ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΈΡΕΥΝΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

# Συστήματα Δρομολόγησης Οχημάτων Αστικών Εμπορευματικών Μεταφορών: Ανασκόπηση Πεδίου και Προδιαγραφές

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Κωνσταντακόπουλος Γρηγόριος**

**Εποπτεία :** Ηλίας Τατσιόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**Επίβλεψη:** Σωτήρης Γκαγιαλής
Δρ.,Ε.ΔΙ.Π., Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος-2017

# Περίληψη

Κύριο αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας αποτελεί η ανάλυση του προβλήματος της δρομολόγησης οχημάτων, η εξεύρεση των τάσεων που ακολουθούν τα ερευνητικά έργα και επιστημονικά άρθρα στο Πρόβλημα της Δρομολόγησης Οχημάτων, η έρευνα αγοράς συστημάτων και λογισμικού που επιλύουν το Πρόβλημα της Δρομολόγησης καθώς και τις προδιαγραφές που πρέπει να έχει ένα τέτοιο σύστημα, σύμφωνα με εταιρείες που πραγματοποιούν εμπορευματικές μεταφορές σε αστικές περιοχές.

Αρχικά, η διαδικασία διερεύνησης των τάσεων που ακολουθούν τα επιστημονικά άρθρα είχε σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ενός επιστημονικού άρθρου που παρουσιάστηκε σε διεθνές συνέδριο. Επιπλέον, στην διαμόρφωση των απαιτήσεων και τον προδιαγραφών τέτοιων συστημάτων, συνέβαλλαν οι εταιρείες Optimum S.A καιη SARMED S.A μέσω προσωπικών συνεντεύξεων.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εντάσσεται στο πλαίσιο της συμμετοχής σε ομάδα έργου του Τομέα Βιομηχανικής Διοίκησης και Επιχειρησιακής Έρευνας του ΕΜΠ για την διερεύνηση της ανάπτυξης ενός διαδικτυακού (web-based) λογισμικού δρομολόγησης οχημάτων. Το περιεχόμενο και τα πορίσματα της διπλωματικής ενίσχυσαν το στάδιο της διερεύνησης και αναμένεται να τροφοδοτήσουν το στάδιο υλοποίησης του συστήματος.

# Abstract

The main objective of the present diploma thesis is to analyse the vehicle routing problem, to find the trends of research projects and scientific articles in the field of Vehicle Routing Problem, the market research of systems and software that solve the Routing Problem and the specifications that such a System has, according to companies distributing freight in urban areas.

Initially, the process of identifying trends in scientific articles resulted in the creation of a scientific article which was presented at an international conference. In addition, Optimum S.A and SARMED S.A contributed to the formulation of the requirements and specifications of such systems through personal interviews.

The present diploma thesis forms part of the participation in a project team of the Sector of Industrial Management and Operation Research of NTUA, to investigate the development of a web-based vehicle routing software. The content and findings of the work are expected to fuel the stage of implementation of the system.

# Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστώ τον κύριο Σωτήρη Γκαγιαλή, επιβλέποντα καθηγητή, για την εμπιστοσύνη του να μου αναθέσει την διπλωματική αυτή εργασία και για την ευκαιρία που μου έδωσε να συμμετέχω ενεργά σε ένα πολύ ενδιαφέρον και απαιτητικό έργο, καθώς επίσης και για την πολύτιμη συμβολή του στην εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας, όσο και για τη διαρκή στήριξη και το ουσιαστικό ενδιαφέρον που επέδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της προετοιμασίας και ολοκλήρωσης της εργασίας. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον κύριο Ηλία Τατσιόπουλο, εποπτεύοντα καθηγητή.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία SARMED και τα στελέχη της εταιρείας κ.κ Ιωάννη Σαραντίτη, Δημήτριο Κυμπιζή και Γεώργιο Φαρδή για το χρόνο που διέθεσαν και συνολικά στην συμβολή και βοήθειά τους στη διαμόρφωση της διπλωματικής μου εργασίας, καθώς και την εταιρεία Optimum και το στέλεχος της εταιρείας κ.κ Δημήτριο Περγάμαλη.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου για την απλόχερη υλική και ηθική συμπαράσταση σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου και στη βοήθεια που μου προσέφεραν οι φίλοι μου.

# Περιεχόμενα


1. Εισαγωγή ....9

1.1 Εμπορευματικές Μεταφορές σε Αστικές Περιοχές (Urban Freight Transportation) 9

1.2 Δρομολόγηση Οχημάτων σε Οδικό Δίκτυο .... 11

1.3 Συστήματα Βέλτιστης Δρομολόγησης .... 12

1.4 Η Δρομολόγηση Στόλου Οχημάτων .... 12

1.5 Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας .... 14

2. Πρόβλημα της Δρομολόγησης Οχημάτων .... 15

2.1 Το Πρόβλημα του Περιοδεύοντος Πωλητή .... 15

2.2 Ιστορία του Vehicle Routing Problem (VRP) .... 15

2.3 Μέθοδοι Επίλυσης του Προβλήματος της Δρομολόγησης .... 20

2.4 Η Πορεία των Παραλλαγών του VRP Διαχρονικά και η Συσχέτιση μεταξύ αυτών. 20

2.5 Ανάλυση Παραλλαγών του Προβλήματος της Δρομολόγησης .... 22

2.5.1 Δυναμικό και Στατικό Πρόβλημα Δρομολόγησης (Dynamic Vehicle Routing Problem – DVRP) .... 22

2.5.1.1 Στατικό Πρόβλημα .... 22

2.5.1.2 Δυναμικό Πρόβλημα .... 22

2.5.1.3 Διαφορές Δυναμικής και Στατικής Δρομολόγησης .... 23

2.5.2 Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης Οχημάτων Εξαρτημένο από τον Χρόνο (Time Dependent VRP) .... 23

2.5.3 Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης Οχημάτων με στοιχεία Πραγματικού Χρόνου (Real-time VRP and VRP with Real-Time Traffic Data) .... 25

2.5.4 Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης με Χρονικά Περιθώρια (VRP with Time Windows - VRPTW) .... 25

2.5.5 Το «Πράσινο» Πρόβλημα Δρομολόγησης (Green VRP) .... 26

2.5.6 Το Υβριδικό Πρόβλημα Δρομολόγησης (Hybrid VRP) .... 26

2.5.7 Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης από Πολλαπλές Εγκαταστάσεις (Multi-Depot VRP - MDVRP) .... 27

2.5.8 Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης Περιορισμένης Χωρητικότητας (Capacitated VRP – CVRP) .... 27

2.5.9 Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης με Παραδόσεις και Συλλογές (Pickup and Delivery VRP – VRPPD) .... 28

2.5.10 Το Πρόβλημα της Περιοδικής Δρομολόγησης (Periodic VRP - PVRP) .... 28

2.5.11 Το Πρόβλημα της Στοχαστικής Δρομολόγησης (Stochastic VRP - SVRP) .... 28

2.5.12 Το Πρόβλημα της δρομολόγησης με Διαδοχικές Παραδόσεις και Συλλογές (VRP with Backhauls - VRPB) ..... 29

2.5.13 Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης με Διαχωρισμό των Παραδόσεων (Split Delivery VRP - SDVRP) ..... 29

2.5.14 Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης με χρήση Περιφερειακών Εγκαταστάσεων (VRP with Satellite Facilities - VRPSF) ..... 29

2.5.15 Το Ανοιχτό Πρόβλημα Δρομολόγησης (Open Vehicle Routing Problem – OVRP) 30

2.5.16 Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης με Πολλαπλά Κλιμάκια (Multi Echelon VRP - MEVRP) ..... 30

2.5.17 Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης με Πολλαπλές Διαδρομές (Multi Trip Vehicle Routing Problem – MTVRP) ..... 30

2.6 Απαιτήσεις Τεχνολογίας ..... 31

2.6.1 Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών – Geographical Information Systems (GIS) 31

2.6.2 Big Data ..... 32

2.6.3 Παγκόσμιο Σύστημα Θεσιθεσίας – Global Positioning System (GPS) ..... 32

2.6.4 Floating Car Data ..... 33

3. Παρουσίαση Διενεργηθείσας Έρευνας για το Πρόβλημα της Δρομολόγησης Οχημάτων Αστικών Εμπορευματικών Μεταφορών ..... 35

3.1 Διαδικασία Έρευνας ..... 35

3.2 Μεθοδολογία και αποτελέσματα ..... 37

3.3 Μέθοδοι Επίλυσης του VRP ..... 37

3.4 Είδος Άρθρου ..... 38

3.5 Αποτελέσματα ..... 38

3.6 Συμπεράσματα της Διερεύνησης ..... 41

4. Έρευνα Αγοράς Πληροφοριακών Συστημάτων και Λογισμικού για Δρομολόγηση Οχημάτων ..... 42

4.1 Οφέλη Συστημάτων Δρομολόγησης ..... 42

4.2 Πληροφοριακά Συστήματα Διαχείρισης Μεταφορών – Transportation Management Systems ..... 42

4.2.1 Λειτουργίες Συστημάτων Διαχείρισης Μεταφορών ..... 42

4.2.2 Έρευνα της Gartner για TMS ..... 43

4.2.3 Λογισμικό ως Υπηρεσία – Software as a Service ..... 46

4.2.4 Έρευνα της Decidesoftware για TMS ..... 47

4.2.5 Αγορά των Transportation Management Systems ..... 48
4.3 Συστήματα Δρομολόγησης Οχημάτων – Vehicle Routing Systems ..... 48
5. Προδιαγραφές Συστήματος Δρομολόγησης ..... 56
5.1 Ανάλυση και Περιγραφή Συνεργαζόμενων Εταιρειών ..... 56
5.2 Απαραίτητα Χαρακτηριστικά Συστημάτων για Βελτιστοποίηση Δρομολόγησης Οχημάτων ..... 58
5.3 Διαμόρφωση Απαιτήσεων Λογισμικού Δρομολόγησης Εμπορευματικών Μεταφορών σε Αστικές Περιοχές ..... 59
5.3.1 Καθορισμός Απαιτήσεων Συστήματος ..... 59
5.3.2 Προσδιορισμός απαιτήσεων από την εταιρεία Optimum A.E ..... 59
5.3.3 Προσδιορισμός απαιτήσεων από την εταιρεία SARMED ..... 60
5.4 Προδιαγραφές Συστημάτων Δρομολόγησης Οχημάτων ..... 63
5.4.1 Σχεδιασμός Απαιτήσεων ..... 63
5.4.2 Επιλογή Προδιαγραφών Δρομολόγησης Οχημάτων ..... 64
5.4.3 Αξιολόγηση Προδιαγραφών Συστήματος Δρομολόγησης ..... 71
6. Συμπεράσματα ..... 91
Βιβλιογραφία ..... 94
Παράρτημα: Ανάλυση Επιστημονικών Άρθρων και Διαδικασία Έρευνας για την Δημιουργία του Άρθρου ..... 98

# Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 1 Πρόβλημα Περιοδεύοντος Πωλητή ..... 15
Σχήμα 2 Είσοδος και έξοδος του προβλήματος διανομής φορτίων από στόλο οχημάτων εξυπηρέτησης..... 18
Σχήμα 3 Εξέλιξη του VRP (1)..... 21
Σχήμα 4 Εξέλιξη του VRP (2)..... 21
Σχήμα 5 Συσχέτιση μεταξύ των παραλλαγών του VRP ..... 22
Σχήμα 6 Πρόβλημα Δρομολόγησης με Πολλαπλά Κλιμάκια - Multi Echelon VRP..... 30
Σχήμα 7 Μεθοδολογία Έρευνας..... 37
Σχήμα 8 Magic Quadrant για Συστήματα Διαχείρισης Μεταφορών..... 46
Σχήμα 9 Ομαδοποίηση Παραγγελιών ..... 62
Σχήμα 10 Διαδικασία Σχεδιασμού Απαιτήσεων ..... 64

# Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά προβλημάτων διανομής και οι αντίστοιχες επιλογές..... 17
Πίνακας 2 Πρωτόκολλο Έρευνας..... 36
Πίνακας 3 Παραλλαγές VRP - Ποσοστά άρθρων..... 38
Πίνακας 4 Μέθοδοι Επίλυσης ..... 39
Πίνακας 5 Παραλλαγές VRP - Μέθοδοι Επίλυσης..... 40
Πίνακας 6 Είδη Άρθρων..... 40
Πίνακας 7 Κορυφαίες Εταιρείες για Συστήματα Διαχείρισης Μεταφορών..... 47
Πίνακας 8 Εταιρείες Λογισμικού Δρομολόγησης Οχημάτων και Προγραμματισμού Παραδόσεων ..... 49
Πίνακας 9 Ανάλυση Συστημάτων Δρομολόγησης Οχημάτων..... 51
Πίνακας 10 Χαρακτηριστικά στοιχεία της SARMED ..... 60
Πίνακας 11 Ανάλυση Επιστημονικών άρθρων..... 132

# 1. Εισαγωγή

## 1.1 Εμπορευματικές Μεταφορές σε Αστικές Περιοχές (Urban Freight Transportation)

Οι εμπορευματικές μεταφορές αφορούν την μεταφορά των προϊόντων από τα κέντρα διανομής στα διάφορα σημεία παράδοσης. Η κυκλοφοριακή συμφόρηση στις αστικές περιοχές, λόγω καιρικών συνθηκών, έκτακτων γεγονότων, την ώρα της ημέρας αλλά και την περίοδο του χρόνου, επηρεάζει τους χρόνους διέλευσης και συνεπώς τον προγραμματισμό των παραδόσεων και τη δρομολόγηση του στόλου των οχημάτων (Groß et al. 2015). Οι υπεύθυνοι δρομολόγησης αναθέτουν σε πολλά οχήματα πολλές παραγγελίες καθώς και την σειρά με την οποία θα εκτελούνται ώστε να συνδυάζουν τις αξιόπιστες χρονικά με τις οικονομικά αποδοτικές παραδόσεις. Για την εξισορρόπηση μεταξύ των δύο πρέπει να ληφθούν υπόψη περιορισμοί για την εύρεση της καλύτερης δυνατής λύσης, όπως είναι το βάρος ή η χωρητικότητα του οχήματος, ο διαθέσιμος χρόνος για την παράδοση, οι χρόνοι φόρτωσης και εκφόρτωσης, οι ώρες εργασίας των οδηγών, οι διαφορετικές ταχύτητες των οχημάτων, η κυκλοφοριακή συμφόρηση, οι περιορισμοί πρόσβασης και οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί (Saeheaw & Charoenchai 2016). Ο κύριος σκοπός του προτεινόμενου ερευνητικού έργου είναι να αναπτύξει ένα ολοκληρωμένο λογισμικό μέσω διαδικτύου, για την υποστήριξη των αναγκών των σύγχρονων εταιρειών αποθήκευσης και διανομής, ώστε να προγραμματίζει αποδοτικά τις παραδόσεις και να υπολογίζει τις διαδρομές στα αστικά περιβάλλοντα λαμβάνοντας υπόψη χρονικά εξαρτημένους περιορισμούς, όπως οι παραδόσεις συγκεκριμένου χρόνου, η κυκλοφοριακή συμφόρηση, το ωράριο εργασίας αλλά και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Οι οδικές μεταφορές συνεχίζουν να έχουν το μεγαλύτερο μερίδιο των Ευρωπαϊκών εμπορευματικών μεταφορών μεταξύ των τριών τρόπων χερσαίων μεταφορών (οδικές, εσωτερικές πλωτές και σιδηροδρομικές) σε ποσοστό 74,9%, το 2014. Τα συγκεντρωτικά στοιχεία για τις χώρες τις Ευρωπαϊκής Ένωσης δείχνουν ότι μεταφέρθηκαν 2.236 δις τόνοι αγαθών ανά χιλιόμετρο (t/Km) στις χερσαίες μεταφορές που αντιστοιχούν σε 1.675 t/Km για το οδικό δίκτυο. Ο συνολικός κύκλος εργασιών (έσοδα) αυτών των μεταφορών κυμαίνεται από 0,8% έως 7,9% των συνολικών εσόδων των διάφορων χωρών στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Ο συνολικό τζίρος (έσοδα) που προέρχεται από τις μεταφορές του οδικού δικτύου, ανέρχεται σε 300 δις ευρώ, ποσοστό 2% του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος για την Ευρώπη για το 2014. Επιπλέον, τα κόστη μεταφοράς συνιστούν το 4% έως 10% της τιμής πώλησης ενός προϊόντος ανάλογα με τον κλάδο δραστηριοποίησης (Coyle et al., 1996). Συνεπώς, ο αποδοτικός προγραμματισμός των δρομολογίων των οχημάτων που μειώνει τις διανυόμενες αποστάσεις και τους χρόνους διέλευσης στο ελάχιστο, έχει σημαντική επίδραση στην κερδοφορία των εταιρειών του μεταφορικού τομέα και μεγάλο αντίκτυπο στις εθνικές οικονομίες.

Σήμερα, είναι κοινώς αποδεκτό πως η χρήση καυσίμων με βάση τον άνθρακα αποτελεί μια από τις σημαντικότερες απειλές του περιβάλλοντος λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Στην Ευρώπη, οι μεταφορές αντιστοιχούν στο 25% των εκπομπών των αερίων

του θερμοκηπίου (Green House Gas emission) και, συγκεκριμένα, οι οδικές μεταφορές είναι υπεύθυνες για το 70% των παραγόμενων εκπομπών που οφείλονται συνολικά στις μεταφορές, όπως αναφέρει σχετική αναφορά της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Έχει προβλεφθεί πως οι οδικές μεταφορές θα αυξηθούν κατά 33% τα επόμενα 30 χρόνια (Sbihi και Eglese 2007).

Καθίσταται αναγκαία, λοιπόν, η αποδοτική δρομολόγηση και ο προγραμματισμός με συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης, ώστε να μειωθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αφού οι εκπομπές CO2 είναι συνυφασμένες με τους χρόνους διέλευσης, την ταχύτητα των οχημάτων και τις διάφορες συνθήκες συμφόρησης. Στο προτεινόμενο έργο, θα εξεταστεί ενδελεχώς το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων και προγραμματισμού παραδόσεων με χρονικούς περιορισμούς σε συνδυασμό με τις εκπομπές CO2, λόγω της χρονικής εξάρτησης τους με τις ταχύτητες (Qian & Eglese 2016).

Στις αστικές περιοχές, η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι ο πιο ισχυρός περιοριστικός παράγοντας. Ως αποτέλεσμα της κυκλοφοριακής συμφόρησης, οι χρόνοι διέλευσης εξαρτώνται από τον χρόνο εκκίνησης. Συνεπώς, η δρομολόγηση των οχημάτων περιλαμβάνει το υπο-πρόβλημα της βελτιστοποίησης του χρόνου αναχώρησης κάθε οχήματος (από την αποθήκη και από τον πελάτη). Ένας ακόμα χρονικός περιορισμός είναι η συμμόρφωση με τους κανονισμούς του ωραρίου οδήγησης. Αν αυτός ο περιορισμός συνδυαστεί με την κυκλοφοριακή συμφόρηση, το πρόβλημα δρομολόγησης και προγραμματισμού γίνεται πολύ δύσκολο να επιλυθεί (AbdAllah et al. 2017; Wen & Eglese 2015). Τις τελευταίες δεκαετίες, τα μοντέλα δρομολόγησης στόλου οχημάτων έχουν εξελιχθεί και καθίστανται πιο ρεαλιστικά. Παρόλα αυτά, έχουν αγνοηθεί οι πραγματικοί περιορισμοί κυκλοφοριακής συμφόρησης. Πέραν των χρόνων διέλευσης, πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη οι χρόνοι αναμονής, ειδικά για παραδόσεις με αυστηρούς χρονικούς περιορισμούς, αφού οι μεγάλοι χρόνοι αναμονής δημιουργούν υψηλά κόστη μίσθωσης των οχημάτων ή μισθοδοσίας των οδηγών των φορτηγών και κάνουν τα οχήματα μη διαθέσιμα για άλλες υπηρεσίες.

Στην Ελλάδα, η απελευθέρωση της αγοράς των μεταφορών αναμένεται να μετατρέψει το συγκεκριμένο μοντέλο των πολλών σε αριθμό ανεξάρτητων μεταφορέων σε ένα μικρότερο πλήθος οργανωμένων εταιρειών αποθήκευσης και διανομής με μεγάλους στόλους και πολύπλοκα φορτία μεταφοράς. Αυτή η νέα κατάσταση θα αυξήσει τη σημασία δημιουργίας κατάλληλων μεθόδων και εργαλείων λογισμικού που μπορούν να υποστηρίξουν τις αποφάσεις δρομολόγησης στόλου οχημάτων και προγραμματισμού παραδόσεων που εξαρτώνται από χρονικούς περιορισμούς, ειδικά στα ελληνικά αστικά κέντρα που η συμφόρηση είναι σύνηθες και απρόβλεπτο φαινόμενο.

Η κυκλοφοριακή συμφόρηση σε αστικές περιοχές δεν έχει αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά για χρονικά εξαρτώμενα προβλήματα δρομολόγησης στόλου οχημάτων και προγραμματισμού παραδόσεων, όπως προκύπτει από την ανάλυση της βιβλιογραφίας (Sohr, 2016). Εάν προστεθούν περαιτέρω χρονικοί περιορισμοί, όπως η οδήγηση και οι χρόνοι εργασίας, η βελτιστοποίηση των αναχωρήσεων και χρόνων παράδοσης γίνεται

εξαιρετικά δύσκολη. Παρ' όλα αυτά, πλέον είναι πιο εύκολη η συλλογή δεδομένων πραγματικού χρόνου (μέσω κινητών τηλεφώνων, GPS) και ιδιομορφίας του οδικού δικτύου μέσω GIS (Geographical Information System) οι οποίες δίνουν την δυνατότητα πρόβλεψης των χρόνων διέλευσης στα αστικά περιβάλλοντα. Επιπλέον, οι περιορισμοί των περιβαλλοντικών επιπτώσεων άρχισαν πρόσφατα να λαμβάνονται υπόψη στα προβλήματα εμπορευματικών μεταφορών με σκοπό να ελαχιστοποιούνται οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα (CO2), οι οποίες εξαρτώνται από τους χρόνους διέλευσης και τις ταχύτητες των φορτηγών (Qian nd Eglese, 2016). Οι εταιρείες, λειτουργώντας σε ένα εξαιρετικά ανταγωνιστικό περιβάλλον, πρέπει να διαχειριστούν πολλούς και αντικρουόμενους στόχους σχετικά με τον προγραμματισμό της διανομής, τη μείωση του κόστους διανομής, την καλύτερη εξυπηρέτηση πελατών, τη συμμόρφωση με τους νόμους και τους κανονισμούς και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Έτσι, η έρευνα σχετικά με την κυκλοφοριακή συμφόρηση μέσω του εξαρτημένου χρονικά προβλήματος δρομολόγησης και προγραμματισμού παρουσιάζει ακαδημαϊκό ενδιαφέρον και πρακτικά απασχολεί της εταιρείες εφοδιαστικής και έχει σημαντικό αντίκτυπο στην εθνική οικονομία, που μπορεί να επωφεληθεί της έκβασης της.

## 1.2 Δρομολόγηση Οχημάτων σε Οδικό Δίκτυο

Ένα βασικό ζήτημα βελτιστοποίησης είναι αυτό της δρομολόγησης ενός οχήματος, το οποίο μεταβαίνει από και προς τους κόμβους (δηλαδή τους πελάτες) ενός οδικού δικτύου κατά τον βέλτιστο τρόπο. Σκοπός της δρομολόγησης ωστόσο είναι η εύρεση και η σχεδίαση της διαδρομής αυτής, μέσω της οποίας το όχημα πετυχαίνει ελαχιστοποίηση του κόστους, η οποία επιτυγχάνεται μέσω της ελαχιστοποίησης της συνολικά διανυόμενης απόστασης. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν και παραλλαγές του προβλήματος, καθώς η ελαχιστοποίηση του κόστους μπορεί να εκφραστεί και ως η χρονική καθυστέρηση μιας διαδρομής ή ως η συγκέντρωση των οχημάτων ανά μονάδα χρόνου (κυκλοφοριακή συμφόρηση) ή ως η εκπομπή ρύπων.

Η μελέτη ενός τέτοιου προβλήματος είναι σημαντική καθώς η εξοικονόμηση κόστους και χρόνου αποτελεί κρίσιμη αναγκαιότητα σε πολλά ζητήματα. Η βέλτιστη δρομολόγηση οχημάτων αποτελεί ουσιαστικό παράγοντα οικονομικού σχεδιασμού των μετακινήσεων, πόσο μάλλον στις μέρες μας όπου οι πελάτες πιέζουν συνεχώς τους μεταφορείς για μείωση του κόστους μεταφοράς. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα έξοδα που επιβαρύνουν τους μεταφορείς, τα οποία συνεχώς αυξάνονται. Πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα καύσιμα, η τιμή των οποίων έχει αυξηθεί διαχρονικά καθώς και τα κόστη συντήρησης των οχημάτων. Η τεράστια ποικιλία των φορτίων, οι νέες απόψεις περί πολιτικών αποθεματοποίησης, η επικέντρωση στην βελτίωση της εξυπηρέτησης των πελατών και των απαιτήσεων στις παραλαβές και παραδόσεις περιπλέκει ακόμα περισσότερο τα πράγματα για τον μεταφορέα. Οι μεταφορείς βρίσκονται σε δυσχερή θέση όπου ο προγραμματισμός και ο έλεγχος των δρομολογίων αποτελούν μονόδρομο για την επιβίωσή τους.

Η αναπτυγμένη τεχνολογία δεν θα μπορούσε να μην έρθει αρωγός, και σε αυτή την περίπτωση. Ξεκινώντας από τον προγραμματισμό των δρομολογίων μέχρι και την εποπτεία

και επιτυχή εκτέλεσή τους, έχουν αναπτυχθεί ένα πλήθος από προϊόντα, τόσο λογισμικά (software) όσο και υλιστικά (hardware). Η χρησιμότητα και η εφαρμογή τους σε κάθε περίπτωση είναι κάτι που αποφασίζει ο καθένας μέσα από την χρήση τους. Έτσι λοιπόν, θα μιλήσουμε για συστήματα βέλτιστης δρομολόγησης γενικά και θα αναφερθούμε σε υπολογιστικά συστήματα βέλτιστης δρομολόγησης (Computerized Vehicle Routing Systems – CVRS).

## 1.3 Συστήματα Βέλτιστης Δρομολόγησης

Τα Συστήματα Βέλτιστης Δρομολόγησης παίρνουν έναν μεγάλο αριθμό ζητούμενων διαδρομών το οποίο και επεξεργάζονται, υπολογίζοντας τον πιο αποδοτικό τρόπο για την υλοποίησή τους. Υπολογίζουν τον χρόνο και τους πόρους (π.χ. καύσιμο) που θα απαιτηθούν, λαμβάνοντας υπόψιν διάφορους περιορισμούς (π.χ. ότι κάποιος δρόμος είναι κλειστός), ακολουθώντας τις προαποφασισμένες παραμέτρους που ελέγχουν τον τρόπο με τον οποίο εκτελείται το μεταφορικό έργο. Τέτοιες παράμετροι μπορεί να είναι η ταχύτητα του οχήματος, η αρχική στιγμή κατά την οποία ξεκίνησε το όχημα την διαδρομή κ.α.

Τα Συστήματα Βέλτιστης Διαδρομής μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον δυναμικό προγραμματισμό των τακτικών δρομολογίων ενός οχήματος αλλά και σαν εργαλείο στρατηγικής ανάλυσης. Στον καθημερινό προγραμματισμό εργασιών τα συστήματα αυτά μπορούν πολύ γρήγορα να υπολογίσουν τις βέλτιστες διαδρομές για την εκτέλεση των δρομολογίων ικανοποιώντας τις όποιες παραμέτρους έχουν δοθεί. Οι δρομολογητές – routers και οι σχεδιαστές διαδρομών – planners μπορούν να βελτιστοποιήσουν ακόμη περισσότερο τα δρομολόγια των οχημάτων, χρησιμοποιώντας εξειδικευμένα γεωγραφικά δεδομένα που αποστέλλονται από δορυφόρο, εξαιρετικά χρήσιμα για την υπόδειξη των οικονομικότερων διαδρομών.

## 1.4 Η Δρομολόγηση Στόλου Οχημάτων

Μία σημαντική γενίκευση του προβλήματος της δρομολόγησης ενός οχήματος προκύπτει, αν θεωρήσουμε ένα στόλο (fleet) οχημάτων που επισκέπτονται τις κορυφές ενός γράφου κατά μήκος της βέλτιστης διαδρομής (optimal tour). Η δρομολόγηση στόλου οχημάτων αποτελεί εφαρμογή του γενικότερου προβλήματος διανομής και συλλογής αγαθών από ένα σύνολο οχημάτων εξυπηρέτησης πελατών.

Στο συγκεκριμένο πρόβλημα, τα οχήματα ορισμένων επιχειρήσεων διακινούνται μεταξύ των πελατών της κάθε επιχείρησης, ξεκινώντας από έναν ή περισσότερους κεντρικούς σταθμούς μέσω ενός οδικού δικτύου. Στα οχήματα αυτά αντιστοιχεί ένα συγκεκριμένο πλήρωμα και μπορούν να εξυπηρετήσουν, ανάλογα με την χωρητικότητά τους, μεγάλο αριθμό πελατών της επιχείρησης.

Η διακίνηση αυτή αφορά πιθανόν και αποστολές μεταξύ πελατών, με την έννοια ότι ένα όχημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα ως μέσο διανομής και συλλογής αγαθών. Η διακίνηση γίνεται μέσω ενός πραγματικού / εν λειτουργία οδικού δικτύου στο οποίο η κυκλοφοριακή συμφόρηση μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τις αποφάσεις που σχετίζονται με το πρόβλημα. Έτσι, η δρομολόγηση των οχημάτων των επιχειρήσεων αυτών είναι ένα

σύνθετο πρόβλημα μαθηματικού προγραμματισμού με αντικειμενική συνάρτηση, κατά κύριο λόγο, το κόστος μεταφοράς και τους περιορισμούς εξυπηρέτησης που κάθε φορά προτάσσονται από τους πελάτες και τις ιδιαιτερότητες αυτών των περιορισμών.

Σε όλες τις περιπτώσεις το ενδιαφέρον εστιάζεται στην αντιμετώπιση του προβλήματος δρομολόγησης μέσω μεταφοράς και διανομής τόσο σε επίπεδο επιχειρησιακό όσο και σε επίπεδο στρατηγικού σχεδιασμού.

Η πρώτη περίπτωση αφορά ανάγκες που προκύπτουν σε δεδομένη χρονική στιγμή και πρέπει να αντιμετωπιστούν, ενώ η δεύτερη περίπτωση αφορά στο σχεδιασμό του στόλου σε μακροπρόθεσμη βάση για την συνολική αντιμετώπιση του σχεδιασμού των προγραμμάτων του προσωπικού και του βαθμού ετοιμότητας των οχημάτων.

Στην δεύτερη περίπτωση αντιμετωπίζεται το πρόβλημα παραγγελιών / ανανέωσης του στόλου και βέλτιστης διαχείρισης του προσωπικού που αποτελεί πρόβλημα που απασχολεί γενικότερα τις επιχειρήσεις δρομολόγησης και διαχείρισης οχημάτων.

Οι αντικειμενικοί στόχοι του προβλήματος είναι η ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους που προκύπτει από την δρομολόγηση των οχημάτων και του προγραμματισμού της εργασίας των πληρωμάτων τους. Η εξασφάλιση των αντικειμενικών αυτών στόχων έχει σαν αποτέλεσμα:

- τον προσδιορισμό του ακριβούς αριθμού εμπλεκομένων οχημάτων και την καταγραφή των αντίστοιχων ποσοτήτων προς διακίνηση / μεταφορά.
- τον προσδιορισμό του ελάχιστου αριθμού οχημάτων των επιχειρήσεων εξυπηρέτησης.
- την βέλτιστη οργάνωση εργασίας των πληρωμάτων τους.
- τον προσδιορισμό των βέλτιστων διαδρομών των οχημάτων μέσα από το συγκεκριμένο οδικό δίκτυο.

Σε όλες τις περιπτώσεις οι στόχοι αυτοί θα πρέπει να εξασφαλίζονται ταυτόχρονα. Κατά συνέπεια, το προσφερόμενο λογισμικό αφορά σε ένα σύστημα διαχείρισης και συντονισμού του στόλου και του προσωπικού το οποίο θα είναι υπεύθυνο για την δρομολόγηση του στόλου τον οχημάτων των επιχειρήσεων με στόχο την βέλτιστη δυνατή οργάνωση από πλευράς κόστους και ασφάλειας μεταφοράς και που:

- χρησιμοποιεί στο υπολογιστικό περιβάλλον πραγματικά λειτουργικά δεδομένα που σχετίζονται με το κύκλωμα διανομής και δίνονται από τον κάθε πελάτη.
- προτείνει εκείνα τα δρομολόγια που έχουν χαμηλότερο κόστος για την εταιρεία, λαμβάνοντας υπόψιν το υφιστάμενο οδικό δίκτυο.
- βελτιώνει σημαντικά το επίπεδο εξυπηρέτησης πελατών.
- αξιοποιεί στο μέγιστο τις δυνατότητες και την αποδοτικότητα των οχημάτων και του προσωπικού.
- πραγματοποιεί τον καθημερινό προγραμματισμό της διανομής ενώ υποστηρίζει κι τον στρατηγικό σχεδιασμό από πλευράς επιχείρησης.
- επιτυγχάνει την μέγιστη δυνατή μείωση του κόστους διανομής.

Οι επιχειρήσεις που ωφελούνται από ένα τέτοιο σύστημα είναι όλες οι επιχειρήσεις του κυκλώματος LOGISTICS, και γενικότερα εταιρείες που δραστηριοποιούνται στις διανομές. Οι σύγχρονες εφαρμογές δρομολόγησης έχουν εμπλουτιστεί με πληθώρα λειτουργιών που ανταποκρίνονται στις αυξανόμενες ανάγκες των εταιρειών που δραστηριοποιούνται στις μεταφορές.

## 1.5 Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας

Σε συνέχεια της παρουσίασης των εισαγωγικών εννοιών που θα αναλυθούν και θα χρησιμοποιηθούν εκτενώς στα επόμενα κεφάλαια, είναι σημαντικό να παρουσιαστεί η δομή που θα έχει η παρούσα διπλωματική εργασία και με ποια διαδικασία θα προκύψουν συμπεράσματα και πληροφορίες, μέσω των οποίων θα επωφεληθούν μελλοντικές έρευνες και έργα.

Πιο συγκεκριμένα στο Κεφάλαιο 2 αναλύεται το πρόβλημα της δρομολόγησης οχημάτων, γίνεται μία ιστορική αναδρομή, παρουσιάζονται οι παραλλαγές του προβλήματος, οι μέθοδοι επίλυσης, καθώς και οι απαιτήσεις της τεχνολογίας.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται έρευνα που διεξήχθη με σκοπό την εύρεση των τάσεων που ακολουθούν τα ερευνητικά έργα και επιστημονικά άρθρα στο πρόβλημα της δρομολόγησης οχημάτων, όσον αφορά στις παραμέτρους που επιλύονται, τις μεθόδους με τις οποίες επιτυγχάνεται αυτό, καθώς και τα είδη των άρθρων.

Στο Κεφάλαιο 4 αποτυπώνεται η έρευνα αγοράς που πραγματοποιήθηκε για να αναγνωρισθούν όσο το δυνατό περισσότερα συστήματα διαχείρισης μεταφορών και δρομολόγησης οχημάτων τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο όσο και στην Ελλάδα πιο συγκεκριμένα. Ταυτόχρονα, παρουσιάστηκαν βασικά στοιχεία των συστημάτων αυτών, λειτουργίες και πλεονεκτήματα, ενώ δόθηκε έμφαση στην έννοια «Λογισμικό ως Υπηρεσία

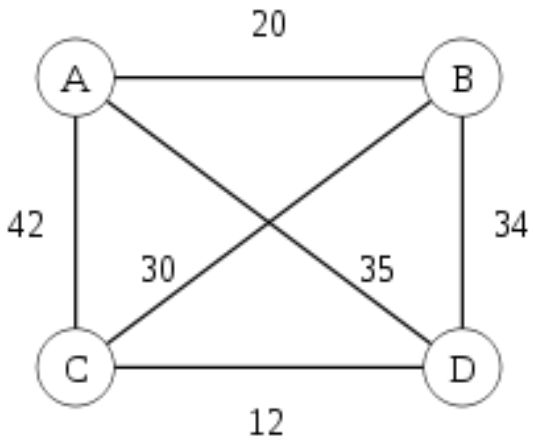
Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται οι δύο εταιρείες που συμβάλλουν στην διαμόρφωση των απαιτήσεων που υπάρχουν από τις εταιρείες έναντι των συστημάτων δρομολόγησης οχημάτων. Επιπλέον, παρουσιάζεται η διαδικασία σχεδιασμού των απαιτήσεων του συστήματος που οδηγεί στις λειτουργικές προδιαγραφές του συστήματος. Οι προδιαγραφές αυτές αξιολογούνται από την εταιρεία SARMED και καταγράφονται οι σημαντικότερες. Τέλος, στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από όλη την έρευνα και κυρίως από τις συναντήσεις με τις εταιρείες SARMED και Optimum που αφορούσαν κυρίως στις απαιτήσεις και προδιαγραφές των συστημάτων δρομολόγησης.

# 2. Πρόβλημα της Δρομολόγησης Οχημάτων

## 2.1 Το Πρόβλημα του Περιοδεύοντος Πωλητή

Το πρόβλημα εμφανίστηκε το 1930 και παρουσιάζεται ως εξής:

- Ένας πωλητής πρέπει να επισκεφθεί n πελάτες σε διαφορετικές πόλεις
- Επιθυμούμε την εύρεση της συντομότερης ή/και της χαμηλότερου κόστους πορεία δεδομένου ότι η αρχή και το τέλος είναι η ίδια πόλη (ΑΦΕΤΗΡΙΑ) και ότι κάθε πόλη θα επισκεφθεί ακριβώς μία φορά.




**Σχήμα 1 Πρόβλημα Περιοδεύοντος Πωλητή**

Το πρόβλημα μπορεί να αναπαραχθεί από έναν πλήρη μη προσανατολισμένο γράφο όπως αυτός του Σχήματος 1, στον οποίο όλοι οι κόμβοι (A, B, C, D) αντιστοιχούν σε κόμβους και οι ακμές (edges) που συνδέουν τους κόμβους αντιστοιχούν στο οδικό δίκτυο μεταξύ των πόλεων. Επί των ακμών εμφανίζονται αριθμητικά μεγέθη τα οποία αφορούν είτε την απόσταση μεταξύ των κόμβων είτε τα κόστη μεταξύ αυτών. Ο στόχος είναι η εύρεση της διαδρομής η οποία ενώνει τις n πόλεις – κόμβους ενός γράφου και η οποία ελαχιστοποιεί είτε την διανυόμενη απόσταση είτε το συνολικό κόστος. Η βέλτιστη λύση που επιδιώκεται είναι στην ουσία ο κύκλος Hamilton ελαχίστου μήκους που σημαίνει ότι η διαδρομή αυτή καταλήγει στο σημείο στο οποίο από όπου ξεκίνησε χωρίς να περνάει οποιαδήποτε άλλη πόλη παραπάνω από μία φορά.

## 2.2 Ιστορία του Vehicle Routing Problem (VRP)

Οι Dantzig και Ramser(1959) (Dantzig & Ramser 1959) ήταν οι πρώτοι οι οποίοι εισήγαγαν το πρόβλημα της αποστολής φορτίων (Truck Dispatching Problem / TDP). Πιο συγκεκριμένα, ο ορισμός του προβλήματος έλεγε ότι πρέπει «Να βρεθεί η βέλτιστη δρομολόγηση (σχεδιασμός διαδρομής – tour), δηλαδή η ελαχιστοποίηση της συνολικά διανυόμενης απόστασης, ενός στόλου φορτηγών διανομής καυσίμου, μεταξύ ενός τερματικού σταθμού ανεφοδιασμού και ενός μεγάλου αριθμού σταθμών εξυπηρέτησης». Χρησιμοποιώντας μία μέθοδο βασισμένη στις αρχές του Γραμμικού Προγραμματισμού οι Dantzig και Ramser

κατέληξαν σε μία προσεγγιστικά βέλτιστη λύση η οποία περιελάμβανε τέσσερις διαδρομές για ένα πρόβλημα δώδεκα σταθμών εξυπηρέτησης. Όταν η χωρητικότητα ενός μόνο φορτηγού είναι αρκετή για την εξυπηρέτηση όλων των σταθμών (δηλαδή των πελατών), τότε το πρόβλημα ταυτίζεται με αυτό του Περιοδεύοντος Πωλητή (Travelling Salesman Problem - TSP). Το TSP είναι το απλούστερο πρόβλημα όπου ένα φορτηγό περνώντας μία ακριβώς φορά από κάθε πελάτη ελαχιστοποιεί το κόστος της διαδρομής. Επομένως, το πολλαπλό πρόβλημα του Περιοδεύοντος Πωλητή (multi Travelling Salesman Problem - m-TSP) ταυτίζεται με αυτό του TDP, όπου υπάρχει ένα πλήθος οχημάτων.

Μετά από πέντε χρόνια, οι Clarke και Wright (1964) (Clarke & Wright 1964) ήταν αυτοί που γενίκευσαν το πρόβλημα το οποίο συναντάται ακόμα και σήμερα στον κλάδο των logistics και των μεταφορών όπου ένα σύνολο πελατών, διασκορπισμένο γύρω από μία κεντρική αποθήκη, εξυπηρετείται από ένα στόλο φορτηγών διαφορετικής χωρητικότητας το καθένα (Vehicle Routing Problem - VRP). Πρότειναν λοιπόν μία λύση η οποία προσδιορίζει την κατανομή των πελατών στις διαδρομές των οχημάτων, την σειρά με την οποία θα επισκεφθούν τα οχήματα τους πελάτες καθώς και ποιο όχημα θα καλύψει κάθε διαδρομή, ώστε να πετύχει την ελαχιστοποίηση της συνολικά διανυόμενης απόστασης. Προκειμένου να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι πρέπει να ικανοποιούνται ορισμένοι περιορισμοί, όπως, ότι κάθε πελάτης θα επισκέπτεται ακριβώς μία φορά, θα παραδίδονται οι απαιτούμενες ποσότητες και η συνολική ζήτηση της διαδρομής κάθε οχήματος θα ικανοποιείται από την χωρητικότητα κάθε οχήματος. Στόχος του τότε συστήματος ήταν επομένως, η ελαχιστοποίηση της συνολικά διανυόμενης απόστασης των φορτηγών χωρίς να λαμβάνονται άλλοι παράγοντες υπόψιν που ενδεχομένως να επηρέαζαν την λύση του προβλήματος.

