

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



‘Πρόβλημα χωροθέτησης ηλεκτρικών πατινιών’

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΚΥΡΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

cv10902

Επιβλέπων καθηγητής: Κωνσταντίνος Κεπαπτσόγλου

Αθήνα 2022

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ:

Ολοκληρώνοντας την σχολή πολιτικών μηχανικών Ε.Μ.Π. με την παρούσα διπλωματική εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κο . Κωνσταντίνο Κεπατσόγλου για την αμέριστη κατανόηση του και βοήθεια του προς το πρόσωπο μου και την πολύτιμη συμβολή τους ως προς την ολοκλήρωση της εργασίας μου .

ΚΥΡΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι το να αναπτυχθεί ένα μοντέλο – πρότυπο που θα αφορά τη βέλτιστη χωροθέτηση των σταθμών φόρτισης των ηλεκτρικών πατινιών. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος χρησιμοποιήθηκε το πρόβλημα σταθερού κόστους, χάρη στο οποίο μπόρεσε να καθοριστεί ο βέλτιστος αριθμός και οι πιθανές θέσεις τοποθέτησης των πατινιών. Παράλληλα εφαρμόστηκε ένας γενετικός αλγόριθμος για την επίλυση του μοντέλου χωροθέτησης στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής του οποίου τα αποτελέσματα παρουσιάζονται εκτενέστατα στο τέλος αυτής της εργασίας.

Λέξεις κλειδιά

Πρόβλημα Χωροθέτησης Εγκαταστάσεων, Βελτιστοποίηση, Πρόβλημα Σταθερού Κόστους, Γενετικοί Αλγόριθμοι, Ηλεκτρικά Πατίνια

ABSTRACT

The object of this thesis is to develop a model – standard that will concern the optimal location of charging stations for electric skates. To solve this problem, the fixed cost problem was used, thanks to which it was possible to determine the optimal number and possible placement positions of the skates. At the same time, a genetic algorithm was applied to solve the siting model in the wider region of Attica, the results of which are presented in detail at the end of this paper.

Key Words

Facility Location Problem, Optimization, Fixed Cost Problem, Genetic Algorithms, Electric Skates

Περιεχόμενα

Περίληψη	2
Λέξεις κλειδιά.....	2
ABSTRACT	3
Key Words	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1.1 Γενικά	6
1.2 Βιώσιμη κινητικότητα	7
1.3. Μικροκινητικότητα.....	10
1.4. Η νέα παγκόσμια πραγματικότητα που επιφέρει η ηλεκτροκίνηση	10
1.5 Το ηλεκτρικό πατίνι και η λειτουργία του	13
1.6 Υπέρ & Κατά	21
1.6α Πλεονεκτήματα ηλεκτρικών πατινιών	21
1.6β. Μειονεκτήματα ηλεκτρικών πατινιών	22
1.7 Κύρια μέτρα και στοχεύσεις των εταιρειών – παρόχων ηλεκτρικών πατινιών	23
1.8. Δομή της διπλωματικής εργασίας	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	26
2.1 Το πρόβλημα της χωροθέτησης εγκαταστάσεων	26
2.2. Μεθοδολογία	27
2.3 Κριτήρια χωροθέτησης σταθμών φόρτισης ηλεκτρικού πατινιού	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ.....	29
3.1 Βασικά Μοντέλα Χωροθέτησης	29
.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	37
4.1 Διαμόρφωση του Προβλήματος Σταθερού Κόστους.....	37
4.2 Γενετικοί αλγόριθμοι.....	40
4.2.1 Η έννοια του γενετικού αλγορίθμου.....	40
4.2.2 . Στάδια Γενετικών αλγορίθμων.....	44
4.2.3. Πλεονεκτήματα της χρήσης γενετικών αλγορίθμων	49
4.2.4. Επιλογή των γενετικών αλγορίθμων σε τεχνικές επίλυσης προβλημάτων χωροθέτησης.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΚΑΙ ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ	53
5.1 Δεδομένα του Προβλήματος.....	53
5.2. Οι παράμετροι του Γενετικού Αλγορίθμου	57
5.3. Τα κυριότερα αποτελέσματα επίλυσης του γενετικού αλγορίθμου	58

5.4. Ποιοτική προσέγγιση του μαθηματικού προβλήματος μέσω της μεθόδου της αναλύσεως ευαισθησίας	63
5.5. Σύνοψη Αποτελεσμάτων.....	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	66
6.1: Παράθεση - Ανάλυση	66
6.2. Παραμετροποίηση γενετικού αλγορίθμου	66
6.3. Ανάλυση ευαισθησίας του γενετικού αλγορίθμου	66
6.4. Σύγκλιση του γενετικού αλγορίθμου.....	67
6.5. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	68
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	69

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί ένα εισαγωγικό χωρίο της διπλωματικής αυτής εργασίας, όπου πραγματοποιείται μια συνοπτική παράθεση των κυριότερων κατασκευαστικών στοιχείων, της λειτουργικότητας και του πεδίου εφαρμογής των ηλεκτρικών πατινιών. Στη συνέχεια παρατίθενται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης των ηλεκτρικών πατινιών στο πλαίσιο ανάπτυξης της βιώσιμης κινητικότητας εντός των αστικών ιστών, ενώ τέλος πραγματοποιείται η παράθεση του βασικού ερευνητικού αντικειμένου της διπλωματικής αυτής εργασίας σε συνδυασμό με την απεικόνιση της διάρθρωσης της δομής της.

1.1 Γενικά

Η παγκόσμια κλίμακα ύπαρξη αναγκαιότητας ως προς τη μείωση της εκπομπής των ρύπων (παραπροϊόντων καύσης) και την ανάπτυξη ενός άνετου, οικονομικού και περιβαλλοντικά προσφιλούς τρόπου για τη μετακίνηση σε ακτίνα μικρών αποστάσεων ανέδειξε τον τεχνολογικό κλάδο της κατασκευής των ηλεκτρικών πατινιών. Σύμφωνα με διεθνείς έρευνες και δημοσιευμένη επιστημονική αναφορά το 2019, τα ηλεκτρικά πατίνια αποτελούν μια από τις βέλτιστες και λιγότερο κοστοβόρες λύσεις για το πρόβλημα της μετακίνησης του τελευταίου μιλίου, δηλαδή για το τελικό τμήμα μετακίνησης με τα μέσα μαζικής μεταφοράς.

Στην οικονομία της Κίνας επικράτησαν τα τελευταία χρόνια ηλεκτρικά πατίνια τα οποία κινούνται με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού κινητήρα, γεγονός το οποίο έχει ως αποτέλεσμα να μην απαιτείται η τοποθέτηση αυτών σε ειδικούς χώρους στάθμευσης. Αυτά τα ηλεκτρικά πατίνια εξοπλίζονται συνήθως με ειδικούς πομπούς GPS, έτσι ώστε να είναι δυνατή η πρόσβαση στο διαδίκτυο και να ανταποκρίνονται επιτυχώς σε ειδικές πλατφόρμες μέσω χρήσης κινητού. Στην Ελλάδα μέχρι στιγμής γίνεται χρήση μόνο των ανωτέρω ηλεκτρικών πατινιών χωρίς να αποκλείεται σύμφωνα με δημοσιευμένα άρθρα και η χρήση των κατωτέρω εντός της προσεχούς πενταετίας. Σε αντίθεση στις ΗΠΑ επικράτησε τόσο τεχνολογικά όσο και σε οικονομικό επίπεδο η χρήση ηλεκτρικών πατινιών, τα οποία λειτουργούν ως βενζινοκίνητα μοτοποδήλατα. Αυτή η κατηγορία ηλεκτρικών πατινιών έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να αναπτύξει υψηλότερες ταχύτητες, να εξυπηρετήσει μεγαλύτερες αποστάσεις ενώ ταυτόχρονα εντάσσονται και σε υψηλότερη κλίμακα κόστους.

Η διεθνώς κατοχυρωμένη πατέντα για το σχεδιασμό και την κατασκευή του πρώτου ηλεκτρικού πατινιού αποδίδεται στον Ogden Bolton το 1895. Το ηλεκτρικό αυτό πατίνι είχε σχεδιαστεί έτσι ώστε να λειτουργεί με μια μπαταρία ισχύος 10 V και όπου το ηλεκτρικό μοτέρ ήταν τοποθετημένο στο καπάκι της πίσω ρόδας. Στη συνέχεια η πρώτη κατασκευάστρια εταιρεία η οποία ανέλαβε την παραγωγή των πρώτων ηλεκτρικών πατινιών, ήταν η Ajax Motor στη Νέα Υόρκη το 1920. Αμέσως μετά μέσα από μια Γαλλική εταιρεία έκανε την εμφάνισή του ένα τρίκυκλο ποδήλατο (Electrocyclette), το οποίο είχε τη μπαταρία στο κάτω τμήμα της σέλας, το οποίο όμως δεν εντάχθηκε επιτυχώς στη διεθνή αγορά καθώς ακόμη παρουσιαζόντουσαν αρκετά

κατασκευαστικά και τεχνολογικά προβλήματα.

Η έλλειψη πετρελαϊκών προϊόντων και ορυκτών καυσίμων κατά τη διάρκεια του Δευτέρου Παγκοσμίου πολέμου και η αναγκαιότητα διερεύνησης εναλλακτικών μορφών ενέργειας με κύρια στόχευση τη μείωση του κόστους μεταφοράς ώθησε τον Earl Williams στην κατασκευή ενός ηλεκτροκίνητου ποδήλατου (Par Car). Την ίδια χρονική περίοδο στην Ευρώπη σημειώνεται ένας πολύ υψηλός δείκτης ανάπτυξης σε ότι αφορά στη ηλεκτροκίνητη μηχανολογία και στην περιβαλλοντική πολιτική καθώς παράγονται από τη Βέλγικη εταιρεία Sokovel 400 ηλεκτρικά οχήματα, τα οποία πουλιούνται άμεσα.

Σημαντική ανοδική πορεία σημειώνεται στο συγκεκριμένο τεχνολογικό κλάδο και κατά τη δεκαετία του 1970 λόγω της άνθισης της ερευνητικής δραστηριότητας στις κυψέλες καυσίμου, οι οποίες επιτρέπουν πλέον τη μετακίνηση πολυάριθμων ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Παράλληλα κάνουν την εμφάνισή τους και υβριδικά μοντέλα πατινιού (συνδυασμός βενζινοκίνησης και ηλεκτροκίνησης), τα οποία χαρακτηρίζονταν από σημαντική αυτονομία ως προς την κινητικότητά τους (200 μίλια) και αύξηση της μέσης ταχύτητάς τους από τα 15 στα 25 μίλια/ώρα. Με την πάροδο των χρόνων και με πολλαπλές τεχνολογικές επεμβάσεις από ειδικευόμενες κατασκευάστριες εταιρείες η αυτονομία των ηλεκτρικών πατινιών προσέγγισε τα 50 μίλια και η μέση ταχύτητά τους τα 30 μίλια/ώρα.

Στη σύγχρονη εποχή κύρια στόχευση σε κάθε περίπτωση για να μπορεί να καταστεί το οποιοδήποτε μοντέλο ηλεκτρικού πατινιού ανταγωνιστικό και προσοδοφόρο στο πεδίο των πραγματικών συνθηκών αποτελεί η ικανοποίηση της παραμέτρου του μικρού βάρους, της φορητότητας, της χαμηλής φορολογίας, της φθηνότερης συντήρησης, της φθηνότερης ασφάλισης, της ύπαρξης ειδικού πλαισίου νομοθεσίας, της ποιοτικής μεταφοράς και της μέγιστης δυνατής ασφάλειας.

1.2 Βιώσιμη κινητικότητα

Όπως ήδη αναφέρθηκε εν συντομία η διερεύνηση της χρήσης και η ανάπτυξη πολλαπλών κατασκευαστικών στοιχείων που αφορούν στον κύριο σκελετό συγκράτησης του ηλεκτρικού πατινιού σχετίζεται με την άμεση και σημαντική βελτίωση που θα επιφέρει η διευρυμένη παρουσία αυτού στα δίκτυα κυκλοφοριακής ροής τόσο σε οικονομικό όσο και σε πολιτισμικό – κοινωνικό επίπεδο. Σχετικά με τα προαναφερθέντα, μέσα σε ένα ευρύτερο εννοιολογικό πλαίσιο ως βιώσιμη κινητικότητα θα μπορούσε να ορισθεί το πεδίο των ανεμπόδιστων μετακινήσεων σε έναν αστικό χώρο όταν αυτές δεν προκαλούν πέδηση στις δυνατότητες μετακίνησης των επερχόμενων γενεών. Για την επίτευξη του παραπάνω στόχου πέραν του ορθού σχεδιασμού τόσο της ρυμοτομίας των πόλεων όσο και των οδικών δικτύων μεταφοράς θα πρέπει να διασφαλισθεί και η ακεραιότητα των περιβαλλοντολογικών μεγεθών (μέσω της απουσίας φαινομένων και παραγόντων επιμόλυνσης της ατμόσφαιρας), γεγονός το οποίο θα επιτευχθεί μέσω χρήσης ανανεώσιμων πηγών

ενέργειας.

Επιπρόσθετα το αστικό σχέδιο της πόλης τόσο κατασκευαστικά όσο και λειτουργικά θα πρέπει να προβλέπει την εφαρμοστικότητα της βιώσιμης κινητικότητας μέσω των υποδομών των δικτύων μεταφοράς για όλα τα κοινωνικά στρώματα (ανεξαρτήτως οικονομικών και μαθησιακών παρεκκλίσεων), ενώ ακόμη η προσπάθεια ανάπτυξης αυτού θα πρέπει να πραγματοποιείται με επιστάμενο τρόπο είτε πρόκειται για κράτος με οικονομική ευημερία (παγκόσμιος βορράς) είτε για κράτος το οποίο χαρακτηρίζεται από μικρότερη οικονομική ανάπτυξη (παγκόσμιος νότος).

Για να διασφαλισθεί ένα αστικό οδικό δίκτυο βιώσιμης κινητικότητας δεν θα πρέπει να παραχωρείται δημόσιος χώρος υπέρ των μεταφορών αλλά ούτε και για τη διευκόλυνση της κυκλοφοριακής ροής να αλλοιώνεται η δομή του κύριου αστικού ιστού. Επιπρόσθετα οι εκπομπές των ρύπων από τα μέσα μαζικής μεταφοράς θα πρέπει να έχουν ποσοστιαίες συγκεντρώσεις οι οποίες μπορούν να απορροφηθούν χωρίς ουσιαστικές συνέπειες από το ίδιο το περιβάλλον, χωρίς φυσικά να επηρεάζονται οι συνθήκες διαβίωσης εντός του κοινωνικού ιστού μέσω διασταυρούμενων επιμολύνσεων λόγω αύξησης της θερμοκρασιακής βαθμίδας και αιώρησης παραπροϊόντων της καύσης πετρελαιοειδών και υδρογονανθράκων. Ακόμη σημαντική αναγκαιότητα αποτελεί και η διασφάλιση του βιοτικού επιπέδου εντός του αστικού ιστού έναντι της συνεχούς πρόκλησης θορύβου και της συνεπαγόμενης ηχητικής ρύπανσης. Συμπερασματικά σε κάθε περίπτωση το πρωταρχικότερο και το κυρίαρχο στοιχείο για το σχεδιασμό του οδικού δικτύου αποτελεί ο ίδιος ο άνθρωπος και η κάλυψη των λειτουργικών του απαιτήσεων από όποια κοινωνική τάξη ή στάθμη και αν προέρχεται σε αντιπαράβολή φυσικά με την πιθανότητα κερδοφορίας των κατασκευαστικών εταιρειών οδικών αξόνων ή ακόμη και των ίδιων των αυτοκινητοβιομηχανιών.

Τα ηλεκτρικά πατίνια ανήκουν και διαμορφώνουν το πεδίο του πιο οικολογικού τρόπου συμπεριφοράς ενός αυτοκινήτου μέσου καθώς η λειτουργία τους περιορίζεται στη χρήση της ηλεκτροκίνησης. Έχει προβλεφθεί μέσω ειδικών στατιστικών – πιθανοθεωρητικών μοντέλων ειδικά προσαρμοσμένων στο σχεδιασμό οδικών δικτύων για ηλεκτροκίνητα μέσα μεταφοράς ότι εντός της προσεχούς δεκαετίας η αυξανόμενη εκλογικευμένη και αποδοτική χρήση αυτών θα επιφέρει μείωση του ποσοστού του εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα κατά περίπου 5% (τιμή κάθε άλλο παρά αμελητέα με βάση τα πρωτόκολλα διασφάλισης της βιώσιμης ανάπτυξης του κανονιστικού πλαισίου Ευρωπαϊκών περιβαλλοντολογικών οργανισμών).

Πιο συγκεκριμένα τα ηλεκτρικά δίκυκλα (για παράδειγμα τα ηλεκτρικά πατίνια, τα e-bikes κ.α) μέσω του υψηλού βαθμού απόδοσης της ηλεκτροκίνητης μηχανής που τα χαρακτηρίζει (της τάξης 80 – 85% έναντι του 20 – 30% για τους συμβατικούς εμβολοφόρους κινητήρες των μηχανών εσωτερικής καύσης) επιτυγχάνουν σημαντικό περιορισμό ως προς την εξαγωγή ρυπογόνων παραγόντων με άμεση συνέπεια τη μείωση του αποτυπώματος του άνθρακα (carbon foot print) σε διεθνή κλίμακα. Επιπρόσθετα σε σύγκριση με τις συμβατικές πετρελαιοκίνητες μηχανές εσωτερικής

καύσης οι ηλεκτροκινητήρες χαρακτηρίζονται από μειωμένο κόστος συντήρησης (της τάξης του 70 – 75%), συμπεριλαμβανομένης της αναγκαιότητας και του κόστους αντικατάστασης των συσσωρευτών. Ακόμη για την επαναφόρτιση των μπαταριών είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν όλα τα είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ενώ τα τέλη κυκλοφορίας είναι μηδενικά. Σε ότι αφορά στα δίκυκλα οχήματα η αυτονομία που παρέχεται μέσω της ηλεκτροκίνησης κυμαίνεται μεταξύ των 30 και των 100 χιλιομέτρων, με αποτέλεσμα να υπερκαλύπτεται η ημερήσια χρήση τους, εφόσον η ένταξή τους στην κυκλοφοριακή ροή ενός αστικού δικτύου σχετίζεται με τη εξυπηρέτηση και τη μετακίνηση εντός χωροθετημένων μικρότερων αποστάσεων από περιοχή σε περιοχή μιας πόλης ή σε συνδυαστική χρήση αυτών με τα υπόλοιπα μέσα μαζικής μεταφοράς. Η φόρτιση των ηλεκτρικών πατινιών πραγματοποιείται είτε στην οικία του χρήστη είτε στην περίπτωση που φέρει την ευθύνη η εταιρεία διανομής των ηλεκτρικών πατινιών, από την ίδια την εταιρεία η οποία αναλαμβάνει τόσο σε νομικό όσο και σε οικονομικό πλαίσιο τη συλλογή, τη φόρτιση και την επανατοποθέτηση των ηλεκτρικών πατινιών.

Το φάσμα διερεύνησης της αποδοτικότητας και της εφαρμοσιμότητας των ηλεκτροκίνητων οχημάτων εντός της κυκλοφοριακής ροής των αστικών κέντρων έχει συμπεριληφθεί ως ένας από τους κυριότερους στόχους διαμόρφωσης του αστικού σχεδίου βιώσιμης κινητικότητας καθώς βάσει της αρχής λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα και με το συγκεκριμένο τρόπο μεταφοράς ενέργειας ο οποίος απαιτείται δεν εκλύονται καθόλου ρυπογόνοι παράγοντες. Σε αντιδιαστολή με τον παγκόσμιο άξονα ανάπτυξης καινοτόμων μεθόδων – διαδικασιών κάλυψης των μεταφορικών απαιτήσεων η Ελλάδα μέχρι στιγμής ακολουθεί μια παρωχημένη πολιτική με μη ικανότητα και ευελιξία αναπροσαρμογής στο φάσμα των νέων διεθνών περιβαλλοντολογικών απαιτήσεων καθώς βρίσκεται στην προτελευταία θέση κατάταξης στην Ευρώπη αναφορικά με τη χρήση του ηλεκτρικού πατινιού.

Καθώς το ηλεκτρικό πατίνι διαθέτει ενσωματωμένο GPS στο λογισμικό του, ο πάροχος του, είτε πρόκειται για ιδιωτική εταιρεία είτε για δημόσιο φορέα δύναται να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή τις γεωγραφικές καρτεσιανές συντεταγμένες της θέσης του. Το παραπάνω λογισμικό καθώς και ο συγχρονισμός των λειτουργιών αυτού αναφέρονται στη διεθνή ερευνητική κοινότητα με την ορολογία geolocation, όπου σύμφωνα με τη βασική αρχή απόκρισης του συστήματος κάθε στιγμή που το όχημα εκπέμπει σήμα μέσω μιας ορισμένης συχνότητας, η οποία γίνεται αντιληπτή από έναν δορυφόρο, ενημερώνεται το πεδίο για τη θέση και την ταχύτητα του οχήματος. Εάν το σήμα δεν είναι δυνατό να μεταδοθεί μέσω του δορυφόρου τότε τη λήψη και την επαναδιανομή αυτού αναλαμβάνουν ειδικοί ηλεκτρονικοί πύργοι οι οποίοι λειτουργούν με συστήματα κυψελών. Κατ' αυτό το τρόπο ο πάροχος του ηλεκτρικού πατινιού μπορεί να προδιαγράψει και να οριοθετήσει το γεωγραφικό πεδίο λειτουργίας και την εμβέλεια μετακίνησής του, παρεμποδίζοντας το χρήστη να μετακινηθεί σε σημεία εκτός της προεπιλεγμένης επιτρεπτής – ενεργούς περιοχής. Η ίδια ακριβώς διαδικασία επαναλαμβάνεται σε περιπτώσεις κατά τις οποίες ο χρήστης είτε θα αποπειραθεί να εισέλθει σε οδούς που έχουν κριθεί σαν αυξημένης επικινδυνότητας λόγω του μειωμένου συντελεστή ασφαλείας (π.χ λεωφόροι πολλαπλών οδικών λωρίδων) είτε θα προσπαθεί να αναπτύξει ταχύτητες πάνω από ένα συγκεκριμένο

οριοθετημένο πεδίο τιμών.

1.3. Μικροκινητικότητα

Η καινοτομία του παρόντος ερευνητικού πεδίου και η επισταμένη τεχνολογική, οικονομική, περιβαλλοντική και κοινωνική ανάλυση που απαιτείται εντάσσονται στα πλαίσια της ικανοποίησης της λεγόμενης μικροκινητικότητας (micro – mobility), δηλαδή της μετακίνησης οχημάτων μικρού μεγέθους μέσω της κίνησης του σώματος ή με τη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος. Ισχυρό πλεονέκτημα σε ότι αφορά στη χρήση των οχημάτων αυτών (ποδήλατο, ηλεκτρικό πατίνι ή μοτοσακό) αποτελεί πέρα από τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης το γεγονός ότι αυτά μπορούν ενταχθούν σε έναν ευρύτερο σχεδιασμό συνδυαζόμενα με μέσα μαζικής μεταφοράς.

Η δημοφιλία των ηλεκτρικών πατινιών γνώρισε τη μεγαλύτερη έξαρση της ανά τον κόσμο το 2017, όταν τόσο στις ΗΠΑ όσο και στην Κίνα αναπτύχθηκαν ειδικά επιχειρηματικά μοντέλα με υπηρεσίες ενοικίασης χωρίς την απαίτηση ύπαρξης χώρων στάθμευσης, αλλά αντίθετα με τη δυνατότητα ο χρήστης να μπορεί να κλειδώσει το ποδήλατό του σε οποιοδήποτε σημείο της πόλης. Στη συνέχεια στο ευρύτερο κοινωνικό πλαίσιο εντάχθηκε από την εταιρεία Bird με έδρα στη Καλιφόρνια η δυνατότητα ενοικίασης ηλεκτρικών πατινιών μέσω μιας ειδικής εφαρμογής στο κινητό.

Στην Ελλάδα τα πρώτα ηλεκτρικά πατίνια έκαναν την εμφάνισή τους τον Ιανουάριο του 2019 από την εταιρεία Lime και την υπηρεσία ενοικίασης e scooter με στόχο την εξυπηρέτηση του κέντρου της Αθήνας και της ευρύτερης περιοχής. Λίγους μήνες μετά στο δεδομένο τεχνολογικό πεδίο παρουσιάστηκε και η ανταγωνίστρια εταιρεία Hive ενώ ταυτόχρονα οι υπηρεσίες και των δύο αυτών φορέων εξαπλώθηκαν και στην περιοχή της Θεσσαλονίκης.

1.4. Η νέα παγκόσμια πραγματικότητα που επιφέρει η ηλεκτροκίνηση

Το εναλλακτικό και νεωτεριστικό μέσο μετακίνησης του ηλεκτρικού πατινιού έκανε την πρώτη του εμφάνιση στο Σαν Φραντσίσκο των Ηνωμένων Πολιτειών το έτος 2012. Έκτοτε επήλθε σημαντικότερη ανάπτυξη – βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών επί του συγκεκριμένου κλάδου καθώς μόλις το 2017 αναπτύχθηκε στην ίδια πόλη η πρώτη βιομηχανική υπομονάδα ενοικίασης ηλεκτρικών πατινιών, χωρίς την διαρρύθμιση συγκεκριμενοποιημένων θέσεων και χωρίς περιορισμούς τόσο στην παραλαβή όσο στη μετακίνηση και στη στάθμευση. Όταν η δημοτικότητα της χρήσης του ηλεκτρικού πατινιού φάνηκε να υπερβαίνει ακόμη και αυτής του ποδηλάτου πραγματοποιήθηκε η ταχύρρυθμη εξάπλωσή του και σε άλλες πολιτείες της Αμερικής ενώ σε δεύτερο στάδιο επεκτάθηκε η εμβέλειά του και εκτός Αμερικανικών συνόρων με την Ευρώπη να αποτελεί τον πρωταρχικό – κυρίαρχο στόχο για αποδοτικά και στοχευμένα επενδυτικά πλάνα από τις εταιρείες ενοικίασης των ηλεκτρικών πατινιών.

Οι χώρες της Ευρώπης με βάση όλες τις κοινωνικό-πολιτικό-οικονομικές μελέτες χαρακτηρίστηκαν ως οι ιδανικότερες για την επενδυτική κίνηση των εταιρειών ενοικίασης ηλεκτρικών πατινιών εκτός των ΗΠΑ, καθώς οι πολίτες των δυτικών κρατών είναι λόγω νοοτροπίας περισσότερο εξοικειωμένοι με τη χρήση εναλλακτικών μέσων μεταφοράς, με αποτέλεσμα η προσβασιμότητα σε αυτούς να είναι ανεμπόδιστη σε αντίθεση για παράδειγμα με τις πολιτείες του Παγκόσμιου Νότου. Η χρήση του ηλεκτρικού πατινιού άλλωστε δεν έχει ως κύρια στόχευση μονάχα την οικολογική αντικατάσταση της μοτοσυκλέτας και τη μείωση της πυκνότητας επιφανειακής κάλυψης των οχημάτων σε μια πόλη, αλλά προδιαγράφει κατά κύριο λόγο την εκπλήρωση των συνθηκών για την απρόσκοπτη και συνεχώς διευκολυνόμενη καθημερινή μετακίνηση των πεζών, επιτρέποντάς τους να καλύψουν σε μικρότερο χρονικό διάστημα μια συγκεκριμένη επιθυμητή απόσταση. Δυστυχώς κοινωνική πραγματικότητα αποτελεί το γεγονός ότι υπάρχει μέρος του πληθυσμού το οποίο δε μπορεί να διαθέσει ανά τακτά χρονικά διαστήματα το μικρό απαιτούμενο αντίτιμο για την ενοικίαση του ηλεκτρικού πατινιού και προτιμά να μεταβεί στον προορισμό του είτε με τα πόδια είτε με ένα συνολικά οικονομικότερο μέσο μαζικής μεταφοράς. Επιπρόσθετα οι οδηγοί των μοτοσυκλετών και των αυτοκινήτων έχει αποδειχθεί ότι βάσει ψυχολογικών κριτηρίων δύσκολα θα επιλέξουν να διαθέσουν ένα χρηματικό ποσό το οποίο αναλογεί σε μέρος των καυσίμων του κανονικού τους οχήματος για να το αντικαταστήσουν σε καθημερινή βάση με το ηλεκτρικό πατίνι εάν δεν υπάρχουν και οι κατάλληλες πολιτειακές υποδομές.

Οι μεγαλύτερης οικονομικής εμβέλειας εταιρείες που δραστηριοποιούνται στο χώρο ενοικίασης των ηλεκτρικών πατινιών εντός των Ευρωπαϊκών και Αμερικανικών συνόρων είναι η Bird, η Bolt Mobility, η Jump Bikes, η Lyft, η RazorUSA, η Scoot Networks, η Skip, η Spin καθώς και οι Lime, Hive που έφεραν το ηλεκτροκίνητο αυτό μέσο στην Ελλάδα. Η κάθε μια από τις προαναφερθείσες αυτές εταιρείες έχει ορίσει διακριτά επενδυτικά πλάνα και κινήσεις αναφορικά με τις πόλεις στις οποίες θα εισάγει και διανέμει το ηλεκτρικό πατίνι. Κατά συνέπεια σε κάθε πόλη της Ευρώπης όπου λαμβάνει χώρα διευρυμένη χρήση του συγκεκριμένου ηλεκτροκίνητου μέσου διατίθεται και πολλαπλό πεδίο εταιρειών εκμετάλλευσης των οικονομικών δικαιωμάτων των ηλεκτρικών πατινιών. Σύμφωνα με τη διεθνή ερευνητική κοινότητα συγκοινωνιακών μελετών και υποστήριξης οδικών δικτύων και βάσει ενδελεχών μελετών που πραγματοποιήθηκαν τον Αύγουστο του 2018, οι Ευρωπαϊκές πόλεις οι οποίες χαρακτηρίστηκαν από τη μεγαλύτερη κοινωνική ανταπόκριση και διέθεταν στο κέντρο του αστικού ιστού και του οδικού δικτύου τους το μεγαλύτερο στόλο από ηλεκτρικά πατίνια ήταν το Βερολίνο, η Μαδρίτη και το Παρίσι. Τα επενδυτικά βήματα που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια του έτους 2018 στην Ευρώπη από υπεργολήπτριες εταιρείες που ανήκουν στις βιομηχανίες ενοικίασης ηλεκτρικών πατινιών μεταφράστηκαν σε άμεσο κεφάλαιο βάσει μακροοικονομικών και μικροοικονομικών προσεγγίσεων της τάξης των 150 εκατομμυρίων δολαρίων. Η παραπάνω επενδυτική συνθήκη στο πλαίσιο ενός ασφαλούς πλαισίου απόσβεσης του καταναλωθέντος χρήματος και της υγιούς τεχνικοοικονομικής απόδοσης του συστήματος προοικονομεί όπως είναι λογικό κερδοφορία της τάξης των εκατοντάδων εκατομμυρίων δολαρίων.



