



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Πρωτόκολλα Επικοινωνίας Δικτύου Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων

ΑΡΓΥΡΟΚΑΣΤΡΙΤΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

A.M. 71346394

Επιβλέπων: Δημήτριος Καλλέργης, Λέκτορας Εφ.

Συνεπίβλεψη: Ζαχαρένια Γαροφαλάκη, μέλος Ε.ΔΙ.Π.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Πρωτόκολλα Επικοινωνίας Δικτύου Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων

ΑΡΓΥΡΟΚΑΣΤΡΙΤΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

A.M. 71346394

Εξεταστική Επιτροπή:

Καλλέργης Δημήτριος, Λέκτορας Εφ.

Γαροφαλάκη Ζαχαρένια, μέλος Ε.ΔΙ.Π.

Μαυρομάτης Κωνσταντίνος, Λέκτορας

Ημερομηνία εξέτασης 13/10/23

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Αργυροκαστρίτης Νικόλαος του Ιωάννη, με αριθμό μητρώου 71346394 φοιτητής του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και 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 πτυχίου μου».

Ο Δηλών



Αργυροκαστρίτης Νικόλαος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώθηκε μετά από επίμονες προσπάθειες, σε ένα ενδιαφέρον γνωστικό αντικείμενο, όπως αυτό των ηλεκτρικών οχημάτων και των πρωτοκόλλων επικοινωνίας αυτών με τους σταθμούς φόρτισης. Την προσπάθειά μου αυτή υποστήριξε ο επιβλέπων καθηγητής μου, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη συμπαράσταση κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια ο ρυθμός υιοθέτησης των ηλεκτρικών οχημάτων έχει αυξηθεί με αποτέλεσμα να υπάρχει ανάγκη δημιουργίας στιβαρής υποδομής φόρτισης για την υποστήριξη αυτού του βιώσιμου τρόπου μετακίνησης. Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τα πρωτόκολλα επικοινωνίας ενός δικτύου φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Αναλύονται τα ασύρματα δίκτυα ad hoc και οι διάφορες κατηγορίες τους με έμφαση στα ad hoc δίκτυα οχημάτων. Επίσης, περιγράφονται αναλυτικά οι προδιαγραφές ενός συστήματος φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε σταθμού φόρτισης, το κόστος και ο χρόνος φόρτισης ενός ηλεκτρικού οχήματος χρησιμοποιώντας αργή ή γρήγορη φόρτιση. Επιπλέον, αναλύονται κάποια από τα πρωτόκολλα επικοινωνίας των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων όπως το πρωτόκολλο Open Charge Point Protocol (OCPP), το διεθνές πρότυπο ISO 15118 και το πρότυπο OpenADR.

Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι να δημιουργηθεί ένα σύστημα διαχείρισης των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων εντός μιας πανεπιστημιούπολης, μέσω του οποίου θα υπάρχει η δυνατότητα παρακολούθησης των ηλεκτρικών οχημάτων που αποτελούν τον στόλο του συστήματος και η δυνατότητα διαχείρισης του φορτίου ενέργειας που χρησιμοποιείται για την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων. Το πρωτόκολλο OCPP και το διεθνές πρότυπο ISO 15118 υποστηρίζουν την επικοινωνία των σταθμών φόρτισης με τα ηλεκτρικά οχήματα και το πρότυπο OpenADR υποστηρίζει την διαχείριση του φορτίου ενέργειας που χρησιμοποιείται για την φόρτιση. Τέλος, σχεδιάστηκε το ασύρματο δίκτυο φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής και αναφέρθηκε η εξέλιξη της εργασίας στο μέλλον δημιουργώντας ένα προηγμένο ηλεκτρικό δίκτυο φόρτισης οχημάτων ενσωματώνοντας και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Ad hoc δίκτυα οχημάτων, Πρωτόκολλα επικοινωνίας σταθμών φόρτισης.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: ηλεκτρικά οχήματα, σταθμοί φόρτισης, ασύρματα δίκτυα ad hoc.

ABSTRACT

Recently, the adoption rate of electric vehicles has increased, resulting in the need for a robust charging infrastructure to support this sustainable mode of transport. This thesis deals with the communication protocols of an electric vehicle charging network. Wireless ad hoc networks and their different categories are analyzed with a focus on vehicular ad hoc networks. Also, the specifications of an electric vehicle charging system, the characteristics of each charging station, the cost and the charging time of an electric vehicle using slow or fast charging are described in detail. In addition, some of the communication protocols of electric vehicle charging stations such as the Open Charge Point Protocol (OCPP), the international standard ISO 15118 and the OpenADR standard are discussed.

The objective of this work is to create a system for the management of electric vehicle charging stations within a campus, through which it will be possible to monitor the electric vehicles that make up the system's fleet and manage the energy load used for charging the electric vehicles. The OCPP protocol and the international standard ISO 15118 support the communication between the charging stations and the electric vehicles and the OpenADR standard supports the management of the energy load used for charging. Finally, the wireless electric vehicle charging network of the Ancient Eleonas Campus of the University of West Attica was designed and the future development of the work by creating an advanced electric vehicle charging network incorporating renewable energy sources was reported.

Πίνακας περιεχομένων

1.Εισαγωγή.....	13
1.1 Πρόλογος.....	13
1.2 Σκοπός.....	14
1.3 Δομή.....	14
1.4 Συντομογραφίες.....	15
2.Υπάρχουσες Τεχνολογίες και Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	17
2.1 Ασύρματα ad hoc δίκτυα.....	17
2.1.1 Κατηγορίες δικτύων ad hoc.....	18
2.1.2 Ad hoc Δίκτυο Οχημάτων.....	20
2.2 Ηλεκτρικά οχήματα και Φόρτιση.....	25
2.2.1 Σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.....	27
2.2.2 Χαρακτηριστικά συστήματος φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.....	31
2.2.3 Χρόνος και κόστος φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος.....	33
2.3 Πρωτόκολλα επικοινωνίας σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.....	34
2.3.1 Πρωτόκολλο ανοικτού σημείου φόρτισης (OCPP).....	36
2.3.2 Διεθνές πρότυπο ISO 15118.....	37
2.3.3 Open Automated Demand Response (OpenADR).....	39
3.Εργαλεία και μέθοδοι.....	43
3.1 Open Street Map.....	43
3.2 OMNET++ Simulator.....	44
3.3 Sumo simulator VEINS and INET frameworks.....	45
3.4 Instant Veins VM.....	47
3.5 Python OCPP protocol simulation.....	48
4. Υλοποίηση.....	50
4.1 Σχεδίαση δικτύου φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.....	51
4.2 Μοντελοποίηση προσομοίωσης δικτύου οχημάτων.....	56
5. Συμπεράσματα και Μελλοντική Εργασία.....	59
Βιβλιογραφία.....	61

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Αρχιτεκτονική MANET και VANET.

Εικόνα 2: Γενική μορφή VANET δικτύου.

Εικόνα 3: Τρόποι επικοινωνίας σε δίκτυα VANET.

Εικόνα 4: Υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV).

Εικόνα 5: Ηλεκτρικά οχήματα που συνδέονται με πρίζα (PEV).

Εικόνα 6: Ηλεκτρικά οχήματα με κυψέλες καυσίμου(FCEV).

Εικόνα 7: Τα τρία επίπεδα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.

Εικόνα 8: Γράφημα πλήρης φόρτισης του ίδιου οχήματος στα τρία επίπεδα φόρτισης.

Εικόνα 9: Βύσματα φόρτιση εναλλασσόμενου ρεύματος.

Εικόνα 10: Βύσματα φορτιστή συνεχούς ρεύματος.

Εικόνα 11: Πρωτόκολλα επικοινωνίας σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.

Εικόνα 12: Λειτουργικότητα του πρότυπου OpenADR.

Εικόνα 13: Στιγμιότυπο χαρτών OpenStreetMap.

Εικόνα 14: Στιγμιότυπο χάρτη του Πανεπιστημίου από OpenStreetMap.

Εικόνα 15: Στιγμιότυπο αρχικού χάρτη του πανεπιστημίου χωρίς επεξεργασία.

Εικόνα 16: Στιγμιότυπο τελικού χάρτη του Πανεπιστημίου με οχήματα και σταθμούς φόρτισης.

Εικόνα 17: Στιγμιότυπο αρχείου χωρίς επεξεργασία με Netedit.

Εικόνα 18: Στιγμιότυπο επεξεργασμένου αρχείου με Netedit.

Εικόνα 19: Στιγμιότυπο παραδείγματος veins demo scenario.

Εικόνα 20: Στιγμιότυπο κατά την ώρα του ατυχήματος στο παράδειγμα veins demo scenario.

1.Εισαγωγή

1.1 Πρόλογος

Η παγκόσμια αυξανόμενη υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων Plug-in Electric Vehicles (PEVs) ωθεί προς ένα πιο βιώσιμο και περιβαλλοντικά συμβατό μέλλον. Στην μετάβαση από τις παραδοσιακές μηχανές εσωτερικής καύσης στα οχήματα PEV, η δημιουργία μιας ισχυρής υποδομής φόρτισης έχει καταστεί υψίστης σημασίας. Κεντρικό ρόλο σε αυτή την υποδομή παίζει η απρόσκοπτη ενσωμάτωση των PEVs με το έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο ή πλέγμα (smart grid), επιτρέποντας την αποτελεσματική διαχείριση της ενέργειας, την εξισορρόπηση του φορτίου και την απόκριση στην αυξημένη ενεργειακή ζήτηση. Για να επιτευχθεί αυτή η ανάπτυξη του πλέγματος με την ενσωμάτωση των PEVs, η χρήση προηγμένων πρωτοκόλλων επικοινωνίας έχει αναδειχθεί σε καθοριστικό παράγοντα.

Η παρούσα διατριβή επικεντρώνεται στον κρίσιμο ρόλο των πρωτοκόλλων επικοινωνίας, και συγκεκριμένα του Open Charge Point Protocol (OCPP), του προτύπου ISO 15118 και του Open Automated Demand Response (OpenADR), στη διαχείριση της συνέργειας των PEVs και του πλέγματος. Αυτά τα πρωτόκολλα, αποτελούν συλλογικά τη ραχοκοκαλιά ενός αξιόπιστου και ευφυούς ενεργειακού οικοσυστήματος. Το OCPP χρησιμεύει ως γλώσσα επικοινωνίας μεταξύ των σταθμών φόρτισης και των κεντρικών συστημάτων διαχείρισης, το ISO 15118 διευκολύνει την ασφαλή και αμφίδρομη επικοινωνία για τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ οχημάτων και δικτύου και το Open ADR επιτρέπει δυναμικές στρατηγικές απόκρισης στη ζήτηση.

Με τη διερεύνηση των επιμέρους λειτουργιών του πρωτοκόλλου OCPP και των προτύπων ISO 15118 και OpenADR, η παρούσα έρευνα αποσκοπεί στον συνδυασμό των τεχνολογιών και σχεδιασμό ενός έξυπνου ηλεκτρικού δικτύου ή πλέγματος (smart grid). Θα διερευνήσουμε πώς αυτά τα πρωτόκολλα μπορούν να τεθούν σε εφαρμογή για τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας, την ενίσχυση της σταθερότητας του δικτύου και τη δημιουργία ενός δυναμικού περιβάλλοντος, όπου τα PEVs συμβάλλουν όχι μόνο ως καταναλωτές αλλά και ως πολύτιμοι πόροι για τη διαχείριση του δικτύου. Μέσω εμπειριστατωμένης ανάλυσης, προσομοίωσης και πραγματικών περιπτώσεων, η παρούσα διατριβή φιλοδοξεί να ρίξει φως στις προκλήσεις και τις ευκαιρίες για την ενσωμάτωση αυτών των πρωτοκόλλων, ώστε να δημιουργηθεί μια απρόσκοπτη σύνδεση των PEVs και του πλέγματος. Τελικά, τα ευρήματα αυτής της έρευνας υπόσχονται την επιτάχυνση της μετάβασης σε ένα καθαρότερο, αποδοτικότερο και έξυπνότερο οικοσύστημα μεταφορών, διασφαλίζοντας παράλληλα την αξιοπιστία και τη βιωσιμότητα του ενεργειακού μας δικτύου.

1.2 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση των χαρακτηριστικών των ηλεκτρικών οχημάτων και των σταθμών φόρτισης και η ανάλυση των πρωτόκολλων επικοινωνίας μεταξύ σταθμών φόρτισης και ηλεκτρικών οχημάτων δημιουργώντας ένα ad hoc δίκτυο οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, αναλύονται τα πρωτόκολλα επικοινωνίας OCPP και ISO 15118 και το πρωτόκολλο διαχείρισης ενέργειας OpenADR. Συνοψίζοντας θα δημιουργηθεί μία προσομοίωση δικτύου οχημάτων η οποία θα περιέχει τα προαναφερθέντα πρωτόκολλα με σκοπό την ασφαλή και άμεση επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και σταθμών φόρτισης και την εξισορρόπηση του φορτιού ενέργειας που χρησιμοποιείται για την φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων.

1.3 Δομή

Η διπλωματική εργασία χωρίζεται σε 4 διακριτά μεταξύ τους κεφάλαια.

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή στην οποία περιγράφεται το αντικείμενο ο σκοπός και η δομή της διπλωματικής εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται οι υπάρχουσες τεχνολογίες και το θεωρητικό υπόβαθρο όσο αφορά στο θέμα της διπλωματικής εργασίας. Πιο συγκεκριμένα περιγράφονται τα ασύρματα δίκτυα ad hoc και οι κατηγορίες τους και δίνεται έμφαση στα δίκτυα ad hoc οχημάτων τα οποία αποτελούν το κύριο θέμα της συγκεκριμένης εργασίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται τα εργαλεία και οι μέθοδοι τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη. Πιο συγκεκριμένα περιγράφονται τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία και την επεξεργασία ενός χάρτη του ιδιωτικού οδικού δικτύου μιας πανεπιστημιούπολης, εντός της οποίας παρέχεται υπηρεσία μετακίνησης από έναν στόλο ηλεκτρικών οχημάτων. Επίσης, αναλύονται και τα εργαλεία που επιλέχθηκαν για την δημιουργία της προσομοίωσης δικτύου. Επιπλέον περιγράφεται μία εικονική μηχανή η οποία εμπλέκεται στην υλοποίηση του πρωτόκολλου OCPP.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία για τη δημιουργία του χάρτη και την επεξεργασία του καθώς και δημιουργία της προσομοίωσης κίνησης και επικοινωνίας των οχημάτων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα αλλά και η εξέλιξη της εργασίας στο μέλλον.

1.4 Συντομογραφίες

AC - Alternating Current

AODV - Ad hoc On Demand Distance Vector

BEV - Battery Electric Vehicle

BSM - Basic Safety Message

CAM - Cooperative Awareness Message

CCS - Combined Charging System

CPO - Charge Point Operator

CSMS - Charging Station Management System

DC - Direct Current

DENM - Decentralized Environmental Notification Message

DSRC - Dedicated Short Range Communication

DSDV - Destination Sequenced Distance Vector

DSR - Dynamic Source Routing

DR - Demand Response

EMP - Electric Mobility Provider

EV - Electric Vehicle

EVSE - Electric Vehicle Supply Equipment

EVSP - Electric Vehicle Service Provider

FCEV - Fuel Cell Electric Vehicle

HEV - Hybrid Electric Vehicle

ITS - Intelligent Transportation System

MANET - Mobile Ad Hoc Network

OBU - On Board Unit

OCPP - Open Charge Point Protocol

PEV - Plug-in Electric Vehicle

PHEV - Plug-in Hybrid Electric Vehicle

RFID - Radio Frequency Identification

Πρωτόκολλα Επικοινωνίας Δικτύου Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων

RSU - Road Side Unit

TA - Trusted Authority

VANET - Vehicular Ad Hoc Network

V2I - Vehicle to Infrastructure

V2V - Vehicle to Vehicle

VEN - Virtual End Node

VTN - Virtual Top Node

WANET - Wireless Ad Hoc Network

WSN - Wireless Sensor Network

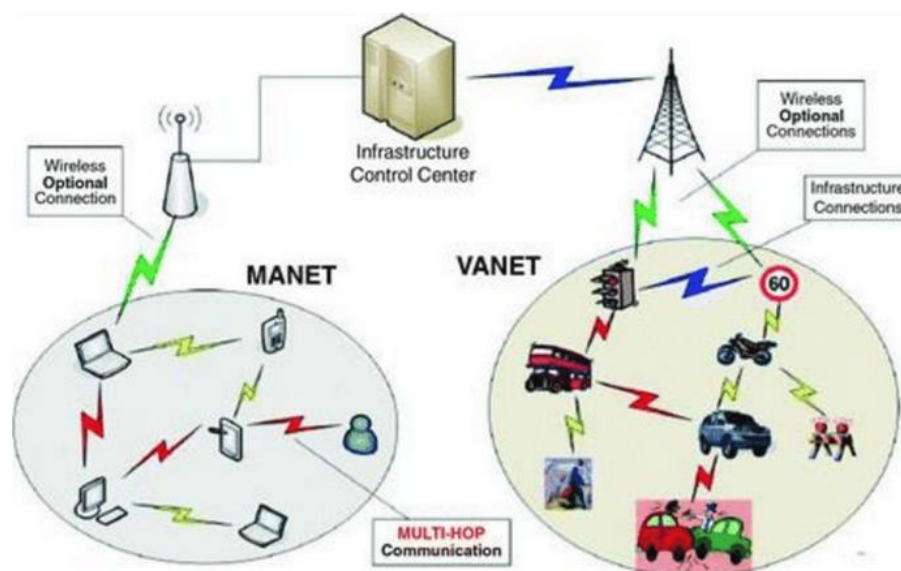
2.Υπάρχουσες Τεχνολογίες και Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Ασύρματα ad hoc δίκτυα

Ένα ασύρματο ad hoc δίκτυο (Wireless Ad hoc Network, WANET) ή κινητό ad hoc δίκτυο (Mobile Ad hoc Network, MANET) είναι, συνήθως, δίκτυο το οποίο δεν βασίζεται σε μια προ υπάρχουσα υποδομή, όπως είναι ένα δίκτυωμα δρομολογητών με ενσύρματη δικτύωση ή ασύρματα δίκτυα με σημεία πρόσβασης (access points, APs). Αντ' αυτού, κάθε κόμβος συμβάλλει στη δρομολόγηση προωθώντας δεδομένα για άλλους κόμβους, οπότε το ποιοι κόμβοι προωθούν δεδομένα καθορίζεται δυναμικά με βάση τη συνδεσιμότητα του δικτύου και τον αλγόριθμο δρομολόγησης που χρησιμοποιείται [1].

Οι κόμβοι του δικτύου σε ένα ασύρματο δίκτυο ad hoc μπορούν να λειτουργούν από τυχαίες και μεταβαλλόμενες θέσεις. Τα πακέτα δικτύου προωθούνται από τους κόμβους δικτύου σε άλλους κόμβους δικτύου εντός της εμβέλειάς τους.

Τα ασύρματα δίκτυα ad hoc οργανώνονται αυτόματα, δηλαδή οι συσκευές που συμμετέχουν σε αυτά πρέπει να μπορούν να εγκαθιδρύσουν από μόνες τους σύνδεση με τους άλλους κόμβους. Οι κόμβοι του δικτύου πρέπει, επίσης, να είναι σε θέση να προσαρμόζονται στις αλλαγές του δικτύου, όπως αλλαγές στην τοπολογία του δικτύου.



Εικόνα 1. Αρχιτεκτονική MANET και VANET [32].

Τα ad-hoc δίκτυα μπορούν να σχηματιστούν χρησιμοποιώντας ασύρματες τεχνολογίες, όπως Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee και κυψελοειδή δίκτυα. Αυτά τα δίκτυα μπορούν να λειτουργούν με διαφορετικούς τρόπους, όπως ομότιμα (peer-to-peer, P2P), χωρίς υποδομές ή με υβριδικό τρόπο. Η λειτουργία P2P χρησιμοποιείται όταν όλοι οι κόμβοι του δικτύου έχουν ίση κατάσταση και μπορούν να επικοινωνούν

απευθείας μεταξύ τους, ενώ η λειτουργία χωρίς υποδομή χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχει κεντρική υποδομή και οι κόμβοι πρέπει να δημιουργήσουν συνδεσιμότητα μεταξύ τους. Η υβριδική λειτουργία συνδυάζει τη δικτύωση P2P και τη δικτύωση με βάση την υποδομή, επιτρέποντας στους κόμβους να επικοινωνούν μεταξύ τους απευθείας ή μέσω ενός κεντρικού σημείου πρόσβασης [2].

Συμπερασματικά, τα ad hoc δίκτυα είναι ένας τύπος αποκεντρωμένου ασύρματου δικτύου. Είναι ιδιαίτερα ευέλικτα και προσαρμοζόμενα, κατάλληλα για χρήση σε διάφορα σενάρια, αλλά και ευάλωτα σε απειλές ασφαλείας. Τα ad-hoc δίκτυα μπορούν να σχηματιστούν με τη χρήση διαφορετικών ασύρματων τεχνολογιών και να λειτουργήσουν με διάφορους τρόπους, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής.

