



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

# ΧΡΟΝΟΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΑΠΟΘΗΚΩΝ

ΚΑΛΜΠΕΝΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

Τζιρίτας Νικόλαος

Λαμία 20/02 έτος 2022





UNIVERSITY OF  
THESSALY

SCHOOL OF SCIENCE

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE & TELECOMMUNICATIONS

# VEHICLES SCHEDULING AND STORAGE MANAGEMENT

KALMPENIS KONSTANTINOS

FINAL THESIS

ADVISOR

Tziritas Nikolaos

Lamia 20/07/22 year 2022



«Με ατομική μου ευθύνη και γνωρίζοντας τις κυρώσεις <sup>(1)</sup>, που προβλέπονται από της διατάξεις της παρ. 6 του άρθρου 22 του Ν. 1599/1986, δηλώνω ότι:

1. Δεν παραθέτω κομμάτια βιβλίων ή άρθρων ή εργασιών άλλων αυτολεξεί **χωρίς να τα περικλείω σε εισαγωγικά** και χωρίς να αναφέρω το συγγραφέα, τη χρονολογία, τη σελίδα. Η αυτολεξεί παράθεση χωρίς εισαγωγικά χωρίς αναφορά στην πηγή, είναι λογοκλοπή. Πέραν της αυτολεξεί παράθεσης, λογοκλοπή θεωρείται και η παράφραση εδαφίων από έργα άλλων, συμπεριλαμβανομένων και έργων συμφοιτητών μου, καθώς και η παράθεση στοιχείων που άλλοι συνέλεξαν ή επεξεργάστηκαν, χωρίς αναφορά στην πηγή. Αναφέρω πάντοτε με πληρότητα την πηγή κάτω από τον πίνακα ή σχέδιο, όπως στα παραθέματα.
2. Δέχομαι ότι η αυτολεξεί **παράθεση χωρίς εισαγωγικά**, ακόμα κι αν συνοδεύεται από αναφορά στην πηγή σε κάποιο άλλο σημείο του κειμένου ή στο τέλος του, είναι αντιγραφή. Η αναφορά στην πηγή στο τέλος π.χ. μιας παραγράφου ή μιας σελίδας, δεν δικαιολογεί συρραφή εδαφίων έργου άλλου συγγραφέα, έστω και παραφρασμένων, και παρουσίασή τους ως δική μου εργασία.
3. Δέχομαι ότι υπάρχει επίσης περιορισμός στο μέγεθος και στη συχνότητα των παραθεμάτων που μπορώ να εντάξω στην εργασία μου εντός εισαγωγικών. Κάθε μεγάλο παράθεμα (π.χ. σε πίνακα ή πλαίσιο, κλπ), προϋποθέτει ειδικές ρυθμίσεις, και όταν δημοσιεύεται προϋποθέτει την άδεια του συγγραφέα ή του εκδότη. Το ίδιο και οι πίνακες και τα σχέδια
4. Δέχομαι όλες τις συνέπειες σε περίπτωση λογοκλοπής ή αντιγραφής.

Ημερομηνία: 20/07/2022

Ο Δηλών

(1) «Όποιος εν γνώσει του δηλώνει ψευδή γεγονότα ή αρνείται ή αποκρύπτει τα αληθινά με έγγραφη υπεύθυνη δήλωση του άρθρου 8 παρ. 4 Ν. 1599/1986 τιμωρείται με φυλάκιση τουλάχιστον τριών μηνών. Εάν ο υπαίτιος αυτών των πράξεων σκόπευε να προσπορίσει στον εαυτόν του ή σε άλλον περιουσιακό όφελος βλάπτοντας τρίτον ή σκόπευε να βλάψει άλλον, τιμωρείται με κάθειρξη μέχρι 10 ετών.»





## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η εύρεση της βέλτιστης διαδρομής για την εξυπηρέτηση όλων των πελατών από μια εταιρία μεταφορών. Στην εργασία παρουσιάζουμε, μοντελοποιούμε και εκτελούμε μια παραλλαγή του κλασσικού αλγορίθμου Travelling Salesman Problem. Ο αλγόριθμος που θα υλοποιηθεί θα είναι ο Multiple depots Travelling Salesman Problem. Θα περιλαμβάνει περισσότερα από ένα οχήματα, με το ένα από αυτά να προσομοιώνει ένα drone και θα εξετάσουμε την επίδραση που θα έχει στην βελτιστοποίηση του αλγορίθμου. Επίσης θα περιλαμβάνει πάνω από ένα σταθμό από όπου θα ξεκινούν τα οχήματα. Στόχος είναι να βρεθεί ο καλύτερος συνδυασμός οχημάτων και διαδρομών για την αποστολή δειγμάτων στους πελάτες. Αρχικά θα παρουσιάσουμε τον τρόπο υλοποίησης του αλγορίθμου και τα εργαλεία που χρησιμοποιήσαμε. Η υλοποίηση γίνεται αρχικά για το απλό TSP και στην συνέχεια για το Multiple Depots MTSP. Στην συνέχεια θα εξετάσουμε και θα αξιολογήσουμε τα αποτελέσματα που μας επέστρεψε ο αλγόριθμος.





## ABSTRACT

---

Aim of this thesis is to find the best route for the package delivery to the clients by a delivery company. In this project we present, modelize and carry out a variation of the classic algorithm of the Travelling Salesman Problem. The algorithm that will be used is the Multiple Depots Travelling Salesman Problem. It will include more than one vehicles, one of them simulating a drone and we will analyze the effect that this drone has on the optimization of the algorithm. In addition, it will include more than one stations from where the vehicles will start. Aim of this thesis is to discover the ideal combination of vehicles and routes for the best package delivery. First of all we will present the way of implement of this algorithm and the tools that we used. In the first place the execution will be done for the simple TSP and then for Multiple Depots MTSP. Afterwards, we will discuss and evaluate the results that came from this execution.

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

---

Travelling Salesman Problem, Multiple Depot Multiple Travelling Salesman Problem,  
TSP, Drone, Nearest Neighbor Algorithm.

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

---

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>III</b>
<b>ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ</b> .....	<b>IV</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>- 3 -</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: TRAVELLING SALESMAN PROBLEM ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ</b> .....	<b>- 6 -</b>
<b>2.1 ΤΟ TRAVELLING SALESMAN PROBLEM</b> .....	<b>- 6 -</b>
<b>2.2 ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ</b> .....	<b>- 8 -</b>
<b>2.2.1. ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ DRONE ΚΑΙ ΦΟΡΤΗΓΟΥ</b> .....	<b>- 8 -</b>
<b>2.2.2 DRONE ΚΑΙ ΦΟΡΤΗΓΟ ΧΩΡΙΣ ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟ</b> .....	<b>- 13 -</b>
<b>2.2.3 ΠΟΛΛΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΟΧΗΜΑΤΩΝ</b> .....	<b>- 19 -</b>
<b>2.2.4 ΈΝΑΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ</b> .....	<b>- 22 -</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ MULTIPLE DEPOTS MULTIPLE TRAVELLING SALESMAN PROBLEM</b> .....	<b>- 25 -</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: ΛΥΣΗ ΤΟΥ MULTIPLE DEPOTS MULTIPLE TRAVELLING SALESMAN PROBLEM</b> .....	<b>- 26 -</b>
<b>4.1 ΤΡΟΠΟΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ</b> .....	<b>- 27 -</b>
<b>4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΨΕΥΔΟΚΩΔΙΚΑ</b> .....	<b>- 29 -</b>
<b>4.2.1 ΨΕΥΔΟΚΩΔΙΚΑΣ TSP</b> .....	<b>- 29 -</b>
<b>4.2.2 ΨΕΥΔΟΚΩΔΙΚΑΣ TSP</b> .....	<b>- 30 -</b>
<b>4.2.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ</b> .....	<b>- 32 -</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ</b> .....	<b>- 36 -</b>
<b>5.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΜΕ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ</b> .....	<b>- 37 -</b>
<b>5.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΜΕ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ</b> .....	<b>- 45 -</b>
<b>5.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΜΕ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ</b> .....	<b>- 50 -</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>: ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ</b> .....	<b>- 51 -</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	<b>- 53 -</b>

ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ.....- 55 -

ΕΙΚΟΝΕΣ.....- 57 -

ΠΙΝΑΚΕΣ.....- 57 -

Το σύστημα TSP - Travelling Salesman Problem [26] διακρίνεται ως η πιο γνωστή λύση του προβλήματος της συνδυαστικής βελτιστοποίησης για την πραγματοποίηση παραδόσεων. Πιο αναλυτικά, το TSP είναι υπεύθυνο για την εύρεση της πιο γρήγορης και συμφερόμενης διαδρομής της παράδοσης των δεμάτων από τον κατάλληλο πωλητή, από όλο το εύρος των τοποθεσιών που μπορεί να καλύψει μέχρι και τον τερματισμό του στην ορισμένη βάση, σε κάθε περίπτωση. Ακόμη, το TSP συναντάται στο εύρος των προβλημάτων NP-hard. Συμπληρώνοντας, το σύστημα TSP είναι δημιουργημένο για να χρησιμοποιείται από έναν και μόνο πωλητή, ενώ το σύστημα mTSP είναι δημιουργημένο για να αναλύει διεξοδικά το πρόβλημα και μπορεί να χρησιμοποιείται από πολλαπλούς πωλητές.

Από την άλλη πλευρά, το σύστημα MTSP ή Multiple Travelling Salesman Problem [17] διακρίνεται ως μια πιο γενικευμένη έννοια του συστήματος TSP, όπως προαναφέρθηκε. Πιο συγκεκριμένα, το MTSP καλύπτει το γενικότερο εύρος τέτοιων συστημάτων, στο οποίο απευθύνεται ένα σημαντικό μέρος πωλητών, οι οποίοι αναζητούν ένα σταθερό και μη μεταβαλλόμενο εύρος τοποθεσιών. Αυτό συμβαίνει, διότι, αναζητούν μία πιο εύκολη διαδρομή ώστε να επισκεφτούν αυτό που επιθυμούν και να επιστρέψουν στην εκκίνηση τους ξανά με το λιγότερο δυνατό μεταφερόμενο κόστος.

Ακόμη, το MTSP συνδέεται με πολλαπλά συστήματα τα οποία σχετίζονται με άλλα συστήματα που αφορούν κυρίως την βελτιστοποίηση του στόχου του. Το πιο γνωστό απ' αυτά χαρακτηρίζεται ως το VRP ή Vehicle Routing Problem και η βασική εργασία του είναι να βρίσκει λύσεις στις ανατεθειμένες εργασίες. Το σύστημα MTSP μπορεί να οριστεί ως ένα πιο κατώτερο σύστημα από το VRP. Αυτό συμβαίνει δίχως την αντίληψη των δυνατοτήτων του, όπου μπορεί να είναι είτε οι απαιτήσεις των πελατών σε κάθε περίπτωση είτε η χωρητικότητα του, είτε το χρονικό όριο. Επιπλέον, το MTSP είναι δημιουργημένο με τέτοιον τρόπο ώστε να μπορεί να διαμοιράσει τα χαρακτηριστικά που απαιτούνται κάθε φορά. Επομένως, το MTSP χρησιμοποιείται για την εξερεύνηση και επίλυση των προβλημάτων που αφορούν την βελτιστοποίηση VRP και την επίλυση των ανατεθειμένων εργασιών.

Επιπλέον, το σύστημα MTSP χαρακτηρίζεται ως το πιο σημαντικό πρόβλημα βελτιστοποίησης, το οποίο έχει λάβει εφαρμογή σε πολλαπλά και διαφορετικά επίπεδα ολόκληρης της ζωής. Πιο αναλυτικά, οι πωλητές που χρησιμοποιούν το σύστημα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

Τα δημοφιλή πια μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα ή αλλιώς UAV, τα οποία είναι γνωστά ως drones, την τελευταία δεκαετία εμφάνισαν μεγάλη ανάπτυξη και επιτυχία. Αυτό συνέβη και λόγω των εξελιγμένων δυνατοτήτων τους όσον αφορά την έννοια των Logistics, της παρακολούθησης και της επιθεώρησης. Πιο αναλυτικά, τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα ή αλλιώς UAV [19] χαρακτηρίζονται ως τα οχήματα τα οποία έχουν τη δυνατότητα να μένουν στον αέρα και να ταξιδεύουν σε ορισμένο μήκος συγκεκριμένων διαδρομών με αυτοματοποιημένα μέσα. Επίσης, εκτός απ' αυτές τις δυνατότητες που κατέχουν, μπορούν να τμηματοποιούν με κάποιον πιο αυτοματοποιημένο τρόπο τον διαμοιρασμό των δεμάτων ή διάφορων αγαθών, με αποτέλεσμα να βρίσκονται στα υψηλά επίπεδα σ' όλο το εύρος των εταιρειών. Πολλές είναι οι εταιρείες μεταφορών οι οποίες προσπαθούν να εξελίξουν την αρχική ιδέα της χρησιμότητας ενός drone ώστε να πραγματοποιεί μια παράδοση ενός αγαθού.

Κατά την αρχική έρευνα, ήταν σχεδόν βέβαιο ότι ένα drone θα έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιήσει τις παραδόσεις αγαθών, πέρα από πιθανούς περιορισμούς που μπορεί να έχει. Οι περιορισμοί αυτοί, ωστόσο, αφορούσαν την εκτιμώμενη παράδοση, την χωρητικότητα, αλλά και την χρονική αντοχή της μπαταρίας που περιέχεται στο drone. Βέβαια, το drone έως τις πιο πρόσφατες έρευνες έχει αποδείξει ότι έχει την ευχέρεια στο να επιφέρει πολύ πιο μειωμένο χρονικό όριο παραδόσεων και τρομερή μείωση της διαδικασίας της λειτουργικότητας του κόστους. Ωστόσο, παρατηρείται μια ισοστάθμιση των μειονεκτημάτων και πλεονεκτημάτων, αντίστοιχα, των drones σε σύγκριση με τα φορητά μεταφοράς.

Επιπλέον, η καθημερινή χρησιμότητα αυτών των αερομεταφερόμενων drones για εργασιακές διαδικασίες οι οποίες αφορούν τόσο την μεταφορά όσο και την παράδοση και σύλληψη των μικρότερων πραγμάτων με μεγάλη προσοχή και ασφάλεια, έχει εξελίξει όλο το εύρος της βιομηχανικής παράδοσης των δεμάτων. Αυτό το γεγονός, δίνει τη δυνατότητα στους οδηγούς όλων των εταιρειών και τους βοηθάει, αντίστοιχα, διότι μπορούν να πραγματοποιήσουν τις παραδόσεις τους σε πολύ λιγότερο χρόνο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να παραδίδονται πολλαπλά δέματα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Επομένως, δίνει σημαντικό πλεονέκτημα και στο όνομα της εταιρείας για την γρήγορη παράδοση της.

MTSP μπορούν να εξυπηρετούνται είτε με φορτηγά είτε με ιπτάμενα οχήματα, όπως είναι τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα.

Με βάση την ανάλυση της σημασίας του προβλήματος της βελτιστοποίησης, πραγματοποιείται αναλυτική εξερεύνηση για την ανάλυση, την ανασκόπηση και την επεξήγηση των συζητήσεων του συστήματος MTSP. Ταυτοχρόνως, γίνεται ανάλυση και εφαρμογή των συγκεκριμένων προσεγγίσεων και περιλαμβάνουν και τα δύο είδη, δηλαδή, τα ιπτάμενα οχήματα (UAV και drones) και τα οχήματα εδάφους (μηχανές και φορτηγά).

Με λίγα λόγια, στην συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζεται το πρόβλημα της δρομολόγησης η οποία αποτελείται από πολλαπλούς αποθηκευτικούς χώρους και διαφορετικά οχήματα ή φορτηγά τα οποία κατέχουν το κάθε ένα ξεχωριστά διαφορετική χωρητικότητα και τέλος, διακρίνονται από το βασικότερο στοιχείο, το UAV ή multiple depots multiple TSP. Ακόμη, αναφέρεται το εύρος των οχημάτων και των τοποθεσιών, όπου ο στόχος του προβλήματος της δρομολόγησης πρέπει να τοποθετήσει ένα σύνολο στόχων για κάθε όχημα ξεχωριστά. Μ' αυτόν τον τρόπο, ο στόχος της δρομολόγησης όταν συναντά κάποιο άλλο όχημα ή φορτηγό, το κόστος όλου του ταξιδιού μειώνεται σε πάρα πολύ μεγάλο βαθμό για όλο το εύρος των οχημάτων. Πρέπει να σημειωθεί, ότι το κόστος της μετακίνησης αυτής και οποιονδήποτε άλλων στόχων, εξαρτάται μονάχα από τον τύπο του οχήματος.

Συμπερασματικά, έστω ότι ο πωλητής πραγματοποιεί την εκκίνηση του από μία τοποθεσία όπου βρίσκεται η αποθήκη, επιβάλλεται να αποφασίσει και να ακολουθήσει την διαδρομή που συμφέρει τον κάθε ένα πωλητή ξεχωριστά. Επομένως, το κάθε όχημα να κάνει την εκκίνηση του από την αποθήκη που του αναλογεί και να επισκέπτεται μόνο έναν προορισμό στον οποίο δεν θα πάνε άλλα οχήματα. Επίσης, θα πρέπει ο κάθε ένας από τους προορισμούς να πηγαίνει μόνο ένα όχημα και το όχημα να γυρίζει ξανά στο σταθμό που έκανε την εκκίνηση του. Τέλος, τα drones και οι μηχανές έχουν τη δυνατότητα να γυρίσουν ξανά στον σταθμό που τους αναλογούν και έπειτα να ξανά ξεκινήσουν την επόμενη τους διαδρομή.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: TRAVELLING SALESMAN PROBLEM ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

---

### 2.1 TO TRAVELLING SALESMAN PROBLEM

---

Εδώ και δεκαετίες το πρόβλημα του περιοδεύοντος πωλητή (TSP) έχει μελετηθεί σε βάθος και με αμείωτο ενδιαφέρον. Πρόκειται για ένα από τα βασικότερα προβλήματα της θεωρίας βελτιστοποίησης με το οποίο καταπιάνονται συστηματικά πολυάριθμοι ερευνητές.

Η αφητηρία και η αρχική εξέλιξη του TSP παραμένουν ασαφείς. Η πρώτη αναφορά του προβλήματος τοποθετείται το 1832 σε εγχειρίδιο για πλανόδιους πωλητές. Συγκεκριμένα, περιλάμβανε πρότυπα περιηγήσεων μέσω της Γερμανίας και της Ελβετίας, χωρίς όμως τα πρότυπα αυτά να υπακούν σε συγκεκριμένη μαθηματική προσέγγιση. Ο όρος TSP καθιερώθηκε το 19<sup>ο</sup> αιώνα από τον Ιρλανδό μαθηματικό William Rowen Hamilton και το Βρετανό μαθηματικό Thomas Kirkman. Ο Hamilton υπήρξε ο εφευρέτης του Icosian Puzzle ή Icosian Game, όπως αναφέρεται σήμερα στη διεθνή βιβλιογραφία. Το Icosian Puzzle περιλαμβάνει την εύρεση ενός κύκλου από τις άκρες ενός δωδεκαέδρου, έτσι ώστε κάθε κόμβος να επισκέπτεται μία μόνο φορά, κανένας κόμβος να μην επισκέπτεται δύο φορές και το τελικό σημείο να είναι ίδιο με το αρχικό. Πρόκειται ουσιαστικά για ένα μονοπάτι σε σχήμα κύκλου, το οποίο ονομάζεται κύκλος του Hamilton και πληρεί τις παραπάνω ιδιότητες. Συνοπτικά κύκλος του Hamilton είναι ένα μονοπάτι σε μη κατευθυνόμενο γράφημα το οποίο επισκέπτεται κάθε κόμβος ακριβώς μία φορά.

