



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

---

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

### **ΘΕΜΑ:**

**<< Αλγόριθμος πλησιέστερου γείτονα για το πρόβλημα  
δρομολόγησης αποθεμάτων >>**

**ΤΣΟΥΚΑΛΑ ΓΕΩΡΓΙΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΑΡΙΝΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

**ΧΑΝΙΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2009**

## ***Ευχαριστίες***

Ευχαριστώ θερμά όλους όσους βοήθησαν στην πραγμάτωση αυτής της διπλωματικής εργασίας και κυρίως τον καθηγητή μου Ιωάννη Μαρινάκη για τις απαραίτητες κατευθύνσεις και τις πολύτιμες υποδείξεις του. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την ανοχή και την υποστήριξη που μου παρείχανε όλα αυτά τα χρόνια.

# **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

|  |        |
|--|--------|
| <b><u>Εισαγωγή</u></b> .....                       | σελ.6  |
| <b><u>Κεφάλαιο 1:</u></b> Εφοδιαστική αλυσίδα..... | σελ.7  |
| <b>1.1</b> Εισαγωγικά.....                         | σελ.7  |
| <b>1.2</b> Τι είναι εφοδιαστική αλυσίδα.....       | σελ.8  |
| 1.2.1 Στόχοι.....                                  | σελ.10 |
| 1.2.2 Σχεδιασμός.....                              | σελ.11 |
| 1.2.3 Ωφέλη.....                                   | σελ.12 |
| 1.2.4 Κομβικά ζητήματα.....                        | σελ.13 |
| 1.2.5 Πολυπλοκότητα επιτυχημένης διαχείρησης.....  | σελ.14 |
| 1.2.6 Οι βασικές αρχές διαχείρησης.....            | σελ.15 |
| 1.2.7 Κέρδη.....                                   | σελ.17 |
| <b>1.3</b> Τι είναι logistics.....                 | σελ.19 |
| 1.3.1 Ο ρόλος στην οικονομία.....                  | σελ.19 |

|  |        |
|--|--------|
| <b><u>Κεφάλαιο 2:</u></b> Πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων (IRP).....        | σελ.21 |
| <b>2.1</b> Εισαγωγικά.....   | σελ.21 |
| <b>2.2</b> Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων.....                               | σελ.23 |
| <b>2.3</b> Πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων.....                             | σελ.27 |
| 2.3.1 Εισαγωγικά.....  | σελ.27 |
| 2.3.2 Περιγραφή προβλήματος.....   | σελ.29 |
| 2.3.2.1 Στοχαστικό πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων.....                     | σελ.31 |
| 2.3.2.2 Πρόβλημα με έναν μόνο πελάτη.....                                    | σελ.35 |
| 2.3.2.3 Πρόβλημα με δύο πελάτες.....   | σελ.37 |
| 2.3.2.4 Προσεγγίσεις λύσεων.....   | σελ.38 |
| 2.3.2.5 Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....  | σελ.43 |
| 2.3.2.6 Πρακτικά ζητήματα.....   | σελ.54 |
| <b><u>Κεφάλαιο3:</u></b> Το υπό μελέτη πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων..... | σελ.58 |
| <b>3.1</b> Γενικά για το πρόβλημα.....                                       | σελ.58 |
| <b>3.2</b> Το υπό μελέτη μοντέλο.....  | σελ.59 |
| <b>3.3</b> Επεξήγηση του αλγορίθμου.....                                     | σελ.63 |
| <b>3.4</b> Υπολογιστικά αποτελέσματα.....                                    | σελ.66 |
| <b><u>Συμπεράσματα</u></b> .....   | σελ.75 |

**Βιβλιογραφία**.....σελ.76

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη σημερινή εποχή, όπου ο παγκόσμιος ανταγωνισμός είναι έντονος, ο τομέας της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας θεωρείται ιδιαίτερα σημαντικός για τις επιχειρήσεις και τους διάφορους οργανισμούς. Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας που αντιμετωπίζουν οι επιχειρήσεις, το πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων (inventory routing problem) και την απόπειρα επίλυσής του.

Το πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων (IRP) είναι ένα ενδιαφέρον και απαραίτητο πρόβλημα. Αφορά στη μεγάλης σημασίας ενοποίηση και συντονισμό δύο βασικών εννοιών της εφοδιαστικής αλυσίδας, της διαδικασίας διανομής των προϊόντων και του ελέγχου των αποθεμάτων.

Πιο συγκεκριμένα, στα πλαίσια αυτής της εργασίας στο πρώτο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στην εφοδιαστική αλυσίδα γενικότερα, στη συνέχεια θα αναλυθεί πλήρως το πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων (IRP) και θα σημειωθούν μέθοδοι και προσεγγίσεις επίλυσής του από τη διεθνή βιβλιογραφία. Τέλος, θα αναπτυχθεί αλγόριθμος πλησιέστερου γείτονα (nearest neighbour) σε matlab, με τον οποίο θα επεξεργαστούμε τα δεδομένα μιας υποθετικής εταιρείας με πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων, με σκοπό μία γρήγορη και σχετικά καλή λύση.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ

### 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

Είναι αδιαμφισβήτητο γεγονός το ότι τις τελευταίες δεκαετίες η ανάπτυξη της τεχνολογίας και των επιστημών είναι ραγδαία. Σε επίπεδο επιχειρήσεων κρίνεται πλέον ζωτικής σημασίας η χρήση νέων μέσων και διαδικασιών για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας τους και κατ'επέκταση τη μεγιστοποίηση του κέρδους. Η αναζήτηση αυτή, νέων και πιο αποτελεσματικών στρατηγικών από τις εταιρείες, οφείλεται προφανώς στον έντονο ανταγωνισμό που επικρατεί εδώ και δεκαετίες σε εγχώριο, αλλά και παγκόσμιο επίπεδο.

Στη δεκαετία του 80, οι εταιρείες ανακάλυψαν νέες κατασκευαστικές τεχνολογίες και στρατηγικές, οι οποίες τους επέτρεψαν να μειώσουν τα κόστη και να ανταγωνιστούν καλύτερα σε διαφορετικές αγορές. Μεγάλες ποσότητες πόρων διατέθηκαν για να εφαρμοστούν τέτοιες στρατηγικές. Τα τελευταία χρόνια, όμως, έχει γίνει πλέον ξεκάθαρο ότι οι εταιρείες έχουν μειώσει τα κατασκευαστικά κόστη τόσο όσο είναι πρακτικά εφικτό. Πολλές από αυτές τις εταιρείες ανακαλύπτουν ότι η αποτελεσματική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι το επόμενο βήμα που πρέπει να κάνουν για να αυξήσουν το κέρδος και το μερίδιο αγοράς.

## 1.2 Τι είναι εφοδιαστική αλυσίδα

Ο έντονος ανταγωνισμός στις σημερινές παγκόσμιες αγορές, η εισαγωγή προϊόντων με σύντομο κύκλο ζωής και οι υψηλές προσδοκίες των καταναλωτών ανάγκασαν τις επιχειρήσεις να επενδύσουν και να εστιάσουν την προσοχή τους στην εφοδιαστική αλυσίδα. Αυτό, σε συνδυασμό με τη συνεχιζόμενη πρόοδο στις επικοινωνίες και τις τεχνολογίες μεταφορών υποκίνησαν τη συνεχόμενη εξέλιξη της εφοδιαστικής αλυσίδας και των τεχνικών διαχείρισής της.

Σε μια τυπική εφοδιαστική αλυσίδα, παράγονται πρώτες ύλες, παράγονται προϊόντα σε ένα ή περισσότερα εργοστάσια, τα προϊόντα αυτά μεταφέρονται σε αποθήκες εμπορευμάτων για άμεση αποθήκευση και μετά αποστέλονται σε λιανοπωλητές ή πελάτες. Συνεπώς, για να μειωθούν τα κόστη και να βελτιωθούν τα επίπεδα υπηρεσιών, οι αποτελεσματικές στρατηγικές διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας πρέπει να λάβουν υπόψη τις αλληλεπιδράσεις στα διάφορα επίπεδα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η εφοδιαστική αλυσίδα, γνωστή και ως δίκτυο logistics, αποτελείται από προμηθευτές, κατασκευαστικά κέντρα, αποθήκες εμπορευμάτων, κέντρα διανομής, πρώτες ύλες και αποθέματα. Από τα παραπάνω θα μπορούσαμε να ορίσουμε τη διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας ως εξής :

Διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας είναι ένα σύνολο προσεγγίσεων που χρησιμοποιούνται για να ενσωματώσουν αποτελεσματικά τους προμηθευτές, τους κατασκευαστές, τις αποθήκες και τα καταστήματα, ώστε τα εμπορεύματα να παράγονται και να διανέμονται στις σωστές ποσότητες, στις σωστές τοποθεσίες και τη σωστή ώρα, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι δαπάνες σε όλο το σύστημα, ενώ θα ικανοποιούνται οι απαιτήσεις σε επίπεδο εξυπηρέτησης. [2]

Ο παραπάνω ορισμός μας οδηγεί σε πολλά συμπεράσματα. Πρώτον, το γεγονός ότι η διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας λαμβάνει υπόψη ο, τιδήποτε έχει αντίκτυπο στο κόστος και παίζει ρόλο στο να προσαρμόζεται το προϊόν στις απαιτήσεις του πελάτη. Επιπλέον, ο στόχος της διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας είναι να είναι αποδοτική και αποτελεσματική σε ολόκληρο το σύστημα : τα κόστη σε όλα τα επίπεδα του συτήματος πρέπει να ελαχιστοποιηθούν. Δηλαδή, δε δίνεται έμφαση μόνο στο να ελαχιστοποιηθούν τα κόστη μεταφοράς για παράδειγμα , αλλά να υιοθετηθεί μια μέθοδος για τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας ολόκληρου του συστήματος. Τέλος, επειδή η διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας περιστρέφεται γύρω από τους προμηθευτές, τους κατασκευαστές, τις αποθήκες εμπορευμάτων και τα καταστήματα, καλύπτει τις ενέργειες της επιχείρησης σε πολλά επίπεδα, από το στρατηγικό έως το λειτουργικό.

Δυστυχώς, όμως, η διεκπεραίωση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι δύσκολη για δύο κυρίως λόγους :

1. Διαφορετικές εγκαταστάσεις στην εφοδιαστική αλυσίδα πιθανώς να έχουν διαφορετικούς αντικρουόμενους στόχους. Για παράδειγμα, οι προμηθευτές χαρακτηριστικά επιθυμούν οι κατασκευαστές να δεσμευθούν σε αγορά μεγάλων ποσοτήτων, σε σταθερούς όγκους, με ευμετάβλητες ημερομηνίες παράδοσης. Δυστυχώς, αν και οι περισσότεροι κατασκευαστές θα ήθελαν να ολοκληρώσουν μεγάλες ποσότητες παραγωγής, πρέπει να είναι ευμετάβλητοι ανάλογα με τις ανάγκες των πελατών τους και τις αλλαγές ζήτησης. Επομένως, οι στόχοι των προμηθευτών είναι σε άμεση αντίφαση με την επιθυμία των κατασκευαστών για ευελίξια. Πράγματι, αφού οι αποφάσεις για παραγωγή γίνονται χωρίς ακριβή πληροφόρηση σχετικά με τη ζήτηση, η ικανότητα των κατασκευαστών να συνδυάσουν τις προμήθειες με τη ζήτηση εξαρτάται κυρίως από τη δυνατότητά τους να αλλάξουν τον όγκο προμηθειών, όταν δέχονται πληροφορίες σχετικά με τη ζήτηση. Ομοίως, ο στόχος των κατασκευαστών να φτιάχνουν μεγάλες ποσότητες προϊόντων έρχεται σε αντιπαράθεση με τους στόχους των αποθηκών και των κέντρων διανομής για μείωση των αποθεμάτων. Η τελευταία αναφερθείσα προοπτική για μείωση των επιπέδων αποθεμάτων χαρακτηριστικά υποδηλώνει αύξηση στα μεταφορικά κόστη.

2.Η εφοδιαστική αλυσίδα είναι ένα <<δυναμικό σύστημα>> που εξελίσσεται με το χρόνο. Πράγματι, όχι μόνο αλλάζουν η ζήτηση των πελατών και οι δυνατότητες των προμηθευτών με το χρόνο, αλλά και οι σχέσεις της εφοδιαστικής αλυσίδας, επίσης, εξελίσσονται με το χρόνο. Για παράδειγμα , όσο αυξάνεται η δύναμη των καταναλωτών, υπάρχει και αυξημένη πίεση στους κατασκευαστές και τους προμηθευτές για να κατασκευάσουν ποικιλία υψηλής ποιότητας προϊόντων και τελικά να παράγουν προσαρμοσμένα στις απαιτήσεις των καταναλωτών προϊόντα. Επίσης, ακόμη και όταν η ζήτηση των καταναλωτών για συγκεκριμένα προϊόντα δεν ποικίλει ιδιαίτερα τα επίπεδα αποθεμάτων και καθυστερημένων παραγγελιών κυμαίνονται αρκετά πέρα από την εφοδιαστική αλυσίδα.

### 1.2.1 Στόχοι.

Οι στόχοι της επιτυχημένης διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι :

- Η μείωση του κόστους.

Ελαχιστοποιώντας τα μεταφορικά κόστη και διατηρώντας το επίπεδο εξυπηρέτησης στοχεύουμε στη μεγιστοποίηση του κέρδους.

- Η μείωση του κεφαλαίου που απασχολείται.

Ελαχιστοποιώντας το επενδυόμενο κεφάλαιο, με την απουσία για παράδειγμα αποθηκών και απευθείας αποστολή των προϊόντων, στοχεύουμε στη μεγιστοποίηση της απόδοσης.

- Η βελτίωση της εξυπηρέτησης.

Η βελτίωση εξυπηρέτησης προς τους πελάτες σχετίζεται συνήθως με την εξυπηρέτηση των ανταγωνιστών προς τους πελάτες τους και είναι πιθανό τα

κέρδη από μια τέτοια τακτική να ξεπεράσουν την αύξηση του συνολικού κόστους λόγω της βελτίωσης. [1]

### 1.2.2 Σχεδιασμός

Υπάρχουν τέσσερα βασικά προβλήματα, τα οποία πρέπει να λύθούν και να λειτουργούν σωστά μεμονωμένα το καθένα, αλλά και σε συνδυασμό μεταξύ τους. Διατηρώντας τη μεταξύ τους ισορροπία θα επιτύχουμε κέρδος στην εταιρεία. Τα τέσσερα αυτά προβλήματα, κομβικής σημασίας για το σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας, αναλύονται παρακάτω :

- Τοποθέτηση εγκαταστάσεων.

Πρέπει να γίνεται σωστή επιλογή των εγκαταστάσεων σύμφωνα με τη σωστή γεωγραφική θέση και κατάλληλο μέγεθος των εγκαταστάσεων και ανάλογα με τη ζήτηση, ώστε να έχουμε το ελάχιστο κόστος.

- Αποθεματοποίηση.

Επηρεάζει άμεσα την επιλογή των εγκαταστάσεων και αφορά στους τρόπους με τους οποίους διαχειρίζονται τα αποθέματα, όπως για παράδειγμα μεταφορά αποθεμάτων σε κενές αποθήκες.

- Μεταφορά.

Εξαρτάται από τα μεταφορικά μέσα που κάνουν τη μεταφορά, τα μεγέθη των φορτίων και τα επίπεδα αποθεμάτων και επηρεάζει άμεσα την τοποθεσία των εγκαταστάσεων.

- Εξυπηρέτηση πελατών.

Είναι ο πιο σημαντικός και δύσκολος παράγοντας, αφού η καλύτερη εξυπηρέτηση πελατών οδηγεί σε αύξηση του κόστους, αλλά συγχρόνως η όχι τόσο καλή εξυπηρέτηση οδηγεί σε χάσιμο πελατών και αύξηση των αποθεμάτων στις αποθήκες.

### 1.2.3 Ωφέλη.

Δεδομένου ότι γίνεται σωστή διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας τα ωφέλη για την επιχείρηση είναι τα ακόλουθα :

- Μείωση του κόστους διοίκησης.
- Μείωση της διάρκειας του κύκλου εργασιών.
- Καλύτερη διοίκηση.
- Νέες υπηρεσίες.
- Προσέλκυση πελατών.
- Καλύτερη ανταγωνιστικότητα.

### 1.2.4 Κομβικά ζητήματα

Θα αναφέρουμε κάποια ζητήματα που αφορούν στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αυτά τα ζητήματα εκτείνονται σε ένα μεγάλο φάσμα των δραστηριοτήτων μιας εταιρείας, σε στρατηγικό, τακτικό και λειτουργικό επίπεδο.

Το στρατηγικό επίπεδο εξετάζει αποφάσεις που έχουν μακροπρόθεσμες επιδράσεις στην εταιρεία. Αυτό συμπεριλαμβάνει αποφάσεις που αφορούν το μέγεθος, την τοποθεσία, και την ικανότητα των αποθηκών και των κατασκευαστικών σχεδίων και τη ροή των υλικών μέσω του δικτύου logistics.

Το τακτικό επίπεδο περιλαμβάνει αποφάσεις που χαρακτηριστικά ανανεώνονται κάθε χρόνο ή κάθε εξάμηνο. Αυτές αφορούν αγορές και παραγωγή, τακτικές αποθεμάτων και στρατηγικές μεταφορών.

Το λειτουργικό επίπεδο αναφέρεται σε καθημερινές αποφάσεις, όπως προγραμματισμός, δρομολόγια και φόρτωση οχημάτων.

Κάποια από τα κομβικά ζητήματα που αφορούν σε διαφορετικές αποφάσεις είναι τα ακόλουθα :

- Διαμόρφωση δικτύων διανομής.
- Στρατηγικές διανομής.
- Διεκπεραίωση εφοδιαστικής αλυσίδας και στρατηγικός συνεταιρισμός.
- Σχεδιασμός προϊόντος.
- Τεχνολογία πληροφοριών και συστήματα υποστήριξης αποφάσεων.

- Αξία πελατών.

#### 1.2.5 Πολυπλοκότητα επιτυχημένης διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Αν κάποιες εταιρείες έχουν βελτιώσει την απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας επικεντρώνοντας την προσοχή τους σε στρατηγικούς συνεταιρισμούς χρησιμοποιώντας συγκεντρωμένη αποθήκευση, τι εμποδίζει και άλλες εταιρείες να υιοθετήσουν τις ίδιες τεχνικές, ώστε να βελτιώσουν την απόδοση της εφοδιαστικής τους αλυσίδας; Η απάντηση περιλαμβάνει σημαντικά ζητήματα :

1. *Η εφοδιαστική αλυσίδα είναι ένα πολύπλοκο δίκτυο δυνατοτήτων και οργανισμών με διαφορετικούς αντικρουόμενους σκοπούς. Αυτό υποδεικνύει ότι η εύρεση της καλύτερης στρατηγικής για μια συγκεκριμένη εταιρεία θέτει σημαντικές προκλήσεις.*
2. *Ο συνδυασμός της προσφοράς και της ζήτησης είναι μια σημαντική πρόκληση. Προφανώς αυτή η δυσκολία αναδύεται από το γεγονός ότι μήνες πριν γίνει αντιληπτή η ζήτηση, οι κατασκευαστές πρέπει να δεσμευθούν σε συγκεκριμένα επίπεδα παραγωγής. Αυτές οι εκ των προτέρων δεσμεύσεις υποδηλώνουν τεράστια οικονομικά ρίσκα.*
3. *Οι διαφοροποιήσεις του συστήματος με το χρόνο είναι, επίσης, μια σημαντική εκτίμηση. Ακόμη και όταν η ζήτηση είναι επακριβώς γνωστή (π.χ. λόγω συμφωνητικών συμβολαίων) κατά τη διαδικασία σχεδιασμού χρειάζεται να ληφθεί υπόψη η ζήτηση και παράμετροι του κόστους που διαφοροποιούνται με το χρόνο λόγω του αντίκτυπου εποχιακών διακυμάνσεων, τάσεων, διαφημίσεων, κτλ. Αυτές οι παράμετροι κόστους και κυμαινόμενης με το χρόνο ζήτησης δυσκολεύουν τον προσδιορισμό της καλύτερης στρατηγικής, η οποία θα*

ελαχιστοποιούσε τα κόστη σε όλο το σύστημα και θα προσαρμόζονταν στις απαιτήσεις των πελατών.

4. Πολλά προβλήματα εφοδιαστικής αλυσίδας είναι καινούρια και δεν υπάρχει κατανόηση όλων των ζητημάτων που περιλαμβάνονται. Για παράδειγμα, σε βιομηχανίες υψηλής τεχνολογίας ο κύκλος ζωής των προϊόντων γίνεται όλο και πιο μικρός. Συγκεκριμένα, πολλά μοντέλα ηλεκτρονικών υπολογιστών ή εκτυπωτών έχουν μικρό κύκλο ζωής, για λίγους μήνες μόνο, οπότε ο κατασκευαστής θα έχει πιθανώς μόνο μία δυνατότητα παραγγελίας ή παραγωγής. Δυστυχώς, αφού αυτά είναι νέα προϊόντα δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα που θα επιτρέψουν στον κατασκευαστή να προβλέψει επακριβώς τη ζήτηση. Συγχρόνως, ο πολλαλασιασμός των προϊόντων σε τέτοιες βιομηχανίες δυσκολεύει απίστευτα την πρόβλεψη της ζήτησης για κάποιο συγκεκριμένο μοντέλο. Τέλος, σημαντικές πτώσεις των τιμών σε τέτοιες βιομηχανίες είναι σύνηθες φαινόμενο, μειώνοντας την αξία του προϊόντος κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του.

