



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Τηλεπικοινωνίες για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων με χρήση του LTE
και της τεχνολογίας MEC

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κίμων Π. Γεωργίου

Επιβλέπων καθηγητής: Παναγιώτης Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2020



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Τηλεπικοινωνίες για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων με χρήση του LTE
και της τεχνολογίας MEC

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κίμων Γεωργίου

Επιβλέπων καθηγητής: Παναγιώτης Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

.....
Παναγιώτης Κωττής	Χρήστος Καυάλης	Γεώργιος Φικιώρης
Καθηγητής ΕΜΠ	Καθηγητής ΕΜΠ	Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2020

.....

Κίμων Γεωργίου

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Κίμων Γεωργίου, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Τις τελευταίες δεκαετίες όλο και περισσότερα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν κάνει την εμφάνιση τους στους δρόμους. Η ανάγκη για μειωμένη ατμοσφαιρική ρύπανση και η μείωση της διαθεσιμότητας του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, που πρόκειται να συμβεί μοιραίως στο μέλλον, τα κάνουν απαραίτητα στη σύγχρονη εποχή.

Στην εργασία αυτή θα μελετηθούν οι οικονομικές και ενεργειακές επιπτώσεις της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων όπως και η χρήση της τηλεπικοινωνιακής αρχιτεκτονικής Mobile Edge Computing για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων. Θα εξεταστούν τρία σενάρια:

1. Η διαδικασία επικοινωνίας για φόρτιση κινούμενου οχήματος,
2. Η διαδικασία φόρτισης στο σπίτι και
3. Η διαδικασία φόρτισης σε χώρο στάθμευσης.

Η αρχιτεκτονική LTE, παρά την ευρεία εξάπλωση της, δυσχεραίνει την επικοινωνία των ηλεκτρικών οχημάτων με πληροφοριακές οντότητες μακριά από αυτά, καθώς πρέπει τα ανταλλασσόμενα μηνύματα να περάσουν από το δίκτυο κορμού, αυξάνοντας την αντιλαμβανόμενη καθυστέρηση. Η αρχιτεκτονική MEC προσφέρει χαμηλό χρόνο καθυστέρησης και δικτυακούς, υπολογιστικούς και αποθηκευτικούς πόρους στην άκρη του δικτύου.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στις επικοινωνίες οχημάτων και μια ιστορική αναδρομή για το ηλεκτρικό αυτοκίνητο. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση σημαντικών πτυχών του ηλεκτρικού αυτοκινήτου και γίνεται αναφορά στους αλγορίθμους και τρόπους φόρτισης του. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται το ευφυές δίκτυο, η τεχνολογία LTE και η τεχνολογία MEC. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται επισκόπηση των ενεργειακών και οικονομικών προκλήσεων που αναμένεται να εμφανισθούν με τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων. Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση του συστήματος επικοινωνίας ηλεκτρικών οχημάτων με τηλεπικοινωνιακές οντότητες προκειμένου να δρομολογηθεί η φόρτιση τους. Στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται ανακεφαλαίωση της διπλωματικής και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Λέξεις κλειδιά: Mobile Edge Computing, LTE, Ηλεκτρικά οχήματα, Φόρτιση, Επικοινωνίες οχημάτων

Abstract

In recent decades more and more electric cars have appeared on the streets. The need for reduced air pollution and the declining availability of oil and gas, which is to be inevitable in the future, make them necessary in modern times.

This paper will examine the economic and energy implications of using electric vehicles as well as the use of Mobile Edge Computing telecommunications architecture to charge electric vehicles. Three scenarios will be considered:

1. The communication process for charging a moving vehicle,
2. The charging process at home
3. The process of charging in a parking lot.

LTE architecture, despite its widespread use, makes it difficult for electric vehicles to communicate with information entities away from them, as the messages exchanged must pass through the core network, increasing the perceived delay. MEC architecture offers low latency and network, computing and storage resources at the edge of the network.

The first chapter introduces vehicle communications and a historical overview of the electric car. The second chapter analyzes important aspects of the electric car and refers to its algorithms and charging methods. The third chapter analyzes the Smart Grid, LTE technology and MEC technology. The fourth chapter provides an overview of the energy and economic challenges that are expected to arise with the use of electric vehicles. In the fifth chapter, the communication system of electric vehicles with telecommunication entities is analyzed in order to initiate their charging. The last chapter summarizes the thesis and suggestions for future research are made.

Key Words: Mobile Edge Computing, LTE, Electric cars, Charging, Vehicular Communications

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Παναγιώτη Κωττή, για τις εύστοχες παρατηρήσεις και συμβουλές του πάνω στη διπλωματική μου, καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη μητέρα μου για τη συνεχή της υποστήριξη στα χρόνια των σπουδών μου.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	5
Abstract.....	6
Κατάλογος συντμήσεων.....	12
Κατάλογος σχημάτων και πινάκων.....	14
Κεφάλαιο 1: Ιστορική αναδρομή και επισκόπηση.....	16
1.1 Εισαγωγή.....	16
1.2 Ιστορική αναδρομή.....	18
1.3 Περιβαλλοντική συνεισφορά ηλεκτρικών οχημάτων.....	28
1.4 Η ιστορική πορεία εξέλιξης της κινητής ασύρματης επικοινωνίας.....	28
Κεφάλαιο 2: Γενικά στοιχεία περί ηλεκτρικών οχημάτων, πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα, αλγόριθμοι και εναλλακτικοί τρόποι φόρτισης.....	30
2.1 Ηλεκτρικά οχήματα.....	30
2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ηλεκτρικών αυτοκινήτων.....	31
2.3 Σύστημα ελέγχου μπαταρίας.....	33
2.4 Συσσωρευτές ηλεκτρικής ενέργειας.....	33
2.4.1 Συσσωρευτές Μολύβδου-Οξέος.....	34
2.4.2 Συσσωρευτές Νικελίου-Καδμίου.....	35
2.4.3 Συσσωρευτές Νικελίου-Υβριδίου Μετάλλου.....	35
2.4.4 Συσσωρευτές Ιόντων – Λιθίου και Λιθίου – Πολυμερούς.....	36
2.4.5 Υπερπυκνωτές.....	37
2.5 Ηλεκτρικοί κινητήρες.....	38
2.5.1 Περιπτώσεις κινητήρων ηλεκτρικών οχημάτων.....	38
2.6 Σύστημα φρεναρίσματος.....	39
2.7 Σύγκριση περιβαλλοντικών επιπτώσεων ηλεκτρικού οχήματος – συμβατικού.....	40
2.8 Κόστος ηλεκτρικού οχήματος.....	40
2.9 Αλγόριθμοι φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος.....	41
2.10 Τρόπος φόρτισης δίχως επαφή – ασύρματος (Non-contact charging method – wireless charging).....	42
2.10.1 Εφαρμογές.....	42
2.11 Αλλαγή μπαταρίας.....	43
2.11.1 Δυνατότητα εξυπηρέτησης.....	43
2.11.2 Έξοδα.....	43
2.11.3 Προβλήματα.....	44
2.12 Φόρτιση μέσω ηλιακών πάνελ.....	44
Κεφάλαιο 3: Περί Smart Grid, LTE, MEC.....	46
3.1 Smart Grid.....	46
3.1.1 Χαρακτηριστικά ευφυούς δικτύου.....	47
3.1.1.1 Αξιοπιστία.....	47
3.1.1.2 Ευελιξία στην τοπολογία του δικτύου.....	47
3.1.1.3 Αποδοτικότητα.....	47
3.1.1.4 Ρύθμιση φορτίου - εξισορρόπηση φορτίου.....	47
3.1.1.5 Ρύθμιση της ζήτησης κατά τις ώρες αιχμής.....	48
3.1.1.6 Βιωσιμότητα.....	48
3.1.1.7 Ενεργοποίηση αγοράς ενέργειας.....	48
3.1.1.8 Υποστήριξη ανταπόκρισης ζήτησης.....	49
3.1.2 Τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες του ευφυούς δικτύου για τη διασύνδεση ηλεκτρικών οχημάτων.....	49
3.1.2.1 Zigbee.....	50

3.1.2.2 Κυψελωτές επικοινωνίες.....	51
3.1.2.3 Powerline communications(PLC).....	51
3.1.2.4 Ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (DSL).....	52
3.1.3 Θέματα που προκύπτουν από την ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο ευφύες δίκτυο.....	52
3.1.3.1 Ασφάλεια κατά τη διάρκεια της φόρτισης.....	53
3.1.3.2 Προστασία του ηλεκτρικού δικτύου από τη σύνδεση υπερωγκου φορτίου.....	53
3.1.3.3 Δυνατότητα αυτόματης πληρωμής κατά τη διάρκεια της φόρτισης.....	53
3.1.3.4 Δυνατότητα επιστροφής ενέργειας πίσω στο δίκτυο από τα ηλεκτρικά οχήματα.....	53
3.2 LTE.....	53
3.2.1 Εισαγωγή.....	53
3.2.2 Αρχιτεκτονική LTE.....	54
3.2.2.1 E-UTRAN.....	54
3.2.2.2 EPC.....	54
3.2.3 LTE και επικοινωνίες V2X.....	55
3.3 MEC (Mobile Edge Computing).....	56
3.3.1 Εισαγωγή.....	56
3.3.2 Πλεονεκτήματα MEC.....	57
3.3.3 Εφαρμογές του MEC.....	58
3.3.3.1 Επαυξημένη και εικονική πραγματικότητα.....	58
3.3.3.2 Υπηρεσίες Cloud χαμηλής καθυστέρησης.....	59
3.3.3.3 Υπηρεσίες βασισμένες στην τοποθεσία.....	59
3.3.3.4 Εντοπισμός θέσης συσκευών.....	59
3.3.3.5 Ανάλυση ροής βίντεο.....	59
3.3.3.6 Internet of Things.....	60
3.3.3.7 Έξυπνη βελτιστοποίηση βίντεο.....	60
3.3.3.8 MEC στο αυτοκινητιστικό σύστημα.....	61
3.3.3.8.1 Επίγνωση γεγονότων σε πραγματικό χρόνο και χάρτες υψηλής ανάλυσης.....	61
3.3.3.8.2 See-through.....	61
3.3.3.8.3 VRUs(Vulnerable Road Users).....	62
3.3.3.8.4 Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος.....	62
3.3.4 Αρχιτεκτονική MEC.....	63
3.3.4.1 Επίπεδο ξενιστή.....	64
3.3.4.2 Επίπεδο συστήματος.....	65
Κεφάλαιο 4: Ενεργειακά και οικονομικά αποτελέσματα που απορρέουν από τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων.....	66
4.1 Ενέργεια – Διαχείριση – Περιβάλλον.....	66
4.1.1 Αυξημένη ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος και η ικανοποίηση της.....	66
4.1.2 Επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή και στο περιβάλλον.....	67
4.1.3 Συμπεράσματα.....	68
4.1.4 Μια πιθανή λύση.....	68
4.1.4.1 Δοκιμές.....	70
4.1.4.2 Αποτελέσματα.....	70
4.2 Επιπτώσεις ηλεκτρικών οχημάτων στην οικονομία.....	70
4.2.1 Όφελος καταναλωτών.....	71
4.2.2 Εμπορικό ισοζύγιο.....	71
4.2.3 Κρατικά έσοδα.....	71
4.2.4 Επιπτώσεις στο σύστημα υγείας.....	72
4.2.5 Σύνοψη.....	72
Κεφάλαιο 5: Διαστασιολόγηση του τηλεπικοινωνιακού προβλήματος για τη φόρτιση	

ηλεκτρικών οχημάτων.....	73
5.1 Προϋποθέσεις.....	73
5.1.1 Μηνύματα από τις οντότητες RSUs (downlink ζεύξη).....	73
5.1.2 Μηνύματα από τις οντότητες OBUs των οχημάτων (uplink ζεύξη).....	74
5.1.3 Ενσωμάτωση μηνυμάτων σε ευρύτερο πλαίσιο.....	76
5.2 Διαδικασία φόρτισης για σενάριο κινούμενων οχημάτων.....	76
5.2.1 Σενάριο φόρτισης με χρήση LTE.....	77
5.2.2 Σενάριο φόρτισης με χρήση της αρχιτεκτονικής MEC.....	79
5.3 Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος στην οικία.....	80
5.3.1 Σενάριο φόρτισης με χρήση LTE.....	81
5.3.2 Σενάριο φόρτισης με χρήση της αρχιτεκτονικής MEC.....	82
5.4 Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος σε χώρο στάθμευσης.....	83
5.4.1 Χρήση πλατφόρμας DOMOCELL για φόρτιση σε χώρο στάθμευσης.....	84
5.4.1.1 Αρχιτεκτονική πλατφόρμας DOMOCELL.....	84
5.4.1.2 Πρωτόκολλα επικοινωνίας.....	87
5.4.1.3 Περιπτώσεις χρήσης - Προσομοίωση προβλήματος.....	88
5.4.1.4 Συμπεράσματα.....	90
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις.....	91
Βιβλιογραφία.....	93

Κατάλογος Συντμήσεων

3G/4G/5G – 3rd/4th/5th Generation
3GPP - 3rd Generation Partnership Project
ΑΠΕ – Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΕΕ – Ευρωπαϊκή Ένωση
ΗΕ- Ηλεκτρική Ενέργεια
ΗΠΑ – Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
ΜΕΘ – Μονάδα Εντατικής Θεραπείας
AU - Application Unit
BEV - Battery Electric Vehicles
BC - Boost Charger
CC - Constant Current
CCH – Control Channel
CN - Core Network
CNO - Charging Network Operator
CV – Constant Voltage
D2D - Device to Device
DC - Direct Current
DL - Downlink
DSL – Digital Subscriber Line
DSO - Distribution System Operator
ECU - Electronic Control Unit
EDGE – Enhanced Data Rates for Global Evolution
eNB - evolved Node B
EPC - Evolved Packet Core
ETSI - European Telecommunications Standards Institute
E-UTRAN - Evolved UTRAN
EV - Electric Vehicle
IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers
FMC - Follow Me Cloud
G2H - Grid to Home
GNSS - Global Navigation Satellite System
GPRS – General Packet Radio Service
GSM – Global System for Mobile Communications
GPS - Global Positioning System
HSS - Home Subscriber Server
HTTP - Hypertext Transfer Protocol
IOT - Internet of Things
ITS - Intelligent Transport System
KERS - Kinetic energy recovery system
LCM - Lifecycle Management
Local AAA - Local Authentication, Authorization, and Accounting Server
LTE - Long Term Evolution
ME- Mobile Edge
MEC - Mobile Edge Computing
MEO - Mobile Edge Orchestrator
MEP - ME Platform
MME - Mobility Management Entity
MMS - Multimedia Message Service

NB – Narrow Band
OBU - On Board Unit
OSS - Operation Support System
OQPSK – Offset Quadrature Phase-Shift Keying
P-GW - Packet Data Network Gateway
PHEV - Plug-in Hybrid Electric Vehicles
PLC – Power Line Communication
QoS - Quality of Service
RAN - Radio Access Network
RSU - Road Side Units
S-GW - Serving Gateway
SOC - State Of Charge
SOH - State Of Health
SMS - Short Message Service
TCP- Transmission Control Protocol
TPM - Trusted Platform Module
UE - User Equipment
UL - Uplink
UMTS – Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN – Terrestrial Radio Access Network
V2G - Vehicle to Grid
V2H - Vehicle to Home
V2I - Vehicle to Infrastructure
V2L - Vehicle to Line
V2P - Vehicle to Pedestrian
V2V - Vehicle to Vehicle
V2X - Vehicle to Everything
VI - Virtualization Infrastructure
VIM - Virtual Infrastructure Manager
VM - Virtual Machine
VRUs- Vulnerable Road Users
WiMAX – Worldwide Interoperability for Microwave Access
ZCS - Zigbee Charging Spot
ZVD - Zigbee Vehicular Device

Κατάλογος σχημάτων και πινάκων

- Σχήμα 1.1 Αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου ενός συστήματος ITS
- Σχήμα 1.2 Ροή ενέργειας στη V2G επικοινωνία
- Σχήμα 1.3 Επικοινωνία V2G
- Σχήμα 1.4 Columbia Mark LX Electric Runabout
- Σχήμα 1.5 Ford Model T
- Σχήμα 1.6 Detroit Electric
- Σχήμα 1.7 Lunar Roving Vehicle
- Σχήμα 1.8 Enfield 8000
- Σχήμα 1.9 Vanguard-Sebring CitiCar
- Σχήμα 1.10 Solectia Sunrise
- Σχήμα 1.11 GM EV1
- Σχήμα 1.12 Honda EV Plus
- Σχήμα 1.13 Toyota RAV4 EV
- Σχήμα 1.14 Commuter Cars Tango
- Σχήμα 1.15 Wrightspeed X1
- Σχήμα 1.16 Tesla Roadster
- Σχήμα 1.17 Mitsubishi I-MiEV
- Σχήμα 1.18 Nissan Leaf
- Σχήμα 1.19 Renault Zoe
- Σχήμα 1.20 BMW i3
- Σχήμα 1.21 Tesla Model 3
- Σχήμα 1.22 Νέφος στην Αθήνα
- Σχήμα 1.23 Πορεία της κινητής τηλεφωνίας
- Σχήμα 2.1 Υβριδικό όχημα
- Σχήμα 2.2 Ηλεκτρικό όχημα
- Σχήμα 2.3 Συσσωρευτής Μολύβδου-Οξέως
- Σχήμα 2.4 Συσσωρευτής Νικελίου-Καδμίου
- Σχήμα 2.5 Συσσωρευτής Νικελίου-Υβριδίου Μετάλλου
- Σχήμα 2.6 Συσσωρευτής Λιθίου-Πολυμερούς
- Σχήμα 2.7 Συσσωρευτής Ιόντων-Λιθίου
- Σχήμα 2.8 Κινητήρες ηλεκτρικών οχημάτων
- Σχήμα 2.9 Τεχνολογία KERS στην formula 1
- Σχήμα 2.10 Σταθμός φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος
- Σχήμα 2.11 Ηλιακά πάνελ στο αμάξωμα
- Σχήμα 3.1 Χαρακτηριστικά έξυπνου δικτύου(δεξιά) απέναντι στο παραδοσιακό δίκτυο(αριστερά)
- Σχήμα 3.2 Zigbee
- Σχήμα 3.3 Αρχιτεκτονική E-UTRAN
- Σχήμα 3.4 Αρχιτεκτονική EPC
- Σχήμα 3.5 Τοπολογία δικτύου με χρήση MEC
- Σχήμα 3.6 Επαυξημένη Πραγματικότητα
- Σχήμα 3.7 Ανάλυση ροής βίντεο
- Σχήμα 3.8 Σενάριο Internet of Things
- Σχήμα 3.9 Έξυπνη βελτιστοποίηση βίντεο
- Σχήμα 3.10 See-through
- Σχήμα 3.11 Σενάριο VRU
- Σχήμα 3.12 Λειτουργικό πλαίσιο MEC
- Σχήμα 3.13 Αρχιτεκτονική αναφοράς του MEC
- Σχήμα 4.1 Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για ηλεκτρικά οχήματα ως ποσοστό της συνολικής

ηλεκτρικής ζήτησης το 2050

Σχήμα 4.2 Μελλοντικές αλλαγές στην εκπομπή CO₂ αερίων στο μεταφορικό και τον ενεργειακό τομέα

Σχήμα 4.3 Μεθοδολογία για βελτιστοποίηση του ρυθμού φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων

Σχήμα 5.1 δομή μηνύματος downlink

Σχήμα 5.2 Δομή μηνύματος uplink

Σχήμα 5.3 Μορφή πλαισίου IEEE802.11p

Σχήμα 5.4 Περιβάλλον Προσομοίωσης

Σχήμα 5.5 Ανταλλασσόμενα μηνύματα στο LTE

Σχήμα 5.6 Αρχιτεκτονική FMC

Σχήμα 5.7 Ανταλλασσόμενα μηνύματα με χρήση MEC

Σχήμα 5.8 Περιοχή μελέτης - Καπανδρίτι

Σχήμα 5.9 Επικοινωνία με την εφαρμογή MEC

Σχήμα 5.10 Τεχνολογίες επικοινωνίας στην DOMOCELL

Σχήμα 5.11 Δομικά στοιχεία πλατφόρμας DOMOCELL

Σχήμα 5.12 Πρωτόκολλο Ελέγχου

Σχήμα 5.13 Αντιστοίχιση στοιχείων πραγματικότητας - προσομοίωσης

Πίνακας 3.1 Σύγκριση τεχνολογιών Smart Grid

Πίνακας 4.1 Έσοδα κράτους από τον κύκλο χρήσης ενός ηλεκτρικού οχήματος σε σχέση με ένα συμβατικό

Πίνακας 5.1 Περιεχόμενο μηνύματος downlink

Πίνακας 5.2 Περιεχόμενο μηνύματος uplink

Πίνακας 5.3 Σύγκριση χρόνου εξυπηρέτησης ενός οχήματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

1.1 Εισαγωγή

Αρχικά, θα γίνει αναφορά στις επικοινωνίες V2X(Vehicle to Everything), τί είναι ένα ευφύες σύστημα μεταφορών και τί είναι η επικοινωνία V2G(Vehicle to Grid).

Κατά την οργάνωση ETSI[1] υπάρχουν κατηγορίες αυτοκινητιστικών εφαρμογών που μπορούν να επιτευχθούν μέσα από την επικοινωνία μεταξύ οχημάτων όπως και μέσα από την επικοινωνία οχημάτων με κεντρικές πληροφοριακές οντότητες. Αυτές οι εφαρμογές είναι:

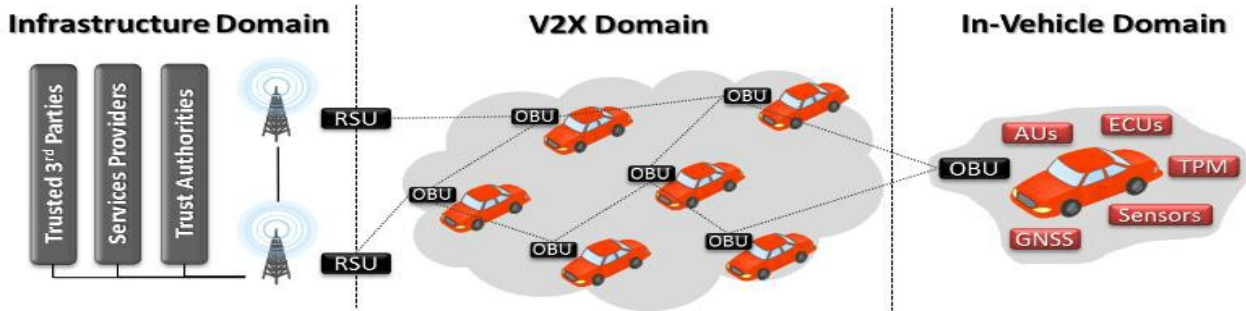
1. Η ασφάλεια-υποβοηθούμενη οδήγηση
2. Η κυκλοφοριακή αποτελεσματικότητα
3. Λοιπές εφαρμογές, όπως ή κατανάλωση υπηρεσιών πολυμέσων.

Οι επικοινωνίες στις οποίες εμπλέκονται αυτοκίνητα χαρακτηρίζονται ως "επικοινωνίες οχήματος προς οτιδήποτε" (Vehicle to Everything – V2X), ενώ τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα που περιλαμβάνουν οχήματα είναι γνωστά ως "ευφυή συστήματα μεταφορών" (Intelligent Transport System – ITS). Για την ομαλή λειτουργία των εφαρμογών V2X, χρειάζεται να συνεργαστούν τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι με επιχειρήσεις άλλων τομέων, όπως για παράδειγμα με κατασκευαστές αυτοκινήτων ή με κατασκευαστές ειδικού εξοπλισμού.

Ένα ITS περιλαμβάνει το δίκτυο και τα οχήματα. Κάθε όχημα για να επικοινωνήσει με τα γύρω του αλλά και με το δίκτυο χρειάζεται να έχει ένα OBU(On Board Unit). Επιπλέον, χρειάζεται να έχει διάφορους αισθητήρες οι οποίοι θα αντιλαμβάνονται το περιβάλλον γύρω από το όχημα και χρειάζεται να έχει επιπλέον εξοπλισμό που θα βοηθήσει για διάφορες άλλες εφαρμογές. Μερικά παραδείγματα εξοπλισμού είναι:

- ECUs (Electronic Control Units) : Υπεύθυνα για τη συλλογή δεδομένων του ίδιου του οχήματος αλλά και του περιβάλλοντος αυτού
- AU (Application Unit) : Υπεύθυνο για την εκτέλεση τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών
- TPM (Trusted Platform Module) : Υπεύθυνο για την ασφάλεια της επικοινωνίας
- Global Navigation Satellite System – GNSS : Υπεύθυνο για τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης του οχήματος

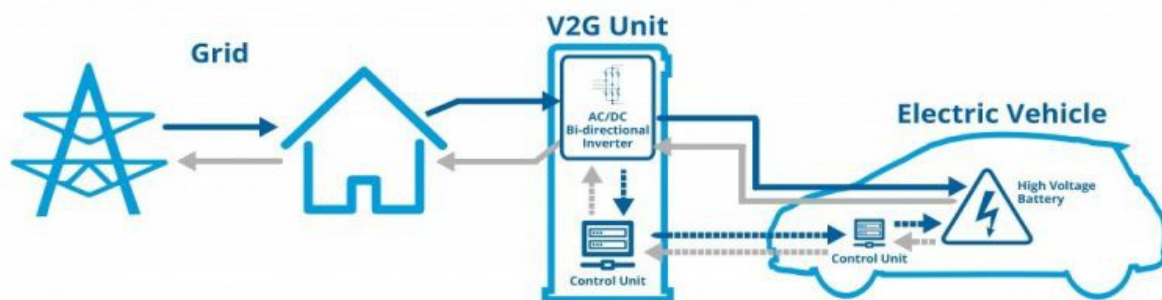
Για να επικοινωνήσουν τα οχήματα με τη δικτυακή υποδομή χρειάζονται κάποιες οντότητες που βρίσκονται στο οδόστρωμα και αποκαλούνται RSUs(Road Side Units). Τα RSUs είναι υπεύθυνα για τη συλλογή δεδομένων από τα οχήματα και για την αποστολή δεδομένων στα οχήματα ή σε κάποιον πάροχο υπηρεσιών. Στην παρούσα διπλωματική θα εξεταστεί το σενάριο τα RSUs να είναι εγκατεστημένα στους σταθμούς βάσης του LTE.