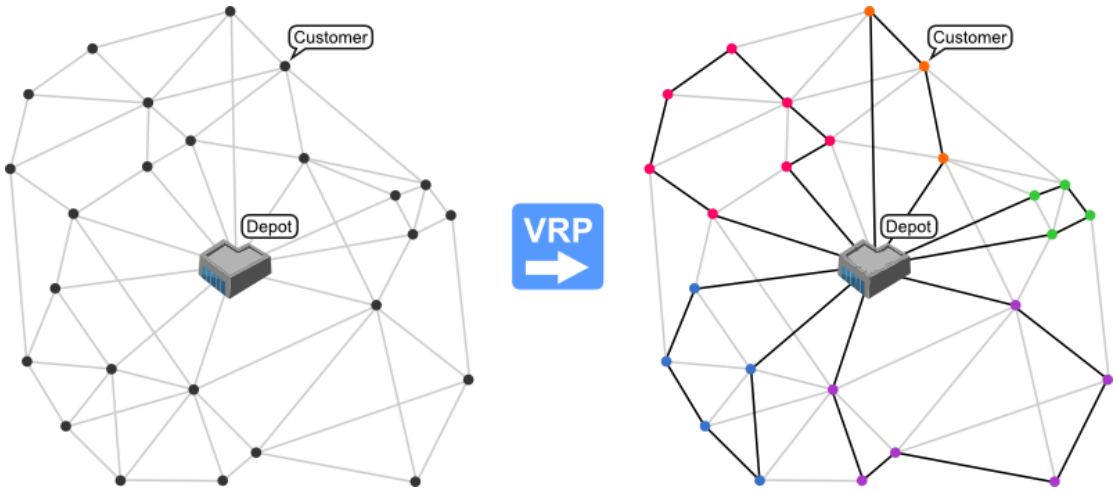
Το πρόβλημα της δρομολόγησης από την σκοπιά της διανομής αγαθών συναντάται στην βιβλιογραφία και ως «Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων και Προγραμματισμού των Δρομολογίων (Vehicle Routing and Scheduling Problem – VRSP). Ο όρος δρομολόγηση (routing) αναφέρεται στον καθορισμό των δρομολογίων που θα πρέπει να εκτελέσει το κάθε όχημα ενώ ο όρος προγραμματισμός των δρομολογίων (scheduling) αναφέρεται στον χρονικό προσδιορισμό των γεγονότων που θα πρέπει να συμβούν εντός του δρομολογίου, όπως είναι οι παραδόσεις των αγαθών. Συχνά εμπεριέχεται και η επαναδρομολόγηση του στόλου λόγω απρόβλεπτων αλλαγών στο πρόγραμμα που οφείλονται στις πραγματικές συνθήκες στις οποίες τελικά εκτελούνται τα δρομολόγια.

Στην συνέχεια παρατίθεται ένας ενδεικτικός πίνακας (Πίνακας 1), στον οποίο φαίνονται ορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά των προβλημάτων διανομής. Επιπλέον παρουσιάζονται οι επιλογές που παρέχονται κατά την διαδικασία της σχεδίασης της βέλτιστης δρομολόγησης των οχημάτων στα προβλήματα αυτά (Γκαγιαλής et al. 2007).

**Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά προβλημάτων διανομής και οι αντίστοιχες επιλογές**

| Χαρακτηριστικά | Επιλογές |
|---|---|
| Μέγεθος Στόλου | ▪ Ένα όχημα<br>▪ Πολλά οχήματα |
| Σύνθεση στόλου – φυσικά χαρακτηριστικά | ▪ Όμοια οχήματα<br>▪ Διαφορετικοί τύποι οχημάτων |
| Βάση Στόλου (Depot) | ▪ Μία<br>▪ Πολλαπλές |
| Είδος Δικτύου | ▪ Κατευθυνόμενος ή μη κατευθυνόμενος γράφος |
| Συστατικά Κόστους | ▪ Κόστος δρομολογίων: κόστος setup, μεταβλητό κόστος ανά ώρα, χιλιόμετρο, αριθμό επισκέψεων, διοδίων<br>▪ Κόστος ιδιοκτησίας του στόλου (σταθερό κόστος)<br>▪ Κόστος υπηρεσιών τρίτων μεταφορέων |
| Είδος Ζήτησης | ▪ Στους κόμβους<br>▪ Στις ακμές |
| Φύση της ζήτησης | ▪ Ντετερμινιστική (γνωστή) ζήτηση<br>▪ Στοχαστική (τυχαία) ζήτηση όσο αφορά την ποσότητα<br>▪ Στοχαστική (τυχαία) ζήτηση όσο αφορά τον χρόνο και την τοποθεσία<br>▪ Δυνατότητα μερικής ικανοποίησης της ζήτησης |
| Είδος δρομολογίων (λειτουργίες που εκτελούνται | ▪ Μόνο συλλογές<br>▪ Μόνο παραδόσεις<br>▪ Μικτές συλλογές και παραδόσεις ξεχωριστά (πρώτα οι παραδόσεις και μετά οι συλλογές)<br>▪ Μικτές συλλογές και παραδόσεις χωρίς περιορισμό αλληλουχίας |
| Αριθμός δρομολογίων ανά όχημα και χρονικό διάστημα | ▪ Ένα δρομολόγιο<br>▪ Πολλά δρομολόγια<br>▪ Ένα δρομολόγιο μπορεί να εκτείνεται και πέραν του χρονικού διαστήματος |
| Στόχοι | ▪ Ελαχιστοποίηση συνολικού κόστους<br>▪ Ελαχιστοποίηση αριθμού οχημάτων<br>▪ Ελαχιστοποίηση χρόνου εξυπηρέτησης<br>▪ Ελαχιστοποίηση των διανυόμενων αποστάσεων ή του χρόνου εκτέλεσης των δρομολογίων (χιλιομέτρων ή ωρών) |

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η γραφική αναπαράσταση του VRP, δείχνοντας τους κόμβους – πελάτες και αντίστοιχα την κεντρική αποθήκη – Depot.




**Σχήμα 2 Είσοδος και έξοδος του προβλήματος διανομής φορτίων από στόλο οχημάτων εξυπηρέτησης**

Έχοντας λοιπόν το Σχήμα 2 και δεδομένου του ορισμού του VRP, γίνεται κατανοητό πως από το αρχικό πρόβλημα καταλήγουμε στην λύση του προβλήματος. Αρχικά για το πρόβλημα ορίζουμε:

- $V= \{V_o,V_1,\ldots, V_n\}$ είναι ένα σύνολο κορυφών, όπου θεωρούμε την αποθήκη ανεφοδιασμού τοποθετημένη στην κόμβο $V_0$ και έστω $V' = V - \{V_0\}$ το σύνολο των n πόλεων.
- $A = \{(V_i, V_j)/ V_i, V_j \varepsilon V; i\#j\}$, δηλαδή $A \subseteq A \subseteq VxV$ είναι ένα σύνολο ακμών.
- C είναι ένας πίνακα από μη αρνητικά κόστη ή αποστάσεις $C_{ij}$ μεταξύ των πελατών $V_i$ και $V_j$.
- d είναι ένα διάνυσμα που περιέχει τις ποσότητες ζήτησης των πελατών.
- $R_i$ είναι η διαδρομή του i-οστού οχήματος.
- m είναι το πλήθος των οχημάτων. Οποιαδήποτε διαδρομή αντιστοιχεί σε ένα μόνο όχημα

Αν ισχύει $C_{ij}=C_{ji}$ για κάθε $(V_i, V_j)\varepsilon A$ το πρόβλημα καλείται συμμετρικό (δηλαδή μπορεί το φορτηγό κάνει την διαδρομή από το i στο j και το αντίστροφο) και αρκεί τότε να αντικαταστήσουμε το σύνολο A με το σύνολο ακμών $E= \{(V_i, V_j)/ V_i, V_j\varepsilon V; i<j\}$. Με κάθε κορυφή $V_i\varepsilon V'$ συσχετίζουμε μία ποσότητα $q_i$ που παριστάνει το φορτίο που πρέπει να παραδοθεί στον κόμβο $u_i$.

Θα θεωρήσουμε ακόμη έναν χρόνο εξυπηρέτησης $\delta_i$, που απαιτείται για την εκφόρτωση της ποσότητας $q_i$ στον κόμβο $u_i$. Είναι προφανές ότι η συνολική διάρκεια οποιασδήποτε διαδρομής δεν πρέπει να ξεπερνά ένα δοσμένο φράγμα D, οπότε μπορούμε να θεωρήσουμε για παράδειγμα ότι τα κόστη $C_{ij}$ αντιστοιχούν στους χρόνους μετάβασης του οχήματος από ακμή σε ακμή του γράφου.

Μία δυνατή λύση (feasible solution) του VRP αποτελείται από:

- μία διαμέριση $\{R_k\}^m_{k=1}$ του V.

- μία μεταλλαγή (permutation) $\sigma_i$ του συνόλου $R_i U\{V_0\}$, πουνα δηλώνει τη διαδοχή στην εξυπηρέτηση των πελατών, πάνω στην διαδρομή i.

Το κόστος μιας συγκεκριμένης διαδρομής $R_i = \{V_o, V_1, \ldots, V_{m+1}\}$ όπου $V_o = V_{m+1}$ (depot), δίνεται ως $C(R_i) = \sum_{i=0}^{m} C_{i,i+1} + \sum_{i=0}^{m} \delta_i$ . Η διαδρομή $R_i$ είναι μέλος μιας υποψήφιας λύσης, αν το όχημα I σταματά ακριβώς μια φορά σε κάθε κόμβο εξυπηρέτησης και η συνολική διάρκεια της διαδρομής δεν ξεπερνά ένα προκαθορισμένο κατώφλι D, δηλαδή έχουμε ότι $C(R_i) \leq D$. Τέλος, το κόστος της λύσης S του προβλήματος λαμβάνεται ίσο με FVRP(S) = $\sum_{i=0}^{m} C(R_i)$.

Μετά την εμφάνιση των δύο αυτών άρθρων (Dantzig-Ramser και Clarke-Wright) δημιουργήθηκαν πολλά μοντέλα που προσπαθούσαν να λύσουν το πρόβλημα καθώς παρουσίαζε μεγάλο ενδιαφέρον λόγω της δυσκολίας αλλά και ταυτόχρονα της πρακτικής εφαρμογής του. Έχουν δημιουργηθεί αρκετές παραλλαγές του βασικού προβλήματος δρομολόγησης οι οποίες συγκεντρώνουν σε διαφορετικά σημεία την προσοχή τους ώστε να επιλύσουν το πρόβλημα. Κατά συνέπεια, έχει αλλάξει σε μεγάλο βαθμό η δομή του προβλήματος σε σχέση με το αρχικό, προσπαθώντας να ανταπεξέλθει στις νέες απαιτήσεις.

Οι κύριες παραλλαγές του προβλήματος που έχουν δημιουργηθεί και διαφέρουν σε σχέση με το κλασσικό VRP είναι οι εξής:

1. Το Δυναμικό Πρόβλημα Δρομολόγησης (Dynamic VRP – DVRP)
2. Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Εξαρτημένο από τον Χρόνο (Time Dependent VRP – TDVRSP)
3. Το Πρόβλημα Δρομολόγησης με στοιχεία Πραγματικού Χρόνου (VRP with Real-Time Data)
4. Το Πρόβλημα της Δρομολόγηση του Στόλου Οχημάτων με Χρονικά Περιθώρια (VRP with Time Windows – VRPTW),
5. Το «Πράσινο» Πρόβλημα Δρομολόγησης (Green VRP)
6. Το Υβριδικό Πρόβλημα Δρομολόγησης (Hybrid VRP)
7. Το Πρόβλημα Δρομολόγησης από Πολλαπλές Εγκαταστάσεις (Multi Depot VRP – MDVRP)
8. Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης Περιορισμένης Χωρητικότητας (Capacitated VRP – CVRP)
9. Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης με Παραδόσεις και Συλλογές (VRP with Pickup and Delivery – VRPPD)
10. Το Πρόβλημα της Περιοδικής Δρομολόγησης (Periodic VRP - PVRP)
11. Το Πρόβλημα της Στοχαστικής Δρομολόγησης (Stochastic VRP - SVRP)
12. Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης με Διαδοχικές Παραδόσεις και Συλλογές (VRP with Backhauls - VRPB)
13. Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης με Διαχωρισμό των Παραδόσεων (Split Delivery VRP - SDVRP)
14. Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης με χρήση Περιφερειακών Εγκαταστάσεων (VRP with Satellite Facilities - VRPSF)
15. Το Ανοιχτό Πρόβλημα Δρομολόγησης (Open VRP – OVRP)
16. Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης με Πολλαπλά Κλιμάκια (Multi Echelon VRP – MEVRP)

17. Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης με Πολλαπλές Διαδρομές (Multi Trip VRP – MTVRP)

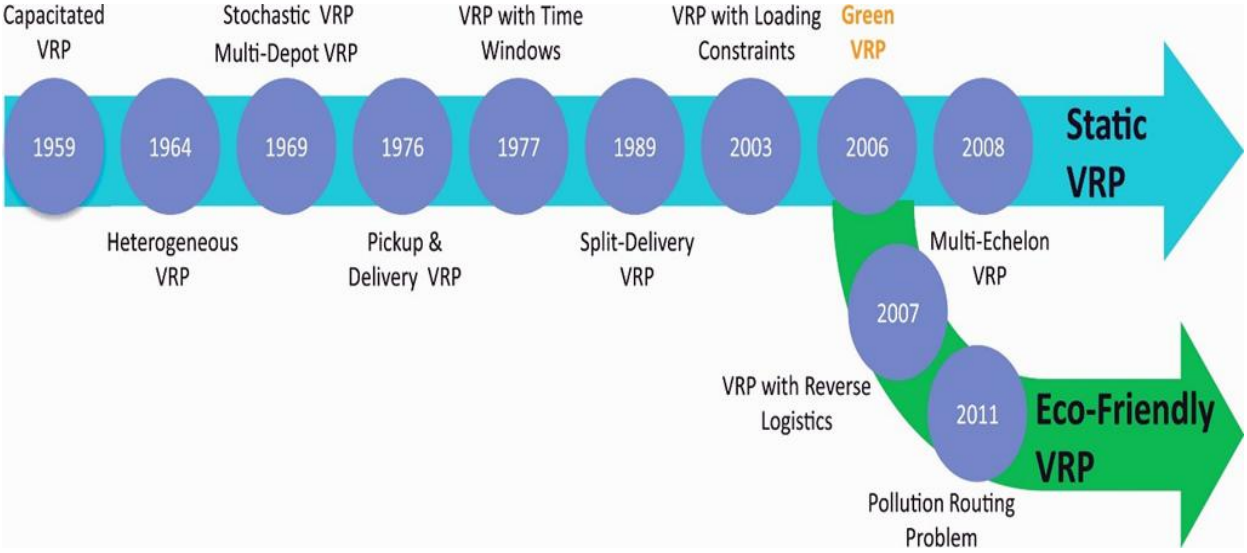
Σύμφωνα με τους (Eksioglu et al. 2009) έχει καταγραφεί ένας μεγάλος αριθμός επιστημονικών άρθρων και βιβλίων με κύριο θέμα το VRP, με την βιβλιογραφία να αυξάνεται εκθετικά κάθε έτος με ρυθμό 6%. Είναι επομένως δύσκολο, λόγω όγκου και των συνεχών εξελίξεων στον συγκεκριμένο τομέα, να ακολουθήσει κανείς τις εξελίξεις αυτές και να προσδιορίσει ποιες λύσεις και παραλλαγές του προβλήματος είναι σχετικά καινοτόμες. Κάθε έρευνα μελετά συγκεκριμένους τομείς ή παράγοντες όπως κατηγοριοποιούνται πιο πάνω καθώς και συνδυασμό των ανωτέρω. Ορισμένες κατηγορίες του προβλήματος έχουν αναλυθεί περισσότερο καθώς παρουσιάζουν μεγάλη δυσκολία στην επίλυση και συνεπώς μεγάλο ενδιαφέρον.

## 2.3 Μέθοδοι Επίλυσης του Προβλήματος της Δρομολόγησης

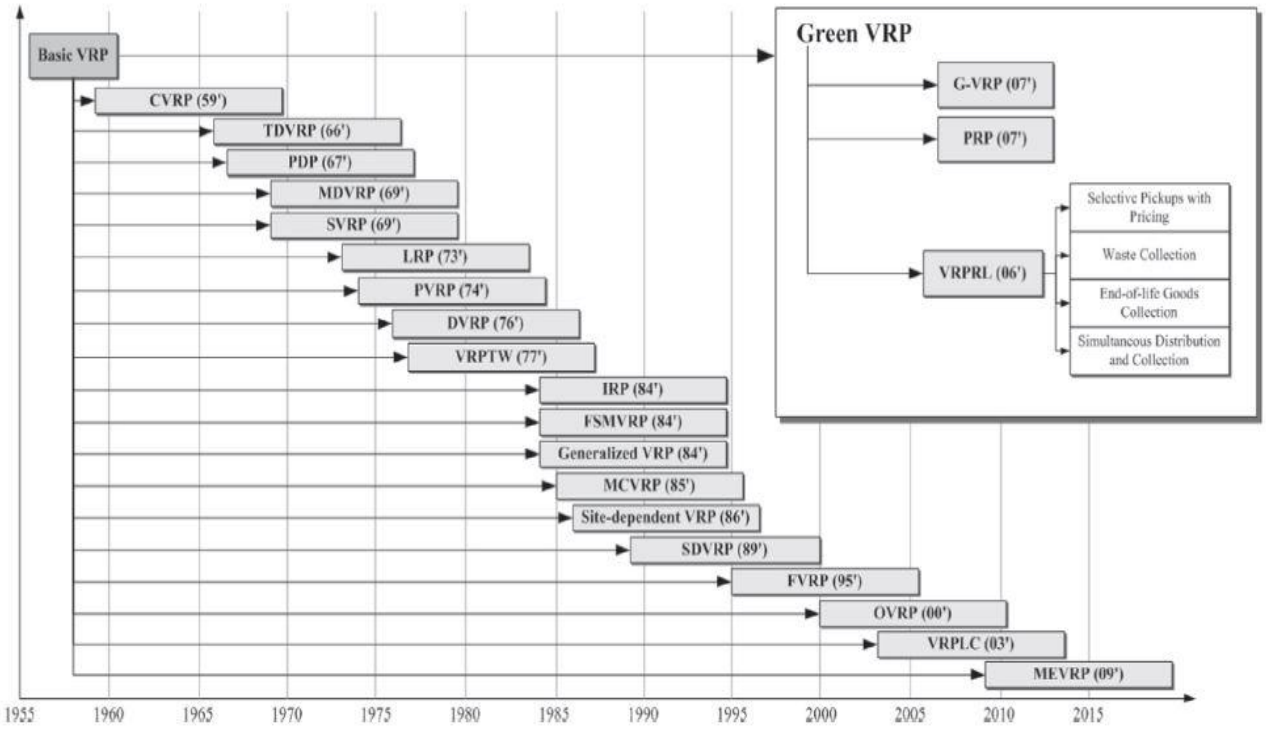
Δεδομένου ότι τα σύγχρονα μοντέλα καλούνται να λύσουν πιο σύνθετα προβλήματα με πραγματικές (real life) δυσκολίες όπως είναι τα χρονικά περιθώρια (παραδόσεων και παραλαβών), οι χρόνοι διέλευσης (εξαρτώμενοι από την κυκλοφοριακή συμφόρηση) αλλά και άλλες πληροφορίες που αλλάζουν δυναμικά με τον χρόνο, η επίλυση των προβλημάτων έχει επιπλέον πολυπλοκότητα. Τα προβλήματα δρομολόγησης ανήκουν στην κατηγορία των NP-hard προβλημάτων που σημαίνει ότι ο χρόνος επίλυσης αυξάνει εκθετικά με το μέγεθος του προβλήματος. Επομένως ακριβείς αλγόριθμοι (exact algorithms) είναι αποδοτικοί και ικανοποιητικοί μόνο για μικρού μεγέθους προβλήματα. Αντίθετα οι ευρετικοί (heuristics) και οι μεταευρετικοί (metaheuristics) αλγόριθμοι είναι καταλληλότεροι για μεγαλύτερης κλίμακας προβλήματα και για πρακτικές εφαρμογές όπως είναι το συγκεκριμένο πρόβλημα (το VRP και οι υποκατηγορίες του). Οι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι εντοπίζουν καλής ποιότητας λύσεις, σε αποδεκτό χρόνο υπολογισμού, τομείς στους οποίους έχει συμβάλλει η εξέλιξη των υπολογιστών, με τις μεγαλύτερες ταχύτητες επεξεργασίας και με τον μεγαλύτερο διαθέσιμο χώρο αποθήκευσης, κάνοντας εφικτή την επίλυση μεγαλύτερου μεγέθους προβλημάτων.

## 2.4 Η Πορεία των Παραλλαγών του VRP Διαχρονικά και η Συσχέτιση μεταξύ αυτών

Το VRP έχει πολλές παραλλαγές οι οποίες κάθε φορά μεταβάλλουν την φύση του προβλήματος καθώς αλλάζουν τους περιορισμούς. Σταδιακά, και λόγω των συνεχών αλλαγών, αναγκών που δημιουργούνται, αλλάζει η δομή του προβλήματος, εστιάζοντας σε διαφορετικούς παράγοντες κάθε φορά. Στο Σχήμα 3 και Σχήμα 4 φαίνεται η πορεία των παραλλαγών του VRP και πως έχει διαμορφωθεί το πρόβλημα με το πέρασμα του χρόνου, φτάνοντας σχεδόν μέχρι σήμερα.

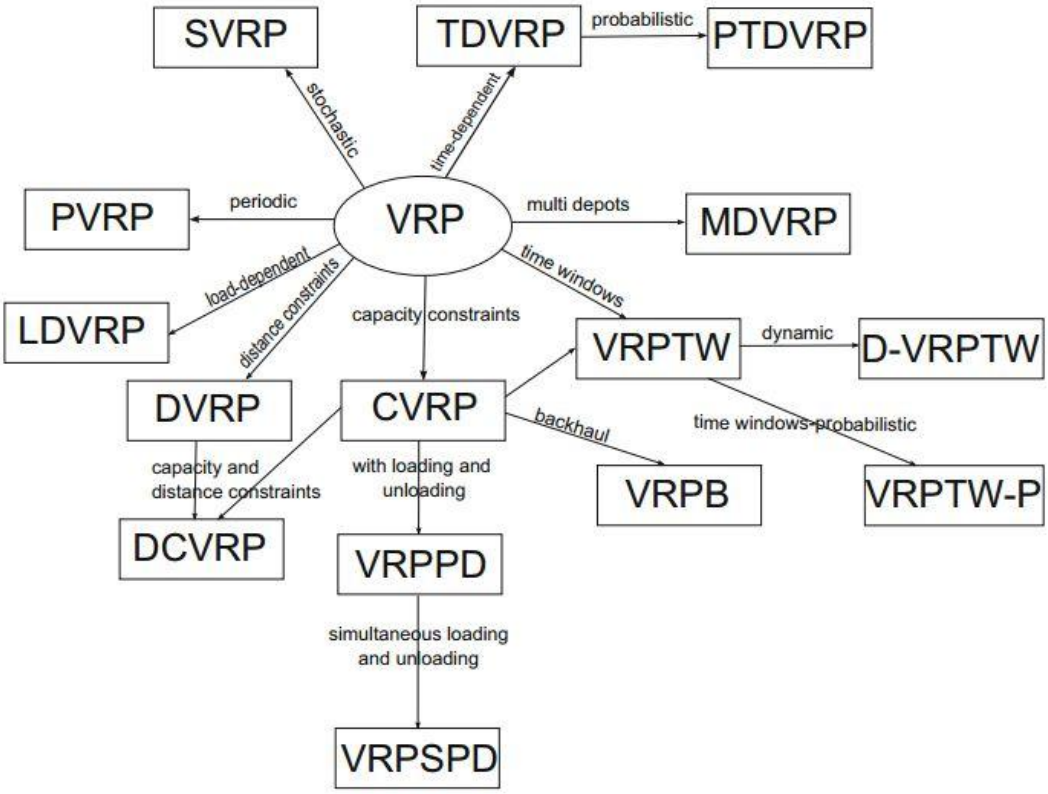



**Σχήμα 3 Εξέλιξη του VRP (1)**




**Σχήμα 4 Εξέλιξη του VRP (2)**

Αντίστοιχα στο Σχήμα 5 παρατηρείται η σχέση και η σύνδεση μεταξύ των επιμέρους παραμέτρων του VRP και πως αυτές κυμαίνονται γύρω από το κλασσικό VRP.




**Σχήμα 5 Συσχέτιση μεταξύ των παραλλαγών του VRP**

## 2.5 Ανάλυση Παραλλαγών του Προβλήματος της Δρομολόγησης

### 2.5.1 Δυναμικό και Στατικό Πρόβλημα Δρομολόγησης (Dynamic Vehicle Routing Problem – DVRP)

#### *2.5.1.1 Στατικό Πρόβλημα*

Στο στατικό πρόβλημα της δρομολόγησης οχημάτων, όλες οι πληροφορίες σχετικές με τη δρομολόγηση θεωρούνται ότι είναι γνωστές από τον decision maker πριν την έναρξη της διαδικασίας της δρομολόγησης. Τέτοιες πληροφορίες είναι, η ζήτηση των πελατών, οι χρόνοι μεταξύ δύο σημείων, όπως και τα κόστη (Mitra 2013). Επιπλέον, οι πληροφορίες που σχετίζονται με την δρομολόγηση δεν αλλάζουν από την στιγμή που τα δρομολόγια έχουν κατασκευαστεί.

#### *2.5.1.2 Δυναμικό Πρόβλημα*

Με τον όρο δυναμικό εννοείται ότι τα στοιχεία μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου και δεν παραμένουν σταθερά. Όσον αφορά το VRP, στην βιβλιογραφία, πολλοί είναι αυτοί που ως δυναμικά θεωρούν τα προβλήματα όπου παραγγελίες κάποιων πελατών εμφανίζονται με την πάροδο του χρόνου και επομένως, ενώ έχει ξεκινήσει και εκτελείται το δρομολόγιο του οχήματος, νέες διαδρομές πρέπει να διαμορφωθούν ώστε να εξυπηρετηθούν οι νέες παραγγελίες (Hanshar & Ombuki-Berman 2007). Στην δυναμική δρομολόγηση, η δυνατότητα να ανακατευθύνεις ένα κινούμενο όχημα όταν δέχεσαι μία

νέα αίτηση, κοντά στην παρούσα τοποθεσία του οχήματος, προσφέρει επιπρόσθετα, μείωση των εξόδων (savings). Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο ωστόσο, απαιτούνται πραγματικά δεδομένα (real-time data) που να προσδιορίζουν την θέση του οχήματος καθώς και η δυνατότητα επικοινωνίας με τον οδηγό ώστε να του ανατεθούν νέοι προορισμοί.

Στα προβλήματα και στις εφαρμογές που υπάρχουν στον πραγματικό κόσμο, οι πληροφορίες και τα δεδομένα μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου. Στα προβλήματα δυναμικής βελτιστοποίησης, τουλάχιστον ένα μέγεθος του προβλήματος μεταβάλλεται καθώς ο χρόνος περνά, έχοντας σαν αποτέλεσμα την αλλαγή είτε των αντικειμενικών συναρτήσεων είτε των περιορισμών. Αντίστοιχα, και στο πρόβλημα του VRP, οι υπεύθυνοι της δρομολόγησης (planners) δεν έχουν σταθερά δεδομένα, αντίθετα μεταβάλλονται κατά την διάρκεια που εκτελούνται τα δρομολόγια. Κάποιοι παράγοντες που μεταβάλλονται δυναμικά, είναι ο χρόνος διέλευσης και ο χρόνος εξυπηρέτησης, οι οποίοι επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τις παραδόσεις και την αξιοπιστία αυτών με αποτέλεσμα αυτό να έχει άμεσο αντίκτυπο στην εξυπηρέτηση των πελατών (Pillac et al. 2013). Οι χρόνοι αυτοί εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την κυκλοφορία στους δρόμους, έτσι η κυκλοφοριακή συμφόρηση είτε λόγω ώρας της ημέρας είτε λόγω καιρικών συνθηκών, είναι σημαντικό να αποφεύγεται καθώς δημιουργεί μεγάλες καθυστερήσεις που δεν είναι αποδεκτές για αξιόπιστες παραδόσεις.

#### *2.5.1.3 Διαφορές Δυναμικής και Στατικής Δρομολόγησης*

Σε αντίθεση με το αντίστοιχο στατικό πρόβλημα, η δυναμική δρομολόγηση εμπλέκει νέα στοιχεία τα οποία αυξάνουν την πολυπλοκότητα των αποφάσεων (περισσότεροι βαθμοί ελευθερίας) και δημιουργούν νέες απαιτήσεις και προκλήσεις (Pillac et al. 2013). Πέρα από αυτό, ένας τομέας στον οποίο διαφέρουν συνήθως είναι η αντικειμενική συνάρτηση. Στην συνηθισμένη μορφή της, στο στατικό πρόβλημα της δρομολόγησης επιλέγεται η ελαχιστοποίηση του κόστους δρομολόγησης. Αντίθετα, η δυναμική δρομολόγηση επιλέγει την βελτιστοποίηση άλλων εννοιών όπως είναι η μεγιστοποίηση του βαθμού εξυπηρέτησης και η μεγιστοποίηση των εσόδων. Η δυναμική δρομολόγηση απαιτεί αποφάσεις σε απευθείας σύνδεση η οποία συνδυάζει την αντίδραση με την ποιότητα της απόφασης.

### 2.5.2 Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης Οχημάτων Εξαρτημένο από τον Χρόνο (Time Dependent VRP)

Μία παραλλαγή του προβλήματος της δρομολόγησης (VRP) που μοιάζει πολύ με αυτό της δυναμικής (Dynamic VRP), όπου αλλάζουν συνεχώς οι χρόνοι διέλευσης, είναι αυτό του εξαρτημένου από τον χρόνο (Time Dependent Vehicle Routing Problem -TDVRP). Και στις δύο περιπτώσεις κύριος στόχος είναι ο υπολογισμός του χρόνου διέλευσης μεταξύ των κόμβων μια διαδρομής. Στην περίπτωση ωστόσο του TDVRSP, ο παράγοντας που επηρεάζει τους χρόνους διέλευσης είναι, η ώρα της ημέρας που ξεκίνησε το ταξίδι σε αυτή την διαδρομή. Οι χρόνοι αυτοί είναι πολύ σημαντικό να υπολογίζονται με μεγάλη ακρίβεια καθώς έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην αποδοτικότητα και την αξιοπιστία των προγραμματισμένων διαδρομών και παραδόσεων.

Ένα αξιόπιστος τρόπος για την εκτίμηση των χρόνων διέλευσης είναι μέσω μαθηματικών μοντέλων. Αρχικά, οι χρόνοι διέλευσης υπολογίζονται ντετερμινιστικά, που σημαίνει ότι λαμβάνοντας υπόψιν κάποιες μέσες τιμές που έχουν υπολογισθεί, γίνεται η εκτίμηση των χρόνων. Τα ντετερμινιστικά μοντέλα θεωρούνται ικανοποιητικά όταν η αξιοπιστία δεν είναι πρωτεύον στόχος, καθώς δεν εμπλέκουν την αβεβαιότητα στους χρόνους διέλευσης, με αποτέλεσμα να μην είναι χρήσιμα στην περίπτωση της δρομολόγησης οχημάτων όπου η αξιοπιστία είναι απαραίτητη. Επιπλέον, υπάρχουν τα στοχαστικά μοντέλα υπολογισμού των χρόνων διέλευσης μεταξύ δύο κόμβων τα οποία θεωρούνται πιο ακριβή καθώς παρέχουν μία συνεχή αναπαράσταση των χρόνων και των διακυμάνσεων τους. Η χρήση κατανομών βοηθάει στην παροχή αξιόπιστων πληροφοριών εφόσον η κατανομή απεικονίζει σωστά την φύση των χρόνων μεταφοράς στις αστικές περιοχές. Ενώ η περίπτωση της κανονικής κατανομής θα ήταν ιδανική λόγω μαθηματικών και ευκολίας χρήσης και εφαρμογής, δεν απεικονίζει σωστά το πρόβλημα, σε αντίθεση με άλλες πιο σύνθετες κατανομές όπως η Burr III Type XII η οποία ωστόσο παρουσιάζει και αυτή ορισμένα θέματα / προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Τέλος, ακόμα είναι αμφιλεγόμενο εάν υπάρχει κατανομή που να είναι ιδανική για τους χρόνους διέλευσης σε αστικά περιβάλλοντα, να απεικονίζει την φύση του προβλήματος ικανοποιητικά και να είναι εφικτή για πρακτικές εφαρμογές (Groß et al. 2016; Susilawati et al. 2013).

Μία ακόμη ομοιότητα μεταξύ των TDVRSP και Dynamic VRP είναι ότι απαιτούν πραγματικά δεδομένα (Real time Data) για τους χρόνους διέλευσης. Ορισμένες εξελίξεις στις τεχνολογίες τηλεματικής, δίνουν την δυνατότητα εξαγωγής χρονικών δεδομένων από πραγματικά δεδομένα (όπως για παράδειγμα τα Flow Car Data – FCD) (Sohr et al. 2016). Τα δεδομένα αυτά μπορούν να αποθηκευτούν και να επεξεργασθούν ούτως ώστε να δώσουν πληροφορίες στις εταιρείες μεταφορών για πιο αξιόπιστες και ακριβείς μεταφορές.

Η βελτιστοποίηση του προβλήματος αποτελείται από την εύρεση της λύσης που ελαχιστοποιεί και τον αριθμό ταξιδιών που εκτελούν τα οχήματα και το συνολικό χρόνο διέλευσης ή το συνολικό κόστος. Δύο αλγόριθμοι που λειτουργούν πάνω στην ίδια βάση είναι ο LANTIME (Wen & Eglese 2015) και ο LANCOST (Maden et al. 2009) που πέραν της ελαχιστοποίησης των ταξιδιών, στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου και του συνολικού κόστους αντίστοιχα.

Αυτή η περίπτωση του προβλήματος δρομολόγησης είναι πολύ σημαντική για την πρακτική υποστήριξη της διανομής, αφού στις περισσότερες των περιπτώσεων, οι επικρατούσες κυκλοφοριακές συνθήκες δεν είναι δυνατόν να αγνοηθούν, ειδικά τις ώρες αιχμής όπου η κυκλοφοριακή συμφόρηση σε κεντρικούς δρόμους θα προκαλέσει, εξ' ορισμού σημαντικές καθυστερήσεις. Ελαχιστοποιώντας τον συνολικό χρόνο διέλευσης, οι λύσεις που δημιουργούνται τείνουν να κατευθύνουν τα οχήματα σε δρόμους στους οποίους μπορούν να κινηθούν με μεγαλύτερη ταχύτητα. Από αυτή την οπτική, οι λύσεις του προβλήματος προγραμματισμού των παραδόσεων και δρομολόγησης των οχημάτων μπορεί, σε κάποιες περιπτώσεις, να προτείνουν διαδρομές μεγαλύτερης, συνολικά, απόστασης αλλά, τελικά με μικρότερο χρόνο υλοποίησης της διαδρομής. Ακόμα και έτσι, πρέπει να συνυπολογίζονται τα περιβαλλοντικά οφέλη, γιατί όταν τα οχήματα ταξιδεύουν λιγότερο χρόνο και με

περιβαλλοντικά φιλικές ταχύτητες προκαλείται λιγότερη μόλυνση. Παραδείγματα αυτής της προσέγγισης αναφέρονται από τους (Donati et al. 2008; Maden et al. 2009; Malandraki & Daskin 1992).

### 2.5.3 Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης Οχημάτων με στοιχεία Πραγματικού Χρόνου (Real-time VRP and VRP with Real-Time Traffic Data)

Μία εκδοχή του VRP η οποία βρίσκεται πολύ κοντά με το TDVRP είναι αυτό του Real-Time VRP όπου κάθε φορά που αλλάζουν οι χρόνοι μεταφοράς μεταξύ δύο κόμβων - πελατών ενεργοποιείται η διαδικασία της επαναδρομολόγησης ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη αξιοπιστία (Okhrin & Richter 2008). Επιπλέον, δεδομένα πραγματικού χρόνου που είναι σχετικά με την κίνηση στους δρόμους χρησιμοποιούνται (i) σε περιπτώσεις ανάπτυξης στρατηγικής δρομολόγησης ώστε να ελαχιστοποιείται ο χρόνος που σπαταλάται λόγω κυκλοφοριακής συμφόρησης και (ii) σε περιπτώσεις ανάπτυξης μοντέλων στατιστικής και πιθανοτήτων ώστε να εκτιμώνται οι χρόνοι μεταφοράς σε άλλες περιπτώσεις με μεγάλη ακρίβεια (Kim & Lewis 2004).

### 2.5.4 Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης με Χρονικά Περιθώρια (VRP with Time Windows - VRPTW)

Μία παραλλαγή του προβλήματος της δρομολόγησης οχημάτων (VRP) είναι αυτή όπου υπάρχουν περιορισμοί στον χρόνο (μεσοδιάστημα) μέσα στον οποίο κάποιο όχημα πρέπει να προσέλθει στον πελάτη (κόμβο). Επομένως το πρόβλημα έχει χρονικά περιθώρια (Time Windows) τα οποία χαρακτηρίζονται από έναν ενωρίτερο χρόνο άφιξης (Early Arrival Time – EAT) και από έναν αργότερο χρόνο άφιξης (Late Arrival Time) (Beheshti et al. 2015)(Deflorio et al. 2010). Το διάστημα αυτό καθορίζεται από τον πελάτη ανάλογα με την διαθεσιμότητά του ή την επιθυμία του για τις παραδόσεις σε αυτόν. Σε περίπτωση που κάποιο όχημα φτάσει σε έναν πελάτη πριν την έναρξη του χρόνου παράδοσης, τότε θα πρέπει να περιμένει για να παραδώσει το εμπόρευμα που μεταφέρει. Σε τέτοιες περιπτώσεις επομένως που οι περιορισμοί αυτοί πρέπει να ικανοποιηθούν αυστηρά έχουμε τα αυστηρά χρονικά περιθώρια (Hard Time Windows). Η ικανοποίηση αυτή των περιορισμών έχει άμεση επίπτωση στην ικανοποίηση των πελατών και επομένως στα κέρδη της επιχείρησης καθώς οι δύο όροι συμβαδίζουν. Άλλες περιπτώσεις αντιμετωπίζουν τα χρονικά περιθώρια ως πιο χαλαρούς περιορισμούς (Soft Time Windows), όπου η εξυπηρέτηση επιτρέπεται να γίνει νωρίτερα ή αργότερα από τον προκαθορισμένο χρόνο, αλλά με το κόστος κάποιας ποινής η οποία μπορεί να είναι στην μορφή ποινικής ρήτρας η σε μείωση της εξυπηρέτησης του πελάτη (Beheshti et al. 2015). Το πως θα αντιμετωπισθούν τα χρονικά περιθώρια εξαρτάται και από τους πελάτες και της σημασίας αυτών για την επιχείρηση. Δεδομένου ότι οι απαιτήσεις και για την καλύτερη εξυπηρέτηση των πελατών όσο και για την ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς, έχουν αναπτυχθεί αρκετοί αλγόριθμοι που επιδιώκουν στην ταυτόχρονη εξυπηρέτηση των απαιτήσεων. Οι αλγόριθμοι που έχουν αναπτυχθεί για τα προβλήματα δρομολόγησης στόλου οχημάτων με χρονικά περιθώρια είναι κυρίως ευρετικοί. Πιο συγκεκριμένα οι (Beheshti et al. 2015) υπέδειξαν στους πελάτες να τοποθετήσουν με σειρά προτεραιότητας (prioritize) τις καλύτερες για τους ίδιους ώρες παράδοσης των παραγγελιών, ώστε να καταφέρουν να συνθέσουν την συνάρτηση της

εξυπηρέτησης. Άλλες ευρετικές μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι αυτές των Ghannadpour et al. (2013) και Wang and Li (2011) οι οποίοι κάνοντας τις απαραίτητες παραδοχές επιλύουν προσεγγιστικά το πρόβλημα.

### 2.5.5 Το «Πράσινο» Πρόβλημα Δρομολόγησης (Green VRP)

Η αύξηση της κυκλοφορίας και των οδικών εμπορευματικών μεταφορών έχουν δημιουργήσει ανησυχίες για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την μόλυνση που προκαλείται. Επομένως, είναι αναγκαία σε κάθε εμπορευματική μεταφορά, η ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και των εκπομπών ρύπων. Το πρόβλημα της δρομολόγησης βασιζόμενο στην ελαχιστοποίηση των εκπομπών, χωρίζεται σε δύο κύριες κατηγορίες, όπου οι κυκλοφοριακές συνθήκες στην πρώτη κατηγορία εξαρτώνται από τον χρόνο ενώ στην δεύτερη είναι ανεξάρτητες από τον χρόνο.

Στα μοντέλα ανεξάρτητα του χρόνου οι ταχύτητες των οχημάτων είναι είτε η είσοδος είτε η μεταβλητή απόφασης του προβλήματος. Αντίθετα, στα μοντέλα εξαρτώμενα από τον χρόνο, σύμφωνα με τους (Eglese et al. 2006) χρησιμοποιούνται οι πληροφορίες που συγκεντρώνονται από το οδικό δίκτυο, δημιουργώντας ένα οδικό χρονοδιάγραμμα (Road Timetable) το οποίο παρουσιάζει τους γρηγορότερους χρόνους μεταξύ δύο σημείων (αφετηρία - τερματισμός), ξεκινώντας διαφορετικές ώρες της ημέρας (Eglese et al. 2006). Το οδικό χρονοδιάγραμμα χρησιμοποιείται στον αλγόριθμο LANTIME που αναφέρεται και προηγουμένως, ελαχιστοποιώντας τον συνολικό χρόνο διανομής. Τα οχήματα θεωρείται ότι ταξιδεύουν με ταχύτητες που ελαχιστοποιούν τις εκπομπές ρύπων ανά μονάδα απόστασης εκτός εάν αυτό δεν είναι εφικτό λόγω κυκλοφοριακής συμφόρησης. Τέλος, στα εξαρτημένα από το χρόνο μοντέλα δεν αποκλείεται η ταχύτητα των οχημάτων να είναι μεταβλητές απόφασης (Qian & Eglese 2016) (Jabali et al. 2012).

