



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ
ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΕΥΡΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

2015010111



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΙΩΑΝΝΗΣ ΜΑΡΙΝΑΚΗΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	3
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ.....	8
1.1 Έννοια της εφοδιαστικής αλυσίδας.....	8
1.2 Βασικές λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας.....	10
1.2.1 Προμήθειες.....	10
1.2.2 Αποθέματα	11
1.2.3 Μεταφορές	13
1.2.4 Αποθήκευση.....	14
1.2.5 Διανομή.....	15
1.2.6 Εξυπηρέτηση Πελατών	16
1.3 Κύκλοι λειτουργίας της εφοδιαστικής αλυσίδας.....	18
1.4 Σημασία της εφοδιαστικής αλυσίδας	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	24
2.1 Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (VRP).....	24
2.1.1 Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με περιορισμό χωρητικότητας (CVRP).....	26
2.1.2 Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με περιορισμό χωρητικότητας και χρόνου εξυπηρέτησης.....	26
2.1.3 Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με χρονικά παράθυρα (VRPTW).....	27
2.1.4 Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με ταυτόχρονη διανομή και παραλαβή προϊόντων κατά τη διάρκεια της διαδρομής (VRPSPD).....	27
2.1.5 Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με εξυπηρέτηση πελατών με πολλαπλά οχήματα (SDVRP)	28
2.1.6 Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με δύο είδη πελατών κατά την διάρκεια της διαδρομής (με backhauls και linehauls).....	28
2.2 Αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης	29
2.2.1 Μέθοδος 2-opt.....	30
2.2.2 Μέθοδος βελτιστοποίησης που υλοποιήθηκε	30
2.3 Μεθευρετικοί Αλγόριθμοι.....	31
2.3.1 Περιορισμένη Αναζήτηση (Tabu Search)	31
2.3.2 Προσομοιωμένη Ανόπτηση (Simulated Annealing)	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗ ΠΕΛΑΤΩΝ ΜΕ ΠΑΡΑΠΙΑΝΩ ΑΠΟ ΕΝΑ ΟΧΗΜΑΤΑ (SDVRP)	33

3.1 Υλοποίηση προβλήματος Split Delivery Vehicle Routing Problem.....	33
3.1.1 Εισαγωγή δεδομένων στο πρόγραμμα (Data Reading).....	33
3.1.2 Δημιουργία πίνακα αποστάσεων, ελέγχου ζήτησης και αποθήκευσης δρομολογίων..	35
3.1.3 Έλεγχος ύπαρξης ζήτησης πριν την έναρξη του βρόχου	37
3.1.4 Έναρξη κεντρικού βρόχου	39
3.1.5 Εύρεση αρχικής λύσης μετά του πέρας του βρόχου	41
3.1.6 Εφαρμογή αλγορίθμου βελτιστοποίησης της αρχικής λύσης.....	42
3.2 Αποτελέσματα προβλήματος Split Delivery Vehicle Routing Problem	46
3.2.1 Εκτύπωση δεδομένων	46
3.2.2 Εκτύπωση αρχικής λύσης (Initial Solution).....	47
3.2.3 Εκτύπωση βελτιστοποιημένης λύσης (Optimization).....	51
3.2.4 Σύγκριση αρχικής και βελτιστοποιημένης λύσης	55
3.3 Έλεγχος ορθής λειτουργίας αλγορίθμου SDVRP	61
3.3.1 Έλεγχος σωστής μεταβολής της χωρητικότητας.....	61
3.3.2 Έλεγχος σωστής μετάβασης στον κοντινότερο κόμβο	62
3.4 Παραδείγματα και Αρχική Λύση SDVRP	63
3.4.1 Παράδειγμα P1 (par1)	63
3.4.2 Παράδειγμα P2 (par14)	66
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	71

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1.Εφοδιαστική αλυσίδα	7
ΣΧΗΜΑ 2.Αλληλεξάρτηση μεταξύ συνεργασιών και απόδοσης εφοδιαστικής αλυσίδας.....	9
ΣΧΗΜΑ 3.Σύνδεση τμήματος προμηθειών με τα υπόλοιπα τμήματα.....	10
ΣΧΗΜΑ 4.Συσχέτιση των πωλήσεων μιας επιχείρησης με την εξυπηρέτηση πελατών	17
ΣΧΗΜΑ 5.Κύκλοι διεργασιών σε μία εφοδιαστική αλυσίδα	18
ΣΧΗΜΑ 6.Στάδια εφοδιαστικής αλυσίδας	18
ΣΧΗΜΑ 7.Τακτική έλξης (pull strategy).....	19
ΣΧΗΜΑ 8.Τακτική ώθησης (push strategy)	20
ΣΧΗΜΑ 14.Παράδειγμα μεθόδου 2-opt	30



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1.Άνοιγμα αρχείου par2.txt.....	33
ΕΙΚΟΝΑ 2.Διάβασμα αριθμού κόμβων, χωρητικότητας, μέγιστου χρόνου οχήματος στη διαδρομή και χρόνου εξυπηρέτησης.....	34
ΕΙΚΟΝΑ 3.Δημιουργία δυναμικού πίνακα για τους κόμβους, την συντεταγμένη Χ και την συντεταγμένη Υ.....	34
ΕΙΚΟΝΑ 4.Διάβασμα κόμβων, συντεταγμένης Χ και συντεταγμένης Υ.....	35
ΕΙΚΟΝΑ 5.Δημιουργία δυναμικού πίνακα και διάβασμα για τη ζήτηση κάθε κόμβου.....	35
ΕΙΚΟΝΑ 6.Κατασκευή και αρχικοποίηση διανύσματος αποστάσεων (Distance).....	36
ΕΙΚΟΝΑ 7. Κατασκευή και αρχικοποίηση διανύσματος ελέγχου ικανοποίησης ζήτησης (nodedemand_check).....	36
ΕΙΚΟΝΑ 8.Πίνακας αποθήκευσης δρομολογίων και ζήτησης δρομολογίων.....	37
ΕΙΚΟΝΑ 9.Τυπικός έλεγχος πριν την έναρξη του κύριου βρόχου.....	38
ΕΙΚΟΝΑ 10.Δυναμικός πίνακας για την αποθήκευση της συνολικής απόστασης κάθε δρομολογίου.....	38
ΕΙΚΟΝΑ 11.Εύρεση κοντινότερου κόμβου.....	39
ΕΙΚΟΝΑ 12.Ζήτηση ίση με την διαθέσιμη χωρητικότητα του φορτηγού.....	39
ΕΙΚΟΝΑ 13.Ζήτηση μεγαλύτερη από την διαθέσιμη χωρητικότητα του φορτηγού.....	40
ΕΙΚΟΝΑ 14. Ζήτηση μικρότερη από την διαθέσιμη χωρητικότητα του φορτηγού.....	40
ΕΙΚΟΝΑ 15.Έλεγχος ύπαρξης ανικανοποίητης ζήτησης στο εσωτερικό του βρόχου.....	40
ΕΙΚΟΝΑ 16.Έλεγχος ύπαρξης διαθέσιμης χωρητικότητας στο όχημα.....	41
ΕΙΚΟΝΑ 17.Επιστροφή του τελευταίου οχήματος στην αποθήκη (κόμβος 1).....	41
ΕΙΚΟΝΑ 18.Έλεγχος ολοκλήρωσης της εξυπηρέτησης.....	42
ΕΙΚΟΝΑ 19.Υπολογισμός απόστασης διαδρομών.....	42
ΕΙΚΟΝΑ 20. Αρχικοποίηση πίνακα RestrictList.....	42
ΕΙΚΟΝΑ 21.Κύριος βρόχος επαναλήψεων.....	43
ΕΙΚΟΝΑ 22.Τυχαία επιλογή κόμβων της ίδιας διαδρομής.....	43
ΕΙΚΟΝΑ 23.Εναλλαγή κόμβων.....	43
ΕΙΚΟΝΑ 24.Υπολογισμός κόστους νέας προσωρινή διαδρομής.....	44
ΕΙΚΟΝΑ 25.Συνθήκη εύρεσης βελτιστοποιημένης διαδρομής.....	44
ΕΙΚΟΝΑ 26.Μείωση βημάτων επανάληψης πριν το τέλος του κύριου βρόχου.....	44
ΕΙΚΟΝΑ 27.Εκτύπωση κόμβων, χωρητικότητας, μέγιστου αριθμού στη διαδρομή και χρόνου εξυπηρέτησης.....	46
ΕΙΚΟΝΑ 28.Εκτύπωση κόμβων, συντεταγμένης Χ και Υ.....	46
ΕΙΚΟΝΑ 29.Εκτύπωση ζήτησης.....	47
ΕΙΚΟΝΑ 30.Εκτύπωση διανυθείσας απόστασης κάθε οχήματος και συνολικής απόστασης δρομολογίων.....	50
ΕΙΚΟΝΑ 31. Εκτύπωση διανυθείσας απόστασης και συνολικής απόστασης δρομολογίων (Βελτιστοποίηση).....	54
ΕΙΚΟΝΑ 32.Έλεγχος ορθής μεταβολής της χωρητικότητας στο δρομολόγιο 3.....	61
ΕΙΚΟΝΑ 33.Έλεγχος ορθής μεταβολής της χωρητικότητας στο δρομολόγιο 5.....	62
ΕΙΚΟΝΑ 34.Έλεγχος σωστής μετάβασης στον κοντινότερο κόμβο.....	62

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτέλεσε ένα αντικείμενο μελέτης για μεγάλο χρονικό διάστημα και λόγω της σημαντικότητας που παρουσιάζει θα αποτελέσει ένα μέσο ως εφελτήριο για την μελλοντική πορεία στον κλάδο.

Το περιεχόμενο της εργασίας αναφέρεται στην διαχείριση και τον σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας (SCM), στην εφοδιαστική (logistics) ως επιστήμη, στις στρατηγικές που εφαρμόζουν οι επιχειρήσεις καθώς και στην εφαρμογή ενός Προβλήματος Δρομολόγησης οχημάτων κατά το οποίο η ζήτηση ενός πελάτη μπορεί να εξυπηρετηθεί με περισσότερα από ένα οχήματα (Split Delivery Vehicle Routing Problem).

Στο πρώτο κεφάλαιο παραθέτονται κάποια γενικά χαρακτηριστικά της εφοδιαστικής αλυσίδας, τα μέρη και οι λειτουργίες της όπως και η σπουδαιότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας για την επιχείρηση, το περιβάλλον και τον καταναλωτή. Αναλύεται η σχέση αλληλεπίδρασης της αλυσίδας εφοδιασμού με το εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον της, καθώς και οι κύκλοι λειτουργίας αλλά και διαχείρισης μιας εφοδιαστικής αλυσίδας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται κατά κύριο λόγο μερικά από τα σημαντικότερα προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων (Vehicle Routing Problems), ορισμένοι αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης οι οποίοι θα αναφερθούν εκτενώς παρακάτω καθώς και ορισμένοι μεθευρετικοί αλγόριθμοι.

Στο τρίτο κεφάλαιο θα αναλυθεί η κατασκευή του αλγορίθμου για την επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης καθώς και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκτενή ανάλυση και επίλυση αυτού μέσω του αλγορίθμου που κατασκευάστηκε. Παράλληλα γίνεται αναφορά σε ορισμένα παραδείγματα που ανήκουν στην ίδια κατηγορία (Split Delivery Vehicle Routing Problems) και τα οποία επιλύονται με τον ίδιο κώδικα αφού είναι γενικευμένης μορφής και κατάλληλος για όλα τα προβλήματα της ίδιας κατηγορίας. Η υλοποίηση του αλγορίθμου πραγματοποιήθηκε στη γλώσσα προγραμματισμού C τα χαρακτηριστικά της οποίας ευνοούν τον δομημένο και τμηματικό προγραμματισμό.

Σκοπός της εργασίας είναι να βρεθεί μία αρχική λύση διαδρομών (δρομολογίων) που ικανοποιεί την ζήτηση του συνόλου των πελατών και ελαχιστοποιεί την απόσταση ή το κόστος του δρομολογίου χωρίς να παραβιάζονται ορισμένοι κανόνες όπως η υπέρβαση της χωρητικότητας κάθε οχήματος από αυτά που χρησιμοποιούνται για την δρομολόγηση το κόστος, η απόσταση καθώς και ο χρόνος ολοκλήρωσης του δρομολογίου.

Για την προσέγγιση της βέλτιστης διαδρομής εφαρμόστηκε η υλοποίηση της μεθόδου του πλησιέστερου γείτονα η οποία πρόκειται για μια χρήσιμη τεχνική βελτιστοποίησης. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε ένας μεθευρετικός αλγόριθμος τοπικής αναζήτησης για την πιθανότητα περαιτέρω βελτίωσης του συνολικού κόστους όλων των διαδρομών. Αποδεκτή θα γίνει η εύρεση νέας καινούργιας διαδρομής στην περίπτωση που το κόστος (η απόσταση) της συγκεκριμένης διαδρομής είναι μικρότερο

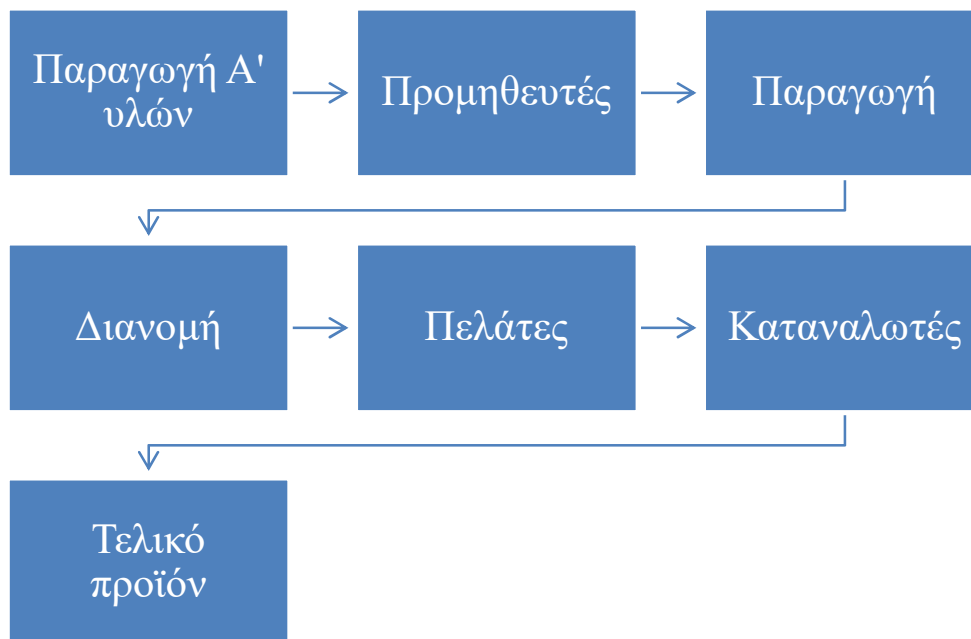
από αυτό της παλαιάς και υπό τον όρο να μην παραβιαστεί κάποιος από τους περιορισμούς που έχουμε θέσει κατά την αρχή της υλοποίησης του αλγόριθμου. Στο τέλος αναγράφεται η πλήρης καταγραφή της βιβλιογραφίας που χρησιμοποιήθηκε και συνεισέφερε στην υλοποίηση της παραπάνω διπλωματικής εργασίας



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σχεδιασμός, η διαχείριση και η βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας (Supply Chain Management) είναι ένα σημαντικό και άκρως πολύπλοκο πρόβλημα που αφορά την σωστή λειτουργία σχεδόν κάθε επιχείρησης. Σύμφωνα με το Michigan State University η σωστή διαχείριση μιας εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελείται από ένα σύνολο στρατηγικών αποφάσεων και ένα σύνολο δικτύων διανομής. Για το λόγο αυτόν θεωρείται ένας παράγοντας ο οποίος αν δεν ληφθεί υπόψη συνηγορεί στην έκρυθμη λειτουργία μιας εταιρείας.

Η εφοδιαστική αλυσίδα μιας επιχείρησης αποτελείται από ένα σύνολο κατανεμημένων ομάδων μερικές από τις οποίες είναι η παραγωγή πρώτων υλών, οι αποθήκες, τα εργοστάσια, καθώς και οι μεταφορικές με την βοήθεια των οποίων διοχετεύονται τα ενδιάμεσα ή τα τελικά προϊόντα μιας μονάδας παραγωγής στις επιχειρήσεις και τέλος στους καταναλωτές οι οποίοι αποτελούν και τον τελικό σύνδεσμο αυτής της αλυσίδας. Συνεπώς μέσω της εφοδιαστικής αλυσίδας καλύπτονται η ζήτηση, τα αποθέματα, η παραγωγή καθώς και η διανομή των προϊόντων ή των πρώτων υλών.



ΣΧΗΜΑ 1.Εφοδιαστική αλυσίδα

Επομένως η σωστή σχεδίαση και βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελεί κρίσιμο παράγοντα που επηρεάζει σημαντικά όχι μόνο την λειτουργία της επιχείρησης όπως αναφέραμε προηγουμένως αλλά και την ανάπτυξη αυτής καθώς πλέον σε μία αγορά στην οποία ευδοκιμεί ο ανταγωνισμός ο συνεχής αγώνας των επιχειρήσεων για την επικράτηση έναντι των ανταγωνιστών καθώς και η αύξηση του μεριδίου αγοράς που αντιστοιχεί σε αυτήν θα κρίνει ποια θα καταφέρει να επιβιώσει και θα είναι μία ανταγωνιστική επιχείρηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ

1.1 Έννοια της εφοδιαστικής αλυσίδας

Με τον όρο εφοδιαστική αλυσίδα εννοούμε τη διαδικασία μεταφοράς και διακίνησης μιας υπηρεσίας ή ενός προϊόντος από το σημείο της παραγωγής, στη διανομή του προϊόντος μέχρι το σημείο παράδοσης. Περιεχόμενο μιας αλυσίδας εφοδιασμού είναι η μετατροπή των πρώτων υλών, των φυσικών πόρων και των υπηρεσιών σε ολοκληρωμένα προϊόντα με επικείμενο στόχο την παράδοση τους στον τελικό πελάτη ή καταναλωτή.

Μία τυπική εφοδιαστική αλυσίδα αποτελείται κυρίως από κατασκευαστές, προμηθευτές, πωλητές, αποθήκες, κέντρα διανομής, πελάτες, καταναλωτές, μεταφορείς καθώς και από πρώτες ύλες ή αποθέματα που αποτελούν ένα προϊόν παραγωγικής διαδικασίας (Ι. Μαρινάκης και Α. Μυγδαλάς, Σχεδιασμός και βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας). Στην εφοδιαστική αλυσίδα υπάρχει ένας αριθμός επιπέδων ο οποίος είναι μη καθορισμένος καθώς και στον οποίο παίρνουν μέρος μία ή περισσότερες επιχειρήσεις οι οποίες μπορούν να αποκαλούνται και κόμβοι. Επίσης το συγκεκριμένο δίκτυο μπορεί να περιλαμβάνει εκτός από τις επιχειρήσεις τους προμηθευτές, τις αποθήκες, τα κέντρα διανομής καθώς και τους τελικούς καταναλωτές ή πελάτες.

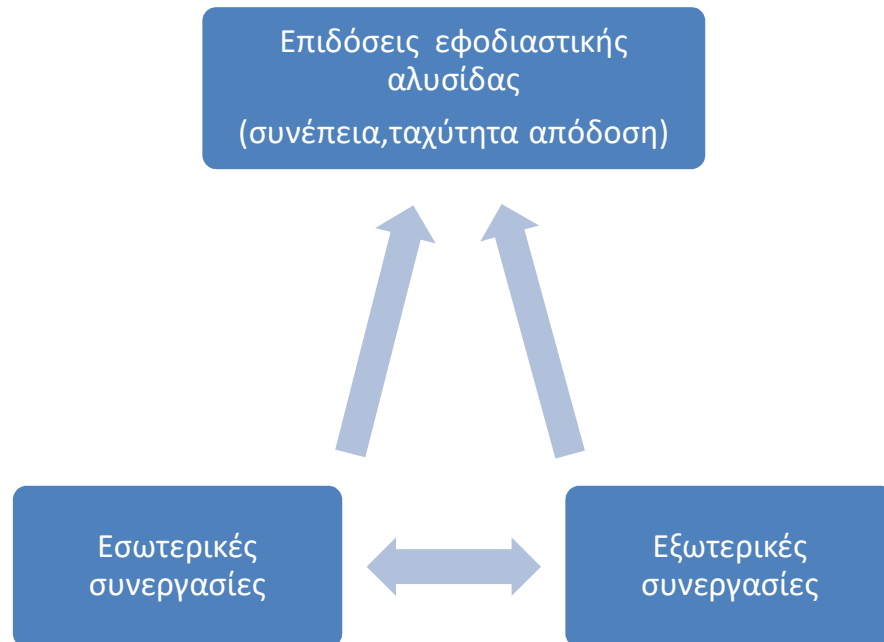
Η εφοδιαστική αλυσίδα ελέγχει, καταγράφει και λαμβάνει υπ' όψιν τα έξοδα που προκύπτουν από κάθε τμήμα της ξεχωριστά καθώς και από την μεταξύ τους αλληλεπίδραση. Για να θεωρείται λοιπόν αποδοτική μία εφοδιαστική αλυσίδα πρέπει από την μία να μεγιστοποιεί την συνολική αξία ενός προϊόντος με την κατάλληλη διάθεση του στην αγορά και από την άλλη να μειώσει το τελικό κόστος του προϊόντος αυτού καθώς και όλων των ενεργειών που πραγματοποιούνται μέχρι την τελική διάθεση του στον πελάτη.

Από τα παραπάνω γίνεται εμφανές και προκύπτει ότι μία σύγχρονη εφοδιαστική αλυσίδα καλύπτει την ανάγκη για την σωστή και επιτυχή λειτουργία μίας μεγάλης και τμηματικής επιχειρηματικής προσπάθειας. Στο πλαίσιο των προσπαθειών τους ορισμένες επιχειρήσεις και εταιρείες υιοθετούν κώδικες συμπεριφοράς, κώδικες δεοντολογίας και υψηλές απαιτήσεις στους εταιρικούς τους κανόνες καθώς και στα συστήματα διαχείρισής τους.

Με σκοπό να επιτυγχάνονται οι υποδείξεις τους δηλαδή ότι οι προμηθευτές και το ανθρώπινο δυναμικό τους συμμορφώνονται με τα παραπάνω προαναφερόμενα πρότυπα οι εταιρείες πραγματοποιούν κοινωνικούς ελέγχους για τον απολογισμό τους σχετικά με την κοινωνική δράση στον χώρο ενασχόλησής τους.

Σύμφωνα με τον Martin Christopher σαν «εφοδιαστική αλυσίδα» νοείται η διαχείριση σχέσεων αλληλεπίδρασης με τους προμηθευτές καθώς και με τους πελάτες με σκοπό την επίτευξη αξίας αυξημένης προς τον πελάτη, με όσο το δυνατόν μικρότερο κόστος για την εφοδιαστική αλυσίδα. Συνεπώς μία αλυσίδα εφοδιασμού συνθέτει ένα δίκτυο ή

σύστημα, το οποίο λειτουργεί από κοινού, συνεργάζεται και αποτελείται από στενά αλληλοεξαρτούμενες οργανώσεις, επιχειρήσεις ή τμήματα με απώτερο σκοπό τον έλεγχο και την βελτίωση της ροής υλικών και πληροφοριών από τους προμηθευτές μέχρι τους τελικούς καταναλωτές (Strategic Supply Chain Management, 2017).



ΣΧΗΜΑ 2. Αλληλεξάρτηση μεταξύ συνεργασιών και απόδοσης εφοδιαστικής αλυσίδας

Η υιοθέτηση αρχών και προτύπων συνεργασίας και συλλογικής δημιουργίας αξίας συνιστά την επικοινωνία, αλληλεπίδραση και συνεργασία με εξωτερικούς προμηθευτές, καταναλωτές και πελάτες.

Οι συνεργασίες αυτές (εξωτερικές) αποτελούν παράλληλα έναν παράγοντα ενίσχυσης των εσωτερικών συνεργασιών στην επιχείρηση με αποτέλεσμα τη βελτίωση της απόδοσης καθώς και της επίδοσης της αποτελεσματικότητας μιας επιχείρησης.

Συνεπώς αποδεικνύεται μία αλληλεξάρτηση μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών συνεργασιών με αποτέλεσμα την βελτίωση της απόδοσης μιας εφοδιαστικής αλυσίδας (Stank P. Theodore, Keller και Daugherty, 2001).