Σχήμα 1.1 Αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου ενός συστήματος ITS

Για τους δυνατούς τρόπους επικοινωνίας μεταξύ των παραγόντων του συστήματος ITS έχουμε τις εξής κατηγορίες:

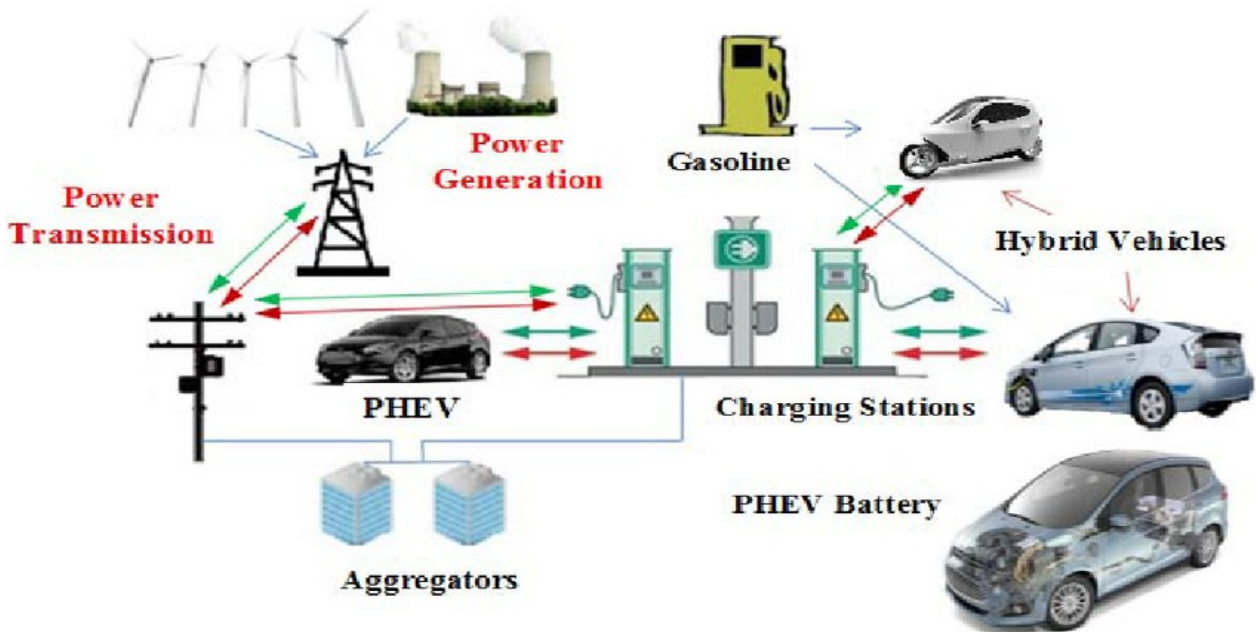
- Επικοινωνία οχήματος με όχημα (Vehicle to Vehicle – V2V)
Τα οχήματα επικοινωνούν μεταξύ τους δίχως τη χρήση RSUs κυρίως για εφαρμογές ασφάλειας.
- Επικοινωνία οχήματος με υποδομή (Vehicle to Infrastructure – V2I)
Τα οχήματα επικοινωνούν με τη δικτυακή υποδομή, τόσο για εφαρμογές ασφάλειας όσο και για τη βελτίωση της κυκλοφορίας.
- Επικοινωνία οχήματος με πεζό (Vehicle to Pedestrian – V2P)
Τα οχήματα επικοινωνούν με τις συσκευές των πεζών και των ποδηλατών για την ασφάλειά τους.
- Επικοινωνία οχήματος με ηλεκτρικό δίκτυο (Vehicle to Grid – V2G)
Εδώ θα εστιάσει η παρούσα διπλωματική. Αφορά τη σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων με το ηλεκτρικό δίκτυο.



Σχήμα 1.2 Ροή ενέργειας στη V2G επικοινωνία

Η V2G επικοινωνία αφορά την αλληλεπίδραση μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων, των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας και των καταναλωτών. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος καθώς και από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Για να συνδεθούν τα ηλεκτρικά οχήματα στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται ένας φορέας συγκέντρωσης πληροφοριών (aggregator) προκειμένου να ρυθμίζεται η ροή ενέργειας.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι για να επικοινωνήσει ένα όχημα με το δίκτυο χρησιμοποιούνται ασύρματα και ενσύρματα δίκτυα και η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται σε κέντρα δεδομένων (data centers) και με υπολογιστική νέφους (cloud computing).



Σχήμα 1.3 Επικοινωνία V2G

1.2 Ιστορική αναδρομή

Ακολουθεί μία ιστορική αναδρομή που αφορά το ηλεκτρικό αυτοκίνητο:

[1832 – 1839] Μεταξύ αυτών των ημερομηνιών ο Thomas Davenport και ο Robert Anderson θεωρούνται εφευρέτες του ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Χρησιμοποίησαν μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες.

[1859] Ο Gaston Plante εφηύρε τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες οξέος -μολύβδου.

[1870] Ο σερ David Salomon κατασκεύασε ένα αυτοκίνητο με ηλεκτρικό μοτέρ, με μπαταρίες που είχαν μεγάλο βάρος. Η ταχύτητα και η αυτονομία του οχήματος υστερούσαν.

[1888] Η Immisch & Company κατασκεύασε για τον Σουλτάνο της Οθωμανικής Αυτοκρατορίας μια άμαξα με μπαταρία. Την ίδια χρονιά ο Magnus Volk, στο Μπράιτον της Αγγλίας, κατασκεύασε ένα ηλεκτρικό τρίκυκλο.

[1889] Ο Thomas Edison δημιούργησε το δικό του ηλεκτρικό όχημα με αλκαλικές μπαταρίες.

[1890] Ο William Morrison κατασκεύασε ηλεκτρικό όχημα το οποίο μπορούσε να ταξιδεύει επί 13 συνεχείς ώρες με ταχύτητα 22χλμ./ώρα.

[1895] Οργανώθηκε ο πρώτος αγώνας αυτοκινήτων στην Αμερική, με νικητή ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο.

[1897] Η London Electric Cab Company (Εταιρεία Ηλεκτρικών Ταξί του Λονδίνου) ξεκίνησε τακτικά δρομολόγια χρησιμοποιώντας αυτοκίνητα που σχεδιάστηκαν από τον Walter Bersey. Το Bersey Cab ήταν ένα είδος ταξί, το οποίο χρησιμοποιούσε μία μπαταρία και ηλεκτρικό μοτέρ ικανό να αποδώσει 3 ίππους. Η αυτονομία του έφτανε τα 80χλμ. μεταξύ των φορτίσεων.

[1897] Η Pope Manufacturing Company του Χάρτφορντ, στο Κονέτικατ, κατασκεύασε περίπου 500 ηλεκτρικά αυτοκίνητα σε διάστημα δύο ετών.

[1899] Το ηλεκτρικό όχημα του Camille Jenatton έσπασε το ρεκόρ των 106χλμ./ώρα.

[1903] Columbia Mark LX Electric Runabout



Σχήμα 1.4 Columbia Mark LX Electric Runabout

Ανάμεσα στα πλέον επιτυχημένα και από άποψη πωλήσεων ηλεκτρικά οχήματα της εποχής ήταν το Columbia Runabout, αποτέλεσμα της συνεργασίας των Pope Manufacturing και Electric Vehicle Company. Το όχημα αυτό είχε μέγιστη ταχύτητα 24χλμ./ώρα, με αυτονομία 64χλμ. ανά φόρτιση.

[1908-1927] Σημαντικά χρόνια για την αυτοκίνηση. Στα πρώτα χρόνια του 20ού αιώνα, δημιουργήθηκαν χιλιάδες ηλεκτρικά και υβριδικά αυτοκίνητα. Παρόλα αυτά, με τον ερχομό του αυτο-εκκινούμενου βενζινοκινητήρα και με τη δρομολόγηση της γραμμής συναρμολόγησης οχημάτων του Henry Ford τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχασαν τελείως τη δυναμική τους.



Σχήμα 1.5 Ford Model T

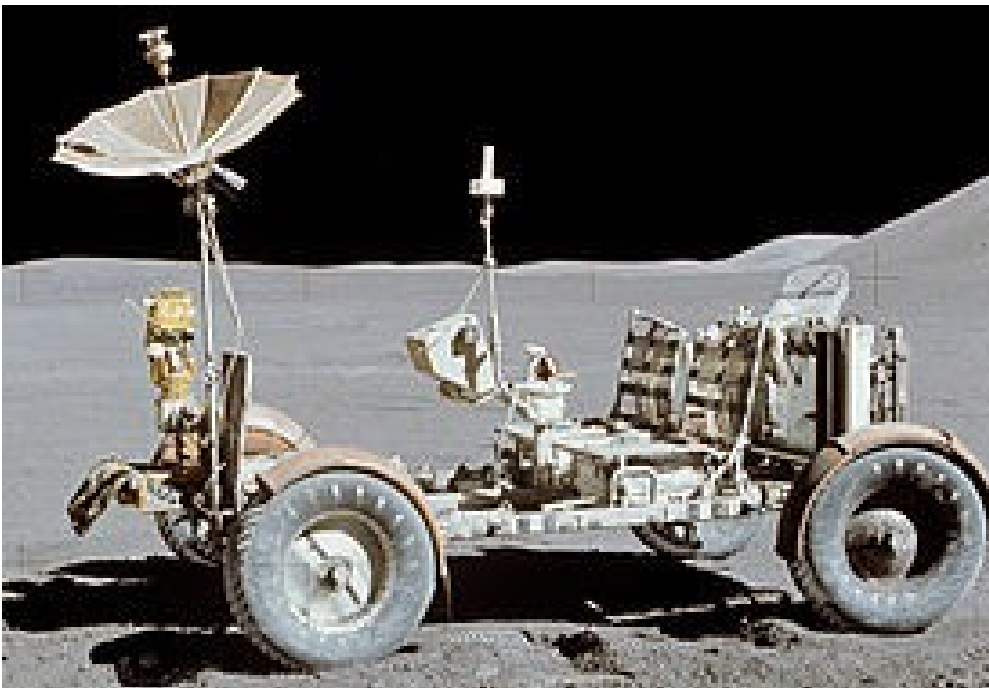
[1914] Detroit Electric



Σχήμα 1.6 Detroit Electric

Δημοφιλές μοντέλο της εποχής με κύρια κλίση προς τις γυναίκες. Το οξύμωρο εδώ είναι ότι η Clara Ford, γυναίκα του Henry, του οποίου το μοντέλο κυριάρχησε στην αγορά αυτοκινήτου, οδηγούσε ένα Detroit Electric του 1914. Η αυτονομία που διέθετε ήταν 130χλμ, με την τελική ταχύτητα να φτάνει τα 32χλμ/ώρα.

[1971] Lunar Roving Vehicle



Σχήμα 1.7 Lunar Roving Vehicle

Χρησιμοποιήθηκε στις τρεις τελευταίες αποστολές του Apollo Program (15, 16, 17) στο φεγγάρι την περίοδο 1971-1972. Είχε βάρος 210κιλά και τελική ταχύτητα 13χλμ/ώρα. Τα τρία που χρησιμοποιήθηκαν έχουν παραμείνει στο φεγγάρι.

[1973] Enfield 8000



Σχήμα 1.8 Enfield 8000

Το διαθέσιμο ηλεκτρικό όχημα που κατασκευάστηκε από την εταιρεία Enfield Automotive του Έλληνα εκατομμυριούχου Γιάννη Γουλανδρή. Η παραγωγή του μεταφέρθηκε αμέσως με το που κυκλοφόρησε, από το Ηνωμένο Βασίλειο στο ελληνικό νησί Σύρος. Είχε τελική ταχύτητα 77χλμ/ώρα και αυτονομία 64χλμ.

[1974] Sebring-Vanguard CitiCar



Σχήμα 1.9 Vanguard-Sebring CitiCar

Επηρεασμένο από τα οχήματα του γκολφ και ως απάντηση στην πετρελαϊκή κρίση στα μέσα της δεκαετίας του '70, το CitiCar είχε μέγιστη ταχύτητα 48-80χλμ/ώρα και η αυτονομία του ήταν 64χλμ. Η τιμή του οχήματος ήταν χαμηλή και μέχρι το 1976 η Vanguard-Sebring κατάφερε να φθάσει στην 6η θέση της αμερικανικής αγοράς αυτοκινήτου.

[1996] Solectria Sunrise



Σχήμα 1.10 Solectria Sunrise

Το καινοτόμο ηλεκτρικό όχημα είχε τελική ταχύτητα 104χλμ/ώρα και έσπασε το ρεκόρ αυτονομίας των ηλεκτρικών αυτοκινήτων φτάνοντας τα 600χλμ με μία φόρτιση.

[1996] GM EV1



Σχήμα 1.11 GM EV1

Το όχημα της General Motors υπήρξε το πρώτο καθαρά ηλεκτροκίνητο όχημα μαζικής παραγωγής της σύγχρονης ιστορίας που παρήχθη από κατασκευαστή αυτοκινήτων μεγάλου όγκου παραγωγής. Η παραγωγή του διακόπηκε μόλις το 1999, και τα οχήματα σε χρήση ανακλήθηκαν από την General Motors το 2003. Αυτό ίσως συνέβη, σύμφωνα με μια θεωρία, λόγω πιέσεων που είχε δεχτεί ο όμιλος από μεγάλες πετρελαϊκές εταιρείες[19].

[1997] Honda EV Plus



Σχήμα 1.12 Honda EV Plus

Υπήρξε το πρώτο ηλεκτρικό όχημα μεγάλου κατασκευαστή χωρίς μπαταρίες οξέος-μολύβδου. Χρησιμοποίησε μπαταρίες νικελίου-μετάλλου. Είχε τελική 130χλμ/ώρα και αυτονομία 130χλμ.

[2001] Toyota RAV4 EV



Σχήμα 1.13 Toyota RAV4 EV

Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο της Toyota είχε τελική 137χλμ/ώρα και αυτονομία 150χλμ. Διέθετε μονάδα φόρτισης 6000watt και ο χρόνος πλήρης φόρτισης του από άδεια μπαταρία ήταν 5 ώρες.

Είχε μεγάλη αξιοπιστία καθώς κάποια οχήματα διένυσαν συνολικά πάνω από 240000χλμ με την αρχική μπαταρία.

[2005] Commuter Cars Tango



Σχήμα 1.14 Commuter Cars Tango

Κύρια χαρακτηριστικά του ήταν οι μικρές διαστάσεις του και η ακριβή τιμή του. Είχε εξαιρετικές επιδόσεις με 0-100χλμ/ώρα σε 3.2 δευτερόλεπτα και τελική ταχύτητα 240χλμ/ώρα. Δεν είχε μεγάλη εμπορική επιτυχία.

[2006] Wrightspeed X1



Σχήμα 1.15 Wrightspeed X1

Ο βενζινοκινητήρας για χρόνια απέδιδε καλύτερες επιδόσεις από τους αντίστοιχους ηλεκτρικούς. Σιγά σιγά αυτό όμως άρχισε να αλλάζει. Ο Ian Wright δημιούργησε ένα ηλεκτρικό μονοθέσιο με

εξαιρετικές επιδόσεις. Η αυτονομία του ήταν 160χλμ. και το 0-100χλμ/ώρα το επιτάχυνε σε 2.9 δευτερόλεπτα.

[2008] Tesla Roadster



Σχήμα 1.16 Tesla Roadster

Το συγκεκριμένο sports ηλεκτρικό όχημα επιτάχυνε από 0 σε 100 χλμ/ώρα μόλις σε 3.9 δευτερόλεπτα και είχε μεγάλη αυτονομία που άγγιζε τα 400χλμ. Είχε τελική ταχύτητα 200χλμ/ώρα και χρησιμοποιούσε μπαταρίες ιόντων λιθίου.

[2009] Mitsubishi I-MIEV



Σχήμα 1.17 Mitsubishi I-MIEV

Το ιαπωνικό ηλεκτρικό όχημα είχε μέγιστη ταχύτητα τα 130χλμ/ώρα, αυτονομία 160χλμ καθώς και χαμηλή τιμή. Υπήρξε το πρώτο μοντέρνο ηλεκτρικό όχημα μαζικής παραγωγής που είχε τη δυνατότητα κίνησης σε αυτοκινητόδρομο.

[2010] Nissan Leaf



Σχήμα 1.18 Nissan Leaf

Με αυτονομία 243χλμ και τελική ταχύτητα πάνω από 150χλμ/ώρα το Nissan Leaf αποτέλεσε το ηλεκτρικό όχημα με τις περισσότερες πωλήσεις όσον αφορά ηλεκτρικά οχήματα που δύνανται να κινηθούν σε αυτοκινητόδρομο.

[2012] Renault Zoe



Σχήμα 1.19 Renault Zoe

Ξεκινώντας με αυτονομία 210-240χλμ. και μετά το Σεπτέμβριο του 2016 με 400χλμ., το Renault Zoe αποτέλεσε το πρώτο σε πωλήσεις αμιγώς ηλεκτρικό αυτοκίνητο στην Ευρώπη τις χρονιές 2015 και 2016. Η ενέργεια κίνησης του προέρχεται από μια μπαταρία ιόντων λιθίου.

[2013] BMW i3



Σχήμα 1.20 BMW i3

Το πρώτο ηλεκτρικό όχημα μαζικής παραγωγής της BMW με μηδενικούς ρύπους. Είχε μπαταρίες ιόντων-λιθίου και βραβεύτηκε το 2014 ως το παγκόσμιο πράσινο αμάξι της χρονιάς και ως το αμάξι με τον καλύτερο σχεδιασμό.

[2017] Tesla Model 3

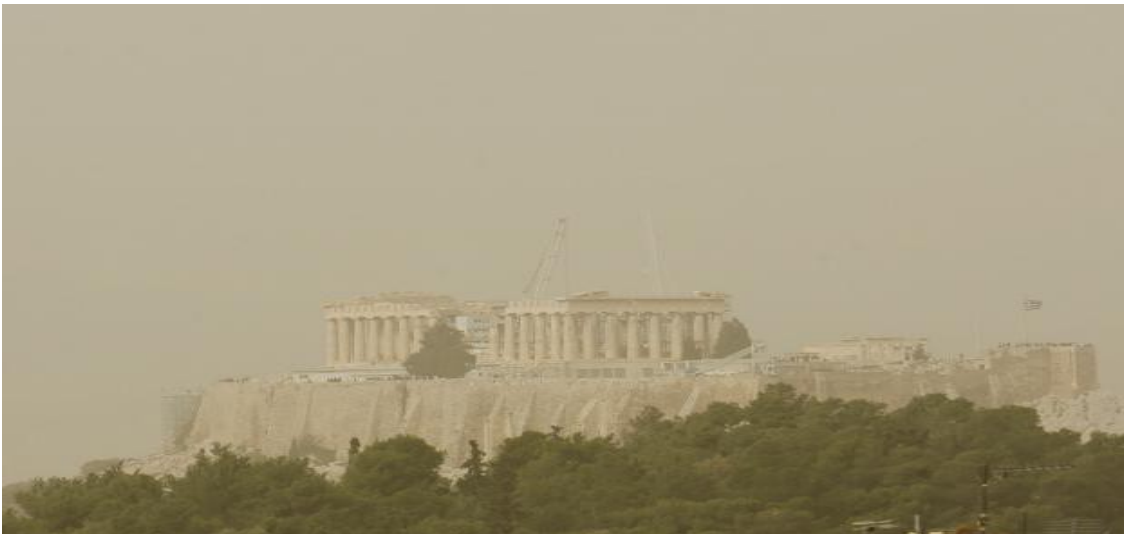


Σχήμα 1.21 Tesla Model 3

Το μοντέλο αυτό, με αυτονομία από 402χλμ ως 499χλμ, αποτέλεσε το 2019 το πρώτο σε πωλήσεις plug-in electric car στις Η.Π.Α. Διαθέτει επίσης ένα σύστημα πλήρους αυτόνομης οδήγησης το οποίο θα ενεργοποιηθεί μελλοντικά.

1.3 Περιβαλλοντική συνεισφορά ηλεκτρικών οχημάτων

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι στις πόλεις είναι μία από τις κυριότερες αιτίες πρόωρων θανάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Οι μεταφορές με οχήματα αποτελούν μια από τις κυριότερες αιτίες αύξησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Στην Αθήνα μειώνεται η ορατότητα κατά περίπου 2,8 χιλιόμετρα τη δεκαετία λόγω περιβαλλοντικής ρύπανσης όπως έδειξε έρευνα του Ινστιτούτου Ερευνών και Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών[2].



Σχήμα 1.22 Νέφος στην Αθήνα

Λόγω της ανησυχίας που υπήρξε για τους ρύπους που προέρχονται από τα συμβατικά οχήματα όσο και για την ενεργειακή εξάρτηση από το πετρέλαιο, έγινε δημοφιλέστερη η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων, τα οποία έχουν το χαρακτηριστικό ότι είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Τις τελευταίες δεκαετίες έχει υπάρξει μεγάλη πρόοδος τόσο στο σχεδιασμό αυτών όσο και στην ανάπτυξη ηλεκτρικών κινητήρων και επαναφορτιζόμενων μπαταριών.

1.4 Η ιστορική πορεία εξέλιξης της κινητής ασύρματης επικοινωνίας



Σχήμα 1.23 Πορεία της κινητής τηλεφωνίας

Στο Σχ.1.23 παρουσιάζεται η εξέλιξη της κινητής ασύρματης επικοινωνίας. Αρχικά, τα δίκτυα 1G αφορούν τα αναλογικά κινητά τηλέφωνα που εμφανίστηκαν το 1980. Τα γραπτά μηνύματα SMS(Short Message Service) και τα μηνύματα MMS(Multimedia Message Service) που περιλαμβάνουν ήχο και εικόνα παρουσιάζονται το 1990 στα δίκτυα 2G. Η ανάγκη για μεγαλύτερη χωρητικότητα και βελτιωμένη φασματική απόδοση αποτέλεσε το κίνητρο για τα δίκτυα 3G. Επιπλέον τα δίκτυα 3G παρέχουν υπηρεσίες όπως GPS(Global Positioning System), τηλεόραση μέσω διαδικτύου και βιντεοκλήσεις.

Τα δίκτυα 4G γνωστά και ως LTE(Long Term Evolution) αποτελούν εξέλιξη των δικτύων 3G. Τα 4G έδωσαν λύσεις για την ικανοποίηση αυστηρών απαιτήσεων για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, χαμηλή καθυστέρηση και ευέλικτη χρήση του φάσματος. Λόγω του στόχου των 4G για ικανοποίηση υπηρεσιών που αφορούν τη διακίνηση δεδομένων, καταργείται η επικοινωνία μέσω δικτύων μεταγωγής κυκλώματος των 3G και υλοποιούνται τα δίκτυα μεταγωγής πακέτου. Η χωρητικότητα που παρέχουν τα δίκτυα 4G φτάνει τα 300 Mbps στην καθοδική ζεύξη και τα 75 Mbps στην ανοδική.

Ένα πρόβλημα των δικτύων 4G είναι ότι τα ανταλλασσόμενα μηνύματα μεταξύ των συσκευών διέρχονται από το δίκτυο κορμού. Έτσι, έχουμε αυξημένη καθυστέρηση. Ένας ακόμη λόγος καθυστέρησης είναι η χρήση του cloud computing, καθώς οι εξυπηρετητές τέτοιου τύπου βρίσκονται σε απομακρυσμένα σημεία στο δίκτυο. Η λύση έρχεται με το MEC(Mobile Edge Computing) καθώς με αυτό παρέχονται υπηρεσίες cloud computing εγγύτερα στους χρήστες. Έτσι υπάρχει μειωμένη καθυστέρηση και μειώνεται ο φόρτος στο δίκτυο κορμού.

Τα δίκτυα 5G έρχονται να καλύψουν ανάγκες για ακόμα μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης, πολύ μικρή καθυστέρηση(ms) και μεγάλη πυκνότητα συσκευών. Το 5G στοχεύει όχι μόνο να εξυπηρετήσει εφαρμογές ευρυζωνικές που κατά κύριο λόγο κάλυπτε το LTE, αλλά και διάφορες άλλες εφαρμογές με ποικίλες απαιτήσεις. Παραδείγματα είναι τα αυτο-οδηγούμενα αυτοκίνητα, οι απομακρυσμένες χειρουργικές επεμβάσεις και οι ασφαλείς μετακινήσεις.

Αξίζει να σημειωθεί ότι παρόλο που το MEC έχει παρουσιαστεί κυρίως ως τεχνολογία των δικτύων 5G, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στα 4G. Επειδή μάλιστα το MEC παρέχει εικονικά χαρακτηριστικά, η μετάβαση του από τα δίκτυα 4G σε 5G μπορεί να γίνει με αναβάθμιση του λογισμικού, χωρίς πρόσθετο υλικό εξοπλισμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ, ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ, ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΚΑΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

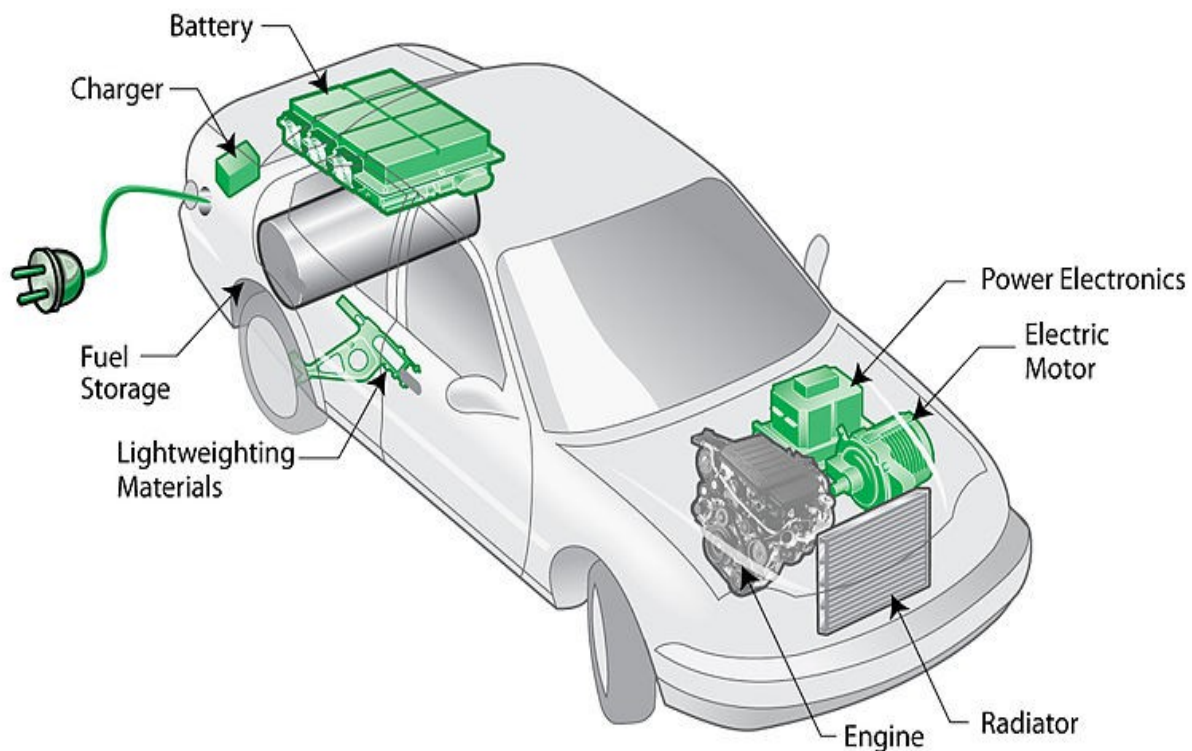
2.1 Ηλεκτρικά οχήματα

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

i) Στα PHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicles), τα οποία διαθέτουν ηλεκτρικό κινητήρα και μηχανή εσωτερικής καύσης. Αυτά λειτουργούν με δύο μορφές ενέργειας. Η πρώτη είναι η θερμοδυναμική που προέρχεται από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης. Η δεύτερη είναι η ηλεκτρική που προέρχεται από τον ηλεκτρικό κινητήρα.

