



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής  
Σχεδίασης και Παραγωγής

**&**

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΑΙΓΑΙΟΥ**

Τμήμα Ναυτιλίας και  
Επιχειρηματικών Υπηρεσιών



**ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ»**

**ΤΙΤΛΟΣ**

***ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ  
ΑΛΥΣΙΔΑ***

**ΤΙΤΛΟΣ ΑΓΓΛΙΚΑ**

**APPLICATION OF MACHINE LEARNING IN SUPPLY CHAIN**

**Όνοματεπώνυμο Σπουδαστή:**

**ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΑΚΟΛΥΡΗΣ**

**Όνοματεπώνυμο Υπεύθυνου Καθηγητή:**

**Γ. ΝΙΚΟΛΑΟΥ**

**ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**Οκτώβριος 2021**



**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής**

**ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ**

---

**ΠΑΠΟΥΤΣΙΔΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ**

---

**ΠΑΠΑΧΡΗΣΤΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

---

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Κακολύρης Γεώργιος του Τιμολέοντος, με αριθμό μητρώου 8056105 φοιτητής του Διϋδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νέες Τεχνολογίες στη Ναυτιλία και τις Μεταφορές» του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής της Σχολής Μηχανικών Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ο Δηλών



## **ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ**

**ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΑΚΟΛΥΡΗΣ**

**Μεταπτυχιακή Διατριβή που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για την μερική εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης του μεταπτυχιακού τίτλου του Διϋδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νέες Τεχνολογίες στη Ναυτιλία και τις Μεταφορές» του Τμήματος Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών του Πανεπιστημίου Αιγαίου και του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	- 8 -
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	- 9 -
ABSTRACT .....	- 11 -
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ.....	- 12 -
1.1 Εισαγωγή .....	- 12 -
1.2.1 Εφοδιαστική Αλυσίδα.....	- 16 -
1.2.1 Αποφάσεις στη Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας .....	- 18 -
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗ.....	- 22 -
2.1 Γενικά .....	- 22 -
2.2 Μεταφορές.....	- 24 -
2.2.1 Σιδηροδρομικοί μεταφορείς .....	- 25 -
2.2.2 Οδικοί μεταφορείς .....	- 26 -
2.2.3 Αεροπορικοί μεταφορείς.....	- 26 -
2.2.4 Θαλάσσιες μεταφορείς .....	- 26 -
2.4 Αγωγοί μεταφορείς.....	- 26 -
2.5 Σύγκριση και επιλογή μεταξύ Μέσων Μεταφοράς.....	- 27 -
2.6 Οικονομικά στοιχεία και αποδοτικότητα μεταφοράς .....	- 29 -
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ.....	- 34 -
3.1 Γενικά .....	- 34 -
3.2 Πρόβλημα πλανόδιου πωλητή.....	- 40 -
3.3 Δρομολόγηση οχημάτων για την εξυπηρέτηση πελατών μέσα σε δεδομένα χρονικά περιθώρια (Vehicle Routing Problem With Time Window) .....	- 45 -
3.4. Ταξινόμηση προβλημάτων VRP .....	- 49 -
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΚΑΙ LOGISTICS.....	- 58 -
4.1 Τεχνητή νοημοσύνη γενικά .....	- 58 -
4.2 Τεχνητή Νοημοσύνη και Logistics.....	- 61 -
4.3 Έλεγχος και προγραμματισμός αποθέματος.....	- 63 -
4.4 Διαχείριση αγορών και προμηθειών.....	- 66 -
4.5 Σχεδιασμός και πρόβλεψη ζήτησης .....	- 67 -
4.6 Προβλήματα παραγγελίας .....	- 69 -
4.7 Διαχείριση σχέσεων πελατών .....	- 69 -
4.8 Ηλεκτρονικός συγχρονισμός της ΕΑ .....	- 70 -

5.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Ανάλυση μοντέλου.....	- 74 -
5.1	Γενικά .....	- 74 -
5.2	Σχετική εργασία .....	- 76 -
5.2.1	Ο αλγόριθμος Metropolis-Hastings.....	- 78 -
5.3	Ορισμός του μοντέλου .....	- 80 -
5.4	Τεκμηρίωση.....	- 84 -
5.5	Αποτελέσματα .....	- 88 -
6.	ΕΠΙΛΟΓΟΣ .....	- 91 -
7.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	- 94 -

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γρηγόρη Νικολάου για την άμεση ανταπόκριση, επιμονή και εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Οι συμβουλές του ήταν καθοριστικές για την ολοκλήρωση της διπλωματικής. Η άρτια συνεργασία μας αποτέλεσε βασικό συστατικό της ευχάριστης διεκπεραίωσης της παρούσας εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κοινότητα του Μεταπτυχιακού Προγράμματος, ακαδημαϊκό και διοικητικό προσωπικό για την πολύ καλή συνεργασία που δείξαν κατά τη διάρκεια του Προγράμματος.

Τέλος, δεν μπορώ παρά να εκφράσω την βαθύτατη ευγνωμοσύνη μου προς την οικογένειά μου για την συμπαράσταση, βοήθεια και ανοχή που έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την μελέτη ενός προβλήματος δρομολόγησης παραδόσεων των παραγγελιών στον τομέα του λιανικού εμπορίου μέσω του στόλου οχημάτων με χρήση της Μηχανικής Μάθησης. Αναλύονται οι βασικοί όροι της εφοδιαστικής αλυσίδας στο ευρύ φάσμα της σε περιβάλλον μεταφορών και πως αυτοί εφαρμόζονται στη σύγχρονη εποχή. Παρουσιάζονται τα είδη των μεταφορών. Γίνεται εκτενής αναφορά στο τομέα των μεταφορών σε επίπεδο προγραμματισμού των παραδόσεων, ανάλυση των βασικών μοντέλων – αλγορίθμων δρομολόγησης όπως το Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή και στη συνέχεια αναλύονται όλα τα είδη προβλημάτων δρομολόγησης (VRP).

Σε αυτήν την εργασία αναλύεται το πρόβλημα δρομολόγησης με Time Window (VRPTW). Έγινε συλλογή ιστορικών δεδομένων από παραδόσεις οδηγών που παρουσιάζουν κάποια ακολουθία. Η ακολουθία αυτή έχει ως χαρακτηριστικό την παράκαμψη της προγραμματισμένης σειράς παράδοσης σε συγκεκριμένους πελάτες καθώς υπήρξε κάποιο «κρυφό» παράθυρο παράδοσης το οποίο δεν ήταν γνωστό πρότερα στον προγραμματιστή αλλά ήταν γνωστή (τις περισσότερες των περιπτώσεων) στον οδηγό, και έχοντας ως αποτέλεσμα τον εξαναγκασμό του οδηγού στην ανατροπή της προγραμματισμένης σειράς παράδοσης. Έτσι είχαμε μια ανακολουθία της προγραμματισμένης σειράς παράδοσης από την πραγματική σειρά που πραγματοποιήθηκε από τον οδηγό.

Για την επίλυση του προβλήματος αυτού των «ιδιαιτέρων» πελατών, έγινε χρήση της Μηχανικής Μάθησης μέσω του αλγορίθμου Metropolis-Hasting με βήμα Metropolis-Hastings στο δείγμα Gibbs ο οποίος μας δίνει την δυνατότητα για να αποκτήσει δείγματα από τις παραμέτρους για τις οποίες η πλήρης πυκνότητα υπό όρους δεν είναι διαθέσιμη. Βασιζόμαστε σε αυτόν τον αλγόριθμο για να εξάγουμε συμπεράσματα. Στη συνέχεια με την χρήση του μαθηματικού όρου της Εκτίμησης Μέγιστης Πιθανοφάνειας μπορούμε να εξάγουμε σε ποσοστιαία μονάδα αν ένας πελάτης πρόκειται να εξυπηρετηθεί στην ώρα που προγραμματίστηκε προτού ξεκινήσει το δρομολόγιο τις παραδόσεις ή ο οδηγός θα «μεταπηδήσει» την σειρά παράδοσής του.

Τέλος, γίνεται εξαγωγή των συμπερασμάτων αυτών μέσα από πίνακες και διαγράμματα καθώς και ανάλυση για την περαιτέρω βελτίωση του μοντέλου για την αύξηση της αποδοτικότητάς του και εγκυρότητας των αποτελεσμάτων του.

## ABSTRACT

The present diploma thesis aims to study a problem of routing deliveries of orders in the field of retail trade through the vehicle fleet using Machine Learning. The basic terms of the supply chain in its wide range in a transport environment are analyzed and how they are applied in the modern era. The types of transport are presented. Extensive reference is made in the field of transport at the level of delivery planning, analysis of the basic models - routing algorithms such as the Street Vendor Problem and then all types of routing problems (VRP) are analyzed.

This work analyzes the Time Window (VRPTW) routing problem. Historical data was collected from deliveries of guides showing a sequence. This sequence is characterized by bypassing the scheduled delivery series to specific customers as there was a "hidden" delivery window that was not previously known to the developer but was known (in most cases) to the driver, resulting in its forcing to overturn the scheduled delivery series. So we had an inconsistency of the scheduled delivery order from the actual order made by the driver.

To solve this problem of "special" customers, we used the Machine Learning through the Metropolis-Hasting algorithm me Metropolis-Hastings step in the Gibbs sample which allows us to obtain samples from the parameters for which the full density conditionally not available. We rely on this algorithm to draw conclusions. Then using the mathematical term of the Maximum Likelihood Estimation we can export in percentage points whether a customer is going to be served at the scheduled time before the route starts deliveries or the driver will "switch" his delivery order.

Finally, these conclusions are extracted through tables and diagrams as well as analysis to further improve the model to increase its efficiency and validity of its results.

# 1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ

## 1.1 Εισαγωγή

Καθώς οδηγούμαστε από την παγκοσμιοποίηση και τις συνεχώς εκτεινόμενες απαιτήσεις των πελατών, η εφοδιαστική αλυσίδα (Supply Chain) αποκτά σημαντικό ρόλο στη δημιουργία πλεονεκτήματος για όλες τις επιχειρήσεις. Η ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης και ανταποκρινόμενης Εφοδιαστικής Αλυσίδας που να μπορεί να καλύπτει τις απαιτήσεις των πελατών και να εξασφαλίζει αύξηση τόσο των μεριδίων της αγοράς, όσο και της κερδοφορίας είναι κρίσιμη.

Οπότε, γίνεται σαφές ότι στο άμεσο μέλλον ο επιχειρηματικός ανταγωνισμός θα ξεπεράσει το επίπεδο των επιχειρήσεων αλλά θα είναι σε επίπεδο Εφοδιαστικής Αλυσίδας καθώς το e-Business και η Τεχνολογία της Πληροφορικής θα αλλάζουν δραματικά τις απαιτήσεις του αγοραστικού κοινού και κατ' επέκταση του επιχειρείν.

Ετυμολογικά, ο όρος Εφοδιαστική/Logistics έχει προέλευση από τον ελληνικό όρο «λόγος», που σημαίνει λογική, με την έννοια της εκλογίκευσης και σκοπό την επίτευξη ορισμένων συγκεκριμένων στόχων. Με την έννοια αυτή λέγεται ότι έχει γίνει αρχική χρήση του όρου «Λογιστική» πρώτη φορά από τον αυτοκράτορα του Βυζαντίου «Λέοντα τον Σοφό», σε σχέση με τη μέριμνα για τον εφοδιασμό, την τροφοδοσία και τη διατήρηση του στρατού της αυτοκρατορίας με τρόφιμα, ρουχισμό, πολεμοφόδια, κτλ. Κατ' άλλους ιστορικούς, ως πρώτος "Logistician" αναφέρεται ο Μέγας Αλέξανδρος, ο οποίος εφάρμοσε ίδιες στρατηγικές για τον εφοδιασμό των στρατευμάτων της αυτοκρατορίας του (Engles, 1978). Ακόμη, ο Μέγας Ναπολέων είχε σημειώσει ότι «οι στρατοί προχωρούν με το στομάχι τους». Αξιόλογο είναι σε γενικότερο περιεχόμενο να αναφέρουμε ότι η ανάπτυξη των πολιτισμών των αρχαίων Ελλήνων, των Αιγυπτίων, των Φοινίκων και αργότερα της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας, είχαν στηριχτεί σε πρωτοπόρα για την εποχή τους μεταφορικά συστήματα (δίκτυα), που αποτελούν σημαντική προϋπόθεση και παράγοντα της Εφοδιαστικής/Logistics.

Σε πιο σύγχρονη ιστορική και επιστημονική αναφορά, μαζική χρήση «Εφοδιαστικής» έγινε κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου από τις ΗΠΑ και τους Συμμάχους για τον εφοδιασμό των νηοπομπών των συμμαχικών δυνάμεων, μέσω χρησιμοποίησης κατά βάση “operational research” και εκτεταμένης χρήσης «προσομοιώσεων».

Στην περίπτωση της χώρας μας ο όρος «Λογιστική» έχει επικρατήσει σε απόδοση του διεθνούς όρου της επιστήμης του “Accounting”, ως σχετικός τομέας της Οικονομικής Επιστήμης, κατά παράφραση του επικρατήσαντος αγγλικού όρου “Logistics” που ανταποκρίνεται στην “Εφοδιαστική”. Για τον λόγο αυτό προς αποφυγή σύγχυσης χρησιμοποιείται αδιάκριτα ο όρος “Εφοδιαστική/ Logistics”.

Το ενδιαφέρον στην Εφοδιαστική/Logistics σε επιστημονικό και επιχειρηματικό επίπεδο είχε αρχίσει μεταπολεμικά να στρέφεται συστηματικά από τη δεκαετία του 1960 (Rushton & Oxley, 1998). Αυτό είχε σκοπό την ενιαία διαχείριση των επιμέρους λειτουργιών του τομέα της διανομής σε επίπεδο επιχείρησης. Σημειωτέων ότι οι διάφορες λειτουργίες αντιμετωπιζόταν επί μακρόν στο παρελθόν ως «περιττό βάρος», «αναγκαίο κακό», «παθητικό» και επιβαρυντικό στοιχείο του συνολικού επιχειρηματικού κόστους (περιλαμβάνοντας τις μεταφορές, τις προμήθειες, την αποθήκευση, τα αποθέματα, κτλ.). Αυτό είχε οδηγήσει σε μια σειρά παρενεργειών, εσωστρέφειας μεταξύ επιχειρηματικών τμημάτων, διαιρετικής πολυαρχίας και δυσμενών επιπτώσεων στο κόστος και στην επιχειρηματική αποτελεσματικότητα και ανταγωνιστικότητα (Drucker, 1958). Υπό την πίεση της έντασης του ανταγωνισμού στο νέο επιχειρηματικό περιβάλλον, επισημάνθηκε η ανάγκη πιο αποτελεσματικού συντονισμού και οδήγησε σε μια κλιμακωτή αλλαγή: Η διοίκηση σε επίπεδο επιχείρησης άρχισε να αναζητά νέες πηγές ανταγωνιστικότητας και βιωσιμότητας, στρεφόμενη αρχικά σε αναβάθμιση της λειτουργίας της διανομής, που παρέμενε επί μακρόν στο περιθώριο. Η στροφή αυτή απέφερε πράγματι διαπιστωμένα εντυπωσιακά θετικά αποτελέσματα, σε όρους συμπίεσης του κόστους, ταχύτητας εξυπηρέτησης της πελατείας και αύξησης της ανταγωνιστικότητας της επιχείρησης.

Σε δεύτερη φάση, υπήρξε η ασφυκτική πίεση ενός εξωγενούς, απρόβλεπτου αλλά ισχυρότατου φαινομένου, της παγκοσμιοποίησης, που συμπεριέλαβε το εμπόριο, τις αγορές, τις εθνικές οικονομίες και τις διεθνείς ενώσεις, οργανισμούς και συμφωνίες. Έτσι αναπήδησε ένα «νέο κοινωνικό συμβόλαιο» ενότητας, συνεργασίας και συμμετοχής σε

συλλεκτικές σχέσεις. Αυτό αποτέλεσε ιστορικό σταθμό στην πορεία ολοκλήρωσης της Εφοδιαστικής/Logistics, την τελευταία 10ετία του 20ού αιώνα, με πηγή δημιουργίας αξίας τους πελάτες των επιχειρήσεων και ισχυρή τάση συνεργασίας ανάμεσα σε επιχειρήσεις, σε επιχειρήσεις και πελάτες/καταναλωτές, σε επιχειρήσεις και σε οργανισμούς του δημόσιου τομέα, κλπ.

Η Εφοδιαστική Αλυσίδα (ΕΑ) ορίζεται καταρχήν, σαν ένα ολοκληρωμένο δίκτυο ή σύστημα δημιουργίας αξίας, που περιλαμβάνει στενά συνεργαζόμενες επιχειρηματικές μονάδες, παραγωγούς, εμπόρους, λιανοπωλητές και τους καταναλωτές. Η ΕΑ λοιπόν συμπεριλαμβάνει τη ροή υλικών από τον προμηθευτή πρώτων υλών ή τον παραγωγό του τελικού προϊόντος μέχρι τον τελικό καταναλωτή, παράλληλα με τη ροή πληροφοριών μεταξύ των μελών της αλυσίδας. Ο σχεδιασμός και η συστηματική παρακολούθηση της υλοποίησης, ο συντονισμός και ο έλεγχος του κόστους, της ποιότητας και της ταχύτητας ικανοποίησης των πελατών, αποδίδουν την έννοια της πραγματικής ολιστικής προσέγγισης της βιώσιμης διοίκησης της εφοδιαστικής αλυσίδας (ΒΔΕΑ).

Ένας ευρύτερα αποδεκτός ορισμός της Εφοδιαστικής αλυσίδας ο οποίος αποτυπώνεται στο μοντέλο του σχήματος 1.1 που διατυπώθηκε από το Global Supply Chain Forum του Πανεπιστημίου The Ohio State University, Η.Π.Α. (Lambert, 2004): *«Εφοδιαστική/Logistics είναι η ολοκληρωμένη διαδικασία σχεδιασμού, εφαρμογής και ελέγχου βασικών διαδικασιών που μετατρέπουν τις εισροές από τους προμηθευτές σε προϊόντα και υπηρεσίες που προσθέτουν αξία στους πελάτες».*

Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό οι δύο βασικές διαδικασίες «κλειδιά» για την αποτελεσματική ενοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η διαχείριση των σχέσεων με τους πελάτες και η διαχείριση των σχέσεων με τους προμηθευτές. Υπό την ευρεία έννοια, η εφοδιαστική αλυσίδα περιλαμβάνει εκτός από αυτές τις διαδικασίες και τις διαδικασίες διαχείρισης της ζήτησης, εξυπηρέτησης των πελατών, πλήρωσης των παραγγελιών, διαχείρισης επιστροφών, διαχείρισης παραγωγής. Ο συνδεδετικός κρίκος μεταξύ πελατών και προμηθευτών αποτελεί η διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων ή υπηρεσιών με αφετηρία τις εισροές από τους προμηθευτές και σύμφωνα με τις ανάγκες/προσδοκίες των πελατών.

Με τον όρο Εφοδιαστική Αλυσίδα λοιπόν εννοούμε όχι μόνο τη ροή υλικών από τον προμηθευτή πρώτων υλών ή τον κατασκευαστή μέχρι τον τελικό καταναλωτή, αλλά παράλληλα και τη ροή πληροφοριών μεταξύ των μελών της ίδιας αλυσίδας. Η επιχείρησή της γίνεται σε δύο επίπεδα:

- Επίπεδο προγραμματισμού: στο επίπεδό αυτό, αναλύονται τα δεδομένα προμηθειών, αναλώσεων παραγωγής, αποθεματοποίησης και πωλήσεων, γίνονται προβλέψεις και πλάνα πάνω στα οποία βασίζεται ο προγραμματισμός.
- Επίπεδο εκτέλεσης: στο στάδιο αυτό εκτελείται το πλάνο που έχει καθοριστεί στο επίπεδο προγραμματισμού και ακολουθείται η εξέλιξη του βάσει των δεδομένων και πληροφοριών που συλλέγονται από όλο το φάσμα της Εφοδιαστικής Αλυσίδας.

Η εφοδιαστική διαχείριση συνεπώς ασχολείται με την ανάπτυξη και υλοποίηση μιας μεθοδολογίας για ικανοποιητική και κοστολογικά αποτελεσματική επίτευξη των εφοδιαστικών στόχων μιας επιχείρησης, όπου οι στόχοι αυτοί συνοψίζονται στην ρήση «να παραδοθεί η σωστή ποσότητα του σωστού προϊόντος στον σωστό πελάτη στον σωστό τόπο και χρόνο σε σωστή τιμή». Η εφαρμογή των αρχών της εφοδιαστικής διαχείρισης απαντά συχνά την σύγκρουση συμφερόντων και στόχων μεταξύ διαφόρων τομέων ακόμα και μέσα στην ίδια την επιχείρηση. Για το λόγο αυτό, η τάση και η γενική αντίληψη είναι σήμερα η ολοκληρωμένη εφοδιαστική διαχείριση, η οποία σαν στόχο έχει στην επίλυση αυτών των συγκρούσεων με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ικανοποιητική και κοστολογικά αποτελεσματική για όλη την επιχείρηση στο σύνολό της. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο απαιτείται ανάλυση του ολικού εφοδιαστικού κόστους (total cost analysis) το οποίο εμπεριέχει όλες τις δαπάνες που συσχετίζονται με τους εφοδιαστικούς στόχους της επιχείρησης, από την αρχική φάση έρευνας της ιδέας ενός προϊόντος ως το τέλος της χρήσιμης ζωής αυτού του προϊόντος, και ονομάζεται κόστους κύκλου ζωής (life cycle cost). Παρόλο που η ανάγκη αυτή της ολοκληρωμένης προσέγγισης έχει ήδη συνειδητοποιηθεί από τα τέλη της δεκαετίας του '50 στις αρχές της '60, ανάπτυξη των ποσοτικών μεθόδων της Επιχειρησιακής Έρευνας, η εξέλιξη στην τεχνολογία των υπολογιστών και η προηγμένη τεχνολογία επικοινωνιών και πληροφορικής μας δίνουν τη δυνατότητα σήμερα να την εφαρμόσουμε. Ο στόχος της ολοκληρωμένης εφοδιαστικής διαχείρισης είναι η ανάπτυξη ενός εφοδιαστικού συστήματος που επιτυγχάνει τους εφοδιαστικούς στόχους της επιχείρησης με όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος. Η βασικότερη πρόκληση που έχει να

αντιμετωπίσει σε αυτή την ολοκλήρωση είναι η επίτευξη μιας ισορροπίας μεταξύ απόδοσης και κόστους που να βελτιστοποιούν τους στόχους της επιχείρησης.

### **1.2.1 Εφοδιαστική Αλυσίδα**

Μια εφοδιαστική αλυσίδα ή και δίκτυο εφοδιαστικής αποτελείται από όλα τα στάδια που λαμβάνουν μέρος άμεσα ή έμμεσα, στην ικανοποίηση των απαιτήσεων του πελάτη. Συνεπώς, η εφοδιαστική αλυσίδα αποτελείται από κατασκευαστές και προμηθευτές, από χώρους αποθήκευσης, κέντρα διανομών, μεταφορείς, πωλητές λιανικής, πελάτες, αλλά και από τις πρώτες ύλες, αποθέματα κατά την διαδικασία παραγωγής, και έτοιμα προϊόντα που ρέουν μεταξύ αυτών των σημείων (Μαρινάκης, 2008).

Η ικανοποίηση των πελατών συνεπάγεται ότι η ανάπτυξη νέων προϊόντων ή προβολή προϊόντων στην αγορά, η χρηματοδότηση, η εξυπηρέτηση πελατών κ.α., αποτελούν επίσης συστατικά στοιχεία της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Η εφοδιαστική αλυσίδα είναι δυναμική και εμπλέκει την ροή προϊόντων, πληροφοριών υπηρεσιών και κεφαλαίων μεταξύ των διαφόρων σταδίων. Κάθε στάδιο της αλυσίδας εκτελεί διαφορετικές διαδικασίες και αλληλοεπιδρά με άλλα στάδια της αλυσίδας.

Κάθε στάδιο της αλυσίδας δεν είναι απαραίτητο να συμπεριλαμβάνεται σε όλες τις εφοδιαστικές αλυσίδες. Ο κατάλληλος σχεδιασμός της εφοδιαστικής αλυσίδας εξαρτάται τόσο από τις απαιτήσεις των πελατών όσο και από τον ρόλο που διάφορα στάδια διαδραματίζουν στην ικανοποίηση αυτών των απαιτήσεων. Σε ορισμένες αλυσίδες, όπως για παράδειγμα στις αυτοκινητοβιομηχανίες είναι αναγκαίο να ληφθούν υπ' όψιν οι προμηθευτές των προμηθευτών και οι πελάτες των πελατών. Ενώ σε άλλες περιπτώσεις με χαρακτηριστικά παραδείγματα στην παραγωγή υπολογιστών εταιρειών σαν το «Πλαίσιο», δεν υπάρχει παρουσία πωλητών ολικής και λιανικής ή διανομέων καθώς η παραγγελία του ιδίου του πελάτη θέτει σε κίνηση την διαδικασία παραγωγής.

Είναι εμφανές ότι η εφοδιαστική αλυσίδα λαμβάνει υπ' όψιν της όλα τα έξοδα που δημιουργούνται στα διάφορα στάδια καθώς και από την αλληλεπίδραση των διαφόρων σταδίων μεταξύ τους. Χαρακτηριστική παρατήρηση είναι ότι σε κάθε εφοδιαστική αλυσίδα



ως πηγή εσόδων είναι αποκλειστικά ο πελάτης. Όμως, όλες οι ροές πληροφοριών, προϊόντων ή κεφαλαίων γενούν δαπάνες. Ο υπολογισμός του κόστους ροής σε πολλές περιπτώσεις των υλικών μέσω της αλυσίδας φτάνει το 75% του ολικού προϋπολογισμού.

Κυρίως είναι τρία τα εν χρήσει κριτήρια για την απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας:

- Το ολικό κόστος
- Το ολικό κέρδος
- Ο χρονικός κύκλος

Ο βασικός σκοπός της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η μεγιστοποίηση της ολικής αξίας, που η αξία αναφέρεται στη διαφορά μεταξύ του τι αξίζει το τελικό προϊόν για τον πελάτη και την προσπάθεια που καταβλήθηκε από την εφοδιαστική αλυσίδα για να ικανοποιήσει την απαίτηση του πελάτη. Συνεπώς ο σκοπός της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι να την καταστήσει εφικτή και αποτελεσματική ως προς το κόστος καθ' όλο το μήκος του συστήματος. Το ολικό κόστος που προέρχεται από τις μεταφορές, τη διανομή κτλ πρέπει να ελαχιστοποιηθεί. Προφανής στόχος είναι να μην γίνεται ελαχιστοποίηση του κόστους κάθε δραστηριότητας ξεχωριστά αλλά π.χ. ελαχιστοποίηση κόστους μεταφοράς αλλά στο σύνολο του συστήματος. Με άλλα λόγια η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας βασίζεται σε μία συνολική προσέγγιση και σκοπιά του συστήματος και όχι σε μεμονωμένη διαχείριση των επιμέρους κλάδων του συστήματος. Η συνολική προσέγγιση του συστήματος προϋποθέτει την κατανόηση της κάθε δραστηριότητας και λειτουργίας που πραγματοποιείται στην εφοδιαστική αλυσίδα σε σχέση με την αλληλεπίδρασή της με άλλα στοιχεία της αλυσίδας. Η ιδέα βασίζεται στο ότι το αποτέλεσμα μιας σειράς δραστηριοτήτων, όπου οι αλληλεξαρτήσεις και οι αλληλεπιδράσεις λαμβάνονται υπ' όψιν, είναι καλύτερο από το άθροισμα των ατομικών αποτελεσμάτων. Των επιμέρους δραστηριοτήτων. Εάν βελτιστοποιούνται μόνο οι επιμέρους δραστηριότητες ατομικά, το συνολικό αποτέλεσμα γίνεται υποβέλτιστο, και περαιτέρω βελτίωση είναι δυνατή μέσω της συνολικής προσέγγισης του συστήματος, όπως για παράδειγμα η μείωση του κόστους μεταφορών ενδεχομένως να οδηγήσει σε αύξηση του κόστους των αποθεμάτων και αντίστροφα.

Ομοίως, στην περίπτωση του ολικού κέρδους της εφοδιαστικής αλυσίδας το οποίο αναφέρεται στο ολικό κέρδος που πρέπει να διανεμηθεί κατά μήκος της αλυσίδας. Και πάλι, η απόδοση της δεν θα πρέπει να μετρηθεί με τα επιμέρους κέρδη των μεμονωμένων

στοιχείων της. Οπότε, ο σκοπός της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας περιέχει την διαχείριση των ροών μεταξύ των σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας για να μεγιστοποιήσει το ολικό κέρδος.

Ο χρονικός κύκλος είναι ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθεί η ολική διαδικασία από τις πρώτες ύλες στο έτοιμο προϊόν στα χέρια του πελάτη. Έχει υπολογιστεί ότι μόνο το 5% του κύκλου χρησιμοποιείται για την εκτέλεση της πραγματικής διαδικασίας. Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας θα πρέπει να αποσκοπεί στην βελτίωση της απόδοσης.

Υπάρχει η δυνατότητα να επιτευχθεί αυτή η ολική προσέγγιση της εφοδιαστικής αλυσίδας; Δυστυχώς, αν και μέσω της ολοκλήρωσης της εφοδιαστικής αλυσίδας μια εταιρεία δύναται να επιτύχει σημαντική μείωση κόστους και ταυτόχρονα βελτίωση του επιπέδου των υπηρεσιών που προσφέρει, η ολοκλήρωση αυτή δεν είναι πάντοτε εύκολη για δύο κυρίως λόγους.

- Διάφορα στοιχεία της αλυσίδας δύνανται να έχουν διαφορετικές και πιθανόν συγκεκριμένες στοχεύσεις. Π.χ. η επιθυμία των προμηθευτών για μεγάλες αγορές σε σταθερές ποσότητες με ελαστικές ημερομηνίες παράδοσης συγκρούεται με την ελαστική ζήτηση που αντιμετωπίζουν οι κατασκευαστές.
- Η εφοδιαστική αλυσίδα είναι ένα δυναμικό σύστημα που εξελίσσεται συν τω χρόνω. Π.χ. η ζήτηση των πελατών και η δυνατότητα των προμηθευτών υπόκεινται σε διακυμάνσεις, αλλά ακόμη και οι σχέσεις μέσα στην αλυσίδα αλλάζουν δυναμικά. Έτσι, καθώς η δύναμη των καταναλωτών αυξάνει, οι κατασκευαστές και οι προμηθευτές πιέζονται για την παραγωγή μεγαλύτερης ποικιλίας και ποσοτήτων προϊόντων υψηλότερης ποιότητας. Έχει επίσης παρατηρηθεί ότι ακόμα και αν η ζήτηση για κάποιο συγκεκριμένο προϊόν δεν μεταβάλλεται αισθητά, αποθέματα και ανικανοποίητες παραγγελίες δύνανται να υπόκεινται σε ουσιαστικές διακυμάνσεις κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας.

#### 1.2.1 Αποφάσεις στη Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας απαιτεί τη λήψη αποφάσεων που αφορούν τη ροή των υλικών και αγαθών, πληροφοριών και κεφαλαίων. Οι αποφάσεις οι οποίες αφορούν μια σειρά από δραστηριότητες και επιχειρηματικές στρατηγικές επιλογές. Ενδεικτικά και συνοπτικά μπορούμε να αναφέρουμε μερικές από αυτές οι οποίες επηρεάζουν την εφοδιαστική αλυσίδα.

