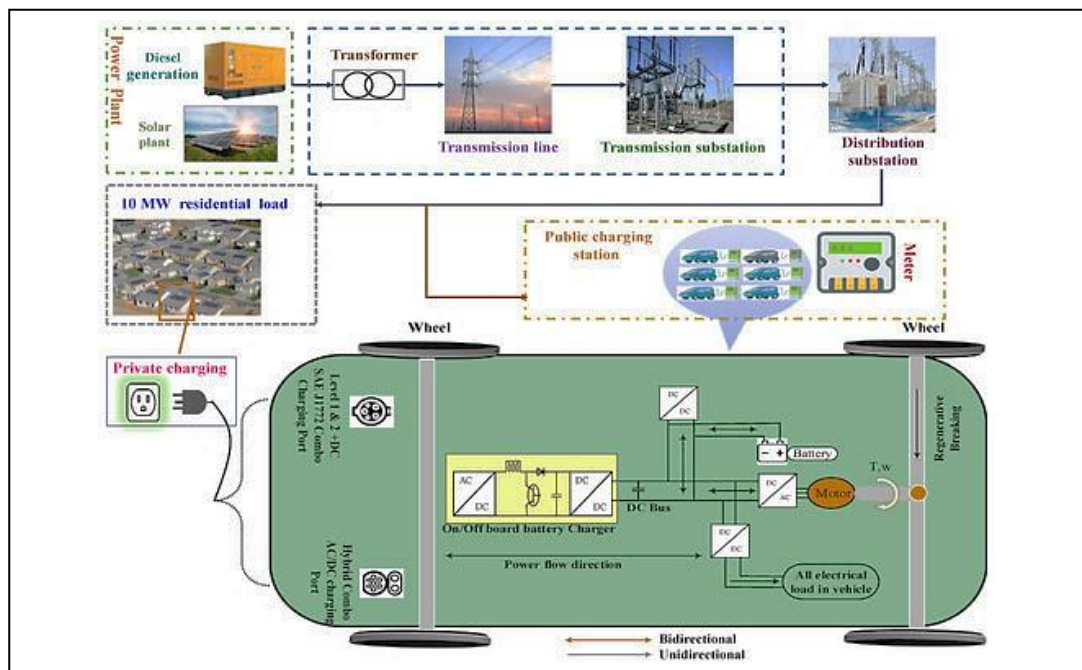


Διπλωματική Εργασία

Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.



Φοιτητής: Τσепенτζής Ιωάννης
ΑΜ: 48343701

Επιβλέπων Καθηγητής

Νικόλαος Μανουσάκης
Επίκουρος Καθηγητής

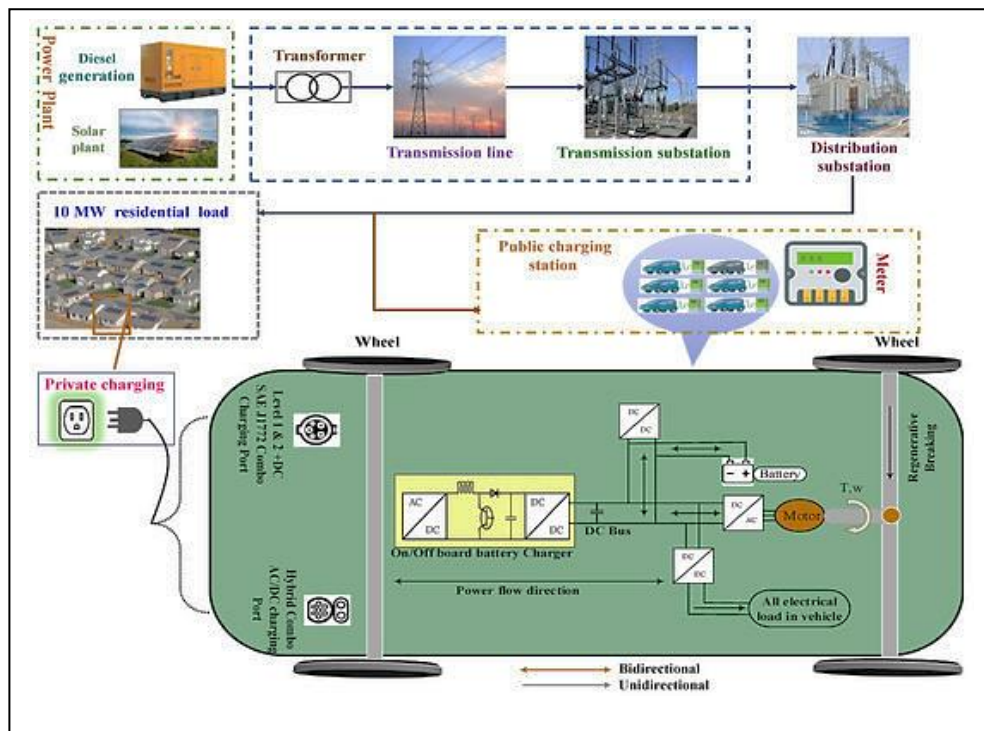
ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING

Diploma Thesis

Optimal placement of electric vehicle charging stations in power distribution networks



Student: Tsepentzis Ioannis
Registration Number: 48343701

Supervisor

Nikolaos Manousakis
Assistant Professor

ATHENS-EGALEO, SEPTEMBER 2023

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Νικόλαος Μανουσάκης, Επίκουρος Καθηγητής ΤΗΗΜ	Κωνσταντίνος Ψωμόπουλος, Καθηγητής ΤΗΗΜ	Κωνσταντίνος Καλκάνης, Επίκουρος Καθηγητής ΤΗΗΜ
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και (Ιωάννης Τσεπεντζής),
Μήνας: Ιανουάριος , Έτος:2023**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Ιωάννης Τσεπεντζής του Αθανασίου, με αριθμό μητρώου 48343701 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος καθηγητή.»

Ο Δηλών

Ιωάννης Τσεπεντζής



Σελίδα αφιέρωσης

Το παρόν έγγραφο αποτελεί το τελικό προϊόν της διπλωματικής εργασίας του Ιωάννη Τσεπεντζή.

Με την ολοκλήρωση της, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους τους ανθρώπους που συμμετείχαν τόσο άμεσα, όσο και έμμεσα στην προσπάθεια που κατέβαλα όλα αυτά τα χρόνια στη σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Ηλεκτρονικών του ΠΑΔΑ.

Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα μου, Καθηγητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Ηλεκτρονικών, κ. Νικόλαο Μανουσάκη. Αφενός για το γεγονός ότι μου εμπιστεύτηκε την εκπόνηση του εν λόγω θέματος, αφετέρου δε διότι υπήρξε σπουδαίος δάσκαλος, πνευματικός πατέρας και πολλές φορές τολμώ να πω φίλος. Του οφείλω πολλά και εύχομαι να είναι πάντα καλά.

Δεν θα μου επιτρεπόταν να λησμονήσω την ευγνωμοσύνη που νιώθω για την συμπαράσταση και βοήθεια που μου παρείχε όλη η οικογένειά μου από το ξεκίνημα των σπουδών μου στο Τμήμα μέχρι και την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Όλοι τους αποτελούν στήριγμα σε όλη την πορεία της μέχρι τώρα ζωής μου, γι' αυτό και η διπλωματική αυτή αφιερώνεται και σε αυτούς.

Τέλος να ευχαριστήσω τους φίλους μου που στάθηκαν δίπλα μου σε αυτή την προσπάθεια και με χαλαρώνανε αλλά και με στήριζαν παρά την κακή μου ενδεχομένως διάθεση ορισμένες φορές αλλά και την πίεση που τους μετέδιδα.

Ιωάννης Α. Τσεπεντζής

Περίληψη

Ο εξηλεκτρισμός του τομέα των μεταφορών απαιτεί τη διασύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μέσω κατάλληλων υποδομών φόρτισης. Οι ενεργειακές ανάγκες των ηλεκτρικών οχημάτων θα πρέπει να εξυπηρετούνται όπως και η οικιακή κατανάλωση, χωρίς καμία διάκριση. Η διαφορετικότητα του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων συγκριτικά με το οικιακό φορτίο έγκειται στο γεγονός ότι το φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων δεν είναι στατικό και μπορεί να μετατοπιστεί τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Από την πλευρά των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας, η ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων για τη φόρτιση τους αποτελεί ένα επιπρόσθετο φορτίο που αναμένεται να μεταβάλλει την καμπύλη φορτίου του συστήματος και να επηρεάσει τη λειτουργία και διαχείριση των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας, ανάλογα με το επίπεδο ενσωμάτωσης των ηλεκτρικών οχημάτων και τον τρόπο φόρτισης τους.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης της ενσωμάτωσης των ηλεκτρικών οχημάτων στη λειτουργία των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και η ανάπτυξη αλγορίθμων διαχείρισης τους για την αποδοτικότερη ένταξή τους σε αυτά.

Ο καθορισμός του αντικειμενικού στόχου διαχείρισης των ηλεκτρικών οχημάτων είναι άμεσα συνδεδεμένος με τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε δικτύου που μελετάται. Ως εκ τούτου, είναι αναγκαία η μελέτη της επίδρασης των ηλεκτρικών οχημάτων σε όλα τα επίπεδα ενός δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας δηλαδή στο σύστημα παραγωγής, στο δίκτυο μεταφοράς, και στο δίκτυο διανομής, με σκοπό να προσδιοριστούν τα πιθανά προβλήματα (βάρη) που θα επιφέρει η ενσωμάτωση τους σε αυτά τα δίκτυα λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικά σενάρια διεξόδου και πολιτικές ενσωμάτωσης, ώστε να επιλεγεί η βέλτιστη θέση του σταθμού φόρτισης.

Δύο είναι οι βασικοί άξονες των προτεινόμενων αλγορίθμων διαχείρισης: η μεγιστοποίηση του αριθμού διασυνδεδεμένων ηλεκτρικών οχημάτων στις υφιστάμενες δικτυακές υποδομές χωρίς να παραβιάζονται οι λειτουργικοί περιορισμοί των δικτύων και η πλήρης ενσωμάτωση τους στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας

Λέξεις – κλειδιά

Ηλεκτρικά οχήματα, αποκεντρωμένοι αλγόριθμοι, θεωρία παιγνίων, παιχνίδια αποφάσεων, συστήματα πολλαπλών παραγόντων, απόκριση συχνότητας, έλεγχος πτώσης, Υποδομή φόρτισης, Αναλύσεις δεδομένων, Χρόνοι αναμονής, δίκτυο διανομής, ηλεκτρικά οχήματα, Βέλτιστη Ροή Φορτίου (ΒΡΦ), Ροή Φορτίου (ΡΦ), Γενετικός Αλγόριθμος (ΓΑ), Σταθμοί Ταχείας Φόρτισης (ΣΤΦ), απώλειες ενεργού ισχύος, προφίλ τάσης, συντελεστές βαρύτητας, χωρητικότητα σταθμών, μέθοδοι βελτιστοποίησης.

Abstract

The electrification of the transport sector requires the interconnection of the Electric Vehicles (EV) with the electricity grids utilizing appropriate charging infrastructures. The EV energy needs should be served as domestic consumption in a non-discriminatory way. The difference between EV and domestic demands lies in the fact that the charging demand is not static due to EV mobility, and it presents intense spatial and temporal volatility. From the grid perspective, the EV charging demand is an additional load which can significantly modify the system load curve and affect the way electricity networks are operated and managed, in respect to the EV deployment level and the charging policy.

The present PhD thesis aims to analyze the impact of EV deployment on the operation of electricity grids and to propose EV management algorithms that enables their efficient integration in the electricity grids in respect to the outcome of the grid impact analysis.

The objective of an EV management is network dependent, and it is directly linked to the technical and operational characteristics of the respective network under study. Thus, a holistic grid impact analysis (generation system, transmission/distribution networks, non-interconnected systems) is necessary in order to identify the potential operational market/network issues that EV share will provoke examining different EV penetration scenarios and EV deployment strategies.

The two main goals of the proposed EV management algorithms in the present PhD thesis are: the maximization of the EV hosting capacity of distribution networks considering the current grid infrastructure as well as distributed renewable energy and the integrated market participation of the aggregated EV batteries' capacity, taking into consideration the bidirectional power flow between the electric vehicles and the electricity grid.

Keywords

Electric vehicles, decentralized algorithms, game theory, decision games, multi-agent systems, frequency response, droop-control, RES hosting capacity, charging infrastructure , Data analytics , Waiting times , distribution network, electric vehicles, Optimal Load Flow, Load Flow, Genetic Algorithm, Fast Charging Stations, active power losses, voltage profiles, gravity factors, station capacity, optimization methods.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	13
Κατάλογος Πινάκων.....	16
Κατάλογος Εικόνων	16
Αλφαβητικό Ευρετήριο (Κατάλογος Ακρωνύμων)	20
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	21
Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας	23
Σκοπός και στόχοι	23
Μεθοδολογία.....	24
Καινοτομία.....	24
Δομή 24	
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας – Ηλεκτρικά Οχήματα (EVs). 26	26
1.1 Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ)	26
1.2 Εισαγωγή στην ηλεκτροκίνηση	28
1.2.1 Τεχνολογίες Ηλεκτρικών Οχημάτων	28
1.2.2 Κλάσεις Ηλεκτρικών Οχημάτων	29
1.2.3 Τεχνολογίες Αποθήκευσης.....	30
1.2.4 Τεχνολογίες Σταθμών Φόρτισης	30
1.2.5 Υποδομές φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.....	31
1.2.6 Τι είναι το V2G και το V2X ;.....	34
1.2.7 Προβλέψεις και προοπτικές της αγοράς EV έως το 2030 και μετά	38
1.2.8 Τι είναι η περιαγωγή ;.....	40
1.2.9 Πρότυπα βύσματος φόρτισης EV.....	44
1.2.10 Φόρτιση ηλεκτρικών αυτοκινήτων	46
1.2.11 Ρευματοδότες Φόρτισης.....	50
1.2.12 Καλωδίωση συσκευής φόρτισης :.....	51
1.2.13 Εξοπλισμός και εξαρτήματα των σταθμών φόρτισης :	53
1.2.14 Υποδοχές και ακροσύνδεσμοι	54
1.2.15 Καλώδιο φόρτισης	56
1.2.16 Κατηγορίες ηλεκτρικών οχημάτων	58
1.2.17 Κατανομές χρόνου αφίξεων και παραμονής:	58
1.2.18 Περιγραφή της συνάρτησης βελτιστοποίησης:	63
1.3 Ανάπτυξη μιας καλά σχεδιασμένης υποδομής φόρτισης.....	64
1.3.1 Σύνδεση Συσκευών Φόρτισης Στο Δίκτυο	64
1.3.2 Τροποποίηση εγκατάστασης και επαύξηση παροχής.....	65
1.3.3 Επικοινωνία συσκευής φόρτισης με κεντρικό σύστημα διαχείρισης	67
1.3.4 Προφίλ και λειτουργίες έξυπνης φόρτισης.....	68
1.3.5 Επιτρεπόμενες μέθοδοι AC φόρτισης.....	69
1.3.6 Χρήση πρωτοκόλλων OSCP και OCPI	70
1.3.7 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ (υποδομή φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων).....	71
1.3.8 Διάκριση περιπτώσεων ανά μέθοδο φόρτισης	71
1.3.9 Στοιχεία συσκευής φόρτισης	72
1.3.10 Ρευματοδότης – ηλεκτρική εγκατάσταση.....	72
1.3.11 Σύνδεση στο δίκτυο	73
1.3.12 Διατάξεις προστασίας.....	77
1.3.13 Άλλες απαιτήσεις υποδομών φόρτισης	86
1.3.14 Μέτρηση καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας	86
1.3.15 Γείωση συσκευής φόρτισης	87
1.3.16 Επικοινωνία συσκευής φόρτισης.....	88
1.3.17 Αναγνώριση και χρέωση χρήστη.....	89
1.3.18 Εγκατάσταση σε δημοσίως προσβάσιμη θέση	90
1.3.19 Παράδειγμα εγκατάστασης σε οικία	90

1.3.20	Παράδειγμα εγκατάστασης σε Δήμο	91
1.3.21	Παράδειγμα εγκατάστασης 3 ^{ωv} συσκευών φόρτισης	92
1.3.22	Παράδειγμα εγκατάστασης σε δημόσιο χώρο στάθμευσης	93
1.3.23	Υφιστάμενο ρυθμιστικό πλαίσιο στην Ελλάδα	95
1.3.24	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ενότητας	97
1.3.25	Συνομογραφίες Κεφαλαίου	101
1.4	Κίνητρα επιλογής σημείου φόρτισης	102
2	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Ανάλυση στις κατηγορίες ηλεκτροκίνητων οχημάτων και Σταθμοί φόρτισης	116
2.1	Παράμετροι προσδιορισμού της καμπύλης φορτίου των Ηλεκτρικών Οχημάτων	118
2.2	Αλγόριθμος Προσδιορισμού Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων	119
2.2.1	MERGE (Ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα)	121
2.2.2	Επίδραση της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στην καμπύλη ζήτησης του συστήματος	122
2.2.3	Μη ελεγχόμενη φόρτιση.....	124
2.2.4	Ελεγχόμενη Φόρτιση μέσω διζωνικού τιμολογίου	128
2.2.5	MERGE ανάλυση	130
2.3	Επίδραση της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα παραγωγής	132
2.3.1	Ανάλυση συστήματος παραγωγής για το Ελληνικό διασυνδεδεμένο σύστημα	132
2.3.2	Συμπεράσματα.....	135
2.3.3	Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός – Ελαχιστοποίηση κόστους.....	138
2.3.4	Αριθμητικό Παράδειγμα	139
2.3.5	Προτεινόμενο αποκεντρωμένο σύστημα διαχείρισης της φόρτισης	145
2.3.6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	149
3	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Το πρόβλημα βέλτιστης τοποθέτησης υποσταθμών (Διάφορες επιστημονικές προσεγγίσεις σήμερα στην τοποθέτηση σταθμών φόρτισης EV)	157
	Εισαγωγική παράγραφος του κεφαλαίου.....	157
3.1	50 Σχετικές εργασίες για την παραμετροποίηση των σταθμών φόρτισης EVs.	157
3.2	Μελέτη άρθρου 12. Σχεδιασμός και μοντελοποίηση σταθμών.....	167
3.2.1.	Κατάλογος Πινάκων άρθρου 12	178
3.2.2.	Κατάλογος Εικόνων άρθρου 12	178
3.2.3.	Συνομογραφίες άρθρου 12.....	178
3.2.4.	Βιβλιογραφία άρθρου 12 (αναφορές μελέτης).....	179
3.3	Εργασίες βελτιστοποίησης σταθμών φόρτισης σε δίκτυα διανομής.....	189
3.4	Εργασίες τοποθέτησης και λειτουργίας σταθμών φόρτισης EV.	207
3.4.1.	Μελέτη άρθρου 52 . Αναλυτική παρουσίαση του άρθρου.	214
3.4.1.1.	Κατάλογος πινάκων άρθρου 52	226
3.4.1.2.	Κατάλογος εικόνων άρθρου 52	226
3.4.1.3.	Βιβλιογραφία άρθρου 52	226
	Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές 3^{ov} Κεφαλαίου.....	228
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Προσέγγιση στο πρόβλημα βέλτιστης θέσης σταθμού φόρτισης.....	236
4.0	Εισαγωγή Κεφαλαίου 4.....	236
4.1	Προσέγγιση βελτιστοποίησης σε αυτοκινητόδρομο στην Ιταλία.....	240
4.1.1.	REFERENCES (ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ)	257
4.2	Μελέτη Ροής Ισχύος.....	260
4.3	Εξισώσεις Ροών Ισχύος :	260
4.4	Βέλτιστη Ροή Ισχύος.....	264
4.5	Μαθηματική Περιγραφή Προβλήματος.....	265
4.6	Εξισώσεις Βέλτιστης Ροής Ισχύος :.....	265
4.7	Η συνολική εικόνα του δικτύου:	267
4.8	Το MATPOWER.....	268
4.9	Εισαγωγή στο πρόβλημα της διπλωματικής εργασίας	269
4.10	MATPOWER: Steady-State Operations, Planning and Analysis Tools for Power Systems Research and Education	270

4.10.1	Βιβλιογραφία επιστημονικού άρθρου	286
4.10.2	Βιβλιογραφία ενότητας	288
	Κατάλογος Πινάκων 4 ^{ου} Κεφαλαίου	288
	Κατάλογος Εικόνων & Σχεδίων	288
5	Ανάλυση του προβλήματος.....	290
5.1	Είδη φόρτισης σήμερα	290
5.1.1	Ημιταχεία φόρτιση-Μονοφασική AC παροχή.....	290
5.1.2	Ημιταχεία φόρτιση-Τριφασική AC παροχή	290
5.1.3	Ταχεία φόρτιση -DC παροχή	290
5.2	Φόρτιση Ηλεκτρικών Οχημάτων	291
5.2.1	Μέθοδος φόρτισης 1 (Mode 1)	292
5.2.2	Μέθοδος φόρτισης 2 (Mode 2)	292
5.2.3	Μέθοδος φόρτισης 3 (Mode 3)	292
5.2.4	Μέθοδος φόρτισης 4 (Mode 4)	293
5.2.5	Πρότυπα Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας της IEEE.....	295
5.2.5.1	Βασικά Δεδομένα	295
5.3	Μοντελοποίηση και Προσομοίωση Δικτύων 13 ^{ων} ζυγών.....	298
5.4	Αντικειμενική Συνάρτηση και περιορισμοί	299
5.4.1	Γενική παραμετροποίηση φόρτισης	299
5.5	The IEEE 13 Node Test Feeder.....	299
5.6	Μοντελοποίηση και Προσομοίωση Δικτύων 13 ^{ων} ζυγών.....	303
5.6.1	Μοντελοποίηση με Χρήση του MatLab	303
5.6.2	Στοιχεία προγράμματος.....	305
5.7	Βασική αντικειμενική συνάρτηση βελτιστοποίησης ζυγού και περιορισμοί :	314
5.7.1	Θεωρήσεις.....	314
5.7.2	Πίνακας αναλυτικών πληροφοριών των 13 ^{ων} ζυγών :	317
5.8	Προγραμματισμός MatLab :.....	317
5.8.1	Κώδικας	317
	Κατάλογος Πινάκων 5 ^{ου} Κεφαλαίου	319
	Κατάλογος Εικόνων & Σχημάτων 5 ^{ου} Κεφαλαίου.....	319
	Συμπεράσματα	320
	Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές	322
1.	Μελέτες / Άρθρα / Πηγές.....	322
2.	Αναφορές πρότυπο IEEE 2006.....	324
3.	MERGE.....	325
	Παράρτημα Α.....	326
5.9	Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης με την Ανισότητα $x_1 + x_2 \leq 2$	326

Πίνακας 1.1 Ανασκόπηση μεθόδων φόρτισης	46
Πίνακας 1.2 Χαρακτηριστικά των μπαταριών	55
Πίνακας 1.3 Τιμές του μέγιστου και ελάχιστου επιτρεπτού SOC	59
Πίνακας 2.1 Στρατηγικές Φόρτισης	127
Πίνακας 2.2 Δεδομένα για το σύστ παραγ του διασυνδεδεμένου συστήματος	129
Πίνακας 2.3 Ποσοστιαία κατανομή οχημάτων ανά τύπο και ισχύ φόρτισης	137
Πίνακας 2.4 Κατανομή οχημάτων ανά τύπο και διαστημάτων φόρτισης	139
Πίνακας 3.1 Σημεία ενδιαφέροντος με ελάχιστο χρόνο ροής επιλεγμένα ως σταθμοί προκαταρκτικής διευκόλυνσης.	170
Πίνακας 3.2 Οι τιμές EVCC για διαφορετικά σενάρια τρόπου λειτουργίας.	221
Πίνακας 3.3 Οι μελέτες και τα άρθρα του κεφαλαίου 3 περιέχουν τον αναλυτικό κατάλογο πινάκων	223
Πίνακας 4.1 Κατανομή χωρητικότητας μπαταρίας	243
Πίνακας 4.2 Κατανομή χωρητικότητας μπαταρίας με βάση τα δεδομένα	249

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1 Vehicle-to-Grid	31
Εικόνα 1.2 Παγκόσμιος στόλος ηλεκτρικών αυτοκινήτων	33
Εικόνα 1.3 Πλεονεκτήματα της έξυπνης φόρτισης	34
Εικόνα 1.4 Ευρωπαϊκές & Παγκόσμιες εκτιμήσεις παραγωγής Η.Ο.	36
Εικόνα 1.5 Δημόσιοι φορτιστές ανά 100 Km	38 - 41
Εικόνα 1.6 Διάταξη φόρτισης Μεθόδου 1	43
Εικόνα 1.7 Διάταξη φόρτισης Μεθόδου 2	44
Εικόνα 1.8 Διάταξη φόρτισης Μεθόδου 3	45
Εικόνα 1.9 Συσκευή φόρτισης Μεθ. 3	45
Εικόνα 1.10 Παροχικό καλώδιο	49
Εικόνα 1.11 Σχηματική απεικόνιση 3ων Περιπτώσεων	50
Εικόνα 1.12 Θέσεις εξαρτημάτων εξοπλισμού φόρτισης	51
Εικόνα 1.13 Ακροσύνδεσμος και υποδοχή τύπου 1	51
Εικόνα 1.14 Ακροσύνδεσμος και υποδοχή τύπου 2	52
Εικόνα 1.14 Ακροσύνδεσμοι τύπου 3	53
Εικόνα 1.15 Κατανομή χρόνου άφιξης στην οικία	55

Εικόνα 1.16 Κατανομή αρχικού State of Charge κατά την σύνδεση (σε ποσοστό) ...	58
Εικόνα 1.17 Μοντελοποίηση του συστήματος βέλτιστης φόρτισης	59
Εικόνα 1.18 Συνάρτησης βελτιστοποίησης για τρία οχήματα	61
Εικόνα 1.19 Σύνδεση συσκευής φόρτισης στον πίνακα μετρητή	63
Εικόνα 1.20 Απεικόνιση των πρωτοκόλλων επικοινωνίας	67
Εικόνα 1.21 Σύνδεση του ρευματοδότη συσκευής IC-CPD	72
Εικόνα 1.22 Σύνδεση της συσκευής φόρτισης στην υφιστάμενη Η/Εγκατάσταση	76
Εικόνα 1.23 Σύνδεση της συσκευής φόρτισης σε νέα παροχή	76
Εικόνα 1.24 Σύνδεση πολλαπλών συσκευών φόρτισης μέσω υποπίνακα	79
Εικόνα 1.25 Μετατροπή του συστήματος γείωσης από TN-C-S σε TT τοπικά	58
Εικόνα 1.26 Σύνδεση συσκευής φόρτισης 7,4 kVA σε οικιακό πίνακα διανομής	88
Εικόνα 1.27 Σύνδεση συσκευής φόρτισης 2x22 kVA σε νέα παροχή	89
Εικόνα 1.28 Σύνδεση δύο και άνω συσκευών φόρτισης μέσω υποπίνακα	90
Εικόνα 1.29 Σύνδεση συσκευής DC φόρτισης 50 kW σε νέα παροχή	91
Εικόνα 2.1 Αλγόριθμος προσδιορισμού φόρτισης στόλου Ηλεκτρικών Οχημάτων ..	117
Εικόνα 2.2 Σενάρια διείσδυσης Ηλεκτρικών Οχημάτων για την Ελλάδα	119
Εικόνα 2.3 Προφίλ χρονικής στιγμής επιστροφής Η/Ο για την Ελλάδα	119
Εικόνα 2.4 Κατανομή της ώρας επιστροφής Η/Ο	120
Εικόνα 2.5 Μέσο Ευρωπαϊκό προφίλ διανυόμενων αποστάσεων ανά ημέρα	120
Εικόνα 2.6 Αποστάσεις που διανύονται κάθε μέρα	121
Εικόνα 2.7 Ημερήσιο προφίλ ζήτησης ηλεκτρικών οχημάτων	121
Εικόνα 2.8 Προφίλ ζήτησης ηλεκτρικών οχημάτων (Σαβ/ριακο)	121
Εικόνα 2.9 Τροποποιημένη ημερήσια καμπύλη φορτίου	123
Εικόνα 2.10 Ετήσια καμπύλη φορτίου του Ελληνικού συστήματος	123
Εικόνα 2.11 Κριτήριο το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών	124
Εικόνα 2.12 Δυνατότητα φόρτισης στο σπίτι/εργασία (70.000 Η/Ο)	125
Εικόνα 2.13 ελεγχόμενη φόρτιση με διζωνικό τιμολόγιο	126
Εικόνα 2.14 ελεγχόμενη φόρτιση με διζωνικό τιμολόγιο: (α) χειμ και (β) καλοκ ...	126
Εικόνα 2.15 Ημερήσιο προφίλ ζήτησης ηλεκτρικών οχημάτων – μη ελεγχόμενη φόρτιση και ελεγχόμενη φόρτιση μέσω διζωνικού τιμολογίου	127
Εικόνα 2.16 Ημερήσιο προφίλ ζήτησης ηλεκτρικών οχημάτων – ελεγχόμενη φόρτιση “valley-filling”	128
Εικόνα 2.17 Τροποποιημένη ημερήσια καμπύλη φορτίου του Ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας – ελεγχόμενη φόρτιση “valley-filling” (χειμώνας)	128

Εικόνα 2.18 Τροποποιημένη ετήσια καμπύλη φορτίου του Ελληνικού συστήματος –ελεγχόμενη φόρτιση “valley-filling”	129
Εικόνα 2.19 Μείγμα παραγωγής για το διασυνδεδεμένο σύστημα – 2020	130
Εικόνα 2.20 Ετήσιο ειδικό κόστος παραγωγής για το διασυνδεδεμένο σύστημα	131
Εικόνα 2.21 Μεταβολή της ετήσια παραγωγής λιγνιτικών μονάδων συγκριτικά με την περίπτωση χωρίς ηλεκτρικά οχήματα	131
Εικόνα 2.22 Μεταβολή της ετήσια παραγωγής μονάδων συνδυασμένου κύκλου συγκριτικά με την περίπτωση χωρίς ηλεκτρικά οχήματα	132
Εικόνα 2.23 Εκπομπές ρύπων για το Ελληνικό σύστημα παραγωγής	132
Εικόνα 2.24 Ποσοστιαία αύξηση της αιχμής ζήτησης των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας για διαφορετικές Ευρωπαϊκές χώρες.	133
Εικόνα 2.25 Συντελεστής φορτίσεως για διαφορετικές Ευρωπαϊκές χώρες	134
Εικόνα 2.26 Διαχείριση ζήτησης φορτίου και «Payback Effect»	135
Εικόνα 2.27 Αλγόριθμοι day-ahead προγραμματισμού (α) πρόβλεψη ενεργειακών αναγκών (β) Day-Ahead προγραμματισμός ελαχίστου κόστους	136
Εικόνα 2.28 Κατανομή άφιξης ηλεκτρικών οχημάτων στο σπίτι μετά το τελευταίο ημερήσιο ταξίδι	138
Εικόνα 2.29 Ποσοστό οχημάτων που είναι παρκαρισμένα στο σπίτι	139
Εικόνα 2.30 24ωρη χρονοσειρά του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας ανά ώρα	140
Εικόνα 2.31 Ζήτηση οχημάτων, ταξινομημένων με βάση το ελάχιστο κόστος	140
Εικόνα 2.32 Λεπτομερής κατανομή φόρτισης οχημάτων βάσει ισχύος φόρτισης (αλγόριθμος ελαχιστοποίησης κόστους)	141
Εικόνα 2.33 Αλγόριθμος κατανομής φορτίου σε πραγματικό χρόνο	142
Εικόνα 2.34 Αρχιτεκτονική συστήματος αποκεντρωμένου αλγορίθμου (“valley-filling”)	144
Εικόνα 3.1 Πιθανή θέση Σ.Φ.Η.Ο.	170
Εικόνα 3.2 Οι μελέτες και τα άρθρα του κεφαλαίου 3 περιέχουν τον αναλυτικό κατάλογο εικόνων	223
Εικόνα 4.1 Διάγραμμα Κυρίων Μερών ενός Ηλεκτροκίνητου Οχήματος	233
Εικόνα 4.2 Κατανομή πιθανότητας που σχετίζεται με την κατηγορία SOC ενός ηλεκτρικού οχήματος κατά την άφιξη στην περιοχή εξυπηρέτησης. Πραγματική κατανομή πιθανότητας (α) και αθροιστική κατανομή (β).	242
Εικόνα 4.3 Ποιοτική αναπαραγωγή των εισόδων της περιοχής εξυπηρέτησης που διατίθενται από την Google	245
Εικόνα 4.4 Ταξινόμηση των περιοχών εξυπηρέτησης με το εδαφικό πλαίσιο	246
Εικόνα 4.5 Αναμενόμενη μηνιαία κατανάλωση το 2030 για την επαναφόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων σε δύο περιοχές εξυπηρέτησης του δείγματος, τις αστικές a) και τις αγροτικές b)	248

Εικόνα 4.6 Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων των εταιρειών που ανήκουν στο δίκτυο ASPI που αναμένεται το 2030. 250

Εικόνα 4.7 Ισχύς προς εγκατάσταση για την κάλυψη των μεταβαλλόμενων αναγκών των ηλεκτρικών οχημάτων στις εταιρείες που ανήκουν στο δίκτυο ASPI που αναμένεται το 2030. 250

Εικόνα 4.8 Κατανομή της ισχύος διάθεσης μεταξύ των περιοχών εξυπηρέτησης αυτοκινητοδρόμων ASPI που συνοψίζονται σε ένα διάγραμμα. 251

Εικόνα 4.9 Ανώνυμα δεδομένα μηνιαίας μετρούμενης ενέργειας που απαιτείται από σταθμούς ταχείας φόρτισης εγκατεστημένους σε AdS 252

ACOPF	Alternating Current Optimal Power Flow
ACSR	Aluminum Conductor Steel Reinforced
APA	American Psychological Association
AEP	American Electrical Power
A/D	Analog to Digital
BFM	Branch Flow Model
BIM	Branch Injection Model
BCD	Binary Coded Decimal
CF	Control Function
DCOPF	Direct Current Optimal Power Flow
DCLS	Direct Current Level Shift
DFR	Digital Fault Recorder
EMS	Energy Management System
ESA	European Space Agency
LinDistFlow	Linearized Distribution Flow
GPS	Global Positioning System
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IRIG	Inter Range Instrumentation Group
MLE	Maximum Likelihood Estimation
PTI	Power Technologies Incorporated
OPF	Optimal Power Flow
SAA	Sample Average Approximation
SOPF	Stochastic Optimal Power Flow
StochLinDistFlow	Stochastic Linearized Distribution Flow
ΑΔΜΗΕ	Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΔΕΔΔΗΕ	Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΕΥΤ	Εξαιρετικά Υψηλές Τάσεις
ΜΔΠ	Μονάδες Διεσπαρμένης Παραγωγής
ΡΑΕ	Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
ΣΗΕ	Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΥΤ	Υψηλές Τάσεις
ΥΥΤ	Υπερυψηλές Τάσεις

.....

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα συμβατικά οχήματα με μηχανές εσωτερικής καύσης ανεφοδιάζονται με υγρά καύσιμα σε ειδικούς σταθμούς ανεφοδιασμού. Κατ' αντιστοιχία, για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων απαιτείται η διασύνδεση τους στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μέσω υποδομών φόρτισης. Η μεγάλη έκταση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας προσφέρει πολλές επιλογές δυναμικών θέσεων εγκατάστασης υποδομών φόρτισης. Οι τοποθεσίες στις οποίες αναμένεται να εγκατασταθούν οι σταθμοί φόρτισης κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- ✓ **Ιδιωτική περιοχή – επιτρέπεται η πρόσβαση μόνο σε ιδιώτες:**
 - **Ιδιωτικοί χώροι στάθμευσης στην οικία:** Δεν απαιτείται κάποιο επιπλέον κόστος ή εγκατάσταση για απλή φόρτιση, από τη στιγμή που υπάρχει παροχή ρεύματος με προστασία γείωσης.
 - **Ιδιωτικοί χώροι στάθμευσης που μοιράζονται από περισσότερους του ενός κατοίκους:** Στην περίπτωση αυτή είναι δυνατή η εγκατάσταση σταθμού φόρτισης που θα αναγνωρίζει ποιος από τους χρήστες φορτίζει το αυτοκίνητό του, ώστε το κόστος φόρτισης να επιβαρύνει μόνο αυτόν.
 - **Εταιρίες με ηλεκτρικά οχήματα προς ενοικίαση:** Οι εταιρίες αυτές πιθανώς να χρειαστούν φορτιστές επιπέδου 2 ή ακόμα και γρήγορους φορτιστές επιπέδου 3, ενώ το κόστος για τη φόρτιση θα επιβαρύνει την ίδια την εταιρία.
- ✓ **Ιδιωτική περιοχή – επιτρέπεται η δημόσια πρόσβαση:**
 - **Μεγάλοι χώροι στάθμευσης, όπου τα οχήματα αναμένεται να είναι σταθμευμένα για σχετικά μακρύ χρονικό διάστημα (2-3 ώρες, π.χ. εμπορικά καταστήματα, κινηματογράφοι) ή σύντομο χρόνο (πχ. εστιατόρια γρήγορου φαγητού ή σουπερμάρκετ.**
 - **Χώροι εργασίας (π.χ. ο χώρος στάθμευσης για τους υπαλλήλους σε μία εταιρία):** Πολλές εταιρίες εξετάζουν τον αντίκτυπο που θα είχε η εγκατάσταση σταθμών φόρτισης για τους εργαζόμενους σε αυτές, αφού η φόρτιση κατά τη διάρκεια της εργασίας σχεδόν αυξάνει την ημερήσια απόσταση που είναι δυνατό να διανύσει ένα ηλεκτρικό όχημα.
 - **Κατάλληλα διαμορφωμένοι χώροι ειδικά για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων:** Οι οδηγοί πιθανότητα να επιθυμούν χρόνους φόρτισης αντίστοιχους με αυτούς των συμβατικών πρατηρίων υγρών καυσίμων. Ωστόσο, επειδή η γρήγορη φόρτιση έχει κάποιους περιορισμούς λόγω υπερθέρμανσης της μπαταρίας, αναπτύχθηκε ένας πρότυπος σταθμός φόρτισης για αντικατάσταση της αφόρτιστης μπαταρίας με φορτισμένη σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα (BetterPlace). Το κόστος επένδυσης ενός τέτοιου σταθμού φόρτισης καθώς και τα προβλήματα διαλειτουργικότητας που υπήρχαν καθιστά τη λύση αυτή μη βιώσιμη.
- ✓ **Δημόσια περιοχή - επιτρέπεται η δημόσια πρόσβαση:**
 - **Σταθμοί φόρτισης (κυρίως Επιπέδου 2) που είναι εγκατεστημένοι σε δημόσιους δρόμους και εξυπηρετούν οδηγούς ηλεκτρικών οχημάτων που ζουν σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπου δεν υπάρχουν οικιακά γκαράζ.**
 - **Υποδομές ταχείας φόρτισης αναμένεται να εγκατασταθούν σε δρόμους ταχείας κυκλοφορίας ώστε να αυξήσουν την αυτονομία των οχημάτων και να καταστήσουν δυνατή τη μετακίνηση τους για μεγάλες αποστάσεις. Οι σταθμοί προβλέπεται να εγκατασταθούν ανά 80 περίπου χιλιόμετρα σε δρόμους ταχείας κυκλοφορίας και πρέπει να απέχουν λιγότερο από 1,5 χιλιόμετρο από τις αντίστοιχες εξόδους.**

Η ομαλή ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί την ανάπτυξη νέων ενεργειακών παραγόντων, οι οποίοι αναφέρονται στη συνέχεια:

- ✓ **Ιδιοκτήτης Ηλεκτρικού Οχήματος:**

Ο νέος αυτός παράγοντας θα έχει στην κατοχή του ένα ηλεκτρικό όχημα, με την απαίτηση το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας του σε καθημερινή βάση να επαρκεί για την κάλυψη των μετακινήσεων του.

✓ Ιδιοκτήτες Συσσωρευτών:

Ο συσσωρευτής ευθύνεται για το υψηλό κόστος των ηλεκτρικών οχημάτων, κόστος το οποίο αποτελεί τροχοπέδη για την ευρεία διάδοση των οχημάτων αυτών, ιδιαίτερα μάλιστα αν ληφθεί υπόψη και η μικρή διάρκεια ζωής τους. Στην προσπάθεια να παρακαμφθεί το συγκεκριμένο εμπόδιο, είναι πιθανό να αναπτυχθούν νέα επιχειρηματικά μοντέλα με διάφορες δομές ιδιοκτησίας και παράγοντες οι οποίοι θα αναλάβουν το ρίσκο της κατοχής, εγγύησης και ελέγχου της λειτουργίας των μπαταριών, ώστε να διαχωριστεί το κόστος της μπαταρίας από το κόστος του οχήματος. Έτσι ο μελλοντικός ιδιοκτήτης ηλεκτρικού οχήματος θα μπορεί να αγοράζει το ηλεκτρικό όχημα άνευ μπαταρίας, την οποία στη συνέχεια θα μπορεί να προμηθεύεται υπό τη μορφή ενοικίασης (battery leasing). Κάτι αντίστοιχο έχει εφαρμοστεί στη Γαλλία από την αυτοκινητοβιομηχανία Renault για το μοντέλο Zoe. Σε ένα μελλοντικό και πιο φιλόδοξο πλάνο, οι μπαταρίες των οχημάτων θα μπορούν να αξιοποιηθούν για να υποστηρίξουν το ηλεκτρικό δίκτυο προσφέροντας επικουρικές υπηρεσίες σε αυτό.

✓ Διαχειριστής του Σημείου Φόρτισης:

Ο ρόλος του συγκεκριμένου παράγοντα θα είναι διπλός: α) ως τελικός πελάτης μπορεί να αγοράζει την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για να φορτίσει το ηλεκτρικό όχημα που έχει στη κατοχή του ή β) ως ένα νέο επιχειρηματικό μοντέλο μπορεί να προμηθεύεται από την αγορά ένα ποσό ενέργειας, το οποίο μπορεί να μεταπουλά, μέσω διμερών συμβολαίων, σε άλλους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων που συνδέονται σε έναν σταθμό φόρτισης.

✓ Ιδιοκτήτες των Υποδομών Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων:

Ο παράγοντας αυτός είναι παρόμοιος με τον διαχειριστή σημείου φόρτισης, με τη διαφορά ότι δεν παρέχει υπηρεσίες φόρτισης και διαχείρισης των ενεργειακών αναγκών. Στην περίπτωση ιδιωτικής περιουσίας, η εγκατάσταση της υποδομής φόρτισης θεωρείται ότι πραγματοποιείται από τον ιδιοκτήτη της συγκεκριμένης περιουσίας, ο οποίος μπορεί να αναθέσει σε έναν διαχειριστή σημείου φόρτισης, με σύμβαση υπεργολαβίας, τη διαχείριση και παροχή υπηρεσιών φόρτισης. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι ο υπεύθυνος μίας εγκατάστασης εμπορικών κτιρίων, όπου η στάθμευση δεν είναι η κύρια λειτουργία της κατασκευής.

✓ Προμηθευτής-Συναθροιστής Ηλεκτρικής Ενέργειας Ηλεκτρικών Οχημάτων:

Είναι υπεύθυνος για την προμήθεια της ενέργειας από την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και τη μεταπώληση της στους ιδιοκτήτες των ηλεκτρικών οχημάτων, με διμερή σύμβαση που παρέχει πρόσβαση σε συγκεκριμένα σημεία φόρτισης. Η καινοτομία του συγκεκριμένου παράγοντα είναι ότι παρέχει στους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων τη δυνατότητα φόρτισης των οχημάτων τους σε διαφορετικά σημεία σύνδεσης, γεωγραφικώς ανεξάρτητα μεταξύ τους. Οι προμηθευτές ηλεκτρικών οχημάτων λειτουργούν ως λιανοπωλητές. Επομένως, η επιχείρησή τους πρέπει να ορίζεται ως ανταγωνιστική δραστηριότητα, αποδεδειγμένη από άλλες λειτουργίες του συστήματος ηλεκτρικής ισχύος. Οι προμηθευτές επιδιώκουν τη σύναψη όσο το δυνατόν μεγαλύτερου αριθμού συμβάσεων με ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων, γεγονός που θα τους δώσει μελλοντικά τη δυνατότητα για παροχή επικουρικών υπηρεσιών (V2G λειτουργία) στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

✓ Πάροχος Τεχνολογίας Μετάδοσης Πληροφοριών για Ηλεκτρικά Οχήματα:

Η ελεγχόμενη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων απαιτεί την ανταλλαγή σημαντικής ποσότητας πληροφοριών, ενισχύοντας την αλληλεπίδραση μεταξύ των εμπλεκόμενων παικτών. Το γεγονός αυτό δίνει την ευκαιρία σε εταιρείες που είναι εξειδικευμένες σε τεχνολογίες μεταβίβασης πληροφοριών να εμπορευτούν την τεχνογνωσία τους. Ως εκ τούτου, τέτοιου είδους εταιρείες αποτελούν τον

σύνδεσμο μεταξύ ενεργειακών παραγόντων, παρέχοντας αξιόπιστη και ασφαλή μεταφορά πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο. Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελούν οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών, οι οποίες μάλιστα μπορούν να αξιοποιήσουν και τις ήδη υπάρχουσες τηλεπικοινωνιακές υποδομές τους. Η κατοχή και η διαχείριση μια τέτοιας πληροφορίας υπόκεινται στα νομικά πλαίσια των ευαίσθητων προσωπικών δεδομένων και ως εκ τούτου απαιτείται αυστηρό ρυθμιστικό πλαίσιο για την παροχή τέτοιων υπηρεσιών.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Για την εξυπηρέτηση των κοινωνικών αναγκών, ένα δίκτυο διανομής στο οποίο πρόκειται να εγκατασταθούν σταθμοί ταχείας φόρτισης χωρίζεται σε ζώνες εξυπηρέτησης ανάλογα με τον πληθυσμό και την κινητικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων.

Οι ζώνες εξυπηρέτησης έχουν σκοπό την προσανατολισμένη εξυπηρέτηση ενός αριθμού χρηστών ηλεκτρικών οχημάτων που κατοικούν γύρω από την ζώνη αυτή, χωρίς αυτό να αποκλείει και τη χρήση τους από ουδέτερους χρήστες ηλεκτρικών οχημάτων. Ο αριθμός των σταθμών ταχείας φόρτισης εξαρτάται από τον προβλεπόμενο αριθμό εξυπηρετούμενων ηλεκτρικών οχημάτων.

Αφού ορισθούν οι ζώνες εξυπηρέτησης, στη συνέχεια η επιλογή του ζυγού σύνδεσης στο δίκτυο γίνεται με τεχνικά κριτήρια. Σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση της επιβάρυνσης των δικτύων διανομής από την ενσωμάτωση σταθμών ταχείας φόρτισης στα ηλεκτρικά δίκτυα.

Τα κριτήρια επιλογής του ζυγού επιλέχθηκαν για την παρούσα ανάλυση να είναι η διακύμανση της τάσης και οι απώλειες του δικτύου. Τέλος, θα πρέπει να διασφαλίζεται ότι η ομαλή λειτουργία του δικτύου δεν διαταράσσεται από το επιπρόσθετο φορτίο όσον αφορά τα θερμικά όρια των γραμμών και τα όρια της τάσης.

Ο σκοπός είναι, με την τοποθέτηση των σταθμών, να έχει το δίκτυο τις ελάχιστες δυνατές απώλειες ενεργού ισχύος και τις ελάχιστες δυνατές μεταβολές στην τάση. Επομένως, επιχειρείται η ελαχιστοποίηση του λόγου των απωλειών ενεργού ισχύος μετά την τοποθέτηση των σταθμών προς τις αντίστοιχες απώλειες πριν την τοποθέτησή τους, καθώς και η ελαχιστοποίηση του λόγου της απόκλισης της τάσης των ζυγών του δικτύου από μια τάση αναφοράς μετά, προς την απόκλιση της τάσης των ζυγών από την τάση αναφοράς πριν την τοποθέτησή. Η τάση αναφοράς ορίζεται ως η τάση του ζυγού αναφοράς. Επομένως με τον τρόπο αυτό, οι τάσεις των ζυγών του συστήματος προσεγγίζουν την τάση του ζυγού αναφοράς, με αποτέλεσμα τη μείωση της πτώσης τάσης κατά μήκος των γραμμών του δικτύου. Με βάση τα παραπάνω, διαμορφώνεται μια αντικειμενική συνάρτηση ένας βασικός αλγόριθμος επίλυσης.

Σκοπός και στόχοι

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι, η εύρεση της βέλτιστης θέσης εγκατάστασης των Σταθμών Φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων σε ένα δίκτυο διανομής με βάση τεχνικά κριτήρια. Η εύρεση αυτών των βέλτιστων θέσεων, επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης ενός ζητούμενου Γενετικού Αλγορίθμου (ΓΑ) σε συνδυασμό με τη Ροή Φορτίου (ΡΦ) και τη Βέλτιστη Ροή Φορτίου (ΒΡΦ). Πιο συγκεκριμένα, μέσω της βέλτιστης τοποθέτησης των Σταθμών Φόρτισης στο δίκτυο επιδιώκεται η ελαχιστοποίηση των απωλειών ενεργού ισχύος και η βελτίωση του προφίλ τάσης. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, υλοποιήθηκε ο ζητούμενος αλγόριθμος σε περιβάλλον MATLAB, που επιλύει τα εν λόγω προβλήματα χρησιμοποιώντας και κάποια στοιχεία από το λογισμικό πακέτο MATPOWER το οποίο είναι λογισμικό σε MATLAB και υπολογίζει Ροές Φορτίου και Βέλτιστες Ροές Φορτίου καθώς και με τη βοήθεια του πακέτου της Octave.

Μεθοδολογία

Στην παρούσα εργασία υλοποιήθηκε ο ευρεθείς αλγόριθμος σε περιβάλλον MATLAB για τον υπολογισμό της βέλτιστης θέσης και βέλτιστου μεγέθους μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, χρησιμοποιώντας και κάποια στοιχεία από το λογισμικό πακέτο MATPOWER, το οποίο είναι λογισμικό σε MATLAB και υπολογίζει ροές φορτίου και βέλτιστες ροές φορτίου. Ακόμα αναπτύχθηκε γραφικό περιβάλλον (GUI) για την καλύτερη και πιο εύχρηστη εφαρμογή του προγράμματος. Με βάση τον αλγόριθμο του γενετικού αλγόριθμου, δημιουργείται ένας αρχικός πληθυσμός από χρωμοσώματα, κάθε γονίδιο των οποίων αντιπροσωπεύει ένα ζυγό τοποθέτησης της μονάδας διεσπαρμένης παραγωγής. Για κάθε ένα από αυτά τα χρωμοσώματα εκτελείται μια βέλτιστη ροή φορτίου με τη βοήθεια του MATPOWER και έτσι υπολογίζεται η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης του καθενός. Στην συνέχεια ο πληθυσμός ταξινομείται με βάση την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης (αλγόριθμος) και κρατιούνται μόνο τα καλύτερα χρωμοσώματα, ενώ τα υπόλοιπα διαγράφονται. Στην συνέχεια, έπειτα από διασταύρωση του πληθυσμού και μετάλλαξη του, προκύπτει μια νέα γενιά με πιο βελτιωμένα χρωμοσώματα. Η επαναληπτική αυτή διαδικασία συνεχίζεται έως ότου οι γενιές φτάσουν έναν μέγιστο αριθμό, ή όταν η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης του καλύτερου χρωμοσώματος αποτύχει να βελτιωθεί περαιτέρω από μια καθορισμένη τιμή για ένα καθορισμένο αριθμό γενιών. Έτσι με αυτόν τον τρόπο προκύπτει η βέλτιστη λύση, δηλαδή οι βέλτιστοι ζυγοί τοποθέτησης των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, καθώς και η αντίστοιχη ονομαστική ισχύς τους.

Ο αλγόριθμος που υλοποιήθηκε εφαρμόστηκε σε ένα δίκτυο 6 ζυγών, τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται σε αυτή την εργασία και εξάγονται τα αντίστοιχα συμπεράσματα.

Καινοτομία

Με την εργασία αυτή γίνεται ουσιαστικά προσπάθεια δημιουργίας μιας μεθοδολογίας σχεδιασμού και ανάπτυξης των υποδομών φόρτισης (επιλογή βέλτιστης θέσης) οι οποίοι θα αποτελούν στο μέλλον αναπόσπαστο κομμάτι του αστικού περιβάλλοντος. Επί πλέον γίνεται αναφορά σε μεθόδους επίλυσης του εν θέματι προβλήματος από την διεθνή ερευνητική βιβλιοθήκη μέχρι σήμερα. Έτσι θα επιλεγεί η κατάλληλη μεθοδολογία και θα βελτιωθεί ώστε να γίνει η εφαρμογή της στο θέμα της διπλωματικής εργασίας μου.

Δομή

Στο κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται μια γενική εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και στην είσοδο των EVs σε αυτά.

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται ανάλυση στις κατηγορίες ηλεκτροκίνητων οχημάτων και σταθμοί φόρτισης (γενική υποδομή) .

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται, το πρόβλημα βέλτιστης τοποθέτησης υποσταθμών, καθώς και βιβλιογραφική ανασκόπηση με την ερευνητική δραστηριότητα 52 άρθρων για την ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται, η προσέγγιση στο πρόβλημα βέλτιστης θέσης του σταθμού φόρτισης, με αναφορά στη ροή ισχύος και στην μαθηματική περιγραφή του θέματος.

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται η ανάλυση του κεντρικού θέματος που είναι η αντικειμενική συνάρτηση και οι περιορισμοί αυτής σε σταθμό με 13 ζυγούς (IEEE 13 Node Test Feeder).

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας – Ηλεκτρικά Οχήματα (EVs).

Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από το σύνολο των εγκαταστάσεων και μέσων που χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε εξυπηρετούμενες περιοχές κατανάλωσης. Για να λειτουργεί σωστά ένα ΣΗΕ θα πρέπει να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια όπου υπάρχει ζήτηση με το ελάχιστο δυνατό κόστος, χωρίς να έχει μεγάλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, εξασφαλίζοντας σταθερή τάση και αξιοπιστία τροφοδότησης. Έτσι δηλαδή θα πρέπει η παραγωγή ενέργειας να είναι ανά πάσα στιγμή ίση με την ζήτησή της.

1.1 Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ)

Η λειτουργία των ΣΗΕ γίνεται σε τρεις φάσεις. Αρχικά την παραγωγή ενέργειας, στη συνέχεια την μεταφορά και σαφώς, την διανομή της. Από την στιγμή που η ενέργεια παράγεται μέχρι την στιγμή που αυτή θα καταναλωθεί βρίσκεται σε μία συνεχή ροή. Σαφώς αναπτύσσονται συνεχώς τεχνολογίες αποθήκευσής της αλλά προς το παρόν δεν γίνεται να αποθηκευτεί η ενέργεια αποδοτικά. Έτσι η ενέργεια που καταναλώνεται πρέπει να παράγεται την ίδια στιγμή.

Η παραγωγή ενέργειας γίνεται στους σταθμούς παραγωγής. Αυτοί οι σταθμοί παραγωγής έχουν πολλούς τύπους. Οι θερμικοί σταθμοί παραγωγής μετατρέπουν την θερμική ενέργεια των ορυκτών καυσίμων όπως ο άνθρακας ή το φυσικό αέριο σε ηλεκτρική ενέργεια. Αντίστοιχα οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί εκμεταλλεύονται την μηχανική ενέργεια των υδάτινων ροών και υδατοπτώσεων για την μετατροπή της σε ηλεκτρική. Υπάρχουν και σταθμοί παραγωγής που προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπου εκμεταλλεύονται την ακτινοβολία του ήλιου, την μηχανική ενέργεια των ανέμων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η μεταφορά της ενέργειας από τα εργοστάσια παραγωγής στις περιοχές κατανάλωσης γίνεται μέσω γραμμών υψηλής τάσης (150-400kV). Αυτές μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια σε κομβικά σημεία του δικτύου, τους υποσταθμούς.

Από τους υποσταθμούς ξεκινούν τα δίκτυα διανομής μέσης τάσης που διανέμουν την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές. Αυτό γίνεται διαμέσου των υποσταθμών διανομής και γραμμών χαμηλής τάσης (400-220V). (Εικόνα 1.1)

Η δομή του ΣΗΕ μεταβάλλεται ανάλογα με το μέγεθος της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, την χρονική μεταβολή της κατά την διάρκεια του 24ώρου και τη χωροταξική κατανομή. Ωστόσο όλα τα ΣΗΕ έχουν μεταξύ τους πολλά κοινά χαρακτηριστικά. Τα χρησιμοποιούμενα συστήματα είναι τριφασικά, εναλλασσόμενου ρεύματος (AC), συχνότητας 50 ή 60Hz. Σε μερικές ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και συστήματα συνεχούς ρεύματος (DC) για μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας. Οι γραμμές μεταφοράς και διανομής μέσης τάσης έχουν τρεις αγωγούς φάσεων, ενώ αυτές χαμηλής τάσης έχουν έναν επιπλέον, ουδέτερο αγωγό. Στις γραμμές διανομής χαμηλής τάσης υπάρχουν και μονοφασικές, δύο αγωγών.

Με τον όρο μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας ορίζεται το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου των εγκαταστάσεων και μέσων που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από την έξοδο των σταθμών παραγωγής μέχρι τους υποσταθμούς, που τροφοδοτούν τα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης και απ' όπου ξεκινούν τα δίκτυα διανομής (Φ. Κανέλλος, 2012). Ένα σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας περιέχει:

- Δίκτυα υψηλής τάσης
- Υποσταθμούς ζεύξης των δικτύων υψηλής τάσης
- Υποσταθμούς μετασχηματισμού μεταξύ των διάφορων επίπεδων τάσεων που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο

Το σύστημα μεταφοράς πρέπει να παρέχει σταθερή τάση και οι τάσεις των τριών φάσεων να είναι συμμετρικές, η συχνότητα να είναι σταθερή ώστε να μεταφέρεται αποδοτικά η ενέργεια χωρίς να επηρεάζονται από παρεμβολές οι εγκαταστάσεις άλλων επιχειρήσεων όπως τηλεφωνικές ή ραδιοφωνικές.

Με τον όρο διανομή ηλεκτρικής ενέργειας ορίζεται το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου με τις οποίες η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στους καταναλωτές. Τα δίκτυα διανομής περιλαμβάνουν :

- Τις γραμμές διανομής, μέσω των οποίων η ηλεκτρική ισχύς φτάνει ως τους καταναλωτές.
- Τους υποσταθμούς (διανομής) υποβιβασμού της τάσης, οι οποίοι συνδέουν το σύστημα διανομής με το σύστημα μεταφοράς
- Το σύστημα διανομής χαμηλής τάσης

Τα δίκτυα διανομής φτάνουν μέχρι το μετρητή της παρεχόμενης στον καταναλωτή ενέργειας. Μετά τον μετρητή αρχίζει η εσωτερική ηλεκτρική εγκατάσταση, που περιλαμβάνει το εσωτερικό δίκτυο διανομής και τις συσκευές κατανάλωσης. Τα τελευταία χρόνια, ο όρος σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει τα δίκτυα διανομής και τις εσωτερικές εγκαταστάσεις, δηλαδή καλύπτει όλη τη δραστηριότητα της διανομής και χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας. Βέβαια δεν είναι πάντα ξεκάθαρη η διαφορά μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Καθώς εξελίσσεται η τεχνολογία και οι καταναλωτές χρειάζονται όλο και περισσότερη ενέργεια, η χρησιμοποιούμενη τάση για διανομή ανεβαίνει όπως και για την μεταφορά.

Τα χαρακτηριστικά δόμησης και χωροταξίας των πόλεων επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τον σχεδιασμό των δικτύων διανομής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να προκαλεί διαφορές στους γενικούς κανόνες που τηρεί η κάθε χώρα για τα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα δίκτυα διανομής διακρίνονται σε δίκτυα υψηλής (60-150kV), μέσης (1-60kV) και χαμηλής τάσης (100-1000V) (πολικές τάσεις τριφασικού συστήματος). Επίσης τα δίκτυα διανομής διαχωρίζονται και στον τρόπο κατασκευής σε εναέρια και υπόγεια. Σαφώς τα εναέρια δίκτυα είναι πιο οικονομικά στην κατασκευή τους και είναι πιο εύκολο να επισκευασθούν σε περίπτωση προβλήματος. Ωστόσο σε πυκνοκατοικημένες περιοχές προτιμώνται τα υπόγεια δίκτυα διανομής αφενός γιατί δεν υπάρχει πάντα ο απαιτούμενος χώρος ώστε να τηρούνται οι αποστάσεις ασφαλείας από τα κτήρια, αφετέρου για λόγους αισθητικής.

Για να αναλυθεί η ροή ισχύος ενός φορτίου θα πρέπει να υπολογισθεί:

- Η τάση κατά μέτρο και γωνία σε κάθε ζυγό του συστήματος
- Το μέτρο και η γωνία των ροών ενεργού ισχύος στις γραμμές του συστήματος
- Το μέτρο και η γωνία των ροών άεργου ισχύος στις γραμμές του συστήματος
- για ένα συγκεκριμένο σημείο λειτουργίας. Αυτό το σημείο σχετίζεται με τις τάσεις των γεννητριών, την παραγωγή ενεργού ισχύος και την κατανάλωση φορτίου. Οι μελέτες ροών φορτίου είναι εξαιρετικά σημαντικές για πολλούς λόγους μερικοί εκ των οποίων περιγράφονται παρακάτω:
 - Για τον έλεγχο των τάσεων και ροών, ώστε να διατηρούνται εντός προκαθορισμένων ορίων λειτουργίας (πχ. Θερμικά όρια γραμμών)
 - Για την μελέτη επιπτώσεων ενδεχόμενων διαταραχών (πχ. Απώλεια γραμμής, γεννήτριας κτλ.)
 - Για την επιλογή της πλέον οικονομικής λειτουργίας των γεννητριών του συστήματος. Επειδή τα φορτία είναι δυναμικά και μεταβάλλονται μέσα στην μέρα, χρειάζεται συνεχώς ο υπολογισμός της παραγόμενης ισχύος κάθε γεννήτριας ώστε τα φορτία να τροφοδοτούνται όσο το δυνατόν πιο οικονομικά.

- Για μελέτες ανάπτυξης και επέκτασης του συστήματος παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Προκειμένου να γίνει μια ολοκληρωμένη μελέτη ενός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας άρα, απαιτείται η ανάλυση των ροών φορτίου πρώτα. Γεγονός που καθιστά απαραίτητη την χρήση εργαλείων-λογισμικών υπολογισμού ροής ισχύος σε ΣΗΕ.

Οι ζυγοί ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες:

- Ζυγός ταλάντωσης ή ζυγός αναφοράς: Ο ζυγός του συστήματος για τον οποίο η πραγματική και άεργος ισχύς αφήνονται ελεύθερες και στον οποίο το μέτρο τάσης και η φασική γωνία θεωρούνται γνωστά. Συνήθως ορίζουμε $\delta=0$ για τον ζυγό ταλάντωσης. Ο ζυγός αυτός πρέπει να έχει την δυνατότητα παραγωγής ενεργού και άεργου ισχύος P και Q.
- Ζυγός φορτίου ή ζυγός PQ: Οποιοσδήποτε ζυγός για τον οποίο η έγχυση πραγματικής ισχύος (P) και άεργου ισχύος (Q) θεωρούνται γνωστές. Προφανώς σε ενδιάμεσο ζυγό διασύνδεσης όπου δεν υπάρχει συνδεδεμένο φορτίο ούτε γεννήτρια, οι εγχύσεις P και Q είναι μηδενικές, άρα πρόκειται για ζυγό PQ.
- Ζυγός παραγωγής ή ζυγός PV: Οποιοδήποτε ζυγός, για τον οποίο η έγχυση πραγματικής ισχύος (P) και το μέτρο της τάσης (V) θεωρούνται γνωστά. Ο ζυγός θα πρέπει να έχει την δυνατότητα να παράγει άεργη ισχύ (Q).

θα παρουσιασθεί η προσομοίωση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας με έξι ζυγούς: Εικόνα 1.2

Με δεδομένο ότι τα ηλεκτρικά οχήματα και οι υποδομές που απαιτούνται για την ορθή λειτουργία τους διαδραματίζουν και θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στο μέλλον, ένα μέρος της μελέτης που γίνεται σήμερα αφορά το θέμα αυτό. Η παρούσα εργασία απασχολείται με τις υποδομές που είναι απαραίτητες για την υποστήριξη χρήσης των ηλεκτρικών οχημάτων. Συγκεκριμένα διερευνά την επιλογή του σημείου εγκατάστασης σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων σε σχέση με την δυναμική των σταθμών ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχονται από τον διαχειριστή (ΔΕΔΔΗΕ). Αξιοποιώντας, στο βαθμό που ήταν εφικτό, την μέχρι τώρα έρευνα έγινε προσπάθεια να δημιουργηθεί ένα πλαίσιο αξιολόγησης πιθανών μεθοδολογιών για την επιλογή των χώρων εγκατάστασης έτσι ώστε τελικά να καταλήξει η μελέτη στη καλύτερη δυνατή ανάπτυξη του δικτύου φόρτισης προκειμένου να ικανοποιήσει τις ανάγκες των χρηστών. Αξιολογούνται οι παράγοντες (παράμετροι / βάρη) που λειτουργούν θετικά ή αρνητικά για την εγκατάσταση ενός σταθμού σε επιλεγμένο σημείο του διαθέσιμου ηλεκτρικού χώρου κάθε ένα από τα τμήματα (ζυγούς) και το πόσο σημαντικός είναι ο καθένας από αυτούς για το τμήμα.

1.2 Εισαγωγή στην ηλεκτροκίνηση

1.2.1 Τεχνολογίες Ηλεκτρικών Οχημάτων

Τα ηλεκτρικά οχήματα διαχωρίζονται, ανάλογα με την τεχνολογία τους, στις εξής κατηγορίες:

Ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας (Battery Electric Vehicles - BEV)

Η χημική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στη μπαταρία που είναι εγκατεστημένη στο όχημα χρησιμοποιείται για την κίνηση ενός ή περισσότερων ηλεκτρικών κινητήρων. Η αυτονομία οδήγησης, χωρίς ενδιάμεση φόρτιση, είναι περιορισμένη (περίπου 150km κατά μέσο όρο). Το κόστος για τη φόρτιση της μπαταρίας τους και, συνεπώς, το λειτουργικό κόστος τους, είναι ιδιαίτερα χαμηλό συγκριτικά με το αντίστοιχο των συμβατικών οχημάτων. Οι άμεσες εκπομπές ρύπων από τα ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας είναι μηδενικές. Ενδεικτικά παραδείγματα οχημάτων αυτής της

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ κατηγορίας είναι τα: Smart-for-Two, Tesla Roadster, Nissan Leaf, i-MiEV, BMW i3, Renault Zoe, κτλ.

Ηλεκτρικά οχήματα αυξημένης αυτονομίας (Extended Range Electric Vehicles - EREV)

Τα οχήματα της κατηγορίας αυτής διαθέτουν μηχανή εσωτερικής καύσης και ηλεκτρικό κινητήρα. Ωστόσο, η κίνηση του οχήματος στηρίζεται αποκλειστικά στον ηλεκτρικό κινητήρα. Η μηχανή εσωτερικής καύσης χρησιμοποιείται μόνο για την κίνηση μιας γεννήτριας που σκοπό έχει την φόρτιση της κύριας μπαταρίας του ηλεκτρικού οχήματος. Η βασική και πλήρης φόρτιση της μπαταρίας πραγματοποιείται με την διασύνδεση του οχήματος στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Η τεχνολογία αυτή δίνει τη δυνατότητα αύξησης της αυτονομίας οδήγησης (>300km) εν συγκρίσει με τα καθαρά ηλεκτρικά οχήματα BEV. Ενδεικτικά παραδείγματα οχημάτων αυτής της κατηγορίας είναι: Opel Ampera, Chevrolet Volt, Fisker Karma, Renault Kangoo, κτλ.

Plug-in Υβριδικά Οχήματα (PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicles)

Τα οχήματα της κατηγορίας αυτής, όπως και τα EREV, διαθέτουν δύο τύπους κινητήρων: ένα ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος τροφοδοτείται από μια μπαταρία παρέχοντας αυτονομία οδήγησης μερικών δεκάδων χιλιομέτρων, και έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων: παράλληλης σύνδεσης όπου η μηχανή εσωτερικής καύσης και ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι συνδεδεμένα στο μηχανικό σύστημα μετάδοσης της κίνησης, εν σειράς σύνδεσης όπου μόνο ο ηλεκτρικός κινητήρας δίνει την κίνηση στους τροχούς, ενώ η μηχανή εσωτερικής καύσης χρησιμοποιείται για να φορτίζει τη μπαταρία ή να παρέχει ισχύ στο ηλεκτρικό κινητήρα και *μεικτού τύπου* όπου συνδυάζονται η παράλληλη και η εν σειρά σύνδεση¹. Ενδεικτικά παραδείγματα οχημάτων αυτής της κατηγορίας είναι : Chevrolet Volt PHEV, Saturn VUE PHEV, Kia LPGand electric Hybrid, κτλ.

1.2.2 Κλάσεις Ηλεκτρικών Οχημάτων

Όλα τα οχήματα, ανάλογα με τον αριθμό των τροχών που διαθέτουν και τη χρήση τους, κατατάσσονται (σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία) σε διάφορες κατηγορίες [1]. Αντίστοιχη κατηγοριοποίηση υιοθετείται και για τα ηλεκτρικά οχήματα [2]:

L2e: Δίκυκλα οχήματα με μία μέγιστη ταχύτητα που δεν ξεπερνά τα 45 km/h και κινητήρα με ισχύ μικρότερη από 4KW.

L3e: Δίκυκλα οχήματα με ταχύτητα μεγαλύτερη των 45 km/h.

L6e: Οχήματα τεσσάρων τροχών με βάρος χωρίς φορτίο όχι μεγαλύτερο από 350kg (το βάρος της μπαταρίας δε συμπεριλαμβάνεται). Η μέγιστη ταχύτητα των οχημάτων αυτών είναι 45 km/h, ενώ η ισχύς του κινητήρα δεν ξεπερνά τα 4KW.

L7e: Οχήματα τεσσάρων τροχών με μέγιστο βάρος χωρίς φορτίο, το οποίο δεν περιλαμβάνει και το βάρος της μπαταρίας, 400kg (550kg για οχήματα που προορίζονται να μεταφέρουν εμπορεύματα). Η μέγιστη ισχύς του κινητήρα είναι 15KW.

M1: Επιβατικά οχήματα τεσσάρων τροχών με το πολύ 8 θέσεις συν τη θέση του οδηγού. Τα οχήματα της κλάσης αυτής αναμένεται να είναι τα κυρίαρχα στην αγορά ηλεκτρικών οχημάτων.

M2,M3: Μεγαλύτερα επιβατικά οχήματα με βάρος ίσο ή μεγαλύτερο από 5 τόνους (M2 και M3 αντίστοιχα) τεσσάρων τροχών, με το πολύ 8 θέσεις συν τη θέση του οδηγού.

N1: Οχήματα για τη μεταφορά αγαθών με βάρος χωρίς φορτίο που δεν ξεπερνά τους 3,5 τόνους.

N2: Οχήματα για τη μεταφορά αγαθών με βάρος χωρίς φορτίο που κυμαίνεται μεταξύ 3,5 και 12 τόνων.

Οι διαθέσιμες τεχνολογίες ηλεκτρικών οχημάτων και συστοιχιών καθιστούν αποτρεπτική τη χρήση τους για εμπορικά οχήματα με βάρος μεγαλύτερο των 12 τόνων.

1.2.3 Τεχνολογίες Αποθήκευσης

Ένα από τα βασικότερα μέρη του Ηλεκτρικού Οχήματος, αν όχι το βασικότερο, είναι η συστοιχία συσσωρευτών. Τα τελευταία χρόνια επενδύονται σημαντικά κεφάλαια και παρουσιάζεται, παγκοσμίως, έντονη επιστημονική δραστηριότητα για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών υφιστάμενων τύπων συσσωρευτών ή/και την επινόηση νέων τύπων συσσωρευτών. Στόχος είναι η ευρεία παραγωγή συσσωρευτών με μικρότερο κόστος, μεγαλύτερη χωρητικότητα και ισχύ, καθώς και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Η σημαντικές εξελίξεις στον τομέα των συσσωρευτών τις τελευταίες δεκαετίες επέτρεψαν την εμπορική τους χρήση στον χώρο της αυτοκινητοβιομηχανίας. Ωστόσο, το κόστος των μπαταριών είναι υψηλό, ακόμα και σήμερα, ανεβάζοντας σημαντικά το κόστος αγοράς ενός ηλεκτρικού οχήματος συγκριτικά με το κόστος του αντίστοιχου συμβατικού. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια σημαντική μείωση στο κόστος της μπαταρίας με παράλληλη αύξηση της πυκνότητας ενέργειας, όπως περιγράφεται στην αναφορά της ΙΕΑ “Global EV outlook 2016”.

Υπάρχουν διαφορετικές τεχνολογίες μπαταριών που είναι εμπορικά διαθέσιμες. Κάθε τεχνολογία έχει τα δικά της χαρακτηριστικά και, επομένως, τα δικά της πλεονεκτήματα / μειονεκτήματα συγκριτικά με τις ανταγωνιστικές τεχνολογίες.

1.2.4 Τεχνολογίες Σταθμών Φόρτισης

✓ Φόρτιση με αγωγή σύνδεση

Η φόρτιση αυτού του τύπου απαιτεί τη σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων σε κατάλληλο ηλεκτρικό εξοπλισμό, με επαφές που πρέπει να συνδεθούν άμεσα μεταξύ τους. Ανάλογα με το επίπεδο ισχύος φόρτισης, οι υποδομές φόρτισης διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62196 [12]-[13]:

Επίπεδο 1 (Mode 1): Αυτός είναι ο πιο συνηθισμένος τρόπος φόρτισης που απαιτεί τη σύνδεση του αυτοκινήτου σε μονοφασική παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος, η οποία μπορεί να είναι και ένας συμβατικός οικιακός ρευματοδότης. Στην Αμερική, όπως ορίζεται και από το πρότυπο SAE J1772, η μέγιστη ισχύς φόρτισης είναι 1,92kW (καθώς η ονομαστική τιμή της τάσης είναι 110-120V και το ονομαστικό ρεύμα είναι 16A). Στην Ευρώπη, όπου οι ρευματοδότες έχουν τάση 220-230V, η αντίστοιχη μέγιστη ισχύς είναι 3,2kW. Τα περισσότερα ηλεκτρικά οχήματα διαθέτουν ένα κατάλληλο καλώδιο φόρτισης που παρέχεται με την αγορά τους με αποτέλεσμα να μην απαιτείται επιπλέον εξοπλισμός για τη φόρτισή τους. Ο χρόνος φόρτισης σε τέτοιες υποδομές φόρτισης είναι μεγάλος (μπορεί να ξεπεράσει και τις 8ώρες μια πλήρη φόρτιση) και χρησιμοποιούνται μόνο για οικιακή φόρτιση.

Επίπεδο 2 (Mode 2): Μονοφασική φόρτιση με ονομαστικό ρεύμα φόρτισης 32A και μέγιστη ισχύς 7.2kW. Για τη φόρτιση αυτή, ο οικιακός ρευματοδότης δεν επαρκεί και απαιτείται συγκεκριμένη υποδομή φόρτισης. Η μέγιστη ισχύς των υποδομών αυτών μπορεί φτάσει την τιμή των 19,2kW με μέγιστο ρεύμα 80A, σύμφωνα με το πρότυπο SAE J1772. Ο απαιτούμενος χρόνος φόρτισης στο επίπεδο 2 είναι μειωμένος κατά 50% συγκριτικά με τον αντίστοιχο του επιπέδου 1. Το κόστος

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
ωστόσο για αυτή την κατηγορία φόρτισης κυμαίνεται μεταξύ 500\$-6000\$ ανάλογα με το επίπεδο των προσφερόμενων υπηρεσιών².

Επίπεδο 3 (Mode 3): Το επίπεδο αυτό αφορά στην ταχεία φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων (< 1ώρα) με τριφασική παροχή ηλεκτρικού ρεύματος ή με χρήση DC ρεύματος. Σε αυτό το επίπεδο φόρτισης, το ονομαστικό εναλλασσόμενο ρεύμα φόρτισης είναι 63Α επιτρέποντας μεταφερόμενη ισχύ ίση με 42kW. Στη περίπτωση συνεχούς ρεύματος, η ισχύς φόρτισης μπορεί να φτάσει τα 100kW. Οι φορτιστές συνεχούς ρεύματος είναι αρκετά σύνθετοι μιας και απαιτούν την ενσωμάτωση του μετατροπέα εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές στις υποδομές φόρτισης. Το κόστος αυτών των υποδομών φόρτισης είναι πολύ υψηλό και μπορεί να φτάσει τις μερικές δεκάδες χιλιάδες ευρώ.

✓ **Ασύρματη (Επαγωγική) φόρτιση**

Τα συστήματα που φορτίζουν με τον τρόπο αυτό μεταφέρουν εναλλασσόμενη ισχύ με μαγνητική σύμπλεξη ενός πρωτεύοντος πηνίου στην πλευρά της παροχής και ενός δευτερεύοντος από την πλευρά του οχήματος χρησιμοποιώντας έναν μετασχηματιστή. Επειδή η μπαταρία του οχήματος μπορεί να φορτιστεί μόνο με DC ρεύμα, το εναλλασσόμενο ρεύμα στην έξοδο του δευτερεύοντος πηνίου ανορθώνεται πριν εισέλθει στη μπαταρία. Οι φορτιστές αυτού του τύπου διατηρούν το μεγαλύτερο μέρος του κυκλώματος φόρτισης εκτός του οχήματος και επικοινωνούν με τη μπαταρία μέσω υπέρυθρων ή ραδιοσυχνοτήτων [15].

Εταιρίες αυτοκινήτων όπως οι Audi, BMW, Daimler, Opel και Volkswagen έχουν στρέψει το ενδιαφέρον τους σε μία ερευνητική εργασία που στηρίζεται από τη γερμανική κυβέρνηση με την ονομασία “Effizienzhaus-Plusmit Elektromobilität”, η οποία αφορά στην επαγωγική φόρτιση. Το 2012 η Daimler προχώρησε σε τέτοιες δοκιμές, παρέχοντας ένα μοντέλο Mercedes-Benz A-Class E-CELL τροποποιημένο ώστε να διαθέτει επιλογή επαγωγικής φόρτισης [16]. Αν και η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι ιδιαίτερα βολική για τον χρήστη, αφού δεν απαιτεί κάποιο καλώδιο σύνδεσης, η απόδοσή της είναι ιδιαίτερα χαμηλή συγκριτικά με την αντίστοιχη της ενσύρματης φόρτισης. Η NISSAN παρέχει ένα εμπορικά διαθέσιμο προϊόν για την ασύρματη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων.

Πέραν της στατικής επαγωγικής (ασύρματης) φόρτισης, υπάρχει και η δυναμική φόρτιση όπου η ενέργεια φόρτισης μεταφέρεται στο όχημα καθώς αυτό κινείται. Στη δυναμική φόρτιση δεν απαιτείται η επαφή του οχήματος με τις λωρίδες, αφού επιτρέπεται η ύπαρξη ενός διακένου αέρος.

1.2.5 Υποδομές φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

(Οι λύσεις λογισμικού επιτρέπουν τον συστηματικό προγραμματισμό και τη διάθεση σταθμών φόρτισης EV με γνώμονα τη ζήτηση)

Η ηλεκτροκίνηση είναι βασικό στοιχείο της βιώσιμης κινητικότητας. Οι ηγέτες της πολιτικής και του κλάδου συμφωνούν ότι η υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων (EV) πρέπει να επιταχυνθεί στο εγγύς μέλλον. Το EV μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και του θορύβου, κάνοντας τις κοινότητες πιο βιώσιμες. Πού πρέπει όμως να φορτιστούν όλα αυτά τα νέα ηλεκτρικά αυτοκίνητα; Η ανάπτυξη της δημόσιας υποδομής φόρτισης εξακολουθεί να είναι πολύ αργή.

Ένα ελκυστικό δίκτυο σταθμών φόρτισης θα βοηθήσει στην επιτάχυνση της μετάβασης από τα αυτοκίνητα που κινούνται με βενζίνη και ντίζελ, στο φιλικό προς το περιβάλλον EV. Πώς μπορεί λοιπόν να επιταχυνθεί η ανάπτυξη της υποδομής φόρτισης; Πώς μπορεί να υπάρξει καλή απόδοση της επένδυσης σε αυτή την υποδομή;

Οι πόλεις, οι δημοτικές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, καθώς και οι πάροχοι ενέργειας και οι ιδιωτικές εταιρείες, αντιμετωπίζουν τη μεγάλη πρόκληση να βρουν τις βέλτιστες τοποθεσίες για σταθμούς φόρτισης και να λάβουν τις σωστές επενδυτικές αποφάσεις. Η αναμενόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας παίζει επίσης σημαντικό ρόλο. Οι λύσεις λογισμικού βοηθούν στον σχεδιασμό της υποδομής φόρτισης για EV σύμφωνα με τη ζήτηση, ενώ λαμβάνονται υπόψη οι χωρητικότητες του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.

- Συστηματικός και οικονομικά αποδοτικός σχεδιασμός της υποδομής φόρτισης
- Ανάπτυξη σταθμών φόρτισης βάσει της ζήτησης
- Ταχεία αξιολόγηση του κόστους υλοποίησης
- Ποσοτική πρόβλεψη ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας
- Σχεδιασμός ακριβών τοποθεσιών σε μικρή κλίμακα
- Βασισμένο στο Web και ευέλικτο

Πώς να βρείτε τις καλύτερες τοποθεσίες για σταθμούς φόρτισης;



Ο σχεδιασμός της υποδομής φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα εγείρει πολλά ερωτήματα: Πόσοι οδηγοί EV αναμένονται σε μια συγκεκριμένη περιοχή ή περιοχή; Οι άνθρωποι θα φορτίζουν τα ηλεκτρικά τους αυτοκίνητα κυρίως στο σπίτι, στη δουλειά ή στο δημόσιο τομέα; Πόσοι δημόσιοι φορτιστές θα χρειαστούν; Ποιες είναι οι καλύτερες τοποθεσίες; Ποια σημεία ενδιαφέροντος βρίσκονται κοντά, για να αξίζει τον κόπο η φόρτιση; Για να απαντηθούν αυτά τα ερωτήματα, τα μοντέλα λογισμικού και

προσομοίωσης βοηθούν στην ακριβή πρόβλεψη της ζήτησης και στη λήψη των σωστών αποφάσεων για τις καλύτερες και πιο κερδοφόρες τοποθεσίες.

Ποια είναι η μελλοντική ζήτηση;

Η μελλοντική ζήτηση για έναν σταθμό φόρτισης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το πώς θα ζουν, θα εργάζονται και θα μετακινούνται οι άνθρωποι στο μέλλον. Έτσι, μια ανάλυση τοποθεσίας βασίζεται σε δεδομένα σχετικά με την κινητικότητα, τα δημογραφικά στοιχεία και τις αστικές υποδομές. Τα μοντέλα λογισμικού και μεταφοράς επιτρέπουν στους σχεδιαστές να εξετάζουν διάφορα σενάρια σε ένα εικονικό περιβάλλον και να προβλέπουν μελλοντικές εξελίξεις και την ανάγκη για υποδομή φόρτισης EV. Αυτό, για παράδειγμα, βοηθά να αξιολογηθεί πόσοι γρήγοροι φορτιστές χρειάζονται σε σύγκριση με τους τυπικούς φορτιστές ή πόσα σημεία φόρτισης απαιτούνται γενικά σε κάθε τοποθεσία.



Το δίκτυο ηλεκτροδότησης ανταποκρίνεται στη ζήτηση;



Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας για τον επιτυχή σχεδιασμό ενός σταθμού φόρτισης EV, είναι η χωρητικότητα του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Η επιλογή της λανθασμένης θέσης για έναν φορτιστή μπορεί να οδηγήσει σε υψηλό κόστος ανάπτυξης λόγω της απαραίτητης επέκτασης του δικτύου. Αλλά μικρές αλλαγές στην τοποθεσία μπορούν να κάνουν τεράστια διαφορά. Η προσθήκη δεδομένων ηλεκτρικού δικτύου σε ένα μοντέλο μεταφοράς επιτρέπει τον ολοκληρωμένο σχεδιασμό της υποδομής φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα. Η χωρικά ειδική

πρόβλεψη ζήτησης μπορεί να αντιστοιχιστεί με τις υπάρχουσες χωρητικότητες του δικτύου με αναλυτικό τρόπο. Η προκύπτουσα ποσοτική δομή συμβάλλει στην επέκταση της υποδομής φόρτισης, σύμφωνα με τη ζήτηση.

Πλεονεκτήματα συστημάτων σχεδιασμού υποδομών για φόρτιση EV

- Ολοκληρωμένος σχεδιασμός της υποδομής φόρτισης με μοντελοποίηση της κινητικότητας και της χωρητικότητας του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας
- Ρυθμιζόμενα σενάρια ράμπας για ηλεκτρική κινητικότητα με μεταβλητές υποθέσεις για το μέγεθος του στόλου με διαφορετικούς χρονικούς ορίζοντες
- Οικονομική ανάλυση για τον εντοπισμό των καταλληλότερων τοποθεσιών
- Πληροφορίες για τις διαστάσεις των θέσεων φόρτισης: Αριθμός σημείων φόρτισης, γρήγορη/τυπική φόρτιση κ.λπ.
- Το μεγαλύτερο όφελος για τους πελάτες, καθώς ο σχεδιασμός βασίζεται στη ζήτηση

Η τεχνολογία κινείται πιο γρήγορα από ποτέ και οι αυτοκινητοβιομηχανίες ενσωματώνουν πολλές από τις πρόσφατες εξελίξεις στα αυτοκίνητα του σήμερα και του μέλλοντος. Ένα λογισμικό και μια τεχνολογία είναι το κλειδί για την επιτυχία όλων αυτών των προόδων.

Καθώς προχωρά η ανάπτυξη αυτόνομων οχημάτων (AV) και συνδεδεμένων αυτόνομων οχημάτων (CAV) και απαιτούνται λιγότεροι άνθρωποι οδηγοί, η τεχνολογία λογισμικού έχει γίνει ο εγκέφαλος του οχήματος, λαμβάνοντας άμεσες αποφάσεις - μικρές και μεγάλες - όχι μόνο για να διασφαλιστεί ότι το όχημα φτάνει στον προορισμό του, αλλά ότι το κάνει με ασφάλεια. Η απόφασή τους σε κλάσματα δευτερολέπτου επικεντρώνεται σε δύο ερωτήματα:

- 1) Πώς αλληλοεπιδρά αυτό το όχημα με άλλα αυτοκίνητα που βρίσκονται κοντά;
- 2) Πώς επηρεάζουν τα κοντινά οχήματα τι πρέπει να κάνει αυτό το όχημα στη συνέχεια;

Τι είναι η έξυπνη φόρτιση και γιατί τη χρειάζονται τα ενεργειακά μας συστήματα;

Σε αντίθεση με τις διάφορες πεποιθήσεις, τα ηλεκτρικά οχήματα (EV) δεν αποτελούν απειλή για το ηλεκτρικό δίκτυο (και το αντίστροφο). Στην εφαρμογή, χάρη στην έξυπνη φόρτιση, τα EV έχουν γίνει μπαταρίες μεγάλης διάρκειας σε τροχούς και οι έξυπνες λύσεις φόρτισης EV κάνουν μόνο τα ενεργειακά μας συστήματα πιο αποτελεσματικά, ασφαλέστερα και πιο οικολογικά.

Μια οδηγία της ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση ορίζει τα έξυπνα συστήματα μέτρησης ως ηλεκτρονικά συστήματα με λειτουργίες μέτρησης και μετατροπής δεδομένων. Η έξυπνη φόρτιση συνδέει ένα ηλεκτρικό όχημα με μια συσκευή φόρτισης μέσω μιας σύνδεσης δεδομένων και τη συσκευή φόρτισης με έναν χειριστή φόρτισης μέσω μιας άλλης σύνδεσης δεδομένων.

Σταθεροποιεί το δίκτυο και προσφέρει εξαιρετική εμπειρία φόρτισης. Η έξυπνη φόρτιση είναι μια τεχνολογία που βασίζεται στο cloud που καθιστά δυνατή την προσαρμογή της ποσότητας ενέργειας

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ που χρησιμοποιείται από τα EV με βάση την τρέχουσα κατάσταση του ενεργειακού δικτύου και, επομένως, το πόσο ακριβή είναι η φόρτιση για τους οδηγούς EV. Επιπλέον, η έξυπνη φόρτιση καθιστά δυνατή τη χρήση της ενέργειας που αποθηκεύεται στις μπαταρίες EV για την κάλυψη ξαφνικών αυξήσεων της ζήτησης στο δίκτυο.

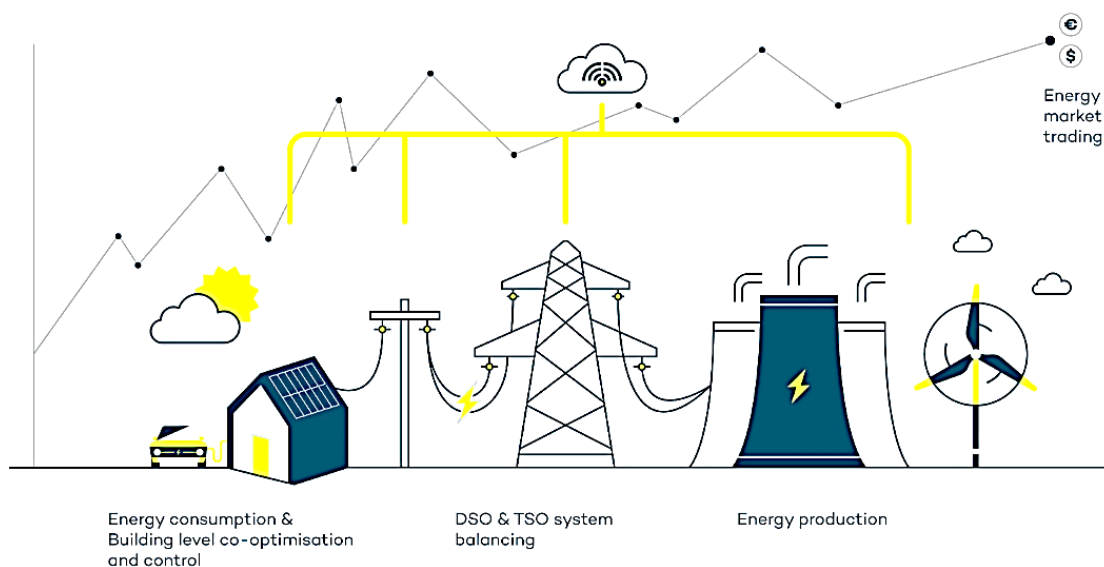
1.2.6 Τι είναι το V2G και το V2X ;

Το V2G σημαίνει "όχημα στο δίκτυο" και είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει την ώθηση ενέργειας πίσω στο ηλεκτρικό δίκτυο από την μπαταρία ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Με την τεχνολογία ηλεκτρικού οχήματος σε δίκτυο—γνωστή και ως car-to-grid—μια μπαταρία αυτοκινήτου μπορεί να φορτιστεί και να αποφορτιστεί βάσει διαφορετικών σημάτων — όπως η παραγωγή ενέργειας ή η κατανάλωση κοντά.

Το V2X σημαίνει όχημα προς τα πάντα . Περιλαμβάνει πολλές διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης, όπως υπηρεσίες από όχημα σε σπίτι (V2H), από όχημα σε κτίριο (V2B) και από όχημα σε δίκτυο. Ανάλογα με το αν θέλετε να χρησιμοποιήσετε ηλεκτρική ενέργεια από μια μπαταρία EV στο σπίτι σας ή σε ηλεκτρικά φορτία κατασκευών, υπάρχουν διαφορετικές συντομογραφίες για καθεμία από αυτές τις περιπτώσεις χρήσης. Το όχημά σας μπορεί να λειτουργήσει για εσάς, ακόμη και όταν η ανατροφοδότηση στο δίκτυο δεν θα ίσχυε για εσάς.

Η έξυπνη φόρτιση, γνωστή και ως φόρτιση V1G, μας δίνει τη δυνατότητα να ελέγχουμε τη φόρτιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων με τρόπο που επιτρέπει την αύξηση και τη μείωση της ισχύος φόρτισης όταν χρειάζεται. Το όχημα σε δίκτυο προχωρά ένα βήμα παραπέρα και επιτρέπει τη στιγμιαία ώθηση της φορτισμένης ισχύος πίσω στο δίκτυο από τις μπαταρίες των αυτοκινήτων για να εξισορροπηθούν οι διακυμάνσεις στην παραγωγή και την κατανάλωση ενέργειας.

Η ενέργεια πρέπει είτε να χρησιμοποιείται όπου παράγεται είτε να αποθηκεύεται κάπου για μεταγενέστερη χρήση. Ως εκ τούτου, η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κάνει αναπόφευκτα το ενεργειακό μας σύστημα πιο ασταθές, απαιτώντας νέους τρόπους εξισορρόπησης και αποθήκευσης ενέργειας για να χρησιμοποιηθούν. Αυτό το ρόλο μπορούν να τον παίξουν τα EV. Οι μπαταρίες ηλεκτρικών οχημάτων είναι μακράν η πιο οικονομική μορφή αποθήκευσης ενέργειας, καθώς δεν απαιτούν πρόσθετες επενδύσεις σε υλικό. Η τεχνολογία Vehicle-to-Grid μας δίνει τη δυνατότητα να αξιοποιήσουμε με τον καλύτερο τρόπο τον υπάρχοντα πληθυσμό οχημάτων.



Εικόνα 1.1 Vehicle-to-Grid

Για παράδειγμα, η Tesla και η Nissan προσφέρουν οικιακές μπαταρίες και για τους καταναλωτές. Αυτές οι οικιακές μπαταρίες, μαζί με ηλιακούς συλλέκτες και σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στο σπίτι, είναι ένας πολύ καλός τρόπος για να εξισορροπήσετε την παραγωγή και την κατανάλωση ενέργειας σε μονοκατοικίες ή μικρές κοινότητες.

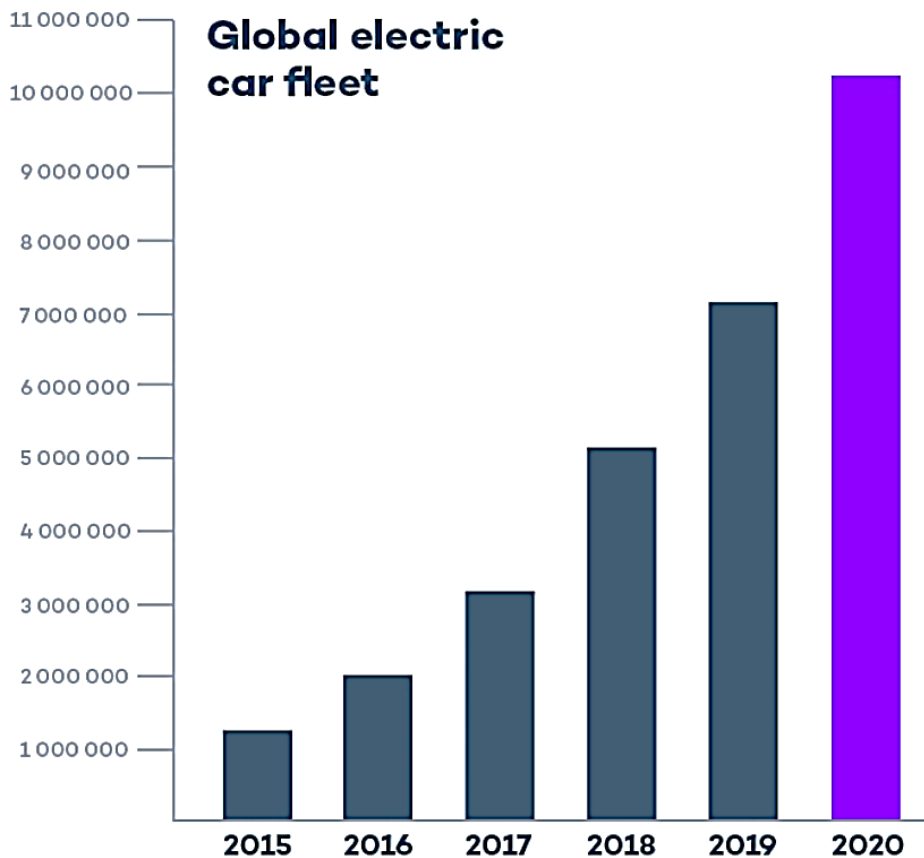
Κατά την εγκατάσταση μιας συσκευής φόρτισης, το πρώτο βήμα είναι να ελεγχθεί το ηλεκτρικό σύστημα του κτιρίου. Η ηλεκτρική σύνδεση μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο στο έργο εγκατάστασης φόρτισης EV ή να αυξήσει σημαντικά το κόστος σε περίπτωση που χρειαστεί αναβάθμιση της σύνδεσης. Το Vehicle-to-grid, καθώς και άλλες λειτουργίες έξυπνης διαχείρισης ενέργειας, όπως το Dynamic Load Management (DLM) , βοηθούν τα EV να φορτίζουν οπουδήποτε, ανεξάρτητα από το σημείο, την τοποθεσία ή την εγκατάσταση.

Επί του παρόντος, τα οχήματα CHAdeMo (όπως η Nissan) έχουν ξεπεράσει άλλους κατασκευαστές αυτοκινήτων φέρνοντας στην αγορά μοντέλα αυτοκινήτων συμβατά με V2G. Όλα τα Nissan Leaf της αγοράς μπορούν να αποφορτιστούν με σταθμούς από όχημα σε δίκτυο. Η δυνατότητα υποστήριξης V2G είναι πραγματική για τα οχήματα και πολλοί άλλοι κατασκευαστές ελπίζουμε να ενταχθούν σύντομα στη λίσχη των συμβατών από όχημα σε δίκτυο. Για παράδειγμα, η Mitsubishi ανακοίνωσε επίσης σχέδια για την εμπορευματοποίηση του V2G με το Outlander PHEV.

Ορισμένοι αντίπαλοι του V2G ισχυρίζονται ότι η χρήση της τεχνολογίας από όχημα σε δίκτυο κάνει τις μπαταρίες του αυτοκινήτου λιγότερο μακράς διάρκειας. Ο ίδιος ο ισχυρισμός είναι λίγο περίεργος, καθώς οι μπαταρίες των αυτοκινήτων ούτως ή άλλως αδειάζουν καθημερινά – καθώς το αυτοκίνητο χρησιμοποιείται, η μπαταρία αποφορτίζεται για να μπορούμε να κυκλοφορούμε. Πολλοί πιστεύουν ότι το V2X/V2G θα σήμαινε πλήρη φόρτιση και αποφόρτιση, δηλαδή η μπαταρία θα πήγαινε από μηδενικό τοις εκατό κατάσταση φόρτισης στο 100% κατάσταση φόρτισης και ξανά στο μηδέν. Αυτή δεν είναι πραγματική περίπτωση. Συνολικά, η αποφόρτιση από όχημα σε δίκτυο δεν επηρεάζει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, καθώς συμβαίνει μόνο για λίγα λεπτά την ημέρα , και με κλάσμα της ισχύος .

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μια αβέβαιη πηγή ενέργειας, η εξοικείωση όμως με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι απαραίτητη για να επιβραδύνουμε το ρολόι και να κερδίσουμε τον αγώνα μας ενάντια στην κλιματική αλλαγή. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που παράγονται από αιολική και ηλιακή ενέργεια εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες και, ως εκ τούτου, είναι εξαιρετικά ασταθείς. Κατά συνέπεια, δεν μπορούμε να βασιστούμε μόνο σε αυτούς για την παροχή συνεχούς παροχής ενέργειας για τη διατήρηση των πόλεων, των εργοστασίων κ.λπ. Η ύπαρξη περισσότερων ηλεκτρικών αυτοκινήτων στους δρόμους απαιτεί καλύτερη ενεργειακή απόδοση, ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων αυξάνεται συνεχώς παγκοσμίως και θα μπορούσε να γίνει πρόβλημα (αν δεν κάνουμε κάτι για αυτό).

Καθώς οι χώρες θέτουν νέους κανόνες για 1. μείωση και 2. κατάργηση των πωλήσεων οχημάτων ICE τις επόμενες δύο δεκαετίες, μπορούμε μόνο να περιμένουμε ότι ο παγκόσμιος στόλος ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα αυξηθεί εκθετικά τα επόμενα χρόνια. Από αυτή την άποψη, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορεί να εμφανίζονται ως απειλή για τα τρέχοντα ενεργειακά μας συστήματα και να εγείρουν ανησυχίες . Προς το παρόν, αυτές οι ανησυχίες είναι αβάσιμες . Τα δίκτυά μας ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν ήδη να υποστηρίξουν εκατοντάδες χιλιάδες αυτοκίνητα που φορτίζουν ταυτόχρονα . Επιπλέον, σύμφωνα με τις προβλέψεις του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (ΕΟΠ), η ενεργειακή ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων δεν θα έχει σημαντικό αντίκτυπο στα σημερινά μας συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας τουλάχιστον μέχρι το 2030 . Τώρα, εάν δεν ξανασκεφτούμε πώς αποθηκεύουμε και διανέμουμε ηλεκτρική ενέργεια, τα ενεργειακά μας συστήματα δεν θα ανταποκριθούν στην αυριανή ζήτηση. Όσο αυξάνεται ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων, τόσο θα αυξάνονται οι κίνδυνοι υπερφόρτωσης των τοπικών μας δικτύων.



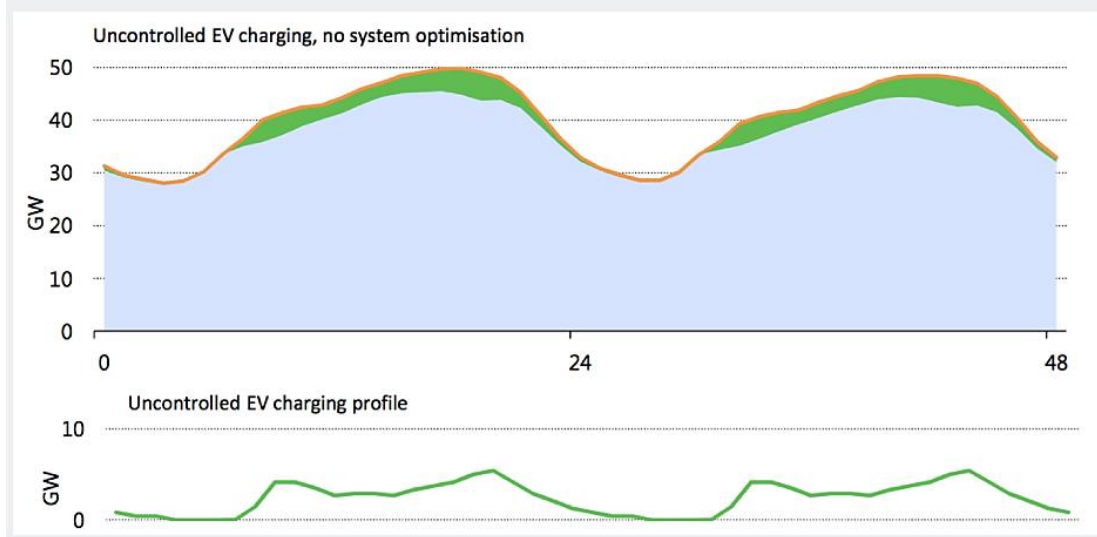
Εικόνα 1.2 Παγκόσμιος στόλος ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Με έναν κανονικό σταθμό φόρτισης EV 22 kw, υπολογίζουμε ότι 6 ή 7 ώρες είναι αρκετές για να φορτιστεί η μπαταρία ενός ηλεκτρικού οχήματος. Σε έναν σταθμό ταχείας φόρτισης 50 kw, ο χρόνος που απαιτείται για την πλήρη φόρτιση μιας μπαταρίας πέφτει κάτω από μία ώρα . Καθώς το σπίτι και η εργασία είναι τα πιο κοινά μέρη όπου οι οδηγοί ηλεκτρικών οχημάτων συνδέουν τα αυτοκίνητά τους σε σταθμούς φόρτισης, γνωρίζουμε ότι τα ηλεκτρικά οχήματα παραμένουν στην πρίζα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από όσο χρειάζεται. Με την έξυπνη φόρτιση, τα αυτοκίνητα μπορούν να παραμείνουν συνδεδεμένα στην πρίζα και να φορτίζουν μόνο όταν είναι η πιο αποτελεσματική, τόσο από άποψη κόστους όσο και από άποψη δικτύου (Η φόρτιση σε περιόδους χαμηλής ζήτησης είναι πολύ πιο φιλική προς το δίκτυο).

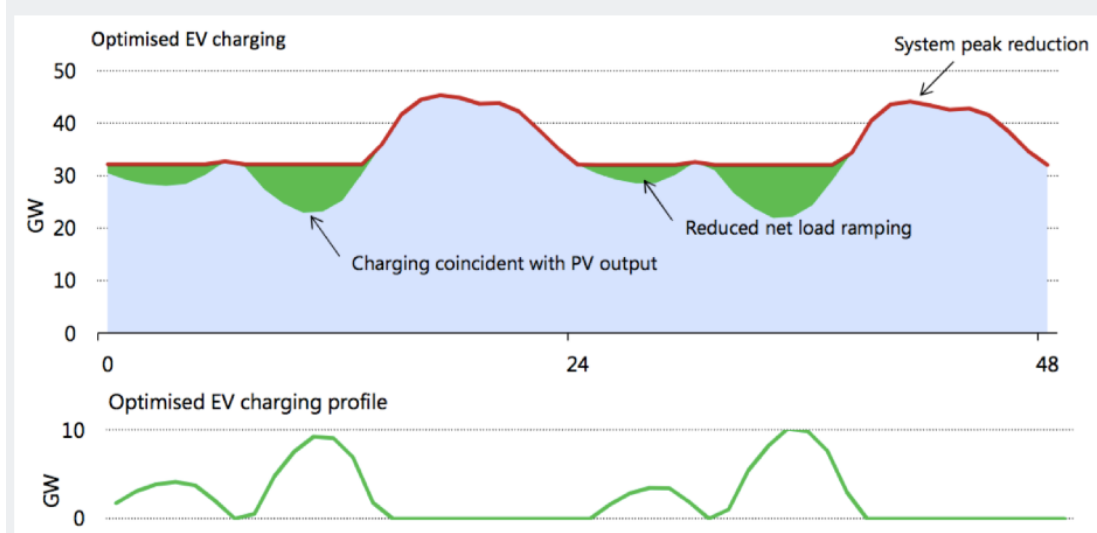
Το πρώτο (A) εμφανίζει κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 48 ωρών όταν η φόρτιση είναι ανεξέλεγκτη. Το δεύτερο (B) εμφανίζει κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 48 ωρών με Έξυπνη Φόρτιση.

Οι δύο παρακάτω εικόνες δείχνουν τα πλεονεκτήματα της έξυπνης φόρτισης.

A:



B:



Εικόνα 1.3 Πηγή: IEA Electricity, από τις προκλήσεις στις ευκαιρίες στις 2017

Η αύξηση των ταξινομήσεων ηλεκτρικών αυτοκινήτων είχε ως αποτέλεσμα την αυξημένη παραγωγή μπαταριών ιόντων λιθίου αυτοκινήτων. Το 2021, η ζήτηση μπαταριών EV διπλασιάστηκε από το προηγούμενο έτος, κυρίως λόγω των αυξημένων πωλήσεων EV στην Κίνα. Η Κίνα παραμένει η πρώτη χώρα στην παραγωγή μπαταριών, αντιπροσωπεύοντας περισσότερο από το 75% της παγκόσμιας παραγωγικής ικανότητας. Ωστόσο, η Ευρώπη δεν μένει πίσω. Σύμφωνα με το BloombergNEF, το μερίδιο της Ευρώπης στην παγκόσμια παραγωγή μπαταριών θα μπορούσε να αυξηθεί στο 31% έως το 2030. Συγκριτικά, το μερίδιο της ηπείρου στην παγκόσμια παραγωγή μπαταριών ήταν μόλις 7% το 2021. Είναι σαφές ότι για να υποστηριχθεί η αυξανόμενη ζήτηση για ηλεκτρικά οχήματα, τα διάφορα στοιχεία της αλυσίδας εφοδιασμού μπαταριών EV θα πρέπει να αυξηθούν, από την εξόρυξη πρώτων υλών όπως το λίθιο ή το νικέλιο μέχρι την ίδια την παραγωγή EV. Ωστόσο, οι εκτιμήσεις για την προσφορά μετάλλων θα πρέπει να είναι επαρκείς για την κάλυψη της εκτιμώμενης ζήτησης που ορίζεται από το Σενάριο των Δηλωμένων Πολιτικών για το 2025. Η ποικιλία των εξελίξεων στα χαρακτηριστικά των μπαταριών, λόγω της μεγάλης ζήτησης, θα προσφέρει πολλαπλά οφέλη στην επιχείρηση των ηλεκτρικών οχημάτων. Για την αγορά EV, περαιτέρω τεχνολογικές εξελίξεις περιλαμβάνουν:

- αλλαγές στη χημεία της μπαταρίας
- αλλαγές στην ενεργειακή πυκνότητα
- αλλαγές στο μέγεθος των μπαταριών

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ηλεκτρικών οχημάτων

Συνολικά τα EV κατανάλωσαν περίπου 55 τεραβατώρες ηλεκτρικής ενέργειας το 2021, το 10% της οποίας μπορεί να αποδοθεί σε δίκτροχα στην Κίνα. Μόνο περίπου το 0,5% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως αντιστοιχούσε στα ηλεκτρικά οχήματα το 2021. Κατά το έτος 2021, περισσότεροι από 40 εκατομμύρια τόνοι ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα εκπομπών GHC εξοικονομήθηκαν με τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων παγκοσμίως. Στην πράξη, όλες οι εκπομπές από τα ηλεκτρικά οχήματα γεννιούνται ως αποτέλεσμα της διαδικασίας κατασκευής, ενώ παρόμοια λογική δεν μπορεί να εφαρμοστεί στα αυτοκίνητα με κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE). Αν και είναι αλήθεια ότι τα EV αυξάνουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, αυτό μπορεί να γίνει η εξοικονόμηση χάρη στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας ενέργειας στο μέλλον. Μέχρι τη δεκαετία του 2040, τα ηλεκτρικά οχήματα θα προσθέσουν έως και 30 TWh εγκατεστημένης χωρητικότητας αποθήκευσης μπαταρίας. Για τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, αυτό σημαίνει ότι τα EV προσφέρουν φθηνή αποθήκευση ενέργειας, χωρίς κόστος κεφαλαίου και σχετικά χαμηλό κόστος λειτουργίας.

1.2.7 Προβλέψεις και προοπτικές της αγοράς EV έως το 2030 και μετά

Όσον αφορά το μέλλον, σύμφωνα με το Global EV Outlook 2022, υπάρχουν τρία πιθανά σενάρια:

- Το σενάριο των δηλωμένων πολιτικών υποδηλώνει ότι έως το 2030, το παγκόσμιο απόθεμα ηλεκτρικών οχημάτων (εξαιρουμένων των δίκτροχων/τρίτροχων) θα φτάσει σχεδόν τα 200 εκατομμύρια οχήματα και θα αντιπροσωπεύει περίπου το 10% του παγκόσμιου στόλου οχημάτων.
- Σύμφωνα με ένα πιο φιλόδοξο σενάριο, το Σενάριο Ανακοινωθέντων Υποσχέσεων, 270 εκατομμύρια EV θα κυκλοφορούν στους παγκόσμιους δρόμους μέχρι το 2030 και το μερίδιο των EV στο παγκόσμιο απόθεμα οχημάτων θα φτάσει το 14%.
- Καθαρές μηδενικές εκπομπές έως το 2050 Το σενάριο προβλέπει ότι το παγκόσμιο απόθεμα EV θα φτάσει τα 350 εκατομμύρια EV και το μερίδιό του θα ανέλθει έως και 20% το 2030.

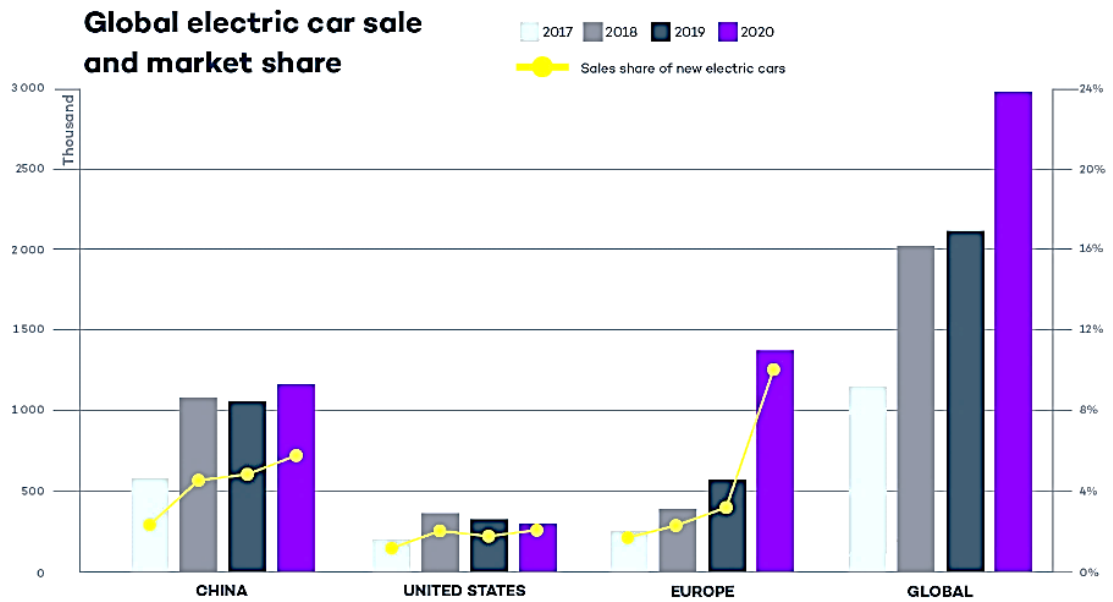
Τα επόμενα δύο χρόνια θα είναι κρίσιμα για την Ευρώπη να εξασφαλίσει την ηγετική της θέση. Αναμένουμε να φτάσουμε σε ένα πρώτο ορόσημο 14 εκατομμυρίων ηλεκτρικών οχημάτων έως το 2025. Μετά από αυτό, οι χαμηλές εκτιμήσεις αναφέρουν 33 εκατομμύρια EV έως το 2030, όταν οι υψηλές εκτιμήσεις κάνουν λόγο για 40 εκατομμύρια ηλεκτρικά οχήματα περιαγωγής σε όλη την Ευρώπη ταυτόχρονα.

	EVs (in thousands)	PCP (in thousands)	EVs per PCP
2019	1 300	175	7 428
2025	14 000	1 300	10.76
2030 (low)	33 000	2 900	11.38
2030 (high)	40 000	2 900	13.79

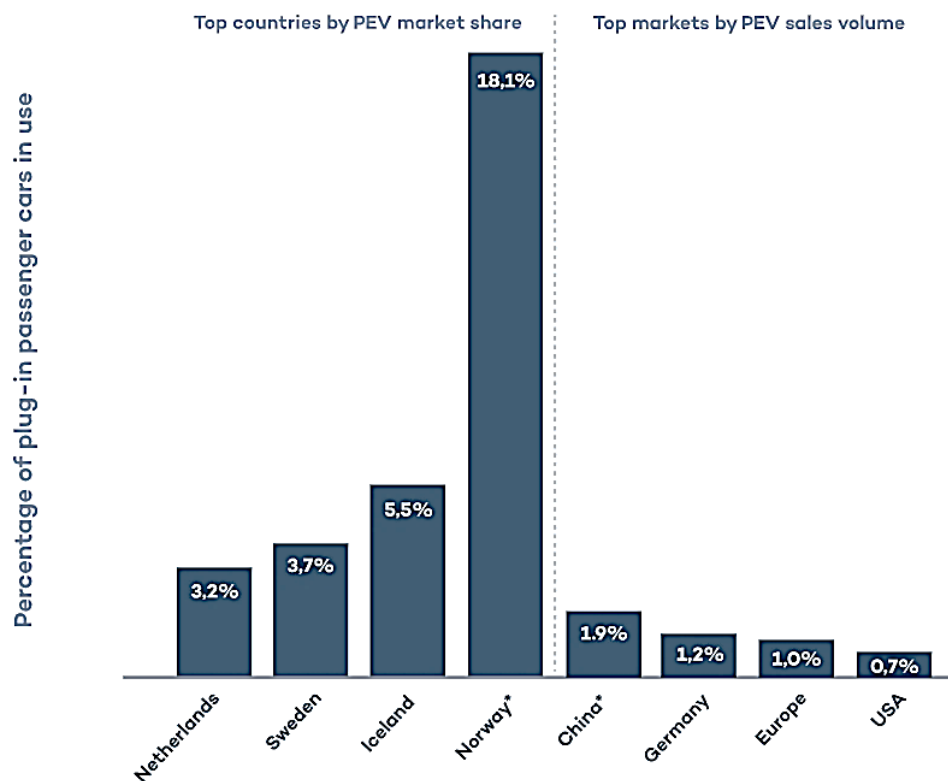
Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ

Από το 2035 και μετά, αναμένουμε ότι το 100% των νέων αυτοκινήτων που πωλούνται στην Ευρώπη θα είναι ηλεκτρικά. Φυσικά, μόνο ο χρόνος (και τα νέα δεδομένα) θα μας πει εάν αυτές οι προβλέψεις πρόκειται να γίνουν πραγματικότητα. Ωστόσο, οι τελευταίες τάσεις φαίνεται να βαδίζουν προς τη σωστή κατεύθυνση.

Οι πιο πρόσφατοι αριθμοί πωλήσεων EV δεν λένε ψέματα. Οι πωλήσεις EV δεν έχουν ποτέ αυξηθεί τόσο γρήγορα παγκοσμίως, ειδικά στην Ευρώπη .



Τώρα, η αλλαγή απαιτεί πάντα χρόνο και, όταν ρίξουμε μια πιο προσεκτική ματιά, μπορούμε να παρατηρήσουμε πραγματικές ανισότητες μεταξύ των χωρών.



Εικόνα 1.4 Πηγή: Transportenvironment.org (Μάρτιος 2021)

Η Νορβηγία (18,1 %), η Ισλανδία (5,5 %), η Σουηδία (3,7 %) και η Ολλανδία (3,2 %) προηγούνται ως προς τον αριθμό των EV που πωλούνται σε σύγκριση με το σύνολο όλων των επιβατικών

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ αυτοκινήτων στο δρόμο. Η Κίνα, η Γερμανία, η ΕΕ και οι ΗΠΑ πρωτοστατούν όσον αφορά τον καθαρό όγκο πωλήσεων. Αυτό σημαίνει ότι εάν τα EV σημειώνουν άνθηση σε ορισμένες χώρες, εξακολουθεί να είναι σχετικά οριακή σε ευρύτερη κλίμακα. Και, ενώ ο πλανήτης θα ήταν πιο χαρούμενος με μια ταχύτερη μετάβαση, μας δίνει χρόνο να προετοιμαστούμε .

Το να διασχίζεις την Ευρώπη με ένα EV δεν είναι πια μύθος. Ενώ ορισμένες περιοχές είναι καλύτερα συνδεδεμένες από άλλες, το υπάρχον δίκτυο γρήγορων δημόσιων φορτιστών σε όλη την Ευρώπη δίνει τη δυνατότητα στους οδηγούς EV να ταξιδεύουν μακριά και γρήγορα .

1.2.8 Τι είναι η περιαγωγή ;

Οι πάροχοι υπηρεσιών φόρτισης EV, όπως η Varta, επιτρέπουν στους οδηγούς EV να συνδέουν και να φορτίζουν τα οχήματά τους από διαφορετικά δίκτυα φόρτισης, χάρη στην περιαγωγή. Τα δίκτυα περιαγωγής αποτελούνται από πολλαπλά επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο περιλαμβάνει το δίκτυο χρέωσης ενός συγκεκριμένου παρόχου υπηρεσιών. Έξω από αυτό το δίκτυο βρίσκεται το δεύτερο επίπεδο, συνήθως ένα πιο εκτεταμένο τοπικό ή δημόσιο δίκτυο χρέωσης – όπως το δίκτυο Varta. Στην πράξη, αυτό σημαίνει ότι ένας οδηγός EV που είναι εγγεγραμμένος σε μία από τις υπηρεσίες πελατών της Varta έχει πρόσβαση σε όλους τους σταθμούς φόρτισης των πελατών της B2B και αντίστροφα. Αυτό το εσωτερικό δίκτυο σταθμών φόρτισης είναι διαθέσιμο σε οδηγούς EV με μία σύμβαση ή εγγραφή. Το τρίτο επίπεδο αποτελείται από συμφωνίες περιαγωγής hub και peer-to-peer που συνάπτονται με άλλα δίκτυα χρέωσης. Οι κόμβοι περιαγωγής, όπως το Hubject ή το Gireve , επιτρέπουν στα μέλη τους να έχουν πρόσβαση σε διάφορους συνεργάτες ηλεκτρονικής κινητικότητας. Αυτοί οι κόμβοι δημιουργούν ένα κεντρικό δίκτυο περιαγωγής ανοιχτό σε όλα τα μέλη του.

Η περιαγωγή peer-to-peer περιλαμβάνει διμερείς συμφωνίες μεταξύ δύο παρόχων υπηρεσιών. Αυτός ο τύπος περιαγωγής δίνει τη δυνατότητα σε δύο εξέχοντες παίκτες της αγοράς να εδραιώσουν τη θέση τους στην αγορά και να επιδιώξουν περισσότερα κέρδη. Ωστόσο, η περιαγωγή peer-to-peer δεν είναι η βέλτιστη λύση από την πλευρά του οδηγού EV. Οι καταναλωτές πρέπει να παραμένουν ενημερωμένοι για τη δομή της αγοράς EV για να δουν ποιος συνάπτει σύμβαση με ποιον. Δεν είναι πολύ βολικό. Επιπλέον, η λειτουργία της διμερούς περιαγωγής είναι πιο δαπανηρή. Η τεχνολογία πίσω από την peer-to-peer περιαγωγή ονομάζεται Open Charge Point Interface (OCPI), ένα πρωτόκολλο που επιτρέπει τη σύνδεση μεταξύ CPO και EMSP. Αυτό το πρωτόκολλο ορίστηκε από το Ίδρυμα EVRoaming και αναπτύσσεται συνεχώς. Για να επιτύχουμε πλήρως ένα μοντέλο εξυπηρέτησης με επίκεντρο τον πελάτη, χρειαζόμαστε κεντρικές δομές περιαγωγής EV, λογικές και δίκαιες για όλους τους παίκτες που περιλαμβάνονται. Η αλήθεια είναι ότι η αγορά περιαγωγής EV δεν είναι ακόμη πολύ ώριμη. Τα πρωτόκολλα και τα πρότυπα διαλειτουργικότητας που καλύπτουν τις χώρες της ΕΕ λείπουν. Αλλά πολλά πράγματα είναι υπό επεξεργασία, κυρίως από την άποψη των τιμών και των συμβατικών ρυθμίσεων.

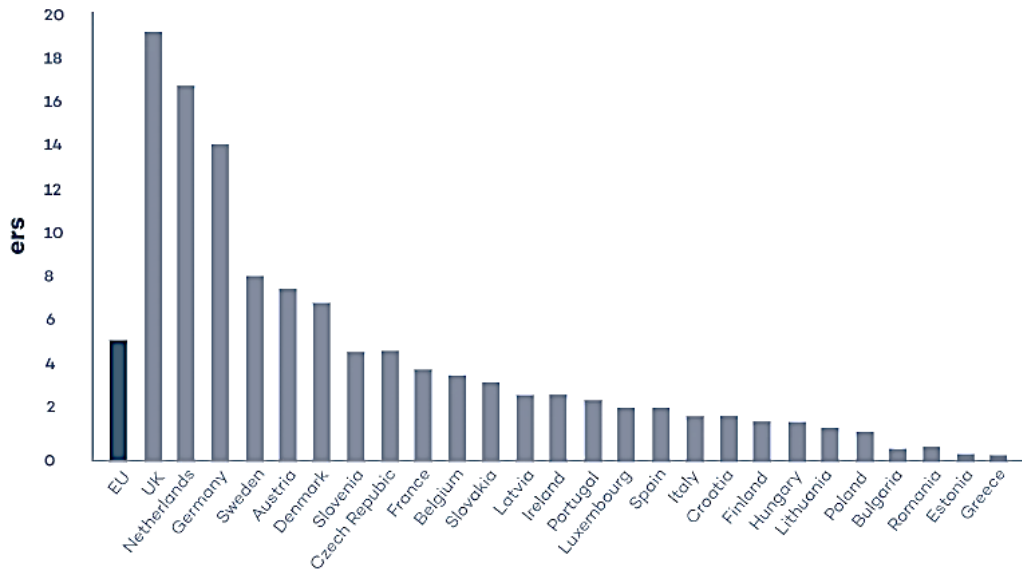
Η λειτουργική και αξιόπιστη περιαγωγή EV είναι απαραίτητη για τη μαζική υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων. Τα δίκτυα περιαγωγής ανοίγουν την πρόσβαση σε χιλιάδες σταθμούς φόρτισης παγκοσμίως. Με τις ευρείες επιλογές φόρτισης EV, οι οδηγοί EV μπορούν να ξεχάσουν το άγχος της αυτονομίας , το οποίο εξακολουθεί, μέχρι σήμερα, να είναι μια κοινή ανησυχία που εμποδίζει τους καταναλωτές να αγοράσουν ένα EV. Η περιαγωγή προσφέρει στους οδηγούς EV μια συνεπή και απροβλημάτιστη εμπειρία φόρτισης όπου κι αν οδηγούν. Τα οφέλη της περιαγωγής EV ξεπερνούν την άνεση των οδών EV. Για τους CPO, η περιαγωγή EV παρουσιάζει αυξημένη χρήση των υφιστάμενων σημείων φόρτισης, τη δυνατότητα προσέλκυσης νέων πελατών και μια ευκαιρία να ανοίξουν μια νέα ροή εσόδων. Τα EMSP μπορούν, χάρη στην περιαγωγή EV, να ανοίξουν τον κόσμο στους πελάτες τους επιτρέποντάς τους να χρεώνουν οπουδήποτε. Αυτοί οι πελάτες δεν θα χρειάζεται να αλλάζουν χειριστή όταν ταξιδεύουν εκτός του δικού τους δικτύου χρέωσης, πράγμα που σημαίνει

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ μεγαλύτερη αφοσίωση της επωνυμίας στο EMSP τους. Είναι σαφές ότι όλοι επωφελούνται από την περιαγωγή EV με κάποιο τρόπο. Με την περιαγωγή, οι πελάτες σας μπορούν να έχουν πρόσβαση σε περισσότερους από 250.000 σταθμούς φόρτισης παγκοσμίως. Η περιαγωγή έχει τεράστια αξία.

Κατά μέσο όρο το 2021, η ΕΕ προσφέρει πέντε γρήγορους δημόσιους φορτιστές για κάθε 100 km .

Number of fast CCS chargers

for every 100 km of the TEN-T Comprehensive network



Source: OpenChargeMap, Plugsurfing and EAFO for public charging infrastructure data, European Commission data for country-specific length of TEN-T networks. Data only partially covers the EU

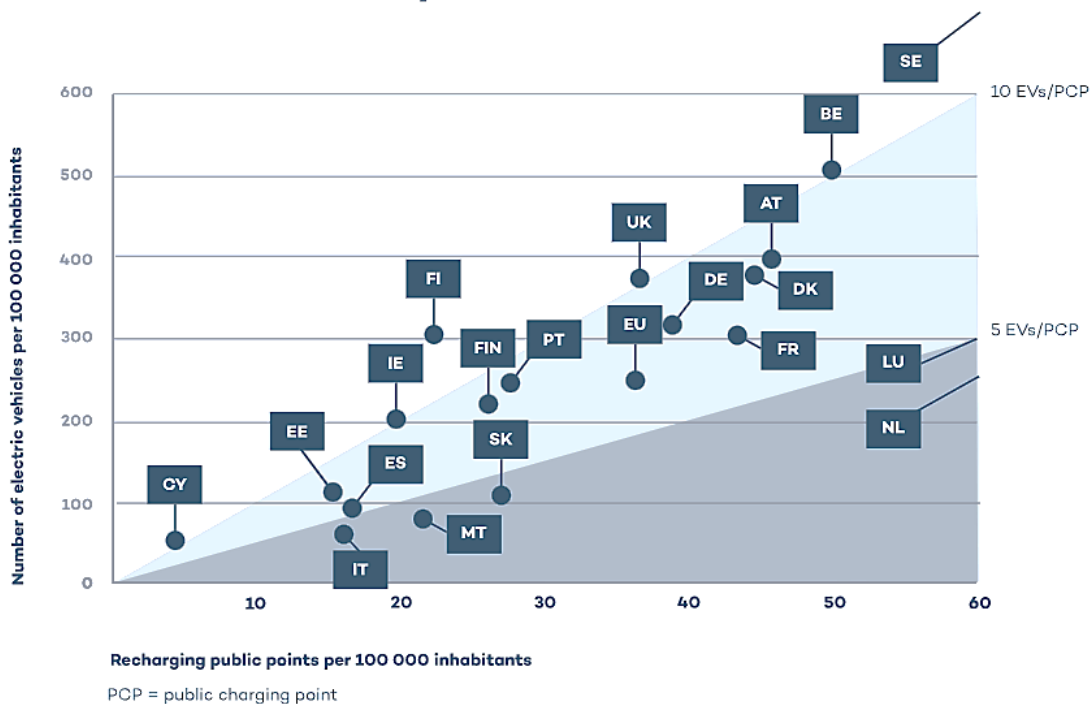
Εικόνα 1.5 Δημόσιοι φορτιστές ανά 100 Km

Όταν γνωρίζουμε ότι τα περισσότερα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν πλέον να διανύσουν εύκολα 400+ km με πλήρη φόρτιση , αυτό θα πρέπει να είναι ανακούφιση για τους τρέχοντες και τους μελλοντικούς οδηγούς EV.

Ένα άλλο κοινό επιχείρημα κατά της φόρτισης EV είναι ο φόβος της μεγάλης ουράς για πρόσβαση σε δημόσιο σταθμό φόρτισης. Το 2014, μια επιτροπή που διορίστηκε από την ΕΕ υπαγόρευσε ότι στοχεύουμε σε έως και 10 EV ανά Δημόσιο Σημείο Φόρτισης (PCP) σε όλη την Ευρώπη για να εξασφαλίσουμε αρκετό χώρο για φόρτιση όλων όταν χρειάζεται. Το 2021, η τρέχουσα αναλογία μας είναι περίπου 7,5 EVs ανά PCP και διαπιστώνουμε ότι οι περισσότερες χώρες ήδη εμπίπτουν στις συστάσεις που έθεσε η ΕΕ το 2014.

Ακόμα κι αν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα φορτίζονται κυρίως στο σπίτι και στην εργασία , χρειάζονται δημόσια σημεία φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Χρειαζόμαστε ιδιαίτερα γρήγορους φορτιστές για να υποστηρίξουν τα ταξίδια μεγάλων αποστάσεων και να μειώνουν τους χρόνους φόρτισης για να επιτρέψουν σε περισσότερους οδηγούς EV να χρησιμοποιούν και να μοιράζονται σημεία φόρτισης.

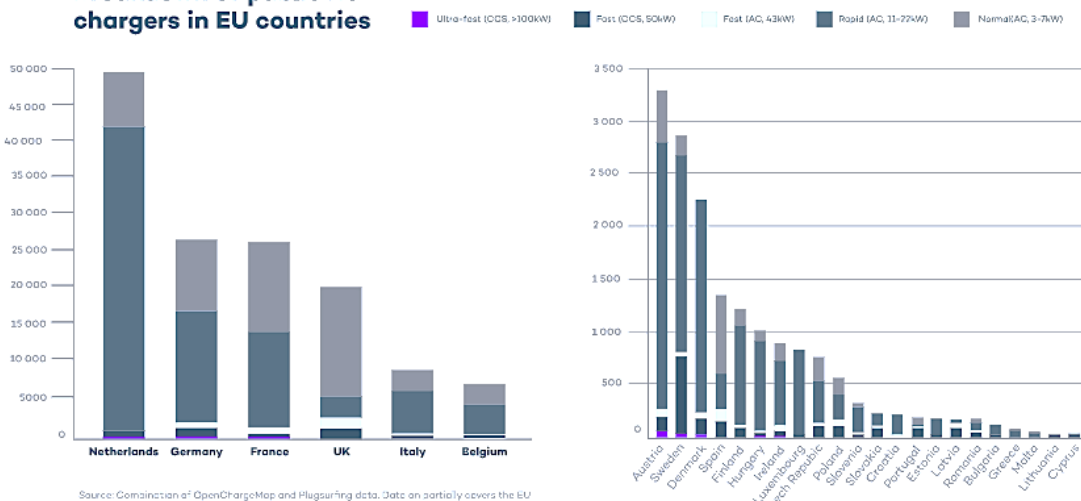
Current number of public chargers and EVs across Europe



Πηγή: Transportenvironment.org (2021)

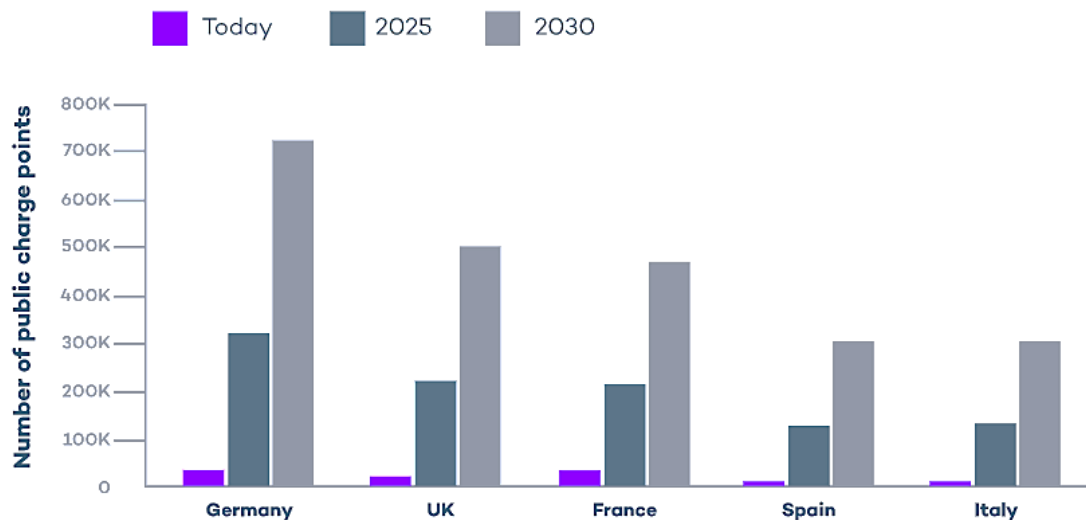
Βλέποντας το παραπάνω διάγραμμα, σημαίνει ότι πρέπει να ανησυχούμε για τη Φινλανδία και τη Σουηδία; Όχι, δεν το κάνει. Η Φινλανδία, για παράδειγμα, εμφανίζει αναλογία 15 EV ανά PCP. Εξισορροπεί, ωστόσο, προσφέροντας τη μεγάλη πλειονότητα των δημόσιων γρήγορων και εξαιρετικά ταχέων φορτιστών (δείτε στον επόμενο πίνακα), μειώνοντας έτσι την πίεση σε κάθε φορτιστή. Ωστόσο, το Ηνωμένο Βασίλειο μπορεί να χρειαστεί να διπλασιαστεί, καθώς το 75 % των δημόσιων φορτιστών είναι αργοί σταθμοί φόρτισης 3-7 kWh.

Breakdown of public EV chargers in EU countries

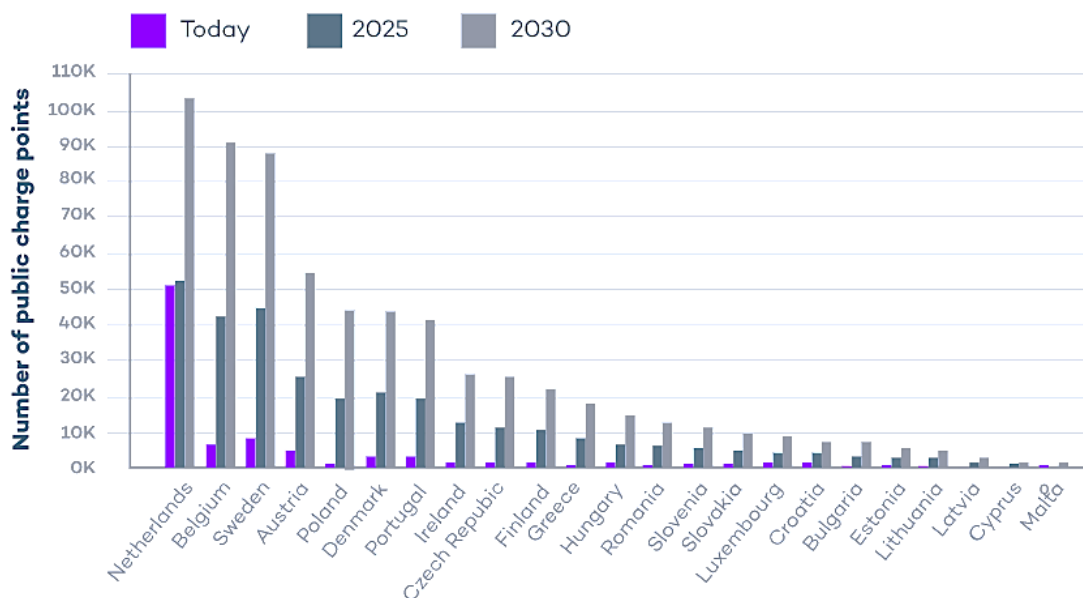


Εάν θέλουμε να παραμείνουμε εντός (ή κοντά) στο συνιστώμενο όριο των 10 EV ανά δημόσιο σημείο φόρτισης, χρειαζόμαστε περισσότερες υποδομές φόρτισης EV. Ευτυχώς, οι τελευταίες εκτιμήσεις φαίνεται να δείχνουν ότι πρέπει να ανταποκριθούμε στη ζήτηση φόρτισης EV στην Ευρώπη.

1,3 εκατομμύρια δημόσιοι σταθμοί φόρτισης έως το 2025. 2,9 εκατομμύρια έως το 2030. Η εγκατάσταση άλλων 2,7 εκατομμυρίων δημόσιων σημείων φόρτισης στην Ευρώπη έως το 2030 θα απαιτούσε μια επένδυση κατά μέσο όρο 1,8 δισεκατομμυρίων ευρώ (ή μόνο το 3% του ετήσιου προϋπολογισμού της ΕΕ για δρόμους και υποδομές).



Πηγή: Transportenvironment.org (2021)



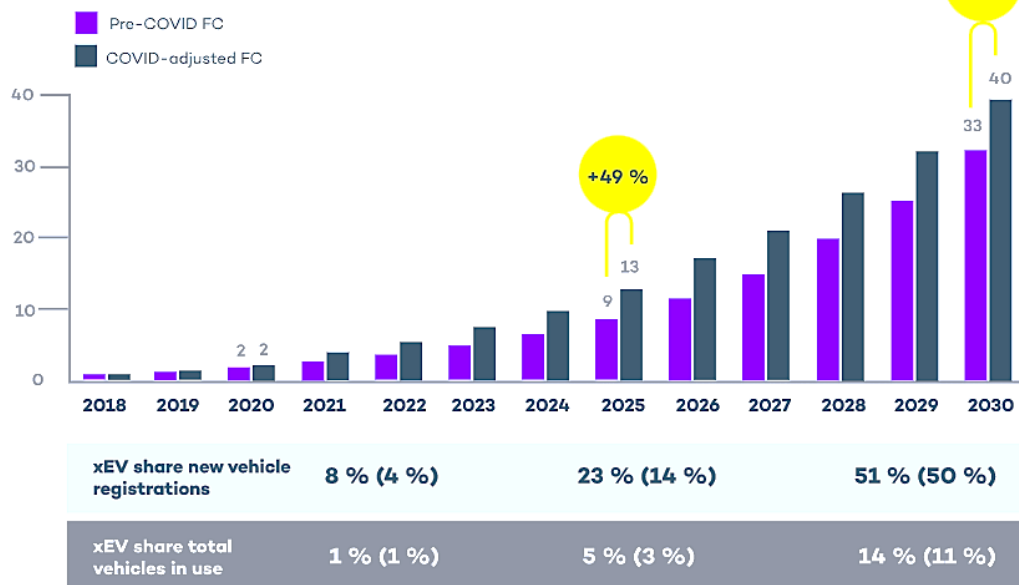
Πηγή: Transportenvironment.org (2021)

Ένα EV ανά PCP μεταξύ 11 και 14 το 2030

Η πανδημία του COVID-19 φαίνεται να είχε θετικό αντίκτυπο στις πωλήσεις EV. Πριν από την πανδημία, η πρώιμη έρευνα υπολόγιζε ότι 33 εκατομμύρια ηλεκτρικά οχήματα θα περιφέρονταν σε όλη την Ευρώπη έως το 2030. Τώρα, η έρευνα προσαρμοσμένη στην πανδημία δείχνει ότι εξετάζουμε 40 εκατομμύρια ηλεκτρικά οχήματα που κινούνται σε όλη την ήπειρο έως το 2030 .

xEVs in use 2018-2030, @EU28+2

in m units



Source: Arthur D, Little analysis based on ECEA, EAFO, Bloomberg

Καθώς περισσότερα ηλεκτρικά οχήματα κυκλοφορούν στην Ευρώπη, θα δούμε φυσικά μια αύξηση στις επιλογές σταθμών φόρτισης σε όλη την ήπειρο. Πού και πότε οι οδηγοί ICE ξαναγεμίζουν τις δεξαμενές των οχημάτων τους;

- Σε ανεξάρτητα πρατήρια καυσίμων και καυσίμων όταν βρίσκονται εν κινήσει.
- Πριν ή μετά τα ψώνια.

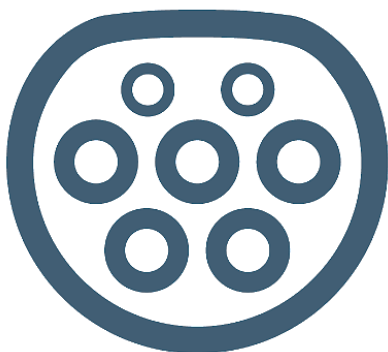
Οι οδηγοί EV δεν συμπεριφέρονται διαφορετικά (με μια μικρή ανατροπή, ωστόσο). Οι οδηγοί EV συνδέουν τα EV τους:

- Όταν βρίσκεστε εν κινήσει, χρησιμοποιώντας γρήγορους και εξαιρετικά γρήγορους φορτιστές.
- Ενώ ψωνίζουν .
- Ενώ βρίσκεστε στο σπίτι ή στο γραφείο.

Η στιγμή της εκδήλωσης φόρτισης κάνει τη διαφορά εδώ. Οι οδηγοί EV θα ψωνίζουν από όπου μπορούν να φορτίσουν τις μπαταρίες τους . Αυτό αντιπροσωπεύει μια τεράστια ευκαιρία για τη δημιουργία νέων ροών εσόδων για ιδιοκτήτες πρατηρίων βενζίνης , αλυσίδες λιανικής πώλησης, επαγγελματίες ακινήτων ή ακόμα και ιδιοκτήτες χώρων στάθμευσης .

1.2.9 Πρότυπα βύσματος φόρτισης EV

Όπως και με τα κινητά τηλέφωνα, υπάρχουν διαφορετικοί τύποι βυσμάτων για φόρτιση EV. Αυτό το άρθρο παρουσιάζει τα τυπικά βύσματα IEC 62196 που χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη.



Ο τύπος 2 είναι το πρότυπο που έχει επιλέξει η Ευρωπαϊκή Ένωση.

Η φόρτιση από μια κανονική πρίζα, όπως το ευρέως χρησιμοποιούμενο πρότυπο Schuko, είναι δυνατή με καλώδια φόρτισης Mode 1 ή Mode 2 . Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η φόρτιση της Λειτουργίας 1 είναι παράνομη σε πολλές χώρες. Αυτές οι μέθοδοι πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο ως προσωρινή λύση, επειδή η φόρτιση είναι πολύ πιο αργή και υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης της πρίζας. Η προτεινόμενη μέθοδος είναι να χρησιμοποιήσετε μια έξυπνη συσκευή φόρτισης Mode 3 για καθημερινή φόρτιση. Με μια σωστή συσκευή φόρτισης εναλλασσόμενου ρεύματος, η φόρτιση είναι ταχύτερη και ασφαλέστερη και επιτρέπει έξυπνες λειτουργίες όπως διαχείριση φορτίου και πληρωμές. Ο τύπος 2 είναι το de jure πρότυπο βύσματος φόρτισης που επιλέχθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση . Οι περισσότερες ευρωπαϊκές συσκευές φόρτισης AC διαθέτουν βύσμα τύπου 2. Σύμφωνα με αυτό το πρότυπο, οι οδηγοί EV μπορούν να είναι σίγουροι ότι μια υποδοχή σε κάθε δημόσια συσκευή φόρτισης είναι κατάλληλη για το αυτοκίνητό τους και τον αγωγό τους. Οι συμβατές συσκευές είναι ασφαλείς και μελλοντικές. Η συσκευή φόρτισης δεν ξεκινά το συμβάν φόρτισης έως ότου το αυτοκίνητο συνδεθεί σωστά. Οι συσκευές φόρτισης τύπου 2 παρέχουν ισχύ ακόμη και 63 kW για φόρτιση, κάτι που θα είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό ήδη στο εγγύς μέλλον. Για γρήγορη φόρτιση, υπάρχουν δύο ανταγωνιστικά πρότυπα φόρτισης Mode 4 . Οι συσκευές γρήγορης φόρτισης DC είναι σημαντικά πιο δαπανηρές, επομένως είναι λογικό να εξετάσουμε τον τύπο βύσματος που θα χρησιμοποιήσετε. Ωστόσο, ορισμένοι γρήγοροι φορτιστές μπορεί να περιλαμβάνουν πολλά βύσματα, επίσης το βύσμα AC Type 2 για κανονική ή γρήγορη φόρτιση AC. Το ευρωπαϊκό πρότυπο γρήγορης φόρτισης DC CCS επιλέχθηκε ως de jure πρότυπο από την Ευρωπαϊκή Ένωση . Τα βύσματα CCS μπορούν να βρεθούν για παράδειγμα σε ηλεκτρικά αυτοκίνητα Volkswagen και BMW. Το ιαπωνικό πρότυπο CHAdeMO είναι κοινό στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα Nissan και Mitsubishi. Παρόλο που δεν είναι επίσημο πρότυπο στην ΕΕ, μπορεί να βρεθεί συνήθως σχεδόν παντού, κυρίως επειδή τα ιαπωνικά ηλεκτρικά οχήματα ήταν επιτυχημένα στις πρώτες φάσεις του κλάδου. Το 2020, σχεδόν ένα στα 6 επιβατικά αυτοκίνητα που πωλήθηκαν στην Ευρώπη ήταν ηλεκτρικά φορτιζόμενο όχημα (16,5 %), σε σύγκριση με 3,0% την ίδια περίοδο πέρυσι. Το 2021 υπολογίζεται ότι πάνω από δύο εκατομμύρια ηλεκτρικά οχήματα (EV) θα πωληθούν μόνο στην Ευρώπη. Φυσικά, αυτοί οι οδηγοί EV χρειάζονται υπηρεσίες φόρτισης και ως εκ τούτου, η ζήτηση για σημεία φόρτισης EV αυξάνεται ακόμη πιο γρήγορα. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκτιμά ότι χρειαζόμαστε τουλάχιστον 3 εκατομμύρια δημόσια σημεία φόρτισης μέχρι το 2030 .

Εκτός από τα ανοιχτά δίκτυα φόρτισης, υπάρχουν και τα κλειστά δίκτυα, δηλαδή οι λεγόμενοι περιφραγμένοι κήποι. Αυτοί οι περιφραγμένοι κήποι είναι διαθέσιμοι μόνο για παράδειγμα σε πελάτη συγκεκριμένης μάρκας EV. Ένα κλασικό παράδειγμα δικτύου φόρτισης με τοίχους κήπου είναι η Tesla. Η Tesla κατασκευάζει και εφαρμόζει τα πάντα μόνη της, από το υλικό μέχρι το δίκτυο Supercharger και τις υπηρεσίες φόρτισης. Το δίκτυο υπερσυμπιεστών είναι διαθέσιμο μόνο για οδηγούς Tesla.

Ο ιδρυτής της Tesla, Elon Musk έχει αφήσει να εννοηθεί μερικές φορές ότι η Tesla μπορεί να ανοίξει το δίκτυό της. Το 2018 ο Musk είπε ότι «ο Supercharger δεν είναι περιφραγμένος κήπος» και τον Δεκέμβριο του 2020 ότι «οι Tesla Supercharger γίνονται προσβάσιμοι σε άλλα ηλεκτρικά αυτοκίνητα». Αλλά μέχρι στιγμής, το δίκτυο Supercharger παρέμεινε το ίδιο κλειστό όπως πάντα.

Τι θα γίνει με τους περιφραγμένους κήπους στο μέλλον; Το ζήτημα του μέλλοντος των δικτύων φόρτισης είναι ενδιαφέρον. Ο ανταγωνισμός γίνεται έντονος ειδικά στην αγορά υπερταχείας φόρτισης και η ζήτηση για υπηρεσίες φόρτισης αυξάνεται εκθετικά . Επιπλέον, τα εθνικά και τα ευρωπαϊκά πακέτα ανάκτησης προσφέρουν τη δική τους πρόσθετη γεύση . Ας δούμε τα στατιστικά: Η Tesla έχει περίπου 600 θέσεις φόρτισης Supercharger στην Ευρώπη. Η Virta από την άλλη προσφέρει εξαιρετικά γρήγορους φορτιστές άνω των 100 kW σε λιγότερο από 400 τοποθεσίες στην Ευρώπη. Φυσικά, οι σταθμοί φόρτισης της Tesla έχουν κατά μέσο όρο περισσότερους φορτιστές ανά σταθμό. Αλλά αν λάβουμε υπόψη την περιαγωγή και συγκρίνουμε τα ανοιχτά δίκτυα φόρτισης με το περιφραγμένο δίκτυο κήπου της Tesla , είναι σαφές ότι οι χρήστες ανοιχτών δικτύων έχουν στη διάθεσή τους περισσότερους εξαιρετικά γρήγορους φορτιστές . Τον Ιανουάριο του 2021, για

παράδειγμα, η Virta προσέφερε εξαιρετικά γρήγορη φόρτιση και σε όλα μαζί 3 560 σημεία φόρτισης στην Ευρώπη μέσω του δικτύου περιαγωγής μας. Και το ποσό αυξάνεται ραγδαία. Ένα πράγμα είναι βέβαιο: το δίκτυο φόρτισης του μεμονωμένου ιδιοκτήτη δεν επαρκεί για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες κινητικότητας και φόρτισης όλων των οδηγών EV. Η κατασκευή δικτύων γρήγορης φόρτισης περιορίζεται επί του παρόντος κάπως από την παραγωγική ικανότητα των κατασκευαστών φορτιστών, αλλά κυρίως από τη διαθεσιμότητα κατάλληλων θέσεων φόρτισης . Επιπλέον, η διαπραγμάτευση όλων των συμφωνιών χρήσης γης και εταιρικής σχέσης που σχετίζονται με την επέκταση του δικτύου χρέωσης απαιτεί πολλή δουλειά και εσωτερικούς πόρους.

1.2.10 Φόρτιση ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Η διαδικασία φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, αλλά και οι διαθέσιμες τεχνολογίες έχουν πρωταρχική σημασία για τη διάδοση και την ανεμπόδιστη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων. Σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι τα δίκτυα διανομής και οι πηγές ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα καλύπτουν σχεδόν κάθε περιοχή, από τις πυκνοκατοικημένες μεγαλουπόλεις, έως τα απομακρυσμένα νησιά και περιοχές της υπαίθρου, ενώ η τεχνολογική εξέλιξη έχει καταστήσει τη φόρτιση ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου μια προσιτή και εξαιρετικά απλή και εύκολη διαδικασία, εφόσον έχουν εγκατασταθεί οι σχετικές υποδομές. Για την επαναφόρτιση των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων έχουν καθιερωθεί διεθνώς διάφορα πρότυπα και τρόποι, οι οποίοι, αναλόγως των αναγκών των χρηστών και των δυνατοτήτων ηλεκτροδότησης κάθε σημείου φόρτισης, προφέρουν διαφορετική ποιότητα, ταχύτητα και δυνατότητες φόρτισης. Οι πλέον διεδομένοι σήμερα τρόποι επαναφόρτισης ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι οι ακόλουθοι:

1.2.10.1 Μέθοδος 1

Κατά τη Μέθοδο 1, το ηλεκτρικό όχημα φορτίζεται από το AC ηλεκτρικό δίκτυο χαμηλής τάσης μέσω κοινού ρευματοδότη (socket-outlet), χρησιμοποιώντας καλώδιο με βύσμα που δεν περιέχουν ειδική διάταξη επικοινωνίας ή ελέγχου. Το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα φόρτισης ορίζεται στα 16 Α. Στο Σχήμα 2.1 απεικονίζεται η τυπική διάταξη φόρτισης ενός ηλεκτρικού οχήματος με τη Μέθοδο 1 και η όψη ενός κοινού ρευματοδότη schuko.

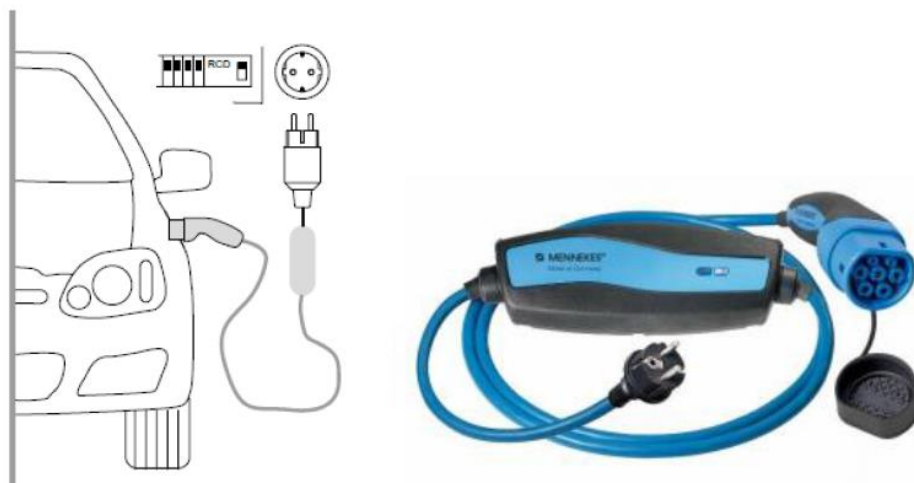


Σχήματα 2.1α και 2.1β: Διάταξη φόρτισης Μεθόδου 1 (αριστερά) και ρευματοδότης schuko (δεξιά)

Η Μέθοδος 1 είναι η πιο απλή μέθοδος φόρτισης και επιτρέπει στον χρήστη την φόρτιση του ηλεκτρικού του οχήματος, αξιοποιώντας απλά ένα κοινό ρευματοδότη και το καλώδιο φόρτισης που συνήθως παρέχεται μαζί με το όχημα. Παρ' όλα αυτά, η συγκεκριμένη μέθοδος χαρακτηρίζεται από την έλλειψη εγγυημένης παρουσίας διατάξεων προστασίας από υπερένταση και διαρροή προς τη γη, καθώς και από την απουσία συστήματος ελέγχου της φόρτισης. Για την ασφαλή φόρτιση του οχήματος θα πρέπει να είναι ήδη εγκατεστημένες οι εν λόγω διατάξεις προστασίας στο κύκλωμα της ηλεκτρικής εγκατάστασης, κάτι το οποίο δεν είναι εφικτό ή εγγυημένο σε όλες τις περιπτώσεις. Για αυτούς τους λόγους η Μέθοδος 1 θεωρείται η λιγότερο ενδεδειγμένη μέθοδος φόρτισης και κατά συνέπεια είναι απαγορευμένη σε αρκετές χώρες παγκοσμίως.

1.2.10.2 Μέθοδος 2

Κατά τη Μέθοδο 2, το ηλεκτρικό όχημα φορτίζεται από το AC ηλεκτρικό δίκτυο χαμηλής τάσης μέσω κοινού ρευματοδότη, χρησιμοποιώντας κατάλληλη συσκευή φόρτισης με καλώδιο και βύσμα, η οποία εμπεριέχει αγωγό ελέγχου (control pilot – βλέπε παράγραφο 2.2.3) και διάταξη προστασίας από ηλεκτροπληξία. Το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα φόρτισης ορίζεται στα 32 A. Στο Σχήμα 2.2α απεικονίζεται η τυπική διάταξη φόρτισης ενός ηλεκτρικού οχήματος με τη Μέθοδο 2.