Το πρόβλημα του TSP μελετήθηκε και αναλύθηκε για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1930 στη Βιέννη και στο Χάρβαρντ κυρίως από τον Karl Menger. Την ίδια περίοδο πρώτος ο Merrill Meeks Flood, ανέλυσε τη μαθηματική υπόσταση του προβλήματος στα πλαίσια εύρεσης βέλτιστης διαδρομής ενός σχολικού λεωφορείου. Η ονομασία Traveling Salesman Problem (TSP) δόθηκε αμέσως μετά από τον Hassler Whitney στο πανεπιστήμιο του Princeton. Στις δεκαετίες του 1950 και του 1960 το ζήτημα έγινε ιδιαίτερα δημοφιλές μεταξύ των επιστημονικών κύκλων, γεγονός που αποδεικνύεται και από την απονομή βραβείων σε όσους ερευνητές συνείσφεραν στην επίλυση του σε ορισμένα συνέδρια.

Σήμερα οι κύριες συνιστώσες για την προσέγγιση των πιο απαιτητικών προβλημάτων βελτιστοποίησης είναι οι αλγόριθμοι Ευρετικής Αναζήτησης, ο Γραμμικός Προγραμματισμός και οι αλγόριθμοι Branch και Bound (B&B), οι οποίες επιλύουν αρκετά πρακτικά προβλήματα. Κατά τη διάρκεια των ετών το ζήτημα αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης διαφόρων κλάδων, όπως των μαθηματικών, των υπολογιστών, της χημείας, της φυσικής και της επιχειρησιακής έρευνας. Το 1972 ο Richard Karp απέδειξε ότι ο κύκλος του Hamilton είναι ένα πρόβλημα το οποίο μπορεί να επαληθευτεί σε πολυωνυμικό χρόνο, δηλαδή πρόκειται για ένα NP-πλήρες πρόβλημα και συγκεκριμένα ανήκει στα NP δύσκολα προβλήματα με αυξημένο βαθμό δυσκολίας. Η απόδειξη αυτή εξηγεί και τη δυσκολία υπολογισμού βέλτιστων διαδρομών.

Νέες μελέτες οδήγησαν σε νέες αλγοριθμικές τεχνικές που εφαρμόστηκαν ευρέως στο TSP. Οι πιο γνωστές μεταξύ αυτών είναι η μέθοδος χαλάρωσης του Lagrange, ο αλγόριθμος και η συνάρτηση Lin-Kernighan, η προσομοιωμένη Ανόπτωσης και το πεδίο των συνδυαστικών πολυέδρων για δύσκολα συνδυαστικά προβλήματα βελτιστοποίησης. Σημείο αναφοράς των σχετικών μελετών αποτέλεσε το κατόρθωμα των Grotschel, Padberg και Rinaldi το 1970-1980 να επιλύσουν προβλήματα που περιλάμβαναν έως και 2.392 πόλεις, χρησιμοποιώντας τις άνω αναφερόμενες τεχνικές. Τη δεκαετία του 1990 οι Applegate, Bixby, Chvatal και Cook ανέπτυξαν το πρόγραμμα 'Concorde TSP Solver' το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα, ακόμα και για ακαδημαϊκούς σκοπούς. Το 1991 ο Gerhard Reinelt δημοσίευσε το TSPLIB, μια συλλογή συγκριτικών αξιολογήσεων, το οποίο χρησιμοποιείται και σήμερα για τη σύγκριση αποτελεσμάτων. Το μεγαλύτερο λυμένο πρόβλημα πραγματοποιήθηκε το 2006 από τον Cook και τους συνεργάτες του. Περιλάμβανε 85.900 πόλεις για τις οποίες υπολογίστηκε βέλτιστη διαδρομή μέσω προβλήματος διάταξης μικροτσίπ.

Σήμερα οι λύσεις των προβλημάτων εγγυώνται ποσοστό βέλτιστης διαδρομής μόνο στο 1% των περιπτώσεων. Το TSP κατέστη ιδιαίτερα δημοφιλές χάρη στη στενή του συσχέτιση με το πρόβλημα εισχώρησης και το πρόβλημα μεταφοράς, αλλά και στο ενδιαφέρον που προκαλούσε η δυσκολία επίλυσης του, αλλά και η ιστορική σημασία του ονόματός του.

### 2.1.1. Συγχρονισμός drone και φορτηγού

---

Σύμφωνα με τους Schermer, Moeini, Wendt [1] τα φορτηγά και τα drones, αντίστοιχα, είναι σχεδιασμένα ώστε να μπορούν να λειτουργήσουν αποκλειστικά όπως οι σύγχρονες μονάδες εργασίας συγχρονισμένα. Οι μονάδες αυτές, ωστόσο, διακρίνονται από προσεγγίσεις όπου διακρίνονται παρακάτω:

Εφαρμογές που βασίζονται στα Sidekick. Σ' αυτή τη περίπτωση, το drone μετακινείται σε συνεργασία με κάποιο ειδικό φορτηγό παράδοσης. Επομένως, το ειδικό φορτηγό παράδοσης δεν χαρακτηρίζεται ως ένας απλός μεταφορέας. Αντιθέτως, προσφέρει πολλά περισσότερα, όπως, η εξυπηρέτηση των πελατών είτε με την βοήθεια του φορτηγού είτε με drone.

Υποθετικά παρουσιάζεται κάποιο σύνολο από πελάτες, όπου ο κάθε ένας από εκείνους είναι δημιουργημένος ώστε να εξυπηρετηθεί μία φορά και όχι παραπάνω. Πιο αναλυτικά, στο περιβάλλον του TSP-D είναι εγκατεστημένο μόνο ένα ειδικό φορτηγό το οποίο είναι δημιουργημένο αλλά και εξοπλισμένο με τον σωστό τρόπο, ώσπου με την βοήθεια ενός και μόνο drone να πραγματοποιείται η ολοκληρωτική εκτέλεση των παραδόσεων που έχουν συμφωνηθεί. Επιπλέον, τα δύο οχήματα τοποθετούνται στο ίδιο σημείο αρχικά, σε μια κεντρική αποθήκη και αναζητείται η καλύτερη και ευκολότερη διαδρομή που θα ακολουθήσει το φορτηγό και θα χρησιμοποιηθεί το αντίστοιχο drone. Με αποτέλεσμα, όλο το σύνολο των πελατών να εξυπηρετούνται πλήρως και τα δύο οχήματα να επιστρέφουν στην κεντρική αποθήκη όσο πιο γρήγορα γίνεται. Επομένως, να διανύουν και την ελάχιστη απόδοση που επιτεύχθηκε μέσω αυτής της ενέργειας. Ακόμη, το drone έχει τη δυνατότητα να εξυπηρετεί μόνο έναν πελάτη όταν φεύγει από το περιβάλλον του φορτηγού και γυρίζει ξανά στο σημείο εκκίνησης.

Οι παρακάτω Agatz, Bouman, Schmidt [2] κάνουν χρήση του συστήματος TSP with Drone (TSP-D). Πιο συγκεκριμένα, για την ολοκληρωμένη ανάλυση είναι απαραίτητο να ακολουθηθούν οι παρακάτω ενδείξεις.

1. Το drone είναι σχεδιασμένο ώστε να έχει συγκεκριμένη χωρητικότητα, αλλά και να γυρίζει στο φορηγό αμέσως μετά την κάθε παράδοση που πραγματοποιεί.
2. Το drone είναι δημιουργημένο με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να αναχωρήσει και να επιστρέψει από το ειδικό φορηγό, μόνο όταν αυτό είναι σταματημένο είτε σε περιβάλλον πελάτη είτε σε ειδικό αμαξοστάσιο. Επομένως, η παραλαβή και η παράδοση των δεμάτων από το φορηγό αυτό πραγματοποιείται αποκλειστικά από σημεία που αποτελούνται από πελάτες. Παραλαβή των δεμάτων από το φορηγό μπορεί να γίνει μόνο στα σημεία των πελατών.
3. Για να είναι πιο εύκολη η εύρεση του επιθυμητού σημείου αποστολής, είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψιν τόσο η παραλαβή όσο και η παράδοση των δεμάτων είτε από το ένα είτε και από τα δύο οχήματα, όπου υπάρχει περίπτωση να παραμεληθεί. Ακόμη, το χρονικό περιθώριο της ολικής επαναφοράς του drone είναι πιθανό και αυτό να παραμεληθεί, όπως για παράδειγμα, η διαδικασία αλλαγής των μπαταριών.

Επιπλέον, το φορηγό μπορεί να βρίσκεται και να περιμένει στον κόμβο της έναρξης ώσπου να επιστρέψει το drone. Σε αυτήν την περίπτωση, ο κόμβος της έναρξης είναι ίσος με τον κόμβο του τερματισμού. Βέβαια, αν η λειτουργία κ δεν περιλαμβάνει κάποιον κόμβο drone, η λειτουργία αυτή διακρίνεται μόνο από το άκρο μεταξύ του κόμβου έναρξης και του κόμβου τερματισμού. Συνεπώς, το φορηγό είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να ταξιδεύει από τον κόμβο της έναρξης προς τον κόμβο του τερματισμού, αλλά το drone να παραμένει σταθερά σταθμευμένο στην τοποθεσία του φορηγού.

Οι Chase, Ritwik, Raj [3] αναφέρουν το σύστημα Multiple Flying Sidekicks Traveling Salesman Problem (mFSTSP), με βάση το οποίο αποτελείται από ένα ειδικό φορηγό παράδοσης και παραλαβής αντίστοιχα, αλλά και από έναν ετερογενή στόλο από μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων, τα γνωστά drones. Αναλυτικότερα, τα συστήματα αυτά συντονίζονται με σκοπό την παράδοση των δεμάτων σε άτομα που είναι κατανομημένα σε διάφορα γεωγραφικά μέρη. Επομένως, το UAV εκτοξεύεται από το ειδικό φορηγό ώστε να παραδώσει ή να παραλάβει ένα δέμα και έπειτα,

επιστρέφει στο φορτηγό για να παραλάβει το επόμενο δέμα και να συνεχίσει την ίδια διαδικασία, ώσπου να μηδενίσουν τα δέματα που είναι για παραλαβή ή παράδοση. Επιπλέον, ο βασικότερος στόχος του προβλήματος αυτού αποτελεί η αξιοποίηση του ειδικού φορτηγού παράδοσης αλλά και του στόλου των UAV, ώστε να ολοκληρωθεί η διαδικασία της παράδοσης και ύστερα να επιστρέψει στην κεντρική αποθήκη στο λιγότερο χρονικό διάστημα που είναι εφικτό.

Σ' αυτή τη περίπτωση, συνεπώς, πολλαπλασιάζεται το FSTSP ως προς την δρομολόγηση του, καθώς και άλλες σχετικές μελέτες για τη δρομολόγηση φορτηγών/UAV σύμφωνα με διάφορες ανακαλύψεις. Επομένως, το σύστημα mFSTSP ασχολείται με έναν πιο γενικό αριθμητικό μέρος UAV, όπου έχει τη δυνατότητα να αναπτυχθεί είτε από το φορτηγό που είναι υπεύθυνο για τις παραδόσεις είτε από την κεντρική αποθήκη. Επίσης, τα UAV είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να μπορούν να διαθέτουν πολλαπλές ταχύτητες ταξιδιού, μεγάλη χωρητικότητα του ωφέλιμου φορτίου, ο απαραίτητος χρόνος εξυπηρέτησης και τέλος, ο περιορισμός της μεγάλης αντοχής της πτήσης που καλείται να πραγματοποιήσει το drone.

Με βάση αυτές τις διαφοροποιήσεις διανέμονται οι απαιτούμενες ελλείψεις και έτσι επεκτείνεται ο στόλος τους με τα πολλαπλά drones με βάση την πάροδο του χρόνου που χρειάζεται σε κάθε περίπτωση.

Οι Wang, Sheu [7] κάνουν χρήση του Vehicle Routing Problem with Drones (VRPD), με διαφορετικό τρόπο και όχι με το κλασικό δρομολόγησης οχημάτων, γνωστό ως VRP. Επομένως, διακρίνονται δύο κατηγορίες στο VRPD. Η πρώτη παρουσιάζει ένα drone το οποίο έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιήσει πολλαπλές πτήσεις και προσγειώσεις, όπου η κάθε μια απ' αυτές ξεχωριστά έχει κάποια σχέση με το ειδικό φορτηγό ή με κάποιο άλλο, όπου μπορεί να διώξει και να συλλέξει περισσότερα από ένα drones σε διαφορετικές ώρες και εγκαταστάσεις

Επιπροσθέτως, όλα όσα προαναφέρθηκαν είναι σημαντικό να κατανοηθούν πλήρως, προτού αναλάβουν ένα σύστημα όπως το VRPD. Ακόμη, ένα σημαντικό πρόβλημα που θα πρέπει να έχει λυθεί ή να βρεθεί λύση είναι ο χωρικός περιορισμός. Το πρόβλημα του περιορισμού της χωρητικότητας είναι ένα μείζον ζήτημα, σε περιπτώσεις όπου απαιτείται η διάρκεια και η κατεύθυνση της πτήσης, αλλά και οι υπόλοιπες διαδικασίες φόρτωσης του οχήματος. Επιπλέον, κάθε εταιρία πρέπει να λάβει υπόψιν της κάποια σημαντικά ζητήματα προτού ξεκινήσει την διαδικασία

παράδοσης με drone. Πιο συγκεκριμένα, είναι αναγκαίο να αναλυθεί ο αριθμός των πελατών, το κόστος που θα έχουν για να επιτευχθούν οι απαιτήσεις τους με drone, τον προγραμματισμό των drone και των φορητών και, τέλος, να αναλυθεί το οικονομικό σχέδιο της δρομολόγησης των οχημάτων. Δίχως αυτόν τον υπολογισμό, ίσως δεν θα μπορέσει να ληφθεί το αποτέλεσμα που ήταν σαν αρχική ιδέα.

Οι Sacramento, Pisinger, Ropke [8] μελέτησαν την εξέλιξη του VRP όπου σ' αυτή τη περίπτωση κάθε ένα φορητό μπορεί να συνεργάζεται με ένα μόνο drone. Αφού είναι μια πιο γενική θεωρία του VRP, δεν είναι εύκολο να επιλυθεί.

Στις πρωταρχικές εργασίες που είχαν να κάνουν με το πρόβλημα του ταξιδιώτη πωλητή (TSP) σε συνεργασία με τα drones σύμφωνα με τις ανακαλύψεις των Murray και Chu, οι οποίοι ανέλυσαν δύο εντελώς αντίθετα μοντέλα δρομολόγησης. Αρχικά, το flying sidekick TSP ή FSTSP αναλύει το τρόπο συνεργασίας ενός drone με ένα φορητό. Συνεπώς, ένα drone είναι τοποθετημένο στο φορητό και ο οδηγός του φορητού απελευθερώνει το drone και το ξανά ανακτά πίσω. Απ' την άλλη πλευρά, το άλλο μοντέλο χαρακτηρίζεται ως το παράλληλο δρομολόγιο TSP γνωστό ως PDSTSP. Σε αντίθετη περίπτωση με το FSTSP, το PDSTSP έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί ένα πολύ μεγάλο αριθμό drones.

Επιπροσθέτως, τα drones είναι δημιουργημένα με τέτοιο τρόπο ώστε να μεταφέρουν και να αποστέλλουν τα δέματα σε συγκεκριμένες και οριοθετημένες τοποθεσίες που μπορεί να πραγματοποιήσει πτήση το drone του κέντρου διανομής. Με αποτέλεσμα, να παρουσιάζονται ενδεχομένως ορισμένα προβλήματα σε περιπτώσεις που το κέντρο διανομής των δεμάτων είναι εκτός της ορισμένης εμβέλειας και απέχει μεγάλη απόσταση από το μεγαλύτερο μέρος των πελατών. Επομένως, για να πάψουν να υπάρχουν αυτοί οι περιορισμοί γνωστοί ως PDSTSP, αναπτύχθηκε στη θέση τους το TSP με έναν σταθμό drone (TSP-DS). Με το TSP-DS δίνεται η δυνατότητα εκμετάλλευσης ενός σταθμού drone, ο οποίος όμως χαρακτηρίζεται σαν μια εγκατάσταση η οποία λειτουργεί ως αποθήκη τόσο του drone όσο και των συσκευών φόρτισης αυτών. Πιο αναλυτικά, ο σταθμός είναι εξοπλισμένος για να απελευθερώσει drone και ξεκινάει την λειτουργικότητα του όταν το φορητό αναλαμβάνει τα δέματα και τα παραδίδει με το drone. Είναι δεδομένο ότι ο σταθμός αυτός είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να μπορεί να στηρίξει ένα σημαντικό αριθμό από drones, αλλά και η εγκατάσταση της τοποθεσίας του δεν αλληλοστηρίζεται με αυτή του κέντρου διανομής των δεμάτων.

Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τους Murray and Chu [9] ο αρχικός σταθμός drone τοποθετείται σε κοντινές περιοχές των πελατών και ταυτόχρονα σε μακρινή απόσταση από το κέντρο διανομής. Πιο αναλυτικά, υπάρχει η δυνατότητα παράδοσης των δεμάτων κάνοντας χρήση των drones, διότι ένα φορηγό είναι υπεύθυνο για την προμήθεια των παραδόσεων στον σταθμό του drone και ένα φορηγό σε συνεργασία με έναν σταθμό drone μπορούν να λειτουργήσουν και ανεξάρτητα, δηλαδή το καθ' ένα ξεχωριστά από το κέντρο διανομής. Αυτό οφείλεται στο ότι το φορηγό προμηθεύει τα δέματα που απαιτούνται για την παράδοση με drone.

Σύμφωνα με τους συγγραφείς Minh Ha, Deville, Pham, Hoàng Hà [10], οι οποίοι παρουσιάζουν μια εξελιγμένη παραλλαγή του TSP-D, η οποία έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση των λειτουργικών κόστων μαζί με το συνολικό κόστος της μεταφοράς, αλλά και εκείνου που παρουσιάζεται από τον χρόνο που χάνεται όταν ένα όχημα είναι αναγκαίο να περιμένει για το άλλο.

Εκείνοι, προτείνουν δύο αλγόριθμους για τη λύση αυτού του προβλήματος. Ο πρώτος αλγόριθμος γνωστός ως TSP-LS, ο οποίος ήταν αρχική ιδέα των Murray και Chu (2015), μετατρέπεται και διαμορφώνεται σε μια ολοκληρωμένη και σωστή λύση TSP-D, κυρίως από κοντινές αποστάσεις. Απ' την άλλη πλευρά, ο δεύτερος αλγόριθμος ακολουθεί την ολοκληρωμένη διαδικασία Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP), η οποία στηρίζεται σε μια ανερχόμενη διαδικασία η οποία διαχωρίζει με πολύ γοργό ρυθμό όλο το εύρος των περιηγήσεων TSP μονάχα σε μια λύση TSP-D.

Με την ύπαρξη της λύσης TSP-D, σειρά έχει η βελτίωση των κοντινών συντελεστών που αφορούν διάφορες αναζητήσεις. Σε συνάρτηση με τα περισσότερα αποτελέσματα των αναζητήσεων, καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι το GRASP είναι κάτι πολύ ανώτερο από το TSP-LS, κυρίως ως προς την ποιότητα για την λύση αυτού σε συγκεκριμένο χρόνο όπου λειτουργεί.

Σύμφωνα με τους Bouman, Agatz, Schmidt [13] παρουσιάζουν προσεγγίσεις για τα TSP. Το πρώτο πέρασμα της προσέγγισης αποτελείται από τρία περάσματα, ενώ τοποθετείται η οπτική του προγραμματισμού ως προς το TSP, με σκοπό να αναζητήσει την πιο σύντομη διαδρομή για το φορηγό.

Το δεύτερο πέρασμα, συνδυάζει τις διαδρομές όλων των φορτηγών σε συνεργασία με τους κόμβους του drone, ώστε να αποκτηθούν αποτελεσματικότερες λειτουργίες. Με λίγα λόγια, λειτουργίες οι οποίες έχουν αντιπροσωπευτικό ρόλο λειτουργίας για τον τρόπο κάλυψης των κόμβων, κυρίως από τον αρχικό κόμβο ένταρξης  $v$  έως τον τελικό κόμβο τερματισμού  $w$ .