1. Εξυπηρέτηση πελατών
2. Ανταλλακτικά και υπηρεσίες μετά την πώληση
3. Συσκευασία
4. Δημοσιεύσεις
5. Τροφοδοσία
6. Διαχείριση υλικού
7. Διαχείριση αποθηκών και κέντρου διανομής
8. Διαχείριση επιστρεφθέντων προϊόντων
9. Αντίστροφη εφοδιαστική
10. Πρόβλεψη ζήτησης
11. Χωροθέτηση εγκαταστάσεων
12. Διαχείριση αποθεμάτων

Μια στρατηγική που θα πρέπει να αναλυθεί στην παρούσα εργασία είναι αυτή των μεταφορών και διανομής.

Η διαδικασία έχει σχέση με τον τρόπο και τα μέσα για την μεταφορά, π.χ. του αποθέματος μέσα από φυσικά κανάλια διανομής. Για την μετακόμιση υλικών και αγαθών κατά πρώτον χρειάζεται να γίνει η επιλογή του μέσου, π.χ. αεροπλάνο, σιδηρόδρομος, αυτοκίνητο κτλ. Η επιλογή του τύπου μεταφορικού, η διευκρίνιση των διαδρομών και των δρομολογήσεων, η επιλογή των μεταφορέων κτλ.

Οι δαπάνες – έξοδα για τις μεταφορές αποτελούν κατά κανόνα το πιο μεγάλο κομμάτι του συνόλου εξόδων της εφοδιαστικής αλυσίδας. Προκύπτει ότι μια επιχείρηση σπάνια στηρίζεται μόνο σε εσωτερικούς πόρους για την διαδικασία των μεταφορών και των διανομών της. Πολύ συχνά αν όχι βέβαια πάντοτε, το εφοδιαστικό κανάλι μεταφορών αποτελείται από μια γκάμα ανεξάρτητων εταιρειών που δραστηριοποιούνται από κοινού προκειμένου να παραδώσουν τις πρώτες ύλες στην επιχείρηση και την παράδοση στη

συνέχεια των έτοιμων προϊόντων στους πελάτες της. Τα κέρδη που εξασφαλίζουν από την μεταφορά των πρώτων υλών αφενός και από τα έτοιμα προϊόντα αφετέρου αναφέρονται συχνά ως **ενδιάμεσοι ή μεσάζοντες**. Ειδικότερα, ένα μεταφορικό κανάλι μπορεί να αποτελείται από πολλούς και διάφορους μεσάζοντες, τα κέρδη ή οι πιθανές απώλειες έχουν άμεση εξάρτηση από τη σωστή λειτουργική απόδοση του όλου συστήματος.

Οι σωστά διαλεγμένη τακτική διανομών μπορεί να προβληματίσει, επηρεάζοντας τη διαχείριση των αποθεμάτων αλλά και την χωροθέτηση των εγκαταστάσεων. Για παράδειγμα, η στρατηγική διανομών μπορεί να στηριχθεί στους ονομαζόμενους «σταθμούς μεταφόρτωσης» (crossdocking points), σε εγκαταστάσεις δηλαδή που δεν έχουν αποθέματα αλλά όμως δεν παύουν να λειτουργούν ως συντονιστές του μηχανισμού προώθησης των προϊόντων και ως ενδιάμεσοι κόμβοι για νέες εισερχόμενες παραγγελίες. Επομένως, η επιλογή της στρατηγικής για την διανομή είναι άμεσα εξαρτώμενη με την επιλογή του είδους των εγκαταστάσεων. Η διανομές μπορεί να στηριχθούν σε παραδοσιακούς χώρους με αποθέματα, σε εγκαταστάσεις υπό την μορφή σταθμών μεταφόρτωσης και διαμετακόμισης ή σε απευθείας μεταφορές. Ένας άλλος παράγοντας όπως η χωροθέτηση εγκαταστάσεων παραγωγής επηρεάζεται από την ύπαρξη καναλιών μεταφοράς και διανομής που είναι ικανοποιητικά και κοστολογικά αποτελεσματικά.

Η εφοδιαστική διανομή (distribution logistics) αποτελεί τον τομέα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας που είναι ο κατ' εξοχήν υπεύθυνος για τις εξής σωστές ενέργειες:

- a. Παράδοση προϊόντων στους πελάτες στον κατάλληλο τόπο
- b. Κατάλληλη χρονική στιγμή
- c. Κατάλληλη κατάσταση προϊόντων
- d. Σωστό κόστος

Κατά παράδοση, η φυσική διανομή (physical distribution) αποτελεί μόνο ένα τμήμα της εφοδιαστικής αλυσίδας, αφού η διανομή επιστεύετω ότι ήταν δύο διαφορετικές λειτουργίες. Το τμήμα πωλήσεων ήταν αρμόδιο για την ανάθεση στους διανομείς ή στους μεσάζοντες και για τις σχετικές συμφωνίες οι οποίες θα καθόριζαν τις εμπορικές δραστηριότητες των καναλιών διεκπεραίωσης (transaction channel). Από την άλλη πλευρά την διαχείριση των φυσικών αποθεμάτων και ροών, δηλαδή τα κανάλια φυσικής διανομής, την είχαν δικαιωματικά εξειδικευμένοι διαχειριστές όπως παραδείγματος χάρη ο

διαχειριστής αποθήκης ή ο διαχειριστής μεταφορών κτλ. Συνάγεται όμως, ότι αποτελεσματική διαχείριση των διανομών είναι απραγματοποίητη αν δεν ληφθούν υπόψη το ισχυρό δέσιμο με την τροφοδοσία και την παραγωγή όπως και διάφορες άλλες εξαρτήσεις ανάμεσα στις διαδικασίες που υπάρχουν στην εφοδιαστική αλυσίδα. Κατά συνέπεια, δεν διακρίνονται διαχωριστικές γραμμές ανάμεσα στην διαχείριση της εφοδιαστικής γενικά, τη εφοδιαστικής διανομής και της εφοδιαστικής αλυσίδας.

## 2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗ

### 2.1 Γενικά

Η εφοδιαστική αλυσίδα ως ορισμός είναι η διαδικασία που έχει σχέση με τον σχεδιασμό την εφαρμογή και τον έλεγχο της αποτελεσματικής ροής και της αποθήκευσης των πρώτων υλών, προϊόντων σε ημικτέργαστη μορφή, τελικών προϊόντων και της σχετιζόμενης πληροφορίας από το σημείο προέλευσης στο σημείο της κατανάλωσης με αποκλειστική μέριμνα τη συμμόρφωση στις πελατειακές απαιτήσεις. Σκοπός και μέριμνα της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι να μεταφερθούν τα σωστά και κατάλληλα προϊόντα ή οι κατάλληλες υπηρεσίες στο κατάλληλο σημείο την κατάλληλη ώρα στην επιθυμητή κατάσταση και παράλληλα να επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη απόδοση για την εταιρεία. Βασικά, όλες οι δραστηριότητες της εφοδιαστικής αλυσίδας λειτουργούν ως σύνδεσμος μεταξύ τη παραγωγής και της κατανάλωσης που στην ουσία αποτελούν μια γέφυρα μεταξύ δύο παραμέτρων ήτοι της τοποθεσίας παραγωγής των προϊόντων και της τοποθεσίας που υπάρχουν και βρίσκονται είτε οι αγοραστές και οι προμηθευτές που μπορεί να χωρίζονται τοπικά και χρονικά.

Ορισμένες από τις κυρίαρχες λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελούν η διαλογή των προμηθευτών, ο έλεγχος των αποθεμάτων, η διαχείριση των αποθηκών, η διαχείριση των υλικών ανάμεσα σε όλες τις λειτουργίες, η ανεύρεση της κατάλληλης αποθήκης, η τοποθέτηση των αποθεμάτων και πρωτίστως η μεταφορά των πρώτων υλών και των προϊόντων ανάμεσα στους προμηθευτές, τις αποθήκες, τα καταστήματα και εν τέλει προς τους τελικού καταναλωτές. Λαμβανομένου υπ' όψιν ότι οι πηγές των πρώτων υλών, τα εργοστάσια τα σημεία πώλησης δεν βρίσκονται συνήθως στα ίδια σημεία, η εφοδιαστική αλυσίδα υπόκειται σε δραστηριότητες που επαναλαμβάνονται πολλές φορές προτού ένα τελικό προϊόν φτάσει στην αγορά. Αλλά ακόμη και τότε οι δραστηριότητες της εφοδιαστικής αλυσίδας επαναλαμβάνονται εκ νέου για τι τα χρησιμοποιημένα προϊόντα ανακυκλώνονται στο δίκτυο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Μπορούμε να αναφέρουμε ότι μια μόνο εταιρεία δεν είναι γενικά ικανή να ελέγξει και να παρακολουθήσει μόνη της όλο το κανάλι των ροών προϊόντων από τις πηγές των πρώτων υλών μέχρι τα σημεία της τελικής κατανάλωσης. Η εφοδιαστική αλυσίδα μίας εταιρείας περιορίζεται στη διαχείριση των

άμεσων καναλιών εφοδιασμού και διανομής. Το φυσικό κανάλι εφοδιασμού αναφέρεται στο χρονικό και χωρικό κενό μεταξύ των άμεσων πηγών των υλικών της εταιρείας και των σημείων επεξεργασίας τους. Κατά τον ίδιο τρόπο το φυσικό κανάλι διανομής αναφέρεται στο χρονικό και χωρικό χάσμα ενδιάμεσως των σημείων επεξεργασίας και στους πελάτες της. Εξαιτίας των ομοιοτήτων που υπάρχουν στις δραστηριότητες μεταξύ των δύο καναλιών, η διαχείριση των υλικών και η φυσική διανομή είναι εκείνες οι δραστηριότητες οι οποίες ενοποιούνται στην εφοδιαστική αλυσίδα. Αν και θα ήταν εύκολο να καταστήσουμε την εφοδιαστική αλυσίδα ως την διαχείριση της ροής των προϊόντων από τα σημεία που λαμβάνονται προς τους πελάτες, για αρκετές εταιρείες υπάρχει ένα αντίστροφο κανάλι της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η ζωή ενός προϊόντος αξιολογώντας το πάντα σε σχέση με την εφοδιαστική αλυσίδα, δεν τελειώνει με την παράδοση του προϊόντος στον πελάτη. Ωε γνωστόν τα προϊόντα υφίστανται βλάβες, έχουν φυσική φθορά ή δεν λειτουργούν και κατά συνέπεια επιστρέφονται στα σημεία προέλευσής τους προκειμένου να επιδιορθωθούν ή και να ξαναδιατεθούν. Τα αντίστροφο κανάλι της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορεί να χρησιμοποιήσει όλο ή κάποιο τμήμα από το κανάλι της εφοδιαστικής αλυσίδας, ή ακόμη να χρειαστεί διαφορετικό σχεδιασμό. Η ολοκλήρωση της εφοδιαστικής αλυσίδας πραγματοποιείται με την τελική διάθεση του προϊόντος και το αντίστροφο κανάλι πρέπει να θεωρηθεί ως ένα τμήμα του σχεδιαστικού στόχου και του ελέγχου της εφοδιαστικής αλυσίδας. Το μεγαλύτερο κόστος για μία επιχείρηση σε σχέση με την εφοδιαστική αλυσίδα είναι οι μεταφορές και τα αποθέματα που συνιστούν παράλληλα και τις πρωταρχικές δραστηριότητες. Οι μεταφορές είναι ο σύνδεσμος ανάμεσα στην παραγωγή, την αποθήκευση και την κατανάλωση. Θεωρείται ότι η μεταφορά φορτίου απορροφά μεταξύ του 1/3 και των 2/3 από το όλο κόστος της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η αναζήτηση δραστικών και αποτελεσματικών μεθόδων μεταφοράς είναι το κυρίαρχο στοιχείο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι σωστές εγκαταστάσεις, ο σωστός εξοπλισμός και οι κατάλληλοι άνθρωποι με επαρκή γνώση είναι τα κυρίαρχα στοιχεία σε οποιοδήποτε σύστημα μεταφορών. Επομένως, όποιος ασχολείται με την εφοδιαστική αλυσίδα οφείλει να έχει μια επαρκέστατη αντίληψη και κατανόηση όλων των θεμάτων και των παραμέτρων που συνδέονται με τη διαχείριση των μεταφορών.

Ο διαχωρισμός των μεταφορών χωρίζεται σε δύο μέρη. Στις **εσωτερικές** που περιλαμβάνουν διάφορα σκέλη, δηλαδή την μεταφορά των πρώτων υλών από τις πηγές

τους προς τα εργοστάσια όσο και μέρη από τα τελικά προϊόντα ανάμεσα από διάφορα εργοστάσια της εταιρείας ή ακόμα την διανομή των τελικών προϊόντων από τα εργοστάσια προς τις αποθήκες ή στα σημεία πωλήσεων. Στις **εξωτερικές** μεταφορές που διαχειρίζονται την μεταφορά των τελικών προϊόντων από τις αποθήκες στους πελάτες άμεσα ή διαμέσου κέντρων διανομής.

## 2.2 Μεταφορές

Ο σχεδιασμός των μεταφορών αντιμετωπίζει προβλήματα μερικά εξ αυτών που θεωρούνται και πολύ σημαντικά είναι:

- a. Η επιλογή του στόλου μεταφοράς, δηλαδή το μέγεθος του στόλου καθώς επίσης η χρήση διαφορετικού οχήματος
- b. Η δρομολόγηση των οχημάτων που περιλαμβάνει την επιλογή των σωστότερων διαδρομών λαμβάνοντας υπ' όψιν την δομή του δικτύου
- c. Τις αποστάσεις
- d. Την χωρητικότητα των διαδρομών (σχεδιασμός του δικτύου όπου θα πραγματοποιηθεί η διανομή – βελτίωση των δρομολογίων, του χρονοπρογραμματισμού των δρομολογίων, επιλογή διαφόρων ενδιάμεσων αποθηκών.
- e. Καθώς την επιλογή του κατάλληλου προσωπικού που θα πραγματοποιήσει τις διανομές (σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνεται και ο καθορισμός απαιτήσεων του προσωπικού).

Όσον αφορά τα λειτουργικά προβλήματα που εμπεριέχονται στον όρο μεταφορά είναι το πρόβλημα του καθορισμού και του ελέγχου της διαδικασίας αποστολής των προϊόντων, καθώς επίσης σημαντικό πρόβλημα – παράγοντα αποτελεί ο χρονοπρογραμματισμός των πληρωμάτων και των οχημάτων που θα εμπλακούν στην πραγματοποίηση των μεταφορών.

Μια αναπαράσταση υπό την μορφή δικτύου, κόμβων και τόξων μπορεί να αναπαραστήσει ένα σύστημα μεταφοράς όπου κόμβοι αντιπροσωπεύουν πόλεις, αεροδρόμια, στάσεις και αποθήκες και όπου τόξα αντιπροσωπεύουν τους συνδέσμους ή τις διαδρομές μεταξύ των κόμβων. Βέβαια οι κόμβοι και τα τόξα μπορεί να έχουν περιορισμούς χωρητικότητας. Για



την μεταφορά των φορτίων μεταξύ δύο σημείων υπάρχουν διαθέσιμοι διαφορετικοί τρόποι. Ο χρήστης των μεταφορικών μέσων έχει στη διάθεσή του ένα ευρύ πεδίο από υπηρεσίες οι οποίες περιστρέφονται γύρω από τους πέντε τρόπους μεταφοράς. Ειδικότερα, οι πέντε αυτοί τρόποι μεταφοράς είναι οι σιδηροδρομικοί μεταφορείς, οι οδικοί μεταφορείς, οι αεροπορικοί μεταφορείς, οι θαλάσσιοι μεταφορείς και αγωγοί μεταφορών. Ας σημειώσουμε ότι μια υπηρεσία μεταφοράς αποτελείται από ένα σύνολο με χαρακτηριστικά απόδοσης που αγοράζονται κάποια δεδομένη χρονική στιγμή. Έχει παρατηρηθεί ότι τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια αυξανόμενη χρήση περισσότερων από έναν τρόπο μεταφοράς γεγονός που προσδίδει πλεονεκτήματα όπως επί παραδείγματι ευρύτερη επιλογή δρομολογίων, πιο βελτιωμένες υπηρεσίες, καλύτερη τιμολόγηση και διαχείριση μεγαλύτερων ποσοτήτων.

#### 2.2.1 Σιδηροδρομικοί μεταφορείς

Έχουν το πλεονέκτημα της μεταφοράς μεγάλων ποσοτήτων προϊόντων σε εξαιρετικά μεγάλες αποστάσεις με μικρό κόστος αφενός, τα δε υλικά που μεταφέρουν είναι οποιασδήποτε μορφής αφετέρου. Για τον σκοπό αυτό προσφέρουν τις καλύτερες και καταλληλότερες εγκαταστάσεις όπως και τον κατάλληλο εξοπλισμό χειρισμού υλικών.



Εικόνα 1: [www.trainose.gr](http://www.trainose.gr)

### 2.2.2 Οδικοί μεταφορείς

Την σήμερον ημέρα, παρατηρούμε την ύπαρξη πάρα πολλών παραλλαγών στον τομέα των μεταφορικών μέσων τα οι οποίες καλύπτουν σχεδόν οποιαδήποτε μεταφορική ανάγκη. Ειδικότερα, οι οδικοί μεταφορείς έχουν τη δυνατότητα μεταφοράς προϊόντων από πόρτα σε πόρτα χωρίς να χρειάζεται κάποια μετατροπή όπως επίσης η πολύ μεγάλη ευελιξία στην επιλογή δρομολογίων και της αλλαγής κατευθύνσεων.

### 2.2.3 Αεροπορικοί μεταφορείς

Με το μέσο αυτό στο μεγαλύτερο ποσοστό περίπου 90% μεταφέρονται επιβάτες και μόνο στο εναπομείναν 10% μεταφέρονται φορτία προϊόντων τα οποία συνήθως είναι μεγάλης αξίας ή υλικά των οποίων η διάρκεια ζωής είναι μικρή ή προϊόντα που χαρακτηρίζονται ως επείγοντα όπως για παράδειγμα τα εμβόλια για την καταπολέμηση της πανδημίας που βιώνουμε σήμερα.

### 2.2.4 Θαλάσσιες μεταφορείς

Αυτή η κατηγορία μεταφορέων διακρίνεται σε εγχώριους και υπερπόντιους με κύριο χαρακτηριστικό την δυνατότητά τους να μεταφέρουν μεγάλα ή παντός είδους φορτία με χαμηλό κόστος ανά μίλι. Στοιχεία που αντισταθμίζουν το γεγονός ότι απαιτείται εξαιρετικά αρκετά μεγάλος χρόνος προκειμένου να ολοκληρωθεί η μεταφορά. Ο τύπος του θαλάσσιου μεταφορέα προσδιορίζεται από το είδος του μεταφερόμενου φορτίου όπως η μεταφορά επικίνδυνων και εξειδικευμένων φορτίων, πρακτική που μπορεί να απαιτηθεί είτε για λόγους ασφάλειας είτε γιατί κάποιες χώρες να μην επιτρέπουν κατά άλλο τρόπο τη μεταφορά ορισμένων φορτίων από το κράτος τους.

## 2.4 Αγωγοί μεταφορείς

Οι αγωγοί μεταφορών διακινούν υγρά φορτία και αέρια. Αυτή η μορφή μεταφοράς παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι τέτοιου είδους μεταφορά έχει ως προϋπόθεση να πραγματοποιείται μόνο όπου υπάρχει εγκατεστημένο δίκτυο και κυρίως προς μία μόνο

κατεύθυνση αν και η άλλη κατεύθυνση μπορεί να είναι εφικτή σε θεωρητικό επίπεδο πρακτικά όμως προϋποθέτει την τροποποίηση του δικτύου των αντλιών γεγονός που την καθιστά εξαιρετικά δύσκολη. Η μορφή μεταφοράς με αγωγούς έχει βέβαια το χαμηλότερο κόστος μεταφοράς και δεν απαιτεί συσκευασία των προϊόντων ούτε υπάρχει ανεκμετάλλευτος ή υποαπασχολούμενος εξοπλισμός.

## 2.5 Σύγκριση και επιλογή μεταξύ Μέσων Μεταφοράς

Συγκρίνοντας τα μέσα μεταφοράς με κριτήριο τα βασικά χαρακτηριστικά τους, όπως ταχύτητα, συνέπεια, κτλ., προκύπτει ο πίνακας 7.1.

Το βασικό πλεονέκτημα των μέσων μεταφοράς εντοπίζεται σύμφωνα με τον πίνακα αυτό, στα εξής σημεία:

1. Θαλάσσιες μεταφορές: πολύ χαμηλό κόστος. Ενδεικτικά, για τη μεταφορά ενός container από την Πράγα στο Αμβούργο οδικώς και στη συνέχεια στο Χονγκ Κονγκ θαλασσίως, το 80% του κόστους αφορά τα έξοδα φόρτωσης και οδικής μεταφοράς του από την Πράγα προς το Αμβούργο.
2. Οδικές μεταφορές: ευελιξία μεταφοράς προϊόντων, βασικό κυρίαρχο μέσο στις κοντινές αποστάσεις.
3. Σιδηροδρομικές μεταφορές: το φιλικότερο προς το περιβάλλον μέσο μεταφοράς.
4. Αεροπορικές μεταφορές: το ταχύτερο μέσο μεταφοράς.

Στη διαδικασία επιλογής μεταξύ εναλλακτικών μέσων μεταφοράς σημαντικό ρόλο, εκτός των παραγόντων του πίνακα 2.1, παίζουν:

- a. Το είδος του προϊόντος (διάρκεια ζωής, αξία, κτλ.) π.χ. αγροτικά προϊόντα από Λατινική Αμερική μεταφέρονται αεροπορικώς προς την Ευρώπη
- b. Η «φύση» της παραγγελίας, για παράδειγμα, μία έκτακτη παραγγελία συνεπάγεται την επιλογή γρηγορότερων μέσων μεταφοράς (π.χ. αερομεταφορές)

Γενικά η έμφαση της πολιτικής των εταιριών (κοστοκεντρική, πελατοκεντρική, περιβαλλοντική), π.χ. υπάρχουν επιχειρήσεις που αποδέχονται προμηθευτές εφόσον ικανοποιούν συγκεκριμένες προδιαγραφές προϊόντων (π.χ. ανακυκλώσιμη συσκευασία), συνθηκών παραγωγής (π.χ. συνθήκες εκμετάλλευσης ντόπιων κατοίκων) αλλά και μεταφορών (χρήση π.χ. σιδηρόδρομου σε ένα μέρος της διαδρομής) (Μαλινδρετος, 2015).

<b>ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</b>	<b>ΟΔΙΚΕΣ</b>	<b>ΣΙΔΗΡ/ΚΕΣ</b>	<b>ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ</b>	<b>ΕΝΑΕΡΙΕΣ</b>
<b>ΚΑΛΥΨΗ ΑΓΟΡΑΣ</b>	ΣΗΜΕΙΟ ΠΡΟΣ ΣΗΜΕΙΟ	ΣΤΑΘΜΟ ΠΡΟΣ ΣΤΑΘΜΟ	ΣΤΑΘΜΟ ΠΡΟΣ ΣΤΑΘΜΟ	ΣΤΑΘΜΟ ΠΡΟΣ ΣΤΑΘΜΟ
<b>ΑΞΙΑ ΑΓΑΘΩΝ</b>	ΚΑΘΕ ΤΥΠΟΥ	ΜΙΚΡΗ-ΜΕΤΡΙΑ	ΜΙΚΡΗ	ΥΨΗΛΗ
<b>ΤΑΧΥΤΗΤΑ</b>	ΜΕΤΡΙΑ	ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ
<b>ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ</b>	ΥΨΗΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ	ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ
<b>ΣΥΝΕΠΕΙΑ</b>	ΥΨΗΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ	ΧΑΜΗΛΗ-ΜΕΤΡΙΑ	ΥΨΗΛΗ
<b>ΑΠΩΛΕΙΕΣ</b>	ΧΑΜΗΛΕΣ	ΜΕΤΡΙΕΣ-ΥΨΗΛΕΣ	ΧΑΜΗΛΕΣ-ΜΕΤΡΙΕΣ	ΧΑΜΗΛΕΣ
<b>ΕΥΕΛΙΞΙΑ</b>	ΥΨΗΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ	ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ-ΜΕΤΡΙΑ
<b>ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ</b>	ΥΨΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ
<b>ΚΟΣΤΟΣ (€)</b>	ΜΕΤΡΙΟ	ΧΑΜΗΛΟ	ΧΑΜΗΛΟ	ΥΨΗΛΟ

Για την διαχείριση των μεταφορών εμφανίζονται τρεις διαφορετικές κατηγορίες

1. Φυσικές: τα αντικείμενα που διαχειριζόμαστε:
  - a. Πόροι που έχουν επαναχρησιμοποιηθεί. Για τα κλασσικά μοντέλα μεταφορών που πραγματοποιούνται εκ μέρους του μεταφορέα, απλά υπάρχει ένα κόστος για την μεταφορά από την μια τοποθεσία στην άλλη. Σε αυτήν την διαδικασία η εταιρεία μεταφορών κάνει χρήση των επαναχρησιμοποιούμενων πόρων όπως για παράδειγμα η χρησιμοποίηση οδηγών τρακτέρ και ρυμουλκούμενων. Προκειμένου να εξυπηρετηθεί η ζήτηση κάποιου πελάτη επιστρατεύονται διαφορετικοί πόροι της εταιρείας

που συνδυάζονται μεταξύ τους έχοντας ως στόχο την ολοκλήρωση της εργασίας (Μαλινδρετος, 2015).

## 2. Οικονομικές

- a. Τιμολόγηση συμβολαίων. Σημαντική παράμετρος στην υπηρεσία μεταφοράς είναι η σωστή τιμολόγησή της. Το δίκτυο μεταφοράς περιπλέκει και επιδρά στην τιμολόγηση των υπηρεσιών μεταφοράς αφενός και αφετέρου από την πρακτική ότι ο πελάτης πληρώνει μόνο όταν θα παραλάβει το προϊόν αλλά ταυτόχρονα απαιτεί να είναι έτοιμο όταν το παραγγείλει (Μαλινδρετος, 2015).
- b. Σταθερή τιμολόγηση ορίζεται ως το σταθερό κόστος που απαιτείται για την μεταφορά κάποιου προϊόντος από την πηγή στον τελικό προορισμό του (Μαλινδρετος, 2015).

## 3. Πληροφοριακές

- a. Ζήτηση των πελατών. Το σύστημα δέχεται την τυχαία εισαγωγή των παραγγελιών εκ μέρους των πελατών με διαφορετική πληροφόρηση
- b. Διαθεσιμότητα πόρων: συνήθως επηρεάζεται από εξωγενείς παράγοντες
- c. Χωρικός κατανομημένη πληροφορία. Σήμερα στην πληροφορική εποχή που ζούμε διαπιστώνεται κυρίως στις μεγάλες επιχειρήσεις το φαινόμενο ότι πολλές πληροφορίες ανευρίσκονται σε διάφορα μέρη του συστήματος και δεν είναι διαθέσιμες κεντρικά και αυτό έχει ως αποτέλεσμα το γεγονός ότι πολλές αποφάσεις λαμβάνονται τοπικά. Βέβαια το θέμα αυτό τείνει προς βελτίωση (Μαλινδρετος, 2015).

## 2.6 Οικονομικά στοιχεία και αποδοτικότητα μεταφοράς

Η οικονομική χρησιμότητα της μεταφοράς προσώπων και αγαθών εξαρτάται από το οικονομικό αποτέλεσμα που επιδιώκεται και προσδοκείται από την εκτέλεσή της. Η οικονομική δραστηριότητα αποβλέπει στην παραγωγή, διανομή και ανταλλαγή αγαθών και υπηρεσιών. Το σύνολο των οικονομικών αυτών λειτουργιών είναι αδύνατον να συντελεσθεί χωρίς τη μεταφορά και χωρίς αυτήν δεν γίνεται δυνατή η ικανοποίηση των αναγκών της κοινωνίας (Σαμπράκος, 2008). Ο άνθρωπος παράγει αγαθά είτε για άμεση κατανάλωση από

τον ίδιο, είτε για αποθήκευση, είτε για να τα ανταλλάξει με άλλα αγαθά που έχει ανάγκη και δεν παράγει ο ίδιος. Το είδος των αγαθών που παράγει εξαρτάται αφενός μεν από τις ανάγκες του και αφετέρου από τη σύνθεση και το μέγεθος των συντελεστών παραγωγής που έχει στη διάθεσή του. Έτσι π.χ. δεν παράγει όλα τα αγαθά που χρειάζεται για να ικανοποιήσει τις ανάγκες του εκτός αν κατορθώσει να έχει στη διάθεσή του όλες τις απαραίτητες πρώτες ύλες, καύσιμα και λοιπά αναγκαία μέσα για την παραγωγική διαδικασία. Σε κάθε περίπτωση όμως, βασικό στοιχείο για την επίτευξη αυτού του σκοπού είναι η λειτουργία της μεταφορικής διαδικασίας. Ανάλυση Πολυμεταβλητων Τεχνικών, Εφαρμογές Περιπτώσεων 164 Μέσω της μεταφορικής διαδικασίας μπορούν να επιτευχθούν μια σειρά από οικονομικά αποτελέσματα τα οποία και είναι τα εξής:

- Η διεύρυνση των ορίων της αγοράς είναι το πρώτο αποτέλεσμα. Η μεταφορά είναι το μέσο με το οποίο επιτυγχάνεται η αξιοποίηση της γης και του πλούτου που αυτή παράγει, αφού καθιστά δυνατή τη διακίνηση των παραγόμενων αγαθών στις αγορές όπου εκδηλώνεται η αντίστοιχη ζήτηση. Μέσω λοιπόν της μεταφοράς επιτυγχάνεται η εξουδετέρωση των οικονομικών προβλημάτων και μειονεκτημάτων τα οποία προκαλούνται από την άνιση κατανομή των διαθέσιμων πλουτοπαραγωγικών πόρων μεταξύ χωρών και ηπείρων.
- Με τη διεύρυνση της αγοράς έρχεται ως άμεσο επακόλουθο το επόμενο αποτέλεσμα το οποίο και είναι η εξισορρόπηση μεταξύ της ζήτησης και της προσφοράς από τόπο σε τόπο. Χωρίς τη μεταφορά οι κατά τόπους ανθρώπινες κοινωνίες θα βρίσκονταν σε πλήρη εξάρτηση από τις φυσικές πηγές πλούτου του άμεσου περιβάλλοντος. Στο μέγεθος της παραγωγής θα επιδρούσε εξίσου περιοριστικά η έκταση των αναγκών της επιτόπιας ζήτησης. Όταν η ανταλλαγή προϊόντων γίνεται σε μικρή γεωγραφική περιοχή έχει κατ' ανάγκη περιορισμένη έκταση. Μέσω όμως της διαδικασίας μεταφοράς η αγορά που είναι στη διάθεση κάθε πωλητή διευρύνεται (αύξηση προσφοράς) και η ζήτηση των προϊόντων του αυξάνεται. Όσο περισσότερο αυξάνουν οι αποστάσεις στις οποίες πραγματοποιείται η μεταφορά, τόσο περισσότερο διευρύνεται η αγορά και το μέγεθος της ζήτησης.
- Το τρίτο αποτέλεσμα είναι συνάρτηση των δυο προηγούμενων και είναι η τάση για διαμόρφωση ενιαίων τιμών στα βασικής τουλάχιστον σημασίας αγαθά. Με την επέκταση του δικτύου των δυνατοτήτων της μεταφοράς διευρύνεται ο κύκλος των πωλητών που

διαθέτουν ένα προϊόν. Με αυτό τον τρόπο ο αγοραστής αποκτά την ευχέρεια επιλογής αγαθών ως προς την προσφερόμενη ποιότητα και τιμή ή και ακόμα ως προς τους όρους και τον τρόπο πληρωμής.

- Η μείωση της τιμής είναι ένα ακόμα αποτέλεσμα της μεταφοράς. Συγκεκριμένα, η φθινή μεταφορά μειώνει το κόστος της εφοδιαστικής αλυσίδας με θετικές συνέπειες και στη μείωση της τιμής των προϊόντων.