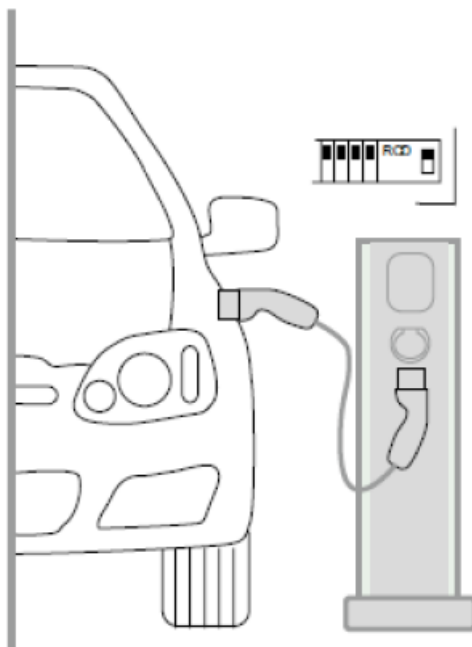


Σχήματα 2.2α και 2.2β: Διάταξη φόρτισης Μεθόδου 2 (αριστερά) και συσκευή IC-CPD (δεξιά)

Η συσκευή φόρτισης της Μεθόδου 2 (In-Cable Control and Protective Device – IC-CPD), η οποία απεικονίζεται στο Σχήμα 2.2β, είναι αποσπώμενη και συνδέεται αφενός στην υποδοχή του ηλεκτρικού οχήματος, αφετέρου σε κοινό ρευματοδότη της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Η χρήση της εν λόγω συσκευής παρέχει στο χρήστη τόσο την απαραίτητη προστασία έναντι ηλεκτροπληξίας, όσο και κατάλληλο σύστημα επικοινωνίας μεταξύ της συσκευής και του οχήματος, με αποτέλεσμα την ελεγχόμενη φόρτιση αυτού. Σε αντίθεση με την Μέθοδο 1, δεν απαιτείται να είναι ήδη εγκατεστημένες οι απαραίτητες διατάξεις προστασίας στην ηλεκτρική εγκατάσταση για την ασφαλή φόρτιση του οχήματος. Η συγκεκριμένη μέθοδος φόρτισης χαρακτηρίζεται από αργούς χρόνους φόρτισης και συνίσταται για τη φόρτιση οχημάτων σε ιδιωτικούς χώρους, όπως σε οικιακές εγκαταστάσεις.

1.2.10.3 Μέθοδος 3

Κατά τη Μέθοδο 3, το ηλεκτρικό όχημα φορτίζεται από το AC ηλεκτρικό δίκτυο χαμηλής τάσης μέσω συσκευής φόρτισης μόνιμα συνδεδεμένης στο δίκτυο, η οποία διαθέτει ενσωματωμένο κύκλωμα ελέγχου που εκτείνεται από τη συσκευή μέχρι το όχημα [15]. Το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα φόρτισης είναι 70 A για μονοφασική φόρτιση και 63 A για τριφασική φόρτιση, αν και στην πράξη οι περισσότερες συσκευές φόρτισης έχουν ονομαστικό ρεύμα μέχρι 16 A και 32 A για μονοφασική και τριφασική φόρτιση αντίστοιχα. Στο Σχήμα 2.3 απεικονίζεται η τυπική διάταξη φόρτισης ενός ηλεκτρικού οχήματος με τη Μέθοδο 3.



Σχήμα 1.8 : Διάταξη φόρτισης Μεθόδου 3

Η Μέθοδος 3 συνίσταται για τη φόρτιση οχημάτων τόσο σε ιδιωτικούς, όσο και σε δημόσιους χώρους. Επιπλέον, με τη Μέθοδο 3 επιτρέπεται η ταυτόχρονη φόρτιση δύο ηλεκτρικών οχημάτων από την ίδια συσκευή φόρτισης. Λόγω του μεγάλου ρεύματος φόρτισης είναι δυνατή η ταχύτερη φόρτιση οχημάτων, σε σύγκριση με τις προηγούμενες μεθόδους. Η συσκευή φόρτισης μπορεί να περιέχει τις κατάλληλες διατάξεις προστασίας από υπερφόρτιση και ηλεκτροπληξία, καθώς και σύστημα ελέγχου και επικοινωνίας μεταξύ του μετατροπέα του οχήματος και της συσκευής. Οι συσκευές φόρτισης Μεθόδου 3 μπορούν να είναι επιτοίχιες (wallbox) ή επιδαπέδιες, όπως φαίνονται στο Σχήμα 2.4.



Σχήμα 1.9: Επιτοίχια (αριστερά) και επιδαπέδια (δεξιά) συσκευή φόρτισης Μεθ. 3

1.2.10.4 Μέθοδος 4

Κατά τη Μέθοδο 4, το ηλεκτρικό όχημα τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα (DC) από συσκευή φόρτισης μόνιμα συνδεδεμένης σε AC ή DC ηλεκτρικό δίκτυο.

1.2.10.5 Ανασκόπηση και σύγκριση μεθόδων φόρτισης

Στις προηγούμενες παραγράφους παρουσιάστηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά των τεσσάρων μεθόδων φόρτισης κατά το IEC 61851. Η συγκεκριμένη προτυποποίηση των μεθόδων φόρτισης είναι η πιο διαδεδομένη, με τις περισσότερες χώρες στον κόσμο να την ακολουθούν. Στον αντίποδα, χώρες που δεν ακολουθούν τη συγκεκριμένη προτυποποίηση, όπως οι ΗΠΑ, ακολουθούν άλλες προτυποποιήσεις, όπως αυτή κατά το SAE J1772. Το συγκεκριμένο πρότυπο, εκτός από διαφορετικές μεθόδους φόρτισης καθορίζει και τη χρήση διαφορετικών υποδοχών και ακροσυνδέσμων. Στην παρούσα έκθεση παρουσιάζονται τα στοιχεία που είναι σύμφωνα με το IEC 61851 και τα αντίστοιχα πρότυπα, τα οποία ακολουθεί η πλειονότητα των ευρωπαϊκών χωρών. Παράλληλα, στις παραπάνω μεθόδους φόρτισης δεν συγκαταλέγεται κάποια μέθοδος ασύρματης φόρτισης (inductive charging) ηλεκτρικών οχημάτων. Η παρούσα έκθεση αφορά αποκλειστικά την ενσύρματη/αγώγιμη φόρτιση (conductive charging), καθώς αποτελεί μια δοκιμασμένη και ευρέως διαδεδομένη τεχνολογία που ωριμάζει ολοένα και περισσότερο.

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω, για την φόρτιση των συσσωρευτών των ηλεκτρικών οχημάτων χρησιμοποιείται ένα σύνολο ειδικού εξοπλισμού, αναφερόμενου ως συσκευή φόρτισης. Ως συσκευή φόρτισης (Electric Vehicle Supply Equipment – EVSE) ορίζεται ο εξοπλισμός ή συνδυασμός τμημάτων του εξοπλισμού, ο οποίος εκτελεί συγκεκριμένες λειτουργίες για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, προερχόμενης από μια κτηριακή ηλεκτρική εγκατάσταση ή από το δημόσιο ηλεκτρικό δίκτυο, σε ένα ηλεκτρικό όχημα, με στόχο την φόρτιση των συσσωρευτών του. Εφόσον το καλώδιο φόρτισης δεν είναι μόνιμα συνδεδεμένο στο όχημα, τότε αποτελεί τμήμα της συσκευής φόρτισης. Ως σταθμός φόρτισης (charging station) νοείται το στατό μέρος μιας συσκευής φόρτισης, το οποίο συνδέεται με το ηλεκτρικό δίκτυο. Δεδομένου ότι το σύνολο του εξοπλισμού που προορίζεται για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων περιλαμβάνει εκτός των επιμέρους διατάξεων, συσκευών και κυκλωμάτων και το σταθμό φόρτισης, στο υπόλοιπο της παρούσας εργασίας χρησιμοποιείται ο όρος «συσκευή φόρτισης» για την περιγραφή του εν λόγω εξοπλισμού.

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά των τεσσάρων μεθόδων φόρτισης. Για τον υπολογισμό της μέγιστης ισχύος θεωρείται σύνδεση της συσκευής φόρτισης σε δίκτυο XT 230/400 V, ενώ οι τιμές αυτές αφορούν τη φόρτιση ενός και όχι περισσότερων οχημάτων ταυτόχρονα.

	Μέγιστη Ισχύς	Μέγιστο Ρεύμα	Ενσωματωμένες διατάξεις προστασίας & ελέγχου	Χρόνος φόρτισης	Χρήση σε εγκατάσταση
Μέθοδος 1	3,7 kW (1Φ) 11 kW (3Φ)	16 A	Όχι	Αργός	Οικιακή
Μέθοδος 2	7,4 kW (1Φ) 22 kW (3Φ)	32 A	Ναι	Μέτριος	Οικιακή
Μέθοδος 3	16 kW (1Φ) 43,6 kW (3Φ)	70 A (1Φ) 63 A (3Φ)	Ναι	Μέτριος	Οικιακή, Εμπορική, Δημόσια
Μέθοδος 4	-	-	Ναι	Ταχύς	Εμπορική, Δημόσια

Πίνακας 1.1 Ανασκόπηση μεθόδων φόρτισης

Οι Μέθοδοι 1, 2 και 3 αφορούν AC φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων, ενώ η Μέθοδος 4 αφορά DC φόρτιση. Οι τεχνικές απαιτήσεις που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 2 καλύπτουν πλήρως την AC φόρτιση. Στο Κεφάλαιο 3, όπου παρουσιάζονται η λειτουργία και οι τεχνικές απαιτήσεις της DC

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ φόρτισης, θα αναφέρεται ανά παράγραφο εάν ισχύουν οι ίδιες απαιτήσεις με την AC φόρτιση ή εάν αυτές διαφοροποιούνται, καθώς και με ποιον τρόπο.

Φόρτιση ηλεκτρικού αυτοκινήτου στο σπίτι από μια πρίζα τύπου σούκο: Η φόρτιση του οχήματος από μία απλή πρίζα σούκο απαιτεί μεγάλη διάρκεια, καθώς συνήθως η ισχύς φόρτισης δεν ξεπερνάει τα 2,6 kW και μια πλήρης φόρτιση μπορεί να διαρκέσει κατά μέσο όρο 10 ώρες ή και πολύ περισσότερο, αναλόγως του μοντέλου του αυτοκινήτου και της χωρητικότητας των μπαταριών του. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται το καλώδιο φόρτισης που δίνεται από τον κατασκευαστή του οχήματος και είναι συνδεδεμένο με ένα κουτί που εξασφαλίζει την επικοινωνία με το όχημα (Mode 2 φόρτιση), αλλά για να είναι ασφαλής η διαδικασία φόρτισης, θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι στο κύκλωμα της πρίζας, που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση του αυτοκινήτου, δεν υπάρχουν άλλα φορτία, ενώ έχει προβλεφθεί η τοποθέτηση κατάλληλης ασφάλειας της γραμμής στον πίνακα διανομής.

Οικιακή φόρτιση ηλεκτρικού αυτοκινήτου με συσκευή φόρτισης Mode 3: Με τη χρήση μιας ειδικής συσκευής φόρτισης με ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου και προστασίας (Mode 3) και με παροχή στα 16 A, ή εφόσον υπάρχει τέτοια διαθεσιμότητα στο χώρο εγκατάστασης της συσκευής, και στα 32A, μια πλήρης επαναφόρτιση άδειας μπαταρίας μπορεί να διαρκέσει κατά μέσο όρο από 3,5 έως 7 ώρες αναλόγως του τύπου του αυτοκινήτου, της διαθέσιμης ισχύος του ρεύματος στο κτίριο όπου τοποθετείται και των χαρακτηριστικών της συσκευής φόρτισης.

Ημιταχεία φόρτιση σε σταθμούς εναλλασσόμενου ρεύματος : Η φόρτιση σε κοινόχρηστα ή ημι-κοινόχρηστα σημεία, όπως αυτά που βρίσκονται σε πεζοδρόμια, ή σε οργανωμένους χώρους στάθμευσης, super markets κλπ., στα οποία σταθμεύουν στη διάρκεια της ημέρας τα ηλεκτρικά οχήματα, γίνεται συνήθως σε σταθμούς φόρτισης που παρέχουν εναλλασσόμενο ρεύμα. Σύμφωνα με την υφιστάμενη νομοθεσία σε όλη την Ε.Ε. οι δημόσια προσβάσιμοι σταθμοί φόρτισης «κανονικής ισχύος» πρέπει να διαθέτουν πρίζες Τύπου 2 κατά το πρότυπο IEC62196 και να φορτίζουν με ισχύ φόρτισης από 3,7kw έως 22kw. Αναλόγως της εγκατεστημένης ισχύος σε κάθε σημείο δημόσιας φόρτισης και του μοντέλου του αυτοκινήτου, μια πλήρης επαναφόρτιση άδειας μπαταρίας σε σταθμούς ημιταχείας φόρτισης μπορεί να διαρκέσει από μία έως επτά ώρες.

Ταχυφόρτιση ηλεκτρικών αυτοκινήτων σε σταθμούς συνεχούς ρεύματος : Οι σταθμοί ταχυφόρτισης παρέχουν είτε συνεχές ρεύμα (DC) έντασης ως και 150 kw, είτε και εναλλασσόμενο (AC) με ισχύ έως 44 kw για οχήματα που διαθέτουν ανάλογη δυνατότητα. Η πλήρης επαναφόρτιση (από το 0% έως το 85% – 90%) των μπαταριών διαρκεί από 20' έως 45', ανάλογα και με τον τύπο του οχήματος, τις τεχνικές προδιαγραφές φόρτισης των μπαταριών του και την εξωτερική θερμοκρασία. Όλοι οι σταθμοί ταχυφόρτισης συνεχούς ρεύματος διαθέτουν ενσωματωμένα το καλώδιο με το αντίστοιχο βύσμα. Σημειώνεται ότι υπάρχουν δύο βασικά πρότυπα βύσματος και συστήματος ταχυφόρτισης με συνεχές ρεύμα. Το πρότυπο CHAdeMO το οποίο έχει υιοθετηθεί από τις Nissan, Citroen, Mitsubishi, KIA και Peugeot και το οποίο χρησιμοποιεί διαφορετικό ρευματοδέκτη στο αυτοκίνητο από αυτόν που διαθέτει για τη φόρτιση με εναλλασσόμενο ρεύμα. Το πρότυπο CCS (Combo) που υιοθετήθηκε από τις εταιρείες Volkswagen, BMW, Ford, Audi και Mercedes και το οποίο χρησιμοποιεί στην πλευρά του αυτοκινήτου τον ίδιο ρευματοδέκτη, ο οποίος χρησιμοποιείται και για τη φόρτιση με εναλλασσόμενο ρεύμα.

1.2.11 Ρευματοδότες Φόρτισης

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των πριζών και βυσμάτων, που χρησιμοποιούνται για την επαναφόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων ορίζονται από μια σειρά πρότυπα που έχουν υιοθετηθεί από την αυτοκινητοβιομηχανία, αλλά και από το σχετικό νομοθετικό πλαίσιο που ισχύει στα Κράτη Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ειδικότερα οι βασικοί τύποι ρευματοδοτών και αντίστοιχων ρευματοληπτών για φόρτιση ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι οι ακόλουθοι:



Αποτελεί το κοινό πρότυπο πρίζας για όλους τους σταθμούς κανονικής φόρτισης στην ΕΕ. Επίσης το αντίστοιχο βύσμα Τύπου 2 χρησιμοποιείται για φόρτιση με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) σε αυτοκίνητα BMW, Mercedes, Ford, Hyundai, Porsche, Renault ZOE, SMART, Tesla, Toyota, Volvo, VW.

J1772 / Τύπος 1



Το βύσμα Τύπου 1 χρησιμοποιείται για την φόρτιση AC αυτοκινήτων Citroen, FIAT, Honda, KIA, NISSAN, Mitsubishi, Opel, Peugeot, Renault (Kangoo, Fluence).

Combo / CCS



Το βύσμα COMBO 2 χρησιμοποιείται σε σταθμούς DC για την ταχυφόρτιση αυτοκινήτων BMW, FORD, Hyundai, Mercedes, VW.

CHAdeMO



Το βύσμα CHAdeMO χρησιμοποιείται για την ταχυφόρτιση αυτοκινήτων Citroen, KIA, Honda, NISSAN, Mitsubishi, Peugeot, TESLA (με κατάλληλο adaptor), Toyota.

1.2.12 Καλωδίωση συσκευής φόρτισης :

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται οι βασικές απαιτήσεις που πρέπει να τηρούνται για την καλωδίωση μιας συσκευής φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο αυτής. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των βοηθητικών κυκλωμάτων ελέγχου για την επικοινωνία μεταξύ συσκευής και οχήματος και τον έλεγχο της φόρτισης .

Καλωδίωση εισόδου – εξόδου

Στην είσοδό της, η συσκευή φόρτισης συνδέεται με την ηλεκτρική εγκατάσταση ή το δίκτυο διανομής μέσω του παροχικού καλωδίου. Οι συσκευές AC φόρτισης συνδέονται σε AC ηλεκτρικό δίκτυο χαμηλής τάσης. Το παροχικό καλώδιο περιέχει τους αγωγούς φάσης (ένα για μονοφασική τροφοδοσία ή τρεις για τριφασική τροφοδοσία), τον ουδέτερο (Neutral – N) και τον αγωγό προστασίας (Protective Earth – PE), όπως απεικονίζεται και στο Σχήμα 2.4. Εδώ υπάγεται και η

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ περίπτωση όπου η συσκευή φόρτισης συνδέεται σε κοινό ρευματοδότη, όπως κατά τη Μέθοδο 2, με την υποχρέωση ότι αυτός φέρει εκτός των ενεργών αγωγών και επαφή αγωγού προστασίας (πχ. πρίζα Schuko). Ως ενεργοί αγωγοί θεωρούνται οι αγωγοί του κυκλώματος ισχύος στους οποίους ρέει ρεύμα κατά τη φυσιολογική λειτουργία, δηλαδή όχι κατά τη διάρκεια σφάλματος, και στην προκειμένη περίπτωση αυτοί είναι οι φάσεις και ο ουδέτερος. Για την παρούσα μελέτη ως παροχικό καλώδιο ορίζεται το καλώδιο που τροφοδοτεί τη συσκευή φόρτισης και όχι το καλώδιο που τροφοδοτεί το σύνολο της ηλεκτρικής εγκατάστασης.



Σχήμα 1.10 : Μονοφασικό (αριστερά) και τριφασικό (δεξιά) καλώδιο. Με μπλε χρώμα διακρίνεται ο ουδέτερος αγωγός, με κίτρινο και πράσινο χρώμα ο αγωγός προστασίας. Οι υπόλοιποι αγωγοί αντιστοιχούν στις φάσεις.

Η διατομή των αγωγών του παροχικού καλωδίου εξαρτάται από την ονομαστική ισχύ της συσκευής φόρτισης, μέγεθος που σχετίζεται με το μέγιστο ρεύμα που ρέει μέσω των αγωγών, το είδος της εγκατάστασης και τους κανονισμούς περί ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων ανά χώρα. Στην αγορά υπάρχουν αγωγοί με τυποποιημένες διατομές και εγκαθίστανται με βάση την ικανότητα φόρτισης. Για την Ελλάδα, ο υπολογισμός της διατομής των αγωγών γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ HD384.

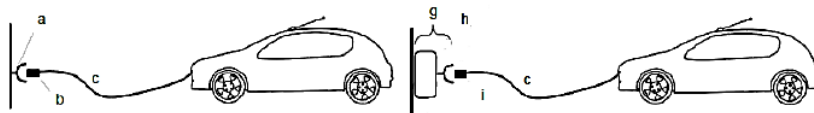
Στην έξοδό της, η συσκευή φόρτισης συνδέεται με το ηλεκτρικό όχημα μέσω του καλωδίου φόρτισης. Οι αγωγοί που φέρει το καλώδιο φόρτισης ποικίλουν ανάλογα με το είδος της φόρτισης, τη μέθοδο φόρτισης και τον τύπο του ακροσυνδέσμου του καλωδίου. Σε κάθε περίπτωση, το καλώδιο φόρτισης φέρει τους ενεργούς αγωγούς (ουδέτερο και μία ή τρεις φάσεις για μονοφασική ή τριφασική φόρτιση αντίστοιχα), τον αγωγό προστασίας και έναν ή περισσότερους βοηθητικούς αγωγούς. Οι τελευταίοι απουσιάζουν από το κύκλωμα φόρτισης κατά τη Μέθοδο 1 και αυτό αποτελεί έναν από τους πολλούς λόγους για τους οποίους η μέθοδος αυτή δεν συνιστάται. Ούτως ή άλλως, στη Μέθοδο 1 δεν υφίσταται συσκευή φόρτισης και το καλώδιο του ηλεκτρικού οχήματος συνδέεται κατευθείαν στον ρευματοδότη της ηλεκτρικής εγκατάστασης.

Ανάλογα με το είδος του καλωδίου, διακρίνονται οι εξής τρεις περιπτώσεις (Cases):

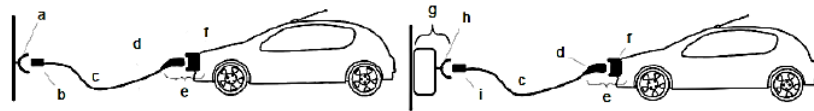
1. Περίπτωση Α (Case A): Σύνδεση του ηλεκτρικού οχήματος στο ηλεκτρικό δίκτυο μέσω βύσματος και καλωδίου μόνιμα συνδεδεμένου στο όχημα. Το καλώδιο θεωρείται τμήμα του οχήματος.
2. Περίπτωση Β (Case B): Σύνδεση του ηλεκτρικού οχήματος στο ηλεκτρικό δίκτυο μέσω αποσπώμενου - και από τις δύο πλευρές - καλωδίου. Το καλώδιο δεν θεωρείται τμήμα του οχήματος ούτε του σταθμού φόρτισης.
3. Περίπτωση Γ (Case C): Σύνδεση του ηλεκτρικού οχήματος στο ηλεκτρικό δίκτυο μέσω καλωδίου και ακροσυνδέσμου μόνιμα συνδεδεμένου στον σταθμό φόρτισης. Το καλώδιο θεωρείται τμήμα του σταθμού φόρτισης.

Στο Σχήμα 1.11 απεικονίζονται σχηματικά οι τρεις παραπάνω Περιπτώσεις.

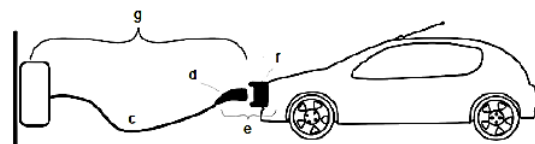
Περίπτωση Α



Περίπτωση Β



Περίπτωση Γ



Υπόμνημα

- (a) Ρευματοδότης
- (b) Βύσμα
- (c) Καλώδιο φόρτισης
- (d) Ακροσύνδεσμος
- (e) Ζεύγος υποδοχής και ακροσύνδεσμου
- (f) Υποδοχή επί του οχήματος
- (g) Σταθμός φόρτισης
- (h) Ρευματοδότης για ηλεκτρικό όχημα
- (i) Βύσμα για ηλεκτρικό όχημα

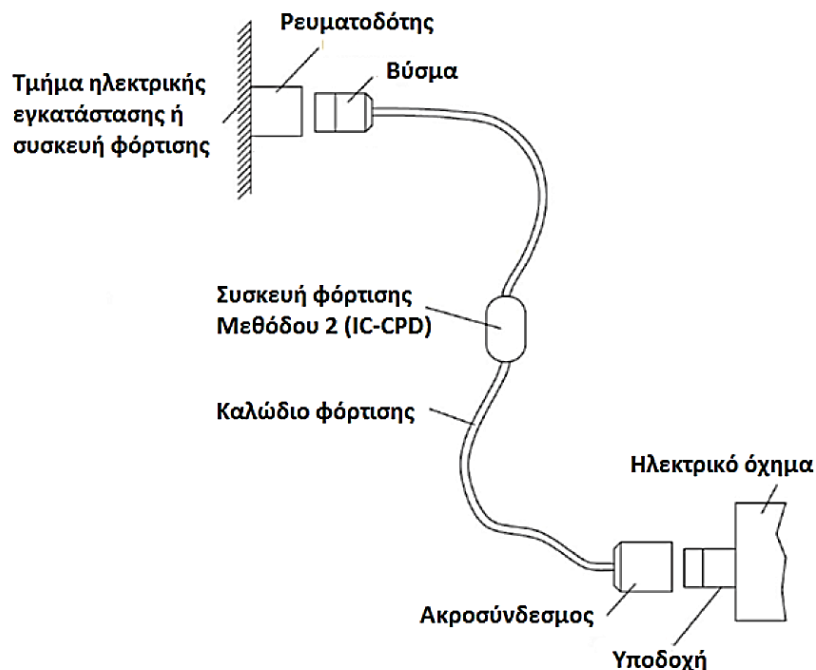
Σχήμα 1.11: Σχηματική απεικόνιση των Περιπτώσεων Α, Β και Γ

1.2.13 Εξοπλισμός και εξαρτήματα των σταθμών φόρτισης :

Όπως επισημάνθηκε και παραπάνω, με τον όρο συσκευή φόρτισης νοείται όλος ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων από ένα ηλεκτρικό δίκτυο. Ο εν λόγω εξοπλισμός αποτελείται από τα εξής βασικά εξαρτήματα (accessories):

- Σταθμός φόρτισης (charging station): Το στατό μέρος της συσκευής φόρτισης. Στερεώνεται στο έδαφος ή σε τοίχο κτηρίου και συνδέεται με το ηλεκτρικό δίκτυο.
- Καλώδιο φόρτισης (cable assembly): Το μέσο που επιτρέπει τη σύνδεση μεταξύ συσκευής φόρτισης και ηλεκτρικού οχήματος. Μπορεί είτε να είναι μόνιμα συνδεδεμένο σε μια από τις δύο πλευρές, είτε αποσπώμενο. Αποτελείται από ένα εύκαμπτο καλώδιο, τον ακροσύνδεσμο ή/και βύσμα, ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης.
- Βύσμα (plug): Τμήμα του καλωδίου φόρτισης που συνδέεται σε ένα ρευματοδότη. Μπορεί να περιέχει μηχανικά, ηλεκτρικά ή ηλεκτρονικά μέρη και κυκλώματα που εκτελούν λειτουργίες ελέγχου.
- Ρευματοδότης (socket-outlet): Τμήμα της ηλεκτρικής εγκατάστασης ή της συσκευής φόρτισης. Στο ρευματοδότη συνδέεται το βύσμα του καλωδίου φόρτισης.
- Ακροσύνδεσμος (vehicle connector): Τμήμα του καλωδίου φόρτισης που συνδέεται στην υποδοχή του ηλεκτρικού οχήματος.
- Υποδοχή (vehicle inlet): Ενσωματωμένη στο ηλεκτρικό όχημα, εκεί συνδέεται ο ακροσύνδεσμος του καλωδίου φόρτισης.

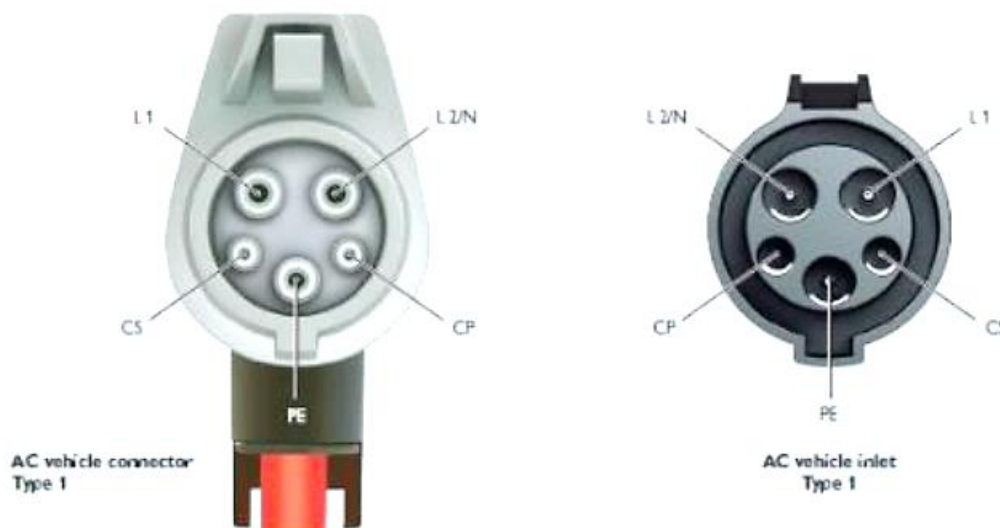
Στο Σχήμα 1.12 διακρίνονται οι θέσεις των επιμέρους εξαρτημάτων του εξοπλισμού σε μια τυπική διάταξη φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.



Σχήμα 1.12: Θέσεις εξαρτημάτων εξοπλισμού φόρτισης

1.2.14 Υποδοχές και ακροσύνδεσμοι

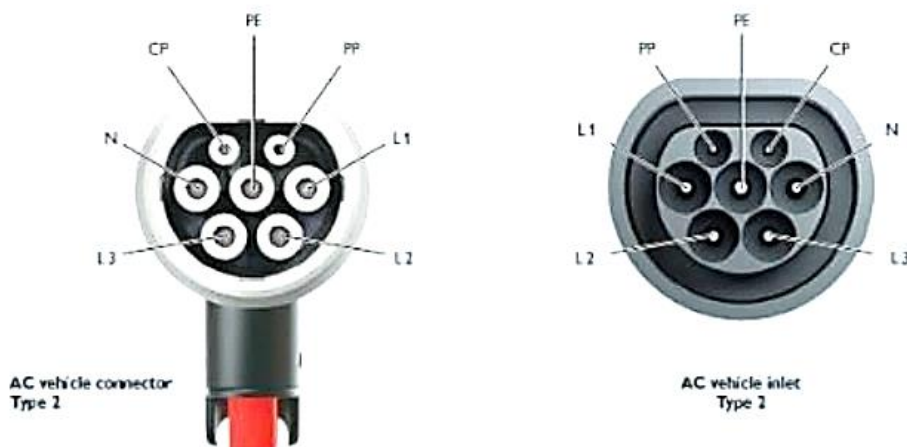
Για να επιτυγχάνεται συμβατότητα μεταξύ όλων των συσκευών φόρτισης και των ηλεκτρικών οχημάτων, η IEC έχει προχωρήσει σε τυποποίηση των υποδοχών και ακροσυνδέσμων για την AC και DC φόρτιση των οχημάτων. Τα δημοφιλέστερα τυποποιημένα ζεύγη ακροσυνδέσμων και υποδοχών που προορίζονται για AC φόρτιση, όπως περιγράφονται στα πρότυπα IEC 62196, είναι τα ζεύγη τύπου 1 και τύπου 2. Για κάθε τύπο ακροσυνδέσμου υπάρχει και η αντίστοιχη υποδοχή επί του ηλεκτρικού οχήματος, ώστε να επιτυγχάνεται η συμβατότητα της σύνδεσης μεταξύ της συσκευής φόρτισης και του οχήματος. Ο ακροσύνδεσμος τύπου 1 (type 1 connector) σχεδιάστηκε αρχικά από την California Air Resources Brand το 2001 και έχει πλέον καθιερωθεί ως ο επικρατέστερος ακροσύνδεσμος σε βόρεια Αμερική και Ιαπωνία. Ονομάζεται αλλιώς και ακροσύνδεσμος J1772, λόγω του ομώνυμου προτύπου στο οποίο περιγράφηκαν για πρώτη φορά τα χαρακτηριστικά του. Διαθέτει 5 ακροδέκτες: L1 (φάση), L2/N (δεύτερη φάση/ουδέτερος), CP (control pilot), PP (proximity pilot) και PE (αγωγός προστασίας).



Σχήμα 1.13: Ακροσύνδεσμος και υποδοχή τύπου 1

Ο ακροσύνδεσμος τύπου 1 είναι κυκλικός, ενώ η αντίστοιχη υποδοχή φέρει κατάλληλη εγκοπή για την έκκεντρη τοποθέτηση του ακροσυνδέσμου. Ο ακροσύνδεσμος διαθέτει επίσης μηχανικό μανδαλωτή, ώστε να διατηρείται σφηνωμένος μετά την είσοδό του στην υποδοχή του οχήματος. Το κύκλωμα εγγύτητας δεν εκτελεί τη λειτουργία ανάγνωσης της ικανότητας φόρτισης του καλωδίου. Ο συγκεκριμένος τύπος υποστηρίζει μονάχα μονοφασική φόρτιση. Το ρεύμα ονομαστικής λειτουργίας περιορίζεται στα 32 A, ενώ σε εφαρμογές στις ΗΠΑ, οι οποίες περιγράφονται στο πρότυπο SAE J1772, το ρεύμα μπορεί να φτάσει μέχρι και 80 A.

Ο ακροσύνδεσμος τύπου 2 σχεδιάστηκε στη Γερμανία το 2009 και έχει πλέον καθιερωθεί ως ο επίσημος ακροσύνδεσμος στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ονομάζεται αλλιώς και ακροσύνδεσμος Mennekes, λόγω της εταιρείας που το σχεδίασε πρώτη. Διαθέτει 7 ακροδέκτες: L1 (φάση), L2 (φάση), L3 (φάση), N (ουδέτερος), CP (control pilot), PP (proximity pilot) και PE (αγωγός προστασίας).



Σχήμα 1.14: Ακροσύνδεσμος και υποδοχή τύπου 2

Ο ακροσύνδεσμος τύπου 2 είναι κυκλικός με πεπλατυσμένη τη μια πλευρά για την έκκεντρη τοποθέτησή του. Όταν εισέρχεται εντός της υποδοχής, ο ακροσύνδεσμος παραμένει σφηνωμένος χάρη σε μηχανισμό μανδάλωσης που βρίσκεται στην υποδοχή. Ο ίδιος μηχανισμός χρησιμοποιείται για την μανδάλωση του καλωδίου στην πλευρά του σταθμού φόρτισης, μεταξύ του βύσματος και του ρευματοδότη. Το κύκλωμα εγγύτητας εκτελεί τη λειτουργία ανάγνωσης της ικανότητας φόρτισης του καλωδίου, ταυτόχρονα με τη λειτουργία αναγνώρισης εγγύτητας [25]. Ο συγκεκριμένος τύπος υποστηρίζει μονοφασική και τριφασική φόρτιση. Το ρεύμα ονομαστικής λειτουργίας περιορίζεται στα 63 A, ενώ επιτρέπεται η διέλευση ρεύματος μέχρι 70 A σε εφαρμογές μονοφασικής φόρτισης [24].

Εκτός των ακροσυνδέσμων τύπου 1 και 2, υπάρχει ένας ακόμη τυποποιημένος ακροσύνδεσμος, ο ακροσύνδεσμος τύπου 3, του οποίου τα τεχνικά χαρακτηριστικά περιγράφονται πλήρως στο πρότυπο IEC 62196. Σχεδιάστηκε το 2010 από την ένωση EV Plug Alliance, της οποίας υπήρξαν μέλη μεταξύ άλλων οι εταιρίες Scame, Schneider Electric και Legrand. Ονομάζεται αλλιώς και ακροσύνδεσμος Scame. Διαθέτει έως 7 ακροδέκτες, όπως ακριβώς και ο ακροσύνδεσμος τύπου 2 [26].



Σχήμα 1.14: Ακροσύνδεσμοι τύπου 3 για μονοφασική χωρίς CP (αριστερά) και τριφασική φόρτιση (δεξιά)

Ο ακροσύνδεσμος τύπου 3 είναι ωειδής με πεπλατυσμένη τη μία πλευρά για την έκκεντρη τοποθέτησή του. Όταν εισέρχεται εντός της υποδοχής, ο ακροσύνδεσμος παραμένει σφηνωμένος χάρη σε μηχανισμό μανδάλωσης που βρίσκεται στην υποδοχή. Ο ίδιος μηχανισμός χρησιμοποιείται για την μανδάλωση του καλωδίου στην πλευρά του σταθμού φόρτισης, μεταξύ του βύσματος και του ρευματοδότη. Το κύκλωμα εγγύτητας εκτελεί τη λειτουργία ανάγνωσης της ικανότητας φόρτισης του καλωδίου, ταυτόχρονα με τη λειτουργία αναγνώρισης εγγύτητας [25], ενώ το κύκλωμα ελέγχου και επικοινωνίας μπορεί να μην υποστηρίζεται. Ο συγκεκριμένος τύπος υποστηρίζει μονοφασική και τριφασική φόρτιση. Το ρεύμα ονομαστικής λειτουργίας εξαρτάται από τη φόρτιση και την παρουσία αγωγού ελέγχου. Με άλλα λόγια το μέγιστο ρεύμα λειτουργίας είναι:

- 16 A για μονοφασική φόρτιση χωρίς αγωγό ελέγχου (CP)
- 32 A για μονοφασική φόρτιση με αγωγό ελέγχου
- 63 A για τριφασική φόρτιση

Η χρήση του ακροσυνδέσμου τύπου 3 δεν είναι διαδεδομένη, καθώς επισκιάζεται από τον ακροσύνδεσμο τύπου 2, με τον οποίο διαθέτουν παρόμοια χαρακτηριστικά.

1.2.15 Καλώδιο φόρτισης

Το ηλεκτρικό όχημα συνδέεται με τη συσκευή φόρτισης ή με την κτηριακή ηλεκτρική εγκατάσταση μέσω του καλωδίου φόρτισης. Το καλώδιο φόρτισης πρέπει να είναι κατάλληλο για την εκάστοτε εφαρμογή, καθώς και να μην επιτρέπει τη μετάβαση από μια μέθοδο φόρτισης σε κάποια άλλη.

Για την Περίπτωση Γ (Case C), όπου το καλώδιο φόρτισης είναι μόνιμα συνδεδεμένο στον σταθμό φόρτισης, η μέγιστη τάση και ένταση λειτουργίας του καλωδίου πρέπει να ταυτίζονται με τα αντίστοιχα μεγέθη της συσκευής φόρτισης. Για την Περίπτωση Β, όπου το μέγιστο ρεύμα του καλωδίου φόρτισης προσδιορίζεται μέσω της λειτουργίας ανάγνωσης της ικανότητας φόρτισης από το κύκλωμα εγγύτητας,

Επιπλέον, δεν επιτρέπεται η επέκταση του ήδη υφιστάμενου εξοπλισμού, όπως για παράδειγμα με χρήση καλωδίου με βύσμα και φορητό ρευματοδότη ή ακροσύνδεσμο (cord extension set - «μπαλαντέζα»), ούτε η σύνδεση ενός ή τμήματος ακροδεκτών ενός βύσματος ή ακροσυνδέσμου με τον αντίστοιχο ενός ρευματοδότη ή υποδοχής χωρίς την σύνδεση των υπολοίπων ακροδεκτών.

Το καλώδιο φόρτισης μπορεί να αποτελείται από ένα ή περισσότερα καλώδια εντός εύκαμπτου σωλήνα. Το καλώδιο μπορεί να διαθέτει μεταλλική θωράκιση, στην οποία να συνδέεται ο γειωμένος αγωγός προστασίας. Η μόνωση του καλωδίου πρέπει να είναι ανθεκτική στη φθορά και να διατηρεί την ευκαμψία του σε ολόκληρο το εύρος των επιτρεπόμενων θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν τη συσκευή φόρτισης. Η κατασκευή του καλωδίου και των υπόλοιπων εξαρτημάτων πρέπει να

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
διασφαλίζει ότι το καλώδιο δεν μπορεί να ακουμπήσει εκτεθειμένα ή εσωτερικά μεταλλικά μέρη, όπως βίδες, όταν αυτά είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένα με εκτεθειμένα μεταλλικά μέρη, εκτός και αν τα εκτεθειμένα μεταλλικά μέρη συνδέονται με τον γειωμένο αγωγό προστασίας.

Το μέγιστο μήκος του καλωδίου προσδιορίζεται από τους κανονισμούς περί ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων ανά χώρα. Στις ΗΠΑ και στην Ελβετία, το μέγιστο μήκος καλωδίου για συσκευές χωρίς σύστημα διαχείρισης καλωδίου είναι 7,5 και 5 μέτρα αντίστοιχα. Η ύπαρξη συστήματος διαχείρισης καλωδίου επιτρέπει την εγκατάσταση καλωδίων με μεγαλύτερο μήκος.

Οι συσκευές φόρτισης με καλώδιο μόνιμα συνδεδεμένο σε αυτές (Περίπτωση Γ) πρέπει να διαθέτουν χώρο αποθήκευσης του καλωδίου και κράτησης του ακροσυνδέσμου, σε ύψος μεταξύ 0,5 και 1,5 μέτρων από το έδαφος, όταν είναι ανενεργές. Θα πρέπει να διασφαλίζεται η αποτροπή υπερθέρμανσης των καλωδίων κατά την αποθήκευσή τους [15].

Τέλος, οι ειδικές απαιτήσεις για τα καλώδια φόρτισης με ενσωματωμένη συσκευή ελέγχου προστασίας (IC-CPD) που χρησιμοποιούνται κατά τη Μέθοδο 2 περιγράφονται αναλυτικά στο πρότυπο IEC 62752. Κατά τη σύνδεση συσκευών IC-CPD προβλέπεται η τοποθέτηση ενός επιτοίχιου “καλαθιού” ή άλλης παρόμοιας διάταξης κάτω από τον ρευματοδότη, ώστε να υποστηρίζει το βάρος της συσκευής IC-CPD. Με αυτό τον τρόπο η συσκευή IC-CPD δεν κρέμεται από το βύσμα που είναι συνδεδεμένο στο ρευματοδότη και έτσι αποφεύγεται η μηχανική καταπόνηση του καλωδίου φόρτισης [27].

Διάταξη ενδοασφάλισης

Η διάταξη ενδοασφάλισης (interlock) είναι μια διάταξη που αποτρέπει τους ενεργούς αγωγούς ενός ρευματοδότη ή ακροσυνδέσμου από το να βρεθούν υπό τάση πριν συνδεθούν σωστά με το βύσμα ή υποδοχή αντίστοιχα. Επιπλέον, αποτρέπει το τράβηγμα του βύσματος ή ακροσυνδέσμου όσο οι ενεργοί αγωγοί βρίσκονται υπό τάση και αποσυνδέει τους ενεργούς αγωγούς από την τροφοδοσία πριν το τράβηγμα και το διαχωρισμό. Αν η διάταξη ενδοασφάλισης περιέχει μηχανισμό μηχανικής μανδάλωσης (latching device), τότε η ενδοασφάλιση γίνεται μηχανικά (mechanical interlock), ενώ σε αντίθεση περίπτωση γίνεται ηλεκτρικά (electrical interlock). Τα εξαρτήματα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, σε αυτά που διαθέτουν διάταξη ενδοασφάλισης και σε αυτά που δεν διαθέτουν.

Τα ζεύγη βύσματος – ρευματοδότη και ακροσυνδέσμου – υποδοχής πρέπει να κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε τα πρώτα να μην μπορούν να τραβηχτούν έξω από τα τελευταία όσο οι ενεργοί αγωγοί από την πλευρά του δικτύου βρίσκονται υπό τάση, ενώ οι επαφές των αγωγών από την πλευρά του δικτύου δεν πρέπει να βρεθούν υπό τάση εφόσον δεν έχει επιτευχθεί ομαλή σύνδεση των ζευγών. Οι επαφές των ενεργών αγωγών δεν πρέπει να συνδέονται ή να αποσυνδέονται υπό φορτίο. Η διάταξη ενδοασφάλισης φροντίζει ώστε όλα τα παραπάνω να λαμβάνουν χώρα υπό κανονικές συνθήκες.

Τα εξαρτήματα με διάταξη ηλεκτρικής ενδοασφάλισης πρέπει να κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε το χρονικό διάστημα μεταξύ του ανοίγματος των επαφών των ηλεκτρονικών διακοπών και του ανοίγματος των επαφών των κύριων ακροδεκτών να είναι αρκετό για να εξασφαλίζεται ότι οι μηχανικοί διακόπτες διακόπτουν το ρεύμα προτού οι επαφές του βύσματος αποσυνδεθούν από τις επαφές του ρευματοδότη. Επιπλέον, κατά το κλείσιμο των επαφών, θα πρέπει οι επαφές των ηλεκτρονικών διακοπών να κλείσουν ταυτόχρονα ή μετά το κλείσιμο των επαφών των κυρίων ακροδεκτών.

Κατά τους τύπους ακροσυνδέσμων 2 και 3 είναι επιτακτική η ύπαρξη μηχανισμού μηχανικής μανδάλωσης για την αποτροπή ανεπιθύμητης ή αθέμιτης αποσύνδεσης. Η συσκευή φόρτισης πρέπει να αντιλαμβάνεται ότι η ενδοασφάλιση εκτελείται ορθά.

1.2.16 Κατηγορίες ηλεκτρικών οχημάτων

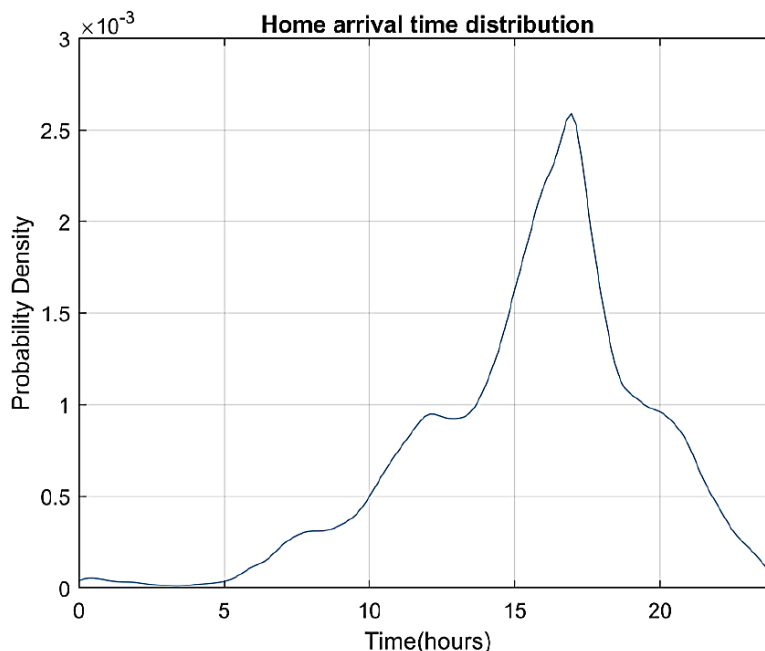
Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να χωριστούν σε πέντε κατηγορίες, ανάλογα με το εύρος τιμής αγοράς. Μάλιστα, για να επιτευχθεί μία ρεαλιστική προσέγγιση, όσο πιο χαμηλή είναι η κατηγορία τιμής τόσο μεγαλύτερο ποσοστό έχει στο συνολικό πλήθος οχημάτων. Στον πίνακα 1.2 φαίνονται οι πέντε κατηγορίες τιμής και τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά των μπαταριών τους. Για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών υπολογίστηκε ο μέσος όρος δέκα ηλεκτρικών αυτοκινήτων κάθε κατηγορίας. Τα δεδομένα αντλήθηκαν από την ιστοσελίδα: <https://ev-database.org/> η οποία περιέχει μία πλήρη επισκόπηση όλων των ηλεκτρικών οχημάτων που είναι διαθέσιμα στην Ευρώπη.

Πίνακας 1.2 χαρακτηριστικά των μπαταριών

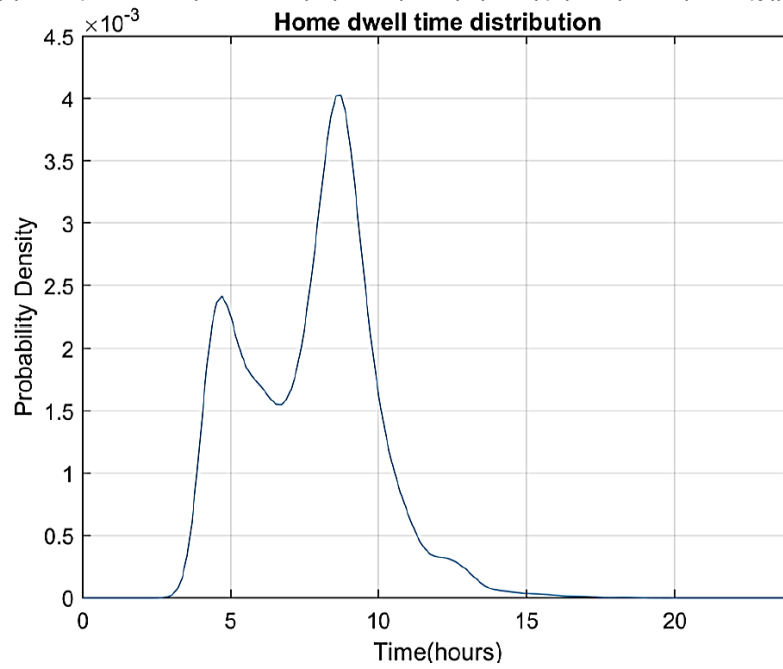
Price Range	Battery Capacity(kWh)	Charge Power(kW)	% of total cars
Low	35.3	7.3	35
Low Medium	51.5	10.25	30
Medium	63.9	9.5	20
High Medium	83.6	10.8	10
High	95.6	12.8	5

1.2.17 Κατανομές χρόνου αφίξεων και παραμονής:

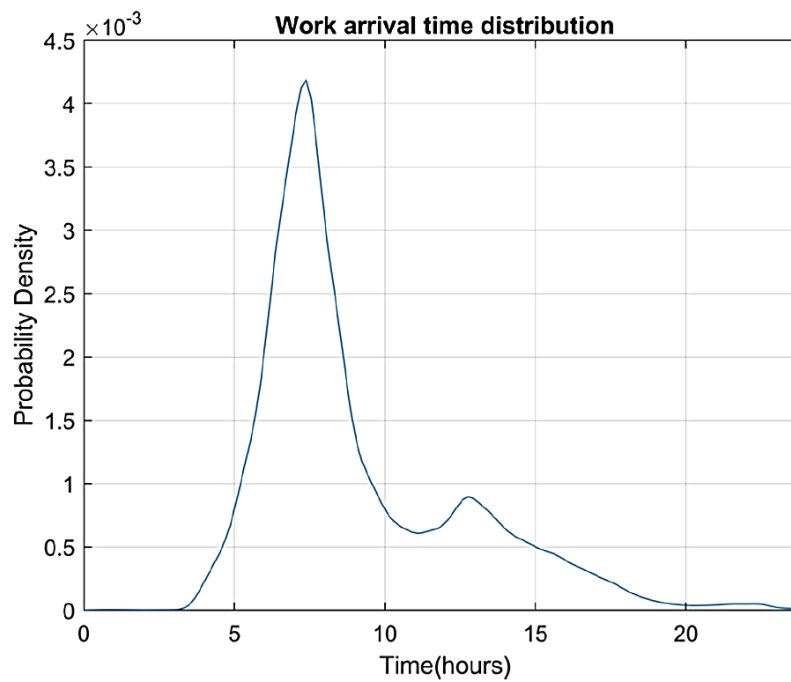
Εκτός από τα χαρακτηριστικά των μπαταριών, προσομοιάθηκε επίσης η στιγμή και η διάρκεια σύνδεσης κάθε οχήματος στο σημείο φόρτισης ανάλογα με τρεις διαφορετικές διαδρομές (οικία, εργασία, άφιξη σε κατάστημα ή ψυχαγωγική δραστηριότητα). Οι παρακάτω κατανομές δείχνουν την στιγμή άφιξης και τον χρόνο παραμονής εντός του 24ωρου για κάθε μία από τις τρεις κατηγορίες διαδρομών.



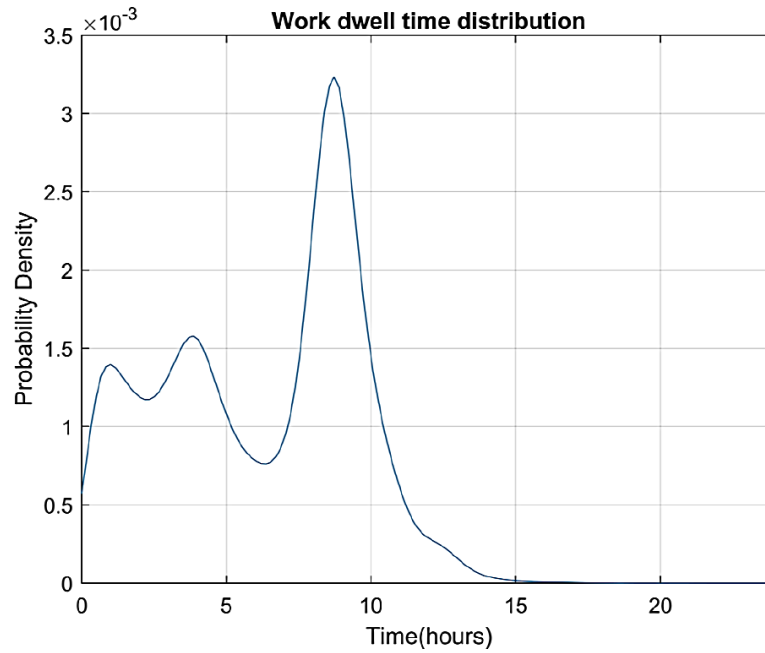
Σχήμα 1.15α : Κατανομή χρόνου άφιξης στην οικία



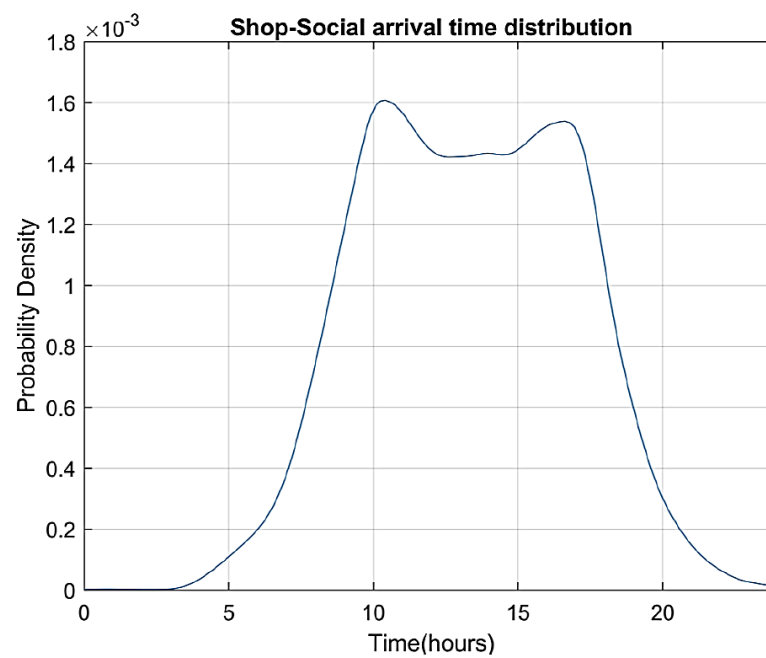
Σχήμα 1.15β: Κατανομή χρόνου παραμονής στην οικία



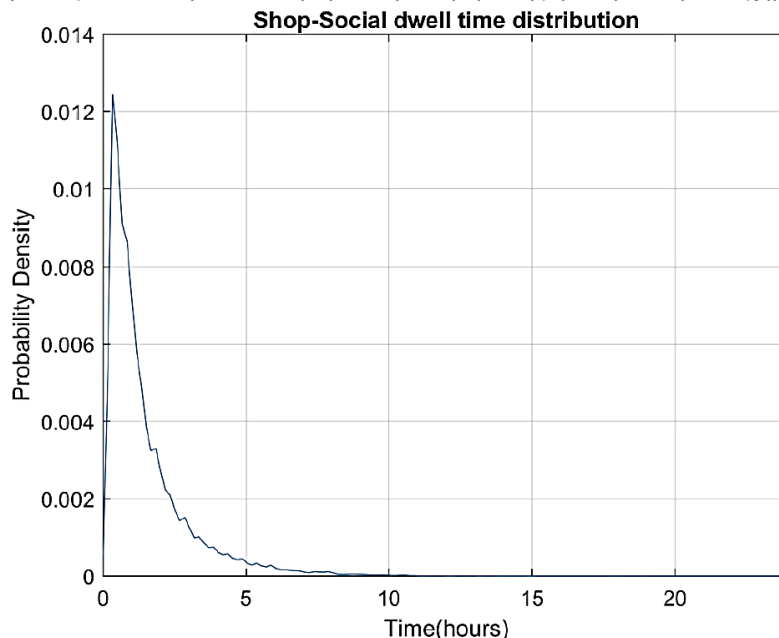
Σχήμα 1.15γ: Κατανομή χρόνου άφιξης στην εργασία



Σχήμα 1.15δ: Κατανομή χρόνου παραμονής στην εργασία



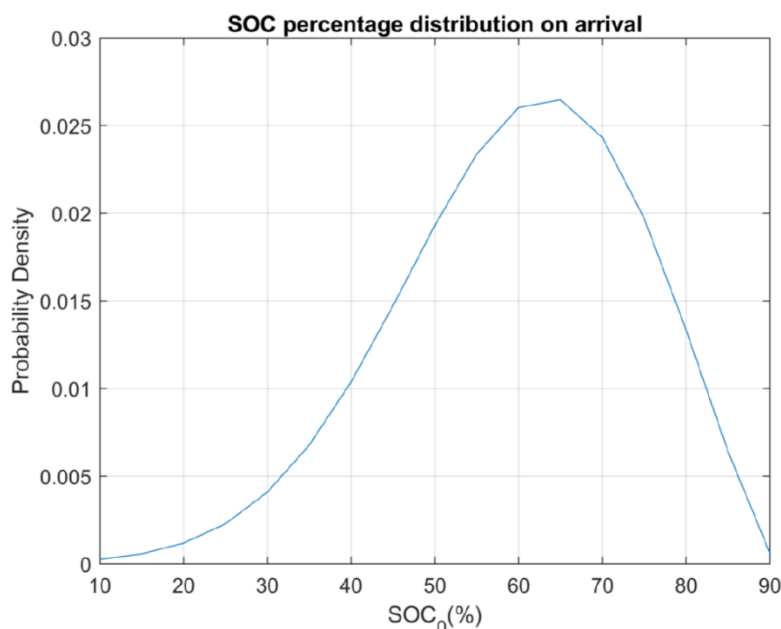
Σχήμα 1.15ε: Κατανομή χρόνου άφιξης σε κατάστημα ή σε ψυχαγωγική δραστηριότητα



Σχήμα 1.15ζ: Κατανομή χρόνου παραμονής σε κατάστημα ή σε ψυχαγωγική δραστηριότητα

1.2.17.1 Κατανομές επιπέδου φόρτισης της μπαταρίας κατά την άφιξη και την αναχώρηση

Όταν ένα όχημα συνδέεται σε ένα φορτιστή, εκτός από τον χρόνο άφιξης και παραμονής πρέπει να είναι γνωστό το αρχικό SOC (ή αλλιώς SOC_0) της μπαταρίας κατά την σύνδεση και το επιθυμητό SOC κατά την αποσύνδεση (ή αλλιώς SOC_{trgt}). Το SOC_0 προσδιορίζεται από την κατανομή του Σχήματος 1.16 και εκφράζει το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας κατά την άφιξη (σε ποσοστό). Το SOC_{trgt} προσδιορίζεται από μία κανονική κατανομή και μπορεί να λάβει τιμές από 80% - 100%. Σε περίπτωση που ο χρόνος παραμονής στον φορτιστή, σε συνδυασμό με την μέγιστη ισχύ που μπορεί να απορροφήσει το αυτοκίνητο δεν επαρκούν ώστε η στάθμη της μπαταρίας να φτάσει το SOC_{trgt} , ορίζεται νέα τιμή που ισούται με το μέγιστο δυνατό SOC_{trgt} που μπορεί να επιτευχθεί υπό τις παραπάνω συνθήκες. Σημειώνεται επίσης ότι δεν είναι απαραίτητο το SOC κατά την αποσύνδεση από τον φορτιστή να ισούται επακριβώς με το SOC_{trgt} . Μία μέγιστη απόκλιση της τάξεως του $\pm 5\%$ έχει τεθεί ως το επιτρεπτή.



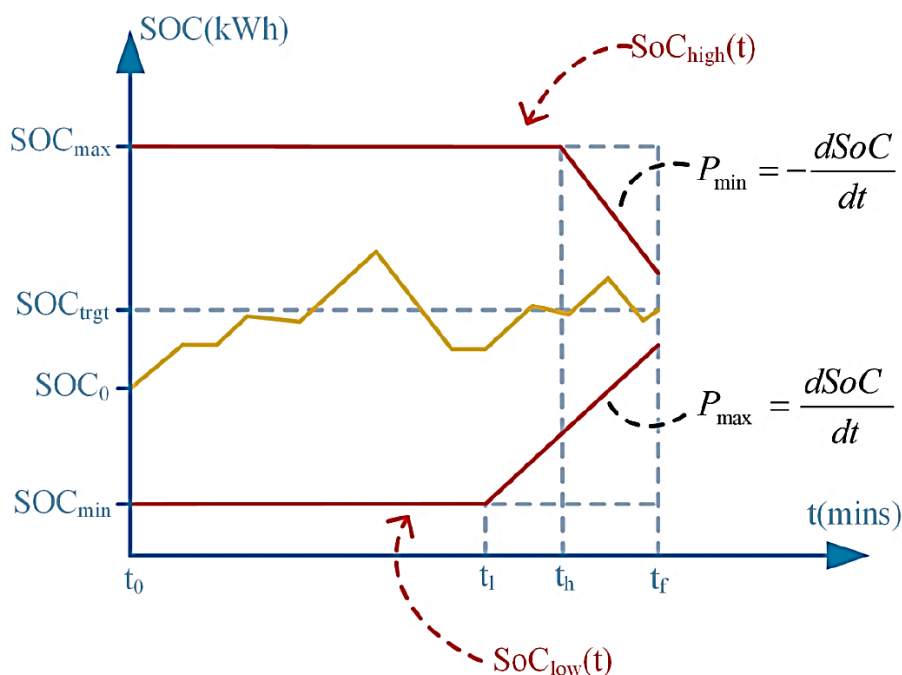
1.2.17.2 Καθορισμός των περιορισμών φόρτισης :

Για την επιτυχή προσομοίωση της διαδικασίας φόρτισης ενός ηλεκτρικού οχήματος από το SOC_0 έως το SOC_{trgt} , πρέπει να οριστούν κάποιοι περιορισμοί. Αρχικά το SOC δεν θα πρέπει να ξεπερνάει σε καμία στιγμή τα όρια της μπαταρίας. Το κατώτατο όριο ονομάζεται SOC_{min} και το ανώτατο SOC_{max} . Στον Πίνακα 1.3 παρατίθενται οι τιμές του μέγιστου και ελάχιστου επιτρεπτού SOC ως ποσοστό της συνολικής μπαταρίας, ανάλογα με την κατηγορία τιμής.

Πίνακας 1.3 Τιμές του μέγιστου και ελάχιστου επιτρεπτού SOC

Price Range	SOC_{max} (% of total battery capacity)	SOC_{min} (% of total battery capacity)
Low	90	10
Low Medium	91	10
Medium	93	10
High Medium	94	10
High	95	10

Εκτός όμως από τα SOC_{min} και SOC_{max} , χρειάζονται κάποια επιπλέον όρια στον υπολογισμό του SOC. Γνωρίζοντας την μέγιστη και την ελάχιστη ισχύ που μπορεί να απορροφάει και να παρέχει το κάθε όχημα, καθορίζονται τα όρια εντός των οποίων θα πρέπει να κυμαίνεται το SOC για να είναι δυνατή η επίτευξη του SOC_{trgt} την στιγμή της αναχώρησης (t_f). Τα άνω όριο ονομάζεται SOC_{high} ενώ το κάτω SOC_{low} . Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4.8 οι χρόνοι t_l και t_h είναι οι στιγμές που τα όρια της μπαταρίας παύουν να είναι SOC_{max} και SOC_{min} και αρχίζουν να συγκλίνουν προς το SOC_{trgt} . Η κλίση με την οποία συγκλίνουν καθορίζεται από την μέγιστη και την ελάχιστη ισχύ του κάθε αυτοκινήτου. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται ότι σε οποιοδήποτε σημείο εντός αυτών των ορίων και αν βρεθεί το SOC (στο Σχήμα 1.17 φαίνονται με κόκκινο χρώμα) θα μπορεί να φτάσει την περιοχή του SOC_{trgt} κατά την αναχώρηση (η περιοχή όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως ορίζεται ως το SOC_{trgt} με απόκλιση έως $\pm 5\%$)



Σχήμα 1.17: Αναλυτική απεικόνιση των απαραίτητων στοιχείων για την μοντελοποίηση του συστήματος βέλτιστης φόρτισης

1.2.18 Περιγραφή της συνάρτησης βελτιστοποίησης:

Η κίτρινη γραμμή που φαίνεται στο Σχήμα 4.8 είναι η τροχιά που ακολουθεί το SOC από την στιγμή της σύνδεσης t_0 έως την στιγμή της αποσύνδεσης t_f . Ο τρόπος υπολογισμού αυτής της τροχιάς γίνεται με την βοήθεια ενός αλγορίθμου βελτιστοποίησης που λαμβάνει υπόψη του, τους περιορισμούς ισχύος και ενέργειας της εκάστοτε μπαταρίας, το επιθυμητό SOC_{trgt} κατά την αναχώρηση και την διακύμανση της ΟΤΣ εντός του 24ώρου.

Πιο συγκεκριμένα, η αντικειμενική συνάρτηση που πρέπει να ελαχιστοποιηθεί είναι η εξής:

$$\sum_{t_0}^{t_f} P_{ev}(t) \cdot EP(t) \cdot \Delta t$$

Όπου το P_{ev} είναι η ισχύς του απορροφά ή επιστρέφει στο δίκτυο η μπαταρία, EP (Energy Price) είναι η οριακή τιμή συστήματος και Δt είναι το χρονικό βήμα που καθορίζεται από το πόσο συχνά μεταβάλλεται η ΟΤΣ (π.χ. 15 λεπτά, 30 λεπτά, 1 ώρα) μέσα στο 24ωρο. Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη υποενότητα, θα πρέπει επιπλέον να ικανοποιούνται οι εξής περιορισμοί:

- Περιορισμός διακύμανσης ισχύος εντός των ορίων

$$P_{min} < P_{ev}(t) < P_{max} \quad \forall t \quad (1)$$

- Περιορισμός διακύμανσης SOC εντός των ορίων

$$SOC_{min} < SOC(t) < SOC_{max} \quad \forall t \quad (2)$$

- Επιθυμητό SOC την στιγμή αναχώρησης

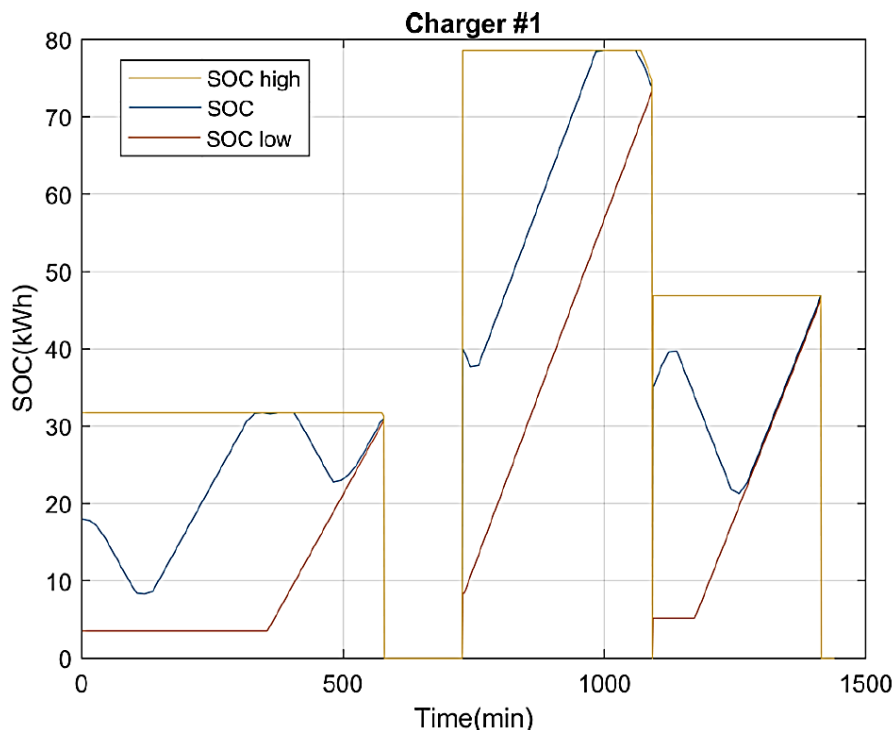
$$SOC(t_f) = SOC_{trgt} \quad (3)$$

Όπου το SOC υπολογίζεται ως εξής:

$$SOC(t) = SOC(t_0) + \sum_{t_0}^t P_{ev}(t) \cdot \Delta t \quad \forall t \quad (4)$$

Σημειώνεται ότι στους περιορισμούς του SOC δεν χρησιμοποιήθηκαν οι αυστηροί περιορισμοί SOC_{low} και SOC_{high} αλλά οι SOC_{max} και SOC_{min} . Σύμφωνα με τον περιορισμό (3) το τελικό SOC πρέπει να ισούται με το SOC_{trgt} . Έτσι, εξ ορισμού το SOC δεν μπορεί να ξεφύγει εκτός των ορίων, καθώς η συνάρτηση βελτιστοποίησης θα υπολογίσει κατάλληλες τιμές ισχύος που να ικανοποιούν αυτό τον περιορισμό. Τα αυστηρότερα όρια θα χρειαστούν κατά την διαδικασία στήριξης συχνότητας όπου το SOC θα αποκλίνει του προϋπολογισμένου, ενώ παράλληλα θα πρέπει να κυμαίνεται εντός των ορίων (SOC_{low} , SOC_{high}) προκειμένου να “πιάσει” το SOC_{trgt} .

Ενδεικτική εφαρμογή της συνάρτησης βελτιστοποίησης παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα:



Σχήμα 1.18 : Αποτελέσματα της συνάρτησης βελτιστοποίησης για τρία οχήματα συνδεδεμένα στον ίδιο φορτιστή σε βάθος 24ώρου

1.3 Ανάπτυξη μιας καλά σχεδιασμένης υποδομής φόρτισης

Η ανάπτυξη μιας καλά σχεδιασμένης υποδομής φόρτισης είναι ζωτικής σημασίας για την προώθηση των ηλεκτρικών οχημάτων. Οι μέχρι σήμερα υπάρχουσες εργασίες προτείνουν ένα αποτελεσματικό μοντέλο σχεδιασμού για τους σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, λαμβάνοντας υπόψη τις θεμελιώδεις παραμέτρους σχεδιασμού ενός εύρυθμου δικτύου φόρτισης, το οποίο μπορεί να συνοψιστεί ως κόστος, σεβόμενο τις παραμέτρους λειτουργίας του δικτύου διανομής και την ευκολία του δικτύου φόρτισης για τους οδηγούς ηλεκτρικών οχημάτων (π.χ. προσβασιμότητα και χρόνοι αναμονής στους σταθμούς φόρτισης). Επιπλέον, οι παρούσες εργασίες προτείνουν ένα μοντέλο σχεδιασμού δύο σταδίων για σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Πρώτον, οι υποψήφιες θέσεις για την τοποθέτηση σταθμών φόρτισης θα πρέπει να προσδιορίζονται με την εφαρμογή ασαφούς λογικής. Στο δεύτερο στάδιο, υπολογίζονται οι βέλτιστες τοποθεσίες, ο τύπος και ο αριθμός των σταθμών φόρτισης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι το μοντέλο σχεδιασμού είναι αρκετά αποτελεσματικό για να εφαρμοστεί σε ένα πραγματικό περιβάλλον. Μια ακατάλληλη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης μπορεί να παρεμποδίσει την ομαλή λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου και να είναι ενοχλητική για τους οδηγούς ηλεκτρικών οχημάτων.

1.3.1 Σύνδεση Συσκευών Φόρτισης Στο Δίκτυο

Απαιτήσεις ηλεκτρικής εγκατάστασης

Εδώ αποτυπώνονται οι τεχνικές απαιτήσεις και τα χαρακτηριστικά που πρέπει να πληροί μια ηλεκτρική εγκατάσταση για την σύνδεση συσκευών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, όπως καθορίζονται από τα διεθνή πρότυπα και κανονισμούς. Επιπλέον, καταγράφεται η πρακτική άλλων χωρών με ανεπτυγμένες υποδομές φόρτισης, με βάση το εκάστοτε ρυθμιστικό πλαίσιο και τις κατευθυντήριες τεχνικές οδηγίες κάθε χώρας.

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται και αναλύονται, σε τεχνικό επίπεδο, οι αναγκαίες τροποποιήσεις που θα πρέπει να λάβουν χώρα σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση για τη σύνδεση μίας ή πολλαπλών συσκευών φόρτισης.

Δημιουργία νέου αποκλειστικού κυκλώματος

Κάθε ηλεκτρική εγκατάσταση πρέπει να τροποποιείται κατάλληλα, ώστε να μπορεί να υποδεχθεί μια συσκευή φόρτισης, χωρίς να παρεμποδίζεται η λειτουργία του υπόλοιπου τμήματος αυτής και ταυτόχρονα να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις φόρτισης που αναλύθηκαν. Το σημαντικότερο στοιχείο που αφορά την εγκατάσταση ενός σημείου φόρτισης σε νέα ή υφιστάμενη ηλεκτρική εγκατάσταση, είτε πρόκειται για κοινό ρευματοδότη που προορίζεται αποκλειστικά για φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων είτε για σταθμό φόρτισης Μεθόδου 3 ή 4 (επιδαπέδιο ή επιτοίχιο – wallbox), είναι πως αυτό πρέπει να τροφοδοτείται από αποκλειστικό ηλεκτρικό κύκλωμα [42].

Το κύκλωμα που τροφοδοτεί ένα σημείο φόρτισης πρέπει να διαθέτει τις δικές του διατάξεις προστασίας, όπως μικροαυτόματους διακόπτες (MCBs) και διακόπτες διαφορικού ρεύματος (ΔΔΡ/RCDs), σε σχέση με τα κυκλώματα που τροφοδοτούν τα υπόλοιπα φορτία. Αυτές μπορεί να βρίσκονται είτε εντός της συσκευής φόρτισης είτε εντός του πίνακα διανομής της εγκατάστασης. Προαιρετικά μπορούν επίσης να εγκατασταθούν συσκευές SPD για την προστασία του ηλεκτρονικού εξοπλισμού έναντι υπέρτασης. Εάν η συσκευή φόρτισης δεν περιέχει όλες τις παραπάνω διατάξεις προστασίας και εφόσον δεν υπάρχει χώρος για την τοποθέτηση αυτών στον υφιστάμενο πίνακα διανομής, θα χρειαστεί να τοποθετηθούν εντός νέου υποπίνακα, ο οποίος θα τροφοδοτείται από τον κεντρικό πίνακα.

Το πλήθος και η διατομή των αγωγών της γραμμής που τροφοδοτεί μια συσκευή φόρτισης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά αυτής. Εάν αυτή πρόκειται να είναι IC-CPD (συσκευή φόρτισης Μεθόδου 2) ή ο χρήστης επιθυμεί φόρτιση κατά τη Μέθοδο 1, τότε η γραμμή θα πρέπει να τροφοδοτεί ρευματοδότη μέσω αγωγών διατομής κατάλληλης για ονομαστικό ρεύμα μέχρι 32 A. Σε περίπτωση που ο χρήστης επιθυμεί την εγκατάσταση ενός wallbox ή άλλης στατής συσκευής φόρτισης που λειτουργεί κατά τη Μέθοδο 3 ή 4 και η οποία διαθέτει ένα σημείο φόρτισης, η ονομαστική ισχύς και το πλήθος των φάσεων της συσκευής καθορίζουν το πλήθος και τη διατομή των αγωγών του νέου κυκλώματος. Για συσκευή φόρτισης με περισσότερα του ενός σημεία φόρτισης που μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα, η διαστασιολόγηση του κυκλώματος που την τροφοδοτεί μπορεί να εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως η δυνατότητα διαχείρισης της ισχύος φόρτισης. Επιπλέον, κατά τον υπολογισμό της διατομής των αγωγών της νέας γραμμής θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η πτώση τάσης της γραμμής, η οποία θα πρέπει να βρίσκεται πάντα εντός των αποδεκτών ορίων (4% για την Ελλάδα) [21]. Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να ισχύουν οι εγχώριοι κανονισμοί περί ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το αποκλειστικό ηλεκτρικό κύκλωμα που τροφοδοτεί το σημείο φόρτισης πρέπει να περιέχει τις δικές του διατάξεις προστασίας έναντι υπέρτασης και ηλεκτροπληξίας. Αυτές μπορεί να βρίσκονται είτε εντός της συσκευής φόρτισης είτε εντός του οικιακού πίνακα διανομής. Εάν η συσκευή φόρτισης δεν περιέχει τις εν λόγω διατάξεις προστασίας και εφόσον δεν υπάρχει χώρος για την τοποθέτηση αυτών στον υφιστάμενο πίνακα διανομής, θα πρέπει να εγκατασταθεί νέος υποπίνακας. Προτείνεται οι διατάξεις προστασίας να τοποθετούνται εντός πίνακα διανομής κοντά στο σημείο διακλάδωσης της γραμμής που τροφοδοτεί το σημείο φόρτισης από το υπόλοιπο οικιακό κύκλωμα, ώστε να προστατεύεται ολόκληρο το τμήμα αυτής.

1.3.2 Τροποποίηση εγκατάστασης και επαύξηση παροχής

Ένα ακόμη στοιχείο που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη σύνδεση συσκευών φόρτισης σε υφιστάμενη ηλεκτρική εγκατάσταση είναι το κατά πόσο μπορεί η συμφωνημένη ισχύς της

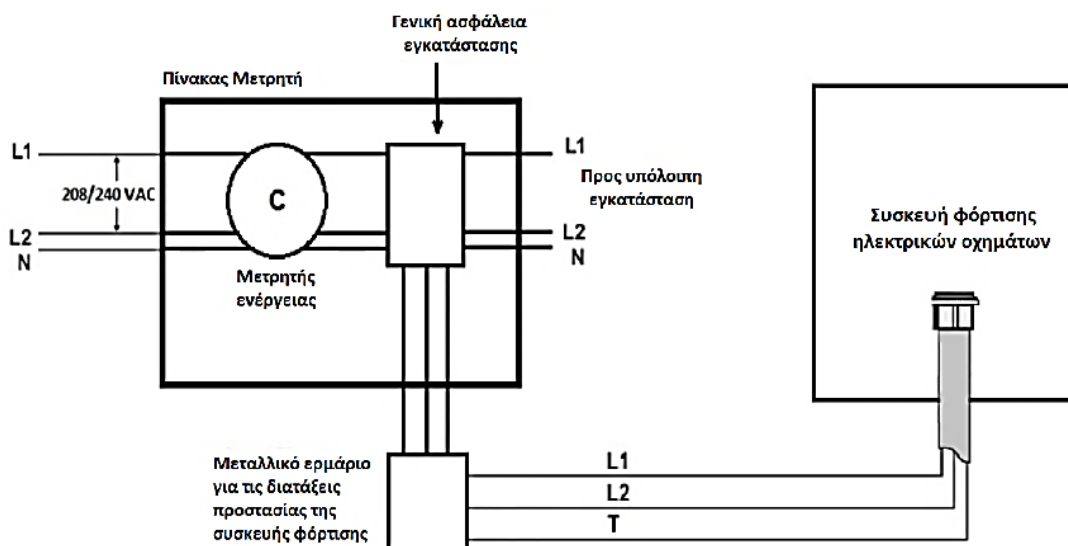
υφιστάμενης παροχής να καλύψει το επιπλέον φορτίο που οφείλεται στην φόρτιση του ηλεκτρικού οχήματος. Για τον υπολογισμό του συνολικού φορτίου της εγκατάστασης που πρέπει να καλύπτει η παροχή θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η ονομαστική ισχύς της συσκευής φόρτισης με συντελεστή φορτίου (demand factor) ίσο με μονάδα, εφόσον δεν υπάρχει κάποιο σύστημα διαχείρισης της ισχύος της συσκευής φόρτισης, και να προστεθεί στα υπόλοιπα φορτία αυτής [42].

Εάν η υφιστάμενη παροχή δεν επαρκεί, θα χρειαστεί η αναβάθμιση σε τυποποιημένη παροχή μεγαλύτερης συμφωνημένης ισχύος, ενώ μπορεί να κριθεί αναγκαία η επιλογή τριφασικής παροχής έναντι μονοφασικής. Αυτό έχει αυτόματα ως αποτέλεσμα την τροποποίηση της ηλεκτρικής εγκατάστασης, με αντικατάσταση της γενικής ασφάλειας και της διατομής των αγωγών του καλωδίου παροχής, στοιχεία τα οποία έχουν τυποποιημένες τιμές ανάλογα με το είδος της παροχής και της συμφωνημένης ισχύος της εγκατάστασης.

Μετρητική διάταξη

Για την μέτρηση της ενέργειας που καταναλώνεται κατά την φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων σε υφιστάμενη ηλεκτρική εγκατάσταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο υφιστάμενος μετρητής, εφόσον δεν έχουν λάβει χώρα μετατροπές που επηρεάζουν την ορθή λειτουργία του (πχ. μετατροπή της μονοφασικής οικιακής παροχής σε τριφασική). Σε αντίθετη περίπτωση, αυτός αντικαθίσταται από άλλο μετρητή που πληροί τις αντίστοιχες προδιαγραφές. Το σημείο διακλάδωσης της νέας γραμμής που τροφοδοτεί το σημείο φόρτισης από το υπόλοιπο κύκλωμα πρέπει να είναι κατάντη του μετρητή ενέργειας.

Σε περιπτώσεις σύνδεσης συσκευών φόρτισης σε οικιακό δίκτυο που βρίσκεται σε πολυκατοικία, όπου το κουτί διακλάδωσης και ο οικιακός μετρητής βρίσκονται στο επίπεδο του εδάφους ενώ η υπόλοιπη οικιακή ηλεκτρική εγκατάσταση βρίσκεται σε κάποιον όροφο της πολυκατοικίας, τότε το ηλεκτρικό κύκλωμα μπορεί να διαφέρει για πρακτικούς λόγους. Το σημείο διακλάδωσης του κυκλώματος που τροφοδοτεί τη συσκευή φόρτισης από το υπόλοιπο κύκλωμα μπορεί να βρίσκεται αμέσως μετά τον οικιακό μετρητή, εντός του πίνακα μετρητή, όπως διακρίνεται στο Σχήμα 1.19 και εφαρμόζεται στην Κολομβία. Επιπλέον, εάν κρίνεται σκόπιμη για διάφορους λόγους η εγκατάσταση νέου μετρητή ενέργειας για την καταγραφή της καταναλισκόμενης ενέργειας από το κύκλωμα που τροφοδοτεί τη συσκευή φόρτισης, μπορεί αυτός να τοποθετείται εντός του υφιστάμενου πίνακα μετρητών. Εάν δεν υπάρχει χώρος, μπορεί να εγκατασταθεί σε νέο ερμάριο, όμορο του υφιστάμενου πίνακα μετρητή, όπου θα υπάρχει χώρος και για τις απαραίτητες προστατευτικές διατάξεις του νέου κυκλώματος.



Σχήμα 1.19: Σύνδεση συσκευής φόρτισης στον πίνακα μετρητή της ηλεκτρικής εγκατάστασης [43]

Σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες τίθενται οι βάσεις για την έξυπνη μέτρηση (smart metering) των καταναλώσεων και προς αυτή την κατεύθυνση τείνουν να εντάξουν τη μέτρηση ενέργειας που τροφοδοτείται για την φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων. Ήδη στην Ολλανδία η χρήση έξυπνων μετρητών σε οποιαδήποτε εφαρμογή φόρτισης οχημάτων είναι επιτακτική, σύμφωνα με το Διάταγμα περί Εναλλακτικών Καυσίμων [44]. Στη Γερμανία απαιτείται έξυπνος μετρητής με τηλεπικοινωνιακή σύνδεση σε εφαρμογές συσκευών φόρτισης ισχύος 12 kVA και άνω, καθώς και σε εφαρμογές με παρακολούθηση της καμπύλης φορτίου [45]. Το τηλεπικοινωνιακό μέσο ζεύξης (modem) τοποθετείται εντός του κιβωτίου μετρητή, ενώ εάν το τηλεπικοινωνιακό σήμα είναι τέτοιο που δημιουργεί προβλήματα στην μετάδοση δεδομένων, τοποθετείται επιπρόσθετη κεραία για την ενίσχυση του σήματος. Σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί νέος μετρητής για το κύκλωμα που προορίζεται για την τροφοδοσία της συσκευής φόρτισης, το σημείο διακλάδωσης του νέου κυκλώματος από το κύκλωμα που τροφοδοτεί τις οικιακές καταναλώσεις μπορεί να βρίσκεται ανάντη του υφιστάμενου μετρητή, ώστε κάθε κύκλωμα να διαθέτει το δικό του μετρητή ενέργειας.

1.3.3 Επικοινωνία συσκευής φόρτισης με κεντρικό σύστημα διαχείρισης

Σε πολλές χώρες στις οποίες αναπτύσσεται η ηλεκτροκίνηση ολοένα και περισσότερο, κάθε συσκευή φόρτισης που προορίζεται για εμπορική ή δημόσια χρήση έχει τη δυνατότητα να επικοινωνεί με ένα κεντρικό σύστημα διαχείρισης (ΚΣΔ). Το πιο διαδεδομένο πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών φόρτισης και των ΚΣΔ είναι το πρωτόκολλο OCPP (Open Charge Point Protocol). Το πρωτόκολλο OCPP σχεδιάστηκε αρχικά από τον ολλανδικό φορέα ηλεκτροκίνησης E-Laad και ουσιαστικά αποτελεί ένα ανοιχτό πρωτόκολλο που επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ συσκευών φόρτισης και ΚΣΔ διαφορετικών προμηθευτών [47]. Όντας ανοιχτό πρωτόκολλο, το OCPP παρέχει τις εξής δυνατότητες [48]:

- Ευκολία στη δημιουργία συστημάτων διαχείρισης μεγάλης κλίμακας που διαχειρίζονται σταθμούς από ένα εύρος προμηθευτών, οδηγώντας έτσι σε μειωμένα κόστη ανάπτυξης εφαρμογών και αυξανόμενα οφέλη λόγω της διαλειτουργικότητας,
- Ευελιξία, από την πλευρά των πελατών, στην επιλογή του προμηθευτή, με αποτέλεσμα οι τιμές φόρτισης να παραμένουν ανταγωνιστικές.

Η πιο πρόσφατη έκδοση του πρωτοκόλλου OCPP είναι η έκδοση v2.0, η οποία έγινε διαθέσιμη τον Απρίλιο του 2018. Βέβαια, παγκοσμίως χρησιμοποιείται ακόμη η έκδοση v1.6, η οποία βρίσκει εφαρμογή σε περισσότερες από 40.000 υποδομές φόρτισης σε 49 χώρες [49]. Οι κεντρικοί άξονες πάνω στους οποίους στρέφεται η επικοινωνία μεταξύ μιας συσκευής φόρτισης και ενός ΚΣΔ είναι οι εξής:

1. Η συσκευή φόρτισης ζητά από το ΚΣΔ ταυτοποίηση των στοιχείων του πελάτη.
2. Οι δύο πλευρές ανταλλάσσουν στοιχεία που σχετίζονται με τη συναλλαγή φόρτισης.
3. Το ΚΣΔ ζητά από τη συσκευή φόρτισης να ενημερώσει το firmware της.

Το πρωτόκολλο OCPP υλοποιείται από οποιαδήποτε τεχνολογία υποστηρίζει τη σύνδεση TCP/IP.

Ανταλλαγή στοιχείων συναλλαγής φόρτισης

Το σημείο φόρτισης ενημερώνει το ΚΣΔ για το αν τροφοδοτεί ενέργεια προς ένα ηλεκτρικό όχημα και την κατάσταση στην οποία βρίσκεται η φόρτιση. Μία συναλλαγή φόρτισης εκκινεί όταν ισχύουν όλες οι απαραίτητες προϋποθέσεις για την έναρξη της φόρτισης του ηλεκτρικού οχήματος, όπως η ταυτοποίηση του χρήστη και η είσοδος του ακροσυνδέσμου εντός της υποδοχής επί του οχήματος, και τερματίζει τη στιγμή που αυτές πάψουν να ισχύουν. Μία συναλλαγή φόρτισης μπορεί να αποτελείται από πολλαπλές περιόδους μεταφοράς ενέργειας. Ως περίοδος μεταφοράς ενέργειας ορίζεται η χρονική περίοδος κατά τη διάρκεια της οποίας υπάρχει μεταφορά ενέργειας μεταξύ της συσκευής φόρτισης και του ηλεκτρικού οχήματος. Ο διαχωρισμός μεταξύ δύο περιόδων μεταφοράς ενέργειας γίνεται με βάση μία από τις παρακάτω συνθήκες:

- Η συσκευή φόρτισης ζητά αναβολή της μεταφοράς ενέργειας καθώς δεν τροφοδοτεί ενέργεια προς το όχημα.
- Το ηλεκτρικό όχημα ζητά αναβολή της μεταφοράς ενέργειας ενώ παραμένει ηλεκτρικά συνδεδεμένο με τη συσκευή φόρτισης.
- Το ηλεκτρικό όχημα ζητά αναβολή της μεταφοράς ενέργειας ενώ δεν είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένο με τη συσκευή φόρτισης.

Το σημείο φόρτισης πρέπει να στέλνει τα μηνύματα που αφορούν την συναλλαγή φόρτισης προς το ΚΣΔ με χρονολογική σειρά, όσο το δυνατόν συντομότερα γίνεται. Τα μηνύματα αυτά σχετίζονται με αιτήματα για έναρξη και τερματισμό μιας συναλλαγής φόρτισης, καθώς και με μέτρηση ενέργειας για δεδομένα χρονικά διαστήματα. Όταν το σημείο φόρτισης είναι offline, κατακρατεί τα μηνύματα με τη σειρά που θα τα έστειλε προς το ΚΣΔ εάν ήταν online. Σε περίπτωση όπου υπάρχουν κατακρατημένα μηνύματα που αφορούν τη συναλλαγή φόρτισης και προκύψει κάποιο νέο μήνυμα διαφορετικού περιεχομένου, όπως μήνυμα σφάλματος ή ταυτοποίησης, τότε η σειρά παρακάμπτεται και δίνεται προτεραιότητα στο νέο μήνυμα. Το ΚΣΔ πρέπει να αναγνωρίζει εάν το μήνυμα που λαμβάνει είναι επί του παρόντος ή έχει προέλθει από καθυστέρηση και πρέπει να το επεξεργαστεί με τον ίδιο τρόπο σε κάθε περίπτωση [48].

1.3.4 Προφίλ και λειτουργίες έξυπνης φόρτισης

Μέσα από την επικοινωνία της συσκευής φόρτισης με το ΚΣΔ παρέχεται η δυνατότητα έξυπνης φόρτισης (Smart Charging), δίνοντας έτσι την ευκαιρία στο ΚΣΔ να επηρεάσει την ισχύ και το ρεύμα φόρτισης σε κάποιο ηλεκτρικό όχημα ή την συνολική κατανάλωση μιας συσκευής φόρτισης, βασισόμενη στον τρόπο σύνδεσης αυτού στο δίκτυο, στην διαθεσιμότητα ενέργειας που μπορεί να τροφοδοτηθεί από το δίκτυο και από την καλωδίωση της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Η ρύθμιση της ισχύος ή του ρεύματος φόρτισης βασίζεται στα όρια μεταφοράς ενέργειας για δεδομένες χρονικές στιγμές. Τα όρια αυτά διαμορφώνουν το προφίλ φόρτισης (charging profile) που ακολουθείται.

Κάθε προφίλ φόρτισης αποτελείται από ένα χρονολογικό πρόγραμμα φόρτισης, που ουσιαστικά είναι μια λίστα με τη μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ φόρτισης αντιστοιχισμένη με συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, καθώς και τιμές που αφορούν την συνολική χρονική περίοδο και την χρονική στιγμή ανανέωσης του προγράμματος. Ανάλογα με το σκοπό που επιτελούν, υπάρχουν τρία διαφορετικά είδη προφίλ φόρτισης:

- Τα προφίλ μέγιστης ισχύος φόρτισης ανά συσκευή φόρτισης (ChargePointMaxProfile), τα οποία περιορίζουν την ισχύ ή το ρεύμα φόρτισης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλα τα σημεία φόρτισης μιας συσκευής φόρτισης αθροιστικά.
- Τα προεπιλεγμένα προφίλ φόρτισης (TxDefaultProfile), όπου χρησιμοποιούνται προεπιλεγμένα προγράμματα φόρτισης για κάθε ένα σημείο φόρτισης μιας συσκευής φόρτισης.
- Τα υπόλοιπα προφίλ φόρτισης (TxProfile), τα οποία αντικαθιστούν το προεπιλεγμένο προφίλ φόρτισης σε κάποιο σημείο φόρτισης μόνο για τη διάρκεια της παρούσας συναλλαγής φόρτισης. Αυτού του είδους προφίλ διαγράφονται μετά το πέρας της συναλλαγής φόρτισης και η συσκευή φόρτισης ζητά από το ΚΣΔ ένα νέο προφίλ φόρτισης πριν την έναρξη μιας νέας συναλλαγής φόρτισης. Εάν πρόκειται να εκκινήσει μια νέα συναλλαγή σε κάποιο σημείο φόρτισης χωρίς να έχει τεθεί κάποιο προφίλ, τότε αυτόματα εισάγεται κάποιο προεπιλεγμένο προφίλ φόρτισης.

Επιτρέπεται ο συνδυασμός διαφόρων προφίλ φόρτισης του ιδίου σκοπού για τη δημιουργία πιο σύνθετων προγραμμάτων. Για παράδειγμα, μπορεί τα προεπιλεγμένα προφίλ φόρτισης μιας εργάσιμης ημέρας να θέτουν μέγιστη ισχύ φόρτισης από τις 23:00 μέχρι τις 06:00, ενώ τα αντίστοιχα Σαββάτου ή Κυριακής να θέτουν μέγιστη ισχύ φόρτισης για όλο το εικοσιτετράωρο. Το συνολικό πρόγραμμα φόρτισης διαμορφώνεται με το συνδυασμό προφίλ φόρτισης διαφορετικού είδους. Σε περίπτωση επικάλυψης μιας χρονικής περιόδου από τουλάχιστον δύο διαφορετικά προφίλ φόρτισης,

λαμβάνεται ως τελική τιμή κάθε παραμέτρου η ελάχιστη τιμή που θέτουν τα διαφορετικά προφίλ φόρτισης για το εκάστοτε χρονικό διάστημα. Επιπλέον, η συνολική ισχύς φόρτισης όλων των σημείων φόρτισης σε κάθε χρονικό διάστημα δεν μπορεί να υπερβαίνει την τιμή που θέτει το προφίλ μέγιστης ισχύος φόρτισης.

Η επιλογή ενός προφίλ φόρτισης ή ενός συνδυασμού που προκύπτει από αυτά γίνεται με βάση τη λειτουργία έξυπνης φόρτισης που κρίνεται σκόπιμη να υλοποιηθεί. Μπορούν να υπάρξουν πολλά είδη λειτουργιών έξυπνης φόρτισης, όμως τα ακόλουθα τρία τυπικότερα είδη περιγράφουν καλύτερα τις δυνατότητες που προσφέρει η έξυπνη φόρτιση:

1. Εξισορρόπηση φορτίου (Load Balancing): Η λειτουργία αυτή σχετίζεται με την εξισορρόπηση του τοπικού φορτίου εντός της συσκευής φόρτισης, καθώς αυτή ελέγχει το πρόγραμμα φόρτισης ανά σημείο φόρτισης. Η συσκευή φόρτισης ρυθμίζεται με ένα σταθερό όριο, όπως το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να τραβήξει από το ηλεκτρικό δίκτυο. Η διανομή ισχύος μεταξύ των σημείων φόρτισης μιας συσκευής φόρτισης μπορεί να επηρεαστεί και από τη δυνατότητα ελάχιστης φόρτισης κάθε σημείου.

2. Κεντρική έξυπνη φόρτιση (Central Smart Charging): Με αυτή τη λειτουργία οι περιορισμοί που τίθενται στο προφίλ φόρτισης, ανά συναλλαγή, καθορίζονται από το ΚΣΔ. Το ΚΣΔ χρησιμοποιεί τα προφίλ φόρτισης για να παραμείνει εντός των ορίων που τίθενται από κάποιον εξωτερικό παράγοντα, όπως ο διαχειριστής του δικτύου διανομής. Το ΚΣΔ ελέγχει άμεσα τα όρια που τίθενται για κάθε σημείο φόρτισης.

3. Τοπική έξυπνη φόρτιση (Local Smart Charging): Σε αυτή τη λειτουργία τα όρια κάθε σημείου φόρτισης ελέγχονται από έναν τοπικό ελεγκτή και όχι από το ΚΣΔ. Χρησιμοποιείται όταν χρειάζεται περιορισμός της ισχύος που ζητά ένα σύνολο συσκευών φόρτισης που συνήθως είναι τοποθετημένες η μία κοντά στην άλλη, όπως σε ένα χώρο στάθμευσης, ιδίως όταν η συνολική ονομαστική ισχύς των συσκευών αυτών υπερβαίνει την ισχύ της παροχής από το ηλεκτρικό δίκτυο. Ο τοπικός ελεγκτής μπορεί να αποτελεί είτε μια ξεχωριστή μονάδα είτε να υλοποιείται από μια συσκευή φόρτισης που λειτουργεί ως “master” (και οι υπόλοιπες συσκευές του συνόλου ως “slave”). Ο τοπικός ελεγκτής λαμβάνει το επιθυμητό προφίλ φόρτισης από το ΚΣΔ και με τη σειρά του θέτει τα απαραίτητα όρια σε κάθε συσκευή φόρτισης που βρίσκεται στο σύνολό του.

Μπορούν να υπάρξουν και άλλες λειτουργίες έξυπνης φόρτισης, οι οποίες μπορούν να προκύψουν από συνδυασμούς των τριών παραπάνω λειτουργιών. Οι πολλαπλοί συνδυασμοί προσδίδουν πολλές επιλογές έξυπνης φόρτισης που μπορούν να αξιοποιηθούν σε αρκετές εφαρμογές. Λόγω των πιθανών περιορισμών και διαφορών στις δυνατότητες κάθε συσκευής φόρτισης, το ΚΣΔ οφείλει να γνωρίζει τις δυνατότητες καθεμιάς ξεχωριστά. Κάθε συσκευή φόρτισης που υποστηρίζει τη δυνατότητα έξυπνης φόρτισης πρέπει να στέλνει στο ΚΣΔ τα απαραίτητα στοιχεία, όπως τον αριθμό των φάσεων, τη μέγιστη και ελάχιστη ικανότητα φόρτισης, το μέγιστο αριθμό προφίλ φόρτισης που μπορεί να εγκαταστήσει και το μέγιστο αριθμό περιόδων που μπορεί να περιέχει ένα πρόγραμμα φόρτισης [48].

1.3.5 Επιτρεπόμενες μέθοδοι AC φόρτισης

Στις περισσότερες χώρες που οι μέθοδοι φόρτισης ακολουθούν την τυποποίηση κατά IEC, είναι επιτρεπτές οι Μέθοδοι 2 και 3. Η Μέθοδος 1 θεωρείται μη ενδεδειγμένη, καθώς αφενός δεν υποστηρίζει έλεγχο της φόρτισης και αφετέρου δεν εγγυάται την ασφάλεια των χρηστών σε σφάλματα που μπορούν να προκαλέσουν ηλεκτροπληξία.

Στη Γερμανία [45] και στην Ολλανδία [44] επιτρέπεται μόνο η Μέθοδος 3 για AC φόρτιση. Αυτό συμβαίνει διότι οι Διαχειριστές απαιτούν την ύπαρξη συσκευών φόρτισης μόνιμα συνδεδεμένων στο ηλεκτρικό δίκτυο, δηλαδή συσκευές τύπου wallbox ή στηλών φόρτισης. Οι τεχνικές προδιαγραφές που ισχύουν στις δύο αυτές χώρες αποκλείουν την χρήση συσκευών IC-CPD, οι οποίες είναι φορητές συσκευές που λειτουργούν με βάση τη Μέθοδο 2 και συνδέονται σε κοινό ρευματοδότη.

Αντίθετα σε άλλες χώρες, όπως στη Δανία [50], στη Νορβηγία [51], στην Ισπανία [52] αλλά και σε χώρες εκτός Ευρώπης, όπως στη Νέα Ζηλανδία [53], την Κολομβία [43], το Χονγκ Κόνγκ [27] και τη Σρι Λάνκα [54], επιτρέπεται η Μέθοδος 2 και η χρήση συσκευών IC-CPD. Οι κοινοί ρευματοδότες πρέπει να τροφοδοτούνται από αποκλειστικό ακτινικό κύκλωμα και να προστατεύονται από μικροαυτόματο ή ασφάλεια υπερέντασης και από ΔΔΡ με βάση τους τοπικούς κανονισμούς περί ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων. Ειδικότερα, για την επιλογή του τύπου ΔΔΡ που προστατεύει τους ρευματοδότες που προορίζονται για τη σύνδεση της συσκευής IC-CPD υπάρχει διαφωνία, με το Χόνγκ Κόνγκ και τη Σρι Λάνκα να επιτρέπουν ΔΔΡ τύπου Α, ενώ η Νορβηγία και η Νέα Ζηλανδία επιτρέπουν μόνο ΔΔΡ τύπου Β.

Στη Γερμανία [45] [55] [56], οι Διαχειριστές των δικτύων διανομής ορίζουν πως οι συσκευές φόρτισης με ονομαστική ισχύ άνω των 4,6 kVA πρέπει να είναι τριφασικές και το φορτίο να μοιράζεται συμμετρικά στις τρεις φάσεις. Επιπλέον, για σύνδεση συσκευών φόρτισης στο δίκτυο ΜΤ η μέγιστη επιτρεπόμενη ασυμμετρία φάσεων στο σημείο σύνδεσης δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,7%.

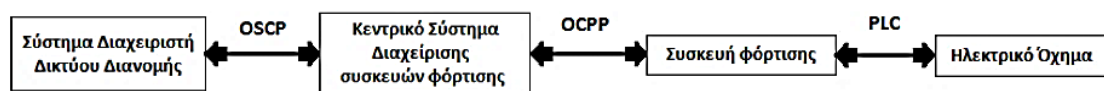
Στην Ισπανία [52], οι συσκευές φόρτισης μπορούν να είναι μονοφασικές για ονομαστική ισχύ μέχρι 9,2 kW. Επιπλέον, όταν μονοφασικές συσκευές φόρτισης πρόκειται να συνδεθούν σε τριφασικό δίκτυο, θα πρέπει να διανέμονται στις τρεις φάσεις με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη συμμετρία μεταξύ των φάσεων. Ο μέγιστος αριθμός συσκευών φόρτισης που μπορούν να συνδεθούν σε ένα τριφασικό δίκτυο υπολογίζεται θεωρώντας ότι οι μονοφασικές συσκευές φόρτισης έχουν ονομαστική ισχύ 3,68 kW. Ο αριθμός αυτός μπορεί να μειωθεί ή να αυξηθεί εφόσον μπορεί να δικαιολογηθεί επαρκώς η ύπαρξη συσκευής φόρτισης με μεγαλύτερη ή μικρότερη ονομαστική ισχύ από 3,68 kW αντίστοιχα.

Στη Δανία [50], ο χρήστης θα πρέπει να ενημερώσει το διαχειριστή του δικτύου διανομής για τη σύνδεση μιας νέας συσκευής φόρτισης στο ηλεκτρικό δίκτυο εάν η ονομαστική ισχύς αυτής υπερβαίνει το 1 kVA ή 2 kVA για μονοφασική και τριφασική σύνδεση αντίστοιχα. Αυτό συμβαίνει διότι ο διαχειριστής δεν μπορεί να εγγυηθεί την προβλεπόμενη ποιότητα ισχύος εάν το φορτίο υπερβαίνει τις παραπάνω τιμές.

1.3.6 Χρήση πρωτοκόλλων OSCP και OCPI

Στην Ολλανδία [59], εκτός από το πρωτόκολλο OCPP που διέπει την επικοινωνία μεταξύ μιας δημόσιας συσκευής φόρτισης και ενός κεντρικού συστήματος διαχείρισης (ΚΣΔ), χρησιμοποιούνται και δύο άλλα πρωτόκολλα με αντίστοιχα χαρακτηριστικά και αρχές λειτουργίας αλλά διαφορετικό σκοπό.

Το πρωτόκολλο OSCP (Open Smart Charging Protocol) διέπει την επικοινωνία μεταξύ του διαχειριστή του δικτύου διανομής και του ΚΣΔ και θέτει τις βάσεις για την έξυπνη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων ως τμήμα της έξυπνης διαχείρισης των φορτίων του δικτύου. Η βασική λειτουργία του πρωτοκόλλου OSCP είναι η μετάδοση πληροφοριών που σχετίζονται με τη χωρητικότητα του δικτύου διανομής από τον διαχειριστή προς το ΚΣΔ της συσκευής φόρτισης. Το πρωτόκολλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μεταφέρει στο ΚΣΔ μια εικοσιτετράωρη πρόβλεψη της τοπικής διαθέσιμης χωρητικότητας ισχύος. Το ΚΣΔ μπορεί να προσαρμόσει τα προφίλ φόρτισης που αποστέλλει στις συσκευές φόρτισης με βάση τα όρια της διαθέσιμης χωρητικότητας ισχύος του δικτύου διανομής [60].



Σχήμα 1.20: Απεικόνιση των διαφόρων συστημάτων και των πρωτοκόλλων επικοινωνίας

Το λογισμικό OCPI (Open Charge Point Interface) αποτελεί μια εφαρμογή που βελτιώνει την μετάδοση πληροφοριών μεταξύ των παρόχων υπηρεσίας και των λειτουργών των σταθμών φόρτισης. Η εφαρμογή αυτή ενημερώνει άμεσα τους πελάτες-οδηγούς, σε πραγματικό χρόνο, για την κατάσταση (διαθεσιμότητα και τοποθεσία) των σημείων φόρτισης και τους δίνει μια εικόνα για τους τρόπους και το κόστος της φόρτισης του ηλεκτρικού τους οχήματος. Λόγω του OCPI βελτιώνεται η πρόσβαση στα σημεία φόρτισης και η επικοινωνία μεταξύ των εμπλεκόμενων πλευρών. Το λογισμικό OCPI είναι ανοιχτό και ανεξάρτητο, με αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος και η πολυπλοκότητα της εφαρμογής.

1.3.7 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ (υποδομή φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων)

Γίνεται παρουσίαση των τεχνικών απαιτήσεων που πρέπει να πληροί μια ηλεκτρική εγκατάσταση στην Ελλάδα, ώστε να αποτελεί υποδομή φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, όπως ορίζονται από τα διεθνή πρότυπα και κανονισμούς και ιδίως από τους κύκλους προτύπων IEC 61851, IEC 62196 και IEC 60364-7-722. Μέσα από αυτή τη διαδικασία έγινε κατανοητό το γεγονός ότι κάθε χώρα υιοθετεί τις διεθνώς ορισμένες τεχνικές απαιτήσεις της φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και τις εναρμονίζει με τους δικούς της κανονισμούς περί ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων. Για αυτό και παρατηρούνται διαφορές μεταξύ των προδιαγραφών από χώρα σε χώρα, όπως τίθενται από τα εκάστοτε ρυθμιστικά πλαίσια, χωρίς όμως να παραβιάζονται οι απαιτήσεις που τίθενται από τα διεθνή πρότυπα. Οι προδιαγραφές βρίσκονται σε πλήρη εναρμόνιση τόσο με το νομοθετικό πλαίσιο (ΦΕΚ, ΚΥΑ κλπ) που ισχύει μέχρι την συγγραφή της παρούσας εργασίας, όσο και με το ελληνικό πρότυπο ΕΛΟΤ HD384, που ορίζει τους κανονισμούς περί ηλεκτρικών εγκαταστάσεων στην Ελλάδα.

1.3.8 Διάκριση περιπτώσεων ανά μέθοδο φόρτισης

Για την έκδοση των τεχνικών απαιτήσεων που πρέπει να πληρούνται σε μια υποδομή φόρτισης, κρίθηκε σκόπιμη η διάκριση των εξής περιπτώσεων με βάση τη μέθοδο φόρτισης, όπως ορίζει το πρότυπο IEC 61851-1. Η διάκριση αυτή γίνεται καθότι οι συσκευές φόρτισης ίδιας μεθόδου φόρτισης παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά και συνεπώς είναι πιο εύκολη αφενός η εξαγωγή κοινών τεχνικών απαιτήσεων, αφετέρου η τήρηση μεθοδολογίας για τον τρόπο σύνδεσης στο δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

- Σύνδεση συσκευών φόρτισης Μεθόδου 2 (Mode 2)
- Σύνδεση συσκευών φόρτισης Μεθόδου 3 (Mode 3) σε οικιακές εγκαταστάσεις
- Σύνδεση συσκευών φόρτισης Μεθόδου 3 (Mode 3) σε εμπορικές εγκ/στάσεις ή στο δημόσιο δίκτυο διανομής
- Σύνδεση συσκευών φόρτισης Μεθόδου 4 (Mode 4)

Όπως αναλύθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, για τη σύνδεση σε οικιακή ηλεκτρική εγκατάσταση προορίζονται συσκευές φόρτισης που λειτουργούν σύμφωνα με τις Μεθόδους φόρτισης 2 και 3, ενώ για τη σύνδεση σε δημόσια ή εμπορική ηλεκτρική εγκατάσταση προορίζονται συσκευές φόρτισης που λειτουργούν σύμφωνα με τις Μεθόδους φόρτισης 3 και 4. Λόγω του γεγονότος ότι η Μέθοδος 3 ενδείκνυται τόσο για χρήση σε ιδιωτικές, όσο και σε δημοσίως προσβάσιμες υποδομές φόρτισης, θα πρέπει να υπάρχει διάκριση μεταξύ των δύο αυτών περιπτώσεων, λόγω του γεγονότος ότι είναι μεγάλο το πλήθος των απαιτήσεων που διαφοροποιείται ανάμεσα σε αυτές τις δύο περιπτώσεις.

Η φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων κατά τη Μέθοδο 1, η οποία είναι η λιγότερο ενδεδειγμένη μέθοδος φόρτισης, βρίσκει εφαρμογή μόνο σε οικιακά ηλεκτρικά δίκτυα κατά τη διεθνή πρακτική. Παρ' όλα αυτά, για την Ελλάδα, η χρήση της πρέπει να θεωρείται απαγορευτική σε όλα τα είδη των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Ο λόγος έγκειται στην έλλειψη επαρκούς προστασίας έναντι σφαλμάτων διαρροής που μπορούν να προκαλέσουν ηλεκτροπληξία στον χρήστη της υποδομής φόρτισης. Σε όλες τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις στην Ελλάδα, οι κοινοί ρευματοδότες schuko πρέπει προστατεύονται από ΔΔΡ, ο οποίος στην πλειονότητα των περιπτώσεων είναι τύπου AC. Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61851-1, ο ΔΔΡ που προστατεύει το σημείο φόρτισης πρέπει να είναι τουλάχιστον τύπου A, σε συνδυασμό με διάταξη αποσύνδεσης του κυκλώματος κατά την ανίχνευση συνιστώσας συνεχούς

ρεύματος διαρροής μεγαλύτερου των 6 mA DC. Συνεπώς, ο ΔΔΡ τύπου AC που προστατεύει το ρευματοδότη, στον οποίο συνδέεται το καλώδιο φόρτισης που τροφοδοτεί το ηλεκτρικό όχημα, δεν είναι επαρκής και για το λόγο αυτό δεν θα πρέπει να επιτρέπεται η φόρτιση οχημάτων με τη Μέθοδο 1. Φυσικά, στο παραπάνω επιχείρημα πρέπει να προστεθεί το γεγονός ότι δεν είναι πάντα διασφαλισμένη η ύπαρξη ΔΔΡ στον πίνακα διανομής κάθε ηλεκτρικής εγκατάστασης, ακόμη κι αν αυτό επιβάλλεται από τους κανονισμούς. Η ύπαρξη κατάλληλου ΔΔΡ στο κύκλωμα που τροφοδοτεί το ηλεκτρικό όχημα είναι ζωτικής σημασίας, καθώς θα πρέπει να διασφαλίζεται σε κάθε περίπτωση ότι ο χρήστης της υποδομής φόρτισης είναι ασφαλής σε κίνδυνο ηλεκτροπληξίας.

Σύνδεση συσκευών φόρτισης Μεθόδου 2

Η φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων με τη Μέθοδο 2 γίνεται με τη χρήση συσκευών φόρτισης IC-CPD (In Cable – Control and Protective Device), σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61851-1, το οποίο περιγράφει εν γένει τις προδιαγραφές για την ενσύρματη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων. Κάθε συσκευή φόρτισης IC-CPD πρέπει να συμμορφώνεται με το πρότυπο IEC 62752:2016, που αφορά αποκλειστικά τις προδιαγραφές και τη λειτουργία συσκευών IC-CPD. Οι συσκευές φόρτισης πρέπει να διαθέτουν πιστοποίηση για τη συμμόρφωσή τους στα εν λόγω πρότυπα και να έχουν περάσει με επιτυχία όλες τις δοκιμές και τους ελέγχους που αναγράφονται σε αυτά. Όπως αναλύεται και παρακάτω, η σύνδεση της συσκευής φόρτισης IC-CPD στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται μέσω κοινού μονοφασικού ρευματοδότη schuko. Η λογική πίσω από τη χρήση των συσκευών IC-CPD είναι η εύκολη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις που δεν διαθέτουν σταθμούς φόρτισης (επιτοίχιων ή επιδαπέδιων). Για το λόγο αυτό, ενδείκνυται η αξιοποίηση κοινών ρευματοδοτών για τη σύνδεση των συσκευών IC-CPD. Στην Ελλάδα, κοινό ρευματοδότη στην πλειοψηφία των ιδιωτικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων αποτελεί ο μονοφασικός ρευματοδότης schuko, 16A, 250V. Ο εν λόγω ρευματοδότης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση μιας συσκευής φόρτισης, καθώς εκτός από τους ενεργούς αγωγούς διανέμει και τον αγωγό προστασίας, ο οποίος είναι απαραίτητος σε οποιαδήποτε διάταξη AC φόρτισης, σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61851-1.

1.3.9 Στοιχεία συσκευής φόρτισης

Κάθε συσκευή φόρτισης IC-CPD πρέπει να διαθέτει καλώδιο με ρευματολήπτη schuko για τη σύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο, καθώς πρέπει να έχει τη δυνατότητα σύνδεσης σε κοινό ρευματοδότη προς την πλευρά του δικτύου, και καλώδιο φόρτισης με ακροσύνδεσμο (vehicle connector) προδιαγραφών IEC 62196-2, για τη σύνδεση με το ηλεκτρικό όχημα. Το εν λόγω πρότυπο περιγράφει τρεις εγκεκριμένους τύπους ακροσυνδέσμων (Type 1, 2 και 3), καθώς και τα μηχανικά χαρακτηριστικά (υλικό, διαστάσεις κλπ) και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους (μέγιστη επιτρεπόμενη φόρτιση, συνδεσμολογία αγωγών κλπ).

Επιπλέον, η συσκευή φόρτισης IC-CPD πρέπει να έχει κατά μέγιστο ονομαστική ισχύ ίση με 3,7 kVA. Η εν λόγω απαίτηση προκύπτει από την επιλογή της διατομής των αγωγών που τροφοδοτούν το σημείο φόρτισης και του ονομαστικού ρεύματος της διάταξης προστασίας της γραμμής έναντι υπερέντασης. Για ονομαστικό ρεύμα 16A και τάση 230V, ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που διαθέτουν οι συνήθεις ρευματοδότες schuko που βρίσκονται σε ελληνικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, η ονομαστική ισχύς της συσκευής φόρτισης περιορίζεται σε 3680 VA. Αν και το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα για τη Μέθοδο 2 είναι 32 A, σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61851-1, το τελικό μέγιστο ρεύμα φόρτισης πρέπει να περιορίζεται στα 16 A λόγω των περιορισμών που θέτει η φύση της ηλεκτρικής εγκατάστασης που τροφοδοτεί τον ρευματοδότη schuko, στον οποίο συνδέεται η συσκευή IC-CPD.

1.3.10 Ρευματοδότης – ηλεκτρική εγκατάσταση

Η σύνδεση της συσκευής φόρτισης IC-CPD στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται μέσω μονοφασικού ρευματοδότη schuko, 16A, 250V. Προς διευκόλυνση των χρηστών, ο ρευματοδότης μπορεί να βρίσκεται σε απόσταση από 0,75m έως και 1,2m από το έδαφος, όπως εφαρμόζεται σε

χώρες όπως το Ην. Βασίλειο [58], το Χονγκ Κονγκ [27] και η Ν. Ζηλανδία [53]. Επιπλέον, επιτρέπεται η σύνδεση συσκευών φόρτισης IC-CPD σε ρευματοδότες schuko που είναι εγκατεστημένοι εντός σταθμών φόρτισης Μεθόδου 3, εφόσον πληρούνται τόσο οι υπό ανάλυση προδιαγραφές, όσο και οι απαιτήσεις των σημείων φόρτισης σταθμού Μεθόδου 3. Ο ρευματοδότης που προορίζεται να τροφοδοτεί την συσκευή φόρτισης IC-CPD οφείλει να είναι εγκατεστημένος πλησίον του χώρου στάθμευσης του ηλεκτρικού οχήματος, ώστε να είναι δυνατή η σύνδεση της συσκευής IC-CPD τόσο στο ρευματοδότη όσο και στο ηλεκτρικό όχημα. Δεν επιτρέπεται η επέκταση του καλωδίου φόρτισης από την πλευρά του οχήματος με χρήση «μπαλαντέζας» (cord extension set), σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61851-1. Βέβαια, η χρήση μπαλαντέζας για την επέκταση του παροχικού καλωδίου δεν είναι απαγορευτική, ωστόσο συνιστάται η αποφυγή χρήσης αυτού. Αυξάνοντας το μήκος του παροχικού καλωδίου με τη χρήση «μπαλαντέζας» ελλοχεύει ο κίνδυνος αύξησης της πτώσης τάσης επί της γραμμής εκτός του επιτρεπόμενου ορίου του 4%, γεγονός που δεν μπορεί να διασφαλιστεί εκ των προτέρων κατά τον σχεδιασμό της εγκατάστασης, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να προκληθούν φθορές στο καλώδιο λόγω του μεγάλου και συνεχόμενου ρεύματος που διαρρέει κατά τη φόρτιση. Για αυτούς τους λόγους οφείλει η εγκατάσταση του ρευματοδότη που θα τροφοδοτεί τη συσκευή IC-CPD να γίνεται πλησίον του χώρου στάθμευσης και φόρτισης του ηλεκτρικού οχήματος. Παράλληλα, συνιστάται η τοποθέτηση επιτοίχιου «καλαθιού» ή παρόμοιας διάταξης, που θα υποστηρίζει το βάρος της συσκευής φόρτισης IC-CPD, ώστε να μην καταπονείται μηχανικά το βύσμα που συνδέεται στο ρευματοδότη από το βάρος της συσκευής φόρτισης. Η εν λόγω απαίτηση εφαρμόζεται διεθνώς κατά περίπτωση (πχ Χονγκ Κονγκ [27]) και έχει στόχο την αποφυγή της μηχανικής καταπόνησης της συσκευής φόρτισης IC-CPD. Λόγω του ύψους τοποθέτησης του ρευματοδότη schuko, είναι δυνατόν η συσκευή φόρτισης IC-CPD να κρέμεται από το βύσμα που συνδέεται στο ρευματοδότη, με αποτέλεσμα το βύσμα να υφίσταται μηχανική καταπόνηση από το βάρος της συσκευής. Με την τοποθέτηση του «καλαθιού» η συσκευή IC-CPD στηρίζεται σε αυτό και έτσι αποφεύγεται η μηχανική καταπόνηση του βύσματος.

1.3.11 Σύνδεση στο δίκτυο

Η συσκευή φόρτισης αποτελεί πρόσθετο φορτίο για την ηλεκτρική εγκατάσταση στην οποία συνδέεται. Εάν η υφιστάμενη παροχή ισχύος δεν επαρκεί, απαιτείται αναβάθμιση σε τυποποιημένη παροχή μεγαλύτερης συμφωνημένης ισχύος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την τροποποίηση της ηλεκτρικής εγκατάστασης, με αντικατάσταση της γενικής ασφάλειας και της διατομής των αγωγών του καλωδίου παροχής, ενδεχομένως και της μετρητικής διάταξης, στοιχεία τα οποία έχουν τυποποιημένες τιμές ανάλογα με το είδος της παροχής και της συμφωνημένης ισχύος της εγκατάστασης. Εφόσον η αναβάθμιση της παροχής και η τροποποίηση της εγκατάστασης δεν είναι δυνατή, δεν ενδείκνυται η εγκατάσταση ρευματοδότη για την φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων με τη Μέθοδο 2.

Σε υφιστάμενες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις είναι δυνατή η σύνδεση συσκευής φόρτισης IC-CPD σε ρευματοδότη schuko κοινής γραμμής, αρκεί η συσκευή IC-CPD να περιέχει ενσωματωμένο ΔΔΡ τύπου Α σε σειρά με διάταξη αποσύνδεσης του κυκλώματος κατά την ανίχνευση συνιστώσας συνεχούς ρεύματος διαρροής μεγαλύτερο από 6 mA DC, ή ενσωματωμένο ΔΔΡ τύπου Β αντί αυτών, και μικροαυτόματο διακόπτη ονομαστικού ρεύματος μέχρι 16Α. Παρ' όλα αυτά, σε αυτή την περίπτωση, δεν επιτυγχάνεται επιλεκτικότητα μεταξύ του ΔΔΡ από την πλευρά της ηλεκτρικής εγκατάστασης και του ενσωματωμένου στην συσκευή φόρτισης ΔΔΡ. Η μη τήρηση της επιλεκτικότητας έχει ως αποτέλεσμα την πιθανή ενεργοποίηση του ΔΔΡ από την πλευρά του δικτύου αντί του ενσωματωμένου στην συσκευή φόρτισης ΔΔΡ, σε περίπτωση σφάλματος διαρροής εναλλασσόμενου ρεύματος μεγαλύτερου των 30mA AC προς τη γη. Έτσι, σε αυτή την περίπτωση, είναι πιθανό να αποσυνδεθούν όλες οι γραμμές που προστατεύονται από τον ΔΔΡ της ηλεκτρικής εγκατάστασης, αντί να απομονωθεί μόνο το κύκλωμα που τροφοδοτεί τη συσκευή φόρτισης. Κατά τα λοιπά, παρέχεται προστασία έναντι ηλεκτροπληξίας στον χρήστη της ηλεκτρικής εγκατάστασης.

Αν και το παραπάνω αποτελεί τον πιο απλό και οικονομικό τρόπο σύνδεσης, που ταυτόχρονα διασφαλίζει την επιθυμητή προστασία στον χρήστη, η μη τήρηση της επιλεκτικότητας μεταξύ των ΔΔΡ είναι ένα στοιχείο που αντιβαίνει στους κανονισμούς περί ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων. Ο ορθότερος, τεχνικά και θεσμικά, τρόπος σύνδεσης συσκευών φόρτισης IC-CPD είναι η δημιουργία νέας γραμμής, τριών αγωγών (φάση, ουδέτερος και αγωγός προστασίας) διατομής τουλάχιστον 2,5mm² έκαστος, που θα αναχωρεί από τον πίνακα διανομής, και θα τροφοδοτεί αποκλειστικά τον ρευματοδότη schuko, ο οποίος προορίζεται για τη φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος. Η γραμμή αυτή θα διαθέτει τις δικές της ξεχωριστές διατάξεις προστασίας, ως εξής:

- Χειροκίνητο διακόπτη, 2-πολικό, 25A
- Μικροαυτόματο διακόπτη υπερέντασης, 1-πολικό, ονομαστικού ρεύματος 16A, καμπύλης C
- Διακόπτη διαφορικού ρεύματος (ΔΔΡ) τύπου A ή B, 2-πολικό, 20A, ονομαστικού ρεύματος ενεργοποίησης 30mA

Οι παραπάνω διατάξεις προστασίας πρέπει να τοποθετούνται εντός πίνακα διανομής. Εάν δεν είναι δυνατή η τοποθέτησή τους στον υφιστάμενο πίνακα, απαιτείται η δημιουργία νέου υποπίνακα.

Τα χαρακτηριστικά των παραπάνω διατάξεων προστασίας προκύπτουν από το πρότυπο IEC 61851-1, την διατομή των αγωγών της γραμμής και τις ανάγκες της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Πιο συγκεκριμένα:

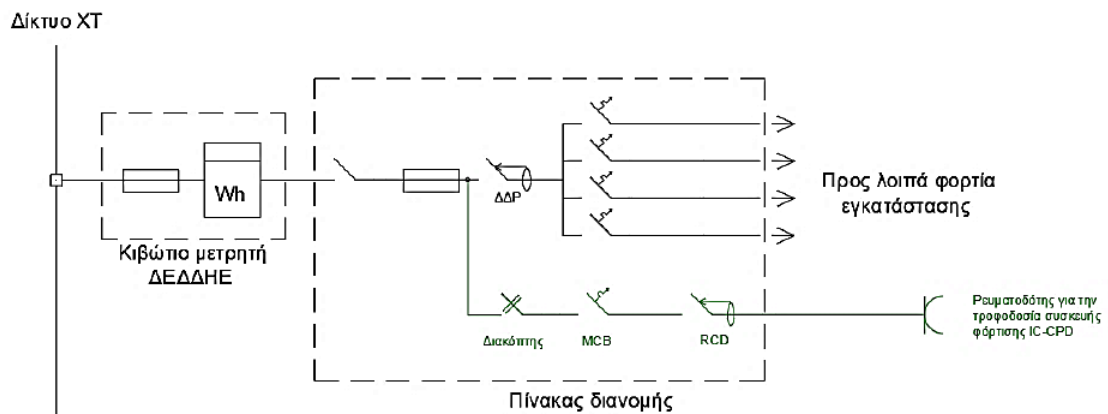
- Επιλέγεται διπολικός χειροκίνητος διακόπτης για την χειροκίνητη απόξευση του κυκλώματος που τροφοδοτεί το ρευματοδότη.
- Επιλέγεται μονοπολικός μικροαυτόματος διακόπτης, καμπύλης C, για την προστασία έναντι υπερέντασης. Το ονομαστικό ρεύμα είναι 16A, σύμφωνα και με τη διατομή του αγωγού φάσης.
- Επιλέγεται ΔΔΡ ονομαστικού ρεύματος ενεργοποίησης 30mA, σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61851-1. Ο ΔΔΡ πρέπει να αποσυνδέει όλους τους ενεργούς αγωγούς, για αυτό και είναι διπολικός. Πρέπει να είναι τύπου A ή B.
- Όλες οι παραπάνω διατάξεις προστασίας πρέπει να τοποθετούνται εντός πίνακα.

Οι παραπάνω διατάξεις προστατεύουν τη γραμμή και κατά τη σύνδεση ενός οποιοδήποτε φορτίου στο ρευματοδότη, πέραν της συσκευής φόρτισης IC-CPD. Ούτως ή άλλως, η συσκευή IC-CPD περιέχει ενσωματωμένες διατάξεις προστασίας, με αποτέλεσμα να λειτουργούν εν σειρά με τις παραπάνω αναφερόμενες διατάξεις της γραμμής. Πρέπει να διασφαλίζεται ότι η γραμμή προστατεύεται σε όλες τις περιπτώσεις και για κάθε είδους φορτίο.

Επιπλέον, εάν δεν διασφαλίζεται ότι υπάρχει διάταξη αποσύνδεσης του κυκλώματος κατά την ανίχνευση συνιστώσας συνεχούς ρεύματος διαρροής μεγαλύτερο από 6 mA DC, ενσωματωμένη στην συσκευή φόρτισης IC-CPD, θα πρέπει ο ΔΔΡ του πίνακα διανομής να είναι τύπου EV ή B. Η εν λόγω διάταξη πρέπει να βρίσκεται στο κύκλωμα που τροφοδοτεί σημείο AC φόρτισης, σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61851-1. Όπως περιγράφεται και στην παράγραφο 2.5.2, η διάταξη αποτελείται από ένα τοροειδή μετασχηματιστή, διαμέσου του οποίου περνούν οι ενεργοί αγωγοί του κυκλώματος και ο οποίος στέλνει σήμα αποσύνδεσης του κυκλώματος στον επεξεργαστή της συσκευής φόρτισης, σε περίπτωση που ανιχνεύσει συνιστώσα ρεύματος μεγαλύτερη των 6 mA DC. Για το λόγο αυτό η εν λόγω διάταξη θα πρέπει να βρίσκεται εντός της συσκευής φόρτισης IC-CPD. Υπάρχει όμως περίπτωση αυτό να μην μπορεί να διασφαλιστεί. Σε αυτή την περίπτωση, θα πρέπει να εγκαθίσταται στην πλευρά του δικτύου, εντός του πίνακα διανομής, ΔΔΡ τύπου B, καθώς DC συνιστώσες ρεύματος μεγαλύτερες από 6 mA επηρεάζουν αρνητικά την ορθή λειτουργία των ΔΔΡ τύπου A. Εναλλακτικά, ο ΔΔΡ μπορεί να είναι τύπου EV, μια νέα τυποποίηση ΔΔΡ στην οποία έχουν προχωρήσει κάποιες κατασκευαστικές εταιρίες, ο οποίος είναι απολύτως ισοδύναμος με ΔΔΡ τύπου A σε σειρά με διάταξη αποσύνδεσης του κυκλώματος κατά την ανίχνευση συνιστώσας συνεχούς ρεύματος μεγαλύτερης από 6mA DC. Ο ΔΔΡ τύπου EV είναι υλικό ράγας, μπορεί να τοποθετηθεί εντός πίνακα διανομής και εκτελεί διπλή λειτουργία, καθώς αποσυνδέει την τροφοδοσία αφενός κατά την ανίχνευση ρεύματος

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ διαρροής μεγαλύτερο των 30 mA AC, αφετέρου κατά την ανίχνευση συνιστώσας συνεχούς ρεύματος διαρροής μεγαλύτερης από 6mA DC.

Η σύνδεση του νέου κυκλώματος με την ηλεκτρική εγκατάσταση γίνεται σε σημείο μεταξύ της γενικής ασφάλειας και του διακόπτη διαφορικού ρεύματος των υπόλοιπων φορτίων, όπως υποδεικνύει το μονογραμμικό διάγραμμα του Σχήματος 5.1.



Σχήμα 1.21: Σύνδεση του ρευματοδότη συσκευής IC-CPD στην υφιστάμενη ηλεκτρική εγκατάσταση

Οι λόγοι που επιλέγεται η συγκεκριμένη συνδεσμολογία είναι οι εξής:

- Η γραμμή μπορεί να θεωρηθεί αποκλειστικό ακτινικό κύκλωμα, περιέχει τις δικές της διατάξεις προστασίας και είναι ανεξάρτητη από τις υπόλοιπες γραμμές της ηλεκτρικής εγκατάστασης.
- Η γραμμή βρίσκεται ανάντη του ΔΔΡ που προστατεύει τις υπόλοιπες γραμμές. Κατά αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η μη τήρηση της επιλεκτικότητας.
- Η γραμμή βρίσκεται κατάντη της γενικής ασφάλειας και του γενικού διακόπτη της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Κατά αυτό τον τρόπο διασφαλίζεται ότι ο ρευματοδότης αποσυνδέεται από την τροφοδοσία όταν ανοίξει ο γενικός διακόπτης της εγκατάστασης.

Σύνδεση συσκευών φόρτισης Μεθόδου 3 σε οικιακές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις

Οι επιτρεπόμενες μέθοδοι φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων σε οικιακή (ή άλλη μη δημοσίως προσβάσιμη) ηλεκτρική εγκατάσταση είναι οι Μέθοδοι 2 και 3 (Mode 2 & Mode 3), όπως ορίζονται στο πρότυπο IEC 61851-1. Με βάση αυτή την κατηγοριοποίηση και με δεδομένη τη διεθνή πρακτική, κρίνεται σκόπιμη η χρήση των Μεθόδων 2 και 3 και μόνο για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων σε οικιακές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Η Μέθοδος 1 είναι ανεπαρκής μέθοδος φόρτισης, ακόμη και για την Ελλάδα, και για αυτό κρίνεται ακατάλληλη. Στον αντίποδα, η Μέθοδος 4 θεωρείται υπερβολική για τη χρήση σε οικιακά δίκτυα, λόγω της μεγάλης ισχύος που διακινείται μέσω της συσκευής φόρτισης και του μεγάλου όγκου αυτής.

Οι συσκευές φόρτισης Μεθόδου 3 πρέπει να λειτουργούν με βάση το πρότυπο IEC 61851-1, το οποίο περιγράφει εν γένει τις προδιαγραφές για την ενσύρματη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων, ενώ ο εξοπλισμός τους (ρευματοδότες, βύσματα, καλώδια φόρτισης, ακροσύνδεσμοι κλπ) που περιέχει η συσκευή φόρτισης πρέπει να συμμορφώνεται με τα πρότυπα IEC 62196-1 και IEC 62196-2. Οι συσκευές φόρτισης πρέπει να διαθέτουν πιστοποίηση για τη συμμόρφωσή τους στα εν λόγω πρότυπα και να έχουν περάσει με επιτυχία όλες τις δοκιμές και τους ελέγχους που αναγράφονται σε αυτά.

Στοιχεία συσκευής φόρτισης

Κάθε συσκευή φόρτισης συνδέεται σε χαμηλή τάση 230/400V και μπορεί να είναι μονοφασική ή τριφασική. Το μέγιστο ρεύμα φόρτισης ανά φάση και ανά σημείο φόρτισης εξαρτάται από τον τύπο του ακροσυνδέσμου, σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62196-2. Υπάρχουν τρεις εγκεκριμένοι τύποι ακροσυνδέσμων (Type 1, 2 και 3) και οι μέγιστες επιτρεπόμενες εντάσεις ρεύματος για αυτούς είναι:

- 32 A (1Φ) για τον ακροσύνδεσμο τύπου 1,
- 70 A (1Φ) και 63 A (3Φ) για τον ακροσύνδεσμο τύπου 2 και
- 32 A (1Φ) και 63 A (3Φ) για τον ακροσύνδεσμο τύπου 3.

Παρ' όλα αυτά, η διεθνής πρακτική, και συγκεκριμένα τόσο οι εμπορικά διαθέσιμες συσκευές φόρτισης όσο και οι αντίστοιχες τεχνικές απαιτήσεις άλλων χωρών, υποδεικνύουν τα όρια των 7,4 kVA/22 kVA ως μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ ενός σημείου μιας συσκευής φόρτισης (1Φ / 3Φ αντίστοιχα). Τα όρια αυτά αντιστοιχούν σε ονομαστικό ρεύμα 32A ανά φάση και ανά σημείο φόρτισης, ανεξάρτητα από το πλήθος των φάσεων. Με βάση αυτά τα όρια συνηθίζεται η διαστασιολόγηση των υποδομών φόρτισης στις χώρες που ακολουθούν την προτυποποίηση κατά IEC.

Όπως γίνεται αντιληπτό, η συσκευή φόρτισης μπορεί να διαθέτει άνω του ενός σημεία φόρτισης. Τα σημεία φόρτισης μπορούν να λειτουργούν είτε ταυτόχρονα είτε εναλλάξ και σε κάθε περίπτωση συνδέονται στην κοινή παροχή της συσκευής φόρτισης. Ως σημείο φόρτισης νοείται το σημείο της συσκευής φόρτισης ή της ηλεκτρικής εγκατάστασης, στο οποίο συνδέεται ένα ηλεκτρικό όχημα. Μπορεί αυτό να είναι ένας ρευματοδότης στον οποίο συνδέεται καλώδιο φόρτισης αποσπώμενο από τις δύο πλευρές (Case B κατά IEC 61851-1) ή ένα καλώδιο φόρτισης μόνιμα συνδεδεμένο στο σταθμό (Case C). Και στις δύο περιπτώσεις, τα σημεία φόρτισης μιας συσκευής συνδέονται σε κοινή παροχή. Όταν τα σημεία φόρτισης μπορούν να λειτουργήσουν ταυτόχρονα, θα πρέπει το καθένα να διαθέτει ξεχωριστές διατάξεις προστασίας εντός της συσκευής φόρτισης. Εάν δεν μπορούν να λειτουργήσουν ταυτόχρονα, τότε μπορούν να έχουν κοινές διατάξεις προστασίας εγκατεστημένες εντός της συσκευής φόρτισης ή σε κάποιο άλλο σημείο του κυκλώματος (πχ σε πίνακα διανομής της ηλεκτρικής εγκατάστασης).

Οι συσκευές φόρτισης μπορεί να είναι επιδαπέδιες ή επιτοιχίες (wallbox) και πρέπει να έχουν βαθμό προστασίας κατ' ελάχιστο IP 41 ή IP 44 για εσωτερική ή εξωτερική χρήση αντίστοιχα, σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61851-1. Οι ρευματοδότες συνίσταται να βρίσκονται σε απόσταση από 0,75m έως και 1,2m από το έδαφος, όπως εφαρμόζεται σε χώρες όπως το Ην. Βασίλειο [58], η Ισπανία [52], το Χονγκ Κονγκ [27] και η Ν. Ζηλανδία [53]. Σε περίπτωση που η συσκευή φόρτισης διαθέτει καλώδιο φόρτισης μόνιμα συνδεδεμένο σε αυτή, συνίσταται να υπάρχει διάταξη κράτησης και αποθήκευσης του καλωδίου όσο αυτό δεν χρησιμοποιείται με τρόπο τέτοιο ώστε να μην παρεμποδίζεται το περιβάλλον γύρω από τη συσκευή.

Η συσκευή φόρτισης οφείλει να εγκαθίσταται πλησίον του χώρου στάθμευσης του ηλεκτρικού οχήματος, ώστε να είναι δυνατή η σύνδεση του καλωδίου φόρτισης της συσκευής στην υποδοχή του ηλεκτρικού οχήματος. Δεν επιτρέπεται η επέκταση του καλωδίου φόρτισης από την πλευρά του οχήματος με χρήση «μπαλαντέζας» (cord extension set), σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61851-1.

Όσον αφορά το παροχικό καλώδιο που τροφοδοτεί τη συσκευή φόρτισης, αυτό συνδέεται σε αυτή με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην υπάρχει εκτεθειμένο μέρος αυτού στο περιβάλλον. Για επιδαπέδιες συσκευές φόρτισης, πρέπει να εισέρχεται υπόγεια, ενώ για επιτοιχίες συσκευές φόρτισης πρέπει να εισέρχεται χωνευτά μέσω του τοίχου στον οποίο τοποθετείται η συσκευή. Η εν λόγω απαίτηση εφαρμόζεται διεθνώς, όπως υποδεικνύει η ευρύτερη πλειοψηφία των οδηγιών εγκατάστασης σταθμών φόρτισης από διάφορους κατασκευαστές, και έχει στόχο την προστασία των χρηστών της εγκατάστασης από ανεπιθύμητη επαφή εκτεθειμένων αγωγών ή παρεμπόδιση του περιβάλλοντα χώρου από εκτεθειμένα καλώδια. Το πλήθος και η διατομή των αγωγών του παροχικού καλωδίου εξαρτάται από το πλήθος των σημείων φόρτισης που αυτή διαθέτει, το ονομαστικό ρεύμα του

εκάστοτε σημείου, τη δυνατότητα ταυτόχρονης χρήσης άνω του ενός σημείων φόρτισης και από το πλήθος των φάσεων που το καθένα χρησιμοποιεί. Η τελική διατομή των αγωγών επιλέγεται με βάση την αντίστοιχη μεθοδολογία υπολογισμού που καθορίζεται από το πρότυπο ΕΛΟΤ HD384, με χρήση του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος και λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Η επιλογή του πλήθους και της διατομής των αγωγών του παροχικού καλωδίου βασίζεται στη λογική ότι λαμβάνεται υπόψη η δυσμενέστερη περίπτωση λειτουργίας, συνήθως κατά την ταυτόχρονη χρήση δύο ή παραπάνω σημείων φόρτισης σε ονομαστική λειτουργία. Σε κάθε περίπτωση, εφόσον δεν υπάρχει σύστημα έξυπνης διαχείρισης της συσκευής φόρτισης, το ονομαστικό ρεύμα εισόδου υπολογίζεται ως το άθροισμα των ονομαστικών ρευμάτων των σημείων φόρτισης που μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα, με συντελεστή ταυτοχρονισμού ίσο με τη μονάδα [42]. Για τον υπολογισμό της διατομής των αγωγών πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η πτώση τάσης επί της γραμμής που τροφοδοτεί τη συσκευή φόρτισης είναι μικρότερη του 4%.

1.3.12 Διατάξεις προστασίας

Όταν δύο ή παραπάνω σημεία φόρτισης μιας συσκευής φόρτισης μπορούν να λειτουργήσουν ταυτόχρονα, καθένα από αυτά πρέπει να τροφοδοτείται από αποκλειστικό ακτινικό κύκλωμα με κοινή παροχή και πρέπει να περιέχει τις εξής διατάξεις προστασίας:

- Μικροαυτόματο διακόπτη για προστασία έναντι υπερέντασης, ονομαστικού ρεύματος εφάμιλλου του ονομαστικού ρεύματος του σημείου φόρτισης, καμπύλης C, με αριθμό πόλων ίσο με τον αριθμό των φάσεων του σημείου φόρτισης. Μπορεί να παραλειφθεί εάν η συσκευή φόρτισης περιέχει ένα σημείο φόρτισης και αυτό προστατεύεται από τον μικροαυτόματο διακόπτη στην αναχώρηση της γραμμής, εντός του πίνακα διανομής.
- Διακόπτη διαφορικού ρεύματος (ΔΔΡ) τύπου A ή B, ονομαστικού ρεύματος ενεργοποίησης 30mA, ο οποίος αποσυνδέει όλους τους ενεργούς αγωγούς του σημείου φόρτισης (φάση/φάσεις και ουδέτερο). Σε περίπτωση επιλογής ΔΔΡ τύπου A, θα πρέπει να εγκαθίσταται κατάλληλη διάταξη αποσύνδεσης του κυκλώματος κατά την ανίχνευση συνιστώσας συνεχούς ρεύματος διαρροής μεγαλύτερου από 6 mA DC. Η εν λόγω διάταξη, η οποία πρέπει να συμμορφώνεται με το πρότυπο IEC 62955, συνδέεται σε σειρά με τον ΔΔΡ τύπου A. Εναλλακτικά, ο συνδυασμός ΔΔΡ τύπου A σε σειρά με την εν λόγω διάταξη μπορεί να αντικατασταθεί από ΔΔΡ τύπου EV, μια νέα τυποποίηση ΔΔΡ στην οποία έχουν προχωρήσει κάποιες κατασκευαστικές εταιρίες. Ο ΔΔΡ τύπου EV είναι απολύτως ισοδύναμος με ΔΔΡ τύπου A σε σειρά με την εν λόγω διάταξη.

Κάθε σημείο φόρτισης θεωρείται αποκλειστικό ακτινικό κύκλωμα, με την έννοια ότι περιέχει τις δικές του ανεξάρτητες διατάξεις προστασίας. Τα ονομαστικά χαρακτηριστικά των παραπάνω διατάξεων προστασίας εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του σημείου φόρτισης. Οι διατάξεις προστασίας τοποθετούνται κατάντη του σημείου διακλάδωσης της παροχής, επομένως εντός της συσκευής φόρτισης. Η γραμμή της ηλεκτρικής εγκατάστασης που περιέχει το παροχικό καλώδιο διαθέτει ξεχωριστές διατάξεις προστασίας, ως εξής:

- Χειροκίνητο διακόπτη, με αριθμό πόλων ίσο με τον αριθμό των ενεργών αγωγών (2 ή 4 για μονοφασική ή τριφασική γραμμή αντίστοιχα).
- Μικροαυτόματο διακόπτη για προστασία έναντι υπερέντασης, ονομαστικού ρεύματος εφάμιλλου του ονομαστικού ρεύματος του παροχικού καλωδίου, καμπύλης C, με αριθμό πόλων ίσο με τον αριθμό των φάσεων του παροχικού καλωδίου.
- Διακόπτη διαφορικού ρεύματος (ΔΔΡ) τύπου B, με χαρακτηριστικά επιλεκτικότητας, ο οποίος αποσυνδέει όλους τους ενεργούς αγωγούς του παροχικού καλωδίου (φάση/φάσεις και ουδέτερο). Ο εν λόγω ΔΔΡ μπορεί να βρίσκεται ανάντη του σημείου διακλάδωσης της γραμμής. Εάν η συσκευή φόρτισης έχει ένα σημείο φόρτισης, τότε μπορεί να αντικατασταθεί από τον ΔΔΡ τύπου A ή B ονομαστικού ρεύματος ενεργοποίησης 30mA, ώστε ο τελευταίος

να προστατεύει ολόκληρο το τμήμα του τελικού κυκλώματος που τροφοδοτεί το σημείο φόρτισης.

Οι παραπάνω διατάξεις προστασίας τοποθετούνται εντός πίνακα. Ο χειροκίνητος διακόπτης χρησιμοποιείται για την θεμιτή από το χρήστη απόξευξη του κυκλώματος που τροφοδοτεί τη συσκευή φόρτισης, ενώ ο μικροαυτόματος διακόπτης χρησιμοποιείται για την προστασία της γραμμής έναντι υπερέντασης (υπερφόρτισης και βραχυκυκλώματος). Σε περίπτωση όπου η συσκευή φόρτισης διαθέτει ένα σημείο φόρτισης, το οποίο προστατεύεται από μικροαυτόματο διακόπτη με ίδια χαρακτηριστικά με αυτά του μικροαυτόματου διακόπτη που πρόκειται να εγκατασταθεί στον πίνακα διανομής (στην αρχή της γραμμής τροφοδοσίας), τότε υπάρχουν δύο επιλογές:

1. Χρησιμοποιείται ένας μικροαυτόματος διακόπτης και τοποθετείται εντός του πίνακα διανομής, δηλαδή στην αρχή του κυκλώματος, ώστε να παρέχει προστασία σε ολόκληρο το τμήμα του τελικού κυκλώματος.
2. Χρησιμοποιούνται δύο μικροαυτόματοι διακόπτες, ένας εντός της συσκευής φόρτισης και ένας με παρόμοια χαρακτηριστικά αλλά και με χρονική καθυστέρηση εντός του πίνακα, ώστε να επιτυγχάνεται επιλεκτική συνεργασία μεταξύ των δύο διακοπών.

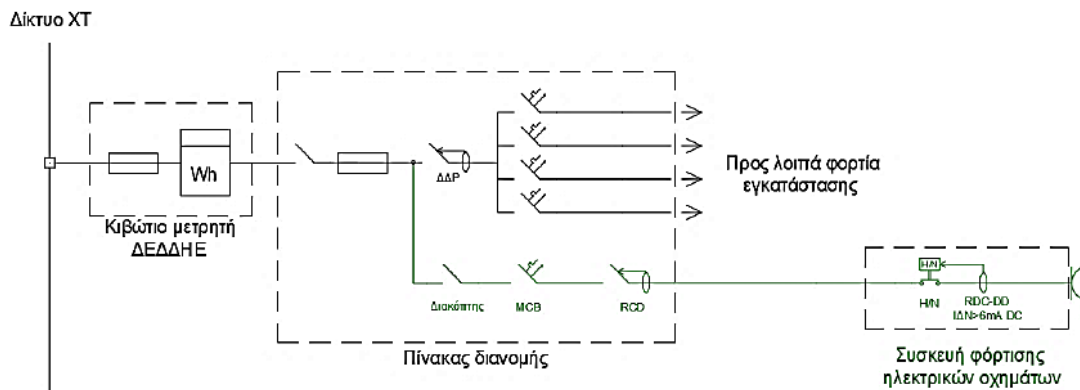
Επιπλέον, σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ HD 384, δεν απαιτείται διάταξη προστασίας έναντι υπερφορτίσεων ή βραχυκυκλωμάτων από την πλευρά του δικτύου, δηλαδή μπορεί να παραληφθεί ο μικροαυτόματος διακόπτης στην αρχή της γραμμής (εντός του πίνακα διανομής) ή να τοποθετηθεί ο μοναδικός μικροαυτόματος εντός της συσκευής φόρτισης αντί εντός του πίνακα διανομής, εφόσον ισχύουν ταυτόχρονα τα εξής:

1. το μήκος της γραμμής που τροφοδοτεί το σημείο φόρτισης είναι μικρότερο των 3m,
2. η γραμμή είναι κατασκευασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος βραχυκυκλώματος (πχ. με ενίσχυση προστασίας από εξωτερικές επιδράσεις), αφετέρου δεν βρίσκεται κοντά σε υλικά που μπορούν να καούν.

Ο ΔΔΡ χρησιμοποιείται για πρόσθετη προστασία των χρηστών της ηλεκτρικής εγκατάστασης έναντι ηλεκτροπληξίας, ενώ παρέχει και προστασία της γραμμής έναντι πυρκαγιάς. Ο ΔΔΡ που τοποθετείται στην πλευρά του δικτύου πρέπει να έχει χαρακτηριστικά επιλεκτικότητας, εφόσον βρίσκεται ανάντη άλλων ΔΔΡ, τα οποία προστατεύουν μεμονωμένα σημεία φόρτισης. Η επιλεκτικότητα συμβάλλει στο να ενεργοποιείται ο πλησιέστερος στο σημείο σφάλματος ΔΔΡ και να αποσυνδέεται το μικρότερο δυνατό μέρος του κυκλώματος της εγκατάστασης. Ο εν λόγω ΔΔΡ πρέπει να έχει ονομαστικό ρεύμα ενεργοποίησης μεγαλύτερο από 30 mA και μέχρι 300 mA, ή και χρονική καθυστέρηση, ώστε να συνεργάζεται επιλεκτικά με τους ΔΔΡ που διαθέτει κάθε σημείο φόρτισης. Παραδείγματα για ορθές και λανθασμένες συνδεσμολογίες ΔΔΡ σε σειρά παρουσιάζονται στην παράγραφο 4.1.5. Επιπροσθέτως, αναφέρεται ότι σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60634-5-53, μπορεί να παραλειφθεί ο ΔΔΡ από την πλευρά του δικτύου εφόσον το τμήμα της εγκατάστασης μεταξύ του πίνακα διανομής και της συσκευής φόρτισης διαθέτει εξοπλισμό με υλικό κλάσης II (διπλή ή ενισχυμένη μόνωση) ή ισοδύναμη μόνωση.

Σύνδεση στο δίκτυο

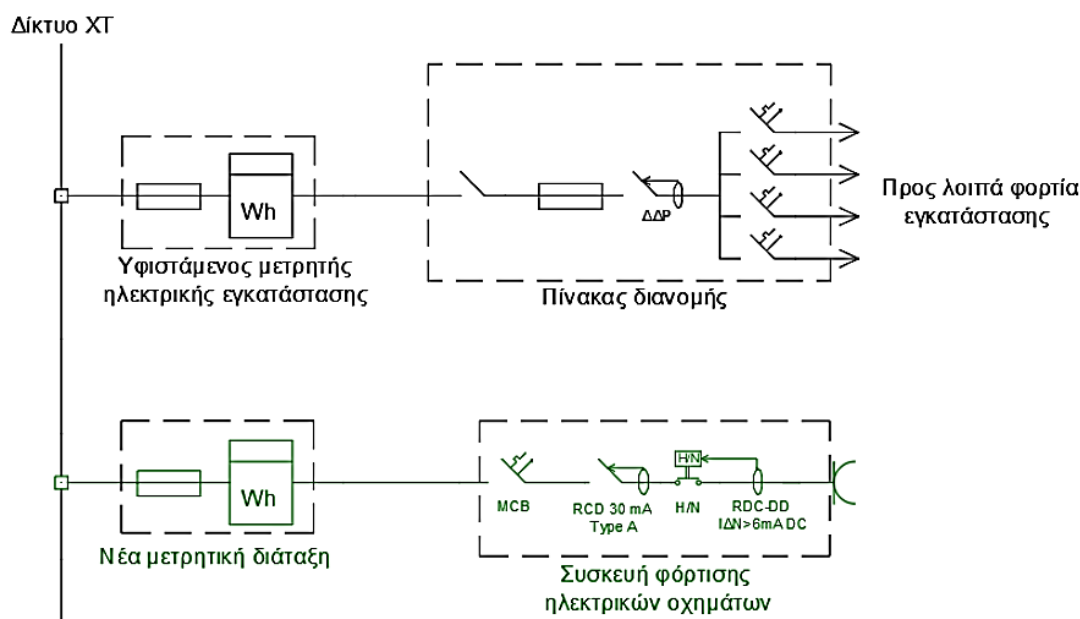
Εάν η υφιστάμενη παροχή ισχύος δεν επαρκεί, απαιτείται αναβάθμιση σε τυποποιημένη παροχή μεγαλύτερης συμφωνημένης ισχύος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την τροποποίηση της ηλεκτρικής εγκατάστασης, με αντικατάσταση της γενικής ασφάλειας και της διατομής των αγωγών του καλωδίου παροχής, ενδεχομένως και της μετρητικής διάταξης, στοιχεία τα οποία έχουν τυποποιημένες τιμές ανάλογα με το είδος της παροχής και της συμφωνημένης ισχύος της εγκατάστασης. Εφόσον πληρούνται τα παραπάνω, ο ενδεικνυόμενος τρόπος σύνδεσης διακρίνεται στο μονογραμμικό διάγραμμα του Σχήματος 1.22.



Σχήμα 1.22: Σύνδεση της συσκευής φόρτισης στην υφιστάμενη ηλεκτρική εγκατάσταση

Στον παραπάνω τρόπο σύνδεσης, η γραμμή που τροφοδοτεί την συσκευή φόρτισης ξεκινά από τον πίνακα διανομής της υφιστάμενης ηλεκτρικής εγκατάστασης, πχ. στον οικιακό πίνακα. Το σημείο διακλάδωσης οφείλει να είναι μεταξύ του υφιστάμενου ΔΔΡ και της κεντρικής ασφάλειας της εγκατάστασης. Η νέα γραμμή πρέπει να διαθέτει διακόπτη, μικροαυτόματο διακόπτη (MCB) και διακόπτη διαφορικού ρεύματος (RCD), σύμφωνα με τα αναγραφόμενα στην παράγραφο 5.3.2. Εφόσον η συσκευή φόρτισης διαθέτει ένα σημείο φόρτισης, δεν απαιτείται να περιέχει ενσωματωμένο ΔΔΡ και μικροαυτόματο, καθώς το σημείο φόρτισης προστατεύεται από τις διατάξεις που βρίσκονται στην αναχώρηση του τελικού κυκλώματος.

Εάν η αναβάθμιση της παροχής και η τροποποίηση της εγκατάστασης δεν είναι συμφέρουσα ή δυνατή, απαιτείται η δημιουργία νέας παροχής για τη σύνδεση της συσκευής φόρτισης. Η συσκευή φόρτισης δεν αποτελεί πλέον μέρος της υπόλοιπης ηλεκτρικής εγκατάστασης. Το παροχικό καλώδιο συνδέεται από την έξοδο του νέου μετρητή δικτύου απ' ευθείας στην είσοδο της συσκευής φόρτισης και δεν απαιτείται πίνακας διανομής. Η συσκευή φόρτισης οφείλει να έχει ενσωματωμένες τις απαραίτητες διατάξεις προστασίας ανά σημείο φόρτισης. Ο ενδεικνυόμενος τρόπος σύνδεσης διακρίνεται στο μονογραμμικό διάγραμμα του Σχήματος 1.23.



Σχήμα 1.23: Σύνδεση της συσκευής φόρτισης σε νέα παροχή

Σύνδεση συσκευών φόρτισης Μεθόδου 3 σε εμπορικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις ή στο δημόσιο δίκτυο διανομής

Οι επιτρεπόμενες μέθοδοι φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων σε δημοσίως προσβάσιμους χώρους είναι οι Μέθοδοι 3 και 4 (Mode 3 & Mode 4), όπως αυτές ορίζονται στο πρότυπο IEC 61851-1, σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. 42863/438. Με βάση την κατηγοριοποίηση κατά IEC και με δεδομένη τη διεθνή πρακτική και την υπάρχουσα νομοθεσία, κρίνεται σκόπιμη η χρήση των Μεθόδων 3 και 4 και μόνο για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων σε εμπορικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις ή στο δημόσιο δίκτυο διανομής. Η Μέθοδος 1 θεωρείται εν γένει ανεπαρκής μέθοδος φόρτισης και για αυτό κρίνεται ακατάλληλη, ενώ η Μέθοδος 2 συνίσταται μόνο για οικιακή/ιδιωτική χρήση. Η παραπάνω απαίτηση θεσπίζεται και νομικά με την Κ.Υ.Α. 42863/438 περί «Καθορισμού των όρων, των προϋποθέσεων και των τεχνικών προδιαγραφών για την εγκατάσταση συσκευών φόρτισης συσσωρευτών ηλεκτροκίνητων οχημάτων (σημεία επαναφόρτισης), στις εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης οχημάτων, σε δημοσίως προσβάσιμα σημεία επαναφόρτισης κατά μήκος του αστικού, υπεραστικού και εθνικού οδικού δικτύου καθώς και σε χώρους στάθμευσης δημοσίων και ιδιωτικών κτιρίων».

Οι συσκευές φόρτισης Μεθόδου 3 πρέπει να λειτουργούν με βάση το πρότυπο IEC 61851-1, το οποίο περιγράφει εν γένει τις προδιαγραφές για την ενσύρματη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων, ενώ ο εξοπλισμός τους (ρευματοδοτές, βύσματα, καλώδια φόρτισης, ακροσύνδεσμοι κλπ) που περιέχει η συσκευή φόρτισης πρέπει να συμμορφώνεται με τα πρότυπα IEC 62196-1 και IEC 62196-2. Οι συσκευές φόρτισης πρέπει να διαθέτουν πιστοποίηση για τη συμμόρφωσή τους στα εν λόγω πρότυπα και να έχουν περάσει με επιτυχία όλες τις δοκιμές και τους ελέγχους που αναγράφονται σε αυτά.