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο έχουν τεθεί στόχοι (White Paper for European Transp

ort COM/2011/0144) μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που οφείλονται στις μεταφορές (transport GHG emissions), 60% από τα επίπεδα του 1990 μέχρι το 2050 και 20% από τα επίπεδα του 2008 μέχρι το 2030. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τις συνεχώς αυξανόμενες μεταφορές, και ειδικά τις οδικές οι οποίες επιδρούν στο περιβάλλον (Liimatainen et al. 2015). Είναι επομένως πολύ σημαντικό να επιλέγονται διαδρομές οι οποίες ελαχιστοποιούν τις εκπομπές και θα έχουν θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον και σημαντική μείωση στο ποσοστό των αερίων του θερμοκηπίου που οφείλονται στις οδικές εμπορευματικές μεταφορές.

### 2.5.6 Το Υβριδικό Πρόβλημα Δρομολόγησης (Hybrid VRP)

Αντίστοιχα με το Green VRP, όπου η μείωση των αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει μετατραπεί σε ένα πολιτικό, κοινωνικό και οικονομικό πρόβλημα θέτοντας νόμους και περιορισμούς ώστε να υπάρξει μείωση των ρύπων σε όλες τις ανεπτυγμένες χώρες, έτσι και στο Hybrid VRP ο στόχος παραμένει ίδιος. Η διαφορά που παρατηρείται ωστόσο είναι ότι στην συγκεκριμένη περίπτωση τα οχήματα μπορούν να λειτουργούν και ηλεκτρικά αλλά και με τα παραδοσιακά καύσιμα (Mancini 2017).

### 2.5.7 Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης από Πολλαπλές Εγκαταστάσεις (Multi-Depot VRP - MDVRP)

Οι εταιρείες που ανήκουν στον κλάδο των logistics και των μεταφορών χρησιμοποιούν πολλά και διαφορετικά οχήματα τα οποία συνεργάζονται όχι μόνο με ένα κέντρο διανομής, αλλά με πολλές αποθήκες. Δεδομένων των αποθηκών, της ζήτησης των πελατών, των χρόνων εξυπηρέτησης και των χαρακτηριστικών των οχημάτων (χωρητικότητα) επιδιώκεται η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους μεταφοράς. Στην περίπτωση που γίνεται διαχωρισμός των πελατών ώστε κάθε ένας πελάτης να «ανήκει» σε μία μόνο αποθήκη, τότε το MDVRP μπορεί να μετατραπεί σε πολλαπλά Single-Depot VRP's (Montoya-Torres et al. 2015). Αν όμως οι πελάτες διαπλέκονται μεταξύ τους, τότε πρέπει να επιλυθεί το MDVRP. Ένα τέτοιο πρόβλημα απαιτεί την ανάθεση των πελατών στις διαθέσιμες αποθήκες. Σε κάθε αποθήκη υπάρχει ένας στόλος οχημάτων και κάθε όχημα που αναχωρεί από μία αποθήκη, αφού εξυπηρετήσει τους πελάτες που έχουν ανατεθεί, επιστρέφει στο σημείο απ' όπου ξεκίνησε.

Ο αντικειμενικός σκοπός του MDVRP είναι η ελαχιστοποίηση του αριθμού των οχημάτων του στόλου και του αθροίσματος των χρόνων μετάβασης από κόμβο σε κόμβο (κόστη).Η συνολική ζήτηση των εμπορευμάτων κάθε διαδρομής εξυπηρετείται από συγκεκριμένη αποθήκη, που γνωστοποιείται αμέσως μετά την διαδικασία της ανάθεσης (assignment).

### 2.5.8 Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης Περιορισμένης Χωρητικότητας (Capacitated VRP – CVRP)

Το CVRP έχει περιγράφει ως το πιο κοινό πρόβλημα διακίνησης στον τομέα των τροφίμων, των καυσίμων και στην διανομή προϊόντων λιανικής πώλησης. Στην ουσία ταυτίζεται με το κλασσικό VRP και περιγράφει ότι ένας στόλος οχημάτων ίδιας χωρητικότητας (uniform capacity), πρέπει να εξυπηρετήσει γνωστές ζητήσεις πελατών (known customer demands), με επιπλέον περιορισμό σε σχέση με το κλασσικό πρόβλημα της δρομολόγησης την ύπαρξη περιορισμένης και ομοιόμορφης χωρητικότητας για ένα προϊόν. Για όλα τα οχήματα υπάρχει μία και μόνο αποθήκη (depot) και στόχος είναι η σχεδίαση των διαδρομών ελαχίστου κόστους (Γκαγιαλής et al. 2007). Σύμφωνα με τους (Toth & Vigo 2002) στο CVRP επιβάλλονται μόνο οι περιορισμοί χωρητικότητας των οχημάτων κάτι που είναι ίσως το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου προβλήματος.

Το CVRP αποτελεί ένα θεμελιώδες πρόβλημα στην συνδυαστική βελτιστοποίηση (combinational optimization), με ευρείες εφαρμογές στην πράξη. Αποτελεί τον πυρήνα του σχεδιασμού της εφοδιαστικής αλυσίδας και έχει μελετηθεί εκτενώς από την ερευνητική κοινότητα. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες έχει επιτευχθεί τεράστιες βελτιώσεις στην ικανότητα των επιστημών να επιλύουν τέτοια προβλήματα λόγω των καλύτερων αλγορίθμων όσο και των υπολογιστικών δυνατοτήτων (Chandran & Raghavan 2008).

Ο αντικειμενικός σκοπός είναι να ελαχιστοποιηθούν, ο στόλος των φορτηγών και το συνολικό άθροισμα (από όλα τα οχήματα) των χρόνων μεταφοράς, με βασική προϋπόθεση

η συνολική ζήτηση των εμπορευμάτων για κάθε διαδρομή να μην υπερβαίνει κάθε φορά την χωρητικότητα του οχήματος της εκάστοτε διαδρομής.

### 2.5.9 Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης με Παραδόσεις και Συλλογές (Pickup and Delivery VRP – VRPPD)

Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης με Παραδόσεις και Συλλογές (VRPPD) αποτελεί μία τις κύριες παραλλαγές του βασικού προβλήματος δρομολόγησης (VRP) με την βασική διαφοροποίηση να εντοπίζεται στο γεγονός ότι τα προϊόντα δεν μεταφέρονται μόνο από τις κύριες αποθήκες στους πελάτες αλλά διαμορφώνεται και το αντίστροφο δρομολόγιο, δηλαδή από τους πελάτες προς τις αποθήκες. Το VRPPD είναι ένα πρόβλημα με πολλές εφαρμογές, κυρίως στα logistics και δη στις επιστροφές (reverse) (Wassan & Nagy 2014). Ο συνδυασμός επομένως των παραδόσεων με τις επιστροφές προϊόντων αποφέρει σημαντικές μειώσεις κόστους. Οι επιστροφές που γίνονται, οφείλονται κυρίως είτε σε λάθη, είτε λόγω ενδεχόμενης αξίας που μπορεί να έχει κάποιο προϊόν μετά την χρήση ή ακόμη και μετά την λήξη του και λόγω των περιβαλλοντικών οφελών που προέρχονται από την συλλογή ανακυκλώσιμων προϊόντων.

Ο βασικός περιορισμός του συγκεκριμένου προβλήματος που το κάνει αρκετά πιο σύνθετο και δύσκολο είναι ότι τα προϊόντα που επιστρέφουν οι πελάτες πρέπει να χωράνε στα οχήματα. Αυτός ο περιορισμός μπορεί να οδηγήσει σε μη βέλτιστη χρήση της χωρητικότητας των οχημάτων, στον αυξημένο αριθμό οχημάτων και τελικά στην αύξηση της συνολικά διανυόμενης απόστασης. Υπάρχουν αρκετές παραδοχές ωστόσο, ώστε να απλοποιηθεί το πρόβλημα. Για παράδειγμα, δεν είναι υποχρεωτικό κάθε πελάτης να επισκέπτεται από ένα και μόνο όχημα αλλά και από παραπάνω, καθώς και ότι κάθε όχημα θα παραδίδει τις παραγγελίες και στην συνέχεια θα παραλαμβάνει τις επιστροφές.

Επομένως, αντικειμενικός σκοπός, όπως στις περισσότερες των περιπτώσεων στις παραλλαγές του VRP, είναι η ελαχιστοποίηση του στόλου οχημάτων και της συνολικής διανυόμενης απόστασης, με περιορισμό, η χωρητικότητα των οχημάτων να είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει και τις παραδόσεις και τις επιστροφές των εμπορευμάτων.

### 2.5.10 Το Πρόβλημα της Περιοδικής Δρομολόγησης (Periodic VRP - PVRP)

Στο κλασσικό VRP, τυπικά η περίοδος που γίνεται ο προγραμματισμός είναι μία ημέρα. Στην περίπτωση ωστόσο των περιοδικών VRP (Periodic Vehicle Routing Problem - PVRP), το κλασσικό VRP γενικεύεται και παρατείνεται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (M μέρες). Σκοπός της μεθόδου αυτής είναι να ελαχιστοποιηθούν, ο αριθμός των οχημάτων και ο συνολικός χρόνος ταξιδιών, που απαιτούνται για να εξυπηρετηθούν οι πελάτες.

### 2.5.11 Το Πρόβλημα της Στοχαστικής Δρομολόγησης (Stochastic VRP - SVRP)

Στο στοχαστικό πρόβλημα δρομολόγησης (Stochastic Vehicle Routing Problem – SVRP) ένα ή περισσότερα στοιχεία - μεταβλητές του προβλήματος είναι τυχαία και αντιπροσωπεύονται από πιθανότητες ή μεταβλητές. Ορισμένα παραδείγματα του SVRP είναι τα εξής:

- Στοχαστικοί πελάτες, όπου κάθε πελάτης έχει μία πιθανότητα συμμετοχής στο δρομολόγιο, και προφανώς μία συμπληρωματική πιθανότητα μη συμμετοχής.
- Στοχαστική ζήτηση, όπου η ζήτηση κάθε πελάτη είναι τυχαία μεταβλητή.
- Στοχαστικοί χρόνοι, όπου οι χρόνοι εξυπηρέτησης και διέλευσης είναι τυχαίες μεταβλητές.

Ο σκοπός παραμένει ίδιος, να ελαχιστοποιείται ο αριθμός των οχημάτων και ο συνολικός χρόνος ταξιδιών ώστε να εξυπηρετηθούν όλοι οι πελάτες, με τις τυχαίες μεταβλητές σε κάθε εκτέλεση να αλλάζουν.

### 2.5.12 Το Πρόβλημα της δρομολόγησης με Διαδοχικές Παραδόσεις και Συλλογές (VRP with Backhauls - VRPB)

Το VRPB είναι ένα VRP στο οποίο οι πελάτες είτε έχουν απαιτήσεις ζήτησης είτε απαιτήσεις για επιστροφές. Είναι παρόμοιο επομένως με το VRPPD στο οποίο υπολογίζεται, τα εμπορεύματα τα οποία επιστρέφονται να χωράνε στο φορτηγό που κάνει τις παραδόσεις. Η κρίσιμη παραδοχή είναι ότι όλες οι παραδόσεις πρέπει να γίνονται σε κάθε διαδρομή πριν γίνει οποιαδήποτε επιστροφή. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι τα οχήματα φορτώνονται από την πίσω πλευρά και η αναδιάταξη των εμπορευμάτων στα οχήματα, στα σημεία παράδοσης θεωρείται μη οικονομική και μη εφικτή. Οι ποσότητες που πρέπει να παραδοθούν είτε να παραληφθούν (επιστροφές) είναι σταθερές και γνωστές εκ των προτέρων. Το VRPB είναι παρόμοιο με το VRPPD με τον περιορισμό στην περίπτωση του VRPB να είναι ότι πρέπει να ολοκληρωθούν όλες οι παραδόσεις πριν γίνει οποιαδήποτε συλλογή. Επιδιώκεται η εύρεση των διαδρομών αυτών που ελαχιστοποιούν την συνολική διανυόμενη απόσταση.

### 2.5.13 Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης με Διαχωρισμό των Παραδόσεων (Split Delivery VRP - SDVRP)

Το SDVRP είναι μία παραλλαγή του VRP στην οποία επιτρέπεται, κάθε πελάτης να εξυπηρετείται από διαφορετικά οχήματα εφόσον επιτυγχάνεται μείωση του συνολικού κόστους. Αυτή η παραδοχή είναι σημαντική σε περιπτώσεις όπου ο πελάτης έχει μεγάλες παραγγελίες, ίσες σε όγκο με την χωρητικότητα του οχήματος. Βασική επιδίωξη του SDVRP είναι η ελαχιστοποίηση του στόλου οχημάτων και του συνολικού χρόνου που απαιτείται για την εξυπηρέτηση των πελατών (Chu et al. 2017).

### 2.5.14 Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης με χρήση Περιφερειακών Εγκαταστάσεων (VRP with Satellite Facilities - VRPSF)

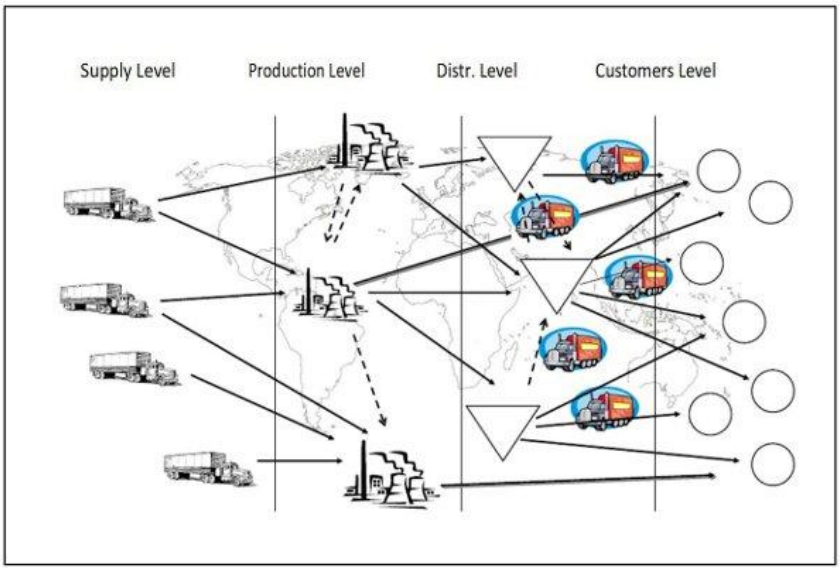
Μία σημαντική πτυχή του γενικού VRP είναι η χρήση των περιφερειακών εγκαταστάσεων για τον ανεφοδιασμού των οχημάτων κατά τη διάρκεια μιας διαδρομής. Όταν είναι δυνατόν, ο περιφερειακός ανεφοδιασμός επιτρέπει στους οδηγούς να συνεχίσουν τις παραδόσεις μέχρι την λήξη της βάρδιας τους χωρίς την αναγκαία επιστροφή του στην κεντρική αποθήκη. Η κατάσταση αυτή παρουσιάζεται κατά κύριο λόγο στη διανομή των καυσίμων και σε ορισμένα είδη διανομής.

### 2.5.15 Το Ανοιχτό Πρόβλημα Δρομολόγησης (Open Vehicle Routing Problem – OVRP)

Στο Ανοιχτό Πρόβλημα Δρομολόγησης (OVRP), τα οχήματα δεν επιστρέφουν στην αποθήκη μετά την εξυπηρέτηση της τελευταίας παραγγελίας της διαδρομής. Το OVRP βρίσκει εφαρμογή κυρίως στις κατ' οίκον παραδόσεις δεμάτων και εφημερίδων. Συνήθως, πρόκειται για εξωτερικούς συνεργάτες οι οποίοι δεν είναι εργαζόμενοι της εκάστοτε εταιρείας και χρησιμοποιούν τα δικά τους οχήματα, με αποτέλεσμα να μην επιστρέφουν στην αποθήκη.

### 2.5.16 Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης με Πολλαπλά Κλιμάκια (Multi Echelon VRP - MEVRP)

Κυρίως την τελευταία δεκαετία, οι συνεχείς απαιτήσεις για ποιοτικότερη εξυπηρέτηση πελατών, οδηγεί στην ανάγκη για βελτίωση ή ακόμα και βελτιστοποίηση ολόκληρης της εφοδιαστικής αλυσίδας . Στο MEVRP η δρομολόγηση καθορίζεται από τα ανώτερα κλιμάκια, δηλαδή από το εργοστάσιο, έως τον τελικό καταναλωτή. Το πιο ευρέως διαδεδομένο πρόβλημα είναι το Two Echelon VRP, στο οποία οι εμπορευματικές μεταφορές από την κεντρική αποθήκη στις περιφερειακές εγκαταστάσεις γίνονται μέσω μεγάλων φορτηγών, ενώ από τις περιφερειακές εγκαταστάσεις στα τελικά σημεία επιτυγχάνονται μέσω μικρότερων φορτηγών τα οποία είναι και φιλικά στο περιβάλλον (Soysal et al. 2015).




**Σχήμα 6 Πρόβλημα Δρομολόγησης με Πολλαπλά Κλιμάκια - Multi Echelon VRP**

### 2.5.17 Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης με Πολλαπλές Διαδρομές (Multi Trip Vehicle Routing Problem – MTVRP)

Στο MTVRP τα οχήματα έχουν την δυνατότητα μετά το πέρας ενός δρομολογίου να επιστρέψει στην αποθήκη, να ανεφοδιαστεί και να κάνει ενδεχομένως και άλλο δρομολόγιο εντός της ωραρίου εργασίας (Cattaruzza et al. 2014). Το MTVRP βρίσκει εφαρμογή κυρίως στις διανομές εντός των πόλεων όπου απαιτούνται μικρού μεγέθους ή ηλεκτρικά οχήματα για λόγους που έχουν ήδη περιγραφεί. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα μικρά μεγέθους

οχήματα δεν έχουν χωρητικότητα η οποία να επιτρέπει την εκτέλεση μεγάλων δρομολογίων τα οποία να καλύπτουν το ωράριο εργασίας. Αντίστοιχο είναι το πρόβλημα στην περίπτωση των ηλεκτροκίνητων οχημάτων που δεν έχουν μεγάλη αυτονομία λόγω των χρησιμοποιούμενων συσσωρευτών (μπαταρίες). Οι πολλαπλές διαδρομές ωστόσο δίνουν την δυνατότητα σε τέτοιου είδους οχήματα είτε να επαναφορτώσουν προϊόντα είτε τις μπαταρίες του και να εκτελέσουν και άλλα δρομολόγια στην διάρκεια του ωραρίου εργασίας (Cattaruzza et al. 2016).

## 2.6 Απαιτήσεις Τεχνολογίας

Είναι προφανές ότι για να μπορεί κάθε επιχείρηση να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις των δυναμικών προβλημάτων και πιο συγκεκριμένα των προβλημάτων δρομολόγησης πρέπει να χρησιμοποιήσει την διαθέσιμη τεχνολογία, η οποία θα βοηθήσει πέρα από το να επεξεργαστεί δεδομένα και πληροφορίες, να αποκτήσει αυτές. Επιπλέον, είναι εμφανής η ανάγκη αποφυγής δρόμων με αυξημένη κυκλοφοριακή συμφόρηση η οποία θα προκαλέσει καθυστερήσεις. Η δυνατότητα επιλογής διαφορετικής διαδρομής ακόμη και μεγαλύτερης απόστασης θα προσφέρει μείωση στους χαμένους χρόνους. Για να λάβει κάποια εταιρεία λοιπόν τόσο σύνθετες και πολύπλοκες αποφάσεις πρέπει να γνωρίζει κάθε στιγμή την κυκλοφοριακή κατάσταση στους δρόμους αλλά και τις τρέχουσες τοποθεσίες των οχημάτων. Συστήματα που μπορούν να βοηθήσουν σε αυτή την κατεύθυνση είναι τα GIS (Geographical Information System) και το GPS (Global Positioning System).

### 2.6.1 Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών – Geographical Information Systems (GIS)

Αρχικά, τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, γνωστά ως GIS, διαχειρίζονται με αποτελεσματικό τρόπο την γεωγραφική πληροφορία, καθώς είναι ένα οργανωμένο σύστημα, αποτελούμενο από πέντε δομικά στοιχεία που περιλαμβάνουν, τον υλικό εξοπλισμό (hardware), το λογισμικό (software), τα γεωγραφικά δεδομένα, το ανθρώπινο δυναμικό και τις μεθόδους (οι ιδιαίτεροι κανόνες και οι πρακτικές λειτουργίας κάθε οργανισμού ξεχωριστά), με σκοπό τη συλλογή, καταχώρηση, διαχείριση, ανάλυση, επεξεργασία και απόδοση, κάθε μορφή πληροφορίας που σχετίζεται με την γεωγραφική πληροφορία. Έχει αποδειχθεί ότι τα GIS είναι αποδοτικά σε διάφορους τομείς έρευνας, λύνοντας διαφορετικά είδη προβλημάτων με πολλές εφαρμογές, κάνοντας τα τόσο δημοφιλή και διαδεδομένα (Γκαγιαλής et al. 2007).

Ένας από αυτούς τους τομείς, είναι η δρομολόγηση των οχημάτων καθώς μπορεί να βοηθήσει και στην βελτιστοποίηση και στη διαχείριση της διανομής (Γκαγιαλής et al. 2007). Πιο συγκεκριμένα, ο προγραμματισμός των διανομών, η δρομολόγηση του στόλου, η διαχείριση των μεταφορών, η διαχείριση του οδικού δικτύου, η ανάλυση ατυχημάτων, η διαχείριση και παρακολούθηση του στόλου βοηθούν στην βελτιστοποίηση των διαδικασιών, στην λήψη αποφάσεων και στην επαναδρομολόγηση του στόλου, λόγω απρόβλεπτων καταστάσεων. Επομένως, το να διαχειρίζεσαι γεωγραφικά και σχετικά χωρικά δεδομένα γίνεται απαραίτητα για να έχεις αποδοτικές λύσεις δρομολόγησης, με το GIS σύστημα να είναι το πιο πολλά υποσχόμενο σύστημα.

Δεδομένων των εξελίξεων στη διαχείριση των πληροφοριών και των τεχνολογιών επικοινωνίας, ο στόλος οχημάτων κάθε επιχείρησης μπορεί πλέον να τυγχάνει διαχείρισης σε πραγματικό χρόνο (real-time). Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο πρέπει να συνδυαστούν τεχνολογίες όπως τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS), τα συστήματα παγκόσμιας στιγματοθέτησης (GPS), οι σένσορες (αισθητήρες) οδικής κυκλοφορίας (traffic flow sensors) και τα κινητά τηλέφωνα καθώς είναι ικανά να παρέχουν πληροφορίες και δεδομένα πραγματικού χρόνου όσον αφορά στη θέση των οχημάτων, νέες απαιτήσεις των πελατών και περιοδικές εκτιμήσεις των χρόνων διέλευσης στο οδικό δίκτυο. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν (αφού τύχουν επεξεργασίας) στην εξοικονόμηση κόστους αλλά και στην βελτίωση των επιπέδων εξυπηρέτησης (Ghiani et al. 2003).

### 2.6.2 Big Data

Ένας ακόμη τομέας που έχει αναπτυχθεί είναι αυτός των Big Data ο οποίος έχει αποτελέσει τομέα στον οποίο επικεντρώνονται οι ερευνητές σε θέματα επιχειρησιακής έρευνας. Τα Big Data είναι ένας ευρύς όρος για μεγάλου όγκου και σύνθετα δεδομένα στα οποία οι παραδοσιακές μέθοδοι επεξεργασίας δεδομένων δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν επαρκώς. Περισσότερο από ποτέ, πλέον, οι εταιρείες σε κάθε τομέα δραστηριοποίησης συγκεντρώνουν πολλά δεδομένα. Ο όγκος των δεδομένων αυξάνει εν μέρει, επειδή συγκεντρώνονται από πολλαπλές και με χαμηλό κόστος συνδεδεμένες συσκευές όπως τα smartphones, τις συσκευές ταυτοποίησης μέσω ραδιοσυχνοτήτων (Radio-frequency identification – RFID), κάμερες και ασύρματους αισθητήρες. Αυτές οι συσκευές συνεχώς παράγουν ροές δεδομένων χωρίς την παρέμβαση των ανθρώπων, δημιουργώντας την ανάγκη για την βελτιστοποίηση της συλλογής, ανάλυσης και των αποφάσεων βασιζόμενοι σε αυτά τα δεδομένα. Η δυνατότητα αποδοτικής απόκτησης και επεξεργασίας δεδομένων αναμένεται να συμβάλλει θετικά στην λήψη των αποφάσεων στα δυναμικά προβλήματα δρομολόγησης (DVRPs).

Ο όρος Big Data αναφέρεται σε εξαιρετικά μεγάλες βάσεις δεδομένων που στο παρελθόν δεν μπορούσαν να χειριστούν λόγων περιορισμών. Οι εξελίξεις στην αποθήκευση δεδομένων και της ισχύς των υπολογιστών έχουν οδηγήσει σε νέες μεθόδους και τεχνικές για αποθήκευση μεγάλων βάσεων δεδομένων. Η εξόρυξη δεδομένων (Data Mining) είναι ουσιαστικά η εύρεση μοτίβων (patterns) και συσχετίσεων στα δεδομένα καθώς και η απεικόνιση των δεδομένων που σχετίζεται περισσότερο με την γραφική μορφή των δεδομένων. Η απεικόνιση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς βοηθά στην εύρεση των μοτίβων και άλλων πληροφοριών που μπορούν να ερμηνευθούν εύκολα από τους ανθρώπους που σε κάθε περίπτωση λαμβάνουν τις αποφάσεις (Psaraftis et al. 2016).

### 2.6.3 Παγκόσμιο Σύστημα Θεσιθεσίας – Global Positioning System (GPS)

Είναι ουσιώδες να αναφερθούμε στο Παγκόσμιο Σύστημα Θεσιθεσίας, γνωστό και ως GPS που παίζει σημαντικό και καθοριστικό ρόλο στην λειτουργία των προγραμμάτων δρομολόγησης στόλου οχημάτων και όχι μόνο.

Το GPS είναι ένα παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης, το οποίο βασίζεται σε ένα «πλέγμα» εικοσιτεσσάρων δορυφόρων της Γης, στους οποίους υπάρχουν ειδικές συσκευές, οι οποίες ονομάζονται «δέκτες GPS». Οι δέκτες αυτοί παρέχουν ακριβείς πληροφορίες για την θέση ενός σημείου, το υψόμετρό του, την ταχύτητά του και την κατεύθυνση της κίνησής του. Επίσης, σε συνδυασμό με ειδικό λογισμικό χαρτογράφησης μπορούν να απεικονίσουν γραφικά τις πληροφορίες αυτές.

Το GPS σχηματίζει ένα παγκόσμιο δίκτυο, με εμβέλεια που καλύπτει ξηρά, θάλασσα και αέρα. Εξαιτίας αυτής της έκτασής του είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός του σε επιμέρους τμήματα, όπου πραγματοποιούνται όλες οι λειτουργίες του αλλά και ο συντονισμός του. Συγκεκριμένα, τα τμήματα αυτά είναι:

- Διαστημικό τμήμα: Αποτελείται από το δίκτυο 24 δορυφόρων, οι οποίοι σκεπάζουν» ομοιόμορφα με το σήμα τους ολόκληρο τον πλανήτη , γεγονός που αποδεικνύει την φιλοσοφία που κρύβεται πίσω από την λειτουργία τουGPS, δηλαδή την διαθεσιμότητά του σε κάθε σημείο της Γης, ώστε να μην υπάρχει περίπτωση να αποπροσανατολιστεί κανείς, ποτέ και πουθενά.
- Επίγειο τμήμα: Αποτελείται από ένα επανδρωμένο και τέσσερα μη επανδρωμένα κέντρα, εγκατεστημένα σε ισάριθμες περιοχές του πλανήτη. Τα κέντρα ελέγχουν τους δορυφόρους για τυχόν προβλήματα ανά πάσα στιγμή και εφαρμόζονται όλες οι διορθωτικές ενέργειες που αφορούν στο σύστημα χρονομέτρησης των δορυφόρων ώστε να αποτρέπεται η παροχή λανθασμένων πληροφοριών στους χρήστες του συστήματος.
- Το τμήμα τελικού χρήστη: Για να προσφέρουν όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες, οι δέκτες συνδυάζονται με ειδικό λογισμικό, που προβάλλει έναν χάρτη στην οθόνη της συσκευής GPS.

Η μεγάλη εξάπλωση της χρήσης του GPS οφείλεται στην διάδοση των οικονομικά προσιτών, φορητών δεκτών GPS για πεζούς ή οχήματα και των γενικών υπολογιστικών συσκευών (όπως τα PDA) με ενσωματωμένο δέκτη GPS.

### 2.6.4 Floating Car Data

Η κυκλοφοριακή συμφόρηση στις αστικές περιοχές επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την καθημερινότητα των ανθρώπων και ταυτόχρονα περιορίζει την ανάπτυξη της κοινωνίας και της οικονομίας. Ωστόσο, η πολυπλοκότητα και οι συνεχείς αλλαγές στην κυκλοφορία κάνουν δύσκολη την γνώση της τωρινής αλλά και της μελλοντικής κυκλοφορίας.

Επιπλέον, η ανάπτυξη των ευφυών συστημάτων μεταφοράς (Intelligent Transportation Systems – ITS) απαιτεί υψηλής ποιότητας πληροφορίες κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο. Η χρήση αισθητήρων (sensors) για την απόκτηση τέτοιων δεδομένων έχει σαν βασικό μειονέκτημα το υψηλό κόστος εφαρμογής και συντήρησης παρά την υψηλή αποδοτικότητα. Τα συστήματα Floating Car Data (FCD) από την άλλη βασίζονται στην συλλογή πληροφοριών από τα ίδια τα οχήματα, είτε μέσω κινητών τηλεφώνων είτε GPS (Global Positioning System) και παρέχουν σχετικά real-time πληροφορίες. Πιο αναλυτικά, πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία, την ταχύτητα και την κατεύθυνση των οχημάτων που παρέχουν GPS ή κινητό

τηλέφωνο, στέλνονται σε ένα κέντρο όπου γίνεται η συλλογή, η επιλογή των χρήσιμων πληροφοριών και η επεξεργασία τους και τέλος η επαναποστολή των πληροφοριών στους οδηγούς.

Η αρχή του FCD είναι να αποκτά πληροφορίες πραγματικού χρόνου σχετικές με την κίνηση είτε μέσω κινητού τηλεφώνου είτε μέσω GPS. Αυτό φυσικά προϋποθέτει ότι κάθε όχημα θα είναι εξοπλισμένο είτε με κινητό τηλέφωνο είτε με GPS που λειτουργούν σαν σένσορες για το οδικό δίκτυο. Τα δεδομένα αυτά είναι υψηλής ποιότητας και θα βοηθήσουν στην ασφάλεια, την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία των συστημάτων μεταφοράς.

# 3. Παρουσίαση Διενεργηθείσας Έρευνας για το Πρόβλημα της Δρομολόγησης Οχημάτων Αστικών Εμπορευματικών Μεταφορών

Στο πλαίσιο ενός ερευνητικού έργου το οποίο επιδιώκει την δημιουργία ενός πληροφοριακού συστήματος το οποίο θα κάνει την δρομολόγηση των οχημάτων εμπορευματικών μεταφορών σε αστικές περιοχές, πραγματοποιήθηκε μία έρευνα ώστε να καθοριστούν οι τάσεις του VRP για εμπορευματικές μεταφορές σε αστικές περιοχές (VRP for Urban Freight Transportation) την τελευταία δεκαετία.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο περιγράφτηκαν οι περισσότερες παραλλαγές του Vehicle Routing Problem οι οποίες στην συνέχεια θα χρησιμοποιηθούν για να γίνει μία κατηγοριοποίηση.

Το VRP έχει πολλαπλές πρακτικές εφαρμογές στην βιομηχανία. Η λύση του συγκεκριμένου προβλήματος μπορεί να βοηθήσει τις επιχειρήσεις να μειώσουν τα κόστη τους καθώς μεγάλο ποσοστό της τιμής ενός προϊόντος οφείλεται στις μεταφορές. Οι επιχειρήσεις επιδιώκουν την εφαρμογή λύσεων λογισμικού με τους κατάλληλους αλγορίθμους ώστε να μειώσουν κόστη μεταφορών, τις διανυόμενες αποστάσεις των οχημάτων και τους χρόνους που αυτά υλοποιούν το έργο τους ενώ ταυτόχρονα να αυξηθεί η εξυπηρέτηση των πελατών. Ίσως η μεγαλύτερη πρόκληση για τις εταιρείες είναι οι μεταφορές σε αστικές περιοχές καθώς η κυκλοφοριακή συμφόρηση συχνά δυσκολεύει τις παραδόσεις εντός χρόνου.

## 3.1 Διαδικασία Έρευνας

Η διαδικασία που έχει ακολουθηθεί βασίζεται στην έρευνα των (Alexander et al. 2014), (Eksioglu et al. 2009b) και (Braekers et al. 2016). Αφού λοιπόν αναγνωρίζεται η ανάγκη για μία τέτοια έρευνα, στην συνέχεια καθορίζεται ένα πρωτόκολλο έρευνας καθώς και κριτήρια επιλογής και μη επιλογής τα οποία οδηγούν στο επιθυμητό αποτέλεσμα και συνεπώς στα άρθρα. Σκοπός είναι μία αποδοτική και καλά καταγεγραμμένη έρευνα η οποία θα περιέχει όλες τις απαραίτητες παραλλαγές του προβλήματος οδηγώντας πιθανές εξελίξεις και εφαρμογές.

Η βάση δεδομένων Scopus χρησιμοποιήθηκε για την συγκεκριμένη έρευνα σύμφωνα με τον Πίνακα 2. Είναι σημαντικό τα άρθρα που θα επιλεγούν να είναι σχετικά με το VRP for urban freight transportation το οποίο θα αναλυθεί για να καθοριστούν οι τάσεις της τελευταίας δεκαετίας. Κάθε άρθρο ελέγχεται διεξοδικά ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή κατηγοριοποίηση και να οδηγήσει σε μία ικανοποιητική στατιστική ανάλυση.

**Πίνακας 2 Πρωτόκολλο Έρευνας**

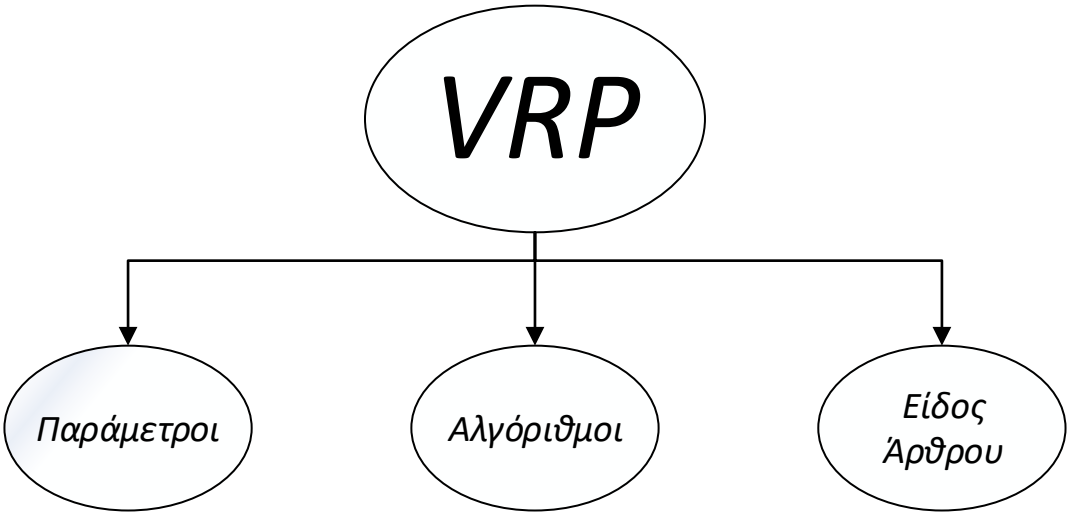
| | |
|---|---|
| Research protocol | Title: set of “Vehicle Routing Problem” or “VRP” |
| Βάση Δεδομένων | Scopus: Είναι μία παγκόσμια βάση δεδομένων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα ακαδημαϊκών δημοσιεύσεων τα οποία έχουν ελεγχθεί από ομότιμους συναδέλφους, τα οποία εκτιμώνται στα 20.000. |
| Είδη Δημοσιεύσεων | Μόνο ελεγμένα από ομότιμους συναδέλφους άρθρα. |
| Γλώσσα | Μοναδική γλώσσα τα Αγγλικά: παρέχει ευρύ φάσμα, ενώ δεν υπήρχε δυνατότητα μεταφράσεων |
| Data range | Τέθηκαν όρια από το 2006 μέχρι το πρώτο τέταρτο του 2017, ώστε να εμπεριέχονται άρθρα τα οποία έχουν δημοσιευτεί την τελευταία δεκαετία. |
| Πεδίο αναζήτησης | Οι όροι αναζήτησης εφαρμόστηκαν μόνο στα Titles, Abstracts και Keywords. |
| Όροι αναζήτησης | (TITLE-ABS-KEY("Vehicle Routing Problem" or "VRP" or "Vehicle Routing") AND PUBYEAR > 2006) AND ("urban freight transport*" OR "urban freight" OR "goods movement" OR "urban logistics" OR "city Logistics") AND ( LIMIT-TO ( SRCTYPE,"j " ) OR LIMIT-TO ( SRCTYPE,"k " ) OR LIMIT-TO ( SRCTYPE,"b " ) ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE,"ar " ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE,"ch " ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE,"re " ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE,"bk " ) ) AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA,"COMP " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA,"ENGI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA,"DECI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA,"BUSI " ) ) AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE,"English " ) ) |
| Deselection Criteria: Relevance to the research problem | Οι κύριοι όροι αναζήτησης είναι οι εκφράσεις “Vehicle Routing Problem”, “VRP” and “Vehicle Routing”. Μετά το πρώτο στάδιο, οι όροι “urban freight transport”, “goods movement”, “urban logistics”, “urban freight” και “city logistics” προστίθενται και τα άρθρα περιορίζονται σε αυτά που η θεματική του ενότητα είναι Computer Science, Engineering, Decision Sciences ή Business Management, εξαιρώντας τα Mathematics καθώς η έρευνά μας επικεντρώνεται στα πληροφοριακά συστήματα και όχι σε μαθηματικούς τύπους. Στην συνέχεια τα άρθρα περιορίζονται σε αυτά που ο τύπος του εγγράφου είναι Article, Book Chapter ή Review και το Source type τους είναι Journal, Book Series ή Books.<br>Το κριτήριο μη επιλογής είναι σχετικό με την αναζήτηση. Μερικά άρθρα είναι ξεκάθαρα μη σχετικά βασιζόμενα στο τίτλο τους και την σύνοψη τους, ενώ σε άλλα μη σχετικά απαιτείται αναλυτική έλεγχος καθώς αναφέρονται σε waste collection, cash in transit, truck and trailer, battery swap stations, location routing, food distribution and parcels and documents. Για τα υπόλοιπα άρθρα ολόκληρο το περιεχόμενο ελέγχθηκε ώστε να επιτευχθεί μία αναλυτική κατηγοριοποίηση. |

Τα 111 άρθρα που προέκυψαν από την παραπάνω διαδικασία μπορούν να καταταχθούν σε διάφορες κατηγορίες.

## 3.2 Μεθοδολογία και αποτελέσματα

Το VRP αποτελεί ένα ευρέως αναλυμένο πρόβλημα το οποίο βρίσκει σημαντική εφαρμογή στις εμπορευματικές μεταφορές αστικών περιοχών. Η παράδοση των προϊόντων από τα κέντρα διανομής στα διάφορα τελικά σημεία (πελάτες) εντός των πόλεων αντιμετωπίζουν δυσκολίες όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση η οποία οδηγεί σε καθυστερήσεις στα προγραμματισμένα δρομολόγια των οχημάτων. Επομένως, οι εταιρείες αναζητούν λογισμικά και συστήματα τα οποία μπορούν να αντιμετωπίσουν τα εμπόδια και να προγραμματίσουν αξιόπιστα δρομολόγια, λαμβάνοντας υπόψιν τους περισσότερες από μία παραμέτρους ταυτόχρονα, του κλασσικού VRP κάθε φορά. Πέρα ωστόσο από τα λογισμικά, ερευνητικά άρθρα κυρίως προτείνουν ή παρουσιάζουν αλγορίθμους οι οποίοι λύνουν συγκεκριμένες παραμέτρους του VRP, χωρίς ωστόσο να προσφέρουν πολύπλοκες λύσεις. Η αξιολόγηση κυρίως των λογισμικών αλλά και των επιμέρους αλγορίθμων είναι σημαντικό να εκτελείται μέσω case studies καθώς βοηθούν στην κατανόηση πραγματικών συστημάτων και στην απόκτηση αξιόπιστων αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων.

Συνεπώς, η έρευνα θα χωριστεί σε 3 επιμέρους τμήματα. Το πρώτο θα περιέχει τις παραμέτρους - παραλλαγές του VRP, το δεύτερο τους αλγορίθμους που χρησιμοποιούνται για να λύσουν τις επιμέρους παραμέτρους του προβλήματος, ενώ το τρίτο θα καθορίζει το είδος του κάθε άρθρου.




**Σχήμα 7 Μεθοδολογία Έρευνας**

## 3.3 Μέθοδοι Επίλυσης του VRP

Πολλοί ερευνητές έχουν αντιμετωπίσει όλες τις παραλλαγές που έχουν παρουσιαστεί ανωτέρω, προσπαθώντας να βρουν λύσεις. Οι μέθοδοι που προτείνονται είναι οι Ευρετικές (Heuristic), οι Μεταευρετικές (Metaheuristic), οι Ακριβείς (Exact) και η προσομοίωση (Simulation). Οι ακριβείς μέθοδοι βελτιστοποίησης εξασφαλίζουν την βέλτιστη λύση, αλλά σε περιπτώσεις που το πρόβλημα χαρακτηρίζεται ως NP-Hard, όπως είναι και το VRP, απαιτείται εκθετικός χρόνος για την εύρεση της λύσης, κάτι το οποίο δεν είναι λειτουργικό και εφικτό στην περίπτωση του συγκεκριμένου προβλήματος. Αντίθετα, οι Ευρετικές και οι

Μεταευρετικές μέθοδοι βελτιστοποίησης μπορεί να μην εξασφαλίζουν την εύρεση της βέλτιστης λύσης, αλλά σε πολύ λιγότερο χρόνο θα οδηγήσει την αναζήτηση σε ικανοποιητικές λύσεις, κοντά στην βέλτιστη, που δεδομένων των αναγκών του VRP (Rothlauf 2011). Στην περίπτωση της προσομοίωσης , χρησιμοποιείται η what-if ανάλυση, στην οποία δημιουργούνται πολλαπλά σενάρια, τα οποία στην συνέχεια χρησιμοποιούνται στον κύριο αλγόριθμο και στο τέλος επιλέγεται το καλύτερο (Alexander et al. 2014).

