehicle Routing Problem (ConVRP)

Στο πρόβλημα συνέπειας δρομολόγησης οχημάτων (ConVRP), οι πελάτες εξυπηρετούνται σε μια δεδομένη χρονική περίοδο π.χ., συγκεκριμένος αριθμός ημερών. Η ικανοποίηση των πελατών διατηρείται παρέχοντας σταθερότητα σε εναλλαγή οδηγών και παραδόσεις. Επιτρέπεται μόνο ένας οδηγός ανά πελάτη. Η σταθερότητα στις παραδόσεις επιτυγχάνεται με τον μείωση της διαφοράς μεταξύ του γρηγορότερου και αργότερου χρόνου παράδοσης σε κάθε πελάτη.

Πηγές:

- Groer et al. 2008 | The Consistent Vehicle Routing Problem
- Kovacs et al. 2014a | A Template-Based Adaptive Large Neighborhood Search for the Consistent Vehicle Routing Problem

2.2.4 Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)

Στο πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων περιορισμένης χωρητικότητας (CVRP), ένας στόλος πανομοιότυπων οχημάτων πεπερασμένης χωρητικότητας ξεκινάει από μια κεντρική αποθήκη και καλείται να εξυπηρετεί ένα σύνολο πελατών με γνωστές απαιτήσεις. Σκοπός είναι να καθοριστεί ένας συγκεκριμένος αριθμός δρομολογίων, με ελάχιστο συνολικό κόστος, με σκοπό κάθε όχημα να έχει ως αφετηρία και τελικό προορισμό την κεντρική αποθήκη, ο κάθε πελάτης να διατρέχεται μια μόνο φορά και το κάθε όχημα να εξυπηρετεί παραγγελίες που δεν υπερβαίνουν τη συνολική του χωρητικότητα.

Πηγές:

- Christofides and Eilon 1969 | An algorithm for the vehicle routing dispatching problem
- Christofides et al. 1979 | The vehicle routing problem
- Cordeau et al. 2001 | A unified tabu search for vehicle routing problems with time windows

- De Smet 2014 | Vehicle routing with real road distances - OptaPlanner blog
- Fisher 1994 | Optimal solution of vehicle routing problems using minimum K-trees
- Golden et al. 1998 | Metaheuristics in Vehicle Routing
- Li et al. 2005 | Very large-scale vehicle routing: New test problems, algorithms and results
- Lysgaard et al. 2004 | A new branch-and-cut algorithm for the capacitated vehicle routing problem
- Mester and Bräysy 2007 | Active-guided evolution strategies for large-scale capacitated vehicle routing problems
- Nagata and Bräysy 2009 | Edge assembly-based memetic algorithm for the capacitated vehicle routing problem
- Pisinger and Røpke 2007 | A general heuristic for vehicle routing problems
- Prins 2004 | A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem
- Prins 2009 | A GRASP × Evolutionary local search hybrid for the vehicle routing problem
- Ralphs et al. 2003 | On the capacitated vehicle routing problem
- Reimann et al. 2004 | D-ants: savings based ants divide and conquer the vehicle routing problem
- Rochat and Taillard 1995 | Probabilistic diversification and intensification in local search for vehicle routing
- Thomopulos and Vigo 2015 | VeRoLog Members VRP
- Uchoa et al. 2017 | New Benchmark Instances for the Capacitated Vehicle Routing Problem
- Vidal et al. 2012 | A hybrid genetic algorithm for multidepot and periodic vehicle routing problems

2.2.5 Carrier-Vehicle Traveling Salesman Problem (CVTSP)

Πρέπει να πραγματοποιηθεί επίσκεψη σε ένα σύνολο κόμβων με δύο διατιθέμενα οχήματα, A και B, τα οποία βρίσκονται στην κεντρική αποθήκη. Το A είναι αργό αλλά έχει άπειρη αυτονομία, ενώ το B είναι γρήγορο αλλά με περιορισμένη αυτονομία - εμβέλεια. Σκοπός του προβλήματος είναι το όχημα B να επισκεφθεί όλους τους κόμβους, ενώ χρησιμοποιεί το όχημα A ως κινητή αποθήκη.

Πηγές:

- Gambella et al. 2016a | Exact Solutions of the Carrier-Vehicle Traveling Salesman Problem

2.2.6 Electric vehicle routing problem with nonlinear charging function (E-VRP-NL)

Πρόβλημα δρομολόγησης ηλεκτρικών οχημάτων, μη γραμμικής φόρτισης με μικρή αυτονομία, τα οποία μπορούν να επαναφορτίζουν τις μπαταρίες τους σε ένα σύνολο σταθμών φόρτισης. Το πρόβλημα υπολογίζει τη μη γραμμική συμπεριφορά της διαδικασίας φόρτισης χρησιμοποιώντας μερικώς γραμμική προσέγγιση.

Πηγές:

- Montoya et al. 2017 | The electric vehicle routing problem with nonlinear charging function

2.2.7 Green Vehicle Routing Problem (G-VRP)

Το πρόβλημα αποτελείται από ένα σύνολο κόμβων με μια κεντρική αποθήκη, ένα σύνολο x πελατών και ένα σύνολο y σταθμών ανεφοδιασμού. Όλοι οι σταθμοί ανεφοδιασμού μπορούν να ανεφοδιάσουν απεριόριστο αριθμό οχημάτων. Ένας στόλος οχημάτων εναλλακτικού καυσίμου βρίσκεται στην κεντρική αποθήκη. Σκοπός του προβλήματος είναι να βρεθούν οι κατάλληλες διαδρομές για n οχήματα, έτσι ώστε κάθε πελάτης να συμπεριληφθεί σε ακριβώς μια διαδρομή και το άθροισμα των αποστάσεων

των δρομολογίων να ελαχιστοποιηθεί. Λαμβάνουν χώρα περιορισμοί αυτονομίας καυσίμου και μέγιστου χρόνου διαδρομής.

Πηγές:

- Andelmin and Bartolini 2016 | An Exact Algorithm for the Green Vehicle Routing Problem

2.2.8 Multicompartment vehicle routing problem with stochastic demands (MC-VRPSD)

Το MC-VRPSD βασίζεται στο σχεδιασμό διαδρομών με σκοπό την ικανοποίηση μη γνωστής εκ των προτέρων ζήτησης ενός συνόλου πελατών, για πλήθος προϊόντων, τα οποία λόγω περιορισμών συμβατότητας, πρέπει να φορτώνονται σε ανεξάρτητα διαμερίσματα οχημάτων.

Πηγές:

- Goodson 2014 | A priori policy evaluation and cyclic-order-based simulated annealing for the multi-compartment vehicle routing problem with stochastic demands
- Mendoza et al. 2010 | A memetic algorithm for the multi-compartment vehicle routing problem with stochastic demands
- Mendoza et al. 2011 | Constructive heuristics for the multicompartment vehicle routing problem with stochastic demands

2.2.9 Mixed Capacitated General Routing Problem with Turn Penalties (MCGRP-TP)

Επέκταση του προβλήματος γενικής δρομολόγησης μη ομογενών οχημάτων, περιορισμένης χωρητικότητας (MCGRP), όπου καθορίζονται ποινές για στροφές μεταξύ οποιουδήποτε ζεύγους τόξων (i, j) (j, k). Η παραλλαγή επιτρέπει τον διαχωρισμό των

ποινών για τις αριστερές στροφές, τις δεξιές στροφές ή τις αναστροφές, καθώς και τις καθυστερήσεις στις διασταυρώσεις.

Πηγές:

- Vidal 2017 | Node, edge, arc routing and turn penalties: Multiple problems -- One neighborhood extension.

2.2.10 Multi-Depot Periodic Vehicle Routing Problem (MDPVRP)

Το πρόβλημα της περιοδικής δρομολόγησης οχημάτων με τη χρήση πολλαπλών αποθηκών, απαιτεί την εξυπηρέτηση ενός συνόλου πελατών από πλήθος αποθηκών, σε διαφορετικές περιόδους. Κάθε πελάτης χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο εφικτών χρονικών συνδυασμών για τις επισκέψεις (που ονομάζονται "μοτίβα"). Εφόσον ένας πελάτης εξυπηρετείται σε μια συγκεκριμένη περίοδο από μια συγκεκριμένη αποθήκη, πρέπει να συνεχίσει να εξυπηρετείται από την ίδια αποθήκη σε κάθε άλλη περίοδο.

Πηγές:

- Vidal et al. 2012 | A hybrid genetic algorithm for multidepot and periodic vehicle routing problems

2.2.11 Multiple Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP)

Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με πολλαπλές κεντρικές αποθήκες.

Πηγές:

- Cordeau et al. 1997 | A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems
- De Smet 2014 | Vehicle routing with real road distances - OptaPlanner blog

2.2.12 Multi-Depot Vehicle Routing Problem with Time Windows (MDVRPTW)

Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με πολλαπλές κεντρικές αποθήκες και χρονικούς περιορισμούς.

Πηγές:

- Cordeau et al. 2001 | A unified tabu search for vehicle routing problems with time windows
- Vidal et al. 2013 | A hybrid genetic algorithm with adaptive diversity management for a large class of vehicle routing problems with time-windows

2.2.13 Multi-objective generalized consistent vehicle routing problem (MOGenConVRP)

Το MOGenConVRP επεκτείνει το γενικευμένο πρόβλημα συνεπούς δρομολόγησης οχημάτων (GenConVRP) εξετάζοντας λειτουργίες όπως: τη βελτίωση της συνέπειας των οδηγών και τη συνέπεια των χρόνων άφιξης.

Πηγές:

- Kovacs et al. 2014b | The Generalized Consistent Vehicle Routing Problem

2.2.14 Multi-Trip Multi-Depot Vehicle Routing Problem with Time Windows and Driver Assignment (MTMDVRPTW-DA)

Στο MTMDVRPTW-DA, τα οχήματα φέρουν ρυμουλκούμενο πήγμα. Για κάθε εργασία που διεξάγεται στα οχήματα (ταξίδι, παράδοση), απαιτείται ένας οδηγός και ένας φορέας οχήματος (τράκτορας). Ο συνδυασμός οδηγού – πήγματος παραμένει σταθερός καθ' όλη τη διαδρομή από μια αποθήκη σε άλλη. Αυτό σημαίνει ότι οι οδηγοί έχουν τη δυνατότητα εναλλαγής πήγματος στους κόμβους αποθήκες. Για τη φόρτωση των ρυμουλκούμενων δεν απαιτείται η συμμετοχή οδηγού.

Πηγές:

- Haneyah et al. 2016 | Simultaneous Multi-Trip Vehicle Routing and Truck Driver Scheduling in practice: real-life cases from the retail industry

2.2.15 Pollution Routing Problem (PRP)

Παραλλαγή του κλασσικού προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων, η οποία αποσκοπεί στη βελτιστοποίηση των διαδρομών και των ταχυτήτων κίνησης των οχημάτων, υπό την παρουσία χρονικών περιορισμών, με σκοπό τη μείωση της συνολικής κατανάλωσης καυσίμων και του κόστους ταξιδίου.

Πηγές:

- Demir et al. 2012 | An adaptive large neighborhood search heuristic for the pollution-routing problem
- Kramer et al. 2015 | A matheuristic approach for the pollution-routing problem

2.2.16 Periodic Vehicle Routing Problem (PVRP)

Πρόβλημα περιοδικής δρομολόγησης οχημάτων που απαιτεί την εξυπηρέτηση πελατών σε έναν ορίζοντα πολλαπλών περιόδων.

Πηγές:

- Cordeau et al. 1997 | A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems

2.2.17 Periodic Vehicle Routing Problem with Time Windows (PVRPTW)

Το πρόβλημα περιοδικής δρομολόγησης οχημάτων με χρονικούς περιορισμούς αποτελεί επέκταση του PVRP με τη διαφορά ότι, πέραν των λοιπών περιορισμών, κάθε προγραμματισμένη παράδοση σε πελάτη πρέπει να εκτελείται εντός προκαθορισμένου χρονικού παραθύρου.