Στοιχεία συσκευής φόρτισης

Κάθε συσκευή φόρτισης συνδέεται σε χαμηλή τάση 230/400V και μπορεί να είναι μονοφασική ή τριφασική. Το μέγιστο ρεύμα φόρτισης ανά φάση και ανά σημείο φόρτισης εξαρτάται από τον τύπο του ακροσυνδέσμου, σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62196-2. Σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. 42863/438, οι συσκευές φόρτισης Μεθόδου 3 που εγκαθίστανται σε δημοσίως προσβάσιμα σημεία πρέπει να διαθέτουν ρευματοδοτές (socket-outlets) ή ακροσυνδέσμους (vehicle connectors) τύπου 2 (Type 2) κατά IEC 62196-2. Η μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση ρεύματος ανά φάση και ανά ακροσύνδεσμο είναι 70 A για μονοφασική και 63 A για τριφασική φόρτιση αντίστοιχα. Η παραπάνω απαίτηση εναρμονίζεται και με την ισχύουσα ευρωπαϊκή νομοθεσία.

Τα υπόλοιπα στοιχεία των συσκευών φόρτισης Μεθόδου 3 που προορίζονται για δημόσια χρήση είναι κοινά με αυτά των συσκευών φόρτισης Μεθόδου 3 που προορίζονται για ιδιωτική χρήση και αναλύονται στην παραπάνω παράγραφο. Επιπροσθέτως, θα πρέπει να υπάρχει ενσωματωμένος μετρητής ενέργειας ανά σημείο φόρτισης, αρμοδιότητας ΦΕΥΦΗΟ, για την τιμολόγηση του χρήστη.

Διατάξεις προστασίας

Όταν δύο ή παραπάνω σημεία φόρτισης μιας συσκευής φόρτισης μπορούν να λειτουργήσουν ταυτόχρονα, καθένα από αυτά πρέπει να τροφοδοτείται από αποκλειστικό ακτινικό κύκλωμα με κοινή παροχή και πρέπει να περιέχει τις εξής διατάξεις προστασίας:

- Μικροαυτόματο διακόπτη για προστασία έναντι υπερέντασης, ονομαστικού ρεύματος εφάμιλλου του ονομαστικού ρεύματος του σημείου φόρτισης, καμπύλης C, με αριθμό πόλων ίσο με τον αριθμό των φάσεων του σημείου φόρτισης.
- Διακόπτη διαφορικού ρεύματος (ΔΔΡ) τύπου A ή B, ονομαστικού ρεύματος ενεργοποίησης 30mA, ο οποίος αποσυνδέει όλους τους ενεργούς αγωγούς του σημείου φόρτισης (φάση/φάσεις και ουδέτερο). Σε περίπτωση επιλογής ΔΔΡ τύπου A, θα πρέπει να εγκαθίσταται κατάλληλη διάταξη αποσύνδεσης του κυκλώματος κατά την ανίχνευση συνιστώσας συνεχούς ρεύματος διαρροής μεγαλύτερου από 6mA DC. Η εν λόγω διάταξη, η οποία πρέπει να συμμορφώνεται με το πρότυπο IEC 62955, συνδέεται σε σειρά με τον ΔΔΡ

τύπου Α. Εναλλακτικά, ο συνδυασμός ΔΔΡ τύπου Α σε σειρά με την εν λόγω διάταξη μπορεί να αντικατασταθεί από ΔΔΡ τύπου ΕV, μια νέα τυποποίηση ΔΔΡ στην οποία έχουν προχωρήσει κάποιες κατασκευαστικές εταιρίες. Ο ΔΔΡ τύπου ΕV είναι απολύτως ισοδύναμος με ΔΔΡ τύπου Α σε σειρά με την εν λόγω διάταξη.

Κάθε σημείο φόρτισης θεωρείται αποκλειστικό ακτινικό κύκλωμα, με την έννοια ότι περιέχει τις δικές του ανεξάρτητες διατάξεις προστασίας. Τα ονομαστικά χαρακτηριστικά των παραπάνω διατάξεων προστασίας εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του σημείου φόρτισης. Οι διατάξεις προστασίας τοποθετούνται κατάντη του σημείου διακλάδωσης της παροχής, επομένως εντός της συσκευής φόρτισης.

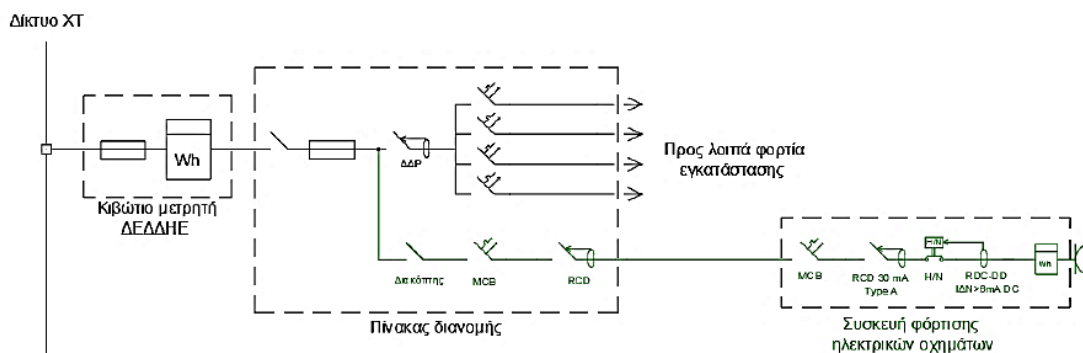
Η γραμμή της ηλεκτρικής εγκατάστασης που περιέχει το παροχικό καλώδιο διαθέτει ξεχωριστές διατάξεις προστασίας, ως εξής:

- Χειροκίνητο διακόπτη, με αριθμό πόλων ίσο με τον αριθμό των ενεργών αγωγών (2 ή 4 για μονοφασική ή τριφασική γραμμή αντίστοιχα).
- Μικροαυτόματο διακόπτη για προστασία έναντι υπερέντασης, ονομαστικού ρεύματος εφάμιλλου του ονομαστικού ρεύματος του παροχικού καλωδίου, καμπύλης C, με αριθμό πόλων ίσο με τον αριθμό των φάσεων του παροχικού καλωδίου.

Οι εν λόγω διατάξεις προστασίας τοποθετούνται εντός πίνακα. Ο χειροκίνητος διακόπτης χρησιμοποιείται για την θεμιτή από το χρήστη απόζευξη του κυκλώματος που τροφοδοτεί τη συσκευή φόρτισης, ενώ ο μικροαυτόματος διακόπτης χρησιμοποιείται για την προστασία της γραμμής έναντι υπερέντασης (υπερφόρτισης και βραχυκυκλώματος). Το τμήμα της γραμμής μεταξύ του πίνακα διανομής και της συσκευής φόρτισης πρέπει να προστατεύεται από διακόπτη διαφορικού ρεύματος (ΔΔΡ) τύπου Α ή Β, με χαρακτηριστικά επιλεκτικότητας, ο οποίος αποσυνδέει όλους τους ενεργούς αγωγούς. Ο εν λόγω ΔΔΡ μπορεί να τοποθετείται ανάντη της γραμμής, ώστε να προστατεύει περισσότερες από μία γραμμές που τροφοδοτούν συσκευές φόρτισης. Στην παράγραφο 5.3.2 περιγράφονται εκτενέστερα ειδικές περιπτώσεις για την επιλογή και τη συνεργασία ενός ή περισσότερων διατάξεων προστασίας έναντι υπερέντασης και ηλεκτροπληξίας.

Σύνδεση στο δίκτυο (όπως αναφέρεται παραπάνω)

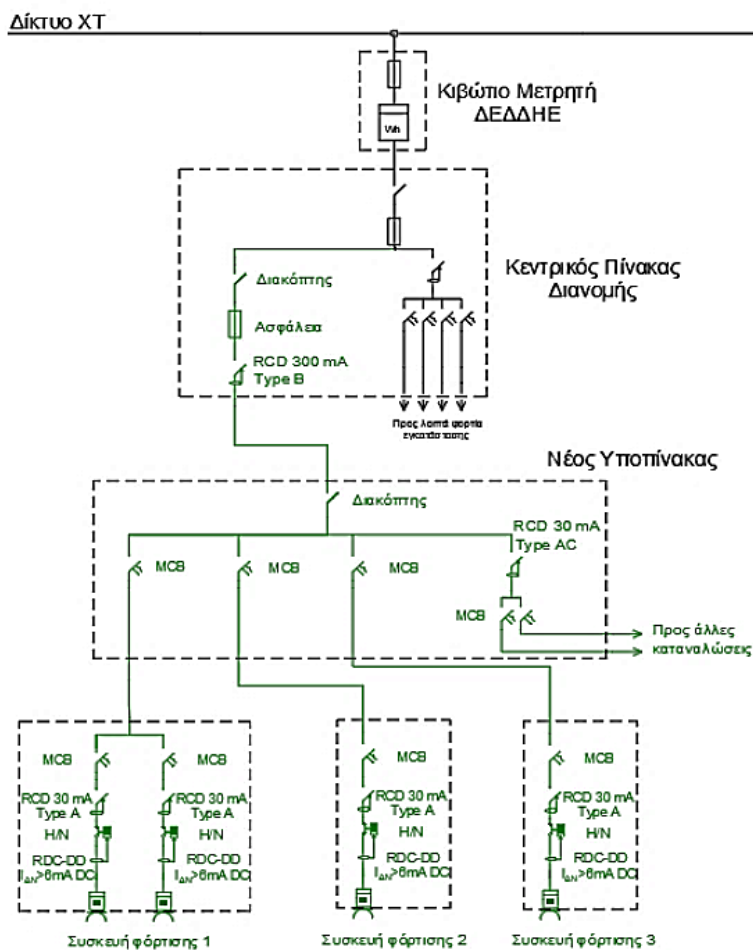
Η συσκευή φόρτισης αποτελεί πρόσθετο φορτίο για την ηλεκτρική εγκατάσταση στην οποία συνδέεται. Εάν η υφιστάμενη παροχή ισχύος δεν επαρκεί, απαιτείται αναβάθμιση σε τυποποιημένη παροχή μεγαλύτερης συμφωνημένης ισχύος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την τροποποίηση της ηλεκτρικής εγκατάστασης, με αντικατάσταση της γενικής ασφάλειας και της διατομής των αγωγών του καλωδίου παροχής, ενδεχομένως και της μετρητικής διάταξης, στοιχεία τα οποία έχουν τυποποιημένες τιμές ανάλογα με το είδος της παροχής και της συμφωνημένης ισχύος της εγκατάστασης. Εφόσον πληρούνται τα παραπάνω, ο ενδεικνυόμενος τρόπος σύνδεσης διακρίνεται στο μονογραμμικό διάγραμμα του Σχήματος 1.22.



Σχήμα 1.22: Σύνδεση της συσκευής φόρτισης στην υφιστάμενη ηλεκτρική εγκατάσταση

Στον παραπάνω τρόπο σύνδεσης, η γραμμή που τροφοδοτεί την συσκευή φόρτισης ξεκινά από τον πίνακα διανομής της υφιστάμενης ηλεκτρικής εγκατάστασης. Το σημείο διακλάδωσης οφείλει να είναι μεταξύ του υφιστάμενου ΔΔΡ και της κεντρικής ασφάλειας της εγκατάστασης. Η νέα γραμμή πρέπει να διαθέτει διακόπτη, μικροαυτόματο διακόπτη (MCB) και διακόπτη διαφορικού ρεύματος (ΔΔΡ/RCD), σύμφωνα με τα αναγραφόμενα στην παράγραφο 5.4.2. Εφόσον η συσκευή φόρτισης διαθέτει ένα σημείο φόρτισης, δεν απαιτείται να περιέχει ενσωματωμένο ΔΔΡ και μικροαυτόματο, καθώς το σημείο φόρτισης προστατεύεται από τις διατάξεις που βρίσκονται στην αναχώρηση του κυκλώματος.

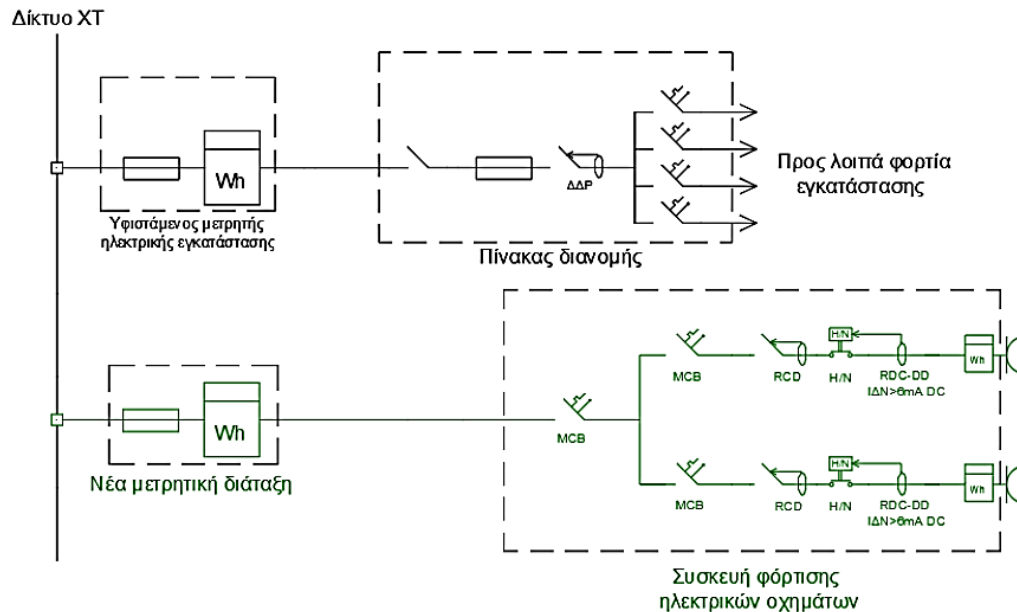
Σε περιπτώσεις σύνδεσης μίας ή πολλαπλών συσκευών φόρτισης σε υφιστάμενη ηλεκτρική εγκατάσταση, όπου η τροφοδοσία από ένα ή περισσότερα αποκλειστικά κυκλώματα που συνδέονται στον κεντρικό πίνακα διανομής είναι αδύνατη ή ασύμφορη, ενδείκνυται η εγκατάσταση νέου υποπίνακα και η τροφοδότηση των κυκλωμάτων μέσω αυτού. Ο υποπίνακας εγκαθίσταται πλησίον της θέσης των συσκευών φόρτισης, τροφοδοτείται από γραμμή που αναχωρεί από τον κεντρικό πίνακα και μπορεί ταυτόχρονα να τροφοδοτεί και άλλα κοντινά φορτία, όπως φωτισμό ή ρευματοδότες. Προσοχή πρέπει να δίνεται στην επιλεκτική συνεργασία των διατάξεων προστασίας (MCBs, RCDs) που βρίσκονται στον κεντρικό πίνακα, στον υποπίνακα και εντός των συσκευών φόρτισης. Ο ενδεικνυόμενος τρόπος σύνδεσης μέσω υποπίνακα διακρίνεται στο μονογραμμικό διάγραμμα του Σχήματος 1.24.



Σχήμα 1.24: Σύνδεση πολλαπλών συσκευών φόρτισης μέσω υποπίνακα

Σε περιπτώσεις όπου είτε δεν είναι δυνατός ή συμφέρον κάποιος από τους παραπάνω τρόπους σύνδεσης, είτε η υφιστάμενη ηλεκτρική εγκατάσταση δεν επιδέχεται την επιβεβλημένη αναβάθμιση ή τροποποίηση, είτε πρόκειται για απευθείας σύνδεση συσκευής φόρτισης στο δημόσιο δίκτυο

διανομής, ενδείκνυται η δημιουργία νέας παροχής ΧΤ για την αποκλειστική σύνδεση της συσκευής φόρτισης. Για κάθε τέτοια περίπτωση, η συσκευή φόρτισης πρέπει να θεωρείται ως ανεξάρτητη ηλεκτρική εγκατάσταση. Το παροχικό καλώδιο συνδέεται από την έξοδο του μετρητή δικτύου απευθείας στην είσοδο της συσκευής φόρτισης και δεν απαιτείται πίνακας διανομής. Η συσκευή φόρτισης οφείλει να έχει ενσωματωμένες τις απαραίτητες διατάξεις προστασίας ανά σημείο φόρτισης, καθώς και μετρητή ενέργειας για την τιμολόγηση του χρήστη. Ο ενδεικνυόμενος τρόπος σύνδεσης διακρίνεται στο μονογραμμικό διάγραμμα του Σχήματος 1.22.



Σχήμα 1.22: Σύνδεση της συσκευής φόρτισης σε νέα παροχή

Σύνδεση συσκευών φόρτισης Μεθόδου 4

Οι επιτρεπόμενες μέθοδοι φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων σε δημόσια ή εμπορική ηλεκτρική εγκατάσταση είναι οι Μέθοδοι 3 και 4 (Mode 3 & Mode 4), όπως αυτές ορίζονται στο πρότυπο IEC 61851-1, σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. 42863/438. Οι συσκευές φόρτισης Μεθόδου 4 ή συσκευές DC φόρτισης, που προορίζονται κυρίως μόνο για δημοσίως προσβάσιμες υποδομές φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, πρέπει να λειτουργούν με βάση τα πρότυπα IEC 61851-1 και IEC 61851-23. Το πρότυπο IEC 61851-1 περιγράφει εν γένει τις προδιαγραφές για την ενσύρματη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων, ενώ το πρότυπο IEC 61851-23 περιγράφει τις προδιαγραφές που αφορούν αποκλειστικά τις συσκευές DC φόρτισης. Ο εξοπλισμός (ρευματοδότες, βύσματα, καλώδια φόρτισης, ακροσύνδεσμοι κλπ) που περιέχει η συσκευή φόρτισης πρέπει να συμμορφώνεται με τα πρότυπα IEC 62196-1 και IEC 62196-3. Οι συσκευές φόρτισης πρέπει να διαθέτουν πιστοποίηση για τη συμμόρφωσή τους στα παραπάνω πρότυπα και να έχουν περάσει με επιτυχία όλες τις δοκιμές και τους ελέγχους που αναγράφονται σε αυτά.

Στοιχεία συσκευής φόρτισης

Κάθε συσκευή DC φόρτισης θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να συνδέεται σε χαμηλή τάση 230/400V, ενώ μπορεί να είναι μονοφασική ή τριφασική. Το μέγιστο ρεύμα φόρτισης ανά φάση και ανά σημείο φόρτισης εξαρτάται από τον τύπο του ακροσυνδέσμου, σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62196-3. Σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. 42863/438, οι συσκευές DC φόρτισης που εγκαθίστανται σε δημοσίως προσβάσιμα σημεία πρέπει να διαθέτουν υποχρεωτικά ακροσυνδέσμους (vehicle connectors) τύπου CCS2 (Combined Charging System - Combo2) και προαιρετικά, ταυτόχρονα με τους πρώτους, ακροσυνδέσμους CHAdeMO, κατά IEC 62196-3. Η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση και ένταση ρεύματος ανά ακροσύνδεσμο είναι 1000V/200A DC για ακροσυνδέσμους CCS2 και

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ 500V/200A DC για ακροσυνδέσμους CHAdeMO. Η παραπάνω απαίτηση εναρμονίζεται και με την ισχύουσα ευρωπαϊκή νομοθεσία.

Κάθε συσκευή DC φόρτισης μπορεί να διαθέτει άνω του ενός σημεία φόρτισης. Τα σημεία φόρτισης μπορούν να λειτουργούν είτε ταυτόχρονα είτε εναλλάξ. Ως σημείο φόρτισης νοείται το σημείο της συσκευής φόρτισης ή της ηλεκτρικής εγκατάστασης, στο οποίο συνδέεται ένα ηλεκτρικό όχημα. Για τις συσκευές DC φόρτισης, οι οποίες διαθέτουν υποχρεωτικά καλώδιο φόρτισης μόνιμα συνδεδεμένο στο σταθμό (Case C), το σημείο φόρτισης ταυτίζεται με τον ακροσύνδεσμο του καλωδίου φόρτισης. Σε κάθε περίπτωση, τα σημεία φόρτισης μιας συσκευής συνδέονται σε κοινή παροχή. Όταν τα σημεία φόρτισης μπορούν να λειτουργήσουν ταυτόχρονα, θα πρέπει το καθένα να διαθέτει ξεχωριστές διατάξεις προστασίας εντός της συσκευής φόρτισης. Εάν δεν μπορούν να λειτουργήσουν ταυτόχρονα, τότε μπορούν να έχουν κοινές διατάξεις προστασίας εγκατεστημένες εντός της συσκευής φόρτισης ή σε κάποιο άλλο σημείο του κυκλώματος (πχ σε πίνακα διανομής της ηλεκτρικής εγκατάστασης).

Οι συσκευές φόρτισης μπορεί να είναι επιδαπέδιες ή επιτοιχίες (wallbox) και πρέπει να έχουν βαθμό προστασίας κατ' ελάχιστο IP 41 ή IP 44 για εσωτερική ή εξωτερική χρήση αντίστοιχα, σύμφωνα με τα πρότυπα IEC 61851-1 και IEC 61851-23. Επιπρόσθετα, θα πρέπει να διαθέτουν διάταξη κράτησης και αποθήκευσης του ακροσυνδέσμου και του καλωδίου, σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61851-23, όσο αυτό δεν χρησιμοποιείται, με τρόπο τέτοιο ώστε να μην παρεμποδίζεται το περιβάλλον γύρω από τη συσκευή. Η εν λόγω διάταξη πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση από 0,4m έως και 1,5m από το έδαφος.

Η συσκευή φόρτισης οφείλει να εγκαθίσταται πλησίον του χώρου στάθμευσης του ηλεκτρικού οχήματος, ώστε να είναι δυνατή η σύνδεση του καλωδίου φόρτισης της συσκευής στην υποδοχή του ηλεκτρικού οχήματος. Δεν επιτρέπεται η επέκταση του καλωδίου φόρτισης από την πλευρά του οχήματος με χρήση «μπαλαντέζας» (cord extension set), σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61851-1. Επιπλέον, δεν επιτρέπεται η χρήση προσαρμογέων για την σύνδεση ενός ηλεκτρικού οχήματος σε μια συσκευή φόρτισης που χρησιμοποιεί διαφορετικό σύστημα DC φόρτισης (πχ. CHAdeMO σε CCS). Οι ακροσύνδεσμοι πρέπει να διαθέτουν διάταξη μηχανικής μανδάλωσης για την αποτροπή ανεπιθύμητης ή αθέμιτης αποσύνδεσης του ακροσυνδέσμου από την υποδοχή επί του οχήματος, σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61851-23.

Όσον αφορά το παροχικό καλώδιο που τροφοδοτεί τη συσκευή φόρτισης, αυτό συνδέεται σε αυτή με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην υπάρχει εκτεθειμένο μέρος αυτού στο περιβάλλον. Για επιδαπέδιες συσκευές φόρτισης, πρέπει να εισέρχεται υπόγεια, ενώ για επιτοιχίες συσκευές φόρτισης πρέπει να εισέρχεται χωνευτά μέσω του τοίχου στον οποίο τοποθετείται η συσκευή. Η εν λόγω απαίτηση εφαρμόζεται διεθνώς, όπως υποδεικνύει η ευρύτερη πλειοψηφία των οδηγιών εγκατάστασης σταθμών φόρτισης από διάφορους κατασκευαστές, και έχει στόχο την προστασία των χρηστών της εγκατάστασης από ανεπιθύμητη επαφή εκτεθειμένων αγωγών ή παρεμπόδιση του περιβάλλοντα χώρου από εκτεθειμένα καλώδια. Το πλήθος και η διατομή των αγωγών του παροχικού καλωδίου εξαρτάται από το πλήθος των σημείων φόρτισης που αυτή διαθέτει και την ονομαστική ισχύ του μετατροπέα εντός της συσκευής φόρτισης. Η τελική διατομή των αγωγών επιλέγεται με βάση την αντίστοιχη μεθοδολογία υπολογισμού που καθορίζεται από το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384, με χρήση του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος και λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Η επιλογή του πλήθους και της διατομής των αγωγών του παροχικού καλωδίου βασίζεται στη λογική ότι λαμβάνεται υπόψη η δυσμενέστερη περίπτωση λειτουργίας, συνήθως κατά την ταυτόχρονη χρήση δύο ή παραπάνω σημείων φόρτισης σε ονομαστική λειτουργία. Σε κάθε περίπτωση, εφόσον δεν υπάρχει σύστημα έξυπνης διαχείρισης της συσκευής φόρτισης, το ονομαστικό ρεύμα εισόδου υπολογίζεται ως το άθροισμα των ονομαστικών ρευμάτων των σημείων φόρτισης που μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα, με συντελεστή ταυτοχρονισμού ίσο με τη

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ μονάδα. Για τον υπολογισμό της διατομής των αγωγών πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η πτώση τάσης επί της γραμμής που τροφοδοτεί τη συσκευή φόρτισης είναι μικρότερη του 4%.

Διατάξεις προστασίας

Όταν δύο ή παραπάνω σημεία φόρτισης μιας συσκευής φόρτισης μπορούν να λειτουργήσουν ταυτόχρονα, καθένα από αυτά πρέπει να τροφοδοτείται από αποκλειστικό ακτινικό κύκλωμα με κοινή παροχή και πρέπει να περιέχει τις εξής διατάξεις προστασίας στο κύκλωμα εξόδου (DC πλευρά):

- Ασφάλεια περιορισμού ρεύματος, ταχείας απόξευξης (quick break), ονομαστικής έντασης μέχρι 250 A, ή άλλη αντίστοιχη διάταξη για την προστασία έναντι υπερέντασης.
- Συσκευή παρακολούθησης της μόνωσης (Insulation Monitoring Device – IMD), η οποία θα δίνει σήμα στον DC φορτιστή για τερματισμό της φόρτισης σε περίπτωση ανίχνευσης σφάλματος διαρροής προς τη γη. Η συσκευή IMD συνδέεται στο κύκλωμα εξόδου της συσκευής φόρτισης (DC πλευρά) και ενεργοποιείται όταν η τιμή της αντίστασης μόνωσης ενός DC ενεργού αγωγού είναι κάτω από 100 Ω/V (ως προς την ονομαστική τάση εξόδου). Η συσκευή IMD πρέπει να συμμορφώνεται με το πρότυπο IEC 61557-8.
- Προαιρετικά το κύκλωμα εξόδου μπορεί να διαθέτει απαγωγό υπερτάσεων (Surge Protection Device - SPD) για την αντικεραυνική προστασία του εξοπλισμού.

Αντίστοιχα, θα πρέπει να περιέχει τις εξής διατάξεις προστασίας στο κύκλωμα εισόδου (AC πλευρά):

- Μικροαυτόματο διακόπτη για προστασία έναντι υπερέντασης, ονομαστικού ρεύματος εφάμιλλου του ονομαστικού ρεύματος του παροχικού καλωδίου, καμπύλης C, με αριθμό πόλων ίσο με τον αριθμό των φάσεων του παροχικού καλωδίου.
- Διακόπτη διαφορικού ρεύματος (ΔΔΡ) τύπου A ή B, ονομαστικού ρεύματος ενεργοποίησης 30mA, ο οποίος αποσυνδέει όλους τους ενεργούς αγωγούς του σημείου φόρτισης (φάση/φάσεις και ουδέτερο). Ο εν λόγω ΔΔΡ απαιτείται όταν δεν χρησιμοποιείται μέθοδος ηλεκτρικής απομόνωσης στο εκάστοτε σημείο φόρτισης και συνδέεται στην AC πλευρά της συσκευής φόρτισης. Σε περίπτωση επιλογής ΔΔΡ τύπου A, θα πρέπει να εγκαθίσταται κατάλληλη διάταξη αποσύνδεσης του κυκλώματος κατά την ανίχνευση συνιστώσας συνεχούς ρεύματος μεγαλύτερο από 6mA DC. Η εν λόγω διάταξη, η οποία πρέπει να συμμορφώνεται με το πρότυπο IEC 62955, συνδέεται σε σειρά με τον ΔΔΡ τύπου A.

Επιπλέον, τα σημεία φόρτισης θα πρέπει να είναι ηλεκτρικώς απομονωμένα μεταξύ τους.

Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61851-23, κάθε σημείο φόρτισης μιας DC συσκευής φόρτισης πρέπει να λειτουργεί ως σύστημα IT. Οι παραπάνω διατάξεις προστασίας ορίζονται στο πρότυπο IEC 61851-23. Οι συσκευές IMD προστατεύουν το χρήστη από ηλεκτροπληξία σε συστήματα IT. Ανάλογα με το σύστημα DC φόρτισης (CCS ή CHAdeMO), πραγματοποιείται δοκιμή της αντίστασης μόνωσης μεταξύ κάθε DC ενεργού αγωγού και του αγωγού προστασίας πριν τη φόρτιση του οχήματος αλλά και σε άλλα χρονικά διαστήματα. Εάν η τιμή της αντίστασης μόνωσης είναι χαμηλότερη από το γινόμενο της ονομαστικής τάσης εξόδου του κυκλώματος επί 100 Ω/V, τερματίζεται η διαδικασία φόρτισης και εκπέμπεται οπτικό ή ακουστικό σήμα προς το χρήστη. Λεπτομέρειες για τη λειτουργία των συσκευών IMD παρουσιάζονται στην παράγραφο 3.3.3.

Επισημαίνεται ότι δεν χρησιμοποιούνται ΔΔΡ τύπου A ή B σε DC κυκλώματα, για αυτό και ο ΔΔΡ συνδέεται στο κύκλωμα εισόδου (κύκλωμα AC), ανάντη του AC/DC μετατροπέα ισχύος της συσκευής DC φόρτισης. Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60634-7-722, η παρουσία του ΔΔΡ σε κάθε σημείο φόρτισης απαιτείται μόνο σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται μέθοδος ηλεκτρικής απομόνωσης.

Παράλληλα, επισημαίνεται ότι σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61851-1, δεν επιτρέπεται η αυτόματη επαναφορά των διατάξεων προστασίας μιας συσκευής DC φόρτισης, καθότι διαθέτουν μόνιμα

συνδεδεμένο καλώδιο φόρτισης (Case C). Επιπλέον, συνίσταται η ύπαρξη διάταξης αποσύνδεσης της τροφοδοσίας εκτάκτου ανάγκης (πχ διακόπτης ή μπουτόν), σε θέση που μπορεί ο χρήστης της συσκευής φόρτισης να έχει εύκολη πρόσβαση. Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61851-23, μια διάταξη αποσύνδεσης της τροφοδοσίας εκτάκτου ανάγκης μπορεί να εγκατασταθεί στη συσκευή φόρτισης, ώστε να απομονώνει την AC τροφοδοσία από τη DC συσκευή φόρτισης σε περίπτωση πιθανού κινδύνου από ηλεκτροπληξία, πυρκαγιά ή έκρηξη. Η εν λόγω διάταξη μπορεί να διατίθεται με μέσο που αποτρέπει την ακούσια χρήση.

Η γραμμή της ηλεκτρικής εγκατάστασης που περιέχει το παροχικό καλώδιο διαθέτει ξεχωριστές διατάξεις προστασίας, ως εξής:

- Χειροκίνητο διακόπτη, με αριθμό πόλων ίσο με τον αριθμό των ενεργών αγωγών (2 ή 4 για μονοφασική ή τριφασική γραμμή αντίστοιχα).
- Μικροαυτόματο διακόπτη για προστασία έναντι υπερέντασης, ονομαστικού ρεύματος εφάμιλλου του ονομαστικού ρεύματος του παροχικού καλωδίου, καμπύλης C, με αριθμό πόλων ίσο με τον αριθμό των φάσεων του παροχικού καλωδίου.
- Διακόπτη διαφορικού ρεύματος (ΔΔΡ) τύπου A ή B. Ο ΔΔΡ αποσυνδέει όλους τους ενεργούς αγωγούς του παροχικού καλωδίου (φάση/φάσεις και ουδέτερο). Εάν η συσκευή φόρτισης περιέχει ενσωματωμένους ΔΔΡ, θα πρέπει ο εν λόγω ΔΔΡ να διαθέτει χαρακτηριστικά επιλεκτικότητας.
- Προαιρετικά το κύκλωμα μπορεί να διαθέτει απαγωγό υπερτάσεων (Surge Protection Device - SPD) για την αντικεραυνική προστασία του εξοπλισμού.

Οι εν λόγω διατάξεις προστασίας τοποθετούνται εντός πίνακα. Ο χειροκίνητος διακόπτης χρησιμοποιείται για την θεμιτή από το χρήστη απόζευξη του κυκλώματος που τροφοδοτεί τη συσκευή φόρτισης, ενώ ο μικροαυτόματος διακόπτης χρησιμοποιείται για την προστασία της γραμμής έναντι υπερέντασης (υπερφόρτισης και βραχυκυκλώματος). Ο ΔΔΡ χρησιμοποιείται για πρόσθετη προστασία των χρηστών της ηλεκτρικής εγκατάστασης έναντι ηλεκτροπληξίας, ενώ παρέχει και προστασία της γραμμής έναντι πυρκαγιάς. Στην παράγραφο 5.3.2 περιγράφονται αναλυτικά ειδικές περιπτώσεις για την επιλογή και τη συνεργασία ενός ή περισσότερων διατάξεων προστασίας έναντι υπερέντασης και ηλεκτροπληξίας.

1.3.13 Άλλες απαιτήσεις υποδομών φόρτισης

Εκτός από τις διατάξεις προστασίας και τον τρόπο σύνδεσης στο δίκτυο, απαιτήσεις οι οποίες όπως φαίνεται στις παραπάνω ενότητες μπορεί να διαφέρουν από μέθοδο σε μέθοδο φόρτισης, θα πρέπει να πληρούνται και άλλες απαιτήσεις για τη σύνδεση συσκευών φόρτισης σε νέα ή υφιστάμενη ηλεκτρική εγκατάσταση. Οι περισσότερες από αυτές είναι κοινές για όλες τις Μεθόδους φόρτισης και για όλα τα είδη ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, ενώ άλλες αφορούν αποκλειστικά τα δημοσίως προσβάσιμα σημεία φόρτισης.

1.3.14 Μέτρηση καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας

Για τη μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει ένα σημείο φόρτισης μπορούν να χρησιμοποιηθούν κοινοί μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας. Διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

- Κατά τη σύνδεση μιας συσκευής φόρτισης στην υφιστάμενη παροχή, η καταναλισκόμενη ενέργεια καταγράφεται από τον υφιστάμενο μετρητή δικτύου της ηλεκτρικής εγκατάστασης.
- Κατά τη σύνδεση της συσκευής φόρτισης σε νέα παροχή, η καταναλισκόμενη ενέργεια καταγράφεται από νέο μετρητή.

Και στις δύο περιπτώσεις, οι μετρητές ενέργειας είναι αρμοδιότητας του διαχειριστή του δικτύου διανομής (ΔΕΔΔΗΕ). Για την περίπτωση σύνδεσης στην υφιστάμενη παροχή, μπορεί προαιρετικά να εγκατασταθεί δευτερεύων μετρητής στο κύκλωμα της συσκευής φόρτισης για την μέτρηση της ενέργειας που καταναλώνεται αποκλειστικά από τη συσκευή φόρτισης. Δεν είναι απαραίτητο ο

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
δευτερευόν μετρητής να πληροί τις προδιαγραφές του ΔΕΔΔΗΕ, συνίσταται όμως να είναι κατ' ελάχιστον πιστοποιημένος σύμφωνα με την οδηγία για τα όργανα μέτρησης 2014/32/EK (MID) και σύμφωνα με την οικ. ΔΠΠ 1418/22-4-2016 (B' 1231) Κ.Υ.Α. για κλάση Β από εργαστήρια πιστοποιημένα κατά ISO 17025, όπως καθορίζεται από την ΚΥΑ 42863/438 για τους μετρητές ενέργειας συσκευών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων σε δημοσίως προσβάσιμα σημεία. Εν γένει συνίσταται η χρήση ευφών συστημάτων μέτρησης ηλεκτρικής ενέργειας, όπως αυτά ορίζονται στην Οδηγία 2012/27/ΕΕ, όπου είναι τεχνικά και οικονομικά εφικτό [62].

Το ρυθμιστικό πλαίσιο στην Ελλάδα δεν καθιστά σαφές το αν απαιτείται ανεξάρτητο ερμάριο για την τοποθέτηση του μετρητή δικτύου, όπως ισχύει για αντίστοιχες παροχές ΧΤ, ή αν αυτός μπορεί να τοποθετηθεί σε διαμέρισμα του σταθμού φόρτισης με δυνατότητα σφράγισης από τον Διαχειριστή Δικτύου, όταν πρόκειται για υπαίθριες συσκευές φόρτισης. Το τελευταίο μπορεί να οδηγεί σε εξοικονόμηση κόστους, χώρου και να βελτιώνει την αισθητική εικόνα της συσκευής φόρτισης, όμως σε αυτή την περίπτωση εγείρονται ζητήματα, όπως η δυνατότητα πρόσβασης, εκ μέρους ΔΕΔΔΗΕ, στο μετρητή ή η κυριότητα/διαχείριση του διαμερίσματος της μετρητικής διάταξης, το οποίο θα πρέπει να είναι σφραγισμένο για λόγους ασφαλείας.

Ειδικά για τις συσκευές φόρτισης που εγκαθίστανται σε δημοσίως προσβάσιμες υποδομές, θα πρέπει να διαθέτουν εσωτερικούς μετρητές ενέργειας για την καταγραφή της ηλεκτρικής ενέργειας που τροφοδοτείται στο ηλεκτρικό όχημα κατά τη φόρτιση. Το πλήθος των εσωτερικών μετρητών ενέργειας εξαρτάται από το πλήθος των σημείων φόρτισης μιας συσκευής και από τη δυνατότητα ταυτόχρονης λειτουργίας αυτών. Κάθε τέτοιος μετρητής πρέπει να είναι κατ' ελάχιστον πιστοποιημένος σύμφωνα με την οδηγία για τα όργανα μέτρησης 2014/32/EK (MID) και σύμφωνα με την οικ. ΔΠΠ 1418/22-4-2016 (B' 1231) Κ.Υ.Α. για κλάση Β από εργαστήρια πιστοποιημένα κατά ISO 17025, όπως καθορίζεται από την ΚΥΑ 42863/438. Είναι αρμοδιότητας ΦΕΥΦΗΟ και οφείλει να έχει δυνατότητα επικοινωνίας με το αρμόδιο κεντρικό σύστημα διαχείρισης της συσκευής φόρτισης. Θα πρέπει να καταγράφει μόνο την ενέργεια και την ισχύ της φόρτισης του εκάστοτε σημείου φόρτισης, χωρίς να περιλαμβάνει την ιδιοκατανάλωση της συσκευής φόρτισης.

Το ρυθμιστικό πλαίσιο στην Ελλάδα δεν καθιστά σαφές το αν θα πρέπει να γίνεται διαχωρισμός μεταξύ του μετρητή δικτύου (αρμοδιότητας ΔΕΔΔΗΕ) και του εσωτερικού μετρητή της συσκευής φόρτισης (αρμοδιότητας ΦΕΥΦΗΟ) σε δημοσίως προσβάσιμα σημεία φόρτισης ή αν αυτοί μπορεί να ταυτίζονται. Συνίσταται να υπάρχει διαχωρισμός, ώστε να μην δημιουργούνται προστριβές μεταξύ των δύο αρμοδίων φορέων και καθότι πιθανόν να απαιτείται πολυπλοκότερο σύστημα ταυτόχρονης διαχείρισης του κοινού μετρητή.

1.3.15 Γείωση συσκευής φόρτισης

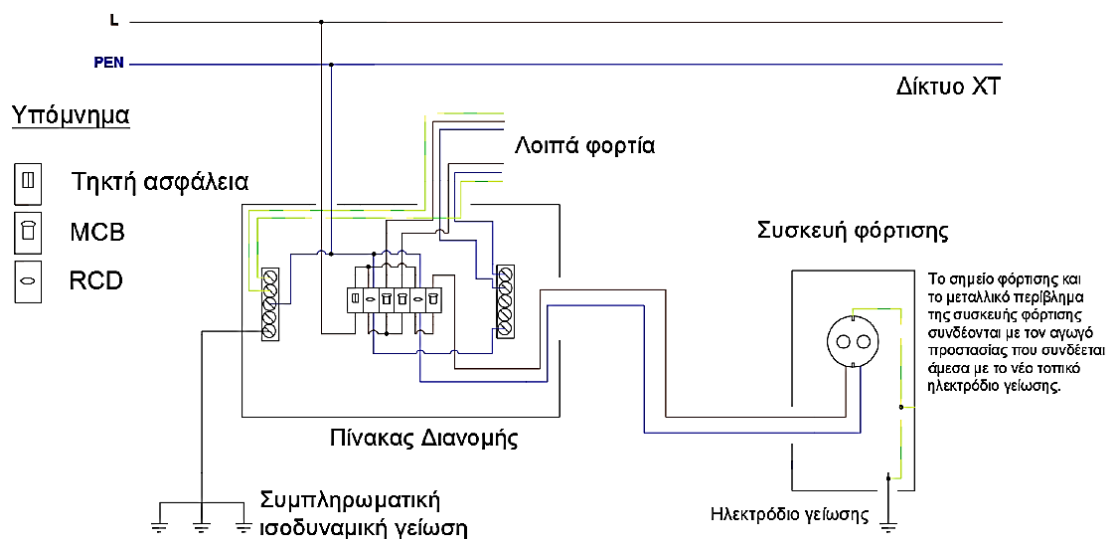
Οι συσκευές φόρτισης πρέπει να συνδέονται με τη γη. Το καλώδιο φόρτισης που εκτείνεται από τη συσκευή φόρτισης έως το ηλεκτρικό όχημα πρέπει να διανέμει γειωμένο αγωγό προστασίας, εξαιρουμένων των σημείων φόρτισης που είναι ηλεκτρικώς απομονωμένα από το δίκτυο μέσω μετασχηματιστή απομόνωσης, όπου ο αγωγός προστασίας μπορεί να μην είναι γειωμένος. Ακόμα, γείωση απαιτείται για τη σύνδεση των εκτεθειμένων αγωγίμων μερών της συσκευής φόρτισης και για εσωτερικά βοηθητικά κυκλώματα (π.χ. control pilot circuit, βλέπε παράγραφο 2.2.3) [15].

Στην Ελλάδα η συντριπτική πλειοψηφία των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων έχουν συστήματα γείωσης TT και TN-C-S με γείωση στο άκρο του καταναλωτή. Τα παραπάνω συστήματα γείωσης είναι κατάλληλα για υποδομές φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Σε κάθε περίπτωση, στο τελικό κύκλωμα που τροφοδοτεί κάθε σημείο φόρτισης θα πρέπει να διανέμεται ξεχωριστά ο αγωγός προστασίας, δηλαδή δεν επιτρέπεται η χρήση κοινού αγωγού PEN [42]. Η γείωση στο άκρο του καταναλωτή είναι απαραίτητη, διότι ενδεχόμενη διακοπή της συνέχειας του αγωγού PEN σε κάποιο σημείο του

δικτύου, εάν αυτό είναι TN-C-S, μπορεί να οδηγήσει σε όλα τα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη της συσκευής φόρτισης ή του ηλεκτρικού οχήματος, τα οποία συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με τον αγωγό PEN. Σε μία τέτοια περίπτωση μπορεί να προκληθεί μεγάλος κίνδυνος ηλεκτροπληξίας για τον χρήστη της εγκατάστασης, χωρίς να υπάρχει διαρροή ρεύματος στο κύκλωμα, με αποτέλεσμα ο ΔΔΡ να μην μπορεί να αποσυνδέσει το κύκλωμα από την τροφοδοσία.

Η τιμή της αντίστασης γείωσης και ο τρόπος που αυτή επιτυγχάνεται (π.χ. θεμελιακή γείωση, ηλεκτρόδιο γείωσης κλπ.) πρέπει να είναι τέτοια ώστε να διασφαλίζεται ότι η τάση επαφής δεν ξεπερνάει τα 50V, σε κανονική λειτουργία και σε καταστάσεις σφάλματος διαρροής προς τη γη.

Σε περίπτωση όπου δεν είναι δυνατή η σύνδεση του αγωγού προστασίας της συσκευής φόρτισης στο σύστημα γείωσης της υπόλοιπης ηλεκτρικής εγκατάστασης, επιτρέπεται η δημιουργία ενός ανεξάρτητου συστήματος TT τοπικά, με την εγκατάσταση ηλεκτροδίου γείωσης. Εντός της συσκευής φόρτισης δημιουργείται ισοδυναμικός ζυγός γείωσης, στον οποίο συνδέεται η απόληξη του αγωγού του νέου ηλεκτροδίου γείωσης. Ο αγωγός προστασίας που μπορεί να διανέμεται με το παροχικό καλώδιο δεν πρέπει να συνδέεται σε κανένα μέρος του κυκλώματος της συσκευής φόρτισης. Στο Σχήμα 1.25 απεικονίζεται μια ενδεικτική συνδεσμολογία κατά την οποία γίνεται μετατροπή του συστήματος γείωσης TN-C-S της υφιστάμενης εγκατάστασης σε TT τοπικά, μόνο για τη συσκευή φόρτισης.



Σχήμα 1.25: Μετατροπή του συστήματος γείωσης από TN-C-S σε TT τοπικά

Τα παραπάνω ισχύουν για συσκευές φόρτισης Μεθόδου 3 και 4. Για τις συσκευές φόρτισης Μεθόδου 2, οι οποίες συνδέονται στην ηλεκτρική εγκατάσταση μέσω κοινού ρευματοδότη, ισχύει ότι εάν η υφιστάμενη εγκατάσταση δεν έχει κάποιο εκ των επιτρεπόμενων συστημάτων γείωσης, δεν θα πρέπει να επιτρέπεται η σύνδεση και η λειτουργία της.

1.3.16 Επικοινωνία συσκευής φόρτισης

Υπάρχουν συγκεκριμένες ελάχιστες απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται κατά την επικοινωνία της συσκευής φόρτισης, τόσο με την πλευρά του ηλεκτρικού οχήματος, όσο και με την πλευρά ενός συστήματος διαχείρισης.

Όσον αφορά την επικοινωνία μεταξύ συσκευής φόρτισης και ηλεκτρικού οχήματος, διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

- Κατά την AC φόρτιση (Μέθοδοι 2 και 3), θα πρέπει να υπάρχει κατ' ελάχιστον επικοινωνία χαμηλού επιπέδου με χρήση της τεχνικής PWM, όπως περιγράφεται αναλυτικά στο πρότυπο IEC 61851-1 και παρουσιάζεται συνοπτικά στην ενότητα 2.4. Οι συσκευές φόρτισης μπορούν

να διαθέτουν επίσης προαιρετικά τη δυνατότητα επικοινωνίας υψηλού επιπέδου (πρωτόκολλο LIN ή άλλη παρόμοια μέθοδος), η οποία θα πρέπει να εγκαθιδρύεται κατά προτεραιότητα σε σχέση με την επικοινωνία υψηλού επιπέδου, εφόσον το όχημα την υποστηρίζει.

- Κατά την DC φόρτιση (Μέθοδος 4), θα πρέπει να υπάρχει κατ' ελάχιστον επικοινωνία υψηλού επιπέδου, οι ελάχιστες απαιτήσεις της οποίας προσδιορίζονται στο πρότυπο IEC 61851-24, ενώ τα επιμέρους τεχνικά χαρακτηριστικά αυτής διαμορφώνονται με βάση το σύστημα DC φόρτισης (πχ. CHAdeMO ή CCS).

Οι συσκευές φόρτισης σε δημοσίως προσβάσιμες υποδομές φόρτισης πρέπει να διαθέτουν δυνατότητα επικοινωνίας με το κεντρικό σύστημα διαχείρισης (ΚΣΔ), οι απαιτήσεις και τα χαρακτηριστικά του οποίου παρουσιάζονται στην ενότητα 4.3. Το ΚΣΔ αναλαμβάνει, μεταξύ άλλων, την εποπτεία και τον απομακρυσμένο έλεγχο των συσκευών φόρτισης που διαχειρίζεται. Η επικοινωνία της συσκευής φόρτισης με το ΚΣΔ αφορά κυρίως την ταυτοποίηση των χρηστών, την ανταλλαγή στοιχείων που σχετίζονται με τη διαδικασία φόρτισης, την ενημέρωση του firmware της συσκευής φόρτισης, αλλά σταδιακά και τη διαχείριση της διαδικασίας φόρτισης (ισχύος και ενέργειας) για την εφαρμογή λειτουργιών έξυπνης φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Η επικοινωνία μπορεί να γίνεται ασύρματα (π.χ. μέσω modem ή wifi) ή ενσύρματα (μέσω Ethernet).

Επιπλέον, η συσκευή φόρτισης οφείλει να είναι συμβατή με το πρωτόκολλο OCPP για την επικοινωνία αυτής με το ΚΣΔ. Το OCPP (Open Charge Point Protocol) αποτελεί ένα ανοιχτό πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ συσκευών φόρτισης και ΚΣΔ. Χρησιμοποιείται σε 49 χώρες παγκοσμίως. Η δημοφιλέστερη και πιο ευρέως διαδεδομένη έκδοση του πρωτοκόλλου OCPP είναι η έκδοση v1.6, ενώ προσφάτως έγινε διαθέσιμη και η νέα έκδοση v2.0. Το εγχειρίδιο λειτουργίας του πρωτοκόλλου OCPP περιγράφει αναλυτικά τις δυνατότητες του, τις λειτουργίες που μπορούν να λάβουν χώρα, καθώς και επιμέρους τεχνικά χαρακτηριστικά που αφορούν τα μηνύματα που ανταλλάσσονται μεταξύ των δύο πλευρών. Το πρωτόκολλο OCPP υλοποιείται από οποιαδήποτε τεχνολογία υποστηρίζει τη σύνδεση TCP/IP.

Για συσκευές φόρτισης σε οικιακές εγκαταστάσεις δεν επιβάλλεται η επικοινωνία με κάποιο κεντρικό σύστημα διαχείρισης. Ωστόσο συνίσταται η πρόβλεψη τέτοιας δυνατότητας, με στόχο τη διευκόλυνση μελλοντικής υλοποίησης συστήματος διαχείρισης της φόρτισης σε επίπεδο δημόσιο δικτύου ή ιδιωτικής τοπικής εγκατάστασης.

1.3.17 Αναγνώριση και χρέωση χρήστη

Κάθε συσκευή φόρτισης που εγκαθίσταται σε δημοσίως προσβάσιμη υποδομή οφείλει να διαθέτει κατάλληλο σύστημα για την ταυτοποίηση του χρήστη ηλεκτρικού οχήματος. Συνήθως χρησιμοποιείται διεθνώς σε παρόμοιες εφαρμογές το σύστημα ανάγνωσης καρτών RFID/NFC. Κάθε εγκεκριμένος χρήστης οφείλει να διαθέτει μια κάρτα RFID/NFC και η συσκευή φόρτισης διαβάζει τα στοιχεία της μέσω της διεπαφής του συστήματος ανάγνωσης. Η συσκευή φόρτισης διαθέτει μια λίστα εγκεκριμένων (ή και μη εγκεκριμένων) χρηστών, την οποία λαμβάνει από το κεντρικό σύστημα διαχείρισης στο οποίο ανήκει. Η λειτουργία της συσκευής φόρτισης επιτρέπεται μόνο στην περίπτωση όπου λάβει χώρα επιτυχώς η ταυτοποίηση του χρήστη και επικυρωθεί ότι πρόκειται για εγκεκριμένο χρήστη. Το σύστημα ανάγνωσης καρτών RFID/NFC πρέπει να συμμορφώνεται κατ' ελάχιστο με τα εξής πρότυπα: ISO/IEC 14443, ISO/IEC 18092, IEC 15693.

Επιπλέον, όλα τα δημοσίως προσβάσιμα σημεία φόρτισης πρέπει να παρέχουν τη δυνατότητα επί τούτω (ad-hoc) χρέωσης για τους χρήστες ηλεκτρικών οχημάτων, χωρίς την υποχρέωση σύναψης συμβολαίου με τον οικείο προμηθευτή ή διαχειριστή ηλεκτρικής ενέργειας, σύμφωνα με τον νόμο 4439/2016 (Α' 222). Η παραπάνω απαίτηση ορίζεται από την Κ.Υ.Α. 42863/438. Όπως διατυπώνεται και στην Γνωμοδότηση της ΠΑΕ [11], η τιμολόγηση της φόρτισης καθορίζεται από τον εκάστοτε

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ φορέα εκμετάλλευσης της υποδομής (ΦΕΥΦΗΟ) του σημείου φόρτισης, ο οποίος παρέχει στον χρήστη τη δυνατότητα εξόφλησης με χρήση ευρέως χρησιμοποιούμενων πιστωτικών/χρεωστικών καρτών ή και με άλλους συμπληρωματικούς τρόπους (πχ μετρητά σε ταμείο πλησίον του σταθμού).

1.3.18 Εγκατάσταση σε δημοσίως προσβάσιμη θέση

Για τις συσκευές φόρτισης που εγκαθίστανται σε δημοσίως προσβάσιμα σημεία, όπως πεζοδρόμια, δημόσιοι χώροι στάθμευσης κλπ, συνίσταται να ισχύουν, σύμφωνα και με τη διεθνή πρακτική, οι εξής απαιτήσεις:

- Τοποθέτηση προστατευτικών μπαρών ή στύλων γύρω από τη συσκευή φόρτισης για την αποτροπή πρόσκρουσης οχήματος σε αυτή. Οι προστατευτικές μπάρες πρέπει να τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε αφενός να μην παρεμποδίζεται η κυκλοφορία γύρω από τη συσκευή φόρτισης, αφετέρου να μην εμποδίζουν την πρόσβαση στον εξοπλισμό της συσκευής φόρτισης.
- Τοποθέτηση της συσκευής φόρτισης σε θέση όπου εξασφαλίζεται επαρκής αερισμός του χώρου γύρω από αυτή και το όχημα που συνδέεται.

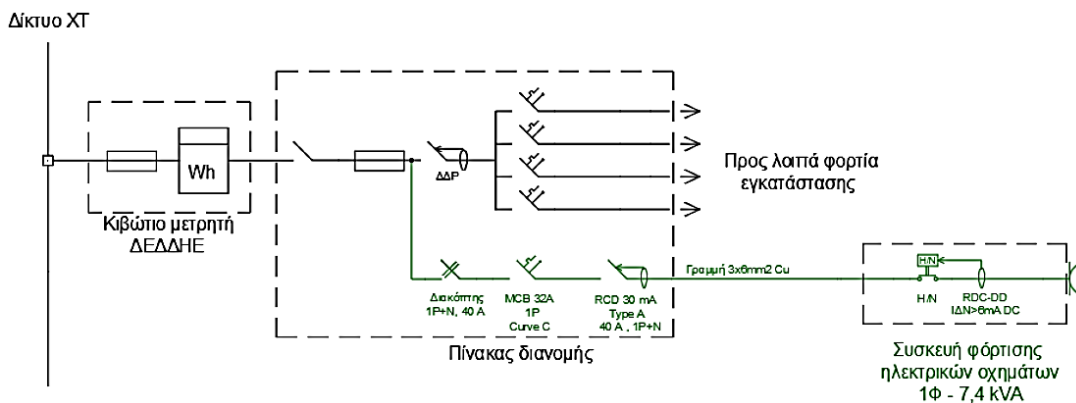
Ειδικά για μια συσκευή φόρτισης που εγκαθίσταται σε εσωτερικό χώρο, συνίσταται η επικοινωνία αυτής με κάποιο σύστημα ψύξης ή αερισμού του περιβάλλοντα χώρου, εφόσον υπάρχει. Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61851-1, το ηλεκτρικό όχημα μπορεί να απαιτεί την ύπαρξη ψύξης ή αερισμού (ventilation) κατά τη φόρτιση (PWM - State D ή μέσω ψηφιακής επικοινωνίας). Η απαίτηση αυτή γίνεται αντιληπτή από την συσκευή φόρτισης μέσω της επικοινωνίας αυτής με το ηλεκτρικό όχημα. Εάν η διαδικασία φόρτισης γίνεται σε εσωτερικό χώρο, όπου κρίνεται ότι η ψύξη ή αερισμός του χώρου δεν επαρκεί, τότε θα πρέπει η συσκευή φόρτισης να μην επιτρέπει την φόρτιση του οχήματος.

1.3.19 Παράδειγμα εγκατάστασης σε οικία

Χρήστης επιθυμεί να εγκαταστήσει επιτοίχια συσκευή φόρτισης (wallbox) στην οικιακή του ηλεκτρική εγκατάσταση. Η συσκευή φόρτισης είναι μονοφασική, με ένα ρευματοδότη Type 2 ισχύος 7,4 kVA. Η οικιακή εγκατάσταση είναι τριφασική, παροχής ΔΕΔΔΗΕ Νο 2 (25 kVA) και έχει υπολογιστεί ότι εξυπηρετεί συνολικό φορτίο 21,8 kVA.

Αρχικά, θα πρέπει να γίνει έλεγχος εάν η υφιστάμενη παροχή μπορεί να τροφοδοτήσει την ονομαστική ισχύ της συσκευής φόρτισης. Η νέα συνολική ισχύς της οικιακής εγκατάστασης ισούται με το άθροισμα της υφιστάμενης συνολικής ισχύος συν την ονομαστική ισχύ της συσκευής φόρτισης (θεωρώντας συντελεστή ταυτοχρονισμού για τη συσκευή φόρτισης ίσο με μονάδα, εφόσον δεν υπάρχει κάποιο σύστημα έξυπνης διαχείρισης της ισχύος της συσκευής φόρτισης). Συνεπώς, η συνολική ισχύς της εγκατάστασης θα γίνει 29,2 kVA. Εφόσον η νέα ισχύς υπερβαίνει την ισχύ της παροχής, θα πρέπει ο χρήστης να αναβαθμίσει την παροχή του σε παροχή ΔΕΔΔΗΕ Νο 3 (35 kVA), με ταυτόχρονη αντικατάσταση του καλωδίου γραμμής μετρητή – πίνακα με καλώδιο διατομής 5x16 mm² και των γενικών ασφαλειών της εγκατάστασης με ασφάλειες 3x50A.

Η τροφοδοσία της συσκευής φόρτισης πρέπει να γίνεται από ξεχωριστό κύκλωμα. Το σημείο διακλάδωσης θα πρέπει να βρίσκεται ανάντη του ΔΔΡ που προστατεύει την υπόλοιπη ηλεκτρική εγκατάσταση. Η συσκευή φόρτισης έχει ονομαστικό ρεύμα 32 A, οπότε η νέα γραμμή θα πρέπει να έχει ελάχιστη διατομή 3x6 mm² και να προστατεύεται από μικροαυτόματο 32A, 1P, καμπύλης C και ΔΔΡ τύπου A, 1P+N, 40A, ΙΔΝ=30 mA. Οι παραπάνω διατάξεις προστασίας τοποθετούνται εντός του οικιακού πίνακα ή, εφόσον δεν υπάρχει χώρος, σε νέο υποπίνακα. Δεν απαιτείται η συσκευή φόρτισης να διαθέτει ενσωματωμένο μικροαυτόματο και ΔΔΡ, καθώς διαθέτει μόνο έναν ρευματοδότη, ο οποίος προστατεύεται από τις διατάξεις προστασίας στην αρχή του κυκλώματος, οφείλει όμως να διαθέτει ενσωματωμένη διάταξη ανίχνευσης και αποσύνδεσης του κυκλώματος για συνιστώσες ρεύματος διαρροής μεγαλύτερες των 6 mA DC. Η ενδεικτική συνδεσμολογία απεικονίζεται στο Σχήμα 1.26.



Σχήμα 1.26: Σύνδεση συσκευής φόρτισης 7,4 kVA σε οικιακό πίνακα διανομής

Ο υπολογισμός της διατομής της νέας γραμμής και το ονομαστικό ρεύμα του μικροαυτόματου διακόπτη γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ HD384.

1.3.20 Παράδειγμα εγκατάστασης σε Δήμο

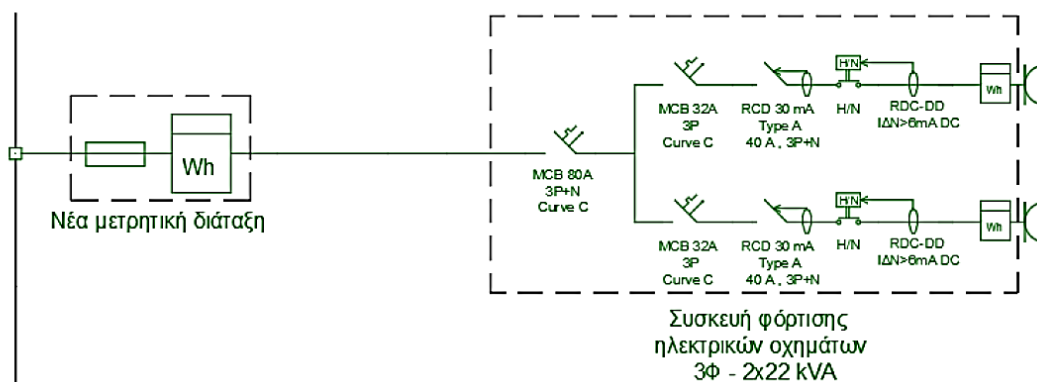
Δήμος επιθυμεί να εγκαταστήσει επιδαπέδια συσκευή φόρτισης σε δημόσιο χώρο στάθμευσης. Η συσκευή φόρτισης είναι τριφασική, με δύο ρευματοδότες Type 2 ισχύος 22 kVA έκαστος, που μπορούν να λειτουργήσουν ταυτόχρονα.

Η συνολική ονομαστική ισχύς της συσκευής φόρτισης είναι 44 kVA. Δημιουργείται νέα παροχή ΔΕΔΔΗΕ Νο 4 (55 kVA) για την αποκλειστική εξυπηρέτηση της συσκευής φόρτισης. Ο ΔΕΔΔΗΕ εγκαθιστά νέα μετρητική διάταξη, σύμφωνα με τις δικές του προδιαγραφές, η οποία τοποθετείται σε ερμάριο πλησίον της συσκευής φόρτισης. Το παροχικό καλώδιο από την έξοδο του μετρητή συνδέεται απευθείας στην συσκευή φόρτισης. Η συσκευή φόρτισης πρέπει να διαθέτει:

- Ενσωματωμένο μικροαυτόματο 80A, 3P+N, καμπύλης C, στον οποίο συνδέεται το παροχικό καλώδιο πριν τις εσωτερικές διακλαδώσεις. Ο μικροαυτόματος αυτός λειτουργεί ως γενική ασφάλεια της ηλεκτρικής εγκατάστασης που αποτελεί η συσκευή φόρτισης.
- Για κάθε ένα ρευματοδότη, ενσωματωμένο μικροαυτόματο 32A, 3P, καμπύλης C, ΔΔΡ τύπου A, 3P+N, 40A, IΔN=30 mA και διάταξη ανίχνευσης και απομόνωσης για DC συνιστώσες ρεύματος μεγαλύτερες των 6 mA (ή εναλλακτικά ΔΔΡ τύπου B, 3P+N, 40A, IΔN=30 mA).

Δεν απαιτείται πίνακας διανομής. Η ενδεικτική συνδεσμολογία απεικονίζεται στο Σχήμα 1.27. Επισημαίνεται ότι υπάρχει πιστοποιημένος κατά MID μετρητής ενέργειας σε κάθε ένα ρευματοδότη της συσκευής φόρτισης για την τιμολόγηση της φόρτισης του εκάστοτε ηλεκτρικού οχήματος. Επιπλέον, τονίζεται ότι σε περίπτωση που το σύστημα γείωσης της τροφοδοσίας είναι TN-C-S χωρίς γείωση στο άκρο του καταναλωτή, είναι αναγκαία η μετατροπή του σε TT, όπως περιγράφεται σε προηγούμενη παράγραφο .

Δίκτυο ΧΤ



Σχήμα 1.27: Σύνδεση συσκευής φόρτισης 2x22 kVA σε νέα παροχή

1.3.21 Παράδειγμα εγκατάστασης 3^{ων} συσκευών φόρτισης

Ιδιωτική επιχείρηση επιθυμεί να εγκαταστήσει τρεις επιδαπέδιες συσκευές φόρτισης σε δημοσίως προσβάσιμο χώρο στάθμευσης. Οι συσκευές φόρτισης έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

1. Συσκευή φόρτισης Α': Τριφασική, δύο ρευματοδότες Type 2, 22 kVA έκαστος (64A ανά φάση).
2. Συσκευή φόρτισης Β': Τριφασική, ένας ρευματοδότης Type 2, 22 kVA (32A ανά φάση).
3. Συσκευή φόρτισης Γ': Τριφασική, ένας ρευματοδότης Type 2, 11 kVA (16A ανά φάση).

Θεωρείται ότι και οι τρεις συσκευές φόρτισης μπορούν να τροφοδοτηθούν από την παροχή της υφιστάμενης ηλεκτρικής εγκατάστασης, η οποία έχει και άλλα εσωτερικά φορτία. Επιπλέον, πλησίον των συσκευών φόρτισης προβλέπεται να υπάρχει και άλλο φορτίο (πχ φωτισμός, ρευματοδότες κλπ), συνολικής ισχύος 5 kVA, το οποίο θα εγκατασταθεί μαζί με τις συσκευές φόρτισης.

Το συνολικό ονομαστικό ρεύμα των τριών συσκευών φόρτισης ανέρχεται σε 112A, ενώ το μέγιστο ρεύμα των άλλων φορτίων σε 7,22A. Συνεπώς, θα πρέπει να εξυπηρετηθεί ένα συνολικό φορτίο μέγιστου ρεύματος 119,22A.

Η ηλεκτρική εγκατάσταση θα πρέπει να τροποποιηθεί ως εξής: Εγκαθίσταται ένας νέος υποπίνακας, σε χώρο πλησίον των συσκευών φόρτισης, όπου θα τοποθετηθούν οι νέες διατάξεις προστασίας και ελέγχου. Το σημείο διακλάδωσης της γραμμής που τροφοδοτεί τον νέο υποπίνακα πρέπει να βρίσκεται εντός του κεντρικού πίνακα, ανάντη του ΔΔΡ που προστατεύει τα φορτία της υπόλοιπης ηλεκτρικής εγκατάστασης. Εντός του κεντρικού πίνακα τοποθετούνται τηκτική ασφάλεια 3P, 125A και ΔΔΡ τύπου B, 3P+N, 125A, IΔN=300 mA για την προστασία της νέας γραμμής.

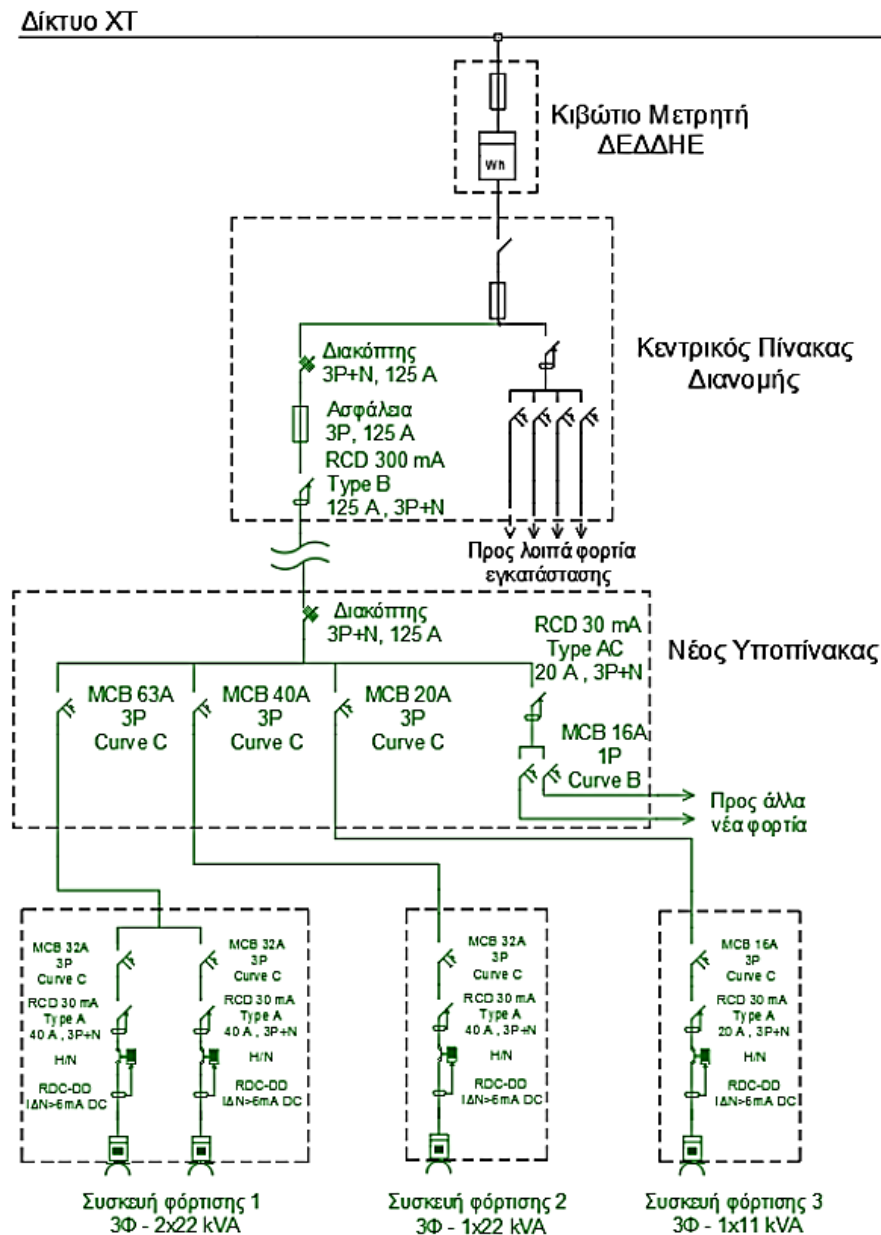
Ο νέος υποπίνακας περιέχει διακόπτη 3P+N, 125 A και στη συνέχεια δημιουργούνται τέσσερα νέα κυκλώματα: ένα για κάθε συσκευή φόρτισης και ένα για τα άλλα φορτία. Για κάθε κύκλωμα τοποθετούνται οι εξής διατάξεις προστασίας:

1. Γραμμή Α' (ελάχ. διατομής 5x25 mm²): Μικροαυτόματος 63A, 3P, καμπύλης C
2. Γραμμή Β' (ελάχ. διατομής 5x16 mm²): Μικροαυτόματος 40A, 3P, καμπύλης C
3. Γραμμή Γ' (ελάχ. διατομής 5x4 mm²): Μικροαυτόματος 20A, 3P, καμπύλης C
4. Γραμμή Δ' (ελάχ. διατομής 5x2,5 mm²): ΔΔΡ τύπου AC, 1P+N, 20A, IΔN=30 mA και Μικροαυτόματος 16A, 3P, καμπύλης B.

Οι γραμμές Α', Β' και Γ' τροφοδοτούν τις συσκευές φόρτισης Α', Β' και Γ' αντίστοιχα. Για τις γραμμές που τροφοδοτούν συσκευές φόρτισης με έναν ρευματοδότη, οι μικροαυτόματοι έχουν

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ επιλεχθεί με ονομαστικό ρεύμα μεγαλύτερο από αυτό των σημείων φόρτισης, ώστε να επιτυγχάνεται επιλεκτικότητα μεταξύ αυτών και των μικροαυτομάτων εντός των συσκευών φόρτισης. Η γραμμή Δ' τροφοδοτεί τα άλλα φορτία. Εναλλακτικά για τη γραμμή Δ', μπορεί να διακλαδωθεί σε περισσότερες γραμμές ανάλογα με τις ανάγκες της υπηρεσίας, προστατευόμενες από ισάριθμους μικροαυτόματος, αλλά υπό την προστασία κοινού ΔΔΡ τύπου AC, 30 mA. Η ενδεικτική συνδεσμολογία απεικονίζεται στο Σχήμα 1.28.

Ο υπολογισμός της διατομής των νέων γραμμών και το ονομαστικό ρεύμα των μικροαυτομάτων διακοπών γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ HD384.



Σχήμα 1.28: Σύνδεση δύο και άνω συσκευών φόρτισης μέσω υποπίνακα

1.3.22 Παράδειγμα εγκατάστασης σε δημόσιο χώρο στάθμευσης

Δήμος επιθυμεί να εγκαταστήσει επιδαπέδια τριφασική συσκευή DC φόρτισης, με έναν ακροσύνδεσμο, σε δημόσιο χώρο στάθμευσης. Η ονομαστική αποδιδόμενη ισχύς της είναι 50 kW και η ονομαστική ισχύς εισόδου είναι 54 kVA. Το ονομαστικό ρεύμα εισόδου είναι 77 A και το μέγιστο ρεύμα εξόδου είναι 120 A DC.

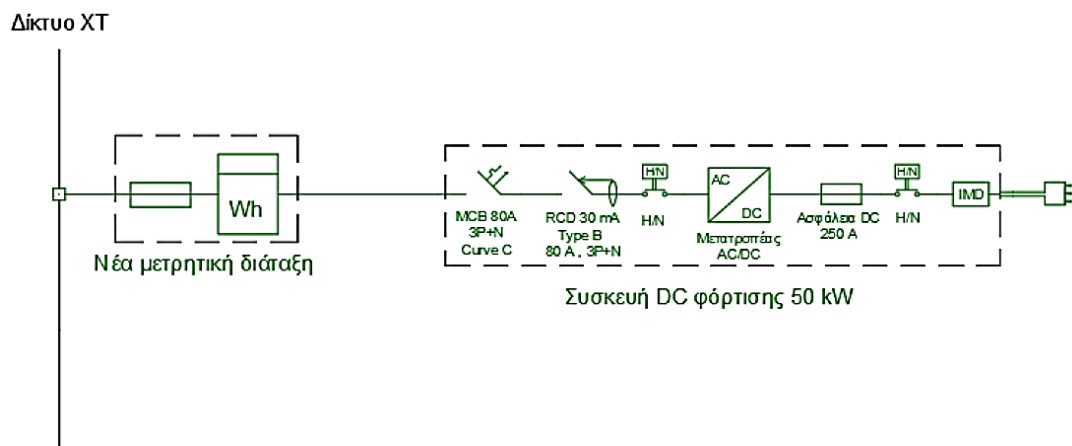
Δημιουργείται νέα παροχή ΔΕΔΔΗΕ Νο 4 (55 kVA) για την αποκλειστική εξυπηρέτηση της συσκευής φόρτισης. Ο ΔΕΔΔΗΕ εγκαθιστά νέα μετρητική διάταξη, σύμφωνα με τις δικές του προδιαγραφές, η οποία τοποθετείται σε ερμάριο πλησίον της συσκευής φόρτισης. Το παροχικό καλώδιο από την έξοδο του μετρητή συνδέεται απευθείας στην συσκευή φόρτισης. Η συσκευή φόρτισης πρέπει να διαθέτει στην AC πλευρά:

- Ενσωματωμένο μικροαυτόματο 80A, 3P+N, καμπύλης C, στον οποίο συνδέεται το παροχικό καλώδιο πριν τις εσωτερικές διακλαδώσεις. Ο μικροαυτόματος αυτός λειτουργεί ως γενική ασφάλεια της ηλεκτρικής εγκατάστασης που αποτελεί η συσκευή φόρτισης.
- ΔΔΡ τύπου A, 3P+N, 80A, IΔN=30 mA και διάταξη ανίχνευσης και απομόνωσης για DC συνιστώσες ρεύματος μεγαλύτερες των 6 mA (ή εναλλακτικά ΔΔΡ τύπου B, 3P+N, 80A, IΔN=30 mA).

Η συσκευή φόρτισης πρέπει να διαθέτει στην DC πλευρά:

- Ασφάλεια DC, ονομαστικού ρεύματος έως 250A, για την προστασία του κυκλώματος εξόδου έναντι βραχυκυκλώματος.
- Συσκευή παρακολούθησης της μόνωσης (IMD), για την αποσύνδεση του κυκλώματος εξόδου για αντίσταση μόνωσης μικρότερη των 100 Ω/V.

Δεν απαιτείται πίνακας διανομής. Η ενδεικτική συνδεσμολογία απεικονίζεται στο Σχήμα 1.29. Επισημαίνεται ότι υπάρχει πιστοποιημένος κατά MID μετρητής ενέργειας εντός της συσκευής φόρτισης για λόγους τιμολόγησης.



Σχήμα 1.29: Σύνδεση συσκευής DC φόρτισης 50 kW σε νέα παροχή

1.3.23 Υφιστάμενο ρυθμιστικό πλαίσιο στην Ελλάδα

Το ρυθμιστικό πλαίσιο που αφορά τις υποδομές επαναφόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στην ελληνική νομοθεσία διέπεται από τις εξής αποφάσεις:

1. Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Νόμος 4001 - ΦΕΚ 179/Α/22-8-2011, όπως τροποποιήθηκε από τον Ν. 4277/2014

«Νόμος υπ' αριθμ. 4001 για τη λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού Αερίου, για Έρευνα, Παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς Υδρογονανθράκων και άλλες ρυθμίσεις.»

2. Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Απόφαση αριθμ. 71287/6443 - ΦΕΚ 50/Β/15-1-2015

«Καθορισμός των όρων, προϋποθέσεων και τεχνικών προδιαγραφών συσκευών φόρτισης συσσωρευτών ηλεκτροκίνητων οχημάτων, για την εγκατάσταση αυτών σε υφιστάμενα ή υπό αδειοδότηση «Πρατήρια παροχής Καυσίμων και Ενέργειας», σε υφιστάμενους ή υπό αδειοδότηση στεγασμένους και υπαίθριους σταθμούς αυτοκινήτων, σε υφιστάμενα ή υπό αδειοδότηση συνεργεία συντήρησης και επισκευής αυτοκινήτων, μοτοσυκλετών και μοτοποδηλάτων και σε υφιστάμενα ή υπό αδειοδότηση δημόσια ή ιδιωτικά Κ.Τ.Ε.Ο»

3. Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Ν. 4439/2016 - ΦΕΚ 222/Α/30-11-2016

«Ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία της Οδηγίας 2014/94/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 22ας Οκτωβρίου 2014 για την ανάπτυξη υποδομών εναλλακτικών καυσίμων, απλοποίηση διαδικασίας αδειοδότησης και άλλες διατάξεις πρατηρίων παροχής καυσίμων και ενέργειας και λοιπές διατάξεις.»

4. Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Απόφαση αριθμ. Οικ. 77226/1 - ΦΕΚ 3824/Β/31-10-2017

«Καθορισμός και εξειδίκευση των απαιτούμενων λεπτομερειών εφαρμογής και των τεχνικών προδιαγραφών του Εθνικού πλαισίου πολιτικής, για την ανάπτυξη της αγοράς υποδομών εναλλακτικών καυσίμων στον τομέα των μεταφορών και για την υλοποίηση των σχετικών υποδομών»

5. Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Απόφαση αριθμ. 42863/438 - ΦΕΚ 2040/Β/04-06-2019

«Καθορισμός των όρων, των προϋποθέσεων και των τεχνικών προδιαγραφών για την εγκατάσταση συσκευών φόρτισης συσσωρευτών ηλεκτροκίνητων οχημάτων (σημεία επαναφόρτισης), στις εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης οχημάτων, σε δημοσίως προσβάσιμα σημεία επαναφόρτισης κατά μήκος του αστικού, υπεραστικού και εθνικού οδικού δικτύου καθώς και σε χώρους στάθμευσης δημόσιων και ιδιωτικών κτιρίων.»

Αυτή η απόφαση καταργεί το ΦΕΚ 50/Β/15-1-2015 και καθορίζει εκ νέου τις τεχνικές προδιαγραφές μιας δημοσίως προσβάσιμης υποδομής φόρτισης, όντας εμπλουτισμένο με επιπλέον στοιχεία. Πλέον, για τις τεχνικές προδιαγραφές που πρέπει να πληρούν οι συσκευές φόρτισης που πρόκειται να εγκατασταθούν σε δημοσίως προσβάσιμους χώρους, ισχύουν εκτός των άλλων τα εξής:

- Αυτές πρέπει να διαθέτουν πιστοποίηση CE,
- Λαμβάνονται υπόψη οι οικείες πολεοδομικές διατάξεις, οι κτηριοδομικοί κανονισμοί, αποστάσεις ασφαλείας, τυχόν απαγορευτικές γειτνιάσεις κλπ,
- Πρέπει να παρέχουν τη δυνατότητα επί τούτω (ad-hoc) χρέωσης, χωρίς την υποχρέωση σύναψης συμβολαίου με τον οικείο προμηθευτή ή διαχειριστή ηλεκτρικής ενέργειας,

- Οι μετρητές των ρευματοδοτών πρέπει να έχουν πιστοποίηση MID,
- Τα στοιχεία κάθε σημείου φόρτισης διατίθενται δημόσια. Η ενημέρωση των χρηστών θα γίνεται από αντίστοιχη ηλεκτρονική πλατφόρμα του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών.

Επιπλέον, στο Παράρτημα του ΦΕΚ απεικονίζονται ενδεικτικές χωροθετήσεις θέσεων στάθμευσης και σταθμών φόρτισης σε διάφορους χώρους στάθμευσης.

6. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), Γνωμοδότηση υπ' αριθμ. 7/2019

«Γνωμοδότηση σχετικά με τους όρους και τη λειτουργία των Φορέων Εκμετάλλευσης υποδομών επαναφόρτισης Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων, σύμφωνα με την παράγραφο 2 του άρθρου 134 του ν. 4001/2011 όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 53 παρ. 3 του ν. 4277/2014, καθώς και τις διατάξεις του ν. 4493/2016.»

Η γνωμοδότηση απευθύνεται προς τα υπουργεία Οικονομίας και Ανάπτυξης, Υποδομών-Μεταφορών και Περιβάλλοντος-Ενέργειας, με στόχο την έκδοση υπουργικών αποφάσεων που θα εμπλουτίζουν το ισχύον θεσμικό πλαίσιο όσον αφορά τις υποδομές επαναφόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και το ρόλο των ΦΕΥΦΗΟ. Περιέχει προτάσεις που αφορούν:

- Την ανάπτυξη δημοσίων υποδομών επαναφόρτισης,
- Την οργάνωση της αγοράς υπηρεσιών επαναφόρτισης,
- Την προώθηση της διαλειτουργικότητας των υποδομών επαναφόρτισης,
- Την ίδρυση και λειτουργία φορέων της αγοράς ηλεκτροκίνησης,
- Την δημιουργία μητρώου υποδομών και φορέων αγοράς ηλεκτροκίνησης,
- Την τιμολόγηση των υπηρεσιών επαναφόρτισης,
- Την μέτρηση ενέργειας των υποδομών επαναφόρτισης και
- Την διαχείριση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη φόρτιση οχημάτων.

Τέλος, η γνωμοδότηση προτείνει τον τρόπο προσαρμογής των υφιστάμενων φορέων και υποδομών επαναφόρτισης στο νέο καθεστώς, ενώ αναφέρει τα σημεία στα οποία επιφυλάσσεται να τοποθετηθεί, εφόσον προηγουμένως δεν έχει εκδοθεί από την Πολιτεία το πλαίσιο λειτουργίας της αγοράς ηλεκτροκίνησης.

Ακόμη, έχει δημοσιοποιηθεί τεχνική προδιαγραφή διαγωνισμού του ΔΕΔΔΗΕ, όπου περιγράφονται οι τεχνικές απαιτήσεις μιας συσκευής φόρτισης Μεθόδου 3, με δύο ρευματοδότες ονομαστικής ηλεκτρικής ισχύος 22kW έκαστος, που πρόκειται να εγκατασταθεί σε δημοσίως προσβάσιμο χώρο. Η εν λόγω προδιαγραφή περιγράφει με ακρίβεια τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις του εξοπλισμού που πρέπει να διαθέτει μια συσκευή φόρτισης. Η προδιαγραφή επικεντρώνεται μόνο σε μια περίπτωση συσκευής φόρτισης και δεν αποτελεί κανονιστικό κείμενο για τον πλήρη καθορισμό των τεχνικών απαιτήσεων που πρέπει να πληροί μια συσκευή φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων εν γένει. Επιπλέον, ο ΔΕΔΔΗΕ δεν έχει εκδώσει κάποια ειδική τεχνική οδηγία για τη σύνδεση συσκευών φόρτισης στο δίκτυο διανομής.

1.3.24 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ενότητας

- [1.1] Wikipedia. Electric vehicle. [Online]. https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle
- [1.2] Renewable Energy Times. [Online]. <https://renewableenergytimes.com/2018/08/31/globalev-sales-hit-4-million-soaring-market-sees-next-million-in-may-2019/>
- [1.3] IHS Markit. [Online]. <https://news.ihsmarkit.com/press-release/automotive/global-evcharging-stations-skyrocket-2020-ihs-report-says>
- [1.4] U.S. Department of Energy. Alternative Fuels Data Center. [Online]. <https://afdc.energy.gov>
- [1.5] European Alternative Fuels Observatory. [Online]. <https://www.eafo.eu/countries/europeanunion/23640/summary/compare>
- [1.6] Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Απόφαση αριθμ. 71287/6443 - ΦΕΚ 50/Β/15-1-2015, 2015.
- [1.7] Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Απόφαση αριθμ. οικ. 77226/1 - ΦΕΚ 3824/Β/31-10-2017, 2017.
- [1.8] Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Ν. 4439/2016 - ΦΕΚ 222/Α/30-11-2016, 2016.
- [1.9] Κοινή Υπουργική Απόφαση, Καθορισμός των όρων, των προϋποθέσεων και των τεχνικών προδιαγραφών για την εγκατάσταση συσκευών φόρτισης συσσωρευτών ηλεκτροκίνητων οχημάτων (σημεία επαναφόρτισης), στις εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης οχημάτων, σε δημοσίως προσβάσιμα σημεία επαναφόρτισης., Μάιος 2019.
- [1.10] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας. (2018) Δημόσια διαβούλευση της ΡΑΕ για το ρυθμιστικό πλαίσιο εγκατάστασης και λειτουργίας υποδομών επαναφόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στην Ελλάδα.
- [1.11] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, Γνωμοδότηση υπ' αριθμ. 7/2019 Σχετικά με τους όρους και τη λειτουργία των Φορέων Εκμετάλλευσης υποδομών επαναφόρτισης Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων, σύμφωνα με την παρ. 2 του άρθρου 134 του ν.4001/2011 όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 53 παρ. 3 του ν.4277/2014, 2019.
- [1.12] ΔΕΔΔΗΕ, Τεχνικές απαιτήσεις σταθμών φόρτισης μεθόδου 3 ηλεκτρικών οχημάτων, 2018.
- [1.13] ΔΕΔΔΗΕ, Σχέδιο Ανάπτυξης Δικτύου 2019-2023, 2018.
- [1.14] ΔΕΔΔΗΕ. Καινοτομία - Ηλεκτροκίνηση. [Online]. <https://www.deddie.gr/el/stratigikiyksugchronismos/kainotomia/ilektrokinisi/>
- [1.15] International Electrotechnical Commission, IEC 61851-1:2017 - Electrical vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements, 2017.
- [1.16] Bender GmbH & Co.KG, Electrical safety for emobility, 2017.
- [17] Mennekes eMobility. Charging Cable Mode 2 with SCHUKO®-plug NO. [Online]. https://www.micromatic.no/globalassets/inriver/resources/pds_charging-cable-mode-2-schuko-10a-no---v.1.1.pdf
- [1.18] SaveMoney. Mode 3 wallbox. [Online]. <https://savemoney.es/usa/asin/wallbox>
- [1.19] AddEnergie, Smart TWO - Smart, level 2 EVSE for commercial and industrial applications, Technical Specification.

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
[1.20] Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης, ΕΛΟΤ HD384 - Απαιτήσεις για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, 2004.

[1.21] Πέτρος Ντοκόπουλος, Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη, 2009.

[1.22] ABB, Everything you wanted to know about type B residual current circuit breakers but never dared to ask, Τεχνικό φυλλάδιο κατασκευαστή.

[1.23] evse.com.au. [Online]. <https://www.evse.com.au/ev-charging-cables-leads>

[1.24] International Electrotechnical Commission, IEC 62196-2: Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles - Part 2: Dimensional compatibility and interchangeability requirements for a.c. pin and contact-tube accessories, 2012.

[1.25] Wikipedia. IEC 62196. [Online]. https://en.wikipedia.org/wiki/IEC_62196

[1.26] DRIVETHECITY. Charging stations and cables for electric vehicles. [Online].

<https://www.conducetuciudad.com/en/all-about-charging/types-of-connectors>

[1.27] Electrical and Mechanical Services Department (EMSD), Technical Guidelines on Charging Facilities for Electric Vehicles, 2015.

[1.28] GeoV Solutions. Βαθμός προστασίας (IP κώδικας). [Online].

<http://www.geovsolutions.gr/ip.php>

[1.29] BEAMA, The RCD Handbook, BEAMA Guide to the selection and application of Residual Current Devices (RCDs), 2018.

[1.30] Bender, RCMB104 - AC/DC sensitive residual current monitoring module for electric vehicle charging systems, 2018, Product Manual.

[1.31] Doepke, The right residual current circuit-breaker for e-mobility: DFS 4 EV.

[1.32] Western Automation. Type EV and Type B RCDs. [Online].

<https://emobility.westernautomation.com/ev-protection-devices/type-ev-and-type-b/>

[1.33] International Electrotechnical Commission, IEC 61851-23: Electric vehicle conductive charging system - Part 23: DC electric vehicle charging station, 2014.

[1.34] ABB. Multi-standard DC charging station. [Online].

<https://new.abb.com/evcharging/products/car-charging/multi-standard>

[1.35] CHAdeMO. [Online]. <https://www.chademo.com/products/connectors/>

[1.36] Ελληνικό Ινστιτούτο Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων (ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο), Ευρωπαίοι και Αμερικάνοι κατασκευαστές συμφωνούν στη χρήση ενιαίου τύπου υποδοχών και ακροσυνδέσμων για τη φόρτιση των ηλεκτρικών τους αυτοκινήτων (Combo System).

[1.37] H. Sellner W. Hofheinz, Electrical safety on charging electric vehicles.

[1.38] Siemens AG, Standard-compliant solution packages for charging stations, 2010.

[1.39] Bradley Mitchell. (2018) The Layers of the OSI Model Illustrated. [Online].

<https://www.lifewire.com/layers-of-the-osi-model-illustrated-818017>

[1.40] International Electrotechnical Commission, IEC 61851-24: Electric vehicle conductive charging system – Part 24: Digital communication between a d.c. EV charging station and an electric vehicle for control of d.c. charging, 2014.

[1.41] Matthias Kubel on behalf of Initiative Charging Interface, Design Guide for Combined Charging System, 2015.

[1.42] International Electrotechnical Commission, IEC 60634-7-722: Low-Voltage Electrical Installations - Part 7-722: Requirements for special installations or locations - Supply of electric vehicle, 2014.

[1.43] Centros de Excelencia Tecnica, Unidada Normalizacion y Laboratorios, Instalacion de estaciones de carga para vehiculos electricos, 2018.

[1.44] Elaadnl, Aansluitpecificaties laadobjecten 3x25A – 3x80A Voor het inbouwen van een gestandaardiseerde netaansluiting in een laadobject, 2018.

[1.45] Pfalzwerke Netz AG, Technische Richtlinie zum Anschluss einer Ladeeinrichtung an das 0,4-kV-Netz, 2018.

[1.46] Voltimum, The installation of an electric vehicle charging point, 2016, Technical Article.

[1.47] Wikipedia. Open Charge Point Protocol. [Online].

https://en.wikipedia.org/wiki/Open_Charge_Point_Protocol

[1.48] Open Charge Point Protocol 1.6.

[1.49] Xiangdong You Chaoye Zhao, Research and Implementation of OCPP 1.6 Protocol, 2017, School of Information and Telecommunication Engineering, Beijing, China.

[1.50] Danskenergi, Vejledning for tilslutning af ladestandere i lavspændingsnettet - Version 3, 2009.

[1.51] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (dsb), Elektriske kjøretøy, Veiledning - lading og sikkerhet, 2017.

[1.52] Ministerio de Industria, Energia y Turismo, Instruccion Tecnica Complementaria (ITC) BT-52, Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para la recarga de vehiculos electricos, 2014.

[1.53] Worksafe, Electric Vehicle Charging Safety Guidelines, Part 3: Electric Vehicle Supply Equipment - New Zealand specific requirements, Edition 2.0.

[1.54] Public Utilities Commission of Sri Lanka, Electric Vehicle Charging Stations – Technical Guidelines and Minimum Standards, 2018.

[1.55] Drewagnetz, Technische Mindestanforderungen für den Anschluss von festinstallierten Ladeeinrichtungen für Elektrofahrzeuge am Niederspannungsnetz - gültig ab 01.05.2018 -, 2018.

[1.56] Drewagnetz, Technische Mindestanforderungen für den Anschluss von festinstallierten Ladeeinrichtungen für Elektrofahrzeuge am Mittelspannungsnetz - Entwurf, gültig ab 01.05.2018 -, 2018.

[1.57] Wikipedia. Earthing System. [Online]. https://en.wikipedia.org/wiki/Earthing_system

[1.58] Institute of Energy and Technology (IET), Code of Practice for Electrical Vehicle Charging Equipment Installations, 3rd Edition, 2018.

[1.59] Netherlands Knowledge Platform for Public Charging Infrastructure (NKL), Uniform Standards for Charge Points - Clear-cut guidelines, 2019.

[1.60] Open Charge Alliance. The importance of open protocols. [Online].

<https://www.openchargealliance.org/protocols/>

[1.61] Hydro Quebec, Electric Vehicle Charging Stations, Technical Installation Guide, 2nd Edition, 2015.

[1.62] Official Journal of the European Union, Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the deployment of alternative fuels infrastructure, 2014.

[1.63] stuff. Geraldine, Fairlie to get electric car recharge stations by March 31. [Online].

<https://www.stuff.co.nz/timaru-herald/news/88722817/geraldine-fairlie-to-get-electric-carrecharge-stations-by-march-31>

[1.64] Ideal Shield. [Online]. <https://www.idealshield.com/products/other-products/electricvehicle-charging-station/>

1.3.25 Σύντομογραφίες Κεφαλαίου

AC	Alternating Current
CAN	Controller Area Network
CCS	Combined Charging System
CP	Control Pilot
CPU	Central Processing Unit
DC	Direct Current
EV	Electric Vehicle
EVSE	Electric Vehicle Supply Equipment
GPRS	Global Packet Radio Service
G-PWM	Generator - PWM
GSM	Global System for Mobile communications
IC-CPD	In-Cable Control and Protective Device
ID	Identification Number
IEC	International Electrotechnical Commission
IMD	Insulation Monitoring Device
ISO	International Organization for Standardization
IT	Isolated Terra (σύστημα γείωσης)
LIN	Local Interconnect Network
LX	Live X (αγωγός φάσης)
MCB	Miniature Current Breaker
N	Neutral
OCPI	Open Charge Point Interface
OCPP	Open Charge Point Protocol
OSCP	Open Smart Charging Protocol
OSI	Open System Interconnection
PE	Protective Earth
PELV	Protected Extra Low Voltage
PEN	Protective Earth Neutral
PLC	Power Line Communication
PP	Proximity Pilot
PWM	Pulse Width Modulation
RCD	Residual Current Device
RDC-DD	Residual Direct Current Detection Device
RFID	Radio Frequency Identification
SAE	Society of Automotive Engineers
SELV	Safety Extra Low Voltage
SLAC	Signal Level Attenuation Characterization
SPD	Surge Protection Device
TN	Terra Neutral (σύστημα γείωσης)
TRE	Tonfrequenzrundsteuerempfänger

1.4 Κίνητρα επιλογής σημείου φόρτισης

Can Charge Scheduling Incentives Mitigate the Impact of EVs on the Power Grid?

(Μπορούν να μετριάσουν τα κίνητρα προγραμματισμού φόρτισης, τις επιπτώσεις των ηλεκτρικών οχημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο;)

Ahmed Ali A. Mohamad^{1,*}, Stephanie Lojano¹, Carlos Maldonado¹, Tamer Ibrahim²,

Hebatallah E. Mostafa¹, Razib Sarkar¹, Tafadar Soujad¹, Hegazy Rezk³, Mujahed

AIDhaifallah^{4,5}

¹ Department of Electrical Engineering, Grove School of Engineering, City College of the City University of New York, New York, NY 10031, USA

² Grid Operation and Planning, Electric Power Research Institute, Knoxville, TN 37932

³ Department of Electrical Engineering, College of Engineering in Wadi Alldawasir, Prince Sattam bin Abdulaziz University, Saudi Arabia

⁴ Control and Instrumentation Engineering Department, King Fahd University of Petroleum & Minerals, 31261, Dhahran, Saudi Arabia

⁵ Interdisciplinary Research Center (IRC) for Renewable Energy and Power Systems, King Fahd University of Petroleum & Minerals, 31261, Dhahran, Saudi Arabia.

* Correspondence: amohamed@ccny.cuny.edu

Περίληψη

Ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) στους δρόμους αναμένεται να αυξηθεί δραματικά μέσα στα επόμενα χρόνια. Αυτό θα αυξήσει σημαντικά τη συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της φόρτισης των EV. Το βασικό ερώτημα είναι εάν τα σημερινά συστήματα διανομής μπορούν να χειριστούν αυτήν την αυξημένη ζήτηση φόρτισης. Η κεντρική μας υπόθεση είναι ότι η συντονισμένη φόρτιση, είναι απαραίτητη για να καταστεί δυνατή η ευρείας κλίμακας ανάπτυξη φορτιστών EV. Η συντονισμένη φόρτιση αναφέρεται στον προγραμματισμό και, ενδεχομένως, στη βελτιστοποίηση της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, έτσι ώστε η φόρτιση να επικεντρώνεται περισσότερο κατά τις ώρες εκτός αιχμής του δικτύου. Ο στόχος αυτού του εγγράφου είναι να αποκτήσει πραγματικά δεδομένα που βοηθούν στη μέτρηση του επιπέδου αποδοχής των οδηγών EV στα κίνητρα προγραμματισμού φόρτισης. Χρησιμοποιώντας τη Νέα Υόρκη ως ζωντανό εργαστήριο, πραγματοποιήθηκε μια μελέτη για να αναλυθεί η αποτελεσματικότητα αυτών των κινήτρων.

I. ΕΣΟΔΑ

Σύμφωνα με το υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ, το 2020, οι ΗΠΑ εισήγαγαν περίπου το 3% του πετρελαίου που καταλάωναν. Ο τομέας των μεταφορών αντιπροσώπευε το 26% της συνολικής ζήτησης ενέργειας και το 29% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [1]. Στις αστικές περιοχές, το πρόβλημα επιδεινώνεται περαιτέρω. Για παράδειγμα, ο τομέας των μεταφορών είναι υπεύθυνος για το 36% των αερίων του θερμοκηπίου στη Νέα Υόρκη (Νέα Υόρκη). Ως εκ τούτου, για την καταπολέμηση της υπερθέρμανσης του πλανήτη, είναι επιτακτική ανάγκη να αντικατασταθούν τα συμβατικά οχήματα με κινήτρα εσωτερικής καύσης με ηλεκτρικά οχήματα. Στη Νέα Υόρκη, ο στόχος είναι να τοποθετηθούν 400.000 ηλεκτρικά οχήματα στους δρόμους έως το 2030 [1].

Τα εμπόδια κατά της ευρείας κλίμακας ανάπτυξης ηλεκτρικών οχημάτων, ήταν ιστορικά το κόστος και η εμβέλεια. Πρόσφατα, χάρη στις προόδους στις ηλεκτρικές μηχανές, τις ηλεκτρονικές συσκευές μεταγωγής ισχύος και τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, το κόστος των ηλεκτρικών οχημάτων μειώθηκε και η εμβέλεια βελτιώθηκε (~ 520 μίλια) [2]. Ωστόσο, η έλλειψη σταθμών ταχείας

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
φόρτισης καθίσταται όλο και περισσότερο βασικό εμπόδιο [3]. Ως εκ τούτου, αρκετά κράτη έχουν πάρει μέτρα για την ανάπτυξη περισσότερων σταθμών φόρτισης EV στο εγγύς μέλλον.

Οι σταθμοί φόρτισης EV αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό φορτίο στο ηλεκτρικό δίκτυο. Σε ορισμένες εκτιμήσεις, το φορτίο που προκύπτει από την ευρείας κλίμακας ανάπτυξη σταθμών φόρτισης EV μπορεί να είναι ισοδύναμο με την τρέχουσα ζήτηση φορτίου [4] και [5]. Με στόχο τον μετριασμό των επιπτώσεων της φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο, αρκετά άρθρα στη βιβλιογραφία πρότειναν αλγόριθμους προγραμματισμού φόρτισης [6], [7] και [8].

Στο [9], αναπτύχθηκε ένα πλαίσιο συντονισμού φόρτισης με βάση τη μέθοδο του δέντρου παλινδρόμησης ενίσχυσης κλίσης. Η επεκτασιμότητα δεν αξιολογήθηκε επαρκώς. Ωστόσο, τα αποτελέσματα έδειξαν καλές επιδόσεις συντονισμού και ελήφθη υπόψη η τοπική ηλιακή παραγωγή. Στο [5], μια μέθοδος θεωρίας παιγνίων (Mean Field Game) χρησιμοποιήθηκε για το συντονισμό φόρτισης. Η προτεινόμενη λύση είναι επεκτάσιμη σε μεγάλα συστήματα και ισχυρή έναντι βλαβών ενός σημείου, καθώς βασίζεται στον κατανεμημένο έλεγχο. Από την άλλη, ένας κεντρικός ελεγκτής βασισμένος στο Διαδίκτυο προτάθηκε στο [10].

Οι εργασίες αυτές έλαβαν υπόψη τους κατανεμημένους ενεργειακούς πόρους που μπορούν να συνδεθούν με την ίδια υποδομή φόρτισης, καθώς και την επικοινωνιακή υποδομή που απαιτείται για να καταστεί δυνατή η συντονισμένη λειτουργία. Αυτά τα άρθρα, και άλλα στη βιβλιογραφία, συχνά υποθέτουν ότι ένας ιδιοκτήτης EV θα είναι πρόθυμος να μετατοπίσει το χρόνο φόρτισης.

Σε αυτό το έγγραφο, αξιολογούμε την ανταπόκριση των οδηγών EV στα κίνητρα προγραμματισμού. Συγκεκριμένα, βασιστήκαμε σε δύο προσεγγίσεις:

1) απευθείας έρευνα των υφιστάμενων και δυνητικών οδηγών EV και (2) προσομοίωση του αντίκτυπου των κινήτρων προγραμματισμού φόρτισης, χρησιμοποιώντας μια μελέτη περίπτωσης με έδρα τη Νέα Υόρκη. Εστιάζουμε στους δημόσιους σταθμούς φόρτισης και την επιρροή και την εξάρτησή τους από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Οι κύριες συνεισφορές αυτού του εγγράφου είναι οι εξής:

1. Μια έρευνα που μετρά την προθυμία των Νεοϋορκέζων να αλλάξουν την κανονική συμπεριφορά φόρτισης EV ως απάντηση στα κίνητρα.
2. Προσομοίωση του αντίκτυπου των κινήτρων φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο με τη χρήση περιπτωσιολογικής μελέτης με έδρα τη Νέα Υόρκη.
3. Κώδικες ανοιχτού κώδικα για την αναπαραγωγή των αποτελεσμάτων αυτής της μελέτης και την αναπαραγωγή του έργου για άλλες περιοχές.

Το υπόλοιπο έγγραφο οργανώνεται ως εξής. Στην ενότητα II, θα παρουσιαστεί η υπόθεση και η μεθοδολογία μας. Στο τμήμα III, θα συζητηθούν οι περιπτωσιολογικές μελέτες. Τα αποτελέσματα και η συζήτηση θα παρουσιαστούν στο τμήμα IV. Τέλος, ορισμένα από τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από τη μελέτη αυτή θα παρουσιαστούν στο τμήμα V.

II. ΥΠΟΘΕΣΗ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Σε μεγαλουπόλεις, όπως η Νέα Υόρκη, η κινητικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από παράγοντες, όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση, οι κατασκευές, οι τιμές χρέωσης, οι καιρικές συνθήκες κ.λπ. Λόγω του πυκνού πληθυσμού τους, οι αστικές περιοχές ενδέχεται να διαθέτουν πολλαπλό εξοπλισμό προμήθειας ηλεκτρικών οχημάτων (Electric Vehicle Supply Equipment) (EVSE) σε κοντινή γεωγραφική εγγύτητα. Επιπλέον, το δίκτυο διανομής είναι ιδιαίτερα δικτυωτό. Ως εκ τούτου, ορισμένες EVSEs, αν και γεωγραφικά κοντά η μία στην άλλη, μπορούν να τροφοδοτούνται από διαφορετικούς τροφοδότες διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Ενώ αυτό μπορεί

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
να θεωρηθεί πρόκληση, παρέχει επίσης μια μοναδική ευκαιρία για τις αστικές περιοχές. Με τα κατάλληλα κίνητρα, ένας οδηγός μπορεί να επηρεαστεί (π.χ. μέσω δυναμικών τιμών φόρτισης) να μετατοπίσει ελαφρώς το στοχευόμενο EVSE και να πάει να φορτίσει σε ένα άλλο, το οποίο βρίσκεται σε ένα λιγότερο ενεργειακά περιορισμένο δίκτυο ισχύος.

Υποθέτουμε ότι οι EVSEs θα εκπροσωπούνται συλλογικά από έναν τοπικό εικονικό αθροιστή. Θα υπάρχει συντονισμός μεταξύ του φορέα συγκέντρωσης EVSE και του δικτύου διανομής. Παρουσιάσαμε ένα λεπτομερές παράδειγμα αυτής της μορφής συντονισμού στο [11]. Ο συντονισμός αυτός μπορεί δυνητικά να λάβει πολλαπλές μορφές, π.χ. απόκριση ζήτησης. Όταν το δίκτυο αντιμετωπίζει μια δύσκολη κατάσταση (π.χ. ένας περιορισμένος τροφοδότης/κλάδος), θα δώσει κίνητρα στους κατόχους ηλεκτρικών οχημάτων να φορτίζουν σε άλλες EVSE που τροφοδοτούνται από λιγότερο περιορισμένα δίκτυα ισχύος.

Η κεντρική μας θέση είναι ότι οι ιδιοκτήτες EV θα αλλάξουν το στοχευόμενο EVSE τους ως απάντηση στα κίνητρα, εφόσον η απόσταση από το νέο EVSE καθώς και το κίνητρο είναι λογικά. Ο ορισμός του «λογικού» πρέπει να εξεταστεί σε αυτό το έργο. Τα βασικά ερευνητικά ερωτήματα περιλαμβάνουν ποιο μπορεί να είναι ένα κατάλληλο κίνητρο, ποιοι ιδιοκτήτες EV ενδιαφέρονται περισσότερο και σε ποιο βαθμό μπορούν τα κίνητρα να μετριάσουν τις επιπτώσεις φόρτισης στο ηλεκτρικό δίκτυο; Η προσέγγιση εφαρμογής μας για την αντιμετώπιση των ερευνητικών ερωτημάτων περιλαμβάνει μια έρευνα των σημερινών και δυνητικών ιδιοκτητών EV και προσομοίωση μιας ρεαλιστικής μελέτης.

III. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

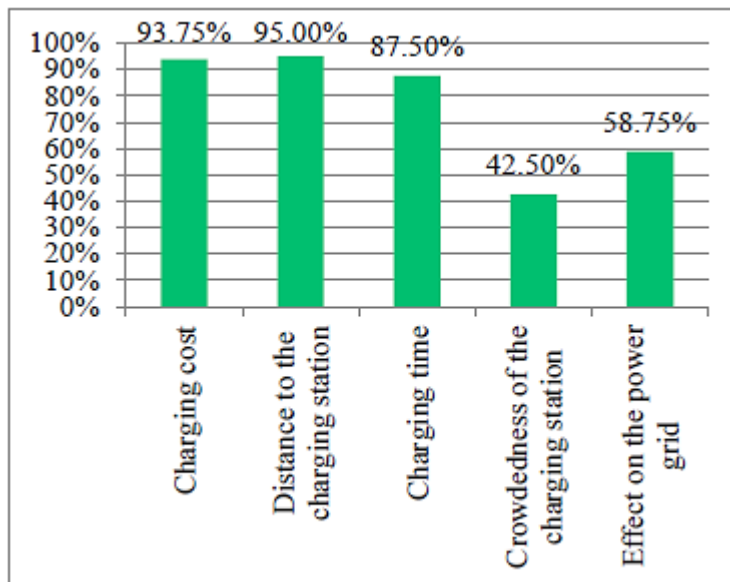
Αναπτύξαμε μια έρευνα που απαντήθηκε από 119 συμμετέχοντες, τόσο αυτοπροσώπως όσο και απομακρυσμένα. Περίπου τα δύο τρίτα των συμμετεχόντων στην έρευνα κατέχουν σήμερα ηλεκτρικά οχήματα. Η έρευνα κάλυψε διάφορες γειτονιές στη Νέα Υόρκη. Σκοπός αυτής της έρευνας ήταν να μετρήσει την ανταπόκριση των ανθρώπων στις ακόλουθες παραμέτρους: κόστος φόρτισης, απόσταση από το σταθμό φόρτισης, χρόνος φόρτισης, συνωστισμός του σταθμού φόρτισης και επιπτώσεις στο ηλεκτρικό δίκτυο. Τα ερωτήματα της έρευνας ήταν τα εξής.

1. Έχετε ηλεκτρικό όχημα;

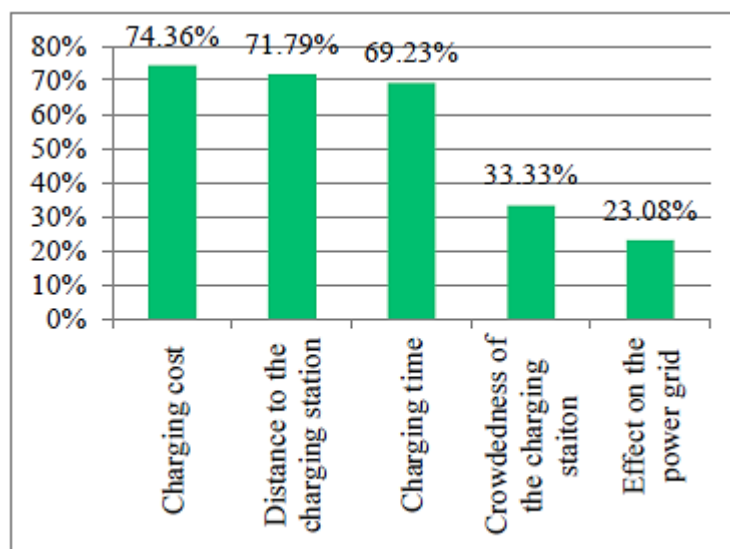
Απάντηση: Μεταξύ 119 ατόμων, το 67.23% από αυτούς έχουν ηλεκτρικά οχήματα, ενώ το 32.77% δεν έχουν EV. Αργότερα για τις ερωτήσεις 2, 3, 4, 5, 8 και 9, θα διακρίνουμε τις απαντήσεις και για τις δύο ομάδες.

2. Ποιοι παράγοντες / παράμετροι θα λάβετε υπόψη για την επιλογή ενός σταθμού φόρτισης για να μεταβείτε;

Απάντηση: Διαπιστώθηκε ότι οι άνθρωποι που κατέχουν σήμερα ηλεκτρικά οχήματα ενδιαφέρονται περισσότερο για την απόσταση, ακολουθούμενη από το κόστος για το σταθμό φόρτισης, το χρόνο φόρτισης και τον συνωστισμό του σταθμού φόρτισης. Παρόμοιες τάσεις παρατηρούνται και μεταξύ των ιδιοκτητών μη ηλεκτρικών οχημάτων, όπως φαίνεται στα σχήματα 1α και 1β, αντίστοιχα. Ωστόσο, οι σημερινοί ιδιοκτήτες EV φαίνονται πιο ενήμεροι και προσεκτικοί για την επίδραση της φόρτισης EV στο ηλεκτρικό δίκτυο. Αυτό είναι εμφανές από το 58,75% των σημερινών ιδιοκτητών EV που επέλεξαν την επίδραση στο ηλεκτρικό δίκτυο ως αποφασιστικό παράγοντα, σε σύγκριση με το 23,08% για τους ιδιοκτήτες μη EV.



(a)



(b)

Σχήμα 1.4.1 : Σύνοψη των απαντήσεων στην ερώτηση 2: α) Ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων· και β) ιδιοκτήτες μη ηλεκτρικών οχημάτων.

3. Εάν το αυτοκίνητό σας βρίσκεται κοντά σε σταθμό φόρτισης με υψηλό κόστος φόρτισης και υπάρχει ένας άλλος σταθμός φόρτισης που απέχει 6-7 τετράγωνα από εσάς με φθηνότερο κόστος φόρτισης, ποιο θα επιλέξετε να φορτίσετε το αυτοκίνητό σας; (Πιο κοντά/πιο μακριά)

Απάντηση: Για την τρίτη ερώτηση, σχεδόν το 15% των ανθρώπων επέλεξε τον πλησιέστερο σταθμό φόρτισης και περίπου το 85% επέλεξε τον μακρινό σταθμό φόρτισης. Η πλειονότητα των ερωτηθέντων φαίνεται να δίνει προτεραιότητα στις χρηματικές αποταμιεύσεις. Παρατηρήθηκε αμελητέα διαφορά μεταξύ των απαντήσεων των κατόχων EV έναντι των ιδιοκτητών μη EV (δηλαδή, 15,38% και 84,62%, αντίστοιχα).

4. Σε συνέχεια της προηγούμενης ερώτησης, τι γίνεται αν το πιο μακρινό EVSE βρίσκεται σε περιοχή περιορισμένης ισχύος (μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στο ηλεκτρικό δίκτυο), ποιο θα επιλέξετε να πάτε; (Πιο κοντά/πιο μακριά)

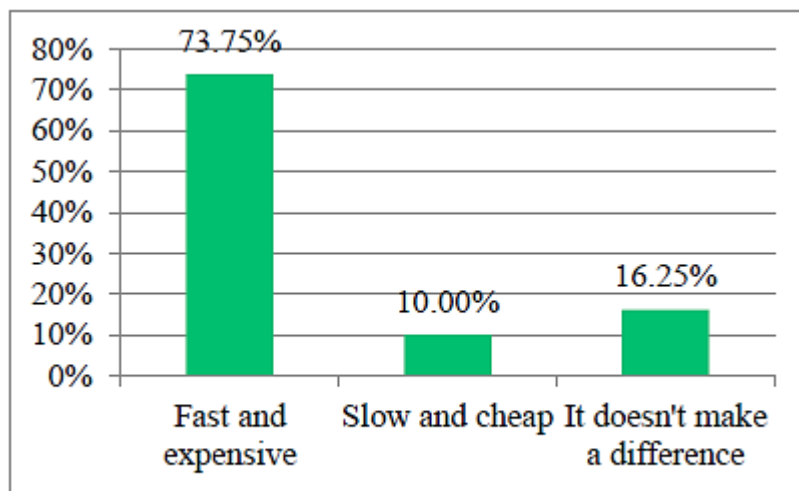
Απάντηση: Για την τέταρτη ερώτηση, η πλειοψηφία των συμμετεχόντων στην έρευνα επέλεξε τον πλησιέστερο σταθμό φόρτισης, για να μειώσει τον αντίκτυπο στο ηλεκτρικό δίκτυο. Παρατηρήθηκαν ορισμένες διαφορές μεταξύ των απαντήσεων των ιδιοκτητών EV και των μη ιδιοκτητών EV. Ενώ το 86.25% των σημερινών ιδιοκτητών EV άλλαξαν την προτίμησή τους στον πλησιέστερο σταθμό, μόνο το 67.57% των ιδιοκτητών μη EV το έκαναν. Αυτό ευθυγραμμίζεται με την παρατήρηση που σχετίζεται με την ερώτηση 2 ότι οι σημερινοί ιδιοκτήτες EV φαίνεται γενικά να γνωρίζουν περισσότερο τον αντίκτυπο της φόρτισης EV στο ηλεκτρικό δίκτυο.

5. Εάν ο μακρινός σταθμός φόρτισης είναι φθηνότερος αλλά βρίσκεται σε πολυσύχναστη περιοχή, σε ποια θα πάτε; (Πιο κοντά/πιο μακριά)

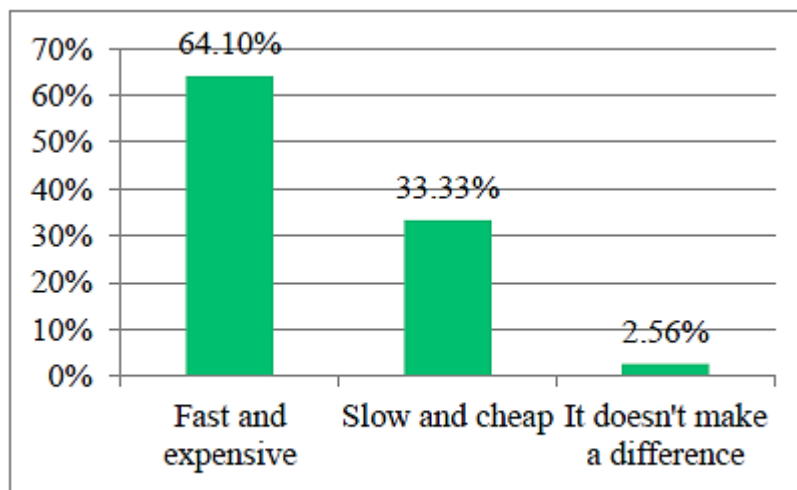
Απάντηση: οι περισσότεροι ιδιοκτήτες EV έδωσαν προτεραιότητα στο κόστος έναντι του συνωστισμού (82,50% έναντι 17,50%). Από την άλλη, μη ιδιοκτήτες EV, υπήρχε μια λιγότερο σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο επιλογών, με το 42,11% να επιλέγει το μακρινό EVSE (φθηνότερο) και το 57,89% να επιλέγει το κοντινό EVSE.

6. Εάν βρίσκεστε σε ίση απόσταση από δύο σταθμούς φόρτισης, ένας από αυτούς είναι γρήγορος και ακριβός, ο άλλος είναι αργός και φθηνός, σε ποιον από αυτούς θα επιλέξετε να πάτε; (Γρήγορο και ακριβό / Αργό και φθηνό / Δεν κάνει οποιαδήποτε διαφορά)

Απάντηση: η πλειοψηφία των συμμετεχόντων στην έρευνα προτίμησε τον ταχύτερο σταθμό φόρτισης, παρόλο που είναι πιο ακριβός. Αυτό ίσχυε τόσο για τους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων όσο και για τους κατόχους μη ηλεκτρικών οχημάτων, όπως φαίνεται στα σχήματα 2α και 2β, αντίστοιχα. Οι ιδιοκτήτες μη EV φαίνονται πιο αποδεκτοί στην αργή φόρτιση (33%) σε σύγκριση με τους σημερινούς ιδιοκτήτες EV (10%).



(a)



(b)

Σχήμα 1.4.2: Σύνοψη των απαντήσεων στην ερώτηση 6: α) Ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων· και β) ιδιοκτήτες μη ηλεκτρικών οχημάτων.

IV. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ: ΓΡΑΦΗΜΑ ΕΠΙΡΡΟΗΣ

Με τον αυξανόμενο αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων στους δρόμους, το ηλεκτρικό δίκτυο και το δίκτυο κυκλοφορίας γίνονται πιο αλληλεξαρτώμενα από ποτέ. Η ζήτηση φόρτισης EV επηρεάζει τη ροή της ισχύος και, ως εκ τούτου, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη λειτουργία και τον προγραμματισμό του ηλεκτρικού δικτύου. Με τα κατάλληλα κίνητρα, που απορρέουν από τις επιπτώσεις της φόρτισης EV στο δίκτυο, οι ιδιοκτήτες EV μπορούν να επιλέξουν να διανύσουν μεγαλύτερη απόσταση για να φορτίσουν σε φθηνότερο σταθμό φόρτισης. Τα αποτελέσματα της έρευνας που παρουσιάστηκαν νωρίτερα σε αυτό το έγγραφο υποστηρίζουν αυτό το συμπέρασμα. Κάποιος μπορεί να δει αυτή την αμφίδρομη εξάρτηση ως ευκαιρία βελτιστοποίησης και των δύο δικτύων. Με άλλα λόγια, χρησιμοποιώντας κατάλληλα κίνητρα, το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να αποθαρρύνει τα ηλεκτρικά οχήματα από τη φόρτιση σε EVSEs που υπάρχουν σε τμήματα ενεργειακών περιορισμών του ηλεκτρικού δικτύου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την αύξηση της τιμής χρέωσης σε αυτές τις EVS. Ομοίως, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να εκτρέπονται από οδούς με κυκλοφοριακή συμφόρηση αυξάνοντας την τιμή χρέωσης εντός των οδών αυτών. Αυτό το πρόβλημα βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων απαιτεί συντονισμό μεταξύ του διαχειριστή του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και του μεταφορέα. Ένα λεπτομερές παράδειγμα αυτού του συντονισμού παρουσιάστηκε από τον συγγραφέα στο [11].

Σε αυτήν την ενότητα, προσομοιώνουμε τον αντίκτυπο των κινήτρων χρέωσης στις αποφάσεις των οδηγών EV χρησιμοποιώντας μια μελέτη περίπτωσης στο Gowanus, Μπούκλιν, Νέα Υόρκη. Υποθέτουμε ότι αυτή η περιοχή έχει δύο σταθμούς φόρτισης και 70 ηλεκτρικά οχήματα. Τα ηλεκτρικά οχήματα ξεκινούν από τυχαία προέλευση και συνήθως κατευθύνονται προς τον προορισμό τους EVSE με βάση ένα συντομότερο πρόβλημα διαδρομής. Αυτό αντιπροσωπεύει τη βασική περίπτωση. Υποθέτουμε ότι μία από τις EVSEs βρίσκεται σε περιοχή με περιορισμούς ενέργειας [11]. Στη συνέχεια, αξιολογούμε σε ποιο βαθμό τα κίνητρα θα είναι σε θέση να μειώσουν τον αριθμό των ηλεκτρικών οχημάτων που φτάνουν για φόρτιση σε αυτό το EVSE και επιλέγουν να πάνε στο EVSE που υπάρχει σε ένα πιο χαλαρό ενεργειακό δίκτυο. Δείχνουμε επίσης πώς θα επηρεαστεί η ροή της κυκλοφορίας λόγω αυτής της ρύθμισης.

Για την οπτικοποίηση θα βασιστούμε σε γραφήματα επιρροής [12]. Η μοντελοποίηση της περιοχής Gowanus ως πολύπλοκου δικτύου θα συνεπαγόταν κανονικά τη μετατροπή των δρόμων σε κόμβους και των κόμβων δρόμων σε συνδέσμους. Στα γραφήματα επιρροής, από την άλλη πλευρά, οι σύνδεσμοι δεν αντιπροσωπεύουν την τοπολογική σύνδεση μεταξύ των κόμβων (δηλαδή, των δρόμων) αλλά την πιθανότητα ότι ο κόμβος υποδοχής αποτυγχάνει μετά από αποτυχία του κόμβου πηγής, ενώ οι κόμβοι είναι οι δρόμοι. Η αποτυχία εδώ αναφέρεται στη συμφόρηση / κλείσιμο του δρόμου. Θα προσομοιώσουμε μια βασική περίπτωση όταν τα ηλεκτρικά οχήματα αναχωρούν από την προέλευσή τους και φτάνουν στους στοχευμένους προορισμούς τους. Στη συνέχεια, πολλές περιπτώσεις θα προσομοιωθούν όταν τοποθετηθούν εμπόδια στο δίκτυο. Τα ηλεκτρικά οχήματα που αρχικά έπρεπε να ρέουν μέσα από αυτούς τους αποκλεισμένους δρόμους στη συντομότερη διαδρομή τους θα πρέπει τώρα να χρησιμοποιούν μια εναλλακτική διαδρομή. Η πρόσθετη κίνηση στους νέους συνδέσμους, η οποία επηρεάστηκε από αυτήν την αναδρομολόγηση, αποδίδεται στην αποτυχία σύνδεσης. Ως εκ τούτου, εκτελώντας ένα αρκετά μεγάλο σύνολο προσομοιώσεων με τυχαία οδοφράγματα και διαφορετική προέλευση και προορισμό, μπορεί κανείς να αναπτύξει μια κατανόηση για το πόσο πιθανό είναι ότι η αποτυχία οποιουδήποτε συνδέσμου θα επηρεάσει άλλους συνδέσμους στο δίκτυο. Η υπό μελέτη περιοχή Gowanus απεικονίζεται στο σχήμα 3. Εξετάσαμε δύο σενάρια με διαφορετική απόσταση μεταξύ των δύο EVSEs.



Figure 3: Map of Gowanus area (OpenStreetMap tile style): (a) Coordinate set A; and (b) Coordinate set B.

Εικόνα 1.4.3: Χάρτης της περιοχής Gowanus (στυλ πλακιδίων OpenStreetMap): (α) Σύνολο συντεταγμένων A; και (β) Σύνολο συντεταγμένων B.

Το Σχήμα 4 παρουσιάζει ένα διάγραμμα ροής που συνοψίζει τη διαδικασία λήψης των γραφημάτων επιρροής. Όλοι οι κώδικες που ανέπτυξαν οι συγγραφείς κυκλοφορούν ως ανοιχτού κώδικα [13]. Μπορεί να παρατηρηθεί από το διάγραμμα ροής ότι ένα πρόβλημα δρομολόγησης κυκλοφορίας πρέπει να επιλυθεί αναδρομικά σε διάφορες περιπτώσεις και σενάρια. Για να το επιτύχουμε αυτό, χρησιμοποιήσαμε το API δρομολόγησης Here [14]. Για να ενσωματωθούν τα κίνητρα που σχετίζονται με την ενέργεια στη δρομολόγηση Here, η λειτουργία κόστους δρομολόγησης τροποποιείται από έναν ενεργειακό συντελεστή, όπως στο (1). Αυτός ο ενεργειακός συντελεστής

ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Ιωάννης Τσπεπεντζής

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ πρέπει να προέρχεται από τον διαχειριστή του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας με βάση την ανάλυση βέλτιστης ροής ισχύος (οριακή τιμή ενέργειας κατά τόπου) όπως περιγράφεται στα [11] και [12].

$$C_T = \varphi_\tau(\tau(V_n, CS_m)) + \varphi_{En}(E_c(V_n, CS_m)) + \frac{NCS_m}{2} [\varphi_{dist}(V_n, CS_m) + \varphi_\tau(\tau(V_n, CS_m))] \quad (1)$$

Όπου :

C_T : συνολικό κόστος από όχημα V_n έως σταθμό φόρτισης CS_m

NCS_m : αριθμός οχημάτων που επισκέπτονται αυτήν τη στιγμή σταθμό φόρτισης CS_m

φ_{dist} : συντελεστής απόσταση

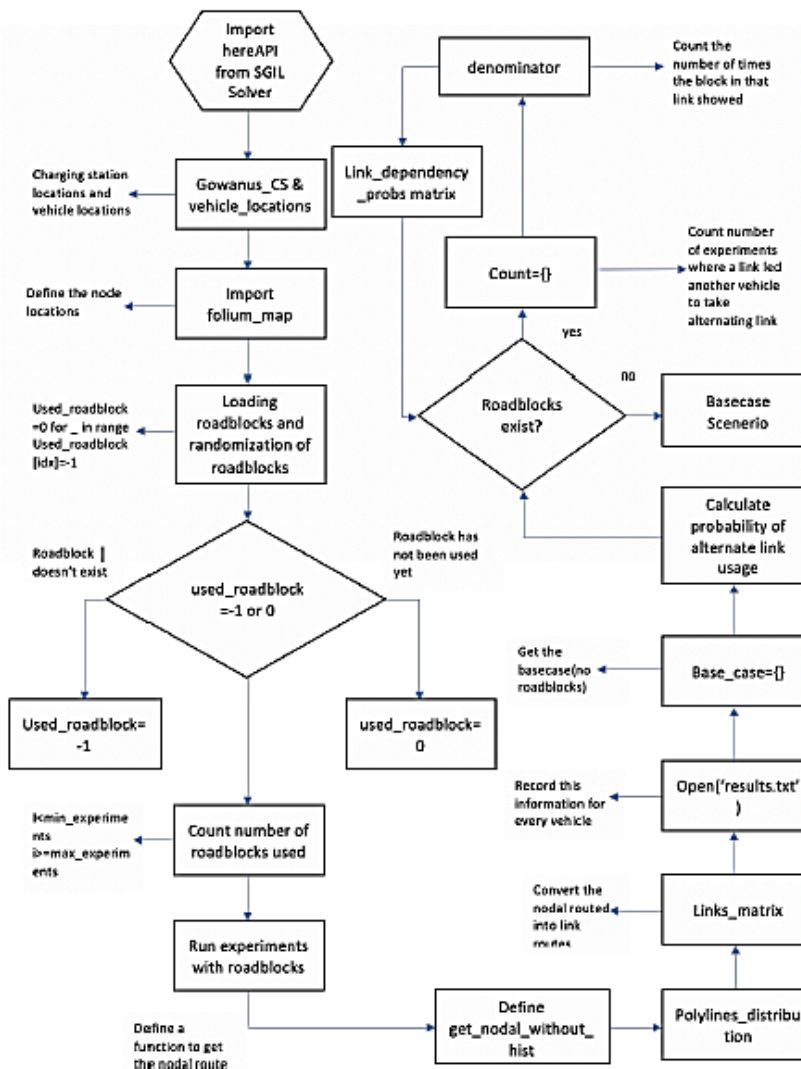
φ_τ : συντελεστής διάρκειας

φ_{En} : συντελεστής ισχύος

$dist(V_n, CS_m)$: απόσταση μεταξύ οχήματος V_n και σταθμού φόρτισης CS_m

$\tau(V_n, CS_m)$: διάρκεια ταξιδιού της διαδρομής μεταξύ του οχήματος V_n και του σταθμού φόρτισης CS_m , πραγματικού χρόνου κίνησης, σε δευτερόλεπτα.

$E_c(V_n, CS_m)$: παράγοντας που αντικατοπτρίζει την τιμή χρέωσης στο σταθμό προορισμού και την εκτιμώμενη ενέργεια που καταναλώθηκε κατά τη διάρκεια της διαδρομής μεταξύ του οχήματος V_n και του σταθμού φόρτισης CS_m δεδομένης της ταχύτητας του οχήματος με κατανάλωση σε κιλοβατώρες.



Σχήμα 4: διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας για την ανάπτυξη γραφημάτων επιρροής.

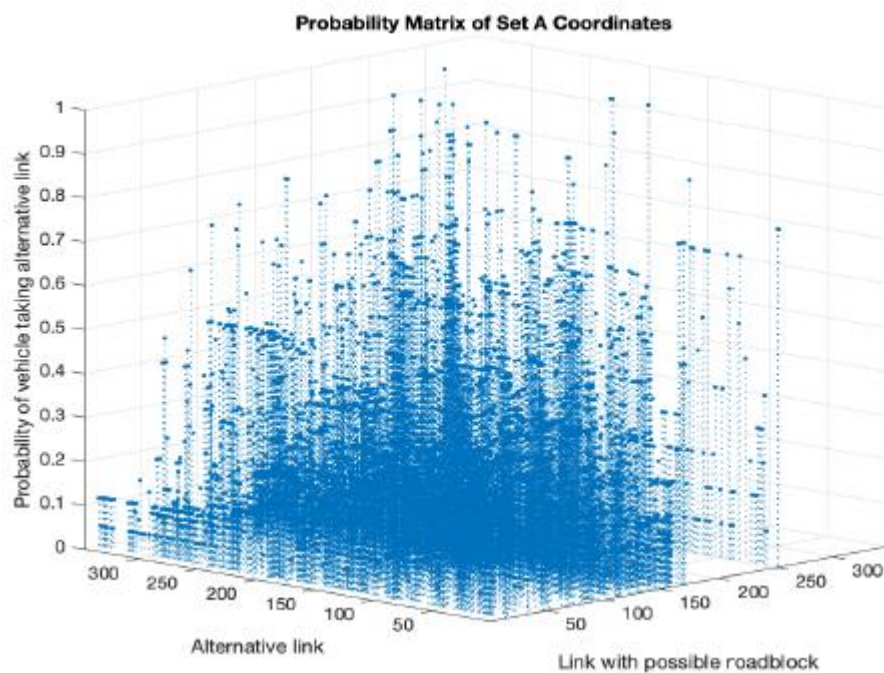
Ο κώδικας ξεκινά με τον καθορισμό των συντεταγμένων των σταθμών φόρτισης (δύο διαφορετικά σύνολα), ακολουθούμενο από τον καθορισμό συντεταγμένων για την προέλευση των οχημάτων. Στη συνέχεια, εισάγεται και απεικονίζεται ο χάρτης Gowanus. Στη συνέχεια αναπτύσσεται η συνάρτηση κόστους. Το Εδώ API καλείται από τον κώδικα για να λύσει το πρόβλημα δρομολόγησης, να εφαρμόσει οδοφράγματα, μέρη της απεικόνισης, απόσταση, διάρκεια και ενέργεια. Σε κάθε όχημα ανατέθηκε η διαδρομή με το μικρότερο κόστος, δεδομένων όλων των πιθανών οδοφραγμάτων. Ωστόσο, πριν από τη δημιουργία διαδρομών με οδοφράγματα, δημιουργήθηκε μια βασική θήκη χωρίς οδοφράγματα για αναφορά. Τα οδοφράγματα στο Here API ορίστηκαν ως κουτιά οριοθέτησης περιοχών που θέλετε να αποφύγετε. Τα ορίσαμε χρησιμοποιώντας το επάνω αριστερό σημείο και το κάτω δεξιό σημείο. Για να διασφαλιστεί η σωστή κατανομή των οδοφραγμάτων σε κάθε διαδρομή, δημιουργήθηκε ένα λεξικό για την αποθήκευση όλων των οδοφραγμάτων που έχουν χρησιμοποιηθεί σε προηγούμενη διαδρομή. Η τιμή 0 υποδηλώνει ότι δεν έχει τοποθετηθεί οδοφραγμα σε αυτόν τον δρόμο. Εάν η τιμή είναι -1, δεν υπάρχει οδοφραγμα. Διαφορετικά, θα μετρήσει τον αριθμό των φορών που χρησιμοποιήθηκε το οδοφραγμα.

Μετά από όλες τις διαδρομές, το γράφημα επιρροής υπολογίζεται ως πίνακας πιθανότητας από, (1) μετρώντας τον αριθμό των διαδρομών όπου ένα μπλοκ σε ένα δεδομένο δρόμο, οδήγησε ένα όχημα να πάρει έναν άλλο δρόμο (αυτό θα είναι το μέτρημα). (2) μετρώντας πόσες φορές το μπλοκάρισμα αυτού του δρόμου επαναλαμβάνεται στις διαδρομές (αυτός θα είναι ο παρονομαστής). και (3) υπολογίζοντας τον πίνακα ως αναλογία.

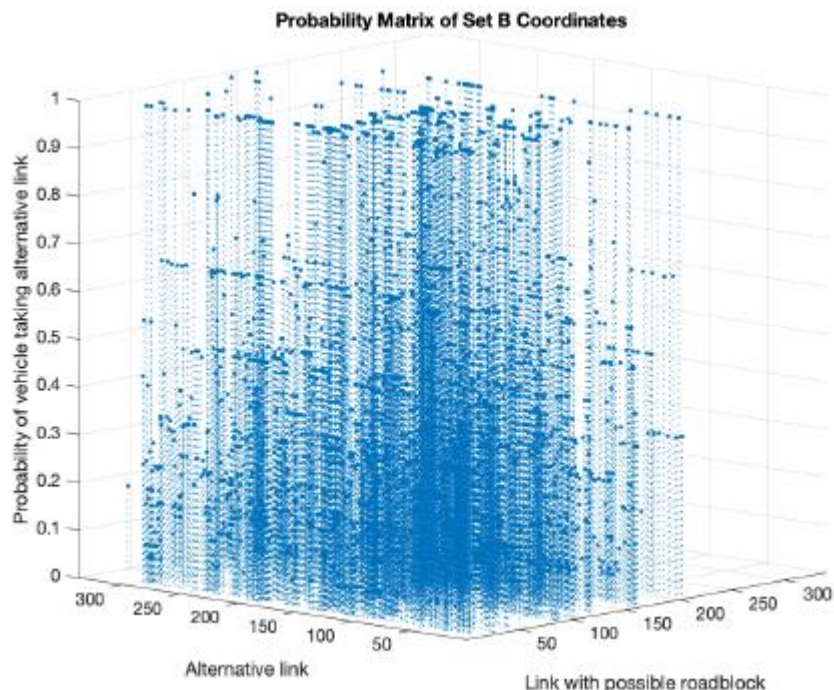
V. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΙΣ

A. Γραφήματα επιρροής

Τα σχήματα 5 και 6 παρουσιάζουν τα γραφήματα επιρροής για τα σύνολα συντεταγμένων A και B, αντίστοιχα. Το γράφημα δείχνει για κάθε δυνητικά αποκλεισμένο δρόμο (άξονας x: Σύνδεση με πιθανό οδόφραγμα) ποια είναι η πιθανότητα (άξονας z: Πιθανότητα) ότι το EV θα αναδρομολογήσει σε άλλους συνδέσμους (άξονας y: Εναλλακτικός σύνδεσμος). Μπορεί να παρατηρηθεί ότι το Σύνολο Συντεταγμένων A έχει ως αποτέλεσμα ένα πιο συγκεντρωμένο διάγραμμα σκέδασης σε σύγκριση με το Σύνολο Συντεταγμένων B, καθώς τα δύο EVSEs βρίσκονται σε στενότερη γεωγραφική εγγύτητα. Με το σύνολο συντεταγμένων B, το γράφημα είναι πιο διασκορπισμένο, καθώς υπάρχουν περισσότερες διαθέσιμες πιθανές διαδρομές.

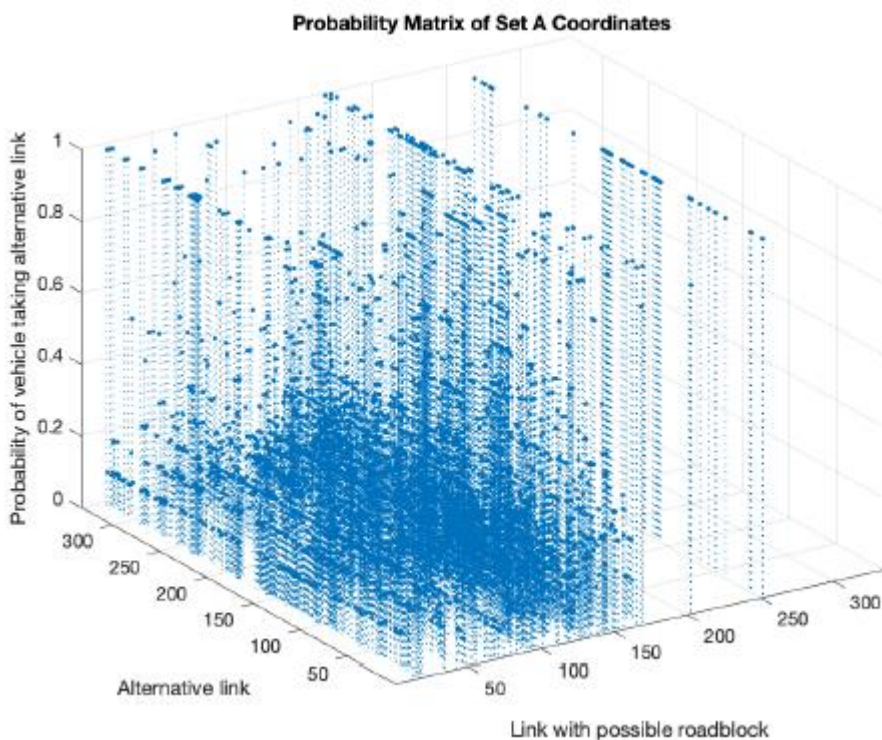


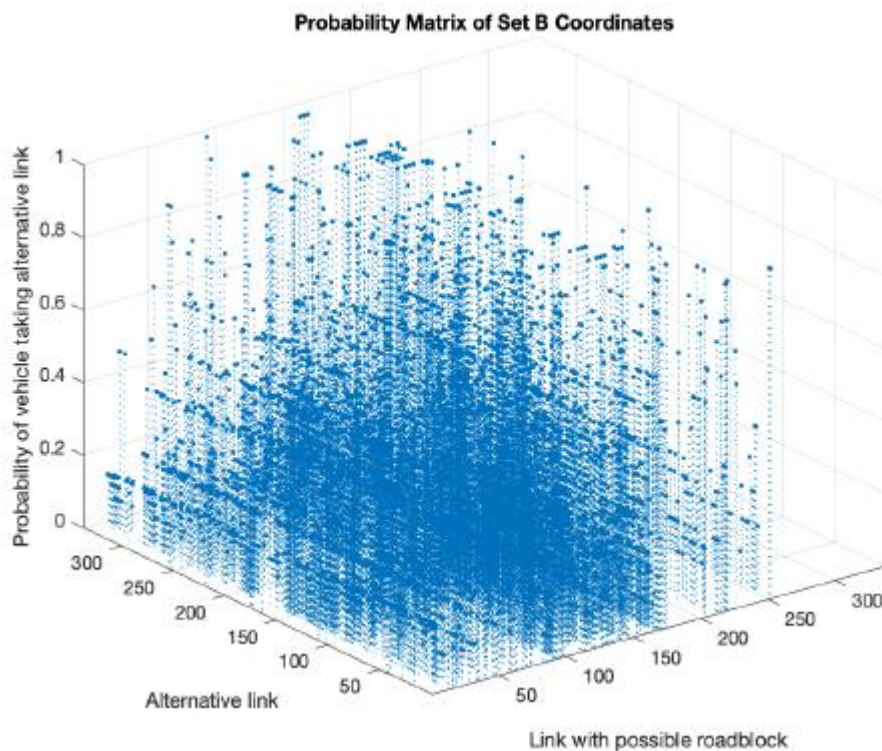
Εικόνα 1.4.5: Γράφημα επιρροής με συντεταγμένες που έχουν οριστεί A.



Εικόνα 1.4.6: Γράφημα επιρροής με συντεταγμένες που έχουν οριστεί Β.

Τα σχήματα 7 και 8 απεικονίζουν γραφήματα επιρροής για τα σύνολα συντεταγμένων Α και Β, όταν το κόστος φόρτισης ενσωματώνεται στο πρόβλημα δρομολόγησης. Όπως φαίνεται από τον πίνακα πιθανοτήτων, υπάρχει σημαντική αλλαγή στα αποτελέσματα. Με τη μία από τις δύο EVSEs να είναι ακριβότερη από την άλλη, τα σχήματα 7 και 8 αρχίζουν να παρουσιάζουν μεγαλύτερη ομαδοποίηση γύρω από συγκεκριμένες περιοχές στο οικόπεδο 3-d. Αυτές οι περιοχές αντιστοιχούν σε διαδρομές που οδηγούν στο φθηνότερο EVSE.





Εικόνα 1.4.8: Γράφημα επιρροής με συντεταγμένες που έχουν οριστεί B με το κόστος φόρτισης.

B. Ιχνηλάτηση συμπεριφοράς ηλεκτρικών οχημάτων

Τα γραφήματα επιρροής δείχνουν ολιστικά την επίδραση των κινήτρων στο σύστημα. Σε αυτήν την υποενότητα, εντοπίζουμε το ταξίδι ενός μεμονωμένου τυχαία επιλεγμένου EV. Αυτό το EV άλλαξε τον προορισμό του EVSE με βάση το κίνητρο φόρτισης. Το EVSE που δεν βρίσκεται σε περιοχή με περιορισμούς ενέργειας φέρει την ένδειξη 0, ενώ το άλλο EVSE, το οποίο δεν βρίσκεται σε περιοχή με περιορισμούς ενέργειας, φέρει την ένδειξη 1. Η προέλευση του οχήματος βρίσκεται στις συντεταγμένες {40.68154, -73.994016}, δηλαδή στην οδό Ένωσης με την οδό Σμιθ. Ο πίνακας I συνοψίζει τη διαδρομή και στις δύο περιπτώσεις. Μπορούμε να δούμε ότι σε πολλές περιπτώσεις το EV άλλαξε τον αρχικό προορισμό του EVSE, ο οποίος είναι πιο κοντά γεωγραφικά, ως απάντηση στο κίνητρο που σχετίζεται με την ενέργεια. Μια πιο προσεκτική ματιά είναι επίσης αυτή που απεικονίζεται στο σχήμα 9.

Πίνακας I. Αποτελέσματα για δείγμα EV χωρίς κίνητρο χρέωσης ενέργειας έναντι κινήτρων

Table I. Results for sample EV without energy charging incentive vs. with incentive

run		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
No Incentive	EVSE	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
Incentive		0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	



Figure 9: OpenStreetMap tile style of Gowanus with coordinate set B depicting the route of a vehicle: (a) in the case of no charging station cost/incentive; and (b) in the case of charging cost/incentive.

Εικόνα 1.4.9: Στυλ πλακιδίου OpenStreetMap του Gowanus με σύνολο συντεταγμένων B που απεικονίζει τη διαδρομή ενός οχήματος: (α) στην περίπτωση που δεν υπάρχει κόστος/κίνητρο σταθμού φόρτισης, και β) στην περίπτωση χρέωσης κόστους/κινήτρου.

VI. ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

Οι πηγαίοι κώδικες του λογισμικού που αναπτύχθηκε σε αυτό το έργο μπορούν να μεταφορτωθούν στη διεύθυνση: <https://github.com/TamerSobhy/EVCharging-Scheduling>.

VII. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Αυτό το έγγραφο αξιολόγησε την αποτελεσματικότητα των κινήτρων κόστους ως μέσο για τον μετριασμό των επιπτώσεων της φόρτισης EV στο ηλεκτρικό δίκτυο. Μια βιβλιογραφική έρευνα διεξήχθη και πραγματοποιήθηκε από 119 Νεοϋορκέζους. Η έρευνα έδειξε ότι η τιμή φόρτισης EV μπορεί να είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για να επηρεαστούν οι αποφάσεις και η κινητικότητα των οδηγών, με το 85% των ερωτηθέντων να επιλέγουν να ταξιδεύουν περισσότερο για ένα φθηνότερο EVSE αντί να κατευθύνονται σε ένα κοντινό EVSE με υψηλότερο κόστος. Η έρευνα έδειξε επίσης ότι οι σημερινοί ιδιοκτήτες EV ενδιαφέρονται περισσότερο για τον αντίκτυπο της φόρτισης EV στο ηλεκτρικό δίκτυο σε σύγκριση με τους ιδιοκτήτες μη EV, με περίπου το 59% των ερωτηθέντων να αναφέρουν τον αντίκτυπο στο ηλεκτρικό δίκτυο ως αποφασιστικό παράγοντα κατά την επιλογή ενός EVSE σε σύγκριση με περίπου 23% για τους ιδιοκτήτες μη EV. Αυτό προϋποθέτει ότι οι πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του δικτύου παρέχονται στους ιδιοκτήτες EV κατά τη λήψη της απόφασης. Η αλληλεξάρτηση μεταξύ του ηλεκτρικού δικτύου και του δικτύου μεταφορών καταδείχθηκε χρησιμοποιώντας μια μελέτη περίπτωσης που επικεντρώθηκε στην περιοχή Gowanus

ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Ιωάννης Τσεπεντζής

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ του Μπρούκλιν. Η περιπτώσιολογική μελέτη κατέδειξε τη χρήση κινήτρων που σχετίζονται με την ενέργεια, ενσωματωμένων στο τυπικό πρόβλημα δρομολόγησης, υποθέτοντας συντονισμό μεταξύ του διαχειριστή του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και του φορέα εκμετάλλευσης του δικτύου μεταφορών. Η μελέτη περίπτωσης έδειξε πώς ορισμένα ηλεκτρικά οχήματα εκτρέπονταν από ένα EVSE που βρίσκεται σε μια ενεργειακά περιορισμένη περιοχή του ηλεκτρικού δικτύου και ανακατευθύνονταν σε ένα άλλο.

Αναγνώριση: Αυτή η εργασία υποστηρίχθηκε από το Διεπιστημονικό Ερευνητικό Κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας στο Πανεπιστήμιο Πετρελαίου και Ορυκτών King Fahd (KFUPM) στο πλαίσιο του έργου INRE2221.

Βιβλιογραφία ενότητας

- [1.1] “Press Releases.” *DOT Press Releases - NYC DOT Releases Plan to Create One of the Largest Municipal Electric Vehicle Charging Networks*, <https://www1.nyc.gov/html/dot/html/pr2021/plan-create-largest-municipal-electricvehicle-charging-networks-september-08-2021.shtml>.
- [1.2] Wallace, Nicholas. “New EVs with the Longest Driving Range Ranked.” *Car and Driver*, 19 Nov. 2021, <https://www.caranddriver.com/shopping-advice/g32634624/ev-longest-driving-range/>.
- [1.3] “Electric vehicle adoption study - new york city.” 17 Dec. 2021
<http://www.nyc.gov/html/planyc/downloads/pdf/publications/electric_vehicle_adoption_study.pdf>.
- [1.4] Groom, Nichola, and Tina Bellon. “EV Rollout Will Require Huge Investments in Strained U.S. Power Grids.” *Reuters*, Thomson Reuters, 5 Mar. 2021, <https://www.reuters.com/article/us-usa-weather-grids-autos-insight/evrollout-will-require-huge-investments-in-strained-u-s-power-grids-idUSKBN2AX18Y>.
- [1.5] Hafez, Omar, and Kankar Bhattacharya. “Correction to ‘Integrating EV Charging Stations as Smart Loads for Demand Response Provisions in Distribution Systems’ [Mar 18 1096-1106].” *IEEE transactions on smart grid* 12.2 (2021): 1829–1829.
- [1.6] Han, Hye-Seung, Eunsung Oh, and Sung-Yong Son. “Study on EV Charging Peak Reduction with V2G Utilizing Idle Charging Stations: The Jeju Island Case.” *Energies* (Basel) 11.7 (2018).
- [1.7] Alinia, Bahram, et al. *Online EV Scheduling Algorithms for Adaptive Charging Networks with Global Peak Constraints*. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9031439>.
- [1.8] Tang, Wanrong & Bi, Suzhi & Jun, Ying & Zhang, Minglong. (2016). Online Charging Scheduling Algorithms of Electric Vehicles in Smart Grid: An Overview. *IEEE Communications Magazine*. 54.10.1109/MCOM.2016.1600346CM.
- [1.9] Chao Luo, Yih-Fang Huang, and Vijay Gupta. “Placement of EV Charging Stations-Balancing Benefits Among Multiple Entities.” *IEEE transactions on smart grid* 8.2 (2017): 759–768.
- [1.10] Chen, Han, Jin Nie, and Bichao Ye. “PSO-Based Siting and Sizing of Electric Vehicle Charging Stations.” *Journal of physics. Conference series* 1346.1 (2019).
- [1.11] A. Mohamed, “A Synthetic Case Study for Analysis of the Rising Interdependency between the Power Grid and E-Mobility,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 58802-58809, April 2019.
- [1.12] A. Mohamed, “On the Rising Interdependency between the Power Grid, ICT Network, and E-Mobility: Modeling and Analysis,” *MDPI Energies*, vol. 12(10), pages 1-17, May 2019.
- [1.13] Available Online at: Smartgrid.cuny.cuny.edu, last accessed: 10/21/2022.
- [1.14] Available Online at: <https://www.here.com/>, last accessed: 10/21/2022.

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Ανάλυση στις κατηγορίες ηλεκτροκίνητων οχημάτων και Σταθμοί φόρτισης

Εισαγωγική παράγραφος του κεφαλαίου.

Οι τρέχουσες κρίσιμες παγκόσμιες ανησυχίες σχετικά με την εξάντληση των ορυκτών καυσίμων και τη ρύπανση του περιβάλλοντος έχουν οδηγήσει σε εξελίξεις στον εξηλεκτισμό των μεταφορών και στις σχετικές τεχνολογίες μπαταριών. Με τη σειρά της, ο επικείμενος αυξανόμενος αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) απαιτεί την ανάπτυξη μιας καλά σχεδιασμένης υποδομής φόρτισης. Ωστόσο, μια ακατάλληλη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης μπορεί να παρεμποδίσει την ομαλή λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου και να είναι ενοχλητική για τους οδηγούς ηλεκτρικών οχημάτων. Η κατασκευή σταθμού φόρτισης είναι πράγματι πολύ σημαντική για την προώθηση των ηλεκτρικών οχημάτων. Η τοποθέτηση των σταθμών φόρτισης πρέπει να λαμβάνει υπόψη το κόστος, τα χαρακτηριστικά του δικτύου διανομής και την προσβασιμότητα των σταθμών φόρτισης ταυτόχρονα. Οι σταθμοί φόρτισης πρέπει να τοποθετούνται στο δρόμο κατά τρόπο ώστε να είναι εύκολα προσβάσιμοι από τους οδηγούς ηλεκτρικών οχημάτων και το ηλεκτρικό δίκτυο να μην είναι υπερφορτωμένο.

Το πλαίσιο βελτιστοποίησης στοχεύει στην ταυτόχρονη μείωση του κόστους, εξασφαλίζοντας επαρκή σταθερότητα δικτύου και εφικτή προσβασιμότητα στους σταθμούς φόρτισης. Η σταθερότητα του δικτύου μετράτε από έναν σύνθετο δείκτη που αποτελείται από τη σταθερότητα τάσης, την αξιοπιστία και την απώλεια ισχύος (δείκτης VRP). Σήμερα εφαρμόζονται διάφορα μοντέλα βέλτιστης θέσης, μερικά από αυτά με ιδιαίτερο ενδιαφέρον αναλύονται παρακάτω.

Η κατανομή της ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων κατά τη διάρκεια της ημέρας βασίζεται στη χρονική στιγμή που το όχημα συνδέεται σε ένα σημείο φόρτισης, το χρονικό διάστημα που παραμένει διασυνδεδεμένο και τη διαθεσιμότητα των υποδομών φόρτισης (φόρτιση στο σπίτι, στο χώρο εργασίας ή σε δημόσιο χώρο). Οι παράγοντες αυτοί καθορίζουν τις μεταβολές στο ημερήσιο προφίλ ζήτησης ενός δικτύου.

Οι ενεργειακές ανάγκες των ηλεκτρικών οχημάτων καθορίζονται από την ημερήσια μετακίνηση τους, δηλαδή τις ημερήσιες αποστάσεις που διανύονται, και την κυκλοφοριακή συμπεριφορά του χρήστη. Επιπρόσθετα, οι τεχνικές προδιαγραφές του στόλου ηλεκτρικών οχημάτων (η τεχνολογία των οχημάτων, η κατανάλωση του ανά χιλιόμετρο κτλ.), και των υποδομών φόρτισης (επίπεδο φόρτισης, απώλειες μεταφοράς ισχύος κτλ.) καθορίζουν επίσης την καμπύλη της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων.

Ως εκ τούτου, στην ενότητα αυτή θα αναπτυχθεί και αναλυθεί μια στοχαστική μέθοδος προσδιορισμού της ζήτησης φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων.

Το σύνολο των παραμέτρων που καθορίζουν την καμπύλη ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να χωριστεί σε δύο υποσύνολα, σύμφωνα με τη φύση της εκάστοτε παραμέτρου, όπως παρουσιάζεται παρακάτω: (πηγή MERGE)

- ✓ Σταθερές παράμετροι:
- Επίπεδο διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων
- Κατηγοριοποίηση των ηλεκτρικών οχημάτων (PHEV, BEV, L7e, M1, N1, N2)
- Χωρητικότητα μπαταρίας
- Τεχνολογίες σταθμών φόρτισης (επίπεδο 1, 2 και 3)
- Διαθεσιμότητα φόρτισης (σπίτι, σπίτι/χώρος εργασίας)
- Απώλειες φόρτισης
- Στρατηγική φόρτισης (Μη ελεγχόμενη, Ελεγχόμενη με διζωνικό τιμολόγιο, Ελεγχόμενη φόρτιση, V2G)

- ✓ Πιθανές παράμετροι:
- Ημερήσια απόσταση που διανύεται
- Συνδεσιμότητα των οχημάτων (ώρα άφιξης/αναχώρησης)

Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να διαχωριστούν σε κατηγορίες ανάλογα με την τεχνολογία, τον αριθμό των τροχών που διαθέτουν και τη χρήση για την οποία προορίζονται.

Όσον αφορά στην τεχνολογία των οχημάτων, διακρίνονται σε :

- Ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας (Battery Electric Vehicles - BEV)
- Ηλεκτρικά οχήματα αυξημένης αυτονομίας (Extended Range Electric Vehicles - EREV)
- Plug-in Υβριδικά Οχήματα (PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicles)

Όσον αφορά στην κλάση τους, διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες, που αναμένεται να είναι κυρίαρχες στις πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων :

- L7e: μικρά οχήματα πόλης
- M1: Επιβατικά οχήματα 4 θέσεων
- N1: Οχήματα για τη μεταφορά αγαθών με βάρος χωρίς φορτίο που δεν ξεπερνά τους 3,5 τόνους
- N2: Οχήματα με βάρος χωρίς φορτίο που κυμαίνεται μεταξύ 3,5 και 12 τόνων πού χρησιμοποιούνται για εξυπηρέτηση εμπορικών αναγκών.

Οι ημερήσιες διανυόμενες αποστάσεις εξαρτώνται κυρίως από τον σκοπό χρήσης των ηλεκτρικών οχημάτων. Για παράδειγμα, τις καθημερινές, τα οχήματα χρησιμοποιούνται κυρίως για εξυπηρέτηση εργασιακών αναγκών, επομένως, το προφίλ των αποστάσεων παρουσιάζει σχεδόν το ίδιο μοτίβο. Αντίθετα, τα σαββατοκύριακα/αργίες, η κινητικότητα των οχημάτων περιορίζεται κατά 25-30%, ενώ παράλληλα αυξάνονται οι διανυόμενες αποστάσεις. (πηγή MERGE).