## 3.4 Είδος Άρθρου

Πέρα από τις παραλλαγές του VRP και τις μεθόδους επίλυσης που παρουσιάζουν οι ερευνητές, είναι σημαντικό να εκτιμήσουμε τον αριθμό των άρθρων τα οποία:

- διεξάγουν έρευνα ή literature review, τα οποία οδηγούν σε θεωρητική γνώση
- προτείνουν και αναπτύσσουν αλγορίθμους αλλά ακόμη και αυτά που περιγράφουν και παρουσιάζουν ήδη υπάρχοντες αλγορίθμους
- έχουν υπολογιστικά δεδομένα
- παρουσιάζουν και εργάζονται πάνω σε λογισμικό και συστήματα το οποίο είναι σημαντικό από την στιγμή που η έρευνα εκτελείται για να κατανοήσουμε τις απαιτήσεις τέτοιων συστημάτων.

## 3.5 Αποτελέσματα

Σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση των 111 άρθρων που προέκυψαν, το CVRP παραμένει η πιο κοινή παραλλαγή του προβλήματος του VRP, με το VRPTW να ακολουθεί με ποσοστό 37,84%. Ορισμένες παραλλαγές του VRP τα τελευταία χρόνια έχουν μελετηθεί περισσότερο όπως το Green και Hybrid VRP τα οποία λόγω των κοινωνικών, πολιτικών και οικονομικών απαιτήσεων για μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, έχουν βρει εφαρμογή καθώς επιδιώκεται η μείωση των εκπομπών ρύπων και της κατανάλωσης καυσίμων. Το TDVRP και το DVRP, επίσης λόγω των τεχνολογιών που υπάρχουν πλέον δίνουν την δυνατότητα εύρεσης καλύτερων εφικτών λύσεων. Μία εκδοχή που μελετάται τα τελευταία χρόνια (από το 2010 και έπειτα) είναι το MEVRP το οποίο επιδιώκει την βελτίωση ολόκληρης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι υπόλοιπες παραλλαγές του VRP κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα σε σχέση με αποτελέσματα άλλων ερευνών.

**Πίνακας 3 Παραλλαγές VRP - Ποσοστά άρθρων**

| Variant | Number of articles (Total = 111) | Relative Percentage |
|---|---|---|
| Capacitated VRP (CVRP) | 45 | 40.54% |
| VRP with Time Windows (VRPTW) | 42 | 37.84% |
| Green and Hybrid VRP | 27 | 24.32% |
| Time Dependent VRP (TDVRP) | 21 | 18.92% |
| Two Echelon VRP and VRP with Satellite Facilities (MEVRP & VRPSF) | 15 | 13.51% |
| Multi-Depot VRP (MDVRP) | 11 | 9.91% |

| | | |
|---|---|---|
| Stochastic VRP (SVRP) | 10 | 9.01% |
| Dynamic VRP (DVRP) | 9 | 8.11% |
| VRP with Heterogeneous Fleet (HVRP) | 9 | 8.11% |
| Multi-trip VRP (MTVRP) | 8 | 7.21% |
| VRP with Real Time Traffic Data | 8 | 7.21% |
| Pickup and Delivery VRP and VRP with Backhauls (VRPPD & VRPB) | 7 | 6.31% |
| Periodic VRP (PVRP) | 3 | 2.70% |
| Split Delivery VRP (SDVRP) | 2 | 1.80% |
| Open VRP (OVRP) | 1 | 0.90% |

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται οι μέθοδοι που ακολουθούνται στα άρθρα, υποδεικνύοντας ότι οι Ευρετικές και οι Μεταευρετικές μέθοδοι είναι οι πιο διαδεδομένες καθώς χρησιμοποιούνται πιο συχνά στο να κατευθύνουν σε βέλτιστες λύσεις πόσο μάλλον στην περίπτωση του VRP το οποίο είναι NP-Hard πρόβλημα. Αντίθετα οι Ακριβείς μέθοδοι και η προσομοίωση εμφανίζονται πιο σπάνιο (με ποσοστό 4.5%) λόγω των δυσκολιών που αντιμετωπίζει κάθε περίπτωση. Το άθροισμα των σχετικών ποσοστών δεν ισούται με 100% καθώς πολλά από τα άρθρα που έτυχαν επεξεργασίας δεν προτείνουν κάποια λύση αλλά αντιθέτως μπορεί να κάνουν μία έρευνα.

**Πίνακας 4 Μέθοδοι Επίλυσης**

| Applied Method | Number of articles (Total = 111) | Relative Percentage |
|---|---|---|
| Heuristic | 41 | 36.94% |
| Metaheuristic | 30 | 27.03% |
| Exact | 5 | 4.50% |
| Simulation | 3 | 2.70% |

Είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε την συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ των παραλλαγών του προβλήματος και των μεθόδων επίλυσης που υπάρχουν. Οι δύο πιο κοινές παραλλαγές του προβλήματος, το CVRP και το VRPTW παρατηρείται ότι επιλύονται κυρίως με ευρετικές μεθόδους και λιγότερο συχνά με μεταευρετικές. Σε περιπτώσεις παραμέτρων του προβλήματος που έχουν μελετηθεί τα τελευταία χρόνια όπως το TDVRP, το Green και το Hybrid VRP, το DVRP και το MEVRP οι μεταευρετικές και οι ευρετικές μέθοδοι κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα. Η περίπτωση της προσομοίωσης χρησιμοποιείται κυρίως στους χρόνους, οι οποίοι επηρεάζουν σημαντικά το πρόβλημα. Είναι σημαντικό επίσης να τονιστεί ότι τα περισσότερα άρθρα επιλύουν περισσότερες από μία παραμέτρους κάθε φορά και επομένως στις περιπτώσεις που παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος, θεωρούμε ότι επιλύει όλες τις παραλλαγές που παρουσιάζονται στο εκάστοτε άρθρο.

**Πίνακας 5 Παραλλαγές VRP - Μέθοδοι Επίλυσης**

| *Variant* | *Heuristic* | *Metaheuristic* | *Exact* | *Simulation* |
|---|---|---|---|---|
| Capacitated VRP | 20 | 12 | 3 | 2 |
| VRP with Time Windows | 20 | 11 | 1 | 3 |
| Green and Hybrid VRP | 5 | 8 | 0 | 1 |
| Time Dependent VRP | 5 | 6 | 0 | 0 |
| Two Echelon VRP and VRP with Satellite Facilities | 8 | 4 | 2 | 1 |
| Multi-Depot VRP | 4 | 4 | 0 | 1 |
| Stochastic VRP | 3 | 1 | 0 | 2 |
| Dynamic VRP | 3 | 0 | 0 | 0 |
| VRP with Heterogeneous Fleet | 3 | 4 | 0 | 0 |
| Multi-trip VRP | 4 | 2 | 1 | 1 |
| VRP with Real Time Traffic Data | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Pickup and Delivery VRP and VRP with Backhauls | 3 | 3 | 0 | 0 |
| Periodic VRP | 2 | 1 | 1 | 0 |
| Split Delivery VRP | 2 | 1 | 0 | 1 |
| Open VRP | 0 | 1 | 0 | 0 |

Στον Πίνακα 6 γίνεται η κατηγοριοποίηση των άρθρων ανάλογα με είδος του καθενός. Όπως προκύπτει λοιπόν, τα περισσότερα άρθρα παρουσιάζουν υπολογιστικά αποτελέσματα (Computational Results) και δεδομένα δοκιμών (Test Data) τα οποία προκύπτουν από τα άρθρα αυτά που είναι σχετικά με αλγορίθμους (είτε προτείνουν, είτε παρουσιάζουν) και από αυτά που είναι Case Studies. Οι δύο αυτές κατηγορίες άρθρων ακολουθούν, ενώ τέταρτο σε σειρά είναι οι έρευνες (Surveys) και τα Literature Reviews με ποσοστό (19,82%). Τέλος, άρθρα σχετικά με λογισμικό (Software) ή συστήματα (Systems) δεν είναι πολύ συχνά, με ποσοστό 4,5%, που σημαίνει ότι λίγα άρθρα οδηγούν σε εφαρμογές.

**Πίνακας 6 Είδη Άρθρων**

| Paper Type | Number of articles (Total = 111) | Relative Percentage |
|---|---|---|
| Computational Results or Test Data | 80 | 72.07% |
| Propose/ Develop Algorithm or Present/Describe Algorithm | 59 | 53.15% |
| Case Study | 27 | 24.32% |
| Literature Review or Survey | 22 | 19.82% |
| Software or System | 5 | 4.50% |

## 3.6 Συμπεράσματα της Διερεύνησης

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε καθώς και τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας οδήγησαν στην δημιουργία άρθρου (Konstantakopoulos, Gayialis & Tatsiopoulos 2017) και το οποίο παρουσιάστηκε σε διεθνές συνέδριο. Αρχικά, είναι πολλά τα άρθρα που έχουν γραφτεί για το Πρόβλημα της Δρομολόγησης Οχημάτων για εμπορευματικές μεταφορές σε Αστικά Περιβάλλοντα, αναλύοντας πολλές και διαφορετικές παραλλαγές του προβλήματος. Παρ' όλα αυτά, λίγοι ερευνητές έχουν οδηγήσει την έρευνά τους σε Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (Decision Support Systems - DSS) ή σε Συστήματα Διαχείρισης (Management Systems - MS). Πιο συγκεκριμένα τα άρθρα των (Sariklis & Powell 2000; Rothlauf 2011; Zeimpekis et al. 2007) αναφέρονται σε Συστήματα διαχείρισης Οχημάτων (Vehicle MS) και σε DSS τα οποία βοηθούν τους υπεύθυνους της εφοδιαστικής αλυσίδας παρακολουθώντας την κατάσταση των παραδόσεων σε πραγματικό χρόνο και προτείνοντας βέλτιστες στρατηγικές επαναδρομολόγησης όταν απαιτείται λόγω απρόσμενων / έκτακτων γεγονότων. Το άρθρο των (Smirlis et al. 2012) παρουσιάζει ένα μοντέλο το οποίο αξιολογεί πακέτα λογισμικού μέσω του κριτηρίου TOTAL Performance/Price και προτείνει την κατάλληλη λύση καθώς η επιλογή τέτοιων συστημάτων δυσκολεύει συνεχώς για αυτούς που παίρνουν τις αποφάσεις (decision makers) λόγω του μεγάλου αριθμού πακέτων λογισμικού που είναι διαθέσιμα και την μεγάλη ποικιλία χαρακτηριστικών και δυνατοτήτων που το κάθε ένα προσφέρει. Τέλος το άρθρο των (Sicilia-Montalvo et al. 2013) όπου περιγράφεται ένα σύστημα βασισμένο στο GIS, επισημαίνει την ανάγκη για ITS (Intelligent Transportation Systems), τα οποία αντιμετωπίζουν τα υψηλά κόστη και την επίδραση στο περιβάλλον που είναι σημαντικό κυρίως στις αστικές περιοχές. Επομένως, λόγω της ανάγκης για χαμηλότερες εκπομπές ρύπων και ταυτόχρονα υψηλότερη εξυπηρέτηση πελατών, τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS) και τα Συστήματα Διαχείρισης (MS) μπορούν να οδηγήσουν σε αποδοτικές και ικανές ως προς την υλοποίηση λύσεις.

# 4. Έρευνα Αγοράς Πληροφοριακών Συστημάτων και Λογισμικού για Δρομολόγηση Οχημάτων

## 4.1 Οφέλη Συστημάτων Δρομολόγησης

Η μεταφορά και διανομή προϊόντων είναι από τις σημαντικότερες δραστηριότητες της εφοδιαστικής αλυσίδας, ενώ αν συνυπολογιστεί το γεγονός ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των δαπανών logistics μιας εμπορικής ή βιομηχανικής επιχείρησης οφείλονται στην μεταφορά και την διανομή, γίνεται αντιληπτή η σημασία της διαχείρισης του στόλου οχημάτων και της βέλτιστης δρομολόγησης. Ωστόσο δεν είναι πάντα εύκολο κάτι τέτοιο, αντιθέτως, μπορεί να είναι περίπλοκο ανάλογα με το επιχειρησιακό περιβάλλον. Όπως έχει ήδη αναλυθεί, στο Πρόβλημα της Δρομολόγησης Οχημάτων (VRP) επιδιώκεται ο προσδιορισμός των βέλτιστων διαδρομών. Το πρόβλημα της δρομολόγησης περιλαμβάνει αρκετές στατικές και δυναμικές παραμέτρους, οι οποίες αυξάνουν την πολυπλοκότητα της διαδικασίας προγραμματισμού των δρομολογίων

Επομένως, είναι μονόδρομος η χρήση λογισμικού και συστημάτων σε περιπτώσεις που ο αριθμός των οχημάτων ξεπερνάει τα 10. Η χρήση συστημάτων υπολογιστών για την δρομολόγηση οχημάτων και τον προγραμματισμό παραδόσεων (Computerised Vehicle Routing and Scheduling – CVRSS) οδηγεί συνήθως σε μειώσεις κόστους μεταξύ 10% και 20%. Ορισμένα οφέλη που παρατηρούνται με τη χρήση τέτοιων συστημάτων είναι:

- Λιγότερα διανυόμενα χιλιόμετρα (fewer kilometers)
- Καλύτερη πλήρωση οχήματος (Better vehicle fill)
- Λιγότερο χρησιμοποιούμενο καύσιμο (Less fuel used)
- Μεγαλύτερη παραγωγικότητα των οδηγών (Greater driver productivity)
- Πιο έγκαιρες παραδόσεις και καλύτερη εξυπηρέτηση πελατών (More on-time deliveries and better customer service)
- Λιγότερος χρόνος προγραμματισμού (Less planning time)
- Καλύτερη χρήση - αποδοτικότητα του οχήματος (Better vehicle utilisation)
- Πιο συνεπής προγραμματισμός (More consistent planning)
- Ευκολότερη προσαρμογή στην ανάπτυξη των επιχειρήσεων (Easier to accommodate business growth)
- Μια σαφέστερη επισκόπηση της λειτουργίας διανομής (A clearer overview of the distribution function)

## 4.2 Πληροφοριακά Συστήματα Διαχείρισης Μεταφορών – Transportation Management Systems

### 4.2.1 Λειτουργίες Συστημάτων Διαχείρισης Μεταφορών

Αρχικά υπάρχουν τα Συστήματα Διαχείρισης Μεταφορών (Transportation Management Systems - TMS) τα οποία αποτελούν εφαρμογές λογισμικού για την βελτιστοποίηση των εισερχόμενων (προμηθειών) ή/και εξερχόμενων (αποστολών) διαδικασιών μεταφοράς. Ένα TMS επιτρέπει αλληλεπιδράσεις μεταξύ ενός Συστήματος Ενδοεπιχειρησιακού Σχεδιασμού

(Enterprise Resource Planning – ERP) ή ενός συστήματος διαχείρισης εντολών (Order Management System - OMS) και ενός κέντρου διανομής (DC) ή μιας αποθήκης.

Τα TMS χειρίζονται τέσσερις σημαντικές λειτουργίες διαχείρισης μεταφορών:

- Προγραμματισμός (Planning): Ορίζει τα πιο αποδοτικά συστήματα μεταφοράς σύμφωνα με συγκεκριμένες παραμέτρους, οι οποίες θα είναι υψηλότερης ή μικρότερης σημασίας σύμφωνα με την πολιτική χρήστη. Αυτά περιλαμβάνουν τις δαπάνες μεταφοράς, τις ελάχιστες στάσεις που είναι δυνατόν να εγγυηθούν την ποιότητα, τη συντομότερη διάρκεια, τον συντελεστή ομαδοποίησης των ροών κλπ.
- Εκτέλεση μεταφοράς (Transportation Execution): Ενεργοποιεί - Επιτρέπει την εκτέλεση του σχεδίου μεταφοράς. Αυτό περιλαμβάνει την αποδοχή του ποσοστού μεταφοράς, την αποστολή του μεταφορέα, την ηλεκτρονική ανταλλαγή δεδομένων (EDI) κλπ.
- Παρακολούθηση μεταφορών (Transportation follow-up): Επιτρέπει τη διεξαγωγή οποιουδήποτε διοικητικού ή φυσικού χειρισμού όσον αφορά τη μεταφορά. Αυτό περιλαμβάνει την ανιχνευσιμότητα της μεταφοράς ανά συμβάν (π.χ. αποστολή από το Α, άφιξη στο Β, εκτελωνισμός κτλ.), την επεξεργασία των παραστατικών, τον εκτελωνισμό, την τιμολόγηση καθώς και την κράτηση εγγράφων, την παράδοση προειδοποιήσεων μεταφοράς (καθυστερήσεις, ατυχήματα, μη προβλεπόμενες στάσεις).
- Μέτρηση (Measurement): Περιλαμβάνει ή πρέπει να περιλαμβάνει μια λειτουργική αναφορά στρατηγικών βασικών δεικτών επιδόσεων (Key Performance Indicator - KPI) για τη μεταφορά.

Διάφορες λειτουργίες ενός TMS περιλαμβάνουν:

- Σχεδιασμός και βελτιστοποίηση των χερσαίων μεταφορών
- Εισερχόμενες (Προμήθειες) και εξερχόμενες (Αποστολές) μεταφορές και επιλογή μεταφορέα
- Διαχείριση μεταφορικών μέσων, σιδηροδρομικές, αεροπορικές και θαλάσσιες μεταφορές
- Παρακολούθηση μεταφοράς σε πραγματικό χρόνο
- Έλεγχος ποιότητας υπηρεσιών με τη μορφή KPI (Key Performance Indicators – Δείκτες απόδοσης όπως Κόστος ανά χιλιόμετρο, % απόδοσης της ακρίβειας των παραδόσεων και παραλαβών από άποψη χρόνου και παραγωγικότητας σε όρους χρηματικούς και λειτουργικούς)
- Φόρτωση οχήματος και βελτιστοποίηση διαδρομής
- Κόστος μεταφοράς και προσομοίωση σχεδίου
- Αποστολή παρτίδας παραγγελιών
- Έλεγχος κόστους, αναφορές και στατιστικά στοιχεία KPI (βασικοί δείκτες απόδοσης)
- Έλεγχος φορτίου

### 4.2.2 Έρευνα της Gartner για TMS

Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2016 από την Gartner, προέκυψε το Magic Quadrant for Transportation Management Systems (Σχήμα 8). Η συγκεκριμένη έρευνα

αφορά TMS τα οποία χρησιμοποιούνται από μεταφορικές εταιρείες (shippers) και από εταιρείες παροχής υπηρεσιών logistics (Third Party Logistic Organisations). Οι περισσότερες από τις εταιρείες αυτές χρησιμοποιούν TMS καθώς εμπεριέχουν όλες τις λειτουργίες διαχείρισης των μεταφορών.

Στην συνέχεια αξιολογήθηκαν λύσεις TMS ανάλογα με τις δυνατότητες τους στα παρακάτω κριτήρια:

- **Γενικά (General)**
- **Διαχείριση δεικτών και συμβάσεων (rate and contract management)**
- **Τακτικός Προγραμματισμός (Tactical planning)**
- **Επιχειρησιακός προγραμματισμός (Operational planning)**
- **Δρομολόγηση και Αποστολή Στόλου Οχημάτων (Fleet routing and dispatching)**
- **Εκτέλεση (Execution)**
- **Διακανονισμός (Settlement)**
- **Άλλα (Other)**

Η συνολική αγορά TMS που καλύπτεται από αυτή την έρευνα χωρίζεται σε τέσσερις τύπους προμηθευτών:

• **Εφαρμογές μεγάλων προμηθευτών (Application megasuite vendors)**: Αυτοί οι πωλητές προσφέρουν ευρεία χαρτοφυλάκια εφαρμογών στις περισσότερες κατηγορίες εφαρμογών (για παράδειγμα, back-office financials, Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας (Supply Chain Management – SCM), logistics, CRM και διαχείριση κύκλου ζωής προϊόντων [PLM]). Η Oracle και η SAP θεωρούνται μεγάλοι πωλητές με προσφορές TMS.

• **Προμηθευτές σουιτών Διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας (SCM suite vendors)**: Αυτοί οι προμηθευτές προσφέρουν ένα χαρτοφυλάκιο εφαρμογών επικεντρωμένων κατά κύριο λόγο στην SCM, συμπεριλαμβανομένων των πτυχών της εφοδιαστικής, αλλά όχι σε άλλους λειτουργικούς τομείς, όπως η διαχείριση των ανθρώπινων κεφαλαίων ή η διαχείριση ανθρώπινου κεφαλαίου. Ενώ αυτοί οι πωλητές μπορεί να προσφέρουν μια ποικιλία λύσεων Διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας (SCM), δεν προσφέρουν απαραίτητα μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα (αν και κάποιοι το κάνουν). Οι προμηθευτές αυτής της κατηγορίας περιλαμβάνουν το JDA Software και την εταιρεία Manhattan Associates.

• **Ειδικοί προμηθευτές TMS (Specialist TMS vendors)**: Αυτοί οι πωλητές είναι ανεξάρτητοι προμηθευτές λογισμικού (Independent software vendors - ISV) που εστιάζουν πρωτίστως ή αποκλειστικά σε ολιστικά TMS, αν και ενδέχεται να προσφέρουν κάποιες πρόσθετες δυνατότητες. Οι προμηθευτές αυτής της κατηγορίας περιλαμβάνουν τις εταιρείες inet, Kewill, LeanLogistics και MercuryGate International.

• **Προμηθευτές σουιτών TMS (TMS services vendors)**: Αυτοί οι πωλητές προσφέρουν όχι μόνο την τεχνολογία TMS αλλά και τις υπηρεσίες για την καθημερινή διαχείριση των μεταφορών, ενώ ο αποστολέας διατηρεί και ελέγχει βασικές σχέσεις με τους μεταφορείς και τους πελάτες του. Ορισμένοι εξειδικευμένοι προμηθευτές προσφέρουν επίσης αυτήν την υπηρεσία, αλλά εξακολουθούν να είναι κυρίως προμηθευτές τεχνολογίας. Οι

προμηθευτές αυτής της κατηγορίας περιλαμβάνουν τις εταιρείες C.H. Robinson (TMC) και Transplace.

Όλες οι λύσεις στο TMS Magic Quadrant υποστηρίζουν τις βασικές διαδικασίες μεταφοράς για μεταφορές μέσω του οδικού δικτύου. Τα διακριτικά χαρακτηριστικά θα είναι:

- Εύρος του TMS (όχι μόνο σχεδιασμός, εκτέλεση και διευθέτηση, αλλά και δυνατότητες συστήματος καινοτομίας, όπως τακτικός σχεδιασμός, διαχείριση στόλου οχημάτων, διαχείριση πολλαπλών αποστολών, 3D σχεδιασμός φορτίου).
- Βάθος του TMS. Δίνεται έμφαση στην ικανότητα των εταιρειών να χειρίζονται τα πιο σύνθετα σενάρια σχεδιασμού επειδή αυτή η ικανότητα διακρίνει τις προσφορές στο υψηλότερο επίπεδο απαιτήσεων.
- Ευχρηστία και προσαρμοστικότητα, με ιδιαίτερη έμφαση στις τρέχουσες και μελλοντικές στρατηγικές διεπαφής χρηστών που παρέχουν οι εταιρείες (vendors).
- Παγκόσμια στρατηγική Marketing και προσφορά αγοράς, με ιδιαίτερη έμφαση στη δύναμη της εταιρείας (vendor) στην μεγαλύτερη τρέχουσα αγορά TMS της Βόρειας Αμερικής και της Ευρώπης και, σε μικρότερο βαθμό, της Ασίας.
- Συμβουλευτική ικανότητα και ποιότητα της εταιρείας ως προς την υλοποίηση του έργου και την προσαρμοστικότητα αυτού σε κάθε συνεργάτη.
- Όραμα και ηγετική σκέψη.
- Μια στρατηγική σύγκλισης για Supply Chain Execution - SCE (Εκτέλεση της εφοδιαστικής αλυσίδας)- δηλαδή, τόσο το εύρος του TMS όσο και η ικανότητα του να υποστηρίζουν από την αρχή ως το τέλος τις επιχειρηματικές διαδικασίες μέσω μιας πλατφόρμας SCE.

Στο Σχήμα 8 που ακολουθεί φαίνονται οι 10 εταιρείες, όπως προέκυψαν από την Gartner βάσει κριτηρίων που έθεσε, πώς κατατάσσονται στον πίνακα. Στον κάθετο άξονα εμφανίζεται η Ικανότητα στην Εκτέλεση (ABILITY TO EXECUTE) ενώ στον οριζόντιο άξονα εμφανίζεται η Πληρότητα του Οράματος (COMPLETENESS OF VISION). Ταυτόχρονα ο πίνακας χωρίζεται σε τέσσερα τεταρτημόρια, με κάθε ένα από αυτά να αντιστοιχεί σε μία κατηγορία. Οι 4 κατηγορίες λοιπόν που υπάρχουν είναι οι:

- Ηγέτες (Leaders)
- Διεκδικητές (Challengers)
- Εξειδικευμένοι Παίκτες (Niche Players)
- Οραματιστές (Visionaries)

**Σχήμα 8 Magic Quadrant για Συστήματα Διαχείρισης Μεταφορών**

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε στο παραπάνω Σχήμα 8 η Oracle η JDA Software και η SAP είναι οι ηγέτες στον χώρο. Στην συνέχεια ωστόσο θα παρουσιαστούν και άλλες εταιρείες που παρέχουν TMS και δεν βρίσκονται στο Magic Quadrant της Gartner.

### 4.2.3 Λογισμικό ως Υπηρεσία – Software as a Service

Επιπλέον είναι σημαντικό πριν συνεχίσουμε να χωρίσουμε τα συστήματα σε δύο κύριες κατηγορίες, τα Software as a Service – SaaS (Λογισμικό ως Υπηρεσία) και τα on-premises. Παραδοσιακά, οι εταιρείες εγκαθιστούσαν το λογισμικό, το οποίο αγοράζονταν από κάποιον πάροχο (εταιρεία λογισμικού), στο δικό της δίκτυο (στους Η/Υ της εταιρείας) και εξασφάλιζαν τον εξοπλισμό, τις υποδομές και την υποστήριξη για να το στήσουν και να το συντηρήσουν για τους εργαζομένους τους. Αυτά είναι τα on-premises συστήματα.

Αντίθετα, το Λογισμικό ως Υπηρεσία - SaaS έχει ως βασική εξέλιξη το γεγονός ότι οι εφαρμογές που παρέχονται στους πελάτες είναι διαθέσιμες μέσω διαδικτύου (web based - cloud). Με αυτόν τον τρόπο οι εταιρείες θα αποφεύγουν την εγκατάσταση και λειτουργία των συστημάτων μέσω των Η/Υ της ίδιας της εταιρείας, εκμηδενίζοντας κόστη που έχουν να κάνουν με την απόκτηση του συστήματος, την συντήρηση, τις άδειες, τις υπηρεσίες υποστήριξης καθώς και ενδεχόμενης αγοράς εξοπλισμού (Hardware). Παράλληλα, δεν θα

μειώνεται η ποιότητα στο οπτικό κομμάτι καθώς το SaaS σύστημα θα είναι βασισμένο σε γεωγραφικά και χωρικά δεδομένα. Επιπλέον οφέλη του συστήματος είναι τα εξής:

- **Ευέλικτες Πληρωμές (Flexible Payments):** Η πληρωμή γίνεται σε μηνιαία βάση σύμφωνα με το μοντέλο Pay As You Go (PAYG) στο οποίο εφαρμόζονται χρεώσεις ανάλογα με την χρήση. Αντίθετα, τα κλασσικά συστήματα έχουν κόστη αγοράς, εγκατάστασης που πλέον αντικαθίστανται από μία και μοναδική συνδρομή.
- **Κλιμακούμενη Χρήση (Scalable Usage):** Οι υπηρεσίες Cloud, όπως οι SaaS, προσφέρουν υψηλή επεκτασιμότητα, δίνοντας την δυνατότητα στους πελάτες να έχουν είτε μεγαλύτερη είτε μικρότερη πρόσβαση σε υπηρεσίες ανάλογα με την ζήτηση.
- **Αυτόματες Αναβαθμίσεις (Automatic Updates**): Δεν απαιτείται αγορά πιο εξελιγμένου λογισμικού, αλλά αντιθέτως ο πελάτης βασίζεται στις αναβαθμίσεις του παρόχου του λογισμικού SaaS.
- **Προσβασιμότητα και Διατήρηση (Accessibility and Persistence):** Από την στιγμή που οι εφαρμογές των SaaS παρέχονται μέσω διαδικτύου, οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση από οποιαδήποτε συσκευή (Η/Υ, Smartphone, Tablet) συνδεδεμένη στο διαδίκτυο και από οποιαδήποτε τοποθεσία.

### 4.2.4 Έρευνα της Decidesoftware για TMS

Σύμφωνα με τον ιστότοπο http://www.decidesoftware.com υπογραμμίζονται τα 19 καλύτερα Transportation Management Systems ορισμένα εκ των οποίων βρίσκονται και στην έρευνα της Gartner. Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται τα κορυφαία αυτά συστήματα και ταυτόχρονα παρουσιάζεται ποια από αυτά είναι SaaS.

**Πίνακας 7 Κορυφαίες Εταιρείες για Συστήματα Διαχείρισης Μεταφορών**

| **Transportation Management Systems** | Web-based - Software as a Service (SaaS) or On-premises |
|---|---|
| 3Gtms TMS | SaaS |
| TMC TMS | On-Premises |
| Descartes | SaaS |
| Eyefreight TMS | SaaS |
| Kewill MOVE | SaaS |
| Infor TMS SHIPLOGIX | On-Premises |
| Inet TMS | On-Premises |
| JDA TMS | SaaS |
| Lean Logistics TMS | SaaS |
| Voyager TMS | On-Premises |
| Manhattan Associates TMS | SaaS |
| MercuryGates TMS | SaaS |
| MPO Supply Chain Suite | SaaS |
| One Network TMS | SaaS |
| Oracle TMS | Cloud-based and on-premises solutions |
| SAP TMS | On-Premises |
| TMW TMS | On-Premises |

| | |
|---|---|
| Transplace TMS | SaaS |
| Ascend TMS | SaaS |

Όπως φαίνεται λοιπόν πολλά από αυτά τα συστήματα είναι SaaS που σημαίνει ότι πλέον υπάρχει μία εμφανής τάση προς τα cloud – web-based συστήματα λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάστηκα και πιο πάνω.

Σύμφωνα με τον ίδιο ιστότοπο ωστόσο στα κορυφαία SaaS συστήματα ανήκουν επίσης τα παρακάτω λογισμικά:

- UltraShip TMS
- Transwide TMS
- TRANSPOREON TMS

### 4.2.5 Αγορά των Transportation Management Systems

Η παγκόσμια αγορά των Transportation Management Systems εκτιμήθηκε στα $ 1,232 δισεκατομμύρια το 2014 και αναμένεται να φτάσει τα $ 1,723 μέχρι το 2019, με ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης (Comound Annual Growth Rate - CAGR) 6,95%. Παράγοντες όπως η ανάγκη για μείωση του κόστους και βελτίωσης της παραγωγικότητας και της αποδοτικότητας οδηγούν στην ανάπτυξη της αγοράς. Από το 2014 έως το 2019, η Βόρεια Αμερική αναμένεται να ηγηθεί της παγκόσμιας αγοράς TMS, ακολουθούμενη από την Ευρώπη, την Μέση Ανατολή και την Αφρική (EMEA). Το μερίδιο αγοράς της Βόρειας Αμερικής ανήλθε σε 53,28% το 2014 και αναμένεται να μειωθεί στο 48,89% 2019 λόγω της αυξημένης ανάπτυξης στην Ασία. Το 2014, η EMEA είχε μερίδιο αγοράς 34,14% και παραμένει αρκετά σταθερή. Η περιοχή της Ασίας και του Ειρηνικού αναμένεται να σημειώσει την υψηλότερη αύξηση του μεριδίου της στην αγορά, από 9% το 2014 σε 12,39% το 2019, σύμφωνα με την Technavio.

## 4.3 Συστήματα Δρομολόγησης Οχημάτων – Vehicle Routing Systems

Πέρα ωστόσο από τα συστήματα διαχείρισης μεταφορών τα οποία έχουν μεγαλύτερο εύρος δραστηριοτήτων και λειτουργιών (όπως για παράδειγμα αεροπορικές και θαλάσσιες μεταφορές) και πολλές φορές έχουν εφαρμογή σε μεγάλες σε μέγεθος επιχειρήσεις των οποίων οι δραστηριότητες εκτείνονται σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές, θα παρουσιαστούν στην συνέχεια συστήματα τα οποία εξειδικεύονται στη βελτιστοποίηση της δρομολόγησης οχημάτων, με τους αγγλικούς όρους να είναι vehicle routing and scheduling, route planning και route optimization.

Προκειμένου να βρεθούν εταιρείες λογισμικού και συστημάτων που εξειδικεύονται σε αυτές τις λειτουργίες, εξετάσθηκε μία βάση δεδομένων, την Venture Radar, η οποία είχε λίστες:

- Top Routing Optimization and Scheduling Software Companies, δηλαδή των κορυφαίων εταιρειών λογισμικού που εξειδικεύονται στην βελτιστοποίηση της δρομολόγησης οχημάτων και του προγραμματισμού παραδόσεων και
- Top Routing Optimization Companies, δηλαδή των κορυφαίων εταιρειών λογισμικού που εξειδικεύονται στην βελτιστοποίηση της δρομολόγησης.

Πέρα ωστόσο από τις δύο αυτές λίστες, επιλέξαμε να υποβάλλουμε ερώτημα (query) στην βάση δεδομένων με τα εξής στοιχεία: "route planning software" OR "vehicle routing" OR "vehicle routing and scheduling" OR "route optimisation" OR "route planning". Στην συνέχεια αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα ώστε να επιλέξουμε λογισμικά τα οποία επικεντρώνονται στην δρομολόγηση οχημάτων εμπορευματικών μεταφορών σε αστικές μεταφορές. Επομένως, αποκλείστηκαν συστήματα τα οποία επικεντρώνονται στη συλλογή απορριμμάτων (waste collection). Έτσι λοιπόν προέκυψε η λίστα εταιρειών του Πίνακα 8.

**Πίνακας 8 Εταιρείες Λογισμικού Δρομολόγησης Οχημάτων και Προγραμματισμού Παραδόσεων**

| Routing Optimization Companies | Web-based - Software as a Service (SaaS) or On-premises |
|---|---|
| DPS (Distribution Planning Software) International (LogiX) | SaaS or On-premises |
| Driv.in | SaaS |
| logvrp (Netakil) | SaaS |
| MyRouteOnline | SaaS |
| OptimoRoute | SaaS |
| Optrak | SaaS |
| Ortec | On-premises |
| Paragon Software Systems | On-premises |
| Route Monkey | SaaS |
| Route4Me | SaaS |
| RouteSolutions | SaaS |
| Routics | SaaS |
| Routific | SaaS |
| Telogis | On-premises |
| Viamente | SaaS |
| SimpliRoute | SaaS |
| Flutaro | SaaS |
| VONZU | SaaS |
| Routist | SaaS |
| Viamente | SaaS |
| Descartes | SaaS |

Όπως φαίνεται και στην συγκεκριμένη περίπτωση πολλές από τις εταιρείες που παρουσιάζονται στον Πίνακα 8 έχουν επικεντρωθεί στην δημιουργία SaaS λογισμικών,

ξεφεύγοντας από την λογική των On-premises συστημάτων που προϋποθέτουν την εγκατάσταση του λογισμικού στους Η/Υ της επιχείρησης.

Η λίστα αυτή ωστόσο θα συγκριθεί και με μία σχετική έρευνα που είχε γίνει το 2016 και αφορούσε τα Λογισμικά Δρομολόγησης Οχημάτων (Vehicle Routing Software). Οι πληροφορίες προέκυψαν από τις εταιρείες ανάπτυξης λογισμικού βάσει ενός ερωτηματολογίου. Η έρευνα δεν πρέπει να θεωρηθεί πλήρης, αλλά ως αναπαράσταση των διαθέσιμων πακέτων δρομολόγησης οχημάτων. Τα ερωτηματολόγια εστάλησαν στους προμηθευτές – πωλητές τέτοιων συστημάτων που προέρχονταν από προηγούμενες έρευνες στις οποίες είχαν συμμετάσχει, από τη βάση δεδομένων OR / MS Today καθώς και από άλλες πηγές. Έτσι λοιπόν προκύπτει ο Πίνακας 9, όπου κάθε στοιχείο του πίνακα που είναι συμπληρωμένο με y σημαίνει ότι ικανοποιεί την κάθε κατηγορία ενώ όταν είναι κενό σημαίνει ότι δεν την ικανοποιεί.

## Πίνακας 9 Ανάλυση Συστημάτων Δρομολόγησης Οχημάτων

| | | | Maximum size of problem solvable by the system | | | | | | Mapping | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Product** | **Vendor** | **Web-based software as a Service (SaaS)** | **Number of Stops** | **Number of Vehicles** | **Number of Terminals** | **Route Planning & Analysis** | **Utilizes real-time traffic information to reassign stops among drivers** | **Utilizes historical travel time and stop time collected from mobile devices for use in route planning?** | **Does the routing consider geographic restrictions?** | **Do you utilize real-time travel times from external sources (e.g., Google maps, Waze)?** | **Number of companies using software** |
| ArcGIS Network Analyst | Esri | y | unlimited | unlimited | unlimited | y | y | y | Y | y | 1001+ |
| ClearD Optima | Clear Destination Inc | y | Unlimited | Unlimited | Unlimited | y | y | y | Y | y | 101-500 |
| Descartes Routing, Mobile & Telematics | Descartes | y | not limited | not limited | not limited | y | y | y | Y | y | 1001+ |
| DirectRoute | TMW Systems | y | 60000 | unlimited | unlimited | y | y | y | Y | y | 501-1000 |
| DISC | MJC2 | y | unlimited | unlimited | unlimited | y | y | y | Y | y | 101-500 |
| Epicenter SaaS Simulation Platform | Forio | y | No Limit | No Limit | No Limit | y | y | y | | y | 1-100 |
| eRoute Logistics | WM Logistics | y | No limit | No limit | No limit | y | y | y | Y | | 1-100 |

| Product | Vendor | Web-based software as a Service (SaaS) | Number of Stops | Number of Vehicles | Number of Terminals | Route Planning & Analysis | Utilizes real-time traffic information to reassign stops among drivers | Utilizes historical travel time and stop time collected from mobile devices for use in route planning? | Does the routing consider geographic restrictions? | Do you utilize real-time travel times from external sources (e.g., Google maps, Waze)? | Number of companies using software |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Intelligent Routing | Intelligent Routing Products (PTY Ltd) | y | | | | y | | y | Y | y | 1-100 |
| JOpt | DNA Evolutions GmbH | y | depends on application | depends on application | depends on application | y | | | Y | y | 101-500 |
| logvrp | Netakil | y | web app 500, web API unlimited | web app 100, web API unlimited | unlimited | y | | | Y | y | 1-100 |
| ODL Studio | Open Door Logistics | | No set limit but <2000 recommend ed | No set limit | No set limit | y | | | | | 101-500 |
| OptimoRoute | OptimoRoute Inc. | y | 5000 | Not limited | Not limited | y | | | Y | | 101-500 |
| Optrak | Optrak Distribution Software Ltd | y | No fixed limit. Will run >4000 | No fixed limit. Will run > 200 | n/a | y | | y | Y | | 1-100 |
| Paragon HDX | Paragon Software Systems, Inc. | y | 20 | 3 | 2 | y | | y | Y | | Dec 3, 99 |
| Paragon Routing and Scheduling Optimizer | Paragon Software Systems, Inc. | | 20 | 3 | 2 | y | | y | | | 101-500 |

| Product | Vendor | Web-based software as a Service (SaaS) | Number of Stops | Number of Vehicles | Number of Terminals | Route Planning & Analysis | Utilizes real-time traffic information to reassign stops among drivers | Utilizes historical travel time and stop time collected from mobile devices for use in route planning? | Does the routing consider geographic restrictions? | Do you utilize real-time travel times from external sources (e.g., Google maps, Waze)? | Number of companies using software |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Roadnet Anywhere | Omnitracs Roadnet | y | Unlimited | Unlimited | Unlimited | y | | | Y | y | |
| Roadnet Transportation Suite | Omnitracs Roadnet | | Unlimited | Unlimited | Unlimited | y | | | | | 1001+ |
| Route4Me | Route4Me | y | 10000 | 1000 | Unlimited | y | y | y | | y | 1001+ |
| Routist | Fleetmatics | y | Unlimited | Unlimited | Unlimited | y | | y | Y | | 1-100 |
| Routyn | Wide Scope | y | Unlimited | Unlimited | Unlimited | y | y | y | Y | y | 1-100 |
| Sci-Log (Scientific Logistics) | Scientific Logistics, Inc. | y | No practical limit | No practical limit | No practical limit | y | | y | Y | | 1-100 |
| STARS 6.0 | SAITECH, inc. | y | unlimited | unlimited | unlimited | y | y | | Y | y | 1-100 |
| StreetSync Pro | RouteSolutions | y | Unlimited | Unlimited | Unlimted | y | y | y | Y | y | 101-500 |
| StreetSync Standard | RouteSolutions | y | Unlimited | Unlimited | Unlimited | y | y | y | | y | 101-500 |
| Truckstops | Mapmechanics | | No Limit | No Limit | No fixed hardware | y | y | y | Y | y | 1001+ |

Είναι σημαντικές οι πληροφορίες που παίρνουμε από την συγκεκριμένη έρευνα καθώς μπορούμε να δούμε:

- Ποια συστήματα είναι SaaS («Λογισμικά ως Υπηρεσία»), που είναι περίπου το 84%.
- Περιορισμούς στα οχήματα και στις στάσεις που έχει το κάθε ένα.
- Αν χρησιμοποιούνται πραγματικού χρόνου δεδομένα κίνησης (Real-time traffic information) καθώς και αν χρησιμοποιούνται τέτοια δεδομένα κατά την δρομολόγηση.
- Αν χρησιμοποιούνται χωρικά δεδομένα και χάρτες, καθώς και αν από τους χάρτες (όπως Google Maps και Waze) χρησιμοποιούνται πραγματικά χρόνου δεδομένα που αφορούν τους χρόνους μεταφοράς μεταξύ σημείων στον χάρτη.
- Πόσες εταιρείες χρησιμοποιούν το εκάστοτε λογισμικό.