Πηγές:

- Cordeau et al. 2001 | A unified tabu search for vehicle routing problems with time windows
- Pirkwieser and Raidl 2009 | Multiple variable neighborhood search enriched with ILP techniques for the periodic vehicle routing problem with time windows
- Vidal et al. 2013 | A hybrid genetic algorithm with adaptive diversity management for a large class of vehicle routing problems with time-windows

2.2.18 Swap-body Vehicle Routing Problem (SBVRP)

Ένα σύνολο πελατών πρέπει να εξυπηρετηθεί από ένα σύνολο οχημάτων, τα οποία μπορούν να ρυμουλκήσουν μέχρι δύο πήγματα εναλλασσόμενου σώματος . Τα πήγματα έχουν σταθερή χωρητικότητα. Υπάρχουν περιορισμοί προσβασιμότητας σε πελάτες από οχήματα με δύο ρυμουλκούμενα. Η εναλλαγή των πηγμάτων γίνεται μόνο σε καθορισμένους κόμβους.

Πηγές:

- Absi et al. 2015 | A relax-and-repair heuristic for the Swap-Body Vehicle Routing Problem

PTV 2014 | Verolog Solver Challenge 2014

2.2.19 Site-Dependent Vehicle Routing Problem [SDVRP (Site-Dependent)]

Πρόβλημα δρομολόγησης ετερογενών οχημάτων σε κόμβους όπου υπάρχουν περιορισμοί τύπου οχήματος – πελάτη.

Πηγές:

- Cordeau et al. 1997 | A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems

2.2.20 Site-Dependent Vehicle Routing Problem with Time Windows [SDVRPTW (Site-Dependent)]

Πρόβλημα δρομολόγησης ετερογενών οχημάτων σε κόμβους όπου υπάρχουν περιορισμοί τύπου οχήματος – πελάτη που υπόκεινται σε χρονικούς περιορισμούς.

Πηγές:

- Cordeau et al. 2001 | A unified tabu search for vehicle routing problems with time windows

- Vidal et al. 2013 | A hybrid genetic algorithm with adaptive diversity management for a large class of vehicle routing problems with time-windows

2.2.21 Vehicle Routing Problem with Service Level Constraints (VRP-SL)

Παραλλαγή του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων, με προαιρετικές παραδόσεις (υπόκεινται σε ποινή για τους αποκλεισμένους πελάτες), με πρόσθετους περιορισμούς στα επίπεδα υπηρεσιών. Ορίζονται πολλές ομάδες πελατών και για κάθε ομάδα πρέπει να ικανοποιείται ένα ελάχιστο ποσοστό των συνολικών παραδόσεων. Αυτή η παραλλαγή αποσκοπεί στην εκπλήρωση των συμβατικών υποχρεώσεων ενός 3PL (Third Party Logistics).

Πηγές:

- Bulhões et al. 2017 | The Vehicle Routing Problem with Service Level Constraints

2.2.22 Vehicle Routing Problem with Backhauls (VRPB)

Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με δυνατότητα backhaul περιλαμβάνει δύο τύπους πελατών: πελάτες linehaul, οι οποίοι απαιτούν παραδόσεις, και πελάτες backhaul, οι οποίοι χρειάζονται επιστροφές. Σε οποιαδήποτε διαδρομή, οι πελάτες του linehaul πρέπει να προηγούνται των πελατών backhaul. Επιπλέον, απαγορεύονται οι διαδρομές που συνίστανται αποκλειστικά από πελάτες backhaul.

Πηγές:

- Goetschalckx and Jacobs-Blecha 1989 | The Vehicle Routing Problem With Backhauls
- Toth and Vigo 1999 | A heuristic algorithm for the symmetric and asymmetric vehicle routing problems with backhauls

2.2.23 Vehicle routing problem with stochastic demands (VRPSD)

Το VRPSD στοχεύει στην εύρεση των διαδρομών με το μικρότερο δυνατό κόστος, για την εξυπηρέτηση μη γνωστής ζήτησης από ένα σύνολο πελατών.

Πηγές:

- Christiansen and Lysgaard 2007 | A Branch-and-Price Algorithm for the Capacitated Arc Routing Problem with Stochastic Demands
- Gauvin et al. 2014 | A branch-cut-and-price algorithm for the vehicle routing problem with stochastic demands
- Goodson et al. 2014 | Cyclic-order neighborhoods with application to the vehicle routing problem with stochastic demand
- Mendoza and Villegas 2013 | A multi-space sampling heuristic for the vehicle routing problem with stochastic demands
- Mendoza et al. 2016 | A hybrid metaheuristic for the vehicle routing problem with stochastic demand and duration constraints

2.2.24 Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)

Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με χρονικούς περιορισμούς, στο οποίο ένας στόλος όμοιων οχημάτων, πεπερασμένης χωρητικότητας βρίσκεται σε μια κεντρική αποθήκη και πρέπει να εξυπηρετήσει ένα σύνολο πελατών, με γνωστές απαιτήσεις, εντός συγκεκριμένου χρονικού περιθωρίου. Σκοπός του προβλήματος είναι να καθορίσει τις διαδρομές με το μικρότερο δυνατό κόστος, έτσι ώστε κάθε όχημα να ξεκινάει και να τελειώνει τη διαδρομή του στην κεντρική αποθήκη, οι φορτώσεις του να μην υπερβαίνουν τη χωρητικότητά του και εντός του χρονικού περιθωρίου ο κάθε πελάτης να διατρέχεται μια μόνο φορά.

Πηγές:

- Chabrier 2006 | Vehicle Routing Problem with elementary shortest path based column generation
- Cook and Rich 1999 | A parallel cutting-plane algorithm for the vehicle routing problem with time windows
- De Smet 2014 | Vehicle routing with real road distances - OptaPlanner blog
- Gehring and Homberger 1999 | A parallel hybrid evolutionary metaheuristic for the vehicle routing problem with time windows
- Irnich and Villeneuve 2006 | The Shortest-Path Problem with Resource Constraints and k-Cycle Elimination for $k \geq 3$
- Kallehauge et al. 2001 | Lagrangean Duality applied on vehicle routing with time windows - Experimental results
- Kohl et al. 1999 | 2-path cuts for the vehicle routing problem with time windows
- Larsen 2001 | Parallelization of the Vehicle Routing Problem with Time Windows
- Solomon 1987 | Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints
- Vidal et al. 2013 | A hybrid genetic algorithm with adaptive diversity management for a large class of vehicle routing problems with time-windows

Για την επίλυση των προαναφερθέντων προβλημάτων χρησιμοποιείται πλήθος αλγορίθμων, κατά περίπτωση, όπως παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

2.3 Αλγόριθμοι Επίλυσης

Όπως γίνεται αντιληπτό, το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων καθώς και το σύνολο των παραλλαγών του είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο στην επίλυσή του και η εύρεση μια βέλτιστης λύσης δεν καθίσταται πάντοτε εφικτή. Σε αντίθεση με το TSP, το VRP είναι κλάσης NP-Hard, γεγονός το οποίο περιορίζει κατά την επίλυσή του ακόμη και τους πιο εξεζητημένους ακριβείς αλγόριθμους, σε λύσεις που δεν υπερβαίνουν του 100 πελάτες και όχι πάντοτε με απόλυτη επιτυχία.

Οι τρείς βασικές κατηγορίες αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται για την επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων είναι:

2.3.1 Ακριβείς Αλγόριθμοι

Οι ακριβείς αλγόριθμοι καταλήγουν πάντοτε στη βέλτιστη λύση, μέσω του διεξοδικού ελέγχου του συνόλου των πιθανών διαδρομών και την επιλογή αυτής που ικανοποιεί καλύτερα την επίλυση του προβλήματος [Laporte et al. (1987), Toth et al. (1998)]. Δυστυχώς απαιτούν μεγάλη υπολογιστική δύναμη και όσο αυξάνεται το μέγεθος του προβλήματος, τόσο μεγαλύτερος χρόνος επίλυσης απαιτείται. Περιορίζονται στην επίλυση προβλημάτων που δεν ξεπερνούν τους 100 πελάτες, καθώς πέραν αυτών οι χρόνοι επίλυσης αυξάνονται δυσανάλογα, γεγονός που τους καθιστά ακατάλληλους για εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες. Διαδεδομένη μέθοδος είναι η Branch and Bound που ολοκληρώνεται σε δύο φάσεις. Κατά την πρώτη φάση πραγματοποιείται τμηματοποίηση του χώρου εφικτών λύσεων ενώ κατά τη δεύτερη καθορίζονται τα ανώτατα και κατώτατα όρια των τμημάτων. Εφόσον το κατώτατο όριο ενός τμήματος είναι μεγαλύτερο από το ανώτερο όριο έτερου τμήματος, τότε μπορεί να παραληφθεί το πρώτο τμήμα. Παραλλαγές της μεθόδου αποτελούν η Branch & Cut και η Branch & Price.

2.3.2 Ευρετικοί Αλγόριθμοι

Οι ευρετικοί αλγόριθμοι σε αντίθεση με τους ακριβείς, δεν παρέχουν τη βέλτιστη λύση του προβλήματος, αλλά μια που να πλησιάζει όσο το δυνατόν περισσότερο σε αυτήν [Christofides et al. (1979), Golden et al. (1998)]. Η διαδικασία επίλυσης βασίζεται στην

παραγωγή μιας αρχικής λύσης που στη συνέχεια βελτιώνουν. Εκτελούνται σε βήματα και ο χρόνος επίλυσής τους μειώνεται σημαντικά σε σχέση με τους ακριβείς. Διαχωρίζονται σε:

- Κατασκευαστικούς αλγορίθμους, με ποιό γνωστούς τους αλγόριθμους απληστίας και τους προσεγγιστικούς.

- Βελτιωτικούς αλγορίθμους, στους οποίους ανήκουν οι αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης.

2.3.3 Μεθευρετικοί Αλγόριθμοι

Οι μεθευρετικοί αλγόριθμοι επίσης δεν παρέχουν τη βέλτιστη λύση του προβλήματος, αλλά μια που να πλησιάζει όσο το δυνατόν περισσότερο σε αυτήν και το εκτελούν πιο αποδοτικά από τους ευρετικούς [Cordeau et. al (2005), Gendreau et al. (2008)]. Επειδή με τους μεθευρετικούς αλγορίθμους είναι αδύνατον να γνωρίζουμε εάν υπάρχει καλύτερη λύση από αυτή που εντοπίστηκε, ως κριτήρια τερματισμού των αλγορίθμων, επιλέγονται χρονικά ή κριτήρια αριθμού επαναλήψεων. Επιτρέπουν την εξερεύνηση πιθανών λύσεων πέραν του πρώτου τοπικού ελάχιστου που θα συναντήσουν και χωρίζονται σε τρείς βασικές κατηγορίες:

α. Τοπικής – περιορισμένης αναζήτησης.
β. Αναζήτησης πληθυσμού (π.χ. χρωμοσώματα).
γ. Μηχανισμών εκμάθησης (π.χ. νευρωνικά δίκτυα).

Πλέον γνωστοί και χρησιμοποιούμενοι μεθευρετικοί αλγόριθμοι είναι οι:

- Γενετικοί.
- Τυχαιοποιημένης Βελτιστοποίησης.
- Προσομοιωμένης Ανόπτησης.
- Αναζήτησης Tabu.

2.4 Εκμετάλλευση – Επέκταση

Σύμφωνα με τα ανωτέρω αναγραφόμενα παρατηρείται ότι, το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων έχει απασχολήσει μεγάλο μέρος της επιστημονικής κοινότητας, τόσο λόγω των πολλαπλών παραλλαγών του ανάλογα με τις υφιστάμενες απαιτήσεις και τους περιορισμούς που λαμβάνουν χώρα κάθε φορά, όσο και λόγω της αναφοράς του σε υπαρκτά προβλήματα που καλούνται να αντιμετωπίσουν καθημερινά επιχειρήσεις του κλάδου των logistics, δαπανώντας μεγάλο μέρος, εάν όχι το μεγαλύτερο, των πόρων τους.