Η απαιτούμενη περίοδος φόρτισης, είναι μια παράμετρος που καθορίζει την ελάχιστη χρονική περίοδο κατά την οποία το ηλεκτρικό όχημα πρέπει να παραμείνει συνδεδεμένο στο δίκτυο για την πλήρη φόρτιση της μπαταρίας του. Η περίοδος φόρτισης εξαρτάται από την κατανάλωση της μπαταρίας του οχήματος και τη μέγιστη ισχύ φόρτισης των αντίστοιχων υποδομών σύνδεσης.

Διαφορετικά σενάρια φόρτισης προσομοιώνονται ανάλογα με τη διαθεσιμότητα των υποδομών για φόρτιση:

- Φόρτιση μετά την τελευταία διαδρομή (φόρτιση στο σπίτι): Καθώς η υιοθέτηση της ηλεκτροκίνησης στον τομέα μεταφορών παραμένει ακόμη σε αρχικό στάδιο, ο αριθμός σημείων φόρτισης αρχικά θα είναι περιορισμένος. Επομένως, οι περισσότεροι από τους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων θα έχουν τη δυνατότητα να φορτίζουν το όχημά τους αποκλειστικά και μόνο σε οικιακό σταθμό φόρτισης
- Φόρτιση όταν ένα (ιδιωτικό ή δημόσιο) σημείο φόρτισης είναι διαθέσιμο: Στο σενάριο αυτό, ο ιδιοκτήτης ηλεκτρικού οχήματος δύναται να φορτίσει το όχημά του όχι μόνο στο σπίτι του αλλά και σε διαφορετικά σημεία, όπως για παράδειγμα στον χώρο εργασίας του. Το συγκεκριμένο σενάριο απαιτεί την εγκατάσταση ενός σημαντικού αριθμού σημείων φόρτισης σε διάφορες δημόσιες και ιδιωτικές περιοχές. Καθώς δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί ο ακριβής αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων που θα φορτίζουν στο σπίτι ή στον χώρο εργασίας, υιοθετούνται διαφορετικά μοντέλα φόρτισης.
- Φόρτιση όταν η κατάσταση φόρτισης του συσσωρευτή είναι μικρότερη από ένα επιθυμητό επίπεδο: Η μέση απόσταση που μπορεί να διανύσει ένα ηλεκτρικό όχημα είναι μεγαλύτερη από 100km, σύμφωνα με τις υπάρχουσες τεχνολογίες. Όταν η ημερήσια διανυόμενη απόσταση είναι περιορισμένη, για παράδειγμα μικρότερη από 30km κυρίως σε αστικές περιοχές, ο ιδιοκτήτης του ηλεκτρικού οχήματος πιθανώς να μη φορτίζει τη μπαταρία του οχήματος καθημερινά, παρά μόνο όταν αυτός κρίνει ότι είναι αναγκαίο. Στο σενάριο αυτό,

υποθέτουμε ότι ο ιδιοκτήτης του ηλεκτρικού οχήματος θα φορτίσει το όχημά του όταν η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας είναι μικρότερη από ένα κατώτατο όριο(40%).

Η τεχνολογία ενός σταθμού φόρτισης καθορίζει τη μέγιστη επιτρεπόμενη ανταλλαγή ισχύος μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων και του ηλεκτρικού δικτύου, η οποία εξαρτάται από την ονομαστική ισχύ των υποδομών φόρτισης. Το επίπεδο φόρτισης επηρεάζει, επίσης, τη διάρκεια ενός κύκλου για την πλήρη φόρτιση της μπαταρίας.

Συνήθως έχουμε τρεις διαφορετικούς τρόπους φόρτισης:

- απλή (επίπεδο 1),
- γρήγορη (επίπεδο 2) και
- ταχεία φόρτιση (επίπεδο 3 + επίπεδο 4)

σύμφωνα με τα πρότυπα IEC 62196-1 και IEC 61851-1.

Σ' ότι αφορά τις απώλειες φόρτισης, η παράμετρος αυτή προσομοιώνει τις απώλειες ισχύος για τη μετατροπή της εναλλασσόμενης ισχύος του δικτύου σε συνεχή για τη φόρτιση των συσσωρευτών των ηλεκτρικών οχημάτων, λόγω της λειτουργίας των ηλεκτρονικών ισχύος. Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας, οι απώλειες αυτές θεωρούνται ίσες με 10-15% της συνολικής ενεργειακής ζήτησης.

Όσον αφορά στην ημερήσια διανύμενη απόσταση των ηλεκτρικών οχημάτων, το μέσο Ευρωπαϊκό προφίλ διανύμενης απόστασης υιοθετήθηκε, όπως αυτό προέκυψε από την ανάλυση του Ευρωπαϊκού προγράμματος MERGE [15]. Το υψηλότερο ποσοστό οδηγών (95%) διανύει λιγότερο από 100km ημερησίως. Η μέση τιμή της εκθετικής συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας για το 95%του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων θεωρείται 35km τις καθημερινές και 46km τα Σαββατοκύριακα. Το υπολειπόμενο 5% του στόλου των οχημάτων χαρακτηρίζεται από μεγάλες διανυόμενες αποστάσεις, ωστόσο η επίδραση τους στο συνολικό προφίλ ζήτησης της φόρτισης δεν είναι σημαντική. (Πηγή MERGE 1,15,20).

Η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας εισάγει ένα επιπρόσθετο φορτίο σε αυτά το οποίο τροποποιεί την καμπύλη φορτίου των δικτύων. Η βαθμός επίδρασης στη καμπύλη φορτίου εξαρτάται από τα εκάστοτε σενάρια διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων. Η μεταβολή της καμπύλης του φορτίου του δικτύου επηρεάζει τον τρόπο λειτουργίας και διαχείρισης του δικτύου. Η μελέτη της επίδρασης των ηλεκτρικών οχημάτων αφορά κυρίως στα δίκτυα διανομής Μ.Τ. και πιο συγκεκριμένα στη μεταβολή των απωλειών του δικτύου, του προφίλ της τάσης (πτώση και διακύμανση τάσεως), στη φόρτιση των γραμμών/μετασχηματιστών κτλ. Η αποτύπωση των επιπτώσεων στη λειτουργία των δικτύων διανομής προσφέρει χρήσιμα συμπεράσματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη τόσο κατά τον σχεδιασμό στρατηγικών διαχείρισης τους όσο και κατά τον παραγραμματισμό λειτουργίας και επέκτασης των δικτύων. (Αναφορές [16],[17],[18],[19],[20]).

2.1 Παράμετροι προσδιορισμού της καμπύλης φορτίου των Ηλεκτρικών Οχημάτων

Κείμενο Για τον προσδιορισμό της καμπύλης φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων πρέπει να καθοριστούν οι παράμετροι που την επηρεάζουν. Οι παράμετροι αυτοί μπορούν να χωριστούν σε ντετερμινιστικές και στοχαστικές παράμετρος,

- Ντετερμινιστικές παράμετροι:

- ο Το μέγεθος του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων.
- ο Ο τύπος των ηλεκτρικών οχημάτων (PHEV,BEV, EREV)
- ο Το μέγεθος της μπαταρίας (kWh)

- ο Η τεχνολογία φόρτισης που χρησιμοποιείτε (τύπου 1,2 και 3).
- ο Τα διαθέσιμα σημεία φόρτισης.
- ο Τις απώλειες ισχύος για τη μετατροπή της εναλλασσόμενης ισχύος του δικτύου σε συνεχή για τη φόρτιση των συσσωρευτών των ηλεκτρικών οχημάτων, λόγω της λειτουργίας των ηλεκτρονικών ισχύος. Θεωρούνται ίσες με 10-15% της συνολικής ενεργειακής ζήτησης.
- ο Την στρατηγική φόρτισης που ακολουθείτε,
 - Στρατηγική Α, Φόρτιση στο σπίτι μετά την τελευταία διαδρομή: Αρχικά λόγω του μικρού αριθμού ηλεκτρικών οχημάτων, ο αριθμός των σημείων φόρτισης θα περιοριστεί στους οικιακούς φορτιστές. Έτσι, οι περισσότεροι από τους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων θα φορτίζουν το όχημά τους αποκλειστικά και μόνο στον οικιακό φορτιστή τους.
 - Στρατηγική Β, Φόρτιση με διζωνικό τιμολόγιο: Σε αυτό το σενάριο φόρτισης θεωρούμε ότι για την μετατόπιση των φορτίσεων των EVs από τις ώρες αιχμής του δικτύου έχει αναπτυχτεί μια τιμολογιακή πολιτική χαμηλότερης χρέωσης για ώρες χαμηλής ζήτησης και υψηλότερης χρέωσης για ώρες υψηλής ζήτησης.
 - Στρατηγική Γ, Φόρτιση με χρήση μεθόδου valley - filling: Σε αυτό το σενάριο φόρτισης θεωρούμε ότι η μετατόπιση των φορτίσεων των EVs από τις ώρες αιχμής του δικτύου γίνεται κατάλληλα και με ομοιόμορφο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η ταυτόχρονη εξομάλυνση των διακυμάνσεων της συνολικής ζήτησης του δικτύου.

- Στοχαστικές Παράμετροι:

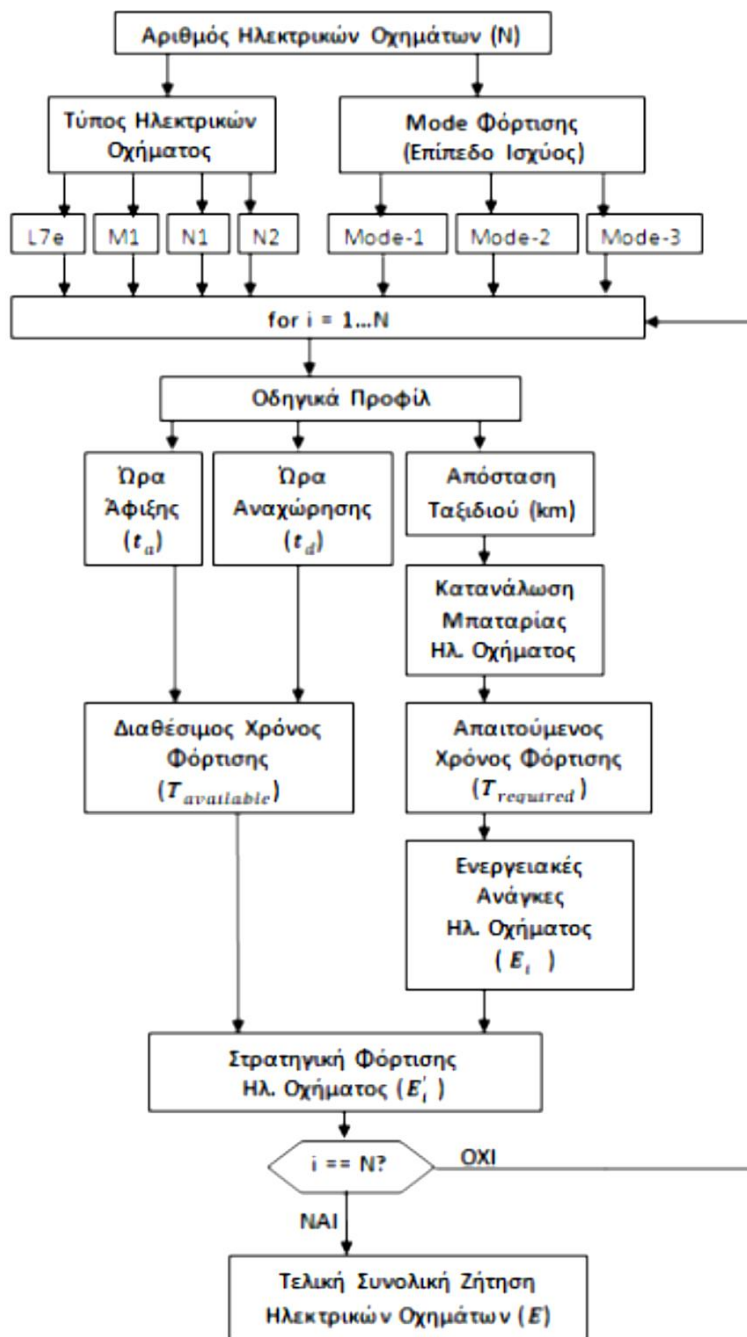
- ο Τα ημερήσια δρομολόγια που διανύει το κάθε ηλεκτρικό όχημα.

Ημερήσια διανυόμενα δρομολόγια, αυτή η στοχαστική παράμετρος περιγράφει την απόσταση που διανύει ένα ηλεκτρικό όχημα μεταξύ δυο φορτίσεων. Το προφίλ διαφοροποιείτε σε,

- ο Το προφίλ εργάσιμων ημερών, όπου τα οχήματα χρησιμοποιούνται επί το πλείστον για την εύκολη και γρήγορη πρόσβαση των χρηστών στο εργασιακό τους περιβάλλον και
- ο Το προφίλ Σαββατοκύριακου, όπου τα οχήματα χρησιμοποιούνται για τις εξόδους των χρηστών.

2.2 Αλγόριθμος Προσδιορισμού Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων

Στην εικόνα 2.1 παρουσιάζεται ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε για τον προσδιορισμό της ημερήσιας φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Ο αλγόριθμος αρχικά κάνει πρόβλεψη των ενεργειακών αναγκών του i-οστού οχήματος, λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν λεπτομερώς στην προηγούμενη ενότητα και δημιουργώντας ένα αρχικό προφίλ. Στην συνέχεια ανάλογα με την στρατηγική που θα επιλέξουμε (Α, Β, Γ) δημιουργείτε το τελικό προφίλ ζήτησης του οχήματος. Ο αλγόριθμος επιλύεται για κάθε όχημα και στο τέλος μας δίνει την αθροιστική ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων (η οποία εξαρτάται άμεσα από την στρατηγική φόρτισης). Η απαραίτητη χρονική διάρκεια για την πλήρη φόρτιση της μπαταρίας εξαρτάται από την διανυόμενη απόσταση και την κατανάλωση του οχήματος. Από την άλλη, το διαθέσιμο χρονικό διάστημα για την φόρτιση ενός ηλεκτρικού οχήματος καθορίζεται από την χρονική στιγμή αναχώρησης του. Τα ηλεκτρικά οχήματα παραμένουν περισσότερο από 90% της ημέρας σταθμευμένα. Ως εκ τούτου, το διαθέσιμο χρονικό περιθώριο για την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι αρκετό για να καλυφθούν πλήρως οι ενεργειακές ανάγκες μετακίνησης τους. Η μετατόπιση της φόρτισης ενός ηλεκτρικού οχήματος εντός του διαθέσιμου χρονικού περιθωρίου καθορίζεται από την υιοθετούμενη στρατηγική φόρτισης.



Εικόνα 2.1 – Αλγόριθμος προσδιορισμού φόρτισης στόλου Ηλεκτρικών Οχημάτων ανάλογα με την στρατηγική φόρτισης.

Με βάση την ανάλυση του ευρωπαϊκού προγράμματος MERGE προέκυψαν για την ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα τα εξής στοιχεία,

Το μεγαλύτερο ποσοστό των οδηγών αναμένετε να φορτίζει το ηλεκτρικό του όχημα αμέσως μόλις επιστρέψει στο σπίτι. Από την ανάλυση προέκυψε για την ώρα επιστροφής μια μέση τιμή 20:00 με τυπική απόκλιση ± 1 ώρα.

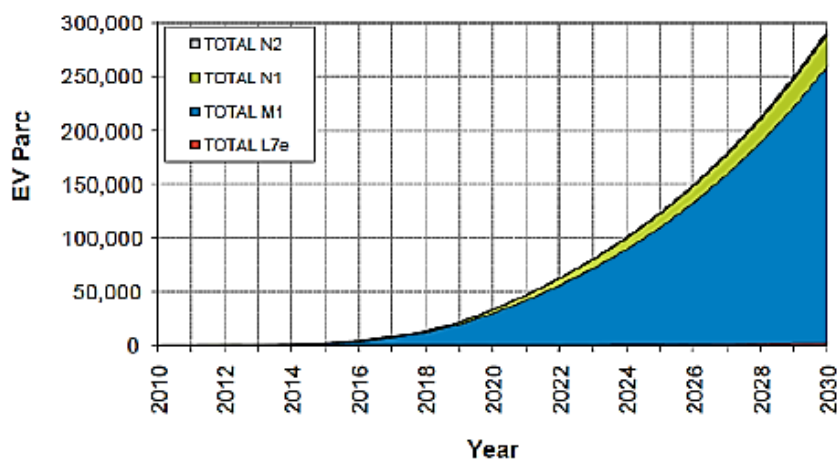
2.2.1 MERGE (Ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα)

Στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος MERGE [2] πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις σχετικά με τα προβλεπόμενα ποσοστά διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων για διαφορετικές χώρες της ΕΕ, μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα. Σύμφωνα με την έρευνα αυτή, τρία σενάρια διείσδυσης αποτυπώθηκαν:

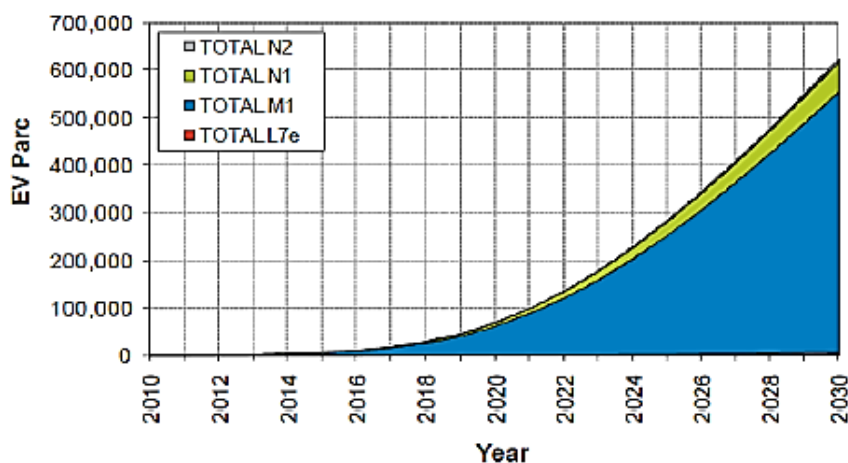
- Σενάριο 1 - *Ρεαλιστικό*: Το σενάριο που είναι πιο πιθανό να πραγματοποιηθεί
- Σενάριο 2 - *Αισιόδοξο*: Πιο αισιόδοξο από αυτό που αναμένεται πραγματικά να συμβεί
- Σενάριο 3 – *Υπεραισιόδοξο*: Χαρακτηρίζεται από μία πάρα πολύ μεγάλη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω σενάρια και για λόγους προσομοίωσης, τρία σενάρια διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων εξετάζονται στο κεφάλαιο αυτό (Εικόνα 2-2):

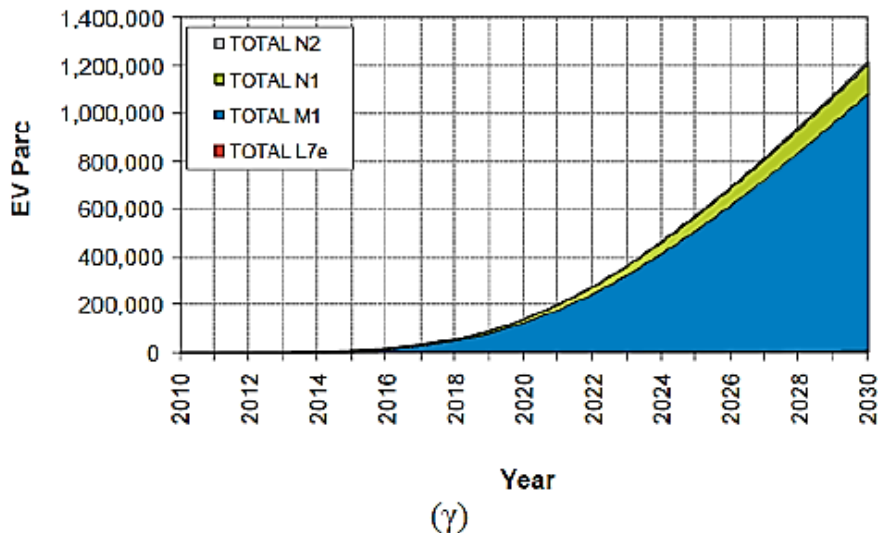
- Σενάριο 1: 34.000 ηλεκτρικά οχήματα
- Σενάριο 2: 70.000 ηλεκτρικά οχήματα
- Σενάριο 3: 142.000 ηλεκτρικά οχήματα



(α)



(β)



Εικόνα 2-2 Σενάρια διεύθυνσης Ηλεκτρικών Οχημάτων για την Ελλάδα: (α) Ρεαλιστικό σενάριο, (β) Αισιόδοξο σενάριο, (γ) Υπεραισιόδοξο σενάριο (πηγή: MERGE [2]).

2.2.2 Επίδραση της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στην καμπύλη ζήτησης του συστήματος

Η ώρα επιστροφής των οδηγών μετά την τελευταία διαδρομή της ημέρας, παρέχει ιδιαίτερα χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τη διαθεσιμότητα φόρτισης, ειδικά στην περίπτωση της μη ελεγχόμενης οικιακής φόρτισης. Αναμένεται ότι οι περισσότεροι οδηγοί θα φορτίζουν το ηλεκτρικό όχημά τους αμέσως μόλις επιστρέψουν στο σπίτι, μετά την τελευταία ημερήσια διαδρομή τους, χωρίς να αξιοποιούν τη δυνατότητα χαμηλότερων χρεώσεων ενέργειας μέσω διζωνικού τιμολογίου. Η ώρα επιστροφής από την τελευταία διαδρομή της ημέρας ακολουθεί το προφίλ που παρουσιάζεται στην Εικόνα 2-3 και βασίζεται στην έρευνα που έγινε (μέσω ερωτηματολογίου) στην Ελλάδα στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος MERGE [15] Για λόγους προσομοίωσης, το στατιστικό προφίλ στην Εικόνα 2-3 προσεγγίζεται από τις κανονικές κατανομές που απεικονίζονται στην Εικόνα 2-4. Για παράδειγμα η κατανομή της ώρας άφιξης για τις καθημερινές είναι μια κανονική κατανομή με μέση τιμή 20:00 και με τυπική απόκλιση μια ώρα.

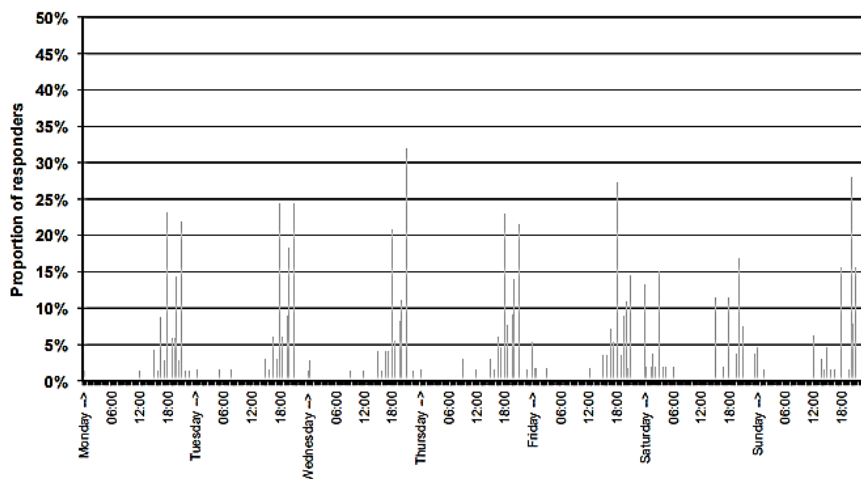
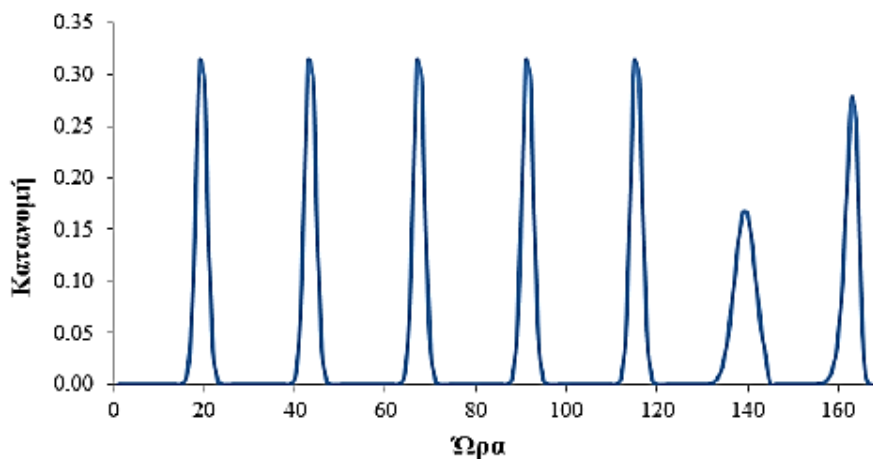


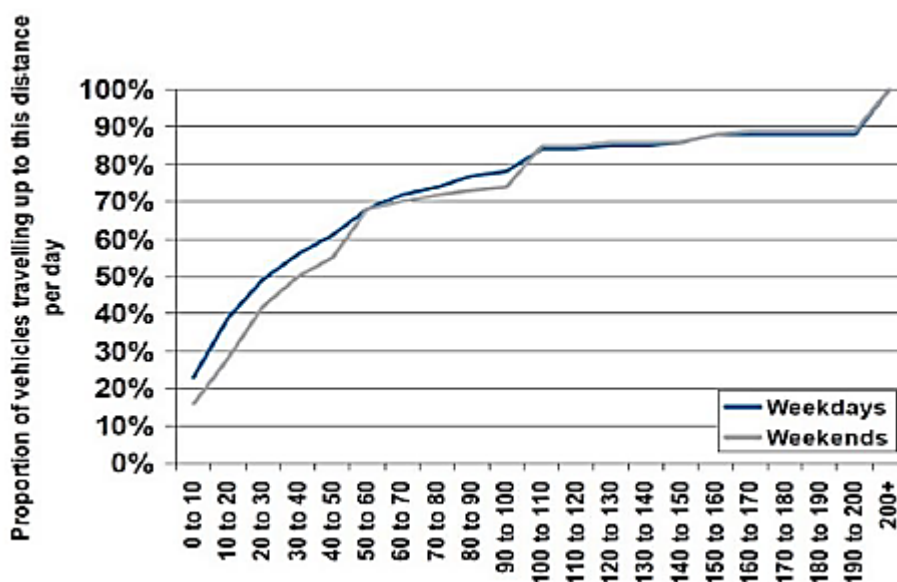
Figure 104 – Profile of time of return from last journey of the day, Greece

Εικόνα 2.3 - Προφίλ χρονικής στιγμής επιστροφής για την Ελλάδα (πηγή: MERGE [15])

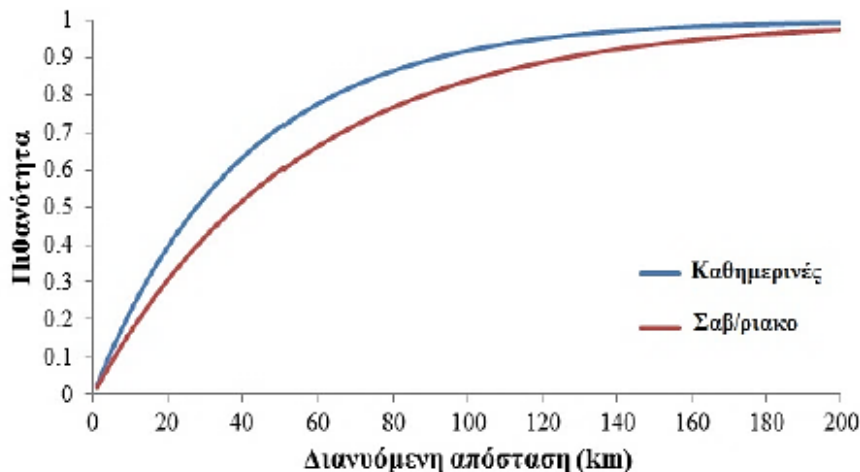


Εικόνα 2-4 Κατανομή της ώρας επιστροφής από την τελευταία διαδρομή της ημέρας

Όσον αφορά στην ημερήσια διανύμενη απόσταση των ηλεκτρικών οχημάτων, το μέσο Ευρωπαϊκό προφίλ διανύμενης απόστασης υιοθετήθηκε, όπως αυτό προέκυψε από την ανάλυση του Ευρωπαϊκού προγράμματος MERGE [15]. Η Εικόνα 2-6 απεικονίζει την αντίστοιχη αθροιστική συνάρτηση πιθανότητας για το μήκος της ημερήσιας διανύμενης απόστασης που υιοθετήθηκε για λόγου προσομοίωσης. Το υψηλότερο ποσοστό οδηγών (95%) διανύει λιγότερο από 100km ημερησίως. Η μέση τιμή της εκθετικής συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας για το 95% του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων θεωρείται 35km τις καθημερινές και 46km τα Σαββατοκύριακα. Το υπολειπόμενο 5% του στόλου των οχημάτων χαρακτηρίζεται από μεγάλες διανυόμενες αποστάσεις, ωστόσο η επίδραση τους στο συνολικό προφίλ ζήτησης της φόρτισης δεν είναι σημαντική.



Εικόνα 2-5 Μέσο Ευρωπαϊκό προφίλ διανυόμενων αποστάσεων ανά ημέρα (πηγή: MERGE [15])

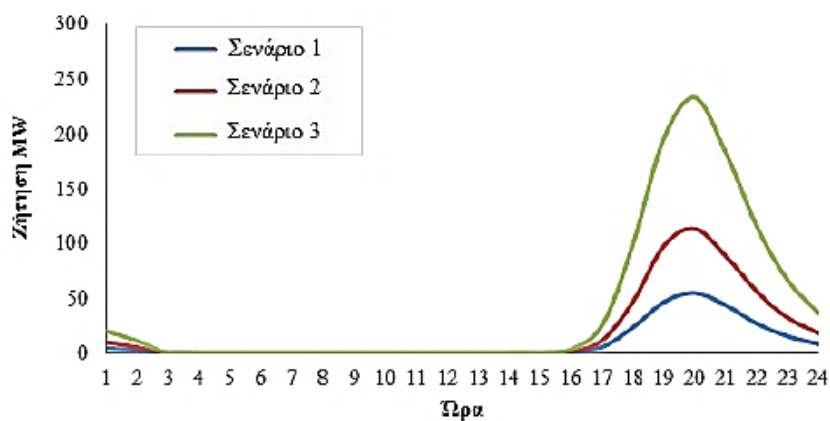


Εικόνα 2-6 Αποστάσεις που διανύονται κάθε μέρα – Καθημερινές ημέρες και Σαββατοκύριακα

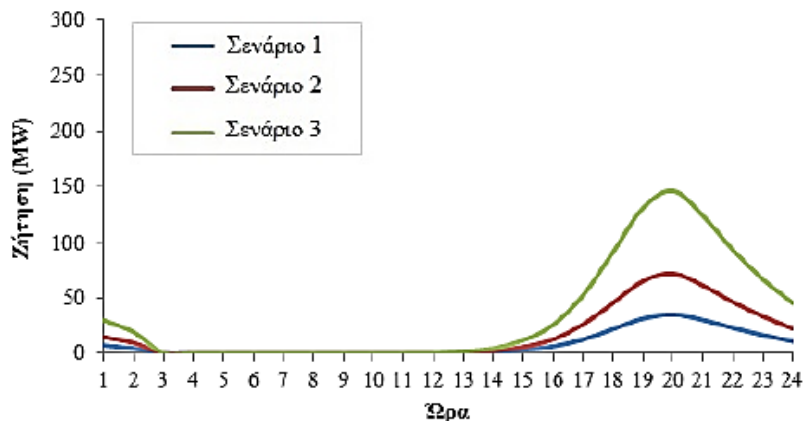
2.2.3 Μη ελεγχόμενη φόρτιση

Η μη ελεγχόμενη φόρτιση αναφέρεται στη σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων σε οικιακό ρευματοδότη, μετά τη τελευταία διαδρομή που πραγματοποιεί ο ιδιοκτήτης του οχήματος κατά τη διάρκεια της ημέρας, και την ταυτόχρονη έναρξη της φόρτισης στη μέγιστη δυνατή ισχύ. Το ημερήσιο προφίλ των ενεργειακών αναγκών των ηλεκτρικών οχημάτων στην περίπτωση της μη ελεγχόμενης φόρτισης απεικονίζεται στην Εικόνα 2-7, για διαφορετικά σενάρια διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων. Όπως είναι αναμενόμενο, η αιχμή του προφίλ ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων αυξάνει καθώς αυξάνεται ο αριθμός τους. Στο 1ο σενάριο (34.000 οχήματα), οι συνολικές ενεργειακές ανάγκες φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων είναι ίσες με 236MWh και η αιχμή ζήτηση τους είναι ίση περίπου με 55MW. Στο 2ο σενάριο (70.000 οχήματα), ο στόλος των ηλεκτρικών οχημάτων σχεδόν διπλασιάζεται, συγκριτικά με το 1ο σενάριο, με αποτέλεσμα να διπλασιάζεται η αιχμή ζήτησης τους (113MW) καθώς και οι ενεργειακές τους ανάγκες (485MWh). Αντίστοιχα, στο 3ο σενάριο (142.000 οχήματα), η αύξηση της διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων αυξάνει την αιχμή ζήτησης (233MW) και τις ενεργειακές ανάγκες φόρτισης (995MWh).

Παρόμοια είναι τα συμπεράσματα για το προφίλ ζήτησης των οχημάτων τα Σαββατοκύριακα (αργίες). Ενδεικτικά αποτελέσματα από το ημερήσιο προφίλ ζήτησης απεικονίζονται στην Εικόνα 2-8. Οι ενεργειακές ανάγκες των ηλεκτρικών οχημάτων για κάθε σενάριο είναι 204MWh, 419MWh και 846MWh, αντίστοιχα.



Εικόνα 2-7 Ημερήσιο προφίλ ζήτησης ηλεκτρικών οχημάτων - μη ελεγχόμενη φόρτιση (καθημερινή).

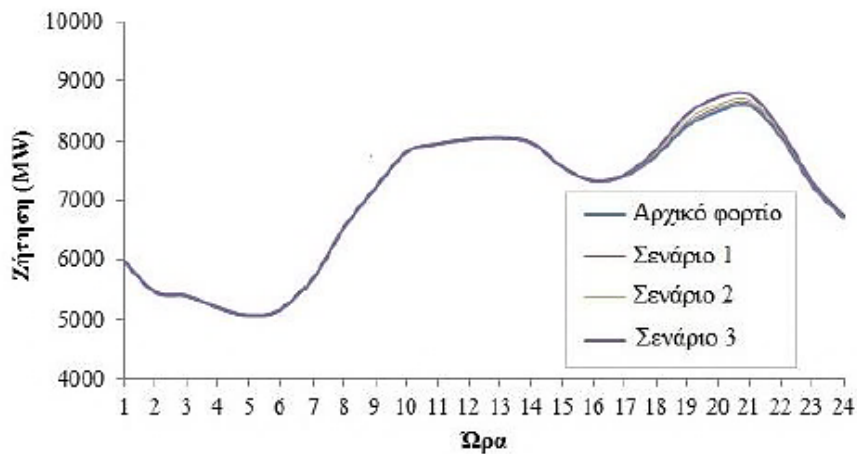


Εικόνα 2-8 Ημερήσιο προφίλ ζήτησης ηλεκτρικών οχημάτων - μη ελεγχόμενη φόρτιση (Σαβ/ριακο)

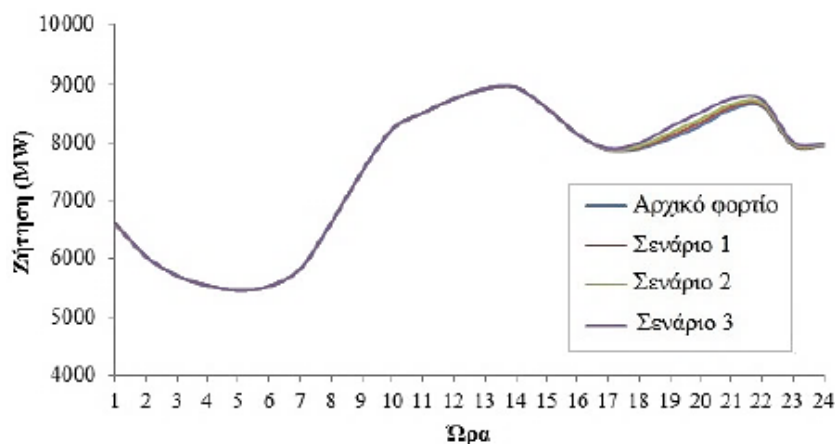
Στην Εικόνα 2-9 παρουσιάζεται η τροποποιημένη ημερήσια καμπύλη φορτίου του Ελληνικού συστήματος (χειμώνας και καλοκαίρι) για διαφορετικά σενάρια διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων, για την περίπτωση της μη ελεγχόμενης φόρτισης. Είναι προφανές ότι, για μεγαλύτερα ποσοστά διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων, η επίδραση του επιπρόσθετου φορτίου φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στην καμπύλη φορτίου του συστήματος είναι εντονότερη. Είναι αξιοσημείωτο ότι η ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων στη μη ελεγχόμενη φόρτιση συμπίπτει με την περίοδο υψηλής κατανάλωσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της αιχμής ζήτησης του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη χειμερινή περίοδο. Πιο συγκριμένα, η ποσοστιαία αύξηση της αιχμής του δικτύου για κάθε σενάριο είναι 0,51%, 1,02% και 2,13%, αντίστοιχα. Το επιπρόσθετο φορτίο εξ αιτίας της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, συγκριτικά με το φορτίο του δικτύου, δεν είναι μεγάλο, ωστόσο συμπίπτει με την περίοδο υψηλής κατανάλωσης του δικτύου επιδεινώνοντας την επιβάρυνση των δικτύων τις ώρες αιχμής.

Η Εικόνα 2-9(β) απεικονίζει την τροποποιημένη καμπύλη ζήτησης για μια θερινή ημέρα εξετάζοντας διαφορετικά σενάρια διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων. Το καλοκαίρι, η αιχμή του φορτίου παρουσιάζεται το μεσημέρι, την ώρα που τα ηλεκτρικά οχήματα είναι σταθμευμένα στους χώρους εργασίας και επομένως δεν φορτίζονται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην αυξάνεται η αιχμή του φορτίου του συστήματος λόγω φόρτισης των οχημάτων, ωστόσο, τις βραδινές ώρες παρατηρείται μία αύξηση της ζήτησης.

Τα παραπάνω συμπεράσματα είναι εμφανή και από τη μελέτη της επίδρασης της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στην ετήσια καμπύλη του Ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Η Εικόνα 2-10 απεικονίζει την τροποποιημένη ετήσια καμπύλη φορτίου του συστήματος ενέργειας λαμβάνοντας υπόψη το επιπρόσθετο φορτίο φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων (καθημερινές και Σαββατοκύριακα/αργίες) για διαφορετικά σενάρια διείσδυσης. Η επίδραση της ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων στην καμπύλη φορτίου του συστήματος είναι περιορισμένη καθώς μικρός σχετικά αριθμός οχημάτων θεωρείται σε κάθε σενάριο διείσδυσης. Ωστόσο, η επίδραση γίνεται αισθητή κατά τις ώρες αιχμής της χειμερινής περιόδου.

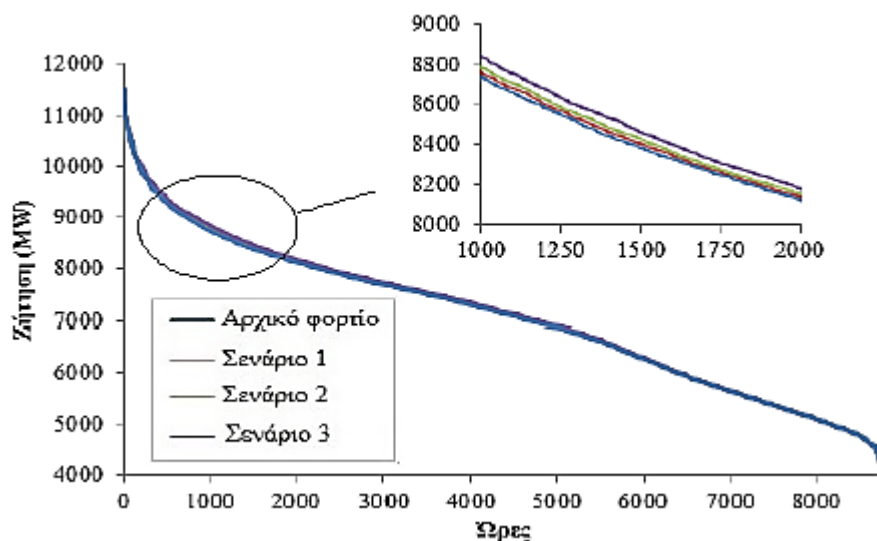


(α)



(β)

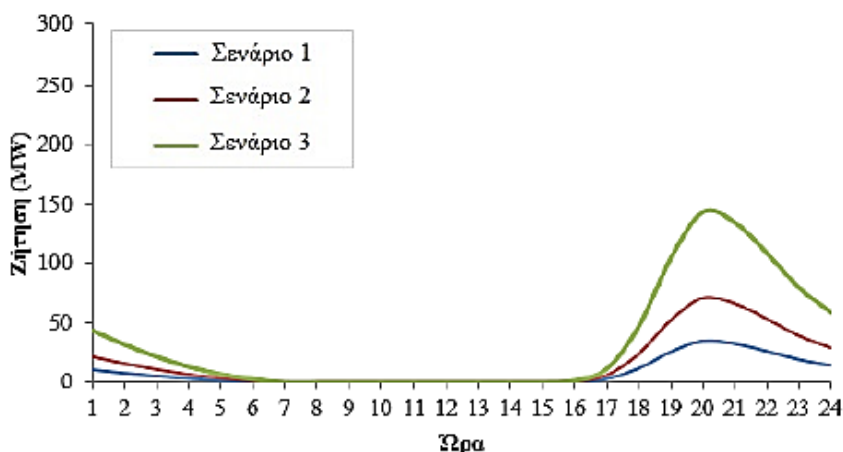
Εικόνα 2-9 Τροποποιημένη ημερήσια καμπύλη φορτίου του Ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας – μη ελεγχόμενη φόρτιση: (α) χειμώνας και (β) καλοκαίρι



Εικόνα 2-10 Ετήσια καμπύλη φορτίου του Ελληνικού συστήματος - μη ελεγχόμενη φόρτιση

Μη ελεγχόμενη φόρτιση με κριτήριο το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας

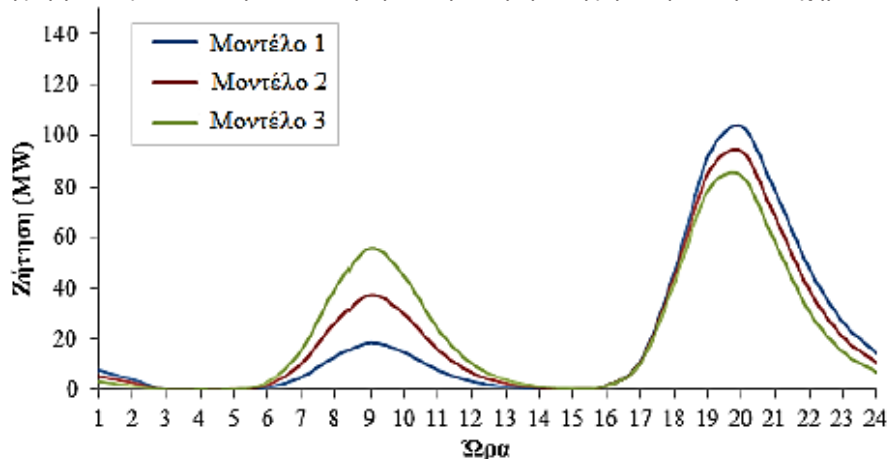
Ένα μεγάλο ποσοστό του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων αξιοποιεί ένα μικρό μέρος της χωρητικότητας της μπαταρίας του για να εξυπηρετήσει τις ενεργειακές ανάγκες των καθημερινών μετακινήσεων του. Επομένως, είναι σκόπιμο να εξετασθεί το σενάριο όπου οι ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων φορτίζουν το όχημά τους μόνο όταν η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας είναι μικρότερη από ένα κατώτατο όριο. Στη συγκεκριμένη μελέτη, το όριο αυτό ισούται με 40%. Η Εικόνα 2-11 παρουσιάζει το ημερήσιο προφίλ ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων για τα τρία σενάρια διείσδυσης τους. Στην περίπτωση αυτή, η αιχμή ζήτησης της φόρτισης είναι μειωμένη κατά περίπου 40%, συγκριτικά με την αντίστοιχη της απλής μη ελεγχόμενης φόρτισης, και αντίστοιχα η απαιτούμενη ενέργεια φόρτισης είναι μειωμένη κατά περίπου 18%.



Εικόνα 2-11 Ημερήσιο προφίλ ζήτησης ηλεκτρικών οχημάτων - μη ελεγχόμενη φόρτιση με κριτήριο το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών

Μη ελεγχόμενη φόρτιση – Δυνατότητα φόρτισης στο χώρο εργασίας

Στις προηγούμενες προσεγγίσεις της μη ελεγχόμενης φόρτισης, είχε γίνει η υπόθεση της δυνατότητας μόνο για οικιακή φόρτιση, δηλαδή ο ιδιοκτήτης του ηλεκτρικού οχήματος έχει τη δυνατότητα να φορτίζει το όχημά του μόνο όταν επιστρέφει στο σπίτι του. Στο νέο σενάριο μη ελεγχόμενης φόρτισης που θα εξεταστεί στην ενότητα αυτή, ο ιδιοκτήτης μπορεί να φορτίσει το όχημά του και σε χώρους εκτός σπιτιού, για παράδειγμα στον χώρο εργασίας. Η Εικόνα 2-12 απεικονίζει το ημερήσιο προφίλ ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων θεωρώντας το 2ο σενάριο διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων (70.000 οχήματα) και εξετάζοντας τα τρία μοντέλα που περιγράφουν τα διαφορετικά ποσοστά φόρτισης στο σπίτι και στον χώρο εργασίας. Η δυνατότητα φόρτισης στην εργασία έχει ως αποτέλεσμα ένα μέρος των ενεργειακών αναγκών των οχημάτων να εξυπηρετείται τις πρωινές ώρες που η κατανάλωση του δικτύου είναι σχετικά χαμηλή. Ως εκ τούτου, η ζήτηση που πρέπει να εξυπηρετηθεί από την οικιακή φόρτιση είναι μικρότερη συμβάλλοντας στη μείωση της αιχμής ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων τις βράδυνες ώρες.



Εικόνα 2-12 Ημερήσιο προφίλ ζήτησης ηλεκτρικών οχημάτων - μη ελεγχόμενη φόρτιση, δυνατότητα φόρτισης στο σπίτι/εργασία (70.000 ηλεκτρικά οχήματα)

Οι συνολικές ενεργειακές ανάγκες φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων για τα τρία μοντέλα φόρτισης είναι 501MWh, 517MWh και 533MWh, αντίστοιχα. Αυτές οι ενεργειακές απαιτήσεις είναι ελαφρώς αυξημένες συγκριτικά με τις αντίστοιχες στην περίπτωση της μη ελεγχόμενης, οικιακής φόρτισης. Αυτό οφείλεται στη φόρτιση των Plug-in Υβριδικών Οχημάτων (PHEV), τα οποία τώρα έχουν τη δυνατότητα περαιτέρω χρήσης της μπαταρίας τους κατά τη διάρκεια της ημέρας μιας και αυτή φορτίζεται πλήρως τις πρωινές ώρες στον χώρο εργασίας.

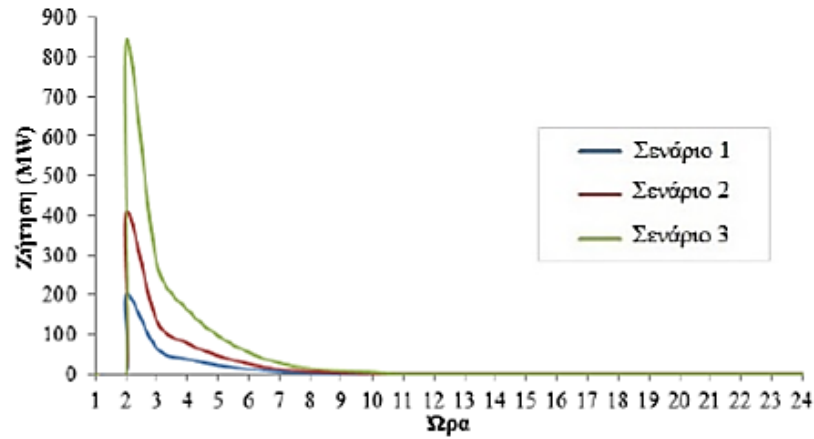
2.2.4 Ελεγχόμενη Φόρτιση μέσω διζωνικού τιμολογίου

Ο σκοπός της χρήσης διζωνικού τιμολογίου είναι η μεταφορά ενός μέρους της ζήτησης από τις ώρες αιχμής σε ώρες όπου η κατανάλωση είναι σχετικά χαμηλή. Εάν υιοθετηθεί η εξής προσέγγιση τιμολόγησης:

- ✓ Χειμερινή περίοδος (1/11 – 30/4): οι ώρες χαμηλής χρέωσης είναι μεταξύ 02:00 και 08:00 για το βράδυ και μεταξύ 15:30 και 17:30 για το μεσημέρι.
- ✓ Καλοκαιρινή περίοδο (1/5 – 30/10): οι ώρες χαμηλής χρέωσης είναι μεταξύ 23:00 και 07:00.

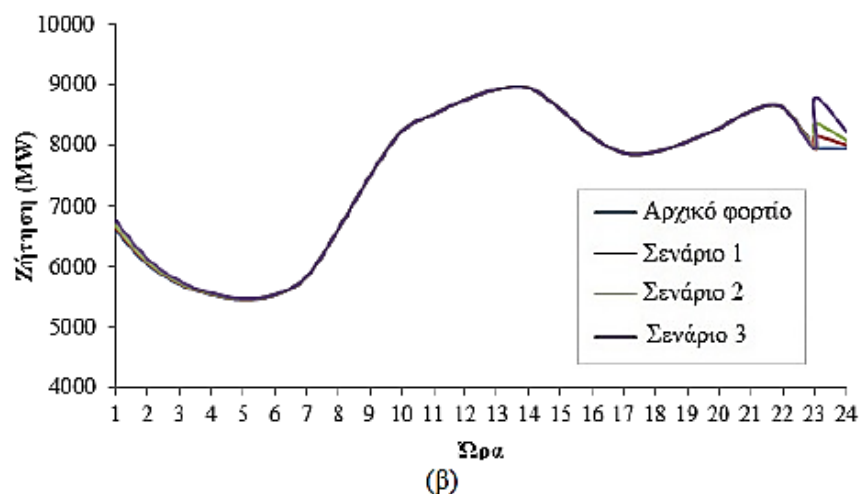
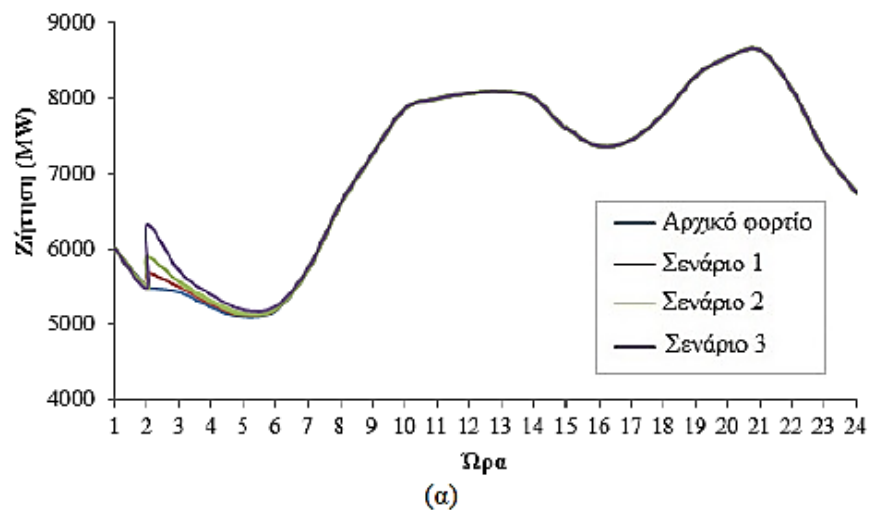
Η Εικόνα 2-13 απεικονίζει το ημερήσιο προφίλ ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων, μετά την εφαρμογή της ελεγχόμενης φόρτισης με διζωνικό τιμολόγιο, για διαφορετικά σενάρια διείσδυσης τους. Η αιχμή της ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων για τα τρία σενάρια είναι 204MW, 413MW και 844MW αντίστοιχα, ενώ οι ενεργειακές ανάγκες τους είναι 236MWh, 485MWh και 995MWh. Από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για όλα τα σενάρια διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων, παρατηρείται μία απότομη αύξηση του φορτίου τη χρονική στιγμή έναρξης της περιόδου χαμηλής χρέωσης κατανάλωσης. Οι συνολικές ενεργειακές ανάγκες των οχημάτων είναι ίσες με τις αντίστοιχες της μη ελεγχόμενης, οικιακής φόρτισης, με τη διαφορά ότι εδώ η φόρτιση όλων των οχημάτων ταυτοχρονίζεται.

Η Εικόνα 2-14 απεικονίζει την τροποποιημένη ημερήσια καμπύλη φορτίου του Ελληνικού συστήματος (χειμώνας και καλοκαίρι) για διαφορετικά σενάρια διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων, για την περίπτωση της ελεγχόμενης φόρτισης με διζωνικό τιμολόγιο. Η τακτική του διζωνικού τιμολογίου επιφέρει μετατόπιση της επιπλέον ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων σε ώρες εκτός αιχμής, ωστόσο, η φόρτιση όλων των οχημάτων είναι απόλυτα συγχρονισμένη, γεγονός που κάνει αισθητή την επίδραση των οχημάτων στη συνολική ζήτηση, ιδιαίτερα μάλιστα όταν το επίπεδο διείσδυσης αυξάνεται σημαντικά. Επιπρόσθετα, οι απότομες αιχμές ζήτησης που προκαλεί η ταυτόχρονη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να επηρεάσει και το σύστημα παραγωγής, δηλαδή τον προγραμματισμό ένταξης των μονάδων.



Εικόνα 2-13 Ημερήσιο προφίλ ζήτησης ηλεκτρικών οχημάτων - ελεγχόμενη φόρτιση με διζωνικό τιμολόγιο

Για το Ελληνικό σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας έχουμε τα στοιχεία :



Εικόνα 2-14 Τροποποιημένη ημερήσια καμπύλη φορτίου του Ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας – ελεγχόμενη φόρτιση με διζωνικό τιμολόγιο: (α) χειμώνας και (β) καλοκαίρι

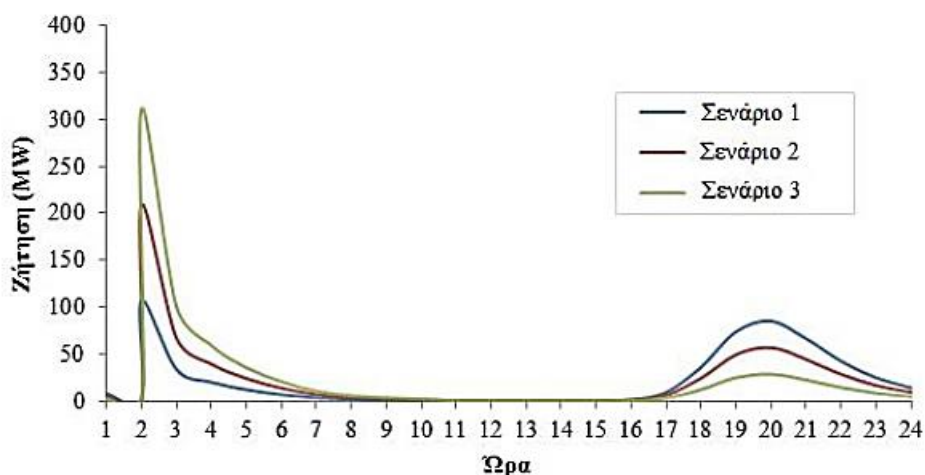
2.2.5 MERGE ανάλυση

Στις προηγούμενες παραγράφους εξετάστηκε ξεχωριστά η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων είτε με τη στρατηγική της μη ελεγχόμενης φόρτισης είτε με τη στρατηγική της ελεγχόμενης φόρτισης μέσω διζωνικού τιμολογίου. Το ποσοστό εθελούσιας συμμετοχής των χρηστών ηλεκτρικών οχημάτων στην ελεγχόμενη φόρτιση μέσω διζωνικού τιμολογίου επηρεάζει την καμπύλη ζήτησης της φόρτισης τους. Για τον λόγο αυτό, εξετάζονται τρία διαφορετικά σενάρια συμμετοχής ηλεκτρικών οχημάτων στην ελεγχόμενη φόρτιση μέσω διζωνικού τιμολογίου (Πίνακας 2-1), ενώ τα υπόλοιπα ηλεκτρικά οχήματα φορτίζουν με τη στρατηγική της μη ελεγχόμενης φόρτισης.

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τα τρία αυτά σενάρια απεικονίζονται στην Εικόνα 2-15. Ο συνδυασμός των δύο αυτών στρατηγικών έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των αιχμών ζήτησης της φόρτισης κάθε στρατηγικής συγκριτικά με τα αποτελέσματα της μεμονωμένης εφαρμογής τους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το φορτίο κατανέμεται ποσοστιαία, ανάλογα με το σενάριο συμμετοχής, σε δύο χρονικές περιόδους. Παρά το γεγονός ότι η αιχμή ζήτησης της φόρτισης λόγω εφαρμογής της ελεγχόμενης φόρτισης μέσω διζωνικού τιμολογίου είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με την αντίστοιχη της μη ελεγχόμενης φόρτισης, η δεύτερη περίπτωση μπορεί να είναι πιο επιζήμια για τη λειτουργία του δικτύου αφού ταυτοχρονίζεται με την αιχμή ζήτησης του δικτύου.

Πίνακας 2-1 Σενάρια συμμετοχής στην ελεγχόμενη φόρτιση μέσω διζωνικού τιμολογίου
Στρατηγικές Φόρτισης

	Μη Ελεγχόμενη	Ελεγχόμενη- Διζωνικό τιμολόγιο
Σενάριο 1	25%	75%
Σενάριο 2	50%	50%
Σενάριο 3	75%	25%



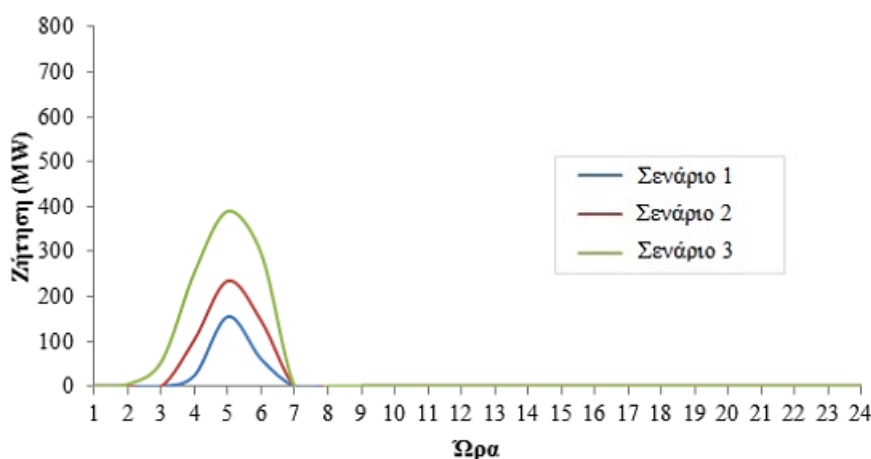
Εικόνα 2-15 Ημερήσιο προφίλ ζήτησης ηλεκτρικών οχημάτων – μη ελεγχόμενη φόρτιση και ελεγχόμενη φόρτιση μέσω διζωνικού τιμολογίου

Ελεγχόμενη Φόρτιση – valley-filling

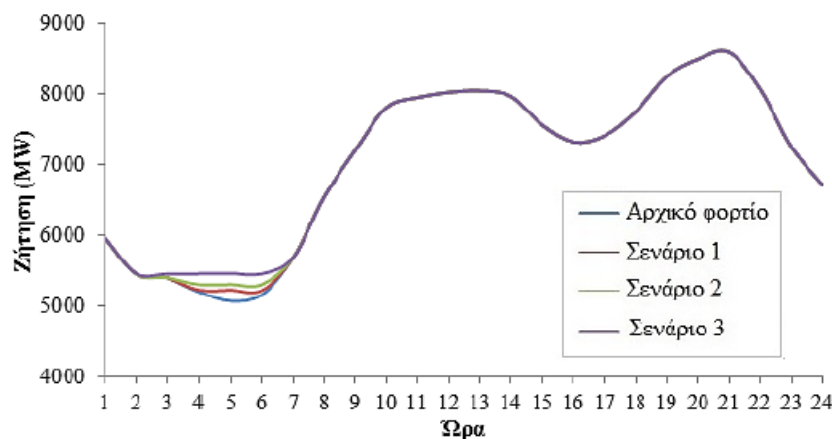
Στην παρούσα ανάλυση υιοθετείται μια πιο σύνθετη διαδικασία ελέγχου των ηλεκτρικών οχημάτων που σκοπό έχει τη μετατόπιση του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων σε ώρες με χαμηλή κατανάλωση κατά τρόπο ώστε οι κοιλότητες της καμπύλης φορτίου να πληρούνται ομοιόμορφα. Η στρατηγική αυτή ελεγχόμενης φόρτισης είναι ευρέως διαδεδομένη στη βιβλιογραφία με το όνομα “valley-filling”. Η πλήρωση των κοιλοτήτων της καμπύλης φορτίου με την εφαρμογή της στρατηγικής “valley-filling” έχει συνεπακόλουθο πλεονέκτημα την ελαχιστοποίηση της διακύμανσης του φορτίου.

Στην Εικόνα 2-16 παρουσιάζεται η επιπρόσθετη ημερήσια ζήτηση της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων για τα τρία σενάρια διείσδυσης. Η αιχμή ζήτησης από την εφαρμογή της στρατηγικής “valley-filling” είναι σχεδόν η μισή της αντίστοιχης στην ελεγχόμενη φόρτιση μέσω διζωνικού τιμολογίου και περίπου διπλάσια της αντίστοιχης της μη ελεγχόμενης φόρτισης. Βέβαια, στη στρατηγική ελεγχόμενης φόρτισης “valley-filling” η ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων κατανέμεται ομοιόμορφα στις ώρες που η κατανάλωση του συστήματος είναι ελάχιστη. Το γεγονός αυτό συμβάλει στη μείωση της διαφοράς μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας ζήτησης βελτιώνοντας με αυτό τον τρόπο τον συντελεστή φορτίου του συστήματος.

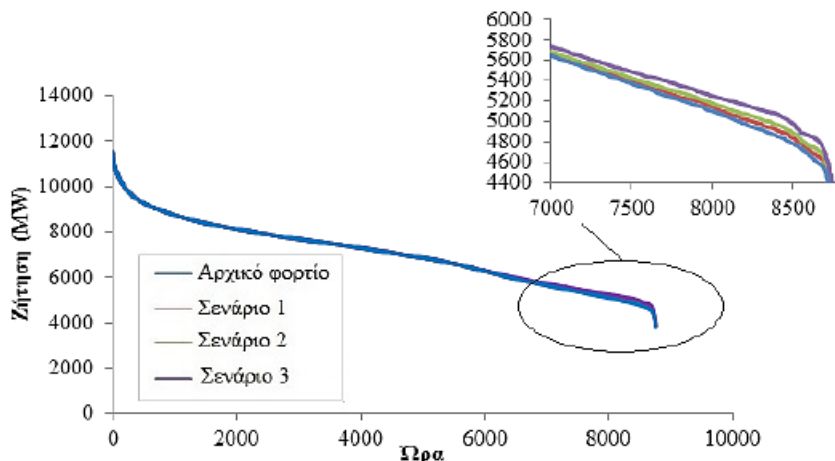
Στην Εικόνα 2-17 απεικονίζεται η επίδραση του επιπρόσθετου φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων στην ημερήσια καμπύλη φορτίου του Ελληνικού συστήματος ενέργειας εφαρμόζοντας τη στρατηγική φόρτισης “valley-filling”. Το συμπέρασμα αυτό αποδεικνύεται και από την τροποποιημένη ετήσια καμπύλη φορτίου του Ελληνικού συστήματος ενέργειας. Στη συγκεκριμένη στρατηγική αυξάνεται το φορτίο βάσης του συστήματος. Ως εκ τούτου, το επιπρόσθετο φορτίο ζήτησης εξυπηρετείται από τις πιο οικονομικές μονάδες παραγωγής.



Εικόνα 2-16 Ημερήσιο προφίλ ζήτησης ηλεκτρικών οχημάτων – ελεγχόμενη φόρτιση “valley-filling”



Εικόνα 2-17 Τροποποιημένη ημερήσια καμπύλη φορτίου του Ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας – ελεγχόμενη φόρτιση “valley-filling” (χειμώνας)



Εικόνα 2-18 Τροποποιημένη ετήσια καμπύλη φορτίου του Ελληνικού συστήματος –ελεγχόμενη φόρτιση “valley-filling”

2.3 Επίδραση της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα παραγωγής

2.3.1 Ανάλυση συστήματος παραγωγής για το Ελληνικό διασυνδεδεμένο σύστημα

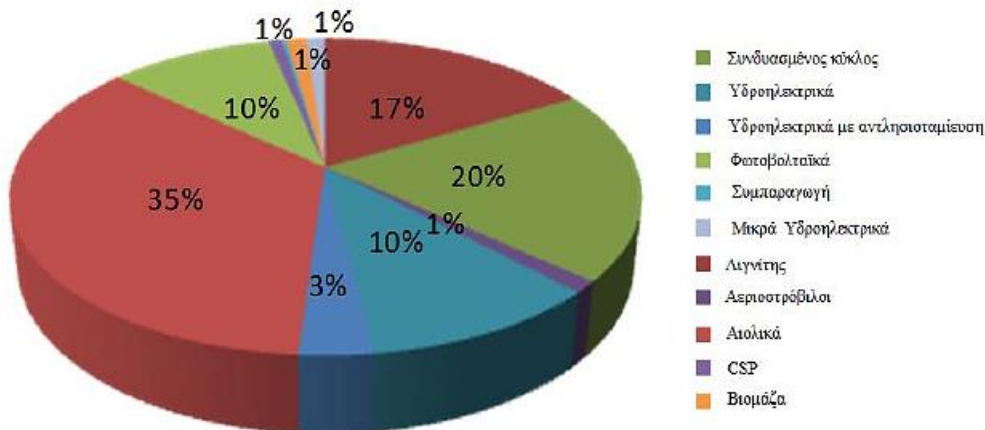
Για την ανάλυση του συστήματος παραγωγής για το διασυνδεδεμένο σύστημα παραγωγής, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ROM Model, το οποίο έχει αναπτυχθεί από το Πανεπιστήμιο Comillas και επιτρέπει την οικονομικό-περιβαλλοντική ανάλυση ενός συστήματος παραγωγής. Αναλυτικότερα, τα τεχνικά χαρακτηριστικά και η λειτουργία του προγράμματος ROM Model περιγράφονται στο πρόγραμμα MERGE [102].

Η μελέτη για το Ελληνικό σύστημα παραγωγής αφορά στο έτος 2020. Τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα ανάλυση παρουσιάζονται στον Πίνακα 2-2. Όσον αφορά στο μείγμα παραγωγής για το διασυνδεδεμένο σύστημα, η Εικόνα 2-19 απεικονίζει το ποσοστό συμμετοχής για κάθε τύπο μονάδων στη συνολική εγκαταστημένη ισχύ παραγωγής.

Πίνακας 2-2 Δεδομένα για το σύστημα παραγωγής του διασυνδεδεμένου συστήματος

2020

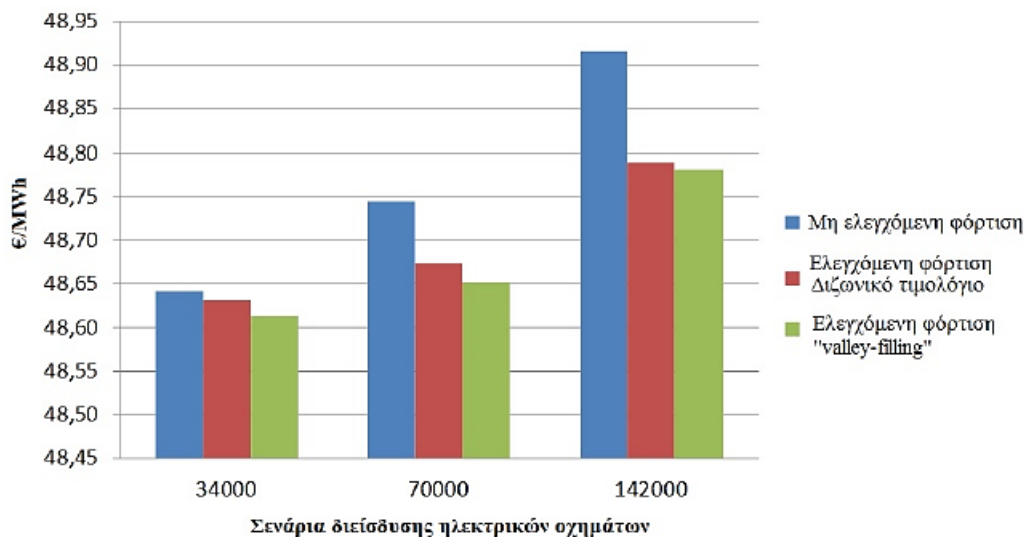
Ενέργεια	[TWh]	61
Αιχμή ζήτησης	[MW]	11449
Ελάχιστο Φορτίο	[MW]	3762
Λόγος αιχμή/ελάχιστο φορτίο	[p.u.]	3.0
Μέγιστη άνω εφεδρεία	[MW]	1359
Μέγιστη κάτω εφεδρεία	[MW]	229
Λιγνιτικές μονάδες	[MW]	3764
Συνδυασμένου κύκλου	[MW]	4374
Ντίζελ/Αερίου	[MW]	264
Μέγιστη παραγωγή	[MW]	2327
Υδροηλεκτρικών		
Υδροηλεκτρικά με αντλησιοταμίευση	[MW]	699
Αιολική ισχύς	[MW]	7900
Φωτοβολταϊκή ισχύς	[MW]	2250
CSP	[MW]	185
Συμπαράγωγή	[MW]	56
Βιομάζα	[MW]	282
Μικρά υδροηλεκτρικά	[MW]	253



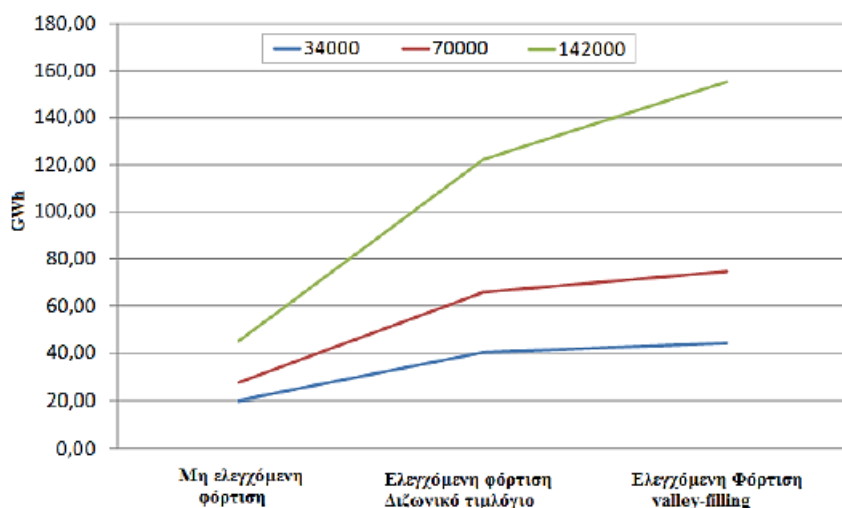
Εικόνα 2-19 Μείγμα παραγωγής για το διασυνδεδεμένο σύστημα – 2020

Όσον αφορά στα ηλεκτρικά οχήματα, διαφορετικά σενάρια διεύθυνσης (ρεαλιστικό, αισιόδοξο, υπεραισιόδοξο) και στρατηγικές φόρτισης (μη ελεγχόμενη, ελεγχόμενη με διζωνικό τιμολόγιο, ελεγχόμενη “valley-filling”) υιοθετήθηκαν σύμφωνα με την ανάλυση της ενότητας 2.2 της παρούσας διατριβής.

Τα αποτελέσματα από την προσομοίωση του ελληνικού συστήματος παραγωγής, με τη χρήση του λογισμικού ROM Model παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους. Η Εικόνα 2-20 απεικονίζει τη μεταβολή του ετήσιου ειδικού κόστους παραγωγής (€/MWh) για διαφορετικά σενάρια διεύθυνσης και διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης. Όπως είναι αναμενόμενο, η αύξηση της ζήτησης λόγω της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του ειδικού κόστους. Ωστόσο, το ποσοστό αύξησης του ειδικού κόστους εξαρτάται από τον τύπο των μονάδων που τελικά θα εξυπηρετήσουν το επιπρόσθετο φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων. Σύμφωνα με την ανάλυση της ενότητας 2.2 του παρόντος κεφαλαίου, το φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων στη μη ελεγχόμενη φόρτιση συμπίπτει με την περίοδο αυξημένης ζήτησης του δικτύου. Ως εκ τούτου το φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων θα εξυπηρετηθεί από μονάδες αιχμής που παρουσιάζουν υψηλό κόστος παραγωγής. Αντίθετα, στην ελεγχόμενη φόρτιση (διζωνικό τιμολόγιο και “valley-filling”), η ζήτηση των οχημάτων μετατοπίζεται σε ώρες με χαμηλή κατανάλωση, οπότε εξυπηρετείται κυρίως από βασικές μονάδες οι οποίες είναι φθηνότερες. Η παραπάνω παρατήρηση εξηγεί το γεγονός ότι η αύξηση του ετήσιου ειδικού κόστους είναι μικρότερη στην ελεγχόμενη φόρτιση συγκριτικά με την αντίστοιχη της μη ελεγχόμενης φόρτισης. Αναλυτικότερα, η μεταβολή της ετήσιας παραγωγής δύο ενδεικτικών τύπων μονάδων, λιγνιτικές μονάδες (βάσης) και συνδυασμένου κύκλου (αιχμής), για διαφορετικά σενάρια διεύθυνσης ηλεκτρικών οχημάτων και για διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης παρουσιάζονται στην Εικόνα 2-21 και στην Εικόνα 2-22.

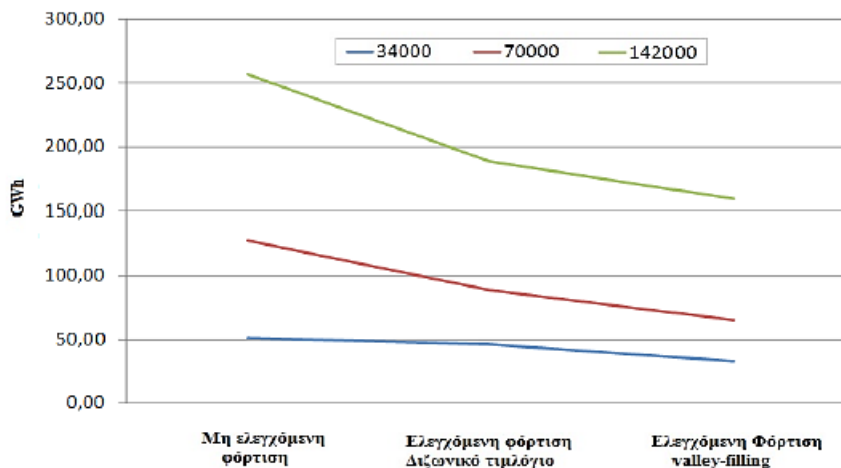


Εικόνα 2-20 Ετήσιο ειδικό κόστος παραγωγής για το διασυνδεδεμένο σύστημα

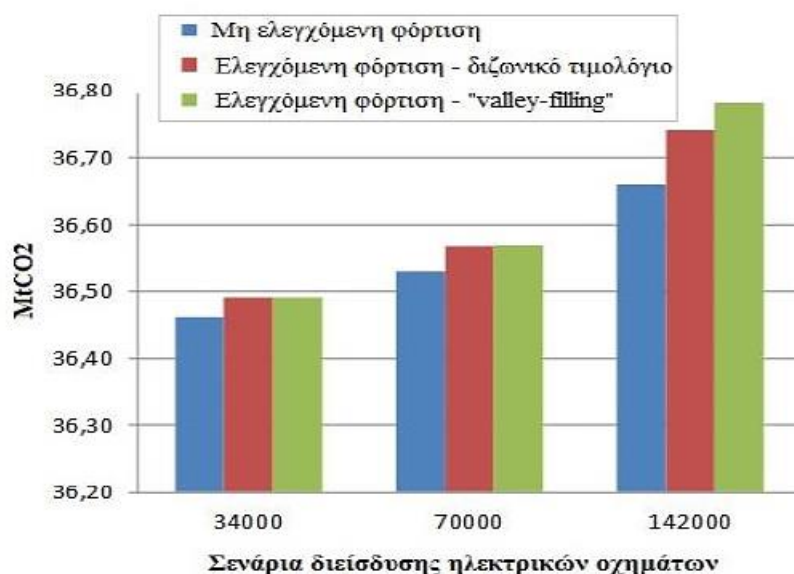


Εικόνα 2-21 Μεταβολή της ετήσια παραγωγής λιγνιτικών μονάδων συγκριτικά με την περίπτωση χωρίς ηλεκτρικά οχήματα

Όσον αφορά στην περιβαλλοντική επίπτωση των ηλεκτρικών οχημάτων, δηλαδή στους επιπρόσθετους ρύπους CO₂ που εκπέμπονται από το σύστημα παραγωγής για να εξυπηρετήσουν το επιπρόσθετο φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην Εικόνα 2-23. Η αύξηση της ζήτησης του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, έχει ως αποτέλεσμα, όπως ήταν αναμενόμενο, την αύξηση των εκπεμπόμενων ρύπων. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η εξυπηρέτηση της ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων στην περίπτωση της ελεγχόμενης φόρτισης από τις μονάδες βάσεις, που είναι οι περισσότερο ρυπογόνες, έχει ως συνέπεια την μεγαλύτερη αύξηση των ρύπων συγκριτικά με την περίπτωση της μη ελεγχόμενης φόρτισης.



Εικόνα 2-22 Μεταβολή της ετήσια παραγωγής μονάδων συνδυασμένου κύκλου συγκριτικά με την περίπτωση χωρίς ηλεκτρικά οχήματα



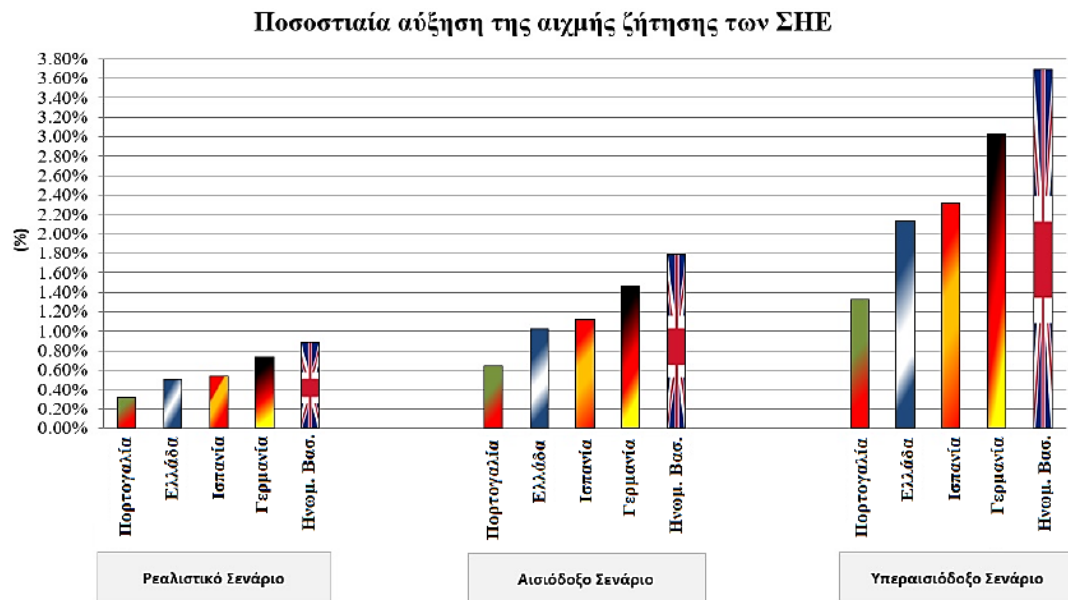
Εικόνα 2-23 Εκπομπές ρύπων για το Ελληνικό σύστημα παραγωγής

2.3.2 Συμπεράσματα

Εκτιμήθηκαν οι επιπρόσθετες, ημερήσιες ενεργειακές ανάγκες φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, που εξυπηρετούν τις ημερήσιες ενεργειακές ανάγκες μετακίνησης τους, και αναλύθηκε η επίδρασή της επιπρόσθετης ζήτησης της φόρτισης στην ημερήσια και ετήσια καμπύλη φορτίου του Ελληνικού συστήματος. Για το σκοπό αυτό, αναπτύχθηκε μια μεθοδολογία που εξετάζει διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης (ελεγχόμενη ή μη) λαμβάνοντας υπόψη ποικίλες κυκλοφοριακές συνθήκες των οδηγών (π.χ. την ημερήσια διανυόμενη απόσταση, τη χρονική στιγμή που το όχημα συνδέεται για φόρτιση, το ρυθμό φόρτισης, την κατανάλωση της μπαταρίας, κ.τ.λ.).

Η μη ελεγχόμενη φόρτιση μπορεί να χαρακτηριστεί ως η χειρότερη στρατηγική φόρτισης. Στο περίπτωση αυτή, η ενεργειακή ζήτηση των οχημάτων εξαρτάται άμεσα από την ώρα επιστροφής στο σπίτι, μετά την τελευταία διαδρομή της ημέρας. Καθώς η επιστροφή στο σπίτι συνοδεύεται με αύξηση της οικιακής κατανάλωσης, η ζήτηση των οχημάτων συγχρονίζεται με την αιχμή φορτίου του συστήματος. Επομένως, η μη ελεγχόμενη φόρτιση έχει ως αποτέλεσμα την περαιτέρω επιβάρυνση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας τις ώρες αιχμής, η ένταση της οποίας εξαρτάται από το επίπεδο διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων. Η παρούσα ανάλυση για την επίδραση της ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων στην καμπύλη φορτίου του Ελληνικού συστήματος πραγματοποιήθηκε για άλλες τέσσερις Ευρωπαϊκές χώρες (Γερμανία, Ισπανία, Ηνωμένο Βασίλειο

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ και Πορτογαλία). Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής, για διαφορετικά σενάρια διεύθυνσης ηλεκτρικών οχημάτων, συνοψίζονται στην Εικόνα 2-24.

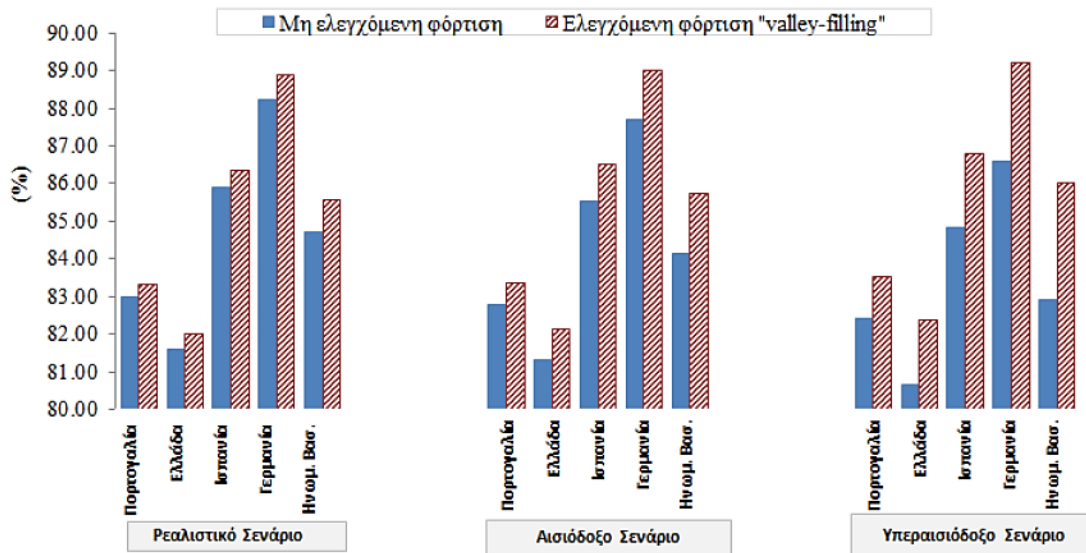


Εικόνα 2-24 Ποσοστιαία αύξηση της αιχμής ζήτησης των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας για διαφορετικές Ευρωπαϊκές χώρες.

Ωστόσο, η ανάπτυξη υποδομών φόρτισης στους χώρους εργασίας μπορεί να περιορίσει την επιβάρυνση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας τις ώρες αιχμής. Ένα μέρος των καθημερινών αναγκών φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, δηλαδή η κατανάλωση της μπαταρίας για την οδήγηση από το σπίτι στη δουλειά, μπορεί να ανακτηθεί κατά τις πρωινές ώρες στον χώρο εργασίας, όταν η ζήτηση του συστήματος είναι ακόμη σχετικά χαμηλή.

Η ελεγχόμενη φόρτιση μέσω διζωνικού τιμολογίου εξυπηρετεί τη μετατόπιση της ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων από ώρες υψηλού φορτίου σε ώρες με χαμηλή κατανάλωση. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η συγκεκριμένη στρατηγική φόρτισης έχει ως αποτέλεσμα την απότομη αύξηση της ζήτησης των οχημάτων τη χρονική στιγμή έναρξης της περιόδου χαμηλής τιμολόγησης, γεγονός που ενδέχεται να επηρεάσει σημαντικά την προγραμματισμένη λειτουργία του συστήματος παραγωγής.

Η ελεγχόμενη φόρτιση “valley-filling” μετατοπίζει τη ζήτηση των οχημάτων σε ώρες που η ζήτηση φορτίου είναι χαμηλή, αποτρέποντας την εμφάνιση αιχμών στην καμπύλη φορτίου του συστήματος και μειώνοντας ταυτόχρονα την ημερήσια διακύμανση του φορτίου. Στην Εικόνα 2-25 απεικονίζεται ο συντελεστής φορτίσεως (μέσο φορτίο συστήματος/μέγιστο φορτίο συστήματος) σε διάφορες Ευρωπαϊκές χώρες, λαμβάνοντας υπόψη τα σενάρια διεύθυνσης των ηλεκτρικών οχημάτων. Τα συγκριτικά αποτελέσματα μεταξύ μη ελεγχόμενης φόρτισης και ελεγχόμενης φόρτισης “valley-filling”, αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα της στρατηγικής “valley-filling”. Αν και η στρατηγική αυτή είναι η πιο αποδοτική συγκριτικά με τις υπόλοιπες, η εφαρμογή της είναι ιδιαίτερα σύνθετη και απαιτούνται προχωρημένα μοντέλα διαχείρισης.



Εικόνα 2-25 Συντελεστής φορτίσεως για διαφορετικές Ευρωπαϊκές χώρες

Στη συνέχεια, βάσει των αποτελεσμάτων της παραπάνω ανάλυσης για την καμπύλη φορτίου, αναλύθηκε η επίδραση των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα παραγωγής. Η εξυπηρέτηση του επιπρόσθετου φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συνολικής ετήσιας παραγωγής και συνεπώς την αύξηση του κόστους λειτουργίας του. Η υιοθέτηση διαφορετικών στρατηγικών φόρτισης επηρεάζει σημαντικά το μείγμα παραγωγής και συνεπώς το κόστος εξυπηρέτησης του φορτίου τους. Στην περίπτωση της Ελλάδος, η υιοθέτηση μη ευέλικτων στρατηγικών φόρτισης έχει ως συνέπεια την εξυπηρέτηση της ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων από μονάδες αιχμής. Αντίθετα, η υιοθέτηση ευέλικτων στρατηγικών φόρτισης μετατοπίζει το φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων σε ώρες με χαμηλή κατανάλωση όπου εξυπηρετείται από μονάδες βάσης. Το κόστος παραγωγής των μονάδων αιχμής είναι υψηλότερο συγκριτικά με τις μονάδες βάσης, με αποτέλεσμα η εξυπηρέτηση της ζήτησης για φόρτιση να είναι ακριβότερη στην περίπτωση απουσίας ελεγχόμενης φόρτισης. Το μείγμα παραγωγής καθορίζει και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του συστήματος παραγωγής. Οι μονάδες βάσης είναι πιο ρυπογόνες συγκριτικά με τις μονάδες αιχμής. Ως εκ τούτου, η υιοθέτηση ευέλικτων στρατηγικών φόρτισης από τη μια συνεισφέρει στην οικονομικότερη εξυπηρέτηση του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων αλλά από την άλλη έχει αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την εξυπηρέτηση του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να περιορίσει σημαντικά το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της ελεγχόμενης φόρτισης. Σε κάθε περίπτωση, τα ηλεκτρικά οχήματα δεν είναι πραγματικά μηδενικών εκπομπών ρύπων δεδομένου του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της παραγωγής που εξυπηρετεί το φορτίο τους. Η υιοθέτηση ευέλικτων στρατηγικών φόρτισης με υψηλά ποσοστά διείσδυσης ΑΠΕ μπορεί να μειώσει σημαντικά το ισοδύναμο προφίλ εκπομπών ρύπων σε επίπεδα πολύ χαμηλότερα (~60grCO₂/χιλ) των αντίστοιχων για τα συμβατικά οχήματα.

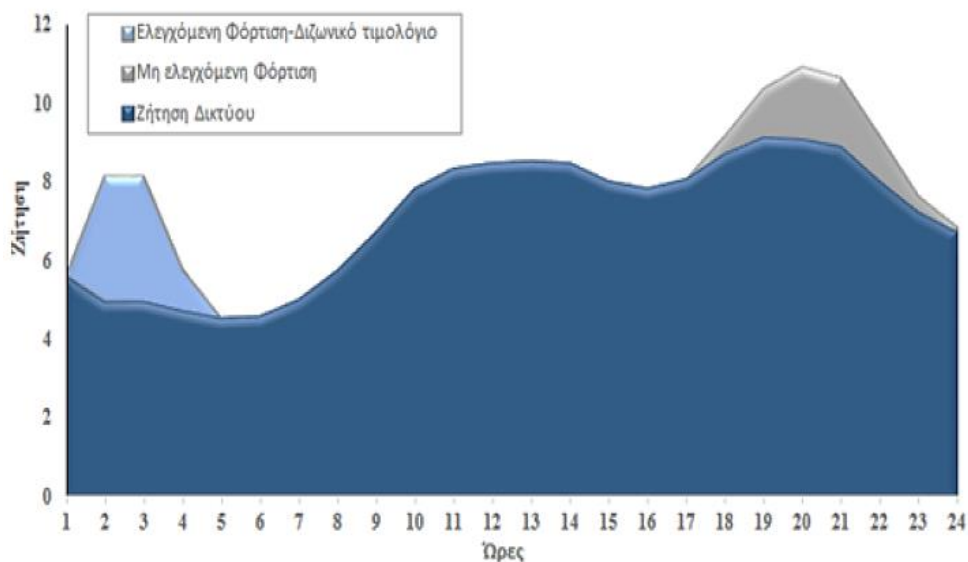
Όσον αφορά την ανάλυση του συστήματος μεταφοράς αποδεικνύεται ότι είναι αρκετά στιβαρό ώστε να μην δημιουργούνται λειτουργικά προβλήματα από την εξυπηρέτηση του επιπρόσθετου φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων, ανεξαρτήτως της στρατηγικής φόρτισης και του επιπέδου διείσδυσης τους. Η υιοθέτηση διαφορετικών στρατηγικών φόρτισης επηρεάζει τις ροές ισχύος πάνω στις γραμμές του συστήματος μεταφοράς, επιβαρύνοντας είτε τις διασυνδέσεις είτε τις γραμμές που ενώνουν τα κέντρα παραγωγής με τα κέντρα φορτίου, χωρίς ωστόσο να παραβιάζονται τα θερμικά όρια τους.

Όσον αφορά στην ανάλυση των δικτύων διανομής Μ.Τ. είναι εμφανές ότι κάθε δίκτυο διανομής έχει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης ενός μέγιστου αριθμού ηλεκτρικών οχημάτων, πέραν του οποίου παραβιάζεται ένας ή περισσότεροι λειτουργικοί περιορισμοί του δικτύου (θερμικά όρια γραμμών,

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ φόρτιση μετασχηματιστών, μέγιστη διακύμανση τάσης κτλ). Το κριτήριο για να τον προσδιορισμό της μέγιστης επιτρεπόμενης διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, τα αστικά δίκτυα διανομής είναι συνήθως πυκνά και το επίπεδο φόρτισης τους είναι υψηλό λόγω του αυξημένου πληθυσμού που εξυπηρετεί. Ως εκ τούτου, η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να επιβαρύνει περαιτέρω τη φόρτιση των υποδομών του δικτύου. Αντίθετα, τα επαρχιακά δίκτυα διανομής χαρακτηρίζονται από το μεγάλο μήκος των γραμμών τους, το οποίο συνεπάγεται μεγάλες πτώσεις τάσεις, ενώ το φορτίο που εξυπηρετούν είναι σχετικά χαμηλό. Συνεπώς, για τον προσδιορισμό του μέγιστου επιτρεπτού αριθμού ηλεκτρικών οχημάτων που μπορούν να συνδεθούν σε ένα δίκτυο χωρίς να παραβιάζονται οι λειτουργικοί περιορισμοί των δεικτών διανομής, λαμβάνεται υπόψη η χωρητικότητα του εξοπλισμού του δικτύου στην περίπτωση αστικών δικτύων και το προφίλ της τάσης στην περίπτωση επαρχιακών δικτύων. Όσον αφορά στις στρατηγικές φόρτισης, η υιοθέτηση ευέλικτων στρατηγικών επιτρέπει την καλύτερη αξιοποίηση της χωρητικότητας ενός δικτύου και την ενσωμάτωση μεγαλύτερων ποσοστών διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων. Επιπρόσθετα, η αύξηση του φορτίου του δικτύου λόγω της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των απωλειών του δικτύου ανεξαρτήτου υιοθετούμενης στρατηγικής.

2.3.3 Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός – Ελαχιστοποίηση κόστους

Η ελαχιστοποίηση του κόστους ενέργειας για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι η πιο απλή στρατηγική διαχείρισης τους μετά από αυτή της εφαρμογής διζωνικού τιμολογίου, η οποία δεν είναι πάντα αποδοτική λύση. Η μαθηματική μοντελοποίηση του προβλήματος ελαχιστοποίησης του κόστους φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων είναι ένα απλό γραμμικό πρόβλημα με περιορισμούς την πλήρη φόρτιση των μπαταριών τους και την ονομαστική ισχύ των υποδομών φόρτισης:



Εικόνα 2.26 Διαχείριση ζήτησης φορτίου και «Payback Effect»

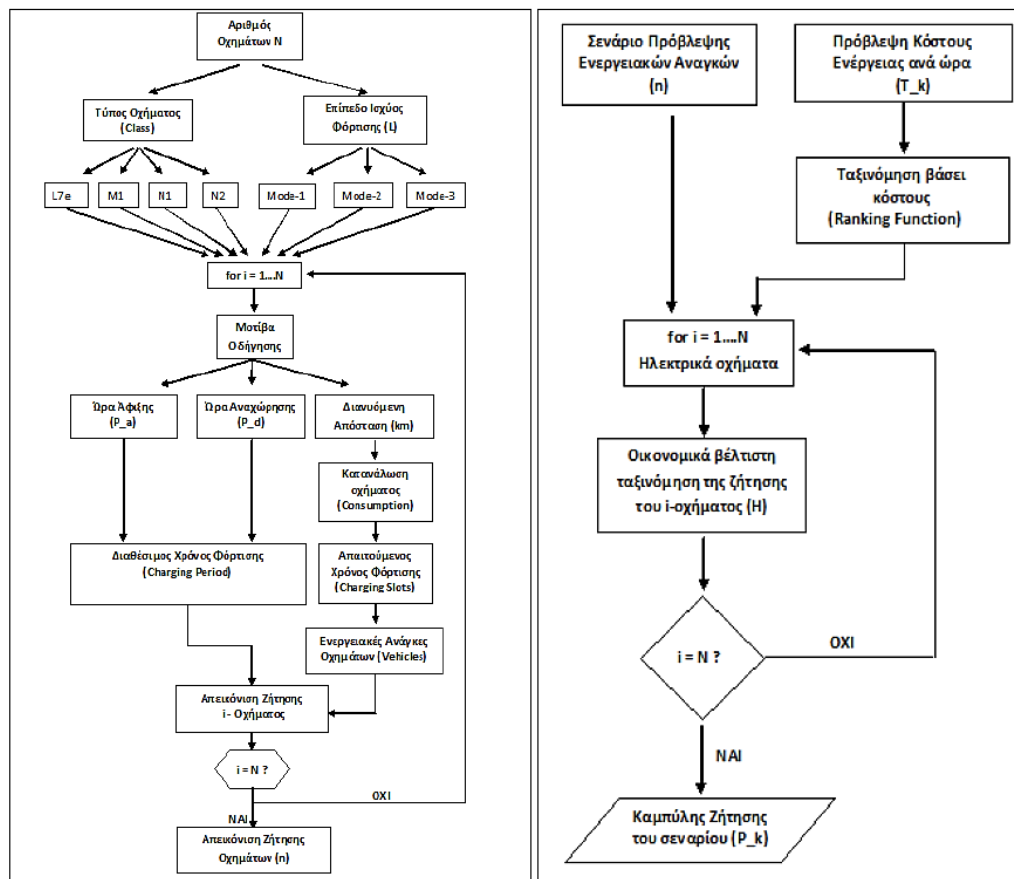
Ο αλγόριθμος πρόβλεψης ενεργειακών αναγκών αποτελείται από δύο μέρη:

- α) την πρόβλεψη των ενεργειακών αναγκών του στόλου και
- β) υπολογισμός και κατανομή ζήτησης.

Ο αλγόριθμος εκτίμησης των ενεργειακών αναγκών των ηλεκτρικών οχημάτων παρουσιάζεται στην (Εικόνα 2.27(α)). Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου είναι ένας πίνακας που απεικονίζει τον αριθμό των ηλεκτρικών οχημάτων που απαιτούν συγκεκριμένο αριθμό χρονικών περιόδων για πλήρη φόρτιση και για δεδομένο επίπεδο ισχύος φόρτισης (Mode 1-3). Για παράδειγμα, η θέση που

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ εμφανίζεται ο αριθμός 5 υποδηλώνει ότι 5 οχήματα θα ζητήσουν να φορτίσουν σε Mode-2 για 10 χρονικές περιόδους, όχι απαραίτητα διαδοχικές αλλά σίγουρα εντός του εξεταζόμενου διαστήματος φόρτισης που ορίζεται από την ώρα άφιξης και αναχώρησης του εκάστοτε οχήματος.

Τα δεδομένα που προκύπτουν από τον αλγόριθμο (α) αποτελούν δεδομένα εισόδου για τον αλγόριθμο (β) όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 2.27(β).



Εικόνα 2.27 Αλγόριθμοι day-ahead προγραμματισμού (α) πρόβλεψη ενεργειακών αναγκών (β) Day-Ahead προγραμματισμός ελαχίστου κόστους

2.3.4 Αριθμητικό Παράδειγμα

Υποθέτουμε έναν στόλο 1.000 ηλεκτρικών οχημάτων, τα οποία κατανομούνται στις επιμέρους κατηγορίες οχημάτων ως εξής:

- **L7e: 1%**
- **M1: 88%**
- **N1: 10%**
- **N2: 1%**

Τα επίπεδα ισχύος φόρτισης είναι τρία:

$$L(j) = \begin{bmatrix} 3,6 \text{ Kw} \\ 11 \text{ Kw} \\ 45 \text{ Kw} \end{bmatrix}$$

Η συσχέτιση μεταξύ των διαφορετικών τύπων οχημάτων και τα διαφορετικά επίπεδα φόρτισης προσδιορίζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2.3: Ποσοστιαία κατανομή οχημάτων ανά τύπο και ισχύ φόρτισης

	L7e	M1 %	N1 %	N2 %
%				
Mode-1 (3,6kW)	90	85	85	0
Mode-2 (11kW)	10	10	10	80
Mode-3 (45kW)	0	5	5	20

Οι καταναλώσεις ανά τάξη επιλέγονται να είναι οι μέσες τιμές των καταναλώσεων των οχημάτων όπως παρουσιάζονται παρακάτω:

$$AverCon = \begin{bmatrix} 0,13 \\ 0,16 \\ 0,24 \\ 0,80 \end{bmatrix} kWh/km$$

Οι ημερήσιες διανυόμενες αποστάσεις είναι διαφορετικές για κάθε όχημα και προσδιορίζονται μέσω κανονικών κατανομών. Πιο συγκεκριμένα, οι εξής θεωρήσεις έχουν υιοθετηθεί:

- Για οχήματα τύπου L7e και M1 θεωρούμε ότι οι διανυόμενες αποστάσεις τις καθημερινές ακολουθούν κανονική κατανομή με μέση τιμή 40 km,
- Για τα οχήματα τύπου N1 θεωρούμε ότι οι διανυόμενες αποστάσεις τις καθημερινές ακολουθούν κανονική κατανομή με μέση τιμή 70 km και
- Για τα οχήματα τύπου N2 θεωρούμε ότι οι διανυόμενες αποστάσεις τις καθημερινές ακολουθούν κανονική κατανομή με μέση τιμή 100.
- Οι μετακινήσεις το Σαββατοκύριακο θεωρούνται μεγαλύτερες με τη μέση τιμή να αυξάνει κατά περίπου 10-25%.

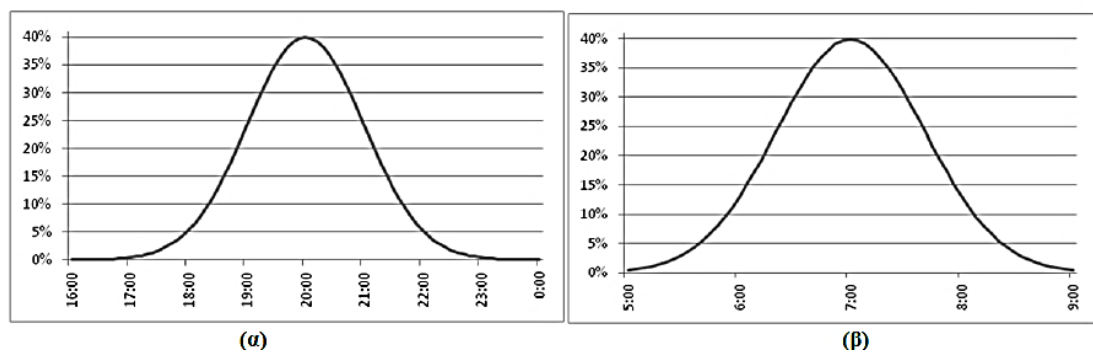
Με βάση τα παραπάνω, η τελική ημερήσια κατανάλωση ενός ηλεκτρικού οχήματος λόγω μετακινήσεων υπολογίζεται από το γινόμενο της μέσης κατανάλωσης του επί τη διανυόμενη απόσταση. Για παράδειγμα, ένα ηλεκτρικό όχημα τύπου L7e που διανύει 40km ημερησίως, με μέση κατανάλωση 0,13kWh/km, έχει καταναλώσει $40 \times 0,13 = 5,2kWh$ για τις ανάγκες μετακίνησης του. Διαιρώντας την καταναλισκόμενη ενέργεια με το επίπεδο της ισχύος φόρτισης προκύπτει ο απαιτούμενος χρόνος για πλήρη φόρτιση της μπαταρίας του οχήματος (π.χ. $5,2kWh/3,6kW=1,44$ ώρες). Επειδή η διαίρεση είναι ατελής, η ακρίβεια του εξαγόμενου προφίλ ζήτησης εξαρτάται από τη χρονική διάρκεια των διαστημάτων προσομοίωσης. Όσο πιο μικρή είναι αυτή (πχ. 5 λεπτά, 10 λεπτά, 30 λεπτά, 1 ώρα κτλ) με τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια αποτυπώνονται οι ενεργειακές ανάγκες των ηλεκτρικών οχημάτων. Ωστόσο, όσο μεγαλύτερη ακρίβεια επιζητείται (άρα μικρότερης διάρκειας διαστήματα προσομοίωσης), τόσο μεγαλώνει και ο αριθμός των μεταβλητών βελτιστοποίησης του προβλήματος (E3-3 – E3-4), με αποτέλεσμα να αυξάνει σημαντικά ο χρόνος υπολογισμού της βέλτιστης λύσης. Ανάλογα με τις απαιτήσεις και τις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής, η χρονική διάρκεια του διαστήματος επιλέγεται κατάλληλα ώστε να υπάρχει ισορροπία μεταξύ ακρίβειας στην αποτύπωση των ενεργειακών αναγκών των οχημάτων και ταχύτητα επίλυσης. Στην παρούσα διπλωματική το εύρος του διαστήματος προσομοίωσης επιλέχθηκε 15 λεπτά.

Όσον αφορά στη χρονική στιγμή άφιξης των ηλεκτρικών οχημάτων στην κατοικία του χρήστη μετά το τελευταίο ημερήσιο ταξίδι του, θεωρήθηκε μια κανονική κατανομή με μέση τιμή την ώρα 20:00 και τυπική απόκλιση 1 ώρας (Εικόνα 3-4α). Ως εκ τούτου το αναμενόμενο διάστημα άφιξης των

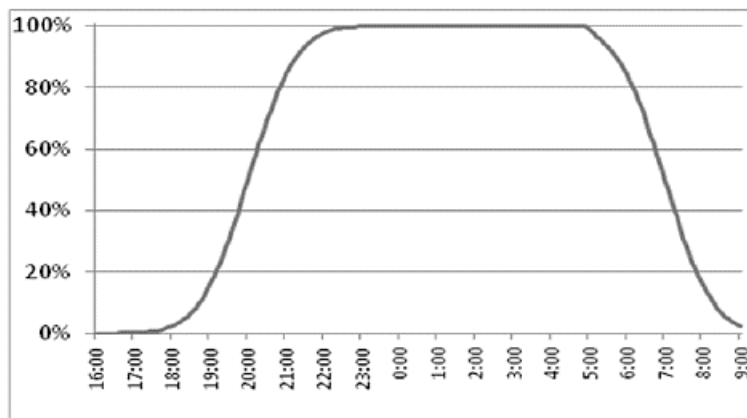
Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ οχημάτων (Arrival Period) είναι μεταξύ των ωρών 17:00 - 23:00. Αντίστοιχη θεώρηση υιοθετήθηκε και για την πρωινή χρονική στιγμή αναχώρησης: κανονική κατανομή με μέση τιμή την ώρα 7:00 και τυπική απόκλιση 1 ώρα (Εικόνα 3-4β). Λαμβάνοντας υπόψη τις δύο παραπάνω κανονικές κατανομές για τις χρονικές στιγμές άφιξης και αναχώρησης των ηλεκτρικών οχημάτων προκύπτουν οι μεταβλητές P_a και P_b καθώς επίσης και το εκτιμώμενο ποσοστό συνδεδεμένων οχημάτων ανά ώρα για το χρονικό διάστημα μελέτης (17:00-9:00), όπως παρουσιάζεται στην εικόνα Εικόνα 3-5.

Λαμβάνοντας υπόψη την εκτιμώμενη κατανάλωση ενέργειας των ηλεκτρικών αυτοκινήτων λόγω μετακινήσεων για καθημερινές και Σαβ/κα καθώς και των διαστημάτων προσομοίωσης (15λεπτών), ο Πίνακας 3-3 κατηγοριοποιεί τον στόλο των ηλεκτρικών οχημάτων βάσει του επιπέδου φόρτισης (Mode 1-3) και του αριθμού των χρονικών διαστημάτων (timeslots) που απαιτούνται για την πλήρη φόρτιση της μπαταρίας των οχημάτων. Για παράδειγμα, 360 ηλεκτρικά αυτοκίνητα που φορτίζουν σε επίπεδο ισχύος 3,6kW (Mode-1) χρειάζονται 7x15-λεπτα για να καλύψουν πλήρως τις καθημερινές ενεργειακές ανάγκες τους. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα, μπορεί κάποιος να παρατηρήσει ότι για τα επίπεδα φόρτισης Mode-1 και Mode-2 ο χρόνος φόρτισης έχει αυξηθεί κατά περίπου 1x15-λεπτο στην περίπτωση του Σαβ/κου. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αύξηση της ζήτησης της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων λόγω της αύξησης των διανυόμενων ημερήσιων αποστάσεων τα Σαβ/κα.

Ο Πίνακας 2.4 συνοψίζει τα αποτελέσματα της μεταβλητής Vehicles του Αλγορίθμου που παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.27(α) που μαζί με τις μεταβλητές P_a και P_b αποτελούν τα δεδομένα εισόδου για τον αλγόριθμο της ελαχιστοποίησης του κόστους (Εικόνα 2.27(β)). Λόγω της στοχαστικότητας των παραμέτρων φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων που αφορούν στη χρονική διάρκεια, στη διανυόμενη απόσταση και στην ώρα (time slot) άφιξης και αναχώρησης, τα δεδομένα εισόδου του αλγορίθμου της ελαχιστοποίησης του κόστους φόρτισης είναι διαφορετικά σε κάθε προσομοίωση.



Εικόνα 2.28 Κατανομή άφιξης ηλεκτρικών οχημάτων στο σπίτι μετά το τελευταίο ημερήσιο ταξίδι



Εικόνα 3-29: Ποσοστό οχημάτων που είναι παρκαρισμένα στο σπίτι

Πίνακας 2.4 Κατανομή οχημάτων ανά τύπο και απαιτούμενων διαστημάτων φόρτισης

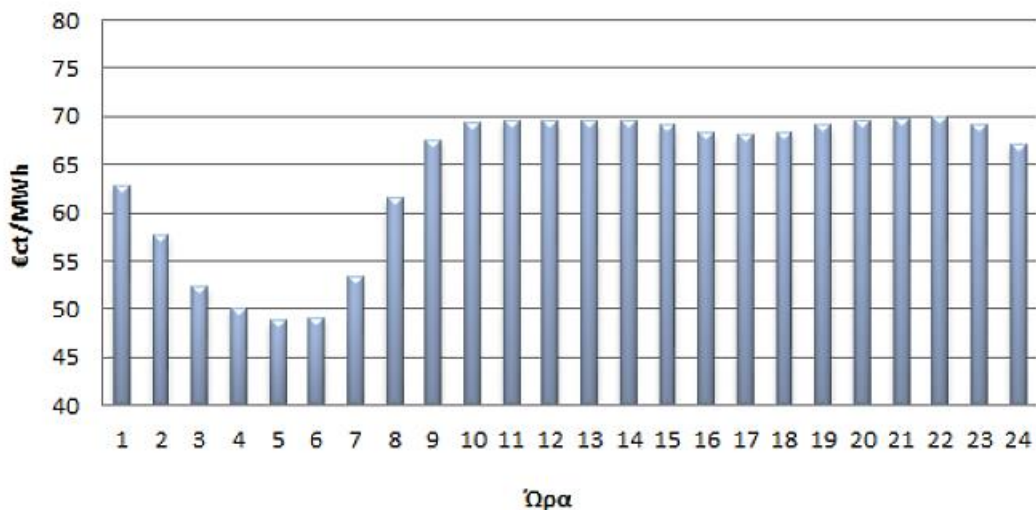
ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

No 15-λεπτο	<u>Καθημερινές</u>			<u>Σαββατοκύριακα</u>		
	Mode-1	Mode-2	Mode-3	Mode-1	Mode-2	Mode-3
1	0	0	44	0	0	43
2	0	22	5	0	0	6
3	0	67	2	0	53	2
4	0	1	0	0	36	0
5	22	9	0	0	4	0
6	238	2	0	3	5	0
7	360	6	0	51	5	0
8	132	0	0	333	4	0
9	5	0	0	324	0	0
10	5	0	0	44	0	0
11	31	0	0	2	0	0
12	33	0	0	3	0	0
13	12	0	0	38	0	0
14	4	0	0	31	0	0
15	0	0	0	12	0	0
16	0	0	0	1	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0

Πέραν των παραμέτρων που αφορούν στα χαρακτηριστικά της φόρτισης του στόλου των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, (η πρόβλεψη για) το κόστος της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι απαραίτητη. Για τις ανάγκες του παραδείγματος, υιοθετήθηκε η 24-ωρη χρονοσειρά των τιμών αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας της Εικόνα 2.30. Αυτή η χρονοσειρά είχε υιοθετηθεί από το EUDEEP project και αφορά στις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας της αγοράς APX1 για ένα 24-ωρο του έτους 2003. Επειδή το χρονικό βήμα των προσομοιώσεων είναι ίσο με 15-λεπτα, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας θεωρείται σταθερή για όλα τα 15-λεπτα της ίδιας ώρας.

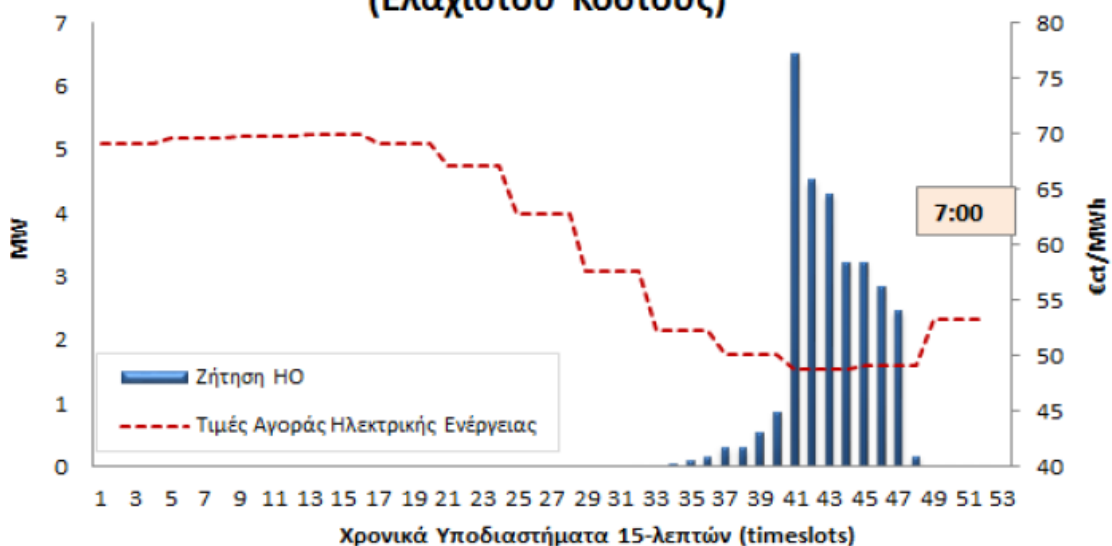
Η εξερχόμενη καμπύλη φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων από τον αλγόριθμο ελαχιστοποίησης του κόστους φόρτισης απεικονίζεται στην Εικόνα 2.31 και αφορά σε μια τυχαία προσομοίωση των στοχαστικών μεταβλητών εισόδου για καθημερινή. Δεδομένου ότι όλα τα ηλεκτρικά οχήματα θα φορτίζουν κατά τη διάρκεια του φθηνότερου χρονικού διαστήματος, παρατηρείται μια έντονη αιχμή ζήτησης κατά τη διάρκεια του. Όσο αυξάνεται το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας αναμένεται μείωση της συνολικής ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων. Η επιλογή των χρονικών διαστημάτων φόρτισης εξαρτάται αφενός μεν από το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας αφετέρου δε από το προφίλ μετακίνησης των ηλεκτρικών οχημάτων (διαθέσιμα χρονικά διαστήματα για φόρτιση).

Τιμές αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας - APX Market (EUDeep project)



Εικόνα 2.30: 24ωρη χρονοσειρά του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας ανά ώρα

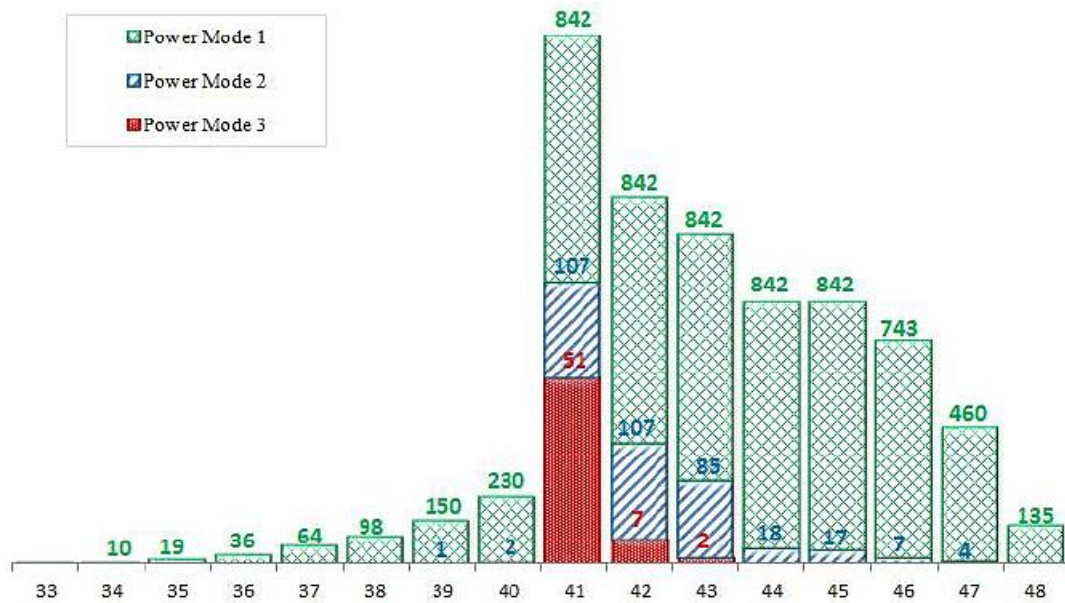
Προφίλ ζήτησης Ηλεκτρικών Οχημάτων (Ελαχίστου Κόστους)



Εικόνα 2.31: Ζήτηση οχημάτων, ταξινομημένων με βάση το ελάχιστο κόστος

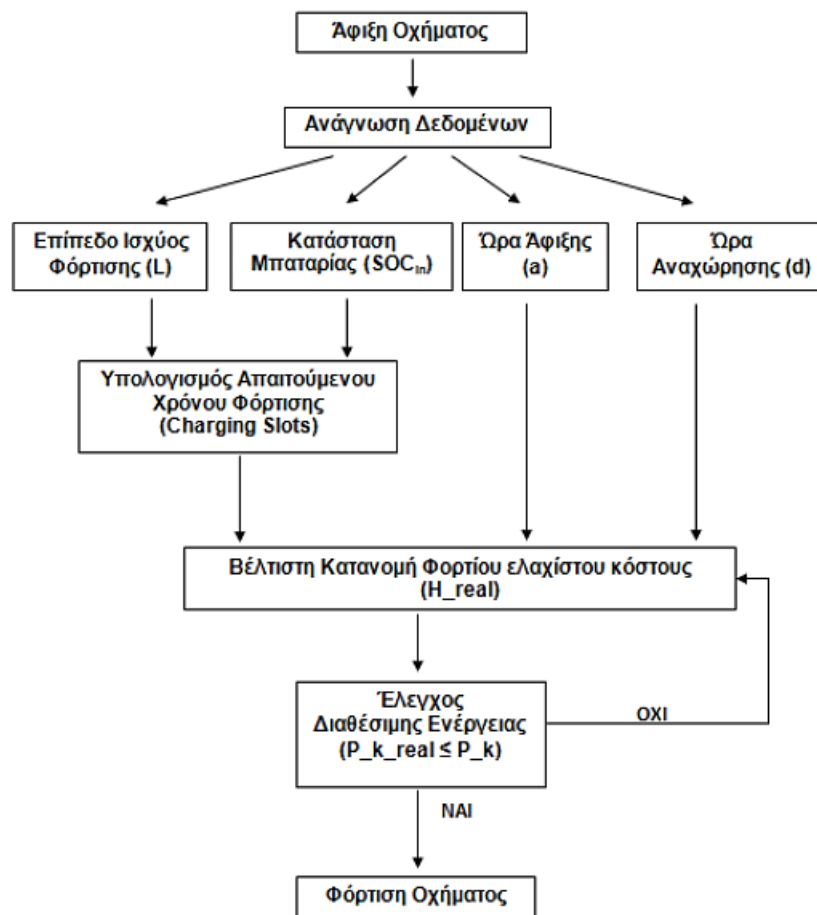
Το διάγραμμα στην Εικόνα 2.31 απεικονίζει το αθροιστικό προφίλ του στόλου των οχημάτων. Η κατανομή της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων ανά επίπεδο φόρτισης απεικονίζεται στην Εικόνα 2.33. Σημειώνεται πως στο παρακάτω διάγραμμα, με κόκκινο απεικονίζεται ο αριθμός των οχημάτων που φορτίζουν σε επίπεδο ισχύος Mode-3, με μπλε σε επίπεδο φόρτισης Mode-2, και με πράσινο σε

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ επίπεδο φόρτισης Mode-1. Το ύψος της κάθε μπάρας είναι ανάλογο με την ισχύ που απαιτείται για να φορτίσει η εκάστοτε κατηγορία οχημάτων ενώ οι αριθμοί στον οριζόντιο άξονα αντιστοιχούν στον αύξοντα αριθμό των υπό εξέταση διαστημάτων προσομοίωσης.



Εικόνα 2.32: Λεπτομερής κατανομή φόρτισης οχημάτων βάσει ισχύος φόρτισης (αλγόριθμος ελαχιστοποίησης κόστους)

Το προφίλ ενέργειας που απεικονίζεται στην Εικόνα 2.31 αφορά σε μια τυχαία προσομοίωση των στοχαστικών παραμέτρων εισόδου. Διαφορετική επιλογή τιμών για τις στοχαστικές παραμέτρους εισόδου θα δημιουργήσει νέο προφίλ ζήτησης για την φόρτιση των αυτοκινήτων. Η μέθοδος Monte Carlo υιοθετήθηκε για την εξαγωγή του προφίλ ζήτησης του στόλου των ηλεκτρικών αυτοκινήτων με την επανάληψη ενός μεγάλου αριθμού προσομοιώσεων του αλγορίθμου ελαχιστοποίησης του κόστους για διαφορετικές τιμές των στοχαστικών παραμέτρων εισόδου. Μετά την εκτέλεση 5000 επαναλήψεων διαπιστώθηκε ότι η μέση τιμή του προφίλ ζήτησης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων παραμένει σχεδόν σταθερή.



Εικόνα 2.33 Αλγόριθμος κατανομής φορτίου σε πραγματικό χρόνο

2.3.5 Προτεινόμενο αποκεντρωμένο σύστημα διαχείρισης της φόρτισης

Αρχιτεκτονική Συστήματος

Η αρχιτεκτονική του αποκεντρωμένου συστήματος διαχείρισης βασίζεται στις αρχές των πολύ-πρακτορικών συστημάτων (Multi-Agent Systems - MAS), [123], [124], [125], [197]. Πράκτορας (agent) είναι μια οντότητα λογισμικού που χαρακτηρίζεται από δύο θεμελιώδεις ιδιότητες: αυτήν της ευφυΐας που του δίνει την ικανότητα να μπορεί να λαμβάνει αποφάσεις και της επικοινωνίας με άλλους πράκτορες που του δίνει τη δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας και ανταλλαγής πληροφοριών που επηρεάζουν τον τρόπο λήψης των αποφάσεων σε ατομικό επίπεδο.

Στα πολύ-πρακτορικά συστήματα, κάθε πράκτορας (agent) αντιπροσωπεύει και μια οντότητα φυσική ή εικονική που δύναται να επηρεάσει τον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρεται το υπό εξέταση σύστημα. Ένα βασικό χαρακτηριστικό της λειτουργίας των πρακτόρων είναι βαθμός αυτονομίας που διαθέτουν, δηλαδή τη δυνατότητα να καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας τους χωρίς την ύπαρξη κάποιου κεντρικού ελεγκτή. Ο τρόπος λειτουργίας των πρακτόρων καθορίζονται από διάφορες τάσεις (tendencies). Για παράδειγμα, αν θεωρήσουμε μια μπαταρία που λειτουργεί ως αποθηκευτικό μέσο, η τάση αυτή θα μπορούσε να είναι η φόρτιση της μπαταρίας όταν το επίπεδο φόρτισης της είναι χαμηλό και μέχρι την πλήρη φόρτιση της. Σε μια τέτοια περίπτωση, ο ευφυής πράκτορας λειτουργεί βάσει των τοπικών αναγκών της μπαταρίας καθώς και των τεχνικών περιορισμών που ορίζει η ασφαλής λειτουργία της. Η επικοινωνία του ευφυή πράκτορα της μπαταρίας με άλλους πράκτορες επιτρέπει την ανταλλαγή πληροφοριών για την επίτευξη πιο σύνθετων στόχων. Για παράδειγμα η επικοινωνία του πράκτορα που ελέγχει τη λειτουργία της μπαταρίας με τον λειτουργό

της αγοράς για το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας επιτρέπει την επίτευξη πιο σύνθετων στόχων: φόρτιση της μπαταρίας όταν το επίπεδο φόρτισης της είναι χαμηλό (τοπική πληροφορία) και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλή (εξωτερική πληροφορία). Επιπρόσθετα, η επικοινωνία αυτή θα μπορούσε να περιλαμβάνει περισσότερους των δύο πρακτόρων όπως για παράδειγμα τον διαχειριστή του δικτύου, ο οποίος μπορεί να θέσει ένα άνω όριο στην ωριαία ζήτηση. Ας υποθέσουμε ότι υπάρχει N πλήθος μπαταριών που ελέγχονται από N πράκτορες. Η ταυτόχρονη φόρτιση N μπαταριών μπορεί να προκαλέσει μια αιχμή ζήτησης η οποία δύναται να επηρεάσει την ομαλή λειτουργία του δικτύου. Λαμβάνοντας υπόψη τον διαχειριστή του δικτύου, στόχος των πρακτόρων των μπαταριών είναι η φόρτιση των μπαταριών όταν το επίπεδο φόρτισης είναι χαμηλό, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι φθηνή και η ωριαία ζήτηση της φόρτισης δεν υπερβαίνει ένα συγκεκριμένο άνω όριο. Όσο πιο πολύπλοκες γίνονται οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων πρακτόρων, τόσο πιο σύνθετη και πολύπλοκη γίνεται η λειτουργία του συστήματος.

Βάσει των αρχών λειτουργίας των πολύ-πρακτορικών συστημάτων, ο προτεινόμενος αποκεντρωμένος αλγόριθμος για τη διαχείριση των ηλεκτρικών οχημάτων απαιτεί τη θεώρηση των παρακάτω πρακτόρων όπως απεικονίζονται στην Εικόνα 2.34:

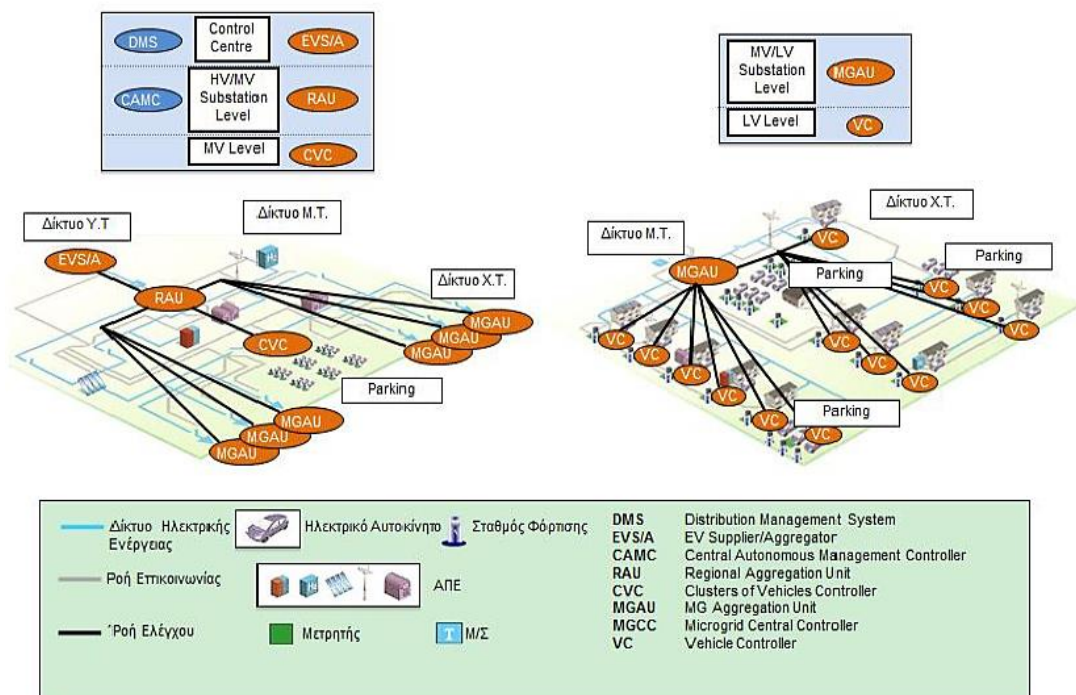
i. Κεντρικός συντονιστής (Electric Vehicle Supply Equipment Aggregator - EVSEA): Είναι υπεύθυνος για τον συντονισμό της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων που είναι διασκορπισμένα σε μεγάλη γεωγραφική έκταση, με σκοπό να επιτευχθεί ένας κοινός στόχος (στη συγκεκριμένη περίπτωση ο κοινός στόχος είναι η στρατηγική φόρτισης “valley-filling”). Ο EVSEA/A δεν έχει τη δυνατότητα να καθορίσει το επίπεδο φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, όπως συμβαίνει στον κεντρικό έλεγχο. Ωστόσο, δύναται να επηρεάσει έμμεσα το προφίλ φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων μέσω κάποιων σημάτων ελέγχου που παράγει. Τα σήματα αυτά ελέγχου έχουν σκοπό τον συντονισμό της μαζικής συμπεριφοράς των ηλεκτρικών οχημάτων κατά τη φόρτιση με σκοπό να επιτευχθεί ο κοινός στόχος. Ο κεντρικός συντονιστής δεν έχει τοπική γνώση για τη λειτουργική κατάσταση των ηλεκτρικών οχημάτων, όπως το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών, το μέγεθος της μπαταρίας και το προφίλ μετακίνησης τους, παρά μόνο για το επίπεδο φόρτισης κάθε χρονική στιγμή t .

ii. Περιφερειακός Συναθροιστής (Regional Aggregation Unit – RAU): Πρόκειται για μια εικονική οντότητα χωρίς φυσική ύπαρξη που βρίσκεται στο επίπεδο του υποσταθμού ΥΤ/ΜΤ και διαχειρίζεται έναν αριθμό τοπικών συναθροιστών (Microgrid Aggregation Unit – MGAU) ή ομάδες από ελεγκτές ηλεκτρικών οχημάτων (Cluster of Vehicles Controller – CVC). Μπορεί να υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός τοπικών συναθροιστών ανάλογα με το πλήθος των υποσταθμών ΥΤ/ΜΤ που υφίστανται στο εξεταζόμενο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Ο RAU είναι υπεύθυνος για την εφαρμογή της στρατηγικής του EVS/A σε τοπικό επίπεδο. Επιπρόσθετα, κάθε RAU είναι υπεύθυνος για τον προσδιορισμό των κατάλληλων σημάτων ελέγχου που επιτρέπουν τον συντονισμό της λειτουργίας των ηλεκτρικών οχημάτων για την επίτευξη της στρατηγικής του κεντρικού συντονιστή.

iii. Τοπικός Συναθροιστής (Microgrid Aggregation Unit – MGAU) ή ομάδα από ελεγκτές ηλεκτρικών οχημάτων (Cluster of Vehicles Controller – CVC): Πρόκειται για εικονικές οντότητες που βρίσκονται στο επίπεδο των υποσταθμών ΜΤ/ΧΤ παρέχοντας κυρίως επικουρικές υπηρεσίες επικοινωνίας. Ο MGAU είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση ενός στόλου αυτοκινήτων που συνδέονται στο δίκτυο Χ.Τ. ενός υποσταθμού, ενώ ο CVC είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση των ηλεκτρικών οχημάτων που είναι σταθμευμένα σε μεγάλους δημόσιους ή ιδιωτικούς χώρους στάθμευσης. Ο ρόλος του MGAU και του CVC είναι η συνάθροιση του προφίλ ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων που βρίσκονται υπό την εποπτεία τους και η επικοινωνία ενός αθροιστικού προφίλ ζήτησης προς τον RAU.

iv. Ελεγκτής Ηλεκτρικού Οχήματος (Vehicle Controller - VC): Πρόκειται για τον πράκτορα (agent) που αντιπροσωπεύει τον χρήστη του ηλεκτρικού οχήματος όσον αφορά στις ενεργειακές ανάγκες για

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ τη φόρτιση της μπαταρίας καθώς και τις ανάγκες μετακίνησης του. Ο VC έχει τη δυνατότητα να καθορίζει το επίπεδο φόρτισης κάθε χρονική στιγμή t βάσει των προτιμήσεων και ενεργειακών αναγκών του χρήστη καθώς και των σημάτων ελέγχου που καθορίζονται από τον εκάστοτε RAU.



Εικόνα 2.34 Αρχιτεκτονική συστήματος αποκεντρωμένου αλγορίθμου (“valley-filling”)

Η επικοινωνία μεταξύ των πρακτόρων όπως περιγράφηκε παραπάνω προϋποθέτει την ύπαρξη κοινή γλώσσας, κοινής αναπαράστασης της γνώσης και των εννοιών καθώς και να υπάρχει ο τρόπος να ανταλλάχθούν οι πληροφορίες [126]. Η κοινή γλώσσα αναφέρεται στο τρόπο σύνταξης των μηνυμάτων ώστε να είναι εφικτή η αναγνώριση του περιεχομένου της επικοινωνίας. Επιπρόσθετα θα πρέπει να υπάρχει ένα κοινό λεξιλόγιο που αφορά σε έννοιες που είναι κοινές σε όλους (ίδιο όνομα, ίδιες μονάδες μέτρησης κτλ.). Ο τρόπος που θα ανταλλαχθεί η πληροφορία είναι μια σύνθετη διαδικασία και αναφέρεται στη δομή που πρέπει να έχει η γλώσσα ώστε να περιγράφει πολύπλοκες και σύνθετες έννοιες. Το θέμα της επικοινωνίας των πρακτόρων είναι ένα σύνθετο θέμα για το οποίο υπάρχουν πλατφόρμες επικοινωνίας ελεύθερης πρόσβασης (π.χ. JADE3) και οι οποίες παρέχουν τον μηχανισμό αλλά και τον τρόπο επικοινωνίας των πρακτόρων.

Όσον αφορά στις υποδομές επικοινωνιών που επιτρέπουν την υλοποίηση ενός αποκεντρωμένου αλγορίθμου, απαιτείται η υιοθέτηση αμφίδρομων καναλιών επικοινωνίας για την ανταλλαγή πληροφοριών. Οι τεχνολογίες επικοινωνιών πρέπει να είναι κατάλληλα επιλεγμένες ώστε να εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη και ασφαλής μετάδοση των δεδομένων με μικρές καθυστερήσεις. Σε αντίθετη περίπτωση, οι πιθανότητες μη σύγκλισης ενός αποκεντρωμένου αλγορίθμου είναι πολύ μεγάλες. Η ιδέα των έξυπνων δικτύων έχει δώσει μεγάλη ώθηση στην ανάπτυξη νέων ή βελτίωση υπάρχουσών τεχνολογιών επικοινωνίας που εξασφαλίζουν την ασφαλή και αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων [15], [127]. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τεχνολογιών επικοινωνίας για τα έξυπνα δίκτυα είναι: PowerLine communication (PLC), Digital Subscriber Line (DSL), General Packet Radio Service (GPRS), Wi-Fi etc. Κάθε τεχνολογία επικοινωνίας χαρακτηρίζεται από πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, ως εκ τούτου η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας εξαρτάται από τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής. Τα βασικά κριτήρια επιλογής της κατάλληλης τεχνολογίας επικοινωνίας είναι η ευκολία εφαρμογής, το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας καθώς και η καταλληλότητα της (ακτίνα διάδοσης πληροφορίας, διαθεσιμότητα δικτύου επικοινωνιών, ασφάλεια μετάδοσης και επεκτασιμότητα). Για παράδειγμα, η χρήση σύνδεσης DSL είναι μια οικονομική λύση, με επαρκή διαθεσιμότητα και με υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων.

Ωστόσο, υπάρχουν σημαντικά ζητήματα ασφάλειας της μετάδοσης των δεδομένων. Αυτό απαιτεί την ανάπτυξη εικονικών ιδιωτικών δικτύων (Virtual Power Networks – VPN) που συνεπάγεται αυξημένα έξοδα λειτουργίας. Η χρήση των υφιστάμενων δικτύων τηλεπικοινωνίας (GSM) είναι μια πρακτική και οικονομική λύση. Ωστόσο το κόστος μετάδοσης της πληροφορίας είναι υψηλό (το κόστος μετάδοσης 1Mb μέσω GPRS είναι συγκρίσιμο με το κόστος φόρτισης ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου [15]). Το υψηλό λειτουργικό κόστος της GPRS τεχνολογίας μπορεί να μειωθεί εν μέρει χρησιμοποιώντας την σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες όπως, για παράδειγμα, με την τεχνολογία PLC που είναι ευρέως διαδεδομένη στις εφαρμογές τηλεμέτρησης. Ωστόσο, η τεχνολογία PLC χαρακτηρίζεται από δύο σημαντικά μειονεκτήματα: το χαμηλό εύρος του διαύλου επικοινωνίας (20kb/sec) και η περιορισμένη ακτίνα μετάδοσης (συνήθως στις εφαρμογές τηλεμέτρησης ο κάθε μετρητής λειτουργεί ως αναμεταδότης της πληροφορίας του προηγούμενου). Η επιλογή ενός αποκεντρωμένου αλγορίθμου επιτρέπει την εφαρμογή της τεχνολογίας PLC αφού οι απαιτήσεις σε όγκο μετάδοσης δεδομένων είναι αρκετά περιορισμένες λόγω της τοπικής διαχείρισης και επεξεργασίας τους. Επιπρόσθετα, η υιοθέτηση ενδιάμεσων επιπέδων άθροισης (aggregation layers) περιορίζει τις απαιτήσεις όσον αφορά στην ακτίνα διάδοσης της πληροφορίας. Συμπερασματικά, η προτεινόμενη αρχιτεκτονική αποκεντρωμένου ελέγχου δεν επιβάλλει περιορισμούς στην υιοθέτηση οποιασδήποτε τεχνολογίας επικοινωνίας.

2.3.6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [2.1] European Commission (2009), “Mobility and Transport”, Road Safety: Vehicle Categories [online]: http://ec.europa.eu/transport/road_safety/vehicles/categories_en.htm
- [2.2] EU MERGE project, Task 3.2, Part 1 of Deliverable D3.2, “Evaluation of the Impact that a Progressive Deployment of EV will Provoke on Electricity Demand, Steady State Operation, Market Issues, Generation Schedules and on the Volume of Carbon Emissions-Electric Vehicle Penetration Scenarios in Germany, UK, Spain, Portugal and Greece”.
- [2.3] IEA report: “Global EV outlook 2016”. Online: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global_EV_Outlook_2016.pdf
- [2.4] James Larminie, John Lowry , “Electric vehicle technology explained ”, John Wiley & Sons, Ltd.
- [2.5] Center for Entrepreneurship & Technology, University of California, Berkeley, “The Electric Vehicle Battery Landscape: Opportunities and Challenges”, Dec. 2009 http://large.stanford.edu/courses/2011/ph240/zhong1/docs/BatteryBrief_final.pdf
- [2.6] The Boston Consulting Group (BCG), “Batteries for Electric cars-Challenges, Opportunities and the Outlook to 2020”, 2009: <http://www.bcg.com/documents/file36615.pdf>
- [2.7] Institute of Transportation Studies University of California Davis, “Batteries for Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVs): Goals and the State of Technology circa 2008”, JonnAxsen, Andrew Burke, Ken Kurani, May 2008.
- [2.8] J. C. Viera, M. Gonzalez, J. C. Anton, J. C. Campo, F. J. Ferrero, and M. Valledor, “NiMH vsNiCd batteries under high charging rates,” in Proc. 28th Annu. Telecommun. EnergyConf. , Sep. 2006, pp. 1–6.
- [2.9] Y. Gao, M. Ehsani, “Investigation of battery technologies for the army’s hybrid vehicle application,” in Proc. 56th IEEE Veh. Technol. Conf., Sep. 2002, pp. 1505–1509
- [2.10] Wencong Su; Habiballah Eich; Wente Zeng; Mo-Yuen Chow: “A Survey on the Electrification of Transportation in a Smart Grid Environment”, IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 8, is. 1, pp. 1-10, 2012
- [2.11] Alireza Khaligh, Zhihao Li, “Battery, Ultracapacitor, Fuel Cell, and Hybrid Energy Storage Systems for Electric, Hybrid Electric, Fuel Cell, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles: State of the Art”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 59, no. 6, July 2010
- [2.12] A. M. Foley, I. J Winning, B.P. O Gallachoir, “State of the art in EV charging infrastructure”, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 2010
- [2.13] Idaho National Laboratory, Clean Cities December 2010 Webinar, “Electric Vehicle Charging Levels and Requirements Overview”, Jim Francfort, December 15, 2010: http://www1.eere.energy.gov/cleancities/toolbox/pdfs/ev_charging_requirements.pdf
- [2.14] Eurelectric Report: “Facilitating e-mobility: Eurelectric views on charging infrastructure”. Online http://www.eurelectric.org/media/27060/0322_facilitating_emobility_eurelectric_views_-_final-2012-030-0291-01-e.pdf
- [2.15] MERGE: Mobile Energy Resources in Greeds of Electricity, Task 1.1, Deliverable 1.1, Specification for an enabling smart technology, 3 August 2011.

[2.16] Mobile Magazine [online]: <http://www.mobilemag.com/2011/12/21/inductive-charging-for-electric-vehicles-will-be-tested-in-berlin/> [accessed 10 January 2012]

[2.17] U.S. Department of Energy, Charging Plug-In Electric Vehicles at Home [online]: http://www.afdc.energy.gov/afdc/vehicles/electric_charging_home.html

[2.18] SAE J1772™ Update For IEEE Standard 1809 Guide for Electric-Sourced Transportation Infrastructure, Meeting February 18, 2010, GeryKissel, SAE J1772™ Task Force Lead:

[2.19] TEPCO, Press Release (Mar 15,2010) Establishment of CHAdeMO Association [online]: <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/10031501-e.html> [accessed 11 January 2012]

[2.20] MERGE Deliverable WP5_Task5.3: “Scenarios and roadmap for deployment of EV in three European regions: recommendations for policy makers and regulators”, December 2011.

[2.21] Eurelectric Position paper, “Charging infrastructures for electric vehicles”, 2016

[2.22] J. Salihi, “Energy Requirements for Electric Cars and their Impact on Electric Power Generation and Distribution Systems”, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 9, no. 5, 1973

[2.23] G. T. Heydt, “The Impact of Electric Vehicle Deployment on Load Management Strategies“, IEEE Power Engineering Review, vol. 3, no. 5, May 1983

[2.24] S. Rahman, G.B. Shrestha, “An investigation into the impact of electric vehicle load on the electric utility distribution system”, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 8, no. 2, April 1993

[2.25] Ford A. Electric vehicles and the electric utility company. Energy Policy 1994; 22:555–570. DOI: 10.1016/0301-4215(94)90075-2.

[2.26] KemptonW, Letendre SE. Electric vehicles as a new power source for electric utilities. Transportation Research Part D: Transport and Environment 1997; 2:157–175. DOI: 10.1016/S1361-9209(97)00001-1.

[2.27] Kempton W, Kubo T. Electric-drive vehicles for peak power in Japan. Energy Policy 2000; 28:9–18. DOI: 10.1016/S0301-4215(99)00078-6.

[2.28] A. Brooks, T. Gage, “Integration of Electric Drive Vehicles with the Electric Power Grid: a New Value Stream”, Presented at the 18th International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium (EVS-18), Berlin, Germany, 2001

[2.29] KemptonW, Tomic J, Letendre SE, Brooks A, Lipman T. Vehicle to grid power: battery, hybrid, and fuel cell vehicles as resources for distributed electric power in California. Working Paper Series ECD-ITS-RR-01-03, UC Davis Institute for Transportation Studies, June, 2001. Available at: <http://escholarship.org/uc/item/5cc9g0jp>.

[2.30] Hawkins D. Vehicle to grid—a control area operators perspective. EVAA Electric Transportation Industry Conference, December, 2001.

[2.31] M. Duvall, “Comparing the benefits and Impacts of Hybrid Electric Vehicle Options for Compact Sedan and Sport Utility Vehicles”, Tech. Rep., Electric Power research Institute, 2002.

[2.32] W. Kempton, J. Tomic, “Vehicle to grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue”, journal of Power sources, Elsevier, 2005.

[2.33] Kempton W, Tomic J. Vehicle-to-grid power implementation: from stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy. Journal of Power Sources, 144:268–279, 2005.

- [2.34] A. Simpson, “Cost-Benefit Analysis of Plug-in Hybrid Electric Vehicle Technology”, 22nd International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium (EVS-22), Yokohama, Japan, 2006
- [2.35] J.A. Peças Lopes, C.L. Moreira, A.G. Madureira, ”Defining Control Strategies for MicroGrids Islanded Operation “, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 21 no. 2, May 2006
- [2.36] K. Clement, K. Van Reusel, J. Driesen: "The consumption of electrical energy of plug-in hybrid electric vehicles in Belgium", EETF- European Ele-Drive Transportation Conference, Brussels, Belgium, June 2007
- [2.37] M Duvall, E. Knipping, M. Alexander, L. Tonachel, C. Clark, “Environmental Assessment of Plug-In Hybrid Electric Vehicles, Tech. Rep., Electric Power Research Institute, California (USA), July 2007
- [2.38] E. Haesen, J. Driesen, R. Belmans, “Multi-objective valuation of electricity storage services”, Proceedings of EESAT Conference, Sept. 2007
- [2.39] Brooks A, Thesen SH. PG&E and Tesla Motors: vehicle to grid demonstration and evaluation program. 23th International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exhibition (EVS23), December, 2007
- [2.40] E. Haesen, J. Driesen, R. Belmans, “Robust planning methodology for integration of stochastic generators in distribution grids”, IET Renewable Power Generation, vol. 1, no. 1, 2007
- [2.41] V. Marano, G. Rizzoni, Energy and economic evaluation of PHEVs and their interaction with renewable energy sources and the power grid, in: Proc. IEEE Veh. Electronics and Safety Conf., pp. 84-89, 2008.
- [2.42] B. Sovacool, R. Hirsh, “Beyond batteries: An examination of the benefits and barriers to plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) and a vehicle-to-grid (V2G) transition”, Elsevier Energy Policy, vol. 37, Dec. 2008
- [2.43] Wang L. Potential impacts of plug-in hybrid electric vehicles on locational marginal prices. IEEE Energy2030 Conference, November, 2008.
- [2.44] S.G. Wirasingha, N. Schofield, A. Emadi, “Plug-in hybrid electric vehicle developments in the US: trends, barriers, and economic feasibility”, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 2008
- [2.45] S. Blumsack, C. Samaras, P. Hines, “Long-Term Electric System Investments to support Plug-in Hybrid Electric Vehicles”, Tech. Rep., 2008
- [2.46] Bludszweit H. Reduction of the uncertainty of wind power predictions using energy storage. PhD Thesis, Departamento de Ingenieria Electrica, Universidad de Zaragoza, June, 2009.
- [2.47] J. Van Mierlo, Y. Marenne, “Energy consumption, CO2 emissions and other considerations related to Battery Electric Vehicles”, draft version, Association for Electric Vehicles in Europe, April 2009
- [2.48] Birnie D. Solar-to-vehicle (S2V) systems for powering commuters of the future. Journal of Power Sources, 186:539–542, 2009.
- [2.49] Markel T, Kuss M, Denholm P. Communication and control of electric vehicles supporting renewables. IEEE Vehicle Power and Propulsion Systems Conference, September 7–10, 2009.

[2.50] G.A. Putrus, P. Suwanapingkarl, D. Johnston, E.C. Bentley, M. Narayana “Impact of electric vehicles on power distribution networks”, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, pp. 827-831, Vancouver, Canada, Sept. 2009

[2.51] K. Clement-Nyns, E. Haesen, J. Driesen, “Stochastic analysis of the impact of plug-in hybrid electric vehicles on the distribution grid”, 20th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, 2009

[2.52] J. A. Peças Lopes, P. M. Rocha Almeida, F. J. Soares, “Using Vehicle-to-Grid to Maximize the Integration of Intermittent Renewable Energy Resources in Islanded Electric Grids”, International Conference on Clean Electrical Power, 2009

[2.53] K. Clement-Nyns, E. Haesen, J. Driesen, “Coordinated charging of multiple plug-in hybrid electric vehicles in residential distribution grids”, IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition, 2009

[2.54] Lombardi, P. Vasquez, Z. A. Styczynski, “Plug-in electric vehicles as storage devices within an Autonomous power system: Optimization issue”, IEEE PowerTech, Oct. 2009

[2.55] Shin-ichi Inage, “Modelling Load Shifting Using Electric Vehicles in a Smart Grid Environment”, Working Paper, International Energy Agency, 2010

[2.56] I. Momber, T. Gómez; G. Venkataramanan, M. Stadler, S. Beer, J. Lai, C. Marnay, V. Battaglia, “Plug-in Electric Vehicle Interactions with a Small Office Building: An economic Analysis using DER-CAM”, 2010

[2.57] S. B. Peterson, J. F. Whitacre, and J. Apt, “The economics of using plug-in hybrid electric vehicle battery packs for grid storage,” J. Power Sources, vol. 195, no. 8, pp. 2377–2384, 2010.

[2.58] P. Papadopoulos, S. Skarvelis-Kazakos, I. Grau, L. M. Cipcigan, N. Jenkins, “Predicting Electric Vehicle Impacts on Residential Distribution Networks with Distributed Generation”, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 2010

[2.59] Quinn C, Zimmerle D, Bradley TH. The effect of communication architecture on the availability, reliability, and economics of plug-in hybrid electric vehicle-to-grid ancillary services. Journal of Power Sources, 195:1500– 1509, 2010.

[2.60] Peterson SB, Whitacrea J, Apt J. Lithium-ion battery cell degradation resulting from realistic vehicle and vehicle-to-grid utilization. Journal of Power Sources, 195:2385–2392,2010.

[61] Andersson SL, Elofsson AK, Galus MD, Goransson L, Karlsson S, Johnsson F, Andersson G. Plug-in hybrid electric vehicles as regulating power providers: case studies of Sweden and Germany. Energy Policy, 38:2751–2762,2010.

[2.62] A.S. Masoum, S. Dei, P. S. Moses, A.A. Siada, “Voltage Profile and THD Distortion of Residential Network with High Penetration of Plug-in Electrical Vehicles”, IEEE/PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), 2010

[2.63] K. Clement-Nyns, E. Haesen, J. Driesen, “The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid”, IEEE Transactions on Power Systems, pp. 371-380, Feb. 2010

[2.64] S. Acha, T.C. Green, N. Shah, “Effects of optimized plug-in hybrid vehicle charging strategies on electric distribution network losses”, IEEE Transmission and Distribution Conference and Exposition, pp. 1-6, Apr. 2010

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
[2.65] L. Pieltain Fernandez, T. Gomez San Roman, R. Cossent, C. Mateo Domingo, P. Frias, “Assessment of the Impact of Plug-in Electric Vehicles on Distribution Networks”, IEEE Transactions on Power Systems, May 2010

[2.66] N. Roterig, M. Ilic, “Optimal Charge Control of Plug-In Hybrid Electric Vehicles in Deregulated Electricity Markets”, IEEE Transactions on Power Systems, Nov. 2010

[2.67] K. Qian, C. Zhou, M. Allan, Y. Yuan, “Modeling of Load Demand Due to EV Battery Charging in Distribution Systems”, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 26, issue 2, Aug. 2010

[2.68] O. Sundström, C. Binding: “Optimization Methods to Plan the Charging of Electric Vehicle Fleets.” In Proceedings of the International Conference on Control, Communication and Power Engineering, pp. 28 - 29, 2010.

[2.69] J. Fluhr, K. H. Ahlert, C. Weinhardt: “A Stochastic Model for Simulating the Availability of Electric Vehicles for Services to the Power Grid.” In 43th International Conference on Systems Sciences, Hawaii, pp. 1 - 10, 2010.

[2.70] Zhongjing Ma, Callaway, D., Hiskens, I., “Decentralised charging control for large population of plug-in electric vehicles: Application of the Nash certainty equivalence principle”, in IEEE International Control applications (CCA) Conference, Yokohama, Sept. 2010.

[2.71] W. Su, M.Y. Chow: “Evaluation on Intelligent Energy Management System for PHEVs/PEVs Using Monte Carlo Method.” In 4th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), pp. 1675 - 1680, 2011.

[2.72] Ekman CK. “On the synergy between large electric vehicle fleet and high wind penetration—an analysis of the Danish case. Renewable Energy”, 36:546–553, 2011.

[2.73] D. Dallinger, D. Krampe, M. Wietschel, Vehicle-to-grid regulation reserves based on a dynamic simulation of mobility behavior, IEEE Trans. Smart Grid, 302-313, 2011.

[2.74] S. Acha, T.C. Green, N. Shah, “Optimal Charging Strategies of Electric Vehicles in the UK Power Market”, IEEE/PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2011

[2.75] E. Sortomme, M.M. Hindi, S.D.J. MacPherson, S.S. Venkata, “Coordinated Charging of Plug-In Hybrid Electric Vehicles to Minimize Distribution System Losses”, IEEE Transactions on Smart Grid, March 2011

[2.76] M. Aliakbar Golki, H. Valizadeh Haghi, “Using a Multivariate DOE Method for Congestion Study in Distribution Systems under Impacts of Plug-in Electric Vehicles”, 21st International Conference on Electricity Distribution, Frankfurt, Germany, June 2011

[2.77] A. G. Anastasiadis, E. Voreadi, and N. D. Hatziargyriou, “Probabilistic Load Flow Methods with High Integration of Renewable Energy Sources and Electric Vehicles – Case Study of Greece”, IEEE PowerTech Conference, Trondheim, June 2011.

[2.78] A.S. Masoum, S. Deilami, P.S.Moses, M.A.S.Masoum, A. Abu-Siada “Smart load management of plug-in electric vehicles in distribution and residential networks with charging stations for peak shaving and loss minimisation considering voltage regulation”, Generation, Transmission & Distribution, IET, vol. 5, issue 8, pp. 877-888, August 2011.

[2.79] S. Deilami, A.S. Masoum, P.S. Moses, M.A.S. Masoum, “Real-Time Coordination of Plug-In Electric Vehicle Charging in Smart Grids to Minimize Power Losses and Improve Voltage Profile”, in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 2, Issue 3, pp 456-467, Sept. 2011.

- [2.80] M. Doostizadeh, M. Khanabadi, A. Esmaeilian, M. Mohseninezhad, “Optimal Energy Management of a Retailer with Smart Metering and Plug-in Hybrid Electric Vehicle”, 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2011
- [2.81] A.Y. Saber, G.K. Venayagamoorthy, Plug-in vehicles and renewable energy sources for cost and emission reductions, IEEE Trans. Ind. Elect., 1229-1238,2011.
- [2.82] J. Hu, S. You, J. Østergaard, M. Lind, Q.W. Wu: “Optimal Charging Schedule of an Electric Vehicle Fleet.” In 46th International Universities' Power Engineering Conference (UPEC), Germany, 2011.
- [2.83] Q. Li, T. Cui, R. Negi, F. Franchetti, M. Ilic, “Online Decentralised Charging of Plug-In Electric Vehicles in Power Systems”, eprint arXiv:1106.5063, Nov. 2011.
- [2.84] C. Wu, H.M. Rad, J. Huang, J. Jatskevich, PEV-based combined frequency and voltage regulation for smart grid, in: Rec. IEEE PES Innovative Smart Grid Tech. Conf. (ISGT), January 2012.
- [2.85] A. De Los Rios, J. Goentzel, K.E. Nordstrom, C.W. Siegert, Economic analysis of vehicle-to-grid (V2G)-enabled fleets participating in the regulation service market, in: Rec. IEEE PES Innovative Smart Grid Tech. Conf. (ISGT), January 2012.
- [2.86] E. Keane, D. Flynn, Potential for electric vehicles to provide power system reserve, in: Rec. IEEE Power and Energy Syst. Innovative Smart Grid Tech. Conf., January 2012.
- [2.87] Q. Gong, S. Midlam-Mohler, V. Marano, G. Rizzoni, “ Study of PEV Charging on Residential Distribution Transformer Life”, IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 3, Issue 1, pp. 404-412, March 2012
- [2.88] M. Yilmaz, P.T. Krein, Review of benefits and challenges of vehicle-to-grid technology, in: Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), IEEE, pp. 3082-3089,2012.
- [2.89] D. Wu, K.T. Chau, C. Liu, S. Gao, F. Li, Transient stability analysis of SMES for smart grid with vehicle-to-grid operation, IEEE Trans. Smart Grid, 1-4,2012
- [2.90] O. Sundstrom, C. Binding: “Flexible Charging Optimization for Electric Vehicles Considering Distribution Grid Constraints.” IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 3, No. 1, pp. 26 - 37, 2012.
- [2.91] T. Lan, J. Hu, Q. Kang, C. Si, L. Wang, Q. Wu: “Optimal Control of an Electric Vehicle’s Charging Schedule under Electricity Markets.” Neural Computing and Application, 2012.
- [2.92] E. Karfopoulos, N. Hatziargyriou, “A multi-agent System for Controlled Charging of a large Population of Electric Vehicles”, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 28, issue 2, pp. 1196-1204, Sept 2012.
- [2.93] E. Karfopoulos, C. Marmaras, N. Hatziargyriou: “Charging Control Model for Electric Vehicle Supplier Aggregator”, 3rd ISGT Conference, IEEE, Berlin, Germany, Oct. 2012
- [2.94] E. Karfopoulos, N.Hatziargyriou, “A Multi-Agent System For Controlled Charging of a Large Population of Electric Vehicles”, IEEE Trans. on Power Systems, 2012
- [2.95] R. Couillet, S. M. Perlaza, H. Tembine, and M. Debbah, “Electrical vehicles in the smart grid: A mean field game analysis,” IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 30, no. 6, pp. 1086-1096, 2012.
- [2.96] W. Tushar, W. Saad, H. V. Poor, and D. B. Smith, “Economics of electric vehicle charging: A game theoretic approach,” IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3, no. 4, pp. 1767-1778, 2012.