Ορισμένα από τα ανωτέρω συστήματα έχουν εφαρμογή και σε ελληνικές εταιρείες, αφού με ορισμένες παραμετροποιήσεις προσαρμόζονται στις ανάγκες της χώρας, της νομοθεσίας της και οποιονδήποτε τυχόν άλλων περιορισμών. Παρά όλα αυτά θα γίνει μία παρουσίαση εταιρειών που δραστηριοποιούνται στην Ελλάδα και παρέχουν συστήματα δρομολόγησης οχημάτων σε άλλες εταιρείες, που δραστηριοποιούνται στο χώρο των μεταφορών ή σε άλλες που οι μεταφορές αποτελούν σημαντικό κομμάτι της λειτουργίας τους. Τέτοιες εταιρείες είναι οι:

- **Mantis** με το λογισμικό **Order truck Router** το οποίο είναι ένα μοναδικό εργαλείο για τον προγραμματισμό, τη διοίκηση και την παρακολούθηση της αποστολής των παραγγελιών και είναι μία λογική προέκταση της διοίκησης των λειτουργιών της αποθήκης. Γίνεται χρήση ειδικών κανόνων για τη βελτιστοποίηση της φόρτωσης των παραγγελιών και της δρομολόγησης των οχημάτων. Το **Order Truck Router** υπολογίζει τις ημερήσιες παραγγελίες και τις κατευθύνει σε συγκεκριμένα φορτηγά ταιριάζοντας τις διαθέσιμες προδιαγραφές των φορτηγών (ιδιόκτητα φορτηγά ή δημοσίας χρήσεως) με τα δεδομένα της παραγγελίας, όπως τον ταχυδρομικό κωδικό του σημείου παράδοσης, όγκο/βάρος μονάδας συσκευασίας, θερμοκρασιακές συνθήκες που απαιτούνται, κλπ. Ο εξουσιοδοτημένος χρήστης διευκολύνεται με την οπτική αναπαράσταση του πλάνου αποστολής παραγγελιών, όπως αυτό προτείνεται από το σύστημα καθώς και με τη δυνατότητα να κάνει τις επιθυμητές αλλαγές με απλό drug and drop. Το **Order Truck Router** είναι πλήρως ολοκληρωμένο με το κύριο σύστημα του **Warehouse Vision**.
- **Paragon** η οποία με το **Paragon Routing** προσφέρει μία ολοκληρωμένη λύση η οποία:
    - πετυχαίνει την μείωση της κατανάλωσης καυσίμου
    - πετυχαίνει μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ($CO_2$)
    - βελτιώνει την εξυπηρέτηση των πελατών
    - μειώνει τους χρόνους που απαιτούνται για τον προγραμματισμό
    - αυξάνει την αποδοτικότητα
    - προσφέρει υπηρεσία tracking
    - Αναφορές και δείκτες KPI
    - λαμβάνει υπόψιν χρονικά περιθώρια (Time Windows)

- **Ortec** η οποία προσφέρει λύσεις που αφορούν στην εφοδιαστική αλυσίδα, πιο συγκεκριμένα ωστόσο για την δρομολόγηση οχημάτων, το σύστημά της προσφέρει:
    - αποφυγή αναπάντεχων γεγονότων και δαπανηρών αποφάσεων
    - μείωση του χρόνου που απαιτείται για τον προγραμματισμό
    - αύξηση της παραγωγικότητας και μείωση του κόστους χωρίς να μειώνεται η ποιότητα των υπηρεσιών
    - ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμου
    - καλύτερη χρησιμοποίηση των μέσων και πιο αποδοτική εξυπηρέτηση πελατών
- **GFV** η οποία δεδομένου ότι στην Ελλάδα η δρομολόγηση οχημάτων γίνεται από ανθρώπους δρομολογητές με την χρήση εμπειρικών τεχνικών που αφορούν εξυπηρέτηση η οποία μπορεί να είναι ακόμη και 50% χειρότερη από πλευράς κόστους σε σχέση με την άριστη ανάλογα με το μέγεθος του προβλήματος, προσφέρει μέσω του συστήματός της μείωση του κόστους διανομής, βελτίωση του επιπέδου εξυπηρέτησης των πελατών, βελτίωση της αποδοτικότητας του στόλου(οχήματα- οδηγοί) και γενικά του συνόλου των εμπλεκόμενων ανθρωπίνων πόρων.
- **Telenavis,** με το Dispatcher το οποίο είναι ένα εργαλείο για τη βελτιστοποίηση των διαδρομών παράδοσης, και το οποίο χρησιμοποιείται στην αγορά Logistics για το σχεδιασμό πιο ρεαλιστικών και αποτελεσματικών σεναρίων παράδοσης, την καλύτερη δρομολόγηση των οχημάτων παράδοσης και τη μείωση του κόστους των παραδόσεων. Μέσω του συστήματος αυτού μία σύγχρονη και οργανωμένη εταιρεία μπορεί:
    - Να «βλέπει» τους πελάτες και τα δρομολόγια της
    - Να εισάγει τις παραγγελίες της επόμενης ημέρας και να λαμβάνει τη βέλτιστη δρομολόγηση τους
    - Να ενημερώνει τους οδηγούς και τους πελάτες για τη σειρά φόρτωσης και επίσκεψης
    - Να παρέχει καλύτερες υπηρεσίες με χαμηλότερο κόστος

# 5. Προδιαγραφές Συστήματος Δρομολόγησης

## 5.1 Ανάλυση και Περιγραφή Συνεργαζόμενων Εταιρειών

Η διαμόρφωση της λίστας απαιτήσεων και προδιαγραφών του λογισμικού βελτιστοποίηση του συστήματος διανομής αποτελεί το επόμενο στάδιο μετά την έρευνα αγοράς και αποσκοπεί στην συγκέντρωση και παρουσίαση των δυνατοτήτων που έχουν οι εφαρμογές Δρομολόγησης Οχημάτων. Οι προδιαγραφές αποτελούν την κωδικοποίηση των χαρακτηριστικών των εφαρμογών που προσφέρει κάθε εταιρεία λογισμικού και τη συγκέντρωσή τους σε ένα ευρύ σύνολο, ως αποτέλεσμα της ένωσης των υποσυνόλων των χαρακτηριστικών κάθε εταιρείας.

Απαραίτητη προϋπόθεση ώστε να προκύψουν απαιτήσεις και προδιαγραφές οι οποίες θα είναι ρεαλιστικές και θα αντιπροσωπεύουν την πραγματικότητα, είναι να προέρχονται από εταιρείες που έχουν εμπειρία και γνώση τόσο πάνω στην δρομολόγηση των οχημάτων σε αστικές περιοχές όσο και στα αντίστοιχα πληροφοριακά συστήματα. Για αυτό τον λόγο επιλέχτηκαν μία εταιρεία Third Party Logistics (3PL) όπως η Sarmed καθώς και μία εταιρεία ανάπτυξης λογισμικού όπως η Optimum οι οποίες και περιγράφονται στην συνέχεια.

Αρχικά, σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της διπλωματικής εργασίας έχει η εταιρεία **SARMED Hellenic Warehouses S.A,** η οποία είναι μία από τις μεγαλύτερες εταιρείες που δραστηριοποιείται στον χώρο των logistics στην Ελλάδα και παρέχει προς τρίτους (3PL) όλες τις υπηρεσίες σε καθετοποιημένη μορφή με ίδια μέσα και προσωπικό, καλύπτοντας όλο το φάσμα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Από το σημείο εισαγωγής εμπορευμάτων στην χώρα ή το σημείο παραγωγής τους στην Ελλάδα, έως και το τελικό σημείο πώλησης, κατανάλωσης ή παράδοσης κατ' οίκον. Οι υπηρεσίες της SARMED περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων:

- Αποθήκευση (ξηρού & ψυχρού φορτίου)
- Φορτοεκφορτώσεις
- Προετοιμασία παραγγελιών (μέχρι τεμαχιακό picking)
- Ροή εγγράφων–έκδοση και διαχείριση παραστατικών
- Ηλεκτρονική ενημέρωση παραδόσεων (e-PoD)
- Μεταφορές, διανομές (door 2 door)
- Συνδυασμένες μεταφορές
- Συσκευασία/ανασυσκευασία & ετικετοποίηση
- e-commerce logistics (home deliveries)
- Διαχείριση επιστροφών
- Αντικαταβολές
- Απογραφές
- Reporting (KPIs)
- Εξυπηρέτηση πελατών
- Υποστήριξη εκτελωνιστικών υπηρεσιών
- Διαχείριση Φορολογικών και τελωνειακών αποθηκών

Όσον αφορά τις μεταφορές, η SARMED αξιοποιεί τη συνέργεια με την εταιρεία SARTRANS για το μεταφορικό της έργο. Ο στόλος της SARTRANS αποτελείται από 40 νταλίκες και φορτηγά τελευταίας τεχνολογίας και από ένα δίκτυο συνεργαζόμενων μεταφορέων και πρακτορείων συνολικής δυναμικότητας σχεδόν 350 οχημάτων κάθε κατηγορίας.

Η εταιρεία αναλαμβάνει οποιαδήποτε μεταφορά έχει αφετηρία και προορισμό την Ελληνική επικράτεια, αλλά και διεθνείς μεταφορές μέσω δικτύου συνεργατών.

Τα οχήματα μεταφορών έχουν εξοπλιστεί με τα πλέον σύγχρονα συστήματα Τηλεματικής τεχνολογίας, γεγονός που σημαίνει ότι ελέγχονται σε πραγματικό χρόνο, προσφέροντας άμεση και έγκαιρη πληροφόρηση όχι μόνο στο τμήμα διακίνησης, αλλά και στον πελάτη.

Επιπλέον, η SARMED παρέχει ολοκληρωμένες υπηρεσίες εκτελωνιστικών εργασιών μέσω της εταιρίας «ΣΑΡΑΝΤΙΤΗΣ Ο.Ε.» που διαθέτει πολύχρονη εμπειρία στον τομέα των εκτελωνισμών. Αποτελεί δε σήμερα τη μεγαλύτερη εκτελωνιστική εταιρία στην Ελλάδα και αναλαμβάνει οποιαδήποτε υπηρεσία που σχετίζεται με τις τελωνειακές αρχές:

- Θέση σε τελωνειακό καθεστώς (φορολογική αποθήκη & τελωνειακή αποθήκη αποταμίευσης) για κάθε είδους εμπορεύματα: Καταναλωτικά αγαθά / εμπορεύματα τρίτων χωρών, Αυτοκίνητα, Προϊόντα Ειδικού Φόρου Κατανάλωσης (π.χ. οινοπνευματώδη, καφές, κ.α.), Μοτοσυκλέτες
- Αποστολή κλιμακίων σε βιομηχανίες για την επί τόπου εκτέλεση των τελωνειακών διαδικασιών (μεταποίηση – τελειοποίηση)
- Θέση εμπορευμάτων σε καθεστώς προσωρινής εναπόθεσης
- Εξειδικευμένες συμβουλευτικές υπηρεσίες

Η συμβολή της εταιρείας SARMED είναι πολύ σημαντική για την παρούσα διπλωματική καθώς αρχικά βοηθά στην καταγραφή και διαμόρφωση των απαιτήσεων που υπάρχουν από ένα πληροφοριακό σύστημα δρομολόγησης οχημάτων που εξειδικεύεται στις αστικές εμπορευματικές μεταφορές.

Μετά την καταγραφή των απαιτήσεων που υπάρχουν από ένα τέτοιο σύστημα διαμορφώνονται οι προδιαγραφές ενός συστήματος και στην συνέχεια η ίδια η εταιρεία αξιολογεί ποιες από αυτές διαθέτει το υπάρχον πληροφοριακό σύστημα της εταιρείας καθώς και ποιες από αυτές θεωρούν σημαντικές και θα ήθελαν να τις διαθέτει το πληροφοριακό σύστημα της δρομολόγησης που διαθέτουν.

Επιπλέον, σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των απαιτήσεων και προδιαγραφών που διαθέτει ένα πληροφοριακό σύστημα δρομολόγησης οχημάτων έχει η εταιρεία ανάπτυξης λογισμικού **Optimum A.E**, η οποία δραστηριοποιείται αποκλειστικά στο χώρο των Πληροφοριακών Συστημάτων Διαχείρισης της Εφοδιαστικής Αλυσίδας (Supply Chain Management Systems).

Στο ραγδαία εξελισσόμενο τομέα των Logistics, στη διαμόρφωση του οποίου έχει παίξει πρωταγωνιστικό ρόλο, η OPTIMUM ανέπτυξε πρώτη στην Ελλάδα λύσεις Πληροφορικής για την Οργάνωση Αποθηκών και Διανομών.

Το Πληροφοριακό Σύστημα aberon, που έχει αναπτύξει η OPTIMUM, αποτελεί μια εξειδικευμένη λύση Διαχείρισης της Εφοδιαστικής Αλυσίδας, που ενσωματώνει αλγόριθμους βελτιστοποίησης, τεχνολογίες barcode και RFID, ασύρματα δίκτυα και ασύρματα φορητά τερματικά, αυτοματισμούς αποθηκών και άλλες τεχνολογίες αιχμής. Κορμός της λύσης aberon είναι το aberon WAREHOUSE MANAGEMENT SYSTEM (aberon WMS), που αποτελεί μια ιδανική λύση για τη διαχείριση και τον έλεγχο των προϊόντων της επιχείρησης. Η ολοκληρωμένη σειρά aberon περιλαμβάνει προϊόντα που καλύπτουν τις εξής θεματικές ενότητες :

- ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΘΗΚΩΝ
- ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΑΠΟΘΗΚΩΝ
- ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΠΩΛΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ

Η εταιρεία Optimum διέθετε πληροφοριακό σύστημα δρομολόγησης και διανομής στο παρελθόν το οποίο ωστόσο δεν αξιοποιήθηκε εμπορικά. Παρ' όλα αυτά, η τεχνογνωσία που υπάρχει σε θέματα που αφορούν στην εφοδιαστική αλυσίδα ήταν ικανή ώστε να συμβάλλει στην διαμόρφωση των απαιτήσεων και προδιαγραφών.

## 5.2 Απαραίτητα Χαρακτηριστικά Συστημάτων για Βελτιστοποίηση Δρομολόγησης Οχημάτων

Κατά την επιλογή λογισμικού για την δρομολόγηση οχημάτων και προγραμματισμό των παραδόσεων είναι σημαντικό οι εταιρείες να δίνουν έμφαση σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και δυνατότητες του εκάστοτε συστήματος. Σύμφωνα με έρευνα της εταιρείας Descartes τα χαρακτηριστικά είναι τα εξής:

- **Ισχυρή μηχανή βελτιστοποίησης διαδρομών**. Η λογική βελτιστοποίησης πρέπει να είναι σε θέση να εξετάσει τις παραμέτρους που δρουν στην κάθε επιχείρησή. Όσο ισχυρότερη είναι η μηχανή βελτιστοποίησης του εργαλείου σχεδιασμού, τόσο πιο πιθανό θα είναι η μηχανή που θα χειριστεί ένα ευρύ φάσμα επιχειρηματικών παραμέτρων, που ικανοποιούν μια μεγάλη ποικιλία σεναρίων δρομολόγησης, να παράγουν καλύτερα / πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα.
- **Διαισθητική και εργονομική διεπαφή χρήστη.** Με μια διαισθητική και εργονομική διεπαφή του χρήστη με το σύστημα, ανεξάρτητα από τις γνώσεις του χρήστη σχετικά με τις τεχνολογίες της πληροφορίας (information technology), είναι πιθανό ότι κάθε χρήστης θα προσαρμοστεί πιο εύκολα στο σύστημα και θα παράγει τα απαιτούμενα αποτελέσματα σε σύντομο χρονικό διάστημα.
- **Υψηλής ανάλυσης και ευφυείς χάρτες.** Οι λύσεις σχεδιασμού που προϋποθέτουν υψηλής ανάλυσης χάρτες και συστήματα με δυνατότητα απόδοσης είναι βασικό όλων των καλύτερων λύσεων δρομολόγησης. Οι χάρτες θα πρέπει να περιλαμβάνουν τις πλέον ενημερωμένες πληροφορίες σε διάφορα επίπεδα δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των περιορισμών εμπορικών οχημάτων, των ταχυτήτων στους δρόμους, της κυκλοφοριακής συμφόρησης κλπ., καθώς οι διαδρομές μπορούν να προγραμματιστούν μόνο βάσει διευθύνσεων που μπορούν να γεωδικοποιηθούν με επιτυχία σε χάρτη και ρεαλιστικές διαδρομές μπορούν να υπολογιστούν μόνο εάν βασίζονται σε σωστές πληροφορίες.

- **End-to-end πλατφόρμα διαχείρισης αποστολής και παρακολούθησης GPS**. Οι αποτελεσματικές διαδικασίες στόλου οχημάτων απαιτούν την δυνατότητα προσαρμογής και ανταπόκρισης στις καθημερινές απαιτήσεις όταν τα οχήματα εξέρχονται από την αποθήκη και εκτελούν τα δρομολόγια. Η απόδοση της διαδρομής σε σχέση με το αρχικό σχέδιο δρομολογίων πρέπει να μετράται συνεχώς, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη παραγωγικότητα, να ανταποκρίνεται στις προσδοκίες των πελατών και να υποστηρίζει τη συνεχή βελτίωση.
- **Ανοικτή και στιβαρή αρχιτεκτονική.** Ενσωμάτωση στα υπάρχοντα πληροφοριακά συστήματα της εταιρείας και διαλειτουργικότητα με τα συστήματα διαχείρισης μεταφορών (TMS), τα συστήματα διαχείρισης αποθήκης (WMS) και τα συστήματα διαχείρισης επιχειρηματικών πόρων (ERP), με τους ενσωματωμένους υπολογιστές (GPS) και με τα συστήματα παρακολούθησης και ανίχνευσης.

## 5.3 Διαμόρφωση Απαιτήσεων Λογισμικού Δρομολόγησης Εμπορευματικών Μεταφορών σε Αστικές Περιοχές

### 5.3.1 Καθορισμός Απαιτήσεων Συστήματος

Σύμφωνα με το βιβλίο του Sommerville 2007, οι απαιτήσεις για ένα σύστημα είναι οι περιγραφές των υπηρεσιών που παρέχει το σύστημα, καθώς και οι επιχειρησιακοί περιορισμοί του. Αυτές οι απαιτήσεις αντικατοπτρίζουν τις ανάγκες των πελατών για ένα σύστημα το οποίο βοηθά στην επίλυση κάποιου προβλήματος όπως ο έλεγχος μιας συσκευής, η τοποθέτηση μιας εντολής ή η εύρεση πληροφοριών. Η διαδικασία ανεύρεσης, ανάλυσης, τεκμηρίωσης και ελέγχου αυτών των υπηρεσιών και περιορισμών ονομάζεται μηχανική των απαιτήσεων (requirements engineering).

### 5.3.2 Προσδιορισμός απαιτήσεων από την εταιρεία Optimum A.E

Αρχικά, η εταιρεία Optimum είναι συνεργάτης της ομάδας έργου του Τομέα Βιομηχανικής Διοίκησης και Επιχειρησιακής Έρευνας και η οποία συμβάλλει στην διερεύνηση του αντικειμένου. Από την στιγμή που είναι εταιρεία λογισμικού η οποία αναπτύσσει κυρίως συστήματα διαχείρισης αποθηκών, είναι σε θέση να προσδιορίσει, σύμφωνα με την εμπειρία και τις γνώσεις της, τις λύσεις που απαιτούν οι εταιρείες για το σύστημα δρομολόγησης οχημάτων. Σύμφωνα με την ίδια οι λύσεις που απαιτούνται από τους πελάτες, είναι κυρίως απλοϊκές. Αρχικά πρέπει να τονιστεί ότι οι περισσότερες εμπορικές εταιρείες των οποίων οι δραστηριότητες απαιτούν εμπορευματικές μεταφορές συνεργάζονται με μεταφορικές εταιρείες οι οποίες αναλαμβάνουν πλήρως την δρομολόγηση των οχημάτων. Για αυτόν το λόγο λοιπόν οι απαιτήσεις τέτοιων συστημάτων προκύπτουν από τις μεταφορικές εταιρείες και όχι από τις εμπορικές οι οποίες ενδεχομένως ασχολούνται ελάχιστα έως καθόλου με την δρομολόγηση των οχημάτων.

Το γεγονός ότι οι μεταφορικές εταιρείες δεν έχουν την απαραίτητη οργάνωση και ότι δεν τους απασχολεί η βελτιστοποίηση της διαδικασίας της δρομολόγησης οδηγεί επίσης σε απλοϊκές λύσεις. Από την μεριά τους, οι εμπορικές εταιρείες, δεν έχουν σαν πρωταρχικό στόχο τη βελτιστοποίηση της δρομολόγησης αφού βάσει συμβάσεων οι πληρωμές των μεταφορικών εταιρειών γίνεται σύμφωνα με τον αριθμό των σημείων παράδοσης, από το

αριθμό των παλετών ή από τις αποστάσεις. Παρά όλα αυτά υπάρχουν και εταιρείες Third Party Logisitcs οι οποίες αναλαμβάνουν την δρομολόγηση μεγάλου στόλου και απαιτούν πιο σύνθετες και εξεζητημένες λύσεις.

Σύμφωνα λοιπόν πάντα με την εταιρεία Optimum οι απαιτήσεις που έχουν οι εταιρείες που δραστηριοποιούνται στις μεταφορές από το πληροφοριακό σύστημα της δρομολόγησης είναι να έχουν αρχικά μία αναλυτική καταγραφή των στοιχείων των οδηγών και φορτηγών. Στην συνέχεια είναι απαραίτητο να γίνεται έλεγχος των περιορισμών κυρίως βάρους και όγκου, ενώ ταυτόχρονα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν σαν περιορισμός ο αριθμός των παραδόσεων (drops) ανά δρομολόγιο και ο αριθμός των δρομολογίων ανά ημέρα. Επιπλέον είναι απαραίτητο σύμφωνα με τον Ταχυδρομικό Κώδικα να γίνεται grouping, δηλαδή κατηγοριοποίηση των παραγγελιών και συνεπώς των πελατών και των σημείων παράδοσης. Επόμενο απαραίτητο βήμα είναι να γίνει clustering, δηλαδή μία ομαδοποίηση των παραγγελιών σε οχήματα ενώ ταυτόχρονα είναι επιθυμητή η ελαχιστοποίηση των οχημάτων που χρησιμοποιούνται για τις παραδόσεις.

Η εύρεση της βέλτιστης διαδρομής γίνεται συνήθως μέσω του geocoding, δηλαδή της γεωκωδικοποίησης, η οποία είναι μία υπολογιστική διαδικασία η οποία μετατρέπει μία ταχυδρομική διεύθυνση, σε μία θέση στην επιφάνεια της γης (χωρική αναπαράσταση σε αριθμητικές συντεταγμένες). Σε αυτήν την περίπτωση αντικειμενικός σκοπός είναι να επιλεγεί η διαδρομή με την μικρότερη διανυόμενη απόσταση, χωρίς ωστόσο οι εταιρείες να επιδιώκουν την βελτιστοποίηση, αλλά μία (σχετικά) ικανοποιητική / αποδεκτή λύση. Απαιτείται λοιπόν χάρτες ή συστήματα GIS να δίνουν την δυνατότητα για γεωκωδικοποίηση και συμβάλλουν στην εύρεση της λύσης.

### 5.3.3 Προσδιορισμός απαιτήσεων από την εταιρεία SARMED

Προκειμένου να γίνουν κατανοητές οι απαιτήσεις που υπάρχουν από την SARMED έναντι του συστήματος της δρομολόγησης είναι σημαντικό να κατανοήσουμε ορισμένα μεγέθη και χαρακτηριστικά της εταιρείας. Για αυτό τον λόγο αρχικά συμπληρώθηκαν ορισμένα στοιχεία που αφορούν την εταιρεία, τα οποία φαίνονται στον πίνακα 10, και στην συνέχεια οι απαιτήσεις της.

**Πίνακας 10 Χαρακτηριστικά στοιχεία της SARMED**

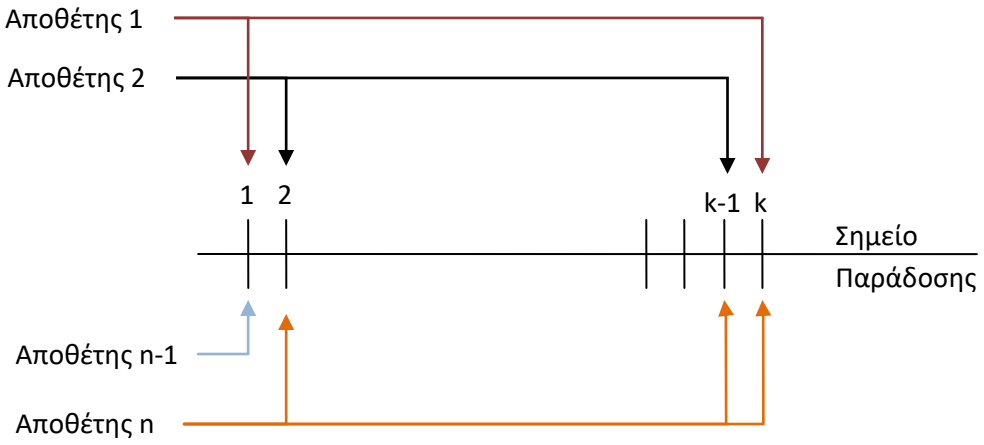
| | |
|---|---|
| Μέγεθος στόλου - Αριθμός Οχημάτων; | Πάνω από 350 φορτηγά όλων των μεγεθών και χωρητικοτήτων (ίδια οχήματα και συνεργαζόμενων μεταφορικών εταιρειών) |
| Βάση Στόλου - Depots (Μία ή πολλές εγκαταστάσεις); | Δύο κύριες αποθήκες στον κεντρικό άξονα της Ελλάδας, στην Αθήνα και στην Θεσσαλονίκη |
| Σύνολο Αποθετών | 150 |

| | |
|---|---|
| Σύνολο παραγγελιών ετησίως | 480.000-600.000 |
| Είδη δρομολογίων (Μόνο συλλογές - Μόνο παραδόσεις - Μικτά); | Γίνονται ταυτόχρονα και συλλογές και παραδόσεις χωρίς να είναι προϋπόθεση κάθε φορτηγό να έχει ολοκληρώσει τις παραδόσεις του προκειμένου να γίνουν και οι συλλογές, αλλά αντιθέτως γίνονται ταυτοχρόνως |
| Αριθμός δρομολογίων ανά όχημα και χρονικό διάστημα (Ένα ή πολλαπλά); | Περίπου 1,2 δρομολόγια ανά ημέρα (καθώς κυρίως οι νταλίκες αναλαμβάνουν περισσότερα του 1 δρομολογίου ανά ημέρα) |
| Πολλαπλά Κλιμάκια - Multi Echelon VRP.Οργάνωση της διαδικασίας δρομολόγησης από το εργοστάσιο στην αποθήκη, και από την αποθήκη στα τελικά σημεία; | Αναλαμβάνει την παραλαβή εμπορευμάτων από εργοστάσια εμπορικών εταιρειών καθώς η ίδια παρέχει υπηρεσίες αποθήκευσης και μεταφοράς |
| Χρησιμοποίηση On-premises ή Cloud Συστήματος Δρομολόγησης Οχημάτων; | Εγκατάσταση λογισμικού - On premises |
| Ποιος είναι ο πάροχος - εταιρεία λογισμικού από την οποία έχετε το σύστημα δρομολόγησης που εφαρμόζετε; | Η εταιρεία Telenavis είναι ο πάροχος, με το σύστημα Dispatcher |

Σύμφωνα με τον Πίνακα 10, προκύπτει ότι η διαδικασία της δρομολόγησης δεν είναι απλή και εύκολη, αλλά αντιθέτως σύνθετη, αν αναλογιστεί κανείς ότι καθημερινά εξυπηρετούνται περίπου 2.500 παραγγελίες. Μετά από συνέντευξη με τον κύριο Γεώργιο Φαρδή, ο οποίος είναι Transport Manager της εταιρείας, παρουσιάζονται ορισμένες απαιτήσεις της SARMED έναντι του συστήματος.

1. Αρχικά, είναι απαραίτητη η διασύνδεση του συστήματος της δρομολόγησης με άλλα συστήματα όπως αυτό της διαχείρισης αποθηκών (Warehouse Management Systems – WMS), καθώς η λειτουργία του ενός εξαρτάται από την λειτουργία του άλλου. Στην περίπτωση για παράδειγμα μιας παραγγελίας, πρέπει πρώτα να γίνει έλεγχος αποθέματος (από το WMS) και στην συνέχεια οι υπόλοιπες διαδικασίες που απαιτούνται.
2. Επιπλέον είναι απαραίτητη η καταγραφή στοιχείων και χαρακτηριστικών των οχημάτων και των οδηγών, όπως για παράδειγμα η χωρητικότητα ενός οχήματος.

3. Μία απαίτηση και συνεπώς λειτουργία του συστήματος που οδηγεί σε σημαντικά αποτελέσματα και βελτιώσεις ολόκληρης της διαδικασίας είναι η ομαδοποίηση των παραγγελιών. Λόγω του ότι οι αποθέτες της εταιρείας αριθμούνται στους 150, και οι ημερήσιες παραγγελίες σε 2.500, πολλές από αυτές έχουν το ίδιο σημείο παράδοσης.




**Σχήμα 9 Ομαδοποίηση Παραγγελιών**

Όπως φαίνεται λοιπόν πιο ξεκάθαρα στο Σχήμα 9, οι παραγγελίες που έχουν το ίδιο σημείο παράδοση ομαδοποιούνται, εξοικονομώντας και χρόνο αλλά και χρήμα.

4. Επιπλέον, όπως τόνισε και η εταιρεία Optimum, είναι σημαντικό σύμφωνα με τον ταχυδρομικό κώδικα να γίνεται grouping, δηλαδή κατηγοριοποίηση των παραγγελιών και συνεπώς των σημείων παράδοσης.
5. Ο έλεγχος των περιορισμών όπως του βάρους και του όγκου είναι απαραίτητος πόσο μάλλον από την στιγμή που στην SARMED εκτελούνται ταυτόχρονα και συλλογές και παραδόσεις, και απαιτείται πιο σύνθετος έλεγχος (Pickup and Delivery VRP).
6. Η τήρηση των χρονικών περιθωρίων που θέτουν οι πελάτες είναι μία παράμετρος που είναι απαραίτητο να ικανοποιηθεί αλλά ταυτόχρονα δημιουργεί σημαντικά προβλήματα, όπως για παράδειγμα η μη χρησιμοποίηση των οχημάτων για μεγάλο διάστημα μέσα στην διάρκεια του ωραρίου εργασίας.
7. Απαιτείται ακόμη η εμφάνιση του fulfillment και του load factor κάθε φορτηγού ώστε σε περιπτώσεις που κάποιο φορτηγό έχει χαμηλούς τέτοιους δείκτες να γίνεται αντιληπτό και να γίνονται μετατροπές στα δρομολόγια.
8. Από την στιγμή που ένα σύστημα βελτιστοποιεί την διαδικασία κατά ένα ποσοστό της τάξεως του 40-50% είναι σημαντικό και απαραίτητο σύμφωνα με την SARMED να δίνεται η δυνατότητα μετατροπής των δρομολογίων, δηλαδή ένας πελάτης (σημείο παράδοσης) από ένα δρομολόγιο, να μετακινηθεί σε ένα άλλο.
9. Η εξαγωγή των δρομολογίων και η αποστολή αυτών ηλεκτρονικά στους οδηγούς των οχημάτων.

10. Η δυναμική παρακολούθηση των οχημάτων και ο έλεγχος αυτών και των παραγγελιών.
11. Η σύγκριση θεωρητικών και πραγματικών δεδομένων δρομολόγησης.
12. Η εξαγωγή αναφορών και οικονομικών στοιχείων και δεικτών KPI's

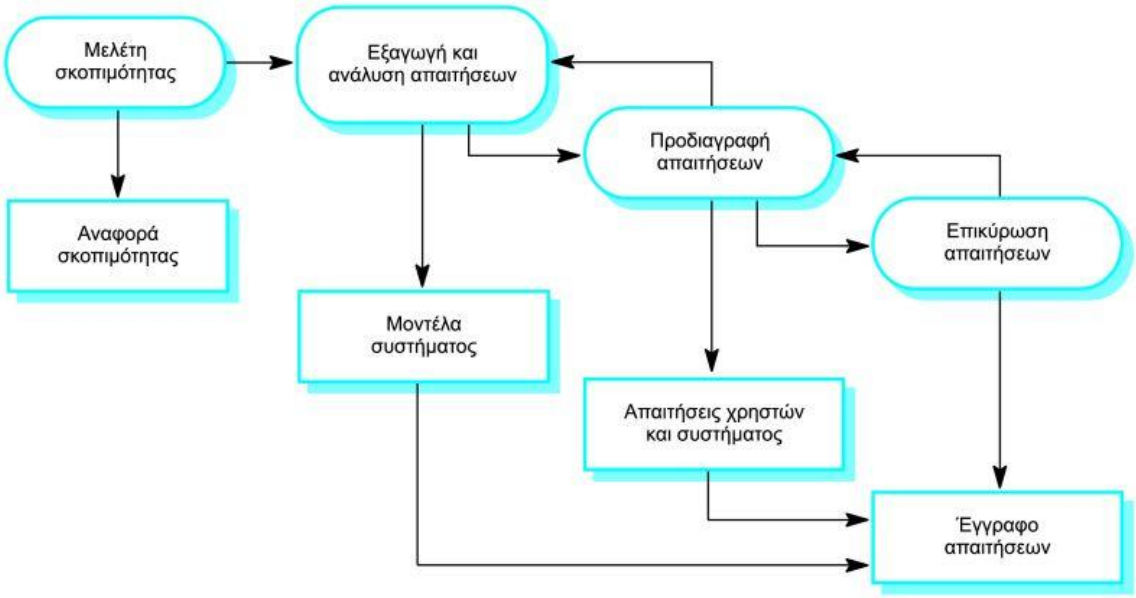
## 5.4 Προδιαγραφές Συστημάτων Δρομολόγησης Οχημάτων

### 5.4.1 Σχεδιασμός Απαιτήσεων

Ο προδιαγραφές του λογισμικού ή ο σχεδιασμός των απαιτήσεων είναι η διαδικασία κατανόησης και καθορισμού των υπηρεσιών που απαιτούνται καθώς και αναγνώρισης των περιορισμών του συστήματος σχετικά με τη λειτουργία και την ανάπτυξή του. Ο σχεδιασμός των απαιτήσεων είναι ένα ιδιαίτερα κρίσιμο στάδιο της διαδικασίας λογισμικού καθώς σφάλματα σε αυτό το στάδιο αναπόφευκτα οδηγούν σε μεταγενέστερα προβλήματα στο σχεδιασμό και την υλοποίηση του συστήματος.

Η διαδικασία σχεδιασμού απαιτήσεων παρουσιάζεται στο Σχήμα 9. Αυτή η διαδικασία οδηγεί στην παραγωγή ενός εγγράφου απαιτήσεων που είναι οι προδιαγραφές για το σύστημα. Οι απαιτήσεις παρουσιάζονται συνήθως σε δύο επίπεδα λεπτομέρειας σε αυτό το έγγραφο. Οι τελικοί χρήστες και οι πελάτες χρειάζονται μια δήλωση υψηλού επιπέδου για τις απαιτήσεις σε αντίθεση με τους προγραμματιστές οι οποίοι χρειάζονται πιο λεπτομερείς προδιαγραφές συστήματος. Υπάρχουν τέσσερις κύριες φάσεις στη διαδικασία σχεδιασμού απαιτήσεων:

- Μελέτη σκοπιμότητας (feasibility study) – εκτιμάται αν οι ανάγκες των χρηστών μπορούν να ικανοποιηθούν με τρέχουσες τεχνολογίες λογισμικού και υλικού, αν είναι οικονομικά αποδοτικό από επιχειρηματική άποψη, καθώς και αν το απαιτούμενο κόστος καλύπτεται από τον προϋπολογισμό
- Εξαγωγή και ανάλυση απαιτήσεων (Requirements elicitation and analysis) – η διαδικασία εξαγωγής απαιτήσεων συστήματος μέσω παρατήρησης υφιστάμενων συστημάτων, μέσω συζήτησης με πιθανούς χρήστες και αγοραστές και μέσω ανάλυσης εργασιών
- Προδιαγραφή απαιτήσεων (Requirements specification) – η διαδικασία της μετατροπής των πληροφοριών που συλλέγονται, κατά την διάρκεια της ανάλυσης, σε ένα έγγραφο το οποίο ορίζει ένα σύνολο απαιτήσεων. Δύο τύποι απαιτήσεων μπορεί να περιλαμβάνονται στο παρόν έγγραφο, οι απαιτήσεις των χρηστών οι οποίες είναι αφηρημένες απαιτήσεις του πελάτη και του τελικού χρήστη για το σύστημα καθώς και οι απαιτήσεις του συστήματος που είναι μια πιο λεπτομερής περιγραφή της λειτουργικότητας που παρέχεται.
- Επικύρωση απαιτήσεων (Requirements validation) – οι απαιτήσεις ελέγχονται από άποψη ρεαλιστικότητας, συνέπειας και πληρότητας. κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας, σφάλματα στο έγγραφο των απαιτήσεων ανακαλύπτονται αναπόφευκτα, και τα οποία πρέπει στην συνέχεια να τροποποιηθούν και διορθωθούν.




**Σχήμα 10 Διαδικασία Σχεδιασμού Απαιτήσεων**

Ορισμένα από τα προβλήματα που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδιασμού απαιτήσεων είναι αποτέλεσμα της αδυναμίας για σαφή διαχωρισμό μεταξύ αυτών των διαφορετικών επιπέδων περιγραφής. Διακρίνονται μεταξύ τους, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, χρησιμοποιώντας τους όρους απαιτήσεις χρηστών καθώς και απαιτήσεις συστήματος. Οι ορισμοί των δύο εννοιών είναι οι εξής:

- Οι απαιτήσεις των χρηστών (user requirements) είναι δηλώσεις, σε μια φυσική γλώσσα ή σε διαγράμματα, των υπηρεσιών που αναμένεται να παρέχει το σύστημα και τους περιορισμούς βάσει των οποίων θα πρέπει να λειτουργεί.
- Οι απαιτήσεις του συστήματος (system requirements) καθορίζουν με λεπτομέρειες τις λειτουργίες, τις υπηρεσίες και τους περιορισμούς του συστήματος. Το έγγραφο απαιτήσεων συστήματος (λειτουργικές προδιαγραφές) πρέπει να είναι ακριβές, καθώς πρέπει να καθορίσει με ακρίβεια τι αναμένεται να εφαρμοστεί.

### 5.4.2 Επιλογή Προδιαγραφών Δρομολόγησης Οχημάτων

Από την στιγμή λοιπόν που ολοκληρώθηκε το στάδιο της εξαγωγής και ανάλυσης απαιτήσεων (Requirements elicitation and analysis) και τα οποία προήλθαν μέσω παρατήρησης υφιστάμενων συστημάτων, μέσω συζήτησης με πιθανούς χρήστες και αγοραστές και μέσω ανάλυσης εργασιών, επόμενο βήμα είναι η προδιαγραφή απαιτήσεων (Requirement Specification). Έτσι λοιπόν, από τις πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί, γίνεται ανάλυση και επεξεργασία, και τελικώς προκύπτουν οι παρακάτω προδιαγραφές του συστήματος της δρομολόγησης.

Οι προδιαγραφές έχουν 6 κύριες κατηγορίες, (i) τις βασικές λειτουργίες του συστήματος δρομολόγησης, (ii) τα παραστατικά, (iii) τις αναφορές, (iv) το περιβάλλον χρήστη (GUI), (v) τη διασύνδεση με άλλες εφαρμογές και (vi) την υποστήριξη πελατών. Κάθε μία από τις κατηγορίες αυτές αναλύεται, προκύπτοντας υποκατηγορίες σε κάθε μία περίπτωση, ξεκινώντας από το πλέον υψηλό επίπεδο ανάλυσης, έως ενός ικανοποιητικού σημείου ανάλυσης για την περίπτωση της συγκεκριμένης έρευνας.