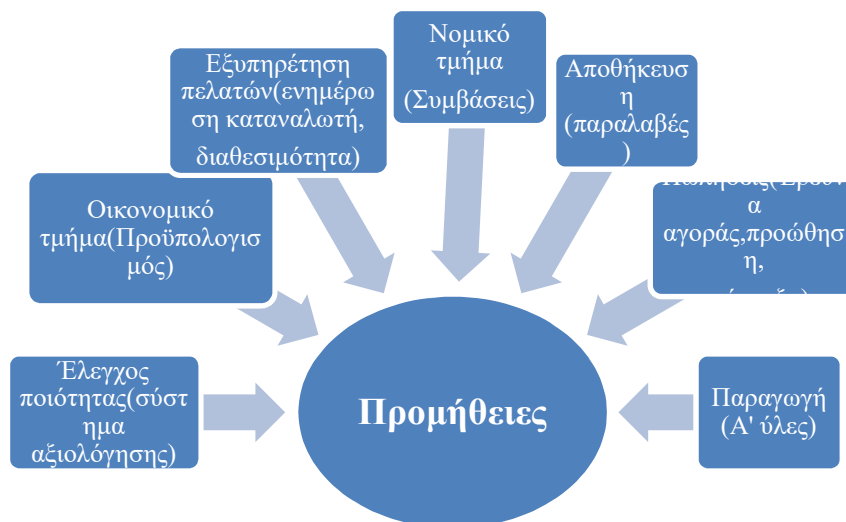
1.2 Βασικές λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας

Μία εφοδιαστική αλυσίδα περιλαμβάνει το σχεδιασμό, την εφαρμογή και τον έλεγχο ενός μεγάλου αριθμού λειτουργιών για να μετασχηματίσει τις πρώτες ύλες που λαμβάνονται από τους προμηθευτές, σε έτοιμα προϊόντα που προσφέρονται στους πελάτες. Βασικές λειτουργίες μιας εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελούν οι:

- ❖ Προμήθειες
- ❖ Αποθέματα
- ❖ Μεταφορές
- ❖ Αποθήκευση
- ❖ Διανομή
- ❖ Εξυπηρέτηση Πελατών

1.2.1 Προμήθειες

Είναι υπεύθυνες για την αναζήτηση και επιλογή των κατάλληλων προμηθευτών καθώς και για την πλέον συμφέρουσα τιμή και τους όρους παράδοσης χρησιμοποιώντας στοιχεία από διαφορετικά τμήματα της κάθε επιχείρησης. Ο προμηθευτικός κύκλος μιας τυπικής εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελείται από την παραλαβή και αξιολόγηση των αιτημάτων προμήθειας, την επιλογή των καταλληλότερων προμηθευτών, την εντολή προμήθειας, την παρακολούθηση της πορείας και τον έλεγχο κατά την παραλαβή της και τέλος την πληρωμή του αντιτίμου των προμηθευτών. Η λειτουργία των προμηθειών έχει στόχο να βελτιώσει την ποιότητα των αγαθών, προϊόντων και υπηρεσιών καθώς και να επιφέρει μεγαλύτερο αριθμό των διαθέσιμων επιλογών για τον καταναλωτή. Επίσης μέσω αυτής της λειτουργίας αυξάνεται η συνεργασία και αλληλεπίδραση της επιχείρησης με διεθνή δίκτυα και συστήματα επεκτείνοντας την δράση της. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ανταγωνιστικότητας της επιχείρησης.



ΣΧΗΜΑ 3. Σύνδεση τμήματος προμηθειών με τα υπόλοιπα τμήματα

Παράλληλα πέρα από τα πολλαπλά οφέλη για την επιχείρηση με την συγκεκριμένη λειτουργία κατά κύριο λόγο επιτυγχάνεται η αίσθηση ικανοποίησης και πληρότητας

του πελάτη. Είναι ένα νευραλγικό τμήμα το οποίο διακρίνεται για την συνεχή και καθημερινή συνεργασία με τα υπόλοιπα τμήματα μιας επιχείρησης όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα.

Η πραγματική διαθεσιμότητα που διαθέτει μία επιχείρηση αποτελεί έναν κρίσιμο παράγοντα για την αύξηση των κερδών της και κατά συνέπεια της επιβίωσης της καθώς από την μία πλευρά πρέπει να είναι οποιαδήποτε στιγμή ικανή να εξυπηρετήσει τους πελάτες της ικανοποιώντας τις ανάγκες τους και από την άλλη πρέπει να είναι σε θέση να υπολογίζει τις προμήθειες που θα διαθέτει στον καταναλωτή καθώς και αυτές τις οποίες θα έχει ως εφεδρικές για την περίπτωση που προκύψει κάποια αναπάντεχη και επείγουσα κατάσταση (back-up). Αυτόν τον ρόλο καλύπτουν τα αποθέματα κάθε επιχείρησης και αποσκοπούν στο να μειώσουν όλο και περισσότερο τον κίνδυνο να μην υπάρχει απόθεμα διαθέσιμο ώστε να καλύψει τις ανάγκες του καταναλωτή.

Οι προμήθειες διαχωρίζονται σε δύο είδη κατηγοριών ανάλογα με τον τρόπο που θα αξιοποιηθούν τα είδη που αγοράζονται από την επιχείρηση. Έτσι από την μία μεριά είναι οι προμήθειες των υλικών που προορίζονται για μεταπώληση. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι οι συγκεκριμένες προμήθειες επιφέρουν ένα κέρδος στις επιχειρήσεις λόγω της μεταπώλησης αυτών στους καταναλωτές. Στην πραγματικότητα αναγνωρίζονται και γίνονται σαφείς οι ανάγκες και προτιμήσεις των καταναλωτών από τις επιχειρήσεις οι οποίες μεταπωλούν σε αυτούς απευθείας τα προϊόντα που προμηθεύονται χωρίς καμία επεξεργασία. Έτσι αυξάνεται το επίπεδο εξυπηρέτησης των καταναλωτών όπως και επίσης η κερδοφορία της εταιρείας. Ένα άλλο είδος προμηθειών είναι αυτές που προορίζονται για κατανάλωση ή μεταποίηση. Αναφέρεται κυρίως στις πρώτες ύλες που πρέπει να αγοραστούν από την επιχείρηση με στόχο την κατασκευή προϊόντων προς πώληση ή με ορισμένη επεξεργασία και έπειτα την διάθεση τους στην αγορά.

1.2.2 Αποθέματα

Με τον συγκεκριμένο όρο αναφερόμαστε σε οποιοδήποτε αδρανές οικονομικό μέσο ή πόρο το οποίο έχει στη κατοχή της μία επιχείρηση με σκοπό την χρήση ή και την μεταπώληση του στο μέλλον. Μεταξύ των λειτουργιών της προμήθειας πρώτων υλών και της αποθήκευσης υλικών καθώς και πριν το στάδιο της διανομής τους στους πελάτες πραγματοποιείται η λειτουργία της διαχείρισης των αποθεμάτων. Πολλοί υποστηρίζουν ότι το κλειδί για την επίτευξη χαμηλότερου κόστους στην εφοδιαστική αλυσίδα είναι η διατήρηση και η αποθήκευση λιγότερων αποθεμάτων για τον απλό λόγο ότι και η μεταφορά τους καθώς και η αποθήκευσή τους αποτελεί σημαντικό κόστος για κάθε επιχείρηση. Συνεπώς η διαχείριση αυτών των αποθεμάτων είναι μία ευθύνη που παίζει σημαντικό ρόλο στην διοίκηση ενός συστήματος ή επιχείρησης. Αυτό σημαίνει πως τα αποθέματα δημιουργούνται σκόπιμα ανάλογα με την περίοδο στην οποία μεταβαίνει η επιχείρηση για την εξομάλυνση των χρονικών αποκλίσεων μεταξύ προσφοράς και ζήτησης. Εν ολίγοις η ύπαρξη αποθέματος είναι μια αναγκαιότητα που σχετίζεται με την προσφορά και την ζήτηση μια πρώτης ύλης ή ενός εμπορεύματος.

Τα αποθέματα μπορούν να κατανεμηθούν σε τέσσερις κατηγορίες. Αυτές είναι το κυκλικό απόθεμα, το απόθεμα αναμονής, το απόθεμα ασφαλείας και το απόθεμα σε κίνηση.

- a) Κυκλικό είναι το απόθεμα που εξαρτάται από το μέγεθος της παραγγελίας. Το ύψος του κυκλικού αποθέματος είναι ανάλογο του χρόνου ανάμεσα στις παραγγελίες. Όσο μεγαλύτερη είναι η χρονική περίοδος που μεσολαβεί μεταξύ των παραγγελιών τόσο αυξάνεται και το κυκλικό απόθεμα.
- b) Το απόθεμα αναμονής χρησιμοποιείται κυρίως σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η προσφορά ενός προϊόντος βρίσκεται υπό καθεστώς αβεβαιότητας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποθέματος αναμονής είναι αυτό που προέρχεται από την απόκτηση αρκετά μεγαλύτερων ποσοτήτων ενός προϊόντος από αυτές που χρειάζεται μια επιχείρηση τη δεδομένη στιγμή με δεδομένο σκοπό την πρόβλεψη είτε έλλειψης είτε ανατίμησης είτε αυξημένης μελλοντικής ζήτησης του συγκεκριμένου προϊόντος με σκοπό να αυξήσει την τιμή του. Με την διατήρηση των συγκεκριμένων αποθεμάτων μία επιχείρηση δεν θα επηρεαστεί από μελλοντική αύξηση της τιμής ενός εμπορεύματος και δε θα προβεί σε αυξομειώσεις της παραγωγικής διαδικασίας με αποτέλεσμα την μείωση του κόστους της.
- c) Το απόθεμα ασφαλείας μιας επιχείρησης είναι το απόθεμα που διαθέτει μία επιχείρηση ανεξάρτητα από την πρόβλεψη της ζήτησης ενός προϊόντος και κύριο λόγο ύπαρξης έχει την κάλυψη περιπτώσεων ανάγκης όπως είναι η απρόσμενη αύξηση της ζήτησης, δυσκολίες που παρεμποδίζουν τον επιτυχή ανεφοδιασμό ενός προϊόντος στην επιχείρηση (για παράδειγμα απεργίες, πόλεμοι, καιρικές συνθήκες) είτε καθυστερήσεις στην προμήθεια εμπορευμάτων με αποτέλεσμα την μείωση των αποθεμάτων.
- d) Το απόθεμα σε κίνηση ή σε μεταφορά αναφέρεται σε συγκεκριμένο αριθμό αποθεμάτων τα οποία μετακινούνται την δεδομένη στιγμή από ένα τμήμα της επιχείρησης σε ένα άλλο.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί άλλη μία κατηγορία αποθεμάτων τα οποία είναι τα νεκρά ή ακίνητα αποθέματα. Στην πραγματικότητα πρόκειται για αποθέματα είτε με μηδενική ζήτηση (απαξιωμένα από την αγορά) είτε ακατάλληλα να χρησιμοποιηθούν καθώς έχει τελειώσει ο κύκλος ζωής τους (λήξη) με αποτέλεσμα να είναι αυξημένο κόστος για την επιχείρηση γιατί αυξάνουν το κόστος αποθήκευσης της και δυσχεραίνουν την ομαλή ροή και λειτουργία της αποθήκης.

Η λειτουργία των αποθεμάτων μπορεί να κατανεμηθεί σε δύο επιμέρους λειτουργίες α) την πρώτη που αφορά την ποσότητα που πρέπει να υπάρχει ανά πάσα στιγμή στην επιχείρηση ώστε να καλύψει επείγουσες καταστάσεις και β) τον μέγιστο επιτρεπόμενο αριθμό υλικών (αποθεμάτων) που είναι σε θέση να διατηρεί και να αποθηκεύει η επιχείρηση ώστε να λειτουργούν επιτυχώς οι υπόλοιπες λειτουργίες του (Lean Six Sigma Logistics, Goldsby και Martichenko).

Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι μία επιχείρηση ή ένας οργανισμός πρέπει να διαθέτει ανά πάσα στιγμή αποθέματα, ώστε να είναι σε θέση να ανταποκριθεί άμεσα στη ζήτηση των καταναλωτών. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να δίνεται μεγάλη βαρύτητα στον έλεγχο των αποθεμάτων και τον προγραμματισμό των απαιτήσεων και των αναγκών της αγοράς.

1.2.3 Μεταφορές

Ο συγκεκριμένος όρος αναφέρεται στα μέσα που κύριο ρόλο έχουν να μεταφέρουν τις πρώτες ύλες, τα δευτερεύοντα υλικά καθώς και τα τελικά προϊόντα από τον προμηθευτή, στα μέρη παραγωγής είτε στους πελάτες. Αποτελεί ένα αρκετά σημαντικό κόστος και για τον λόγο αυτόν χρειάζεται η σωστή επιλογή του πλέον κατάλληλου μέσου με το οποίο μεταφέρονται τα προϊόντα, η κατάλληλη επιλογή της τοποθεσίας των εγκαταστάσεων και τέλος η σχεδίαση της γραμμής παραγωγής.

Τα μέσα μεταφοράς που χρησιμοποιούνται συστηματικά και είναι ευρέως γνωστά ανά τον κόσμο μπορούν να διακριθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- a) Τα οδικά μέσα στα οποία ανήκει ένα μεγάλο ποσοστό μεταφοράς των εμπορευμάτων στο κόσμο. Το οδικό δίκτυο κάθε χώρας αποτελεί έναν ευρέως διαδεδомένο τρόπο μεταφοράς εμπορευμάτων και είναι ζωτικής σημασίας για την οικονομία κάθε κράτους. Αυτοκίνητα, φορτηγά καθώς και ειδικά διαμορφωμένες νταλίκες για την εκάστοτε μεταφορά ειδικών και επικίνδυνων φορτίων ανήκουν σε αυτήν τη κατηγορία. Αρνητικός παράγοντας ανάπτυξης των οδικών μέσων μεταφοράς εμπορευμάτων είναι πρώτον η σταδιακή και διαρκής μόλυνση του περιβάλλοντος καθώς και το μεγάλο ποσοστό ατυχημάτων που συμβαίνουν στα οδικά δίκτυα κάθε χώρας.
- b) Τα Θαλάσσια μέσα, τα οποία αποτελούν το σημαντικότερο και μεγαλύτερο ποσοστό μεταφοράς εμπορευμάτων ανά τον κόσμο που ξεπερνάει το 76% των εξαγόμενων προϊόντων. Με το συγκεκριμένο τρόπο επιτυγχάνεται η μεταφορά πάσης φύσεως επικίνδυνων φορτίων με τη χρήση ειδικά διαμορφωμένων πλοίων καθώς και ότι υπάρχει η δυνατότητα μαζικής μεταφοράς τεράστιου αριθμού εμπορευμάτων. Επίσης με την πλέον αναπτυσσόμενη τεχνολογία, η μεταφορά με πλοία έχει μετατραπεί σε αρκετά φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο διακίνησης προϊόντων με τη χρήση κατάλληλων καυσίμων με συγκεκριμένης περιεκτικότητας άνθρακα στα σύγχρονα πλοία. Ένα σημαντικό μειονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ότι απαιτείται η συνεργασία με ένα από τα υπόλοιπα μέσα (οδικά είτε σιδηροδρομικά) εάν ο παραλήπτης είναι μακριά από θαλάσσιο μέρος είτε κάποιο λιμάνι. Αυτό έχει αποτέλεσμα την ραγδαία αύξηση του κόστους αφού όπως προαναφέρθηκε παραπάνω η μεταφορά και η αποθήκευση αποτελούν σημαντικό κόστος.
- c) Τα αεροπορικά μέσα, τα οποία αποτελούν έναν αναπτυσσόμενο και ευρέως διαδεδомένο τρόπο μεταφοράς εμπορευμάτων καθώς καταγράφονται μικρότερες απώλειες του φορτίου και η μεταφορά είναι σχετικά γρηγορότερη από τα υπόλοιπα μέσα. Ένα σημαντικό μειονέκτημα αυτών των μέσων είναι ότι το κόστος των αερομεταφορών είναι αρκετά υψηλό σε σχέση με τα

υπόλοιπα μέσα και ο αριθμός των μεταφερόμενων εμπορευμάτων είναι περιορισμένος και προκαθορισμένος.

- d) Σιδηροδρομικά μέσα τα οποία είναι ικανά να καλύψουν ένα αρκετά μεγάλο μέρος αποστάσεων κατά κύριο λόγο χερσαίων συγκριτικά με τα οδικά μέσα. Ένας παράγοντας που τονίζει την σημαντικότητα των συγκεκριμένων μέσων είναι το κόστος που θεωρείται σχετικά μικρό σε σχέση με την απόσταση που καλύπτεται καθώς και ο μεγάλος αριθμός δρομολογίων που μπορούν να καλυφθούν σε μικρό χρονικό διάστημα καθώς και τον μεγάλο αριθμό εμπορευμάτων που είναι σε θέση να μεταφέρουν.

1.2.4 Αποθήκευση

Η αποτελεσματική λειτουργία μιας εφοδιαστικής αλυσίδας εξαρτάται και σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την αποθήκευση των πρώτων υλών και προϊόντων καθώς και την απογραφή αυτών στις αποθήκες μιας επιχείρησης. Μαζί με την μεταφορά, η αποθήκευση αποτελούν τεράστιο και σημαντικό κόστος για μία επιχείρηση συνεπώς απαιτείται η σωστή και η πλέον βέλτιστη αξιοποίηση του χώρου και των προϊόντων σε μία αποθήκη από τα στάδια της μεταφοράς στην αποθήκευση έως την τελική διανομή. Συνεπώς πρέπει να υπάρχει ένας έλεγχος για την πλέον αποδοτική και τελεσφόρα αποθήκευση εντός των αποθηκών, καθώς και της εξαγωγής των προϊόντων από αυτές με σκοπό την εκτέλεση των παραγγελιών για να φτάσουν στο τελικό προορισμό είτε είναι οι πελάτες αν πρόκειται για τελικά προϊόντα είτε οι μηχανές παραγωγής κάθε εταιρείας αν πρόκειται για πρώτες ύλες. Για την αποθήκευση πρώτων υλών πριν την διαδικασία της παραγωγής, για την αποθήκευση έτοιμων προϊόντων πριν την διανομή στις επιχειρήσεις καθώς και για την αποθήκευση ανταλλακτικών για την συντήρηση και επισκευή των απαραίτητων μηχανών και εργαλείων που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή είναι πιθανό να απαιτούνται ιδιαίτερες και ειδικά διαμορφωμένες εγκαταστάσεις. Εξειδικευμένος εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί είτε για την μεταφορά ή αποθήκευση πρώτων υλών, αγαθών και προϊόντων και θα είναι ικανός να διαχειριστεί την ιδιαιτερότητα του κάθε υλικού που είναι χρήσιμο για την παραγωγική διαδικασία μιας επιχείρησης.

Τέλος η χωροθέτηση των συγκεκριμένων εγκαταστάσεων είναι μία ζωτικής σημασίας δραστηριότητα καθώς επηρεάζει σημαντικά το κόστος μεταφοράς (απόσταση αποθηκών από τον τόπο διανομής προς διάθεση στον καταναλωτή) καθώς και το χρόνο παράδοσης (μικρότερη απόσταση προφανώς θα απαιτεί όλο και λιγότερο χρόνο για την παράδοση των προϊόντων) . Επιπροσθέτως, σχετίζεται με την μετακίνηση πρώτων υλών και προϊόντων μεταξύ των διαφορετικών τμημάτων μιας επιχείρησης καθώς και τις διανομές στους πελάτες.

Ορισμένα συστήματα αποθήκευσης είναι:

- ❖ LI-FO (Last in – First out) το οποίο δεν λαμβάνει υπόψη τον χρόνο εισαγωγής και την περίοδο παραγωγής. Στα ελληνικά μεταφράζεται ως «Τελευταίο που εισέρχεται – Πρώτο που εξέρχεται». Όπως αναφέρεται και από το όνομα του συγκεκριμένου συστήματος, η πρώτη ύλη, το εμπόρευμα ή το προϊόν που

εισήχθη τελευταίο στην αποθήκη θα είναι το πρώτο που θα εξαχθεί από αυτήν. Με το σύστημα αυτό επιτυγχάνεται μείωση των διαδρομών εντός της αποθήκης ενώ αξιοποιείται ο διαθέσιμος αποθηκευτικός χώρος σε σημαντικό βαθμό (μείωση σημαντικού κόστους αποθήκευσης και μεταφοράς).

- ❖ FI-FO (First In – First out) το οποίο μεταφράζεται στα ελληνικά ως «Το πρώτο που εισέρχεται – το πρώτο που εξέρχεται». Η τήρηση του συγκεκριμένου κανόνα εισόδου – εξόδου εφαρμόζεται κυρίως σε εμπορεύματα που έχουν συγκεκριμένο όριο χρήσης δηλαδή φέρουν ημερομηνίες λήξεως και πέρα από αυτές κρίνονται ακατάλληλα προς χρήση. Συνεπώς με τη συγκεκριμένη μέθοδο το προϊόν που εισέρχεται πρώτο προς αποθήκευση θα είναι το πρώτο που πρέπει να διατεθεί είτε προς επεξεργασία στη γραμμή είτε προς πώληση στον καταναλωτή.

Η λειτουργία της αποθήκευσης είναι μια διαδικασία που προκύπτει από την ανάγκη της επιχείρησης για την ύπαρξη αποθεμάτων. Η αποθήκευση πρώτων υλών ή εμπορευμάτων απαιτεί μεγάλο κεφάλαιο καθώς και χρόνο για την επιχείρηση με αποτέλεσμα να αυξάνεται το συνολικό κόστος το οποίο συνεπάγεται και με την τιμή ενός προϊόντος μέχρι την στιγμή της διανομής του στον τελικό χρήστη.

Σύμφωνα με τους Andre Longevin και Diane Riopel (Logistics Systems: Design and Optimization, 2005) με την βοήθεια των σύγχρονων τεχνολογικών μέσων, αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν νέες τεχνολογίες για να καλύψουν τις απαιτήσεις μιας αποθήκης δηλαδή την ικανότητα μιας αποθήκης, τους τρόπους με τους οποίους αποθηκεύονται οι πρώτες ύλες, τα εμπορεύματα και αγαθά καθώς και τον ρυθμό διακίνησης εμπορευμάτων. Μερικές από αυτές τις τεχνολογίες είναι η κατάταξη των εμπορευμάτων της αποθήκης σε ομάδες μέσα σε υπολογιστικά και πληροφοριακά συστήματα, η χρήση γραμμωτού κωδικού και μαγνητικής λωρίδας για την συγκεκριμένη ομαδοποίηση όπως και η χρήση ασύρματης τεχνολογίας. Για να επιτευχθεί αυτό όμως απαιτείται η συνεχής επικοινωνία και συνεργασία μεταξύ των υπαλλήλων της αποθήκης με τους υπεύθυνους των ζητημάτων αυτής ώστε να υπάρχει μια μεταφορά πληροφοριών που σχετίζονται με την διαθεσιμότητα, την έλλειψη, την εισαγωγή και εξαγωγή εμπορευμάτων.

1.2.5 Διανομή

Ένα δίκτυο διανομής είναι ένα σύνολο ανεξάρτητων επιχειρήσεων οι οποίες συνεργάζονται μεταξύ τους με σκοπό τη ροή των εμπορευμάτων από την παραγωγή στον τελικό καταναλωτή. Απαιτείται η αναγκαιότητα να είναι μία ευέλικτη λειτουργία μιας εφοδιαστικής αλυσίδας για να προσαρμόζεται και να καλύπτει τις απαιτήσεις μιας εταιρείας ή οργανισμού. Τα δίκτυα διανομής αποτελούν ακόμη ένα νευραλγικό σύστημα μιας εταιρείας καθώς είναι υπεύθυνα για την συστηματική και επιτυχημένη τροφοδοσία της αγοράς με προϊόντα και παίζει έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες επιτυχίας και επιβίωσης της κερδοφορίας και συνεπώς της επιχείρησης. Ο σχεδιασμός και η βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας εξετάζει τους καταλληλότερους τρόπους μεταφοράς και διανομής των προϊόντων καθώς και τις αποφάσεις που σχετίζονται με τη συγκεκριμένη λειτουργία.

Κατά την διαδικασία της μεταφοράς και διανομής των προϊόντων λαμβάνονται υπόψη τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των διαθέσιμων τρόπων μεταφοράς και διανομής κατά τη λήψη των σχετικών αποφάσεων. Στόχος των συγκεκριμένων δικτύων είναι να εντοπιστεί και να σχεδιαστεί ο πλέον οικονομικότερος και αποδοτικότερος τρόπος για την μεταφορά και διανομή των προϊόντων. Έπειτα είναι δυνατόν να καθοριστεί ο αριθμός, το μέρος και το μέγεθος των απαραίτητων κέντρων διανομής, ο αριθμός των δρομολογίων που θα πραγματοποιούνται καθώς και το απόθεμα που θα βρίσκεται διαθέσιμο σε κάθε κέντρο ώστε να εξυπηρετείται το σύνολο των πελατών. Ως αποτέλεσμα μπορεί να κατανοηθεί ότι η στρατηγική της εκάστοτε εταιρείας επηρεάζει άμεσα την διανομή του προϊόντος.

1.2.6 Εξυπηρέτηση Πελατών

Η βελτίωση της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας μιας επιχείρησης είναι κύριος σκοπός ύπαρξης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Σημαντικός παράγοντας επίτευξης αυτού του σκοπού είναι η εξυπηρέτηση και κατ' επέκταση η ικανοποίηση του πελάτη. Συνεπώς τα επιμέρους τμήματα και οι λειτουργίες που συναντάμε σε μία επιχείρηση εστιάζουν συνολικά στην εξυπηρέτηση του καταναλωτή.