- [2.97] Varvara Alimisis and Nikos D. Hatziargyriou, “Evaluation of a Hybrid Power Plant Comprising Used EV-Batteries to Complement Wind Power”, IEEE Trans. On Sustainable energy, vol. 4, no. 2, April 2013.
- [2.98] L. Gan, U. Topcu, S. Low, “Optimal decentralized protocol for electric vehicle charging”, IEEE Trans. On Power Systems, vol. 28, No.2, pp.940-951, May 2013.
- [2.99] Jinfeng Yang; Zaiyue Yang, “Optimal scheduling of electric vehicle using dual decomposition”, 26th Chinese Control and Decision Conference, 2014
- [2.100] Ziming Zhu, S. Lambotharan, Woon Hau Chin, Zhong Fan, “A Mean Field Game Theoretic Approach to Electric Vehicles Charging”, IEEE Access, vol. 4, pp. 3501-3510, 2016
- [2.101] Mohammad Shahidehpour; Chengcheng Shao; Xifan Wang; Xiuli Wang; Biyang Wang, “Partial Decomposition for Distributed Electric Vehicle Charging Control Considering Electric Power Grid Congestion”, IEEE Trans. On Smart Grids, 2016
- [2.102] MERGE deliverable, WP2_Task 2.2-2.5, Deliverable 2.2: “Functional specification for tools to assess steady state and dynamic behaviour impacts, impact on electricity markets and impact of high penetration of EV on the reserve levels”, 2011
- [2.103] J.A. Pecas Lopes, F.J. Soares, P.M. Rocha Almeida, “Identifying Management Procedures to Deal with Connection of Electric Vehicles in the Grid”, IEEE PowerTech, Bucharest, 2009
- [2.104] O. Sundstrom, C. Binding, “Optimization Methods to Plan the Charging of Electric Vehicles Fleets”, International Conference on Control, Communication and Power Engineering, pp. 28-29, 2010.
- [2.105] Peng Minghong, Liu Lian, Jiang Chuanwen, “A review on the economic dispatch and risk management of the large-scale plug-in electric vehicles (PHEVs)-penetrated power systems”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, pp.1508-1515, 2012.
- [2.106] Ahmed Yousuf Saber, Ganesh Kumar Venayagamoorthy, “Unit Commitment with Vehicle-to-Grid using Particle Swarm Optimization”, IEEE PowerTech conf., pp. 1-8, Bucharest, 2009
- [2.107] C. Li, S. Tang, Y. Cao, Y. Xu, Y. Li, J. Li, R. Zhang, “A new stepwise power tariff model and its application for residential consumers in regulated electricity markets”, IEEE PES Trans., vol.28, issue 1, pp. 300-308, 2012.
- [2.108] M. Greer, “Electricity Cost Modeling Calculation”, Elsevier Science, 2010.
- [2.109] Mary B. Cain and Fernando L. Alvarado, “Implications of Cost and Bid Format on Electricity Market Studies: Linear Versus Quadratic Costs”, Large Engineering Systems Conference on Power Engineering, Halifax Canada, Large Engineering Systems Conference on Power Engineering, July 2004, Halifax Canada.
- [2.110] MERGE Deliverable D4.2: Generation System Adequacy for 2020 and 2030. A Study for the Hellenic and Iberian System, pp. 53–63, Feb. 2012, [Online]. Available: <http://goo.gl/rofOy>.
- [2.111] I. Momber, T. Gomez, M. Rivier, and C. Mateo, “Benefits of EV-supplier-aggregators and distribution system operators from applying smart charging of plug-in electric vehicles,” in Proc. Cigrè Int. Symp. the Electric Power System of the Future: Integrating Supergrids and Microgrids, Bologna, Italy, Sep. 2011.
- [2.112] M. W. Gustafson and J. S. Baylor, “The equivalent hours loss factor revisited,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 3, no. 4, pp. 1502–1508, 1988.

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
[2.113] O. M. Mikić, “Variance-based loss computation in low voltage distribution networks,”
IEEE Trans. Power Syst., vol. 22, no. 1, pp. 179–187, 2007.

[2.114] N. Downing, M. Ferdowsi, Ed Bower, C. Joyce, K. Strunz, E. Abbasi, MERGE Deliverable D1.1, Task 1.5, “ Identification of traffic patterns and human behaviours”, May 2010.

[2.115] Tamer Basar & Geert Jan Olsder, “Dynamic non-cooperative Game Theory”, Society for Industrial and Applied Mathematics (Philadelphia)-1998.

[2.116] Zhongjing Ma, Duncan S. Callaway, Ian. A. Hakens, “Decentralised charging control of large populations of plug in electric vehicles”, IEEE Trans. On Control Systems Technology, vol. 21, no. 1, Jan. 2013

[2.117] Francesca Parise, Marcello Colombino, Sergio Grammatico, John Lygeros, “Mean field constrained charging policy for large populations of plug-in electric vehicles”, IEEE 53rd Conf. on Decision and Control, LA, California, USA, Dec. 2014.

[2.118] Zhongjing Ma, Suli Zou, Long Ran. Xingyu Shi, Ian. A. Hakens, “Decentralised coordination for large-scale plug-in electric vehicles in smart grid: an efficient real-time price approach”, IEEE 45th Annual conference on decision and control, Osaka, Japan, Dec. 2015

[2.119] Francesca Parise, Sergio Grammatico, Marcello Colombino, John Lygeros, “On constrained mean field control for large populations of heterogeneous agents: Decentralized convergence to Nash equilibria”, European Control Conference, Linz, July 2015.

[2.120] K. Itô, “Multiple Wiener integral,” J. Math. Soc. Japan, vol. 3, no. 1, pp. 157–169, 1951.

[121] Olivier Guéant , Jean-Michel Lasry, Pierre-Louis Lions, “Mean Field Games and Applications”, Paris-Princeton Lectures on Mathematical Finance 2010, pp. 205–266, 2011

[2.122] B. K. Øksendal, “Stochastic differential equations: an introduction with applications”. Springer Verlag, 2003.

[2.123] M. Wooldridge, “Agent-based software engineering,” Proc. Inst. Elec. Eng., vol. 144, pp. 26-37, 1997.

[2.124] N. Jennings, S. Bussman, “Agent Based Control Systems” IEEE Control Systems Magazine June 2003

[2.125] Άρης Δημέας, “Συμβολή στον καταναμημένο έλεγχο συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας με μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής στην χαμηλής τάσης”, Διδακτορική Διατριβή, 2006

[126] Jacques Ferber. Multi-Agent Systems. An introduction to Distributed Intelligence. Addison-Wesley.

[2.127] V. C. Gungor, D. Sahin, T. Kocak, S. Ergut, C. Buccella, C. Cecati, G. P. Hancke, “Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standrads”, IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol 7, Issue 4, pp. 529-539, November 2011.

[2.128] Zhongjing Ma, “Decentralised valley fill charging control of large population plug-in electric vehicles”, Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Taiyuan, pp. 821 – 826, May 2012.

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Το πρόβλημα βέλτιστης τοποθέτησης υποσταθμών (Διάφορες

επιστημονικές προσεγγίσεις σήμερα στην τοποθέτηση σταθμών φόρτισης EV)

Εισαγωγική παράγραφος του κεφαλαίου.

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται το ζήτημα της βέλτιστης τοποθέτησης σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Στο κεφάλαιο αυτό, με βάση την βιβλιογραφική ανασκόπηση, γίνεται αναφορά σε επιστημονικές μελέτες και έρευνες, διαφόρων πρακτικών που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι τώρα με τα αντίστοιχα προβλήματα που παρουσιάζονται στις εν λόγω εργασίες καθώς και των συμπερασμάτων που απορρέουν από αυτές.

Η κατανόηση των προβλημάτων και στοιχείων που εξάγονται από τις μελέτες αυτές θα μας οδηγήσουν στο μοντέλο που θα επιλέξουμε για εφαρμογή στην διπλωματική εργασία. Διερευνήθηκαν και αναλύθηκαν 52 πρόσφατα επιστημονικά άρθρα της διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με το θέμα μας. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αναφορές στις έρευνες και μελέτες αυτές καθώς και τα συμπεράσματα που απορρέουν από αυτές.

3.1 50 Σχετικές εργασίες για την παραμετροποίηση των σταθμών φόρτισης EVs.

Αναφορές: 11 : (από 1 έως 11)

Η εργασία [1] παρουσιάζει μια προσέγγιση πολλαπλών σταδίων για την τοποθέτηση σταθμών φόρτισης κάτω από τα σενάρια διαφορετικών ρυθμών διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων (EV). Μια προσέγγιση που βασίζεται στη συμπεριφορά των καταναλωτών εφαρμόζεται για την πρόβλεψη της ζήτησης φόρτισης των σταθμών φόρτισης χρησιμοποιώντας ένα ένθετο μοντέλο logit. Λαμβάνονται επίσης υπόψη οι επιπτώσεις τόσο του αστικού οδικού δικτύου όσο και του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας στον σχεδιασμό των σταθμών φόρτισης. Σε κάθε στάδιο σχεδιασμού, η βέλτιστη στρατηγική τοποθέτησης σταθμών προκύπτει μέσω της επίλυσης ενός δικτύου που ονομάζεται Bayesian μεταξύ των παρόχων υπηρεσιών ηλεκτρικής ενέργειας. Για να διερευνηθεί η αλληλεπίδραση του μοτίβου (τρόπου) ταξιδιού, η συμπεριφορά των καταναλωτών, το αστικό οδικό δίκτυο, το δίκτυο ηλεκτρικού δικτύου και η τοποθέτηση του σταθμού φόρτισης, αναπτύσσεται μια πλατφόρμα προσομοίωσης (The EV Virtual City 1.0) χρησιμοποιώντας Java στο Repast. Μοντελοποίηση της μελέτης έγινε στην περιοχή San Pedro του Λος Άντζελες εισάγοντας τα γεωγραφικά και δημογραφικά δεδομένα αυτής της περιοχής στην πλατφόρμα. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης καταδεικνύουν ισχυρή συνέπεια μεταξύ της τοποθέτησης του σταθμού φόρτισης και της ροής κυκλοφορίας των ηλεκτρικών οχημάτων. Τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν επίσης ένα ενδιαφέρον φαινόμενο ότι οι πάροχοι υπηρεσιών ηλεκτρικής ενέργειας προτιμούν την ομαδοποίηση αντί του χωρικού διαχωρισμού .

Συμπερασματικά η εργασία αυτή προτείνει μια προσέγγιση πολλαπλών σταδίων βασισμένη στη συμπεριφορά των καταναλωτών για την επίλυση του προβλήματος της τοποθέτησης σταθμών φόρτισης EV. Το ένθετο 'μοντέλο logit' χρησιμοποιείται για την ανάλυση της συμπεριφοράς φόρτισης των κατόχων EV. Χρησιμοποιούμε το δίκτυο Bayesian για να χαρακτηρίσουμε τον ανταγωνισμό μεταξύ των παρόχων υπηρεσιών ηλεκτρικής ενέργειας και με την επίλυση του δικτύου λαμβάνουμε τις βέλτιστες στρατηγικές τοποθέτησης για τους παρόχους υπηρεσιών. Επιπλέον, στην πλατφόρμα που ονομάζεται "The EV Virtual City 1.0" χρησιμοποιώντας την java, διεξάγεται μία έρευνα στην περιοχή San Pedro του Λος Άντζελες .

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι οι σταθμοί φόρτισης είναι άμεσα συνδεδεμένοι με:

- την τοποθέτηση του σταθμού φόρτισης και
- της ροής κυκλοφορίας των ηλεκτρικών οχημάτων.

Οι παρατηρήσεις από την προσομοίωση ενδεχομένως να χρησιμεύσουν ως κατευθυντήρια γραμμή για την τοπική κοινότητα για την αποτελεσματική προώθηση και διαχείριση της αγοράς φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. **(Αναφορά [1]).**

Η εργασία [2] παρουσιάζει ένα νέο υβριδικό πολυπαραγοντικό εξελικτικό αλγόριθμο, ο οποίος αναπτύσσεται στο παρόν έργο για τη βέλτιστη κατανομή των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EV). Οι σταθμοί φόρτισης πρέπει να τοποθετούνται στο δρόμο κατά τρόπο ώστε να είναι εύκολα προσβάσιμοι από τους οδηγούς ηλεκτρικών οχημάτων και το ηλεκτρικό δίκτυο να μην είναι υπερφορτωμένο. Το πλαίσιο βελτιστοποίησης στοχεύει στην ταυτόχρονη μείωση του κόστους, εξασφαλίζοντας επαρκή σταθερότητα δικτύου και εφικτή προσβασιμότητα στους σταθμούς φόρτισης. Η σταθερότητα του δικτύου μετράτε από έναν σύνθετο δείκτη που αποτελείται από τη σταθερότητα τάσης, την αξιοπιστία και την απώλεια ισχύος (δείκτης VRP). Ο υβριδικός αυτός αλγόριθμος βελτιστοποίησης και ταξινόμησης των σημείων εγκατάστασης σταθμών, βασίζεται σε μια μέθοδο με την ονομασία ‘κυριαρχία Pareto’ και βελτιστοποιεί με τη χρήση μιας μεθόδου (CSO TLBO) την απόκτηση της βέλτιστης θέσης (λύσης) Pareto. Ο αλγόριθμος δύο επιπέδων έχει επικυρωθεί για τα προβλήματα πολλαπλών στόχων αναφοράς, καθώς και για την τοποθέτηση σταθμών φόρτισης EV. Η απόδοση του CSO TLBO που βασίζεται στην ‘κυριαρχία Pareto’ συγκρίνεται με εκείνη άλλων αλγορίθμων τελευταίας τεχνολογίας. Επιπλέον, μια ασαφής λήψη αποφάσεων χρησιμοποιείται για την εξαγωγή της καλύτερης λύσης από το μη κυρίαρχο σύνολο λύσεων. Ο συνδυασμός CSO και TLBO μπορεί να αποφέρει ελπιδοφόρα αποτελέσματα, για τα οποία διαπιστώνεται ότι είναι αποτελεσματικά στην αντιμετώπιση του πρακτικού προβλήματος τοποθέτησης σταθμών φόρτισης. Συμπερασματικά, η κατασκευή σταθμού φόρτισης είναι πράγματι πολύ σημαντική για την προώθηση των ηλεκτρικών οχημάτων. Η τοποθέτηση των σταθμών φόρτισης πρέπει να λαμβάνει υπόψη το κόστος, τα χαρακτηριστικά του δικτύου διανομής και την προσβασιμότητα των σταθμών φόρτισης ταυτόχρονα. Το πρόβλημα τοποθέτησης σταθμών φόρτισης αναπαρίσταται σε ένα πλαίσιο πολλών στόχων με:

- το κόστος,
- τον δείκτη VRP και
- τον δείκτη προσβασιμότητας ,

ως αντικειμενικές λειτουργίες. Η επιστημονική συμβολή αυτού του έργου έγκειται όχι μόνο στην πρόταση ενός πλαισίου πολλών στόχων για την επίλυση του προβλήματος τοποθέτησης σταθμών φόρτισης, αλλά και στην ανάπτυξη ενός CSO TLBO (Teaching Learning based Optimization) που βασίζεται στην κυριαρχία (βέλτιστη λύση) με την ονομασία ‘Pareto’ για το πρόβλημα τοποθέτησης σταθμών φόρτισης και στην ασαφή επιλογή βέλτιστων λύσεων Pareto. Έτσι, έχουμε διερευνήσει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο σχεδιασμού για σταθμούς φόρτισης χρησιμοποιώντας βελτιστοποίηση πολλαπλών στόχων, ασαφή λήψη αποφάσεων και χαρτογράφηση σημείων.

Ο υβριδικός αυτός αλγόριθμος βρέθηκε ότι είναι ανώτερος στον χειρισμό του προβλήματος τοποθέτησης του σταθμού φόρτισης καθώς και στην αντιμετώπιση των τυπικών προβλημάτων αναφοράς . Μια μελλοντική εργασία πρέπει να στοχεύει στη σύγκριση της απόδοσης αυτού του νέου αλγορίθμου αντιμετωπίζοντας άλλα βέλτιστα προβλήματα τοποθέτησης. **(Αναφορά [2])**

Η εργασία [3] παρουσιάζει, το πρόβλημα τοποθέτησης σταθμών φόρτισης λαμβάνοντας υπόψη την αβεβαιότητα της οδικής κυκλοφορίας. Οι τρέχουσες κρίσιμες παγκόσμιες ανησυχίες σχετικά με

την εξάντληση των ορυκτών καυσίμων και τη ρύπανση του περιβάλλοντος έχουν οδηγήσει σε εξελίξεις στον εξηλεκτρισμό των μεταφορών και στις σχετικές τεχνολογίες μπαταριών. Με τη σειρά της, η επικείμενη αυξανόμενος αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) απαιτεί την ανάπτυξη μιας καλά σχεδιασμένης υποδομής φόρτισης. Ωστόσο, μια ακατάλληλη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης μπορεί να παρεμποδίσει την ομαλή λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου και να είναι ενοχλητική για τους οδηγούς ηλεκτρικών οχημάτων. Έτσι, προτείνεται ένα νέο μοντέλο σχεδιασμού δύο σταδίων για την τοποθέτηση σταθμών φόρτισης. Οι υποψήφιες τοποθεσίες για την τοποθέτηση σταθμών φόρτισης καθορίζονται πρώτα από ασαφή συμπεράσματα λαμβάνοντας υπόψη την απόσταση, την οδική κυκλοφορία και τη σταθερότητα του δικτύου. Η τυχαία σειρά στην οδική κυκλοφορία μοντελοποιείται με την εφαρμογή ενός δικτύου 'Bayesian (BN)'.

Στη συνέχεια, το πρόβλημα τοποθέτησης του σταθμού φόρτισης αντιπροσωπεύεται σε ένα πλαίσιο πολλαπλών στόχων με παραμέτρους :

- κόστος,
- δείκτη απώλειας ισχύος αξιοπιστίας
- σταθερότητας τάσης (VRP),
- δείκτη προσβασιμότητας και
- χρόνο αναμονής ως αντικειμενικές λειτουργίες.

Ένας υβριδικός αλγόριθμος που συνδυάζει τη βελτιστοποίηση ταξινόμησης και τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης βάσει μιας μεθόδου (CSO TLBO), χρησιμοποιείται για την απόκτηση μιας πρώτης επιλογής 'Pareto'. Επιπλέον, η ασαφής λήψη αποφάσεων χρησιμοποιείται για τη σύγκριση των βέλτιστων λύσεων 'Pareto'. Το προτεινόμενο μοντέλο σχεδιασμού επικυρώνεται σε ένα υπερκείμενο δίκτυο δοκιμών σε ζυγούς IEEE 33 και 25 κόμβων και σε ένα πρακτικό δίκτυο στο Tianjin της Κίνας. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης επικυρώνουν την αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου μοντέλου.

Συμπερασματικά καταλήγουμε ότι , η ανάπτυξη μιας καλά σχεδιασμένης υποδομής φόρτισης είναι ζωτικής σημασίας για την προώθηση των ηλεκτρικών οχημάτων. Οι παρούσες εργασίες προτείνουν ένα αποτελεσματικό μοντέλο σχεδιασμού για τους σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, λαμβάνοντας υπόψη τις θεμελιώδεις παραμέτρους σχεδιασμού ενός εύρυθμου δικτύου φόρτισης, το οποίο μπορεί να συνοψιστεί ως κόστος, σεβόμενο τις παραμέτρους λειτουργίας του δικτύου διανομής και την ευκολία του δικτύου φόρτισης για τους οδηγούς ηλεκτρικών οχημάτων (π.χ. προσβασιμότητα και χρόνοι αναμονής στους σταθμούς φόρτισης). Επιπλέον, οι παρούσες εργασίες προτείνουν ένα μοντέλο σχεδιασμού δύο σταδίων για σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Πρώτον, οι υποψήφιες θέσεις για την τοποθέτηση σταθμών φόρτισης θα πρέπει να προσδιορίζονται με την εφαρμογή ασαφούς λογικής. Στο δεύτερο στάδιο, υπολογίζονται οι βέλτιστες τοποθεσίες, ο τύπος και ο αριθμός των σταθμών φόρτισης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι το μοντέλο σχεδιασμού είναι αρκετά αποτελεσματικό για να εφαρμοστεί σε ένα πραγματικό περιβάλλον. **(Αναφορά [3])**

Η εργασία [4] παρουσιάζει, ένα σχεδιασμό ενίσχυσης ενεργού συστήματος διανομής με σταθμούς φόρτισης EV με την μοντελοποίηση αβεβαιότητας και την διαμόρφωση προβλημάτων που απορρέουν. Λόγω των σχετικών αβεβαιοτήτων, η μεγάλης κλίμακας ανάπτυξη ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) και η ανανεώσιμη καταναεμημένη παραγωγή είναι μια σημαντική πρόκληση που αντιμετωπίζουν τα σύγχρονα συστήματα διανομής. Το πρώτο μέρος αυτής της σειράς δύο εργασιών προτείνει ένα στοχαστικό μοντέλο βασισμένο σε σενάρια με πολλαπλά στάδια για τον κοινό σχεδιασμό ενίσχυσης των συστημάτων διανομής και των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

(EVCSs). Η ιστορική ζήτηση φόρτισης EV προσδιορίζεται για πρώτη φορά χρησιμοποιώντας την ανάλυση των μοτίβων (τρόπων) οδήγησης EV και της ζήτησης φόρτισης. Ένας πίνακας σεναρίου, βασισμένος στη μέθοδο εύρεσης των αντιστοίχων στιγμών, δημιουργείται στη συνέχεια για να χαρακτηρίσει τα στοχαστικά χαρακτηριστικά και τη συσχέτιση μεταξύ της ιστορικής αιολικής και φωτοβολταϊκής παραγωγής, καθώς και των συμβατικών φορτίων και των απαιτήσεων EV. Στη συνέχεια, ο πίνακας σεναρίων χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση του πλαισίου σχεδιασμού επέκτασης, με στόχο την ελαχιστοποίηση του επενδυτικού και λειτουργικού κόστους. Το προτεινόμενο σχέδιο επέκτασης καθορίζει τη βέλτιστη κατασκευή/ενίσχυση υποσταθμών, EVCS και τροφοδοσίας, εκτός από την τοποθέτηση ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών γεννητριών, και πυκνωτών στον ορίζοντα σχεδιασμού πολλαπλών σταδίων. Στη δεύτερη συνοδευτική εργασία, η αποτελεσματικότητα και η επεκτασιμότητα του προτεινόμενου μοντέλου αξιολογείται μέσω περιπτώσιολογικών μελετών στα συστήματα διανομής 18 ζυγών και IEEE 123 ζυγών, αντίστοιχα. Συμπερασματικά, η ταχεία υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων και η αποκεντρωμένη παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές θεωρείται σημαντική πρόκληση όσον αφορά τη λειτουργία και τον σχεδιασμό σύγχρονων συστημάτων διανομής. Ειδικότερα, οι αβεβαιότητες που συνδέονται με τη ζήτηση ηλεκτρικών οχημάτων και στους χωρίς κατανομή παραγωγούς ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, δεν έχουν ακόμη αντιμετωπιστεί πλήρως στο πλαίσιο του σχεδιασμού επέκτασης του συστήματος διανομής. Το πρώτο μέρος αυτής της σειράς δύο εργασιών πρότεινε ένα στοχαστικό μοντέλο βασισμένο σε σεσάρια για τον πολυβάθμιο σχεδιασμό επέκτασης των συστημάτων διανομής και των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Η ζήτηση φόρτισης EV προσδιορίστηκε για πρώτη φορά χρησιμοποιώντας τη χρονική ανάλυση SoC με βάση το μοντέλο Markov των προτύπων οδήγησης EV και της ζήτησης φόρτισης. Στη συνέχεια, ο πίνακας σεναρίου αποκτήθηκε με τη μέθοδο της αντιστοίχισης εύρεσης στιγμών, η οποία εγγυόταν τη ρητή αναπαράσταση των στοχαστικών χαρακτηριστικών και τη συσχέτιση μεταξύ της ιστορικής παραγωγής αιολικής και φωτοβολταϊκής ενέργειας και των συμβατικών φορτίων και των απαιτήσεων EV. Ο πίνακας σεναρίων χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη της διατύπωσης σχεδιασμού στοχαστικής επέκτασης, με στόχο την ελαχιστοποίηση του επενδυτικού και λειτουργικού κόστους. Η βέλτιστη λύση σχεδιασμού επέκτασης καθόρισε την κατασκευή/ενίσχυση υποσταθμών EVCS και μετασχηματιστών, μαζί με την τοποθέτηση κατανεμημένων γεννητριών και πυκνωτών στον σχεδιασμό. Τα αριθμητικά αποτελέσματα και οι λεπτομερείς συζητήσεις παρουσιάζονται στο Μέρος II αυτής της σειράς δύο εγγράφων. Το σύστημα διανομής 18 ζυγών χρησιμοποιείται για τη δοκιμή του αναπτυγμένου μοντέλου και η επεκτασιμότητά του αξιολογείται περαιτέρω στο σύστημα διανομής IEEE 123 ζυγών. Περαιτέρω εργασίες θα διερευνήσουν τις προοπτικές και τις προκλήσεις που προκύπτουν από την ενσωμάτωση των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας και τους περιορισμούς της κυκλοφορίας στα συστήματα διανομής. Θα διεξαχθεί επίσης έρευνα για τη διερεύνηση διαφόρων τεχνολογιών κατανεμημένων ενεργειακών πόρων, όπως οι μονάδες συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας και οι λέβητες αερίου, ώστε να παρασχεθούν ευνοϊκές λύσεις για την υλοποίηση συστημάτων διανομής πολλαπλών ενεργειακών συστημάτων χαμηλού κόστους και χαμηλών ανθρακούχων εκπομπών. **(Αναφορά [4]).**

Η εργασία [5] παρουσιάζει, το δεύτερο μέρος της εργασίας [4] με τα αριθμητικά αποτελέσματα. Το δεύτερο μέρος αυτής της σειράς δύο εργασιών συζητά δύο περιπτώσιολογικές μελέτες για να επιβεβαιώσει την αποτελεσματικότητα του στοχαστικού μοντέλου που βασίζεται σε σεσάρια και

αναπτύχθηκε στο πρώτο μέρος για τον πολλαπλό βαθμό και σχεδιασμό επέκτασης των συστημάτων διανομής και των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Τα αριθμητικά αποτελέσματα που λαμβάνονται στο σύστημα διανομής 18 ζυγών επιβεβαιώνουν την αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης προσέγγισης μέσω της ελαχιστοποίησης του συνολικού επενδυτικού και λειτουργικού κόστους και του επαρκούς χαρακτηρισμού των αβεβαιοτήτων. Η προτεινόμενη λύση καθορίζει τη βέλτιστη κατασκευή/ενίσχυση υποσταθμών, σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και τροφοδότες, καθώς και την τοποθέτηση κατανεμημένων γεννητριών και πυκνωτών κατά μήκος του σχεδιασμού τριών σταδίων. Η συγκριτική ανάλυση της προτεινόμενης προσέγγισης, έναντι των διαφορετικών και ισχυρών προσεγγίσεων επιβεβαιώνει την υπεροχή της στην αντιμετώπιση των αβεβαιοτήτων της αιολικής και φωτοβολταϊκής παραγωγής, καθώς και των συμβατικών φορτίων και των απαιτήσεων των ηλεκτρικών οχημάτων. Τέλος, η επεκτασιμότητα της προτεινόμενης προσέγγισης επιβεβαιώνεται με τη χρήση του συστήματος διανομής IEEE 123 ζυγών.

Συμπερασματικά, ένα στοχαστικό μοντέλο βασισμένο σε σενάρια για τον σχεδιασμό πολλαπλών βαθμών επέκτασης των συστημάτων διανομής και των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων προτάθηκε στην πρώτη από αυτή τη σειρά δύο μελετών της [4] και της [5]. Στο Μέρος II δηλαδή [5], η εγκυρότητα του προτεινόμενου μοντέλου δοκιμάστηκε μέσω εκτεταμένων αριθμητικών αποτελεσμάτων και συζητήσεων, που πραγματοποιήθηκαν στο σύστημα διανομής 18 ζυγών. Επιπλέον, η επεκτασιμότητα του προτεινόμενου μοντέλου δοκιμάστηκε και επιβεβαιώθηκε στο IEEE 123- σύστημα διανομής ζυγών. Για να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης στοχαστικής προσέγγισης DSEP βάσει σεναρίου, εξετάστηκαν τέσσερις περιπτώσεις δοκιμής. Τα αριθμητικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η λύση σχεδιασμού επέκτασης που παρέχεται από την ντετερμινιστική προσέγγιση (ύπαρξη της αιτιότητας) χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι σταθμοί φόρτισης EV ήταν η πιο δαπανηρή. Από την άλλη, το συνολικό κόστος της λύσης σχεδιασμού επέκτασης μειώθηκε σημαντικά όταν εξετάστηκε η κατανομή του EVCS, λόγω της αναβολής των επενδύσεων στους υποσταθμούς και τους τροφοδότες. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις του Μόντε Κάρλο για την αξιολόγηση της απόδοσης της προτεινόμενης λύσης σχεδιασμού επέκτασης όσον αφορά το ποσοστό αστοχίας της χωρητικότητας του υποσταθμού. Η λύση σχεδιασμού επέκτασης που προέκυψε από την ντετερμινιστική προσέγγιση λαμβάνοντας υπόψη τα EVCS ήταν η πιο οικονομική. Ωστόσο, τα ποσοστά αστοχίας της χωρητικότητας του υποσταθμού ήταν εξαιρετικά υψηλά. Διαπιστώθηκε ότι η προτεινόμενη προσέγγιση είχε τα χαμηλότερα ποσοστά αστοχίας υποσταθμών, ως εκ τούτου παρέχοντας την καλύτερη απόδοση όσον αφορά τη διαχείριση των αβεβαιοτήτων που σχετίζονται με την ανανεώσιμη κατανεμημένη παραγωγή, τα συμβατικά φορτία και τις απαιτήσεις EV. Η προτεινόμενη προσέγγιση συγκρίθηκε περαιτέρω με μια υφιστάμενη ισχυρή προσέγγιση που λάμβανε υπόψη μόνο τις αβεβαιότητες του συμβατικού φορτίου και της ζήτησης ηλεκτρικών οχημάτων. Αποδείχθηκε ότι, αν και η προτεινόμενη προσέγγιση αύξησε ελαφρώς το κόστος, τα ποσοστά αστοχίας της χωρητικότητας των υποσταθμών μειώθηκαν. Η προτεινόμενη λύση σχεδιασμού επέκτασης έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί από τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων διανομής και τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας για την επίτευξη της υλοποίησης συστημάτων διανομής ενέργειας χαμηλού κόστους και χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Με βάση τις γνώσεις που αποκτήθηκαν από αυτό το έργο, οι ακόλουθοι τομείς αξίζουν περαιτέρω ερευνητική προσπάθεια :

1. Πρώτον, θα πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω αποτελεσματικές τεχνικές μοντελοποίησης της αβεβαιότητας βάσει δεδομένων, προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι διάφορες αβεβαιότητες, μαζί με τις χρονικές και χωρικές συσχετίσεις τους.
2. Δεύτερον, θα πρέπει να αξιοποιηθούν προηγμένες τεχνικές ελέγχου και προγράμματα απόκρισης ζήτησης για τον μετριασμό του ποσοστού αστοχίας της χωρητικότητας του

υποσταθμού και τη διασφάλιση της αξιοπιστίας της λειτουργίας της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

3. Τρίτον, θα πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω τα ολοκληρωμένα πλαίσια σχεδιασμού για την επίτευξη της ταυτόχρονης βελτιστοποίησης των τεχνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών στόχων, π.χ. με τη χρήση των διατυπώσεων πολλαπλών στόχων. **(Αναφορά [5])**

Η εργασία [6] παρουσιάζει, μια προσέγγιση βασισμένη στην τεχνητή νοημοσύνη για τη βέλτιστη τοποθέτηση του EVCS. Αναμένεται ότι οι μελλοντικές μεταφορές θα βασίζονται σε ηλεκτρικά οχήματα λόγω της βιωσιμότητάς τους και των μειωμένων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ωστόσο, η ταχεία αύξηση της διείσδυσης ηλεκτρικού φορτίου προκαλεί αρκετές άλλες ανησυχίες, συμπεριλαμβανομένης της

- αναντιστοιχίας παραγωγής-ζήτησης,
- της αυξημένης απώλειας ενεργού ισχύος δικτύου,
- της υποβάθμισης του προφίλ τάσης και του
- μειωμένου περιθωρίου σταθερότητας τάσης.

Για να ξεπεραστούν τα ζητήματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως, είναι απαραίτητη η σωστή ενσωμάτωση των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EVCS) σε κατάλληλες τοποθεσίες. Η σύνδεση ενός EVCS με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας θα φέρει νέες προκλήσεις. Οι πηγές καταναμημένης παραγωγής (DG) ενσωματώνονται στο EVCS για να μειώσουν τον αντίκτυπο του φορτίου φόρτισης EV. Σε αυτή τη μελέτη, οι σταθμοί φόρτισης συνδυάζονται με μονάδες DG, γεγονός που αυξάνει το κίνητρο για χρήση ηλεκτρικών οχημάτων. Η προτεινόμενη μεθοδολογία επαληθεύεται στα συστήματα ζυγών IEEE-33 και ζυγών IEEE-69. Σύμφωνα με τα ευρήματα, τα ληφθέντα αποτελέσματα είναι συνεπή σε σύγκριση με άλλες υπάρχουσες τεχνικές. Αυτά τα ευρήματα λαμβάνονται υπόψη για την ανάλυση της αξιοπιστίας των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Αναφέρεται ότι η χρήση επαρκών δεδομένων αξιοπιστίας των κατάλληλα ενσωματωμένων DG και EVs αυξάνει την αξιοπιστία του ηλεκτρικού συστήματος.

Συμπερασματικά, τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν βιώσιμη επιλογή για τη μείωση της ρύπανσης που σχετίζεται με τις μεταφορές. Η αυξανόμενη τάση των ηλεκτρικών οχημάτων είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία EVCS. Ωστόσο, η αρνητική επίδραση των φορτίων σταθμών φόρτισης EV στο ηλεκτρικό σύστημα δεν μπορεί να αγνοηθεί. Αυτή η μελέτη παρουσιάζει τον αντίκτυπο του EVCS στο τυποποιημένο σύστημα IEEE με βάση μια ανάλυση ροής φορτίου που βασίζεται σε άμεση προσέγγιση. Η διαδικασία φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων απαιτεί πρόσθετη ισχύ από το δίκτυο, με αποτέλεσμα μεγαλύτερες απώλειες ισχύος. Ως εκ τούτου, η DG θα πρέπει να ληφθεί υπόψη για να αντισταθμίσει τις απώλειες ισχύος που παράγονται από το EVCS. Το TYPE 2 DG χρησιμοποιείται σε αυτό το έργο, το οποίο αναπληρώνει για την απώλεια ισχύος του συστήματος. Επιπλέον, ένας υβριδικός αλγόριθμος που ονομάζεται HGWOPSO έχει χρησιμοποιηθεί για τη μείωση των απωλειών καθορίζοντας τον βέλτιστο κόμβο για EVCS και τοποθέτηση DG. Ο προτεινόμενος υβριδικός αλγόριθμος επικυρώνεται στα συστήματα ζυγών, IEEE-33 και IEEE-69. Επιπλέον, η ακρίβεια της προτεινόμενης μεθόδου επικυρώνεται συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που αποκτήθηκαν χρησιμοποιώντας άλλες μεθοδολογικές προσεγγίσεις όπως η GWO και η PSO. Παρατηρείται ότι το HGWOPSO παρουσιάζει σημαντική μείωση των απωλειών του συστήματος σε σύγκριση με τα GWO και PSO για συστήματα 33 ζυγών καθώς και για συστήματα 69 ζυγών. Εκτός από τους περιορισμούς τάσης και ρεύματος, ο αριθμός των φορτίων φόρτισης EV είναι σταθερός και οι γενικές διευθύνσεις προστίθενται στο δίκτυο δικτύου για να μειώσουν τις απώλειες του συστήματος. Είναι εύκολο για τους μηχανικούς ισχύος να επιλέξουν τον αριθμό των DG για την αντιστάθμιση της επιρροής του EVCS αναλύοντας την αναντιστοιχία στην ικανότητα του πρόσθετου φορτίου EVCS και συνολικό φορτίο συστήματος. Στο σύστημα με ζυγούς IEEE-33, δύο γενικές διευθύνσεις βελτιώνουν

ικανοποιητικά τις επιδόσεις του συστήματος, ενώ η ποσότητα των DG που απαιτούνται στο σύστημα με ζυγούς IEEE-69 είναι τέσσερις. Αν και οι απώλειες ισχύος ελαχιστοποιούνται και το προφίλ τάσης ενισχύεται στην αύξηση των DG, ο αντίκτυπος της συγκεκριμένης τέταρτης DG είναι οριακός. Επιπλέον, πραγματοποιείται ανάλυση αξιοπιστίας για τον προσδιορισμό της σωρευτικής επίδρασης των φορτίων EV και των γενικών διευθύνσεων στην υγεία του συστήματος διανομής. Όλοι οι δείκτες αξιοπιστίας διερευνώνται σε διαφορετικά σενάρια. Παρατηρείται ότι η τοποθέτηση του EVCS υποβαθμίζει την αξιοπιστία του δικτύου σε συστήματα 33 ζυγών και 69 ζυγών. Ωστόσο, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η ενσωμάτωση των DG μαζί με το EVCS βελτιώνει τους δείκτες αξιοπιστίας. Ωστόσο, η τρέχουσα ερευνητική εργασία έχει αρκετούς περιορισμούς, όπως η χρήση μιας στοχαστικής προσέγγισης για την κατασκευή του φορτίου EV σε σταθμούς φόρτισης, προκειμένου να εκτιμηθεί ο αντίκτυπος της αυξημένης ζήτησης EV στο σύστημα διανομής. Επιπλέον, αντί των συμβατικών DG, μπορούν να συμπεριληφθούν γενικές διευθύνσεις που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή/αιολική ενέργεια. Επιπλέον, τα συζευγμένα δίκτυα μεταφοράς και διανομής μπορούν να ληφθούν ως σύστημα δοκιμών. Ακολουθούν τα ερευνητικά προβλήματα που μπορούν να αντιμετωπιστούν στο μέλλον:

- Λαμβάνοντας υπόψη τα μεγαλύτερα πρότυπα συστήματα IEEE όπως το 118-bus.
- Μπορούν επίσης να προστεθούν δεδομένα αξιοπιστίας υποσυστήματος, παρέχοντας μια ακριβή εικόνα της συνολικής αξιοπιστίας του συστήματος.
- Ο αριθμός των υποκαταστημάτων σε ένα σύστημα ισχύος μπορεί επίσης να αλλάξει για να βελτιωθεί η αξιοπιστία, η οποία αναφέρεται ως αναδιαμόρφωση του συστήματος. Επιπλέον, η εξάρτηση από τις εκπομπές CO₂, καθώς και η προστασία και η ασφάλεια των κατασκευαστικών στοιχείων του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, μπορούν επίσης να αντιμετωπιστούν κατά την αξιολόγηση της αξιοπιστίας του συστήματος.
- Θα μπορούσε να διερευνηθεί μια πιο συστηματική προσέγγιση σε ζητήματα θέσης σταθμών φόρτισης, λαμβάνοντας υπόψη τη συμπεριφορά των καταναλωτών εν βάσει δραστηριότητας.
- Οι διακυμάνσεις του ημερήσιου φορτίου, οι διακυμάνσεις των περιβαλλοντικών μεταβλητών, όπως η θερμοκρασία, η ακτινοβολία και ο άνεμος, οι οποίες ενδέχεται να επηρεάσουν τις γενικές διευθύνσεις, όπως τα ηλιακά φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες, θα πρέπει να λαμβάνονται δεόντως υπόψη. **(Αναφορά [6])**

Η εργασία [7] παρουσιάζει, την κατανομή του σταθμού ταχείας φόρτισης EV με εγκατάσταση V2G στο δίκτυο διανομής. Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι ένας από τους καλύτερους τρόπους για την αποφυγή της ρύπανσης από τους τομείς των μεταφορών. Οι σταθμοί φόρτισης απαιτούνται για τη φόρτιση της μπαταρίας του οχήματος. Για να αντιμετωπίσουμε την αυξημένη ζήτηση ισχύος κατά τη διάρκεια της φόρτισης EV, η απώλεια ισχύος του συστήματος διανομής αυξάνεται και η τάση μειώνεται. Για να διατηρήσετε το προφίλ τάσης υγιές και την απώλεια ισχύος όσο το δυνατόν λιγότερο, είναι απαραίτητη η τοποθέτηση του σταθμού φόρτισης στον βέλτιστο κόμβο. Σε αυτό το άρθρο, έχει γίνει κατανομή σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στο ακτινικό δίκτυο διανομής ζυγών IEEE 33. Για την παροχή της δυνατότητας φόρτισης σε διαφορετική θέση μιας περιοχής, το δίκτυο διανομής έχει χωριστεί σε τρεις περιοχές. Ένας σταθμός φόρτισης έχει τοποθετηθεί σε κάθε τρεις διαφορετικές περιοχές. Το πρόβλημα έχει οριστεί ως πρόβλημα βελτιστοποίησης και έχει επιλυθεί χρησιμοποιώντας τη βελτιστοποίηση Grey Wolf (GWO) και τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης Whale (WOA).

Συμπερασματικά, το GWO και το WOA έχουν χρησιμοποιηθεί για την επίλυση του προβλήματος κατανομής. Τα ίδια αποτελέσματα και από τις δύο τεχνικές επιβεβαιώνουν ότι οι λύσεις είναι βέλτιστες. Σε αυτή την ερευνητική εργασία, έχει παρατηρηθεί ότι η κατανομή σταθμών φόρτισης EV

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ έχει αξιοσημείωτη επίδραση στο σύστημα διανομής. Αλλά μόνο η ελαχιστοποίηση της απώλειας ισχύος δεν πρέπει να είναι ο κύριος στόχος. Οι τοποθεσίες των σταθμών φόρτισης δεν πρέπει να απέχουν πολύ από τον ιδιοκτήτη εν, επειδή είναι κυρίως πελατοκεντρική υπηρεσία. Έτσι, η κατανομή από άποψη περιοχής είναι πολύ πιο ρεαλιστική. Ωστόσο, η κατανομή του σταθμού φόρτισης σε διαφορετική περιοχή έχει αρνητικές επιπτώσεις όσον αφορά την απώλεια ισχύος και την πτώση τάσης. **(Αναφορά [7])**

Η εργασία [8] παρουσιάζει, την τοποθέτηση πυκνωτή σε σύστημα μικροδικτύου υπό διείσδυση φορτίου Evs. Αυτή η εργασία παρουσιάζει την αυτοματοποίηση της τοποθέτησης πυκνωτών σε σύστημα μικροδικτύων υπό διείσδυση φορτίου EVs. Το προτεινόμενο σύστημα διανομής μικροδικτύων 26 ζυγών επιλέγεται για την προσομοίωση της απόδοσης του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων, συμπεριλαμβανομένου του σταθμού φόρτισης. Η σύγκριση μεταξύ της μεθόδου RLF και HIMPL προτείνεται επίσης σε αυτή τη μελέτη. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν ότι η βέλτιστη τοποθέτηση πυκνωτή όταν ποικίλλει το επίπεδο διείσδυσης φορτίου EVs, η μέθοδος RLF μπορεί να βρεθεί ως η βέλτιστη θέση κάτω από ακατανόητη για τον πυκνωτή μεγέθους. Εν τω μεταξύ, Η μέθοδος HIMPL μπορεί επίσης να λάβει τη βέλτιστη θέση ως μέθοδος RLF χρησιμοποιώντας την επιλογή του βέλτιστου μεγέθους πυκνωτή. Η βέλτιστη θέση και το βέλτιστο μέγεθος του πυκνωτή είναι το No 14, μέγεθος πυκνωτή 7.500 kVar, αντίστοιχα. Ως εκ τούτου, αυτή η μελέτη μπορεί να επαληθεύσει την επιλογή του μεγέθους του πυκνωτή για τοποθέτηση σε σύστημα μικροδικτύου όταν είναι εγκατεστημένος ο σταθμός φόρτωσης και φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων.

Συμπερασματικά, σε αυτή την μελέτη, οι προσομοιώσεις δείχνουν βέλτιστη απώλεια ενεργού ισχύος στο σύστημα διανομής μικροδικτύου 26 ζυγών όταν μεταβάλλεται το επίπεδο διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων 5% έως 120% και το μέγεθος του πυκνωτή από 200 kVar έως 10.000 kVar που έδειξε πολλές ποικιλίες της κατάστασης σε ρεαλιστικό επίπεδο. Κατά συνέπεια, η νέα μεθοδολογία προς το παρόν μπορεί να λύσει στη βέλτιστη θέση και το μέγεθος του πυκνωτή και αποδεικνύεται σύμφωνα με τη μέθοδο RLF στη βέλτιστη θέση. Επομένως, η μέθοδος HIMPL μπορεί να επιλέξει το βέλτιστο μέγεθος του πυκνωτή και να ελαχιστοποιήσει τη μέση συνολική απώλεια πραγματικής ισχύος όταν το επίπεδο διείσδυσης των διαφόρων ηλεκτρικών οχημάτων ήταν 7.500 kVar και 22,55 kW, αντίστοιχα. Στο μέλλον, η μέθοδος HIMPL θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε περίπτωση διαφοράς για την επίλυση της ανάλυσης του συστήματος ισχύος. **(Αναφορά [8]).**

Η εργασία [9] παρουσιάζει, τον σχεδιασμό σταθμών φόρτισης δύο επιπέδων για ολοκληρωμένο σύστημα διανομής και μεταφοράς ισχύος. Το παρόν έγγραφο προτείνει ένα πλαίσιο σχεδιασμού σταθμών φόρτισης δύο επιπέδων. Ένα θεωρητικό ‘μοντέλο παιχνιδιού’ διαμορφώνεται στο χαμηλότερο λειτουργικό επίπεδο για να μοντελοποιήσει τον ανταγωνισμό μεταξύ των σταθμών φόρτισης και των ηλεκτρικών οχημάτων. Στο ανώτερο επίπεδο σχεδιασμού, χρησιμοποιείται μια μέθοδος διασταυρούμενης εντροπίας για την εύρεση των υποψήφιων θέσεων για τους σταθμούς φόρτισης με βάση τα λειτουργικά αποτελέσματα στο χαμηλότερο επίπεδο. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι η προτεινόμενη προσέγγιση σχεδιασμού ωφελεί τα δύο συστήματα :

- μειώνοντας το φορτίο αιχμής και
- βελτιώνοντας αποτελεσματικά τις συνθήκες κυκλοφορίας. **(Αναφορά [9])**

Η εργασία [10] παρουσιάζει, την τοποθέτηση σταθμού φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα. Μια μελέτη περίπτωσης της πόλης Guwahati της Ινδίας. Ο συνεχώς αυξανόμενος πληθυσμός της Ινδίας σε συνδυασμό με τις πρόσφατες ανησυχίες σχετικά με την εξάντληση των ορυκτών καυσίμων και τη

ρύπανση του περιβάλλοντος κατέστησε απαραίτητη την ανάπτυξη εναλλακτικού τρόπου μεταφοράς. Η αγορά ηλεκτρικών οχημάτων (EV) στην Ινδία επεκτείνεται. Για την αποδοχή των ηλεκτρικών οχημάτων από τις μάζες, η ανάπτυξη υποδομών φόρτισης είναι υψίστης σημασίας. Αυτό το έργο διαμορφώνει και λύνει το πρόβλημα σχεδιασμού υποδομών φόρτισης για την πόλη Guwahati της Ινδίας που θα αναπτυχθεί σύντομα ως έξυπνη πόλη. Το πρόβλημα της κατανομής του σταθμού φόρτισης πλαισιώθηκε σε ένα πλαίσιο πολλαπλών στόχων λαμβάνοντας υπόψη τους :
οικονομικούς παράγοντες,

- τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού δικτύου όπως η σταθερότητα της τάσης, η αξιοπιστία, η απώλεια ισχύος, καθώς και
- η ευκολία των χρηστών ηλεκτρικών οχημάτων και
- η τυχαία οδική κυκλοφορία.

Το πρόβλημα τοποθέτησης λύθηκε με τη χρήση ενός υβριδικού αλγορίθμου που βασίζεται στην ‘κυριαρχία Pareto’, ο οποίος συγχωνεύει τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης σμήνους ιεράρχησης (CSO) και βελτιστοποίησης βάσει διδασκαλίας (TLBO). Τέλος, οι βέλτιστες λύσεις ‘Pareto’ συγκρίθηκαν με ασαφή λήψη αποφάσεων.

Συμπερασματικά, η βιώσιμη ανάπτυξη των υποδομών φόρτισης είναι απαραίτητη για την προώθηση των ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτή η μελέτη έλυσε το πρόβλημα τοποθέτησης σταθμών φόρτισης στο πλαίσιο της πόλης Guwahati, μιας επερχόμενης έξυπνης πόλης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η προτεινόμενη προσέγγιση είναι ικανή να καταναείμει τους σταθμούς φόρτισης με τη μικρότερη δυνατή βλάβη στις παραμέτρους λειτουργίας του δικτύου διανομής ισχύος και ταυτόχρονα να λαμβάνει υπόψη την ευκολία των οδηγών ηλεκτρικών οχημάτων. Επιπλέον, οι συγγραφείς θα προσπαθήσουν να προσεγγίσουν τις αρμόδιες αρχές και να εφαρμόσουν το μοντέλο σχεδιασμού σε ολόκληρη την πόλη Guwahati καθώς και σε άλλες ινδικές πόλεις στο μέλλον. Οι μελλοντικές μας εργασίες θα αντιμετωπίσουν επίσης ορισμένα από τα κρίσιμα ζητήματα που σχετίζονται με τον σχεδιασμό υποδομών φόρτισης, όπως οι στρατηγικές τιμολόγησης στους σταθμούς φόρτισης, ο σχεδιασμός σταθμών φόρτισης με δυνατότητα Vehicle to Grid (V2G) και ο σχεδιασμός σταθμών φόρτισης που τροφοδοτούνται από ανανεώσιμες πηγές. **(Αναφορά [10]).**

Η εργασία [11] παρουσιάζει, ένα συνδυαστικό βέλτιστο σχεδιασμό τοποθεσίας σταθμών φόρτισης με βάση την προσομοίωση πολλαπλών σημείων. Τα τελευταία χρόνια, η εισαγωγή ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) έχει γίνει όλο και πιο επιθυμητή από περιβαλλοντική άποψη. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναπτυχθεί κατάλληλος εξοπλισμός και υποδομή φόρτισης, καθώς τα ηλεκτρικά οχήματα τείνουν να έχουν μικρότερες αποστάσεις κίνησης από τα βενζινοκίνητα οχήματα. Έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι βάσει δεδομένων για την τοποθέτηση σταθμών φόρτισης (CSs). Μέχρι σήμερα, ωστόσο, έχουν υπάρξει λίγες προσεγγίσεις που βασίζονται στην προσομοίωση και μπορούν να λάβουν υπόψη τις αλληλεπιδράσεις μικρής κλίμακας μεταξύ των οχημάτων. Ως εκ τούτου, σε αυτό το έγγραφο, προτείνουμε μια αποτελεσματική μέθοδο τοποθέτησης βασισμένη σε προσομοιώσεις κυκλοφορίας πολλαπλών παραγόντων με βελτιωμένη λειτουργία βαθμολόγησης. Επιπλέον, καθώς ο αριθμός των CSs αυξάνεται ανάλογα με την εξάπλωση των ηλεκτρικών οχημάτων, λύνουμε ένα πρόβλημα σχεδιασμού πολλαπλών τοποθεσιών που διατυπώνεται ως συνδυαστική τεχνική βελτιστοποίησης. Αριθμητικά πειράματα διεξήχθησαν σε ένα ρεαλιστικό

δίκτυο στο κεντρικό τμήμα του νομού Wakayama στην Ιαπωνία και αποδείχθηκε ότι η προτεινόμενη μέθοδος θα μπορούσε να βελτιώσει τον δείκτη απόδοσης της τοποθέτησης CS σε σύγκριση με τη

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ συμβατική μέθοδο. Επιπλέον, το σενάριο πολλαπλών εγκαταστάσεων CS ταυτόχρονα έδειξε ότι μπορούσαν να επιτευχθούν καλοί συνδυασμοί.

Συμπερασματικά, σε αυτή τη μελέτη, επικεντρωθήκαμε στο σχεδιασμό της τοποθεσίας CS και προτείναμε μια μέθοδο για τη βελτίωση της προσέγγισης που βασίζεται στην προσομοίωση. Συγκεκριμένα, εισηγήθησαν τα συστατικά της συνέχειας της βαθμολογίας, των EVs φανταστικών σημείων και μιας λειτουργίας βάρους. Σε σύγκριση με τη συμβατική μέθοδο, πραγματοποιήσαμε πρώτα ένα πείραμα με ένα απλό δίκτυο single-CS και εξετάσαμε τη βασική απόδοση κάθε σημείου βελτίωσης. Στη συνέχεια, διεξήχθησαν αριθμητικά πειράματα σε ένα ρεαλιστικό δίκτυο στο κεντρικό τμήμα του νομού Wakayama και αποδείχθηκε ότι η προτεινόμενη μέθοδος βελτιώνει :

- τόσο τον μέσο χρόνο ταξιδιού
- όσο και την απόσταση των ηλεκτρικών οχημάτων σε σύγκριση με τη συμβατική μέθοδο.

Επιπλέον, το σενάριο πολλαπλών εγκαταστάσεων CS ταυτόχρονα διατυπώθηκε ως πρόβλημα συνδυαστικής βελτιστοποίησης και τα αριθμητικά πειράματα έδειξαν ότι οι καλοί συνδυασμοί θα μπορούσαν να επιτευχθούν υπό ρεαλιστικές συνθήκες. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι η προτεινόμενη συνδυαστική μέθοδος βελτιστοποίησης βασίζεται μόνο σε εμπειρικές λειτουργίες τοποθέτησης και η ακριβής βελτιστοποίηση του ληφθέντος συνδυασμού δεν είναι εγγυημένη. Η βελτιστοποίηση μεγέθους είναι επίσης εκτός πεδίου εφαρμογής σε αυτήν τη μελέτη και απαιτείται περαιτέρω επέκταση. Τα μελλοντικά θέματα της μελέτης θα περιλαμβάνουν τη βελτίωση των λειτουργιών βάρους και τη διαμόρφωση ενός σχεδιασμού τοποθεσίας πολλαπλών σταδίων με μακροπρόθεσμη προοπτική. **(Αναφορά [11])**

3.2 Μελέτη άρθρου 12. Σχεδιασμός και μοντελοποίηση σταθμών.

Αναφορές: 10 : (από 12 έως 21)

Η εργασία [12] παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον και παρουσιάζεται αναλυτικά , αναφέρεται σε μια συντονισμένη χωροθέτηση και διαστασιολόγηση σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών ταξί λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες των συστημάτων κυκλοφορίας και ισχύος . Η εργασία περιέχει αποκλειστική βιβλιογραφία. Το θέμα της εργασίας ήταν :

‘Συντονισμένη χωροθέτηση και διαστασιολόγηση σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών ταξί λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες των συστημάτων κυκλοφορίας και ισχύος’

Τα ηλεκτρικά οχήματα (EVs) έχουν κερδίσει αυξημένη προσοχή χάρη στις δυνατότητές τους να μετριάσουν τα περιβαλλοντικά ζητήματα που σχετίζονται με τις μεταφορές. Για την ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στα δίκτυα μεταφορών και ηλεκτρικής ενέργειας, είναι σημαντικό να εκτελείται σωστά η χωροθέτηση και το μέγεθος των σταθμών φόρτισης. Συγκεκριμένα, αυτό το έργο είναι πιο δύσκολο για χρήστες που έχουν πιο άκαμπτα χρονοδιαγράμματα, όπως οι οδηγοί ταξί. Αυτή η μελέτη προτείνει μια συντονισμένη μεθοδολογία χωροθέτησης και διαστασιολόγησης για σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών ταξί (ET), λαμβάνοντας υπόψη τόσο τους περιορισμούς του συστήματος μεταφοράς όσο και του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Η περίπτωση του Κίτο του Ισημερινού έχει αναλυθεί. Τα αποτελέσματα δείχνουν τη βέλτιστη τοποθέτηση των σταθμών φόρτισης ET και τον αριθμό των σημείων φόρτισης που θα εγκατασταθούν.

Όροι ευρετηρίου: Σταθμός φόρτισης, ηλεκτρικό όχημα, μικτός ακέραιος γραμμικός προγραμματισμός (MILP), συστήματα διανομής ισχύος, χωροθέτηση και διαστασιολόγηση, δίκτυο μεταφορών.

Η σχετική ονοματολογία που θα χρησιμοποιηθεί και τα μεγέθη των τύπων είναι :

Ενδείξεις / δείκτες

i, j : Δείκτης για κόμβους στο δίκτυο μεταφορών

k : Δείκτης σταθμού φόρτισης

s : Δείκτης ηλεκτρικού υποσταθμού

v : Δείκτης ηλεκτρικών ταξί

Παράμετροι

β : Σταθμισμένη ισοστάθμιση πόρων

$\Delta D_{k,k+1}$: Όρος απόστασης μεταξύ διαδοχικών σταθμών φόρτισης

ΔT : Χρονικό διάστημα όπου οι οδηγοί ταξί είναι διαθέσιμοι για να χρεώσουν τα ETs τους

η : Απόδοση φόρτισης του σημείου [%]

ω : Χρηματική αξία του χρόνου ταξιδιού

\bar{N}_{ch} : Ανώτατα όρια αριθμού σημείων φόρτισης σε κάθε σταθμό φόρτισης

\bar{P}_{ch} : Μέγιστος ρυθμός ισχύος φόρτισης για σταθμό φόρτισης [kW]

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
Nch : Χαμηλότερα όρια αριθμού σημείων φόρτισης σε κάθε σταθμό φόρτισης

DTk : Μέση απόσταση ταξιδιού του σταθμού k

Eav : Μέση ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται από κάθε ET v [kWh]

Ereq : Συνολική ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την παροχή για τη φόρτιση όλων των ETs [kWh]

NV : Αριθμός τοποθεσιών ενδιαφέροντος για σταθμούς φόρτισης ET

P^F_a : Χωρητικότητα τροφοδότη στη ζεύξη a [kW]

Σύνολα

E : Σύνολο άκρων

K : Σετ σταθμών φόρτισης

N : Σύνολο κόμβων

S : Σετ ηλεκτρικών υποσταθμών

V : Σετ ηλεκτρικών ταξί

Μεταβλητές :

C^{it} : Κόστος εγκατάστασης [\$]

C^m : Κόστος υλικών [\$]

C^w : Κόστος εργατικού δυναμικού [\$]

C_k : Συνολικό κόστος επένδυσης για σταθμό φόρτισης k [\$]

C_k^l : Κόστος οικοπέδου για κάθε σταθμό φόρτισης k [\$]

C_k^{tr} : Κόστος ταξιδιού για κάθε σταθμό φόρτισης k [\$]

n_k : Αριθμός σημείων φόρτισης στο σταθμό φόρτισης k [\$]

Τα ηλεκτρικά οχήματα (EVs) έχουν αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη λύση για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών ζητημάτων στις μεταφορές, κυρίως των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την καύση ορυκτών καυσίμων. Είναι πολύ πιο αποδοτικά από τα οχήματα εσωτερικής καύσης (ICVs), δεν ρυπαίνουν σε τοπικό επίπεδο και η παγκόσμια ρύπανσή τους είναι, γενικά, χαμηλότερη, ειδικά με ένα χαρτοφυλάκιο παραγωγής που περιλαμβάνει και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [1].

Τα ηλεκτρικά οχήματα παρουσιάζουν διάφορες προκλήσεις στο μέλλον που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Έχει αποδειχθεί ότι μια μαζική εισαγωγή των ηλεκτρικών οχημάτων δημιουργεί ζητήματα δικτύου όπως απώλειες ισχύος, πτώσεις τάσης, αποκλίσεις τάσης, μεταξύ άλλων [2], [3]. Ως εκ τούτου, οι περιορισμοί των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την πρόταση στρατηγικών χρέωσης. Επιπλέον, τα ηλεκτρικά οχήματα παρουσιάζουν περιορισμένο εύρος οδήγησης σε σύγκριση με τα ICVs, γεγονός που δημιουργεί φόβο στους χρήστες EV να μην

έχουν αρκετή ηλεκτρική ενέργεια στην μπαταρία για να ολοκληρώσουν το ταξίδι, το οποίο είναι γνωστό ως "άγχος εμβέλειας". Ειδικότερα, τα ζητήματα άγχους αυτονομίας θα μπορούσαν να είναι χειρότερα για τους οδηγούς ταξί, των οποίων η συμπεριφορά όσον αφορά τη χρέωση πρέπει να είναι πολύ λιγότερο ευέλικτη.

Έχουν διεξαχθεί διάφορες εργασίες για τη διερεύνηση σταθμών φόρτισης EV. Ειδικότερα, διάφορα έργα διερεύνησαν τη λειτουργία και τον προγραμματισμό σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων [4], τη φόρτιση συστημάτων πλοήγησης για σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων [5], τις μεταφορές και τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας [6], [7].

Αρκετά έργα έχουν ήδη μελετήσει τη χωροθέτηση και το μέγεθος των σταθμών φόρτισης EV. Για παράδειγμα, στο [8], μελετάται η πολυβάθμια τοποθέτηση της φόρτισης EV λαμβάνοντας υπόψη τα αυξανόμενα ποσοστά διείσδυσης εν. Οι συντάκτες του [9] προτείνουν ένα στοχαστικό μοντέλο προγραμματισμού δύο σταδίων για το σχεδιασμό σταθμών φόρτισης EV. Στο [10], διαμορφώνεται ένα μοντέλο βελτιστοποίησης, με βάση την κάλυψη του σταθμού φόρτισης και την ευκολία των οδηγών.

Οι συντάκτες του [11] αναλαμβάνουν έναν σταθμό, στο πρόβλημα σχεδιασμού σταθμών φόρτισης EV, ο οποίος είναι ένας επενδυτής που σκοπεύει να μεγιστοποιήσει το κέρδος του σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον. Στο [12], η βελτιστοποίηση της ιεραρχικής σειράς χρησιμοποιείται για το πρόβλημα τοποθέτησης του σταθμού φόρτισης. Ωστόσο, αυτά τα έργα έχουν εξετάσει κυρίως τις συνθήκες του συστήματος ισχύος και όχι τους περιορισμούς κυκλοφορίας.

Ορισμένα άλλα έργα εξέτασαν μόνο κυρίως τους περιορισμούς της κυκλοφορίας με καθόλου ή λίγους περιορισμούς στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα, στο [13], η βέλτιστη θέση του σταθμού φόρτισης EV επιτεύχθηκε με βάση τα πραγματικά μοτίβα μετακίνησης του οχήματος. Οι συντάκτες του [14] χρησιμοποιούν την εκχώρηση σωρού για το πρόβλημα τοποθέτησης του σταθμού φόρτισης.

Μέχρι στιγμής, μόνο μερικά έργα έχουν διερευνήσει τη συζευγμένη ισχύ και την κυκλοφορία που χωρίζει και διαστασιολογεί τους σταθμούς φόρτισης EV. Για παράδειγμα, στο [15], το πρόβλημα χωροθέτησης και διαστασιολόγησης περιλαμβάνει περιορισμούς ισχύος και συστημάτων κυκλοφορίας. Ωστόσο, οι εργασίες αυτές δεν έλαβαν υπόψη το κόστος γης στις συνθήκες τοποθέτησης. Οι συγγραφείς του [16] μελετούν τη βέλτιστη θέση και το μέγεθος των σταθμών ταχείας φόρτισης. Στο [17], λαμβάνεται υπόψη μια αυτομορφική προσέγγιση γραφήματος για την τοποθέτηση και το μέγεθος των σταθμών φόρτισης. Οι συγγραφείς του [18] προτείνουν ένα ολοκληρωμένο μοντέλο σχεδιασμού τοποθεσίας βασισμένο σε υπολογιστές γραφημάτων, το οποίο μεγιστοποιεί την ευκολία φόρτισης PEV, διασφαλίζοντας παράλληλα την αξιοπιστία του ηλεκτρικού δικτύου. Στο [19], προτείνεται στο σύστημα διανομής ένας πολυκριτικός συνεργατικός σχεδιασμός των σταθμών ταχείας φόρτισης EV.

Αν και αυτά τα έργα και άλλα έχουν προταθεί για τη χωροθέτηση και το μέγεθος των σταθμών φόρτισης EV, η προσοχή τους έχει αφιερωθεί στα ιδιωτικά αυτοκίνητα. Συγκεκριμένα, πολλά από αυτά τα έργα εξετάζουν την εγκατάσταση σταθμών ταχείας φόρτισης, η οποία υποβαθμίζει την μπαταρία. Ωστόσο, λιγότερη προσοχή έχει δοθεί στη χωροθέτηση και το μέγεθος των σταθμών φόρτισης για ηλεκτρικά ταξί (ETs). Συγκεκριμένα, οι ανάγκες τους όσον αφορά το χρόνο και την τοποθεσία είναι διαφορετικές από τους ιδιώτες χρήστες. Για παράδειγμα, δεν είναι τεχνικά σωστό να εγκαταστήσετε μόνο σταθμούς γρήγορης φόρτισης για ETs, καθώς η μπαταρία θα μπορούσε να είναι

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ άχρηστη σε λιγότερο χρόνο. Έτσι, πρέπει να προγραμματιστούν σταθμοί αργής φόρτισης λαμβάνοντας υπόψη τις παύσεις των ETs και τις απαιτήσεις όσον αφορά την ενέργεια.

Επιπλέον, τα περισσότερα από αυτά τα έργα συζητούν θεωρητικές και όχι πρακτικές μελέτες περιπτώσεων, χρησιμοποιώντας περιορισμένα και υποτιθέμενα δεδομένα, αντί για πραγματικά δεδομένα από πραγματικές ηλεκτρικές εταιρείες και συνθήκες μεταφοράς. Έτσι, η εργασία αυτή προτείνει τη συντονισμένη χωροθέτηση και διαστασιολόγηση των σταθμών φόρτισης ET λαμβάνοντας υπόψη τις πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας και συστημάτων ισχύος.

Το υπόλοιπο της εργασίας οργανώνεται ως εξής: Ένα τμήμα περιγράφει τη μεθοδολογία για τη χωροθέτηση και το μέγεθος των σταθμών φόρτισης ET. Ένα άλλο τμήμα παρουσιάζει τη μελέτη περίπτωσης και τις παραδοχές, καθώς και τα αποτελέσματα. Τέλος, υπογραμμίζει τα κύρια συμπεράσματα αυτής της εργασίας.

Για την πρωτοτυπία ενός συστήματος μεταφορών, απαιτούνται δύο προϋποθέσεις: (i) μια υποκείμενη δομή, δηλαδή το οδικό δίκτυο της πόλης, που συνήθως μοντελοποιείται ως δίκτυο, και (ii) ένα μοντέλο ροής της κυκλοφορίας. Σε αυτό το έργο, το οδικό δίκτυο της πόλης του Κίτο εξήχθη χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη Python Open Street Maps στο δίκτυο x (OSMnx) [20].

Το OSMnx επιστρέφει ένα γράφημα $G = (N, E)$ όπου τα σημεία ενδιαφέροντος της πόλης αντιπροσωπεύουν το σύνολο των κόμβων N και οι δρόμοι που συνδέουν τέτοια σημεία είναι σύνολο των άκρων E , τα οποία είναι διατεταγμένα ζεύγη στοιχείων του N . Το εξαγόμενο δίκτυο κόβεται χρησιμοποιώντας ως κριτήριο το μήκος των άκρων. Το γράφημα G μπορεί να αναπαρασταθεί ως ο πίνακας γειτνίασης D , όπου τα στοιχεία $d_{ij} < p75th$ γίνονται μηδέν. με άλλα λόγια, μόνο το κορυφαίο 25% των μηκών άκρων διατηρήθηκαν στο δίκτυο.

Εδώ το d_{ij} αντιπροσωπεύει την απόσταση οδήγησης (σε Km) μεταξύ κόμβων σε μια σταθμισμένη μήτρα γειτνίασης. Από το κομμένο δίκτυο, λαμβάνεται ένας πίνακας χρόνου προέλευσης-προορισμού (OD), όπου η ροή της κυκλοφορίας σε χρόνο οδήγησης (λεπτά) μεταξύ κόμβων f_{ij} , εξάγεται χρησιμοποιώντας το API απόστασης Google [21]. Ο πίνακας OD συνοψίζεται σε επίπεδο κόμβου, όπου ο βαθμός κόμβου:

$$\mathbf{x}_a^{tot} = \mathbf{x}_a^{in} + \mathbf{x}\mathbf{k}_a^{out} \quad (1)$$

όπου

$$\mathbf{x}_a^{in} = \sum_j \mathbf{f}_{ij} \quad (2)$$

και

$$\mathbf{x}_a^{out} = \sum_j \mathbf{f}_{ji} \quad (3)$$

Το \mathbf{x}_a^{tot} μετρά τη ροή της κυκλοφορίας κάθε σημείου a που θα είναι οι υποψήφιες θέσεις για σταθμούς φόρτισης.

Λαμβάνεται ένας αριθμός N υποψήφιων σταθμών φόρτισης. Για κάθε σταθμό φόρτισης ET k , ορίζεται μια μεταβλητή απόφασης για τον αριθμό των σημείων φόρτισης n_k . Επιπλέον, για κάθε σταθμό φόρτισης, πραγματοποιείται ο χώρος αναζήτησης του αριθμού των σημείων φόρτισης. Ο στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί το επενδυτικό κόστος για την εγκατάσταση δημόσιων σταθμών φόρτισης για ETs ενώ αυτή η εργασία λαμβάνει υπόψη το κόστος ταξιδιού των ETs στο συνολικό κόστος, καθώς αποτελεί κρίσιμο κίνητρο για τους οδηγούς ταξί να αγοράζουν ηλεκτρικά οχήματα.

Με τα παρακάτω μεγέθη γίνονται οι υπολογισμοί :

C^{it} : Κόστος εγκατάστασης [\\$]

C^m : Κόστος υλικών [\\$]

C^w : Κόστος εργατικού δυναμικού [\\$]

C_k : Συνολικό κόστος επένδυσης για σταθμό φόρτισης k [\\$]

C_k^l : Κόστος οικοπέδου για κάθε σταθμό φόρτισης k [\\$]

C_k^{tr} : Κόστος ταξιδιού για κάθε σταθμό φόρτισης k [\\$]

n_k : Αριθμός σημείων φόρτισης στο σταθμό φόρτισης k [\\$]

Το συνολικό κόστος για το μέγεθος των σταθμών φόρτισης περιλαμβάνει ένα τυπικό σταθερό κόστος εγκατάστασης, ένα κόστος γης και ένα κόστος ταξιδιού, το οποίο ορίζεται για κάθε σταθμό φόρτισης k :

$$C_k = C^{it} + C_k^l + C_k^{tr} \quad (4)$$

Το κόστος γης είναι μεταβλητό αφού κάθε σημείο ενδιαφέροντος βρίσκεται σε ζώνες με διαφορετικές τιμές γης. Το κόστος εγκατάστασης ορίζεται:

$$C^{it} = C^m + C^w \quad (5)$$

Οι δύο όροι είναι πάγια έξοδα. Ο πρώτος όρος αντιστοιχεί στο κόστος των υλικών, το οποίο περιλαμβάνει τον ηλεκτρικό εξοπλισμό και το κόστος του σημείου φόρτισης. Ο δεύτερος όρος είναι το εργατικό δυναμικό για την κατασκευή χώρων στάθμευσης με θέσεις φόρτισης.

Το κόστος ταξιδιού είναι ένας μεταβλητός όρος που ορίζεται για κάθε σταθμό φόρτισης k :

$$C_k^{tr} = \omega \cdot DT_k \quad (6)$$

Ο στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί το κόστος διαστασιολόγησης των σταθμών φόρτισης ET, όπως διαμορφώνεται:

$$\min C = \min \sum_{k \in K} n_k \times C_k \quad (7)$$

με περιορισμούς :

$$n_k \times \overline{P_{ch}} \leq \overline{P_s^F} \quad (8)$$

$$\underline{N_{ch}} \leq n_k \leq \overline{N_{ch}} \quad (9)$$

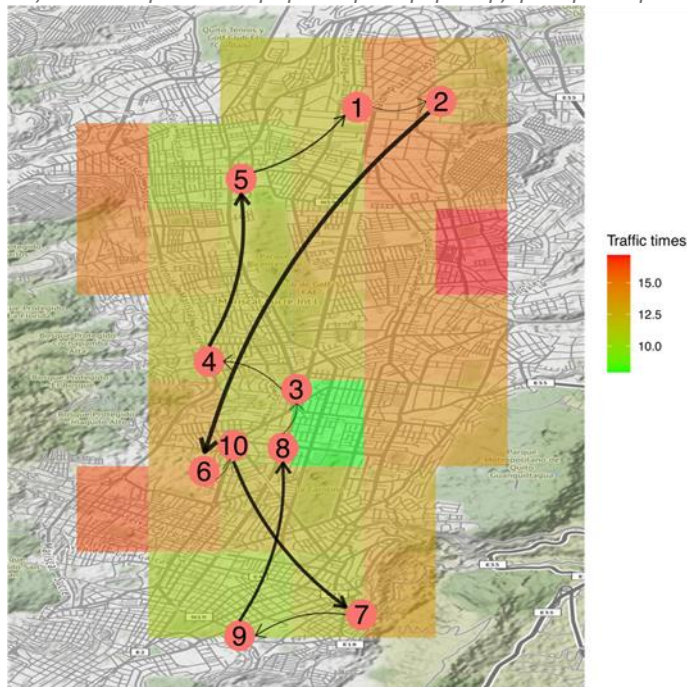
$$\sum_{k \in K} n_k \cdot P_{ch} \cdot n \cdot \Delta T \geq E_{req} \quad (10)$$

$$n_{k+1} - n_k \leq \beta \cdot \Delta D_{k,k+1} \quad (11)$$

Ο περιορισμός (8) επιβάλλει το όριο χωρητικότητας του ηλεκτρικού υποσταθμού κάθε σταθμού φόρτισης k που ανήκει σε υποσταθμό $s \in S$. Ο περιορισμός (9) ορίζει τον ελάχιστο και τον μέγιστο αριθμό σημείων φόρτισης σε κάθε σταθμό φόρτισης. Ο περιορισμός (10) εγγυάται ότι η συνολική απαιτούμενη ενέργεια από όλους τους οδηγούς ταξί θα μπορούσε να παρέχεται από όλους τους σταθμούς φόρτισης κατά τη διάρκεια του χρονικού ορίζοντα ότι οι οδηγοί ταξί είναι ελεύθεροι να σταματήσουν και να φορτίσουν τα ηλεκτρικά τους οχήματα. Ο περιορισμός (11) είναι ένα όριο αύξησης μεταξύ κάθε σταθμού φόρτισης, το οποίο υποδεικνύει ότι θα πρέπει να υπάρχει μέγιστη διαφορά σταθμών φόρτισης μεταξύ της μικρότερης απόστασης οδήγησης, ώστε να αποφεύγεται η εκτέλεση μεγάλων αποστάσεων από τον οδηγό ταξί εάν ένας σταθμός φόρτισης έχει όλα τα σημεία του σε χρήση. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να λυθεί με μια γραμμική βελτιστοποίηση μικτού ακέραιου.

Η μελέτη περίπτωσης του Κίτο του Ισημερινού επιλέχθηκε, σύμφωνα με την προθυμία του Δημάρχου της πόλης να αντικαταστήσει σταδιακά τα ταξί εσωτερικής καύσης με ηλεκτρικά οχήματα. Συγκεκριμένα, το Κίτο βρίσκεται στα 2.800 υψόμετρα, οπότε λόγω του μεγάλου υψομέτρου, η καύση στα οχήματα είναι πολύ μεγάλη, με αποτέλεσμα αρκετές ανησυχίες για τη ρύπανση. Τα ταξί είναι μία από τις κύριες πηγές κυκλοφορίας και θορύβου, επομένως είναι ζωτικής σημασίας για τις μεγάλες εταιρείες να προτείνουν καθαρότερες μεταφορές.

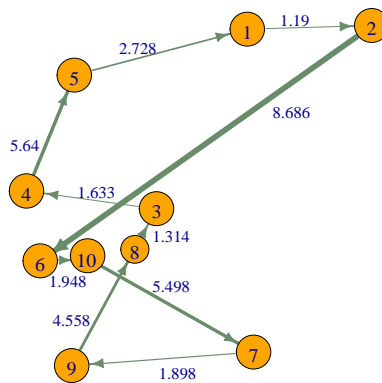
Στην προηγούμενη εργασία [22], πραγματοποιήθηκε η χαρτογράφηση της ροής της αστικής κυκλοφορίας του Κίτο και επιλέχθηκαν διάφοροι πιθανοί χώροι (υποψήφιοι) για σταθμούς φόρτισης ΕΤ. Για την εργασία αυτή, επιλέγονται 10 θέσεις υποψηφίων με βάση τον ελάχιστο μέσο χρόνο τους. Το Σχήμα 1 απεικονίζει τους μέσους χρόνους κυκλοφορίας ως στρώμα θερμικού χάρτη πάνω από το βόρειο - Κέντρο της πόλης του Κίτο και τις πιθανές τοποθεσίες των 10 επιλεγμένων σταθμών φόρτισης. Ένα πλήρες γράφημα για τα 10 επιλεγμένα σημεία δημιουργείται χρησιμοποιώντας αποστάσεις κυκλοφορίας οδήγησης που εξάγονται από το API google. Ένας Hamiltonian κύκλος επισκέπτεται κάθε κόμβο μία φορά, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τη συνολική απόσταση οδήγησης του κύκλου που βρέθηκε. Το Σχήμα 2 απεικονίζει τον Hamiltonian κύκλο που συνδέει τους 10 επιλεγμένους σταθμούς φόρτισης. Κάθε σημείο ενδιαφέροντος έχει διαφορετικό κόστος γης. Τα σημεία ενδιαφέροντος με ελάχιστο χρόνο ροής που επιλέγονται συνοψίζονται στον Πίνακα II με το αντίστοιχο κόστος γης.



Εικόνα 1. Πιθανή θέση σταθμών

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι : Σημεία ενδιαφέροντος με ελάχιστο χρόνο ροής επιλεγμένα ως σταθμοί προκαταρκτικής διευκόλυνσης.

node	mean time [min]	land cost [\$/m ²]
1	6.45	1130
2	7.03	1400
3	8.48	780
4	10.42	600
5	9.07	1200
6	10.01	950
7	9.75	1300
8	7.94	780
9	8.41	2000
10	8.43	780



Εικόνα 2. Πιθανή θέση των σταθμών φόρτισης και του χαμιλτονιανού κύκλου που τους συνδέει

Στο Κίτο, υπάρχουν 8.633 ταξί. Υπάρχουν πολύ λίγα ETs στο Κίτο, οπότε η συμπεριφορά φόρτισης πρέπει να μοντελοποιηθεί για να ληφθεί μια καμπύλη φορτίου φόρτισης για το βέλτιστο μέγεθος κάθε σταθμού φόρτισης. Για το σκοπό αυτό, ελήφθησαν πραγματικές πληροφορίες από την οδηγική συμπεριφορά με βάση το GPS από τους οδηγούς ταξί στο Κίτο [23]. Χρησιμοποιήθηκε ποσοστό μετατροπής από βενζίνη σε ηλεκτρική ενέργεια. Η υποτιθέμενη απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια από τον αριθμό των ταξί είχε ως αποτέλεσμα μια κατά προσέγγιση καμπύλη Weibull με μέση απαιτούμενη ενέργεια 30 kWh απαιτούμενης ενέργειας ανά ταξί. Επιπλέον, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι περισσότεροι από τους οδηγούς ταξί κάνουν μια παύση από τις 3 μ.μ. έως τις 8 μ.μ. μετά το

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ μεσημεριανό γεύμα και όπου υπάρχουν λίγοι επιβάτες. Αυτό συνεπάγεται με βάση την προηγούμενη οδηγούμενη απόσταση ότι το 50% της απαιτούμενης ενέργειας θα πρέπει να παρέχεται κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, όπου παρατηρείται το υποτιθέμενο φορτίο αιχμής. Έτσι, η ενέργεια που απαιτείται από το eq. (10) έχει ως αποτέλεσμα:

$$E_{req} = \sum_{v \in \mathbb{V}} U \cdot E_{av} \quad (12)$$

Όπου:

E_{av} : Μέση ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται από κάθε ET v [kWh]

E_{req} : Συνολική ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη φόρτιση όλων των ETs [kWh]

Το μοντέλο BYD e5 επιλέχθηκε για να αντιπροσωπεύει τον πληθυσμό των οδηγών ταξί, καθώς μερικά ETs έχουν ήδη αγοράσει στο Κίτο και σε άλλες πόλεις του Ισημερινού [24]. Αυτό το EV έχει ισχύ φόρτισης $P_{ch} = 22$ kW και η απόδοση φόρτισης η θεωρήθηκε ότι ήταν 90 % [25].

Το πάγιο κόστος επένδυσης κάθε σημείου φόρτισης, συμπεριλαμβανομένων των υλικών και του εργατικού δυναμικού, θεωρείται ότι είναι \$ 3000, με βάση τις τιμές [26]. Η επιφάνεια του οικοπέδου που χρησιμοποιείται για κάθε χώρο στάθμευσης θεωρείται ότι είναι 20 m².

Ο ελάχιστος αριθμός κηλίδων n_k σε κάθε σταθμό φόρτισης k θεωρείται ότι είναι 10 και ο μέγιστος 100.

Σε αυτή την εργασία, χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση των προσομοιώσεων το μοντέλο MILP.

Μελετήθηκαν τρία διαφορετικά σενάρια, τα οποία εξετάζουν διαφορετικά επίπεδα διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων (30%, 40% και 50%).

A. Αριθμός σημείων φόρτισης Στον πίνακα II, ο συνολικός αριθμός των σημείων φόρτισης και το αντίστοιχο κόστος τους συνοψίζονται για διείσδυση ET 30%.

Ο σταθμός με λιγότερα σημεία φόρτισης είναι ο 9, με 10 σημεία φόρτισης, αφού το κόστος γης είναι το υψηλότερο. Ο σταθμός με περισσότερα σημεία φόρτισης είναι ο 3, με 100 σημεία φόρτισης, καθώς το κόστος γης και μετακίνησης είναι χαμηλό.

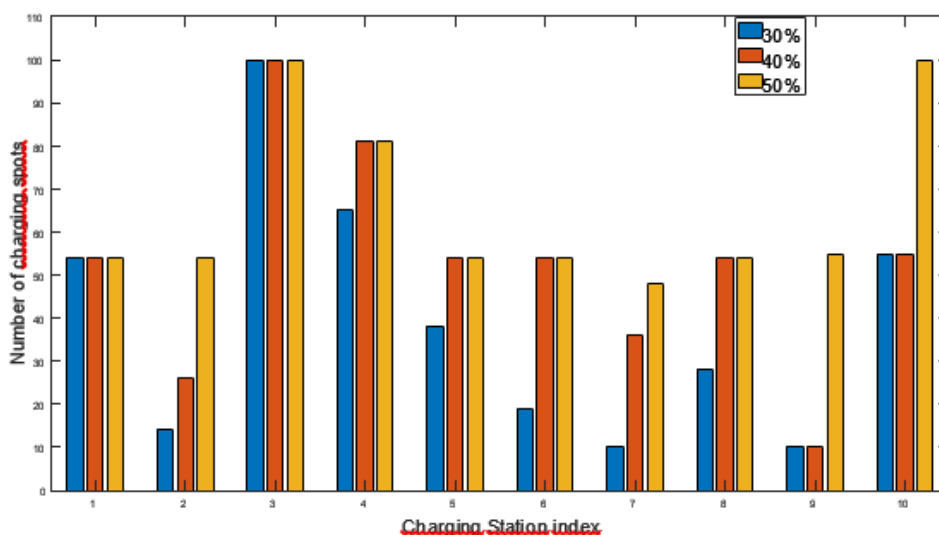
..

ΠΙΝΑΚΑΣ II : Αριθμός σημείων φόρτισης και κόστος κάθε σταθμού για διείσδυση ΕΤ 30%.

Station	Number	Cost [k\$]
1	54	2252.48
2	14	679.98
3	100	3981.00
4	65	2667.93
5	38	1887.56
6	19	893.29
7	10	533.83
8	28	1076.46
9	10	640.15
10	55	2182.68
Total	393	16795.33

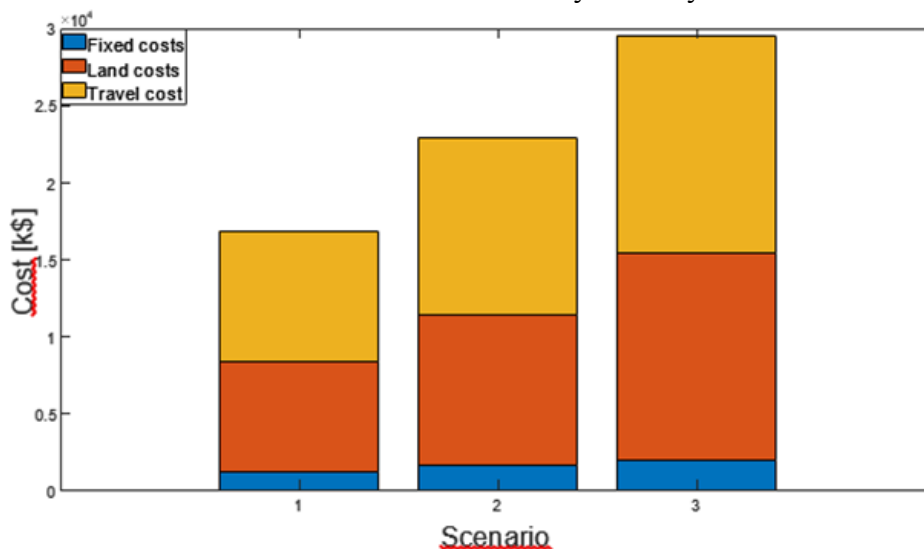
Το σχήμα 3 απεικονίζει τον αριθμό των σημείων φόρτισης σε κάθε σταθμό φόρτισης για τρία διαφορετικά σενάρια με επίπεδα διείσδυσης 30%, 40% και 50%. Σημειώστε ότι πολλοί σταθμοί φόρτισης φτάνουν το όριο αριθμού ή το όριο ισχύος τους από το 30% του επιπέδου διείσδυσης ΕΤ. Η αύξηση των επιπέδων διείσδυσης του ΕΤ οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των σημείων φόρτισης όπου το κόστος επένδυσης είναι υψηλότερο. Επιπλέον, πρέπει να εγκατασταθούν συνολικά 393, 524 και 654 σημεία φόρτισης για αντίστοιχα επίπεδα διείσδυσης ΕΤ 30%, 40% και 50%.

Εικόνα 3.3. Αριθμός σημείων φόρτισης σε κάθε σταθμό φόρτισης για τρία διαφορετικά



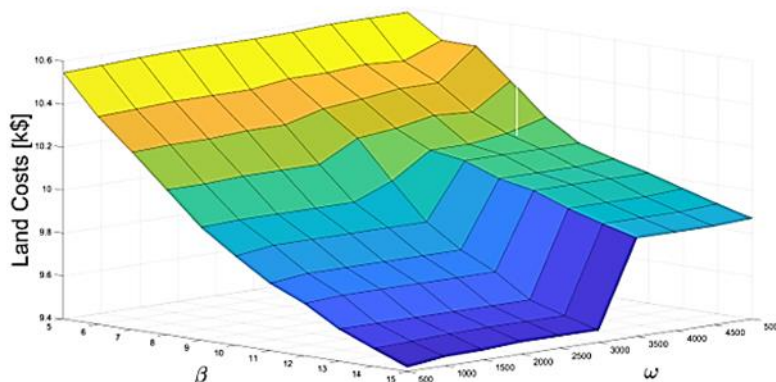
Στο σχήμα 4, απεικονίζονται οι επενδυτικές δαπάνες για καθένα από τα τρία σενάρια (επίπεδο διείσδυσης ET 30%, 40% και 50%), λαμβάνοντας υπόψη κάθε συνιστώσα του κόστους επένδυσης.

Εικόνα 3.4. Επενδυτικές δαπάνες



Για να αντιμετωπιστούν οι αβεβαιότητες, λαμβανομένων υπόψη των πιθανών εξόδων μετακίνησης και των περιορισμών, πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας για τις παραμέτρους ω και β . Έτσι, η παράμετρος β ρυθμίζεται από το 5 στο 15 με προσαυξήσεις του 1. Η παράμετρος ω ρυθμίζεται από 500 σε 5.000 με προσαυξήσεις του 500. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης ευαισθησίας απεικονίζονται στο διάγραμμα επιφάνειας στο Σχήμα 5 για επίπεδο διείσδυσης ET 30%. Σημειώστε ότι η παράμετρος β έχει ισχυρότερη επίδραση στο επενδυτικό κόστος από την παράμετρο ω .

Εικόνα 3.5. Το κόστος επένδυσης ανάλογα με β και ω



Δεδομένου ότι υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα εισόδου, όπως ροές κυκλοφορίας, κόστος γης, κόστος σταθμών φόρτισης, μπορεί κανείς να υποθέσει καλά αποτελέσματα για το πρόβλημα μεγέθους και χωροθέτησης των σταθμών φόρτισης ET. Η κύρια πηγή αβεβαιότητας είναι ο αριθμός των ETs στους δρόμους του Κίτο, γεγονός που θα δημιουργήσει κάποιες επενδυτικές ανησυχίες κατά την εφαρμογή σταθμών φόρτισης ET.

Είναι επίσης σημαντικό να εξεταστούν κυβερνητικές πολιτικές για την αγορά σταθμών φόρτισης ΕΤ, οι οποίες επηρεάζουν την επιτυχία της εγκατάστασης σταθμών φόρτισης [28]. Ορισμένες από τις πολιτικές περιλαμβάνουν χρηματοοικονομικά και φορολογικά, ρυθμιστικά θέματα, καθώς και εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση [29]. Επιπλέον, οι προτιμήσεις των καταναλωτών πρέπει να λαμβάνονται ιδιαίτερα υπόψη, δεδομένου ότι έχει θετικό αντίκτυπο στην προώθηση των υποδομών εν [30].

Ένα άλλο σημείο που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η ακρίβεια της μοντελοποίησης των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Η εξίσωση (8) παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για τη μη δημιουργία ζητημάτων δικτύου· Ωστόσο, δεν παρέχει επαρκείς πληροφορίες σχετικά με την παρατηρησιμότητα λόγω προβλημάτων συμφόρησης και τάσης [31]. Ως εκ τούτου, αυτό θα πρέπει να αντιμετωπιστεί με σαφήνεια στις μελλοντικές εργασίες.

Αυτή η εργασία παρουσιάζει τη συντονισμένη χωροθέτηση και διαστασιολόγηση των σταθμών φόρτισης ΕΤ λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες κυκλοφορίας και συστημάτων ισχύος. Εξετάζεται η μελέτη περίπτωσης του Κίτο του Ισημερινού. Δέκα σταθμοί φόρτισης επιλέγονται με βάση ένα δίκτυο μεταφορών, οι οποίοι ταξινομούνται με βάση την μεταξύ τους απόσταση. Για κάθε σταθμό φόρτισης, λαμβάνονται υπόψη διάφοροι περιορισμοί κυκλοφορίας και δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας για την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους επένδυσης. Τα αποτελέσματα δείχνουν τον βέλτιστο αριθμό σημείων φόρτισης που θα εγκατασταθούν σε κάθε σταθμό. Διενεργήθηκε επίσης ανάλυση ευαισθησίας για την αντιμετώπιση των αβεβαιοτήτων όσον αφορά τα έξοδα μετακίνησης και τους περιορισμούς.

Το έγγραφο αυτό ανήκει στο σχέδιο SIS. JCG.19.03 από το Πανεπιστήμιο της Αμερικής-Ισημερινός. Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν τον Irvin Cedenos από την BYD E-motors Εκουαδόρ για τις γόνιμες συζητήσεις.

(Αναφορά [12])

3.2.1. Κατάλογος Πινάκων άρθρου 12

Πίνακας I : Σημεία ενδιαφέροντος με ελάχιστο χρόνο ροής επιλεγμένα ως σταθμοί προκαταρκτικής διευκόλυνσης.

Πίνακας II : Αριθμός σημείων φόρτισης και κόστος κάθε σταθμού για διείσδυση ET 30%.

3.2.2. Κατάλογος Εικόνων άρθρου 12

Εικόνα 1. Πιθανή θέση σταθμών φόρτισης.

Εικόνα 2. Πιθανή θέση των σταθμών φόρτισης και του κύκλου Χάμιλτον που τους συνδέει.

Εικόνα 3. Αριθμός σημείων φόρτισης σε κάθε σταθμό φόρτισης για τρία διαφορετικά επίπεδα διείσδυσης ET.

Εικόνα 4. Επενδυτικές δαπάνες 3^{ov} σεναρίων.

Εικόνα 5. Το κόστος επένδυσης ανάλογα με β και ω .

3.2.3. Συντομογραφίες άρθρου 12

ET : electric taxi

MILP : Mixed Integer Linear Programming

EVs : Electric Vehicles

ICVs : Internal Combustion Vehicles

GHG :

OSMnx : Open Street Maps to network x

DGs : distributed generations

3.2.4. Βιβλιογραφία άρθρου 12 (αναφορές μελέτης)

REFERENCES

- [3.1] J.-M. Clairand, P. Guerra-Ter'an, X. Serrano-Guerrero, M. Gonz'alez-Rodr'iguez, and G. Escriv'a-Escriv'a, "Electric Vehicles for Public Transportation in Power Systems: A Review of Methodologies," *Energies*, vol. 12, no. 16, p. 3114, 2019.
- [3.2] K. Clement-Nyns, E. Haesen, and J. Driesen, "The impact of Charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid," *IEEE Trans. Power Syst.*, 2010.
- [3.3] S. Deilami, A. S. Masoum, P. S. Moses, and M. A. S. Masoum, "Realtime coordination of plug-in electric vehicle charging in smart grids to minimize power losses and improve voltage profile," *IEEE Trans. Smart Grid*, 2011.
- [3.4] A. Shukla, K. Verma, and R. Kumar, "Voltage-dependent modelling of fast charging electric vehicle load considering battery characteristics," *IET Electr. Syst. Transp.*, vol. 8, no. 4, pp. 221–230, 2018.
- [3.5] X. Shi, Y. Xu, Q. Guo, H. Sun, and W. Gu, "A Distributed EV Navigation Strategy Considering the Interaction Between Power System and Traffic Network," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 11, no. 4, pp. 3545–3557, 2020.
- [3.6] W. Yao, J. Zhao, F. Wen, Z. Dong, Y. Xue, Y. Xu, and K. Meng, "A Multi-Objective Collaborative Planning Strategy for Integrated Power Distribution and Electric Vehicle Charging Systems," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 29, no. 4, pp. 1811–1821, 2014.
- [3.7] W. Gan, M. Shahidehpour, M. Yan, J. Guo, W. Yao, A. Paaso, L. Zhang, and J. Wen, "Coordinated Planning of Transportation and Electric Power Networks with the Proliferation of Electric Vehicles," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3053, no. c, pp. 1–1, 2020.
- [3.8] C. Luo, Y. F. Huang, and V. Gupta, "Placement of EV Charging Stations- Balancing Benefits among Multiple Entities," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 8, no. 2, pp. 759–768, 2017.
- [3.9] H. Zhang, Z. Hu, Z. Xu, and Y. Song, "Optimal Planning of PEV Charging Station with Single Output Multiple Cables Charging Spots," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 8, no. 5, pp. 2119–2128, 2017.
- [3.10] A. Y. Lam, Y. W. Leung, and X. Chu, "Electric vehicle charging station placement: Formulation, complexity, and solutions," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 5, no. 6, pp. 2846–2856, 2014.
- [3.11] Y. Zhao, Y. Guo, Q. Guo, H. Zhang, and H. Sun, "Deployment of the Electric Vehicle Charging Station Considering Existing Competitors," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3053, no. c, pp. 1–1, 2020.
- [3.12] S. Deb, K. Tammi, X. Z. Gao, K. Kalita, and P. Mahanta, "A Hybrid Multi-Objective Chicken Swarm Optimization and Teaching Learning Based Algorithm for Charging Station Placement Problem," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 92 573–92 590, 2020.
- [3.13] N. Shahraki, H. Cai, M. Turkay, and M. Xu, "Optimal locations of electric public charging stations using real world vehicle travel patterns," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 41, no. 2015, pp. 165–176, 2015. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2015.09.011>
- [3.14] Y. Zhang, Y. Wang, F. Li, B. Wu, Y.-Y. Chiang, and X. Zhang, "Efficient Deployment of Electric Vehicle Charging Infrastructure: Simultaneous Optimization of Charging Station Placement and Charging Pile Assignment," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, no. Mcl, pp. 1–6, 2020.
- [3.15] X. Wang, M. Shahidehpour, C. Jiang, and Z. Li, "Coordinated Planning Strategy for Electric Vehicle Charging Stations and Coupled Traffic-Electric Networks," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 34, no. 1, pp. 268–279, 2019.
- [3.16] M. Mainul Islam, H. Shareef, and A. Mohamed, "Optimal location and sizing of fast charging stations for electric vehicles by incorporating traffic and power networks," *IET Intell. Transp. Syst.*, vol. 12, no. 8, pp. 947–957, 2018.

- [3.17] H. Parastvand, V. Moghaddam, O. Bass, M. A. S. Masoum, A. Chapman, and S. Lachowicz, “A Graph Automorphic Approach for Placement and Sizing of Charging Stations in EV Network Considering Traffic,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. PP, no. Xx, pp. 1–1, 2020.
- [3.18] D. Mao, J. Tan, and J. Wang, “Location Planning of PEV Fast Charging Station: An Integrated Approach Under Traffic and Power Grid Requirements,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, no. i, pp. 1–10, 2020.
- [3.19] A. Shukla, K. Verma, and R. Kumar, “Multi-objective synergistic planning of EV fast-charging stations in the distribution system coupled with the transportation network,” *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 13, no. 15, pp. 3421–3432, 2019.
- [3.20] G. Boeing, “Osmnx: New methods for acquiring, constructing, analyzing, and visualizing complex street networks,” *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 65, pp. 126–139, 2017.
- [3.21] F. Wang and Y. Xu, “Estimating o–d travel time matrix by google maps api: implementation, advantages, and implications,” *Annals of GIS*, vol. 17, no. 4, pp. 199–209, 2011.
- [3.22] M. González-Rodríguez, J.-M. Clairand, K. Soto-Espinosa, J. Jaramillo-Fuelantala, and G. Escrivá-Escrivá, “Urban traffic flow mapping of an andean capital: Quito, ecuador,” *IEEE Access*, 2020.
- [3.23] F. Sarmiento-Delgado, J.-M. Clairand, P. Guerra-Ter’an, and G. Escrivá-Escrivá, “Electric Vehicle Charging Load Prediction for Private Cars and Taxis Based on Vehicle Usage Data,” in *2019 IEEE Chil. Conf. Electr. Electron. Eng. Inf. Commun. Technol.*, 2019, pp. 1–6.
- [3.24] El Universo, “En tres provincias se concentra la mayor compra de carros eléctricos.” [Online]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/08/12/nota/7939423/mercado-vehiculos-electricos-ecuador-2020>
- [3.25] BYD, “BYD E5 charging cost and time calculator.” [Online]. Available: <https://evcompare.io/la/cars/byd/byd-e5/charging/>
- [3.26] Plusvalia, “Plusvalia.” [Online]. Available: <https://www.plusvalia.com/>
- [3.27] GAMS, “GAMS.” [Online]. Available: <https://www.gams.com/>
- [3.28] F. H. Gandoman, A. Ahmadi, P. V. den Bossche, J. Van Mierlo, N. Omar, A. E. Nezhad, H. Mavalizadeh, and C. Mayet, “Status and future perspectives of reliability assessment for electric vehicles,” *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 183, no. November 2018, pp. 1–16, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2018.11.013>
- [3.29] D. Lopez-Behar, M. Tran, T. Froese, J. R. Mayaud, O. E. Herrera, and W. Merida, “Charging infrastructure for electric vehicles in Multi-Unit Residential Buildings: Mapping feedbacks and policy recommendations,” *Energy Policy*, vol. 126, no. December 2018, pp. 444–451, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.10.030>
- [3.30] Y. Fang, W. Wei, S. Mei, L. Chen, X. Zhang, and S. Huang, “Promoting electric vehicle charging infrastructure considering policy incentives and user preferences: An evolutionary game model in a small-world network,” *J. Clean. Prod.*, vol. 258, p. 120753, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120753>
- [3.31] J. Iria, M. Heleno, and G. Cadoso, “Optimal sizing and placement of energy storage systems and on-load tap changer transformers in distribution networks,” *Appl. Energy*, vol. 250, no. April, pp. 1147–1157, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.120>

Η εργασία [13] παρουσιάζει, το πρόβλημα της αυτονομίας των ηλεκτρικών οχημάτων, και πως πρέπει να αντιμετωπιστεί ένα σημαντικό εμπόδιο - το άγχος της αυτονομίας. Για να διασφαλιστεί και να καταστεί δυνατή η ταχεία διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά, πρέπει να αντιμετωπιστεί ένα σημαντικό εμπόδιο - το άγχος της αυτονομίας, ο φόβος της εξάντλησης της ηλεκτρικής ενέργειας πριν φτάσουν σε έναν άλλο διαθέσιμο σταθμό φόρτισης. Αυτή η έρευνα χρησιμοποιεί μια μεθοδολογία έρευνας για την αξιολόγηση της αντίληψης των πιθανών ιδιοκτητών EV για το άγχος εμβέλειας με στόχο την ποσοτικοποίηση και την εξήγησή του μέσω βασικών παραμέτρων EV:

- κατάσταση φόρτισης (δηλαδή, ένα σχετικό μέτρο που συγκρίνει την υπόλοιπη ποσότητα ενέργειας στην μπαταρία EV, με τη μέγιστη χωρητικότητα) και
- το υπόλοιπο εύρος (δηλαδή, πόση απόσταση μπορεί ακόμα να φτάσει το EV χωρίς επαναφόρτιση).

Μέσω της ανάλυσης της έρευνας, απαντήθηκαν δύο σχετικά ερευνητικά ερωτήματα που εμπίπτουν στην ερευνητική ατζέντα για το άγχος εύρους:

- (i) πώς οι πιθανοί ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων αντιλαμβάνονται τη βέλτιστη απόσταση μεταξύ των σταθμών φόρτισης σε σύγκριση με την παραδοσιακή, καλά αναπτυγμένη υποδομή πρατηρίων καυσίμων, και
- (ii) τον τρόπο με τον οποίο οι βασικές παράμετροι εν επηρεάζουν την απόφαση φόρτισης καθώς και την απόσταση που κάποιος είναι πρόθυμος να διανύσει για να φτάσει σε άλλο σταθμό φόρτισης που μπορεί να είναι ή να μην είναι κατειλημμένος.

Αυτή η έρευνα είναι επωφελής για τους επιχειρηματίες και τις εταιρίες παροχής, καθώς η γνώση σχετικά με το άγχος της εμβέλειας είναι πολύ σημαντική για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την τοποθέτηση σταθμών φόρτισης, καθώς και για την ερευνητική κοινότητα, καθώς το άγχος εμβέλειας είναι μια μεταβλητή που θα μπορούσε και θα έπρεπε να συμπεριληφθεί σε διάφορους ερευνητικούς τομείς που επικεντρώνονται γύρω από τα ηλεκτρικά οχήματα. Εκτός από τους επιχειρηματικούς φορείς και τους ερευνητές, το έργο αυτό είναι επωφελές για την κοινωνία εν γένει, καθώς μπορεί ενδεχομένως να έχει θετικό αντίκτυπο στην ευαισθητοποίηση σχετικά με την αναγκαιότητα του εξηλεκτρισμού στον κλάδο των μεταφορών.

(Αναφορά [13])

Η εργασία [14] παρουσιάζει, μια τοποθέτηση γρήγορου σταθμού φόρτισης με ελαστική ζήτηση. Η έλλειψη αποδοτικών υποδομών φόρτισης έχει καταστείλει το ποσοστό διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs). Αυτό το έγγραφο επικεντρώνεται κυρίως στο πρόβλημα τοποθέτησης του σταθμού ταχείας φόρτισης (FCS), ειδικά με παράμετρο την ελαστική ζήτηση. Προτείνουμε πρώτα την προτίμηση απόστασης και την προτίμηση χρόνου αναμονής για να καταγράψουμε την ελαστική ζήτηση φόρτισης EV. Επιπλέον, προτείνεται μια εξίσωση σταθερού σημείου για να καταδειχθεί η σχέση μεταξύ του ποσοστού ζήτησης εξυπηρέτησης και του χρόνου αναμονής στο σταθμό. Διατυπώνουμε περαιτέρω το πρόβλημα της τοποθέτησης FCS με ελαστική ζήτηση ως πρόβλημα βελτιστοποίησης δύο επιπέδων. Στο ανώτερο επίπεδο, προτείνουμε έναν αλγόριθμο εύρεσης για τον προσδιορισμό της βέλτιστης θέσης των σταθμών φόρτισης, με στόχο τη μεγιστοποίηση του συνολικού κέρδους του συστήματος. Στο χαμηλότερο επίπεδο, η θεωρία ακολουθίας χρησιμοποιείται για την ανάλυση της βέλτιστης χωρητικότητας κάθε σταθμού φόρτισης. Δίνεται η επαρκής προϋπόθεση για την ύπαρξη της βέλτιστης χωρητικότητας του σταθμού. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα της προσέγγισής μας:

- στη βελτίωση του κέρδους του συστήματος και
- στη μείωση του ποσοστού απώλειας ζήτησης.

Συμπερασματικά, αυτή η εργασία μελετά το πρόβλημα τοποθέτησης FCS ειδικά με τη ζήτηση ελαστικής φόρτισης, η οποία σχετίζεται:

- με την προτίμηση απόστασης και
- την προτίμηση χρόνου αναμονής.

Προτείνουμε πρώτα μια εξίσωση σταθερού σημείου για να απεικονίσουμε τη σχέση μεταξύ:

- του ποσοστού ζήτησης εξυπηρέτησης και
- του χρόνου αναμονής στο σταθμό.

Προτείνεται ένας ευρετικός αλγόριθμος για τον προσδιορισμό της βέλτιστης θέσης και χωρητικότητας των σταθμών φόρτισης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα της προσέγγισής μας στη βελτίωση του κέρδους του συστήματος και στη μείωση του ποσοστού απώλειας ζήτησης. **(Αναφορά [14])**

Η εργασία [15] παρουσιάζει, την *‘ανάπτυξη του δικτύου σταθμών φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα με ανάλυση δεδομένων τροχιάς’*. Τα ηλεκτρικά οχήματα (EVs) έχουν υποστεί εκρηκτική αύξηση τα τελευταία χρόνια, λόγω των απαράμιλλων πλεονεκτημάτων έναντι των βενζινοκίνητων αυτοκινήτων στις πράσινες μεταφορές και την αποδοτικότητα του κόστους. Μια τέτοια δραστική αύξηση οδηγεί σε μια αυξανόμενη ανάγκη για ευρέως αναπτυγμένους δημοσίως προσβάσιμους σταθμούς φόρτισης. Έτσι, ο τρόπος στρατηγικής ανάπτυξης των σταθμών φόρτισης και των σημείων φόρτισης γίνεται ένα αναδυόμενο και προκλητικό ερώτημα:

- για τους πολεοδόμους και
- τις εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε αυτό το έγγραφο, αναλύοντας μια μεγάλης κλίμακας δεδομένα τροχιάς ηλεκτρικών ταξί, κάνουμε την πρώτη προσπάθεια να διερευνήσουμε αυτό το πρόβλημα. Αναπτύσσουμε ένα πλαίσιο βέλτιστης ανάπτυξης σταθμών φόρτισης (OCS D) που λαμβάνει ως είσοδο τα ιστορικά δεδομένα τροχιάς ταξί EV, τα δεδομένα οδικού χάρτη και τις υπάρχουσες πληροφορίες σταθμού φόρτισης και εκτελεί:

- τη βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης (OCSP) και
- τη βέλτιστη εκχώρηση σημείου φόρτισης (OCPA).

Τα στοιχεία βελτιστοποίησης OCSP και OCPA έχουν σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιούν:

- τον μέσο χρόνο στον πλησιέστερο σταθμό φόρτισης και
- τον μέσο χρόνο αναμονής για ένα διαθέσιμο σημείο φόρτισης, αντίστοιχα.

Για να αξιολογήσουμε την απόδοση του πλαισίου OCS D, διεξάγουμε πειράματα σε δεδομένα τροχιάς πραγματικού EV ταξί διάρκειας ενός μηνός. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης καταδεικνύουν ότι το πλαίσιο OCS D μπορεί να επιτύχει ποσοστό μείωσης 26% - 94% κατά μέσο όρο για την εύρεση ενός σταθμού φόρτισης και έως δύο τάξεις μεγέθους μείωση του χρόνου αναμονής πριν από τη φόρτιση, σε σχέση με τις βασικές μεθόδους. Επιπλέον, τα αποτελέσματά μας αποκαλύπτουν ενδιαφέρουσες πληροφορίες για την απάντηση στην ερώτηση: "Μεγάλοι ή μικροί σταθμοί;": Όταν ο αριθμός των σημείων φόρτισης που μπορούν να αναπτυχθούν είναι αρκετά μεγάλος, προτιμώνται

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ περισσότεροι μικροί σταθμοί. και όταν υπάρχουν σχετικά λίγα σημεία φόρτισης για ανάπτυξη, οι μεγάλοι σταθμοί είναι μια πιο σοφή επιλογή.

Συμπερασματικά, Σε αυτό το έγγραφο, μελετάμε το πρόβλημα του τρόπου στρατηγικής ανάπτυξης σταθμών φόρτισης και σημείων φόρτισης σε όλη την πόλη, ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο μέσος χρόνος που πρέπει να δαπανήσει κάθε ηλεκτρικό όχημα για την εύρεση ενός διαθέσιμου σημείου φόρτισης για φόρτιση. Αναπτύσσουμε ένα πλαίσιο βέλτιστης ανάπτυξης σταθμών φόρτισης (OCSD) βάσει δεδομένων, το οποίο λαμβάνει ως εισόδους μια ποικιλία πηγών δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων δεδομένων τροχιάς ταξί EV, δεδομένων οδικού χάρτη πόλης και υφιστάμενων πληροφοριών σταθμών φόρτισης και εκτελεί βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης (OCSP) και βέλτιστη εκχώρηση σημείου φόρτισης (OCPA). Αυτά τα δύο στοιχεία βελτιστοποίησης έχουν σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιούν τον μέσο χρόνο ταξιδιού στον πλησιέστερο σταθμό φόρτισης και τον μέσο χρόνο αναμονής για ένα διαθέσιμο σημείο φόρτισης, αντίστοιχα. Για να αξιολογήσουμε την απόδοση του πλαισίου OCSD, διεξάγουμε εκτεταμένα πειράματα χρησιμοποιώντας δεδομένα τροχιάς εν taxi διάρκειας ενός μηνός. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης καταδεικνύουν ότι το πλαίσιο OCSD επιτυγχάνει ποσοστό μείωσης 26%-94% κατά μέσο όρο αναζητώντας χρόνο για την εύρεση ενός σταθμού φόρτισης και έξι φορές μείωση του χρόνου αναμονής πριν από τη φόρτιση, σε σχέση με τις βασικές μεθόδους. Τα αποτελέσματά μας απαντούν επίσης σε μια ενδιαφέρουσα ερώτηση: "Μεγάλοι ή μικροί σταθμοί;": Όταν μπορεί να αναπτυχθεί ένας αρκετά μεγαλύτερος αριθμός σημείων φόρτισης, προτιμώνται περισσότεροι μικροί σταθμοί. όταν μπορούν να αναπτυχθούν σχετικά λιγότερα σημεία φόρτισης, οι μεγάλοι σταθμοί είναι μια πιο σοφή επιλογή. Αυτή η παρατήρηση μας παρακινεί να διερευνήσουμε περαιτέρω την ασυνέπεια της ανάπτυξης του σταθμού φόρτισης για διαφορετικά K και να αντιμετωπίσουμε το ζήτημα σχεδιάζοντας μια στρατηγική ανάπτυξης για τη διαδικασία ανάπτυξης σταθμών φόρτισης. Αφήνουμε αυτό το πρόβλημα για το μελλοντικό μας έργο. **(Αναφορά [15])**

Η εργασία [16] παρουσιάζει, την *‘ανάπτυξη και προγραμματισμό υποδομών φόρτισης με βάση το IoV σε ευφυή συστήματα μεταφορών’*. Το εσωτερικό δίκτυο των οχημάτων (IoV) είναι ένα αναδυόμενο παράδειγμα για την ανταλλαγή και την ανάλυση πληροφοριών που συλλέγονται από αισθητήρες που χρησιμοποιούν ασύρματες τεχνολογίες μεταξύ οχημάτων και ανθρώπων, οχημάτων και υποδομών και οχημάτων προς οχήματα. Με την πρόσφατη αύξηση του αριθμού των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs), η απρόσκοπτη ενσωμάτωση του IoV στα ηλεκτρικά οχήματα και τις υποδομές φόρτισης μπορεί να προσφέρει περιβαλλοντικά βιώσιμες και φιλικές προς τον προϋπολογισμό μεταφορές. Σε αυτό το έγγραφο, προτείνουμε ένα πλαίσιο βασισμένο στο IoV που αποτελείται από:

- την ανάπτυξη και
- τον προγραμματισμό μιας υποδομής φόρτισης με χρήση της κινητής τηλεφωνίας.

Για την υλοποίηση, διαμορφώνουμε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης για να ελαχιστοποιήσουμε το συνολικό κόστος τοποθέτησης της υποδομής φόρτισης κινητής τηλεφωνίας, ενώ εξετάζουμε περιορισμούς στον αριθμό των ηλεκτρικών οχημάτων που μπορούν να φορτιστούν ταυτόχρονα. Το διατυπωμένο πρόβλημα είναι ένας περίπλοκος προγραμματισμός και επιλύεται με τη χρήση του αλγορίθμου διακλάδωσης και δέσμευσης. Στη συνέχεια, προτείνουμε ένα σύστημα προγραμματισμού βασισμένο σε IoV για φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων για την :

- ελαχιστοποίηση της απόστασης ταξιδιού και
- του κόστους φόρτισης,

- της απαίτησης χρόνου φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων και
- των πόρων ενός σταθμού φόρτισης.

Θεωρούμε ενεργούς, τους παθητικούς οδικούς αισθητήρες και τους αισθητήρες κυκλοφορίας, στο προτεινόμενο σύστημα προγραμματισμού που βασίζεται στο IoV για να επιτρέψουμε στους χρήστες EV να βρουν έναν σταθμό φόρτισης που μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις τους, καθώς και για να επιτρέψουμε στους παρόχους υπηρεσιών να γνωρίζουν τη ζήτηση στην περιοχή. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης απεικονίζουν τον σημαντικό αντίκτυπο της βέλτιστης ανάπτυξης των υποδομών φόρτισης και της βελτιστοποίησης του προγραμματισμού στην απόδοση της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων.

Συμπερασματικά, σε αυτό το έγγραφο, προτείνουμε ένα πλαίσιο βασισμένο στο IoV για τη διαχείριση της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Εξετάσαμε δύο κύριες πτυχές της διαχείρισης φόρτισης βάσει IoV : την ανάπτυξη υποδομών φόρτισης κινητής τηλεφωνίας και τη βελτιστοποίηση προγραμματισμού για ηλεκτρικά οχήματα. Αρχικά διατυπώσαμε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης για τη βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης και για την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους εγκατάστασης των σταθμών φόρτισης. Στη συνέχεια, προτείνουμε μια βελτιστοποίηση προγραμματισμού της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων για την ελαχιστοποίηση της χρησιμότητας η οποία αποτελείται από :

- το κόστος ταξιδιού,
- το κόστος φόρτισης,
- το κόστος ταξιδιού στο σταθμό φόρτισης και
- το κόστος για το χρόνο που πρέπει να περιμένει το EV πριν από τη φόρτιση.

Υιοθετήσαμε τον αλγόριθμο διακλάδωσης και δέσμευσης για να βρούμε τις βέλτιστες λύσεις για τις προτεινόμενες συνθήσεις. Έχουν παρουσιαστεί εκτενή αποτελέσματα προσομοίωσης για την υποστήριξη της αποτελεσματικότητας του προτεινόμενου πλαισίου. Τονίζεται ότι ο προγραμματισμός των ηλεκτρικών οχημάτων κατανέμει τους σταθμούς φόρτισης σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προϋπολογισμού των χρηστών ηλεκτρικών οχημάτων και μπορεί επίσης να μειώσει το χρόνο αναμονής πριν από τη φόρτιση για τους χρήστες ηλεκτρικών οχημάτων. Οι πιθανοί περιορισμοί του προτεινόμενου έργου είναι οι εξής: παραδοχές που χρησιμοποιούνται σε αυτό το έγγραφο, δηλαδή, επαρκής παροχή ηλεκτρικής ενέργειας για σταθμούς φόρτισης και αξιόπιστη υποδομή επικοινωνίας είναι διαθέσιμη για την επικοινωνία μεταξύ ηλεκτρικών οχημάτων, σταθμών φόρτισης και διακομιστή. Οι πιθανές μελλοντικές κατευθύνσεις για την αποδοτική διαχείριση ενέργειας με δυνατότητα IoV είναι:

- 1) το προτεινόμενο πρόβλημα βελτιστοποίησης προγραμματισμού μπορεί να μελετηθεί εξετάζοντας ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική για τους σταθμούς φόρτισης. Αυτοί οι σταθμοί φόρτισης θα επιτρέψουν στους χρήστες ηλεκτρικών οχημάτων να αγοράσουν φθηνή φόρτιση σε σύγκριση με την υπηρεσία κοινής ωφέλειας,
- 2) η κινητικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να ενσωματωθεί για αποδοτική διαχείριση φόρτισης,
- 3) χρησιμοποιώντας την τεχνολογία οχήματος προς δίκτυο (V2G), τα προβλήματα αιχμής των ενεργειακών απαιτήσεων μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά, με την πώληση ηλεκτρικής

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ ενέργειας πίσω στο δίκτυο από την μπαταρία του οχήματος σε ώρες αιχμής που έχει ως αποτέλεσμα την επίλυση του προβλήματος αποκοπής αιχμής. Ομοίως, στις ώρες μη αιχμής, οι πελάτες μπορούν να χρεώνουν τα ηλεκτρικά τους οχήματα αγοράζοντας φθηνή ηλεκτρική ενέργεια και

4) η προτεινόμενη λύση μπορεί να έχει ανησυχίες σχετικά με την προστασία της ιδιωτικής ζωής (όπως η τοποθεσία και η παρακολούθηση συμπεριφοράς) για τους χρήστες ηλεκτρικών οχημάτων, οι οποίες πρέπει να αντιμετωπιστούν για την επιτυχή ανάπτυξη του συστήματος με δυνατότητα IoV. **(Αναφορά [16])**

Η εργασία [17] παρουσιάζει, τις ‘ *Μελέτες Σχεδιασμού Κοινής Επέκτασης Του Δικτύου Τοποθέτησης και Διανομής Χώρων Στάθμευσης Ηλεκτρικών Οχημάτων* ‘ . Ο μακροπρόθεσμος σχεδιασμός του δικτύου διανομής θεωρείται ως ένα από τα πιο δύσκολα ζητήματα για τους διαχειριστές δικτύων διανομής (DNOs). Με την αύξηση των ηλεκτρικών οχημάτων στις πόλεις, εμφανίζονται νέοι παίκτες, όπως ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) και ιδιοκτήτες χώρων στάθμευσης ηλεκτρικών οχημάτων (EVPL) για σχεδιασμό δικτύου διανομής (DNP). Αυτή η εργασία διεξάγει μια νέα μελέτη σχετικά με το πρόβλημα της συζευγμένης δυναμικής επέκτασης των δικτύων τοποθέτησης και διανομής EVPL. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, ορισμένοι παράγοντες επιρροής μοντελοποιούνται, χρησιμοποιώντας έναν αποτελεσματικό αλγόριθμο πιθανοτήτων. Στη συνέχεια εισάγεται ένα αναλυτικό μοντέλο για την εκτίμηση του αριθμού των ηλεκτρικών οχημάτων σε EVPL σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Για να μάθετε το βέλτιστο μέρος για την εγκατάσταση EVPL και ενίσχυσης δικτύου διανομής (DNR), διαμορφώνεται ένα μοντέλο βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων (MO) λαμβάνοντας υπόψη τις κύριες απαιτήσεις :

- των χρηστών ηλεκτρικών οχημάτων,
- των ιδιοκτητών EVPL και
- του διαχειριστή συστήματος διανομής.

Ένα γραμμικό μοντέλο προσφέρεται επίσης για το ενεργειακό ισοζύγιο των ηλεκτρικών οχημάτων σε EVPL και οικιακούς σταθμούς φόρτισης (RCSs) που θα χρησιμοποιηθούν στο αναφερόμενο πρόβλημα επέκτασης MO. Τα αριθμητικά αποτελέσματα σε διάφορες περιπτώσεις παρουσιάζονται για να απεικονίσουν τα κύρια πλεονεκτήματα του προτεινόμενου μοντέλου συζευγμένης επέκτασης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι η αύξηση του ποσοστού των συμμετεχόντων ηλεκτρικών οχημάτων στο V2G οδηγεί :

- σε μείωση του κόστους DNO και
- αύξηση των εσόδων των EVPL.

Επιπλέον, ο χρόνος ενίσχυσης του τροφοδότη θα καθυστερήσει λαμβάνοντας υπόψη τη λειτουργία V2G και την υποβάθμιση της μπαταρίας.

Συμπερασματικά, το πλαίσιο βελτιστοποίησης MO που παρουσιάζεται σε αυτό το έγγραφο παρέχει ένα ολοκληρωμένο και αποτελεσματικό μοντέλο για τη μελέτη της συνδυασμένης επέκτασης των EVPL και του δικτύου διανομής. Το προτεινόμενο πλαίσιο καθορίζει τη βέλτιστη θέση και χωρητικότητα των EVPL μαζί με το σχέδιο ενίσχυσης του DN. Για να μοντελοποιηθεί η τυχαία συμπεριφορά της παρουσίας ηλεκτρικών οχημάτων σε EVPL και RCS, παρουσιάζεται επίσης ένα αναλυτικό μοντέλο. Η προτεινόμενη μέθοδος εφαρμόστηκε στο σύστημα δοκιμών IEEE 33 διαύλων και τα αποτελέσματα συζητήθηκαν διεξοδικά σε διάφορες περιπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα, αξιολογήθηκε ο αντίκτυπος της διαχείρισης φόρτισης/εκφόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στις λύσεις

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ σχεδιασμού. Αποδείχθηκε ότι η λειτουργία V2G οδηγεί σε υψηλότερα κέρδη EVPL και χαμηλότερο κόστος DN. Επιπλέον, η ενίσχυση των τροφοδοτικών διανομής αναβλήθηκε με την αύξηση του ποσοστού των ηλεκτρικών οχημάτων που συμμετέχουν στο πρόγραμμα V2G. Αντίθετα, το κέρδος των ιδιοκτητών EVPL μειώθηκε και το κόστος DN αυξήθηκε σε περίπτωση που ληφθεί υπόψη η υποβάθμιση της μπαταρίας. Επιπλέον, διερευνήθηκαν :

- οι διακυμάνσεις της βέλτιστης θέσης και
- χωρητικότητας των EVPL,
- του κέρδους των ιδιοκτητών EVPL και
- του κόστους DN σε σχέση με τα RCS.

Παρατηρήθηκε ότι η χωρητικότητα των EVPL αυξήθηκε όταν τα RCS εξαλείφθηκαν στο πρόβλημα του σχεδιασμού. Ως αποτέλεσμα, οδήγησε στην αύξηση των κερδών των EVPL και στη μείωση του κόστους των DN. **(Αναφορά [17])**

Η εργασία [18] παρουσιάζει, την ‘ Κοινή βελτιστοποίηση των λειτουργιών του στόλου αυτόνομων ηλεκτρικών οχημάτων και της χωροθέτησης σταθμών φόρτισης ‘. Οι υποδομές φόρτισης είναι ο συνδετικός κρίκος μεταξύ των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας και μεταφοράς, καθορίζοντας έτσι ότι η χωροθέτηση των σταθμών φόρτισης είναι απαραίτητη για τον σχεδιασμό των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας και μεταφοράς. Ενώ τα προηγούμενα έργα είτε έχουν βελτιστοποιηθεί για τη χωροθέτηση σταθμών φόρτισης, δεδομένης της ιστορικής ταξιδιωτικής συμπεριφοράς, είτε έχουν βελτιστοποιήσει τη δρομολόγηση και τη φόρτιση του στόλου, δεδομένης της υποτιθέμενης τοποθέτησης των σταθμών, αυτό το έγγραφο εισάγει ένα γραμμικό πρόγραμμα που βελτιστοποιεί για τη χωροθέτηση σταθμών και τις μακροσκοπικές λειτουργίες του στόλου με κοινό τρόπο. Δεδομένης της τιμής λιανικής πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας και ενός συνόλου αιτημάτων ζήτησης ταξιδιού, η βελτιστοποίηση ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος για έναν αυτόνομο στόλο EV που περιλαμβάνει τα έξοδα ταξιδιού, το κόστος προμήθειας σταθμών, το κόστος προμήθειας στόλου και το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των χρεώσεων ζήτησης. Συγκεκριμένα, η βελτιστοποίηση επιστρέφει τον αριθμό των βυσμάτων φόρτισης για κάθε ρυθμό φόρτισης (π.χ. Επίπεδο 2, DC fast charging) σε κάθε υποψήφια τοποθεσία, καθώς και τη βέλτιστη δρομολόγηση και φόρτιση του στόλου. Από μια μελέτη περίπτωσης ενός στόλου ηλεκτρικών οχημάτων που λειτουργεί στο Σαν Φρανσίσκο, τα αποτελέσματά μας δείχνουν ότι, αν και με περιορισμούς αυτονομίας, τα μικρά ηλεκτρικά οχήματα με χαμηλό κόστος προμηθειών και υψηλή ενεργειακή απόδοση είναι τα πιο οικονομικά αποδοτικά όσον αφορά το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας. Επιπλέον, η βέλτιστη χωροθέτηση των σταθμών φόρτισης είναι πιο χωρικά κατανεμημένη από την τρέχουσα χωροθέτηση των σταθμών, αποτελούμενη κυρίως από σταθμούς AC επιπέδου 2 υψηλής ισχύος (16,8 kW) με μικρό μερίδιο σταθμών ταχείας φόρτισης DC και χωρίς τυπικούς σταθμούς επιπέδου 2 7,7kW. Η βέλτιστη χωροθέτηση μειώνει το συνολικό κόστος, την άδεια διαδρομή του οχήματος και το φορτίο φόρτισης αιχμής έως και 10%.

Συμπερασματικά, αυτό το έγγραφο διερεύνησε τα οφέλη της βελτιστοποίησης των λειτουργιών ενός στόλου ηλεκτρικών αυτόνομων οχημάτων mobility-on-demand από κοινού με τη χωροθέτηση της υποδομής φόρτισης. Συγκεκριμένα, επινοήσαμε ένα μοντέλο ροής δικτύου που αποτυπώνει εγκαίρως τις κινήσεις και τις δραστηριότητες φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) και το εντάξαμε στο πρόβλημα χωροθέτησης των στατικών υποδομών φόρτισης. Το πρόβλημα του σχεδιασμού και του ελέγχου των αρθρώσεων που προκύπτει είναι κυρτό και μπορεί να λυθεί στην παγκόσμια βελτιστοποίηση με αλγόριθμους γραμμικού προγραμματισμού. Οι πραγματικές περιπτώσιολογικές

μελέτες μας συνέκριναν το συνολικό κόστος που μπορεί να επιτευχθεί με τρεις διαφορετικούς τύπους ηλεκτρικών οχημάτων, αποκαλύπτοντας ότι το ελαφρύτερο και φθηνότερο EV, παρά την περιορισμένη εμβέλειά του, θα είχε ως αποτέλεσμα το χαμηλότερο συνολικό κόστος και ότι η αλλαγή του τύπου του οχήματος θα επηρέαζε σημαντικά τον σχεδιασμό της υποδομής που θα προέκυπτε. Τέλος, ποσοτικοποιήσαμε τα οφέλη της από κοινού βελτιστοποίησης της χωροθέτησης των φορτιστών. Τα αποτελέσματά μας αποκάλυψαν ότι, το φορτίο φόρτισης αιχμής και το όχημα, η απόσταση που διανύθηκε έως και 10%, και επίσης να μειώθηκε το κόστος προμήθειας του σταθμού φόρτισης περισσότερο από 30%. Ειδικότερα, το μερίδιο της ικανότητας φόρτισης που παρέχουν οι σταθμοί ταχείας φόρτισης DC μειώνεται σχεδόν στο τριπλάσιο υπέρ των σταθμών AC επιπέδου 2 υψηλής ισχύος. Αυτό το έργο μπορεί να επεκταθεί ως εξής: Πρώτον, θα θέλαμε να καταγράψουμε τις επιπτώσεις της φόρτισης εν στο ηλεκτρικό δίκτυο, βελτιστοποιώντας ενδεχομένως από κοινού το σχεδιασμό του και επιτρέποντας λειτουργίες οχήματος προς δίκτυο. Δεύτερον, είναι ενδιαφέρον να μελετηθεί ο αντίκτυπος των ετερογενών στόλων που αποτελούνται από ηλεκτρικά οχήματα διαφορετικού μεγέθους και από υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα και οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Τέλος, θα θέλαμε να διερευνήσουμε την ευαισθησία των αποτελεσμάτων μας σε σχέση με τη μεταβλητότητα της ζήτησης ταξιδιού και τα διαφορετικά μοντέλα κατανάλωσης ενέργειας. **(Αναφορά [18])**

Η εργασία [19] παρουσιάζει, την *Μοντελοποίηση της αναδιαμόρφωσης του δικτύου λαμβάνοντας υπόψη το φορτίο φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων*. Ο νέος ηλεκτροκίνητηρας που χρησιμοποιείται ως κινητήρας αυτοκινήτων θεωρείται πολύ αποδοτικός και χρησιμοποιεί μόνο καθαρή ενέργεια που παράγεται ως μία από τις προσπάθειες ελαχιστοποίησης των εκπομπών άνθρακα. Η υψηλή χρήση ηλεκτρικών οχημάτων σε όλο τον κόσμο για την ανταπόκριση στις απαιτήσεις της φροντίδας του οικολογικού συστήματος έχει δημιουργήσει πολλούς σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EV) για να φιλοξενήσει τον χρήστη. Ωστόσο, τα υψηλά φορτία φόρτισης των σταθμών γρήγορης φόρτισης έχουν ως αποτέλεσμα :

- αυξημένη ζήτηση φορτίου αιχμής,
- μειωμένα περιθώρια αποθεματικού και
- αστάθεια τάσης.

Έτσι, η βέλτιστη αναδιαμόρφωση του δικτύου διανομής, με τη διασύνδεση του σταθμού φόρτισης είναι η λύση για αυτό το ζήτημα. Το εύρημα της βέλτιστης αναδιαμόρφωσης σε αυτή τη μελέτη χρησιμοποιείται:

για τη βελτίωση του προφίλ τάσης και

την ελαχιστοποίηση της απώλειας ισχύος του συστήματος διανομής.

Η καλύτερη αναδιαμόρφωση αναζητείται χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο αναζήτησης Cuckoo (CSA). Το αποτέλεσμα του ευρήματος στη συνέχεια θα επαληθευτεί συγκρίνοντας με άλλες ερευνητικές εργασίες για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε.

Συμπερασματικά, σε αυτή την μελέτη, η εφαρμογή του αλγόριθμου αναζήτησης Cuckoo στο σύστημα διανομής με τη διασύνδεση του σταθμού φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων επαληθεύεται στη :

- μείωση της απώλειας ισχύος και
- της βελτίωσης της απώλειας ισχύος.

Το επιτυχές αποτέλεσμα μπορεί να φανεί από την περίπτωση 1 μέχρι την περίπτωση 6. Παρόλο που υπάρχουν πολλαπλές τοποθετήσεις του σταθμού φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα διαύλου IEEE-33, το CSA μπορεί να βρει τη βέλτιστη διαμόρφωση για να μειώσει την απώλεια. Η απώλεια ισχύος μπορεί να θεωρηθεί ότι μειώνεται δραματικά μετά την εκ νέου διαμόρφωση. Από όλες τις περιπτώσεις, το υψηλότερο ποσοστό μείωσης της απώλειας ισχύος είναι μέχρι και 93,36%. Ωστόσο, η εφαρμογή του CSA βρίσκει με επιτυχία τη βέλτιστη αναδιαμόρφωση για να μειώσει την απώλεια ισχύος όσο το δυνατόν χαμηλότερα. Έτσι, η εφαρμογή της CSA στο σύστημα ζηγών IEEE-33 εισήγαγε ένα σημαντικό ποσοστό απώλειας ισχύος πριν και μετά την αναδιαμόρφωση του δικτύου διανομής. Υπάρχει δραματική βελτίωση στο προφίλ τάσης μετά την εκ νέου διαμόρφωση στο σύστημα. Αν και η αύξηση στην εισαγωγή του σταθμού φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα διανομής, η CSA μπορεί να καταφέρει να βρει την καλύτερη βέλτιστη διαμόρφωση για τη μείωση της απώλειας ισχύος και τη βελτίωση του προφίλ τάσης. **(Αναφορά [19])**

Η εργασία [20] παρουσιάζει, 'Πολλαπλοί Στόχοι Βέλτιστος Σχεδιασμός σταθμού γρήγορης φόρτισης και κατανεμημένων γεννητριών σε σύστημα διανομής'. Ο εξηλεκτρισμός στα οδικά δίκτυα διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο στην ανάπτυξη έξυπνων πόλεων. Η αυξανόμενη ζήτηση για Ηλεκτρικά Οχήματα (EVs), Σταθμούς Ταχείας Φόρτισης (FCT) ενσωματώνεται στο Σύστημα Διανομής (DTS). Η λανθασμένη κατανομή του FCT στο DST οδηγεί σε αύξηση της απώλειας ενεργού ισχύος, της απόκλισης τάσης και της αύξησης του κόστους κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτό το άρθρο, βέλτιστη τοποθέτηση και μέγεθος FCT και κατανεμημένων γεννητριών (DGs) σε DTS με πολυπαραγοντικά προβλήματα όπως η ελαχιστοποίηση του κόστους απώλειας πραγματικής ισχύος του DTS (RPD), της απόκλισης τάσης (DVN), του κόστους ανάπτυξης FCT (SDFT), της κατανάλωσης ενέργειας κόστους χρήστη EV (ECUT) και του κόστους της DG (CDGs). Για την επίλυση βέλτιστων προβλημάτων επιλογής και τοποθέτησης, ο αλγόριθμος GWO (Grey wolf optimizer) που βασίζεται στην κυριαρχία pareto χρησιμοποιήθηκε στο σύστημα διανομής, 118 ζυγών. Οι βέλτιστες λύσεις Pareto συγκρίθηκαν με ασαφή λήψη αποφάσεων. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης συγκρίθηκαν με άλλους αλγόριθμους όπως το NSGA-2 και το PSO.

Συμπερασματικά, τα δύο στάδια δίνουν καλύτερα αποτελέσματα έτσι ώστε να υπάρχει μείωση των RPD, CDG και DVN. Λόγω της μείωσης του κόστους, δίνει οφέλη τόσο στους ιδιοκτήτες σταθμών φόρτισης όσο και στους χρήστες EV. Εκτός αυτού, οι μελλοντικές εργασίες μπορούν να επεκταθούν με την ταυτόχρονη τοποθέτηση FCT, DGs στο δίκτυο ηλεκτρικών οχημάτων. **(Αναφορά [20])**

Η εργασία [21] παρουσιάζει, 'Πολυπαραγοντικό ταυτόχρονο βέλτιστο σχεδιασμό σταθμών ταχείας φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και DGs στο σύστημα διανομής'. Η μεγάλης κλίμακας κατασκευή σταθμών ταχείας φόρτισης (FCSs) για ηλεκτρικά οχήματα (EVs) είναι χρήσιμη για την προώθηση του EV. Δημιουργεί μια σημαντική πρόκληση για τον διαχειριστή του συστήματος διανομής να καθορίσει τον βέλτιστο προγραμματισμό, ειδικά τη χωροθέτηση και το μέγεθος των FCS στο σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ακατάλληλος σχεδιασμός γρήγορων σταθμών φόρτισης EV (EVCS) προκαλεί αρνητικό αντίκτυπο στο σύστημα διανομής. Η εργασία αυτή παρουσίασε ένα πολυπαραγοντικό πρόβλημα βελτιστοποίησης για την επίτευξη της ταυτόχρονης τοποθέτησης και μέτρησης διαστάσεων των FCS και των κατανεμημένων γεννητριών (DG) με τους περιορισμούς όπως ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων σε όλες τις ζώνες και ο πιθανός αριθμός των FCS με βάση το οδικό και ηλεκτρικό δίκτυο στο προτεινόμενο σύστημα. Το πρόβλημα διατυπώνεται ως ένα μικτό ακέραιο μη γραμμικό πρόβλημα (MINLP)

- για τη βελτιστοποίηση της απώλειας του χρήστη EV,
- της απώλειας ισχύος δικτύου (NPL),
- του κόστους ανάπτυξης FCS και

- της βελτίωσης του προφίλ τάσης του συστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο γενετικός αλγόριθμος ταξινόμησης II (NSGA-II) χρησιμοποιείται για την επίλυση του MINLP. Η απόδοση της προτεινόμενης τεχνικής αξιολογείται από το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας 118 ζυγών.

Συμπερασματικά, Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν τη σημασία της βέλτιστης ταυτόχρονης τοποθέτησης τόσο των FCS όσο και των γενικών καταναλώσεων στο σύστημα διανομής. Στην προτεινόμενη προσέγγιση, ο βέλτιστος σχεδιασμός των FCS και ο βέλτιστος σχεδιασμός των DGs με βάση το βέλτιστο φορτίο FCS συγκρίνονται με τον ταυτόχρονο προγραμματισμό των FCS και των DGs στο συζευγμένο δίκτυο διανομής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η ταυτόχρονη τοποθέτηση FFCS και γενικών διευθύνσεων έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη μείωση του κόστους EVUC και NPL για τις ίδιες επενδύσεις SDC και DG value. Το κόστος των EVUC και των NPL είναι μεταβλητό σε σχέση με το χρόνο. Ως εκ τούτου, η μείωση αυτού του κόστους θα είναι επωφελής τόσο για τους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων όσο και για τους ιδιοκτήτες CS. Η βέλτιστη ταυτόχρονη τοποθέτηση τόσο των FCS όσο και των DGs στο σύστημα διανομής παρέχει σημαντικά οφέλη σε όλα τα εμπλεκόμενα μέρη. **(Αναφορά [21])**

3.3 23 Εργασίες βελτιστοποίησης σταθμών φόρτισης σε δίκτυα διανομής.

Αναφορές: 23 : (από 22 έως 44)

Η εργασία [22] παρουσιάζει, την ‘Βέλτιστη κατανομή σταθμών φόρτισης EV σε δίκτυο διανομής με τη χρήση μοντελοποίησης φορτίου πιθανοτήτων’. Οι σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EV) (CSs) είναι το σημείο ζεύξης μεταξύ του ηλεκτρικού δικτύου και του δικτύου μεταφοράς. Η επιχειρησιακή συμπεριφορά των ηλεκτρικών οχημάτων θα επηρεάσει και τα δύο δίκτυα ταυτόχρονα. Έτσι, η βέλτιστη τοποθέτηση των CSs σε ένα δίκτυο διανομής παίζει ζωτικό ρόλο. Αυτή η εργασία προτείνει μια νέα μέθοδο για τη βέλτιστη τοποθέτηση των σταθμών φόρτισης EV λαμβάνοντας υπόψη :

- την ελαχιστοποίηση των απωλειών του ηλεκτρικού δικτύου, καθώς και
- την απώλεια ισχύος των ηλεκτρικών οχημάτων κατά τη διάρκεια του ταξιδιού προς το σταθμό φόρτισης.

Ο συντελεστής χρήσης του CS βοηθά στον προσδιορισμό του αριθμού των CS που απαιτούνται σε ένα δίκτυο, διασφαλίζοντας την αποτελεσματική χρήση της επένδυσης στην υποδομή CS. Αντί για μια σταθερή ζήτηση φορτίου/στατικού φορτίου, η προτεινόμενη εργασία χρησιμοποιεί ένα μοντέλο ουράς για τη δυναμική συμπεριφορά μιας δυνατότητας συντήρησης CS. Για την αποτύπωση της αβεβαιότητας όσον αφορά τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και τη συμπεριφορά εν, χρησιμοποιείται μια μέθοδος μοντελοποίησης φορτίου (PLM) πιθανοτήτων. Με την αναγνωρισμένη μοντελοποίηση, αυτή η εργασία μπορεί να καταναείμει βέλτιστα τα CS σε ένα δίκτυο διανομής. Το πρόβλημα είναι δομημένο ως πρόβλημα βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων. Τα πειράματα προσομοίωσης διεξάγονται σε ένα σύστημα δοκιμών για την απεικόνιση της προτεινόμενης μεθόδου. Η επίδραση στο προφίλ τάσης, τη χρήση CS και την αβεβαιότητα φορτίου αναλύονται και παρουσιάζονται για να αποδειχθεί η αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης μεθόδου.

Συμπερασματικά, Αυτή η εργασία προτείνει μια νέα μέθοδο για τη βέλτιστη κατανομή των CSs λαμβάνοντας υπόψη μια συσχετισμένη αλληλεπίδραση μεταξύ του ηλεκτρικού δικτύου και του δικτύου μεταφοράς. Η μοντελοποίηση φορτίου βάσει πιθανοτήτων χρησιμοποιείται για να συλλάβει

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ τις αβεβαιότητες των PHEVs και της ηλεκτρικής ζήτησης. Το μοντέλο ακολουθίας $M / M / c$ ενσωματώνεται για να καθορίσει τις δυνατότητες σέρβις ενός σταθμού φόρτισης EV. Προτείνεται ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων για την εύρεση της βέλτιστης θέσης των CS σε ένα δίκτυο. Εξετάζονται δύο διαφορετικά σενάρια. Τα πειραματικά αποτελέσματα καταδεικνύουν επίσης την επίδραση της τοποθέτησης CS στο προφίλ τάσης δικτύου. Στην προτεινόμενη προσέγγισή μας, τόσο οι διαχειριστές συστημάτων όσο και οι ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων επωφελούνται από τη μείωση των απωλειών τους. Ο συντελεστής χρήσης υποστηρίζει την ενεργή χρήση των CS και θέτει έναν περιορισμό στους αριθμούς τους στο δίκτυο. Είναι σαφές από τα αποτελέσματα των περιπτώσιολογικών μελετών ότι η βέλτιστη κατανομή :

- μειώνει τις απώλειες και
- βελτιώνει τις τάσεις των ζυγών.

(Αναφορά [22])

Η εργασία [23] παρουσιάζει, την *‘Βέλτιστη κατανομή σταθμών ταχείας φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα’*. Η βέλτιστη τοποθέτηση του σταθμού φόρτισης (CS) είναι σημαντική για την ευρεία ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων. Ως εκ τούτου, αυτή η εργασία προτείνει μια προσέγγιση βελτιστοποίησης για τη βέλτιστη κατανομή της ταχείας CS (RCS), η οποία λαμβάνει υπόψη την

- απώλεια ταξιδιού,
- τη συσσώρευση και
- το κόστος απώλειας ενέργειας υποσταθμού.

Ο δυαδικός αλγόριθμος firefly (BFA) εφαρμόζεται για την ελαχιστοποίηση του ημερήσιου συνολικού κόστους καθορίζοντας τη βέλτιστη θέση του RCS. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η προτεινόμενη μέθοδος μπορεί να καθορίσει τη βέλτιστη θέση και το μέγεθος του RCS που μπορεί να βοηθήσει τους χρήστες EV, τους προγραμματιστές RCS και το ηλεκτρικό δίκτυο.

Συμπερασματικά, αυτή η εργασία εισήγαγε μια μέθοδο για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης για τη βέλτιστη κατανομή του RCS στο δήμο Bangi της Μαλαισίας. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης επιλύεται με τη χρήση του προτεινόμενου BFA για την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους. Από τα αποτελέσματα, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι τα κόστη BU, TEL και SEL είναι σημαντικό να λάβουν υπόψιν τον σχεδιασμό του RCS. Τέλος, η μελέτη δείχνει ότι οι μέθοδοι και τα μοντέλα που παρουσιάζονται μπορούν να είναι επωφελή για τους προγραμματιστές RCS και τους χρήστες EV. **(Αναφορά [23])**

Η εργασία [24] παρουσιάζει, την *‘Βέλτιστη προσέγγιση για την παροχή υπηρεσιών φόρτισης σε ηλεκτρικά οχήματα με τη χρήση κινητών σταθμών φόρτισης σε ετερογενή δίκτυα’*. Οι κινητοί σταθμοί φόρτισης (MCSs) μπορούν να παρέχουν στα ηλεκτρικά οχήματα (EVs) καλύτερες υπηρεσίες φόρτισης από τους σταθερούς σταθμούς φόρτισης, καθώς οι ευέλικτοι και αποδοτικοί χώροι φόρτισης μπορούν να είναι διαθέσιμοι σε διαφορετικά σημεία. Ωστόσο, ο τρόπος προγραμματισμού των εργασιών από τα ηλεκτρικά οχήματα και η βέλτιστη τοποθέτηση των MCSs γίνεται μια νέα πρόκληση. Ως εκ τούτου, σε αυτό το άρθρο παρουσιάζουμε μια νέα προσέγγιση για να βοηθήσουμε τα EVs να φορτιστούν με MCS μέσω ετερογενών δικτύων. Πρώτον, παρουσιάζεται ένα νέο ετερογενές μοντέλο δικτύου για τη βελτίωση της επικοινωνίας μεταξύ EVs και MCSs χρησιμοποιώντας μεγάλα και μικρά κελιά. Μετά, αναπτύσσεται ένα νέο μοντέλο για τη λήψη βέλτιστων αποφάσεων για mcss να προγραμματίσουν τις εργασίες από τα EVs. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης χαοτικής εξέλιξης (CEPSO) για τον προσδιορισμό της βέλτιστης τοποθέτησης των MCS με βάση τη ζήτηση φόρτισης και το κόστος συντήρησης. Τέλος,

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
τα πειράματα προσομοίωσης αποδεικνύουν ότι η προτεινόμενη προσέγγιση μπορεί να ξεπεράσει τις συμβατικές μεθόδους.

Συμπερασματικά, ένα μοντέλο βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων έχει αναπτυχθεί για τη λήψη βέλτιστων αποφάσεων για τους χειριστές να προγραμματίσουν τις εργασίες για τα ηλεκτρικά οχήματα. Ο αλγόριθμος που ονομάζεται CEPSCO έχει προταθεί για την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης με τη βέλτιστη τοποθέτηση των MCSs. Σε μελλοντική έρευνα, θα εξετάσουμε πώς να σχεδιάσουμε τους μηχανισμούς κινήτρων με το περιορισμένο μέγεθος των MCS, με τη συμμετοχή ανανεώσιμων και άλλων ειδών ενέργειας μεταξύ παρακείμενων σταθμών. **(Αναφορά [24])**

Η εργασία [25] παρουσιάζει, την *‘Εκτίμηση Βέλτιστης Δυναμικότητας και Κατανομή Μονάδων Κατανεμημένης Παραγωγής με Κατάλληλη Τοποθέτηση Σταθμών Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων’*. Η βέλτιστη εκτίμηση ισχύος και η κατανομή των μονάδων κατανεμημένης παραγωγής (DG) μαζί με την κατάλληλη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EVCS) συμβάλλουν ουσιαστικά στον περιορισμό των απωλειών ισχύος και στη βελτίωση της ευστάθειας τάσης ενός συστήματος. Από αυτή την άποψη, αυτή η εργασία διατυπώνει μια πολυπαραγοντική συνάρτηση για την:

- ελαχιστοποίηση των απωλειών ισχύος και
- της απόκλισης τάσης των ζυγών στο δίκτυο διανομής.

Το πρόβλημα βελτιστοποίησης επιλύεται χρησιμοποιώντας τρεις διαφορετικούς τύπους αλγορίθμων βελτιστοποίησης, δηλαδή :

- βελτιστοποίηση (PSO),
- βελτιστοποίηση (GWO) και
- υβριδική βελτιστοποίηση (HPSOGWO).

Για να προσομοιωθεί η πρακτική κατάσταση, το φορτίο που εξαρτάται από την τάση και διάφορα πρότυπα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EV) με βάση τη θέση του EVCS, λαμβάνονται υπόψη σε αυτή τη μελέτη. Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά, οι ανεμογεννήτριες και οι DGs που βασίζονται σε γεννήτριες ντίζελ λαμβάνονται υπόψη σε αυτή τη μελέτη. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος δοκιμάζεται σε ένα δίκτυο με ζυγούς IEEE 33 λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικά σενάρια. Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν δείχνουν ότι το HPSOGWO παρέχει τη βέλτιστη λύση μεταξύ όλων των εξεταζόμενων αλγορίθμων, με τη μικρότερη απώλεια ισχύος και απόκλιση τάσης για όλα τα σενάρια.

Συμπερασματικά, η λειτουργία πολλαπλών στόχων χρησιμοποιείται για να μειώσει τις απώλειες ισχύος και τη βελτίωση της σταθερότητας της τάσης. Η προτεινόμενη μέθοδος δοκιμάζεται σε ένα τροποποιημένο δίκτυο με ζυγούς (33) IEEE 33 που διαθέτει DG βασισμένες σε ηλιακά φωτοβολταϊκά (PV), ανεμογεννήτριες (WTG) και γεννήτριες ντίζελ (DEG) με μοντέλα φορτίου που εξαρτώνται από την τάση, όπως οικιακούς, εμπορικούς και βιομηχανικούς τύπους φορτίου. Σε αυτή τη μελέτη, διαμορφώνονται διάφορα μοτίβα φορτίου φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων χρησιμοποιώντας προσομοιώσεις στο Monte Carlo. Επιπλέον, προσδιορίζεται η βέλτιστη κατανομή τριών τύπων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EVCS), δηλαδή του :

- οικιακού σταθμού φόρτισης (RCS),
- του βιομηχανικού σταθμού φόρτισης (ICS) και του
- εμπορικού σταθμού φόρτισης (CCS).

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το HPSOGWO ξεπερνά όλους τους άλλους αλγόριθμους για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια. Είναι επίσης αξιοσημείωτο από τα αποτελέσματα ότι καθώς ο αριθμός των DGs αυξάνεται στο σύστημα δοκιμών, η συνολική απώλεια ισχύος μειώνεται και το προφίλ τάσης βελτιώνεται. **(Αναφορά [25]).**

Η εργασία [26] παρουσιάζει, την ‘*Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων σε συστήματα διανομής*’. Αυτή η εργασία παρουσιάζει έναν αλγόριθμο αφιερωμένο στη βελτιστοποίηση της τοποθέτησης σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) σε ένα δεδομένο σύστημα διανομής χρησιμοποιώντας γενετικούς αλγόριθμους (GA), όπου λαμβάνονται υπόψη τα καθημερινά χρονικά μεταβαλλόμενα φορτία μαζί με τυχαία μοτίβα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, συμπεριλαμβανομένου:

- του χρόνου έναρξης,
- της διάρκειας και
- της ισχύος φόρτισης.

Το πρόβλημα διατυπώνεται ως ένα μη διαφορετικό πρόβλημα συνδυαστικής βελτιστοποίησης, όπου οι απώλειες του συστήματος πρέπει να ελαχιστοποιηθούν και υπόκεινται σε περιορισμούς χωρητικότητας και λειτουργίας του συστήματος. Οι εναλλακτικές λύσεις τοποθέτησης που εξετάζονται είναι η εγκατάσταση μονοφασικών αργών φορτιστών επιπέδου 2. Στην εξελικτική διαδικασία GA, αναλύεται η κατάσταση όλων των φορτιστών και για κάθε εφικτή λύση, επιλύεται ένα μη γραμμικό τριφασικό πρόβλημα ροής ισχύος και υπολογίζονται οι απώλειες του συστήματος. Ένα πρακτικό σύστημα διανομής αποτελούμενο από 20 λεωφορεία χρησιμοποιήθηκε για την επικύρωση του αλγορίθμου και την απόδειξη της εφαρμοσιμότητάς του σε μεγάλα συστήματα.

Συμπερασματικά, η απόδοση λειτουργίας του συστήματος με και χωρίς τη βέλτιστη τοποθέτηση του σταθμού φόρτισης συγκρίνεται και αναλύεται ο αντίκτυπος ανισορροπίας τάσης του συστήματος λόγω μονοφασικής ανεξέλεγκτης αργής φόρτισης. Η απόδοση της προτεινόμενης μεθοδολογίας έχει διασφαλιστεί μέσω ενός πρακτικού τροφοδότη διανομής. Τα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν ότι η στρατηγική τοποθέτηση των σταθμών φόρτισης είναι χρήσιμη για τον μετριασμό των επιπτώσεων φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στα δίκτυα διανομής όσον αφορά την απόδοση λειτουργίας του συστήματος και την ποιότητα της τάσης. Τα αποτελέσματα που αντιπροσωπεύει ο αλγόριθμος για ένα μικρό σύστημα είναι εξαιρετικής ποιότητας και υποδηλώνουν την εφαρμοσιμότητά του σε πρακτικά δίκτυα διανομής μεγάλης κλίμακας. Τα μοντέλα ανάλυσης που αναπτύχθηκαν μπορούν να βοηθήσουν τους μηχανικούς να αξιολογήσουν τον αντίκτυπο της θέσης φόρτισης εν και του εξοπλισμού στην απόδοση λειτουργίας της διανομής. **(Αναφορά [26])**

Η εργασία [27] παρουσιάζει, την ‘*Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμού γρήγορης φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων με βάση το θεωρητικό πλαίσιο διαχείρισης*’. Για να μειωθεί η ατμοσφαιρική ρύπανση και να βελτιωθεί η ενεργειακή απόδοση, πολλές χώρες και πόλεις (π.χ. Σιγκαπούρη) βρίσκονται στο δρόμο της εισαγωγής ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) για την αντικατάσταση των οχημάτων που εξυπηρετούν το τρέχον σύστημα κυκλοφορίας. Η αποτελεσματική τοποθέτηση των σταθμών φόρτισης είναι απαραίτητη για την ταχεία ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων, διότι είναι απαραίτητη για την παροχή ευκολίας στα ηλεκτρικά οχήματα και τη διασφάλιση της αποδοτικότητας του δικτύου κυκλοφορίας. Ωστόσο, τα υπάρχοντα έργα επικεντρώνονται κυρίως στο άγχος των διανυθέντων χιλιομέτρων από τους χρήστες EV, αλλά αγνοούν τις στρατηγικές και ανταγωνιστικές συμπεριφορές φόρτισης. Για να καταγράψουμε τις ανταγωνιστικές και στρατηγικές συμπεριφορές φόρτισης των χρηστών ηλεκτρικών οχημάτων, θεωρούμε ότι το κόστος φόρτισης ενός χρήστη EV, το οποίο εξαρτάται από τις επιλογές άλλων χρηστών EV, αποτελείται από:

- το κόστος ταξιδιού για πρόσβαση στο σταθμό φόρτισης και
- το κόστος αναμονής στους σταθμούς φόρτισης.

Πρώτον, διαμορφώνουμε το πρόβλημα τοποθέτησης σταθμού φόρτισης (CSPP) ως πρόβλημα βελτιστοποίησης. Στη συνέχεια, αξιοποιώντας την ισορροπία του τρόπου φόρτισης εν, μετατρέπουμε το πρόβλημα βελτιστοποίησης σε ένα επίπεδο, μετά το οποίο αναλύουμε τις ιδιότητες του CSPP και προτείνουμε έναν αλγόριθμο Βελτιστοποίησης ηλεκτρικού σταθμού φόρτισης οχημάτων (OCEAN) για τον υπολογισμό της βέλτιστης κατανομής των σταθμών φόρτισης. Λόγω του ζητήματος της επεκτασιμότητας του OCEAN, παρουσιάζουμε επιπλέον έναν ευρετικό αλγόριθμο OCEAN με συνεχείς μεταβλητές για την αντιμετώπιση προβλημάτων πραγματικού κόσμου μεγάλης κλίμακας. Τέλος, δείχνουμε τα αποτελέσματα των εκτεταμένων πειραμάτων που κάναμε. Φαίνεται ότι η προσέγγισή μας υπερτερεί σημαντικά των βασικών μεθόδων.