Παρά την ευελιξία και την προσαρμοστικότητά τους, τα ad-hoc δίκτυα ενέχουν προκλήσεις, όπως περιορισμένο εύρος ζώνης, συχνή συμφόρηση, προβλήματα δρομολόγησης και ευπάθειες/ευαισθησίες ασφαλείας. Για να ξεπεραστούν αυτές οι προκλήσεις, έχουν προταθεί διάφορα πρωτόκολλα δρομολόγησης, όπως το Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV), το Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV) και το Dynamic Source Routing (DSR). Αυτά τα πρωτόκολλα δρομολόγησης επιτρέπουν στους κόμβους να ανακαλύπτουν και να διατηρούν διαδρομές προς άλλους κόμβους του δικτύου και εξασφαλίζουν αποτελεσματική και αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων [3].

2.1.1 Κατηγορίες δικτύων ad hoc

Οι τύποι ασύρματων ad hoc δικτύων είναι πολλοί και εξαρτώνται από τον τρόπο λειτουργίας της εκάστοτε εφαρμογής. Ο τύπος του ασύρματου ad hoc δικτύου που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε υλοποίηση, καθορίζεται από τις δυνατότητες του ασύρματου εξοπλισμού, το φυσικό περιβάλλον και το σκοπό της επικοινωνίας [4]. Παρακάτω αναλύονται οι βασικές κατηγορίες δικτύων ad hoc καθώς και κάποια από τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους.

- **Κινητά δίκτυα ad hoc (MANET)**
Αυτά είναι δίκτυα που σχηματίζονται από κινητές συσκευές, όπως smartphones ή φορητούς υπολογιστές, οι οποίες επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ασύρματης σύνδεσης. Τα MANET χρησιμοποιούνται συνήθως σε καταστάσεις όπου δεν υπάρχει προϋπάρχουσα υποδομή, όπως σε ζώνες καταστροφών ή σε στρατιωτικές επιχειρήσεις [5].
- **Ad hoc δίκτυα οχημάτων (VANET)**
Πρόκειται για δίκτυα που σχηματίζονται από οχήματα τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ασύρματης σύνδεσης. Τα VANET χρησιμοποιούνται συνήθως για τη βελτίωση της οδικής ασφαλείας και της αποτελεσματικότητας

της κυκλοφορίας, καθώς και για την παροχή υπηρεσιών ψυχαγωγίας και επικοινωνίας εντός του οχήματος [6].

- **Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN)**
Πρόκειται για δίκτυα που αποτελούνται από μικρές συσκευές χαμηλής ισχύος, οι οποίες ονομάζονται αισθητήρες και αναπτύσσονται σε μια συγκεκριμένη περιοχή για τη συλλογή δεδομένων και τη μετάδοσή τους σε έναν κεντρικό κόμβο. Τα WSN χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές περιβαλλοντικής παρακολούθησης, βιομηχανικού αυτοματισμού και έξυπνου σπιτιού [2].

Πλεονεκτήματα των δικτύων ad hoc:

- **Χαμηλό κόστος:** Τα δίκτυα ad hoc είναι συνήθως λιγότερο δαπανηρά από τα παραδοσιακά ενσύρματα ή ασύρματα δίκτυα, επειδή δεν απαιτούν εξειδικευμένο υλικό ή λογισμικό. Αυτό τα καθιστά ιδανικά για χρήση σε περιβάλλοντα όπου το κόστος αποτελεί σημαντικό παράγοντα, όπως σε επιχειρήσεις ανακούφισης από καταστροφές ή σε στρατιωτικές εκστρατείες [5].
- **Ευελιξία:** Τα δίκτυα ad hoc μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υποστήριξη κινητών συσκευών και εφαρμογών, γεγονός που τα καθιστά ιδανικά για χρήση σε δίκτυα οχημάτων ή κινητά δίκτυα ad hoc (MANET) [5].
- **Κατανεμημένος έλεγχος:** Τα δίκτυα ad hoc λειτουργούν χωρίς κεντρικό μηχανισμό ελέγχου, γεγονός που τα καθιστά ιδιαίτερα ανθεκτικά σε αστοχίες ή επιθέσεις. Κάθε κόμβος στο δίκτυο μπορεί να ενεργεί ως δρομολογητής, εξασφαλίζοντας ότι η επικοινωνία συνεχίζεται ακόμη και αν κάποιοι κόμβοι αποτύχουν [7].
- **Επεκτασιμότητα:** Τα δίκτυα ad hoc μπορούν εύκολα να επεκταθούν ή να μειωθούν ανάλογα με τις απαιτήσεις του σεναρίου. Νέοι κόμβοι μπορούν να προστεθούν στο δίκτυο και οι υπάρχοντες κόμβοι μπορούν να αφαιρεθούν ή να αντικατασταθούν χωρίς να διαταραχθεί η λειτουργία του δικτύου [7].
- **Ταχεία ανάπτυξη:** Τα δίκτυα ad hoc μπορούν να αναπτυχθούν γρήγορα σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπως φυσικές καταστροφές, όπου οι παραδοσιακές υποδομές επικοινωνίας μπορεί να έχουν υποστεί ζημιές ή να μην υπάρχουν. Αυτό τα καθιστά ιδανικά για χρήση σε σενάρια όπου οι γρήγοροι χρόνοι απόκρισης είναι κρίσιμοι [5].

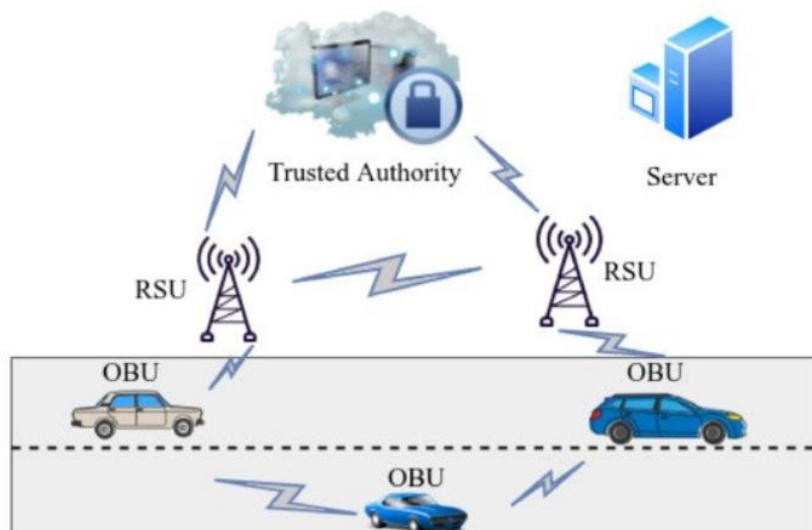
Μειονεκτήματα του δικτύου ad hoc:

- **Περιορισμένη εμβέλεια:** Τα δίκτυα ad hoc έχουν περιορισμένη εμβέλεια λόγω της εξάρτησής τους από τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας μικρής εμβέλειας. Αυτό περιορίζει τη χρησιμότητά τους σε σενάρια όπου απαιτείται επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας [7].

- Χαμηλά επίπεδα ασφάλειας: Τα δίκτυα ad hoc είναι εγγενώς λιγότερο ασφαλή από τα παραδοσιακά ενσύρματα ή ασύρματα δίκτυα επειδή δεν διαθέτουν κεντρικό μηχανισμό ελέγχου. Αυτό τα καθιστά ευάλωτα σε επιθέσεις, όπως επιθέσεις άρνησης παροχής υπηρεσιών (DoS) ή απόπειρες εισβολής [8].
- Ευαισθησία σε παρεμβολές: Τα δίκτυα ad hoc μπορεί να είναι ευάλωτα σε παρεμβολές από άλλες ασύρματες συσκευές που λειτουργούν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη απόδοση και αξιοπιστία του δικτύου [8].
- Περιορισμένη ποιότητα υπηρεσίας: Τα δίκτυα ad hoc παρέχουν συνήθως χαμηλότερη ποιότητα υπηρεσίας (QoS) από τα παραδοσιακά ενσύρματα ή ασύρματα δίκτυα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η τοπολογία του δικτύου μπορεί να αλλάξει γρήγορα, με αποτέλεσμα διακυμάνσεις στην απόδοση του δικτύου [9].
- Περιορισμένη χωρητικότητα: Τα δίκτυα ad hoc έχουν περιορισμένη χωρητικότητα σε πλήθος συσκευών, λόγω των εγγενών περιορισμών των τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας στις οποίες βασίζονται. Αυτό περιορίζει τον αριθμό των συσκευών που μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο και τον όγκο των δεδομένων που μπορούν να μεταδοθούν [9].

2.1.2 Ad hoc Δίκτυο Οχημάτων

Ένα ad hoc δίκτυο οχημάτων (VANET) αποτελείται από ομάδες κινούμενων ή σταθερών οχημάτων που συνδέονται μεταξύ τους με ένα ασύρματο δίκτυο. Μέχρι πρόσφατα, η κύρια εφαρμογή των VANET ήταν η βελτίωση της ασφάλειας και της άνεσης των οδηγών σε εφαρμογές οχημάτων. Η προοπτική αυτή αλλάζει τα δίκτυα ad hoc αυτοκινήτων θεωρούνται όλο και περισσότερο ως υποδομή για ένα ευφυές σύστημα μεταφορών με αυξανόμενο αριθμό αυτόνομων οχημάτων, καθώς και για κάθε δραστηριότητα που χρειάζεται συνδεσιμότητα στο Διαδίκτυο σε μια έξυπνη πόλη. Επιπλέον, τα VANET επιτρέπουν στους υπολογιστές επί των οχημάτων που είναι ως επί το πλείστον ακίνητα, όπως τα αυτοκίνητα που σταθμεύουν σε ένα αεροδρόμιο, να λειτουργούν ως πόροι ενός κινητού υπολογιστικού νέφους με ελάχιστη βοήθεια από την υποδομή του Διαδικτύου [6].



Εικόνα 2. Γενική μορφή VANET δικτύου [7].

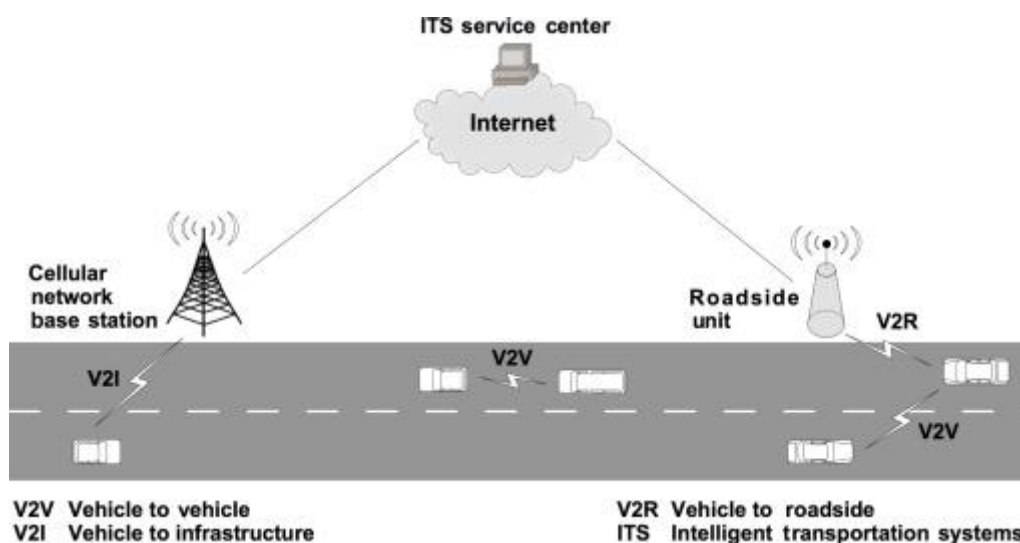
Στην Εικόνα 2 απεικονίζονται τα στοιχεία της οδικής μονάδας (RSU), της ενσωματωμένης μονάδας (OBU) και της αξιόπιστης αρχής (TA) της κύριας μονάδας επικοινωνίας. Η μονάδα RSU είναι σταθερή και αποτελείται από έναν πομποδέκτη με τον οποίο ανταλλάσσει δεδομένα με την OBU και την TA. Η OBU εγκαθίσταται στο όχημα και χρησιμεύει ως κεντρικό σημείο για τη λήψη, επεξεργασία και διαχείριση όλων των δεδομένων που παράγονται από το όχημα. Χρησιμεύει επίσης ως σημείο ανταλλαγής δεδομένων με τις OBU των κοντινών οχημάτων και την RSU. Το TA χρησιμεύει ως θεμέλιο ολόκληρου του ITS, συνδέεται συνήθως με την RSU μέσω καλωδίου οπτικών ινών ή ασύρματων μέσων και διαχειρίζεται την ασφάλεια του συστήματος [7].

Τα VANETs αλλάζουν γρήγορα και συχνά τοπολογία λόγω της σημαντικής κινητικότητας των κόμβων. Η επικοινωνία μεταξύ οχημάτων αποτελεί σήμερα ένα πιθανό θέμα έρευνας, τυποποίησης και ανάπτυξης, καθώς όλο και περισσότερα αυτοκίνητα εξοπλίζονται με τεχνολογίες μικρο-υπολογιστών και εξοπλισμό ασύρματης επικοινωνίας. Επιπλέον παρέχουν ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων, όπως είναι η πρόληψη συγκρούσεων, η ασφάλεια, η διάσχιση τυφλών σημείων, ο δυναμικός προγραμματισμός διαδρομών, και η παρακολούθηση της κατάστασης της κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο [6].

Οι τεχνολογίες επικοινωνίας οχήματος-οχήματος (V2V) και οχήματος-υποδομής (V2I) έχουν κερδίσει σημαντική προσοχή στην αυτοκινητοβιομηχανία και την ερευνητική κοινότητα. Οι επικοινωνίες V2V και V2I επιτρέπουν στα οχήματα να επικοινωνούν μεταξύ τους και με την υποδομή, επιτρέποντας μια σειρά εφαρμογών, όπως η αποφυγή συγκρούσεων, η διαχείριση της κυκλοφορίας και η βελτίωση της αποδοτικότητας των οχημάτων. Η επικοινωνία V2V επιτρέπει στα οχήματα να μοιράζονται πληροφορίες σχετικά με τη θέση τους, την ταχύτητα, την κατεύθυνση και άλλα σχετικά δεδομένα με τα κοντινά οχήματα. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προειδοποιήσουν τους οδηγούς για πιθανές συγκρούσεις

ή για να συντονίσουν ελιγμούς, όπως η συγχώνευση ή η αλλαγή λωρίδας. Η επικοινωνία V2I, από την άλλη πλευρά, επιτρέπει στα οχήματα να επικοινωνούν με την υποδομή, όπως τα φανάρια ή τις οδικές πινακίδες με σκοπό να παρέχονται πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο στους οδηγούς [10].

Η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων σε ένα VANET μπορεί να χαρακτηριστεί ως επικοινωνία οχήματος με όχημα (V2V), οχήματος με οδική μονάδα (V2R) ή οχήματος με υποδομή (V2I) (V2I). Οι οδικές μονάδες (RSU) είναι στατικοί κόμβοι που εγκαθίστανται κατά μήκος των δρόμων για να αυξήσουν τη συνδεσιμότητα και την παροχή υπηρεσιών. Οι RSU μπορούν να συνδεθούν με ένα κεντρικό δίκτυο καθώς και με το Διαδίκτυο. Οι ιδέες αυτές απεικονίζονται στην εικόνα 3.



Εικόνα 3. Τρόποι επικοινωνίας σε δίκτυα VANET [11].

Τα ad hoc δίκτυα οχημάτων (VANETs) είναι ένας τύπος ασύρματου δικτύου επικοινωνίας που έχει σχεδιαστεί για να διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και με στοιχεία υποδομής, όπως οι οδικές μονάδες (RSUs). Τα δίκτυα αυτά διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ενεργοποίηση ευφυών συστημάτων μεταφορών, στη βελτίωση της οδικής ασφάλειας και στην παροχή διαφόρων υπηρεσιών στους οδηγούς και τους επιβάτες. Στα VANETs, μία από τις βασικές πτυχές της επικοινωνίας είναι η ανταλλαγή μηνυμάτων με τη χρήση διαφόρων πρωτοκόλλων, συμπεριλαμβανομένων των Dedicated Short Range Communications (DSRC).

Το DSRC είναι ένα πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας ειδικά σχεδιασμένο για περιβάλλοντα οχημάτων. Λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων 5,9 GHz και υποστηρίζει επικοινωνία χαμηλής καθυστέρησης και υψηλής αξιοπιστίας. Το DSRC χρησιμοποιείται συνήθως στα VANETs για να επιτρέψει την επικοινωνία οχήματος με όχημα (V2V) και οχήματος με υποδομή (V2I) [40].

Υπάρχουν διάφοροι τύποι μηνυμάτων που ανταλλάσσονται στα VANET με χρήση DSRC:

- Βασικά μηνύματα ασφαλείας (BSM):

Τα BSM (Basic Security Message) είναι τα θεμελιώδη δομικά στοιχεία της επικοινωνίας V2V στα VANETs. Αυτά τα μηνύματα περιέχουν βασικές πληροφορίες σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση ενός οχήματος, συμπεριλαμβανομένης της θέσης, της ταχύτητας, της επιτάχυνσης, της κατεύθυνσης και της αναγνώρισης του οχήματος. Τα BSM μεταδίδονται σε τακτά χρονικά διαστήματα (συνήθως κάθε 100 χιλιοστά του δευτερολέπτου) από κάθε όχημα, επιτρέποντας στα κοντινά οχήματα να διατηρούν επίγνωση του περιβάλλοντός τους σε πραγματικό χρόνο. Αυτές οι πληροφορίες είναι ζωτικής σημασίας για την ενεργοποίηση της συνεργατικής αποφυγής συγκρούσεων και άλλων εφαρμογών ασφαλείας.

- Μηνύματα συνεργατικής επίγνωσης (CAM):

Τα CAM (Cooperative Awareness Message) αποτελούν επέκταση των BSM και παρέχουν πιο λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση ενός οχήματος και το περιβάλλον γύρω του. Εκτός από τα δεδομένα που περιλαμβάνονται στα BSM, τα CAM μπορούν να περιέχουν πληροφορίες σχετικά με τις διαστάσεις του οχήματος, το βάρος και την κατάσταση διαφόρων συστημάτων του οχήματος (π.χ. πέδηση ή έλεγχος ευστάθειας). Τα CAM διευκολύνουν την πιο εξελιγμένη συνεργατική επίγνωση μεταξύ οχημάτων, επιτρέποντας εφαρμογές όπως το platooning (ομαδοποίηση οχημάτων για να κινούνται στενά μαζί για καλύτερη αεροδυναμική και αποδοτικότητα καυσίμου) και τη συνεργατική βελτιστοποίηση της ροής της κυκλοφορίας.

- Αποκεντρωμένα μηνύματα περιβαλλοντικής ειδοποίησης (DENM):

Τα DENM (Decentralized Environmental Notification Message) χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση πληροφοριών σχετικά με συγκεκριμένα γεγονότα ή κινδύνους σε κοντινά οχήματα. Τα γεγονότα αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν ατυχήματα, κλείσιμο δρόμων, έργα οδοποιίας, δυσμενείς καιρικές συνθήκες ή άλλα περιστατικά που μπορεί να επηρεάσουν την οδική ασφάλεια ή τη ροή της κυκλοφορίας. Τα DENM βοηθούν τους οδηγούς και τα οχήματα να αντιδρούν προληπτικά σε πιθανούς κινδύνους ή μεταβαλλόμενες οδικές συνθήκες, βελτιώνοντας έτσι τη συνολική ασφάλεια.

- Μηνύματα υποδομής προς όχημα (I2V):

Ενώ το μεγαλύτερο μέρος της επικοινωνίας στα VANETs γίνεται μεταξύ οχημάτων (V2V), το DSRC υποστηρίζει επίσης την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και οδικών υποδομών (V2I). Τα μηνύματα I2V επιτρέπουν την επικοινωνία με σήματα κυκλοφορίας, οδικές πινακίδες, σταθμούς διοδίων και άλλα στοιχεία υποδομής. Αυτά τα μηνύματα μπορούν να παρέχουν σε πραγματικό χρόνο δεδομένα κυκλοφορίας, χρονοδιαγράμματα φωτεινών σηματοδοτών, ενημερώσεις για την κατάσταση του δρόμου και άλλες σχετικές πληροφορίες στα οχήματα, βοηθώντας τους οδηγούς να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις και βελτιστοποιώντας τη ροή της κυκλοφορίας.