#### 1.2.6 Οι βασικές αρχές της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας διέπεται από επτά αρχές, οι οποίες αντηρούνται επιφέρουν ασύγκριτο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Οι αρχές αυτές αναλύονται ως εξής :

1. *Ταξινόμηση πελατών ανάλογα με τις ανάγκες εξυπηρέτησής τους:* Παραδοσιακά, οι εταιρείες ομαδοποιούσαν τους πελάτες τους κατά επαγγελματικό τομέα, κατά προϊόν ή κατά είδος συναλλαγής και μετά παρείχαν το ίδιο επίπεδο εξυπηρέτησης στα πλαίσια συστηματικής ή όχι ταξινόμησης. Η αποδοτική διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας, σε αντίθεση, ομαδοποιεί τους πελάτες με βάση τις ξεχωριστές ανάγκες εξυπηρέτησής τους, ασχέτως του επαγγελματικού τομέα και μετά προσαρμόζει τις παρεχόμενες υπηρεσίες στις ανάγκες τους.

*2. Παραμετροποίηση του δικτύου Διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας:* Οι απαιτήσεις και η πιθανή κερδοφορία από την εξυπηρέτηση των ξεχωριστών αναγκών των πελατών πρέπει να είναι το σημείο προσοχής των επιχειρήσεων κατά τον σχεδιασμό του δικτύου διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας.

*3. Εστίαση προσοχής στα μηνύματα της αγοράς (ζήτηση) και ανάλογος σχεδιασμός:* Για να είναι δυνατή η έγκαιρη διάγνωση αλλαγών στη ζήτηση των προϊόντων και ό,τι αυτό συνεπάγεται θα πρέπει στον σχεδιασμό των ενεργειών να φαίνεται η επίδραση που αυτές έχουν σε όλη την αλυσίδα. Αυτή η σε βάθος προσέγγιση της ζήτησης οδηγεί σε σταθερότερες προβλέψεις και σε μια βέλτιστη διαχείριση της αποθήκης και των διαθέσιμων πηγών και δυναμικού.

*4. Διαφοροποίηση του προϊόντος φέρνοντάς το πιο κοντά στον καταναλωτή:* Επειδή η συσσώρευση αποθεμάτων γίνεται ολοένα και πιο επιζήμια πρέπει η διαφοροποίηση του προϊόντος να συνδεθεί με την παραγωγική διαδικασία για να προσεγγιστεί καλύτερα η ζήτηση του καταναλωτή.

*5. Στρατηγική διαχείριση των προμηθειών:* Προκειμένου να συνεργάζονται στενά με τους βασικούς προμηθευτές τους και να μειώσουν τα ολικά κόστη απόκτησης πρώτων υλών και υπηρεσιών τους οι εταιρείες πρέπει να διευρύνουν τα σύνορα με τους προμηθευτές τους. Η λήψη προσφοράς από τους προμηθευτές και η επιλογή της μικρότερης τιμής είναι λάθος στρατηγική. Το μοίρασμα των κερδών είναι ο σύγχρονος και αποτελεσματικότερος τρόπος για τη στρατηγική διαχείριση των προμηθειών.

6. *Anáptvux̄η μιας ευρείας τεχνολογικής στρατηγικής της Εφοδιαστικής Αλυσίδας:* Η ροή πληροφορίας είναι εξίσου σημαντική με την ροή των προϊόντων ή των υπηρεσιών και γι' αυτό το λόγο θα πρέπει στα διάφορα επίπεδα λήψης αποφάσεων να υπάρχει υποστήριξη από τη τεχνολογία.

7. *Υιοθέτηση τρόπων μέτρησης της απόδοσης:* Σε κάθε κομμάτι της αλυσίδας θα πρέπει να εφαρμόζονται συστήματα μέτρησης της απόδοσης γιατί έτσι επιτυγχάνεται ο συντονισμός των εσωτερικών λειτουργιών και γιατί μέσω αυτών αποδίδεται μια εικόνα της οικονομικής κατάστασης και της κατάστασης του επιπέδου εξυπηρέτησης των πελατών.

### 1.2.7 Κέρδη

Ο σκληρός ανταγωνισμός ανάμεσα στις εταιρείες τις οδηγεί στην ανάγκη διαφοροποίησης με σκοπό τη μεγιστοποίηση του κέρδους. Είναι γεγονός ότι σε εταιρείες που διαχειρίστηκαν επιτυχώς την εφοδιαστική τους αλυσίδα παρατηρήθηκαν σημαντικά κέρδη. Συγκεκριμένα, σημειώθηκε μείωση του κόστους κατά 10-30% αυξάνοντας κατ'επέκταση τα κέρδη κατά πέντε ποσοστιαίες μονάδες. Επίσης, σημειώθηκε μείωση του χρόνου απόκρισης με αποτέλεσμα την καλύτερη εξυπηρέτηση των πελατών και άρα άυξηση των κερδών.

Έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε επιχειρήσεις που διαχειρίστηκαν κατάλληλα την εφοδιαστική τους αλυσίδα είχαν τα ακόλουθα θετικά αποτελέσματα σε αντίθεση με ένα μέσο ανταγωνιστή τους που δε χρησιμοποίησε μεθόδους διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας :

- Μείωση του κόστους μέχρι και 45%.
- Υποδιπλασιασμός του κύκλου παραγγελίας.

- Διπλασιασμός της ταχύτητας μεταφοράς των αποθεμάτων.
- Βελτίωση της αξιοπιστίας των παραδόσεων κατά 17%.

### 1.3 Τι είναι logistics

Προηγουμένως αναφέραμε ότι η εφοδιαστική αλυσίδα είναι γνωστή και ως δίκτυο logistics. Ποιά είναι, όμως, η διαφορά τους; Η αλήθεια είναι ότι δε μπορούμε να κάνουμε διάκριση ανάμεσα στις δύο έννοιες. Ο ορισμός που δώσαμε παραπάνω για την εφοδιαστική αλυσίδα είναι παρόμοιος με τον ορισμό που δίνει το Council of Logistics Management για τη διαχείριση logistics :

Η διαδικασία σχεδιασμού, εφαρμογής και ελέγχου μιας αποδοτικής και οικονομικά αποτελεσματικής ροής και αποθήκευσης των πρώτων υλών, των υπό κατεργασία αποθεμάτων και των τελικών αγαθών και των σχετικών πληροφοριών από το σημείο προέλευσης στο σημείο κατανάλωσης με σκοπό την προσαρμογή στις απαιτήσεις των πελατών.

Βέβαια, τα Logistics δεν έχουν να κάνουν μόνο με φυσικά αγαθά, αλλά και με παροχή υπηρεσιών και τη διαδικασία παραγωγής. Έτσι, σύμφωνα με τον R.H.Ballou θα μπορούσαμε να πούμε ότι:

Η αποστολή των Logistics είναι να φέρνει τα σωστά αγαθά ή υπηρεσίες στο σωστό τόπο, τη σωστή στιγμή και στην επιθυμητή κατάσταση, συνεισφέροντας παράλληλα τα μέγιστα στην εταιρεία.

### 1.3.1 Ο ρόλος στην οικονομία.

Η αύξηση της παραγωγικότητας επιδρά θετικά στις τιμές πώλησης των αγαθών και υπηρεσιών, στο ισοζύγιο πληρωμών της χώρας, στην αξία του χρήματος, στη δυνατότητα πιο αποτελεσματικού ανταγωνισμού στις αγορές του εξωτερικού και στην οικονομική ανάπτυξη, οδηγώντας, έτσι, σε αύξηση του επιπέδου απασχόλησης και επομένως μείωση της ανεργίας.

Συγκρίνοντας τις δαπάνες των logistics με άλλες κοινωνικές δραστηριότητες των επτά πιο ανεπτυγμένων χωρών γίνεται πιο κατανοητός ο ρόλος των logistics στην οικονομία, διότι αποδεικνύεται ότι το κόστος των logistics είναι δέκα φορές περισσότερο από την διαφήμιση, διπλάσιο από το ποσό που διατίθεται για την άμυνα και ίσο με το ποσό που δίνεται ετήσια για φάρμακα.

Θα μπορούσε να πει κανείς ότι το παραπάνω συμπέρασμα είναι λογικό αν αναλογιστεί κανείς ότι τα logistics είναι το τρίτο μεγαλύτερο κόστος που αντιμετωπίζει μια μέση επιχείρηση όταν λειτουργεί.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

## ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ (IRP-INVENTORY ROUTING PROBLEM)

### 2.1 Εισαγωγικά

Σήμερα, οι επιχειρήσεις είναι διατεθειμένες να επενδύσουν πόρους για να αυξήσουν την παραγωγικότητα. Ο πιο κοινός στόχος είναι να μειώσουν τα κόστη. Για τις επιχειρήσεις διανομής οι δαπάνες μεταφορών είναι ο τέλειος στόχος. Νέες τεχνολογίες διαχείρισης πληροφοριών, συνδυασμένες με αιχμηρές μεθόδους ανάλυσης, μπορούν να οδηγήσουν σε μεγάλη μείωση των δαπανών.

Η σημερινή πρόκληση για το management είναι η διατήρηση της ανταγωνιστικότητας. Για να γίνει αυτό τα συστήματα logistics πρέπει να βελτιωθούν σημαντικά. Συνήθως, το βήμα της παράδοσης (μεταφορά προϊόντων σε πελάτες ή λιανοπωλητές) θεωρείται το πλέον ζημειογόνο της διαδικασίας διανομής. Συνεπώς, κάνοντας το σχεδιασμό και την εκτέλεση της μεταφοράς πιο αποδοτικά, θα βοηθήσει να παρέχει στη διοίκηση μια ανταγωνιστικότητα.

Η σημασία του σταδίου διανομής είναι εμφανής από το μέγεθος των σχετικών δαπανών διανομής. Μερικές έρευνες δείχνουν ότι οι δαπάνες διανομής αποτελούν 16% της αξίας ενός στοιχείου. Μια πρόσφατη μελέτη διευκρινίζει ότι οι δαπάνες μεταφορών μπορούν, σε ορισμένους τομείς της οικονομίας, να ανέλθουν στο ένα πέμπτο (ξύλινα προϊόντα) ή ακόμα και

τέταρτο (προϊόντα πετρών, αργίλου και γυαλιού) της μέσης αξίας των πωλήσεων. Συνεπώς, ένα μικρό ποσοστό μείωσης στις δαπάνες μεταφορών θα μπορούσε να οδηγήσει στην ουσιαστική γενική μείωση των δαπανών.

Προκειμένου να βελτιστοποιηθεί το σύστημα, τα πολυάριθμα προβλήματα πρέπει να λυθούν σε διαφορετικά επίπεδα της επιχειρησιακής ιεραρχίας. Στο στρατηγικό επίπεδο, οι κύριες αποφάσεις αφορούν τη θέση των εγκαταστάσεων (εγκαταστάσεις, αποθήκες εμπορευμάτων, πελάτες). Στο τακτικό επίπεδο, πρέπει να καθορίσουμε το μέγεθος και τη σύνθεση του στόλου (χαρακτηριστικά οχημάτων, π.χ. χωρητικότητα), καθώς επίσης και τις συνθήκες αποθήκευσης (π.χ. τα μεγέθη δεξαμενών για κάθε πελάτη στην περίπτωση των βιομηχανικών αερίων και του πετρελαίου καυσίμων). Τέλος, στο λειτουργικό επίπεδο πρέπει να αποφασίσουμε τη δρομολόγηση και το σχεδιασμό των οχημάτων προκειμένου να εξυπηρετηθούν οι πελάτες και να καθορίσουμε τις αντίστοιχες ποσότητες που παραδίδονται.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω αναπτύχθηκαν μέθοδοι για να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα που αναπτύσσονται. Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (VRP) αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα και πιο μελετημένα προβλήματα διανομής της συνδυαστικής βελτιστοποίησης και σε μερικές περιπτώσεις συσχετίζεται με το Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή (TSP). Για το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (VRP), ένας στόλος οχημάτων είναι διαθέσιμος στο κέντρο διανομής. Αυτά τα οχήματα πρέπει να επισκεφτούν πολλά σημεία παράδοσης, ενώ συγχρόνως πρέπει να ικανοποιούν τους περιορισμούς χρόνου και χωρητικότητας. Είναι εξαιρετικά δύσκολο να βρεθεί η βέλτιστη λύση.

Εντούτοις, ευρετικές μέθοδοι μπορούν να βρούν καλές λύσεις σε ένα λογικό χρόνο. Εάν ο στόχος αποτελείται από την ελαχιστοποίηση των μακροπρόθεσμων δαπανών, το πρόβλημα πρέπει να επιλυθεί εξετάζοντας τον αντίκτυπο της λύσης στις μελλοντικές δαπάνες. Όταν προστίθενται στο VRP περιορισμοί αποθεμάτων, το πρόβλημα είναι γνωστό ως πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων (IRP). Οι εφαρμογές βιομηχανίας του IRP είναι πολυάριθμες, παραδείγματος χάριν βιομηχανική διανομή αερίου, προπανίου και τροφίμων.

Οι στόχοι προς επίτευξη κατά την επίλυση ενός προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων είναι αρκετοί. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικοί από τους πλέον συνηθησμένους :

- Ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους μεταφοράς, το οποίο εξαρτάται από την ολική απόσταση των δρομολογίων (ή τον χρόνο δρομολογίων) και τα κόστη χρήσης των οχημάτων και αμοιβής των οδηγών.
- Ελαχιστοποίηση του συνολικού αριθμού οχημάτων (και παράλληλα οδηγών) που χρειάζονται για την κάλυψη των αναγκών των πελατών.
- Ελαχιστοποίηση των ποινών-κυρώσεων που προκύπτουν από την μερική εξυπηρέτηση των πελατών.
- Εξισορρόπηση των διαδρομών των οχημάτων με βάση τον χρόνο μετάβασης και το φορτίο μεταφοράς.

## 2.2 Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (VRP)

Στο πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων βάζουμε συνήθως κάποιους περιορισμούς. Αυτοί οι περιορισμοί μπαίνουν για να πετύχουν το επίπεδο εξυπηρέτησης που θέλει να πετύχει η κάθε εταιρεία. Για παράδειγμα, ανάλογα με τη σειρά προτεραιότητας που θέλει να εξυπηρετήσει τους πελάτες ή το χρόνο εξυπηρέτησης διαμορφώνονται τα παρακάτω μοντέλα VRP :

- **Τυπική περίπτωση:** Σε αυτήν την περίπτωση η εταιρία έχει συγκεκριμένους πελάτες με δεδομένες απαιτήσεις (τυπικές) και σε δεδομένες χρονικές περιόδους. Οι πελάτες κάνουν παραγγελίες εμπορευμάτων σταθερά κάθε x μέρες ( $x < \text{περιόδου που εξετάζουμε}$ ) και δέχονται επισκέψεις από την αποθήκη τόσες φορές όσες προκύπτουν από την διαίρεση της χρονικής περιόδου με το x. Οι διαδρομές που προκύπτουν από την επίλυση ουσιαστικά γνωστοποιούν το χρόνο επίσκεψης κάθε πελάτη από το κέντρο διανομής.
- **Διακεκομμένου χρόνου:** Κατά την επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων στη συγκεκριμένη περίπτωση ακολουθείται η λογική κατά την οποία για παραγγελίες

που γίνονται σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα και ημερών, αυτές να ικανοποιούνται στο επόμενο χρονικό διάστημα και ημερών. Ωστόσο, σε αυτήν την περίπτωση δεν μπορούν να ικανοποιηθούν πελάτες των οποίων οι παραγγελίες πρέπει να διανεμηθούν την ίδια χρονική περίοδο στην οποία έγιναν και αυτές, αλλά ικανοποιούνται την επόμενη. Επομένως υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες η επίλυση με αυτού του είδους την προσέγγιση δεν είναι εφικτή.

- Αργά μετακινούμενες προτεραιότητες πελατών: Στην συγκεκριμένη προσέγγιση θέτουμε προτεραιότητα σε κάθε πελάτη λαμβάνοντας υπόψιν το χρόνο που υπολείπεται μέχρι να δεχτεί ο εκάστοτε πελάτης την παραγγελία. Η λογική που ακολουθείται είναι πως όσο λιγότερος χρόνος απομένει, τόσο μεγαλύτερη είναι η προτεραιότητα να εξυπηρετηθεί. Σε κάθε χρονική στιγμή, λοιπόν, για την επίλυση του προβλήματος θα επιλέγεται μια πολύπλοκη αντικειμενική συνάρτηση με κόστη δρομολόγησης και προτεραιοτήτων για κάθε πελάτη, ώστε να είναι εφικτή η εξυπηρέτηση των πελατών μέσα σε ένα δεδομένο αριθμό ημερών που ουσιαστικά υποδεικνύει τη μέγιστη καθυστέρηση.

Στο βασικό πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων έχουμε ως στόχο να δημιουργήσουμε παραπάνω από ένα δρομολόγια. Η μαθηματική διατύπωση του είναι η ακόλουθη:

Έστω ότι έχουμε  $n$  τοποθεσίες και με  $i=1$  συμβολίζουμε την κεντρική αποθήκη (κέντρο διανομής). Τότε με  $i=2,\dots,n$  συμβολίζονται οι πελάτες. Κάθε πελάτης ( $i$ ) έχει μια δεδομένη ζήτηση ποσότητας προϊόντων που συμβολίζεται με  $q_i$  και το κόστος μετάβασης από τον πελάτη  $i$  στον πελάτη  $j$  συμβολίζεται με  $C_{ij}$ . Θεωρούμε ότι η εταιρία διαθέτει  $K$  οχήματα τα οποία εκτελούν τις διαδρομές με χωρητικότητα  $Q_k$ . Παράλληλα σε κάθε όχημα θα αντιστοιχεί μια συγκεκριμένη διαδρομή που θα ξεκινά και θα καταλήγει στην κεντρική αποθήκη.

Η απλούστερη μορφή με την οποία μπορεί να αποδώσει κανείς το πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων γίνεται βάσει των προϋποθέσεων ότι ο στόλος των οχημάτων που εκτελούν τις διαδρομές αποτελείται από όμοια οχήματα (όμοια χωρητικότητα) και ότι δεν υπάρχουν περιορισμοί με χρονικά διαστήματα (Time Windows). Επομένως το πρόβλημα μπορεί να διατυπωθεί μαθηματικά ως εξής:

Έστω ότι  $i=1$  είναι η κεντρική αποθήκη ή το κέντρο διανομής. Τότε  $i=2,3,4,\dots,n$  θα είναι οι πελάτες μας. Θεωρούμε ότι κάθε πελάτης  $i$  έχει ζήτηση  $q_i$  ποσότητα προϊόντων και το κόστος μετάβασης από τον πελάτη  $i$  στον  $j$  ορίζεται ως  $c_{ij}$ . Εάν η εταιρία διαθέτει  $K$  οχήματα που εκτελούν τις μεταφορές, η χωρητικότητα κάθε οχήματος θα είναι  $Q_K$ . Επιπλέον, γίνεται η υπόθεση πως όλοι οι πελάτες και τα οχήματα θα εξυπηρετούν με φθίνουσα σειρά τα  $q_i$  και  $Q_K$ . Τέλος, σε κάθε όχημα θα αντιστοιχεί μια διαδρομή η οποία θα ξεκινάει και θα καταλήγει στο κέντρο διανομής. Η αντικειμενική συνάρτηση που έχουμε προς ελαχιστοποίηση θα είναι:

$$C^* = \min \sum_v \sum_{ij} c_{ij} x_{ij}^v \quad (2.1)$$

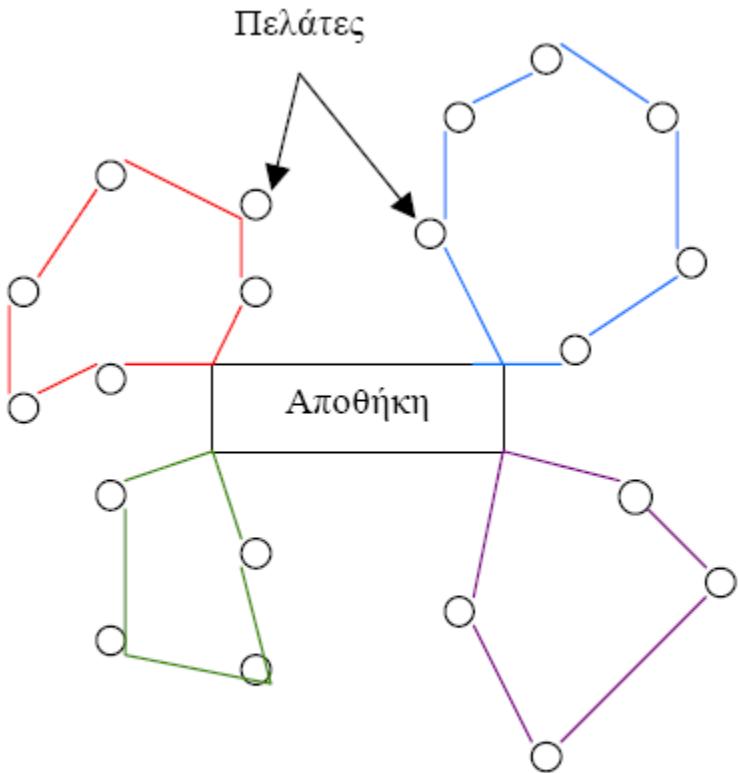
Υπό τους περιορισμούς:

$$\sum d_i x_{ij}^v \leq K, \quad \text{για κάθε } v = 1, 2, \dots, K \quad (2.2)$$

$$X = [x_{ij}^v] \in S^* \quad (2.3)$$

$$x_{ij}^v = \begin{cases} 1, & \text{αν το όχημα } v \text{ χρησιμοποιεί το τέλο } (i,j) \\ 0, & \text{διαφορετικά} \end{cases} \quad (2.4)$$

με  $c_{ij}$  συμβολίζεται η απόσταση που διανύει ένα όχημα (το κόστος της διαδρομής) προκειμένου να μεταβεί από τον πελάτη  $i$  στον πελάτη  $j$ . Επίσης, συμβολίζουν  $d_i$  = ζήτηση του πελάτη  $i$ ,  $Q =$  χωρητικότητα οχήματος,  $K =$  το σύνολο οχημάτων της εταιρίας και  $S^* =$  το σύνολο όλων των  $M$  λύσεων του προβλήματος του περιπλανώμενου πωλητή. [1]



Σχήμα 1: Αναπαράσταση Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων

Το πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων έχει ένα μεγάλο εύρος προεκτάσεων που οφείλεται στις πάρα πολλές εφαρμογές του σε πραγματικά προβλήματα. Για κάθε πραγματικό πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων τίθενται κάθε φορά διαφορετικοί περιορισμοί τέτοιοι, ώστε οι λύσεις που θα προκύπτουν να ανταποκρίνονται στις επιθυμητές κατασκευές των διαδρομών. Παραδείγματα προεκτάσεων του προβλήματος είναι η εξυπηρέτηση να περιλαμβάνει εκτός από διανομές και παραλαβές, να διακινούνται παραπάνω από ένα προϊόντα, κάθε είδος προϊόντος να μην ξεπερνά μια δεδομένη χωρητικότητα, η εξυπηρέτηση κάθε πελάτη να πρέπει να γίνεται σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους, τα οχήματα να έχουν διαφορετική χωρητικότητα, οι απαιτήσεις των πελατών να μην είναι προκαθορισμένες, να υπάρχουν πιθανές σχέσεις προαπαίτησης εξυπηρέτησης μεταξύ των πελατών και πολλές ακόμη προεκτάσεις τόσο ως προς

τις απαιτήσεις των πελατών, όσο και ως προς τις χρονικές απαιτήσεις. Μερικές από τις σημαντικότερες προεκτάσεις του προβλήματος Δρομολόγησης είναι:

- Το πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Παραλαβές (Vehicle Routing Problem with Backhauls).
- Το πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Χρονικά Διαστήματα (Vehicle Routing Problem with Time Windows).
- Το πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Παραλαβές και Διανομές (Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery).
- Το πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Χρονικά Διαστήματα και Παραλαβές και Διανομές (Vehicle Routing Problem with Time Windows and Pickup and Delivery).
- Το στοχαστικό πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (Stochastic Vehicle Routing Problem)
- Το δυναμικό πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (Dynamic Vehicle Routing Problem)

## 2.3 Πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων (IRP)

### 2.3.1 Εισαγωγικά

Σε ένα παραδοσιακό σύστημα πελάτη-προμηθευτή, ο πελάτης παραγγέλνει αγαθά από τον προμηθευτή, όταν το πλήθος των προϊόντων στον πελάτη πέσει κάτω από ένα προκαθορισμένο επίπεδο. Ο προμηθευτής συλλέγει παραγγελίες από πολλούς πελάτες και στη συνέχεια λύνει ένα πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων για τους πελάτες που έχουν κάνει παραγγελία. Το πρόβλημα με αυτή την προσέγγιση είναι ότι ο προμηθευτής δε μπορεί να έχει τον έλεγχο των παραγγελιών, άρα, δε μπορεί να ελέγξει πότε θα επισκεφτεί κάποιους πελάτες και με αυτό τον τρόπο το συνολικό κόστος και ιδιαίτερα το κόστος διανομής αυξάνεται υπέρογκα.