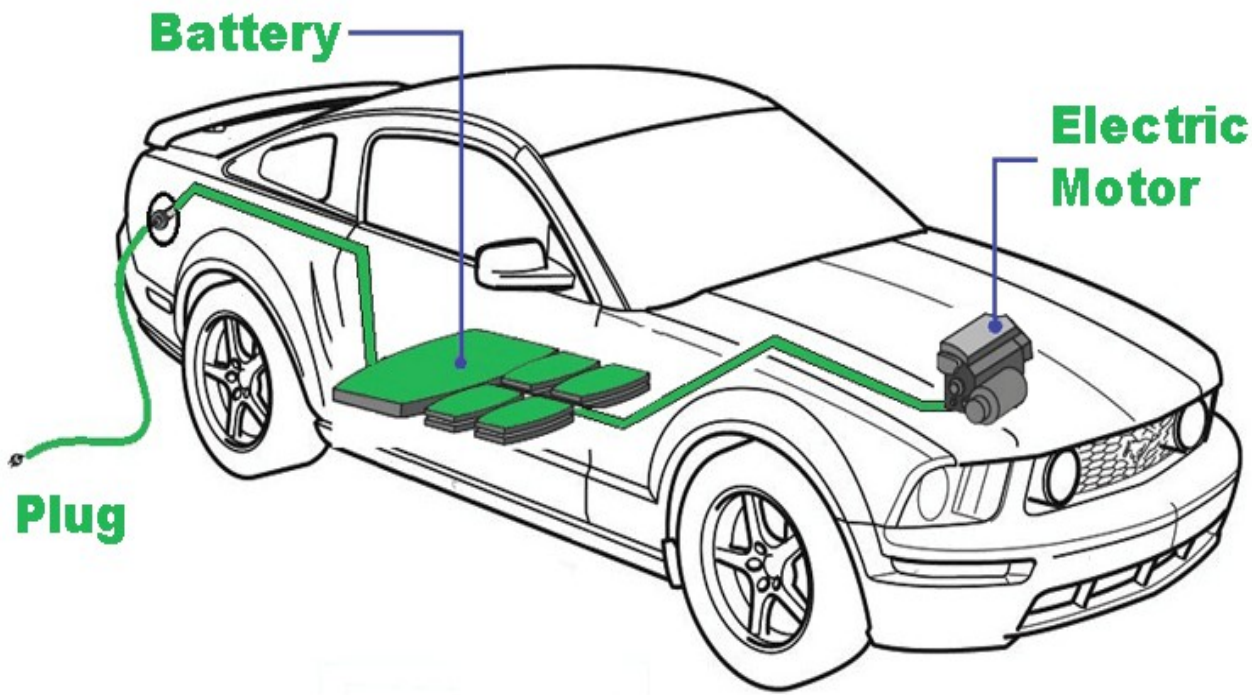
ii) Στα BEV(Battery Electric Vehicles), τα οποία λειτουργούν αμιγώς με ηλεκτρικό κινητήρα χρησιμοποιώντας τη χημική ενέργεια η οποία είναι αποθηκευμένη σε επαναφορτιζόμενους συσσωρευτές ενέργειας.

i) Τα υβριδικά PHEV χρησιμοποιούν τα καλύτερα στοιχεία των συμβατικών αυτοκινήτων αλλά και των BEV. Συγκεκριμένα, η ύπαρξη δύο ειδών κινητήρων τους παρέχει τη δυνατότητα να τους χρησιμοποιούν κατά περίπτωση. Για παράδειγμα, κατά την εκκίνηση του οχήματος, μέσα στην πόλη αλλά και υπό χαμηλές ταχύτητες αναλαμβάνει την κίνηση ο ηλεκτρικός κινητήρας. Σε υψηλές ταχύτητες εκτός πόλης χρησιμοποιείται ο βενζινοκινητήρας. Κατά το προσπέρασμα ή σε ανηφορική κίνηση μπορούν να ενεργοποιηθούν και οι δύο κινητήρες. Με τα PHEV μειώνεται το ενδεχόμενο να τελειώσει η αποθηκευμένη ενέργεια των συσσωρευτών, ακινητοποιώντας έτσι το όχημα. Από την άλλη πλευρά, χρησιμοποιώντας και βενζινοκινητήρα αυξάνεται η ρυπογόνος δράση.



Σχήμα 2.1 Υβριδικό όχημα

ii) Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα BEV, που φορτίζονται από το ηλεκτρικό δίκτυο, λειτουργούν αποκλειστικά με τους συσσωρευτές τους. Έχουν το πλεονέκτημα της πολύ μικρής ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλούν στο περιβάλλον. Μειονέκτημα τους είναι το ότι στην τρέχουσα τεχνολογική φάση δεν έχουν πολύ μεγάλη αυτονομία(χιλιομετρική) σε σχέση με τα συμβατικά αυτοκίνητα αλλά και τα PHEV.



Σχήμα 2.2 Ηλεκτρικό όχημα

2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ηλεκτρικών οχημάτων:

Πλεονεκτήματα

1. Σε σύγκριση με τα συμβατικά, τα ηλεκτρικά οχήματα, εάν φορτίζονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δεν επιβαρύνουν καθόλου το περιβάλλον με ρύπους. Αυτό συμβαίνει, καθώς από τα συμβατικά αυτοκίνητα δημιουργείται σημαντική ατμοσφαιρική ρύπανση από τις εξατμίσεις τους.
2. Σε σχέση με τα συμβατικά αυτοκίνητα, υπάρχει σημαντική μείωση της ηχορύπανσης(σχεδόν αθόρυβα). Αυτό σε συνδυασμό με τους ελάχιστους ρύπους τα κάνει ιδανικά για τις πόλεις.
3. Με τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα λόγω της μη χρήσης πετρελαίου, μειώνεται η ενεργειακή εξάρτηση από τις χώρες της Μέσης Ανατολής. Επιπλέον, αποτελούν μία από τις λίγες λύσεις που θα παρουσιαστούν στο μέλλον όσον αφορά τη μείωση της διαθεσιμότητας του πετρελαίου.

4. Ένα άλλο πλεονέκτημα των ηλεκτρικών οχημάτων είναι η δυνατότητα επιστροφής ηλεκτρικής ενέργειας πίσω στο δίκτυο κατά τις ώρες αιχμής. Αυτό συντελεί στην εξισορρόπηση του φορτίου, όποτε χρειαστεί, όσον αφορά την προσφορά και τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Στη συνέχεια, όταν εξομαλυνθεί το δίκτυο μπορούν να φορτιστούν εκ νέου.
5. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι περισσότερο αξιόπιστα από τα συμβατικά.
6. Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι λιγότερο περίπλοκος σε σχέση με τη μηχανή εσωτερικής καύσης.
7. Καταναλώνει ενέργεια μόνο όταν το όχημα κινείται.
8. Το κόστος λειτουργίας του είναι μικρότερο.
9. Έχει πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε σχέση με το βενζινοκινητήρα. Μια εκτίμηση είναι 1.000.000 μίλια σε σύγκριση με 100.000 μίλια του συμβατικού κινητήρα.
10. Μπορεί να λειτουργήσει σε πολύ υψηλές στροφές (14,000 στροφές ανά λεπτό) κάτι που αδυνατεί να κάνει ο βενζινοκινητήρας.
11. Τέλος, μελλοντικά, κάθε ιδιοκτήτης ηλεκτρικού αυτοκινήτου θα μπορεί να το φορτίζει στην οικία του.

Μειονεκτήματα

1. Όσον αφορά τους συσσωρευτές η βασική διάρκεια φόρτισης τους είναι μεγάλη, κοντά στις έξι ώρες,
2. Η διάρκεια ζωής τους είναι μικρή. Η επιστημονική κοινότητα εστιάζει σε αυτό το σημείο ώστε να βρει λύσεις.
3. Η χιλιομετρική απόσταση που μπορεί να διανύσει ένα ηλεκτρικό όχημα είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με το συμβατικό.
4. Το κόστος κατασκευής ενός συσσωρευτή είναι υψηλό. Αυτό επηρεάζει και το συνολικό κόστος του ηλεκτρικού αυτοκινήτου.
5. Η πυκνότητα ενέργειας, δηλαδή ο όγκος της αποθηκευμένης ενέργειας του συσσωρευτή προς τον όγκο και το βάρος του, είναι πολύ μικρή σε σχέση με την πυκνότητα ενέργειας της βενζίνης.
6. Αυτήν τη στιγμή το πλήθος των τοποθεσιών που μπορεί να φορτιστεί ένα ηλεκτρικό όχημα είναι μικρό, καθώς τα σημεία φόρτισης είναι σποραδικά σε σχέση με τα πρατήρια βενζίνης. Αυτό το πρόβλημα θα λυθεί με το άνοιγμα νέων σταθμών φόρτισης αλλά και με τη φόρτιση του οχήματος στην κατοικία.
7. Το συνολικό κόστος του ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι αυτήν τη στιγμή υψηλό. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί, με τις κυβερνήσεις να υλοποιούν φιλο-περιβαλλοντικές πολιτικές, όπως είναι η μείωση των τελών κυκλοφορίας για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είτε η

επιδότηση αγοράς ηλεκτρικού οχήματος με απόσυρση του συμβατικού κα.

2.3 Σύστημα ελέγχου μπαταρίας

Ένα σύστημα ελέγχου μπαταρίας εξασφαλίζει την απόδοση, την ασφάλεια και τη μακροζωία ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας μπαταρίας.

Βασικές παράμετροι που σχετίζονται με αυτό είναι η κατάσταση φόρτισης SOC(State Of Charge), που αποτελεί μέτρο της τρέχουσας χωρητικότητας και η κατάσταση υγείας SOH(State Of Health), που αποτελεί μέτρο της εκτιμώμενης διάρκειας ζωής της μπαταρίας.

- Κατάσταση φόρτισης: Εκφράζεται ως το κλάσμα με αριθμητή την υπολειπόμενη χωρητικότητα και παρονομαστή την ονομαστική χωρητικότητα μπαταρίας.
 $SOC = (\text{Remaining Capacity}) / (\text{Rated Capacity})$.
- Κατάσταση Υγείας: Είναι το κλάσμα με αριθμητή τη μέγιστη χωρητικότητα της μπαταρίας την τρέχουσα χρονική στιγμή και παρονομαστή την αρχική μέγιστη χωρητικότητα.
 $SOH = (\text{Aged Energy Capacity}) / (\text{Rated Energy Capacity})$.
- Κύκλος Μπαταρίας: Περιγράφει πόσες φορές μπορεί μια μπαταρία να εκφορτιστεί και να επαναφορτιστεί, μέχρι να χάσει τελείως τη χωρητικότητά της.

2.4 Συσσωρευτές ηλεκτρικής ενέργειας

Στο καθαρά ηλεκτρικό όχημα ο συσσωρευτής αποτελεί το μοναδικό στοιχείο αποθήκευσης ενέργειας και έχει το μεγαλύτερο κόστος, όγκο και βάρος στο αυτοκίνητο.

Ένας συσσωρευτής έχει δύο ή περισσότερες ηλεκτρικές στήλες που συνδέονται μεταξύ τους. Οι στήλες αποτελούνται από θετικά και αρνητικά ηλεκτρόδια που ενώνονται με ένα ηλεκτρολύτη και μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Όταν έχουμε επαναφορτιζόμενους συσσωρευτές, η χημική αντίδραση μπορεί να αντιστραφεί μέσω της αντιστροφής του ρεύματος.

Παρόλο που η έρευνα είναι συνεχιζόμενη, ακόμη δεν έχει βρεθεί συσσωρευτής που να βοηθά στην ευρεία χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων.

Γενικά, ο συσσωρευτής για το ηλεκτρικό όχημα μπορεί να θεωρηθεί ως μια κλειστή διάταξη που ικανοποιεί διάφορα κριτήρια απόδοσης.

Αυτά αφορούν την ενεργειακή πυκνότητα, την προσφερόμενη δύναμη και ενέργεια, τις τιμές της τάσης, την αποδοτικότητα όσον αφορά τα αμπερόρια, το κόστος, τη θερμοκρασία λειτουργίας, την εμπορική διαθεσιμότητα, τον αριθμό κύκλων ζωής, το ρυθμό εκφόρτισης και το ρυθμό επαναφόρτισης.

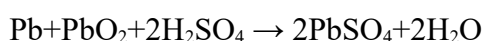
Οι συσσωρευτές μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες:

- Υδατοειδείς συσσωρευτές: Παραδείγματα είναι οι μολύβδου-οξέος, νικελίου σε διάφορους συνδυασμούς και οι μπαταρίες ροής όπως οι ψευδαργύρου/βρωμίου.
- Συσσωρευτές περιρρέουσας θερμοκρασίας λιθίου: Χαρακτηρίζονται από μικρό βάρος αλλά υψηλό κόστος.
- Συσσωρευτές υψηλής θερμοκρασίας: Εδώ ανήκουν οι συσσωρευτές λιθίου/θεικού άλατος, νατρίου/χλωριδίου μετάλλου και νατρίου/θείου. Είναι μεγάλης ενεργειακής αποδοτικότητας. Παρόλα αυτά, έχουν κάποιες τεχνικές δυσκολίες και υπάρχουν θέματα που αφορούν την ασφάλεια.

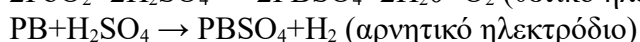
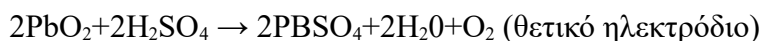
2.4.1 Συσσωρευτές Μολύβδου-Οξέος

Οι συσσωρευτές Μολύβδου-Οξέος είναι αρκετά κυρίαρχοι στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα καθώς αποτελούν μία από τις οικονομικότερες λύσεις. Επιπλέον, είναι αρκετά αξιόπιστοι, εύκολα ανακυκλώσιμοι και δεν χρειάζονται ανανέωση του ηλεκτρολύτη τους. Τα μειονεκτήματά τους είναι ότι μπορούν να καταστραφούν σε περίπτωση πλήρους εκκένωσης τους, έχουν μεγάλο βάρος (20% του συνολικού βάρους του αυτοκινήτου), έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής, περίπου στους 700 κύκλους και η φόρτιση τους είναι μια διαδικασία που επιτελείται σε πολλές φάσεις.

Συγκεκριμένα το θετικό ηλεκτρόδιο του συσσωρευτή είναι επιστρωμένο με διοξείδιο του μολύβδου και το αρνητικό καλύπτεται από σπογγώδη μολύβδο. Τα ηλεκτρόδια βυθίζονται σε ένα αραιωμένο διάλυμα θεικού οξέος. Κατά τη διάρκεια εκφόρτισης το θεικό οξύ αντιδρά με το μολύβδο και παράγεται νερό και θειικός μολύβδος, όπως φαίνεται στην παρακάτω αντίδραση:



Κατά τη φόρτιση του συσσωρευτή, η διαδικασία αντιστρέφεται και τα ηλεκτρόδια μετατρέπονται σε μολύβδο και διοξείδιο του μολύβδου, ενώ ο ηλεκτρολύτης σε θεικό οξύ. Ωστόσο, επιτελούνται και κάποιες ακόμα χημικές αντιδράσεις, καθώς ο μολύβδος και το διοξείδιο του μολύβδου δεν είναι σταθερά με το θεικό οξύ, έτσι γίνεται αργή αποσύνθεση με βάση τις επόμενες χημικές αντιδράσεις:



Με αυτό τον τρόπο, η μπαταρία οδηγείται σε κατάσταση «αυτοεκφόρτισης», δηλαδή μείωσης της αποθηκευμένης ενέργειας χωρίς τη σύνδεση των ηλεκτροδίων.

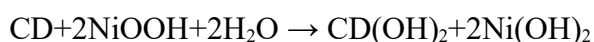
Η ονομαστική ενέργεια είναι 20–35 Wh/kg και η ισχύς 250 W/kg.



Σχήμα 2.3 Συσσωρευτής Μολύβδου-Οξέος

2.4.2 Συσσωρευτές Νικελίου-Καδμίου

Οι συσσωρευτές Νικελίου-Καδμίου αποτελούν τους κύριους αντιπάλους των Μολύβδου-Οξέος. Παρέχουν σχεδόν τη διπλάσια ενέργεια από τους Μολύβδου-Οξέος, η λειτουργία τους είναι ικανοποιητική σε χαμηλές θερμοκρασίες και αντέχουν σε πολλούς κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης, περίπου στους 2500 κύκλους. Έχουν αρκετά καλή αξιοπιστία και χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης. Ένα ακόμη πλεονέκτημα είναι ότι μπορούν να φορτιστούν σε μια ώρα σε επίπεδο μεγαλύτερο από 60%. Από την άλλη πλευρά, έχουν μεγάλο κόστος και εμφανίζουν το φαινόμενο “μνήμης”, δηλαδή αν δεν εκφορτιστούν πλήρως πριν την επομένη φόρτιση, μετά την πραγματοποίηση πολλαπλών φορτίσεων μειώνεται η χωρητικότητά τους. Στο θετικό ηλεκτρόδιο τους έχουν οξείδιο και υδροξείδιο του νικελίου και στο αρνητικό μεταλλικό κάδμιο. Ο ηλεκτρολύτης αποτελείται από υδατικό διάλυμα υδροξειδίου του καλίου και υδατικό διάλυμα υδροξειδίου νατρίου, όταν ο συσσωρευτής προορίζεται για λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλές θερμοκρασίες αντίστοιχα. Η χημική αντίδραση που επιτελείται κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι:



Η ονομαστική ενέργεια είναι 40–55Wh/kg και η ισχύς 125W/kg.

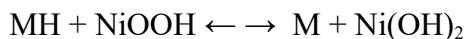


Σχήμα 2.4 Συσσωρευτής Νικελίου-Καδμίου

2.4.3 Συσσωρευτές Νικελίου-Υβριδίου Μετάλλου

Οι συσσωρευτές Νικελίου-Υβριδίου Μετάλλου έχουν παρόμοια απόδοση με τους συσσωρευτές Νικελίου-Καδμίου. Κοινό είναι ότι μπορούν να φορτιστούν σε μία ώρα. Οι πρώτοι έχουν, όμως, μεγαλύτερη χωρητικότητα, ονομαστική ενέργεια και ισχύ. Κατασκευαστικά η βασική τους διαφορά είναι ότι το αρνητικό ηλεκτρόδιο περιέχει υδρογόνο, το οποίο απορροφάται από υβρίδιο μετάλλου. Επομένως, υπάρχει ανεξαρτησία από το κάδμιο, γεγονός που τους καθιστά φιλικότερους για το

περιβάλλον. Στο θετικό ηλεκτρόδιο, το οξείδιο νικελίου γίνεται υδροξείδιο νικελίου κατά την εκφόρτιση και στο αρνητικό, απελευθερώνεται το υδρογόνο που είχε δεσμευτεί στο μέταλλο. Η χημική αντίδραση που πραγματοποιείται είναι :



Η ονομαστική ενέργεια είναι 65Wh/kg και η ισχύς 200W/kg .



Σχήμα 2.5 Συσσωρευτής Νικελίου-Υβριδίου Μετάλλου

2.4.4 Συσσωρευτές Ιόντων – Λιθίου και Λιθίου - Πολυμερούς

Οι συσσωρευτές λιθίου έχουν το μεγαλύτερο κόστος καθώς βρίσκονται στα πρώτα στάδια εξέλιξης τους, όμως έχουν τη μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα. Παρέχουν υψηλή ισχύ, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, ο χρόνος πλήρους φόρτισης είναι 2 ώρες και δεν εμφανίζουν το φαινόμενο “μνήμης”. Επίσης, έχουν μικρό βάρος. Ένα αρνητικό πέρα από την τιμή τους, είναι ότι σε υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να υποστούν αυτανάφλεξη.

Οι συσσωρευτές λιθίου-πολυμερούς περιέχουν λίθιο στο αρνητικό ηλεκτρόδιο και μία στρώση οξειδίου μετάλλου στο θετικό. Το λίθιο αντιδρά με το οξείδιο του μετάλλου παράγοντας οξείδιο του λιθίου και εκλύοντας ενέργεια. Το λίθιο λειτουργεί ως αντιδρούν και, ταυτόχρονα, κινείται μέσα στον ηλεκτρολύτη.

Ο συσσωρευτής ιόντων-λιθίου έχει στο θετικό του ηλεκτρόδιο μία στρώση οξειδίου μετάλλου ενώ στο αρνητικό ηλεκτρόδιο έχει λιθιούχο άνθρακα. Ως ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται υγρό οργανικό διάλυμα ή στερεό πολυμερές.

Για τους ιόντων-λιθίου συσσωρευτές η ονομαστική ενέργεια είναι 90Wh/kg και η ισχύς 300W/kg.



Σχήμα 2.6 Συσσωρευτής Λιθίου-Πολυμερούς



Σχήμα 2.7 Συσσωρευτής Ιόντων-Λιθίου

2.4.5 Υπερπυκνωτές

Ήδη από το 1950 οι ερευνητές έχουν αρχίσει να πειραματίζονται με τους υπερπυκνωτές. Ουσιαστικά αποτελούν μέσα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Αντί για χημικές ουσίες οι υπερπυκνωτές χρησιμοποιούν ένα είδος στατικού ηλεκτρισμού. Πλεονεκτήματά τους είναι ότι μπορούν να αποφορτιστούν πλήρως, τα υλικά τους είναι περισσότερο αξιόπιστα και λιγότερο ευάλωτα στις μεταβολές της θερμοκρασίας και οι επιδόσεις τους είναι προβλέψιμες. Λόγω όλων αυτών στο μέλλον είναι πολύ πιθανό να αντικαταστήσουν τους κοινούς συσσωρευτές.

2.5 Ηλεκτρικοί κινητήρες

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική, με τη βοήθεια του μαγνητικού πεδίου. Ουσιαστικά είναι ηλεκτρομηχανικές διατάξεις μετατροπής ενέργειας. Τα βασικότερα μέρη του ηλεκτροκινητήρα είναι το ηλεκτρικό σύστημα, το μηχανικό σύστημα και το μαγνητικό πεδίο που εμπλέκει τα ανωτέρω.

Ένας ηλεκτροκινητήρας αποτελείται από το δρομέα και το στάτη.

Ο δρομέας είναι το κινούμενο μέρος της μηχανής και μπορεί να μετατοπίζεται γραμμικά ή να περιστρέφεται. Σε αυτόν προσαρμόζονται κατάλληλα πυρήνας και τυλίγματα, μόνιμος μαγνήτης ή μαλακός σίδηρος.

Ο στάτης είναι το ακίνητο μέρος της μηχανής. Αποτελεί το πλαίσιο του κινητήρα και σε αυτόν είναι προσαρμοσμένοι ηλεκτρομαγνήτες ή μόνιμοι μαγνήτες μέσω των οποίων δημιουργείται μαγνητικό πεδίο. Οι ηλεκτρομαγνήτες αποτελούνται από ρευματοφόρους αγωγούς (τυλίγματα) που έχουν περιελχίσει γύρω από κάποιο σιδηρομαγνητικό υλικό (πυρήνα). Μεταξύ δρομέα και στάτη υπάρχει ένα διάκενο, που επιτρέπει τη σχετική κίνηση των δύο μερών και ρυθμίζει τη μαγνητική ροή που διαρρέει το μαγνητικό κύκλωμα της μηχανής.

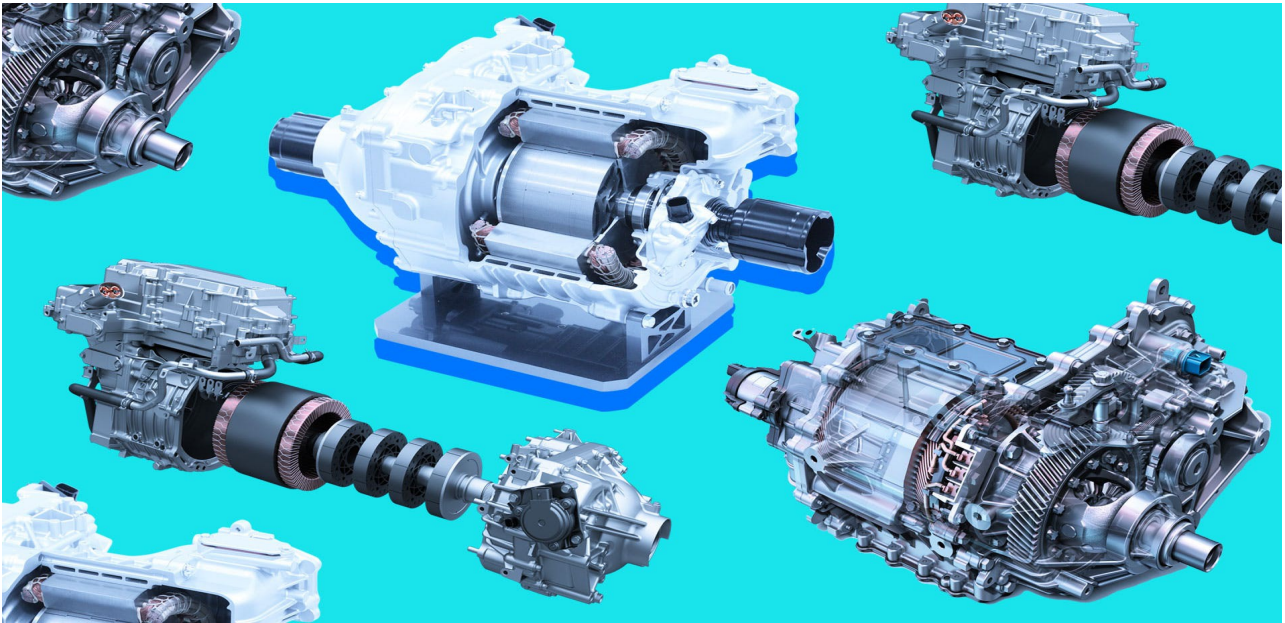
Οι ηλεκτρικοί κινητήρες χωρίζονται σε αυτούς που είναι συνεχούς ρεύματος και σε αυτούς που είναι εναλλασσόμενου ρεύματος. Ιστορικά, ξεκινούν οι συνεχούς ρεύματος λόγω μη δυνατότητας να μετατραπεί το συνεχές ρεύμα του συσσωρευτή σε εναλλασσόμενο. Σήμερα, οι σύγχρονες τεχνολογίες επιτρέπουν και τα δύο είδη κινητήρων, όμως οι συνεχούς ρεύματος εξακολουθούν να είναι ευρέως διαδεδομένοι, καθώς παρέχουν σταθερή ροπή και ισχύ για μεγάλο εύρος ταχυτήτων και η ταχύτητά τους είναι εύκολα ρυθμίσιμη. Τα μειονεκτήματα των συνεχούς ρεύματος είναι ότι απαιτούν τακτική συντήρηση, έχουν μεγάλο βάρος και όγκο, μεγάλο κόστος και χαμηλή απόδοση σε σχέση με τους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος.

2.5.1 Περιπτώσεις κινητήρων ηλεκτρικών οχημάτων

- **Κινητήρας συνεχούς ρεύματος**
Τα μέρη αυτού του κινητήρα είναι ο δρομέας, ο στάτης και οι ψήκτρες. Ο στάτης αποτελείται από μόνιμους μαγνήτες που δημιουργούν το μαγνητικό πεδίο. Ο δρομέας αποτελείται από τον ηλεκτροφόρο αγωγό και οι ψήκτρες έρχονται σε επαφή με το δρομέα, ώστε να τον τροφοδοτήσουν με ρεύμα. Όταν ο αγωγός βρίσκεται εντός μαγνητικού πεδίου και διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, υφίσταται δύναμη από το μαγνητικό πεδίο μετατοπίζοντας τον προς ορισμένη κατεύθυνση.
- **Κινητήρας συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες**
Τα τυλίγματα υψηλής τάσης τοποθετούνται στο στάτη του κινητήρα και στο δρομέα δημιουργείται το πεδίο με ένα μόνιμο μαγνήτη. Συγκριτικά με το συμβατικό κινητήρα συνεχούς ρεύματος είναι ακριβότερος αλλά είναι μικρότερος σε διαστάσεις, ευκολότερος στη συντήρηση και έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.
- **Κινητήρας μαγνητικής αντίστασης**
Σε αυτόν τον κινητήρα η ισχύς του ρεύματος μεταφέρεται στα τυλίγματα του στάτη και όχι του δρομέα. Σε σύγκριση με τους υπόλοιπους κινητήρες έχει λιγότερα υλικά, δεν έχει τυλίγματα στο δρομέα και μαγνήτες, έτσι μειώνεται η πιθανότητα να δυσλειτουργήσει.
- **Κινητήρας επαγωγής**
Αυτός είναι ένας κινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος. Το ηλεκτρικό ρεύμα του δρομέα που χρειάζεται, προκειμένου να υπάρξει η απαιτούμενη κίνηση του, δημιουργείται από την

ηλεκτρομαγνητική επαγωγή του μαγνητικού πεδίου στο στάτη. Αυτός ο κινητήρας δεν έχει ψήκτρες και έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει σε μεγάλες ταχύτητες.