#### 7.9.2 Κόστος μεταφοράς και αξιολόγηση αποδοτικότητας

Το μεταφορικό κόστος αποτελεί στοιχείο του συνολικού λειτουργικού κόστους, επηρεάζει την τελική τιμή των προϊόντων και κατ' επέκταση το «κόστος ζωής». Εφόσον το μεταφορικό κόστος δεν λαμβάνεται επαρκώς υπόψη, το αποτέλεσμα θα είναι είτε υψηλή τιμή των προϊόντων είτε προβλήματα στη διανομή και στην τροφοδοσία του καταναλωτικού κοινού. Το μεταφορικό κόστος παρουσιάζει μειωτική τάση στο συνολικό κόστος κατά μονάδα, με την αύξηση του μεταφορικού όγκου. Όπως δε είναι γνωστό από τη Μικροοικονομική, φθίνον «οριακό κόστος» (marginal cost) διαμορφώνεται μέσω «οικονομιών κλίμακας» (economies of scale). Έτσι αναδεικνύεται η σημασία του μεταφορικού όγκου στο κόστος μεταφοράς και στο συνολικό κόστος, στις τιμές κτλ. Γενικότερα, οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος μεταφοράς σχετίζονται με το προϊόν και την αγορά. Πιο συγκεκριμένα: α) Παράγοντες που σχετίζονται με το προϊόν: Διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες: 1) Πυκνότητα 2) Συσσωρευμένα στοιχεία 3) Ευκολία ή δυσκολία στη διαχείριση 4) Αξία Η «πυκνότητα» αναφέρεται στον δείκτη βάρους προς τον όγκο. Αντικείμενα, όπως το ασφάλι, οι κονσέρβες, τα υλικά οικοδομών και τα χαρτικά έχουν υψηλό δείκτη βάρους προς όγκο. Αντίθετα, προϊόντα όπως ηλεκτρονικά, ρούχα και παιχνίδια έχουν χαμηλό όγκο σε αναλογία με το βάρος τους. Κριτήριο για το μεταφορικό κόστος είναι κυρίως ο όγκος, αλλά και το βάρος που χρησιμοποιείται συχνά (για παράδειγμα στις διανομές στα νησιά). Τα «συσσωρευμένα στοιχεία» είναι ο βαθμός στον οποίο ένα προϊόν μπορεί να συμπληρώσει τον διαθέσιμο χώρο σε ένα όχημα μεταφοράς. Για παράδειγμα, τα προϊόντα πετρελαίου έχουν μεγάλη συσσωρευτική ικανότητα αφού έχουν πολλά συσσωρευμένα στοιχεία τα οποία μπορούν να γεμίσουν πλήρως το μέσο μεταφοράς. Αλλά αντικείμενα, όπως τα αυτοκίνητα και τα μηχανήματα για παράδειγμα, δεν έχουν καλή συσσωρευσιμότητα. Η ιδιότητα αυτή εξαρτάται από το μέγεθος, το σχήμα, το πόσο

εύθραυστο είναι το προϊόν και άλλα φυσικά χαρακτηριστικά του προϊόντος. Σχετική με την παραπάνω ιδιότητα είναι η «ευκολία ή δυσκολία στη διαχείριση» του προϊόντος. Κάποια αντικείμενα είναι δύσκολα στον χειρισμό (ανύψωση, τοποθέτηση, κτλ.) με συνεπακόλουθο να είναι πιο δαπανηρή η μεταφορά τους. Αντίθετα, προϊόντα τα οποία είναι ομοιόμορφα στα φυσικά τους χαρακτηριστικά (π.χ. πρώτες ύλες) ή προϊόντα τα οποία δεν μπορούν να αλλοιωθούν από τον εξοπλισμό διαχείρισης (π.χ. τα ανυψωτικά μηχανήματα), απαιτούν μικρότερο κόστος διαχείρισης. Η αξία αποτελεί ακόμα έναν σημαντικό παράγοντα. Προϊόντα με μεγάλο δείκτη αξίας προς όγκο, τα οποία Ανάλυση Πολυμεταβλητων Τεχνικών, Εφαρμογές Περιπτώσεων 165 είναι εύκολο να καταστραφούν, καθώς και προϊόντα για τα οποία υπάρχει κίνδυνος κλοπής, κοστίζουν πολύ για τη μεταφορά τους. β) Παράγοντες που σχετίζονται με την αγορά: Εκτός από τα χαρακτηριστικά των προϊόντων, υπάρχουν και σημαντικοί παράγοντες οι οποίοι σχετίζονται με την αγορά και επηρεάζουν το μεταφορικό κόστος. Οι σπουδαιότεροι από αυτούς είναι (Hensher and Button, 2002, Hoyle, 1999):

- Ο βαθμός ανταγωνισμού σε κάθε μέσο μεταφοράς και μεταξύ των τύπων του μέσου αυτού
- Η γεωγραφική θέση των αγορών (η απόσταση μεταφοράς)
  - Το νομοθετικό πλαίσιο στα θέματα μεταφοράς
  - Η συχνότητα των μεταφορών σε μια περιοχή
  - Η ποιότητα της υποδομής (οδικά δίκτυα, αεροδρόμια, κτλ.)
  - Ο κυκλοφοριακός φόρτος (όσον αφορά κυρίως τις οδικές μεταφορές)
  - Η εποχικότητα των μετακινήσεων ενός προϊόντος

Εάν το προϊόν μεταφέρεται εντός της χώρας ή σε χώρες του εξωτερικού Η ανάπτυξη της πληροφορικής τεχνολογίας μειώνει σημαντικά το κόστος μεταφοράς βελτιώνοντας σημαντικά την αποδοτικότητα αφού συντελεί:

- Στην αποτελεσματικότερη χρήση του στόλου των οχημάτων. Σχεδόν το 30% των φορτηγών κυκλοφορούν άδεια, το 56% μισογεμάτα και το 14% γεμάτα, χωρίς να είναι γνωστός ο αριθμός των φορτηγών που παραμένουν ανενεργά.



- Στην ορθή κατανομή των παραγγελιών ανά περιοχή χωρίς λάθος (αυτόματο συνταίριασμα των διαθέσιμων φορτηγών με τα εμπορεύματα που πρέπει να φορτωθούν).
- Στη μείωση του διαχειριστικού κόστους (οι παραγγελίες έρχονται ηλεκτρονικά, μέσω ειδικών φορμών ηλεκτρονικής παραγγελιοληψίας).
- Στη βελτιστοποίηση της δρομολόγησης βάσει ψηφιακών χαρτών. Το κόστος μεταφοράς αποτελεί σημαντικό μέρος του συνολικού λειτουργικού κόστους των επιχειρήσεων ή οργανισμών, που σαν στόχο έχουν φυσικά την αύξηση της κερδοφορίας. Ο στόχος αυτός συνδέεται με τους παραγωγικούς πόρους που χρησιμοποιούνται και εξαρτάται από την αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα του συνδυασμού τους και από τη διοίκησή τους. Η παρακολούθηση των επιδόσεων του μεταφορικού έργου (όπως και των λοιπών διαδικασιών που λαμβάνουν μέρος) σε αντιπαράθεση με τους στόχους της επιχείρησης και με τους ανταγωνιστές, γίνεται καταρχήν με τους «δείκτες αποδοτικότητας των μεταφορών». Οι σημαντικότεροι δείκτες με σχετικά ευρεία εφαρμογή είναι οι εξής:
- Δείκτης Κόστους μεταφορών προς τζίρο Το ποσοστό του συνολικού κόστους μεταφοράς προς τον συνολικό τζίρο.
- Δείκτης Κόστους μεταφορών Το ποσοστό του συνολικού κόστους μεταφοράς προς το συνολικό κόστος της λειτουργίας της εταιρείας.
- Δείκτης εκμετάλλευσης όγκου μεταφορικών μέσων Ο όγκος προϊόντων που διακινήθηκαν προς τον διαθέσιμο όγκο του στόλου φορτηγών.
- Δείκτης αξιοποίησης δυναμικότητας στόλου Το συνολικό φορτίο στόλου (σε m<sup>3</sup> ) επί πραγματικές ώρες διανομής προς το μέγιστο φορτίο (χωρητικότητα στόλου) επί τις συνολικές ώρες απασχόλησης.

### 3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ

#### 3.1 Γενικά

Κατά την παράδοση ή την παραλαβή προϊόντων από πελάτες ή προς πελάτες με την δρομολόγηση των οχημάτων στα πλαίσια των επιχειρησιακών δραστηριοτήτων μεταφοράς, προκύπτουν διάφορα προβλήματα τα οποία είναι γνωστά τα οποία είναι γνωστά με την ονομασία προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων (vehicle routing problem). Με την διανομή προϊόντων εξυπηρετείται ένα σύνολο από πελάτες σε μια δεδομένη χρονική περίοδο, από ένα σύνολο από οχήματα, που ξεκινούν αφετηριακά από μια συγκεκριμένη αποθήκη, χρησιμοποιούνται από συγκεκριμένο αριθμό οδηγών, και εξυπηρετούνται στις μετακινήσεις τους χρησιμοποιώντας ένα συγκεκριμένο οδικό δίκτυο. Η σωστή επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων παράγει ως αποτέλεσμα τον καθορισμό ενός συνόλου από διαδρομές όπου κάθε μια από αυτές ξεκινά και καταλήγει σε μία αποθήκη, προκειμένου με αυτή την διαδικασία να εξυπηρετηθούν οι απαιτήσεις των πελατών, χωρίς όμως να παραβιάζεται κάποιος από τους περιορισμούς και ταυτόχρονα ελαχιστοποιώντας το κόστος διανομής (Μαρινάκης, 2008).

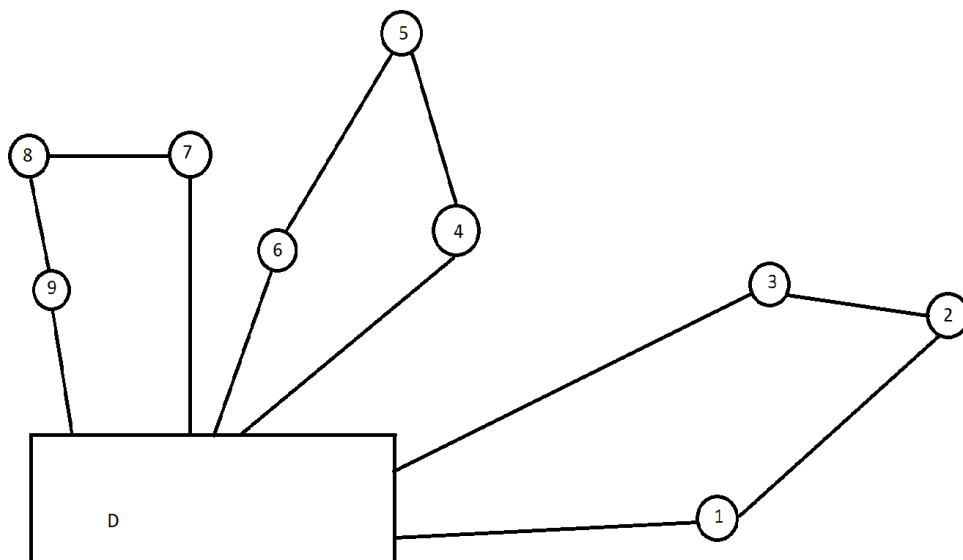


Figure 1: Πρόβλημα δρομολόγησης, πηγή: Μαρινάκης, 2008

Για τον ορισμό του προς επίλυση προβλήματος ο ειδικός πρέπει να λάβει υπ' όψιν του τόσο τη φύση του προβλήματος διανομής, όσο και το μέγεθος της προς εξέταση εταιρείας. Κάποιες χαρακτηριστικές πληροφορίες αναφορικά με τις δραστηριότητες διανομής είναι οι παρακάτω:

- Το πόσο μεγάλος είναι ο στόλος των οχημάτων που η εταιρεία χρησιμοποιεί
- Ο αριθμός των οδηγών
- Πόσες είναι οι διαδρομές που εκτελούνται καθημερινά και πόσο είναι ο μέσος όρος των στάσεων ανά διαδρομή.
- Πόσες διαδρομές γίνονται εκτός και εκτός πόλεως.
- Πόσο είναι το συνολικό ετήσιο κόστος των δραστηριοτήτων διανομής.
- Πόσο είναι το κόστος των πληρωμάτων.
- Ποιες είναι οι μελλοντικές απαιτήσεις και προβλέψεις στον τομέα ενδεχόμενων βλαβών.
- Οι τρέχουσα υπολογιστική δυναμική της εταιρείας προκειμένου να έχει τη δυνατότητα να υποστηρίξει το δίκτυο διανομής
- Ο συνδυασμός των δρομολογίων με άλλες δραστηριότητες.

Επομένως, σύμφωνα με τις πληροφορίες αυτές μπορούμε να πετύχουμε μια αρχική εκτίμηση του ποσοστού από τα έσοδα της εταιρείας τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για τη σωστή μελέτη και λειτουργία του συστήματος διανομής. Κατά αυτόν τον τρόπο ο ειδικός θα μπορέσει να υπολογίσει το κόστος του συστήματος διανομής. Εάν θελήσουμε να συγκρίνουμε την πρακτική της εταιρείας αναφορικά με την διανομή των προϊόντων της με ένα πιο προηγμένο σύστημα διανομής, σαφώς και προκύπτουν οφέλη από την εφαρμογή αυτού του συστήματος (Μαρινάκης, 2008).

Πέρα από τις γενικές πληροφορίες που προαναφέρθηκαν σχετικά με τα γενικά χαρακτηριστικά του συστήματος διανομής της εταιρείας, ο ειδικός επιπρόσθετα θα πρέπει να λαμβάνει υπ' όψιν του τα παρακάτω χαρακτηριστικά των πελατών και των οχημάτων.

Ως χαρακτηριστικά των πελατών αναφέρουμε:

- Σε ποιο σημείο του γραφήματος διανομής (routing graph) βρίσκεται ο πελάτης

- Η ποσότητα των αγαθών (demand) που μπορεί να είναι και διαφορετικού είδους, τα οποία πρέπει είτε να παραδοθούν είτε να συλλεχθούν από τον πελάτη.
- Ο πελάτης κατά τη διάρκεια της ημέρας μπορεί να εξυπηρετηθεί σε χρονικά διαστήματα (time windows) όπως παραδείγματος χάρη όταν η εταιρεία του πελάτη λειτουργεί για συγκεκριμένη περίοδο ή η τοποθεσία της εταιρείας είναι προσπελάσιμη βάσει συγκοινωνιακών περιορισμών.
- Το είδος του οχήματος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον στόλο της εταιρείας προκειμένου να εξυπηρετηθεί κάποιος πελάτης.

Επειδή μερικές φορές η πλήρης ικανοποίηση των απαιτήσεων του κάθε πελάτη δεν είναι εφικτή σε αυτές τις περιπτώσεις η ποσότητα των αγαθών που διανέμονται ή συλλέγονται, μπορεί να μειωθεί ή ακόμα ένα σύνολο πελατών να μην εξυπηρετηθεί. Επομένως, προκειμένου να αντιμετωπιστούν καταστάσεις που σχετίζονται με την μερική ή πλήρη έλλειψη εξυπηρέτησης πελατών ανατίθενται διάφορες προτεραιότητες στους ίδιους τους πελάτες.

Προκειμένου να εξυπηρετηθούν κάποιοι πελάτες οι διαδρομές που εφαρμόζονται ξεκινούν και καταλήγουν σε μια ή περισσότερες αποθήκες, οι οποίες έχουν αντιστοιχία σε συγκεκριμένους κόμβους του δικτύου. Ο χαρακτηρισμός κάθε αποθήκης κρίνεται από τον αριθμό και από το πλήθος των οχημάτων που βρίσκονται σε αυτή όπως επίσης και από την συνολική ποσότητα των προϊόντων που θα μπορούσαν να διαχειριστούν. Τα τυπικά χαρακτηριστικά των οχημάτων είναι τα εξής:

- Ποια είναι η αποθήκη από την οποία προέρχονται και εξέταση αν υπάρχει η πιθανότητα να τερματίσουν τη διαδρομή τους σε διαφορετική αποθήκη από εκείνη που πρωτοξεκίνησαν.
- Ποια η χωρητικότητα του οχήματος η οποία εκφράζεται στο μέγιστο βάρος ή όγκο ή αριθμό παλετών
- Ποια η σύνθεση των οχημάτων δηλαδή έχουν ένα τμήμα ή όχι; Και αν όχι, πως θα φορτωθεί το τμήμα του κάθε οχήματος;
- Πιθανή υποδιαίρεση των οχημάτων σε ομάδες, με κριτήριο κάθε μία από τις οποίες να έχει χαρακτηρισμό ως προς την χωρητικότητα και ως προς το είδος των προϊόντων που μπορεί να μεταφέρει.

- Ποια είναι τα προσφερόμενα – διαθέσιμα μηχανήματα τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την φόρτωση και την εκφόρτωση των οχημάτων
- Το σύνολο των δρόμων που είναι προσπελάσιμοι από το όχημα
- Ποιο είναι το κόστος που συσχετίζεται με τη λειτουργία ενός εκάστοτε οχήματος

Όσον αφορά τους οδηγούς που χρησιμοποιούνται στα οχήματα πρέπει και αυτοί να ικανοποιούν ένα πλήθος από περιορισμούς, όπως παραδείγματος χάρη οι κανόνες που έχει ορίσει το οικείο συνδικάτο, οι ημερήσιες ώρες εργασίας, χρονικοί περίοδοι της ημέρας που θα πρέπει να κάνουν διάλειμμα αν δικαιούνται και με τι τρόπο θα πληρώνονται οι υπερωρίες.

Επίσης ενδεικτικά αναφέρονται τα εξής:

- Υποχρεωτική ξεκούραση με 8 ώρες ύπνου την ημέρα
- Όχι συνεχόμενη οδήγηση η οποία δεν θα ξεπερνά το 12ωρο
- Συσκευές όπως ο έξυπνος ταχογράφος συμβάλλουν στην αποτροπή αθέμιτων και επικίνδυνων πρακτικών όπως η παράταση των περιόδων οδήγησης πέρα από τις κανονικές ώρες.
- Όχι περισσότερες από 6 μέρες οδήγησης την εβδομάδα.
- Όχι περισσότερες από 15 ώρες οδήγησης ημερησίως

Όσον αφορά τις διαδρομές και αυτές θα πρέπει να ικανοποιούν έναν αριθμό από περιορισμούς, οι οποίοι εξαρτώνται από την φύση των μεταφερομένων αγαθών, από την ποιότητα του επιπέδου εξυπηρέτησης ως επίσης από τα διάφορα χαρακτηριστικά των οχημάτων και των πελατών. Κάποιοι από τους ενδεικτικούς και βασικούς περιορισμούς που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- Η ποσότητα που μεταφέρει το όχημα δεν πρέπει να ξεπερνάει την συνολική του χωρητικότητα ανά ξεχωριστή διαδρομή.
- Η επιθυμία των πελατών ποικίλουν. Άλλοι μπορεί να ζητούν μόνο διανομή προϊόντων, άλλοι μπορεί να ζητούν παραλαβή από αυτούς διαφόρων προϊόντων ενώ άλλοι μπορεί να ζητούν και από τα δύο.
- Παραλλαγή του παραπάνω προβλήματος είναι η εξής, πελάτες που επιθυμούν να προμηθευτούν προϊόντα ζητούν να εξυπηρετηθούν πρώτα, ενώ οι υπόλοιποι να εξυπηρετηθούν στη συνέχεια.

- Άλλοι πελάτες επιθυμούν να εξυπηρετηθούν επιλεκτικά μόνο σε κάποια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.
- Από την άλλη, οι οδηγοί μπορεί να εργάζονται μόνο κάποια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.
- Φυσικά τα οχήματα μπορεί να μεταφέρουν παραπάνω από ένα προϊόντα.

Επιπροσθέτως, κάποιοι περιορισμοί τίθενται ως προς τη σειρά εξυπηρέτησης του κάθε πελάτη. Ένα τέτοιο είδος περιορισμού απαιτεί ότι ο εν λόγω πελάτης να μπορεί να εξυπηρετείται ταυτοχρόνως με μια ομάδα πελατών στην ίδια διαδρομή είτε πριν είτε μετά από τους υπόλοιπους πελάτες. Αυτή είναι η περίπτωση που αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με παράδοση και παραλαβή (pick up and delivery problems) κατά τα οποία καθ' όλη τη διάρκεια της διαδρομής μπορούν να πραγματοποιηθούν παραλαβές και διανομές αγαθών, τα δε προϊόντα που συλλέγονται πρέπει να παραδοθούν σε επόμενους πελάτες της ίδιας διαδρομής. Άλλη παραλλαγή τέτοιου είδους περιορισμού επιβάλλει ότι αν πελάτες διαφορετικού είδους εξυπηρετούνται στην ίδια διαδρομή, η σειρά κατά την οποία πραγματοποιείται η επίσκεψη των πελατών είναι προκαθορισμένη. Αυτή είναι η περίπτωση που εμφανίζεται για παράδειγμα, στο γνωστό ως πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με δύο είδη πελατών, όπου και πάλι εδώ οι διαδρομές ενδέχεται να περιλαμβάνουν τόσο συλλογή όσο και παράδοση αγαθών, αλλά οι δεσμευτικοί περιορισμοί αναφορικά με τη φόρτωση και την εκφόρτωση ως και την αναδιοργάνωση του φορτίου του οχήματος κατά μήκος της διαδρομής επιτάσσει ότι όλες οι παραδόσεις πρέπει να πραγματοποιηθούν πριν από τις επί μέρους συλλογές. Υπάρχουν εφαρμογές κατά τις οποίες το όχημα μπορεί να πραγματοποιεί περισσότερες από μια διαδρομή κατά τη διάρκεια της ημέρας ή ακόμη διαδρομές μπορούν να διαρκέσουν περισσότερο από μια εργάσιμη ημέρα. Επιπροσθέτως, μερικές φορές είναι απαραίτητη η χρήση στοχαστικών μεταβλητών σε περιπτώσεις κατά τις οποίες οι απαιτήσεις των πελατών δεν είναι δυνατόν να γνωστοποιηθούν εκ των προτέρων (Μαρινάκης, 2008).

Περιγραφικά, το δίκτυο των διαδρομών που χρησιμοποιείται για την μεταφορά των αγαθών αποτυπώνεται μέσω ενός γραφήματος, τα τόξα (arcs) του οποίου αντιστοιχούν σε τμήματα του δρόμου ενώ οι κόμβοι (vertices) στις τοποθεσίες των πελατών. Τόσο τα τόξα, όσο και τα γραφήματα, μπορεί να είναι είτε μονής είτε διπλής κατεύθυνσης (directed or undirected) και αυτό συμβαίνει ανάλογα με τους ισχύοντες κυκλοφοριακούς περιορισμούς

ή όχι. Κάθε τόξο έχει σχέση με ένα κόστος, το οποίο αντιστοιχεί στο μήκος του και το χρόνο που απαιτείται για να το διασχίσει κάποιο όχημα. Ο χρόνος βέβαια είναι σε συνάρτηση με το είδος του οχήματος ή τη χρονική περίοδο κατά την οποία πραγματοποιείται η διέλευση (Μαρινάκης, 2008).

Προκειμένου να εκτιμήσουμε το συνολικό κόστος των διαδρομών και τον έλεγχο των περιορισμών που προκύπτουν σε αυτές πρέπει να έχουμε γνώση του κόστους (travel cost) και του χρόνου (travel time) που απαιτείται προκειμένου να διανυθεί η απόσταση ανάμεσα σε ένα ζεύγος πελατών ή μεταξύ του πελάτη και της αποθήκης. Αν και το τελικό γράφημα των διαδρομών είναι συνήθως αρκετά αραιό αλλά γενικά μετασχηματίζεται σε ένα πλήρες γράφημα (complet graph) του οποίου οι κόμβοι είναι οι τοποθεσίες που αντιστοιχούν στους πελάτες και στις αποθήκες. Για κάθε ζεύγος κόμβων  $i, j$  του πλήρους γραφήματος σχηματίζεται ένα τόξο  $(i, j)$  του οποίου το κόστος  $c_{ij}$  αντιστοιχεί στο κόστος της συντομότερης διαδρομής που ξεκινά από τον κόμβο  $i$  και καταλήγει στον κόμβο  $j$  του γραφήματος του οδικού δικτύου. Αντίστοιχα ο χρόνος  $t_{ij}$  που σχετίζεται με το τόξο  $(i, j)$  του πλήρους γραφήματος υπολογίζεται από το άθροισμα των χρόνων των τόξων που ανήκουν στη συντομότερη διαδρομή από τον κόμβο  $i$  στον  $j$  στο γράφημα του οδικού δικτύου (Μαρινάκης, 2008).

Για την επίλυση των προβλημάτων στην δρομολόγηση των οχημάτων τίθενται οι εξής στόχοι:

- Ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους μεταφοράς των προϊόντων που συναρτάται από την συνολική διανυθείσα απόσταση ή από το συνολικό χρόνο που απαιτείται για τη μεταφορά των προϊόντων, ως επίσης και του παγίου κόστους το οποίο σχετίζεται με τον αριθμό των οχημάτων και των οδηγών που θα χρησιμοποιηθούν για την μοντελοποίηση του προβλήματος.
- Ελαχιστοποίηση του αριθμού των οχημάτων ή των οδηγών που απαιτούνται για την εξυπηρέτηση όλων των πελατών
- Ελαχιστοποίηση των ποινών που αφορούν μερική ικανοποίηση των πελατών.
- Εξισορρόπηση ανάμεσα στις διαδρομές που θα προκύψουν στο τελικό μοντέλο σχετικά με τις ώρες που απαιτούνται για να διανυθούν αυτές οι διαδρομές και στα φορτία που αντιστοιχούν σε κάθε διαδρομή.

Όπως αναμενόταν ο σχεδιασμός των διαδρομών είναι ακρογωνιαίος λίθος. Πόσες διαφορετικές αποστολές μπορούν να πραγματοποιηθούν με ένα ταξίδι; Πόσα μέσα μεταφοράς χρειαζόμαστε για να χωρίσω το φορτίο των εμπορευμάτων και για να τα παραδώσω εντός του καθορισμένου χρόνου; Για να απαντήσουμε σε αυτές και σε άλλες ερωτήσεις είναι δυνατόν να καταφύγουμε σε αλγόριθμους αναζήτησης για το **λειτουργικό βέλτιστο**, και γενικότερα, σε άλλα εργαλεία που μπορούν να θεωρηθούν «κλασσικού τύπου». Αλλά για να δώσουμε μια πραγματικά αποτελεσματική απάντηση, χρειαζόμαστε συχνά δεδομένα που δεν είναι πραγματικά διαθέσιμα και τα οποία μπορούν να εκτιμηθούν μόνο. Ωστόσο για μία εταιρεία υπάρχει τεράστιο δυναμικό προστιθέμενης αξίας στην εφαρμογή λύσεων (**machine learning**) οι οποίες είναι σε θέση να μάθουν από το ιστορικό δεδομένων και να λάβουν υπ' όψιν πολλές ακόμη πτυχές όπως για παράδειγμα η εμπειρία των οδηγών (Μαρινάκης, 2008).

- Η εμπειρία των οδηγών. Ορισμένοι οδηγοί μπορεί να είναι ειδικοί σε ορισμένες διαδρομές με αποτέλεσμα μειωμένους χρόνους και χαμηλότερη κατανάλωση.
- Ο τύπος του οχήματος. Ορισμένα οχήματα μπορεί να είναι πιο κατάλληλα για συγκεκριμένους τύπους διαδρομών, λαμβάνοντας υπ' όψιν τον τύπο, το φορτίο, την κατάσταση συντήρησης το ύψος, τον τύπο διαδρομής κτλ.
- Σχέση χρόνου – καιρικών συνθηκών. Και άλλοι εξωτερικοί παράγοντες...
- Η κατανάλωση καυσίμου με βάση συγκεκριμένες διαδρομές και καιρικές συνθήκες.
- Βελτιστοποίηση διαδρομής, χαρτογράφηση, ανίχνευση ανωμαλιών και αυτόνομη οδήγηση.

### 3.2 Πρόβλημα πλανόδιου πωλητή

Το πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο πλανόδιος πωλητής (traveling salesman problem – TSP) έχει σχέση με τη συντομότερη σε χρόνο, απόσταση, διαδρομής για ένα όχημα (ή πωλητή) με αφετηρία κάποιο σημείο παραδείγματος χάρη, ένα κέντρο διανομής, και επιστροφή στο ίδιο σημείο, αφού επισκεφτεί ένα σταθερό αριθμό πελατών ακριβώς μια φορά τον καθένα. Η θεώρηση που έχουμε για την προαναφερόμενη διαδρομή είναι αυτή του σχήματος. Ένας



κύκλος δηλαδή που διέρχεται από τους κόμβους οι οποίοι αντιστοιχούν στο σημείο αφετηρίας και τους πελάτες για μια φορά.



Η πραγματική εικόνα μπορεί να διαφέρει από την αφαιρετική εικόνα ενός γραφήματος:

Οι διακεκομμένες γραμμές στο A) αντιστοιχούν στο πραγματικό οδικό δίκτυο. Η κυκλική διαδρομή B) θα πρέπει να ερμηνευτεί σωστά στο πραγματικό οδικό δίκτυο A).

Προκειμένου να διαμορφώσουμε ένα μαθηματικό πρόβλημα θεωρούμε συνήθως ότι οι κόμβοι ανήκουν σε ένα μη διατεταγμένο γράφημα που είναι πλήρες. Ας είναι  $i = 2, \dots, n$  οι κόμβοι των πελατών και  $i = 1$  ο κόμβος αφετηρίας. Από την υπόθεση, κάθε μη διατεταγμένο ζεύγος  $\{i, j\}$  με  $i \neq j$ ,  $i = 1, \dots, n$ ,  $j = 1, \dots, n$ , αντιστοιχεί σε ένα σύνδεσμο η ακμή του γραφήματος. Σε κάθε τέτοιο σύνδεσμο αντιστοιχίζουμε ένα σταθμό  $C_{ij}$  που είναι ίσο με το κόστος (οποιοδήποτε και αν είναι αυτό) της διαδρομής του οχήματος από το  $i$  στο  $j$  ή αντίστροφα. Επειδή ένας τέτοιος σύνδεσμος δεν αντιστοιχεί πάντοτε σε ένα φυσικό τμήμα δρόμου θα υποθέσουμε (σχήμα 6.2) ότι τα σταθμά έχουν υπολογιστεί έτσι ώστε να αντιστοιχούν στη διαδρομή ελαχίστου κόστους μεταξύ των δύο κόμβων, οπότε ικανοποιούν τις δύο συνθήκες.

1. Συμμετρία: Σε  $C_{ij} = C_{ji}$ ,  $i \neq j$ ,  $i = 1, \dots, n$ ,  $j = 1, \dots, n$
2. Τριγωνική ανισότητα:  $C_{ij} \leq C_{ik} + C_{kj}$ ,  $i \neq j \neq k$ ,  $i = 1, \dots, n$ ,  $j = 1, \dots, n$ ,  $k = 1, \dots, n$ . Οι οποίες υπό αυτές τις συνθήκες είναι φυσιολογικές καθώς οι μεν πρώτοι απεξαρτεί το κόστος του απευθείας ταξιδιού μεταξύ  $i$  και  $j$  από την κατεύθυνση, ενώ η δεύτερη διατυπώνει ότι ο συντομότερος δρόμος μεταξύ δύο σημείων είναι ο απευθείας. Αν ορίσουμε τις δυαδικές μεταβλητές

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ αν το όχημα κάνει χρήση του συνδέσμου } \{i, j\} \\ 0, \text{ αλλιώς, για κάθε } i, \text{ για κάθε } j, i \neq j \end{cases}$$

τότε το πρότυπο διαμορφώνεται ως εξής:

$$\min = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 2, i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i \in C} \sum_{j \in C} x_{ij} \geq 1, \forall C \subset \{1, \dots, n\}, C \neq \emptyset$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall i, \forall j, i \neq j$$

οι περιορισμοί (6.2) επιβάλλουν στη λύση να έχει δύο συνδέσμους σε κάθε κόμβο έτσι ώστε το όχημα να εισέλθει κατά μήκος του ενός και να εξέλθει κατά μήκος του άλλου (σχήμα 6.2 [β]), ενώ οι περιορισμοί (6.3) αποβλέπουν στην εξάλειψη κυκλικών διαδρομών (υποκύκλων) που δεν διέρχονται από όλους τους κόμβους απαιτώντας από κάθε εν δυνάμει υπόκυκλο, που αντιπροσωπεύεται από ένα κατάλληλο μη κενό υποσύνολο C των κόμβων, να διαθέτει στη λύση τουλάχιστον ένα σύνδεσμο που οδηγεί στο συμπληρωματικό του υποσύνολο C μέσω = {1,...,n}/C. Όταν η φορά του οχήματος, αν δηλαδή κινείται από το i στο j ή από το j στο i, παίζει ρόλο, τότε το γράφημα αποτελείται από τόξα που αντιστοιχούν στα διατεταγμένα ζεύγη (i,j) και (j,i) αντίστοιχα και ως τέτοια (i,j) ≠ (j,i). Υπό αυτές τις συνθήκες η συνθήκη συμμετρίας δεν ισχύει οπότε C<sub>ij</sub> ≠ C<sub>ji</sub> τουλάχιστον για κάποια i και j.