Στις αρχές της δεκαετίας του ογδόντα, μια νέα προσέγγιση η οποία ονομάζεται διαχείριση αποθεμάτων από τους πωλητές (vendor managed inventory) άρχισε να γίνεται δημοφιλής. Στη συγκεκριμένη προσέγγιση, ο πωλητής έχει τον απόλυτο έλεγχο του ανεφοδιασμού των αποθεμάτων των πελατών και έτσι θα μπορούσαν πολύ εύκολα να μειωθούν οι μεταφορές και να μειωθεί το κόστος διανομής. Σε αυτή τη προσέγγιση, τόσο οι αποφάσεις ανεφοδιασμού των πελατών, όσο και οι αποφάσεις δρομολόγησης των οχημάτων λαμβάνονται από τον πωλητή. Η εφαρμογή της διαχείρησης των αποθεμάτων από τους πωλητές δημιουργεί πλεονεκτήματα τόσο για τον πωλητή όσο και για τους πελάτες του. Ο πωλητής ελαχιστοποιεί τα κόστη του οργανώνοντας καλύτερα τις παραδόσεις στους διάφορους πελάτες, ενώ οι πελάτες δεν αντισυχούν πλέον για τη διαχείρηση των αποθεμάτων τους. Το μόνο σημείο που πρέπει να προσέξει ο πωλητής είναι να μη μείνουν κάποιοι πελάτες κάποια στιγμή χωρίς αποθέματα.

Ένας λόγος για τον οποίο η διαχείρηση αποθεμάτων από τους πωλητές δέχεται όλο και μεγαλύτερη προσοχή είναι η διαθεσιμότητα χαμηλού κόστους τεχνολογίας, η οποία επιτρέπει την παρακολούθηση των αποθεμάτων των πελατών. Για να εφαρμοστούν οι αρχές διαχείρησης αποθεμάτων από τους πωλητές, είναι σημαντικό ο προμηθευτής να έχει έγκυρη και έγκαιρη πληροφόρηση για την αποθεματική κατάσταση των πελατών του.

Διάφορες βιομηχανίες ερευνούν την πιθανότητα να εφαρμόσουν τη διαχείρηση αποθεμάτων από τους πωλητές. Παραδοσιακά εκείνες που το εφάρμοζαν ήταν οι εταιρείες πετρελαίου και αερίου. Τελευταίως, όμως, έχουν εισχωρήσει και οι αυτοκινητοβιομηχανίες (διανομή τμημάτων) και οι εταιρείες αναψυκτικών (μηχανήματα πώλησης).

Έχουμε αναφέρει ότι η διαχείρηση αποθεμάτων από τους πωλητές είναι συμφέρουσα και για τους ίδιους τους πωλητές, αλλά και για τους πελάτες τους και ότι η χαμηλού κόστους διαθέσιμη τεχνολογία βοηθά σημαντικά στο στόχο. Γιατί, λοιπόν, δεν παρατηρείται η

εφαρμογή της σε μεγαλύτερη κλίμακα; Ο λόγος, φυσικά, είναι ότι είναι πολύ πολύπλοκο να αναπτύξουμε μια στρατηγική διανομής, ώστε να μην έχουμε το ρίσκο έλλειψης αποθεμάτων σε κάποιο πελάτη και συγχρόνως να συνδυάσουμε πιθανά κέρδη από τα κόστη μεταφοράς.

### 2.3.2 Περιγραφή προβλήματος

Το πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων (IRP) είναι ένα ενδιαφέρον και απαιτητικό πρόβλημα. Αφορά στη μεγάλης σημασίας ενοποίηση και συντονισμό δύο βασικών εννοιών της εφοδιαστικής αλυσίδας, της διαδικασίας διανομής των προϊόντων και του ελέγχου των αποθεμάτων. Μπορεί να προσδιορισθεί ως μια εμπλουτισμένη εκδοχή του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων (VRP) που περιέχει και την αποθεματοποίηση. Είναι φανερό ότι για να βελτιστοποιήσουμε ένα σύστημα που συμπεριλαμβάνει κόστη αποθεματοποίησης, αλλά και δρομολόγησης πρέπει να λύσουμε ένα ενοποιημένο πρόβλημα. Δυστυχώς, όμως, τεχνητοί περιορισμοί που διαχωρίζουν αυτές τις αποφάσεις, τίθενται συγνά από την οργανωτική δομή με αποτέλεσμα οι σύνθετες αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στις πολιτικές δρομολόγησης και αποθεματοποίησης να αγνοούνται.

Το πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων (IRP) πραγματεύεται την επαναλαμβανόμενη διανομή ενός μόνο προϊόντος, από μία αποθήκη, σε ένα σύνολο  $n$  πελατών, για ένα δεδομένο χρονικό ορίζοντα  $T$ , συνήθως, άπειρο. Οι πελάτες καταναλώνουν το προϊόν με ένα δεδομένο ρυθμό  $u$  και έχουν την ικανότητα να διατηρούν δικά τους αποθέματα του προϊόντος μέχρι ένα μέγιστο  $C$ . Ένας στόλος από  $m$  ομοιογενή οχήματα, με χωρητικότητα  $Q$  είναι διαθέσιμος για τη διανομή των προϊόντων. Ο σκοπός είναι να καθορισθεί το δρομολόγιο με τέτοιο τρόπο, ώστε να ελαχιστοποιείται το κόστος αποθεμάτων και το κόστος δρομολόγησης, χωρίς να δημιουργεί πιθανή έλλειψη αποθεμάτων σε κάποιο πελάτη. Για το λόγο αυτό πρέπει να πάρουμε τρεις βασικές αποφάσεις: [9]

- Πότε θα εξυπηρετηθεί ένας πελάτης
- Πόση ποσότητα πρέπει να διανεμηθεί στον πελάτη ανά μονάδα χρόνου
- Ποιές διαδρομές θα πρέπει να ακολουθηθούν.

Το πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων (IRP) διαφέρει από τα παραδοσιακά προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων (VRP), επειδή βασίζεται στη χρήση και την ανάγκη των πελατών, παρά στις παραγγελίες τους. Αυτό το κάνει δύσκολο και απαιτητικό, ακόμη και για βέλτιστη επίλυση μόνο δύο πελατών. Επίσης, θα παρατηρήσουμε ότι το πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων (IRP), όπως το περιγράψαμε παραπάνω είναι αιτιοκρατικό και στατικό λόγω των υποθέσεων που κάναμε για γνωστά και σταθερά ποσοστά χρήσης και κατ'επέκταση αποθεμάτων. Αυτές οι υποθέσεις προφανώς δεν είναι ρεαλιστικές και δεν έχουν αντίκρυσμα στην πραγματική ζωή. Γι'αυτό, μια σημαντική κατηγορία προβλήματος δρομολόγησης αποθεμάτων (IRP) είναι εκείνη του στοχαστικού προβλήματος δρομολόγησης αποθεμάτων (SIRP), όπου υποθέτουμε ότι μας δίνεται η πιθανότητα χρήσης των αποθεμάτων. Αυτό οδηγεί σε ένα στοχαστικό και δυναμικό πρόβλημα. Ο σκοπός είναι να ελαχιστοποιήσουμε την αναμενόμενη μέση διανομή και τα κόστη λόγω έλλειψης αποθεμάτων. Σημειώνουμε ότι στο στοχαστικό πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων (SIRP) είναι απίθανο να εγγυηθούμε ότι δε θα υπάρξουν ελλείψεις αποθεμάτων και γι'αυτό λαμβάνονται υπόψη ανάλογα κόστη για πιθανές ελλείψεις. Προφανώς, το πρόβλημα μπορεί να επεκταθεί, ώστε να εμπεριέχονται πολλαπλές αποθήκες, πολλαπλά προϊόντα, χρονικοί περιορισμοί, κτλ.

Στο πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων (IRP) και στο στοχαστικό πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων (SIRP) λάβαμε υπόψη το μέσο κόστος διανομής και αναμέναμε το μέσο κόστος διανομής και έλλειψης αποθεμάτων ως αντικειμενικές συναρτήσεις. Στην πράξη, όμως, χρησιμοποιούνται άλλα μέτρα. Για παράδειγμα: [9]

- Ελαχιστοποίηση του κόστους ανά χιλιόμετρο που ταξιδεύουμε.

- Ελαχιστοποίηση του κόστους ανά λίτρο προϊόντος που διανέμεται.
- Ελαχιστοποίηση των χιλιομέτρων που ταξιδεύουμε ανά λίτρο που διανέμεται.
- Ελαχιστοποίηση των διακοπών λειτουργίας ανά διανομή.

Οι περισσότερες προσεγγίσεις που έχουν αναπτυχθεί βασίζονται σε μία ή περισσότερες από τις ακόλουθες υποθέσεις σχετικά με το τι συνιστά μια καλή λύση:

- Μεγιστοποίηση πάντα της ποσότητας που διανέμεται ανά επίσκεψη.
- Αποστολή οχημάτων με πλήρως γεμάτο φορτίο.

Πρόσφατα ερευνητές έχουν αρχίσει να ψάχνουν για περιοδικά προγράμματα παρακινούμενοι από την ακόλουθη παρατήρηση. Αν η χρήση μετράται σε διακριτές ποσότητες, είναι εύκολο να παρατηρήσουμε ότι μια βέλτιστη πολιτική πρέπει να είναι περιοδική. Αφού υπάρχει ένα πεπερασμένο σύνολο καταστάσεων (αποθέματα στους πελάτες), πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον μία που επαναλαμβάνεται σε έναν πεπερασμένο ορίζοντα. Μια βέλτιστη πολιτική θα επαναλαμβάνεται ανάμεσα στις εμφανίσεις αυτής της κατάστασης.

#### 2.3.2.1 Στοχαστικό πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων (SIRP)

Το στοχαστικό πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων (SIRP) διαφέρει από το αιτιοκρατικό πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων (IRP) στο ότι τα μελλοντικά ποσά ζήτησης είναι αβέβαια κάτι το οποίο συμβαίνει τις περισσότερες φορές στην πραγματικότητα. Είναι, επίσης, χαρακτηριστικό για το τρέχον απόθεμα ότι είναι αβέβαιο, επειδή με την παρούσα τεχνολογία τα αποθέματα στους πελάτες δεν ανιχνεύονται συνεχώς, αλλά έχουμε περιοδική ανανέωση των δεδομένων των αποθεμάτων. Αυτή την περίοδο αυτές οι μετρήσεις γίνονται το

πολύ μία φορά την ημέρα, επειδή τα κόστη που σχετίζονται με την πραγματοποίηση των μετρήσεων δεν είναι αμελητέα. Όμως, μία αρκετά ακριβής εκτίμηση του τρέχοντος αποθέματος μπορούμε συνήθως να κάνουμε βασιζόμενοι στην πιο πρόσφατη μέτρηση και παλιότερα δεδομένα των ποσοστών ζήτησης. Επίσης, αναμένεται ότι η τεχνολογία σύντομα θα επιτρέπει τον συνεχή εντοπισμό και μέτρηση των αποθεμάτων των πελατών με πολύ χαμηλό κόστος. Γι' αυτό, στο στοχαστικό πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων τα μελλοντικά ποσά ζήτησης των πελατών μοντελοποιούνται ως τυχαία, αλλά τα τρέχοντα αποθέματα θεωρούνται γνωστά τουλάχιστον κατά τις χρονικές στιγμές που παίρνονται οι αποφάσεις.

Η διατύπωση του προβλήματος είναι η ακόλουθη. Έστω  $n$  ο αριθμός των πελατών και  $m$  ο αριθμός των πανομοιότυπων οχημάτων. Ο πελάτης  $j$  έχει χωρητικότητα αποθήκευσης  $C_j$  και η χωρητικότητα του κάθε οχήματος είναι  $C$ . Μοντελοποιούμε το SIRP σαν διαδικασία Markov (Markov decision process) με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά. [9]

Πρώτον, η κατάσταση  $x$  είναι το τρέχον απόθεμα κάθε πελάτη, αλλά και η ημέρα της εβδομάδας, για να δείξουμε τις διαφορές στα ποσοστά ζήτησης σε διαφορετικές χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια της εβδομάδας. Υποθέτουμε ότι η ζήτηση ακολουθεί ένα κυκλικό σχέδιο με μήκος κύκλου μία εβδομάδα. Έτσι, η κατάσταση χώρου  $X$  είναι  $[0, C_1] * [0, C_2] * \dots * [0, C_n] * \{1, 2, \dots, 7\}$ , όπου  $X_t \in X$  υποδηλώνει την κατάσταση τη στιγμή  $t$ .

Δεύτερον, στην αρχή κάθε ημέρας λαμβάνεται μία απόφαση σχετικά με το ποιούς πελάτες θα ανεφοδιάσουμε, πόσο προϊόν θα παραδώσουμε σε κάθε πελάτη πώς θα συνδυάσουμε τους πελάτες στις διαδρομές των οχημάτων και ποιά διαδρομή θα αναθέσουμε σε κάθε ένα από τα  $m$  οχήματα. Μία τέτοια απόφαση την αποκαλούμε δρομολόγιο. Ένα όχημα μπορεί να κάνει περισσότερες από μία διαδρομές την ημέρα αρκεί όλες οι διαδρομές που ανατίθενται σε ένα όχημα να μη χρειάζονται περισσότερες από μία ημέρα για να πραγματοποιηθούν. Έτσι, όλα τα οχήματα είναι διαθέσιμα στην αρχή κάθε ημέρας, όταν λαμβάνονται οι αποφάσεις για αυτή την

ημέρα. Έτσι το SIRP είναι ένα MDP διακριτού χρόνου και το διάστημα δράσης  $A(x)$  για κάθε κατάσταση  $x$  είναι το σύνολο όλων των δρομολογίων που ικανοποιούν τους περιορισμούς για τη διάρκεια των διαδρομών, όπως ότι η χωρητικότητα των οχημάτων δεν πρέπει να υπερβαίνεται και ότι η χωρητικότητα των χώρων αποθήκευσης των πελατών δεν πρέπει να ξεπερνιέται μετά από τις παραδόσεις. Έστω  $A \equiv \cup_{x \in X} A(x)$  το σύνολο των δρομολογίων και  $A_t \in A(t)$  το δρομολόγιο που επιλέχθηκε στο χρόνο  $t$ .

Τρίτον, οι μεταβάσεις συμβαίνουν σύμφωνα με μία γνωστή διαδικασία Markov  $Q$ , για παράδειγμα για κάθε κατάσταση  $x \in X$ , κάθε περιήγηση  $a \in A(x)$  και κάθε σύνολο Borel  $B \subseteq X$

$$P(X_{t+1} \in B | X_t = x, A_t = a) = \int_B Q(dy | x, a) \quad (2.5)$$

Τέταρτον, τρία κόστη λαμβάνονται υπόψη, το κόστος μεταφοράς, το οποίο εξαρτάται από τις διαδρομές των οχημάτων που επιλέχθηκαν, το κόστος απώλειας αποθέματος, κάθε φορά που ανεφοδιάζουμε τους πελάτες (το οποίο είναι περίπου 5% της χωρητικότητας του φορτηγού, όταν οι πελάτες έχουν έλλειψη αποθέματος) και μία ποινή, όταν οι πελάτες έχουν έλλειψη αποθέματος. Η ποινή θεωρείται αναλογική της ποσότητας της έλλειψης και της διάρκειας της έλλειψης. Έστω  $c(x, a, y)$  το κόστος, αν η διαδικασία στην κατάσταση  $x$ , περιήγησης  $a \in A(x)$  εφαρμοσθεί και η διαδικασία κάνει μετάβαση στην κατάσταση  $y$ . Θεωρούμε  $c : x * A * X \rightarrow R$  είναι μετρήσιμο και οριθετημένο κατά Borel.

Πέμπτον, ο στόχος είναι να ελαχιστοποιήσουμε το συνολικό αναμενόμενο κόστος για έναν άπειρο ορίζοντα ( $T=\infty$ ). Έστω  $V^*(x)$  το βέλτιστο αναμενόμενο κόστος με την προυπόθεση ότι η αρχική κατάσταση είναι  $x$ , για παράδειγμα :

$$V^*(x) = \inf_{\{A_t\}} E \left\{ \sum_{t=0}^{\infty} \alpha^t c(X_t, A_t, X_{t+1}) | X_0 = x \right\}, \quad \text{όπου } \{A_t\}_{t=0}^{\infty} \quad (2.6)$$

Οι ενέργειες  $A_t$  είναι περιορισμένες, έτσι ώστε το  $A_t$  να εξαρτάται από την ιστορία των διαδικασιών ως τη χρονική στιγμή  $t$ , για παράδειγμα όταν αποφασίσουμε για περιήγηση τη στιγμή  $t$  δε μας επιτρέπεται να ξέρουμε τι θα γίνει στο μέλλον.

Υπό συγκεκριμένες συνθήκες, οι οποίες δεν είναι πολύ περιοριστικές, το βέλτιστο αναμενόμενο κόστος στην (2.6) επιτυγχάνεται από πολιτικές, οι οποίες ορίζονται ως το σύνολο όλων των Borel μετρήσιμων συναρτήσεων  $\pi : X \rightarrow A$ , ώστε  $\pi(x) \in A(x)$  για κάθε  $x \in X$ . Αυτό ισχύει για κάθε  $x \in X$ :

$$\begin{aligned} V^*(x) &= \inf_{\pi \in \Pi} E\{\sum_{t=n}^{\infty} \alpha^t c(X_t, \pi(X_t), X_{t+1}) | X_n = x\} = \\ &= \inf_{a \in A} \int_X [c(x, a, y) + \alpha V^*(y)] Q(dy | x, a) \end{aligned} \quad (2.7)$$

Η εξίσωση (2.7) είναι η εξίσωση Bellman-Hamilton-Jacobi ή εξίσωση βελτιστοποίησης.

Για να καθορίσουμε μια βέλτιστη πολιτική χρειάζεται να λύσουμε την εξίσωση βελτιστοποίησης (2.7). Οι τρεις βασικές προσπάθειες υπολογισμού επίλυσης της (2.7) είναι οι ακόλουθες:

1. Εκτίμηση της βέλτιστης συνάρτησης κόστους  $V^*$ .
2. Εκτίμηση του ακεραίου στη (2.7).
3. Επίλυση του προβλήματος ελαχιστοποίησης στη δεξιά πλευρά της εξίσωσης (2.7) για να καθορισθεί η βέλτιστη ενέργεια για κάθε κατάσταση.

Σπάνια μπορούν αυτοί οι τρεις υπολογιστικοί στόχοι να υπολογιστούν διαδοχικά, αλλά συνήθως πρέπει να ακολουθηθεί μία επαναληπτική διαδικασία.