Το τρίτο πέρασμα, συνδυάζει την πιο βέλτιστη διαδρομή η οποία υπολογίζεται με την βέλτιστη ακολουθία των πράξεων που αφορούν τις τοποθεσίες απ' όπου ξεκινάει και τερματίζει ένα αμαξοστάσιο. Για τον λόγο αυτό, γίνεται επανεξέταση του προβλήματος ώστε να πραγματοποιηθεί η εύρεση της καταλληλότερης λειτουργίας, η οποία ξεκινάει από την αποθήκη και περιλαμβάνει όλο το εύρος από την αρχή των κόμβων  $S$  και τελειώνει στον κόμβο  $w$ .

### 2.2.2 Drone και φορτηγό χωρίς Συγχρονισμό

---

Σύμφωνα με τους Raïssa, Saleu, Deroussi [4] το σύστημα PDSTSP είναι σχεδιασμένο ώστε να μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα λογικό αριθμό drones. Τα drones είναι δημιουργημένα για να αποστέλλουν δέματα σε συγκεκριμένη εμβέλεια που μπορεί να διαθέσει η πτήση του συγκεκριμένου κέντρου διανομής δεμάτων. Συνεπώς, μ' αυτόν τον τρόπο παρουσιάζονται προβλήματα σε περιπτώσεις που το κέντρο διανομής έχει πολύ μεγάλη απόσταση από την πλειοψηφία των πελατών. Ωστόσο, για να λάβει τέλος αυτός ο περιορισμός και να εξελιχθεί το PDSTSP, δημιουργήθηκε το σύστημα TSP το οποίο αποτελείται από ένα σταθμό drone (TSP-DS), το οποίο είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνεται η ορθή εκμετάλλευση του σταθμού drone, ο οποίος χαρακτηρίζεται ως η θέση εγκατάστασης που τοποθετείται το drone και οι συσκευές για τη φόρτιση του. Πιο αναλυτικά, ο σταθμός αυτός είναι σχεδιασμένος για να εκτοξεύσει τα drones. Με λίγα λόγια, ξεκινάει την λειτουργία του όταν ένα φορτηγό προμηθεύεται δέματα με σκοπό να τα παραδώσει με drone.

Οι Sungwoo, Ilkyeong, Moon [5] θεώρησαν ότι ο σταθμός έχει τη δυνατότητα να τακτοποιήσει τον εφοδιασμό με τη βοήθεια ενός μεγάλου αριθμού drones και ότι η τοποθεσία του σταθμού δεν σχετίζεται με την τοποθεσία του κέντρου διανομής.



Ειδικότερα, ο σταθμός drone τοποθετείται σχετικά σε κοντινή απόσταση από περιοχές που υπάρχουν πελάτες αλλά και ταυτόχρονα μακριά από το συγκεκριμένο κέντρο διανομής. Ωστόσο, η εγκατάσταση έχει τη δυνατότητα να αποστέλλει δέματα κάνοντας χρήση των drones, διότι το ειδικό φορτηγό προμηθεύει τα αποσταλμένα στον σταθμό drone και ο συγκεκριμένος σταθμός του drone λειτουργεί όχι σε συνεργασία με το κέντρο διανομής, διότι το φορτηγό προμηθεύει δέματα για παράδοση με drone.

Σύμφωνα με τους Roberti, Ruthmair [6] αναφέρουν προσεγγίσεις λύσης για τη βασική λειτουργικότητα του TSP-D. Ακόμη, παρουσιάζουν το πρόβλημα με ορισμένα χαρακτηριστικά τα οποία παρουσιάζονται στη συνέχεια.

- (i) Η εκκίνηση και ο τερματισμός του drone έχει τη δυνατότητα να γίνει στον ίδιο κόμβο.
- (ii) Κάποιο ορισμένο σύνολο από πελάτες δεν είναι εφικτό να εξυπηρετείται με drone.
- (iii) Τα όρια για τη πτήση του drone έχουν χρονικό περιορισμό και εξαρτούνται από το βάρος που κατέχουν τα δέματα.
- (iv) Ο σχεδιασμός της ενέργειας αυτής δεν επιτρέπει στο drone να περιμένει το φορτηγό στο έδαφος, αλλά μόνο στον αέρα.
- (v) Είναι απαραίτητο να είναι συγκεκριμένες οι ώρες εκκίνησης και συνάντησης του drone.
- (vi) Ο αριθμός των πελατών που εξυπηρετεί το drone χαρακτηρίζεται ως αερομεταφερόμενος και είναι ιδιαίτερα περιορισμένος, ενώ ο αριθμός των πελατών που εξυπηρετεί το φορτηγό δεν περιέχει περιορισμούς.

Επίσης, παρέχουν έναν συνδυασμό από MILP που αφορά όλο το εύρος των παραλλαγών του TSP-D. Η επεξήγηση παρουσιάζεται πολύ απλά δίχως την αναγκαιότητα για ανανεωμένες τεχνικές και έτσι είναι πιο αποτελεσματικό για να

πραγματοποιηθεί μέσα σε ορισμένο πλαίσιο επίλυσής του. Βέβαια, πέρα από την απλότητα χαρακτηρίζεται ως πιο ανταγωνιστικό με περισσότερες και πιο συγκεκριμένες μεθόδους και λύσεις, για την επίλυση παρόμοιων προβλημάτων. Η βασική ιδέα του μοντέλου στηρίζεται στον ανανεωμένο συγχρονισμό των ροών του φορτηγού και του drone.

Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα ή τα drones σύμφωνα με τους Dorling, Heinrichs, Messier, Magierowski [11] είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να έχουν την ευχέρεια να ελαττώσουν τόσο το κόστος όσο και τον χρόνο για την προγραμματισμένη παράδοση μέχρι το τελευταίο μίλι, αλλά και να ανταποκριθούν πλήρως σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

Επιπλέον, τα γνωστά VRP δεν είναι επαρκή για την πραγματοποίηση και τον προγραμματισμό των παραδόσεων που απαιτούνται με drone. Αυτό συμβαίνει είτε γιατί δεν επιτρέπονται διάφορες διαδρομές στο περιβάλλον της αποθήκης και έχοντας ως συνέπεια την οδήγηση σε λύσεις με πολλά drones και είτε διότι δεν υπάρχει γνώση της επίδοσης της μπαταρίας και του ωφέλιμου φορτίου όσον αφορά την κατανάλωση της ενέργειάς της. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παρουσίαση τόσο δύσκολων όσο και πολύ δαπανηρών διαδρομών. Δύο είναι τα καλύτερα VRP για πολλαπλές διαδρομές ταξιδιών για παραδόσεις με drones, όπου αφορούν την παραπάνω περίπτωση που αναφέρθηκε. Το πρώτο, αρχικά, μειώνει τα απαιτούμενα έξοδα που υπάρχουν σε ορισμένα χρονικά όρια παραδόσεων, ενώ το δεύτερο μειώνει τον ολικό χρόνο παράδοσης περιλαμβανομένου και του απαιτούμενου προϋπολογισμού. Επίσης, με την βοήθεια των μαθηματικών υπολογίζονται το κατάλληλο μοντέλο της χαμηλότερης ενέργειας που καταναλώνεται για τα drones. Έχοντας ως αποτέλεσμα την μείωση της ωφέλιμης ενέργειας, η οποία ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό γραμμικά με το περιβάλλον της μπαταρίας αλλά και το ωφέλιμο φορτίο αυτής.

Επιπλέον, κάνοντας χρήση εκείνης της λογικής ώστε να εξαχθεί σε μικτά και γραμμικά προγράμματα για τα VRP. Προτείνεται, επομένως, η ύπαρξη μιας συνάρτησης του κόστους η οποία περιλαμβάνει το μοντέλο της καταναλωτικής ενέργειας, αλλά και την χρησιμοποίηση μιας δεύτερης φοράς ενδεχομένως του drone. Όστε να εφαρμοστεί κάποια ευρετική προσομοίωση απόκτησης (SA), η οποία είναι σημαντική για την ανακάλυψη όχι και τόσο βέλτιστων λύσεων σε πρακτικά επίπεδα.

Οι Ulmer, Barrett [12] ασχολήθηκαν με ένα από τα βασικά ερωτήματα που αφορά το SDDPHF και αποτελεί η χρήση drone ή οχήματος κατά τη παράδοση. Πιο αναλυτικά, το ερώτημα για το drone ή το όχημα είναι πολύ λεπτό, διότι είναι αναγκαίο να ληφθεί ως δεδομένο το αντίκτυπο που θα έχει αυτή η απόφαση στην ικανότητα ή μη, με σκοπό να ανταποκριθεί σε αιτήματα τα οποία δεν είναι γνωστά και είναι υπό ερεύνηση. Για να γίνει αυτό, ωστόσο, στο απόλυτο βαθμό είναι αναγκαίο να υπάρξει η βοήθεια από μια σειρά τεχνικές, οι οποίες διακρίνονται ως τεχνικές του προσεγγιστικού δυναμικού προγραμματισμού (ADP).

Πιο αναλυτικά, οι τεχνικές του προσεγγιστικού δυναμικού προγραμματισμού ή ADP έχουν ως στόχο την επιδίωξη για λύσεις που αφορούν μεγάλης ποιότητας, ενώ μαζί μ' αυτό να προϋπάρχει και ένα πολυδιάστατο και πολυχρηστικό μέσο για την πλήρη επίλυση διαφόρων προβλημάτων. Συνεπώς, για να υπάρξει κάτι τέτοιο είναι αναγκαίο να πραγματοποιηθεί μια πολύ καλή ερευνητική πρόταση και πολιτική λήψης της ορθής απόφασης. Όλα αυτά βέβαια πρέπει να ληφθούν υπόψιν μαζί με τη διαίσθηση ότι το όχημα μπορεί να είναι σε περιοχές στο κέντρο της πόλης κοντά στο αμαξοστάσιο και με υψηλή πυκνότητα πελατών, ενώ η χρήση drones μπορεί να είναι οφέλημα για πιο απομακρυσμένες προαστιακές περιοχές με ευρέως διασκορπισμένους πελάτες. Όταν, λοιπόν, ισχύει αυτή η περίπτωση γίνεται χρήση της προσέγγισης ADP, η οποία είναι ιδιαίτερα γνωστή σε συνάρτηση με την βοήθεια της προσέγγισης και του αλγορίθμου της παραμετρικής πολιτικής (PFA).

Σε ένα PFA, συνεπώς, καθορίζεται ένας ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον καθορισμό των καλύτερων τιμών για την παραμετροποίηση που απαιτείται σε κάθε περίπτωση ξεχωριστά. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, ωστόσο, η διαδρομή διαχωρίζεται από το όριο της απόστασης από την αποθήκη και διαχωρίζει την περιοχή σε δύο ισόποσες ζώνες. Επομένως, όσοι πελάτες βρίσκονται μέσα στο όριο της ορισμένης διαδρομής έχουν εξυπηρέτηση μόνο από οχήματα και φορτηγά. Σε αντίθετη περίπτωση οι πελάτες που βρίσκονται στα όρια ή έξω από τα όρια της ορισμένης διαδρομής εξυπηρετούνται μόνο από drones. Το PFA, με λίγα λόγια, είναι το πιο αποδοτικό σύστημα όσον αφορά τον χρόνο εκτέλεσης, δίνοντας στους πελάτες τις απαντήσεις στις ερωτήσεις που τους αποδίδουν.

Ο Mathew [23] ανέλαβε τη μελέτη ενός πανομοιότυπου προβλήματος, γνωστό ως Heterogeneous Delivery Problem (HDP). Πιο συγκεκριμένα, ξεκίνησε τη μελέτη

αυτού με σκοπό την επεξήγηση τους προβλήματος της δρομολόγησης και του προγραμματισμού, γενικότερα, το οποίο πραγματοποιεί συνεργασίες και με διαφορετικά περιβάλλοντα αστικών τοποθεσιών. Όλο αυτό το σκεπτικό, έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση όλου του συνόλου του κόστους των παραδόσεων. Επίσης, το πρόβλημα αυτό πραγματοποιεί τις παραδόσεις του αποκλειστικά και μόνο με drone, ενώ το ειδικό φορηγό είναι σταθμευμένο, συνήθως, σε άκρες-κορυφές δρόμων, ώστε να είναι πιο εύκολη η δουλειά του drone. Πρωτού πραγματοποιηθεί ολόκληρη αυτή η διαδικασία, γίνεται έρευνα για τις άκρες-κορυφές, ώστε έπειτα να γίνεται αυτοματοποιημένα η ολοκλήρωση της διαδικασίας. Επιπλέον, προτείνεται μία νέα εξέλιξη ώστε να μειωθεί το πρόβλημα του Generalized Traveling Salesman Problem (GTSP). Συνεπώς, προτείνεται να προστεθούν επιπλέον αλγόριθμοι για την επεξήγηση και λύση της περίπτωσης του HDP, όπου όλο το εύρος των κορυφών ονομάζονται αποθήκες ικανές για την συγκεκριμένη διαδικασία.

Παρακάτω απεικονίζονται μερικές εργασίες και συνοψίζονται οι τρόποι και οι λειτουργίες εκτέλεσης τους.

Reference	Problem	depot	vehicle	Capacity	Drone	Dr.parcels	Sync	Solution method
Murray,Chu	FSTSP	1	1	Same	1	1	yes	MILP,Heuristic
Murray,Chu	PDSTSP	1	1	Same	n	1	No	MILP,Heuristics
Wang and Sheu	VRP-D	1	m	Different	n	$\geq 1$	Yes	Branch-and-price
Agath,Bouman	TSP-D	1	1	Same	1	1	Yes	Route first-Cluster second
Ha	TSP-D(fstsp)	1	1	Same	1	1	Yes	Route first-Cluster second

Ha	Min-cost TSPD	1	1	Sam e	1	1	Yes	MILP,GRASP,TS P-LS
Dorling	DDPs	1	0	Sam e	1	1	No	MILP,SA
Marlin	SDDPHF	1	m	Sam e	n	1	No	Adaptive dynamin prog.
Murray and Raj	mFSTSP	1	1	Sam e	n	1	Yes	MILP,Heuristic
Saleu,Deroussi	PDSTSP	1	1	Sam e	n	1	No	MILP,Heuristic
Kim,Moon	TSP-DS	2	1	Sam e	n	1	No	MILP
Roberti,Ruthmai n	TSP-D	1	1	Sam e	1	1	Yes	MILP,Dynamic progr.
Sacramento,Ro pke	VRP-D	1	M	Differ ent	N	1	Yes	ALNS
Bouman	TSP-D	1	1	Sam e	1	1	Yes	Dynamain progr.
Dell'Amico	PDSTSP	1	1	Sam e	n	1	No	MILP,Heuristics
Vasquez	TSP-D	1	1	Sam e	1	1	Yes	Mixed-integer Prog.

Πίνακας 1.: Σχετικές εργασίες με συγχρονισμό οχημάτων.

Σύμφωνα με τους William Ho, Ping Ji [14] ένας πωλητής έχει τη δυνατότητα να παραδώσει τα απαιτούμενα προϊόντα από την αποθήκη εκκίνησης προς όλους τους πελάτες προς μια και μόνο διαδρομή δίχως να επιστρέψει στην αποθήκη. Στις πραγματικές καταστάσεις, ωστόσο, έχει πιο πολλές αποθήκες όσον αφορά την αποθήκευση των προϊόντων.

Επιπλέον, οποιοσδήποτε πελάτης μπορεί να παραγγείλει διάφορους τύπους προϊόντων, όπου τα προϊόντα τους αποθηκεύονται σε διαφορετικές αποθήκες. Σε κάποια περίπτωση σαν κι αυτή γίνεται εφαρμογή του MDTSP αντί του TSP. Αν υποθέσουμε ότι η εταιρεία  $x$  διαθέτει πολλές αποθήκες με πάρα πολύ μεγάλη χωρητικότητα και σε πολύ καλή τοποθεσία εγκατάστασης, με αποτέλεσμα και το όχημα να χαρακτηρίζεται από τεράστια χωρητικότητα κι αυτό και να διαθέτει ένα μεγάλο εύρος από πελάτες οι οποίοι είναι σταθεροί ως προς τη ζήτηση τους αλλά και την τοποθεσία τους.

Ωστόσο, όλοι οι πελάτες ξεχωριστά έχουν τη δυνατότητα να παραγγέλνουν ένα συγκεκριμένο προϊόν το οποίο καταλαμβάνει πολύ μεγάλη χωρητικότητα όσον αφορά τον όγκο του, έχοντας ως αποτέλεσμα το όχημα να μπορεί να πραγματοποιήσει την σωστή εξυπηρέτηση μόνο ανά πελάτη σε κάθε μία διαδρομή που διανύει. Επίσης, σ' αυτή τη περίπτωση το εύρος των αποθηκών είναι ίσο με αυτών των προϊόντων που πραγματοποίησαν σε παραγγελία οι πελάτες. Ακόμη, ακολουθείται η λογική ότι η κάθε κατηγορία προϊόντος έχει τη δική του αποθηκευτική βάση σε κάθε αποθήκη της εταιρείας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το πρόγραμμα εξυπηρέτησης των πελατών να πραγματοποιείται με πιο αυτοματοποιημένο τρόπο σύμφωνα με τη σειρά προτεραιότητας της παραγγελίας.

Συμπερασματικά, ο βασικότερος σκοπός του συστήματος MDTSP ορίζεται ως η ελαχιστοποίηση όλης της απόστασης που διένυσε το όχημα, αλλά και τον χρόνο ώστε να εξυπηρετήσει όλο το σύνολο των πελατών.

Ο Goel και ο Gruhn [15] σύμφωνα με έρευνες που πραγματοποίησαν, έφτασαν στο συμπέρασμα ενός δυναμικού προβλήματος το οποίο χαρακτηρίζεται ως ένα πολύπλευρο πρόβλημα που πραγματοποιεί τη δρομολόγηση των οχημάτων και την αποδοχή των απαραίτητων φορτίων. Πιο αναλυτικά, το πρόβλημα αυτό

συμπεριλαμβάνει ένα σύνολο πρακτικών πολυπλοκότητας, το οποίο έλαβε μικρότερη προσοχή όσον αφορά την δρομολόγηση των οχημάτων. Εκείνοι, ακόμη, ανακάλυψαν το σύνολο των αλγορίθμων οι οποίοι είναι βασισμένοι στην <<Αναζήτηση Μεγάλης Γειτονιάς>>, οι οποίοι μπορούν πολύ απλά να αναλάβουν και να βγάλουν εις πέρας δύσκολες πολυπλοκότητες σαν κι' αυτή.

Σύμφωνα με τα πειράματα που έχουν υλοποιηθεί, έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι ο αλγόριθμος δουλεύει άρτια και φέρει καλές αποδόσεις όσον αφορά προβλήματα με πολλαπλά οχήματα, πολλαπλά αιτήματα μεταφοράς, αλλά και ορισμένους χρόνους ανταπόκρισης. Συνεπώς, ο συνδυασμός τόσο του χρόνου απόκρισης όσο και της ανταπόκρισης της πολυπλοκότητας, δίνει τη δυνατότητα για τη χρησιμότητα του αλγόριθμου να ανταποκριθεί σε ιδιαίτερα ισχυρά συστήματα όσον αφορά τη δρομολόγηση.

Οι Sundar, Rathinam [16] ανέλυσαν τις παραλλαγές του ετερογενούς προβλήματος, το οποίο περιλαμβάνει πολλές αποθήκες και πολλά μη επανδρωμένα οχήματα για το σχεδιασμό μιας διαδρομής. Αναλυτικότερα, τοποθετούνται σε διαφορετικές αποθήκες, οι οποίες έχουν κάποια γωνία για να είναι πιο εύκολη αλλά και προσβάσιμη η επίσκεψη.

Πιο συγκεκριμένα, ο πρωτεύοντας σκοπός γι' αυτή τη διαδικασία ήταν να ανακαλυφθεί μια διαδρομή όπου θα κάνει εκκίνηση το όχημα και θα τερματίζει στην αποθήκη που είναι τοποθετημένο, ώστε να μετακινείται μόνο ένα όχημα με σκοπό την πλήρη ικανοποίηση όλων των περιορισμών, τόσο του οχήματος όσο και του στόχου.

