



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Διπλωματική Εργασία

Τιμοθεάτος Παναγιώτης

Επίλυση του περιορισμένης χωρητικότητας προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων για την εξυπηρέτηση πελατών μέσα σε δεδομένα χρονικά παράθυρα με χρήση του Αλγορίθμου Βελτιστοποίησης Αποικίας Μυρμηγκιών



Επιβλέπων καθηγητής
Μαρινάκης Ιωάννης

Χανιά 2013

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	3
1.Εισαγωγή στους Αλγόριθμους Βελτιστοποίησης	4
1.1 Ευρετικοί αλγόριθμοι	4
1.2 Μεθευρετικοί Αλγόριθμοι	5
2.Θεωρία Αλγόριθμου Βελτιστοποίησης Αποικίας Μυρμηγκιών	7
2.1 Τρόπος λειτουργίας	7
2.2 Μοντελοποίηση	9
3.Το πρόβλημα	10
4. Ο Αλγόριθμος	12
4.1 Αρχική λύση	13
4.2 Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Αποικίας Μυρμηγκιών	15
5.Αποτελέσματα	17
6.Συμπεράσματα	87
7.Βιβλιογραφία	88

Πρόλογος

Οι διαρκώς αυξανόμενες απαιτήσεις της αγοράς οδηγούν στην ανάγκη για ολοένα και αποτελεσματικότερους τρόπους λειτουργίας, προγραμματισμού και οργάνωσης για τις επιχειρήσεις και τους οργανισμούς. Οι πελάτες πρέπει κάθε μέρα να εξυπηρετούνται καλύτερα, γρηγορότερα και αποδοτικότερα. Η φύση των παραγόμενων προϊόντων γίνεται πιο πολύπλοκη και ο όγκος των διακινούμενων προϊόντων αυξάνεται. Ταυτόχρονα, υπάρχει η ανάγκη να βρίσκονται τα προϊόντα εκεί που πρέπει, τη στιγμή που η αγορά τα χρειάζεται και φυσικά με το μικρότερο δυνατό κόστος. Τα παραπάνω αποτελούν κομμάτι της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, που είναι ένας από τους πλέον κρίσιμους τομείς για την ανταγωνιστικότητα των σύγχρονων επιχειρήσεων. Η αποτελεσματική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελεί στρατηγικό πλεονέκτημά για μια επιχείρηση, ενώ η πλημμελής οργάνωσή της, την καθιστά μη ανταγωνιστική. Η παρούσα εργασία ασχολείται με τη δρομολόγηση οχημάτων (logistics) που είναι κομμάτι της εφοδιαστικής αλυσίδας. Σκοπός της εργασίας είναι ο προγραμματισμός των δρομολογίων οχημάτων περιορισμένης χωρητικότητας για την εξυπηρέτηση δεδομένου αριθμού πελατών, μέσα σε δεδομένα χρονικά παράθυρα. Ο προγραμματισμός έγινε με τη δημιουργία προγράμματος σε Matlab, που αναπτύχθηκε βάσει της θεωρίας του αλγορίθμου βελτιστοποίησης μυρμηγκιών. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, τα αποτελέσματα αλλά και τα συμπεράσματα που προέκυψαν περιγράφονται παρακάτω.

1.Εισαγωγή στους Αλγόριθμους Βελτιστοποίησης

1.1 Ευρετικοί Αλγόριθμοι

Οι ευρετικοί αλγόριθμοι, όπως και οι μεθευρετικοί χρησιμοποιούνται ευρέως στη διοικητική επιστήμη όπως για παράδειγμα στους τομείς της λήψη αποφάσεων, της παραγωγής, της χωροθέτηση εγκαταστάσεων, τον έλεγχο των αποθεμάτων αλλά και άλλους. Οι ευρετικοί αλγόριθμοι είναι σχεδιασμένοι για να λύνουν προβλήματα γρήγορα όταν οι άλλοι αλγόριθμοι είναι αργοί και βρίσκουν προσεγγιστικές λύσεις σε προβλήματα που άλλες μέθοδοι αποτυγχάνουν. Γενικότερα, σε πολλές περιπτώσεις συμβαίνει τα προβλήματα να έχουν τόσο μεγάλο εύρος λύσεων που είναι πάρα πολύ χρονοβόρο (άρα και ακριβό), ή αδύνατο να φτάσουμε στο ολικό βέλτιστο. Σε αυτές τις περιπτώσεις αρκούμαστε σε μια λύση που δίνει ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα σε εύλογο χρόνο.

Ένας απλός τρόπος για να κρίνουμε αν μια λύση είναι ικανοποιητική είναι να σχεδιάσουμε πιο απλά προβλήματα από αυτό που θέλουμε να λύσουμε και να χρησιμοποιήσουμε κάποια άλλη τεχνική ώστε να λύσουμε το πρόβλημα. Μετά μπορούμε να συγκρίνουμε τα αποτελέσματά του με εκείνα τα ευρετικού αλγόριθμου για το ίδιο πρόβλημα. Για παράδειγμα τα περισσότερα από τα antivirus χρησιμοποιούν ευρετικούς αλγόριθμους για να εντοπίζουν ιούς και άλλα κακόβουλα λογισμικά. Οι ευρετικοί αλγόριθμοι χωρίζονται σε αλγόριθμους απληστίας (greedy algorithms), προσεγγιστικούς αλγόριθμους (approximation algorithms) και αλγόριθμους τοπικής αναζήτησης (local search algorithms).

Οι αλγόριθμοι απληστίας πολλές φορές δεν πλησιάζουν το απόλυτο βέλτιστο του προβλήματος γιατί εύκολα παγιδεύονται σε ένα τοπικό βέλτιστο. Ωστόσο είναι πολύ αποτελεσματικοί για κάποια προβλήματα στα οποία είναι ταχύτεροι από τις μεθόδους Δυναμικού Προγραμματισμού και παρέχουν αξιόπιστα αποτελέσματα. Τέτοιοι αλγόριθμοι είναι οι Kruskal, Prim και Dijkstra, οι οποίοι αποτελούν βασικά εργαλεία της Συνδυαστικής Βελτιστοποίησης.

Οι αλγόριθμοι Τοπικής Αναζήτησης χρειάζονται μια αρχική λύση γύρω από την οποία ερευνούν για τυχόν καλύτερες λύσεις. Οι αλγόριθμοι Τοπικής Αναζήτησης χρησιμοποιούνται συνδυαστικά με άλλους αλγόριθμους και παρέχουν αξιόπιστα αποτελέσματα σε μεγάλο εύρος παραδειγμάτων. Παραδείγματα τέτοιων αλγορίθμων είναι οι 2-opt, 3-opt, και 1-1 exchange αλγόριθμοι.

1.2 Μεθευρετικοί Αλγόριθμοι

Οι Μεθευρετικοί αλγόριθμοι είναι σχεδιασμένοι να βελτιστοποιούν έναν πληθυσμό από λύσεις. Έχουν τη δυνατότητα να διερευνήσουν ένα πολύ μεγάλο σύνολο λύσεων το οποίο μπορεί στη συνέχεια να βελτιωθεί σε συνδυασμό με τη χρήση άλλων αλγορίθμων. Ωστόσο αποτελούν μια πολύ μεγάλη οικογένεια αλγορίθμων με διαφορετικά χαρακτηριστικά μεταξύ τους. Υποκατηγορίες μεθευρετικών αλγορίθμων είναι οι αλγόριθμοι μιας λύσης, οι Γενετικοί και Εξελικτικοί Αλγόριθμοι, οι Αλγόριθμοι που είναι εμπνευσμένοι από τη φύση και η Νοημοσύνη Σμήνους.

Οι αλγόριθμοι μιας λύσης χρησιμοποιούν μία λύση και κάνουν αναζήτηση στη γειτονιά αυτής της λύσης. Παραδείγματα αυτής της κατηγορίας είναι ο αλγόριθμος Προσομοιωμένης Ανόπτησης (Simulated Annealing), ο αλγόριθμος Περιορισμένης Αναζήτησης (Tabu Search), η Πολυεναρκτήριο Τοπική Αναζήτηση (MultiStart Local Search Methods), ο Αλγόριθμος Επανασύνδεσης Διαδρομών (Path Relinking Algorithm), και η Διαδικασία Άπληστης Τυχαιοποιημένης Προσαρμοστικής Αναζήτησης (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure-GRASP).

Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι προσομοιώνουν τη λειτουργία της φυσικής εξέλιξης. Αρχικά, ο Γενετικός Αλγόριθμος παράγει πολλαπλά αντίγραφα της μεταβλητής συνήθως με τυχαίες τιμές, δημιουργώντας έναν αρχικό πληθυσμό λύσεων. Οι λύσεις που βρίσκονται πιο κοντά στο βέλτιστο, αναπαράγονται στην επόμενη γενιά και λαμβάνουν μια τυχαία μετάλλαξη.

Επαναλαμβάνοντας αυτή τη διαδικασία για αρκετές επαναλήψεις, οι τυχαίες μεταλλάξεις σε συνδυασμό με την διατήρηση και αναπαραγωγή των λύσεων που πλησιάζουν καλύτερα το επιθυμητό αποτέλεσμα θα παράγουν μια λύση που θα πλησιάζει όσο το δυνατόν καλύτερα το βέλτιστο.

Η παρατήρηση της φύσης ωστόσο και των μεθόδων που αυτή έχει επιλέξει για την επίλυση διάφορων προβλημάτων οδήγησε στη δημιουργία Αλγορίθμων Εμπνευσμένων από τη φύση. Τέτοιοι είναι ο αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Αποικίας Μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization), ο αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων (Particle Swarm Optimization), διάφοροι αλγόριθμοι που βασίζονται σε Συμπεριφορές Μελισσών, ακόμα διάφοροι αλγόριθμοι Τεχνητών Ανοσοποιητικών Συστημάτων, ο Αλγόριθμος Αναζήτησης Σμήνους Ψαριών, ο αλγόριθμος Νυχτερίδων (Bat algorithm), και η Αναζήτηση Πιθήκων (Monkey Search).

Οι Μεθευρετικοί Αλγόριθμοι είναι κατασκευασμένοι να βρίσκουν λύσεις σε προβλήματα που δε λειτουργούν οι παραδοσιακές μέθοδοι βελτιστοποίησης. Παρόλο που δεν υπάρχει καμία διασφάλιση ότι θα φτάσουν σε ικανοποιητικές λύσεις, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τους Ευρετικούς Αλγόριθμους, οι Μεθευρετικοί Αλγόριθμοι συχνά πετυχαίνουν καλύτερα αποτελέσματα από τις κλασσικές μεθόδους. Αυτό συμβαίνει γιατί είναι φτιαγμένοι ώστε να μην διερευνούν για ένα τοπικό βέλτιστο αλλά να ψάχνουν το συνολικό βέλτιστο ενός προβλήματος.

2.Θεωρία Αλγορίθμου Βελτιστοποίησης Αποικίας Μυρμηγκιών (Ants Colony Optimization)

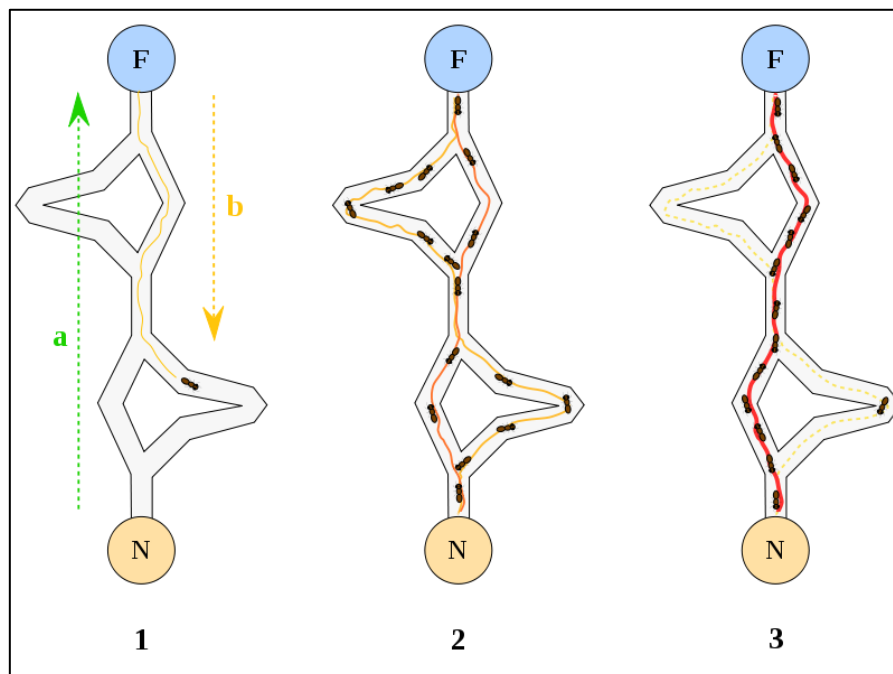
2.1 Τρόπος λειτουργίας

Η βελτιστοποίηση αποικίας μυρμηγκιών αποτελεί μέλος της οικογένειας αλγορίθμων της νοημοσύνης σμήνους (swarm intelligence) οι οποίοι ανήκουν στην κατηγορία των Μεθευρετικών Αλγόριθμων. Η μέθοδος προτάθηκε από το Marco Dorigo στη διπλωματική του διδακτορικού του το 1992. Ήταν η πρώτη που βασίστηκε στη συμπεριφορά εντόμων για την ανάπτυξη αλγόριθμου βελτιστοποίησης. Έχει εφαρμοστεί σε πολλά επιστημονικά πεδία με αξιοσημείωτη επιτυχία. Η μέθοδος αυτή μιμείται στην πράξη τον τρόπο που τα μυρμήγκια βρίσκουν την τροφή τους.

Στη φύση τα μυρμήγκια περιφέρονται τυχαία ψάχνοντας να βρουν τροφή. Όταν εντοπίσουν τροφή, επιστρέφουν στη φωλιά τους αφήνοντας πίσω τους μια ουσία που ονομάζεται φερομόνη. Η φερομόνη που μένει στο μονοπάτι εξαρτάται από την ποιότητα, την ποσότητα αλλά και την απόσταση της τροφής που βρέθηκε. Τα υπόλοιπα μυρμήγκια περιφέρονται, μόλις ανιχνεύσουν τη φερομόνη την ακολουθούν προσπαθώντας να φτάσουν και εκείνα στην τροφή. Με τον τρόπο αυτό αυξάνουν επιπλέον τη φερομόνη στο μονοπάτι. Όσο η φερομόνη αυξάνεται ολοένα και περισσότερα μυρμήγκια επιλέγουν αυτό το μονοπάτι.

Το ίδιο είναι πιθανόν να γίνεται με πολλές διαφορετικές διαδρομές που οδηγούν προς διαφορετικές πηγές τροφής ή προς την ίδια. Σταδιακά όμως η φερομόνη στα μονοπάτια που δεν πηγαίνουν πολλά μυρμήγκια εξατμίζεται, ενώ σε εκείνα που πηγαίνουν πολλά συνεχώς αυξάνεται. Με την πάροδο του χρόνου επικρατεί ένα μόνο μονοπάτι το οποίο έχει την περισσότερη φερομόνη και αυτό ακολουθούν όλα σχεδόν τα μυρμήγκια. Το μονοπάτι αυτό είναι το βέλτιστο ή σχεδόν το βέλτιστο.

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται δυο διαφορετικές διαδρομές που κάνει ένα μυρμήγκι πηγαίνοντας από τη φωλιά στην τροφή (διαδρομή a) και πάλι πίσω (διαδρομή b). Με N συμβολίζεται η φωλιά (nest) και με F το φαγητό (food).



Σχήμα 1

Αρχικά ο πληθυσμός των μυρμηγκιών θα ακολουθήσει όλες τις πιθανές διαδρομές. Με την πάροδο του χρόνου η φερομόνη στα μακρύτερα μονοπάτια θα αρχίσει να εξατμίζεται. Αντίστοιχα η φερομόνη στα συντομότερα μονοπάτια ολοένα και αυξάνεται, μέχρι τελικά να επικρατήσει μόνο η βέλτιστη διαδρομή, ή μια σχεδόν βέλτιστη, την οποία και ακολουθούν όλα τα μυρμήγκια.

Γενικότερα πολλά είδη του ζωικού βασιλείου χρησιμοποιούν το περιβάλλον για να επικοινωνήσουν, αφήνοντας ίχνη ή σημάδια πίσω τους. Αυτό είναι μια μορφή αυτό-οργάνωσης, την οποία χρησιμοποιούν οι ζωντανοί οργανισμοί για τη λήψη αποφάσεων σε ομάδες.

2.2 Μοντελοποίηση αλγορίθμου

Επιλογή των μονοπατιών

Ο αλγόριθμος εκτελεί επαναλήψεις έως ότου ικανοποιηθούν όλοι οι πελάτες που έχει αναλάβει το κάθε όχημα ή μυρμήγκι. Εδώ χρησιμοποιείται ένας k αριθμός μυρμηγκιών. Για κάθε μυρμήγκι υπολογίζεται ένα πλήθος $A_k(x)$ πιθανών επόμενων πελατών προς εξυπηρέτηση, για την κατάσταση στην οποία βρίσκεται.

Για κάθε μυρμήγκι k , η πιθανότητα p_{xy}^k να μετακινηθεί από το x στο y εξαρτάται από το συνδυασμό της ευρετικής πληροφορίας η_{xy} και της ποσότητας φερομόνης τ_{xy} .

Γενικότερα, το μυρμήγκι k πηγαίνει από το x στο y με πιθανότητα:

$$p_{xy}^k = \frac{(\tau_{xy}^\alpha)(\eta_{xy}^\beta)}{\sum_{k \in allowed_k} (\tau_{xk}^\alpha)(\eta_{xk}^\beta)}$$

Όπου τ_{xy} είναι η φερομόνη στη διαδρομή από το x στο y και εκφράζει το βαθμό προτίμησης της διαδρομής με βάση προηγούμενες επαναλήψεις. Η ευρετική πληροφορία ισούται με $1/d_{xy}$, το αντίστροφο δηλαδή της απόστασης από το x στο y . Ακόμα α συμβολίζεται ο εκθέτης που επηρεάζει τη φερομόνη, ενώ β εκείνος που επηρεάζει την ευρετική πληροφορία.

Ενημέρωση της φερομόνης

Όταν τα μονοπάτια ολοκληρωθούν και το κάθε μυρμήγκι έχει ολοκληρώσει τον κύκλο του, επιλέγεται το μυρμήγκι που πραγματοποίησε την συντομότερη διαδρομή. Η φερομόνη σε όλα τα τόξα ενημερώνεται από τη συνάρτηση :

$$\tau_{xy} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{xy} + \sum_k \Delta\tau_{xy}^k$$

Στην παραπάνω συνάρτηση ρ είναι ο συντελεστής εξάτμισης της φερομόνης.

Όπου $\Delta\tau_{xy}^k$ είναι η ποσότητα φερομόνης που αφήνει κάθε μυρμήγκι k στα τόξα που πέρασε. Ισούται με $1/C^k$ αν το τόξο ανήκει στο μυρμήγκι που έχει επιλεγεί και με 0 αν δεν ανήκει στη βέλτιστη (ή προσωρινά βέλτιστη) λύση.

3.Το πρόβλημα

Το πρόβλημα που καλούμαστε να επιλύσουμε αφορά τη δρομολόγηση οχημάτων για την εξυπηρέτηση πελατών μέσα σε δεδομένα χρονικά παράθυρα (Vehicle Routing Problem with Time Windows). Ως δεδομένα χρονικά παράθυρα, νοούνται τα καθορισμένα χρονικά πλαίσια μέσα στα οποία πρέπει να γίνει η εξυπηρέτηση του κάθε πελάτη. Οι χρονικοί αυτοί περιορισμοί απαντώνται συχνά στην εξυπηρέτηση πελατών και οφείλονται σε επαγγελματικές, προσωπικές ή άλλες αιτίες. Ακόμα, με τον όρο πελάτης περιγράφεται οποιοδήποτε άτομο, επιχείρηση ή οργανισμός τίθεται προς εξυπηρέτηση.