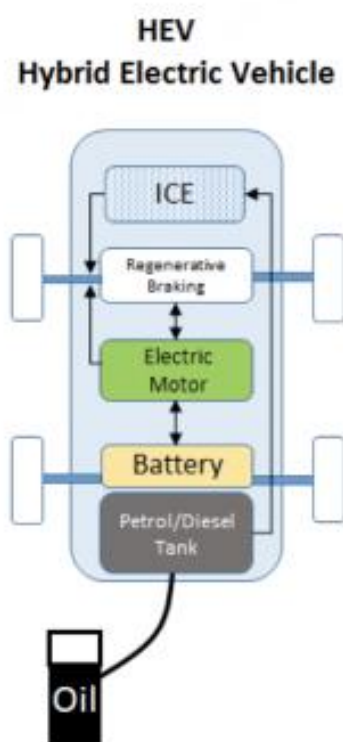
Η ανταλλαγή αυτών των μηνυμάτων στα VANET βασίζεται στην υποκείμενη τεχνολογία επικοινωνίας DSRC, η οποία εξασφαλίζει χαμηλή καθυστέρηση, αξιόπιστη και ασφαλή επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και στοιχείων υποδομής. Είναι σημαντικό να διασφαλιστεί η ασφάλεια και το απόρρητο των μηνυμάτων DSRC, δεδομένου ότι τα VANET είναι ευάλωτα σε διάφορες απειλές, όπως παραποίηση μηνυμάτων, παρεμβολές και επιθέσεις άρνησης παροχής υπηρεσιών. Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, το DSRC χρησιμοποιεί κρυπτογραφικές τεχνικές για την αυθεντικοποίηση και την ασφάλεια των μηνυμάτων, διασφαλίζοντας ότι οι πληροφορίες που ανταλλάσσονται μεταξύ οχημάτων και υποδομής είναι γνήσιες και μη παραβιασμένες [40].

Συνοπτικά, τα μηνύματα DSRC αποτελούν τη βάση για τα δίκτυα VANET, επιτρέποντας στα οχήματα να ανταλλάσσουν κρίσιμες πληροφορίες μεταξύ τους και με τις οδικές υποδομές. Μέσω αυτών των μηνυμάτων, τα VANET βελτιώνουν την οδική ασφάλεια, ενισχύουν την αποδοτικότητα της κυκλοφορίας και ανοίγουν το δρόμο για την υλοποίηση προηγμένων εφαρμογών οχημάτων και ευφυών συστημάτων μεταφορών.

2.2 Ηλεκτρικά οχήματα και Φόρτιση

Τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν κεντρίσει το ενδιαφέρον των αυτοκινητοβιομηχανιών ως εναλλακτική τεχνολογία έναντι πολλών άλλων αναπτυγμένων τεχνολογιών και έχουν γίνει μια ουσιαστική πτυχή των σύγχρονων μεταφορών. Τα ηλεκτρικά οχήματα συνήθως ομαδοποιούνται σε τρεις ομάδες με βάση την πηγή ενέργειας για την κίνηση του οχήματος, όπως αυτές αναλύονται παρακάτω.

- Υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (Hybrid Electric Vehicle, HEV)

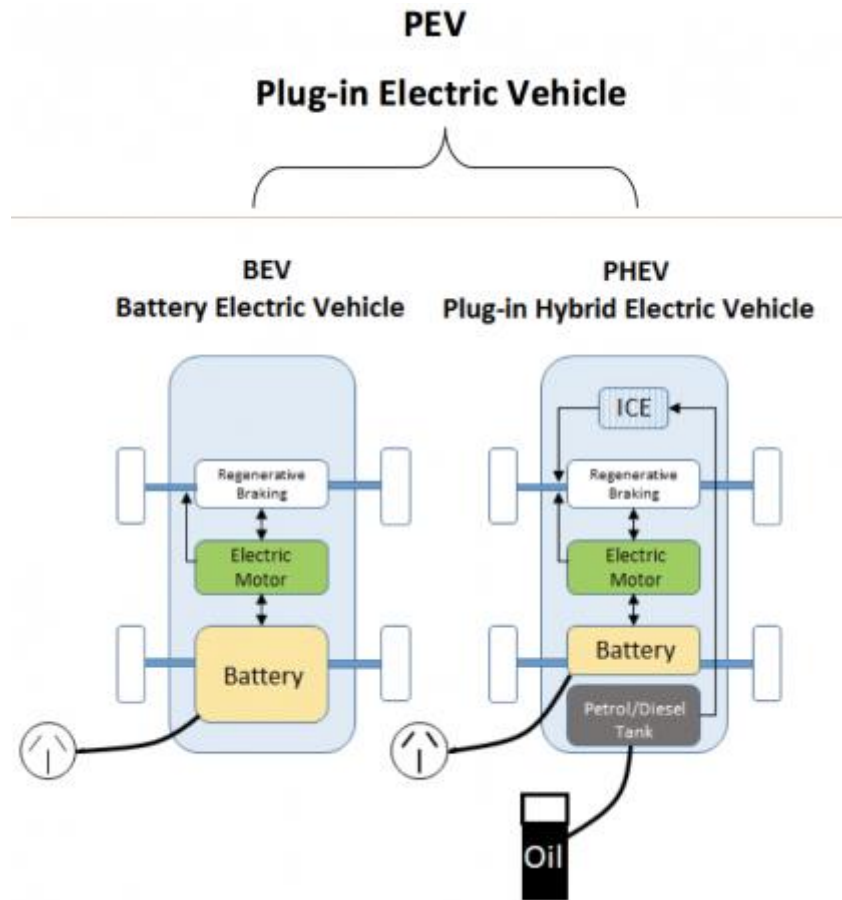


Εικόνα 4. Υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV) [36].

Για την κίνηση υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων, ένα ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης συνδυάζεται με έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης. Τα σύγχρονα HEV χρησιμοποιούν τεχνολογίες βελτίωσης της απόδοσης, όπως το ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης, το οποίο μετατρέπει την κινητική ενέργεια του οχήματος σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία αποθηκεύεται σε μπαταρία. Αυτό επιτρέπει στα οχήματα να είναι πιο αποδοτικά ως προς την κατανάλωση καυσίμου, να έχουν χαμηλότερες εκπομπές ρύπων, να έχουν μεγαλύτερη εμβέλεια οδήγησης σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα, με κινητήρα εσωτερικής καύσης [13].

- Ηλεκτρικά οχήματα που συνδέονται με πρίζα (Plug-in Electric Vehicle, PEV)

Τα PEV χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τα BEV (Battery Electric Vehicle) και τα PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle).

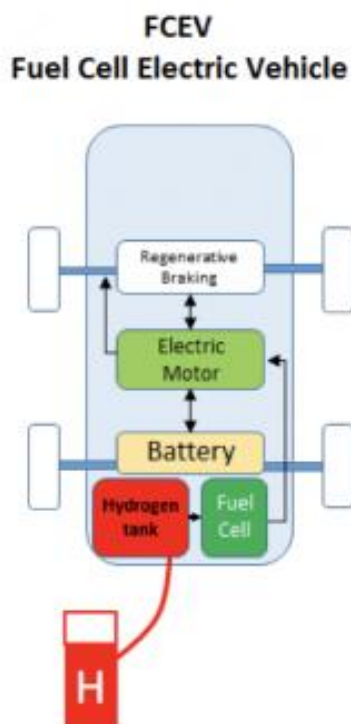


Εικόνα 5. Ηλεκτρικά οχήματα που συνδέονται με πρίζα (PEV) [36].

Τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία (BEV) κινούνται εξ ολοκλήρου με ηλεκτρική ενέργεια. Ένα BEV δεν έχει κινητήρα εσωτερικής καύσης, δεν έχει δεξαμενή καυσίμου και δεν έχει σωλήνα εξάτμισης. Αντ' αυτού, διαθέτει έναν ή περισσότερους ηλεκτροκινητήρες που τροφοδοτούνται από μια μεγαλύτερη επαναφορτιζόμενη μπαταρία.

Τα plug-in υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEV) τροφοδοτούνται από έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης με βάση το καύσιμο, καθώς και από έναν ηλεκτροκινητήρα με μια μπαταρία που επαναφορτίζεται. Ένα πλήρως φορτισμένο PHEV μπορεί να διανύσει μια αξιοπρεπή απόσταση με ηλεκτρική ενέργεια χωρίς να χρειαστεί να χρησιμοποιήσει βενζίνη [13].

- Ηλεκτρικά οχήματα με κυψέλες καυσίμου (Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV)



Εικόνα 6. Ηλεκτρικά οχήματα με κυψέλες καυσίμου(FCEV) [36].

Τα οχήματα κυψελών καυσίμου διαθέτουν σύστημα το οποίο μετατρέπει το υδρογόνο σε ηλεκτρική ενέργεια, μέσω μιας ηλεκτροχημικής διαδικασίας, η οποία τροφοδοτεί έναν ηλεκτροκινητήρα. Δεν είναι σχεδιασμένα για επαναφόρτιση της μπαταρίας τους από εξωτερική πηγή και τροφοδοτούνται με συμπιεσμένο αέριο υδρογόνο το οποίο αποθηκεύεται στην δεξαμενή καυσίμων του αυτοκινήτου [13].

2.2.1 Σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

Ένας σταθμός φόρτισης, γνωστός και ως σταθμός φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων ή σταθμός φόρτισης EV, είναι μια εξειδικευμένη υποδομή που έχει σχεδιαστεί για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας για την επαναφόρτιση των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων (EV). Οι σταθμοί αυτοί παρέχουν ένα βολικό και προσβάσιμο μέσο στους ιδιοκτήτες EV για να φορτίζουν τα οχήματά τους και να επεκτείνουν την αυτονομία οδήγησής τους.

Ο όρος EVSE (Electric Vehicle Supply Equipment), χρησιμοποιείται συνήθως εναλλακτικά με τον όρο "σταθμός φόρτισης" ή "φορτιστής", αλλά τεχνικά, ο EVSE αναφέρεται στον εξοπλισμό που παρέχει την ηλεκτρική ενέργεια, ενώ ο σταθμός φόρτισης περιλαμβάνει ολόκληρη την υποδομή, συμπεριλαμβανομένων του EVSE, των καλωδίων και των συνδέσμων. Οι σταθμοί φόρτισης έχουν συχνά εγκατεστημένα πολλαπλά EVSE για την ταυτόχρονη εξυπηρέτηση πολλών οχημάτων. Μπορεί να

προσφέρουν διαφορετικά επίπεδα φόρτισης και πρότυπα φόρτισης για να καλύψουν ένα ευρύ φάσμα μοντέλων EV και αναγκών φόρτισης. Οι σταθμοί φόρτισης μπορούν να λειτουργούν από διάφορους φορείς, συμπεριλαμβανομένων εταιρειών κοινής ωφέλειας, κυβερνητικών οργανισμών, ιδιωτικών επιχειρήσεων ή τρίτων φορέων εκμετάλλευσης δικτύων φόρτισης [12].

Ένας πάροχος υπηρεσιών EVSP (Electric Vehicle Service Provider) διαχειρίζεται τις λειτουργίες των σταθμών φόρτισης για την παροχή ολοκληρωμένης φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Ο EVSP περιλαμβάνει όλα τα τεχνολογικά συστήματα πληροφορικής, όπως το σύστημα φόρτισης και διαχείρισης ενέργειας EV. Οι EVSP παρέχουν υπηρεσίες φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων σε χώρους εργασίας, αλλά και σε ιδιωτικούς και δημόσιους χώρους [12].

Ένα σύστημα διαχείρισης σταθμών φόρτισης (CSMS, Charging Station Management System) είναι μια πλατφόρμα λογισμικού που επιτρέπει στους φορείς εκμετάλλευσης των σταθμών φόρτισης να διαχειρίζονται και να παρακολουθούν τη διαδικασία φόρτισης. Το σύστημα περιλαμβάνει συνήθως μια διεπαφή χρήστη για τους οδηγούς ώστε να ξεκινούν και να πληρώνουν για συνεδρίες φόρτισης, καθώς και μια διεπαφή για τους φορείς εκμετάλλευσης ώστε να διαχειρίζονται την υποδομή φόρτισης, να παρακολουθούν τη χρήση και τα έσοδα και να εκτελούν συντήρηση. Το CSMS μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της αποδοτικότητας και της αξιοπιστίας των σταθμών φόρτισης, γεγονός που είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της πρόσβασης των ιδιοκτητών EV στην υποδομή φόρτισης που χρειάζονται. Παρέχοντας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τη διαθεσιμότητα και την κατάσταση των σταθμών φόρτισης, οι φορείς εκμετάλλευσης μπορούν να διασφαλίσουν ότι οι σταθμοί φόρτισης είναι πάντα λειτουργικοί και έτοιμοι προς χρήση. Εκτός από τη βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη για τους ιδιοκτήτες EV, το CSMS μπορεί επίσης να ωφελήσει τους φορείς εκμετάλλευσης σταθμών φόρτισης παρέχοντας πολύτιμα δεδομένα σχετικά με τα πρότυπα χρήσης, τα έσοδα και τις ανάγκες συντήρησης [14].

Υπάρχουν δύο είδη σταθμών φόρτισης: οι σταθμοί φόρτισης εναλλασσόμενου ρεύματος και συνεχούς ρεύματος.

Οι μπαταρίες μπορούν να φορτιστούν μόνο με ηλεκτρική ενέργεια συνεχούς ρεύματος. Συνεπώς, τα περισσότερα ηλεκτρικά οχήματα διαθέτουν έναν μετατροπέα εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές ρεύμα, ο οποίος είναι γνωστός ως ενσωματωμένος φορτιστής. Η ισχύς εναλλασσόμενου ρεύματος από το δίκτυο δίνεται σε έναν ενσωματωμένο φορτιστή του σταθμού φόρτισης εναλλασσόμενου ρεύματος, ο οποίος δημιουργεί ισχύ συνεχούς ρεύματος για τη φόρτιση της μπαταρίας. Οι φορτιστές συνεχούς ρεύματος επιτρέπουν τη φόρτιση μεγαλύτερης ισχύος ενσωματώνοντας τον μετατροπέα στο εσωτερικό του σταθμού φόρτισης και όχι στο αυτοκίνητο, αποφεύγοντας έτσι τους περιορισμούς μεγέθους και βάρους. Στη συνέχεια, ο σταθμός παρέχει απευθείας ρεύμα συνεχούς ρεύματος στο αυτοκίνητο, παρακάμπτοντας τον ενσωματωμένο μετατροπέα. Οι σταθμοί φόρτισης συνεχούς ρεύματος συχνά εξοπλίζονται με συνδέσμους προκειμένου να φορτίζουν ένα ευρύ φάσμα οχημάτων που έχουν διαφορετικές επαφές φόρτισης.

Η πιο συχνή προσέγγιση για την εξέταση της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων είναι από την άποψη των επιπέδων φόρτισης. Υπάρχουν τρία επίπεδα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων τα οποία αναλύονται παρακάτω. Σε γενικές γραμμές, όσο μεγαλύτερο είναι το επίπεδο, τόσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς εξόδου και τόσο πιο γρήγορα θα φορτίζει το όχημα. Ωστόσο, οι χρόνοι φόρτισης καθορίζονται πάντα από ένα συνδυασμό της μπαταρίας και της χωρητικότητάς της, καθώς και της ισχύος εξόδου του σταθμού φόρτισης [15].

- Φόρτιση επιπέδου 1

Φόρτιση επιπέδου 1 πραγματοποιείται όταν συνδέεται το ηλεκτρικό όχημα σε μια συμβατική πρίζα εναλλασσόμενου ρεύματος. Επειδή μια συνηθισμένη οικιακή πρίζα παρέχει μέγιστη ισχύ 1,9 kW, η φόρτιση ενός EV με φορτιστή επιπέδου 1 είναι η πιο αργή μέθοδος, παρέχοντας μόνο 6 έως 8 χιλιόμετρα αυτονομίας ανά ώρα φόρτισης. Αυτή η μέθοδος δεν είναι μόνο αργή, αλλά μπορεί επίσης να είναι επιζήμια για την ασφάλεια του οχήματος και των επιβατών του. Κατά συνέπεια, εκτός από καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, δεν συνιστάται η φόρτιση επιπέδου 1 [15].

- Φορτιστής επιπέδου 2

Ένας φορτιστής επιπέδου 2 είναι κάθε κανονικός σταθμός φόρτισης εναλλασσόμενου ρεύματος που μπορεί να βρεθεί στερεωμένος σε τοίχο, σε στύλο ή στο έδαφος. Οι σταθμοί φόρτισης επιπέδου 2 παράγουν συνήθως από 2,5 kW έως 19,2 kW και μπορούν να βρεθούν σε κατοικίες, δημόσιους χώρους στάθμευσης, επιχειρήσεις και εμπορικές εγκαταστάσεις. Μια ώρα φόρτισης στη μέγιστη ισχύ των 19,2 kW μπορεί να προσθέσει περίπου 120 km στην εμβέλεια της μπαταρίας σας. Αυτό είναι σημαντικά ταχύτερο από τη φόρτιση επιπέδου 1.

Εξαιτίας αυτού, και επειδή οι φορτιστές επιπέδου 2 προσφέρουν μια ποικιλία έξυπνων δυνατοτήτων, έξυπνες επιλογές δικτύωσης και διάφορα μέτρα ασφαλείας, πολλοί οδηγοί EV επενδύουν σε έναν οικιακό σταθμό φόρτισης [15].

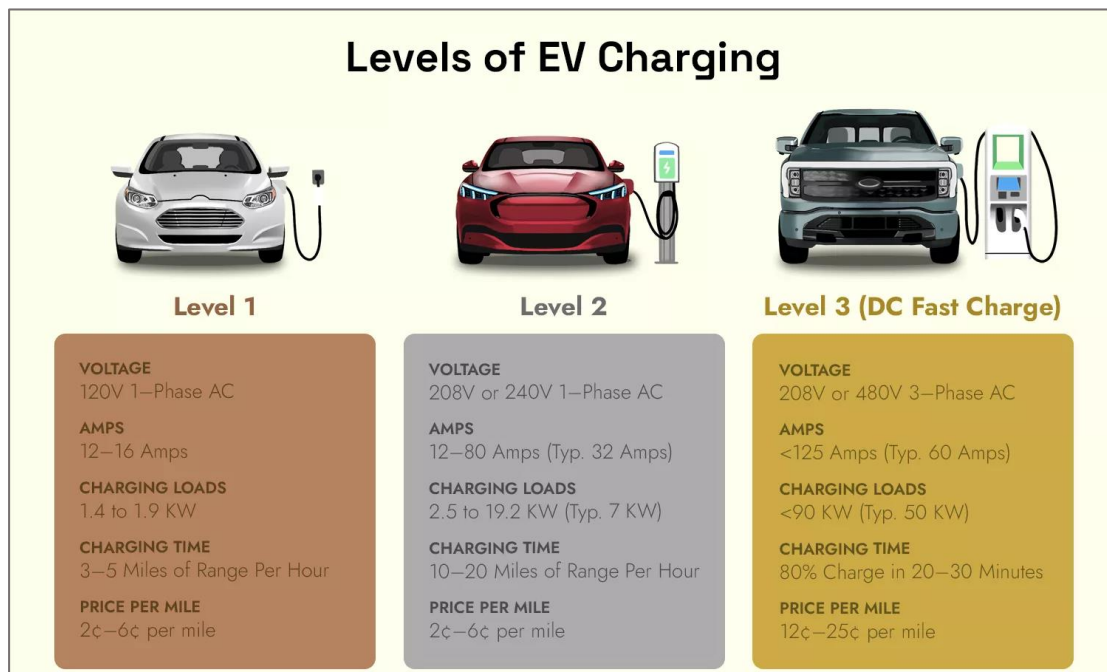
- Φορτιστής επιπέδου 3 (γρήγορος φορτιστής DC)

Η φόρτιση επιπέδου 3, συχνά γνωστή ως φόρτιση συνεχούς ρεύματος ή ταχεία φόρτιση, χρησιμοποιεί συνεχές ρεύμα για την απευθείας φόρτιση της μπαταρίας ενός οχήματος, παρακάμπτοντας τον ενσωματωμένο μετατροπέα AC/DC. Αυτό επιτρέπει στους φορτιστές επιπέδου 3 να στέλνουν συνεχές ρεύμα στην μπαταρία. Ως αποτέλεσμα, οι σταθμοί φόρτισης επιπέδου 3 μπορούν να παρέχουν περισσότερη ενέργεια ταχύτερα, καθιστώντας τους ιδανικούς για τοποθεσίες σύντομης στάσης, όπως βενζινάδικα και αποθήκες στόλου οχημάτων. Οι περίοδοι φόρτισης ποικίλλουν ανάλογα με το όχημα και την ισχύ εξόδου, αλλά σε γενικές γραμμές, οι φορτιστές επιπέδου 3 μπορούν να φορτίσουν ένα όχημα σε λίγα λεπτά, σε αντίθεση με τις ώρες ή τις ημέρες για τους σταθμούς φόρτισης επιπέδου 2 [15].