Αρκετοί αλγόριθμοι έχουν αναπτυχθεί για την επίλυση της εξίσωσης βελτιστοποίησης, εάν το  $X$  είναι πεπερασμένο και το υπό βελτιστοποίηση πρόβλημα στο δεύτερο μέλος της εξίσωσης μπορεί να επιλυθεί σε πεπερασμένο χρόνο. Παραδείγματα είναι τιμές επανάληψης ή επιτυχημένες προσεγγίσεις πολιτικής επανάληψης και τροποποιημένης πολιτικής επανάληψης. Αυτοί οι αλγόριθμοι είναι πρακτικοί μόνο αν το κενό κατάστασης  $X$  είναι μικρό και το πρόβλημα βελτιστοποίησης στο δεύτερο μέλος της εξίσωσης είναι εύκολο να λυθεί. Καμία από αυτές τις απαιτήσεις δεν ικανοποιούνται από τις πρακτικές συνθήκες του SIRP καθώς το κενό κατάστασης είναι συνήθως πολύ μεγάλο, ακόμη και αν διακριτοποιήσουμε τα αποθέματα των πελατών και το πρόβλημα βελτιστοποίησης στο δεύτερο μέλος της εξίσωσης έχει, στην ουσία, ένα πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων σαν ειδική περίπτωση.

#### 2.3.2.2 Πρόβλημα με έναν μόνο πελάτη (single customer problem)

Για να κατανοήσουμε καλύτερα το πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων (IRP) και το στοχαστικό πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων (SIRP), αλλά και τη διαφορά τους αξίζει να λύσουμε το πρόβλημα με έναν πελάτη (single customer problem).

Η ανάλυση του προβλήματος με έναν μόνο πελάτη μπορεί, επίσης, να εφαρμοσθεί και όταν έχουμε πολλούς πελάτες, αλλά επισκεπτόμαστε πάντα μόνο έναν σε κάθε διαδρομή του οχήματος και έχουμε έναν ικανοποιητικό αριθμό οχημάτων για να επισκεφτούμε όλους τους πελάτες που πρέπει να επισκεφτούμε σε μία ημέρα.

Έστω ότι το ποσοστό χρήσης ενός πελάτη είναι  $u$ , η χωρητικότητα της αποθήκης ενός πελάτη  $C$ , το κόστος παράδοσης  $c$ , η χωρητικότητα του οχήματος  $Q$  και ορίζοντας προγραμματισμού  $T$ . Επιπλέον, υποθέτουμε ότι αποφασίζουμε αν θα στέλνουμε ένα φορτηγό σε καθημερινή βάση και αν ναι, ο πελάτης δε θα έχει έλλειψη προϊόντος αν έχει ακόμη απόθεμα σε εκείνη τη χρονική στιγμή.

Στην αιτιοκρατική περίπτωση είναι προφανές ότι η βέλτιστη πολιτική είναι να γεμίσουμε την αποθήκη ακριβώς τη στιγμή που αδειάζει. Έτσι, το κόστος  $v_T$  για μία περίοδο  $T$ -ημερών είναι:

$$V_T = \left[ \frac{T_u}{\min(c, Q)} \right] c \quad (2.8)$$

Για τη στοχαστική περίπτωση, όπου υποθέτουμε ότι η ζήτηση είναι μία τυχαία μεταβλητή  $U$  με γνωστή πιθανότητα διανομής με μέσο όρο  $u$ .

Έστω ότι  $v_T(d)$  το αναμενόμενο συνολικό κόστος σε μια περίοδο  $T$ -ημερών για την πολιτική που γεμίζει την αποθήκη κάθε  $d$  ημέρες.

Έστω  $s$  το κόστος έλλειψης αποθέματος και  $p_j$  η πιθανότητα να έχουμε την πρώτη έλλειψη την ημέρα  $j$  ( $1 \leq j \leq d-1$ ).

Τότε  $p = p_1 + p_2 + \dots + p_{d-1}$  είναι η πιθανότητα να υπάρξει έλλειψη αποθέματος και  $1-p$  η πιθανότητα να μην υπάρξει έλλειψη κατά τη διάρκεια της  $[1, \dots, d]$  περιόδου. Οπότε έχουμε:

$$v_T(d) = \sum_{j=1}^T (p_j * v_{T-j}(d) + s) \quad (2.9)$$

και για  $d \leq T$

$$v_T(d) = \sum_{j=1}^{d-1} (1-p)(v_{T-j}(d) + s) + p_d(v_{T-d}(d) + c) \quad (2.10)$$

Το αναμενόμενο συνολικό κόστος του να γεμίζουμε την αποθήκη ενός πελάτη κάθε δημέρας για μια περίοδο  $T$ -ημερών ( $T \geq d$ ) δίνεται από:

$$v_T(d) = f(T, d) + \alpha(d) + \beta(d)T \quad (2.11)$$

$$\text{όπου } \beta(d) = pS + \frac{(1-p)s}{\sum_{j=1}^d p_j} \quad (2.12)$$

και η  $f(T, d)$  τέινει στο μηδέν εκθετικά γρήγορα.

Σημειώνουμε ότι το  $pS$  αντιπροσωπεύει το αναμενόμενο κόστος λόγω έλλειψης αποθέματος,  $(1-p)s$  το αναμενόμενο κανονικό κόστος διανομής και  $\beta(d)$  το αναμενόμενο κόστος ανά ημέρα.

### 2.3.2.3 Πρόβλημα με δύο πελάτες (two customers problem)

Έχοντας αναφέρει κάποια πράγματα για το πρόβλημα με έναν πελάτη, θεωρούμε, επίσης, επεξηγηματικό της πολυπλοκότητας αυτού του προβλήματος (IRP) το πρόβλημα δύο πελατών (two customers problem). [9]

Όταν περισσότεροι από δύο πελάτες εξυπηρετούνται, το πρόβλημα γίνεται εξαιρετικά δυσκολότερο. Όχι μόνο πρέπει να αποφασίσουμε ποιον πελάτη θα επισκεφτούμε επόμενο, αλλά και πως να τους συνδυάσουμε στις διαδρομές των οχημάτων και πόσο προϊόν θα διανείμουμε σε κάθε πελάτη. Ακόμη και αν είναι δύο μόνο πελάτες οι αποφάσεις δεν είναι εύκολες.

Υπάρχουν δύο ακραίες λύσεις. Η πρώτη είναι να επισκεπτόμαστε κάθε πελάτη μόνο του κάθε φορά και η δεύτερη να επισκεπτόμαστε πάντα και τους δύο πελάτες μαζί. Είναι απλό να εκφράσουμε το κόστος που σχετίζεται με τις δύο αυτές λύσεις:

$$v_T = \frac{T u_1}{\min(c_1, Q)} c_1 + \frac{T u_2}{\min(c_2, Q)} c_2$$

(2.13)

και

$$v_T = \left( \frac{T}{\min(\frac{c_1}{Q}, \frac{c_2}{Q})} \right) TSP(c_1, c_2) \quad (2.14)$$

Αφού τα προβλήματα πλανόδιου πωλητή (TSP) για δύο πελάτες είναι εύκολο να επιλυθούν, είναι ακόμη πιο εύκολο να διακρίνουμε ποια από αυτές τις δύο ακραίες στρατηγικές είναι η καλύτερη. Όμως υπάρχουν και άλλες πιθανές στρατηγικές, όπως μερικές φορές να επισκεπτόμαστε τους πελάτες μαζί και μερικές φορές μόνους τους. Ενστικτωδώς, αναμένουμε, όταν ο ένας πελάτης έχει πολύ υψηλότερο ρυθμό ζήτησης ή πολύ μικρότερο μέγεθος αποθήκης από τον άλλο, να τον επισκεπτόμαστε μόνο του πολλές φορές πριν τους επισκεπτούμε και τους

δύο μαζί. Όμως, τι γίνεται αν δε μπορούμε να έχουμε ένα πλήρες φορτίο φορτηγού; Αν οι δύο πελάτες είναι πολύ κοντά μεταξύ τους; Σύντομα συνειδητοποιούμε ότι η απάντηση δεν είναι τόσο προφανής.

#### 2.3.2.4 Προσεγγίσεις λύσεων

Το πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων (IRP) είναι ένα πρόβλημα μακροπρόθεσμου προγραμματισμού. Αυτό το μοντέλο μακροπρόθεσμου προγραμματισμού είναι, ήδη, δύσκολο να διατυπωθεί, οπότε σχεδόν αδύνατο να λυθεί. Γι' αυτό τον λόγο σχεδόν όλες οι προσεγγίσεις που έχουν προταθεί και ερευνηθεί μέχρι σήμερα παράγουν ένα πρόγραμμα μακροπρόθεσμου προγραμματισμού και επιλύουν μόνο αυτό το πρόβλημα. Παλιότερα, το <<βραχυπρόθεσμο>> ήταν συχνά μόνο μία ημέρα και αργότερα επεκτάθηκε σε μερικές ημέρες η ακόμη και εβδομάδα.

Δύο ζητήματα <<κλειδιά>> χρειάζεται να επιλυθούν σε όλες αυτές τις προσεγγίσεις: (1) ποιούς πελάτες να συμπεριλάβουμε στο βραχυπρόθεσμο σχέδιο και ποιούς να αποκλείσουμε και (2) πώς να μοντελοποιήσουμε την μακροπρόθεσμη επίδραση από τις βραχυπρόθεσμες αποφάσεις. [9]

Είναι σημαντικό να συνειδητοποιήσουμε ότι μία βραχυπρόθεσμη προσέγγιση έχει την τάση να αναβάλει όσο το δυνατόν περισσότερες παραδόσεις στην επόμενη περίοδο προγραμματισμού, γεγονός που πιθανώς να οδηγήσει σε ανεπιθύμητη κατάσταση στην επόμενη περίοδο. Γι' αυτόν τον λόγο, η κατάλληλη προβολή του μακροπρόθεσμου στόχου σε ένα πρόβλημα βραχυπρόθεσμου προγραμματισμού είναι ουσιαστική. Παλιότερα, η προβολή των μακροπρόθεσμων αποτελεσμάτων πολύ συχνά αγνοούταν εντελώς, αλλά αργότερα αυτά τα αποτελέσματα μοντελοποιούταν με τον ένα ή τον άλλο τρόπο.

Σε πολλές παλιότερες δημοσιεύσεις το IRP αντιμετωπίζεται επιλύοντας μία ακολουθία προβλημάτων μίας μόνο ημέρας. Αυτό επιτρέπει να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα ως μία προέκταση του VRP και να προσαρμοσθούν τεχνικές επίλυσης του VRP. Αυτές οι μίας μόνο ημέρας προσεγγίσεις συνήθως βασίζουν τις αποφάσεις στον τελευταίο έλεγχο αποθεμάτων και ίσως, σε μία πρόβλεψη της ζήτησης για εκείνη την ημέρα. Γι' αυτόν τον λόγο αποφεύγονταν τη δυσκολία να προβλέψουν τη ζήτηση μακροπρόθεσμα. Αυτό κάνει το πρόβλημα πολύ πιο απλό και ίσως είναι αρκετά λογικό, όταν η ζήτηση των πελατών είναι πολύ απρόβλεπτη. Παρ' όλ' αυτά, αυτές οι προσεγγίσεις έχουν πολλά έμφυτα προβλήματα. Για παράδειγμα, εάν ο στόχος είναι να καθορίσουμε ένα ελάχιστο κόστος για ένα σύνολο διαδρομών που εγγυάται τη μη έλλειψη αποθεμάτων, τότε η εκτέλεση αυτού του συνόλου διαδρομών συχνά οδηγεί σε μία κατάσταση στην οποία πολλοί πελάτες είναι συχνά χωρίς αποθέματα στο ξεκίνημα της επόμενης μέρας.

Στις αρχές με μέσα της δεκαετίας του ογδόντα, πολλοί ξεκίνησαν να προσεγγίζουν το πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων ψάχνοντας για μια καλή λύση για τις επόμενες μερικές ημέρες, αντί για μία μόνο ημέρα. Αυτό καθιστά το πρόβλημα πιο δύσκολο, αλλά κοιτώντας μόνο λίγο μακρύτερα στο μέλλον μας δίνει τη δυνατότητα να παράγουμε πολύ καλύτερες λύσεις. Λόγω του αυξημένου μεγέθους του μοντέλου, πολλές από αυτές τις προσεγγίσεις χρησιμοποιούν Λαγκρανσιανή προσέγγιση (Lagrangian approach) όπου με την χρήση δυϊκών περιορισμών επιτρέπουν στο πρόβλημα να αποσυνθεθεί όμορφα.

Ακόμη και για περίοδο βραχυπρόθεσμου προγραμματισμού, όπως περιγράφηκε παραπάνω, υπάρχει ακόμη το πρόβλημα της διανομής ακριβώς τόσου προϊόντος, ώστε να διαρκέσει μέχρι το τέλος αυτής της περιόδου, αλλά έτσι πολλοί πελάτες μένουν σχεδόν χωρίς αποθέματα στην αρχή της επόμενης περιόδου προγραμματισμού.

Μία μεταβλητή  $C_t$  υπολογίζεται για κάθε μία από τις  $m$  ημέρες του χρονικού ορίζοντα, η οποία αντικατοπτρίζει την αναμενόμενη αύξηση στο μελλοντικό κόστος (τις επόμενες ημέρες), εάν η παράδοση γίνει σε εκείνη την ημέρα αντί για την  $t^*$ . Ομοίως, αν η  $t^*$  είναι περισσότερο από  $m$ , ένα μελλοντικό πλεονέκτημα  $g_t$  μπορεί να υπολογισθεί για τη νωρίτερη παράδοση σε έναν πελάτη για μία από τις  $m$  ημέρες της περιόδου προγραμματισμού.

Οι Golden, Assad και Dahl (1984) μελέτησαν το πρόβλημα βασιζόμενοι στη θεωρία ότι ο βραχυπρόθεσμος ορίζοντας είναι ακριβώς μία ημέρα. Εισάγουν την έννοια της << επείγουσας ανάγκης >> ενός πελάτη, ώστε να αποφασίσουν ποιούς πελάτες να συμπεριλάβουν στο μακροπρόθεσμο σχέδιο. Η επείγουσα ανάγκη ενός πελάτη προσδιορίζεται ως η αναλογία του τρέχοντος αποθέματος προς το μέγεθος της αποθήκης (σημειώνουμε ότι αυτό το μέτρο δε συμπεριλαμβάνει τον ρυθμό ζήτησης). Ένα σχέδιο εισαγωγής παρόμοιο με εκείνα που χρησιμοποιούνται στους πρότυπους αλγορίθμους προβλημάτων δρομολόγησης χρησιμοποιείται, ώστε να καθορίσει τους πελάτες που θα συμπεριληφθούν στο βραχυπρόθεσμο σχέδιο. Πελάτες εισάγονται σε έναν αυξανόμενο γύρο, ο οποίος βασίζεται στην τιμή της αναλογίας της επείγουσας ανάγκης και αυξάνεται στο χρόνο ταξιδιού μέχρι ένα δοθέν όριο στο συνολικό χρόνο ταξιδιού του γύρου. Ο τεράστιος γύρος χωρίζεται σε κομμάτια για μεμονωμένα οχήματα. [18]

Η προσέγγιση των Trudeau και Dror, καθώς και πολλών άλλων, συνιστάται από τα τέσσερα επόμενα βήματα. Πρώτον, διαίρεση των πελατών σε τρία σύνολα: το σύνολο των πελατών που απαιτούν μία παράδοση στην περίοδο βραχυπρόθεσμου προγραμματισμού, σύνολο  $M_1$ , το σύνολο των πελατών που πιθανώς να ξαναεφοδιαστούν, σύνολο  $M_2$ , και το σύνολο των πελατών που δε θα δεχθούν επίσκεψη κατά τη διάρκεια του βραχυπρόθεσμου προγραμματισμού, σύνολο  $M_3$ . Δεύτερον ορίζουμε τους πελάτες των συνόλων  $M_1$  και  $M_2$  σε ημέρες της περιόδου βραχυπρόθεσμου προγραμματισμού. Τρίτον, για κάθε ημέρα του βραχυπρόθεσμου προγραμματισμού επιλύουμε ένα πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων. Και τέταρτον, βρίσκουμε μία βελτιωμένη λύση εκτελώντας ανταλλαγές πελατών μέσα στη διαδρομή ή την ημέρα.

Πιο λεπτομερώς, ενδιαφερόμαστε να βελτιστοποιήσουμε μία περίοδο n-ημερών, αλλά λύνουμε για μια περίοδο m-ημερών ( $m < n$ ). Υποθέτουμε πως κανένας πελάτης δεν επιθυμεί περισσότερες από μία παραδόσεις σε μία περίοδο m-ημερών. Επιθυμούμε να καθορίσουμε το  $C_t$ , την άυξηση του κόστους κατά τη διάρκεια της περιόδου n-ημερών στην περίπτωση: (α) ένας πελάτης ανεφοδιάζεται την ημέρα t, με  $t < t^*$  και (β) ένας πελάτης ανεφοδιάζεται την ημέρα t της περιόδου m-ημερών παρά σε μια μελλοντική περίοδο. Στην τελευταία περίπτωση, το  $g_t$  δείχνει τη μείωση στο κόστος για μια περίοδο n-ημερών. Η ανταλλαγή ανάμεσα σε μια διανομή σε έναν πελάτη νωρίς και σε μία αργά αντιστοιχεί σε υψηλότερα μελλοντικά κόστη και το ρίσκο ποινής λόγω έλλειψης αποθεμάτων. Τώρα ας εξετάσουμε την ακόλουθη υποβέλτιστη στρατηγική: γεμίζουμε την αποθήκη του πελάτη την ημέρα  $j < d^*$  και από αυτή τη στιγμή και μετά επαναλαμβάνουμε τη βέλτιστη στρατηγική. Τη διαφορά μεταξύ του αναμενόμενου κόστους αυτής της υποβέλτιστης στρατηγικής και της βέλτιστης στρατηγικής την αποκαλούμε επαυξητικό κόστος (incremental cost). Το επαυξητικό κόστος  $c_j$  ορίζεται ως:

$$c_j = g(n, j, d^*) + (\gamma(j) - \gamma(d^*)) + (\beta(d^*) * (E[d^*] - E[j])),$$

όπου για κάθε  $k \geq 1$ ,  $E[k]$  είναι ο αναμενόμενος αριθμός ημερών πριν τις παραδόσεις και  $\gamma(k)$  είναι το αναμενόμενο κόστος της παράδοσης, όταν υπάρχει προγραμματισμένη παράδοση την ημέρα k,

$$E[k] = k \left( 1 - \sum_{i=1}^{k-1} p_i \right) + \sum_{i=1}^{k-1} i p_i$$

και

$$\gamma(k) = \sum_{i=1}^{k-1} p_i s + \left( 1 - \sum_{i=1}^{k-1} p_i \right) c$$

και τέλος όπου  $g(n, j, d^*)$  τείνει στο μηδέν εκθετικά γρήγορα, όπως το n τείνει στο άπειρο. Όταν το n είναι αρκετά μεγάλο οδηγούμαστε στην ακόλουθη προσέγγιση:

$$c_t = E[J] * (\beta(\zeta) - \beta(d^*))$$

Οι Bell και λοιποί μελέτησαν μία προσέγγιση ακεραίου προγραμματισμού βασιζόμενοι σε χρονική διακριτοποίηση. Ανξάνουμε και χαμηλώνουμε τα όρια στην ποσότητα που μπορεί να παραδοθεί στον πελάτη ι κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος [0,...,t]. Τα ποσοστά ζήτησης χρησιμοποιούνται για καθορισθούν οι τιμές αυτές. Κάθε μονάδα προϊόντος που παραδίδεται στον πελάτη ι στην περίοδο βραχυπρόθεσμου προγραμματισμού μειώνει την ποσότητα που πρέπει να διανεμηθεί στο μέλλον. Αυτή η ποσότητα λαμβάνεται υπόψη βάζοντας το  $vd_i$  σε μια εκτίμηση του κόστους ανά μονάδα παράδοσης στον πελάτη ι σε μία χρονική στιγμή εκτός της περιόδου βραχυπρόθεσμου προγραμματισμού. Το μοντέλο επιλέγει από το πιθανό σύνολο διαδρομών ένα υποσύνολο για να πραγματοποιηθεί στην πραγματικότητα, διευκρινίζοντας τον χρόνο που πρέπει να ξεκινήσει για κάθε διαδρομή, το όχημα που θα χρησιμοποιηθεί και την ποσότητα που θα διανεμηθεί σε κάθε πελάτη της διαδρομής. Για να μειώσουμε το μέγεθος του μοντέλου, λαμβάνεται υπόψιν μόνο ένα υποσύνολο των διαδρομών στο μοντέλο. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί μία πολύπλοκη ευρετική μεθοδο, ώστε να αποφασίσει, αν θα συμπεριληφθεί ή όχι μία συγκεκριμένη διαδρομή.

