



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Βέλτιστος Προγραμματισμός Επιθεώρησης Υποδομών Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων

Μεταπτυχιακός Φοιτητής: **Αικατερίνη Μπούσδρα**

Επιβλέπων Καθηγητής: **Κωνσταντίνος Κεπαπτσόγλου, Καθηγητής ΕΜΠ**

Ημερομηνία: **Φεβρουάριος 2025**

Περίληψη

Η αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και η πρόσφατη άνοδος των τιμών του πετρελαίου έχουν προκαλέσει παγκόσμια ανησυχία και έχουν εντείνει τη στροφή προς πιο βιώσιμες περιβαλλοντικά επιλογές μετακίνησης. Τα περιβαλλοντικά προβλήματα που σχετίζονται με την τεχνολογική πρόοδο, σε συνδυασμό με την αλόγιστη χρήση των ορυκτών πόρων, ώθησαν τους ανθρώπους και τις επιχειρήσεις να αναζητήσουν εναλλακτικές, πιο οικολογικές λύσεις. Στο πλαίσιο αυτό, οι κατασκευαστές έχουν επικεντρωθεί στην ανάπτυξη και κατασκευή ηλεκτρικών οχημάτων (EVs), τα οποία αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη απάντηση στην πρόκληση της βιώσιμης μετακίνησης.

Τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν μια από τις καθαρότερες και πιο ενεργειακά αποδοτικές λύσεις, με μηδενικές εκπομπές ρύπων κατά τη λειτουργία τους. Οι τεχνολογικές εξελίξεις στις μπαταρίες, την ελαφριά κατασκευή και την αυτοματοποίηση του ηλεκτρικού δικτύου αυξάνουν την ελκυστικότητα των EVs για καταναλωτές και επιχειρήσεις. Ωστόσο, για την ευρεία υιοθέτηση των EVs απαιτούνται περαιτέρω προσπάθειες, καθώς τα κύρια εμπόδια περιλαμβάνουν την έλλειψη κατάλληλης υποδομής και την απουσία ενός σαφούς ρυθμιστικού πλαισίου.

Καθώς η ζήτηση για ηλεκτρικά οχήματα αυξάνεται, αυξάνονται αντίστοιχα και οι απαιτήσεις για τον σχεδιασμό νέων υποδομών, ώστε να καλύπτουν επαρκώς όλο το οδικό δίκτυο, αστικό και υπεραστικό. Παράλληλα, προκύπτει η ανάγκη για συντήρηση αυτών των υποδομών. Η παρούσα διπλωματική εργασία αναδεικνύει τη σημασία και την αναγκαιότητα του προγραμματισμού επιθεώρησης και συντήρησης των φορτιστών EV, μια διαδικασία ζωτικής σημασίας για την εξασφάλιση της αποτελεσματικότητας, της ασφάλειας και της μακροπρόθεσμης απόδοσής τους.

Για τη μέγιστη δυνατή διάρκεια ζωής ενός φορτιστή EV, είναι απαραίτητη η υιοθέτηση μιας προληπτικής προσέγγισης στη συντήρησή του. Η εφαρμογή μιας στρατηγικής προληπτικής συντήρησης ενισχύει την απόδοση και επιμηκύνει τη διάρκεια ζωής των φορτιστών, διασφαλίζοντας έτσι μια ομαλή και αξιόπιστη εμπειρία φόρτισης για τους χρήστες EV.

Ο προγραμματισμός επιθεώρησης και συντήρησης των φορτιστών EV είναι απαραίτητος για την ασφάλεια, την απόδοση και την οικονομία του συστήματος φόρτισης, διασφαλίζοντας την ομαλή λειτουργία του και την εμπιστοσύνη των χρηστών. Οι δημόσιοι φορτιστές χρειάζονται επιθεώρηση 3 έως 4 φορές τον χρόνο,



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»