Εικόνα 1.0.1 Πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα, δυνατότητες και περιορισμοί αναφορικά με τη χρήση ηλεκτρικών πατινιών στα αστικά οδικά δίκτυα.

Ιδιαίτερα σημαντική παρατήρηση αποτελεί το γεγονός ότι παρά το ότι κάθε εταιρεία ενοικίασης ηλεκτρικών πατινιών επέλεξε διαφορετικές πολιτείες της Αμερικής και πόλεις της Ευρώπης για να επεκταθεί και να αναδιαμορφώσει την επενδυτική της δραστηριότητα, υπήρξε σε όλες τις περιπτώσεις μια κοινή ενιαία βάση αναφοράς. Όλες αυτές οι εταιρείες ανέλαβαν την οικονομική διαχείριση και τη διανομή των ηλεκτρικών πατινιών εκτός οποιουδήποτε γενικευμένου ή μεμονωμένου κανονιστικού – νομοθετικού πλαισίου για ηλεκτροκίνητα μεταφορικά μέσα, καθώς η Ευρωπαϊκή Ένωση δεν είχε αναλάβει ούτε καταλήξει στην έκδοση συγκεκριμένων προδιαγραφών – προτυποποιήσεων βάσει των δικών της πρωτοκόλλων διασφάλισης της αρτιότητας και της ευρυθμίας των κυκλοφοριακών ροών με ισχύουσες διατάξεις για όλα τα επιμέρους κράτη, με αποτέλεσμα η εκάστοτε δημοτική ή κρατική αρχή να καλείται να ορίσει το δικό της νομικό πλαίσιο. Ως συνέπεια των παραπάνω αποδιδόμενων στοιχείων εκδηλώθηκε ένα κίνημα διαμαρτυρίας των πολιτών καθώς και τα ίδια τα δημοτικά συμβούλια αιφνιδιάστηκαν από την επέκταση της χρήσης ενός μεταφορικού μέσου επί του οποίου ουδείς γνώριζε τι δικαιώματα είχε και ποιοι περιορισμοί αγκάλιαζαν το πεδίο αυτό των δικαιωμάτων.

Οι δραστικότερες κοινωνικές αναδράσεις απέναντι σε αυτό το μηχανισμό αφορούσαν στην πιθανότητα καθολικής απαγόρευσης της χρήσης του ηλεκτρικού πατινιού εάν συνέχιζε να εκλείπει οποιοδήποτε πλαίσιο λήψης ουσιαστικών μέτρων διαχειριστικού τύπου. Μέχρι και τις μέρες μας δυστυχώς υπάρχουν Ευρωπαϊκές χώρες οι οποίες δεν έχουν θεσπίσει κάποιο αποδεκτό κανονιστικό πλαίσιο και επιτείνουν την ανεξέλεγκτη χρήση των ηλεκτρικών πατινιών. Αξίζει να σημειωθεί όμως ότι στις περισσότερες πόλεις ψηφίστηκαν και καθιερώθηκαν διαφορετικά και μονοσήμαντα νομοθετικά πλαίσια τα οποία διασφαλίζουν την εύρυθμη διακίνηση των ηλεκτρικών πατινιών εντός του αστικού ιστού μέσα από ένα φάσμα γόνιμων και αποδοτικών μέτρων και περιορισμών.

1.5 Το ηλεκτρικό πατίνι και η λειτουργία του

Η αποσυμφόρηση της κυκλοφοριακής αποτελεί κυρίαρχο στόχο εδώ και τουλάχιστον 15 χρόνια στην Ελλάδα τόσο για τους πολεοδόμους (ρυμοτομικός σχεδιασμός) όσο και για τους πολίτες (λειτουργικότητα μετακινήσεων). Η στόχευση αυτή στα αρχικά στάδια προσεγγίσθηκε υπό το πρίσμα της ενίσχυσης της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς. Ειδικότερο στο λεκανοπέδιο της Αττικής καταλυτικό ρόλο διαδραμάτισε ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη των γραμμών μετρό στις αρχές του 21^{ου} αιώνα, εγχείρημα το οποίο απέδωσε σημαντικά οφέλη στην αποσυμφόρηση της κυκλοφοριακής ροής εντός του αστικού ιστού ιδιαίτερα κατά τις ώρες αιχμής.

Τα ίδια στάδια εξελικτικής πορείας ως προς τη διαρρύθμιση των κυκλοφοριακών ροών μέσω στοχευμένων και ελεγχόμενων επεμβάσεων σε ότι αφορά στη διεύρυνση του δικτύου των μέσων μαζικής μεταφοράς ετοιμάζεται να ακολουθήσει και η Θεσσαλονίκη. Επιπρόσθετα όμως στο τεχνολογικό – οικονομικό και πολιτειακό προσκήνιο των πολεοδόμων και συγκοινωνιολόγων επιστημόνων τίθεται η αναζήτηση, η επισταμένη διερεύνηση και η εφαρμογή εντός των κυκλοφοριακών μοντέλων των εναλλακτικών μέσων μετακίνησης.

Το πιο σύγχρονο και εξελιγμένο εναλλακτικό μέσο μετακίνησης σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα ζωής αποτελεί στις μέρες μας το ηλεκτρικό πατίνι. Το μεταφορικό αυτό μέσο πέρα από το γεγονός ότι συμβάλει δυναμικά και πολύ ουσιαστικά στην αποσυμφόρηση της κυκλοφοριακής ροής των αστικών δικτύων ταυτόχρονα βελτιώνει εκθετικά και τη δυνατότητα μετακίνησης των πεζών στους δημόσιους χώρους. Πρόκειται για ένα πολύ οικολογικό μοντέλο μετακίνησης των μαζών καθώς λειτουργεί με επαναφορτιζόμενη ηλεκτρική μπαταρία, με ευκολία διαχείρισης και χρηστικότητας σε όλες τις ηλικίες, πολύ ικανοποιητική λειτουργικότητα για μετακινήσεις εντός της πόλης, καθώς διαθέτει περιορισμένο εκχώρημα όγκου, ευελιξία ελιγμών και αλλαγής πορείας τόσο για τα οδικά δίκτυα όσο και για τους δημόσιους χώρους. Συνολικά όπως έχει αποδοθεί από εκπροσώπους του πολεοδομικού σχεδιασμού τόσο ερευνητικά όσο και μέσω πειραματικών – εφαρμοσμένων συγκοινωνιακών μελετών πρόκειται για ένα εναλλακτικό μέσο μετακίνησης το οποίο θα συμβάλει δραστικά στην αποσυμφόρηση των οδικών δικτύων των πόλεων και συγχρόνως θα πολλαπλασιάσει στο ακέραιο τις δυνατότητες μετακίνησης των πεζών εντός δημοσίων χώρων.

Type A	Type B	Type C	Type D
unpowered or powered up to 25 km/h (16 mph)		powered with top speed between 25-45 km/h (16-28 mph)	
<35 kg (77 lb)	35 – 350 kg (77 – 770 lb)	<35 kg (77 lb)	35 – 350 kg (77 – 770 lb)

Electric personal transportation devices

Max 1 kW
Max 15 km/h

Devices to assist / replace walking

Where to ride, what traffic rules?

- Devices can be used on the sidewalk when moving at walking speed (pedestrian rules)
- Otherwise on cycleways (cyclist rules)

Technical requirements?

- No specific requirements for lights, reflectors etc.

NO LIGHTS REQUIRED
NO SIGNALING DEVICE REQUIRED

Max 1 kW
Max 25 km/h
Max 80 cm wide

Light electric vehicles

Where to ride, what traffic rules?

- Mainly on cycleways
- Self-balancing devices can be used on the sidewalk when moving at walking speed
- Cyclist rules

Technical requirements?

- Sound signalling device
- In dark or dusk, reflector and light on the person is sufficient (forehead light or similar)

NO LIGHTS REQUIRED
NO SIGNALING DEVICE REQUIRED

Max 250 W / max 1 kW
Max 25 km/h

Electrically assisted and motorised bicycles

Where to ride, what traffic rules?

- On cycleways

Technical requirements?

- As for bicycles: sound signalling device, front light (forehead lamp or similar), reflectors in front, at the back and on both sides

NO LIGHTS REQUIRED
NO SIGNALING DEVICE REQUIRED

Όπως ήδη έχει αναφερθεί τα ηλεκτρικά πατίνια διαθέτουν σε όλες τις λειτουργικές



καταστάσεις ενσωματωμένο δίκτυο GPS, τεχνολογία ασύρματης υποστήριξης όλων των επιμέρους συστημάτων τους, αυτόματο κλείδωμα με συγκεκριμένο χρονισμό ενώ συγχρόνως ξεκλειδώνουν μέσω ενός ηλεκτρονικού κωδικού (barcode) ο οποίος διατίθεται στο χρήστη μέσω αντίστοιχης ηλεκτρονικής εφαρμογής στο κινητό του. Η συγκεκριμένη εφαρμογή ενημερώνει το χρήστη για τις συντεταγμένες της θέσης του πλησιέστερου ως προς αυτόν πατινιού, επιτρέποντάς του να το ξεκλειδώσει, να το χρησιμοποιήσει και παρέχοντάς του τη δυνατότητα να το αφήσει οπουδήποτε ο ίδιος

επιθυμεί, καθώς δεν υφίστανται συγκεκριμένα και προκαθορισμένα σημεία στάθμευσης και παραλαβής.

Μέχρι στιγμής το κόστος ξεκλειδώματος του ηλεκτρικού πατινιού κυμαίνεται περίπου στο 1 ευρώ με το κάθε λεπτό διαδρομής να προσαυξάνει το συνολικό κόστος κατά 15 λεπτά επιπλέον. Κατά συνέπεια ο αθροιστικός μέσος όρος του κόστους για τη μια ώρα χρήσης ηλεκτρικού πατινιού ανέρχεται περίπου στα 10 ευρώ και το αντίτιμο καταβάλλεται στο τέλος της διαδρομής μέσω πιστωτικής κάρτας. Τα ηλεκτρικά πατίνια στο τέλος της ημέρας συλλέγονται από την ίδια την εταιρεία και επαναφορτίζονται, ενώ ταυτόχρονα αποδίδονται κινητήρια οφέλη σε οικονομικό επίπεδο για τους πελάτες οι οποίοι αναλαμβάνουν την επαναφόρτισή τους κατά τις νυχτερινές ώρες. Η χρονική διάρκεια της φόρτισης εκτείνεται περίπου στο φάσμα των τριών ωρών, ενώ το μέγιστο όριο ταχύτητας με το οποίο είχε συστηθεί το ηλεκτρικό πατίνι στην Ελλάδα και το οποίο το προσδιορίζει μέχρι σήμερα ήταν τα 25 χλμ/ώρα.

Τέλος δεν απαιτείται διάθεση ειδικής άδειας ή διπλώματος για τη χρήση του ηλεκτρικού πατινιού, με μοναδική περιοριστική παράμετρο μέχρι στιγμής το γεγονός ότι ο οδηγός του ηλεκτρικού πατινιού θα πρέπει ηλικιακά να είναι άνω των 12 ετών.

Personal Light Electric Vehicles with a handlebar and mds* of 20 kph

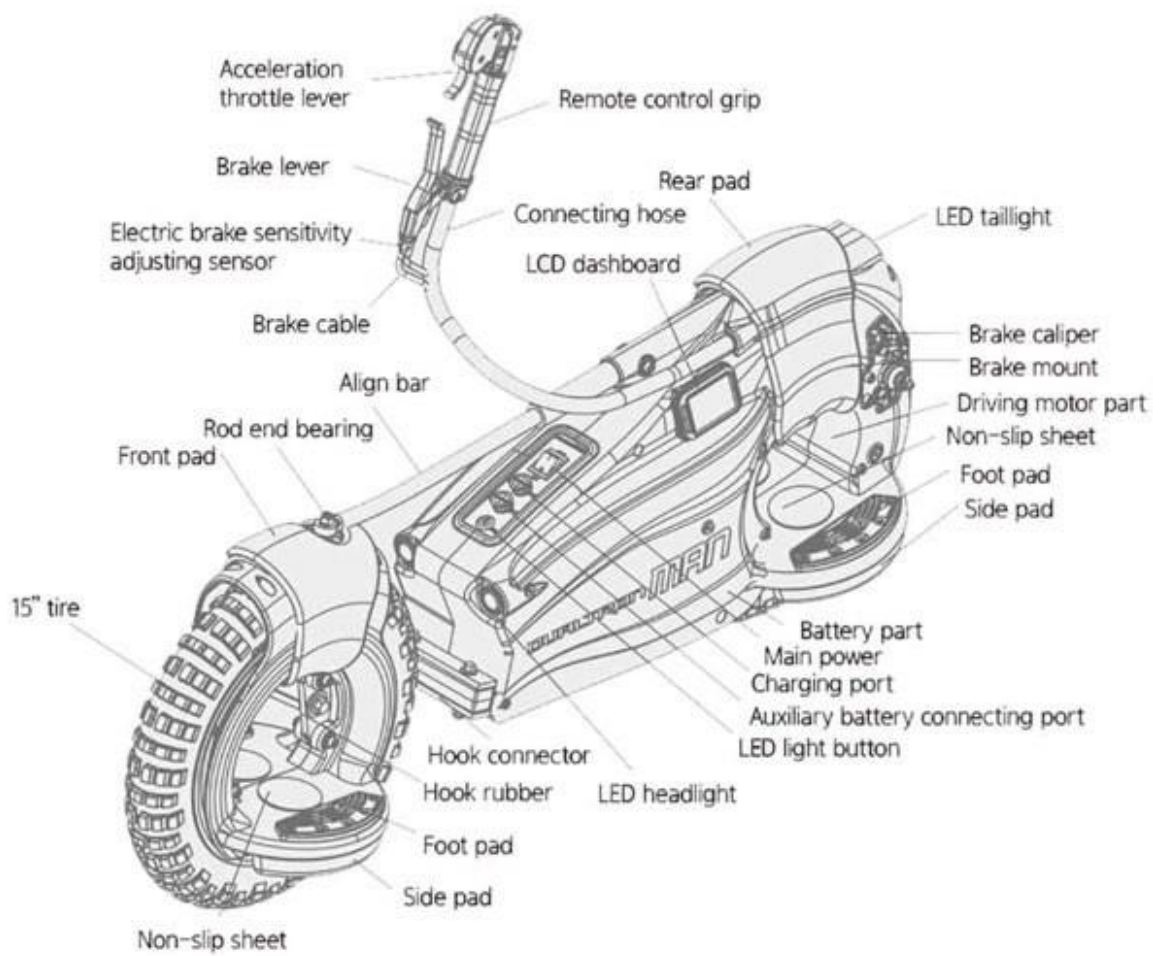
Age	≥ 14 years
How fast?	≤ 20 kph
Where?	Cycle lane
How?	 #HelmetsSave-Lives**  Insurance sticker

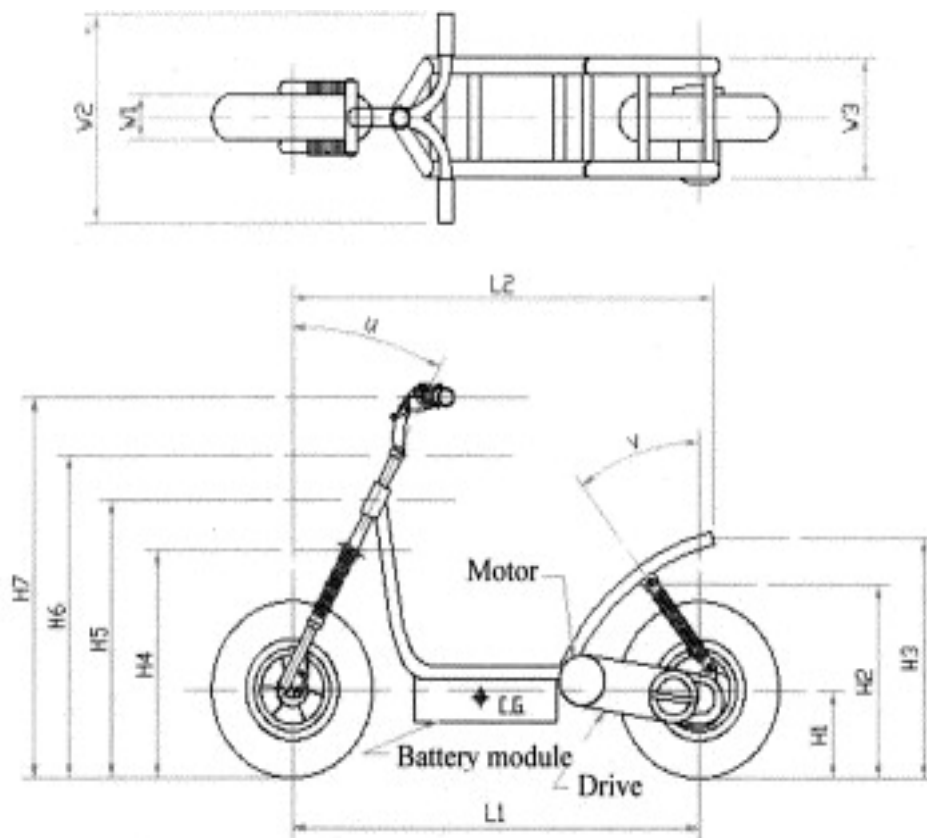
* Maximum design speed ** Helmet is recommended

Η πρώτη πόλη στην Ελλάδα όπου πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός και η εφαρμογή του μοντέλου της έξυπνης κινητικότητας μέσω μιας συνολικής ενέργειας προώθησης των εναλλακτικών μέσων μετακίνησης ήταν η Θεσσαλονίκη. Οι δύο εταιρείες οι

οποίες εισήγαγαν τα ηλεκτρικά πατίνια στην Ελλάδα ήταν η αμερικανική Lime και η γερμανική Hive, η οποία ήλεγχε την ελληνική εταιρεία Beat. Στη συνέχεια οι ίδιες εταιρείες ενοικίασης ηλεκτρικών πατινιών στράφηκαν και σε άλλες πόλεις της Ελλάδας όπως αυτή του Ρεθύμνου ενώ ακόμη στην πορεία πραγματοποιήθηκε σύσταση της ελληνικής εταιρείας Filip η οποία σε πρώτη φάση διένειμε ηλεκτρικά πατίνια στην πόλη του Ηρακλείου της Κρήτης. Στο επόμενο χρονικό στιγμιότυπο ξεκίνησαν προκαταρκτικές έρευνες από τις αρμόδιες εισαγγελικές αρχές, οι οποίες αφορούσαν στη νομιμότητα χρήσης του ηλεκτρικού πατινιού στο αστικό δίκτυο συγκοινωνίας και μέσω των οποίων εξήχθη το συμπέρασμα ότι το ηλεκτρικό πατίνι δεν περιλαμβάνεται στον κώδικα οδικής κυκλοφορίας με αποτέλεσμα καμία συμπεριφορά η οποία συσχετίζεται με αυτό εντός του οδικού δικτύου να μη μπορεί να διωχθεί ποινικά. Το γεγονός αυτό οδήγησε σε συνδυασμό με την ύπαρξη ατυχημάτων στην αντίδραση των πολιτών με αποτέλεσμα το δημοτικό συμβούλιο να αποφανθεί στις 10/9/2019 υπέρ της απομάκρυνσης των ηλεκτρικών πατινιών από την κυκλοφοριακή ροή του οδικού δικτύου.

Η αλήθεια είναι ότι μέχρι και σήμερα δεν έχει διαμορφωθεί ένα ολοκληρωμένο δίκτυο χώρων στάθμευσης, οι οποίοι να αλληλοσχετίζονται ανάλογα με το χρονισμό ενοικίασης ενός ηλεκτρικού πατινιού βάσει μιας ενιαίας πλατφόρμας ελέγχου, με αποτέλεσμα ένα σταθμευμένο πατίνι πολλές φορές να βρίσκεται σε μία θέση όπου αποτελεί εμπόδιο εντός του δημοσίου χώρου για τους πεζούς μετά τη χρήση του ή ακόμη και να καταλαμβάνει λειτουργικές ή και επινοικιασμένες θέσεις στάθμευσης των κατοίκων της περιοχής. Η διάθεση και η διανομή των ηλεκτρικών πατινιών έχει ως εναρκτήριο σημείο τον κεντρικό πυρήνα των πόλεων χωρίς όμως κανένα νομοθετικό πλαίσιο να έχει ορίσει σε πολιτειακό επίπεδο το μέγιστο επιτρεπόμενο σημείο τερματισμού της διαδρομής του εκάστοτε χρήστη. Εάν πραγματοποιηθεί ένα σύνολο μακροσκελών διαδρομών παρουσιάζεται το φαινόμενο εμφάνισης ηλεκτρικών πατινιών σε απομακρυσμένα σημεία του αστικού ιστού τα οποία περιμένουν τον επόμενο ενδιαφερόμενο προς ενοικίασή τους.

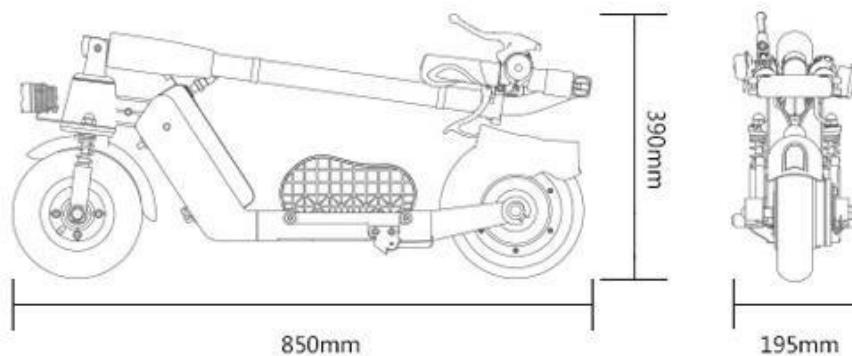




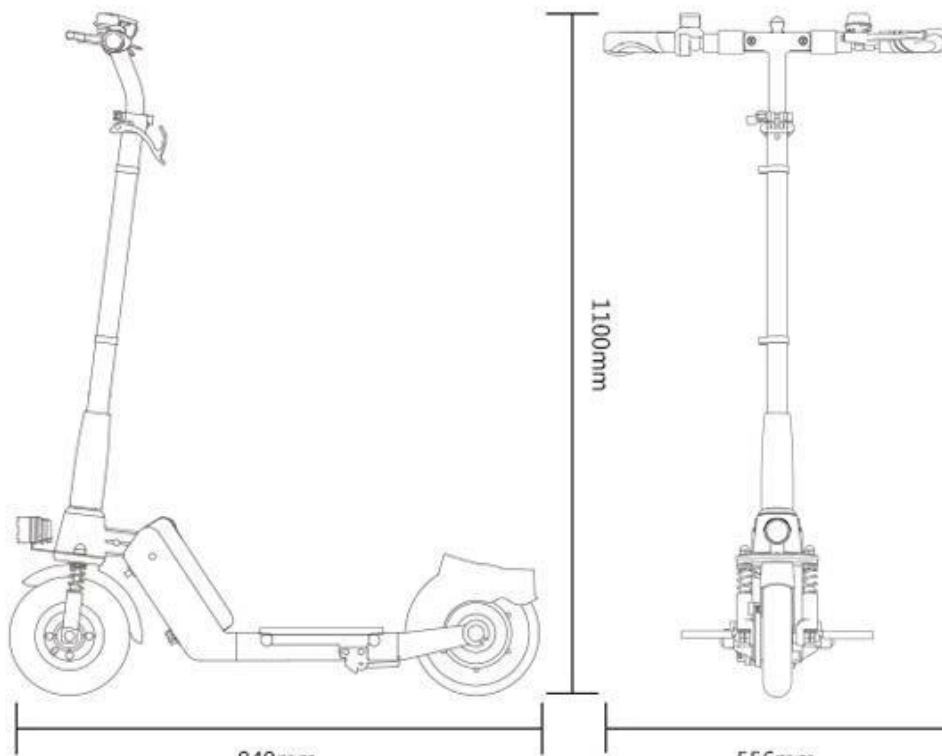
Where:

- ◇ L1: Wheelbase = 1200 mm
- ◇ L2: Overall length = 1240 mm
- ◇ H1: The height between the wheel axle and ground = 235 mm
- ◇ H2: The height between the pivot of the rear absorber and ground = 520 mm
- ◇ H3: The height between the rear end of the main frame and ground = 645 mm
- ◇ H4: The height between the absorber head of the front forks and ground = 610 mm
- ◇ H5: The height between the steering bearing and ground = 745 mm
- ◇ H6: The height between the joint of the handlebar and ground = 870 mm
- ◇ H7: The height between the outer sides of the handlebar and ground = 1020 mm
- ◇ W1: Wheel width = 120 mm
- ◇ W2: Handlebar width = 555 mm
- ◇ W3: Main frame width = 320 mm
- ◇ u: The included angle between the axle center line of the front absorber and the perpendicular = 28°
- ◇ v: The included angle between the axle center line of the rear absorber and the perpendicular = 38°

Height: 390mm
Length: 850mm
Width: 195mm
Tire Size: 8in



Height: 1100mm
Length: 840mm
Width: 556mm
Weight: 13.15kg



Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αποφανθεί ότι τα ηλεκτρικά ποδήλατα σε χώρες στις οποίες δεν υπάρχει ειδική πρόβλεψη από τον κώδικα οδικής κυκλοφορίας είναι προτιμότερο να υπάγονται στις διατάξεις περί μοτοποδηλάτων δυναμικότητας έως 50 κυβικά. Κατά συνέπεια μελλοντικά είναι πιθανότερο στο ίδιο πεδίο κανονιστικού πλαισίου και νομοθετικών επιρρυθμίσεων να υπάγονται και τα ηλεκτρικά πατινία. Στις ιστοσελίδες των εταιρειών – παρόχων αναφέρεται η προτροπή οδήγησης των ηλεκτρικών πατινιών εντός ποδηλατοδρόμων με τη χρήση κράνους από άτομα άνω των 18 ετών (κάτι το οποίο απέχει παρασάγγας από την καθημερινή πραγματικότητα).

Η όποια απόκλιση από τις οδηγίες βαραίνει αποκλειστικά και μόνο το χρήστη, ενώ αξίζει να αναφερθεί ότι τέτοιου είδους φαινόμενα αποτελούν απόρροια του γεγονότος ότι το ηλεκτρικό πατινί δεν ήρθε ποτέ στην Ελλάδα ως εναλλακτικό μέσο μεταφοράς, δεν πέρασε

ποτέ από αντίστοιχους ελέγχους διακρίβωσης ποιότητας και ηλεκτρομηχανολογικής απόκρισης σε οδηγικό επίπεδο ούτε πήρε αντίστοιχη άδεια από τις αρμόδιες υπηρεσίες, με αποτέλεσμα να έχει καταχωρηθεί στη συμπεριφορική ψυχολογία του κόσμου ως ένα απλό παιχνίδι.



Λόγω των ανωτέρω ο Δήμος Αθηναίων συγκρότησε μια νεοσύστατη ομάδα εργασίας όπου προσκλήθηκαν οι κυριότεροι εκπρόσωποι όλων των εταιρειών ενοικίασης, ώστε να στοιχειοθετηθεί επισταμένη πρόταση απευθυνόμενη προς τους φορείς που έχουν την αρμοδιότητα να συντάξουν νομοθετικό πλαίσιο το οποίο να συμπεριλαμβάνει και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά – απαιτούμενη οδηγική απόκριση του ηλεκτρικού πατινιού. Σημαντική τοποθέτηση αποτέλεσε η απαίτηση μείωσης της μέγιστης επιτρεπτής ταχύτητας του ηλεκτρικού πατινιού από τα 25 χλμ/ώρα στα 20 χλμ/ώρα, με τις δύο προμηθεύτριες εταιρείες να συναινούν απόλυτα σε αυτό. Ακόμη συζητήθηκε ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη εικονικών περιφράξεων περιμετρικά συγκεκριμένων μη λειτουργικών οδών για το ηλεκτρικό πατίνι περιοχών λόγω της επιφορτισμένης μικρο και μακρο-κυκλοφοριακής ροής, η οποία ελέγχεται μέχρι σήμερα μέσω GPS. Ακόμη σε σημαντικούς κυκλοφοριακούς κόμβους και συνενώσεις πολλαπλών επιμέρους οδών άρχισε η διανομή δωρεάν προστατευτικών μέσων (π.χ κράνους).

Επιπρόσθετα σύμφωνα με τα αναλυτικά πεδία τύπου SWOTS (Strategic Planning Technique for the identification of strength, weaknesses, opportunities and threats) έχουν προσδιορισθεί σε παγκόσμια κλίμακα οι βιώσιμοι στόχοι αυτού του εγχειρήματος (sustainable goal), οι τρόποι επίτευξης υψηλότερης ποιότητας ζωής (life quality) καθώς και η αναδιαμόρφωση – σχεδιασμός έξυπνων και φιλικών συστημάτων διαβίωσης εντός των πόλεων (smart and friendly cities).

Το πεδίο προβληματισμού από την άλλη πλευρά σχετίζεται με την έλλειψη ενός ενιαίου αλληλοϋποστηριζόμενου νομοθετικού – κανονιστικού πλαισίου, την απαιτούμενη περίοδο προσαρμογής του εκάστοτε πολιτειακού συστήματος ώστε να υιοθετήσει ένα νέο μοντέλο

μικροκινητικότητας σε βιώσιμη κλίμακα προσέγγισης, την αυξημένη επικινδυνότητα λόγω χρήσης των ηλεκτρικών πατινιών από καθόλου ή ελάχιστα καταρτισμένους οδηγούς, την απουσία προστατευτικού εξοπλισμού για τους χρήστες και την ύπαρξη ενός ήδη υπερφορτωμένου συστήματος μεταφοράς και ανάπτυξης της μακροκυκλοφοριακής ροής. Ιδιαίτερα σημαντική κρίνεται επίσης η συμβατότητα και η προσαρμοστικότητα των ηλεκτρικών πατινιών τόσο κατασκευαστικά όσο και λειτουργικά με τα μοντέλα ανάπτυξης έξυπνων πόλεων, η ευκολία ως προς την οδηγική τους απόκριση, η ευελιξία κατά τη διαδικασία της στάθμευσης, η απουσία εξαγωγής ρυπογόνων παραγόντων καθώς και η ικανότητα ένταξής τους σε ένα προσομοιαστικό μοντέλο πολύτροπης κινητικότητας όπου τον κυριότερο ρόλο διαδραματίζει η μετακίνηση κατά το τελευταίο μίλι. Στη διεθνή επιστημονική κοινότητα στον τομέα μελέτης σχεδιασμού και ανάπτυξης των συγκοινωνιακών δικτύων έχει καταχωρηθεί και εδραιωθεί ως άποψη το ακόλουθο χωρίο το οποίο και παρατίθεται με στόχο την απόδοση μίας σφαιρικότερης και αντιπροσωπευτικότερης ποιοτικά εικόνας για την δυναμική και τα οφέλη που επιφέρει η ανάπτυξη μοντέλων μικροκινητικότητας σε μια ευρύτερη και πιο μακροσκοπική κλίμακα.