Για την διευκόλυνση του συγκεκριμένου σκοπού έχουν διαμορφωθεί ορισμένα συστήματα διαχείρισης επιχειρησιακών πόρων (ERP) που ενσωματώνουν και ενοποιούν αυτές τις λειτουργίες ώστε να διευκολύνουν τις ανάγκες κάθε τμήματος με κύρια μέριμνα τον πελάτη. Είναι αδιαμφισβήτητο πως η εμφάνιση έντονης ανταγωνιστικότητας μεταξύ των εταιρειών και στον τομέα της εξυπηρέτησης των καταναλωτών υπήρξε σημαντικός παράγοντας για την ανάπτυξη διαφόρων πληροφοριακών συστημάτων σε μια επιχείρηση.

Στόχος των επιχειρήσεων είναι να καταφέρει να συνδυάσει χαμηλό κόστος του προϊόντος ή της υπηρεσίας που παρέχει με την μέγιστη δυνατή εξυπηρέτηση και ικανοποίηση των πελατών. Η εφαρμογή αναγνώρισης ραδιοσυχνότητας (RFID) είναι μία τεχνολογία σύνδεσης εμπορευμάτων με το διαδίκτυο ώστε οι εταιρείες να μοιράζονται πληροφορίες online σχετικά με αυτά. Η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των προϊόντων είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την βελτίωση της εξυπηρέτησης των πελατών. Με την βοήθεια της RFID είναι δυνατόν μία επιχείρηση να επιτύχει βελτιωμένη παρακολούθηση πληροφοριών σχετικά με τα προϊόντα υψηλής αξίας, ορατότητα απογραφής και διαθεσιμότητας ενός προϊόντος σε κάθε στάδιο συμβάλλοντας συνολικά όχι μόνο στην μείωση του συνολικού κόστους μιας επιχείρησης αλλά παράλληλα στην ταχύτερη εξυπηρέτηση και ικανοποίηση των καταναλωτών σε αρκετά μικρό χρονικό διάστημα.

Σαφώς η εξυπηρέτηση του καταναλωτή αναφέρεται στην κάλυψη αναγκών του πριν, κατά και μετά την πώληση προϊόντων ή υπηρεσιών σε αυτόν. Επομένως είναι μία λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας που εκτείνεται σε αρκετά μεγαλύτερη διάρκεια από τα υπόλοιπα τμήματα. Πράγματι επιχειρήσεις με ταχύτερη και αποτελεσματική τεχνική υποστήριξη ιδιαίτερα μετά την πώληση προϊόντων στον καταναλωτή έχουν εμφανίσει διαπιστωμένα εντυπωσιακά αποτελέσματα που αφορούν την

ανταγωνιστικότητα και την κερδοφορία της και κατ' επέκταση την βιωσιμότητα της. Παράλληλα μαζί με το τμήμα της ανάπτυξης ενός προϊόντος αποτελεί τον συνδυαστικό κρίκο μεταξύ της επιχείρησης (εσωτερικό περιβάλλον) και των χρηστών, καταναλωτών και πελατών (εξωτερικό περιβάλλον) συμβάλλοντας στην ποιοτικότερη αλληλεπίδραση και εξυπηρέτηση αυξάνοντας το αίσθημα συνεργασίας με τους πελάτες. Το σύνολο των πελατών είτε πρόκειται για τρέχοντες, είτε προγενέστερους είτε δυνητικούς πελάτες αποτελεί βασική προϋπόθεση για την μέτρηση της ικανοποίησής τους.



ΣΧΗΜΑ 4.Συσχέτιση των πωλήσεων μιας επιχείρησης με την εξυπηρέτηση πελατών

Ένας σημαντικός παράγοντας που ενδιαφέρονται οι επιχειρήσεις για την ικανοποίηση και εξυπηρέτηση των πελατών τους είναι διότι οι ίδιες δραστηριοποιούνται με σκοπό την επίτευξη κέρδους. Για να το πετύχουν αυτό πρέπει να διασφαλίζουν τα παραπάνω καθώς θα τους επιφέρει επαναλαμβανόμενες πωλήσεις στους ίδιους πελάτες αναπτύσσοντας έτσι ένα «αφοσιωμένο σύνολο πελατών» παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο στην επιχείρηση όχι μόνο αύξηση πωλήσεων αλλά και φήμη καθώς ανεβαίνει η έκταση της δράσης της καθώς και στους καταναλωτές προσφέρεται ένα αίσθημα ασφάλειας αφού νοιώθουν θωρακισμένοι και ανθεκτικοί απέναντι σε μελλοντικές αλλαγές της αγοράς, της τεχνολογίας και του περιβάλλοντος με αποτέλεσμα την μετρίαση της αβεβαιότητας και της αστάθειας.

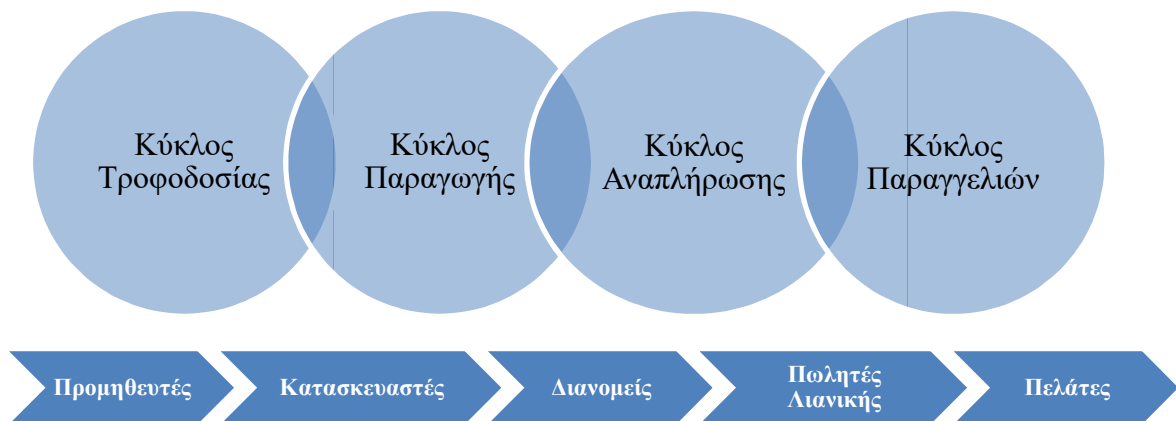
Επομένως η αύξηση των πωλήσεων μιας επιχείρησης επέρχεται από την ικανοποίηση των πελατών μέσω της αλληλεπίδρασης τους με την επιχείρηση, την διάδοσης της προσωπικής εμπειρίας τους στο εξωτερικό περιβάλλον τους με αποτέλεσμα την επέκταση δράσης της επιχείρησης σε μεγαλύτερο σύνολο καταναλωτών (νέοι πελάτες) ενώ παράλληλα στην περαιτέρω ικανοποίηση των τρεχόντων καταναλωτών της.

1.3 Κύκλοι λειτουργίας της εφοδιαστικής αλυσίδας

Σε μία αλυσίδα εφοδιασμού πραγματοποιείται ένα μεγάλο φάσμα διεργασιών οι οποίες κατανέμονται και ομαδοποιούνται σε επιμέρους τμήματα ανάλογα στο στάδιο που βρίσκεται η κάθε εργασία. Η ομαδοποίηση των κάθε εργασιών κατανέμεται σε κύκλους όπου καθένας από αυτούς τους κύκλους αντιστοιχεί σε διαφορετικό στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Σύμφωνα με τους Μουστάκη Β. και Θεολόγου Γ. οι συγκεκριμένοι κύκλοι χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

ΣΧΗΜΑ 5. Κύκλοι διεργασιών σε μία εφοδιαστική αλυσίδα



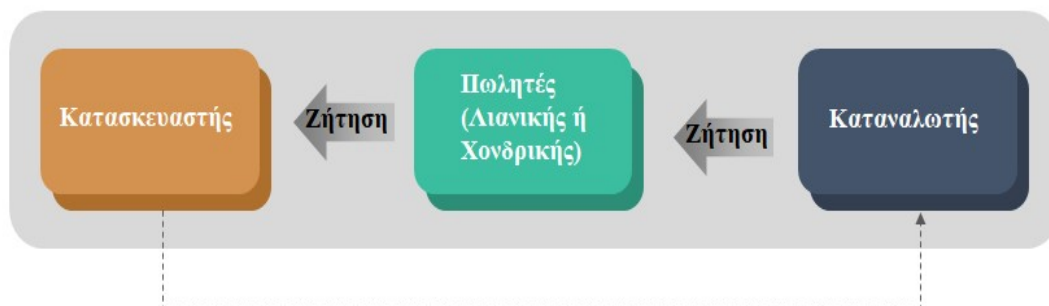
ΣΧΗΜΑ 6. Στάδια εφοδιαστικής αλυσίδας

Η εφοδιαστική αλυσίδα αποτελείται λοιπόν από τέσσερις κύκλους:

- Τον κύκλο τροφοδοσίας όπου είναι υπεύθυνος για την αγορά και προμήθεια πρώτων υλών και εμπορευμάτων με μέγιστο κριτήριο την τιμή αγοράς, την πρόβλεψη της ζήτησης και τον χρόνο παράδοσης. Ο συγκεκριμένος κύκλος αναφέρεται κυρίως στην αλληλεπίδραση της επιχείρησης με τους προμηθευτές των πρώτων υλών και των αγαθών που εν συνεχεία θα χρησιμοποιηθούν στο στάδιο της παραγωγής
- Επόμενος στην σειρά είναι ο κύκλος παραγωγής. Πρόκειται για τον κύκλο που εμπεριέχει την παραγωγή των προϊόντων που θα διατεθούν προς διανομή. Ο συγκεκριμένος κύκλος αναφέρεται σε όλες τις απαραίτητες ενέργειες οι οποίες αποσκοπούν στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από την αρχή (τοποθέτηση και παραλαβή παραγγελιών) μέχρι και το τέλος της παραγωγικής διαδικασίας δηλαδή την κατασκευή των τελικών προϊόντων. Είναι η περίοδος παραμονής των προϊόντων ή εμπορευμάτων στην παραγωγική διαδικασία μέχρι και την τελική απελευθέρωση των τελικών προϊόντων προς διάθεση. Ο κύκλος παραγωγής καθώς και η δομή του αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους και κρίσιμότερους τεχνικούς, κατασκευαστικούς και οικονομικούς δείκτες της δραστηριότητας μιας επιχείρησης. Ορισμένοι από αυτούς είναι οι παραγωγικές ικανότητες, οι όροι παραγωγής και οι ποσότητες εργασιών.

- c) Βασική διεργασία του κύκλου αναπλήρωσης είναι η αντικατάσταση των προμηθειών που έχουν διατεθεί είτε προς πώληση είτε στην παραγωγική διαδικασία με σκοπό την παραγωγή προϊόντων. Η ευθύνη για τον χρόνο αναπλήρωσης του αποθέματος αποτελεί κυρίως αντικείμενο της διαχείρισης αποθεμάτων.
- d) Ο κύκλος παραγγελιών σχετίζεται κυρίως με όλες τις ενέργειες που αφορούν την καταγραφή, λήψη καθώς και την εκπλήρωση των παραγγελιών και διενεργείται κυρίως μεταξύ πωλητών λιανικής (πχ μεσάζοντες) και τελικών πελατών ή καταναλωτών.

Στην αλυσίδα εφοδιασμού οι κύκλοι καθώς και οι απαραίτητες διεργασίες που πραγματοποιούνται σε κάθε στάδιο ταξινομούνται σε ορισμένες κατηγορίες οι οποίες είναι οι τακτικές έλξης, οι τακτικές ώθησης καθώς και ο συνδυασμός των δύο προηγούμενων. Κατά την τακτική έλξης (pull strategy) υπάρχει άμεση επαφή με τους καταναλωτές ή πελάτες της επιχείρησης. Συνεπώς η λειτουργία της αλυσίδας εφοδιασμού βασίζεται σε μεγάλο βαθμό από αυτούς καθώς είναι αυτοί που καθορίζουν την ζήτηση, την προτίμηση και επομένως την αυξημένη πώληση ενός προϊόντος.



ΣΧΗΜΑ 7. Τακτική έλξης (pull strategy)

Η παραπάνω τακτική (pull strategy) θεωρείται ως μια σχετικά παθητική (passive) τακτική αφού βασίζεται κυρίως στο να προσελκύει τους πελάτες ή καταναλωτές με συγκεκριμένους προωθητικούς τρόπους.

Κατά την τακτική ώθησης (push strategy) ο κατασκευαστής δεν γνωρίζει την ζήτηση ενός προϊόντος. Αντίθετα οι επιχειρήσεις επιδεικνύουν και διαφημίζουν τα προϊόντα ή τις υπηρεσίες τους με σκοπό να προσελκύσουν όλο και περισσότερους νέους διανομείς και πωλητές (λιανικής ή χονδρικής). Με τη συγκεκριμένη στρατηγική η ανταγωνιστικότητα είναι ζωτικής σημασίας και για την επιτυχή διενέργεια της συγκεκριμένης στρατηγικής απαιτείται μεγάλη προσπάθεια και συνεργασία μεταξύ των τμημάτων μιας επιχείρησης και ειδικά των τμημάτων πωλήσεων, προώθησης και διαφήμισης.



ΣΧΗΜΑ 8. Τακτική ώθησης (push strategy)

Όπως προαναφέρθηκε η ζήτηση ενός προϊόντος στη συγκεκριμένη στρατηγική είναι άγνωστη και η ποσότητα παραγωγής και αποθήκης καθορίζεται από προηγμένα μοντέλα πρόβλεψης ζήτησης. Για τον σκοπό αυτό συνήθως ενδείκνυται ο συνδυασμός των παραπάνω στρατηγικών στις επιχειρήσεις με κύρια μέριμνα την ελαχιστοποίηση του σφάλματος και κατά συνέπεια τα άσκοπα έξοδα για την επιχείρηση. Συνεπώς η τακτική ώθησης είναι ευρέως διαδεδομένη και προτιμώμενη από τα αρχικά τμήματα μιας αλυσίδας εφοδιασμού (παραγωγή, προμήθεια) ενώ τα τμήματα προώθησης, marketing και εξυπηρέτησης πελατών ακολουθούν την στρατηγική της έλξης.

Αξίζει να αναφερθεί ότι με τον όρο στρατηγική μιας επιχείρησης αναφερόμαστε στις αποφάσεις μιας εταιρείας ή ενός τμήματος της επιχείρησης σχετικά με τον στόχο ύπαρξης της, τη πορεία της σε μακροχρόνιο στάδιο, το marketing, την προώθηση των προϊόντων ή των υπηρεσιών της. Στην πραγματικότητα στρατηγική είναι το πεδίο δράσης από το οποίο ξεκινάει μία επιχείρηση ή οργανισμός από τη σύσταση του μέχρι την στιγμή της επίτευξης του μακροχρόνιου στόχου που έχει θέσει ως έργο της. Είναι ζωτικής σημασίας ένα στρατηγικό πλάνο το οποίο έχει εξ αρχής θέσει ένας οργανισμός ως φιλοδοξία της να χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη εναλλακτικών λύσεων σε σενάρια αποτυχίας του αρχικού πλάνου και να προβλέπει την αντιμετώπιση των προβλημάτων ή εμποδίων που θα εμφανιστούν κατά την υλοποίηση του συγκεκριμένου σκοπού ώστε να μην βρεθούν σε δυσχερείς καταστάσεις τα μέλη και η ίδια η επιχείρηση.

1.4 Σημασία της εφοδιαστικής αλυσίδας

Η εφοδιαστική αλυσίδα συνεισφέρει σημαντικά στην όλο και αναπτυσσόμενη επιχειρηματική πραγματικότητα και είναι ζωτικής σημασίας στο πλέον ανταγωνιστικό και πολυδιάστατο περιβάλλον των επιχειρήσεων. Η σωστή λειτουργία και αξιοποίηση μιας αλυσίδας εφοδιασμού έχει ως αποτέλεσμα την οικονομική, λειτουργική και ποιοτικότερη δραστηριότητα μιας επιχείρησης ή οργανισμού. Μερικοί από τους τομείς που η συμβολή της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι καθοριστική: είναι η εθνική οικονομία, το περιβάλλον, ο πελάτης ή καταναλωτής και τέλος η ίδια η επιχείρηση.

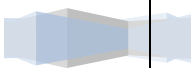
Η συνεισφορά της αλυσίδας εφοδιασμού είναι κομβική στην βιώσιμη ανάπτυξη της εθνικής οικονομίας καθώς επιφέρει ένα μεγάλο ποσοστό στο Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (ΑΕΠ) ενός κράτους αφού πρόκειται ίσως για το σημαντικότερο μακροοικονομικό μέγεθος. Περιλαμβάνει τους κλάδους της εμπορίας, μεταποίησης,

παροχής υπηρεσιών όπως και αυτούς της μεταφοράς προϊόντων ή εμπορευμάτων αλλά και της ναυτιλίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αναβάθμιση της ποιότητας ζωής των καταναλωτών με την ραγδαία αύξηση του βιοτικού τους επιπέδου.

Όσον αφορά το περιβάλλον, οι επιχειρήσεις και οι οργανισμοί λαμβάνουν μέτρα κατά της ρύπανσης του περιβάλλοντος και προχωρούν στην ανάπτυξη πρακτικών φιλικά προσκείμενων προς το περιβάλλον μέσα στο οποίο βρίσκεται ο χώρος δράσης τους. Γίνεται λοιπόν εύκολα κατανοητό πως μία αλυσίδα εφοδιασμού συμβάλλει όχι μόνο στην βελτίωση της επιχειρηματικής δραστηριότητας αλλά και στην βελτίωση και την προστασία των συνθηκών του περιβάλλοντος με τρόπους όπως την υιοθέτηση καυσίμων στα μεταφορικά μέσα με όλο και μικρότερο ποσοστό άνθρακα. Η ευαισθητοποίηση για το περιβάλλον βέβαια σχετίζεται άμεσα με τον ανταγωνισμό των οργανισμών αφού ασκήθηκε πίεση στην ραγδαία αυξανόμενη ανταγωνιστικότητα να κινηθεί σε μία πορεία φιλική προς το περιβάλλον αναπτύσσοντας και θεσπίζοντας νόμους και μέτρα για την καταπολέμηση της μόλυνσης και ρύπανσης του περιβάλλοντος. Επίσης η παγκόσμια αγορά οδηγήθηκε πλέον στην ανάγκη να λαμβάνει υπόψη τα διάφορα καιρικά και περιβαλλοντικά φαινόμενα καθώς και τους πολλαπλούς κινδύνους που επιφέρουν πριν πάρει πλέον μια σοβαρή απόφαση σχετικά με την λειτουργία των επιχειρήσεων. Τέλος αξίζει να αναφερθεί η ραγδαία και απότομη στροφή των οργανισμών στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) με σκοπό όχι μόνο την προστασία του περιβάλλοντος αλλά και την διαφύλαξη της ισορροπίας όπως και της μακροπρόθεσμης κερδοφόρας πορείας των επιχειρήσεων.

Η σημασία της εφοδιαστικής αλυσίδας για τους πελάτες μπορεί να γίνει κατανοητή μετά την μέτρηση της απόδοσης ενός οργανισμού ή επιχείρησης το οποίο επιτυγχάνεται με την σωστή εφαρμογή και διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού. Μία αλυσίδα εφοδιασμού λοιπόν είναι ιδιαίτερα σημαντική για τους πελάτες ή καταναλωτές αφού κύριος σκοπός της είναι η ικανοποίηση, η εξυπηρέτηση και η ποιοτικότερη εμπειρία του πελάτη με την επιχείρηση. Με στόχο τα αναμενόμενα οφέλη για τον πελάτη και λόγω του ανταγωνισμού οι επιχειρήσεις προσαρμόζουν και αναθεωρούν το σύνολο των λειτουργιών τους από την παραγωγή ως τη μεταφορά και τη διάθεση των προϊόντων τους στους καταναλωτές με ανταγωνιστικά κριτήρια σε σχέση με τις υπόλοιπες επιχειρήσεις. Συνεπώς η προάσπιση της ικανοποίησης και της ποιοτικής εξυπηρέτησης των πελατών αποτελεί μία συνεχή και ιδιαίτερη πρακτική για μία εφοδιαστική αλυσίδα με σκοπό την αντιμετώπιση του ανταγωνισμού στο περιβάλλον της. Βέβαια η έννοια της ικανοποίησης ενός καταναλωτή ή πελάτη έχει άμεση σχέση με την επιδίωξη του να επιτύχει ένα επίπεδο πλήρωσης των αναγκών που τον οδήγησε στην επιλογή του συγκεκριμένου προϊόντος ή υπηρεσίας. Αυτό συμβαίνει διότι από την μία πλευρά ο καταναλωτής επιθυμεί να νιώσει ευχαρίστηση για την σωστή επιλογή που έκανε και αφετέρου υπάρχει η ανάγκη του να αποφύγει να προβεί σε διορθωτικές ενέργειες έπειτα από την λανθασμένη επιλογή συγκεκριμένου προϊόντος που έκανε.

Με λίγα λόγια ο καταναλωτής είναι η αφετηρία και ο τελικός κρίκος ενός σχεδιασμού μιας εφοδιαστικής αλυσίδας με γνώμονα τον οποίο λαμβάνονται οι περισσότερες



αποφάσεις για την λειτουργία μιας επιχείρησης. Ορισμένα από τα οφέλη της αλυσίδας εφοδιασμού για τους πελάτες ενδεικτικά είναι:

- ❖ Διαθεσιμότητα προϊόντων, αγαθών και υπηρεσιών ανά πάσα στιγμή που οι πελάτες επιθυμούν
- ❖ Διάθεση των προϊόντων, αγαθών και υπηρεσιών σε καλύτερες τιμές λόγω της αποδοτικής λειτουργίας της αλυσίδας εφοδιασμού
- ❖ Ταχύτερη διάθεση, μεταφορά και διακίνηση των προϊόντων και των αγαθών από τις επιχειρήσεις στους τελικούς χρήστες ή καταναλωτές
- ❖ Αυξημένη ποικιλία προϊόντων λόγω του ανταγωνισμού
- ❖ Ποιοτικότερη εξυπηρέτηση των καταναλωτών από τις επιχειρήσεις
- ❖ Ποιοτικότερη και ταχύτερη τεχνική υποστήριξη των καταναλωτών από τις επιχειρήσεις μετά την διάθεση των προϊόντων σε αυτούς

Η εμφάνιση, η ανάπτυξη και η συστηματική λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας εκφράζει την αναγκαιότητα της ανταγωνιστικότητας μιας επιχείρησης, την προσαρμογή της στις πιθανές παροντικές και μελλοντικές αλλαγές που θα εμφανιστούν στο περιβάλλον της, την κερδοφορία της και συνεπώς την βιωσιμότητα της σε μακροπρόθεσμο χρόνο. Η σημασία λοιπόν μιας αλυσίδας εφοδιασμού για έναν οργανισμό ή μία επιχείρηση είναι καθοριστική στο να προβάλλει τις βέλτιστες και οικονομικότερες λύσεις για μία επιχείρηση οι οποίες ωστόσο θα αποφέρουν το μεγαλύτερο κέρδος σε αυτήν με όσο το δυνατόν μικρότερο ρίσκο. Με τις αλυσίδες εφοδιασμού οι οργανισμοί και οι επιχειρήσεις υιοθετούν πρακτικές και τεχνικές σε λειτουργικό επίπεδο, μέσα σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον το οποίο συνεχώς εξελίσσεται σε οικονομικό, τεχνολογικό, και κοινωνικό στάδιο. Έτσι το ενδιαφέρον και η προσοχή των επιχειρήσεων στρέφεται στις αλυσίδες εφοδιασμού αφού μία επιτυχή διαχείριση της είναι υψίστης στρατηγικής σημασίας αφού θα αποφέρει μεγάλο κέρδος με το μικρότερο δυνατό κόστος. Με την βοήθεια λοιπόν της αλυσίδας εφοδιασμού οι οργανισμοί εξαντλούν την μείωση του κόστους από την διαδικασία της παραγωγής, μεταφοράς και διακίνησης των προϊόντων τους με αποτέλεσμα να τους επιφέρει μία σημαντική αύξηση στα καθαρά έσοδα της επιχείρησης. Παράλληλα το προφίλ της επιχείρησης στο εξωτερικό περιβάλλον της διαμορφώνεται θετικά μέσω της ποιοτικότερης και ικανοποιητικής συνολικής εξυπηρέτησης των πελατών βελτιώνοντας τη συνολική λειτουργία και κερδοφορία της.

Σε μακροπρόθεσμο βαθμό η σημασία της εφοδιαστικής αλυσίδας για μία επιχείρηση επιφέρει σημαντικά αποτελέσματα για την ίδια καθώς με την σωστή διαμόρφωση και λειτουργία της επιτυγχάνονται στόχοι που έχουν τεθεί κατά την στρατηγική της πορεία, έχουν δημιουργηθεί υψηλά επίπεδα κέρδους και καλής φήμης της επιχείρησης ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η ανταγωνιστικότητα στο περιβάλλον της, το πεδίο δράσης της και η συνολική κερδοφορία της. Οι δράσεις συνεργασίας μεταξύ των διαφόρων τμημάτων της επιτυγχάνεται ευκολότερα μέσω τακτικών τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον της από την στιγμή παραγωγής πρώτων υλών μέχρι την στιγμή της παραγωγής και της διάθεσης των προϊόντων της στους πελάτες της αποκομίζοντας σχέσεις καλής συνεργασίας και δράσης πράγμα το οποίο αυξάνει την

απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Γίνεται σαφές ότι υπάρχει μία σχέση αλληλεπίδρασης μεταξύ της επιχείρησης και της αλυσίδας εφοδιασμού της οποίας η σωστή και αποτελεσματική διαμόρφωση και διαχείριση της επιφέρει τα αντίστοιχα αποτελέσματα για την επιχείρηση ή τον οργανισμό.