Οι μέχρι σήμερα προσεγγίσεις του προβλήματος, το αντιμετωπίζουν ως ένα σύνολο δεδομένων, προσπαθώντας να καταλήξουν σε ένα βέλτιστο και αποδεκτό αποτέλεσμα χωρίς να παραβιάσουν του δοθέντες περιορισμούς. Μια τέτοια προσέγγιση όμως ακόμη και αν καταλήγει σε επιθυμητά αποτελέσματα είναι ανελαστική, αφού οδηγείται σε μια λύση χωρίς να λαμβάνει υπόψη τυχόν μεταβολές που δύνανται να προκύψουν κατά τη διάρκεια της επίλυσης. Η δυνατότητα να γνωρίζουμε ποιο είναι το πλέον συμφέρον δρομολόγιο που πρέπει να ακολουθήσει ο στόλος οχημάτων μας προκειμένου να ικανοποιήσει αποδοτικά τις ανάγκες των πελατών μας, αποτελεί αναμφίβολα πολλαπλασιαστή ισχύος για την επιχείρησή μας. Σε πραγματικές συνθήκες όμως και λειτουργώντας έξω από το πρίσμα του εργαστηρίου, παρατηρούμε ότι μια τέτοια επίλυση στερείται προσαρμογής στο δυναμικά μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Για παράδειγμα, εάν και έχουμε λάβει υπόψη το σύνολο των αναγκών των πελατών μας, δεν είναι εφικτή η ενσωμάτωση νέων εμβόλιμων απαιτήσεων κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του δρομολογίου, ενώ παράλληλα αστάθμητοι παράγοντες όπως φθορές σε οχήματα που τα θέτουν εκτός αποστολής ή τυχόν αδυναμία πρόσβασης σε οποιονδήποτε κόμβο με τη σειρά που έχει προκαθοριστεί, καθιστούν σαφές ότι η γραμμικότητα της επίλυσης δεν αποτελεί την πλέον βέλτιστη προσέγγιση στην επίλυση προβλημάτων δρομολόγησης.

Σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η προσέγγιση του προβλήματος δρομολόγησης από μια νέα οπτική γωνία, αυτή της δυναμική μεταβολής των δεδομένων και των περιορισμών ανά πάσα στιγμή. Θα παρουσιαστεί η ανάπτυξη ενός αλγορίθμου, ο οποίος θα εκτελείται n φορές καθ' όλη τη διάρκεια της δρομολόγησης και μέχρι εκπληρώσεως του συνόλου των απαιτήσεων, σε αντίθεση με τους ήδη υπάρχοντες οι οποίοι εκτελούνται μια φορά αρχικά. Κατ' αυτόν τον τρόπο, θα επιχειρηθεί η επίλυση του

προβλήματος, λαμβάνοντας υπόψη το σύγχρονο και ταχέως μεταβαλλόμενο επιχειρησιακό περιβάλλον, υιοθετώντας παράλληλα τις βασικές αρχές των υφιστάμενων αλγορίθμων επίλυσης.

Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία

3.1 Περιγραφή Αλγορίθμου

Ο αλγόριθμος που θα αναπτυχθεί στη συνέχεια του κεφαλαίου έχει ως κύριο σκοπό, την ικανοποίηση του μεγαλύτερου δυνατού αριθμού παραγγελιών, στο μικρότερο δυνατό χρονικό διάστημα, διανύοντας τα λιγότερα δυνατά χιλιόμετρα. Παράγοντας κλειδί για την επιτυχή εφαρμογή του αλγορίθμου είναι η πληρότητα φορτίου με την οποία πρέπει να κινούνται τα οχήματα του στόλου μεταξύ των κόμβων. Η συγκεκριμένη υλοποίηση θα μπορούσαμε να πούμε ότι έχει προσεγγισθεί αρκετά επιτυχώς από τους αλγόριθμους επίλυσης προβλημάτων VRPB, η γραμμικότητα όμως των συγκεκριμένων αλγορίθμων (το γεγονός δηλαδή ότι εκτελούνται μια φορά κατά την έναρξη του προβλήματος, δίνοντας τη βέλτιστη λύση και σε κάθε περίπτωση κατά την οποία πραγματοποιηθεί αλλαγή σε οποιοδήποτε εκ των δεδομένων του προβλήματος, πρέπει να εκτελεστούν εκ νέου), δεν επιτρέπει την εφαρμογή τους σε πραγματικές και συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες. Προκειμένου ο αλγόριθμος που θα αναπτυχθεί στη συνέχεια να έχει εφαρμογή σε όσο το δυνατόν περισσότερες περιπτώσεις, πρέπει η εκτελεστική μονάδα του αλγορίθμου, που θα είναι το κάθε όχημα ξεχωριστά, να έχει τη δυνατότητα λήψης αποφάσεων, αξιολογώντας τα δεδομένα που παρέχονται σε κάθε φάση της επίλυσης και επιλέγοντας την πλέον βέλτιστη στρατηγική. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, πριν καν παρουσιασθούν οι τεχνικές λεπτομέρειες του αλγορίθμου ότι, θα πρέπει το κάθε όχημα να κινείται αυτόνομα μέσα σε ένα προκαθορισμένο πλαίσιο κόμβων, με σκοπό την ικανοποίηση των αντικειμενικών σκοπών όπως αυτοί καθορίζονται από τον εκάστοτε διαχειριστή του συστήματος (ρόλος που δύναται να αναληφθεί από το γραφείο κινήσεως της εκάστοτε εταιρείας).

3.2 Μαθηματική Μοντελοποίηση

Οι παραδοχές που λαμβάνονται υπόψη για τη μοντελοποίηση του αλγορίθμου παρουσιάζονται στη συνέχεια:

- Ο κεντρικός κόμβος (αποθήκη) από όπου ξεκινούν και επιστρέφουν τα οχήματα είναι μοναδικός.
- Ο αριθμός των διατιθέμενων οχημάτων είναι γνωστός εκ των προτέρων.
- Όλα τα οχήματα του στόλου είναι το ιδίου τύπου, με την ίδια μεταφορική ικανότητα.
- Το πήγμα των οχημάτων είναι ενσωματωμένο και όχι αποσπώμενο.
- Οι χρόνοι φόρτωσης και αποφόρτωσης των οχημάτων θεωρούνται σταθεροί και αμελητέοι.
- Τα οχήματα δεν παρουσιάζουν ανάγκη ανεφοδιασμού καυσίμων μεταξύ των κόμβων.
- Κάθε κόμβος έχει απεριόριστο χώρο στάθμευσης.
- Η κυκλοφοριακή συμφόρηση μεταξύ κόμβων θεωρείται αμελητέα.
- Οι αποστάσεις μεταξύ κόμβων είναι προκαθορισμένες και ανήκουν στο ίδιο δίκτυο.
- Το κόστος της κάθε διαδρομής είναι σταθερό και εξαρτώμενο από την μεταξύ κόμβων απόσταση.
- Η αρχική ζήτηση των πελατών είναι εκ των προτέρων γνωστή, αλλά δύναται να μεταβληθεί δυναμικά κατά τη διάρκεια της ημέρας, χωρίς να ακολουθεί κάποιο προδιαγεγραμμένο μοτίβο.
- Ο συνολικός όγκος των επιστρεφόμενων υλικών από κάθε κόμβο, δε δύναται να ξεπερνάει τον όγκο των προς παράδοση υλικών (θετικό ισοζύγιο).
- Οι προς παράδοση παραγγελίες εξυπηρετούνται κατά προτεραιότητα σε σχέση με τις επιστροφές.
- Δεν επιτρέπεται σε όχημα που καταφθάνει σε οποιονδήποτε κόμβο, να παραλάβει τις επιστροφές, χωρίς προηγουμένως να έχει ολοκληρώσει την παράδοση στον ίδιο κόμβο.

Αντικειμενική Συνάρτηση:

$$\min z = \sum_{k\in K}\sum_{i\in N} F_k X_{0j}^k + \sum_{k\in K}\sum_{i\in N}\sum_{j\in N} C_{ij}^k X_{ij}^k + \sum_{k\in K}\sum_{i\in N}\sum_{j\in N}(Q_k - y_{ij})P_k \qquad (1)$$

με τους περιορισμούς

$$\sum_{i=0}^{N}\sum_{k=1}^{K} x_{ij}^k = 1 \qquad \forall j \in \{1,\dots,N\} \qquad (2)$$

$$\sum_{j=0}^{N}\sum_{k=1}^{K} x_{ij}^k = 1 \qquad \forall i \in \{1,\dots,N\} \qquad (3)$$

$$\sum_{i\in N} x_{ij}^k - \sum_{i\in N} x_{ji}^k = 0 \qquad \forall j \in \{1,\dots,N\}, \forall k \in \{1,\dots,K\} \qquad (4)$$

$$\sum_{i\in N} y_{ij} - \sum_{i\in N} y_{ji} = q_j \qquad \forall j \in \{1,\dots,N\} \qquad (5)$$

$$q_j X_{ij}^k \le y_{ij} \le (Q_k - q_i) X_{ij}^k \qquad \forall k \in \{1,\dots,K\}, \forall i,j \in \{1,\dots,N\} \qquad (6)$$

$$y_{ij} \ge 0 \qquad \forall i,j \in \{1,\dots,N\} \qquad (7)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \qquad \forall i,j \in \{1,\dots,N\}, k \in \{1,\dots,K\} \qquad (8)$$

- N = Ο συνολικός αριθμός των κόμβων.
- K = Ο συνολικός αριθμός των οχημάτων (k = 1, …, K).
- F_k = Το σταθερό κόστος για το όχημα k.
- C_{ij}^k = Το μεταβλητό κόστος για το όχημα k μεταξύ των κόμβων i και j.
- Q_k = Η συνολική χωρητικότητα του οχήματος k.
- q_i = Η ζήτηση του κόμβου i, $\forall i \in \{1, \dots, N\}$.
- y_{ij} = Το συνολικό φορτίο του οχήματος μεταξύ των κόμβων i και j.
- P_k = Η σταθερή ποινή μετακίνησης άνευ φορτίου.

Η ανωτέρω αντικειμενική συνάρτηση (1) αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους μεταφοράς, το οποίο εξαρτάται από το σταθερό κόστος κάθε οχήματος, το κόστος μετακίνησης (διανυόμενη απόσταση) και το κόστος μετακίνησης άνευ φορτίου. Οι περιορισμοί (2) και (3) εξασφαλίζουν ότι, ο κάθε πελάτης επισκέπτεται μόνο μια φορά από ένα όχημα. Ο περιορισμός (4) εξαναγκάζει κάθε όχημα που θα επισκεφτεί οποιονδήποτε πελάτη, να φύγει υποχρεωτικά από αυτόν. Με τον περιορισμό (5) εξασφαλίζουμε ότι το όχημα θα μεταφέρει προς τον πελάτη, ποσότητα φορτίου ίση με την ζητούμενη. Ο περιορισμός (6) εξασφαλίζει ότι η μέγιστη χωρητικότητα του οχήματος δεν θα παραβιαστεί. Ο περιορισμός (7) εξασφαλίζει το θετικό πρόσημο της μεταβλητής του φορτίου, ενώ ο περιορισμός (8) δείχνει τη δυαδικότητα της μεταβλητής και παίρνει την τιμή 1 εάν το όχημα κινείται από τον κόμβο i στον j και την τιμή 0 κατά την αντίθετη φορά κίνησης.