“A sustainable urban mobility plan is a strategic plan designed to satisfy the mobility needs of people and businesses in cities and their surroundings for a better quality of life. It builds on existing planning practices and takes due consideration of integration, participation and evaluation principles” (Rupprecht Consult (editor) 2019, 9)

1.6 Υπέρ & Κατά

1.6α Πλεονεκτήματα ηλεκτρικών πατινιών

Η χρήση του ηλεκτρικού πατινιού, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με την προτεινόμενη εφαρμογή, αποτελεί έναν από τους ευκολότερους και πιο γρήγορους τρόπους μετακίνησης καθώς με βάση τις κυριότερες οδηγίες και τις βέλτιστες διαδρομές, διασφαλίζει μια ποιοτική και οικονομική μετακίνηση με τη δυνατότητα να παρκάρει σε οποιοδήποτε τερματικό σημείο. Κατά συνέπεια δε χρειάζονται ειδικά συστήματα στάθμευσης ενώ ταυτόχρονα ο χρήστης μπορεί να ευχαριστηθεί περισσότερο τη διαδρομή που ο ίδιος επιλέγει και να συνεισφέρει στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς η μετακίνηση πραγματοποιείται μέσω της χρήσης ρεύματος και δεν επιφέρει τουλάχιστον άμεση επιμόλυνση.

Σε ότι αφορά στις εταιρείες διαχείρισης των ηλεκτρικών πατινιών, αυτές έχουν χαρακτηριστεί ως ένας σημαντικός κλάδος μιας καινοτόμου και ανερχόμενης βιομηχανίας με προοπτικές δισεκατομμυρίων. Μέχρι το 2030 από στατιστικές αναλύσεις και οικονομικοτεχνικές μελέτες έχει προβλεφθεί ότι η συγκεκριμένη βιομηχανία θα κατέχει μερίδιο στην αγορά της Αμερικής της τάξης των 300 δισεκατομμυρίων δολαρίων και στην Ευρώπη της τάξης των 200 δισεκατομμυρίων δολαρίων.

Οι εταιρείες αυτές στοχεύουν να προωθήσουν τα ηλεκτροκίνητα οχήματα ως αντικατάστατα των βενζινοκίνητων οχημάτων και να συνεισφέρουν στη μείωση του δείκτη ιδιοκτησίας των δευτέρων και των μπαταριών τους (φορείς σπάνιων γαιών), κάτι το οποίο

έχει σχεδιαστεί και από τις μεγαλύτερες αυτοκινητοβιομηχανίες (Peugeot, Renault) έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί με πιο βιώσιμο τρόπο το φαινόμενο της αστικοποίησης.

Οι αρμόδιες εταιρείες επίσης συλλέγουν πληθώρα πληροφοριών αναφορικά με τις μετακινήσεις των πολιτών, οι οποίες έχουν υψηλό δείκτη σημαντικότητας για την ανάπτυξη ενός σχεδίου εξομάλυνσης των αστικών μετακινήσεων. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι έχει δημιουργηθεί πληθώρα θέσεων εργασίας τόσο για τη συλλογή όσο και για την επαναφόρτιση των ηλεκτρικών πατινιών, ώστε να πραγματοποιηθεί απρόσκοπτα και να είναι εύρυθμη η χρήση τους την επόμενη μέρα.

1.6β. Μειονεκτήματα ηλεκτρικών πατινιών

Αρχικά έχει καταστεί σαφές ότι η βιομηχανία των ηλεκτρικών πατινιών αποτελεί μια ταχύτατα αναπτυσσόμενη βιομηχανία με αποτέλεσμα οι εταιρείες οι οποίες θέλουν να ενταχθούν στην αγορά εργασίας να πρέπει να προβλέψουν πολλαπλές τεχνολογικές παραμέτρους που μπορούν να επιφέρουν μια αστάθμητη εξέλιξη στο σύστημα. Η αναγκαιότητα για ταχύτατη προσαρμογή και ένταξη των νέων εταιρειών στις απαιτήσεις της ηλεκτροκίνητης μετακίνησης έχει ορισμένες φορές οδηγήσει στην παράβλεψη σημαντικών παραγόντων, όπως αποτελεί αυτός της πυρασφάλειας.

Πέραν της αυτής κάθε αυτής αξιοπιστίας των ηλεκτρικών πατινιών ιδιαίτερα κρίσιμη παράμετρο αποτελεί και η αντίδραση του κοινωνικού ιστού καθώς και η ύπαρξη αλλά και η καταλληλότητα ενός ρυθμιστικού πλαισίου λειτουργίας. Είναι λοιπόν απαγορευτική η έναρξη λειτουργίας μιας εταιρείας στο καινοτόμο αυτό πεδίο της εύρυθμης διαχείρισης των αστικών μετακινήσεων και της βελτιστοποίησης της μικροκινητικότητας χωρίς προγενέστερα να έχουν επιλυθεί ζητήματα νομικής και πολιτικής φύσεως.

Επιπρόσθετα η αναγκαιότητα συλλογής και επαναφόρτισης των ηλεκτρικών πατινιών από βενζινοκίνητα μέσα αναιρεί το πλεονέκτημα χρήσης ενός μόνο ηλεκτροκίνητου μέσου μετακίνησης φιλικού ως προς το περιβάλλον. Τέλος η οικολογικότητα της χρήσης των ηλεκτρικών πατινιών τίθεται υπό αμφισβήτηση κάποιες φορές λόγω της λειτουργίας των μπαταριών λιθίου – νικελίου. Ο κύκλος ζωής των μπαταριών αυτών προκαθορίζει την αντικατάστασή τους σύμφωνα με τον εκάστοτε κατασκευαστή μεταξύ των 300 και των 1000 επαναλήψεων φόρτισης, χωρίς να προεξοφλείται ότι υπάρχει δυνατότητα ανακύκλωσής τους σε ειδική μονάδα εγκατάστασης ανά περιοχή.

1.6β. 1 Επικινδυνότητα χρήσης ηλεκτρικών πατινιών

Σύμφωνα με διεθνείς έρευνες όταν ένα ηλεκτρικό πατίνι μετακινείται στον αστικό ιστό με 15 μίλια την ώρα μπορεί να προκαλέσει σε περίπτωση ατυχήματος σημαντικό τραυματισμό μέχρι και θάνατο. Ένα μοναδικό θανατηφόρο ατύχημα έχει σημειωθεί μέχρι στιγμής σε οδηγό ηλεκτρικού πατινιού το 2018, το οποίο οφειλόταν στην έλλειψη χρήσης κράνους και στην πρόκληση εσωτερικής αιμορραγίας. Σε όλα τα ατυχήματα τα οποία έχουν σημειωθεί μέχρι στιγμής αναφέρονται ως εμπλεκόμενοι φορείς μονάχα τα ηλεκτρικά πατίνια και όχι

άλλα οχήματα ή πεζοί. Φυσικά η πιθανότητα ατυχήματος σε οποιαδήποτε περίπτωση είναι υπαρκτή είτε λόγω τεχνικού προβλήματος του πατινιού είτε λόγω κακού οδοστρώματος είτε λόγω έλλειψης κανονισμών οδικής κυκλοφορίας για τα ηλεκτρικά πατίνια. Σε αυτές τις περιπτώσεις τόσο ο οδηγός όσο και η πάροχος εταιρεία φέρουν ευθύνη, η οποία όμως νομικά δεν ορίζεται ούτε αποδίδεται ποσοτικά καθαρά καθώς δεν απαιτείται ασφάλεια αστικής ευθύνης για τη χρήση του ηλεκτρικού πατινιού.

1.7 Κύρια μέτρα και στοχεύσεις των εταιρειών – παρόχων ηλεκτρικών πατινιών

Κύρια άξονα προσέγγισης των εταιρειών οι οποίες έχουν επενδύσει σε διεθνή κλίμακα στη βελτιστοποίηση της μικροκινητικότητας αποτελεί η ενίσχυση της διαμοιραζόμενης κινητικότητας (share mobility) μέσω της ανάπτυξης και της εφαρμοσιμότητας των διαμοιραζόμενων διαδρομών. Η ευελιξία και η οικονομικότητα των μετακινήσεων έχει γίνει άλλωστε αποδεκτό μέσω επισταμένων ερευνών ότι επιτείνεται με την αποδοχή από τον εκάστοτε κοινωνικό ιστό της λειτουργίας και της ενοικίασης των κοινόχρηστων οχημάτων, των κοινόχρηστων ποδηλάτων και των ηλεκτρικών πατινιών.

Οφείλει όμως να σημειωθεί ότι πέρα από την πληθώρα των πλεονεκτημάτων τα ηλεκτρικά πατίνια συνοδεύονται και από αρκετά περιοριστικά στοιχεία τα οποία χρήζουν άμεσης αντιμετώπισης. Τα ηλεκτρικά πατίνια χαρακτηρίζονται ως λιγότερο εύχρηστα σε περιπτώσεις οδοστρωμάτων με έντονη κλίση, σε πλακόστρωτες πεζοδρομήσεις και σε έντονα καιρικά φαινόμενα. Στα μειονεκτήματα αυτά φυσικά έρχεται να αντιταχθεί και να ισοσταθμίσει την κατάσταση η οικονομικότητα των μετακινήσεων, η μη αναγκαιότητα εύρεσης χώρων στάθμευσης και η δυνατότητα συνδυασμού με άλλα μέσα μαζικής μεταφοράς για την κάλυψη διαδρομών του πρώτου και του τελευταίου μιλίου.

Τα κυριότερα μέτρα που σχεδιάζουν να εφαρμόσουν οι κατασκευάστριες εταιρείες είναι η παραμετροποίηση ελέγχου ως προς την απόδοση της ηλεκτρικής μηχανής αλλά και της ανθεκτικότητας – δομικής ακεραιότητας του σκελετού του πατινιού (stiffness).

Τα κυριότερα κόστη αυτής της ισχυρά αναπτυσσόμενης βιομηχανίας αποτελούν το λειτουργικό κόστος και το κόστος φόρτισης των ηλεκτρικών πατινιών. Η εταιρεία – πάροχος σε καθημερινή βάση συλλέγει τα ηλεκτρικά πατίνια, οδηγώντας τα σε κεντρικές εγκαταστάσεις όπου λαμβάνει χώρα η συντήρηση, τυχόν επισκευές και η φόρτιση αυτών. Η άμβλυση αυτού του κόστους έχει μελετηθεί και γίνεται μεγάλη προσπάθεια να αντιμετωπισθεί μέσω του μοντέλου crowd – charging, σύμφωνα με το οποίο αποδίδεται στους χρήστες χρόνος δωρεάν διαδρομών και ζητείται από αυτούς να φορτίσουν το ηλεκτρικό πατίνι σπίτι τους και να το επιστρέψουν την επόμενη ημέρα σε μια προσυνηνομημένη βάση. Για τη μείωση του λειτουργικού κόστους οι εταιρείες προσπαθούν να αναπτύξουν μπαταρίες με μεγαλύτερη διάρκεια ή να προμηθευτούν με μπαταρίες που λειτουργούν ως ανταλλακτικά ώστε να περιορισθεί η ανάγκη για φόρτιση. Άλλωστε έχει διαπιστωθεί ότι για να χαρακτηριστεί αυτή η επιχειρηματική δραστηριότητα ως επικερδής η διάρκεια ζωής του ηλεκτρικού πατινιού θα πρέπει να υπερβαίνει τους έξι μήνες κατ' ελάχιστο. Επιπρόσθετα η δόμηση μιας δυνατής βάσης πελατών μέσω προωθητικών

κινήσεων μάρκετινγκ αποτελεί σημαντική παράμετρο μελέτης σε διεθνή βάση χωρίς όμως να οδηγηθεί το σύστημα στην υπερπροσφορά και να πυροδοτηθεί μια συνεχής μείωση των τιμών.

Πέραν της οικονομικής πολιτικής η οποία θα ακολουθηθεί από την εκάστοτε εταιρεία σημαντική επιρροή έχει ως προς την κερδοφορία της τόσο η ακτίνα επιρροής της όσο και η διαθεσιμότητα αυτής σε ηλεκτρικά πατίνια. Έχει υπολογισθεί ότι ο μεγαλύτερος αριθμός ηλεκτρικών πατινιών σε μια εταιρεία και η διευρυμένη ακτίνα εμβέλειας αυτής αποτελούν ικανές συνθήκες ώστε να επικρατήσει έναντι των ανταγωνιστριών και να βελτιώσει το οικονομικό της μοντέλο επηρεάζοντας την τιμολογιακή πολιτική των υπολοίπων.

Συνοψίζοντας λοιπόν η εταιρική πολιτική στη βιομηχανία διαχείρισης της μικροκινητικότητας μέσω των ηλεκτρικών πατινιών στοχεύει στην αύξηση της αντοχής τους, στην επιμήκυνση της διάρκειας ζωής τους, στη μείωση του κύκλου φόρτισης και στην πιο αποδοτική αντιμετώπιση των μηχανικών βλαβών. Επιπρόσθετα η συνεργασία με εταιρείες διαχείρισης των μέσων μαζικής μεταφοράς σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο αποτελεί κυρίαρχο άξονα του στρατηγικού σχεδιασμού για γρήγορη ανάπτυξη καθώς και η προσέγγιση επιχειρήσεων με ενοικιαζόμενα ηλεκτρικά αυτοκίνητα και ποδήλατα. Τέλος σημαντική κρίνεται και η προσέλκυση επενδύσεων για τη χρηματοδότηση της παραγωγής ηλεκτρικών πατινιών και την επέκταση της εταιρικής δραστηριότητας και σε άλλες πόλεις.

Επίσης δε μπορεί να παραλειφθεί και η προσπάθεια εξομάλυνσης της διαχείρισης της μικροκινητικότητας από τις ίδιες τις πόλεις. Η παραπάνω τοποθέτηση αφορά αρχικά στην εφαρμογή της καταλληλότερης νομοθεσίας από την κυβέρνηση για τον κώδικα οδικής κυκλοφορίας. Ακόμη κρίσιμη παράμετρο αποτελεί ο σχεδιασμός του οδικού χώρου για τη βελτιστοποίηση της κυκλοφοριακής ροής μέσω του συνεχώς δυναμικά αναπροσαρμοζόμενου διαχωρισμού της (ύπαρξη ποδηλατοδρόμων). Επιπρόσθετα ιδιαίτερα σημαντικός κρίνεται ο καθορισμός ζωνών στάθμευσης και ζωνών μη χρήσης ηλεκτρικών πατινιών μέσω ενός πλάνου σχεδιασμού πόλης, σύμφωνα με το οποίο τα ηλεκτρικά πατίνια θα συγκεντρώνονται σε βασικούς σταθμούς των μέσων μαζικής μεταφοράς. Ακόμη αναγκαία κρίνεται η νομοθέτηση ειδικών ζωνών οδήγησης ηλεκτρικού πατινιού και η προστασία της ασφάλειας των πολιτών με την υποχρεωτική χρήση κράνους. Τέλος η χορήγηση αδειών στις εταιρείες ενοικίασης ηλεκτρικών πατινιών πρέπει να ολοκληρώνεται από την κυβέρνηση με τη διασφάλιση σημαντικών περιοριστικών μηχανισμών και να συνάπτονται συμφωνίες ώστε να λαμβάνονται δεδομένα από τις μετακινήσεις και τη χρήση των ηλεκτρικών πατινιών. Τέλος θα πρέπει να αντιμετωπιστεί με σοβαρότητα το κομμάτι της φορολόγησης καθώς και των ασφαλιστικών αποζημιώσεων, ώστε οι τελευταίες να αποδίδονται άμεσα και να διαμοιράζονται βάσει της ευθύνης που φέρει το κράτος, οι εταιρείες διαχείρισης των ηλεκτρικών πατινιών και οι χρήστες.

1.8. Δομή της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοιχειοθετείται από έξι ανεξάρτητα κεφάλαια τα οποία έχουν διαμορφωθεί κατά τον ακόλουθο τρόπο:

Κεφάλαιο πρώτο: αφορά στο εισαγωγικό κεφάλαιο της διπλωματικής αυτής εργασίας στο οποίο αποδίδεται μια συνοπτική παρουσίαση των ηλεκτροκίνητων οχημάτων και στη συνέχεια συγκεκριμενοποιείται η αναγκαιότητα ανάπτυξης και η λειτουργικότητα των δικτύων μικροκυκλοφοριακής ροής των ηλεκτρικών πατινιών.

Κεφάλαιο δεύτερο: στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται μια εισαγωγή στο πρόβλημα της χωροθέτησης – ανάπτυξης και της κατανομής των εγκαταστάσεων στάθμευσης και επαναφόρτισης ηλεκτρικών πατινιών ενώ ακόμη παρατίθεται και το μεθοδολογικό πλαίσιο ανάλυσης το οποίο θα ακολουθηθεί στη παρούσα διπλωματική εργασία. Σημαντική παράμετρο αποτελεί επίσης η διακριτοποίηση και η ιεραρχική δομή των κυριότερων κριτηρίων βάσει των οποίων θα επιλεγούν κάποιες υποψήφιες θέσεις σταθμών επαναφόρτισης ηλεκτρικών ταξί στην Αττική.

Κεφάλαιο τρίτο: στο κεφάλαιο αυτό λαμβάνει χώρα η παρουσίαση των κυριότερων και αντιπροσωπευτικότερων μοντέλων χωροθέτησης και παρατίθεται μια σύντομη και εστιασμένη βιβλιογραφική έρευνα αναφορικά με αντίστοιχες μελέτες οι οποίες έχουν διεξαχθεί πρόσφατα στο διεθνές ερευνητικό προσκήνιο. Συμπερασματικά επιλέγεται το βέλτιστο μοντέλο για την προσομοίωση και την επίλυση των πραγματικών συνθηκών που θέτουν τα όρια του προβλήματος επίλυσης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δηλαδή της ανάπτυξης λειτουργικού προτύπου χωροθέτησης πεδίων στάθμευσης και επαναφόρτισης των ηλεκτρικών πατινιών εντός του αστικού ιστού.

Κεφάλαιο τέταρτο: στο 4^ο κεφάλαιο της διπλωματικής αυτής εργασίας πραγματοποιείται μια αναλυτική παραμετροποίηση με ταυτόχρονη επιλογή των κρισιμότερη συνθηκών οι οποίες μορφοποιούν το πρόβλημα της χωροθέτησης. Εν συνεχεία λαμβάνει χώρα η επίλυση του μαθηματικού μοντέλου το οποίο επελέγη για την απόδοση των φυσικών μεγεθών του συγκεκριμένου υπό μελέτη προβλήματος ενώ ταυτόχρονα γίνεται μια εισαγωγή στο πεδίο των αντικειμενικών συναρτήσεων. Σε πρώτο στάδιο πραγματοποιείται η διαμόρφωση του μοντέλου καθώς και η επέκτασή του ενώ στη συνέχεια αναλύεται τόσο η μέθοδος του μη γραμμικού, ακέραιου αλγορίθμου, η οποία θα χρησιμοποιηθεί για την επίλυση του μαθηματικού μοντέλου (καθώς πρόκειται για πρόβλημα βελτιστοποίησης δικτύου) όσο και το λογισμικό Eolver μέσω του οποίου θα διεξαχθεί η επίλυση της αντικειμενικής συνάρτησης. Κύρια στόχευση αποτελεί σε κάθε περίπτωση η αναζήτηση εκείνης της λύσης η οποία μεγιστοποιεί την αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος, προκειμένου το επιβατικό όχημα (ηλεκτρικό πατίνι) να ακολουθήσει τη βέλτιστη διαδρομή.

Κεφάλαιο πέμπτο: στο κεφάλαιο αυτό εφαρμόζεται και επιλύεται η αντικειμενική συνάρτηση η οποία αναπτύχθηκε, μέσω της εισαγωγής των δεδομένων του προβλήματος, των παραμέτρων που προσαρμόζονται δυναμικά στην αντικειμενική συνάρτηση καθώς και των περιορισμών που τίθενται, ανάλογα με τα κύρια χαρακτηριστικά του προβλήματος, ώστε να υποσκελισθεί η πολλαπλότητα των εναλλακτικών λύσεων. Τέλος παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της αντικειμενικής συνάρτησης και πραγματοποιείται μελέτη ευαισθησίας για ορισμένες παραμέτρους του προβλήματος.

Κεφάλαιο έκτο: στο κεφάλαιο αυτό αποδίδονται και αναλύονται τα συμπεράσματα

τα οποία προέκυψαν και στη συνέχεια παρατίθενται τα κομβικότερα σημεία τα οποία αποτελούν ενεργά πεδία για περαιτέρω έρευνα με υψηλό βαθμό καινοτομικότητας και άμεση απόδοση ως προς τη βελτίωση των αποτελεσμάτων τόσο σε λειτουργικό όσο και σε κοινωνικό – οικονομικό – νομοθετικό επίπεδο των μοντέλων μικροκινητικότητας και των συνεπαγόμενων κυκλοφοριακών ροών εντός των αστικών δικτύων.

Κεφάλαιο έβδομο: στο κεφάλαιο αυτό της διπλωματικής εργασίας παρατίθεται η λίστα με τις βιβλιογραφικές αναφορές οι οποίες αποτέλεσαν την κυριότερη πηγή κατά τη διάρκεια τόσο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης όσο και κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Το πρόβλημα της χωροθέτησης εγκαταστάσεων

Η επιστήμη της επιχειρησιακής έρευνας και γενικότερα οι επιστήμες που σχετίζονται με τη λήψη των αποφάσεων έχουν επικεντρωθεί τα τελευταία χρόνια σε προβλήματα χωροθέτησης εγκαταστάσεων. Η εξειδίκευση σε ότι αφορά στην ανάπτυξη και στη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού δικτύων έχει αποφέρει σημαντική εξέλιξη στη διαχείριση της μικροκινητικότητας. Κατά συνέπεια γίνεται εύκολα κατανοητό ότι η ενδεδειγμένη μελέτη και η επιλογή της βέλτιστης τοπολογίας για την κατασκευή μιας εγκατάστασης επιδρά με πολύ υψηλό συντελεστή βαρύτητας στην επιτυχή πορεία της λειτουργίας της.

Πιο συγκεκριμένα οι εγκαταστάσεις επανατροφοδότησης – φόρτισης των μπαταριών για τα ηλεκτρικά πατίνια θα πρέπει να έχουν χωροθετηθεί με τρόπο ώστε να εξυπηρετείται ο ανεφοδιασμός, η συνολική ζήτηση της ευρύτερης περιοχής καθώς και να διασφαλίζεται η αλληλεπίδραση με την ύπαρξη άλλων εγκαταστάσεων. Αρχικά εξετάζεται μονοσήμαντα η κάθε εγκατάσταση ως προς τα λειτουργικά της χαρακτηριστικά και στη συνέχεια καταστρώνεται ο σχεδιασμός ευρύτερων δομών με βάση την κατανομή των πόρων και των υπηρεσιών που διατίθενται. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι ως πόροι του συνολικού συστήματος αναφέρονται τα σταθερά σημεία τα οποία ανάλογα με τη φύση του προβλήματος της χωροθέτησης αποτελούν είτε αφητηρίες – προορισμούς, είτε άλλες εγκαταστάσεις είτε άλλες αγορές οι οποίες αλληλεπιδρούν με μία ή και όλες εκ των εγκαταστάσεων που πρόκειται να χωροθετηθούν. Η διαδικασία της αναζήτησης θέσεων για εγκαταστάσεις σε δίκτυα εξυπηρέτησης αποτελεί πρόβλημα χωροθέτησης – κατανομής όπου ως κύριος στόχος τίθεται η κάλυψη της ζήτησης με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

Τα κριτήρια για την επιλογή της βέλτιστης τοπολογίας διακυμαίνονται ανάλογα με το είδος της μονάδας η οποία θα εγκατασταθεί και τις ανάγκες που τη συνοδεύουν. Κυριότερους στόχους του προβλήματος βελτιστοποίησης στον κλάδο της μικροκινητικότητας αποτελούν η μείωση του κόστους μετακίνησης, η εξοικονόμηση χρόνου και η αύξηση των μετακινούμενων μονάδων εντός του δικτύου με αποδοτικό τρόπο.

Για το λόγο αυτό σε κάθε περίπτωση διατυπώνεται ένα μαθηματικό μοντέλο, το οποίο στοιχειοθετείται από μια αντικειμενική συνάρτηση, που περιλαμβάνει μια σειρά από μεταβλητές και περιορισμούς, με στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους. Η μαθηματική

προτυποποίηση και η προσέγγιση των φυσικών προβλημάτων τοποθέτησης εγκαταστάσεων σε περιβάλλον με χωρική συμμετρία αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία ως ανάλυση χωροθέτησης. Η επίλυση των προαναφερθέντων προβλημάτων χαρακτηρίζεται ως ιδιαίζουσα ιδιαίτερα σε περιπτώσεις ύπαρξης πολλαπλών μεταβλητών με παρεμφερή συντελεστή βαρύτητας. Από την άλλη πλευρά τα μοντέλα αυτά είναι πλήρως ορισμένα, καθώς οι συνθήκες του φυσικού προβλήματος χωροθέτησης το οποίο μελετάται επιβάλλουν την ύπαρξη μιας και μοναδικής αντικειμενικής συνάρτησης με συγκεκριμένους περιορισμούς και μεταβλητές. Η κάθε πραγματική ή υποθετική εφαρμογή δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί από μια γενικευμένη μαθηματική θεώρηση με αποτέλεσμα στην εκάστοτε περίπτωση να πρέπει να επιλεγεί το καταλληλότερο μοντέλο χωροθέτησης.

2.2. Μεθοδολογία

Η χωροθέτηση των σταθμών φόρτισης του ηλεκτρικού πατινιού αποτελεί ένα πολυπαραμετρικό πρόβλημα για το οποίο δε μπορεί να προκαθορισθεί μια και μοναδική μεθοδολογική προσέγγιση. Το χωρικό σύστημα ζήτησης υπηρεσιών το οποίο διαρθρώνεται με βάση κάποιες χωρικά κατανεμημένες προϋποθέσεις σε συνδυασμό με τη βέλτιστη τοπολογία των εγκαταστάσεων φόρτισης διαμορφώνουν το πλαίσιο της μεθοδολογικής προσέγγισης. Ιδιαίτερα σημαντικά κρίνονται τα χαρακτηριστικά του άμεσα εμπλεκόμενου χώρου ή του περιβάλλοντος ενώ ακόμη επιλέγονται τα μεγέθη και οι τιμές για όλα τα μετρήσιμα κριτήρια.

Η επίλυση του μοντέλου χωροθέτησης των σταθμών φόρτισης των ηλεκτρικών πατινιών επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από τα κριτήρια τα οποία έχουν επιλεγεί και από την αντικειμενική συνάρτηση η οποία έχει διαμορφωθεί βάσει των συγκεκριμένων συνθηκών του προβλήματος χωροθέτησης. Η μεγιστοποίηση του κέρδους ή η ελαχιστοποίηση του κόστους σχετίζονται σε ότι αφορά στις ιδιωτικές ανάγκες με τα χρήματα, το χρόνο και την απόσταση. Στο πλαίσιο των δημοσίων αναγκών ο καθορισμός των κριτηρίων είναι πολυδιάστατος και πιο πολύπλοκος καθώς θα πρέπει ταυτόχρονα να ικανοποιηθούν τόσο κοινωνικοπολιτικές όσο και οικονομικές παράμετροι, με στόχο πάντα την εκπλήρωση του κοινωνικού οφέλους. Η αβεβαιότητα η οποία απαντάται σε προβλήματα χωροθέτησης σχετίζεται με την έλλειψη αξιόπιστων στοιχείων, ενώ ακόμη σημειώνεται ότι κάθε πρόβλημα χωροθέτησης δύναται να αντιμετωπισθεί ποικιλοτρόπως με αποτέλεσμα να διακυμαίνονται οι τρόποι επίλυσης καθώς μεταβάλλονται και τα μαθηματικά πρότυπα χωροθέτησης που επιλέγονται. Η βηματική όμως προσέγγιση σε ένα γενικευμένο μεθοδολογικό πλαίσιο το οποίο ακολουθείται σε προβλήματα αυτού του τύπου αφορά στον:

1. *Καθορισμό και διασαφήνιση του προβλήματος χωροθέτησης*
2. *Σχεδιασμό, Ανάπτυξη και Βελτιστοποίηση του μαθηματικού μοντέλου*
3. *Ανάλυση του μαθηματικού μοντέλου*

4. Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και εφαρμογή αυτών στο πραγματικό πεδίο των λειτουργικών συνθηκών

2.3 Κριτήρια χωροθέτησης σταθμών φόρτισης ηλεκτρικού πατινιού

Ο προσδιορισμός των θέσεων εγκατάστασης των σταθμών επαναφόρτισης των ηλεκτρικών πατινιών στην Αττική οφείλει να πραγματοποιηθεί μέσω συγκεκριμένων, λογικών και απτών κριτηρίων. Τα κριτήρια αυτά έχουν επιλεγεί έτσι ώστε να διασφαλίζεται η ικανοποίηση πολλαπλών ανεξάρτητων παραγόντων και παραμέτρων, που επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την κατανομή και το διαμοιρασμό των θέσεων αυτών.

Η χωροθέτηση των σταθμών επανατροφοδότησης της μπαταρίας των ηλεκτρικών πατινιών είναι σωστό να συμπεριληφθεί σε ένα γενικότερο σκελετό ο οποίος περιγράφει τα προβλήματα υποδομής ανεφοδιασμού καυσίμων. Παρ' όλ' αυτά αντίστοιχου τύπου προσεγγίσεις οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί στον συγκεκριμένο κλάδο δε λαμβάνουν υπόψιν τον απαιτούμενο χρόνο επαναφόρτισης της μπαταρίας ενώ ακόμη θεωρούν ότι το σύνολο των πελατών που διέρχονται από τους σταθμούς εξυπηρετούνται πλήρως. Η παραπάνω θεώρηση χαρακτηρίζεται ως ρεαλιστική μόνο στις περιπτώσεις προβλημάτων γρήγορης φόρτισης, κάτι το οποίο μπορεί να παραλληλισθεί και με τη φόρτιση των ηλεκτρικών πατινιών.

Στην περίπτωση κατά την οποία σε έναν σταθμό όλοι οι φορτιστές είναι κατειλημμένοι, οι οδηγοί προκειμένου να μη καθυστερήσουν τον παρακάμπτον και επιζητούν έστω και μερική φόρτιση σε έναν επόμενο σταθμό. Για να επιλεγεί μια σειρά υποψηφίων θέσεων σταθμών επαναφόρτισης με υψηλό βαθμό αποδοτικότητας και λειτουργικότητας θα πρέπει να μελετηθούν τα ακόλουθα κριτήρια:

Αρχικά κομβικό ρόλο διαδραματίζει η ανεύρεση μιας συγκεκριμένης περιοχής υψηλής ζήτησης σε ηλεκτρικά πατίνια, σύμφωνα με την οποία θα χωροθετηθούν οι σταθμοί φόρτισης. Είναι λογικό ότι οι περιοχές με μεγαλύτερη ζήτηση σε ηλεκτρικά πατίνια θα πρέπει να εξοπλισθούν με περισσότερους σταθμούς φόρτισης σε σύγκριση με τις περιοχές μικρότερης ζήτησης. Το μέγεθος της ζήτησης διαμορφώνεται από ένα πλήθος παραγόντων όπως αποτελεί η κατοχή ή μη άλλου επιβατηγού μέσου, η οικονομική κατάσταση των πολιτών, η προτίμηση που επιδεικνύουν ως προς τους δυνητικούς τρόπους μετακίνησης καθώς και το μορφωτικό τους επίπεδο.