Το μαθηματικό πρότυπο σε αυτή την περίπτωση διαμορφώνεται από το (6.1) – (6.4), αντικαθιστώντας όμως τον περιορισμό (6.2) με δύο νέους περιορισμούς.

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = 1, \dots, n.$$

Όπου ο μεν πρώτος εγγυάται ότι το όχημα εξέρχεται από τον κόμβο  $i$  χρησιμοποιώντας ένα ακριβώς τόξο προς κάποιον άλλο κόμβο  $j$ , ενώ ο δεύτερος εγγυάται ότι το όχημα εισέρχεται στον κόμβο  $j$  χρησιμοποιώντας ένα ακριβώς τόξο από κάποιον άλλο κόμβο  $i$ .

Και τα δύο πρότυπα έχουν ένα μειονέκτημα: ο αριθμός των περιορισμών (6.3) αυξάνει εκρηκτικά με τον αριθμό των κόμβων. Υπάρχει η δυνατότητα διατύπωσης προτύπου με περιορισμένο αριθμό περιορισμών. Για τον λόγο αυτό θα θεωρήσουμε ότι στην αφετηρία παράγεται μια μονάδα κάποιου αγαθού για κάθε πελάτη και ότι τα αγαθά αυτά δεν αναμειγνύονται. Επιπρόσθετα, θα δημιουργήσουμε έναν ακόμη πελάτη  $n_0 = n+1$  δημιουργώντας ένα αντίγραφο της αφετηρίας μαζί με τα τόξα που της ανήκουν. Κατά αυτόν τον τρόπο για κάθε τόξο  $(i,j)$  ορίζουμε τις μεταβλητές  $y_{ij}^k$  που αναφέρει την ποσότητα (από την μία μονάδα) που διακινείται στο τόξο με προορισμό τον πελάτη  $k, k=2, \dots, n_0$ . Το πρότυπο μπορεί τότε να διατυπωθεί ως ακολούθως

$$\sum_{i=1}^{n_0} \sum_{j=1, j \neq i}^{n_0} c_{ij} x_{ij}$$

$$\sum_{j=1}^{n_0} x_{ij} = 1, i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = 2, \dots, n_0,$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^{n_0} y_{ij}^k - \sum_{j=1, j \neq i}^{n_0} y_{ji}^k = \begin{cases} 1, & \text{εάν } i = 1 \\ -1, & \text{εάν } i = k, \forall i, \forall k \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

$$y_{ij}^k \leq x_{ij}, \forall i, \forall j, i \neq j, \forall k$$

$$y_{ij}^k \geq 0, \forall i, \forall j, i \neq j, \forall k$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall i, \forall j, i \neq j$$

Η αντικειμενική συνάρτηση 6.7 και οι περιορισμοί 6.8 – 6.9 και 6.13 παραμένουν στην ουσία οι ίδιοι με πριν, ενώ οι περιορισμοί 6.3 έχουν αντικατασταθεί από τους 6.10, 6.11 και 6.12 που ο αριθμός τους είναι  $O(n^3)$  συγκριτικά με τον αριθμό  $O(2n)$  των προηγούμενων προτύπων. Φυσικά το επιτύχαμε αυτό εισάγοντας  $O(n^3)$  νέες μεταβλητές. Οι περιορισμοί 6.10 είναι οι γνωστές εξισώσεις ισορροπίας της ροής και εγγυώνται ότι η μια μονάδα από το σημείο αφετηρίας με προορισμό τον πελάτη  $k$  αφικνείται στον προορισμό της χωρίς να απορροφηθεί από ενδιάμεσους κόμβους  $i$ . Οι περιορισμοί αυτοί διατυπώνονται για κάθε κόμβο  $i$  και κάθε πελάτη  $k$  στην μορφή εκροή από τον κόμβο  $i$  – εισροή του κόμβου  $i$ . Τέλος οι περιορισμοί 6.11 εγγυώνται ότι το αγαθό με προορισμό τον πελάτη  $k$  κινείται μόνο σε τόξα για τα οποία  $x_{ij}$ , τόξα με άλλα λόγια που έχουν επιλογή για την βέλτιστη λύση (Μαρινάκης, 2008).

Στο πρότυπο αυτό κάθε εφικτή λύση έχει αναγκαστικά, όπως το επιβάλλουν οι περιορισμοί 6.8 και 6.9, ένα τόξο εισόδου και ένα τόξο εξόδου για κάθε έναν από τους κόμβους με εξαίρεση τον κόμβο αφετηρίας 1 όπου ζητούμε μόνο ένα τόξο εξόδου και το αντίγραφο του  $n_0$  όπου απαιτούμε μόνο ένα τόξο εισόδου. οι Περιορισμοί ροών απαιτούν την επιλογή αυτών των τόξων ώστε να υπάρχει δυνατότητα για κάθε αγαθό να αφιχθεί στον προορισμό του και άρα πρέπει η εφικτή λύση να προδιαγράφει μια πλήρη διαδρομή από την αφετηρία σε κάθε πελάτη συμπεριλαμβανομένου και του  $n_0$ . Για την ικανοποίηση αυτής της απαίτησης αρκούν  $n_0-1$  τόξα για τη δημιουργία μιας διαδρομής που από την αφετηρία εξυπηρετεί όλους τους  $n_0-1$  πελάτες. Η ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης, και εφόσον όλα τα  $C_{ij}$  είναι θετικά, δεν πρόκειται να επιτρέψει την χρήση περισσότερων τόξων. Άρα η βέλτιστη λύση θα αποτελείται από  $n$  τόξα τα οποία, εάν συμπτύξουμε την αφετηρία

και το αντίγραφό της, θα μας δώσουν το ζητούμενο κύκλο του πλανόδιου πωλητή (Μαρινάκης, 2008).

### 3.3 Δρομολόγηση οχημάτων για την εξυπηρέτηση πελατών μέσα σε δεδομένα χρονικά περιθώρια (Vehicle Routing Problem With Time Window)

Γνωρίζοντας ότι η επίσκεψη σε κάθε πελάτη κατά τη δρομολόγηση οχημάτων πρέπει να πραγματοποιηθεί σε κάποια πλαίσια ενός **χρονικού διαστήματος**, επεκτείνουμε το πρόβλημα της δρομολόγησης για να καλύψουμε αυτήν την περίπτωση. Συγκεκριμένα, στο πρόβλημα της δρομολόγησης οχημάτων με χρονικά παράθυρα καθορίζεται ως εξής:

Σε μια γεωγραφική περιοχή έχουμε διεσπαρμένους ένα σύνολο από πελάτες οι οποίοι πρέπει να εξυπηρετηθούν από ένα πλήθος οχημάτων που εξ αρχής είναι τοποθετημένα σε μια συγκεκριμένη αποθήκη. Ο καθένας από τους πελάτες έχει από ένα φορτίο που θα πρέπει να περισυλλέγει και ο πελάτης καθορίζει μια χρονική περίοδο (time window – χρονικό παράθυρο ή περιθώριο) στη διάρκεια της οποίας η φόρτωση θα πρέπει να πραγματοποιηθεί. Τα οχήματα που διαθέτουμε προκειμένου να εξυπηρετηθούν οι πελάτες έχουν περιορισμένη χωρητικότητα ώστε το σύνολο του φορτίου του κάθε οχήματος δεν μπορεί να υπερβεί τη χωρητικότητα των οχημάτων. Μέλημά μας είναι να βρούμε ένα σύνολο από διαδρομές για τα οχήματα, κατά τις οποίες κάθε διαδρομή να ξεκινάει και να τελειώνει στην αποθήκη, εξυπηρετώντας ένα υποσύνολο από τους πελάτες χωρίς φυσικά να υπάρξει παραβίαση στη χωρητικότητα αφενός και στους περιορισμούς από τα χρονικά παράθυρα αφετέρου, καθώς κατά αυτόν τον τρόπο ελαχιστοποιείται το συνολικό μήκος των διαδρομών (Μαρινάκης, 2008).

Ουσιαστικά τι είναι το πρόβλημα δρομολόγηση με χρονικά παράθυρα; Είναι μια προέκταση του προβλήματος περιορισμένης χωρητικότητας κατά την οποίαν οι υφιστάμενοι περιορισμοί χωρητικότητας ισχύουν με τον ίδιο τρόπο που ίσχυαν και προηγούμενα, αλλά επιπρόσθετα ο κάθε πελάτης θα πρέπει να εξυπηρετηθεί εντός μιας χρονικής περιόδου ( $a_i$ ,  $b_i$ ) η οποία ονομάζεται χρονικό παράθυρο. τα συμπληρωματικά στοιχεία που χρειάζονται για το πρόβλημα είναι η χρονική στιγμή στη διάρκεια της οποίας τα οχήματα φεύγουν από

την αποθήκη, ο χρόνος ταξιδιού  $t_{ij}$ , για κάθε τόξο  $(i,j)$  και βεβαίως ένας χρόνος εξυπηρέτησης για κάθε πελάτη. Έκαστος πελάτης εξυπηρετείται μέσα στο χρονικό παράθυρο, που ο ίδιος θέλει να εξυπηρετηθεί και το όχημα πρέπει να παραμείνει στην τοποθεσία που βρίσκεται ο πελάτης για χρόνο  $s_i$  (Μαρινάκης, 2008).

Στα κεντρικά σημεία των πόλεων η φόρτωση και η εκφόρτωση εμπορευμάτων περιορίζεται, ειδικά τις πρωινές ώρες από ειδικές διατάξεις του νόμου. Εκτός αυτού, αρκετές επιχειρήσεις θέτουν χρονικά πλαίσια για την παραλαβή εμπορευμάτων και τούτο ανάλογα με το είδος που διακινούν.

Παρατηρείται το φαινόμενο κάποιο όχημα να φτάσει σε κάποιον πελάτη νωρίτερα από τον καθορισμένο χρόνο. Τότε τις περισσότερες περιπτώσεις το όχημα επιτρέπεται να σταθμεύσει στην τοποθεσία του πελάτη έως ότου ξεκινήσει το χρονικό παράθυρο. Αρκετές φορές έχουμε ταύτιση πινάκων, κόστους και ταξιδιού, τα δε χρονικά παράθυρα καθορίζονται με βάση το γεγονός ότι όλα τα οχήματα φεύγουν από την αποθήκη τη χρονική στιγμή 0. Επιπρόσθετα τα χρονικά παράθυρα απαιτούν ένα πλήρη προσανατολισμό της κάθε διαδρομής έστω και αν ακόμη η αρχικοί πίνακες είναι συμμετρικοί. Άρα, στις περισσότερες φορές το πρόβλημα προτυποποιείται σαν μη συμμετρικό (Μαρινάκης, 2008).

Τα χρονικά παράθυρα ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες:

Τα χαλαρά: σύμφωνα με τα οποία, αν ένα όχημα φτάσει σε κάποιο πελάτη, κάποια χρονική στιγμή, εκτός του χρονικού παραθύρου, μπορεί να ξεκινήσει την εξυπηρέτησή του εκείνη τη στιγμή, σε αντίθεση με τα σκληρά χρονικά παράθυρα που δεν δίνουν τη δυνατότητα να φτάσει το όχημα στον πελάτη μετά από τον αργότερο χρόνο εξυπηρέτησης. Είναι κατανοητό ότι σε τέτοιες περιπτώσεις ένας ένα όχημα φτάσει στον πελάτη πιο νωρίς από το χρονικό παράθυρο τότε θα περιμένει για να αρχίσει την εξυπηρέτηση (Μαρινάκης, 2008).

Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με χρονικά παράθυρα αποτελείται από την εύρεση  $K$  ακριβώς κύκλων με ελάχιστο κόστος τέτοιους ώστε:

- Έκαστος κύκλος περνάει από την αποθήκη.
- Έκαστος πελάτης επισκέπτεται από έναν μόνο κύκλο.
- Το άθροισμα της ζήτησης των κόμβων που επισκέπτονται από έναν κύκλο δεν ξεπερνάει την χωρητικότητα του οχήματος.

- Για ένα πελάτη η εξυπηρέτηση πρέπει να ξεκινήσει και να ολοκληρωθεί  $\{a_i, b_i\}$  ενώ το όχημα θα παραμείνει στο χώρο του πελάτη για χρόνο  $s_i$  μέχρι να ξεφορτώσει.

Στη συνέχεια θα δούμε μια μορφοποίηση του προβλήματος. Το πρόβλημα δρομολόγησης με χρονικά παράθυρα αναφέρεται σε ένα γράφημα  $G = (V, A)$  όπου η αποθήκη συμβολίζεται με τους κόμβους 0 και  $n+1$ . Όλες οι εφικτές διαδρομές αντιπροσωπεύουν μονοπάτια που ξεκινούν από το 0 και καταλήγουν στο  $n+1$ . Ένα χρονικό παράθυρο αντιστοιχίζεται και με την αποθήκη είτε αναφερόμαστε στον κόμβο 0 είτε στον κόμβο  $n+1$ , για παράδειγμα  $\{a_0, b_0\} = \{a_{n+1}, b_{n+1}\} = \{E, L\}$ , όπου τα  $E$  και  $L$ , είναι η ελάχιστη πιθανή αναχώρηση από την αποθήκη και η αργότερη δυνατή άφιξη. Επιπλέον, μηδενική ζήτηση και χρόνοι εξυπηρέτησης καθορίζονται για αυτούς τους δύο κόμβους δηλαδή  $d_0 = d_{n+1} = s_0 = s_{n+1} = 0$ .

Στο πρότυπο που ακολουθεί περιλαμβάνονται δύο ειδών μεταβλητές μια για τις μεταβλητές ροής:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{αν το όχημα } k \text{ επισκέπτεται τον πελάτη } j \text{ αμέσως μετά τον πελάτη } i \{i, j\}, \\ 0, & \text{αλλιώς,} \end{cases}$$

Και μία οι χρονικές μεταβλητές  $w_{ik}$  που καθορίζουν πότε θα ξεκινήσει η εξυπηρέτηση στον πελάτη  $i$  από το όχημα  $k$ .

Το βασικό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων μπορεί να καθοριστεί ως εξής:

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{i,j} c_{ij} \sum_k x_{ijk} \\ \sum_{k \in K} \sum_{j \in V} x_{ijk} &= 1 \quad \forall i \in N \\ \sum_{i \in V - \{0\}} x_{0jk} &= 1 \quad \forall j \in N, k \in K \\ \sum_{i \in V - \{j\}} x_{ijk} - \sum_{i \in V - \{j\}} x_{jik} &= 0 \quad \forall j \in N, k \in K \end{aligned}$$

$$\sum_{i \in V - \{n+1\}} x_{in+1k} = 1 \quad \forall k \in K$$

$$x_{ijk}(w_{ik} + s_i + t_{ij} - w_{jk}) \leq 0 \quad \forall k \in K, (i, j) \in A$$

$$a_i \sum_{j \in V} x_{ijk} \leq w_{ik} \leq \beta_i \sum_{j \in V} x_{ijk} \quad \forall i \in N, k \in K$$

$$E \leq w_{ik} \leq L \quad \forall i \in (0, n+1), k \in K$$

$$\sum_{i \in N} d_i \sum_{j \in V} x_{ijk} \leq C \quad \forall k \in K$$

$$x_{ijk} \geq 0 \quad \forall k \in K, (i, j) \in A$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall k \in K, (i, j) \in A \quad x_{ijk} \geq 0 \quad \forall k \in K, (i, j) \in A$$

Η αντικειμενική συνάρτηση εκφράζει το συνολικό κόστος. Οι περιορισμοί 6.61 περιορίζουν την εκχώρηση κάθε πελάτη σε ένα και μόνο όχημα. Οι περιορισμοί 6.62 – 6.64 χαρακτηρίζουν τη ροή στο μονοπάτι που ακολουθείται από το όχημα k. Οι περιορισμοί 6.65 6.67, 6.68 εγγυώνται την εφικτότητα των διαδρομών με βάση τους χρονικούς περιορισμούς και τους περιορισμούς χωρητικότητας των οχημάτων. Τέλος, ο περιορισμός 6.66 εξαναγκάζει τον  $w_{ik}$  για ένα δεδομένο k να γίνει ίσο με το 0 αν το όχημα δεν επισκέπτεται τους πελάτες i και j σε αυτή τη διαδρομή. (Μαλινδρετος, 2015)

Μια πιο σύνθετη διαδρομή είναι αν υποθέσουμε επίσης ότι σε κάθε πελάτη, το όχημα που τον επισκέπτεται εκτελεί όχι μόνο παράδοση εμπορεύματος αλλά και παραλαβή, μέσα στα πλαίσια της αντίστροφης εφοδιαστικής (reverse logistics). Ο σκοπός είναι να οριστούν κυκλικές διαδρομές για τα οχήματα που να καλύπτουν όλους τους πελάτες με το ελάχιστο δυνατόν κόστος (Μαλινδρετος, 2015).

Υποθέτουμε ότι υπάρχει ένας στόλος k οχημάτων, όλα με την ίδια δυναμικότητα U και ένα σύνολο n πελατών που πρέπει να εξυπηρετηθούν από ένα κέντρο το οποίο όπως και στην παράγραφο 6.3, θα το διαιρέσουμε σε δύο κόμβους (Μαλινδρετος, 2015).



### 3.4. Ταξινόμηση προβλημάτων VRP

Τα προβλήματα VRP μπορούν να ταξινομηθούν δημιουργώντας ταξινόμηση ή δημιουργώντας ένα γενικευμένο πλαίσιο που συνοψίζει τα υπάρχοντα μοντέλα, τους επιδιωκόμενους στόχους και τις θεωρίες που σχετίζονται με την ανάλυση του προβλήματος (Reisman, 1992).

Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων Two-Echelon (2E-VRP): τα αγαθά παραδίδονται από αποθήκες σε ενδιάμεσους δορυφόρους, επίσης γνωστούς ως ενδιάμεσες αποθήκες, και στη συνέχεια στους πελάτες. Οι Crainic et al. (Το 2010 παρουσίασε ανάλυση σχετικά με το πρόβλημα · οι Perboli και Tadei (2010) έδειξαν μαθηματικά μοντέλα που αντιπροσωπεύουν το πρόβλημα. Συμμετρική χωρητική VRP (ACVRP): Το κόστος των τόξων είναι ασύμμετρο. Υποδεικνύει ότι το κόστος ταξιδιού από τον καταναλωτή  $i$  στον καταναλωτή  $j$  είναι διαφορετικό από το  $j$  στο  $i$ . Το πρόβλημα έχει λυθεί με διαφορετικούς τρόπους, για παράδειγμα οι Laporte και Nobert (1987) πρότειναν έναν ακριβή αλγόριθμο, ο Vigo (1996) παρουσίασε έναν ευρετικό αλγόριθμο · οι Pessoa, Uchoa και Aragão (2008) πρότειναν έναν ισχυρό κλάδο και Δεσμευμένος αλγόριθμος.

Πρόβλημα δρομολόγησης τόξου (ARP): Πρέπει να βρει τη συντομότερη διαδρομή από όλες τις διαδρομές και να επιστρέψει στην αρχική του θέση. Εφαρμογές: συλλογή απορριμμάτων, βοηθητικό πρόγραμμα ανάγνωσης. Μοντέλα χαλάρωσης και ακριβείς προσεγγίσεις μπορούν να βρεθούν στο Toth and Vigo (2002). Οι Lancomme, Prins και Ramdane (2001) έχουν λύσει το πρόβλημα χρησιμοποιώντας τους γενετικούς αλγόριθμους. Οι Martinelli, Roggi και Subramanian (2011) έχουν δημιουργήσει νέα όρια για περιπτώσεις μεγάλης κλίμακας.

CVRP (Πρόβλημα δρομολόγησης οχήματος με χωρητικότητα): Λαμβάνει υπόψη τη χωρητικότητα του οχήματος. Στους κόμβους εκχωρούνται συγκεκριμένες απαιτήσεις.

Πρόβλημα Dial-a-ride (DARP): αυτό το πρόβλημα διαμορφώνεται έτσι ώστε να αντιπροσωπεύει τη μεταφορά για ηλικιωμένους, άτομα με ειδικές ανάγκες, ασθενοφόρα που χρησιμοποιούνται σε τακτικές υπηρεσίες, ζώα και αγαθά, χρονικά ευαίσθητη μεταφορά, ταξί, υπηρεσία ταχυμεταφορών. Οι ακόλουθοι συγγραφείς παρουσίασαν εργασίες σε αυτό το θέμα: Οι Cordeau και Laporte (2003) παρουσίασαν το DARP state of the art, ο Cordeau (2006) έλυσε το πρόβλημα με έναν αλγόριθμο Branch and Cut - οι Jorgensen και Larsen (2006) πρότειναν έναν γενετικό αλγόριθμο --- για να λυθεί το πρόβλημα.

Πρόβλημα δρομολόγησης οχήματος με χωρητικότητα περιορισμένης απόστασης (DCVRP): Για κάθε διαδρομή, ο περιορισμός χωρητικότητας αντικαθίσταται από μέγιστο μήκος ή από χρονικό περιορισμό. Ο Kara (2010, 2011) παρουσίασε ακέραιους σχηματισμούς προγραμματισμού.

Το πρόβλημα της εκπομπής οχημάτων εκπομπών (EVRP): Η ελαχιστοποίηση των εκπομπών και η κατανάλωση καυσίμου είναι ο κύριος στόχος ή μέρος της λειτουργίας του γενικευμένου κόστους. Το VRP που θεωρεί ότι η περιβαλλοντική ρύπανση έχει επίσης ονομαστεί πρόβλημα δρομολόγησης ρύπανσης (PRP) από τους Bektaş και Laporte (2011), πρόβλημα δρομολόγησης κατανάλωσης καυσίμου (FCVRP) από Xiao et al., (2012), πρόβλημα δρομολόγησης πράσινων οχημάτων από τους Erdogan και Miller-Hooks (2012).

Γενικευμένο VRP (GVRP): Σε αυτήν την παραλλαγή οι πελάτες χωρίζονται σε ομάδες. Εάν ένας πελάτης παρακολουθείται, τότε θεωρείται ότι παρακολουθείται ολόκληρο το σύμπλεγμα. Έχουν αναφερθεί εφαρμογές σε δίκτυα επικοινωνιών και διανομής. Τα σκευάσματα μπορούν να βρεθούν στο Ghiani και στο Impronta (2000). στρατηγική της λύσης με βάση την Ant Colony Optimization (ACO) σε Pop, Pintea και Zelina (2008). Οι Baldacci, Bartolini και Laporte (2010) παρουσίασαν μια διεξοδική έρευνα σχετικά με το GVRP και τις εφαρμογές του.

Πρόβλημα δρομολόγησης θέσης (LRP): Σε αυτό το πρόβλημα επιλύονται ταυτόχρονα τρία προβλήματα: θέση των αποθηκών, καθορισμός διαδρομών και εκχώρηση διαδρομών σε ανοιχτές αποθήκες. . Οι Prins et al. (2007) έλυσαν το πρόβλημα χρησιμοποιώντας χαλάρωση Lagrangian με κοκκώδη αναζήτηση. EEAobar, Linfati and Toth (2013); Οι Contardo, Cordeau και Gendron, (2014) έχουν λύσει το πρόβλημα χρησιμοποιώντας το matheuristics 3. Πρόσφατα οι Prodhon και Prins (2014) ανέλυσαν όλη τη διαθέσιμη βιβλιογραφία σχετικά με αυτήν την παραλλαγή του VRP και πρότειναν νέες γραμμές αναζήτησης προς αυτήν την κατεύθυνση.

Πρόβλημα δρομολόγησης οχήματος πολλαπλών αποθηκών (MDVRP): Σε αυτήν την παραλλαγή, αρκετές αποθήκες θεωρούνται ότι εξυπηρετούν πελάτες. Οι πελάτες συνήθως εκχωρούνται σε αποθήκες χρησιμοποιώντας στρατηγικές ομαδοποίησης. Ορισμένες τεχνικές λύσεων έχουν χρησιμοποιηθεί σε αυτό το πρόβλημα, για παράδειγμα οι Renaud et al (1996), Salhi και Sari (1997) έλυσαν το πρόβλημα με ευρετικά .; Ombuki-Berman και Hanhar (2009) με Γενετικούς Αλγόριθμους (). Οι Vidal et al. (2014) παρουσίασε τα νέα αποτελέσματα τελευταίας τεχνολογίας για όχημα MDVRP και multi-depot

Το πρόβλημα δρομολόγησης οχήματος (VRP) είναι ένα από τα πιο σημαντικά θέματα στην αστική εφοδιαστική αλυσίδα. Σε αυτό το πρόβλημα, πολλοί πελάτες πρέπει να εξυπηρετούνται από έναν στόλο οχημάτων με διάφορους παραμέτρους και ο διαχειριστής στόλου στοχεύει βελτιώσει την δρομολόγηση των οχημάτων υπό ορισμένους περιορισμούς (Toth and Vigo, 2002, Kumar και Panneerselvam). Τα συγκεκριμένα χρονικά παράθυρα μπορεί μερικές φορές να παραβιαστούν ή να μεταβληθούν είτε ακούσια είτε εκούσια από τον πελάτη. Σε πραγματικές εφαρμογές, τα προβλήματα VRP περιλαμβάνουν έναν στόλο οχημάτων που ξεκινούν από μια αποθήκη για να εξυπηρετούν πολλούς πελάτες με διάφορες απαιτήσεις και εντός συγκεκριμένων χρονικών περιορισμών. Ωστόσο πολλοί από τους περιορισμούς αυτούς δεν είναι γνωστοί εκ των προτέρων στον διαχειριστή του στόλου, όπως για παράδειγμα η κυκλοφοριακή συμφόρηση ή η εκτός προγράμματος αλλαγή στο χρονικό παράθυρο κάποιου πελάτη. Παρά την εκτεταμένη δουλειά στη βελτιστοποίηση δρομολόγησης και στην πρόβλεψη τέτοιων περιπτώσεων, οι αποκλίσεις

από τις βέλτιστα σχεδιασμένες διαδρομές είναι συχνές στην πράξη, οι οποίες επηρεάζουν αρνητικά την αποτελεσματικότητα και την αποδοτικότητα των συστημάτων. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου οι έμπειροι οδηγοί αποκλίνουν από τις προγραμματισμένες διαδρομές και ακολουθούν μια προτιμώμενη ακολουθία διαδρομών καθώς βασίζεται σε μια ποικιλία ενδογενών παραγόντων. Για παράδειγμα ρητά και σιωπηρά χρονικά διαστήματα πελατών (TWs) ή εξωγενείς παράγοντες όπως κυκλοφοριακή συμφόρηση, περιορισμοί πρόσβασης σε κάποια αστική ζώνη.

Προβλήματα ανάμειξης στόλου (MDVFMF) με μη περιορισμένο μέγεθος στόλου.

OVRP (Open VRP): Ο στόχος του OVRP είναι ο σχεδιασμός ενός συνόλου διαδρομών Hamiltonian (ανοιχτές διαδρομές) για την εξυπηρέτηση της ζήτησης των πελατών. Εφαρμογές: παράδοση σχολικών γευμάτων, δρομολόγηση σχολικών λεωφορείων, παράδοση πακέτων και τρένων εφημερίδων από το σπίτι, μεταξύ άλλων. Οι Li, Golden και Wasil (2007) παρείχαν μια έρευνα σχετικά με τους αλγόριθμους για την επίλυση του OVRP. Οι Li, Leung και Tian (2012) πρότειναν έναν αλγόριθμο Tabu Search βάσει προσαρμοστικής μνήμης πολλαπλών εκκινήσεων για το ετερογενές πρόβλημα δρομολόγησης ανοιχτού οχήματος σταθερού στόλου. Περιοδικό πρόβλημα δρομολόγησης οχήματος (PVRP): Σε αυτό το πρόβλημα θεωρείται η παράδοση στον πελάτη που πραγματοποιείται σε συγκεκριμένες ημέρες της εβδομάδας. Hemmelmayr και Doerner (2009); Οι Cacchiani, Hemmelmayr και Tricoire (2014) έχουν επιλύσει το πρόβλημα με επιτυχία χρησιμοποιώντας ευρετικές (). Δυναμικό VRP σε πραγματικό χρόνο (RTDVRP): Επέκταση VRPTW, λάβετε υπόψη τις συνθήκες κυκλοφορίας. Δυναμική κατανομή οχήματος. Οι Ghiani et al. (2003) παρουσίασαν αλγόριθμους και στρατηγικές παράλληλου υπολογισμού. Οι Giagli et al. (2004) παρουσίασαν κινητές τεχνολογίες που εφαρμόστηκαν στο πρόβλημα.

Split Delivery VRP (SDVRP): Κάθε πελάτης πρέπει να επισκέπτεται ακριβώς από ένα όχημα και ο στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί η συνολική απόσταση που διανύθηκε. Ο περιορισμός που πρέπει να επισκέπτεται κάθε πελάτης ακριβώς μία φορά καταργείται, επιτρέπονται οι διαχωρισμένες παραδόσεις. Οι Archetti, Savelsbergh και Speranza (2006) παρουσίασαν μια

έρευνα σχετικά με την τελευταία λέξη της τεχνολογίας. Οι Wilck IV και Cavalier (2012) έχουν δημιουργήσει μια ευρετική κατασκευή.

Στοχαστική VRP (SVRP): Στοχαστική μοντελοποίηση τουλάχιστον μίας από τις μεταβλητές της: σε σύνολο ή / και ζήτηση πελατών. Ο Bertsimas (1992) ανέλυσε το πρόβλημα χρησιμοποιώντας μια ποικιλία θεωρητικών προσεγγίσεων και πρότεινε ευρετικές όπως η στρατηγική εκ νέου βελτιστοποίησης. Μια ευρετική αναζήτηση Tabu προτάθηκε από τους Shen, Ordóñez και Dessouky (2009). Μια σημαντική εφαρμογή είναι η διανομή ιατρικών προμηθειών για την αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης μεγάλης κλίμακας, όπως φυσικών καταστροφών ή τρομοκρατικών επιθέσεων.

Time Dependent VRP (TDVRP): Ο χρόνος ταξιδιού μεταξύ δύο πελατών ή μεταξύ ενός πελάτη και της κατάθεσης εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των πόντων και της ώρας της ημέρας. Ο Malandraki και ο Daskin (1992) παρουσίασαν μια κατάσταση αιχμής. Οι Donati et al. (2008) χρησιμοποίησε το ACO για να λύσει το πρόβλημα.