Πιο αναλυτικά, το πρόβλημα αναφέρεται στην ικανοποίηση πελατών οι οποίοι είναι σε διαφορετικά σημεία στο χώρο, και ικανοποιούνται από έναν αριθμό οχημάτων τα οποία ξεκινούν από την αποθήκη. Ο κάθε πελάτης έχει μια ζήτηση η οποία πρέπει να ικανοποιηθεί, ενώ τα οχήματα έχουν δεδομένο φορτίο που δύνανται να μεταφέρουν. Σκοπός είναι να βρεθούν οι διαδρομές, οι οποίες για τον δεδομένο αριθμό οχημάτων, θα έχουν την ελάχιστη δυνατή απόσταση ικανοποιώντας τους περιορισμούς των φορτίων των οχημάτων αλλά και των χρονικών παραθύρων.

Υπάρχουν δυο είδη χρονικών παραθύρων, τα χαλαρά και τα σκληρά χρονικά παράθυρα. Στα σκληρά χρονικά παράθυρα η εξυπηρέτηση των πελατών πρέπει να ξεκινήσει και να τελειώσει μέσα στο χρονικό διάστημα που δίδεται. Σε κάθε περίπτωση εάν κάποιο όχημα εάν φτάσει στον πελάτη i νωρίτερα από το χρονικό παράθυρο, παραμένει στο χώρο μέχρι να ανοίξει. Στο πρόβλημα ακόμα λαμβάνεται υπόψη ο δεδομένος χρόνος εξυπηρέτησης κάθε πελάτη s_i ο οποίος επίσης προστίθεται στη διαδικασία.

Το πρόβλημα ορίζεται από έναν αριθμό οχημάτων V ένα πλήθος πελατών C και ένα γράφημα Q . Η αποθήκη και οι πελάτες συμβολίζονται με τους κόμβους 0 και $n+1$ αντίστοιχα. Ο χρόνος ταξιδιού από τον πελάτη i στον j συμβολίζεται ως t_{ij} , ενώ η χρονική περίοδος εξυπηρέτησης του πελάτη i είναι $[a_i, b_i]$.

Τα γραφήματα χαρακτηρίζονται από τις μεταβλητές x_{ijk} και w_{ik} ως εξής:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{εάν το μονοπάτι } i \rightarrow j \text{ επιλεγεί} \\ 0, & \text{εάν το μονοπάτι δεν επιλεγεί} \end{cases}$$

Ενώ οι w_{ik} μεταβλητές καθορίζουν χρονικά την εξυπηρέτηση του πελάτη i ώστε να ικανοποιούνται οι περιορισμοί.

Η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος είναι:

$$\min \sum_{k \in \mathcal{V}} \sum_{i \in \mathcal{N}} \sum_{j \in \mathcal{N}} c_{ij} x_{ijk} \quad s.t., \quad (1.1)$$

$$\sum_{k \in \mathcal{V}} \sum_{j \in \mathcal{N}} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in \mathcal{C}, \quad (1.2)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{C}} d_i \sum_{j \in \mathcal{N}} x_{ijk} \leq q \quad \forall k \in \mathcal{V}, \quad (1.3)$$

$$\sum_{j \in \mathcal{N}} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in \mathcal{V}, \quad (1.4)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{N}} x_{ihk} - \sum_{j \in \mathcal{N}} x_{hjk} = 0 \quad \forall h \in \mathcal{C}, \quad \forall k \in \mathcal{V}, \quad (1.5)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{N}} x_{i,n+1,k} = 1 \quad \forall k \in \mathcal{V}, \quad (1.6)$$

$$x_{ijk}(s_{ik} + t_{ij} - s_{jk}) \leq 0 \quad \forall i, j \in \mathcal{N}, \quad \forall k \in \mathcal{V}, \quad (1.7)$$

$$a_i \leq s_{ik} \leq b_i \quad \forall i \in \mathcal{N}, \quad \forall k \in \mathcal{V}, \quad (1.8)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in \mathcal{N}, \quad \forall k \in \mathcal{V}. \quad (1.9)$$

Στην οποία η αντικειμενική συνάρτηση 1.1 εκφράζει το κόστος προς ελαχιστοποίηση.

Ο περιορισμός 1.2 ορίζει ότι ένας πελάτης ανατίθεται μόνο σε ένα όχημα.

Η σχέση 1.3 εγγυάται ότι η διαδρομή του οχήματος k είναι εφικτή σε χωρητικότητα.

Οι περιορισμοί 1.4 έως 1.6 καθορίζουν τη ροή στο μονοπάτι.

Οι σχέσεις 1.7 και 1.8 ικανοποιούν τις χρονικές απαιτήσεις των διαδρομών.

4. Ο Αλγόριθμος

Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε χωρίζεται σε δυο σκέλη, την αρχική λύση και τον κυρίως αλγόριθμο. Η αρχική λύση είναι μια εφικτή λύση που εντοπίζεται σε πρώτη φάση στους αλγόριθμους και πληροί όλους τους περιορισμούς του προβλήματος. Δεν είναι η τελική λύση αλλά μια ενδεικτική που δίνεται για να διευκολύνει τη λειτουργία του κυρίως αλγόριθμου ο οποίος συνήθως δε μπορεί να διατρέξει όλο το σύνολο των πιθανών λύσεων. Ο κυρίως αλγόριθμος ακολουθεί τη θεωρία του ant colony optimization όπως αυτός περιγράφεται στη βιβλιογραφία αλλά και αναφέρθηκε στην παράγραφο 2. Η λειτουργία του αλγορίθμου και στα δυο τμήματα περιγράφεται παρακάτω αναλυτικότερα.

4.1 Αρχική λύση

Η αρχική λύση σε κάθε αλγόριθμο είναι γίνεται προσπάθεια να προσεγγίζει όσο το δυνατόν το βέλτιστο. Αυτό είναι σημαντικό γιατί ο κυρίως αλγόριθμος πρώτον έτσι συγκλίνει ταχύτερα, και δεύτερον με αυτό τον τρόπο υπάρχουν λιγότερες πιθανότητες να κολλήσει σε κάποιο τοπικό βέλτιστο. Στον αλγόριθμο που ακολουθεί, η αρχική λύση είναι ακόμα πιο σημαντική διότι, εκτός των άλλων, είναι αυτή η οποία ομαδοποιεί τους πελάτες και καθορίζει ποιός θα εξυπηρετηθεί από ποιο όχημα. Με αυτό τον τρόπο επηρεάζει καθοριστικά το τελικό αποτέλεσμα.

Η ιδέα πάνω στην οποία βασίζεται είναι απλή. Ξεκινώντας με ένα όχημα από την αποθήκη, κατασκευάζεται μια κατάταξη πελατών η οποία βαθμολογεί τους πελάτες ως προς τη σημαντικότητα και την ανάγκη εξυπηρέτησής τους.

Για το σκοπό δημιουργήθηκε μια συνάρτηση η οποία συνυπολογίζει:

- την απόσταση του πελάτη από το σημείο που βρίσκεται το όχημα
- το χρόνο κλεισίματος του χρονικού του παραθύρου

Με τον τρόπο αυτό κατατάσσει τους πελάτες από τον σημαντικότερο στον λιγότερο σημαντικό. Το όχημα εξυπηρετεί τον πρώτο διαθέσιμο στη λίστα (που το χρονικό του παράθυρο δεν έχει κλείσει). Μετά το πέρας της εξυπηρέτησης εφαρμόζεται ξανά η συνάρτηση. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να μην υπάρχουν διαθέσιμοι πελάτες για το όχημα. Αν υπάρχουν ακόμα ανικανοποίητοι πελάτες προστίθεται ένα ακόμη όχημα το οποίο ξεκινά από την αποθήκη για μηδενικό χρόνο. Η μέθοδος επαναλαμβάνεται μέχρι να μην υπάρχουν ανικανοποίητοι πελάτες.

Η διαδικασία είναι η εξής:

Διάβασμα δεδομένων

Ξεκινάμε χωρίς οχήματα

Όσο υπάρχουν ανικανοποίητοι πελάτες

 Προσθέτουμε ένα όχημα παραπάνω

 Αναθέτουμε όλους τους πελάτες στο νέο όχημα

 Το όχημα ξεκινάει από την αποθήκη

 Όσο προλαβαίνουμε ακόμα πελάτες

 Κατατάσσουμε τους πελάτες βάσει της συνάρτησης:

 (απόσταση από τον πελάτη) * (χρόνος κλεισίματος χρονικού παραθύρου)

 Εξυπηρετούμε τον πρώτο πελάτη της κατάταξης

 Αν δεν υπάρχει απόθεμα

 πηγαίνουμε πρώτα στην αποθήκη

 Τέλος αν

 Σημειώνουμε τον πελάτη ως ικανοποιημένο

 Τέλος όσο

 Επιστρέφουμε στην αποθήκη

 Αυξάνουμε τη φερομόνη στη διαδρομή

Τέλος όσο

4.2 Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Αποικίας Μυρμηγκιών

Στον αλγόριθμο αυτό μας δίνονται οι πελάτες χωρισμένοι σε ομάδες που καθορίζει η αρχική λύση. Για κάθε όχημα ο αλγόριθμος πραγματοποιεί ένα δεδομένο αριθμό επαναλήψεων στις οποίες βάζει τυχαία στο χώρο ένα πληθυσμό μυρμηγκιών. Τα μυρμήγκια σύμφωνα με κάποιες πιθανότητες θα επισκεφτούν τον επόμενο πελάτη επηρεασμένα από τη φερομόνη που έχει μείνει από την αρχική λύση και την απόσταση που εδώ εκφράζεται ως ευρετική πληροφορία. Αφού το μυρμήγκι-όχημα φτάσει στον επόμενο πελάτη, κάνει την ίδια διαδικασία ξανά. Επισκέπτεται τον επόμενο πελάτη και συνεχίζει με τον ίδιο τρόπο μέχρι να περάσει από όλους τους πελάτες. Αν ενδιάμεσα τελειώσει το απόθεμα γυρίζει στην αποθήκη για ανεφοδιασμό και συνεχίζει. Ακόμα αν σε κάποιο σημείο διαπιστώσουμε ότι σε έναν πελάτη έχει κλείσει το χρονικό παράθυρο σταματάμε τη διαδικασία και ακυρώνουμε το μυρμήγκι αφού η διαδρομή που επιχείρησε είναι αδύνατη. Οι εκθέτες α και β που δίνεται στη φερομόνη και την ευρετική πληροφορία είναι 1 και 3 αντίστοιχα. Ωστόσο επειδή οι βάσεις ήταν μικρότερες της μονάδας, η φερομόνη επηρέαζε περισσότερο τις πιθανότητες παρά η ευρετική πληροφορία. Ακόμα οι επαναλήψεις ήταν 100 και τα μυρμήγκια που χρησιμοποιήθηκαν 200. Η διαδικασία ωστόσο βγάζει κάθε φορά λίγο διαφορετικά αποτελέσματα γιατί περιέχει πιθανότητες και δεν επιλέγονται κάθε φορά οι ίδιες ακριβώς διαδρομές.

Η διαδικασία είναι η εξής:

Για κάθε όχημα

Υπολογίζουμε τις ευρετικές πληροφορίες

Για δεδομένο αριθμό επαναλήψεων

Για κάθε μυρμήγκι

Ξεκινώντας από την αποθήκη ικανοποιούμε τυχαία ένα πελάτη

Όσο υπάρχουν ανικανοποίητοι πελάτες στην ομάδα

Για κάθε πελάτη φτιάχνουμε την πιθανότητα:

$(\text{Φερομόνη}^a) * (\text{ευρετική πληροφορία}^b) / \text{σύνολο των πιθανοτήτων}$

Επιλέγουμε τον επόμενο πελάτη

Αν δεν ικανοποιούνται τα χρονικά παράθυρα

Διαγράφουμε το μυρμήγκι

Τέλος αν

Τέλος όσο

Επιστρέφουμε στην αποθήκη

Τέλος για

Τέλος για

Τέλος για

Εκτυπώνουμε τα αποτελέσματα

5.Αποτελέσματα

Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει τα αποτελέσματα του προγράμματος που αναπτύχθηκε. Για το σκοπό αυτό εισάγουμε στον κώδικα διαφορετικά δεδομένα (56 διαφορετικά προβλήματα) για να ελέγξουμε τη λειτουργία του αλγορίθμου κάτω από διαφορετικές συνθήκες.

Τα δεδομένα που εισάγονται χωρίζονται σε κατηγορίες. Τα C δεδομένα αφορούν πελάτες που είναι χωρισμένοι στο χώρο σε γειτονιές ή κέντρα (centers). Τα R δεδομένα περιέχουν πελάτες που είναι διεσπαρμένοι τυχαία (random) στο χώρο. Τα δεδομένα RC έχουν και τις δυο προηγούμενες περιπτώσεις πελατών.

Στη συνέχεια παρατίθεται πίνακας με όλα τα αποτελέσματα του αλγορίθμου. Στην πρώτη στήλη αναγράφεται το όνομα του προβλήματος ενώ στις δυο επόμενες τα αποτελέσματα σε κόστος (απόσταση) και σε αριθμό οχημάτων που χρησιμοποιήθηκαν. Στις δυο επόμενες στήλες παρατίθενται τα βέλτιστα αποτελέσματα που έχουν βρεθεί για κάθε πρόβλημα σε κόστος διαδρομής και αριθμό οχημάτων αντίστοιχα. Οι τελευταίες δυο στήλες αναφέρουν την απόκλιση που είχαν τα αποτελέσματα του αλγορίθμου από τα βέλτιστα σε ποσοστά επί τοις εκατό.

Πίνακας αποτελεσμάτων:

Πρόβλημα	Αποτέλεσμα	Οχήματα	Βέλτιστο	Οχήματα	Απόσταση%	Οχήματα%
c101	1033,2	12	827,3	10	25%	20%
c102	1171,3	11	827,3	10	42%	10%
c103	1099,7	12	838,1	10	31%	20%
c104	1195	11	824,8	10	45%	10%
c105	1111,7	12	828,9	10	34%	20%
c106	1155,7	11	827,3	10	40%	10%
c107	890,4	10	827,3	10	8%	0%
c108	1269,3	11	827,3	10	53%	10%
c109	1134,1	10	828,9	10	37%	0%
c201	870,9	5	591,6	3	47%	67%
c202	1018,2	5	591,6	3	72%	67%
c203	1.027	6	591,2	3	74%	100%
c204	1.020,20	6	590,6	3	73%	100%
c205	711	4	588,9	3	21%	33%
c206	753,8	4	588,5	3	28%	33%
c207	669,1	4	588,3	3	14%	33%
c208	694,5	3	588,3	3	18%	0%
r101	1972,4	22	1607,7	18	23%	22%
r102	1822,3	21	1434	17	27%	24%
r103	1647,7	18	1207	13	37%	38%
r104	1290,6	13	982	10	31%	30%
r105	1719,4	19	1377,1	14	25%	36%
r106	1597,6	14	1252	12	28%	17%
r107	1507,8	14	1159,9	10	30%	40%
r108	1311,8	13	980,9	9	34%	44%
r109	1619,6	15	1235,7	11	31%	36%
r110	1508,3	15	1080,4	10	40%	50%
r111	1439,2	14	1129,9	10	27%	40%
r112	1263,9	12	953,6	10	33%	20%

Πρόβλημα	Αποτέλεσμα	Οχήματα	Βέλτιστο	Οχήματα	Απόσταση%	Οχήματα%
r201	1712,3	6	1281,6	4	34%	50%
r202	1673,5	5	1530,5	3	9%	67%
r203	1330,8	5	948,7	3	40%	67%
r204	1187,5	4	869,3	2	37%	100%
r205	1496,7	5	1036,2	3	44%	67%
r206	1272,9	4	833	3	53%	33%
r207	1317,5	4	814,8	3	62%	33%
r208	1075,4	4	738,6	2	46%	100%
r209	1381,7	5	855	2	62%	150%
r210	1308,3	5	967,5	3	35%	67%
r211	1100,4	3	949,5	2	16%	50%
rc101	2211,1	18	1669	14	32%	29%
rc102	1884,5	16	1477,5	13	28%	23%
rc103	1757,6	14	1110	11	58%	27%
rc104	1615,3	14	1135,8	10	42%	40%
rc105	2140,1	19	1733,6	13	23%	46%
rc106	1821	15	1384,9	12	31%	25%
rc107	1748,2	14	1230,9	11	42%	27%
rc108	1536,3	14	1170,7	10	31%	40%
rc201	1975,9	8	1249	4	58%	100%
rc202	1701,4	8	1165,6	4	46%	100%
rc203	1564,4	4	1079,6	3	45%	33%
rc204	1226,7	5	806,8	3	52%	67%
rc205	1931,3	6	1333,7	4	45%	50%
rc206	2027,1	4	1212,6	3	67%	33%
rc207	1571,3	6	1086,6	3	45%	100%
rc208	1337,1	3	834,97	3	60%	0%

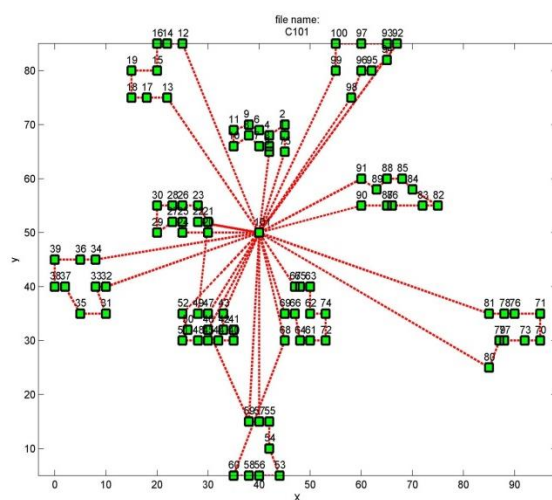
Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αναλυτικότερα. Για κάθε πρόβλημα δίνεται το όνομα του αρχείου που εισήχθη και το αντίστοιχο γράφημα που προέκυψε. Με πράσινο χρώμα (σημεία) απεικονίζονται οι πελάτες στο χώρο και οι αριθμοί τους. Με τον αριθμό 101 συμβολίζεται η αποθήκη ενώ από 1 έως 100 οι πελάτες. Με κόκκινο χρώμα διαγράφεται η πορεία των οχημάτων. Στα γραφήματα είναι εμφανείς οι διαδρομές που ακολούθησαν τα οχήματα από την αποθήκη προς την εξυπηρέτηση των πελατών και επιστρέφοντας πίσω. Σε όποια σημεία το απόθεμα δεν επαρκεί, το όχημα επιστρέφει στην αποθήκη για ανεφοδιασμό. Στη συνέχεια επιστρέφει στην εξυπηρέτηση των πελατών.

Στον πίνακα που ακολουθεί κάθε γράφημα παρατίθενται οι αριθμοί των πελατών που εξυπηρετήθηκαν κατά χρονική σειρά. Στο τέλος του πίνακα φαίνεται η συνολική απόσταση της λύσης (κόστος), τα οχήματα που χρησιμοποιήθηκαν, οι βέλτιστες τιμές του κόστους και των οχημάτων, αλλά και ποσοστιαία σύγκριση με τις βέλτιστες τιμές.