Ένας φορτιστής συνεχούς ρεύματος επιτρέπει τη ροή συνεχούς ρεύματος απευθείας στην μπαταρία, αλλά ένας φορτιστής εναλλασσόμενου ρεύματος πρέπει πρώτα να μετατρέψει την ηλεκτρική ενέργεια σε συνεχές ρεύμα. Αυτή η μέθοδος διαρκεί πάντα

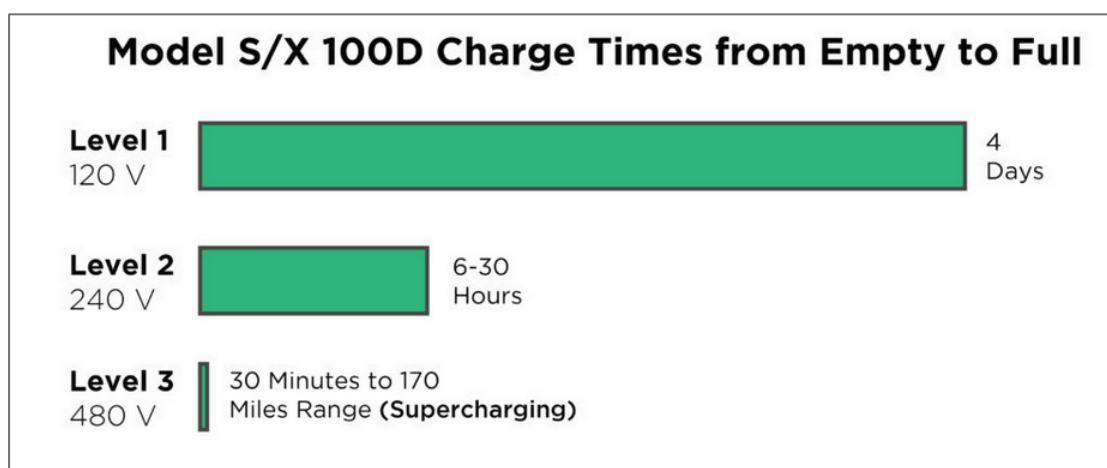
περισσότερο χρόνο, επειδή ο ενσωματωμένος φορτιστής μπορεί να διαχειριστεί μόνο τόση ενέργεια ταυτόχρονα.

Στην εικόνα 7 διατυπώνονται τα χαρακτηριστικά κάθε επιπέδου φόρτισης όπως η τάση, η ένταση, η ισχύς, ο χρόνος φόρτισης αλλά και το κόστος φόρτισης ανά μίλι.



Εικόνα 7. Τα τρία επίπεδα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων [15].

Στην εικόνα 8 βλέπουμε ένα γράφημα με τους χρόνους πλήρους φόρτισης ενός Tesla Model S / X στα 3 διαφορετικά επίπεδα φόρτισης. Αναλυτικότερα για την πλήρη φόρτιση του συγκεκριμένου οχήματος με φορτιστή επιπέδου 1 θα χρειαστεί 4 ημέρες, με φορτιστή επιπέδου 2 θα χρειαστεί 6-30 ώρες και με φορτιστή επιπέδου 3 ή γρήγορο φορτιστή θα χρειαστεί μόλις 30 λεπτά [37].



Εικόνα 8. Γράφημα πλήρους φόρτισης του ίδιου οχήματος στα τρία επίπεδα φόρτισης [37].

2.2.2 Χαρακτηριστικά συστήματος φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

Ο σταθμός φόρτισης πρέπει να συμμορφώνεται με το πρότυπο IEC 61851. Το πρότυπο αυτό καλύπτει τις μηχανικές, ηλεκτρικές, επικοινωνιακές, ηλεκτρομαγνητικές προδιαγραφές και τις προδιαγραφές επιδόσεων για τον εξοπλισμό τροφοδοσίας ηλεκτρικών οχημάτων. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η εφαρμογή όσων αναφέρονται στην 3^η έκδοση του προτύπου απαιτούνται από τον Φεβρουάριο του 2022 [38].

Τα κύρια περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά του σταθμού φόρτισης εξαρτώνται γενικά από τη χρήση και τη θέση εγκατάστασης. Ένας σταθμός φόρτισης μπορεί να τοποθετηθεί είτε σε εσωτερικό είτε σε εξωτερικό χώρο. Ο φορτιστής πρέπει να μπορεί να λειτουργεί σε ύψος έως 2000 μέτρα πάνω από το επίπεδο της θάλασσας και σε ελάχιστη θερμοκρασία τουλάχιστον -25°C για εξωτερικούς χώρους και -5°C για εσωτερικούς χώρους, προκειμένου να είναι συμβατός με το πρότυπο IEC 61851-1. Στην πραγματικότητα, οι σταθμοί φόρτισης μπορούν συχνά να λειτουργούν μεταξύ -30°C και $+50^{\circ}\text{C}$ και μεταξύ 5% και 95% σχετικής υγρασίας [16].

Ένας σταθμός φόρτισης μπορεί να έχει μία ή περισσότερες εξόδους. Οι σταθμοί φόρτισης μίας εξόδου χρησιμοποιούνται συνήθως σε ιδιωτικές κατοικίες. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, οι φορτιστές που εγκαθίστανται σε δημόσιους χώρους στάθμευσης διαθέτουν πολλαπλές εξόδους. Το πλεονέκτημα της ύπαρξης πολλών εξόδων είναι ότι ο χρήστης μπορεί να φορτίζει πολλά οχήματα ταυτόχρονα. Σε αυτή την περίπτωση, ο σταθμός φόρτισης έχει δύο επιλογές: μπορεί είτε να κατανέμει τη συνολική του ισχύ εξίσου σε όλες τις εξόδους, είτε να διατηρεί πλήρη ισχύ αποκλειστικά για κάθε έξοδο, χωρίς να λαμβάνει υπόψη τις άλλες εξόδους. Μια άλλη περίπτωση είναι ένας σταθμός φόρτισης να παρέχει εξόδους συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος [16].

Μια μέθοδος ελέγχου ταυτότητας, όπως ένας αναγνώστης RFID, μπορεί να υπάρχει εάν ο σταθμός φόρτισης βρίσκεται σε δημόσιο χώρο. Με τη βοήθεια ενός τέτοιου μηχανισμού μπορεί να αναγνωριστεί ο χρήστης του σταθμού φόρτισης και στη συνέχεια να αποφασιστεί αν θα χρεωθεί για τη χρήση του σταθμού ή αν θα του δοθεί σχετική άδεια. Επιπλέον, σε διαφορετικούς χρήστες μπορούν να παραχωρηθούν διαφορετικά δικαιώματα. Για παράδειγμα, σε VIP χρήστες μπορεί να παραχωρηθεί προτεραιότητα σε σταθμούς φόρτισης πολλαπλών εξόδων, ώστε να μπορούν να φορτίζουν τα ηλεκτρικά τους οχήματα [16][16].

Συνήθως, ένας σταθμός φόρτισης που τοποθετείται δεν χρειάζεται σύστημα ελέγχου ταυτότητας. Ενώ οι σταθμοί φόρτισης μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα και χωρίς εξωτερική επικοινωνία, μπορούν επίσης να αξιοποιούν δυνατότητες επικοινωνίας με το κεντρικό σύστημα διαχείρισης φόρτισης μέσω των τεχνολογιών Ethernet, Wi-Fi, 3G/4G, Bluetooth, NFC. Οι καταστάσεις που καθιστούν σημαντική την επικοινωνία ενός σταθμού φόρτισης με συστήματα και υπηρεσίες εκτός του συστήματος φόρτισης στο οποίο ανήκει, είναι:

- Διαμόρφωση λειτουργίας του σταθμού φόρτισης.
- Συντήρηση και διάγνωση τυχόν προβλημάτων.
- Εξ αποστάσεως εξουσιοδότηση φόρτισης.
- Εξ αποστάσεως έλεγχος φόρτισης.

Φορτιστής εναλλασσόμενου ρεύματος

Ο σταθμός φόρτισης εναλλασσόμενου ρεύματος μπορεί να παρέχει ισχύ 3,7 kW, 7,4 kW, 11 kW ή 22 kW. Το τυπικό μέγιστο παρεχόμενο ρεύμα είναι 32 A. Η εγκατάσταση ενός σταθμού φόρτισης εναλλασσόμενου ρεύματος μπορεί να γίνει στο δάπεδο ή σε τοίχο. Η επιτοίχια εγκατάσταση είναι μία λύση απλή σε περιπτώσεις όπως οι μονοκατοικίες. Ένα βάθρο που χρησιμοποιείται για εγκατάσταση στο δάπεδο συγκρατεί έναν ή περισσότερους σταθμούς φόρτισης. Επιπλέον, οι σταθμοί φόρτισης μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα βάθρο, αυτού του είδους η λύση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε χώρους στάθμευσης σε χώρους εργασίας. Οι πρίζες εναλλασσόμενου ρεύματος μπορεί να συνοδεύονται από συνδεδεμένο καλώδιο ή να απαιτούν τη χρήση πρόσθετου καλωδίου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι τοπικοί νόμοι επιβάλλουν τη χρήση μιας προσέγγισης έναντι μιας άλλης, όπως στη Σιγκαπούρη, όπου απαιτείται συνδεδεμένο καλώδιο. Για περιπτώσεις όμως όπου θα χρησιμοποιείται πάντα το ίδιο είδος σύνδεσης, έχει σχεδιαστεί ένας σταθμός φόρτισης AC με προσαρτημένο καλώδιο. Λόγω του καθολικού σχεδιασμού του, ένας σταθμός φόρτισης εναλλασσόμενου ρεύματος χωρίς σχετικό καλώδιο είναι πιο προσαρμόσιμος. Περιλαμβάνει οικιακά βύσματα καθώς και συνδέσμους τύπου 1 και τύπου 2. Οι ιδιοκτήτες EV συνδέονται από το σταθμό φόρτισης στο αυτοκίνητό τους χρησιμοποιώντας ένα προσωπικό καλώδιο [17].



Εικόνα 9. Βύσματα φόρτιση εναλλασσόμενου ρεύματος [17].

Φορτιστής συνεχούς ρεύματος

Τα εύρη ισχύος για τους σταθμούς ταχείας φόρτισης συνεχούς ρεύματος μπορεί να φτάσουν τα 900 kW. Ως αποτέλεσμα, μπορεί να υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ των μηχανικών σχεδίων των σταθμών φόρτισης. Ωστόσο, σε γενικές γραμμές, μπορούμε να τους κατατάξουμε σε τρεις μεγάλες ομάδες.

- Για φορτιστές έως 24 kW, ο πρώτος τύπος εγκατάστασης στον τοίχο είναι μια βιώσιμη επιλογή. Η εγκατάσταση πρέπει να τοποθετείται στο δάπεδο, καθώς οι μεγαλύτερες τιμές ισχύος καθιστούν τον φορτιστή βαρύτερο.
- Οι κεντρικοί αυτόνομοι φορτιστές, οι οποίοι είναι επιδαπέδιοι, αποτελούν το δεύτερο στυλ σχεδιασμού.
- Ο θάλαμος φόρτισης και οι δορυφορικοί στύλοι φόρτισης από έναν έως πολλούς αποτελούν την τελευταία κατηγορία φορτιστών. Ο θάλαμος φόρτισης περιέχει μονάδες ισχύος. Η ισχύς για τη φόρτιση μπορεί στη συνέχεια να κατανεμηθεί δυναμικά σε κάθε δορυφορικό πόλο με αυτόν τον τρόπο. Αυτό το είδος λύσης χρησιμοποιείται συνήθως σε σταθμούς φόρτισης συνεχούς ρεύματος που παράγουν ισχύ μεγαλύτερη από 500 kW.

Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι βύσματος για φόρτιση συνεχούς ρεύματος :

- CCS: Το βύσμα τύπου 2 έχει βελτιωθεί και το βύσμα CCS διαθέτει δύο επιπλέον συνδέσεις ισχύος για ταχεία φόρτιση. Επιτρέπει τη φόρτιση με ταχύτητα έως 350 kW ανά λεπτό.
- CHAdeMO: Αυτή η τεχνολογία ταχείας φόρτισης δημιουργήθηκε στην Ιαπωνία και υποστηρίζει αμφίδρομη φόρτιση και πολύ υψηλές δυνατότητες φόρτισης. Προς το παρόν, οι ασιατικές αυτοκινητοβιομηχανίες θέτουν το πρότυπο για τις προσφορές ηλεκτρικών οχημάτων συμβατών με CHAdeMO. Υποστηρίζει φόρτιση με μέγιστη ισχύ 100 kW [17].



Εικόνα 10. Βύσματα φορτιστή συνεχούς ρεύματος [17].

2.2.3 Χρόνος και κόστος φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος

Ο χρόνος που απαιτείται για την πλήρη φόρτιση ενός ηλεκτρικού οχήματος μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανάλογα με διάφορους παράγοντες, όπως το μέγεθος της μπαταρίας, ο τύπος του φορτιστή που χρησιμοποιείται και ο ρυθμός φόρτισης του οχήματος.

Μια τυπική οικιακή μονάδα φόρτισης στην Ευρώπη, γνωστή και ως φορτιστής επιπέδου 2, παρέχει ρυθμό φόρτισης περίπου 7-22 (kW) και μπορεί να χρειαστεί από 8 έως 12 ώρες για την πλήρη φόρτιση μιας τυπικής μπαταρίας EV. Εάν έχετε πρόσβαση σε έναν ταχύτερο σταθμό φόρτισης, όπως έναν φορτιστή επιπέδου 3 ή

έναν ταχυφορτιστή DC, ο χρόνος φόρτισης μπορεί να μειωθεί σε μόλις 30 λεπτά έως μία ώρα για μια μερική φόρτιση, ανάλογα με το μέγεθος της μπαταρίας και τον ρυθμό φόρτισης του οχήματος.

Όσον αφορά το κόστος, το κόστος φόρτισης ενός EV στην Ευρώπη μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανάλογα με τη χώρα, τον τύπο του σταθμού φόρτισης που χρησιμοποιείται και τη δομή των τιμών που έχει ορίσει ο ιδιοκτήτης του σταθμού φόρτισης. Κατά μέσο όρο, η πλήρης φόρτιση ενός EV μπορεί να κοστίσει από 5 έως 20 ευρώ, αλλά το κόστος μπορεί να είναι χαμηλότερο αν φορτίζετε σε ώρες εκτός αιχμής ή αν έχετε ειδικό πρόγραμμα φόρτισης. Αξίζει να σημειωθεί ότι το κόστος φόρτισης είναι γενικά χαμηλότερο σε σύγκριση με το κόστος ανεφοδιασμού ενός παραδοσιακού βενζινοκίνητου ή πετρελαιοκίνητου οχήματος και τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μπορούν συχνά να φορτιστούν στο σπίτι κατά τη διάρκεια της νύχτας, καθιστώντας τα πιο βολικά και οικονομικά αποδοτικά για καθημερινή χρήση [18].

Τα περισσότερα ηλεκτρικά αυτοκίνητα φορτίζονται το βράδυ στο σπίτι ή στο χώρο στάθμευσης της επιχείρησης, προκειμένου για εταιρικούς στόλους. Στις τελευταίες αυτές περιπτώσεις συνιστάται η εγκατάσταση συστημάτων φόρτισης Επιπέδου 2 τα οποία κοστίζουν από 600 έως 1200 Ευρώ. Για την απλή ολονύκτια φόρτιση στο σπίτι δεν χρειάζεται τίποτα περισσότερο από ένα ρευματοδότη οικιακού τύπου με γραμμή κατάλληλη και ασφάλεια 16 Αμπέρ. Από τη στιγμή που υλοποιηθεί η εγκατάσταση, το κόστος φόρτισης είναι ίσο με το κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν επίσης και οι δυνατότητες αξιοποίησης των ανά περίπτωση παρεχόμενων μειωμένων τιμολογίων για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους του 24ώρου.

Εάν χρησιμοποιηθεί ένας από τους εγκατεστημένους στη χώρα μας ταχυφορτιστές συνεχούς ρεύματος ισχύος 50 kW και το ηλεκτρικό αυτοκίνητο διαθέτει συσσωρευτή χωρητικότητας 40 kWh με αντίστοιχη αυτονομία περίπου 270 χλμ θα γίνει χρέωση εφ' άπαξ ύψους 2,5 Ευρώ κατά τη σύνδεση και στη συνέχεια θα χρεωθεί ποσό ίσο με 0,25 Ευρώ για κάθε λεπτό διάρκειας της φόρτισης. Για να φορτιστεί ο συσσωρευτής αυτός από το 20% της χωρητικότητάς του μέχρι και του 80% αυτής θα απαιτηθούν περίπου 45 λεπτά της ώρας. Το συνολικό κόστος φόρτισης θα ανέλθει σε 13,75 Ευρώ και η ενέργεια που θα αποθηκευτεί στον συσσωρευτή θα είναι της τάξεως των 30 kWh. Τελικά το κόστος ανά kWh χρησιμοποιώντας ταχυφορτιστή είναι από 3 έως και 5 φορές ακριβότερο από το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας στην περίπτωση της οικιακής φόρτισης [18].

2.3 Πρωτόκολλα επικοινωνίας σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

Τα ηλεκτρικά οχήματα (EV) αποκτούν μεγαλύτερη δημοτικότητα ως μέσο μεταφοράς λόγω των περιβαλλοντικών και οικονομικών πλεονεκτημάτων τους. Ωστόσο, η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να επιβαρύνει το ηλεκτρικό δίκτυο, ιδίως κατά τις ώρες αιχμής. Οι τεχνολογίες, όπως το πρωτόκολλο ανοικτών σημείων

φόρτισης (Open Charge Point Protocol - OCPP), το ISO 15118 και το OpenADR, μπορούν να βοηθήσουν στη διαχείριση της φόρτισης των EVs και να μειώσουν την επιβάρυνση του δικτύου.

Το OCPP είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που επιτρέπει στους σταθμούς φόρτισης να επικοινωνούν μεταξύ τους και με άλλες συσκευές. Επιτρέπει λειτουργίες όπως ο απομακρυσμένος έλεγχος και η παρακολούθηση των σταθμών φόρτισης, η εξισορρόπηση φορτίου και η ανταλλαγή δεδομένων. Το OCPP είναι ένα ανοικτό πρότυπο που αναπτύχθηκε από την Open Charge Alliance, η οποία είναι μια κοινοπραξία ενδιαφερόμενων φορέων της βιομηχανίας EV [33].

Το ISO 15118 είναι ένα άλλο πρωτόκολλο επικοινωνίας που έχει σχεδιαστεί για αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των EV και των σταθμών φόρτισης. Έχει χαρακτηριστικά όπως το Plug & Charge, το οποίο επιτρέπει στα EVs να πιστοποιούν και να εξουσιοδοτούν αυτόματα τη φόρτιση χωρίς να απαιτείται ξεχωριστή κάρτα RFID ή εφαρμογή για κινητά. Επιτρέπει επίσης την επικοινωνία οχήματος προς δίκτυο (V2G), η οποία επιτρέπει στα EVs να παρέχουν υπηρεσίες στο δίκτυο, όπως η ρύθμιση της συχνότητας [34].

Το OpenADR είναι ένα πρότυπο για την επικοινωνία απόκρισης ζήτησης μεταξύ των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας και των πελατών τους. Επιτρέπει στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να στέλνουν σήματα τιμών ή σήματα αποκοπής φορτίου στους πελάτες σε ανταπόκριση στις συνθήκες του δικτύου. Οι πελάτες μπορούν στη συνέχεια να προσαρμόσουν τη χρήση ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της φόρτισης των EV, σε απόκριση αυτών των σημάτων [35].

Μαζί, αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να δημιουργήσουν ένα έξυπνο σύστημα δικτύου που διαχειρίζεται τη φόρτιση των EVs με βάση τις συνθήκες του δικτύου και τις προτιμήσεις των πελατών. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλής ζήτησης, το δίκτυο θα μπορούσε να στείλει ένα σήμα αποκοπής φορτίου στους ιδιοκτήτες EV, ζητώντας τους να καθυστερήσουν τη φόρτιση τους για αργότερα μέσα στην ημέρα. Οι ιδιοκτήτες EV θα μπορούσαν επίσης να ορίσουν προτιμήσεις για το πότε θέλουν να φορτίζεται το όχημά τους, όπως μόνο κατά τις ώρες εκτός αιχμής ή όταν είναι διαθέσιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Συμπερασματικά, οι τεχνολογίες έξυπνων δικτύων, όπως το OCPP, το ISO 15118 και το OpenADR, μπορούν να βοηθήσουν στη διαχείριση της φόρτισης των EVs και να μειώσουν την επιβάρυνση του ηλεκτρικού δικτύου. Η ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών σε ένα σύστημα έξυπνου δικτύου μπορεί να προσφέρει οφέλη όπως η βελτιωμένη σταθερότητα του δικτύου, η μειωμένη ζήτηση αιχμής και η αυξημένη αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Εικόνα 11. Πρωτόκολλα επικοινωνίας σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων [39].