3.3 Αλγόριθμος Επίλυσης (The Bee Algorithm)

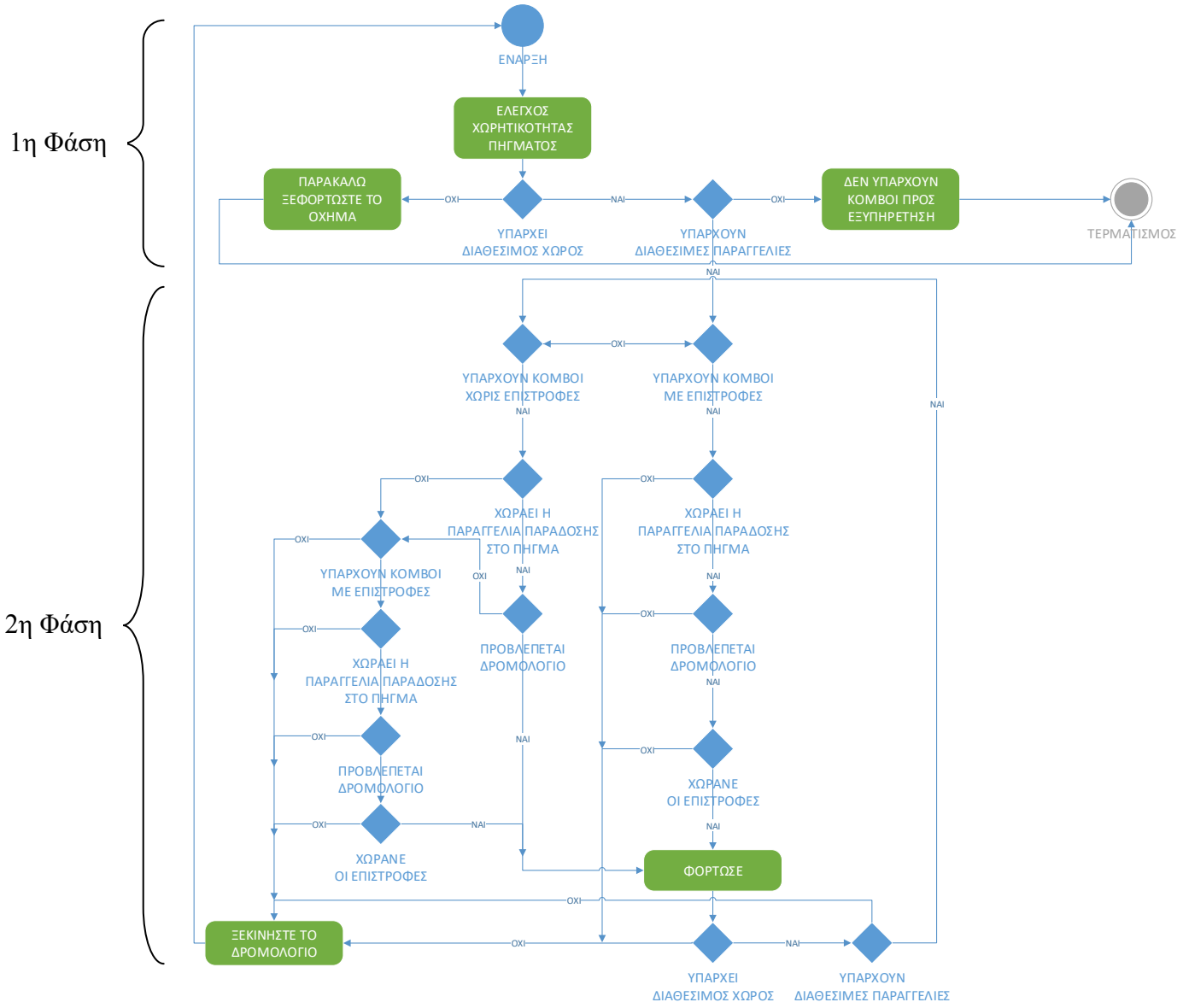
Όπως έχει ήδη αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια της παρούσης, σκοπός του αλγορίθμου επίλυσης είναι η παροχή μιας σχετικής αυτονομίας σε κάθε εκτελεστική μονάδα ξεχωριστά (οχήματα του συστήματος), προκειμένου να ολοκληρώνει με τον πλέον βέλτιστο τρόπο την αποστολή της, δηλαδή την παραλαβή και παράδοση των παραγγελιών υπό τους περιορισμούς της παραγράφου 3.2 . Για την καλύτερη κατανόηση και μελέτη του αλγορίθμου, κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξή του σε φάσεις, αναλόγως της χρονικής σειράς εκτέλεσής τους, όπως παρακάτω:

1η Φάση. Αρχικοποίηση του συστήματος και εκτέλεση διαγνωστικών ελέγχων.

2η Φάση. Εκτέλεση του κυρίως σώματος του αλγορίθμου και λήψη δεδομένων για τη βέλτιστη δρομολόγηση των οχημάτων.

3η Φάση. Έλεγχος καλής εκτέλεσης, λήψη απαραίτητων στατιστικών στοιχείων – αντιγράφων ασφαλείας και επαναφορά του συστήματος σε κατάσταση λειτουργίας προ της αρχικοποίησης.

3.4 Διαγραμματική Απεικόνιση Εκτέλεσης Αλγορίθμου



* Η 3η Φάση δεν εκτελείται περιοδικά όπως οι δύο προηγούμενες φάσεις, παρά μόνο με την λήξη της 2ης Φάσης και εφόσον κρίνεται ότι, δεν απαιτείται η περαιτέρω επανάληψη εκτέλεσης του αλγορίθμου.

3.5 Ανάλυση Φάσεων Επίλυσης Αλγορίθμου

Φάση 1η

Σε αυτή την πρώτη φάση, πραγματοποιείται η αρχικοποίηση του συστήματος που φέρει το κάθε όχημα. Δημιουργείται η σύνδεση με τον κεντρικό εξυπηρετητή, στον οποίο είναι εγκατεστημένη η βάση δεδομένων όπου αποθηκεύεται το σύνολο των απαραίτητων πληροφοριών για την υλοποίηση της αποστολής. Εφόσον η σύνδεση είναι επιτυχής, το σύστημα διενεργεί σειρά διαγνωστικών ελέγχων:

1. Έλεγχος πληρότητας πήγματος και αποθήκευσή των δεδομένων που λαμβάνονται, σε προκαθορισμένη μεταβλητή με τη μορφή ποσοστού. Εφόσον ο αλγόριθμος ξεκινάει τον πρώτο κύκλο λειτουργίας, θα πρέπει το πήγμα να είναι άδειο και συνεπώς η μεταβλητή μηδενική. Σε αντίθετη περίπτωση, ο οδηγός του οχήματος, θα ενημερώνεται για την ύπαρξη φορτίου, την ανάγκη αποφόρτωσής του και ο αλγόριθμος θα οδηγείται σε τερματισμό. Ο αλγόριθμος δεν έχει χρονικούς περιορισμούς ως προς τη εκτέλεσή του και αυτό συμβαίνει προκειμένου να εξυπηρετήσει πλήθος επιχειρήσεων, οι οποίες προς εξοικονόμηση χρόνου, επιλέγουν να φορτώσουν τα οχήματά τους από το βράδυ της προηγούμενης ημέρας. Θέτοντας λοιπόν τον αλγόριθμο σε λειτουργία από το προηγούμενο βράδυ και με απαραίτητη προϋπόθεση ότι, οι παραγγελίες της επόμενης ημέρας έχουν καταχωρηθεί στο σύστημα με τον τρόπο που θα αναλυθεί στη συνέχεια, αυτός επιλέγει και υποδεικνύει τις παραγγελίες που πρέπει να φορτωθούν στο όχημα. Στη συνέχεια αναστέλλει τη λειτουργία του, μέχρι να λάβει επιβεβαίωση έναρξης του δρομολογίου.

2. Έλεγχος πληρότητας καυσίμου και αποθήκευσή των δεδομένων που λαμβάνονται, σε προκαθορισμένη μεταβλητή επίσης με τη μορφή ποσοστού. Ο έλεγχος καυσίμου, αν και στην παρούσα εξέταση του αλγορίθμου δεν λαμβάνεται υπόψη καθώς έχει καθοριστεί ότι τα οχήματα δεν παρουσιάζουν ανάγκη ανεφοδιασμού μεταξύ των κόμβων, είναι απαραίτητη πληροφορία σε περίπτωση που ο αλγόριθμος εφαρμοσθεί σε δίκτυο κόμβων, με τις μεταξύ τους αποστάσεις να είναι ίσες ή και μεγαλύτερες από την αυτονομία καυσίμου των οχημάτων.

3. Καθορισμός της θέσης του οχήματος. Αυτή η λειτουργία μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με τη χρήση της τεχνολογίας Global Positioning System (GPS), είτε με την καταχώρηση από τον οδηγό του κόμβου εκκίνησης, ο οποίος στην παρούσα μελέτη είναι πάντοτε ο κεντρικός κόμβος (αποθήκη).

4. Έλεγχος ύπαρξης διαθέσιμων παραγγελιών προς παράδοση – παραλαβή. Σε περίπτωση που δεν διαπιστωθεί η ύπαρξη παραγγελιών προς εξυπηρέτηση, ο αλγόριθμος οδηγείται σε τερματισμό και απαιτείται η επανεκκίνησή όταν κριθεί αναγκαίο.

Φάση 2η

Κατά τη δεύτερη φάση λειτουργίας του αλγορίθμου, πραγματοποιείται το σύνολο των υπολογισμών οι οποίοι θα καθορίσουν την κίνηση του οχήματος στο δίκτυο των κόμβων και τα σημεία στάσης. Το τερματικό του οχήματος, έχοντας εξασφαλίσει τη σύνδεση με τον κεντρικό εξυπηρετητή και τη βάση δεδομένων και έχοντας αποθηκευμένες τις μεταβλητές της πρώτης φάσης, διατρέχει το σύνολο των καταχωρημένων πληροφοριών, προκειμένου να επιλέξει το βέλτιστο δρομολόγιο για το όχημα. Ήδη από αυτό το σημείο κιόλας διαφαίνεται η ευελιξία του αλγορίθμου, καθώς τα στοιχεία αντλούνται από τον κεντρικό εξυπηρετητή και είναι δυνατόν να τροποποιηθούν ανά πάσα στιγμή, σύμφωνα με τις ανάγκες του διαχειριστή, χωρίς να επηρεάζουν την εκτέλεση του.

Προτού όμως προχωρήσουμε στην ανάλυση του εκτελεστικού μέρους του αλγόριθμου, κρίνεται σκόπιμο να αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο ταξινομούνται τα δεδομένα που λαμβάνονται από τη βάση δεδομένων πριν αξιοποιηθούν στη λήψη αποφάσεων:

1. Το σύνολο των κόμβων που βρίσκονται καταχωρημένοι στη βάση δεδομένων, χαρακτηρίζονται από δύο τιμές. Τον όγκο που καταλαμβάνει η προς παράδοση παραγγελία και τον όγκο που καταλαμβάνει η προς παραλαβή επιστροφή. Στην παρούσα μελέτη, ο όγκος παράδοσης ή παραλαβής μεμονωμένης παραγγελίας δεν δύναται να ξεπερνάει τη συνολική χωρητικότητα του οχήματος. Για όγκους μεγαλύτερους της χωρητικότητας του οχήματος, θα πραγματοποιείται κατάτμηση αυτών σε μέρη μικρότερα ή ίσα της χωρητικότητας αυτού. Προς διευκόλυνση και απλοποίηση της μελέτης του αλγορίθμου, ο όγκος προς μεταφορά θα αποδίδεται σε μορφή ποσοστού ως προς τη

χωρητικότητα του οχήματος. Δηλαδή, μία παραγγελία με όγκο 100% σημαίνει ότι χωράει στο πήγμα του οχήματος, αυτό όμως θα πρέπει να είναι τελείως άδειο και να μην έχει προγραμματιστεί στάση προς φόρτωση, προ της παραδόσεώς της. Εφόσον ένα κόμβος παρουσιάζει παραγγελία μεγαλύτερη του 100%, τότε αυτή θα διαχωρίζεται και θα καταχωρείται ως διαφορετικές παραγγελίες στη βάση δεδομένων για τον κόμβο αυτόν.

2. Οι αποστάσεις μεταξύ των κόμβων είναι καταχωρημένες εκ των προτέρων στη βάση δεδομένων. Σε περίπτωση που δεν προβλέπεται απόσταση μεταξύ δύο κόμβων, τότε αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει δυνατότητα απευθείας μετάβασης από τον έναν στο άλλον και το δρομολόγιο πρέπει να διέλθει υποχρεωτικά δια μέσω τρίτου κόμβου (κατά πάσα πιθανότητα ο κεντρικός κόμβος – αποθήκη).

3. Σε κάθε κόμβο έχει αποδοθεί μία μεταβλητή πραγματικού αριθμού, που αποτελεί τη βαρύτητα του κόμβου. Με τη βαρύτητα του κόμβου επιτυγχάνονται τα εξής:

α. Ο αλγόριθμος είναι σε θέση να επιλέγει πάντοτε το βέλτιστο δρομολόγιο κίνησης μεταξύ των κόμβων, χωρίς να χρειάζεται το όχημα να διέλθει πέραν της μίας φοράς από το ίδιο δρομολόγιο.