Σύμφωνα με τους Donald J. Bowersox, David J. Closs και M. Bixby Cooper η ύπαρξη ενός συστήματος για την σωστή διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού στις επιχειρήσεις είναι ζωτικής σημασίας και τα οφέλη της είναι πολλαπλά για τις ίδιες, τα σημαντικότερα από τα οποία είναι (Supply Chain Logistics Management, 2013):

- ❖ Σημαντική βελτίωση στην ποιότητα εξυπηρέτησης του καταναλωτή
- ❖ Αύξηση των εσόδων και των συνολικών κερδών μέσα σε μια επιχείρηση
- ❖ Βέλτιστη χρήση των διαθέσιμων κεφαλαίων, πόρων και του ανθρώπινου δυναμικού με αποτέλεσμα την μείωση του συνολικού κόστους και την εξοικονόμηση πολύτιμου χρόνου
- ❖ Μέτρηση και αξιολόγηση των υπηρεσιών που προσφέρει μία επιχείρηση και παρακολούθηση της ικανοποίησης του καταναλωτή



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

2.1 Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (VRP)

Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (VRP) αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αφορούν την μεταφορά, διανομή και διακίνηση των υλικών κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ο λόγος που αναφέρεται ως πρόβλημα είναι διότι με την επιτυχή και βέλτιστη επίλυση του είναι ικανό να αποφέρει μεγάλο κέρδος για την επιχείρηση. Κύριος παράγοντας για την επίλυση του είναι να ικανοποιηθεί η ζήτηση των πελατών υπολογίζοντας την βέλτιστη ή τις βέλτιστες (σε περίπτωση που είναι περισσότερες από μία) διαδρομές που θα πραγματοποιήσει ένα όχημα είτε ένας συγκεκριμένος αριθμός οχημάτων.

Στόχος των παραπάνω προβλημάτων είναι να ικανοποιηθεί η ζήτηση συγκεκριμένων προϊόντων βελτιστοποιώντας την διαδρομή κατά την διαδικασία διακίνησης τους από την αποθήκη (αφετηρία) μέχρι τον τελικό προορισμό και τα οχήματα (αν είναι περισσότερα από ένα) να επιστρέψουν στο ίδιο σημείο από όπου εκκίνησαν. Στα παραπάνω υπολογίζεται και το λειτουργικό κόστος δρομολόγησης των οχημάτων όπως είναι η συντήρηση, κατανάλωση των οχημάτων, οι χιλιομετρικές αποστάσεις που διανύουν και τέλος ο αριθμός των οχημάτων που χρειάζονται με την κατανομή των εργασιών. Προφανώς η μείωση του λειτουργικού κόστους είναι δυνατόν να επιτευχθεί με την μείωση των παραπάνω παραγόντων.

Τα προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων (Vehicle Routing Problems) αποτελούν προβλήματα συνδυαστικής βελτιστοποίησης που στόχο έχουν την εξυπηρέτηση ενός δικτύου με συγκεκριμένη ζήτηση και με διαθέσιμο έναν αριθμό οχημάτων μεταφοράς. Πρακτικά ένα πρόβλημα του οποίου είναι αναγκαία η επίλυση του, προσφέρει ορισμένα δεδομένα τα οποία καθορίζονται από την επιχείρηση και όχι μόνο. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι:

- ❖ Ο αριθμός των πελατών που πρέπει να ικανοποιηθεί η ζήτηση είναι γνωστός (κόμβοι)
- ❖ Η συνολική ζήτηση και η ζήτηση κάθε πελάτη ξεχωριστά είναι γνωστή
- ❖ Η προτεραιότητα εξυπηρέτησης κάθε πελάτη
- ❖ Ο αριθμός οχημάτων μεταφοράς που διαθέτει η επιχείρηση για να καλύψει τα δρομολόγια και η συνολική χωρητικότητα κάθε οχήματος
- ❖ Λοιποί περιορισμοί που έχουν τεθεί κατά την αρχή επίλυσης

Κάθε πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (VRP) υπάρχει περίπτωση να περιλαμβάνει ορισμένους περιορισμούς, οι οποίοι αφορούν τα οχήματα μεταφοράς, τις αποθήκες ή τους πελάτες. Για την επίλυση των παραπάνω προβλημάτων είναι απαραίτητο η λύση που προκύπτει να ικανοποιεί το σύνολο των περιορισμών που έχουν τεθεί κατά την αρχή. Οι σημαντικότεροι περιορισμοί που τίθενται σε ένα πρόβλημα δρομολόγησης από τους πελάτες καθώς και οι ιδιαιτερότητες που θέτουν οι ίδιοι είναι:

- ❖ Χωρητικότητα οχημάτων: αποτελεί το σημαντικότερο περιορισμό που δεν πρέπει να παραβεί μία λύση και αφορά κυρίως το αριθμό των προϊόντων που έχει την ικανότητα να μεταφέρει το κάθε μεταφορικό όχημα. Στις περιπτώσεις που ένα πρόβλημα περιλαμβάνει περισσότερα οχήματα μεταφοράς από ένα, είναι δυνατόν να υπάρχει ανομοιογένεια ως προς την μεταξύ τους χωρητικότητα.
- ❖ Ορισμένοι απαραίτητοι περιορισμοί που αφορούν τα οχήματα εκτός από την χωρητικότητα τους, είναι η διανυόμενη απόσταση κάθε οχήματος, η μίσθωση ή κατοχή του από τις επιχειρήσεις, η διαδικασία συντήρησης και ο χρόνος που βρίσκονται σε αδράνεια.
- ❖ Χρονικά παράθυρα: αφορά κυρίως τα χρονικά όρια εντός των οποίων κάθε κόμβος (σημείο εξυπηρέτησης) δύναται να εξυπηρετηθεί. Τα χρονικά όρια έχουν μεγάλο όφελος για τους πελάτες καθώς με την χρήση τους γίνεται ευκολότερος και απλούστερος ο προγραμματισμός της εργασίας τους. Από την άλλη μεριά τα χρονικά παράθυρα αποτελούν ένα μειονέκτημα για το τμήμα προμηθειών καθώς περιορίζει το χρόνο στον οποίο πρέπει να ολοκληρωθεί η παράδοση των υλικών ή των προϊόντων.
- ❖ Ο χρόνος εξυπηρέτησης αφορά των απαιτούμενο χρόνο παραμονής που χρειάζεται κάθε όχημα για να ολοκληρώσει την διακίνηση των προϊόντων σε κάθε πελάτη που εξυπηρετεί. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο παραπάνω χρόνος είναι σταθερός, ωστόσο εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την ποσότητα προϊόντων που βρίσκεται στο στάδιο της μεταφοράς, την χωροταξία των εγκαταστάσεων που διαθέτει ο πελάτης καθώς και τα χρονικά παράθυρα που έχει θέσει ο ίδιος.
- ❖ Προτεραιότητα ορισμένων πελατών η οποία αφορά την σημαντικότητα ενός πελάτη για την επιχείρηση σε σχέση με κάποιον άλλο με σκοπό να μην αντιμετωπίζονται ισοδύναμα όλοι κατά τον σχεδιασμό και την πραγματοποίηση ενός δρομολογίου. Πρακτικά αυτό είναι χρήσιμο σε περιπτώσεις που η ζήτηση ενός προϊόντος είναι αυξημένη με αποτέλεσμα τα αποθέματα να μην είναι αρκετά για την κάλυψη των αναγκών όλων των πελατών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ορισμένοι πελάτες να εξυπηρετούνται κατά προτεραιότητα από τους υπόλοιπους. Η παραπάνω κατηγορία πελατών επιλέγεται έπειτα από την ικανοποίηση των κριτηρίων που έχει θέσει η επιχείρηση.
- ❖ Ένας σημαντικός περιορισμός που είναι δύσκολη η πρόβλεψη και επίλυση του αρκετές φορές είναι τα χαρακτηριστικά των δικτύων διανομής των προϊόντων. Σύμφωνα με τον παραπάνω περιορισμό είναι ικανή και αναγκαία συνθήκη να ληφθούν υπόψη εξωτερικοί παράγοντες στο περιβάλλον δράσης της επιχείρησης όπως για παράδειγμα, η αυξημένη κυκλοφοριακή συμφόρηση και οι τυχόν ζημιές σε κάποιο από τα οχήματα μεταφοράς.
- ❖ Η ολοκλήρωση ενός δρομολογίου σε κάθε πελάτη δύναται να εξυπηρετηθεί από ένα ή περισσότερα οχήματα. Η επιλογή είναι του ίδιου του πελάτη και περιλαμβάνει την παράδοση των αναγκαίων προϊόντων και την επιστροφή τυχόν προϊόντων, απορριμμάτων με ένα ή περισσότερα οχήματα.

Κύριος στόχος ύπαρξης των προβλημάτων δρομολόγησης είναι η σχεδίαση και ο προσδιορισμός της βέλτιστης διαδρομής μέσω κόμβων, η οποία επιτυγχάνει την ελαχιστοποίηση του κόστους χωρίς να παραβιάζει τους περιορισμούς. Με σκοπό την επίλυση διαφόρων και περίπλοκων προβλημάτων δρομολόγησης οχημάτων με διαφορετικούς και κατά περίπτωση περιορισμούς έχουν αναπτυχθεί διάφορα VRP τα οποία εφαρμόζονται για κάθε περίπτωση αναλύοντας κάθε φορά τα δεδομένα που δίνονται.

Οι κυριότερες κατηγορίες προβλημάτων δρομολόγησης οχημάτων (VRP) είναι:

- ❖ Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με περιορισμό χωρητικότητας (CVRP)
- ❖ Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με περιορισμό χωρητικότητας και χρόνους εξυπηρέτησης
- ❖ Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με χρονικά παράθυρα (VRPTW)
- ❖ Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με ταυτόχρονη διανομή και παραλαβή προϊόντων κατά τη διάρκεια της διαδρομής (VRPPD)
- ❖ Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με εξυπηρέτηση πελατών με παραπάνω από ένα οχήματα (SDVRP)
- ❖ Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με δύο είδη πελατών κατά την διάρκεια της διαδρομής (με backhauls και linehauls)

2.1.1 Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με περιορισμό χωρητικότητας (CVRP)

Πρόκειται για το δημοφιλέστερο πρόβλημα δρομολόγησης, κατά το οποίο είναι καθορισμένη η χωρητικότητα καθώς και ο αριθμός των διαθέσιμων οχημάτων όπως και η ζήτηση των πελατών. Στο παραπάνω πρόβλημα ο πίνακας κόστους που χρησιμοποιείται για την βελτιστοποίηση του προβλήματος παίζει διπλό ρόλο. Από την μία μεριά χρησιμοποιείται για ως πίνακας αποστάσεων των κάθε κόμβων και από την άλλη ως πίνακας χρόνου μετάβασης (2019, Προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας). Στη συνέχεια διαμορφώνεται μία αντικειμενική συνάρτηση στην οποία είναι σημαντική η προσθήκη ή μη του χρόνου εξυπηρέτησης καθώς ο χρόνος προστίθεται μόνο στην περίπτωση όπου στην επίλυση του προβλήματος χρειάζεται η ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου εξυπηρέτησης, δηλαδή τον χρόνο που χρειάζεται το όχημα ή τα οχήματα για να ολοκληρώσουν τα δρομολόγια. Πρέπει να αναφερθεί ότι στη συγκεκριμένη κατηγορία προβλημάτων αφετηρία και τελικός προορισμός των οχημάτων μετά την ολοκλήρωση των δρομολογίων τους είναι η αποθήκη.

2.1.2 Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με περιορισμό χωρητικότητας και χρόνους εξυπηρέτησης

Πρόκειται για προβλήματα παρόμοια με την προηγούμενη κατηγορία στα οποία προστίθεται ακόμη ένας περιορισμός, ο οποίος είναι ο χρόνος εξυπηρέτησης για τους πελάτες και του μέγιστου χρόνου διαδρομής για κάθε όχημα μεταφοράς. Στην συγκεκριμένη κατηγορία προβλημάτων σε περιπτώσεις όπου μοναδικός περιορισμός είναι η ζήτηση των πελατών και η χωρητικότητα (capacity) των οχημάτων δηλαδή δεν

περιλαμβάνεται ο χρόνος, η δημιουργία νέων διαδρομών (εναλλακτική λύση) είναι ισοδύναμη με την αποστολή νέου οχήματος για να καλύψει το δρομολόγιο ή με την εκ νέου φόρτωση ενός οχήματος τη στιγμή που τελειώνει το δρομολόγιο και επιστρέφει πίσω στην αποθήκη (2019, Προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας).

2.1.3 Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με χρονικά παράθυρα (VRPTW)

Η παραπάνω κατηγορία προβλημάτων δρομολόγησης πρακτικά αποτελεί μία επέκταση ενός προβλήματος CVRP στο οποίο θα προστεθεί ακόμη ένας περιορισμός ο οποίος αφορά τον χρόνο τον οποίο έχει ορίσει ο ίδιος ο πελάτης και μέσα σε αυτόν το χρόνο είναι αναγκαίο να πραγματοποιηθεί η εξυπηρέτηση του συγκεκριμένου πελάτη (χρονικό παράθυρο). Ο παραπάνω προσδιορισμός είναι αρκετά χρήσιμος για τους πελάτες προκειμένου να οργανώσουν καλύτερα τις εργασίες τους, ωστόσο ασκεί μεγαλύτερη πίεση στον εφοδιασμό αφού πριν ή μετά από το χρονικό παράθυρο δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα ένας δεδομένος αριθμός οχημάτων ξεκινάει από μία αποθήκη προκειμένου να εξυπηρετήσει ένα γνωστό αριθμό πελατών με επίσης γνωστή την ζήτηση του καθενός, μέσα σε μία συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Το φορτίο που πρέπει να διανεμηθεί στον κάθε πελάτη (κάλυψη ζήτησης) πρέπει να πραγματοποιηθεί εντός ορισμένης χρονικής περιόδου την οποία καθορίζει ο ίδιος πελάτης.

Τα χρονικά παράθυρα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: στα χαλαρά χρονικά παράθυρα και στα σκληρά. Σύμφωνα με τα χαλαρά χρονικά παράθυρα αν ένα όχημα φτάσει στον πελάτη κάποια χρονική στιγμή εκτός των παραθύρων μπορεί να εξυπηρετήσει τον πελάτη την δεδομένη στιγμή. Αντίθετα με τα σκληρά χρονικά παράθυρα τα οποία δεν επιτρέπουν την εξυπηρέτηση του πελάτη αν το όχημα φτάσει στον κόμβο μετά από τον αργότερο χρόνο εξυπηρέτησης. Έτσι σε περιπτώσεις όπου το όχημα φτάνει στον κόμβο (πελάτη) πριν τον νωρίτερο χρόνο του παραθύρου πρέπει να περιμένει έως την αναγκαία ελάχιστη διαθέσιμη χρονική στιγμή ώστε να πραγματοποιηθεί η εξυπηρέτηση. Επιπροσθέτως η άφιξη του οχήματος στον κόμβο (πελάτη) καθώς και η ολοκλήρωση της εξυπηρέτησης του πρέπει να έχει ολοκληρωθεί ωστότου έχει ορίσει το μέγιστο χρονικό όριο ο πελάτης ενώ το όχημα παραμένει στον κόμβο (χώρος πελάτη) μέχρι να ολοκληρώσει την εκφόρτωση της ζήτησης του πελάτη (2019, Προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας).

2.1.4 Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με ταυτόχρονη διανομή και παραλαβή προϊόντων κατά τη διάρκεια της διαδρομής (VRPSPD)

Στην συγκεκριμένη κατηγορία ανήκουν τα προβλήματα δρομολόγησης στα οποία πραγματοποιείται διανομή και παραλαβή από τους πελάτες κατά την διάρκεια του δρομολογίου ταυτόχρονα. Σε αυτήν την κατηγορία ο πελάτης γνωστοποιεί δύο ποσότητες (O και D) ζήτησης, η μία αντιπροσωπεύει την ζήτηση των προϊόντων που πρέπει να διανεμηθεί στον πελάτη, ενώ η δεύτερη αντιπροσωπεύει την ποσότητα που πρέπει το όχημα να παραλάβει από τον πελάτη ώστε να το οδηγήσει πίσω στην

αποθήκη. Ένας κρίσιμος περιορισμός που προστίθεται στη παραπάνω κατηγορία είναι ότι σε κάθε πελάτη η διανομή των προϊόντων προηγείται της παραλαβής (Προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, 2019).

Κύρια χαρακτηριστικά του προβλήματος είναι:

- ❖ κάθε κύκλος περνάει από την αποθήκη
- ❖ κάθε πελάτης επισκέπτεται από έναν μόνο κύκλο
- ❖ κάθε όχημα αντιστοιχεί μόνο σε μία διαδρομή
- ❖ η ποσότητα αθροιστικά που μεταφέρει κάθε όχημα δεν πρέπει να παραβιάζει τον περιορισμό της χωρητικότητας και πρέπει να είναι μη αρνητική
- ❖ Για κάθε πελάτη i ο κόμβος O (κόμβος όπου ξεκινάνε τα προϊόντα που πρέπει να διανεμηθούν στον πελάτη) αν είναι διαφορετικός από την αποθήκη, πρέπει να εξυπηρετηθεί στην ίδια διαδρομή και πριν από τον συγκεκριμένο πελάτη i .
- ❖ Για κάθε πελάτη i ο κόμβος D (κόμβος όπου καταλήγουν τα προϊόντα που συλλέγονται από τον πελάτη) αν είναι διαφορετικός από την αποθήκη, πρέπει να εξυπηρετηθεί στην ίδια διαδρομή και μετά από τον συγκεκριμένο πελάτη i .

2.1.5 Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με εξυπηρέτηση πελατών με πολλαπλά οχήματα (SDVRP)

Στην παραπάνω κατηγορία προβλημάτων δρομολόγησης η ζήτηση ενός πελάτη επιτρέπεται να καλυφθεί με περισσότερα από ένα οχήματα μεταφοράς με την προϋπόθεση ότι αυτό μειώνει το συνολικό κόστος. Το συγκεκριμένο πρόβλημα είναι χρήσιμο σε περιπτώσεις όπου ένας στόλος οχημάτων τα οποία έχουν την ίδια χωρητικότητα μπορεί να εξυπηρετήσει ένα σύνολο πελατών, η ζήτηση των οποίων είναι πιθανό να είναι μεγαλύτερη από την χωρητικότητα ενός από τα οχήματα του στόλου. Επιπροσθέτως, από τα παραπάνω προκύπτει ότι ένας πελάτης είναι πιθανό να χρειαστεί να εξυπηρετηθεί περισσότερες από μία φορές προκειμένου να καλυφθεί η ζήτηση του. Ως αφετηρία και τερματισμός στα προβλήματα δρομολόγησης με παραπάνω από ένα οχήματα αποτελεί και σε αυτήν την περίπτωση η αποθήκη. Έτσι προκειμένου να ολοκληρωθεί ένα δρομολόγιο από κάποιο όχημα του στόλου πρέπει αυτό το όχημα να επιστρέψει στην αποθήκη. Στόχος είναι να βρεθεί η βέλτιστη ή οι βέλτιστες διαδρομές που ελαχιστοποιούν την διανυθείσα απόσταση όλων των οχημάτων.

2.1.6 Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με δύο είδη πελατών κατά την διάρκεια της διαδρομής (με backhauls και linehauls)

Η συγκεκριμένη κατηγορία αποτελεί ένα πρόβλημα δρομολόγησης στο οποίο η κατανομή των πελατών γίνεται σε δύο υποσύνολα. Το πρώτο υποσύνολο αποτελούν οι πελάτες που επιζητούν την διανομή συγκεκριμένης ποσότητας προϊόντων (linehauls). Το δεύτερο υποσύνολο συμπληρώνουν οι πελάτες οι οποίοι επιθυμούν να επιστρέψουν ή να περισυλλεχθεί από αυτούς συγκεκριμένη ποσότητα (backhauls). Κύριο γνώρισμα των συγκεκριμένων προβλημάτων είναι ότι αν και μπορούν να εξυπηρετηθούν πελάτες και των δύο υποσυνόλων σε μία διαδρομή, ποτέ ένας πελάτης δεν είναι εφικτό να

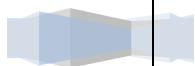
ανήκει ταυτοχρόνως και στα δύο υποσύνολα δηλαδή να απαιτεί παραλαβή μιας ποσότητας προϊόντων και να επιθυμεί επιστροφή προϊόντων από το ίδιο όχημα. Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά για αυτά τα προβλήματα δρομολόγησης είναι (Προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, 2019):

- ❖ Κάθε όχημα έχει την αποθήκη ως αφετηρία και τελικό προορισμό καθώς και ακολουθεί μία και μόνο συγκεκριμένη διαδρομή.
- ❖ Κάθε πελάτης επισκέπτεται από έναν μονό κύκλο.
- ❖ Ο περιορισμός της χωρητικότητας κάθε οχήματος δεν πρέπει να παραβιάζεται αφού συνυπολογίζεται και για τα δύο υποσύνολα πελατών.
- ❖ Το μέγιστο μήκος διαδρομής δεν πρέπει να ξεπερνάει την μέγιστη απόσταση που είναι ικανό να καλύψει το όχημα μεταφοράς.
- ❖ Σε κάθε δρομολόγιο πρώτα εξυπηρετούνται οι πελάτες της πρώτης ομάδας (διανομή) και στη συνέχεια της δεύτερης (επιστροφή ή περισυλλογή).
- ❖ Δεν μπορούν να υπάρξουν δρομολόγια τα οποία περιλαμβάνουν πελάτες μονάχα της δεύτερης κατηγορίας
- ❖ Στόχος του προβλήματος είναι η ελαχιστοποίηση της συνολικής διανυθείσας απόστασης των οχημάτων

2.2 Αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης

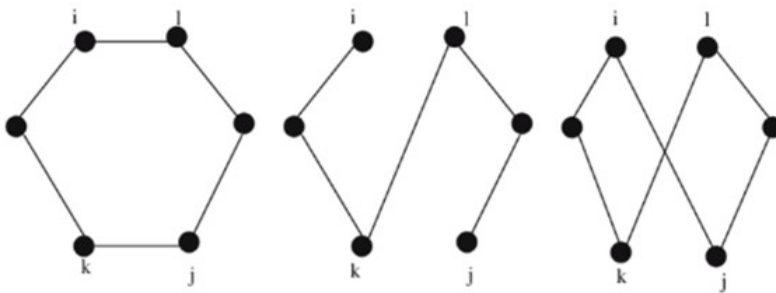
Η μέθοδος τοπικής αναζήτησης είναι μία από τις πιο διαδεδομένες και ίσως η αρχαιότερη μέθοδος βελτιστοποίησης. Η συγκεκριμένη μέθοδο βασίζεται κυρίως στην μέθοδο δοκιμής και σφάλματος και χαρακτηρίζεται από την απλούστατη διαμόρφωση και λειτουργία της η οποία ωστόσο είναι επιτυχημένη σε μεγάλο ποσοστό όπως έχει αποδειχθεί από την επίλυση αρκετών προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης (2019, Προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας). Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της μεθόδου τοπικής αναζήτησης είναι ότι μπορεί να ξεκινήσει από πολλά διαφορετικά σημεία και να επιλέγεται αυτό που επιφέρει την βέλτιστη λύση χωρίς να παραβιάζει τους περιορισμούς. Για την επιτυχή διεξαγωγή της παραπάνω μεθόδου είναι αναγκαίο:

- ❖ Να γνωρίζουμε ποιος θα είναι ο αριθμός των αρχικών σημείων που θα επιλεγθούν
- ❖ Να γίνει σωστή επιλογή της γειτονιάς που θα εφαρμοστεί η τοπική αναζήτηση
- ❖ Να γίνει σωστή επιλογή της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί για την τοπική αναζήτηση



2.2.1 Μέθοδος 2-opt

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος είχε προταθεί από τον Croes με σκοπό την περαιτέρω βελτίωση της αρχικής λύσης εφόσον δεν είναι η βέλτιστη, σε προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων (VRP). Στην μία περίπτωση δύο τυχαίες μη διαδοχικές ακμές οι οποίες ανήκουν στο ίδιο δρομολόγιο (κυκλική διαδρομή) αποκόπτονται από τις υπόλοιπες και ενώνονται μεταξύ τους ώστε να δημιουργήσουν μία νέα διαδρομή, όπου επιλέγεται αν είναι καλύτερη από την αρχική λύση που βρέθηκε και δεν παραβιάζει κάποιο περιορισμό. Στην άλλη περίπτωση επιλέγονται και ενώνονται δύο ακμές που ανήκουν σε διαφορετικά δρομολόγια (διαφορετικές κυκλικές διαδρομές) σχηματίζοντας μία τρίτη νέα διαδρομή. Αξίζει να αναφερθεί πως ο τρόπος που επιλέγονται οι ακμές μπορεί να είναι τυχαίος, είτε επιλέγονται οι δύο χειρότερες ακμές, είτε κάποιος συνδυασμός τους. Συνεπώς ο παραπάνω αλγόριθμος εκτελείται στις ήδη υπάρχουσες διαδρομές σχηματίζοντας μία νέα διαδρομή (με διαφορετική λύση) η οποία θεωρείται βελτιστοποιημένη και γίνεται αποδεκτή αν το συνολικό κόστος της διαδρομής που έχει βρεθεί είναι μικρότερο από το κόστος της αρχικής λύσης.