### 2.3.2.5 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Οι Federgruen και Zipkin (1984) προσεγγίζουν το πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων (IRP) ως πρόβλημα μίας ημέρας και βασίζονται σε πολλές ιδέες του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων (VRP). Η δική τους εκδοχή του προβλήματος έχει εγκαταστάσεις με ένα περιορισμένο ποσό διαθέσιμων αποθεμάτων και θεωρεί την ημερήσια ζήτηση σε έναν πελάτη ως τυχαία μεταβλητή. Σε κάθε περίοδο, το πρόβλημα είναι να διατεθεί το προϊόν στους πελάτες, ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος μεταφοράς και το κόστος αποθεματοποίησης και έλλειψης στο τέλος της ημέρας (μετά τη ζήτηση της ημέρας και την παραλαβή της παράδοσης

της ημέρας). Αυτό το μοντελοποίησαν σαν ένα μη γραμμικό ακέραιο πρόγραμμα, το οποίο υποστηρίζουν πως είναι το πρώτο που αντιμετωπίζει αποφάσεις σχετικά με διάθεση αποθεμάτων στους πελάτες και διαδρομές συγχρόνως. Λόγω του κόστους αποθεματοποίησης και έλλειψης και της διαθέσιμης ποσότητας αποθέματος, δε θα επλεχθούν όλοι οι πελάτες για να δεχθούν επίσκεψη κάθε ημέρα. Αυτό αντιμετωπίζεται στο μοντέλο χρησιμοποιώντας μια πλαστή διαδρομή, η οποία περιλαμβάνει όλους τους πελάτες που δε θα δεχθούν κάποια διανομή. Το μοντέλο τους κατέχει μια ιδιοκτησία ειδικού διαχωρισμού στην οποία για κάθε ανάθεση πελατών στις διαδρομές το πρόβλημα αποσυντίθεται σε ένα πρόβλημα διάθεσης αποθεμάτων, το οποίο καθορίζει το κόστος αποθέματος και έλλειψης στο στόχο και επιλύει ένα πρόβλημα πλανόδιου πωλητή για κάθε όχημα, ώστε να παραχθούν τα κόστη μεταφοράς. Αυτή η ιδιοκτησία είναι το κλειδί για την υπολογιστική προσέγγιση. Η ιδέα είναι να ξεκινήσουμε μια εφικτή λύση και να κάνουμε εναλλαγές με το ημερήσιο πρόγραμμα, ώστε να μειωθεί ο τρέχων στόχος, όπως σε πολλές μεθόδους επίλυσης του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων (VRP). Το πλεονέκτημα εδώ είναι ότι αλλάζοντας έναν πελάτη από τη μία διαδρομή στην άλλη δεν επιφέρει διαφορά μόνο στο κόστος μεταφοράς όπως στο VRP, αλλά επίσης στο κόστος αποθέματος και έλλειψης. Η αλλαγή, όμως, ορίζει μια νέα ανάθεση πελάτη/διαδρομής, η οποία με τη σειρά της ορίζει ένα πρόβλημα ανάθεσης αποθεμάτων μέσω της ιδιοκτησίας διαχωρισμού. Επιλύοντας αυτό το υποπρόβλημα θα βρούμε τα νέα κόστη αποθεματοποίησης και έλλειψης, επιτρέποντας ό,τι <<γλιτώσαμε>> από την αλλαγή να υπολογιστεί. Όπως και στο πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων αυτή η διαδικασία μπορεί να επαναλαμβάνεται μέχρι το υπολογιζόμενο νούμερο να γίνει λιγότερο από ένα κατώτερο όριο. Μια αρχική εφικτή λύση μπορεί να ληφθεί επιλύοντας ένα πιο απλό πρόβλημα ανάθεσης αποθεμάτων για να καθορίσουμε ποιοι πελάτες θα παραλάβουν παραδόσεις και ποιο το μέγεθος αυτών των παραδόσεων. Τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα για ένα πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων, του οποίου η λύση θα είναι ο αρχικός πελάτης και η ανάθεση διαδρομής. Αυτή η δουλειά βασίζεται σε υπάρχουσες επιτυχημένες ιδέες για το VRP και μέχρι τώρα δίνει έμφαση στο να επιλύσει και την ανάθεση αποθεμάτων και μέρη των διαδρομών αυτού του προβλήματος συγχρόνως. [15]

Οι Golden, Assad και Dahl προσπάθησαν να ελαχιστοποιήσουν τα κόστη, ενώ διατηρούσαν ένα επαρκές απόθεμα σε όλους τους πελάτες. Το σχέδιό τους λαμβάνει υπόψη το επίπεδο της αποθήκης του πελάτη και την απόσταση από άλλους πελάτες που ήταν ήδη προγραμματισμένοι να δεχθούν παράδοση, αλλά και την απόσταση από την κεντρική αποθήκη. Η ευρετική μέθοδος περιλαμβάνει τον υπολογισμό μιας τιμής για να εκφρασθεί η επείγουσα ανάγκη κάθε πελάτη, η οποία εδώ ουσιαστικά είναι το ποσό που απομένει στην αποθήκη. Για να κάνουμε το πρόβλημα πιο μικρό, όλοι οι πελάτες που βρίσκονται πάνω από ένα συγκεκριμένο κατώτατο όριο αποκλείονται. Ένα προτεινόμενο κατώτατο όριο είναι το 30% και μπορεί να θεωρηθεί παρόμοιο με ένα ασφαλές απόθεμα για τους πελάτες. Οι πελάτες επιλέγονται για να δεχθούν παράδοση ένας κάθε φορά και σύμφωνα με την υψηλότερη αναλογία επείγουσας ανάγκης προς τον επιπλέον χρόνο που απαιτείται για να επισκεπτούμε αυτόν τον πελάτη. Η ιδέα είναι ότι μπορούμε να σχηματίσουμε μια μεγάλη διαδρομή προβλήματος πλανόδιου πωλητή, ώστε η αύξηση του χρόνου για να διανύσουμε τη νέα TSP διαδρομή να είναι μια εκτιμηση της αύξησης του χρόνου, εάν προσθέσουμε έναν πελάτη. Αρχικά, ένα χρονικό όριο για τον χρόνο ταξιδιού για ολόκληρο το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή μπορεί να ορισθεί ως ίσος με τον αριθμό των οχημάτων πολλαπλασιασμένος με το μήκος της ημέρας (και το ονομάζουμε TMAX). Οι πελάτες μπορούν να προστίθενται μέχρι να φθάσουμε αυτό το όριο ή να μην υπάρχουν άλλοι πελάτες κάτω από το κατώτατο όριο. Αν η τελική λύση του TSP δε μπορεί να μετατραπεί σε ένα σύνολο εφικτών διαδρομών, όταν επιβάλουμε έναν κανόνα, ώστε όλοι οι πελάτες να γεμίζουν την αποθήκη τους, όταν δέχονται παράδοση, τότε μπορούμε να <<ξανατρέξουμε>> τον αλγόριθμο με μικρότερη τιμή για το TMAX. Αυτή η ευρετική μέθοδος είναι μάλλον απλή ιδέα και παράγει έναν γρήγορο τρόπο για να επιλυθεί το πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων. Αν και έχει εμφανείς αδυναμίες, είναι μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση, επειδή δίνει έμφαση στις πιο σημαντικές πτυχές του προβλήματος. [18]

Οι Chien, Balakrishnan και Wong (1989), επίσης, ανέπτυξαν μια προσέγγιση <<μιας περιόδου>>, αλλά η δική τους είναι ξεκάθαρα διαφορετική από την προηγούμενη, επειδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί, ώστε να δημιουργήσουμε ένα πρόγραμμα πολλαπλών περιόδων, το οποίο δε μεταχειρίζεται την κάθε ημέρα ως μία εντελώς διαφορετική οντότητα. Δίνοντας πληροφορίες

από τη μία περίοδο στην επόμενη, το σύστημα μπορεί να προσομοιώσει ένα μοντέλο προγραμματισμού πολλαπλών ημερών χωρίς να προστέθουν επιλέον μεταβλητές ή να απαιτούνται περισσότερες αποφάσεις. Το ενιαίας περιόδου (single period) μοντέλο τους χειρίζεται, επίσης, αποθεματοποίηση και δρομολόγηση συγχρόνως, αλλά με έναν στόχο, τη μεγιστοποίηση του κέρδους. Η μέγιστη ζήτηση ανά πελάτη ανά ημέρα είναι αιτιοκρατική και κάθε πελάτης έχει και ένα συγκεκριμένο εισόδημα ανά μονάδα προϊόντος που παραδίδεται, αλλά και κόστος ποινής ανά μονάδα ανικανοποίητης ζήτησης (π.χ. χώρος στην αποθήκη ή χώρος που απομένει στην αποθήκη μετά την παράδοση). Ένα μικτό ακέραιο πρόγραμμα δημιουργείται, το οποίο χειρίζεται τη διάθεση του περιορισμένου αποθέματος, που είναι διαθέσιμο στην αποθήκη των πελατών, την ανάθεση πελάτη/οχήματος και τη δρομολόγηση συγχρόνως. Για την επίλυσή του χρησιμοποιείται η μέθοδος της χαλάρωσης Langrange, κατά την οποία περιορισμοί, όπως στη διαθεσιμότητα αποθεμάτων στην αποθήκη και στον αριθμό των φορών που επιτρέπεται να επισκεπτούμε έναν πελάτη με το ίδιο όχημα χρησιμοποιούνται στην δυϊκή τους μορφή. Αυτό επιτρέπει στο πρόβλημα να αποσυντεθεί σε ένα υποπρόβλημα διάθεσης αποθεμάτων και πρόβλημα ανάθεσης πελατών, και μπορεί να εφαρμοσθεί μια μέθοδος αναζήτησης υπο-κλίσης. Το κλειδί είναι ότι άπαξ και βρεθεί η λύση σε μία περίοδο, τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται για να τροποποιήσουμε τα κόστη εισοδήματος για την επόμενη περίοδο. Το συνολικό ποσό ανικανοποίητης ζήτησης σε μια περίοδο για έναν πελάτη αντικατοπτρίζεται σε ένα αυξημένο μοναδιαίο εισόδημα για αυτό το ποσό ζήτησης στην επόμενη περίοδο. Κατά συνέπεια, κάποιες πληροφορίες για τι αποφάσεις δρομολόγησης γίνονται σε μια περίοδο περνούν στην επόμενη περίοδο. [10]

Οι Fisher και λοιποί (1982) και οι Bell και λοιποί (1983) μελέτησαν το πρόβλημα στην <<Air Products>>, έναν βιομηχανικό παραγωγό αερίων. Η αρχική εφαρμογή στην εταιρεία αυτή των ιδεών που αναφέρθηκαν στη μελέτη τιμήθηκε με το πρώτο βραβείο στον CPMS διαγωνισμό το 1983. Ο στόχος που εξετάσθηκε ήταν η μεγιστοποίηση του κέρδους από τη διανομή των προϊόντων για ένα σύντομο ορίζοντα προγραμματισμού και το ποσό του αποθέματος που ήταν διαθέσιμο στην αποθήκη δεν ήταν πλέον περιορισμός. Αντί να θεωρήσει τη ζήτηση ως μια τυχαία μεταβλητή ή εντελώς αιτιοκρατική, η ζήτηση δίνεται από χαμηλότερα και υψηλότερα

όρια στην ποσότητα που παραδίδεται σε κάθε πελάτη για κάθε περίοδο στον ορίζοντα προγραμματισμού. Ένα πρόβλημα αποθεματοποίησης διατυπώνεται, που περικλύει την ανάθεση των πελατών στις διαδρομές, τον όγκο των διανομών και την ανάθεση των διαδρομών στα οχήματα με ώρες εκκίνησης. Με περίοδο προγραμματισμού τρεις με πέντε ημέρες, αυτό το πρόβλημα αποθεματοποίησης είναι λίγο μεγάλο και δύσκολο να επιλυθεί. Όπως υποδείχθηκε παραπάνω επιλύεται με χαλάρωση Langrange, χρησιμοποιώντας δυϊκούς περιορισμούς που κάνουν το πρόβλημα διαχωρίσιμο. Αυτή η έρευνα είναι σημαντική, γιατί εστιάζει σε πραγματική εφαρμογή με μεγάλο αριθμό πελατών και έμφαση στην επίλυση σε πραγματικό χρόνο. [16] [7]

Σε παρεμφερείς έρευνες των Dror, Ball και Golden (1985) και των Dror και Ball (1987), μια νέα ιδέα προτείνεται να ληφθεί υπόψη, τι γίνεται, όταν οι τρεις με πέντε ημέρες περάσουν, αυτό που ονόμασαν μείωση ενός ετήσιου προβλήματος σε ένα εβδομαδιαίο πρόβλημα. Ένα πρόγραμμα δημιουργείται και πάλι για μια σύντομη περίοδο προγραμματισμού και όπως σε πολλά προβλήματα δρομολόγησης αποθεμάτων οι πελάτες υποτίθεται ότι απαιτούν το πολύ μία παράδοση κατά την περίοδο προγραμματισμού  $m$ -ημερών. Χρησιμοποιώντας την πιθανότητα ενός πελάτη να του τελειώνουν τα αποθέματα κάθε ημέρα, το μέσος κόστος παράδοσης για έναν πελάτη και το αναμενόμενο κόστος λόγω έλλειψης αποθεμάτων μια βέλτιστη ημέρα ανεφοδιασμού  $t^*$  μπορεί να προσδιορισθεί για κάθε πελάτη που ελαχιστοποιεί το αναμενόμενο κόστος. Αν το  $t^*$  είναι λιγότερο του  $m$  (ημέρες), τότε ο πελάτης σίγουρα θα ανεφοδιασθεί κατά τη διάρκεια των  $m$  επόμενων ημερών και υπολογίζεται μία τιμή  $C_t$  για κάθε μία από τις  $m$  ημέρες στον ορίζοντα, η οποία αντικατοπτρίζει την αναμενόμενη αύξηση στο κόστος στο μέλλον (τις επόμενες  $n$  ημέρες), εάν η παράδοση γίνει σε εκείνη την ημέρα, αντί στην  $t^*$ . Παρομοίως, εάν το  $t^*$  είναι μεγαλύτερο του  $m$ , ένα μελλοντικό πλεονέκτημα  $g_t$  μπορεί να υπολογισθεί, επειδή έγινε η διανομή στον πελάτη νωρίτερα σε μία από τις  $m$  ημέρες της περιόδου προγραμματισμού. Έπειτα επιλύεται ένα πρόβλημα αποθεματοποίησης, το οποίο αναθέτει τους πελάτες σε ένα όχημα και ημέρα ή μόνο ημέρα, ώστε να ελαχιστοποιείται το άθροισμα από αυτά τα κόστη συν τα κόστη μεταφοράς. Αυτό αφήνει τα προβλήματα πλανόδιου πωλητή ή δρομολόγησης οχημάτων να επιλυθούν στο δεύτερο στάδιο. Η δουλειά τους είναι πολύ ενδιαφέρουσα, γιατί προσπαθεί να χειρισθεί τη στοχαστική φύση της ζήτησης μέσω των

τιμών από αυτά τα κόστη και προσπαθεί να απεικονίσει τα πιο μακροπρόθεσμα κόστη σε ένα βραχυπρόθεσμο πρόβλημα. Μερικές από αυτές τις ιδέες επεκτάθηκαν και βελτιώθηκαν. Οι Dror και Levy χρησιμοποίησαν μια παρόμοια ανάλυση για να παράγουν ένα εβδομαδιαίο πρόγραμμα, αλλά μετά εφαρμόζουν κανόνες ανταλλαγής κόμβων και τόξων, ώστε να μειώσουν τα κόστη στην περίοδο προγραμματισμού. [13] [14]

Μια πρόσφατη επέκταση αυτής της ιδέας, από τους Jaillet και λοιπούς (1997) και τους Bard και λοιπούς (1998 $\alpha$ , 1998 $\beta$ ), του συνδυασμού βραχυπρόθεσμου και μακροπρόθεσμου είναι να σκεφτούμε τι γίνεται μετά την περίοδο βραχυπρόθεσμου προγραμματισμού. Προτείνουν μια προσέγγιση κινούμενου ορίζοντα για το πρόβλημα, καθορίζοντας ένα πρόγραμμα για δύο εβδομάδες, αλλά εφαρμόζοντάς το μόνο την πρώτη εβδομάδα. Το σενάριο περιέχει μια κεντρική αποθήκη και πελάτες που χρειάζονται ανεφοδιασμό για να αποτρέψουν την έλλειψη αποθέματος, αλλά και την ιδέα δορυφορικών εγκαταστάσεων. Οι δορυφορικές εγκαταστάσεις είναι τοποθεσίες διαφορετικές από την αποθήκη, όπου τα οχήματα μπορούν να ανεφοδιάζονται. Μια ανάλυση παρόμοια με των Dror και Bell έγινε για να καθορίσει μια βέλτιστη μέρα ανεφοδιασμού για κάθε πελάτη, η οποία μεταφράζεται σε στρατηγική για το πόσο συχνά αυτός ο πελάτης θα πρέπει να δέχεται παράδοση. Μια ειδοποιός διαφορά είναι ότι μόνο οι πελάτες που έχουν μία βέλτιστη ημέρα ανεφοδιασμού στις δύο επόμενες εβδομάδες χρησιμοποιούνται από τότε και στο εξής για να καθορισθεί το πρόγραμμα. Τα επαυξητικά κόστη υπολογίζονται, δηλαδή το κόστος αλλαγής της επόμενης επίσκεψης σε έναν πελάτη σε άλλη ημέρα, αλλά διατηρώντας το βέλτιστο πρόγραμμα στο μέλλον. Αυτά τα κόστη χρησιμοποιούνται στη μοντελοποίηση του προβλήματος ανάθεσης, κατά το οποίο αναθέτει κάθε πελάτη σε κάποια ημέρας στον ορίζοντα προγραμματισμού των δύο εβδομάδων. Αυτό παράγει ένα πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων για κάθε ημέρα, αλλά μόνο η πρώτη εβδομάδα δρομολογείται στην πραγματικότητα. Στην αρχή της δεύτερης εβδομάδας, το πρόβλημα θα ξαναεπιλυθεί για τις επόμενες δύο εβδομάδες. Εξετάζοντας δύο βδομάδες κάθε φορά, ο αριθμός των ημερών είναι αρκετά μεγάλος, αλλά αυτό αντισταθμίζεται από το πότε μπορούμε ενδεχομένως να αποκλείσουμε πολλούς από τους πελάτες που συμπεριλάβαμε. [20]

Μια εκδοχή του προβλήματος δρομολόγησης αποθεμάτων είναι το στρατηγικό πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων (SIRP), το οποίο ερευνήθηκε από τους Larson και Webb (1995) και είχε σχέση με τη νωρίτερη δουλειά του Larson για επαναληπτικές διαδρομές για ωκεανόπλοιων το 1998. Για τις περισσότερες εταιρείες τα οχήματα πρέπει να αγορασθούν ή να ενοικιασθούν για μήνες ή χρόνια πριν την πραγματική εκκίνηση διανομών στους πελάτες. Το στρατηγικό πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων βασίζεται στον προσδιορισμό του ελάχιστου μεγέθους του στόλου οχημάτων για την εξυπηρέτηση των πελατών από μία αποθήκη. Το κλειδί είναι ότι αυτός ο προσδιορισμός βασίζεται σε γνωστές παρούσες πληροφορίες για τα ποσοστά ζήτησης των πελατών και αυτές οι πληροφορίες δε θα ανανεωθούν και δεν είναι γνωστά τα τρέχοντα επίπεδα αποθεμάτων. Γι' αυτό το λόγο, αυτό το ελάχιστο μέγεθος του στόλου θα πρέπει να μπορεί να χειρισθεί ένα λογικό ποσοστό διαφοροποίησης αυτών των ποσοστών ζήτησης στο μέλλον. Αυτή η εκτίμηση του μεγέθους του στόλου καθορίζεται χωρίζοντας αρχικά τους πελάτες σε ξεχωριστές ομάδες, κάθε μία με μια ακολουθία διαδρομών. Αυτή η ακολουθία διαδρομών είναι μόνιμο σύνολο επαναλαμβανόμενων διαδρομών, που επιτρέπουν στον πελάτη να υπάρχει σε περισσότερες από μία διαδρομές στην ακολουθία. Αυτές οι ακολουθίες δημιουργούνται χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση που ελαχιστοποιεί τη χρήση (χρόνο) των οχημάτων, που αποτελεσματικά ελαχιστοποιεί τον αριθμό των οχημάτων. [24]

Οι Anily και Federgruen (1990,1991), σε αντίθεση, ερευνούν να ελαχιστοποιήσουν τα μακροπρόθεσμα (άπειρου ορίζοντα) μέσα κόστη μεταφοράς και αποθεματοποίησης, καθορίζοντας μακροπρόθεσμους κανόνες και σχέδια δρομολόγησης. Αναγνωρίζουν το πόσο περίπλοκο γίνεται αυτό το πρόβλημα, ακόμη και όταν η ζήτηση γίνεται αιτιοκρατική και κοιτάμε ευρετικές προσεγγίσεις. Ένα σημείο κλειδί παρ' όλ' αυτά είναι ο καθορισμός ενός κατώτερου ορίου για το μακροπρόθεσμο μέσο κόστος για να συγκρίνουν με τη λύση τους και να κρίνουν πόσο καλά προχωρούν. Η υιοθετούμενη ευρετική μέθοδος βασίζεται στη χρήση ενός τροποποιημένου κυκλικού σχεδίου διαχωρισμού. Αφού διαχωρισθούν οι πελάτες, οι πελάτες μέσα σε ένα τμήμα μπορεί να διαιρεθούν σε περιοχές, όπως για να γίνει η ζήτηση μιας περιοχής κατά προσέγγιση ένα φορτίο οχήματος. Ένας πελάτης, πιθανώς, να εμφανισθεί σε περισσότερες από μία περιοχές, αλλά αυτό σημαίνει ότι ένα ποσοστό της ζήτησής του ανατίθεται σε κάθε

περιοχή. Όταν ένας πελάτης σε κάποια περιοχή δεχθεί επίσκεψη, δέχονται όλοι επίσκεψη, κάνοντας τις διαδρομές και τις περιοχές εναλλασσόμενες. Αυτό κάνει το σύστημα εύκολα εφαρμόσιμο με το που καθορισθούν οι περιοχές. [3] [4]

Χρησιμοποιώντας ιδέες παρόμοιες με αυτές των Anily και Federgruen, οι Gallego και Simchi-Levi (1990) αξιολογούν τη μακροπρόθεσμη αποτελεσματικότητα της άμεσης αποστολής (ξεχωριστά φορτία για κάθε πελάτη). Τα συμπεράσματά τους είναι ότι η άμεση αποστολή είναι τουλάχιστον 94% πιο αποτελεσματική από όλες τις στρατηγικές δρομολόγησης αποθεμάτων, οπότε το ελάχιστο οικονομικό μέγεθος παρτίδας είναι τουλάχιστον 71% της ποσότητας του φορτηγού. Αυτό βασικά επιβεβαιώνει ότι η άμεση δρομολόγηση γίνεται μια πολύ κακή πολιτική, όταν πολλοί πελάτες απαιτούν σημαντικά λιγότερο προϊόν από ένα φορτίο φορτηγού και καθιστούν πιο πολύπλοκες πολιτικές δρομολόγησης καταλληλότερη επιλογή. [17]

Μια ακόμη προσαρμογή αυτών των ιδεών έγινε από τους Bramel και Simchi-Levi το 1995. Σε αυτή τη μελέτη προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων μετατρέπονται σε προβλήματα χωροθέτησης εγκαταστάσεων, έπειτα επιλύονται και μετατρέπονται πάλι σε λύση του προβλήματος δρομολόγησης. Για την περίπτωση του προβλήματος δρομολόγησης αποθεμάτων με αιτιοκρατική ζήτηση και λιανοπωλητές που μπορούν να διατηρήσουν απεριόριστο ποσό αποθέματος, επεκτείνουν αυτό το σχέδιο μετατροπής. Η ιδέα είναι ότι η λύση στο πρόβλημα χωροθέτησης εγκαταστάσεων θα διαχωρίσει τους πελάτες σε ξεχωριστά σύνολα, τα οποία στο πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων μπορούν να γίνουν με σταθερή διαμέριση του χώρου λύσεων. Αυτή η διαμέριση μετά λειτουργούν, όπως οι περιοχές των Anily και Federgruen που περιγράφηκαν νωρίτερα. [8]

Ο Minkoff (1993) μοντελοποίησε το στοχαστικό πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων σαν μια διαδικασία Markov. Επικεντρώθηκε στην περίπτωση απεριόριστων οχημάτων. Για να ξεπεράσει τις υπολογιστικές δυσκολίες, πρότεινε μια ευρετική μέθοδο αποσύνθεσης. Η μέθοδος επιλύει ένα γραμμικό πρόγραμμα για να αναθέσει κοινά μεταφορικά κόστη σε μεμονωμένους

πελάτες και μετά επιλύει υποπροβλήματα για κάθε πελάτη μεμονωμένα. Η τιμή συναρτήσεων των υποπροβλημάτων προστίθενται για να προσεγγίσουμε την τιμή συνάρτησης του συνδυαστικού προβλήματος. [22]

#### 2.3.2.6 Πρακτικά ζητήματα

Κατά την εφαρμογή των μεθόδων επίλυσης των προβλημάτων δρομολόγησης αποθεμάτων προκύπτει ένας σημαντικός αριθμός προβλημάτων στην πράξη.