β. Ο διαχειριστής του συστήματος, είναι σε θέση να τροποποιήσει τη βαρύτητα συγκεκριμένου αλγορίθμου, προκειμένου να εξυπηρετήσει κατά προτεραιότητα συγκεκριμένο κόμβο – παραγγελία. Η τροποποίηση της μεταβλητής της βαρύτητας δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να αποτελεί πάγια τακτική και να πραγματοποιείται από μη εξουσιοδοτημένο προσωπικό καθώς επεμβαίνει στον σχεδιασμό και τον τρόπο λειτουργίας του αλγορίθμου και δύναται να επιφέρει αποτελέσματα δυσανάλογα από τα αναμενόμενα. Οποιαδήποτε τροποποίηση της ανωτέρω μεταβλητής θα πρέπει να γίνεται για περιορισμένο χρονικό διάστημα και μέχρι τη φόρτωση της συγκεκριμένης παραγγελίας στο όχημα, οπότε και αποφασίζεται το προς εκτέλεση δρομολόγιο. Στη συνέχεια η μεταβλητή της βαρύτητας, θα πρέπει να επανέρχεται στην αρχική της τιμή.

Σε αυτό το σημείο, επιστρέφοντας στο εκτελεστικό κομμάτι, ο αλγόριθμος υποβάλει τα διαθέσιμα στοιχεία σε μία σειρά συσχετίσεων προκειμένου να επιλέξει την επόμενη παραγγελία που θα φορτωθεί στο φορτηγό. Αναλυτικά:

1. Αναζητά το σύνολο των κόμβων για τους οποίους υπάρχει καταχωρημένη παραγγελία παράδοσης και επιστροφής, αποκλείοντας όσους απαιτούν μόνο παράδοση. Αυτή η πρώτη αναζήτηση έχει ως σκοπό την εξασφάλιση ότι το όχημά μας ανεξαρτήτως διαδρομής που θα ακολουθήσει, θα εκτελέσει τα χιλιόμετρα της επιστροφής προς τον κεντρικό κόμβο χωρίς να είναι άδειο, χωρίς να κάνει δηλαδή νεκρά χιλιόμετρα. Εφόσον η παραπάνω αναζήτηση δεν αποφέρει αποτελέσματα, τότε αυτό σημαίνει ότι στο δίκτυο των κόμβων δεν υπάρχει καμία παραγγελία επιστροφής υλικών προς την κεντρική αποθήκη και ούτος η άλλως το όχημα θα αναγκαστεί να κινηθεί άδειο κατά την επιστροφή του στην αφετηρία.

2. Εφόσον βρεθούν κόμβοι με επιστροφές, τότε εξετάζεται εάν:

α. Η ποσότητα προς παράδοση χωράει στο όχημα.

β. Υπάρχει δρομολόγιο μεταξύ του τρέχοντος κόμβου και του κόμβου προορισμού.

γ. Η ποσότητα προς επιστροφή χωράει στο όχημα.

Εφόσον οι παραπάνω παράμετροι ικανοποιούνται τότε δίνεται εντολή για φόρτωση της παραγγελίας παράδοσης. Σε κάθε περίπτωση κατά την οποία τα αποτελέσματα είναι μη μοναδικά, επιλέγεται ο κόμβος με τη μεγαλύτερη βαρύτητα.

3. Στη συνέχεια γίνεται έλεγχος πληρότητας πήγματος:

α. Εάν δεν υπάρχει πλέον διαθέσιμος χώρος, δίνεται εντολή στον οδηγό να ξεκινήσει το δρομολόγιο προς τον κόμβο, να παραδώσει την παραγγελία, να φορτώσει την επιστροφή και να επανέλθει στην αφετηρία.

β. Εάν υπάρχει διαθέσιμος χώρος, ο αλγόριθμος προβαίνει σε έλεγχο διαθεσιμότητας παραγγελιών παράδοσης – παραλαβής. Εφόσον δεν υπάρχουν, δίνεται εντολή στον οδηγό να ξεκινήσει το δρομολόγιο προς τον κόμβο, να παραδώσει την παραγγελία, να φορτώσει την επιστροφή και να επανέλθει στην αφετηρία. Εφόσον όμως υπάρχουν διαθέσιμες παραγγελίες, τότε ο αλγόριθμος ξεκινάει το δεύτερο κύκλο εκτέλεσής του.

4. Αναζητά το σύνολο των κόμβων για τους οποίους υπάρχει καταχωρημένη παραγγελία παράδοσης χωρίς παραγγελία επιστροφής. Σε αυτή τη δεύτερη εκτέλεση, ο λόγος που αναζητούνται κόμβοι χωρίς επιστροφές είναι ότι το όχημά μας ήδη έχει αναλάβει την υποχρέωση επιστροφής φορτίου από την πρώτη κιόλας εκτέλεσή του. Εφόσον λοιπόν έχει εξασφαλισθεί ότι δεν θα υπάρξουν νεκρά χιλιόμετρα κατά την επιστροφή του οχήματος στην αφετηρία, κρίνεται σκόπιμο να συμπεριλάβουμε σε αυτό το συγκεκριμένο δρομολόγιο παραγγελίες οι οποίες εξ' ορισμού θα δημιουργούσαν επιπρόσθετο κόστος στην εταιρεία καθώς το όχημα θα ήταν αναγκασμένο να κινηθεί άδειο. Σκοπός του αλγορίθμου σε αυτή την περίπτωση είναι να συγχωνεύσει όσο το δυνατόν περισσότερες παραγγελίες προς παράδοση, ελαχιστοποιώντας έτσι τις κυκλικές διαδρομές από και προς τον κεντρικό κόμβο. Εφόσον βρεθούν κατάλληλοι κόμβοι, τότε εξετάζεται εάν πληρούν τις προϋποθέσεις των παραγράφων 2α,β,γ με μοναδική διαφοροποίηση ότι πλέον ελέγχεται η ύπαρξη δρομολογίου μεταξύ των διαφορετικών κόμβων προορισμού, προς αποφυγή διέλευσης του οχήματος από την αφετηρία προτού εξυπηρετήσει το σύνολο των παραγγελιών που βρίσκονται φορτωμένες στο όχημα. Μία διέλευση του οχήματος από την αφετηρία προτού ολοκληρωθούν οι παραδόσεις, σημαίνει αποτυχία του αλγορίθμου, καθώς το συγκεκριμένο δρομολόγιο θα έπρεπε να κατατμηθεί σε περισσότερα του ενός. Εφόσον το σύνολο των προϋποθέσεων πληρείται, δίνεται εντολή φόρτωσης της παραγγελίας και ο αλγόριθμος οδηγείται εκ νέου σε ελέγχους πληρότητας πήγματος και διαθέσιμων παραγγελιών, προκειμένου να ακολουθήσει ένας νέος κύκλος εκτέλεσής του ή η έναρξη του δρομολογίου.

5. Σε κάθε περίπτωση κατά την οποία στο δίκτυο κόμβων υπάρχουν καταχωρημένες παραγγελίες μόνο του ιδίου τύπου (παράδοσης – παραλαβής ή μόνο παράδοσης), τότε ο αλγόριθμος εξακολουθεί να εκτελείται κανονικά επιλέγοντας παραγγελίες από τις ήδη διαθέσιμες.

Φάση 3η

Η Τρίτη κατά σειρά φάση εκτέλεσης του αλγορίθμου, περιλαμβάνει την επιστροφή του οχήματος στον κεντρικό κόμβο και τη στάθμευσή του (λήξη βάρδιας). Σε αυτή τη φάση δεν συμπεριλαμβάνεται τυχόν αλλαγή βάρδιας, καθώς το σύστημα μπορεί να συνεχίσει κανονικά τη λειτουργία του χωρίς κανέναν περιορισμό. Η φάση αυτή περιλαμβάνει τις ενέργειες που υλοποιούνται μετά την απενεργοποίηση του φορητού τερματικού του οχήματος. Οι απορρέουσες ενέργειες για τον διαχειριστή του συστήματος και κατ' επέκταση της βάσης δεδομένων είναι:

- Έλεγχος της καλής εκτέλεσης του αλγορίθμου.
- Έλεγχος της συνολικής ικανοποίησης των παραγγελιών.
- Καταχώριση των καταγεγραμμένων παραγγελιών που θα πρέπει να εκτελεστούν την επόμενη ημέρα.
- Λήψη αντιγράφων ασφαλείας προκειμένου να εξασφαλιστεί η εύρυθμη λειτουργία του συστήματος και η άμεση επαναφορά του σε λειτουργική κατάσταση σε κάθε περίπτωση αστοχίας υλικού.

Ο αλγόριθμος που δημιουργήθηκε για την επίλυση του προβλήματος και παρουσιάστηκε παραπάνω, ονομάστηκε «The Bee Algorithm». Η ονομασία του αλγορίθμου επεξηγεί άριστα τον τρόπο λειτουργίας του, καθώς και τη μεταβίβαση του εκτελεστικού του μέρους στο ίδιο το όχημα δια μέσω του φορητού τερματικού του συστήματος. Το όχημα, παρομοιαζόμενο με μέλισσα, λαμβάνει αυτόνομα αποφάσεις για το πλήθος των παραγγελιών που θα φορτώσει και τη βέλτιστη διαδρομή που θα ακολουθήσει, προκειμένου να εξυπηρετήσει όλους τους κόμβους που υποδεικνύει το φορτίο του, υπολογίζοντας παράλληλα και το φορτίο που θα φέρει μαζί του κατά την επιστροφή. Η ύπαρξη πέραν του ενός οχημάτων στο ίδιο σύστημα κόμβων, τους προσδίδει συμπεριφορά σμήνους.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο ψευδοκώδικάς του αλγορίθμου επίλυσης.

3.6 Ψευδοκώδικας Αλγορίθμου Επίλυσης

Πριν την καταγραφή του κώδικα, είναι απαραίτητη η αποτύπωση του «σχήματος» της βάσης δεδομένων καθώς και των πινάκων που το απαρτίζουν. Για την συγκεκριμένη υλοποίηση, θα δημιουργηθούν σε περιβάλλον MySQL τα παρακάτω:

1. Σχήμα: the_bee_algorithm – κωδικοποίησης UTF-8.

2. Πίνακες:

α. Truck. Περιλαμβάνει όλα τα βασικά στοιχεία του οχήματος/ων.

Truck						
Id	Type	Driver	Total_capacity	Current_load	Fuel	Current_position
Κλειδί πίνακα	Τύπος οχήματος	Οδηγός οχήματος	Συνολική χωρητικότητα οχήματος	Τρέχον φορτίο	Πληρότητα καυσίμου	Τρέχουσα θέση

β. Orders. Περιλαμβάνει τις καταχωρημένες παραγγελίες προς εξυπηρέτηση.

Orders				
Id	Node	Deliver	Pickup	Completion
Κλειδί πίνακα	Κόμβος προς εξυπηρέτηση	Όγκος προς παράδοση	Όγκος προς επιστροφή	Έλεγχος ολοκλήρωσης παραγγελίας

γ. Nodes. Περιλαμβάνει τις αποστάσεις μεταξύ των κόμβων καθώς και τη βαρύτητα αυτών.

Nodes				
Id	Node_A	Node_B	Distance	Weight
Κλειδί πίνακα	Κόμβος Α	Κόμβος Β	Μεταξύ τους απόσταση	Βαρύτητα (αφορά τον Κόμβο Α)

δ. Routes. Περιλαμβάνει τις παραγγελίες που αναλαμβάνει να εξυπηρετήσει το όχημα ανά κύκλο εκτέλεσης του αλγορίθμου.