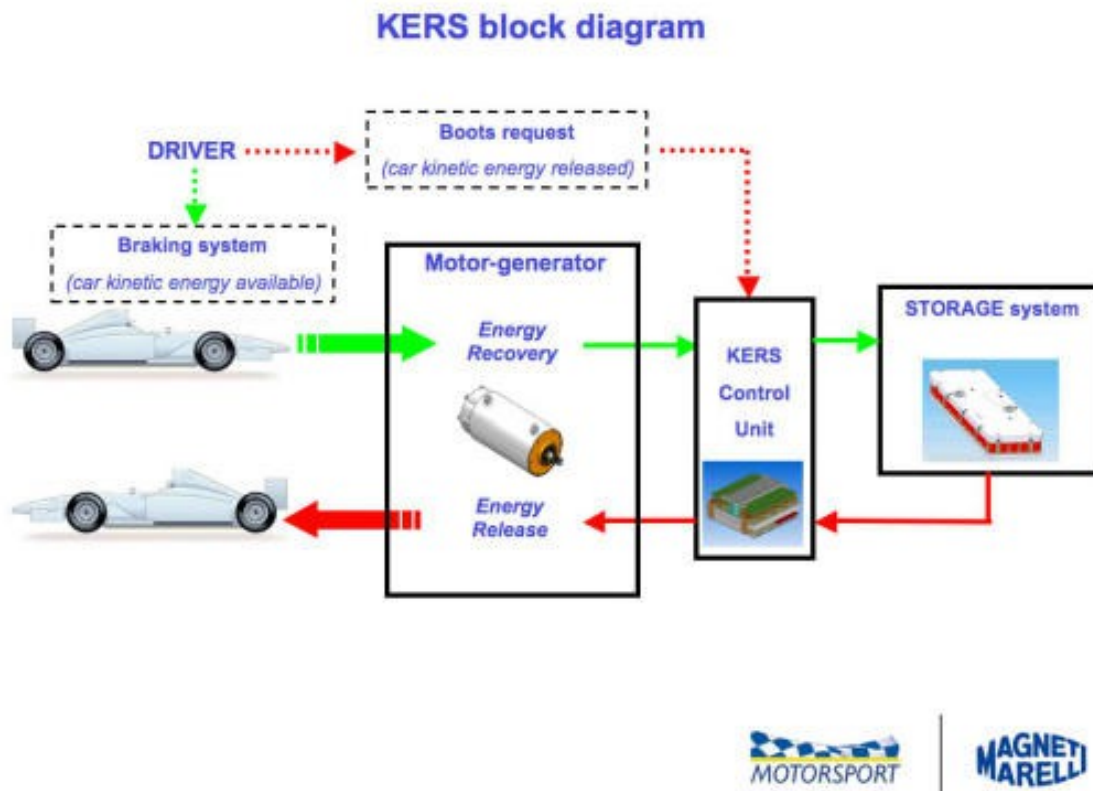
- Κινητήρας μόνιμου μαγνήτη
Ο στάτης είναι παρόμοιος με αυτόν του κινητήρα επαγωγής. Ο δρομέας έχει μόνιμους μαγνήτες προκειμένου να δημιουργήσει σταθερό μαγνητικό πεδίο. Ο στάτης έχει τυλίγματα, τα οποία συνδέονται σε πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος, ώστε να παραχθεί περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο.



Σχήμα 2.8 Κινητήρες ηλεκτρικών οχημάτων

2.6 Σύστημα φρεναρίσματος

Τα περισσότερα σύγχρονα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν ένα σύστημα επαναφοράς ενέργειας μέσω φρεναρίσματος. Πιο συγκεκριμένα, ενώ στα συμβατικά αυτοκίνητα η ενέργεια από το φρενάρισμα μετατρέπεται σε θερμότητα και χάνεται, στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ο κινητήρας τους έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει ως γεννήτρια και να μεταφέρει την κινητική ενέργεια κατά την διαδικασία του φρεναρίσματος στις μπαταρίες. Η τεχνολογία μετατροπής της κινητικής ενέργειας σε ηλεκτρική κατά το φρενάρισμα χρησιμοποιείται και στο μηχανοκίνητο αθλητισμό στην formula 1, επονομαζόμενο ως KERS(Kinetic Energy Recover System). Με το KERS φορτίζεται μια μπαταρία που βοηθά στην ταχύτερη επιτάχυνση του αυτοκινήτου όταν ενεργοποιηθεί.



Σχήμα 2.9 Τεχνολογία KERS στην formula 1

2.7 Σύγκριση περιβαλλοντικών επιπτώσεων ηλεκτρικού οχήματος - συμβατικού

Αν και ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο παρουσιάζεται φιλικό προς το περιβάλλον, πρέπει να εξεταστεί το γεγονός ότι η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παράγεται από ηλεκτρικό εργοστάσιο μη φιλικό προς το περιβάλλον. Τα κατασκευαστικά υλικά για το ηλεκτρικό όχημα είναι ίδια με το συμβατικό αν εξαιρέσουμε τα υλικά για την κατασκευή μπαταρίας και αμαξώματος. Ένα ακόμα στοιχείο που πρέπει να προσεχθεί είναι το γεγονός ότι στο τέλος της ζωής του ένα όχημα καταλήγει σε νεκροταφείο αυτοκινήτων όπου ανακυκλώνονται τα μέρη του. Το ίδιο πρέπει να ισχύει για τη μπαταρία του ηλεκτρικού αυτοκινήτου όπου πρέπει να αποσύρεται με ιδιαίτερη μέριμνα για το περιβάλλον καθώς αποτελείται από τοξικά και διαβρωτικά υλικά.

Για τα ηλεκτρικά οχήματα, τα ζημιόγωνα αέρια που εκπέμπονται στο περιβάλλον για την κατασκευή και χρήση τους είναι ελάχιστα σε σχέση με τα συμβατικά. Αυτό ισχύει, αν επιπλέον λάβουμε υπόψη ότι το ρεύμα θα παράγεται κυρίως σε υδροηλεκτρικά εργοστάσια δηλαδή η ενέργεια για την χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων θα παράγεται σε εργοστάσια φιλικά προς το περιβάλλον. Κάπου ενδιάμεσα όσον αφορά την ποσότητα ρύπανσης βρίσκονται τα υβριδικά που διαθέτουν και τα δύο είδη κινητήρων.

2.8 Κόστος ηλεκτρικού οχήματος

Το κόστος ενός αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος (BEV) κυμαίνεται μεταξύ 15.000 και 200.000 δολαρίων ενώ το κόστος των υβριδικών ξεκινάει από 35.000 και φτάνει τις 245.000 δολάρια.

Το κόστος των φορτιστών των ηλεκτρικών αυτοκινήτων ξεκινάει από το βασικό επίπεδο που είναι

δωρεάν και φτάνει σε περαιτέρω επίπεδα στα 1000 δολάρια.

Κατά την έρευνα της Statista το 2018 η χώρα με τη μεγαλύτερη πυκνότητα σταθμών φόρτισης στον κόσμο είναι η Ολλανδία. Η χώρα μας βρίσκεται σε πολύ χαμηλό επίπεδο, όμως το πλάνο είναι να δημιουργηθούν πάνω από 6000 σταθμοί φόρτισης μέσα στο 2020, στόχος που θα μπορέσει να υλοποιηθεί άμεσα όταν δοθούν κίνητρα για την απόκτηση ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου.



Σχήμα 2.10 Σταθμός φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος

2.9 Αλγόριθμοι φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος

Για να υπάρχει ευρεία χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων και αντικατάσταση των συμβατικών οχημάτων από αυτά πρέπει οι τρόποι φόρτισης να πληρούν κάποια κριτήρια. Αυτά είναι:

- Να είναι εύκολα υλοποιήσιμοι
- Να υπάρχει ασφάλεια(να μην υπάρξει πυρκαγιά ή ηλεκτροπληξία)
- Να έχουμε ταχεία και οικονομική φόρτιση
- Να υποστηρίζονται ποικίλες προδιαγραφές και πρότυπα
- Να υπάρχει έλεγχος των επιπέδων φόρτισης ώστε να μην καταρρεύσει το ηλεκτρικό δίκτυο

Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά στους διάφορους αλγορίθμους φόρτισης που έχουν προταθεί για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα και θα συγκριθούν ως προς τα διάφορα χαρακτηριστικά τους. Οι ερευνητές δεν μπορούν ακόμα να αποφασίσουν ποιος αλγόριθμος είναι ο καταλληλότερος για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων. Καθένας έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

- Μέθοδος συνεχούς ρεύματος(Constant Current):

Η μέθοδος συνεχούς ρεύματος ρυθμίζει την τάση εξόδου των συσκευών φόρτισης ή την αντίσταση σε σειρά με τη μπαταρία ώστε να διατηρεί το ρεύμα σταθερό. Θέτει την τιμή του ρεύματος σταθερή από την αρχή μέχρι το τέλος της φόρτισης. Για παράδειγμα, καθώς οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου

είναι εύκολο να πολωθούν κατά τη διάρκεια της συμβατικής φόρτισης, τόσο η συμβατική φόρτιση σταθερής τάσης όσο και η φόρτιση σταθερού ρεύματος θα κάνουν τον ηλεκτρολύτη να παράγει συνεχώς αέριο υδρογόνου-οξυγόνου. Κάτω από τη δράση της εσωτερικής υψηλής πίεσης, το οξυγόνο διεισδύει στο αρνητικό ηλεκτρόδιο και αλληλεπιδρά με την πλάκα καδμίου για να παράγει CdO, με αποτέλεσμα τη μείωση της χωρητικότητας της πλάκας ηλεκτροδίου. Καθώς η αποδεκτή χωρητικότητα του ρεύματος μειώνεται σταδιακά με την πρόοδο της διαδικασίας φόρτισης, γίνεται υπερφόρτιση της μπαταρίας στην τελική περίοδο φόρτισης. Το σταθερό ρεύμα προς το τέλος της φόρτισης χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον για την ηλεκτρόλυση του νερού ώστε να παραχθεί αέριο, κάνοντας την εσωτερική πίεση της μπαταρίας να αυξηθεί. Αυτό οδηγεί μελλοντικά σε μείωση της χωρητικότητας της μπαταρίας.

- Μέθοδος συνεχούς τάσης(Constant Voltage):

Είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος φόρτισης όπου η τάση μεταξύ των πόλων της μπαταρίας διατηρείται σε σταθερή τιμή. Το πλεονέκτημά εδώ είναι ότι με τις αλλαγές της κατάστασης φόρτισης της μπαταρίας, αν είναι κατάλληλη η καθορισμένη σταθερή τιμή τάσης, μπορεί να διασφαλιστεί ότι η μπαταρία θα είναι πλήρως φορτισμένη αλλά και ότι θα ελαχιστοποιηθεί η απώλεια αερίου και νερού.

- Παραλλαγή των αλγορίθμων συνεχούς ρεύματος και τάσης(BC-CC / CV)

Η παραλλαγή των αλγορίθμων φόρτισης CC / CV είναι η περαιτέρω εξέλιξη των CC / CV. Ο φορτιστής ώθησης (boost charger - BC) παίζει κυρίαρχο ρόλο. Αντί να χρησιμοποιεί τη σταθερή τάση και το σταθερό ρεύμα σε ολόκληρη την περίοδο φόρτισης, ο BC αυξάνει την απόδοση φόρτισης μεγιστοποιώντας την τάση κατά την πρώτη περίοδο. Μετά από αυτή την περίοδο, ο αλγόριθμος φόρτισης μεταβαίνει στην τυπική CC / CV [12]. Λόγω της αρχικής υψηλότερης τάσης φόρτισης, το BC-CC / CV μπορεί να φορτίσει τη μπαταρία γρηγορότερα από το CC / CV, αλλά απαιτείται να αποφορτιστεί πλήρως η μπαταρία πριν από τη φόρτιση, οπότε χρειάζεται κύκλωμα αποφόρτισης. Αυτός ο αλγόριθμος θα αυξήσει τον αριθμό των εξαρτημάτων και το κόστος. Επίσης όλα τα εξαρτήματα πρέπει να αντέχουν την τάση συγχρόνως. Η ανάγκη εκφόρτισης πριν από τη φόρτιση είναι σημαντική καθώς αυτό θα επηρεάσει την απόδοση του αλγορίθμου φόρτισης και τον κύκλο ζωής των μπαταριών. Σύμφωνα με το στατιστικό αποτέλεσμα έρευνας σχετικά με την επίδραση της αρχικής υψηλότερης τάσης φόρτισης στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας δείχνεται ότι δεν υπάρχει προφανής υποβάθμιση μέσα σε 500 κύκλους δοκιμών[12].

- Αλγόριθμος πολυ-βηματικής φόρτισης ρεύματος

Αυτή η μέθοδος διαιρεί την περίοδο φόρτισης σε διάφορα στάδια, που το καθένα έχει τη βέλτιστη ανάθεση ρεύματος, προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η απόδοση φόρτισης. Για τον προσδιορισμό του βέλτιστου ρεύματος φόρτισης για κάθε στάδιο, χρησιμοποιείται ο ασαφής ελεγκτής(fuzzy controller) που προσδιορίζει το ρεύμα από τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Η ταχύτητα φόρτισης είναι μεγαλύτερη και η απόδοση φόρτισης είναι υψηλότερη από εκείνη του CC / CV.

2.10 Τρόπος φόρτισης δίχως επαφή – ασύρματος (Non-contact charging method - wireless charging)

Η ασύρματη τεχνολογία είναι ένα είδος μεθόδου μεταφοράς ενέργειας μέσω αέρα μεταξύ του φορτιστή(στο οδόστρωμα) και της μπαταρίας(στο αυτοκίνητο), χρησιμοποιώντας το μαγνητικό συντονισμό του πηνίου και του πυκνωτή. Όλα αυτά προκειμένου να επιτευχθεί ένας αποδοτικός μετασχηματισμός ενέργειας.

2.10.1 Εφαρμογές

Η φόρτιση χωρίς επαφή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε χώρους στάθμευσης, γκαράζ, αυτοκινητόδρομους, τρένα υψηλής ταχύτητας ή ακόμη και σε λεωφορεία που εκτελούν κλειστά δρομολόγια. Κατά την τρέχουσα τεχνολογία, η εφαρμογή θα μπορούσε να εφαρμοστεί μόνο σε σταθερή περιοχή.

Πλεονεκτήματα

- Καθώς ο φορτιστής χωρίς επαφή μπορεί να φορτίζει το όχημα κατά τη διάρκεια της κίνησης, επιτρέπει στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα να έχουν μικρότερη μπαταρία, έτσι γίνονται πιο οικονομικά, ασφαλέστερα και περισσότερο βιώσιμα. Όλα αυτά δεδομένου ότι η μπαταρία είναι το κύριο κόστος του ηλεκτρικού οχήματος.

Μειονεκτήματα

- Για την ανάπτυξη του συστήματος φόρτισης χωρίς επαφή χρειάζεται τεράστια οικονομική υποστήριξη. Στο μεγαλύτερο ποσοστό, οι κατασκευαστές αυτοκινήτων χρησιμοποιούν τις παραδοσιακές μεθόδους φόρτισης για να μειώσουν το κόστος επαναφόρτισης. Θα μπορούσε, παράυτα, να αποτελέσει ανταγωνιστική προτεραιότητα μακροπρόθεσμα. Αρκεί οι κύριοι παίκτες της βιομηχανίας να αποφασίσουν να το πράξουν.
- Ο τομέας της ασφάλειας. Το σύστημα φόρτισης χωρίς επαφή βασίζεται στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η έκθεση στο πεδίο μπορεί να είναι επιβλαβής για τον άνθρωπο. Υπάρχει η πιθανότητα να επηρεαστούν και τα ζώα από την ακτινοβολία.
- Η αποτελεσματικότητα είναι επίσης μια σοβαρή πρόκληση για τους ερευνητές. Από τη σύγκριση μεταξύ του παραδοσιακού φορτιστή και του ασύρματου γίνεται γνωστό ότι ο τελευταίος χάνει στην αποδοτικότητα κατά 15% κατά τη φόρτιση [23].

2.11 Αλλαγή μπαταρίας

Μια μπαταρία μπορεί να αναπληρωθεί πλήρως σε δύο έως δέκα λεπτά μέσω της χρήσης ενός αυτόματου ή ημιαυτόματου συστήματος για την αλλαγή της εξαντλημένης μπαταρίας με μια πλήρως φορτισμένη. Αυτή η διαδικασία μπορεί να διεκπεραιωθεί μόνο από τεχνικό προσωπικό. Η διαδικασία προορίζεται να επιτύχει συγκρίσιμο χρόνο ανεφοδιασμού με ένα παραδοσιακό βενζινοκίνητο όχημα.

2.11.1 Δυνατότητα εξυπηρέτησης

Μια αλλαγή μπαταρίας μπορεί να ολοκληρωθεί σε περίπου τρία λεπτά με τη χρήση συνεχώς φορτισμένων μπαταριών που είναι αποθηκευμένες στο σταθμό.

Αν το φορτίο του τοπικού σταθμού φόρτισης είναι υπερβολικά υψηλό, η εταιρεία θα χρησιμοποιήσει την ανάλυση δεδομένων για να προσθέσει έναν άλλο σταθμό αλλαγής μπαταριών στην πιο βολική γεωγραφική θέση για τους χρήστες.

2.11.2 Έξοδα

Επί του παρόντος δεν υπάρχουν αναφορές για το κόστος υλοποίησης της εθνικής υποδομής αλλαγής μπαταριών. Το κόστος έρευνας και ανάπτυξης πιθανότατα να είναι πολύ υψηλό. Παρόλο που οι σταθμοί αλλαγής μπαταριών δεν χρειάζονται ιδιαίτερες φυσικές κατασκευές, το κόστος

εργασίας και το κόστος κεφαλαίου είναι πολύ υψηλό. Όλα αυτά δεδομένου ότι οι σταθμοί αλλαγής μπαταριών πρέπει να είναι επανδρωμένοι 24 ώρες την ημέρα.

2.11.3 Προβλήματα

Η μέθοδος αλλαγής μπαταριών για να είναι επιτυχής μελλοντικά, πρέπει κάποια σημαντικά προβλήματα να ξεπεραστούν. Για παράδειγμα, να βρεθεί το πόσοι σταθμοί αλλαγής είναι απαραίτητοι για την εξυπηρέτηση των πολλών ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην πόλη. Επίσης, χρειάζεται το μέγεθος της μπαταρίας μεταξύ διαφορετικών ηλεκτρικών οχημάτων να ενοποιηθεί.

2.12 Φόρτιση μέσω ηλιακών πάνελ

Το Sion είναι το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο μαζικής παραγωγής που τροφοδοτείται από την ηλιακή ενέργεια.

Το κύριο μοναδικό χαρακτηριστικό του αυτοκινήτου είναι η εμφάνισή του. Ολόκληρο το αυτοκίνητο καλύπτεται από ηλιακές κυψέλες στην επιφάνεια του. Αυτό συμβαίνει, σχεδόν παντού όπου μπορεί κανείς να παρατηρήσει, όπως στην οροφή, στις πλευρές ή στο πίσω μέρος.

Με την ομαλή ενσωμάτωση των ηλιακών κυψελών σε ολόκληρο το αμάξωμα, μπορούν να φορτιστούν εύκολα οι μπαταρίες του οχήματος από τον ήλιο. Έτσι, υπό ιδανικές συνθήκες, η χρήση της καθαρής ηλιακής ενέργειας θα μπορούσε να επιτύχει πρόσθετη εμβέλεια έως 34 χιλιόμετρα την ημέρα. Επίσης το Sion χρησιμοποιεί μονοκρυσταλλικά κύτταρα πυριτίου που παράγουν ενέργεια ακόμα και σε συννεφιασμένες ή δροσερές ημέρες. Στην κορυφαία επίδοση, η ενσωματωμένη μπαταρία μπορεί να παράγει μέχρι και 1,2KW. Εκτός από τη φόρτιση μέσω των ηλιακών πάνελ, το Sion προσφέρει επίσης φόρτιση plug in στο σπίτι ή στο χώρο εργασίας.

Κατά τη διάρκεια της ημέρας, τα ηλιακά κύτταρα μετατρέπουν την ενέργεια φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια και την αποθηκεύουν αυτόματα σε μπαταρία. Τη νύχτα ή τις βροχερές ημέρες, το όχημα μπορεί να φορτιστεί χρησιμοποιώντας το οικιακό εναλλασσόμενο ρεύμα για να εξασφαλιστεί η κανονική λειτουργία του.



Σχήμα 2.11 Ηλιακά πάνελ στο αμάξωμα

Πλεονεκτήματα

- Επιπρόσθετα των πλεονεκτημάτων που έχουν ήδη αναφερθεί για τα ηλεκτρικά οχήματα έχουμε πλεονάζουσα εξοικονόμησης ενέργειας. Το ηλιακό ηλεκτρικό όχημα καταναλώνει λιγότερη ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο.

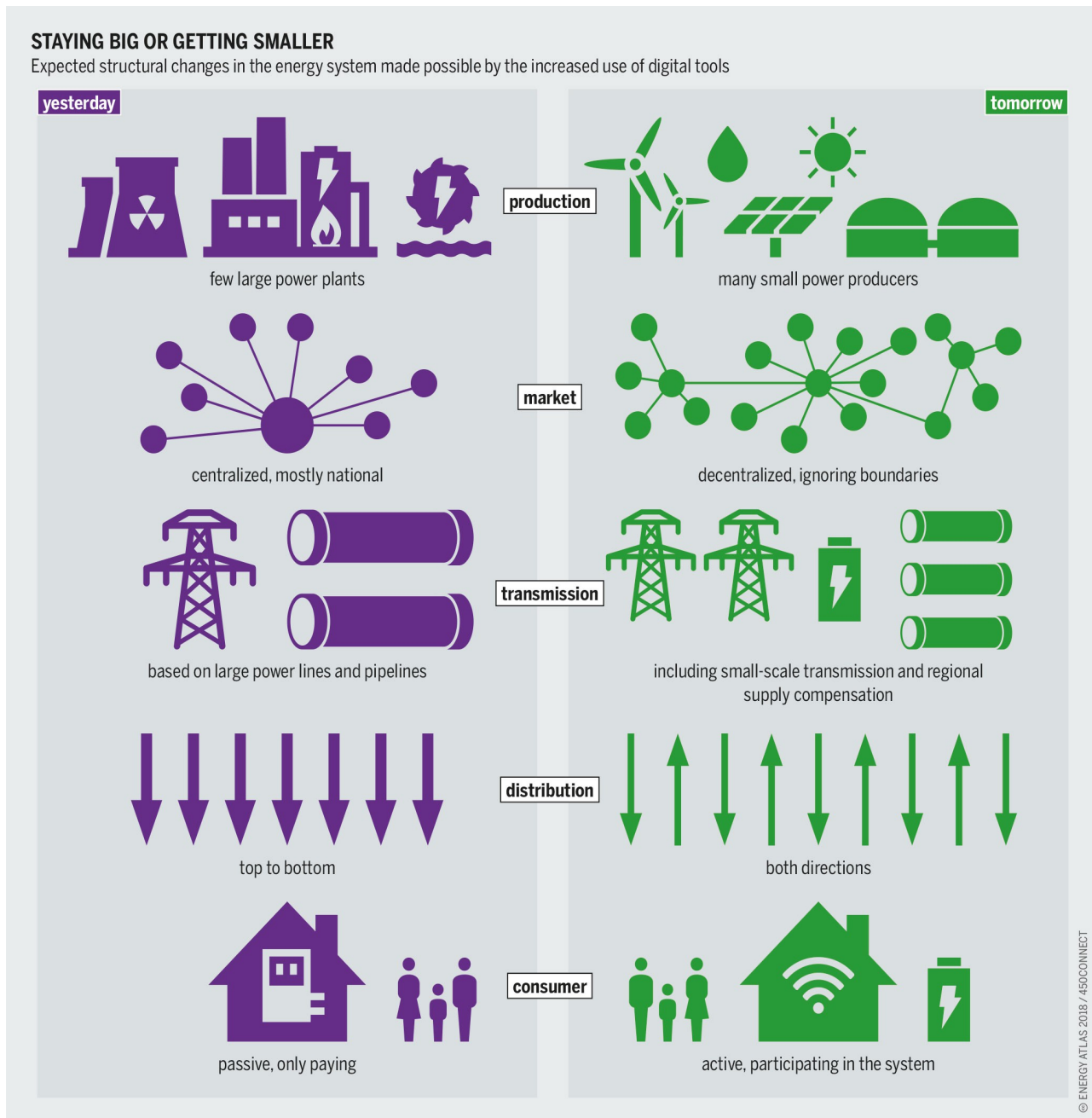
Μειονεκτήματα

- Η χαμηλή αποδοτικότητα της ηλιακής μετατροπής μαζί με το περιορισμένο μέγεθος του αυτοκινήτου (περίπου 5.5 τετραγωνικών μέτρων). Σε αβέβαιες καιρικές συνθήκες και με πιθανά προβλήματα ποιότητας παράγεται ακόμη λιγότερη ενέργεια.
- Ο τομέας του κόστους είναι επίσης ένα σημαντικό μέτρο για τον καταναλωτή. Για οχήματα με ηλιακούς συλλέκτες, το κόστος της έρευνας, της ανάπτυξης και του υλικού είναι υψηλό. Έτσι, το κίνητρο για αγορά μπορεί να είναι μικρότερο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΠΕΡΙ SMART GRID, LTE, MEC

3.1 Smart Grid

Ένα ευφυές δίκτυο είναι ένα ηλεκτρικό δίκτυο που περιλαμβάνει μια ποικιλία μέτρων λειτουργίας και ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των έξυπνων μετρητών, των έξυπνων συσκευών, των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των ενεργειακά αποδοτικών πόρων. Η ηλεκτρονική ρύθμιση της ισχύος και ο έλεγχος της παραγωγής και της διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν σημαντικές πτυχές του έξυπνου δικτύου.



Σχήμα 3.1 Χαρακτηριστικά έξυπνου δικτύου(δεξιά) απέναντι στο παραδοσιακό δίκτυο(αριστερά)

3.1.1 Χαρακτηριστικά ευφυούς δικτύου

Το έξυπνο δίκτυο αποτελεί ένα σύνολο απαντήσεων στις τρέχουσες και μελλοντικές προκλήσεις της παροχής ηλεκτρισμού.