Με βάση τις ανακαλύψεις των Oberlin, Rathinam, Darbha [19] πολλά μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα ή UAV δημιουργούνται και εξελίσσονται για διάφορους σκοπούς, όπως είναι οι στρατιωτικές ή πολιτικές υποχρεώσεις, τα οποία έχουν ως σκοπό κυρίως τον εντοπισμό και την επιτήρηση. Πιο αναλυτικά, τα ετερογενή UAV με πολλαπλές εφαρμογές έχουν περισσότερες δυνατότητες όσον αφορά την ανίχνευση, τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως για την πραγματοποίηση μιας συμφωνημένης αποστολής. Βέβαια, πέρα απ' αυτές τις δυνατότητες, τα UAV διακρίνονται και σε πολλαπλούς περιορισμούς όσον αφορά την κίνηση.

Επιπλέον, ο τύπος του UAV καθορίζει και το κόστος της μετακίνησης αυτής μεταξύ των τοποθεσιών που απαιτείται κάθε φορά. Εξετάζεται, επομένως, το ισχυρό

πρόβλημα της δρομολόγησης το οποίο προκύπτει από τις πολλαπλές εφαρμογές της επιτήρησης που πραγματοποιεί το UAV. Συμπληρώνοντας, ο βασικότερος σκοπός του προβλήματος της δρομολόγησης που αναλύεται, αποτελεί η εισχώρηση των ορισμένων στόχων σε κάθε όχημα σε κάθε διαδρομή που ακολουθεί κάθε φορά. Αυτό έχει ως σκοπό, ο ορισμένος στόχος σε κάθε περίπτωση να μπορεί να επισκεφθεί κάποιο όχημα και συγχρόνως, να μειώνει όλο το σύνολο του κόστους της μετακίνησης προς όλα τα οχήματα. Τελειώνοντας, το τελικό κόστος της μετακίνησης των δύο αυτών στόχων διακρίνεται ως συνάρτηση που αφορά το όχημα και το στόχο, σε κάθε αντίστοιχη περίπτωση. Πολλές είναι οι φορές, ωστόσο, όπου τα έξοδα διακρίνονται ως σημαντικά κομμάτια περιεχομένου των δεδομένων.

Συνοψίζοντας, με βάση τον Moustapha Diaby [21] σ' αυτή τη φάση αναφέρεται η γενικότερη έννοια του mTSP, αφού υπάρχουν διαφορετικά κόστη για την μετακίνηση από τοποθεσία σε τοποθεσία, όπου σχετίζεται με τους πωλητές ιδιαίτερα. Υπάρχουν, δηλαδή, περιπτώσεις όπου οι αποθήκες απ' όπου γίνεται η εκκίνηση των ταξιδιών, το MmTSP δηλαδή, όπου οι πωλητές σ' αυτή τη περίπτωση είναι αναγκαίο να γυρίσουν στα σημεία που τους αντιστοιχούν κατά τον τερματισμό των ταξιδιών τους, αλλά και το πλήθος των πωλητών να βρίσκεται σε ενεργητικότητα, αφού ενεργοποιηθεί η μεταβλητή της οριστικής απόφασης της δρομολόγησης.

Συνεπώς, παρουσιάζεται ένας πίνακας που περιλαμβάνει μια γραμμική προγραμματιστική (LP) διατύπωση. Ακόμη, το μοντέλο αυτό έχει τη δυνατότητα να προσαρμοστεί πολύ εύκολα με έναν δικό του διαφορετικό τρόπο, με στόχο να πραγματοποιεί εξυπηρέτηση σε όχι και τόσο καθορισμένες και γνωστικές τοποθεσίες, όταν αυτό απαιτείται από τους πωλητές.



Οι παρακάτω συγγραφείς Xiaolong Xu<sup>1</sup> · Hao Yuan · Mark Liptrott · Marcello Trovati [17] εξετάζουν το σύστημα K-means με βάση τους περιορισμούς της μεγαλύτερης χωρητικότητας, με σκοπό την εξισορρόπηση του πλήθους των αποστάσεων των διαδρομών.

Το K-means είναι το σύστημα το οποίο έχει σχεδιαστεί για να προσφέρει την καλύτερη επιλογή, σε σύγκριση με την μεγάλη ποικιλία των αλγορίθμων που λαμβάνουν χώρα. Ουσιαστικά, το προτεινόμενο αυτό σύστημα αναφέρεται σε τοποθεσίες οι οποίες υπολογίζονται ως προς την Ευκλείδεια απόσταση. Ο μελλοντικός στόχος, ακόμη, αφορά την συγκριτική αξιολόγηση η οποία αφορά τόσο τον σκοπό όσο και την ακρίβεια των αλγορίθμων για ομαδοποίηση.

Η γενετικός αλγόριθμος (GA) που χρησιμοποιείται, επιπλέον, έχει αναγνωριστεί ως σπουδαίος τόσο για την διαρκή εξέλιξη του όσο και για το εύρος της παγκόσμιας αναζήτησής του. Επομένως, γίνεται χρήση της μεθόδου και της στρατηγικής του και χαρακτηρίζεται ως η καλύτερη λειτουργία του GA. Με λίγα λόγια, η λειτουργία του GA είναι σχεδιασμένη ώστε να δημιουργεί μια ενδιαφέρουσα εξέλιξη.

Οι Baldacci, Mingozzi [18] ανακάλυψαν μια εξελιγμένη μέθοδο για την εξακρίβωση του εκτεταμένου μοντέλου Προβλήματος Δρομολόγησης Χωρητικών Οχημάτων (CVRP), που ονομάζεται <<Ετερογενές Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (HVRP)>>. Σύμφωνα με το οποίο γίνεται χρήση μιας διαφορετικής χωρητικότητας, δρομολόγησης και κόστους, όσον αφορά την παροχή των υπηρεσιών προς τους πελάτες. Ακόμη, το μοντέλο HVRP το οποίο αναφέρεται σ' αυτή τη φάση διακρίνεται σε ορισμένες ειδικές υποκατηγορίες, όπως, το Single Depot ή CVRP, τις παραλλαγές του HVRP και το όχημα το οποίο μεταβάλλεται ανάλογα με την τοποθεσία που απαιτείται σε κάθε περίπτωση ξεχωριστά. Συμπεραίνοντας, διαχωρίζονται στο πρόβλημα δρομολόγησης ή SDVRP και στο πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων πολλαπλών αποθηκών ή MDVRP.

Οι Vali, Salimifard [20] παρουσιάζουν μια πρωτότυπη τεχνική για το mTSP. Πιο αναλυτικά, το mTSP κάνει χρήση ενός μοντέλου του προγραμματισμού περιορισμών

(CP), το οποίο είναι γνωστό και ως CP-mTSP. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται το CP κυρίως για την επεξήγηση και επίλυση του mTSP.

Αρχικά, το CP είναι αποδεδειγμένο ότι χαρακτηρίζεται ως η μία από τις πιο αποτελεσματικές λύσεις όσον αφορά προβλήματα που έχουν σχέση με την συνδυαστική βελτιστοποίηση. Με απλά λόγια, η συνεισφορά και τα αποτελέσματα που μπορεί να φέρει το CP είναι μοναδικά. Επίσης, για την τροποποίηση και επίλυση του mTSP, χρησιμοποιείται το CP κατά κύρια βάση. Αφού το CP κατέχει ιδιαίτερες δυνατότητες, περιλαμβάνει περιορισμούς που έχουν σχέση με τους κόμβους και τις βαθύτερες ανακαλύψεις.

Συγκρίνοντας τα συστήματα ILP για mTSP, το CP-mTSP δεν υποχρεώνει τεράστιο αριθμό για τις μεταβλητές της τελικής απόφασης και των περιορισμών. Επομένως, έχει τη δυνατότητα να εκτελεί πολλαπλές αξιολογήσεις και να φέρει συγκρίσεις όταν είναι απαραίτητο, δίχως κανένα πρόβλημα αντιμετώπισης.

Ο Ham [22] από την άλλη πλευρά, έχει μελετήσει την εξέλιξη του συστήματος PDSTSP, με βάση την οποία το drone έχει τη δυνατότητα να υλοποιήσει πολλά ταξίδια και μεταφορές, με σκοπό την παράδοση αλλά και παραλαβή από συμφωνημένες επιχειρήσεις και άτομα. Ακόμη, έχει προταθεί μια νέα προσέγγιση για τον καλύτερο προγραμματισμό των περιορισμών, ώστε να επιλυθεί πλήρως αυτή η εναλλαγή του συστήματος.

Παρακάτω παρουσιάζουμε ένα πίνακα με τον τρόπο λειτουργίας και τις τεχνικές υλοποίησης άλλων εργασιών.

Reference	Problem	Depots	Vehicles	Capacity	Drones	Dr. cap	Sync h.	Algorithm
William Ho	MDTSP	m	n	same	0	0	No	Linear Programming.
Goel-Gruhn	VRP	m	n	Different	0	0	No	LNS
Sundar/Rathinam (2016)	MGVPP/MAVPP	m	n	Different	n	>1	No	Linear prog./branch&cut.
Xu/Yuan 2018	MTSP	1	n	Different	0	0	No	TPHA/Genetic alg.
Al-Furhud/Ahman 2020	MTSP	1	n	same	0	0	No	Genetic algorithm
Baldacci/Minguzzi	CVRP	1	n	Different	0	0	No	Integer Linear Prog.
Oberlin/Rathinam 2009	HMDMTSP	m	n	Different	n	>1	No	Linear Programming.
Vali/Salimifard 2017	MTSP	1	m	same	0	0	0	MILP/CP(constraint prog.)
Moustafa Diaby 2010	MmTSP	m	n	same	0	0	0	Linear-Programming
Kara/Bektas	MmTSP	m	n	same	0	0	0	Linear-Programming.

Πίνακας 2: Σχετικές εργασίες με μεταβλητό αριθμό σταθμών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ MULTIPLE DEPOTS MULTIPLE TRAVELLING SALESMAN PROBLEM

---

Από μια αρχική πόλη ένας πωλητής ξεκινά με σκοπό να διανύσει ένα συγκεκριμένο αριθμό από πόλεις σε κάποια λίστα και αφού ολοκληρώσει την διαδρομή του να επιστρέψει στο σημείο από όπου ξεκίνησε. Το ζητούμενο είναι να επιλεγεί η βέλτιστη δυνατή διαδρομή. Αυτό το πρόβλημα ονομάζεται Travelling Salesman Problem και στην ελληνική βιβλιογραφία αναφέρεται ως Το πρόβλημα του Περιοδεύοντος Πωλητή. Στην εργασία μας οι προορισμοί αφορούν πελάτες που θέλουν να παραλάβουν ένα δέμα και ο πωλητής αφορά τον σταθμό της εταιρίας που έχει αναλάβει την διανομή. Αν και θεωρητικά ακούγεται εύκολο ως πρόβλημα αν δοθεί κάποιος αριθμός των πιθανών κόμβων και θέλουμε να βρούμε όλες τις πιθανές λύσεις ο αριθμός τους γίνεται πολύ μεγάλος. Το Travelling Salesman Problem ανήκει στην κατηγορία των προβλημάτων Combinatorial Optimization (Συνδυαστικής Βελτιστοποίησης). Σκοπός τους είναι να μειωθεί η απόσταση που διένυσε από ένα σύνολο κόμβων. Εκτός από τις πολλές εφαρμογές που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, υπάρχει και δυνατότητα εφαρμογής σε επίπεδα μοντελοποίησης. Παράδειγμα αποτελούν επιχειρησιακές εφαρμογές, ευρετικοί μηχανισμοί, ερευνητικά πεδία καθώς και αλγόριθμοι που αφορούν ολικό βέλτιστο.

Μαθηματικά μπορούμε να εκφράσουμε ένα πίνακα από σημεία στους άξονες  $(x,y)$ . Όπου απεικονίζονται κόμβοι του πίνακα, στην περίπτωση μας οι πελάτες που βρίσκονται διασκορπισμένοι στο χώρο. Σκοπός μας είναι να βρούμε τις διαδρομές που μπορούν να διανύσουν τα οχήματα και τις αποστάσεις τους με τον καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Για την υλοποίηση του αλγορίθμου θεωρούμε ένα όχημα(φορτηγό) απεριόριστης χωρητικότητας το οποίο θα ξεκινήσει από ένα κόμβο του πίνακα που αντιστοιχεί με τον σταθμό και θα προσπαθήσει να εξυπηρετήσει όλους τους κόμβους-πελάτες. Τα οχήματα μπορούν να είναι περισσότερα από ένα, με διαφορετικές χωρητικότητες και ταχύτητες. Επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε μια μηχανή σχετικά μικρής χωρητικότητας και ένα drone χωρητικότητας ενός μόνο δέματος. Ο αλγόριθμος σε αυτή την περίπτωση μετατρέπεται σε MTSP δηλαδή Multiple TSP. Επίσης υπάρχει και η δυνατότητα να έχουμε πάνω από ένα σταθμό-κόμβο από όπου θα ξεκινήσουν τα οχήματα έτσι μπορούμε να θεωρήσουμε τον αλγόριθμο ως Multiple Depots MTSP.

Με την εισαγωγή των οχημάτων αλλά και των σταθμών δημιουργούνται νέες δυνατότητες αλλά και νέοι περιορισμοί. Ο κάθε κόμβος-πελάτης θα πρέπει να προσπελαστεί μόνο από ένα όχημα. Επίσης κάθε όχημα θα πρέπει να ξεκινήσει και να τελειώσει από τον σταθμό που του έχει οριστεί. Η μηχανή και το drone αφού έχουν περιορισμένη χωρητικότητα μπορούν να επιστρέψουν στον σταθμό, να ανεφοδιαστούν και να ξεκινήσουν νέα διαδρομή. Οι κόμβοι που θα περάσουν θα πρέπει να είναι όσοι η χωρητικότητά τους.

Για να βρούμε την καλύτερη λύση θα πρέπει να συνδυαστούν τα οχήματα και να μοιράσουν τις αποστάσεις που διένυσαν. Ο αλγόριθμος που θα χρησιμοποιήσουμε για την λύση του προβλήματος είναι ο Nearest Neighbor αρχικά για το απλό TSP. Ο NN επιλέγει κάθε φορά το πλησιέστερο γείτονα του μέχρι να διανύσει όλους τους κόμβους και να επιστρέψει στο σταθμό από όπου ξεκίνησε χρησιμοποιώντας μόνο το φορτηγό.

Αφού ολοκληρωθεί ο πρώτος αλγόριθμος θα χρησιμοποιήσουμε μία δεύτερη ευρετική όπου θα αφαιρούμε από την διαδρομή του φορτηγού κάποιους κόμβους και θα τα προσθέτουμε στην μηχανή ή το drone. Τα οχήματα θα επιλέγουν κόμβους όσους η χωρητικότητά τους και θα αφαιρούνται από τους κόμβους του φορτηγού. Σκοπός είναι να υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ των οχημάτων στις αποστάσεις που κάλυψαν και στους κόμβους που επέλεξαν για να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα στις παραδόσεις των δεμάτων.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: ΛΥΣΗ ΤΟΥ MULTIPLE DEPOTS MULTIPLE TRAVELLING SALESMAN PROBLEM**

---

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει η ακριβής περιγραφή του συστήματος που δημιουργήσαμε. Τα εργαλεία και τους αλγορίθμους που χρησιμοποιήθηκαν και τον τρόπο που υλοποιήθηκαν. Επίσης θα παρουσιάσουμε κάποια κομμάτια ψευδοκώδικα για να γίνει καλύτερα αντιληπτό ο τρόπος που λειτουργεί το Multiple Depots MTSP όπως το παρουσιάζω στην εργασία μου.

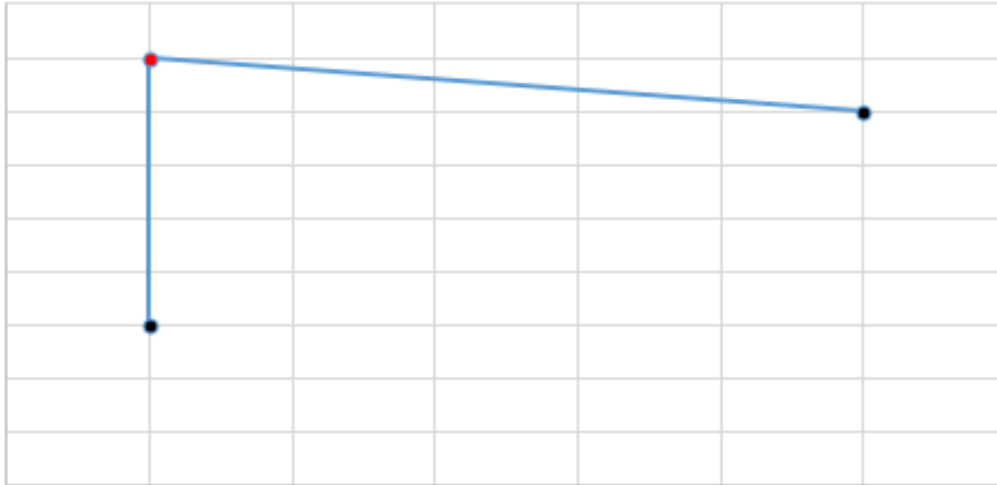
#### 4.1 ΤΡΟΠΟΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

---

Το σύστημα περιλαμβάνει μια αρχική λύση του TSP η οποία θα γίνει με την χρήση του αλγορίθμου Nearest Neighbor (πλησιέστερος Γείτονας) η ανάλυση του καθώς και ένα κομμάτι ψευδοκώδικα γίνεται παρακάτω. Επίσης θα χρησιμοποιήσουμε και την Ευκλείδεια απόσταση για να υπολογίσουμε την απόσταση δύο σημείων για να βρούμε τον κατάλληλο κόμβο. Μόλις ολοκληρωθεί και η διαδικασία του TSP θα γίνει η υλοποίηση του Multi Depots MTSP αφού στον αλγόριθμο μας είναι δυνατό να υπάρχουν παραπάνω από ένα οχήματα, με περισσότερα από ένα depot και διαφορετικού είδους οχήματα, διαφορετικής χωρητικότητας. Εμείς θα επικεντρωθούμε στην χρήση Drone και μηχανής τα οποία ανεφοδιάζονται στους σταθμούς και κάνουν παραπάνω από ένα δρομολόγια.

Για την υλοποίηση του TSP ένας από τους πρώτους αλγόριθμους που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ο αλγόριθμος του Πλησιέστερου Γείτονα (nearest neighbor). Τον αλγόριθμο αυτό θα τον χρησιμοποιήσουμε και εμείς. Στον αλγόριθμο NN ένας πωλητής ξεκινά από ένα κόμβο και επισκέπτεται κάθε φορά τον πλησιέστερο γείτονα μέχρι την στιγμή που θα έχει εξυπηρετήσει όλους τους κόμβους και θα έχει επιστρέψει πίσω. Η λύση του είναι η ακολουθία των κόμβων που θα επισκεφτεί. Ο αλγόριθμος αυτός δεν περιέχει σε όλες τις περιπτώσεις την συντομότερη διαδρομή αλλά μια αρκετά αποδοτική λύση.

Ο αλγόριθμος επιλέγει κάθε φορά τον κοντινότερο κόμβο από αυτόν που βρίσκεται συγκρίνοντας όλους τους πιθανούς κόμβους οι οποίοι δεν έχουν προσπελαστεί ακόμα από το φορτηγό.



Εικόνα 1: Προσομοίωση εύρεσης επόμενου κόμβου.

Η φύση του προβλήματος μπορεί πολλές φορές να παραλείψει κάποιον συνδυασμό κόμβων ο οποίος θα ήταν εύκολο να παρατηρηθεί με γυμνό μάτι καθώς ακολουθώντας τον πλησιέστερο γείτονα παραλείπει διαδρομές συντομότερες. Ωστόσο είναι ένας εύκολος και αποτελεσματικός τρόπος για την λύση αλγορίθμων όπως ο TSP. Γενικά ο NN σε περιπτώσεις με μεγάλες αποστάσεις μπορεί να αγνοήσει καλύτερες διαδρομές. Σε μικρότερες αποστάσεις η απόδοση βελτιώνεται αρκετά.