2.3.1 Πρωτόκολλο ανοικτού σημείου φόρτισης (OCPP)

Το πρωτόκολλο ανοικτού σημείου φόρτισης (Open Charge Point Protocol – OCPP), είναι ένα πρωτόκολλο εφαρμογής για την επικοινωνία μεταξύ σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EV) και ενός κεντρικού συστήματος διαχείρισης, συχνά γνωστού ως δίκτυο σταθμών φόρτισης. Στόχος του ήταν να αναπτύξει ένα ανοικτό πρωτόκολλο εφαρμογών που θα επέτρεπε την επικοινωνία μεταξύ κεντρικών συστημάτων διαχείρισης και σταθμών φόρτισης EV διαφόρων κατασκευαστών. Χρησιμοποιείται από σημαντικό αριθμό κεντρικών συστημάτων διαχείρισης και παρόχων σταθμών φόρτισης EV παγκοσμίως. Ανεξάρτητα από το πόσο ανόμοια μπορεί να είναι, οι σταθμοί φόρτισης και τα συστήματα διαχείρισης δικτύου μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας το OCPP [19].

Η Open Charge Alliance (OCA), με έδρα την Ολλανδία, δημιούργησε και διανέμει το πρωτόκολλο επικοινωνίας OCPP για να προωθήσει τα ανοικτά πρότυπα για τα δίκτυα φόρτισης EV διεθνώς. Στην ουσία, η δουλειά του OCPP είναι να διασφαλίσει ότι κάθε σταθμός φόρτισης EV είναι συμβατός με κάθε πρόγραμμα διαχείρισης φορτιστών. Για να επιτρέψουν συνεδρίες φόρτισης, να ελέγξουν την απομακρυσμένη διάγνωση και να εγγυηθούν μια ασφαλή μεταφορά δεδομένων, οι σταθμοί φόρτισης εξαρτώνται από τη συμμόρφωση με το OCPP.

Η πιο πρόσφατη έκδοση του OCPP, 2.0.1, προσφέρει ορισμένες βελτιώσεις σε σχέση με το OCPP 1.6. Καθώς το OCPP 2.0.1 υιοθετείται σταδιακά, το OCPP 1.6 εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ως πρωτόκολλο εφαρμογής, επειδή έχει επίσης ενημερωθεί ώστε να ανταποκρίνεται στα τρέχοντα πρότυπα της βιομηχανίας. Οι εταιρείες υλικού που κατασκευάζουν τους φορτιστές (EVSE) και οι εταιρείες λογισμικού που κατασκευάζουν κεντρικά συστήματα διαχείρισης σταθμών φόρτισης (CSMS) αλλά και οι εταιρείες που διαχειρίζονται τα σημεία φόρτισης (CPO), χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο επικοινωνίας OCPP. Τα δίκτυα φόρτισης και οι φορείς εκμετάλλευσης σταθμών πρέπει να ρυθμίζουν το ηλεκτρικό φορτίο των φορτιστών και να χρεώνουν τους οδηγούς για τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Ως αποτέλεσμα, απαιτείται μια κεντρική διεπαφή για τον έλεγχο του φορτιστή. Αυτά τα κεντρικά συστήματα

διαχείρισης είναι συχνά διαχειριστικές πύλες βασισμένες στο διαδίκτυο που χρησιμοποιούν ανοικτή πρόσβαση στο διαδίκτυο και το νέφος.

Οι φορτιστές επικοινωνούν με αυτά τα κεντρικά συστήματα διαχείρισης χρησιμοποιώντας OCPP, το οποίο επιτρέπει τη διαλειτουργικότητα παρά το γεγονός ότι διαθέτουν διαφορετικούς κατασκευαστές και παρόχους λογισμικού. Αυτή η δυνατότητα δεν θα υπήρχε σε ένα σύστημα χωρίς OCPP. Οι βασικές δυνατότητες του OCPP περιλαμβάνουν:

- Διαχείριση των συνεδριών φόρτισης: Το OCPP επιτρέπει στους διαχειριστές σταθμών φόρτισης να ξεκινούν, να παρακολουθούν και να τερματίζουν συνεδρίες φόρτισης μεταξύ EV και σταθμών φόρτισης.
- Παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο: Το OCPP επιτρέπει την παρακολούθηση των συνόδων φόρτισης σε πραγματικό χρόνο, συμπεριλαμβανομένης της κατάστασης των σταθμών φόρτισης και της κατανάλωσης ενέργειας των μεμονωμένων συνόδων φόρτισης.
- Απομακρυσμένη διαχείριση: Το OCPP παρέχει μια πλατφόρμα για την απομακρυσμένη διαχείριση των σταθμών φόρτισης, επιτρέποντας στους φορείς εκμετάλλευσης να παρακολουθούν, να διαμορφώνουν και να ελέγχουν την υποδομή φόρτισης από μια κεντρική τοποθεσία.
- Διαλειτουργικότητα: Το OCPP επιτρέπει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ σταθμών φόρτισης διαφορετικών κατασκευαστών, επιτρέποντας στους οδηγούς EV να φορτίζουν τα οχήματά τους σε οποιονδήποτε σταθμό φόρτισης που είναι συμβατός με το OCPP.
- Δυνατότητα χρέωσης και πληρωμών: Το OCPP επιτρέπει την ενσωμάτωση των σταθμών φόρτισης σε συστήματα χρέωσης και πληρωμών, επιτρέποντας στους οδηγούς EV να πληρώνουν για τις περιόδους φόρτισης μέσω μιας πλειάδας μεθόδων πληρωμής.
- Εξισορρόπηση φορτίου: Το OCPP επιτρέπει την εξισορρόπηση του φορτίου μεταξύ των σταθμών φόρτισης, συμβάλλοντας στη διασφάλιση ότι το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας δεν επιβαρύνεται υπερβολικά σε περιόδους υψηλής ζήτησης.

Συνοπτικά, το OCPP παρέχει μια ευέλικτη και επεκτάσιμη πλατφόρμα για τη διαχείριση και τη λειτουργία υποδομών φόρτισης EV, προωθώντας την ανάπτυξη και την εξέλιξη της αγοράς EV [19].

2.3.2 Διεθνές πρότυπο ISO 15118

Το διεθνές πρότυπο που έχει την ονομασία ISO 15118 περιγράφει ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα και τους σταθμούς φόρτισης. Μία κοινή ομάδα εργασίας ISO/IEC 15118 δημιουργήθηκε το 2010 ως αποτέλεσμα της συνεργασίας μεταξύ του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης (ISO) και της Διεθνούς

Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής (IEC). Για πρώτη φορά, επαγγελματίες από τις βιομηχανίες κοινής ωφέλειας και αυτοκινητοβιομηχανίας συνεργάστηκαν για τη δημιουργία ενός παγκόσμιου προτύπου επικοινωνίας για τη φόρτιση των EVs. Η Κοινή Ομάδα Εργασίας κατάφερε να αναπτύξει μια ευρέως χρησιμοποιούμενη λύση που αποτελεί πλέον πρότυπο σε σημαντικά μέρη του κόσμου, όπως η Νότια Κορέα, η Κεντρική και Νότια Αμερική, η Ευρώπη και οι Ηνωμένες Πολιτείες. Η Ινδία και η Αυστραλία υιοθετούν γρήγορα το ISO 15118. Το ISO ανέλαβε τη δημοσίευση του προτύπου και πλέον αναφέρεται απλώς ως ISO 15118 [20].

Οι κρίσιμες υποδομές, όπως το ηλεκτρικό δίκτυο, πρέπει να προστατεύονται από τυχόν απειλές και ο οδηγός πρέπει να χρεώνεται δίκαια για την ενέργεια που παρέχεται στο ηλεκτρικό αυτοκίνητο. Χωρίς κρυπτογραφημένη σύνδεση, κακόβουλα μέρη μπορούν να υποκλέψουν και να τροποποιήσουν τις επικοινωνίες και να αλλοιώσουν τα δεδομένα χρέωσης μεταξύ των EV και των σταθμών φόρτισης. Εξαιτίας αυτού, το ISO 15118 περιλαμβάνει μια λειτουργία γνωστή ως Plug & Charge. Για την εξασφάλιση αυτής της επικοινωνίας και τη διασφάλιση της ιδιωτικότητας, της ακεραιότητας και της αυθεντικότητας όλων των μεταδιδόμενων δεδομένων, το Plug & Charge χρησιμοποιεί διάφορες τεχνικές κρυπτογράφησης. Το Plug & Charge θεωρείται σημαντικός παράγοντας για την επιτάχυνση της υιοθέτησης των EV, επειδή απλοποιεί σημαντικά την εμπειρία φόρτισης για τους οδηγούς EV.

Η λειτουργικότητα Plug & Charge που περιγράφεται στο ISO 15118 επιτρέπει στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα να αναγνωρίζονται αυτόματα στους σταθμούς φόρτισης και να αποκτούν εξουσιοδοτημένη πρόσβαση στην ενέργεια που χρειάζονται για την αναπλήρωση των μπαταριών τους. Όλα αυτά υποστηρίζονται από τις υποδομές δημόσιου κλειδιού και τα ψηφιακά πιστοποιητικά που διατίθενται από τη λειτουργικότητα Plug & Charge.

Το ISO 15118 θα έχει μεγάλο αντίκτυπο στη μελλοντική παγκόσμια φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων λόγω του ότι η λειτουργία Plug & Charge είναι βολική προς τον χρήστη και παρέχει βελτιωμένη ασφάλεια δεδομένων με τις κατάλληλες τεχνικές κρυπτογράφησης. Το έξυπνο δίκτυο V2G (Vehicle-to-Grid) μπορεί να φιλοξενήσει την ενσωμάτωση EV χάρη στο ISO 15118. Ένα έξυπνο δίκτυο V2G είναι ένα ηλεκτρικό σύστημα που χρησιμοποιεί τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών για να συνδέσει τους παρόχους ενέργειας, τους καταναλωτές και τα στοιχεία του δικτύου, όπως οι μετασχηματιστές. Με τη χρήση του προτύπου ISO 15118, ένα κατάλληλο πρόγραμμα φόρτισης μπορεί να (επανα)διαπραγματευτεί μέσω της δυναμικής ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ του EV και του σταθμού φόρτισης.

Η διασφάλιση της αποδοτικής λειτουργίας των ηλεκτρικών οχημάτων για το δίκτυο είναι ζωτικής σημασίας. Στην προκειμένη περίπτωση, ο όρος "φιλικό προς το δίκτυο" αναφέρεται στην ικανότητα της συσκευής να διαχειρίζεται την ταυτόχρονη φόρτιση πολλών οχημάτων χωρίς υπερφόρτωση του δικτύου. Αξιοποιώντας δεδομένα σχετικά με την κατάσταση του ηλεκτρικού δικτύου, τη χρήση ενέργειας κάθε EV και τις απαιτήσεις κινητικότητας κάθε οδηγού, το λογισμικό έξυπνης φόρτισης θα καθορίσει

ένα μοναδικό χρονοδιάγραμμα φόρτισης για κάθε EV (ώρα αναχώρησης και εμβέλεια οδήγησης).

Με αυτόν τον τρόπο, κάθε περίοδος φόρτισης θα ταιριάζει σωστά με τη χωρητικότητα του δικτύου και την ηλεκτρική ζήτηση της φόρτισης των EVs την ίδια στιγμή. Μία από τις βασικές περιπτώσεις χρήσης που μπορεί να υλοποιήσει το ISO 15118 είναι η φόρτιση όταν υπάρχει αφθονία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ή/και όταν υπάρχει χαμηλή συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας [20].

Οι βασικές δυνατότητες του ISO 15118 περιλαμβάνουν:

- Ασφαλής επικοινωνία: Το ISO 15118 ορίζει ένα ασφαλές πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων και των σταθμών φόρτισης, ώστε να διασφαλίζεται ότι τα ευαίσθητα δεδομένα, όπως οι πληροφορίες πληρωμής, μεταδίδονται με ασφαλή και κρυπτογραφημένο τρόπο.
- Αυτοματοποιημένη φόρτιση: Το ISO 15118 επιτρέπει την αυτοματοποίηση της διαδικασίας φόρτισης, πράγμα που σημαίνει ότι το EV μπορεί να ξεκινήσει και να τερματίσει τη διαδικασία φόρτισης χωρίς καμία χειροκίνητη παρέμβαση.
- Τιμολόγηση και πληρωμή: Το ISO 15118 ορίζει ένα πρότυπο για τις διαδικασίες χρέωσης και πληρωμής, συμπεριλαμβανομένης της ανταλλαγής πληροφοριών σχετικά με τα τιμολόγια, τις χρεώσεις και τις μεθόδους πληρωμής.
- Διαχείριση φορτίου: Το ISO 15118 επιτρέπει τη διαχείριση φορτίου, πράγμα που σημαίνει ότι ο σταθμός φόρτισης μπορεί να περιορίσει την ποσότητα ισχύος που μπορεί να αντλήσει το EV κατά τη διάρκεια της διαδικασίας φόρτισης, ώστε να διασφαλιστεί ότι το δίκτυο δεν επιβαρύνεται υπερβολικά.
- Αναγνώριση χρήστη: Το ISO 15118 επιτρέπει στο σταθμό φόρτισης να αναγνωρίζει τον χρήστη και να πιστοποιεί την ταυτότητά του, πράγμα απαραίτητο για σκοπούς χρέωσης και πληρωμής.

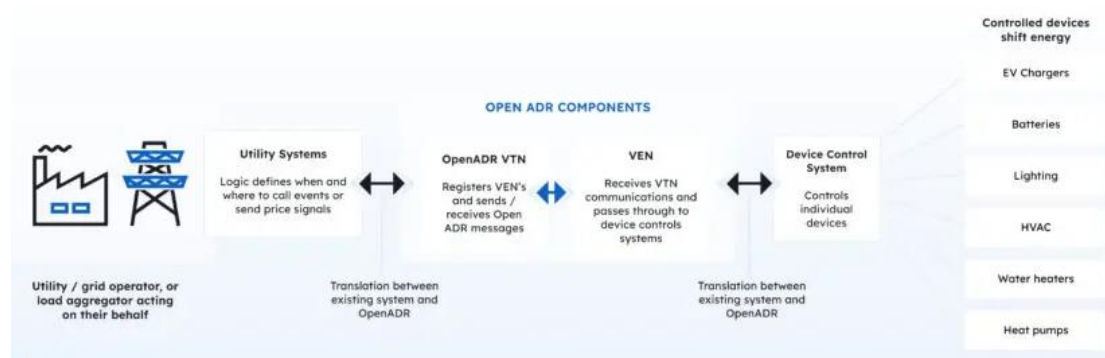
Συμπερασματικά, το ISO 15118 στοχεύει στην τυποποίηση και απλοποίηση της επικοινωνίας μεταξύ των EV και των σταθμών φόρτισης, ώστε να καταστεί η διαδικασία φόρτισης πιο αποτελεσματική και φιλική προς τον χρήστη.

2.3.3 Open Automated Demand Response (OpenADR)

Το 2002, η Επιτροπή Ενέργειας της Καλιφόρνιας (CEC) και το Εθνικό Εργαστήριο Lawrence Berkeley (LBNL) εγκαινίασαν το πρότυπο Open Automated Demand Response (OpenADR). Η πρώτη εμπορική έκδοση, OpenADR 1.0, κυκλοφόρησε το 2007 μετά από μια πενταετή φάση ανάπτυξης που περιλάμβανε δοκιμές πεδίου και πιλοτικές εφαρμογές. Οι αρχικές επίσημες προδιαγραφές του OpenADR 1.0

κυκλοφόρησαν το 2009. Στη συνέχεια, ξεκίνησε μια δεύτερη, τετραετής φάση ανάπτυξης με πιλότους και δοκιμές πεδίου. Στη δεύτερη φάση ανάπτυξης συμπεριλήφθηκαν όλοι οι τελικοί χρήστες και βιομηχανικοί τομείς, συμπεριλαμβανομένων των αγορών χονδρικής, των συμπληρωματικών υπηρεσιών, της δυναμικής τιμολόγησης, των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Ως αποτέλεσμα, το OpenADR 2.0, η δεύτερη έκδοση του OpenADR, κυκλοφόρησε το 2013.

Οι διαχειριστές του δικτύου χρησιμοποιούν μια τεχνολογία που ονομάζεται απόκριση ζήτησης (DR) για να μειώσουν το φορτίο στο δίκτυο κατά τις περιόδους αιχμής. Προκειμένου να διατηρηθεί μια αξιόπιστη υπηρεσία και να αποφευχθούν υπερβολικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας, η απόκριση ζήτησης (DR) μειώνει ενεργά τη χρήση ενέργειας σε απόκριση σε παράγοντες του δικτύου, όπως η τιμή, το οικονομικό κίνητρο ή οι οδηγίες της κοινής ωφέλειας. Μειώνει την τιμή παραγωγής ενέργειας και αυξάνει την αποδοτικότητα του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Οι εταιρείες ηλεκτρισμού μπορούν να στέλνουν άμεσα σήματα DR στους σημερινούς καταναλωτές χρησιμοποιώντας την ανοικτή, τυποποιημένη διεπαφή του OpenADR για την Απόκριση Ζήτησης και τα υπάρχοντα κανάλια επικοινωνίας, όπως το Διαδίκτυο.



Εικόνα 12. Λειτουργικότητα του πρότυπου OpenADR [21].

Εικονικός κορυφαίος κόμβος (Virtual Top Node) είναι ο διακομιστής, ο οποίος βρίσκεται στην πλευρά της κοινής ωφέλειας, προγραμματίζει τα συμβάντα, ελέγχει όλους τους πόρους και παράγει ή αποστέλλει αναφορές, συμβάντα ή αιτήματα.

Εικονικός τελικός κόμβος (Virtual End Node) είναι ο πελάτης που λαμβάνει την επικοινωνία από το VTN λαμβάνει και ανταποκρίνεται σε συμβάντα, παράγει αναφορές και ελέγχει τους πόρους από την πλευρά της ζήτησης.

Η VTN και η VEN είναι οι δύο κύριοι συμμετέχοντες στο πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων που είναι γνωστό ως OpenADR. Κάθε αλληλεπίδραση είναι ένας VTN που μιλάει με έναν ή περισσότερους VEN[21].

Κατά την ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με συμβάντα DR, το OpenADR εξηγεί λεπτομερώς την επιθυμητή συμπεριφορά. Παρέχει στους παρόχους ενέργειας ένα τυποποιημένο μέσο για τη μετάδοση μηνυμάτων τιμών και συμβάντων γρήγορα, αξιόπιστα και με ασφάλεια σε μια σειρά από εξοπλισμό που έχει εγκαταστήσει ο

πελάτης, συμπεριλαμβανομένων των ηλιακών συστημάτων στην οροφή, της επιτόπιας αποθήκευσης ενέργειας, των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων και των συστημάτων διαχείρισης ενέργειας.

Για την υποστήριξη μιας σειράς διαφορετικών συσκευών για μια ποικιλία διαφορετικών εφαρμογών, η Συμμαχία OpenADR έχει δημιουργήσει μια σειρά από προφίλ.

Το προφίλ OpenADR 2.0a έχει σχεδιαστεί για βασικές συσκευές με περιορισμένες δυνατότητες υπολογισμού και μνήμης, όπως θερμοστάτες και ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες. Τα περισσότερα προγράμματα θα χρειαστούν το OpenADR 2.0b, καθώς οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας επιθυμούν να τελειοποιήσουν τους αλγόριθμους τους και να αναπτύξουν πιο περίπλοκη λογική μετατόπισης φορτίου.

Οι διακομιστές και οι πελάτες OpenADR πλήρους εξυπηρέτησης αποτελούν το κοινό-στόχο για το προφίλ OpenADR 2.0b. Στο OpenADR 2.0b περιλαμβάνεται ένας εκτεταμένος κατάλογος εντολών. Παρόλο που η μεγάλη πλειονότητα των προγραμμάτων θα χρησιμοποιεί μόνο ένα υποσύνολο από αυτές, ένα VEN και VTN πρέπει να είναι σε θέση να τις ικανοποιεί όλες προκειμένου να πιστοποιηθεί ως συμβατό με το OpenADR.

Το προφίλ OpenADR 2.0c βρίσκεται ακόμη υπό ανάπτυξη και προορίζεται να διευκολύνει την επικοινωνία στη χονδρική αγορά μεταξύ των ISO/RTO, των συγκεντρωτών και των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας.

Πλεονεκτήματα του OpenADR:

- Η τυποποιημένη υποδομή επικοινωνίας και σηματοδότησης DR διατίθεται στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και στους συγκεντρωτές, προκειμένου να τους βοηθήσει να διαχειριστούν πιο οικονομικά αποδοτικά την αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας και την αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας. Αυτό αυξάνει την αξιοπιστία του δικτύου.
- Βοηθά τους επιχειρηματικούς και βιομηχανικούς πελάτες να ελαχιστοποιήσουν τις επιπτώσεις των περιστατικών της τιμής κρίσιμης αιχμής (CPP).
- Χρησιμοποιείται με ευκολία με τα τρέχοντα πρωτόκολλα και συστήματα.
- Ενθαρρύνει τους πελάτες να συμμετέχουν σε πλήρως αυτοματοποιημένα συστήματα απόκρισης ζήτησης.
- Στα εμπορικά συστήματα διαχείρισης ενέργειας, συνεργάζεται με μια ποικιλία προϊόντων.