Τα ποσοστά της ζήτησης θεωρούνται συνεχή στο πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων και οι πιθανότητες διανομών της ζήτησης ανάμεσα σε σημεία διαδοχικών αποφάσεων θεωρούνται γνωστά στο στοχαστικό πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων. Στην πράξη, τα ποσοστά ζήτησης ή η ποσότητα διανομής της ζήτησης τυπικά δεν είναι γνωστά, αλλά πρέπει να εκτιμηθούν από τις μετρήσεις των αποθεμάτων. Συχνά αυτά τα δεδομένα δε συλλέγονται σε κανονικά διαστήματα και έτσι μπορεί να μην είναι εύκολο να μετατραπούν σε ποσοστά ζήτησης ή πιθανότητα διανομών. Τα δεδομένα υπόκεινται, επίσης, σε άλλες πηγές λαθών, όπως λάθη μετρήσεων, τα οποία προκαλούν πολλά στατιστικά προβλήματα. Αυτά τα προβλήματα, κατά τις εκτιμήσεις, πρέπει να λυθούν, πριν ένα πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων ή ένα στοχαστικό πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων λυθεί στην πράξη. Επιπλέον τα μοντέλα αγνοούν τα ποικίλα χρονικά χαρακτηριστικά της ζήτησης, όπως εβδομαδιαίους εποχιακούς κύκλους και κάθε εξάρτηση της ζήτησης σε επιτυχημένες μέρες.

Πρόσφατα, τα εμπλεκόμενα κόστη στις μετρήσεις των αποθεμάτων έγιναν σημαντικά και αυτές οι μετρήσεις γίνονται το πολύ μία φορά την ημέρα. Κάποιος θα πρέπει να μπορεί να λάβει αρκετά ακριβείς εκτιμήσεις των επιπέδων των αποθεμάτων σε στιγμές ανάμεσα σε μετρήσεις βασιζόμενες στις πιο πρόσφατες μετρήσεις και προηγούμενα δεδομένα ποσοστών ζήτησης. Ένα σχετικό πρόβλημα, ίσως, είναι να καθορισθεί μια πολιτική βελτιστοποίησης για να γίνουν αυτές οι δαπανηρές μετρήσεις. Όμως, είναι αναμενόμενο ότι η τεχνολογία θα είναι σύντομα διαθέσιμη, ώστε να εντοπίζει συνεχώς τα αποθέματα των πελατών σε πολύ χαμηλό κόστος. Γι' αυτό στο στοχαστικό πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων τα αποθέματα θεωρούνται γνωστά στις χρονικές στιγμές που παίρνονται οι αποφάσεις και η μελλοντική ζήτηση των πελατών θεωρείται τυχαία.

Τα μοντέλα που παρουσιάστηκαν διαχειρίζονται μόνο μια πηγή, δηλαδή τα οχήματα για να εκτελέσουν τις διανομές. Στην πράξη, όμως, απαιτούνται και άλλες πηγές, όπως για παράδειγμα οδηγοί. Οι κανόνες εργασίας που εφαρμόζονται στους οδηγούς είναι διαφορετικοί από εκείνους για τα οχήματα. Για παράδειγμα, ένα όχημα μπορεί να δουλέψει περισσότερες ώρες σε μία ημέρα από ότι ένας οδηγός. Η ανάθεση των πελατών στις διαδρομές με τέτοιο τρόπο, ώστε αυτές οι διαδρομές να μπορούν να γίνουν από τους διαθέσιμους πελάτες και να γίνεται η καλύτερη δυνατή χρήση του χρόνου των οδηγών, είναι, επομένως, πιθανό να είναι τουλάχιστον τόσο σημαντικό όσο η χρησιμοποίηση των οχημάτων. Εάν ένας ικανοποιητικός αριθμός οχημάτων είναι διαθέσιμος, τότε οι περιορισμοί των οδηγών είναι οι μόνοι και ο στόχος θα έπρεπε να ήταν η ανάπτυξη βελτιστων περιηγήσεων του οδηγού.

Δεν είναι, όμως, μόνο η διαθεσιμότητα των οδηγών που περιορίζει το σύνολο των εφικτών διαδρομών. Συχνά, οι διανομές στους πελάτες μπορούν να γίνουν μόνο κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων χρονικών περιόδων της ημέρας.

Ένα άλλο πρακτικό πρόβλημα είναι ότι πολλές εταιρείες χειρίζονται έναν ετερογενή στόλο οχημάτων, αντί για ομογενή στόλο.

Επίσης, στα μοντέλα θεωρούμε τη διανομή ενός προϊόντος από μια συγκεκριμένη αποθήκη. Συχνά, όμως, μια εταιρεία διαχειρίζεται πολλές αποθήκες που παράγουν το ίδιο προϊόν και έτσι, η διανομή σε μερικούς πελάτες μπορεί να προκύψει από έναν αριθμό διαφορετικών εγκαταστάσεων. Ήσως είναι βέλτιστο να παραδώσουμε σε έναν πελάτη από διαφορετικές εγκαταστάσεις σε διαφορετικές ημέρες ανάλογα με το πόσο καλά μπορεί ένας πελάτης να συνδυασθεί σε μια διαδρομή ενός οχήματος με τους άλλους πελάτες που θα δεχθούν επίσκεψη τη συγκεκριμένη μέρα.

Συχνά, μια εταιρεία παράγει και διανέμει άλλα προϊόντα, χρησιμοποιώντας τον ίδιο στόλο οχημάτων για να μεταφέρουν τα διαφορετικά προϊόντα. Παραδείγματα είναι η μεταφορά διαφορετικών βαθμών πετρελαίου σε τμηματοποιημένα οχήματα και ο ανεφοδιασμός αναψυκτικών και σνακ σε μηχανήματα συτόματης πώλησης και σε εστιατόρια. Σε αυτό το περιβάλλον πολλαπλών προϊόντων, εκτός από την απόφαση για το ποιόν πελάτη να επισκεπτούμε επόμενο και πως να τους συνδυάσουμε σε διαδρομές οχημάτων, πρέπει να αποφασίσουμε και πόση ποσότητα από κάθε προϊόν πρέπει να διανείμουμε σε κάθε πελάτη.

Στα μοντέλα που αναφέρθηκαν έχουμε, επίσης, υποθέσει ότι υπάρχει πάντα μία επαρκής ποσότητα προϊόντος για διανομή και ζητήματα σχετικά με τη χωρητικότητα και τον προγραμματισμό της παραγωγής αγνοούνται. Παρ'όλ' αυτά είναι συχνά απαραίτητο να οργανώσουμε την παραγωγή, την αποθήκευση και τη μεταφορά συγχρόνως.

Ούτε και το κόστος διατήρησης αποθέματος (*holding cost*) έχει ερευνηθεί στα προηγούμενα μοντέλα. Στην πραγματικότητα, αυτό κάνει το πρόβλημα πιο γενικό, επειδή η επεξεργασία του κόστους διατήρησης αποθέματος εξαρτάται από τον ιδιοκτήτη και τον διαχειριστή του αποθέματος στην αποθήκη, αλλά και στις εγκαταστάσεις των πελατών. Για παράδειγμα, ο διανομέας πιθανώς να είναι η ίδια η εταιρεία που διαχειρίζεται και την

εγκατάσταση παραγωγής, αλλά και τις εγκαταστάσεις στο επόμενο επίπεδο του δικτύου διανομών, δηλαδή των πελατών, ή ο παραγωγός μπορεί να διανέμει το προϊόν, αλλά και να διαχειρίζεται τα αποθέματα σε ανεξάρτητους πελάτες (vendor managed resupply) ή ένας ανεξάρτητος τρίτος πάροχος υπηρεσιών εφοδιαστικής αλυσίδας μπορεί να διανέμει το προϊόν από τον παραγωγό στον πελάτη και να διαχειρίζεται και τα αποθέματα του πελάτη. Η αντιμετώπιση του κόστους διατήρησης αποθέματος είναι διαφορετική στις τρεις παραπάνω περιπτώσεις, αλλά σε όλες τις περιπτώσεις μπορεί να συνδυασθεί σχετικά εύκολα με τα άλλα κόστη.

Διαταραχές του συστήματος, όπως έλλειψη προϊόντος στην κεντρική αποθήκη, βλάβες των οχημάτων, διακοπές εργασιών και αποτυχίες κατά τη μέτρηση των αποθεμάτων δεν είναι ενσωματομένες. Για να αντιμετωπισθούν αυτά τα ζητήματα, πρέπει να αναπτυχθούν πολιτικές για να παρέχουν τις απαραίτητες ενέργειες, όταν συμβαίνουν τέτοιες καταστάσεις.

Οι χρόνοι ταξιδιού και τα κόστη θεωρούνται γνωστά. Ένα πιο ρεαλιστικό μοντέλο, πιθανώς, να ενσωματώνει τυχαίους χρόνους ταξιδιού και κόστη. Όμως, αν η μεταφορά δε γίνεται σε βαριά κορεσμένα δίκτυα, ένα μοντέλο που θεωρεί τους χρόνους ταξιδιού γνωστούς θα πρέπει να δώσει καλά αποτελέσματα. Εάν το δίκτυο μεταφορών είναι πολύ κορεσμένο, τότε ο χρόνος ταξιδιού συνήθως έχει μεγάλο αντίκτυπο στο χρόνο ταξιδιού εκτός από τις επιλεγμένες διαδρομές ακι πολλά άλλα ζητήματα σχετικά με το πρόγραμμα και τη δρομολόγηση πρέπει να διευθετηθούν. Αφού ο στόχος του στοχαστικού προβλήματος δρομολόγησης αποθεμάτων είναι η ελαχιστοποίηση του αναμενόμενου αθροίσματος του κόστους, μόνο τα αναμενόμενα κόστη ταξιδιού χρειάζεται να είναι γνωστά και όχι οι διανομές τους.

Πολλά από τα πρακτικά ζητήματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως, μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν στα μοντέλα που συζητήθηκαν και πολλές από τις προσεγγίσεις επίλυσης μπορούν να τροποποιηθούν, ώστε να αντιμετωπισθούν.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

## ΤΟ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ

### 3.1 Γενικά για το πρόβλημα

Ο αριθμός πιθανών προτύπων που έχουν ερευνηθεί για τα ενοποιημένα προβλήματα δρομολόγησης και αποθεματοποίησης είναι πολύ μεγάλος, αλλά πρακτικά μπορούν να ενοποιηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες προβλημάτων:

1. Προβλήματα απλής περιόδου (single period problems), όπου οι πελάτες έχουν στοχαστική ζήτηση. Το κύριο πρόβλημα εδώ είναι να εξισορροπηθεί το κόστος μεταφοράς, το κόστος αποθεματοποίησης και το κόστος έλλειψης κάποιου προϊόντος.
2. Προβλήματα πολλαπλών περιόδων (multi period problems), είτε με στοχαστική, είτε με διακριτή ζήτηση. Το γενικό πρόβλημα σε αυτή την περίπτωση είναι να ελαχιστοποιηθεί το κόστος κρατώντας ένα επαρκή αριθμό από αποθέματα σε κάθε πελάτη. Αυτού του είδους τα προβλήματα είναι συνήθως αυτά που ονομάζονται Προβλήματα Δρομολόγησης Αποθεμάτων (Inventory Routing Problems).
3. Προβλήματα με άπειρο χρονικό ορίζοντα και με συγκεκριμένες ποσότητες παραγγελίας από κάθε πελάτη. Το γενικό πρόβλημα σε αυτή την κατηγορία προβλημάτων είναι να καθορισθούν

πολιτικές για ανεφοδιασμό του κάθε πελάτη καθώς και οι κατάλληλες διαδρομές για τα οχήματα.

Το πρόβλημα που θα μας απασχολήσει αναφέρεται σε μια πεπερασμένη χρονική περίοδο Τ χρονικών μονάδων ( $t = 1, \dots, T$ ), υπάρχει ένα πλήθος από η πελάτες και μία κεντρική αποθήκη. Κάθε πελάτης  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) έχει μια σταθερή ζήτηση  $d_i$  μονάδων ανά χρονική περίοδο και μοναδιαίο κόστος διατήρησης αποθεμάτων  $h_i$ . Η ζήτηση των πελατών θα πρέπει να καλύπτεται από ένα σύνολο οχημάτων που ξεκινάνε και επιστρέφουν στην αποθήκη μόλις ολοκληρώσουν την παράδοση των προϊόντων. Ο κάθε πελάτης μπορεί να εξυπηρετηθεί το πολύ μία φορά κάθε χρονική στιγμή. Το κόστος μετάβασης μεταξύ δύο τοποθεσιών  $i$  και  $j$  είναι  $c_{ij}$ . Ο στόχος του προβλήματος είναι να καθορισθεί το δρομολόγιο με τέτοιο τρόπο, ώστε να ελαχιστοποιείται το κόστος αποθεματοποίησης και το κόστος δρομολόγησης.

Για να μειωθεί ο υπολογιστικός φόρτος του προβλήματος, πολλοί ερευνητές, που έχουν ασχοληθεί με το συγκεκριμένο, αλλά και παρεμφερή μοντέλα, έχουν προτείνει να ακολουθούνται πολιτικές αποθεματοποίησης με σταθερό διαχωρισμό (fixed partition-FP) για τον ανεφοδιασμό των πελατών. Υπό αυτή την πολιτική (FP), όποτε ένας πελάτης μιας συγκεκριμένης ομάδας (λόγω του διαχωρισμού) δεχτεί επίσκεψη από ένα όχημα, τότε αυτό το όχημα θα πρέπει να εξυπηρετήσει και όλους τους άλλους πελάτες της ίδιας ομάδας.

Οι Anily και Federgruen (1990) είχαν εξετάσει ένα σύστημα διανομής το οποίο αποτελούταν από πολλαπλούς πελάτες, οι οποίοι εξυπηρετούνταν από μία κεντρική αποθήκη. Ο κάθε πελάτης αντιπροσωπεύει έναν αιτιοκρατικό ρυθμό ζήτησης προϊόντος, ενώ αποθέματα διατηρούνται μόνο στις εγκαταστάσεις του πελάτη. Σκοπός τους ήταν να καθορίσουν στρατηγικές αποθεματοποίησης και σχέδια δρομολόγησης, ώστε να ελαχιστοποιήσουν το συνολικό μακροπρόθεσμο κόστος του συστήματος. Οι πτυχές της αποθεματοποίησης αντιμετωπίζονται υιοθετώντας στρατηγικές με σταθερό διαχωρισμό (FP). Πιο συγκεκριμένα, διευκρινίζεται ένα σύνολο περιοχών. Κάθε μία από αυτές τις περιοχές σχετίζεται με ένα σύνολο

πελατών. Αν ένας πελάτης ανατίθεται σε περισσότερες από μία περιοχές, τότε κάθε μία από τις περιοχές αναλαμβάνει την ευθύνη για ένα μέρος από τη συνολική ζήτηση του πελάτη. Με αυτόν τον τρόπο ένας πελάτης μπορεί να ανεφοδιαστεί πριν εξαντληθούν τα αποθέματά του, εις βάρος, βέβαια, ενός υψηλότερου αποθεματικού κόστους. Οι ίδιοι συγγραφείς (Anily και Federgruen 1993) υιοθετούν, επίσης, μια στρατηγική διαχωρισμού (FP), ώστε να ελαχιστοποιήσουν το συνολικό τρέχον κόστος ενός συστήματος διανομής, στο οποίο τα αποθέματα μπορούν να διατηρούνται και από τους πελάτες, αλλά και από την κεντρική αποθήκη. Επιπλέον, λαμβάνεται υπόψιν ένα σταθερό κόστος παραγγελιών.

Μια ακόμη πολιτική διαχωρισμού (FP policy) έχει υιοθετηθεί και από τους Bramel και Simichi-Levi (1995) για ένα παρόμοιο μοντέλο δρομολόγησης αποθεμάτων με μεταφορές, αποθέματα και σταθερά κόστη παραγγελιών. Για να διαχωρίσουν τους πελάτες σε ξεχωριστά σύνολα, μετατρέπουν το πρόβλημα σε πρόβλημα ικανότητας συμπύκνωσης περιοχών (Capacitated Concentrator Location Problem-CCLP). Τα διαμορφωμένα σύνολα των πελατών στη συνέχεια βελτιώνονται σε ό,τι αφορά τα κόστη δρομολόγησής τους.

Οι Archetti, Bertazzi, Laporte και Speranza (2007) εξέτασαν ένα σύστημα δρομολόγησης αποθεμάτων (IRP) σε ένα συγκεκριμένο χρονικό ορίζοντα, στον οποίο οι ανεφοδιασμοί υποδεικνύονται από μία πολιτική αιτιοκρατικών παραγγελιών. Για να επιλύσουν το συγκεκριμένο μοντέλο πρότειναν έναν αλγόριθμο <<διακλάδωσης και τομής>> (branch and cut). [6]

Άλλες προσεγγίσεις επίλυσης υιοθετούν πολύ συχνά πολιτικές <<της δύναμης του δύο>> (power of two-POT), δηλαδή σταθερής και ενσωματωμένης αποθεματοποίησης. Υπό μία τέτοια πολιτική οι ανεφοδιασμοί γίνονται κάθε  $T$  χρονικές μονάδες, όπου  $T$  είναι ένα πολλαπλάσιο της δύναμης του δύο, μιας βασικής περιόδου προγραμματισμού  $T_B$ . Μια σταθερή πολιτική χαρακτηρίζεται από σταθερά χρονικά διαστήματα μεταξύ των ανεφοδιασμών ενός συγκεκριμένου πελάτη, ενώ μια ενσωματωμένη πολιτική είναι εκείνη για την οποία, εάν ένα

διάστημα ανεφοδιασμού ενός πελάτη είναι μεγαλύτερο από αυτό ενός άλλου, τότε το πρώτο πρέπει να είναι πολλαπλάσιο του τελευταίου.

Οι Herer και Roundy (1997) μελέτησαν ένα σύστημα αντιμετωπίζοντας κόστη αποθεματοποίησης, παραγγελιών και δρομολόγησης. Έτσι, υιοθετούν την πολιτική <<της δύναμης του δύο>> (POT) για τον ανεφοδιασμό των πελατών. Σύμφωνα με αυτά που έκαναν, τα οχήματα θεωρούσαν ότι είχαν ανεξάντλητη χωρητικότητα. [19]

Οι Viswanathan και Mathur (1997) ερεύνησαν συστήματα πολλαπλών κλιμάκων (multi echelon) και πολλαπλών προϊόντων (multi product). Σε αυτά τα συστήματα, ο ρυθμός ζήτησης των πελατών είναι γνωστός, ενώ αποθέματα διατηρούνται μόνο στις εγκαταστάσεις των πελατών. Η προσέγγιση επίλυσης αποτελείται από ευρετική μεθοδολογία που χρησιμοποιεί πολιτικές της δύναμης του δύο (POT). [23]

Δύο μεθοδολογίες επίλυσης που συνδυάζουν πολιτικές <<διαχωρισμού>> (FP) και <<της δύναμης του δύο>> (POT) προέρχονται από τους Jung και Mathur (2007) και Zhao (2007). Αυτές οι προσεγγίσεις εξετάζουν ένα σύστημα διανομής, κατά το οποίο οι πελάτες έχουν συνεχή ρυθμό ζήτησης. Αποθέματα μπορούν να διατηρούνται και στην κεντρική αποθήκη και στις εγκαταστάσεις των πελατών. Επίσης, λαμβάνονται υπόψη σταθερά κόστη παραγγελιών.