Routes				
Id	Truck	Nodes	Weight	Completion
Κλειδί πίνακα	Όχημα που ανέλαβε την παράδοση της παραγγελίας	Κόμβος προς τον οποίο πρέπει να κατευθυνθεί	Βαρύτητα κόμβου (συμπληρώνεται αυτόματα από τον πίνακα Nodes)	Έλεγχος ολοκλήρωσης δρομολογίου

Ο ψευδοκώδικας που παρατίθεται στη συνέχεια ακολουθεί τους συντακτικούς κανόνες της γλώσσας προγραμματισμού «PHP». Οι εντολές που έχουν ως σκοπό την αλληλεπίδραση του προγράμματος με τη βάση δεδομένων ακολουθούν τους συντακτικούς κανόνες της «MySQL».

```
1 <?php
2
3 BEGIN
4
5       CONNECT DB
6
7 //Επιλογή του οχήματος στο οποίο τοποθετήθηκε η φορητή συσκευή.
8
9       $vehicle = 1;
10
11 //Αρχικοί έλεγχοι πριν την εκτέλεση του προγράμματος.
12
13      if (current_load > 0) {
14              exit("Παρακαλώ ξεφορτώστε το όχημα");
15      } elseif ((orders.completion=1) = 0) {
16              exit("Δεν υπάρχουν κόμβοι προς εξυπηρέτηση");
17      }
18
19 //Ερωτήματα προς τη Β/Δ.
20
21      $q1 = " SELECT * FROM orders
22              WHERE pickup IS NOT NULL
23              AND deliver <= (total_capacity - current_load)
24              AND pickup <= deliver
25              AND completion = 0
26              ORDER BY deliver DESC
27              LIMIT 1";
28
29      $q2 = " SELECT * FROM orders
30              WHERE pickup IS NULL
31              AND deliver <= (total_capacity - current_load)
```

```
32              AND completion = 0
33              ORDER BY deliver DESC
34              LIMIT 1";
35
36      $q3 = " SELECT * FROM orders, (SELECT nodes.node_A, nodes.node_B
37                                     FROM nodes,routes,orders
38                                     WHERE orders.node in (nodes.node_A)
39                                     AND routes.nodes in (nodes.node_B))
                                       AS check
40              WHERE pickup IS NOT NULL
41              AND deliver <= (total_capacity - current_load)
42              AND pickup <= deliver
43              AND completion = 0
44              AND orders.node in (check.node_A)
45              ORDER BY deliver DESC
46              LIMIT 1";
47
48      $q4 = " SELECT * FROM orders, (SELECT nodes.node_A, nodes.node_B
49                                     FROM nodes,routes,orders
50                                     WHERE orders.node in (nodes.node_A)
51                                     AND routes.nodes in (nodes.node_B))
                                       AS check
52              WHERE pickup IS NULL
53              AND deliver <= (total_capacity - current_load)
54              AND pickup <= deliver
55              AND completion = 0
56              and orders.node in (check.node_A)
57              ORDER BY deliver DESC
58              LIMIT 1";
59
60 //Έναρξη αναζήτησης κατάλληλου φορτίου.
61
62      while (((total_capacity - current_load)>0) &&
                ((orders.completion=0) >= 1)) {
63
64              EXECUTE $q1;
65              EXECUTE $q2;
66
67              if (RESULT($q1) > 0) {
68
69                      UPDATE truck SET current_load += deliver
70                      UPDATE orders SET completion = 1
71                      INSERT INTO routes (truck,nodes,weight,completion)
                        VALUES ($vehicle, orders.node, nodes.weight,0);
72
73              } elseif (RESULT($q2) > 0) {
74
75                      UPDATE truck SET current_load += deliver
76                      UPDATE orders SET completion = 1
```

```
77                      INSERT INTO routes (truck,nodes,weight,completion)
                        VALUES ($vehicle, orders.node, nodes.weight,0);
78
79              } else {
80
81                      BREAK;
82
83              }
84
85              while (((total_capacity - current_load)>0) &&
                        ((orders.completion=0) >= 1)) {
86
87                      EXECUTE $q4;
88                      EXECUTE $q3;
89
90                      if (RESULT($q4) > 0) {
91
92                              UPDATE truck SET current_load += deliver
93                              UPDATE orders SET completion = 1
94                              INSERT INTO routes
                                (truck,nodes,weight,completion)
                                VALUES
                                ($vehicle, orders.node, nodes.weight,0)";
95
96                      } elseif (RESULT($q3) > 0) {
97
98                              UPDATE truck SET current_load += deliver
99                              UPDATE orders SET completion = 1
100                             INSERT INTO routes
                                (truck,nodes,weight,completion)
                                VALUES
                                ($vehicle, orders.node, nodes.weight,0)";
101
102                     } else {
103
104                             BREAK;
105
106                     }
107
108     }
109
110 }
111
112     $q4 = " SELECT nodes FROM routes
113             WHERE truck = $vehicle
114             AND completion = 0
115             ORDER BY weight DESC";
116
117     EXECUTE $q4;
```

```
118
119     if (RESULT($q4) > 0) {
120
121             print("Παρακαλώ φορτώστε τις παραγγελίες".INVERT(RESULT($q4)).
                "και κινηθείτε με τη σειρά στους κόμβους". RESULT($q4).".");
122             UPDATE routes SET completion = 1 WHERE truck = $vehicle;
123
124     } else {
125
126             exit("Διαπιστώθηκε πρόβλημα κατά την εκτέλεση του προγράμματος.
                Παρακαλώ επικοινωνήστε άμεσα με τον διαχειριστή του συστήματος.");
127
128     }
129
130
131
132 END
133
134
135   ?>
```

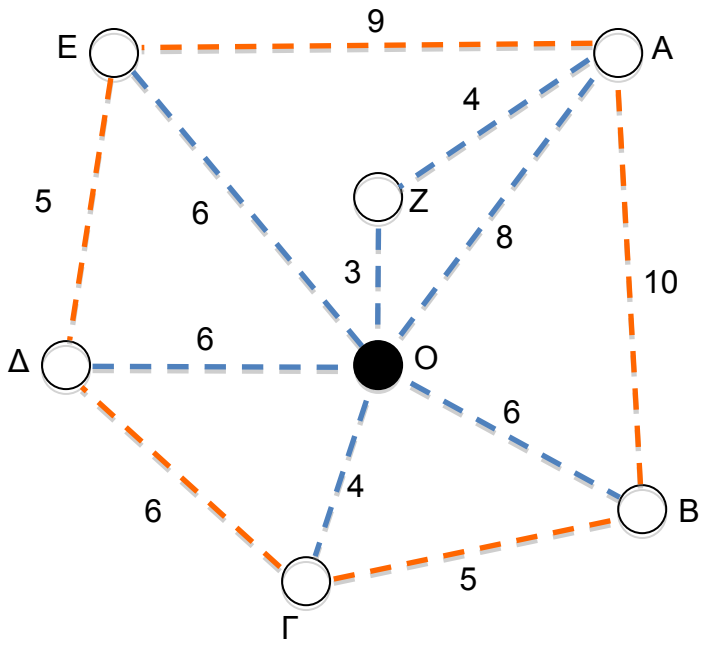
Με την αποτύπωση του ψευδοκώδικα, ολοκληρώνεται το θεωρητικό μέρος του αλγορίθμου επίλυσης που αναπτύχθηκε στο παρόν κεφάλαιο, καθώς έχει καταγραφεί πλήρως το περιβάλλον λειτουργίας, οι προϋποθέσεις και παραδοχές που λήφθηκαν υπόψη κατά τον σχεδιασμό του και παρουσιάστηκε αναλυτικά ο τρόπος εκτέλεσής του, μέσα από διαδοχικά βήματα – φάσεις. Στη συνέχεια, το σύνολο των ανωτέρω στοιχείων θα δοκιμαστούν ως προς την αποτελεσματικότητά τους, στην επίλυση πραγματικών προβλημάτων δρομολόγησης οχημάτων.

Κεφάλαιο 4: Ανάλυση των Στοιχείων – Αποτελέσματα

4.1 Αρχικοποίηση

Στο παρόν κεφάλαιο, θα επιχειρήσουμε την επίλυση ενός προβλήματος δρομολόγησης οχήματος, σε ένα δίκτυο προκαθορισμένων κόμβων, με τη χρήση του αλγορίθμου. Θα καταγραφούν αναλυτικά τα αρχικά δεδομένα του προβλήματος και θα αποτυπωθεί η σταδιακή εξέλιξη του, μέχρι την επίλυσή του. Σκοπός αυτής της επεξεργασίας είναι, ο έλεγχος της ορθότητας εκτέλεσης του αλγορίθμου και η ανάλυση των εξαγόμενων στοιχείων προκειμένου να εξακριβωθεί το τυχόν όφελος που θα προκύψει από τη χρήση του.

Αρχικά πρέπει να ορίσουμε το δίκτυο των κόμβων του συστήματος και τη μεταξύ τους γειτνίαση. Το δίκτυο κόμβων το οποίο επιλέχθηκε, έχει τη δομή αστέρα, παρουσιάζοντας όμως ιδιαιτερότητες ως προς τη μεταξύ τους σύνδεση, προκειμένου να ελεγχθεί η ικανότητα του αλγορίθμου να προσαρμόζεται και να παρέχει τη βέλτιστη λύση δρομολόγησης. Η διαγραμματική απεικόνιση του δικτύου κόμβων παρουσιάζεται στη συνέχεια:



Τα αρχικά δεδομένα τα οποία θα καταχωρήσουμε στους πίνακες της βάσης δεδομένων, σύμφωνα με τη μορφοποίηση της ενότητας 3.6, παρουσιάζονται παρακάτω.

1. Πίνακας «Truck» με τα στοιχεία του οχήματος όπως: Τύπος, οδηγός, συνολική χωρητικότητα, τρέχον φορτίο, πληρότητα καυσίμων και τρέχουσα θέση.

Truck						
Id	Type	Driver	Total_capacity	Current_load	Fuel	Current_position
1	Box	John K.	100	0	100	O

2. Πίνακας «Nodes» με τις αποστάσεις μεταξύ κόμβων και τη βαρύτητα έκαστου κόμβου.

Nodes				
Id	Node_A	Node_B	Distance	Weight
1	O	O	0	0
2	O	A	8	0
3	O	B	6	0
4	O	Γ	4	0
5	O	Δ	6	0
6	O	E	6	0
7	O	Z	3	0
8	A	O	8	5
9	A	B	10	5
10	A	Z	4	5
11	A	E	9	5
12	A	A	0	5
13	B	O	6	4
14	B	A	10	4
15	B	Γ	5	4
16	B	B	0	4
17	Γ	O	4	3
18	Γ	B	5	3
19	Γ	Δ	6	3
20	Γ	Γ	0	3
21	Δ	O	6	2
22	Δ	Γ	6	2
23	Δ	E	5	2
24	Δ	Δ	0	2
25	E	O	6	1
26	E	Δ	5	1
27	E	A	9	1
28	E	E	0	1
29	Z	O	3	6
30	Z	A	4	6
31	Z	Z	0	6

3. Πίνακας «Orders» με τις αρχικές παραγγελίες που υπάρχουν καταγεγραμμένες στο δίκτυο και το στάδιο ικανοποίησής τους.

Orders				
Id	Node	Deliver	Pickup	Completion
1	A	50	20	0
2	B	40	10	0
3	Γ	70	20	0
4	Δ	60	Null	0
5	E	20	Null	0
6	Z	30	30	0

4. Πίνακας «Routes» με τις παραγγελίες που λαμβάνει να εκτελέσει κάθε όχημα. Στην παρούσα χρονική περίοδο, ο συγκεκριμένος πίνακας παραμένει κενός και συμπληρώνεται αυτόματα κατά την ανάθεση έργου σε συγκεκριμένο όχημα.

Routes				
Id	Truck	Nodes	Weight	Completion
Null	Null	Null	Null	Null

4.2.α Εκτέλεση (Στατικό πρόβλημα)

Για την καλύτερη κατανόηση της εσωτερικής λειτουργίας του αλγορίθμου, θα διαχωρίσουμε την εκτέλεσή του σε επαναλήψεις και θα παρουσιάσουμε σε κάθε επανάληψη τη μεταβολή των πινάκων της βάσης δεδομένων. Με το πέρας κάθε επανάληψης το όχημα επιστρέφει στον αρχικό κόμβο και το πήγμα του είναι άδειο.

1. Πρώτη επανάληψη.

Truck						
Id	Type	Driver	Total_capacity	Current_load	Fuel	Current_position
1	Box	John K.	100	70	100	O

Orders				
Id	Node	Deliver	Pickup	Completion
1	A	50	20	0
2	B	40	10	0
3	Γ	70	20	1
4	Δ	60	Null	0
5	E	20	Null	0
6	Z	30	30	0

Routes				
Id	Truck	Nodes	Weight	Completion
1	1	Γ	3	0

2. Δεύτερη επανάληψη.