Πρόβλημα c101

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

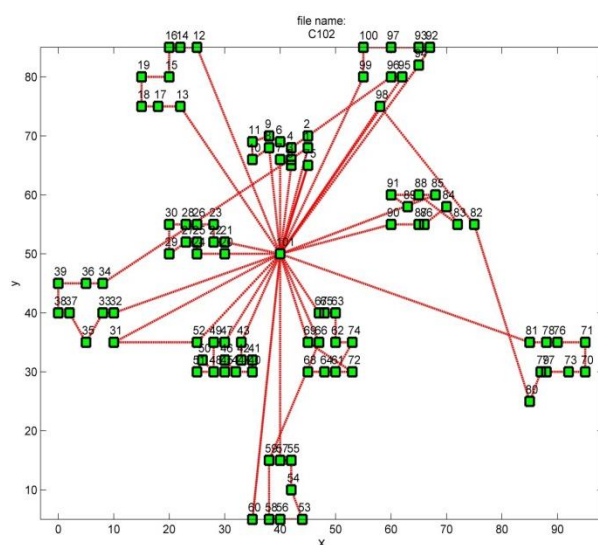


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101	20	24	25	27	29	30	28	26	23	21	49	47	101
Όχημα 2:	101	5	3	7	8	10	11	9	6	4	2	1	75	101
Όχημα 3:	101	67	65	63	62	74	72	61	64	66	69	101		
Όχημα 4:	101	43	42	41	40	44	45	48	51	50	52	101		
Όχημα 5:	101	90	87	86	83	82	84	85	88	89	91	101		
Όχημα 6:	101	98	96	95	94	93	97	100	99	101				
Όχημα 7:	101	57	55	54	53	56	58	60	68	101	22	101		
Όχημα 8:	101	13	17	18	19	15	16	14	12	101				
Όχημα 9:	101	32	33	31	35	37	38	39	36	34	101			
Όχημα 10:	101	81	78	76	71	70	73	77	79	80	101			
Όχημα 11:	101	46	59	101										
Όχημα 12:	101	92	101											
Συνολικό κόστος λύσης: 1.0331,7		Βέλτιστη λύση: 827,3										Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 25%		
Οχήματα:12		Οχήματα: 10										Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 20%		

Πρόβλημα c102

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

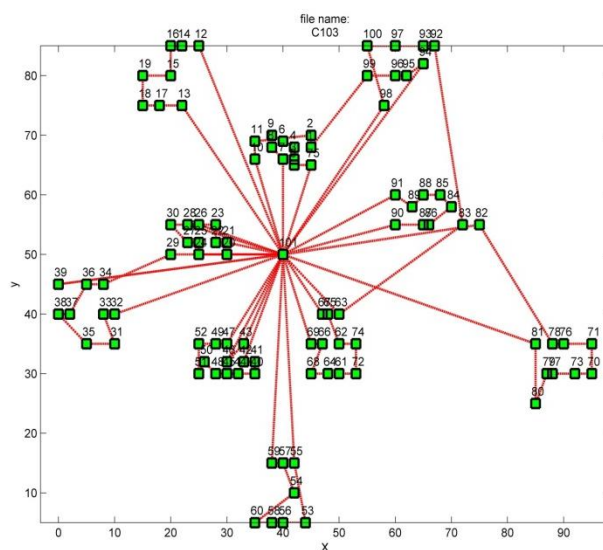


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101	20	24	25	27	29	30	28	26	23	22	21	101	
Όχημα 2:	101	67	65	63	62	74	61	64	68	72	69	101		
Όχημα 3:	101	43	42	41	40	44	46	45	51	50	48	49	47	101
Όχημα 4:	101	90	87	86	84	83	88	89	91	85	101			
Όχημα 5:	101	57	55	54	53	56	58	59	66	101	31	52	101	
Όχημα 6:	101	13	17	18	19	15	16	14	12	101	7	3	5	101
Όχημα 7:	101	32	33	35	37	38	39	36	34	1	101	75	101	
Όχημα 8:	101	81	78	76	71	70	73	77	79	80	82	98	101	
Όχημα 9:	101	8	10	11	9	6	4	2	96	95	101			
Όχημα 10:	101	94	92	93	97	100	99	101						
Όχημα 11:	101	60	101											
Συνολικό κόστος λύσης: 1.171,3				Βέλτιστη λύση: 827,3							Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 42%			
Οχήματα: 11				Οχήματα: 10							Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 10%			

Πρόβλημα c103

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

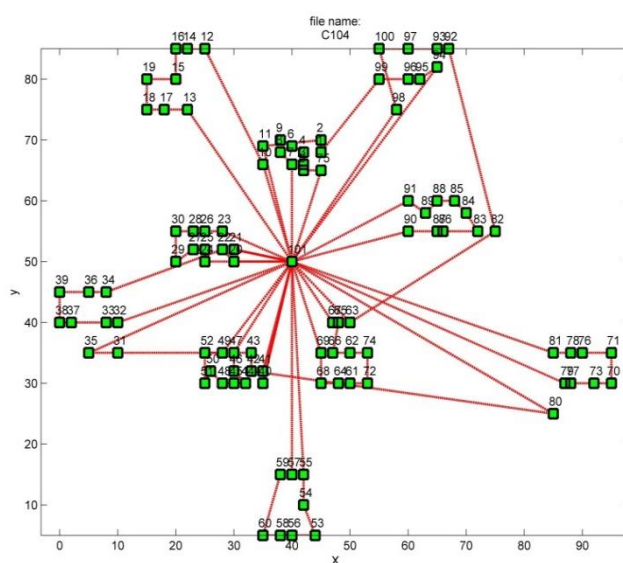


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101	67	65	62	74	72	61	64	68	66	69	101	
Όχημα 2:	101	13	17	18	19	15	16	14	12	101	28	26	101
Όχημα 3:	101	42	41	40	44	45	48	50	51	52	49	47	101
Όχημα 4:	101	90	87	86	84	85	88	89	91	101			
Όχημα 5:	101	20	24	25	27	30	23	22	21	101			
Όχημα 6:	101	32	33	31	35	38	37	36	34	29	101		
Όχημα 7:	101	55	53	56	58	60	54	57	59	101	46	43	101
Όχημα 8:	101	7	8	9	6	4	3	5	75	101			
Όχημα 9:	101	82	78	76	71	70	73	77	79	80	81	101	
Όχημα 10:	101	10	11	2	1	99	96	95	94	101			
Όχημα 11:	101	63	83	92	93	97	100	98	101				
Όχημα 12:	101	39	101										
Συνολικό κόστος λύσης: 1.099,7				Βέλτιστη λύση: 838,1						Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 31%			
Οχήματα: 12				Οχήματα: 10						Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 20%			

Πρόβλημα c104

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

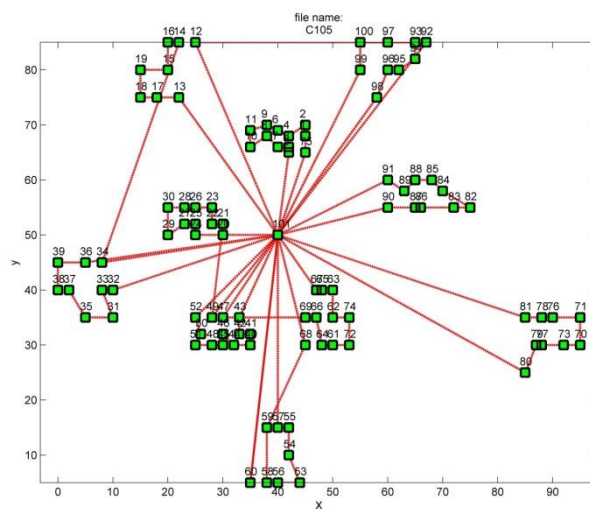


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101	67	65	66	62	74	72	61	64	68	69	101	
Όχημα 2:	101	13	17	18	19	15	16	14	12	10	101		
Όχημα 3:	101	90	87	86	83	84	85	88	89	91	101		
Όχημα 4:	101	24	25	27	29	30	28	26	23	101			
Όχημα 5:	101	55	54	53	58	56	60	59	57	101	40	101	
Όχημα 6:	101	7	8	9	6	4	3	5	75	101			
Όχημα 7:	101	47	46	44	45	48	50	51	52	49	101		
Όχημα 8:	101	81	78	76	71	70	73	77	79	101			
Όχημα 9:	101	11	2	1	99	96	95	94	101				
Όχημα 10:	101	32	33	37	38	39	36	34	22	20	101	21	101
Όχημα 11:	101	63	82	92	93	97	100	98	101	41	101		
Όχημα 12:	101	35	31	43	42	80	101						
Συνολικό κόστος λύσης: 1.195,0					Βέλτιστη λύση: 824,8					Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 45%			
Οχήματα: 12					Οχήματα: 10					Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 10%			

Πρόβλημα c105

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

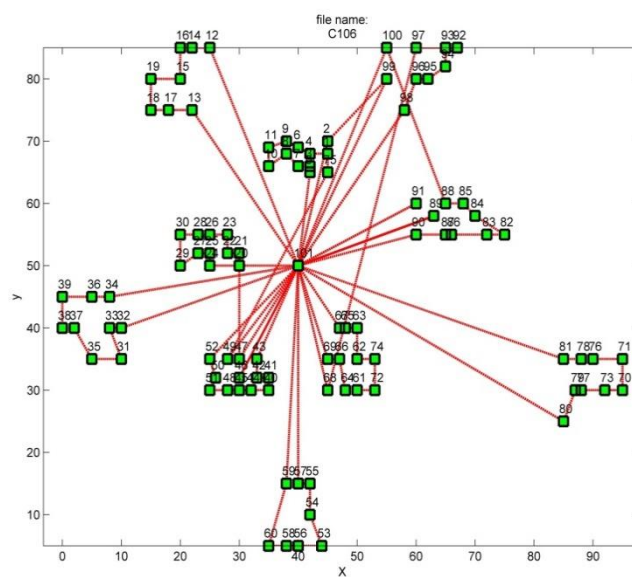


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101	5	3	7	8	10	11	9	6	4	2	1	75	101
Όχημα 2:	101	20	24	25	27	29	30	28	26	23	22	21	49	101
Όχημα 3:	101	67	65	63	62	74	72	61	64	66	69	47	101	
Όχημα 4:	101	43	42	41	40	44	46	45	48	51	50	52	101	
Όχημα 5:	101	90	87	86	83	82	84	85	88	89	91	101		
Όχημα 6:	101	98	96	95	94	93	97	100	99	101				
Όχημα 7:	101	57	55	54	53	56	58	59	68	101				
Όχημα 8:	101	13	17	18	19	15	16	14	34	101				
Όχημα 9:	101	32	33	31	35	37	38	39	36	101				
Όχημα 10:	101	81	78	76	71	70	73	77	79	80	101			
Όχημα 11:	101	92	12	101										
Όχημα 12:	101	60	101											
Συνολικό κόστος λύσης: 1.111,7					Βέλτιστη λύση: 828,9					Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 34%				
Οχήματα: 12					Οχήματα: 10					Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 20%				

Πρόβλημα c106

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

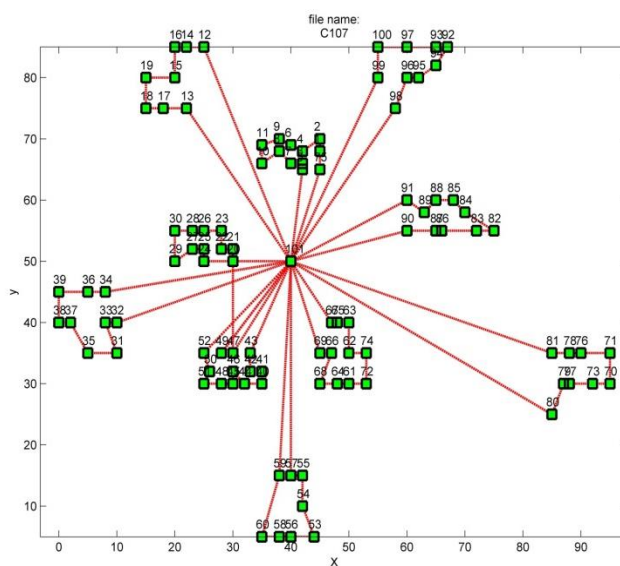


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101	20	24	25	27	29	30	28	26	23	22	21	47	101
Όχημα 2:	101	5	3	7	8	10	11	9	6	4	1	75	49	101
Όχημα 3:	101	13	17	18	19	15	16	14	12	101	2	99	101	
Όχημα 4:	101	67	65	63	62	74	72	61	64	66	69	101		
Όχημα 5:	101	43	42	41	40	44	45	48	51	50	52	101		
Όχημα 6:	101	57	55	54	53	56	58	60	59	101	89	101		
Όχημα 7:	101	32	33	31	35	37	38	39	36	34	101	91	101	
Όχημα 8:	101	90	87	86	83	82	84	85	88	100	101			
Όχημα 9:	101	98	96	95	94	93	92	97	68	101				
Όχημα 10:	101	81	78	76	71	70	73	77	79	80	101			
Όχημα 11:	101	46	101											
Συνολικό κόστος λύσης: 1.155,7				Βέλτιστη λύση: 827,3						Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 40%				
Οχήματα: 11				Οχήματα: 10						Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 10%				

Πρόβλημα c107

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

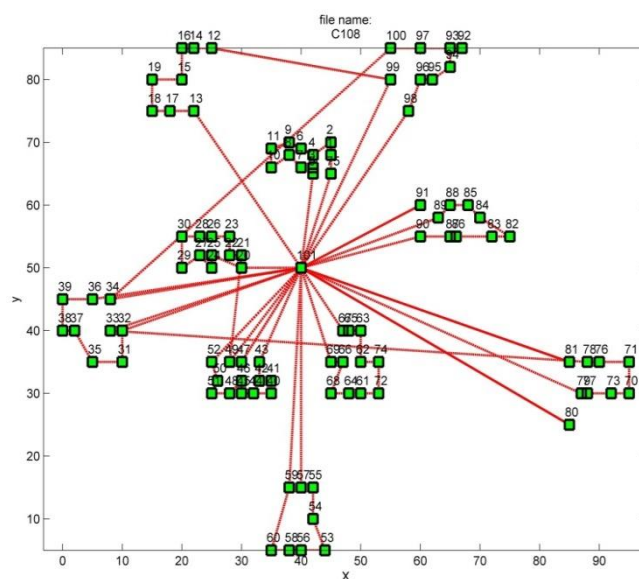


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101	20	24	25	27	29	30	28	26	23	22	21	47	101	
Όχημα 2:	101	67	65	63	62	74	72	61	64	68	66	69	101	49	101
Όχημα 3:	101	5	3	7	8	10	11	9	6	4	2	1	75	101	
Όχημα 4:	101	43	42	41	40	44	46	45	48	51	50	52	101		
Όχημα 5:	101	90	87	86	83	82	84	85	88	89	91	101			
Όχημα 6:	101	13	17	18	19	15	16	14	12	101					
Όχημα 7:	101	98	96	95	94	92	93	97	100	99	101				
Όχημα 8:	101	32	33	31	35	37	38	39	36	34	101				
Όχημα 9:	101	57	55	54	53	56	58	60	59	101					
Όχημα 10:	101	81	78	76	71	70	73	77	79	80	101				
Συνολικό κόστος λύσης: 890,4				Βέλτιστη λύση: 827,3						Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 8%					
Οχήματα: 10				Οχήματα: 10						Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 0%					

Πρόβλημα c108

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

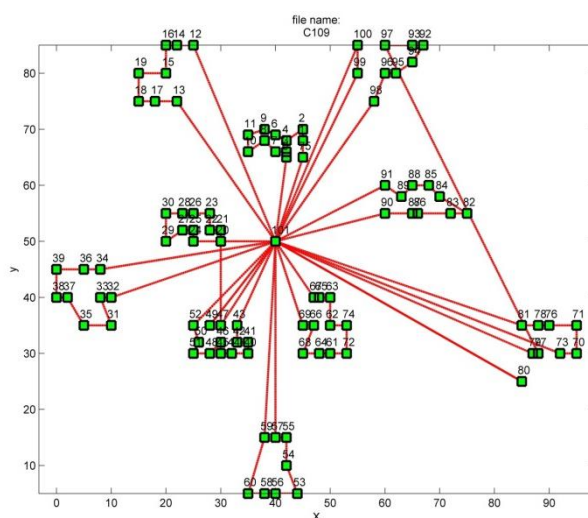


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101	67	65	63	62	74	72	61	64	68	66	69	101	47	101
Όχημα 2:	101	20	25	24	27	29	30	28	26	23	22	21	49	101	
Όχημα 3:	101	5	3	7	8	10	11	9	6	4	2	1	75	101	
Όχημα 4:	101	43	42	41	40	44	45	46	48	51	50	52	101		
Όχημα 5:	101	13	17	18	19	15	16	14	12	99	101	91	101		
Όχημα 6:	101	90	87	86	83	82	84	85	88	89	101				
Όχημα 7:	101	98	96	95	94	93	92	97	100	34	101				
Όχημα 8:	101	57	55	54	53	56	58	60	59	101	80	101			
Όχημα 9:	101	32	31	35	37	38	39	36	101						
Όχημα 10:	101	33	78	76	71	70	73	77	79	101					
Όχημα 11:	101	81	101												
Συνολικό κόστος λύσης: 1.269,3				Βέλτιστη λύση: 827,3								Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 53%			
Οχήματα: 11				Οχήματα: 10								Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 10%			

Πρόβλημα c109

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

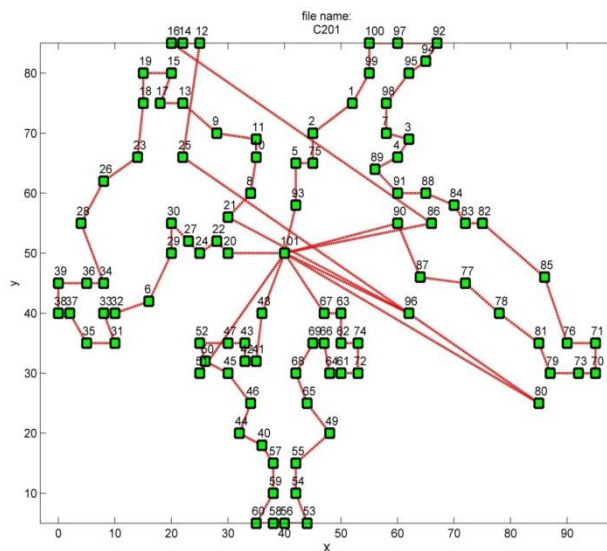


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101	20	24	25	27	29	30	28	26	23	22	21	47	101
Όχημα 2:	101	67	65	63	62	74	72	61	64	68	66	69	101	49 101
Όχημα 3:	101	5	3	7	8	10	11	9	6	4	2	1	75	101
Όχημα 4:	101	43	42	41	40	44	45	46	48	51	50	52	101	
Όχημα 5:	101	90	87	86	83	82	84	85	88	89	91	101		
Όχημα 6:	101	13	17	18	19	15	16	14	12	101	100	99	101	
Όχημα 7:	101	98	96	95	94	92	93	97	77	79	101			
Όχημα 8:	101	32	33	31	35	37	38	39	36	34	101	80	101	
Όχημα 9:	101	57	55	54	53	56	58	60	59	101				
Όχημα 10:	101	81	78	76	71	70	73	101						
Συνολικό κόστος λύσης: 1.134,1				Βέλτιστη λύση: 828,9				Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 37%						
Οχήματα: 10				Οχήματα: 10				Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 0%						

Πρόβλημα c201

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

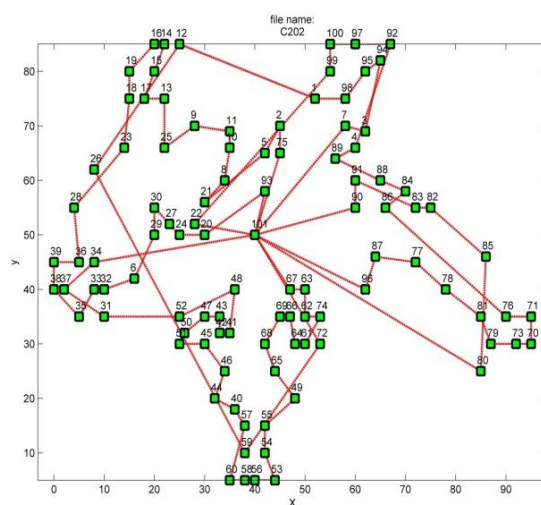


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 93 5 75 2 1 99 100 97 92 94 95 98 7 3 4 89 91 88 84 83 82 85 76 71 70 73 79 81 78 77 87 90 101		
Όχημα 2:	101 20 22 24 27 30 29 6 32 33 31 35 37 38 39 36 34 28 26 23 18 19 15 17 13 9 11 10 8 21 96 101		
Όχημα 3:	101 67 63 62 74 72 61 64 66 69 68 65 49 55 54 53 56 58 60 59 57 40 44 46 45 50 52 47 43 42 41 48 101		
Όχημα 4:	101 86 16 14 12 25 80 101		
Όχημα 5:	101 51 101		
Συνολικό κόστος λύσης: 870,9		Βέλτιστη λύση: 591,6	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 47%
Οχήματα: 5		Οχήματα: 3	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 67%