Η εγκατάσταση των σταθμών επανατροφοδότησης της μπαταρίας των ηλεκτρικών πατινιών οφείλει να γίνεται σε κεντρικά σημεία, από όπου οι οδηγοί διέρχονται συχνά και η ζήτηση είναι υψηλή. Τέτοιου τύπου κεντρικά σημεία σε κάθε δήμο αποτελούν στάσεις των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς έτσι ώστε να επιτευχθεί όσο το δυνατόν η λειτουργικότητα και η οικονομικότητα της μεθόδου συνολικά.

Ακόμη η χωροθέτηση των σταθμών επαναφόρτισης των ηλεκτρικών πατινιών κρίνεται αναγκαίο να σχεδιασθεί σε σημεία με ελεύθερο χώρο, έτσι ώστε να μη δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση και να μη χάνεται χρόνος κατά το στάδιο της αναμονής. Η

τοποθέτησή τους προτείνεται να γίνεται είτε σε υπαίθριους, είτε σε στεγασμένους είτε ακόμη και σε υπόγειους χώρους στάθμευσης. Σε ένα επόμενο βήμα η ευκολία στην πρόσβαση αποτελεί μια επιπρόσθετη κρίσιμη παράμετρο, με αποτέλεσμα να έχει προταθεί σε διεθνές επίπεδο η κατασκευή αυτών σε υπόγειους - υπαίθριους χώρους στάθμευσης του μετρό και εντός χώρων στάθμευσης μεγάλων εμπορικών κέντρων – βενζινάδικων. Σε κάθε περίπτωση είναι χρήσιμη η ανταλλαγή γεω - χωρικών πληροφοριών και η λήψη αποφάσεων με βάση τα δεδομένα των γεω - σχετικών εγκαταστάσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ

Για την επίλυση των προβλημάτων χωροθέτησης έχουν χρησιμοποιηθεί πολλαπλές τεχνικές αναζήτησης και υβριδικοί αλγόριθμοι. Επιπλέον έχει χρησιμοποιηθεί στη διεθνή ερευνητική κοινότητα και το k -διάμεσο πρόβλημα, το οποίο αποτελεί ένα άλλο παράδειγμα προβλημάτων θέσης εγκατάστασης σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών πατινιών το οποίο επιδιώκει να δημιουργήσει πολυάριθμες ενδιάμεσες εγκαταστάσεις k , χωρίς να εξετάσει

3.1 Βασικά Μοντέλα Χωροθέτησης

το σταθερό κόστος. Στόχο σε κάθε περίπτωση αποτελεί η βελτιστοποίηση του αριθμού των φορτιστών ηλεκτρικού πατινιού και της κατανομής των ηλεκτρικών πατινιών για κάθε θέση φορτιστή καθώς και η μείωση του σταθερού κόστους. Ο υψηλός αριθμός των φορτιστών στο σύστημα οδηγεί μονοσήμαντα σε αύξηση της ωριαίας τιμής του εκάστοτε φορτιστή. Για το λόγο αυτό εισάγεται ο περιορισμός της ποιότητας ο οποίος αναφέρεται στον περιορισμό του αριθμού των νέων φορτιστών που εντάσσονται στο σύστημα για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις για συγκεκριμένο αριθμό ηλεκτρικών πατινιών. Σε όλες τις περιπτώσεις προτεραιότητα αποτελεί η ελαχιστοποίηση του σχετικού κόστους και η επίλυση του προβλήματος κατανομής για πραγματικές περιπτώσεις μικρού και μεγάλου μεγέθους.

Το κέντρο δεδομένων περιλαμβάνει τη συλλογή των δεδομένων, το καθάρισμα των δεδομένων και το φιλτράρισμα αυτών, ενώ το σύνολο των δεδομένων με την καλύτερη απόδοση περιλαμβάνει την έξοδο, τις τελικές λύσεις και το ελάχιστο σχετικό κόστος. Στη συνέχεια ακολουθεί η διαχείριση της επεξεργασίας των δεδομένων με τα προτεινόμενα μοντέλα και τις πιο κατάλληλες μεθοδολογίες.

Στη συγκεκριμένη εργασία υποθέτουμε ότι υπάρχει ένας φορτιστής που ξεκινά την υπηρεσία σε μια τοποθεσία. Είναι δυνατόν πολλαπλοί φορτιστές ηλεκτρικών πατινιών να αναπτύσσονται από διαφορετικά κεντρικά σημεία αλλά όχι από το ίδιο σημείο σε μια τοποθεσία. Επίσης, υποθέσαμε ότι παρέχονται μόνο έξι φορτιστές ανά μονάδα εξ' ου και ο μέγιστος αριθμός φορτιστών ανά μονάδα που μπορεί να συλλεγεί είναι έξι. Έτσι, εάν μια συγκεκριμένη τοποθεσία (μπλοκ) έχει περισσότερα από έξι ηλεκτρικά σκούτερ τα οποία χρειάζονται φόρτιση, το μοντέλο θα αναπτύξει περισσότερους από έναν φορτιστές. Η συγκεκριμένη τοποθεσία η οποία αντιστοιχεί σε φορτιστή. Συγκεκριμένα, για $\gamma_{kk} = 1$ έχει θέση στον κόμβο k επιλέγεται ως φορτιστής ηλεκτρικών

Ορισμός μεταβλητών

V : Αθροιστικός αριθμός ηλεκτρικών πατινιών στο σύστημα χωροθέτησης

I : δείκτης ενός ηλεκτρικού πατινιού, $I = 1 \dots V$

S : Συνολικός αριθμός φορτιστών ηλεκτρικού πατινιού στο σύστημα χωροθέτησης

k : δείκτης ενός φορτιστή, $I = 1 \dots S$

Παράμετροι

d_{ik} : απόσταση μεταξύ ηλεκτρικού πατινιού i και φορτιστή k ,

όπου $k = 1 \dots V$ και $k = 1 \dots S$

D_k : Μέγιστος αριθμός ηλεκτρικών πατινιών αναφερόμενων στο φορτιστή k , $k = 1 \dots S$

f : Συνολικό κόστος για το δεδομένο σύστημα

b_k : ποινή χρήσης φορτιστή ηλεκτρικού πατινιού k ; $k = 1 \dots S$

B : Συνολική επένδυση για δυνατότητα συμμετοχής σε όλους τους φορτιστές ηλεκτρικού πατινιού

Μεταβλητές απόφασης

$$z_{ik} = \begin{cases} 1 : & \text{e-scooter } i \text{ has been assigned to charger } k; \\ & i = 1 \dots V \text{ and } k = 1 \dots S \\ 0 : & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$y_{kk} = \begin{cases} 1 : & \text{charger } k \text{ is ready to work at a specific} \\ & \text{location; } k = 1 \dots S \\ 0 : & \text{otherwise} \end{cases}$$

Η αντικειμενική συνάρτηση έχει αναπτυχθεί με στόχο την ελαχιστοποίηση του σχετικού κόστους που αφορά στη χρέωση των ηλεκτρικών πατινιών. Η εξίσωση αυτή εμπεριέχει δύο όρους κόστους, ο πρώτος εκ των οποίων σχετίζεται με την απόσταση του ηλεκτρικού πατινιού από τη θέση του φορτιστή και ο δεύτερος με τις κυρώσεις που προκύπτουν από τη συμμετοχή νέων φορτιστών. Συνολικά επιδιώκεται να προσδιορισθεί η αντικειμενική συνάρτηση ώστε να επέλθει η βελτιστοποίηση του αριθμού των φορτιστών υπό την ταυτόχρονη αύξηση του αριθμού των εκχωρημένων ηλεκτρικών πατινιών ανά φορτιστή (λαμβάνοντας υπόψη το μέγιστο αριθμό ηλεκτρικών πατινιών ανά φορτιστή).

Κατά συνέπεια, η βελτιστοποίηση του αριθμού των φορτιστών μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της ωριαίας τιμής ανά φορτιστή που είναι ήδη εκχωρημένος στο σύστημα. Όπως ήδη διευκρινίσθηκε στην αντικειμενική συνάρτηση, το κόστος περιλάμβανε τις αποστάσεις και την ποινή προσθήκης για κάθε επιπρόσθετο φορτιστή. Για το λόγο αυτό δε χρειάζεται να πραγματοποιηθεί κανονικοποίηση.

$$f = \text{Min} \left(\sum_{i=1}^V \sum_{k=1}^S d_{ik} z_{ik} + \sum_{k=1}^S b_k y_{kk} \right)$$

Περιορισμοί

Ο πρώτος περιορισμός ορίζει ότι σε κάθε ηλεκτρικό πατίνι i αντιστοιχεί ένας φορτιστής k

$$\sum_{k=1}^S z_{ik} = 1 \quad \forall i \in V.$$

Ο δεύτερος περιορισμός διασφαλίζει το γεγονός ότι δεν έχει εκχωρηθεί ηλεκτρικό πατίνι i σε φορτιστή k , εκτός εάν ο φορτιστής είναι έτοιμος να εργαστεί σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία.

$$z_{ik} \leq y_{kk} \quad \forall i \in V, k \in S,$$

Οι τρίτος περιορισμός διασφαλίζει ότι το συνολικό κόστος συμμετοχής των φορτιστών στο σύστημα S είναι χαμηλότερο από τη συνολική επένδυση B , όπου το κόστος κάθε φορτιστή k είναι b_k . Η ποινή της συμμετοχής για τη χρήση κάθε νέου φορτιστή περιγράφεται από το ακόλουθο μαθηματικό μοντέλο:

$$\sum_{k=1}^S b_k y_{kk} \leq B$$

Ο επόμενος περιορισμός διασφαλίζει το γεγονός ότι ο αριθμός ηλεκτρικών πατινιών που αντιστοιχούν στον κάθε ανοιχτό φορτιστή k είναι μικρότερος από τον μέγιστο αριθμό ηλεκτρικών πατινιών που έχει εκχωρηθεί για τον φορτιστή αυτό. Σε αυτήν την περίπτωση, ο μέγιστος εκχωρημένος αριθμός των ηλεκτρικών πατινιών για κάθε φορτιστή είναι έξι ώστε να δοθεί μια δίκαιη ωριαία τιμή για τη χρήση των φορτιστών σύμφωνα με τα κυριότερα συμπεράσματα διεθνών ερευνητικών μελετών.

$$\sum_{i=1}^V z_{ik} \leq D_k y_{kk} \quad \forall k \in S,$$

Ο τελευταίος περιορισμός αφορά στην απόφαση ανάθεσης και ορίζει $z_{ik} = 0$ για καμία ανάθεση και $z_{ik} = 1$ για πλήρη ανάθεση

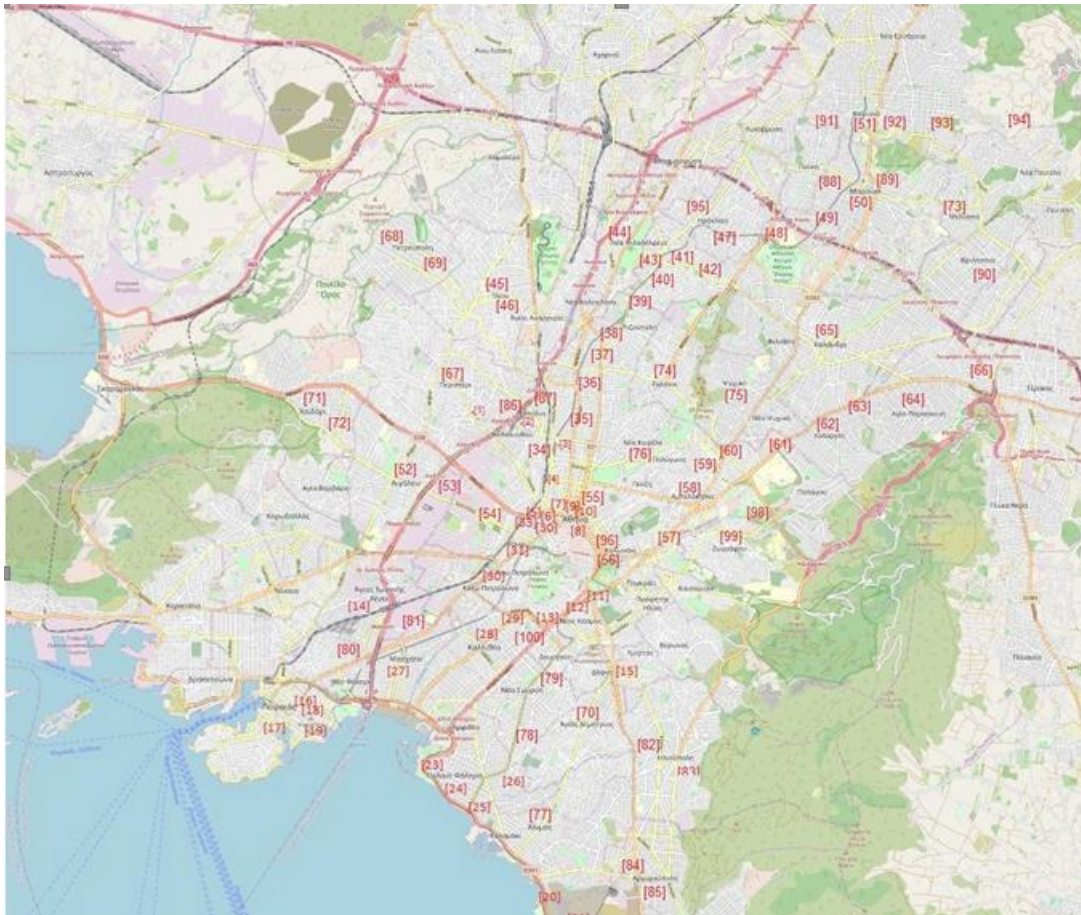
$$z_{ik} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in V, k \in S,$$

Πίνακας 1: Απόδοση αριθμού διατιθέμενων ηλεκτρικών πατινιών ανά πεδίο επαναφόρτισης – στάθμευσης

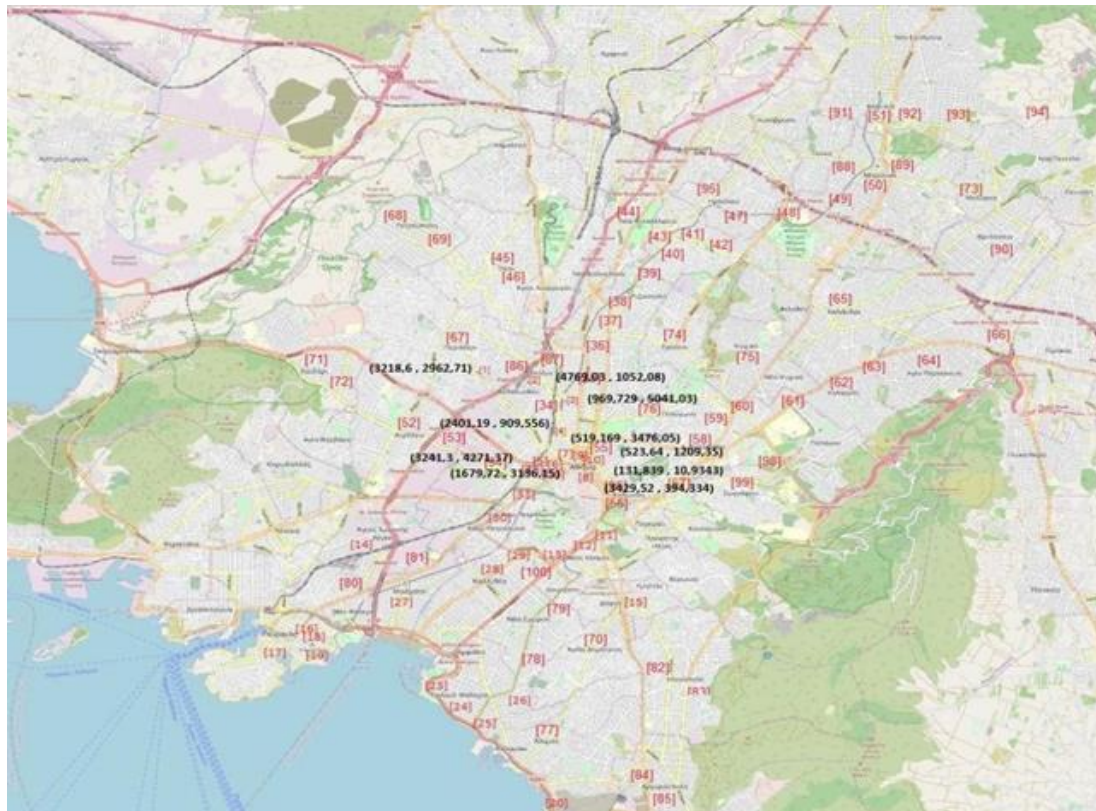
Σταθμός	Συνολικός αριθμός διαθέσιμων ηλεκτρικών πατινιών
1. Σταθμός μετρό Άγιος Αντώνιος	14
2. Σταθμός μετρό Σεπόλια	16
3. Σταθμός μετρό Αττική	18
4. Σταθμός μετρό Λαρίσης	15
5. Σταθμός μετρό Μεταξουργείο	17
6. Σταθμός μετρό Ομόνοια	20
7. Σταθμός Πλατεία Κάνιγγος	18
8. Σταθμός Ζωοδόχου Πηγής	15
9. Σταθμός μετρό Πανεπιστήμιο	30
10. Σταθμός μετρό Σύνταγμα	25
11. Σταθμός μετρό Ακρόπολη	20
12. Σταθμός μετρό Συγγρού Φιξ	20
13. Σταθμός μετρό Νέος Κόσμος	15
14. Σταθμός μετρό Άγιος Ιωάννης	12
15. Σταθμός μετρό Δάφνη	14
16. Σταθμός ηλεκτρικού Πειραιάς	15
17. Βιομηχανική Περιοχή Πειραιά	10
18. Κέντρο Πειραιά Δημοτικό Θέατρο	20
19. Μικρολίμανο Περιοχή Πειραιά	11
20. Περιοχή Κάτω Γλυφάδας Πρώτος Σταθμός	12
21. Περιοχή Κάτω Γλυφάδας Δεύτερος Σταθμός	12
22. Περιοχή Άνω Γλυφάδας	10
23. Σταθμός ηλεκτρικού Φάληρο	14
24. Περιοχή Παλαιού Φαλήρου Πρώτος Σταθμός	10
25. Περιοχή Παλαιού Φαλήρου Δεύτερος Σταθμός	10
26. Αρχή λεωφόρου Αμφιθέας	12
27. Σταθμός ηλεκτρικού Μοσχάτο	15
28. Σταθμός ηλεκτρικού Καλλιθέα	16
29. Σταθμός ηλεκτρικού Ταύρος	12
30. Σταθμός ηλεκτρικού Πετράλωνα	12
31. Σταθμός ηλεκτρικού Θησείο	22
32. Σταθμός ηλεκτρικού Μοναστηράκι	30
33. Σταθμός ηλεκτρικού Βικτώρια	25

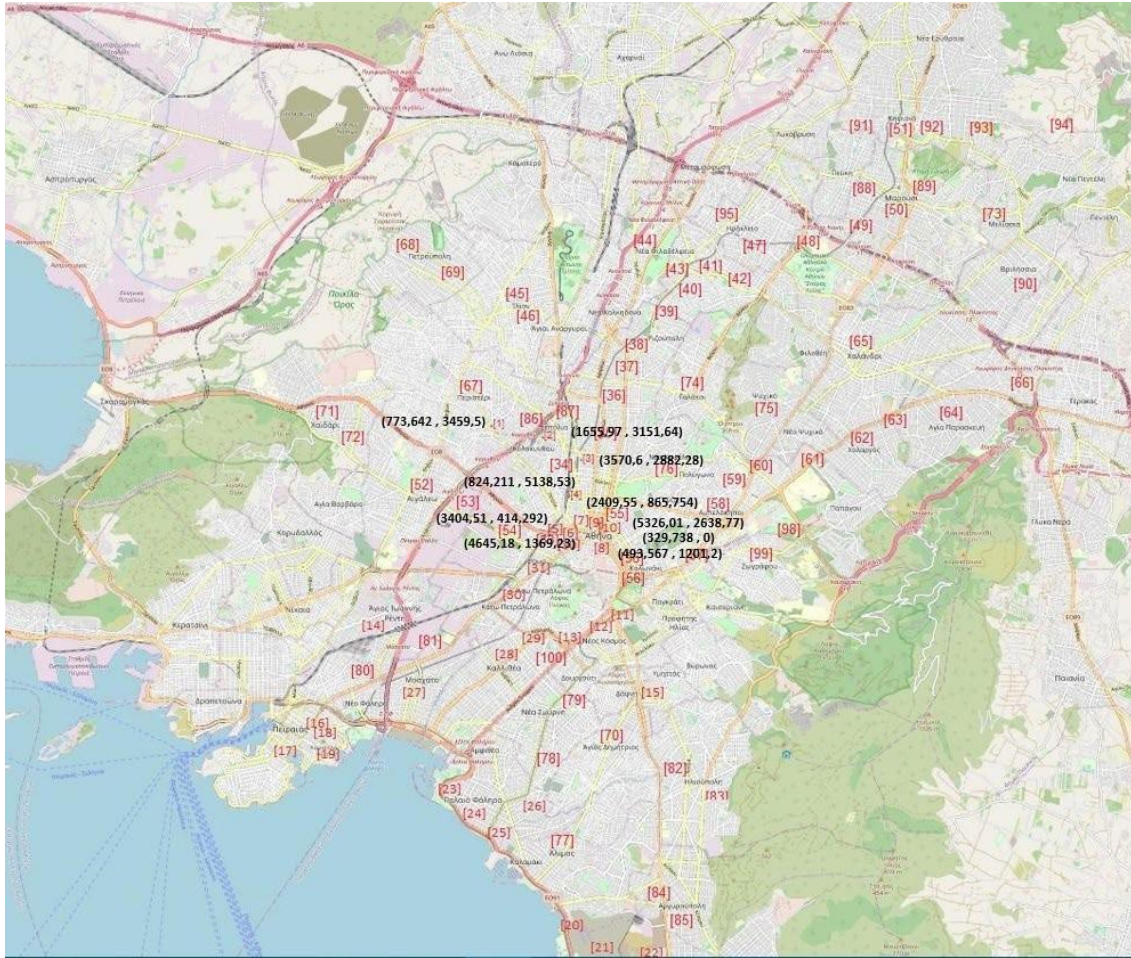
34. Σταθμός ηλεκτρικού Αττική	25
35. Σταθμός ηλεκτρικού Άγιος Νικόλαος	12
36. Σταθμός ηλεκτρικού Κάτω Πατήσια	15
37. Σταθμός ηλεκτρικού Άγιος Ελευθέριος	10
38. Σταθμός ηλεκτρικού Άνω Πατήσια	12
39. Σταθμός ηλεκτρικού Περισσός	12
40. Σταθμός ηλεκτρικού Πευκάκια	12
41. Σταθμός ηλεκτρικού Νέα Ιωνία	15
42. Περιοχή Νέας Ιωνίας Πρώτος Σταθμός (Κέντρο)	15
43. Περιοχή Νέας Ιωνίας Δεύτερος Σταθμός (Βιομηχανική Ζώνη)	10
44. Περιοχή Νέας Φιλαδέλφειας	15
45. Περιοχή Ίλιον Πρώτος Σταθμός	12
46. Περιοχή Ίλιον Δεύτερος Σταθμός	12
47. Σταθμός ηλεκτρικού Ηράκλειο	18
48. Σταθμός ηλεκτρικού Ειρήνη	20
49. Σταθμός ηλεκτρικού Νερατζιώτισσα	20
50. Σταθμός ηλεκτρικού Μαρούσι	14
51. Σταθμός ηλεκτρικού Κηφισιά	14
52. Σταθμός μετρό Αιγάλεω	20
53. Σταθμός μετρό Ελαιώνας	11
54. Σταθμός μετρό Κεραμικός	20
55. Σταθμός μετρό Σύνταγμα	30
56. Σταθμός μετρό Ευαγγελισμός	12
57. Σταθμός μετρό Μέγαρο Μουσικής	14
58. Σταθμός μετρό Αμπελόκηποι	12
59. Σταθμός μετρό Πανόρμου	16
60. Σταθμός μετρό Κατεχάκη	20
61. Σταθμός μετρό Εθνική Άμυνα	14
62. Σταθμός μετρό Χολαργός	12
63. Σταθμός μετρό Νομισματοκοπείο	12
64. Περιοχή Αγίας Παρασκευής	14
65. Περιοχή Χαλανδρίου	14
66. Λεωφόρος Δουκίσσης Πλακεντίας	20
67. Περιοχή Περιστερί	14
68. Περιοχή Πετρούπολης Πρώτος Σταθμός	12
69. Περιοχή Πετρούπολης Δεύτερος Σταθμός	11
70. Σταθμός μετρό Αγίου Δημητρίου	15
71. Περιοχή Χαϊδαρίου Πρώτος Σταθμός	10
72. Περιοχή Χαϊδαρίου Δεύτερος Σταθμός	10
73. Περιοχή Μελισσίων	11
74. Περιοχή Γαλατσίου	13
75. Περιοχή Ψυχικού	10
76. Περιοχή Πολυγώνου	10

77. Περιοχή Αλίμου	12
78. Λεωφόρος Αμφιθέας Πρώτος Σταθμός	12
79. Λεωφόρος Αμφιθέας Δεύτερος Σταθμός	12
80. Λεωφόρος Πειραιώς Πρώτος Σταθμός	14
81. Λεωφόρος Πειραιώς Δεύτερος Σταθμός	14
82. Ηλιούπολη Πρώτος Σταθμός	10
83. Ηλιούπολη Δεύτερος Σταθμός	10
84. Αργυρούπολη Πρώτος Σταθμός	8
85. Αργυρούπολη Δεύτερος Σταθμός	8
86. Περιοχή Σεπόλια Πρώτος Σταθμός	11
87. Περιοχή Σεπόλια Δεύτερος Σταθμός	11
88. Περιοχή Μαρούσι Πρώτος Σταθμός	12
89. Περιοχή Μαρούσι Δεύτερος Σταθμός	10
90. Περιοχή Βριλήσσια	12
91. Περιοχή Κηφισιά Πρώτος Σταθμός	10
92. Περιοχή Κηφισιά Δεύτερος Σταθμός	10
93. Περιοχή Εκάλης	12
94. Περιοχή Διονύσου	11
95. Περιοχή Νέου Ηρακλείου	9
96. Πλατεία Κολωνακίου	10
97. Περιοχή Νίκαιας	15
98. Πύλη Κατεχάκη Πολυτεχνείο	25
99. Πύλη Ζωγράφου Πανεπιστήμιο	25
100. Είσοδος Παντείου Πανεπιστημίου	20



Εικόνα 3.0.1 Σχεδιαστική αποτύπωση επί του αστικού χάρτη της χωροθέτησης των θέσεων στάθμευσης και επαναφόρτισης ηλεκτρικών πατινιών





Εικόνα 0.2 Απόδοση καρτεσιανών συντεταγμένων επί της χαρτογράφησης για δέκα θέσεις στάθμευσης επαναφόρτισης των ηλεκτρικών πατινιών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Το μαθηματικό μοντέλο το οποίο επιλέχθηκε για την επίλυση του προβλήματος της χωροθέτησης σταθμών επαναφόρτισης ηλεκτρικών ποδηλάτων στην Αττική για την παρούσα διπλωματική εργασία είναι αυτό του προβλήματος σταθερού κόστους (Fixed Charge Location Problem - FCLP).

4.1 Διαμόρφωση του Προβλήματος Σταθερού Κόστους

Σε πρώτο στάδιο πραγματοποιείται η διαμόρφωση του μοντέλου καθώς και η επέκτασή του ενώ στη συνέχεια αναλύεται τόσο ο γενετικός αλγόριθμος ο οποίος χρησιμοποιείται για την επίλυση του μαθηματικού μοντέλου όσο και το λογισμικό Evolver που θα χρησιμοποιηθεί για την επίλυση του αλγορίθμου.

Εφόσον το πρόβλημα σταθερού κόστους επιλέχθηκε ως το καταλληλότερο και το πιο λειτουργικό για την επίλυση του προβλήματος χωροθέτησης των ηλεκτρικών ποδηλάτων, στο παρόν κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί μια προσπάθεια αναδιαμόρφωσης και διεύρυνσης αυτού, ώστε να συμπεριληφθούν επιπρόσθετες παράμετροι και εξωγενείς παράγοντες συγκριτικά με το ήδη υπάρχον δημοσιευμένο έργο. Κύριο άξονα προσέγγισης του μοντέλου αυτού αποτελεί όπως είναι γνωστό η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους εγκατάστασης και μετακίνησης, εξασφαλίζοντας τη σταθερότητα του κόστους εγκατάστασης.