ενώ οι ανάγκες συντήρησης ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο φορτιστή. Οι δημόσιοι φορτιστές σύμφωνα με τα εγχειρίδια των κατασκευαστών τους συνιστούν 0,5 – 1,5 ώρες για την επιθεώρησή τους. Ορισμένα από τα προβλήματα μπορούν να επιλυθούν απομακρυσμένα, μειώνοντας την ανάγκη για φυσική παρουσία τεχνικού. Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει αποκλειστικά στον προγραμματισμό της προληπτικής επιθεώρησης των φορτιστών, χωρίς να εξετάζει τις έκτακτες περιπτώσεις επιδιόρθωσης προβλημάτων που ενδέχεται να προκύψουν.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να δώσει λύση στο πρόβλημα της εξασφάλισης βέλτιστων χρονοδιαγραμμάτων επιθεώρησης και συντήρησης φορτιστή σε ένα οδικό δίκτυο. Για την επίλυση του προβλήματος, αυτό διασπάται σε δύο επιμέρους υποπροβλήματα. Το πρώτο αφορά τη συσταδοποίηση των φορτιστών, προκειμένου να καταστεί διαχειρίσιμος ο αριθμός των σταθμών προς επιθεώρηση. Το δεύτερο υποπρόβλημα επικεντρώνεται στη δημιουργία καθημερινών δρομολογίων για κάθε συνεργείο επιθεώρησης. Συνολικά, το πρόβλημα εντάσσεται στο ευρύτερο πλαίσιο του Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων (VRP).

Το πρώτο βήμα για τη συσταδοποίηση των φορτιστών είναι η επιλογή του αριθμού των κλάσεων. Η αξιολόγηση της επιλογής αυτής πραγματοποιείται μέσω της μεθόδου Elbow, η οποία βοηθά στον προσδιορισμό του καταλληλότερου αριθμού κλάσεων. Η μέθοδος βασίζεται στην καμπύλη του WCSS (Within-Cluster Sum of Squares), η οποία δείχνει το σημείο όπου η μείωση της διακύμανσης εντός των κλάσεων γίνεται λιγότερο απότομη, υποδεικνύοντας τον ιδανικό αριθμό κλάσεων. Στην περίπτωση αυτής της μελέτης, δημιουργήθηκε η καμπύλη και προέκυψε ότι ο κατάλληλος αριθμός κλάσεων είναι το 5. Με την επιλογή αυτή επιβεβαιωμένη, προχωρούμε στην ομαδοποίηση των φορτιστών.

Για το πρόβλημα της ομαδοποίησης των 1,638 σταθμών σε όλη την Ελλάδα, εφαρμόζεται ο αλγόριθμος k-means clustering, ο οποίος διαχωρίζει τους σταθμούς σε συστάδες με βάση τη γεωγραφική τους εγγύτητα. Στη συνέχεια, προκειμένου να μειωθεί ο υπολογιστικός φόρτος, επιλέχθηκε η δυτική Πελοπόννησος ως περιοχή ενδιαφέροντος, με 134 σταθμούς να περιλαμβάνονται στην επιθεώρηση, και σημείο εκκίνησης και τερματισμού την Πάτρα.

Για τη βέλτιστη διαδρομή, υπολογίστηκαν όλες οι συντομότερες αποστάσεις μεταξύ των σταθμών της συστάδας της δυτικής Πελοποννήσου καθώς και τις συντομότερες αποστάσεις από το σημείο έναρξης / τερματισμού προς όλους τους σταθμούς της συστάδας, δημιουργώντας έναν πίνακα συντομότερων διαδρομών. Αυτός ο πίνακας επέτρεψε τον υπολογισμό τόσο των αποστάσεων μεταξύ των σταθμών όσο και των χρόνων ταξιδιού, προσφέροντας σημαντικές πληροφορίες για τον βέλτιστο προγραμματισμό των διαδρομών επιθεώρησης.