Οι Zhao, Wang και Lai (2007) υιοθετούν τις πολιτικές <<διαχωρισμού>> (FP), ώστε να διαχωρίσουν τους πελάτες σε ξεχωριστά σύνολα. Κάθε ένα από αυτά τα σύνολα εξυπηρετούνται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο σύμφωνα με την πολιτική διαχωρισμού, ώστε να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος παραγγελιών και αποθεματοποίησης. Για να ληφθεί η τελική απόφαση, οι συγγραφείς εφαρμόζουν μια διαδικασία tabu search, ώστε να διαχωρίσουν τον πληθυσμό των πελατών βέλτιστα. [26]

Οι Jung και Mathur (2007) πρότειναν μια αποτελεσματική προσέγγιση επίλυσης ακολουθώντας μια πολιτική διαχωρισμού (FP), της δύναμης του δύο (POT) και σταθερής αποθεματοποίησης. Οι πελάτες διαχωρίζονται σε ξεχωριστές ομάδες, των οποίων τα διαστήματα ανεφοδιασμού πρέπει να είναι πολλαπλάσιο της δύναμης του δύο μιας βασικής περιόδου. Υιοθετώντας αυτή την πολιτική, οι συγγραφείς μπορούν εύκολα να εφαρμόσουν πολιτικές σταθερής αποθεματοποίησης για την επαναπαραγγελία των πελατών που ανήκουν στην ίδια ομάδα. Ακολουθώντας αυτές τις πολιτικές, όποτε ο πελάτης σε μια ομάδα ανεφοδιάζεται, όλοι οι πελάτες που έχουν μικρότερο διάστημα επαναπαραγγελίας και ανήκουν σε αυτή την ομάδα ανεφοδιάζονται ταυτόχρονα. Τα διαστήματα επαναπαραγγελίας για την αποθήκη και τους πελάτες προσδιορίζονται από μια ευρετική διαδικασία, που ελαχιστοποιεί τα μακροπρόθεσμα κόστη αποθεματοποίησης, παραγγελιών και δρομολόγησης του υπό μελέτη συστήματος διανομών. [21]

### 3.2 Το υπό μελέτη μοντέλο

Όπως αναφέρθηκε εν συντομίᾳ και στη προηγούμενη ενότητα, θα εξετάσουμε το μοντέλο δρομολόγησης αποθεμάτων (IRP), που αναφέρεται σε έναν πεπερασμένο χρονικό ορίζοντα  $T$  χρονικών μονάδων ( $t=1,2,3\dots T$ ). Αυτός ο ορίζοντας επαναλαμβάνεται περιοδικά στο άπειρο, με ένα κύκλο  $\zeta$  ίσο με το μέγεθος  $T$ . Αυτή η υπόθεση οδηγεί σε παραγωγή πρακτικών και αναγνωρίσιμων χρονοδιαγραμμάτων κάποιας βασικής περιόδου, όπως μια βδομάδα, ένας μήνας ή ένας χρόνος. Το μοντέλο προσδιορίζεται από ένα γράφημα  $G=(V,A)$ , όπου  $V=\{v_0, v_1, v_2, \dots, v_n\}$  είναι το σύνολο των κόμβων και  $A=\{(v_i,v_j): v_i, v_j \in V\}$  είναι το σύνολο των τόξων. Ο κόμβος  $v_0$  αντιπροσωπεύει την κεντρική αποθήκη, όπου διατηρούνται τα αποθέματα. Αυτή η αποθήκη χρησιμοποιείται σαν σταθμός για ένα στόλο  $K$  οχημάτων. Κάθε οχημα  $veh_i$  ( $i=1,\dots,K$ ) έχει χωρητικότητα ίση με  $Q$ . Οι κόμβοι διαμορφώνουν το σύνολο των πελατών. Κάθε πελάτης  $v_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) σχετίζεται με μια αιτιοκρατική ζήτηση προϊόντων  $d_i$  για

κάθε χρονική μονάδα και ένα κόστος αποθήκευσης ίσο με  $h_i$  (τόσο το  $d_i$  όσο και το  $h_i$  έχουν ακέραιες τιμές). Επίσης, το κόστος μετάβασης από μια περιοχή  $c_i$  σε μια άλλη  $c_j$  είναι  $c_{ij}$ . Όλοι οι πελάτες έχουν επαρκή ικανότητα, ώστε να αποθηκεύσουν τη ζήτησή τους για έναν ολοκληρωμένο κύκλο  $D_i$  ( $D_i = T \cdot d_i$ ). Σε κάθε χρονική μονάδα  $t$ , κάθε πελάτης μπορεί να επισκεφτεί μόνο μια φορά από οποιοδήποτε από τα  $K$  διαθέσιμα οχήματα, ώστε να λάβει κάποια ποσότητα προϊόντος. Η συνολική ποσότητα που θα διανεμηθεί σε κάποιο πελάτη κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου πρέπει να είναι ίση με τη συνολική ζήτηση  $D_i$ . Σκοπός του προβλήματος είναι να προσδιορίσουμε το σύνολο των διαδρομών για κάθε χρονική περίοδο, σε συνδυασμό με τις ποσότητες που θα διανεμηθούν στους πελάτες, ώστε να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος μεταφοράς και αποθεματοποίησης. [25]

Για να δημιουργήσουμε μια μαθηματική φόρμουλα εισάγουμε τις ακόλουθες σημειώσεις : έστω  $x_{ij+k}$  μια δυαδική μεταβλητή ίση με τη μονάδα, εάν και μόνο εάν ο κόμβος  $v_j$  δεχθεί επίσκεψη αμέσως μετά τον  $v_i$  ( $i \neq j$ ) σε μια χρονική περίοδο  $t$ , από ένα όχημα  $K$ . Η μεταβλητή  $q_{it}$  αντιπροσωπεύει την ποσότητα προϊόντος που διανέμεται στον πελάτη  $i$ , στο χρόνο  $t$ . Το επίπεδο αποθεμάτων ενός πελάτη, σε μια χρονική περίοδο  $t$  πριν από τον πιθανό ανεφοδιασμό είναι ίσο με  $s_{bt}$ . Η δυαδική μεταβλητή  $z_{it}$  είναι ίση με την μονάδα, εάν και μόνο εάν ο πελάτης  $v_i$  παραλάβει κάποια ποσότητα προϊόντος σε  $t$  ( $q_{it} > 0$ ). Η μεταβλητή  $e_{it}$  είναι ίση με τη μονάδα, εάν το επίπεδο αποθεμάτων πριν τον ανεφοδιασμό του  $v_i$  στον χρόνο  $t$  είναι μεγαλύτερη του μηδενός ( $s_{bt} > 0$ ) και μηδέν αλλιώς ( $s_{bt} = 0$ ). Τέλος, για τον υπολογισμό του άνω φράγματος των ποσοτήτων που διανέμονται κάνουμε χρήση του  $M = \max(D_i) + 1$ , ( $i = 1, \dots, n$ ). Η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος είναι η ακόλουθη :

$$\text{Min } (\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n (s_{bt} + q_{it} - \frac{d_i}{2}) \cdot h_i + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^n x_{ij+k} \cdot c_{ij}) \quad (3.1)$$

Υπό τους περιορισμούς :

$$\sum_{j=0}^n x_{ijk} - \sum_{p=0}^k x_{jpk} = 0$$

$$j=(0, \dots, n), k=(1, \dots, K), t=(1, \dots, T), \quad (3.2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jk} \leq 1$$

$$k=(1, \dots, K), t=(1, \dots, T), \quad (3.3)$$

$$q_{it} \leq M \cdot z_{it}$$

$$i=(1, \dots, n), t=(1, \dots, T), \quad (3.4)$$

$$q_{it} \leq z_{it}$$

$$i=(1, \dots, n), t=(1, \dots, T), \quad (3.5)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^n x_{ijk} - z_{it} = 0$$

$$i=(1, \dots, n), t=(1, \dots, T), \quad (3.6)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n x_{ijk} \cdot q_{it} \leq Q$$

$$k=(1, \dots, K), t=(1, \dots, T), \quad (3.7)$$

$$sb_{t(t+1)} = sb_{it} + q_{it} - d_i$$

$$i=(1, \dots, n), t=(1, \dots, T-1), \quad (3.8)$$

$$sb_{it} = sb_{iT} + q_{iT} - d_i \quad i=(1, \dots, n), \quad (3.9)$$

$$sb_{it} \leq M \cdot z_{it}$$

$$i=(1, \dots, n), t=(1, \dots, T), \quad (3.10)$$

$$sb_{it} \geq s_{it}$$

$$i=(1,\dots,n), t=(1,\dots,T), \quad (3.11)$$

$$\sum_{t=1}^T a_{it} \leq T \quad i=(1,\dots,n), \quad (3.12)$$

$$\sum_{v_j \in B} \sum_{v_k \in B} x_{ijvk} \leq |B| - 1$$

$$k=(1,\dots,K), t=(1,\dots,T), B \subseteq V \setminus \{v_0\}, |B| > 1, \quad (3.13)$$

$$x_{ijvk} \in \{0,1\}$$

$$i=(1,\dots,n), j=(0,\dots,n), k=(1,\dots,K), t=(1,\dots,T), \quad (3.14)$$

$$z_{it} \in \{0,1\}$$

$$i=(1,\dots,n), t=(1,\dots,T), \quad (3.15)$$

$$a_{it} \in \{0,1\}$$

$$i=(1,\dots,n), t=(1,\dots,T), \quad (3.16)$$

$$q_{it} \text{ ακέραιος}$$

$$i=(1,\dots,n), t=(1,\dots,T), \quad (3.17)$$

Η εξίσωση (3.1) είναι η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος ελαχιστοποίησης και αποτελείται από δύο μέρη. Το πρώτο αξιολογεί το συνολικό αποθεματικό κόστος, ενώ το δεύτερο αντιπροσωπεύει το συνολικό κόστος δρομολόγησης για μια περίοδο προγραμματισμού. Οι περιορισμοί (3.2) διασφαλίζουν ότι, όταν ένα όχημα επισκέπτεται μια τοποθεσία, σίγουρα θα αναχωρήσει από αυτή. Η μεμονωμένη χρήση των οχημάτων κάθε στιγμή εγγυάται από την (3.3). Οι σχέσεις (3.4) και (3.5) εγγυούνται ότι  $z_{it}=1$ , αν και μόνο αν  $q_{it}>0$ . Οι περιορισμοί (3.6) δηλώνουν ότι, όποτε ένας πελάτης δέχεται κάποια ποσότητα προϊόντος, αυτός ο πελάτης δέχεται μόνο μια φορά επίσκεψη από ένα μόνο όχημα, ενώ οι (3.7) είναι περιορισμοί χωρητικότητας των οχημάτων. Το επίπεδο αποθεμάτων ενός πελάτη τη χρονική στιγμή  $t+1$  εκφράζεται ως

συνάρτηση του επιπέδου αποθεμάτων και της ποσότητας ανεφοδιασμού την προηγούμενη χρονική στογμή t από τις σχέσεις (3.8) και (3.9). Οι περιορισμοί (3.10) και (3.11) διασφαλίζουν ότι  $e_{it}=1$ , αν και μόνο αν  $s_{bt}>0$ . Επιπρόσθετα, οι περιορισμοί (3.11) δεν επιτρέπουν έλλειψη αποθεμάτων για τους λιανοπωλητές. Οι σχέσεις (3.12) εγγυώνται ότι για κάθε πελάτη  $v_i$  υπάρχει τουλάχιστον μία χρονική μονάδα t, για την οποία  $s_{bt}=0$ . Αυτοί οι περιορισμοί ωθούν το ελάχιστο επίπεδο αποθεμάτων κάθε πελάτη στο μηδέν. Χρησιμοποιούνται για να ορίσουν μοναδικά το κόστος αποθεματοποίησης του πελάτη  $v_i$ , για μια σειρά δοθέντων ποσοτήτων ανεφοδιασμού  $q_{it}$  ( $t=1,2,\dots,T$ ). Οι περιορισμοί (3.13) είναι σταθεροί περιορισμοί αποκλεισμού υποδιαδρομών που εγγυούνται ότι η κεντρική αποθήκη παρουσιάζεται σε κάθε εκκινούμενη διαδρομή. Τέλος, οι περιορισμοί (3.14)-(3.17) καθορίζουν τον τύπο των μεταβλητών του προβλήματος. [25]

### 3.3 Επεξήγηση του αλγορίθμου

Το πρόβλημα δρομολόγησης είναι μη πολυωνυμικό δύσκολο (NP-hard) πρόβλημα βελτιστοποίησης, γι' αυτό η βέλτιστη επίλυσή του, ειδικά για κλίμακες που αντιστοιχούν στην πραγματικότητα, απαιτεί εξαιρετική υπολογιστική προσπάθεια. Επίσης, το υπό εξέταση πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων παρουσιάζει μια επιπρόσθετη απαίτηση: εκτός από την ελαχιστοποίηση του κόστους δρομολόγησης, σκοπεύει, επίσης, και στο να καθορίσει τους βέλτιστους χρόνους και μεγέθη των ανεφοδιασμών των πελατών. Γι' αυτό το λόγο, για να αντιμετωπισθεί κάποια μεσαίας και μεγάλης κλίμακας εφαρμογή του εξεταζόμενου μοντέλου, θα πρέπει να δοθεί έμφαση σε ευρετικές και μεθευρετικές προσεγγίσεις, οι οποίες μπορούν να παράγουν λύσεις υψηλής ποιότητας και μέσα σε λογικούς υπολογιστικούς χρόνους. [25]

Το προτεινόμενο αλγορίθμικό πλαίσιο, το οποίο αποτελεί μία προσέγγιση που έχει επιλυθεί στη βιβλιογραφία από τους Ζαχαριάδη Ε., Ταραντίλη Χ. και Κιρανούδη Χ. (2009) για τη

συγκεκριμένη μοντελοποίηση, ξεκινάει με την κατασκευή μιας ευρετικής μεθόδου, ώστε να παραχθεί η πρωταρχική λύση του προβλήματος. Στη συνέχεια, η πρωταρχική λύση βελτιώνεται με μια μεθοδολογία τοπικής αναζήτησης. Αυτή η μέθοδος βελτίωσης χρησιμοποιεί δύο καινοτόμους χειρισθές τοπικής αναζήτησης, οι οποίοι χειρίζονται αποτελεσματικά τη φύση του μοντέλου δρομολόγησης αποθεμάτων. Ξεκινώντας από την πρωταρχική λύση ο αλγόριθμος κινείται προς γειτονικές λύσεις, ώστε να ελαχιστοποιήσει το συνολικό κόστος του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται δύο χειρισθές τοπικών λύσεων, οι οποίοι λειτουργούν εναλλάξ και προσδιορίζουν τις φάσεις της διαδικασίας, κατά τις οποίες λειτουργεί ο ένας μόνο χειριστής σε κάθε φάση με στόχο τη μείωση των τρέχοντος κόστους. Τέλος, ο αλγόριθμος, επίσης, χρησιμοποιεί Tabu Search για περαιτέρω μείωση του κόστους δρομολόγησης των υποψηφίων λύσεων. [11]

Πιο συγκεκριμένα, δοθείσας μιας λύσης του προβλήματος δρομολόγησης αποθεμάτων με κάθε χρονική μονάδα  $t$  του χρονικού ορίζοντα ( $t=1,2,\dots,T$ ), να σχετίζεται με ένα σύνολο  $K$  διαδρομών, εξυπηρετώντας κάθε πελάτη  $v_i$  για τον οποίο  $q_{it}>0$ . Κάθε ένα από αυτά τα σύνολα διαδρομών μπορούν να θεωρηθούν ως ξεχωριστά προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων με γνωστούς πελάτες και ζήτηση προϊόντων. Γι'αυτό, για να βελτιωθεί μεμονωμένα η ποιότητα ενός τέτοιου συνόλου διαδρομών, πρέπει να επιλυθεί το αντίστοιχο πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων. Στον προτεινόμενο αλγορίθμικό πλαίσιο, αυτό γίνεται εφαρμόζοντας την μέθοδο της περιορισμένης αναζήτησης (Tabu Search), μια μεθοδολογία η οποία έχει αποδειχθεί πολύ αποτελεσματική, όταν αντιμετωπίζουμε εκδοχές προβλημάτων δρομολόγησης. [11]

Η μέθοδος Tabu Search επιτρέπει την βελτίωση της λύσης σε συνδυασμό με την ικανότητα της μνήμης να αποφύγει την ανακύκλωση. Με αυτή τη διαδικασία είναι εφικτό να υπερβούμε μια τοπικά βέλτιστη λύση. Γι'αυτό, θεωρώντας την τρέχουσα λύση  $s$ , η επόμενη λύση  $s'$  στη γειτονιά της  $s$  επιλέγεται χωρίς αναφορά στο κόστος της. Αν η  $s$  ήταν τοπικά βέλτιστη, είναι πιθανό η επόμενη κίνηση από το  $s'$  να ήταν πίσω στο  $s$ . Η λύση θα ανακύκλωνε ανάμεσα στις δύο λύσεις. Για να αποφύγουμε την ανακύκλωση, ο μετασχηματισμός που οδηγεί σε αυτή τη λύση απομνημονεύεται. Ο αντίστροφος μετασχηματισμός απαγορεύεται για ένα

συγκεκριμένο αριθμό επαναλήψεων. Αφού οι αντίστροφοι μετασχηματισμοί είναι απαγορεμένοι, η ανακύκλωση μέχρι ένα βαθμό αποφεύγεται. [25]

Η ολική μεθοδολογία τερματίζεται, όταν φτάσουμε ένα υπολογιστικό χρονικό όριο, επιστρέφοντας στη βέλτιστη λύση που αντιμετωπίσθηκε μέσω της διεξαχθείσας αναζήτησης. Η νιοθετημένη στρατηγική των παραπάνω φάσεων, κατά τη διάρκεια της οποίας μόνο ένας χειριστής τοπικής αναζήτησης εφαρμόζεται συνεχώς, παίζει σημαντικό ρόλο στη συμπεριφορά της μεθοδολογίας:

- Εξαιτίας του αιτιοκρατικού κριτηρίου της μετακίνησης σε γειτονικές λύσεις, φαινόμενα ανακύκλωσης μπορεί να συμβούν, τα οποία προκαλούνται από επαναλαμβανόμενη μετακίνηση και εισαγωγή ανεφοδιασμού. Χρησιμοποιώντας τη στρατηγική των φάσεων, αυτό το ρίσκο αποκλείεται και η μέθοδος διαφοροποιείται προς ανεξερεύνητες περιοχές του διαστήματος λύσεων.
- Η στρατηγική των φάσεων διευκολύνει την εισαγωγή/απομάκρυνση μεγάλων ομάδων πελατών από/προς τον ανεφοδιασμό κάποιας χρονικής μονάδας. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που κάποια απομακρυσμένη ομάδα πελατών δεχθεί επίσκεψη στην ίδια χρονική στιγμή, προκαλεί μεγάλη αύξηση στο κόστος δρομολόγησης του συστήματος. Απομακρύνοντας συνεχώς «πόντους» ανεφοδιασμού βοηθά τη μέθοδο να αποκλείσει τον ανεφοδιασμό ολόκληρης της ομάδας πελατών, ώστε το κόστος δρομολόγησης να μειωθεί σημαντικά, σε βάρος μιας σχετικά μικρότερης αύξησης του κόστους αποθεματοποίησης.
- Επεκτείνοντας το μήκος μιας φάσης, σύμφωνα με το πόσο αποτελεσματικός είναι ο χειριστής της τρέχουσας τοπικής αναζήτησης βοηθά τη μέθοδο να προσαρμοσθεί κατάλληλα στα χαρακτηριστικά του προβλήματος. Αν για παράδειγμα το κόστος δρομολόγησης είναι το κύριο κόστος ολόκληρου του συστήματος, ο χειρισθής απομάκρυνσης αποθέματος θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί πιο συχνά από αυτόν της εισαγωγής. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς οι φάσεις του χειρισθή απομάκρυνσης είναι πιο πιθανό να βελτιώσουν τη λύση και γι' αυτό είναι πιο πιθανό να επεκταθούν.

### 3.4 Υπολογιστικά αποτελέσματα

Σε αυτό το σημείο της εργασίας θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα που λάβαμε από τη χρήση αλγορίθμου πλησιέστερου γείτονα (nearest neighbour) για την επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης αποθεμάτων που αναπτύξαμε παραπάνω και χρησιμοποιώντας υποθετικά δεδομένα.

Η μέθοδος πλησιέστερου γείτονα, η οποία εφαρμόζεται για την επίλυση του προβλήματος πλανόδιου πωλητή (TSP), είναι μία διαδικασία κατά την οποία ο πωλητής ξεκινάει από κάποια πόλη, στη συνέχεια επισκέπτεται την πόλη που είναι πλησιέστερα σε αυτήν που ξεκίνησε και επαναλαμβάνει τη διαδικασία μέχρι να επισκεφτεί όλες τις πόλεις από μία φορά, και τότε επιστρέφει στην αρχική. Πιο συγκεκριμένα, η μεθοδολογία έχει τρία βασικά βήματα. Πρώτον, ορίζουμε έναν κόμβο ως αρχή της διαδρομής που θα ακολουθήσουμε. Δεύτερον, βρίσκουμε τον κόμβο που βρίσκεται πλησιέστερα στον αρχικό και τον προσθέτουμε στη διαδρομή. Τρίτον, επαναλαμβάνουμε το δεύτερο βήμα μέχρι να προστεθούν όλες οι πόλεις από μία φορά στη διαδρομή.