Πρόβλημα c202

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

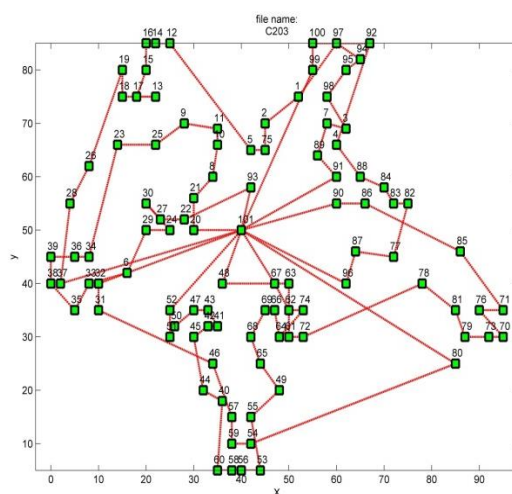


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 93 20 24 27 30 29 6 32 33 35 38 39 36 28 23 18 19 16 14 15 17 13 25 9 11 10 8 21 5 2 75 101		
Όχημα 2:	101 67 63 62 74 61 64 66 69 68 65 49 55 54 53 56 58 60 57 40 44 46 45 51 50 47 43 42 41 48 52 31 37 34 101		
Όχημα 3:	101 22 99 100 97 92 4 89 88 84 86 76 71 70 73 79 81 78 77 87 96 101		
Όχημα 4:	101 80 85 82 83 91 90 101		
Όχημα 5:	101 72 59 26 12 1 98 95 94 3 7 101		
Συνολικό κόστος λύσης: 1.018,2		Βέλτιστη λύση: 591,6	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 72%
Οχήματα: 5		Οχήματα: 3	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 67%

Πρόβλημα c203

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

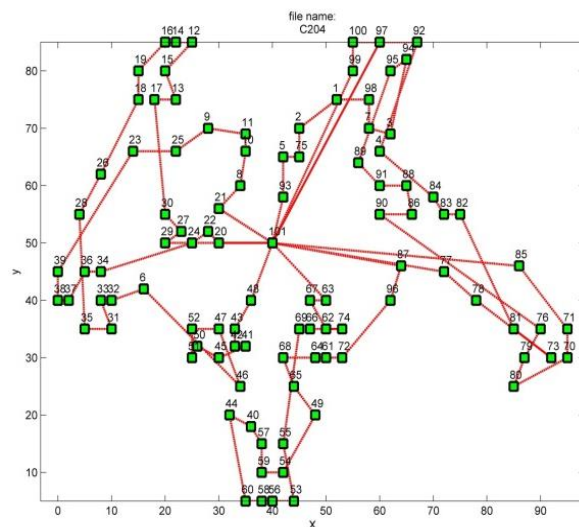


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 93 22 27 30 24 29 6 33 35 38 39 36 34 23 25 9 11 10 8 21 20 101	
Όχημα 2:	101 67 62 74 64 66 69 68 65 49 55 53 56 58 60 40 44 45 42 41 43 47 50 51 52 101	
Όχημα 3:	101 99 100 92 4 88 84 83 82 77 87 96 101	
Όχημα 4:	101 90 86 85 71 76 70 73 79 81 78 72 61 63 48 101	
Όχημα 5:	101 91 89 7 3 98 95 94 97 1 2 75 5 12 14 16 15 17 13 18 19 26 28 37 101	
Όχημα 6:	101 32 31 46 57 59 54 80 101	
Συνολικό κόστος λύσης: 1.026,8	Βέλτιστη λύση: 591,2	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 74%
Οχήματα: 6	Οχήματα: 3	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 100%

Πρόβλημα c204

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

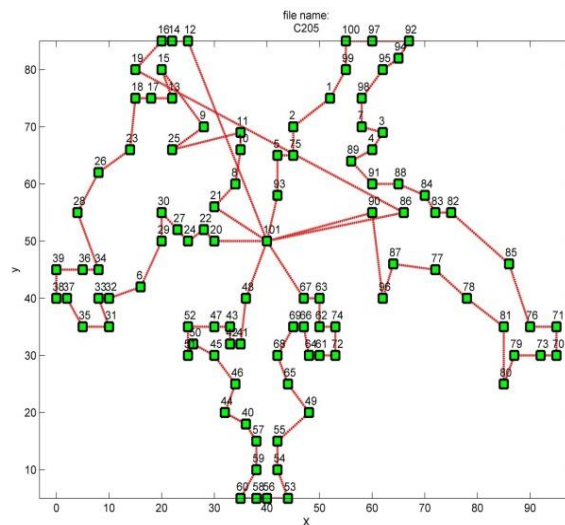


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 63 67 62 74 66 69 55 53 58 56 60 44 40 57 59 54 49 65 68 64 61 72 96 87 101	
Όχημα 2:	101 99 100 92 4 84 83 82 81 73 78 77 101	
Όχημα 3:	101 20 22 24 34 36 37 38 39 23 25 9 11 10 8 21 101	
Όχημα 4:	101 93 5 75 2 1 98 7 3 94 95 89 91 88 86 90 76 79 80 70 71 85 101	
Όχημα 5:	101 48 43 42 41 45 50 51 52 47 46 6 32 33 31 35 28 26 18 19 16 14 12 15 13 17 30 27 29 101	
Όχημα 6:	101 97 101	
Συνολικό κόστος λύσης: 1020,2	Βέλτιστη λύση: 590,6	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 73%
Οχήματα: 6	Οχήματα: 3	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 100%

Πρόβλημα c205

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

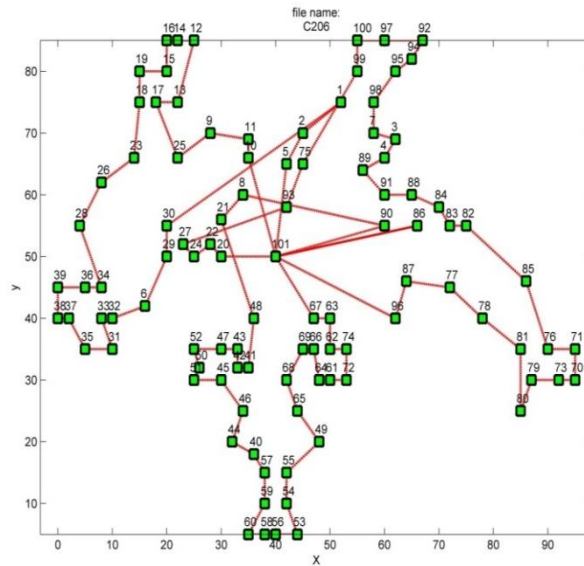


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 93 5 75 2 1 99 100 97 92 94 95 98 7 3 4 89 91 88 84 83 82 85 76 71 70 73 79 80 81 78 77 87 96 90 101	
Όχημα 2:	101 20 22 24 27 30 29 6 32 33 31 35 37 38 39 36 34 28 26 23 18 17 13 15 9 25 11 10 8 21 101	
Όχημα 3:	101 67 63 62 74 72 61 64 66 69 68 65 49 55 54 53 56 58 60 59 57 40 44 46 45 50 51 52 47 43 42 41 48 101	
Όχημα 4:	101 86 19 16 14 12 101	
Συνολικό κόστος λύσης: 711,0	Βέλτιστη λύση: 588,9	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 21%
Οχήματα: 4	Οχήματα: 3	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 33%

Πρόβλημα c206

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

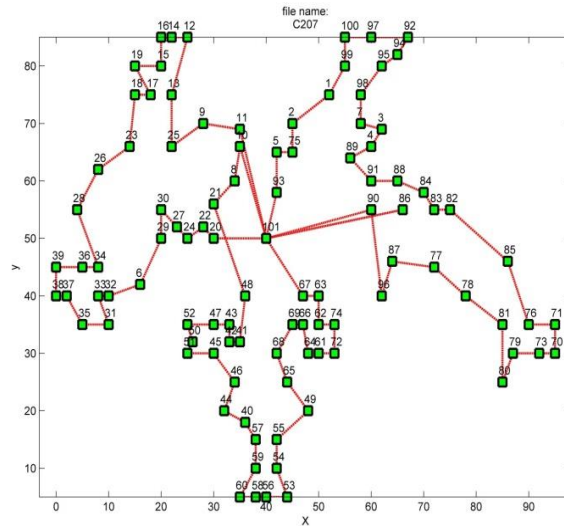


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 67 63 62 74 72 61 64 66 69 68 65 49 55 54 53 56 58 60 59 57 40 44 46 45 51 50 52 47 43 42 41 48 21 8 90 101		
Όχημα 2:	101 20 22 24 27 93 75 99 100 97 92 94 95 98 7 3 4 89 91 88 84 83 82 85 76 71 70 73 79 80 81 78 77 87 96 101		
Όχημα 3:	101 5 2 1 30 29 6 32 33 31 35 37 38 39 36 34 28 26 23 18 19 15 16 14 12 13 17 25 9 11 10 101		
Όχημα 4:	101 86 101		
Συνολικό κόστος λύσης: 753,8		Βέλτιστη λύση: 588,5	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 28%
Οχήματα: 4		Οχήματα: 3	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 33%

Πρόβλημα c207

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

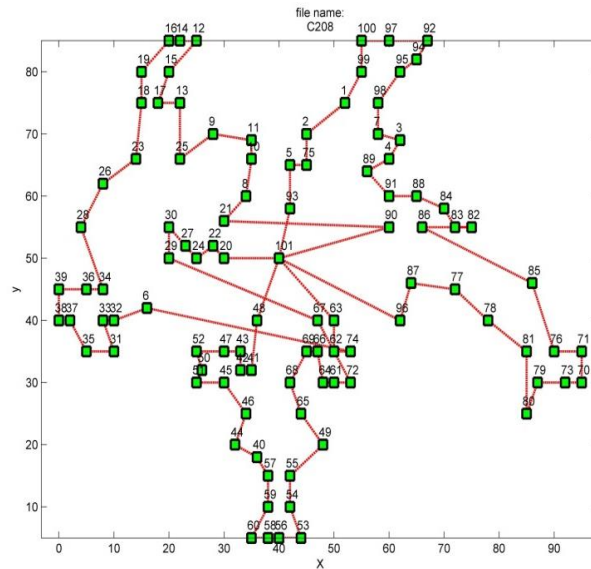


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 93 5 75 2 1 99 100 97 92 94 95 98 7 3 4 89 91 88 84 83 82 85 76 71 70 73 79 80 81 78 77 87 96 90 101		
Όχημα 2:	101 67 63 62 74 72 61 64 66 69 68 65 49 55 54 53 56 58 60 59 57 40 44 46 45 51 50 52 47 43 42 41 48 21 8 10 101		
Όχημα 3:	101 20 22 24 27 30 29 6 32 33 31 35 37 38 39 36 34 28 26 23 18 17 19 15 16 14 12 13 25 9 11 101		
Όχημα 4:	101 86 101		
Συνολικό κόστος λύσης: 669,1		Βέλτιστη λύση: 588,3	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 14%
Οχήματα: 4		Οχήματα: 3	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 33%

Πρόβλημα c208

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

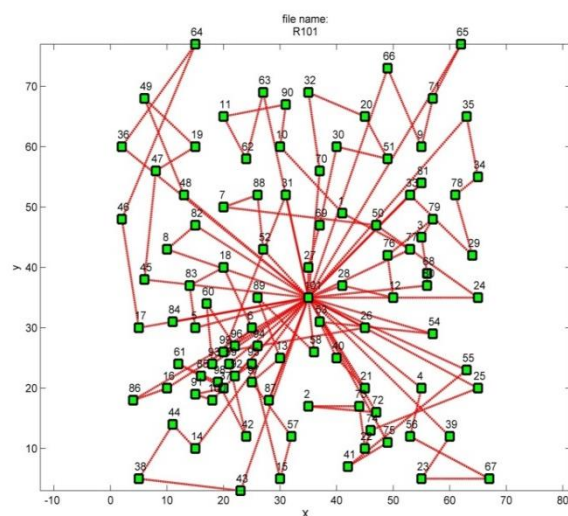


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101	93	5	75	2	1	99	100	97	92	94	95	98	7	3	4	89	91
	88	84	83	82	86	85	76	71	70	73	79	80	81	78	77	87	96	
	101																	
Όχημα 2:	101	20	22	24	27	30	29	67	72	61	64	66	69	68	65	49	55	
	54	53	56	58	60	59	57	40	44	46	45	51	50	52	47	43	42	
	41	48	101															
Όχημα 3:	101	63	62	74	6	32	33	31	35	37	38	39	36	34	28	26	23	
	18	19	16	14	12	15	17	13	25	9	11	10	8	21	90	101		
Συνολικό κόστος λύσης: 694,5				Βέλτιστη λύση: 588,3								Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 18%						
Οχήματα: 3				Οχήματα: 3								Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 0%						

Πρόβλημα r101

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:



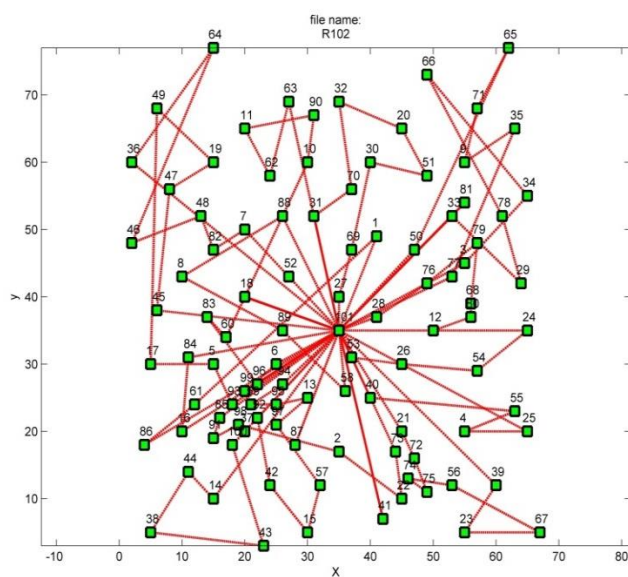
Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

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

Όχημα 18:	101 75 41 55 101		
Όχημα 19:	101 16 86 101		
Όχημα 20:	101 87 101		
Όχημα 21:	101 81 101		
Όχημα 22:	101 84 101		
Συνολικό κόστος λύσης: 1972,4	Βέλτιστη λύση: 1607,7	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 23%	
Οχήματα: 22	Οχήματα: 18	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 22%	

Πρόβλημα r102

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:



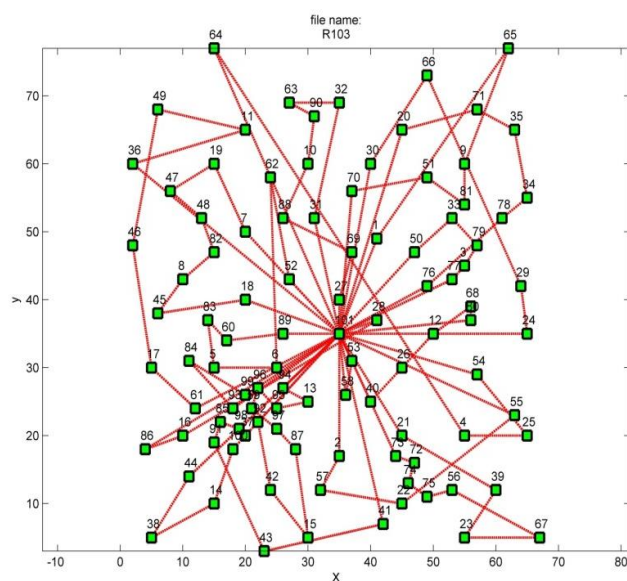
Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

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

Όχημα 17:	101 99 6 101		
Όχημα 18:	101 18 101		
Όχημα 19:	101 87 101		
Όχημα 20:	101 81 101		
Όχημα 21:	101 41 101		
Συνολικό κόστος λύσης: 1822,2	Βέλτιστη λύση: 1434,0	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 27%	
Οχήματα: 21	Οχήματα: 17	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 24%	

Πρόβλημα r103

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:



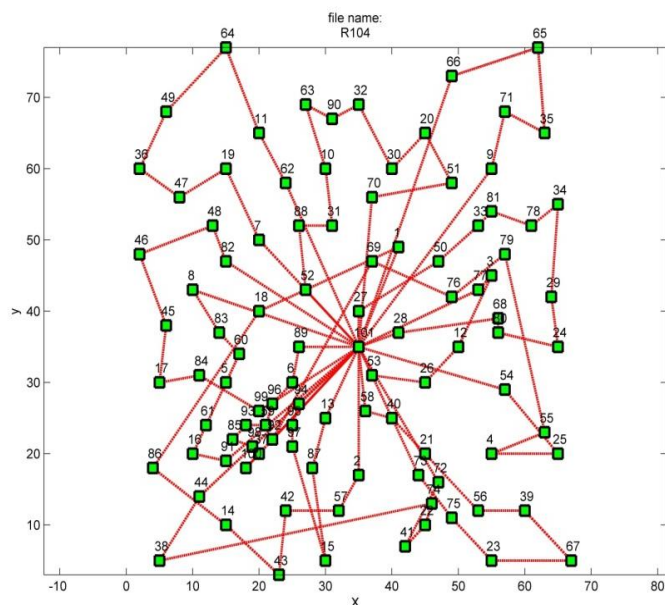
Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 27 69 88 10 90 63 32 31 101
Όχημα 2:	101 92 42 15 87 97 59 96 95 13 94 101
Όχημα 3:	101 18 45 8 82 48 47 19 7 101
Όχημα 4:	101 50 33 79 3 77 101
Όχημα 5:	101 53 58 101
Όχημα 6:	101 21 39 23 67 56 75 74 72 73 101
Όχημα 7:	101 36 11 49 46 17 61 101
Όχημα 8:	101 52 62 6 5 83 60 89 101
Όχημα 9:	101 76 78 34 35 71 20 101
Όχημα 10:	101 40 26 12 68 80 101
Όχημα 11:	101 1 65 9 81 51 70 101
Όχημα 12:	101 99 84 93 101
Όχημα 13:	101 30 66 29 24 101
Όχημα 14:	101 44 38 14 100 37 101
Όχημα 15:	101 64 4 25 54 101

Όχημα 16:	101 2 57 22 55 101		
Όχημα 17:	101 98 85 91 43 41 101		
Όχημα 18:	101 28 16 86 101		
Συνολικό κόστος λύσης: 1647,7	Βέλτιστη λύση: 1207,0	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 37%	
Οχήματα: 18	Οχήματα: 13	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 38%	