Truck						
Id	Type	Driver	Total_capacity	Current_load	Fuel	Current_position
1	Box	John K.	100	100	100	O

Orders				
Id	Node	Deliver	Pickup	Completion
1	A	50	20	1
2	B	40	10	0
3	Γ	70	20	1
4	Δ	60	Null	0
5	E	20	Null	1
6	Z	30	30	1

Routes				
Id	Truck	Nodes	Weight	Completion
1	1	Γ	3	1
2	1	A	5	0
3	1	E	1	0
4	1	Z	6	0

3. Τρίτη επανάληψη.

Truck						
Id	Type	Driver	Total_capacity	Current_load	Fuel	Current_position
1	Box	John K.	100	40	100	O

Orders				
Id	Node	Deliver	Pickup	Completion
1	A	50	20	1
2	B	40	10	1
3	Γ	70	20	1
4	Δ	60	Null	0
5	E	20	Null	1
6	Z	30	30	1

Routes				
Id	Truck	Nodes	Weight	Completion
1	1	Γ	3	1
2	1	A	5	1
3	1	E	1	1
4	1	Z	6	1
5	1	B	4	0

4. Τέταρτη επανάληψη.

Truck						
Id	Type	Driver	Total_capacity	Current_load	Fuel	Current_position
1	Box	John K.	100	60	100	O

Orders				
Id	Node	Deliver	Pickup	Completion
1	A	50	20	1
2	B	40	10	1
3	Γ	70	20	1
4	Δ	60	Null	1
5	E	20	Null	1
6	Z	30	30	1

Routes				
Id	Truck	Nodes	Weight	Completion
1	1	Γ	3	1
2	1	Α	5	1
3	1	Ε	1	1
4	1	Ζ	6	1
5	1	Β	4	1
6	1	Δ	2	0

5. Πέρας επαναλήψεων.

Routes				
Id	Truck	Nodes	Weight	Completion
1	1	Γ	3	1
2	1	Α	5	1
3	1	Ε	1	1
4	1	Ζ	6	1
5	1	Β	4	1
6	1	Δ	2	1

4.2.β Αποτελέσματα

Στο ανωτέρω πρόβλημα, ο αλγόριθμος χρειάστηκε τέσσερεις επαναλήψεις προκειμένου το όχημα να εξυπηρετήσει το σύνολο των παραγγελιών που υπήρχαν καταχωρημένες στο σύστημα. Σε ένα στατικό πρόβλημα ο αλγόριθμος δεν παρουσιάζει το σύνολο των δυνατοτήτων του, καθώς έχει προγραμματισθεί να είναι ευέλικτος σε μεταβολές οι οποίες λαμβάνουν χώρα σε οποιοδήποτε σημείο εκτέλεσης. Αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό μεταξύ της τρίτης και τέταρτης επανάληψης. Παρατηρούμε ότι ο αλγόριθμος οδηγεί το όχημα στη φόρτωση της παραγγελίας του κόμβου Β χωρίς να συμπεριλάβει και την παραγγελία του κόμβου Δ παρά το γεγονός ότι αυτή χωράει στο όχημα και η εξυπηρέτησή της μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω του δρομολογίου ΟΒΓΔΟ. Αντί αυτού, ακολουθούνται δύο ξεχωριστά δρομολόγια, ΟΒΟ και ΟΔΟ. Υπολογίζοντας τη συνολικά διανυόμενη απόσταση μεταξύ των δρομολογίων διαπιστώνουμε ότι στην πρώτη περίπτωση (ΟΒΓΔΟ) το όχημα θα διένυε συνολικά 23 km εκ των οποίων τα 6 κενό φορτίου. Στη δεύτερη περίπτωση (ΟΒΟ – ΟΔΟ) το όχημα διένυσε 24 km εκ των οποίων επίσης τα 6 κενό φορτίου. Εκ πρώτης όψεως θα μπορούσαμε ορθά να αναφέρουμε ότι, ο αλγόριθμος αν και μειώνει στο ελάχιστο τα διανυόμενα χιλιόμετρα χωρίς φορτίο, δεν είναι σε θέση να μειώσει τα συνολικά

διανυόμενα χιλιόμετρα εντός του δικτύου κόμβων. Για να απαντήσουμε στο συγκεκριμένο πρόβλημα θα πρέπει να διευρύνουμε το πεδίο παρατήρησης και να λάβουμε υπόψη ότι:

- Σε ένα πραγματικό σύστημα, πιθανόν να δραστηριοποιούνται περισσότερα του ενός οχήματα, οπότε και η εξυπηρέτηση της παραγγελίας για τον κόμβο Δ να δύναται να ενσωματωθεί στο δρομολόγιο κίνησης έτερου οχήματος.
- Σε ένα δυναμικά μεταβαλλόμενο σύστημα, όπου οι παραγγελίες μπορούν να καταχωρηθούν ανά πάσα στιγμή, ο υπολογισμός των συνολικά διανυόμενων χιλιομέτρων πρέπει να γίνεται στο τέλος και για το σύνολο των ικανοποιημένων παραγγελιών. Για παράδειγμα, εάν στην προηγούμενη περίπτωση και ενώ το όχημα έχει αναχωρήσει από τον αρχικό κόμβο, καταχωρηθεί μια καινούρια παραγγελία για τον κόμβο Ε, η οποία να πληροί τα κριτήρια για τη φόρτωσή της στο όχημα, θα παρατηρούσαμε το εξής:

    - Με την παρούσα διαμόρφωση του αλγορίθμου, θα ακολουθούνταν η διαδρομή ΟΒΟ – ΟΔΕΟ, συνολικής απόστασης 29 km.
    - Εάν όμως το όχημα ακολουθούσε τη διαδρομή ΟΒΓΔΟ – ΟΕΟ θα διένυε συνολικά 35 km.

4.3.α Εκτέλεση (Δυναμικά μεταβαλλόμενο πρόβλημα)

Στην παρούσα εκτέλεση του αλγορίθμου, θα πραγματοποιηθεί μεταβολή των στοιχείων των παραγγελιών, από τον διαχειριστή του συστήματος, εν μέσω των επαναλήψεων.

1. Πρώτη επανάληψη.

Truck						
Id	Type	Driver	Total_capacity	Current_load	Fuel	Current_position
1	Box	John K.	100	70	100	O

Orders				
Id	Node	Deliver	Pickup	Completion
1	A	50	20	0
2	B	40	10	0
3	Γ	70	20	1
4	Δ	60	Null	0
5	E	20	Null	0
6	Z	30	30	0

Routes				
Id	Truck	Nodes	Weight	Completion
1	1	Γ	3	0

2. Δεύτερη επανάληψη.

Truck						
Id	Type	Driver	Total_capacity	Current_load	Fuel	Current_position
1	Box	John K.	100	100	100	O

Orders				
Id	Node	Deliver	Pickup	Completion
1	A	50	20	1
2	B	40	10	0
3	Γ	70	20	1
4	Δ	60	Null	0
5	E	20	Null	1
6	Z	30	30	1

Routes				
Id	Truck	Nodes	Weight	Completion
1	1	Γ	3	1
2	1	A	5	0
3	1	E	1	0
4	1	Z	6	0

3. Τρίτη επανάληψη.

Truck						
Id	Type	Driver	Total_capacity	Current_load	Fuel	Current_position
1	Box	John K.	100	60	100	O

Orders				
Id	Node	Deliver	Pickup	Completion
1	A	50	20	1
2	B	40	10	1
3	Γ	70	20	1
4	Δ	60	Null	0
5	E	20	Null	1
6	Z	30	30	1
7	E	30	10	0
8	B	20	Null	1

Routes				
Id	Truck	Nodes	Weight	Completion
1	1	Γ	3	1
2	1	A	5	1
3	1	E	1	1
4	1	Z	6	1
5	1	B	4	0
6	1	B	4	0

4. Τέταρτη επανάληψη.

Truck						
Id	Type	Driver	Total_capacity	Current_load	Fuel	Current_position
1	Box	John K.	100	90	100	O

Orders				
Id	Node	Deliver	Pickup	Completion
1	A	50	20	1
2	B	40	10	1
3	Γ	70	20	1
4	Δ	60	Null	1
5	E	20	Null	1
6	Z	30	30	1
7	E	30	10	1
8	B	20	Null	1

Routes				
Id	Truck	Nodes	Weight	Completion
1	1	Γ	3	1
2	1	A	5	1
3	1	E	1	1
4	1	Z	6	1
5	1	B	4	1
6	1	B	4	1
7	1	E	1	0
8	1	Δ	2	0

5. Πέρας επαναλήψεων.

Routes				
Id	Truck	Nodes	Weight	Completion
1	1	Γ	3	1
2	1	A	5	1
3	1	E	1	1
4	1	Z	6	1
5	1	B	4	1
6	1	B	4	1
7	1	E	1	1
8	1	Δ	2	1

4.3.β Αποτελέσματα

Σε αυτή την εκτέλεση του αλγορίθμου, χρειάστηκαν επίσης τέσσερεις επαναλήψεις προκειμένου το όχημα να εξυπηρετήσει το σύνολο των παραγγελιών που υπήρχαν καταχωρημένες στο σύστημα. Η διαφορά που παρουσιάστηκε σε σχέση με την προηγούμενη εκτέλεση είναι ότι, πριν την έναρξη της τρίτης επανάληψης, προστέθηκαν στο σύστημα δύο νέες παραγγελίες προς τους κόμβους Ε και Β, ο οποίες όμως δεν οδήγησαν τον αλγόριθμο σε αύξηση του αριθμού των επαναλήψεων. Σε αυτό το σημείο διαφαίνεται η ικανότητα του αλγορίθμου να επεξεργάζεται τα στοιχεία που παρέχονται από τη βάση δεδομένων, χωρίς να επηρεάζεται από τη χρονική στιγμή εισόδου τους στο σύστημα, γεγονός που τον κάνει κατάλληλο για αντιμετώπιση προβλημάτων σε πραγματικές συνθήκες.

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας, όπως αναφέρθηκε από τα πρώτα κιόλας κεφάλαια, είναι η μέσω της μελέτης των υφιστάμενων θεωριών και αλγορίθμων επίλυσης του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων, δημιουργία ενός αλγορίθμου ανθεκτικού στις μεταβολές των δεδομένων και των περιορισμών, ο οποίος να αποδίδει με ακρίβεια κάθε φορά το βέλτιστο δρομολόγιο για την ικανοποίηση των απαιτήσεων που θέτονται τόσο εξ' αρχής, όσο και κατά τη διάρκεια εκτέλεσής του.

Παρατηρήσαμε ότι, αν και μέχρι σήμερα έχουν αποτυπωθεί αξιόλογες θεωρίες για την επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης, σύμφωνα με διαφορετικούς περιορισμούς κάθε φορά, το σύνολο αυτών στερείται της δυνατότητας προσαρμογής σε ένα ευμετάβλητο περιβάλλον που να προσομοιάζει όσο το δυνατόν περισσότερο τις πραγματικές επιχειρησιακές συνθήκες.

Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε μέσω της παρούσης (bee algorithm), έχει ως σκοπό να γεφυρώσει το κενό μεταξύ της καθαρά εργαστηριακής μελέτης του προβλήματος και της κατ' εμπειρία δρομολόγησης των μεταφορικών πόρων μιας εταιρίας με σκοπό την ικανοποίηση του συνόλου των απαιτήσεων που προκύπτουν. Ανταποκρινόμενος πλήρως σε όλα τα προβλήματα που τέθηκαν προς επίλυση τόσο κατά τα στάδια ανάπτυξης και δοκιμών του, όσο και κατά την καταγραφή αυτών στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζοντας την ικανότητα συνεχούς λειτουργίας χωρίς περιορισμούς και λαμβάνοντας υπόψη δυναμικά μεταβαλλόμενα στοιχεία, αποδεικνύεται ότι δημιουργήθηκε ένας υψηλού επιπέδου αλγόριθμος, ικανός να ενσωματωθεί, με μικρές κατά περίπτωση τροποποιήσεις, σε ήδη υπάρχουσες και λειτουργικές εταιρείες logistics. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε, τόσο κατά τη σχεδίαση όσο και κατά την υλοποίηση του αλγορίθμου, στην επίλυση υφιστάμενων προβλημάτων, έχοντας ως γνώμονα την επίτευξη της οικονομίας κινήσεων αλλά πρωτίστως της ταχείας και υψηλού επιπέδου εξυπηρέτησης πελατών. Για το λόγο αυτό, ο αλγόριθμος έχει σχεδιαστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε, οποιαδήποτε τροποποίηση (αύξηση ή μείωση) των καταγεγραμμένων δεδομένων προς επίλυση, να μην επιφέρει καμία αλλαγή στον τρόπο εκτέλεσής του, διατηρώντας έτσι τη σταθερότητα των αποτελεσμάτων του. Αυτό επιτυγχάνεται με τη ανάθεση του συνόλου των αναγκαίων κάθε φορά υπολογισμών, στη μικρότερη δυνατή εκτελεστική μονάδα (έκαστο όχημα),

μειώνοντας σημαντικά τον αντίστοιχο χρόνο υπολογισμού που θα απαιτούνταν, σε περίπτωση ύπαρξης μίας κεντρικής μονάδας επεξεργασίας.