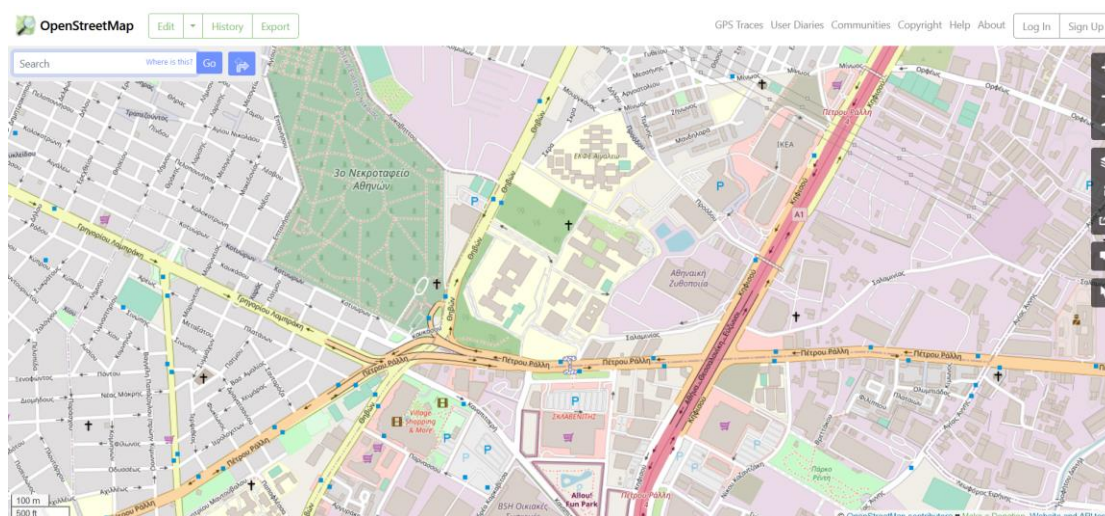
Μπορείτε να μετατρέψετε τα EVs σε στοιχεία απόκρισης ζήτησης που μπορούν να εξισορροπήσουν το δίκτυο με τη συγχώνευση των πρωτοκόλλων OpenADR και OCPP. Η εγγενής υποστήριξη της έξυπνης φόρτισης στο OCPP 1.6 και 2.0 είναι μία από τις μεγαλύτερες αναβαθμίσεις. Τα EV είναι πιο ισχυρά και προσαρμόσιμα από οποιαδήποτε άλλη συσκευή τελικού χρήστη που συνδέεται με το δίκτυο, όταν συνδυάζονται με έξυπνη φόρτιση.

Σε αντίθεση με το OpenADR, το οποίο επικεντρώνεται στην ανταλλαγή σημάτων, το OCPP επικεντρώνεται περισσότερο στον έλεγχο, επιτρέποντας στους ιδιοκτήτες να παρακολουθούν εξ αποστάσεως τους σταθμούς φόρτισης και να εγκρίνουν τη χρήση. Για να βοηθηθούν οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να δημιουργήσουν ένα περιβάλλον έξυπνης φόρτισης που μπορεί να βελτιώσει τη διαχείριση του δικτύου, να αυξήσει την ενεργειακή απόδοση και να μειώσει το κόστος υλοποίησης, πρέπει να συνεργαστούν και τα δύο πρωτόκολλα [21].

3.Εργαλεία και μέθοδοι

3.1 Open Street Map

Το OpenStreetMap (OSM) είναι ένας χάρτης ανοικτού κώδικα, ο οποίος δημιουργήθηκε και συντηρείται από μια παγκόσμια κοινότητα εθελοντών που χρησιμοποιούν συσκευές GPS, αεροφωτογραφίες και άλλα εργαλεία χαρτογράφησης [22]. Προσφέρει μια ολοκληρωμένη και λεπτομερή εικόνα της επιφάνειας της γης, συμπεριλαμβανομένων δρόμων, κτιρίων, ορόσημων, ποταμών και άλλων χαρακτηριστικών.



Εικόνα 13. Στιγμιότυπο χαρτών OpenStreetMap [22].

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του OSM είναι η ευελιξία του και ο ανοικτός χαρακτήρας του. Σε αντίθεση με τις εμπορικές υπηρεσίες χαρτογράφησης, οι οποίες συχνά έχουν αυστηρές συμφωνίες αδειοδότησης και περιορισμένη πρόσβαση στα δεδομένα για τον απλό χρήστη, το OpenStreetMap επιτρέπει στους χρήστες του να έχουν πρόσβαση, να επεξεργάζονται και να χρησιμοποιούν τα δεδομένα του χωρίς περιορισμούς. Αυτό το καθιστά ένα ισχυρό εργαλείο για ένα ευρύ φάσμα σκοπών, όπως η πλοήγηση, ο αστικός σχεδιασμός, η αντιμετώπιση καταστροφών, η περιβαλλοντική έρευνα και η ανθρωπιστική βοήθεια.

Στον τομέα της πλοήγησης, το OpenStreetMap μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία προσαρμοσμένων χαρτών και συστημάτων πλοήγησης για αυτοκίνητα, ποδήλατα ή πεζούς. Με τα συστήματα αυτά, οι χρήστες έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την κυκλοφορία, το κλείσιμο δρόμων και άλλες αλλαγές στις συνθήκες.

Στον αστικό σχεδιασμό, το OpenStreetMap μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την οπτικοποίηση αστικών περιοχών και τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σχετικά με

τη χωροθέτηση, τις μεταφορές και τη χρήση γης. Αυτό μπορεί να βοηθήσει τις πόλεις να γίνουν πιο βιώσιμες.

Στην περίπτωση φυσικών καταστροφών ή άλλων καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, το OpenStreetMap μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη γρήγορη χαρτογράφηση των πληγεισών περιοχών και τον εντοπισμό προβλημάτων σε κρίσιμες υποδομές. Αυτό μπορεί να βοηθήσει τις ομάδες αρωγής και έκτακτης βοήθειας να συντονίσουν καλύτερα τις προσπάθειές τους και να έχουν καλύτερα αποτελέσματα στις προσπάθειές τους.

Για την περιβαλλοντική έρευνα, τα δεδομένα του OpenStreetMap μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη επιμέρους οικοσυστημάτων, την παρακολούθηση δασικών και, γενικά, δυσπρόσιτων περιοχών και την παρακολούθηση των αλλαγών στη χρήση γης με την πάροδο του χρόνου. Αυτό μπορεί να βοηθήσει τους ερευνητές να κατανοήσουν και να αντιμετωπίσουν τις περιβαλλοντικές προκλήσεις.

Τέλος, το OpenStreetMap είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την ανθρωπιστική βοήθεια. Κάποιες οργανώσεις ανθρωπιστικού χαρακτήρα μπορεί να χρησιμοποιούν το OSM για να χαρτογραφήσουν απομακρυσμένες περιοχές και να εντοπίσουν περιοχές που χρειάζονται βοήθεια. Έτσι, η βοήθεια διανέμεται πιο αποτελεσματικά και ορθολογικά.

Συνολικά, το OpenStreetMap είναι ένας χρήσιμος πόρος που παρέχει πρόσβαση σε λεπτομερείς και ενημερωμένες γεωγραφικές πληροφορίες, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών από άτομα, οργανισμούς και επιχειρήσεις.

3.2 OMNET++ Simulator

Το OMNeT++ είναι ένα framework προσομοίωσης διακριτών γεγονότων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό, τη δοκιμή και την αξιολόγηση διαφόρων τύπων δικτύων, πρωτοκόλλων και κατανεμημένων συστημάτων[23]. Ακολουθούν ορισμένα από τα πλεονεκτήματα της χρήσης του OMNeT++:

- **Αρθρωτή δομή:** Το OMNeT++ παρέχει μια αρθρωτή και επεκτάσιμη αρχιτεκτονική που επιτρέπει στους προγραμματιστές να δημιουργούν επαναχρησιμοποιήσιμα μοντέλα στοιχείων και πρωτοκόλλων δικτύου. Αυτή η αρθρωτότητα επιτρέπει στους ερευνητές και τους προγραμματιστές να δημιουργούν σύνθετες προσομοιώσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δοκιμή διαφορετικών σεναρίων και διαμορφώσεων.
- **Επεκτασιμότητα:** Το OMNeT++ έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει προσομοιώσεις μεγάλης κλίμακας πολύπλοκων δικτύων και κατανεμημένων συστημάτων. Μπορεί να προσομοιώσει δίκτυα με χιλιάδες κόμβους και

μπορεί επίσης να μοντελοποιήσει λεπτομερώς τη συμπεριφορά μεμονωμένων κόμβων.

- Προσαρμοστικότητα: Το OMNeT++ παρέχει ένα ευέλικτο και προσαρμόσιμο περιβάλλον προσομοίωσης που επιτρέπει στους προγραμματιστές να ορίζουν τα δικά τους μοντέλα προσομοίωσης και να προσαρμόζουν τις παραμέτρους προσομοίωσης ανάλογα με τις ανάγκες τους.
- Οπτικοποίηση: Το OMNeT++ παρέχει ένα ισχυρό framework οπτικοποίησης που επιτρέπει στους προγραμματιστές να δημιουργούν διαδραστικές οπτικοποιήσεις των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Αυτό καθιστά εύκολη την ανάλυση και την κατανόηση της συμπεριφοράς του προσομοιωμένου δικτύου.
- Κοινότητα: Το OMNeT++ διαθέτει μια μεγάλη και ενεργή κοινότητα χρηστών και προγραμματιστών που συμβάλλουν στην ανάπτυξη του πλαισίου και παρέχουν υποστήριξη σε νέους χρήστες.

Συνοψίζοντας, το OMNeT++ είναι ένα ισχυρό framework προσομοίωσης που προσφέρει ένα ευρύ φάσμα πλεονεκτημάτων για τους ερευνητές και τους προγραμματιστές που εργάζονται στον τομέα των δικτύων επικοινωνίας και των καταναμημένων συστημάτων. Η αρθρωτή δομή του, η επεκτασιμότητα, η δυνατότητα προσαρμογής, η οπτικοποίηση και η υποστήριξη της κοινότητας το καθιστούν μια δημοφιλή επιλογή για την προσομοίωση και μοντελοποίηση δικτύων.

3.3 Sumo simulator VEINS and INET frameworks

Το SUMO (Simulation of Urban MObility) είναι ένα framework προσομοίωσης κυκλοφορίας ανοικτού κώδικα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μοντελοποίηση και ανάλυση της κυκλοφοριακής ροής σε αστικές περιοχές [24]. Ακολουθούν ορισμένα από τα πλεονεκτήματα της χρήσης του SUMO:

- Ρεαλιστικές προσομοιώσεις: Το SUMO μπορεί να προσομοιώσει ρεαλιστικά σενάρια κυκλοφορίας, συμπεριλαμβανομένων διαφορετικών τύπων οχημάτων, πεζών, φωτεινών σηματοδοτών και οδικών δικτύων. Αυτό επιτρέπει στους ερευνητές και τους προγραμματιστές να δοκιμάζουν και να αξιολογούν διάφορες στρατηγικές διαχείρισης της κυκλοφορίας και σχέδια οδικών υποδομών.
- Προσαρμόσιμο: Το SUMO παρέχει ένα προσαρμόσιμο περιβάλλον προσομοίωσης που επιτρέπει στους προγραμματιστές να δημιουργούν τα δικά τους σενάρια κυκλοφορίας, να ορίζουν τους δικούς τους τύπους οχημάτων και να προσαρμόζουν τις παραμέτρους προσομοίωσης ανάλογα με τις ανάγκες τους.
- Ενσωμάτωση με άλλα εργαλεία: Το SUMO μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί με άλλα εργαλεία προσομοίωσης και συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας, όπως ελεγκτές σηματοδότησης και λογισμικό σχεδιασμού διαδρομών.

- **Οπτικοποίηση:** Το SUMO παρέχει ένα ισχυρό framework οπτικοποίησης που επιτρέπει στους προγραμματιστές να δημιουργούν διαδραστικές οπτικοποιήσεις των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Αυτό διευκολύνει την ανάλυση και την κατανόηση της συμπεριφοράς της προσομοιωμένης ροής κυκλοφορίας.
- **Κοινότητα:** Το SUMO διαθέτει μια μεγάλη και ενεργή κοινότητα χρηστών και προγραμματιστών που συμβάλλουν στην ανάπτυξη του πλαισίου και παρέχουν υποστήριξη σε νέους χρήστες.

Συνοψίζοντας, το SUMO είναι ένα ισχυρό framework προσομοίωσης που προσφέρει ένα ευρύ φάσμα πλεονεκτημάτων για τους ερευνητές και τους προγραμματιστές που εργάζονται στον τομέα των μεταφορών και της αστικής κινητικότητας. Η ικανότητά του να προσομοιώνει ρεαλιστικά κυκλοφοριακά σενάρια, οι επιλογές προσαρμογής, η ενσωμάτωση με άλλα εργαλεία, οι δυνατότητες οπτικοποίησης και η υποστήριξη της κοινότητας το καθιστούν μια δημοφιλή επιλογή για την προσομοίωση και την ανάλυση της κυκλοφορίας.

Το OMNeT++ είναι ένα framework προσομοίωσης διακριτών γεγονότων που χρησιμοποιείται συνήθως για προσομοιώσεις δικτύων, ενώ το SUMO είναι ένας μικροσκοπικός προσομοιωτής κυκλοφορίας που μπορεί να προσομοιώσει την οδική κυκλοφορία. Το framework Veins είναι ένα δημοφιλές εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύζευξη προσομοιώσεων OMNeT++ και SUMO [25]. Το INET Framework είναι μια βιβλιοθήκη προσομοίωσης για τη σουίτα πρωτοκόλλων διαδικτύου και χρησιμοποιείται συχνά σε προσομοιώσεις OMNeT++ [26].

Το framework Veins παρέχει μια διεπαφή μεταξύ των προσομοιώσεων OMNeT++ και SUMO. Επιτρέπει την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των δύο προσομοιωτών, επιτρέποντας την προσομοίωση σύνθετων σεναρίων που αφορούν τόσο την οδική κυκλοφορία όσο και τα δίκτυα επικοινωνίας. Το framework Veins υλοποιείται ως ενότητα του OMNeT++ και παρέχει APIs για την πρόσβαση στα δεδομένα του SUMO από το OMNeT++.

Το framework INET παρέχει ένα σύνολο μοντέλων προσομοίωσης για τη σουίτα πρωτοκόλλων διαδικτύου. Αυτά τα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε προσομοιώσεις OMNeT++ για την προσομοίωση της συμπεριφοράς του δικτύου. Το INET Framework περιλαμβάνει μοντέλα για τα πρωτόκολλα TCP, IP και άλλα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται συνήθως σε προσομοιώσεις δικτύων. Το INET Framework υλοποιείται ως ενότητα OMNeT++ και μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί σε προσομοιώσεις OMNeT++.

Η ενότητα Veins χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση με το SUMO και την ανάκτηση δεδομένων σχετικά με την οδική κυκλοφορία. Τα δεδομένα αυτά μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν στην προσομοίωση για να επηρεάσουν τη συμπεριφορά του δικτύου επικοινωνίας που προσομοιώνεται με τη χρήση του INET Framework. Για παράδειγμα, τα δεδομένα οδικής κυκλοφορίας μπορούν να

χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση της επίδρασης της συμφόρησης στην απόδοση του δικτύου.

Συνοψίζοντας, τα Veins και INET είναι δύο ισχυρά εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σύζευξη προσομοιώσεων OMNeT++ και SUMO. Το framework Veins παρέχει μια διεπαφή για την πρόσβαση σε δεδομένα SUMO από το OMNeT++, ενώ το framework INET παρέχει ένα σύνολο μοντέλων προσομοίωσης για τη σουίτα πρωτοκόλλων διαδικτύου που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε προσομοιώσεις OMNeT++. Συνδυάζοντας αυτά, μπορούν να προσομοιωθούν και να αναλυθούν σύνθετα σενάρια που αφορούν τόσο την οδική κυκλοφορία όσο και τα δίκτυα επικοινωνίας.

3.4 Instant Veins VM

Το Instant Veins Virtual Machine (IVVM) είναι ένα εργαλείο λογισμικού που επιτρέπει την προσομοίωση δικτύων επικοινωνίας οχημάτων σε εικονικό περιβάλλον [27]. Είναι ένα ισχυρό εργαλείο για ερευνητές και μηχανικούς που εργάζονται στον τομέα των συνδεδεμένων και αυτοματοποιημένων οχημάτων.

Το IVVM παρέχει διάφορα οφέλη για τους χρήστες του, μεταξύ των οποίων:

- **Ρεαλιστική προσομοίωση:** Το IVVM παρέχει ένα ρεαλιστικό περιβάλλον προσομοίωσης για δίκτυα επικοινωνίας οχημάτων. Επιτρέπει στους χρήστες να δοκιμάζουν διαφορετικά σενάρια και διαμορφώσεις για τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του δικτύου.
- **Αποτελεσματική δοκιμή:** Το IVVM επιτρέπει την αποτελεσματική δοκιμή πρωτοκόλλων και αλγορίθμων επικοινωνίας. Επιτρέπει στους ερευνητές να δοκιμάζουν και να συγκρίνουν γρήγορα και εύκολα διαφορετικές προσεγγίσεις στην επικοινωνία οχημάτων.
- **Οικονομικά αποδοτικό:** Το IVVM είναι μια οικονομικά αποδοτική εναλλακτική λύση έναντι των φυσικών δοκιμών. Εξαλείφει την ανάγκη για ακριβό εξοπλισμό και υποδομές, καθιστώντας την προσιτή σε ένα ευρύτερο φάσμα ερευνητών και μηχανικών.
- **Προσαρμόσιμο:** Το IVVM είναι ιδιαίτερα προσαρμόσιμο, επιτρέποντας στους χρήστες να προσαρμόσουν την προσομοίωση στις συγκεκριμένες ερευνητικές τους ανάγκες. Επιτρέπει στους ερευνητές να δημιουργήσουν μια ποικιλία σεναρίων και διαμορφώσεων για την προσομοίωση διαφορετικών συνθηκών του πραγματικού κόσμου.
- **Εύκολο στη χρήση:** Το IVVM είναι φιλικό προς το χρήστη και εύκολο στη χρήση. Παρέχει μια γραφική διεπαφή χρήστη που απλοποιεί τη διαδικασία ρύθμισης και εκτέλεσης προσομοιώσεων.

Συνοπτικά, η Instant Veins Virtual Machine παρέχει ένα ισχυρό και οικονομικά αποδοτικό εργαλείο για τους ερευνητές και τους μηχανικούς που εργάζονται στον τομέα των CAVs. Επιτρέπει τη ρεαλιστική προσομοίωση, την αποτελεσματική δοκιμή και την προσαρμογή, ενώ είναι φιλική προς το χρήστη και προσβάσιμη σε ένα ευρύ φάσμα χρηστών.

3.5 Python OCPP protocol simulation

Το πρωτόκολλο ανοικτού σημείου φόρτισης (OCPP) είναι ένα ανοικτό και τυποποιημένο πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ του εξοπλισμού τροφοδοσίας ηλεκτρικών οχημάτων (EVSE) και των διαχειριστών σημείων φόρτισης (CPO) ή των παρόχων υπηρεσιών ηλεκτρικής κινητικότητας (EMP). Το OCPP έχει σχεδιαστεί για να διευκολύνει τη διαλειτουργικότητα και την απρόσκοπτη επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών προμηθευτών σημείων φόρτισης, CPO και EMP.

Για να προσομοιώσετε το πρωτόκολλο OCPP χρησιμοποιώντας Python, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε βιβλιοθήκες όπως η "websocket-client". Αυτή η βιβλιοθήκη παρέχει υλοποιήσεις πελατών WebSocket που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποστολή και τη λήψη μηνυμάτων OCPP μέσω μιας σύνδεσης WebSocket.

Για να ξεκινήσετε την προσομοίωση, θα πρέπει πρώτα να δημιουργήσετε μια σύνδεση WebSocket μεταξύ του EVSE και του CPO ή του EMP. Μόλις δημιουργηθεί η σύνδεση, πραγματοποιείται η διαδικασία χειραψίας, η οποία περιλαμβάνει την αποστολή ενός μηνύματος "CSMS/CP Identification" και τη λήψη ενός μηνύματος "CSMS/CP Information". Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας χειραψίας, το EVSE και ο CPO ή EMP ανταλλάσσουν πληροφορίες σχετικά με τις αντίστοιχες ταυτότητες και ικανότητές τους. Οι πληροφορίες αυτές χρησιμοποιούνται για να διασφαλιστεί ότι το EVSE είναι εξουσιοδοτημένο να φορτίσει το όχημα και να διαπραγματευτεί τις παραμέτρους φόρτισης.

Μόλις ολοκληρωθεί η χειραψία, το EVSE μπορεί να αρχίσει να στέλνει μηνύματα OCPP στον CPO ή EMP. Τα πιο συνηθισμένα μηνύματα OCPP περιλαμβάνουν τα "BootNotification", "Authorize", "StartTransaction", "StopTransaction" και "Heartbeat". Αυτά τα μηνύματα χρησιμοποιούνται για την έναρξη και την παρακολούθηση της διαδικασίας φόρτισης και για την ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με τη σύνοδο φόρτισης, όπως η κατάσταση φόρτισης, η ποσότητα ενέργειας που καταναλώνεται και η τιμή φόρτισης.