Πρόβλημα r104

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

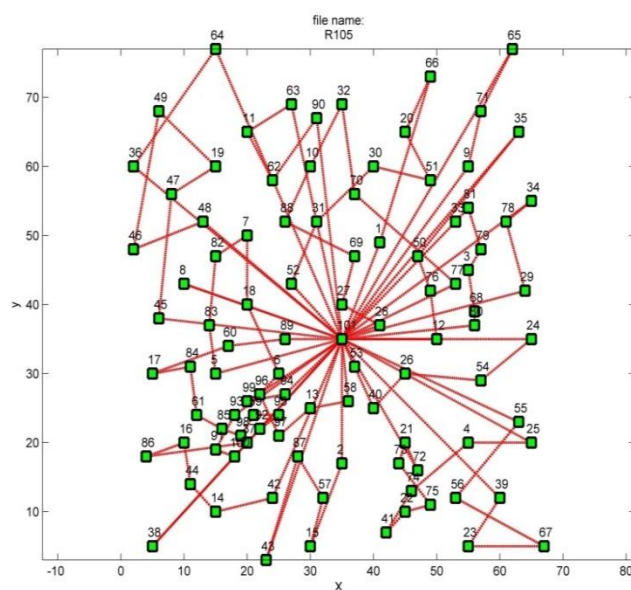


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101	92	69	76	79	55	4	25	54	101			
Όχημα 2:	101	62	11	64	49	36	47	19	7	101			
Όχημα 3:	101	94	95	97	15	87	13	101					
Όχημα 4:	101	44	38	74	22	41	72	101					
Όχημα 5:	101	73	75	23	67	39	56	21	40	58	101		
Όχημα 6:	101	53	26	12	3	77	101						
Όχημα 7:	101	99	84	17	45	46	48	82	101				
Όχημα 8:	101	8	83	60	5	61	16	91	101				
Όχημα 9:	101	9	71	35	65	66	101						
Όχημα 10:	101	27	50	33	81	78	34	29	24	80	68	28	101
Όχημα 11:	101	89	6	96	59	93	85	98	37	100	101		
Όχημα 12:	101	70	51	20	30	32	90	63	10	31	88	52	101
Όχημα 13:	101	1	18	86	14	43	42	57	2	101			
Συνολικό κόστος λύσης: 1290,6				Βέλτιστη λύση: 982,0				Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 31%					
Οχήματα: 13				Οχήματα: 10				Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 30%					

Πρόβλημα r105

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:



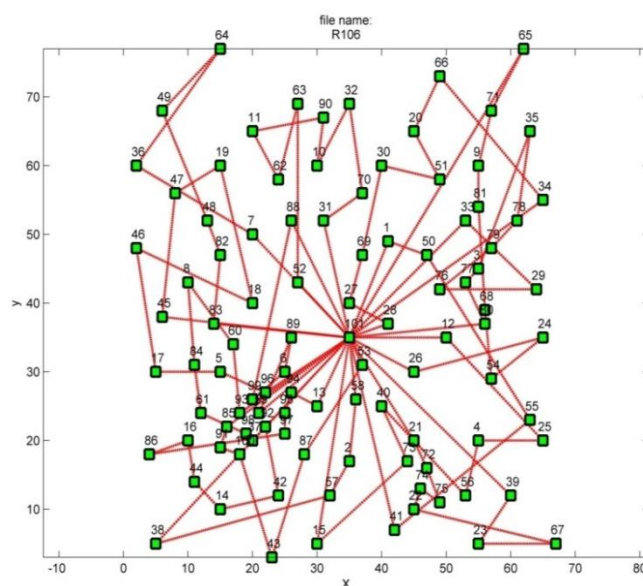
Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

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

Όχημα 15:	101 29 78 34 101		
Όχημα 16:	101 99 94 101		
Όχημα 17:	101 65 71 9 101		
Όχημα 18:	101 8 101		
Όχημα 19:	101 38 101		
Συνολικό κόστος λύσης: 1719,4	Βέλτιστη λύση: 1377,1	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 25%	
Οχήματα: 19	Οχήματα: 14	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 36%	

Πρόβλημα r106

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

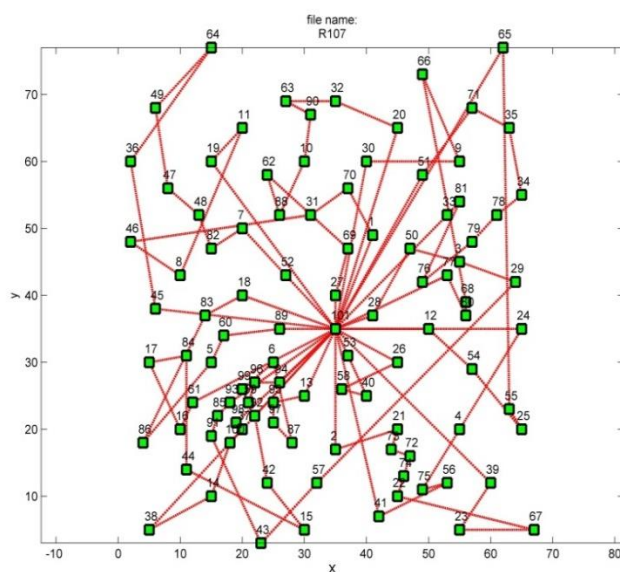


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101	28	27	69	30	51	20	66	34	101		
Όχημα 2:	101	92	42	14	44	16	86	97	95	94	13	101
Όχημα 3:	101	33	29	76	79	78	35	3	77	80	101	
Όχημα 4:	101	45	47	19	18	46	17	5	96	101		
Όχημα 5:	101	39	23	67	22	74	75	72	21	101		
Όχημα 6:	101	52	63	62	11	90	10	32	70	31	101	
Όχημα 7:	101	7	36	64	49	48	82	83	101			
Όχημα 8:	101	15	73	40	56	4	25	12	101			
Όχημα 9:	101	53	87	43	100	91	85	101				
Όχημα 10:	101	65	71	9	81	68	54	24	26	101		
Όχημα 11:	101	88	99	6	89	59	101					
Όχημα 12:	101	37	98	61	84	8	60	93	101			
Όχημα 13:	101	38	57	2	58	101						
Όχημα 14:	101	41	55	50	1	101						
Συνολικό κόστος λύσης: 1597,7				Βέλτιστη λύση: 1252,0				Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 28%				
Οχήματα: 14				Οχήματα: 12				Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 17%				

Πρόβλημα r107

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

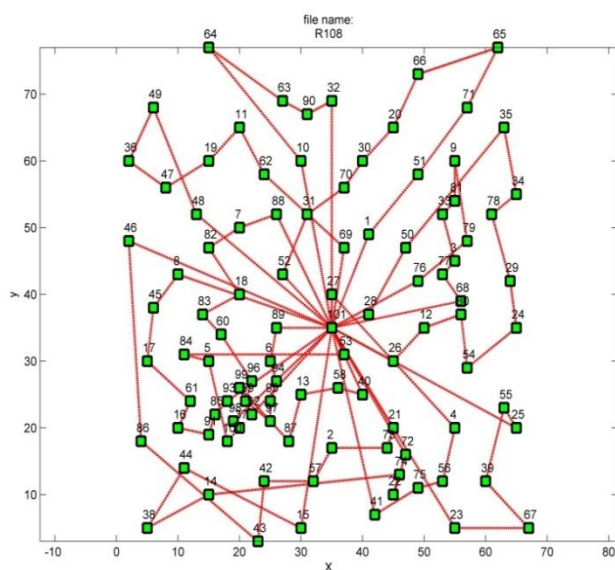


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101	27	69	62	88	10	90	63	32	20	101
Όχημα 2:	101	92	42	15	44	84	17	16	61	101	
Όχημα 3:	101	33	81	76	79	78	34	35	71	51	101
Όχημα 4:	101	45	36	64	49	47	48	82	7	52	101
Όχημα 5:	101	39	23	67	22	74	72	73	21	2	101
Όχημα 6:	101	53	40	58	26	101					
Όχημα 7:	101	30	9	66	68	80	77	101			
Όχημα 8:	101	19	11	8	46	31	70	1	101		
Όχημα 9:	101	65	55	25	54	12	101				
Όχημα 10:	101	94	96	59	99	6	87	97	95	13	101
Όχημα 11:	101	38	14	100	37	98	101				
Όχημα 12:	101	41	56	75	4	24	101				
Όχημα 13:	101	28	50	3	29	57	43	91	85	93	101
Όχημα 14:	101	89	60	5	86	83	18	101			
Συνολικό κόστος λύσης: 1507,8				Βέλτιστη λύση: 1159,9				Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 30%			
Οχήματα: 14				Οχήματα: 10				Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 40%			

Πρόβλημα r108

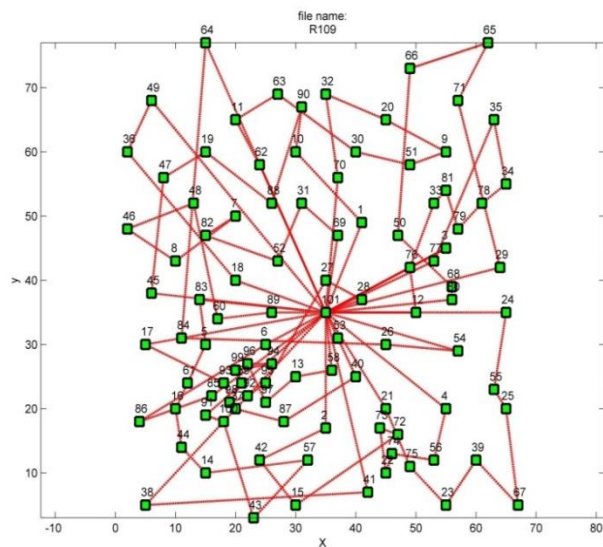
Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:



Όχημα 1:	101	92	99	87	13	58	40	101									
Όχημα 2:	101	69	62	11	19	47	36	49	48	101							
Όχημα 3:	101	53	84	5	100	37	98	101									
Όχημα 4:	101	76	79	9	81	33	3	77	68	101							
Όχημα 5:	101	15	44	38	14	74	22	72	101								
Όχημα 6:	101	23	67	39	55	25	101										
Όχημα 7:	101	8	45	17	61	16	91	85	93	101							
Όχημα 8:	101	27	4	56	75	41	101										
Όχημα 9:	101	26	12	80	54	24	29	78	34	35	50	28	101				
Όχημα 10:	101	89	6	94	95	97	59	96	60	83	18	82	7	88	101		
Όχημα 11:	101	1	51	71	65	66	20	30	70	31	52	101					
Όχημα 12:	101	21	73	2	57	42	43	86	46	101							
Όχημα 13:	101	32	90	63	64	10	101										
Συνολικό κόστος λύσης: 1313,8					Βέλτιστη λύση: 980,9					Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 34%							
Οχήματα: 13					Οχήματα: 9					Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 44%							

Πρόβλημα r109

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:



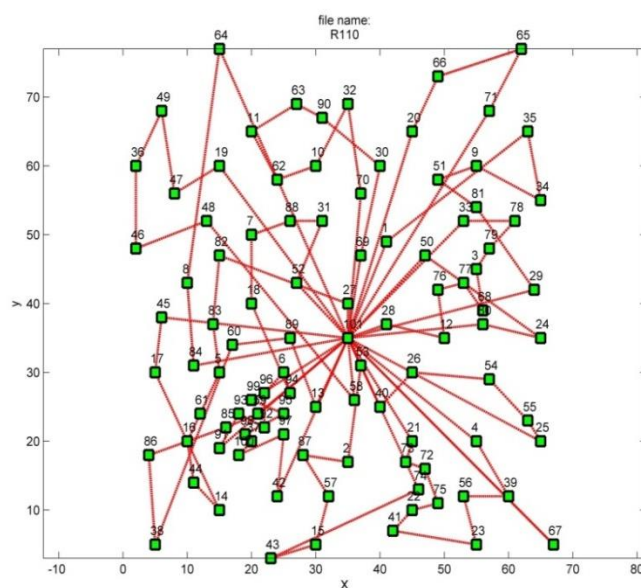
Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

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

Όχημα 13:	101 64 84 26 54 101					
Όχημα 14:	101 38 41 101					
Όχημα 15:	101 3 101					
Συνολικό κόστος λύσης: 1619,6		Βέλτιστη λύση: 1235,7			Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 31%	
Οχήματα: 15		Οχήματα: 11			Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 36%	

Πρόβλημα r110

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:



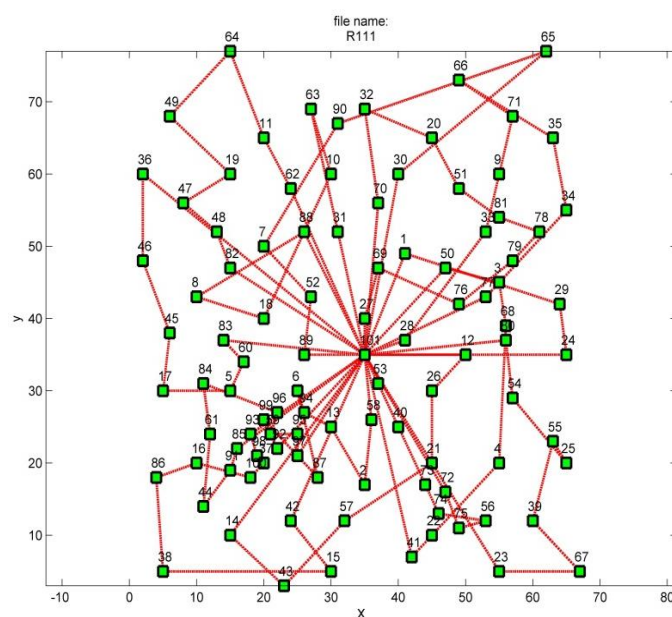
Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

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

Όχημα 14:	101 84 8 64 101		
Όχημα 15:	101 67 101		
Συνολικό κόστος λύσης: 1508,3	Βέλτιστη λύση: 1080,4	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 40%	
Οχήματα: 15	Οχήματα: 10	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 50%	

Πρόβλημα r111

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

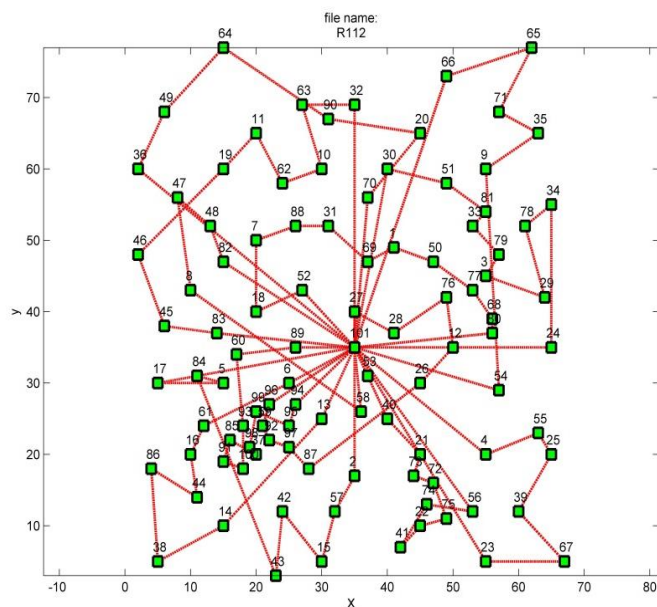


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101	27	69	76	79	78	81	51	20	32	70	101
Όχημα 2:	101	92	99	87	6	94	13	2	58	101		
Όχημα 3:	101	53	40	73	74	56	75	72	101			
Όχημα 4:	101	62	11	64	49	19	47	48	82	101		
Όχημα 5:	101	42	15	38	86	16	100	37	98	93	101	
Όχημα 6:	101	85	91	44	61	84	96	59	95	97	101	
Όχημα 7:	101	23	67	39	55	25	54	80	101			
Όχημα 8:	101	28	33	9	71	66	35	34	77	101		
Όχημα 9:	101	88	8	18	10	63	31	101				
Όχημα 10:	101	30	65	90	7	52	89	101				
Όχημα 11:	101	36	46	45	17	5	60	83	101			
Όχημα 12:	101	41	22	4	68	3	50	101				
Όχημα 13:	101	12	26	21	57	43	14	101				
Όχημα 14:	101	1	29	24	101							
Συνολικό κόστος λύσης: 1436,3				Βέλτιστη λύση: 1129,9				Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 27%				
Οχήματα: 14				Οχήματα: 10				Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 40%				

Πρόβλημα r112

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

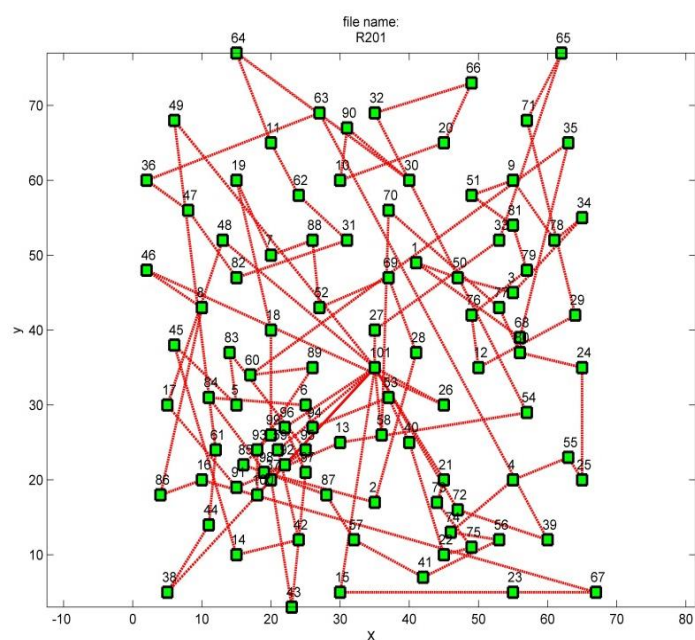


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101	53	40	21	73	72	75	22	41	74	56	101	
Όχημα 2:	101	27	28	76	12	26	87	97	92	59	96	101	
Όχημα 3:	101	52	18	7	88	31	69	1	50	77	68	80	101
Όχημα 4:	101	94	95	99	98	37	85	91	100	93	60	89	101
Όχημα 5:	101	6	61	16	44	86	38	14	13	101			
Όχημα 6:	101	30	51	81	33	79	3	29	78	34	24	101	
Όχημα 7:	101	2	57	15	42	43	84	5	17	101			
Όχημα 8:	101	82	48	47	8	58	101						
Όχημα 9:	101	83	45	46	19	11	62	10	63	32	101		
Όχημα 10:	101	36	49	64	90	20	70	101					
Όχημα 11:	101	66	65	71	35	9	54	101					
Όχημα 12:	101	23	67	39	25	55	4	101					
Συνολικό κόστος λύσης: 1273,3					Βέλτιστη λύση: 953,6					Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 33%			
Οχήματα: 12					Οχήματα: 10					Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 20%			

Πρόβλημα r201

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

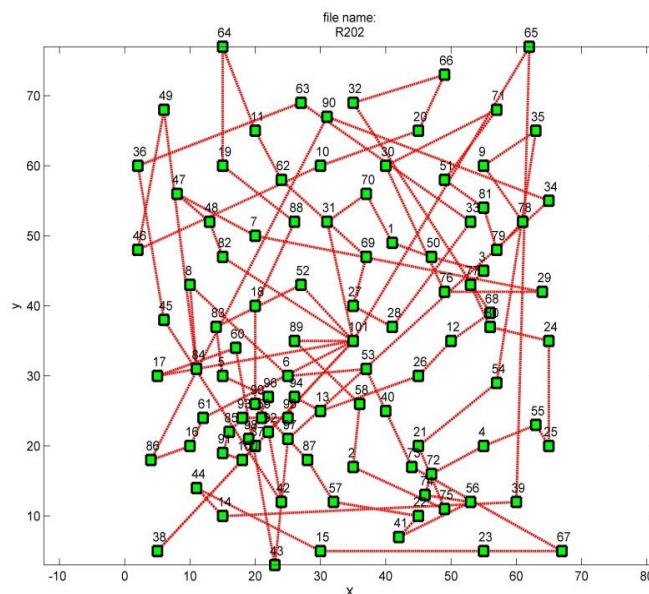


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 59 42 14 45 5 83 95 92 98 2 28 69 52 88 7 19 18 99 85 87 57 41 56 74 4 55 25 24 80 77 70 58 101		
Όχημα 2:	101 27 33 65 71 29 12 76 79 81 51 9 78 34 3 50 1 68 35 60 89 93 100 101		
Όχημα 3:	101 72 39 63 36 47 82 31 62 11 64 30 90 10 20 66 32 54 13 91 17 48 101		
Όχημα 4:	101 21 73 75 22 40 53 94 6 84 37 43 97 96 101		
Όχημα 5:	101 15 23 67 16 86 8 46 26 101		
Όχημα 6:	101 38 44 61 49 101		
Συνολικό κόστος λύσης: 1712,3		Βέλτιστη λύση: 1281,6	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 34%
Οχήματα: 6		Οχήματα: 4	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 50%