Στην προσπάθεια διεύρυνσης λοιπόν της παραμετροποίησης του προβλήματος σταθερού κόστους θα προταθεί ένας επιπρόσθετος όρος:

$$\sum_{j \in J} (c_j x_j - \sum_{i \in I} y_{ij}) \quad \forall i \in I, j \in J \quad (1.1)$$

Ο όρος αυτός αποδίδει το ποσοστό της ζήτησης το οποίο κρίνεται ως μη εφικτό να εξυπηρετηθεί από τον κάθε σταθμό φόρτισης. Στο πλαίσιο της προσπάθειας διαμόρφωσης του δεδομένου προβλήματος κρίνεται απαραίτητο να καθοριστούν εννοιολογικά αλλά και ποιοτικά τα κυριότερα δεδομένα και σύνολα που αφορούν στην ανάλυση και στη διακριτοποίηση του προβλήματος:

I = το σύνολο της ζήτησης των κόμβων ηλεκτρικού πατινιού που συμβολίζονται με i

J = το σύνολο της ζήτησης των υποψηφίων θέσεων εγκατάστασης ηλεκτρικού πατινιού που συμβολίζονται με j

f_j = το μοναδιαίο κόστος της θέσης φόρτισης ηλεκτρικού πατινιού για κάθε εγκατάσταση σε μια υποψήφια θέση j

c_j = η χωρητικότητα σε ηλεκτρικά πατίνια της κάθε εγκατάστασης j

a = το κόστος ανά μονάδα ζήτησης ηλεκτρικού πατινιού και ανά μονάδα απόστασης

h_i = η ζήτηση για ηλεκτρικά πατίνια στον κόμβο i

d_{ij} = η απόσταση μεταξύ του κόμβου ζήτησης ηλεκτρικού πατινιού i και της υποψήφιας θέσης j

Τέλος ως μεταβλητές απόφασης καθορίζονται οι παρακάτω

συναρτήσεις:

$x_j = 1$ στην περίπτωση κατά την οποία η χωροθέτηση γίνει στη θέση j

$x_j = 0$ στην περίπτωση κατά την οποία η χωροθέτηση δε γίνει στη θέση j

y_{ij} = το ποσοστό ζήτησης ηλεκτρικού πατινιού για κάθε κόμβο i

Βασιζόμενοι στα παραπάνω δεδομένα η μαθηματική έκφραση της βασικότερης περίπτωσης μελέτης του συγκεκριμένου προβλήματος χωροθέτησης FCLP λαμβάνει την ακόλουθη μορφή:

$$\sum_{j \in J} f_j c_j x_j + a \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} h_i d_{ij} y_{ij} + \sum_{j \in J} (c_j x_j - \sum_{i \in I} y_{ij})$$

Ως περιορισμοί τίθενται

$$\text{s.t.: } \sum_{j \in J} y_{ij} = 1, \forall i \in I \quad (1.3)$$

$$y_{ij} - x_j \leq 0, \forall i \in I, j \in J \quad (1.4)$$

$$\sum_{j \in J} h_i y_{ij} - C_j x_j \leq 0, \forall i \in I \quad (1.5)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \forall j \in J \quad (1.6)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \forall i \in I, j \in J \quad (1.7)$$

Και επιπλέον ο εξής περιορισμός:

$$\sum_{i \in I} h_i \left(\sum_{j \in J} x_{ij} \right) \leq c_j, \forall j \in J$$

Η αντικειμενική συνάρτηση η οποία ορίζεται κατά τη μεθοδολογία προσέγγισης του μαθηματικού προβλήματος έχει ως κύριους στόχους την ελαχιστοποίηση του αθροίσματος του σταθερού κόστους χωροθέτησης των εγκαταστάσεων ηλεκτρικών πατινιών, του συνολικού κόστους μετακίνησης αυτών καθώς και του ποσοστού της ζήτησης το οποίο δεν εξυπηρετείται για τον κάθε ένα ξεχωριστά σταθμό φόρτισης.

Η πρώτη παράμετρος της αντικειμενικής συνάρτησης εκφράζει το κόστος χωροθέτησης των εγκαταστάσεων ηλεκτρικών πατινιών σταθμισμένο ως προς τη χωρητικότητα που μπορεί να έχει κάθε σταθμός φόρτισης. Η δεύτερη παράμετρος σχετίζεται με τη σταθμισμένη απόσταση ως προς τη ζήτηση και η τρίτη παράμετρος της αντικειμενικής συνάρτησης αντικατοπτρίζει το ποσοστό της ζήτησης το οποίο δεν έχει εξυπηρετηθεί από τον εκάστοτε σταθμό φόρτισης.

Κατ' αναλογία ο πρώτος περιορισμός σχετίζεται με το γεγονός ότι ο κάθε κόμβος ζήτησης θα πρέπει να αντιστοιχεί σε μια ακριβώς εγκατάσταση ενώ ο δεύτερος περιορισμός επιμερίζει ταυτόχρονα τις αναθέσεις των κόμβων ζήτησης μόνο σε εγκαταστάσεις οι οποίες χαρακτηρίζονται από ικανότητα εξυπηρέτησης. Ο τρίτος περιορισμός διασφαλίζει ότι η συνολική ζήτηση που θα αποδοθεί σε μια εγκατάσταση δε θα υπερβαίνει την παραγωγική δυνατότητα της ίδιας της εγκατάστασης (c_j). Επιπρόσθετα ο περιορισμός (1.6) εδραιώνει τη δυαδικότητα της μεταβλητής της χωροθέτησης και ο περιορισμός (1.7) διασφαλίζει το γεγονός ότι η ζήτηση σε έναν κόμβο μπορεί να ανατεθεί μονοσήμαντα σε μια εγκατάσταση, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να αντικατασταθεί με $y_{ij} \geq 0 \forall i \in I, j \in J$ καθώς ο περιορισμός (1.4) καθορίζει τις συνθήκες ώστε $y_{ij} \leq 1$.

Εάν πραγματοποιηθεί χαλάρωση του περιορισμού (1.7) μπορεί δυνητικά να ληφθεί υπόψη το ενδεχόμενο της ανάθεσης της ζήτησης σε έναν κόμβο πολλαπλών εγκαταστάσεων. Εφόσον λοιπόν ο περιορισμός (1.5) προκαθορίζει τη συνθήκη ώστε η ζήτηση να ανατεθεί μονάχα στις εγκαταστάσεις οι οποίες έχουν δυνατότητα εξυπηρέτησης, ο περιορισμός (1.4) θεωρείται ότι μπορεί να εκλείπει από την αναδιάρθρωση του προβλήματος. Στην περίπτωση φυσικά που αυτός ενταχθεί στην ανάπλαση του μοντέλου, κρίνεται πιθανό να επιβληθεί σε σημαντικό βαθμό η 'χαλάρωση' του γραμμικού προγραμματισμού. Τέλος ο περιορισμός (1.7) κατευθύνει το μοντέλο σύμφωνα με το γεγονός ότι το σύνολο της ζήτησης του ηλεκτρικού πατινιού σε μια θέση επιβάλλεται να ανατεθεί σε μια μόνο εγκατάσταση.

Όπως μπορεί να γίνει εύκολα κατανοητό βάσει της ανάλυσης των πραγματικών συνθηκών στο πεδίο λειτουργίας η ζήτηση είναι δυνατό να εξυπηρετηθεί από μια εγκατάσταση, η οποία δε βρίσκεται στο άμεσο πεδίο γειννίας με αυτή, λόγω της πολλαπλότητας και της έκτασης που λαμβάνουν οι παραγωγικές ικανότητες της κάθε εγκατάστασης. Εάν φυσικά η παραμετροποίηση του προβλήματος πραγματοποιηθεί κατά τρόπο ώστε να μην εντάσσεται στο μοντέλο ο περιορισμός (1.5), τότε η ζήτηση για ηλεκτρικό πατίνι σε κάθε κόμβο φυσικά και θα εξυπηρετείται από την πλησιέστερη εγκατάσταση, καθιστώντας κατ' αυτόν τον τρόπο την ανάλυση του προβλήματος εφάμιλλη με αυτή του 'incapacitated fixed charge location problem'. Φυσικά μέσω της περιοριστικής συνθήκης (1.8) δηλώνεται καθαρά ότι η κάθε εγκατάσταση ηλεκτρικών πατινιών διαθέτει μία μέγιστη χωρητικότητα η οποία δε μπορεί σε καμία περίπτωση να ξεπεραστεί. Όπως αναφέρθηκε η χωρητικότητα της κάθε εγκατάστασης συμβολίζεται με c_j και συνεισφέρει με συγκεκριμένο συντελεστή κάθε φορά στη συνολική χωρητικότητα των σταθμών φόρτισης οι οποίοι πρόκειται να χωροθετηθούν.

4.2 Γενετικοί αλγόριθμοι

4.2.1 Η έννοια του γενετικού αλγορίθμου

Η πιο σύγχρονη μεθοδολογία η οποία χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των βελτιστοποιημένων λύσεων και ιδιαίτερα σε πολυπαραμετρικά προβλήματα είναι αυτή των γενετικών αλγορίθμων. Οι γενετικοί αλγόριθμοι στοχεύουν κατά κύριο λόγο στην εύρεση

αποδεκτών με βάση ένα δεδομένο κριτήριο λύσεων. Ο τρόπος λειτουργίας τους σχετίζεται με θεμελιώδη μηχανιστικά πρότυπα τα οποία βρίσκουν εφαρμογή στο επιστημονικό πεδίο της βιολογίας αλλά εντάσσονται ως θεμελιώδης γνώση στην επιστήμη των υπολογιστών. Για πρώτη φορά στα ερευνητικά ιστορικά χρησιμοποιήθηκαν το 1950, όταν δύο μικροβιολόγοι προσπάθησαν να προσομοιώσουν πολύπλοκες βιοχημικές αντιδράσεις καθώς και το ρυθμό μεταβολίσης κάποιων βιολογικών συστημάτων μέσω χρήσης υπολογιστών.

Η συνέχιση όμως της χρήσης και η επέκταση των δυνατοτήτων των γενετικών αλγορίθμων καθιερώθηκε στο Πανεπιστήμιο του Michigan από την ερευνητική ομάδα του John Holland το έτος 1975. Ο Holland ως πρωτοπόρος αυτής της μεθόδου προσέγγισης των πολυπαραμετρικών προβλημάτων εστίασε στο γεγονός ότι οι αυθόρμητες δράσεις, οι λειτουργίες και τα μικρομηχανιστικά μοντέλα που διέπουν τις διεργασίες της φύσης θα μπορούσαν πολύ επιτυχώς να ενσωματωθούν σε αλγόριθμους για υπολογιστές, με τρόπο ώστε η επίλυση του προβλήματος να είναι ταχύτατη, ιδιαίτερα αποδοτική, επαναλήψιμη και με μικρό περιθώριο σφάλματος. Κατά συνέπεια με την πάροδο των χρόνων και μέσα από συστηματική και επαναλαμβανόμενη προσπάθεια οι γενετικοί αλγόριθμοι καθιερώθηκαν ως η πιο νέα, εξελισσόμενη και περισσότερο υποσχόμενη μεθοδολογία – τεχνική αναζήτησης, διακριτοποίησης και βελτιστοποίησης.



Εικόνα 1: Διακριτοποίηση μεταξύ των κατευθυνόμενων και των μη κατευθυνόμενων γενετικών αλγορίθμων

Η επόμενη γενιά των γενετικών αλγορίθμων των μυρμηγκιών αναπτύχθηκε σταδιακά σε πολλαπλές φάσεις εξέλιξης από τους ερευνητές Goldberg and Lingle, Scmitt, Bean και Colorni. Το υπολογιστικό αυτό εργαλείο λειτουργήσε βασισμένο στον τρόπο με τον οποίο τα μυρμηγκία αλληλεπιδρούν με το φυσικό τους χώρο και απέδωσε αυτή τη δυναμική σχέση αλγοριθμικά. Άλλωστε όπως είναι γνωστό η κύρια συνιστώσα των γενετικών

αλγορίθμων είναι η προσομοίωση των δράσεων και των φυσικοχημικών μηχανισμών οι οποίοι λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της προσπάθειας προσαρμογής ενός πληθυσμού σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον, συμπεριλαμβάνοντας τόσο την επιβίωση όσο και την αναπαραγωγή (Εξελικτική Προσαρμογή). Εάν χρειαζόταν όμως κάποιος να αποδώσει πολύ περιεκτικά και περιγραφικά τα πλεονεκτήματα που επιφέρουν καθώς και την αναγκαιότητα χρήσης των γενετικών αλγορίθμων θα έπρεπε να ειπωθεί ότι πρόκειται για το πιο σύγχρονο υπολογιστικό εργαλείο, το οποίο προσαρμόζει στον δικό του επιστημονικό κλάδο την ορολογία της γενετικής και ταυτόχρονα χρησιμοποιείται για τη διακριτοποίηση των παραμέτρων και τη βελτιστοποίηση των λύσεων σε πολυπαραγοντικά προβλήματα με ιδιαίτερα αυξημένο βαθμό πολυπλοκότητας. Τα προβλήματα αυτά υπό άλλες συνθήκες μπορούν να αντιμετωπιστούν μονάχα προσεγγιστικά και ποιοτικά χωρίς την λήψη βέβαιων και επαναλαμβανόμενων λύσεων.

Έτσι λοιπόν οι αλγόριθμοι αυτοί ονομάζονται εξελικτικοί αλγόριθμοι και αποτελούν υποσύνολο μιας ευρύτερης κατηγορίας αλγορίθμων, των μεθευρετικών αλγορίθμων βελτιστοποίησης. Κατά τη διάρκεια της επαναληπτικής διαδικασίας για τον προσδιορισμό της βέλτιστης λύσης προσεγγίζουν το πρόβλημα με χαρακτήρα στοχαστικό (stochastic universal sampling) και όχι ντετερμινιστικό. Οι εξελικτικοί όμως αλγόριθμοι έχει διαπιστωθεί ότι δε διασφαλίζουν την εύρεση της βέλτιστης λύσης απλώς εγγυώνται την ανάδειξη μιας καλής λύσης. Στο σημείο αυτό οφείλει να αναφερθεί ότι βέλτιστη θεωρείται η λύση η οποία είτε ελαχιστοποιεί είτε μεγιστοποιεί την αντικειμενική συνάρτηση, λαμβάνοντας πάντοτε υπόψη και ικανοποιώντας τους περιοριστικούς παράγοντες του προβλήματος.

Σε κάθε περίπτωση όμως οι γενετικοί αλγόριθμοι διαφέρουν σημαντικά από αλγορίθμους οι οποίοι επιλύουν το πρόβλημα τυχαματικά, εφαρμόζοντας δηλαδή τυχαία μοντέλα αναζήτησης και βελτιστοποίησης, καθώς λειτουργούν συνδυαστικά λαμβάνοντας στοιχεία τόσο από άμεσες όσο και από στοχαστικές μεθόδους αναζήτησης και επίλυσης. Κατά συνέπεια χαρακτηρίζονται ως 'εύρωστοι'. Σε αντίθεση με άλλες τεχνικές αναζήτησης και βελτιστοποίησης οι οποίες αναλύουν μόνο ένα σημείο του διαστήματος, οι γενετικοί αλγόριθμοι εστιάζουν σε έναν πληθυσμό πιθανών λύσεων τον οποίο και επεξεργάζονται. Κατ' αυτόν τον τρόπο ένας γενετικός αλγόριθμος λειτουργεί πολυκατευθυντικά καθώς αναπτύσσει την αναζήτησή του παράλληλα σε πολλαπλές κατευθύνσεις, αποδίδοντας τη δυνατότητα τόσο της καταγραφής όσο και της ανταλλαγής των πληροφοριών μεταξύ της πληθώρας των κατευθύνσεων.

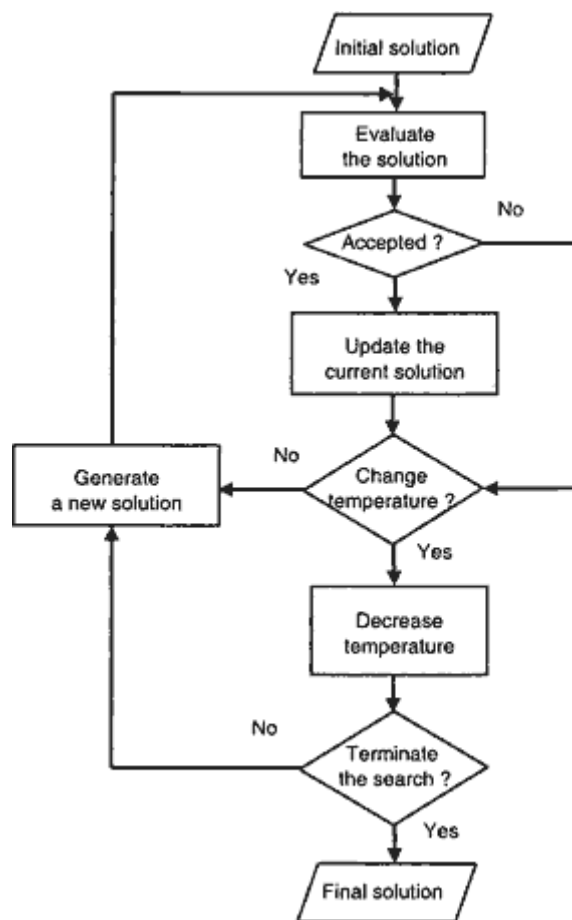
Τα πέντε βασικότερα υποσκέλη – στάδια που χαρακτηρίζουν έναν γενετικό αλγόριθμο για οποιοδήποτε πολυπαραμετρικό πρόβλημα είναι τα παρακάτω:

- I. Αναπαράσταση και περιγραφή των πιθανότερων λύσεων του προβλήματος
- II. Ορισμός ενός αρχικού πληθυσμού με πιθανές λύσεις
- III. Κατασκευή μιας αντικειμενικής συνάρτησης αξιολόγησης η οποία διαχωρίζει και κατηγοριοποιεί τις λύσεις ανάλογα με το βαθμό καταλληλότητάς τους
- IV. Αναδιάρθρωση των γενετικών τελεστών για την ανάπλαση λύσεων
- V. Απόδοση συγκεκριμένων τιμών στην πληθώρα παραμέτρων που χρησιμοποιεί ο γενετικός αλγόριθμος (για παράδειγμα το μέγεθος του πληθυσμού και η

πιθανότητα εφαρμογής των γενετικών τελεστών)

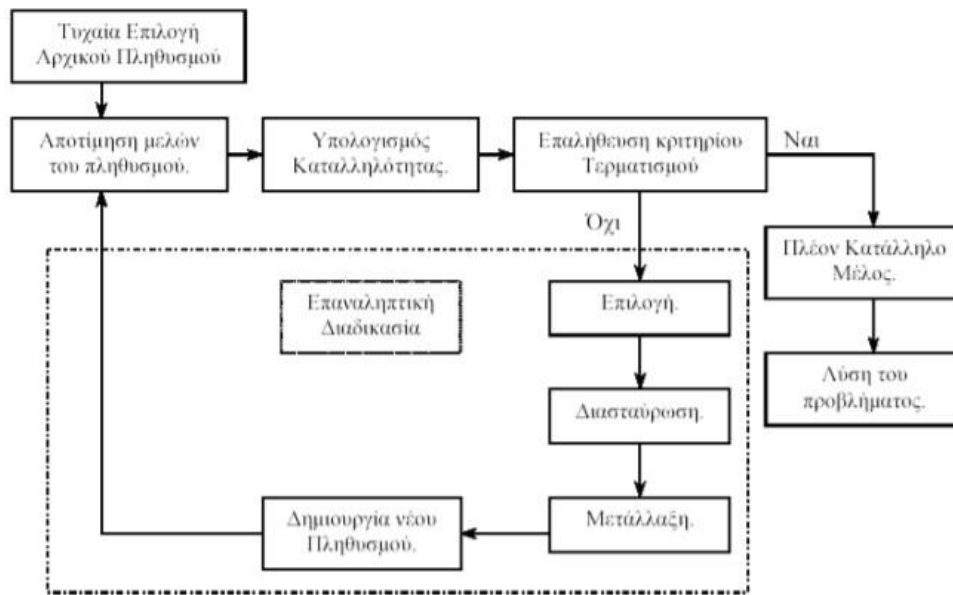
Τέλος η επικρατέστερη εξελικτική πορεία των βημάτων τα οποία χρησιμοποιούνται για την επίλυση ενός πολυπαραμετρικού προβλήματος από τον γενετικό αλγόριθμο, σύμφωνα με τους ερευνητές Γεωργόπουλο και Λυκοθανάση, είναι τα ακόλουθα:

- I. Αρχικό στάδιο κωδικοποίησης της λύσης
- II. Στάδιο καταρτισμού του αρχικού πληθυσμού
- III. Στάδιο αποτίμησης του πληθυσμού μέσω μιας συνάρτησης καταλληλότητας
- IV. Στάδιο επιλογής
- V. Στάδιο διασταύρωσης
- VI. Στάδιο μετάλλαξης



Εικόνα 2: Εξελικτικό μοντέλο τυπικού γενετικού αλγορίθμου

ΔΕΙΚΝΟΝΤΑΣ ΤΑ ΒΗΜΑΤΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΕΝΟΣ ΤΥΠΙΚΟΥ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ.



Εικόνα 3: Διάγραμμα ροής και εξελικτική πορεία ενός τυπικού γενετικού αλγορίθμου που σχετίζεται με τη χρήση κάποιου κριτηρίου τερματισμού

4.2.2 . Στάδια Γενετικών αλγορίθμων

Στάδιο κωδικοποίησης της λύσης

Η γενετική αναπαράσταση των λύσεων, δηλαδή η μεθοδολογία μέσω της οποίας λαμβάνει χώρα η κωδικοποίηση των προτεινόμενων λύσεων αποτελεί έναν από τους κυριότερους παράγοντες διασφάλισης της εγκυρότητας και της ακεραιότητας της μεθόδου. Για την επιτυχή βελτιστοποίηση ενός πολυπαραμετρικού προβλήματος ο πιο ασφαλής τρόπος που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των λύσεων είναι ο μετασχηματισμός των μεταβλητών σχεδιασμού σε μια σειρά δυαδικών ψηφίων (0,1). Επιπρόσθετα πέρα από τις δυαδικές συμβολοσειρές (bit strings) η αναπαράσταση των πιθανών λύσεων μπορεί να περατωθεί μέσω χρήσης είτε ακεραίων είτε πραγματικών αριθμών είτε χαρακτήρων οποιουδήποτε είδους. Τέλος σε πιο εξελιγμένα – αναβαθμισμένα επίπεδα ανάλυσης των γενετικών αλγορίθμων μπορεί κάποιος να συναντήσει πολυπλοκότερες γενετικές αναπαραστάσεις όπως αποτελεί αυτή της δένδροειδούς κωδικοποίησης. Η ακρίβεια, η διακύμανση και η συνολική εγκυρότητα της αναπαράστασης αυτής σχετίζεται κατά απόλυτο τρόπο με το πλήθος των δυαδικών ψηφίων. Όπως γίνεται εύκολα κατανοητό με την αύξηση του πληθυσμού των δυαδικών ψηφίων που χρησιμοποιούνται αυξάνεται και η ακρίβεια ως προς την αναπαράσταση της συνεχούς μεταβλητής.

Στάδιο καταρτισμού του αρχικού πληθυσμού

Αρχικά στο στάδιο αυτό δημιουργείται με τυχαίο τρόπο ο πρώτος πληθυσμός των πιο

πιθανών υποψήφια λύσεων. Κάθε στοιχείο – μοναδιαία οντότητα του πληθυσμού αντιστοιχεί σε μία σειρά δυαδικών λύσεων με συγκεκριμένο μήκος. Το άθροισμα των σειρών αυτών διαρθρώνει τη συνολική κωδικοποίηση η οποία ορίζεται ως βάση αναφοράς για το σύνολο των μεταβλητών σχεδιασμού του πολυπαραμετρικού προβλήματος. Η κάθε μια σειρά των δυαδικών ψηφίων καθιστά ένα μεμονωμένο γονότυπο ή χρωμόσωμα. Το βασικότερο στοιχείο όμως το οποίο πρέπει να προκαθορίζεται και να διευκρινίζεται κατά τη την επίλυση πραγματικών προβλημάτων με τη χρήση γενετικών αλγορίθμων αποτελεί το μέγεθος του πληθυσμού, του πλήθους δηλαδή των χρωμοσωμάτων που στοιχειοθετούν κάθε πληθυσμό. Καθίσταται ακόμη αναγκαίο το μέγεθος του πληθυσμού να είναι ικανοποιητικά μεγάλο και να παραμένει σταθερό και αμετάβλητο στο χώρο και το χρόνο. Πληθυσμοί οι οποίοι περιλαμβάνουν μικρό αριθμό χρωμοσωμάτων και μεταβάλλονται είτε με σταθερό είτε με ασταθή τρόπο κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του γενετικού αλγορίθμου περιορίζουν την πιθανότητα ενεργοποίησης και ολοκλήρωσης της διαδικασίας της διασταύρωσης, οδηγώντας μονοσήμαντα στην ανεπιθύμητη συνθήκη του να εξετασθεί ένα μικρό και μη αντιπροσωπευτικό τμήμα του χώρου αναζήτησης.

Στάδιο αποτίμησης του πληθυσμού μέσω μιας συνάρτησης καταλληλότητας

Η μορφή και το εύρος του χώρου αναζήτησης καθορίζονται κατά κύριο λόγο από το είδος της αντικειμενικής συνάρτησης, το οποίο εφαρμόζεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αναζήτησης μιας ικανοποιητικής λύσης. Υπολογίζεται λοιπόν αυτή με συνεχή και δυναμικά μεταβαλλόμενο τρόπο για το κάθε στοιχείο του πληθυσμού μεμονωμένα και καθιστά την προς βελτιστοποίηση συνάρτηση. Κάθε χρωμόσωμα, το οποίο αντιστοιχεί σε συγκεκριμένες τιμές της συνολικής παραμετροποίησης του σχεδιασμού του προβλήματος επιδέχεται ξεχωριστό υπολογισμό της αντικειμενικής συνάρτησης. Ο υπολογισμός όμως αυτής της αντικειμενικής συνάρτησης για το κάθε χρωμόσωμα είναι ανεξάρτητος και ανεπηρέαστος από τις τιμές που λαμβάνουν οι παράμετροι σχεδιασμού για κάθε άλλο στοιχείο του πληθυσμού. Παρ' όλ' αυτά η ποιότητα της προσομοίωσης, ο συντελεστής βαρύτητας και η βαθμονόμηση του κάθε στοιχείου – μέλους του πληθυσμού καθορίζεται συγκριτικά συνυπολογίζοντας και τα υπόλοιπα στοιχεία – μέλη του πληθυσμού.

Στάδιο επιλογής

Ο εντοπισμός των ικανότερων χρωμοσωμάτων ως προς την παραγωγή απογόνων για τον εκάστοτε πληθυσμό καθιστά τον κυριότερο και σημαντικότερο στόχο του σταδίου της επιλογής. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι ως ικανά χρωμοσώματα ορίζονται εκείνα που διασφαλίζουν σε ευρεία κλίμακα ανάλυσης την υψηλότερη πιθανότητα τόσο αναφορικά με την επιβίωση όσο και με το στάδιο της αναπαραγωγής με αποτέλεσμα να προκύπτουν ακόμη ικανότεροι απόγονοι. Στο κάθε επίπεδο όμως του πολυπαραμετρικού προβλήματος θα πρέπει να διασφαλίζεται η ποιοτική κατοχύρωση της διαφορετικότητας εντός του πληθυσμού με τρόπο ώστε να ενισχύεται και να καταλύεται η εξελικτική πορεία αυτού. Με λίγα λόγια θα πρέπει να διατηρείται μέσω μικρομηχανιστικών υπολογιστικών μεθόδων η ισορροπία του συστήματος καθώς με την προαναφερθείσα διαδικασία μπορεί να προκύψει ένας υπερπληθυσμός από ικανές αλλά όχι βέλτιστες λύσεις. Εφαρμόζονται λοιπόν ειδικοί

τελεστές επιλογής στον αλγόριθμο ώστε να διακριτοποιούνται τα χρωμοσώματα από το σύνολο του πληθυσμού, τα οποία μπορούν να αναπαραχθούν. Κατά συνέπεια η συγκεκριμένη συνθήκη αποτελεί ίσως και το κυριότερο στάδιο για την αποδοτικότητα και την ακεραιότητα του γενετικού αλγορίθμου.

Στάδιο διασταύρωσης

Για τους γενετικούς αλγόριθμους ως σημαντικότερος διαχωριστικός – διαφοροποιός παράγοντας τίθεται ο τελεστής διασταύρωσης, υποκινώντας και ολοκληρώνοντας με μοναδικό τρόπο τη διαδικασία της διασταύρωσης. Η τυχαία και μη κατευθυνόμενη επιλογή μιας θέσης από τον τελεστή διασταύρωσης οδηγεί στην ανταλλαγή των αλυσίδων μεταξύ των γονιδίων τόσο πριν όσο και μετά από αυτή τη θέση, πάντα ανά δύο χρωμοσώματα ώστε να προκύψουν δύο ικανοί απόγονοι. Η πιο απλοποιημένη μορφή της διαδικασίας αυτής στοιχειοθετείται από τη μέθοδο διασταύρωσης ενός σημείου. Όμως λόγω του υψηλού βαθμού αποτελεσματικότητας μέσω της απόδοσης ακέραιων και επαναλήψιμων στοιχείων καθώς και της ικανοποιητικής τους εμβέλειας χρησιμοποιούνται επιπρόσθετα σε εκτεταμένη κλίμακα στη σύγχρονη εποχή τόσο η μέθοδος διασταύρωσης δύο σημείων όσο και η μέθοδος της ομοιόμορφης διασταύρωσης.