Για κάθε ποσότητα κόμβων ο NN έχει έναν αντίστοιχο αριθμό συνδυασμών όπου ο αλγόριθμος εμφανίζει την χειρότερη περιήγηση. Εφαρμόζοντας τον Πλησιέστερο Γείτονα ως αρχική τιμή για κάθε κόμβο ο κόμβος με την καλύτερη κορυφή θα είναι συνολικά η καλύτερη διαδρομή.

Ο αλγόριθμος του πλησιέστερου Γείτονα ανήκει στις μεθόδους κατηγοριοποίησης όπου ταξινομείται ένα δείγμα με βάση τους υποψήφιους γείτονες. Κατατάσσοντας το δείγμα με βάση την πλειοψηφία του κοντινότερου γείτονα. Στο ένα τρίτο των περιπτώσεων ο NN χρησιμοποιείται σε προβλήματα που αφορούν την ταξινόμηση. Επίσης μπορεί να εφαρμοστεί σε προβλήματα παλινδρόμησης. Εμείς θα χρησιμοποιήσουμε την απλή μορφή του στο παράδειγμα μας.

Για τον υπολογισμό της απόστασης ενός σημείου(x,y) από ένα άλλο σημείο ώστε να γίνει ο υπολογισμός του NN χρησιμοποιούμε την ευκλείδεια απόσταση.

Η Ευκλείδεια απόσταση στα μαθηματικά για δύο σημεία ορίζεται ως το μήκος της απόστασης τους σε ένα ευθύγραμμο τμήμα. Ο υπολογισμός μπορεί να γίνει μέσω των καρτεσιανών γινομένων του Πυθαγόρειου θεωρήματος. Ονομάζεται και Πυθαγόρεια απόσταση. Οι ονομασίες προέρχονται δηλαδή από τους Έλληνες μαθηματικούς

Πυθαγόρα και Ευκλείδη. Αν και ο υπολογισμός της απόστασης με το Πυθαγόρειο θεώρημα έγινε τον 18<sup>ο</sup> αιώνα έχει διατηρηθεί αυτή η ονομασία.

Ο τύπος που εφαρμόζουμε την Ευκλείδεια απόσταση [25] που δίνει την ευθεία γραμμή μεταξύ 2 σημείων είναι ο παρακάτω.

Έστω ότι έχουμε 2 σημεία:

$(x_1, y_1)$  και  $(x_2, y_2)$

$$d = \sqrt{[(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2]} \quad (2)$$

## 4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΨΕΥΔΟΚΩΔΙΚΑ

---

### 4.2.1 Ψευδοκώδικας TSP

---

Αρχικά γίνεται η υλοποίηση του απλού TSP με την χρήση μόνο ενός φορτηγού από μόνο ένα depot. Το φορτηγό ξεκινά από το κόμβο που βρίσκεται το depot. Στην σειρά 3 όσο η λίστα με τους κόμβους που πρέπει να προσπελαστούν δεν είναι κενός το φορτηγό συνεχίζει. Στην σειρά 4 μέχρι 8 υπολογίζει τον επόμενο πλησιέστερο κόμβο με την χρήση της Ευκλείδειας απόστασης ο κόμβος (node) θα είναι ίσος με τον `pr_node` ενώ ο `node` θα πάει στον επόμενο πλησιέστερο κόμβο. Αυτό επαναλαμβάνεται μέχρις ότου να μην υπάρχει επόμενος κόμβος και το φορτηγό να επιστρέψει πίσω. Το ίδιο ισχύει και για την απόσταση(`distance`). Μετράει την απόσταση από τον προηγούμενο στον επόμενο κόμβο κάθε φορά και το επιστρέφει στην συνολική απόσταση που διένυσε το όχημα. Στην σειρά 9 με 11 υπολογίζει την επιστροφή του φορτηγού στο σταθμό.

Παρακάτω φαίνεται ένα κομμάτι ψευδοκώδικα για την κατανόηση του αλγορίθμου. Ως `distance_truck` ορίζουμε την απόσταση που διένυσε το φορτηγό ενώ `list_truck` την λίστα που αποθηκεύονται με την σειρά οι κόμβοι που θα προσπελαστούν.



```

1  node = depot
2  distance_truck=0
3  while list is not end.
4      pre_node = node
5      node = min_node
6      distance_truck = distance_truck + eykl.distance(pre_node,node) .
7      list_truck <-append(node)
8  end_while.
9  pre_node = node
10 node = depot
11 distance_truck = distance_truck + eykl.distance(pre_node,node) .

```

Εικόνα 3: Ψευδοκώδικας TSP

#### 4.2.2 Ψευδοκώδικας TSP

---

Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία του TSP θα γίνει η υλοποίηση του Multiple Depots MTSP. Έχοντας ορίσει τα depot, την χωρητικότητα των οχημάτων και την ταχύτητα τους ο αλγόριθμος θα ξεκινήσει να συγκρίνει και θα επιλέγει κάθε φορά το όχημα που έχει διανύσει την μικρότερη απόσταση, θα ξεκινάει από το depot που του έχει οριστεί και θα επιλέξει μια διαδρομή, ανάλογη με την χωρητικότητα του και να επιστρέψει μόλις ολοκληρώσει την διαδρομή του πίσω στο depot από το οποίο ξεκίνησε. Ο κόμβος που θα επιλέξει θα είναι ο κοντινότερος.

Όστοςο αφού ο ανεφοδιασμός του depot θα γίνεται από το φορτηγό θα πρέπει να επιλεγεί ο κοντινότερος από αυτούς που δεν έχει εξυπηρετήσει ακόμα το φορτηγό. Αυτή η διαδικασία θα συνεχιστεί για το επόμενο όχημα που έχει διανύσει την μικρότερη απόσταση. Από το depot που του αντιστοιχεί. Τα οχήματα μπορούν να ανεφοδιαστούν και να ξεκινήσουν μια καινούρια διαδρομή αν η συνολική απόσταση που διένυσε είναι μικρότερη του φορτηγού. Μεταβολή στην απόσταση που θα διανύσει το όχημα παίζει και η ταχύτητα που θα θέσουμε. Καθώς με την αύξηση της ταχύτητας του οχήματος η απόσταση που μπορεί να διανύσει αυξάνεται για τον ίδιο χρόνο.

Παρακάτω υπάρχει το αντίστοιχο κομμάτι ψευδοκώδικα για μια πιο ξεκάθαρη κατανόηση του συστήματος. list\_truck, list\_drone, list\_moto είναι οι αντίστοιχες λίστες που περιλαμβάνουν τους κόμβους που έχει αναλάβει κάθε φορά το αντίστοιχο όχημα να εξυπηρετήσει. Distance\_truck, distance\_drone, distance\_moto είναι οι αποστάσεις

για το καθένα αντίστοιχα. Το ίδιο ισχύει και για την ταχύτητα. Στην σειρά 4 ξεκινάει ένα while όσο η απόσταση του φορτηγού είναι μεγαλύτερη από την απόσταση της μηχανής και του drone. Στην 5 μέχρι την 14 επιλέγει το όχημα με την μικρότερη απόσταση που έχει διανύσει. Θέτει ως depot το depot του αντίστοιχου οχήματος και capacity που έχει το όχημα και ταχύτητα που του έχουμε δώσει. Από την σειρά 16 έως 23 επιλέγει τους κόμβους που θα διανύσει ,ανάλογα με την χωρητικότητα του και βρίσκει την απόσταση τους. Μόλις ολοκληρωθεί αυτό, από την σειρά 24 έως 27 προσθέτει την επιστροφή του οχήματος πίσω στο depot, αφαιρεί τους κόμβους από το φορτηγό και προσαρμόζει την απόσταση. Από την σειρά 28 έως 34 προσθέτει στην λίστα του αντίστοιχου οχήματος τους κόμβους που προσπελάστηκαν.

```

1  lista_truck = 0
2  lista_drone = 0
3  distance_new = 0
4  while (lista_truck > lista_drone or lista_truck > lista_moto)
5      if(lista_drone > lista_moto)
6          capacity = capacity_moto
7          depot     = depot_moto
8          speed     = speed_moto
9      end_if.
10     if (lista_drone < lista_moto)
11         capacity = capacity_drone
12         depot     = depot_drone
13         speed     = speed_drone
14     end_if.
15     index = list_truck(depot)
16     for i in range(capacity):
17         pre_node = node
18         node = list_truck[depot+1]
19         distance_new = distance_new + eykl.distance(pre_node,node)
20         distance_truck = distance_truck - eykl.distance(pre_node,node)
21         new_list<-insert(node)
22         list_truck<-remove(node)
23     end_for.
24     pre_node = node
25     node = list_truck[depot]
26     distance_new = distance_new + eykl.distance(pre_node,node)
27     distance_truck = adjustment
28     if type = m
29         lista_moto <- new_list
30         distance_moto <- distance_new
31     if type = d
32         lista_drone <- new_list
33         distance_drone <- distance_new
34     end_while.

```

Εικόνα 4: Ψευδοκώδικας MDMTSP.

### 4.2.3 Παραδείγματα υλοποίησης του αλγορίθμου

---

Έχοντας ολοκληρώσει την υλοποίηση του ψευδοκώδικα και έχοντας αναλύσει τον τρόπο λειτουργίας του Multiple depots MTSP παρουσιάζουμε μερικά παραδείγματα του αλγορίθμου, τον τρόπο λειτουργίας του και τα αποτελέσματα που θα παρουσιάσει. Την απόδοση του και επίσης τον ρόλο που θα παίξουν τα πολλά Depots καθώς και τα πολλά οχήματα και ο συνδυασμός τους.

Ξεκινώντας με ένα φορτηγό απεριόριστης χωρητικότητας και διανύοντας όλους τους κόμβους με την χρήση του απλού TSP. Βρίσκουμε την απόσταση που διένυσε στο πρώτο παράδειγμα.

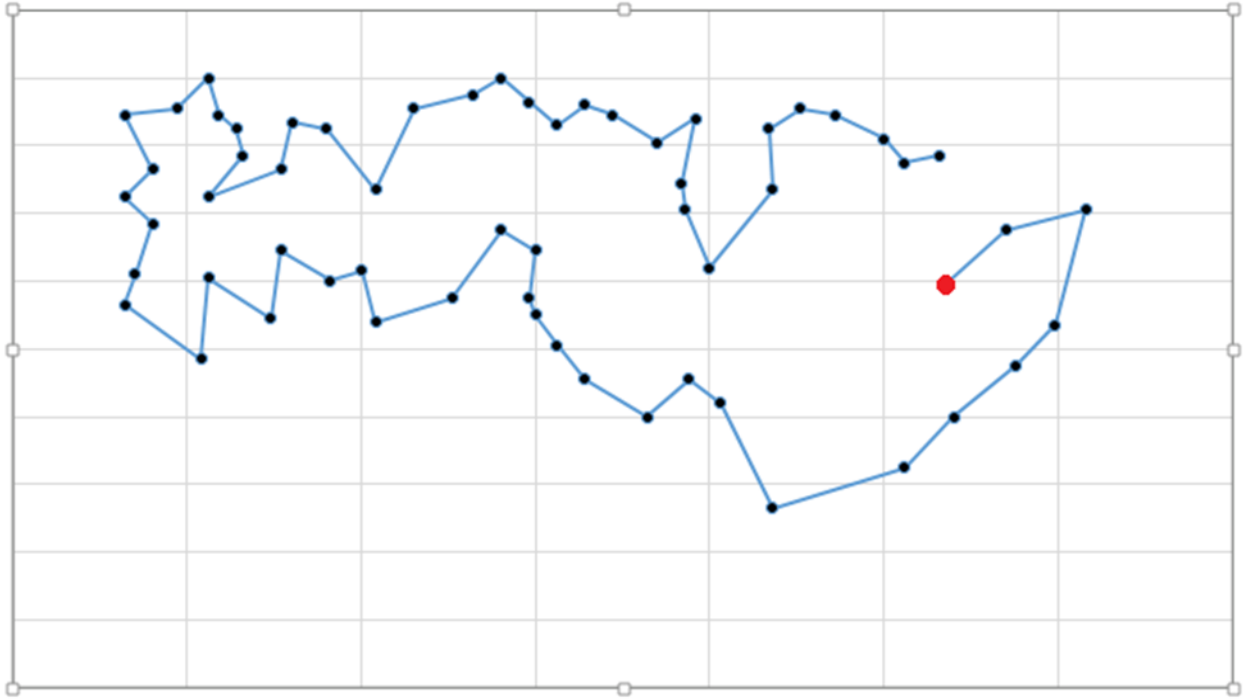
Στην συνέχεια προσθέτουμε τα υπόλοιπα οχήματα. Μια μηχανή χωρητικότητας 3 στο δεύτερο παράδειγμα. Ένα drone χωρητικότητας 1 στο παράδειγμα 3 και τέλος θα προσθέσουμε και τα 3 οχήματα στο τελευταίο παράδειγμα με την ίδια χωρητικότητα. Επίσης σημειώνουμε ότι σε όλα τα παραδείγματα η ταχύτητα για την μηχανή είναι 2 και για το drone 4.

-Με κόκκινο απεικονίζουμε το αρχικό depot ενώ με μαύρο τους κόμβους-πελάτες.

-Στα παραδείγματα απεικονίζονται 60 κόμβοι.

Στο πρώτο παράδειγμα το όχημα διένυσε απόσταση 992. Έχοντας ξεκινήσει από το depot(κόκκινο) και σταματώντας πάλι στο depot. Για λόγους ευκολίας στην ανάγνωση του γραφίματος δεν είναι ενωμένη η γραμμή από τον τελευταίο κόμβο στο αρχικό depot.

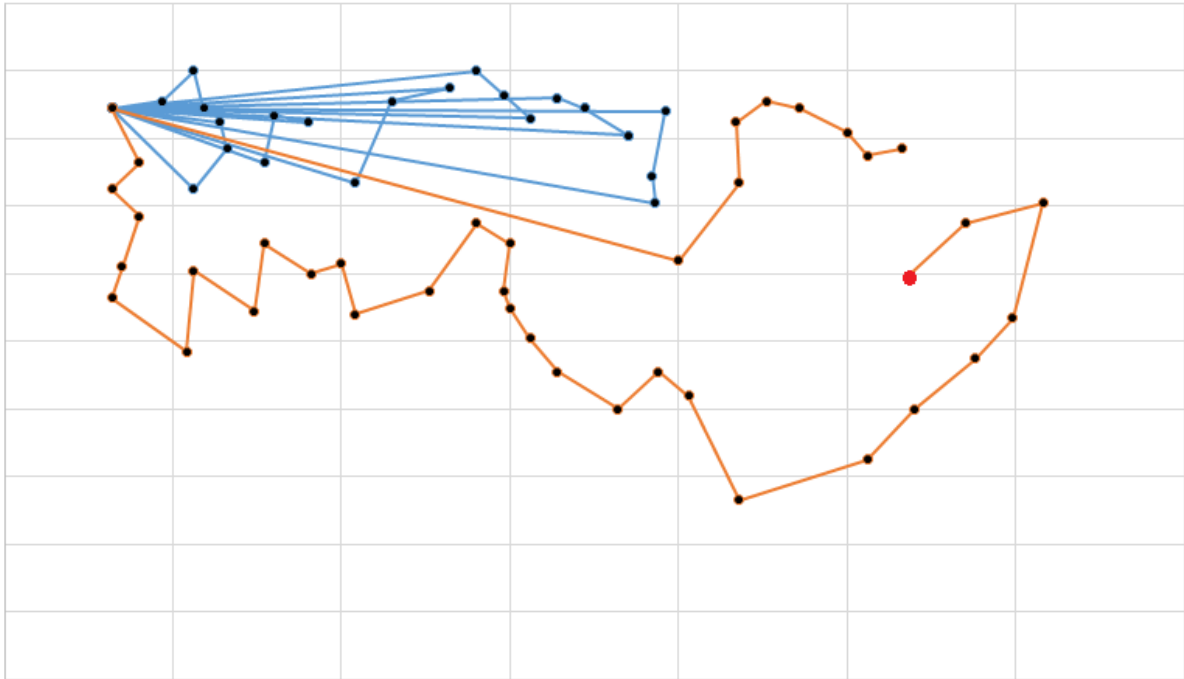
- Αρχικό Depot = Κόκκινο.
- Κόμβοι = Μαύρο.



Γράφημα 1: Απεικόνιση διαδρομής φορτηγού.

- Αρχικό Depot = Κόκκινο.
- Κόμβοι = Μαύρο.
- Διαδρομή Φορτηγού = Μπλε
- Διαδρομή Μηχανής = Πορτοκαλί.
- Ταχύτητα Μηχανής = 2.

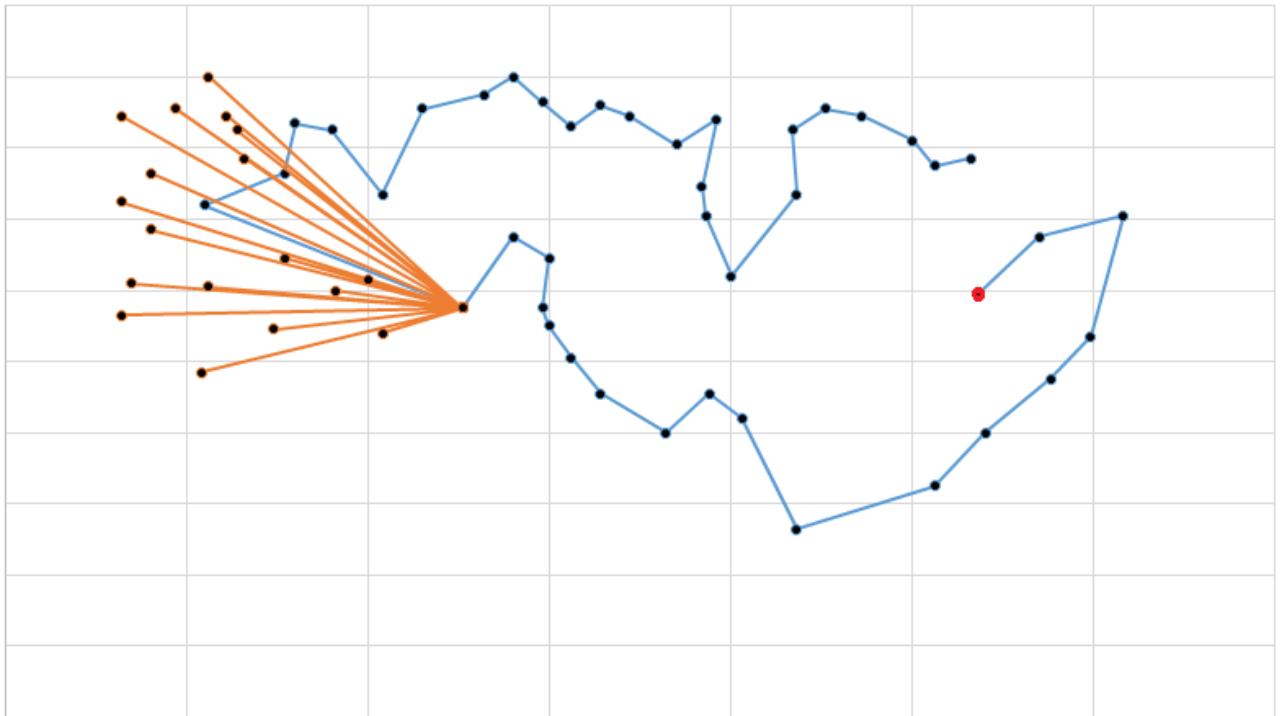
Το ποσοστό βελτίωσης με την χρήση της μηχανής είναι 32%. Βλέπουμε πως από την στιγμή που το φορτηγό θα προσεγγίσει το depot της μηχανής, η μηχανή θα επιλέξει τους τρεις κοντινότερους κόμβους. Θα επιστρέψει στο σταθμό και θα ξεκινήσει για τους επόμενους 3 κοντινότερους κόμβους. Αυτό γίνεται μέχρι η απόσταση της μηχανής να είναι παρόμοια με αυτή του φορτηγού. Η μηχανή έχει το μειονέκτημα του ανεφοδιασμού. Αλλά και πολλά πλεονεκτήματα που έχουν αναλυθεί παραπάνω.



Γράφημα 2: Απεικόνιση διαδρομής φορτηγού και μηχανής.