Πρόβλημα r202

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

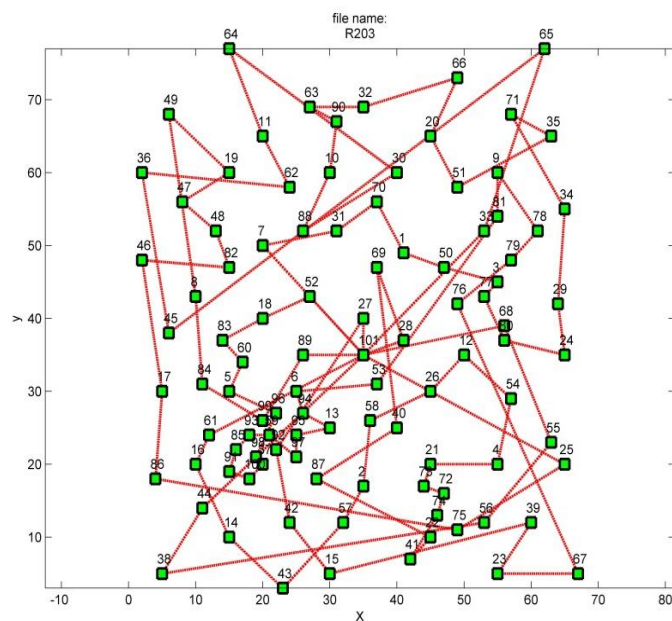


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 92 42 45 36 63 33 28 27 69 62 11 64 19 88 18 99 87 57 22 41 56 74 72 4 55 25 24 80 77 3 50 1 70 31 101		
Όχημα 2:	101 65 39 14 44 15 23 67 73 40 53 6 8 84 49 46 10 20 66 32 68 12 26 13 94 95 59 93 85 91 100 37 98 96 5 83 52 101		
Όχημα 3:	101 82 48 47 7 29 76 30 71 51 81 79 78 9 35 54 21 75 2 58 89 101		
Όχημα 4:	101 61 16 86 90 34 97 43 60 17 101		
Όχημα 5:	101 38 101		
Συνολικό κόστος λύσης: 1673,5		Βέλτιστη λύση: 1530,5	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 9%
Οχήματα: 5		Οχήματα: 3	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 67%

Πρόβλημα r203

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

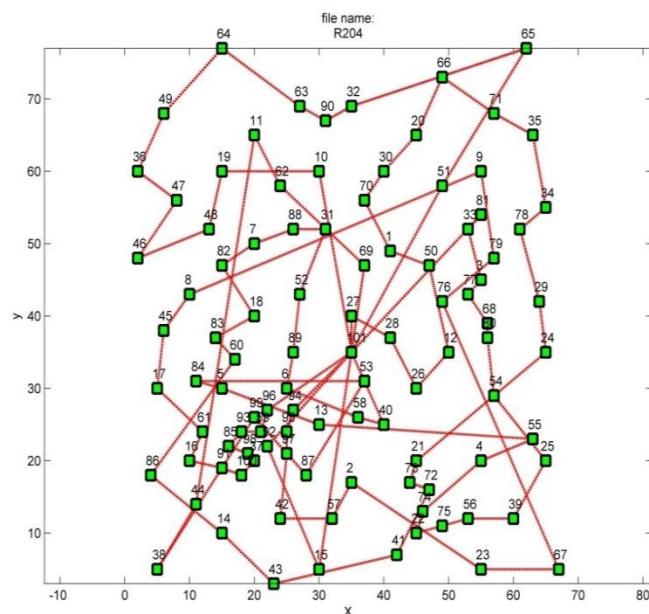


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 27 92 42 15 39 23 67 76 79 78 9 81 53 6 94 13 95 97 59 93 85 91 100 37 98 96 5 60 83 18 52 101		
Όχημα 2:	101 33 65 45 36 62 11 64 30 88 10 90 63 32 66 20 51 35 71 34 29 24 80 77 3 50 1 70 31 7 101		
Όχημα 3:	101 28 69 40 87 22 41 74 72 73 21 4 54 12 26 58 2 57 43 14 16 61 101		
Όχημα 4:	101 89 99 84 8 49 19 47 48 82 46 17 86 75 25 101		
Όχημα 5:	101 44 38 56 55 68 101		
Συνολικό κόστος λύσης: 1330,8		Βέλτιστη λύση: 948,7	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 40%
Οχήματα: 5		Οχήματα: 3	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 67%

Πρόβλημα r204

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

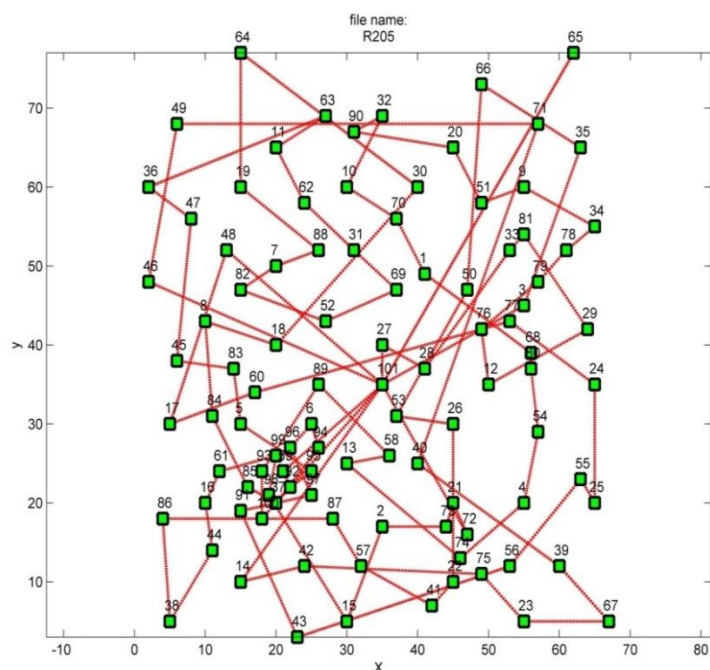


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 92 15 69 62 11 44 38 99 87 53 84 5 13 55 4 74 22 75 56 39 25 54 80 68 77 3 33 81 101	
Όχημα 2:	101 94 95 97 42 57 2 23 67 76 79 9 8 45 17 61 16 91 100 37 98 85 93 59 96 101	
Όχημα 3:	101 27 28 26 12 50 1 70 30 20 66 71 35 34 78 29 24 21 73 72 41 43 14 86 60 83 18 82 7 88 31 52 89 6 58 40 101	
Όχημα 4:	101 51 65 32 90 63 64 49 36 47 46 48 19 10 101	
Συνολικό κόστος λύσης: 1187,5	Βέλτιστη λύση: 869,3	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 37%
Οχήματα: 4	Οχήματα: 2	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 100%

Πρόβλημα r205

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

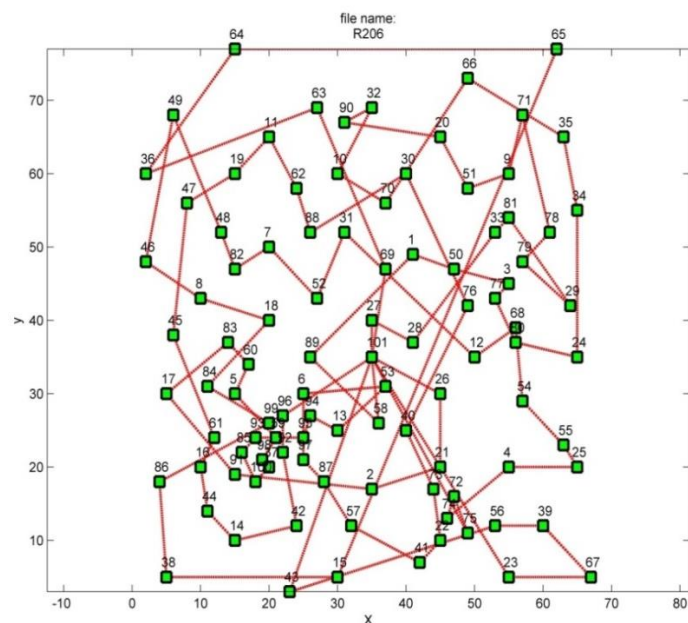


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 27 28 33 81 29 12 76 79 78 34 9 51 20 90 32 10 70 1 68 80 54 4 74 13 58 89 93 100 101	
Όχημα 2:	101 59 92 95 5 83 45 47 36 63 11 62 31 69 52 82 7 88 19 64 30 18 8 84 85 37 94 6 96 97 91 43 56 55 25 24 77 60 17 48 101	
Όχημα 3:	101 72 21 73 2 15 98 99 61 16 44 38 86 87 57 41 22 26 53 50 66 35 3 101	
Όχημα 4:	101 14 42 75 23 67 39 40 71 49 46 101	
Όχημα 5:	101 65 101	
Συνολικό κόστος λύσης: 1496,0	Βέλτιστη λύση: 1063,2	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 44%
Οχήματα: 5	Οχήματα: 3	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 67%

Πρόβλημα r206

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

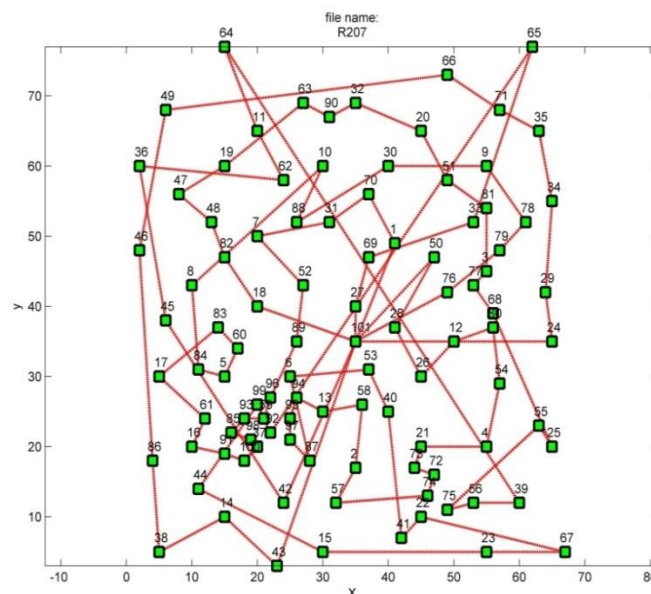


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 27 28 33 81 29 79 78 71 9 51 20 90 32 10 70 66 35 34 24 80 77 3 50 1 89 58 101		
Όχημα 2:	101 96 92 42 14 44 16 61 45 47 19 11 62 88 30 76 40 73 22 41 57 87 97 6 53 13 94 95 93 85 100 37 98 59 5 60 83 17 91 2 21 26 101		
Όχημα 3:	101 69 63 36 64 65 15 38 86 99 84 18 8 46 49 48 82 7 52 31 12 68 54 55 25 4 74 72 75 101		
Όχημα 4:	101 23 67 39 56 43 101		
Συνολικό κόστος λύσης: 1276,3		Βέλτιστη λύση: 833,0	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 53%
Οχήματα: 4		Οχήματα: 3	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 33%

Πρόβλημα r207

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

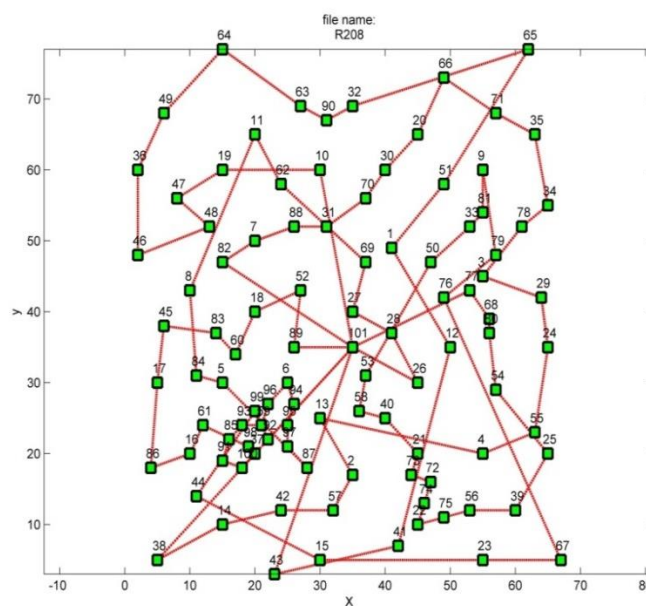


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 27 69 33 65 92 99 44 15 23 67 22 41 40 53 6 87 97 95 94 13 58 2 57 74 72 73 21 4 54 80 12 26 28 50 101		
Όχημα 2:	101 42 45 36 62 11 64 39 56 75 55 25 68 77 3 81 51 20 32 90 63 19 47 48 82 18 101		
Όχημα 3:	101 76 79 78 9 30 88 10 8 84 5 60 83 17 61 16 91 100 37 98 85 93 59 96 89 52 7 31 70 1 101		
Όχημα 4:	101 43 14 38 86 46 49 66 71 35 34 29 24 101		
Συνολικό κόστος λύσης: 1317,5		Βέλτιστη λύση: 814,8	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 62%
Οχήματα: 4		Οχήματα: 3	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 33%

Πρόβλημα r208

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

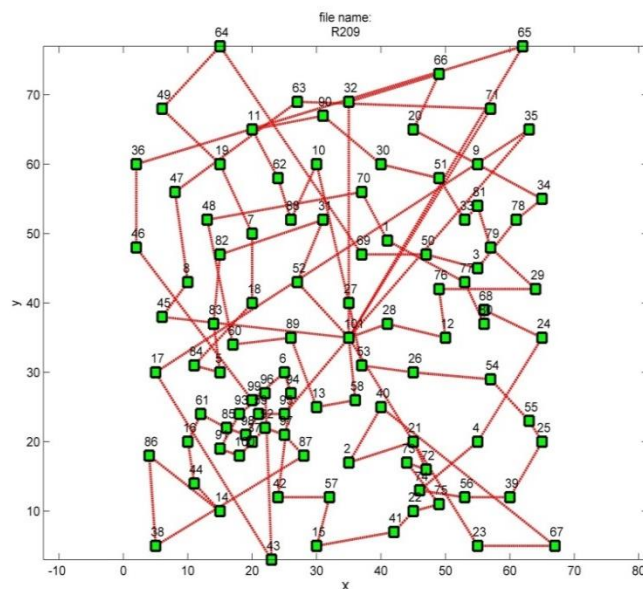


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 92 99 44 15 23 67 76 79 9 81 33 50 53 58 40 21 73 72 74 22 75 56 39 25 54 80 68 77 101		
Όχημα 2:	101 26 28 27 69 62 11 8 84 5 87 97 95 94 6 96 59 93 85 91 100 37 98 61 16 86 17 45 83 60 18 52 89 101		
Όχημα 3:	101 38 14 42 57 2 13 4 55 24 29 3 78 34 35 71 66 20 30 70 31 88 7 82 101		
Όχημα 4:	101 10 19 47 48 46 36 49 64 63 90 32 65 51 1 12 41 43 101		
Συνολικό κόστος λύσης: 1075,4		Βέλτιστη λύση: 738,6	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 46%
Οχήματα: 4		Οχήματα: 2	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 100%

Πρόβλημα r209

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

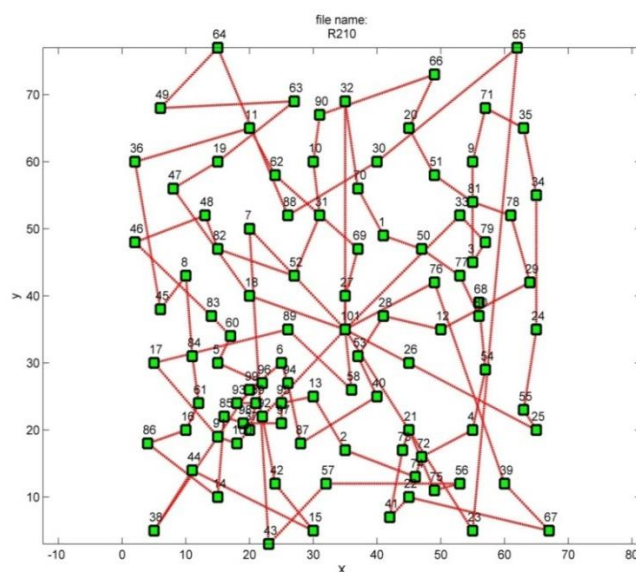


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 28 12 76 29 79 81 33 51 30 90 11 62 88 10 27 53 26 54 55 25 39 56 74 4 24 68 80 77 1 70 48 60 89 13 58 101	
Όχημα 2:	101 95 59 98 85 61 16 44 14 86 38 87 97 92 37 100 91 93 96 43 17 35 101	
Όχημα 3:	101 52 31 82 83 5 84 18 7 19 49 64 69 50 3 78 34 9 20 66 32 101	
Όχημα 4:	101 23 67 40 2 21 72 73 75 22 41 15 57 42 94 6 99 46 36 65 101	
Όχημα 5:	101 45 8 47 63 71 101	
Συνολικό κόστος λύσης: 1381,7	Βέλτιστη λύση: 855,0	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 62%
Οχήματα: 5	Οχήματα: 2	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 150%

Πρόβλημα r210

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

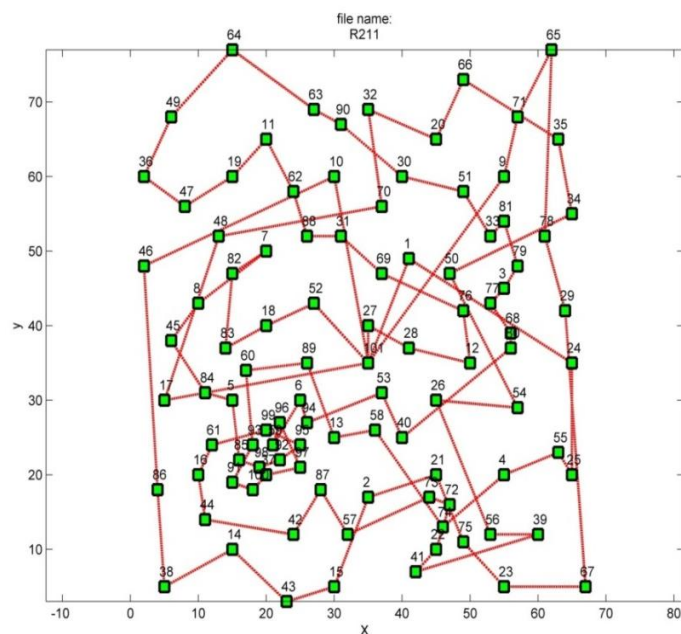


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 92 42 15 44 38 99 6 94 87 40 53 28 12 29 78 81 51 20 66 90 10 31 52 82 48 46 83 60 5 96 93 59 37 100 91 17 89 58 101	
Όχημα 2:	101 27 69 62 11 36 45 8 84 61 16 86 14 85 98 97 95 13 2 74 72 4 54 68 80 77 50 1 70 32 101	
Όχημα 3:	101 33 79 3 9 71 35 34 24 55 25 26 101	
Όχημα 4:	101 76 39 67 22 41 73 21 75 56 57 43 7 101	
Όχημα 5:	101 23 65 30 88 64 49 63 19 47 18 101	
Συνολικό κόστος λύσης: 1308,3	Βέλτιστη λύση: 967,5	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 35%
Οχήματα: 5	Οχήματα: 3	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 67%