Μία πιθανή εξέλιξη του αλγορίθμου πέραν του φάσματος της διπλωματικής εργασίας, θα μπορούσε να αποτελέσει η ενσωμάτωση μηχανισμών machine learning, με σκοπό την πλήρη αυτοματοποίηση του περιβάλλοντος εκτέλεσης του και τη δημιουργία διαύλων επικοινωνίας μεταξύ των εκτελεστικών μονάδων (οχήματα), δημιουργώντας ένα ψηφιακό νευρωνικό δίκτυο, ικανό να ανταπεξέλθει σε κάθε είδους αντιξοότητες, όπως για παράδειγμα ένα όχημα το οποίο τίθεται εκτός λειτουργίας εν μέσω του δρομολογίου του ή ο αποκλεισμός συγκεκριμένων δρομολογίων λόγω εργασιών συντήρησης του οδοστρώματος κτλ. Επιπρόσθετα κατά τη φάση της φόρτωσης – αποφόρτωσης, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η αναπτυσσόμενη τεχνολογία augmented reality, καταδεικνύοντας τον τρόπο φόρτωσης αλλά και το κιβώτιο/α που θα πρέπει να ξεφορτωθούν σε κάθε κόμβο, με σκοπό την εξοικονόμηση χώρου και χρόνου και την υποβοήθηση του προσωπικού προς την πλέον αποτελεσματική εκτέλεση των καθηκόντων του.

Προσωπική πεποίθηση του γράφοντος αποτελεί το γεγονός ότι, η ανωτέρω πρωτότυπη μελέτη και υλοποίηση, δύναται να αποτελέσει τη βάση για την εν συνεχεία εξέλιξη αντίστοιχων αλγορίθμων, ικανών να επιλύσουν το σύνολο των προβλημάτων δρομολόγησης που έχουν καταγραφεί στη βιβλιογραφία, με δυνατότητες προσαρμογής σε συνεχώς μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα.

«We cannot solve our problems with the same thinking we used when we created them»

Albert Einstein

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση

Brandão, J. (2006) A new tabu search algorithm for the vehicle routing problem with backhauls. In European Journal of Operational Research, Volume 173, Issue 2, Pages 540-555

Bodin, L.D., Golden, B.L., Assad, A.A., and Ball, M.O. (1983) Routing and scheduling of vehicles and crews. The state of the art, Computers and Operations Research 10, 69-211.

Carlgren, C. G., Carlsson, D. and Rönnqvist M. (2006) Log sorting in forest harvest areas integrated with transportation planning using backhauling. Scandinavian Journal of Forest Research, 21:3, 260-271

Carlsson, D. and Rönnqvist, M. (2007) Backhauling in forest transportation: models, methods, and practical usage. Canadian Journal of Forest Research, 37:2612-2623

Christopher, M. (1998) Logistics and Supply Chain Management: Strategies for reducing cost and improving service, (2nd Ed) New York: Prentice Hall

Christofides, N. (1985a) Vehicle routing, in: E.L. Lawler, J.K. Lenstra, A.H.G. Rinnooy Kan and D.B. Shmoys, (eds.), The Traveling Salesman Problem. A Guided Tour of Combinatorial Optimization. Wiley, Chichester, 431-448.

Christofides, N. (1985b) Vehicle scheduling and routing, Presented at the 12th International Symposium on Mathematical Programming, Cambridge, MA.

Cuervo, D. P., Goos, P., Sörensen, K. and Arráiz, E. (2014) An iterated local search algorithm for the vehicle routing problem with backhauls. In European Journal of Operational Research, Volume 237, Issue 2, Pages 454-464

Currie, R. H. and Salhi, S. (2004) A tabu search heuristic for a full-load, multi-terminal, vehicle scheduling problem with backhauling ant time windows. Journal of Mathematical Modelling and Algorithms 3: 225–243

Dafgård, F. and Szymkiewicz, E. L. (2013) Evaluating the efficiency of ELMs: an international backhauling perspective, the case of Poland – Sweden. Degree Project Master of Science in Business and Economics, Lund University

Dantzig, G., Bernard, R. and Hubert, J. (1959) The Truck Dispatching Problem. Management Science. 6 (1): 80–91

Dejax, P. J. and Crainic, T. G., (1987) Survey Paper - A Review of Empty Flows and Fleet Management Models in Freight Transportation. Transportation Science 21(4):227-248

Filipec, M., Skrlec, D. and Krajcar, S. (1998) An efficient implementation of genetic algorithms for constrained vehicle routing problem. Systems, Man, and Cybernetics, IEEE International Conference, Volume: 3, Pages: 2231 - 2236

Gelinas, S., Desrochers, M., Desrosiers, J. and Solomon, M. M. (1995) A new branching strategy for time constrained routing problems with application to backhauling. Annals of Operations Research 61 91-109

Goetschalckx, M. and Jacobs-Blecha, C. (1989) The vehicle routing problem with backhauls. In European Journal of Operational Research, Volume 42, Issue 1, Pages 39-51, ISSN 0377-2217

Gronalt, M., Hartl, R. F. and Reimann, M. (2003) New savings based algorithms for time constrained pickup and delivery of full truckloads. In European Journal of Operational Research, Volume 151, Issue 3, Pages 520-535

Randolph W. Hall, R. W. (1991) Characteristics of multi-shop/ multi-terminal delivery routes, with backhauls and unique items. In Transportation Research Part B: Methodological, Volume 25, Issue 6, Pages 391-403

Imai, A., Nishimura, E. and Current, J. (2007) A Lagrangian relaxation-based heuristic for the vehicle routing with full container load. In European Journal of Operational Research, Volume 176, Issue 1, Pages 87-105

Jordan, W. C. and Burns, L. D. (1984) Truck backhauling on two terminal networks. In Transportation Research Part B: Methodological, Volume 18, Issue 6, Pages 487-503

Jordan, W. C. (1987) Truck backhauling on networks with many terminals. In Transportation Research Part B: Methodological, Volume 21, Issue 3, Pages 183-193

Joubert, J.W. (2007) The vehicle routing problem: origins and variants. University of Pretoria etd.

Laporte, G. (2007) What you should know about the vehicle routing problem. Published online 19 September 2007 in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com)

Laporte, G. (1992) The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. European Journal of Operational Research. 59. 345-358

Lin, D. Y. Hou Ng, K. (2012) The impact of collaborative backhaul routing on carbon reduction in the freight industry. In Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 17, Issue 8, Pages 626-628

Line Blander Reinhardt, David Pisinger, Simon Spoorendonk & Mikkel M. Sigurd (2016) Optimization of the drayage problem using exact methods. INFOR: Information Systems and Operational Research

Nishimura, E. Imai, A. and Papadimitriou, S. (2005) Yard trailer routing at a maritime container terminal. In Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Volume 41, Issue 1, Pages 53-76

Nurfahizul Ifwah WA, W., Shaiful, M., Shamsunarnie, MZ., Zainuddin, ZM. and Fuad, M. (2012) Journal of Science and Technology, Volume 4, Issue 1

Palander, T. (2005) Impacts of interenterprise collaboration and backhauling on wood procurement on Finland. Scandinavian Journal of Forest Research

Pradenas, L., Oportus, B. and Parada, V. (2013) Mitigation of greenhouse gas emissions in vehicle routing problems with backhauling. In Expert Systems with Applications, Volume 40, Issue 8, Pages 2985-2991

Potvin, J. Y. (1996) A genetic algorithm for vehicle routing with backhauling. Applied Intelligence 6, 345-355

Reimann, M., Ulrich, H. (2006) Comparing backhauling strategies in vehicle routing using ant colony optimization. Institute for operations research, ETH Zurich

Salhi, S., Wassan, N. and Hajarat, M. (2013). The Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Backhauls: Formulation and Set Partitioning-based Heuristics. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 56. 22–35

Stahlbock R., Voβ S. (2008) Vehicle Routing Problems and Container Terminal Operations – An Update of Research. In: Golden B., Raghavan S., Wasil E. (eds) The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges. Operations Research/Computer Science Interfaces, vol 43. Springer, Boston, MA

Sterzik, S. and Kopfer, H. (2012) A tabu search heuristic for the inland container transportation problem. Working paper No.3. Universitat Bremen.

Talley, W. K. (1986) A rule for allocating joint truck-carrier costs. In Transportation Research Part B: Methodological, Volume 20, Issue 1, Pages 49-57

Thangiah, S. R., Potvin, J. Y. and Sun, T. (1996) Heuristic approaches to vehicle routing with backhauls and time windows. In Computers & Operations Research, Volume 23, Issue 11, Pages 1043-1057

Toth, P. and Vigo, D. (1997) An Exact Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Backhauls. Transportation Science. 31. 372-385

Verhoeven, S.P.J.W. (2008) Backhauling; the optimal road to Everest: a study on the optimization opportunities for the Unilever european routing network. Master's thesis. Universiteit Twente

Vidal, T., Crainic, T. G., Gendreau, M. and Prins, C. (2013) A hybrid genetic algorithm with adaptive diversity management for a large class of vehicle routing problems with time-windows. In Computers & Operations Research, Volume 40, Issue 1, Pages 475-489

Wade, A. C. and Salhi, S. (2002) An investigation into a new class of vehicle routing problem with backhauls. In Omega, Volume 30, Issue 6, Pages 479-487

Wassan, N., Wassan, Ni., Nagy, G. and Salhi, S. (2017) The Multiple Trip Vehicle Routing Problem with Backhauls: Formulation and a Two-Level Variable Neighbourhood Search. In Computers & Operations Research, Volume 78, Pages 454-467

Wassan, Ni. & N., Nagy, Dr. (2014) Vehicle routing problem with deliveries and pickups: Modelling issues and meta-heuristics solution approaches. International Journal of Transportation. 2. 95-110

Zachariadis, E. E. and Kiranoudis, C. T. (2011) A local search metaheuristic algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-ups and deliveries. In Expert Systems with Applications, Volume 38, Issue 3, Pages 2717-2726

Zhong, Y. and Cole, M. H. (2005) A vehicle routing problem with backhauls and time windows: a guided local search solution. In Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Volume 41, Issue 2, Pages 131-144

Ελληνόγλωσση

Κομπότης, Π. (2013) Προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων με πολλαπλές αποθήκες. Διπλωματική εργασία. Πολυτεχνείο Κρήτης.

Ματθόπουλος Π. Π. (2015) Επίλυση προβλήματος δρομολόγησης ετερογενούς στόλου οχημάτων σταθερού αριθμού με την χρήση του αλγορίθμου της πυγολαμπίδας. Διπλωματική εργασία. Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Μορφουλάκη, Μ. και Κοτούλα, Κ. Μ. (2014) Ολοκληρωμένο σύστημα για την ασφαλή μεταφορά μαθητών. Θεσσαλονίκη. (Αριθμός Έκδοσης: ΕΚΕΤΑ – ΙΜΕΤ –ΕΜ – Β – 2014 – 14)

Πούπουζας Β. (2007) Σχεδιασμός ενός πληροφοριακού συστήματος για την δρομολόγηση στόλου οχημάτων με εφαρμογή σε μεταφορική εταιρεία. Διπλωματική εργασία. Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Διαδικτυακοί Τόποι – Ιστοσελίδες

The Guardian (2011), Backhauling can cut waste and costs even within franchised organizations. https://www.theguardian.com/sustainable-business/landfill-cost-reduction-reverse-network-recycling?CMP=share_btn_tw [Access 13 July 2017]

VRP-REP (2017), http://www.vrp-rep.org [Access 5 May 2017]