3.1.1.1 Αξιοπιστία

Το έξυπνο δίκτυο χρησιμοποιεί τεχνολογίες όπως η εκτίμηση της κατάστασης του δικτύου, που βελτιώνουν την ανίχνευση σφαλμάτων και επιτρέπουν στο δίκτυο να αυτο-θεραπευτεί χωρίς την παρέμβαση τεχνικού προσωπικού. Αυτό εξασφαλίζει αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας και αυξημένη αντοχή σε φυσικές καταστροφές ή φυσικές επιθέσεις.

Τόσο το έξυπνο δίκτυο όσο και το παραδοσιακό διαθέτουν δυνατότητα χρήσης εναλλακτικών διαδρομών. Η συνδεσιμότητα των παραδοσιακών γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος εξασφαλίστηκε μέσω πολλαπλών διαδρομών. Αυτό όμως, δημιουργεί ένα πρόβλημα. Εάν η ροή ρεύματος στο δίκτυο υπερβεί τα όρια ενός συγκεκριμένου στοιχείου του, το ρεύμα μπορεί να μεταφερθεί σε άλλα στοιχεία του δικτύου υπερβαίνοντας τα όρια αυτών. Δημιουργείται έτσι ένα φαινόμενο ντόμινο και κατάρρευση του δικτύου. Μια τεχνική για την αποφυγή αυτού του προβλήματος είναι η απόρριψη του φορτίου με την κυλιόμενη διακοπή ρεύματος ή με τη μείωση της τάσης (brownout).

3.1.1.2 Ευελιξία στην τοπολογία του δικτύου

Η υποδομή μεταφοράς και διανομής ενέργειας του έξυπνου δικτύου θα είναι σε θέση να χειρίζεται πιθανές αμφίδρομες ενεργειακές ροές, επιτρέποντας την παραγωγή ενέργειας από τους ίδιους τους καταναλωτές μέσω φωτοβολταϊκών πάνελ σε στέγες κτιρίων, μέσω φόρτισης από τις ηλεκτρικές μπαταρίες ηλεκτρικών αυτοκινήτων, μέσω χρήσης ανεμογεννητριών και μέσω χρήσης άλλων πηγών.

Τα κλασσικά πλέγματα ενέργειας σχεδιάστηκαν για μια μονόδρομη ροή ηλεκτρικού ρεύματος, έτσι αν ένα τοπικό υποσύστημα παράγει περισσότερη ενέργεια από ότι καταναλώνει, η αντίστροφη ροή μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα. Ένα έξυπνο δίκτυο στοχεύει στην επίλυση αυτών των ζητημάτων.

3.1.1.3 Αποδοτικότητα

Από την ανάπτυξη των ευφύων δικτύων αναμένεται βελτίωση της αποτελεσματικότητας της ενεργειακής υποδομής. Ένα παράδειγμα στην διαχείριση της ζήτησης είναι η δυνατότητα απενεργοποίησης των κλιματιστικών κατά τη βραχυπρόθεσμη αύξηση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας στις ώρες αιχμής. Η συνολική επίδραση είναι λιγότερος πλεονασμός στις γραμμές μεταφοράς και διανομής και αποτελεσματικότερη χρήση των γεννητριών, με αποτέλεσμα χαμηλότερες τιμές ενέργειας.

3.1.1.4 Ρύθμιση φορτίου - εξισορρόπηση φορτίου

Το συνολικό φορτίο που συνδέεται με το ηλεκτρικό δίκτυο μπορεί να διαφέρει σημαντικά με την πάροδο του χρόνου. Με άλλα λόγια δεν είναι κατ' ανάγκη σταθερό ή αργά μεταβαλλόμενο. Για παράδειγμα, αν ξεκινήσει ένα δημοφιλές πρόγραμμα τηλεόρασης, εκατομμύρια τηλεοράσεις θα αρχίσουν να χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια αμέσως. Παραδοσιακά, για να υπάρξει ανταπόκριση σε μια ταχεία αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας, ταχύτερα από το χρόνο εκκίνησης μιας μεγάλης γεννήτριας, ορισμένες εφεδρικές γεννήτριες τίθενται σε κατάσταση αναμονής. Ένα

έξυπνο δίκτυο μπορεί να προειδοποιήσει όλες τις μεμονωμένες συσκευές τηλεόρασης ή έναν άλλο πελάτη υψηλής ισχύος, ώστε να υπάρξει προσωρινή μείωση του φορτίου για να δοθεί χρόνος για την εκκίνηση μιας μεγαλύτερης γεννήτριας ή πλήρη αποκοπή του σε περίπτωση ελλειπών ενεργειακών πόρων. Χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα μαθηματικά εργαλεία(με αλγόριθμους πρόβλεψης) είναι δυνατόν να προβλεφθεί πόσες γεννήτριες αναμονής πρέπει να χρησιμοποιηθούν. Στο παραδοσιακό πλέγμα η λύση έρχεται μόνο με τη χρήση περισσότερων γεννητριών αναμονής. Σε ένα έξυπνο δίκτυο, η μείωση του φορτίου σε ένα μικρό μέρος των καταναλωτών είναι ικανή να εξαλείψει το πρόβλημα.

Ενώ οι παραδοσιακές στρατηγικές εξισορρόπησης φορτίων έχουν σχεδιαστεί προκειμένου να αλλάξουν τα καταναλωτικά πρότυπα ώστε να καταστήσουν τη ζήτηση πιο ομοιόμορφη, οι εξελίξεις στην αποθήκευση ενέργειας και η ατομική παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας έχουν προσφέρει την δυνατότητα εξισορρόπησης των ηλεκτρικών δικτύων χωρίς να επηρεάζεται η συμπεριφορά των καταναλωτών.

3.1.1.5 Ρύθμιση της ζήτησης κατά τις ώρες αιχμής

Για να μειωθεί η ζήτηση κατά τις περιόδους αιχμής κατανάλωσης, διάφορες εφαρμογές μέτρησης και επικοινωνίας ενημερώνουν έξυπνες συσκευές στο σπίτι και την επιχείρηση, όταν η ζήτηση ενέργειας είναι υψηλή, και παρακολουθούν πόση ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται και πότε. Δίνεται στις εταιρείες κοινής ωφέλειας η δυνατότητα να μειωθεί η κατανάλωση, επικοινωνώντας απευθείας με τις συσκευές, προκειμένου να αποφευχθεί η υπερφόρτωση του συστήματος. Παράδειγμα είναι ένα βοηθητικό πρόγραμμα που μειώνει την ενεργειακή απαίτηση μιας ομάδας ηλεκτρικών σταθμών φόρτισης οχημάτων ή η αλλαγή των σημείων θερμοκρασίας των κλιματιστικών σε μια πόλη. Για να παρακινηθούν οι καταναλωτές να χρησιμοποιούν ενέργεια αποδοτικότερα, οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνονται κατά τη διάρκεια των υψηλών περιόδων ζήτησης και μειώνονται κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής ζήτησης.

Θεωρείται ότι οι καταναλωτές και οι επιχειρήσεις θα τείνουν να καταναλώνουν λιγότερο κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλής ζήτησης, εάν μπορούν να γνωρίζουν το υψηλό κόστος για τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας σε αυτές τις περιόδους. Όταν οι επιχειρήσεις και οι καταναλωτές βλέπουν ένα άμεσο οικονομικό όφελος από τη χρήση ενέργειας σε περιόδους εκτός αιχμής, είναι πιθανότατο να γίνουν πιο αποδοτικοί ενεργειακά.

3.1.1.6 Βιωσιμότητα

Η βελτιωμένη ευελιξία του έξυπνου δικτύου επιτρέπει μεγαλύτερη διείσδυση στο σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως είναι η ηλιακή και η αιολική ενέργεια. Η παραδοσιακή υποδομή δικτύου δεν έχει κατασκευαστεί για να επιτρέπει πολλά κατανεμημένα σημεία τροφοδοσίας. Οι ταχείες διακυμάνσεις της κατανεμημένης παραγωγής, που παρουσιάζονται για παράδειγμα λόγω του συννεφιασμένου καιρού, παρουσιάζουν σημαντικές προκλήσεις για τους μηχανικούς που πρέπει να εξασφαλίσουν σταθερά επίπεδα ισχύος μέσω της διαφοροποίησης της παραγωγής των πιο ελεγχόμενων γεννητριών, όπως είναι οι υδροηλεκτρικές.

3.1.1.7 Ενεργοποίηση αγοράς ενέργειας

Το έξυπνο δίκτυο επιτρέπει τη συστηματική επικοινωνία μεταξύ των προμηθευτών και των καταναλωτών και επιτρέπει και στους δύο να είναι πιο ευέλικτοι στις στρατηγικές τους. Μόνο οι καταναλωτές με κρίσιμα φορτία θα πληρώσουν ακριβές τιμές κατά την περίοδο αιχμής. Έτσι οι καταναλωτές θα είναι σε θέση να είναι πιο προσεκτικοί όταν χρησιμοποιούν ενέργεια. Οι

γεννήτριες με μεγαλύτερη ευελιξία θα είναι σε θέση να πωλούν ενέργεια στρατηγικά για μέγιστο κέρδος, ενώ οι ανελαστικές γεννήτριες, όπως ατμοστρόβιλοι και ανεμογεννήτριες, θα λαμβάνουν διαφορετικό τιμολόγιο με βάση το επίπεδο ζήτησης και την κατάσταση των άλλων γεννητριών που λειτουργούν εκείνη τη στιγμή. Σε οικιακό επίπεδο, διάφορες ηλεκτρικές συσκευές θα είναι σε θέση να ελαχιστοποιήσουν το ενεργειακό κόστος προσαρμόζοντας τη χρήση τους στις χαμηλές ώρες ζήτησης.

3.1.1.8 Υποστήριξη ανταπόκρισης ζήτησης

Η υποστήριξη ανταπόκρισης ζήτησης επιτρέπει στους παραγωγούς και τα φορτία να αλληλεπιδρούν με αυτοματοποιημένο τρόπο σε πραγματικό χρόνο, συντονίζοντας τη ζήτηση για να μειώσουν το διάστημα αιχμής της. Η μείωση της ποσότητας της ζήτησης κατά τις ώρες αιχμής εξαλείφει το κόστος προσθήκης εφεδρικών γεννητριών, μειώνει τη φθορά και παρατείνει τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού. Επιτρέπει, επίσης, στους χρήστες να μειώνουν τους λογαριασμούς ενέργειας προγραμματίζοντας τις συσκευές χαμηλής προτεραιότητας να χρησιμοποιούν ενέργεια μόνο όταν είναι φθηνότερη.

Τελικά, μέσω τους ευφυούς δικτύου ενέργειας υπάρχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

1. Ταυτόχρονη ύπαρξη της κεντρικής και αποκεντρωμένης παραγωγής, που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ανάγκης για άνθρακα και την αποτελεσματική διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας.
2. Ρύθμιση του φορτίου μέσω της επιλεκτικής διαχείρισης των καταναλωτών και παραγωγών κατά τις ώρες αιχμής.
3. Μείωση του κόστους ενέργειας χρησιμοποιώντας τιμολόγια φθηνότερα κατά τις χαμηλές περιόδους ζήτησης και ακριβότερα όταν υπάρχει μεγάλη ζήτηση.
4. Αυτο-θεραπεία του δικτύου σε περιπτώσεις προβλήματος μέσω της έξυπνης διαχείρισης του.
5. Συμμετοχή των χρηστών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω Α.Π.Ε χάρη στη δυνατότητα αμφίδρομης μεταφοράς ενέργειας.

3.1.2 Τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες του ευφυούς δικτύου για τη διασύνδεση ηλεκτρικών οχημάτων

Κάποιες κοινές προδιαγραφές για όλες τις τεχνολογίες επικοινωνιών του ευφυούς δικτύου είναι οι εξής:

1. η διεκπεραιωτική ικανότητα του καναλιού (throughput), που σχετίζεται με το διαθέσιμο εύρος ζώνης
2. η καθυστέρηση μετάδοσης(latency)
3. η αξιοπιστία
4. η ασφάλεια των δεδομένων

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν διάφορα επικοινωνιακά πρότυπα που έχουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά για τη διασύνδεση ηλεκτρικών οχημάτων με το ευφυές δίκτυο:

3.1.2.1 Zigbee



Σχήμα 3.2 Zigbee

Το Zigbee είναι πρωτόκολλο φυσικού στρώματος και στρώματος ζεύξης δεδομένων βασισμένο στο πρότυπο IEEE 802.15.4 για ασύρματες επικοινωνίες μικρών αποστάσεων 10-50m, με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων περί τα 250 kbps. Λειτουργεί στις φασματικές περιοχές 2.4 GHz και 868-915 MHz και χρησιμοποιεί διαμόρφωση OQPSK με μέγιστη ισχύ εκπομπής 1mW.

Πλεονεκτήματα:

- χαμηλή κατανάλωση ενέργειας
- δυνατότητα να έρθει σε αδρανή κατάσταση εξοικονομώντας ενέργεια
- ικανοποιητικός ρυθμός μετάδοσης
- μικρή πολυπλοκότητα
- χαμηλό κόστος εγκατάστασης
- Η επεκτασιμότητα του δικτύου επιτυγχάνεται μέσω πολυ-βηματικής επικοινωνίας και δρομολόγησης
- χαμηλός χρόνος απόκρισης από αδρανή κατάσταση
- δυνατότητα αυτο-οργάνωσης μέσω πρωτοκόλλου δυναμικής δρομολόγησης
- δυνατότητα υψηλού αριθμού κόμβων μέχρι 65.000

Μειονεκτήματα:

- Μικρές υπολογιστικές δυνατότητες των συσκευών που το χρησιμοποιούν, λόγω του μικρού μεγέθους πλαισίου που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο για να υπάρχει μικρή κατανάλωση ενέργειας από τους κόμβους
- καθυστέρηση στην επεξεργασία και αποστολή δεδομένων λόγω του μικρού μεγέθους πλαισίου
- παρεμβολή από άλλες τεχνολογίες στην ίδια φασματική ζώνη λόγω της μικρής ισχύος εκπομπής.

3.1.2.2 Κυψελωτές επικοινωνίες

Η αμφίδρομη ροή δεδομένων μπορεί να επιτευχθεί μέσω των διαθέσιμων τεχνολογιών κινητών επικοινωνιών GSM, GPRS/EDGE, UMTS, LTE(4G). Οι δύο πρώτες τεχνολογίες προσφέρουν μόνο υποστήριξη μετάδοσης δεδομένων, ενώ οι δύο τελευταίες είναι ευρυζωνικού χαρακτήρα και προσφέρουν υπηρεσίες πολυμέσων.

Πλεονεκτήματα:

- Αξιοποιείται η ήδη υπάρχουσα υποδομή κυψελωτών δικτύων κινητών επικοινωνιών και δεν χρειάζεται να εγκατασταθεί επιπλέον εξοπλισμός που να παρέχει ευφυία στο δίκτυο, μειώνοντας έτσι το κόστος
- Τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών παρέχουν σχεδόν πλήρη πληθυσμιακή κάλυψη
- Έχουν τη δυνατότητα να διαχειριστούν εφαρμογές μεγάλου όγκου δεδομένων
- Έχουν υψηλά επίπεδα ασφάλειας των δεδομένων

Μειονεκτήματα:

- Οι εταιρίες που διαχειρίζονται τις κινητές επικοινωνίες μπορεί να προσφέρουν το δίκτυο τους ενδεχομένως για υψηλό οικονομικό τίμημα.
- Υπάρχει πιθανότητα να απορριφθεί η μετάδοση δεδομένων σε περιόδους αιχμής του δικτύου όταν ενεργείται αλληλεπίδραση από πολλούς πελάτες των εταιρειών κινητής τηλεφωνίας
- Το ίδιο μπορεί να συμβεί από τη σύνδεση στο δίκτυο αμέτρητων έξυπνων συσκευών και μετρητών
- Θα πρέπει να γίνει διαφορετικός χαρακτηρισμός των διαφόρων υπηρεσιών προκειμένου να ανατεθούν καταλληλότερα οι πόροι του συστήματος. Για παράδειγμα ο κύριος όγκος δεδομένων για την ανθρώπινη επικοινωνία επικεντρώνεται στη ζεύξη downlink. Από την άλλη πλευρά οι επικοινωνίες ευφυούς δικτύου επικεντρώνονται στη ζεύξη uplink

3.1.2.3 Powerline communications(PLC)

Είναι η ενσύρματη τεχνολογία που χρησιμοποιεί τα καλώδια παροχής ηλεκτρικού ρεύματος για τη μετάδοση τηλεπικοινωνιακών σημάτων. Το πρότυπο στενής ζώνης PLC (NB-PLC) χρησιμοποιεί τη φασματική ζώνη 1-500 KHz παρέχοντας ρυθμούς δεδομένων μέχρι 1Mbps με μέγιστη απόσταση μετάδοσης 1.5 km. Η τεχνολογία PLC είναι από τις επικρατέστερες για τη διασύνδεση μετρητών και συγκεντρωτών στο ηλεκτρικό δίκτυο χαμηλής τάσης, ενώ παρέχεται και η δυνατότητα της δικτύωσης μεταξύ οικιακών ευφυών συσκευών.

Πλεονεκτήματα:

- Η ήδη υπάρχουσα υποδομή των καλωδίων ηλεκτρικού ρεύματος δίνει τη δυνατότητα να αποφευχθεί το κόστος εγκατάστασης νέας τηλεπικοινωνιακής υποδομής.
- Μεγάλη γεωγραφική κάλυψη

Μειονεκτήματα:

- Εισάγεται μεγάλη εξασθένηση και παραμόρφωση λόγω του καλωδίου ισχύος

- Για να αντιμετωπιστεί το προηγούμενο μειονέκτημα χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν επαναλήπτες για επικοινωνία μεγαλύτερη του ενός χιλιομέτρου, κάτι που αυξάνει το κόστος.
- Η μετάδοση δεδομένων είναι ευάλωτη σε πτώση τάσης
- Δεν δύναται τα δεδομένα να ακολουθήσουν εναλλακτικές διαδρομές
- Δεν μπορούν να επιτευχθούν υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης

3.1.2.4 Ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (DSL)

Είναι η ενσύρματη τεχνολογία μετάδοσης, όπου το χάλκινο τηλεφωνικό καλώδιο χρησιμοποιείται για ευρυζωνικές υπηρεσίες, με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων μέχρι 52Mbps στο φυσικό στρώμα. Ο ρυθμός μετάδοσης μειώνεται όσο αυξάνεται η απόσταση και αυτή δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 3.5χλμ.

Πλεονεκτήματα:

- Χάρης στην ήδη υπάρχουσα τηλεπικοινωνιακή υποδομή δεν χρειάζεται επιπλέον κόστος για εγκατάσταση νέας υποδομής
- Δίνεται η δυνατότητα να διαχειριστεί εφαρμογές μεγάλου όγκου δεδομένων
- Υπάρχουν υψηλά επίπεδα ασφάλειας των δεδομένων

Μειονεκτήματα:

- Δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν εφαρμογές σε αραιοκατοικημένες περιοχές
- Υπάρχει ο κίνδυνος συμφόρησης δεδομένων όταν βρισκόμαστε στις ώρες αιχμής και αλληλεπιδρούν πολλοί πελάτες που χρησιμοποιούν DSL
- Πρέπει οι εταιρείες ηλεκτρισμού να καταβάλλουν χρηματικό αντίτιμο στις εταιρείες παροχής DSL

SMART GRID COMMUNICATIONS TECHNOLOGIES

Technology	Spectrum	Data Rate	Coverage Range	Applications	Limitations
GSM	900 - 1800 MHz	Up to 14.4 Kbps	1-10 km	AMI, Demand Response, HAN	Low data rates
GPRS	900 - 1800 MHz	Up to 170 kbps	1-10 km	AMI, Demand Response, HAN	Low data rates
3G	1.92-1.98 GHz 2.11-2.17 GHz (licensed)	384 Kbps-2 Mbps	1-10 km	AMI, Demand Response, HAN	Costly spectrum fees
WiMAX	2.5 GHz, 3.5 GHz, 5.8 GHz	Up to 75 Mbps	10-50 km (LOS) 1-5 km (NLOS)	AMI, Demand Response	Not widespread
PLC	1-30 MHz	2-3 Mbps	1-3 km	AMI, Fraud Detection	Harsh, noisy channel environment
ZigBee	2.4 GHz- 868 - 915 MHz	250 Kbps	30-50 m	AMI, HAN	Low data rate, short range

Πίνακας 3.1 Σύγκριση τεχνολογιών Smart Grid

3.1.3 Θέματα που προκύπτουν από την ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο ευφυές δίκτυο

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν κάποια σημαντικά ζητήματα που πρέπει να εξεταστούν κατά την

ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων στο ευφύες δίκτυο:

3.1.3.1 Ασφάλεια κατά τη διάρκεια της φόρτισης

Αφορά την προστασία της ανθρώπινης ζωής ή την πρόκληση πυρκαγιάς εάν οι ακροδέκτες είτε στη μεριά του φορτιστή είτε στη μεριά του οχήματος δεν έχουν συνδεθεί σωστά. Χρειάζεται ένα σύστημα που θα ελέγχει εάν οι ακροδέκτες έχουν συνδεθεί σωστά όπως και το ότι υπάρχει γείωση. Αν πληρούνται αυτές οι προϋποθέσεις θα ξεκινάει η διαδικασία φόρτισης.

3.1.3.2 Προστασία του ηλεκτρικού δικτύου από τη σύνδεση υπέρογκου φορτίου

Αφορά την περίπτωση που πολλαπλοί χρήστες ηλεκτρικών οχημάτων προσπαθούν να φορτίσουν το όχημα τους. Εάν οι χρήστες του ηλεκτρικού δικτύου φτάσουν ένα κρίσιμο επίπεδο είναι πιθανό να προκληθεί κατάρρευση του ηλεκτρικού δικτύου. Για αυτό χρειάζεται ένας μηχανισμός ελέγχου ο οποίος θα ελέγχει το φορτίο και θα διαμοιράζει κατάλληλα το ρεύμα ή θα διακόπτει την παροχή ανάλογα με τις ανάγκες του δικτύου.

3.1.3.3 Δυνατότητα αυτόματης πληρωμής κατά τη διάρκεια της φόρτισης

Αφορά τη δυνατότητα, η χρέωση για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων να γίνεται αυτόματα χωρίς τη μεσολάβηση του ανθρώπου. Το ευφύες δίκτυο κρίνεται κατάλληλο για κάτι τέτοιο καθώς παρέχει τη δυνατότητα να μεταφέρεται σημαντικός όγκος δεδομένων παράλληλα με την παροχή ισχύος στους καταναλωτές.

3.1.3.4 Δυνατότητα επιστροφής ενέργειας πίσω στο δίκτυο από τα ηλεκτρικά οχήματα

Σε περίπτωση που η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας υπερκαλύψει την προσφορά, η συχνότητα λειτουργίας του δικτύου μεταβάλλεται, κάτι που μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες τόσο για το δίκτυο όσο και για τις συσκευές που είναι συνδεδεμένες σε αυτό. Για να αντιμετωπιστεί, παραδοσιακά χρησιμοποιούνται εφεδρικές γεννήτριες. Με την ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο μπορεί να υπάρχει μεταφορά ενέργειας από αυτά στο δίκτυο δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στις εφεδρικές γεννήτριες να προετοιμαστούν ή να αποφευχθεί η χρήση τους εξ' ολοκλήρου.

3.2 LTE

3.2.1 Εισαγωγή

Το δίκτυο LTE(Long Term Evolution) γνωστό και ως 4G αποτελεί εξέλιξη του δικτύου 3G. Ήρθε για να καλύψει ανάγκες εφαρμογών που δεν μπορούσαν να υποστηριχτούν από το 3G. Παραδείγματα είναι οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης, η καλύτερη διαχείριση του φάσματος και η χαμηλή καθυστέρηση. Το LTE υποστηρίζει μεγάλο εύρος τερματικών όπως είναι οι υπολογιστές, τα κινητά τηλέφωνα, οι ταμπλέτες, οι κάμερες κα.

Οι πρώτες προδιαγραφές για το LTE ολοκληρώθηκαν το 2008 με την έκδοση 8 της 3GPP. Αυτή η έκδοση τέθηκε σε εφαρμογή το 2009. Αργότερα παρουσιάστηκαν καινούργιες εκδόσεις που φτάνουν μέχρι την 14. Αυτές δεν επέφεραν σημαντικές αλλαγές αλλά βελτιστοποίησαν τις προηγούμενες εκδόσεις ως προς την αύξηση των ρυθμών μετάδοσης και επέτρεψαν την υποστήριξη νέων υπηρεσιών. Η έκδοση 15 της 3GPP αφορά το δίκτυο 5G που θα μπορεί να επιτρέψει την εκτέλεση ακόμα πιο απαιτητικών εφαρμογών.

3.2.2 Αρχιτεκτονική LTE

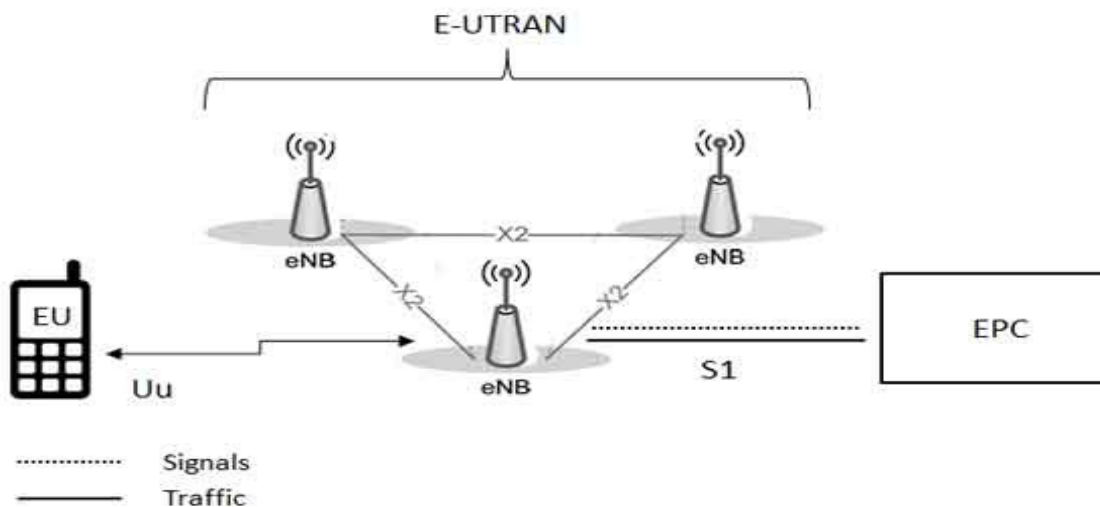
Όπως συμβαίνει και στα συστήματα προηγούμενων γενεών, διακρίνονται δύο οντότητες:

- i) Το δίκτυο ραδιοπρόσβασης (Radio Access Network – RAN), το οποίο επιτρέπει των επικοινωνία των τερματικών με τους σταθμούς βάσης
- ii) το δίκτυο κορμού (Core Network CN), με το οποίο συνδέονται οι σταθμοί βάσης με το υπόλοιπο εξωτερικό δίκτυο.

Στην ορολογία του LTE το RAN καλείται E-UTRAN(Evolved UTRAN) και το CN καλείται EPC(Evolved Packet Core).