## 1. Βασικές Λειτουργίες του συστήματος Δρομολόγησης

- ***Οδηγοί-οχήματα***
  - Διατήρηση ενημερωμένων λεπτομερειών σχετικά με τους οδηγούς και τα οχήματα
    - ✓ Τοποθεσία οχήματος
    - ✓ Εξοπλισμός φόρτωσης/εκφόρτωσης
    - ✓ Χωρητικότητα οχημάτων σε βάρος και όγκο
    - ✓ Διαμόρφωση διαμερισμάτων οχημάτων
    - ✓ Κόστη που αφορούν τους οδηγούς και τα οχήματα
  - Οργάνωση των προγραμμάτων των οδηγών και των οχημάτων με συνυπολογισμό διαφόρων παραμέτρων:
    - ✓ Διαθεσιμότητα οχημάτων
  - Κατανομή των παραδόσεων σε κάθε οδηγό η όχημα ξεχωριστά
  - Ελάχιστη μεταφερόμενη ποσότητα (από συμβάσεις με μεταφορείς)
  - Διαφοροποίηση διαχείρισης μεταξύ φορτηγού, τράκτορα και ρυμούλκας, λαμβάνοντας υπόψη τους ειδικούς περιορισμούς των οχημάτων και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους
  - Παραλαβή και επισκόπηση φορτωτικών (BOL-Bill Of Lading) που υποβλήθηκαν από μεταφορείς σε ημι-μηνιαία βάση
  - Εκτίμηση βαθμού χρησιμοποίησης οχήματος
  - Έλεγχοι ασυμβατότητας για κάποιους συνδυασμούς οχημάτων-τοποθεσιών και οχημάτων-προϊόντων
  - Παρακολούθηση κόστους οχημάτων
  - Τήρηση απολογιστικών στοιχείων για κάθε όχημα
  - Παρακολούθηση εσόδων και δρομολογίων σε κάθε όχημα
  - Παρακολούθηση περιοχής δράσης οχήματος
  - Διαχείριση συμβολαίων μεταφοράς
  - Λήψη αποφάσεων σχετικά με τις φορτώσεις και την επιλογή του τρόπου πραγματοποίησης της διανομής όταν χρησιμοποιούνται 3rd party μεταφορείς σε συνδυασμό με ή αντί ιδιωτικού στόλου ή Δ.Χ. στόλου με σταθερή συνεργασία
  - φόρτωση των οχημάτων των μεταπωλητών και έκδοση των αντίστοιχων τιμολογημένων δελτίων αποστολής
  - Μέτρηση της παραγωγικότητας των οδηγών
  - Βελτιστοποίηση μεγέθους στόλου
  - Υποστήριξη λήψης και αποστολής πληροφοριών από και προς τα οχήματα σε πραγματικό χρόνο μέσω δικτύου ασύρματων επικοινωνιών
  - Καθορισμός σειράς φόρτωσης των εμπορευματικών προϊόντων

- ***Κοστολόγηση - ανάλυση κόστους***
  - Ανάλυση κόστους των φορτίων των διανομών και αντικατάσταση των διανομών χαμηλού κόστους που έχουν ήδη ανατεθεί με κάποιες υψηλού κόστους που δεν

έχουν ανατεθεί (μετά την πλήρη εκμετάλλευση του διαθέσιμου χρόνου των οχημάτων), έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος που προκύπτει
- Επισκόπηση του κόστους μεταφοράς που υποβάλλεται από τους μεταφορείς, χρησιμοποιώντας τους όρους της σύμβασης μεταφοράς (το κόστος μεταφοράς βασίζεται στο δρομολόγιο-πόλη, προάστια, μεγάλες διαδρομές, τον αριθμό των σημείων παράδοσης, τις χιλιομετρικές αποστάσεις μεταξύ των σημείων παράδοσης)
- Υπολογισμός κόστους φορτίων

• ***Αρχεία δεδομένων***
- Διαχείριση αρχείου εγχώριων πελατών
- Τήρηση αρχείων για τα έξοδα συντήρησης των ιδιόκτητων οχημάτων της εταιρείας

• ***Εγκαταστάσεις-προϊόντα***
- Διατήρηση ενημερωμένων λεπτομερειών σχετικά με τις εγκαταστάσεις και τα προϊόντα:
  - ✓ Τοποθεσία εγκαταστάσεων
- Διαχείριση περιφερειακών εγκαταστάσεων
- Παρακολούθηση και σύγκριση των πραγματικών με τις προσχεδιασμένες παραδόσεις
- Προγραμματισμός μεταφορών ή προϊόντων στις εγκαταστάσεις της εταιρείας
- Διαχείριση πολλαπλών προϊόντων
- Φόρτωση από εναλλακτικές τοποθεσίες συλλογής παραγγελιών
- Ιστορικά στοιχεία αριθμού φορτώσεων
- Ιδία κατανάλωση καυσίμων της εταιρείας (COC – Company Own Consumption)

• ***Πελάτες***
- Διατήρηση λεπτομερειών για τους πελάτες και τους περιορισμούς και τις προτιμήσεις τους για την παράδοση
- Διατήρηση αρχείου παραγγελιών για κάθε πελάτη
- Ικανοποίηση επιθυμητών από τον πελάτη χρόνων παράδοσης
- Δυνατότητα λίστας προϊόντων (shopping list) για τον πελάτη
- Καθημερινή παρακολούθηση των υποχρεώσεων παράδοσης στους πελάτες
- Σχεδιασμός τακτικών παραδόσεων στον πελάτη για κάποια περίοδο που η ζήτηση είναι σταθερή
- Επιλογή κέντρων διανομής που θα παρέχουν τις αποδοτικότερες υπηρεσίες στους πελάτες
- Αυτόματη σύνδεση διεύθυνσης πελατών και ταχυδρομικών κωδικών
- Διαδικασία geocoding, δηλαδή της γεωκωδικοποίησης η οποία μετατρέπει μία ταχυδρομική διεύθυνση, σε μία θέση στην επιφάνεια της γης (χωρική αναπαράσταση σε αριθμητικές συντεταγμένες)
- Ικανοποίηση ειδικών απαιτήσεων των πελατών, όπως παράδοση σε συγκεκριμένη ημερομηνία και ώρα και από συγκεκριμένο οδηγό, αν είναι αναγκαίο
- Ευέλικτη αναζήτηση πελατών

• ***Σχεδιασμός δρομολόγησης***
- Συνυπολογισμός παραμέτρων σχεδιασμού δρομολογίων:

- ✓ Πολλές παραδόσεις, σημεία παράδοσης, διαδρομές και εγκαταστάσεις στις διαδρομές
- ✓ Μικτοί στόλοι
- ✓ Μικτές προτεραιότητες στις παραγγελίες
- ✓ Χρονικά περιθώρια παράδοσης στους πελάτες
- ✓ Διαμερίσματα οχημάτων - Κατανομή (φορτίου) στα διαμερίσματα των οχημάτων (βυτίων)
- ✓ Περιφέρειες πελατών
- ✓ Ικανότητες των οχημάτων

- Συνεχής αναπροσαρμογή του σχεδίου διανομών σύμφωνα με δεδομένα που εισάγονται στο πληροφοριακό σύστημα σε πραγματικό χρόνο (δυναμικές διανομές)
- Αποθήκευση και επεξεργασία πληροφοριών κίνησης πραγματικού χρόνου και για μελλοντική χρήση αυτών για την βελτιστοποίηση της διαδικασίας της δρομολόγησης
- Κατηγοριοποίηση των παραδόσεων σε ζώνες – Ομαδοποίηση
- Κατανομή παραγγελιών και πελατών στα δρομολόγια
- Ανακατανομή παραγγελιών και πελατών ανάμεσα στα δρομολόγια
- Ομαδοποίηση πελατών ή/και παραγγελιών σε ένα δρομολόγιο
- Συνυπολογισμός αριθμού και μεγέθους φορτίων, καθώς και αναγκών και δυναμικότητας αποθηκών στο σχέδιο διανομής
- Επισήμανση τοποθεσιών που παρουσιάζουν δυσκολίες κατά την υιοθέτηση της πιο συμφέρουσας οικονομικά λύσης
- Δυνατότητα ανακατεύθυνσης των διανομών κατά τη διάρκεια της μεταφοράς, σε περίπτωση ανάγκης ή υψηλότερης προτεραιότητας
- Δυνατότητα δημιουργίας από το χρήστη ενός πίνακα αποστάσεων και χρόνων ταξιδιού μεταξύ κάθε ζεύγους σημείων παράδοσης/παραλαβής, και εξαγωγής του πίνακα αυτού στο πληροφοριακό σύστημα της εταιρείας
- Δυνατότητα προσθήκης ή/και αλλαγής σημείων παράδοσης και συγκέντρωσης
- Καθορισμός του σημείου φόρτωσης του οχήματος (που μπορεί να είναι διαφορετικό για μερικά προϊόντα μέσα στο ίδιο δρομολόγιο)
- Επιλογές ολοκληρωμένης χαρτογράφησης και δρομολόγησης
- Τροποποίηση εντολών ή διαδοχής δρομολογίων
- Εξαγωγή των δρομολογίων με την καλύτερη σχέση κόστους–επιπέδου υπηρεσιών
- Δυνατότητα μετατροπής και αναπροσαρμογής του δρομολογίου
- Δυνατότητα μεταβλητής ποσότητας παράδοσης για αύξηση του βαθμού αξιοποίησης των οχημάτων
- Χωρισμός φορτίων που είναι πολύ μεγάλα για να χωρέσουν σε ένα όχημα ή προγραμματισμός περισσότερων από ένα δρομολογίων για τη σωστή παράδοση τέτοιων φορτίων
- Εξαγωγή συνοπτικού πίνακα δρομολογίων
- Επισήμανση των δρομολογίων που δεν είναι εφικτά ή πλήρως αξιοποιημένα
- Επισήμανση δρομολογίων με προβλήματα (όπως ετεροχρονισμένες παραδόσεις)
- Επιβεβαίωση προγραμματισμένων ή μη δρομολογίων οχημάτων (προϊόντα που δεν έχουν παραδοθεί, που έχουν παραδοθεί μερικώς ή έχουν παραδοθεί σε άλλον πελάτη)
- Εκτέλεση, κοστολόγηση και αξιολόγηση υποθετικών (“what if”) σεναρίων δρομολόγησης και χρονοπρογραμματισμού
- Δυναμική παρακολούθηση όλων των δρομολογίων

- ***Διαχείριση παραγγελιών***
  - Δυνατότητα ομαδοποίησης των παραγγελιών σε γεωγραφικές περιοχές
  - Δυνατότητα συνυπολογισμού και των παραγγελιών της τελευταίας στιγμής, ακόμα κι αν τα δεδομένα και οι συνθήκες αλλάξουν μέσα στην ημέρα.
  - Δυνατότητα εισαγωγής στην κατάλληλη θέση μιας παραγγελίας που θα έρθει κατά τη διάρκεια της ημέρας, ανάλογα με τη γεωγραφική θέση της παραγγελίας και την ώρα της ημέρας
  - Χειρισμός επειγουσών παραγγελιών
  - Χειρισμός καθυστερημένων παραγγελιών
  - Ένταξη μιας μη δρομολογημένης παραγγελίας σε ένα υπάρχον δρομολόγιο, με αυτόματη ενημέρωση και αναπροσαρμογή των σχεδίων των δρομολογίων και προειδοποίηση αν έχουν παραβιαστεί κάποιοι περιορισμοί
  - Κατανομή των παραγγελιών στις εγκαταστάσεις ανάλογα με διάφορα κριτήρια:
    - ✓ Διαθέσιμοι πόροι κάθε εγκατάστασης
    - ✓ Ομαδοποίηση των παραγγελιών
    - ✓ Όγκος και γεωγραφική κατανομή της δουλειάς

- ***Διαδικασία βελτιστοποίησης***
  - Εκτέλεση αλγόριθμου βελτιστοποίησης δρομολόγησης βασισμένη σε διαφορετικά κριτήρια αξιολόγησης για κάθε εταιρεία, κάθε τύπο διανομής ή ακόμα σε καθημερινούς περιορισμούς:
    - ✓ Ελαχιστοποίηση της αναλογίας μεταξύ των διανυθέντων χιλιομέτρων και των παραδοθέντων ποσοτήτων
    - ✓ Ελαχιστοποίηση του μεταφορικού κόστους
    - ✓ Αποφυγή αναγκαστικής διεξόδου προς οχήματα που είναι εκτός συμβολαίου
  - Δυνατότητα επισκόπησης και τροποποίησης του σχεδίου βελτιστοποίησης στον υπολογιστή, όπου κάθε εν υπηρεσία όχημα απεικονίζεται με τις παραγγελίες που του έχουν ανατεθεί
  - Ελευθερία επέμβασης του χρήστη στη διαδικασία βελτιστοποίησης με οποιονδήποτε τρόπο
  - Αποθήκευση και δυνατότητα μελλοντικής χρήσης των σχεδίων βελτιστοποίησης
  - Ευκολία μετατροπής και αναπροσαρμογής της λύσης, ώστε αυτή να ανταποκρίνεται στις αλλαγές των συνθηκών
  - Ανάλυση και ανάδραση στις παραμέτρους του μοντέλου

- ***Διαχείριση χρονικών περιθωρίων παράδοσης και φόρτου εργασίας***
  - Καθημερινός χρονοπρογραμματισμός και δρομολόγηση
  - Χειρισμός στενών χρονικών περιθωρίων παράδοσης
  - Κατηγοριοποίηση και καθορισμός σειράς προτεραιότητας των παραγγελιών ανάλογα με την ενωρίτερη, την αργότερη και τη βέλτιστη ώρα παράδοσης

- ***Διαχείριση οδικού δικτύου***
  - Δυνατότητα προσθήκης, αλλαγής ή/και προσωρινής μη χρησιμοποίησης στοιχείων του οδικού δικτύου
  - Πληροφόρηση για περιορισμούς του οδικού δικτύου, όπως απαγορευμένες στροφές, μονόδρομους, αδιέξοδα κλπ.
  - Καθορισμός κατηγοριών ταχύτητας ανάλογα με τον τύπο του δρόμου, το περιβάλλον (π.χ. αστικό, αγροτικό), το όχημα κλπ.

- ***Ανάλυση και αξιολόγηση σχεδιασμού διανομών***
  - Ιστορική ανάλυση αποτελεσμάτων με σκοπό τη βελτίωση του μελλοντικού σχεδιασμού
  - Ανάλυση στα πραγματικά δεδομένα των δρομολογίων
  - Σύγκριση της σχεδιασμένης έναντι της πραγματικής απόδοσης με συλλογή και ανάλυση πραγματικών στοιχείων για την απόδοση της διανομών και της εξυπηρέτησης
  - Ανάλυση ιστορικών δεδομένων, με τονισμό των τάσεων της αποδοτικότητας στις μεταφορές και στην εξυπηρέτηση
  - Παρακολούθηση και μέτρηση απόδοσης (δείκτες απόδοσης)

- ***Διάφορες προδιαγραφές***
  - Διατήρηση ημερολογίων ανά παραγγελία, πελάτη, αποθήκη και δεξαμενή
  - Ημερολόγιο διαχείρισης

## 2. Παραστατικά

- ***Έγγραφα σχετικά με τις παραδόσεις (π.χ. φορτωτικές)***
- ***Έκδοση εγγράφων για μεταφορά προϊόντων και σε ορισμένες περιπτώσεις παράδοσης, συσχέτιση των εγγράφων παράδοσης με συγκεκριμένες παραγγελίες ή προσφορές τιμών***
- ***Έγγραφα αποθέματος***
- ***Πλήρης εξαγωγή τιμολογίων***

## 3. Αναφορές

- ***Καθημερινές αναφορές***
  - Φύλλα δρομολογίων
  - Παραγγελίες
  - Οχήματα

- ***Μηνιαίες αναφορές***
  - Ανάλυση κόστους
  - Χρήση και αξιοποίηση οχημάτων

- ***Άλλοι τύποι αναφορών***
  - Σύνοψη δρομολογίων
  - Ειδικές παράμετροι
  - Ποσότητες προς φόρτωση ανά εγκατάσταση και προϊόν
  - Κόστη
  - Χρόνοι και αποστάσεις ταξιδιού
  - Πληροφορίες για τη διαδρομή ή/και το οδικό δίκτυο

- ***Εκτύπωση προγραμμάτων οδηγών και οχημάτων***
- ***Καθημερινές αναφορές διανομών βασισμένες στην τοποθεσία φόρτωσης***
- ***Μηνιαίες και ετήσιες αναφορές εξόδων συντήρησης ανά όχημα και οδηγό***
- ***Δυνατότητα δημιουργίας προσαρμοσμένων από το χρήστη αναφορών***
- ***Εκτύπωση αποτελεσμάτων βελτιστοποίησης***

## 4. Περιβάλλον Χρήστη (GUI)

- ***Απεικόνιση δρομολογίων σε χάρτη δείχνοντας με ακρίβεια την τοποθεσία των πελατών, των εγκαταστάσεων και των χώρων στάθμευσης***
- ***Απεικόνιση κάθε εν υπηρεσία οχήματος με τις παραγγελίες που του έχουν ανατεθεί***
- ***Δυνατότητες προβολής και επεξεργασίας δρομολογίων πάνω στο χάρτη***
- ***Drag and drop δυνατότητες τροποποίησης δρομολογίων:***
    - Τροποποίησης εντολών ή διαδοχής δρομολογίων
    - Κατανομής παραγγελιών και πελατών στα δρομολόγια
    - Ανακατανομής παραγγελιών και πελατών ανάμεσα στα δρομολόγια
    - Ομαδοποίησης πελατών ή/και παραγγελιών σε ένα δρομολόγιο
    - Ένταξης μιας μη δρομολογημένης παραγγελίας σε ένα υπάρχον δρομολόγιο
    - Επανεκχώρησης δρομολογίων σε άλλους οδηγούς

- ***Χρήση διαφόρων μεγεθών, σχημάτων, χρωμάτων και τύπων γεμίσματος για:***
    - Αντικείμενα της εφοδιαστικής αλυσίδας, όπως οχήματα, δρομολόγια, χώρους παραγωγής, προϊόντα, χάρτες και δρόμους
    - Χαρακτηριστικά της εφοδιαστικής αλυσίδας, όπως παραγωγική ικανότητα, ζήτηση, κίνηση προϊόντων, προδιαγραφές εξυπηρέτησης, τύπους ευκολιών και δυνατοτήτων, περιφέρειες, σύστημα μεταφορών, γεωγραφικές θέσεις οχημάτων και κατάσταση δρομολογίων

- ***Πλήρεις δυνατότητες zoom, αλλαγής χρωμάτων, απεικόνισης, επισκόπησης***
- ***Interactive (διαδραστική) απεικόνιση γεωγραφικού χάρτη***
- ***Απλότητα και σαφήνεια γραφικών απεικονίσεων***
- ***Interface (διασύνδεση) βασισμένη στα Microsoft Windows***
- ***Ευκολία στην εκμάθηση και στη χρήση ακόμα και για ανθρώπους με λίγη ή και καθόλου πείρα στους υπολογιστές***
- ***Ύπαρξη βοήθειας και καθοδηγούμενων διαδικασιών (wizards)***
- ***Χρησιμοποίηση scripts και queries και ένταξή τους στα βασικά menus για αυτοματοποίηση, απλοποίηση και έλεγχο επαναλαμβανόμενων διαδικασιών (όπως δημιουργία δρομολογίων, χειρισμό δεδομένων και αναφορών)***
- ***Χρήση πινάκων, φορμών, διαγραμμάτων και ιστογραμμάτων για την εμφάνιση πληροφοριών στην οθόνη***

## 5. Διασύνδεση με άλλες Εφαρμογές

- ***Συμβατότητα με προϋπάρχοντα συστήματα***
- ***Συμβατότητα με ERP, WMS συστήματα και βάσεις δεδομένων***
- ***Πρόσβαση από πολλούς χρήστες***
- ***Ανάπτυξη interfaces μεταξύ εφαρμογών λογισμικού***
- ***Λειτουργία σε περιβάλλον Microsoft Windows***
- ***Συνεργασία με Visual Basic, αρχεία ASCII, SQL κ.ά.***
- ***Αποστολή δεδομένων στο Microsoft Excel ή στη Microsoft Access***
- ***Εισαγωγή δεδομένων από Microsoft Excel και Access (όπως: ζήτηση και στοιχεία πελατών, σημεία διανομής, προϊόντα)***
- ***Δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων και από εξωτερικές βάσεις δεδομένων-τοπικές ή σε δίκτυο.***

- ***Δυνατότητα αποστολής χαρτών, δεδομένων αποτελεσμάτων, σχεδίων δρομολόγησης και αναφορών σε βάσεις δεδομένων, επεξεργαστές κειμένου, λογιστικά φύλλα ή λογισμικό παρουσιάσεων***
- ***Λήψη σημάτων GPS***
- ***Συνεχής σύνδεση σε πραγματικό χρόνο μεταξύ mobile συσκευών και πληροφοριακού συστήματος***
- ***Ηλεκτρονική μεταβίβαση παραγγελιών, που έχουν ήδη κατανεμηθεί, σε λογιστικά συστήματα ή σε fax servers***

## 6. Υποστήριξη Πελατών

- ***Εγκατάσταση και ρύθμιση συστήματος***
- ***Προετοιμασία και δοκιμαστική εφαρμογή πριν τη λειτουργία του συστήματος***
- ***Παροχή εκπαίδευσης και τεχνικής υποστήριξης***
- ***Εγχειρίδια χρήσης***
- ***Ενημερώσεις χαρτών***
- ***Συντήρηση λογισμικού***
- ***Αναβαθμίσεις λογισμικού***

### 5.4.3 Αξιολόγηση Προδιαγραφών Συστήματος Δρομολόγησης

Από τις παραπάνω προδιαγραφές, οι οποίες αφορούν συστήματα δρομολόγησης οχημάτων για εταιρείες που έχουν σαν βασική δραστηριότητα τις μεταφορές και διανομές (π.χ. εμπορικές, μεταφορικές κτλ.), επιλέγονται αυτές οι οποίες θεωρούνται απαραίτητες για ένα σύστημα δρομολόγησης το οποίο χρησιμοποιείται από μία εταιρεία παροχής υπηρεσιών logistics (3PL - αποθήκευση και διανομή) όπως η SARMED. Οι προδιαγραφές που παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες, παρουσιάζονται στην εταιρεία SARMED, επεξηγούνται όπου είναι απαραίτητο, και ο κ. Γεώργιος Φαρδής, Transport Manager της εταιρείας, επιλέγει ποιες από αυτές κατέχει το υπάρχον πληροφοριακό σύστημα της δρομολόγησης της εταιρείας, καθώς επίσης αξιολογεί ποιες θα ήταν χρήσιμες εφόσον δεν καλύπτονται από το υπάρχον πληροφοριακό σύστημα.

Στις πρώτες δύο στήλες αριθμούνται και αναγράφονται οι προδιαγραφές του συστήματος, ενώ στην δεύτερη καταγράφονται οι προδιαγραφές που διαθέτει το υπάρχον σύστημα και στην τρίτη αυτές που δεν υφίστανται αλλά θεωρούνται σημαντικές.

| Προδιαγραφές Λογισμικού Δρομολόγησης Οχημάτων | | SARMED | |
|---|---|---|---|
| | | Αν το πληροφοριακό σύστημα κατέχει αυτές τις προδιαγραφές = ✓ | Αν θεωρείται απαραίτητη η προδιαγραφή αυτή και δεν καλύπτεται από το υπάρχον σύστημα δρομολόγησης = ✓ |
| 1. | Βασικές Λειτουργίες Συστήματος Διανομής και Δρομολόγησης | ✓ | |
| 2. | Παραστατικά | ✓ | |
| 3. | Αναφορές | ✓ | |
| 4. | Περιβάλλον Χρήστη (GUI) | ✓ | |
| 5. | Διασύνδεση με Άλλες Εφαρμογές | ✓ (Mantis - WMS) | |
| 6. | Υποστήριξη Πελατών | ✓ | |

| 1. | Βασικές Λειτουργίες Συστήματος Διανομής και Δρομολόγησης | SARMED | |
|---|---|---|---|
| | | Αν το πληροφοριακό σύστημα κατέχει αυτές τις προδιαγραφές = ✓ | Αν θεωρείται απαραίτητη η προδιαγραφή αυτή και δεν καλύπτεται από το υπάρχον σύστημα δρομολόγησης = ✓ |
| 1.1. | Οδηγοί-Οχήματα | ✓ | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1.2. | Κοστολόγηση - Ανάλυση Κόστους | ✓ | |
| 1.3. | Αρχεία Δεδομένων | ✓ | |
| 1.4. | Εγκαταστάσεις-Προϊόντα | ✓ | |
| 1.5. | Πελάτες | ✓ | |
| 1.6. | Στρατηγικός Σχεδιασμός Δρομολόγησης | ✓ | |
| 1.7. | Διαχείριση Παραγγελιών | ✓ | |
| 1.8. | Διαδικασία Βελτιστοποίησης | ✓ | |
| 1.9. | Διαχείριση Χρονικών Περιθωρίων Παράδοσης και Φόρτου Εργασίας | ✓ | |
| 1.10. | Διαχείριση Οδικού Δικτύου | ✓ | |
| 1.11. | Ανάλυση και Αξιολόγηση Σχεδιασμού Διανομών | ✓ | |
| 1.12. | Διάφορες Προδιαγραφές | ✓ | |

| 2. | Παραστατικά | SARMED | |
|---|---|---|---|
| | | Αν το πληροφοριακό σύστημα κατέχει αυτές τις προδιαγραφές = ✓ | Αν θεωρείται απαραίτητη η προδιαγραφή αυτή και δεν καλύπτεται από το υπάρχον σύστημα δρομολόγησης = ✓ |
| 2.1. | Έγγραφα σχετικά με τις παραδόσεις (π.χ. εισιτήρια, φορτωτικές) | ✓ | |
| 2.2. | Έκδοση φορτωτικών (BOL) για μεταφορείς με σύμβαση | ✓ | |
| 2.3. | Έκδοση εγγράφων για μεταφορά προϊόντων και, σε ορισμένες περιπτώσεις παράδοσης, συσχέτιση των εγγράφων παράδοσης με συγκεκριμένες παραγγελίες ή προσφορές τιμών | ✓ | |
| 2.4. | Έγγραφα αποθέματος | Από το WMS | |
| 2.5. | Πλήρης εξαγωγή τιμολογίων | Από το WMS | |

| 3. | Αναφορές | SARMED | |
|---|---|---|---|
| | | Αν το πληροφοριακό σύστημα κατέχει αυτές τις προδιαγραφές = ✓ | Αν θεωρείται απαραίτητη η προδιαγραφή αυτή και δεν καλύπτεται από το υπάρχον σύστημα δρομολόγησης = ✓ |
| 3.1. | Καθημερινές αναφορές | ✓ | |
| 3.2. | Μηνιαίες αναφορές | ✓ | |
| 3.3. | Άλλοι τύποι αναφορών | ✓ | |
| 3.4. | Εκτύπωση προγραμμάτων οδηγών και οχημάτων | ✓ | |
| 3.5. | Εκτύπωση αποτελεσμάτων βελτιστοποίησης | ✓ | |
| 3.6. | Καθημερινές αναφορές διανομών βασισμένες στην τοποθεσία φόρτωσης | ✓ | |
| 3.7. | Μηνιαίες και ετήσιες αναφορές εξόδων συντήρησης ανά όχημα και οδηγό | Ο στόλος των φορτηγών αποτελείται από ίδια οχήματα καθώς και συνεργαζόμενων μεταφορικών εταιρειών και δεν συμβαίνει κάτι τέτοιο. | ✓ |
| 3.8. | Δυνατότητα δημιουργίας προσαρμοσμένων από το χρήστη αναφορών | ✓ | |

| 4. | Περιβάλλον Χρήστη (GUI) | SARMED | |
|---|---|---|---|
| | | Αν το πληροφοριακό σύστημα κατέχει αυτές τις προδιαγραφές = ✓ | Αν θεωρείται απαραίτητη η προδιαγραφή αυτή και δεν καλύπτεται από το υπάρχον σύστημα δρομολόγησης = ✓ |
| 4.1. | Απεικόνιση δρομολογίων σε χάρτη δείχνοντας με ακρίβεια την τοποθεσία των πελατών, των εγκαταστάσεων και των χώρων στάθμευσης | ✓ | |
| 4.2. | Απεικόνιση κάθε εν υπηρεσία οχήματος με τις παραγγελίες που του έχουν ανατεθεί | ✓ | |
| 4.3. | Δυνατότητα απεικόνισης πολλών δρομολογίων στο ίδιο παράθυρο | | ✓ |
| 4.4. | Δυνατότητες προβολής και επεξεργασίας δρομολογίων πάνω στο χάρτη | ✓ | |
| 4.5. | Drag and drop δυνατότητες | ✓ | |
| 4.6. | Interactive απεικόνιση γεωγραφικού χάρτη | ✓ | |
| 4.7. | Απλότητα και σαφήνεια γραφικών απεικονίσεων | ✓ | |
| 4.8. | Interface βασισμένο στα Microsoft Windows | ✓ | |
| 4.9. | Ευκολία στην εκμάθηση και στη χρήση ακόμα και για ανθρώπους με λίγη ή και καθόλου πείρα στους υπολογιστές | ✓ | |
| 4.10. | Ύπαρξη βοήθειας και καθοδηγούμενων διαδικασιών (wizards) | ✓ | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 4.11. | Χρησιμοποίηση scripts και queries και ένταξή τους στα βασικά menus για αυτοματοποίηση, απλοποίηση και έλεγχο επαναλαμβανόμενων διαδικασιών (όπως δημιουργία δρομολογίων, χειρισμό δεδομένων και αναφορών) | ✓ | |
| 4.12. | Χρήση πινάκων, φορμών, διαγραμμάτων και ιστογραμμάτων για την εμφάνιση πληροφοριών στην οθόνη | ✓ | |

| 5. | Διασύνδεση με Άλλες Εφαρμογές | SARMED | |
|---|---|---|---|
| | | Αν το πληροφοριακό σύστημα κατέχει αυτές τις προδιαγραφές = ✓ | Αν θεωρείται απαραίτητη η προδιαγραφή αυτή και δεν καλύπτεται από το υπάρχον σύστημα δρομολόγησης = ✓ |
| 5.1. | Συμβατότητα με προϋπάρχοντα συστήματα | ✓ | |
| 5.2. | Συμβατότητα με ERP, WMSκαι βάσεις δεδομένων | ✓ | |
| 5.3. | Πρόσβαση από πολλούς χρήστες | ✓ (άδεια παρέχεται σε αυτούς που θεωρείται απαραίτητο, λόγω του κόστους απόκτησης κάθε άδειας) | |
| 5.4. | Ανάπτυξη interfaces μεταξύ εφαρμογών λογισμικού | ✓ | |
| 5.5. | Λειτουργία σε περιβάλλον Microsoft Windows | ✓ | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 5.6. | Συνεργασία με Visual Basic, αρχεία ASCII, SQL κ.ά. | ✓ | |
| 5.7. | Αποστολή δεδομένων στο Microsoft Excel ή στη Microsoft Access | ✓ | |
| 5.8. | Εισαγωγή δεδομένων από Microsoft Excel και Access (όπως: ζήτηση πελατών, δείκτες και ρυθμούς παραγωγής, σταθερά και μεταβλητά κόστη, προμηθευτές, προϊόντα (συμπεριλαμβανομένων και των αρχείων πινάκων υλικών των προϊόντων – Bills of Materials)) | ✓ | |
| 5.9. | Δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων και από εξωτερικές βάσεις δεδομένων-τοπικές ή σε δίκτυο. | ✓ | |
| 5.10. | Δυνατότητα αποστολής χαρτών, δεδομένων αποτελεσμάτων, σχεδίων δρομολόγησης και αναφορών σε βάσεις δεδομένων, επεξεργαστές κειμένου, λογιστικά φύλλα ή λογισμικό παρουσιάσεων | ✓ | |
| 5.11. | On-line επικοινωνίες με αυτόματες συσκευές όπως πύλες, συσκευές ανάγνωσης καρτών κλπ | ✓ | |
| 5.12. | Λήψη σημάτων GPS | ✓ | |
| 5.13. | Συνεχής σύνδεση σε πραγματικό χρόνο μεταξύ mobile συσκευών και πληροφοριακών συστημάτων | ✓ | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 5.14. | Ηλεκτρονική μεταβίβαση παραγγελιών, που έχουν ήδη κατανεμηθεί, σε λογιστικά συστήματα ή σε fax servers | ✓ | |

| 6. | Υποστήριξη Πελατών | SARMED | |
|---|---|---|---|
| | | Αν το πληροφοριακό σύστημα κατέχει αυτές τις προδιαγραφές = ✓ | Αν θεωρείται απαραίτητη η προδιαγραφή αυτή και δεν καλύπτεται από το υπάρχον σύστημα δρομολόγησης = ✓ |
| 6.1. | Εγκατάσταση και ρύθμιση συστήματος | ✓ | |
| 6.2. | Προετοιμασία και δοκιμαστική εφαρμογή πριν τη λειτουργία του συστήματος | ✓ | |
| 6.3. | Παροχή εκπαίδευσης και τεχνικής υποστήριξης | ✓ | |
| 6.4. | Εγχειρίδια χρήσης | ✓ | |
| 6.5. | Ενημερώσεις χαρτών | ✓ | |
| 6.6. | Συντήρηση λογισμικού | ✓ | |
| 6.7. | Αναβαθμίσεις λογισμικού | ✓ | |

| 1.1 | Οδηγοί και Οχήματα | SARMED | |
|---|---|---|---|
| | | Αν το πληροφοριακό σύστημα κατέχει αυτές τις προδιαγραφές = ✓ | Αν θεωρείται απαραίτητη η προδιαγραφή αυτή και δεν καλύπτεται από το υπάρχον σύστημα δρομολόγησης = ✓ |
| 1.1.1. | Διατήρηση ενημερωμένων λεπτομερειών σχετικά με τους οδηγούς και τα οχήματα (π.χ. Τοποθεσία οχήματος, Χωρητικότητα οχημάτων σε βάρος και όγκο) | ✓ | |
| 1.1.2. | Οργάνωση των προγραμμάτων των οδηγών και των οχημάτων με συνυπολογισμό διαφόρων παραμέτρων, όπως η διαθεσιμότητα των οχημάτων | ✓ | |
| 1.1.3. | Βαθμός χρησιμοποίησης του εκάστοτε οχήματος | ✓ | |
| 1.1.4. | Έλεγχοι ασυμβατότητας για κάποιους συνδυασμούς οχημάτων-τοποθεσιών και οχημάτων-προϊόντων | ✓ | |
| 1.1.5. | Μέτρηση της παραγωγικότητας των οδηγών | ✓ | |
| 1.1.6. | Υποστήριξη λήψης και αποστολής πληροφοριών από και προς τα οχήματα σε πραγματικό χρόνο, μέσω δικτύου ασύρματων επικοινωνιών | ✓ | |
| 1.1.7. | Καθορισμός σειράς φόρτωσης των εμπορευματικών προϊόντων | ✓ | |

| 1.3 | Αρχείο Δεδομένων | SARMED | |
|---|---|---|---|
| | | Αν το πληροφοριακό σύστημα κατέχει αυτές τις προδιαγραφές = ✓ | Αν θεωρείται απαραίτητη η προδιαγραφή αυτή και δεν καλύπτεται από το υπάρχον σύστημα δρομολόγησης = ✓ |
| 1.3.1. | Διατήρηση αρχείου πελατών, σημείων παράδοσης | ✓ | |
| 1.3.2. | Τήρηση αρχείων για τα έξοδα συντήρησης των ιδιόκτητων οχημάτων της εταιρείας | ✓ | |

| 1.4 | Εγκαταστάσεις - Προϊόντα | SARMED | |
|---|---|---|---|
| | | Αν το πληροφοριακό σύστημα κατέχει αυτές τις προδιαγραφές = ✓ | Αν θεωρείται απαραίτητη η προδιαγραφή αυτή και δεν καλύπτεται από το υπάρχον σύστημα δρομολόγησης = ✓ |
| 1.4.1. | Διατήρηση ενημερωμένων λεπτομερειών σχετικά με τις εγκαταστάσεις και τα προϊόντα όπως για παράδειγμα η τοποθεσία των εγκαταστάσεων | ✓ | |
| 1.4.2. | Ιστορικά στοιχεία αριθμού φορτώσεων | ✓ | |
| 1.4.3 | Δυνατότητα φόρτωσης ενός φορτηγού από πολλά σημεία (πολλές αποθήκες) | ✓ | |

| 1.5 | Πελάτες | SARMED | |
|---|---|---|---|
| | | Αν το πληροφοριακό σύστημα κατέχει αυτές τις προδιαγραφές = ✓ | Αν θεωρείται απαραίτητη η προδιαγραφή αυτή και δεν καλύπτεται από το υπάρχον σύστημα δρομολόγησης = ✓ |
| 1.5.1. | Διατήρηση λεπτομερειών για τους πελάτες και τους περιορισμούς και τις προτιμήσεις τους για την παράδοση | ✓ | |
| 1.5.2. | Διατήρηση αρχείου παραγγελιών για κάθε πελάτη | ✓ | |
| 1.5.3. | Ικανοποίηση επιθυμητών από τον πελάτη χρόνων παράδοσης | ✓ | |
| 1.5.4. | Δυνατότητα λίστας προϊόντων (shopping list) για τον πελάτη | Χρήσιμο για εμπορικές εταιρείες | |
| 1.5.5. | Καθημερινή παρακολούθηση των υποχρεώσεων παράδοσης στους πελάτες | ✓ | |
| 1.5.6. | Σχεδιασμός τακτικών παραδόσεων στον πελάτη για κάποια περίοδο που η ζήτηση είναι σταθερή | ✓ | |
| 1.5.7. | Επιλογή κέντρων διανομής που θα παρέχουν τις αποδοτικότερες υπηρεσίες στους πελάτες | Παράγονται σχετικά δεδομένα αλλά απαιτείται επεξεργασία και ανάλυση για το τελικό αποτέλεσμα | ✓ |
| 1.5.8. | Ικανοποίηση ειδικών απαιτήσεων των πελατών, όπως παράδοση σε συγκεκριμένη ημερομηνία και ώρα και από συγκεκριμένο οδηγό, αν είναι αναγκαίο | ✓ | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1.5.9. | Πλήρης διαχείριση ταχυδρομικών κωδικών | ✓ | |
| 1.5.10. | Ευέλικτη αναζήτηση πελατών | ✓ | |

| 1.6. | Στρατηγικός Σχεδιασμός Δρομολόγησης | SARMED | |
|---|---|---|---|
| | | Αν το πληροφοριακό σύστημα κατέχει αυτές τις προδιαγραφές = ✓ | Αν θεωρείται απαραίτητη η προδιαγραφή αυτή και δεν καλύπτεται από το υπάρχον σύστημα δρομολόγησης = ✓ |
| 1.6.1. | Παράμετροι σχεδιασμού δρομολογίων (όπως πολλές παραδόσεις, σημεία παράδοσης, διαδρομές και εγκαταστάσεις στις διαδρομές, μικτοί στόλοι, χρονικά περιθώρια παράδοσης στους πελάτες κτλ.) | ✓ | |
| 1.6.2. | Συνεχής αναπροσαρμογή του σχεδίου διανομών σύμφωνα με δεδομένα που εισάγονται στο πληροφοριακό σύστημα σε πραγματικό χρόνο (δυναμικές διανομές) από mobile συσκευές ή χάρτες (Google Maps ή Waze) | Διατίθενται η δυνατότητα αναπροσαρμογής του σχεδίου με επιπλέον κόστος | |
| 1.6.3. | Κατηγοριοποίηση των παραδόσεων σε ζώνες (ταχυδρομικός κώδικας) | ✓ | |
| 1.6.4. | Κατανομή παραγγελιών και πελατών στα δρομολόγια | ✓ | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1.6.5. | Ανακατανομή παραγγελιών και πελατών ανάμεσα στα δρομολόγια, δυνατότητα αλλαγών | ✓ | |
| 1.6.6. | Ομαδοποίηση πελατών ή/και παραγγελιών σε ένα δρομολόγιο | ✓ | |
| 1.6.7. | Συνυπολογισμός αριθμού και μεγέθους φορτίων, καθώς και αναγκών και δυναμικότητας αποθηκών στο σχέδιο διανομής | | |
| 1.6.8. | Επισήμανση τοποθεσιών που παρουσιάζουν δυσκολίες κατά την υιοθέτηση της πλέον συμφέρουσας οικονομικά λύσης | ✓ | |
| 1.6.9. | Δυνατότητα ανακατεύθυνσης των διανομών κατά τη διάρκεια της μεταφοράς, σε περίπτωση ανάγκης ή υψηλότερης προτεραιότητας | | |
| 1.6.10. | Δυνατότητα δημιουργίας από το χρήστη ενός πίνακα αποστάσεων και χρόνων ταξιδιού μεταξύ κάθε ζεύγους σημείων παράδοσης/παραλαβής, και εξαγωγής του πίνακα αυτού στο πληροφοριακό σύστημα της εταιρείας | ✓ | |
| 1.6.11. | Δυνατότητα προσθήκης ή/και αλλαγής σημείων παράδοσης και συγκέντρωσης | ✓ | |
| 1.6.12. | Καθορισμός του σημείου φόρτωσης του οχήματος (που μπορεί να είναι διαφορετικό για μερικά προϊόντα μέσα στο ίδιο δρομολόγιο) | ✓ | |
| 1.6.13. | Επιλογές ολοκληρωμένης χαρτογράφησης και δρομολόγησης | ✓ | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1.6.14. | Δυναμική παρακολούθηση όλων των δρομολογίων | ✓ | |
| 1.6.15. | Τροποποίηση εντολών ή διαδοχής δρομολογίων | ✓ | |
| 1.6.16. | Εξαγωγή των δρομολογίων με την καλύτερη σχέση κόστους–επιπέδου υπηρεσιών | ✓ | |
| 1.6.17. | Δυνατότητα μετατροπής και αναπροσαρμογής του δρομολογίου | ✓ | |
| 1.6.18. | Χωρισμός φορτίων που είναι πολύ μεγάλα για να χωρέσουν σε ένα όχημα ή προγραμματισμός περισσότερων από ένα δρομολόγια για τη σωστή παράδοση τέτοιων φορτίων | ✓ | |
| 1.6.19. | Εξαγωγή συνοπτικού πίνακα δρομολογίων | ✓ | |
| 1.6.20. | Επισήμανση των δρομολογίων που δεν είναι εφικτά ή πλήρως αξιοποιημένα | ✓ | |
| 1.6.21. | Επισήμανση δρομολογίων με προβλήματα (όπως ετεροχρονισμένες παραδόσεις) | ✓ | |
| 1.6.22. | Επιβεβαίωση προγραμματισμένων ή μη δρομολογίων οχημάτων (προϊόντα που δεν έχουν παραδοθεί, που έχουν παραδοθεί μερικώς ή έχουν παραδοθεί σε άλλον πελάτη) | ✓ | |
| 1.6.22. | Εκτέλεση, κοστολόγηση και αξιολόγηση υποθετικών (“what if”) σεναρίων δρομολόγησης και χρονοπρογραμματισμού | ✓ | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1.6.23 | Αποθήκευση και επεξεργασία πληροφοριών κίνησης πραγματικού χρόνου, για μελλοντική χρήση αυτών στην βελτιστοποίηση της διαδικασίας της δρομολόγησης | ✓ | |

| 1.7. | Διαχείριση Παραγγελιών | SARMED | |
|---|---|---|---|
| | | Αν το πληροφοριακό σύστημα κατέχει αυτές τις προδιαγραφές = ✓ | Αν θεωρείται απαραίτητη η προδιαγραφή αυτή και δεν καλύπτεται από το υπάρχον σύστημα δρομολόγησης = ✓ |
| 1.7.1. | Ενοποίηση παραγγελιών που προορίζονται για το ίδιο σημείο | ✓ | |
| 1.7.2. | Δυνατότητα ομαδοποίησης των παραγγελιών σε γεωγραφικές περιοχές | ✓ | |
| 1.7.3. | Δυνατότητα συνυπολογισμού των παραγγελιών της τελευταίας στιγμής, ακόμα κι αν τα δεδομένα και οι συνθήκες αλλάξουν μέσα στην ημέρα. | ✓ | |
| 1.7.4. | Χειρισμός επειγουσών παραγγελιών | ✓ | |
| 1.7.5. | Χειρισμός καθυστερημένων παραγγελιών | ✓ | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1.7.6. | Ένταξη μιας μη δρομολογημένης παραγγελίας σε ένα υπάρχον δρομολόγιο, με αυτόματη ενημέρωση και αναπροσαρμογή των σχεδίων των δρομολογίων και προειδοποίηση αν έχουν παραβιαστεί κάποιοι περιορισμοί | ✓ | |
| 1.7.7. | Κατανομή των παραγγελιών στις εγκαταστάσεις ανάλογα με διάφορα κριτήρια | ✓ | |

| 1.8. | Διαδικασία Βελτιστοποίησης | SARMED | |
|---|---|---|---|
| | | Αν το πληροφοριακό σύστημα κατέχει αυτές τις προδιαγραφές = ✓ | Αν θεωρείται απαραίτητη η προδιαγραφή αυτή και δεν καλύπτεται από το υπάρχον σύστημα δρομολόγησης = ✓ |
| 1.8.1. | Αυτόματη εξαγωγή σχεδίου και επιλογές βελτιστοποίησης (όπως ελαχιστοποίηση της αναλογίας μεταξύ των διανυθέντων χιλιομέτρων και των παραδοθέντων ποσοτήτων, ελαχιστοποίηση του μεταφορικού κόστους, αποφυγή αναγκαστικής διεξόδου προς οχήματα που είναι εκτός συμβολαίου) | ✓ | |
| 1.8.2. | Εκτέλεση αλγορίθμου βελτιστοποίησης δρομολόγησης βασισμένη σε διαφορετικά κριτήρια αξιολόγησης για κάθε εταιρεία, κάθε τύπο διανομής ή ακόμα σε καθημερινούς | ✓ | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | περιορισμούς | | |
| 1.8.3. | Δυνατότητα επισκόπησης και τροποποίησης του σχεδίου βελτιστοποίησης στον υπολογιστή, όπου κάθε εν υπηρεσία όχημα απεικονίζεται με τις παραγγελίες που του έχουν ανατεθεί | ✓ | |
| 1.8.4. | Ελευθερία επέμβασης του χρήστη στη διαδικασία βελτιστοποίησης με οποιονδήποτε τρόπο | ✓ | |
| 1.8.5. | Αποθήκευση και δυνατότητα μελλοντικής χρήσης των σχεδίων βελτιστοποίησης | ✓ | |
| 1.8.6. | Ευκολία μετατροπής και αναπροσαρμογής της λύσης, ώστε αυτή να ανταποκρίνεται στις αλλαγές των συνθηκών | ✓ | |
| 1.8.7. | Σύγκριση της βέλτιστης λύσης με τους πραγματικούς χρόνους δρομολογίων | ✓ | |

| 1.9. | Διαχείριση Χρονικών Περιθωρίων Παράδοσης και Φόρτου Εργασίας | SARMED | |
|---|---|---|---|
| | | Αν το πληροφοριακό σύστημα κατέχει αυτές τις προδιαγραφές = ✓ | Αν θεωρείται απαραίτητη η προδιαγραφή αυτή και δεν καλύπτεται από το υπάρχον σύστημα δρομολόγησης = ✓ |
| 1.9.1. | Καθημερινός χρονοπρογραμματισμός και δρομολόγηση | ✓ | |
| 1.9.2. | Χειρισμός στενών χρονικών περιθωρίων παράδοσης | ✓ | |
| 1.9.3. | Κατηγοριοποίηση και καθορισμός σειράς προτεραιότητας των παραγγελιών ανάλογα με την ενωρίτερη, την αργότερη και τη βέλτιστη ώρα παράδοσης | ✓ | |

| 1.10. | Διαχείριση Οδικού Δικτύου | SARMED | |
|---|---|---|---|
| | | Αν το πληροφοριακό σύστημα κατέχει αυτές τις προδιαγραφές = ✓ | Αν θεωρείται απαραίτητη η προδιαγραφή αυτή και δεν καλύπτεται από το υπάρχον σύστημα δρομολόγησης = ✓ |
| 1.10.1. | Δυνατότητα προσθήκης, αλλαγής ή/και προσωρινής μη χρησιμοποίησης στοιχείων του οδικού δικτύου | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1.10.2. | Πληροφόρηση για περιορισμούς του οδικού δικτύου, όπως απαγορευμένες στροφές, μονόδρομους, αδιέξοδα κλπ | ✓ | |
| 1.10.3. | Καθορισμός κατηγοριών ταχύτητας ανάλογα με τον τύπο του δρόμου, το περιβάλλον (π.χ. αστικό, αγροτικό), το όχημα κλπ | ✓ | |

# 6. Συμπεράσματα

Όπως προκύπτει λοιπόν από τα δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν από τις εταιρείες SARMED και Optimum, οι απαιτήσεις που έχει κάθε εταιρεία που δραστηριοποιείται στις μεταφορές και διανομές προϊόντων σε αστικές περιοχές εξαρτώνται από το μέγεθος της εταιρείας, και συνεπώς από παράγοντες όπως ο αριθμός του στόλου οχημάτων, ο αριθμός των σημείων παράδοσης, ο αριθμός των ημερήσιων παραγγελιών κτλ.