CVRP on trees (TCVRP): Αποτελείται από τον καθορισμό των διαδρομών συλλογής οχημάτων που ξεκινούν και τελειώνουν στην αποθήκη, έτσι ώστε: το βάρος που σχετίζεται με οποιαδήποτε δεδομένη κορυφή συλλέγεται από ακριβώς ένα όχημα. Αυτός ο τύπος προβλήματος μπορεί να βρεθεί σε σιδηροδρομικές γραμμές, ποτάμια και αγροτικά οδικά δίκτυα. Το πρόβλημα διατυπώθηκε και επιλύθηκε μέσω ευρετικών στο έγγραφο που παρουσίασαν οι Labbé, Laporte και Mercure (1991) και επιλύθηκε με ακριβή τρόπο στα Mbaraga, Langevin και Laporte (1999).

Πρόβλημα δρομολόγησης φορτηγού και τρέιλερ (TTRP): Το πρόβλημα δρομολόγησης φορτηγού και τρέιλερ (TTRP) είναι μια παραλλαγή του γνωστού προβλήματος δρομολόγησης οχήματος (VRP). Διαφορετικά από το VRP, στο TTRP, οι πελάτες εξυπηρετούνται από ένα στόλο φορτηγών και ρυμουλκωμένων. Λόγω ορισμένων

πρακτικών περιορισμών, ορισμένοι πελάτες μπορούν να εξυπηρετηθούν μόνο με ένα μόνο φορτηγό. Οι άλλοι πελάτες μπορούν να εξυπηρετηθούν από ένα μόνο φορτηγό ή ένα φορτηγό που τραβά ένα ρυμουλκούμενο. Μια ευρετική προσέγγιση ήταν παρούσα από τους Caramia και Guerriero (2010). Οι Villegas et al. (2010) παρουσίασε ένα υβριδικό μεταχειριστικό.

Προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων με backhauls (VRPB): Περιλαμβάνει τόσο ένα σύνολο πελατών στους οποίους θα παραδοθούν τα προϊόντα, όσο και ένα σύνολο προμηθευτών των οποίων τα αγαθά πρέπει να μεταφερθούν πίσω στο κέντρο διανομής. Οι Wade και Salhi (2003) παρουσίασαν έναν αλγόριθμο Ant για την επίλυση του προβλήματος. Ο García-Nájera (2012) παρουσίασε μια στρατηγική πολλαπλών στόχων για το VRPB.

VRP με ετερογενή στόλο (VRPHE): Στόλος οχημάτων διαφορετικής χωρητικότητας. Μερικές φορές θεωρούνται ή όχι σταθερά κόστη και / ή μεταβλητές στον στόλο. Οι Lima, Goldberg και Goldberg (2004) παρουσίασαν έναν αλγόριθμο μνήμης για την επίλυση του προβλήματος. (). Το πρόβλημα κατά την εξέταση των χρονικών παραθύρων επιλύθηκε από τους Paraskevorou et al. (2008). Οι Kwon, Choi και Lee (2013) έλυσαν το πρόβλημα λαμβάνοντας υπόψη τις εκπομπές άνθρακα.

Πρόβλημα δρομολόγησης οχήματος με πολλαπλές διαδρομές (VRPM): Συνίσταται στον καθορισμό της δρομολόγησης ενός στόλου οχημάτων όπου κάθε όχημα μπορεί να εκτελεί πολλαπλές διαδρομές σε συγκεκριμένο χρονικό ορίζοντα. Είναι σχετικό σε εφαρμογές όπου η διάρκεια κάθε διαδρομής είναι περιορισμένη. μπορεί να βρεθεί όταν μεταφέρονται αλλοιώσιμα αγαθά. Olivera και Viera, (2007) έχουν λύσει το πρόβλημα χρησιμοποιώντας τον Προσαρμοστικό προγραμματισμό μνήμης (). Οι Azi, Gendreau και Potvin (2010) πρότειναν μια Προσαρμοστική Αναζήτηση Μεγάλης Γειτονίας για την επίλυση του VRPM.

VRP με παραλαβή και παράδοση (VRPPD): Ορίζεται μέσω δικτύου. Όπου ορισμένοι κόμβοι αντιπροσωπεύουν πελάτες παράδοσης που αναμένουν παραδόσεις από αποθήκη, και άλλοι κόμβοι αντιπροσωπεύουν πελάτες παραλαβής που έχουν διαθέσιμο εφοδιασμό για παραλαβή και μεταφορά σε αποθήκη Nagy και Salhi (2003) πρότειναν διαφορετικούς αλγόριθμους για την επίλυση του προβλήματος. Το πιο αναφερόμενο άρθρο είναι οι Chen

και Wu (2006) σε αυτό το έργο το πρόβλημα λύθηκε με υβριδική ευρετική. Οι Subramian et al. (2010) πρότεινε μια παράλληλη ευρετική

VRP με προθεσμίες ώρας (VRPTD): Σε αυτό το πρόβλημα, οι χρόνοι ταξιδιού δεν είναι σταθεροί, αλλά εξαρτώνται τόσο από την απόσταση μεταξύ δύο κορυφών όσο και από την ώρα της ημέρας (π.χ., χρειάζεται περισσότερος χρόνος για να φτάσετε από τη μια τοποθεσία στην άλλη κατά τη διάρκεια της βιασύνης ώρες). Η συμβολή αυτής της παραλλαγής είναι πιο στενά μοντελοποίηση καταστάσεων που παρατηρούνται στον πραγματικό κόσμο. Οι Thangiah, Vinayagamoorthy και Gubbi (1993) έλυσαν το πρόβλημα με γενετικό και τοπικό αλγόριθμο. Οι Özyurt, Aksen και Aras (2006) έδωσαν μια τελευταία λέξη της τέχνης του VRPTD.

VRP με χρονικά παράθυρα (VRPTW): Στόχος είναι η εξυπηρέτηση όλων των πελατών σε καθορισμένο χρονικό διάστημα. Ο Solomon (1987) παρουσίασε λύσεις, μεθόδους και εφαρμογές. Στο Solomon (1987) ο σχεδιασμός και η ανάλυση αλγορίθμων για προβλήματα δρομολόγησης και προγραμματισμού οχημάτων εξετάστηκε με περιορισμούς χρονικού παραθύρου. Σε αυτό το έργο βρέθηκαν πολλές ευρετικές με καλές επιδόσεις σε διαφορετικές παραλλαγές του VRP. Ο Bräysy και ο Gendreau (2005) παρουσίασαν μια πλήρη επισκόπηση των μεταχειριστικών που εφαρμόστηκαν στο πρόβλημα. Οι Lau, Sim και Teo (2003) πρότειναν την αναζήτηση Tabu από μια λίστα αναμονής και έναν μηχανισμό για την επιβολή πυκνής συσκευασίας σε μια διαδρομή.

VRP with Private Fleet Common Carrier (VRPPC): Σε αυτό το πρόβλημα οι πελάτες μπορούν να εξυπηρετηθούν είτε από το δικό τους στόλο οχημάτων είτε να εκχωρηθούν σε έναν εξωτερικό κοινό αερομεταφορέα. Η χειρότερη περίπτωση συμβαίνει εάν η ζήτηση υπερβαίνει τη συνολική χωρητικότητα του ίδιου του στόλου ή εάν είναι πιο οικονομικό να το κάνετε με εξωτερικό στόλο. Ο Naud και ο Potvin (2009) παρείχαν στην Tabu Search αλυσίδες εξαγωγής για την επίλυση του VRPPC. Οι Euchí, Chabchoub και Yassine (2011) χρησιμοποίησαν έναν εξελικτικό αλγόριθμο για την αντιμετώπιση του VRPPC. Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (VSRP): Το πρόβλημα επιλύεται σε δύο στάδια: τον ορισμό των διαδρομών και την άλλη κατανομή των πληρωμάτων σε υπηρεσίες. Οι Thompson και Psaraftis (1993) παρουσίασαν αλγόριθμους αναζήτησης γειτονιάς που ονομάστηκαν

αλγόριθμοι κυκλικής μεταφοράς. Οι Qiu et al. (2002) παρουσίασαν μερικούς αλγόριθμους για την επίλυση του προβλήματος λαμβάνοντας υπόψη τα αυτόματα οχήματα με οδηγό. Οι Minocha, Tripathi και Mohan (2011) πρότειναν έναν αλγόριθμο που ενσωματώνει μια τοπική τεχνική αναζήτησης με προσέγγιση γενετικού αλγορίθμου για την επίλυση του VRPTW, επειδή το VRPTW είναι ένα παράδειγμα προγραμματισμού σε περιορισμένο περιβάλλον. VRP και προγραμματισμός με παράθυρο χρόνου (VRSPTW): Στην αντικειμενική συνάρτηση, το κόστος περιλαμβάνει μια μεταβλητή χρονικού ορίου όταν ένα όχημα φτάνει πολύ νωρίς σε μια τοποθεσία. Οι Koskosidis, Powell και Solomon (1982) παρουσίασαν μια ευρετική για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Ένα από τα πιο σημαντικά έργα σε αυτό το θέμα αναπτύχθηκε από τον Solomon (1987).

Αυτοί οι τύποι προβλημάτων είναι με τη σειρά τους άλλες παραλλαγές που λαμβάνουν υπόψη πτυχές όπως οι ιδιότητες σεναρίων και τα φυσικά χαρακτηριστικά.

Ιδιότητες σεναρίου: Αριθμός στάσεων στη διαδρομή, περιορισμοί που σχετίζονται με την κατανομή του φορτίου, ντετερμινιστικές ή στοχαστικές ποσότητες από τις απαιτήσεις των πελατών, χρόνος που απαιτείται από τους καταναλωτές, ισότοπους υπηρεσίας, χρόνοι αναμονής, χρονικά παράθυρα δομής, χρονικός ορίζοντας, τύποι κόμβων (ζήτηση προσφοράς, ή και τα δύο) και εξέταση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Φυσικά χαρακτηριστικά του προβλήματος: Σχεδιασμός δικτύου μεταφοράς, επιτρεπόμενος για προσανατολισμό τόξων (μονοκατευθυντικός ή αμφίδρομος), τοποθεσία των πελατών (κόμβοι ή άκρα), αριθμός καταθέσεων, αριθμός και τύποι διαθέσιμων οχημάτων, περιορισμοί χωρητικότητας, χρόνος ταξιδιού, κόστος ταξιδιού, μεταφέρονται στοιχεία (άνθρωποι, ζώα, κουτιά κ.λπ.).

Το VRP έχει μελετηθεί σε μια μεγάλη ποικιλία δημοσιεύσεων. Ο Bodin (1974) παρουσίασε την ταξινομική δομή του προβλήματος χωρίς να εξετάσει τις πραγματικές απαιτήσεις. Οι Bodin και Golden (1981) περιέγραψαν μια ταξινόμηση προβλημάτων δρομολόγησης και ανάθεσης σε ότι προτάθηκαν 13 χαρακτηριστικά. Ο Laporte (1992) εισήγαγε μια ταξινόμηση των ακριβών μεθόδων που χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες i) άμεσες μεθόδους αναζήτησης δέντρων, ii) δυναμική και iii) Integer Linear Programming. Οι Fukasawa et al. (2004) παρουσίασε ένα ισχυρό κλάδο-και-περικοπή-και-τιμή για το CVRP. Οι Sbihi και Eglese (2007). Παρουσίασαν μια εισαγωγή στα θέματα Green Logistics που σχετίζονται με τη



δρομολόγηση και τον προγραμματισμό οχημάτων, συμπεριλαμβανομένης της συζήτησης των περιβαλλοντικών στόχων που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Οι Yeun et al (2008) παρουσίασαν μια ανασκόπηση της τελευταίας τεχνολογίας από το 1986 έως το 2006, η οποία περιλαμβάνει VRPTW, CVRP VRPPD και προβλήματα. Οι Eksioglu, Vural και Reisman (2009) παρουσίασαν την ονοματολογία VRP, ενσωματώνοντας όλες τις παραλλαγές της και σχετίζονται με τη διαθέσιμη βιβλιογραφία μέχρι σήμερα. Στο Kumar and Pannerselvam (2012), παρουσιάζονται οι κύριες παραλλαγές του προβλήματος CVRP και VRPTW στην αλυσίδα εφοδιασμού, οι συνεισφορές διαφορετικών συγγραφέων ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες ευρετικές, μεταευριστικές και υβριδικές μεθόδους. Τέλος, οι Vidal et al. (2013) ανέλυσε λεπτομερώς 64 επιτυχημένα μεταεπιστατικά στοιχεία που εφαρμόστηκαν σε 15 παραλλαγές του VRP, προσδιορίζοντας κυρίως τον σχεδιασμό του αλγορίθμου και τα κύρια χαρακτηριστικά του ως προς: το χώρο λύσεων, τις στρατηγικές γειτονιάς, τις διαδρομές αναζήτησης, τη μνήμη ελέγχου μηχανισμών, τις υβριδικές στρατηγικές και τον παραλληλισμό και την αποσύνθεση προβλήματα.

## 4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΚΑΙ LOGISTICS

### 4.1 Τεχνητή νοημοσύνη γενικά

Η τεχνητή νοημοσύνη είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη ονομασία που αναφέρεται στο πεδίο της επιστήμης που έχει ως στόχο να παρέχει στις μηχανές την ικανότητα να εκτελούν λειτουργίες όπως η λογική, η συλλογιστική, ο προγραμματισμός, η μάθηση και η αντίληψη. Ένας πρακτικός ορισμός που χρησιμοποιείται ορίζει την τεχνητή νοημοσύνη ως την μελέτη της ανθρώπινης νοημοσύνης και των πράξεων που αναπαράγονται τεχνητά, έτσι ώστε το αποτέλεσμα να φέρει στο σχεδιασμό της ένα λογικό επίπεδο ορθολογισμού. Αυτός ο ορισμός μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω, προβλέποντας ότι το επίπεδο ορθολογισμού μπορεί να αντικαταστήσει τον άνθρωπο, για συγκεκριμένα και σαφώς προσδιορισμένα και καθορισμένα καθήκοντα (Perez et al., 2018).

Η τεχνητή νοημοσύνη διακρίνεται σε γενική (general) και ειδική (narrow). Στην πρώτη κατηγορία, η AI αναφέρεται σε έναν (υπερ)υπολογιστή που διαθέτει όλες τις δυνατότητες της ανθρώπινης νοημοσύνης. Στη δεύτερη περίπτωση, ένας υπολογιστής μιμείται την ανθρώπινη νοημοσύνη σε μια συγκεκριμένη περιοχή και εκτελεί το έργο πιο αποτελεσματικά (Lindahl, 2018). Επίσης, σύμφωνα με μία άλλη κατηγοριοποίηση, διακρίνεται σε ασθενής ασθενούς (weak) ή ισχυρής (strong) τεχνητής νοημοσύνης (Perez et al., 2018). Η ασθενής τεχνητή νοημοσύνη είναι εκείνη που προορίζεται να αναπαράγει μια παρατηρούμενη συμπεριφορά όσο το δυνατόν ακριβέστερα. Αυτά τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να καταστούν εξαιρετικά αποτελεσματικά στο δικό τους πεδίο, αλλά δεν έχουν γενική ικανότητα. Τα περισσότερα υπάρχοντα έξυπνα συστήματα που χρησιμοποιούν μηχανική μάθηση, αναγνώριση προτύπων, εξόρυξη δεδομένων ή επεξεργασία φυσικής γλώσσας (π.χ. φίλτρα ανεπιθύμητης αλληλογραφίας, βιομηχανικά ρομπότ, αυτοκινούμενα οχήματα). Η ισχυρή τεχνητή νοημοσύνη περιγράφεται συνήθως ως ένα έξυπνο σύστημα που είναι εφοδιασμένο με πραγματική συνείδηση και είναι σε θέση να σκέφτεται και να λογίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως ένα ανθρώπινο ον. Η ισχυρή τεχνητή νοημοσύνη μπορεί όχι μόνο να αφομοιώσει πληροφορίες όπως η ασθενής τεχνητή νοημοσύνη αλλά επίσης να τροποποιήσει τη δική της λειτουργία, δηλαδή είναι σε θέση να

προγραμματίσει εκ νέου και αυτόνομα την τεχνητή νοημοσύνη για να εκτελέσει γενικές ευφυείς εργασίες.

Σε κάθε περίπτωση, το κλειδί στην τεχνητή νοημοσύνη είναι η συνεργασία ανθρώπου και υπολογιστή. Οι εταιρείες που ενσωματώνουν τη συνεργασία ανθρώπων και υπολογιστών σε υπάρχουσες διαδικασίες επιτυγχάνουν υψηλότερη απόδοση επένδυσης από ότι οι εταιρείες που επικεντρώνονται απλώς στην αυτοματοποίηση χειρωνακτικών εργασιών, καθώς αυτή η συνεργασία ενσωματώνει τα δυνατά σημεία ανθρώπων και μηχανών: ηγεσία, κοινωνικές ικανότητες, ομαδική εργασία, δημιουργικότητα, ταχύτητα, επεκτασιμότητα (Wilson & Daugherty, 2018). Στον τομέα της ναυτιλίας, η επιτυχής εφαρμογή της AI απαιτεί επίσης καλή κατανόηση των σχέσεων μεταξύ AI και δεδομένων από τη μία πλευρά, και των χαρακτηριστικών και μεταβλητών του συστήματος μεταφοράς από την άλλη πλευρά (Abduljabbar et al., 2019).

Η τεχνητή νοημοσύνη είναι ένας μεγάλος κλάδος της πληροφορικής που κάνει τις μηχανές να προσομοιάζουν με τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Η χρήση της είναι καθοριστική σε ζητήματα που είναι δύσκολο να αναλυθούν χρησιμοποιώντας τις μέχρι τώρα υπολογιστικές τεχνικές. Η AI ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά το 1956 από τον John McCarthy, αλλά η προσπάθειά του απέτυχε να πετύχει τους στόχους του και σε συνδυασμό με την έλλειψη τεχνολογικών καινοτομιών την έκανε μη ελπιδοφόρα. Τη δεκαετία του '60 οι ερευνητές διεύρυναν την AI μέσω του συστήματος βασισμένης στη γνώση (KBS) και των συστημάτων τεχνητού νευρωνικού δικτύου (ANNs). Τα μεν πρώτα είναι συστήματα KBS είναι υπολογιστές που παρέχουν συμβουλές χρησιμοποιώντας προκαθορισμένους κανόνες, σύμφωνα με τις γνώσεις που τους παρουσιάζονται από τους ανθρώπους. Τα ANN, από την άλλη πλευρά, είναι συστήματα συνδέσεων νευρώνων που έχουν σχεδιαστεί σε διάφορα στρώματα, σύμφωνα με τον ανθρώπινο εγκέφαλο που έχουν χρησιμοποιηθεί στην ιατρική, τη βιολογία και τη μεταφραστική γλώσσα, τη νομοθεσία, την κατασκευή κ.λπ. Όμως, παρά την διεύρυνση της AI κατά τη διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου, το ενδιαφέρον για την τεχνητή νοημοσύνη μειώθηκε λόγω των περιορισμένων εφαρμογών των ANN και της έλλειψης δεδομένων έως το 1980 όπου τη δεκαετία του 1980 πραγματοποιήθηκαν πληθώρα ερευνών για την ελαχιστοποίηση του σφάλματος της πρόβλεψης μέσω μιας

μεθόδου που ονομάστηκε κλίση κατάβασης. Αυτή η μέθοδος αναφέρεται ως αλγόριθμος Backpropagation για την εκπαίδευση των ANN και εφαρμόστηκε για την επίλυση προβλημάτων σε διαφορετικούς τομείς χρησιμοποιώντας λίγα κρυμμένα επίπεδα. Σήμερα, η διαθεσιμότητα των δεδομένων έχει εισαγάγει την έννοια της μηχανικής μάθησης ως υποκατηγορία του AI. Η μηχανική μάθηση συνεπάγεται με την κωδικοποίηση των υπολογιστών ώστε να συμπεριφέρονται σαν ανθρώπινος εγκέφαλος αντί να τους διδάσκουν τα πάντα. Παρέχει στους υπολογιστές πρόσβαση σε μεγάλα δεδομένα και εξάγει σημαντικά χαρακτηριστικά από αυτούς για την επίλυση περίπλοκων προβλημάτων.

Τα ANN είναι η πιο διακεκριμένη μέθοδος AI που χρησιμοποιείται σε διαφορετικές εφαρμογές. Ένας από τους πρώτους και πιο συνηθισμένους τύπους ANNs είναι το Feedforward Neural Network στο οποίο τα δεδομένα μετακινούνται προς μία κατεύθυνση από το επίπεδο εισόδου στο κρυφό επίπεδο και μετά στο επίπεδο εξόδου. Άλλοι τύποι ANN είναι το Convolutional Neural Network (CNN) [9,10,11] και το Recurrent Neural Network. Τα CNN έχουν καλύτερη απόδοση για εργασίες επεξεργασίας εικόνων, ενώ το RNN επεξεργάζεται μια ακολουθία ώστε τα δεδομένα εισόδου να είναι κατάλληλα για πολλές εφαρμογές όπως: γλώσσα, γραφή και αναγνώριση κειμένου. Συχνά αναφέρονται ως τεχνικές βαθιάς μάθησης λόγω των πολλαπλών κρυφών επιπέδων που είναι δομημένες στις αρχιτεκτονικές τους.

Υπάρχουν πολλές αβεβαιότητες και κενά στα δεδομένα που δεν μπορούν να επιλυθούν χρησιμοποιώντας παραδοσιακές τεχνικές. Επομένως, το AI χρησιμοποιεί αυτές τις αβεβαιότητες και διαμορφώνει μια σχέση μεταξύ της αιτίας και του αποτελέσματος των διαφορετικών σεναρίων πραγματικής ζωής συνδυάζοντας τα διαθέσιμα δεδομένα με υποθέσεις και πιθανότητες για καλύτερη ανάλυση [15].

Τα προβλήματα μεταφοράς γίνονται μια πρόκληση όταν το σύστημα και η συμπεριφορά των χρηστών είναι πολύ δύσκολο να μοντελοποιηθούν και να προβλεφθούν τα πρότυπα ταξιδιού. Επομένως, το AI θεωρείται κατάλληλο για τα συστήματα μεταφοράς για να ξεπεράσουν τις προκλήσεις μιας αυξανόμενης ταξιδιωτικής ζήτησης, εκπομπών CO<sub>2</sub>, ανησυχιών για την ασφάλεια και περιβαλλοντικής υποβάθμισης. Αυτές οι προκλήσεις προκύπτουν από τη σταθερή αύξηση της αγροτικής και αστικής κυκλοφορίας λόγω του αυξανόμενου αριθμού πληθυσμού, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες. Στην Αυστραλία, το

κόστος της συμφόρησης αναμένεται να φτάσει τα 53,3 δισεκατομμύρια καθώς ο πληθυσμός αυξάνεται στα 30 εκατομμύρια έως το 2031 [16]. Μόνο στη Μελβούρνη, στην Αυστραλία, περισσότερα από 640 χιλιόμετρα αρτηριακών δρόμων κυκλοφορούν κατά τη διάρκεια της αιχμής με εκπομπές CO<sub>2</sub> 2,9 τόνων ετησίως [17]. Πολλοί ερευνητές του 21ου αιώνα προσπαθούν να επιτύχουν ένα πιο αξιόπιστο σύστημα μεταφορών με λιγότερες επιπτώσεις στους ανθρώπους και το περιβάλλον χρησιμοποιώντας οικονομικά αποδοτικό και πιο αξιόπιστο με τεχνικές AI. Έχει μια πιθανή εφαρμογή για την οδική υποδομή, τους οδηγούς, τους χρήστες του δρόμου και τα οχήματα.

## 4.2 Τεχνητή Νοημοσύνη και Logistics

Σε μια εποχή στην οποία η αβεβαιότητα της ζήτησης, υψηλότερου κινδύνου προσφοράς και αυξανόμενης ανταγωνιστικής έντασης αυξάνεται, η τελειότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι συνδεδεμένη συχνά από το πόσο μπορεί ο οργανισμός να ενσωματώσει και να ενορχηστρώσει ολόκληρο το εύρος των διεργασιών από άκρο σε άκρο απόκτησης υλικών ή συστατικών, σε τελικά προϊόντα και παράδοση σε πελάτες. Δεδομένου ότι αυτή η ικανότητα μπορεί να ενισχυθεί με αυξημένη ορατότητα στις διεργασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας σε όλο της το φάσμα, πολλοί κορυφαίοι οργανισμοί προσπάθησαν να εμπλουτίσουν τις πηγές πληροφοριών τους και να μοιραστούν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο με όλους τους εμπλεκόμενους παράγοντες της εφοδιαστικής αλυσίδας. Έτσι, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας γίνεται όλο και πιο έντονη και έχει επικεντρωθεί στην καταγραφή περιουσιακών στοιχείων (π.χ. απογραφή, αποθήκες, εξοπλισμός μεταφοράς). Με την αυξανόμενη σημασία των πληροφοριών για την επιτυχία της εφοδιαστικής αλυσίδας, οι επαγγελματίες του κλάδου έχουν διερευνήσει διάφορους τρόπους για την βελτιστοποίηση της διαχείρισης των πληροφοριών και την αξιοποίησή τους έτσι ώστε να επιτευχθεί η λήψη καλύτερων επιχειρηματικών αποφάσεων. Ένας από αυτούς τους τρόπους μπορεί να περιλαμβάνει την τεχνητή νοημοσύνη (AI) που υπάρχει εδώ και δεκαετίες, αλλά δεν έχει χρησιμοποιηθεί πλήρως στον τομέα της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Γενικά, η AI αναφέρεται ως η χρήση υπολογιστών για συλλογισμό, αναγνώριση προτύπων, εκμάθηση ή κατανόηση ορισμένων συμπεριφορών από την εμπειρία, απόκτηση και

διατήρηση γνώσεων, για τη ανάπτυξη διαφόρων μορφών συμπερασμάτων, για την επίλυση προβλημάτων σε καταστάσεις λήψης αποφάσεων όπου οι βέλτιστες ή οι ακριβείς λύσεις είναι είτε πολύ ακριβές είτε αρκετά δύσκολες να παραχθούν (Nilsson 1980, Russell and Norvig 1995, Luger 2002). Με απλά λόγια, οι βασικοί στόχοι της τεχνητής νοημοσύνης είναι η κατανόηση του φαινομένου της ανθρώπινης νοημοσύνης και ο σχεδιασμός συστημάτων υπολογιστών που μπορούν να μιμηθούν τα ανθρώπινα πρότυπα συμπεριφοράς και να δημιουργήσουν γνώσεις σχετικές με την επίλυση προβλημάτων. Έτσι, η AI πρέπει να έχει τη δυνατότητα να μαθαίνει και να κατανοεί νέες έννοιες, να μαθαίνει από την εμπειρία («από μόνη της»), να πραγματοποιεί συλλογισμό, να εξάγει συμπεράσματα, να υπονοεί το νόημα και να ερμηνεύει σύμβολα. Λόγω αυτής της ικανότητας, η AI έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε τομείς όπως η σημασιολογική μοντελοποίηση, η μοντελοποίηση ανθρώπινων επιδόσεων, η ρομποτική, η μηχανική μάθηση, η εξόρυξη δεδομένων, τα νευρωνικά δίκτυα, οι γενετικοί αλγόριθμοι (GAs) και τα συστήματα ειδικών (Russell and Norvig 1995 Λούγκερ 2002).

Ένας τομέας με αυξημένες πιθανότητες εφαρμογής της AI αλλά που δεν έχει ακόμη πλήρως διερευνηθεί είναι η αναδυόμενη φιλοσοφία διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, η οποία απαιτεί την κατανόηση σύνθετων, αλληλένδετων διαδικασιών λήψης αποφάσεων και τη δημιουργία ευφών γνώσεων βασικής σημασίας για την από κοινού επίλυση προβλημάτων. Για παράδειγμα, ο Eastman Kodak δομήθηκε κάποτε τις διαδικασίες σκέψης των εμπειρών επιλογών παραγγελιών και στη συνέχεια ανέπτυξε ένα σύστημα εμπειρογνομώνων βασισμένο σε κανόνες για να επιλέξει τη βέλτιστη διαδρομή παραλαβής παραγγελιών σε μια αποθήκη (Allen και Helferich 1990). Επίσης, σε μια προσπάθεια συγχρονισμού μιας σειράς αλληλένδετων αλλά διαφορετικών σταδίων διαδικασιών προγραμματισμού και πρόβλεψης κοινής ζήτησης στην εφοδιαστική αλυσίδα, οι Min και Yu (2008) πρότειναν ένα σύστημα προβλέψεων βασισμένο σε πράκτορες που έχει τη δυνατότητα να προβλέψει τη ζήτηση των τελικών πελατών μέσω της ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ πολλαπλών συνεργατών της εφοδιαστικής αλυσίδας και να «μαθαίνει» από την εμπειρία πρόβλεψης του παρελθόντος.

Παρά τη μακρά ιστορία της ΑΙ, το δυναμικό της ΑΙ ως μέσο επίλυσης σύνθετων προβλημάτων και αναζήτησης πληροφοριών στην διαχείριση της ΕΑ δεν έχει αξιοποιηθεί πλήρως στο παρελθόν. Ωστόσο, έχουν γίνει κάποιες πρωτοποριακές προσπάθειες για την έναρξη εφαρμογών ΑΙ στην διαχείριση της ΕΑ. Συγκεκριμένα, ορισμένοι δευτερεύοντες κλάδοι της τεχνητής νοημοσύνης, όπως συστήματα εμπειρογνομόνων και GA, χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για την αντιμετώπιση ζητημάτων ΕΑΜ που περιλαμβάνουν διαχείριση αποθέματος, αγορά, σχεδιασμό τοποθεσίας, ενοποίηση φορτίων και προβλήματα δρομολόγησης / προγραμματισμού. Σε αυτήν την ενότητα περιγράφουμε αυτές τις περιοχές ΕΑΜ που έχουν διερευνηθεί για εφαρμογές ΑΙ, προσδιορίζουμε συγκεκριμένους υπο-κλάδους της ΑΙ που έχουν αποδειχθεί χρήσιμες για τη βελτίωση αποφάσεων ΕΑ και αξιολογούμε τη συμβολή τους στη διαδικασία λήψης αποφάσεων ΕΑ. (Min, 2009)

#### **4.3 Έλεγχος και προγραμματισμός αποθέματος**

Το απόθεμα αντιπροσωπεύει τους αδρανούς πόρους που απαιτούνται για τη διατήρηση υψηλών επιπέδων εξυπηρέτησης πελατών, αλλά οι οποίοι συνεπάγονται σημαντικό κόστος. Στην πραγματικότητα, το ετήσιο κόστος διατήρησης μιας μονάδας αποθέματος ενδέχεται να κυμαίνεται από 15% έως 35% της αξίας του προϊόντος (Timme and Williams-Timme 2003). Έτσι, η επιτυχία της εταιρείας σε μια ανταγωνιστική αγορά εξαρτάται συχνά από την ικανότητά της να ελέγχει και να σχεδιάζει το απόθεμα στο ελάχιστο κόστος, ενώ καθιστά το απόθεμα διαρκώς διαθέσιμο για τους πελάτες όταν χρειάζεται. Μια τέτοια ικανότητα μπορεί να ενισχυθεί με την παρουσία ακριβών πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τις αναμενόμενες απαιτήσεις των πελατών, το μέγεθος και τον τύπο του αποθέματος που υπάρχει και τον χρόνο του κύκλου παραγγελιών για την εκπλήρωση της παραγγελίας του πελάτη. Ωστόσο, δεδομένου ότι αυτό το είδος πληροφοριών είναι συχνά δύσκολο να εκτιμηθεί, να προβλεφθεί και να ληφθεί, οι παραδοσιακοί κανόνες λήψης αποφάσεων που βασίζονται σε μαθηματικά μοντέλα όπως η ποσότητα της οικονομικής παραγγελίας δεν μπορούν να αντικατοπτρίζουν την ίδια την ουσία της διαχείρισης αποθεμάτων. Δηλαδή, ένα εργαλείο όπως ένα εξειδικευμένο σύστημα, το οποίο μπορεί να αντικαταστήσει την ορθή κρίση και τη διάνοια των έμπειρων διαχειριστών αποθέματος και να αντιμετωπίσει το

απροσδόκητο, είναι καταλληλότερο για τον χειρισμό του ελέγχου απογραφής και τον σχεδιασμό αποφάσεων. Αναγνωρίζοντας αυτό το δυναμικό, ο Allen (1986) ανέπτυξε ένα σύστημα εμπειρογνομόνων που ονομάζεται Βοηθός Διαχείρισης Αποθέματος (IMA) που σχεδιάστηκε για να βοηθήσει την Διοίκηση Εφοδιαστικής Πολεμικής Αεροπορίας των ΗΠΑ να αναπληρώσει διάφορους τύπους ανταλλακτικών αεροσκαφών και να μειώσει τα αποθέματα ασφαλείας. Το IMA αναφέρθηκε ότι βελτιώνει την αποτελεσματικότητα της διαχείρισης αποθέματος κατά 8-18% μειώνοντας τα σφάλματα αποθέματος.