3.2.2.1 E-UTRAN

Το E-UTRAN αποτελείται από τους σταθμούς βάσης που ονομάζονται eNB (evolved Node B) και τα τερματικά που στην ορολογία της 3GPP καλούνται UE (User Equipment). Η επικοινωνία μεταξύ των UEs με τον εκάστοτε eNB γίνεται μέσω της διεπαφής Uu, ενώ οι eNBs συνδέονται μεταξύ τους μέσω των διεπαφών X2. Η επικοινωνία μεταξύ των eNBs και του EPC γίνεται μέσω της διεπαφής S1. Η διεπαφή Uu μεταφέρει δεδομένα χρήστη και σηματοδοσίας στις κατευθύνσεις Uplink (UL) και Downlink (DL), ενώ ο κύριος ρόλος της διεπαφής X2 είναι η σηματοδοσία και η προώθηση πακέτων μεταξύ γειτονικών eNBs σε περιπτώσεις μεταπομπής. Η διεπαφή S1 μεταφέρει τόσο δεδομένα χρήστη όσο και ελέγχου μεταξύ του E-UTRAN και του EPC.



Σχήμα 3.3 Αρχιτεκτονική E-UTRAN

3.2.2.2 EPC

Το EPC αποτελείται κυρίως από τη μονάδα διαχείρισης κινητικότητας (Mobility Management Entity – MME), την πύλη εξυπηρέτησης (Serving Gateway – S-GW), την πύλη του δικτύου πακέτων (Packet Data Network Gateway – P-GW) και τον οικείο εξυπηρετητή συνδρομητών (Home Subscriber Server – HSS).

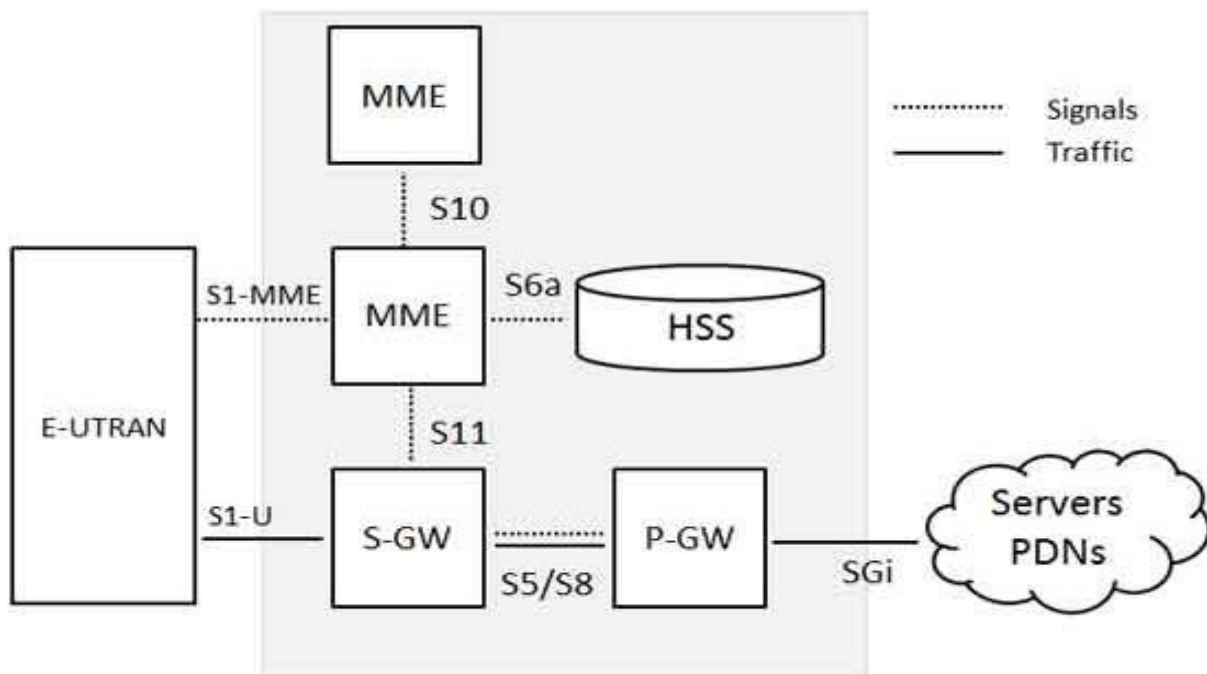
Η διεπαφή S1-U μεταφέρει τα δεδομένα του στρώματος χρήστη και από τη διεπαφή S1-MME διέρχονται μηνύματα σηματοδοσίας του στρώματος ελέγχου. Συνεπώς, για το στρώμα χρήστη η S-GW αποτελεί το σημείο επαφής μεταξύ των οντοτήτων E-UTRAN και EPC, με κύριο ρόλο την

προώθηση πακέτων από και προς τα τερματικά

Μέσω της διεπαφής SGi συνδέεται η P-GW και επομένως ο EPC με τα εξωτερικά δίκτυα. Κύρια λειτουργία της P-GW είναι η απόδοση διευθύνσεων και προθεμάτων IP στα UEs, ώστε αυτά να αποκτήσουν πρόσβαση στο διαδίκτυο. Η διεπαφή που συνδέει τις S-GW και P-GW είναι η S5 σε περίπτωση που οι δύο συσκευές βρίσκονται στο ίδιο δίκτυο ή η S8 αν ανήκουν σε διαφορετικό.

Η MME συνδέει το E-UTRAN με τον EPC σχετικά με τις λειτουργίες του στρώματος ελέγχου. Επεξεργάζεται τη σηματοδότηση μεταξύ του UE και του EPC σχετικά με την κινητικότητα και την ασφάλεια της πρόσβασης στο E-UTRAN. Για την υποστήριξη κινητικότητας, η MME επικοινωνεί με κάποια S-GW μέσω της διεπαφής S11, ενώ συνδέεται και με άλλες MMEs με διεπαφές S10, οι οποίες παίζουν ρόλο κατά τη μεταπομπή ενός UE μεταξύ διαφορετικών MMEs.

Ο HSS αποτελεί μία βάση δεδομένων, η οποία περιέχει τα δεδομένα των συνδρομητών που εξυπηρετούνται από το δίκτυο, όπως το προφίλ QoS(Quality of Service) και πληροφορίες για τις P-GW και τις MME, με τις οποίες μπορεί να συνδεθεί το UE.



Σχήμα 3.4 Αρχιτεκτονική EPC

3.2.3 LTE και επικοινωνίες V2X

Ακολούθως, παρουσιάζονται κάποια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα όσον αφορά τη χρήση των συστημάτων LTE σε σχέση με τις επικοινωνίες V2X:

Πλεονεκτήματα

- Το LTE προσφέρει εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας (QoS), όπως καθυστέρηση ή ρυθμό μετάδοσης, ακόμη και σε συνθήκες υψηλού φορτίου.
- Επιτρέπει τη μετάδοση σε μέρη όπου δεν υπάρχει οπτική επαφή παρέχοντας μεγάλη εμβέλεια.
- Υπάρχει εκτενής διαθέσιμη υποδομή δικτύων LTE παγκοσμίως, οπότε το κόστος εγκατάστασης των εφαρμογών V2X είναι μικρό.

Μειονεκτήματα

- Η καθυστέρηση που υφίστανται τα μηνύματα αυξάνεται όταν αλληλεπιδρούν πολλοί χρήστες με το δίκτυο ανά κυψέλη. Μολονότι το QoS παραμένει ικανοποιητικό για ευρυζωνικές εφαρμογές, η αύξηση της καθυστέρησης αποτελεί μείζον πρόβλημα για τις εφαρμογές V2X.
- Για να επιτευχθεί η μετάδοση μηνυμάτων μεταξύ κάποιου χρήστη και των υπολοίπων, η ροή δεδομένων πρέπει να διασχίσει όλη την υποδομή του δικτύου κορμού. Η καθυστέρηση εξαρτάται από την τηλεπικοινωνιακή κίνηση που εξυπηρετεί το δίκτυο κορμού.
- Τα αυτοκίνητα πολλές φορές μεταδίδουν μικρά μηνύματα προς το δίκτυο προκειμένου να ενημερώσουν για διάφορα συμβάντα που τα αφορούν. Το LTE δεν είναι κατάλληλο για μεταδόσεις μικρών μηνυμάτων και δεν επιτυγχάνει βέλτιστη αξιοποίηση των πόρων του δικτύου σε τέτοιες περιπτώσεις.
- Το LTE εισάγει καθυστέρηση πριν τη μετάδοση δεδομένων, λόγω της διαδικασίας τυχαίας πρόσβασης των χρηστών στο ασύρματο μέσο και του χρονοπρογραμματισμού που επιβάλλει ο eNB.
- Η υπηρεσία LTE δεν είναι διαθέσιμη εκτός της περιοχής κάλυψης των eNBs

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν κάποια από τα παραπάνω προβλήματα, στις τελευταίες εκδόσεις του LTE υπάρχει η δυνατότητα απευθείας επικοινωνίας μεταξύ συσκευών (Device to Device – D2D). Με αυτόν τον τρόπο, τα μηνύματα που ανταλλάσσονται δεν διασχίζουν το δίκτυο κορμού και η επικοινωνία διατηρείται ακόμη και όταν οι χρήστες δεν βρίσκονται υπό την κάλυψη του δικτύου. Οι ασύρματοι πόροι μπορούν να κατανεμηθούν από τον εκάστοτε eNB, αν υπάρχει κάλυψη, είτε επιλέγονται από τους χρήστες. Στη δεύτερη περίπτωση υπάρχει ένα ενδεχόμενο σύγκρουσης των μεταδόσεων δύο χρηστών. Επιπρόσθετα, η μετάδοση χωρίς τη μεσολάβηση του eNB δεν εγγυάται τη διατήρηση του επιθυμητού QoS. Παρά τα μειονεκτήματα, η υποστήριξη D2D υπάρχει στις τελευταίες εκδόσεις του LTE.

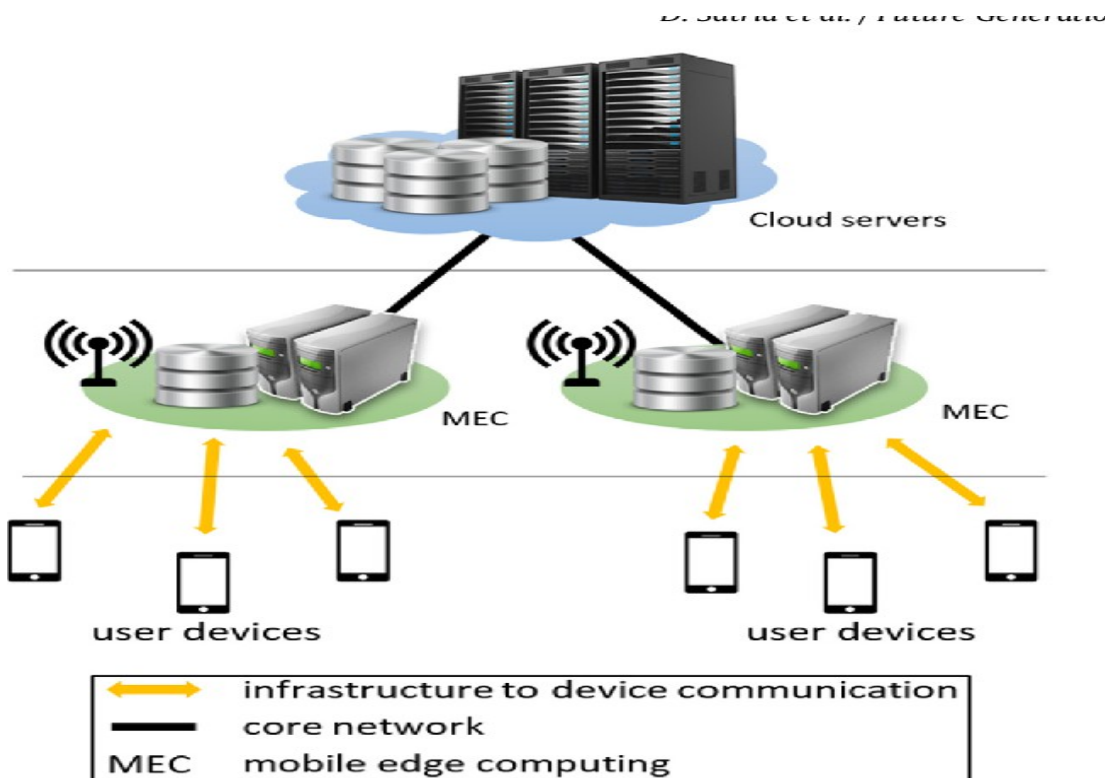
3.3 MEC (Mobile Edge Computing)

3.3.1 Εισαγωγή

Στα παραδοσιακά κυψελωτά συστήματα, τα μεταδιδόμενα μηνύματα κινούνται αναγκαστικά μέσα από το δίκτυο κορμού. Επιπλέον, γίνεται χρήση των εξυπηρετητών cloud που βρίσκονται σε

απομακρυσμένα σημεία του δικτύου. Σε κάθε περίπτωση, υπάρχει αυξημένη καθυστέρηση παραλαβής των μηνυμάτων, ιδίως όταν το δίκτυο κορμού χρησιμοποιείται από μεγάλο πλήθος χρηστών. Το πρόβλημα αυτό μεγενθύνεται με τον ερχομό του IOT(Internet of Things), όπου δισεκατομμύρια συσκευές(κοντά στα 7 δις αυτή τη στιγμή) έχουν αποκτήσει ήδη πρόσβαση στο δίκτυο και αναμένεται να αυξηθούν ραγδαία.

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν αυτά τα προβλήματα το τελευταίο διάστημα μελετάται η χρήση του MEC στα κυψελωτά συστήματα. Ουσιαστικά το MEC προσφέρει υπηρεσίες cloud computing εγγύτερα στους χρήστες, στους κόμβους του RAN. Έτσι, η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται στα άκρα του δικτύου, μειώνοντας έτσι την καθυστέρηση. Οι κόμβοι με δυνατότητες MEC μπορούν να εξυπηρετούν άμεσα τις εφαρμογές για τις οποίες διαθέτουν τους απαραίτητους πόρους, ενώ αναθέτουν σε κάποιον εξυπηρετητή cloud, μακριά από τους χρήστες, την εξυπηρέτηση των εφαρμογών που είναι ανεκτικές σε καθυστέρηση.



Σχήμα 3.5 Τοπολογία δικτύου με χρήση MEC

3.3.2 Πλεονεκτήματα MEC

Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά τα πλεονεκτήματα του MEC:

- Μείωση της συνολικής καθυστέρησης που αντιλαμβάνεται ο χρήστης.
- Μείωση της συνολικής επιβάρυνσης του δικτύου κορμού, καθώς λιγότερα μηνύματα διέρχονται εντός αυτού.
- Ανάπτυξη καινοτόμων εφαρμογών με υψηλές απαιτήσεις σε καθυστέρηση και ποσοστό

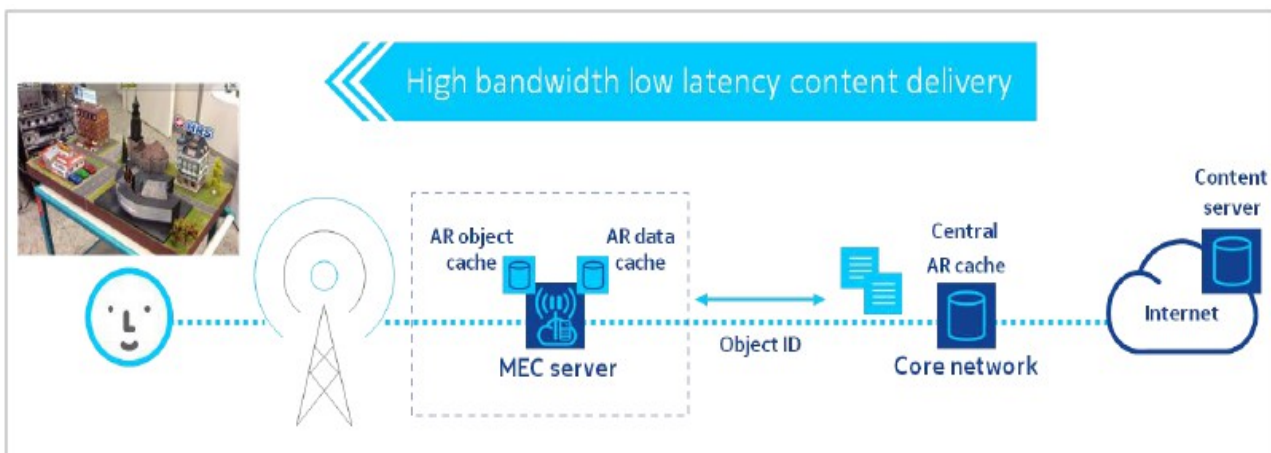
απώλειας πακέτων.

- Φιλοξενία εφαρμογών με βάση την τοποθεσία. Αφορά την περίπτωση όπου οι χρήστες επιθυμούν να καταναλώνουν υπηρεσίες που τους ενδιαφέρουν, σε μια συγκεκριμένη περιοχή.
- Διευκόλυνση της εύρεσης της τοποθεσίας των τερματικών, κάτι που επιτρέπει την ανάπτυξη εφαρμογών βασισμένων στην τοποθεσία των χρηστών.
- Οικονομικό κέρδος για τους παρόχους δικτύων, αφού υπάρχει η δυνατότητα μίσθωσης πόρων σε τρίτους συνεργάτες για την παροχή δικών τους υπηρεσιών. Αυτό σε συνδυασμό με την ευελιξία που υπάρχει στην κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος (αποθηκευτικών, εύρους ζώνης, υπολογιστικής ισχύος) μέσω του MEC.

3.3.3 Εφαρμογές του MEC

Χάρης στη χαμηλή καθυστέρηση και την ευέλικτη διαχείριση των πόρων του δικτύου, το MEC μπορεί να επιτρέψει την υλοποίηση καινοτόμων και απαιτητικών εφαρμογών. Εφαρμογών που δεν μπορούν να υποστηρίξουν τα κυβελωτά συστήματα από μόνα τους. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν διάφορα σενάρια εφαρμογών που κάνουν χρήση του MEC:

3.3.3.1 Επαυξημένη και εικονική πραγματικότητα



Σχημα 3.6 Επαυξημένη Πραγματικότητα

Με τον όρο επαυξημένη πραγματικότητα εννοείται η τεχνολογική δυνατότητα μιας συσκευής να προσθέτει πληροφορίες(κειμένου, εικόνας, βίντεο) σε ένα ήδη υπάρχον φυσικό περιβάλλον. Παράδειγμα είναι η χρήση της κάμερας ενός κινητού τηλεφώνου σε ένα μουσείο. Κάθε φορά που ο χρήστης εστιάζει σε ένα έκθεμα, το κινητό δίνει την πληροφορία της οπτικής της κάμερας στο δίκτυο, με παραλήπτη κάποιον data center. Ύστερα, γίνεται επεξεργασία προκειμένου να αναγνωριστεί το έκθεμα. Μετέπειτα, στέλνεται πίσω στο κινητό πληροφορία σχετική με το έκθεμα και παρουσιάζεται στην οθόνη του κινητού. Η εικονική πραγματικότητα αφορά την πλήρη αντικατάσταση του οπτικού πεδίου του χρήστη με ένα εικονικό περιβάλλον, σε αντιδιαστολή με την επαυξημένη πραγματικότητα που δρα προσθετικά στο φυσικό οπτικό πεδίο.

Καθώς ο χρήστης κινείται και εστιάζει σε εκθέματα με σχετικά γρήγορο ρυθμό υπάρχουν

απαιτήσεις εξυπηρέτησης από τις εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας σε πραγματικό χρόνο και με άμεση ανταπόκριση. Το MEC δίνει λύσεις σε αυτές τις απαιτήσεις, καθώς τα αιτήματα των χρηστών δεν χρειάζεται να φτάσουν σε κεντρικούς cloud, μακριά από τους χρήστες, αλλά εξυπηρετούνται από εφαρμογές κοντά σε αυτούς, στο δίκτυο ραδιοπρόσβασης. Έτσι, εξασφαλίζεται η απαιτούμενη ταχύτητα εξυπηρέτησης τους. Επιπρόσθετα, το δίκτυο κορμού προστατεύεται από ενδεχόμενη συμφόρηση, λόγω της μη μετάδοσης των μηνυμάτων αυτών των εφαρμογών από και προς κεντρικούς εξυπηρετητές.

3.3.3.2 Υπηρεσίες Cloud χαμηλής καθυστέρησης

Αυτές οι υπηρεσίες αφορούν πολλαπλούς χρήστες που έχουν απαιτήσεις για πολύ χαμηλή καθυστέρηση στην επικοινωνία τους. Παράδειγμα εδώ είναι τα διαδραστικά διαδικτυακά παιχνίδια, στα οποία απαιτείται ίση και ελάχιστη καθυστέρηση μεταξύ των χρηστών προκειμένου να διεξαχθούν ομαλά. Ένα ακόμη παράδειγμα είναι η πρόσβαση σε μια απομακρυσμένη εικονική μηχανή, η οποία χρειάζεται υψηλότερη υπολογιστική ισχύ από αυτή που διαθέτει μια φορητή συσκευή.

Όλες αυτές οι εφαρμογές μπορούν να κάνουν χρήση του MEC προκειμένου να πετύχουν την ικανοποίηση των απαιτήσεων τους. Μάλιστα σε περίπτωση που το υπολογιστικό φορτίο είναι πολύ υψηλό για κάποιον εξυπηρετητή MEC, αυτός μπορεί να επικοινωνεί με κεντρικούς εξυπηρετητές για την απόκτηση περαιτέρω χρήσιμων δεδομένων.

3.3.3.3 Υπηρεσίες βασισμένες στην τοποθεσία

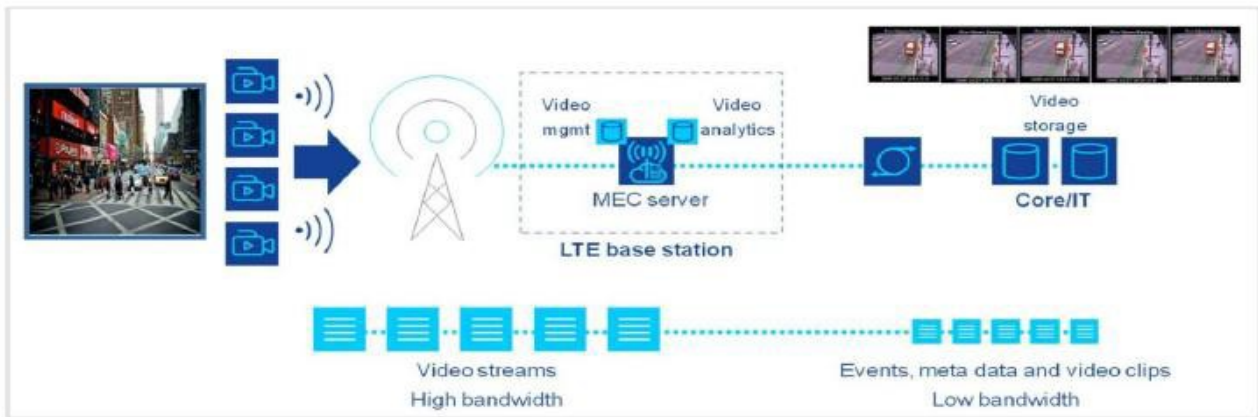
Αφορά υπηρεσίες που σχετίζονται με κάποια συγκεκριμένη τοποθεσία. Για παράδειγμα, ένας πελάτης σε ένα πολυκατάστημα είναι πιθανό να αναζητήσει πληροφορίες για προϊόντα που θα βρει σε αυτό. Μέσω του MEC αποφεύγεται να μεταδοθούν τα μηνύματα που αφορούν τα προϊόντα από το δίκτυο κορμού. Ένας τοπικός εξυπηρετητής θα επιληφθεί της επεξεργασίας των μηνυμάτων των χρηστών και θα αποστείλει πίσω την αιτούμενη πληροφορία.

3.3.3.4 Εντοπισμός θέσης συσκευών

Σε χώρους όπου δεν υπάρχει υποστήριξη GPS, για παράδειγμα εντός εσωτερικών χώρων, οι εφαρμογές MEC μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις μετρήσεις που λαμβάνουν μέσω του δικτύου από τις συσκευές για να προσδιορίσουν τη θέση των χρηστών. Έπειτα μπορούν να γνωστοποιήσουν αυτές τις θέσεις σε τρίτους συνεργάτες προκειμένου αυτοί να παρέχουν υπηρεσίες στους χρήστες, όπως διαφημίσεις κ.α.

3.3.3.5 Ανάλυση ροής βίντεο

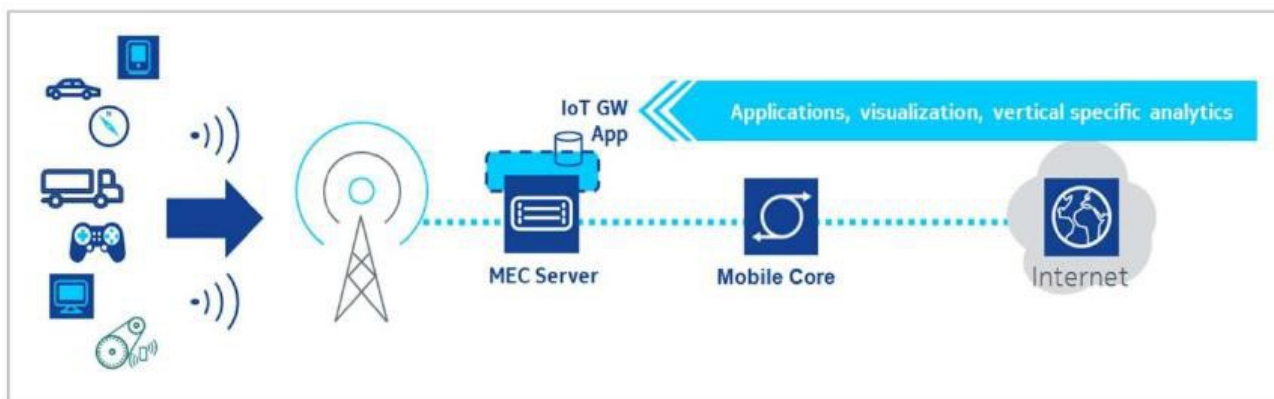
Υπάρχουν εφαρμογές που απαιτούν τη συλλογή και ανάλυση υψηλού όγκου δεδομένων. Παραδείγματα είναι η καταγραφή βίντεο προκειμένου να αναγνωριστούν αυτοκίνητα που εισέρχονται σε κάποια περιοχή ή ακόμα και η αναγνώριση του προσώπου ανθρώπων που εισέρχονται σε κάποιον χώρο. Έτσι, μπορεί να δίνεται και εξουσιοδότηση ή μη για την είσοδο τους. Οι εξυπηρετητές MEC μπορούν άμεσα να επεξεργαστούν αυτά τα στοιχεία και να στείλουν στο δίκτυο κορμού μόνο απαραίτητες πληροφορίες.



Σχήμα 3.7 Ανάλυση ροής βίντεο

3.3.3.6 Internet of Things

Οι υπηρεσίες IoT χαρακτηρίζονται από μεγάλο πλήθος συσκευών(δισεκατομμύρια) και περιορισμένους υπολογιστικούς πόρους. Όταν οι συσκευές αυτές αποκτούν πρόσβαση στο διαδίκτυο είναι φανερό ότι αναμένεται μεγάλη συμφόρηση από τα μηνύματα που θα ανταλλάσσουν με κεντρικούς εξυπηρετητές. Για να αποφευχθεί αυτό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία MEC. Έτσι οι εξυπηρετητές MEC θα μπορούν να συλλέγουν τα δεδομένα από τις συσκευές και ενδεχομένως να τα επεξεργάζονται εν μέρη, στέλνοντας στο κύριο δίκτυο μόνο συγκεντρωτικά μηνύματα. Κατά αυτόν τον τρόπο, το MEC παίζει το ρόλο της πύλης IoT (IoT gateway).