Στην περίπτωση της SARMED η οποία αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες 3PL εταιρείες στην Ελλάδα, οι απαιτήσεις που υπάρχουν έναντι του συστήματος είναι μεγάλες και σύνθετες προκειμένου η εξυπηρέτηση των πελατών να είναι σε υψηλά επίπεδα και ταυτόχρονα το κόστος να είναι ελεγχόμενο και σε όσο το δυνατόν χαμηλά επίπεδα.

Αρχικά, οι κύριοι περιορισμοί όπως τονίστηκαν και από τις δύο εταιρείες, αναφέρονται στη μέγιστη χωρητικότητα (βάρος και όγκο) που διαθέτει κάθε όχημα, καθώς και στον αριθμό των παραδόσεων ανά δρομολόγιο και στον αριθμό των δρομολογίων ανά ημέρα. Δεν τίθεται θέμα ότι χωρίς τους συγκεκριμένους περιορισμούς το σύστημα δεν θα επίλυε ρεαλιστικά το πρόβλημα

Στην συνέχεια τονίστηκε και από τις δύο εταιρείες η σημασία της ενοποίησης – ομαδοποίησης των παραγγελιών. Το συγκεκριμένο στοιχείο αφορά κυρίως τις μεταφορικές και 3PL εταιρείες, καθώς με αυτόν τον τρόπο, παραγγελίες που αναφέρονται στο ίδιο σημείο παράδοσης αλλά προέρχονται από διαφορετικές εταιρείες (αποθέτες στην περίπτωση της SARMED), ενοποιούνται σε μία παραγγελία. Στις περιπτώσεις των εμπορικών εταιρειών, τέτοια θέματα ενδεχομένως να μην υπάρχουν,αν διαχειρίζονται οι ίδιοι τις διανομές των προϊόντων τους.

Επιπλέον, στην Ευρωπαϊκή Ένωση υπάρχουν νόμοι και περιορισμοί ώστε να μειωθεί η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα ($C0_2$). Είναι επομένως απαραίτητο οι εταιρείες οι οποίες διακινούν εμπορεύματα να είναι σε θέση να εκτιμήσουν τον όγκο διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται από τα φορτηγά που χρησιμοποιούν οι ίδιες. Για να γίνει ένας τέτοιος σύνθετος υπολογισμός είναι απαραίτητο να εισαχθούν στο πληροφοριακό σύστημα στοιχεία που αφορούν τα οχήματα όπως το έτος παραγωγής, ο τύπος μηχανής (π.χ. Euro 5, Euro 6 κτλ.), η κατανάλωση καυσίμου καθώς και η συνολικά διανυόμενη απόσταση κάθε φορά. Ενδεχομένως να μην στήνεται το πρόβλημα της δρομολόγησης θέτοντας σαν αντικειμενική συνάρτηση την εκπομπή ρύπων όπως ουσιαστικά παρουσιάζεται στο «Πράσινο» Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων – Green VRP. Παρ’ όλα αυτά, από την στιγμή που επιλέγεται σαν αντικειμενική συνάρτηση το κόστος, στο οποίο περιλαμβάνεται το κόστος καυσίμου και συνεπώς η κατανάλωση, μειώνεται και η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα.

Μία εκδοχή του προβλήματος η οποία είναι πολύ σημαντική και σχετίζεται με την εξυπηρέτηση των πελατών είναι τα χρονικά περιθώρια. Σύμφωνα με αυτά, το εκάστοτε όχημα πρέπει να παραδίδει τα εμπορεύματα σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα εντός της μέρας, δυσκολεύοντας σημαντικά την βελτιστοποίηση των παραδόσεων και την

μεγιστοποίηση του fulfillment – load factor των οχημάτων. Για παράδειγμα ένα όχημα το οποίο έχει δύο παραδόσεις, μία έως τις 9.00 το πρωί και την άλλη παράδοση μετά της 14.00 και ενώ η περιοχή αυτή είναι μακριά σε σχέση με άλλες οδηγεί σε προβλήματα όπως τη μικρή χρησιμοποίηση του οχήματος, καθώς το όχημα είναι αναγκασμένο να περιμένει την δεύτερη παράδοση χωρίς να παραδίδει άλλες παραγγελίες ή την ανάθεση της μίας εκ των δύο παραδόσεων σε άλλο όχημα, αυξάνοντας σημαντικά το κόστος.

Συνήθως τα συστήματα δρομολόγησης χρησιμοποιούν χάρτες όπως της Google οι οποίοι από πίσω έχουν πληροφορίες σχετικά με τους χρόνους μεταξύ των σημείων του οδικού δικτύου. Ταυτοχρόνως, οι χάρτες αυτοί μπορούν να παρέχουν πληροφορίες πραγματικού χρόνου, σχετικές με την κίνηση, δίνοντας την δυνατότητα της επαναδρομολόγησης. Κάτι τέτοιο ωστόσο, επειδή απαιτεί επιπλέον έξοδα, δεν είναι πάντα επιθυμητό από τις εταιρείες, καθώς ενδεχομένως να θεωρούν ότι δεν προσθέτουν κάποιο σημαντικό όφελος στην επιχείρηση.

Παρ’ όλα αυτά, θεωρείται απαραίτητο η χρήση τεχνολογιών GPS ώστε να γνωρίζει κάθε εταιρεία την ακριβή τοποθεσία των οχημάτων ανά πάσα στιγμή, ώστε να μπορεί να διαχειριστεί τον στόλο οχημάτων της (fleet management). Σαν GPS χρησιμοποιείται συνήθως μία συσκευή κινητού (Android) στο οποίο ταυτόχρονα στο τέλος κάθε ημέρας αποστέλλονται τα δρομολόγια κάθε οδηγού και οχήματος. Ταυτόχρονα από τις συσκευές αυτές είναι εφικτό να λαμβάνονται από το σύστημα πληροφορίες κίνησης και χρόνοι μεταξύ σημείων του χάρτη, οι οποίοι αποθηκεύονται και ενδεχομένως χρησιμοποιούνται μελλοντικά για την βελτιστοποίηση της δρομολόγησης. Οι Android συσκευές χρησιμοποιούνται ακόμη για την ενημέρωση των παραδόσεων. Ουσιαστικά αποτελούν πληροφορίες για την εξέλιξη των παραδόσεων στα τελικά σημεία, αν δηλαδή έχει γίνει ή όχι η παράδοση, καθώς και τυχόν παρατηρήσεις - προβλήματα.

Απαραίτητο στοιχείο ώστε το σύστημα να παράγει σωστά αποτελέσματα είναι να τροφοδοτείται συνεχώς από δεδομένα, είτε αυτά αφορούν στους πελάτες, είτε στους χρόνους και τις αποστάσεις του οδικού δικτύου. Ένα σύστημα πρέπει να είναι σε θέση να επεξεργαστεί και να λάβει υπόψιν μεγάλο όγκο πληροφοριών και δεδομένων, τα οποία μετέπειτα προσφέρουν κέρδος στην επιχείρηση.

Όπως παρατηρείται από τις παραπάνω πληροφορίες, το σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί η εταιρεία SARMED για την δρομολόγηση, διαθέτει σχεδόν όλες τις προδιαγραφές οι οποίες τέθηκαν προς αξιολόγηση. Αυτό, αρχικώς οφείλεται στο γεγονός ότι το σύστημα της δρομολόγησης τέθηκε σε εφαρμογή περίπου πριν 2,5 χρόνια, με συνεχείς αναβαθμίσεις και αλλαγές μέχρι σήμερα. Αυτό έχει οδηγήσει σε ένα ολοκληρωμένο και πλήρες σύστημα το οποίο διαθέτει όλα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά και προδιαγραφές, και το οποίο καλύπτει πλήρως τις ανάγκες της.

Σε περιπτώσεις άλλων εταιρειών, όπου το μέγεθός τους είναι μικρότερο σε σχέση με την SARMED αλλά και των παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψιν η αξιολόγηση των προδιαγραφών δεν θα ήταν η ίδια, καθώς οι απαιτήσεις που θα υπήρχαν θα ήταν σαφώς μικρότερες.

Τέλος, «Λογισμικό ως Υπηρεσία» (SaaS) έννοια που περιγράφτηκε και νωρίτερα, φαίνεται να μην είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο στην Ελλάδα, παρά την τεράστια εξάπλωση και χρήση που υπάρχει σε άλλες χώρες.

# Βιβλιογραφία


Γκαγιαλή, Σ., Εμπ, Ε. & Μηχανικών, Σ.Μ., 2007. Το Πρόβλημα της Δρομολόγησης Οχημάτων στο Πλαίσιο της Διανομής. , pp.1–10.

Γκαγιαλή, Σ., Εμπ, Ε. & Μηχανικών, Σ.Μ., 1990. GIS : Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και οι Χρήσεις τους.

AbdAllah, A.M.F.M., Essam, D.L. & Sarker, R.A., 2017. On solving periodic re-optimization dynamic vehicle routing problems. *Applied Soft Computing Journal*, 55, pp.1–12.

Alexander, A., Walker, H. & Naim, M., 2014. Decision theory in sustainable supply chain management: a literature review. *Supply Chain Management: An International Journal*, 19(5/6), pp.504–522.

Angelelli, E. & Speranza, M.G., 2002. The periodic vehicle routing problem with intermediate facilities. *European journal of Operational research* 137 (2), 233-247

Archetti, C. & Speranza, M.G., 2012. Vehicle routing problems with split deliveries. *International Transactions in Operational Research*, 19(1–2), pp.3–22.

Baldacci, R. et al., 2013. An Exact Algorithm for the Two-Echelon Capacitated Vehicle Routing Problem. *Operations Research*, 61(2), pp.298–314. Available at:

Beheshti, A.K., Hejazi, S.R. & Alinaghian, M., 2015. The vehicle routing problem with multiple prioritized time windows: A case study. *Computers & Industrial Engineering*, 90, pp.402–413.

Braekers, K., Ramaekers, K. & Van Nieuwenhuyse, I., 2016. The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering*, 99, pp.300–313.

Cattaruzza, D. et al., 2014. A memetic algorithm for the Multi Trip Vehicle Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 236(3), pp.833–848.

Cattaruzza, D., Absi, N. & Feillet, D., 2016. Vehicle routing problems with multiple trips. *4or*, 14(3), pp.223–259.

Chandran, B. & Raghavan, S., 2008. Modeling and solving the capacitated vehicle routing problem on trees. *Operations Research/ Computer Science Interfaces Series*, 43, pp.239–261.

Chu, J.C., Yan, S. & Huang, H.J., 2017. A Multi-Trip Split-Delivery Vehicle Routing Problem with Time Windows for Inventory Replenishment Under Stochastic Travel Times. *Networks and Spatial Economics*, 17(1), pp.41–68.

Clarke, G. & Wright, J.W., 1964. Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 12(4), pp.568–581.

Dantzig, G.B. & Ramser, J.H., 1959. The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6(1), pp.80–91.

Deflorio, F.P., Perboli, G. & Tadei, R., 2010. Freight distribution performance indicators for service quality planning in large transportation networks. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 22(1), pp.36–60.

Donati, A. V. et al., 2008. Time dependent vehicle routing problem with a multi ant colony system. *European Journal of Operational Research*, 185(3), pp.1174–1191.

Eglese, R., Maden, W. & Slater, A., 2006. A Road Timetable to aid vehicle routing and scheduling. *Computers & Operations Research*, 33(12), pp.3508–3519.

Eksioglu, B., Vural, A.V. & Reisman, A., 2009a. The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers and Industrial Engineering*, 57(4), pp.1472–1483.

Eksioglu, B., Vural, A.V. & Reisman, A., 2009b. The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers & Industrial Engineering*, 57(4), pp.1472–1483. A

Ghannadpour, S.F., Noori, S. & Tavakkoli-Moghaddam, R., 2013. Multiobjective Dynamic Vehicle Routing Problem With Fuzzy Travel Times and Customers’ Satisfaction in Supply Chain Management. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 60(4), pp.777–790.

Ghiani, G. et al., 2003. Real-time vehicle routing: Solution concepts, algorithms and parallel computing strategies. *European Journal of Operational Research*, 151(1), pp.1–11.

Groß, P.-O. et al., 2016. Interval Travel Times for More Reliable Routing in City Logistics. *Transportation Research Procedia*, 12, pp.239–251. Available at:

Groß, P.O. et al., 2015. Exploiting travel time information for reliable routing in city logistics. *Transportation Research Procedia*, 10(July), pp.652–661.

Hanshar, F.T. & Ombuki-Berman, B.M., 2007. Dynamic vehicle routing using genetic algorithms. *Applied Intelligence*, 27(1), pp.89–99.

Huang, Y. et al., 2017. Time-dependent vehicle routing problem with path flexibility. *Transportation Research Part B: Methodological*, 95, pp.169–195.

Jabali, O., Van Woensel, T. & de Kok, A.G., 2012. Analysis of Travel Times and CO2 Emissions in Time-Dependent Vehicle Routing. *Production and Operations Management*, 21(6), pp.1060–1074.

Kim, S. & Lewis, M.E., 2004. Optimal Vehicle Routing with Real-Time Traffic Information. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions*, 6(2), pp.178–188.

Liimatainen, H. et al., 2015. Driving forces of road freight CO2 in 2030. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 45(3), pp.260–285..

Lysgaard, J., Letchford, A.N. & Eglese, R.W., 2004. Digital Object Identifier ( A new branch-and-cut algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *Math. Program., Ser. A*, 100, pp.423–445.

Maden, W., Eglese, R. & Black, D., 2009. Vehicle Routing and Scheduling with Time Varying Data: A Case Study. *Journal of the Operational Research Society*, 61(3), pp.515–522.

Malandraki, C. & Daskin, M.S., 1992. Time Dependent Vehicle Routing Problems: Formulations, Properties and Heuristic Algorithms. *Transportation Science*, 26(3), pp.185–200.

Mancini, S., 2017. The Hybrid Vehicle Routing Problem. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 78, pp.1–12.

Mitra, S., 2013. Comparing Static and Dynamic Policies for Vehicle Routing Problems with Backhauling and Dynamic Customer Demands. , 4(June), pp.2–5.

Montoya-Torres, J.R. et al., 2015. A literature review on the vehicle routing problem with multiple depots. *Computers & Industrial Engineering*, 79, pp.115–129.

Okhrin, I. & Richter, K., 2008. The Real-Time Vehicle Routing Problem. *Operations Research Proceedings 2007*, pp.141–146.

Pillac, V. et al., 2013. A review of dynamic vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*, 225(1), pp.1–11.

Psaraftis, H.N., Wen, M. & Kontovas, C.A., 2016. Dynamic vehicle routing problems: Three decades and counting. *Networks*, 67(1), pp.3–31.

Qian, J. & Eglese, R., 2016. Fuel emissions optimization in vehicle routing problems with time-varying speeds. *European Journal of Operational Research*, 248(3), pp.840–848.

Rothlauf, F., 2011. *Design of Modern Heuristics*, Available at: http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-72962-4.

Saeheaw, T. & Charoenchai, N., 2016. Comparison of Meta-heuristic Algorithms for Vehicle Routing Problem with Time Windows BT - Advanced Computer and Communication Engineering Technology: Proceedings of ICOCOE 2015. In H. A. Sulaiman et al., eds. Cham: Springer International Publishing, pp. 1263–1273.

Sariklis, D. & Powell, S., 2000. A heuristic method for the open vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*, 51(5), pp.564–573.

Sicilia-Montalvo, J.A. et al., 2013. Smart system for freight distribution planning. Based on variable neighbourhood search and tabu search metaheuristics. *Dyna (Spain)*, 88(4), pp.414–423.

Smirlis, Y.G., Zeimpekis, V. & Kaimakamis, G., 2012. Data envelopment analysis models to support the selection of vehicle routing software for city logistics operations. *Operational Research*, 12(3), pp.399–420.

Sohr, A. et al., 2016. Traffic Information System for Hanoi. *Procedia Engineering*, 142, pp.221–228.

Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J.M. & Bektaş, T., 2015. The time-dependent two-echelon capacitated vehicle routing problem with environmental considerations. *International Journal of Production Economics*, 164(August 2013), pp.366–378.

Sun, L. & Hu, X., 2012. A knowledge representation method for algorithms in dss for real-time vehicle routing in urban distribution. *International Journal of Innovative*

*Computing, Information and Control*, 8(8), pp.5859–5872.

Susilawati, S., Taylor, M.A.P. & Somenahalli, S.V.C., 2013. Distributions of travel time variability on urban roads. *Journal of Advanced Transportation*, 47(8), pp.720–736.

Teng, L. & Zhang, Z., 2016. Green vehicle routing problem with load factor. *Advances in Transportation Studies*, 3(Special Issue), pp.75–82.

Toth, P. & Vigo, D., 2002. Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem. *Discrete Applied Mathematics*, 123(1–3), pp.487–512.

Wassan, N. & Nagy, G., 2014. Vehicle Routing Problem with Deliveries and Pickups: Modelling Issues and Meta-heuristics Solution Approaches. *International Journal of Transportation*, 2(1), pp.95–110.

Wen, L. & Eglese, R., 2015. Minimum cost VRP with time-dependent speed data and congestion charge. *Computers and Operations Research*, 56, pp.41–50.

Zeimpekis, V. et al., 2017. Dynamic Management Of A Delayed Delivery Vehicle In A City Logistics Environment. *Dynamic Fleet Management*, (May), pp.197–217.

Zeimpekis, V. et al., 2007. Towards a dynamic real-time vehicle management system for urban distribution. *International Journal of Integrated Supply Management*, 3(3), p.228.

http://mathworld.wolfram.com/TravelingSalesmanProblem.html

http://www.orms-today.org/surveys/Vehicle_Routing/vrss.html

https://www.descartes.com/knowledge-center/5-critical-features-fleet-solutions-route-optimization-planning-scheduling

# Παράρτημα: Ανάλυση Επιστημονικών Άρθρων και Διαδικασία Έρευνας για την Δημιουργία του Άρθρου

Το άρθρο το οποίο παρουσιάστηκε στο 6th International Symposium & 28th National Conference on Operational Research στην Θεσσαλονίκη και το οποίο αποτέλεσε σημαντικό κομμάτι της έρευνας ακολούθησε συγκεκριμένα βήματα για την δημιουργία του, όπως περιγράφτηκαν στο Κεφάλαιο 3. Τα άρθρα τα οποία αναλύθηκαν και επεξεργάτηκαν παρατίθενται στην συνέχεια.

Documents
Export Date: 11 May 2017
Search: (TITLE-ABS-KEY("Vehicle Routing Problem" or "VRP" or "Vehicle Routing") AND PUBYEAR > 2006)
AND ("urban freight transport*" OR "urban freight" OR "goods movement" OR "urban logistics" OR
"city Logistics") AND ( LIMIT-TO ( SRCTYPE,"j " ) OR LIMIT-TO ( SRCTYPE,"k " ) OR LIMIT-TO ( SRCTYPE,"b " ) ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE,"ar " ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE,"ch " ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE,"re " ) OR LIMIT-TO ( DOCTYPE,"bk " ) ) AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA,"COMP " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA,"ENGI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA,"DECI " ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA,"BUSI " ) ) AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE,"English " ) )

1) Sze, J.F., Salhi, S., Wassan, N.
The cumulative capacitated vehicle routing problem with min-sum and min-max objectives: An effective hybridisation of adaptive variable neighbourhood search and large neighbourhood search
(2017) Transportation Research Part B: Methodological, 101, pp. 162-184.
DOI: 10.1016/j.trb.2017.04.003
Document Type: Article
Source: Scopus

2) Parragh, S.N., Cordeau, J.-F.
Branch-and-price and adaptive large neighborhood search for the truck and trailer routing problem with time windows
(2017) Computers and Operations Research, 83, pp. 28-44.
DOI: 10.1016/j.cor.2017.01.020
Document Type: Article
Source: Scopus

3) Franceschetti, A., Demir, E., Honhon, D., Van Woensel, T., Laporte, G., Stobbe, M.
A metaheuristic for the time-dependent pollution-routing problem
(2017) European Journal of Operational Research, 259 (3), pp. 972-991.
DOI: 10.1016/j.ejor.2016.11.026
Document Type: Article
Source: Scopus

4) Anderluh, A., Hemmelmayr, V.C., Nolz, P.C.

Synchronizing vans and cargo bikes in a city distribution network
(2017) Central European Journal of Operations Research, 25 (2), pp. 345-376.
DOI: 10.1007/s10100-016-0441-z
Document Type: Article
Source: Scopus

5) Mancini, S.
The Hybrid Vehicle Routing Problem
(2017) Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 78, pp. 1-12.
DOI: 10.1016/j.trc.2017.02.004
Document Type: Article
Source: Scopus

6) Carrabs, F., Cerulli, R., Sciomachen, A.
An exact approach for the grocery delivery problem in urban areas
(2017) Soft Computing, 21 (9), pp. 2439-2450. DOI: 10.1007/s00500-016-2406-5
Document Type: Article
Source: Scopus

7) Bozkaya, B., Salman, F.S., Telciler, K.
An adaptive and diversified vehicle routing approach to reducing the security risk of cash-in-transit operations
(2017) Networks, 69 (3), pp. 256-269. DOI: 10.1002/net.21735
Document Type: Article
Source: Scopus

8) Boschetti, M.A., Maniezzo, V., Strappaveccia, F.
Route relaxations on GPU for vehicle routing problems
(2017) European Journal of Operational Research, 258 (2), pp. 456-466.
DOI: 10.1016/j.ejor.2016.09.050
Document Type: Article
Source: Scopus

9) Gupta, A., Heng, C.K., Ong, Y.S., Tan, P.S., Zhang, A.N.
A generic framework for multi-criteria decision support in eco-friendly urban logistics systems
(2017) Expert Systems with Applications, 71, pp. 288-300.
DOI: 10.1016/j.eswa.2016.09.033
Document Type: Article
Source: Scopus

10) Guo, J., Wang, X., Fan, S., Gen, M.
Forward and reverse logistics network and route planning under the environment of low-carbon emissions: A case study of Shanghai fresh food E-commerce enterprises
(2017) Computers and Industrial Engineering, 106, pp. 351-360.
DOI: 10.1016/j.cie.2017.02.002
Document Type: Article
Source: Scopus

11) Mahvash, B., Awasthi, A., Chauhan, S.
A column generation based heuristic for the capacitated vehicle routing problem with three-dimensional loading constraints
(2017) International Journal of Production Research, 55 (6), pp. 1730-1747.
DOI: 10.1080/00207543.2016.1231940
Document Type: Article
Source: Scopus

12) Liu, L., Li, K., Liu, Z.
A capacitated vehicle routing problem with order available time in e-commerce industry
(2017) Engineering Optimization, 49 (3), pp. 449-465.
DOI: 10.1080/0305215X.2016.1188092
Document Type: Article
Source: Scopus

13) Chu, J.C., Yan, S., Huang, H.-J.
A Multi-Trip Split-Delivery Vehicle Routing Problem with Time Windows for Inventory Replenishment Under Stochastic Travel Times
(2017) Networks and Spatial Economics, 17 (1), pp. 41-68.
DOI: 10.1007/s11067-015-9317-3
Document Type: Article
Source: Scopus

14) Idrus, Z., Ku-Mahamud, K.R., Benjamin, A.M.
Waste collection vehicle routing problem benchmark datasets and case studies: A review
(2017) Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 95 (5), pp. 1048-1057.
Document Type: Review
Source: Scopus

15) Hof, J., Schneider, M., Goeke, D.
Solving the battery swap station location-routing problem with capacitated electric vehicles using an AVNS algorithm for vehicle-routing problems with intermediate stops
(2017) Transportation Research Part B: Methodological, 97, pp. 102-112. DOI: 10.1016/j.trb.2016.11.009
Document Type: Article
Source: Scopus

16) Wang, Y., Ma, X., Li, Z., Liu, Y., Xu, M., Wang, Y.
Profit distribution in collaborative multiple centers vehicle routing problem
(2017) Journal of Cleaner Production, 144, pp. 203-219.
DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.01.001
Document Type: Article
Source: Scopus

17) Liu, R., Tao, Y., Hu, Q., Xie, X.
Simulation-based optimisation approach for the stochastic two-echelon logistics problem
(2017) International Journal of Production Research, 55 (1), pp. 187-201.
DOI: 10.1080/00207543.2016.1201221
Document Type: Article

Source: Scopus

18) Rincon-Garcia, N., Waterson, B.J., Cherrett, T.J.
A hybrid metaheuristic for the time-dependent vehicle routing problem with hard time windows
(2017) International Journal of Industrial Engineering Computations, 8 (1), pp. 141-160.
DOI: 10.5267/j.ijiec.2016.6.002
Document Type: Article
Source: Scopus

19) Huang, Y., Zhao, L., Van Woensel, T., Gross, J.-P.
Time-dependent vehicle routing problem with path flexibility
(2017) Transportation Research Part B: Methodological, 95, pp. 169-195. DOI: 10.1016/j.trb.2016.10.013
Document Type: Article
Source: Scopus

20) Toro Ocampo, E.M., Guimarães, F.G., Rendón, R.A.G.
Introducing radiality constraints in capacitated location-routing problems
(2017) International Journal of Industrial Engineering Computations, 8 (4), pp. 441-452.
DOI: 10.5267/j.ijiec.2017.3.004
Document Type: Article
Source: Scopus

21) Gruler, A., Quintero-Araújo, C.L., Calvet, L., Juan, A.A.
Waste collection under uncertainty: A simheuristic based on variable neighbourhood search
(2017) European Journal of Industrial Engineering, 11 (2), pp. 228-255.
DOI: 10.1504/EJIE.2017.083257
Document Type: Article
Source: Scopus

22) Breunig, U., Schmid, V., Hartl, R.F., Vidal, T.
A large neighbourhood based heuristic for two-echelon routing problems
(2016) Computers and Operations Research, 76, pp. 208-225. DOI: 10.1016/j.cor.2016.06.014
Document Type: Article
Source: Scopus

23) Li, H., Zhang, L., Lv, T., Chang, X.
The two-echelon time-constrained vehicle routing problem in linehaul-delivery systems
(2016) Transportation Research Part B: Methodological, 94, pp. 169-188.
DOI: 10.1016/j.trb.2016.09.012
Document Type: Article
Source: Scopus

24) Dayarian, I., Crainic, T.G., Gendreau, M., Rei, W.
An adaptive large-neighborhood search heuristic for a multi-period vehicle routing problem
(2016) Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 95, pp. 95-123.
DOI: 10.1016/j.tre.2016.09.004

Document Type: Article
Source: Scopus

25) Grangier, P., Gendreau, M., Lehuédé, F., Rousseau, L.-M.
An adaptive large neighborhood search for the two-echelon multiple-trip vehicle routing problem with satellite synchronization
(2016) European Journal of Operational Research, 254 (1), pp. 80-91. DOI: 10.1016/j.ejor.2016.03.040
Document Type: Article
Source: Scopus

26) Montoya, A., Guéret, C., Mendoza, J.E., Villegas, J.G.
A multi-space sampling heuristic for the green vehicle routing problem
(2016) Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 70, pp. 113-128. DOI: 10.1016/j.trc.2015.09.009
Document Type: Article
Source: Scopus

27) Alinaghian, M., Naderipour, M.
A novel comprehensive macroscopic model for time-dependent vehicle routing problem with multi-alternative graph to reduce fuel consumption: A case study
(2016) Computers and Industrial Engineering, 99, pp. 210-222.
DOI: 10.1016/j.cie.2016.07.029
Document Type: Article
Source: Scopus

28) Cattaruzza, D., Absi, N., Feillet, D.
Vehicle routing problems with multiple trips
(2016) 4OR, 14 (3), pp. 223-259. DOI: 10.1007/s10288-016-0306-2
Document Type: Article
Source: Scopus

29) Mancini, S.
A real-life Multi Depot Multi Period Vehicle Routing Problem with a Heterogeneous Fleet: Formulation and Adaptive Large Neighborhood Search based Matheuristic
(2016) Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 70, pp. 100-112. DOI: 10.1016/j.trc.2015.06.016
Document Type: Article
Source: Scopus

30) Ghilas, V., Demir, E., Woensel, T.V.
A scenario-based planning for the pickup and delivery problem with time windows, scheduled lines and stochastic demands
(2016) Transportation Research Part B: Methodological, 91, pp. 34-51.
DOI: 10.1016/j.trb.2016.04.015
Document Type: Article
Source: Scopus

31) You, S.I., Chow, J.Y.J., Ritchie, S.G.

Inverse vehicle routing for activity-based urban freight forecast modeling and city logistics
(2016) Transportmetrica A: Transport Science, 12 (7), pp. 650-673. DOI: 10.1080/23249935.2016.1189723
Document Type: Article
Source: Scopus

32) Ghilas, V., Demir, E., Van Woensel, T.
An adaptive large neighborhood search heuristic for the Pickup and Delivery Problem with Time Windows and Scheduled Lines
(2016) Computers and Operations Research, 72, pp. 12-30. DOI: 10.1016/j.cor.2016.01.018
Document Type: Article
Source: Scopus

33) Kim, G., Ong, Y.S., Cheong, T., Tan, P.S.
Solving the dynamic vehicle routing problem under traffic congestion
(2016) IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 17 (8), art. no. 7452634, pp. 2367-2380. DOI: 10.1109/TITS.2016.2521779
Document Type: Article
Source: Scopus

34) Binart, S., Dejax, P., Gendreau, M., Semet, F.
A 2-stage method for a field service routing problem with stochastic travel and service times
(2016) Computers and Operations Research, 65, art. no. 3817, pp. 64-75. DOI: 10.1016/j.cor.2015.07.001
Document Type: Article
Source: Scopus

35) Chen, H.
Combinatorial clock-proxy exchange for carrier collaboration in less than truck load transportation
(2016) Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 91, pp. 152-172. DOI: 10.1016/j.tre.2016.04.008
Document Type: Article
Source: Scopus

36) Villarreal, B., Garza-Reyes, J.A., Kumar, V.
A lean thinking and simulation-based approach for the improvement of routing operations
(2016) Industrial Management and Data Systems, 116 (5), pp. 903-925. DOI: 10.1108/IMDS-09-2015-0385
Document Type: Article
Source: Scopus

37) Suzuki, Y.
A dual-objective metaheuristic approach to solve practical pollution routing problem
(2016) International Journal of Production Economics, 176, pp. 143-153. DOI: 10.1016/j.ijpe.2016.03.008
Document Type: Article
Source: Scopus

38) Coelho, L.C., Gagliardi, J.-P., Renaud, J., Ruiz, A.
Solving the vehicle routing problem with lunch break arising in the furniture delivery industry
(2016) Journal of the Operational Research Society, 67 (5), pp. 743-751.
DOI: 10.1057/jors.2015.90
Document Type: Article
Source: Scopus

39) Emeç, U., Çatay, B., Bozkaya, B.
An Adaptive Large Neighborhood Search for an E-grocery Delivery Routing Problem
(2016) Computers and Operations Research, 69, pp. 109-125. DOI: 10.1016/j.cor.2015.11.008
Document Type: Article
Source: Scopus

40) Montoya-Torres, J.R., Muñoz-Villamizar, A., Vega-Mejía, C.A.
On the impact of collaborative strategies for goods delivery in city logistics
(2016) Production Planning and Control, 27 (6), pp. 443-455. DOI: 10.1080/09537287.2016.1147092
Document Type: Article
Source: Scopus

41) Luo, Z., Qin, H., Zhu, W., Lim, A.
Branch-and-price-and-cut for the manpower routing problem with synchronization constraints
(2016) Naval Research Logistics, 63 (2), pp. 138-171.
DOI: 10.1002/nav.21683
Document Type: Article
Source: Scopus

42) Ziebuhr, M., Kopfer, H.
Solving an integrated operational transportation planning problem with forwarding limitations
(2016) Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 87, pp. 149-166.
DOI: 10.1016/j.tre.2016.01.006
Document Type: Article
Source: Scopus

43) Margaritis, D., Anagnostopoulou, A., Tromaras, A., Boile, M.
Electric commercial vehicles: Practical perspectives and future research directions
(2016) Research in Transportation Business and Management, 18, pp. 4-10. DOI: 10.1016/j.rtbm.2016.01.005
Document Type: Article
Source: Scopus

44) Labadie, N., Prins, C., Prodhon, C.
Metaheuristics for Vehicle Routing Problems
(2016) Metaheuristics for Vehicle Routing Problems, 3, pp. 1-177. DOI: 10.1002/9781119136767

Document Type: Book
Source: Scopus

45) Markov, I., Varone, S., Bierlaire, M.
Integrating a heterogeneous fixed fleet and a flexible assignment of destination depots in the waste collection VRP with intermediate facilities
(2016) Transportation Research Part B: Methodological, 84, pp. 256-273. DOI: 10.1016/j.trb.2015.12.004
Document Type: Article
Source: Scopus

46) Teng, L., Zhang, Z.
Green vehicle routing problem with load factor
(2016) Advances in Transportation Studies, 3 (Special Issue), pp. 75-82.
DOI: 10.4399/978885489937707
Document Type: Article
Source: Scopus

47) Ghilas, V., Demir, E., Van Woensel, T.
The pickup and delivery problem with time windows and scheduled lines
(2016) INFOR, 54 (2), pp. 147-167.
DOI: 10.1080/03155986.2016.1166793
Document Type: Article
Source: Scopus

48) Juan, A.A., Mendez, C.A., Faulin, J., De Armas, J., Grasman, S.E.
Electric vehicles in logistics and transportation: A survey on emerging environmental, strategic, and operational challenges
(2016) Energies, 9 (2), pp. 1-21. DOI: 10.3390/en9020086
Document Type: Article
Source: Scopus

49) Luo, Z., Qin, H., Zhang, D., Lim, A.
Adaptive large neighborhood search heuristics for the vehicle routing problem with stochastic demands and weight-related cost
(2016) Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 85, pp. 69-89.
DOI: 10.1016/j.tre.2015.11.004
Document Type: Article
Source: Scopus

50) Bektaş, T., Demir, E., Laporte, G.
Green vehicle routing
(2016) International Series in Operations Research and Management Science, 226, pp. 243-265.
DOI: 10.1007/978-3-319-17175-3_7
Document Type: Book Chapter
Source: Scopus

51) de Souza Neto, J.F., Pureza, V.