ΣΧΗΜΑ 9. Παράδειγμα μεθόδου 2-opt

2.2.2 Μέθοδος βελτιστοποίησης που υλοποιήθηκε

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε με στόχο την βελτιστοποίηση της αρχικής λύσης αποτελείται από μία επαναληπτική διαδικασία, που εστιάζει στην τοπική αναζήτηση. Σκοπός είναι η επιμέρους βελτιστοποίηση κάθε διαδρομής ξεχωριστά με την εκ νέου ταξινόμηση των δρομολογίων. Η επιτυχής βελτιστοποίηση κάθε επιμέρους λύσης πραγματοποιείται με την τυχαία αντιμετάθεση δύο κόμβων που βρίσκονται ανάμεσα από την αφετηρία και τον τερματισμό (αποθήκη), διασφαλίζοντας την τήρηση των περιορισμών που έχουν τεθεί κατά την αρχή του προβλήματος δρομολόγησης. Μία λύση γίνεται αποδεκτή εφόσον αξιολογείται αναλόγως. Απαραίτητες προϋποθέσεις για να γίνει αποδεκτή είναι το νέο κόστος που υπολογίζεται να είναι μικρότερο από το κόστος της αρχικής λύσης και να μην παραβιαστεί κάποιος από τους περιορισμούς του προβλήματος.

Ταυτόχρονα κάθε επιλογή ζεύγους κόμβων που τίθεται ως προς αξιολόγηση, δεν επιτρέπεται να επαναληφθεί για συγκεκριμένο αριθμό βημάτων, ώστε να μην πραγματοποιούνται οι ίδιες αλλαγές στην ισχύουσα λύση για τα τέσσερα (4) επόμενα βήματα.

2.3 Μεθευρετικοί Αλγόριθμοι

Οι μεθευρετικοί αλγόριθμοι είναι διαδικασίες επίλυσης προβλημάτων που εξετάζουν ένα υποσύνολο από τις λύσεις που έχουν βρεθεί ώστε να βρεθεί μεταξύ αυτών μία λύση καλύτερη από τις υπόλοιπες ώστε να θεωρηθεί βέλτιστη, κάνοντας χρήση τεχνικών συνδυάζοντας κατασκευαστικούς και βελτιωτικούς αλγορίθμους. Επίσης η χρήση μεθευρετικών αλγορίθμων συνίσταται σε περιπτώσεις όπου η επίλυση του προβλήματος έχει σταματήσει σε κάποιο τοπικό ελάχιστο με αποτέλεσμα να υπάρχει πιθανότητα να μην μπορεί η μέθοδος τοπικής αναζήτησης να ξεφύγει από το τοπικό ελάχιστο και να βελτιωθεί εκ νέου η λύση του προβλήματος (2019, Προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας).

Οι μεθευρετικοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται στα προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων, προσπαθούν να βρουν προσεγγιστικά μία λύση η οποία είτε είναι βέλτιστη ή βρίσκεται κοντά στην βέλτιστη. Ωστόσο ένα σημαντικό μειονέκτημα αυτών των αλγορίθμων είναι ότι δεν είναι σε θέση να υπολογίσουν πόσο κοντά είναι η λύση που έχει βρεθεί στην βέλτιστη λύση. Συνεπώς, ως καλύτερη λύση λαμβάνεται αυτήν που έχει εντοπιστεί ως το σημείο εκτέλεσης του αλγορίθμου. Προκειμένου να αποφευχθεί το παραπάνω συνήθως ως κριτήριο τερματισμού των μεθευρετικών αλγορίθμων χρησιμοποιούνται χρονικά όρια ή όρια επανάληψης του αλγορίθμου.

Υπάρχουν αρκετά διαφορετικά ήδη μεθευρετικών αλγορίθμων. Είναι οι αλγόριθμοι όπου χρησιμοποιούν μία λύση πραγματοποιώντας τοπική αναζήτηση γύρω από την λύση όπου βρέθηκε και υπάρχουν αλγόριθμοι που έχουν ένα σύνολο από λύσεις πραγματοποιώντας αναζήτηση σε ολόκληρο τον χώρο των λύσεων.

2.3.1 Περιορισμένη Αναζήτηση (Tabu Search)

Η μέθοδος της περιορισμένης αναζήτησης προτάθηκε από τον Fred Glover το 1986 και αποτελεί ακόμη σήμερα μία από τις αποδοτικότερες μεθόδους αναζήτησης που χρησιμοποιούνται για την επίλυση προβλημάτων. Η μέθοδος έχει το χαρακτηριστικό ότι συνεχίζει την αναζήτηση ακόμη και στην περίπτωση εύρεσης τοπικού ελαχίστου. Σε περιπτώσεις που παγιδεύεται στο τοπικό ελάχιστο έχει την ικανότητα να μετακινηθεί από μία λύση σε μία άλλη χρησιμοποιώντας μνήμη (επιστροφή σε προηγούμενες λύσεις που έχουν βρεθεί). Στην παραπάνω μέθοδο κάθε τελευταία κίνηση και βήμα της αναζήτησης καταγράφεται σε μία λίστα η οποία ονομάζεται λίστα περιορισμένων κινήσεων συμβάλλοντας ώστε να μην γίνεται κύκλος γύρω από μία συγκεκριμένη λύση και να υπάρχει κίνδυνος να δημιουργηθεί ατέρμων βρόχος. Οι συγκεκριμένες κινήσεις που δεν είναι εφικτό να πραγματοποιηθούν λέγονται περιορισμένες κινήσεις. Το μέγεθος της παραπάνω λίστας είναι σημαντικός παράγοντας επιτυχίας ή μη της μεθόδου της Tabu αναζήτησης. Σε περίπτωση που έχει γεμίσει το μέγεθος της λίστας για κάθε κίνηση που αποθηκεύεται πλέον στην λίστα αντιστοιχεί στην διαγραφή της πρώτης που έχει προστεθεί ώστε να αποφευχθεί η μετακίνηση σε ίδιες λύσεις που βρέθηκαν προηγουμένως. Στις ελάχιστες φορές που πρέπει να γίνει μία κίνηση που βρίσκεται στη λίστα περιορισμένων κινήσεων, μπορεί να πραγματοποιηθεί με την προϋπόθεση να βελτιώνει την συνάρτηση κόστους. Ένα

μειονέκτημα της παραπάνω μεθόδου είναι ότι η αποθήκευση των λύσεων καθώς και των κινήσεων που πραγματοποιήθηκαν απαιτεί την δέσμευση και κατανάλωση αρκετής μνήμης, πράγμα που δεν είναι επιθυμητό. Για αυτόν το λόγο σύνηθες φαινόμενο είναι να αποθηκεύεται μόνο η τιμή των λύσεων που βρέθηκαν.

2.3.2 Προσομοιωμένη Ανόπτηση (Simulated Annealing)

Ο αλγόριθμος της προσομοιωμένης ανόπτησης παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 1983 από τους Kirkpatrick, Gelatt και Vecchi και αναπαριστά την διαδικασία της ανόπτησης των υλικών. Η ανόπτηση είναι η διαδικασία με την οποία ένα μέταλλο θερμαίνεται και στη συνέχεια ψύχεται σταδιακά με ρυθμό ψύξης ο οποίος είναι ελεγχόμενος. Στην βελτιστοποίηση, η ανόπτηση ισοδυναμεί με την κίνηση σε χώρους αναζήτησης, οι οποίοι συνήθως είναι διακριτοί και σπάνια συνεχείς. Ο αλγόριθμος λειτουργεί ανάμεσα στην ανόπτηση των υλικών και στη στρατηγική επίλυσης προβλημάτων. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα που προσφέρει η μέθοδος της προσομοιωμένης ανόπτησης είναι ότι αποφεύγει σε μεγάλο βαθμό να παγιδευτεί σε ακρότατα.

Ο αλγόριθμος της προσομοιωμένης ανόπτησης λειτουργεί σε πέντε βήματα τα οποία είναι:

- [1] Εύρεση μιας αρχικής λύσης η οποία είναι τυχαία και καθορισμός της αρχικής τιμής της θερμοκρασίας
- [2] Στην συνέχεια με την βοήθεια του αλγορίθμου πραγματοποιείται η εύρεση μιας γειτονικής λύσης με μικρή διαταραχής της αρχικής λύσης του πρώτου βήματος
- [3] Η παραπάνω λύση είναι αποδεκτή μόνο στις περιπτώσεις όπου είναι καλύτερη από την αρχική λύση. Αν δεν είναι εφαρμόζεται το κριτήριο Metropolis και εν συνεχεία αποφασίζεται ποια από τις δύο λύσεις είναι αποδεκτή. Στην περίπτωση που μία λύση είναι αποδεκτή δηλαδή καλύτερη από τις προηγούμενες τότε τις αντικαθιστά.
- [4] Στις περιπτώσεις που δεν οδηγηθεί ο αλγόριθμος σε κάποια αποδεκτή λύση τότε πραγματοποιείται επανάληψη του δεύτερου και τρίτου βήματος. Ως περιορισμός τερματισμού χρησιμοποιείται όριο επαναλήψεων αλλά η θερμοκρασία παραμένει η ίδια.
- [5] Η αποδεκτή λύση που έχει γίνει τελευταία πριν το πέρας του αλγορίθμου αποτελεί την αρχική λύση για την συγκεκριμένη θερμοκρασία που επιλέχθηκε. Ύστερα η θερμοκρασία μειώνεται και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται (εκκίνηση από το βήμα 2) μέχρι το τερματισμό του.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗ ΠΕΛΑΤΩΝ ΜΕ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΑΠΟ ΕΝΑ ΟΧΗΜΑΤΑ (SDVRP)

3.1 Υλοποίηση προβλήματος Split Delivery Vehicle Routing Problem

Σκοπός της υλοποίησης του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων με παραπάνω από ένα οχήματα (SDVRP) είναι να βρεθεί το βέλτιστο σύνολο διαδρομών (δρομολογίων)-καθεμία από τις οποίες πραγματοποιεί διαφορετικό όχημα-που ικανοποιεί την ζήτηση (**demand**) του συνόλου των πελατών (**komvoi**) και ελαχιστοποιεί την απόσταση του δρομολογίου (**sumroutedistance**) χωρίς να παραβιάζονται ορισμένοι κανόνες οι οποίοι στην παραπάνω περίπτωση αποτελούν η υπέρβαση της χωρητικότητας κάθε οχήματος (**capacity**) από αυτά που χρησιμοποιούνται για την δρομολόγηση και ο μέγιστος χρόνος που το όχημα θα πρέπει να παραμείνει στην συγκεκριμένη διαδρομή (**mtr**).

3.1.1 Εισαγωγή δεδομένων στο πρόγραμμα (Data Reading)

Είναι σαφές πως κάθε πρόγραμμα προκειμένου να εξάγει το επιθυμητό αποτέλεσμα, επεξεργάζεται ένα σύνολο ή αλλιώς μία συλλογή διακριτών τιμών. Στην παραπάνω περίπτωση τα δεδομένα παρέχονται στο πρόγραμμα από το άνοιγμα και την επεξεργασία ενός απλούστατου τύπου αρχείου txt ο οποίος περιέχει μέσα τιμές. Παρακάτω παρουσιάζεται το άνοιγμα του αρχείου όπου είναι αναγκαίο για την καθολική και επιτυχή διεξαγωγή του προγράμματος.

```
9  FILE *fp;
10  fp=fopen("par2.txt","r");
11  char line[1000];
12  int read_cnt;
13  if (fp==NULL)
14  {
15      printf("Can't Open File.");
16      printf("Program Terminated...");
17      return 1;
18  }
19
```

ΕΙΚΟΝΑ 1. Άνοιγμα αρχείου par2.txt

Εφόσον πραγματοποιήθηκε επιτυχώς το αρχικό άνοιγμα του αρχείου και το πρόγραμμα δεν τερματίστηκε, είναι απαραίτητο να διαβαστεί κάθε δεδομένο που περιέχεται στο αρχείο κειμένου. Αρχικά το διάβασμα κάθε γραμμής και αριθμού γίνεται ξεχωριστά από τις επόμενες γραμμές οι οποίες περιέχουν ένα σύνολο στοιχείων που σχετίζονται μεταξύ τους και θα τοποθετηθούν σε πίνακα.

Αρχικά στην πρώτη γραμμή εισάγεται ο αριθμός των κόμβων (**komvoi**) δηλαδή των πελατών που υπάρχει η ανάγκη κάλυψης της ζήτησης τους, περιλαμβάνοντας στον 1^ο

κόμβο την αποθήκη την οποία θα χρειαστεί κάθε όχημα γιατί αποτελεί η αφετηρία και

```
20 fgets(line,sizeof(line),fp);
21 sscanf(line,"%d",&komvoi);
22 printf("\n%d",komvoi);
23
24 fgets(line,sizeof(line),fp);
25 sscanf(line,"%d",&akirosnum);
26 printf("\n%d",akirosnum);
27
28 fgets(line,sizeof(line),fp);
29 sscanf(line,"%d",&capacity);
30 printf("\n%d",capacity);
31
32 fgets(line,sizeof(line),fp);
33 sscanf(line,"%d",&mtr);
34 printf("\n%d",mtr);
35
36 fgets(line,sizeof(line),fp);
37 sscanf(line,"%d",&servtime);
38 printf("\n%d",servtime);
```

ο τερματισμός κάθε δρομολογίου.

ΕΙΚΟΝΑ 2.Διάβασμα αριθμού κόμβων, χωρητικότητας, μέγιστου χρόνου οχήματος στη διαδρομή και χρόνου εξυπηρέτησης

Συνεχίζεται η συλλογή με παρόμοιο τρόπο για έναν αδιάφορο αριθμό που δεν κάνει χρήση σε αυτή την περίπτωση (**akirosnum**), την χωρητικότητα (**capacity**), τον μέγιστο χρόνο που θα πρέπει το όχημα να παραμείνει στη διαδρομή και τέλος ο χρόνος εξυπηρέτησης (**servtime**). Η εισαγωγή των

Έπειτα από την εισαγωγή των παραπάνω μεμονωμένων δεδομένων σειρά έχει το διάβασμα των μεταβλητών **X (sintX)** και **Y (sintY)** οι οποίες είναι απαραίτητες για την δημιουργία και τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ κάθε πελάτη καθώς και της αποθήκης μεταξύ των πελατών. Η εισαγωγή των παραπάνω δεδομένων θα γίνει με την βοήθεια ενός δυναμικού πίνακα ο οποίος διαθέτει το μέγεθος των κόμβων (**komvoi**) όπως διαβάστηκε πρώτο έπειτα από το επιτυχές άνοιγμα.

```
39
40 int *nodes,*sintX,*sintY;
41 nodes=malloc(sizeof(int)*komvoi);
42 sintX=malloc(sizeof(int)*komvoi);
43 sintY=malloc(sizeof(int)*komvoi);
```

ΕΙΚΟΝΑ 3.Δημιουργία δυναμικού πίνακα για τους κόμβους, την συντεταγμένη X και την συντεταγμένη Y

Στην παραπάνω περίπτωση κάθε μία γραμμή περιλαμβάνει περισσότερα από ένα δεδομένα που θα φανούν χρήσιμα στη συνέχεια οπότε συλλέγονται αναλόγως. Η συγκεκριμένη διαδικασία θα επαναληφθεί όσες φορές όσος είναι και ο αριθμός των κόμβων που διαβάστηκε στην αρχή του προγράμματος προκειμένου να γίνει η συλλογή των απαραίτητων δεδομένων για το σύνολο των κόμβων που υπάρχουν. Για τον λόγο αυτό το διάβασμα κάθε γραμμής θα εισαχθεί στο εσωτερικό ενός βρόχου **while**. Συνεπώς διαβάζονται σειρά ανά σειρά αυτήν την φορά όχι ένα αλλά τρία διαφορετικά δεδομένα όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.


```

44     i=1;
45     while (i<=komvoi)
46     {
47         fgets(line,sizeof(line),fp);
48         read_cnt=sscanf(line,"%d %d %d",&nodes[i],&sintX[i],&sintY[i]);
49         printf("\n%d\t%d\t%d",nodes[i],sintX[i],sintY[i]);
50         i++;
51     }

```

ΕΙΚΟΝΑ 4.Διάβασμα κόμβων, συντεταγμένης X και συντεταγμένης Y

Στην συνέχεια η διαδικασία θα επαναληφθεί για το διάβασμα της ζήτησης (**demand**) κάθε κόμβου επίσης με τη δημιουργία δυναμικού πίνακα όπου έχει μέγεθος όσοι και οι κόμβοι. Συνεπώς διαβάζονται σειρά ανά σειρά αυτήν την φορά όχι ένα αλλά δύο διαφορετικά δεδομένα όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.

```

52     j=1;
53     int *demand;
54     demand=malloc(sizeof(int)*komvoi);
55     while (j<=komvoi)
56     {
57         fgets(line,sizeof(line),fp);
58         read_cnt=sscanf(line,"%d %d ",&nodes[j],&demand[j]);
59         printf("\n%d\t%d",nodes[j],demand[j]);
60         j++;
61     }
62     printf("\n\nEnd Of DATA Reading");
63     fclose(fp);

```

ΕΙΚΟΝΑ 5.Δημιουργία δυναμικού πίνακα και διάβασμα για τη ζήτηση κάθε κόμβου

3.1.2 Δημιουργία πίνακα αποστάσεων, ελέγχου ζήτησης και αποθήκευσης δρομολογίων

Στο συγκεκριμένο πρόβλημα το κόστος εκφράζεται σε ευκλείδειες αποστάσεις. Για κάθε μία λύση λοιπόν υπολογίζεται ως κόστος η απόσταση που διανύει κάθε όχημα καθώς και η συνολική απόσταση κάθε δρομολογίου όπως και το άθροισμα αυτών. Ο πίνακας τον αποστάσεων δίνεται από την σχέση:

$$\text{Distance}=c_{ij}=\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

Ο παραπάνω πίνακας είναι ένας τετραγωνικός πίνακας με διαστάσεις όσοι και οι κόμβοι κάθε προβλήματος, ο οποίος στην διαγώνιο του αποτελείται από μηδενικά καθώς η απόσταση του κόμβου από τον ίδιο της τον εαυτό ισούται με το μηδέν. Η αρχικοποίηση του πίνακα των αποστάσεων (**distance[76][76]**) και η ανάθεση τιμών στον ίδιο πίνακα γίνεται στις γραμμές κώδικα που φαίνονται στην Εικόνα 6.

```

64 double distance[komvoi][komvoi];
65 for (i=1; i<=komvoi; i++)
66 {
67     for (j=1; j<=komvoi; j++)
68     {
69         distance[i][j]=0;
70     }
71 }
72
73 double temp,tempdistance;
74 for (i=1; i<=komvoi; i++)
75 {
76     for (j=1; j<=komvoi; j++)
77     {
78         temp=0;
79         if (i==j)
80         {
81             distance[i][j]=0;
82         }
83         else
84         {
85             temp=pow((double)(sintX[i]-sintX[j]),2) + pow((double)(sintY[i]-sintY[j]),2);
86             tempdistance=sqrt((double)temp);
87             distance[i][j]=fabs(tempdistance);
88         }
89     }
90 }

```

EΙΚΟΝΑ 6. Κατασκευή και αρχικοποίηση διανύσματος αποστάσεων (Distance)

Αξίζει να αναφερθεί πως ο παραπάνω πίνακας δηλώνεται ως δεκαδικός γιατί η απόσταση δεν παίρνει μόνο ακέραιες τιμές. Επίσης για διασφάλιση της θετικότητας καθώς η απόσταση δεν μπορεί να παίρνει αρνητικές τιμές στο τελικό διάνυσμα δίνεται η απόλυτη τιμή του αριθμού που έχει υπολογιστεί.

Ο κώδικας συνεχίζει με την αρχικοποίηση ενός ακέραιου διανύσματος (**nodedemand_check**) το οποίο κατά την εκκίνηση του προβλήματος έχει την ίδια ακριβώς τιμή με το διάνυσμα της ζήτησης. Κύριος σκοπός ύπαρξης του είναι να ελέγχει όχι μόνο αν προσπελάστηκε το σύνολο των κόμβων αλλά και αν καλύφθηκε πλήρως η ζήτηση κάθε κόμβου. Η κατασκευή του παραπάνω πίνακα γίνεται παρομοίως με τις προηγούμενες δυναμικά, με δέσμευση μνήμης για αριθμό ίσο με τους κόμβους συμπεριλαμβανόμενης της αποθήκης.

```

91 int *nodedemand_check;
92 nodedemand_check=malloc(sizeof(int)*komvoi);
93 for (i=1; i<=komvoi; i++)
94 {
95     |   nodedemand_check[i]=demand[i];
96 }
97 int trucks_used,flag,xwros,pointer;
98 flag=0;
99 trucks_used=0;

```

EΙΚΟΝΑ 7. Κατασκευή και αρχικοποίηση διανύσματος ελέγχου ικανοποίησης ζήτησης (**nodedemand_check**)

Το διάνυσμα όπως προαναφέρθηκε στην αρχή ισούται με το διάνυσμα της ζήτησης, αλλά από το οποίο μειώνεται η ποσότητα κάθε φορά που το όχημα επισκέπτεται τον εκάστοτε κόμβο τόσο όσες και οι μονάδες των προϊόντων που εξυπηρετεί. Παράλληλα το συγκεκριμένο διάνυσμα συμβάλλει ώστε ο αλγόριθμος να τελειώνει όταν ολοκληρω

το διάνυσμα ισούται με μηδέν, που σημαίνει ότι έχει καλυφθεί πλήρως η ζήτηση κάθε πελάτη (κόμβου).

Η μεταβλητή **trucks_used** αποθηκεύει τον συνολικό αριθμό των φορτηγών που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη ολόκληρης της ζήτησης, ενώ η μεταβλητή **flag** είναι ένα διάνυσμα που ελέγχει αν ικανοποιούνται ορισμένοι αναγκαίοι περιορισμοί ώστε να ξεκινήσει και να συνεχίζει ο βρόχος. Τέλος η μεταβλητή **xwros** κατά την αρχή του βρόχου ισούται με την χωρητικότητα του οχήματος (**capacity**), η οποία ωστόσο μειώνεται κάθε φορά που ένας πελάτης εξυπηρετείται ενώ όταν ξεκινάει εκ νέου ένα δρομολόγιο παίρνει ξανά την αρχική τιμή της χωρητικότητας. Όλες οι παραπάνω μεταβλητές είναι ακέραιες μορφής.

```
100  int numNode;
101  int RouteNodeNum[100],RouteNodeSum;
102  for (i=0; i<100; i++)
103  {
104      RouteNodeNum[i]=0;
105  }
106  int** RouteSequence=(int**)malloc(komvoi*sizeof(int));
107  int** DemandSequence=(int**)malloc(komvoi*sizeof(int));
108  for (i=0; i<komvoi; i++)
109  {
110      RouteSequence[i]=(int*)malloc(komvoi*sizeof(int));
111      DemandSequence[i]=(int*)malloc(komvoi*sizeof(int));
112  }
```

ΕΙΚΟΝΑ 8.Πίνακας αποθήκευσης δρομολογίων και ζήτησης δρομολογίων

Όπως γίνεται κατανοητό στις παραπάνω γραμμές κώδικα δημιουργούνται ορισμένες απαραίτητες μεταβλητές που η χρησιμότητα τους είναι να βρεθεί και στην συνέχεια να αποθηκευτεί στον πίνακα **RouteNodeNum** ο αριθμός των κόμβων που περιλαμβάνει κάθε διαδρομή. Στην συνέχεια δεσμεύεται μνήμη για έναν πίνακα με δύο διαστάσεις (2D) στον οποίο αποθηκεύεται η σειρά των κόμβων που επισκέπτεται καθένα από τα οχήματα στα δρομολόγια που πραγματοποιούνται (πίνακας **RouteSequence**). Επίσης ο πίνακας **DemandSequence** αντιστοιχεί στην ποσότητα που εξυπηρετεί το όχημα μετά την προσπέλαση κάθε κόμβου, δεσμεύοντας μνήμη επίσης δυναμικά.