Πρόβλημα r211

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

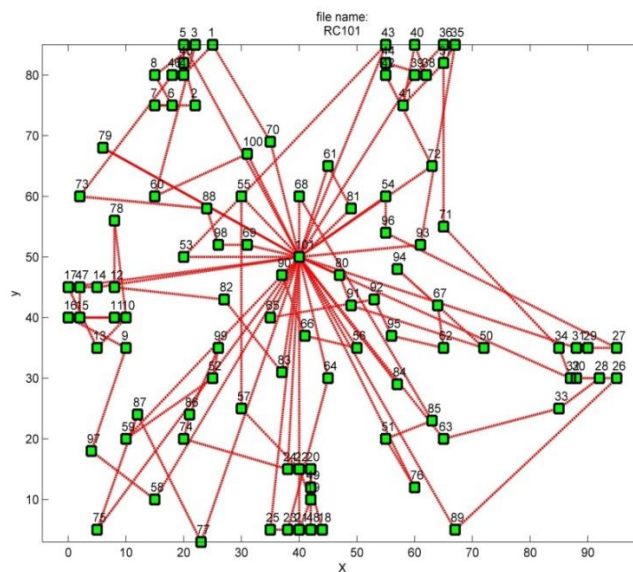


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101	27	28	12	76	69	31	88	62	11	19	47	36	49	64	63	90	
	30	51	33	81	79	3	77	68	80	40	53	94	6	59	96	97	37	
	100	91	93	60	89	13	58	74	4	55	25	24	1	101				
Όχημα 2:	101	52	18	83	82	7	8	45	84	5	85	98	92	95	99	61	16	44
	42	87	57	73	72	22	41	39	56	26	54	50	34	35	66	20	32	
	70	48	17	101														
Όχημα 3:	101	9	71	65	78	29	67	23	75	21	2	15	43	14	38	86	46	10
	101																	
Συνολικό κόστος λύσης: 1.100,4				Βέλτιστη λύση: 949,5								Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 16%						
Οχήματα: 3				Οχήματα: 2								Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 50%						

Πρόβλημα rc101

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:



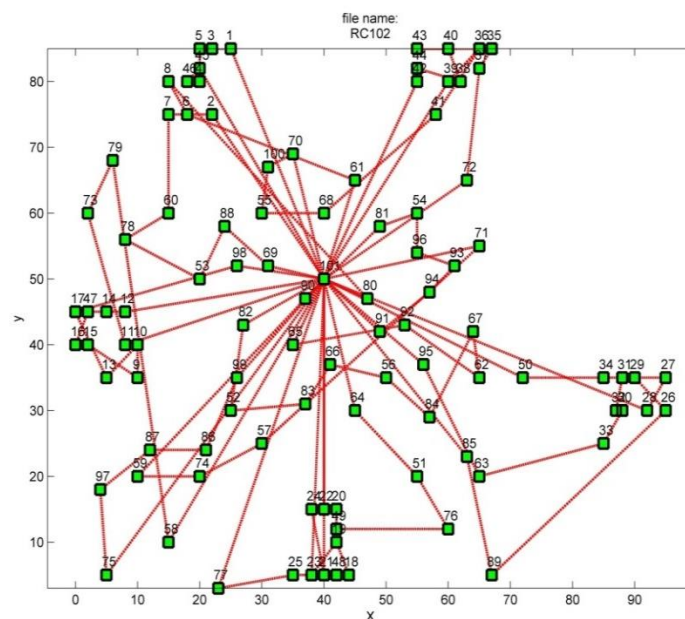
Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101	65	92	95	62	67	94	50	91	80	101
Όχημα 2:	101	72	42	44	38	40	41	37	35	93	101
Όχημα 3:	101	83	82	12	78	10	13	17	101		
Όχημα 4:	101	69	98	88	73	46	4	1	70	101	
Όχημα 5:	101	14	47	15	11	16	9	97	58	101	
Όχημα 6:	101	39	36	71	34	32	101				
Όχημα 7:	101	5	45	2	7	6	8	3	60	100	101
Όχημα 8:	101	63	33	28	30	26	89	101			
Όχημα 9:	101	59	52	99	86	74	24	101			
Όχημα 10:	101	64	23	18	49	20	48	25	101		
Όχημα 11:	101	61	81	90	66	56	101				
Όχημα 12:	101	31	29	27	96	54	101				
Όχημα 13:	101	21	19	22	57	55	101				

Όχημα 14:	101 76 51 85 68 101		
Όχημα 15:	101 75 87 77 101		
Όχημα 16:	101 53 43 101		
Όχημα 17:	101 79 101		
Όχημα 18:	101 84 101		
Συνολικό κόστος λύσης: 2.211,1	Βέλτιστη λύση: 1669,0	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 32%	
Οχήματα: 18	Οχήματα: 14	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 29%	

Πρόβλημα rc102

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:



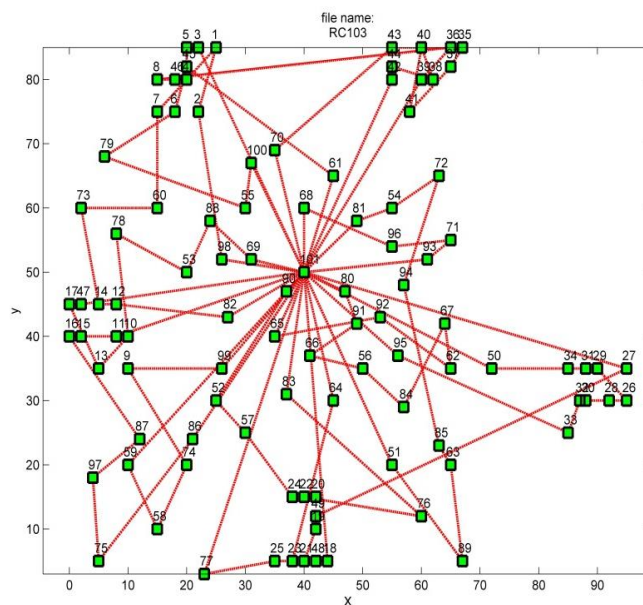
Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

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

Όχημα 16:	101 22 101	
Συνολικό κόστος λύσης: 1884,5	Βέλτιστη λύση: 1477,5	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 28%
Οχήματα: 16	Οχήματα: 13	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 23 %

Πρόβλημα rc103

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

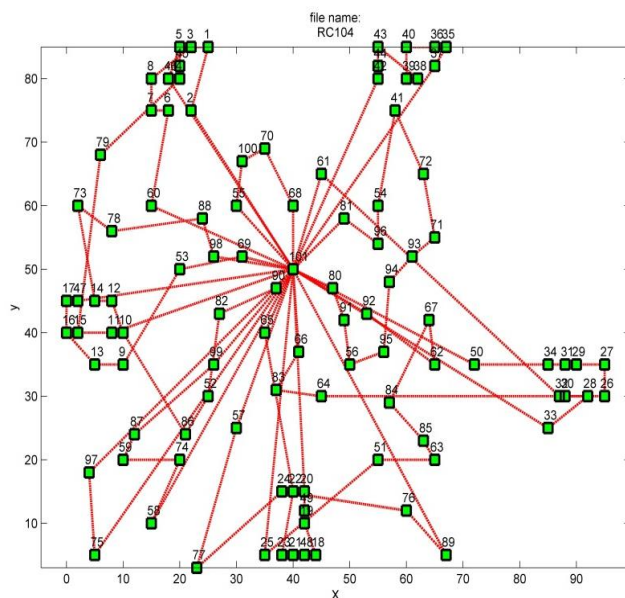


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101	65	92	62	67	84	56	66	91	80	101	
Όχημα 2:	101	69	88	53	78	10	13	17	47	101		
Όχημα 3:	101	42	44	38	40	41	37	35	43	70	101	
Όχημα 4:	101	64	23	25	77	101						
Όχημα 5:	101	39	36	8	46	4	5	3	101			
Όχημα 6:	101	61	45	6	79	55	100	101				
Όχημα 7:	101	99	9	74	58	59	101					
Όχημα 8:	101	11	15	16	87	97	75	86	101			
Όχημα 9:	101	95	33	32	30	28	26	29	31	34	50	101
Όχημα 10:	101	68	96	71	93	101						
Όχημα 11:	101	27	49	19	21	48	18	101				
Όχημα 12:	101	83	76	22	20	24	57	52	90	101		
Όχημα 13:	101	51	89	63	85	94	72	54	81	101		
Όχημα 14:	101	98	2	1	7	60	73	14	12	82	101	
Συνολικό κόστος λύσης: 1.752,3				Βέλτιστη λύση: 1110,0					Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 58%			
Οχήματα: 14				Οχήματα: 11					Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 27 %			

Πρόβλημα rc104

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

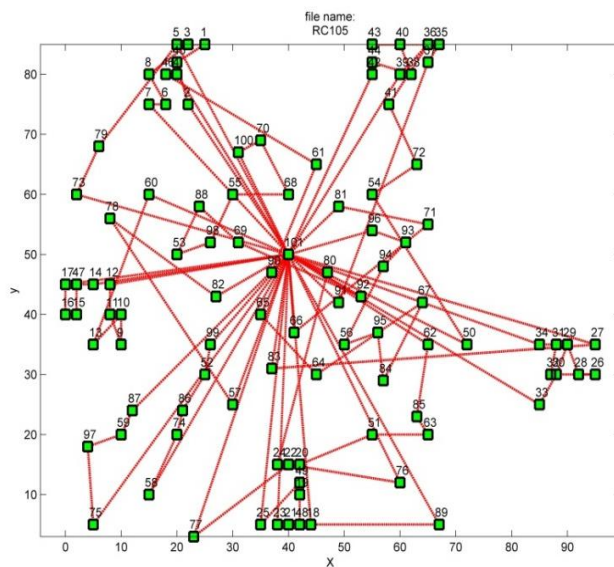


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101	92	62	67	84	85	63	51	25	101				
Όχημα 2:	101	69	53	9	13	16	17	47	101					
Όχημα 3:	101	99	87	59	74	58	101							
Όχημα 4:	101	11	15	79	4	45	5	46	101					
Όχημα 5:	101	42	44	43	38	39	40	36	35	37	101			
Όχημα 6:	101	65	22	23	21	48	18	19	49	20	101			
Όχημα 7:	101	89	76	24	77	57	101							
Όχημα 8:	101	55	100	70	68	101								
Όχημα 9:	101	60	6	7	8	3	1	2	101					
Όχημα 10:	101	98	88	78	73	14	12	10	86	52	82	90	101	
Όχημα 11:	101	80	91	56	95	94	93	71	72	41	54	96	81	101
Όχημα 12:	101	50	34	31	29	27	26	64	83	66	101			
Όχημα 13:	101	61	32	30	28	33	101							
Όχημα 14:	101	75	97	101										
Συνολικό κόστος λύσης: 1.618,4					Βέλτιστη λύση: 1135,8					Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 42%				
Οχήματα: 14					Οχήματα: 10					Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 40%				

Πρόβλημα rc105

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:



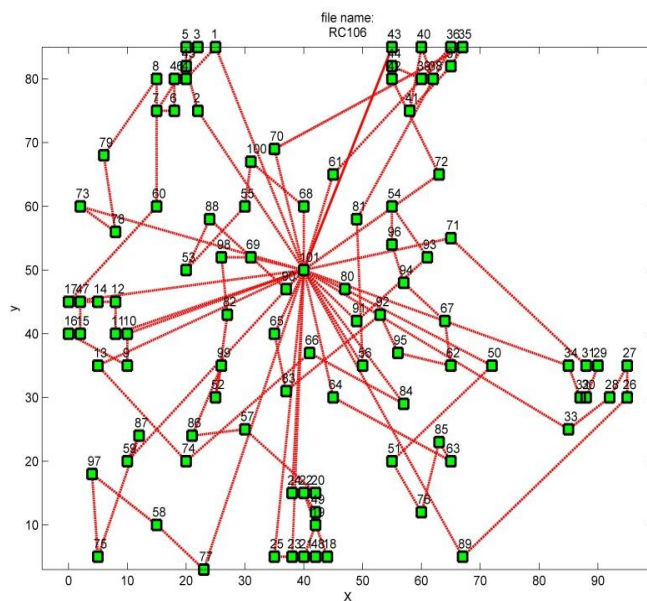
Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 92 69 88 53 98 55 68 70 100 101
Όχημα 2:	101 65 64 67 84 95 56 94 93 96 101
Όχημα 3:	101 42 44 38 40 43 35 37 91 101
Όχημα 4:	101 62 85 63 51 20 24 80 101
Όχημα 5:	101 2 45 1 3 8 6 7 101
Όχημα 6:	101 39 36 41 72 54 50 101
Όχημα 7:	101 12 11 9 10 13 60 101
Όχημα 8:	101 14 47 15 16 17 101
Όχημα 9:	101 90 61 46 4 101
Όχημα 10:	101 99 52 86 74 58 101
Όχημα 11:	101 23 21 48 19 49 25 101
Όχημα 12:	101 33 30 29 28 26 32 31 34 101
Όχημα 13:	101 81 71 66 101
Όχημα 14:	101 76 22 77 101

Όχημα 15:	101 27 83 101				
Όχημα 16:	101 73 79 5 101				
Όχημα 17:	101 87 59 97 75 101				
Όχημα 18:	101 82 78 57 101				
Όχημα 19:	101 18 89 101				
Συνολικό κόστος λύσης: 2140,1	Βέλτιστη λύση: 1733,6			Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 23%	
Οχήματα: 19	Οχήματα: 13			Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 46 %	

Πρόβλημα rc106

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:



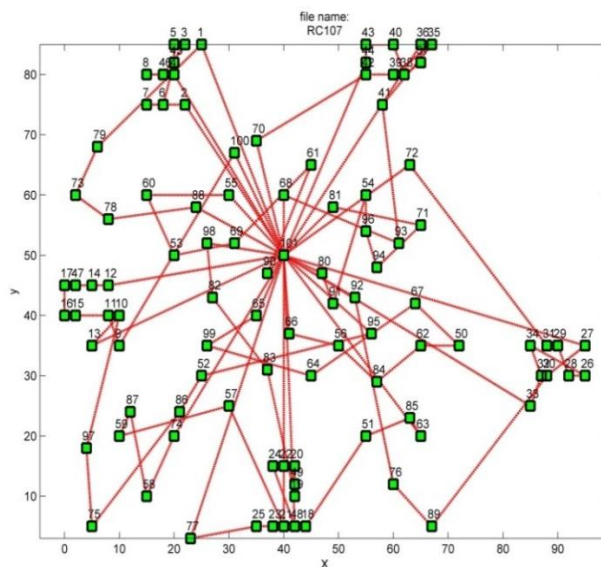
Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101	65	83	92	95	62	67	94	96	54	93	91	101
Όχημα 2:	101	69	98	82	52	99	86	57	20	24	101		
Όχημα 3:	101	72	42	44	39	38	40	41	37	35	70	101	
Όχημα 4:	101	64	63	85	76	51	50	80	101				
Όχημα 5:	101	2	45	5	3	7	6	46	4	1	101		
Όχημα 6:	101	11	12	14	47	15	16	9	10	101			
Όχημα 7:	101	90	88	53	55	100	68	101					
Όχημα 8:	101	61	36	81	56	101							
Όχημα 9:	101	59	87	75	97	58	77	101					
Όχημα 10:	101	71	31	29	30	32	34	101					
Όχημα 11:	101	23	21	19	49	22	18	48	25	101			
Όχημα 12:	101	33	28	27	26	89	101						

Όχημα 13:	101 73 78 79 8 60 17 101									
Όχημα 14:	101 84 66 74 13 101									
Όχημα 15:	101 43 101									
Συνολικό κόστος λύσης: 1821,0				Βέλτιστη λύση: 1384,9				Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 31%		
Οχήματα: 15				Οχήματα: 12				Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 25%		

Πρόβλημα rc107

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

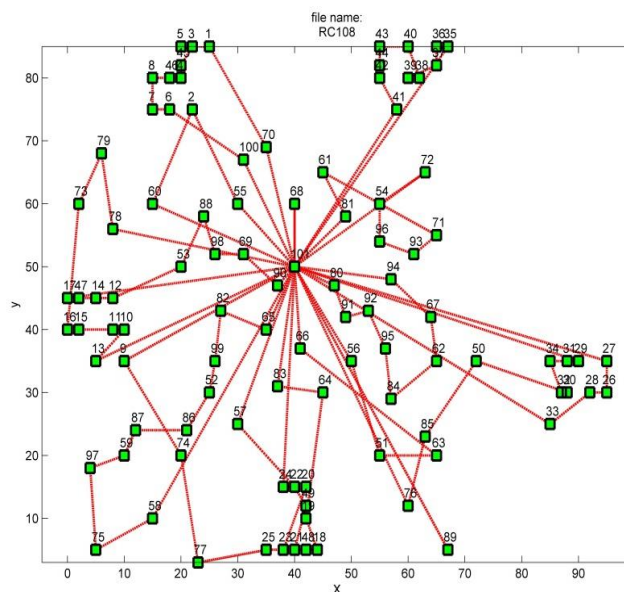


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101	98	82	83	19	49	20	22	24	48	101
Όχημα 2:	101	95	52	86	75	97	10	13	101		
Όχημα 3:	101	90	61	69	53	60	55	101			
Όχημα 4:	101	2	7	6	45	5	3	46	8	4	101
Όχημα 5:	101	81	71	94	96	54	91	80	101		
Όχημα 6:	101	72	31	29	28	26	34	32	33	101	
Όχημα 7:	101	12	14	47	17	16	15	11	9	100	101
Όχημα 8:	101	63	85	51	18	23	25	77	101		
Όχημα 9:	101	21	57	59	87	58	74	101			
Όχημα 10:	101	88	78	73	79	1	101				
Όχημα 11:	101	65	99	64	67	50	62	84	56	66	101
Όχημα 12:	101	92	76	89	30	27	101				
Όχημα 13:	101	44	43	40	38	37	36	101			
Όχημα 14:	101	70	42	39	35	41	93	68	101		
Συνολικό κόστος λύσης: 1748,2				Βέλτιστη λύση: 1230,9				Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 42%			
Οχήματα: 14				Οχήματα: 11				Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 27%			

Πρόβλημα rc108

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

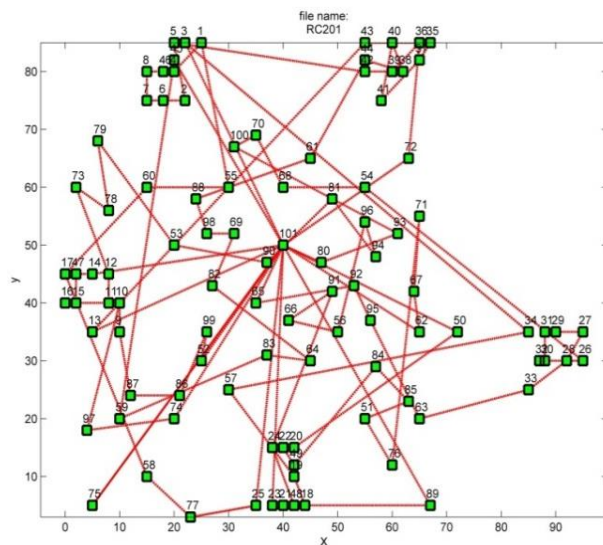


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101	90	69	98	88	53	12	14	47	17	101			
Όχημα 2:	101	81	61	71	93	96	54	72	101					
Όχημα 3:	101	65	82	99	52	86	87	59	97	75	58	101		
Όχημα 4:	101	94	67	62	84	95	92	91	80	101				
Όχημα 5:	101	83	64	19	18	48	21	49	22	57	101	68	101	
Όχημα 6:	101	56	51	63	66	101								
Όχημα 7:	101	100	6	7	8	46	4	45	3	5	1	70	101	
Όχημα 8:	101	76	85	50	30	32	34	31	29	101				
Όχημα 9:	101	41	42	44	43	40	38	39	37	36	35	101		
Όχημα 10:	101	78	79	73	16	15	11	10	13	101				
Όχημα 11:	101	55	2	60	101									
Όχημα 12:	101	9	74	77	25	23	20	24	101					
Όχημα 13:	101	27	26	28	33	101								
Όχημα 14:	101	89	101											
Συνολικό κόστος λύσης: 1536,3					Βέλτιστη λύση: 1170,7					Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 31%				
Οχήματα: 14					Οχήματα: 10					Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 40%				