- Αρχικό Depot = Κόκκινο
- Κόμβοι = Μαύρο
- Διαδρομή Φορτηγού = Μπλε
- Διαδρομή Drone = Πορτοκαλί.
- Ταχύτητα Drone = 4

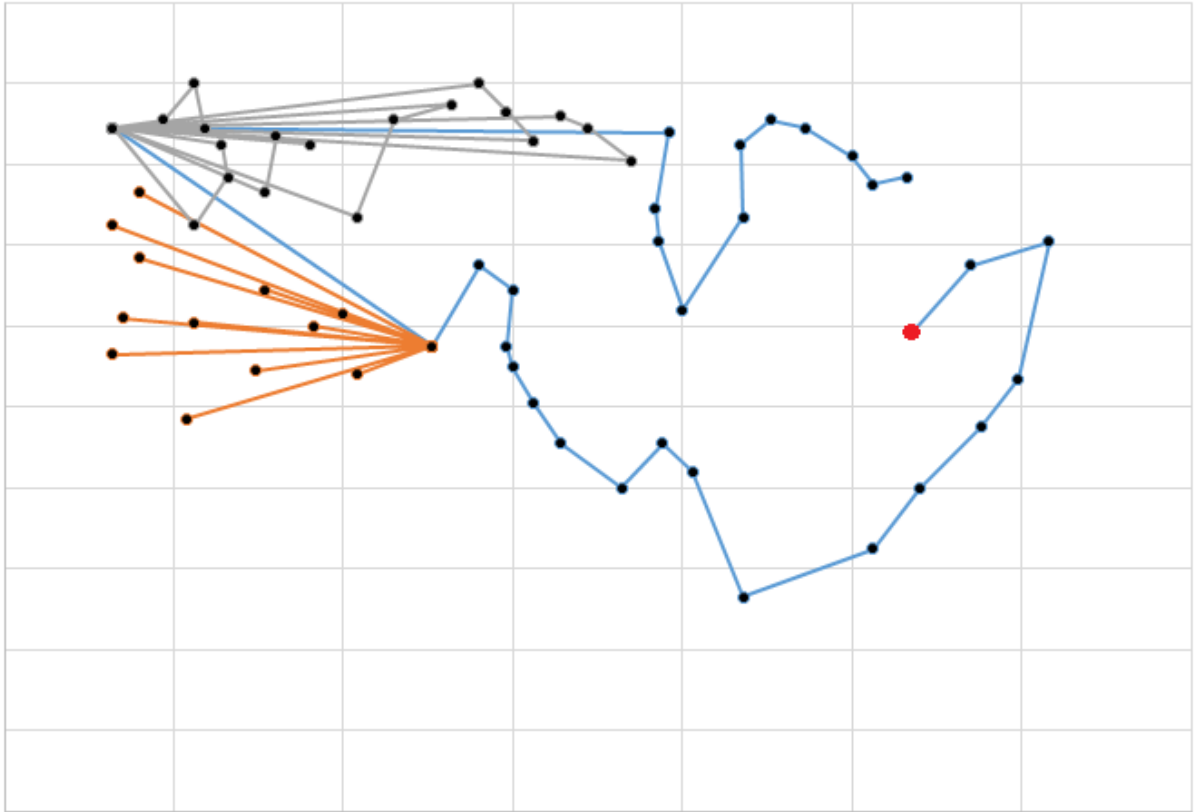
Το ποσοστό βελτίωσης είναι 33%. Το drone θα ξεκινήσει την διαδρομή του μόλις το φορτηγό θα προσεγγίσει τον σταθμό του drone. Άρα το drone ξεκινάει το ταξίδι του στους επόμενους σταθμούς. Κάθε φορά ανεφοδιάζεται και επιστρέφει για το επόμενο συντομότερο προορισμό. Μόλις οι αποστάσεις γίνουν ίσες το πρόγραμμα θα έχει βρει την βέλτιστη λύση.



Γράφημα 3: Απεικόνιση διαδρομής φορτηγού και drone.

- Αρχικό Depot = Κόκκινο
- Κόμβοι = Μαύρο
- Διαδρομή Φορτηγού = Μπλε
- Διαδρομή Μηχανής = Πορτοκαλί
- Διαδρομή Drone = Γκρι
- Ταχύτητα Μηχανής = 2
- Ταχύτητα Drone = 4

Το ποσοστό βελτίωσης είναι 37%. Σε αυτή την περίπτωση το φορτηγό περνά από ένα depot για drone και ένα για την μηχανή τα οποία ξεκινούν την εξυπηρέτηση των κοντινότερων κόμβων και επιστρέφουν για ανεφοδιασμούς μέχρις ότου και τα τρία οχήματα να έχουν διανύσει παρόμοιες αποστάσεις.



Γράφημα 4: Απεικόνιση διαδρομής φορτηγού, μηχανής και drone.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Για την καταγραφή της αποτελεσματικότητας και της απόδοσης του αλγορίθμου προχωράμε στην πραγματοποίηση πειραμάτων και σύγκριση διάφορων περιπτώσεων δρομολόγησης.

Δημιουργούμε τα παρακάτω διαγράμματα στα οποία απεικονίζονται διάφορες περιπτώσεις δρομολόγησης. Σε αυτές περιλαμβάνονται, ένα κεντρικό σταθμό από όπου θα ξεκινήσει ένα φορτηγό, θα διανέμει τα δέματα και θα επιστρέψει στον σταθμό. Επίσης, ένα drone και μια μηχανή τα οποία θα ξεκινήσουν από διαφορετικούς σταθμούς. Για το drone και την μηχανή θα κάνουμε μετατροπές στην ταχύτητα των οχημάτων καθώς και στην χωρητικότητά τους ώστε να διαπιστώσουμε τις μεταβολές

στην απόδοση του αλγορίθμου. Ο αριθμός των κόμβων-πελατών θα διαφέρει για να πραγματοποιηθεί σύγκριση σε σχέση με τον αριθμό των κόμβων.

### 5.1 Πειράματα με μεταβολή της ταχύτητας

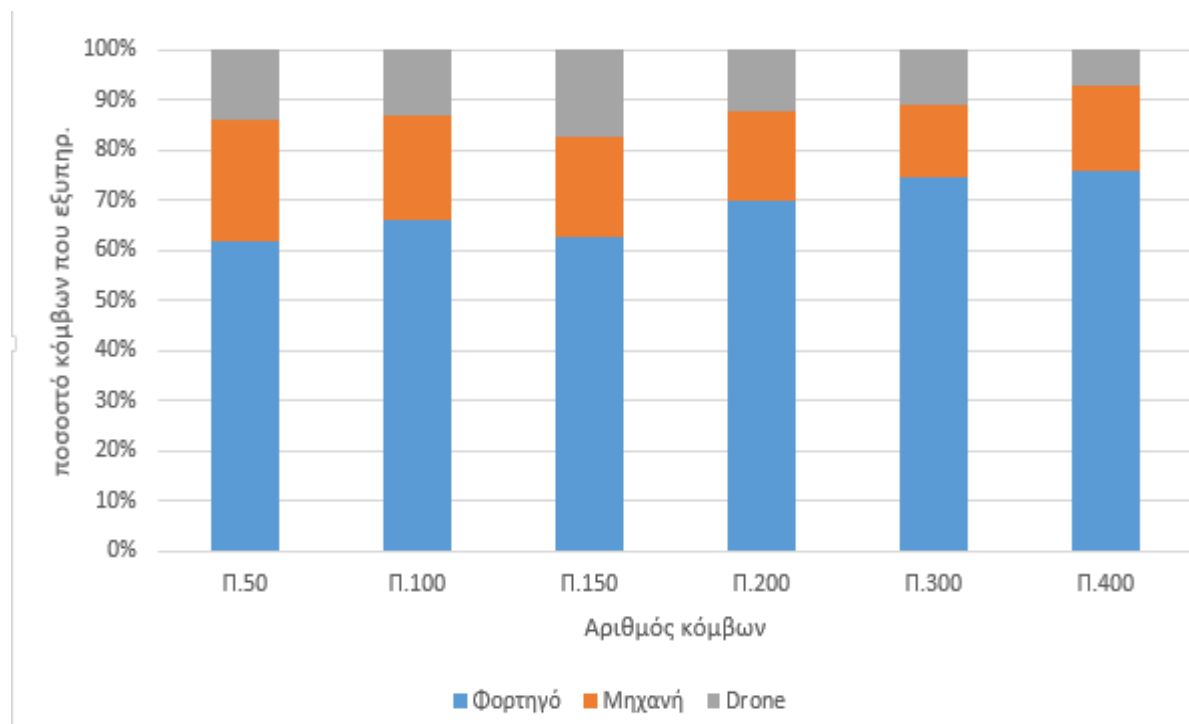
Για το κάθε σχήμα, με χρώμα μπλε απεικονίζεται το ποσοστό των κόμβων που προσπέρασε το φορτηγό, με πορτοκαλί απεικονίζεται το ποσοστό των κόμβων που προσπέρασε η μηχανή, με το χρώμα γκρι το ποσοστό των κόμβων που προσπέρασε το drone. Με  $T_f$  απεικονίζουμε την ταχύτητα του φορτηγού, με  $T_m$  την ταχύτητα της μηχανής, με  $T_d$  την ταχύτητα του drone. Με  $C$  την χωρητικότητα με αντίστοιχο τρόπο. Η χωρητικότητα του φορτηγού είναι απεριόριστη.

- $\Pi$  = Αριθμός πελατών- κόμβων.

$$T_t = 1 \quad T_m = 1 \quad T_d = 1$$

$$C_m = 3 \quad C_d = 1$$

% = Ποσοστό των κόμβων που διένυσε το κάθε όχημα



Γράφημα 5: Ποσοστό κόμβων ανά όχημα με ίδια ταχύτητα.

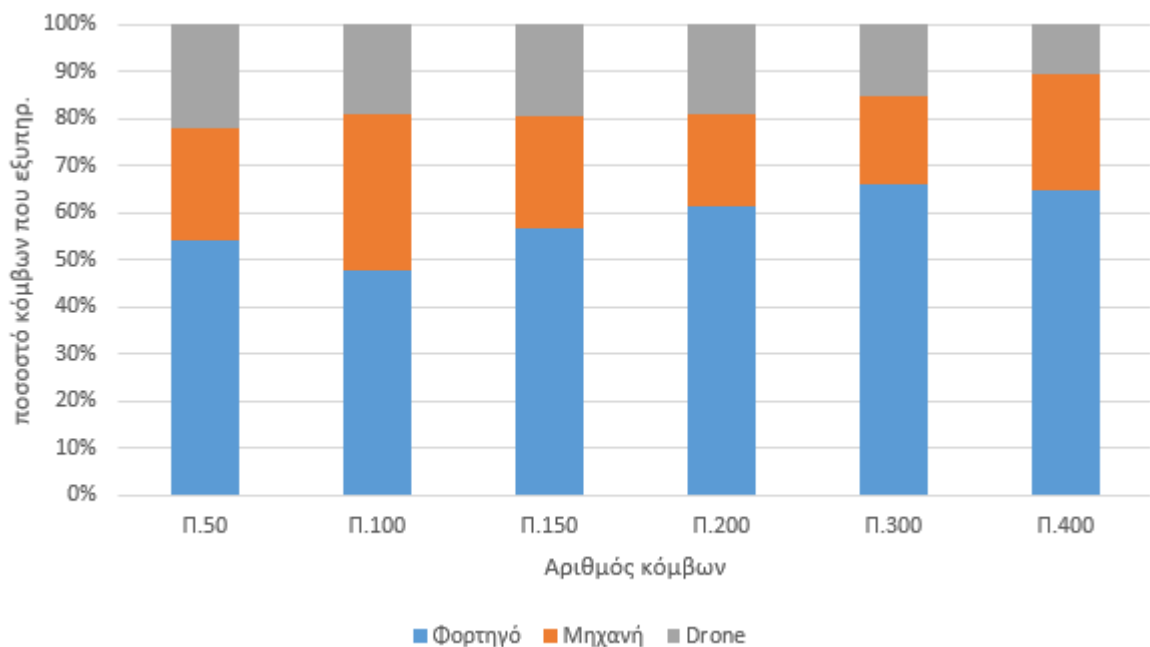


ο Π = Αριθμός πελατών- κόμβων

$T_{\tau} = 1$      $T_m = 2$      $T_d = 2$

$C_m = 3$      $C_d = 1$

% = Ποσοστό των κόμβων που διένυσε το κάθε όχημα



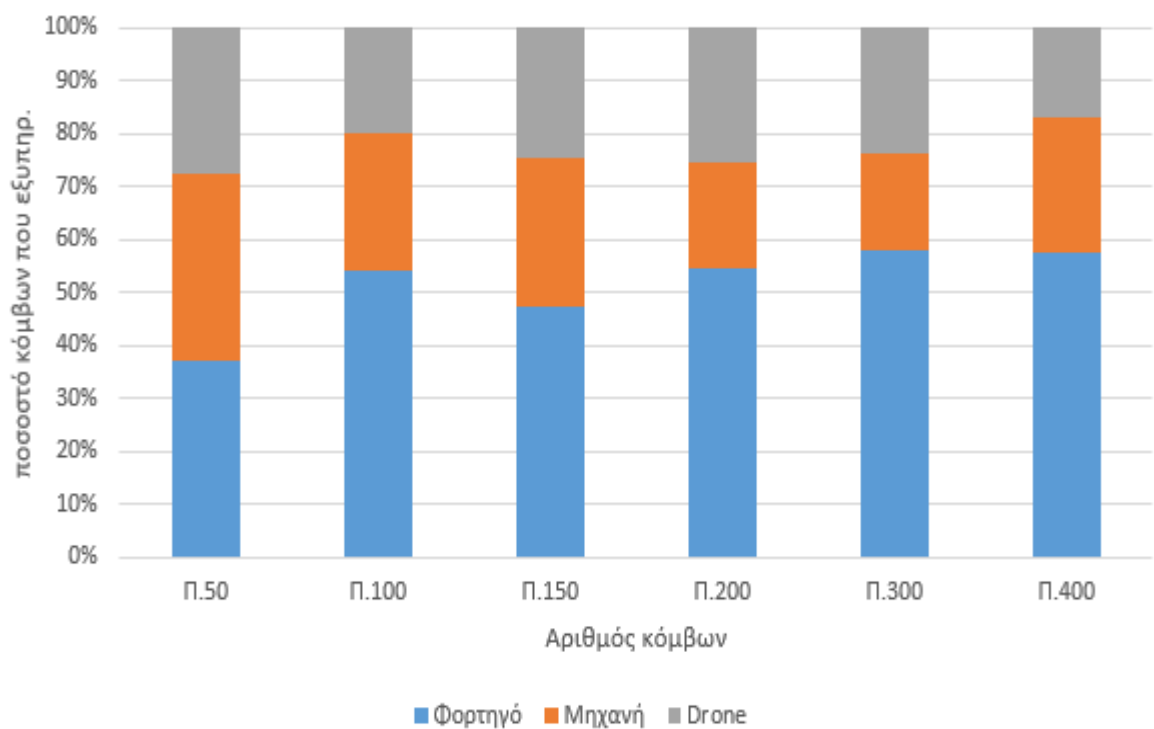
Γράφημα 6: Ποσοστό κόμβων ανά όχημα με ταχύτητα φορτηγού 1, μηχανής 2 και drone 2.

ο Π = Αριθμός πελατών- κόμβων.

$T_t = 1$      $T_m = 2$      $T_d = 4$

$C_m = 3$      $C_d = 1$

% = Ποσοστό των κόμβων που διένυσε το κάθε όχημα



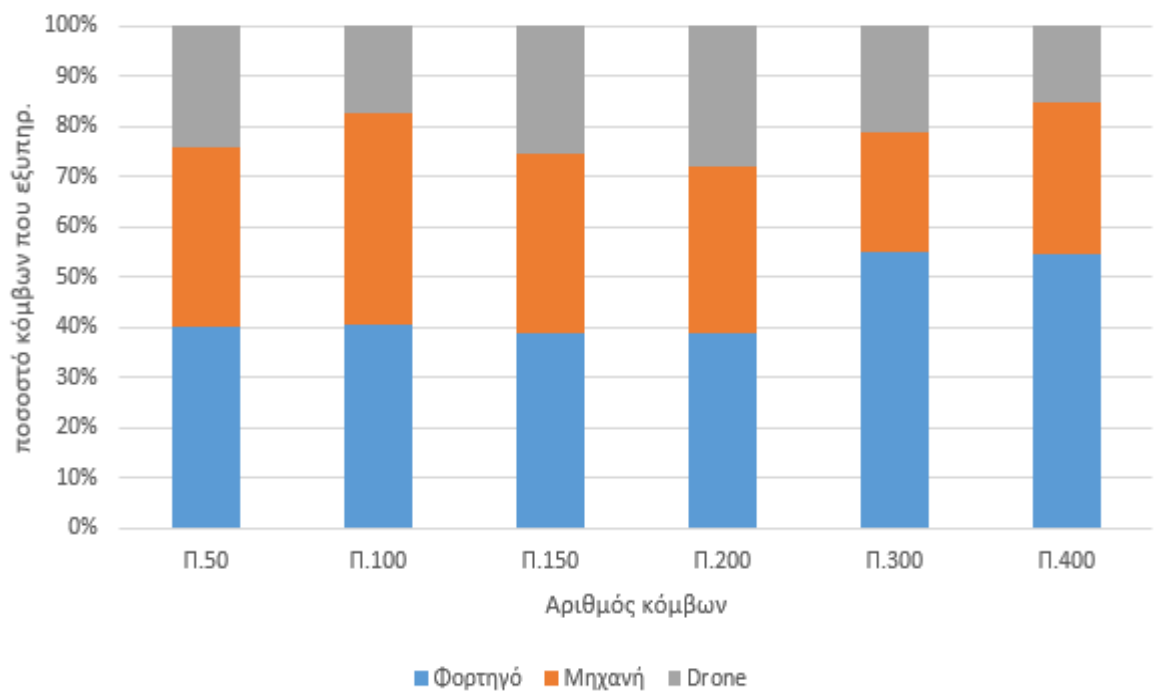
Γράφημα 7: Ποσοστό κόμβων ανά όχημα με ταχύτητα φορτηγού 1, μηχανής 2 και drone 4.

ο Π = Αριθμός πελατών- κόμβων.

$T_t = 1$      $T_m = 4$      $T_d = 4$

$C_m = 3$      $C_d = 1$

% = Ποσοστό των κόμβων που διένυσε το κάθε όχημα



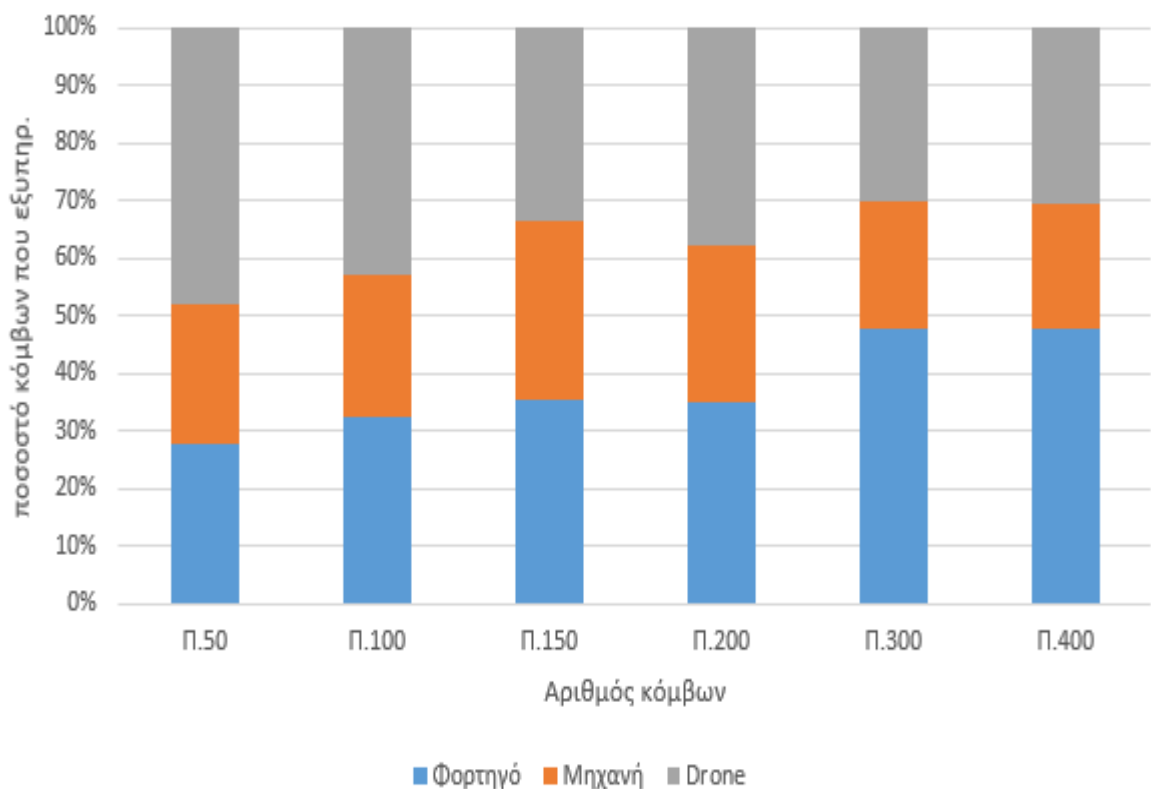
Γράφημα 8: Ποσοστό κόμβων ανά όχημα με ταχύτητα φορτηγού 1, μηχανής 4 και drone 4.