3.1.3 Έλεγχος ύπαρξης ζήτησης πριν την έναρξη του βρόχου

Παρακάτω πραγματοποιείται ένας τυπικός έλεγχος στο διάνυσμα που ελέγχει τη ζήτηση. Σε περίπτωση που υπάρχει έστω και ένας κόμβος (πελάτης) με υπαρκτή ανικανοποίητη ζήτηση δίνεται η έναρξη του πρώτου δρομολογίου. Ο πίνακας **nodedemand_check** ισούται με τον πίνακα της ζήτησης (**demand**) κατά την στιγμή όπου το αρχείο ανοίχτηκε. Στην συνέχεια δίνεται το σήμα για την εκκίνηση του πρώτου σε σειρά δρομολογίου πριν μπει στον κύριο βρόχο ο κώδικας.

```

113 for (j=1; j<=komvoi; j++)
114 {
115     if (nodedemand_check[j]!=0)
116     {
117         flag=1;
118         xwros=capacity;
119         trucks_used=1;
120         printf("\n\nBeginning Of Route Number:%d",trucks_used);
121         pointer=1;
122         numNode=0;
123         RouteNodeSum=1;
124         printf("\n%d",pointer);
125         RouteSequence[trucks_used][numNode]=pointer;
126         DemandSequence[trucks_used][numNode]=demand[pointer];
127         break;
128     }
129 }
130 if (flag==0)
131 {
132     return 404;
133 }

```

ΕΙΚΟΝΑ 9.Τυπικός έλεγχος πριν την έναρξη του κύριου βρόχου

Σε περίπτωση που δεν υπάρχει ζήτηση που πρέπει να ικανοποιηθεί η μεταβλητή **flag** παραμένει ίση με μηδέν και το πρόγραμμα τερματίζει επιστρέφοντας την τιμή 404.

```

134 int temp1,closestnode;
135 double tempdimax;
136 tempdimax=10000000.0;
137 double *sumroutedistance;
138 sumroutedistance=(double*)malloc(sizeof(double)*komvoi);

```

ΕΙΚΟΝΑ 10.Δυναμικός πίνακας για την αποθήκευση της συνολικής απόστασης κάθε δρομολογίου

Στις γραμμές κώδικα 134 μέχρι 138 αρχικοποιούνται μεταβλητές που βοηθούν στην υλοποίηση εύρεσης του κοντινότερου κόμβου από την αποθήκη στην αρχή και μεταξύ τους στην συνέχεια. Επίσης αρχικοποιείται ένα διάνυσμα (**sumroutedistance**) που περιέχει την συνολική απόσταση που διανύθηκε από φορτηγό σε κάθε διαδρομή. Τέλος δεσμεύεται δυναμικά μνήμη για ίσο αριθμό με τους κόμβους, στο ενδεχόμενο που κάθε όχημα μπορεί να εξυπηρετήσει μόνο έναν πελάτη ή ένα όχημα μπορεί να εξυπηρετήσει το σύνολο των πελατών.



3.1.4 Έναρξη κεντρικού βρόχου

Κατά την πρώτη εισχώρηση στον βρόχο της *while*, εφόσον δηλαδή υπάρχει ζήτηση που πρέπει να ικανοποιηθεί, ο αλγόριθμος συνεχίζει με την εύρεση του κοντινότερου κόμβου από αυτόν στον οποίο είναι το όχημα αυτήν την στιγμή.

```
139 while (flag==1)
140 {
141   for (j=1; j<=komvoi; j++)
142   {
143     if ((0<distance[pointer][j]) && (distance[pointer][j]<tempdimax) && (0<nodedemand_check[j]))
144     {
145       tempdimax=distance[pointer][j];
146       closestnode=j;
147     }
148   }
```

ΕΙΚΟΝΑ 11.Εύρεση κοντινότερου κόμβου

Αξίζει να σημειωθεί πως προκειμένου να καταχωρηθεί η θέση και η απόσταση του κοντινότερου κόμβου, απαραίτητη προϋπόθεση είναι να υπάρχει ανικανοποίητη ζήτηση (δηλαδή μεγαλύτερη του μηδενός). Εφόσον υπάρχει και βρεθεί ο κοντινότερος κόμβος όπου έχει ζήτηση η οποία δεν έχει εξυπηρετηθεί, ο κώδικας συνεχίσει ελέγχοντας σε μία συνθήκη η οποία σχετίζεται με την χωρητικότητα του φορτηγού, δηλαδή:

```
149 if (nodedemand_check[closestnode]>0)
150 {
151   if (nodedemand_check[closestnode]==xwros)
152   {
153     numNode=numNode+1;
154     DemandSequence[trucks_used][numNode]=nodedemand_check[closestnode];
155     temp1=nodedemand_check[closestnode]-xwros;
156     xwros=xwros-nodedemand_check[closestnode];
157     nodedemand_check[closestnode]=temp1;
158     sumroutedistance[trucks_used]=sumroutedistance[trucks_used]+tempdimax
159     pointer=closestnode;
160     printf("\n%d",pointer);
161     RouteNodeSum=RouteNodeSum+1;
162     RouteSequence[trucks_used][numNode]=pointer;
163   }
```

ΕΙΚΟΝΑ 12.Ζήτηση ίση με την διαθέσιμη χωρητικότητα του φορτηγού

Σε αυτήν τη περίπτωση η ζήτηση καθώς και η χωρητικότητα του φορτηγού από τη στιγμή που θα εξυπηρετήσει τον συγκεκριμένο πελάτη θα ισούνται με το μηδέν. Αυτό σημαίνει πως ο συγκεκριμένος κόμβος εξυπηρετήθηκε πλήρως και το φορτηγό επιστρέφει πίσω στην αφετηρία του (αποθήκη).

Στην επόμενη συνθήκη η ζήτηση του πελάτη είναι περισσότερη από αυτήν που υπάρχει διαθέσιμη στο συγκεκριμένο φορτηγό. Αυτό σημαίνει πως ο πελάτης θα εξυπηρετηθεί με την ποσότητα που το φορτηγό δύναται να του προσφέρει. Ως αποτέλεσμα το φορτηγό θα επιστρέψει πίσω στην αφετηρία του, ένα δρομολόγιο θα ξεκινήσει εκ νέου και ο συγκεκριμένος κόμβος (πελάτης) είναι αναγκαίο να

επισκεφθεί ξανά σε μελλοντικό δρομολόγιο ώστε να ικανοποιηθεί το σύνολο της ζήτησης που απομένει.

```
164     else if (nodedemand_check[closestnode]>xwros)
165     {
166         nodedemand_check[closestnode]=nodedemand_check[closestnode]-xwros;
167         numNode=numNode+1;
168         DemandSequence[trucks_used][numNode]=xwros;
169         xwros=0;
170         sumroutedistance[trucks_used]=sumroutedistance[trucks_used]+tempdimax;
171         pointer=closestnode;
172         printf("\n%d",pointer);
173         RouteNodeSum=RouteNodeSum+1;
174         RouteSequence[trucks_used][numNode]=pointer;
175     }
```

ΕΙΚΟΝΑ 13. Ζήτηση μεγαλύτερη από την διαθέσιμη χωρητικότητα του φορτηγού

Στην τελική συνθήκη ελέγχου ζήτησης η χωρητικότητα του φορτηγού είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση του πελάτη. Επομένως ο συγκεκριμένος κόμβος θα εξυπηρετηθεί πλήρως, ενώ το δρομολόγιο θα συνεχίσει την διαδρομή του για να εξυπηρετήσει περισσότερους πελάτες.

```
176     else if (nodedemand_check[closestnode]<xwros)
177     {
178         xwros=xwros-nodedemand_check[closestnode];
179         numNode=numNode+1;
180         DemandSequence[trucks_used][numNode]=nodedemand_check[closestnode];
181         nodedemand_check[closestnode]=0;
182         sumroutedistance[trucks_used]=sumroutedistance[trucks_used]+tempdimax;
183         pointer=closestnode;
184         printf("\n%d",pointer);
185         RouteNodeSum=RouteNodeSum+1;
186         RouteSequence[trucks_used][numNode]=pointer;
187     }
188 }
```

ΕΙΚΟΝΑ 14. Ζήτηση μικρότερη από την διαθέσιμη χωρητικότητα του φορτηγού

Από την στιγμή που προσδιορίστηκε ο κοντινότερος κόμβος καθώς και η ποσότητα της ζήτησης που μπορεί να εξυπηρετήσει το φορτηγό, ανανεώνεται η συνθήκη του βρόχου (**flag**) και ελέγχεται επαναληπτικά ο πίνακας της ζήτησης ώστε να βρεθεί αν υπάρχει κόμβος που πρέπει να εξυπηρετηθεί. Αν υπάρχει έστω και ένας κόμβος με ζήτηση μεγαλύτερη του μηδέν ο κύριος βρόχος ξεκινάει εκ νέου.

```
189     flag=0;
190     for (k=1; k<=komvoi; k++)
191     {
192         if (nodedemand_check[k]!=0)
193         {
194             flag=1;
195         }
196     }
```

ΕΙΚΟΝΑ 15. Έλεγχος ύπαρξης ανικανοποίητης ζήτησης στο εσωτερικό του βρόχου

Η τελευταία συνθήκη στο εσωτερικό του κύριου βρόχου, ελέγχει αν στο συγκεκριμένο φορτηγό υπάρχει διαθέσιμη χωρητικότητα ή το δρομολόγιο έχει υπερβεί τον μέγιστο χρόνο (**mtr**) που πρέπει να παραμείνει στη διαδρομή.

```

197 if ((xwros==0) || (mtr<sumroutedistance[trucks_used]))
198 {
199     sumroutedistance[trucks_used]=sumroutedistance[trucks_used]+distance[pointer][1];
200     pointer=1;
201     numNode=numNode+1;
202     RouteNodeSum=RouteNodeSum+1;
203     RouteNodeNum[trucks_used]=RouteNodeSum;
204     RouteSequence[trucks_used][numNode]=pointer;
205     DemandSequence[trucks_used][numNode]=demand[pointer];
206     printf("\n%d",pointer);
207     printf("\nCurrent Capacity On Truck Is:%d",xwros);
208     xwros=capacity;
209     printf("\nThere Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot",pointer);
210     printf("\nTotal Distance of Route Number %d is:%f",trucks_used,sumroutedistance[trucks_used]);
211     trucks_used=trucks_used+1;
212     numNode=0;
213     RouteNodeSum=0;
214     RouteSequence[trucks_used][numNode]=pointer;
215     DemandSequence[trucks_used][numNode]=demand[pointer];
216     printf("\nBeginning Of Route Number:%d",trucks_used);
217     printf("\n%d",pointer);
218     RouteNodeSum=1;
219 }
220 }
221 tempdimax=10000000;
222 }

```

ΕΙΚΟΝΑ 16.Έλεγχος ύπαρξης διαθέσιμης χωρητικότητας στο όχημα

Σε περίπτωση που η χωρητικότητα είναι ίση με το μηδέν ή ο μέγιστος χρόνος (απόσταση) που παρέμεινε το όχημα στη διαδρομή είναι μεγαλύτερο από ότι έχει οριστεί (**mtr**), θα ξεκινήσει από την αρχή το επόμενο δρομολόγιο, με χωρητικότητα ίση με την αρχική ενώ το συγκεκριμένο όχημα επιστρέφει στον τερματισμό του (αποθήκη), αυξάνοντας των αριθμό των οχημάτων κατά ένα.

3.1.5 Εύρεση αρχικής λύσης μετά του πέρασ του βρόχου

Μετά το τέλος του κύριου βρόχου, το τελευταίο όχημα επιστρέφει πίσω στην αποθήκη.

```

223 sumroutedistance[trucks_used]=sumroutedistance[trucks_used]+distance[pointer][1];
224 pointer=1;
225 numNode=numNode+1;
226 RouteNodeSum=RouteNodeSum+1;
227 RouteNodeNum[trucks_used]=RouteNodeSum;
228 RouteSequence[trucks_used][numNode]=pointer;
229 printf("\n%d",pointer);
230 printf("\nCurrent Capacity On Truck Is:%d",xwros);
231 printf("\nTotal Distance of Route Number %d Is:%f",trucks_used,sumroutedistance[trucks_used]);

```

ΕΙΚΟΝΑ 17.Επιστροφή του τελευταίου οχήματος στην αποθήκη (κόμβος 1)

Στην συνέχεια πραγματοποιείται μία τελευταία προσπέλαση στον κόμβο της ζήτησης ώστε να διαπιστωθεί αν εξυπηρετήθηκε το σύνολο των κόμβων.




```

232 int FinishFlag;
233 FinishFlag=0;
234 for (k=1; k<=komvoi; k++)
235 {
236     if (nodedemand_check[k]!=0)
237         FinishFlag=1;
238 }
239 double TotalRouteDistance;
240 TotalRouteDistance=0.0;

```

ΕΙΚΟΝΑ 18.Έλεγχος ολοκλήρωσης της εξυπηρέτησης

Στην περίπτωση που η συνθήκη είναι αληθής, αρχικοποιείται ένα διάνυσμα δεκαδικής μορφής το οποίο υπολογίζει και αθροίζει το σύνολο της απόστασης όλων των δρομολογίων. Παράλληλα εμφανίζει για κάθε δρομολόγιο ξεχωριστά την απόσταση που διανύθηκε. Όλα τα παραπάνω πραγματοποιούνται στην γραμμή κώδικα 241 μέχρι 252 και αποτυπώνονται στην επόμενη εικόνα.

```

241 if (FinishFlag==0)
242 {
243     printf("\n\nEND OF DELIVERY\n\nEvery Customer Is Served Successfully\n\nDemand Of %d Customers Successfully Covered\n\nThe Number Of Trucks Used To Cover Every Node Is:%d\n",komvoi,trucks_used);
244     printf("\nDISTANCE TRAVELLED\n");
245     for (j=1; j<=trucks_used; j++)
246     {
247         printf("\nFor The Route Number %d The Truck Travelled A Distance:%f",j,sumroutedistance[j]);
248         TotalRouteDistance=TotalRouteDistance+sumroutedistance[j];
249     }
250 }
251 printf("\nTotal distance covered:%f\n",TotalRouteDistance);
252 free(nodedemand_check);

```

ΕΙΚΟΝΑ 19.Υπολογισμός απόστασης διαδρομών

3.1.6 Εφαρμογή αλγορίθμου βελτιστοποίησης της αρχικής λύσης

Ο τρόπος βελτιστοποίησης που θα πραγματοποιηθεί στην παραπάνω αρχική λύση που βρέθηκε είναι μία επιμέρους βελτιστοποίηση του συνολικού κόστους εφόσον είναι εφικτή με την ταξινόμηση εκ νέου κάθε επιμέρους δρομολογίου. Αυτό επιτυγχάνεται με την εναλλαγή των κόμβων του ίδιο δρομολογίου που βρίσκονται ανάμεσα από την αφετηρία και τον τερματισμό (αποθήκη). Τέλος η λύση γίνεται αποδεκτή μόνο στην περίπτωση που είναι καλύτερη από την αρχική. Σε κάθε άλλη περίπτωση παραμένει ίδια με την αρχική.

```

253 int RestrictList[komvoi][komvoi];
254 for (i=1; i<=komvoi; i++)
255 {
256     for (j=1; j<=komvoi; j++)
257     {
258         RestrictList[i][j]=0;
259     }
260 }
261 printf("\nStage Of Optimization\n");
262 int ii,jj,tt,t,n,p,q,swapArrayX,swapArrayY;
263 int SwapIndex2a,SwapIndex1a,SumIndex2,SumIndex1,DemandIndex2b,DemandIndex1b;
264 double tempnewcost1;

```

ΕΙΚΟΝΑ 20. Αρχικοποίηση πίνακα RestrictList

Η υλοποίηση του κώδικα βελτιστοποίησης ξεκινάει με την αρχικοποίηση αναγκαίων μεταβλητών καθώς και τον πίνακα **RestrictList**[[[]]] ο οποίος συμβάλλει ώστε να μην ελέγχεται το ίδιο ζεύγος κόμβων για έναν συγκεκριμένο αριθμό επαναλήψεων (4). Στην μεταβλητή **tempnewcost1** αποθηκεύεται σε κάθε επανάληψη το νέο κόστος της διαδρομής ώστε να συγκριθεί με το κόστος της αρχικής λύσης.

Η βελτιστοποίηση βρίσκεται στο εσωτερικό ενός βρόχου ο οποίος τερματίζει έπειτα από 200 προσπάθειες βελτιστοποίησης και 500 για κάθε διαδρομή ξεχωριστά .

```

265   for (t=1; t<200; t++)
266   {
267       for (n=1; n<=trucks_used; n++)
268       {
269           for (tt=1; tt<500; tt++)
270           {
271               flag=1;

```

ΕΙΚΟΝΑ 21.Κύριος βρόχος επαναλήψεων

Έπειτα ξεκινάει μία επαναληπτική διαδικασία όπου επιλέγει δύο τυχαίους κόμβους όπου περιλαμβάνονται στη διαδρομή. Η διαδικασία συνεχίζεται τυχαία μέχρις ότου και στους δύο τυχαίους κόμβους να μην περιλαμβάνεται η αφετηρία και ο τερματισμός (αποθήκη).

```

272       do
273       {
274           ii=RouteNodeNum[n]-1;
275           SwapIndex1a=rand()%ii;
276           SwapIndex2a=rand()%ii;
277           if ((RouteSequence[n][SwapIndex1a]!=1) && (RouteSequence[n][SwapIndex2a]!=1))
278           {
279               flag=0;
280           }
281       }
282       while(flag!=0);

```

ΕΙΚΟΝΑ 22.Τυχαία επιλογή κόμβων της ίδιας διαδρομής

Στο επόμενο βήμα του κώδικα σειρά έχει η εναλλαγή των δύο τυχαίων κόμβων μεταξύ τους στον πίνακα **RouteSequence** και της εναλλαγής της ζήτησης τους στον αντίστοιχο πίνακα **DemandSequence**.

```

284       DemandIndex1b=DemandSequence[n][SwapIndex1a];
285       DemandIndex2b=DemandSequence[n][SwapIndex2a];
286       swapArrayX=RouteSequence[n][SwapIndex1a];
287       swapArrayY=RouteSequence[n][SwapIndex2a];
288       RouteSequence[n][SwapIndex1a]=swapArrayY;
289       RouteSequence[n][SwapIndex2a]=swapArrayX;

```

ΕΙΚΟΝΑ 23.Εναλλαγή κόμβων

Ακολουθεί ο υπολογισμός του νέου κόστους της νέας διαδρομής που δημιουργήθηκε:

```
290         for (p=0; p<(RouteNodeNum[n]); p++)
291         {
292             SumIndex1=RouteSequence[n][p];
293             SumIndex2=RouteSequence[n][p+1];
294             tempnewcost1=tempnewcost1+distance[SumIndex1][SumIndex2];
295         }
296     }
```

ΕΙΚΟΝΑ 24.Υπολογισμός κόστους νέας προσωρινή διαδρομής

Η νέα διαδρομή που δημιουργήθηκε γίνεται αποδεκτή μόνο στην περίπτωση που το κόστος είναι μικρότερο της αρχικής λύσης είτε σε νέας που ήδη βρέθηκε καθώς και στη περίπτωση όπου ο έλεγχος του συγκεκριμένου ζεύγους τυχαίων κόμβων δεν εμπίπτει στην λίστα περιορισμένων επαναλήψεων.

```
297         if (tempnewcost1<sumroutedistance[n] && (RestrictList[swapArrayX][swapArrayY]==0))
298         {
299             sumroutedistance[n]=tempnewcost1;
300             DemandSequence[n][SwapIndex1a]=DemandIndex2b;
301             DemandSequence[n][SwapIndex2a]=DemandIndex1b;
302             RestrictList[swapArrayX][swapArrayY]=4;
303         }
304         else
305         {
306             RouteSequence[n][SwapIndex1a]=swapArrayX;
307             RouteSequence[n][SwapIndex2a]=swapArrayY;
308             RestrictList[swapArrayX][swapArrayY]=4;
309         }
```

ΕΙΚΟΝΑ 25.Συνθήκη εύρεσης βελτιστοποιημένης διαδρομής

Στην περίπτωση που ισχύουν όσα προαναφέρθηκαν η συνθήκη είναι αληθής , το προσωρινό **tempnewcost1** γίνεται νέο κόστος διαδρομής. Αντίθετα το δρομολόγιο γυρνάει στην προηγούμενη κατάσταση της καλύτερης λύσης που βρέθηκε. Είτε η συνθήκη είναι αληθής είτε ψευδής το συγκεκριμένο ζεύγος των κόμβων δεν ελέγχεται για τα επόμενα 4 βήματα.

```
310         for (i=1; i<=komvoi; i++)
311         {
312             for (j=1; j<=komvoi; j++)
313             {
314                 if (RestrictList[i][j]>0)
315                 {
316                     RestrictList[i][j]=RestrictList[i][j]-1;
317                 }
318             }
319         }
320     }
321 }
322 tempnewcost1=0.0;
323 }
324 }
```

ΕΙΚΟΝΑ 26.Μείωση βημάτων επανάληψης πριν το τέλος του κύριου βρόχου

Στο τέλος του κύριου βρόχου, ο αριθμός όλων των ζευγαριών που υπάρχουν στην **RestrictList** μειώνονται κατά μία μονάδα εφόσον είναι μεγαλύτερα του μηδενός. Ειδάλλως παραμένουν μηδέν και είναι αποδεκτά προς έλεγχο.

```

326 SUM=0.0;
327 for (j=1; j<=trucks_used; j++)
328 {
329 SUM=SUM+sumroutedistance[j];
330 printf("\nFor The Route Number %d The Truck Travelled A Distance:%f",j,sumroutedistance[j]);
331 }
332 printf("\nTotal distance covered:%f\n\nEnd of Optimization\n\n",SUM);
333 for (j=1; j<=trucks_used; j++)
334 {
335     printf("\nBeginning Of Route Number:%d (Optimization)\n",j);
336     for (q=0; q<RouteNodeNum[j]; q++)
337     {
338         printf("%d\n",RouteSequence[j][q]);
339     }
340     printf("Total Distance of Route Number %d Is:%f",j,sumroutedistance[j]);
341 }
342 printf("\n\nEnd Of Program\n");
343 return 1;
344 }

```

Το πρόγραμμα τερματίζει εφόσον υπολογίσει την επιμέρους απόσταση των νέων δρομολογίων που δημιουργήθηκαν έπειτα από την βελτιστοποίηση καθώς και τον υπολογισμό του συνολικού κόστους. Η εμφάνιση του κάθε δρομολογίου ξεχωριστά γίνεται για διευκόλυνση του χρήστη.



3.2 Αποτελέσματα προβλήματος Split Delivery Vehicle Routing Problem

Προφανώς τα πρώτα αποτελέσματα που εκτυπώνονται στον αλγόριθμο είναι τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί από το αρχείο προκειμένου να διασφαλίζεται η σωστή καταγραφή τους.

3.2.1 Εκτύπωση δεδομένων

Αρχικά εμφανίζεται με τη σειρά που υπάρχει στο αρχείο txt ο αριθμός κόμβων (**komvoi**), ένας αριθμός που δεν έχει ιδιαίτερη χρήση στο πρόγραμμα, η χωρητικότητα κάθε οχήματος (**capacity**), ο μέγιστος χρόνος που πρέπει το όχημα να παραμείνει στη διαδρομή (**mtr**) και τέλος ο χρόνος εξυπηρέτησης (**servtime**).

```
C:\Users\Giannisap\Desktop\scantex.exe
====>>A Metaheuristic Algorithm For The Split Delivery Vehicle Routing Problem (SDVRP)<<====
Start Of DATA Reading
76
1
140
999999
0
```

ΕΙΚΟΝΑ 27.Εκτύπωση κόμβων, χωρητικότητας, μέγιστου αριθμού στη διαδρομή και χρόνου εξυπηρέτησης

Στην συνέχεια εμφανίζεται κάθε κόμβος, η συντεταγμένη X και η συντεταγμένη Y που είναι αναγκαίες για τη δημιουργία του πίνακα των αποστάσεων.

	C:\Users\Giannisap\Desktop\scantex.exe		C:\Users\Giannisap\Desktop\scantex.exe		
1	40	40	40	30	60
2	22	22	41	30	50
3	36	26	42	12	17
4	21	45	43	15	14
5	45	35	44	16	19
6	55	20	45	21	48
7	33	34	46	50	30
8	50	50	47	51	42
9	55	45	48	50	15
10	26	59	49	48	21
11	40	66	50	12	38
12	55	65	51	15	56
13	35	51	52	29	39
14	62	35	53	54	38
15	62	57	54	55	57
16	62	24	55	67	41
17	21	36	56	10	70
18	33	44	57	6	25
19	9	56	58	65	27
20	62	48	59	40	60
21	66	14	60	70	64
22	44	13	61	64	4
23	26	13	62	36	6
24	11	28	63	30	20
25	7	43	64	20	30
26	17	64	65	15	5
27	41	46	66	50	70
28	55	34	67	57	72
29	35	16	68	45	42
30	52	26	69	38	33
31	43	26	70	50	4
32	31	76	71	66	8
33	22	53	72	59	5
34	26	29	73	35	60
35	50	40	74	27	24
36	55	50	75	40	20
37	54	10	76	40	37
38	60	15			
39	47	66			

ΕΙΚΟΝΑ 28.Εκτύπωση κόμβων, συντεταγμένης X και Y

Έπειτα σειρά έχει η εκτύπωση των κόμβων και της ζήτησης που είναι απαραίτητη να εξυπηρετηθεί.