Συμπερασματικά, οι βασικές συνεισφορές αυτού του εγγράφου περιλαμβάνουν:

- (1) ένα ρεαλιστικό μοντέλο για το CSPP σε πόλεις όπως η Σιγκαπούρη, λαμβάνοντας υπόψη τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ της τοποθέτησης σταθμών φόρτισης, των δραστηριοτήτων φόρτισης των οδηγών EV, της κυκλοφοριακής συμφόρησης και του χρόνου αναμονής:
- (2) ένα ισοδύναμο CSPP μονού επιπέδου του προβλήματος βελτιστοποίησης CSPP δύο επιπέδων που επιτυγχάνεται μέσω της εκμετάλλευσης της δομής τρόπου φόρτισης.
- (3) μια αποτελεσματική ευρετική προσέγγιση που μπορεί να επιταχύνει το μικτό ακέραιο CSPP με μεγάλο αριθμό μη γραμμικών περιορισμών.
- (4) θεωρητική ανάλυση του PoA και αντίστοιχα πειράματα για τον τρόπο φόρτισης.
- (5) αποτελέσματα πειραμάτων που βασίζονται σε πραγματικά δεδομένα από τη Σιγκαπούρη, τα οποία δείχνουν ότι η προσέγγισή μας επιλύει την αποτελεσματική κατανομή των σταθμών φόρτισης και ξεπερνά τις τιμές βάσης. **(Αναφορά [27])**

Η εργασία [28] παρουσιάζει, 'Βέλτιστη επέκταση φωτοβολταϊκού συστήματος με βάση το σταθμό φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στο έξυπνο δίκτυο'. Σήμερα, τα ηλεκτρικά οχήματα (EV) μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ενώ τα ηλεκτρικά οχήματα είναι ένας πρωταρχικός καταναλωτής ενέργειας στο έξυπνο δίκτυο. Με την ταχεία ανάπτυξη της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας, το φωτοβολταϊκό (PV) σύστημα ισχύος που είναι εγκατεστημένο σε σταθμό φόρτισης EV μπορεί να μειώσει το κόστος φόρτισης EV με χαμηλότερη τιμή λειτουργίας, σε σύγκριση με την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, η βέλτιστη τοποθέτηση Φ/Β σταθμού με σταθμό φόρτισης EV προκαλεί ανησυχία. Σε αυτό το έγγραφο, οι λειτουργίες κόστους φόρτισης τόσο για τον ιδιοκτήτη σταθμού φόρτισης όσο και για τον οδηγό EV περιγράφονται από ένα μοντέλο προγραμματισμού bilevel. Η αντικειμενική λειτουργία ελαχιστοποιεί όχι μόνο το κόστος λειτουργίας του σταθμού φόρτισης EV αλλά και το κόστος φόρτισης EV για τον οδηγό. Η προσομοίωση δείχνει ότι ο διευρυμένος φωτοβολταϊκός σταθμός μπορεί να μειώσει το συνολικό κόστος μειώνοντας τα φορτία κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Συμπερασματικά, σε αυτό το έγγραφο, το μοντέλο παραγωγής φωτοβολταϊκής ενέργειας έχει διερευνηθεί αφού έχουν ληφθεί υπόψη η θερμοκρασία και η ένταση φωτισμού. Συζητείται η λειτουργία κόστους της λειτουργίας του σταθμού φόρτισης EV και της φόρτισης του EV. Στη συνέχεια, προτάθηκε ένα μοντέλο βελτιστοποίησης του προγραμματισμού για την εγκατάσταση

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
ηλιακών συλλεκτών του φωτοβολταϊκού σταθμού για τη μείωση του συνολικού κόστους φόρτισης. Ελαχιστοποιεί όχι μόνο το προτεινόμενο μοντέλο, το συνολικό κόστος φόρτισης από την πλευρά του χειριστή του σταθμού φόρτισης, αλλά και το κόστος φόρτισης του EV. Για να επιτύχουμε τη βελτιστοποιημένη λύση, έχουμε μοντελοποιήσει το πρόβλημα χαμηλότερου επιπέδου ως πρόβλημα μη συνεργάσιμου τρόπου και αναπτύξαμε έναν αλγόριθμο καλύτερης απόκρισης για τον προσδιορισμό της στρατηγικής φόρτισης του οδηγού EV. Μετά από αυτό, ένας εναλλασόμενος αλγόριθμος έχει αναπτυχθεί περαιτέρω για την επίλυση του προτεινόμενου προβλήματος της επιλογής. Οι προσομοιώσεις υλοποιούν το πραγματικό σύνολο δεδομένων και δείχνουν ότι ο εγκατεστημένος φωτοβολταϊκός σταθμός μπορεί να μειώσει περισσότερο από το ήμισυ του κόστους φόρτισης από τις ώρες αιχμής. **(Αναφορά [28])**

Η εργασία [29] παρουσιάζει, την *‘Βέλτιστη τοποθέτηση και χωρητικότητα των καταναμημένων γεννητριών σε γενικό δίκτυο μέσης τάσης του Ηνωμένου Βασιλείου’*. Λόγω των παγκόσμιων περιβαλλοντικών ανησυχιών, ανοίγονται νέες ευκαιρίες για την αξιοποίηση των πόρων από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Επί του παρόντος, οι καταναμημένες γεννήτριες (ΓΔ) που βασίζονται σε τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως:

- η ηλιακή,
- η αιολική και
- η βιομάζα,

χρησιμοποιούνται ευρέως σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.

Η παρουσία της distributed generators (DG) έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την αξιοπιστία του δικτύου και να ελαχιστοποιήσει τις απώλειες ισχύος. Οι εργασίες αυτές αναλύουν τον αντίκτυπο της DG στα δίκτυα διανομής και προσδιορίζουν το βέλτιστο μέγεθος και τοποθεσία της DG για τη μείωση των απωλειών. Η τοποθεσία και το μέγεθος της DG αποτελούν δύσκολα θέματα λόγω ενός μεγάλου αριθμού δυνατοτήτων και περιορισμών που πρέπει να εξεταστούν. Ως εκ τούτου, η προτεινόμενη μέθοδος βελτιστοποίησης είναι σε θέση να προσδιορίσει το βέλτιστο μέγεθος dg και την τοποθεσία, λαμβάνοντας υπόψη το πρόσθετο φορτίο από σταθμούς φόρτισης EV. Ο αναπτυγμένος αλγόριθμος βελτιστοποίησης προσομοιώνεται στον προγραμματισμό MATLAB χρησιμοποιώντας ένα γενικό δίκτυο MV στο Ηνωμένο Βασίλειο. Εφαρμόστηκαν διάφορες περιπτώσιολογικές μελέτες, συμπεριλαμβανομένης της σύνδεσης μίας και πολλαπλών DG με το δίκτυο, προκειμένου να μειωθούν οι απώλειες και να διατηρηθεί η τάση εντός των νόμιμων ορίων.

Συμπερασματικά, ο αλγόριθμος PSO δοκιμάστηκε με επιτυχία στο σύστημα MV UKGDS 15 ζυγών για τη βελτιστοποίηση της τοποθεσίας και του μεγέθους της DG. Υλοποιήθηκαν διάφορες περιπτώσιολογικές μελέτες, συμπεριλαμβανομένων μεμονωμένων και πολλαπλών DG. Η επιλογή της κατάλληλης θέσης και του μεγέθους της DG θεωρείται ότι βρίσκεται σε διαύλους φορτίου προκειμένου να μειωθεί περαιτέρω η απώλεια ισχύος που παρατηρείται στο δίκτυο. Με βάση τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, διαπιστώθηκε ότι η μελέτη περίπτωσης 3 με πολλαπλές τοποθετήσεις DG δίνει καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με τις άλλες περιπτώσεις όσον αφορά τη μείωση των απωλειών ισχύος και το προφίλ τάσης. Ο χρόνος υπολογισμού της προσομοίωσης για την επίτευξη του σημείου σύγκλισης ήταν 16,54 δευτερόλεπτα. Ως εκ τούτου, ο προσδιορισμός της τοποθεσίας και του μεγέθους της DG ταυτόχρονα με τη χρήση PSO είναι δυνατός και όχι η συνήθης προσέγγιση δοκιμών και σφαλμάτων. Για περαιτέρω ανάλυση και παρατήρηση, η προσομοίωση μπορεί να επεκταθεί στο δίκτυο μεγάλης κλίμακας και να δοκιμαστεί με περισσότερες από δύο DG. **(Αναφορά [29])**

Η εργασία [30] παρουσιάζει, την *‘Βέλτιστη τοποθέτηση και χωρητικότητα σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων σε αστικές Areas_Survey (περιοχές έρευνας)’*. Η ευρεία υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) εξαρτάται από τη βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης (CSs) σε μητροπολιτικές περιοχές, καθώς και από τη χωρητικότητα κάθε σταθμού φόρτισης. Η θέση του CS θα πρέπει να εγγυάται ότι οι χρήστες EV μπορούν να φτάσουν στο CS εντός του εύρους οδήγησής τους και επίσης εντός της κατάστασης φόρτισης της μπαταρίας (SOC). Πολλά ερευνητικά έργα έχουν προτείνει διαφορετικές τεχνικές και προσεγγίσεις για τον προσδιορισμό της χωρητικότητας και της βέλτιστης τοποθέτησης των CS σε αστικές περιοχές λαμβάνοντας υπόψη πολλές παραμέτρους και περιορισμούς, όπως η συμπεριφορά του οδηγού EV, το κόστος ανάπτυξης CS και την απώλεια ηλεκτρικού δικτύου. Το πρόβλημα της εύρεσης της χωρητικότητας και των βέλτιστων θέσεων για τα CSs διατυπώνεται κυρίως ως πρόβλημα βελτιστοποίησης. Διάφοροι αλγόριθμοι έχουν χρησιμοποιηθεί σε αυτές τις ερευνητικές εργασίες για την επίλυση αυτού του προβλήματος, όπως ο γενετικός αλγόριθμος (GA), ο αλγόριθμος αναζήτησης δυαδικού φωτισμού (BLSA), ο βελτιστοποιητής ιεράρχησης σωματιδίων (PSO). Αυτή η έρευνα επικεντρώνεται στις λύσεις που έχουν προταθεί σε πρόσφατα ερευνητικά έργα για την επίλυση αυτού του προβλήματος και στη συνέχεια τη σύγκρισή τους όσον αφορά το συνολικό αναμενόμενο κόστος, τη ζήτηση ενέργειας, την προτίμηση των χρηστών EV, την προτεινόμενη προσέγγιση, τους ερευνητικούς στόχους, τις μετρήσεις και τους περιορισμούς και, τέλος, τους αλγόριθμους που έχουν χρησιμοποιηθεί. Οι προκλήσεις και οι περιορισμοί που αντιμετωπίζουν οι ερευνητές σε αυτόν τον τομέα έχουν επίσης συζητηθεί λεπτομερώς σε αυτό το άρθρο.

Συμπερασματικά, Αυτή η έρευνα έχει εξετάσει πρόσφατα ερευνητικά έργα που επικεντρώνονται στην εύρεση της βέλτιστης τοποθέτησης σταθμών φόρτισης στις αστικές περιοχές και επίσης της χωρητικότητας αυτών των σταθμών φόρτισης για την κάλυψη των αναγκών των ηλεκτρικών οχημάτων για φόρτιση κατά τη διάρκεια των ταξιδιών τους. Τα ερευνητικά έργα που διερευνήθηκαν ταξινομήθηκαν λόγω των διαφορετικών τους απόψεων, π.χ. τεχνικές, στόχοι, μετρήσεις και περιορισμοί (π.χ. κόστος ανάπτυξης σταθμών φόρτισης, κόστος χρήστη EV, κόστος απώλειας ηλεκτρικού δικτύου) και της μεθόδου λύσης. Οι προκλήσεις και οι περιορισμοί που συνήθως αντιμετωπίζουν οι ερευνητές που εργάζονται σε αυτόν τον τομέα έχουν επίσης διερευνηθεί σε αυτό το έγγραφο. Ωστόσο, οι προτεινόμενες προσεγγίσεις δεν έλαβαν υπόψη την ικανοποίηση των χρηστών ηλεκτρικών οχημάτων, όπως η κατανάλωση ενέργειας εν για την επιλογή του σταθμού φόρτισης, η κυκλοφοριακή συμφόρηση στην περιοχή του CS, καθώς και ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων στην ουρά εντός των σταθμών φόρτισης. Αυτοί οι παράγοντες θα πρέπει να λαμβάνονται δεόντως υπόψη σε μελλοντικές εργασίες, προκειμένου να αυξηθεί η ικανοποίηση των οδηγών EV, γεγονός που με τη σειρά του οδηγεί στην αύξηση της διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων στις αστικές περιοχές. **(Αναφορά [30])**

Η εργασία [31] παρουσιάζει, την *‘Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης χρησιμοποιώντας αλγόριθμο CSO-TLBO’*. Η αυξανόμενη ανησυχία σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε συνδυασμό με την εξάντληση των ορυκτών καυσίμων έχει υποκινήσει τον εξηλεκτρισμό του τομέα των μεταφορών. Ως συνέπεια αυτού, το ηλεκτρικό όχημα (EV) έχει αναδειχθεί ως φιλική προς το περιβάλλον λύση για την αυτοκινητοβιομηχανία. Για την ευρείας κλίμακας ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων είναι απαραίτητη η ανάπτυξη κατάλληλων υποδομών φόρτισης. Οι σταθμοί φόρτισης (CS) πρέπει να τοποθετούνται στο δίκτυο μεταφοράς κατά τρόπο ώστε να επηρεάζονται λιγότερο οι παράμετροι του δικτύου διανομής. Οι εργασίες αυτές προτείνουν μια νέα προσέγγιση για τον συντονισμένο σχεδιασμό των υποδομών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, λαμβάνοντας υπόψη την υπέρθεση τόσο του δικτύου μεταφορών όσο και του δικτύου διανομής. Αυτή η προσέγγιση επικυρώνεται στο δίκτυο διανομής με ζυγούς IEEE 33 που τοποθετείται πάνω από το οδικό δίκτυο

25 κόμβων. Η δυνατότητα ενός νέου υβριδικού αλγορίθμου που είναι μια συγχώνευση του αλγορίθμου ιεράρχησης (CSO) και του αλγορίθμου βελτιστοποίησης που βασίζεται στον τρόπο ανάλυσης TLBO χρησιμοποιείται σε αυτό το έργο για την επίτευξη της βέλτιστης λύσης.

Συμπερασματικά, η βέλτιστη θέση του CS είναι υψίστης σημασίας για την ταχεία ανάπτυξη της βιομηχανίας EV. Στο πλαίσιο αυτό, η εργασία αυτή παρουσιάζει μια νέα στρατηγική για την τοποθέτηση των CS, λαμβάνοντας υπόψη την επιρροή τόσο του δικτύου μεταφορών όσο και του δικτύου διανομής. Η μοντελοποίηση αυτού του σύνθετου προβλήματος σε ένα απλό ενιαίο αντικειμενικό πλαίσιο είναι μία από τις αξιοσημείωτες συνεισφορές αυτού του έργου. Ένας νέος υβριδικός αλγόριθμος που κληρονομεί τα καλύτερα χαρακτηριστικά τόσο του CSO όσο και του TLBO χρησιμοποιείται για την επίλυση αυτού του σύνθετου και δυναμικού προβλήματος τοποθέτησης. Η αποτελεσματικότητα αυτού του υβριδικού αλγορίθμου στην επίλυση σύνθετων προβλημάτων βελτιστοποίησης καθορίζεται σαφώς σε αυτό το έγγραφο. Το προφίλ τάσης και η απώλεια ισχύος του δικτύου διανομής μετά τη βέλτιστη τοποθέτηση του CS είναι εντός αποδεκτού εύρους. Οι μελλοντικές εργασίες θα αφορούν τη βέλτιστη τοποθέτηση των cs λαμβάνοντας υπόψη μια πολύ-αντικειμενική προσέγγιση. **(Αναφορά [31])**

Η εργασία [32] παρουσιάζει, την *‘Βέλτιστη τοποθέτηση της DG στο ακτινικό σύστημα διανομής για τον μετριασμό των επιπτώσεων των σταθμών φόρτισης EV’*. Η υποβάθμιση των ορυκτών καυσίμων σε όλο τον κόσμο έχει καθοδηγήσει μια πορεία προς την έρευνα σχετικά με την εναλλακτική πηγή ενέργειας. Η πιο κυρίαρχη χρήση ορυκτών καυσίμων προορίζεται για σκοπούς μεταφοράς. Οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας για τις μεταφορές έχουν γίνει βασικό σημείο για το μέλλον λόγω της εξάντλησης των συμβατικών πηγών και των εκπομπών άνθρακα από οχήματα που οδηγούν σε ηλεκτρικά οχήματα (EV). Λαμβάνοντας υπόψη τη φιλική προς τη φύση χρήση ηλεκτρικών οχημάτων, συνήθως τα ηλεκτρικά οχήματα που βασίζονται σε plugin (PEV) κλιμακώνονται τα τελευταία χρόνια από τα συμβατικά οχήματα που προέρχονται από ενέργεια. Ωστόσο, η ενσωμάτωση του PEV στο καταναμημένο σύστημα έχει νέες προκλήσεις. Σε αυτό το έγγραφο, αναλύεται ο αντίκτυπος της ενσωμάτωσης PEV στο σύστημα διανομής στην αξιοπιστία, τις απώλειες ισχύος και τη σταθερότητα τάσης. Για την αξιολόγηση των επιπτώσεων εξετάζονται διαφορετικές στρατηγικές ηλεκτρικών οχημάτων. Με βάση τις ερευνητικές μεθοδολογίες, ενσωματώνονται γεννήτριες για την καταστολή της πρόσκρουσης PEV στο σύστημα. Με κίνητρο την αύξηση της χρήσης PEV, οι σταθμοί φόρτισης είναι εξοπλισμένοι με ηλιακές φωτοβολταϊκές μονάδες. Παρόλο που υπάρχει η συχνότητα εμφάνισης ορισμένων επιπτώσεων στο δίκτυο διανομής λόγω των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Για να ξεπεραστούν οι πιθανές επιπτώσεις και να αναπτυχθεί ένα αυτοσυντηρούμενο και αξιόπιστο σύστημα, αυτή η ερευνητική εργασία προτείνει μια μεθοδολογία για τον προσδιορισμό και τον μετριασμό της συνολικής απώλειας ισχύος και την αύξηση του μεγέθους τάσης στο σύστημα διανομής για τη μείωση των επιπτώσεων του σταθμού φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Επιπλέον, διερευνώνται τα μοντέλα φορτίου σταθερής ισχύος, ρεύματος, σύνθετης αντίστασης και plug-in ηλεκτρικών οχημάτων. Η βέλτιστη θέση της DG τεκμηριώνεται κάτω από το περιβάλλον MATLAB και τα πειραματικά αποτελέσματα παρουσιάζονται σε αυτό το έγγραφο λαμβάνοντας υπόψη το μη ισορροπημένο σύστημα δοκιμής ζυγών IEEE 33.

Συμπερασματικά, αυτό το έγγραφο περιγράφει την επίδραση του plug-in ηλεκτρικού οχήματος στο σύστημα διανομής με βάση τη ροή ισχύος σε όλους τους διαύλους. Αυτή η έρευνα προτείνει την ενσωμάτωση της ανάλυσης ροής φορτίου για τη διατήρηση της τάσης σε σταθερή κατάσταση και επίσης τον μετριασμό των απωλειών ισχύος στην κατάσταση των PEVs. Το προτεινόμενο σύστημα αξιολογήθηκε σε περιβάλλον MATLAB λαμβάνοντας υπόψη το σύστημα δοκιμής ζυγών IEEE 33. Το αποτέλεσμα της προσομοίωσης αποκαλύπτει ότι η χρήση καταναμημένων γεννητριών στο

σύστημα μπορεί να μειώσει την επίδραση του PEV στη γραμμή. Ο τύπος φορτίου PEV συγκρίνεται με διαφορετικούς τύπους φορτίων όπως P, I και Z. Ο αντίκτυπος της ροής της γραμμής θα βασίζεται στα φορτία σε αυτόν τον δίαυλο και καθώς ο PEV είναι συνδεδεμένος με το δίκτυο, ο ασθενέστερος ζυγός θα έχει αυτόν τον αντίκτυπο ανισορροπίας και θα οδηγήσει σε απώλεια ισχύος και αστάθεια τάσης. Συνεπώς, ο καθορισμός του λεωφορείου που έχει αυτό το πρόβλημα σταθερότητας και της DG πρέπει να χρησιμοποιηθεί εκεί. Η ενεργή, αντιδραστική και εμφανής απώλεια ισχύος συγκρίνεται και προσδιορίζεται ότι η απώλεια έχει ελαχιστοποιηθεί στο PEV. Τα προσομοιωμένα αποτελέσματα αποκαλύπτουν ότι υπάρχει αντίκτυπος στο σύστημα λόγω της ενσωμάτωσης του φορτίου PEV. Παρόλο που οι απώλειες φορτίου PEV είναι μικρότερες, τα άλλα φορτία όπως οι απώλειες I, Z και P είναι υψηλά. Για να βελτιωθεί η σταθερότητα του συστήματος, η βέλτιστη θέση της τοποθέτησης της DG καθορίζεται με βάση την ανάλυση ροής φορτίου. Από τη ροή φορτίου, ο συνδεδεμένος ζυγός φορτίου τύπου P υφίσταται τεράστια απώλεια γραμμής, οπότε προσδιορίζεται η βέλτιστη θέση του DG σε σχέση με το φορτίο P. Και επίσης, ο σταθμός φόρτισης PEV χαμηλής ισχύος δεν προκαλεί αξιοσημείωτο αντίκτυπο στο σύστημα, αλλά όταν ο σταθμός φόρτισης υψηλού επιπέδου έχει σημαντικό αντίκτυπο στο δίκτυο, οδηγώντας σε απώλεια ενεργού και άεργου ισχύος. Με τη σωστή χρήση των καταναμημένων γεννητριών στο σύστημα διαύλου, μπορεί να αντισταθμιστεί. **(Αναφορά [32])**

Η εργασία [33] παρουσιάζει, την *‘Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμού φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων με παροχή V2G χρησιμοποιώντας αλγόριθμο αναζήτησης (SOS) Symbiotic Organisms Search (συμβιωτικών οργανισμών)’*. Τα ηλεκτρικά οχήματα (EVs) είναι μία από τις πιο αποδοτικές τεχνολογίες για τον τομέα των βιώσιμων μεταφορών στον σημερινό κόσμο, λαμβάνοντας υπόψη τις σχεδόν μηδενικές εκπομπές άνθρακα. Για να αντιμετωπιστεί η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση ισχύος για φόρτιση εν, η απώλεια ισχύος του συστήματος διανομής αυξάνεται και συμβαίνουν σημαντικές αλλαγές στο προφίλ τάσης. Η ακατάλληλη εγκατάσταση των σταθμών φόρτισης EV (EVCS) μειώνει σημαντικά την ποιότητα ισχύος του δικτύου διανομής, επηρεάζοντας την αποτελεσματική διαδικασία του. Σε αυτό το έγγραφο, περιγράφεται η εγκατάσταση του EVCS στο ακτινικό σύστημα διανομής ζυγών IEEE 33. Το σύστημα διανομής έχει χωριστεί σε τρεις περιοχές στην εν λόγω μελέτη, προκειμένου να φτάσει σε εγκαταστάσεις φόρτισης σε διάφορες τοποθεσίες εντός μιας περιοχής και έχει διασφαλιστεί ότι ένας σταθμός φόρτισης κατανέμεται σε κάθε περιοχή. Το ζήτημα κατηγοριοποιείται ως πρόβλημα βελτιστοποίησης και έχει αντιμετωπιστεί με τη χρήση αλγορίθμου αναζήτησης συμβιωτικών οργανισμών (SOS) για την εύρεση της βέλτιστης θέσης του EVCS.

Συμπερασματικά, Ο ανεπαρκής αριθμός evcs είναι το πιο σημαντικό εμπόδιο στην αποδοχή των εν σε μεγάλη κλίμακα. Αυτό το έγγραφο προτείνει μια ρεαλιστική λύση για τη βέλτιστη τοποθέτηση του EVCS, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι σταθμοί φόρτισης είναι ευρέως καταναμημένοι για μέγιστη προσβασιμότητα, καθώς πρόκειται για μια υπηρεσία προσανατολισμένη στον καταναλωτή. Ο αλγόριθμος SOS έχει εφαρμοστεί για την επίλυση των ζητημάτων κατανομής και τα ληφθέντα αποτελέσματα δείχνουν ότι η λύση είναι βέλτιστη και ισχυρή. Έχει παρατηρηθεί ότι η τοποθέτηση του EVCS έχει σημαντικό αντίκτυπο στο δίκτυο διανομής. Η πραγματική απώλεια ισχύος και η ελαχιστοποίηση του επιπέδου πτώσης τάσης δεν πρέπει να είναι ο μόνος στόχος, αλλά η παροχή πρόσβασης των EVCS σε εκτεταμένη περιοχή είναι πολύ πιο εφικτή και ρεαλιστική.

(Αναφορά [33])

Η εργασία [34] παρουσιάζει, την *‘Βέλτιστη Τοποθέτηση Σταθμών Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων σε Δίκτυο Διανομής με Τυχαία Καταναμημένα Φωτοβολταϊκά Συστήματα Στέγης’*. Ο αυξανόμενος αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) στον σημερινό τομέα των μεταφορών οδηγεί σταδιακά στη σταδιακή κατάργηση των οχημάτων με βάση το πετρέλαιο. Ωστόσο, η ταχεία ανάπτυξη ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Ιωάννης Τσεπεντζής

των ηλεκτρικών οχημάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συντονισμένη και γρήγορη επέκταση των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EVCS). Η ενσωμάτωση των EVCS στο σύγχρονο δίκτυο διανομής που χαρακτηρίζεται από αυξημένη διείσδυση τυχαία κατανεμημένων φωτοβολταϊκών (PV) συστημάτων είναι δύσκολη καθώς μπορούν να οδηγήσουν σε υπερβολικές απώλειες ισχύος και αποκλίσεις τάσης πέρα από τα αποδεκτά όρια. Σε αυτή την εργασία, προτείνεται ένας υβριδικός αλγόριθμος βελτιστοποίησης (αναζήτησης τροφής βακτηρίων) και μια τεχνική βελτιστοποίησης ιεράρχησης σωματιδίων (BFOA-PSO) για τη βέλτιστη τοποθέτηση evcs στο δίκτυο διανομής με υψηλή διείσδυση τυχαία κατανεμημένων φωτοβολταϊκών συστημάτων οροφής. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης διατυπώνεται ως ένα πολύ-αντικειμενικό πρόβλημα που ελαχιστοποιεί τις απώλειες ενεργού και άεργου ισχύος, τον μέσο δείκτη απόκλισης τάσης και τον δείκτη μεγιστοποίησης της σταθερότητας τάσης. Το δίκτυο διανομής κόμβων (ζυγών) IEEE 69 χρησιμοποιείται ως δίκτυο υπόθεσης στην εν λόγω εργασία. Η προσομοίωση γίνεται με τη χρήση της MATLAB για την ενσωμάτωση των EVCSs σε πέντε περιπτώσεις τυχαίου μεγέθους και τοποθετημένων φωτοβολταϊκών συστημάτων στο δίκτυο διανομής. Και για τις πέντε περιπτώσεις, καταγράφεται ελάχιστη αύξηση των απωλειών ισχύος με μικρές αλλαγές στους δείκτες απόκλισης τάσης και σταθερότητας λόγω της τοποθέτησης των EVCS. Η μεγαλύτερη αύξηση στις απώλειες ισχύος λόγω της εισαγωγής των EVCS στο δίκτυο με PVs παρατηρήθηκε στην περίπτωση 3 (από 142.27kW, και 62.90kVar σε 147.65kW, και 72.48kVar).

Συμπερασματικά, η μελέτη αυτή επικεντρώθηκε στην ενσωμάτωση σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EVCSs) σε ένα δίκτυο διανομής με τυχαία κατανεμημένα φωτοβολταϊκά συστήματα (PV) οροφής χρησιμοποιώντας μια υβριδική τεχνική βελτιστοποίησης BFOA-PSO. Η MATLAB χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση του προβλήματος βελτιστοποίησης. Ο στόχος ήταν να τοποθετηθούν βέλτιστα τα EVCS κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην παρεμποδίζουν την ποιότητα του δικτύου. Η αντικειμενική συνάρτηση διατυπώθηκε ως μια πολύ-αντικειμενική συνάρτηση που ελαχιστοποιούσε :

- τις απώλειες ενεργού και
- αέργου ισχύος και
- τον μέσο δείκτη απόκλισης τάσης,

μεγιστοποιώντας παράλληλα τον δείκτη σταθερότητας τάσης.

Η τυχαία κατανομή των Φ/Β συστημάτων μιμήθηκε την πραγματική καταναλωτική ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Το τυχαίο μέγεθος και η χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων έγιναν χρησιμοποιώντας το Microsoft Excel και μεταφέρθηκαν στην MATLAB. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν την αποτελεσματικότητα του υβριδικού BFOA-PSO στην εύρεση των καλύτερων θέσεων για την εγκατάσταση των EVCS σε όλο το δίκτυο και στις πέντε περιπτώσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων τυχαίου μεγέθους και τοποθέτησης. Μικρές πτώσεις τάσης σε ορισμένους κόμβους και ελάχιστες απώλειες ισχύος σημειώθηκαν μετά την ενσωμάτωση των EVCS. Η αποτελεσματικότητα του υβριδικού BFOA-PSO επικυρώθηκε συγκρίνοντας τα αποτελέσματά του με τα αποτελέσματα που ελήφθησαν κατά τη χρήση των BFOA και PSO ξεχωριστά για την τοποθέτηση των EVCS στο δίκτυο διανομής με φωτοβολταϊκά συστήματα οροφής τυχαίου μεγέθους και τοποθετημένα. Τα αποτελέσματα από την προσομοίωση καταδεικνύουν ότι το προτεινόμενο υβριδικό BFOA-PSO αποτελεί μια αποτελεσματική τεχνική βελτιστοποίησης για την τοποθέτηση evcs σε σύγχρονα δίκτυα διανομής που χαρακτηρίζονται από τυχαία κατανεμημένα φωτοβολταϊκά συστήματα. Καθώς οι φορείς εκμετάλλευσης υπηρεσιών διανομής σχεδιάζουν να παρέχουν μακροπρόθεσμες, οικονομικά αποδοτικές, αξιόπιστες και οικονομικά προσιτές υπηρεσίες

στους καταναλωτές βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα, διατηρώντας παράλληλα επαρκή ποιότητα ισχύος και τάση εντός ορίων, η αποτελεσματικότητα των υβριδικών BFOA-PSO για την τοποθέτηση EVCS θα ενισχυθεί περαιτέρω. Αυτό συμβαίνει επειδή οι περιορισμοί του αλγορίθμου είναι σε μεγάλο βαθμό σύμφωνοι με τους περιορισμούς του βασικού σχεδιασμού. Το μελλοντικό πεδίο αυτής της έρευνας θα εξετάσει την ημερήσια διακύμανση της παραγωγής φωτοβολταϊκών, το οδηγικό πρότυπο των χρηστών ηλεκτρικών οχημάτων, τις αβεβαιότητες του δικτύου διανομής, καθώς και τον χρόνο φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων για τη βέλτιστη κατανομή των EVCS στο δίκτυο διανομής. Αυτά θα χρησιμοποιηθούν για τη δοκιμή της ευρωστίας του υβριδικού αλγορίθμου BFOA-PSO. **(Αναφορά [34])**

Η εργασία [35] παρουσιάζει, την *‘Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων σε δίκτυο διανομής’*. Η αυξανόμενη δημοτικότητα και η βελτιωμένη περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση κάνουν το σημερινό δίκτυο μεταφορών να κινηθεί προς τα ηλεκτρικά οχήματα (EVs). Με τον αυξημένο αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων που συνδέονται με το δίκτυο, η ακατάλληλη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης (CSs) θα είναι επιζήμια για τη διάταξη της κυκλοφορίας στην πόλη και το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Θα στερήσει επίσης την ευκολία των ιδιοκτητών ηλεκτρικών οχημάτων και θα αυξήσει την απώλεια διανομής των ηλεκτρικών δικτύων. Ως εκ τούτου, αυτή η εργασία προτείνει μια νέα μέθοδο για τη βέλτιστη κατανομή των CSs :

- ελαχιστοποιώντας τις απώλειες διανομής του συστήματος και
- αυξάνοντας τον συντελεστή χρήσης των CSs.

Δεδομένου ότι αυτοί οι δύο στόχοι είναι αντιφατικοί, χρησιμοποιείται μη κυριαρχούμενος γενετικός αλγόριθμος ταξινόμησης (NSGAI) για την επίλυσή τους. Μια μέθοδος μοντελοποίησης φορτίου χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη της ζήτησης φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Η προτεινόμενη μέθοδος δοκιμάζεται σε σύστημα δοκιμής το οποίο επιτυγχάνεται με την τροποποίηση του τυπικού συστήματος των ζυγών IEEE 33. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι η προτεινόμενη μέθοδος δεν είναι μόνο σε θέση να μειώσει την απώλεια του συστήματος, αλλά και να επιτύχει οικονομικά οφέλη κατά την τοποθέτηση CS σε ένα δίκτυο.

Συμπερασματικά, μια νέα στρατηγική έχει εισαχθεί για να περιγράψει την επίδραση των πολλαπλών σταθμών φόρτισης σε ένα δίκτυο διανομής. Αυτή η μέθοδος εκτιμά τη βέλτιστη θέση των σταθμών φόρτισης δίνοντας ίση προτεραιότητα στην απώλεια του συστήματος ισχύος και την αποτελεσματική χρήση των σταθμών φόρτισης. Το πρόβλημα διαρθρώθηκε με τη μοντελοποίηση της συνολικής απαίτησης ισχύος φόρτισης αρκετών ηλεκτρικών οχημάτων για τον υπολογισμό του PF και τη μοντελοποίηση της συνολικής απαίτησης φορτίου φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων σε έναν σταθμό φόρτισης. Η προτεινόμενη μέθοδος έχει δοκιμαστεί στο σύστημα δοκιμής 33 ζυγών για την κατανομή των σταθμών φόρτισης. Είναι σαφές ότι η αύξηση του αριθμού των σταθμών φόρτισης θα μειώσει τις απώλειες στο δίκτυο. Ωστόσο, η καλύτερη συμβιβαστική λύση περιγράφει ότι η βέλτιστη τοποθεσία θα πρέπει να επιλέγεται ανάλογα με τον συμβιβασμό μεταξύ των δύο στόχων. Στο μέλλον, η αβέβαιη ζήτηση φόρτισης θα εξεταστεί με τυχαία άφιξη οχημάτων. **(Αναφορά [35])**

Η εργασία [36] παρουσιάζει, την *‘Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων σε ακτινικό σύστημα διανομής μαζί με την αναδιαμόρφωση των δικτύων’*. Τα ηλεκτρικά οχήματα (EV) είναι μία από τις λύσεις για τη μείωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Λόγω της χαμηλής ειδικής ενέργειας της μπαταρίας, απαιτείται συχνή φόρτιση για μεγάλες μετακινήσεις. Ως εκ τούτου, οι σταθμοί φόρτισης πρέπει να συμπεριληφθούν στο υπάρχον σύστημα διανομής. Όμως, οι απώλειες του συστήματος αυξάνονται σε μεγάλο βαθμό. Αυτό έχει οδηγήσει στον εντοπισμό της βέλτιστης θέσης των σταθμών φόρτισης στο ακτινικό σύστημα διανομής. Σε αυτό το έγγραφο, εξετάζονται οι

πραγματικές απώλειες ισχύος του ακτινικού συστήματος διανομής με τη βέλτιστη τοποθέτηση των σταθμών φόρτισης. Το έργο αποσαφηνίζει επίσης τον αντίκτυπο στο προφίλ τάσης του συστήματος με την παρουσία των σταθμών φόρτισης. Ένας ειδικός αλγόριθμος χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση του ακτινικού συστήματος διανομής μαζί με τους σταθμούς φόρτισης. Ο κύριος στόχος είναι να ελαχιστοποιηθούν οι πραγματικές απώλειες ισχύος του συστήματος με την τοποθέτηση των σταθμών φόρτισης.

Συμπερασματικά, ο αντίκτυπος της απότομης εφαρμογής του EVCS στο υπάρχον ακτινικό σύστημα διανομής μειώνεται με επιτυχία μέσω της αναδιαμόρφωσης. Με την εφαρμογή αυτής της μεθοδολογίας στο ακτινικό σύστημα διανομής των ζυγών IEEE 16 αναλύεται ο αντίκτυπος του EVCS στο σύστημα όσον αφορά :

- τη μείωση του προφίλ τάσης του διαύλου,
- τη βελτίωση των ρευμάτων διακλάδωσης και
- την αύξηση των πραγματικών απωλειών ισχύος.

Παρατηρείται ότι οι πραγματικές απώλειες ισχύος αυξάνονται με τη συμπερίληψη των EVCS στο υπάρχον ακτινικό σύστημα διανομής καθώς αντλεί περισσότερο ρεύμα από τον υποσταθμό, τείνει να αυξήσει τις απώλειες του συστήματος. Όμως, ο αντίκτυπος της αύξησης των πραγματικών απωλειών ισχύος μπορεί να μειωθεί με επιτυχία με την αναδιαμόρφωση των ηλεκτρικών δικτύων.

(Αναφορά [36])

Η εργασία [37] παρουσιάζει, την *‘Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στο ενεργό δίκτυο διανομής’*. Ο εξηλεκτρισμός του τομέα των μεταφορών μπορεί να διαδραματίσει ζωτικό ρόλο στην αναδιαμόρφωση των έξυπνων πόλεων. Με έναν αυξανόμενο αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) στο δρόμο, η ανάπτυξη καλά σχεδιασμένων και αποδοτικών υποδομών φόρτισης είναι ιδιαίτερα επιθυμητή. Σε αντίθεση με τους σταθμούς φόρτισης επιπέδου 1 και επιπέδου 2, οι φορτιστές επιπέδου 3 είναι εξαιρετικά γρήγοροι στη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων. Ωστόσο, η εγκατάστασή τους σε κάθε πιθανή τοποθεσία δεν δικαιολογείται από τα τεχνο-οικονομικά μεγέθη, επειδή οι φορτιστές επιπέδου 3 ενδέχεται να προκαλέσουν παραβίαση κρίσιμων παραμέτρων του συστήματος λόγω της υψηλής κατανάλωσης ενέργειας. Σε αυτό το έγγραφο, επιδεικνύουμε έναν βελτιστοποιημένο συνδυασμό και των τριών τύπων φορτιστών EV για την αποτελεσματική διαχείριση του φορτίου EV, ελαχιστοποιώντας παράλληλα :

- το κόστος εγκατάστασης,
- τις απώλειες και
- τη φόρτωση του μετασχηματιστή διανομής.

Οι επιδράσεις της φωτοβολταϊκής (Φ/Β) παραγωγής ενσωματώνεται επίσης στην ανάλυση. Λόγω της αβέβαιης φύσης των χρηστών οχημάτων, το φορτίο EV μοντελοποιείται ως στοχαστική διαδικασία. Η βελτιστοποίηση ιεράρχησης σωματιδίων (PSO) χρησιμοποιείται για την επίλυση του περιορισμένου μη γραμμικού στοχαστικού προβλήματος. Η MATLAB μαζί με την OpenDSS χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση του μοντέλου. Η προτεινόμενη ιδέα επικυρώνεται στο πραγματικό σύστημα διανομής του Εθνικού Πανεπιστημίου Επιστημών και Τεχνολογίας (NUST) του Πακιστάν. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ένας βελτιστοποιημένος συνδυασμός φορτιστών τοποθετημένων σε συνετές επιλεγμένες τοποθεσίες μπορεί να μειώσει σημαντικά το κόστος από 3.55 εκατομμύρια δολάρια σε 1.99 εκατομμύρια δολάρια, τις ημερήσιες απώλειες από 787kWh σε 286kWh και τη συμφόρηση του μετασχηματιστή διανομής από 58% σε 22% σε σύγκριση με το

σενάριο βελτιστοποιημένης τοποθέτησης φορτιστών επιπέδου 3 για επίπεδο διείσδυσης 20% σε εμπορικούς τροφοδότες. Στον τροφοδότη κατοικιών, αυτά τα στατιστικά στοιχεία βελτιώνονται από 2,52 \$ σε 0,81 εκατομμύρια δολάρια, από 2167kWh σε 398kWh και από 106% σε 14%, αντίστοιχα. Γίνεται επίσης αντιληπτό ότι η ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών βελτιώνει το προφίλ τάσης και μειώνει τις αρνητικές επιπτώσεις του φορτίου EV. Το μοντέλο βελτιστοποίησης μπορεί να λειτουργήσει για εμπορικές περιοχές όπως γραφεία, πανεπιστημιούπολεις και βιομηχανίες, καθώς και σε οικιστικές περιοχές.

Συμπερασματικά, Σε αυτό το έγγραφο, παρουσιάστηκε μια νέα στρατηγική για τη βέλτιστη διαστασιολόγηση και χωροθέτηση διαφορετικών τύπων σταθμών φόρτισης EV στο ενεργό σύστημα διανομής εμπορικών και οικιστικών κτιρίων, συμπεριλαμβανομένων γραφείων και κατοικιών. Επιπλέον, η αβέβαιη συμπεριφορά ενός ιδιοκτήτη οχήματος διαμορφώθηκε χρησιμοποιώντας πιθανές κατανομές προσαρμοσμένες σε πραγματικά δεδομένα καθώς επίσης ελήφθησαν υπόψη οι γεωγραφικοί περιορισμοί της στάθμευσης. Το PSO χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση του στοχαστικού μη γραμμικού προβλήματος που προέκυψε. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η προτεινόμενη βελτιστοποιημένη λύση μείωσε το κόστος της υποδομής φόρτισης EV κατά 75% και τις απώλειες του συστήματος διανομής κατά 82% σε σύγκριση με τον σταθμό φόρτισης επιπέδου 3, ενώ η βελτιστοποιημένη λύση επέτρεψε υψηλότερη ικανοποίηση φορτίου EV σε σύγκριση με τα σενάρια σταθμών φόρτισης επιπέδου 1 και επιπέδου 2. Η προτεινόμενη λύση διασφάλισε επίσης ότι η φόρτωση (πίεση) σε εμπορικούς και οικιακούς μετασχηματιστές ήταν ελάχιστη και, ως εκ τούτου, η ανάγκη εγκατάστασης νέων μετασχηματιστών αναβλήθηκε. Επιπλέον, η ανάλυση της επίδρασης των Φ/Β στο προφίλ τάσης αποκάλυψε ότι η κατανομημένη φωτοβολταϊκή παραγωγή μπορεί να υποστηρίξει το προφίλ τάσης στους σταθμούς φόρτισης EV ειδικά στους εμπορικούς τροφοδότες του συστήματος διανομής. **(Αναφορά [37])**

Η εργασία [38] παρουσιάζει, την *‘Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων σε δίκτυο κοινής ωφέλειας - Μελέτη περίπτωσης του κρατικού οδικού δικτύου της Kerala State Highway Network’*. Η ανάπτυξη κάθε έθνους απαιτεί κατανάλωση περισσότερης ενέργειας στις διάφορες μορφές της. Αυτό συνδέεται πολύ στενά με την ενεργειακή ασφάλεια (επάρκεια) και την οικονομία αυτής της χώρας. Η μεγάλη εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και η εξάλειψή τους σε αποθέματα ανάγκασε την ανθρωπότητα να υιοθετήσει την ενεργειακή απόδοση διαφορετικών μορφών ως βιώσιμη εναλλακτική λύση. Η κινητικότητα (μετακίνηση) διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στην επίτευξη ανάπτυξης σε μια χώρα, η οποία κατέχει με τη σειρά της σημαντικό μερίδιο της συνολικής ζήτησης ενέργειας. Η μετάβαση του ορυκτού καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια για κινητικότητα είναι αξιόπιστη και βολική για τους χρήστες μόνο με μια υποδομή που εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα δίκτυα αυτοκινητοδρόμων και αστικών οδικών δικτύων για τη φόρτιση των μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων (EV) κατά τη διάρκεια της καθημερινής λειτουργίας. Η ανάγκη για Σταθμούς Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων (EVCS) σε κομβικά σημεία ενός δικτύου αυτοκινητοδρόμων εξασφαλίζει ένα αξιόπιστο μεγάλο ταξίδι για προσωπικές και δημόσιες ανάγκες. Η πηγή ισχύος για την τροφοδοσία αυτών των evcs είναι το ίδιο το δίκτυο κοινής ωφέλειας, το οποίο μπορεί να δημιουργήσει νέες προκλήσεις όσον αφορά :

- τις επιπτώσεις στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και
- τον σχεδιασμό των διαδρομών μεταφοράς.

Ως εκ τούτου, η βέλτιστη τοποθέτηση του EVCS στο δίκτυο μεταφορών θα διαδραματίσει ζωτικό ρόλο. Εάν δεν τοποθετηθούν κατάλληλα στο δίκτυο κοινής ωφέλειας, αυτά τα εξαιρετικά δυναμικά φορτία μπορεί να οδηγήσουν σε αυξημένες απώλειες, πτώσεις τάσης και τελικά να οδηγήσουν σε

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
απώλεια της αξιοπιστίας του συστήματος ισχύος. Η τοποθέτηση του EVCS σε κατάλληλες τοποθεσίες εξαρτάται από τους νόμιμους κανόνες, τη βέλτιστη ροή ισχύος, τα ζητήματα εμβέλειας EV και διάφορους άλλους παράγοντες. Σ' αυτό το έγγραφο παρουσιάζεται μια μελέτη της βέλτιστης τεχνικής τοποθέτησης σταθμών για το EVCS στο κρατικό δίκτυο αυτοκινητοδρόμων της Κεράλα (*Kerala*) που τροφοδοτείται από το κρατικό δίκτυο συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας της Κεράλα (*Kerala*) με ζητούμενο μια σταθερή λειτουργία του συστήματος ισχύος.

Συμπερασματικά, τα EV θα προωθηθούν για τα μελλοντικά μέσα μεταφοράς. Για ένα αξιόπιστο μεγάλο ταξίδι μέσω οδικών δικτύων αυτοκινητοδρόμων μεταξύ και εντός των κρατών απαιτείται εκτεταμένη εμβέλεια που μπορεί να συμπληρωθεί μόνο με τη διαθεσιμότητα υποδομών φόρτισης σε κατάλληλες και βασικές τοποθεσίες κατά μήκος των πλευρών του αυτοκινητόδρομου. Ο βέλτιστος συντονισμός μεταξύ της χωροθέτησης του EVCS και της βέλτιστης τροφοδοσίας από το δίκτυο κοινής ωφέλειας αποτελεί πρόκληση τόσο για τους σχεδιαστές ηλεκτροκίνησης όσο και για τους μηχανικούς συστημάτων ισχύος. Τα μελλοντικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας θα έχουν εξέχοντα μερίδια παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές μεταξύ του διαθέσιμου ενεργειακού μείγματος, το οποίο θα συμπληρώσει την καθαρή ενέργεια στο EVCS. Ως εκ τούτου, οι εργασίες που συζητήθηκαν εδώ είναι ιδιαίτερα σημαντικές όσον αφορά τη βέλτιστη τοποθέτηση του EVCS, το οποίο θα βελτιστοποιήσει :

- τα έσοδα,
- τα λειτουργικά έξοδα,
- την ευκολία των χρηστών,
- την ενεργειακή απόδοση του δικτύου,
- τα περιθώρια κέρδους των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας,

Η περαιτέρω υιοθέτηση των εικονικών σταθμών παραγωγής ενέργειας (VPP) θα βελτιστοποιήσει τόσο τον συντονισμό φόρτισης - εκφόρτισης μεταξύ των πόρων όσο και την τοποθέτηση σταθμών φόρτισης EV που συνδέονται με το σύστημα εξασφαλίζοντας ένα σταθερό και αξιόπιστο σύστημα ισχύος. **(Αναφορά [38])**

Η εργασία [39] παρουσιάζει, την *Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών ταχείας φόρτισης EV λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις στην ηλεκτρική διανομή και την κατάσταση της κυκλοφορίας*. Η μπαταρία ενός ηλεκτρικού οχήματος (EV) πρέπει να επαναφορτιστεί όταν εξαντληθεί. Έτσι, οι σταθμοί φόρτισης πρέπει να εγκατασταθούν εκτενώς για να εξυπηρετήσουν επαρκώς έναν αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων, ειδικά σε κατοικημένες περιοχές. Δεδομένου ότι οι σταθμοί ηλεκτρικής φόρτισης θα χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα από πολλά ηλεκτρικά οχήματα, θα πρέπει να τοποθετούνται βέλτιστα σε περιοχές πυκνής κυκλοφορίας με ελάχιστο συνολικό κόστος του σταθμού ταχείας φόρτισης και ελάχιστη συνολική απώλεια του δικτύου διανομής. Σε αυτό το έγγραφο, υπολογίζεται ο αριθμός των σταθμών ταχείας φόρτισης σε μια κατοικημένη περιοχή και προτείνεται ένα μοντέλο βελτιστοποίησης του σχεδιασμού σταθμών ταχείας φόρτισης για την ελαχιστοποίηση αυτών των στόχων που υπόκεινται σε περιορισμούς γραμμής διανομής και συνθήκες κυκλοφορίας. Η βελτιστοποίηση (αποικίας μурμηγκιών) (ACO) χρησιμοποιείται για την επίλυση του προβλήματος. Ένα σύστημα IEEE 69 ζυγών σε μια κατοικημένη περιοχή χρησιμοποιείται για την επαλήθευση της προτεινόμενης τεχνικής. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η μέθοδος ACO βρήκε την καλύτερη θέση του σταθμού ταχείας φόρτισης στην οικιακή διανομή ισχύος με ελάχιστο συνολικό κόστος ή απώλεια, ικανοποιώντας παράλληλα πολλούς τεχνικούς και γεωγραφικούς περιορισμούς.

Συμπερασματικά, αυτό το έγγραφο προτείνει ένα μοντέλο βελτιστοποίησης για τον σχεδιασμό σταθμών γρήγορης φόρτισης σε ένα οικιακό σύστημα διανομής ισχύος. Το συνολικό κόστος

εγκατάστασης σταθμού ταχείας φόρτισης και η απώλεια στη διανομή, προτείνονται ως αντικειμενικές λειτουργίες του μοντέλου βελτιστοποίησης που υπόκεινται σε κυκλοφοριακούς περιορισμούς σε κατοικημένη περιοχή και ασφάλεια του συστήματος στο σύστημα διανομής ισχύος. Τα μεγέθη μπαταριών εν για σταθμό γρήγορης φόρτισης, δηλαδή 60 kW, χρησιμοποιούνται στη μελέτη αυτής της περίπτωσης στην κατοικημένη περιοχή της ζώνης ανάπτυξης Tianjin. Το ACO χρησιμοποιείται για την εύρεση των βέλτιστων θέσεων των σταθμών γρήγορης φόρτισης στο σύστημα διανομής ισχύος. Το αριθμητικό αποτέλεσμα δείχνει ότι ένας σταθμός γρήγορης φόρτισης στη βέλτιστη θέση έχει ελάχιστο συνολικό κόστος εγκατάστασης καθώς και μια πραγματική απώλεια ισχύος στο σύστημα ισχύος. Επιπλέον, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο αλγόριθμος ACO έχει ευρωστία και αποτελεσματικότητα, για τον προσδιορισμό της βέλτιστης θέσης ενός σταθμού γρήγορης φόρτισης.

(Αναφορά [39])

Η εργασία [40] παρουσιάζει, την *‘Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμού ταχείας φόρτισης σε ένα τυπικό μικροδίκτυο στο Ιράν’*. Σε αυτό το έργο δημιουργείται ένα μικροδίκτυο μέσα σε μια γεωγραφική περιοχή ενδιαφέροντος. Τα χαρακτηριστικά του δικτύου και των αστικών δεδομένων της περιοχής χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των υπονήφειων σημείων για τη δημιουργία σταθμών φόρτισης EV. Το κόστος επένδυσης και το κόστος λειτουργίας υπολογίζονται για κάθε σταθμό που υλοποιεί τους απαιτούμενους περιορισμούς. Αυτή η διαδικασία είχε ως αποτέλεσμα τη βέλτιστη επιλογή σταθμών EV. Η βελτιστοποίηση επιτυγχάνεται με βάση δύο διαφορετικούς τύπους προκαταρκτικών παραδοχών. Στον πρώτο, θεωρείται ότι έχει μόνο έναν σταθμό, ενώ στον δεύτερο εξετάζεται η δυνατότητα ύπαρξης πολλαπλών σταθμών. Χρησιμοποιώντας το συνολικό κόστος επένδυσης και λειτουργίας ως αντικειμενική συνάρτηση της βελτιστοποίησης, ο ενιαίος σταθμός βρίσκεται ως απάντηση στο πρόβλημα του πρώτου τύπου παραπάνω. Στη συνέχεια, επιλύοντας την πολύ-αντικειμενική λειτουργία του προβλήματος βελτιστοποίησης, βρίσκεται η νέα λύση πολλαπλών σταθμών.

Συμπερασματικά, οι μελέτες και οι προσομοιώσεις αυτής της εργασίας (και η ανάλυση του προγράμματος) θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε άλλα παρόμοια προβλήματα που συνίστανται στη βελτιστοποίηση της χωροθέτησης των σταθμών και στον βέλτιστο αριθμό των σταθμών. Για αυτό το έργο, ο βέλτιστος αριθμός σταθμών αποδείχθηκε 2 και τα επιλεγμένα σημεία για την καθιέρωση των σταθμών ήταν συγκεκριμένες τοποθεσίες. Αν και τα αποτελέσματα αυτού του εγγράφου είναι ιδιαίτερα εφαρμόσιμα στον πραγματικό κόσμο, θα πρέπει να διεξαχθούν περαιτέρω μελέτες για την πραγματοποίηση άλλων παραμέτρων όπως οι συσκευές αποθήκευσης, το κέρδος του επενδυτή και η κατάσταση μετά την φόρτιση των μπαταριών. **(Αναφορά [40])**

Η εργασία [41] παρουσιάζει, την *‘Βέλτιστος σχεδιασμός σταθμού φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα με μονάδα PV-BES σε σύστημα διανομής με χρήση WOA’*. Αυτή η εργασία παρουσιάζει μια νέα προσέγγιση που βασίζεται σε έναν πρόσφατο μετα-ευρετικό αλγόριθμο, γνωστό ως αλγόριθμος βελτιστοποίησης (φαλαινών) πολλαπλών στόχων (MOWOA) για να ανακαλύψει τη βέλτιστη τοποθέτηση για σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) (CSs) σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκά (PV) και αποθήκευση ενέργειας μπαταρίας (BES) που αναφέρεται ως μονάδα PV-BES σε ένα ακτινικό σύστημα διανομής 69 ζυγών (RDS). Σε αυτό το χαρτί λαμβάνονται υπόψη ωριαία μεταβαλλόμενα φορτία και αξιολογείται ο αριθμός των σταθμών φόρτισης στο RDS. Παρέχεται μια αποτελεσματική τεχνική ελέγχου για το συντονισμό της διαχείρισης ενέργειας μεταξύ της μονάδας PV-BES και των ηλεκτρικών οχημάτων. Η προτεινόμενη τεχνική βελτιστοποίησης χρησιμοποιείται για τη μείωση τριών δαπανών, δηλαδή

(α) του ετήσιου κόστους επένδυσης, του λειτουργικού κόστους και του κόστους συντήρησης που σχετίζεται με το PV-BES-CS,

(β) του κόστους ταξιδιού των ηλεκτρικών οχημάτων,

(γ) του κόστους απώλειας ισχύος

με την τιμολόγηση του χρόνου χρήσης (TOU) σε RDS. Χρησιμοποιώντας αυτήν την τεχνική, τα ηλεκτρικά οχήματα λαμβάνουν πληροφορία για το πλησιέστερο σημείο φόρτισης για επαναφόρτιση. Προβλέπεται ότι η προτεινόμενη τεχνική είναι σημαντικά αποδεκτή για τον σχεδιασμό της CS σε συνδυασμό με τη μονάδα PV-BES σε 69- ζυγούς RDS.

Συμπερασματικά, αυτή η εργασία περιγράφει τον αλγόριθμο MOWOA που χρησιμοποιείται για την εύρεση της καλύτερης κατανομής σταθμών φόρτισης με μονάδες PV-BES λαμβάνοντας υπόψη όλες τις αντικειμενικές λειτουργίες. Η ανάλυση αυτή δείχνει ότι η χρήση φωτοβολταϊκών μονάδων με σταθμούς φόρτισης θα μειώσει σημαντικά τις απώλειες του συστήματος διανομής καθώς και το συνολικό κόστος. Επιπλέον, οι μονάδες PV-BES μειώνουν επίσης τον αντίκτυπο των σταθμών φόρτισης στο RDS. Η ροή της κυκλοφορίας θεωρείται ως ένας πρόσθετος παράγοντας μέσω του οποίου τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να προσδιορίσουν την πλησιέστερη διαδρομή για να ταξιδέψουν από τα αντίστοιχα σημεία φόρτισης στους σταθμούς φόρτισης που τοποθετούνται σε RDS 69 λεωφορείων.

(Αναφορά [41])

Η εργασία [42] παρουσιάζει, την ‘Βέλτιστη διαστασιολόγηση και τοποθέτηση πολλαπλών φωτοβολταϊκών, λαμβάνοντας υπόψη τους σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων’. Λόγω της κυμαινόμενης παραγωγής Φωτοβολταϊκών (Φ/Β) και στοχαστικών συστημάτων φόρτισης και εκφόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EVs), παρατηρούνται επικίνδυνα λειτουργικά ζητήματα στα συστήματα διανομής μέσης τάσης. Τα αναμενόμενα ζητήματα είναι :

- οι υπερβολικές απώλειες ενέργειας,
- η πτώση τάσης,
- η αύξηση της τάσης και
- οι διαταραχές των λειτουργικών ορίων στα συστήματα διανομής ισχύος.

Για την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων, προτείνουμε ένα μοντέλο σχεδιασμού βελτιστοποίησης σε αυτό το έγγραφο για τη βέλτιστη κατανομή των φωτοβολταϊκών, για την υποδοχή σταθμών φόρτισης EV σε συστήματα διανομής. Η προτεινόμενη προσέγγιση σχεδιασμού έχει τη δυνατότητα να προσδιορίσει τις καλύτερες θέσεις και μεγέθη φωτοβολταϊκών για τη μείωση των απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα διανομής, λαμβάνοντας υπόψη τα όρια τάσης και ροής ισχύος. Κατά συνέπεια, το πρόβλημα κατανομής των Φ/Β δημιουργείται ως μοντέλο βελτιστοποίησης διπλού επιπέδου, το οποίο επιλύεται με τον αλγόριθμο βαρυτικής αναζήτησης. Για να υποδειχθεί η αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης προσέγγισης κατανομής των φωτοβολταϊκών, εκτελούνται διαφορετικές προσομοιώσεις στο σύστημα διανομής IEEE 69 ζυγών. Τα υπολογισμένα αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι η προτεινόμενη προσέγγιση σχεδιασμού μπορεί να καταναείμει βέλτιστα πολλαπλές φωτοβολταϊκές μονάδες, ικανοποιώντας παράλληλα τις απαιτήσεις φόρτισης εν.

Συμπερασματικά, αυτή η εργασία προτείνει ένα νέο μοντέλο σχεδιασμού για τη βέλτιστη κατανομή των φωτοβολταϊκών μονάδων σε συστήματα διανομής, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τους σταθμούς φόρτισης EV. Συγκεκριμένα, η προτεινόμενη προσέγγιση μπορεί να αποφασίσει με ακρίβεια τα βέλτιστα μεγέθη και τις τοποθεσίες φωτοβολταϊκών για να ελαχιστοποιήσει τις απώλειες στο σύστημα. Για να ληφθούν υπόψη τόσο τα φωτοβολταϊκά όσο και τα ηλεκτρικά οχήματα, το

πρόβλημα σχεδιασμού έχει καθιερωθεί ως μοντέλο βελτιστοποίησης διπλού επιπέδου που επιλύθηκε από τον GSA. Παρουσιάζονται διάφορες περιπτωσιολογικές μελέτες σχετικά με το ακτινικό σύστημα διανομής IEEE 69 ζυγών για να αποδειχθεί η χρησιμότητα της προτεινόμενης προσέγγισης κατανομής. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η προτεινόμενη προσέγγιση σχεδιασμού φωτοβολταϊκών μπορεί να μειώσει σημαντικά τις απώλειες ισχύος, ικανοποιώντας παράλληλα τις απαιτήσεις φόρτισης EV και τους λειτουργικούς περιορισμούς του υπό μελέτη συστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. **(Αναφορά [42])**

Η εργασία [43] παρουσιάζει, την *‘Βέλτιστη διαστασιολόγηση και τοποθέτηση του ηλιακού σταθμού φόρτισης με διείσδυση φορτίων EV, χρησιμοποιώντας Artificial Bee Colony Technique (τεχνική της αποικίας μελισσών) μέθοδος ABC’*. Αυτή η εργασία έχει προτείνει την τεχνική βελτιστοποίησης για την εύρεση του βέλτιστου μεγέθους και τοποθέτησης του σταθμού φόρτισης ηλιακών ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) υπό φορτίο ηλεκτρικών οχημάτων με τη χρήση τεχνητών αποικιών μελισσών (ABC), όταν το φωτοβολταϊκό (PV) σύστημα εγκαταστάθηκε στην οροφή κάθε σταθμού φόρτισης. Ο αλγόριθμος τεχνητής αποικίας μελισσών ABC επιλέχθηκε για την επίλυση της βέλτιστης κατάστασης σύμφωνα με τα προτεινόμενα μοντέλα EV σχετικά με τα χαρακτηριστικά που εξαρτώνται από την τάση και τη μοντελοποίηση τοποθέτησης φωτοβολταϊκών. Από την πλευρά, το σύστημα δοκιμής ζυγών IEEE 33 χρησιμοποιήθηκε για να εκφράσει την απόκλιση των τάσεων φορτίου (LVD), υπό την ελάχιστη συνθήκη απώλειας ισχύος ως αντικειμενική λειτουργία. Η μέθοδος προσομοίωσης χωρίστηκε σε δύο συνθήκες. Με την πρώτη συνθήκη, έπρεπε να βρεθούν οι βέλτιστες τιμές EV, LVD και πραγματικής απώλειας ισχύος χωρίς φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Η δεύτερη προϋπόθεση λαμβάνει υπόψη την πρώτη προϋπόθεση, συμπεριλαμβανομένης της βέλτιστης φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν ότι, το βέλτιστο μέγεθος των EVs, LVD και η συνολική πραγματική απώλεια ισχύος υπό την πρώτη συνθήκη ήταν 50 kW, 0,155 και 241,547 kW, αντίστοιχα. Στη δεύτερη συνθήκη διαπιστώθηκε ότι το βέλτιστο μέγεθος και η θέση του Φ/B που εγκαταστάθηκε, μετρήθηκε στα 250.758 kW στο Λεωφορείο Νο.15. Το προτεινόμενο σύστημα μπορεί να μειώσει το LVD και τη συνολική πραγματική απώλεια ισχύος περίπου 0,021 και 218,142 kW, αντίστοιχα. Ως εκ τούτου, η μελέτη της διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων με τη βέλτιστη τοποθέτηση φωτοβολταϊκών στο σύστημα διανομής ισχύος θα μπορούσε να βελτιωθεί με σταθερότητα τάσης όσον αφορά τα προφίλ τάσης. **(Αναφορά [43])**

Η εργασία [44] παρουσιάζει, την *‘Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών ταχείας φόρτισης σε ζώνες λαμβάνοντας υπόψη την κυκλοφορία της αστικής κυκλοφορίας’*. Οι σταθμοί γρήγορης φόρτισης συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο και μπορούν να φορτίσουν πλήρως ένα ηλεκτρικό όχημα (EV) σε λιγότερο από μισή ώρα. Η χωρητικότητα και η θέση των σταθμών φόρτισης φέρνουν το κόστος στον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου καθώς και στον ιδιοκτήτη του σταθμού και στον χρήστη εν. Μια ζωνική προσέγγιση έχει προταθεί σε αυτό το έγγραφο για τον προσδιορισμό της βέλτιστης θέσης και χωρητικότητας των σταθμών ταχείας φόρτισης. Το κόστος ανάπτυξης του σταθμού, καθώς και το αναμενόμενο κόστος που βαρύνει τον χρήστη των ηλεκτρικών οχημάτων και τον διαχειριστή του δικτύου λόγω της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων έχουν επίσης συμπεριληφθεί στην προτεινόμενη προσέγγιση. Τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τους ηλεκτρικούς υποσταθμούς, τους αστικούς δρόμους και τις ζώνες πόλεων έχουν επίσης ληφθεί υπόψη στην προτεινόμενη προσέγγιση. Η συμπεριφορά των χρηστών EV λαμβάνεται επίσης υπόψη για τον προσδιορισμό της αναμενόμενης ζήτησης φόρτισης και του αναμενόμενου κόστους χρήσης EV. Το αναμενόμενο κόστος που σχετίζεται με επιπλέον απώλεια δικτύου λόγω φόρτισης EV έχει επίσης υπολογιστεί από τη ροή ισχύος AC χρησιμοποιώντας ωριαία σενάρια φορτίου ηλεκτρικού δικτύου. Το πρόβλημα διατυπώνεται ως πρόβλημα μικτού-ακέραιου μη γραμμικού (MINLP) για την ελαχιστοποίηση του συνολικού αναμενόμενου κόστους φόρτισης EV. Το πρόβλημα επιλύεται

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ χρησιμοποιώντας την τεχνική Γενετικού Αλγορίθμου για τον προσδιορισμό της βέλτιστης θέσης και χωρητικότητας των σταθμών φόρτισης. Η προτεινόμενη προσέγγιση εφαρμόστηκε για τη μελέτη της ανάπτυξης σταθμών φόρτισης για τη βορειοδυτική περιοχή της Τεχεράνης και αξιολογήθηκε η ανθεκτικότητα της προτεινόμενης προσέγγισης με θετικά αποτελέσματα.

Συμπερασματικά, μια προσέγγιση έχει παρουσιαστεί σε αυτό το έγγραφο για τον προσδιορισμό της βέλτιστης χωρητικότητας και της θέσης του σταθμού φόρτισης EV. Η κυκλοφορία της αστικής κυκλοφορίας, η συμπεριφορά των χρηστών ηλεκτρικών οχημάτων, τα ωριαία σενάρια φορτίου ηλεκτρικού δικτύου και η ζώνη της πόλης είναι μεταξύ των παραγόντων που περιλαμβάνονται στην προσέγγιση που παρουσιάζεται. Η προσέγγιση που παρουσιάστηκε εφαρμόστηκε για τη βορειοδυτική περιοχή της Τεχεράνης με βάση τα δεδομένα αστικής κυκλοφορίας της Τεχεράνης. Τα αποτελέσματα έχουν δείξει ότι η προτεινόμενη προσέγγιση είναι επιτυχής στον προσδιορισμό της βέλτιστης θέσης και χωρητικότητας του σταθμού φόρτισης με βάση την ημερήσια ροή αστικής κυκλοφορίας. Η απόδοση της προτεινόμενης προσέγγισης έχει αξιολογηθεί χρησιμοποιώντας διαφορετικές περιπτώσεις μελέτης. Έχει παρατηρηθεί ότι τα σενάρια

- ηλεκτρικού φορτίου,
- η κυκλοφορία EV και
- η προτίμηση φόρτισης χρηστών EV

έχουν σημαντικό ρόλο στη βέλτιστη θέση και χωρητικότητα του σταθμού φόρτισης. Οι παράγοντες αυτοί θα πρέπει να λαμβάνονται δεόντως υπόψη στο πρόβλημα, όπως και η προτεινόμενη προσέγγιση για την παροχή πρακτικών αποτελεσμάτων. Η προτεινόμενη προσέγγιση είναι, επομένως, κατάλληλη για τον προσδιορισμό του βέλτιστου σταθμού φόρτισης EV σε πρακτικές περιπτώσεις.

(Αναφορά [44])

3.4 8 Εργασίες τοποθέτησης και λειτουργίας σταθμών φόρτισης EV.

Αναφορές: 8 : (από 45 έως 52)

Η εργασία [45] παρουσιάζει, την 'τοποθέτηση σταθμών ταχείας φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων με χρήση βελτιστοποίησης *Gray Wolf (GWO)* σε ηλεκτρικό δίκτυο διανομής'. Οι αυτοκινητοβιομηχανίες και οι κυβερνητικοί οργανισμοί δίνουν ιδιαίτερη προσοχή στα ηλεκτρικά οχήματα (EVs) λόγω των χαμηλότερων εκπομπών CO₂, της φθηνής συντήρησης και του λειτουργικού κόστους. Καθώς ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων στο δρόμο αυξάνεται, το φορτίο του σταθμού φόρτισης έχει αντίκτυπο στις παραμέτρους του δικτύου διανομής όπως :

- η απώλεια ισχύος,
- το προφίλ τάσης και
- η αρμονική παραμόρφωση.

Ως αποτέλεσμα, η σταθερότητα του δικτύου διανομής εξαρτάται από τη σωστή θέση των σταθμών ταχείας φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EVFCSs). Σε αυτό το έγγραφο, προτείνονται δύο προσεγγίσεις για την τοποθέτηση του EVFCS προσέγγιση διαχειριστή δικτύου διανομής (DNO) και προσέγγιση επενδυτών σταθμών φόρτισης (CSI). Στην προσέγγιση DNO έχουμε την απώλεια ισχύος του δικτύου διανομής, ενώ στην προσέγγιση CSI έχουμε το κόστος εγκατάστασης του EVFCS και προτείνεται ως η αντικειμενική λειτουργία για τη διαμόρφωση του προβλήματος. Το προτεινόμενο διατυπωμένο πρόβλημα έχει δυαδικές μεταβλητές αποφάσεων, επομένως το πρόβλημα βελτιστοποίησης επιλύεται από τη δυαδική έκδοση της βελτιστοποίησης (GWO). Η βέλτιστη θέση του EVFCS προτείνεται για το σύστημα διανομής με ζυγούς IEEE 34 με τις στρατηγικές οχήματος σε δίκτυο (V2G). Η βέλτιστη θέση των EVFCS με αποτελέσματα στρατηγικών V2G, συγκρίνεται επίσης χωρίς στρατηγικές V2G. Η προσέγγιση ροής άμεσου φορτίου χρησιμοποιείται σε αυτό το έγγραφο για μια ανάλυση ροής φορτίου του συστήματος διανομής IEEE 34. Η βέλτιστη θέση της κατακευματισμένης παραγωγής ηλιακής ενέργειας (SPDG) εξετάζεται επίσης σε αυτό το έγγραφο για την ελαχιστοποίηση της τάσης του δικτύου λόγω του φορτίου EV.

Συμπερασματικά, αυτό το έγγραφο πρότεινε λύση για το πρόβλημα βελτιστοποίησης στην τοποθέτηση του EVFCS στο σύστημα διανομής και καθόρισε επίσης τον συνολικό αριθμό EVFCS σε μια προτεινόμενη περιοχή. Η βέλτιστη θέση των SPDGs προτείνεται επίσης για την ελαχιστοποίηση της τάσης του υποσταθμού. Επιπλέον, το κόστος εγκατάστασης και το κόστος απώλειας ισχύος είναι δύο ενισχυμένες αντικειμενικές λειτουργίες που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη διαμόρφωση προβλημάτων. Επομένως, τα διατυπωμένα προβλήματα βελτιστοποίησης έχουν δυαδικές μεταβλητές απόφασης για την τοποθέτηση των EVFCS. Το δυαδικό GWO έχει χρησιμοποιηθεί για την επίλυση του προτεινόμενου προβλήματος βελτιστοποίησης για το σύστημα ζυγών IEEE-34 και ένας αλγόριθμος άμεσης προσέγγισης χρησιμοποιείται για την ανάλυση ροής ισχύος. Το προτεινόμενο πρόβλημα έχει επιλυθεί για δύο περιπτώσεις, όπως αναλύεται στην ενότητα αποτελεσμάτων. Στο C-1 έχει βρεθεί βέλτιστη θέση του EVFCS για το προτεινόμενο πρόβλημα χωρίς στρατηγικές V2G, ενώ στο C-2 έχουν προσδιοριστεί οι βέλτιστες θέσεις του EVFCS για το προτεινόμενο πρόβλημα με τις στρατηγικές V2G. Ως εκ τούτου, η απώλεια ισχύος μειώνεται κατά 12,08% στο C-2 σε σύγκριση με το C-1 και επίσης η τάση βελτιώνεται κατά 0,286% στο C-2.

(Αναφορά [45])

Η εργασία [46] παρουσιάζει, την 'τοποθέτηση πηγών ενέργειας για τις ηλεκτρικές μεταφορές σε έξυπνες πόλεις'. Οι ανησυχίες που γείρονται για την κατανάλωση ενέργειας και την ατμοσφαιρική ρύπανση προάγουν την ανάπτυξη τεχνολογιών ηλεκτρικών οχημάτων και προωθούν την αυξημένη ανάπτυξη ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) προς τις μεταφορές. Ο αυξανόμενος αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων στο οδικό δίκτυο οδηγεί σε μια αυξανόμενη πρόκληση διαχείρισης ηλεκτρικής ενέργειας για το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας για την άμεση παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στα ηλεκτρικά οχήματα. Προκειμένου να αντιμετωπίσουμε αυτήν την πρόκληση, πρέπει να σχεδιάσουμε προσεκτικά τις πηγές ενέργειας και την παροχή ενέργειας μέσω εγκαταστάσεων φόρτισης στα ηλεκτρικά οχήματα, λαμβάνοντας υπόψη τις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ δρόμων/μεταφορών και ηλεκτρικού δικτύου. Σε αυτή την εργασία, εστιάζουμε στη μελέτη της τοποθέτησης των πηγών ενέργειας και των εγκαταστάσεων φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων τους, αναπτύσσοντας μια διαδικασία σχεδιασμού 2 σταδίων. Μελετάμε την τοποθέτηση δύο τύπων εγκαταστάσεων φόρτισης:

- σταθμών φόρτισης και
- δυναμικών ασύρματων επιφανειών φόρτισης.

Το πρώτο στάδιο της διαδικασίας σχεδιασμού είναι ο προσδιορισμός των βέλτιστων τοποθεσιών για την τοποθέτηση των εγκαταστάσεων φόρτισης για την εξυπηρέτηση της μέγιστης ποσότητας ηλεκτρικών οχημάτων στο οδικό δίκτυο. Δεδομένων των επιλεγμένων βέλτιστων τοποθεσιών, το δεύτερο στάδιο είναι ο προσδιορισμός της χωρητικότητας των τοποθεσιών εξυπηρέτησης φόρτισης με σκοπό την ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου αναμονής των οδηγών EV σε όλο το οδικό δίκτυο για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων τους. Δείχνουμε την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας σχεδιασμού 2 σταδίων σε ένα δείγμα οδικού δικτύου κατά την αξιολόγηση της απόδοσης.

Συμπερασματικά, σε αυτό το έγγραφο, προτείνετε μια διαδικασία σχεδιασμού 2 σταδίων για τις εγκαταστάσεις φόρτισης:

- το πρώτο στάδιο είναι να βρεθεί η βέλτιστη θέση για τις εγκαταστάσεις φόρτισης χρησιμοποιώντας το Εκτεταμένο FRLM [9] για τη μεγιστοποίηση των ροών κυκλοφορίας με καύσιμα. Οι τύποι εγκαταστάσεων που μπορεί να διαθέσει το μοντέλο είναι σταθμοί φόρτισης και δυναμικές ασύρματες βάσεις φόρτισης.

- Αφού αποκτήσουμε τις βέλτιστες τοποθεσίες για τις εγκαταστάσεις φόρτισης, μελετάμε το σχέδιο διαμόρφωσης για αυτούς τους επιλεγμένους σταθμούς φόρτισης. Για να είμαστε πιο συγκεκριμένοι, εστιάζουμε στην εύρεση του βέλτιστου αριθμού διακομιστών φόρτισης που θα διατεθούν για κάθε σταθμό φόρτισης, έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί ο ρυθμός ολοκλήρωσης σε ολόκληρο το οδικό δίκτυο. Αξιολογήσαμε τη διαδικασία σχεδιασμού σε ένα δείγμα δικτύου 9 ζυγών και δείξαμε ότι η διαδικασία σχεδιασμού επιτυγχάνει ικανοποιητικό ποσοστό ολοκλήρωσης με τα τρέχοντα μερίδια αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων. Πραγματοποιήσαμε επίσης πειράματα της διαδικασίας μας όσον αφορά τα υψηλότερα μερίδια αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων. Για το μελλοντικό μας έργο, θα θέλαμε να μελετήσουμε:

- Μια ανάπτυξη ενός συστήματος συστάσεων, που καθοδηγεί τα ηλεκτρικά οχήματα στους σταθμούς φόρτισης με λιγότερους οδηγούς αναμονής. Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει επίσης να τοποθετήσουμε περισσότερους σταθμούς φόρτισης στο οδικό δίκτυο, έτσι ώστε τα ηλεκτρικά οχήματα να μπορούν να έχουν εναλλακτικές επιλογές φόρτισης.

- Εκτελώντας εκτεταμένη προσομοίωση για να χαλαρώσουμε τις υποθέσεις που κάναμε στο δεύτερο στάδιο. Για παράδειγμα, θα μπορούσαμε να εξετάσουμε περισσότερους τύπους ηλεκτρικών

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ οχημάτων και με περισσότερους σταθμούς φόρτισης που διατίθενται στο δίκτυο, θα μπορούσαμε να προσομοιώσουμε τη διαδικασία των οδηγών που εξέρχονται από το σταθμό μετά από αναμονή ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος. Επίσης, θα ήταν ενδιαφέρον να εξεταστούν οι καταστάσεις όταν οι διακομιστές φόρτισης έχουν διαφορετικό ρυθμό εξυπηρέτησης.

(Αναφορά [46])

Η εργασία [47] παρουσιάζει, την *‘Τοποθέτηση σταθμών φόρτισης EV ενσωματωμένων στην παραγωγή φωτοβολταϊκών και την αποθήκευση μπαταριών’*. Αυτή η εργασία εισάγει έναν βέλτιστο τρόπο διαμόρφωσης ενός σταθμού φόρτισης, συνδεδεμένου με το δίκτυο για ηλεκτρικά οχήματα (EVs), στον οποίο ενσωματώνονται η παραγωγή φωτοβολταϊκών (PV) και η τοπική αποθήκευση μπαταριών. Η προτεινόμενη μέθοδος στοχεύει στη δημιουργία του βέλτιστου συνδυασμού φορτιστών EV, φωτοβολταϊκών πάνελ και τοπικών μπαταριών, λαμβάνοντας υπόψη:

- 1) την κινητικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων και τις αβεβαιότητες (παραγωγή φωτοβολταϊκών, τιμή ηλεκτρικής ενέργειας κ.λπ.).
- 2) τις επιπτώσεις στο δίκτυο, και
- 3) στοχαστική ζήτηση φόρτισης από ηλεκτρικά οχήματα.

Το σύστημα Erlang-Ioss και ο στοχαστικός προγραμματισμός υιοθετούνται για να μοντελοποιήσουν την κινητικότητα και τις αβεβαιότητες των EV. Εκτός αυτού, τα σύνολα χαρακτηριστικών καθώς και η μέθοδος δημιουργίας σεναρίων που βασίζεται σε ομαδοποίηση, προτείνονται για τη δημιουργία των απαραίτητων σεναρίων για στοχαστικό προγραμματισμό. Τέλος, διεξάγονται αριθμητικά πειράματα για να επικυρωθεί η αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης προσέγγισης και να καταδειχθεί ο αντίκτυπος διαφορετικών παραγόντων στο τελικό σχήμα τοποθέτησης.

Συμπερασματικά, οι συνεισφορές αυτού του έργου συνοψίζονται ως εξής:

- Προτείνεται ένα σχέδιο σχεδιασμού τοποθέτησης με στοχαστική βελτιστοποίηση για έναν σταθμό φόρτισης συνδεδεμένο με το δίκτυο, για την εύρεση ενός βέλτιστου συνδυασμού φωτοβολταϊκών πάνελ, τοπικών κυψελών μπαταριών καθώς και φορτιστών EV, για την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους, με την κινητικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων, τις αβεβαιότητες και τις επιπτώσεις στο ηλεκτρικό δίκτυο να λαμβάνονται υπόψη.
- Η μέθοδος δημιουργίας σεναρίων που βασίζεται σε ομαδοποιήσεις με τα σύνολα των χαρακτηριστικών προτείνονται για τη μοντελοποίηση των αβεβαιοτήτων.
- Διεξάγεται αριθμητικό πείραμα για την επικύρωση του προτεινόμενου σχήματος τοποθέτησης καθώς και για την αξιολόγηση της επίδρασης διαφορετικών παραγόντων στο τελικό βέλτιστο σχήμα τοποθέτησης.

Η εργασία [48] παρουσιάζει, την *‘Τοποθέτηση σταθμών φόρτισης EV — Οφέλη εξισορρόπησης μεταξύ πολλαπλών οντοτήτων’*. Αυτή η εργασία μελετά το πρόβλημα της πολυβάθμιας τοποθέτησης σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EV), με αυξητικά ποσοστά διείσδυσης EV. Ένα ένθετο μοντέλο logit χρησιμοποιείται για την ανάλυση της προτίμησης φόρτισης ενός μεμονωμένου καταναλωτή (ιδιοκτήτης EV) και την πρόβλεψη μιας συγκεντρωτικής ζήτησης φόρτισης στους σταθμούς φόρτισης. Η βιομηχανία φόρτισης EV διαμορφώνεται ως ολιγοπώλιο όπου ολόκληρη η αγορά κυριαρχείται από λίγους παρόχους

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ υπηρεσιών φόρτισης (ολιγοπώλια). Στην αρχή κάθε σταδίου σχεδιασμού, επιτυγχάνεται μια βέλτιστη πολιτική τοποθέτησης για κάθε πάροχο υπηρεσιών, μέσω της ανάλυσης στρατηγικών αλληλεπιδράσεων σε ένα μοντέλο τύπου Bayesian. Για να καταλήξουμε στη βέλτιστη πολιτική τοποθέτησης, εξετάζουμε τόσο το γράφημα δικτύου μεταφοράς όσο και το γράφημα δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα λογισμικό προσομοίωσης, το EV Virtual City 1.0 , αναπτύσσεται χρησιμοποιώντας Java για να διερευνήσει:

- τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των καταναλωτών (ιδιοκτήτης EV),
- το γράφημα δικτύου μεταφοράς,
- το γράφημα δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και
- τους σταθμούς φόρτισης.

Μέσω μιας σειράς πειραμάτων που χρησιμοποιούν τα γεωγραφικά και δημογραφικά δεδομένα από την πόλη της περιοχής San Pedro του Λος Άντζελες, δείχνουν ότι η τοποθέτηση του σταθμού φόρτισης είναι ιδιαίτερα συνεπής με τον χάρτη θερμότητας της ροής κυκλοφορίας. Επιπλέον, παρατηρούμε ένα χωρικό οικονομικό φαινόμενο όπου οι πάροχοι υπηρεσιών προτιμούν την ομαδοποίηση αντί του διαχωρισμού των σημείων στην αγορά φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.

Συμπερασματικά, σε αυτό το έγγραφο, προτείνετε μια λύση για την τοποθέτηση σταθμών φόρτισης EV που εξισορροπεί τα οφέλη:

- του ιδιοκτήτη εν,
- του ιδιοκτήτη σταθμού φόρτισης και
- του χειριστή ηλεκτρικού δικτύου.

Διαμορφώνουμε τον ανταγωνισμό μεταξύ των σταθμών φόρτισης ως μοντέλο Bayesian. Η επίλυση του μοντέλου αυτού καθιστά τις βέλτιστες πολιτικές τοποθέτησης για τους παρόχους υπηρεσιών. Επιπλέον, αναπτύσσουμε ένα λογισμικό προσομοίωσης. Το EV Virtual City 1.0 στο Repast, διεξάγει μια μελέτη περίπτωσης της περιοχής San Pedro του Λος Άντζελες. Η προσομοίωση δείχνει ότι η τοποθέτηση του σταθμού φόρτισης είναι σε μεγάλο βαθμό συνεπής με τη ροή κυκλοφορίας των ηλεκτρικών οχημάτων και οι πάροχοι υπηρεσιών προτιμούν την ομαδοποίηση από τον διαχωρισμό των σταθμών φόρτισης.

(Αναφορά [48])

Η εργασία [49] παρουσιάζει, την ‘ Σχεδιασμός σταθμού ταχείας φόρτισης EV, συμπεριλαμβανομένου του DG στο σύστημα διανομής χρησιμοποιώντας την τεχνική βελτιστοποίησης ‘ . Σήμερα η αγορά ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) στην Ινδία αναπτύσσεται ραγδαία, αλλά οι υποδομές φόρτισης ή οι σταθμοί φόρτισης εξακολουθούν να αποτελούν για τα ηλεκτρικά οχήματα μια μεγάλη πρόκληση. Λόγω του προβλήματος της εξάντλησης των συμβατικών πηγών καυσίμων και της αυξανόμενης ρύπανσης από οχήματα εσωτερικής καύσης (IC) που βασίζονται σε κινητήρες, τα ηλεκτρικά οχήματα είναι πιο ευεργετικά και οικονομικά αποδοτικά και παρέχουν κοινωνικά οφέλη. Ως εκ τούτου, η υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι μια εναλλακτική πηγή μεταφοράς καθώς εκπέμπουν μηδενικές εκπομπές άνθρακα, ενεργειακά αποδοτικά και οικονομικά. Για την επέκταση της αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων, η υποδομή των σταθμών φόρτισης είναι πολύ σημαντική για την παροχή ενέργειας στα διάφορα ηλεκτρικά οχήματα. Αυτή η εργασία παρουσιάζει τον βέλτιστο σχεδιασμό των υποδομών φόρτισης για τη δημιουργία αποτελεσματικής θέσης φόρτισης, λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες ισχύος, την τάση και την οικονομική σκέψη στο καταναεμημένο σύστημα και επίσης το βέλτιστο μέγεθος της παραγωγής διανομής (DG) στη συγκεκριμένη τοποθεσία. Οι θέσεις του Σταθμού Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων λαμβάνοντας υπόψη την παράμετρο απόδοσης του δικτύου είναι στόχοι στην προτεινόμενη λειτουργία πολλαπλών στόχων. Η

ελάχιστη τιμή της πολυ-αντικειμενικής λειτουργίας εξάγεται, με βάση τους δείκτες απόδοσης του συστήματος, ως δείκτες απώλειας ισχύος, κόστους φόρτισης, απόκλισης τάσης και αξιοπιστίας. Επίσης, το DG τοποθετείται στον αντίστοιχο σταθμό EV που αποκτήθηκε μετά τη βελτιστοποίηση. Το μέγεθος της DG λαμβάνεται, βελτιστοποιώντας την τεχνική που είναι η μέθοδος PSO. Το εργαλείο MATLAB/MATPOWER χρησιμοποιείται για την επίλυση της ροής ισχύος μέσω της μεθόδου αυτής. Το multiobjective ελαχιστοποιείται χρησιμοποιώντας βελτιστοποίηση ιεράρχησης σωματιδίων (PSO) για να επιτευχθεί η βέλτιστη κατανομή του σταθμού φόρτισης EV στο σύστημα διανομής ζυγών IEEE-33. Αυτό το έγγραφο καταλήγει στο συμπέρασμα ότι:

- η ελαχιστοποίηση των απωλειών ισχύος,
- του κόστους φόρτισης,
- της απόκλισης τάσης και
- της βελτιωμένης αξιοπιστίας του συστήματος

αυξάνεται οδηγώντας σε ασφαλή και σταθερό σταθμό φόρτισης EV με DG.

Συμπερασματικά, αυτό το έγγραφο διέθεσε έναν βέλτιστο σταθμό γρήγορης φόρτισης θέσης (FCS) σε διαφορετικές τέσσερις ζώνες της πόλης Durgapur, ο οποίος καλύπτει τις συνολικές απαιτήσεις της διανομής EV στην πόλη. Μια τεχνική βελτιστοποίησης ιεράρχησης σωματιδίων χρησιμοποιείται για την κατανομή της καλύτερης τοποθεσίας FCS στην πόλη. Η ηλεκτρική παράμετρος που αναφέρθηκε παραπάνω βελτιώθηκε από την αρχική κατάσταση που είχε το σύστημα δοκιμής. Συνολικά το PSO χρησιμοποιείται για την ελαχιστοποίηση του κόστους ελαχιστοποιώντας τις απώλειες ισχύος, ελαχιστοποιώντας την απόκλιση τάσης και μεγιστοποιώντας την αξιοπιστία του συστήματος. Επίσης υπολογίστηκε το κόστος υποδομής σταθμού (SIC), το οποίο καθορίζεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις της έκτασης γης καθώς και τον ηλεκτρικό εξοπλισμό όπως σύνδεσμος, μετασχηματιστής κ.λπ. Αυτή η διατριβή έχει εξετάσει τις απαιτήσεις FCS σε διαφορετικές ζώνες πριν από την εφαρμογή της βελτιστοποίησης. Μετά την κατανομή του σταθμού EV FCS, οι DGs τοποθετούνται επίσης στη συγκεκριμένη τοποθεσία από τον ιδιοκτήτη του σταθμού FCS. Η αξιοπιστία του συστήματος βελτιώθηκε σε περίπου 100% μετά την υλοποίηση του σταθμού DG στον ίδιο σταθμό FCS. Το προφίλ τάσης που είχε αρνητικό αντίκτυπο μετά την υλοποίηση του σταθμού EV βελτιώνεται επίσης. Καθώς το φορτίο αυξάνεται στο σύστημα, η τιμή του ρεύματος αυξάνεται στο σύστημα γεγονός που οδηγεί στην αύξηση των απωλειών ισχύος. Με την εφαρμογή της DG εντοπίζεται η παραγωγή ενέργειας, που μειώνει τις απώλειες ισχύος στο σύστημα. Η απώλεια ισχύος που αυξήθηκε μετά την υλοποίηση του σταθμού EV αλλάζει επίσης θετικά με την εφαρμογή του σταθμού DG στο ίδιο σύστημα που διαθέτει σταθμό FCS. Όλες οι ηλεκτρικές παράμετροι που αναφέρονται είναι, οι απώλειες ισχύος, η απόκλιση τάσης και η αξιοπιστία του συστήματος που βελτιώνονται μετά την εφαρμογή των DG και EV FCS ταυτόχρονα. Οι απώλειες ισχύος μειώνονται κατά περίπου 37% του αρχικού συστήματος δοκιμής. Η αξιοπιστία βελτιώνεται κατά περίπου 6% του αρχικού συστήματος δοκιμής και η απόκλιση τάσης μειώνεται.

(Αναφορά [49])

Η εργασία [50] παρουσιάζει, την ‘Μείωση της απώλειας ισχύος λαμβάνοντας υπόψη τον τεράστιο σταθμό φόρτισης χρησιμοποιώντας metaheuristic (μεταευρετική) τεχνική’. Ως μέλος της συμφωνίας του Παρισιού, η Μαλαισία έχει δεσμευτεί να μετατραπεί σε μια κοινωνία χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Η κυβέρνηση της Μαλαισίας στοχεύει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 45% έως το 2030. Η κυβέρνηση της Μαλαισίας προωθεί ενεργειακά αποδοτικά οχήματα (EEV), συμπεριλαμβανομένων των μελλοντικών ηλεκτρικών οχημάτων (EV), και στοχεύει να έχει το 100% του EEV στο δρόμο έως το 2030. Με την εφαρμογή πολιτικών EV στη Μαλαισία, αυτές οι πολιτικές θα λειτουργήσουν δυναμικά για τη μαζική υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων. Ωστόσο, από την

άποψη του συστήματος ισχύος, τα ηλεκτρικά οχήματα είναι πρόσθετα φορτία όταν συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο. Η μαζική διείσδυση του φορτίου του σταθμού φόρτισης (CS) έχει επηρεάσει αρνητικά το σύστημα διανομής, ειδικά στις απώλειες ισχύος. Ως εκ τούτου, η κατάσταση αυτή έχει οδηγήσει στην ανάγκη ενοποίησης των κανόνων για το σύστημα διανομής, ώστε να καλύπτεται αυτή η πρόσθετη ζήτηση χρέωσης. Σε αυτή την έρευνα, ο μετριασμός που προτείνεται είναι η εφαρμογή βέλτιστης τοποθέτησης και μεγέθους πολλαπλών πυκνωτών multiple capacitor banks (CBs) στα συστήματα δικτύου διανομής μέσης και χαμηλής τάσης βελτιστοποιημένα με τη χρήση της *metaheuristic* τεχνικής. Το σύστημα διανομής, το CS και το CBs μοντελοποιούνται χρησιμοποιώντας το περιβάλλον MATLAB. Η *metaheuristic* τεχνική που χρησιμοποιείται είναι ο Αλγόριθμος Αναζήτησης Αστραπής (LSA) και ο Τροποποιημένος Αλγόριθμος Αναζήτησης Αστραπής (MLSA) λόγω της αποτελεσματικότητας από προηγούμενες έρευνες. Με βάση το αποτέλεσμα της προσομοίωσης, η μέθοδος MLSA θα ελαχιστοποιήσει καλύτερα τις απώλειες ισχύος στο πρακτικό ακτινικό σύστημα δικτύου διανομής 69 ζυγών. Η μελέτη απέδειξε ότι η βέλτιστη τοποθέτηση και το μέγεθος των μεταβλητών ΟΠ θα μπορούσαν να μειώσουν την απώλεια ισχύος. Επιπλέον, τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι το πολλαπλάσιο των CB μπορεί να προσφέρει μια ανώτερη λύση σε σύγκριση με έναν μόνο CB. Ως εκ τούτου, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι πολλαπλές CB με τη βοήθεια της μεθόδου MLSA είναι οι πλέον κατάλληλες για εφαρμογή στη μείωση των απωλειών ισχύος στα συστήματα διανομής λόγω της μαζικής διείσδυσης του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων.

Συμπερασματικά, η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε σε αυτήν την έρευνα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η βέλτιστη τοποθέτηση και διαστασιολόγηση των CBs θα μπορούσε να ελαχιστοποιήσει την απώλεια ισχύος στο σύστημα διανομής με μαζική διείσδυση της λειτουργίας CS. Ως εκ τούτου, η *metaheuristic* (μεταερευνητική) τεχνική MLSA, έχει αποδειχθεί ότι είναι η λύση σε σύγκριση με την LSA για τον προσδιορισμό της βέλτιστης τοποθέτησης και του μεγέθους των CBs. **(Αναφορά [50])**

Η εργασία [51] παρουσιάζει, την ‘ Σχεδιασμός δικτύων μεταφοράς που μπορούν να εφαρμοσθούν για ηλεκτρικά οχήματα ‘. Η αυτονομία ενός ηλεκτρικού οχήματος (EV) εξαρτάται από την πρόσβαση του στους σταθμούς φόρτισης της μπαταρίας. Αυτή η εξάρτηση μπορεί να περιορίσει την εμβέλεια του EV εάν ορισμένοι από τους σταθμούς φόρτισης δεν είναι διαθέσιμοι λόγω έλλειψης ισχύος ή οποιασδήποτε άλλης βλάβης. Για να διασφαλιστεί η αδιάλειπτη πρόσβαση στους σταθμούς φόρτισης, σε αυτό το έγγραφο προτείνουμε να διατηρηθεί ένας περιορισμένος αριθμός εφεδρικών σταθμών που θα τεθούν σε λειτουργία μόλις ορισμένοι από τους υπάρχοντες σταθμούς καταστούν μη λειτουργικοί. Σε αυτό το άρθρο μελετάμε τη βέλτιστη τοποθέτηση των εφεδρικών σταθμών που μπορούν να εγγυηθούν την πρόσβαση στους υπόλοιπους μη λειτουργικούς σταθμούς φόρτισης. Σε αυτό το έγγραφο προτείνουμε αλγόριθμο για αυτό το πρόβλημα και το αξιολογούμε με το σύνολο δεδομένων του δικτύου μεταφοράς.

Συμπερασματικά, σε αυτό το έγγραφο, προτείνουμε τη χρήση εφεδρικών σταθμών για τη διασφάλιση της αδιάλειπτης παροχής ενέργειας στα ηλεκτρικά οχήματα. Μελετάμε το πρόβλημα της απόφασης για την τοποθέτηση του ελάχιστου αριθμού εφεδρικών σταθμών έτσι ώστε ακόμη και αν κάποιος τρέχων σταθμός φόρτισης γίνει ελαττωματικός, χρησιμοποιώντας τους εφεδρικούς σταθμούς, το δίκτυο του σταθμού μπορεί να παραμείνει συνδεδεμένο. Σημειώστε ότι, το πρόβλημα αυτό μπορεί να μελετηθεί περαιτέρω με πρόσθετες συνθήκες βελτιστοποίησης, όπως η ικανοποίηση της κατάστασης προσφοράς-ζήτησης, το κόστος εγκατάστασης των σταθμών κ.λπ. Η λύση μας, μπορεί να εξυπηρετήσει αυτούς τους πρόσθετους περιορισμούς, καθώς προτείνει ένα σύνολο πιθανών τοποθεσιών για κάθε εφεδρικό σταθμό. Ένα άλλο ενδιαφέρον πρόβλημα είναι η βέλτιστη τοποθέτηση

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ των υπαρχόντων σταθμών έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται ο αριθμός των εφεδρικών σταθμών. Η μελέτη δείχνει ένα οδικό δίκτυο Gold cost και την τοποθέτηση εφεδρικών σταθμών από ένα Αλγόριθμο .

(Αναφορά [51])

3.4.1. Μελέτη άρθρου 52 . Αναλυτική παρουσίαση του άρθρου.

Η ανάπτυξη ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) έχει οδηγήσει σε αύξηση του αριθμού των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EVCSs). Ωστόσο, η έλλειψη κατάλληλων υποδομών φόρτισης μπορεί να μειώσει την επέκταση του στόλου των ηλεκτρικών μεταφορών. Από την άποψη αυτή, η μείωση των προβλημάτων από την είσοδο των EVCS στα δίκτυα διανομής και η επιλογή βέλτιστων λειτουργιών φόρτισης, αποτελούν βασικές προκλήσεις για μελέτη. Η βέλτιστη τοποθέτηση ενός EVCS για την ελαχιστοποίηση του κόστους τροφοδοσίας θα ενθαρρύνει την ταχεία ανάπτυξη του συστήματος μεταφοράς EV. Αυτή η εργασία παρουσιάζει μια λύση γραμμικού προγραμματισμού δύο βημάτων (LP) για την τοποθέτηση του EVCS με σκοπό τη βέλτιστη λειτουργία ενός σταθμού φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος. Βασικές αρχικές παράμετροι είναι :

- Ο χρόνος έναρξης φόρτισης και
- το χρονικό διάστημα φόρτισης κάθε EV

οι οποίες μοντελοποιούνται ως μεταβλητές αβεβαιότητας. Μια μελέτη που βασίζεται σε ένα δίκτυο διανομής CIGRE μέσης τάσης χρησιμοποιείται για την εκτέλεση προσομοιώσεων και την επίδειξη της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Η αριθμητική ανάλυση πραγματοποιείται για διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας φόρτισης με βάση τα τυπικά συστήματα αγωγίμης φόρτισης EV, IEC 61851.

Η ανάπτυξη του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικών οχημάτων και η επέκταση των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων αποτελούν μία από τις σημαντικότερες προσεγγίσεις για τη διατήρηση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Ο τομέας των μεταφορών είναι ο δεύτερος σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου. Ευτυχώς, οι ερευνητές προβλέπουν ότι οι εξελίξεις με την είσοδο των ηλεκτρικών οχημάτων, θα μπορούσαν να μειώσουν έως και 28% τις εκπομπές CO₂ μέχρι το τέλος του έτους 2030 [1].

Η ανάπτυξη του στόλου ηλεκτρικών μετακινήσεων έχει προκαλέσει την αύξηση της προσοχής στην αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, τα ηλεκτρονικά ισχύος, τους ηλεκτροκινητήρες, τις στρατηγικές διαχείρισης ενέργειας, την αξιολόγηση του κύκλου ζωής των ηλεκτρικών οχημάτων, των EVCS και ούτω καθεξής [2], [3], [4].

Ως εκ τούτου, υπάρχει ανάγκη για υποδομές όσον αφορά την εγκατάσταση σταθμών φόρτισης EV. Έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες σχετικά με τη θέση και τη λειτουργία των EVCS. Τα οικονομικά οφέλη του EVCS, το μοτίβο επαναφόρτισης των ιδιοκτητών και οι απώλειες ισχύος δικτύου θεωρούνται βασικά ζητήματα [5]. Οι συγγραφείς στο [6] ανέλυσαν τη διατύπωση, την πολυπλοκότητα και τη λύση της τοποθέτησης evcs με διάφορα σενάρια. Το πλαίσιο μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού (MILP) έχει χρησιμοποιηθεί για την τοποθέτηση EVCS για το σύστημα αστικών δημόσιων λεωφορείων στο [7]. Στο [8], αναλύθηκε η τοποθέτηση του EVCS λαμβάνοντας υπόψη την κυκλοφορία στην αστική κυκλοφορία. Το πρόβλημα λύθηκε με την προσέγγιση μικτού ακέραιου μη γραμμικού προγραμματισμού (MINLP) καθώς και ότι ελαχιστοποιήθηκε το συνολικό αναμενόμενο κόστος φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Η μοντελοποίηση βελτιστοποίησης δύο επιπέδων έχει χρησιμοποιηθεί για την τοποθέτηση EVCS στο [9]. Η βέλτιστη λειτουργία φόρτισης του EVCS έχει μελετηθεί για μεγάλους αριθμούς ηλεκτρικών οχημάτων στο [10]. Ο αντίκτυπος της λειτουργίας φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων αναλύθηκε με τη χρήση της θεωρίας επιλογών (παιγνίων) σε ένα δίκτυο διανομής στο [11], στο οποίο τα σενάρια

χρόνου έναρξης φόρτισης δημιουργήθηκαν από τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας Gaussian. Η παλαιότητα των δικτύων μεταφοράς και διανομής καθώς και οι απώλειες ενέργειας διανομής θεωρήθηκαν επίσης ως κριτήρια. Στο [12], προτάθηκε ένα μοντέλο χρονικής παραλλαγής πολλαπλών σταδίων με βάση τα χαρακτηριστικά της ζήτησης φορτίου EV. Εκτός αυτού, μια διαφορετική μέθοδος για την πρόβλεψη φορτίου φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων ανάλογα με τον αριθμό των οχημάτων παρουσιάστηκε στο [13].

Σε αυτή την εργασία, προτείνεται η βέλτιστη τοποθέτηση και λειτουργία των EVCS με βάση ένα πλαίσιο γραμμικού προγραμματισμού δύο βημάτων. Ο κύριος στόχος αυτής της μεθοδολογίας είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους του ιδιοκτήτη του EVCS, στο οποίο ο χρόνος έναρξης φόρτισης και το χρονικό διάστημα φόρτισης μοντελοποιούνται από το Gaussian PDF λόγω ενός στοχαστικού μοτίβου φόρτισης των κατόχων ηλεκτρικών οχημάτων. Η εργασία είναι δομημένη σε πέντε ενότητες. Αρχικά εισάγεται το μαθηματικό μοντέλο τοποθέτησης και λειτουργίας του EVCS. Ακολουθούν οι περιπτώσιολογικές μελέτες και περιγράφονται καθώς και τα αριθμητικά αποτελέσματα όπου και αναλύονται και τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα .

Τα μαθηματικά μοντέλα για την βέλτιστη τοποθέτηση και λειτουργία των EVCS, αναλύονται κατ' αρχάς με μια υπολογιστική μεθοδολογία που υιοθετήθηκε για την ανάλυση της επίδρασης του EVCS στη ζήτηση φορτίου, τη ροή ισχύος και την οικονομική εικόνα των δικτύων διανομής. Γενικά, οι διακυμάνσεις της τάσης και της ισχύος θεωρούνται οι κύριοι παράγοντες για τον χαρακτηρισμό του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας [14]. Η μεγάλης κλίμακας ενσωμάτωση εν μπορεί ενδεχομένως να διαταράξει την κανονική λειτουργία των δικτύων διανομής όσον αφορά τη σταθερότητα του συστήματος, τη σοβαρή απώλεια ισχύος, την ανισορροπία τάσης κ.λπ. Η εξίσωση κλάδου DistFlow χρησιμοποιείται για την περιγραφή της ροής ισχύος και διατυπώνεται ως σύνολο περιορισμών ροής ισχύος [15].

Μαθηματικά μοντέλο 1: Γραμμικοποιημένο OPF πάνω από το δίκτυο διανομής.

Τα μεγέθη που θα χρησιμοποιηθούν για την μαθηματική ανάλυση είναι τα παρακάτω :

A. Μεταβλητές

P_{ij} , Ροή ισχύος ενεργού κλάδου από i σε j

Q_{ij} , Ροή ισχύος άεργου κλάδου από i έως j

l_{ij} , Ρεύμα κλάδου από i έως j

w_j , Τετράγωνο τάσης στον κόμβο j

p^D_j / q^D_j , Ενεργή / Άεργος ζήτηση στον κόμβο j

p^G_j / q^G_j , Ενεργή / Άεργος παραγωγή στον κόμβο j

p^{se} / q^{se} , Ενεργός/Άεργος ισχύς που παρέχεται από τον υποσταθμό (SE)

B. Περιορισμοί disflow (εκροής)

$$P_{ij} = (p_j^D - p_j^G) + r_{ij} l_{ij} + \sum_{k:(j,k) \in L} P_{jk} \quad \forall (i,j) \in L \quad (1a)$$

$$Q_{ij} = (q_j^D + q_j^G) + x_{ij} l_{ij} + \sum_{k:(i,k) \in L} Q_{jk} \quad \forall (i,j) \in L \quad (1b)$$

$$w_j = w_i - (r_{ij}^2 + x_{ij}^2) l_{ij} - 2(r_{ij} P_{ij} + x_{ij} Q_{ij}) \quad , \forall (i,j) \in L \quad (1c)$$

Γ. Τεχνικά όρια

$$(v_j^{min})^2 \leq w_j \leq (v_j^{max})^2, \forall j \in N \quad (1d)$$

$$p_j^{G,min} \leq p_j^G \leq p_j^{G,max}, \forall j \in N \quad (1e)$$

$$q_j^{G,min} \leq q_j^G \leq q_j^{G,max}, \forall j \in N \quad (1f)$$

$$-P_{ij}^{max} \leq P_{ij} \leq P_{ij}^{max}, \forall (i,j) \in L \quad (1g)$$

Δ. Οριακές συνθήκες SE

$$w_1 = 1 \quad (1h)$$

$$p_1^G = p^{se}, q_1^G = q^{se} \quad (1i)$$

Όπου, i και j είναι οι δείκτες λεωφορείων που κυμαίνονται από 1 έως N . Το μοντέλο (1) παρουσιάζεται για μία μόνο περίοδο για λόγους απλότητας. Η ροή ισχύος δίνεται από το (1a)-(1γ). Τα όρια τάσης, η χωρητικότητα της γραμμής και τα όρια κατανεμημένης παραγωγής δίνονται από το (1d)-(1g). Ο πρώτος δίαυλος, με δείκτη 1, δεσμεύεται για τη σύνδεση του υποσταθμού (SE). Τα όρια ορίων στο SE δίνονται από το (1h)-(1i).

Σ' ότι αφορά τους τρόπους φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων παίρνουμε στοιχεία από το διεθνές πρότυπο IEC 61851, που σχετίζεται με το σύστημα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, τα βύσματα και τις πρίζες. Αυτό το πρότυπο παρέχει μια ταξινόμηση του τύπου του φορτιστή, της ονομαστικής του

ισχύος καθώς και του χρόνου επαναφόρτισης. Σύμφωνα με το IEC 61851-1 [16], τέσσερις τρόποι λειτουργίας φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων συνοψίζονται στο Σχήμα 1.

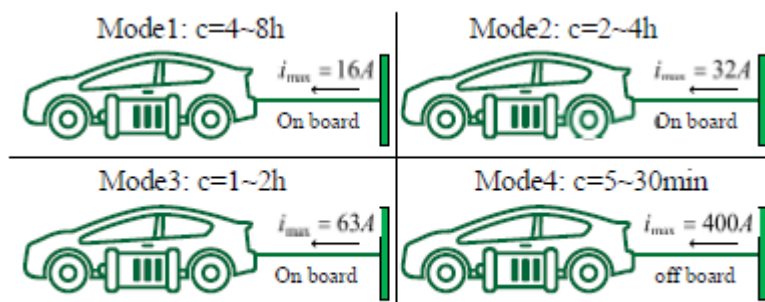


Fig. 1. Charging modes according to IEC 61851-1.

Εικόνα 1. Τρόποι φόρτισης σύμφωνα με το ΠΡΟΤΥΠΟ IEC 61851-1

Σ' ότι αφορά τα μοτίβα φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, σε αυτή τη μελέτη η ισχύς φόρτισης EV προτείνεται ως ορθογώνιο σχήμα (σταθερή ισχύς). Ο χρόνος έναρξης φόρτισης εν, sn, και το χρονικό διάστημα φόρτισης EV, cn, μοντελοποιούνται ως διακριτές αβέβαιες παράμετροι, της διαδικασίας φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές του χρονικού διαστήματος φόρτισης, cn, συσχετίζονται με δύο παραμέτρους [11]:

- τους τρόπους λειτουργίας φόρτισης. και
- την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας EVs (SOC) στο sn.

Σε αυτό το έγγραφο, η συγκεντρωτική ζήτηση φόρτισης σε ένα EVCS σχετίζεται με στοχαστικές συμπεριφορές φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Η τιμή του sn θεωρείται ως αβέβαιη μεταβλητή για το βήμα τοποθέτησης. Ωστόσο, στο πρόβλημα του βήματος λειτουργίας, το cn θεωρείται επίσης ως μια άλλη αβέβαιη μεταβλητή. Αυτές οι μεταβλητές αβεβαιότητας μοντελοποιούνται από μια συνάρτηση Gaussian, κατανομής πιθανότητας [11], και ο υπολογισμός της φόρτισης EV σε EVCS ($p^c(t)$) ορίζεται σύμφωνα με το (2).

$$p^c(t) = P(t) \cdot n(t) \quad (2)$$

Όπου, P(t) είναι προκαθορισμένα ηλεκτρικά οχήματα που καταναλώνουν ισχύ για κάθε χρονικό διάστημα και υποτίθεται ότι είναι τα ίδια για κάθε λειτουργία σύμφωνα με το πρότυπο IEC 661851, n(t) είναι ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων που φορτίζονται σε κάθε χρονικό διάστημα.

Σ' ότι αφορά την διανυσματική και ενεργειακή ικανότητα λήψης αποφάσεων, το στοχαστικό φορτίο φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων αλλάζει το μοτίβο ροής ισχύος στα συστήματα διανομής όταν ένα EVCS κατασκευάζεται στο δίαυλο j. Αυτό το πρόσθετο φορτίο προκαλεί πρόσθετες απώλειες στον υποσταθμό. Ως εκ τούτου, οι περιορισμοί ισχύος των υποσταθμών σε κάθε ζυγό πρέπει να ικανοποιούνται σύμφωνα με τις ακόλουθες εξισώσεις.

Μαθηματικό μοντέλο 2 : Επίδραση της τοποθέτησης του EVCS στη δυναμικότητα ισχύος του υποσταθμού.

$$I_j^{cs} = \begin{cases} 1, & \text{Το EV είναι εγκατεστημένο} \\ 0, & \text{Το EV ΔΕΝ είναι εγκατεστημένο} \end{cases} \quad (3a)$$

$$p_j^G(t) = p^c(t) \cdot I_j^{cs} + p_j^{fix}(t) \quad (3b)$$

$$0 \leq p_j^G(t) \leq p_j^{G,max} \quad (3c)$$

Όπου, I_j^{cs} είναι μια δυαδική μεταβλητή απόφασης στην οποία το 1 σημαίνει τοποθέτηση του EVCS στο λεωφορείο j. Η παραγόμενη ισχύς στο λεωφορείο j ($p_j^G(t)$) θα πρέπει να ισούται με το ($p_j^G(t)$) άθροισμα της ζήτησης φορτίου ($p_j^{fix}(t)$) φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και των σταθερών απαιτήσεων φορτίου εκτός EV στο λεωφορείο j.

Σ' ότι αφορά τις αντικειμενικές λειτουργίες, η αξιολόγηση της βέλτιστης τοποθέτησης λειτουργίας και οικονομικής ανάλυσης του EVCS, (το πρόβλημα) διατυπώνεται ως μοντέλο LP δύο βημάτων. Στόχος του πρώτου βήματος είναι η κάλυψη της ζήτησης φορτίου εκτός EV και της τοποθέτησης EVCS με το χαμηλότερο κόστος (4a). Ενώ, το δεύτερο βήμα καθορίζει τη βέλτιστη λειτουργία του EVCS όσον αφορά τις μεταβλητές αβεβαιότητας (4b).

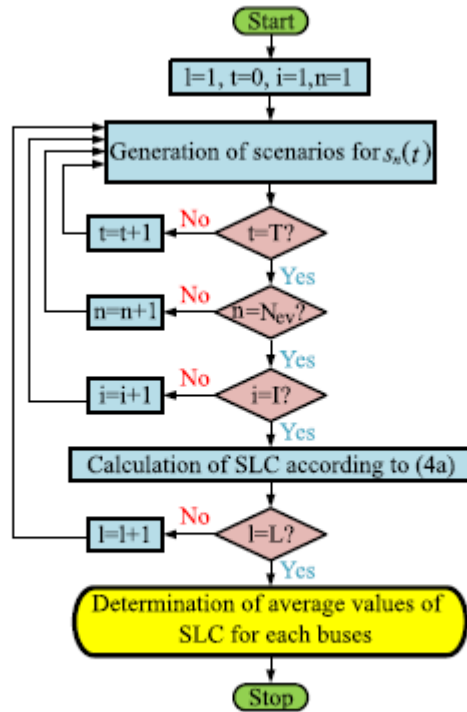


Fig. 2. Optimal placement (the first step) in the proposed two-step approach.

Εικόνα 3.4.1.2. Βέλτιστη τοποθέτηση (το πρώτο βήμα) στην προτεινόμενη προσέγγιση δύο

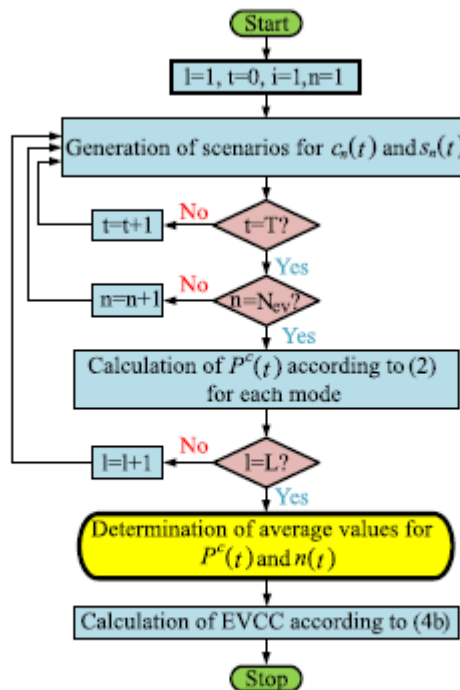


Fig. 3. Optimal operation (the second step) in the proposed two-step approach.

Εικόνα 3.4.1.3. Βέλτιστη λειτουργία (το δεύτερο βήμα) στην προτεινόμενη προσέγγιση δύο

Μαθηματικό μοντέλο 3: Βέλτιστοι στόχοι λειτουργίας και τοποθέτησης

$$SLC_J = \sum_{t=1}^T p_J^G(t) \pi(t) \quad (4a)$$

$$EVCC = \sum_{t=1}^T p^c(t) \pi(t) \quad (4b)$$

Όπου, $\pi(t)$ είναι η τιμή της ενέργειας. Το κόστος της αγορασμένης ισχύος από το δίκτυο ($SLC(\$)$) καθορίζει τον βέλτιστο ζυγό για την τοποθέτηση ενcs. Έτσι, η (4a) εφαρμόζεται για την τοποθέτηση ενcs σε διάφορα λεωφορεία. Κατά συνέπεια, ο διάυλος με ελάχιστο SLC επιλέγεται ως βέλτιστος ζυγός για την τοποθέτηση ενcs. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται το σημείο (4b) για τον προσδιορισμό του βέλτιστου τρόπου λειτουργίας του EVCS μεταξύ τεσσάρων τρόπων φόρτισης. Κατά συνέπεια, η λειτουργία με το χαμηλότερο κόστος EV CC(\$), επιλέγεται ως βέλτιστος τρόπος λειτουργίας. Πράγματι, αυτές οι αντικειμενικές λειτουργίες ελαχιστοποιούν το κόστος των κατόχων EVCS. Τα διαγράμματα ροής στα σχήματα 2 και 3 αντιπροσωπεύουν την προτεινόμενη προσέγγιση δύο βημάτων. Σε αυτά τα διαγράμματα ροής L και N_{ev} είναι ο συνολικός αριθμός των σεναρίων που δημιουργούνται και των ηλεκτρικών οχημάτων, αντίστοιχα.

Αυτή η εργασία παρουσιάζει μια απλή και αποτελεσματική προσέγγιση για τη βέλτιστη τοποθέτηση και λειτουργία των EVCS για διάφορους τρόπους φόρτισης με βάση την τεχνική βελτιστοποίησης LP. Θεωρούμε το δίκτυο διανομής CIGRE μέσης τάσης ως μελέτη περίπτωσης (Εικ. 4). Η ονομαστική τάση και συχνότητα αυτού του δικτύου είναι 20 kV και 50 Hz, αντίστοιχα. Το προφίλ φορτίου ($LP(t)$) και το προφίλ των τιμών ισχύος ($\pi(t)$) απεικονίζεται στο Σχήμα 5 και στο Σχήμα 6. Άλλοι χαρακτηρισμοί του CIGRE λαμβάνονται από [17].

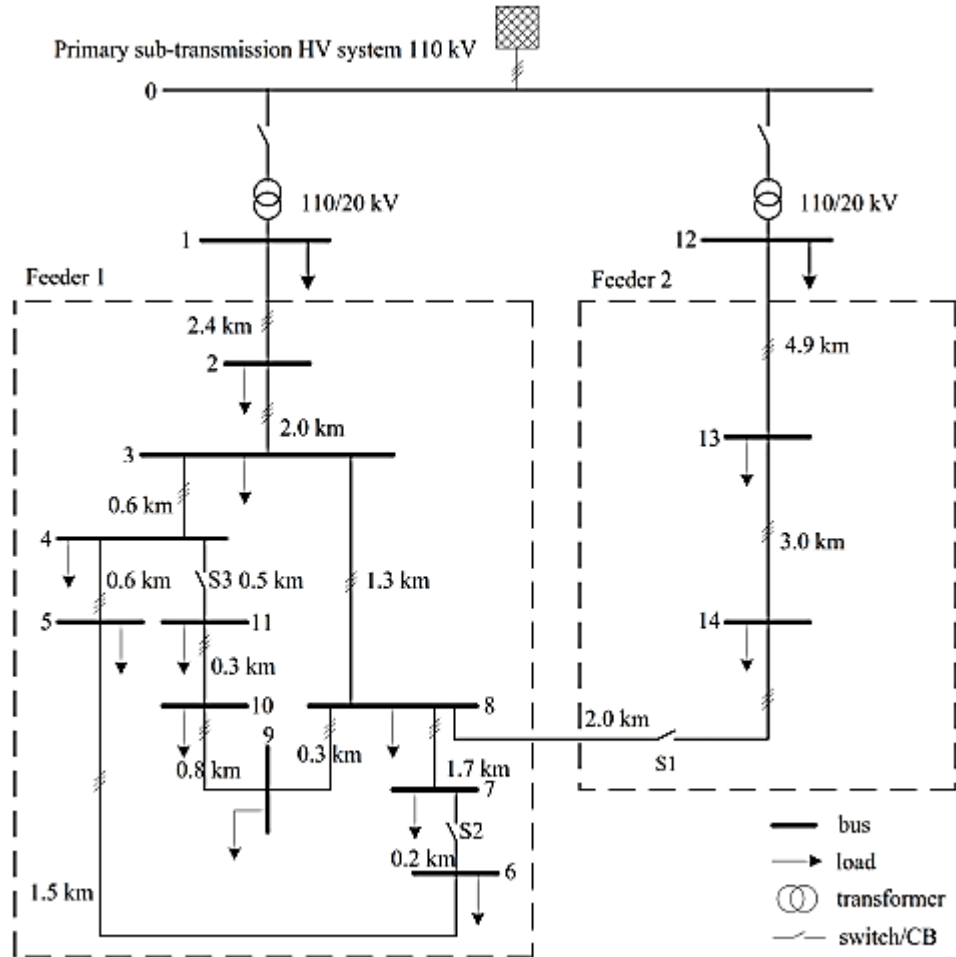


Fig. 4. Schematic of medium voltage CIGRE distribution network.

Εικόνα 3.4.1.4. Σχηματικό σχήμα δικτύου διανομής CIGRE μέσης

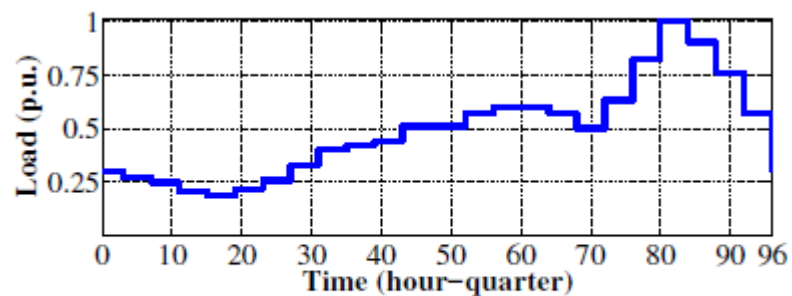


Fig. 5. Daily load profile for residential loads.

Εικόνα 3.4.1.5. Ημερήσιο προφίλ φορτίου για οικιακά

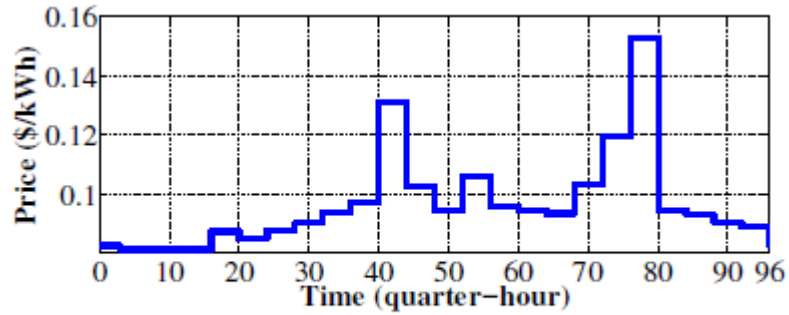


Fig. 6. Daily energy price [18].

Εικόνα 3.4.1.6. Ημερήσια τιμή ενέργειας [18].

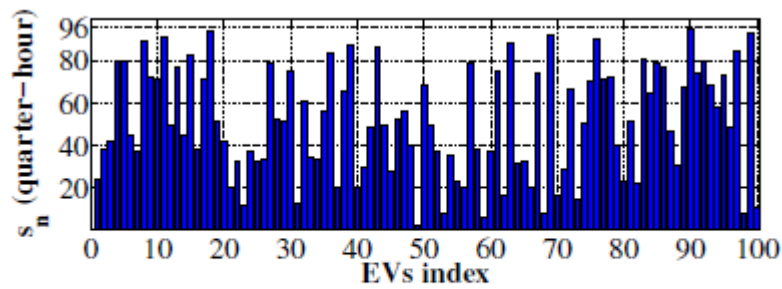


Fig. 7. Illustration of the average values of 10000 scenarios for s_n in the EVCS placement step.

Εικόνα 7. Απεικόνιση των μέσων τιμών των 10000 σεναρίων για το s_n στο βήμα τοποθέτησης evcs.

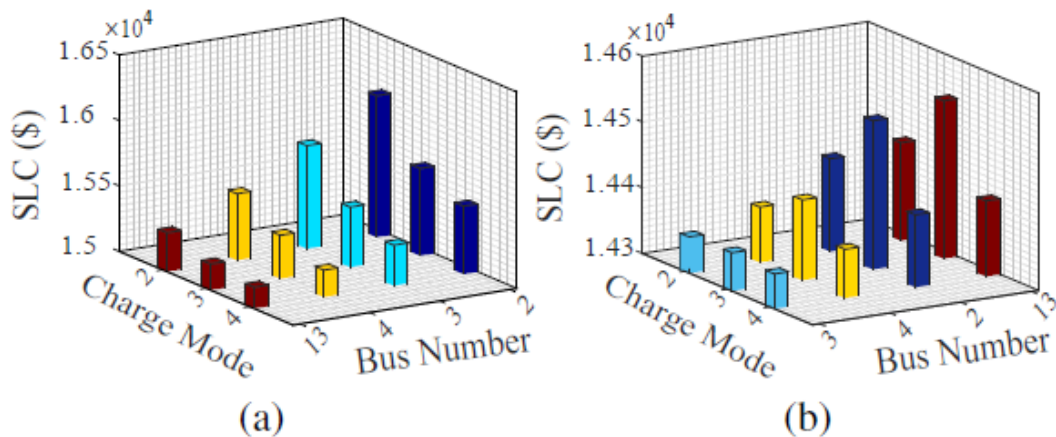


Fig. 8. SLC values of EVCS placement for different states of switches S_1 , S_2 and S_3 . a) All switches are opened. b) All switches are closed.

Εικόνα 3.4.1.8. Τιμές SLC της τοποθέτησης EVCS για διαφορετικές καταστάσεις διακοπών S_1 , S_2 και S_3 . a) Όλοι οι διακόπτες είναι ανοιχτοί. b) Όλοι οι διακόπτες είναι κλειστοί.

Για να αυξηθεί η ακρίβεια, ο χρονικός ορίζοντας διαιρείται σε 96 χρονικά διαστήματα (15 λεπτά), οπότε, $s_n \in [0, 96]$. Επιπλέον, οι τιμές CN σχετίζονται με τους τρόπους λειτουργίας φόρτισης στο Σχήμα 1. Θεωρείται ότι η μέγιστη χωρητικότητα της μπαταρίας ηλεκτρικών οχημάτων είναι 16 kW και ο συνολικός αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων είναι 100. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν χρειάζεται να αναλύσετε τη λειτουργία 1 ως EVCS λόγω του μεγάλου χρόνου φόρτισης.

Τα υπολογιστικά πειράματα διεξάγονται μέσω του λογισμικού GAMS για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων εξόδου της προτεινόμενης μεθόδου. Στο πρώτο βήμα, για να επιτευχθεί η βέλτιστη τοποθέτηση του EVCS, θεωρείται ότι όλες οι μπαταρίες ηλεκτρικών οχημάτων είναι κενές (χειρότερο σενάριο). Έτσι, το SOC όλων των ηλεκτρικών οχημάτων είναι 10% σε s. Για να μοντελοποιήσουμε το s_n , 1000 σενάρια αντλούνται από μια Gaussian κατανομή [11]. Αξίζει να σημειωθεί ότι κάθε κόμβος επιλέγεται καθώς η θέση για evcs είναι μέρος μιας συνδεδεμένης διαδρομής εντός του CIGRE. Για παράδειγμα, το Σχήμα 7 δείχνει τη μέση τιμή των 1000 σεναρίων του s_n .

Το σχήμα 8 δείχνει τις τιμές SLC για τα λεωφορεία 2, 3, 4 και 13 σε δολάρια Ηνωμένων Πολιτειών. Το SLC για άλλα λεωφορεία ήταν υψηλό λόγω των απωλειών γραμμής. Δεν υπήρχε σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματά τους δεν εμφανίζονται.

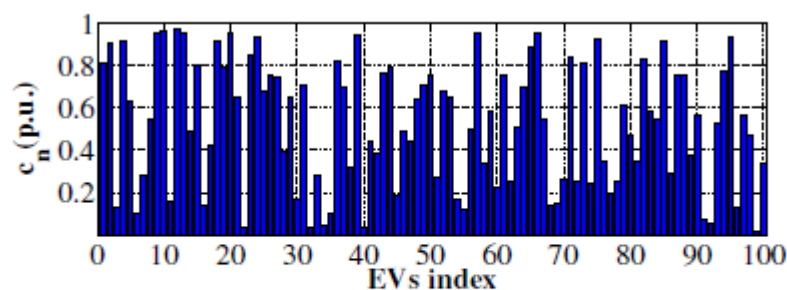


Fig. 9. Illustration of the average values of 10000 scenarios for c_n in EVCS operation step.

Εικόνα 3.4.1.9. Απεικόνιση των μέσων τιμών των 10000 σεναρίων για το c_n στο βήμα

Σύμφωνα με τα σχήματα 8.a και 8.b, η χαμηλότερη SLC επιτυγχάνεται με τα λεωφορεία 13 και 3 όταν όλοι οι διακόπτες ανοίγουν και όλοι οι διακόπτες είναι κλειστοί, αντίστοιχα. Έτσι, επιλέγεται ο καταλληλότερος δίαυλος για τοποθέτηση EVCS από την άποψη που αγοράσατε για όλες τις λειτουργίες φόρτισης.

Μετά τη βέλτιστη τοποθέτηση του EVCS στο πρώτο βήμα, επιλέγεται η βέλτιστη λειτουργία φόρτισης στο δεύτερο βήμα. Από αυτή την άποψη, τόσο το s_n όσο και το c_n έχουν αβεβαιότητα. Στην πραγματικότητα, για την ανάλυση σε πραγματικό χρόνο οι στοχαστικές τιμές θεωρούνται ως αρχικές SOC των μπαταριών EVs. Όπως και το s_n , 1000 σενάρια δημιουργούνται για c_n από το Gaussian PDF ($L = 1000$). Για περισσότερες εξηγήσεις, οι μέσες τιμές των 1000 σεναρίων του c_n εμφανίζονται στο Σχήμα 9.

Οι τιμές των sn και cn έχουν έναν περιορισμό. Πράγματι, το sn είναι στο $[0,96]$. Εν τω μεταξύ, ο περιορισμός του cn σε κάθε τρόπο λειτουργίας είναι σύμφωνα με το Σχήμα 1. Ως εκ τούτου, αυτοί οι περιορισμοί πρέπει να πληρούνται. Το σχήμα 10 δείχνει τον αριθμό των ηλεκτρικών οχημάτων φόρτισης, και του EVCS ζήτησης ισχύος υπό μεταβλητές διπλής αβεβαιότητας. Συγκρίνοντας τα σενάρια του Σχήματος 10, είναι προφανές ότι η μέση ζήτηση ισχύος του EVCS σε διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας έχει διαφορετικές τιμές. Το EVCS λαμβάνεται υπόψη στα διάφορα σενάρια αβεβαιότητας και η προσέγγιση DistFlow εφαρμόζεται για την επίλυσή του. Τα αριθμητικά αποτελέσματα δείχνουν ότι σύμφωνα με αυτά τα σενάρια για το δίκτυο CIGRE μεσαίας τάσης (από το σχήμα 10.α έως το σχήμα 10.γ), ο τρόπος λειτουργίας 2 είναι ο καλύτερος τρόπος λειτουργίας φόρτισης για το σταθμό φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.

Ως αποτέλεσμα, υπολογίζεται ο τρόπος λειτουργίας με ελάχιστο $\$/kW h$. Ο Πίνακας 1 Δείχνει τις τιμές κόστους φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων για τους διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας σε $\$$ ανά $kW h$ όρους. Οι μέσες τιμές ενέργειας για άλλα λεωφορεία ήταν υψηλότερες από αυτές τις τιμές, επομένως τα άλλα αποτελέσματα δεν εμφανίζονται.

Πίνακας 3.4.1.I : Οι τιμές EVCC για διαφορετικά σενάρια τρόπου

Charging operation modes	Mode 2	Mode 3	Mode 4
Average consumed energy (kWh)	839.232	835.296	870.912
EVCC (\$)	84.52	84.36	88.34
Average energy price ($\$/kWh$)	0.1007	0.1009	0.1014

Τρόποι λειτουργίας φόρτισης	Mode 2	Mode 3	Mode 4
Μέση καταναλισκόμενη ενέργεια	839.232	835.296	870.912
EVCC (\$)	84.52	84.36	88.34
Μέση τιμή ενέργειας ($\$/kWh$)	0.1007	0.1009	0.1014

Συμπερασματικά, η ταχεία ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων αναδεικνύει νέες προκλήσεις για τους σταθμούς φόρτισης στα δίκτυα διανομής. Η κατασκευή των EVCS είναι ένα σημαντικό ζήτημα για να ενθαρρυνθούν οι καταναλωτές να προτιμούν ηλεκτρικά οχήματα.

Αυτό το έγγραφο ασχολείται με το πρόβλημα θέσης EVCS σε ένα δίκτυο διανομής CIGRE μέσης τάσης. Χωρίζουμε την τοποθέτηση του EVCS σε τέσσερις λειτουργίες με δύο μεταβλητές αβεβαιότητας. Ο χρόνος έναρξης φόρτισης και το χρονικό διάστημα φόρτισης κάθε EV υπολογίζονται με το Gaussian PDF. Παρουσιάζουμε μια λύση γραμμικού προγραμματισμού δύο βημάτων για να αποφασίσουμε την τοποθέτηση του EVCS και τον τρόπο λειτουργίας φόρτισης του ηλεκτρικού οχήματος που μπορεί να ελαχιστοποιήσει τη μέση τιμή κατανάλωσης ενέργειας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα λεωφορεία 13 και 3 στο μελετημένο δίκτυο είναι τα βέλτιστα μέρη για την κατασκευή EVCS ανάλογα με την κατάσταση των διακοπών. Τα αριθμητικά αποτελέσματα δείχνουν ότι όταν ανοίγουν όλοι οι διακόπτες, η λειτουργία φόρτισης 2 στο ζυγό 13 έχει 0,19% και 0,69% χαμηλότερη τιμή ενέργειας σε σύγκριση με τις λειτουργίες 3, 4, αντίστοιχα. Επίσης, η λειτουργία φόρτισης 3 έχει τη δεύτερη θέση της βέλτιστης λειτουργίας από την άποψη του ενεργειακού κόστους.

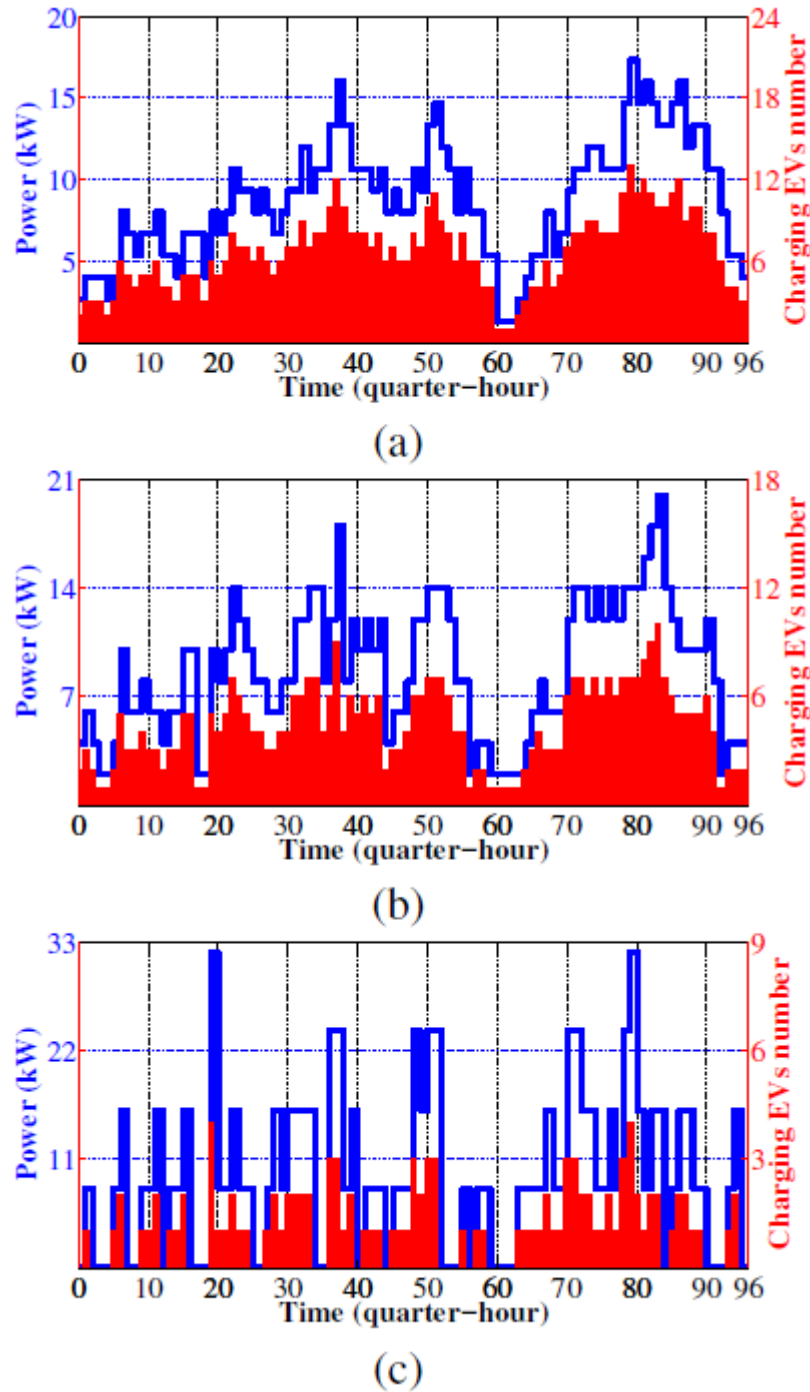


Fig. 10. Operation scenarios for EVCS in a) Mode 2, b) Mode 3, c) Mode 4.

Εικόνα 3.4.1.10. Σενάρια λειτουργίας για evcs σε α) Σενάριο 2, β) Σενάριο 3, γ) Σενάριο 4.

Στα μελλοντικά έργα υπάρχει ανάγκη να ερευνηθεί μια ισορροπία μεταξύ του κόστους και άλλων δεικτών, όπως ο χρόνος αναμονής, ο αριθμός των φορτιστών, οι απώλειες ισχύος, οι διάφορες προδιαγραφές μπαταριών και οι πρόσθετες μεταβλητές αβεβαιότητας.

3.4.1.1. Κατάλογος πινάκων άρθρου 52

Πίνακας Ι : Οι τιμές EVCC για διαφορετικά σενάρια τρόπου λειτουργίας.

3.4.1.2. Κατάλογος εικόνων άρθρου 52

Εικόνα 1. Τρόποι φόρτισης σύμφωνα με το ΠΡΟΤΥΠΟ IEC 61851-1

Εικόνα 2. Βέλτιστη τοποθέτηση (το πρώτο βήμα) στην προτεινόμενη προσέγγιση δύο βημάτων.

Εικόνα 3. Βέλτιστη λειτουργία (το δεύτερο βήμα) στην προτεινόμενη προσέγγιση δύο βημάτων.

Εικόνα 4. Σχηματικό σχήμα δικτύου διανομής CIGRE μέσης τάσης.

Εικόνα 5. Ημερήσιο προφίλ φορτίου για οικιακά φορτία.

Εικόνα 6. Ημερήσια τιμή ενέργειας [18].

Εικόνα 7. Απεικόνιση των μέσων τιμών των 10000 σεναρίων για το sn στο βήμα τοποθέτησης evcs

Εικόνα 8. Τιμές SLC της τοποθέτησης EVCS για διαφορετικές καταστάσεις διακοπών S1, S2 και S3. a) Όλοι οι διακόπτες είναι ανοιχτοί. b) Όλοι οι διακόπτες είναι κλειστοί.

Εικόνα 9. Απεικόνιση των μέσων τιμών των 10000 σεναρίων για το cn στο βήμα λειτουργίας EVCS.

Εικόνα 10. Σενάρια λειτουργίας για evcs σε a) Σενάριο 2, b) Σενάριο 3, c) Σενάριο 4.

3.4.1.3. Βιβλιογραφία άρθρου 52

[1] hmood, J. Khan, U. Farid, M. Majid, Anwar, M. Jawad, and Z. Ullah, “A survey on electric vehicle smart grid system,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 1329–1349, 2018.

[2] H. F. Gharibeh, L. M. Khiavi, M. Farrokhiyar, A. Alahyari, and D. Pozo, “Power management of electric vehicle equipped with battery and supercapacitor considering irregular terrain,” in *IEEE 1st International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (IEEE REEPE)*, 2019.

[3] H. F. Gharibeh, A. S. Yazdankhah, and M. R. Azizian, “Improved energy management for a power-split multi-source fuel cell vehicle based on optimal source sizing and regenerative braking,” in *IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, 2016.

[4] H. Farhadi Gharibeh, A. Sadeghi Yazdankhah, and M. R. Azizian, “Energy efficiency improvement and economical evaluation of electric motorcycle using four-phase AFPM and combination of ultracapacitor and battery,” *Energy Engineering & Management*, vol. 3, no. 4, pp. 24–37, 2014.

[5] C. Luo, Y. Huang, and V. Gupta, “Placement of EV charging stations—balancing benefits among multiple entities,” *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 8, no. 2, pp. 759–768, March 2017.

[6] A. Y. S. Lam, Y. Leung, and X. Chu, “Electric vehicle charging station placement: Formulation, complexity, and solutions,” *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, no. 6, pp. 2846–2856, Nov. 2014.

- [7] X. Wang, C. Yuen, N. U. Hassan, N. An, and W. Wu, “Electric vehicle charging station placement for urban public bus systems,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 18, no. 1, pp.128–139, Jan. 2017.
- [8] A. Rajabi-Ghahnavieh and P. Sadeghi-Barzani, “Optimal zonal fastcharging station placement considering urban traffic circulation,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 66, no. 1, pp. 45–56, Jan. 2017.
- [9] Y. Xiong, J. Gan, B. An, C. Miao, and A. L. C. Bazzan, “Optimal electric vehicle fast charging station placement based on game theoretical framework,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 19, no. 8, pp. 2493–2504, Aug. 2018.
- [10] Y. Tang, J. Zhong, and M. Bollen, “Aggregated optimal charging and vehicle-to-grid control for electric vehicles under large electric vehicle population,” *IET Generation, Transmission Distribution*, vol. 10, no. 8, pp. 2012–2018, 2016.
- [11] O. Beaude, S. Lasaulce, M. Hennebel, and I. Mohand-Kaci, “Reducing the impact of EV charging operations on the distribution network,” *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 7, no. 6, pp. 2666–2679, Nov. 2016.
- [12] A. M. A. Haidar, K. M. Muttaqi, and M. H. Haque, “Multistage timevariant electric vehicle load modelling for capturing accurate electric vehicle behaviour and electric vehicle impact on electricity distribution grids,” *IET Generation, Transmission Distribution*, vol. 9, no. 16, pp 2705–2716, 2015.
- [13] G. Chunlin, Q. Wenbo, W. Li, D. Hang, H. Pengxin, and X. Xiangning, “A method of electric vehicle charging load forecasting based on the number of vehicles,” in *International Conference on Sustainable Power Generation and Supply (SUPERGEN)*, 2012.
- [14] M. Farrokhifar, S. M. Mahaei, J. Jafarzadeh, and M. Gholami, “Distribution networks reconfiguration for loss minimization based on variable behavior of loads and energy cost curves,” in *IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Nov 2013, pp.2022–2026.
- [15] B. Odetayo, J. MacCormack, W. Rosehart, and H. Zareipour, “A chance constrained programming approach to integrated planning of distributed power generation and natural gas network,” *Electric Power Systems Research*, vol. 151, pp. 197–207, Oct. 2017.
- [16] O. Veneri, L. Ferraro, C. Capasso, and D. Iannuzzi, “Charging infrastructures for EV: Overview of technologies and issues,” in *2012 Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship Propulsion*, 2012.
- [17] K. Strunz, R. H. Fletcher, R. Campbell, and F. Gao, “Developing benchmark models for low-voltage distribution feeders,” in *2009 IEEE Power Energy Society General Meeting*, 2009.
- [18] “The independent electricity system operator (ieso),” <http://www.ieso.ca>, accessed: 2019-02-15.

Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές 3^ο Κεφαλαίου.

Μελέτες / Άρθρα / Πηγές από 1 έως 52

- 1_A Consumer Behavior Based Approach to Multi-Stage EV Charging Station Placement
- 2_A Hybrid Multi-Objective Chicken Swarm Optimization and Teaching Learning Based Algorithm for Charging Station Placement Problem
- 3_A Robust Two-Stage Planning Model for the Charging Station Placement Problem Considering Road Traffic Uncertainty
- 4_Active Distribution System Reinforcement Planning With EV Charging Stations—Part I_Uncertainty Modeling and Problem Formulation
- 5_Active Distribution System Reinforcement Planning With EV Charging Stations—Part II_Numerical Results
- 6_AI-Based Approach for Optimal Placement of EVCS and DG With Reliability Analysis
- 7_Allocation of EV Fast Charging Station with V2G Facility in Distribution Network
<https://1drv.ms/b/s!Ao22JrM-jiiqhIUbrV9i5C2TovvKOQ?e=UcMuNI>
- 8_Automate of capacitor placement in microgrid system under EVs load penetration
- 9_Bi-level charging station planning for integrated power distribution and transportation system
- 10_Charging Station Placement for Electric Vehicles_A Case Study of Guwahati City_India
- 11_Combinatorial Optimal Location Design of Charging Stations based on Multi-agent Simulation
- 12_Coordinated Siting and Sizing of Electric Taxi Charging Stations Considering Traffic and Power Systems Conditions
- 13_Electric Vehicle Range Anxiety_An Obstacle for the Personal Transportation (R)evolution_
- 14_Fast Charging Station Placement with Elastic Demand
- 15_Growing the charging station network for electric vehicles with trajectory data analytics
- 16_IoV-Based Deployment and Scheduling of Charging Infrastructure in Intelligent Transportation Systems
- 17_Joint Expansion Planning Studies of EV Parking Lots Placement and Distribution Network
- 18_Joint Optimization of Autonomous Electric Vehicle Fleet Operations and Charging Station Siting
- 19_Modeling of the Network Reconfiguration Considering Electric Vehicle Charging Load
- 20_Multi Objective Optimal Planning of Fast Charging station and Distributed Generators in a Distribution System

21_Multi-objective simultaneous optimal planning of electrical vehicle fast charging stations and DGs in distribution system

22_Optimal Allocation of EV Charging Stations in a Radial Distribution Network Using Probabilistic Load Modeling

23_Optimal allocation of rapid charging stations for electric vehicles

24_Optimal Approach to Provide Electric Vehicles with Charging Service by Using Mobile Charging Stations in Heterogeneous Networks

25_Optimal Capacity Estimation and Allocation of Distributed Generation Units with Suitable Placement of Electric Vehicle Charging Stations

26_Optimal electric vehicle charging stations placement in distribution systems

27_Optimal Electric Vehicle Fast Charging Station Placement Based on Game Theoretical Framework

28_Optimal Photovoltaic System Expansion Based on Electric Vehicle Charging Station in Smart Grid

29_Optimal placement and capacity of distributed generators in medium voltage generic UK network

30_Optimal Placement and Capacity of Electric Vehicle Charging Stations in Urban Areas_Survey and Open Challenges

31_Optimal placement of charging stations using CSO-TLBO algorithm

32_Optimal Placement of DG in the Radial Distribution System for Mitigating the Impact of EV Charging Stations

33_Optimal Placement of Electric Vehicle Charging Station with V2G Provision using Symbiotic Organisms Search Algorithm

34_Optimal Placement of Electric Vehicle Charging Stations in a Distribution Network With Randomly Distributed Rooftop Photovoltaic Systems

35_Optimal Placement of Electric Vehicle Charging Stations in a Distribution Network

36_Optimal Placement of Electric Vehicle Charging Stations in Radial Distribution System along with Reconfiguration

37_Optimal Placement of Electric Vehicle Charging Stations in the Active Distribution Network

38_Optimal Placement of Electric Vehicle Charging Stations in Utility Grid - A Case Study of Kerala State Highway Network

39_Optimal placement of EV fast charging stations considering the impact on electrical distribution and traffic condition

40_Optimal placement of fast charging station in a typical microgrid in Iran

41_Optimal planning of charging station for EVs with PV-BES unit in distribution system using WOA

42_Optimal Sizing and Placement of Multiple Photovoltaics Considering Electric Vehicles Charging Stations

43_Optimal Sizing and Placement of Solar Powered Charging Station under EV loads Penetration using Artificial Bee Colony Technique

44_Optimal Zonal Fast-Charging Station Placement Considering Urban Traffic Circulation

45_Placement of Electric Vehicle Fast Charging Stations using Grey Wolf Optimization in Electrical Distribution Network

46_Placement of Energy Sources for Electric Transportation in Smart Cities

47_Placement of EV charging stations integrated with PV generation and battery storage

48_Placement of EV Charging Stations—Balancing Benefits Among Multiple Entities

49_Planning of EV Fast Charging Station Including DG in Distribution System Using Optimization Technique

50_Reducing power loss considering massive charging station using metaheuristic technique

51_Survivable transportation network design for electric vehicles

52_Two-Step LP Approach for Optimal Placement and Operation of EV Charging Stations

Αναφορές πρότυπο *IEEE* 2006 των άρθρων από 1 έως 52.

- [3.1] Luo, C., Huang, Y.-F., & Gupta, V. (2015). “A Consumer Behavior Based Approach to Multi-Stage EV Charging Station Placement”. *2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*. doi:10.1109/vtcspring.2015.714559
- [3.2] Deb, S., Tammi, K., Gao, X.-Z., Kalita, K., & Mahanta, P. (2020). “A Hybrid Multi-Objective Chicken Swarm Optimization and Teaching Learning Based Algorithm for Charging Station Placement Problem”. *IEEE Access*, 1–1. doi:10.1109/access.2020.2994298
- [3.3] Deb, S., Tammi, K., Gao, X.-Z., Kalita, K., Mahanta, P., & Cross, S. (2021). “A Robust Two-Stage Planning Model for the Charging Station Placement Problem Considering Road Traffic Uncertainty”. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 1–15. doi:10.1109/tits.2021.3058419 .
- [3.4] Ali Ehsan, Qiang Yang (2020) “Active Distribution System Reinforcement Planning With EV Charging Stations—Part I: Uncertainty Modeling and Problem Formulation” *IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY*, VOL. 11, NO. 2, APRIL 2020.
- [3.5] Ali Ehsan, Qiang Yang (2020) “Active Distribution System Reinforcement Planning With EV Charging Stations—Part II: Numerical Results” *IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY*, VOL. 11, NO. 2, APRIL 2020.
- [3.6] MOHD BILAL, M. RIZWAN, IBRAHIM ALSAIDAN (2021) “AI-Based Approach for Optimal Placement of EVCS and DG With Reliability Analysis” *IEEE Digital Object Identifier* 10.1109/ACCESS.2021.3125135
- [3.7] Pal, A., Bhattacharya, A., & Chakraborty, A. K. (2019). “Allocation of EV Fast Charging Station with V2G Facility in Distribution Network”. *2019 8th International Conference on Power Systems (ICPS)*. doi:10.1109/icps48983.2019.906757
- [3.8] Kongjeen, Y., & Buayai, K. (2017). “Automate of capacitor placement in microgrid system under EVs load penetration”. *2017 International Electrical Engineering Congress (iEECON)*. doi:10.1109/ieecon.2017.8075767
- [3.9] Tan, J., Liu, G., Dai, R., & Wang, Z. (2017). “Bi-level charging station planning for integrated power distribution and transportation system”. *2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*. doi:10.1109/ei2.2017.8245744
- [3.10] Deb, S., Tammi, K., Kalita, K., & Mahanta, P. (2019). “Charging Station Placement for Electric Vehicles: a Case Study of Guwahati city, India”. *IEEE Access*, 1–1. doi: 10.1109/access.2019.2931055
- [3.11] Uchida, H., Fujii, H., & Yoshimura, S. (2019). “Combinatorial Optimal Location Design of Charging Stations based on Multi-agent Simulation”. *2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)*. doi:10.1109/itsc.2019.8917400

[3.12] Jean-Michel Clairand, Mario Gonz'alez-Rodr'iguez, Rajesh Kumar (2021) “*Coordinated Siting and Sizing of Electric Taxi Charging Stations Considering Traffic and Power Systems Conditions*” 2021 IEEE Madrid PowerTech | 978-1-6654-3597-0/21/\$31.00 ©2021 IEEE | DOI: 10.1109/PowerTech46648.2021.9495003

[3.13] Pevec, D., Babic, J., Carvalho, A., Ghiassi-Farrokhfal, Y., Ketter, W., & Podobnik, V. (2019). “*Electric Vehicle Range Anxiety: An Obstacle for the Personal Transportation (R)evolution?*” 2019 4th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech). doi:10.23919 /splitech.2019. 878317810.23919/ splitech.2019.8783178 downloaded on 2019-08-02

[3.14] Dait, W., Lit, Y., Gan, X., & Xie, G. (2018). “*Fast Charging Station Placement with Elastic Demand*”. 2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM) .doi: 10.1109/ glocom. 2018.8647556 10.1109/glocom.2018.8647556 downloaded on 2019-07-22

[3.15] Li, Y., Luo, J., Chow, C.-Y., Chan, K.-L., Ding, Y., & Zhang, F. (2015). “*Growing the charging station network for electric vehicles with trajectory data analytics*”. 2015 IEEE 31st International Conference on Data Engineering. doi: 10.1109 /icde. 2015. 7113384

[3.16] Ejaz, W., Naeem, M., Sharma, S. K., Khattak, A. M., Ramzan, M. R., Ali, A., & Anpalagan, A. (2020). “*IoV-based Deployment and Scheduling of Charging Infrastructure in Intelligent Transportation Systems*”. IEEE Sensors Journal, 1–1. doi:10.1109/jsen.2020.3006706

[3.17] Mozaffari, M., Askarian Abyaneh, H., Jooshaki, M., & Moeini-Aghaie, M. (2020). “*Joint Expansion Planning Studies of EV Parking Lots Placement and Distribution Network*”. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 1–1. doi: 10.1109/tii.2020.2964049 10.1109/tii.2020.2964049 downloaded on 2020-01-16.

[3.18] Justin Luke, Mauro Salazar, Ram Rajagopal, and Marco Pavone (2021) “*Joint Optimization of Autonomous Electric Vehicle Fleet Operations and Charging Station Siting*” arXiv:2107.00165v2 [eess.SY] 21 Jul 2021.

[3.19] Wan Izzat Aiman Bin Wan, Azrin Bin Saedi, Mohamad Heerwan Bin Peeie, Mohd Shahrin Bin Abu Hanifah (2021) “*Modeling of the Network Reconfiguration Considering Electric Vehicle Charging Load*” 2021 8th International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE) |978-1-7281-1065-3 /20/\$31.00 © 2021 IEEE | DOI: 10.1109/ICCCE50029.2021.9467143

[3.20] Ajit Kumar Mohanty, Dr. P Suresh Babu (2021) “*Multi Objective Optimal Planning of Fast Charging station and Distributed Generators in a Distribution System*” 2021 IEEE 2nd International Conference on Electrical Power and Energy Systems (ICEPES) MANIT, Bhopal, India. Dec 10-11, 2021

[3.21] BATTAPOTHULA, G., YAMMANI, C., & MAHESWARAPU, S. (2019). “*Multi-objective simultaneous optimal planning of electrical vehicle fast charging stations and DGs in distribution system*”. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy. doi:10.1007/s40565-018-0493-2 10.1007/s40565-018-0493-2 downloaded on 2019-01-12

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
[3.22] Arindam Sadhukhan, Md Samar Ahmad, and S. Sivasubramani (2022) “*Optimal Allocation of EV Charging Stations in a Radial Distribution Network Using Probabilistic Load Modeling*” 2021 IEEE. Personal use is permitted, but republication/redistribution requires IEEE permission. Authorized licensed use limited to: University of West Attica. Downloaded on April 28,2022

[3.23] Islam, M. M., Mohamed, A., & Shareef, H. (2015). *Optimal allocation of rapid charging stations for electric vehicles. 2015 IEEE Student Conference on Research and Development (SCOReD)*. doi:10.1109/ scored.2015. 7449360 10.1109 /scored.2015. 7449360.

[3.24] Chen, H., Su, Z., Hui, Y., & Hui, H. (2016). “*Optimal Approach to Provide Electric Vehicles with Charging Service by Using Mobile Charging Stations in Heterogeneous Networks*”. 2016 IEEE 84th Vehicular Technology Conference (VTC- Fall) . doi : 10.1109/vtcfall.2016.7881135 .