Όπως απεικονίζεται παραπάνω, οι τεχνικές AI όπως τα συστήματα εμπειρογνομόνων προσφέρουν μια πολλά υποσχόμενη νέα προσέγγιση για τον έλεγχο των αποθεμάτων και τον προγραμματισμό προβλημάτων μεγάλου μεγέθους και πολυπλοκότητας λόγω της ισχυρής γλώσσας αναπαράστασης γνώσεων που είναι ικανή να συλλάβει μοτίβα αποθέματος σε ολόκληρο το EA σε όλα τα επίπεδα λεπτομέρειας. Η σύλληψη μιας τέτοιας δυναμικής πολυπλοκότητας στη βάση δεδομένων απογραφής επιτρέπει σε ανθρώπινους εμπειρογνώμονες, όπως οι διαχειριστές αποθέματος, να εκτιμήσουν το επιθυμητό επίπεδο αποθέματος σε κάθε σημείο αποθήκευσης χωρίς να προκαλέσουν ένα φαινόμενο bullwhip. Για παράδειγμα, ένα εξειδικευμένο σύστημα μπορεί να ενσωματωθεί στο σύστημα σχεδιασμού απαιτήσεων υλικών, ώστε να μπορεί να αποθηκεύει βάσεις δεδομένων σχετικά με ιστορικά κύρια προγράμματα παραγωγής, λογαριασμούς υλικών και μοτίβα παραγγελιών και στη συνέχεια να αναπτύσσει συστηματικούς κανόνες για την εκτίμηση του βέλτιστου επιπέδου του μέλλοντος. παραγγελίες και τον βέλτιστο χρόνο ανανέωσης αποθεμάτων. Μια άλλη ενδιαφέρουσα εφαρμογή τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης στον έλεγχο και τον προγραμματισμό των αποθεμάτων περιλαμβάνει την πρόσφατη μελέτη των Teodorovic et al. (2002) που ανέπτυξε ασαφείς λογικούς κανόνες για να λαμβάνει διαδικτυακές, έξυπνες, αποφάσεις ελέγχου αποθέματος θέσης αεροπορικής εταιρείας σχετικά με το εάν θα αποδεχτεί ή θα απορρίψει οποιοδήποτε αίτημα επιβατών για ρυθμίσεις θέσεων.

Μέχρι στιγμής, μία από τις πιο δημοφιλείς εφαρμογές τεχνικών AI σε μια συγκεκριμένη περιοχή EA ήταν σε μια κατηγορία προβλημάτων σχεδιασμού δικτύου μεταφορών που είναι εγγενώς συνδυαστικά και για τα οποία είναι δύσκολο να βρεθούν παγκόσμιες



βέλτιστες λύσεις. Αυτή η κατηγορία προβλημάτων περιλαμβάνει: το TSP, το πρόβλημα δρομολόγησης και προγραμματισμού του οχήματος, το ελάχιστο πρόβλημα δέντρου, το πρόβλημα ενοποίησης εμπορευματικών μεταφορών και το πρόβλημα διατροφικής σύνδεσης. Άλλα συναφή προβλήματα περιλαμβάνουν: σχεδιασμό οδικού δικτύου, σχεδιασμός δικτύου αγωγών διανομής φυσικού αερίου, αξιοποίηση χώρου στάθμευσης, εκχώρηση κυκλοφορίας και μέτρηση ράμπας σε δίκτυα αυτοκινητόδρομων. Συγκεκριμένα, λόγω της συνδυαστικής φύσης αυτών των προβλημάτων, η GA αποδεικνύεται ότι είναι μία από τις πιο δημοφιλείς μορφές τεχνικών AI που χρησιμοποιούνται για τον χειρισμό αυτών των διαφόρων πτυχών των προβλημάτων σχεδιασμού δικτύου μεταφορών (Chambers 2001). Μια άλλη τεχνική τεχνητής νοημοσύνης που έχει αναδειχθεί ως ένα ολοένα και πιο δημοφιλές μετα-ευρετικό είναι ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης των αποικιών. Αυτός ο αλγόριθμος έχει εφαρμοστεί με επιτυχία για τον χειρισμό γνωστών προβλημάτων σχεδιασμού δικτύου όπως το TSP, το πρόβλημα δρομολόγησης οχήματος και το ελάχιστο πρόβλημα δέντρου (Dorigo and Gambardella 1997, Bullnheimer et al. 1999, Shyu et al. 2003).

Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές τεχνικές OR ή τις ευρετικές, τόσο οι GA όσο και οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης απτ αποικιών ανήκουν σε μια κατηγορία μετα-ευρετικών που θεωρούνται ως ένα γενικό αλγοριθμικό πλαίσιο που μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης με σχετικά λίγες τροποποιήσεις για να τις κάνει προσαρμοσμένο σε ένα συγκεκριμένο πρόβλημα σχεδιασμού δικτύου μεταφορών (βλ. π.χ. Glover και Kochenberger 2003 για λεπτομέρειες σχετικά με τη μετα-ευρετική). Έτσι, είναι πιο ευέλικτες από τις παραδοσιακές τεχνικές OR και ευρετικές για την προσαρμογή των παραλλαγών στη δομή του προβλήματος μεταφοράς. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι άλλα μετα-ευρετικά όπως αναζήτηση tabu, προσομοιωμένη απόκτηση, αναζήτηση διασποράς και επαναληπτική τοπική αναζήτηση μπορούν να είναι εξίσου αποτελεσματικά με τα GA και τη βελτιστοποίηση των αποικιών για την επίλυση ενός προβλήματος πλανόδιου πωλητή και των παραλλαγών του.

#### 4.4 Διαχείριση αγορών και προμηθειών

Μια απόφαση για την αγορά ή την αγορά αφορά πρωτίστως τη στάθμιση των επιλογών παραγωγής αγαθών ή υπηρεσιών εσωτερικά ή την αγορά αυτών από τις εξωτερικές πηγές εφοδιασμού για την καλύτερη αξιοποίηση των δεδομένων πόρων της εταιρείας (π.χ. ικανότητα και προσωπικό) και εστίαση στην βασική της ικανότητα. Παρόλο που η απόφαση λήψης ή αγοράς ακούγεται απλή και απλή, θα πρέπει να συμπεριληφθεί σε διάφορα σενάρια «τι-εάν» όπως φαίνεται παρακάτω (βλ. Π.χ., Baily et al. 2005 για ζητήματα που αφορούν την απόφαση λήψης ή αγοράς):

Ποιος όγκος αγαθών αναμένει να παράγει η εταιρεία;

Πόση κεφαλαιακή επένδυση απαιτείται για την παραγωγή αγαθών ή την παροχή υπηρεσιών;

Πόσο κίνδυνο ενέχει η ανάπτυξη νέων προϊόντων ή η καινοτομία της τεχνολογίας για να παραμείνουν ανταγωνιστικοί στην αγορά;

Έχει το προϊόν που σκέφτεται να κάνει η εταιρεία έχει φτάσει στο μέγιστο της ζήτησης ή στο στάδιο ωριμότητας του κύκλου ζωής της;

Σε ποια επιχείρηση είναι η εταιρεία;

Ποια είναι η βασική δύναμη της εταιρείας;

Οι υπάλληλοι της εταιρείας έχουν την πείρα και την ικανότητα να παράγουν προϊόντα που επιθυμούν οι πελάτες;

Λόγω της πολυπλοκότητας και της δυναμικής των παραπάνω σεναρίων, η απόφαση λήψης ή αγοράς απαιτεί συστηματικά εργαλεία ενίσχυσης αποφάσεων. Τέτοια εργαλεία περιλαμβάνουν ένα ειδικό σύστημα. Για παράδειγμα, οι Humphreys et al. (2002) ανέπτυξε ένα εξειδικευμένο σύστημα που θα μπορούσε να βοηθήσει τον διαχειριστή αγορών στην αξιολόγηση της απόδοσης των υποψήφια προμηθευτών, ενισχύοντας την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ του προσωπικού αγοράς και μειώνοντας τον χρόνο λήψης της

απόφασης λήψης ή αγοράς. Για να χειριστεί ένα ευρύτερο φάσμα αποφάσεων αγοράς, οι Kim et al. (2002b) πρότεινε ένα σύστημα αγορών βάσει αντιπροσώπων για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας ηλεκτρονικής παραγγελίας που εμπλέκεται στην απόκτηση υλικών υποδημάτων από την παγκόσμια βάση εφοδιασμού. Ομοίως, οι Cheung et al. (2004) ανέπτυξε ένα υβριδικό σύστημα βασισμένο σε πράκτορες και γνώσεις για την αξιολόγηση των διαδικτυακών προσφορών και της απόδοσης των προμηθευτών που κέρδισαν την προσφορά κατά την εκτέλεση των παραγγελιών. Πιο πρόσφατα, οι Nissen και Sengupta (2006) πρότειναν έξυπνους πράκτορες λογισμικού που θα μπορούσαν να αυτοματοποιήσουν τις διαδικασίες αναζήτησης υποψήφιων προμηθευτών μέσω διαδικτυακών καταλόγων, αξιολογώντας τους προμηθευτές σε σχέση με πολλαπλά χαρακτηριστικά, εξετάζοντας κατάλληλους προμηθευτές και ολοκληρώνοντας την παραγγελία αγοράς. Αποτρέποντας την ασάφεια των προδιαγραφών, ανακάλυψαν ότι το προτεινόμενο σύστημα αγορών που βασίζεται σε πράκτορες μπορεί να υποκαταστήσει το ρόλο του ανθρώπινου φορέα λήψης αποφάσεων. Όπως απεικονίζεται παραπάνω, τα συστήματα που βασίζονται σε πράκτορες μπορούν να βοηθήσουν τον διαχειριστή αγορών σε μια σειρά στρατηγικών και τακτικών αποφάσεων αγοράς, ενώ οι παραδοσιακές τεχνικές ή όπως η διαδικασία αναλυτικής ιεραρχίας και η θεωρία πολλαπλών χαρακτηριστικών μπορούν να χειριστούν μόνο μία πτυχή των αποφάσεων αγοράς (π.χ. επιλογή προμηθευτή).

#### **4.5 Σχεδιασμός και πρόβλεψη ζήτησης**

Οι πληροφορίες σχετικά με τη μελλοντική ζήτηση αποτελούν τη βάση για τον σχεδιασμό χωρητικότητας της εταιρείας, τον προγραμματισμό εργατικού δυναμικού, τον έλεγχο των αποθεμάτων, την ανάπτυξη νέων προϊόντων και τις διαφημιστικές καμπάνιες. Ωστόσο, η χρησιμότητά του εξαρτάται συχνά από το *iH* ακρίβεια που, με τη σειρά της, εξαρτάται από την ικανότητα της εταιρείας να μειώσει την αβεβαιότητα και τη μεταβλητότητα που υπάρχει στη μελλοντική ζήτηση. Δεδομένης της ευμετάβλητης φύσης της μελλοντικής ζήτησης σε συνδυασμό με τον ποικίλο βαθμό αβεβαιότητας και μεταβλητότητας που σχετίζεται με μια τέτοια ζήτηση, ήταν αποθαρρυντικό καθήκον να αναπτυχθούν ακριβείς τεχνικές πρόβλεψης και / ή να επιλεγεί μια τεχνική πρόβλεψης που είναι πιο κατάλληλη για συγκεκριμένα επιχειρηματικά περιβάλλοντα. Για παράδειγμα, ορισμένες τεχνικές

πρόβλεψης προορίζονται για βραχυπρόθεσμη προβολή, ενώ άλλες λειτουργούν καλύτερα για μακροπρόθεσμη προβολή. Ανεξάρτητα, ένας κοινός παρονομαστής μεταξύ των πιο παραδοσιακών τεχνικών πρόβλεψης όπως η εκθετική εξομάλυνση, ο κινούμενος μέσος όρος, οι χρονοσειρές και οι μέθοδοι Box – Jenkins είναι η βασική τους υπόθεση ότι η μελλοντική ζήτηση θα ακολουθήσει το πρότυπο της προηγούμενης ζήτησης. Κάτω από μια τέτοια υπόθεση, αυτές οι παραδοσιακές τεχνικές πρόβλεψης βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην ακρίβεια και την εγκυρότητα των ιστορικών δεδομένων. Αν και τα ιστορικά δεδομένα εξακολουθούν να είναι πολύτιμα για την πρόβλεψη της μελλοντικής ζήτησης υφιστάμενων προϊόντων και υπηρεσιών, δεν είναι διαθέσιμα για την πρόβλεψη της μελλοντικής ζήτησης νέων προϊόντων και καινοτόμων υπηρεσιών που δεν υπήρχαν στο παρελθόν. Για να ξεπεραστεί ένα τέτοιο μειονέκτημα των παραδοσιακών τεχνικών πρόβλεψης, οι τεχνικές AI εισήχθησαν πρόσφατα ως βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις για την πρόβλεψη και τον προγραμματισμό της ζήτησης.

Για παράδειγμα, οι Yu et al. (2002) πρότεινε μια δυναμική διαδικασία αντιστοίχισης προτύπων εντός του πλαισίου συστήματος που βασίζεται σε πράκτορες που συνδυάζει την ανθρώπινη τεχνογνωσία και τις τεχνικές εξόρυξης δεδομένων για να προβλέψει τη ζήτηση για νέα προϊόντα. Τα πειράματά τους έδειξαν ότι η διαδικασία αντιστοίχισης δυναμικών μοτίβων ξεπέρασε τις εκθετικές τεχνικές εξομάλυνσης σε σχέση με την ακρίβεια των προβλέψεων. Σε αντίθεση με την εκθετική εξομάλυνση, η οποία βασίζεται απλώς σε ιστορικά δεδομένα, η διαδικασία δυναμικής αντιστοίχισης μοτίβων χρησιμοποίησε πολλαπλούς παράγοντες για να συλλάβει παρελθόντες (πράκτορας βασικής γραμμής), τρέχοντα (αιτιώδης πράκτορας) και μελλοντικούς (παράγοντα μοτίβου) συμπεριφορές πελατών που βοήθησαν στη βελτίωση των προβλέψεων ακρίβεια. Ομοίως, οι Jeong et al. (2002) βελτίωσε την ακρίβεια των προβλέψεων χωρίς να βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στα ιστορικά δεδομένα εισάγοντας μια γενετική αλγόριθμο με βάση την αιτιώδη τεχνική πρόβλεψης που υπερέρχει της παραδοσιακής ανάλυσης παλινδρόμησης. Όπως απεικονίζεται παραπάνω, τεχνικές AI όπως συστήματα που βασίζονται σε πράκτορες και GA μπορούν να είναι χρήσιμες για την πρόβλεψη της μελλοντικής ζήτησης για νέα προϊόντα ή καινοτόμα προϊόντα / υπηρεσίες που δεν έχουν ακόμη εισαχθεί στην αγορά και επομένως δεν έχουν ιστορικά δεδομένα ζήτησης.

#### 4.6 Προβλήματα παραγγελίας

Με απλά λόγια, η παραγγελία περιλαμβάνει την επιλογή των αντικειμένων που έχουν τεθεί σε παραγγελία. Λόγω των εργασιών υψηλής έντασης εργατικού δυναμικού, η παραγγελία παραλαμβάνει συνήθως το μεγαλύτερο μέρος των λειτουργικών δαπανών αποθήκευσης (Frazelle 2002) Έτσι, επηρεάζει σημαντικά την παραγωγικότητα της αποθήκευσης. Λαμβάνοντας υπόψη τον σημαντικό ρόλο του στις επιχειρήσεις αποθήκευσης, οι διαχειριστές αποθηκών έχουν προσπαθήσει να επινοήσουν τρόπους βελτίωσης της αποτελεσματικότητας της παραγγελίας. Τέτοιοι τρόποι περιλαμβάνουν τη μηχανοργάνωση και τον επακόλουθο αυτοματισμό αλληλούχησης και συμπλήρωσης των παραγγελιών. Ως μέρος της διαδικασίας αυτοματισμού, οι Kim et al. (2002a) ανέπτυξε ένα έξυπνο σύστημα που βασίζεται σε πράκτορες που εκχωρούσε βέλτιστα τους εργαζόμενους σε μια καθορισμένη ζώνη από την οποία επιλέχθηκαν οι παραγγελίες. Σχεδιάστηκε επίσης για να προσαρμόζει δυναμικά την ταχύτητα του μεταφορέα για την ελαχιστοποίηση του χρόνου αναμονής για τα διαστήματα παραλαβής παραγγελιών και τη μεγιστοποίηση της απόδοσης παραλαβής παραγγελιών. Παρόλο που το πρόβλημα επιλογής παραγγελιών αντιμετωπίστηκε συχνά από μοντέλα προσομοίωσης και μαθηματικά μοντέλα στο παρελθόν, η χρήση τεχνικών AI όπως ένα έξυπνο σύστημα που βασίζεται σε πράκτορες μπορεί να χειριστεί καλύτερα την πρόσθετη πολυπλοκότητα που προκαλείται από την αυξανόμενη υιοθέτηση υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας και Ηλεκτρονικά επιτεύγματα λόγω της εγγενούς ικανότητας μάθησης

#### 4.7 Διαχείριση σχέσεων πελατών

Για να διατηρήσει τους πελάτες, η εταιρεία πρέπει να κάνει τους πελάτες της να εμπιστεύονται τις δυνατότητες κατασκευής και υπηρεσιών της και να κάνουν τους πελάτες να πιστεύουν ότι μπορεί να προσφέρει ακριβώς αυτό που θέλουν. Αυτή η εμπιστοσύνη δεν μπορεί να ενσταλαχθεί χωρίς συνεχή επικοινωνία και οικοδόμηση μακροχρόνιας σχέσης με τους πελάτες. Έτσι, το CRM είναι μια σημαντική προϋπόθεση για να απαιτηθεί δημιουργία που οδηγεί δραστηριότητες ΕΑ. Σε γενικές γραμμές, το CRM αναφέρεται ως επιχειρηματική πρακτική που αποσκοπεί στη βελτίωση της παροχής υπηρεσιών, στη δημιουργία κοινωνικών δεσμών με τους πελάτες και στην εξασφάλιση της πίστης των πελατών,

αναπτύσσοντας μια μακροπρόθεσμη, αμοιβαία επωφελής σχέση με πολύτιμους πελάτες που επιλέγονται από μια ομάδα περισσότερων από λίγων πελάτες (Ελάχιστο 2006).

Δεδομένου ότι το CRM έχει βαθύ αντίκτυπο στην κερδοφορία της εταιρείας, θα ήταν απαραίτητο για την εταιρεία να εκτιμήσει το κόστος διατήρησης του CRM και να σταθμίσει τα οφέλη του έναντι του κόστους. Οι Baxter et al. (2003) πρότεινε ένα μοντέλο που βασίζεται σε πράκτορες που προσομοιώνει την αλληλεπίδραση μεταξύ των μελών του πληθυσμού των πελατών και των επιχειρηματικών περιβαλλόντων στα οποία περιλαμβάνονται. Το μοντέλο που βασίζεται σε πράκτορες εξέτασε την επικοινωνία των εμπειριών των πελατών μεταξύ των μελών ενός κοινωνικού δικτύου και στη συνέχεια ενσωμάτωσε την ισχυρή επιρροή του word-of-mouth γενυπληροφορίες για την αγορά προϊόντων και υπηρεσιών. Με αυτόν τον τρόπο, βοήθησε την εταιρεία να αξιολογήσει την έκταση της απόδοσης της επένδυσής της σε CRM και να ενισχύσει τις προσπάθειες απόκτησης πελατών.

#### **4.8 Ηλεκτρονικός συγχρονισμός της ΕΑ**

Για να διευκολυνθεί ο συντονισμός και η ολοκλήρωση των δραστηριοτήτων της ΕΑ, οι συνεργάτες της ΕΑ μοιράζονται συχνά πληροφορίες σχετικά με την πρόβλεψη της ζήτησης, τον κοινό σχεδιασμό παραγωγής και διανομής μέσω ηλεκτρονικών μέσων όπως ιστοσελίδες στο Διαδίκτυο και ανταλλαγή ηλεκτρονικών δεδομένων. Η αφθονία τέτοιων πληροφοριών στον κυβερνοχώρο παρέχει ένα εύφορο έδαφος για την εφαρμογή τεχνικών μηχανικής μάθησης όπως η εξόρυξη ιστού και η εξόρυξη κειμένου. Η εξόρυξη ιστού αναφέρεται γενικά στην αναζήτηση, την ταξινόμηση και την ανάλυση όλων των δεδομένων που σχετίζονται με τον Ιστό, συμπεριλαμβανομένου του περιεχομένου ιστού, της δομής υπερσυνδέσμων και των στατιστικών πρόσβασης στον Ιστό (Fayyad et al. 1996). Συγκεκριμένα, η εξόρυξη ιστού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή νέων προτύπων ή προηγουμένως άγνωστων προτύπων δεδομένων σχετικά με προφίλ πελατών, προφίλ προμηθευτών, τάσεις πωλήσεων, τάσεις προμήθειας, τάσεις εσόδων και διακυμάνσεις ζήτησης αποθηκευμένες σε διάφορους ιστότοπους. Η ανακάλυψη γνώσεων μέσω της εξόρυξης ιστού μπορεί να

βοηθήσει πολυεθνικές εταιρείες όπως το Amazon.com και το e-Bay να εντοπίσουν μελλοντικές βάσεις πελατών, να αναπτύξουν στρατηγικές τιμολόγησης, να αξιολογήσουν εμπορικούς συνεργάτες και να αυξήσουν τα έσοδα. Για παράδειγμα, οι Symeonidis et al. (2008) χρησιμοποίησε τεχνικές εξόρυξης δεδομένων για να αξιολογήσει τις επιδόσεις των έξυπνων πρακτόρων συναλλαγών και στη συνέχεια να μεγιστοποιήσει το δυναμικό εσόδων σε ηλεκτρονικά συγχρονισμένα περιβάλλοντα ΕΑ, συμπεριλαμβανομένης της ηλεκτρονικής υποβολής προσφορών.

Ο κλάδος των city logistics τις τελευταίες δεκαετίες παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον τόσο στον ακαδημαϊκό όσο και στον βιομηχανικό χώρο λόγω της ταχείας αύξησης και εξέλιξης της αστικοποίησης αλλά και της ανάπτυξης του ηλεκτρονικού εμπορίου παγκοσμίως. Για παράδειγμα στην Κίνα η αγορά της γρήγορης παράδοσης σημείωσε πάνω από 50 δισεκατομμύρια παραγγελίες το 2018, αύξηση σε 26,6% σχέση με την προηγούμενη χρονιά, ενώ σε χώρες όπως Γερμανία και ΗΠΑ αναμένεται αύξηση από 7% έως και 10%. Έτσι λοιπόν η απότομη και ραγδαία αύξηση του κλάδου της βιομηχανίας των logistics γέννησε νέες προκλήσεις στη λειτουργία συστημάτων μεγάλης κλίμακας για την εξυπηρέτηση τεράστιων αναγκών σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Στη γενική του μορφή, ο στόχος του VRP είναι να σχεδιάσει ένα σύνολο διαδρομών ελάχιστου κόστους που εξυπηρετεί μια σειρά από μέρη, γεωγραφικά διασπαρμένα και ικανοποιώντας συγκεκριμένους περιορισμούς του προβλήματος. Από την πρώτη του διατύπωση το 1959, έχουν γίνει πολλές δημοσιεύσεις και έχει επεκταθεί το πεδίο εφαρμογής της. Πραγματοποιήθηκαν αρχικές μελέτες για την ανάλυση της διαχείρισης της διανομής. Την τελευταία δεκαετία σημειώθηκαν σημαντικές εξελίξεις όσον αφορά την τεχνική λύση για την επίλυση μεγάλων περιπτώσεων. Μια άλλη πτυχή που έχει κερδίσει το ενδιαφέρον είναι η συμπερίληψη των τεχνολογικών καινοτομιών στο VRP. Αυτά περιλαμβάνουν παγκόσμια συστήματα εντοπισμού θέσης, αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων και χρήση επεξεργασίας πληροφοριών υπολογιστή υψηλής χωρητικότητας (Ghannadpour et al., 2014).

Η «πράσινη» προσφορά της αλυσίδας έχει οριστεί ως:

Η ενσωμάτωση της περιβαλλοντικής σκέψης στη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού, συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού, της επιλογής πηγών πρώτων υλών, των διαδικασιών παραγωγής και των τελικών καταναλωτών παράδοσης προϊόντων, καθώς και της διαχείρισης των προϊόντων όταν τελειώνουν τη ζωή τους. (Srivastava, 2007, σελ. 54)

Το ενδιαφέρον σε αυτόν τον τομέα έχει αυξηθεί σημαντικά στις επιχειρήσεις, για υπαλλήλους οργανώσεων, κυβερνήσεων και εταιρειών παροχών που επιθυμούν να εφαρμόσουν «πράσινη» αλυσίδα εφοδιασμού, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης του κόστους, της βελτιωμένης ποιότητας των προϊόντων και των διαδικασιών, της μείωσης του κινδύνου και της βελτίωσης της οικονομικής απόδοσης (Vachon and Klassen, 2008 ; Sarkis, Zhu and Lai, 2011).

Όσον αφορά το περιβάλλον, η μεταφορά είναι μία από τις πιο ορατές από την άποψη της αλυσίδας εφοδιασμού. Η ποσότητα των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) από τις μεταφορές υπολογίζεται στο 14% των συνολικών εκπομπών. Η μεταφορά είναι επίσης η κύρια πηγή διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>x</sub>), διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) και άλλων σωματιδίων (McKinnon and Woodburn, 1996). Τα αποτελέσματα μελετών των σημαντικότερων παραγόντων για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) στις οδικές μεταφορές παρουσιάζονται στο Piescyk (2010).

Οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν θεσπίσει πρότυπα για τα φορτηγά NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> και PM για τα φορτηγά με βάση το πρότυπο Euro V, το οποίο διέπεται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, και αυτό είναι μέρος μιας δέσμης μέτρων που εγκρίθηκαν από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο το 2007. Σύμφωνα με τις μελέτες αποτελεσμάτων, η τα φορτηγά είναι πολύ καθαρότερα για το περιβάλλον από τα περισσότερα πλοία και τρένα. Τα υπεράκτια σκάφη εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες NO<sub>x</sub>. Εκτιμάται ότι αυτές οι εκπομπές υπερβαίνουν τις συνολικές εκπομπές από τις χερσαίες μεταφορές, εκτός εάν ληφθούν μέτρα εκεί στους Dekker, Bloemhof και Mallidis (2012)



Οι τρόποι μεταφοράς (π.χ. Αεροπλάνο, σκάφος, φορτηγό, τρένο, φορτηγίδα ή αγωγός) έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά από άποψη κόστους, χρόνου διέλευσης, προσβασιμότητας και περιβαλλοντικής απόδοσης. Στο Leal and D'Agosto (2011) παρουσιάζεται μια μέθοδος επιλογής του τρόπου μεταφοράς, που εφαρμόζεται στη μεταφορά βιοαιθανόλης στη Βραζιλία, αυτή είναι μια προσαρμογή της μεθοδολογίας που ονομάζεται MCM (The Modal Choice Method). Μερικές ερωτήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν στην «πράσινη» αλυσίδα εφοδιασμού είναι: πόσο βελτιώνει το περιβάλλον; Πώς να εξισορροπήσετε τις περιβαλλοντικές ανησυχίες και την κερδοφορία στις επιχειρήσεις; Οι λεγόμενες οικολογικά αποδοτικές λύσεις δείχνουν ότι απαιτούνται πρόσθετες προσπάθειες για τη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος.

## 5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

### 5.1 Γενικά

Μετά την εκτενή αναφορά μας στα προηγούμενα κεφάλαια με τα είδη των προβλημάτων VRP αλλά και στο πώς η τεχνητή νοημοσύνη συνδέεται με την ενότητα των μεταφορών, στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στο πρόβλημα VRPTW όταν για κάποιους άγνωστους προς τον προγραμματιστή λόγους ο οδηγός επιλέγει να τροποποιήσει το πλάνο δρομολόγησης καθώς κάποιος ή κάποιοι πελάτες έχουν μια ιδιαιτερότητα κατά την παράδοσή τους, είτε χρονική είτε προς την τοποθεσία τους, που είναι γνωστή στον οδηγό και μόνο. Επιπλέον κατά τη διάρκεια του ταξιδιού υπάρχουν παράμετροι οι οποίοι είναι αδύνατον να προβλεφθούν όταν πραγματοποιείται το πλάνο δρομολόγησης από τον προγραμματιστή όπως για παράδειγμα, τροχαία ατυχήματα, αυξημένη κίνηση, κακοκαιρία, τα οποία ανατρέπουν το αρχικό πλάνο. Αυτοί λοιπόν οι παράμετροι είναι ικανοί να ανατρέψουν το αρχικό πλάνο και να συμπαρασύρουν παραπάνω από έναν πελάτη σε διαφορετική ώρα παράδοσης έναντι της προγραμματισμένης. Έτσι λοιπόν ο οδηγός καλείται να προγραμματίσει σε πραγματικό χρόνο εκ νέου τις παραδόσεις του με τα νέα δεδομένα.

Έτσι λοιπόν, ένας οδηγός μπορεί να προτιμά να εξυπηρετεί ένα σύνολο πελατών στην αρχή της διαδρομής για να αποφύγει την κίνηση, ακόμα κι αν αυτή η απόφαση συνεπάγεται σημαντική παράκαμψη από την αρχικά προγραμματισμένη διαδρομή. Αν και δεν θεωρούνται γνωστά TWs, αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν σημαντικά τη διαδρομή που ο οδηγός επιλέγει να ακολουθήσει χωρίς να είναι απαραίτητα γνωστοί από τους σχεδιαστές της διαδρομής, μόνο από τους ίδιους τους οδηγούς. Ενώ ορισμένες πληροφορίες σχετικά με τους περιορισμούς των πελατών (π.χ. επίσημα TWs) ενδέχεται να είναι γνωστές για σκοπούς προγραμματισμού, η διατήρηση επικαιροποιημένων και πλήρων δεδομένων σχετικά με τους περιορισμούς των πελατών είναι συνήθως δύσκολη, ιδίως για λειτουργίες με μεγάλο αριθμό βάσης πελατών. Αυτή η έλλειψη δεδομένων εμποδίζει την αποτελεσματικότητα του συστήματος σχεδιασμού εφοδιαστικής, καθώς οι σχεδιαστές καλούνται να προγραμματίσουν τις διαδρομές έχοντας ως βάση ελλιπείς πληροφορίες.