ο Π = Αριθμός πελατών- κόμβων.

$T_t = 1$      $T_m = 4$      $T_d = 8$

$C_m = 3$      $C_d = 1$

% = Ποσοστό των κόμβων που διένυσε το κάθε όχημα



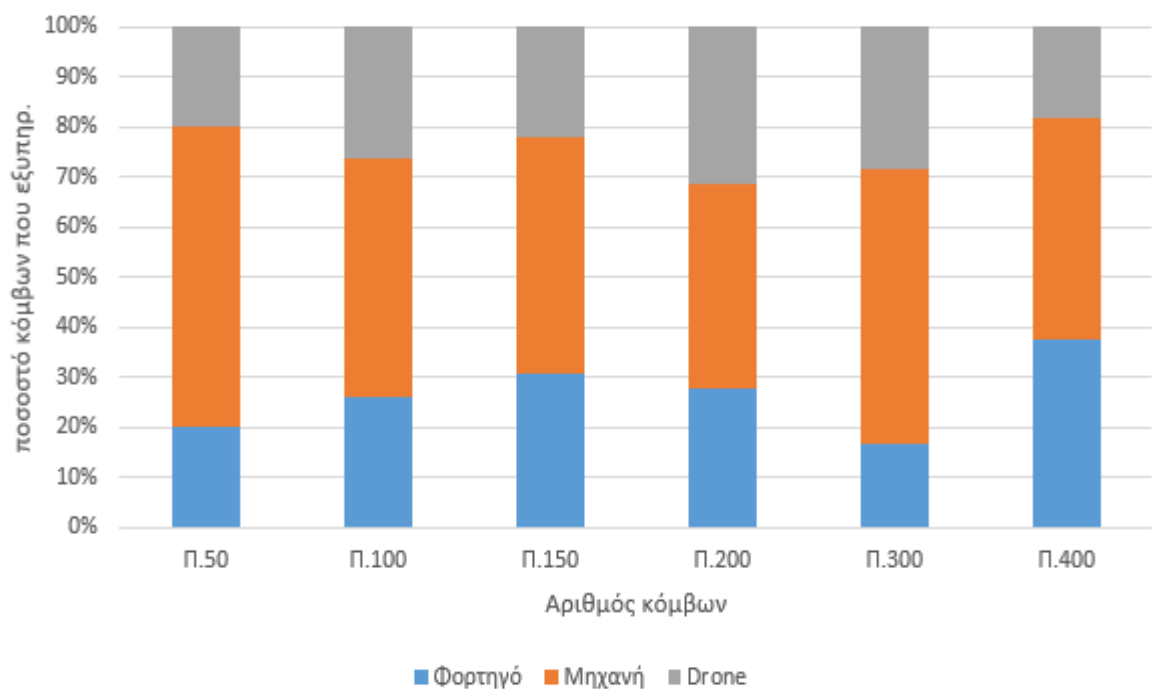
Γράφημα 9: Ποσοστό κόμβων ανά όχημα με ταχύτητα φορτηγού 1, μηχανής 4 και drone 8.

- $\Pi$  = Αριθμός πελατών- κόμβων

$$T_t = 1 \quad T_m = 8 \quad T_d = 8$$

$$C_m = 3 \quad C_d = 1$$

% = Ποσοστό των κόμβων που διένυσε το κάθε όχημα



Γράφημα 10: Ποσοστό κόμβων ανά όχημα με ταχύτητα φορτηγού 1, μηχανής 8 και drone 8.

Παρατηρούμε ότι με την αύξηση της ταχύτητας σημειώνεται μεγάλη αύξηση στο ποσοστό της απόδοσης καθώς οι παραδόσεις γίνονται πολύ πιο γρήγορα από τα δύο μικρότερα οχήματα και έχουν την δυνατότητα να διανύσουν μεγαλύτερες αποστάσεις εξοικονομώντας χρόνο. Με την αύξηση των κόμβων του αλγορίθμου παρουσιάζεται μια μικρή μείωση της απόδοσης καθώς οι αποστάσεις γίνονται μικρότερες.

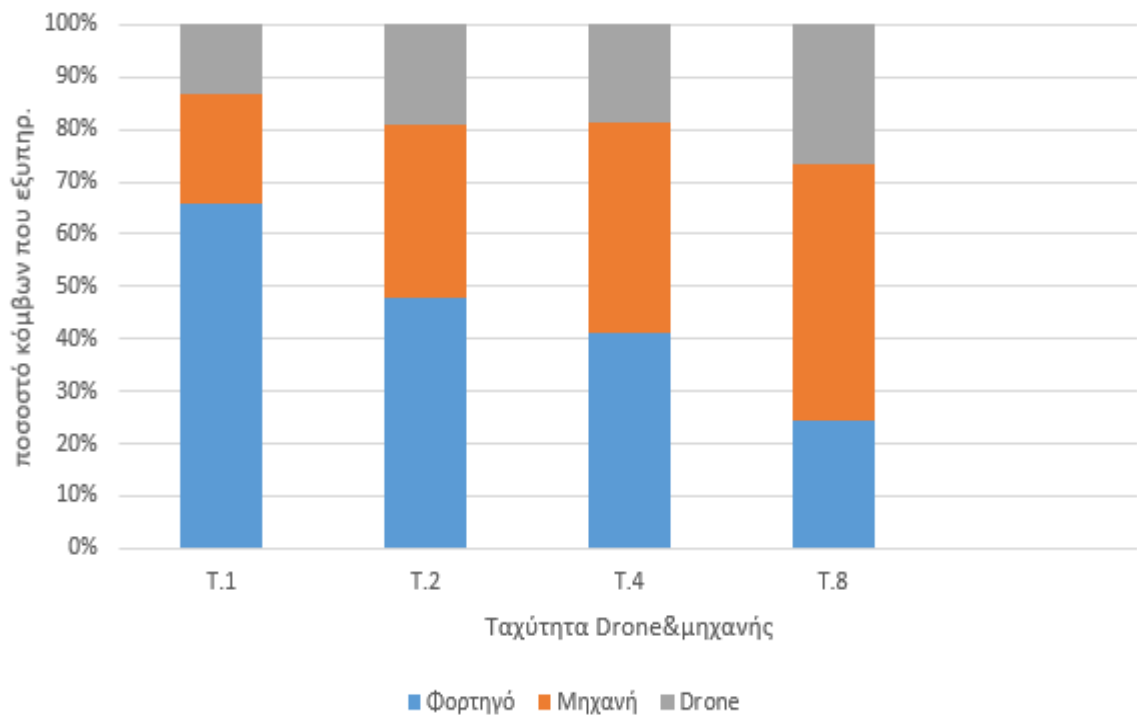
Παρακάτω προβάλλουμε ένα σχήμα που στην κάθε στήλη περιέχεται το ποσοστό των κόμβων που πέρασε το κάθε όχημα με τα αντίστοιχα χρώματα. Το T συμβολίζει την ταχύτητα των drone και μηχανής, καθώς το φορτηγό μένει σταθερό.

- $\Pi = 100$

T = ταχύτητα drone και μηχανής.

$C_m = 3$        $C_d = 1$

% = Ποσοστό των κόμβων που διένυσε το κάθε όχημα



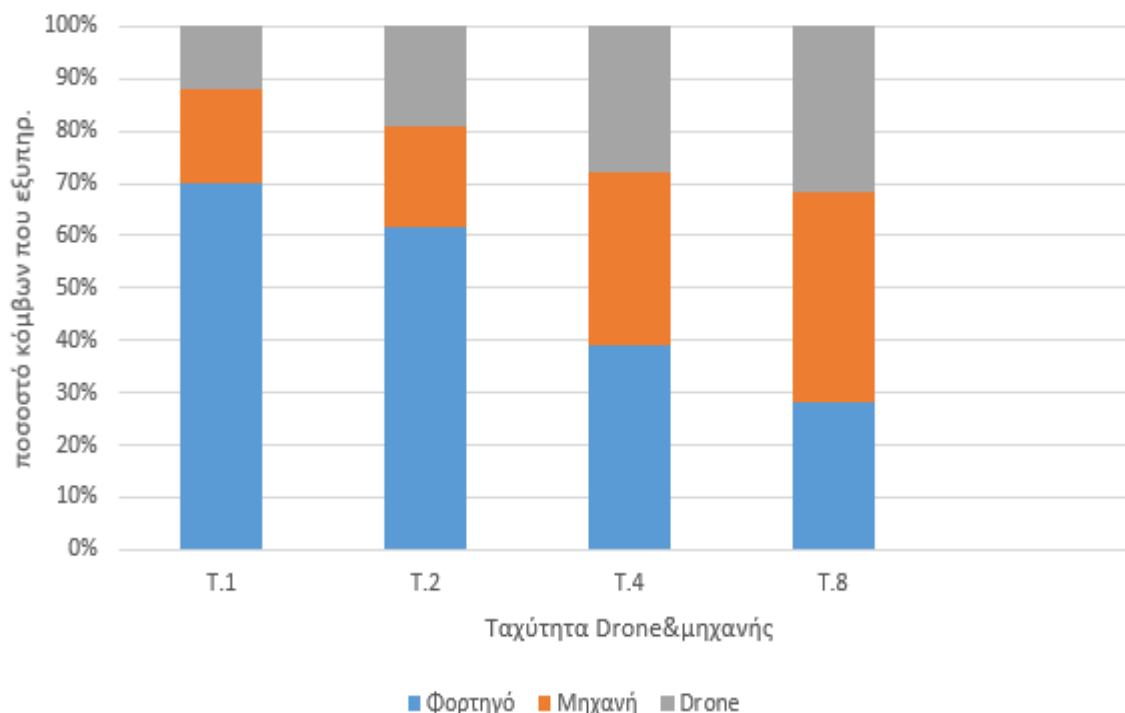
Γράφημα 11: Ποσοστό κόμβων ανά όχημα με μεταβαλλόμενη ταχύτητα μηχανής και drone για 100 κόμβους.

ο  $\Pi = 200$

$T$  = ταχύτητα drone και μηχανής.

$C_m = 3$        $C_d = 1$

% = Ποσοστό των κόμβων που διένυσε το κάθε όχημα



Γράφημα 12: Ποσοστό κόμβων ανά όχημα με μεταβαλλόμενη ταχύτητα μηχανής και drone για 200 κόμβους.

Από τα συγκεκριμένα παραδείγματα συμπεραίνουμε ότι με την αύξηση της ταχύτητας του drone και της μηχανής επιτυγχάνουμε την μείωση των κόμβων που διένυσε το φορτηγό. Καθώς μοιράζονται οι πελάτες που εξυπηρετήθηκαν από τα 3 οχήματα.

Επίσης παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνεται ο αριθμός των κόμβων αρχίζει και δημιουργείται μια σταθερή μείωση της απόδοσης καθώς οι αποστάσεις των κόμβων γίνονται μικρές.

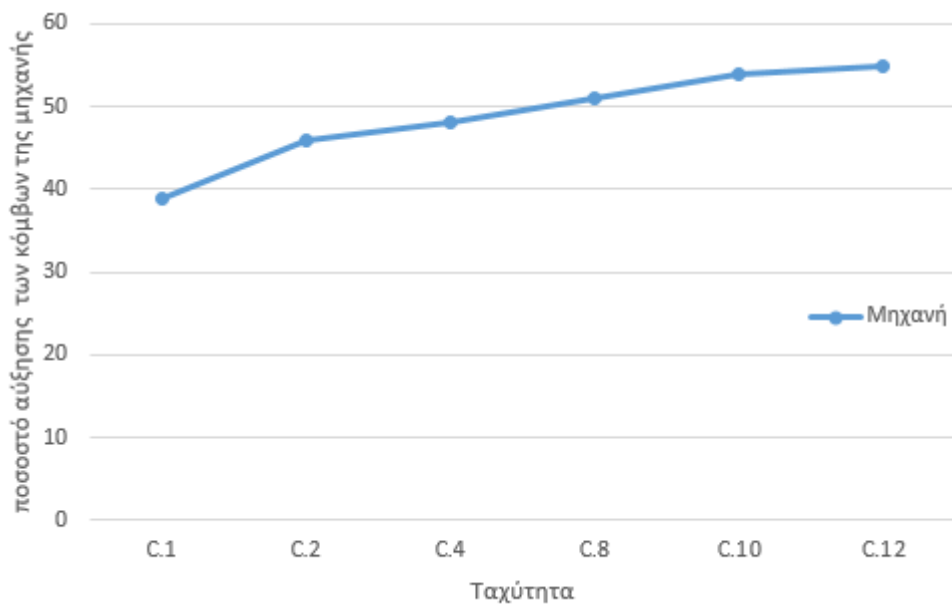
## 5.2 Πειράματα με μεταβολή της χωρητικότητας

Στα επόμενα παραδείγματα περιλαμβάνονται πειράματα στα οποία μεταβάλλεται η χωρητικότητα της μηχανής από 2 έως 12 για να αξιολογήσουμε τις



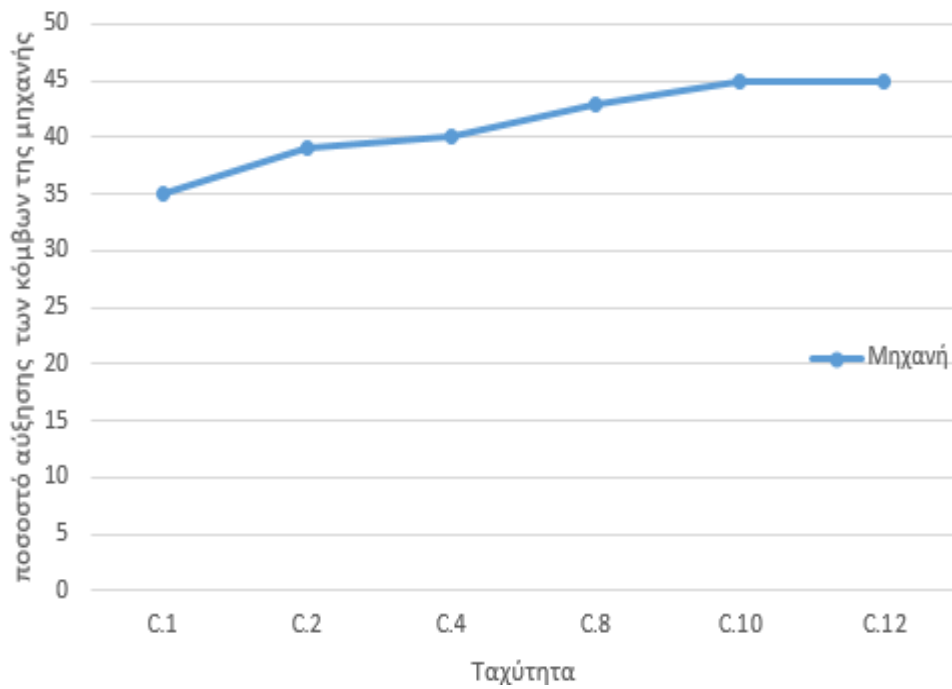
μεταβολές στην απόδοση. Η χωρητικότητα του drone παραμένει 1 ενώ του φορητού είναι απεριόριστη. Το πείραμα γίνεται για 100 και 200 κόμβους.

- ο  $\Pi = 100$   
Ταχύτητα drone και μηχανής = 2  
C = χωρητικότητα μηχανής.



Γράφημα 13: Ποσοστό κόμβων μηχανής με μεταβαλλόμενη χωρητικότητα μηχανής για 100 κόμβους και ταχύτητα 2.

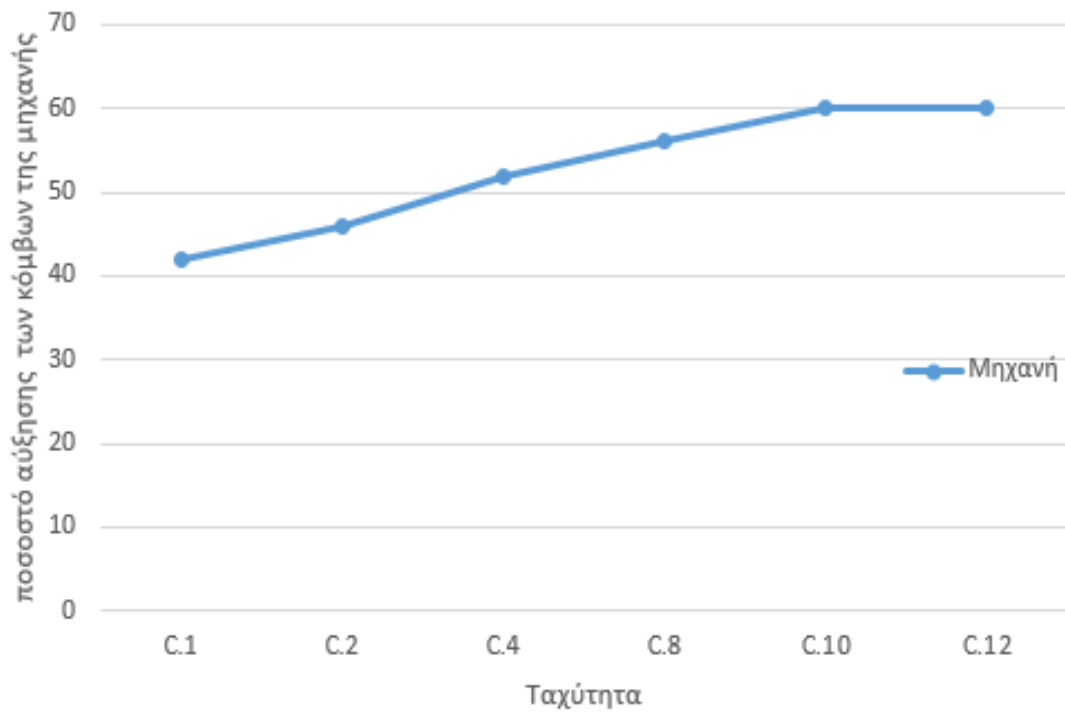
- ο  $\Pi = 200$   
Ταχύτητα drone και μηχανής = 2  
C = χωρητικότητα μηχανής.



Γράφημα 14: Ποσοστό κόμβων μηχανής με μεταβαλλόμενη χωρητικότητα μηχανής για 200 κόμβους και ταχύτητα 2.