Διασταύρωση ενός σημείου για φυσικούς αριθμούς



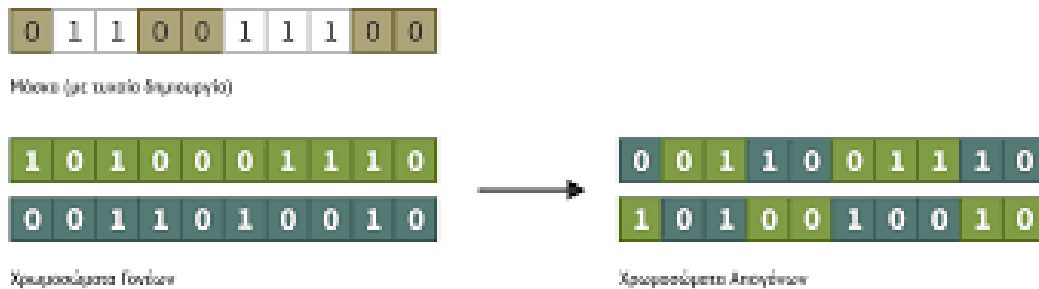
(a)

Ομοιόμορφη διασταύρωση



(b)

Ομοιόμορφη διασταύρωση με μάσκα



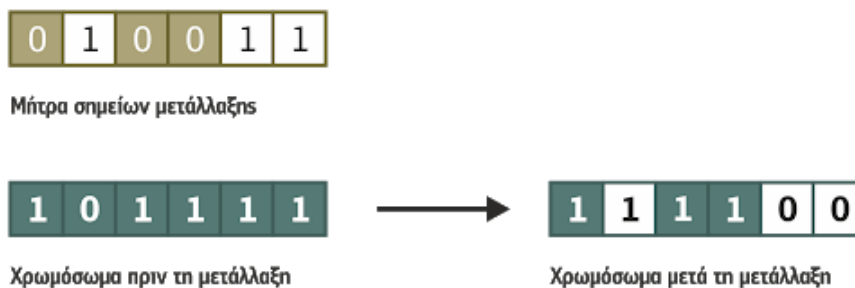
(c)

Εικόνα 4: Περιγραφική απόδοση της μεθόδου (a) διασταύρωσης ενός σημείου, (b) της ομοιόμορφης διασταύρωσης και (c) της ομοιόμορφης διασταύρωσης με μάσκα

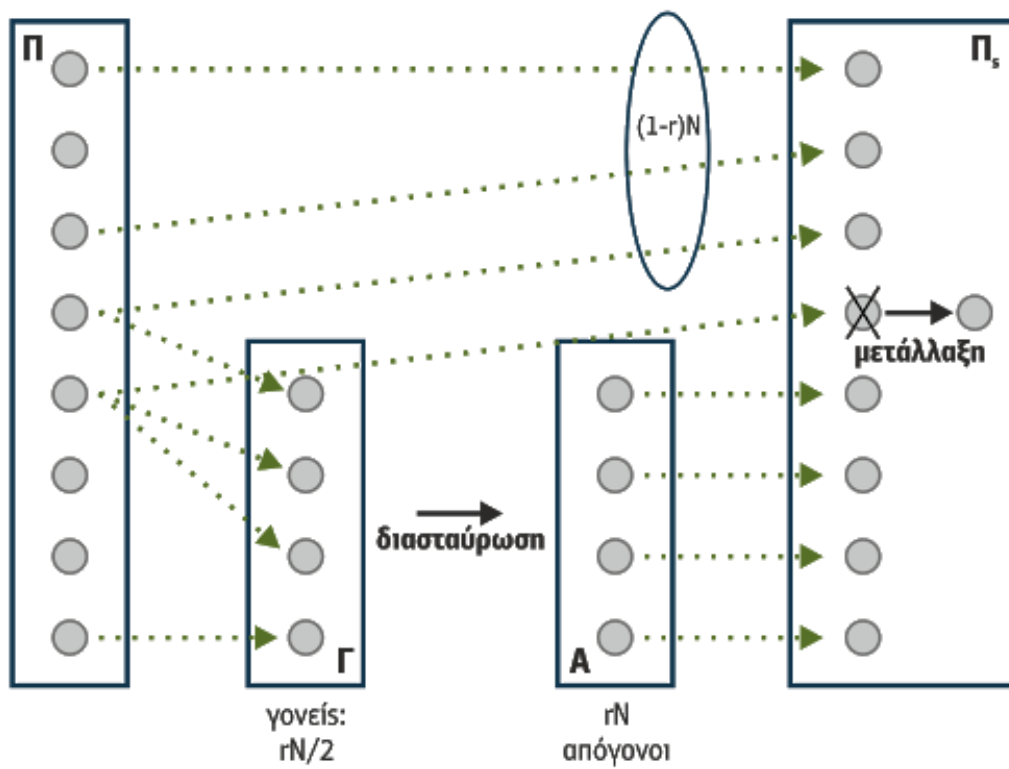
Στάδιο μετάλλαξης

Ως τελευταίο στάδιο κατά την εξελικτική πορεία ανάπτυξης του γενετικού αλγορίθμου ορίζεται αυτό της μετάλλαξης, σύμφωνα με το οποίο ο προεπιλεγμένος τελεστής μετάλλαξης επιδρά με τυχαίο τρόπο σε κάποια γονίδια τα οποία εμπερικλείονται στα χρωμοσώματα των μελών του πληθυσμού και μεταβάλλει δυναμικά είτε με σταθερό είτε με ασταθή τρόπο την τιμή τους. Στις περιπτώσεις της γενετικής αναπαραστάσης με τη χρήση δυαδικού συστήματος, καθορίζονται τα δυαδικά ψηφία του πληθυσμού με πιθανότητα η οποία δεν υπερβαίνει το 1% και εν συνεχεία αντιστρέφονται. Δηλαδή μετατρέπεται ταυτόχρονα με την ίδια τάση τόσο το 0 σε 1 όσο και το 1 σε 0, σε σημεία φυσικά του γενετικού αλγόριθμου όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως μπορεί η διαδικασία της διασταύρωσης να εκπροσωπεί το κυριότερο εργαλείο διαφοροποίησης μεταξύ των γενετικών αλγορίθμων, η διαδικασία όμως της μετάλλαξης λειτουργεί περισσότερο συντηρητικά αλλά και υποστηρικτικά, καθώς διασφαλίζει την ύπαρξη μιας μόνιμης και σταθερής κατάστασης σε συγκεκριμένη θέση του πεδίου ανάλυσης.

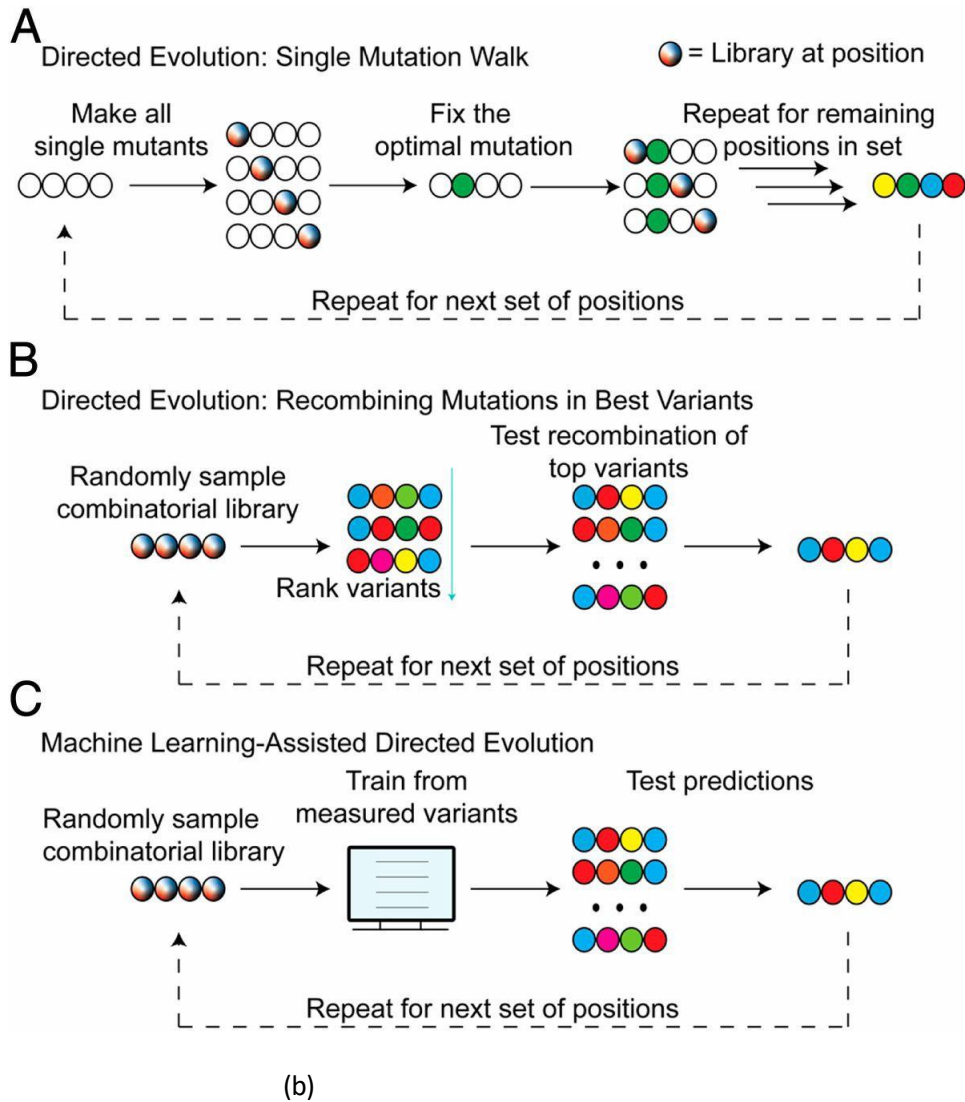
Μετάλλαξη τριών σημείων βάσει μήτρας



Εικόνα 5: Περιγραφική αποτύπωση της μεθόδου μετάλλαξης τριών σημείων με χρήση μήτρας



(a)



Εικόνες 6 (α, β): Σκαριφηματική απόδοση του σταδίου της μετάλλαξης ενταγμένου σε συγκεκριμένα προβλήματα γενετικών αλγορίθμων

4.2.3. Πλεονεκτήματα της χρήσης γενετικών αλγορίθμων

Μέσω της χρήσης των γενετικών αλγορίθμων προκύπτει πληθώρα πλεονεκτημάτων με σημαντική συνεισφορά στην ακεραιότητα και στην επαναληψιμότητα των αποδιδόμενων λύσεων. Τα κυριότερα από τα πλεονεκτήματα αυτά παρατίθενται στη συνέχεια ενώ παράλληλα οφείλει να γίνει αναφορά στο γεγονός ότι η λίστα των πλεονεκτημάτων διευρύνεται και επικαιροποιείται με συνεχή τρόπο, όσο δηλαδή επεκτείνεται και η χρήση αυτών.

1. Οι γενετικοί αλγόριθμοι διαθέτουν το χαρακτηριστικό γνώρισμα του να επιλύουν πολύπλοκα και πολυπαραμετρικά προβλήματα με υψηλή ταχύτητα απόδοσης και με τη χρήση ιδιαίτερα αξιόπιστων μεθόδων. Η αποδοτικότητα φυσικά και αποτελεί τον πυλώνα θεμελίωσης της δεδομένης διαδικασίας στα σύγχρονα τεχνολογικά δεδομένα, η υψηλή όμως καινοτομικότητα αυτών μπορεί να συσχετισθεί με την ικανότητα προσέγγισης και επίλυσης προβλημάτων με πολλαπλές και δύσκολα προσδιοριζόμενες λύσεις καθώς και με τη

δυνατότητα επέκτασης της χρήσης τους ακόμα και σε πεδία συναρτήσεων που χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό διακύμανσης.

II. Η μετεξέλιξη αυτών έχει πραγματοποιηθεί βάσει των συνεχώς αναθεωρούμενων σχεδιαστικών προτύπων με ιδιαίτερη επιτυχία, κάτι το οποίο τους καθιστά ως ένα πολλά υποσχόμενο υπολογιστικό εργαλείο με αδιαμφισβήτητη ικανότητα και προσαρμοστικότητα ως προς την επέκταση και την εξέλιξή του.

III. Ακόμη ο προσδιορισμός της αντικειμενικής συνάρτησης αποτελεί τη μοναδική αναγκαία και ικανή συνθήκη για τη διαδικασία της βελτιστοποίησης των γενετικών αλγορίθμων, χωρίς να υπάρχει η παραμικρή απαίτηση γνώσης επιπρόσθετων πληροφοριών, είτε άμεσα είτε έμμεσα σχετιζόμενων με το πρόβλημα. Το γεγονός ότι δεν υπάρχει αναγκαιότητα επιβολής περιορισμών καθιστά τους γενετικούς αλγόριθμους πολύ περισσότερο λειτουργικούς, εύκαμπτους και προσφιλείς στον χρήστη συγκριτικά με άλλες μεθόδους οι οποίες εκ προοιμίου χαρακτηρίζονται από την αναγκαιότητα εφαρμογής ειδικών περιορισμών, κάτι το οποίο τις κατατάσσει στις πιο δυσπροσάρμοστες και λιγότερο ευέλικτες επιλογές. Θα ήταν παράλογο να υποστηρίξει κανείς ότι δεν υπάρχουν άλυτα ακόμη και μη προσδιορίσιμα προβλήματα για τους γενετικούς αλγόριθμους, όμως δε μπορεί να παραλειφθεί το γεγονός ότι καθώς οι γενετικοί αλγόριθμοι επικοινωνούν με το περιβάλλον του προβλήματος μέσω μιας συνάρτησης ικανότητας χωρίς να επιβάλλουν κάποια διακριτοποίηση αναφορικά με τη σημαντικότητα της πληροφορίας, είναι δυνατόν να εγγραφούν αντίστοιχα υψηλούς βαθμούς επιτυχίας ανεξαρτήτως του είδους της πληροφορίας.

IV. Ιδιαίτερα καθοριστική παράμετρο για την εμβέλεια και την επέκταση της χρήσης τους αποτελεί η ιδιότητά τους να μπορούν να προσαρμόζονται και να συνεργάζονται με υψηλή συμβατότητα με τα υπόλοιπα υπάρχοντα μοντέλα και συστήματα, χωρίς να τίθεται οποιαδήποτε αναγκαιότητα επαναδιαμόρφωσης και επανασχεδιασμού. Κατ' αυτόν τον τρόπο μπορούν να συμπράξουν με τους υπόλοιπους κώδικες εστιάζοντας μονοσήμαντα στα στοιχεία της συνάρτησης που οι ίδιοι τείνουν να βελτιστοποιήσουν, χωρίς να αναλύουν το ρόλο που εκείνη διαδραματίζει στη διάρθρωση του συστήματος.

V. Η προσαρμοστικότητα, η λειτουργικότητα και η εξαιρετική ευελιξία που επιδεικνύουν οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι τα χαρακτηριστικά στοιχεία που τους καθιστούν ικανούς να ενταχθούν και να εξομοιωθούν με άλλα είδη αλγορίθμων σε υβριδικές μορφές συνδυαστικών μεθόδων. Η ισχύς των γενετικών αλγορίθμων ιδιαίτερα σε συγκεκριμένα είδη προβλημάτων είναι αδιαμφισβήτητη όμως αυτή δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για τη δόμηση ενός νέου υβριδικού σχήματος γενετικού αλγορίθμου καθώς αυτή συνοδεύεται από ιδιαίτερα αυξημένο βαθμό ευελιξίας.

VI. Η εφαρμοστικότητά τους επεκτείνεται και εντάσσεται σε πολλαπλά πεδία τα οποία αριθμητικά υπερβαίνουν κατά πολύ τα αντίστοιχα άλλων αλγορίθμων. Επιπρόσθετα ιδιαίτερα σημαντική κρίνεται η ελευθερία ως προς τη δυνατότητα χρήσης συγκεκριμένων πολυκριτηριακών συνθηκών που καθορίζουν την επιλογή μέσα στο τεχνικό περιβάλλον. Οι γενετικοί αλγόριθμοι λοιπόν μπορούν να ενταχθούν σε ποικίλα ερευνητικά πεδία τα οποία άπτονται θεμελιωδών αλλά και νεότερων επιστημών, όπως αποτελούν η Ιατρική, η Βιολογία,

η Μηχανική, η Μετεωρολογία, η Σεισμολογία, η Οικονομία, η Μαθηματική Ανάλυση και πολλές άλλες.

VII. Οι γενετικοί αλγόριθμοι αποτελούν τη μοναδική μέθοδο ανάλυσης κατά την οποία στο ίδιο χρονικό στιγμιότυπο μπορεί να εξερευνηθεί ο χώρος αναζήτησης και να χρησιμοποιείται με τον πιο εποικοδομητικό τρόπο η ήδη μελετηθείσα - επεξεργασμένη πληροφορία. Σε άλλα ήδη μεθοδολογικών πραγματοποιείται διερεύνηση με τυχαίο τρόπο αλλά δε λαμβάνει χώρα η ικανοποιητική εκμετάλλευση της πληροφορίας, σε αντίθεση με τη συστηματική αναζήτηση η οποία οδηγεί σε εξαιρετική εκμετάλλευση της πληροφορίας. Οι δύο παραπάνω δράσεις αποτελούν ανταγωνιστικά φαινόμενα, η συνέργεια των οποίων κρίνεται απαραίτητη για τη λήψη αντιπροσωπευτικών και ορθών αποτελεσμάτων. Η ελκυστικότητα και η δημοφιλία των γενετικών αλγορίθμων έγκειται στο γεγονός ότι διασφαλίζουν ταυτόχρονα την επιτυχή έκβαση τόσο του σταδίου της εξερεύνησης όσο και του σταδίου της εκμετάλλευσης της πληροφορίας κατά τη διάρκεια της ανάλυσης του προβλήματος.

VIII. Η φύση των γενετικών αλγορίθμων εμπεριέχει την ιδιότητα του παραλληλισμού, με αποτέλεσμα οι ίδιοι να καθίστανται κάτω από οποιοδήποτε πεδίο συνθηκών ιδιαίτερα αποδοτικοί. Η ικανότητά τους να χαρτογραφούν χώρους με μεγάλη έκταση σε πολύ μικρό χρόνο σχετίζεται με τη συνθήκη ότι κάθε άτομο αποτελεί εκπρόσωπο πολλών άλλων, με αποτέλεσμα σε κάθε βήμα σάρωσης να μπορεί να επεξεργασθεί πληθώρα πληροφοριών. Σε ένα γενικότερο πλαίσιο περιγραφής θα μπορούσε να ειπωθεί ότι τα 10 άτομα εκπροσωπούν περίπου 1000 μέσα στο τεχνικό περιβάλλον του προβλήματος.

IX. Τέλος οι γενετικοί αλγόριθμοι χαρακτηρίζονται ως επιδεκτικοί στην έκβαση των διεργασιών με την επιβολή παράλληλης υλοποίησης. Έχουν τη δυνατότητα λοιπόν να υιοθετήσουν τα θετικά στοιχεία των παράλληλων μηχανών και να ενταχθούν σε ένα πλαίσιο λύσεων ιδιαίτερα παραγωγικό με εύκολη πρόσβαση, αναβαθμισμένη ποιότητα και συγκριτικά υψηλότερη ευελιξία σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους.

4.2.4. Επιλογή των γενετικών αλγορίθμων σε τεχνικές επίλυσης προβλημάτων χωροθέτησης

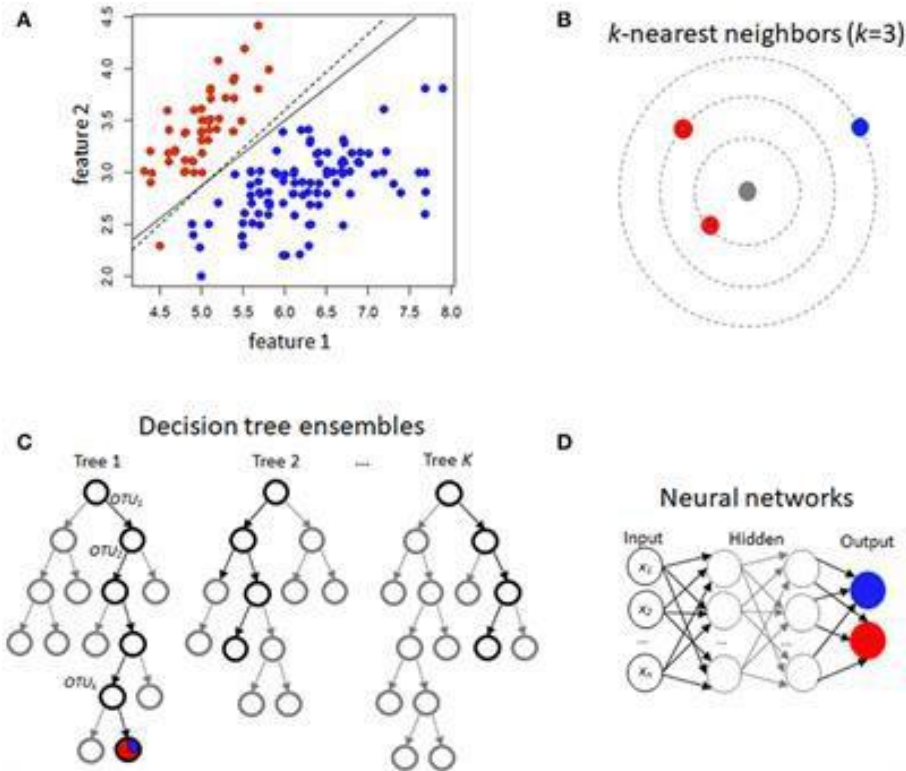
Η χρήση των γενετικών αλγορίθμων κρίνεται απαραίτητη και ιδιαίτερα καθοριστική για την ποιότητα του αποτελέσματος σε περιπτώσεις προβλημάτων χωροθέτησης των σταθμών φόρτισης του ηλεκτρικού πατινιού και ιδιαίτερα στη περιοχή της Αττικής, όπου η δόμηση είναι περισσότερο άναρχη και η ρυμοτομία δεν υπακούει σε σταθερούς κανόνες, εντάσσοντας στο συνολικό πρόβλημα μελέτης μη ελεγχόμενους παράγοντες και ενισχύοντας την πολυπαραμετρική φύση αυτού. Φυσικά αποτελεί πλέον καθιερωμένη ερευνητική θέση η επιτυχία των γενετικών αλγορίθμων ως προς την απόδοση κατάλληλων, εφικτών και προσοδοφόρων λύσεων συγκριτικά με τα παραδοσιακά μοντέλα ανάλυσης, με σημαντικότερο πλεονέκτημα το γεγονός ότι η επιλεγμένη και σωστά ορισμένη αντικειμενική συνάρτηση συνοδεύεται πάντα από μικρή τυπική απόκλιση και περιορισμένη

διακύμανση.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι έχουν επιδείξει τα καλύτερα και ίσως κάποιες φορές μη αναμενόμενα αποτελέσματα αναφορικά με την κατεύθυνση της έρευνας ως προς την εξοικονόμηση χρόνου, με αποτέλεσμα το συγκριτικό τους πλεονέκτημα να αποκτά ιδιαίτερα υψηλή βαρύτητα όσο το μέγεθος του προβλήματος διευρύνεται. Η λήψη ικανοποιητικών λύσεων με επαναληψιμότητα και εγκυρότητα, οι οποίες εκπληρούν τα αιτήματα των συμβαλλόμενων συνθηκών και των περιοριστικών παραγόντων στο τεχνικό επίπεδο του προβλήματος σε αποδεκτά χρονικά πλαίσια αποτελεί το θεμελιώδες κίνητρο για την καθιέρωση και την εξέλιξη των συγκεκριμένων μεθόδων τόσο σε ερευνητική όσο και σε βιομηχανική κλίμακα.

Η ιδιότητα της ευρωστίας των γενετικών αλγορίθμων και η υπεροχή τους συγκριτικά με τις παραδοσιακές μεθόδους επίλυσης των προβλημάτων βελτιστοποίησης έγκειται στο γεγονός ότι οι ίδιοι διαφοροποιούνται από αυτές βάσει τεσσάρων διακριτών χαρακτηριστικών που ορίζουν την ταυτότητά τους.

- I. Οι γενετικοί αλγόριθμοι προσεγγίζουν τη λύση μέσω κάποιων υποσυνόλων, τα οποία αποτελούν την κωδικοποίηση ενός μεγαλύτερου συνόλου τιμών των μεταβλητών. Κατά συνέπεια δεν περιορίζονται στην ίδια τη μεταβλητή και στοχεύουν στον προσδιορισμό της πιο ικανοποιητικής λύσης μέσω διεργασιών οι οποίες χαρακτηρίζονται από ευρύτητα ως προς τη λήψη αποφάσεων, προσαρμοστικότητα και πολυπαραμετρική προσέγγιση της κάθε συνθήκης.
- II. Χαρακτηρίζονται από την εξαιρετική δυνατότητα αναζήτησης δεδομένων σε πολλαπλά σημεία του χώρου και του χρόνου, με αποτέλεσμα να υπερκαλύπτουν ακόμη και τις πιο αποδοτικές περιπτώσεις παραδοσιακών αλγορίθμων, όπου η αναζήτηση πραγματοποιείται σε ένα και μοναδικό σημείο χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η αλληλεπίδραση αυτού με τα υπόλοιπα.
- III. Δεν μετέρχονται της χρήσης καμίας επιπρόσθετης πληροφορίας, η οποία θα μπορούσε να αποπροσανατολίσει ή να μετατοπίσει την απαιτούμενη βαρύτητα από το ένα στοιχείο της έρευνας στο άλλο και στοχεύουν στην επίλυση αυστηρά και μόνο με τη βοήθεια της αντικειμενικής συνάρτησης η οποία εκφράζει ποιοτικά κάθε διάσταση του προβλήματος.
- IV. Η διαμόρφωση των συγκεκριμένων αλγορίθμων έχει εδραιωθεί αποκλειστικά και μονοσήμαντα στα πλαίσια των πιθανοθεωρητικών κανόνων αναζήτησης και όχι σε ντετερμινιστικά πρότυπα, χωρίς όμως αυτό να προεξοφλεί ότι το σύνολο της διαδικασίας βασίζεται περισσότερο στη τύχη παρά σε μετρήσιμα χαρακτηριστικά μεγέθη.



Εικόνες 7: Συσχέτιση μεταξύ των φιλοσοφιών των κυριότερων μεθόδων ανάλυσης της υπολογιστικής νοημοσύνης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΚΑΙ ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο έπειτα από την ολοκλήρωση της προσέγγισης και της αποσαφήνισης του συγκεκριμένου προβλήματος χωροθέτησης μέσω αυστηρής μαθηματικής διατύπωσης, λαμβάνει χώρα η εφαρμογή του γενετικού αλγορίθμου ο οποίος αναπτύχθηκε για το βέλτιστο σχεδιασμό και την αναδιάταξη σταθμών επαναφόρτισης ηλεκτρικών πατινιών στο νομό Αττικής. Αρχικά πραγματοποιήθηκε αναλυτική παραμετροποίηση του προβλήματος για να ορισθεί το περίγραμμα και η βάση του μαθηματικού μοντέλου, ενώ στη συνέχεια εισήχθησαν τα δεδομένα του προβλήματος, τα οποία οδήγησαν στη λήψη ενός πεδίου αποτελεσμάτων που θα αναλυθούν στη συνέχεια.

5.1 Δεδομένα του Προβλήματος

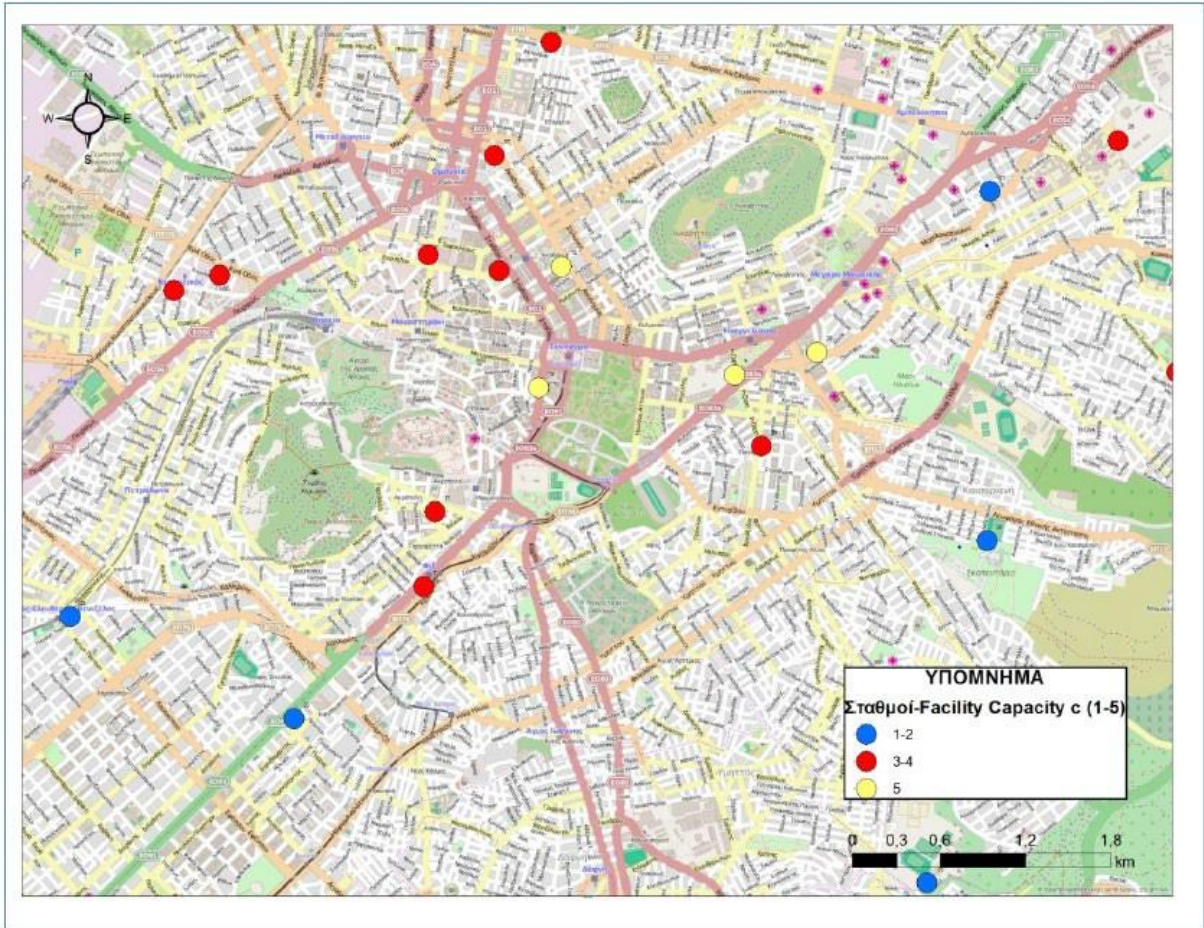
Για τον έλεγχο της εφαρμοσιμότητας και της αποτελεσματικότητας του μαθηματικού μοντέλου χωροθέτησης χρησιμοποιήθηκε ένα μεγάλο ποσοστό επιφανειακής κάλυψης του νομού Αττικής, όπως αναφέρθηκε επισταμένα σε προηγούμενο Κεφάλαιο (Κεφάλαιο 2). Στο σημείο αυτό οφείλει να διευκρινισθεί το γεγονός ότι τα κυριότερα σημεία λήψης απόφασης του γενετικού αλγορίθμου προέκυψαν έπειτα από το σχεδιασμό ενός πεδίου εύλογων παραδοχών αναφορικά με το μοναδιαίο κόστος της εκάστοτε θέσης φόρτισης ανά

φορέα εγκατάστασης, την ένταση της ζήτησης σε κάθε κόμβο καθώς και τη χωρητικότητα της εκάστοτε εν δυνάμει πιθανής τοπολογίας για επαναφόρτιση.