Για την υλοποίηση των μηνυμάτων OCPP στην Python, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε κλάσεις και συναρτήσεις που παρέχονται από τις βιβλιοθήκες OCPP. Για παράδειγμα, μπορείτε να δημιουργήσετε ένα αντικείμενο αίτησης "BootNotification" και να το στείλετε στο CPO ή στο EMP χρησιμοποιώντας τον πελάτη WebSocket. Το CPO ή το EMP θα απαντήσει στη συνέχεια με ένα αντικείμενο απόκρισης "BootNotification",

το οποίο μπορείτε να αναλύσετε και να χρησιμοποιήσετε για να ξεκινήσετε τη διαδικασία χρέωσης. Παρομοίως, μπορείτε να δημιουργήσετε άλλα αντικείμενα αίτησης και απόκρισης OCPP και να τα χρησιμοποιήσετε για να στείλετε και να λάβετε πληροφορίες σχετικά με τη σύνοδο φόρτισης.

Συνοπτικά, η προσομοίωση του πρωτοκόλλου OCPP με τη χρήση της Python περιλαμβάνει τη δημιουργία μιας σύνδεσης WebSocket, την εκτέλεση της διαδικασίας χειραψίας και την ανταλλαγή μηνυμάτων OCPP μεταξύ του EVSE και του CPO ή του EMP. Χρησιμοποιώντας τις βιβλιοθήκες OCPP και υλοποιώντας τα μηνύματα OCPP σε Python, μπορείτε να δημιουργήσετε ένα περιβάλλον προσομοίωσης που σας επιτρέπει να δοκιμάσετε και να επικυρώσετε τη λειτουργικότητα του EVSE και της υποδομής φόρτισης[28].

4. Υλοποίηση

Σχεδιάστηκε ένα δίκτυο φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στον χώρο της πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε η προσομοίωση κίνησης των οχημάτων με το εργαλείο Sumo και η προσομοίωση του δικτύου με το εργαλείο OMNeT++.

Χρησιμοποιώντας το framework Veins σε συνδυασμό με τα εργαλεία OMNeT++ και Sumo μπορούμε να δημιουργήσουμε μια προσομοίωση κίνησης των οχημάτων.

Αρχικά εγκαταστάθηκαν τα ακόλουθα εργαλεία με τις κατάλληλες βιβλιοθήκες:

- OMNeT++ 5.2
- Sumo 1.13
- Veins 5.2
- Instant Veins Vm

Στην εικονική μηχανή Instant Veins Vm υπάρχουν προ-εγκατεστημένες οι εκδόσεις από τα παραπάνω προγράμματα καθώς και κάποια παραδείγματα σχετικά με το veins framework.

Συγκεκριμένα, βασισμένοι στο veins demo scenario θα γίνει η κατάλληλη παραμετροποίηση έτσι ώστε να περιέχει τα παρακάτω:

- Χάρτης πανεπιστημιούπολης ΠΑΔΑ με τους ιδιωτικούς δρόμους
- Χώρους στάθμευσης και σταθμούς φόρτισης οχημάτων
- Σύστημα διαχείρισης σταθμών φόρτισης συμβατό με τα πρωτόκολλα OCPP και ISO 15118
- Σύστημα διαχείρισης ενέργειας με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συμβατό με το πρωτόκολλο OpenADR

Με την ολοκλήρωση του στόχου θα είναι εφικτή η επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και σταθμών φόρτισης και η δημιουργία ενός έξυπνου δικτύου φόρτισης εντός του πανεπιστημιακού χώρου το οποίο θα μπορεί να διαχειρίζεται την κατανάλωση ενέργειας για την φόρτιση των οχημάτων. Επιπλέον με την ενσωμάτωση του συστήματος διαχείρισης ενέργειας ανανεώσιμων πηγών και τη χρήση ηλιακών πάνελ ή αιολικής ενέργειας ,θα υπάρχει η μείωση του φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής.

Συνοπτικά για τη σχεδίαση του δικτύου φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα:

- Δημιουργία χάρτη του Πανεπιστημιακού χώρου από OpenStreetMap.
- Επεξεργασία του χάρτη με τα εργαλεία JOSM και NETEDIT.
- Μετατροπή του χάρτη από osm σε xml με σκοπό την προσομοίωση κίνησης με το εργαλείο SUMO.

- Ενσωμάτωση του χάρτη στο εργαλείο Omnet++ και δημιουργία προσομοίωσης δικτύου ηλεκτρικών οχημάτων βασισμένη στο veins framework.

Τα συγκεκριμένα βήματα περιγράφονται αναλυτικά στα υποκεφάλαια 4.1 και 4.2.

4.1 Σχεδίαση δικτύου φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

Για την σχεδίαση του ασύρματου δικτύου έχει χρησιμοποιηθεί το εργαλείο OpenStreetMap (OSM), με τη βοήθεια του οποίου δημιουργήθηκε ένας χάρτης της συγκεκριμένης τοποθεσίας, με σκοπό να υπάρχει η δυνατότητα ακριβούς δρομολόγησης οχημάτων στο χώρο του πανεπιστημίου. Το συγκεκριμένο εργαλείο δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει οποιαδήποτε περιοχή του κόσμου και να την κάνει export σε μορφή αρχείου osm με σκοπό τη δημιουργία ενός χάρτη ο οποίος θα περιέχει δρόμους, κτήρια, εισόδους – εξόδους κτηρίων και άλλα χαρακτηριστικά που αφορούν τη συγκεκριμένη περιοχή.



Εικόνα 14. Στιγμιότυπο χάρτη του Πανεπιστημίου από OpenStreetMap.

Κάνοντας export την συγκεκριμένη τοποθεσία στο OpenStreetMap¹ δημιουργείται ένα αρχείο τύπου osm το οποίο περιέχει έναν χάρτη με τις απαραίτητες πληροφορίες της επιλεγμένης περιοχής, δηλαδή το οδικό δίκτυο, τις θέσεις των πανεπιστημιακών κτιρίων, τις θέσεις των κεντρικών εισόδων και εξόδων της πανεπιστημιούπολης και τις θέσεις των χώρων στάθμευσης.

Για την επεξεργασία του χάρτη χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο JOSM το οποίο είναι ένας επεξεργαστής αρχείων βασισμένος σε Java για αρχεία τύπου OSM που προσφέρει αρκετές εγκατεστημένες προεπιλογές και πρόσθετα αλλά και δυνατότητα πλήρους διαμόρφωσης του χάρτη [29]. Στην Εικόνα 15 φαίνεται ένα στιγμιότυπο από τον αρχικό χάρτη.



Εικόνα 15. Στιγμιότυπο αρχικού χάρτη του πανεπιστημίου χωρίς επεξεργασία.

Σύμφωνα με τον στατικό χάρτη της Εικόνας 15 εμπεριέχονται όλα τα δεδομένα που υπάρχουν στη συγκεκριμένη περιοχή όπως τα κτήρια, οι δημόσιοι και ιδιωτικοί δρόμοι, οι κεντρικές εισοδοί, οι στάσεις των μέσων μαζικής μεταφοράς κ.α. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε το προεπιλεγμένο στυλ χρωματισμού mapCSS του εργαλείου JOSM όπου οι ιδιωτικοί δρόμοι του πανεπιστημίου απεικονίζονται με ροζ διακεκομμένες γραμμές, τα διάφορα κτήρια με ροζ συνεχόμενες γραμμές και με κίτρινες γραμμές απεικονίζεται ο χώρος του πανεπιστημίου.

¹ <https://www.openstreetmap.org/#map=17/37.97778/23.67428>

Με βάση τον χάρτη της Εικόνας 15 έγιναν αρκετές παραμετροποιήσεις με σκοπό τη σχεδίαση του συγκεκριμένου δικτύου φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Αρχικά έγινε απαλοιφή όλων των στοιχείων εκτός του χώρου του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Επιπλέον διαγράφηκαν κάποιοι δρόμοι εντός του πανεπιστημίου με σκοπό την εφαρμογή των κανόνων μονοδρόμησης αλλά και την αποφυγή αδιεξόδων και δημιουργίας ατέρμονων βρόχων στις διαδρομές των οχημάτων. Συμπληρωματικά ορίστηκε η πρόσβαση σε οχήματα στις κεντρικές πύλες εισόδου και εξόδου του πανεπιστημίου και δημιουργήθηκαν διαδρομές για τα οχήματα αυτά εντός του χώρου. Τέλος, προστέθηκαν οι σταθμοί φόρτισης και οι κεντρικές μονάδες RSU στους χώρους στάθμευσης του πανεπιστημίου με τη χρήση των προ εγκατεστημένων πρόσθετων του εργαλείου JOSM.

Μετά από τις παραπάνω αλλαγές η εικόνα 16 αποτυπώνει τον σχεδιασμένο χάρτη του χώρου του πανεπιστημίου:



Εικόνα 16. Στιγμιότυπο τελικού χάρτη του Πανεπιστημίου με οχήματα και σταθμούς φόρτισης.

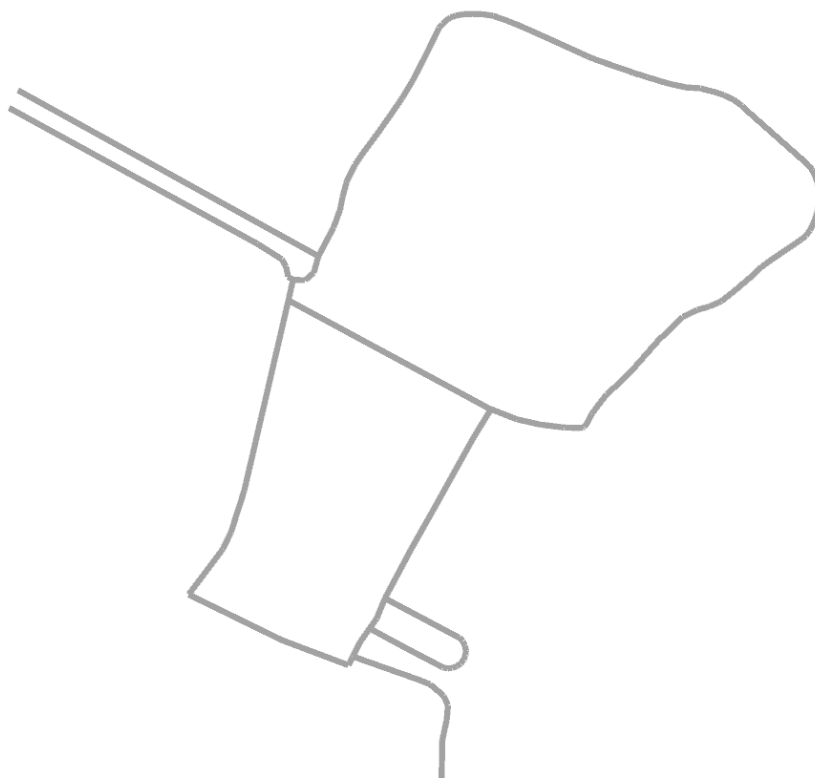
Ο κάθε σταθμός φόρτισης υποστηρίζει τη σύνδεση ηλεκτρικών οχημάτων μέσω της θύρας φόρτισης Type 2 Combo DC αλλά και τη σύνδεση άλλων ηλεκτρικών συσκευών

όπως ηλεκτρικό πατίνι ή ηλεκτρικό ποδήλατο, μέσω πριζών τύπου schuko. Επιπλέον ο κάθε σταθμός φόρτισης διαθέτει σύστημα αυθεντικοποίησης και πληρωμής μέσω της τεχνολογίας NFC. Τέλος για τον κάθε σταθμό φόρτισης έχει τοποθετηθεί η κεντρική μονάδα RSU η οποία χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ του κεντρικού συστήματος φόρτισης CSMS και των σταθμών φόρτισης CS.

Στη συνέχεια χρειάστηκε να μετατραπεί ο παραπάνω χάρτης τύπου OSM σε μορφή XML έτσι ώστε να μπορεί να εκτελεστεί μία προσομοίωση κίνησης οχημάτων με το εργαλείο SUMO, με την βοήθεια της εντολής netconvert. Αναλυτικά η εντολή netconvert δέχεται σαν είσοδο έναν οποιοδήποτε τύπου χάρτη και τον μετατρέπει σε οδικό δίκτυο Sumo με κατάληξη αρχείου .net.xml [30]. Κατά την εκτέλεση της εντολής όμως δεν συμπεριλαμβάνεται κανένα από τα προ εγκατεστημένα πρόσθετα που προστέθηκαν με το εργαλείο JOSM, όπως οι σταθμοί φόρτισης και οι κεντρικές μονάδες, αλλά μόνο οι δρόμοι και οι διασταυρώσεις.

Με την επιτυχή εκτέλεση της εντολής δημιουργείται ένα αρχείο τύπου XML το οποίο μπορεί να επεξεργαστεί με το εργαλείο NETEDIT του SUMO το οποίο είναι ένας οπτικός επεξεργαστής δικτύου βασισμένος πάνω στην εντολή netconvert [31].

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το περιεχόμενο του αρχείου που δημιουργήθηκε από την επιτυχή εκτέλεση της παραπάνω εντολής.

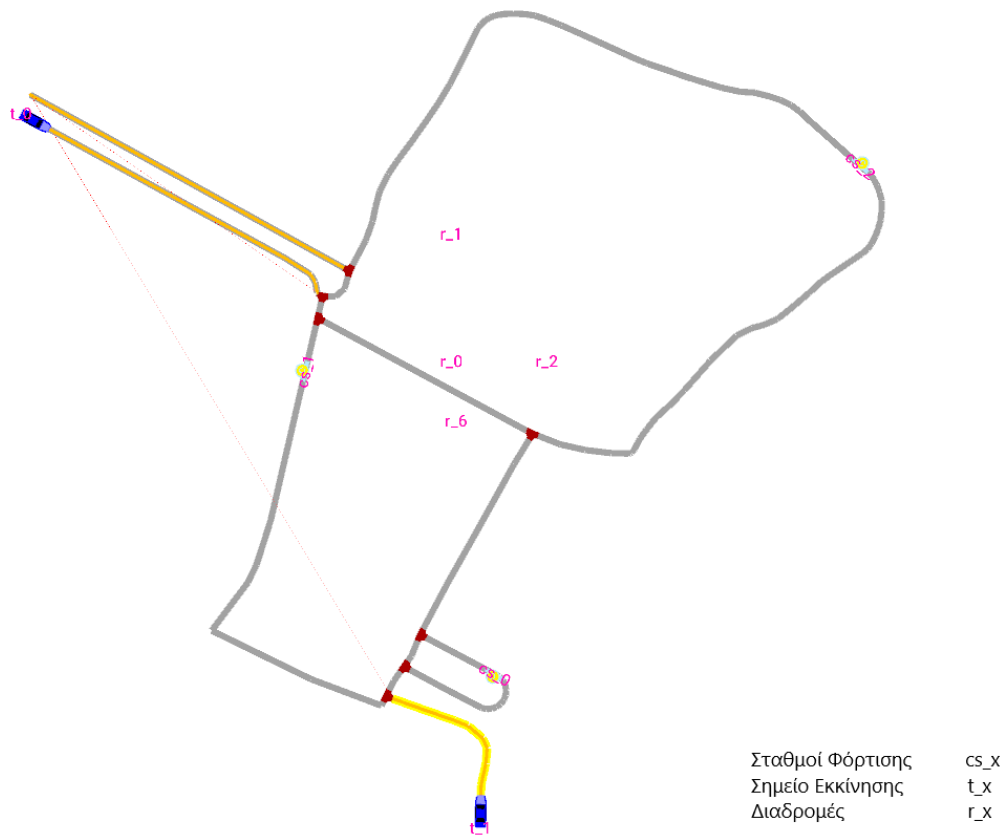


Εικόνα 17. Στιγμιότυπο αρχείου χωρίς επεξεργασία με Netedit.

Χρησιμοποιώντας το εργαλείο Netedit προστέθηκαν στο δίκτυο όλες οι πιθανές διαδρομές των αυτοκινήτων από την κεντρική είσοδο και προς την κεντρική έξοδο

αλλά και επιπρόσθετα στοιχεία που αφορούν το δίκτυο όπως οι σταθμοί φόρτισης οχημάτων.

Στο ακόλουθο στιγμιότυπο αποτυπώνεται ο επεξεργασμένος χάρτης με τα πρόσθετα, όπου cs_x ο κάθε σταθμός φόρτισης, r_x η κάθε διαδρομή και t_x το κάθε σημείο εκκίνησης των οχημάτων.



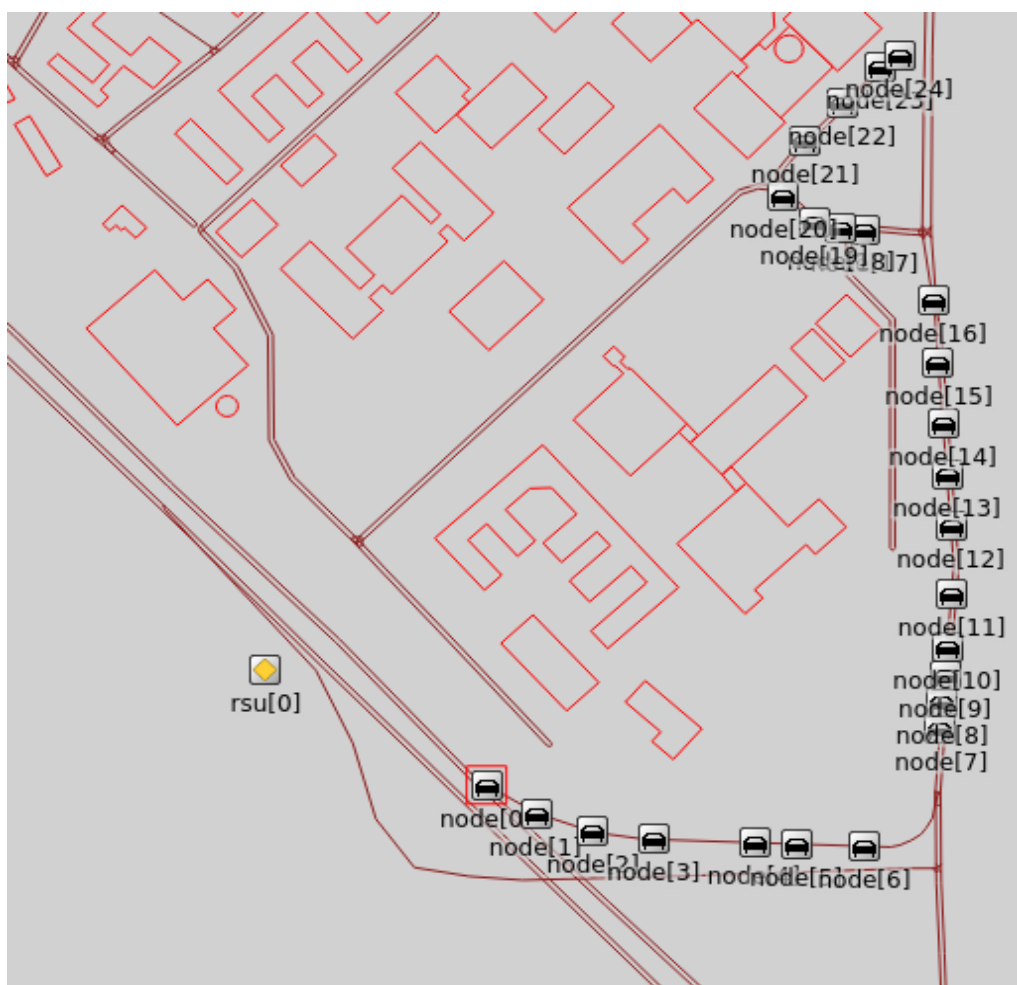
Εικόνα 18. Στιγμιότυπο επεξεργασμένου αρχείου με Netedit.

Έτσι ο επεξεργασμένος χάρτης περιέχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την δημιουργία μίας προσομοίωσης κίνησης των οχημάτων εντός του πανεπιστημίου με το εργαλείο SUMO.