C:\Users\Giannisapap\Desktop\scantex.exe		C:\Users\Giannisapap\Desktop\scantex.exe	
1	0	40	16
2	18	41	33
3	26	42	15
4	11	43	11
5	30	44	18
6	21	45	17
7	19	46	21
8	15	47	27
9	16	48	19
10	29	49	20
11	26	50	5
12	37	51	22
13	16	52	12
14	12	53	19
15	31	54	22
16	8	55	16
17	19	56	7
18	20	57	26
19	13	58	14
20	15	59	21
21	22	60	24
22	28	61	13
23	12	62	15
24	6	63	18
25	27	64	11
26	14	65	28
27	18	66	9
28	17	67	37
29	29	68	30
30	13	69	10
31	22	70	8
32	25	71	11
33	28	72	3
34	27	73	1
35	19	74	6
36	10	75	10
37	12	76	20
38	14		
39	24	End Of DATA Reading	

ΕΙΚΟΝΑ 29.Εκτύπωση ζήτησης

3.2.2 Εκτύπωση αρχικής λύσης (Initial Solution)

Είναι αναγκαίο εκτός από την εμφάνιση της αρχικής λύσης, δηλαδή των διαδρομών που σχηματίστηκαν και η αποθήκευση αυτών σε έναν πίνακα δύο διαστάσεων, καθώς και του αριθμού των κόμβων που κάθε διαδρομή περιλαμβάνει. 1^η Διαδρομή είναι: 1→76→69→7→52→18→41→13→27→1

```

Beginning Of Route Number:1
1
76
69
7
52
18
41
13
27
1
Current Capacity On Truck Is:0
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot
Total Distance of Route Number 1 is:51.077640

```

ΔΙΑΔΡΟΜΗ 1.Εμφάνιση δρομολογίου νούμερο 1

2^η Διαδρομή είναι: 1→68→35→47→9→36→8→54→15→1

```
Beginning Of Route Number:2
1
68
35
47
9
36
8
54
15
1
Current Capacity On Truck Is:0
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot
Total Distance of Route Number 2 is:71.411600
```

ΔΙΑΔΡΟΜΗ 2.Εμφάνιση δρομολογίου νούμερο 2

3^η Διαδρομή είναι: 1→27→5→46→30→49→48→22→75→1

```
Beginning Of Route Number:3
1
27
5
46
30
49
48
22
75
1
Current Capacity On Truck Is:0
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot
Total Distance of Route Number 3 is:76.445159
```

ΔΙΑΔΡΟΜΗ 3.Εμφάνιση δρομολογίου νούμερο 3

4^η Διαδρομή είναι: 1→53→28→14→55→20→15→12→1

```
Beginning Of Route Number:4
1
53
28
14
55
20
15
12
1
Current Capacity On Truck Is:0
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot
Total Distance of Route Number 4 is:90.533789
```

ΔΙΑΔΡΟΜΗ 4.Εμφάνιση δρομολογίου νούμερο 4

5^η Διαδρομή είναι: 1→31→75→29→63→74→34→64→17→1

```
Beginning Of Route Number:5
1
31
75
29
63
74
34
64
17
1
Current Capacity On Truck Is:0
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot
Total Distance of Route Number 5 is:75.513306
```

ΔΙΑΔΡΟΜΗ 5.Εμφάνιση δρομολογίου νούμερο 5



6^η Διαδρομή είναι: 1→3→2→44→42→43→65→23→62→1

```
Beginning Of Route Number:6
1
3
2
44
42
43
65
23
62
1
Current Capacity On Truck Is:0
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot
Total Distance of Route Number 6 is:113.585932
```

ΔΙΑΔΡΟΜΗ 6.Εμφάνιση δρομολογίου νούμερο 6

7^η Διαδρομή είναι: 1→17→4→45→33→10→40→73→59→11→1

```
Beginning Of Route Number:7
1
17
4
45
33
10
40
73
59
11
1
Current Capacity On Truck Is:0
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot
Total Distance of Route Number 7 is:89.849716
```

ΔΙΑΔΡΟΜΗ 7.Εμφάνιση δρομολογίου νούμερο 7

8^η Διαδρομή είναι: 1→6→38→21→71→61→72→37→70→62→16→58→60→1

```
Beginning Of Route Number:8
1
6
38
21
71
61
72
37
70
62
16
58
60
1
Current Capacity On Truck Is:0
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot
Total Distance of Route Number 8 is:193.769764
```

ΔΙΑΔΡΟΜΗ 8.Εμφάνιση δρομολογίου νούμερο 8

9^η Διαδρομή είναι: 1→11→39→66→12→67→60→32→26→51→1

```
Beginning Of Route Number:9
1
11
39
66
12
67
60
32
26
51
1
Current Capacity On Truck Is:0
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot
Total Distance of Route Number 9 is:164.786871
```

ΔΙΑΔΡΟΜΗ 9.Εμφάνιση δρομολογίου νούμερο 9

10^η Διαδρομή είναι: 1→50→25→19→51→56→24→57→1

```
Beginning Of Route Number:10
1
50
25
19
51
56
24
57
1
Current Capacity On Truck Is:36
Total Distance of Route Number 10 Is:154.166084
```

ΔΙΑΔΡΟΜΗ 10.Εμφάνιση δρομολογίου νούμερο 10

Έπειτα εφόσον έχει τελειώσει η εξυπηρέτηση των φορτηγών, ο χρήστης ενημερώνεται για το παραπάνω και εμφανίζεται αν ικανοποιήθηκε ή όχι το σύνολο των κόμβων και ο αριθμός των οχημάτων (δρομολόγια) που πραγματοποιήθηκαν.

```
C:\Users\Giannisap\Desktop\scantex.exe

END OF DELIVERY

*Every Customer Is Served Successfully
**Demand Of 76 Customers Successfully Covered
***The Number Of Trucks Used To Cover Every Node Is:10

Initial Solution

For The Route Number 1 The Truck Travelled A Distance:51.077640
For The Route Number 2 The Truck Travelled A Distance:71.411600
For The Route Number 3 The Truck Travelled A Distance:76.445159
For The Route Number 4 The Truck Travelled A Distance:90.533789
For The Route Number 5 The Truck Travelled A Distance:75.513306
For The Route Number 6 The Truck Travelled A Distance:113.585932
For The Route Number 7 The Truck Travelled A Distance:89.849716
For The Route Number 8 The Truck Travelled A Distance:193.769764
For The Route Number 9 The Truck Travelled A Distance:164.786871
For The Route Number 10 The Truck Travelled A Distance:154.166084
Total distance covered:1081.139860
```

ΕΙΚΟΝΑ 30.Εκτύπωση διανυθείσας απόστασης κάθε οχήματος και συνολικής απόστασης δρομολογίων

Πίνακας αρχικής λύσης παραδείγματος :

Διαδρομή (Initial Solution)	Ακολουθία Κόμβων (Δρομολόγιο)													
1 ^η με D=51,077640	1	76	69	7	52	18	41	13	27	1	-	-	-	-
2 ^η με D=71,411600	1	68	35	47	9	36	8	54	15	1	-	-	-	-
3 ^η με D=76,445159	1	27	5	46	30	49	48	22	75	1	-	-	-	-
4 ^η με D=90,533789	1	53	28	14	55	20	15	12	1	-	-	-	-	-
5 ^η με D=75,513306	1	31	75	29	63	74	34	64	17	1	-	-	-	-
6 ^η με D=113,585932	1	3	2	44	42	43	65	23	62	1	-	-	-	-
7 ^η με D=89,849716	1	17	4	45	33	10	40	73	59	11	1	-	-	-
8 ^η με D=193,769764	1	6	38	21	71	61	72	37	70	62	16	58	60	1
9 ^η με D=164,786871	1	11	39	66	12	67	60	32	26	51	1	-	-	-
10 ^η με D=154,166084	1	50	25	19	51	56	24	57	1	-	-	-	-	-

3.2.3 Εκτύπωση βελτιστοποιημένης λύσης (Optimization)

Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης επιλέχθηκε έπειτα από ενδελεχή έρευνα και καταγραφή των αποστάσεων από την μετάβαση κάθε κόμβου στον επόμενο. Η συγκεκριμένη έρευνα οδήγησε στο συμπέρασμα ότι τις περισσότερες φορές σε κάθε διαδρομή (δρομολόγιο) η μετάβαση από τον έναν κόμβο στον άλλον με την μεγαλύτερη απόσταση ήταν τη στιγμή που το όχημα έπρεπε να επιστρέψει αναπάντεχα στην αποθήκη. Αυτό σαφώς συμβαίνει μόνο στην περίπτωση που η χωρητικότητα ήταν μηδενική με αποτέλεσμα το όχημα να πρέπει να μεταβεί στον τερματισμό. Επιπρόσθετα, με παρόμοια υλοποίηση αλλαγής κόμβων από διαφορετικά δρομολόγια η συνολική λύση δεν βελτιστοποιούνταν. Αντίθετα γινόταν χειρότερη, αφού με την προσθήκη ενός κόμβου στο ένα δρομολόγιο ο οποίος βελτιστοποιούσε τη διαδρομή, η δεύτερη διαδρομή που αλληλεξαρτόταν από τον κόμβο αυτόν είχε ως αποτέλεσμα την ραγδαία αύξηση του κόστους. Συνεπώς επιλέχθηκε ένας αλγόριθμος, ο οποίος δεν θα επέμβαινε σε δύο διαφορετικές επιμέρους λύσεις, αλλά θα στόχευε στην βελτιστοποίηση μίας και μόνο διαδρομής κάθε φορά. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος δουλεύει μέσω μιας συνεχής και επαναληπτικής διαδικασίας, η οποία αντιμετωπίζει σε κάθε επανάληψη ένα ζεύγος τυχαίων κόμβων της ίδιας διαδρομής, οι οποίοι είναι ανάμεσα στην αφετηρία και τον τερματισμό. Η λύση γίνεται αποδεκτή όταν το κόστος ελαχιστοποιείται. Ως τέλος της επαναληπτικής διαδικασίας έχει οριστεί ένας συγκεκριμένος αριθμός επαναλήψεων, που θεωρήθηκε ότι ήταν αναγκαίος και αποτελεσματικός για την επιτυχή διεξαγωγή της βελτιστοποίησης.

Αξίζει να σημειωθεί πως προκειμένου να βρεθεί καλύτερη λύση από την αρχική λύση χρειάζονται μόνο 20 επαναλήψεις. Ωστόσο αυξάνοντας τον αριθμό των επαναλήψεων, επιτυγχάνεται η εύρεση νέας λύσης, όχι μόνο καλύτερης από την αρχική αλλά και από την ήδη βελτιστοποιημένη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως υπάρχει ένας περιορισμός που απαγορεύει τον έλεγχο ίδιων κόμβων για 4 επαναλήψεις.

1^η Διαδρομή είναι: 1→76→7→69→52→18→41→13→27→1

```
Beginning Of Route Number:1 (Optimization)
1
76
7
69
52
18
41
13
27
1
Total Distance of Route Number 1 Is:51.019033
```

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 1. Εμφάνιση βελτιστοποιημένου δρομολογίου νούμερο 1

2^η Διαδρομή είναι: 1→68→35→47→9→36→15→54→8→1

```
Beginning Of Route Number:2 (Optimization)
1
68
35
47
9
36
15
54
8
1
Total Distance of Route Number 2 Is:62.650353
```

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 2. Εμφάνιση βελτιστοποιημένου δρομολογίου νούμερο 2

3^η Διαδρομή είναι: 1→27→5→46→30→49→48→22→75→1

```
Beginning Of Route Number:3 (Optimization)
1
27
5
46
30
49
48
22
75
1
Total Distance of Route Number 3 Is:76.445159
```

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 3. Εμφάνιση βελτιστοποιημένου δρομολογίου νούμερο 3

4^η Διαδρομή είναι: 1→53→28→14→55→20→15→12→1

```
Beginning Of Route Number:4 (Optimization)
1
53
28
14
55
20
15
12
1
Total Distance of Route Number 4 Is:90.533789
```

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 4. Εμφάνιση βελτιστοποιημένου δρομολογίου νούμερο 4

5^η Διαδρομή είναι: 1→31→75→29→63→74→34→64→17→1

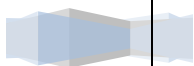
```
Beginning Of Route Number:5 (Optimization)
1
31
75
29
63
74
34
64
17
1
Total Distance of Route Number 5 Is:75.513306
```

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 5. Εμφάνιση βελτιστοποιημένου δρομολογίου νούμερο 5

6^η Διαδρομή είναι: 1→3→2→44→42→43→65→23→62→1

```
Beginning Of Route Number:6 (Optimization)
1
3
2
44
42
43
65
23
62
1
Total Distance of Route Number 6 Is:113.585932
```

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 6. Εμφάνιση βελτιστοποιημένου δρομολογίου νούμερο 6



7^η Διαδρομή είναι: 1→17→4→45→33→10→40→73→11→59→1

```
Beginning Of Route Number:7 (Optimization)
1
17
4
45
33
10
40
73
11
59
1
Total Distance of Route Number 7 Is:86.659965
```

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 7. Εμφάνιση βελτιστοποιημένου δρομολογίου νούμερο 7

8^η Διαδρομή είναι: 1→6→38→21→71→61→72→37→70→62→16→58→60→1

```
Beginning Of Route Number:8 (Optimization)
1
6
38
21
71
61
72
37
70
62
16
58
60
1
Total Distance of Route Number 8 Is:193.769764
```

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 8. Εμφάνιση βελτιστοποιημένου δρομολογίου νούμερο 8

9^η Διαδρομή είναι: 1→11→39→12→60→67→66→32→26→51→1

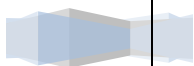
```
Beginning Of Route Number:9 (Optimization)
1
11
39
12
60
67
66
32
26
51
1
Total Distance of Route Number 9 Is:154.931805
```

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 9. Εμφάνιση βελτιστοποιημένου δρομολογίου νούμερο 9

10^η Διαδρομή είναι: 1→51→56→19→25→50→57→57→1

```
Beginning Of Route Number:10 (Optimization)
1
51
56
19
25
50
57
24
1
Total Distance of Route Number 10 Is:130.340879
```

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ 10. Εμφάνιση βελτιστοποιημένου δρομολογίου νούμερο 10



Έπειτα πραγματοποιείται η εμφάνιση της απόστασης που διανύεται από κάθε όχημα :

```
C:\Users\Giannisap\Desktop\scantex.exe
Stage Of Optimization
For The Route Number 1 The Truck Travelled A Distance:51.019033
For The Route Number 2 The Truck Travelled A Distance:62.650353
For The Route Number 3 The Truck Travelled A Distance:76.445159
For The Route Number 4 The Truck Travelled A Distance:90.533789
For The Route Number 5 The Truck Travelled A Distance:75.513306
For The Route Number 6 The Truck Travelled A Distance:113.585932
For The Route Number 7 The Truck Travelled A Distance:86.659965
For The Route Number 8 The Truck Travelled A Distance:193.769764
For The Route Number 9 The Truck Travelled A Distance:154.931805
For The Route Number 10 The Truck Travelled A Distance:130.340879
Total distance covered:1035.449985
End of Optimization
```

ΕΙΚΟΝΑ 31. Εκτύπωση διανυθείσας απόστασης και συνολικής απόστασης δρομολογίων (Βελτιστοποίηση)

Πίνακας βελτιστοποιημένης λύσης παραδείγματος :

Διαδρομή(Optimization)	Ακολουθία Κόμβων (Δρομολόγιο)													
1 ^η με D=51,019033	1	76	7	69	52	18	41	13	27	1	-	-	-	-
2 ^η με D=62,650353	1	68	35	47	9	36	15	54	8	1	-	-	-	-
3 ^η με D=76,445159	1	27	5	46	30	49	48	22	75	1	-	-	-	-
4 ^η με D=90,533789	1	53	28	14	55	20	15	12	1	-	-	-	-	-
5 ^η με D=75,513306	1	31	75	29	63	74	34	64	17	1	-	-	-	-
6 ^η με D=113,585932	1	3	2	44	42	43	65	23	62	1	-	-	-	-
7 ^η με D=86,659965	1	17	4	45	33	10	40	73	11	59	1	-	-	-
8 ^η με D=193,769764	1	6	38	21	71	61	72	37	70	62	16	58	60	1
9 ^η με D=154,931805	1	11	39	12	60	67	66	32	26	51	1	-	-	-
10 ^η με D=130,340879	1	51	56	19	25	50	57	24	1	-	-	-	-	-



3.2.4 Σύγκριση αρχικής και βελτιστοποιημένης λύσης

Με την υλοποίηση του παραπάνω αλγορίθμου βελτίωσης ένα σύνολο από τις επιμέρους λύσεις βελτιώθηκε ενώ ορισμένες διαδρομές (επιμέρους λύσεις) παρέμειναν οι ίδιες. Αναλυτικά παρακάτω βρίσκεται η συγκριτική διαφορά κάθε διαδρομής αλλά και της συνολικής βελτιστοποίησης του κόστους (απόσταση).

- Για την 1^η διαδρομή όπως φαίνεται παρακάτω, πραγματοποιήθηκε αλλαγή μεταξύ του κόμβου 69 και 7.

NODES	Initial Solution		Optimization		NODES
DEMAND	Route #1		Route #1		DEMAND
CAPACITY	0	1	0	1	CAPACITY
	20	76	20	76	
	10	69	19	7	
	19	7	10	69	
	12	52	12	52	
	20	18	20	18	
	33	41	33	41	
	16	13	16	13	
	10	27	10	27	
	0	1	0	1	
	140		140		

Πίνακας διαδρομής:

1 ^η Διαδρομή	Κόστος	Ακολουθία Κόμβων (Δρομολόγιο)													
Αρχική Λύση	51,0776	1	76	69	7	52	18	41	13	27	1	-	-	-	-
Βελτιστοποίηση	51,0190	1	76	7	69	52	18	41	13	27	1	-	-	-	-

- Για την 2^η διαδρομή τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

NODES	Initial Solution		Optimization		NODES
DEMAND	Route #2		Route #2		DEMAND
CAPACITY	0	1	0	1	CAPACITY
	30	68	30	68	
	19	35	19	35	
	27	47	27	47	
	16	9	16	9	
	10	36	10	36	
	15	8	1	15	
	22	54	22	54	
	1	15	15	8	
	0	1	0	1	
	140		140		

Πίνακας διαδρομής:

2 ^η Διαδρομή	Κόστος	Ακολουθία Κόμβων (Δρομολόγιο)													
Αρχική Λύση	71,4116	1	68	35	47	9	36	8	54	15	1	-	-	-	-
Βελτιστοποίηση	62,65035	1	68	35	47	9	36	15	54	8	1	-	-	-	-

- Στην 3^η διαδρομή δεν υπήρξε περιθώριο βελτίωσης με την παραπάνω μέθοδο επομένως παρέμεινε η ίδια:

NODES	Initial Solution		Optimization		NODES
DEMAND	Route #3		Route #3		DEMAND
CAPACITY	0	1	0	1	CAPACITY
	8	27	8	27	
	30	5	30	5	
	21	46	21	46	
	13	30	13	30	
	20	49	20	49	
	19	48	19	48	
	28	22	28	22	
	1	75	1	75	
	0	1	0	1	
	140		140		

Πίνακας διαδρομής:

3 ^η Διαδρομή	Κόστος	Ακολουθία Κόμβων (Δρομολόγιο)													
Λύση	76,44515	1	27	5	46	30	49	48	22	75	1	-	-	-	-

- Στην 4^η διαδρομή δεν υπήρξε περιθώριο βελτίωσης με την παραπάνω μέθοδο επομένως παρέμεινε η ίδια:

NODES	Initial Solution		Optimization		NODES
DEMAND	Route #4		Route #4		DEMAND
CAPACITY	0	1	0	1	CAPACITY
	19	53	19	53	
	17	28	17	28	
	12	14	12	14	
	16	55	16	55	
	15	20	15	20	
	30	15	30	15	
	31	12	31	12	
	0	1	0	1	
	140		140		

Πίνακας διαδρομής:

4 ^η Διαδρομή	Κόστος	Ακολουθία Κόμβων (Δρομολόγιο)													
Λύση	90,5337	1	53	28	14	55	20	15	12	1	-	-	-	-	-

- Στην 5^η διαδρομή δεν υπήρξε περιθώριο βελτίωσης με την παραπάνω μέθοδο επομένως παρέμεινε η ίδια:

NODES	Initial Solution		Optimization		NODES
DEMAND	Route #5		Route #5		DEMAND
CAPACITY	0	1	0	1	CAPACITY
	22	31	22	31	
	9	75	9	75	
	29	29	29	29	
	18	63	18	63	
	6	74	6	74	
	27	34	27	34	
	11	64	11	64	
	18	17	18	17	
	0	1	0	1	
	140		140		

Πίνακας διαδρομής:

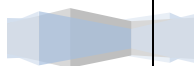
5 ^η Διαδρομή	Κόστος	Ακολουθία Κόμβων (Δρομολόγιο)													
Λύση	75,51330	1	31	75	29	63	74	34	64	17	1	-	-	-	-

- Στην 6^η διαδρομή δεν υπήρξε περιθώριο βελτίωσης με την παραπάνω μέθοδο επομένως παρέμεινε η ίδια:

NODES	Initial Solution		Optimization		NODES
DEMAND	Route #6		Route #6		DEMAND
CAPACITY	0	1	0	1	CAPACITY
	26	3	26	3	
	18	2	18	2	
	18	44	18	44	
	15	42	15	42	
	11	43	11	43	
	28	65	28	65	
	12	23	12	23	
	12	62	12	62	
	0	1	0	1	
	140		140		

Πίνακας διαδρομής:

6 ^η Διαδρομή	Κόστος	Ακολουθία Κόμβων (Δρομολόγιο)													
Λύση	113,5859	1	3	2	44	42	43	65	23	62	1	-	-	-	-



➤ Για την 7^η διαδρομή τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

NODES	Initial Solution		Optimization		NODES
DEMAND	Route #7		Route #7		DEMAND
CAPACITY	0	1	0	1	CAPACITY
	1	17	1	17	
	11	4	11	4	
	17	45	17	45	
	28	33	28	33	
	29	10	29	10	
	16	40	16	40	
	1	73	1	73	
	21	59	16	11	
	16	11	21	59	
	0	1	0	1	
	140		140		

Πίνακας διαδρομής:

7 ^η Διαδρομή	Κόστος	Ακολουθία Κόμβων (Δρομολόγιο)													
Αρχική Λύση	89,8497	1	17	4	45	33	10	40	73	59	11	1	-	-	-
Βελτιστοποίηση	86,6599	1	17	4	45	33	10	40	73	11	59	1	-	-	-

➤ Στην 8^η διαδρομή δεν υπήρξε περιθώριο βελτίωσης με την παραπάνω μέθοδο επομένως παρέμεινε η ίδια:

NODES	Initial Solution		Optimization		NODES
DEMAND	Route #8		Route #8		DEMAND
CAPACITY	0	1	0	1	CAPACITY
	21	6	21	6	
	14	38	14	38	
	22	21	22	21	
	11	71	11	71	
	13	61	13	61	
	3	72	3	72	
	12	37	12	37	
	8	70	8	70	
	3	62	3	62	
	8	16	8	16	
	14	58	14	58	
	11	60	11	60	
	0	1	0	1	
	140		140		

Πίνακας διαδρομής:

8 ^η Διαδρομή	Κόστος	Ακολουθία Κόμβων (Δρομολόγιο)													
Λύση	193,7697	1	6	38	21	71	61	72	37	70	62	16	58	60	1

➤ Για την 9^η διαδρομή τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

NODES	Initial Solution		Optimization		NODES
DEMAND	Route #9		Route #9		DEMAND
CAPACITY	0	1	0	1	CAPACITY
	10	11	10	11	
	24	39	24	39	
	9	66	6	12	
	6	12	13	60	
	37	67	37	67	
	13	60	9	66	
	25	32	25	32	
	14	26	14	26	
	2	51	2	51	
	0	1	0	1	
	140		140		

Πίνακας διαδρομής:

9 ^η Διαδρομή	Κόστος	Ακολουθία Κόμβων (Δρομολόγιο)													
Αρχική Λύση	164,7868	1	11	39	66	12	67	60	32	26	51	1	-	-	-
Βελτιστοποίηση	154,9318	1	11	39	12	60	67	66	32	26	51	1	-	-	-

➤ Για την 10^η διαδρομή τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

NODES	Initial Solution		Optimization		NODES
DEMAND	Route #10		Route #10		DEMAND
CAPACITY	0	1	0	1	CAPACITY
	5	50	20	51	
	27	25	7	56	
	13	19	13	19	
	20	51	27	25	
	7	56	5	50	
	6	24	26	57	
	26	57	6	24	
	0	1	0	1	
	104		104		

Πίνακας διαδρομής:

10 ^η Διαδρομή	Κόστος	Ακολουθία Κόμβων (Δρομολόγιο)													
Αρχική Λύση	154,1660	1	50	25	19	51	56	24	57	1	-	-	-	-	-
Βελτιστοποίηση	130,3408	1	51	56	19	25	50	57	24	1	-	-	-	-	-



Συγκεντρωτικά η διαφορά κάθε διαδρομής και το συνολικό κόστος της αρχικής και της βελτιστοποιημένης λύσης είναι παρακάτω:

Αρχική Λύση



Initial Solution	
Route	Distance
#1	51,07764
#2	71,4116
#3	76,445159
#4	90,533789
#5	75,513306
#6	113,585932
#7	89,849716
#8	193,769764
#9	164,786871
#10	154,166084
Total Distance	1081,13986

Βελτιστοποιημένη Λύση



Optimization	
Route	Distance
#1	51,019033
#2	62,650353
#3	76,445159
#4	90,533789
#5	75,513306
#6	113,585932
#7	86,659965
#8	193,769764
#9	154,931805
#10	130,340879
Total Distance	1035,4499

Λοιπά χαρακτηριστικά του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων με περισσότερα από ένα οχήματα (SDVRP) που υλοποιήθηκε:

Ελάχιστος αριθμός οχημάτων	9,742857143
Ρεαλιστικός Ελάχιστος αριθμός Οχημάτων	10
Συνολική Ζήτηση Πελατών	1364
Χωρητικότητα κάθε οχήματος	140



3.3 Έλεγχος ορθής λειτουργίας αλγορίθμου SDVRP

Είναι σημαντικό ένας αλγόριθμος να χτίζεται με κύρια μέριμνα τόσο για τα συντακτικά λάθη που εμποδίζουν την ομαλή εκτέλεση του αλλά και τα λογικά λάθη τα οποία είναι δυσκολότερο να κατανοηθούν καθώς η εκτέλεση του προγράμματος φτάνει μέχρι το τέλος του.