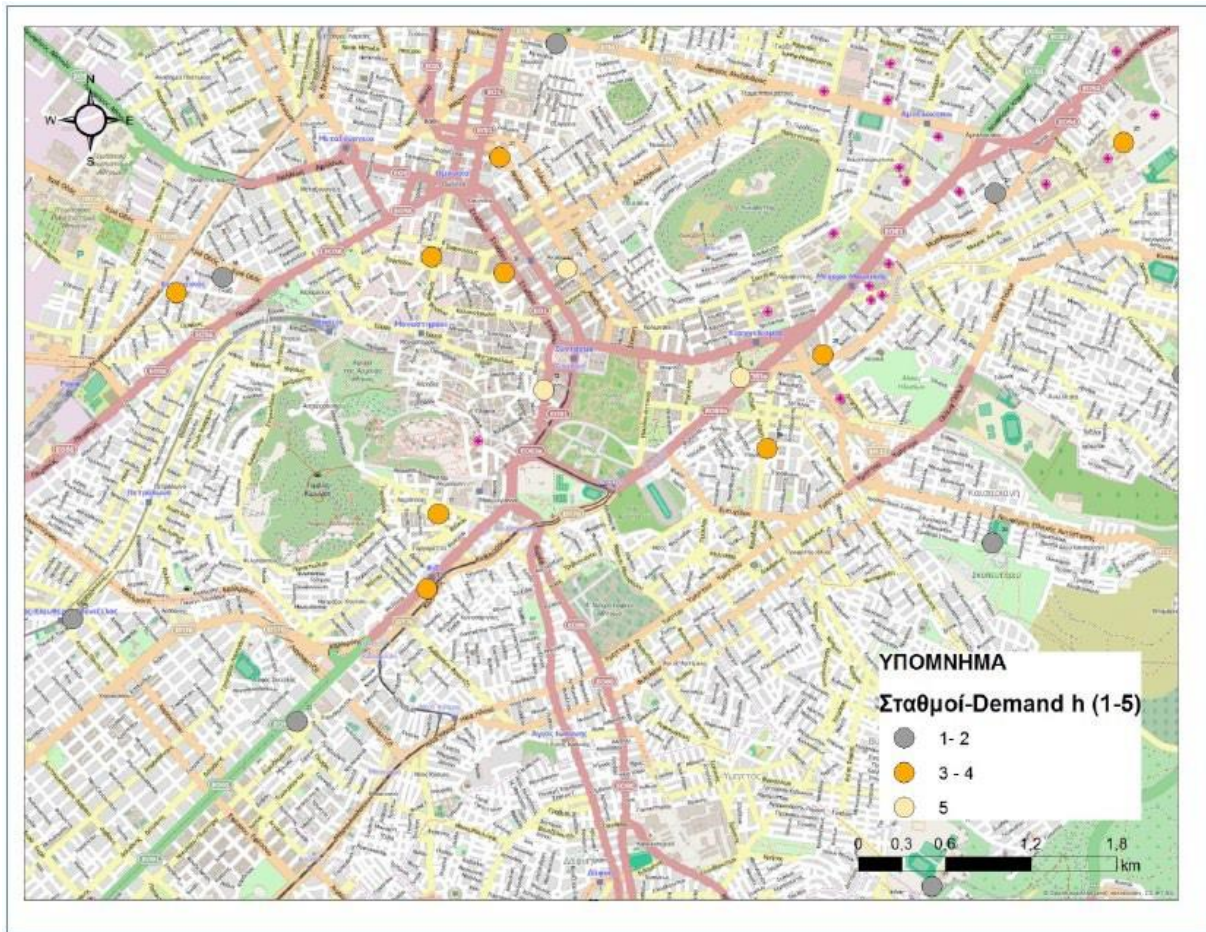
Αναλυτικότερα το μοναδιαίο κόστος της θέσης φόρτισης ανά εγκατάσταση, έπειτα από τη χωροταξική διευθέτηση του αθροιστικού συνόλου των υποψηφίων θέσεων επαναφόρτισης, ορίσθηκε σταθερό και ίσο με 500 €. Σε ότι αφορά στην παράμετρο η οποία σχετίζεται με τη ζήτηση του εκάστοτε κόμβου, αυτή επιλέχθηκε να λαμβάνει τιμές μεταξύ του πεδίου τιμών από 1 έως 5. Ακριβώς το ίδιο μοντέλο προσέγγισης ακολουθήθηκε και για τον προσδιορισμό της χωρητικότητας που διαθέτει η καθεμία εγκατάσταση χωριστά. Επιπρόσθετα ως τελευταίο πεδίο ανάλυσης της παρούσας διπλωματικής εργασίας τέθηκε το σενάριο κατά το οποίο η προσφορά στον εκάστοτε κόμβο των σταθμών επαναφόρτισης υπερέρχει της ζήτησης.

Οι παραπάνω αναλυθείσες και ελεγχόμενες απλοποιήσεις διευκόλυναν σε υψηλό βαθμό τους μαθηματικούς υπολογισμούς του γενετικού αλγορίθμου και συνετέλεσαν στη κύρια στόχευση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η οποία αφορά στην αναδιαμόρφωση μιας ευέλικτης, ταχύτερης, εύκολα προσαρμοσίμης και με ευρύ πεδίο εφαρμοσιμότητας μεθοδολογίας προσέγγισης του προβλήματος διαρρύθμισης της μακρο και μικρο - κυκλοφοριακής ροής υπό το πρίσμα της βελτιστοποίησης τόσο σε ποιοτική όσο και σε ποσοτική βάση του αθροιστικού συγκοινωνιακού σχεδιασμού. Κατά συνέπεια η χαρτογραφική απεικόνιση της αναλυτικής λύσης του μαθηματικού μοντέλου αποτελεί μια παραστατική και ακριβή απόδοση της εμβέλειας και της ποιότητας της εφαρμογής της συγκεκριμένης μεθοδολογίας υπό το συγκεκριμένο πρίσμα λήψης στοιχείων και παραμέτρων της κυκλοφοριακής ροής.

Στην παρατιθέμενη σχηματική απεικόνιση αποδίδεται ένα τμήμα της υπό μελέτη περιοχής με τις υποψήφιες – εν δυνάμει θέσεις σταθμών επαναφόρτισης ηλεκτρικών πατινιών όπως αυτές επιλέχθησαν με βάση την πολυκριτηριακή μελέτη η οποία εφαρμόσθηκε και η οποία έχει παρουσιασθεί προηγουμένως στο Κεφάλαιο 2. Συγκεκριμένα στο Σχήμα 4.1 αποδίδονται οι εγκαταστάσεις επαναφόρτισης ηλεκτρικών πατινιών οι οποίες προδιαγράφεται να σχεδιασθούν και να διανεμηθούν βάσει της δυναμικότητας – χωρητικότητάς τους ενώ στο Σχήμα 4.2 αποδίδεται το σύνολο και η διαρρύθμιση των υποψηφίων θέσεων σταθμών επαναφόρτισης ηλεκτρικών πατινιών που έχουν επιλεγεί με κύρια παράμετρο λήψης απόφασης τη ζήτηση επί των αντιστοιχών κόμβων, σύμφωνα με τις προηγηθείσες παραδοχές.



Εικόνα 0.1 Περιγραφική αποτύπωση της κατανομής των υποψηφίων θέσεων σταθμών επαναφόρτισης ηλεκτρικού πατινού σε ένα τμήμα του νομού Αττικής με κύρια παράμετρο ελέγχου στη λήψη της απόφασης του γενετικού αλγορίθμου τη χωρητικότητα των εγκαταστάσεων



Εικόνα 0.2 Περιγραφική απόδοση της κατανομής και της χωροταξικής διαρρύθμισης των υποψηφίων θέσεων σταθμών επαναφόρτισης ηλεκτρικού πατινιού σε ένα τμήμα του νομού Αττικής με κύρια συνιστώσα στη διαμόρφωση της απόφασης από το γενετικό αλγόριθμο την ένταση ζήτησης

Κύρια στόχευση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί όπως έχει ήδη αναφερθεί ο βελτιστοποιημένος σχεδιασμός και η ανάπτυξη ενός προτυποποιημένου μοντέλου χωροταξικής διαρρύθμισης και κατανομής των σταθμών επαναφόρτισης ηλεκτρικών πατινιών εντός του νομού Αττικής με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση στο μέγιστο δυνατό βαθμό του συνολικού κόστους εγκατάστασης και μετακίνησης των σταθμών αυτών. Ο γενετικός αλγόριθμος ο οποίος επιλέχθηκε και διαμορφώθηκε κατάλληλα σύμφωνα με τις κύριες παραμέτρους ανάλυσης του συγκεκριμένου μαθηματικού προβλήματος αφορά στη χωροθέτηση υποψηφίων σταθμών επαναφόρτισης ηλεκτρικών πατινιών στην αναφερθείσα περιοχή σύμφωνα με τις πολυκριτηριακές συνθήκες οι οποίες παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 2.

Πιο συγκεκριμένα ως κόμβοι ζήτησης ορίστηκαν τα κέντρα των νοητών τετραγώνων τα οποία στοιχειοθετούν το κάνναβο που αποτέλεσε το σχεδιαστικό περίγραμμα του χάρτη της περιοχής η οποία επελέγη ως κέρρη πηγή ανάπτυξης και εφαρμογής του γενετικού αλγόριθμου για το συγκεκριμένο πρόβλημα διαρρύθμισης και συγχρονισμού της μικρο – κυκλοφοριακής ροής. Κατά τη διάρκεια επίλυσης του γενετικού αλγόριθμου και εξέλιξης του μοντέλου χωροθέτησης και σχεδιασμού των ζωνών μετακίνησης κύρια παράμετρο με

ανάγκη άμεσου προσδιορισμού αποτέλεσε η συγκεκριμενοποίηση των αποστάσεων μεταξύ των υποψηφίων εγκαταστάσεων επαναφόρτισης και των κόμβων είτε υψηλής είτε χαμηλής ζήτησης. Η παραπάνω συνθήκη ικανοποιήθηκε καθώς πραγματοποιήθηκε η μέτρηση των παραπάνω αποστάσεων μέσω χρήσης του λογισμικού ArcGIS μεταξύ όλων των εγκαταστάσεων επαναφόρτισης και των αντίστοιχων κόμβων ζήτησης.

5.2. Οι παράμετροι του Γενετικού Αλγορίθμου

Ο προσδιορισμός και η παράθεση κατά σειρά προτεραιότητας των συμβαλλομένων παραμέτρων σύμφωνα πάντα με το συντελεστή βαρύτητας με τον οποίο η καθμία επενεργεί στο μαθηματικό μοντέλο κρίνονται ως πεδία καθοριστικά για την επίλυση του λογισμικού Evolver. Τις κυριότερες παραμέτρους μεταξύ αυτών αποτελούν πρωτίστως ο πληθυσμός (population), ο βαθμός διασταύρωσης (crossover rate) και ο βαθμός μετάλλαξης (mutation rate).

Σε ότι αφορά στον παραμετρικό έλεγχο του μεγέθους του πληθυσμού επελέγησαν τρία διακεκριμένα πεδία τιμών. Σε πρώτο στάδιο το μέγεθος του 'πρώτου' πληθυσμού ορίσθηκε ίσο με 150, ενώ στη συνέχεια ο γενετικός αλγόριθμος επίλυσης του μαθηματικού μοντέλου μικρο - κυκλοφοριακής ροής επεκτάθηκε σε πληθυσμούς με μεγέθη τιμών ίσα με 200 και 250. Η παραπάνω βάση ανάπτυξης του μοντέλου και η εξελικτική της επέκταση ορίσθηκε βάσει της πειραματικά αποδεδειγμένης παραδοχής ότι σε έναν αυξημένο πληθυσμό επαυξάνονται (πολλαπλασιάζονται εκθετικά) και οι πιθανότητες εύρεσης της βέλτιστης λύσης λόγω της πολυποίκιλης παράθεσης γονιδίων (Golberg,1989).

Επόμενη κυρίαρχη και κομβική παράμετρο επίλυσης του γενετικού αλγορίθμου αποτέλεσε όπως ήδη αναφέρθηκε ο βαθμός διασταύρωσης (crossover rate). Συγκεκριμένα ο βαθμός διασταύρωσης μπορεί να λάβει διαδοχικές τιμές μεταξύ του πεδίου τιμών 0.01 και 1.00, ενώ στη συγκεκριμένη περίπτωση ανάλυσης ορίσθηκε μια μήτρα αντιστοίχισης βάσει της οποίας λήφθηκαν οι σειριακές τιμές για κάθε προεπιλεγείσα και εφαρμοσθείσα τιμή πληθυσμού. Στη συνέχεια η παραμετροποίηση των συνεργιστικών παραγόντων ως προς τη διαμόρφωση του προβλήματος της χωροθέτησης ολοκληρώθηκε με την απόδοση των ακόλουθων συγκεκριμένων και διαδοχικών τιμών στο βαθμό μετάλλαξης (mutation rate). Εν γένει ο βαθμός μετάλλαξης προσαρμόζεται μεταξύ του πεδίου τιμών 0.00 και 1.00 ενώ συνήθως λαμβάνει χαμηλότερες τιμές αφού στο μητρώο των λύσεων επιδιώκεται η τυχειότητα να μην επιφέρει σημαντικό βαθμό επιρροής για την εκάστοτε παραγόμενη λύση (Golberg, 1989)

Σύμφωνα με όλες τις προαναφερθείσες συνθήκες και βάσει της εξελικτικής πορείας διαμόρφωσης του μαθηματικού μοντέλου ορίσθηκαν διακριτοί συνδυασμοί των κυριότερων παραμέτρων του αναλυτικού προβλήματος και του γενετικού αλγορίθμου με ρήτρα για κάθε έναν από αυτούς να τίθεται σε επαναληπτική εφαρμογή ο αλγόριθμος κατά 5 φορές. Κατά συνέπεια αποφασίσθηκε ο αλγόριθμος να εφαρμοσθεί 135 φορές, ενώ για την κάθε μια διακριτή σάρωση – φορά εκτέλεσης κυριότερη στόχευση αποτέλεσε ο υπολογισμός του μέτρου και του βαθμού καταλληλότητας.

Οφείλει ακόμη να επισημανθεί ότι όταν παύει να διακρίνεται επιπρόσθετη βελτίωση της

συνάρτησης καταλληλότητας ο γενετικός αλγόριθμος με την αντίστοιχη συνάρτηση μεταφοράς τερματίζεται. Αντίστοιχη συνθήκη η οποία οδηγεί στη λήξη της όποιας αναλυτικής μαθηματικής διαδικασίας αποτελεί και η περίπτωση κατά την οποία η βελτίωση η οποία σημειώνεται δεν υπερβαίνει την τιμή του 0.1% για ένα συγκεκριμένο αριθμό γονέων. Για όλες τις προαναφερθείσες συνθήκες συνδυασμών η επίλυση του κατάλληλα διαμορφωμένου γενετικού αλγορίθμου έχει ως κύρια στόχευση την ελαχιστοποίηση του μέτρου καταλληλότητας που ικανοποιεί τα ποιοτικά και αριθμητικά κριτήρια της αντικειμενικής συνάρτησης σε άμεση συνάρτηση με το προσδιορισμό του βέλτιστης σε επίπεδο λειτουργικότητας χωροταξικής διευθέτησης των σταθμών επαναφόρτισης ηλεκτρικών πατινιών.

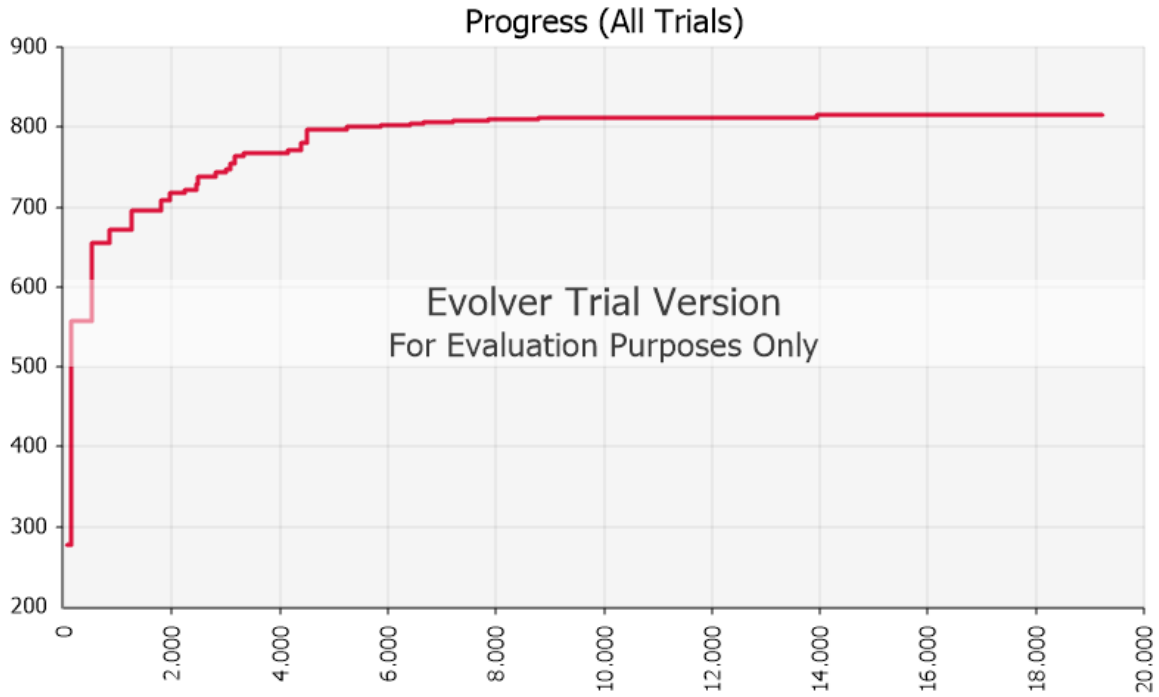
5.3. Τα κυριότερα αποτελέσματα επίλυσης του γενετικού αλγορίθμου

Στον παρατιθέμενο Πίνακα αποδίδονται τα αθροιστικά αποτελέσματα των επαναλήψεων εφαρμογής του γενετικού αλγορίθμου, για όλο το σύνολο των διακριτών συνδυασμών μεταξύ των παραμέτρων οι οποίες επελέγησαν. Πιο συγκεκριμένα αποδίδεται η τελική τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης όπως αυτή διαμορφώθηκε έπειτα από την ολοκλήρωση του συνόλου των δοκιμών οι οποίες διεξήχθησαν ανά μονάδα συνδυασμού, ο μέσος όρος των τιμών για κάθε συνδυασμό, η τυπική απόκλιση, η βέλτιστη τιμή (που αφορά στην ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους εγκατάστασης και μετακίνησης των σταθμών επαναφόρτισης) αλλά και ο σχετικός λόγος συμμετοχής της τυπικής απόκλισης ως προς τη τιμή του μέσου όρου.

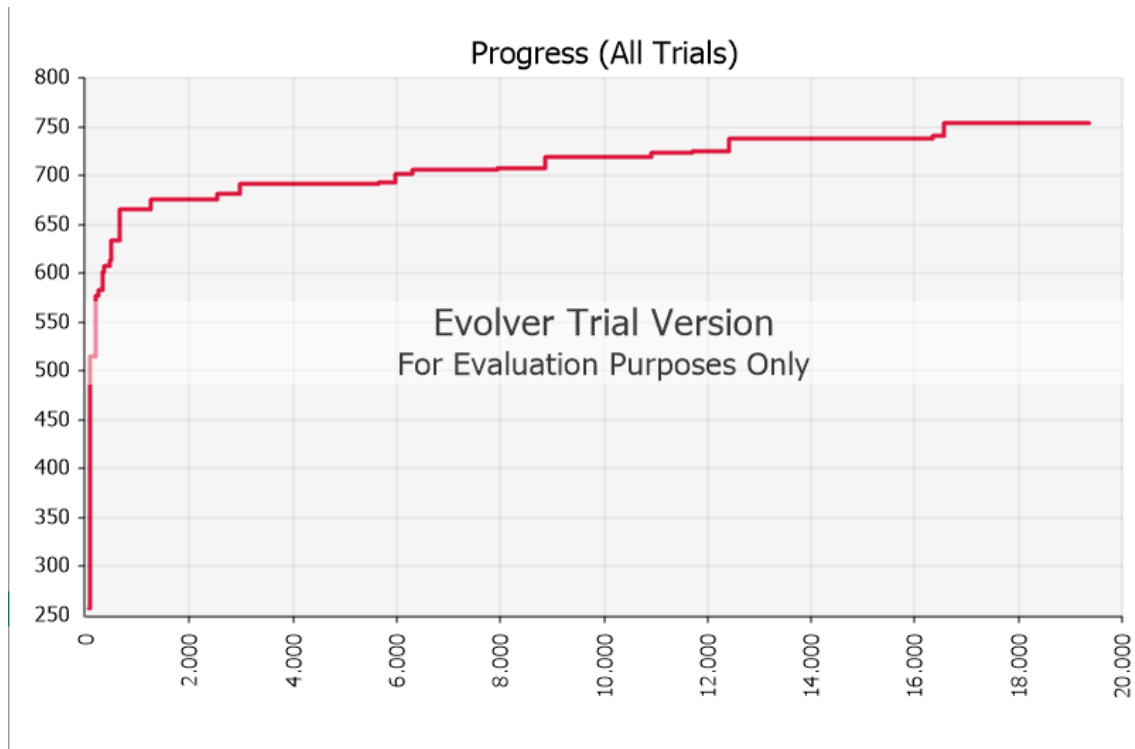
Τα εναλλασσόμενα πεδία των διαφορετικών συνδυασμών των παραμέτρων επιφέρουν σημαντικές διαφοροποιήσεις επί των αποτελεσμάτων όπως παρατηρείται και στον ακόλουθο Πίνακα (Πίνακας 1). Όπως γίνεται εύκολα κατανοητό η βέλτιστη παραμετρική ανάλυση με τον καταλληλότερη στόχευση ως προς την εφαρμογή ενός λειτουργικού συνδυασμού είναι αυτή που συνοδεύεται και από την καλύτερη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης με τις κυριότερες παραμέτρους του γενετικού αλγορίθμου να λαμβάνουν τις ακόλουθες τιμές: η παράμετρος του πληθυσμού λαμβάνει τιμή ίση με 50, ο συντελεστής διασταύρωσης τιμή ίση με 0.5 και ο συντελεστής μετάλλαξης τιμή ίση με 0.1.

Εν συνεχεία διεξήχθη πλήθος επαναλήψεων για το συγκεκριμένο πεδίο επιλεγμένων παραμέτρων με αποτέλεσμα να αποδοθεί στη κάθε περίπτωση ξεχωριστά η βέλτιστη λύση.

Στη συνέχεια αποδίδονται επαναλαμβανόμενες διαγραμματικές απεικονίσεις οι οποίες παραθέτουν τις διακυμάνσεις της αντικειμενικής συνάρτησης συναρτήσει του χρόνου καθώς και τις απόλυτες τιμές αυτής για διακριτά πεδία τιμών παραμετροποίησης του γενετικού αλγορίθμου.

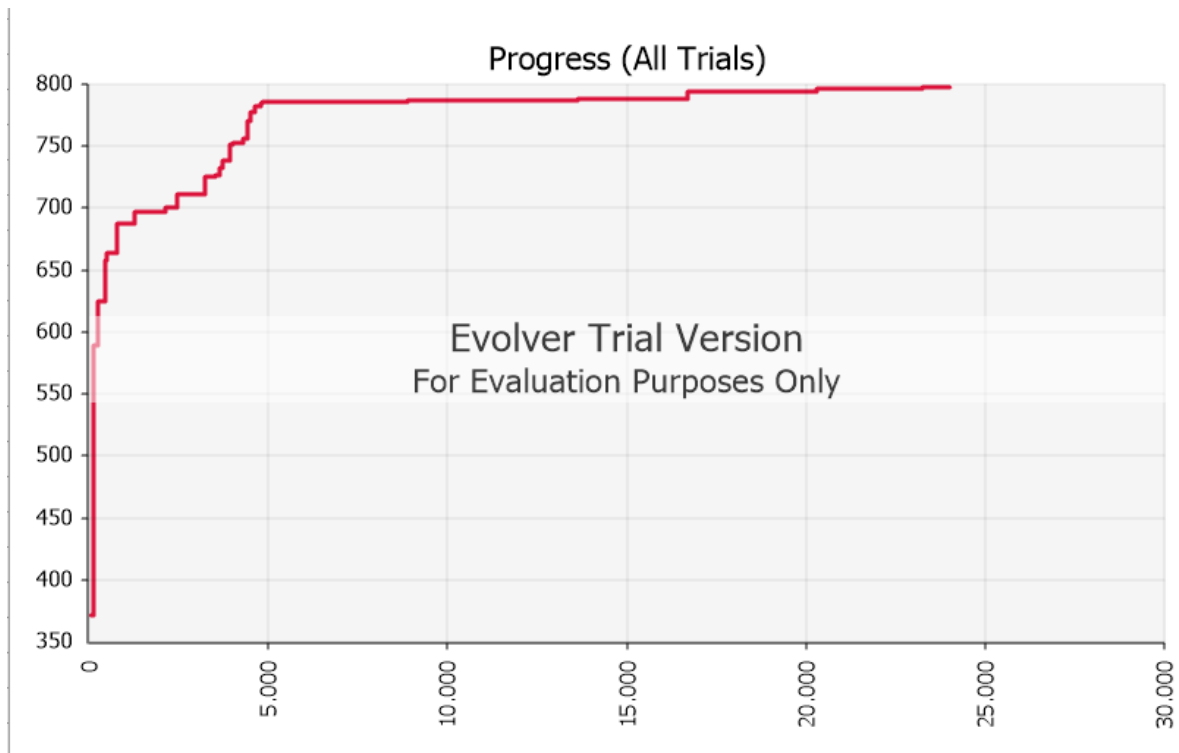


Σχήμα 5.3: Γραφική απόδοση της αντικειμενικής συνάρτησης ως προς το χρόνο για προεπιλεγμένο πεδίο παραμετρικών συνθηκών με τις ακόλουθες τιμές: η παράμετρος του πληθυσμού λαμβάνει τιμή ίση με 50, ο συντελεστής διασταύρωσης τιμή ίση με 0.5 και ο συντελεστής μετάλλαξης τιμή ίση με 0.1.

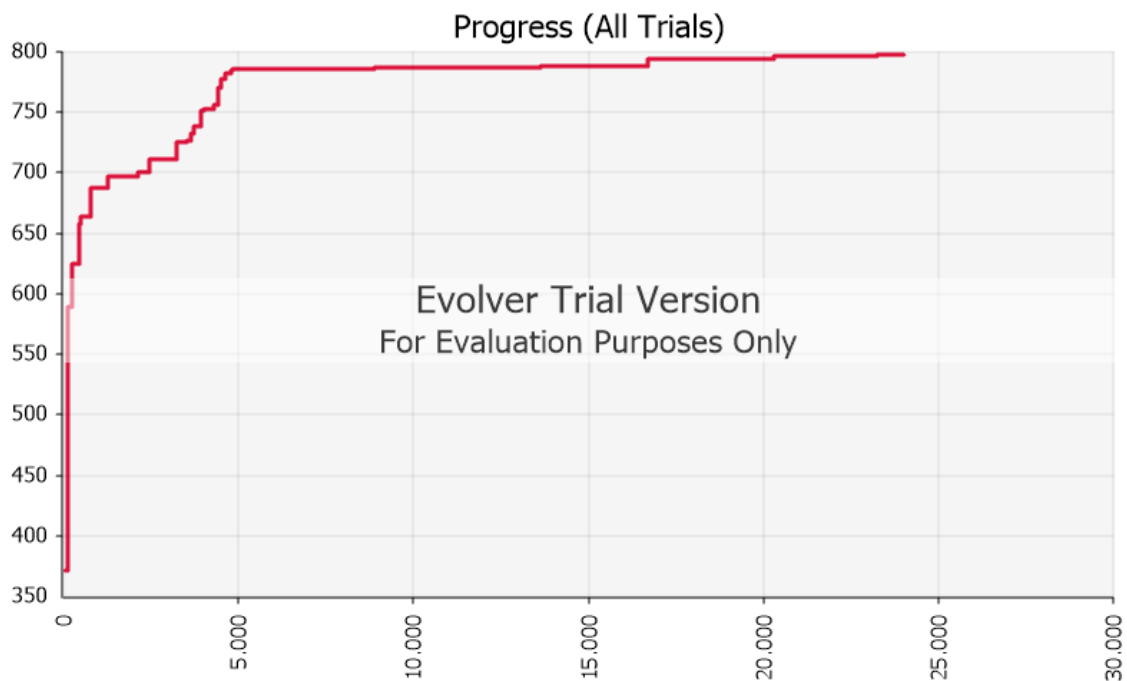


Σχήμα 5.4: Διαγραμματική απεικόνιση της αντικειμενικής συνάρτησης ως προς το μέγεθος του χρόνου για ορισθέν πεδίο παραμετρικών συνθηκών με τις ακόλουθες τιμές: 50, 0.4, 0.2 στα

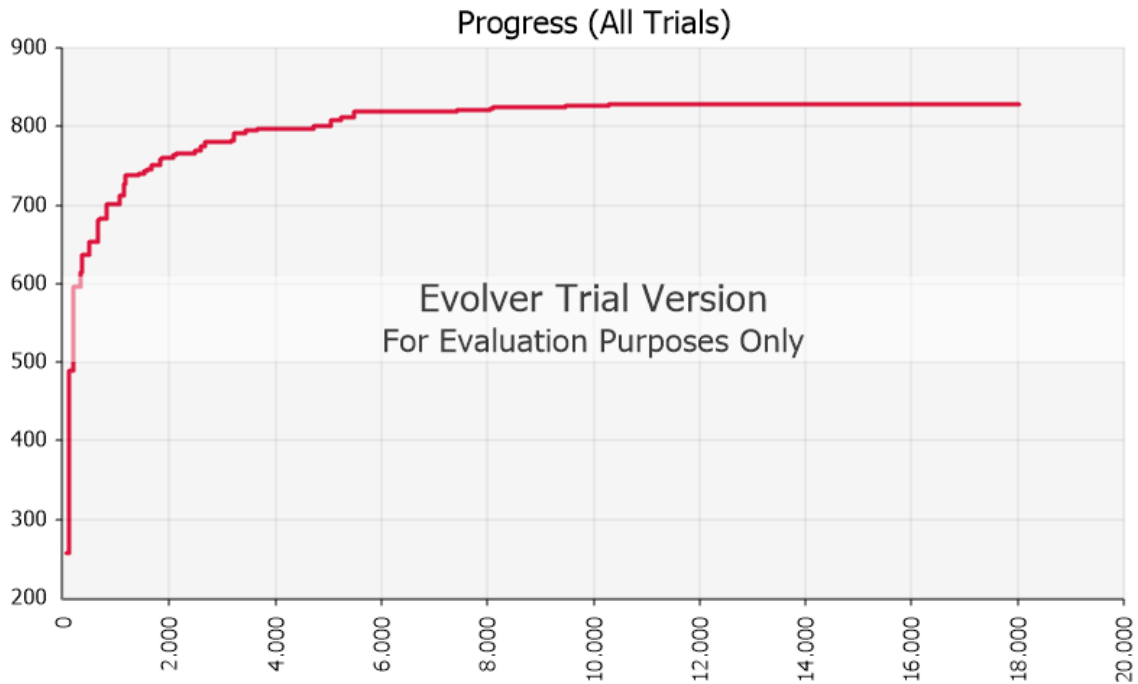
αντίστοιχα πεδία



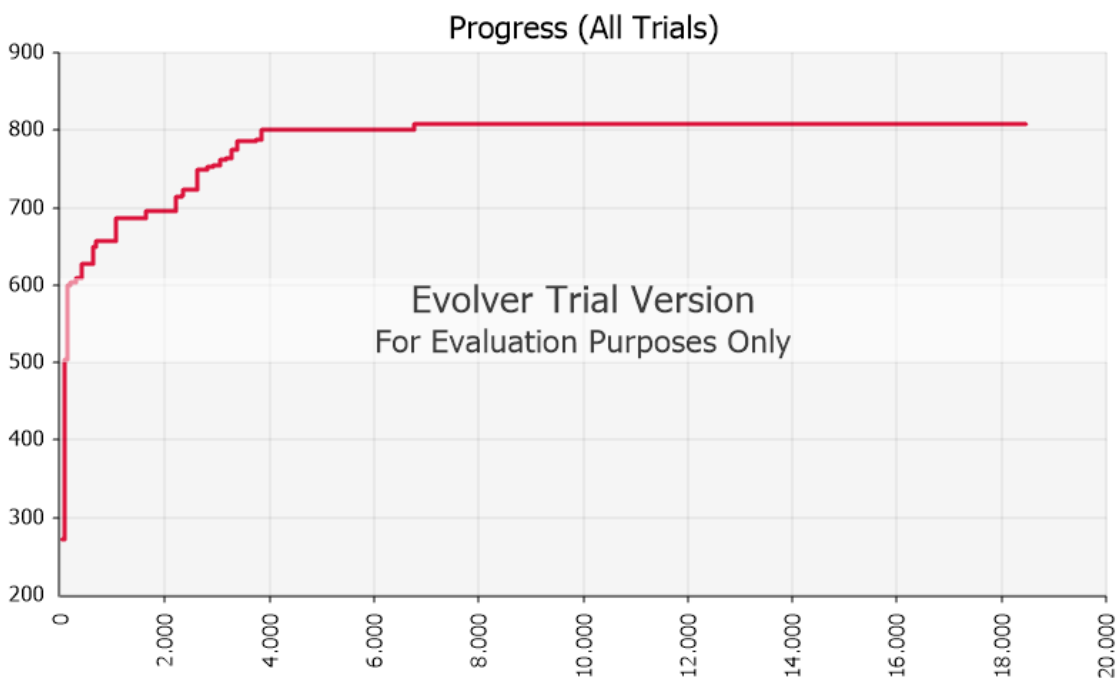
Σχήμα 5.5: Γραφική απόδοση της αντικειμενικής συνάρτησης ως προς το χρόνο για προεπιλεγμένο πεδίο παραμετρικών συνθηκών με τις ακόλουθες τιμές: 50, 0.3, 0.2 στα αντίστοιχα πεδία