[3.25] Pavitra Sharma, Akhilesh Kumar Mishra, Puneet Mishra, Hitesh Dutt Mathur (2021) “*Optimal Capacity Estimation and Allocation of Distributed Generation Units with Suitable Placement of Electric Vehicle Charging Stations*” 2021 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP) | 978-1-6654-0026-8/21/\$31.00 ©2021 IEEE | DOI: 10.1109/TENSYP52854.2021.9550958

[3.26] Chun-Lien Su, Rong-Ceng Leou, Jun-Chang Yang, & Chan-Nan Lu. (2013). “*Optimal electric vehicle charging stations placement in distribution systems*”. IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. doi:1 0.1109 / iecon.2013.6699459 10.1109/iecon.2013.6699459

[3.27] Xiong, Y., Gan, J., An, B., Miao, C., & Bazzan, A. L. C. (2018). “*Optimal Electric Vehicle Fast Charging Station Placement Based on Game Theoretical Framework*”. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 19(8), 2493–2504. doi:10.1109/tits.2017.2754382 10.1109/tits.2017.2754382

[3.28] Liu, C., Yu, X., & Wen, G. (2020). “*Optimal Photovoltaic System Expansion Based on Electric Vehicle Charging Station in Smart Grid*”. 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). doi: 10.1109/ isie45063.2020. 9152464 10.1109/isie45063.2020.9152464 downloaded on 2020-08-11

[3.29] Khairuddin, N. A. M., & Cipcigan, L. M. (2016). “*Optimal placement and capacity of distributed generators in medium voltage generic UK network*”. 2016 51st International Universities Power Engineering Conference (UPEC). doi: 10.1109/upec.2016.8114027

[3.30] Aljaidi, M., Aslam, N., & Kaiwartya, O. (2019). “*Optimal Placement and Capacity of Electric Vehicle Charging Stations in Urban Areas: Survey and Open Challenges*”. 2019 IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology (JEEIT). doi: 10.1109/jeeit.2019.8717412 10.1109 / jeeit.2019.8717412.

[3.31] Sanchari Deb, Karuna Kalita, Xiao-Zhi Gao, Kari Tammi, Pinakeshwar Mahanta (2017) “*Optimal placement of charging stations using CSOTLBO algorithm*” IEEE 978-1-5386-1931-5/17/\$31.00 ©2017 .

[3.32] Gayathri Pedda, Prof P. Sangameshwara Raju (2021) “*Optimal Placement of DG in the Radial Distribution System for Mitigating the Impact of EV Charging Stations*” 2021 IEEE Bombay Section Signature Conference (IBSSC) | 978-1-6654-1758-7/21 /\$31.00 ©2021 IEEE | DOI: 10.1109/IBSSC53889.2021.9673405.

[3.33] Raj Chakraborty, Diptanu Das, Priyanath Das (2022) “*Optimal Placement of Electric Vehicle Charging Station with V2G Provision using Symbiotic Organisms Search Algorithm*” 2022 IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS) | 978-1-6654-1418-0/22/\$31.00 ©2022 IEEE | DOI: 10.1109/SCEECS54111.2022.9740988

[3.34] WILLY STEPHEN TOUNSI FOKUI, MICHAEL J. SAULO, AND LIVINGSTONE NGOO (2021) “*Optimal Placement of Electric Vehicle Charging Stations in a Distribution Network With Randomly Distributed Rooftop Photovoltaic Systems*” Received September 2, 2021, accepted September 12, 2021, date of publication September 14, 2021, date of current version October 4, 2021.

[3.35] Sadhukhan, A., Sivasubramani, S., & Ahmad, M. S. (2019). “*Optimal Placement of Electric Vehicle Charging Stations in a Distribution Network*”. 2019 8th International Conference on Power Systems (ICPS). doi: 10.1109/icps48983.2019.9067670 10.1109/icps48983.2019.9067670

[3.36] Reddy, M. S. K., & Selvajyothi, K. (2019). “*Optimal Placement of Electric Vehicle Charging Stations in Radial Distribution System along with Reconfiguration*”. 2019 IEEE 1st International Conference on Energy, Systems and Information Processing (ICESIP). doi:10.1109/icesip46348.2019.8938164 10.1109/icesip46348.2019.8938164

[3.37] Zeb, M. Z., Imran, K., Khattak, A., Janjua, A. K., Pal, A., Nadeem, M., ... Khan, S. (2020). “*Optimal Placement of Electric Vehicle Charging Stations in the Active Distribution Network*”. IEEE Access, 8, 68124– 68134. doi: 10.1109/access.2020.2984127

[3.38] Aneesh Rajendran, Hari Kumar R (2022) “*Optimal Placement of Electric Vehicle Charging Stations in Utility Grid - A Case Study of Kerala State Highway Network*” 2022 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid, and Renewable Energy (PESGRE) | 978-1-6654-4837-6/22/\$31.00 ©2022 IEEE | DOI: 10.1109/PESGRE52268.2022.9715934

[3.39] Prakornchai Phonrattanasak, Nopbhorn Leeprechanon (2022) “*Optimal Placement of EV Fast Charging Stations Considering the Impact on Electrical Distribution and Traffic Condition*” Authorized licensed use limited to: University of West Attica. Downloaded on April 28,2022

[3.40] Rastegarfar, N., Kashanizadeh, B., Vakilian, M., & Barband, S. A. (2013). “*Optimal placement of fast charging station in a typical microgrid in Iran*”. 2013 10th International Conference on the European Energy Market (EEM). doi: 10.1109/eem.2013.6607284

[3.41] Kasturi, K., & Nayak, M. R. (2017). “*Optimal planning of charging station for EVs with PV-BES unit in distribution system using WOA*”. 2017 2nd International Conference on Man and Machine Interfacing (MAMI). doi: 10.1109/mami.2017.8307866

[3.42] Abdelfatah Ali, Karar Mahmoud, Mostafa F. Shaaban, Matti Lehtonen (2021) “*Optimal Sizing and Placement of Multiple Photovoltaics Considering Electric Vehicles*” 2021 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN) | 978-1-6654-0078-7/21/\$31.00 ©2021 IEEE | DOI: 10.1109/SIELMEN53755.2021.9600359 Charging Stations.

[3.43] Kongjeen, Y., Yenchanhalit, K., & Bhumkittipich, K. (2018). “*Optimal Sizing and Placement of Solar Powered Charging Station under EV loads Penetration using Artificial Bee Colony Technique*”. 2018 International Power Electronics Conference (IPEC-Niigata 2018 -ECCE Asia). doi:10.23919/ipecc.2018.8508028

[3.44] RAJABI-GHAHNAVIEH, A., & Sadeghi-Barzani, P. (2016). “*Optimal Zonal Fast Charging Station Placement Considering Urban Traffic Circulation*”. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 1–1. doi:10.1109/tvt.2016.2555083

[3.45] Fareed Ahmad, Atif Iqbal, Imtiaz Ashraf, Mousa Marzband, Irfan Khan (2022) “*Placement of Electric Vehicle Fast Charging Stations using Grey Wolf Optimization in Electrical Distribution Network*” *2022 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid, and Renewable Energy (PESGRE)* | 978-1-6654-4837-6/22/\$31.00 ©2022 IEEE | DOI: 10.1109/PESGRE52268.2022.9715842

[3.46] Nahrstedt, K., & Chang, S. (2016). “*Placement of Energy Sources for Electric Transportation in Smart Cities*”. *2016 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)*. doi:10.1109/smartcomp.2016.750171

[3.47] Zhang, B., Qin Yan, & Kezunovic, M. (2017). “*Placement of EV charging stations integrated with PV generation and battery storage*”. *2017 Twelfth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)*. doi: 10.1109/ever.2017.7935870

[3.48] Luo, C., Huang, Y.-F., & Gupta, V. (2015). “*Placement of EV Charging Stations--Balancing Benefits Among Multiple Entities*”. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 1–10. doi:10.1109/tsg.2015.2508740

[3.49] Singh, D. K., & Bohre, A. K. (2020). “*Planning of EV Fast Charging Station Including DG in Distribution System Using Optimization Technique*”. *2020 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*. doi:10.1109/pedes49360.2020.93793

[3.50] Syed Nasir, Wan Yusoff, JJ Jamian, R Ayop (2021) “*Reducing power loss considering massive charging station using metaheuristic technique*” *2021 IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON)* |978-1-6654-0129-6/21/\$31.00 ©2021 IEEE |DOI: 0.1109/CENCON51869.2021.9627265

[3.51] Thakur, S., & De Gasperis, G. (2016). “*Survivable transportation network design for electric vehicles*”. *2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*. doi:10.1109/eeeic.2016.7555848

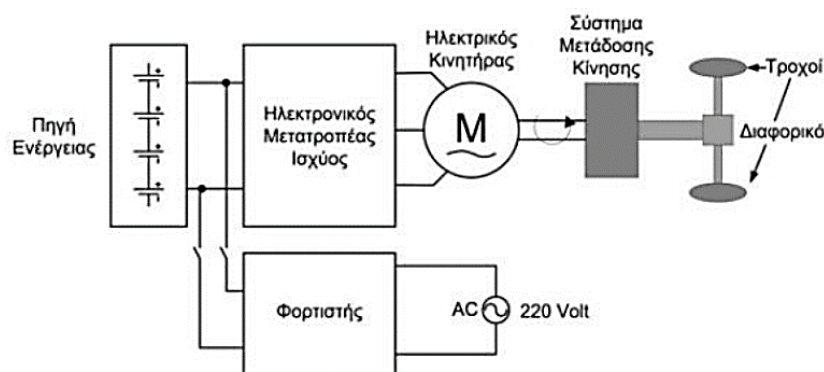
[3.52] Faridpak, B., Gharibeh, H. F., Farrokhifar, M., & Pozo, D. (2019). “*Two-Step LP Approach for Optimal Placement and Operation of EV Charging Stations*”. *2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT- Europe)*. doi: 10.1109/isgteurope.2019.89054

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Προσέγγιση στο πρόβλημα βέλτιστης θέσης σταθμού φόρτισης

4.0 Εισαγωγή Κεφαλαίου 4

Στο κεφάλαιο αυτό λαμβάνει χώρα η ανάλυση της μελέτης ροής ισχύος, με την απεικόνιση του μοντέλου στοιχείων ενός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας, καθώς επίσης και η παρουσίαση των βασικότερων εξισώσεων ροών ισχύος. Στην συνέχεια ακολουθεί το πρόβλημα της βέλτιστης ροής ισχύος (OPF) περιλαμβάνοντας τους βασικότερους περιορισμούς του προβλήματος.

Το κύριο στοιχείο που διαφοροποιεί τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα από τα υβριδικά είναι η απουσία μηχανής εσωτερικής καύσης. Η ενέργεια του οχήματος προέρχεται από καθαρά ηλεκτρική πηγή και η κίνηση του οχήματος βασίζεται αποκλειστικά σε έναν ή περισσότερους ηλεκτρικούς κινητήρες. Στην **Εικόνα 4.1** παρουσιάζεται ένα απλουστευμένο διάγραμμα των κύριων λειτουργικών τμημάτων ενός ηλεκτρικού οχήματος.



Εικόνα 4.1 : Διάγραμμα Κυρίων Μερών ενός Ηλεκτροκίνητου Οχήματος

- **Πηγή Ηλεκτρικής Ενέργειας:** Είναι το τμήμα του ηλεκτρικού οχήματος που τροφοδοτεί με ενέργεια το υπόλοιπο σύστημα. Το τμήμα αυτό λειτουργεί είτε ως πηγή είτε ως αποθήκη ηλεκτρικής ενέργειας είτε ως συνδυασμός και των δύο. Για την αποθήκευση ενέργειας χρησιμοποιούνται συσσωρευτές, ενώ η φόρτισή τους συνήθως γίνεται με ηλεκτρονικούς μετατροπείς όπου μετατρέπουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές.
- **Ηλεκτρονικός Μετατροπέας:** Το τμήμα αυτό είναι υπεύθυνο για την κατάλληλη μετατροπή της τάσεως της πηγής ώστε να τροφοδοτήσει τον κινητήρα. Επιπλέον ελέγχει και τη λειτουργία του οχήματος ελέγχοντας ουσιαστικά την ταχύτητα και τη ροπή του κινητήρα.
- **Ηλεκτρικός Κινητήρας:** Ο κινητήρας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική η οποία είναι απαραίτητη για την κίνηση του οχήματος.
- **Σύστημα Μετάδοσης Κίνησης:** Το μηχανολογικό αυτό τμήμα του οχήματος μεταδίδει την κίνηση στους τροχούς μέσω του διαφορικού του οχήματος προσαρμόζοντας κατάλληλα τη ροπή και την ταχύτητα.

Ένα από τα βασικότερα μέρη του Ηλεκτρικού Οχήματος, αν όχι το βασικότερο, είναι η συστοιχία ηλεκτροχημικών συσσωρευτών. Οι ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές μετατρέπουν την χημική ενέργεια σε ηλεκτρική. Αυτό επιτυγχάνεται με την ύπαρξη δύο διαφορετικών στοιχείων, την *άνοδο* και την *κάθοδο* που αντιδρούν μέσα σε έναν ηλεκτρολύτη. Τα στοιχεία αυτά ανταλλάσσουν ηλεκτρόνια, τα ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Ιωάννης Τσεπεντζής

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
οποία κινούμενα δίνουν το απαιτούμενο ηλεκτρικό ρεύμα. Τα τελευταία χρόνια επενδύονται σημαντικά κεφάλαια και παρουσιάζεται παγκοσμίως έντονη επιστημονική δραστηριότητα για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών υφιστάμενων τύπων συσσωρευτών ή/και την επινόηση νέων.

Στην κατασκευή οποιουδήποτε οχήματος τόσο ο όγκος όσο και η μάζα αποτελούν παράγοντες, που ελέγχονται αυστηρά, και επιδιώκεται η βέλτιστη αξιοποίησή τους. Στόχος είναι η ευρεία παραγωγή συσσωρευτών με μικρότερο κόστος, μεγαλύτερη χωρητικότητα και ισχύ, καθώς και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Η ανοχή σε ακραίες συνθήκες λειτουργίας είναι επίσης απαραίτητο χαρακτηριστικό, καθώς πρέπει να εξασφαλισθεί η ομαλότητα σε μεγάλο εύρος συνθηκών. Η αντοχή στους κύκλους φόρτισης-αποφόρτισης που υποδεικνύει πόσες φορές μπορεί να γίνει αυτός ο κύκλος χωρίς να πέσει σε μη αποδεκτά επίπεδα η απόδοση της μπαταρίας είναι επίσης πολύ σημαντική. Παρόλα αυτά θα πρέπει όλα τα παραπάνω να επιτευχθούν στα πλαίσια ενός αποδεκτού κόστους. Η ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο απαιτεί ριζικές αλλαγές στο ήδη υπάρχον. Οι αλλαγές αυτές θα πρέπει να γίνουν με γνώμονα τις ενεργειακές ανάγκες των καταναλωτών αλλά ταυτόχρονα λαμβάνοντας υπόψιν τις απαιτήσεις του δικτύου για την ασφαλή και ομαλή λειτουργία του.

Οι ενεργειακές ανάγκες των ηλεκτρικών οχημάτων καθορίζονται από την ημερήσια μετακίνηση τους, δηλαδή τις ημερήσιες αποστάσεις που διανύονται και την κυκλοφοριακή συμπεριφορά του χρήστη. Η ημερήσια μετακίνηση και η κυκλοφοριακή συμπεριφορά τους δεν μπορούν να προσδιοριστούν με ντετερμινιστικό τρόπο και ως εκ τούτου ο προσδιορισμός του φορτίου φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων δεν μπορεί να γίνει με ντετερμινιστικές μεθόδους. Επιπρόσθετα, οι τεχνικές προδιαγραφές του στόλου ηλεκτρικών οχημάτων (η τεχνολογία των οχημάτων, η κατανάλωση του ανά χιλιόμετρο κτλ.), και των υποδομών φόρτισης (επίπεδο φόρτισης, απώλειες μεταφοράς ισχύος κτλ) καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την καμπύλη της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Το σύνολο των παραμέτρων που καθορίζουν την καμπύλη ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να χωριστεί σε δύο υποσύνολα, σύμφωνα με τη φύση της εκάστοτε παραμέτρου, όπως συνοψίζονται παρακάτω:

Σταθερές παράμετροι:

- ✓ Επίπεδο διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων
- ✓ Κατηγοριοποίηση των ηλεκτρικών οχημάτων
- ✓ Χωρητικότητα μπαταρίας
- ✓ Τεχνολογίες σταθμών φόρτισης (επίπεδο 1, 2 και 3)
- ✓ Διαθεσιμότητα φόρτισης (σπίτι, σπίτι/χώρος εργασίας)
- ✓ Απώλειες φόρτισης
- ✓ Στρατηγική φόρτισης (Μη ελεγχόμενη, Ελεγχόμενη με διζωνικό τιμολόγιο, Ελεγχόμενη φόρτιση, V2G)

Πιθανοτικές παράμετροι:

- ✓ Ημερήσια απόσταση που διανύεται
- ✓ Συνδεσιμότητα των οχημάτων (ώρα άφιξης/αναχώρησης)

Η ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων κάνει επιτακτική ανάγκη για καθιέρωση και τυποποίηση συγκεκριμένων στρατηγικών φόρτισης ανάλογα με παράγοντες όπως ο πληθυσμός της περιοχής, η εποχή, οι συνθήκες των οδών κτλ, ώστε να αποφευχθούν ανεπιθύμητες παρενέργειες με όσο τον δυνατόν λιγότερες επεμβατικές αλλαγές. Η αύξηση της ζήτησης σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας συνεπάγεται και την αύξηση των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, όταν το ποσοστό διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων είναι ιδιαίτερα υψηλό, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να μεταβληθεί αναλόγως με το προφίλ της ζήτησης για την πλήρη φόρτιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Αντιθέτως η μείωση της αιχμής ζήτησης από τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων συνεισφέρει στην μείωση των αιχμών του φορτίου ενός δικτύου διανομής, στη μείωση των απωλειών των γραμμών και αυξάνει τον μέγιστο αριθμό οχημάτων που μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο χωρίς

να απαιτούνται επενδύσεις αναβάθμισης του δικτύου. Επιπρόσθετα, για μεγάλα ποσοστά διείσδυσης η μείωση της αιχμής ζήτησης των οχημάτων σε μακροσκοπικό επίπεδο (σύστημα παραγωγής) συνεισφέρει στην οικονομικότερη λειτουργία του δικτύου ενέργειας (δεδομένου ότι απότομη αύξηση του φορτίου συνεπάγεται απότομη αύξηση των τιμών αγοράς ενέργειας). Όσον αφορά την επίδραση που θα έχει η διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η πολιτική φόρτισης που θα επιλεγεί από τους χρήστες. Οι στρατηγικές φόρτισης χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- ✓ Μη Ελεγχόμενη Φόρτιση (*Dumb Charging*)
- ✓ Φόρτιση Πολλαπλής Χρέωσης (*Multiple Tariff Charging*)
- ✓ Ελεγχόμενη Φόρτιση (*Valley-Filling*)

Μη Ελεγχόμενη Φόρτιση (*Dumb Charging*) :

Αποτελεί τη μη σχεδιασμένη σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι οι ιδιοκτήτες των ηλεκτρικών οχημάτων είναι ελεύθεροι να φορτίσουν τα οχήματά τους οποιαδήποτε στιγμή χωρίς κανένα είδος ελέγχου ή χωρίς να τους δοθεί κάποιο κίνητρο να φορτίσουν τα οχήματά τους σε ώρα χαμηλής ζήτησης. Η στρατηγική αυτή αναφέρεται κυρίως στην οικιακή φόρτιση, όπου το επίπεδο φόρτισης είναι χαμηλό (επίπεδο 1) και απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα για την πλήρη φόρτιση της μπαταρίας. Η φόρτιση ξεκινά αυτόματα τη στιγμή που το αυτοκίνητο θα συνδεθεί στο δίκτυο μέχρι να φορτιστεί πλήρως ή ο ιδιοκτήτης να διακόψει τη φόρτιση. Σε περίπτωση που πολλοί χρήστες επιλέξουν αυτόν τον τρόπο φόρτισης ενδέχεται να υπάρξουν προβλήματα στο δίκτυο όπως πτώσεις τάσεις ή υπερφορτώσεις γραμμών. Το επιπρόσθετο φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τόσο τη λειτουργία όσο και τον σχεδιασμό των υφιστάμενων δικτύων διανομής, ειδικότερα, στην περίπτωση υψηλών επιπέδων διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων. Η μη ελεγχόμενη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων για μικρά ποσοστά διείσδυσης δεν αναμένεται να προκαλέσει αισθητές επιπτώσεις στη λειτουργία των δικτύων διανομής. Ωστόσο, η συνεχής αύξηση του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων και η μη υιοθέτηση μηχανισμών διαχείρισης της φόρτισης τους επιδρά σημαντικά στην αύξηση της αιχμής του φορτίου του συστήματος.

Φόρτιση Πολλαπλής Χρέωσης (*Multiple Tariff Charging*) :

Η μέθοδος αυτή είναι ένας απλοποιημένος μηχανισμός της αγοράς για την έμμεση (μέσω κινήτρων) διαχείριση της κατανάλωσης. Σκοπός της στρατηγικής αυτής είναι η μετατόπιση της κατανάλωσης από τις ώρες αιχμής σε ώρες χαμηλής κατανάλωσης. Αυτό επιτυγχάνεται με την υιοθέτηση διαφορετικών λιανικών τιμών αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε μια χρονική ζώνη εντός μιας ημέρας. Ο πιο απλός και πολύ-εφαρμοζόμενος μηχανισμός είναι το διζωνικό τιμολόγιο, σύμφωνα με το οποίο υπάρχουν δύο ζώνες (υψηλής και χαμηλής) χρέωσης της ενέργειας. Η μετατόπιση του φορτίου από τις ώρες αιχμής στις ώρες μη αιχμής μπορεί να επιτευχθεί με ποικίλους τρόπους. Ο πιο συνηθισμένο και απλό τρόπο μετατόπισης φορτίου που υιοθετείται ευρέως είναι η δημιουργία χρονικών ζωνών όπου η ενέργεια τιμολογείται διαφορετικά, ώστε να αντικατοπτρίζεται το επίπεδο ζήτησης: υψηλό φορτίο συνεπάγεται ζώνη υψηλής τιμολόγησης της ενέργειας. Ωστόσο υιοθέτηση διζωνικού τιμολογίου δεν είναι πάντοτε επαρκής λύση, ιδιαίτερα στην περίπτωση όπου το δίκτυο είναι ήδη αρκετά επιβαρυνμένο. Η απλή υιοθέτηση του διζωνικού τιμολογίου έχει ως αποτέλεσμα το ονομαζόμενο «payback effect», δηλαδή τη μετατόπιση του φορτίου σε μεταγενέστερες ώρες. Το «payback effect» στη περίπτωση διζωνικού τιμολογίου έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας απότομης αιχμής φορτίου κατά την έναρξη του χαμηλού τιμολογίου, η οποία μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στη λειτουργία του δικτύου.

Ελεγχόμενη Φόρτιση (Valley-Filling) :

Στο συγκεκριμένο σενάριο υιοθετείται μια πιο σύνθετη διαδικασία ελέγχου των ηλεκτρικών οχημάτων που σκοπό έχει τη μετατόπιση του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων σε ώρες με χαμηλή κατανάλωση κατά τρόπο ώστε οι κοιλότητες της καμπύλης φορτίου να πληρούνται ομοιόμορφα. Η στρατηγική αυτή ελεγχόμενης φόρτισης είναι ευρέως διαδεδομένη στη βιβλιογραφία με το όνομα “valley-filling”. Η πλήρωση των κοιλοτήτων της καμπύλης φορτίου με την εφαρμογή της στρατηγικής “valley-filling” έχει συνεπακόλουθο πλεονέκτημα την ελαχιστοποίηση της διακύμανσης του φορτίου. Η εφαρμογή της φόρτισης αυτής εξυπηρετείται από το γεγονός ότι η κινητικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων τις ώρες στις οποίες το φορτίο του δικτύου παρουσιάζει πτώση (κυρίως για βραδινές ώρες) είναι περιορισμένη.

Τα ηλεκτρικά οχήματα και το δίκτυο ηλεκτροδότησης είναι πολύ στενά συνδεδεμένες οντότητες καθώς αυτά εξαρτώνται από το δίκτυο για την κινητήρια δύναμή τους, και το δίκτυο μπορεί να ωφεληθεί πολύ από τη συνεργασία του με τα οχήματα. Η αλληλεπίδραση των ηλεκτρικών οχημάτων με το δίκτυο ηλεκτροδότησης είναι αμφίδρομη καθώς η κατεύθυνση της ενέργειας μπορεί να είναι :

- από το δίκτυο στα οχήματα (Grid to Vehicle, G2V) αλλά και
- από τα οχήματα στο δίκτυο (Vehicle to Grid, V2G).

Grid to Vehicle : Ο όρος “G2V” αναφέρεται στην μεταφορά ενέργειας από το δίκτυο στα οχήματα, δηλαδή στην φόρτιση των μπαταριών τους στις περισσότερες περιπτώσεις, και συνήθως μελετάται σε πλαίσιο ενός ή πολλών σταθμών φόρτισης. Εναλλακτικά, μπορεί η φόρτιση να γίνεται μέσω οικιακής ηλεκτρικής σύνδεσης, ή ακόμα και σε κατάλληλα διαμορφωμένες θέσεις στάθμευσης. Το δίκτυο έχει τον ρόλο διαχείρισης των φορτίσεων με εξειδικευμένους αλγόριθμους, λαμβάνοντας υπόψη του τα δεδομένα και τις πληροφορίες που συλλέγει κατά τη λειτουργία του. Έχουν αναπτυχθεί αλγόριθμοι που διαχειρίζονται το πρόγραμμα φόρτισης των οχημάτων με σκοπό την βελτιστοποίηση της απόδοσης με διάφορα κριτήρια. Οι αλγόριθμοι μπορεί να λειτουργούν έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η επιβάρυνση του δικτύου και παράλληλα οι διακυμάνσεις στην κατανάλωση ενέργειας. Εναλλακτικά ο προγραμματισμός των φορτίσεων μπορεί να γίνεται με γνώμονα την ελάχιστη οικονομική επιβάρυνση των οδηγών, καθώς οι τιμές του ηλεκτρικού ρεύματος μεταβάλλονται, ίσως ανάλογα με την ζήτηση και παραγωγή. Επίσης, το οικονομικό κίνητρο μπορεί να περιλαμβάνει τις διαφοροποιήσεις των τιμών ανάλογα με την συμφόρηση σε κάθε σταθμό, οι οποίες γίνονται με σκοπό την δυναμική διαχείριση της ζήτησης. Αν ένας σταθμός έχει μεγάλο όγκο προσερχόμενων οχημάτων τότε μπορεί να ανεβάσει το κόστος του για να αποθαρρύνει επιπλέον οχήματα να προσέλθουν, και έτσι να προστατεύεται η ικανότητα του σταθμού να παρέχει τις υπηρεσίες του.

Vehicle to Grid : Η λειτουργία V2G αφορά την κατεύθυνση ενέργειας από τα οχήματα στο δίκτυο. Βασική αιτία για να επιστρέψουν ενέργεια τα οχήματα στο δίκτυο αποτελεί η χρήση τους ως αποθηκευτικά μέσα ενέργειας του δικτύου. Αυτό προϋποθέτει εξειδικευμένες υποδομές από τη μεριά του δικτύου έτσι ώστε να μπορεί να δεχθεί ενέργεια από τα οχήματα, καθώς και ειδικές τεχνολογίες από τη πλευρά των οχημάτων οι οποίες να παρέχουν την δυνατότητα να μεταφερθεί ενέργεια προς το δίκτυο. Αυτή η διαδικασία μπορεί να γίνει εφόσον το όχημα είναι σταθμευμένο σε θέση η οποία παρέχει την δυνατότητα για μεταφορά ενέργειας κατά την κατεύθυνση G2V.

4.1 Προσέγγιση βελτιστοποίησης σε αυτοκινητόδρομο στην Ιταλία

Ζήτηση ισχύος και ενέργειας για την υποστήριξη της ηλεκτροκίνησης σε αυτοκινητόδρομο: Η μελέτη σε περιοχές της Ιταλίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ Τα τελευταία χρόνια, οι τάσεις της αγοράς επιβεβαιώνουν την αυξανόμενη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων για ιδιωτική κινητικότητα. Η χρήση τέτοιων οχημάτων επηρεάζει αναπόφευκτα και τα πλαίσια των αυτοκινητοδρόμων. Ως εκ τούτου, οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύων αυτοκινητοδρόμων πρέπει να προγραμματίσουν την εγκατάσταση κατάλληλων υποδομών για να καταστήσουν δυνατή και να διαχειριστούν την αυξανόμενη ζήτηση για ταχεία φόρτιση που αναμένεται τα επόμενα χρόνια. Το παρόν έγγραφο έχει ως στόχο να αξιολογήσει τον αντίκτυπο που μπορεί να έχει αυτή η ζήτηση χρέωσης στις περιοχές εξυπηρέτησης (service areas SAs) του δικτύου αυτοκινητοδρόμων που διαχειρίζεται η εταιρία Autostrade per l'Italia. Ξεκινώντας από τα διαθέσιμα δεδομένα κίνησης, το παρόν έγγραφο προτείνει μια μεθοδολογία για την πρόβλεψη, για κάθε περιοχή εξυπηρέτησης, των μελλοντικών αναγκών φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση. Η ανάλυση εξετάζει τόσο την ενέργεια όσο και την ισχύ που πρέπει να διατεθεί για να διασφαλιστεί η φόρτιση κατά τη διάρκεια των καθημερινών αιχμών κυκλοφορίας.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο αντίκτυπος που θα προκύψει από τα ηλεκτρικά οχήματα θα είναι γενικά σημαντικός, ιδίως όσον αφορά τις απαιτήσεις ισχύος με αιχμές μεταξύ δύο και τριών μεγαβάτ. Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε είναι απολύτως γενική και, ως εκ τούτου, εφαρμόζεται για παρόμοιο σχεδιασμό σε άλλα πλαίσια αυτοκινητοδρόμων ή προαστιακών οδών. Η εγκυρότητα της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε και οι παραδοχές που έγιναν έχουν επιβεβαιωθεί προκαταρκτικά μέσω ενός αρχικού συνόλου δεδομένων που συλλέχθηκαν από έναν από τους σταθμούς φόρτισης που είναι εγκατεστημένοι σε μια αντιπροσωπευτική περιοχή εξυπηρέτησης.

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από τον τομέα των μεταφορών αντιπροσωπεύουν περίπου το 23% του παγκόσμιου επιπέδου εκπομπών [1], [2], και στο πλαίσιο αυτό, η σημαντικότερη συμβολή προέρχεται από τις οδικές μεταφορές, οι οποίες αντιπροσωπεύουν λίγο περισσότερο από το 70% [3]. Τα στοιχεία αυτά υπογραμμίζουν την επείγουσα ανάγκη να κινηθούμε προς πιο βιώσιμες λύσεις κινητικότητας οι οποίες, όσον αφορά τις εκπομπές, θα επιτρέψει την επίτευξη της συμφωνίας του Παρισιού για το κλίμα και άλλων στόχων που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή για το 2030 και το 2050 αναφορά στο [4].

Τα ηλεκτρικά οχήματα (Battery electric vehicles BEVs) με μπαταρία θεωρούνται, φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση σε σχέση με τα οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης, μειώνοντας την εξάρτηση από ορυκτές πηγές ενέργειας, καθώς και μειώνοντας τις παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως [5]-[8]. Η ευρεία υιοθέτηση αυτού του τύπου ηλεκτρικού οχήματος είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις αστικές περιοχές και αποτελεί βασικό παράγοντα για την επίτευξη βιώσιμης κινητικότητας. Ως αποτέλεσμα, αρκετές χώρες έχουν ξεκινήσει πολιτικές για την υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) και στοχεύουν στην πλήρη εξάλειψη του κινητήρα εσωτερικής καύσης μέσα στην επόμενη δεκαετία [9], [10]. Από το 2018, οι ευρωπαϊκοί αυτοκινητόδρομοι διέθεταν συνολικά 2.550 σταθμούς ταχείας φόρτισης (CSs) και περισσότερα από 5000 συνδυασμένα συστήματα φόρτισης (combined charging systems CCSs) (δηλαδή, τον ευρωπαϊκό τυποποιημένο τύπο πρίζας και πρίζας που χρησιμοποιείται για τη

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
σύνδεση ηλεκτρικών ή σύνδεση υβριδικών αυτοκινήτων σε ταχυφορτιστή DC), που σημαίνει κατά μέσο όρο μία φόρτιση σε σταθμό κάθε 60 χλμ.

Το 2020, υπήρχαν περίπου 1000 περισσότεροι σταθμοί υπερταχείας φόρτισης – ονομαστικής ισχύος από 150 έως 350 kW – σε χώρους ανάπαυσης, γεγονός που επέτρεψε στα συμβατικά πρατήρια καυσίμων να αυξήσουν την ελκυστικότητά τους με το να γίνουν «πολλαπλών πηγών ενέργειας» [11]-[13]. Επί του παρόντος, το μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων, που αποτελούνται από (Battery electric vehicles) BEVs και σύνδεση με υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEVs), στην Ιταλία είναι περίπου 0,6%. Η πραγματική ανάπτυξη της ιταλικής αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων ξεκίνησε το 2018, με +60% σε σύγκριση με το 2017, και συνεχίστηκε το 2019 και το 2020 με +87% και +143% αντίστοιχα [14]. Η επέκταση των τελευταίων ετών οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στα κίνητρα που χορηγούνται από τις εθνικές κυβερνήσεις [15]. Κάνοντας κάποια ανάλυση της ανάπτυξης της αγοράς EVs σε βραχυπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα (2025 και 2030) μπορούμε να αναμένουμε 30πλάσια ανάπτυξη από τα τρέχοντα 100.000 ηλεκτρικά οχήματα που θα φτάσουν περίπου τα 3 εκατομμύρια μονάδες έως το 2030 [16]. Η ανάπτυξη αυτή θα πρέπει να συνοδεύεται από την ισχυρή ανάπτυξη των υποδομών φόρτισης. Αυτός ο μετασχηματισμός βρίσκεται ήδη σε εξέλιξη εδώ και μερικά χρόνια σε αστικές περιοχές, αλλά η υποδομή των αυτοκινητοδρόμων δεν είναι ακόμη έτοιμη για μια τόσο μαζική παρουσία ηλεκτρικών οχημάτων.

Το παρόν έγγραφο αξιολογεί τις επιπτώσεις που θα έχει η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο αυτοκινητοδρόμων και, ειδικότερα, στην ηλεκτρική υποδομή των περιοχών εξυπηρέτησης που διαχειρίζεται η Autostrade per l'Italia [17]. Σκοπός της αξιολόγησης είναι η εκτίμηση της αναμενόμενης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και της ισχύος αιχμής που ενδέχεται να απαιτούνται για την κάλυψη της μελλοντικής ζήτησης επαναφόρτισης. Ο τελικός στόχος είναι η παροχή των απαραίτητων πληροφοριών για το σωστό μέγεθος της υποδομής φόρτισης των περιοχών εξυπηρέτησης και να είναι σε θέση να ανταποκρίνεται στις μελλοντικές απαιτήσεις των χρηστών.

Το έγγραφο οργανώνεται ως εξής: Το τμήμα II παρουσιάζει μια σύντομη επισκόπηση των υφιστάμενων υποδομών και τεχνολογιών για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων στον αυτοκινητόδρομο, το τμήμα III περιγράφει λεπτομερώς το ιταλικό οδικό πλαίσιο και την ειδική μελέτη περίπτωσης των τρεχουσών εργασιών και το τμήμα IV είναι αφιερωμένο στην αναπτυγμένη μεθοδολογία για την εκτίμηση των μελλοντικών αναγκών όσον αφορά την ισχύ και την ενέργεια για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων σε περιοχές εξυπηρέτησης. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης παρουσιάζονται στο τμήμα V και η προκαταρκτική επικύρωσή τους εξετάζεται στο τμήμα VI. Συμπεράσματα και ενδείξεις για το μέλλον και βελτιώσεις παρουσιάζονται στο τμήμα VII.

II. ΥΠΟΔΟΜΗ ΤΑΧΕΙΑΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Τα συστήματα ταχείας φόρτισης (Fast-charging FC) καθίστανται ολοένα και πιο σημαντικά για τη διευκόλυνση της μετάβασης στην κινητικότητα μηδενικών εκπομπών και ειδικά για να καταστεί δυνατή η ιδιωτική ηλεκτρική κινητικότητα σε ταξίδια μεγάλων αποστάσεων [18]-[20]. Η υιοθέτηση και η διάδοση συστημάτων ταχείας φόρτισης αντιμετωπίζουν διάφορες προκλήσεις που σχετίζονται με την ενσωμάτωσή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο, όπως η απαίτηση σχετικών επιπέδων ισχύος και τη συμβατότητά τους με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (RESs) και τα συστήματα αποθήκευσης. Απαιτούνται μελέτες σχετικά με τα πρότυπα χρήσης του (fast charging stations) CS στο πλαίσιο των καθημερινών ταξιδιών. Αυτό γίνεται τόσο για να επικυρωθεί η ικανότητα του ηλεκτρικού δικτύου να ανέχεται και να χειρίζεται τις ξαφνικές απαιτήσεις ισχύος όσο και για να αξιολογήσει τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην προστασία των μπαταριών οχημάτων.

Επί του παρόντος, το σύστημα ταχείας φόρτισης FC χρησιμοποιείται κυρίως ως εφεδρική επιλογή στο δρόμο εάν η μπαταρία εξαντληθεί κατά τη διάρκεια μεγάλων ταξιδιών ή όταν δεν υπάρχουν

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
επαρκείς δημόσιοι σταθμοί φόρτισης επιπέδου 2 σε κοντινή απόσταση [21]. Ωστόσο, ορισμένοι θεωρούν ότι η γρήγορη φόρτιση θα γίνει κυρίαρχη εάν οι ταχύτητες φόρτισης προσεγγίζουν τους χρόνους ανεφοδιασμού βενζίνης και για αυτόν ακριβώς τον λόγο, τα συστήματα FC φαίνεται να μπορούν να αναπτυχθούν έντονα σε περιοχές εξυπηρέτησης (service areas SAs) κατά μήκος των τμημάτων του αυτοκινητόδρομου [9].

Από το 2020, η ταχεία φόρτιση έχει καταλάβει περίπου το 5%-10% της αγοράς για τη συνολική ενέργεια που φορτίζεται από τα ηλεκτρικά οχήματα [22], και ο αριθμός αυτός αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά στο εγγύς μέλλον, ειδικά στους αυτοκινητόδρομους [23]. Επιπλέον, αυτός ο τύπος φόρτισης θεωρείται καταλληλότερος και για τη φόρτιση των καμπινών οδήγησης (τροχόσπιτα), των δημοσίων οχημάτων ή των εμπορευματικών μεταφορών, δηλαδή για όλες εκείνες τις υπηρεσίες ή τα οχήματα που χρησιμοποιούνται με υψηλό χρόνο λειτουργίας και για τα οποία η βραδύτερη φόρτιση σίγουρα δεν είναι η βέλτιστη λύση [24]-[26].

Για τους λόγους αυτούς, η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στην ενσωμάτωση αυτού του τύπου σταθμών φόρτισης στο πλαίσιο των περιοχών εξυπηρέτησης των αυτοκινητοδρόμων όπου η τροφοδοσία πρέπει να είναι σε θέση να καλύψει τις ανάγκες των διαδρομών μεγάλων αποστάσεων.

III. ΥΠΟΔΟΜΗ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΩΝ ΣΤΗΝ ΙΤΑΛΙΑ: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Το ιταλικό οδικό δίκτυο εκτείνεται για περίπου 6600 χιλιόμετρα από το 2021 [27] τόσο στο έδαφος της χερσονήσου όσο και στα νησιά. Η διαχείριση του δικτύου ανατίθεται σε 26 διαφορετικές εταιρείες και, μεταξύ αυτών, η εταιρεία Autostrade per l'Italia (ASPI) είναι αυτή που διαχειρίζεται το πιο εκτεταμένο τμήμα που ισούται με περίπου 2855 χιλιόμετρα, το οποίο είναι από τα μεγαλύτερα στην Ευρώπη. Το δίκτυο αυτοκινητοδρόμων που διαχειρίζεται η Autostrade per l'Italia καλύπτει 14 από τις 20 ιταλικές περιφέρειες. Σε αυτό το δίκτυο, υπάρχουν 204 πρατήρια καυσίμων και περίπου δύο εκατομμύρια οχήματα κυκλοφορούν καθημερινά [27]. Η εγκατάσταση σταθμών ταχείας και υπερταχείας φόρτισης σε περιοχές εξυπηρέτησης αυτοκινητοδρόμων αποτελεί βασικό σημείο καμπής για την ανάπτυξη της αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων.

Επειδή κάθε SA ορίζεται σε ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό πλαίσιο και αντιμετωπίζει πολύ διαφορετικά επίπεδα κυκλοφορίας, κατανάλωσης ενέργειας και ισχύος που θα είναι απαραίτητα για την εγκατάσταση και την εγγύηση της υπηρεσίας φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, αλλάζετε από SA. Για το λόγο αυτό, έχει αναπτυχθεί μια μεθοδολογία για την εκτίμηση και των δύο ποσοτήτων (ισχύος και ενέργειας) για κάθε περιοχή εξυπηρέτησης, ενώ παράλληλα αξιολογείται η εξέλιξή τους από το παρόν έως το 2030. Σε αυτό το πλαίσιο, ένα από τα βασικά διαθέσιμα δεδομένα αντιπροσωπεύεται από τις καθημερινές διελεύσεις ελαφρών οχημάτων στο τμήμα του δρόμου που βλέπει κάθε SA. Αυτά τα δεδομένα συνήθως μετρούνται μέσω συστημάτων διαχείρισης της κυκλοφορίας από κάθε φορέα εκμετάλλευσης αυτοκινητοδρόμων [28], [29].

Οι SAs του οδικού δικτύου ΑΣΠΙ που θα αποτελέσουν το αντικείμενο της παρούσας μελέτης παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.

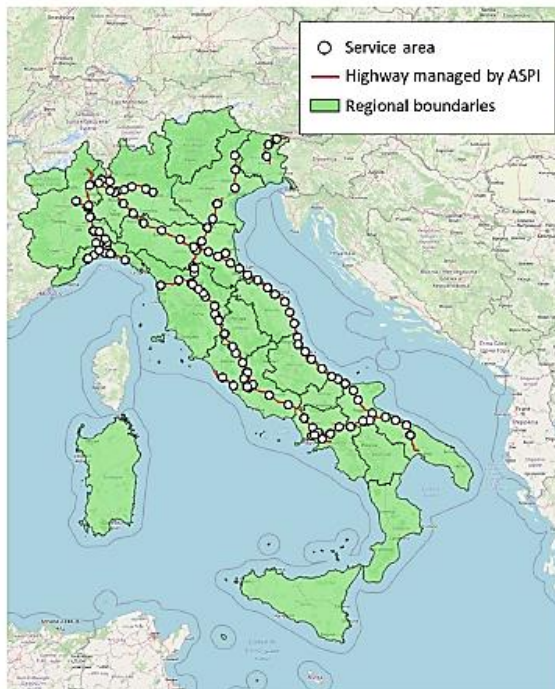


FIGURE 1: Highway network managed by Autostrade per l'Italia (in red). White circles represent the service areas.

Σχήμα 4.1: Δίκτυο αυτοκινητοδρόμων που διαχειρίζεται η Autostrade per l'Italia (με κόκκινο χρώμα). Οι λευκοί κύκλοι αντιπροσωπεύουν τις περιοχές εξυπηρέτησης.

IV. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Αυτή η ενότητα περιγράφει την ακολουθούμενη μεθοδολογία για τον υπολογισμό της ενέργειας και της ισχύος, αντίστοιχα. Στην ενότητα IV-A παρουσιάζεται η μεθοδολογία που, για κάθε περιοχή εξυπηρέτησης του δικτύου ASPI, επιτρέπει τον υπολογισμό της αναμενόμενης κατανάλωσης ενέργειας σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση. Τα αποτελέσματα που θα προκύψουν θα επιτρέψουν την πρόβλεψη της αναμενόμενης κατανάλωσης και, δεδομένων των αναμενόμενων διακυμάνσεων σε ημερήσια/μηνιαία βάση, οι πληροφορίες που προκύπτουν από τον αλγόριθμο υπολογισμού θα μπορούσαν να καταστήσουν δυνατή την πραγματοποίηση προγνωστικών αξιολογήσεων της υποδομής: μια τυπική χρήση αυτών των αποτελεσμάτων θα μπορούσε να είναι η διαστασιολόγηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων παραγωγής σε συνδυασμό με ένα σύστημα αποθήκευσης που καθιστά δυνατή την αντιμετώπιση των ενεργειακών αναγκών που συνδέονται με τις ανάγκες επαναφόρτισης του οχήματος μεγιστοποιώντας, για παράδειγμα, την ποσόστωση ιδιοκατανάλωσης ή ελαχιστοποιώντας το ποσοστό της ενέργειας που λαμβάνεται από το δίκτυο [30].

Στο τμήμα IV-B παρουσιάζεται η μεθοδολογία για την εκτίμηση του αντίκτυπου των ηλεκτρικών οχημάτων στις περιοχές εξυπηρέτησης όσον αφορά την ισχύ που πρέπει να δεσμευθεί ώστε να καταστεί δυνατή η ταυτόχρονη επαναφόρτιση των εισρεόντων ηλεκτρικών οχημάτων.

A. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το σημείο εκκίνησης ολόκληρης της μεθοδολογίας είναι τα δεδομένα των ημερήσιων διελεύσεων ελαφρών οχημάτων που διέρχονται από το τμήμα του αυτοκινητόδρομου που βλέπει στην περιοχή εξυπηρέτησης (απλά αναφέρεται ως "μπροστά από την περιοχή εξυπηρέτησης" στα ακόλουθα). Αυτή η τιμή πολλαπλασιάζεται με έναν εμπειρικό παράγοντα

F, ο οποίος αντιπροσωπεύει, κατά μέσο όρο, τον αριθμό των οχημάτων που εισέρχονται σε μια SA σε σχέση με όλα τα οχήματα που διέρχονται από το τμήμα του αυτοκινητόδρομου. Η εμπειρία της ΑΣΠΠ μας επιτρέπει να πούμε ότι ο αριθμός των οχημάτων που σταματούν μέσα στην SA, είναι μεταξύ 8 και 12% των διερχόμενων. Ξεκινώντας από τις αναμενόμενες εισόδους σε κάθε περιοχή εξυπηρέτησης, είναι δυνατόν να προβλεφθεί πόσα από αυτά τα οχήματα θα είναι ηλεκτρικά, λαμβάνοντας υπόψη το μερίδιο E συγκεκριμένων ηλεκτρικών οχημάτων που σχετίζεται σε ένα εξεταζόμενο σενάριο αγοράς. Υπολογίζονται οι εισροές εισρεόντων BEV για την j-οστή περιοχή εξυπηρέτησης BEV_{in,j} σύμφωνα με την εξίσωση (1):

$$BEV_{in,j} = TLG_j \cdot F \cdot E \quad (1)$$

όπου TLG_j είναι η ημερήσια ελαφρά κυκλοφορία μπροστά από την j-οστή SA, F είναι το ποσοστιαίο μερίδιο των οχημάτων που εισέρχονται στην SA σε σχέση με τον συνολικό αριθμό των οχημάτων που διέρχονται από μπροστά της. Μόλις γίνει γνωστός ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων που εισέρχονται σε μια περιοχή εξυπηρέτησης κατά τη διάρκεια της ημέρας, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε δύο άλλες ποσότητες για να εκτιμήσουμε σωστά την ποσότητα ενέργειας που κάθε ένα από αυτά τα οχήματα θα απορροφήσει από το δίκτυο κατά τη διάρκεια της φόρτισης: την υπολειπόμενη φόρτιση της μπαταρίας του οχήματος, δηλαδή την κατάσταση φόρτισης (state of charge SOC) και τη χωρητικότητα της μπαταρίας (capacity of the battery) C_{batt}. Μια στοχαστική προσέγγιση χρησιμοποιείται και για τις δύο αυτές μεταβλητές. Η soc ενός οχήματος υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη κατανομή Weibull, όπως προτάθηκε ομοίως σε προηγούμενες εργασίες [31], [32]:

$$pdf(SOC) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda^k} SOC^{(k-1)} e^{-\left(\frac{SOC}{\lambda}\right)^k} & \text{για } SOC \geq 0 \\ 0 & \text{για } SOC < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Αυτή η κατανομή χαρακτηρίζεται από δύο πάντα θετικές παραμέτρους: την παράμετρο σχήματος k και την παράμετρο κλίμακας λ. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2, τα υιοθετημένα k και λ οδηγούν στην υπόθεση ότι σχεδόν όλα τα οχήματα που εισέρχονται στην περιοχή εξυπηρέτησης με στόχο να επωφεληθούν από τη γρήγορη φόρτιση, έχουν υπολειπόμενο επίπεδο φόρτισης μεταξύ 20% και 70% της αρχικής χωρητικότητας της μπαταρίας. Το τελικό SOC θεωρείται πάντα το 80% της εγκατεστημένης (χωρητικότητας) ισχύος, δεδομένου ότι αυτό το επίπεδο θα μπορούσε συνήθως να επιτευχθεί σε περίπου 20 λεπτά χρησιμοποιώντας το σύστημα φόρτισης που εξετάζουμε [33]. Ταυτόχρονα, θεωρείται ότι τα οχήματα με SOC 80% και άνω δεν χρειάζεται να κάνουν χρήση υπηρεσιών φόρτισης. Η υπόθεση αυτή δικαιολογείται από το γεγονός ότι αρκετοί κατασκευαστές προτείνουν έντονα να μην υπερβεί αυτό το επίπεδο soc για να παραταθεί η διάρκεια ζωής της μπαταρίας [34], [35]. Η πιθανοτική κατανομή της χωρητικότητας της μπαταρίας EV προέρχεται από ένα στιγμιότυπο του πραγματικού ιταλικού στόλου ηλεκτρικών αυτοκινήτων σε σχέση με το έτος 2019 [14]. Στην παρούσα εργασία αυτή η κατανομή θεωρείται για ολόκληρη την περίοδο που εξετάζεται στη μελέτη (δηλαδή, έως το 2030).

Αυτή η επιλογή υποστηρίζεται από αρκετές μελέτες που δείχνουν ότι η τρέχουσα χωρητικότητα της μπαταρίας είναι περισσότερο από επαρκής για να καλύψει την πλειονότητα των διαδρομών [36], [37]. Πολλές άλλες μελέτες [38], καθώς και δηλώσεις από διευθύνοντες συμβούλους κατασκευαστών αυτοκινήτων [39], υποδηλώνουν ότι η χωρητικότητα των μπαταριών θα είναι λιγότερο σημαντική καθώς οι δημόσιοι φορτιστές EV είναι πανταχού παρόντες. Αντίθετα, αυτά δείχνουν πώς οι πιθανές τεχνολογικές αλλαγές δεν θα είναι τόσο στη χωρητικότητα των μπαταριών όσο στον όγκο και το βάρος τους. Τα διάφορα οχήματα έχουν ομαδοποιηθεί σε 6 κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος της μπαταρίας που είναι εγκατεστημένη επί του οχήματος: από ελάχιστη τιμή 15 kWh έως μέγιστη τιμή 105 kWh, με διαστήματα 15 kWh. Μια πιθανότητα συνδέεται με κάθε κατηγορία, με βάση τον λόγο μεταξύ του αριθμού των εγγεγραμμένων ηλεκτρικών οχημάτων με αυτό το εύρος χωρητικότητας της ενσωματωμένης μπαταρίας και του αριθμού των συνολικών ηλεκτρικών οχημάτων που κυκλοφόρησαν στην Ιταλία το 2019. Ο πίνακας 1 συνοψίζει όσα μόλις περιεγραφήκαν. Αξίζει να σημειωθεί ότι έχει υποθεθεί ότι οι σταθμοί επαναφόρτισης είναι τύπου ταχείας φόρτισης DC με ισχύ ίση με 100 kW που μπορεί να επαναφορτίσει τις μπαταρίες έως και 80% μέσα σε 20 λεπτά.

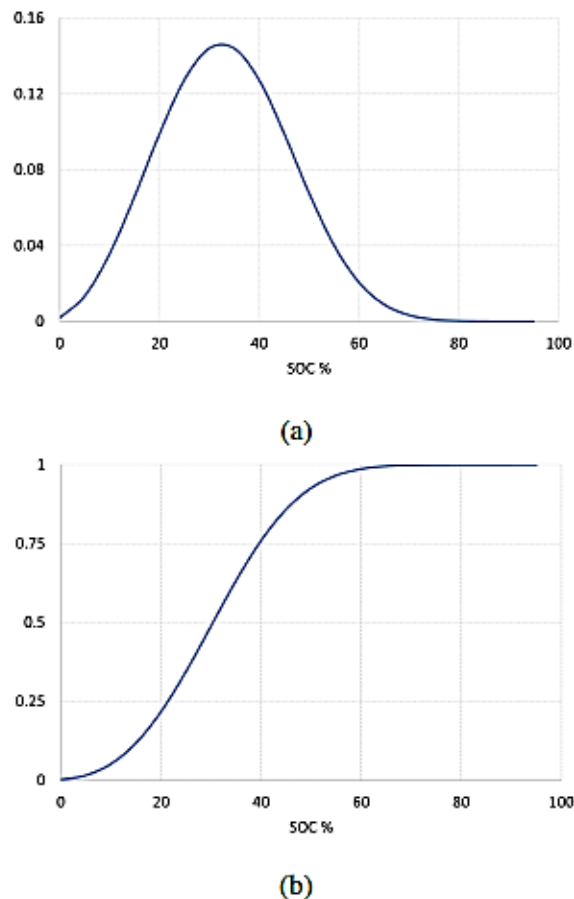


FIGURE 2: Probability distribution associated with the SOC of an electric vehicle at the arrival at the service area. Actual probability distribution (a) and cumulative distribution (b).

ΣΧΗΜΑ 4.2: Κατανομή πιθανότητας που σχετίζεται με την κατηγορία SOC ενός ηλεκτρικού οχήματος κατά την άφιξη στην περιοχή εξυπηρέτησης. Πραγματική κατανομή πιθανότητας (α) και αθροιστική κατανομή (β).

Χωρητικότητα μπαταρίας διάστημα (KWh)	Αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων στον ιταλικό στόλο αυτοκινήτων	Πιθανότητα
$15 \leq C_{batt} < 11$	5176	26%
$30 \leq C_{batt} < 45$	9434	48%
$45 \leq C_{batt} < 60$	2395	12%
$60 \leq C_{batt} < 75$	108	1%
$75 \leq C_{batt} < 90$	264	1%
$90 \leq C_{batt} < 205$	1974	10%

Ως εκ τούτου, για κάθε SA, η χωρητικότητα των μπαταριών των διαφόρων ηλεκτρικών οχημάτων που εισέρχονται κατά τη διάρκεια της ημέρας αναδιανέμεται στοχαστικά και κάθε όχημα συνδέεται με ένα ορισμένο επίπεδο υπολειπόμενης φόρτισης. Σε αυτό το σημείο, υποθέτοντας ένα τελικό SOC ίσο με το 80% της συνολικής χωρητικότητας της μπαταρίας, είναι δυνατόν να υπολογιστεί η μέση ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια $E_{d,j}$ που θα απορροφηθεί από τις φορτίσεις ως εξής:

$$E_{d,j} = \sum_{i=1}^N (SOC_i^{final} - SOC_i^{init}) \cdot C_{batt,j} \quad (3)$$

όπου:

- N ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων που εισέρχονται στην περιοχή εξυπηρέτησης j
- SOC_i^{final} είναι η τελική κατάσταση φόρτισης του i -οστού οχήματος (πάντα ίση με 80%)
- SOC_i^{init} είναι η αρχική κατάσταση φόρτισης του i -οστού οχήματος
- $C_{batt,j}$ είναι η χωρητικότητα της μπαταρίας του i -ου οχήματος.

B. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΟΡΥΦΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Για να εκτιμηθεί σωστά η ηλεκτρική ισχύς που θα απαιτηθεί σε μια δεδομένη περιοχή εξυπηρέτησης, δεν αρκεί να γνωρίζουμε τον απόλυτο αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων που σταματούν κατά τη διάρκεια μιας ημέρας (δηλαδή, όπως γίνεται για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας). Στην πραγματικότητα, στην περίπτωση αυτή, είναι θεμελιώδες να γνωρίζεις τη χρονική κατανομή των περιστατικών επαναφόρτισης, δηλαδή την ώρα κατά την οποία τα οχήματα φθάνουν και εισέρχονται στην SA για επαναφόρτιση. Ο εκτιμώμενος μέγιστος αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων που ενδέχεται να χρειαστεί να επαναφορτιστούν ταυτόχρονα παρέχει άμεση ένδειξη του μέγιστου επιπέδου ισχύος που πρέπει να διατεθεί. Για να γίνει αυτή η εκτίμηση, είναι επομένως απαραίτητο να γνωρίζουμε πώς μεταβάλλεται η ροή των οχημάτων καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η αιχμή της κυκλοφορίας. Δεδομένου ότι δεν είναι πάντοτε δυνατό να επιτευχθεί αυτό το επίπεδο σε λεπτομέρεια, καθώς τα δεδομένα είναι είτε ιδιόκτητα είτε συνδέονται με

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ ευαίσθητες πληροφορίες (όπως πινακίδες κυκλοφορίας αυτοκινήτων), χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία που προτείνεται από το Highway Capacity Manuel (HCM) [40].

Σύμφωνα με το HCM, η κυκλοφορία ποικίλλει κατά τη διάρκεια μιας ημέρας με σχήμα ανάλογο με την ημέρα της εβδομάδας (καθημερινές ή αργίες) και αν το εξεταζόμενο τμήμα του αυτοκινητόδρομου συνδέεται συνήθως με επαγγελματικά ταξίδια ή ταξίδια αναψυχής. Ειδικότερα, τμήματα αυτοκινητοδρόμων που χρησιμοποιούνται κυρίως για ψυχαγωγικούς σκοπούς (π.χ. τμήματα αυτοκινητοδρόμων που οδηγούν σε παραθαλάσσια ή παραθεριστικά θέρετρα) παρουσιάζουν πιο έντονες ωριαίες αιχμές στην κυκλοφορία από τμήματα αυτοκινητοδρόμων που χρησιμοποιούνται κυρίως για εργασιακούς σκοπούς, όπου η κυκλοφορία είναι πιο ομοιόμορφη κατά τη διάρκεια της ημέρας. Μερικά από τα αποτελέσματα αυτών των πειραματικών εκστρατειών και της απόκτησης δεδομένων κυκλοφορίας κατά μήκος των αμερικανικών αυτοκινητοδρόμων μπορούν να βρεθούν στο [40]. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι, αν και το HCM είναι μια αναφορά που αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ, οι κατευθυντήριες γραμμές που παρέχονται σε αυτό το εγχειρίδιο χρησιμοποιούνται επίσης ευρέως στο ευρωπαϊκό και επομένως και στο ιταλικό πλαίσιο.

Το ωριαίο μοτίβο της καθημερινής κυκλοφορίας έχει επίσης αντίκτυπο στις εισόδους περιοχών εξυπηρέτησης: οι περιοχές εξυπηρέτησης που βρίσκονται σε τμήματα αυτοκινητοδρόμων κοντά σε μεγάλα αστικά κέντρα, που χρησιμοποιούνται κυρίως για εργασιακούς σκοπούς, παρουσιάζουν πιο ομοιόμορφη εισροή χρηστών από τις περιοχές εξυπηρέτησης που βρίσκονται σε τμήματα αγροτικών αυτοκινητοδρόμων που χρησιμοποιούνται κυρίως για ψυχαγωγικούς σκοπούς (βλ. Σχήμα 4).

Για να αξιολογηθεί η ισχύς που απαιτείται στο σημείο φόρτισης προκειμένου να ικανοποιηθεί η ζήτηση των χρηστών για φόρτιση, είναι απαραίτητο να μετακινηθείτε από τη μέση ημερήσια κίνηση στις ωριαίες διελεύσεις. Η μέση ετήσια ημερήσια κυκλοφορία (AADT) ορίζεται απλώς ως ο λόγος μεταξύ του αριθμού των διελεύσεων που καταγράφονται σε ένα οδικό τμήμα σε ένα έτος και του αριθμού των ημερών σε ένα έτος, όπως αναφέρεται στο σημείο (4):

$$AADT_j = \frac{TA_j}{365} \quad (4)$$

Το HCM παρέχει έναν εμπειρικό παράγοντα που ονομάζεται παράγοντας K (απλώς αναφέρεται επίσης ως K στα ακόλουθα), ο οποίος καθιστά δυνατή την εναλλαγή μεταξύ του AADT και του αναμενόμενου ωριαίου όγκου κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια της ημερήσιας ώρας αιχμής [40]. Ο παράγοντας K, ο οποίος ουσιαστικά δεν είναι τίποτα περισσότερο από ένα ποσοστό του AADT, ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του τμήματος αυτοκινητοδρόμου αστικό / λειτουργικό ή αγροτικό / ψυχαγωγικό. Η χρήση του παράγοντα K για τον προσδιορισμό του όγκου κυκλοφορίας κατά τις ώρες αιχμής ως ποσοστό του AADT μπορεί να ξεπεράσει το πρόβλημα της έλλειψης δεδομένων που συζητήθηκαν στην αρχή αυτής της ενότητας. Ο ωριαίος όγκος κυκλοφορίας αιχμής που μπορεί να αναμένεται σε ένα αστικό / λειτουργικό τμήμα αυτοκινητόδρομου είναι περίπου το 9% της συνολικής μέσης ημερήσιας κυκλοφορίας. Στην περίπτωση αγροτικού/ψυχαγωγικού τμήματος αυτοκινητόδρομου, η ωριαία αιχμή μπορεί να αντιπροσωπεύει το 10% της συνολικής μέσης ημερήσιας κυκλοφορίας. Γενικά, στα αγροτικά τμήματα αυτοκινητοδρόμων, υπάρχει μεγαλύτερη μεταβλητότητα, με μερικές ωριαίες αιχμές έως και 30% της ημερήσιας κυκλοφορίας.

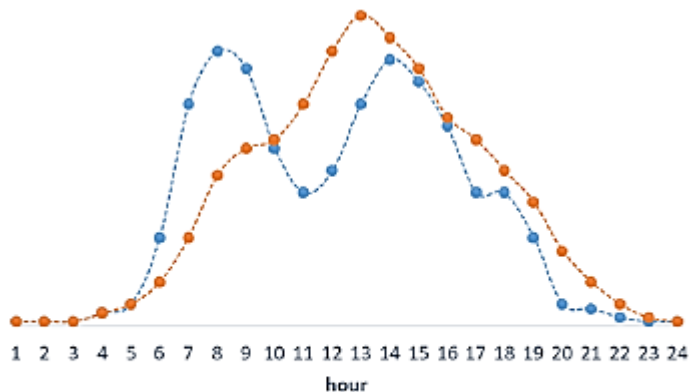


FIGURE 3: Qualitative reproduction of the service area entrances made available by Google. An urban highway section (in blue) and a recreational highway section (in orange) are shown.

ΣΧΗΜΑ 4.3: Ποιοτική αναπαραγωγή των εισόδων της περιοχής εξυπηρέτησης που διατίθενται από την Google. Εμφανίζεται ένα τμήμα αστικού αυτοκινητόδρομου (με μπλε χρώμα) και ένα τμήμα αυτοκινητόδρομου αναψυχής (με πορτοκαλί χρώμα).

Όπως ορίζεται μέσω (5), ο ωριαίος όγκος κυκλοφορίας αιχμής μπροστά από την περιοχή εξυπηρέτησης j -οστή ο ωριαίος μέγιστος όγκος (HVP_j), ορίζεται ως το γινόμενο του AADT και του παράγοντα K , όπου ο τελευταίος είναι συνάρτηση του τύπου του οδικού τμήματος στο οποίο βρίσκεται η περιοχή εξυπηρέτησης j :

$$HVP_j = AADT_j \cdot K_j \quad (5)$$

Για να υπολογιστεί ο αναμενόμενος ωριαίος όγκος κυκλοφορίας αιχμής, είναι απαραίτητο να επιλέξετε μία από τις δύο τιμές του προτεινόμενου παράγοντα K (δηλαδή, 9% ή 10%). Δεδομένου του μεγάλου αριθμού περιοχών εξυπηρέτησης που πρέπει να ληφθούν υπόψη, αποφασίστηκε να εφαρμοστεί μια ταχεία και αυτοματοποιημένη διαδικασία που θα επέτρεπε την ταξινόμηση των εταιρειών (πάροχοι) σύμφωνα με το εδαφικό πλαίσιο και τον τύπο του οδικού τμήματος στο οποίο βρίσκονται. Για να γίνει αυτό, έχει χρησιμοποιηθεί το λογισμικό GIS (Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών) QGIS [41]. Το λογισμικό GIS έχει επιτρέψει την επικάλυψη δύο διαφορετικών χωρικών στρωμάτων:

- Ένα επίπεδο που περιέχει όλες τις χωρικές πληροφορίες που σχετίζονται με τις 204 περιοχές εξυπηρέτησης του δικτύου ΑΣΠΠ
- Ένα επίπεδο που χωρίζει ολόκληρη την ιταλική επικράτεια σε 4 τύπους ζωνών ανάλογα με τον πληθυσμό που κατοικεί στην περιοχή, το επίπεδο αστικοποίησης, την πυκνότητα του πληθυσμού και την εκβιομηχάνιση της επικράτειας [42]:
 - a. Κατοικημένα κέντρα
 - b. Κατοικημένος πυρήνας
 - c. Εντοπιότητα παραγωγικότητας
 - d. Διάσπαρτα σπίτια.

Με την επικάλυψη των δύο επιπέδων είναι δυνατόν, για κάθε περιοχή εξυπηρέτησης, να χαρακτηριστεί η περιοχή στην οποία βρίσκεται και να ταξινομηθεί ως αστική SA, εάν εμπίπτει στις κατηγορίες a, b ή c, ή αγροτική SA, εάν εμπίπτει στην κατηγορία d. Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης παρουσιάζεται γραφικά στο Σχήμα 4.



FIGURE 4: Classification of service areas according to the territorial context in which they are located (urban in red, rural in blue).

ΣΧΗΜΑ 4.4: Ταξινόμηση των περιοχών εξυπηρέτησης σύμφωνα με το εδαφικό πλαίσιο στο οποίο βρίσκονται (αστικές με κόκκινο χρώμα, αγροτικές με μπλε χρώμα).

Μόλις αποδοθεί η τιμή του παράγοντα K στις διάφορες περιοχές εξυπηρέτησης, είναι τότε δυνατό να εκτιμηθεί ο ωριαίος όγκος κυκλοφορίας HVs P_j εφαρμόζοντας (5). Για να γνωρίζουμε το μερίδιο των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων που θα μπορούσαν να σταματήσουν στην περιοχή εξυπηρέτησης κατά τη διάρκεια αυτού του χρονικού πλαισίου μίας ώρας ($BEV_{in,j}$), είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν οι ίδιες δύο παράμετροι E και F που ορίζονται για το (1) όπως και για το (6):

$$BEV_{in,j} = HVP_j \cdot F \cdot E \quad (6)$$

Μόλις εκτιμηθεί ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων που θα μπορούσαν να σταματήσουν ταυτόχρονα για επαναφόρτιση, είναι απαραίτητο να καθοριστεί ένας συντελεστής χρονικής στιγμής Γ_e για να εκτιμηθεί η πιθανότητα τα οχήματα αυτά να φορτιστούν ταυτόχρονα. Ο συντελεστής χρονικής στιγμής ορίζεται εδώ ως ο λόγος μεταξύ του συνολικού χρόνου που απαιτείται για τη φόρτιση και του εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος κατά το οποίο τα οχήματα φθάνουν στην

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ περιοχή εξυπηρέτησης, δηλαδή μία ώρα. Με βάση αυτές τις παραδοχές, η εξίσωση (7) βρίσκεται στη συνέχεια:

$$\Gamma_c = \frac{T_r}{\Delta t_{ob}} \quad (7)$$

όπου T_r είναι ο χρόνος που απαιτείται για μια πλήρη επαναφόρτιση, συμπεριλαμβανομένων όλων των συμπληρωματικών λειτουργιών που απαιτούνται για την έναρξη και την ολοκλήρωση της φόρτισης και Δt_{ob} είναι το διάστημα παρατήρησης μίας ώρας κατά το οποίο τα οχήματα φθάνουν σε μια γενική περιοχή εξυπηρέτησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο παράγοντας της χρονικής στιγμής είναι ανεξάρτητος από την εξεταζόμενη περιοχή εξυπηρέτησης και, ως εκ τούτου, εφαρμόζεται γενικά. Ο αριθμός των ταυτόχρονων χρεώσεων που αναμένονται στην περιοχή εξυπηρέτησης j -οστή (RC_j), επομένως, μπορεί να εκτιμηθεί από τον αριθμό των ωριαίων εισροών των ηλεκτρικών οχημάτων ($BEV_{in,j}$) που ορίζονται προηγουμένως όπως αναφέρεται στο σημείο (8):

$$RC_j = BEV_{in,j} \cdot \Gamma_c \quad (8)$$

Γνωρίζοντας τον εκτιμώμενο αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων που θα μπορούσαν ταυτόχρονα να απαιτούν γρήγορη φόρτιση, υπολογίζεται η ισχύς που θα χρειαζόταν η SA για να καλύψει αυτή τη ζήτηση. Η συνολική ισχύς $P_{SA,j}$ που απαιτείται σε μια δεδομένη περιοχή εξυπηρέτησης υπολογίζεται σύμφωνα με:

$$P_{SA,j} = RC_j \cdot P_{nom} \quad (9)$$

όπου RC_j είναι ο αναμενόμενος αριθμός ταυτόχρονων φορτίσεων κατά τη διάρκεια της ώρας αιχμής στην περιοχή εξυπηρέτησης j -οστή και P_{nom} είναι η ισχύς που παρέχεται σε κάθε όχημα συνδεδεμένο σε σταθμό φόρτισης (το οποίο υπενθυμίζουμε ότι ήταν 100 kW).

V. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η εμπειρία της ASPI μας επιτρέπει να πούμε ότι ο αριθμός των οχημάτων που αποφασίζουν να εισέλθουν σε μια περιοχή εξυπηρέτησης είναι μεταξύ 8 και 12% του συνολικού αριθμού οχημάτων που περνούν μπροστά από την περιοχή εξυπηρέτησης. Για το λόγο αυτό, έχει επιλεγεί μέση τιμή 10% για την παράμετρο F . Το μερίδιο των αναμενόμενων BEVs (παράμετρος E) έχει οριστεί ίσο με 10,1%, σύμφωνα με το πιο επιταχυνόμενο σενάριο ανάπτυξης που βρίσκεται στο [16] επιλέγοντας το έτος 2030 ως χρονικό ορίζοντα. Ο συντελεστής συγχρονικότητας Γ_c έχει οριστεί ίσος με 0,5, δεδομένου ότι θεωρείται ότι η διάρκεια ολόκληρης της λειτουργίας φόρτισης είναι ίση με 30 λεπτά [βλ. επ. (7)]. Ο Πίνακας 2 συνοψίζει τις τιμές όλων των παραμέτρων που παρουσιάζονται στην Ενότητα IV και επιλέγονται για τους υπολογισμούς του μοντέλου μας.

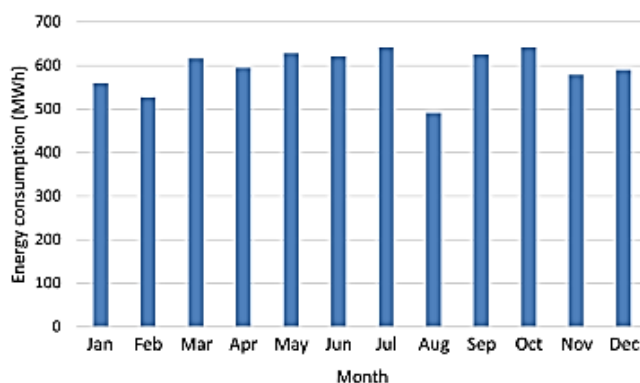
Η ευελιξία της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε (η οποία είναι η σημαντικότερη δύναμή της) επιτρέπει τη χρήση της για οποιαδήποτε διαφορετική υποδομή και σενάριο αυτοκινητοδρόμων, καθώς αυτές οι παράμετροι μπορούν να τροποποιηθούν ανάλογα με το πλαίσιο στο οποίο εφαρμόζεται αυτό το μοντέλο (δηλαδή, περιοχές εξυπηρέτησης με υψηλότερες ή χαμηλότερες εισόδους, περισσότερο ή λιγότερο έντονες αιχμές κυκλοφορίας, εγκατεστημένα υψηλότερα ή

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ χαμηλότερα ισχυρά CSs, διαφορετικά επίπεδα διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων σε διαφορετικό χρονικό ορίζοντα).

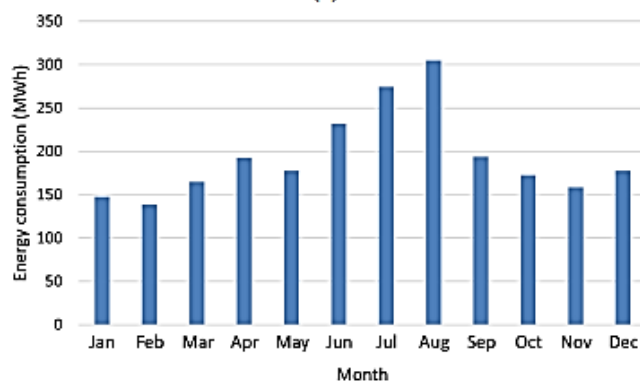
Α. ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

Το σχήμα 5 παρέχει ένα παράδειγμα των αποτελεσμάτων που επιτεύχθηκαν για μια μηνιαία κατανάλωση για φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων που αναμένεται το 2030 από δύο διαφορετικές εταιρείες. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι, στην αστική SA (Εικ. 5a), που βρίσκεται κοντά στο Μιλάνο σε ένα τμήμα αυτοκινητόδρομου που χαρακτηρίζεται από ταξίδια για σκοπούς που σχετίζονται με την εργασία, παρατηρείται ελάχιστη κατανάλωση κατά τη διάρκεια του Αυγούστου. Από την άλλη, στην αγροτική SA (Εικ. 5b), η κορυφή στην

κατανάλωση παρουσιάζεται τον Αύγουστο. Δεδομένου ότι αυτή η SA βρίσκεται κατά μήκος της ακτής της Αδριατικής, η κορυφή μπορεί εύκολα να αποδοθεί σε ταξίδια που σχετίζονται με καλοκαιρινές διακοπές.



(a)



(b)

FIGURE 5: Monthly consumption expected in 2030 for recharging EVs in two sample service areas, urban (a) and rural (b).

ΣΧΗΜΑ 4.5: Αναμενόμενη μηνιαία κατανάλωση το 2030 για την επαναφόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων σε δύο περιοχές εξυπηρέτησης του δείγματος, τις αστικές a) και τις αγροτικές b).

Το σχήμα 6 συνοψίζει τα αποτελέσματα αυτής της πρώτης ανάλυσης: εμφανίζονται όλες οι περιοχές εξυπηρέτησης του δικτύου ASPI και κάθε μία συνδέεται με την ετήσια κατανάλωση ενέργειας που αναμένεται το 2030 για την κάλυψη των αναγκών επαναφόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Το χρώμα του συμβόλου που προσδιορίζει τις περιοχές εξυπηρέτησης ορίζεται σύμφωνα με το υψηλότερο ή χαμηλότερο επίπεδο αναμενόμενης κατανάλωσης ενέργειας. Η ταξινόμηση αυτή

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ καθιστά δυνατό όχι μόνο τον άμεσο εντοπισμό των κρίσιμων περιοχών του δικτύου όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας, αλλά και την ποσοτικοποίηση του επιπέδου της αναμενόμενης κατανάλωσης. Οι πιο κρίσιμες περιοχές βρίσκονται κατά μήκος στο τμήμα του αυτοκινητόδρομου A4 που συνδέει το Μιλάνο (MI) και το Μπέργκαμο (BG) και εν μέρει επίσης κατά μήκος του τμήματος του αυτοκινητόδρομου A1 από το Μιλάνο (MI) έως τη Μπολόνια (BO), με κορυφές σχεδόν 5 GWh ετησίως στις πιο πολυσύχναστες περιοχές εξυπηρέτησης. Η συνολική ετήσια κατανάλωση που συνδέεται με τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων σε όλες τις περιοχές εξυπηρέτησης του δικτύου ASPI εκτιμάται επομένως σε περίπου 230 GWh.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2: Κατανομή χωρητικότητας μπαταρίας με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα στο [14].

Παράμετρος	Περιγραφή	Τιμή / Μέγεθος
	Χρονικός ορίζοντας	2030
F	Μερίδιο οχημάτων που εισέρχονται σε μια SA σε σχέση με τη διέλευση από μπροστά της	10%
E	Μερίδιο αναμενόμενων BEV, συμπεριλαμβανομένων των ελαφρών επιβατικών οχημάτων και των ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων, στον ιταλικό στόλο αυτοκινήτων	10,1%
SOC	Λειτουργία κατανομής κατάστασης χρέωσης	Διανομή Weibull ($\lambda=45$, $\kappa=4$)
C_{batt}	Λειτουργία κατανομής χωρητικότητας μπαταρίας	Τιμές που αναφέρονται στον Πίνακα 1
K	Παράμετρος που μετατρέπει τη συνολική ημερήσια κίνηση σε ωριαία κίνηση αιχμής	9% (για αστικές περιοχές)
		10% (για αγροτικές περιοχές)
Γ_c	Παράμετρος Συγχρονισμού	0,5
P_{nom}	Ονομαστική ισχύς μιας υποδοχής φόρτισης	100 KW

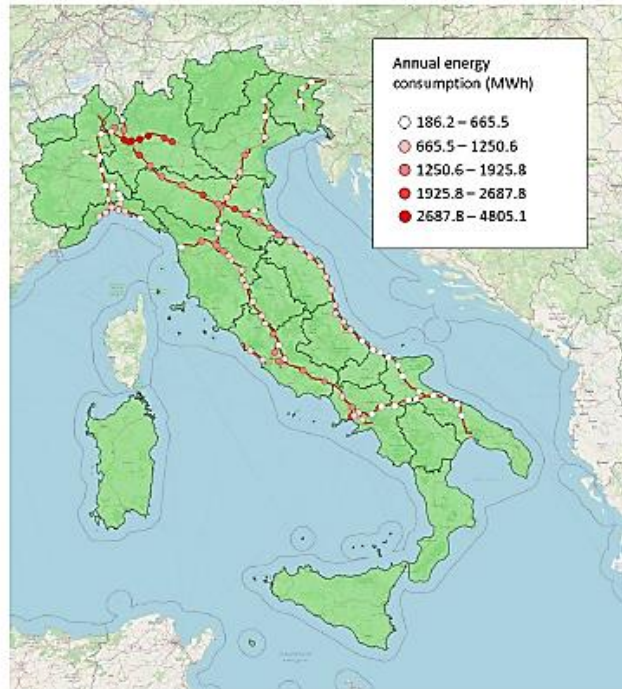


FIGURE 6: Annual energy consumption for EV charging on the SAs belonging to ASPI network expected in 2030.

ΣΧΗΜΑ 4.6: Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων των εταιρειών που ανήκουν στο δίκτυο ASPI που αναμένεται το 2030.



FIGURE 7: Power to be installed to meet the changing needs of EVs on the SAs belonging to ASPI network expected in 2030.

ΣΧΗΜΑ 4.7: Ισχύς προς εγκατάσταση για την κάλυψη των μεταβαλλόμενων αναγκών των ηλεκτρικών οχημάτων στις εταιρείες που ανήκουν στο δίκτυο ASPI που αναμένεται το 2030.

Β. ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΘΕΙ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ

Το σχήμα 7 συνοψίζει τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εκτίμηση της ισχύος που απαιτείται σε κάθε περιοχή εξυπηρέτησης για την αντιμετώπιση των αναμενόμενων κορυφών ταυτόχρονης φόρτισης. Οι 204 περιοχές εξυπηρέτησης, που υποδεικνύονται στο σχήμα με κουκκίδες, είναι χρωματισμένες με διαφορετικές διαβαθμίσεις κόκκινου ανάλογα με το επίπεδο ισχύος που θα χρειαζόταν για να εγκατασταθεί. Μια ισχυρή ομοιότητα με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο Σχήμα 6 για την κατανάλωση ενέργειας είναι άμεσα εμφανής. Όπως αναμενόταν, τα κρίσιμα σημεία όσον αφορά τη ζήτηση ισχύος εντοπίζονται όπου υπάρχει γενική έντονη κυκλοφορία (π.χ. κατά μήκος του τμήματος του αυτοκινητόδρομου Α4 μεταξύ Μιλάνου και Μπέργκαμο). Όπως φαίνεται μέσα από το διάγραμμα του σχήματος 8, στις περισσότερες περιοχές εξυπηρέτησης, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η ισχύς μεταξύ 500 και 1000 kW επαρκεί για την κάλυψη των μεταβαλλόμενων απαιτήσεων έως το 2030. Η αιχμή της ζητούμενης ισχύος βρίσκεται στις δύο αστικές περιοχές εξυπηρέτησης κατά μήκος της περιφερειακής οδού του Μιλάνου, όπου είναι έως και 3,5 MW. Ενδέχεται να χρειαστούν και πάνω από 3,5 MW. Γενικά, η ισχύς που θα χρειαστεί μειώνεται μεταβαίνοντας από βορρά προς νότο και από αστικές σε αγροτικές περιοχές.

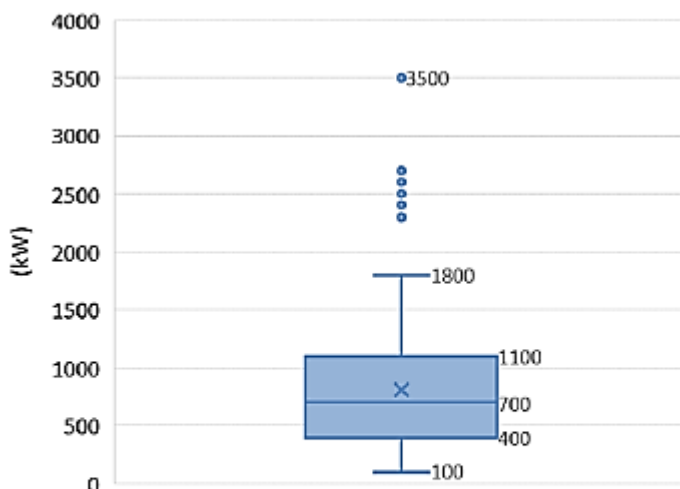


FIGURE 8: Distribution of the power to make available among the ASPI highway service areas summarized within a box plot. Almost all values are between 100 and 1800 kW, with an average of around 800 kW and a median of 700 kW.

ΣΧΗΜΑ 4.8: Κατανομή της ισχύος διάθεσης μεταξύ των περιοχών εξυπηρέτησης αυτοκινητοδρόμων ASPI που συνοψίζονται σε ένα διάγραμμα.

Σχεδόν όλες οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 100 και 1800 kW, με μέσο όρο περίπου 800 kW και διάμεσο 700 kW.

VI. ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ

Η εκστρατεία για την ανάπτυξη σταθμών ταχείας φόρτισης στο δίκτυο ASPI ξεκίνησε το καλοκαίρι του 2021 και βρίσκεται σε εξέλιξη. Όπως είναι αναμενόμενο, τα δεδομένα που συλλέγονται κατά τη διάρκεια αυτών των μηνών είναι εξαιρετικά ευαίσθητα για τον φορέα εκμετάλλευσης υπηρεσιών φόρτισης και ταυτόχρονα δεν μπορούν να δημοσιοποιηθούν για λόγους αγοράς και εμπιστευτικότητας. Ωστόσο, έχει χορηγηθεί από την τιμολόγηση του ομίλου ASPI φορέας παροχής

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ υπηρεσιών για πρόσβαση στα δεδομένα από έξι μήνες λειτουργίας των σταθμών φόρτισης ενός AdS στη βορειοανατολική περιοχή. Το παρόν AdS ταξινομείται ως αστικό σύμφωνα με τα κριτήρια που περιγράφονται στο τμήμα IV. Για τους λόγους που αναφέρονται παραπάνω, τα δεδομένα αυτά θα παρουσιάζονται σε ανώνυμη μορφή.

Παρά τους περιορισμούς αυτούς, εξήχθησαν όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες για να επικυρωθούν, αν και με προκαταρκτικό τρόπο, ορισμένες από τις υποθέσεις που έγιναν κατά την ανάπτυξη της μεθοδολογίας που παρουσιάστηκε. Τα διαθέσιμα στοιχεία αφορούν τους μήνες Οκτώβριο 2021 έως Μάρτιο 2022. Σύμφωνα με τα στοιχεία που αναφέρονται στο [43], υπήρχαν 122.138 BEV που είχαν καταχωριστεί στην Ιταλία στο τέλος του 2021. Το μοντέλο που αναπτύχθηκε από τους συγγραφείς στο [16], και υιοθετήθηκε στο παρόν έργο (ετικέτα ως επιταχυνόμενο σενάριο) παρείχε έναν αριθμό BEVs κατά την ίδια περίοδο ίσο με 122.252, δηλαδή απόκλιση μικρότερη από 1%. Το αποτέλεσμα αυτό επιτρέπει, επί του παρόντος, την επαλήθευση της εγκυρότητας των δεδομένων εισόδου σχετικά με το μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύνολο του ιταλικού στόλου οχημάτων που χρησιμοποιείται στα σημεία 1) και 6).

Μια δεύτερη σημαντική επικύρωση αφορούσε τη συσχέτιση μεταξύ του όγκου κυκλοφορίας στο τμήμα της οδού που βλέπει στην περιοχή εξυπηρέτησης και του αριθμού των οχημάτων που χρησιμοποίησαν τις υπηρεσίες χρέωσης. Όπως φαίνεται από τη σύγκριση που έγινε στο Σχήμα 9, υπάρχει μια αρκετά σαφής συσχέτιση μεταξύ του κυκλοφοριακού φόρτου και της ενέργειας που απαιτείται για τη φόρτιση.

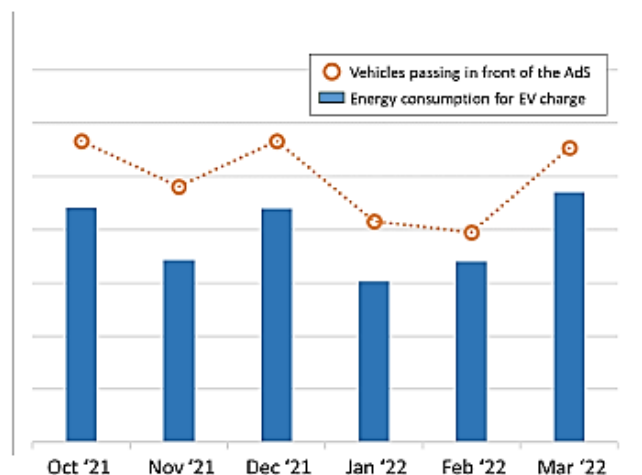


FIGURE 9: Anonymized data of monthly measured energy required by fast charging stations installed in an AdS in the northeast area, classified as urban, and total number of vehicles passing in front of the AdS. Period from October 2021 to March 2022.

ΣΧΗΜΑ 4.9: Ανώνυμα δεδομένα μηνιαίας μετρούμενης ενέργειας που απαιτείται από σταθμούς ταχείας φόρτισης εγκατεστημένους σε AdS στη βορειοανατολική περιοχή, ταξινομημένα ως αστικά, και συνολικός αριθμός οχημάτων που διέρχονται μπροστά από το AdS. Περίοδος από Οκτώβριο 2021 έως Μάρτιο 2022.

Όσον αφορά τις προβλέψεις σχετικά με την ενέργεια που απαιτείται για την παροχή των επαναφορτίσεων, ήταν δυνατό να παρατηρηθεί, για κάθε μεμονωμένο μήνα, απόκλιση σε εύρος από τουλάχιστον 2% έως μέγιστο 20%. Σε κάθε περίπτωση, η κατανάλωση που προβλεπόταν μέσω της μεθοδολογίας που υιοθετήθηκε σε αυτή την εργασία ήταν πάντα υψηλότερη από τις πραγματικές απαιτήσεις. Αυτό το αποτέλεσμα, επίσης, επιβεβαιώνει την εγκυρότητα αυτού του εργαλείου για τον

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ προγραμματισμό των ενεργειακών αναγκών για την κάλυψη της φόρτισης και των απαιτήσεων των χρηστών.

Τέλος, τα στοιχεία σχετικά με την κατανομή της χωρητικότητας των μπαταριών οχημάτων για το 2021 που εξάγονται και πάλι από [14], τονίζουν ότι δεν υπήρξε εμφανής αύξηση της χωρητικότητας των μπαταριών. Το 91% των BEVs εξακολουθεί να έχει χωρητικότητα μπαταρίας μεταξύ 15 και 60 kWh, ενώ οι υψηλότερες τιμές παραμένουν μέσα σε λίγες ποσοστιαίες μονάδες.

VII. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι εργασίες που παρουσιάστηκαν συνίστανται στην αξιολόγηση των επιπτώσεων που θα έχει η εξάπλωση των ηλεκτρικών οχημάτων, βραχυπρόθεσμα, στις ιταλικές περιοχές εξυπηρέτησης κατά μήκος του δικτύου αυτοκινητοδρόμων. Επιδίωξε να δώσει συγκεκριμένη απάντηση στην επείγουσα ανάγκη εξοπλισμού των χώρων εξυπηρέτησης με σταθμούς ταχείας φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Είναι σαφές από τα αποτελέσματα ότι, ιδίως στις πιο πολυσύχναστες περιοχές του δικτύου κοντά στις μεγαλύτερες πόλεις του Βορρά, οι ανάγκες σε ενέργεια και ισχύ που πρέπει να διατεθούν είναι μεγάλες. Τα αποτελέσματα δείχνουν επίσης ως μελλοντική ανάγκη για σταθμούς φόρτισης ικανούς να επαναφορτίζουν από 20 έως 30 οχήματα ταυτόχρονα, ισχύος 2 – 3 MW. Αυτό σημαίνει σαφώς σημαντικές επενδύσεις, φυσικό χώρο και ιδιαίτερη προσοχή στις πτυχές της ασφάλειας.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία μπορεί να είναι εξαιρετικά χρήσιμη για τον σχεδιασμό του εξηλεκτρισμού του οδικού δικτύου τα επόμενα χρόνια, καθοδηγώντας την κατασκευή σταθμών φόρτισης όπου χρειάζονται επείγοντως και εκτιμώντας την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που θα απαιτηθεί. Αυτές οι πληροφορίες είναι θεμελιώδεις για τον σχεδιασμό της ενεργειακής διαχείρισης υποδεικνύοντας τις καλύτερες πολιτικές για την αγορά και διαχείριση ηλεκτρικής ενέργειας. Η ισχύς αυτής της μεθοδολογίας έχει αποδειχθεί ότι είναι διπλή: η απλότητα του αλγορίθμου και η εξαιρετική ευελιξία του. Στην πραγματικότητα, ο αλγόριθμος απαιτεί δεδομένα που είναι γενικά διαθέσιμα στους διαχειριστές υποδομής αυτοκινητοδρόμων και μπορεί να προσαρμοστεί για να αντιμετωπίσει διαφορετικά σενάρια διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων ή σε διαφορετικά δεδομένα κυκλοφορίας. Επιπλέον, αυτή η μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοστεί και σε άλλα πλαίσια εκτός από το εξωαστικό, όπως, για παράδειγμα, σε έναν παραδοσιακό σταθμό ανεφοδιασμού που βρίσκεται σε μια προαστιακή περιοχή.

Τα προκαταρκτικά στοιχεία φαίνεται να επιβεβαιώνουν την εγκυρότητα της προσέγγισης και των παραδοχών που υιοθετήθηκαν. Οι μελλοντικές δραστηριότητες θα αποσκοπούν στη βελτίωση των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν από τις παρούσες εργασίες, υπό την προϋπόθεση ότι η πιθανότητα η ισχύς των σταθμών φόρτισης είναι διαφορετική στις διάφορες περιοχές εξυπηρέτησης με βάση τις διαφορετικές αναμενόμενες εισροές οχημάτων. Επιπλέον, η πραγματική κατανομή του στόλου οχημάτων στις διάφορες ιταλικές περιφέρειες, που θεωρείται ότι είναι ομοιόμορφη σε όλη τη χώρα σε αυτό το έργο, θα επικυρωθεί ξεκινώντας από λεπτομερέστερα δεδομένα που θα είναι διαθέσιμα στο εγγύς μέλλον, τα οποία θα είναι πιο αντιπροσωπευτικά των ιδιόμορφων διαφορών μεταξύ των διαφόρων τμημάτων της εθνικής επικράτειας.

4.1.1. REFERENCES (ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ)

- [4.1] International Energy Agency, “Global energy-related CO₂ emissions by sector,” <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/globalenergy-related-co2-emissions-by-sector>, Accessed: Oct. 2022.
- [4.2] “Global CO₂ emissions in transport by mode in the Sustainable Development Scenario, 2000-2070,” <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-co2-emissions-in-transportby-mode-in-the-sustainable-development-scenario-2000-2070>, Accessed: Oct. 2022.
- [4.3] European Commission, “A European strategy for low emission mobility,” <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/aeuropean-strategy-for-low>, Accessed: Oct. 2022.
- [4.4] “Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 (‘European Climate Law’),” <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R1119>, Accessed: Oct. 2022.
- [4.5] R. Stammer Jr and F. Stodolsky, “Assessment of the energy impacts of improving highway-infrastructure materials,” Argonne National Lab.(ANL), Argonne, IL (United States), Tech. Rep., 1995.
- [4.6] S. Chu, J. Goldemberg, S. Arungu Olende, M. El-Ashry, G. Davis, T. Johansson, D. Keith, L. Jinghai, N. Nakicenovic, R. Pachauri et al., “Lighting the way: toward a sustainable energy future,” Inter Academy Council, Amsterdam, 2007.
- [4.7] R. Bapna, L. S. Thakur, and S. K. Nair, “Infrastructure development for conversion to environmentally friendly fuel,” European Journal of Operational Research, vol. 142, no. 3, pp. 480–496, 2002.
- [4.8] M. Kuby and S. Lim, “The flow-refueling location problem for alternative-fuel vehicles,” Socio-Economic Planning Sciences, vol. 39, no. 2, pp. 125–145, 2005.
- [4.9] R. Wolbertus, S. Jansen, and M. Kroesen, “Stakeholders’ perspectives on future electric vehicle charging infrastructure developments,” Futures, vol. 123, p. 102610, 2020.
- [4.10] J. Buss, “Automakers need a global timetable for phasing out internal-combustion engines,” Forbes Magazine 2018, 2018.
- [4.11] European Court of Auditor, “Infrastructure for charging electric vehicles: more charging stations but uneven deployment makes travel across the EU complicated,” <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/electrical-recharging-5-2021/en/>, Accessed: Oct.2022.
- [4.12] L. Mathieu, “Roll-out of public ev charging infrastructure in the eu.is the chicken and egg dilemma resolved?” Transport & Environment,2018.
- [4.13] “Realizing High Power Charging Networks for Europe,” <https://www.polisnetwork.eu/wp-content/uploads/2019/10/8-MEGAE-high-power-charging-network-Frank-Verhulst-Allego.pdf>, Accessed: Oct. 2022.
- [4.14] “Automobile Club Italia. Dati e Statistiche.” <http://www.aci.it/laci/studi-e-ricerche/dati-e-statistiche.html>, Accessed: Oct. 2022.
- [4.15] Ministero dello Sviluppo Economico, <https://ecobonus.mise.gov.it/>, Accessed: Oct. 2022.
- [4.16] D. Franceschini, V. Cirimele, and M. Longo, “Analysis of Possible Scenarios on the Future Development of Electric Mobility: Focus on the Italian Context,” in 2021 AEIT International Annual Conference (AEIT). IEEE, 2021, pp. 1–6.

[4.17] Autostrade per l'Italia website, <https://www.autostrade.it/it/lanostra-rete>, Accessed: Oct. 2022.

[4.18] T. Gnann, S. Funke, N. Jakobsson, P. Plotz, F. Sprei, and A. Bennehag, “Fast charging infrastructure for electric vehicles: Today’s situation and future needs,” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 62, pp. 314–329, 2018.

[4.19] R. Wolbertus, M. Kroesen, R. Van Den Hoed, and C. Chorus, “Fully charged: An empirical study into the factors that influence connection times at EV-charging stations,” *Energy Policy*, vol. 123, pp. 1–7, 2018.

[4.20] B. Nykvist, F. Sprei, and M. Nilsson, “Assessing the progress toward lower priced long range battery electric vehicles,” *Energy policy*, vol.124, pp. 144–155, 2019.

[4.21] R. Wolbertus and R. Van den Hoed, “Electric vehicle fast charging needs in cities and along corridors,” *World Electric Vehicle Journal*, vol. 10, no. 2, p. 45, 2019.

[4.22] R. Wolbertus and R. van den Hoed, “Fast charging systems for passenger electric vehicles,” *World Electric Vehicle Journal*, vol. 11, no. 4, p. 73, 2020.

[4.23] P. Jochem, E. Szimba, and M. Reuter-Oppermann, “How many fastcharging stations do we need along European highways?” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 73, pp.120–129, 2019.

[4.24] S. Rajagopalan, A. Maitra, J. Halliwell, M. Davis, and M. Duvall, “Fast charging: An in-depth look at market penetration, charging characteristics, and advanced technologies,” in *2013 world electric vehicle symposium and exhibition (EVS27)*. IEEE, 2013, pp. 1–11.

[4.25] J. Asamer, M. Reinthaler, M. Ruthmair, M. Straub, and J. Puchinger, “Optimizing charging station locations for urban taxi providers,” *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 85, pp.233–246, 2016.

[4.26] H. Liimatainen, O. van Vliet, and D. Aplyn, “The potential of electric trucks—an international commodity-level analysis,” *Applied energy*, vol. 236, pp. 804–814, 2019.

[4.27] Associazione italiana societa concessionarie autostrade e trafori - Aiscat, “Dati provvisori delle autostrade italiane,” <https://www.aiscat.it/wp-content/uploads/2021/09/AISCATMensile-06-Giugno-2021.pdf>, Jun. 2021, Accessed: Oct. 2022.

[4.28] A. M. De Souza, C. A. Brennand, R. S. Yokoyama, E. A. Donato, E. R. Madeira, and L. A. Villas, “Traffic management systems: A classification, review, challenges, and future perspectives,” *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 13, no. 4, p. 1550147716683612, 2017.

[4.29] C. Antoniou, R. Balakrishna, and H. N. Koutsopoulos, “A synthesis of emerging data collection technologies and their impact on traffic management applications,” *European Transport Research Review*, vol. 3, no. 3, pp. 139–148, 2011.

[4.30] F. Lo Franco, R. Mandrioli, M. Ricco, V. Monteiro, L. Monteiro, J. Afonso, and G. Grandi, “Electric Vehicles Charging Management System for Optimal Exploitation of Photovoltaic Energy Sources Considering Vehicle-to-Vehicle Mode,” *Front. Energy Res.*, vol. 9, 2021.

[4.31] P. H. Divshali and C. Evens, “Behaviour analysis of electrical vehicle flexibility based on large-scale charging data,” in *2019 IEEE Milan PowerTech*. IEEE, 2019, pp. 1–6.

[4.32] F. Lo Franco, V. Cirimele, M. Ricco, V. Monteiro, L. Monteiro, J. Afonso, and G. Grandi, “Smart Charging for Electric Car-Sharing Fleets Based on Charging Duration Forecasting and Planning,” *Sustainability*, vol. 14, no. 19, 2022.

[4.33] Y. Zhang, R. Xiong, H. He, and W. Shen, “Lithium-ion battery pack state of charge and state of energy estimation algorithms using a hardware-in-the-loop validation,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 32, no. 6, pp. 4421–4431, 2016.

[4.34] “How to keep your battery in good shape during periods of inactivity,”

<https://incharge.vattenfall.de/en/knowledge-hub/articles/howto-keep-your-battery-in-good-shape-during-periods-of-inactivity>, Jun. 2020, Accessed: Oct. 2022.

[4.35] A. Hoke, A. Brissette, D. Maksimovi'c, D. Kelly, A. Pratt, and D. Boundy, “Maximizing lithium ion vehicle battery life through optimized partial charging,” in 2013 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT). IEEE, 2013, pp. 1–5.

[4.36] X. Shi, J. Pan, H. Wang, and H. Cai, “Battery electric vehicles: What is the minimum range required?” *Energy*, vol. 166, pp. 352–358, 2019.

[4.37] C. Caruso, “Why range anxiety for electric cars is overblown,” *MIT Technol. Rev.*, 2016.

[4.38] N. Carey and P. Lienert, “For EV battery makers, it’s go small or go home,”

<https://www.reuters.com/technology/ev-battery-makers-it-go-small-or-go-home-2022-07-11/>, Jul. 2022, Accessed: Oct. 2022.

[4.39] G. H. Ruffo, “Audi’s CEO Thinks EVs Will Have Less Range Due To Costly Battery Packs,” <https://insideevs.com/news/488469/audis-ceo-evs-less-range-costly-battery/>, Feb. 2021, Accessed: Oct. 2022.

[4.40] H. C. Manual, “Hcm2010,” Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, 2010.

[4.41] QGIS website, <https://www.qgis.org/it/site/about/index.html>, Accessed: Oct. 2022.

[4.42] Open data of the Istituto Nazionale di Statistica, <https://www.istat.it/it/archivio/104317>, Accessed: Oct. 2022.

[4.43] Pubblicazioni Motus-E, <https://www.motus-e.org/publicazionimotus-e>, Accessed: Oct. 2022.

4.2 Μελέτη Ροής Ισχύος

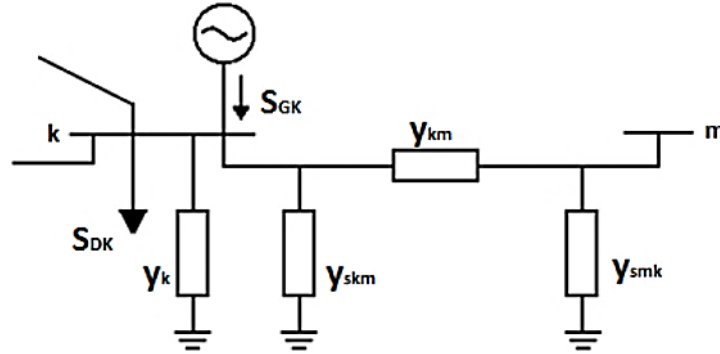
Ο ρόλος ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι η ικανοποίηση της ζήτησης πραγματικής και άεργου ισχύος των φορτίων, που βρίσκονται στους εγκατεστημένους ζυγούς του δικτύου. Τα φορτία καλούνται να εξυπηρετηθούν από ένα δεδομένο αριθμό γεννητριών μέσω των γραμμών του δικτύου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, την επιλογή μιας «βέλτιστης» ροής ισχύος μεταξύ των άπειρων άλλων που προκύπτουν. Η επίλυση του προβλήματος της ροής ισχύος αποτελεί σημαντικό εφόδιο για όλα τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας καθώς λαμβάνει υπόψη σημαντικούς περιορισμούς:

- Διατήρηση των τάσεων των ζυγών σε σταθερά επιθυμητά επίπεδα, μέσα στα επιτρεπόμενα όρια ανοχής.
- Διατήρηση των ορίων λειτουργίας των γραμμών μεταφοράς και διανομής σχετικά με τη μεταφορά ενέργειας.
- Επιδίωξη για την οικονομική λειτουργία του συστήματος, με την κατάλληλη προσαρμογή της παραγωγής των γεννητριών με στόχο την οικονομική κατανομή του φορτίου.
- Την πρόβλεψη για την αντιμετώπιση πιθανών διαταραχών του συστήματος.
- Την ευελιξία σχετικά με την εξέλιξη του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας με την προσθήκη ζυγών, γραμμών μεταφοράς και άλλων στοιχείων.

4.3 Εξισώσεις Ροών Ισχύος :

Για την επίλυση του προβλήματος της μελέτης ροής ισχύος, γίνεται χρήση του μοντέλου «εξισώσεις ροής φορτίου». Η παρουσίαση του, θα γίνει με τη βοήθεια ενός συστήματος δύο ζυγών (k, m) όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.5. Στον ζυγό k είναι εγκατεστημένο ένα φορτίο σταθερής ενεργού και άεργου ισχύος, ένα φορτίο αγωγιμότητας και μια γεννήτρια, ενώ η γραμμή μεταφοράς που συνδέει τους ζυγούς k και m , παριστάνεται με το π -ισοδύναμο κύκλωμα. Αναλυτικότερα:

- S_{GK} : Η μιγαδικής ισχύς που παράγει η γεννήτρια του ζυγού k .
- S_{DK} : Η μιγαδικής ισχύς που καταναλώνει το φορτίο σταθερής ισχύος του ζυγού k .
- y_k : Η εγκάρσια σύνθετη αγωγιμότητα στο ζυγό k , που συμπεριλαμβάνει οποιαδήποτε συστοιχία πυκνωτών, πηνίων ή φορτίων αγωγιμότητας.
- y_{km} : Η αγωγιμότητα σειράς της γραμμής που συνδέει τους ζυγούς k, m .
- y_{skm}, y_{smk} : Οι εγκάρσιες αγωγιμότητες της γραμμής που συνδέει τους ζυγούς k, m .



Εικόνα 4.2 : Γενικευμένος Ζυγός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

Το ρεύμα του ζυγού k που απορροφάτε από την κοντινότερη εγκάρσια αγωγιμότητα της γραμμής ισούται:

$$\hat{I}_{skm} = y_{skm} \cdot \hat{V}_k \quad 4.6$$

Το ρεύμα του ζυγού k που απορροφάτε από την αγωγιμότητα σειράς γραμμής ισούται:

$$\hat{I}_{km} = y_{km} \cdot \hat{V}_k \quad 4.7$$

Το ρεύμα του ζυγού m που απορροφάτε από την αγωγιμότητα σειράς της γραμμής ισούται:

$$\hat{I}_{mk} = y_{mk} \cdot \hat{V}_m \quad 4.8$$

Τελικά από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει το ρεύμα που ρέει στην γραμμή από τον ζυγό k στον ζυγό m και ισούται με:

$$\hat{I}_{km} = (y_{skm} + y_{km}) \cdot \hat{V}_k - y_{km} \cdot \hat{V}_m \quad 4.9$$

Εφαρμόζοντας τον νόμο του Kirchhoff στο ζυγό k, παίρνουμε:

$$\hat{I}_{Gk} - \hat{I}_{Dk} = y_k \cdot \hat{V}_k + \sum_{m \in A(k)} \hat{I}_{km} \quad 4.10$$

Όπου \hat{I}_{Gk} το ρεύμα που παράγει η γεννήτρια στο ζυγό k, \hat{I}_{Dk} το ρεύμα που απορροφά το φορτίο στο ζυγό k, $y_k \cdot \hat{V}_k$ το ρεύμα που απορροφάται από την εγκάρσια αγωγιμότητα y_k , και $A(k)$, το σύνολο των ζυγών που είναι διασυνδεδεμένοι με τον ζυγό k.

Αντικαθιστώντας την εξίσωση (4.9) στην εξίσωση (4.10) προκύπτει ότι:

$$\hat{I}_{Gk} - \hat{I}_{Dk} = \left[y_k + \sum_{m \in A(k)} (y_{skm} + y_{km}) \right] \cdot \hat{V}_k - \sum_{m \in A(k)} y_{km} \cdot \hat{V}_m \quad 4.11$$

Θέτοντας:

$$Y_{kk} = y_k + \sum_{m \in A(k)} (y_{skm} + y_{km}) \quad 4.12$$

$$Y_{km} = -y_{km}$$

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
 Προκύπτει ο πίνακας ή μήτρα αγωγιμοτήτων [Y] διαστάσεων n x n, όπου n ο αριθμός των ζυγών του εξεταζόμενου συστήματος, με τα στοιχεία Y_{kk} να αποτελούν τα διαγώνια στοιχεία του πίνακα και Y_{km} τα μη διαγώνια. Συνεπώς η εξίσωση γενικεύεται και η καθαρή έγχυση ρεύματος στον ζυγό k ορίζεται ως:

$$\hat{I}_k = \hat{I}_{Gk} - \hat{I}_{Dk} = Y_{kk} \cdot \hat{V}_k + \sum_{m \in A(k)} Y_{km} \cdot \hat{V}_m \quad 4.13$$

Στις μελέτες ροής φορτίου οι μεταβλητές που ενδιαφέρουν, είτε ως δεδομένα, είτε ως ζητούμενα, σε κάθε ζυγό δεν είναι τα ρεύματα, αλλά οι μιγαδικές ισχύεις παραγωγής S_{Gk} και του φορτίου S_{Dk} . Οι μιγαδικές αυτές ισχύεις δίνονται (στο ανά μονάδα σύστημα) από τις σχέσεις:

$$\begin{aligned} S_{Gk} &= \hat{V}_k \cdot \hat{I}_{Gk}^* \\ S_{Dk} &= \hat{V}_k \cdot \hat{I}_{Dk}^* \end{aligned} \quad 4.14$$

Συνδυάζοντας τις εξισώσεις (4.13) και (4.14) παίρνουμε ότι:

$$S_k = S_{Gk} - S_{Dk} = Y_{kk}^* \cdot \hat{V}_k^2 + \hat{V}_k \cdot \sum_{m \in A(k)} Y_{km}^* \cdot \hat{V}_m^* \quad 4.15$$

Όπου $S_k = P_k + j \cdot Q_k$ η καθαρή έγχυση μιγαδικής ισχύος στον ζυγό k. Η εξίσωση (4.15) εκφράζει το ισοζύγιο ισχύος στον ζυγό k και ονομάζεται μιγαδική εξίσωση ροής φορτίου στον ζυγό k. Εν συνεχεία, χρησιμοποιούμε τον συμβολισμό:

$$\hat{V}_k = V_k \cdot e^{j\delta_k} \quad \& \quad Y_{km} = G_{km} + j \cdot B_{km} \quad 4.16$$

Αντικαθιστώντας τις αγωγιμότητες και τις τάσεις από την (4.16) στην εξίσωση (4.15) και ξεχωρίζοντας πραγματικά και φανταστικά μέρη, παίρνουμε τις εξισώσεις ροής φορτίου σε πραγματική μορφή:

$$\begin{aligned} P_{Gk} - P_{Dk} &= V_k^2 \cdot G_{kk} - V_k \cdot \sum_{m \in A(k)} V_m \cdot \alpha_{km} \\ Q_{Gk} - Q_{Dk} &= -V_k^2 \cdot B_{kk} - V_k \cdot \sum_{m \in A(k)} V_m \cdot \beta_{km} \end{aligned} \quad 4.17$$

Όπου:

$$\begin{aligned} \alpha_{km} &= -G_{km} \cdot \cos(\delta_k - \delta_m) - B_{km} \cdot \sin(\delta_k - \delta_m) \\ \beta_{km} &= -G_{km} \cdot \sin(\delta_k - \delta_m) + B_{km} \cdot \cos(\delta_k - \delta_m) \end{aligned} \quad 4.18$$

Για ένα σύστημα n ζυγών υπάρχουν n εξισώσεις ενεργού και άεργου ισχύος της μορφής (4.17). Οι 2n αυτές εξισώσεις αποτελούν τις εξισώσεις ροής φορτίου με πραγματικές μεταβλητές. Ας σημειωθεί ότι η μορφή (4.17) δεν είναι η μοναδική, αφού αντί για την πολική μορφή των τάσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί η καρτεσιανή, και αντιστρόφως.

Ανάλυση του Προβλήματος Ροών Φορτίου :

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
 Θεωρώντας τη γενική περίπτωση ενός ζυγού του συστήματος, με παραγωγή και φορτίο που εκφράζονται ως ισχείς, διακρίνουμε τα ακόλουθα 6 μεγέθη:

- P_G : παραγόμενη ενεργός ισχύς
- Q_G : παραγόμενη άεργος ισχύς
- P_D : ενεργός ισχύς φορτίου
- Q_D : άεργος ισχύς φορτίου
- V : μέτρο τάσης του ζυγού
- δ : φασική γωνία τάσης του ζυγού

Τα ηλεκτρικά αυτά μεγέθη αποτελούν τις μεταβλητές του προβλήματος και είναι 6 ανά ζυγό. Σε ένα σύστημα με n ζυγούς υπάρχουν συνολικά $6n$ μεταβλητές, οι οποίες μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ομάδες:

- ✓ Τα φορτία, ή μεταβλητές ζήτησης (P_D , Q_D) χαρακτηρίζονται και σαν
- ✓ μεταβλητές διαταραχής και μπορούν να αποτελέσουν τα στοιχεία ενός
- ✓ διανύσματος διάστασης $2n$. Είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές του
- ✓ προβλήματος.
- ✓ Οι ισχείς παραγωγής (P_G , Q_G) χαρακτηρίζονται σαν μεταβλητές ελέγχου και
- ✓ μπορούν επίσης να θεωρηθούν σαν στοιχεία ενός άλλου διανύσματος $2n$.
- ✓ Ονομάζονται έτσι γιατί οι μονάδες παραγωγής αποτελούν τα κύρια μέσα
- ✓ ελέγχου της λειτουργίας του συστήματος.
- ✓ Οι τάσεις και οι γωνίες των ζυγών ανήκουν στις μεταβλητές κατάστασης και
- ✓ είναι εξαρτημένες. Οπότε μπορούν να αποτελέσουν τα στοιχεία ενός
- ✓ διανύσματος κατάστασης, διάστασης $2n$.

Η εγγεόμενη ενεργός και άεργος ισχύς σε ένα ζυγό i έχει χαρακτήρα παραγωγής όταν εισέρχεται στο δίκτυο ή χαρακτήρα φορτίου όταν εξέρχεται από αυτό και ορίζεται ως εξής:

$$P_i = P_{Gi} - P_{Di}$$

4.19

$$Q_i = Q_{Gi} - Q_{Di}$$

Οι ζυγοί ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες:

- Ζυγός Φορτίου (PQ), στον οποίο θεωρούνται γνωστές η ενεργός και άεργος ισχύς φορτίου και κατά συνέπεια οι εγχύσεις ενεργού και άεργου ισχύος.

$$(P_i = -P_{Di}, Q_i = -Q_{Di})$$

Ενώ, άγνωστα θεωρούνται το μέτρο και η γωνία τάσης του ζυγού.

- Ζυγός παραγωγής (PV), στον οποίο είναι γνωστά η παραγόμενη ενεργός ισχύς και το μέτρο της τάσης και άγνωστα η παραγόμενη άεργος ισχύς και η γωνία της τάσης.
- Ζυγός Ταλάντωσης ή Ζυγός Αναφοράς (slack), ο οποίος είναι ζυγός παραγωγής που χρησιμοποιείται για να αντισταθμίσει τις άγνωστες εξ αρχής απώλειες του δικτύου και γενικά για άμεση αντιμετώπιση των μεταβολών ισχύος. Στον ζυγό αυτό επιβάλλεται σταθερή τάση κατά μέτρο και γωνία, ενώ προσδιορίζονται η ενεργός και άεργος παραγόμενη ισχύς. Συνήθως, ορίζουμε για το ζυγό ταλάντωσης γωνία τάσης $\delta=0$.

Γενικά, το πρόβλημα προσδιορισμού των ροών φορτίου για ένα σύστημα με n ζυγούς ανάγεται στην επίλυση n μιγαδικών εξισώσεων (4.15) με n αγνώστους. Οι εξισώσεις αυτές συνδέουν ισχείς, τάσεις και γωνίες, δηλαδή τις τρεις χαρακτηριστικές μεταβλητές του προβλήματος. Τα ρεύματα δεν μας ενδιαφέρουν ποτέ απευθείας και υπολογίζονται εύκολα μετά την εύρεση των τάσεων και των γωνιών. Ωστόσο, το πρόβλημα αυτό παρουσιάζει τις εξής ιδιαιτερότητες:

a) Οι εξισώσεις είναι μιγαδικές: Δεδομένου ότι οι περισσότεροι ηλεκτρονικοί υπολογιστές έχουν τη δυνατότητα επεξεργασίας μιγαδικών αριθμών, η μιγαδική φύση των εξισώσεων ροής φορτίου δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη δυσκολία. Αν δεν υπάρχει αυτή η δυνατότητα, θα πρέπει οι μιγαδικές εξισώσεις (4.14) να μετατραπούν σε πραγματικές εξισώσεις (4.17). Η διαδικασία αυτή ωστόσο διπλασιάζει τον αριθμό των προς επίλυση εξισώσεων σε $2n$.

b) Οι εξισώσεις είναι μη γραμμικές: Ο μη γραμμικός χαρακτήρας των εξισώσεων ροής φορτίου δυσχεραίνει κάπως την αναλυτική επίλυση του προβλήματος. Ωστόσο, με τη βοήθεια ισχυρών ψηφιακών υπολογιστών μπορούμε να επιλύσουμε το πρόβλημα αριθμητικά με επαναληπτικούς αλγορίθμους.

Οι ψηφιακές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς των ροών φορτίου μπορούν να επιλύσουν με ικανοποιητική ακρίβεια τις μη γραμμικές αλγεβρικές εξισώσεις των ροών φορτίου για μεγάλα συστήματα με εκατοντάδες ζυγούς και απώλειες. Οι τρεις βασικές επαναληπτικές μέθοδοι που εφαρμόζονται στις μελέτες ροών φορτίου είναι:

- Μέθοδος Gauss-Seidel
- Μέθοδος Newton-Raphson
- Επαναληπτική Ταχεία Αποζευγμένη Μέθοδος (FDLF)

Και οι τρεις αυτές μέθοδοι ξεκινούν από μια αρχική λύση και με διαδοχικές ανακυκλώσεις προσεγγίζουν την τελική με τον ακόλουθο τρόπο: Η αρχική λύση χρησιμοποιείται στις εξισώσεις του προβλήματος για να βρεθεί μια καινούρια καλύτερη λύση. Εν συνεχεία, η δεύτερη λύση χρησιμοποιείται για να βρεθεί μια τρίτη ακόμα καλύτερη κ.ο.κ. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται συνεχώς έως ότου η λύση συγκλίνει. Μια τέτοια συγκλίνουσα διαδικασία ονομάζεται μέθοδος ανακυκλώσεων και η ποιότητά της κρίνεται από την ταχύτητα σύγκλισής της.

4.4 Βέλτιστη Ροή Ισχύος

Η βέλτιστη ροή ισχύος, γνωστή και με την αγγλική ορολογία "Optimal Power Flow" (OPF) αποτελεί μια εξέλιξη της επίλυσης του προβλήματος της Μελέτης Ροής Φορτίου. Αποσκοπεί στην βέλτιστη διαχείριση της παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα ΣΗΕ ακολουθώντας μια αλληλουχία περιορισμών. Βασικό περιορισμό αποτελεί η οικονομική κατανομή ισχύος φορτίου (Economic Dispatch) επιδιώκοντας την ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους των θερμικών μονάδων και ως επέκταση ολόκληρου του δικτύου, πάντα σε συνδυασμό με τους υπόλοιπους περιορισμούς του προβλήματος, που αποτελούν κυρίως τεχνικά όρια λειτουργίας του συστήματος.

Η διατήρηση της ασφάλειας του συστήματος απαιτεί κάθε στοιχείο του συστήματος να λειτουργεί στα επιθυμητά όρια ασφαλείας μόνιμης κατάστασης. Αυτό περιλαμβάνει το ελάχιστο και μέγιστο όριο εξόδου της γεννήτριας, τη μέγιστη ροή ισχύος στις γραμμές μεταφοράς και τους μετασχηματιστές καθώς και τη διατήρηση των τάσεων των ζυγών του συστήματος στα καθορισμένα όρια. Η τεχνική του OPF έχει γνωρίσει σημαντική ανάπτυξη σε υπολογιστικά συστήματα, για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης, κυρίως σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Έχει τη δυνατότητα επίλυσης προβλημάτων με βέλτιστο τρόπο, σε πολυσύνθετα συστήματα με αρκετά πολύπλοκους υπολογισμούς.

4.5 Μαθηματική Περιγραφή Προβλήματος

Η αντικειμενική συνάρτηση που χρησιμοποιείται στη Βέλτιστη Ροή Ισχύος συνήθως πρέπει να ελαχιστοποιηθεί. Σε μερικές περιπτώσεις όμως, όπως στη μεταφορά ισχύος μπορεί το πρόβλημα να διατυπωθεί με τέτοιο τρόπο που να απαιτείται μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης. Το γενικό πρόβλημα της βέλτιστης ροής ισχύος που θα εξεταστεί στο κεφάλαιο αυτό έχει να κάνει με την ελαχιστοποίηση μιας γενικής αντικειμενικής συνάρτησης, ικανοποιώντας ταυτόχρονα κάποιους περιορισμούς για την ασφαλή λειτουργία του συστήματος. Συγκεκριμένα, το πρόβλημα διατυπώνεται ως εξής:

- Συμβολίζουμε την Αντικειμενική Συνάρτηση Κόστους με : $F(x, u)$

Το πρόβλημα της βέλτιστης ροής ισχύος που στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης, περιλαμβάνει περιορισμούς ισότητας, ανισοτικούς περιορισμούς και όρια των μεταβλητών κατάστασης και των μεταβλητών ελέγχου. Ισχύουν οι εξής περιορισμοί:

$$g(x, u) = 0$$

$$h(x, u) \leq 0$$

$g(x, u)$: αναπαριστά τους μη γραμμικούς εξισωτικούς περιορισμούς (εξισώσεις ροής φορτίου) και

$h(x, u)$: είναι οι μη γραμμικοί ανισοτικοί περιορισμοί των διανυσμάτων x και u . Το διάνυσμα x αποτελείται από τις εξαρτημένες μεταβλητές, ενώ το διάνυσμα u τις μεταβλητές ελέγχου.

Οι μεταβλητές ελέγχου αποτελούν ποσότητες των στοιχείων του συστήματος οι οποίες μπορούν να προσαρμοστούν για την ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας. Συμβάλλουν δηλαδή στη διαμόρφωση του λειτουργικού κόστους και είναι οι ακόλουθες:

- Ενεργός ισχύς των γεννητριών
- Άεργος ισχύς των γεννητριών
- Πυκνωτές και επαγωγικά στοιχεία του συστήματος
- Καθαρή ανταλλαγή ενεργού ισχύος μέσω των γραμμών μεταφοράς/ διανομής

Οι εξαρτημένες μεταβλητές αποτελούν τις μεταβλητές που δεν μπορούν να ελεγχθούν αλλά είναι απαραίτητο να βρίσκονται μέσα στα επιθυμητά όρια. Οι εξαρτημένες μεταβλητές συνοψίζονται σε:

- Μέτρο τάσης των ζυγών,
- Γωνίες τάσης των ζυγών

Η αντικειμενική συνάρτηση μπορεί να πάρει διάφορες μορφές εκτός από αυτήν της ελαχιστοποίησης του κόστους παραγωγής. Συνηθίζεται να εκφράζεται η βέλτιστη ροή ισχύος ως η ελαχιστοποίηση των ηλεκτρικών απωλειών σε ένα σύστημα μεταφοράς ή ως η ελάχιστη απόκλιση της παραγωγής και άλλων ελέγχων από ένα βέλτιστο σημείο λειτουργίας. Ανεξάρτητα από την αντικειμενική συνάρτηση, η βέλτιστη ροή φορτίου πρέπει να λυθεί, ώστε όλοι οι περιορισμοί ισχύος να περιλαμβάνονται και να ικανοποιούνται στη λύση.

4.6 Εξισώσεις Βέλτιστης Ροής Ισχύος :

Οι εξισώσεις της βέλτιστης ροής ισχύος αναφέρονται στην ενεργό και άεργο ισχύ σε κάθε ζυγό. Αντικατοπτρίζουν την σωστή λειτουργία του συστήματος με σεβασμό στα όρια της τάσης. Η σωστή

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
 λειτουργία του συστήματος επιβάλλεται μέσω των εξισώσεων που ορίζουν ότι η ενεργός και η άεργος
 ισχύς σε κάθε ζυγό είναι μηδέν όπως ορίζονται στην συνέχεια.

$$G(V, \delta) = \begin{cases} P_i(V, \delta) - P_i^{net} \\ Q_i(V, \delta) - Q_i^{net} \end{cases} = 0 \quad 4.22$$

Οι ισχύεις P_i^{net} , Q_i^{net} αναφέρονται στην καθορισμένη ενεργό και άεργο ισχύ του ζυγού φορτίου (PQ), ενώ η τάση V στην εκάστοτε τάση κάθε ζυγού του συστήματος και η γωνία δ στην αντίστοιχη γωνία τάσης. Τέλος P_i και Q_i είναι η ενεργός και η άεργος ισχύς στην έξοδο και υπολογίζονται ως εξής:

$$\begin{aligned} P_i &= P_{Load} + P_{Loss} \\ Q_i &= Q_{Load} + Q_{Loss} \end{aligned} \quad 4.23$$

Όπου P_{Load} και Q_{Load} η ενεργός και η άεργος ζήτηση αντίστοιχα και P_{Loss} , Q_{Loss} οι εκάστοτε απώλειες ενεργού και αέργου ισχύος.

Ανισοτικοί Περιορισμοί :

Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας απαρτίζεται από ένα σύνολο περιορισμών, που διέπουν την ασφαλή λειτουργία του συστήματος. Πρόκειται για ανισότητες που οριοθετούν την λειτουργία των οντοτήτων ενός ΣΗΕ και ικανοποιούνται αποκλειστικά από τη βέλτιστη ροή ισχύος. Είναι αναγκαίο τα στοιχεία του συστήματος να ακολουθούν τους λειτουργικούς αυτούς περιορισμούς, για τη διατήρηση της ασφάλειας και της ευστάθειας του δικτύου.

- Η ενεργός και άεργος παραγωγή των γεννητριών οριοθετείται μεταξύ του τεχνικού της ελαχίστου και μέγιστου. Η λειτουργία των γεννητριών είναι περισσότερο αποδοτική και περισσότερο οικονομική όταν η παραγωγή της κυμαίνεται στα επιτρεπτά όρια, ενώ υπάρχει πιθανότητα η υπέρβαση των ορίων να αποφέρει τεχνικά προβλήματα στην ίδια τη γεννήτρια. Η ανισότητες της παραγωγής ορίζονται ως ακολούθως:

$$\begin{aligned} P_{G_i}^{min} &\leq P_{G_i} \leq P_{G_i}^{max} \\ Q_{G_i}^{min} &\leq Q_{G_i} \leq Q_{G_i}^{max} \end{aligned} \quad 4.24$$

Όπου P_{G_i} και Q_{G_i} η ενεργός και η άεργος ισχύς παραγωγής της θερμικής μονάδας i .

-Σε κάθε ζυγό του εξεταζόμενου συστήματος, η τάση απαιτείται να διατηρείται σταθερή χωρίς μεγάλες αποκλίσεις, εντός των ορίων που έχουν οριστεί. Για τους ζυγούς που διαθέτουν κάποια μονάδα (PV), η τάση μπορεί εύκολα να ελεγχθεί και να ρυθμιστεί μέσω της ρύθμισης, κυρίως της άεργου παραγωγής της γεννήτριας. Τα όρια της τάσης και της γωνίας της τάσης για κάθε ζυγό ορίζονται ως:

$$\begin{aligned} V_i^{min} &\leq V_i \leq V_i^{max} \\ \delta_i^{min} &\leq \delta_i \leq \delta_i^{max} \end{aligned} \quad 4.25$$

Όπου V_i και δ_i η τάση και η γωνία τάσης του ζυγού i .

-Κάθε γραμμή μεταφοράς / διανομής επιτρέπει την μεταφορά ενός συγκεκριμένο ποσού ισχύος. Εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της γραμμής, το μήκος της και τον τύπο των ζυγών που συνδέει.

Σε όλες τις μεθόδους επίλυσης του προβλήματος βέλτιστης ροής ισχύος πρέπει να εφαρμοστούν, κάποιες σταθερές απαιτήσεις. Αυτές είναι:

- Αξιοπιστία: Οι υπολογισμοί για την επίλυση του προβλήματος πρέπει να είναι αξιόπιστοι για εφαρμογή σε πραγματικά χρόνο.
- Ταχύτητα: Οι μέθοδοι επίλυσης πρέπει να συγκλίνουν γρήγορα.
- Ευελιξία: Οι αλγόριθμοι πρέπει να είναι ευέλικτοι και να προσαρμόζουν ένα τεράστιο εύρος μοντέλων αντικειμενικών συναρτήσεων και περιορισμών.
- Επεκτασιμότητα: Ένας αλγόριθμος πρέπει να περιλαμβάνει ένα σχέδιο βασισμένο σε κανόνες και να διατηρεί εύκολα τα χαρακτηριστικά του για εφαρμογές σε πραγματικού χρόνο.

Το πρόβλημα της βέλτιστης ροής φορτίου επειδή ακριβώς πρόκειται για ένα πολύ μεγάλο, μη γραμμικό πρόβλημα μαθηματικού προγραμματισμού, χρειάστηκαν δεκαετίες για να αναπτυχθούν αποτελεσματικοί αλγόριθμοι για την επίλυσή του. Αλγόριθμοι που να μπορούν να επιλύουν πολύπλοκα συστήματα και ταυτόχρονα να χαρακτηρίζονται για την αξιοπιστία, την ταχύτητα, την ευελιξία και τη επεκτασιμότητα τους. Κάποιες από τις χρησιμοποιούμενες μεθόδους είναι οι ακόλουθες:

- Η μέθοδος Lagrange
- Η μέθοδος κλίσης (Gradient)
- Η μέθοδος Newton
- Ο γραμμικός προγραμματισμός (LP)
- Η μέθοδος εσωτερικού σημείου (IP)

Κάθε μέθοδος επίλυσης έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Πιο συγκεκριμένα η μέθοδος Lagrange αποτελεί τη βάση για πολλά προγράμματα οικονομικής κατανομής φορτίου σε πραγματικό χρόνο. Παρόλα αυτά δεν είναι αποτελεσματική για πολύπλοκες συναρτήσεις κόστους, εξαιτίας του δύσκολου υπολογισμού της παραμέτρου λ . Η μέθοδος κλίσης (Gradient) παρουσιάζει αργή απόκριση και συναντάται το πρόβλημα της σύγκλισης εξαιτίας των ανισοτικών περιορισμών. Η μέθοδος Newton έχει σαφώς πιο γρήγορη απόκριση από την μέθοδο Gradient, με τα αποτελέσματα που προκύπτουν να διατηρούν αρκετά χαμηλά το κόστος λειτουργίας με το μειονέκτημα ότι υπάρχει ιδιαίτερη ευαισθησία στον ορισμό των αρχικών συνθηκών.

Από την άλλη πλευρά η μέθοδος του γραμμικού προγραμματισμού (LP) είναι μία από τις πλήρως ανεπτυγμένες μεθόδους με ευρεία εφαρμογή και χρήση. Επεξεργάζεται εύκολα περιορισμούς ανισοτήτων ενώ παράλληλα μη γραμμικές αντικειμενικές συναρτήσεις και περιορισμοί μπορούν να επεξεργαστούν μετά από γραμμικοποίηση. Επιπλέον παρέχει τη δυνατότητα για πολύ γρήγορους υπολογισμούς αλλά όχι και ιδιαίτερα ακριβής εξαιτίας της γραμμικότητας του προβλήματος. Τέλος, η μέθοδος εσωτερικού σημείου (IP) είναι ταχύτερη από εκείνη του γραμμικού προγραμματισμού, όμως και εκείνη υπάρχει περίπτωση να οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα εάν το βήμα δεν έχει οριστεί καταλλήλως.

4.7 Η συνολική εικόνα του δικτύου:

Ο διαχειριστής του δικτύου διανομής (DNM) θα πρέπει ανά πάσα στιγμή να γνωρίζει την κατάσταση την οποία βρίσκεται το δίκτυο έτσι ώστε να έχει τον πλήρη έλεγχο της σωστής και ομαλής λειτουργίας του. Η συνολική εικόνα του δικτύου περιλαμβάνει πληροφορίες οι οποίες αφορούν:

- Την συνολική ζήτηση ισχύος των ζυγών φορτίου με πλήρη γνώση της ενεργού και αέργου ισχύος για τον εκάστοτε ζυγό
- Την συνολική παραγωγή ισχύος από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) του δικτύου διανομής.
- Τα επίπεδα λειτουργίας ηλεκτρικών οχημάτων με πλήρη γνώση της ενεργού και αέργου ισχύος για το εκάστοτε όχημα.
- Τα όρια λειτουργίας ηλεκτρικών οχημάτων με πλήρη γνώση της ενεργού και αέργου ισχύος για το εκάστοτε όχημα.
- Την πτώση τάση των ζυγών αναφοράς
- Τις απώλειες ενέργειας του δικτύου λόγω της πτώσης τάσης στους ζυγούς και της υπερφόρτισης των γραμμών διανομής.

Η ορθή αξιολόγηση των παραπάνω δεδομένων αποτελεί κριτήριο ομαλής λειτουργίας του δικτύου διανομής. Ο διαχειριστής καλείται να λάβει αποφάσεις για την επίτευξη των στόχων οι οποίοι συνοψίζονται:

- ✓ Στην βελτίωση του προφίλ των τάσεων του δικτύου.
- ✓ Στην μείωση των απωλειών ενέργειας του δικτύου.

Για να επιτευχθούν οι στόχοι αυτοί, ο διαχειριστής του δικτύου καλείται να θέσει περιορισμούς στην λειτουργία των ζυγών φορτίου που αφορούν τα ανώτατα και κατώτατα επιτρεπόμενα όρια διακύμανσης της τάσης τους ως εξής:

$$V_{i,min} \leq V_i(t) \leq V_{i,max} \quad 4.26$$

Όπου $V_{i,min}$ η ελάχιστη τιμή της ανά μονάδα τάσης λειτουργίας του ζυγού i , $V_{i,max}$ η μέγιστη και $V_i(t)$ η πραγματική τάση λειτουργίας του ζυγού i για μία δεδομένη χρονική στιγμή t .

Αξιοποιώντας τα δεδομένα και εφαρμόζοντας ανάλυση βέλτιστης ροής φορτίου (OPF) ο διαχειριστής επιλέγει το βέλτιστο επίπεδο λειτουργίας ενεργού και αέργου ισχύος για τον κάθε σταθμό φόρτισης ξεχωριστά.

- Το βέλτιστο επίπεδο λειτουργίας ενεργού ισχύος του σταθμού φόρτισης $P^*_{cluster}$
- Το βέλτιστο επίπεδο λειτουργίας αέργου ισχύος του σταθμού φόρτισης $Q^*_{cluster}$

4.8 Το MATPOWER

Το MATPOWER αποτελεί ένα πακέτο λογισμικού ανοικτού κώδικα MATLAB, που λειτουργεί προσομοιώνοντας την ηλεκτρική ενέργεια, ενώ ταυτοχρόνως χρησιμοποιεί έναν κώδικα ο οποίος είναι εύκολα κατανοητός και προσαρμόσιμος. Αναπτύχθηκε από τους Ray D. Zimmerman, Carlos E. MurilloSanchez και Deqiang Gan στο πανεπιστήμιο Cornell υπό την καθοδήγηση του Robert Thomas. Χρησιμοποιείται για την προσομοίωση τόσο της AC και DC Ροής Φορτίου, όσο και της Βέλτιστης Ροής Φορτίου (BPF), κυρίως για ερευνητικούς και εκπαιδευτικούς σκοπούς.

Το πρόγραμμα περιλαμβάνει ένα σύνολο έτοιμων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας με πολλαπλούς ζυγούς και ένα σύνολο εντολών για την προσομοίωση της ροής φορτίου με διάφορες μεθόδους. Είναι δυνατή η επεξεργασία των δικτύων των ζυγών και η προσθήκη επιπρόσθετων περιορισμών από το χρήστη. Οι διάφορες μέθοδοι ροής φορτίου παρέχουν μεγάλη ευελιξία στο χρήστη, καθώς μπορεί να εκτελέσει τις ροές φορτίου και να δει τα αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο. Επίσης έχει τη δυνατότητα παροχής εύκολων στη χρήση λειτουργιών για τον υπολογισμό της μεταφοράς ενέργειας και των παραγόντων διανομής της διακοπής λειτουργίας, καθώς επίσης υπολογίζει τις πρώτες και τις δεύτερες παραγώγους των εξισώσεων Ροής Φορτίου ενώ τέλος εφαρμόζει όλα τα συνηθισμένα μοντέλα μόνιμης κατάστασης που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της Ροής Φορτίου.

Όσον αφορά τη MATLAB, αποτελεί το ιδανικότερο εργαλείο για επιστημονικούς υπολογισμούς, καθώς συνδυάζει μια γλώσσα υψηλού επιπέδου ιδανική για υπολογισμούς διανυσμάτων και πινάκων, μια πλατφόρμα διασταύρωσης του χρόνου εκτέλεσης στηριζόμενη σε ισχυρές μαθηματικές βιβλιοθήκες, ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης και ένα γραφικό περιβάλλον με εξαιρετικές δυνατότητες απεικόνισης.

Το MATPOWER περιέχει όλα τα συνήθη μοντέλα μόνιμης κατάστασης που χρησιμοποιούνται τυπικά για ανάλυση ροής ισχύος. Εσωτερικά, οι αγωγιμότητες όλων των συνιστωσών εκφράζονται σε ανά μονάδα σύστημα και οι γωνίες των σύνθετων ποσοτήτων σε ακτίνια. Αρχικά όλες οι αποσυνδεδεμένες γεννήτριες καθώς και οι κλάδοι, αφαιρούνται πριν την δημιουργία του μοντέλου για την επίλυση της ροής φορτίου ή την βέλτιστης ροής φορτίου. Όλοι οι ζυγοί αριθμούνται συνεχόμενα, ξεκινώντας από το νούμερο 1 και οι γεννήτριες αναδιατάσσονται με βάση τον αριθμό ζυγού. Τα αρχεία δεδομένων που χρησιμοποιούνται στο Matpower είναι αρχεία Matlab, M ή MAT τύπου, τα οποία ορίζουν και επιστρέφουν μια μόνο δομή Matlab. Τα αρχεία M έχουν δομή κειμένου και μπορούν να τροποποιηθούν με κάθε επεξεργαστή κειμένου.

Τα πεδία της επιστρεφόμενης δομής είναι τα εξής:

- baseMVA
- bus
- branch
- gen o gencost (προαιρετικά)

με το μέγεθος baseMVA να είναι βαθμωτό ενώ τα υπόλοιπα πίνακες, στους οποίους κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε έναν μόνο ζυγό, κλάδο ή γεννήτρια. Ο αριθμός των γραμμών ανά ζυγό, κλάδο και γεννήτρια είναι n_b , n_l και n_g αντίστοιχα. Τέλος αν υπάρχει το πεδίο gencost, έχει n_g γραμμές όταν περιέχει στοιχεία μόνο για την ενεργό ισχύ ή $2n_g$ γραμμές όταν συμπεριλαμβάνεται και η άεργος ισχύς.

4.9 Εισαγωγή στο πρόβλημα της διπλωματικής εργασίας

Στο παρακάτω τμήμα της διπλωματικής εργασίας αναπτύσσεται ο τρόπος και τα μαθηματικά μοντέλα που θα χρησιμοποιηθούν για την βελτιστοποίηση του προβλήματος μας, με χρήση του MATPOWER και βιβλιοθήκη την Octave.

Αναλύεται πλήρως το επιστημονικό paper :

MATPOWER: Steady-State Operations, Planning and Analysis Tools for Power Systems Research and Education: Ray D. Zimmerman, Member, IEEE, Carlos E. Murillo-Sánchez, Member, IEEE, and Robert J. Thomas, Life Fellow, IEEE.

Με την βοήθεια της παραπάνω ανάλυσης θα εξαχθούν τα βασικά κριτήρια που θα επιλέξουμε για τους 2 αρχικούς άξονες του προβλήματος, οι οποίοι είναι :

- 1) Οι περιορισμοί που τίθενται κατά την εγκατάσταση των σταθμών και
- 2) Το φορτίο στους ζυγούς και κατ' επέκταση στους feeders.

Με την ολοκλήρωση των δύο αυτών αρχικών αξόνων θα ακολουθήσει η μαθηματική ολοκλήρωση του προβλήματος (δηλαδή ο κατάλληλος αλγόριθμος) με τους αντίστοιχους ανισοτικούς περιορισμούς, ώστε κατόπιν να επιλεγεί η κατάλληλη τεχνική για την επίλυσή του.

4.10 MATPOWER: Steady-State Operations, Planning and Analysis Tools for Power Systems Research and Education

Ray D. Zimmerman, Member, IEEE, Carlos E. Murillo-S'anchez, Member, IEEE,
and Robert J. Thomas, Life Fellow, IEEE

MATPOWER: Λειτουργίες σταθερής κατάστασης, εργαλεία σχεδιασμού και ανάλυσης για την έρευνα και την εκπαίδευση συστημάτων ισχύος

Το Matpower είναι ένα πακέτο λογισμικού ανοικτού κώδικα Matlab που προσομοιώνει την ηλεκτρική ενέργεια. Χρησιμοποιείται ευρέως για την προσομοίωση για σκοπούς έρευνας και εκπαίδευσης τόσο της AC και DC ροής ισχύος όσο και της βέλτιστης ροής ισχύος (OPF). Επίσης, περιλαμβάνει εργαλεία για να υλοποιηθούν την δημοπράτηση αγοράς που βασίζεται στο OPF και την βελτιστοποίηση ενέργειας κα εφεδρείας. Στη διανομή συμπεριλαμβάνεται πληθώρα παραδειγμάτων περιπτώσεων ροής ισχύος και OPF, τα οποία κυμαίνονται από απλά παραδείγματα τεσσάρων ζυγών έως πραγματικές περιπτώσεις μερικών εκατοντάδων ζυγών.

Το MATPOWER αποτελείται από μια σειρά φακέλων-m σχεδιασμένων να αποδίδουν την όσο δυνατόν καλύτερη επίδοση ενώ ταυτόχρονα χρησιμοποιούν έναν εύκολο κώδικα, ο οποίος είναι κατανοητός και προσαρμόσιμος. Το Matlab έχει γίνει ένα γνωστό εργαλείο για επιστημονικούς υπολογισμούς, συνδυάζει μια υψηλού επιπέδου γλώσσα ιδανική για υπολογισμούς διανυσμάτων και πινάκων, μια πλατφόρμα διασταύρωσης του χρόνου εκτέλεσης στηριζόμενο σε ισχυρές μαθηματικές βιβλιοθήκες, ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης και γραφικό περιβάλλον (GUI) με εξαιρετικές δυνατότητες απεικόνισης, και μια ενεργή κοινότητα χρηστών και προγραμματιστών. Καθώς είναι μια υψηλού επιπέδου επιστημονική γλώσσα υπολογισμού, είναι κατάλληλη για αριθμητικούς υπολογισμούς χαρακτηριστικής σταθερής κατάστασης προσομοίωσης του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Το αρχικό κίνητρο για την ανάπτυξη της Matlab που βασίζεται στη ροή ισχύος και στον κώδικα OPF που τελικά θα γίνει MATPOWER, προέκυψε από τις υπολογιστικές απαιτήσεις της πλατφόρμας PowerWeb. Ως μια πλατφόρμα προσομοίωσης, που βασίζεται στη διαδικτυακή αγορά, χρησιμοποιείται για να ελέγξει τις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, το PowerWeb απαιτεί μια «έξυπνη αγορά» πλειστηριασμού εκκαθάρισης του λογισμικού το οποίο χρησιμοποιεί την OPF για να υπολογίσει τις επιχορηγήσεις και τις τιμές. Έχοντας την δυνατότητα να είναι χρήσιμο και σε άλλους ερευνητές και εκπαιδευτές, το λογισμικό κυκλοφόρησε το 1997 μέσω διαδικτύου ως ένα ανοικτού πακέτου προσομοίωσης της ηλεκτρικής ενέργειας και τώρα διανέμεται από το GNU GPL. Εκτός από την αρχική κυκλοφορία του, ένα μεγάλο μέρος της συνεχιζόμενης ανάπτυξης του MATPOWER είναι οι ανάγκες που προέκυψαν από τις ανάγκες του PowerWeb. Αυτό εξηγεί εν μέρει την έλλειψη γραφικής διεπαφής του χρήστη που χρησιμοποιείται από κάποια παρόμοια εργαλεία, όπως το PSAT.

Ενώ συχνά χρησιμοποιείται ως ένα εργαλείο προσομοιώσεων για να εκτελεί απλώς ένα στιγμιότυπο του δικτύου όπως ορίζεται μέσω ενός φακέλου εισόδου, μπορεί ωστόσο να αποτελέσει μια πολύτιμη βιβλιοθήκη λειτουργιών για χρήση σε ένα κώδικα που θα δημιουργηθεί από κάποιον ερευνητή

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
προσαρμοσμένο στην έρευνά του. Σε αυτό το χαμηλότερο επίπεδο, το MATPOWER παρέχει εύκολες στη χρήση λειτουργίες για τη διαμόρφωση σταθερών δικτύων Ybus και πίνακες B, υπολογίζει τη μεταφορά ενέργειας και τους παράγοντες διανομής της διακοπής λειτουργίας (PTDFs and LODFs), και υπολογίζει αποτελεσματικά, μεταξύ άλλων, τους πρώτους και δεύτερους παράγωγους των εξισώσεων ροής ισχύων. Σε ένα υψηλότερο επίπεδο, η δομή της εφαρμογής OPF έχει ρητά σχεδιαστεί για να είναι αναλυτική, επιτρέποντας την προσθήκη μεταβλητών, τις οποίες ορίζει ο χρήστης, του κόστους και γραμμικούς περιορισμούς.

Ο προεπιλεγμένος λύτης OPF είναι ένας υψηλής απόδοσης αλγόριθμος μονού-διπλού εσωτερικού σημείου που εφαρμόζεται αμιγώς από τη Matlab. Αυτός ο λύτης έχει εφαρμογή στα γενικά μη γραμμικά προβλήματα βελτιστοποίησης εκτός του MATPOWER και έχει μια απλή λειτουργία που κάνει τη δημιουργία και επίλυση των γραμμικού προγραμματισμού (LP) και των τετραγωνικού προγραμματισμού (QP) προβλημάτων εύκολη.

Έχει αναπτυχθεί μια σειρά από λογισμικά πακέτα βασισμένα στο Matlab που σχετίζονται με την προσομοίωση της ηλεκτρικής ενέργειας, από άλλους. Η περιήληψη των χαρακτηριστικών αυτών παρουσιάζεται εδώ. Τα κύρια διακριτά χαρακτηριστικά του MATPOWER, εκτός από το ότι είναι ένα από τα πρώτα που διατέθηκαν δημόσια και ελεύθερα ως ανοικτού τύπου προγράμματα, είναι η επέκταση της αρχιτεκτονικής σύνθεσης του OPF εργαλείου και η ευκολία χρήσης του ως μια εργαλειοθήκη με συναρτήσεις που έχει τη δυνατότητα να ενσωματώνεται στα προγράμματα κάποιου άλλου προγράμματος. Επίσης είναι συμβατό με το Octave. Η περιγραφή του πακέτου MATPOWER που ακολουθεί αφορά την 4η έκδοση.

Μοντελοποίηση με το MATPOWER

Το MATPOWER εφαρμόζει όλα τα συνηθισμένα μοντέλα μόνιμης κατάστασης που χρησιμοποιούνται συνήθως για την ανάλυση της ροής ισχύος. Τα μοντέλα AC περιγράφονται πρώτα και στη συνέχεια τα απλοποιημένα μοντέλα DC. Όλα τα μεγέθη μετρούνται ανά μονάδα και οι γωνίες των πολύπλοκων ποσοτήτων εκφράζονται σε ακτίνια. Λόγω της δυνατότητας της γλώσσας προγραμματισμού του Matlab στο χειρισμό πινάκων και διανυσμάτων, τα μοντέλα και οι εξισώσεις που παρουσιάζονται εδώ, είναι σε μορφή πινάκων και διανυσμάτων.

A. Φόρμα δεδομένων (Μορφή Αρχείων)

Τα αρχεία δεδομένων που χρησιμοποιούνται από το MATPOWER είναι τα αρχεία-m Matlab ή τα αρχεία-mat που καθορίζουν και αποδίδουν μία απλή δομή Matlab. Η μορφή του αρχείου-m είναι ένα απλό κείμενο, το οποίο μπορεί κάποιος να επεξεργαστεί χρησιμοποιώντας οποιοδήποτε πρόγραμμα επεξεργαστή κειμένου. Τα πεδία της δομής είναι baseMVA, ζυγός, γραμμή, γεννήτρια (gen), και προαιρετικά το κόστος παραγωγής ενέργειας από την γεννήτρια (gencost), όπου η baseMVA είναι μονοδιάστατη και τα υπόλοιπα είναι πίνακες. Στους πίνακες, η κάθε σειρά αντιστοιχεί σε ένα ζυγό, μία γραμμή, ή μία γεννήτρια. Οι στήλες είναι παρόμοιες με τις στήλες στις συνηθισμένες IEEE, CDF και PTI μορφές. Ο αριθμός των σειρών στους ζυγούς, στις γραμμές και στις γεννήτριες είναι nb, nl και ng αντίστοιχα.

B. Γραμμή - Κλάδοι συστήματος

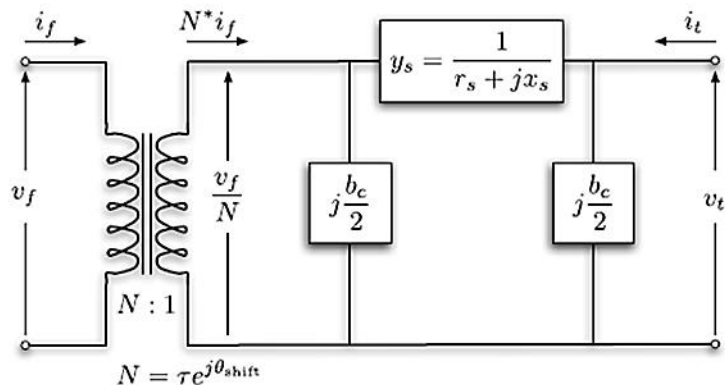


Fig. 1. Branch Model

Εικόνα 4.3. Μοντέλο κλάδου

Όλες οι γραμμές μεταφοράς, οι μετασχηματιστές και οι μετατροπείς φάσεως έχουν μοντελοποιηθεί με ένα κοινό μοντέλο γραμμών, που αποτελείται από ένα πρότυπο μοντέλο γραμμή μετάδοσης π (με μια εν σειρά αντίσταση $z_s = r_s + jx_s$ και μια συνολική χωρητικότητα φόρτισης b_c) σε σειρά με μια ιδανική φάση μετατόπισης μετασχηματιστή. Ο μετασχηματιστής, του οποίου ο δείκτης τ έχει μέγεθος τ και φάση γωνίας μετατόπισης θ_{shift} , βρίσκεται στην αρχή της γραμμής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.

Οι εγχύσεις σύνθετου ρεύματος εάν και αυτό από και προς τα άκρα του κλάδου, αντίστοιχα, μπορούν να εκφραστούν ως ο πίνακας εισόδου 2×2 κλάδων Y_{br} και οι αντίστοιχες τερματικές τάσεις v_f και v_t

$$\begin{bmatrix} i_f \\ i_t \end{bmatrix} = Y_{br} \begin{bmatrix} v_f \\ v_t \end{bmatrix} \quad (1)$$

Με την εν σειρά αγωγιμότητα στο μοντέλο π που συμβολίζεται με το $y_s=1/z_s$, ο πίνακας αγωγιμότητας της γραμμής μπορεί να γραφτεί ως εξής

$$Y_{br} = \begin{bmatrix} (y_s + j\frac{b_c}{2}) \frac{1}{\tau^2} & -y_s \frac{1}{\tau e^{-j\theta_{shift}}} \\ -y_s \frac{1}{\tau e^{j\theta_{shift}}} & y_s + j\frac{b_c}{2} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Τα τέσσερα στοιχεία αυτού του πίνακα για τον κλάδο i γράφονται ως εξής:

$$Y_{br}^i = \begin{bmatrix} y_{ff}^i & y_{ft}^i \\ y_{tf}^i & y_{tt}^i \end{bmatrix} \quad (3)$$

τότε τέσσερα $n_i \times 1$ διανύσματα Y_{ff} , Y_{ft} , Y_{tf} και Y_{tt} μπορούν να κατασκευαστούν, όπου το i στοιχείο του καθενός προέρχεται από το αντίστοιχο στοιχείο του Y_{br}^i . Επιπλέον οι $n_i \times n_b$ αραιές σύνδεσης πίνακες (sparse connection matrices) C_f και C_t που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή των μητρών αγωγιμότητας του συστήματος και μπορούν να οριστούν όπως περιγράφεται στη συνέχεια. Το στοιχείο (i, j) του C_f και το στοιχείο (i, k) του C_t είναι ίσο με 1 για κάθε i γραμμή, όπου η i γραμμή συνδέει τον ζυγό j με τον ζυγό k . Τα υπόλοιπα στοιχεία του C_f και του C_t είναι μηδέν.

Γ. Γεννήτριες

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
Μια γεννήτρια μοντελοποιείται ως πολύπλοκη έγχυση ισχύος σε ένα συγκεκριμένο ζυγό. Για τη γεννήτρια i , η έγχυση είναι:

$$s_g^i = p_g^i + jq_g^i \quad (4)$$

Η εξίσωση $S_g = P_g + jQ_g$ μπορεί να γίνει $ng \times 1$ διάνυσμα αυτών των εγχύσεων των γεννητριών. Ένας διάσπαρτος-αραιός $nb \times ng$ πίνακας C_g σύνδεσης της γεννήτρας (sparse generator connection) μπορεί να οριστεί έτσι ώστε το (i, j) στοιχείο του να είναι 1 αν η γεννήτρια j βρίσκεται στο ζυγό i και μηδέν στις υπόλοιπες περιπτώσεις. Το $nb \times 1$ διάνυσμα όλων των ζυγών εγχύσεων από τις γεννήτριες μπορεί να εκφραστεί ως

$$S_{g,bus} = C_g \cdot S_g \quad (5)$$

Δ. Φορτία

Τα φορτία σταθερής ισχύος μοντελοποιούνται ως μια καθορισμένη ποσότητα πραγματικής και αέργου ισχύος που καταναλώνεται σε ένα ζυγό. Για το ζυγό i , το φορτίο είναι :

$$s_d^i = p_d^i + jq_d^i \quad (6)$$

και η εξίσωση $S_g = P_g + jQ_g$ υποδηλώνει το $nb \times 1$ διάνυσμα των πολύπλοκων φορτίων όλων των ζυγών. Η σταθερή αντίσταση και τα φορτία σταθερού ρεύματος δεν εφαρμόζονται άμεσα, αλλά τα σταθερά τμήματα αντίστασης μπορούν να μοντελοποιηθούν ως ένα στοιχείο διακλάδωσης, το οποίο περιγράφεται παρακάτω. Τα κατανεμόμενα φορτία μοντελοποιούνται ως αρνητικές γεννήτριες και εμφανίζονται με αρνητικές τιμές στο S_g .

Ε. Στοιχεία διακλάδωσης (Shunt Elements)

Ένα συνδεδεμένο shunt στοιχείο όπως ένας πυκνωτής ή ένα πηνίο είναι μοντελοποιημένο ως μία σταθερή αντίσταση για γείωση σε έναν ζυγό. Η αγωγιμότητα του στοιχείου εκτροπής (shunt element) στον i ζυγό δίνεται ως εξής

$$y_{sh}^i = g_{sh}^i + jb_{sh}^i \quad (7)$$

και η εξίσωση $Y_{sh} = G_{sh} + jB_{sh}$ εκφράζει το $nb \times 1$ διάνυσμα της εκτροπής της αγωγιμότητας σε όλους τους ζυγούς.

Ζ. Εξισώσεις Δικτύου

Για ένα δίκτυο με nb buses, όλα τα σταθερά στοιχεία της αντίστασης του μοντέλου ενσωματώνονται σε ένα σύνθετο $nb \times nb$ πίνακα αγωγιμοτήτων του ζυγού Y_{bus} που σχετίζει τις σύνθετες κομβικές εισφορές ηλεκτρικού ρεύματος I_{bus} με τις πολύπλοκες κομβικές τάσεις V :

$$I_{bus} = Y_{bus} \cdot V \quad (8)$$

Ομοίως, για ένα δίκτυο με nl γραμμές, το $nl \times nb$ σύστημα γραμμών μητρών αγωγιμοτήτων Y_f και Y_t σχετίζουν τις τάσεις στους ζυγούς με τα $nl \times 1$ διανύσματα I_f και I_t ηλεκτρικού ρεύματος των γραμμών από και προς τα άκρα όλων των γραμμών, αντίστοιχα:

$$I_f = Y_f V \quad (9)$$

$$I_t = Y_t V \quad (10)$$

Αν το σύμβολο [·] χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει ένα χρήστη που παίρνει ένα $n \times 1$ διάνυσμα και δημιουργεί τον αντίστοιχο $n \times n$ διαγώνιο πίνακα με τα στοιχεία του διανύσματος στη διαγώνιο, αυτό το σύστημα πινάκων αγωγιμότητας μπορεί να σχηματιστεί ως εξής:

$$Y_f = [Y_{ff}] C_f + [Y_{ft}] C_t \quad (11)$$

$$Y_t = [Y_{tf}] C_f + [Y_{tt}] C_t \quad (12)$$

$$Y_{bus} = C_f^T Y_f + C_t^T Y_t + [Y_{sh}]. \quad (13)$$

Οι εγχύσεις ρεύματος των (8)–(10) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογίσουν τις αντίστοιχες σύνθετες εισροές ηλεκτρικής ενέργειας ως συναρτήσεις των μιγαδικών τάσεων των ζυγών V :

$$S_{bus}(V) = [V] I_{bus}^* = [V] Y_{bus}^* V^* \quad (14)$$

$$S_f(V) = [C_f V] I_f^* = [C_f V] Y_f^* V^* \quad (15)$$

$$S_t(V) = [C_t V] I_t^* = [C_t V] Y_t^* V^*. \quad (16)$$

Οι κομβικές εισροές του ζυγού στη συνέχεια συμφωνούν με τις εισροές των φορτίων και των γεννητριών για να σχηματιστούν οι εξισώσεις ισορροπίας της ενέργειας του AC κόμβου, εκφραζόμενες ως συναρτήσεις των πολύπλοκων τάσεων των ζυγών και των εγχύσεων της γεννήτριας σε μία σύνθετη μορφή πίνακα όπως η ακόλουθη

$$g_S(V, S_g) = S_{bus}(V) + S_d - C_g S_g = 0. \quad (17)$$

Το μοντέλο DC

Η σύνθεση του DC βασίζεται στις ίδιες παραμέτρους, αλλά με τις ακόλουθες τρεις επιπλέον απλουστευτικές υποθέσεις.