Πρόβλημα rc201

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

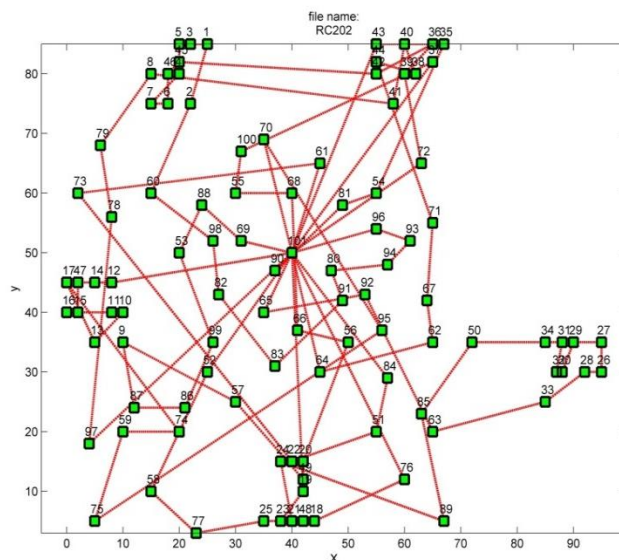


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 65 92 95 63 33 28 27 29 31 30 32 26 54 68 70 100 93 80 101		
Όχημα 2:	101 72 36 39 42 5 2 6 7 8 46 4 1 55 60 17 58 77 25 101		
Όχημα 3:	101 14 47 15 16 11 12 73 78 79 53 90 81 94 96 56 66 91 24 48 89 101		
Όχημα 4:	101 45 59 83 64 82 69 98 88 61 44 38 40 41 37 35 43 13 101		
Όχημα 5:	101 52 99 86 87 9 10 97 74 101		
Όχημα 6:	101 62 67 71 76 51 85 84 49 22 20 50 101		
Όχημα 7:	101 23 21 18 19 57 34 3 101		
Όχημα 8:	101 75 101		
Συνολικό κόστος λύσης: 1975,9		Βέλτιστη λύση: 1249,0	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 58%
Οχήματα: 8		Οχήματα: 4	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 100%

Πρόβλημα rc202

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

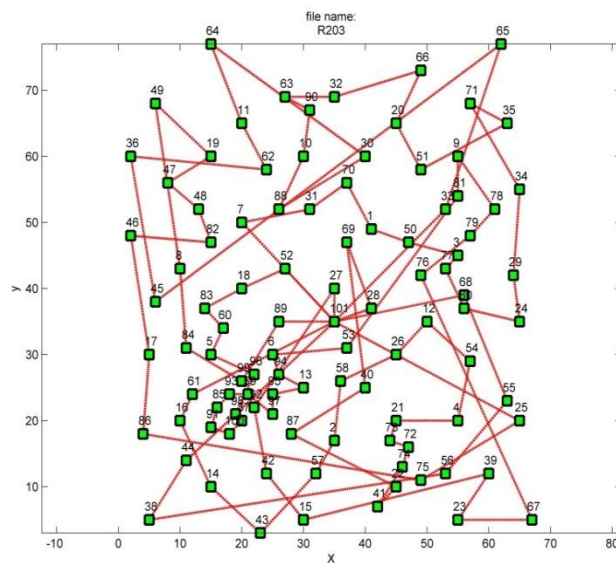


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 65 92 63 33 28 26 27 29 30 32 31 34 50 85 89 24 21 48 25 77 58 52 101		
Όχημα 2:	101 72 39 36 42 45 46 6 7 4 5 3 1 2 60 98 82 83 91 80 94 93 96 101		
Όχημα 3:	101 12 14 47 15 16 11 10 13 17 74 59 75 95 70 101		
Όχημα 4:	101 69 88 53 99 86 87 9 57 49 20 56 66 68 55 100 37 101		
Όχημα 5:	101 90 81 54 35 43 101		
Όχημα 6:	101 64 62 67 71 44 38 40 41 8 79 78 9 101		
Όχημα 7:	101 61 73 22 51 84 101		
Όχημα 8:	101 19 23 18 76 101		
Συνολικό κόστος λύσης: 1701,4		Βέλτιστη λύση: 1165,6	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 46%
Οχήματα: 8		Οχήματα: 4	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 100%

Πρόβλημα rc203

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

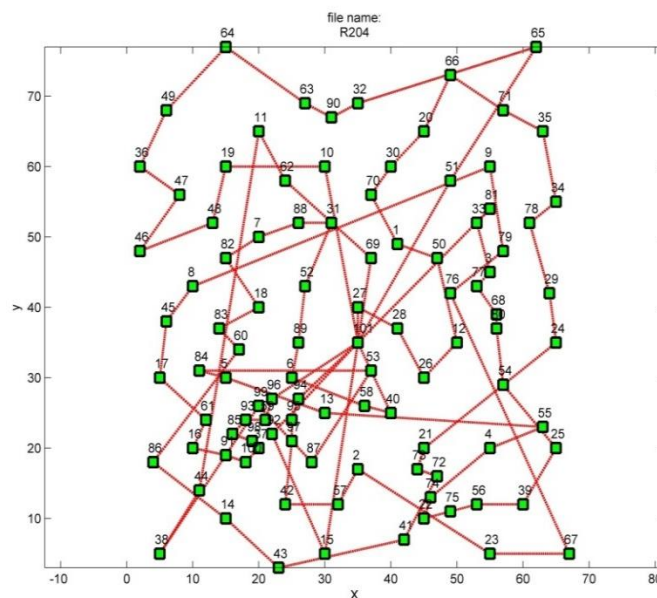


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 65 92 42 39 36 33 27 30 62 64 67 76 22 49 84 56 66 10 13 17 74 58 77 25 21 48 18 19 20 24 101		
Όχημα 2:	101 45 69 15 11 9 99 87 53 6 4 55 68 70 100 80 93 71 72 101		
Όχημα 3:	101 88 44 38 40 41 8 79 78 35 37 43 61 81 54 96 94 91 95 85 63 51 83 101		
Όχημα 4:	101 50 34 31 29 28 26 32 89 23 57 52 86 59 97 75 16 47 14 12 73 60 7 46 5 3 1 2 98 82 90 101		
Συνολικό κόστος λύσης: 1564,4		Βέλτιστη λύση: 1079,6	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 45%
Οχήματα: 4		Οχήματα: 3	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 33%

Πρόβλημα rc204

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

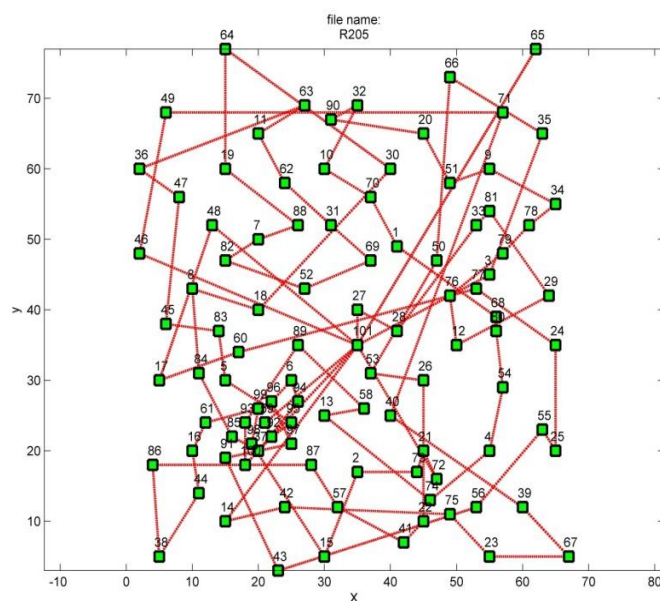


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 92 62 69 15 11 9 99 87 53 84 85 63 51 20 22 24 49 19 48 18 21 25 77 58 75 97 59 86 101		
Όχημα 2:	101 65 66 83 23 76 67 38 39 8 79 4 45 46 6 7 2 3 5 1 70 100 88 98 82 101		
Όχημα 3:	101 90 57 64 56 95 80 91 94 93 71 72 41 42 43 40 36 35 37 44 54 96 81 61 68 55 101		
Όχημα 4:	101 52 74 10 13 16 17 47 14 12 78 73 60 101		
Όχημα 5:	101 50 34 31 29 27 26 28 30 32 33 89 101		
Συνολικό κόστος λύσης: 1226,7		Βέλτιστη λύση: 806,8	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 52%
Οχήματα: 5		Οχήματα: 3	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 67%

Πρόβλημα rc205

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

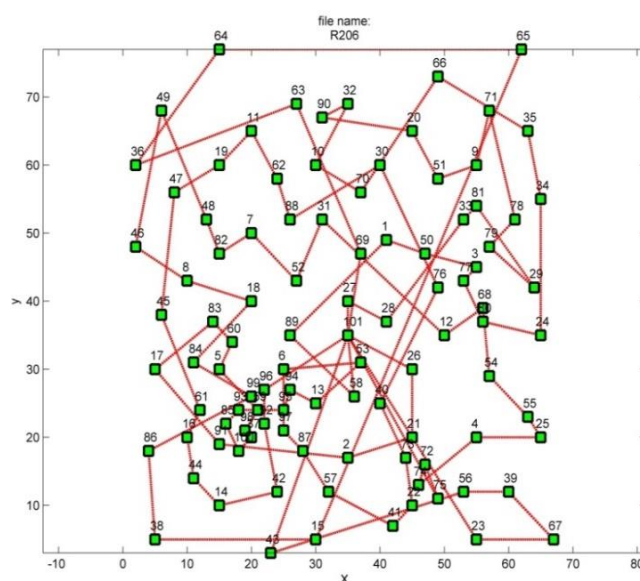


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 92 65 42 39 36 33 27 28 30 29 31 67 71 61 81 40 41 72 90 57 10 13 17 60 100 70 80 91 101		
Όχημα 2:	101 45 69 15 11 47 14 12 16 88 98 53 82 9 59 75 97 74 58 25 48 101		
Όχημα 3:	101 62 63 76 21 19 49 22 20 85 56 66 94 96 54 68 4 3 1 37 93 101		
Όχημα 4:	101 64 23 18 99 52 86 87 73 78 6 7 46 55 43 35 34 32 26 89 101		
Όχημα 5:	101 44 38 2 5 8 79 50 24 77 101		
Όχημα 6:	101 95 84 51 83 101		
Συνολικό κόστος λύσης: 1931,3		Βέλτιστη λύση: 1333,7	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 45%
Οχήματα: 6		Οχήματα: 4	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 50%

Πρόβλημα rc206

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

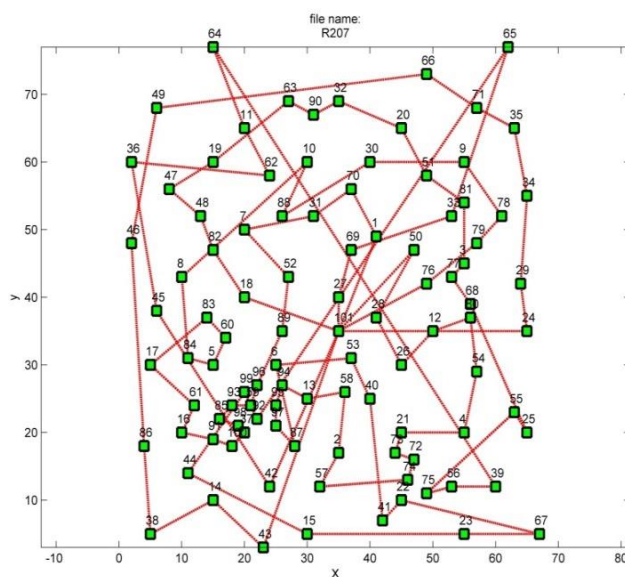


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 65 92 95 63 33 28 27 31 29 72 39 42 44 2 11 12 16 73 78 79 8 6 46 3 1 4 10 13 97 74 58 77 25 48 24 91 80 101	
Όχημα 2:	101 83 59 14 47 15 45 5 36 69 98 88 61 38 40 41 81 90 53 49 20 56 66 96 54 68 55 100 70 60 17 93 101	
Όχημα 3:	101 82 52 64 62 67 71 23 21 19 18 76 51 85 84 99 86 87 9 57 50 34 26 32 43 35 89 101	
Όχημα 4:	101 30 22 75 7 94 37 101	
Συνολικό κόστος λύσης: 2027,1	Βέλτιστη λύση: 1212,6	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 67%
Οχήματα: 4	Οχήματα: 3	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 33%

Πρόβλημα rc207

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:

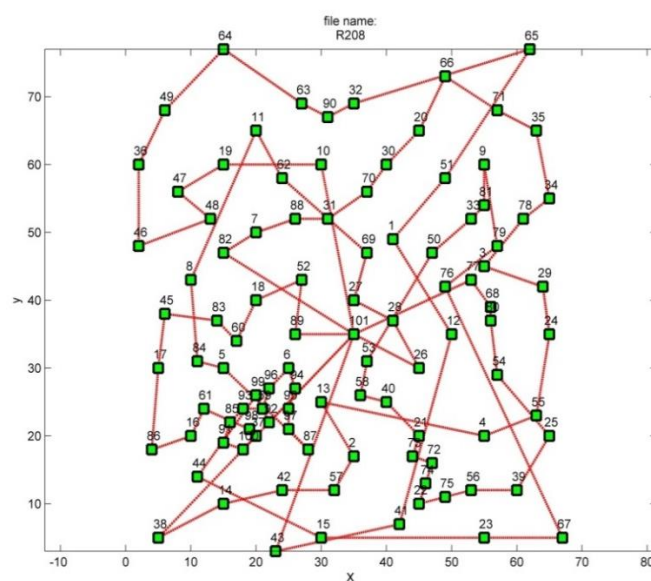


Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 95 83 82 98 2 5 3 45 8 46 6 79 78 9 10 97 58 77 25 48 24 66 56 91 80 68 55 10 70 101		
Όχημα 2:	101 88 69 65 90 52 86 87 59 14 17 15 13 11 53 92 96 54 37 36 35 39 1 4 60 101		
Όχημα 3:	101 61 72 71 31 29 28 30 32 34 27 26 33 50 93 89 74 101		
Όχημα 4:	101 84 85 63 51 21 19 18 23 49 22 20 57 99 41 43 101		
Όχημα 5:	101 64 76 62 67 94 42 81 101		
Όχημα 6:	101 75 16 47 12 73 7 44 40 38 101		
Συνολικό κόστος λύσης: 1571,3		Βέλτιστη λύση: 1085,6	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 45%
Οχήματα: 6		Οχήματα: 3	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 100%

Πρόβλημα rc208

Το γράφημα που προέκυψε από τη λύση του προβλήματος, φαίνεται παρακάτω:



Αναλυτικός πίνακας διαδρομών των οχημάτων

Όχημα 1:	101 69 98 82 65 64 83 52 99 11 12 15 16 47 14 73 79 7 2 6 8 45 5 3 44 42 38 39 40 36 37 41 72 94 90 57 59 97 10 13 17 60 55 100 70 68 80 91 101	
Όχημα 2:	101 61 81 71 67 62 95 92 76 63 85 51 20 49 19 21 23 18 22 86 9 78 46 4 1 43 35 96 54 93 32 101	
Όχημα 3:	101 88 53 87 75 30 31 29 28 27 26 33 34 50 84 56 66 24 77 58 74 25 48 89 101	
Συνολικό κόστος λύσης: 1337,1	Βέλτιστη λύση: 834,9	Ποσοστιαία απόκλιση κόστους: 60%
Οχήματα: 3	Οχήματα: 3	Ποσοστιαία απόκλιση σε οχήματα: 0%

6. Συμπεράσματα

Σε γενικές γραμμές τα αποτελέσματα που προέκυψαν στην παρούσα εργασία, δίνουν μια ικανοποιητική προσέγγιση της λύσης του προβλήματος που μελετήθηκε. Ωστόσο, κάποιες λύσεις από αυτές που παρουσιάστηκαν είναι κοντά στο βέλτιστο και κάποιες άλλες έχουν μεγαλύτερη απόκλιση. Οι αποκλίσεις αυτές οφείλονται πρώτον σε αδυναμία της αρχικής λύσης. Όπως αναφέραμε και στο πρώτο μέρος της εργασίας η αρχική λύση πραγματοποιεί το διαχωρισμό των πελατών σε ομάδες, οι οποίες στη συνέχεια ανατίθενται στον κυρίως αλγόριθμο προς περαιτέρω βελτιστοποίηση.

Για την αρχική λύση δοκιμάστηκε σε πρώτο στάδιο η συνάρτηση k-means της matlab, η οποία χωρίζει δεδομένα σημεία στο χώρο, σε ομάδες τον αριθμό των οποίων υποδεικνύει ο χρήστης. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή δεν είχε ικανοποιητικά αποτελέσματα και εγκαταλείφθηκε καθώς δεν λάμβανε υπόψιν τα χρονικά παράθυρα των πελατών, αλλά μόνο τη θέση τους στο χώρο.

Η υπάρχουσα αρχική λύση καθορίζει τα δρομολόγια των οχημάτων, σύμφωνα με μια αντικειμενική συνάρτηση που περιέχει σαν παράμετρο και την απόσταση αλλά και τα χρονικά παράθυρα του εκάστοτε πελάτη. Ο κυρίως αλγόριθμος με τα μυρμήγκια ήταν ισχυρός. Παρόλα αυτά δεσμευόταν πολύ από την υφιστάμενη δομή, δεδομένου ότι η δυνατότητα βελτίωσης της λύσης ήταν περιορισμένη σε περίπτωση μη ικανοποιητικής ομαδοποίησης των πελατών. Πιο συγκεκριμένα, αν ένα όχημα είχε αναλάβει πελάτες που θα μπορούσαν να ανατεθούν σε κάποιο κοντινότερο όχημα, ή αντίστοιχα σε κάποιο που εκείνη την ώρα περίμενε να ανοίξει κάποιο χρονικό παράθυρο, τότε η λύση είναι πιθανόν ότι ξέφευγε μακριά από το βέλτιστο μόνο με έναν ή δυο πελάτες.

Όμως, η πλέον καθοριστική αιτία ήταν η έλλειψη τοπικής αναζήτησης, η οποία θα λειτουργούσε υποβοηθητικά στον κύριο αλγόριθμο. Με την έννοια τοπική αναζήτηση, εννοούμε την μετακίνηση πελατών από το ένα όχημα στο άλλο. Η επιλογή των πελατών που θα μετακινούνταν από όχημα σε όχημα θα μπορούσε να γίνεται με τυχαίο τρόπο ή να γίνεται με επίκεντρο τα οχήματα με τους λιγότερους πελάτες, με στόχο αυτά να μείνουν άδεια και να αφαιρεθούν από τη διαδικασία. Αυτό ενδεχομένως θα βελτίωνε θεαματικά τα αποτελέσματά μας.

Συμπερασματικά, ο αλγόριθμος υπό προϋποθέσεις θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως βάση για την αποτελεσματική οργάνωση ενός δικτύου διανομής προϊόντων.

7. Βιβλιογραφία

- [1] Ant Algorithms, Marco Dorigo, Gianni Di Caro, Michael Sampels, Third International Workshop, ANTS 2002, Brussels, Belgium, 53-64.
- [2] Ant Colony Optimization, Artificial Ants as a Computational Intelligence Technique, Marco Dorigo, Mauro Birattari, and Thomas Stutzle, Universite Libre de Bruxelles, Belgium, 28-32.
- [3] Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence, Marco Dorigo, Mauro Birattari, Christian Blum, Luca M. Gambardella, Francesco Mondada, Thomas Stützle, 286-293.
- [4] Swarm Intelligence Introduction and Applications, Christian Blum, Daniel Merkle, 46-54.
- [5] The Vehicle Routing Problem, by Paolo Toth and Daniele Vigo, 8-9, 155-165.
- [6] Vehicle Routing Problem with Time Windows, Brian Kallehauge, Jesper Larsen, Oli B.G. Madsen, Marius M. Solomon, 67-80.
- [7] Μεθευρετικοί και Εξελικτικοί Αλγόριθμοι σε Προβλήματα Διοικητικής Επιστήμης, Ιωάννης Μαρινάκης, Μαγδαληνή Μαρινάκη, Νικόλαος Ματσατσίνης, Κωνσταντίνος Ζοπουνίδης, εκδόσεις Κλειδάριθμος, 140-145.
- [8] Σχεδιασμός και Βελτιστοποίηση Εφοδιαστικής Αλυσίδας, Ιωάννης Μαρινάκης, Αθανάσιος Μυγδαλάς, εκδόσεις Σοφία, 469-476.