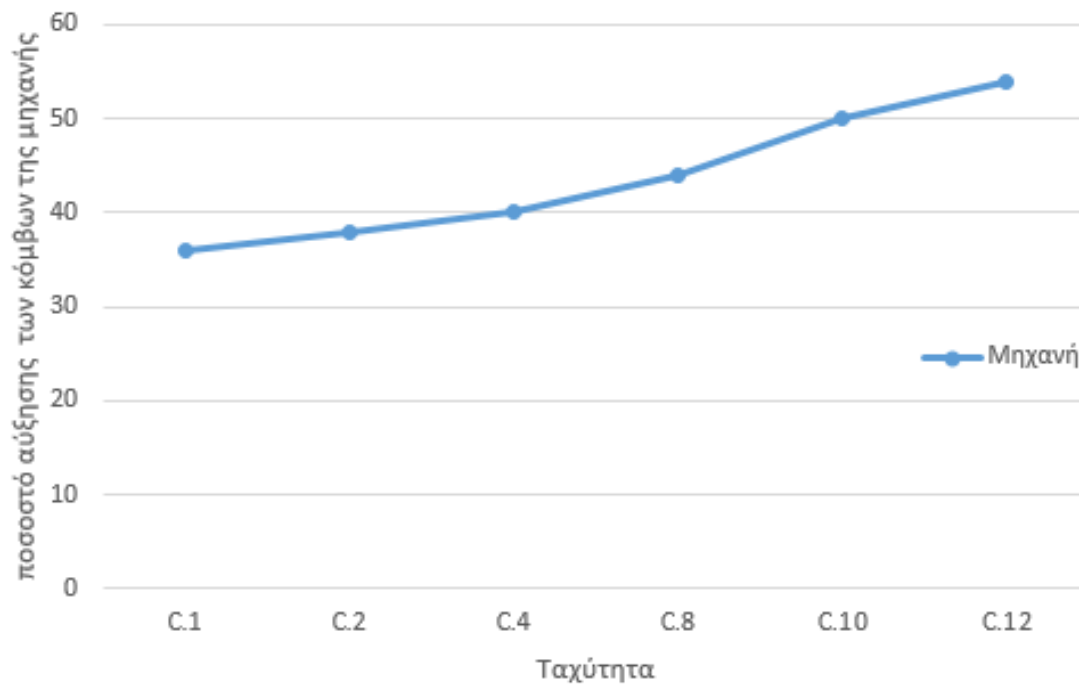
Με την μεταβολή της χωρητικότητας από 2 σε 4 και 6 βλέπουμε απότομη αύξηση της απόδοσης του αλγορίθμου και στην συνέχεια αρχίζει να ισορροπεί. Επιπλέον όταν οι κόμβοι είναι λιγότεροι όπως στο πρώτο παράδειγμα η αύξηση της χωρητικότητας γίνεται πιο αποδοτική.

- $\Pi = 100$   
Ταχύτητα drone και μηχανής = 4  
C = χωρητικότητα μηχανής.



Γράφημα 15: Ποσοστό κόμβων μηχανής με μεταβαλλόμενη χωρητικότητα μηχανής για 100 κόμβους και ταχύτητα 4.

- $\Pi = 200$   
Ταχύτητα drone και μηχανής = 4  
C = χωρητικότητα μηχανής.

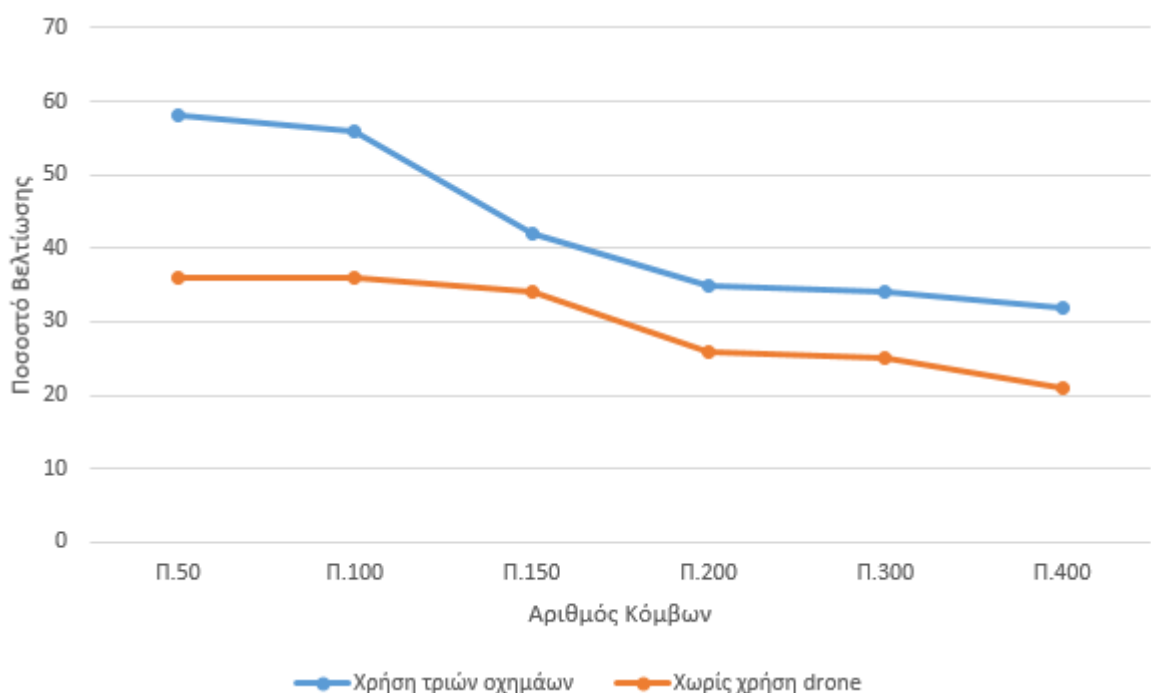


Γράφημα 16: Ποσοστό κόμβων μηχανής με μεταβαλλόμενη χωρητικότητα μηχανής για 200 κόμβους και ταχύτητα 4.

### 5.3 Πειράματα με μεταβολή του αριθμού των οχημάτων

Στην συνέχεια θα απεικονίσουμε ένα διάγραμμα με την μία γραμμή να αντιστοιχεί σε παράδειγμα με χρήση και των τριών οχημάτων και την άλλη χωρίς την χρήση του drone για ίδιο αριθμό κόμβων.

- Π = Αριθμός πελατών- κόμβων  
Tt = 1    Tm = 2    Td = 4  
Μπλε = χρήση των τριών οχημάτων  
Πορτοκαλί = χρήση μόνο φορτηγού και μηχανής



Γράφημα 17: Σύγκριση αποτελεσμάτων με χρήση drone και χωρίς την χρήση drone.

Παρατηρούμε ότι με την αφαίρεση του drone σημειώνεται μείωση στην απόδοση του αλγορίθμου. Όσο αυξάνεται ο αριθμός των κόμβων η απόδοση του μειώνεται,

ωστόσο είναι εμφανή η βελτίωση με την χρήση drone σε σύγκριση με την υλοποίηση χωρίς την χρήση του.

Η μεγάλη χωρητικότητα του φορτηγού αποτελεί πλεονέκτημα σε σχέση με οχήματα μικρής χωρητικότητας καθώς η διαδικασία επιστροφής και ανεφοδιασμού αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα και αυξάνονται τα χιλιόμετρα που έχει διανύσει το όχημα. Ωστόσο ένα drone ή μία μηχανή μπορεί να διανύσει πολύ πιο γρήγορα και εύκολα αποστάσεις. Με την αύξηση της χωρητικότητας του οχήματος αλλά κυρίως με την αύξηση της ταχύτητας των μικρών οχημάτων μπορούμε να επιτύχουμε τον ιδανικό συνδυασμό. Με την αύξηση των πελατών μειώνεται η απόδοση του drone και της μηχανής και κατά συνέπεια μειώνεται η απόδοση του φορτηγού και συνολικά του αλγορίθμου, καθώς οι κόμβοι που διανύει είναι περισσότεροι.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>: ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ**

---

Μελλοντικές έρευνες μπορούν να πραγματοποιηθούν σε θέματα που αφορούν διάφορους περιορισμούς και δυσκολίες στην χρήση drone αλλά και σε θέματα βελτίωσης της απόδοσης. Ένας παράγοντας περιορισμού αφορά την υφιστάμενη νομοθεσία όσον αφορά τον περιορισμό στις πτήσεις καθώς σε πολλές χώρες έχει μπει μπλόκο στην χρήση UAV για την παράδοση προϊόντων. Κυρίως λόγω της ασφάλειας των εναέριων μετακινήσεων και την πρόληψη ατυχημάτων. Ένας άλλος περιορισμός είναι η απαγόρευση χρήσης drone την νύχτα και μόνο από άτομα με ειδική άδεια και εντός της ορατότητας τους. Προβλήματα επίσης μπορούν να προκληθούν και με ατυχήματα από πτώση drone ή και πτώση δεμάτων.

Οι μεγαλύτερες ανησυχίες ωστόσο αφορούν σε θέματα hacking ή παραβίαση της προσωπική ζωή ατόμων καθώς μπορούν να αντλήσουν πληροφορίες και να υποκλέψουν δεδομένα λειτουργώντας ως μέσω παρακολούθησης. Κάποιος ακόμα θα μπορούσε να ελέγξει το drone και να το χρησιμοποιήσει για παράνομες και κακόβουλες ενέργειες όπως να κλέψει το δέμα ή να παραβιάζει την ιδιωτική ζωή κάποιου.

Επίσης ένα άλλο πρόβλημα είναι ο περιορισμός του drone από τις καιρικές συνθήκες. Ένα τέτοιο όχημα έχει προδιαγραφές που δεν πρέπει να παραβιάζονται. Άρα όταν προγραμματίζουμε ένα δρομολόγιο θα πρέπει να λάβουμε υπόψη τον συγκεκριμένο παράγοντα και τις καιρικές συνθήκες.

Τα παραπάνω θέματα χρίζουν άμεσα αντιμετώπιση γιατί θεωρούνται σημαντικά για την μετατροπή από την θεωρία και την έρευνα στην πράξη και την ένταξη τους στην καθημερινότητα μας. Ωστόσο δεν είναι εύκολο να αντιμετωπιστούν γιατί επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες.

Μεγάλες εταιρίες διανομών έχουν επενδύσει στην έρευνα για να συμπεριλάβουν τα UAV στα δίκτυα διανομών τους. Συνέχεια δημιουργούν καινούργια μαθηματικά μοντέλα για την εξέλιξη και την εισαγωγή τους στο δίκτυο διανομών. Ένα πρόβλημα για μελλοντική έρευνα είναι η χρήση drone συνδυαζόμενο με ένα φορητό που θα χρησιμοποιείται σαν depot. Επίσης μία ακόμα έρευνα που θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί είναι η δημιουργία αλγορίθμου όπου οι πελάτες προστίθενται και αφαιρούνται κατά την διάρκεια της ημέρας ή της παράδοσης για διαφόρους λόγους(αδυναμία παραλαβής, νέες παραγγελίες κλπ.). Η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου σε αυτή την περίπτωση αυξάνεται. Θα πρέπει να αναπτυχθεί μια διαφορετική ευρετική για την λύση αυτού του αλγορίθμου.

Κάποιες επεκτάσεις στο πρόβλημα θα μπορούσε να είναι η επίλυση περιορισμών σχετικά με την μπαταρία και την επιλογή του κατάλληλου πελάτη ώστε ο πελάτης να είναι μέσα στο πεδίο εμβέλειας του οχήματος. Επίσης κάτι αντίστοιχο θα μπορούσε να υπάρξει με το βάρος του δέματος και να μην ξεπερνά το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο βάρους.

Επιπλέον έρευνα μπορεί να πραγματοποιηθεί σε περίπτωση όταν για κάποιο παράγοντα(π.χ. χώρος) το drone δεν μπορεί να προσγειωθεί. Πρέπει ο αλγόριθμος να επιλέγει σημεία για να γίνει η παράδοση που δεν θα υπάρχει ο περιορισμός και οι κόμβοι είναι κατάλληλοι για προσγείωση και απογείωση.

Επίσης μια άλλη θεωρία που θα μπορούσαμε να προσεγγίσουμε είναι η χρήση ενός φορητού σαν σταθμός σε ένα κεντρικό σημείο και με την χρήση πολλών drone να κάνουμε την διανομή επιτυγχάνοντας μείωση της κατανάλωσης καυσίμου αλλά και αύξηση της απόδοσης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- [1] [Schermer, Moeini, Wendt], A branch-and-cut approach and alternative formulations for the traveling salesman problem with drone.
- [2] [Agatz, Bouman, Schmidt]. Optimization Approaches for the Traveling Salesman Problem with Drone.
- [3] [Chase, Ritwik Raj]. The Multiple Flying Sidekicks Traveling Salesman Problem: Parcel Delivery with Multiple Drones.
- [4] [Raïssa, Saleu, Deroussi]. An iterative two-step heuristic for the Parallel Drone Scheduling Traveling Salesman Problem.
- [5] [Sungwoo, Ilkyeong Moon]. Traveling Salesman Problem with a Drone Station.
- [6] [Roberti, Ruthmair]. Exact Methods for the Traveling Salesman Problem with Drone.
- [7] [Wang, Sheu], Vehicle Routing Problem with Drones.
- [8] [Sacramento, Pisinger, Ropke]. An Adaptive Large Neighborhood Search Metaheuristic for the Vehicle Routing Problem with Drones.
- [9] [Murray and Chu] The flying sidekick traveling salesman problem: Optimization of drone-assisted parcel delivery.(2016)
- [10] [Minh Ha, Deville, Pham, Hoàng Hà]. Heuristic methods for the Traveling Salesman Problem with Drone.
- [11] VRP παράδοσης drone. [Dorling, Heinrichs, Messier, Magierowski]. Vehicle Routing Problems for Drone Delivery
- [12] [Ulmer, Barrett]. Same-Day Delivery with a Heterogeneous Fleet of Drones and Vehicles.
- [13] [Bouman, Agatz, Schmidt]. Dynamic Programming Approaches for the Traveling Salesman Problem with Drone.
- [14] [William Ho, Ping Ji]. A multi-depot travelling salesman problem and its iterative and integrated approaches (2006).



- [15] [Goel and Gruhn]. Solving a Dynamic Real-Life Vehicle Routing Problem(2005)
- [16] [Sundar, Rathinam]. Algorithms for Heterogeneous, Multiple Depot, Multiple Unmanned Vehicle Path Planning Problems (2016).
- [17] [Xiaolong Xu<sup>1</sup> · Hao Yuan<sup>2</sup> · Mark Liptrott<sup>3</sup> · Marcello Trovati]. Two phase heuristic algorithm for the multiple-travelling salesman problem(2018)
- [18] [Baldacci, Mingozzi]. A unified exact method for solving different classes of vehicle routing problems(2007)
- [19] [Oberlin, Rathinam, Darbha]. A Transformation for a Heterogeneous, Multiple Depot, Multiple Traveling Salesman Problem.
- [20] [Vali, Salimifard]. A Constraint Programming Approach for Solving Multiple Traveling Salesman Problem.
- [21] [Moustapha Diaby]. Linear Programming Formulation of the Multi-Depot Multiple Traveling Salesman Problem with Differentiated Travel Costs (2010)
- [22] [Ham], Management of HAM/TSP: Systematic Review and Consensus-based Recommendations,2019]
- [23] [Mathew], Planning Paths for Package Delivery in Heterogeneous Multirobot Teams, 2015
- [24] [Carlsson and Song ], Coordinated Logistics with a Truck and a Drone, 2017
- [25] Marcello Agostino, What's so special about Euclidean distance? A characterization with applications to mobility and spatial voting, 2009
- [26] Gutin and Punnen, The Traveling Salesman Problem and Its Variations, Kluwer Academic publishers, 2002 pp.
- Έλενα Μισιργή, Επίλυση προβλήματος TSP με χρήση γενετικού αλγορίθμου, 2012.

- Hend F. Kendela, M. Ayman Al-Ahmar, El-Sayed M. El Horbaty, A Hybrid Heuristic Algorithm for the Traveling Salesperson Problem.
- Waqar Malik, , SwaroopDarbhaa, An approximation algorithm for a symmetric Generalized Multiple Depot, Multiple Travelling Salesman Problem, 2007
- Maha Ata Al-Furhud1 , Zakir Hussain Ahmed2, Genetic Algorithms for the Multiple Travelling Salesman Problem, 2020
- Gavish, Bezalel; Graves, Stephen C., The Travelling Salesman Problem and Related Problems, 2018
- Chris Jojo Obi1, Xiong Qiang, Appiah Martinson Yeboah, Using genetic algorithm to solve multiple traveling salesman problem and considering Carbon emissions, 2020
- Omar Cheikhrouhoua, Ines Khoufiba, A comprehensive survey on the Multiple Traveling Salesman Problem: Applications, approaches and taxonomy, 2021
- Lucas Rebouças Guimarães ,A greedy randomized adaptive search procedure application to solve the travelling salesman problem, 2019
- Velin Krlev, Different Applications of the Genetic Mutation Operator for Symetric Travelling Salesman Problem, 2018
- Abdul Fattah Salman, Abdulla Alqaddoumi, Zallaq, Bahrai, Hesham Hasan, Ahmed Radhi, A novel hybrid approach for solving the multiple traveling salesmen problem, 2019
- YANG Yunting1,2, WANG Peng, Multi-scale quantum free particle optimization algorithm for solving travelling salesman problem, 2020
- Multiple Traveling Salesmen and Related Problems: A Maximum-Entropy Principle based Approach Mayank Baranwal1,a, Brian Roehl and Srinivasa M. Salapaka1,b, 2020

## ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

---

*Γράφημα 1: Απεικόνιση διαδρομής φορτηγού.*

*Γράφημα 2: Απεικόνιση διαδρομής φορτηγού και μηχανής.*

*Γράφημα 3: Απεικόνιση διαδρομής φορτηγού και drone.*

Γράφημα 4: Απεικόνιση διαδρομής φορτηγού, μηχανής και drone.

Γράφημα 5: Ποσοστό κόμβων ανά όχημα με ίδια ταχύτητα.

Γράφημα 6: Ποσοστό κόμβων ανά όχημα με ταχύτητα φορτηγού 1, μηχανής 2 και drone 2.

Γράφημα 7: Ποσοστό κόμβων ανά όχημα με ταχύτητα φορτηγού 1, μηχανής 2 και drone 4.

Γράφημα 8: Ποσοστό κόμβων ανά όχημα με ταχύτητα φορτηγού 1, μηχανής 4 και drone 4.

Γράφημα 9: Ποσοστό κόμβων ανά όχημα με ταχύτητα φορτηγού 1, μηχανής 4 και drone 8.

Γράφημα 10: Ποσοστό κόμβων ανά όχημα με ταχύτητα φορτηγού 1, μηχανής 8 και drone 8.

Γράφημα 11: Ποσοστό κόμβων ανά όχημα με μεταβαλλόμενη ταχύτητα μηχανής και drone για 100 κόμβους.

Γράφημα 12: Ποσοστό κόμβων ανά όχημα με μεταβαλλόμενη ταχύτητα μηχανής και drone για 200 κόμβους.

Γράφημα 13: Ποσοστό κόμβων μηχανής με μεταβαλλόμενη χωρητικότητα μηχανής για 100 κόμβους και ταχύτητα 2.

Γράφημα 14: Ποσοστό κόμβων μηχανής με μεταβαλλόμενη χωρητικότητα μηχανής για 200 κόμβους και ταχύτητα 2.

Γράφημα 15: Ποσοστό κόμβων μηχανής με μεταβαλλόμενη χωρητικότητα μηχανής για 100 κόμβους και ταχύτητα 4.

Γράφημα 16: Ποσοστό κόμβων μηχανής με μεταβαλλόμενη χωρητικότητα μηχανής για 200 κόμβους και ταχύτητα 4.

Γράφημα 17: Σύγκριση αποτελεσμάτων με χρήση drone και χωρίς την χρήση drone.

## ΕΙΚΟΝΕΣ

---

*Εικόνα 1: Προσομοίωση εύρεσης επόμενου κόμβου.*

*Εικόνα 2: Εξίσωση Ευκλείδειας απόστασης. (2)*

*Εικόνα 3: Ψευδοκώδικας TSP.*

*Εικόνα 4: Ψευδοκώδικας MDMTSP.*

## ΠΙΝΑΚΕΣ

---

*Πίνακας 1.: Σχετικές εργασίες με συγχρονισμό οχημάτων.*

*Πίνακας 2: Σχετικές εργασίες με μεταβλητό αριθμό σταθμών.*