- Οι γραμμές μπορούν να θεωρηθούν χωρίς απώλειες. Ειδικότερα, οι αντιστάσεις της γραμμής r_s και η χωρητικότητα φόρτισης bc είναι αμελητέες.

$$y_s = \frac{1}{r_s + jx_s} \approx \frac{1}{jx_s}, \quad bc \approx 0 \quad (18)$$

- Όλα τα μεγέθη τάσης των ζυγών είναι κοντά στο 1 p.u.

$$v_i \approx e^{j\theta_i} \quad (19)$$

- Οι διαφορές στη γωνία τάσης μεταξύ των γραμμών είναι μικρή

$$\sin(\theta_f - \theta_t - \theta_{shift}) \approx \theta_f - \theta_t - \theta_{shift} \quad (20)$$

Με το συνδυασμό του (1) και του (2) με τα (18) και (19), η πολυσύνθετη ροή ρεύματος σε μία γραμμή μπορεί να προσεγγιστεί ως εξής

$$i_f \approx \frac{1}{jx_s \tau} \left(\frac{1}{\tau} e^{j\theta_f} - e^{j(\theta_t + \theta_{shift})} \right) \quad (21)$$

Επιπλέον χρησιμοποιώντας τη (19) και αυτή τη προσέγγιση ρεύματος για να υπολογιστεί η περίπλοκη ροή ισχύος, στη συνέχεια εξάγοντας το πραγματικό μέρος και εφαρμόζοντας την τελευταία από τις υποθέσεις του μοντέλου DC από τις αποδόσεις (20), προκύπτει ότι

$$p_f \approx \frac{1}{x_s \tau} (\theta_f - \theta_t - \theta_{shift}) \quad (22)$$

Όπως ήταν αναμενόμενο, δεδομένης της χωρίς απώλειες παραδοχής, μια παρόμοια παραγωγή για το p_t οδηγεί στο $p_t = -p_f$. Η σχέση μεταξύ της πραγματικής ροής ισχύος και των γωνιών τάσης για μια ξεχωριστή γραμμή i μπορεί να δοθεί συνοπτικά ως εξής:

$$\begin{bmatrix} p_f \\ p_t \end{bmatrix} = B_{br}^i \begin{bmatrix} \theta_f \\ \theta_t \end{bmatrix} + P_{shift}^i \quad (23)$$

Όπου το $B = \begin{bmatrix} b_i & -b_i \\ -b_i & b_i \end{bmatrix}$, $P_{shift}^i = \theta \begin{bmatrix} b_i \\ b_i \end{bmatrix}$ και το b_i καθορίζονται σύμφωνα με

τις αντιστάσεις σειράς και ο δείκτης ratio tap για αυτή τη γραμμή ως $b_i = 1/x_s^i \tau^i$

Με ένα μοντέλο DC, οι γραμμικές εξισώσεις του δικτύου σχετίζουν την ενεργή ισχύ με τις γωνίες τάσης του ζυγού, έναντι της περιπτώσεως του εναλλασσόμενου ρεύματος λόγω του περίπλοκου ρεύματος και των πολύπλοκων τάσεων στο ζυγό. Το $n_i \times 1$ διάνυσμα B_{ff} κατασκευάζεται παρόμοια με το Y_{ff} , όπου το στοιχείο i είναι το b_i . Ενώ το $P_{f,shift}$ είναι το διάνυσμα $n_i \times 1$ του οποίου το στοιχείο i είναι ίσο με $-\theta_{shift}^i b_i$. Στη συνέχεια, οι πραγματικές κομβικές εγχύσεις ισχύος μπορούν να εκφραστούν ως μια γραμμική συνάρτηση του Θ , το διάνυσμα $nb \times 1$ των γωνιών τάσης του ζυγού

$$P_{bus}(\Theta) = B_{bus} \Theta + P_{bus,shift} \quad (24)$$

Όπου $P_{bus,shift} = (C_f - C_t)^T P_{f,shift}$. Παρομοίως η ροή της γραμμής από τα άκρα της κάθε γραμμής είναι γραμμικές συναρτήσεις των γωνιών τάσης του ζυγού

$$P_f(\Theta) = B_f \Theta + P_{f,shift} \quad (25)$$

και λόγω της χωρίς απώλειες παραδοχής, οι ροές στα προς τα άκρα δίνονται από τον τύπο $P_t = -P_f$. Η κατασκευή των πινάκων του συστήματος B είναι ανάλογη προς τους πίνακες του συστήματος Y για το μοντέλο AC:

$$B_f = [B_{ff}](C_f - C_t) \quad (26)$$

$$B_{bus} = (C_f - C_t) B_f \quad (27)$$

Οι κομβικές εξισώσεις της ισορροπίας ισχύος DC για το σύστημα μπορούν να εκφραστούν με τον ακόλουθο τύπο

$$g_P(\Theta, P_g) = B_{bus} \Theta + P_{bus,shift} + P_d + G_{sh} - C_g P_g = 0 \quad (28)$$

όπου το G_{sh} προσεγγίζει το ποσό της ενέργειας που καταναλώνεται από τα σταθερά στοιχεία εκτροπής της αντίστασης υπό την υπόθεση της τάσης του (19).

Ροή ισχύος με το MATPOWER

Το πρότυπο ροής ισχύος ή το πρόβλημα ροής φορτίου περιλαμβάνει επίλυση για το σύνολο των τάσεων και των ροών σε ένα δίκτυο που αντιστοιχεί σε ένα καθορισμένο μοτίβο φορτίου και παραγωγής. Το MATPOWER περιλαμβάνει λύτες για τα προβλήματα ροής ισχύος και για την AC

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ και την DC, και τα δύο εκ των οποίων περιλαμβάνουν την επίλυση μιας σειράς εξισώσεων της μορφής

$$g(x) = 0 \quad (29)$$

η οποία κατασκευάστηκε εκφράζοντας ένα υποσύνολο της εξίσωσης της κομβικής ισορροπίας της ενέργειας ως συναρτήσεις των άγνωστων ποσοτήτων τάσης. Όλοι οι λύτες του MATPOWER αξιοποιούν τις ελάχιστες αναφορές του προβλήματος και, εκτός από την Gauss-Seidel, αποδίδουν καλά σε πολύ μεγάλα συστήματα. Προς το παρόν κανένα από αυτά δεν περιλαμβάνει κάποια αυτόματη αναβάθμιση των μετασχηματιστών taps ή άλλες τεχνικές στην προσπάθεια να ικανοποιήσουν τους τυπικούς OPF περιορισμούς, όπως είναι η γεννήτρια, η τάση ή τα όρια ροής των γραμμών.

A. AC Power Flow (Ροή Ισχύος AC)

Στο MATPOWER, κατά συνθήκη, ένας ζυγός με μια γεννήτρια ορίζεται ως ζυγός αναφοράς ώστε με βάση αυτό τον ζυγό να ορίζονται οι τάσεις, οι γωνίες και η ενεργός ισχύς αυτού. Η γωνία τάσης στον ζυγό αναφοράς έχει γνωστή τιμή, αλλά η ενεργός ισχύς της γεννήτριας στο ζυγό αναφοράς είναι άγνωστη για την αποφυγή υπερβολικής ανάλυσης του προβλήματος. Οι υπόλοιποι ζυγοί με γεννήτριες κατατάσσονται ως ζυγοί PV, με δεδομένες τις τιμές του μεγέθους της τάσης και της έγχυσης της ενεργού ισχύος. Δεδομένου ότι τα φορτία P_d και Q_d έχουν επίσης δοθεί, όλοι οι ζυγοί που δεν αποτελούνται από γεννήτριες κατηγοριοποιούνται ως PQ ζυγοί, με ενεργές και άεργες εγχύσεις πλήρως καθορισμένες. Έστω ότι τα I_{ref} , I_{PV} , και I_{PQ} δηλώνουν τα σύνολα των δεικτών των ζυγών αναφοράς, των PV και των PQ ζυγών αντίστοιχα. Στην παραδοσιακή διατύπωση του προβλήματος της ροής ισχύος του AC, η εξίσωση του ισοζυγίου της ενέργειας στο (17) διαχωρίζεται στα ενεργά και στα άεργα μέρη, εκφρασμένα ως συναρτήσεις των γωνιών τάσης θ και των μεγεθών V_m και των εγχύσεων της γεννήτριας P_g και Q_g , όπου οι εγχύσεις του φορτίου θεωρούνται σταθερές και δεδομένες:

$$g_P(\theta, V_m, P_g) = P_{bus}(\theta, V_m) + P_d - C_g P_g = 0 \quad (30)$$

$$g_Q(\theta, V_m, Q_g) = Q_{bus}(\theta, V_m) + Q_d - C_g Q_g = 0. \quad (31)$$

Για το πρόβλημα ροής ισχύος στο AC, η εξίσωση $g(x)$ από την (29) σχηματίζεται με τη λήψη της αριστερής πλευράς της εξίσωσης ισοζυγίου της πραγματικής ισχύος (30) για όλους του ζυγούς εκτός από τον ζυγό αναφοράς. Στην εξίσωση ισορροπίας της άεργου ισχύος (31) για όλους τους ζυγούς PQ εισάγοντα οι γωνίες αναφοράς, τα φορτία και οι γνωστές εγχύσεις ενέργειας από τις γεννήτριες και τα μεγέθη των τάσεων:

$$g(x) = \begin{bmatrix} g_P^{\{i\}}(\theta, V_m, P_g) \\ g_Q^{\{j\}}(\theta, V_m, Q_g) \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \forall i \in \mathcal{I}_{PV} \cup \mathcal{I}_{PQ} \\ \forall j \in \mathcal{I}_{PQ}. \end{array} \quad (32)$$

Το διάνυσμα x αποτελείται από την τις εναπομείναντες άγνωστες ποσότητες τάσης, δηλαδή τις γωνίες τάσης σε όλους τους ζυγούς μη αναφοράς και τα μεγέθη τάσης στους ζυγούς PQ:

$$x = \begin{bmatrix} \theta_{\{i\}} \\ v_m^{\{j\}} \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \forall i \notin \mathcal{I}_{ref} \\ \forall j \in \mathcal{I}_{PQ}. \end{array} \quad (33)$$

Αυτό παράγει ένα σύστημα μη γραμμικών εξισώσεων με $n_{pv} + 2n_{pq}$ εξισώσεις και αγνώστους, όπου n_{pv} και n_{pq} είναι ο αριθμός των PV και PQ ζυγών αντίστοιχα. Με την επίλυση του x , η εναπομένουσα ενεργή ισχύ της εξίσωσης του ισοζυγίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της έγχυσης της ενεργού ισχύος από τη γεννήτρια στο ζυγό αναφοράς. Ομοίως οι υπόλοιπες $n_{pv} + 1$ εξισώσεις ισοζυγίου της άεργης ισχύος αποδίδουν τις εγχύσεις της άεργης ενέργειας της γεννήτριας.

Το MATPOWER περιλαμβάνει τέσσερις διαφορετικούς αλγόριθμους για την επίλυση του προβλήματος της ροής ισχύος του AC. Ο προεπιλεγμένος λύτης βασίζεται στην σταθερή μέθοδο του Newton χρησιμοποιώντας μια πολική μορφή και ένα πλήρη ενημερωμένο ιακωβιανό πίνακα σε κάθε επανάληψη. Κάθε βήμα, στη μέθοδο Newton, περιλαμβάνει τον υπολογισμό της αναντιστοιχίας $g(x)$, σχηματίζοντας τον ιακωβιανό πίνακα ο οποίος βασίζεται στις ευαισθησίες αυτών των αναντιστοιχιών στις αλλαγές του x και λύνει για την αναθεωρημένη μεταβλητή x παραγοντοποιώντας τα στοιχεία του ιακωβιανού πίνακα. Αυτή η μέθοδος περιγράφεται λεπτομερώς σε πολλά εγχειρίδια.

Επίσης περιλαμβάνονται οι λύτες που βασίζονται σε παραλλαγές της μεθόδου της ταχείας αποσύνδεσης, και συγκεκριμένα οι μέθοδοι XB και BX περιγράφονται στο. Αυτοί οι λύτες μειώνουν σημαντικά το ποσό του υπολογισμού ανά επανάληψη, με την ενημέρωση των μεγθών τάσης και των γωνιών, ξεχωριστά στηριζόμενοι στη προσέγγιση των σταθερών του ιακωβιανού που συνυπολογίζονται μόνο μία φορά στην αρχή της διαδικασίας επίλυσης. Αυτές οι εξοικονομήσεις ανά επανάληψη, όμως, έχουν ως τίμημα περισσότερες επαναλήψεις. Ο τέταρτος αλγόριθμος είναι η πρότυπη μέθοδος Gauss- Seidel από τους Glimm και Stagg. Έχει πολλά μειονεκτήματα σε σχέση με τη μέθοδο Newton και περιλαμβάνεται για ακαδημαϊκούς λόγους.

Από την προεπιλογή, οι λύτες της ροής ισχύος του AC απλώς λύνουν το πρόβλημα που περιγράφηκε παραπάνω, αγνοώντας οποιαδήποτε όρια της γεννήτριας, τα όρια ροής της γραμμής, τα όρια του μεγέθους της τάσης, κλπ. Ωστόσο υπάρχει μια επιλογή που επιτρέπει στα όρια της άεργου ισχύος της γεννήτριας να τηρούνται εις βάρος της επιθυμητής τιμής της τάσης. Αυτό γίνεται προσθέτοντας έναν εξωτερικό βρόχο γύρω από την επίλυση της AC ροής φορτίου. Αν κάθε γεννήτρια έχει παραβιασμένο το όριο της άεργου ισχύος, τότε η έγχυση της άεργου ισχύος ορίζεται στο όριο, ο αντίστοιχος ζυγός μετατρέπεται σε ζυγό PQ, και η ροή ισχύος επιλύεται ξανά. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου δεν υπάρχουν πλέον άλλες παραβιάσεις.

B. Ροή ισχύος συνεχούς ρεύματος

Για το πρόβλημα ροής ισχύος συνεχούς ρεύματος [11], το διάνυσμα x αποτελείται από το σύνολο των γωνιών τάσης σε όλους τους ζυγούς εκτός από τον ζυγό αναφοράς

$$x = [\theta_{\{i\}}], \quad \forall i \notin \mathcal{I}_{\text{ref}} \quad (34)$$

Και η (29) παίρνει τη μορφή:

$$B_{dc}x - P_{dc} = 0 \quad (35)$$

όπου το B_{dc} είναι ο ένας $(nb-1) \times (nb-1)$ πίνακας που λαμβάνεται από την απλή εξάλειψη από το B_{bus} την γραμμή και στήλη που αντιστοιχεί στο ζυγό αναφοράς και αντίστοιχα στη γωνία αναφοράς. Δεδομένου ότι καθορίζονται οι εισροές P_g της γεννήτριας σε όλους του ζυγούς εκτός από τον ζυγό αναφοράς, το P_{dc} μπορεί να σχηματιστεί από τις σειρές των τεσσάρων τελευταίων όρων του (28) δηλαδή από αυτές τις μη αναφοράς.

Οι γωνίες τάσης του x υπολογίζονται από μια άμεση λύση του συνόλου των γραμμικών εξισώσεων. Στη συνέχεια υπολογίζονται οι ροές της γραμμής και οι εγχύσεις της γεννήτριας στο ζυγό αναφοράς,

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ απευθείας από τις γωνίες τάσης του ζυγού μέσω του (25) και της κατάλληλης γραμμής του (28), αντίστοιχα.

Γ. Γραμμικοί Συντελεστές Μετατόπισης (**Linear Shift Factors**)

Το μοντέλο ροής ισχύος DC μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστούν οι ευαισθησίες των ροών γραμμής στις αλλαγές των εγχύσεων ενεργή ισχύος στους κόμβους, μερικές φορές ονομάζονται παράγοντες μετατόπισης εγχύσεων (ISF) ή παράγοντες μετατόπισης παραγωγής [11]. Αυτοί οι πίνακες ευαισθησίας $n_l \times n_b$, που ονομάζονται επίσης παράγοντες διανομής της μεταβίβασης της ενέργειας ή PTDFs, και φέρουν μια έμμεση παραδοχή σχετικά με τη βαρύτητα του κάθε ζυγού διανομής. Αν το H χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει έναν PTDF πίνακα, τότε το στοιχείο στη σειρά i και στη στήλη j , h_{ij} , αντιπροσωπεύει την αλλαγή της ροής της ενεργούς ισχύος στη γραμμή i δίνοντας μια μοναδιαία αύξηση στην ενέργεια που θα εγχυθεί στο ζυγό j , με την παραδοχή ότι η πρόσθετη μονάδα ισχύος εξάγεται σύμφωνα με μια καθορισμένη κατανομή με βάση τον ζυγό αναφοράς:

$$\Delta P_f = H \Delta P_{bus}. \quad (36)$$

Αυτή η βαρύτητα των ζυγών διανομής μπορεί να εκφραστεί ως ένα $n_b \times 1$ διάνυσμα w των μη-αρνητικών βαρών των οποίων τα στοιχεία αθροίζονται σε 1. Κάθε στοιχείο καθορίζεται από το ποσοστό του ζυγού αναφοράς που λαμβάνεται σε κάθε ζυγό. Για την ειδική περίπτωση ενός ζυγού αναφοράς k , το w είναι ίσο με το διάνυσμα ek . Ο αντίστοιχος PTDF πίνακας H_k μπορεί να κατασκευαστεί δημιουργώντας πρώτα τον $n_l \times (n_b - 1)$ πίνακα

$$\tilde{H}_k = \tilde{B}_f \cdot B_{dc}^{-1} \quad (37)$$

εισάγοντας στη συνέχεια μια μηδενική στήλη στη στήλη k . Εδώ το \tilde{B}_f και το B_{dc} λαμβάνονται από το B_f και B_{bus} , αντίστοιχα, εξαλείφοντας τις στήλες των ζυγών στους οποίους αναφέρονται και, στην περίπτωση του B_{dc} , αφαιρώντας τη γραμμή k που αντιστοιχεί στον ζυγό αναφοράς. Ο PTDF πίνακας H_w , που αντιστοιχεί σε μια γενική διανομή slack w , μπορεί να ληφθεί από οποιαδήποτε άλλο PTDF, όπως ο H_k , αφαιρώντας το w από κάθε στήλη, που ισοδυναμεί με τον ακόλουθο απλό πολλαπλασιασμό της μήτρας:

$$H_w = H_k (I - w \cdot 1^T). \quad (38)$$

Αυτοί οι παράγοντες γραμμικής μετατόπισης μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να υπολογιστούν οι ευαισθησίες των ροών των γραμμών σε διακοπές παροχής των γραμμών, που είναι γνωστοί ως παράγοντες διανομής της γραμμής προσωρινής διακοπής της παροχής ή LODFs. Δεδομένου ότι ο πίνακας PTDF H_w , ο αντίστοιχος πίνακας $n_l \times n_l$ LODF L μπορεί να κατασκευαστεί ως εξής, όπου l_{ij} είναι το στοιχείο στη σειρά i και στη στήλη j , που αντιπροσωπεύει την αλλαγή της ροής στη γραμμή i (ως κλάσμα της αρχικής ροής του) για μια διακοπή της λειτουργίας της γραμμής j .

Πρώτον, το H αντιπροσωπεύει τον πίνακα των ευαισθησιών της ροής της γραμμής προς τις ροές της γραμμής, το οποίο προέκυψε από τον πολλαπλασιασμό του πίνακα PTDF από τον πίνακα συμβάντων του κόμβου γραμμής:

$$H = H_w (C_f - C_t)^T. \quad (39)$$

Αν το h_{ij} είναι η ευαισθησία της ροής στη γραμμή i σε σχέση με τη ροή στη γραμμή j , τότε το l_{ij} μπορεί να εκφραστεί ως εξής

$$l_{ij} = \begin{cases} \frac{h_{ij}}{1 - h_{jj}} & i \neq j \\ -1 & i = j. \end{cases} \quad (40)$$

Το MATPOWER περιλαμβάνει συναρτήσεις για τον υπολογισμό του πίνακα DC PTDF και του αντίστοιχου πίνακα LODF είτε για ένα ζυγό αναφοράς k ή για ένα ζυγό διανομής του διανύσματος w .

Βέλτιστη ροή ισχύος

Το MATPOWER περιλαμβάνει κώδικα για την επίλυση του προβλήματος της βέλτιστης ροής ισχύος τόσο των AC όσο και των DC εκδόσεων. Η βασική έκδοση του καθενός παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$$\min_x f(x) \quad (41)$$

$$\text{subject to } g(x) = 0 \quad (42)$$

$$h(x) \leq 0 \quad (43)$$

$$x_{\min} \leq x \leq x_{\max}. \quad (44)$$

A. Πρότυπο AC OPF (Standard AC OPF)

Το διάνυσμα βελτιστοποίησης x για το πρότυπο πρόβλημα του AC OPF αποτελείται από τα διανύσματα $n_b \times 1$ των γωνιών τάσης Θ και μεγέθη V_m και τα διανύσματα $n_g \times 1$ των εγχύσεων της ενεργού και άεργου ισχύος P_g και Q_g της γεννήτριας:

$$x = \begin{bmatrix} \Theta \\ V_m \\ P_g \\ Q_g \end{bmatrix} \quad (45)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση (41) είναι απλώς μια άθροιση των ατομικών πολυώνυμων συναρτήσεων κόστους f_P και f_Q των εγχύσεων της ενεργού και άεργου ισχύος αντίστοιχα, για κάθε γεννήτρια:

$$\min_{\Theta, V_m, P_g, Q_g} \sum_{i=1}^{n_g} f_P^i(p_g^i) + f_Q^i(q_g^i). \quad (46)$$

Οι περιορισμοί ισότητας στο (42) είναι απλώς το πλήρες σύνολο του $2 \cdot n_b$ μη γραμμικές εξισώσεις ισοροπίας πραγματικής και άεργου ισχύος από (30) και (31). Οι περιορισμοί ανισότητας (43) αποτελούνται από δύο σύνολα ορίων ροής διακλάδωσης n_l ως μη γραμμικές συναρτήσεις των γωνιών και μεγεθών τάσης του κεντρικού αγωγού, ένα για το άκρο και ένα για το άκρο κάθε κλάδου:

$$h_f(\Theta, V_m) = |F_f(\Theta, V_m)| - F_{\max} \leq 0 \quad (47)$$

$$h_t(\Theta, V_m) = |F_t(\Theta, V_m)| - F_{\max} \leq 0. \quad (48)$$

Οι ροές είναι συνήθως φαινόμενες ροές ισχύος που εκφράζονται σε MVA, αλλά μπορεί να είναι πραγματικές ροές ισχύος ή ρεύματος, δίνοντας τις ακόλουθες τρεις πιθανές μορφές για τους περιορισμούς ροής:

$$F_f(\Theta, V_m) = \begin{cases} S_f(\Theta, V_m), & \text{apparent power} \\ P_f(\Theta, V_m), & \text{real power} \\ I_f(\Theta, V_m), & \text{current} \end{cases} \quad (49)$$

όπου το I_f καθορίζεται στο (9), το S_f στο (15), το $P_f = R\{S_f\}$ και το διάνυσμα των ορίων ροής F_{max} έχει τις κατάλληλες μονάδες για τον τύπο του περιορισμού. Το ίδιο ισχύει και για το $F_t(\Theta, V_m)$. Τα μεταβλητά όρια (44) περιλαμβάνουν έναν περιορισμό ισότητας σε οποιαδήποτε γωνία του ζυγού αναφοράς καθώς και τα ανώτερα και κατώτερα όρια όλων των μεγεθών τάσεως του ζυγού αλλά και των ενεργών και άεργων εγχύσεων της γεννήτριας:

$$\theta_i^{\text{ref}} \leq \theta_i \leq \theta_i^{\text{ref}}, \quad i \in \mathcal{I}_{\text{ref}} \quad (50)$$

$$v_m^{i,\text{min}} \leq v_m^i \leq v_m^{i,\text{max}}, \quad i = 1 \dots n_b \quad (51)$$

$$p_g^{i,\text{min}} \leq p_g^i \leq p_g^{i,\text{max}}, \quad i = 1 \dots n_g \quad (52)$$

$$q_g^{i,\text{min}} \leq q_g^i \leq q_g^{i,\text{max}}, \quad i = 1 \dots n_g. \quad (53)$$

B. Πρότυπο DC OPF (Standard DC OPF)

Όταν χρησιμοποιούνται υποθέσεις μοντελοποίησης του δικτύου DC και περιορίζοντας τα πολυωνυμικά κόστη δευτέρου βαθμού το συνηθισμένο πρόβλημα του OPF όπως αναφέρθηκε προηγουμένως μπορεί να απλοποιηθεί σε ένα πρόβλημα τετραγωνικού προγραμματισμού, με γραμμικούς περιορισμούς και μια τετραγωνική συνάρτηση κόστους. Σε αυτή την περίπτωση τα μεγέθη τάσης και άεργου ισχύος εξαλείφονται από το πρόβλημα και οι ενεργές ροές ισχύος διαμορφώνονται ως μια γραμμική συνάρτηση των γωνιών τάσης. Η μεταβλητή μεγιστοποίησης είναι

$$x = \begin{bmatrix} \Theta \\ P_g \end{bmatrix} \quad (60)$$

και το συνολικό πρόβλημα μειώνεται σε (54)–(59) όπως φαίνεται παρακάτω:

Γ. Εκτεταμένη διατύπωση OPF

Το MATPOWER χρησιμοποιεί μια εκτεταμένη δομή του OPF που επιτρέπει στο χρήστη να τροποποιήσει ή να αυξήσει τη σύνθεση του προβλήματος χωρίς να ξαναγράψει τα τμήματα που είναι κοινά με την τυπική σύνθεση του OPF. Αυτό γίνεται μέσω των προαιρετικών παραμέτρων εισόδου, διατηρώντας την ικανότητα να χρησιμοποιούν pre-compiled λύτες. Η πρότυπη σύνθεση έχει τροποποιηθεί μέσω της εισαγωγής συμπληρωματικών προαιρετικών κοστών f_u που ορίζονται από το χρήστη, περιορισμών και μεταβλητών z και μπορεί να γραφτεί με την ακόλουθη τυπολογία:

$$\min_{x,z} f(x) + f_u(x,z) \quad (61)$$

$$\text{subject to } g(x) = 0 \quad (62)$$

$$h(x) \leq 0 \quad (63)$$

$$x_{\min} \leq x \leq x_{\max} \quad (64)$$

$$l \leq A \begin{bmatrix} x \\ z \end{bmatrix} \leq u \quad (65)$$

$$z_{\min} \leq z \leq z_{\max}. \quad (66)$$

Η οριζόμενη από το χρήστη συνάρτηση κόστους ορίζεται ως ένα σύνολο παραμέτρων σε μια προκαθορισμένη μορφή που περιγράφεται λεπτομερώς στο. Αυτή η μορφή παρέχει την ευελιξία για τον χειρισμό ενός ευρύ φάσματος κόστους, από απλές γραμμικές συναρτήσεις βελτιστοποίησης των μεταβλητών έως τετραγωνικής κλίμακας κυρώσεις, όπως τάσεις που βρίσκονται εκτός του επιθυμητού εύρους, έως συναρτήσεις γραμμικών συνδυασμών των μεταβλητών, εμπνευσμένες από τις απαιτήσεις των όρων συντονισμού των τιμών. που βρέθηκαν στην αποσύνθεση των μεγάλων χαλαρά συνδεδεμένων προβλημάτων που ανέκυψαν και στην έρευνα των.

Δ. Βασικές επεκτάσεις (Πρότυπες)

Εκτός από τη διάθεση της επεκτάσιμης δομής του OPF στους τελικούς χρήστες, το MATPOWER προσφέρει το πλεονέκτημα της εσωτερικής εφαρμογής πολλών πρόσθετων δυνατοτήτων.

1) *Τμηματική γραμμική του κόστους (Piecewise Linear Costs)*: Η τυπική σύνθεση του OPF στο (41)-(44) δεν χειρίζεται άμεσα τις μη-ομαλές τμηματικές γραμμικές συναρτήσεις κόστους που συνήθως προκύπτουν από διακριτές προσφορές και προσφορές στις αγορές της ηλεκτρικής ενέργειας. Όταν όμως τέτοιες συναρτήσεις κόστους είναι κυρτές, μπορούν να μοντελοποιηθούν χρησιμοποιώντας μια μέθοδο με περιορισμένου κόστους μεταβλητή (CCV). Η τμηματική γραμμική συνάρτηση κόστους $c(x)$ αντικαθίσταται από μια βοηθητική μεταβλητή y και από ένα σύνολο γραμμικών περιορισμών που σχηματίζουν μια κυρτή «δεξαμενή» που απαιτούν το μεταβλητό κόστος y να βρίσκεται στην επιγραφή της συνάρτησης $c(x)$.

Μια κυρτή n -τμημάτων τμηματικά γραμμικής συνάρτησης κόστους

$$c(x) = \begin{cases} m_1(x - x_1) + c_1, & x \leq x_1 \\ m_2(x - x_2) + c_2, & x_1 < x \leq x_2 \\ \vdots & \vdots \\ m_n(x - x_n) + c_n, & x_{n-1} < x \end{cases} \quad (67)$$

μπορεί να ορίζεται από μια ακολουθία σημείων (x_j, c_j) , $j = 0 \dots n$, όπου m_j δηλώνει την κλίση του τμήματος j

$$m_j = \frac{c_j - c_{j-1}}{x_j - x_{j-1}}, \quad j = 1 \dots n \quad (68)$$

and $x_0 < x_1 < \dots < x_n$ and $m_1 \leq m_2 \leq \dots \leq m_n$. The “basin” corresponding to this cost function is formed by the following n constraints on the helper cost variable y :

και $x_0 < x_1 < \dots < x_n$ και $m_1 \leq m_2 \leq \dots \leq m_n$ Η δεξαμενή που αντιστοιχεί σε αυτή τη συνάρτηση κόστους σχηματίζεται από τους ακόλουθους n περιορισμούς στη βοηθητική μεταβλητή κόστους y :

$$y \geq m_j(x - x_j) + c_j, \quad j = 1 \dots n. \quad (69)$$

Ο όρος κόστους που προστίθεται στην αντικειμενική συνάρτηση στη θέση του $c(x)$ είναι απλώς η μεταβλητή y . Για ένα OPF AC ή DC, το MATPOWER χρησιμοποιεί αυτήν την προσέγγιση CCV εσωτερικά για να δημιουργήσει αυτόματα την κατάλληλη βοηθητική μεταβλητή, τον όρο κόστους και το αντίστοιχο σύνολο περιορισμών για οποιοδήποτε κόστος γραμμικής γεννήτριας κατά τμήματα.

2) *Κατανεμόμενα Φορτία*: μια απλή προσέγγιση για τα κατανεμημένα ή ευαίσθητα στην τιμή φορτία είναι η μοντελοποίησή τους ως εγχύσεις αρνητικής ενεργής ισχύος με συσχετισμένα αρνητικά κόστη. Αυτό γίνεται με τον καθορισμό μιας γεννήτριας με αρνητική παραγωγή, που κυμαίνεται από μια ελάχιστη έγχυση ίση με το αρνητικό μέγιστο δυνατό φορτίο σε μια μέγιστη έγχυση ίση με το μηδέν. Με αυτό το μοντέλο, αν το αρνητικό κόστος αντιστοιχεί σε όφελος για κατανάλωση, η ελαχιστοποίηση του κόστους $f(x)$ της παραγωγής ισοδυναμεί με τη μεγιστοποίηση της κοινωνικής πρόνοιας. Με ένα μοντέλο δικτύου AC, προκύπτει επίσης το ερώτημα της άεργου κατανομής για τέτοια φορτία. Στο MATPOWER, θεωρούνται ότι τα κατανεμημένα φορτία διατηρούν ένα σταθερό συντελεστή ισχύος και ότι ένας πρόσθετος περιορισμός ισότητας προστίθεται αυτόματα για να επιβάλλει αυτή την προϋπόθεση για κάθε «αρνητική γεννήτρια» που χρησιμοποιείται για να διαμορφώσει ένα μοντέλο κατανεμημένου φορτίου.

$$\min_{\Theta, P_g} \sum_{i=1}^{n_g} f_P^i(p_g^i) \quad (54)$$

η οποία υπακούει στους περιορισμούς :

$$g_P(\Theta, P_g) = B_{\text{bus}}\Theta + P_{\text{bus,shift}} + P_d + G_{sh} - C_g P_g = 0 \quad (55)$$

$$h_f(\Theta) = B_f\Theta + P_{f,shift} - F_{\text{max}} \leq 0 \quad (56)$$

$$h_t(\Theta) = -B_f\Theta - P_{f,shift} - F_{\text{max}} \leq 0 \quad (57)$$

$$\theta_i^{\text{ref}} \leq \theta_i \leq \theta_i^{\text{ref}}, \quad i \in \mathcal{I}_{\text{ref}} \quad (58)$$

$$p_g^{i,\text{min}} \leq p_g^i \leq p_g^{i,\text{max}}, \quad i = 1 \dots n_g \quad (59)$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3

ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ OPF

Case Name	Cost	Sizes			AC OPF		DC OPF		Binding Constraints		
		n_b	n_g	n_l	n_x	n_{gh}	n_x	n_{gh}	V_m^{\min}	$ S_{f/t}^{\max} $	$ P_{f/t}^{\max} $
case9	Q	9	3	9	24	36	12	27	0	0	0
case30	Q	30	6	41	72	142	36	112	0	2	0
case_npcc36	L	36	43	121	158	314	79	278	0	0	0
case118	Q	118	54	186	344	608	172	490	0	0	0
case300	Q	300	69	411	738	1,422	369	1,122	0	0	0
case2383wp	L	2,383	327	2,896	5,420	10,558	2,710	8,175	2	6	5
case2736sp	L	2,736	270	3,269	6,012	12,010	3,006	9,274	0	1	1
case3120sp	L	3,120	298	3,693	6,836	13,626	3,418	10,506	0	8	10
case2935	Q	2,935	1,024	7,028	7,918	6,314	3,959	3,379	19	7	9
case21k	L	21,084	2,692	25,001	54,091	111,784	30,315	90,700	3	64	40
case42k	L	42,168	5,384	50,001	107,027	222,796	59,475	180,628	3	137	66

3) Καμπύλες ικανότητας της γεννήτριας (*Generator Capability Curves*): Ο τυπικός σχηματισμός του AC OPF περιλαμβάνει περιορισμούς για τις εγχύσεις ενεργούς και άεργου ισχύος μίας γεννήτριας. Παρ’ όλα αυτά οι πραγματικές δυνατότητες καμπύλης P-Q των φυσικών γεννητριών (physical generators) συνήθως περιλαμβάνουν κάποια εξισορρόπηση μεταξύ της ενεργού και άεργου ικανότητας. Αν ο χρήστης παρέχει τις παραμέτρους που καθορίζουν αυτή τη συναλλαγή για μια γεννήτρια, το MATPOWER αυτόματα κατασκευάζει τους αντίστοιχους περιορισμούς.

4) Διαφορά Ορίων της Γωνίας της Γραμμής (*Branch Angle Difference Limits*): Η διαφορά μεταξύ της γωνίας τάσης θ_f του ζυγού στο από το τέλος της γραμμής και η γωνία θ_t στο προς το τέλος μπορεί για παράδειγμα να οριοθετείται πάνω και κάτω για να ενεργεί ως ένα υποκατάστατο για ένα παραδοκικό όριο σταθερότητας. Αν αυτά τα όρια παρέχονται, το MATPOWER δημιουργεί τους αντίστοιχους περιορισμούς στις μεταβλητές της γωνίας τάσης.

E. Λύσεις με MATPOWER

Οι αρχικές εκδόσεις του MATPOWER στηριζόντουσαν στη βελτιστοποίηση του Toolbox του Matlab για την παροχή των λυτών NLP και QP που χρειάζονταν για την επίλυση των προβλημάτων των AC και DC OPF, αντίστοιχα. Ενώ λειτούργησαν αρκετά καλά για πολύ μικρά συστήματα, δεν μπόρεσαν να αποδώσουν καλά για μεγαλύτερα δίκτυα. Τελικά προστέθηκαν προαιρετικά πακέτα επιλογής με πρόσθετους λύτες για να βελτιωθεί η επίδοση, τυπικά στηριζόμενων στην επέκταση αρχείων του Matlab (MEX) που εφαρμόζονταν στη Fortran ή στη C. Για τη βέλτιστη ροή ισχύος DC, υπάρχει μία δομή MEX του ύψιστου επίδοσης λύτη BPMPD για LP/QP προβλήματα. Για το πρόβλημα του AC OPF, τα πακέτα MINOPF και TSOPF παρέχουν λύτες κατάλληλους για πολύ μεγαλύτερα συστήματα. Το πρώτο στηρίζεται στο MINOS και το τελευταίο περιλαμβάνει το μονού – διπλού εσωτερικού σημείου και την περιοχή εμπιστοσύνης που βασίζεται στην επαυξημένη μέθοδο Lagrangian.

Πρόσθετη λειτουργικότητα

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το MATPOWER δημιουργήθηκε από την ανάγκη ενός μηχανισμού εκκαθάρισης βασιζόμενο στην δημοπράτηση της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία βασίζεται στο OPF για την «Εξυπνη αγορά». Σε αυτό το πλαίσιο, προσφέρει προς πώληση και δίνει προσφορές για να αγοραστεί ηλεκτρική ενέργεια από γεννήτριες ενώ τα φορτία ορίζουν το «κόστος» για το OPF που καθορίζει την κατανομή και τις τιμές που χρησιμοποιούνται για να κλείσουν τη επιλογή. Το MATPOWER περιλαμβάνει έναν κώδικα που παίρνει την προσφορά και την ζήτηση για την ενεργό ή άεργο ισχύ, διαμορφώνει και εκτελεί την αντίστοιχη OPF, και επιστρέφει την τελική προσφορά και ζήτηση των δημοπρασιών.

Η τυπική σύνθεση OPF που περιγράφεται παραπάνω δεν περιλαμβάνει μηχανισμό για να κλείσει εντελώς τις γεννήτριες, οι οποίες είναι πολύ ακριβές κατά την λειτουργία τους. Αντιθέτως, είναι

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ απλώς ρυθμισμένες στα ελάχιστα όρια παραγωγής τους. Το MATPOWER περιλαμβάνει την ικανότητα να εκτελέσει ένα OPF σε συνδυασμό με μια μονάδα μη-δέσμευσης για ένα ενιαίο χρονικό διάστημα, που του επιτρέπει να κλείσει αυτές τις ακριβές μονάδες και να βρει μια δέσμευση από τους παραγωγούς με μικρότερο κόστος και να τα καταναίμει χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο παρόμοιο με δυναμικό προγραμματισμό.

Σε μερικές περιπτώσεις, μπορεί να είναι επιθυμητός ο περαιτέρω περιορισμός της OPF λύσης με την απαίτηση να διαθέτουν ένα συγκεκριμένο επίπεδο ικανότητας εφεδρείας για την κάλυψη έκτακτων αναγκών. Το MATPOWER περιλαμβάνει επεκτάσεις OPF που του επιτρέπουν να συμβελτιστοποιήσει την ενέργεια και την εφεδρεία, βάσει μιας σειράς σταθερών ανά ζώνες υποχρέωσης τήρησης ορισμένων απαιτήσεων όσο αναφορά την εφεδρεία. Αυτός ο κωδικός χρησιμεύει επίσης ως ένα παράδειγμα του τρόπου προσαρμογής του προτύπου OPF με επιπλέον μεταβλητές, κόστος και περιορισμούς.

Αποτελέσματα και συμπεράσματα

Υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις παραδειγμάτων που χρησιμοποιούνται για να συγκριθεί η επίδοση διαφόρων λυτών OPF σε δίκτυα που χρησιμοποιούνται ως παράδειγμα, που κυμαίνονται σε μέγεθος από εννέα ζυγούς και τρεις γεννήτριες ως δεκάδες χιλιάδες ζυγούς, χιλιάδες γεννήτριες και δεκάδες χιλιάδες επιπλέον μεταβλητών και περιορισμών των χρηστών. Ο Πίνακας 2.3 συνοψίζει τις βασικές δοκιμές όσον αφορά τη σειρά της συνάρτησης κόστους (τετραγωνική ή γραμμική), τον αριθμό των ζυγών, των γεννητριών και των γραμμών (n_b , n_g και n_l), τον αριθμό των μεταβλητών και των περιορισμών (n_x και n_{gh}) για τους σχηματισμούς τόσο του AC όσο και του DC OPF, και τον αριθμό των δεσμευτικών κατώτερων ορίων τάσης (V_{min}) και των ορίων ροής της γραμμής

$$\left(S_{f/t}^{max} \right) \quad \text{για το πρόβλημα του AC και των ορίων ροής}$$

$$\left(P_{f/t}^{max} \right) \quad \text{για την περίπτωση DC.}$$

Αρκετά παραδείγματα περιπτώσεων χρησιμοποιούνται για τη σύγκριση της απόδοσης των διαφόρων λύσεων OPF σε παραδείγματα δικτύων που κυμαίνονται σε μέγεθος από εννέα ζυγούς και τρεις γεννήτριες έως δεκάδες χιλιάδες ζυγούς, χιλιάδες γεννήτριες και δεκάδες χιλιάδες πρόσθετες μεταβλητές και περιορισμούς χρηστών. Ο πίνακας I συνοψίζει τις περιπτώσεις δοκιμής ως προς τη σειρά της συνάρτησης κόστους (τετραγωνική ή γραμμική), τον αριθμό των διαύλων, των γεννητριών και των κλάδων (n_b , n_g και n_l), τον αριθμό των μεταβλητών και των περιορισμών (n_x και n_{gh}) τόσο για τις συνθέσεις OPF AC όσο και DC και τον αριθμό των δεσμευτικών κατώτερων ορίων τάσης (V_{min}) και των ορίων ροής διακλάδωσης ($S_{f/t}^{max}$) για το πρόβλημα ac και τα όρια ροής $P_{f/t}^{max}$ για την υπόθεση DC.

ΧΡΟΝΟΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ OPF

Case Name	AC OPF Times (in seconds)						DC OPF Times (in seconds)			
	Opt Tbx	pure Matlab		MEX			Opt Tbx	pure Matlab		MEX
		MIPS	MIPS-sc	MINOPF	PDIPM	SC-PDIPM		MIPS	MIPS-sc	BPMPD
case9	0.147	0.080	0.120	0.012	0.024	0.027	0.014	0.019	0.020	0.009
case30	0.935	0.133	0.169	0.064	0.056	0.062	0.016	0.022	0.035	0.012
case_npcc36	13.5	0.247	0.332	0.346	0.150	0.216	0.070	0.027	0.031	0.020
case118	–	0.313	0.492	0.428	0.232	0.322	0.244	0.051	0.065	0.023
case300	–	0.795	–	4.07	0.713	4.04	0.369	0.077	0.138	0.043
case2383wp	–	8.24	10.2	94.8	7.80	8.94	9.00	5.62	5.91	–
case2736sp	–	8.36	10.4	86.8	7.69	8.84	–	1.74	1.84	–
case3120sp	–	14.1	17.7	384.9	12.8	15.0	9.96	6.98	7.32	7.95
case2935	–	15.2	18.1	1,262	15.3	17.5	–	5.28	5.68	–
case21k	–	822.1	1,027	–	578.8	610.4	–	256.9	263.8	–
case42k	–	5,232	5,933	–	3,700	3,701	–	1,241	1,224	–

Ο Πίνακας 2 δίνει τους χρόνους τρεξίματος σε δευτερόλεπτα για τους λύτες που ήταν επιτυχημένοι, με τον τάχιστο χρόνο σημειωμένο με έντονα γράμματα για κάθε παράδειγμα. Ο πρώτος αλγόριθμος που παρατίθεται για το κάθε ένα είναι από το Toolbox βελτιστοποίησης του Matlab, η `fmincon` για την περίπτωση του AC OPF και `linprog` ή `quadprog` για το πρόβλημα του DC. Οι επόμενοι είναι οι πρότυπες και ανά βήμα ελεγχόμενες αλλαγές της καθαρής εφαρμογής Matlab του μονού – διπλού εσωτερικού σημείου μεθόδου και οι τελευταίοι είναι κάποιοι από τους C και MEX βασισμένη στο Fortran λύτες που διανέμονται ως προαιρετικά πακέτα MATPOWER.

Για τα μικρά συστήματα, οι καλύτερες συναρτήσεις είναι η MINOPF για το AC και η BPMPD για το DC, οι οποίες είναι αρχεία MEX που βασίζονται στη Fortran. Για μεγαλύτερα αρχεία, οι μονού – διπλού εσωτερικού σημείου λύτες έχουν σαφές πλεονέκτημα, με την καθαρή εφαρμογή του Matlab να προσφέρει αξιοσέβαστη επίδοση σε σχέση με τις εκδόσεις MEX που στηρίζονται στη C.

Το MATPOWER παρέχει ένα υψηλού επιπέδου σύνολο ροής ισχύος και βέλιστα εργαλεία ροής ισχύος για ερευνητές, εκπαιδευτικούς και μαθητές. Η βέλτιστη ροή ισχύος είναι επεκτάσιμη, επιτρέποντας την εύκολη τροποποίηση της διατύπωσης του προβλήματος. Η απόδοση των συμπεριλαμβανόμενων λύσεων OPF, μαζί με άλλους διαθέσιμους ως προαιρετικά plug-ins, κλιμακώνεται αρκετά καλά σε πολύ μεγάλα συστήματα. Κατά τη στιγμή της γραφής, υπήρξαν πάνω από 20.000 λήψεις του MATPOWER, με περίπου 50% κυρίως για εκπαίδευση, 43% για έρευνα και 7% για βιομηχανία και άλλα.

4.10.1 Βιβλιογραφία επιστημονικού άρθρου

- [4.1] R. D. Zimmerman and C. Murillo-S´anchez, MATPOWER User’s Manual. [Online]. Available: <http://www.pserc.cornell.edu/matpower/>.
- [4.2] GNU General Public License. [Online]. Available: <http://www.gnu.org/licenses/gpl.html>.
- [4.3] R. D. Zimmerman, R. J. Thomas, D. Gan, and C. Murillo-S´anchez, “A web-based platform for experimental investigation of electric power auctions,” *Decision Support Syst.*, vol. 24, no. 3-4, pp. 193–205, 1999.
- [4.4] R. D. Zimmerman and R. J. Thomas, “PowerWeb: a tool for evaluating economic and reliability impacts of electric power market designs,” in *Proc. IEEE PES Power Systems Conference and Exposition*, 2004, Oct. 10–13, 2004, vol. 3, pp. 1562–1567.
- [4.5] F. Milano, “An open source power system analysis toolbox,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 3, pp. 1199–1206, Aug. 2005.
- [4.6] R. D. Zimmerman, C. E. Murillo-S´anchez, and R. J. Thomas, “MATPOWER’s extensible optimal power flow architecture,” in *Proc. IEEE Power and Energy Soc. General Meeting*, 2009, Jul. 26–30 2009, pp. 1–7.
- [4.7] W. F. Tinney and C. E. Hart, “Power flow solution by Newton’s method,” *Trans. Power App. Syst.*, vol. PAS-86, pp. 1449–1460, Nov. 1967.
- [4.8] B. Stott and O. Alsac, “Fast decoupled load flow,” *IEEE Trans. Power App. Syst.*, vol. PAS-93, pp. 859–869, May 1974.
- [4.9] R. A. M. van Amerongen, “A general-purpose version of the fast decoupled load flow,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 4, no. 2, pp. 760–770, May 1989.
- [4.10] A. F. Glimm and G. W. Stagg, “Automatic calculation of load flows,” *AIEE Trans. (Power App. Syst.)*, vol. 76, pp. 817–828, Oct. 1957.
- [4.11] A. J. Wood and B. F. Wollenberg, *Power Generation, Operation, and Control*, 2nd ed. New York: Wiley, 1996.
- [4.12] T. Guler, G. Gross, and M. Liu, “Generalized line outage distribution factors,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 22, no. 2, pp. 879–881, May 2007.

[Online]. Available: <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/pdf doc/optim/optim tb.pdf>.

[4.14] BPMPD MEX. [Online]. Available: <http://www.pserc.cornell.edu/bpmpd/>.

[4.15] C. Mészáros, “The efficient implementation of interior point methods for linear programming and their applications,” Ph.D. dissertation, Eötvös Loránd Univ. Sciences, Budapest, Hungary, 1996.

[4.16] MINOPF. [Online]. Available: <http://www.pserc.cornell.edu/minopf/>.

[4.17] TSPOPF. [Online]. Available: <http://www.pserc.cornell.edu/tspopf/>.

[4.18] B. A. Murtagh and M. A. Saunders, MINOS 5.5 User's Guide, Stanford Univ. Systems Optimization Laboratory Tech. Rep. SOL83-20R.

[4.19] H. Wang, C. E. Murillo-Sánchez, R. D. Zimmerman, and R. J. Thomas, “On computational issues of market-based optimal power flow,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 22, no. 3, pp. 1185–1193, Aug. 2007.

4.10.2 Βιβλιογραφία ενότητας

- [4.8] EU MERGE Project (September 2011). *LEARNING FROM EV FIELD TESTS*. Online: http://www.transportresearch.info/sites/default/files/project/documents/20140203_154611_45611_Deliverable_1.4__Learning_from_EV_Field_Tests.pdf
- [4.9] International Energy Agency (IEA) report: “Global EV outlook 2016”. Online: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global_EV_Outlook_2016.pdf
- [4.10] The Boston Consulting Group (BCG) (2009). *Batteries for Electric cars- Challenges, Opportunities and the Outlook to 2020*. Online: <http://www.bcg.com/documents/file36615.pdf>
- [4.11] Kwo Young & Caisheng Wang & Le Yi Wang & Kai Strunz. *Electric Vehicle Battery Technologies*. Chapter 2.
- [4.21] Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ). Online: <https://www.admie.gr/>.
- [4.22] Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ). Online: <https://www.deddie.gr/>.
- [4.20] Ευάγγελος Λ. Καρφόπουλος (Μάρτιος 2017). “Συμβολή στη Διαχείριση των Ηλεκτρικών Οχημάτων για την Αποδοτικότερη Ενσωμάτωση τους στα Δίκτυα Ηλεκτρικής Ενέργειας”. Αθήνα, Διδακτορική Διατριβή.

Κατάλογος Πινάκων 4^{ου} Κεφαλαίου

Πίνακας 4.1: Χωρητικότητα μπαταρίας με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα	246
Πίνακας 4.2: Κατανομή χωρητικότητας μπαταρίας με βάση τα δεδομένα	252
Πίνακας 4.3 ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ OPF	283
Πίνακας 4.4 ΧΡΟΝΟΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ OPF	285

Κατάλογος Εικόνων & Σχεδίων

Εικόνα 4.1 : Διάγραμμα Κυρίων Μερών ενός Ηλεκτροκίνητου Οχήματος	236
Εικόνα 4.2 : Γενικευμένος Ζυγός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας	261
Εικόνα 4.3. Μοντέλο κλάδου	272
Σχήμα 4.1: Δίκτυο αυτοκινητοδρόμων που διαχειρίζεται η Autostrade per Italia	243
Σχήμα 4.2: Κατανομή πιθανότητας που σχετίζεται με την κατηγορία SOC	245
Σχήμα 4.3: Ποιοτική αναπαράγωγή των εισόδων	248
Σχήμα 4.4: Ταξινόμηση των περιοχών εξυπηρέτησης	249
Σχήμα 4.5: Αναμενόμενη μηνιαία κατανάλωση το 2030	251

ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Ιωάννης Τσεπεντζής

<i>Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ</i>	
Σχήμα 4.6: Η ετήσια κατανάλωση για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων	253
Σχήμα 4.7: Ισχύς προς εγκατάσταση που αναμένεται το 2030	253
Σχήμα 4.8: Κατανομή της ισχύος διάθεσης	254
Σχήμα 4.9: Ανώνυμα δεδομένα μηνιαίας μετρούμενης ενέργειας	255

5 Ανάλυση του προβλήματος

5.1 Είδη φόρτισης σήμερα

Η σύνδεση του ηλεκτρικού οχήματος στους σταθμούς φόρτισης μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με επαγωγική (ασύρματη) είτε με ενσύρματη σύνδεση. Στην περίπτωση της τελευταίας, η σύνδεση γίνεται μέσω ηλεκτροφόρων αγωγών (καλωδίων). Αυτή η μέθοδος είναι και η πιο συνηθισμένη καθώς είναι απλή και ήδη γνώριμη στον χρήστη, αφού είναι παρόμοια διαδικασία με τη σύνδεση οποιασδήποτε άλλης συσκευής στο ηλεκτρικό δίκτυο. Από την άλλη πλευρά κατά τη διάρκεια της επαγωγικής σύνδεσης, η σύνδεση για τη μεταφορά μεγάλων ποσών ισχύος μεταξύ του δικτύου και της μπαταρίας του EV γίνεται μέσω επαγωγών και όχι με απευθείας αγωγούς. Ο τρόπος αυτός διευκολύνει τον χρήστη καθώς όχι μόνο απλοποιεί τη διαδικασία φόρτισης εφόσον δεν χρησιμοποιούνται καλώδια, αλλά τον προστατεύει επίσης από κάθε είδους κίνδυνο σχετικό με αυτά. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα της υπόγειας τοποθέτησης του φορτιστή με αποτέλεσμα, αυτός να μην επιβαρύνεται από τις δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Οι σταθμοί φόρτισης ανεξαρτήτως ενσύρματης ή ασύρματης τεχνολογίας χωρίζονται περαιτέρω στους σταθμούς ημιταχείας φόρτισης με AC (μονοφασική ή τριφασική) παροχή και στους σταθμούς ταχείας φόρτισης με κατά κύριο λόγο DC παροχή.

5.1.1 Ημιταχεία φόρτιση-Μονοφασική AC παροχή

230V/16A-3,7 kW, 17 ώρες η διάρκεια φόρτισης, για το πλέον σύνηθες μέγεθος μπαταρίας που είναι 64 kWh.

230V/32A-7,4 kW, περίπου 9 ώρες η διάρκεια φόρτισης, για το ίδιο μέγεθος μπαταρίας.

5.1.2 Ημιταχεία φόρτιση-Τριφασική AC παροχή

400V/16A-11 kW, περίπου 6 ώρες η διάρκεια φόρτισης (για τις 64 kWh).

400V/32A-22 kW, περίπου 3 ώρες η διάρκεια φόρτισης.

Η AC παροχή των σταθμών ημιταχείας φόρτισης είναι αντίστοιχη της παροχής εναλλασσόμενου ρεύματος για την ηλεκτροδότηση οικιακών συσκευών. Είναι η βασική και η πιο ευρέως διαδεδομένη εναλλακτική φόρτισης των EV εκτός κατοικίας.

5.1.3 Ταχεία φόρτιση -DC παροχή

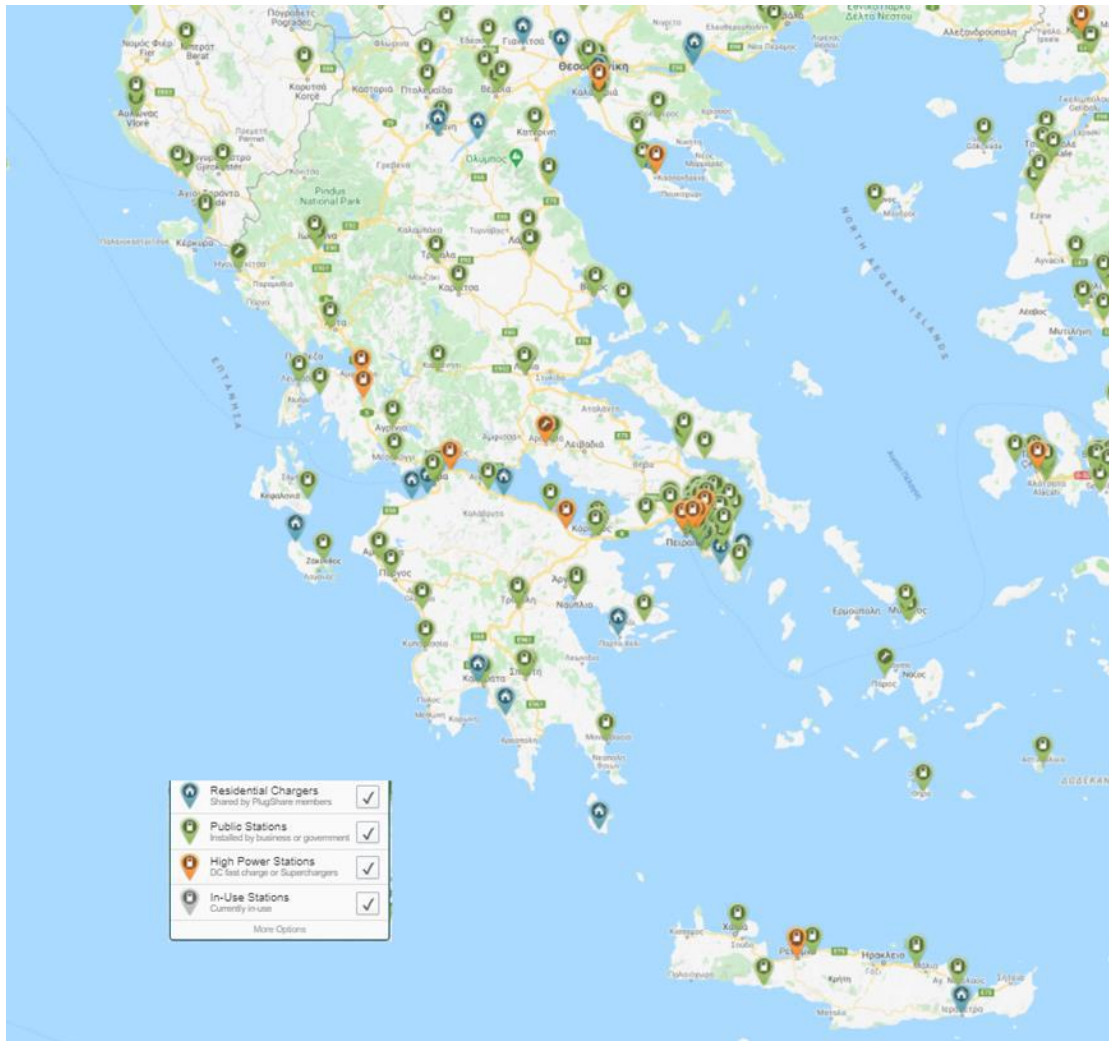
Σε αυτούς τους σταθμούς ταχείας φόρτισης η τροφοδοσία γίνεται με συνεχές ρεύμα το οποίο δίνει τη δυνατότητα μεταφοράς πολύ υψηλής ισχύος, ώστε να επιτυγχάνεται μικρή διάρκεια φόρτισης. Τέτοιοι σταθμοί, προσφέρονται για μια ολιγόλεπτη στάση, περίπου 45 λεπτών, προκειμένου ο χρήστης να επαναφορτίσει πολύ γρήγορα ένα μεγάλο ποσοστό των μπαταριών του ηλεκτρικού οχήματός του. Αυτοί συναντώνται σε Σ.Ε.Α. στους αυτοκινητοδρόμους, σε χώρους στάθμευσης μεγάλων εμπορικών πολυκαταστημάτων (malls), αλλά και αλλού.

Γενική παραμετροποίηση φόρτισης:

Στην περίπτωση της ημιταχείας φόρτισης, οι σταθμοί παρέχουν εναλλασσόμενο (AC) ρεύμα, και φορτίζουν με ισχύ φόρτισης από 3,7kW έως 22kW. Μία πλήρης φόρτιση μπορεί να διαρκέσει από 1 έως 7 ώρες, αναλόγως των χαρακτηριστικών του οχήματος.

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
Αντίστοιχα, στην περίπτωση της ταχείας φόρτισης, παρέχεται είτε συνεχές (DC) ρεύμα έως 150 kW, είτε εναλλασσόμενο (AC) με ισχύ έως 44kW, η πλήρης φόρτιση μπορεί να διαρκέσει από 20 έως 45 λεπτά.

Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζονται ορισμένοι σταθμοί φόρτισης σύμφωνα με στοιχεία του ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο.



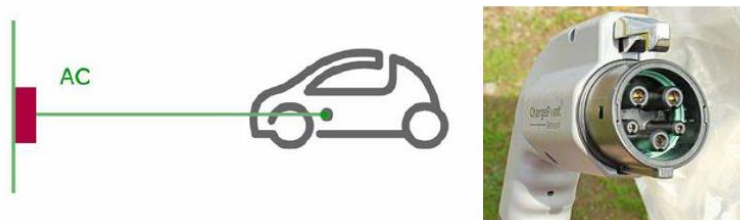
Εικόνα 5.1: Ενδεικτικός χάρτης σημείων φόρτισης 2020

Πηγή: ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο

5.2 Φόρτιση Ηλεκτρικών Οχημάτων

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται οι τρόποι, που υπάρχουν τουλάχιστον μέχρι την παρούσα χρονική στιγμή, με τους οποίους φορτίζεται ένα όχημα. Συγκεκριμένα αναφέρονται οι τρόποι φόρτισης που καθορίζονται από τα διεθνή πρότυπα (IEC 62196). Αναφέρεται ότι σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. 2014/94 θα πρέπει κάθε κράτος μέλος να εξασφαλίσει ένα επαρκές δίκτυο φόρτισης, ενδεικτικά ένας σταθμός ανά 10 οχήματα (Μενεγάτος, 2017). Το IEC 61851-1 περιγράφει τέσσερις τρόπους φόρτισης, mode 1,2,3,4, που παρουσιάζονται και περιγράφονται στις επόμενες ενότητες.

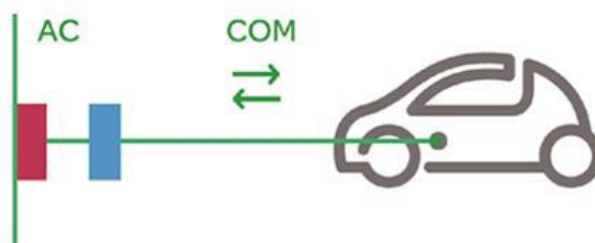
5.2.1 Μέθοδος φόρτισης 1 (Mode 1)



Εικόνα 5.2 Φόρτιση Mode 1 (Vollet, 2013), (Falvo, et al., 2014)

Ο πρώτος τρόπος φόρτισης χρησιμοποιεί εναλλασσόμενο ρεύμα με μονοφασική ή τριφασική σύνδεση και ρεύμα έως 16 A. Στην εικόνα 5.2 φαίνεται σχηματικά ο τρόπος φόρτισης 1 καθώς και ο τριφασικός ρευματοδότης που χρησιμοποιείται. Εναλλακτικά χρησιμοποιείται και ο κοινός οικιακός ρευματοδότης στο μονοφασικό τρόπο συνδεσμολογίας. Πρόκειται για αργή φόρτιση, η οποία γίνεται στην οικία του κατόχου, Είναι ο μοναδικός τρόπος φόρτισης ο οποίος δεν επιτρέπει επικοινωνία με το δίκτυο διανομής. Μερικά θέματα ασφάλειας (Vollet, 2013) σχετικά με τη φόρτιση τύπου 1 αφορούν στο ότι παράλληλα με τη φόρτιση τροφοδοτούνται και άλλα φορτία με αποτέλεσμα να υπάρχει πιθανότητα να προκληθεί υπερφόρτιση. Η υπερφόρτιση οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας στα καλώδια η οποία με τη σειρά της μειώνει τη διάρκεια ζωής τους ή στη χειρότερη περίπτωση μπορεί να προκαλέσει πυρκαγιά αν η γραμμή δεν έχει ασφαλιστεί σωστά.

5.2.2. Μέθοδος φόρτισης 2 (Mode 2)



Εικόνα 5.3 Φόρτιση Mode 2 (Vollet, 2013)

Όπως και στον πρώτο τρόπο φόρτισης έτσι και στον δεύτερο χρησιμοποιούνται κοινοί ρευματοδότες και η σύνδεση είναι μονοφασική ή τριφασική. Η διαφορά βρίσκεται στο ότι πλέον υπάρχει συσκευή προστασίας και το ρεύμα φτάνει στα 32 A. Επιπλέον υπάρχει επικοινωνία ανάμεσα στο δίκτυο και το όχημα. Η φόρτιση εξακολουθεί να είναι αργή και το ενδεχόμενο υπερφόρτισης εξακολουθεί να υπάρχει. Συστήνεται ο τρόπος αυτός να χρησιμοποιείται σε περίπτωση ανάγκης (Vollet, 2013).

5.2.3 Μέθοδος φόρτισης 3 (Mode 3)



Εικόνα 5.4 Φόρτιση Mode 3 (Vollet, 2013)

Η φόρτιση τύπου 3 χρησιμοποιεί υψηλή εναλλασσόμενη τάση, η συνδεσμολογία είναι τριφασική και το ρεύμα μπορεί να φτάσει έως 250 A (Μενεγάτος, 2017). Το όχημα συνδέεται απ' ευθείας στο

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ δίκτυο μέσω ξεχωριστού κυκλώματος και με χρήση ειδικού ρευματοδότη. Το κύκλωμα ασφαλιζεται με συσκευή προστασίας και υπάρχει επίσης επικοινωνία το οχήματος με το δίκτυο.

Η φόρτιση είναι γρήγορη, ενδεικτικά για αυτονομία 100 km χρειάζονται 1 έως 2 ώρες (Μενεγάτος, 2017), ενώ για φόρτιση μίας μπαταρίας χωρητικότητας 40 kWh με τάση φόρτισης 80 kW χρειάζονται γύρω στα 30 min (Yang, et al., 2017). Η mode 3 φόρτιση είναι αυτή που χρησιμοποιείται στους σταθμούς φόρτισης δημόσιας χρήσης και αφορούν την εργασία αυτή.

Ο τύπος αυτός πλεονεκτεί σε σχέση με τους άλλους διότι η γραμμή παροχής χρησιμοποιείται αποκλειστικά για τη φόρτιση του οχήματος. Επιπλέον με την επικοινωνία με το δίκτυο ή/και με την εγκατάσταση οικίας όταν ο σταθμός είναι ιδιωτικός βελτιστοποιείται ο χρόνος φόρτισης, επιλέγοντας ώρες που η χρέωση είναι χαμηλή. Μία ακόμα λειτουργία που επιτυγχάνεται είναι αυτή της εξισορρόπησης του δικτύου πάνω στην οποία έχει ήδη γίνει αρκετή έρευνα.

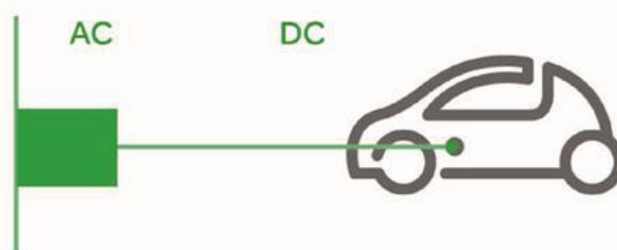
Οι προδιαγραφές που πρέπει να διαθέτει ένας σταθμός mode 3 στην Ελλάδα δίνονται από τη ΔΕΔΔΗΕ (ΔΕΔΔΗΕ, 2018), (Μενεγάτος, 2017) και συνοπτικά είναι:

- Mode 3 AC, 2x22kW (3Φ), Type 2
- OCPP 1.6 (Open Charge Point Protocol)
- EN/IEC 61851:2017
- Υποστήριξη RFID, NFC, ad-hoc χρεώσεις Προετοιμασία για μετάβαση σε αγορά (μετρητής ορίου δικτύου – τυποποιημένη παροχή No 4)

5.2.4 Μέθοδος φόρτισης 4 (Mode 4)

Υπάρχει και ένας τέταρτος τύπος φόρτισης (mode 4) ο οποίος χρησιμοποιεί συνεχές ρεύμα. Η τάση είναι υψηλή μεγαλύτερη από 22 kW (Falvo, et al., 2014), ενώ στην Ελλάδα σύμφωνα με στοιχεία από ΔΕΔΔΗΕ έχουν προδιαγραφη DC 600V/400A. Ανάλογα με την ισχύ 50 kW που χρησιμοποιείται σήμερα ή 120 kW στο μέλλον, η φόρτιση διαρκεί έως 10 ή 30 min αντίστοιχα (Μενεγάτος, 2017).

Οι γρήγοροι χρόνοι φόρτισης καθιστούν τους σταθμούς του συγκεκριμένου τύπου ιδανικούς για δημόσια χρήση όμως παρουσιάζουν το μειονέκτημα του υψηλότερου κόστους εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης διότι εκτός από τον μετασχηματιστή υποβιβασμού την υψηλής AC τάσης χρειάζεται να εγκατασταθεί και μετατροπέας AC/DC (η και DC/AC αν το όχημα τροφοδοτεί το δίκτυο). Από την άλλη με τον τρόπο αυτό μπορούν να αξιοποιηθούν άμεσα τα συστήματα παραγωγής με χρήση ηλιακής ενέργειας καθώς παράγουν συνεχές ρεύμα.



Εικόνα 5.5 Φόρτιση Mode 4 (Vollet, 2013)

Στις προηγούμενες ενότητες παρουσιάστηκαν συνοπτικά οι τρόποι που προδιαγράφονται σχετικά με τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων. Είδαμε ότι για δημόσια χρήση μπορεί να χρησιμοποιηθούν οι mode 3 και mode 4. Περισσότερη ανάλυση σχετικά με της μεθόδους φόρτισης ξεφεύγει από το πλαίσιο της εργασίας αυτής και μπορεί να αναζητηθεί στη βιβλιογραφία. Οι τρόποι φόρτισης παρουσιάζονται συνοπτικά και στον πίνακα 2.3 (Falvo, et al., 2014) που ακολουθεί.

Charge Method	Connection	Power [kW]	Max current [A]	Location
Normal power	1-Phase AC	3,7	Οκτ-16	Domestic
Medium power	1- or 3-phase AC	3,7 - 22	16-32	Semi-Public
High power	3-phase AC	> 22	> 32	Public
High power	DC	> 22	> 3,225	Public

Πίνακας 5.2 Χωρητικότητα και αυτονομία οχημάτων στην αγορά

ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	ΑΥΤΟΝΟΜΙΑ (Km)
BMW i3 (2016)	33	300
Nissan Leaf	30	200
Tesla Model S	90	509
Smart Fortwo ED	17,6	145
Mitsubishi iMiEV	16	128
Chevy Volt (PHEV)	16	64
Toyota Prius (PHEV)	4,4	18

Οπότε καταλήγουμε σε μία μέση εμβέλεια 200 km. Θεωρείται της ότι κάθε οδηγός βρίσκεται στο παράθυρο στάθμης μπαταρίας 20% με 80%, δηλαδή δεν αφήνει τη μπαταρία του να πέσει κάτω από το 20% και φορτίζει το όχημα έως το 80% της χωρητικότητάς της. Με χρήση της της υπόθεσης η μέση εμβέλεια οχήματος υπολογίζεται ως εξής:

$$0,20 \cdot 200 = 40 \text{ km}$$

$$0,80 \cdot 238 = 160 \text{ km}$$

Η μέση εμβέλεια, λοιπόν, προκύπτει 120 km. Γίνεται η υπόθεση μέσης χρήσης του οχήματος στα 25 km / ημέρα άρα κάθε όχημα χρειάζεται φόρτιση ανά: $120/25 = 4,8$ μέρες. Ο πραγματικός χρόνος φόρτισης που θεωρείται εντός του χώρου είναι οι 12 ώρες .

Η χωρητικότητα της μπαταρίας ενός πλήρως φορτισμένου ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι περίπου 30 kWh, παρέχοντας αυτονομία περίπου για 160 χιλιόμετρα. Τα υβριδικά οχήματα έχουν χωρητικότητα περίπου 3 έως 5 kWh, παρέχοντας αυτονομία περίπου 20 έως 40 χιλιόμετρα. Επομένως, λόγω της περιορισμένης αυτονομίας, θα πρέπει ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο να φορτίζει τουλάχιστον μία φορά την ημέρα, ανάλογα βέβαια και με τις ανάγκες ενός οδηγού τέτοιου οχήματος. Οπότε, εξυπηρετεί συνήθως, να φορτίζουν οι οδηγοί τα ηλεκτρικά τους οχήματα κάθε βράδυ, ξεκινώντας την κάθε ημέρα πλήρως φορτισμένα. Για μία φόρτιση μέχρι τα 7.4 kW, οι κατασκευαστές αυτοκινήτων έχουν δημιουργήσει έναν φορτιστή μπαταρίας εντός του αυτοκινήτου. Στη περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείται ένα καλώδιο φόρτισης για να συνδεθεί με το ηλεκτρικό δίκτυο για την παροχή 230 V AC. Εάν είναι επιθυμητή ταχύτερη φόρτιση, όπως για παράδειγμα 22 kW, ή ακόμα 43 kW και άνω, οι κατασκευαστές επέλεξαν δύο λύσεις:

- Ενσωματωμένος φορτιστής στο όχημα, με σκοπό να δίνει 3 – 43 kW στα 230 V μονοφασικό ή 400 V τριφασικό.
- Εξωτερικός φορτιστής, ο οποίος μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές και φορτίζει το όχημα στα 50 kW ή ακόμα περισσότερο στα 120 – 135 kW.

Ο χρόνος φόρτισης t φόρτισης (h) για ένα ηλεκτρικό όχημα, υπολογίζεται από την σχέση:

$$t_{\text{φόρτισης}} = \frac{E_{\text{συσσωρευτή}}}{P_{\text{φόρτισης}}}$$

με την προϋπόθεση πως είναι γνωστά τόσο η χωρητικότητα του συσσωρευτή $E_{\text{φόρτισης}}$ του ηλεκτρικού οχήματος (kWh), όσο και η ισχύς φόρτισης P φόρτισης του χρησιμοποιούμενου σταθμού φόρτισης του ηλεκτρικού οχήματος (kW). Ο χρόνος της διάρκειας φόρτισης των συσσωρευτών των ηλεκτρικών οχημάτων κατά Mode 1, 2, 3 και 4 σε σχέση με την απαιτούμενη ισχύ του συστήματος φόρτισης, καθώς και με το ρεύμα ηλεκτροδότησης, έχει τους αντίστοιχους χαρακτηρισμούς που περιγράφονται αναλυτικά στον παρακάτω Πίνακα.

Πίνακας 5.3:Χαρακτηριστικά μεθόδων φόρτισης

Τύπος φόρτισης	Χρόνος φόρτισης (ώρες)	Αυτονομία (Km)	Ισχύς (Kwh)	Τάση (V)	Μέγιστο Ρεύμα (A)
Mode 1	2-3	100	11	400(3Φ)	16
	6-8	100	3,7	230(1Φ)	16
Mode 2	1-2	100	22	400(3Φ)	32
	3-4	100	7,4	230(1Φ)	32
Mode 3	20-30 ΛΕΠΤΑ	100	43	400(3Φ)	63
Mode 4	20-30 ΛΕΠΤΑ	100	50	400-500DC	100-125
	10	100	120	300-500DC	300-350

5.2.5 Πρότυπα Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας της IEEE.

Στο πρόσφατο παρελθόν αναπτύχθηκαν πολλά λογισμικά για την ανάλυση ασύμμετρων δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Το κάθε πρόγραμμα χρησιμοποιούσε διαφορετικές τεχνικές υλοποίησης, άλλο με περισσότερες απλουστεύσεις στην μοντελοποίηση φορτίων και γραμμών και άλλο με σχεδόν καθόλου. Δημιουργήθηκε συνεπώς η ανάγκη δημιουργίας πρότυπων δικτύων με συγκεκριμένες παραμέτρους, έτσι ώστε η σύγκριση ανάμεσα στα διαφορετικά προγράμματα να είναι πλέον ουσιαστική.

5.2.5.1 Βασικά Δεδομένα

Μοντελοποίηση Φορτίων :

Τα φορτία μπορούν να είναι συνδεδεμένα είτε σε κάποιον κόμβο (spot loads), είτε να θεωρηθούν ομοιόμορφα κατανεμημένα κατά μήκος μιας γραμμής (distributed load). Μπορούν να είναι τριφασικά (συμμετρικά ή ασύμμετρα) ή μονοφασικά. Τα τριφασικά φορτία μπορούν να είναι συνδεδεμένα είτε σε αστέρα (Y) είτε σε τρίγωνο (Δ). Όλα τα φορτία μπορούν να μοντελοποιηθούν

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ ως σταθερής ενεργού και άεργου ισχύος (PQ), ως σταθερής αντίστασης (Z), ή ως σταθερού ρεύματος (I). Όλοι οι διαφορετικοί τύποι φορτίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4 Κωδικοποίηση Μοντέλων Φορτίων[5]

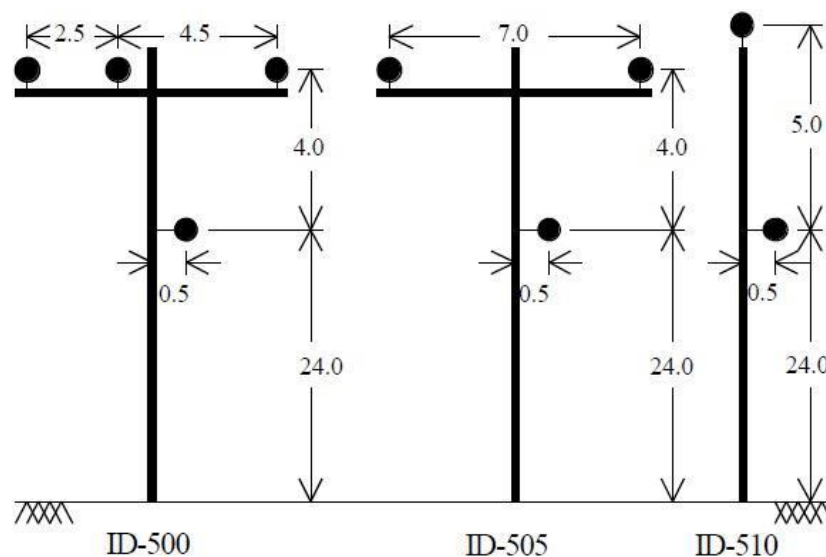
Κωδικός	Συνδεσμολογία	Μοντέλο
Y-PQ	Αστέρας	Σταθερά Kw και KVA _r
Y-I	Αστέρας	Σταθερό Ρεύμα
Y-Z	Αστέρας	Σταθερή Αντίσταση
D-PQ	Τρίγωνο	Σταθερά Kw και KVA _r
D-I	Τρίγωνο	Σταθερό Ρεύμα
D-Z	Τρίγωνο	Σταθερή Αντίσταση

Μοντελοποίηση Εναέριων Γραμμών:

Πίνακας 5.5 Τύποι Εναέριων Γραμμών[5]

Spacing ID	Τύπος
500	Τρεις Φάσεις , 4 Καλώδια
505	Δύο Φάσεις , 3 Καλώδια
510	Μια Φάση , 2 Καλώδια

Στο σχήμα 5.1 παρουσιάζονται οι αποστάσεις μεταξύ των αγωγών φάσεων και του ουδετέρου για κάθε Spacing ID του παραπάνω πίνακα.



Σχήμα 5.1 Αποστάσεις στις εναέριες γραμμές[5]

Δεδομένα Αγωγών:

Στον Πίνακα 5.6 παραθέτονται τα χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων αγωγών που χρησιμοποιούνται στις εναέριες γραμμές των πρότυπων δικτύων. Οι στήλες αντιστοιχούν σε:

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
1- Μέγεθος αγωγού σε AWG ή kcmil

2- Τύπος αγωγού

AA = Αλουμινίου

ACSR = Αγωγός αλουμινίου με ενίσχυση από ατσάλι

CU = Χαλκού

3- Αντίσταση στα 60 Hz στους 50 βαθμούς C (ohms/mile)

4- Εξωτερική διάμετρος αγωγού (inches)

5- Μέση Γεωμετρική Ακτίνα (ft.)

6- Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση ρεύματος στους 50 βαθμούς C (amps)

1	2	3	4	5	6
1,000	AA	0.105	1.15	0.0368	698
556,5	ACSR	0.1859	1.927	0.0313	730
500	AA	0.206	0.813	0.026	483
336.4	ACSR	0.306	0.721	0.0244	530
250	AA	0.410	0.567	0.0171	329
#4/0	ACSR	0.592	0.563	0.00814	340
#2/0	AA	0.769	0.414	0.0125	230
#1/0	ACSR	1.12	0.398	0.00446	230
#1/0	AA	0.970	0.368	0.0111	310
#2	AA	1.54	0.292	0.00883	156
#2	ACSR	1.69	0.316	0.00418	180
#4	ACSR	2.55	0.257	0.00452	140
#10	CU	5.903	0.102	0.00331	80
#12	CU	9.375	0.081	0.00262	75
#14	CU	14.872	0.064	0.00208	20

Πίνακας 5.6 Δεδομένα Αγωγών [5]

Μοντελοποίηση Υπόγειων Γραμμών :

Ο τύπος των υπόγειων γραμμών παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.7.

Spacing ID	Τύπος
515	Τρεις Φάσεις, 3 Καλώδια
520	Μία Φάση, 2 Καλώδια

Πίνακας 5.7 Τύποι Υπόγειων Γραμμών[5]

Δεδομένα Καλωδίων:

Στον Πίνακα 5.8 παρεθέτονται τα χαρακτηριστικά των διάφορων ομοκεντρικών ουδετέρων καλωδίων που χρησιμοποιούνται στα πρότυπα δίκτυα. Οι στήλες αντιστοιχούν σε :

1- Μέγεθος αγωγού σε AWG ή kcmil

2- Διάμετρος μαζί με τη μόνωση (inches)

3- Διάμετρος μαζί με την προστασία (inches)

5- Χαλκός 1/3 neutral (No x AWG)

6- Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση ρεύματος σε αγωγό τεσσάρων ιντσών (amps)

Πίνακας 5.8 Τύποι Καλωδίων Αλουμινίου (AA)

1	2	3	4	5	6
2(7x)	0.78	0.85	0.98	6 x 14	135
1/0(19x)	0.85	0.93	1.06	6 x 14	175
2/0(19x)	0.9	0.97	1.10	7 x 14	200
250(37x)	1.06	1.16	1.29	13 x 14	260
500(37x)	1.29	1.39	1.56	16 x 12	385
1000(61x)	1.64	1.77	1.98	20 x 10	550

Η IEEE διαθέτει δεδομένα για πολλά πρότυπα δίκτυα με ποικίλους αριθμούς κόμβων που προσφέρονται για διαφορετικού είδους εφαρμογές. Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε το πρότυπο δίκτυο των δεκατριών 13 Node Test Feeder.

5.3 Μοντελοποίηση και Προσομοίωση Δικτύων 13^{ον} ζυγών

Η υλοποίηση έγινε τόσο με τη χρήση της πλατφόρμας του MatLab και τη γραμμή εργαλείων SimPowerSystems όσο και με την Octave. Ο λόγος που επιλέχθηκαν τα παραπάνω προγράμματα είναι ότι προσφέρουν ένα γραφικό περιβάλλον με βιβλιοθήκες με τις οποίες μπορούν να σχεδιαστούν και να προσομοιωθούν με μεγάλη ακρίβεια συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα δεδομένα και τα χαρακτηριστικά του δικτύου IEEE 13-node test feeder διατίθενται από την κοινότητα ηλεκτρικής ενέργειας της IEEE (IEEE Power and Energy Society). Το συγκεκριμένο πρότυπο δίκτυο είναι σχετικά μικρό, κάτι που προσφέρεται επίσης για επαναλαμβανόμενες προσομοιώσεις. Ακόμα διαθέτει κάποια χαρακτηριστικά τα οποία καθιστούν την μελέτη του ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα. Συγκεκριμένα, πρόκειται για ένα σύστημα ζυγών με ασύμμετρα και διανεμημένα φορτία, με γραμμές μεταφοράς τόσο εναέριες όσο και υπόγειες, με πυκνωτές και έναν μετασχηματιστή υποβιβασμού τάσης. Στο σχήμα 2.5 φαίνεται το μονογραμμικό διάγραμμα όπως δίνεται από την κοινότητα του IEEE. Το πρότυπο αυτό δίκτυο περιλαμβάνει έναν μετασχηματιστή τάσης, έναν ρυθμιστή τάσης, πέντε διαφορετικές διατάξεις εναερίων γραμμών μεταφοράς και δύο διατάξεις υπογείων γραμμών, δύο συστοιχίες πυκνωτών, δώδεκα κομμάτια γραμμών μεταφοράς, έναν διακόπτη, οκτώ συγκεντρωμένα φορτία και ένα διανεμημένο.

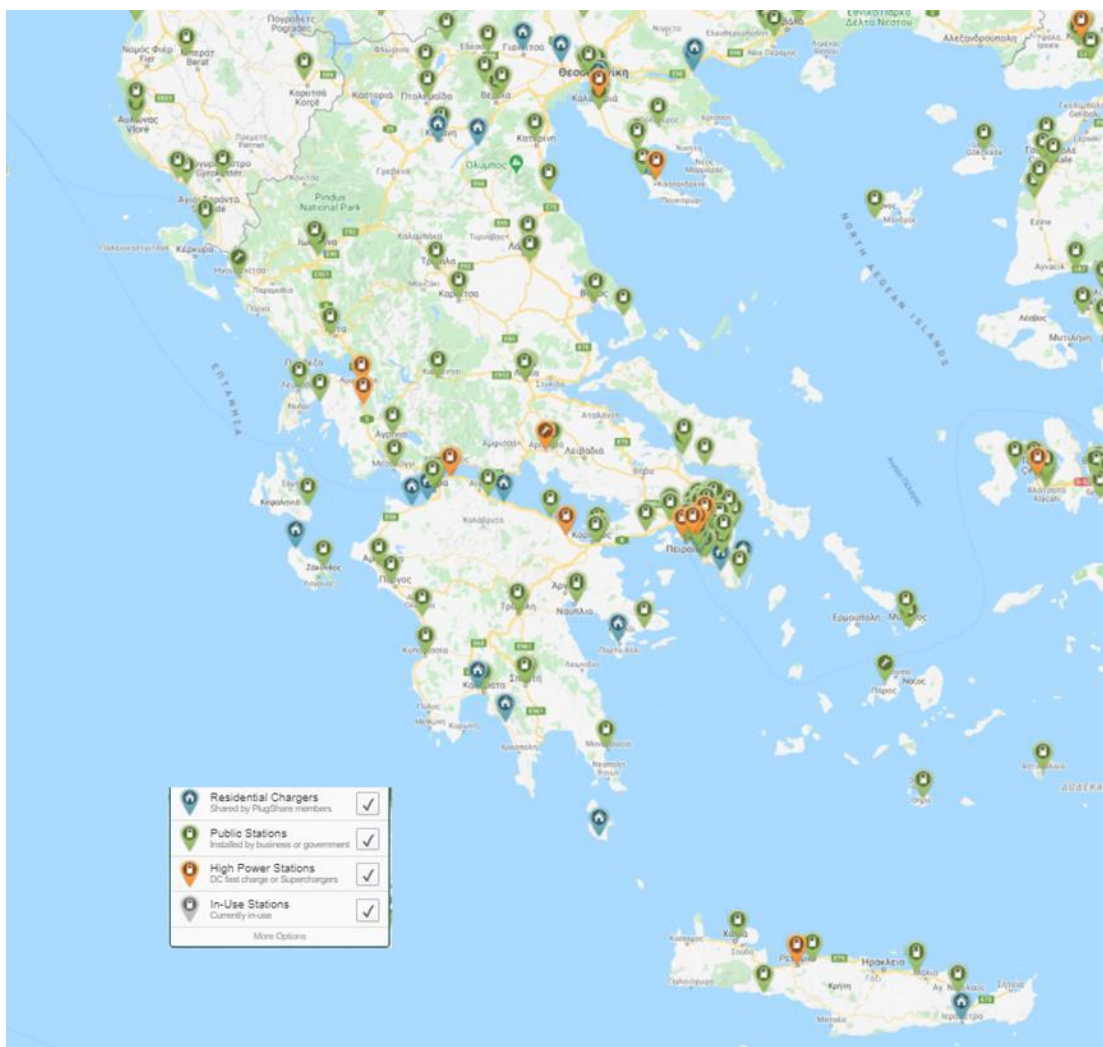
5.4 Αντικειμενική Συνάρτηση και περιορισμοί

5.4.1 Γενική παραμετροποίηση φόρτισης

Στην περίπτωση της ημιταχείας φόρτισης, οι σταθμοί παρέχουν εναλλασσόμενο (AC) ρεύμα, και φορτίζουν με ισχύ φόρτισης από 3,7kW έως 22kW. Μία πλήρης φόρτιση μπορεί να διαρκέσει από 1 έως 7 ώρες, αναλόγως των χαρακτηριστικών του οχήματος.

Αντίστοιχα, στην περίπτωση της ταχείας φόρτισης, παρέχεται είτε συνεχές (DC) ρεύμα έως 150 kW, είτε εναλλασσόμενο (AC) με ισχύ έως 44kW, η πλήρης φόρτιση μπορεί να διαρκέσει από 20 έως 45 λεπτά.

Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζονται ορισμένοι σταθμοί φόρτισης σύμφωνα με στοιχεία του ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο.



Εικόνα 5.6: Ενδεικτικός χάρτης σημείων φόρτισης 2021

Πηγή: ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο

5.5 The IEEE 13 Node Test Feeder

Το πρόγραμμα που θα χρησιμοποιηθεί για την εξομίωση του δικτύου διανομής είναι το MatLab. Το MatLab είναι ένα πρόγραμμα μαθηματικών υπολογισμών που βασίζεται στη διαχείριση πινάκων (matrices). Το όνομά του προκύπτει από τις λέξεις MATrix LABoratory. Το MatLab διαχειρίζεται εκτός από απλές μαθηματικές πράξεις όπως πρόσθεση, αφαίρεση, πολλαπλασιασμό, διαίρεση και προηγμένους μαθηματικούς υπολογισμούς, όπως δυνάμεις ρίζες, πράξεις μιγαδικών αριθμών,

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ αποθήκευση και επεξεργασία δεδομένων, γραφικές παραστάσεις, άλγεβρα πινάκων, παραγωγή και ολοκλήρωση συναρτήσεων και πολλά άλλα. Το MatLab είναι μια φιλική προς τον χρήστη γλώσσα προγραμματισμού, που επιτρέπει τον προγραμματισμό πολύπλοκων αλγορίθμων. Το μεγάλο του πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα επίλυσης σύνθετων αριθμητικών πράξεων χωρίς να χρειάζεται η ανάπτυξη προγράμματος.

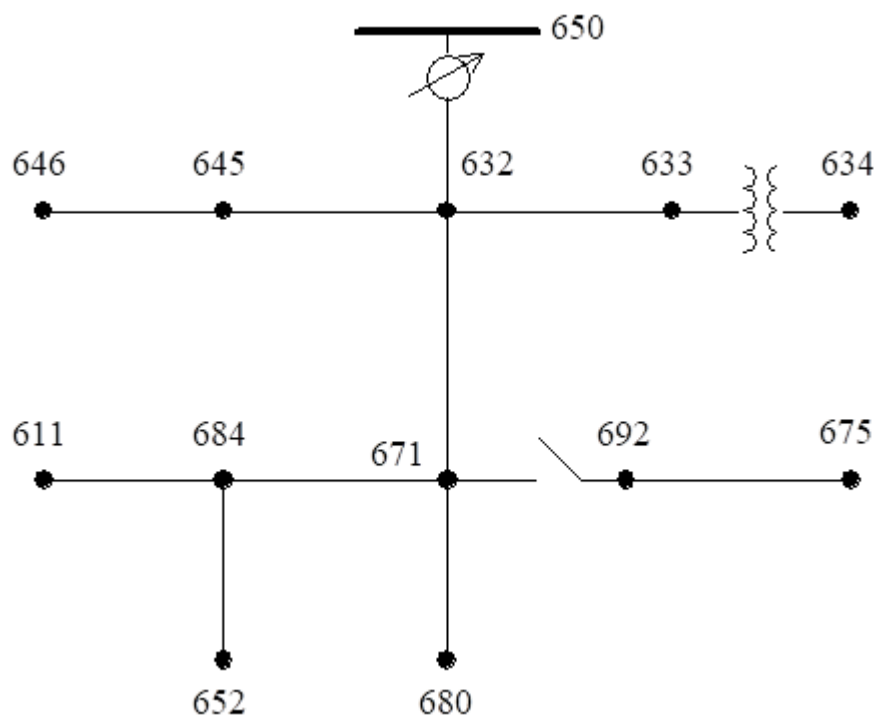
Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του MatLab είναι οι εργαλειοθήκες του (toolboxes), κάθε μία απ' τις οποίες χρησιμοποιείται για επίλυση συγκεκριμένων εφαρμογών. Η κάθε εργαλειοθήκη αποτελεί μια ολοκληρωμένη συλλογή συναρτήσεων του MatLab και χρησιμοποιείται για την επίλυση ειδικών προβλημάτων. Έτσι η χρήση του MatLab θεωρείται ιδανική για εφαρμογή σε εξειδικευμένες τεχνολογίες.

Αυτό το σύστημα με τους 13 ζυγούς εμφανίζει μερικά πολύ ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά.

1. Φορτίο για τροφοδότη 4,16 kV
2. Ένας ρυθμιστής τάσης υποσταθμού αποτελούμενος από τρεις μονοφασικές μονάδες συνδεδεμένες σε wye
3. Εναέριες και υπόγειες γραμμές με ποικιλία φάσεων
4. Συστοιχίες πυκνωτών διακλάδωσης
5. Ενσωματωμένος μετασχηματιστής
6. Μη ισορροπημένα σημειακά και καταναμημένα φορτία

Για έναν μικρό τροφοδότη αυτό θα παρέχει μια καλή δοκιμή για τα πιο κοινά χαρακτηριστικά του λογισμικού ανάλυσης διανομής. Τα πλήρη δεδομένα για αυτό το σύστημα δίνονται παρακάτω για να απεικονίσουν τη μορφή των δεδομένων για όλους τους τροφοδότες δοκιμών.

Σχήμα 5.2 Διάγραμμα μονογραμμικό 13^{ον} ζυγών



Πίνακας 5.9 Δεδομένα διαμόρφωσης υπόγειας γραμμής:

Config.	Phasing	Cable	Neutral	Space ID
606	A B C N	250,000 AA, CN	None	515
607	A N	1/0 AA, TS	1/0 Cu	520

Πίνακας 5.10 Δεδομένα διαμόρφωσης εναέριας γραμμής:

Config.	Phasing	Phase	Neutral	Spacing
		ACSR	ACSR	ID
601	B A C N	556,500 26/7	4/0 6/1	500
602	C A B N	4/0 6/1	4/0 6/1	500
603	C B N	1/0	1/0	505
604	A C N	1/0	1/0	505
605	C N	1/0	1/0	510

Πίνακας 5.11 Δεδομένα τμήματος γραμμής:

Node A	Node B	Length(ft.)	Config.
632	645	500	603
632	633	500	602
633	634	0	XFM-1
645	646	300	603
650	632	2000	601
684	652	800	607
632	671	2000	601
671	684	300	604
671	680	1000	601
671	692	0	Switch
684	611	300	605
692	675	500	606

Πίνακας 5.12 Δεδομένα πυκνωτή:

Node	Ph-A	Ph-B	Ph-C
	kVAr	kVAr	kVAr
675	200	200	200
611			100
Total	200	200	300

Πίνακας 5.13 Δεδομένα ρυθμιστή:

Regulator ID:	1		
Line Segment:	650 - 632		
Location:	650		
Phases:	A - B -C		
Connection:	3-Ph,LG		
Monitoring Phase:	A-B-C		
Bandwidth:	2.0 volts		
PT Ratio:	20		
Primary CT Rating:	700		
Compensator Settings:	Ph-A	Ph-B	Ph-C
R - Setting:	3	3	3
X - Setting:	9	9	9
Voltage Level:	122	122	122

Πίνακας 5.14 Δεδομένα μετασχηματιστή:

	kVA	kV-high	kV-low	R - %	X - %
Substation:	5,000	115 - D	4.16 Gr. Y	1	8
XFM -1	500	4.16 – Gr.W	0.48 – Gr.W	1.1	2

Πίνακας 5.15 Δεδομένα φορτίου σημείου:

Node	Load Model	Ph-1 kW	Ph-1 kVAr	Ph-2 kW	Ph-2 kVAr	Ph-3 kW	Ph-3 kVAr
634	Y-PQ	160	110	120	90	120	90
645	Y-PQ	0	0	170	125	0	0
646	D-Z	0	0	230	132	0	0
652	Y-Z	128	86	0	0	0	0
671	D-PQ	385	220	385	220	385	220
675	Y-PQ	485	190	68	60	290	212
692	D-I	0	0	0	0	170	151
611	Y-I	0	0	0	0	170	80
	TOTAL	1158	606	973	627	1135	753

Πίνακας 5.16 Κατανεμημένα δεδομένα φορτίου:

Node A	Node B	Load Model	Ph-1 kW	Ph-1 kVAr	Ph-2 kW	Ph-2 kVAr	Ph-3 kW	Ph-3 kVAr
632	671	Y-PQ	17	10	66	38	117	68

5.6 Μοντελοποίηση και Προσομοίωση Δικτύων 13^{ων} ζυγών

Τα δεδομένα και τα χαρακτηριστικά του δικτύου IEEE 13-node test feeder διατίθενται από την κοινότητα ηλεκτρικής ενέργειας της IEEE (IEEE Power and Energy Society). Το συγκεκριμένο πρότυπο δίκτυο είναι σχετικά μικρό, κάτι που προσφέρεται επίσης για επαναλαμβανόμενες προσομοιώσεις.

5.6.1 Μοντελοποίηση με Χρήση του MatLab

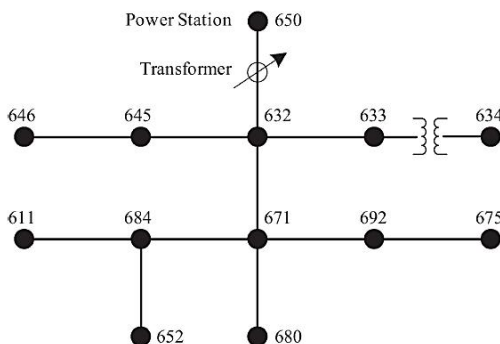


Fig. 1. IEEE 13-bus radial distribution feeder (IEEE-13 feeder) [24].

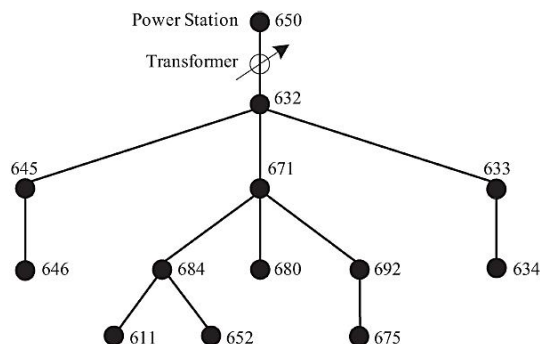
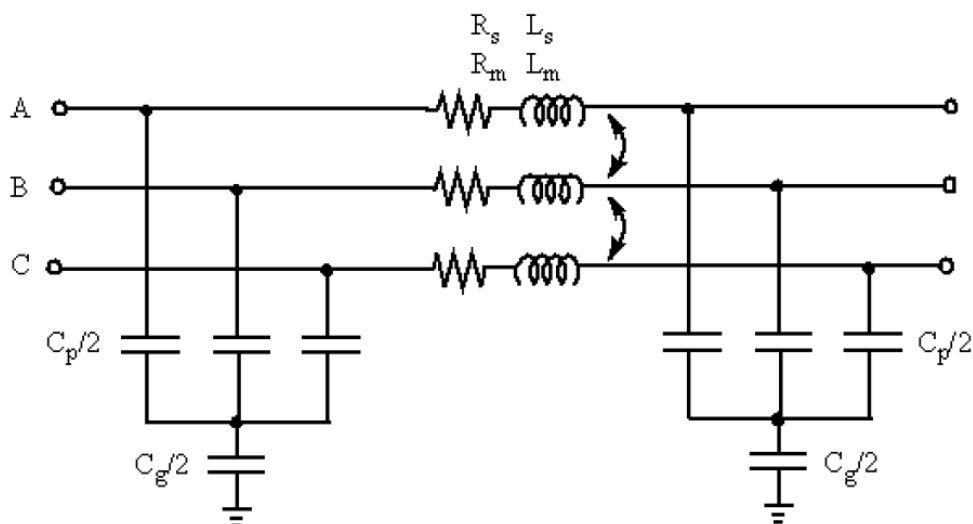


Fig. 2. Tree structure of Fig. 1.

Γραμμές μεταφοράς :

Η μοντελοποίηση των γραμμών μεταφοράς π.χ. έγινε με τη χρήση του μοντέλου τριφασικού π-ισοδύναμου που διατίθεται στη βιβλιοθήκη του SimPowerSystems. Στο σχήμα 5.3 φαίνεται το μονογραμμικό διάγραμμα του μοντέλου, όπου R_s είναι οι αντιστάσεις γραμμής, L_s είναι οι αυτεπαγωγές γραμμής, R_m είναι οι αμοιβαίες αντιστάσεις, L_m είναι οι αμοιβαίες αυτεπαγωγές, C_p είναι οι χωρητικότητες γραμμής και C_g είναι οι χωρητικότητες γης. Αυτές οι παράμετροι συνδέονται με την ορθή και μηδενική συνιστώσα της γραμμής μεταφοράς .



Σχήμα 5.3 Τριφασικό μοντέλο π-ισοδύναμου του SimPowerSystems

Το συγκεκριμένο δίκτυο δεν είναι συμμετρικό και συνεπώς το ρεύμα διαφέρει από φάση σε φάση.

Μετασχηματιστές :

Το πρότυπο δίκτυο δεκατριών κόμβων της IEEE περιλαμβάνει δύο μετασχηματιστές. Ο ένας λειτουργεί ως ρυθμιστής τάσης και βρίσκεται ακριβώς μετά τον υποσταθμό σε συνδεσμολογία $\Delta - Y$. Ο δεύτερος είναι ένας τριφασικός μετασχηματιστής υποβιβασμού τάσης και βρίσκεται ανάμεσα στους κόμβους 633 και 634.

Φορτία :

Το IEEE-13 δίκτυο αποτελείται από 3 είδη φορτίων τόσο σε συνδεσμολογία αστέρα όσο και σε τριγώνου: σταθερής ισχύος (PQ), σταθερής αντίστασης (Z) και σταθερού ρεύματος (I). Υπάρχει ακόμα ένα διανεμημένο φορτίο κατά μήκος της γραμμής 632-671.

Συσκευή Προστασίας :

Το πρότυπο δίκτυο των 13 κόμβων περιλαμβάνει μια συσκευή προστασίας ανάμεσα στους κόμβους 671 και 692. Η συσκευή αυτή είναι ένας τριφασικός διακόπτης.

Γραμμές :

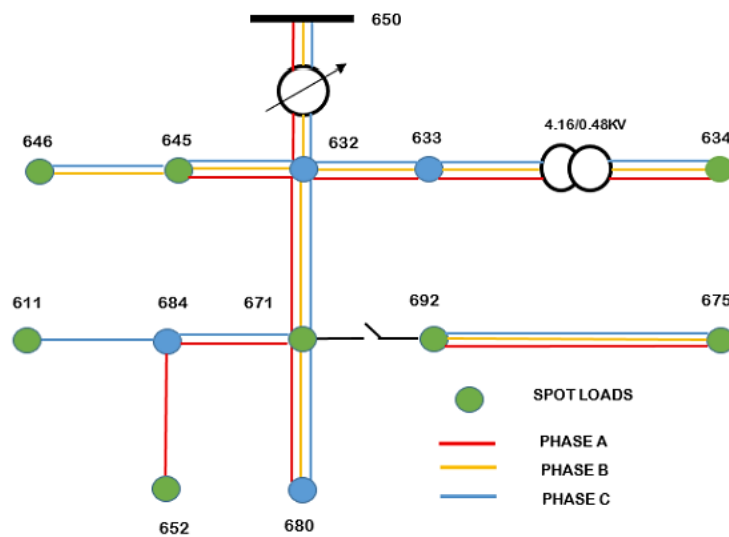
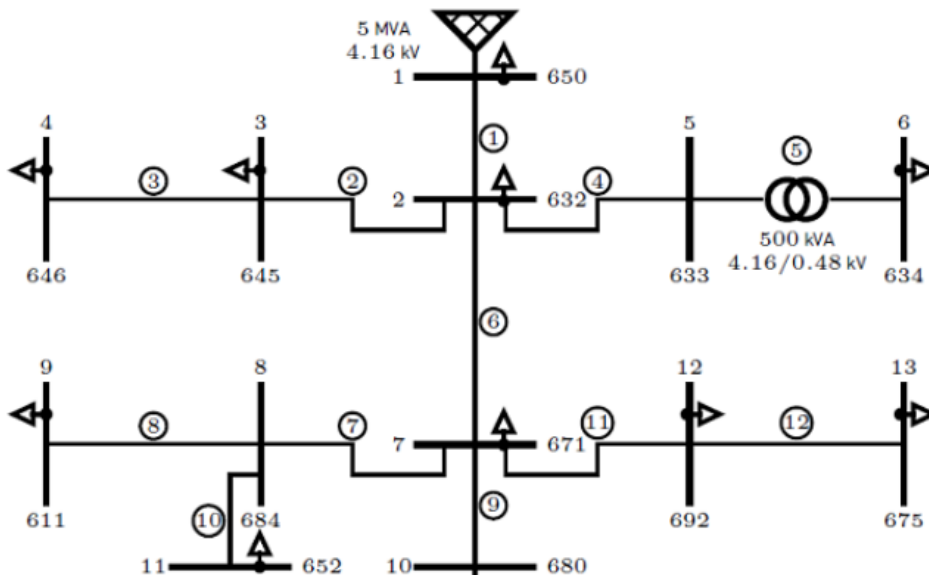


Fig. 3. IEEE 13 node Test Feeder



Σχήμα 5.4 Γραμμές

5.6.2 Στοιχεία προγράμματος

IEEE 13 NODE TEST FEEDER

Power-Flow Results

- **RADIAL FLOW SUMMARY** - DATE: 6-24-2004 AT 15:33: 2 HOURS ---

SUBSTATION: IEEE 13; FEEDER: IEEE 13

SYSTEM PHASE PHASE PHASE TOTAL

INPUT -----(A)-----|-----(B)-----|-----(C)-----|-----

kW : 1251.398 | 977.332 | 1348.461 | 3577.191

kVAr : 681.570 | 373.418 | 669.784 | 1724.772

kVA : 1424.968 | 1046.241 | 1505.642 | 3971.289

PF : .8782 | .9341 | .8956 | .9008

LOAD --(A-N)----(A-B)--|(B-N)----(B-C)--|(C-N)----(C-A)--|---WYE----DELTA--

kW : 785.6 385.0| 424.0 625.7| 692.5 553.4| 1902.1 1564.0

TOT : 1170.563 | 1049.658 | 1245.907 | 3466.128

|||

kVAr : 393.0 220.0| 313.0 358.1| 447.9 369.5| 1153.9 947.7

TOT : 613.019 | 671.117 | 817.450 | 2101.586

|||

kVA : 878.4 443.4| 527.0 720.9| 824.8 665.4| 2224.8 1828.7

TOT : 1321.367 | 1245.865 | 1490.137 | 4053.481

|||

PF : .8943 .8682| .8045 .8679| .8397 .8316| .8550 .8553

TOT : .8859 | .8425 | .8361 | .8551

LOSSES -----(A)-----|-----(B)-----|-----(C)-----|-----

kW : 39.107 | -4.697 | 76.653 | 111.063

kVAr : 152.585 | 42.217 | 129.850 | 324.653

kVA : 157.517 | 42.478 | 150.787 | 343.124

CAPAC --(A-N)----(A-B)--|(B-N)----(B-C)--|(C-N)----(C-A)--|---WYE----DELTA--

R-kVA: 200.0 .0| 200.0 .0| 300.0 .0| 700.0 .0

TOT : 200.000 | 200.000 | 300.000 | 700.000

|||

A-kVA: 193.4 .0| 222.7 .0| 285.3 .0| 701.5 .0

TOT : 193.443 | 222.747 | 285.276 | 701.466

--- **V O L T A G E P R O F I L E** ---- DATE: 6-24-2004 AT 15:33:12 HOURS ----

SUBSTATION: IEEE 13; FEEDER: IEEE 13

 NODE | MAG ANGLE | MAG ANGLE | MAG ANGLE |mi.to SR

_____ | _____ A-N _____ | _____ B-N _____ | _____ C-N _____ |

650 | 1.0000 at .00 | 1.0000 at -120.00 | 1.0000 at 120.00 | .000
 RG60 | 1.0625 at .00 | 1.0500 at -120.00 | 1.0687 at 120.00 | .000
 632 | 1.0210 at -2.49 | 1.0420 at -121.72 | 1.0174 at 117.83 | .379
 633 | 1.0180 at -2.56 | 1.0401 at -121.77 | 1.0148 at 117.82 | .474
 XFXFM1 | .9941 at -3.23 | 1.0218 at -122.22 | .9960 at 117.35 | .474
 634 | .9940 at -3.23 | 1.0218 at -122.22 | .9960 at 117.34 | .474
 645 | | 1.0329 at -121.90 | 1.0155 at 117.86 | .474
 646 | | 1.0311 at -121.98 | 1.0134 at 117.90 | .530
 671 | .9900 at -5.30 | 1.0529 at -122.34 | .9778 at 116.02 | .758
 680 | .9900 at -5.30 | 1.0529 at -122.34 | .9778 at 116.02 | .947
 684 | .9881 at -5.32 | | .9758 at 115.92 | .815
 611 | | | .9738 at 115.78 | .871
 652 | .9825 at -5.25 | | | .966
 692 | .9900 at -5.31 | 1.0529 at -122.34 | .9777 at 116.02 | .852
 675 | .9835 at -5.56 | 1.0553 at -122.52 | .9758 at 116.03 | .947
 p 1

----- **V O L T A G E R E G U L A T O R D A T A** ---- DATE: 6-24-2004 AT 15:33:16 HOURS --

SUBSTATION: IEEE 13; FEEDER: IEEE 13

 [NODE]--[VREG]-----[SEG]-----[NODE] MODEL OPT BNDW

650 RG60 632 632 Phase A & B & C, Wye RX 2.00

 PHASE LDCTR VOLT HOLD R-VOLT X-VOLT PT RATIO CT RATE TAP

1 122.000 3.000 9.000 20.00 700.00 10
 2 122.000 3.000 9.000 20.00 700.00 8
 3 122.000 3.000 9.000 20.00 700.00 11

Configuration 601:

Z (R +jX) in ohms per mile

0.3465 1.0179 0.1560 0.5017 0.1580 0.4236

0.3375 1.0478 0.1535 0.3849

0.3414 1.0348

B in micro Siemens per mile

6.2998 -1.9958 -1.2595

5.9597 -0.7417

5.6386

Configuration 602:

Z (R +jX) in ohms per mile

0.7526 1.1814 0.1580 0.4236 0.1560 0.5017

0.7475 1.1983 0.1535 0.3849

0.7436 1.2112

B in micro Siemens per mile

5.6990 -1.0817 -1.6905

5.1795 -0.6588

5.4246

Configuration 603:

Z (R +jX) in ohms per mile

0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

1.3294 1.3471 0.2066 0.4591

1.3238 1.3569

B in micro Siemens per mile

0.0000 0.0000 0.0000

4.7097 -0.8999

4.6658

Configuration 604:

Z (R +jX) in ohms per mile

1.3238 1.3569 0.0000 0.0000 0.2066 0.4591

0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

1.3294 1.3471

B in micro Siemens per mile

0.0000 0.0000

4.7097

Configuration 605:

Z (R +jX) in ohms per mile

0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

1.3292 1.3475

B in micro Siemens per mile

0.0000 0.0000 0.0000

0.0000 0.0000

4.5193

Configuration 606:

Z (R +jX) in ohms per mile

0.7982 0.4463 0.3192 0.0328 0.2849 -0.0143

0.7891 0.4041 0.3192 0.0328

0.7982 0.4463

B in micro Siemens per mile

96.8897 0.0000 0.0000

96.8897 0.0000

96.8897

Configuration 607:

Z (R +jX) in ohms per mile

1.3425 0.5124 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

0.0000 0.0000

B in micro Siemens per mile

88.9912 0.0000 0.0000

0.0000 0.0000

0.0000

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
--- **VOLTAGE PROFILE** ---- DATE: 6-24-2004 AT 15:33:12 HOURS ----

SUBSTATION: IEEE 13; FEEDER: IEEE 13

NODE | MAG ANGLE | MAG ANGLE | MAG ANGLE |mi.to SR

_____ | _____ A-N _____ | _____ B-N _____ | _____ C-N _____ |
650 | 1.0000 at .00 | 1.0000 at -120.00 | 1.0000 at 120.00 | .000
RG60 | 1.0625 at .00 | 1.0500 at -120.00 | 1.0687 at 120.00 | .000
632 | 1.0210 at -2.49 | 1.0420 at -121.72 | 1.0174 at 117.83 | .379
633 | 1.0180 at -2.56 | 1.0401 at -121.77 | 1.0148 at 117.82 | .474
XFXFM1 | .9941 at -3.23 | 1.0218 at -122.22 | .9960 at 117.35 | .474
634 | .9940 at -3.23 | 1.0218 at -122.22 | .9960 at 117.34 | .474
645 | | 1.0329 at -121.90 | 1.0155 at 117.86 | .474
646 | | 1.0311 at -121.98 | 1.0134 at 117.90 | .530
671 | .9900 at -5.30 | 1.0529 at -122.34 | .9778 at 116.02 | .758
680 | .9900 at -5.30 | 1.0529 at -122.34 | .9778 at 116.02 | .947
684 | .9881 at -5.32 | | .9758 at 115.92 | .815
611 | | | .9738 at 115.78 | .871
652 | .9825 at -5.25 | | | .966
692 | .9900 at -5.31 | 1.0529 at -122.34 | .9777 at 116.02 | .852
675 | .9835 at -5.56 | 1.0553 at -122.52 | .9758 at 116.03 | .947

----- **VOLTAGE REGULATOR DATA** ---- DATE: 6-24-2004 AT 15:33:16 HOURS --

SUBSTATION: IEEE 13; FEEDER: IEEE 13

[NODE]--[VREG]-----[SEG]-----[NODE] MODEL OPT BNDW

650 RG60 632 632 Phase A & B & C, Wye RX 2.00

PHASE LDCTR VOLT HOLD R-VOLT X-VOLT PT RATIO CT RATE TAP

1 122.000 3.000 9.000 20.00 700.00 10

2 122.000 3.000 9.000 20.00 700.00 8

3 122.000 3.000 9.000 20.00 700.00 11

- **RADIAL POWER FLOW** --- DATE: 6-24-2004 AT 15:33:27 HOURS ---

NODE VALUE PHASE A PHASE B PHASE C UNT O/L<
(LINE A) (LINE B) (LINE C) 60.%
-----*-----A-----*-----B-----*-----C-----*-----
NODE: 650 VOLTS: 1.000 .00 1.000 -120.00 1.000 120.00 MAG/ANG
kVII 4.160 NO LOAD OR CAPACITOR REPRESENTED AT SOURCE NODE
TO NODE RG60 <VRG>.: 593.30 -28.58 435.61 -140.91 626.92 93.59 AMP/DG <
<RG60 > LOSS= .000: (.000) (.000) (.000) kW
-----*-----A-----*-----B-----*-----C-----*-----
NODE: RG60 VOLTS: 1.062 .00 1.050 -120.00 1.069 120.00 MAG/ANG
-LD: .00 .00 .00 .00 .00 .00 kW/kVR
kVII 4.160 CAP: .00 .00 .00 kVR
FROM NODE 650 <VRG>: 558.40 -28.58 414.87 -140.91 586.60 93.59 AMP/DG <
<RG60 > LOSS= .000: (.000) (.000) (.000) kW
TO NODE 632: 558.40 -28.58 414.87 -140.91 586.60 93.59 AMP/DG <
<632 > LOSS= 59.716: (21.517) (-3.252) (41.451) kW
-----*-----A-----*-----B-----*-----C-----*-----
NODE: 632 VOLTS: 1.021 -2.49 1.042 -121.72 1.017 117.83 MAG/ANG
-LD: .00 .00 .00 .00 .00 .00 kW/kVR
kVII 4.160 CAP: .00 .00 .00 kVR
FROM NODE RG60: 558.41 -28.58 414.87 -140.91 586.60 93.59 AMP/DG <
<632 > LOSS= 59.716: (21.517) (-3.252) (41.451) kW
TO NODE 633: 81.33 -37.74 61.12 -159.09 62.70 80.48 AMP/DG
<633 > LOSS= .808: (.354) (.148) (.306) kW
TO NODE 645: 143.02 -142.66 65.21 57.83 AMP/DG <
<645 > LOSS= 2.760: (2.540) (.220) kW
TO NODE 671: 478.29 -27.03 215.12 -134.66 475.50 99.90 AMP/DG <
<671 > LOSS= 35.897: (10.484) (-6.169) (31.582) kW
-----*-----A-----*-----B-----*-----C-----*-----
NODE: 633 VOLTS: 1.018 -2.56 1.040 -121.77 1.015 117.82 MAG/ANG
-LD: .00 .00 .00 .00 .00 .00 kW/kVR
kVII 4.160 CAP: .00 .00 .00 kVR
FROM NODE 632: 81.33 -37.74 61.12 -159.09 62.71 80.47 AMP/DG

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
<633 > LOSS= .808: (.354) (.148) (.306) kW

TO NODE XFXFM1.....: 81.33 -37.74 61.12 -159.09 62.71 80.47 AMP/DG <
<XFXFM1> LOSS= 5.427: (2.513) (1.420) (1.494) kW

-----*-----A-----*-----B-----*-----C-----*-----

NODE: XFXFM1 VOLTS: .994 -3.23 1.022 -122.22 .996 117.35 MAG/ANG
-LD: .00 .00 .00 .00 .00 .00 kW/kVR

kVII .480 CAP: .00 .00 .00 kVR

FROM NODE 633: 704.83 -37.74 529.73 -159.09 543.45 80.47 AMP/DG <
<XFXFM1> LOSS= 5.427: (2.513) (1.420) (1.494) kW

TO NODE 634: 704.83 -37.74 529.73 -159.09 543.45 80.47 AMP/DG <
<634 > LOSS= .000: (.000) (.000) (.000) kW

- **R A D I A L P O W E R F L O W** --- DATE: 6-24-2004 AT 15:33:27 HOURS ---
SUBSTATION: IEEE 13; FEEDER: IEEE 13

NODE VALUE PHASE A PHASE B PHASE C UNT O/L<
(LINE A) (LINE B) (LINE C) 60.%

-----*-----A-----*-----B-----*-----C-----*-----

NODE: 634 VOLTS: .994 -3.23 1.022 -122.22 .996 117.34 MAG/ANG
Y-LD: 160.00 110.00 120.00 90.00 120.00 90.00 kW/kVR

kVII .480 Y CAP: .00 .00 .00 kVR

FROM NODE XFXFM1.....: 704.83 -37.74 529.73 -159.09 543.45 80.47 AMP/DG <
<634 > LOSS= .000: (.000) (.000) (.000) kW

-----*-----A-----*-----B-----*-----C-----*-----

NODE: 645 VOLTS: 1.033 -121.90 1.015 117.86 MAG/ANG
Y-LD: 170.00 125.00 .00 .00 kW/kVR

kVII 4.160 Y CAP: .00 .00 kVR

FROM NODE 632: 143.02 -142.66 65.21 57.83 AMP/DG <
<645 > LOSS= 2.760: (2.540) (.220) kW

TO NODE 646: 65.21 -122.17 65.21 57.83 AMP/DG
<646 > LOSS= .541: (.271) (.270) kW

-----*-----A-----*-----B-----*-----C-----*-----

NODE: 646 VOLTS: 1.031 -121.98 1.013 117.90 MAG/ANG
D-LD: 240.66 138.12 .00 .00 kW/kVR

kVII 4.160 Y CAP: .00 .00 kVR

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
FROM NODE 645: 65.21 -122.18 65.21 57.82 AMP/DG

<646 > LOSS= .541: (.271) (.270) kW

-----*-----A-----*-----B-----*-----C-----*-----

NODE: 671 VOLTS: .990 -5.30 1.053 -122.34 .978 116.02 MAG/ANG

D-LD: 385.00 220.00 385.00 220.00 385.00 220.00 kW/kVR

kVII 4.160 Y CAP: .00 .00 .00 kVR

FROM NODE 632: 470.20 -26.90 186.41 -131.89 420.64 101.66 AMP/DG <

<671 > LOSS= 35.897: (10.484) (-6.169) (31.582) kW

TO NODE 680: .00 .00 .00 .00 .00 .00 AMP/DG

<680 > LOSS= .000: (-.001) (.001) (.000) kW

TO NODE 684: 63.07 -39.12 71.15 121.62 AMP/DG

<684 > LOSS= .580: (.210) (.370) kW

TO NODE 692: 229.11 -18.18 69.61 -55.19 178.38 109.39 AMP/DG

<692 > LOSS= .008: (.003) (-.001) (.006) kW

-----*-----A-----*-----B-----*-----C-----*-----

NODE: 680 VOLTS: .990 -5.30 1.053 -122.34 .978 116.02 MAG/ANG

-LD: .00 .00 .00 .00 .00 .00 kW/kVR

kVII 4.160 CAP: .00 .00 .00 kVR

FROM NODE 671: .00 .00 .00 .00 .00 .00 AMP/DG

<680 > LOSS= .000: (-.001) (.001) (.000) kW

- **RADIAL POWER FLOW** --- DATE: 6-24-2004 AT 15:33:27 HOURS ---

SUBSTATION: IEEE 13; FEEDER: IEEE 13

NODE VALUE PHASE A PHASE B PHASE C UNT O/L<

(LINE A) (LINE B) (LINE C) 60.%

-----*-----A-----*-----B-----*-----C-----*-----

NODE: 684 VOLTS: .988 -5.32 .976 115.92 MAG/ANG

-LD: .00 .00 .00 .00 kW/kVR

kVII 4.160 CAP: .00 .00 kVR

FROM NODE 671: 63.07 -39.12 71.15 121.61 AMP/DG

<684 > LOSS= .580: (.210) (.370) kW

TO NODE 611: 71.15 121.61 AMP/DG

<611 > LOSS= .382: (.382) kW

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ
TO NODE 652: 63.07 -39.12 AMP/DG

<652 > LOSS= .808: (.808) kW

-----*-----A-----*-----B-----*-----C-----*-----

NODE: 611 VOLTS: .974 115.78 MAG/ANG

Y-LD: 165.54 77.90 kW/kVR

kVLL 4.160 Y CAP: 94.82 kVR

FROM NODE 684: 71.15 121.61 AMP/DG

<611 > LOSS= .382: (.382) kW

-----*-----A-----*-----B-----*-----C-----*-----

NODE: 652 VOLTS: .983 -5.25 MAG/ANG

Y-LD: 123.56 83.02 kW/kVR

kVII 4.160 Y CAP: .00 kVR

FROM NODE 684: 63.08 -39.15 AMP/DG

<652 > LOSS= .808: (.808) kW

-----*-----A-----*-----B-----*-----C-----*-----

NODE: 692 VOLTS: .990 -5.31 1.053 -122.34 .978 116.02 MAG/ANG

D-LD: .00 .00 .00 .00 168.37 149.55 kW/kVR

kVII 4.160 Y CAP: .00 .00 .00 kVR

FROM NODE 671: 229.11 -18.18 69.61 -55.19 178.38 109.39 AMP/DG

<692 > LOSS= .008: (.003) (-.001) (.006) kW

TO NODE 675: 205.33 -5.15 69.61 -55.19 124.07 111.79 AMP/DG <

<675 > LOSS= 4.136: (3.218) (.345) (.573) kW

-----*-----A-----*-----B-----*-----C-----*-----

NODE: 675 VOLTS: .983 -5.56 1.055 -122.52 .976 116.03 MAG/ANG

Y-LD: 485.00 190.00 68.00 60.00 290.00 212.00 kW/kVR

kVII 4.160 Y CAP: 193.44 222.75 190.45 kVR

FROM NODE 692: 205.33 -5.15 69.59 -55.20 124.07 111.78 AMP/DG <

<675 > LOSS= 4.136: (3.218) (.345) (.573) kW

5.7 Βασική αντικειμενική συνάρτηση βελτιστοποίησης ζυγού και περιορισμοί :

Η βασική αντικειμενική συνάρτηση που θα γίνει βελτιστοποίηση είναι :

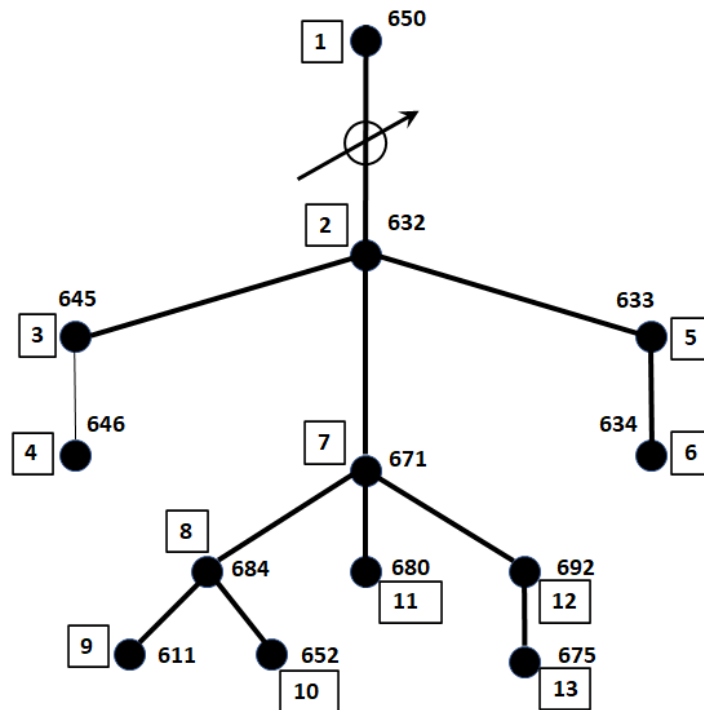
$$\min \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

η οποία για σταθμό με 13 ζυγούς γίνεται :

$$\min \sum_{i=1}^{13} x_i \quad (2)$$

5.7.1 Θεωρήσεις

- 1). Έστω ότι έχουμε $C = 10$ οχήματα, $C \leq N_{EVs}$ που θέλουν να φορτίσουν σε ένα δίκτυο N -ζυγών, οπότε για το δίκτυο IEEE-13 θα είναι $N=13$. Το κάθε όχημα είναι a_i .
- 2). Το γράφημα κατά IEEE 13 Node Test Feeder είναι : Σχήμα 5.5



Σχήμα 5.5 Αρίθμηση των ζυγών από 1 έως 13.

- 3.) Ακολούθως επιλέγουμε τον τύπο φόρτισης των σταθμών (Level) με την αντίστοιχη ισχύ φόρτισης CP . Οι σταθμοί που θα επιλέξουμε θα είναι mode 2 και mode 3, με αντίστοιχη ισχύ φόρτισης 7,4 Kw και 22 Kw. Η ταξινόμηση των σταθμών φόρτισης (Level) είναι :

Level 1: 12A/120V, με Kw ανά ώρα = 1,44 Kwh με Range per hour: 6,5 Km. Το Range per hour είναι μια μονάδα μέτρησης του ρυθμού φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και δηλώνει τον μέσο αριθμό χιλιομέτρων που μπορεί να προστεθεί στην αυτονομία του οχήματος για κάθε ώρα φόρτισης.

Level 2: 32A/240V , με Kw ανά ώρα = 7,68 Kwh με Range per hour: 38,6 Km

Level 3: DC Ταχεία φόρτιση : 100A/480V+ , με Kw ανά ώρα = 50 Kwh + με Range per hour: 241,5 Km

Η πλειονότητα της φόρτισης EV γίνεται στους σταθμούς φόρτισης Επιπέδου 2 και Επιπέδου 3, καθώς οι φορτιστές Επιπέδου 1 είναι γενικά πολύ αργοί για τους περισσότερους οδηγούς. Ενώ το Επίπεδο 3 είναι ταχύτερο, οι φορτιστές Επιπέδου 2 τείνουν να είναι πιο πρακτικοί για την εγκατάσταση και την υποστήριξη των καθημερινών αναγκών των περισσότερων οδηγών.

Σύμφωνα με μια έρευνα Συμπεριφοράς Καταναλωτών EV, περίπου το 70%-80% των οδηγών EV φορτίζουν στο σπίτι ή στη δουλειά κάθε μέρα/νύχτα ή κάθε δεύτερη μέρα/νύχτα. Ο μέσος καταναλωτής οδηγεί περίπου 402 Km την εβδομάδα ή περίπου 58 Km την ημέρα. Αυτό ισοδυναμεί με περίπου 10-13 kWh φόρτισης την ημέρα ή 20-26 kWh κάθε δεύτερη μέρα. Το μέσο μέγεθος μπαταρίας EV είναι περίπου 40-50 kWh, παρέχοντας περίπου 241 Km εμβέλειας ή 3,5-6,5 Km ανά kWh. Η γνώση του μεγέθους και της απόδοσης της μπαταρίας του κάθε EV θα μας βοηθήσει να διαμορφώσουμε τη ρουτίνα φόρτισής κατά την εκτίμηση της εμβέλειας του EV.

4.) Στο επόμενο βήμα θα πρέπει να επιλέξουμε τον αριθμό των σταθμών που θα εγκαταστήσουμε στο δίκτυο N_{EVs} . Ο αριθμός των σταθμών θα πρέπει να είναι: $N_{EVs} < N = 13$. Επιλέγουμε $N_{EVs} = 10$.

5.) Προσδιορίζουμε την συνολική ενέργεια φόρτισης που θα μας δίνουν οι φορτιστές που επιλέξαμε στους σταθμούς για 24h. Η συνολική ενέργεια θα είναι : $B = N_{EVs} \cdot CP \cdot 24h$.
Επιλέγουμε 5 οχήματα με φόρτιση mode 2 (7,4 Kw) και 5 οχήματα mode 3 (22 Kw).

6.) Ακολούθως θα πρέπει να προσδιορίσουμε την ενέργεια φόρτισης που απαιτείται για κάθε ένα όχημα α_i . Στοιχεία αντλούμε από την ηλεκτρονική διεύθυνση : (<https://chargie.com/resources/how-to-Chargie-estimate-your-evs-charging-time/>). Το αποδεκτό πλαίσιο φόρτισης μπαταριών των οχημάτων ακολουθεί τον κανόνα που προσδιορίζει ελάχιστο φορτίο μπαταρίας 20% και μέγιστο 80%. Συνεπώς ένα όχημα που βρίσκεται στο 20% η μπαταρία του θα πρέπει να φορτιστεί κατά 60% ώστε να φτάσει το 80%. Οπότε υπολογίζουμε τον χρόνο φόρτισης ως εξής : Αν υποθέσουμε ότι το όχημα α_i διαθέτει μπαταρία 80 Kwh επιπέδου (Level) 2 σταθμού φόρτισης 7,4 Kw. Οπότε με τα δεδομένα αυτά έχουμε : $80\% - 20\% = 60\% = 0,60$, άρα $80 Kwh \cdot 0,60 = 48 Kwh$ απαιτούνται για την φόρτιση του οχήματος για κάλυψη χωρητικότητας 80%. Ο χρόνος που θα απαιτηθεί για την φόρτιση είναι : $48 Kwh : 7,4 Kw = 6,48 h$ (ώρες φόρτισης). Όσο υψηλότερο είναι το επίπεδο (Level) του σταθμού, τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα φόρτισης.

7.) Στο επόμενο βήμα θα πρέπει να προσδιορίσουμε την μέση ενέργεια φόρτισης (α) για όλα τα οχήματα που θα χρησιμοποιήσουν το σταθμό φόρτισης : Η μαθηματική σχέση είναι :

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^C \alpha_i}{C} \quad (3)$$

Όπου C είναι ο αριθμός των οχημάτων που θα φορτίσουν στον σταθμό = 10.

8.) Τέλος κατασκευάζουμε μια διανυσματική συνάρτηση $f(x)$ η οποία περιλαμβάνει την τοπολογία του δικτύου σε διαδική μορφή (αθροίζει το 'x' που αντιστοιχεί στον ζυγό που μελετάμε με τα 'x' όλων των ζυγών που διασυνδέονται με αυτόν). Για το IEEE-13 που χρησιμοποιούμε θα έχουμε μία $f(x)$ της μορφής :

$$f(X) = \begin{bmatrix} f_1(X) \\ f_2(X) \\ f_3(X) \\ f_4(X) \\ \vdots \\ f_{13}(X) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{bus650}(X) \\ f_{bus632}(X) \\ f_{bus671}(X) \\ f_{bus680}(X) \\ \vdots \\ f_{bus675}(X) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{650} + x_{632} \\ x_{650} + x_{632} + x_{671} + x_{645} + x_{633} \\ x_{632} + x_{671} + x_{680} + x_{684} + x_{692} \\ x_{671} + x_{680} \\ \vdots \\ x_{675} + x_{692} \end{bmatrix} \geq \hat{1} \quad (4)$$

Όπου $\hat{1}$ είναι το μοναδιαίο διάνυσμα ,

$$\hat{1} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}_{13 \times 1}$$

Διατύπωση της συνάρτησης με τις ανισοτικές σχέσεις:

$$f(X) \geq \hat{1} \quad (5)$$

Ανισοτικές σχέσεις :

$$\sum_{i=1}^N a \cdot x_i \leq B \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^N x_i \leq N_{EVS} \quad (7)$$

Όπου,

$$x_i = \begin{cases} 0, & \text{μη τοποθέτηση σταθμού φόρτισης} \\ 1, & \text{τοποθέτηση σταθμού φόρτισης} \end{cases}, \text{ και}$$

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_N]$$

5.7.2 Πίνακας αναλυτικών πληροφοριών των 13^{ων} ζυγών :

Πίνακας 5.17 Αναλυτικές πληροφορίες των 13^{ων} ζυγών

Ζυγός	Αριθμός (Ζυγού)	Τύπος φόρτισης (Level)	Ισχύς φόρτισης (CP)
650	1	Άλλη χρήση	
632	2	Level 3	22 Kw
645	3	Level 2	7,4 Kw
646	4	Level 3	22 Kw
633	5	Άλλη χρήση	
634	6	Level 2	7,4 Kw
671	7	Level 3	22 Kw
684	8	Level 2	7,4 Kw
611	9	Level 3	22 Kw
652	10	Level 2	7,4 Kw
680	11	Level 3	22 Kw
692	12	Άλλη χρήση	
675	13	Level 2	7,4 Kw

5.8 Προγραμματισμός MatLab :

5.8.1 Κώδικας

```

N = 13;
N_EVS = 10;
C = 10;
% Δημιουργία πίνακα A με συμβατές διαστάσεις
A = zeros(C + 2, N);
CP = [0, 22, 7.4, 22, 7.4, 7.4, 22, 7.4, 22, 7.4, 22, 7.4, 7.4];
a = [0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 1];
for i = 1:N
    A(:, i) = a(i) * CP(i);
End
% Δημιουργία πίνακα E με συμβατές διαστάσεις
E = repmat([1, 2, 3], [C + 2, 1]);
% Ορίζουμε τους συντελεστές της συνάρτησης που θέλουμε να ελαχιστοποιήσουμε
f = ones(N, 1);
% Ορίζουμε τους περιορισμούς ισότητας Ax = b
Aeq = zeros(C, N);

```

```
% Περιορισμοί για τον αριθμό των σταθμών που επιλέγονται
for i = 1:C
    Aeq(i, i) = 1;
end
beq(1) = N_EVS;
% Ορίζουμε τους περιορισμούς ανισότητας A*x <= b
A_ineq = zeros(C + 3, N);
b_ineq = zeros(C + 3, 1);
% Περιορισμοί για την συνολική ενέργεια φόρτισης
for i = 1:C
    A_ineq(i, i) = a(i) * CP(i);
end
B = N_EVS * CP * 24;
b_ineq(1) = B;

% Περιορισμοί για την ενέργεια φόρτισης που απαιτείται για κάθε όχημα
for i = 1:C
    A_ineq(C + 1, i) = -E(i);
end
A_ineq(C + 2, :) = -f';
A_ineq(C + 3, :) = f';
% Ορίζουμε τα όρια για την μεταβλητή x
lb = zeros(N, 1);
ub = ones(N, 1);
% Υπολογισμός της βέλτιστης κατανομής φόρτισης
options = optimoptions('linprog', 'Display', 'off');
[x, ~, exitflag] = linprog(f, A_ineq, b_ineq, Aeq, beq, lb, ub, [], options);
% Εκτύπωση των αποτελεσμάτων
if exitflag == 1
    disp("Βέλτιστη κατανομή φόρτισης:");
    disp(x);
else
```

end

Κατάλογος Πινάκων 5^{ον} Κεφαλαίου

Πίνακας 5.1 Τρόποι φόρτισης (modes) (Falvo, et al., 2014)	293
Πίνακας 5.2 Χωρητικότητα και αυτονομία οχημάτων στην αγορά	293
Πίνακας 5.3:Χαρακτηριστικά μεθόδων φόρτισης	294
Πίνακας 5.4 Κωδικοποίηση Μοντέλων Φορτίων[5]	295
Πίνακας 5.5 Τύποι Εναέριων Γραμμών[5]	295
Πίνακας 5.6 Δεδομένα Αγωγών [5]	296
Πίνακας 5.7 Τύποι Υπόγειων Γραμμών[5]	296
Πίνακας 5.8 Τύποι Καλωδίων Αλουμινίου (ΑΑ)	297
Πίνακας 5.9 Δεδομένα διαμόρφωσης υπόγειας γραμμής	300
Πίνακας 5.10 Δεδομένα διαμόρφωσης εναέριας γραμμής	300
Πίνακας 5.11 Δεδομένα τμήματος γραμμής	300
Πίνακας 5.12 Δεδομένα πυκνωτή	300
Πίνακας 5.13 Δεδομένα ρυθμιστή	301
Πίνακας 5.14 Δεδομένα μετασχηματιστή	301
Πίνακας 5.15 Δεδομένα φορτίου σημείου	301
Πίνακας 5.16 Κατανεμημένα δεδομένα φορτίου	301
Πίνακας 5.17 Αναλυτικές πληροφορίες των 13 ^{ων} ζυγών	316

Κατάλογος Εικόνων & Σχημάτων 5^{ον} Κεφαλαίου

Εικόνα 5.1: Ενδεικτικός χάρτης σημείων φόρτισης 2020 Πηγή: ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο	290
Εικόνα 5.2 Φόρτιση Mode 1 (Vollet, 2013), (Falvo, et al., 2014)	291
Εικόνα 5.3 Φόρτιση Mode 2 (Vollet, 2013)	291
Εικόνα 5.4 Φόρτιση Mode 3 (Vollet, 2013)	291
Εικόνα 5.5 Φόρτιση Mode 4 (Vollet, 2013)	292
Εικόνα 5.6: Ενδεικτικός χάρτης σημείων φόρτισης 2021	298
Σχήμα 5.1 Αποστάσεις στις εναέριας γραμμές[5]	295
Σχήμα 5.2 Διάγραμμα μονογραμμικό 13 ^{ων} ζυγών	299
Σχήμα 5.3 Τριφασικό μοντέλο π-ισοδύναμου του SimPowerSystems	302
Σχήμα 5.4 Γραμμές	303
Σχήμα 5.5 Αρίθμηση των ζυγών από 1 έως 13	313

Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξέτασε το πρόβλημα της ‘Βέλτιστης τοποθέτησης σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας’. Στη διπλωματική αυτή, με βάση την βιβλιογραφική ανασκόπηση, γίνεται αναφορά σε επιστημονικές μελέτες και έρευνες, διαφόρων πρακτικών που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι τώρα με τα αντίστοιχα προβλήματα που παρουσιάζονται στις εν λόγω εργασίες καθώς και των συμπερασμάτων που απορρέουν από αυτές.

Πραγματοποιήθηκε αναφορά σε 52 επιστημονικά άρθρα που έχουν δημοσιευτεί στην Sci Hub σχετικά με το θέμα της διπλωματικής και παρουσιάζονται στο 3^ο Κεφάλαιο.

Η κατανόηση των προβλημάτων και στοιχείων που εξάγονται από τις μελέτες αυτές θα μας οδηγήσουν στο μοντέλο που θα επιλέξουμε για εφαρμογή στην διπλωματική εργασία. Διερευνήθηκαν και αναλύθηκαν οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν στα 52 πρόσφατα επιστημονικά άρθρα.

Μέχρι σήμερα τα συμπεράσματα μου σχετικά με τα μοντέλα βελτιστοποίησης από την μελέτη των άρθρων που στηρίζονται στο πρόγραμμα MATPOWER είναι :

- 1) Γενετικός Αλγόριθμος - ΓΑ (Genetic Algorithm - GA) – χρωμοσώματα.
- 2) Βελτιστοποίηση Σμήνους Σωματιδίων - ΒΣΣ (Particle Swarm Optimization - PSO)
- 3) Μέθοδος παιχνίων
- 4) Μέθοδος Pareto
- 5) Εφαρμογή δικτύου Bayesian (BN)
- 6) Στοχαστικές μέθοδοι και παράμετροι
- 7) Αλγόριθμος που ονομάζεται HGWOPSO
- 8) Μέθοδος HIMPL - βέλτιστο μέγεθος πυκνωτή
- 9) Αλγόριθμος CSO TLBO
- 10) Αλγόριθμος Cuckoo
- 11) Αλγόριθμος GWO
- 12) Μέθοδος μοντελοποίησης φορτίου (PLM) πιθανοτήτων
- 13) Δυαδικός αλγόριθμος firefly (BFA)
- 14) Αλγόριθμος που ονομάζεται CEPSO
- 15) Βελτιστοποίηση (PSO), βελτιστοποίηση (GWO) και υβριδική βελτιστοποίηση (HPSOGWO)
- 16) Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης ηλεκτρικού σταθμού φόρτισης οχημάτων (OCEAN)
- 17) Μοντέλο προγραμματισμού bilevel
- 18) Αλγόριθμος CSO-TLBO
- 19) Υβριδική τεχνική βελτιστοποίησης BFOA-PSO
- 20) Βελτιστοποίηση αποικίας μυρμηγκιών (ACO)
- 21) Αλγόριθμος βελτιστοποίησης φαλαινών πολλαπλών στόχων (MOWOA)
- 22) Λύση γραμμικού προγραμματισμού δύο βημάτων

Από όλες αυτές τις μεθόδους ιδιαίτερο ενδιαφέρον είχαν η χρήση του Γενετικού Αλγορίθμου ΓΑ (Genetic Algorithm - GA), καθώς και η Βελτιστοποίηση Σμήνους Σωματιδίων - ΒΣΣ (Particle Swarm Optimization - PSO).

Η υλοποίηση της επιλεγείσας μεθόδου θα αφορούσε την μοντελοποίηση και προσομοίωση δικτύων 13^{ων} ζυγών.

Η υλοποίηση έγινε τόσο με τη χρήση της πλατφόρμας του MatLab και τη γραμμή εργαλείων Octave. Ο λόγος που επιλέχθηκαν τα παραπάνω προγράμματα είναι ότι προσφέρουν ένα γραφικό περιβάλλον

Τίτλος διπλωματικής εργασίας : Βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε ΔΔΗΕ με βιβλιοθήκες με τις οποίες μπορούν να σχεδιαστούν και να προσομοιωθούν με μεγάλη ακρίβεια συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.

Όλες όμως οι παραπάνω μέθοδοι και οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούσαν είχαν τελικά διάφορους περιορισμούς και παραδοχές και δεν έδιναν μία λύση γενικής εφαρμογής.

Έτσι επιλέγει τελικά η χρήση του γραμμικού προγραμματισμού με την εύρεση της αντικειμενικής συνάρτησης και κατόπιν η επιλογή των περιορισμών.

Τα δεδομένα και τα χαρακτηριστικά του δικτύου IEEE 13-node test feeder διατίθενται από την κοινότητα ηλεκτρικής ενέργειας της IEEE (IEEE Power and Energy Society). Το συγκεκριμένο πρότυπο δίκτυο είναι σχετικά μικρό, κάτι που προσφέρεται επίσης για επαναλαμβανόμενες προσομοιώσεις. Ακόμα διαθέτει κάποια χαρακτηριστικά τα οποία καθιστούν την μελέτη του ιδιαίτερα ενδιαφέροντα.

Τέλος στο Κεφάλαιο 5^ο αναλύθηκε ο τελικός αλγόριθμος εφαρμογής (αντικειμενική συνάρτηση) με επιλογή των ανισοτικών σχέσεων. Με αυτό τον τρόπο καλύπτουμε τον διαφορετικό αριθμό των ζυγών.

Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

1. Μελέτες / Άρθρα / Πηγές

- 1_A Consumer Behavior Based Approach to Multi-Stage EV Charging Station Placement
- 2_A Hybrid Multi-Objective Chicken Swarm Optimization and Teaching Learning Based Algorithm for Charging Station Placement Problem
- 3_A Robust Two-Stage Planning Model for the Charging Station Placement Problem Considering Road Traffic Uncertainty
- 4_Active Distribution System Reinforcement Planning With EV Charging Stations—Part I_Uncertainty Modeling and Problem Formulation
- 5_Active Distribution System Reinforcement Planning With EV Charging Stations—Part II_Numerical Results
- 6_AI-Based Approach for Optimal Placement of EVCS and DG With Reliability Analysis
- 7_Allocation of EV Fast Charging Station with V2G Facility in Distribution Network
<https://1drv.ms/b/s!Ao22JrM-jiiqhIUbrV9i5C2TovvKOQ?e=UcMuNI>
- 8_Automate of capacitor placement in microgrid system under EVs load penetration
- 9_Bi-level charging station planning for integrated power distribution and transportation system
- 10_Charging Station Placement for Electric Vehicles_A Case Study of Guwahati City_India
- 11_Combinatorial Optimal Location Design of Charging Stations based on Multi-agent Simulation
- 12_Coordinated Siting and Sizing of Electric Taxi Charging Stations Considering Traffic and Power Systems Conditions
- 13_Electric Vehicle Range Anxiety_An Obstacle for the Personal Transportation (R)evolution_
- 14_Fast Charging Station Placement with Elastic Demand
- 15_Growing the charging station network for electric vehicles with trajectory data analytics
- 16_IoV-Based Deployment and Scheduling of Charging Infrastructure in Intelligent Transportation Systems
- 17_Joint Expansion Planning Studies of EV Parking Lots Placement and Distribution Network
- 18_Joint Optimization of Autonomous Electric Vehicle Fleet Operations and Charging Station Siting
- 19_Modeling of the Network Reconfiguration Considering Electric Vehicle Charging Load
- 20_Multi Objective Optimal Planning of Fast Charging station and Distributed Generators in a Distribution System
- 21_Multi-objective simultaneous optimal planning of electrical vehicle fast charging stations and DGs in distribution system
- 22_Optimal Allocation of EV Charging Stations in a Radial Distribution Network Using Probabilistic Load Modeling
- 23_Optimal allocation of rapid charging stations for electric vehicles

24_Optimal Approach to Provide Electric Vehicles with Charging Service by Using Mobile Charging Stations in Heterogeneous Networks

25_Optimal Capacity Estimation and Allocation of Distributed Generation Units with Suitable Placement of Electric Vehicle Charging Stations

26_Optimal electric vehicle charging stations placement in distribution systems

27_Optimal Electric Vehicle Fast Charging Station Placement Based on Game Theoretical Framework

28_Optimal Photovoltaic System Expansion Based on Electric Vehicle Charging Station in Smart Grid

29_Optimal placement and capacity of distributed generators in medium voltage generic UK network

30_Optimal Placement and Capacity of Electric Vehicle Charging Stations in Urban Areas_Survey and Open Challenges

31_Optimal placement of charging stations using CSO-TLBO algorithm

32_Optimal Placement of DG in the Radial Distribution System for Mitigating the Impact of EV Charging Stations

33_Optimal Placement of Electric Vehicle Charging Station with V2G Provision using Symbiotic Organisms Search Algorithm

34_Optimal Placement of Electric Vehicle Charging Stations in a Distribution Network With Randomly Distributed Rooftop Photovoltaic Systems

35_Optimal Placement of Electric Vehicle Charging Stations in a Distribution Network

36_Optimal Placement of Electric Vehicle Charging Stations in Radial Distribution System along with Reconfiguration

37_Optimal Placement of Electric Vehicle Charging Stations in the Active Distribution Network

38_Optimal Placement of Electric Vehicle Charging Stations in Utility Grid - A Case Study of Kerala State Highway Network

39_Optimal placement of EV fast charging stations considering the impact on electrical distribution and traffic condition

40_Optimal placement of fast charging station in a typical microgrid in Iran

41_Optimal planning of charging station for EVs with PV-BES unit in distribution system using WOA

42_Optimal Sizing and Placement of Multiple Photovoltaics Considering Electric Vehicles Charging Stations

43_Optimal Sizing and Placement of Solar Powered Charging Station under EV loads Penetration using Artificial Bee Colony Technique

44_Optimal Zonal Fast-Charging Station Placement Considering Urban Traffic Circulation

45_Placement of Electric Vehicle Fast Charging Stations using Grey Wolf Optimization in Electrical Distribution Network

46_Placement of Energy Sources for Electric Transportation in Smart Cities

48_Placement of EV Charging Stations—Balancing Benefits Among Multiple Entities

49_Planning of EV Fast Charging Station Including DG in Distribution System Using Optimization Technique

50_Reducing power loss considering massive charging station using metaheuristic technique

51_Survivable transportation network design for electric vehicles

52_Two-Step LP Approach for Optimal Placement and Operation of EV Charging Stations

2. Αναφορές πρότυπο *IEEE 2006*

[5.1] Michael J North, Nicholson T Collier, Jonathan Ozik, Eric R Tatara, Charles M Macal, Mark Bragen, and Pam Sydelko, “Complex adaptive systems modeling with Repast Symphony,” *Complex Adaptive Systems Modeling*, Springer, Heidelberg, FRG (2013).

[5.2] Shaoyun Ge, Liang Feng, and Hong Liu, “The Planning of Electric Vehicle Charging Station Based on Grid Partition Method,” in *Proc.2011 International Conference on Electrical and Control Engineering (ICECE)*, 2011, pp. 2726-2730.

[5.3] Sara Mehar, and Sidi Mohammed Senouci, “An Optimization Location Scheme for Electric Charging Stations,” in *Proc. 2013 International Conference on Smart Communications in Network Technologies (SaCoNeT)*, 2013, pp. 1-5.

[5.4] Ines Frade, Anabela Ribeiro, Goncalo Goncalves, and Antonio Pais Antunes, “Optimal location of charging stations for electric vehicles in a neighborhood in lisbon, portugal,” In *Transportation Research Record:Journal of the Transportation Research Board*, No. 2252: 91-98.

[5.5] Albert Y.S. Lam, Yiu-Wing Leung, and Xiaowen Chu, “Electric Vehicle Charging Station Placement: Formulation, Complexity, and Solutions,” In *IEEE Trans. Smart Grid*, 2014.

[5.6] J. Hu, H. Morais, T. Sousa, and M. Lind, “Electric vehicle fleet management in smart grids: A review of services, optimization and control aspects,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 56, pp. 1207_1226, Jan. 2016.

[5.7] Z. Yang, K. Li, and A. Foley, “Computational scheduling methods for integrating plug-in electric vehicles with power systems: A review,” *Renew.Sustain. Energy Rev.*, vol. 51, pp. 396_416, Nov. 2015.

[5.8] Z. Liu, F. Wen, and G. Ledwich, “Optimal planning of electric-vehicle charging stations in distribution systems,” *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 28, no. 1, pp. 102_110, Jan. 2013, doi: 10.1109/TPWRD.2012.2223489.

[5.9] G. Wang, Z. Xu, F. Wen, and K. P. Wong, “Traffic-constrained multiobjective planning of electric-vehicle charging stations,” *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 28, no. 4, pp. 2363_2372, Oct. 2013, doi: 10.1109/TPWRD.2013.2269142.

[5.10] W. Yao, J. Zhao, F.Wen, Z. Dong, Y. Xue, Y. Xu, and K. Meng, “A multiobjective collaborative planning strategy for integrated power distribution and electric vehicle charging systems,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 29, no. 4, pp. 1811_1821, Jul. 2014, doi: 10.1109 / TPWRS.2013.2296615.

- [5.11] S. Deb, K. Kalita, X.-Z. Gao, K. Tammi, and P. Mahanta, “Optimal placement of charging stations using CSO-TLBO algorithm,” in *Proc. 3rd Int. Conf. Res. Comput. Intell. Commun. Netw. (ICRCICN)*, Kolkata, India, Nov. 2017, pp. 84–89.
- [5.12] H. Zhang, S. J. Moura, Z. Hu, W. Qi, and Y. Song, “A second-order cone programming model for planning PEV fast-charging stations,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 33, no. 3, pp. 2763–2777, May 2018, doi:10.1109/TPWRS.2017.2754940.
- [5.13] S. Faridimehr, S. Venkatachalam, and R. B. Chinnam, “A stochastic programming approach for electric vehicle charging network design,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 20, no. 5, pp. 1870–1882, May 2019, doi: 10.1109/TITS.2018.2841391.
- [5.14] T. Tsiligirides, “Heuristic methods applied to orienteering,” *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 35, no. 9, pp. 797–809, Sep. 1984, doi: 10.1057/jors.1984.162.
- [5.15] X. Wang, M. Shahidehpour, C. Jiang, and Z. Li, “Coordinated planning strategy for electric vehicle charging stations and coupled traffic-electric networks,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 34, no. 1, pp. 268–279, Jan. 2019, doi: 10.1109/TPWRS.2018.2867176.
- [5.16] S. Acha, T.C. Green, N. Shah, “Optimal Charging Strategies of Electric Vehicles in the UK Power Market”, *IEEE/PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, 2011
- [5.17] M. Aliakbar Golki, H. Valizadeh Haghi, “Using a Multivariate DOE Method for Congestion Study in Distribution Systems under Impacts of Plug-in Electric Vehicles”, 21st International Conference on Electricity Distribution, Frankfurt, Germany, June 2011
- [5.18] A. G. Anastasiadis, E. Voreadi, and N. D. Hatziargyriou, “Probabilistic Load Flow Methods with High Integration of Renewable Energy Sources and Electric Vehicles – Case Study of Greece”, *IEEE PowerTech Conference*, Trondheim, June 2011.
- [5.19] C. Wu, H.M. Rad, J. Huang, J. Jatskevich, PEV-based combined frequency and voltage regulation for smart grid, in: *Rec. IEEE PES Innovative Smart Grid Tech. Conf. (ISGT)*, January 2012.
- [5.20] A.Y. Saber, G.K. Venayagamoorthy, Plug-in vehicles and renewable energy sources for cost and emission reductions, *IEEE Trans. Ind. Elect.*, 1229-1238,2011.

3. MERGE

- [5.2] EU MERGE project, Task 3.2, Part 1 of Deliverable D3.2, “Evaluation of the Impact that a Progressive Deployment of EV will Provoke on Electricity Demand, Steady State Operation, Market Issues, Generation Schedules and on the Volume of Carbon Emissions-Electric Vehicle Penetration Scenarios in Germany, UK, Spain, Portugal and Greece”.
- [5.15] MERGE: Mobile Energy Resources in Grids of Electricity, Task 1.1, Deliverable 1.1, Specification for an enabling smart technology, 3 August 2011.
- [5.20] MERGE Deliverable WP5_Task5.3: “Scenarios and roadmap for deployment of EV in three European regions: recommendations for policy makers and regulators”, December 2011.}

Παράρτημα Α

5.9 Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης με την Ανισότητα $x_1 + x_2 \leq 2$

```
N = 13;
C = 10;
CP = [22, 7.4, 22, 0, 7.4, 22, 7.4, 22, 7.4, 22, 0, 7.4];
f = ones(N, 1);
A = [];
b = [];
Aeq = zeros(C, N);
beq = zeros(C, 1);
for i = 1:C
    Aeq(i, i) = 1;
end
beq(1) = 1;
beq(2) = 1;
lb = zeros(N, 1);
ub = ones(N, 1);
% Μέτρηση του χρόνου εκτέλεσης
tic;
x = linprog(f, A, b, Aeq, beq, lb, ub);
executionTime = toc;
if ~isempty(x)
    disp("Βέλτιστη λύση:");
    disp(x);
else
    disp("Δεν ήταν δυνατός ο υπολογισμός της βέλτιστης λύσης.");
end
disp("Χρόνος εκτέλεσης:");
disp(executionTime);
Βέλτιστη λύση:
```

1
0
0
0
0
0
0
0

Χρόνος εκτέλεσης 0.0571seconds

Η ανισότητα $x_1 + x_2 \leq 2$ επιτρέπει τη χρήση μόνο δύο ζυγών φόρτισης για τη φόρτιση των αυτοκινήτων. Η βέλτιστη λύση (1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0) που δίνεται σημαίνει ότι οι πρώτοι δύο ζυγοί έχουν ενεργοποιημένο φορτιστή με τιμή 1, ενώ οι υπόλοιποι ζυγοί είναι ανενεργοί με τιμή 0. Αυτό συνεπάγεται ότι μόνο οι δύο πρώτοι ζυγοί θα χρησιμοποιηθούν για να φορτίσουν τα αυτοκίνητα, ενώ οι υπόλοιποι ζυγοί θα παραμείνουν ανενεργοί. Αυτή η βέλτιστη λύση επιτυγχάνει την ελάχιστη απαιτούμενη φόρτιση των αυτοκινήτων με την ελάχιστη αριθμητική χρήση των διαθέσιμων ζυγών φόρτισης, με βάση την ανισότητα που περιγράφει το πρόβλημα