Σχήμα 5.6: Διαγραμματική απεικόνιση της αντικειμενικής συνάρτησης ως προς το μέγεθος του χρόνου για ορισθέν πεδίο παραμετρικών συνθηκών με τις ακόλουθες τιμές: 40, 0.3, 0.2 στα αντίστοιχα πεδία



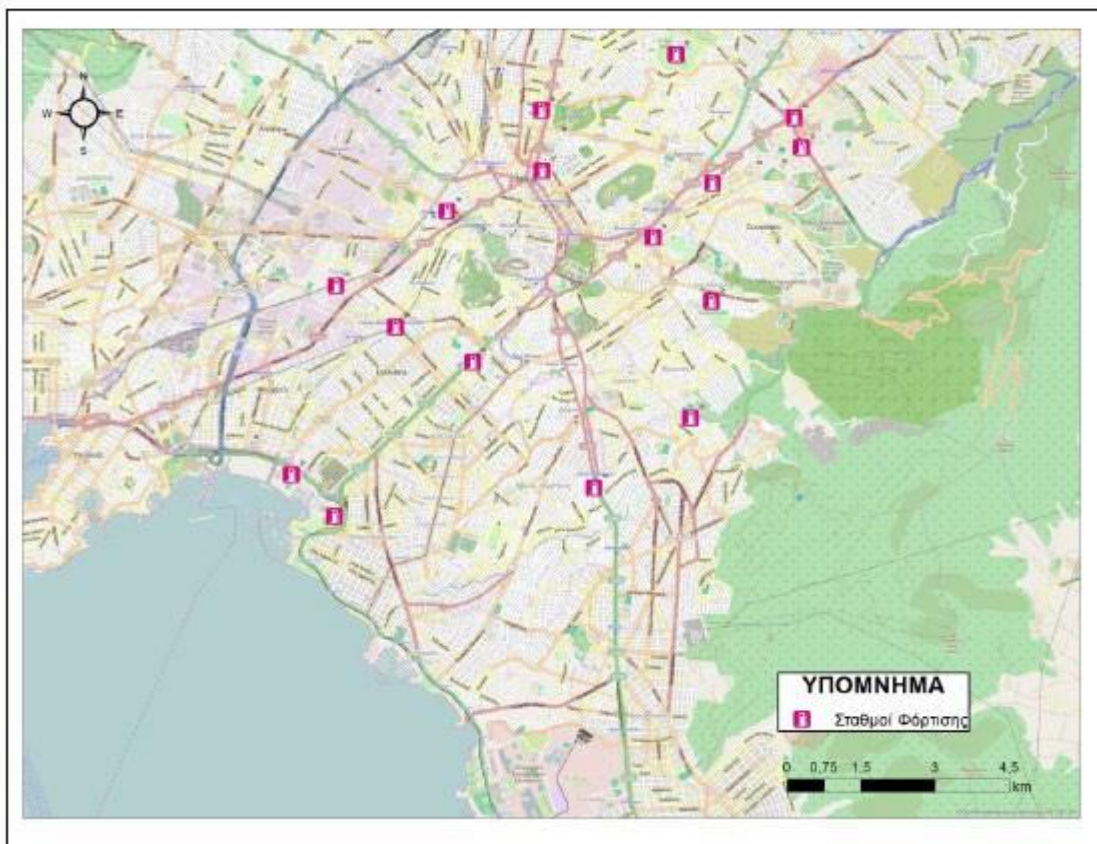
Σχήμα 5.7: Γραφική απόδοση της αντικειμενικής συνάρτησης ως προς το χρόνο για προεπιλεγμένο πεδίο παραμετρικών συνθηκών με τις ακόλουθες τιμές: 40, 0.4, 0.005 στα αντίστοιχα πεδία



Σχήμα 5.8: Διαγραμματική απεικόνιση της αντικειμενικής συνάρτησης ως προς το μέγεθος του χρόνου για ορισθέν πεδίο παραμετρικών συνθηκών με τις ακόλουθες τιμές: 40, 0.5, 0.2 στα αντίστοιχα πεδία

Σε ακολουθία της παράθεσης των προηγηθέντων διαγραμματικών απεικονίσεων, οι οποίες αποδίδουν τη γραφική παράσταση της αντικειμενικής συνάρτησης ως προς το χρόνο με τις διαφορετικές τιμές τις οποίες αυτή λαμβάνει όταν εντάσσεται στο μητρώο του γενετικού αλγορίθμου διαφορετικός συνδυασμός παραμετρικών συνθηκών, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι έπειτα από το τρίτο λεπτό εκτέλεσης του κώδικα λαμβάνεται η βέλτιστη τιμή επίλυσης η οποία και σταθεροποιείται για τον αθροιστικά αποδιδόμενο αριθμό δοκιμών οι οποίες διεξάγονται σειριακά.

Στο αποδιδόμενο Σχήμα (Σχήμα 5.9) περιγράφεται ο τελικός συνδυασμός του δικτύου σταθμών επαναφόρτισης ηλεκτρικού πατινιού οι οποίοι θα διαρρυθμισθούν χωροταξικά στο νομό Αττικής εφόσον έχουν προκύψει έπειτα από το βέλτιστη παραμετροποίηση των συνθηκών επίλυσης του γενετικού αλγορίθμου και της αντικειμενικής συνάρτησης.



Σχήμα 5.9: Σχηματική απεικόνιση όπου αποτυπώνεται η χαρτογράφηση του πεδίου των τελικών θέσεων των σταθμών επαναφόρτισης των ηλεκτρικών πατινιών

Σε ακολουθία παρατίθενται στο Σχήμα 5.10 οι τελικοί σταθμοί επαναφόρτισης των ηλεκτρικών πατινιών στα τμήματα της μελετηθείσας περιοχής σε υψηλότερο πεδίο ανάλυσης – μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα (κλίμακα 1:10000)



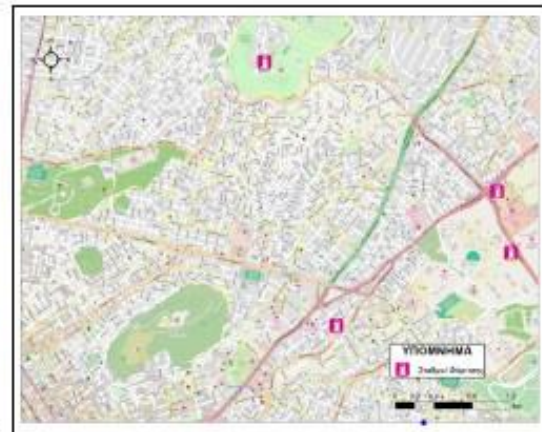
5.10α



5.10β



5.10γ



5.10δ

Σχήμα 5.10: Σχεδιαστική αποτύπωση επιμέρους περιοχών του νομού Αττικής με σήμανση των θέσεων σταθμών επαναφόρτισης ηλεκτρικών πατινιών

5.4. Ποιοτική προσέγγιση του μαθηματικού προβλήματος μέσω της μεθόδου της αναλύσεως ευαισθησίας

Το συγκεκριμένο επιστημονικό πεδίο διερεύνησης της αναλύσεως ευαισθησίας (sensitivity analysis) έχει ως κύρια στόχευση τη μελέτη την αξιολόγηση του γενετικού αλγορίθμου ο οποίος επελέγη για την επίλυση ενός αριθμητικού μοντέλου άμεσα συνυφασμένου με θέματα που άπτονται του κυκλοφοριακού σχεδιασμού τόσο σε επίπεδο μακρο όσο και μικρο κλίμακας. Σε έναν πρώτο κύριο άξονα προσέγγισης μέσω της αναλύσεως ευαισθησίας παρέχεται στον ερευνητή η δυνατότητα μεταβάλλοντας ένα μέρος των τιμών της παραμετρικής ανάλυσης να παρατηρήσει την επίδραση που αυτές έχουν είτε βραχυπρόθεσμα είτε μακροπρόθεσμα στην τιμή των αποτελεσμάτων και της αντικειμενικής συνάρτησης, διατηρώντας όμως πιστά τα πρωτόκολλα των συνδυασμών των παραμέτρων που οδηγούν σε βελτιστοποίηση του αποτελέσματος του γενετικού αλγορίθμου. Ως άμεση συνέπεια των προλεχθέντων ορίζεται ότι οι τιμές των παραμέτρων που θα επιβληθούν για την επίλυση του γενετικού αλγορίθμου και της αντικειμενικής συνάρτησης για το δεδομένο αναλυτικό πρόβλημα συγκοινωνιακών δικτύων κατά την ολοκλήρωση της αναλύσεως ευαισθησίας θα είναι οι ακόλουθες: πληθυσμός 50, συντελεστής διασαύρωσης 0.5 και

συντελεστής μετάλλαξης 0.1.

Τα δυνητικά – πιθανά σενάρια του προβλήματος τα οποία θα μελετηθούν διαρθρώνονται ως εξής:

1. Μελέτη μεταβολής του μοναδιαίου κόστους της θέσης επαναφόρτισης ηλεκτρικού πατινιού της εκάστοτε εγκατάστασης σε μια θέση j (f_j)
2. Μελέτη μεταβολής της χωρητικότητας της εγκατάστασης (c)
3. Μελέτη μεταβολής της ζήτησης των κόμβων (h_i)
4. Μελέτη συνθήκης σύμφωνα με την οποία η ζήτηση (h_i) είναι μεγαλύτερη από τη προσφορά (c)

Μελέτη μεταβολής του μοναδιαίου κόστους της θέσης επαναφόρτισης ηλεκτρικού πατινιού της εκάστοτε εγκατάστασης σε μια θέση j (f_j)

Σε πρώτο στάδιο της εξελικτικής πορείας προσέγγισης της ανάλυσης του αριθμητικού μοντέλου κρίθηκε αναγκαίο να μελετηθεί η συνθήκη κατά την οποία μεταβάλλεται το μοναδιαίο κόστος της θέσης επαναφόρτισης ηλεκτρικού πατινιού σε κάθε εγκατάσταση για μια υποψήφια θέση j (f_j) και πιο συγκεκριμένα με ποσοστιαία προσαυξητική τάση. Στον παρατιθέμενο Πίνακα (Πίνακας 3) αποδίδονται τα αποτελέσματα του γενετικού αλγορίθμου όπως αυτά προέκυψαν έπειτα από την προηγηθείσα ανάλυση του μεταγενέστερου αυτού σεναρίου σε σχέση με το αρχικό.

Σύμφωνα με τα διεξαχθέντα αποτελέσματα του γενετικού αλγορίθμου παρατηρείται ότι για προσαύξηση του μοναδιαίου κόστους της θέσης επαναφόρτισης για μια υποψήφια θέση j (f_j) σε κάθε εγκατάσταση προκύπτει ελάχιστη μεταβολή ως προς τις αποδιδόμενες τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης, η οποία δεν υπερβαίνει το 1%. Κατά συνέπεια γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η επιλογή του μοναδιαίου κόστους για την εκάστοτε θέση φόρτισης δεν επιδρά σημαντικά στις τιμές που λαμβάνει το αναλυτικό μοντέλο αλλά ούτε κατ' επέκταση στο συνολικό σχεδιασμό της μακρο-κυκλοφοριακής ροής και των μικρο-κυκλοφοριακών ζωνών - υποπεδίων.

Μελέτη μεταβολής της χωρητικότητας των εγκαταστάσεων (c)

Εν συνεχεία προσεγγίστηκε το αναλυτικό μοντέλο και επιλύθηκε ο γενετικός αλγόριθμος που περιγράφει το μαθηματικό πρόβλημα υπό το πρίσμα του περιορισμού της χωρητικότητας των ελεγχόμενα χωροταξικά διευθετημένων εγκαταστάσεων επαναφόρτισης κατά ένα ποσοστό της τάξης του 10%.

Σύμφωνα με τα υπολογισθέντα και με όσα αυτά συνεπάγονται στο επίπεδο της ποιοτικής ανάλυσης του προβλήματος των μακρο και μικρο κυκλοφοριακών ροών μπορεί να διεξαχθεί με ασφάλεια το συμπέρασμα ότι για το εναλλακτικό και προτυποποιημένο μοντέλο της μειωμένης χωρητικότητας κατά 10% ανά μονάδα εγκατάστασης παρατηρείται

σημαντική επιδείνωση του πεδίου των λύσεων οι οποίες αποδίδονται από το γενετικό αλγόριθμο.

Μελέτη της μεταβολής της ζήτησης των κόμβων

Εν συνεχεία σε ένα επόμενο εξελικτικό στάδιο της παρούσας ερευνητικής προσέγγισης αποδόθηκε η μελέτη της μεταβολής της ζήτησης των κόμβων (h_i). Αναφορικά με το σενάριο που σχετίζεται με τη μείωση της ζήτησης των κόμβων κατά ένα ποσοστό της τάξης του 5-10% σε σχέση πάντα με την αρχική συνθήκη παρατηρήθηκε μεταβολή της τιμής του κόστους κατά περίπου.

Περιπτωσιολογική μελέτη σύμφωνα με την οποία η ζήτηση (h_i) υπερτερεί ποσοτικά της προσφοράς

Σύμφωνα με αυτό το σενάριο προσέγγισης της επίλυσης του γενετικού αλγορίθμου ορίστηκε η ρεαλιστική συνθήκη κατά την οποία η ζήτηση στον εκάστοτε κόμβο (h_i) υπερβαίνει αριθμητικά την προσφορά και σε άμεση λογική συνέπεια τη χωρητικότητα της εκάστοτε εγκατάστασης σταθμών επαναφόρτισης ηλεκτρικού πατινιού (c). Η υπόλοιπη παραμετρική ανάλυση του μαθηματικού μοντέλου παραμένει πανομοιότυπη με τις υπόλοιπες προηγηθείσες ώστε να επιλυθεί η αντικειμενική συνάρτηση μόνο μέσω των νέων ορισθέντων δεδομένων.

Όπως αναφέρθηκε λοιπόν με στόχευση την ανάπτυξη της ανάλυσης ευαισθησίας με τρόπο κατάλληλο ώστε να εξυπηρετείται το συγκεκριμένο περιγραφικό μαθηματικό μοντέλο για την αναδιάρθρωση κατάλληλου συγκοινωνιακού προτύπου επί των μακρο και μικρο κυκλοφοριακών ροών επιλέχθηκε να ορισθεί σε μεγαλύτερο πεδίο τιμών η παράμετρος της ζήτησης σε σύγκριση με την αντίστοιχη της προσφοράς.

Γίνεται έτσι αντιληπτό ότι στην περίπτωση κατά την οποία ο προσχεδιασμένος αριθμός εγκαταστάσεων επαναφόρτισης ηλεκτρικού πατινιού προς χωροταξική διευθέτηση είναι μικρότερος από τη ζήτηση των κόμβων προκύπτει χειρότερο πεδίο τιμών της αντικειμενικής συνάρτησης, με αποτέλεσμα να αποδίδεται υποδεέστερη ποιοτικά λύση για το αναλυτικό μας μοντέλο.

Κατά συνέπεια συμπεραίνεται ότι για την διακριτή περίπτωση κατά την οποία ο αριθμός των χωροθετούμενων εγκαταστάσεων φόρτισης ηλεκτρικών πατινιών υπολείπεται της ζήτησης του αθροιστικού συνόλου των κόμβων αποδίδονται μειωμένες και σχετικά μη ικανοποιητικές τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης συγκριτικά με τα αποτελέσματα της αρχικής συνθήκης.

5.5. Σύνοψη Αποτελεσμάτων

Έχοντας μελετήσει τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την εφαρμογή του γενετικού αλγορίθμου για το πρόβλημα χωροθέτησης που μελετήθηκε, μπορεί να ειπωθεί το γεγονός ότι η

εργασία, η οποία αφορά στην ανάπτυξη ενός προτύπου βέλτιστης χωροθέτησης σταθμών πατινιών, αποτελεί μία αρκετά ρεαλιστική προσέγγιση για την περιοχή της Αττικής αλλά θα μπορούσε να διευρυνθεί στη συνέχεια και σε άλλες περιοχές.

Αφού λήφθηκαν υπόψη οι περιορισμοί χωρητικότητας, οι προτιμήσεις και το πιο οικονομικά συμφέρον και αφού επιτεύχθηκε η ελαχιστοποίηση των κόστους μετακίνησης, ενώ ταυτόχρονα διερευνήθηκε και η καλύτερη δυνατή εξυπηρέτηση των χρηστών καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι ο ιδανικός συνδυασμός παραμέτρων είναι 50 , 0.5, 0.1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1: Παράθεση - Ανάλυση

Στο τελευταίο κεφάλαιο έγινε η εισαγωγή των κυριότερων παραμέτρων που επελέγησαν και των αρχικών δεδομένων του μαθηματικού προβλήματος στο πεδίο του γενετικού αλγορίθμου, ενώ έπειτα το πέρας της εφαρμογής του έλαβε χώρα η παράθεση και η ανάλυση – επεξήγηση των αποτελεσμάτων που λήφθηκαν. Τέλος κύρια στόχευση αυτού του κεφαλαίου αποτέλεσε και η παράθεση μιας εκτεταμένης ανάλυσης ευαισθησίας έτσι ώστε να αποδοθεί μαθηματικά η επίδραση που έχει η μεταβολή κάποιων παραμέτρων του μοντέλου του προβλήματος χωροθέτησης ως προς την απόλυτη τιμή των εξαγόμενων τιμών των κυριότερων μεγεθών. Στο σημείο αυτό οφείλει να επισημανθεί ότι σε κάθε περίπτωση είχε προγενέστερα διασφαλισθεί ότι εργαζόμαστε εντός του πεδίου τιμών όπου ο εκάστοτε συνδυασμός των παραμέτρων του γενετικού αλγορίθμου οδηγεί μονοσήμαντα στη βελτιστοποίηση του αποτελέσματος.

6.2. Παραμετροποίηση γενετικού αλγορίθμου

Έπειτα από το σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την εφαρμογή του γενετικού αλγορίθμου κατέστη σαφές ότι η αρχική παραμετροποίηση αυτού επηρεάζει άμεσα και μονοσήμαντα την τελική τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης. Πιο συγκεκριμένα παρατηρήθηκε ότι για μέγεθος πληθυσμού της τάξης των 200 μονάδων αποδίδονται βελτιστοποιημένες λύσεις στο πεδίο του εφικτού και σύμφωνα πάντα με τις προεπιλεγμένες συνθήκες. Επιπρόσθετα ιδιαίτερα υψηλό συντελεστή βαρύτητας φαίνεται να λαμβάνει ο συντελεστής μετάλλαξης ο οποίος επιδρά καθοριστικά και αποδίδει τα μέγιστα όταν λάβει την τιμή 0.15. Αντίστοιχα βελτιστοποιημένο πεδίο τιμών επί των αποτελεσμάτων φέρει και ο συντελεστής διασταύρωσης όταν ο ίδιος λάβει την τιμή 0.6 ενώ ακόμη παρατηρούνται σημαντικές διακυμάνσεις στα αποτελέσματα των τιμών της αντικειμενικής συνάρτησης για τιμές του συντελεστή διασταύρωσης της τάξης των 0.05 και 0.1. Τέλος έπειτα από την εφαρμογή όλων των δυνατών συνδυασμών επί της παραμετρικής ανάλυσης όπως αυτή παρουσιάστηκε δεν επισημάνθηκε σημαντική διαφοροποίηση επί των τιμών της αντικειμενικής συνάρτησης, με εξαιρετικά περίπτωση το μέγεθος της διακύμανσης το οποίο κυμαινόταν σε ποσοστό της τάξης μεταξύ του 1% και του 5%.

6.3. Ανάλυση ευαισθησίας του γενετικού αλγορίθμου

Σε ότι αφορά στα αποτελέσματα τα οποία διεξήχθησαν από τη ανάλυση ευαισθησίας του γενετικού αλγορίθμου συνεπάγεται το συμπέρασμα ότι η ομάδα των δυνατών λύσεων της αντικειμενικής συνάρτησης αναλόγως φυσικά και της παραμετροποίησης η οποία έχει ακολουθηθεί κρίνεται ιδιαίτερα ευαίσθητη ως προς το μέγεθος της χωρητικότητας των εγκαταστάσεων αλλά και ως προς τη σχέση μεταξύ των μεγεθών προσφοράς και ζήτησης

Πιο συγκεκριμένα όπως έχει ήδη αναλυθεί διεξοδικά η τιμή που λαμβάνει η αντικειμενική συνάρτηση έπειτα από τα πολλαπλά στάδια επίλυσης του γενετικού αλγορίθμου είναι ισχυρά εξαρτώμενη και μεταβάλλεται σημαντικά με το μέγεθος χωρητικότητα των εγκαταστάσεων επαναφόρτισης ηλεκτρικών πατινιών που πρόκειται να χωροθετηθούν εντός του νομού Αττικής. Επί παραδείγματι με μια σχετική μείωση της χωρητικότητας των εγκαταστάσεων επαναφόρτισης ηλεκτρικών πατινιών της τάξης του 10% αποδίδεται αντίστοιχα σχετική αύξηση της απολύτου τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης σε επίπεδα τιμών της τάξης του 3.5%. Κατ' αυτόν τον τρόπο δυσχεραίνεται η όποια ποιοτική προσέγγιση επίλυσης του προβλήματος καθώς ο γενετικός αλγόριθμος αποδίδει όλο και χειρότερες τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης ενώ ακόμη φαίνεται να επαυξάνει εκθετικά η ζήτηση των κόμβων, μέγεθος του οποίου μεγάλο ποσοστό δεν εξυπηρετείται.

Αναφορικά με την ποσοτική συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων της προσφοράς και της ζήτησης έχει διακριβωθεί ότι η λύση που αποδίδεται μέσω του γενετικού αλγορίθμου θεωρείται ως αρκετά ευαίσθητη. Εν προκειμένω καταγράφηκε ότι κατά τη συνθήκη σύμφωνα με την οποία η ζήτηση των κόμβων επαναφόρτισης ηλεκτρικών πατινιών καθίσταται μεγαλύτερη κατά 7% από την προσφορά των εφικτών εγκαταστάσεων, τότε η απόλυτη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης έπειτα από την επίλυση του γενετικού αλγορίθμου αυξάνει κατά ένα σημαντικό και μη επιθυμητό ποσοστό της τάξης του 5%.

Γίνεται λοιπόν εύκολα αντιληπτό ότι ενώ η επίλυση του γενετικού αλγορίθμου ως προς την αρχική παραμετροποίηση των συνθηκών και τη λήψη των κατάλληλων περιορισμών απέδιδε τιμές αποδεκτές που εξέφραζαν ποιοτικά ότι το μέγεθος της προσφοράς είναι μεγαλύτερο αυτού της ζήτησης, στη δεδομένη περίπτωση αντιστρέφονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη του προβλήματος με αποτέλεσμα η αντικειμενική συνάρτηση να λαμβάνει χειρότερες τιμές και η ζήτηση να υπερβαίνει σε κρίσιμο και μη ελεγχόμενο βαθμό την προσφορά.

6.4. Σύγκλιση του γενετικού αλγορίθμου

Όπως είναι γνωστό έπειτα από υψηλό αριθμό επαναλήψεων εκτέλεσης του γενετικού αλγορίθμου είναι δυνατό να παρατηρηθεί σημαντική διακύμανση επί των απολύτων τιμών της αντικειμενικής συνάρτησης. Παρόλα αυτά σε κάποιες περιπτώσεις ο αλγόριθμος έχει παρατηρηθεί να συγκλίνει σημειακά – τοπικά και προγενέστερα από τον αναμενόμενο χρόνο αποδίδοντας μια σχετικά αποδεκτή λύση με αρκετά όμως σημαντική ποιοτική διαφορά σε σχέση με τη βέλτιστη λύση. Το παραπάνω φαινόμενο απεικονίζεται τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά στις γραφικές παραστάσεις των συναρτησιακών σχέσεων που αποτελούν τα διαγράμματα προόδου του γενετικού αλγορίθμου. Πάρα πολύ χαρακτηριστικό παράδειγμα και αδιαμφισβήτητο επιχείρημα αποτελεί το γεγονός ότι σε

πολλαπλά στάδια επίλυσης του γενετικού αλγορίθμου (επαναλήψεις) δύναται να παρατηρηθεί το φαινόμενο της σημαντικής απόκλισης της απολύτου τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης η οποία ορίζεται ως η βέλτιστη λύση καθώς και μεταβολή του χρόνου λήψης αυτής για ίδιο πεδίο επιλεγμένων τιμών επί των παραμέτρων του συντελεστή διασταύρωσης, του μεγέθους του πληθυσμού καθώς και του συντελεστή μετάλλαξης.

6.5. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Κυριότερος άξονας στόχευσης για την περαιτέρω έρευνα του παρόντος επιστημονικού αντικείμενου με τον απαιτούμενο βαθμό καινοτομίας αποτελεί τόσο η σφαιρικότερη και περισσότερο διευρυμένη αντιμετώπιση του προβλήματος της μακρό και μικροκυκλοφοριακής ροής όσο και η ανάπτυξη επιβελτιωτικών αλγορίθμων προσέγγισης ή και εκμάθησης με βάση πάντα τις οριακές συνθήκες και τις παραδοχές οι οποίες τίθενται κατά την περιγραφική πλαισίωση του συγκεκριμένου ζητήματος.

Σε ένα πρώτο στάδιο μελέτης ιδιαίτερη κρίσιμη πιστεύεται ότι είναι η διερεύνηση του συντελεστή βαρύτητας και της επίδρασης που έχει η επιλογή της αρχικής λύσης ως προς την εγκυρότητα, τη στόχευση και την αυτονομία – ακεραιότητα των αποτελεσμάτων που αποδίδονται μέσω του γενετικού αλγορίθμου. Η παραπάνω παρατήρηση αιτιολογείται από το γεγονός ότι στη μέθοδο της αντικειμενικής συνάρτησης στην οποία βασίστηκε η επίλυση του προβλήματος ο αρχικός πληθυσμός αναπαράγεται μη κανονικοποιημένα και μη περιοδικά δηλαδή τυχαία. Κατά συνέπεια θα καθίστατο ιδιαίτερα ωφέλιμο να προσεγγισθεί η αρχιτεκτονική της ανάπτυξης μιας νέας μεθόδου μέσω της οποίας θα προσδιορίζεται η βέλτιστη τιμή της αρχικής λύσης με κύριο στόχο να διερευνηθεί αν η εφαρμογή αυτής θα οδηγήσει και σε ανάλογη βελτίωση της λαμβανόμενης τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Campbell, J. F. (1994). "Integer programming formulations of discrete hub location problems," *European Journal of Operational Research*, 72(2), 387-405.
- Feng, L., Ge, S., & Liu, H. (2012, March). "Electric vehicle charging station planning based on weighted Voronoi diagram," In *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2012 Asia-Pacific* (pp. 1-5). IEEE.
- Garey, M. R., & Johnson, D. S. (1979). "Computer and intractability: a guide to theory of NP-completeness," S. Francisco.
- Cavadas, J., Correia, G., & Gouveia, J. (2014). "Electric vehicles charging network planning". In *Computer-based Modelling and Optimization in Transportation* (pp. 85-100). Springer International Publishing.
- Chan, C. C., & Chau, K. T. (1997). "An overview of power electronics in electric vehicles," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 44(1), 3-13.
- Balinski, M. L. (1965). "Integer programming: methods, uses, computations," *Management Science*, 12(3), 253-313.
- Bean, J. C. (1994), "Genetic algorithms and random keys for sequencing and optimization," *ORSA journal on computing*, 6(2), 154-160
- Campbell, J. F. (1990). "Locating transportation terminals to serve an expanding demand," *Transportation Research Part B: Methodological*, 24(3), 173-192.
- Ernst, A. T., & Krishnamoorthy, M. (1996). "Efficient algorithms for the uncapacitated single allocation p-hub median problem," *Location science*, 4(3), 139-154.
- Ghaziri H. (1991). "Solving routing problems by a self-organizing map," *79 Artificial Neural Networks*. pp. 829-834
- Klose, A., & Drexl, A. (2005), "Facility location models for distribution system design," *European Journal of Operational Research*, 162(1), 4-29.
- Marsh, M. T., & Schilling, D. A. (1994). "Equity measurement in facility location analysis: A review and framework," *European Journal of Operational Research*, 74(1), 1-17.
- Megiddo, N., Zemel, E., & Hakimi, S. L. (1983). "The maximum coverage location problem," *SIAM Journal on Algebraic Discrete Methods*, 4(2), 253-261.
- O'Kelly, M. E. (1986a). "Activity levels at hub facilities in interacting networks," *Geographical Analysis*,

/8(4), 343-356.

O'Kelly, M. E. (1986b). "The location of interacting hub facilities," *Transportation science*, 20(2), 92-106.

Palisade Corporation, January 2010, "Guide to using Evolver — The Genetic Algorithm Solver for Microsoft Excel Version 5.5".

Plastria, F. (1995). "Continuous location problems: research, results and questions," *Facility Location: A survey of applications and methods*, 85-127.

Rahman, S. U., & Smith, D. K. (2000). "Use of location-allocation models in health service development planning in developing nations," *European Journal of Operational Research*, 123(3), 437-452.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Γεωργόπουλος, Ε.Φ., Λυκοθανάσης, Σ.Δ., 1999, «Εισαγωγή στους Γενετικούς Αλγορίθμους», Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών & Πληροφορικής

Βλαχάβας, Ι., Κεφαλάς, Π., & Βασιλειάδης, Ν. Φ. Κόκκορας και Η. Σακελλαρίου, 2006, «Τεχνητή Νοημοσύνη» - Γ' Έκδοση, εκδ. Μ. Γκιούρδας.[2] Κεραυνού. *Ε Τεχνητή Νοημοσύνη και Έμπειρα Συστήματα*. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Πάτρα.

Καρλαύτης, Μ.Γ., Λαγαρός, Ν.Δ., 2010. «Επιχειρησιακή Έρευνα και Βελτιστοποίηση για Μηχανικούς», Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα

Διαδίκτυο

<https://www.gsb.stanford.edu>

<http://www.ansamed.info/ansamed/it>

www.electricalab.gr