Modeling and solving a rich vehicle routing problem for the delivery of goods in urban areas
(2016) Pesquisa Operacional, 36 (3), pp. 421-446.
DOI: 10.1590/0101-7438.2016.036.03.0421
Document Type: Article
Source: Scopus

52) Psaraftis, H.N., Wen, M., Kontovas, C.A.
Dynamic vehicle routing problems: Three decades and counting
(2016) Networks, 67 (1), pp. 3-31. DOI: 10.1002/net.21628
Document Type: Article
Source: Scopus

53) Coelho, L.C., Renaud, J., Laporteb, G.
Road-based goods transportation: A survey of real-world logistics applications from 2000 to 2015
(2016) INFOR, 54 (2), pp. 79-96. DOI: 10.1080/03155986.2016.1167357
Document Type: Review
Source: Scopus

54) Qian, J., Eglese, R.
Fuel emissions optimization in vehicle routing problems with time-varying speeds
(2016) European Journal of Operational Research, 248 (3), pp. 840-848. DOI: 10.1016/j.ejor.2015.09.009
Document Type: Article
Source: Scopus

55) Mirmohammadsadeghi, S., Ahmed, S.
Memetic Heuristic Approach for Solving Truck and Trailer Routing Problems with Stochastic Demands and Time Windows
(2015) Networks and Spatial Economics, 15 (4), pp. 1093-1115. DOI: 10.1007/s11067-014-9282-2
Document Type: Article
Source: Scopus

56) Fatnassi, E., Chaouachi, J., Klibi, W.
Planning and operating a shared goods and passengers on-demand rapid transit system for sustainable city-logistics
(2015) Transportation Research Part B: Methodological, 81, pp. 440-460. DOI: 10.1016/j.trb.2015.07.016
Document Type: Article
Source: Scopus

57) Wang, Y., Ma, X., Xu, M., Wang, Y., Liu, Y.
Vehicle routing problem based on a fuzzy customer clustering approach for logistics network optimization
(2015) Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 29 (4), pp. 1427-1442. DOI: 10.3233/IFS-151578
Document Type: Article
Source: Scopus

58) Chow, J.Y.J., Djavadian, S.
Activity-based market equilibrium for capacitated multimodal transport systems
(2015) Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 59, pp. 2-18. DOI: 10.1016/j.trc.2015.04.028
Document Type: Article
Source: Scopus

59) Baykasoɨlu, A., Kaplanoɨlu, V.
An application oriented multi-agent based approach to dynamic load/truck planning
(2015) Expert Systems with Applications, 42 (15-16), pp. 6008-6025. DOI: 10.1016/j.eswa.2015.04.011
Document Type: Article
Source: Scopus

60) Archetti, C., Jabali, O., Speranza, M.G.
Multi-period Vehicle Routing Problem with Due dates
(2015) Computers and Operations Research, 61, pp. 122-134. DOI: 10.1016/j.cor.2015.03.014
Document Type: Article
Source: Scopus

61) Zhou, Y., Wang, J.
A Local Search-Based Multiobjective Optimization Algorithm for Multiobjective Vehicle Routing Problem with Time Windows
(2015) IEEE Systems Journal, 9 (3), art. no. 6730953, pp. 1100-1113. DOI: 10.1109/JSYST.2014.2300201
Document Type: Article
Source: Scopus

62) Kim, G., Ong, Y.-S., Heng, C.K., Tan, P.S., Zhang, N.A.
City Vehicle Routing Problem (City VRP): A Review
(2015) IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 16 (4), art. no. 7047830, pp. 1654-1666. DOI: 10.1109/TITS.2015.2395536
Document Type: Article
Source: Scopus

63) Wang, Y., Ma, X., Xu, M., Liu, Y., Wang, Y.
Two-echelon logistics distribution region partitioning problem based on a hybrid particle swarm optimization-genetic algorithm
(2015) Expert Systems with Applications, 42 (12), pp. 5019-5031. DOI: 10.1016/j.eswa.2015.02.058
Document Type: Article
Source: Scopus

64) Bektaş, T., Demir, E., Laporte, G.
Green vehicle routing
(2015) Green Transportation Logistics: The Quest for Win-Win Solutions, pp. 243-265. DOI: 10.1007/978-3-319-17175-3_7

Document Type: Book Chapter
Source: Scopus

65) Senarclens de Grancy, G., Reimann, M.
Evaluating two new heuristics for constructing customer clusters in a VRPTW with multiple service workers
(2015) Central European Journal of Operations Research, 23 (2), pp. 479-500. DOI: 10.1007/s10100-014-0373-4
Document Type: Article
Source: Scopus

66) Kallioras, N.A., Kepaptsoglou, K., Lagaros, N.D.
Transit stop inspection and maintenance scheduling: A GPU accelerated metaheuristics approach
(2015) Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 55, pp. 246-260. DOI: 10.1016/j.trc.2015.02.013
Document Type: Article
Source: Scopus

67) Crainic, T.G., Gajpal, Y., Gendreau, M.
Multi-zone multi-trip vehicle routing problem with time windows
(2015) INFOR, 53 (2), pp. 49-67.
DOI: 10.3138/infor.53.2.49
Document Type: Article
Source: Scopus

68) Cepolina, E.M., Farina, A.
A new urban freight distribution scheme and an optimization methodology for reducing its overall cost
(2015) European Transport Research Review, 7 (1), 14 p. DOI: 10.1007/s12544-014-0149-x
Document Type: Article
Source: Scopus

69) Boschetti, M., Maniezzo, V.
A set covering based matheuristic for a real-world city logistics problem
(2015) International Transactions in Operational Research, 22 (1), pp. 169-195. DOI: 10.1111/itor.12110
Document Type: Article
Source: Scopus

70) Ochoa-Ortíz, A., Ornelas-Zapata, F., Margain-Fuentes, L., Cedillo-Campos, M.G., Sánchez-Aguilar, J., Jaramillo-Vacio, R., Ávila, I.
Capacitated vehicle routing problem for PSS uses based on ubiquitous computing: An emerging markets approach [Article@Problema de enrutamiento de vehículos basado en su capacidad para SPS utilizando cómputo ubicuo: Un enfoque de mercados emergentes]
(2015) DYNA (Colombia), 82 (191), pp. 20-26.
DOI: 10.15446/dyna.v82n191.51141
Document Type: Article
Source: Scopus

71) Zhang, Y., Qi, M., Miao, L., Wu, G.
A generalized multi-depot vehicle routing problem with replenishment based on localsolver
(2015) International Journal of Industrial Engineering Computations, 6 (1), 18 p. DOI: 10.5267/j.ijiec.2014.8.005
Document Type: Article
Source: Scopus

72) Kritzinger, S., Doerner, K.F., Tricoire, F., Hartl, R.F.
Adaptive search techniques for problems in vehicle routing, Part II: A numerical comparison
(2015) Yugoslav Journal of Operations Research, 25 (2), pp. 169-184.
DOI: 10.2298/YJOR140217011K
Document Type: Article
Source: Scopus

73) Montoya-Torres, J.R., López Franco, J., Nieto Isaza, S., Felizzola Jiménez, H., Herazo-Padilla, N.
A literature review on the vehicle routing problem with multiple depots
(2015) Computers and Industrial Engineering, 79, pp. 115-129. DOI: 10.1016/j.cie.2014.10.029
Document Type: Review
Source: Scopus

74) Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Bektaş, T.
The time-dependent two-echelon capacitated vehicle routing problem with environmental considerations
(2015) International Journal of Production Economics, 164, pp. 366-378. DOI: 10.1016/j.ijpe.2014.11.016
Document Type: Article
Source: Scopus

75) Kritzinger, S., Doerner, K.F., Tricoire, F., Hartl, R.F.
Adaptive search techniques for problems in vehicle routing, part I: A survey
(2015) Yugoslav Journal of Operations Research, 25 (1), pp. 3-31. DOI: 10.2298/YJOR140217009K
Document Type: Review
Source: Scopus

76) Kramer, R., Subramanian, A., Vidal, T., Cabral, L.D.A.F.
A matheuristic approach for the Pollution-Routing Problem
(2015) European Journal of Operational Research, 243 (2), pp. 523-539.
DOI: 10.1016/j.ejor.2014.12.009
Document Type: Article
Source: Scopus

77) Schneider, M., Stenger, A., Hof, J.
An adaptive VNS algorithm for vehicle routing problems with intermediate stops
(2015) OR Spectrum, 37 (2), pp. 353-387. DOI: 10.1007/s00291-014-0376-5
Document Type: Article

Source: Scopus

78) Cuda, R., Guastaroba, G., Speranza, M.G.
A survey on two-echelon routing problems
(2015) Computers and Operations Research, 55, pp. 185-199. DOI: 10.1016/j.cor.2014.06.008
Document Type: Review
Source: Scopus

79) Senarclens de Grancy, G.
An adaptive metaheuristic for vehicle routing problems with time windows and multiple service workers
(2015) Journal of Universal Computer Science, 21 (9), pp. 1143-1167.
Document Type: Article
Source: Scopus

80) Ehmke, J.F., Campbell, A.M., Urban, T.L.
Ensuring service levels in routing problems with time windows and stochastic travel times
(2015) European Journal of Operational Research, 240 (2), pp. 539-550. DOI: 10.1016/j.ejor.2014.06.045
Document Type: Article
Source: Scopus

81) Han, H., Ponce-Cueto, E.
Waste collection vehicle routing problem: Literature review [Article@Problema de programación de rutas en la recogida de residuos: Revisión de la literatura]
(2015) Promet - Traffic - Traffico, 27 (4), pp. 345-358. DOI: 10.7307/ptt.v27i4.1616
Document Type: Article
Source: Scopus

82) Djikanovic, J., Joksimovic, D., Vujosevic, M.
Application of variable neighbourhood search method for vehicle-routing problems in an integrated forward and reverse logistic chain
(2015) Acta Polytechnica Hungarica, 12 (5), pp. 51-70.
DOI: 10.12700/APH.12.5.2015.5.3
Document Type: Article
Source: Scopus

83) Hu, F.-H., Feng, X., Zhao, M.-H., Chen, Y.-R.
Research on emergency supplies dispatching problem based on genetic algorithm
(2015) Open Cybernetics and Systemics Journal, 9 (1), pp. 62-68.
Document Type: Article
Source: Scopus

84) Goeke, D., Schneider, M.
Routing a mixed fleet of electric and conventional vehicles
(2015) European Journal of Operational Research, 245 (1), pp. 81-99.
DOI: 10.1016/j.ejor.2015.01.049
Document Type: Article

Source: Scopus

85) Grzybowska, H., Gretton, C., Kilby, P., Waller, S.T.
Decision support system for a real-time field service engineer scheduling problem with emergencies and collaborations
(2015) Transportation Research Record, 2497, pp. 117-123.
DOI: 10.3141/2497-12
Document Type: Article
Source: Scopus

86) Wen, L., Eglese, R.
Minimum cost VRP with time-dependent speed data and congestion charge
(2015) Computers and Operations Research, 56, pp. 41-50. DOI: 10.1016/j.cor.2014.10.007
Document Type: Article
Source: Scopus

87) Archetti, C., Feillet, D., Speranza, M.G.
Complexity of routing problems with release dates
(2015) European Journal of Operational Research, 247 (3), art. no. 13064, pp. 797-803.
DOI: 10.1016/j.ejor.2015.06.057
Document Type: Article
Source: Scopus

88) Li-Ying, W., Yuan-Bin, S.
Multiple charging station location-routing problem with time window of electric vehicle
(2015) Journal of Engineering Science and Technology Review, 8 (5), pp. 190-201.
Document Type: Article
Source: Scopus

89) Yang, J., Sun, H.
Battery swap station location-routing problem with capacitated electric vehicles
(2015) Computers and Operations Research, 55, pp. 217-232. DOI: 10.1016/j.cor.2014.07.003
Document Type: Article
Source: Scopus

90) Morais, V.W.C., Mateus, G.R., Noronha, T.F.
Iterated local search heuristics for the Vehicle Routing Problem with Cross-Docking
(2014) Expert Systems with Applications, 41 (16), pp. 7495-7506. DOI: 10.1016/j.eswa.2014.06.010
Document Type: Article
Source: Scopus

91) Sicilia, J.-A., Escuín, D., Royo, B., Larrodé, E., Medrano, J.
A hybrid algorithm for solving the general vehicle routing problem in the case of the urban freight distribution
(2014) Advances in Intelligent Systems and Computing, 262, pp. 463-475.
DOI: 10.1007/978-3-319-04630-3_34
Document Type: Article

Source: Scopus

92) Lin, C., Choy, K.L., Ho, G.T.S., Lam, H.Y., Pang, G.K.H., Chin, K.S.
A decision support system for optimizing dynamic courier routing operations
(2014) Expert Systems with Applications, 41 (15), pp. 6917-6933. DOI: 10.1016/j.eswa.2014.04.036
Document Type: Article
Source: Scopus

93) Anbuudayasankar, S.P., Ganesh, K., Mohapatra, S.
Models for practical routing problems in logistics: Design and practices
(2014) Models for Practical Routing Problems in Logistics: Design and Practices, pp. 1-165. DOI: 10.1007/978-3-319-05035-5
Document Type: Book
Source: Scopus

94) Prodhon, C., Prins, C.
A survey of recent research on location-routing problems
(2014) European Journal of Operational Research, 238 (1), pp. 1-17. DOI: 10.1016/j.ejor.2014.01.005
Document Type: Review
Source: Scopus

95) Cattaruzza, D., Absi, N., Feillet, D., Vidal, T.
A memetic algorithm for the Multi Trip Vehicle Routing Problem
(2014) European Journal of Operational Research, 236 (3), pp. 833-848. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.06.012
Document Type: Article
Source: Scopus

96) Verbeeck, C., Sörensen, K., Aghezzaf, E.-H., Vansteenwegen, P.
A fast solution method for the time-dependent orienteering problem
(2014) European Journal of Operational Research, 236 (2), pp. 419-432. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.11.038
Document Type: Article
Source: Scopus

97) Cleophas, C., Ehmke, J.F.
When Are Deliveries Profitable?: Considering Order Value and Transport Capacity in Demand Fulfillment for Last-Mile Deliveries in Metropolitan Areas
(2014) Business and Information Systems Engineering, 6 (3), pp. 153-163. DOI: 10.1007/s12599-014-0321-9
Document Type: Article
Source: Scopus

98) Demir, E., Bektaş, T., Laporte, G.
The bi-objective Pollution-Routing Problem
(2014) European Journal of Operational Research, 232 (3), pp. 464-478. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.08.002

Document Type: Article
Source: Scopus

99) Tozzi, M., Corazza, M.V., Musso, A.
Urban goods movements in a sensitive context: The case of Parma
(2014) Research in Transportation Business and Management, 11, pp. 134-141. DOI: 10.1016/j.rtbm.2014.03.003
Document Type: Article
Source: Scopus

100) Lin, C., Choy, K.L., Ho, G.T.S., Chung, S.H., Lam, H.Y.
Survey of Green Vehicle Routing Problem: Past and future trends
(2014) Expert Systems with Applications, 41 (4 PART 1), pp. 1118-1138.
DOI: 10.1016/j.eswa.2013.07.107
Document Type: Article
Source: Scopus

101) Zeng, Z.-Y., Xu, W.-S., Xu, Z.-Y., Shao, W.-H.
A Hybrid GRASP+VND heuristic for the two-echelon vehicle routing problem arising in city logistics
(2014) Mathematical Problems in Engineering, 2014, art. no. 517467. DOI: 10.1155/2014/517467
Document Type: Article
Source: Scopus

102) Drexl, M.
Branch-and-cut algorithms for the vehicle routing problem with trailers and transshipments
(2014) Networks, 63 (1), pp. 119-133. DOI: 10.1002/net.21526
Document Type: Article
Source: Scopus

103) Wang, Y., Ma, X.-L., Lao, Y.-T., Yu, H.-Y., Liu, Y.
A two-stage heuristic method for vehicle routing problem with split deliveries and pickups
(2014) Journal of Zhejiang University: Science C, 15 (3), pp. 200-210. DOI: 10.1631/jzus.C1300177
Document Type: Article
Source: Scopus

104) Derigs, U., Pullmann, M.
Solving multitrip vehicle routing under order incompatibilities: A VRP arising in supply chain management
(2014) Networks, 64 (1), pp. 29-39.
DOI: 10.1002/net.21554
Document Type: Article
Source: Scopus

105) Polimeni, A., Vitetta, A.
Vehicle routing in urban areas: An optimal approach with cost function calibration
(2014) Transportmetrica B, 2 (1), pp. 1-19. DOI: 10.1080/23249935.2013.826747

Document Type: Article
Source: Scopus

106) Grosso, R., Muñuzuri, J., Cortes, P., Carrillo, J.
City logistics: Are sustainability policies really sustainable?
(2014) Direccion y Organizacion, 53, pp. 45-50.
Document Type: Article
Source: Scopus

107) Kritzinger, S., Doerner, K.F., Tricoire, F., Hartl, R.F.
Adaptive search techniques for problems in vehicle routing, Part II: A numerical comparison
(2014) Yugoslav Journal of Operations Research, 24 (2).
DOI: 10.2298/YJOR140217011K
Document Type: Article
Source: Scopus

108) Szczepański, E., Jacyna-Gołda, I., Murawski, J.
Genetic algorithms based approach for transhipment hub location in urban areas
(2014) Archives of Transport, 31 (3), pp. 73-83. DOI: 10.5604/08669546.1146989
Document Type: Article
Source: Scopus

109) Kritzinger, S., Doerner, K.F., Tricoire, F., Hartl, R.F.
Adaptive search techniques for problems in vehicle routing, Part I: A survey
(2014) Yugoslav Journal of Operations Research, 24 (2).
DOI: 10.2298/YJOR140219014H
Document Type: Article
Source: Scopus

110) Mancini, S.
Optimizing real-life freight-distribution problems
(2014) Supply Chain Forum, 15 (4), pp. 42-50.
Document Type: Article
Source: Scopus

111) Muñoz-Villamizar, A.F., Montoya-Torres, J.R., Herazo-Padilla, N.
Mathematical programming modeling and resolution of the location-routing problem in urban logistics [Article@Modelación en programación matemática y resolución del problema de localización-ruteo en logística urbana]
(2014) Ingenieria y Universidad, 18 (2), pp. 271-289.
DOI: 10.11144/Javeriana.IYU18-2.mpmr
Document Type: Article
Source: Scopus

112) Bhusiri, N., Qureshi, A.G., Taniguchi, E.
The trade-off between fixed vehicle costs and time-dependent arrival penalties in a routing problem
(2014) Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 62, pp. 1-22.

DOI: 10.1016/j.tre.2013.12.003
Document Type: Article
Source: Scopus

113) Ng, A.S.-F., Ong, M.K., Gunasekaran, A., Cheng, C.-H.
Heterogeneous truck routing policies with tour routing time restriction: A case study of a Malaysian trucking company
(2014) International Journal of Logistics Systems and Management, 17 (4), pp. 498-522.
DOI: 10.1504/IJLSM.2014.061020
Document Type: Article
Source: Scopus

114) Pradhananga, R., Taniguchi, E., Yamada, T., Qureshi, A.G.
Bi-objective decision support system for routing and scheduling of hazardous materials
(2014) Socio-Economic Planning Sciences, 48 (2), pp. 135-148. DOI: 10.1016/j.seps.2014.02.003
Document Type: Article
Source: Scopus

115) Ninikas, G., Athanasopoulos, T., Zeimpekis, V., Minis, I.
Integrated planning in hybrid courier operations
(2014) International Journal of Logistics Management, 25 (3), pp. 611-634. DOI: 10.1108/IJLM-09-2012-0097
Document Type: Article
Source: Scopus

116) Nadarajah, S., Bookbinder, J.H.
Less-Than-Truckload carrier collaboration problem: Modeling framework and solution approach
(2013) Journal of Heuristics, 19 (6), pp. 917-942. DOI: 10.1007/s10732-013-9229-7
Document Type: Article
Source: Scopus

117) Zhang, J., Lam, W.H.K., Chen, B.Y.
A Stochastic Vehicle Routing Problem with Travel Time Uncertainty: Trade-Off Between Cost and Customer Service
(2013) Networks and Spatial Economics, 13 (4), pp. 471-496. DOI: 10.1007/s11067-013-9190-x
Document Type: Article
Source: Scopus

118) McLeod, F., Erdogan, G., Cherrett, T., Bektas, T., Davies, N., Speed, C., Dickinson, J., Norgate, S.
Dynamic collection scheduling using remote asset monitoring
(2013) Transportation Research Record, (2378), pp. 65-72. DOI: 10.3141/2378-07
Document Type: Article
Source: Scopus

119) Li, H., Li, Y., Zhao, Q., Lu, Y., Song, Q.

The tractor and semitrailer routing considering carbon dioxide emissions
(2013) Mathematical Problems in Engineering, 2013, art. no. 509160.
DOI: 10.1155/2013/509160
Document Type: Article
Source: Scopus

120) Vidal, T., Crainic, T.G., Gendreau, M., Prins, C.
Heuristics for multi-attribute vehicle routing problems: A survey and synthesis
(2013) European Journal of Operational Research, 231 (1), pp. 1-21. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.02.053
Document Type: Review
Source: Scopus

121) Nguyen, P.K., Crainic, T.G., Toulouse, M.
A tabu search for time-dependent multi-zone multi-trip vehicle routing problem with time windows
(2013) European Journal of Operational Research, 231 (1), pp. 43-56. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.05.026
Document Type: Article
Source: Scopus

122) Faccio, M., Persona, A., Zanin, G.
The sustainable routing problem
(2013) International Journal of Services and Operations Management, 16 (3), pp. 310-336.
DOI: 10.1504/IJSOM.2013.056766
Document Type: Article
Source: Scopus

123) Van Duin, J.H.R., Tavasszy, L.A., Quak, H.J.
Towards E(lectric)-urban freight: First promising steps in the electric vehicle revolution
(2013) European Transport - Trasporti Europei, (54).
Document Type: Article
Source: Scopus

124) Mancini, S.
Multi-echelon distribution systems in city logistics
(2013) European Transport - Trasporti Europei, (54). Document Type: Article
Source: Scopus

125) Mavrovouniotis, M., Yang, S.
Dynamic vehicle routing: A memetic ant colony optimization approach
(2013) Studies in Computational Intelligence, 505, pp. 283-301. DOI: 10.1007/978-3-642-39304-4-11
Document Type: Article
Source: Scopus

126) Sicilia-Montalvo, J.A., Escuín-Finol, D., Royo-Agustín, B., Larrodé-Pellicer, E.
Smart system for freight distribution planning. Based on variable neighbourhood search and tabu search metaheuristics

(2013) Dyna (Spain), 88 (4), pp. 414-423. DOI: 10.6036/5561
Document Type: Article
Source: Scopus

127) Drexl, M.
Applications of the vehicle routing problem with trailers and transshipments
(2013) European Journal of Operational Research, 227 (2), pp. 275-283. DOI: 10.1016/j.ejor.2012.12.015
Document Type: Article
Source: Scopus

128) Mamasis, K., Minis, I., Dikas, G.
Managing vehicle breakdown incidents during urban distribution of a common product
(2013) Journal of the Operational Research Society, 64 (6), pp. 925-937. DOI: 10.1057/jors.2012.93
Document Type: Article
Source: Scopus

129) Chang, J.-J., Peng, Z.-R., Sun, J.
Freight vehicle routing optimization for sporadic orders using floating car data
(2013) Journal of Donghua University (English Edition), 30 (2), pp. 96-102.
Document Type: Article
Source: Scopus

130) Kergosien, Y., Lenté, C., Billaut, J.-C., Perrin, S.
Metaheuristic algorithms for solving two interconnected vehicle routing problems in a hospital complex
(2013) Computers and Operations Research, 40 (10), pp. 2508-2518. DOI: 10.1016/j.cor.2013.01.009
Document Type: Article
Source: Scopus

131) Baldacci, R., Mingozzi, A., Roberti, R., Calvo, R.W.
An exact algorithm for the two-echelon capacitated vehicle routing problem
(2013) Operations Research, 61 (2), pp. 298-314. DOI: 10.1287/opre.1120.1153
Document Type: Article
Source: Scopus

132) Samanta, S., Jha, M.K.
Multi depot probabilistic vehicle routing problems with a time window: Theory, solution and application
(2013) Optimizing, Innovating, and Capitalizing on Information Systems for Operations, pp. 251-273.
DOI: 10.4018/978-1-4666-2925-7.ch013
Document Type: Book Chapter
Source: Scopus

133) Pillac, V., Gendreau, M., Guéret, C., Medaglia, A.L.
A review of dynamic vehicle routing problems

(2013) European Journal of Operational Research, 225 (1), pp. 1-11. DOI: 10.1016/j.ejor.2012.08.015
Document Type: Review
Source: Scopus

134) Hu, X., Sun, L., Liu, L.
A PAM approach to handling disruptions in real-time vehicle routing problems
(2013) Decision Support Systems, 54 (3), pp. 1380-1393. DOI: 10.1016/j.dss.2012.12.014
Document Type: Article
Source: Scopus

135) Mesa-Arango, R., Ukkusuri, S.V.
Benefits of in-vehicle consolidation in less than truckload freight transportation operations
(2013) Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 60, pp. 113-125. DOI: 10.1016/j.tre.2013.05.007
Document Type: Article
Source: Scopus

136) Polimeni, A., Vitetta, A.
Optimising Waiting at Nodes in Time-Dependent Networks: Cost Functions and Applications
(2013) Journal of Optimization Theory and Applications, 156 (3), pp. 805-818. DOI: 10.1007/s10957-012-0121-7
Document Type: Article
Source: Scopus

137) Franceschetti, A., Honhon, D., Van Woensel, T., Bektaş, T., Laporte, G.
The time-dependent pollution-routing problem
(2013) Transportation Research Part B: Methodological, 56, pp. 265-293. DOI: 10.1016/j.trb.2013.08.008
Document Type: Article
Source: Scopus

138) Teo, J.S.E., Taniguchi, E., Qureshi, A.G.
Evaluation of distance-based and cordon-based urban freight road pricing in E-Commerce environment with multiagent model
(2012) Transportation Research Record, (2269), pp. 127-134. DOI: 10.3141/2269-15
Document Type: Article
Source: Scopus

139) Hemmelmayr, V.C., Cordeau, J.-F., Crainic, T.G.
An adaptive large neighborhood search heuristic for Two-Echelon Vehicle Routing Problems arising in city logistics
(2012) Computers and Operations Research, 39 (12), pp. 3215-3228. DOI: 10.1016/j.cor.2012.04.007
Document Type: Article
Source: Scopus

140) Saberi, M., Verbas, I.O.

Continuous approximation model for the vehicle routing problem for emissions minimization at the strategic level
(2012) Journal of Transportation Engineering, 138 (11), pp. 1368-1376. DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000442
Document Type: Article
Source: Scopus

141) Pillac, V., Guéret, C., Medaglia, A.L.
An event-driven optimization framework for dynamic vehicle routing
(2012) Decision Support Systems, 54 (1), pp. 414-423. DOI: 10.1016/j.dss.2012.06.007
Document Type: Article
Source: Scopus

142) Jabali, O., Van Woensel, T., De Kok, A.G.
Analysis of travel times and CO2 emissions in time-dependent vehicle routing
(2012) Production and Operations Management, 21 (6), pp. 1060-1074. DOI: 10.1111/j.1937-5956.2012.01338.x
Document Type: Article
Source: Scopus

143) Escuín, D., Millán, C., Larrodé, E.
Modelization of Time-Dependent Urban Freight Problems by Using a Multiple Number of Distribution Centers
(2012) Networks and Spatial Economics, 12 (3), pp. 321-336. DOI: 10.1007/s11067-009-9099-6
Document Type: Article
Source: Scopus

144) Sun, L., Hu, X.
A knowledge representation method for algorithms in dss for real-time vehicle routing in urban distribution
(2012) International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 8 (8), pp. 5859-5872.
Document Type: Article
Source: Scopus
145) Ehmke, J.F., Steinert, A., Mattfeld, D.C.
Advanced routing for city logistics service providers based on time-dependent travel times
(2012) Journal of Computational Science, 3 (4), pp. 193-205. DOI: 10.1016/j.jocs.2012.01.006
Document Type: Article
Source: Scopus

146) Minis, I., Mamasis, K., Zeimpekis, V.
Real-time management of vehicle breakdowns in urban freight distribution
(2012) Journal of Heuristics, 18 (3), pp. 375-400. DOI: 10.1007/s10732-011-9191-1
Document Type: Review
Source: Scopus

147) Sivakumar, P., Ganesh, K., Ducq, Y., Anbuudayasankar, S.P.
Class of sustainable supply chain routing problems - Framework and comprehensive review

(2012) International Journal of Services and Operations Management, 12 (2), pp. 188-220. DOI: 10.1504/IJSOM.2012.047105
Document Type: Review
Source: Scopus

148) Demirel, T., Yilmaz, Ş.
A new solution approach to Multi-Depot Vehicle Routing Problem with Ant Colony Optimization
(2012) Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing, 18 (3-4), pp. 421-439.
Document Type: Article
Source: Scopus

149) Nguyen, V.-P., Prins, C., Prodhon, C.
A multi-start iterated local search with tabu list and path relinking for the two-echelon location-routing problem
(2012) Engineering Applications of Artificial Intelligence, 25 (1), pp. 56-71. DOI: 10.1016/j.engappai.2011.09.012
Document Type: Article
Source: Scopus

150) Gonzalez-Feliu, J.
Cost optimisation in freight distribution with cross-docking: N-echelon location routing problem [Article@Optimización de costes en sistemas de distribución multiniveles con cross-docking: El problema de localización-rutado a n niveles]
(2012) Promet - Traffic - Traffico, 24 (2), pp. 143-149.
Document Type: Review
Source: Scopus

151) Hu, X., Sun, L.
Knowledge-based modeling for disruption management in urban distribution
(2012) Expert Systems with Applications, 39 (1), pp. 906-916. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.07.088
Document Type: Article
Source: Scopus

152) Smirlis, Y.G., Zeimpekis, V., Kaimakamis, G.
Data envelopment analysis models to support the selection of vehicle routing software for city logistics operations
(2012) Operational Research, 12 (3), pp. 399-420. DOI: 10.1007/s12351-010-0100-4
Document Type: Article
Source: Scopus

153) Nguyen, V.-P., Prins, C., Prodhon, C.
Solving the two-echelon location routing problem by a GRASP reinforced by a learning process and path relinking
(2012) European Journal of Operational Research, 216 (1), pp. 113-126. DOI: 10.1016/j.ejor.2011.07.030
Document Type: Article
Source: Scopus

154) Chen, H.-K., Chou, H.-W., Hsu, C.-Y.
The linehaul-feeder vehicle routing problem with virtual depots and time windows
(2011) Mathematical Problems in Engineering, 2011, art. no. 759418, .
DOI: 10.1155/2011/759418
Document Type: Article
Source: Scopus

155) Lin, C.K.Y.
A vehicle routing problem with pickup and delivery time windows, and coordination of transportable resources
(2011) Computers and Operations Research, 38 (11), pp. 1596-1609. DOI: 10.1016/j.cor.2011.01.021
Document Type: Article
Source: Scopus

156) Figliozzi, M.A.
The impacts of congestion on time-definitive urban freight distribution networks CO2 emission levels:
Results from a case study in Portland, Oregon
(2011) Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 19 (5), pp. 766-778. DOI: 10.1016/j.trc.2010.11.002
Document Type: Article
Source: Scopus

157) Yang, H., Zhou, Y., Cui, Z., He, M.
Vehicle routing problem with multi-depot and multi-task
(2011) Advances in Information Sciences and Service Sciences, 3 (6), pp. 320-327. DOI: 10.4156/aiss.vol3.issue6.40
Document Type: Article
Source: Scopus

158) Flamini, M., Nigro, M., Pacciarelli, D.
Assessing the value of information for retail distribution of perishable goods
(2011) European Transport Research Review, 3 (2), pp. 103-112. DOI: 10.1007/s12544-011-0051-8
Document Type: Article
Source: Scopus

159) Wygonik, E., Goodchild, A.
Evaluating CO2 emissions, cost, and service quality trade-offs in an urban delivery system case study
(2011) IATSS Research, 35 (1), pp. 7-15. DOI: 10.1016/j.iatssr.2011.05.001
Document Type: Article
Source: Scopus

160) Pradhananga, R., Hanaoka, S., Sattayaprasert, W.
Optimisation model for hazardous material transport routing in Thailand

(2011) International Journal of Logistics Systems and Management, 9 (1), pp. 22-42. DOI: 10.1504/IJLSM.2011.040058
Document Type: Article
Source: Scopus

161) Crainic, T.G., Mancini, S., Perboli, G., Tadei, R.
Multi-start heuristics for the two-Echelon vehicle routing problem
(2011) Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 6622 LNCS, pp. 179-190. DOI: 10.1007/978-3-642-20364-0_16
Document Type: Article
Source: Scopus

162) Danielis, R., Rotaris, L., Marcucci, E.
Urban freight policies and distribution channels
(2010) European Transport - Trasporti Europei, (46), pp. 114-146.
Document Type: Article
Source: Scopus

163) Polimeni, A., Russo, F., Vitetta, A.
Demand and routing models for urban goods movement simulation
(2010) European Transport - Trasporti Europei, (46), pp. 3-23.
Document Type: Article
Source: Scopus

164) Ehmke, J.F., Mattfeld, D.C.
Data allocation and application for time-dependent vehicle routing in city logistics
(2010) European Transport - Trasporti Europei, (46), pp. 24-35
Document Type: Article
Source: Scopus

165) Kok, A.L., Hans, E.W., Schutten, J.M.J., Zijm, W.H.M.
A dynamic programming heuristic for vehicle routing with time-dependent travel times and required breaks
(2010) Flexible Services and Manufacturing Journal, 22 (1-2), pp. 83-108. Cited 11 times. DOI: 10.1007/s10696-011-9077-4
Document Type: Article
Source: Scopus

166) Conrad, R.G., Figliozzi, M.A.
Algorithms to quantify impact of congestion on time-dependent real-world Urban Freight distribution
networks
(2010) Transportation Research Record, (2168), pp. 104-113. DOI: 10.3141/2168-13
Document Type: Article
Source: Scopus

167) Qureshi, A.G., Taniguchi, E., Yamada, T.

An exact solution approach for vehicle routing and scheduling problems with soft time windows
(2009) Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 45 (6), pp. 960-977.
DOI: 10.1016/j.tre.2009.04.007
Document Type: Article
Source: Scopus

168) Figliozzi, M.A.
Planning approximations to the average length of vehicle routing problems with time window constraints
(2009) Transportation Research Part B: Methodological, 43 (4), pp. 438-447.
DOI: 10.1016/j.trb.2008.08.004
Document Type: Article
Source: Scopus

169) Janssens, G.K., Caris, A., Ramaekers, K.
Time Petri nets as an evaluation tool for handling travel time uncertainty in vehicle routing solutions
(2009) Expert Systems with Applications, 36 (3 PART 2), pp. 5987-5991.
DOI: 10.1016/j.eswa.2008.07.001
Document Type: Article
Source: Scopus

170) Lecluyse, C., van Woensel, T., Peremans, H.
Vehicle routing with stochastic time-dependent travel times
(2009) 4OR, 7 (4), pp. 363-377.
DOI: 10.1007/s10288-009-0097-9
Document Type: Article
Source: Scopus

171) Figliozzi, M.A.
Planning approximations to the average length of vehicle routing problems with varying customer
demands and routing constraints
(2008) Transportation Research Record, (2089), pp. 1-8.
DOI: 10.3141/2089-01
Document Type: Article
Source: Scopus

172) Grakovski, A., Kabashkin, I., Ressin, A.
Intelligent transport system for intra-city logistics based on www technologies
(2008) Transport and Telecommunication, 9 (3), pp. 30-38.
Document Type: Article
Source: Scopus

173) Van Woensel, T., Kerbache, L., Peremans, H., Vandaele, N.
Vehicle routing with dynamic travel times: A queueing approach

(2008) European Journal of Operational Research, 186 (3), pp. 990-1007. DOI: 10.1016/j.ejor.2007.03.012
Document Type: Article
Source: Scopus

174) Barceló, J., Grzybowska, H., Pardo, S.
Vehicle Routing and scheduling models, simulation and City Logistics
(2007) Operations Research/ Computer Science Interfaces Series, 38, pp. 163-195.
Document Type: Article
Source: Scopus

175) Zeimpekis, V., Minis, I., Mamassis, K., Giaglis, G.M.
Dynamic management of a delayed delivery vehicle in a city logistics environment
(2007) Operations Research/ Computer Science Interfaces Series, 38, pp. 197-215.
Document Type: Article
Source: Scopus

176) Quak, H.J., de Koster, M.B.M.
Exploring retailers' sensitivity to local sustainability policies
(2007) Journal of Operations Management, 25 (6), pp. 1103-1122.
DOI: 10.1016/j.jom.2007.01.020
Document Type: Article
Source: Scopus

177) Sheu, J.-B.
A hybrid fuzzy-optimization approach to customer grouping-based logistics distribution operations
(2007) Applied Mathematical Modelling, 31 (6), pp. 1048-1066. DOI: 10.1016/j.apm.2006.03.024
Document Type: Article
Source: Scopus

178) Zeimpekis, V., Giaglis, G.M., Tatarakis, A., Minis, I.
Towards a dynamic real-time vehicle management system for urban distribution
(2007) International Journal of Integrated Supply Management, 3 (3), pp. 228-243.
DOI: 10.1504/IJISM.2007.012628
Document Type: Article
Source: Scopus

Στον Πίνακας 11 ο οποίος παρουσιάζεται στην συνέχεια, κάθε άρθρο κατατάσσεται σε πολλές κατηγορίες. Οι κατηγορίες αφορούν τις παραμέτρους του προβλήματος της Δρομολόγησης, τις μεθόδους με τις οποίες λύνεται το εκάστοτε πρόβλημα καθώς και το είδος του κάθε άρθρου όπως παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3. Όσον αφορά τις στήλες του πίνακα, αυτές παρουσιάζουν:

| Α/Α | Αριθμός Άρθρου όπως παρουσιάζονται στο Παράρτημα |
|---|---|
| Δεκτό = 1, Μη δεκτό = 0 | Βάσει του Πίνακα 2, τα άρθρα κρίνονται ώστε να καλύπτουν τις απαιτήσεις της έρευνας, και επομένως αυτά που έχουν σαν τιμή 1 γίνονται αποδεκτά ενώ αυτά με τιμή 0, μη αποδεκτά |
| 1.1 | Dynamic VRP |
| 1.2 | Time Dependent VRP |
| 1.3 | Green VRP, Fuel-Carbon Emission, and Hybrid VRP |
| 1.4 | VRP with Time Windows |
| 1.5 | Multi-trip CRP |
| 1.6 | Multi-Depot VRP |
| 1.7 | Capacitated VRP |
| 1.8 | VRP with Pickup and Delivery AND VRP with Backhauls |
| 1.9 | Split Delivery VRP |
| 1.10 | Periodic VRP |
| 1.11 | Stochastic VRP |
| 1.12 | Multi Echelon or 2-Echelon VRP and VRP with Satelite Facilities |
| 1.13 | Heterogeneous fleet |
| 1.14 | Multi Echelon or 2-Echelon VRP |
| 1.15 | Open VRP |
| 1.16 | VRP with Real time Data or Real traffic data |
| 2.1 | Heurestics Algorithms |
| 2.2 | Metaheurestics Algorithms |
| 2.3 | Simulation Methods |
| 2.4 | Exact Algorithms |
| 3.1 | Case study - Industrial example |
| 3.2 | Test data, Computational Experiments - results |
| 3.3 | Propose - Develop Algorithm or Method |

| | |
|---|---|
| 3.4 | Literature Review or Survey |
| 3.5 | Present or Describe or extend algorithm |
| 3.6 | Software - System |

**Πίνακας 11 Ανάλυση Επιστημονικών άρθρων**

| Α/Α | Δεκτό = 1 Μη δεκτό = 0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 1.10 | 1.11 | 1.12 | 1.13 | 1.14 | 1.15 | 1.16 | 2.1 | 2.2 | 2.3 | 2.4 | 3.1 | 3.2 | 3.3 | 3.4 | 3.5 | 3.6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | |
| 2 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 1 | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 1 | 1 | | | |
| 4 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 1 | | | 1 | |
| 6 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 1 | | | | 1 | | | 1 | 1 | | | | | 1 | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | |
| 10 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 1 | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | |
| 13 | 1 | | | | 1 | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | | | | | 1 | | 1 | | | 1 | 1 | | | |
| 14 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 1 | | | | | | | 1 | | | | 1 | 1 | | 1 | | | | 1 | 1 | | | 1 | 1 | | | |
| 18 | 1 | | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 1 | 1 | | | |
| 19 | 1 | | 1 | 1 | | | | 1 | | | | 1 | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | | | | |
| 20 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 1 | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | 1 | | | |
| 23 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | 1 | | 1 | | | 1 | | | | | 1 | | | | |
| 24 | 1 | | | | | | | 1 | | | 1 | | | | | | | 1 | | | | | 1 | 1 | | | |
| 25 | 1 | | | | 1 | 1 | | 1 | | | | | 1 | | 1 | | | 1 | | | | | 1 | 1 | | | |
| 26 | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | | | |
| 27 | 1 | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | 1 | 1 | 1 | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 28 | 1 | | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | 1 | | | | 1 | | |
| 29 | 1 | | | | | | 1 | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | | | 1 | 1 | | | |
| 30 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 31 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 32 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 33 | 1 | 1 | | | | | | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | 1 | |
| 34 | 1 | | | | 1 | | 1 | | | | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | 1 | |
| 35 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 36 | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | 1 | | |
| 37 | 1 | | | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | | 1 | | | | |
| 38 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | 1 | | | | | 1 | 1 | | | |
| 39 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | 1 | | | | |
| 41 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 42 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | | 1 | |
| 43 | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 44 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | 1 | | |
| 45 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 46 | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 1 | 1 | | | |
| 47 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 48 | 1 | | | 1 | | | | 1 | | | | | | 1 | | | | | 1 | | | | | | 1 | | |
| 49 | 1 | | | | | | | 1 | | | | 1 | | | | | | 1 | | | | | 1 | 1 | | | |
| 50 | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | |
| 51 | 1 | | | | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | 1 | 1 | | | 1 | |
| 52 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | |
| 53 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 54 | 1 | | | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | 1 | | | 1 | |
| 55 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 56 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 57 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 58 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 59 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 60 | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | 1 | | | 1 | | 1 | 1 | | 1 | |
| 61 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | 1 | | | |
| 62 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | |
| 63 | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | | 1 | | | | 1 | | | 1 | 1 | | | 1 | |
| 64 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 65 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | 1 | | | |
| 66 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 67 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | 1 | | |
| 68 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 69 | 1 | | | | 1 | | | 1 | 1 | | | | | 1 | | | | | 1 | | | | 1 | 1 | | | |
| 70 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 71 | 1 | | | | 1 | | 1 | 1 | | | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | |
| 72 | 1 | | 0 | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | 1 | | | | 1 | | | 1 | |
| 73 | 1 | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | |
| 74 | 1 | | 1 | 1 | | | | 1 | | | | | 1 | | 1 | | | | | | | 1 | 1 | | | | |
| 75 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | 1 | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 76 | 1 | | | 1 | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | | 1 | 1 | | | |
| 77 | 1 | | | 1 | | | | | | | | | 1 | | 1 | | | 1 | | | | | 1 | 1 | | | |
| 78 | 1 | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | | | 1 | | |
| 79 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | 1 | |
| 80 | 1 | | | | 1 | | | | | | | 1 | | | | | | | | 1 | | | 1 | | | | |
| 81 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 82 | 1 | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | 1 | 1 | | | |
| 83 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 84 | 1 | | | 1 | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | | 1 | 1 | | | |
| 85 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 86 | 1 | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | | | |
| 87 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 88 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 89 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 90 | 1 | | | | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | 1 | | | |
| 91 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | 1 | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 92 | 1 | 1 | | | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | 1 | | | |
| 93 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 94 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 95 | 1 | | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | | 1 | 1 | | | |
| 96 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 97 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | |
| 98 | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | | 1 | |
| 99 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100 | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | |
| 101 | 1 | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | 1 | | | 1 | | | | | 1 | | | | |
| 102 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 103 | 1 | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | 1 | | | |
| 104 | 1 | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | | | |
| 105 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | 1 | 1 | | | | |
| 106 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 107 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 108 | 1 | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 1 | 1 | | | |
| 109 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 110 | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | | | | | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | | 1 | | |
| 111 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 112 | 1 | | | | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | 1 | | | |
| 113 | 1 | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | | | | | | | 1 | 1 | | | | |
| 114 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 115 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 116 | 1 | | | | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | 1 | | | |
| 117 | 1 | | | | 1 | | | 1 | | | | 1 | | | | | | 1 | | | | | 1 | 1 | | | |
| 118 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 119 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 120 | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | | | | 1 | 1 | | | | | | 1 | | |
| 121 | 1 | | 1 | | 1 | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | | 1 | 1 | | | |
| 122 | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | 1 | | |
| 123 | 1 | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 124 | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | | 1 | | |
| 125 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | 1 | | | |
| 126 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | 1 |
| 127 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 128 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 129 | 1 | | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | | | | |
| 130 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 131 | 1 | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | 1 | | | | | | 1 | | 1 | | | | |
| 132 | 1 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | 1 | | | |
| 133 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | |
| 134 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 135 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 136 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 137 | 1 | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | |
| 138 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 139 | 1 | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | 1 | | | 1 | | | | | 1 | 1 | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 140 | 1 | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | |
| 141 | 1 | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | | |
| 142 | 1 | | 1 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | |
| 143 | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | 1 | 1 | 1 | | | |
| 144 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| 145 | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | | | | |
| 146 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 147 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 148 | 1 | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 1 | 1 | | 1 | |
| 149 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 150 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 151 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 152 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | 1 | | 1 |
| 153 | 1 | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | 1 | | | 1 | 1 | | | | 1 | | 1 | 1 | |
| 154 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | 1 | | | |
| 155 | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | 1 | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 156 | 1 | | 1 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | 1 | | | | |
| 157 | 1 | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | |
| 158 | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | |
| 159 | 1 | | | 1 | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | | 1 | | |
| 160 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | 1 | 1 | | | 1 | |
| 161 | 1 | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | 1 | | | 1 | | | | | 1 | 1 | | 1 | |
| 162 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 163 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | | 1 | |
| 164 | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | |
| 165 | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | 1 | | | |
| 166 | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | 1 | 1 | | | |
| 167 | 1 | | | | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | |
| 168 | 1 | | | | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | |
| 169 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 170 | 1 | | 1 | | | | | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | | |
| 171 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 172 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 173 | 1 | 1 | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | | | |
| 174 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 175 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | 1 |
| 176 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 177 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 178 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | | 1 | | 1 |