Επιπλέον, η απόκλιση μεταξύ προγραμματισμένης και πραγματικής διαδρομής οδηγεί επίσης σε μεγάλα προβλήματα για τον οδηγό. Σε πολλές περιπτώσεις, το φορτηγό φορτώνεται με βάση την προγραμματισμένη σειρά παράδοσης με αποτέλεσμα να μην ισχύει στην πράξη η διάταξη last in-first out. Ο στόχος είναι να συμβαδίζει η σειρά φόρτωσης με την σειρά παραδόσεων. Αποτέλεσμα του λάθους προγραμματισμού της διαδικασίας της φόρτωσης είναι η χρονοβόρα εύρεση πακέτων προς παράδοση εκείνη τη στιγμή στην καμπίνα του φορτηγού. Επιπλέον, δημιουργείται υπερβολική εξάρτηση μεταξύ οδηγού και δρομολογίου από μια συγκεκριμένη γνώση του οδηγού σχετικά με τις διαδρομές, η οποία περιορίζει τη συνολική ευρωστία του συστήματος. Έτσι, είναι σημαντικό οι μέθοδοι εξαγωγής να συνάγουν αυτόματα τους περιορισμούς των πελατών από διευθύνσεις δεδομένων, μεθοδολογικά και πρακτικά κενά. (Andre Snoeck, Daniel Merchan, Matthias Winkenbach, 2019)

Οι αλγόριθμοι της μηχανικής εκμάθησης (ML) είναι σε θέση να αναγνωρίζουν μοτίβα σε μεγάλα σύνολα δεδομένων χωρίς εκ των προτέρων γνώση του υποκείμενου συστήματος. Η διαθεσιμότητα ολοένα και μεγαλύτερων (σε πραγματικό χρόνο) συνόλων δεδομένων ξεκλειδώνει την δυναμική που η ML προβλέπει τον εξορθολογισμό της αλυσίδας εφοδιασμού και των εργασιών εφοδιαστικής. Σε αυτό το άρθρο, διερευνούμε τη χρήση των μεθόδων ML για να κλείσει το χάσμα μεταξύ προγραμματισμού και εκτέλεσης διαδρομών. Αναλύοντας ιστορικές προγραμματισμένες και εκτελεσμένες διαδρομές που στοχεύουμε στον να προσδιοριστεί η συμβολή συγκεκριμένων πελατών που δημιουργούν αποκλίσεις κατά την διαδρομή, δηλαδή προσπαθούμε να εντοπίσουμε τους περιορισμούς των πελατών.

Για τον προσδιορισμό αυτού του στόχου εισάγουμε ένα πιθανό κατευθυνόμενο γραφικό μοντέλο που αντιπροσωπεύει τις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των παρατηρούμενων τυχαίων μεταβλητών που περιγράφουν εάν μια θέση πελάτη έχει αλλάξει μεταξύ των προγραμματισμένων και των πραγματικών ακολουθιών διαδρομής, και μια λανθάνουσα δυαδική μεταβλητή που σχετίζεται με κάθε πελάτη που δείχνει την ύπαρξη ενός περιορισμού. Δεδομένου του μεγέθους του προβλήματος, επιλέγουμε έναν συνδυασμό μεθόδων δειγματοληψίας Monte Carlo Markov (MCMC) για να εξάγουμε συμπεράσματα και δοκιμάζουμε το μοντέλο μας σε ένα συλιζαρισμένο πρόβλημα εμπνευσμένο από μια πραγματική εφαρμογή.

## 5.2 Σχετική εργασία

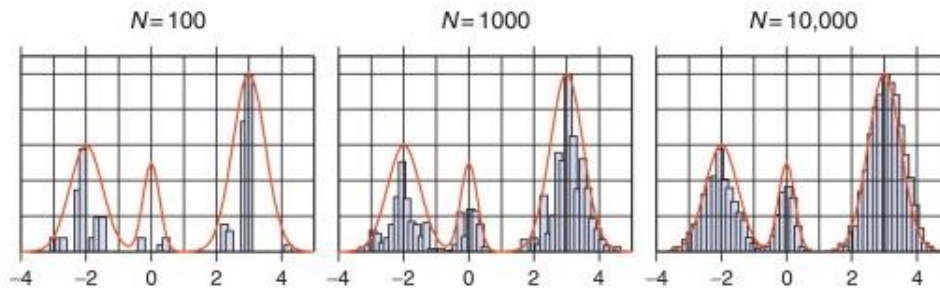
Μέχρι την παρούσα βιβλιογραφική καταγραφή, το πρόβλημα της συμπερίληψης περιορισμένων πελατών σε προβλήματα δρομολόγησης δεν έχει διερευνηθεί μέχρι και σήμερα. Όμως, η αναφορά για λύσεις σε προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων με χρονικά παράθυρα (VRPTW) είναι εκτεταμένη (βλέπε Braysy and Gendreau (2005) και αναφορές σε αυτά). Επιπλέον, υπάρχει κάποια βιβλιογραφία που αξιοποιεί μεθόδους μηχανικής εκμάθησης για την επίλυση του VRP ( π.χ., Nazari et al. (2018)). Ωστόσο, στις παραπάνω βιβλιογραφικές αναφορές θεωρείται δεδομένο ότι οι ενδογενείς και εξωγενείς περιορισμοί των πελατών, συμπεριλαμβανομένων των TW, είναι γνωστοί από τους σχεδιαστές. Συνεπώς, η εξαγωγή μεθόδων για την εξαγωγή περιορισμένων πελατών από δεδομένα συνεπάγεται σημαντικές μεθοδολογικές και πρακτικές συνεισφορές. Η δουλειά μας βασίζεται στη βιβλιογραφία μηχανικής εκμάθησης που σχετίζεται με κατευθυνόμενα γραφικά μοντέλα, πιθανολογικά μοντέλα πάνω από ταξινομημένα δεδομένα και μεθόδους δειγματοληψίας για συμπεράσματα. Τα πιθανολογικά γραφικά μοντέλα παρέχουν μια απλή οπτικοποίηση της υποκείμενης πιθανολογικής δομής ενός μοντέλου και παρέχουν ένα βολικό πλαίσιο για πιθανολογικά συμπεράσματα, ειδικά στην υπόδειγμα ανεξαρτησίας υπό όρους (Jordan, 2003). Το κατευθυνόμενο γραφικό μοντέλο (DGM) ή το Bayesian Network είναι ένας τύπος γραφικού μοντέλου που είναι ιδιαίτερα βολικό για τη δημιουργία αιτιώδους σχέσης, δηλαδή το μοντέλο καθορίζει τις δομές του πεδίου. Οι εξαρτήσεις απλοποιούνται δεδομένης της ιδιοκτησίας της Μαρκοβιανής στην οποία ένας δεδομένος κόμβος εξαρτάται μόνο από τους άμεσους προκατόχους του. Παραπέμπουμε τον αναγνώστη στο Jordan (2003) για μια ολοκληρωμένη επεξεργασία γραφικών μοντέλων.

Παρουσιάζουμε ένα DGM για να μοντελοποιήσουμε τις αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ των πελατών, τη θέση των πελατών σε μια δεδομένη διαδρομή και παρατηρούμενες ανατροπές που διέπουν το πρόβλημα απόκλισης διαδρομής. Μια διαδρομή μπορεί να μοντελοποιηθεί ως ένα πλήρως ταξινομημένο σύνολο τοποθεσιών παράδοσης για τις οποίες μας ενδιαφέρει να μάθουμε την υποκείμενη πιθανή κατανομή πάνω από αυτές τις κατατάξεις (π.χ. διαδρομές). Προηγούμενες έρευνες σχετικά με πιθανολογικά μοντέλα για

ταξινομημένα δεδομένα περιλαμβάνουν το μοντέλο του Mallow όπου στα στατιστικά στοιχεία, το μοντέλο Mallp's Cp, που ονομάζεται Colin Lingwood Mallows, χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της προσαρμογής ενός μοντέλου παλινδρόμησης που έχει εκτιμηθεί με τη χρήση συνηθισμένων ελάχιστων τετραγώνων. Εφαρμόζεται στο πλαίσιο της επιλογής μοντέλου, όπου υπάρχουν διάφορες μεταβλητές πρόβλεψης για την πρόβλεψη κάποιου αποτελέσματος, και ο στόχος είναι να βρεθεί το καλύτερο μοντέλο που περιλαμβάνει ένα υποσύνολο αυτών των προβλέψεων. (Mallows, 1957). Πρόσθετες παραμετρικές μέθοδοι έχουν προταθεί για πιθανολογικά συμπεράσματα (Marden (1996)), αλλά αυτές συνήθως είναι περιορισμένες  $t_{om} \leq 15$ . Όσο αυξάνεται, οι παραμετρικές μέθοδοι είναι υπολογιστικά δύσκολες δεδομένης της συνδυαστικής φύσης του προβλήματος. Με βάση το μοντέλο του Mallow, παρουσιάζουμε μια απλουστευμένη έκδοση της πιθανότητας παρουσίασης των παραλλαγών για πλήρως ταξινομημένα δεδομένα. Εάν δεν είναι εφικτή η αποτελεσματική ακριβής εξαγωγή, απαιτούνται μέθοδοι κατά προσέγγιση συμπερασμάτων για την επίλυση του προβλήματος. Οι μέθοδοι MCMC έχουν αποδειχθεί ότι παρέχουν μια καλή εναλλακτική λύση όταν η αξιολόγηση της προσδοκίας είναι αδιάφορη (Roberts and Rosenthal, 2004). Οι αλγόριθμοι MCMC που χρησιμοποιούνται πιο συχνά είναι οι αλγόριθμοι Metropolis-Hastings και Gibbs samplers 1 (Roberts and Rosenthal, 2004). Και οι δύο μελετώνται εκτενώς σε σχετικούς τομείς όπως η φυσική, η επιστήμη των υπολογιστών και τα μαθηματικά, και πολλές εφαρμογές, κυρίως δειγματοληψίας Gibbs, υπάρχουν σε άλλους τομείς, π.χ., υγειονομική περίθαλψη (Eaves et al., 2005) και στην πολιτική επιστήμη ( Gormley and Murphy, 2014). Ένα δείγμα Gibbs απαιτεί τη διαθεσιμότητα πλήρους συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας υπό όρους για όλες τις παραμέτρους, ωστόσο, είναι πιθανό να μην επιτευχθούν λόγω της δομής του μοντέλου. Για να αντιμετωπίσουν αυτό το ζήτημα αρκετοί συγγραφείς (βλ. Π.χ. Wang και Ling (2016)), έχουν χρησιμοποιήσει τον αλγόριθμο Metropolis-Hastings-inside-Gibbs, ο οποίος ουσιαστικά ενσωματώνει ένα βήμα Metropolis-Hastings στο δείγμα Gibbs για να αποκτήσει δείγματα από τις παραμέτρους για τις οποίες η πλήρης πυκνότητα υπό όρους δεν είναι διαθέσιμη. Βασιζόμαστε σε αυτόν τον αλγόριθμο για να εξάγουμε τα συμπεράσματα (Andre Snoeck, Daniel Merchan, Matthias Winkenbach, 2019).

### 5.2.1 Ο αλγόριθμος Metropolis-Hastings

Ο αλγόριθμος Metropolis – Hastings (MH) (Metropolis et al., 1953; Hastings, 1970) είναι η πιο δημοφιλής τεχνική για την κατασκευή αλυσίδων Markov με μια δεδομένη αναλλοίωτη κατανομή (βλέπε, π.χ., Gillespie, 1992; Tierney, 1994; Gilks et al. 1995, Gamerman, 1997, Robert και Casella, 1999).



Εικόνα 2 Massachusetts Institute of Technology, 77 Massachusetts Ave, Cambridge, MA, 02139, USA

Ο γενικός αλγόριθμος MH εξετάζει δύο κατανομές, δηλαδή την κατανομή στόχου  $\sigma$  και την πρόταση υπό όρους κατανομή  $q(x^* | x)$  από την οποία αντλείται ένα υποψήφιο δείγμα  $x^*$  για τη νέα κατάσταση αλυσίδας Markov. Εάν η τρέχουσα κατάσταση της αλυσίδας είναι  $x$ , τότε, σύμφωνα με τον αλγόριθμο MH, η αλυσίδα μετακινείται στη νέα της κατάσταση  $x^*$  με την πιθανότητα

$$P(x, x^*) = \min \left[ 1, \frac{\sigma(x^*)q(x|x^*)}{\sigma(x)q(x^*|x)} \right],$$

ή παραμένει στο  $x$ .

Ο ψευδοκώδικας για τον αλγόριθμο MH φαίνεται στο Σχ. 17 και το Σχ. 18 δείχνει τρία σύνολα δειγμάτων που δημιουργούνται από τον αλγόριθμο MH για 1D κατανομή πολλαπλών μοντέλων  $\sigma(x)$  υποθέτοντας ότι  $x^*$  παράγονται από την ομοιόμορφη κατανομή  $q(x^*|x) = \text{σταθερό}$ .

- Αρχικοποίηση  $x^0$
- Επανάλαβε
  - δημιουργήσε ομοιόμορφο τυχαίο αριθμό  $u \sim U(0,1)$
  - δημιουργήσε αριθμό δοκιμής  $x^* \sim q(x^*|x^i)$
  - Αν  $u < P(x^i, x^*) = \min \left[ 1, \frac{\sigma(x^*)q(x|x^*)}{\sigma(x)q(x^*|x)} \right]$ ,
    - $x^{i+1} = x^*$
    - αλλιώς
      - $x^{i+1} = x^i$
  - Συνέχισε μέχρι να δημιουργηθεί επαρκής αριθμός δειγμάτων  $\{x^i\}$

Σημειώστε ότι ο αλγόριθμος MH δεν απαιτεί γνώση των απόλυτων τιμών του  $\sigma(x)$  αλλά μόνο του λόγου για τις τρέχουσες και τις προτεινόμενες καταστάσεις. Έτσι, το  $\sigma(x)$  μπορεί να οριστεί έως έναν σταθερό παράγοντα. Συγκεκριμένα, δεν χρειάζεται να ομαλοποιηθεί.

Ο πυρήνας μετάβασης για τον αλγόριθμο MH διαβάζει

$$K_{MH}(x^{i+1}, x^i) = q(x^{i+1}|x^i)P(x^i, x^{i+1}) + \delta(x^i - x^{i+1})R(x^i)$$

(Wojciech, 2010)

όπου ο δεύτερος όρος λαμβάνει υπόψη ότι η αλυσίδα μπορεί να απορρίψει μια προτεινόμενη κίνηση  $x \rightarrow x^*$  και να παραμείνει στην ίδια κατάσταση με την πιθανότητα

$$R(x^i) = \int q(x^*|x^i)(1 - P(x^i, x^*))dx^*$$

### 5.3 Ορισμός του μοντέλου

Όπως έχει αναφερθεί, το Vehicle Routing Problem (VRP) είναι ένα συνδυαστικό πρόβλημα βελτιστοποίησης που έχει μελετηθεί στην επιστήμη των εφαρμοσμένων μαθηματικών και την επιστήμη των υπολογιστών για δεκαετίες. Το VRP είναι γνωστό ότι είναι υπολογιστικά δύσκολο πρόβλημα για το οποίο έχουν προταθεί πολλοί ακριβείς και ευρετικοί αλγόριθμοι, αλλά στο να παρέχουν γρήγορες και αξιόπιστες λύσεις εξακολουθούν να είναι μια πρόκληση. Στην απλούστερη μορφή του VRP, ένα όχημα είναι υπεύθυνο για την παράδοση αντικειμένων σε πολλούς κόμβους πελατών. Το όχημα πρέπει επιστρέψτε στην αποθήκη για να παραλάβετε επιπλέον αντικείμενα όταν τελειώσει. Ο στόχος είναι η βελτιστοποίηση ενός συνόλου διαδρομών, που όλες ξεκινούν και τελειώνουν σε έναν δεδομένο κόμβο, που ονομάζεται αποθήκη. Το πρόβλημα αυτό είναι υπολογιστικά δύσκολο να επιλυθεί με τη βέλτιστη δυνατή κατάσταση, ακόμη και με λίγες εκατοντάδες πελάτες.

Οι αποκλίσεις μεταξύ των προγραμματισμένων και των εκτελεσθέντων διαδρομών συχνά μπορούν να αποδοθούν σε ένα περιορισμό σε ένα σύνολο πελατών.

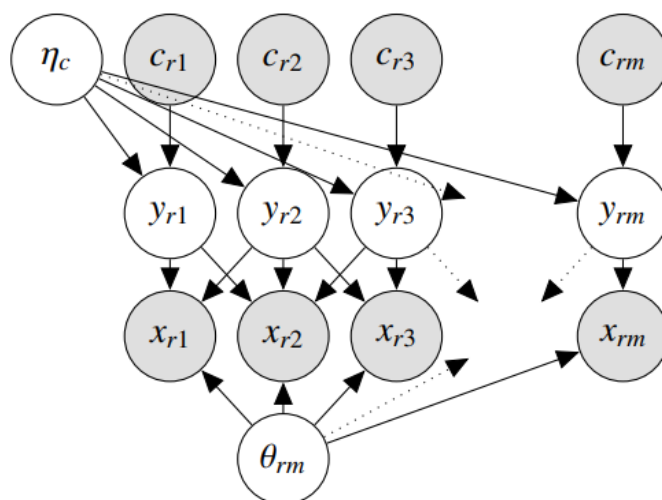
Για παράδειγμα, στο Σχήμα 1, εάν ο πελάτης 2 έχει ένα άγνωστο περιορισμό στον προγραμματιστή logistics, ο οδηγός πρέπει να προσαρμόσει τη διαδρομή. Μια άνευ λογικής προσέγγιση μπορεί να είναι να παραλείψουμε τον πελάτη 2 από την προγραμματισμένη ακολουθία και να προσθέσουμε μια επίσκεψη στον πελάτη 2 κατά τη διάρκεια του TW. Αυτό οδηγεί σε μια μικρή απόκλιση στην πραγματική ακολουθία. Ωστόσο, είναι προφανές ότι ο οδηγός θα επιλέξει περισσότερο την λύση της πλήρης αναδιάταξη της διαδρομής.

Μια «μεταπήδηση» ενός πελάτη υποδεικνύει εάν η θέση ενός πελάτη στην προγραμματισμένη διαδρομή άλλαξε στην πραγματική διαδρομή. Όπως παρατηρείται στο



Σχήμα 1, οι περιορισμοί μπορούν να προκαλέσουν ανατροπή μεγάλου αριθμού πελατών. Ωστόσο, δεν είναι απαραίτητο κάθε μεταπήδηση σε περιορισμό. Στο προηγούμενο παράδειγμα, όλοι οι πελάτες αναστρέφονται για ευκολία ως αποτέλεσμα του περιορισμού που έχει ο πελάτης 2 (Σχήμα 1 (γ)). Επομένως, ένας πελάτης που ανατρέπεται έχει δύο βασικές αιτίες: (1) την επίδραση άλλων πελατών στα χρονικά παράθυρα στην ακολουθία διαδρομής και (2) εγγενείς περιορισμοί πελατών. Σε αυτήν την εργασία, στοχεύουμε να ανακαλύψουμε το γραφικό μοντέλο που διέπει τη σχέση μεταξύ των πελατών που αναστρέφονται.

Ορίζουμε τυπικά το πιθανολογικό μοντέλο στο οποίο βασίζεται το πρόβλημα απόκλισης διαδρομής για τον εντοπισμό αυτών των πελατών την οποία η «πιθανότητα flip» είναι ανεξάρτητη από άλλους πελάτες με βάση το γραφικό μοντέλο στο σχήμα 2. Για κάθε μία συγκεκριμένη διαδρομή, παρατηρούμε μια προγραμματισμένη ακολουθία πελατών, όπου ορίζουμε το  $c_{ri}$  ως πελάτη στη θέση  $i$  στη διαδρομή  $r$ . Κάθε πελάτης καθορίζεται από έναν μοναδικό αριθμό ID, ο οποίος αποτυπώνει κάποια χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου πελάτη όπως την γεωγραφική τοποθεσία του. Ένας πελάτης μπορεί να είναι έχει κάποιους περιορισμένους σε μια μοναδική διαδρομή, ενώ δεν βρίσκεται σε άλλη διαδρομή. Ως εκ τούτου, ορίζουμε μια λανθάνουσα μεταβλητή  $\gamma_{ir} \in \{0, 1\}$  που υποδεικνύει εάν ο πελάτης στη θέση ακολουθίας  $i$  στη διαδρομή  $r$  είναι περιορισμένος και μια πηγή αποκλίσεων διαδρομής. Ορίζουμε τη σχέση μεταξύ  $c_{ri}$  και  $\gamma_{ri}$  ως  $\gamma_{ri} | c_{ri} \sim \text{Ber}(\eta_{c_{ri}})$  όπου το διάνυσμα  $\eta$  περιέχει τις πιθανότητες για συγκεκριμένους πελάτες ότι ένας πελάτης έχει περιορισμούς.



=====  
 $c_{ri}$  ο πελάτης βρίσκεται στη θέση  $i$  στη διαδρομή  $r$ ,  $c_{ri} \in \{1, \dots, C\}$

$y_i$  ένδειξη εάν ο πελάτης στη θέση  $i$  στη διαδρομή  $r$  προκαλεί την ανατροπή των πελατών,  
 $y_{ri} \in \{0, 1\}$

$x_i$  μεταβλητή που δείχνει εάν ο πελάτης στη θέση  $i$  στη διαδρομή  $r$  είναι αναποδογυρισμένος,  $x_{ri} \in \{0, 1\}$

$\theta_{rm}$  δείκτης για την ισχύ του συνδέσμου μεταξύ  $y_{ri}$  και  $x_{ri}$  που είναι  $n = i - j$  σε απόσταση μεταξύ τους

$b_r$  όρος μεροληψίας που χρησιμοποιείται στη σιγμοειδούς συνάρτηση για τη διαδρομή  $r$

=====

Εάν ένας πελάτης στην θέση έχει περιορισμούς, υπάρχει κάποια πιθανότητα να αλλάξει σειρά παράδοσης. Ωστόσο, είναι πολύ πιθανό αυτή η αλλαγή να προκαλέσει αλλαγή στη σειρά παράδοσης και σε άλλους πελάτες. Αν θεωρήσουμε ότι  $x_{ri} \in \{0,1\}$  αντιπροσωπεύει εάν ο πελάτης στη θέση  $i$  στη διαδρομή  $r$  μετατέθηκε, παρουσιάζουμε την εξάρτηση του  $x_{ri}$  για κάθε τιμή για  $y_{ri}$  στη διαδρομή, τότε ορίζεται η σχέση ως:

$$x_{ri}|y_r \sim \text{Ber}(\sigma(b_r + \theta T_r y_r)) \quad (1)$$

όπου η παράμετρος που δείχνει την ισχύ του συνδέσμου μεταξύ  $y_{ri}$  και  $x_{ri}$  που είναι  $n = i - j$  positions χωριστά και  $br$  είναι όρος συγκεκριμένης διαδρομής όρος μεροληψίας που χρησιμοποιείται στη λειτουργία σιγμοειδούς. Επιπλέον, προσθέτουμε τον περιορισμό  $\theta_{rn} = \theta_r = \theta_r(-n)$ , για να δείξουμε ότι οι περιορισμένοι πελάτες έχουν παρόμοιο αποτέλεσμα με τους γειτονικούς πελάτες που εξυπηρετούνται πριν ή μετά τον περιορισμένο πελάτη. Ορίζουμε ότι πρέπει να εξαρτάται από τη διαδρομή, ώστε να αντικατοπτρίζει ότι διαφορετικές διαδρομές μπορούν να διαφέρουν σημαντικά όσον αφορά τα χαρακτηριστικά, όπως ο αριθμός των πελατών, η γεωγραφική περιοχή και η ώρα του έτους. Περιμένουμε ότι η σχέση μεταξύ γειτόνων είναι διαφορετική για διαδρομές που ποικίλλουν ανάλογα με αυτά τα χαρακτηριστικά. Για ευκολία της σημειογραφίας, συμπεριλαμβάνουμε τον θρησκευτικό φορέα και προσθέτουμε το συσχετισμένο 1 στον εικονογράφο. Στην πράξη, παρατηρούμε ότι ένας περιορισμένος πελάτης επηρεάζει κυρίως την πιθανότητα ανατροπής των πελατών που προέκυψαν σε στενότερες τοποθεσίες ακολουθίας. Περιορίζοντας την επιρροή ενός περιορισμένου πελάτη σε εκείνους τους γείτονες που αρέσουν στο μέγιστο τις θέσεις στην ακολουθία,  $N(i) = \{j \mid |j - i| \leq n\}$ , μπορούμε να μειώσουμε σημαντικά την πολυπλοκότητα του μοντέλου, με περιορισμένη απώλεια του εξηγώντας τη δύναμη. Στο παράδειγμα που απεικονίζεται στο Σχήμα 2, ορίζουμε  $n = 1$ . Ανάλογα με τη ρύθμιση και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων, μπορούμε να χειριστούμε τις παραμέτρους και τις  $\theta$ . Εναλλακτικά, χρησιμοποιούμε την κατανομή Beta ως συζυγές πριν από την κατανομή Bernoulli και ορίζουμε τα ακόλουθα προηγούμενα  $\eta \sim \text{Beta}(\alpha, \beta)$ . Δεδομένης της αδυναμίας εύρεσης ενός συζεύγματος πριν από το  $\theta_r$ , καθώς και την ευκολία ερμηνείας και υπολογισμού, επιλέγουμε ένα Gaussian πριν για  $\theta_r$ ,  $\theta_r \sim N(\mu, \Sigma)$ . Τα διαθέσιμα δεδομένα μας παρέχουν πάντα τιμές για  $c_r$  και  $x_r$  για κάθε διαδρομή. Ο κύριος στόχος αυτής της νέας έρευνας είναι να συμπεράνει και να χρησιμοποιήσει τις οπίσθιες πληροφορίες σχετικά με τις διανεμημένες διανομές περιορισμένων πελατών για να βελτιώσει τον σχεδιασμό της διαδρομής. Ωστόσο, για να επικυρώσουμε την προτεινόμενη προσέγγιση, περιορίζουμε το εύρος της έρευνάς μας και υποθέτουμε ότι πρέπει να τηρούμε και προτείνουμε μια προσέγγιση δύο σταδίων συμπερασμάτων. Κατ' αρχάς, συνάγουμε τις λανθάνουσες μεταβλητές και  $\theta$ . Δεδομένου ότι ο στόχος μας είναι να εντοπίσουμε τους προβληματικούς πελάτες, ενδιαφερόμαστε ιδιαίτερα για τον προσδιορισμό  $p(y \mid c, x, \eta, \theta)$ .

Δεύτερον, με βάση όσα έχουμε μάθει, βασίζουμε στην απλή εκτίμηση μέγιστης πιθανοφάνειας (MLE) για να προσδιορίσουμε το σημείο εκτίμησης για το διάστημα. Στη συνέχεια, συγκρίνουμε την εκτίμηση πόντων μας για το  $n^{MLE}$ , με την βασική εκτίμησή μας για το ότι βασίζεται σε μετρητές παρατηρημένων flips. Σημειώστε ότι παρατηρούμε  $x$  και  $c$  και αντιμετωπίζουμε κάθε διαδρομή ξεχωριστά. Για ευκολία της σημειογραφίας, θα αφήσουμε τον δείκτη και υποθέτουμε ότι όλα ισχύουν για κάθε δρομολογητή. Με βάση τους παραπάνω ορισμούς, παρουσιάζουμε την κανονική κατανομή για μια συγκεκριμένη εξίσωση route  $r_{in}$  (3).

$$p = (c, y, x, \eta, \theta) = p(y, \theta | c, x, \eta) = p(\theta) \prod_i p(y_i | c_i, \eta) p(x_i | y, \theta) \quad (2)$$

$$= N(\mu, \Sigma) \prod_i \eta_{c_i}^{y_i} (1 - \eta_{c_i})^{(1-y_i)} \prod_i \left( \frac{1}{1 - e^{-\theta^T y}} \right)^{x_i} \left( 1 - \frac{1}{1 - e^{-\theta^T y}} \right)^{(1-x_i)} \quad (3)$$

## 5.4 Τεκμηρίωση

Λαμβάνοντας υπόψιν ότι το προτεινόμενο μοντέλο είναι πολύ μεγάλο για ακριβή συμπεράσματα, βασίζουμε τις μεθόδους MCMC για να προσεγγίσουμε τις οπίσθιες αναδιανομές με βάση τις παρατηρούμενες τιμές για  $c$ ,  $x$ , και  $\eta$ . Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούμε δείγμα Gibbs για δείγμα  $y_i$ . Χρησιμοποιούμε το Metropolis-Hastings για να πάρουμε δείγματα  $\theta$  και ενσωματώνουμε αυτό το βήμα στο βήμα δειγματοληψίας Gibbs για να το προσδιορίσουμε. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιούμε έναν αλγόριθμο Metropolis-Hastings-inside-Gibbs. Χρησιμοποιώντας τον ορισμό του μοντέλου μας και  $\{0,1\}$ , βρίσκουμε τις ακόλουθες ενημερώσεις δειγματοληψίας Gibbs για  $y_i$ .

$$p(y_i | c_i, x, y_{-i}, \eta, \theta) = \frac{p(y, x | c_i, \eta, \theta)}{p(y_{-i}, x | c_i, \eta, \theta)} \quad (4)$$

$$\propto p(y_i | c_i) \prod_{j \in N(i)} p\left(x_j \middle| y_{N(i)}^i, y_i, \theta\right) \quad (5)$$

$$\eta_{c_i}^{y_i} (1 - \eta_{c_i})^{(1-y_i)} \prod_{j \in N(i)} \left( \frac{1}{1 - \exp\left(-\theta_{|i-j|} y_i - \theta \frac{N(i) y_N(i)}{i}\right)} \right)^{x_i} \left( 1 - \frac{1}{1 - \exp\left(-\theta_{|i-j|} y_i - \theta \frac{N(i) y_N(i)}{i}\right)} \right)^{(1-x_i)}$$

(6)

$$= v(y_i) \quad (7)$$

Έχοντας ως  $y_i \in \{0, 1\}$ , βρίσκουμε

$$y_i = k | c_i, x, y_{-i}, \eta, \theta \sim \text{Ber}\left(\frac{v(y_i=k)}{\sum_{k' \in \{0,1\}} v(y_i=k')}\right) \quad (9)$$

Δεδομένου ότι το  $p$  ( $y_i$ ) ακολουθεί μια κατανομή Bernoulli, ο οπίσθιος όρος ορίζεται από το μέσο όρο του,  $p$  ( $y_i = 1$ ). Βασιζόμαστε στη δειγματοληψία Metropolis-Hastings για την εξαγωγή του  $\theta$ , καθώς δεν υπάρχει προϋπάρχον σύζευγμα για αυτήν τη μεταβλητή. Σύμφωνα με τον ορισμό του προηγούμενου μοντέλου, ορίζουμε την προηγούμενη εξίσωση

9

$$\theta \sim N(\theta^0, I)$$

Planned route sequence	$C_r$	[19, 16, 3, 8, 12, 10, 0, 13, 15, 4]
Prob. constraint	Customer $\eta$	[<0.1,<0.1,<0.1,<0.1,<0.1,<0.1, 0.8,<0.1,<0.1,<0.1]
Actual sequence		[19, 16, 3, 13, 0, 8, 12, 10, 15, 4]
Customer flips	$x_r$	[0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0]

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζουμε ένα παράδειγμα από τα δεδομένα ενός δρομολογίου. Ορίζουμε τις ενημερώσεις για τον Αλγόριθμο 1. Εκτελούμε τον αλγόριθμο σε κάθε βήμα ενημέρωσης του δείκτη Gibbs. Επιβάλλουμε  $\theta_n = \theta_{-n}$ , στην πράξη θα δείξουμε μόνο  $\theta_n$  και θα ενημερώσουμε το  $\theta_{-n}$  ανάλογα. Συνδυάζοντας και τις δύο ενημερώσεις,

εφαρμόζουμε ενημερώσεις  $T + T_b$ , όπου ενημερώνουμε κάθε μεταβλητή μία φορά ανά ενημέρωση. Πρώτα ενημερώνουμε κάθε μεμονωμένο  $y_i$ , μετά το εφαρμόζουμε τον Αλγόριθμο 1 για την ενημέρωση του  $\theta$ . Ορίζουμε το  $T_b$  ως τον αριθμό των περιόδων που απαιτούνται για εγγραφή και, επομένως, αξιολογούμε μόνο τα δείγματα  $T$  μετά το  $T_b$  για συμπεράσματα. Για να προσδιορίσουμε το  $\eta^{MLE}$ , χρησιμοποιούμε τις συνιστώμενες διανομές μας για το  $\gamma$  για κάθε δρομολόγιο  $r$ . Για κάθε  $y_{ir}$  γνωρίζουμε τον συνδεδεμένο πελάτη, και μπορούμε απλώς να μετρήσουμε τις τιμές για κάθε  $y_{ir}$  που αντικατοπτρίζει τη συμπεριφορά ενός συγκεκριμένου πελάτη για να καθορίσει μια εκτίμηση σημείου για  $\eta^{MLE}$  αυτού του πελάτη.