Για την αποφυγή τέτοιων λαθών πραγματοποιήθηκαν ορισμένες ενέργειες πάνω στην αρχική λύση που βασίζονται κυρίως στην σύγκριση των μεταβλητών μεταξύ της απόστασης των κόμβων καθώς και αν η χωρητικότητα μεταβάλλεται ομαλά με την επίσκεψη ενός οχήματος σε κάθε κόμβο.

3.3.1 Έλεγχος σωστής μεταβολής της χωρητικότητας

Όσον αφορά την χωρητικότητα, διαμορφώθηκε ο αλγόριθμος ώστε να εμφανίζει τον διαθέσιμο χώρο έπειτα από κάθε επίσκεψη σε διαφορετικό κόμβο ώστε να διασφαλιστεί ότι μειώνεται η σωστή ποσότητα μετά το πέρας του δρομολογίου. Θα πρέπει να σημειωθεί πως ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε για το σύνολο των κόμβων και έπειτα έγινε σύγκριση της μείωσης της χωρητικότητας με τη βοήθεια φύλλων excel.

Beginning Of Route Number:3	#3	NODES
1	0	1 DEMAND
Current Capacity On Truck Is:140	8	27 CAPACITY
27	30	5
Current Capacity On Truck Is:132	21	46
5	13	30
Current Capacity On Truck Is:102	20	49
46	19	48
Current Capacity On Truck Is:81	28	22
30	1	75
Current Capacity On Truck Is:68	0	1
49	140	
Current Capacity On Truck Is:48		
48		
Current Capacity On Truck Is:29		
22		
Current Capacity On Truck Is:1		
75		
Current Capacity On Truck Is:0		
1		
Current Capacity On Truck Is:0		
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot		
Total Distance of Route Number 3 is:76.445159		

ΕΙΚΟΝΑ 32:Έλεγχος ορθής μεταβολής της χωρητικότητας στο δρομολόγιο 3

Πράγματι, όπως φαίνεται κατά την εμφάνιση στον κώδικα το όχημα κατά την αφετηρία του, ξεκινάει πάντα με την μέγιστη χωρητικότητα που μπορεί να έχει, ενώ μειώνεται έπειτα από κάθε επίσκεψη σε κόμβο(πελάτη). Στον τελευταίο κόμβο όπως φαίνεται η διαθέσιμη χωρητικότητα του οχήματος είναι 1 τεμάχιο. Ωστόσο ο κόμβος 75 έχει ζήτηση 10 τεμαχίων.

75	Κομβος	75	10
----	--------	----	----

Συνεπώς το όχημα θα εξασφαλίσει αυτήν την ποσότητα για τον συγκεκριμένο κόμβο πριν επιστρέψει στο τερματισμό, όμως ο παραπάνω κόμβος θα πρέπει να εξυπηρετηθεί εκ νέου. Όπως φαίνεται στο δρομολόγιο 5 ο παραπάνω κόμβος εξυπηρετείται ξανά ωστόσο μειώνεται μόνο η ποσότητα που δεν έχει ικανοποιηθεί.

Beginning Of Route Number:5	#5	NODES
1	0	1 DEMAND
Current Capacity On Truck Is:140	22	31 CAPACITY
31	9	75
Current Capacity On Truck Is:118	29	29
75	18	63
Current Capacity On Truck Is:109	6	74
29	27	34
Current Capacity On Truck Is:80	11	64
63	18	17
Current Capacity On Truck Is:62	0	1
74	140	
Current Capacity On Truck Is:56		
34		
Current Capacity On Truck Is:29		
64		
Current Capacity On Truck Is:18		
17		
Current Capacity On Truck Is:0		
1		
Current Capacity On Truck Is:0		
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot		
Total Distance of Route Number 5 is:75.513306		

ΕΙΚΟΝΑ 33.Έλεγχος ορθής μεταβολής της χωρητικότητας στο δρομολόγιο 5

Ο παραπάνω έλεγχος σημειώθηκε στο σύνολο των δρομολογίων για την ορθή λειτουργία, απλώς αναφέρονται δύο τυχαία δρομολόγια και η μεταξύ τους σχέση.

3.3.2 Έλεγχος σωστής μετάβασης στον κοντινότερο κόμβο

Με την βοήθεια του πίνακα των αποστάσεων που δημιουργήθηκε και την επιμέρους εμφάνιση κάθε φορά των στοιχείων του κόμβου όπου βρίσκεται εκείνη τη στιγμή το όχημα, πραγματοποιήθηκε έλεγχος για το αν επιλέγεται ο κόμβος που έχει την μικρότερη απόσταση. Πράγματι από την εμφάνιση του πίνακα αποστάσεων $distance[1][j]$ όπου το j είναι όσοι οι κόμβοι, κοντινότερος κόμβος είναι ο 76 με απόσταση 3 μονάδες.

1	0.000000	43	36.069378
2	25.455844	44	31.890437
3	14.560220	45	20.615528
4	19.646883	46	14.142136
5	7.071068	47	11.180340
6	25.000000	48	26.925824
7	9.219544	49	20.615528
8	14.142136	50	28.071338
9	15.811388	51	29.681644
10	23.600847	52	11.045361
11	26.000000	53	14.142136
12	29.154759	54	22.671568
13	12.083046	55	27.018512
14	22.561028	56	42.426407
15	27.802878	57	37.161808
16	27.202941	58	28.178006
17	19.416488	59	20.000000
18	8.062258	60	38.418745
19	34.885527	61	43.266615
20	23.409400	62	34.234486
21	36.769553	63	22.360680
22	27.294688	64	22.360680
23	30.413813	65	43.011626
24	31.384710	66	31.622777
25	33.136083	67	36.235342
26	33.241540	68	5.385165
27	6.082763	69	7.280110
28	16.155494	70	37.363083
29	24.515301	71	41.231056
30	18.439089	72	39.824616
31	14.317821	73	20.615528
32	37.107951	74	20.615528
33	22.203603	75	20.000000
34	17.804494	76	3.000000
35	10.000000		
36	18.027756		
37	33.105891		
38	32.015621		
39	26.925824		
40	22.360680		
41	14.142136		
42	36.235342		

ΕΙΚΟΝΑ 34.Έλεγχος σωστής μετάβασης στον κοντινότερο κόμβο

Ενώ από την εμφάνιση του διανύσματος $distance[76][j]$ προκύπτει ότι κοντινότερος κόμβος είναι ο 69. Ομοίως πραγματοποιήθηκε έλεγχος στο σύνολο των κόμβων από όπου έγινε η μετάβαση στον επόμενο.

3.4 Παραδείγματα και Αρχική Λύση SDVRP

Παρακάτω αναφέρεται ένα σύνολο από διάφορα παραδείγματα δοθέντων των δεδομένων και το αποτέλεσμα στο οποίο οδηγεί η υλοποίηση του παραπάνω κώδικα.

3.4.1 Παράδειγμα P1 (par1)

```
C:\Users\Giannisap\Desktop\scantex.exe
====>>A Metaheuristic Algorithm For The Split Delivery Vehicle Routing Problem (SDVRP)<====
Start Of DATA Reading
51
1
160
999999
0
1 30 40
2 37 52
3 49 49
4 52 64
5 20 26
6 40 30
7 21 47
8 17 63
9 31 62
10 52 33
11 51 21
12 42 41
13 31 32
14 5 25
15 12 42
16 36 16
17 52 41
18 27 23
19 17 33
20 13 13
21 57 58
22 62 42
23 42 57
24 16 57
25 8 52
26 7 38
27 27 68
28 30 48
29 43 67
30 58 48
31 58 27
32 37 69
33 38 46
34 46 10
35 61 33
36 62 63
37 63 69
38 32 22
39 45 35
40 59 15
41 5 6
42 10 17
43 21 10
44 5 64
45 30 15
46 30 10
47 32 39
48 25 32
49 25 55
50 48 28
51 56 37
```

Όπου η πρώτη στήλη ο αριθμός των κόμβων, 2^η η συντεταγμένη X και 3^η η συντεταγμένη Y. Ο κώδικας συνεχίζει παρέχοντας στο πρόγραμμα τα δεδομένα της ζήτησης για κάθε κόμβο όπως διακρίνεται στην παραπάνω φωτογραφία.

```
C:\Users\Giannisap\Desktop\scantex.exe
1 0
2 7
3 30
4 16
5 9
6 21
7 15
8 19
9 23
10 11
11 5
12 19
13 20
14 23
15 21
16 10
17 15
18 3
19 41
20 9
21 28
22 8
23 8
24 16
25 10
26 28
27 7
28 15
29 14
30 6
31 19
32 11
33 12
34 23
35 26
36 17
37 6
38 9
39 15
40 14
41 7
42 27
43 13
44 11
45 16
46 10
47 5
48 25
49 17
50 18
51 10
End Of DATA Reading
```



Έπειτα από την συγκέντρωση και συλλογή των δεδομένων το πρόγραμμα επεξεργάζεται με παρόμοιο τρόπο κάθε πρόβλημα της ίδιας κατηγορίας και εξάγει τα παρακάτω αποτελέσματα.

1^η Διαδρομή: 1→47→13→48→5→18→38→16→45→43→20→42→14→1

```
C:\Users\Giannisap\Desktop\scantex.exe
Beginning Of Route Number:1
1
47
13
48
5
18
38
16
45
43
20
42
14
1
Current Capacity On Truck Is:0
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot
Total Distance of Route Number 1 is:111.554418
```

2^η Διαδρομή: 1→28→2→33→12→39→6→50→10→51→7→49→1

```
Beginning Of Route Number:2
1
28
2
33
12
39
6
50
10
51
7
49
1
Current Capacity On Truck Is:0
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot
Total Distance of Route Number 2 is:87.389266
```

3^η Διαδρομή: 1→19→15→26→14→41→46→34→11→31→1

```
Beginning Of Route Number:3
1
19
15
26
14
41
46
34
11
31
1
Current Capacity On Truck Is:0
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot
Total Distance of Route Number 3 is:157.024298
```

4^η Διαδρομή: 1→23→29→32→9→27→8→24→25→44→3→17→1

```
Beginning Of Route Number:4
1
23
29
32
9
27
8
24
25
44
3
17
1
Current Capacity On Truck Is:0
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot
Total Distance of Route Number 4 is:169.733407
```



5^η Διαδρομή: 1→17→30→22→35→31→40→21→36→37→4→1

```
Beginning Of Route Number:5
1
17
30
22
35
31
40
21
36
37
4
1
Current Capacity On Truck Is:23
Total Distance of Route Number 5 Is:167.099550
```

Ενώ το συνολικό κόστος και το κόστος κάθε διαδρομής συνοψίζεται παρακάτω:

```
*Every Customer Is Served Successfully
**Demand Of 51 Customers Successfully Covered
***The Number Of Trucks Used To Cover Every Node Is:5

DISTANCE TRAVELLED

For The Route Number 1 The Truck Travelled A Distance:111.554418
For The Route Number 2 The Truck Travelled A Distance:87.389266
For The Route Number 3 The Truck Travelled A Distance:157.024298
For The Route Number 4 The Truck Travelled A Distance:169.733407
For The Route Number 5 The Truck Travelled A Distance:167.099550
Total distance covered:692.800939

Process returned 1 (0x1)   execution time : 0.054 s
Press any key to continue.
```

Πίνακας αρχικής λύσης παραδείγματος 1:

Διαδρομή	Ακολουθία Κόμβων (Δρομολόγιο)													
1 ^η με D=111.5544	1	47	13	48	5	18	38	16	45	43	20	42	14	1
2 ^η με D=87.38926	1	28	2	33	12	39	6	50	10	51	7	49	1	-
3 ^η με D=157.0242	1	19	15	26	14	41	46	34	11	31	1	-	-	-
4 ^η με D=169.7334	1	23	29	32	9	27	8	24	25	44	3	17	1	-
5 ^η με D=167.099	1	17	30	22	35	31	40	21	36	37	4	1	-	-



3.4.2 Παράδειγμα P2 (par14)

```
C:\Users\Giannisap\Desktop\scantex.exe
=====A Metaheuristic Algorithm For The Split Delivery Vehicle Routing Problem (SDVRP)=====
Start Of DATA Reading
101
1
200
1040
90
1 40 50
2 45 68
3 45 70
4 42 66
5 42 68
6 42 65
7 40 69
8 40 66
9 38 68
10 38 70
11 35 66
12 35 69
13 25 85
14 22 75
15 22 85
16 20 80
17 20 85
18 18 75
19 15 75
20 15 80
21 30 50
22 30 52
23 28 52
24 28 55
25 25 50
26 25 52
27 25 55
28 23 52
29 23 55
30 20 50
31 20 55
32 10 35
33 10 40
34 8 40
35 8 45
36 5 35
37 5 45
38 2 40
39 0 40
40 0 45
41 35 30
42 35 32
43 33 32
44 33 35
45 32 30
46 30 30
47 30 32
48 30 35
49 28 30
50 28 35
51 26 32
52 25 30
53 25 35
54 44 5
55 42 10
56 42 15
57 40 5
58 40 15
59 38 5
60 38 15
61 35 5
62 50 30
63 50 35
64 50 40
65 48 30
66 48 40
67 47 35
68 47 40
69 45 30
70 45 35
71 95 30
72 95 35
73 53 30
74 92 30
75 53 35
76 45 65
77 90 35
78 88 30
79 88 35
80 87 30
81 85 25
82 85 35
83 75 55
84 72 55
85 70 58
86 68 60
87 66 55
88 65 55
89 65 60
90 63 58
91 60 55
92 60 60
93 67 85
94 65 85
95 65 82
96 62 80
97 60 80
98 60 85
99 58 75
100 55 80
101 55 85
```

Όπου η πρώτη στήλη ο αριθμός των κόμβων, 2^η η συντεταγμένη X και 3^η η συντεταγμένη Y. Ο κώδικας συνεχίζει παρέχοντας στο πρόγραμμα τα δεδομένα της ζήτησης για κάθε κόμβο όπως διακρίνεται στην παραπάνω φωτογραφία.

```
C:\Users\Giannisap\Desktop\scantex.exe C:\Users\Giannisap\Desktop\scantex.exe C:\Users\Giannisap\Desktop\scantex.exe C:\Users\Giannisap\Desktop\scantex.exe
1 0 25 10 53 10 81 10
2 10 26 40 54 20 82 30
3 30 27 10 55 40 83 20
4 10 28 10 56 10 84 10
5 10 29 20 57 30 85 20
6 10 30 10 58 40 86 30
7 20 31 10 59 30 87 10
8 20 32 20 60 10 88 20
9 20 33 30 61 20 89 30
10 10 34 40 62 10 90 10
11 10 35 20 63 20 91 10
12 10 36 10 64 50 92 10
13 20 37 10 65 10 93 20
14 30 38 20 66 10 94 40
15 10 39 30 67 10 95 10
16 40 40 20 68 10 96 30
17 40 41 10 69 10 97 10
18 20 42 10 70 10 98 30
19 20 43 20 71 30 99 20
20 10 44 10 72 20 100 10
21 10 45 10 73 10 101 20
22 20 46 10 74 10
23 20 47 30 75 50
24 10 48 10 76 20
49 10 77 10
50 10 78 10
51 10 79 20
52 10 80 10
End Of DATA Reading
```

Έπειτα από την συγκέντρωση και συλλογή των δεδομένων το πρόγραμμα επεξεργάζεται με παρόμοιο τρόπο κάθε πρόβλημα της ίδιας κατηγορίας και εξάγει τα παρακάτω αποτελέσματα.

1^η Διαδρομή: 1→21→22→23→24→27→29→28→26→25→30→31→35→37→1

```
Beginning Of Route Number:1
1
21
22
23
24
27
29
28
26
25
30
31
35
37
1
Current Capacity On Truck Is:0
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot
Total Distance of Route Number 1 is:92.975838
```

2^η Διαδρομή: 1→68→66→64→63→67→70→69→65→62→73→75→1

```
Beginning Of Route Number:2
1
68
66
64
63
67
70
69
65
62
73
75
1
Current Capacity On Truck Is:0
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot
Total Distance of Route Number 2 is:63.055989
```

3^η Διαδρομή: 1→6→4→5→7→9→10→12→11→8→76→2→3→99→1

```
Beginning Of Route Number:3
1
6
4
5
7
9
10
12
11
8
76
2
3
99
1
Current Capacity On Truck Is:0
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot
Total Distance of Route Number 3 is:90.600411
```

4^η : 1→44→43→42→41→45→46→47→49→51→52→53→50→48→32→33→1

```
Beginning Of Route Number:4
1
44
43
42
41
45
46
47
49
51
52
53
50
48
32
33
1
Current Capacity On Truck Is:0
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot
Total Distance of Route Number 4 is:105.068644
```



5^η Διαδρομή: 1→91→90→89→86→85→84→83→87→88→92→97→96→1

```
Beginning Of Route Number:5
1
91
90
89
86
85
84
83
87
88
92
97
96
1
Current Capacity On Truck Is:0
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot
Total Distance of Route Number 5 is:116.393793
```

6^η Διαδρομή: 1→14→18→19→20→16→17→15→13→101→1

```
Beginning Of Route Number:6
1
14
18
19
20
16
17
15
13
101
1
Current Capacity On Truck Is:0
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot
Total Distance of Route Number 6 is:125.884709
```

7^η Διαδρομή: 1→33→34→36→38→39→40→60→58→56→55→1

```
Beginning Of Route Number:7
1
33
34
36
38
39
40
60
58
56
55
1
Current Capacity On Truck Is:0
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot
Total Distance of Route Number 7 is:149.749523
```

8^η Διαδρομή: 1→100→101→98→94→93→95→96→82→79→77→72→1

```
Beginning Of Route Number:8
1
100
101
98
94
93
95
96
82
79
77
72
1
Current Capacity On Truck Is:0
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot
Total Distance of Route Number 8 is:175.298009
```



9^η Διαδρομή: 1→55→54→57→59→61→81→80→78→74→71→1

```
Beginning Of Route Number:9
1
55
54
57
59
61
81
80
78
74
71
1
Current Capacity On Truck Is:0
There Aren't Any Remaining Products On This Truck For Delivery,This Truck Is Currently Returning To The Depot
Total Distance of Route Number 9 is:180.195446
```

10^η Διαδρομή: 1→72→1

```
Beginning Of Route Number:10
1
72
1
Current Capacity On Truck Is:190
Total Distance of Route Number 10 Is:114.017543
```

Ενώ το συνολικό κόστος και το κόστος κάθε διαδρομής συνοψίζεται παρακάτω:

```
END OF DELIVERY

*Every Customer Is Served Successfully
**Demand Of 101 Customers Successfully Covered
***The Number Of Trucks Used To Cover Every Node Is:10

DISTANCE TRAVELLED

For The Route Number 1 The Truck Travelled A Distance:92.975838
For The Route Number 2 The Truck Travelled A Distance:63.055989
For The Route Number 3 The Truck Travelled A Distance:90.600411
For The Route Number 4 The Truck Travelled A Distance:105.068644
For The Route Number 5 The Truck Travelled A Distance:116.393793
For The Route Number 6 The Truck Travelled A Distance:125.884709
For The Route Number 7 The Truck Travelled A Distance:149.749523
For The Route Number 8 The Truck Travelled A Distance:175.298009
For The Route Number 9 The Truck Travelled A Distance:180.195446
For The Route Number 10 The Truck Travelled A Distance:114.017543
Total distance covered:1213.239904
```

Επίσης το πρόγραμμα ενημερώνει και κάνει γνωστό στον χρήστη αν το σύνολο των κόμβων έχει εξυπηρετηθεί, τον αριθμό των πελατών που εξυπηρετήθηκαν καθώς και τον αριθμό των οχημάτων (διαδρομές) που ήταν αναγκαία για την επίτευξη του προβλήματος δρομολόγησης SDVRP.

Πίνακας αρχικής λύσης παραδείγματος 2:

Διαδρομή	Ακολουθία Κόμβων (Δρομολόγιο)																
1 ^η με D=92,975	1	21	22	23	24	27	29	28	26	25	30	31	35	37	1	-	-
2 ^η με D=63,055	1	68	66	64	63	67	70	69	65	62	73	75	1	-	-	-	-
3 ^η με D=90,600	1	6	4	5	7	9	10	12	11	8	76	2	3	99	1	-	-
4 ^η με D=105,06	1	44	43	42	41	45	46	47	49	51	52	53	50	48	32	33	1
5 ^η με D=116,39	1	91	90	89	86	85	84	83	87	88	92	97	96	1	-	-	-
6 ^η με D=125,88	1	14	18	19	20	16	17	15	13	101	1	-	-	-	-	-	-
7 ^η με D=149,74	1	33	34	36	38	39	40	60	58	56	55	1	-	-	-	-	-
8 ^η με D=175,29	1	100	101	98	94	93	95	96	82	79	77	72	1	-	-	-	-
9 ^η με D=180,19	1	55	54	57	59	61	81	80	78	74	71	1	-	-	-	-	-
10 ^η με D=114,07	1	72	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Robert Martichenko, Thomas J. Goldsby, (2005), *Lean six Sigma Logistics: Strategic Development to Operational Success*, J. Ross Publishing, 248.
- 2) Μαρινάκης Ιωάννης, Μυγδαλάς Αθανάσιος, (2008), *Σχεδιασμός και βελτιστοποίηση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας*, Εκδόσεις Σοφία, 536.
- 3) Μαρινάκης Ιωάννης, Μαρινάκη Μαγδαληνή, Μυγδαλάς Αθανάσιος, (2019), *Προβλήματα Δρομολόγησης Οχημάτων στη Διαχείριση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας*, Εκδόσεις νέων τεχνολογιών, 490.
- 4) Martin Christopher, (1998), *Relationships and alliances embracing the era of network competition*, Routledge, 1^η έκδοση, 66.
- 5) Δρ. Γεώργιος Μαλινδρέτος, (2015), *Εφοδιαστική αλυσίδα, logistics και εξυπηρέτηση πελατών*, Κάλλιπος – Ελληνικά ακαδημαϊκά ηλεκτρονικά συγγράμματα και βοηθήματα, 273.
- 6) Andre Longevin, Diane Riopel, (2005), *Logistics Systems: Design and optimization*, Springer, 387.
- 7) Theodore P. Stank, Scott B. Keller, Patricia J. Daugherty, (2001), *Supply chain collaboration and logistical service performance*, Journal of Business logistics, Vol.22, No.1.
- 8) The international society of logistics (SOLE), (2003), *Introduction to logistics and integrated logistics support (ILS)*
- 9) Cawley NX, et al., (1998), *Activation and processing of non-anchored yapsin 1*
- 10) Alexandre Tadeu Simon, Luis Carlos Di Serio, Silvio Roberto Ignacio Pires, Guilherme Silveira Martins, (2014), *Evaluating Supply Chain Management: A methodology based on a theoretical model*, Brazilian academy of management (ANPAD), 44.
- 11) John Gattorna, (1998), *Strategic supply chain alignment*, 1st Edition, Gower Publishing, 671.
- 12) Μουστάκης Β., Θεολόγου Γ., (2000), *Σημειώσεις μαθήματος Διαχείριση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας του Πολυτεχνείου Κρήτης*
- 13) C. John Langley, Robert A. Novack, Brian Gibson, (2020), *Supply chain management: A logistics perspective*, 11th edition, Cengage Learning, 672.
- 14) Paolo Toth, Daniele Vigo, (2014), *Vehicle routing: Problems, Methods and applications* 2nd edition, Society of industrial and applied mathematics, 480.
- 15) Movahedi Bahar, Kayvan Miri-Lavassani, Kumar Vinod, (2009), *Developments in theories of supply chain management*, Common Ground Research Networks, 85-98.
- 16) Martha C. Cooper, Douglas M. Lambert, Janus D. Pagh, (1997), *Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics*, The International Journal of Logistics Management, Volume 8

- 17) Dinesh Chandra Verma, (2008), Principles of computer systems and network management, Springer publishing, 260.
- 18) Croes, G.A., (1958), a method for solving traveling-salesman problems, *Inform*s, 791-812 (22 σελίδες).
- 19) Bräysy and Gendreau, (2005), Vehicle Routing Problem with time windows, *Inform*s, 119-139 (21 σελίδες).
- 20) Glover F., (1986), Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence. *Computers and Operations Research*, 533-549.
- 21) S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, Jr., M. P. Vecchi, (1983), Optimization by Simulated Annealing, *JSTOR, Science* 220:671-680.
- 22) Synergy Solution m.v.p., (2019), Σεμινάριο: διοίκηση και διαχείριση απόδοσης ή αποτελεσματικότητας.