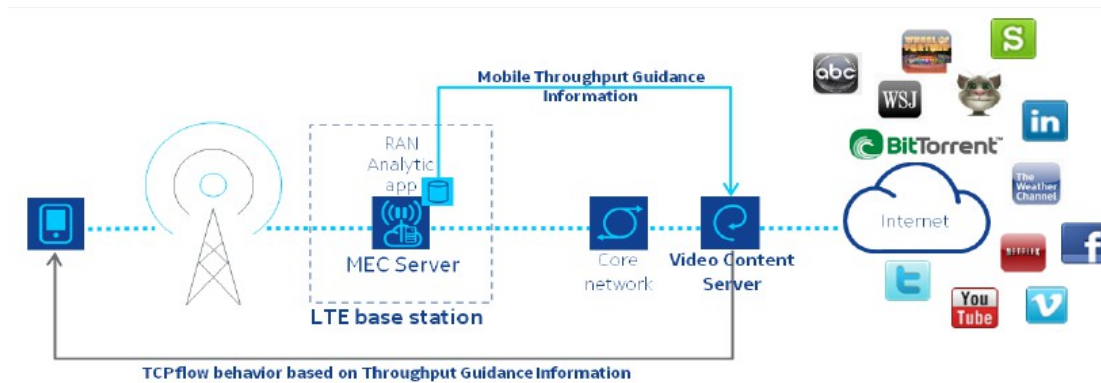
Σχήμα 3.8 Σενάριο Internet of Things

3.3.3.7 Έξυπνη βελτιστοποίηση βίντεο

Η μεταφόρτωση πολυμεσικού περιεχομένου γίνεται, συνήθως, με χρήση του HTTP, το οποίο λειτουργεί πάνω από TCP. Το TCP πρωτόκολλο οδηγεί αρκετές φορές σε ανεπαρκή χρήση των πόρων του κυψελωτού δικτύου, διότι λειτουργεί με την υπόθεση ότι κύρια αιτία απωλειών πακέτων είναι η συμφόρηση του δικτύου. Αυτό όμως συμβαίνει στα ενσύρματα δίκτυα. Στα κυψελωτά δίκτυα το μεγαλύτερο ποσοστό των απωλειών πακέτων οφείλεται στις δυσμενείς συνθήκες του ραδιοδιαύλου και στη συνεχή μετακίνηση των χρηστών.

Το MEC μπορεί να συμβάλει στην αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος. Συγκεκριμένα, μια εφαρμογή εντός του MEC εξυπηρετητή ενημερώνει τον εξυπηρετητή περιεχομένου βίντεο για το

εκτιμώμενο διαθέσιμο εύρος ζώνης σε πραγματικό χρόνο. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να γίνουν ενέργειες, όπως η επιλογή μεγέθους του αρχικού παραθύρου και του παραθύρου συμφόρησης, για την αποφυγή του αργού μηχανισμού του TCP. Με αυτόν τον τρόπο το MEC βελτιστοποιεί την παρουσίαση βίντεο στο χρήστη επιτρέποντας την ελαχιστοποίηση του χρόνου έναρξης ή προσωρινής διακοπής.



Σχήμα 3.9 Έξυπνη βελτιστοποίηση βίντεο

3.3.3.8 MEC στο αυτοκινητιστικό σύστημα

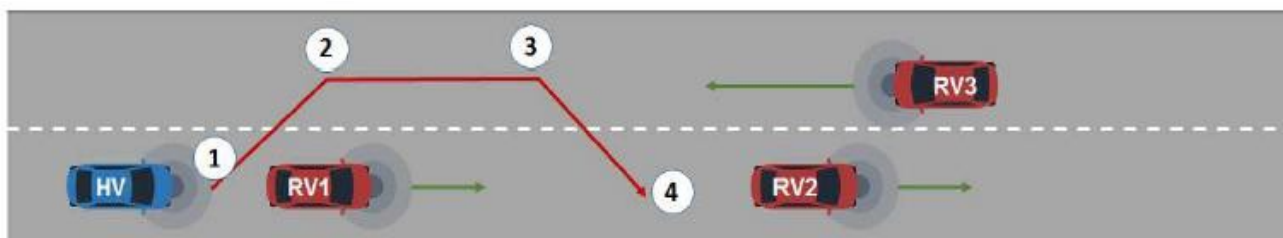
Η ανάγκη για μείωση της καθυστέρησης επικοινωνίας μεταξύ των οχημάτων και των κεντρικών εξυπηρετητών του δικτύου, οδήγησε στην εφαρμογή του MEC στις επικοινωνίες οχημάτων. Το MEC μπορεί να συνεισφέρει στη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, στην ταχύτερη εύρεση χώρων στάθμευσης και σταθμών φόρτισης και στις εφαρμογές οδικής ασφάλειας. Όλα αυτά με την εκτέλεση των διαφόρων εφαρμογών εγγύτερα στην πλευρά των χρηστών.

Στη συνέχεια παρατίθενται κάποια σενάρια χρήσης του MEC στις επικοινωνίες οχημάτων:

3.3.3.8.1 Επίγνωση γεγονότων σε πραγματικό χρόνο και χάρτες υψηλής ανάλυσης

Μέσω της χρήσης του MEC, τα οχήματα ενημερώνονται για την κυκλοφοριακή κατάσταση με τη λήψη μιας ροής χαμηλού ρυθμού μετάδοσης. Οι χάρτες υψηλής ανάλυσης παρέχουν στους οδηγούς επίγνωση του γειτονικού τους περιβάλλοντος, όπως είναι οι κίνδυνοι επί του οδοστρώματος, σε πραγματικό χρόνο. Το MEC παρέχοντας στους χρήστες τοπική πληροφορία σε πραγματικό χρόνο, καθίσταται βέλτιστο για αυτές τις εφαρμογές.

3.3.3.8.2 See-through



Σχήμα 3.10 See-through

Αφορά τη δυνατότητα, ένας οδηγός που πρόκειται να προσπεράσει ένα όχημα σε κυκλοφορία μιας

λωρίδας, να λάβει εικόνα(μέσω βίντεο) του οπτικού πεδίου του προπορευόμενου αυτοκινήτου. Ουσιαστικά, ο οδηγός που πρόκειται να κάνει προσπέρασμα ενημερώνεται τότε έρχεται από την αντίθετη λωρίδα ένα αμάξι, ώστε να προστατευτεί ο ίδιος αλλά και το όχημα που κινείται αντίθετα από αυτόν.

Αυτή η εφαρμογή έχει πολύ υψηλές απαιτήσεις για μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης και μικρή καθυστέρηση των μηνυμάτων. Το MEC παρουσιάζεται αναγκαίο για την υλοποίηση της.

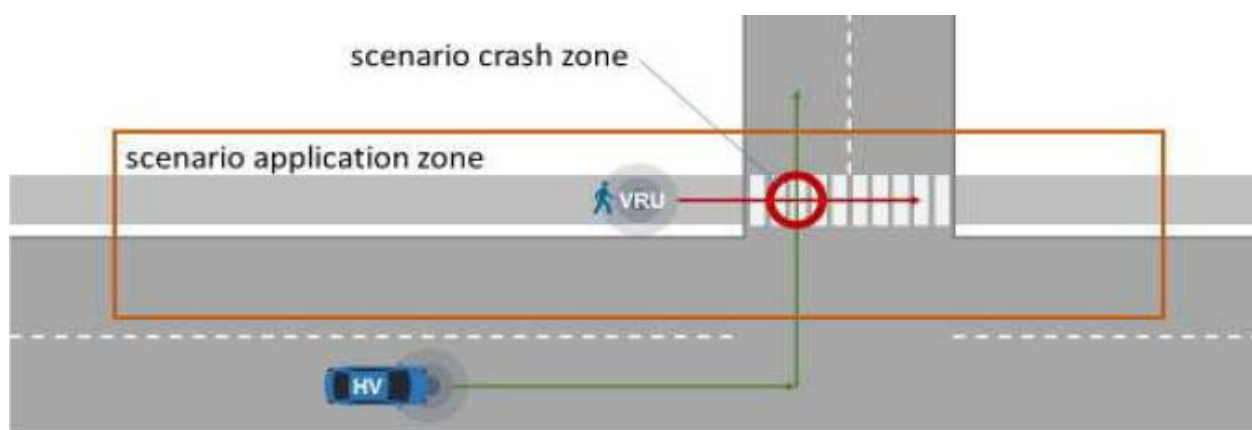
Ένα παράδειγμα δίνεται στο Σχ.3.11:

1. Το HV αρχίζει να λαμβάνει βίντεο από το RV1
2. Το HV έχει περάσει στο αντίθετο ρεύμα, προκειμένου να προσπεράσει, ενώ συνεχίζει να λαμβάνει βίντεο από το RV1
3. Στη θέση 3 το HV έχει φτάσει σε σημείο που το καθιστά έτοιμο να ολοκληρώσει την προσπέραση και να περάσει στην αρχική λωρίδα
4. Μετά την ολοκλήρωση της προσπέρασης το HV σταματά να λαμβάνει βίντεο από το RV1.

3.3.3.8.3 VRUs(Vulnerable Road Users)

Αφορά τους πεζούς και τους ποδηλάτες. Οι VRUs είναι ευάλωτοι ως προς την ασφάλεια, σε σχέση με τα οχήματα και για αυτό χρειάζεται να υπάρξει ειδική μέριμνα για την προστασία τους. Ένας τρόπος να αποφευχθούν ατυχήματα είναι να υπάρξει συνεχόμενη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των συσκευών των VRUs και κάποιου εξυπηρετητή MEC. Έτσι, θα γνωστοποιείται η θέση και η πρόθεση κίνησης των ευάλωτων χρηστών στους οδηγούς οχημάτων προκειμένου οι δεύτεροι να προσαρμόσουν την πορεία τους κατάλληλα.

Στο Σχ.3.12 φαίνεται ένα στιγμιότυπο παραδείγματος αυτής της κατηγορίας. Συγκεκριμένα ο ευάλωτος χρήστης εδώ είναι πεζός και επιχειρεί να περάσει το δρόμο. Ο οδηγός του οχήματος HV επιχειρεί να στρίψει αριστερά. Λαμβάνει ειδοποίηση από τον εξυπηρετητή MEC για την ύπαρξη του πεζού προκειμένου να προσαρμόσει την κίνηση του. Η ύπαρξη του MEC είναι αναγκαία καθώς αυτή η εφαρμογή απαιτεί ελάχιστη καθυστέρηση και ακρίβεια.



Σχήμα 3.11 Σενάριο VRU

3.3.3.8.4 Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος

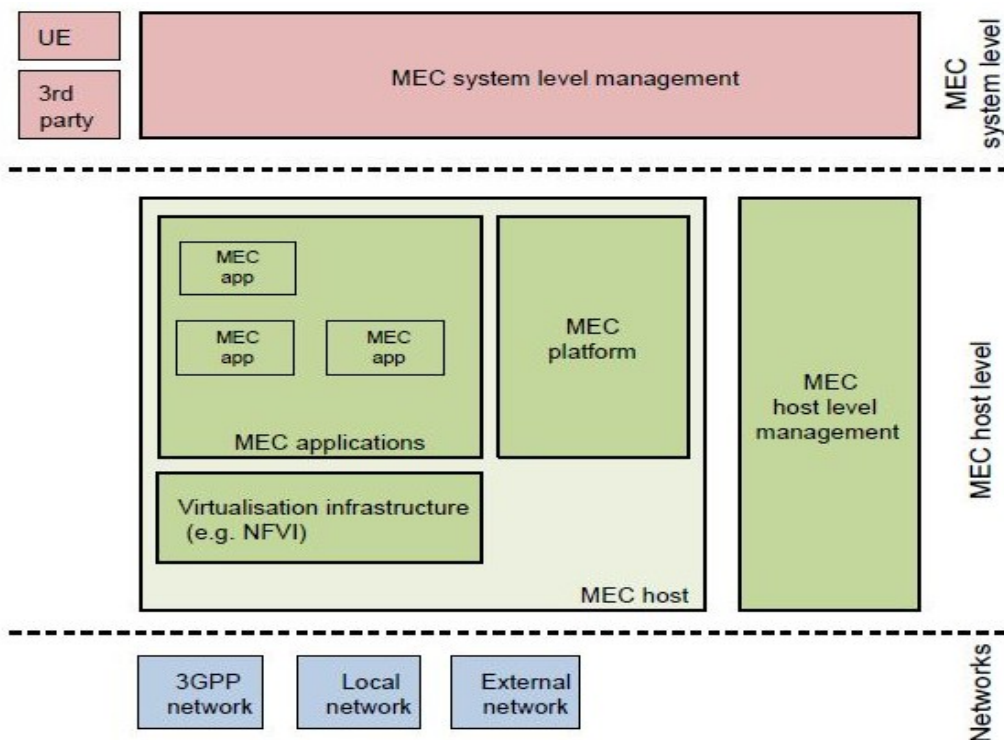
Αφορά τη βελτιστοποίηση της επικοινωνίας για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων. Υπάρχουν τρεις

κατηγορίες όσον αφορά τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από και προς τα οχήματα: V2G (Vehicle to Grid), V2H (Vehicle to Home) και V2L (Vehicle to Line).

Η V2L τεχνολογία αφορά τη φόρτιση κάποιας ηλεκτρικής συσκευής με μεταφορά ενέργειας από το όχημα. Οι τεχνολογίες V2G και V2H περιλαμβάνουν τη φόρτιση οχήματος από το δίκτυο και στο σπίτι αντίστοιχα.

Το MEC βοηθά στην υλοποίηση αυτών των τεχνολογιών. Για παράδειγμα μπορεί να υλοποιηθεί η εφαρμογή της γνωστοποίησης σε ένα όχημα περί της τοποθεσίας ενός σταθμού φόρτισης, μέσω της επικοινωνίας που συμβαίνει με γειτονικά οχήματα. Επίσης, καθώς τα οχήματα ενημερώνουν για τις συνθήκες κίνησης στο δρόμο, δύναται να βρεθεί η βέλτιστη διαδρομή για ένα αυτοκίνητο προς κάποιον σταθμό φόρτισης.

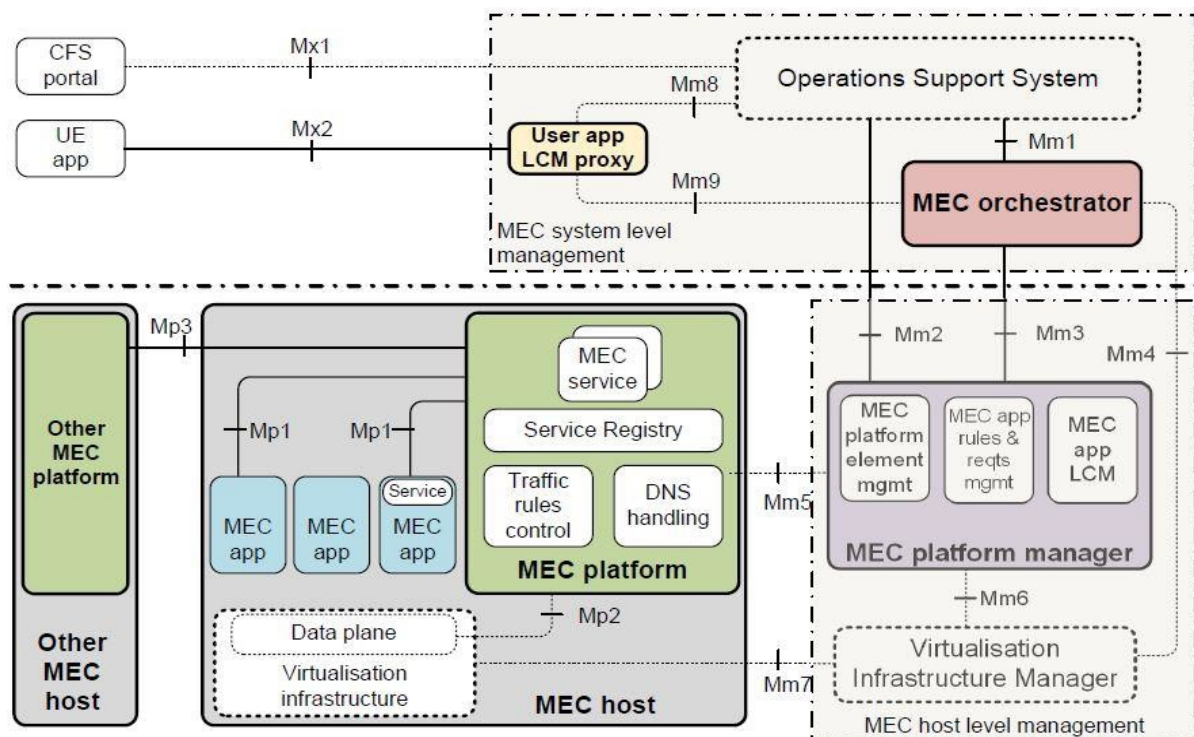
3.3.4 Αρχιτεκτονική MEC



Σχήμα 3.12 Λειτουργικό πλαίσιο MEC

Ένα σύστημα MEC αποτελείται κυρίως από δύο οντότητες: i) Το επίπεδο ξενιστή και ii) το επίπεδο συστήματος. Αυτά φαίνονται στο Σχ.3.13. Επίσης, στο σχήμα φαίνεται ένα ακόμα επίπεδο, που περιλαμβάνει τα εξωτερικά δίκτυα. Αυτό δεν αποτελεί μέρος του MEC. Το επίπεδο ξενιστή αποτελείται από τον ME (Mobile Edge) host και τη μονάδα διαχείρισης αυτού, ενώ το επίπεδο συστήματος είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση ολόκληρου του συστήματος MEC. Το MEC έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί πάνω από οποιαδήποτε δικτυακή υποδομή. Ακόμα, η παρουσία του MEC είναι διαφανής για το υπάρχον δίκτυο, καθώς οι τερματικές συσκευές και τα υπόλοιπα στοιχεία του δικτύου δεν αντιλαμβάνονται την ύπαρξή του.

Στο Σχ.3.14 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική αναφοράς του MEC. Όπως και στο προηγούμενο σχήμα υπάρχει διαχωρισμός σε επίπεδο ξενιστή και συστήματος. Η σύνδεση με τα εξωτερικά δίκτυα δεν είναι ορατή αφού δεν αποτελεί μέρος του MEC.



Σχήμα 3.13 Αρχιτεκτονική αναφοράς του MEC

3.3.4.1 Επίπεδο ξενιστή

Στο επίπεδο ξενιστή έχουν κύριο ρόλο πέντε οντότητες:

1. Ο MEC ξενιστής
Είναι το στοιχείο του δικτύου όπου τρέχουν όλες οι εφαρμογές MEC. Ο ME ξενιστής περιλαμβάνει τις ME εφαρμογές, την ME platform (MEP) και την υποδομή εικονικής παρουσίασης (Virtualization Infrastructure – VI).
2. Η MEC πλατφόρμα
Παρέχει όλες τις λειτουργικότητες προκειμένου να τρέξουν οι MEC εφαρμογές πάνω από τη VI. Ακόμη, αξιοποιεί τις προδιαγραφές για τη διαχείριση των δεδομένων από το διαχειριστή της MEC πλατφόρμας και διαμορφώνει τις συνθήκες, μέσω των οποίων οι εφαρμογές λαμβάνουν υπηρεσίες από άλλες πλατφόρμες.
3. Η εικονική υποδομή VI (Virtual Infrastructure)
Η οντότητα της εικονικής υποδομής επικοινωνεί με τη MEC πλατφόρμα με το σημείο αναφοράς Mp2, προκειμένου να δρομολογήσει την κίνηση δεδομένων μεταξύ εφαρμογών, υπηρεσιών, εξυπηρετητών DNS και εξωτερικών δικτύων.
4. Οι MEC εφαρμογές
Οι MEC εφαρμογές είναι οντότητες λογισμικού και εκτελούνται ως εικονικές μηχανές VM (Virtual Machines).

5. Ο διαχειριστής της ME πλατφόρμας

Κύριος σκοπός του είναι ο έλεγχος της διάρκειας ζωής των εφαρμογών και η ενημέρωση του ME ενορχηστρωτή. Επιπρόσθετα, λαμβάνει ειδοποιήσεις για σφάλματα από το διαχειριστή εικονικής υποδομής προκειμένου να τα επεξεργαστεί.

3.3.4.2 Επίπεδο συστήματος

Στο επίπεδο συστήματος κυριαρχούν τρεις οντότητες:

- Ο mobile edge ενορχηστρωτής - MEO (Mobile Edge Orchestrator)
Ο MEO παίζει κυρίαρχο ρόλο στη διαχείριση του συστήματος MEC. Επιβλέπει όλες τις πηγές του συστήματος και διαθέτει πληροφορίες για όλες τις υπηρεσίες που είναι διαθέσιμες σε κάθε host και την τοπολογία του δικτύου. Επιλέγει τον κατάλληλο host για την έναρξη κάποιας εφαρμογής, μπορεί να εκκινεί τη μετεγκατάσταση εφαρμογών, είναι υπεύθυνος για την έναρξη και τον τερματισμό των εφαρμογών και διατηρεί ένα κατάλογο για όλα τα διαθέσιμα πακέτα εφαρμογών του συστήματος.
- Το σύστημα υποστήριξης λειτουργιών- OSS (Operation Support System)
Το OSS λαμβάνει αιτήσεις για την έναρξη και τον τερματισμό εφαρμογών και αποσκοπεί στο να αποφασίσει ποιες θα γίνουν αποδεκτές.
- Ο διαχειριστή κύκλου ζωής - LCM (Lifecycle Management) proxy
Ο διαχειριστής κύκλου ζωής αφορά τις αιτήσεις χρηστών του MEC σχετικά με το να ξεκινήσουν, να μεταφερθούν και να τερματιστούν οι εφαρμογές. Ο LCM διακομιστής δύναται να μεταφέρει μια υπηρεσία έξω από το σύστημα σε ένα εξωτερικό cloud ή εντός του MEC συστήματος από εξωτερικό cloud.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΟΥ ΑΠΟΡΡΕΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

4.1 Ενέργεια – Διαχείριση - Περιβάλλον

Όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 2.8, εφόσον φορτίζονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, μπορούν να μειώσουν σημαντικά την ατμοσφαιρική ρύπανση. Η μείωση των τοξικών αερίων από ανθρώπινη δραστηριότητα αποτελεί ένα από τους στόχους που έχει θέσει η ΕΕ για το 2050. Συγκεκριμένα, ο στόχος της είναι να μειώσει κατά 80 – 95% τα αέρια θερμοκηπίου έως το 2050 όπως και να οδηγηθεί σε ένα σύστημα μετακινήσεων απαλλαγμένο από τον άνθρακα.

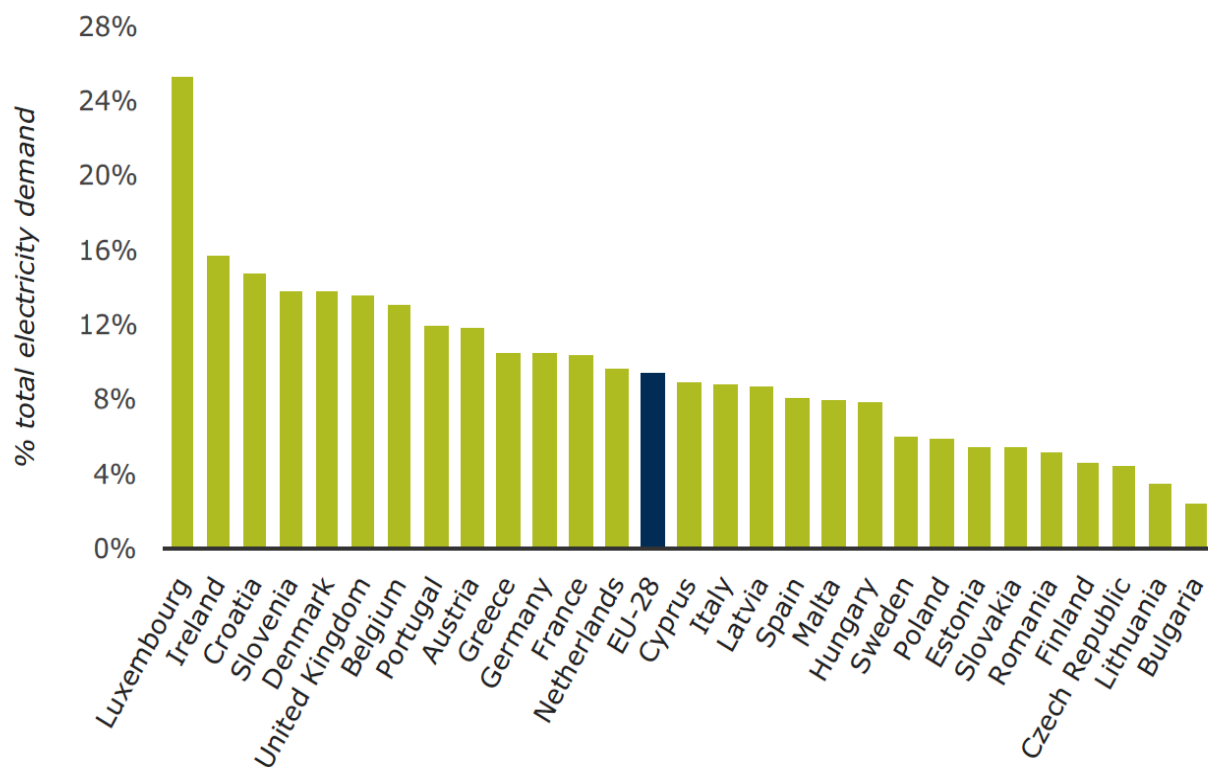
Ο τομέας της μετακίνησης προκαλεί το ένα τέταρτο των αερίων του θερμοκηπίου (που οδηγούν στην κλιματική αλλαγή). Σε πολλές ευρωπαϊκές πόλεις υπάρχει τόσο μεγάλη ατμοσφαιρική ρύπανση που δεν τηρούνται οι προδιαγραφές ποιότητας αέρα που έχουν τεθεί από την ΕΕ και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έρχονται να συνεισφέρουν στην μείωση της ρύπανσης, αμβλύνοντας το πρόβλημα καταλυτικά.

4.1.1 Αυξημένη ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος και η ικανοποίηση της

Η γενικευμένη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων στην ΕΕ θα οδηγήσει σε αυξημένη κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος. Το ποσοστό χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας από τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα αποτελεί το 4-5% της συνολικής ζήτησης το 2030, ενώ το 2050 θα αποτελεί το 9.5% της συνολικής ζήτησης, αν υποθεθεί ότι το 2050 το ποσοστό ηλεκτρικών οχημάτων θα είναι το 80% επί του συνολικού στόλου οχημάτων. Η αυξημένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα ικανοποιηθεί από αυξημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μέχρι το 2030 η αυξημένη ζήτηση δεν θα επηρεάσει σημαντικά το ηλεκτρικό σύστημα αλλά μελλοντικά(περί το 2050) θα το επιβαρύνει.

Το ποσοστό κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα επί του συνόλου της κατανάλωσης θα διαφέρει από χώρα σε χώρα. Μάλιστα, το 2050 θα κυμαίνεται ευρέως μεταξύ 3% και 25%. Η επιπλέον ενέργεια που θα χρειαστεί το σύστημα αν η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων καταλαμβάνει το 9.5% της συνολικής ζήτησης σε σχέση με την περίπτωση όπου καταλαμβάνει το 1.3% θα είναι 150 GW σύμφωνα με το [13].