Η μελέτη μας εμπνέεται από τις επιχειρησιακές προκλήσεις που αντιμετωπίζει μια μεγάλη εταιρεία διανομής προϊόντων τεχνολογίας που εξυπηρετεί όλες τις περιοχές του νομού Αττικής. Μια μέρα διανομής στον νομό, για παράδειγμα, η εταιρεία εξυπηρετεί περίπου 2.500 πελάτες την ημέρα. Το κάθε δρομολόγιο εξυπηρετεί από 20 έως 50 περίπου πελάτες ημερησίως ενώ η εταιρεία πραγματοποίησε περίπου 750.000 συναλλαγές παράδοσης για 12 μήνες στην αγορά της Αττικής. Αυτό το πρόβλημα απαιτεί δεδομένα επιπέδου διαδρομής και επιπέδου πελάτη τα οποία είναι διαθέσιμα από εγγραφές στο ERP Software της. Συγκεκριμένα, σε επίπεδο διαδρομής, το μοντέλο απαιτεί το αναγνωριστικό παρουσίας διαδρομής, την ακολουθία προγραμματισμένης διαδρομής και την ακολουθία διαδρομής που εκτελέστηκε, και σε επίπεδο πελάτη, το μοντέλο απαιτεί αναγνωριστικό πελάτη (customer ID) και τοποθεσίας (geocoding). Εκτελούμε πειραματικά ένα τεχνητό σύνολο δεδομένων βασισμένο σε πραγματικά δεδομένα της διανομής. Για κάθε περίπτωση, δημιουργούμε πελάτες και διαδρομές. Ορίζουμε περιορισμούς για ένα υποσύνολο πελατών,  $C^{constr}$ . Κάθε μία από τις διαδρομές είναι κατασκευασμένη από πελάτες  $M$  που επιλέγονται τυχαία από τους διαθέσιμους πελάτες. Για κάθε διαδρομή, βρίσκουμε τη διαδρομή που ελαχιστοποιεί τον συνολικό χρόνο παράδοσης χωρίς αλλά και με περιορισμούς. Στη συνέχεια, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτά τα δεδομένα για να προσδιορίσουμε το  $x$ . Η υπόθεση γίνεται για μόνο ένα όχημα για αυτό το στοχαστικό πρόβλημα, το VRP γίνεται πρόβλημα ταξιδιού πωλητή (TSP). Για την επίλυση του TSP με, και χωρίς περιορισμούς, χρησιμοποιούμε μια προσαρμοσμένη έκδοση των Εργαλείων βελτιστοποίησης της Google (Google, 2017). Ο Πίνακας 2 παρέχει ένα παράδειγμα με μια διαδρομή δημιουργημένων δεδομένων και πώς αυτό σχετίζεται με τις μεταβλητές

μοντέλου. Η ύπαρξη περιορισμού πελάτη για τον πελάτη 0 οδηγεί σε διαταραχές της προγραμματισμένης διαδρομής, οδηγώντας σε διαφορετική διαδρομή. Η τιμή του  $\eta$  προκύπτει από την προδιαγραφή ενός TW με συγκεκριμένο χρονικό όριο, ο πελάτης 0 δεν μπορεί να παραδοθεί στο 80% του προγραμματισμένου χρόνου. Αποφεύγουμε να επιλέξουμε μια τιμή 0 για  $\eta$ , για να αποφύγουμε να κάνουμε το  $p$  ( $y_i | c_i$ ) σταθερά ίσο με το 0. Επομένως, επιλέγουμε μικρές τιμές  $\eta$  για τους άλλους πελάτες που καθιστούν απίθανο έναν από αυτούς τους πελάτες να έχουν περιορισμό. Να τονίσουμε ότι η προγραμματισμένη ακολουθία διαδρομής και η πραγματική ακολουθία διαδρομής είναι διαφορετικές για κάθε διαδρομή, έτσι και ο πελάτης αναστρέφεται. Ωστόσο, οι τιμές για το  $\eta$  σχετίζονται με έναν συγκεκριμένο πελάτη και είναι ανεξάρτητες από τη διαδρομή. Με βάση τα συλλιζαρισμένα δεδομένα, ορίζουμε δύο προβληματικές περιπτώσεις που θα χρησιμεύσουν ως δοκιμαστικές περιπτώσεις για το μοντέλο μας. Το Πρόβλημα Instance 1 (PI 1) αποτελείται από 8 πελάτες, 150 διαδρομές και 4 πελάτες ανά διαδρομή. Ορίζουμε  $\eta_0 = 0,75$  και  $\eta_c = 0,001$  για όλους τους άλλους πελάτες. Επιπλέον, περιορίζουμε την περιοχή επιρροής του πελάτη στους άμεσους γείτονές του (PI 1:  $C = 8, M = 4, R = 150, \eta_0 = 0,75, | N(i) | = 3$ ).

Επιπλέον, ορίζουμε μια μεγαλύτερη παρουσία προβλήματος PI 2 με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά  $C = 20, M = 15, R = 150, \eta_0 = 0,867, | N(i) | = 3$ . Πραγματοποιούμε διάφορα πειράματα στις προβληματικές ρυθμίσεις για να προσδιορίσουμε το αποτέλεσμα της εισόδου  $\eta$ . Διαφοροποιούμε και για τις δύο περιπτώσεις, αντικαθιστώντας το με τιμές από το σύνολο  $\{0,25,0,5,0,75,0,867,0,999\}$ . Για κάθε πείραμα, εκτελούμε τον αλγόριθμο συμπερασμάτων για  $T = 10000$  με  $T_b = 1000$ . Αυτές οι τιμές έχουν δείξει ότι οδηγούν στην επιθυμητή απόδοση. Ο χρόνος εκτέλεσης είναι μικρότερος παράγοντας για την αξιολόγηση της απόδοσης, καθώς η φύση του προβλήματος είναι στρατηγική. Τέλος, ορίζουμε το βασικό μοντέλο σύμφωνα με την κοινή βέλτιστη πρακτική για τον προσδιορισμό των περιορισμών των πελατών. Μετράμε τον αριθμό των φορών που ένας πελάτης ( $c$ ) αναστρέφεται,  $F_c$  και τον διαιρούμε με τον συνολικό αριθμό των φορών που εμφανίζεται ο πελάτης σε οποιαδήποτε διαδρομή,  $A_c$ , για να προσδιοριστεί η πιθανότητα ενός περιορισμού. Μια επίσημη διατύπωση είναι η ακόλουθη:

$$n_c^{baseline} = \frac{F_c}{A_c}$$

(Andre Snoeck, Daniel Merchan, Matthias Winkenbach, 2019)

## 5.5 Αποτελέσματα

Ο Πίνακας 3 παρακάτω, παρουσιάζει τα αποτελέσματα και των δύο παρουσιών προβλήματος στη βασική περίπτωση. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του μοντέλου με αυτά της βασικής γραμμής, μπορούμε να εξάγουμε δύο παρατηρήσεις. Πρώτον, η  $\eta^{MLE}$  είναι οριακά πιο κοντά στο πραγματικό  $\eta^{true}$  από το  $\eta^{baseline}$ . Δεύτερον, η διαφορά μεταξύ των πελατών με περιορισμό (πελάτης 0) και πελατών χωρίς περιορισμό τους διακρίνει περισσότερο το μοντέλο μας σε σύγκριση με το βασικό. Ενώ είναι επιθυμητή η λήψη καλών εκτιμήσεων για το  $\eta^{true}$ , είναι πιο σημαντικό να προσδιορίσουμε εκείνους τους πελάτες που είναι πιο πιθανό να είναι περιορισμένοι. Τα αποτελέσματα της ανάλυσής μας χρησιμεύουν ως βάση για την έναρξη περαιτέρω διερεύνησης για τον προσδιορισμό της ακριβούς φύσης του περιορισμού ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα λογισμικό VRP. Εάν η διάκριση μεταξύ πελάτη με και χωρίς περιορισμούς είναι σαφής, είναι επίσης σαφές ποιοι πελάτες πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω.

<i>PI 1: C = 8, M = 4, R = 150,  N(i)  = 3</i>			
<i>Cust</i>	$\eta^{true}$	$\eta^{baseline}$	$\eta^{MLE}$
0	0.75	0.809	0.723
1	0.001	0.250	0.001
2	0.001	0.234	0.001
3	0.001	0.185	0.001
4	0.001	0.234	0.001
5	0.001	0.244	0.001
6	0.001	0.494	0.001
7	0.001	0.284	0.001

<i>PI 2: C = 20, M = 15, R = 150,  N(i)  = 3</i>							
<i>Cust</i>	$\eta^{true}$	$\eta^{baseline}$	$\eta^{MLE}$	<i>Cust</i>	$\eta^{true}$	$\eta^{baseline}$	$\eta^{MLE}$
0	0.867	0.984	0.831	10	0.001	0.752	0.002
1	0.001	0.779	0.002	11	0.001	0.752	0.002



2	0.001	0.679	0.001	12	0.001	0.517	0.001
3	0.001	0.798	0.002	13	0.001	0.739	0.002
4	0.001	0.718	0.002	14	0.001	0.717	0.001
5	0.001	0.491	0.001	15	0.001	0.566	0.001
6	0.001	0.770	0.002	16	0.001	0.718	0.002
7	0.001	0.802	0.002	17	0.001	0.580	0.001
8	0.001	0.722	0.001	18	0.001	0.703	0.001
9	0.001	0.815	0.001	19	0.001	0.764	0.001

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει την ευαισθησία των αποτελεσμάτων όταν εισάγουμε δεδομένα για τον περιορισμένο πελάτη. Παρατηρούμε ότι είναι ευαίσθητο στην τιμή εισόδου του  $\eta$ , το οποίο δείχνει την ισχυρή εξάρτηση από την τιμή εισόδου στον προσδιορισμό του  $\eta^{MLE}$ .

$\eta_0$	0.25	0.5	0.75	0.867	0.999
PI 1 ( $\eta_0^{true} = 0.75$ )	0.239	0.475	0.723	0.846	0.998
PI 2 ( $\eta_0^{true} = 0.867$ )	0.239	0.470	0.712	0.831	0.998

Τα αποτελέσματα της ανάλυσής μας δείχνουν ότι το μοντέλο μας ξεπερνά τη βασική γραμμή όσον αφορά τον εντοπισμό πελατών με περιορισμούς. Η δυνατότητα που δίνεται για την ευκαιρία αναγνώρισης των περιορισμένων πελατών μειώνει σημαντικά την προσπάθεια που απαιτείται για τη συλλογή αυστηρών πληροφοριών περιορισμού στον τομέα, καθώς εάν υπήρχε ένας μικρότερος αριθμός οδηγών θα έπρεπε να η πληροφορία για τέτοιου είδους πελάτες να λαμβάνεται μέσω συνέντευξης τους καθώς θα υπήρχε μικρότερος αριθμός πελατών. Ωστόσο, τα αποτελέσματά μας δείχνουν επίσης ότι απαιτείται μελλοντική έρευνα για την καλύτερη κατανόηση και μοντελοποίηση του προβλήματος των περιορισμών παράδοσης πελατών για την παροχή επιπλέον εγκυρότητας του αποτελέσματος. Δίνουμε τρεις γόνιμες οδούς για μελλοντική έρευνα που θα έχουν ως βάση τα της παρούσας εργασίας. Πρώτον, υποθέτουμε ότι οι πληροφορίες σχετικά με τους περιορισμούς πρέπει να είναι διαθέσιμες εκ των προτέρων δηλαδή κατά τον προγραμματισμό της εκάστοτε διαδρομής. Ως αποτέλεσμα της μοντελοποίησης η ως μεταβλητή παρατήρησης, η ευαισθησία των αποτελεσμάτων στο  $\eta$  δείχνει σαφώς ότι οι εσφαλμένες τιμές εισόδου για αυτούς τους περιορισμούς μειώνουν την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων. Το μοντέλο και ο αλγόριθμος συμπερασμάτων μπορούν να επεκταθούν

κάνοντας μια λανθάνουσα μεταβλητή, ώστε να αντιπροσωπεύουν καλύτερα πρακτικές καταστάσεις όπου είναι άγνωστες. Αν και αυτό το βήμα είναι αρκετά απλό εννοιολογικά, ο αλγόριθμος συμπερασμάτων απαιτεί εκτεταμένη επαλήθευση και επικύρωση για να διασφαλιστεί ότι το μοντέλο παρέχει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Δεύτερον, πρέπει να διερευνηθεί η επίδραση της περιοχής επιρροής,  $\eta$ , στην τιμή του  $\eta^{MLE}$ . Θα προσδοκούσαμε ότι η αύξηση της περιοχής επιρροής θα αποφέρει καλύτερες εκτιμήσεις του  $\eta^{MLE}$ , δεδομένου ότι λαμβάνουμε υπόψη περισσότερες πληροφορίες. Για να περιορίσουμε τις πιθανές υπολογιστικές προκλήσεις, αξίζει να διερευνήσουμε εάν υπάρχουν εναλλακτικοί τρόποι για τη δομή της περιοχής επιρροής, επομένως για την τιμή του  $\theta$ , για να συλλάβει πιο σχετικές πληροφορίες χωρίς αύξηση του υπολογιστικού φόρτου, π.χ., εξετάζοντας το ενδεχόμενο επέκτασης της περιοχής επιρροής έτσι ώστε να περιλαμβάνει τους πελάτες που βρίσκονται συμμετρικά σε σχέση με τον πελάτη που βρίσκεται υπό έρευνα, χρησιμοποιώντας το μεσαίο σημείο της ακολουθίας ως σημείο συμμετρίας. Τρίτον, πρακτικά μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι οι πελάτες συχνά περιορίζονται κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων ωρών της ημέρας, π.χ., οι εγκαταστάσεις παροχής υπηρεσιών τροφίμων γενικά περιορίζονται κατά τη διάρκεια του μεσημεριανού γεύματος και άλλων περιόδων υψηλής ζήτησης. Δεδομένου ότι οι διαδρομές ξεκινούν συνήθως σε μια παρόμοια ώρα και η χρονική ιεραρχία διατηρείται εντός της ακολουθίας, υπάρχει μια ευκαιρία για ανεπαρκή ακρίβεια όταν ένας πελάτης είναι περιορισμένος. Το μοντέλο θα μπορούσε να επεκταθεί, για παράδειγμα, συμπεριλαμβανομένων των μεταβλητών  $\eta$  που εξαρτώνται από την τοποθεσία ακολουθίας ή με την ενσωμάτωση προγραμματισμένων και πραγματικών χρόνων παράδοσης (Andre Snoeck, Daniel Merchan, Matthias Winkenbach, 2019).

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, παρουσιάσαμε τις βασικές αρχές της Εφοδιαστικής Αλυσίδας εισάγοντας έννοιες και ορισμούς περί αυτήν. Έγινε ανάλυση σε όλο της το φάσμα και την εφαρμογή της στο σύγχρονο επιχειρίν και πως μέσω της εφοδιαστικής αλυσίδας φτάσαμε στο σημείο της ανάλυσης του last-mile. Παρουσιάσαμε τις πτυχές της Τεχνητής Νοημοσύνης και την εφαρμογή της σε όλο το φάσμα της Εφοδιαστικής Αλυσίδας. Σε μια εποχή στην οποία η αβεβαιότητα της ζήτησης, υψηλότερου κινδύνου προσφοράς και αυξανόμενης ανταγωνιστικής έντασης αυξάνεται, η τελειότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι συνδεδεμένη συχνά από το πόσο μπορεί ο οργανισμός να ενσωματώσει και να ενορχηστρώσει ολόκληρο το εύρος των διεργασιών από άκρο σε άκρο απόκτησης υλικών ή συστατικών, σε τελικά προϊόντα και παράδοση σε πελάτες. Δεδομένου ότι αυτή η ικανότητα μπορεί να ενισχυθεί με αυξημένη ορατότητα στις διεργασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας σε όλο της το φάσμα, πολλοί κορυφαίοι οργανισμοί προσπάθησαν να εμπλουτίσουν τις πηγές πληροφοριών τους και να μοιραστούν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο με όλους τους εμπλεκόμενους παράγοντες της εφοδιαστικής αλυσίδας. Έτσι, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας γίνεται όλο και πιο έντονη και έχει επικεντρωθεί στην καταγραφή περιουσιακών στοιχείων (π.χ. απογραφή, αποθήκες, εξοπλισμός μεταφοράς). Με την αυξανόμενη σημασία των πληροφοριών για την επιτυχία της εφοδιαστικής αλυσίδας, οι επαγγελματίες του κλάδου έχουν διερευνήσει διάφορους τρόπους για την βελτιστοποίηση της διαχείρισης των πληροφοριών και την αξιοποίησή τους έτσι ώστε να επιτευχθεί η λήψη καλύτερων επιχειρηματικών αποφάσεων.

Μετά την εκτενή αναφορά μας στα προηγούμενα κεφάλαια με τα είδη των προβλημάτων VRP αλλά και στο πώς η τεχνητή νοημοσύνη συνδέεται με την ενότητα των μεταφορών, στο τελευταίο κεφάλαιο έγινε αναφορά στο πρόβλημα VRPTW όταν για κάποιους άγνωστους προς τον προγραμματιστή λόγους ο οδηγός επιλέγει να τροποποιήσει το πλάνο δρομολόγησης καθώς κάποιος ή κάποιοι πελάτες έχουν μια ιδιαιτερότητα κατά την παράδοσή τους, είτε χρονική είτε προς την τοποθεσία τους, που είναι γνωστή στον οδηγό και μόνο. Επιπλέον κατά τη διάρκεια του ταξιδιού υπάρχουν παράμετροι οι οποίοι είναι αδύνατον να προβλεφθούν όταν πραγματοποιείται το πλάνο δρομολόγησης από τον προγραμματιστή όπως για παράδειγμα, τροχαία ατυχήματα, αυξημένη κίνηση, κακοκαιρία,

τα οποία ανατρέπουν το αρχικό πλάνο. Αυτοί λοιπόν οι παράμετροι είναι ικανοί να ανατρέψουν το αρχικό πλάνο και να συμπαρασύρουν παραπάνω από έναν πελάτη σε διαφορετική ώρα παράδοσης έναντι της προγραμματισμένης. Έτσι λοιπόν ο οδηγός καλείται να προγραμματίσει σε πραγματικό χρόνο εκ νέου τις παραδόσεις του με τα νέα δεδομένα.

Έτσι λοιπόν, ένας οδηγός μπορεί να προτιμά να εξυπηρετεί ένα σύνολο πελατών στην αρχή της διαδρομής για να αποφύγει την κίνηση, ακόμα κι αν αυτή η απόφαση συνεπάγεται σημαντική παράκαμψη από την αρχικά προγραμματισμένη διαδρομή. Αν και δεν θεωρούνται γνωστά TWs, αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν σημαντικά τη διαδρομή που ο οδηγός επιλέγει να ακολουθήσει χωρίς να είναι απαραίτητα γνωστοί από τους σχεδιαστές της διαδρομής, μόνο από τους ίδιους τους οδηγούς. Ενώ ορισμένες πληροφορίες σχετικά με τους περιορισμούς των πελατών (π.χ. επίσημα TWs) ενδέχεται να είναι γνωστές για σκοπούς προγραμματισμού, η διατήρηση επικαιροποιημένων και πλήρων δεδομένων σχετικά με τους περιορισμούς των πελατών είναι συνήθως δύσκολη, ιδίως για λειτουργίες με μεγάλο αριθμό βάσης πελατών. Αυτή η έλλειψη δεδομένων εμποδίζει την αποτελεσματικότητα του συστήματος σχεδιασμού εφοδιαστικής, καθώς οι σχεδιαστές καλούνται να προγραμματίσουν τις διαδρομές έχοντας ως βάση ελλιπείς πληροφορίες. Επιπλέον, η απόκλιση μεταξύ προγραμματισμένης και πραγματικής διαδρομής οδηγεί επίσης σε μεγάλα προβλήματα για τον οδηγό. Σε πολλές περιπτώσεις, το φορτηγό φορτώνεται με βάση την προγραμματισμένη σειρά παράδοσης με αποτέλεσμα να μην ισχύει στην πράξη η διάταξη last in-first out. Ο στόχος είναι να συμβαδίζει η σειρά φόρτωσης με την σειρά παραδόσεων. Αποτέλεσμα του λάθους προγραμματισμού της διαδικασίας της φόρτωσης είναι η χρονοβόρα εύρεση πακέτων προς παράδοση εκείνη τη στιγμή στην καμπίνα του φορτηγού. Επιπλέον, δημιουργείται υπερβολική εξάρτηση μεταξύ οδηγού και δρομολογίου από μια συγκεκριμένη γνώση του οδηγού σχετικά με τις διαδρομές, η οποία περιορίζει τη συνολική ευρωστία του συστήματος. Έτσι, είναι σημαντικό οι μέθοδοι εξαγωγής να συνάγουν αυτόματα τους περιορισμούς των πελατών από διευθύνσεις δεδομένων, μεθοδολογικά και πρακτικά κενά.

Για να επιτύχουμε το αποτέλεσμα αυτό έγινε εκτενής αναφορά στον τομέα του προγραμματισμού της δρομολόγησης με τα είδη προβλήματος διαδρομής οχήματος (vehicle routing problem) και συγκεκριμένα με τα παράθυρα παράδοσης (VRPTW) όπου

έγινε ανάλυση του αλγορίθμου. Συγκεκριμένα εξετάσαμε με τη βοήθεια της μηχανικής μάθησης χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Metropolis-Hasting την δυνατότητα, εισάγοντας ιστορικά δεδομένα της προγραμματισμένης σειράς επίσκεψης του διανομέα στους πελάτες και συγκρίνοντάς την με την πραγματική, να μπορούμε να προβλέψουμε αν ένας πελάτης είναι περιορισμένος, δηλαδή έχει συγκεκριμένη ώρα παράδοσης, time window. Η πληροφορία αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τον καταρτισμό του πλάνου δρομολόγησης με αρκετά μεγάλο ποσοστό στην πραγματική σειρά παράδοσης. Το ποσοστό πρόβλεψης για κάποιον πελάτη με περιορισμό υπολογίζεται μέσω της Εκτίμησης Μέγιστης Πιθανοφάνειας. Τέλος, εξάγουμε τα συμπεράσματα σε πίνακες, όπου μας δείχνουν ποιοι πελάτες είναι περιορισμένοι σε ποσοστό ενώ υπολογίζεται και η ανάλυση ευαισθησίας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Μαλινδρετος, Γ. (2015). *Εφοδιαστική αλυσίδα, logistics και εξυπηρέτηση πελατών*. Κάλλιπος.
- [2] Μαρινάκης, Ι. ,. (2008). *Σχεδιασμός Και Βελτιστοποίηση Της Εφοδιαστικής Αλυσίδας*. Σοφία.
- [3] Reisman, A. (1992). *Management Science Knowledge: Its Creation, Generalization, and Consolidation*. Greenwood P.
- [4] Crainic, T., Perboli, G., Mancini, S. and Tadei, R. (2010). Two-Echelon VRP: A Satellite Location Analysis. *PROCEDIA Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 5944-5955.
- [5] Perboli, G. and Tadei, R. (2010). New Families Of Valid Inequalities For The Two-Echelon Vehicle Routing Problem. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 36, 639-646.
- [6] Laporte, G. and Nobert, Y. (1987). Exact algorithms for the Vehicle Routing Problem. *Discrete Mathematics*, 31, 147-184.
- [7] Vigo, D. (1996). Heuristic Algorithm For The Arc Capacitated Vehicle Routing Problem. *EJOR*, 89, 108-126.
- [8] Pessoa, A., Uchoa, E. and de Aragão, P. (2008). The VRP: Latest advances and New Challenges. *Robust Branch-Cut-Price Algorithms for VRP*. Springer, 297-325.
- [9] Toth, P. and Vigo, D. (2002). Models, Relaxations And Exact Approaches For The Capacitated Arc Routing Problem. *Discrete Applied Mathematics*, 123(1-3), 487-512.
- [10] Lacomme, P., Prins, C. and Ramdane, W. (2001). A Genetic Algorithm for the Capacitated arc routing problem and its extensions. In AEC, E.J.W. Boers (Ed.), *Lecture Notes in Computer Sciences*, 2037, 473-483. Springer.
- [11] Martinelli, R., Pecin, D., Poggi, M. and Longo, H. (2010). Column generation bounds for Capacitated arc routing problem. In *Proceedings of the XLII SOBRAPO*.
- [12] Baldacci, R., Bartolini, E. and Laporte G. (2010). Some application of the generalized vehicle routing problem. *Journal of the operational research society*, 61,1072-1077.
- [13] Baldacci, R., Christofides, N. and Mingozzi, A. (2008). An exact algorithm for VRP based on a the set partitioning formulation with additional cuts. *Math. Programming*, 115(2), 351-385.
- [14] Baldacci, R. and Mingozzi, A. (2004). A Unified Exact Algorithm For The CVRP Base On A Two-Commodity Network Flow Formulation. *OR*, 52, 723-738.
- [15] Baldacci, R., Toth, P. and Vigo, D. (2010). Exact Algorithms For Routing Problems Under Vehicle Capacity Constraints. *Annals of Operations Research*, 175(1), 213-245.
- [16] Cordeau, J. (2006). A Branch-And-Cut Algorithm For The Dial-a ride problem. *OR*, 54(3), 573-586.

- [17] Cordeau, J. and Laporte, G. (2003). The Dial-a-ride problem (DARP): Variants, Modeling Issues And Algorithms. *4OR*, 1, 89-101.
- [18] Bektas, I. and Laporte, G. (2011). The Pollution-Routing Problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(8), 1232-1250.
- [19] Xiao, Y., Zhao, Q., Kaku, I. and Xu, Y. (2012). Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem. *Computers and Operations Research*, 39(7), 1419-1431.
- [20] Ghiani, G. and Improta, G. (2000). An Efficient Transformation Of The Generalized Vehicle Routing Problem. *EJOR*, 122(1), 11-17.
- [21] Pop, P., Pinteá, C. and Zelina, I. (2008). Solving The Generalized Vehicle Routing Problem with an ACS-based Algorithm. *AIP Conference Proceedings: BICS*, 1117(1), 157-162.
- [22] Prins, C., Prodhon, C., Ruiz, A., Soriano, P. and Wolfler, R. (2007). Solving the CLRP by a Coop. Lagrangean Relaxation-Granular Heuristic. *Transportation Science*, 41(4), 470-483.
- [23] Cacchiani, V., Hemmelmayr, V. and Tricoire, F. (2014). A Set-Covering Based Heuristic Algorithm For The Periodic VRP. *Discrete Applied Mathematics*, 163(1), 53-64.
- [24] Shen, Z., Ordóñez, F. and Dessouky, M. M. (2009). The stochastic vehicle routing problem for minimum unmet demand; chap. IV. Springer Optimization and Its Applications. Springer US, Boston, MA, 349-37.
- [25] Malandraki, C. and Daskin, M. (1992). Time Dependent Vehicle Routing Problem: Formulations, Solution Algorithms And Computational Experiments. *Transportation Science*, 26(3), 185-200.
- [26] Labbé, M., Laporte, G. and Mercure, H. (1991). Capacitated Vehicle Routing Problems on trees. *OR*, 39, 616-622
- [27] Caramia, M. and Guerriero, F. (2010). A Heuristic Approach For the truck and trailer routing problem. *JORS*, 61, 1168-1180
- [28] Nagy, G. and Salhi, S. (2003). Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pick ups and deliveries. Working Paper no. 42, Canterbury Business School.
- [29] García-Nájera, A. (2012). The vehicle routing problem with backhauls: a multi-objective evolutionary approach. In Hao, J.-K. and Middendorf, M. (Eds.), *Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization. Lecture Notes in Computer Science*, 7245, 255-266. Springer.
- [30] Lima, C., Goldberg, M. and Goldberg, E. (2004). A Memetic Algorithm for the HFVRP. *Electronic Notes in Discrete Math*, 18, 171-176.
- [31] Olivera, A. and Viera, O. (2007). Adaptive memory programming for the Vehicle routing problem with multiple trips. *COR*, 34(1), 28-47.
- [32] Azi, N., Gendreau, M. and Potvin, J. (2010). An Adaptive large neighborhood search for a Vehicle Routing Problem with Multiple Trips. *CIRRELT-2010-08*.

- [33] Nagy, G. and Salhi, S. (2003). Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pick ups and deliveries. Working Paper no. 42, Canterbury Business School.
- [34] Thangiah, S. Vinayagamoorthy, R. and Gubbi A. (1993). Vehicle routing and time deadlines using genetic and local algorithms. Proceedings of the 5th International Conference on Genetic Algorithms, 506-515
- [35] Özyurt, Z., Aksen, D. and Aras, N. (2006). OVRP with time deadlines: solution methods and applications. OR Proceedings 2005. Springer Berlin Heidelberg, 73-78.
- [36] Solomon, M. (1987). Algorithms For Vehicle Scheduling Routing Problem With Time Windows. *Operations Research*, 35(2), 354-265.
- [37] Lau, C. H. Sim, M. and Teo M. K. (2003). Vehicle routing problem with time windows and limited number of vehicles. *European Journal of Operational Research*, 148, 3,559-569
- [38] Euch, J., Chabchoub, H. and Yassine, A. (2011). New Evolutionary Algorithm Based On 2-Opt Local Search To Solve The Vehicle Routing Problem with Private fleet and common carrier. *International Journal of Applied Metaheuristic*, 2(1) 58-82.
- [39] Thompson, P. M. and Psaraftis, H. N. (1993). Cyclic transfer algorithms for multivehicle routing and scheduling problems. *Oper. Res.*, 41, 935-946.
- [40] Lowe, D. (2002). *The Dictionary of Transport and Logistics*. Kogan Page.
- [41] Σαμπράκος, Ε.Α. (2008). Ο τομέας των μεταφορών και οι συνδυασμένες εμπορευματικές μεταφορές. Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε.
- [42] Minocha, B.; Tripathi, S.; Mohan, C., Solving. (2011). Vehicle Routing and scheduling problems using hybrid genetic algorithm. *Electronics Computer Technology (ICECT), 2011 3rd International Conference on*, vol.2, 189-193
- [43] Fukasawa, R., Lysgaard, J., de Aragão, M. P., Reis, M., Uchoa, E. and Werneck, R. F. (2004). Robust branch-and-cut-and-price for the capacitated vehicle routing problem. *Lecture Notes in Computer Science*, 3064, 1-15.
- [44] Sbihi, A. and Eglese, W. (2007). The relationship between VRP and Scheduling and Green Logistics - A Literature Survey. Working paper. The Department of Management Science Lancaster University Management School, UK
- [45] Yeun, C. L., Ismail W.R., Omar K., Zirour, M. (2008) Vehicle routing problem: models and solutions. *Journal of Quality Measurement and Analysis*. 4(1), 205-218.
- [46] Reisman, A. (1992). *Management Science Knowledge: Its Creation, Generalization, and Consolidation*. Greenwood P
- [47] Vidal, T., Crainic, T. G., Gendreau, M. and Prins, C. (2013). Heuristics for multi-attribute vehicle routing problems: a survey and synthesis. *EJOR*, 231(1), 1-21.
- [48] Andre Snoeck,\*, Daniel Merchan, Matthias Winkenbach (2019). *Route learning: a machine learning-based approach to inferconstrained customers in delivery routes*. Massachusetts Institute of Technology, 77 Massachusetts Ave, Cambridge, MA, 02139, USA