4.2 Μοντελοποίηση προσομοίωσης δικτύου οχημάτων

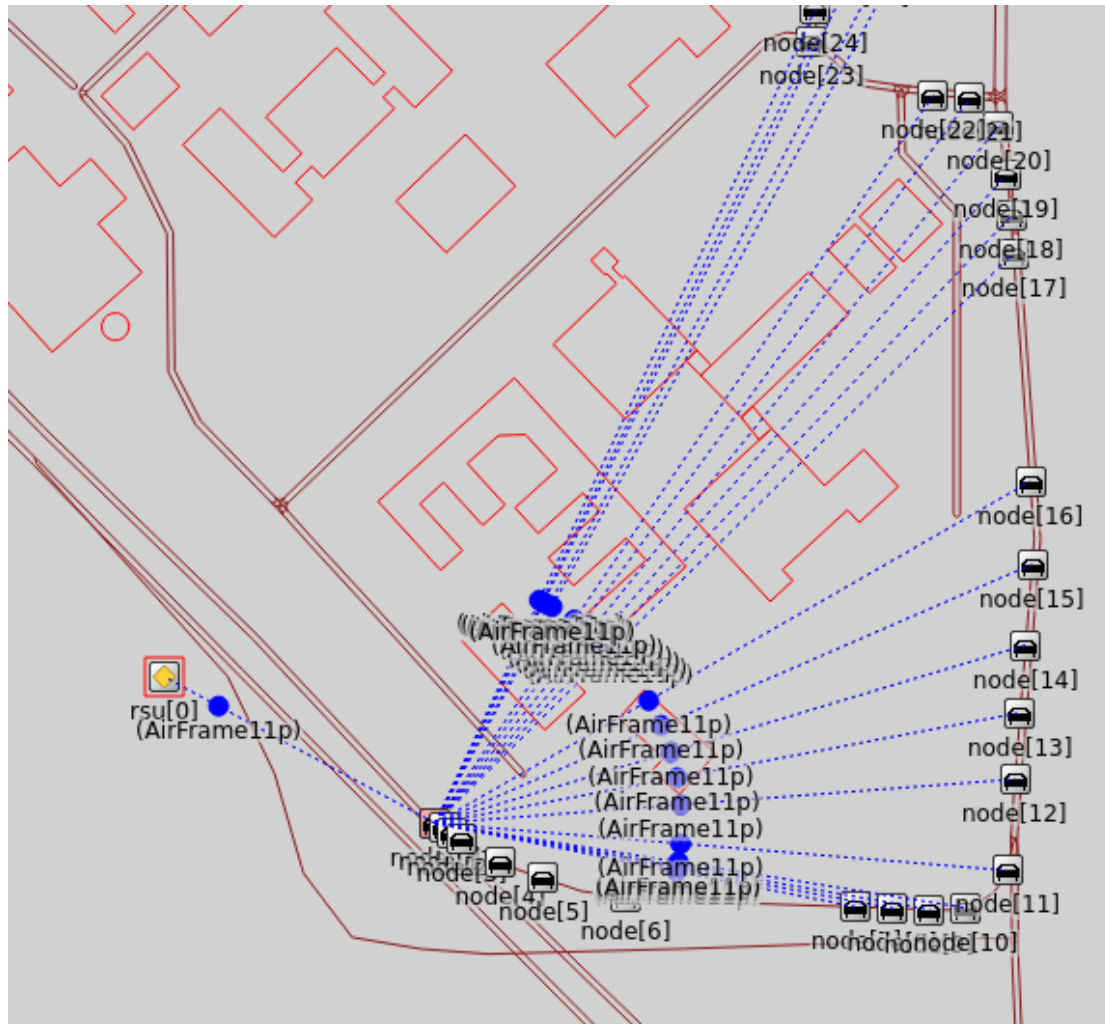
Με την βοήθεια του εργαλείου Omnet++ είναι εφικτή η ενσωμάτωση του παραπάνω επεξεργασμένου χάρτη σε μία προσομοίωση δικτύου οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα με τη χρήση του veins framework και βασιζόμενοι στο παράδειγμα veins demo scenario θα γίνει ενσωμάτωση του επεξεργασμένου χάρτη έτσι ώστε να υπάρχει η επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων και μίας κεντρικής μονάδας (RSU).

Η συγκεκριμένη προσομοίωση απεικονίζει μια κατάσταση κυκλοφορίας στην οποία ένα αυτοκίνητο εμπλέκεται σε ατύχημα και παραμένει εκεί για προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Το αυτοκίνητο ειδοποιεί την κεντρική μονάδα (RSU) και τα άλλα οχήματα όταν συμβεί ατύχημα με σκοπό τα υπόλοιπα οχήματα να ενημερωθούν για το συμβάν. Προκειμένου τα οχήματα που ήρθαν μετά το αρχικό κύμα σημάτων να ενημερωθούν για το ατύχημα, η κεντρική μονάδα επαναλαμβάνει το μήνυμα μετά από μια μικρή καθυστέρηση. Με αυτόν τον τρόπο τα οχήματα έχουν τη δυνατότητα να αλλάξουν τις διαδρομές μετά τη λήψη του μηνύματος και μπορούν ακόμη και να επαναλάβουν το μήνυμα.



Εικόνα 19. Στιγμιότυπο παραδείγματος veins demo scenario [25].

Στην εικόνα 19 απεικονίζονται τα οχήματα και η κεντρική μονάδα λίγο πριν ο node[0] που αντιπροσωπεύει το αυτοκίνητο το οποίο εμπλέκεται σε ατύχημα επικοινωνήσει με την κεντρική μονάδα αλλά και με τα υπόλοιπα οχήματα με σκοπό την αποφυγή του ατυχήματος και την αλλαγή στην πορεία των υπόλοιπων οχημάτων.



Εικόνα 20. Στιγμιότυπο κατά την ώρα του ατυχήματος στο παράδειγμα veins demo scenario.

Στην εικόνα 20 τα οχήματα απεικονίζονται ως κόμβοι (node[0-24]), η κεντρική μονάδα ως rsu[0] και το κάθε μήνυμα ως (AirFrame11p). Συγκεκριμένα το κάθε μήνυμα ειδοποίησης ατυχήματος ξεκινάει από το όχημα που εμπλέκεται στο ατύχημα ειδοποιώντας τα υπόλοιπα οχήματα και την κεντρική μονάδα. Στην συνέχεια τα υπόλοιπα οχήματα επαναλαμβάνουν το μήνυμα έως ότου το λάβουν επιτυχώς όλα τα οχήματα και αλλάζουν την κατεύθυνση τους με σκοπό την αποφυγή του ατυχήματος.

Με βάση το παραπάνω παράδειγμα και χρησιμοποιώντας τον επεξεργασμένο χάρτη που σχεδιάστηκε παραπάνω αλλά και τον τρόπο επικοινωνίας μεταξύ οχημάτων και κεντρικής μονάδας είναι εφικτή η δημιουργία μίας προσομοίωσης δικτύου οχημάτων.

Συγκεκριμένα με τη χρήση του εργαλείου προσομοίωσης δικτύου Omnet++ και του framework veins μπορεί να υλοποιηθεί προσομοίωση οχημάτων χωρίς το μοντέλο αποφόρτισης μπαταρίας , την ύπαρξη σταθμών φόρτισης , την συμπεριφορά των ηλεκτρικών οχημάτων και την μεταξύ τους επικοινωνία με κάποιο πρωτόκολλο. Για τους λόγους αυτούς δεν υποστηρίζεται από τα εργαλεία αυτά η ενσωμάτωση των πρωτοκόλλων OCPP και ISO 15118.

Ο απώτερος σκοπός της προσομοίωσης δικτύου οχημάτων είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος διαχείρισης σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων εντός του Πανεπιστημίου, το οποίο θα ελέγχει τους σταθμούς φόρτισης οχημάτων στις θέσεις στάθμευσης του πανεπιστημιακού χώρου και θα επικοινωνεί με τα ηλεκτρικά οχήματα, τους σταθμούς φόρτισης και τις κεντρικές μονάδες. Επίσης θα ενσωματώνει κεντρικό σύστημα διαχείρισης σταθμών φόρτισης μέσω του οποίου θα υπάρχει η δυνατότητα κράτηση θέσης και μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων.

Τέλος η ενσωμάτωση του πρωτοκόλλου OCPP και ISO 15118 θα βοηθήσει στην γρήγορη και ασφαλή επικοινωνία μέσω μηνυμάτων μεταξύ των οχημάτων και των σταθμών φόρτισης , αλλά και του πρωτοκόλλου OpenADR το οποίο είναι υπεύθυνο για την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης αλλά και την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με σκοπό την τροφοδοσία στους σταθμούς φόρτισης.

5. Συμπεράσματα και Μελλοντική Εργασία

Κατά τη διάρκεια της παρούσας διατριβής, διερευνήθηκε η χρήση του προσομοιωτή OMNeT++ με το framework Veins, αλλά παρατηρήθηκε ότι και οι δύο δεν διαθέτουν την εγγενή υποστήριξη που απαιτείται για την ακριβή προσομοίωση των EVs και των σταθμών φόρτισης. Αυτός ο περιορισμός αναδεικνύει τη σημασία της αξιολόγησης διαφόρων προσομοιωτών με βάση συγκεκριμένες ερευνητικές απαιτήσεις. Η επιλογή ενός κατάλληλου προσομοιωτή VANET για την προσομοίωση σταθμών φόρτισης και ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί κρίσιμη πτυχή της έρευνας στον τομέα των ευφυών συστημάτων μεταφορών και της ηλεκτρικής κινητικότητας.

Η απουσία ενσωματωμένης υποστήριξης για τα EVs και τους σταθμούς φόρτισης στο OMNeT++ και το Veins υπογραμμίζει την ανάγκη οι ερευνητές και οι προγραμματιστές να εξετάσουν εναλλακτικούς προσομοιωτές που προσφέρουν πιο ολοκληρωμένες δυνατότητες για τη μοντελοποίηση αυτών των στοιχείων σε ένα περιβάλλον VANET. Από την παρούσα μελέτη μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα βασικά συμπεράσματα και εκτιμήσεις:

- **Καταλληλότητα χαρακτηριστικών:** Κατά την επιλογή ενός προσομοιωτή για προσομοιώσεις EV και σταθμών φόρτισης με βάση το VANET, είναι ζωτικής σημασίας η αξιολόγηση των εγγενών χαρακτηριστικών του προσομοιωτή. Είναι λοιπόν σκόπιμο να αναζητούνται προσομοιωτές που διαθέτουν άμεση υποστήριξη για τη μοντελοποίηση EVs, σταθμών φόρτισης και των αλληλεπιδράσεών τους, είτε έτοιμοι είτε μέσω καλά τεκμηριωμένων επεκτάσεων.
- **Προσαρμογή και επεκτασιμότητα:** Οι προσομοιωτές που προσφέρουν προσαρμογή και επεκτασιμότητα είναι πολύτιμοι για την προσαρμογή του περιβάλλοντος προσομοίωσης σε συγκεκριμένες ερευνητικές ανάγκες. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την ανάπτυξη νέων ενοτήτων ή την τροποποίηση των υφιστάμενων για την προσαρμογή των ηλεκτρικών οχημάτων και των σταθμών φόρτισης. Επιπλέον δεδομένης της πολυπλοκότητας των προσομοιώσεων VANET που περιλαμβάνουν EVs και σταθμούς φόρτισης, ο προσομοιωτής θα πρέπει να είναι σε θέση να χειρίζεται ένα λογικό επίπεδο κλιμάκωσης διατηρώντας παράλληλα αποδεκτές επιδόσεις.
- **Ρεαλισμός και ακρίβεια:** Οι προσομοιωτές θα πρέπει να στοχεύουν σε υψηλό επίπεδο ρεαλισμού και ακρίβειας κατά τη μοντελοποίηση των EV, των σταθμών φόρτισης και των αλληλεπιδράσεών τους. Θα πρέπει να εξετάζονται προσομοιωτές που λαμβάνουν υπόψη ρεαλιστικές συμπεριφορές οχημάτων, πρωτόκολλα φόρτισης, πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας και δυναμική της κυκλοφορίας.
- **Ενσωμάτωση της υποδομής φόρτισης:** Οι προσομοιωτές που ενσωματώνουν απρόσκοπτα την υποδομή φόρτισης στο περιβάλλον VANET μπορούν να παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τον αντίκτυπο των EVs στο

δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, τη διαθεσιμότητα των σταθμών φόρτισης και τους συναφείς παράγοντες.

Συμπερασματικά, η απουσία εγγενούς υποστήριξης για τα EVs και τους σταθμούς φόρτισης στον προσομοιωτή OMNeT++ με το πλαίσιο Veins υπογραμμίζει την ανάγκη προσεκτικής εξέτασης και διερεύνησης εναλλακτικών προσομοιωτών που προσφέρουν τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά και δυνατότητες. Η επιλογή του προσομοιωτή θα πρέπει να ευθυγραμμίζεται με τους ερευνητικούς στόχους και τις ειδικές πτυχές των προσομοιώσεων EV και σταθμών φόρτισης που βασίζονται σε VANET. Τελικά, η επιλογή του σωστού προσομοιωτή θα συμβάλει σε πιο ακριβή και διορατικά ερευνητικά αποτελέσματα στον τομέα των ευφυών συστημάτων μεταφορών και της ηλεκτροκίνησης οχημάτων.

Στο μέλλον θα μπορούσε να δημιουργηθεί μία προσομοίωση ενός έξυπνου δικτύου φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στο οποίο οι σταθμοί φόρτισης θα επικοινωνούν με τα ηλεκτρικά οχήματα και με το κεντρικό σύστημα διαχείρισης φόρτισης. Μέσω του συγκεκριμένου έξυπνου δικτύου φόρτισης το οποίο θα ενσωματώνει πρωτοκόλλα επικοινωνίας όπως τα OCPP και ISO 15118 ο πελάτης θα μπορεί να κρατήσει μία θέση φόρτισης σε κάθε σταθμό φόρτισης εντός του εκάστοτε χώρου αλλά και ο διαχειριστής των σταθμών φόρτισης θα μπορεί να λαμβάνει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για την διαθεσιμότητα και την ενεργειακή κατανάλωση του εκάστοτε σταθμού φόρτισης. Με την δημιουργία του έξυπνου συστήματος φόρτισης και την ενσωμάτωση του πρωτοκόλλου OpenADR αλλά και την συνεισφορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα είναι δυνατό να υπάρχει εξισορρόπηση του φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων.

Βιβλιογραφία

- [1].M. M. Zanjireh, A. Shahrabi and H. Larijani, 2013 'ANCH: A New Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks,' *2013 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, Barcelona, Spain, pp. 450-455, doi: 10.1109/WAINA.2013.242.
- [2].I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, 2002.
- [3].Chen, Y. S., Huang, Y. F., & Chen, Y. P. (2017). A survey on routing protocols for mobile ad hoc networks. *Journal of Internet Technology*, 18(5), 939-950.
- [4].Andrew Froehlich, "wireless ad hoc network (WANET)", Nov 2022, [Online]. Available:<https://www.techtarget.com/searchmobilecomputing/definition/ad-hoc-network> .
- [5].S. Basagni, M. Conti, S. Giordano, and I. Stojmenovic, "Mobile Ad Hoc Networking," IEEE Press, 2004.
- [6].S. Misra, S. Kumar, and R. Verma, "A Survey of Vehicular Ad Hoc Networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 13, no. 4, pp. 584-607, 2011.
- [7].Boukerche, A. (2002). Security and Fraud Detection in Mobile and Wireless Networks. John Wiley & Sons, Inc. EBooks, 309–323. <https://doi.org/10.1002/0471224561.ch14>
- [8].Wu, B., Chen, J., Wu, J., & Cardei, M. (2007). A Survey of Attacks and Countermeasures in Mobile Ad Hoc Networks. Springer EBooks, 103–135. https://doi.org/10.1007/978-0-387-33112-6_5
- [9].Chlamtac, I., Conti, M., & Liu, J. J. (2003). Mobile ad hoc networking: imperatives and challenges. *Ad Hoc Networks*, 1(1), 13–64. [https://doi.org/10.1016/s1570-8705\(03\)00013-1](https://doi.org/10.1016/s1570-8705(03)00013-1)
- [10].Costandoiu, A., & Leba, M. (2019). *Convergence of V2X communication systems and next generation networks. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 477, 012052. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/477/1/012052>
- [11].[Muhammad Zahid Khan](https://encyclopedia.pub/entry/8743), "VANETs", 16 Apr 2021. [Online]. Available: <https://encyclopedia.pub/entry/8743> .
- [12].Vasco N.G.J. Soares, Joel J.P.C. Rodrigues, in [Advances in Delay-Tolerant Networks \(DTNs\) \(Second Edition\)](#), 2021.
- [13].United States, Department of Transportation, "Electric Vehicle Types", 2 Feb 2022, [Online]. Available : <https://www.transportation.gov/rural/ev/toolkit/ev-basics/vehicle-types> .
- [14].Last Mile Solutions. (2022, September 14). What is a Charging Station Management System (CSMS)? Available: <https://www.lastmilesolutions.com/kb/what-is-a-charging-station-management-system-csms/>
- [15].Benjamin Jerew, "Level 1 vs. Level 2 vs. Level 3 Charging Explained", 29 Sep 2021,[Online]. Available: <https://www.lifewire.com/ev-charging-levels-explained-5201716> .
- [16].Electrical Installation Wiki, "EV charging station design", 18 Jan 2021, [Online]. Available: https://www.electrical-installation.org/enwiki/EV_charging_station_design .
- [17].Wallbox, "EV Charging Connector Types", [Online]. Available: https://wallbox.com/en_catalog/faqs-plug-types .
- [18].Ελληνικό Ινστιτούτο Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο, "Μερικές πληροφορίες για τη φόρτιση του ηλεκτρικού σας αυτοκινήτου", 9 Jan 2020, [Online]. Available:

- <https://www.heliev.gr/%CE%BC%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82-%CF%80%CE%BB%CE%B7%CF%81%CE%BF%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%B5%CF%82-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%B7-%CF%86%CF%8C%CF%81%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%B7-%CF%84%CE%BF/> .
- [19].Tobias Goebel, “What is Open Charge Point Protocol (OCPP)?”, 22 Nov 2022, [Online].Available: <https://www.twilio.com/blog/what-is-ocpp> .
- [20].Marc Mültin, “Get to know one of the world’s leading international electric vehicle standards”, 11 Oct 2021,[Online].Available: <https://www.switch-ev.com/blog/what-is-iso-15118> .
- [21].Sasha Kostov,” What every CPO needs to know about OpenADR”, 15 Nov 2022,[Online].Available: <https://www.ampeco.com/blog/what-every-cpo-needs-to-know-about-openadr/> .
- [22].OpenStreetMap. Available: <https://www.openstreetmap.org/about> .
- [23].OMNeT++ Discrete Event Simulator. Available: <https://omnetpp.org> .
- [24].Eclipse SUMO - Simulation of Urban Mobility. Available: <https://www.eclipse.org/sumo/>.
- [25].Veins. Available: <https://veins.car2x.org/> .
- [26].INET Framework. Available: <https://inet.omnetpp.org/> .
- [27].Christoph Sommer, Reinhard German and Falko Dressler, "Bidirectionally Coupled Network and Road Traffic Simulation for Improved IVC Analysis," IEEE Transactions on Mobile Computing (TMC), vol. 10 (1), pp. 3–15, January 2011.
- [28].GitHub - mobilityhouse/ocpp: Python implementation of the Open Charge Point Protocol (OCPP), 1 Feb 2023. Available: <https://github.com/mobilityhouse/ocpp> .
- [29].JOSM. Available: <https://josm.openstreetmap.de/> .
- [30].netconvert - SUMO Documentation. Available: <https://sumo.dlr.de/docs/netconvert.html> .
- [31].netedit - SUMO Documentation. Available: <https://sumo.dlr.de/docs/Netedit/index.html> .
- [32].Agarwal, P. (2017). Technical Review on Different Applications, Challenges and Security in VANET. ResearchGate. Available: https://www.researchgate.net/publication/323150609_Technical_Review_on_Different_Applications_Challenges_and_Security_in_VANET
- [33].Open Charge Alliance. OCPP Specifications. Available: <https://www.openchargealliance.org/protocols/ocpp-201/>
- [34].ISO 15118. ISO 15118-2:2014 Road vehicles -- Vehicle to grid communication interface -- Part 2: Network and application protocols. Available: <https://www.iso.org/standard/55366.html>
- [35].OpenADR. OpenADR Overview. Available: <https://www.openadr.org/overview>
- [36].Gaton, B. (2020, May 22). The ICE age is over: Why battery cars will beat hybrids and fuel cells. *The Driven*. Available: <https://thedriven.io/2018/11/14/the-ice-age-is-over-why-battery-cars-will-beat-hybrids-and-fuel-cells/>
- [37].Evatran. The complete guide to Tesla charging at home, on the go and autonomously. Plugless Power. Available: <https://www.pluglesspower.com/learn/tesla-model-s-charging-home-public-autonomously/>
- [38].Maravel, S. (2022, November 23). Why do EV charging stations need to be ready for IEC 61851-1 Edition 3? - Schneider Electric Blog. Schneider Electric Blog. Available:

<https://blog.se.com/infrastructure-and-grid/automotive-mobility/2022/02/03/why-do-ev-charging-stations-need-to-be-ready-for-iec-61851-1-edition-3/>

[39].Gerasimov, V. The OCPP Handbook (2023) - AMPECO. AMPECO. Available: <https://www.ampeco.com/guides/complete-ocpp-guide/>

[40]. Khan, A. R., Jamlos, M. F., Osman, N., Ishak, M. I., Dzaharudin, F., You, K. Y., & Khairi, K. A. (2021). DSRC Technology in Vehicle-to-Vehicle (V2V) and Vehicle-to-Infrastructure (V2I) IoT System for Intelligent Transportation System (ITS): a review. In Lecture notes in electrical engineering (pp. 97–106). https://doi.org/10.1007/978-981-33-4597-3_10