Εν συνεχεία, εφαρμόστηκε ένας άπληστος (greedy) αλγόριθμος, ο οποίος επιλέγει τον κοντινότερο μη επιθεωρημένο σταθμό σε κάθε βήμα, διασφαλίζοντας έτσι την ελαχιστοποίηση του χρόνου ταξιδιού και τη μεγιστοποίηση των σταθμών που επιθεωρούνται καθημερινά εντός του ορίου των 8 ωρών. Με την ολοκλήρωση των διαδρομών, επιτεύχθηκε μια αποδοτική κάλυψη του δικτύου φορτιστών, προσφέροντας μια δομημένη προσέγγιση στη διαχείριση των επιθεωρήσεων.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»

Η μεθοδολογία αυτή, συνδυάζοντας την συσταδοποίηση, τον υπολογισμό των συντομότερων διαδρομών και τη βελτιστοποίηση μέσω λαιμαργού αλγορίθμου, παρέχει μια αποδοτική και επεκτάσιμη λύση για τη συστηματική επιθεώρηση δικτύων μεγάλης κλίμακας. Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του άπληστου αλγορίθμου, το πρόβλημα επιλύεται επιπλέον μέσω της χρήσης ενός αλγορίθμου Nearest Neighbor. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει τη σύγκριση και την εκτίμηση της αποδοτικότητας και της ακρίβειας του αρχικού αλγορίθμου.

Τέλος, η διπλωματική πραγματοποιεί ανάλυση ευαισθησίας με δύο σενάρια, με σκοπό να αναλυθούν οι επιπτώσεις των παραμέτρων στα αποτελέσματα του αλγόριθμου. Οι παράμετροι που επιλέχθηκαν για την ανάλυση της ευαισθησίας είναι ο χρόνος επιθεώρησης καθώς και ο χρόνος μετακίνησης. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας προσφέρουν μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα του μοντέλου που στήθηκε για την επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων.

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι δομημένη σε πέντε κεφάλαια, καλύπτοντας τη θεωρητική θεμελίωση και την πρακτική εφαρμογή της βέλτιστης δρομολόγησης για την επιθεώρηση φορτιστών ηλεκτρικών οχημάτων (EV). Το πρώτο κεφάλαιο παρέχει μια εισαγωγή στο θέμα, περιλαμβάνοντας την ιστορική ανασκόπηση των ηλεκτρικών οχημάτων, τις κατηγορίες φορτιστών και τη συντήρησή τους, καθώς και τους στόχους και τη μεθοδολογία της μελέτης. Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση θεμελιωδών εννοιών, όπως το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (VRP), και οι αλγόριθμοι συσταδοποίησης και οι άπληστοι αλγόριθμοι.

Η μεθοδολογία αναλύεται στο τρίτο κεφάλαιο, όπου περιγράφεται η διαδικασία συσταδοποίησης των φορτιστών, ο υπολογισμός των συντομότερων διαδρομών και η εφαρμογή ενός άπληστου αλγορίθμου για τη βελτιστοποίηση των καθημερινών δρομολογίων. Στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας εξετάζοντας την επίδραση διαφορετικών παραμέτρων στο μοντέλο. Το πρώτο σενάριο εξετάζει την αλλαγή στον χρόνο επιθεώρησης ενώ το δεύτερο εξετάζει την αλλαγή στην ταχύτητα μετακίνησης. Η ανάλυση στοχεύει στη μελέτη των επιπτώσεων αυτών των αλλαγών στη λειτουργία του συστήματος. Το τελευταίο κεφάλαιο κάνει μια ανακεφαλαίωση του προβλήματος και των συμπερασμάτων που προέκυψαν καθώς παρατάσει και προτάσεις για μελλοντική έρευνα. Τέλος παρατίθεντα τα παραρτήματα, τα οποία παρέχουν τους αλγόριθμους επίλυσης του προβλήματος και τα αποτελέσματά τους, καθώς και τα αποτελέσματα από τα σενάρια ανάλυσης ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκαν προσφέροντας μια ολοκληρωμένη εικόνα της μεθόδου για την επίτευξη αποτελεσματικών δρομολογίων συντήρησης.

Λέξεις κλειδιά: Ηλεκτρικά οχήματα, Φορτιστές ηλεκτρικών οχημάτων, Πρόβλημα επιθεώρησης και συντήρησης φορτιστών ηλεκτρικών οχημάτων, Προγραμματισμός συντήρησης, Πρόβλημα Ομαδοποίησης και Δρομολόγησης Οχημάτων, Βελτιστοποίηση, Vehicle Routing Problem (VRP), Συντομότερο μονοπάτι (Shortest path), Άπληστος αλγόριθμος (Greedy algorithm), συσταδοποίηση (k-mean Clustering).