Το πρόβλημα που θεωρήσαμε προς επίλυση είναι το ακόλουθο. Έστω ότι μία εταιρεία επιθυμεί να λύσει το πρόβλημα δρομολόγησης των αποθεμάτων της για χρονικό ορίζοντα επτά ημερών. Η εταιρεία αυτή υποθέτουμε πως διαθέτει τρία οχήματα για διανομή των προϊόντων στους πελάτες της, καθένα από τα οποία έχει χωρητικότητα τριακοσίων μονάδων προϊόντος. Οι πελάτες της εταιρείας υπολογίζονται στους τριάντα και θεωρούμε γνωστό τον ρυθμό ζήτησης καθενός από αυτούς, δηλαδή το πόσο συχνά χρειάζονται ανεφοδιασμό προϊόντων, και το αντίστοιχο κόστος αποθεματοποίησης. Τέλος, γνωρίζουμε τις συντεταγμένες του κάθε πελάτη, ώστε να είναι εφικτός ο υπολογισμός των αποστάσεων και να επιλεχθούν οι βέλτιστες διαδρομές που θα πρέπει να διανύσει το κάθε όχημα της εταιρείας για να επισκεφτεί και να ανεφοδιάσει

τους πελάτες του με το λιγότερο δυνατό κόστος. Ακολουθεί ο πίνακας με τα δεδομένα του προς επίλυση προβλήματος:

| <b>Κόμβοι<br/>(πελάτες)</b> | <b>Συντεταγμένη<br/>x</b> | <b>Συντεταγμένη<br/>y</b> | <b>Ρυθμός<br/>ζήτησης</b> | <b>Κόστος<br/>αποθεματοποίησης</b> |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| 0                           | 300                       | 300                       | 0                         | 0                                  |
| 1                           | 279                       | 433                       | 37                        | 5                                  |
| 2                           | 525                       | 543                       | 18                        | 3                                  |
| 3                           | 482                       | 235                       | 20                        | 5                                  |
| 4                           | 179                       | 54                        | 49                        | 4                                  |
| 5                           | 331                       | 416                       | 24                        | 5                                  |
| 6                           | 562                       | 145                       | 4                         | 3                                  |
| 7                           | 448                       | 575                       | 36                        | 2                                  |
| 8                           | 583                       | 169                       | 13                        | 2                                  |
| 9                           | 252                       | 518                       | 6                         | 1                                  |
| 10                          | 616                       | 578                       | 24                        | 5                                  |
| 11                          | 375                       | 35                        | 14                        | 4                                  |
| 12                          | 506                       | 149                       | 27                        | 5                                  |
| 13                          | 54                        | 130                       | 44                        | 2                                  |
| 14                          | 295                       | 419                       | 10                        | 1                                  |
| 15                          | 390                       | 157                       | 16                        | 5                                  |
| 16                          | 34                        | 50                        | 33                        | 3                                  |
| 17                          | 51                        | 26                        | 26                        | 3                                  |
| 18                          | 671                       | 642                       | 44                        | 4                                  |
| 19                          | 80                        | 348                       | 20                        | 4                                  |
| 20                          | 647                       | 275                       | 39                        | 3                                  |
| 21                          | 194                       | 559                       | 10                        | 4                                  |
| 22                          | 242                       | 15                        | 46                        | 4                                  |
| 23                          | 377                       | 649                       | 25                        | 4                                  |
| 24                          | 353                       | 386                       | 47                        | 3                                  |
| 25                          | 273                       | 585                       | 30                        | 4                                  |
| 26                          | 480                       | 19                        | 48                        | 1                                  |
| 27                          | 210                       | 173                       | 7                         | 5                                  |
| 28                          | 143                       | 314                       | 14                        | 1                                  |
| 29                          | 305                       | 626                       | 32                        | 2                                  |
| 30                          | 611                       | 8                         | 5                         | 1                                  |

**Πίνακας 3.1:** Δεδομένα του προβλήματος προς επίλυση.

Για την επίλυση του παραπάνω προβλήματος αναπτύξαμε έναν αλγόριθμο πλησιέστερου γείτονα (nearest neighbour) σε matlab. Ο αλγόριθμος αυτός βρίσκει τη βέλτιστη διαδρομή για καθένα από τα τρία φορτηγά και υπολογίζει το συνολικό κόστος του προβλήματος, δηλαδή το κόστος μεταφοράς και αποθεματοποίησης και για τα τρία οχήματα. Η δομή του αλγορίθμου είναι η ακόλουθη:

*Bήμα 1<sup>o</sup>:* Διαβάζουμε τα δεδομένα.

*Bήμα 2<sup>o</sup>:* Διαχωρισμός των πελατών σε τρεις ομάδες, μία για κάθε φορτηγό.

*Bήμα 3<sup>o</sup>:* Έλεγχος της χωρητικότητας κάθε φορτηγού σύμφωνα με τους πελάτες που του ανατέθηκαν.

*Bήμα 4<sup>o</sup>:* Εύρεση της βέλτιστης διαδρομής, μέσω επίλυσης του προβλήματος πλανόδιου πωλητή (TSP) για το πρώτο όχημα.

*Bήμα 5<sup>o</sup>:* Εύρεση της βέλτιστης διαδρομής, μέσω επίλυσης του προβλήματος πλανόδιου πωλητή (TSP) για το δεύτερο όχημα.

*Bήμα 6<sup>o</sup>:* Εύρεση της βέλτιστης διαδρομής, μέσω επίλυσης του προβλήματος πλανόδιου πωλητή (TSP) για το τρίτο όχημα.

*Bήμα 7<sup>o</sup>:* Υπολογισμός του κόστους αποθεματοποίησης.

*Bήμα 8<sup>o</sup>:* Υπολογισμός του συνολικού κόστους.

Πιο αναλυτικά, ο αλγόριθμος έχει ως εξής. Αρχικά διαβάζει όλα τα δεδομένα από τα αρχεία excel τα οποία έχουμε στη διαθεσή μας και περιέχουν αριθμητικά δεδομένα για τον αριθμό των πελατών, τις συντεταγμένες των πελατών, τη ζήτηση του κάθε πελάτη και το κόστος αποθεματοποίησης για το εκάστοτε προς επίλυση πρόβλημα. Στη συνέχεια, θεωρώντας τον κάθε πελάτη ως έναν κόμβο στο δίκτυο διαδρομών των οχημάτων, υπολογίζουμε τις αποστάσεις όλων

των κόμβων χρησιμοποιώντας έναν επαναληπτικό βρόγχο και τον μαθηματικό τύπο της απόστασης και τις τοποθετούμε σε έναν πίνακα σε ένα φύλλο excel, ώστε να τις χρησιμοποιήσουμε στη συνέχεια.

Στη συνέχεια διαχωρίζουμε τους πελάτες σε τρεις ομάδες. Η κάθε μία από τις ομάδες αντιπροσωπεύει τους πελάτες που θα εξυπηρετήσει το κάθε ένα από τα φορτηγά. Για το διαχωρισμό χρησιμοποιούμε μία συνάρτηση της matlab, την «kmeans». Εισάγοντας την εντολή  $clusters=kmeans(apostasi,3)$ ; στη matlab διαχωρίζονται οι πελάτες σε τρεις ομάδες σύμφωνα με τον πίνακα απόστασης, όπου έχουμε καταχωρήσει τις αποστάσεις των κόμβων, ελαχιστοποιώντας τις αποστάσεις μεταξύ των πελατών της κάθε ομάδας. Το αποτέλεσμα του διαχωρισμού επιστρέφεται σε έναν πίνακα τρία επί ένα για μετέπειτα χρήση.

Επειδή, όπως αναφέραμε και παραπάνω, η κάθε μία από τις ομάδες αντιπροσωπεύει τους πελάτες που θα εξυπηρετήσει το κάθε ένα από τα φορτηγά, φροντίζουμε κατά το διαχωρισμό η συνολική ζήτηση κάθε ομάδας να μην υπερβαίνει το τριακόσια, δηλαδή τη χωρητικότητα του κάθε φορτηγού. Για να το εξασφαλίσουμε αυτό συντάσσουμε ελέγχους και επαναληπτικούς βρόγχους, οι οποίοι ελέγχουν αν τηρείται ο περιορισμός της χωρητικότητας των οχημάτων σε κάθε μία από τις τρεις ομάδες που είχαμε ως αποτέλεσμα του διαχωρισμού με την «kmeans». Εάν η ζήτηση ξεπερνάει τη χωρητικότητα σε κάποια από τις τρεις ομάδες, τότε στέλνουμε κάποιον πελάτη από την εκάστοτε ομάδα σε κάποια από τις άλλες δύο ομάδες. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να εξασφαλισθεί ο περιορισμός της χωρητικότητας των οχημάτων, δηλαδή η συνολική ζήτηση σε κάθε ομάδα να μη ξεπερνάει το τριακόσια στη συγκεκριμένη περίπτωση. Η τελική διαμόρφωση των ομάδων αποθηκεύεται στο excel, ώστε να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια.

Στη συνέχεια, έχοντας στη διαθεσή μας την ομαδοποίηση των πελατών, θα εφαρμόσουμε τρεις αλγορίθμους επίλυσης του προβλήματος πλανόδιου πωλητή, δηλαδή έναν για κάθε ομάδα και κατ'επέκταση έναν για κάθε ένα από τα τρία οχήματα. Επιλύοντας το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή τρεις φορές, θα πάρουμε ως αποτέλεσμα τη βέλτιστη διαδρομή που θα πρέπει

να ακολουθήσει το κάθε όχημα, ώστε να εξυπηρετήσει όλους τους πελάτες της ομάδας του με το ελάχιστο πιθανό κόστος.

Σε κάθε έναν από τους αλγορίθμους επίλυσης του προβλήματος πλανόδιου πωλητή ακολουθείται η εξής διαδικασία. Αρχικά, σε έναν πίνακα στο excel, έστω «λύση», με κ θέσεις τοποθετούμε τους αντίστοιχους δείκτες που θα μας υποδείξουν την τελική διαδρομή. Επίσης, σε έναν πίνακα, έστω «διαδρομή», με κ θέσεις τοποθετούμε το 1 για να μας δείχνει ότι έχουμε περάσει από εκεί. Τέλος, σε έναν πίνακα, έστω «πίνακας \_ελαχ\_αποστάσεων», θα τοποθετούμε τις ελάχιστες αποστάσεις της διαδρομής. Όλους τους πίνακες αρχικά τους μηδενίζουμε. Στη συνέχεια, εντοπίζουμε τη μέγιστη απόσταση από τον πίνακα ελάχιστων αποστάσεων, ώστε να τη χρησιμοποιήσουμε μετέπειτα ως μέτρο σύγκρισης για την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής. Ορίζουμε την ελάχιστη απόσταση ίση με τη μέγιστη που εντοπίσαμε προηγουμένως και μέσα σε επαναληπτικό βρόγχο ελέγχουμε, αν η επόμενη απόσταση που ελέγχουμε κάθε φορά είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη, και εάν δεν είναι, τότε αυτή γίνεται η νέα ελάχιστη απόσταση. Κάθε απόσταση που ελέγχεται καταχωρείται σε πίνακα κι έτσι στο τέλος όλων των ελέγχων των αποστάσεων των πελατών του πρώτου οχήματος θα έχουμε σχηματίσει τη βέλτιστη διαδρομή που θα πρέπει να ακολουθήσει, ώστε να καλύψει την ελάχιστη δυνατή απόσταση και κατ'επέκταση να έχουμε το ελάχιστο δυνατό κόστος. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται ομοίως και για το δεύτερο και για το τρίτο όχημα.

Έχοντας επιλύσει το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή και για τα τρία οχήματα, απομένει να υπολογίσουμε το συνολικό κόστος του προβλήματος δρομολόγησης αποθεμάτων. Για το σκοπό αυτό αρχικά βρίσκουμε το κόστος αποθεματοποίησης για όλους τους πελάτες, το οποίο είναι το γινόμενο της ζήτησης επί το κόστος αποθήκευσης επί τις ημέρες μέσα σε μια εβδομάδα που χρειάστηκαν μέχρι να δεχθεί ο καθε πελάτης επίσκεψη από το φορτηγό. Τέλος, βρίσκουμε το συνολικό κόστος του προβλήματος δρομολόγησης αποθεμάτων, το οποίο είναι το άθροισμα του κόστους για τη διαδρομή του πρώτου οχήματος επί επτά ημέρες, συν το κόστος για τη διαδρομή του δεύτερου οχήματος επί επτά ημέρες, συν το κόστος του τρίτου οχήματος επί επτά ημέρες, συν το κόστος αποθεματοποίησης. Το συνολικό κόστος το αποθηκεύουμε σε ένα φύλλο excel, ώστε να μπορεί να είναι προσβάσιμο ανά πάσα στιγμή.

Τα αποτελέσματα που παίρνουμε από τον αλγόριθμο πλησιέστερου γείτονα είναι τα ακόλουθα:

| ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΠΕΛΑΤΩΝ |         |         |
|---------------------|---------|---------|
| ΟΧΗΜΑ 1             | ΟΧΗΜΑ 2 | ΟΧΗΜΑ 3 |
| 1                   | 2       | 3       |
| 4                   | 7       | 5       |
| 13                  | 9       | 6       |
| 14                  | 10      | 8       |
| 16                  | 18      | 11      |
| 17                  | 21      | 12      |
| 19                  | 23      | 15      |
| 22                  | 25      | 20      |
| 27                  | 29      | 24      |
| 28                  |         | 26      |
|                     |         | 30      |

**Πίνακας 3.2:** Αποτελέσματα διαχωρισμού πελατών.

| <b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ<br/>ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ<br/>ΚΑΘΕ ΟΧΗΜΑΤΟΣ</b> | <b>ΟΧΗΜΑ 1</b> | <b>ΟΧΗΜΑ 2</b> | <b>ΟΧΗΜΑ 3</b> |
|--|----------------|----------------|----------------|
|  | 286            | 225            | 257            |

**Πίνακας 3.3:** Αποτελέσματα ελέγχου χωρητικότητας κάθε οχήματος.

| <b>ΒΕΛΤΙΣΤΕΣ ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ</b> |                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <b>ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 1</b> | <b>ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 2</b> | <b>ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 3</b> |
| 0                          | 0                          | 0                          |
| 13                         | 23                         | 11                         |
| 16                         | 21                         | 3                          |
| 22                         | 29                         | 15                         |
| 17                         | 25                         | 5                          |
| 27                         | 18                         | 8                          |
| 1                          | 2                          | 6                          |
| 14                         | 7                          | 12                         |
| 28                         | 9                          | 20                         |
| 4                          | 10                         | 30                         |
| 19                         | 0                          | 24                         |
| 0                          |                            | 26                         |
|                            |                            | 0                          |

**Πίνακας 3.4:** Αποτελέσματα βέλτιστων διαδρομών.

| ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ |       |
|---------------------|-------|
| ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ     | 20518 |

**Πίνακας 3.5:** Αποτελέσματα υπολογισμού κόστους.

Στους παραπάνω πίνακες βλέπουμε τα αποτελέσματα που πήραμε από τον αλγόριθμο πλησιέστερου γείτονα που «τρέξαμε» σε matlab, ώστε να προσεγγίσουμε κάποια λύση για το πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων που είχαμε προς επίλυση.

Πιο συγκεκριμένα, στον πίνακα 3.2 παρατηρούμε τον διαχωρισμό των πελατών σε τρεις ομάδες, μία για κάθε όχημα. Παρατηρούμε ότι κάθε ομάδα που προκύπτει έχει διαφορετικό αριθμό πελατών από τις άλλες. Αυτό συμβαίνει, γιατί αρχικά γίνεται μια ομαδοποίηση σύμφωνα με τις συντεταγμένες του κάθε πελάτη, ώστε γειτονικοί πελάτες να είναι στην ίδια ομάδα και να ελαχιστοποιείται το κόστος δρομολόγησης, αλλά ο τελικός διαχωρισμός προκύπτει μετά τον έλεγχο του περιορισμού της χωρητικότητας κάθε φορτηγού, η οποία δεν πρέπει να ξεπερνάει το τριακόσια, όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.3 ότι επιτυγχάνεται.

Στον πίνακα 3.4 βλέπουμε τις βέλτιστες διαδρομές που προκύπτουν μετά από την επίλυση του προβλήματος πλανόδιου πωλητή για κάθε ένα από τα οχήματα. Η πρώτη στήλη του πίνακα 3.3 δείχνει τη βέλτιστη διαδρομή που πρέπει να ακολουθήσει το πρώτο όχημα και τη σειρά που θα εξυπηρετηθούν οι πελάτες του, ώστε να έχει την ελάχιστη δυνατή διαδρομή και κατ'επέκταση το ελάχιστο κόστος δρομολόγησης χωρίς να μείνει κανένας πελάτης ανικανοποίητος. Αντίστοιχα, η δεύτερη και η τρίτη στήλη υποδεικνύουν τη βέλτιστη διαδρομή για το δεύτερο και τρίτο όχημα αντίστοιχα.

Στον πίνακα 3.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό για τα κόστη. Πιο συγκεκριμένα, βλέπουμε το συνολικό κόστος, το οποίο είναι συνδυασμός του συνολικού κόστους δρομολόγησης και του κόστους αποθεματοποίησης. Το συνολικό κόστος δρομολόγησης είναι το άθροισμα του κόστους δρομολόγησης για κάθε ένα από τα τρία οχήματα, τα οποία προέκυψαν από την επίλυση του προβλήματος πλανόδιου πωλητή και το κόστος αποθεματοποίησης υπολογίζεται μέσα στον αλγόριθμο.

Γενικά, παρατηρούμε ότι ο αλγόριθμος πλησιέστερου γείτονα, που δημιουργήσαμε για την επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης αποθεμάτων, αποδείχθηκε πολύ γρήγορος και αρκετά αποτελεσματικός, αφού λάβαμε μια αρκετά ικανοποιητική λύση.

# ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Με το πέρας αυτής της εργασίας, είμαστε σε θέση να συνειδητοποιήσουμε την αδιαμφισβήτητη αναγκαιότητα, αλλά και τα ωφέλη της σωστής και αποδοτικής διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Το γεγονός αυτό αποδεικνύεται και από την ύπαρξη ευρύτατης βιβλιογραφίας, αφού οι ερευνητές τις τελευταίες δεκαετίες ασχολούνται όλο και περισσότερο με τη διαχείρηση της εφοδιαστικής αλυσίδας, ψάχνοντας συνεχώς για καινοτόμες ιδέες και εφαρμογές και δυεισδύοντας συνεχώς σε πολλούς ανεξερεύνητους μέχρι τότε τομείς. Πιο συγκεκριμένα, ιδιαίτερα εμφανείς είναι οι προσπάθειες προσέγγισης βέλτιστων λύσεων του προβλήματος δρομολόγησης αποθεμάτων (IRP).

Κατά την ανάπτυξη αυτής της εργασίας, προσδιορίσαμε την έννοια και τη σημασία της εφοδιαστικής αλυσίδας γενικότερα και στη συνέχεια παρουσιάσαμε πολλές από τις καινοτόμες για την εποχή ιδέες και προσεγγίσεις ερευνητών, που προσπάθησαν να βρουν τη βέλτιστη μεθοδολογία για την επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης αποθεμάτων. Τέλος, αναπτύξαμε έναν αλγόριθμο πλησιέστερου γείτονα, προσπαθώντας να προσδιορίσουμε μια βέλτιστη κατά το δυνατό λύση για το πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων, γεγονός που είχε αρκετά ικανοποιητικό αποτέλεσμα, αφού ο αλγόριθμος αποδείχθηκε γρήγορος και αρκετά αποτελεσματικός.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Σερελέας Κων/νος (2004). Ανάπτυξη μεθευρετικού αλγορίθμου για την επίλυση του προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων με χρονικά διαστήματα και παραλαβές και διανομές. (διπλωματική εργασία)
- [2] Χλουβεράκης Αντώνιος. Αλγόριθμος επαναληπτικής επέκτασης τοπικής αναζήτησης για την επίλυση προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων. (διπλωματική εργασία)
- [3] Anily S. & Federgruen A. (1990). One warehouse multiple retailer systems with vehicle routing costs. *Management Science*.
- [4] Anily S. & Federgruen A. (1991). Rejoinder to 'one warehouse multiple retailer systems with vehicle routing costs'. *Management Science*.
- [5] Anily S. & Federgruen A. (1993). Two-echelon distribution systems with vehicle routing costs and central inventories. *Operations Research*.
- [6] Archetti C., Bertazzi L., Laporte G. & Speranza M.G. (2007). A Branch-and-cut algorithm for a vendor-managed inventory-routing problem. *Transportation Science*.
- [7] Bell W., Dalberto L., Fisher M., Greenfield A., Jaikumar R., Kedia P., Mack R. and Prutzman P. (1983). Improving the distribution of industrial gases with an on-line computerized routing and scheduling optimizer. *Interfaces*.
- [8] Bramel J. and Simchi-Levi D.(1995). A location based heuristic for general routing problems. *Operations Research*.

- [9] Campbell Ann, Clarke Lloyd, Kleywegt Anton, Savelsbergh Martin (1997). The Inventory Routing Problem
- [10] Chien T., Balakrishnan A. and Wong R. (1989). An integrated inventory allocation and vehicle routing problem. *Transportation Science*.
- [11] Cousineau-Quimet Karine. A Tabu Search heuristic for the inventory routing problem.
- [12] Crainic Teodor & Laporte Gilbert (1998). Fleet management and logistics.
- [13] Dror M. and Ball M.(1987). Inventory/routing: Reduction from an annual to a short period problem. *Naval Research Logistics Quarterly*.
- [14] Dror M., Ball M. and Golden B.(1985). Computational comparison of algorithms for the inventory routing problem.
- [15] Federgruen A. and Zipkin P. (1984). A combined vehicle routing and inventory allocation problem. *Operations Research*
- [16] Fisher M., Greenfield A., Jaikumar R. and Kedia P. (1982). Real-time scheduling of a bulk delivery fleet: Practical application of lagrangean relaxation. Technical report. The Wharton School, University of Pennsylvania, Department of Decision Sciences.
- [17] Gallego G. and Simchi-Levi D. (1990). On the effectiveness of direct shipping strategy for the one-warehouse multi-retailer r-systems. *Management Science*.
- [18] Golden B., Assad A. and Dahl R. (1984). Analysis of a large scale vehicle routing problem with an inventory component. *Large Scale Systems*.

- [19] Herer Y.T. & Roundy R. (1997). Heuristics for a one-warehouse multiretailer distribution problem with performance bounds. *Operations Research*.
- [20] Jaillet P., Huang L., Bard J. and Dror M.(1997). A rolling horizon framework for the inventory routing problem. working paper.
- [21] Jung J. & Mathur K. (2007). An efficient heuristic algorithm for a two-echelon joint inventory and routing problem. *Transportation Science*.
- [22] Minkoff A.S.(1993). A Markov decision model and decomposition heuristic for dynamic vehicle dispatching. *Operations Research*.
- [23] Viswanathan S. & Mathur K. (1997). Integrating routing and inventory decisions in one-warehouse multiretailer multiproduct distribution systems. *Management Science*.
- [24] Webb R. and Larson R.(1995). Period and phase of customer replenishment: A new approach to the strategic inventory/routing problem. *European Journal of Operations Research*.
- [25] Zachariadis E., Tarantilis Ch., Kiranoudis Ch. (2009). An integrated local search method for inventory and routing decisions.
- [26] Zhao Q.H., Wang S. & Lai K.K. (2007). A partition approach to the inventory/routing problem. *European Journal of Operations Research*.