Κάθε χώρα θα χρειαστεί διαφορετικές στρατηγικές παραγωγής και διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας προκειμένου να αντιμετωπίσει την αυξημένη ζήτηση από τα ηλεκτρικά οχήματα. Αυτό θα εξαρτηθεί από τα είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που διαθέτει κάθε χώρα και από το ποσοστό συμβατικών τρόπων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα, σε χώρα όπου κυριαρχούν τα φωτοβολταϊκά, που παρέχουν ενέργεια κατά τη διάρκεια της ημέρας, χρειάζεται διαφορετική διαχείριση της ενέργειας σε σύγκριση με χώρα όπου κυριαρχούν οι ανεμογεννήτριες ή ακόμα και σε σύγκριση με χώρα όπου υπάρχει συνδυασμός αιολικής και ηλιακής ενέργειας.

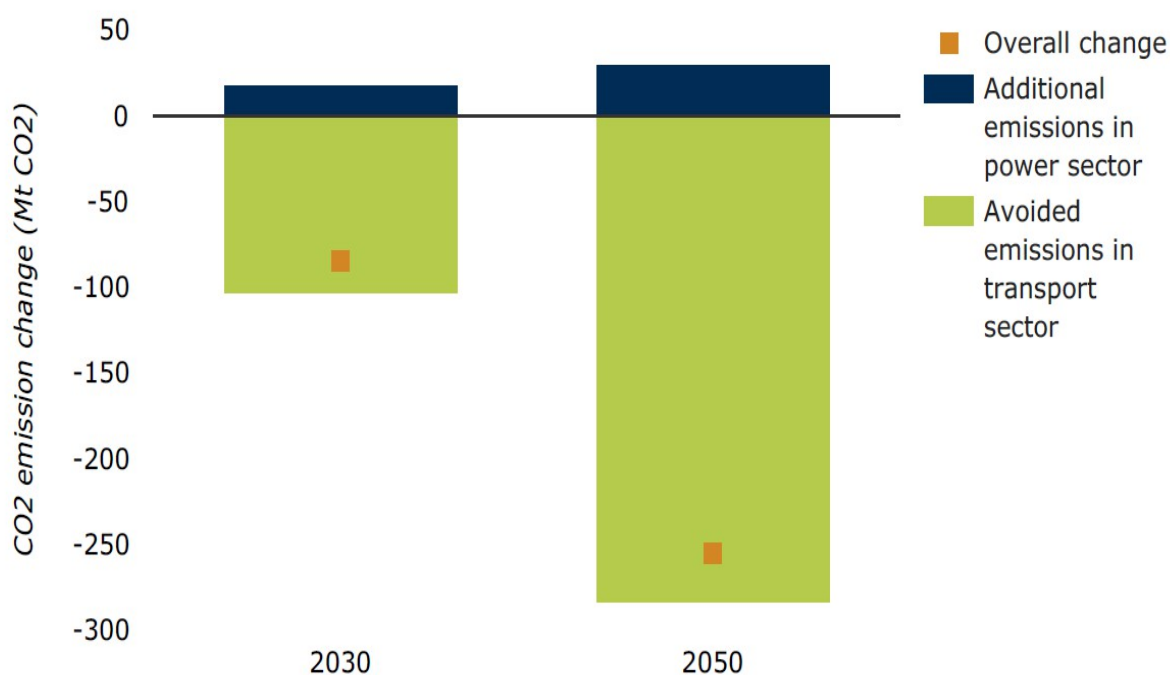


Σχήμα 4.1 Ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για ηλεκτρικά οχήματα ως ποσοστό της συνολικής ηλεκτρικής ζήτησης το 2050

4.1.2 Επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή και στο περιβάλλον

Με τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων η ρύπανση από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων θα μειωθεί ραγδαία. Χρειάζεται προσοχή, όμως, εφόσον η αυξημένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να ικανοποιηθεί από εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που επιβαρύνουν το περιβάλλον ως προς τους ρύπους. Επομένως, παράλληλα με τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων πρέπει να αυξηθεί και η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Συνολικά, πάντως, οι προβλέψεις υποδεικνύουν ότι η μειωμένη παραγωγή CO₂ εκπομπών στο οδικό δίκτυο θα υπερκαλύψει τις αυξημένες εκπομπές ρύπων από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στην ΕΕ προβλέπεται μια συνολική μείωση κατά 255 Mt CO₂ έως το 2050, κάτι που είναι ισοδύναμο με το 10% των συνολικών εκπομπών τοξικών αερίων από όλες τις πηγές, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η διαφορά μεταξύ των ρυπογόνων αερίων από τον τομέα των οδικών μετακινήσεων και από τον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεν μπορεί να εκτιμηθεί εύκολα όσον αφορά την επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία. Οι εκπομπές αερίων από το οδικό δίκτυο εμφανίζονται σε περιοχές όπου ζουν και εργάζονται οι άνθρωποι (πχ. πόλεις), οπότε, ο πληθυσμός είναι εκτεθειμένος σε αυτές. Αντίθετα, τα εργοστάσια ηλεκτρικής ενέργειας βρίσκονται σε αραιοκατοικημένες περιοχές με λίγους κατοίκους, να εκτίθενται σε αυτού του είδους τη ρύπανση. Τελικά, η μεταφορά των ρυπογόνων αερίων από τον τομέα των μεταφορών στον τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κρίνεται ιδιαίτερα ωφέλιμη για την υγεία.



Note:

Assuming a 30 % share of electric vehicles in the EU-28 in 2030 and an 80 % share in 2050.

Data sources:

Öko-Institut e.V., [Electric mobility in Europe – Future impact on the emissions and the energy system](#)

Σχήμα 4.2 Μελλοντικές αλλαγές στην εκπομπή CO₂ αερίων στο μεταφορικό και τον ενεργειακό τομέα

4.1.3 Συμπεράσματα

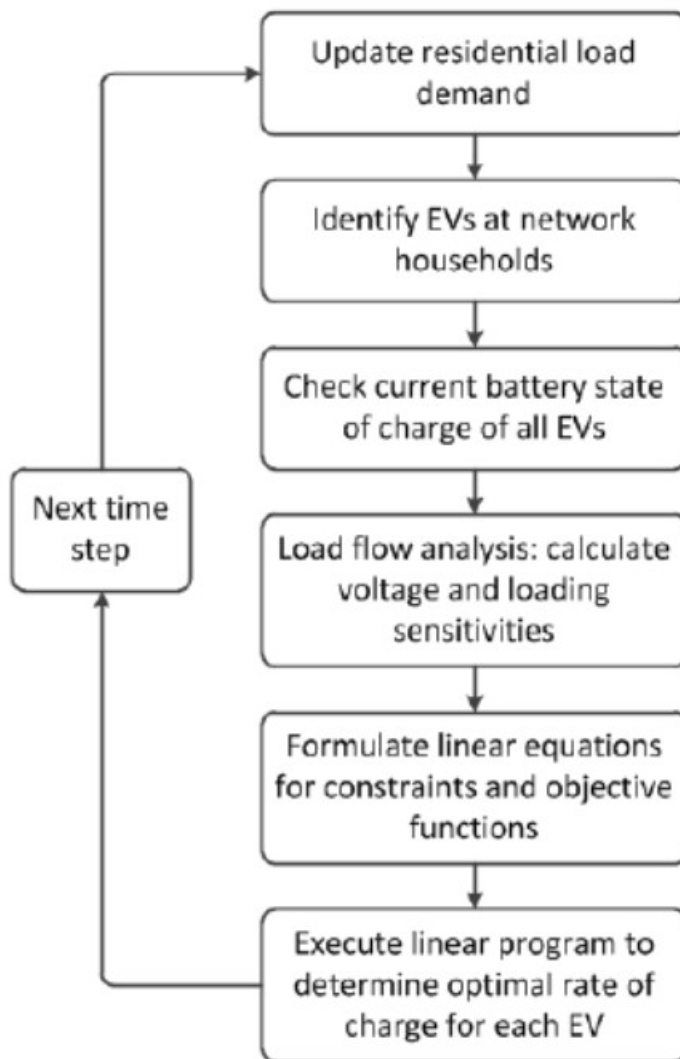
Με κατάλληλες ενέργειες προς τη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι δυνατόν να περιοριστεί η ρύπανση της ατμόσφαιρας στην ΕΕ. Πρέπει, όμως να προσεχθεί η αυξημένη ρύπανση στον τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η χρήση συμβατικών εργοστασίων ορυκτού καυσίμου πρέπει να περιοριστεί όσο το δυνατό περισσότερο με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ένα πρόβλημα που παραμένει είναι το πώς θα διαχειριστεί το ηλεκτρικό δίκτυο την αυξημένη απαίτηση για ηλεκτρική ενέργεια λόγω των ηλεκτρικών οχημάτων. Κάτι, που μπορεί να επιφέρει πτώσεις τάσης και υπερφόρτωση των στοιχείων του ηλεκτρικού δικτύου. Μια απάντηση θα επιχειρηθεί να παρουσιαστεί στην επόμενη παράγραφο.

4.1.4 Μια πιθανή λύση

Η μαζική εισαγωγή των ηλεκτρικών οχημάτων στην καθημερινότητα, χωρίς προσεκτική σχεδίαση της φόρτισής τους θα οδηγήσει σε ραγδαία αύξηση της ζητούμενης ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο, οδηγώντας το σε δυσλειτουργία, κυρίως στις περιόδους αιχμής της ζήτησης. Προκειμένου να αποφευχθεί αυτό, στο [14] προτείνεται μια μέθοδος η οποία ελέγχει το ρυθμό φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων για να πραγματοποιηθεί ορθότερη χρήση των ηλεκτρικών δικτύων. Η τεχνική που εφαρμόζεται είναι ο γραμμικός προγραμματισμός, ο οποίος εκτιμά το βέλτιστο ρυθμό

φόρτισης για κάθε ηλεκτρικό όχημα ώστε να μεγιστοποιήσει τη συνολική ενέργεια που θα διοχετευθεί στα οχήματα σεβόμενος τα όρια αντοχής του δικτύου. Αυτή η τεχνική προσομοιώνεται στο [14] σε ένα τμήμα παροχής ρεύματος στις οικίες των χρηστών.

Η εργασία που έγινε στο [14] διαφέρει από πολλές άλλες που έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά, καθώς, αντί να ελαχιστοποιεί τις απώλειες ενέργειας και τις διακυμάνσεις της τάσης, μεγιστοποιεί τη συνολική ενέργεια που διοχετεύεται στα ηλεκτρικά οχήματα σε δεδομένο χρονικό διάστημα, ενώ διασφαλίζει ότι τα όρια του δικτύου δεν παραβιάζονται, δηλαδή δεν έχουμε ανεπιθύμητη πτώση τάσης και υπερφόρτωση των στοιχείων του. Ο γραμμικός προγραμματισμός χρησιμεύει καθώς αξιοποιεί τα γραμμικά χαρακτηριστικά της τάσης του δικτύου όπως και των ευαίσθητων φορτίου των εξαρτημάτων.



Σχήμα 4.3 Μεθοδολογία για βελτιστοποίηση του ρυθμού φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων

4.1.4.1 Δοκιμές

Σε μία από τις δοκιμές που έγιναν, εξετάστηκε το δίκτυο όταν δεν ελέγχεται ο ρυθμός φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Σε αυτήν την περίπτωση, τα ηλεκτρικά οχήματα ξεκινούν να φορτίζονται με μέγιστο ρυθμό. Καθώς πολλά οχήματα φορτίζονται στο μέγιστο, το δίκτυο δεν μπορεί να αντεπεξέλθει στην αυξημένη ζήτηση και καταρρέει.

Στη δοκιμή όπου ο ρυθμός φόρτισης των οχημάτων βελτιστοποιείται ώστε να αποδίδει όσο το δυνατό μεγαλύτερη ισχύ στα οχήματα, διατηρώντας όμως όλες τις τάσεις και ροές μέσα στα αποδεκτά όρια, δεν επηρεάστηκε σημαντικά το δίκτυο.

4.1.4.2 Αποτελέσματα

Η εισαγωγή πολλών ηλεκτρικών οχημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο θα επιφέρει αλλαγές στη λειτουργία του. Αν δεν υπάρχει “έξυπνος” έλεγχος της φόρτισης, θα χρειαστούν μεγάλες αλλαγές στην υποδομή του δικτύου. Αν υπάρχει έλεγχος από το Διαχειριστή Συστημάτων Διανομής(Distribution System Operator – DSO), το πρόβλημα αμβλύνεται και επιτρέπεται η φόρτιση των οχημάτων χωρίς να επηρεάζεται δραστικά η λειτουργία του δικτύου. Οι ρυθμοί φόρτισης μπορούν να βελτιστοποιηθούν ώστε να προσδίδεται η μέγιστη δυνατή ενέργεια στα οχήματα με ταυτόχρονη ικανοποίηση των περιορισμών του δικτύου καθώς και χωρίς να επηρεάζεται το φορτίο των κατοικιών.

Λόγω της χρήσης της τεχνικής του γραμμικού προγραμματισμού, δεν χρειάζεται να δοθεί στον DSO μεγάλος όγκος πληροφορίας σε κάθε χρονική στιγμή, προκειμένου να προσδιοριστεί ο βέλτιστος ρυθμός φόρτισης κάθε ηλεκτρικού οχήματος. Επίσης, η τεχνική δεν απαιτεί μεγάλους υπολογιστικούς πόρους ούτε ιστορικό χρήσης φορτίου. Τελικά, ελέγχοντας το ρυθμό φόρτισης μεμονωμένων οχημάτων, είναι δυνατό να επιτευχθεί μεγάλη διείσδυσή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο με ελάχιστη ή και καθόλου αναβάθμιση της υλικής υποδομής του. Αυτό σημαίνει ότι περιορίζεται και το οικονομικό κόστος για την απρόσκοπτη λειτουργία του συστήματος.

4.2 Επιπτώσεις ηλεκτρικών οχημάτων στην οικονομία

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με μεγάλες δυνατότητες παραγωγής πράσινης ενέργειας, όπως είναι τα φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες. Μελλοντικά, η διείσδυση των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό δίκτυο αναμένεται να αυξηθεί. Πάντως, η Ελλάδα ήδη βρίσκεται στις πρώτες χώρες όσον αφορά το ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ επί του συνόλου.

Η χώρα είναι εξαρτημένη από την εισαγωγή βενζίνης από ξένες χώρες για τη λειτουργία του στόλου οχημάτων της. Χρησιμοποιώντας ηλεκτρικά οχήματα μειώνεται το κόστος λειτουργίας σε σχέση με τα βενζινοκίνητα λόγω της χαμηλότερης τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας. Εντούτοις, επειδή τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, που είναι και αυτά εισαγόμενα, έχουν αυξημένο κόστος αγοράς σε σχέση με τα παραδοσιακά οχήματα, ένας χρήστης προκειμένου να επωφεληθεί οικονομικά θα πρέπει να τα οδηγεί για χρόνια. Επίσης, λόγω της αυξημένης τιμής αγοράς τους, τα εισαγόμενα ηλεκτρικά οχήματα θα οδηγήσουν σε εμπορικό έλλειμμα. Ακόμα, η απόδοση των φόρων του κράτους λόγω της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να μειωθεί. Τέλος, θα υπάρξει ελάφρυνση του συστήματος υγείας λόγω της καλύτερης της υγείας των πολιτών. Στη συνέχεια, θα γίνει μια σύντομη ανάλυση των οικονομικών επιπτώσεων που αναμένεται να επιφέρουν τα ηλεκτρικά οχήματα στους καταναλωτές, στο εμπορικό ισοζύγιο, στα κρατικά έσοδα και στο σύστημα υγείας.

4.2.1 Όφελος καταναλωτών

Προκειμένου να ωφεληθεί ένας καταναλωτής οικονομικά από τη χρήση ηλεκτρικού οχήματος, δύο κύρια κριτήρια υπάρχουν. Το ένα είναι η αρχική τιμή αγοράς του και το άλλο είναι ο χρόνος κατά τον οποίο αναμένεται να το οδηγή ανά έτος.

Έχειδειχθεί ότι όσο πλησιέστερα είναι η τιμή αγοράς ενός ηλεκτρικού οχήματος και ενός συμβατικού, τόσο συντομότερα ο καταναλωτής θα ωφεληθεί οικονομικά από τη μειωμένη τιμή επαναφόρτισης του ηλεκτρικού οχήματος (ηλεκτρική ενέργεια) σε σχέση με το πετρέλαιο, που χρησιμοποιεί ένα συμβατικό όχημα. Οι τιμές εισαγωγής των ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να μειωθούν όταν οι κατασκευαστές εστιάσουν πλήρως σε αυτά και αρχίσει η μαζική παραγωγή τους. Αυτή τη στιγμή, χρειάζονται χρόνια (πέντε έως δέκα) πριν ένας μέσος καταναλωτής επωφεληθεί οικονομικά από το ηλεκτρικό όχημα. Όσο περισσότερο βέβαια το χρησιμοποιεί, τόσο νωρίτερα θα του αποδώσει οικονομικά οφέλη, λόγω της χρήσης φτηνότερης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με το πετρέλαιο.

4.2.2 Εμπορικό ισοζύγιο

Η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων σε χώρα που τα εισάγει θα οδηγήσει σε μεγάλο εμπορικό έλλειμμα. Ο λόγος είναι ότι, αυτή τη στιγμή, η τιμή αγοράς ενός ηλεκτρικού οχήματος, σε σχέση με ένα συμβατικό, είναι τόσο μεγάλη που υπερβαίνει τη μείωση που υπάρχει στην αγορά εισαγόμενης βενζίνης για τη χρήση τους.

Αυτό θα συνεχίσει να συμβαίνει μέχρι η τιμή αγοράς του ηλεκτρικού οχήματος να μειωθεί αρκετά ώστε να είναι συγκρίσιμη με το άθροισμα της τιμής αγοράς ενός συμβατικού αυτοκινήτου και της μείωσης του κόστους της βενζίνης και του κόστους συντήρησης.

4.2.3 Κρατικά έσοδα

Στην έρευνα που έγινε στο [15] για την οικονομία της Ισλανδίας παρουσιάζεται ότι η μείωση των κρατικών εσόδων από τη χρήση ενός ηλεκτρικού οχήματος σε σχέση με ένα συμβατικό είναι πολύ μεγάλη. Αυτό οφείλεται στο ότι οι φόροι στον κλάδο των ηλεκτρικών οχημάτων είναι σημαντικά μικρότεροι από τους φόρους που αφορούν τον κλάδο των βενζινοκίνητων οχημάτων. Αυτά φαίνονται στον Πιν.4.1. Προκειμένου το κράτος να διατηρήσει το ποσό εσόδων που χάνει πρέπει να επιβάλλει φόρους σε άλλους τομείς της οικονομίας.

Income term	Government revenue for an ICE based car	Government revenue for an EV
Special excise duty	47,071 [ISK/year]	-
Gasoline fee	76,065 [ISK/year]	-
Carbon emission fee	5,335 [ISK/year]	-
CERs traded	-	10,161 [ISK/year]
Transportation equalization fee	1170 [ISK/year]	-
Gasoline VAT	105,622 [ISK/year]	-
Car excise duty	841,500 [ISK]	-
Car retail VAT	1,093,950 [ISK]	1,388,480 [ISK]
Electricity purchases [ISK per year]	-	7303 [ISK/year]
Electricity VAT [ISK per year]	-	3739 [ISK/year]
Car tax	28,773 [ISK/year]	28,773 [ISK/year]
NPV @ 6.36% for 10 years	3,846,060 [ISK]	1,750,110 [ISK]
NPV @ 12.72% for 10 years	3,384,350 [ISK]	1,662,720 [ISK]

Πίνακας 4.1 Έσοδα κράτους από τον κύκλο χρήσης ενός ηλεκτρικού οχήματος σε σχέση με ένα συμβατικό

4.2.4 Επιπτώσεις στο σύστημα υγείας

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφ.4.1.2, η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων θα επιφέρει μείωση κατά 10% στην υφιστάμενη ρύπανση στις χώρες της ΕΕ. Καθώς η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί ένα από τους σημαντικότερους κινδύνους για την ανθρώπινη ζωή, είναι φανερό ότι αυτή η μείωση θα βελτιώσει την υγεία των πολιτών. Αυτό έχει ως μακροπρόθεσμο αποτέλεσμα τη μείωση της χρήσης υγειονομικών υπηρεσιών, ελαφρύνοντας έτσι το δημόσιο σύστημα υγείας. Έτσι, μειώνεται και το κόστος λειτουργίας του. Επίσης, ένα άλλο σημαντικό θέμα είναι ότι σε μία έκτακτη περίπτωση όπως είναι μια επιδημία-πανδημία(πχ. COVID-19), θα υπάρχει μεγαλύτερη επάρκεια στο σύστημα υγείας(κλίνες ΜΕΘ κλπ.)

4.2.5 Σύνοψη

Συμπερασματικά, η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων σε μια χώρα όπως η Ελλάδα θα έχει ουσιώδεις επιπτώσεις στην οικονομία, τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα. Βραχυπρόθεσμα, μπορεί να ωφελήσει ή ζημιώσει οικονομικά τους χρήστες τους, ανάλογα με το αν το χρησιμοποιούν συχνά και για πόσα χρόνια. Επίσης, θα οδηγήσει σε εμπορικό έλλειμμα και μείωση των εσόδων του κράτους. Μακροπρόθεσμα, θα ελαφρύνει το σύστημα υγείας. Όλα αυτά καταδεικνύουν ότι υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα στην οικονομία με τη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων. Μελλοντικά, όμως, με τη μείωση της τιμής αγοράς τους και την ενδεχόμενη παραγωγή τους σε κάθε ανεπτυγμένη χώρα, τα όποια μειονεκτήματα μπορούν να μετριαστούν ή και να εξαφανισθούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

5.1 Προϋποθέσεις

Στο κεφάλαιο 5 θα παρουσιαστούν τρία σενάρια φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος αντίστοιχα με την περιοχή που βρίσκεται το όχημα. Τα σενάρια αυτά είναι:

- Επικοινωνία κινούμενου οχήματος με πληροφοριακά κέντρα για τη βέλτιστη ανάθεση σταθμού φόρτισης σε αυτό.
- Επικοινωνία πληροφοριακού κέντρου με όχημα για τη φόρτιση στο σπίτι
- Επικοινωνία οχήματος με το πληροφοριακό κέντρο για φόρτιση σε χώρο στάθμευσης

Πριν δοθούν τα σενάρια, πρέπει να γίνει αναφορά σε κάποιες βασικές παραμέτρους όπως είναι το μέγεθος των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται.

Στην επικοινωνία για τη φόρτιση ενός κινούμενου οχήματος γενικά εμπλέκονται τρεις οντότητες:

- Τα ηλεκτρικά οχήματα
- Οι σταθμοί φόρτισης
- Οι οντότητες RSUs στο οδόστρωμα

Τα οχήματα και οι σταθμοί φόρτισης είναι εξοπλισμένοι με μονάδες OBU για την επικοινωνία με τα RSUs. Οι υποθέσεις για τα εμπλεκόμενα μέρη είναι:

- Όλα τα ηλεκτρικά οχήματα διαθέτουν συσκευή συστήματος εντοπισμού GPS
- Κάθε οντότητα RSU μπορεί να αποστέλλει μήνυμα για να γνωστοποιήσει κάποια υπηρεσία φόρτισης
- Κάθε όχημα μπορεί να αποστέλλει μήνυμα για να γνωστοποιήσει τη θέση του και την κατάσταση φόρτισης SoC
- Όταν το όχημα βρίσκεται εντός της εμβέλειας μιας οντότητας RSU, μπορεί να συνδεθεί με αυτήν ώστε να γίνει ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με την υπηρεσία φόρτισης
- Οι σταθμοί φόρτισης, το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και οι οντότητες RSUs διασυνδέονται μεταξύ τους με ενσύρματη επικοινωνία
- Οι οντότητες RSUs θα θεωρηθούν εγκατεστημένες στους τηλεπικοινωνιακούς σταθμούς βάσης

5.1.1 Μηνύματα από τις οντότητες RSUs (downlink ζεύξη)

Στο Σχ.5.1 φαίνεται η δομή των μηνυμάτων από τις οντότητες RSUs προς τις μονάδες OBU των ηλεκτρικών οχημάτων:

DSRCmsgID	MsgCount	TempID	DSecond	SCH_num	Purchase_Price	Selling_Price	Checksum
------------------	-----------------	---------------	----------------	----------------	-----------------------	----------------------	-----------------

Σχήμα 5.1 δομή μηνύματος downlink

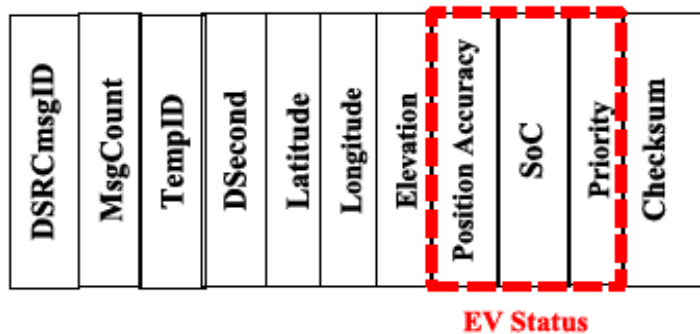
Στον Πιν.5.1 φαίνεται το περιεχόμενο των οχτώ πεδίων του. Το συνολικό του μήκος είναι 15 bytes.

Πεδίο	Μήκος (Bytes)	Περιεχόμενο
DSRCmsgID	1	Τύπος μηνύματος
MsgCount	1	Αριθμός που αυξάνεται σε κάθε διαδοχική μετάδοση από ορισμένο όχημα, για ανίχνευση τυχόντος λάθους
TempID	4	Προσωρινό ID για λόγους ασφαλείας
DSecond	2	Ωρα αποστολής μηνύματος
SCH_num	1	Αριθμός καναλιού που εξυπηρετεί το όχημα
Selling_Price	1	Τιμή πώλησης μονάδας ρεύματος
Purchase_Price	1	Τιμή αγοράς μονάδας ρεύματος
Checksum	4	Τιμή ανίχνευσης λαθών

Πίνακας 5.1 Περιεχόμενο μηνύματος downlink

5.1.2 Μηνύματα από τις οντότητες OBU των οχημάτων (uplink ζεύξη)

Στο Σχ.5.2 φαίνεται η δομή του μηνύματος από τις οντότητες OBU των οχημάτων προς τις μονάδες RSUs.



Σχήμα 5.2 Δομή μηνύματος uplink

Στον Πιν.5.2 φαίνεται το περιεχόμενο των ένδεκα πεδίων του. Το συνολικό του μήκος είναι 28 bytes.

Πεδίο	Μήκος (Bytes)	Περιεχόμενο
DSRCmsgID	1	Τύπος μηνύματος
MsgCount	1	Αριθμός που αυξάνεται σε κάθε διαδοχική μετάδοση από ορισμένο όχημα, για ανίχνευση τυχόντος λάθους
TempID	4	Προσωρινό ID, για λόγους ασφαλείας
DSecond	2	Ωρα αποστολής μηνύματος
Latitude	4	Γεωγραφικό πλάτος οχήματος
Longitude	4	Γεωγραφικό μήκος οχήματος
Elevation	2	Υψόμετρο σε σχέση με το επίπεδο της θάλασσας
Position-Accuracy	4	Εκφράζει την ακρίβεια γεωγραφικού μήκους και πλάτους
SoC	1	Κατάσταση φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος
Priority	1	Επίπεδο προτεραιότητας με βάση το SoC
Checksum	4	Αριθμός ανίχνευσης λαθών

Πίνακας 5.2 Περιεχόμενο μηνύματος uplink

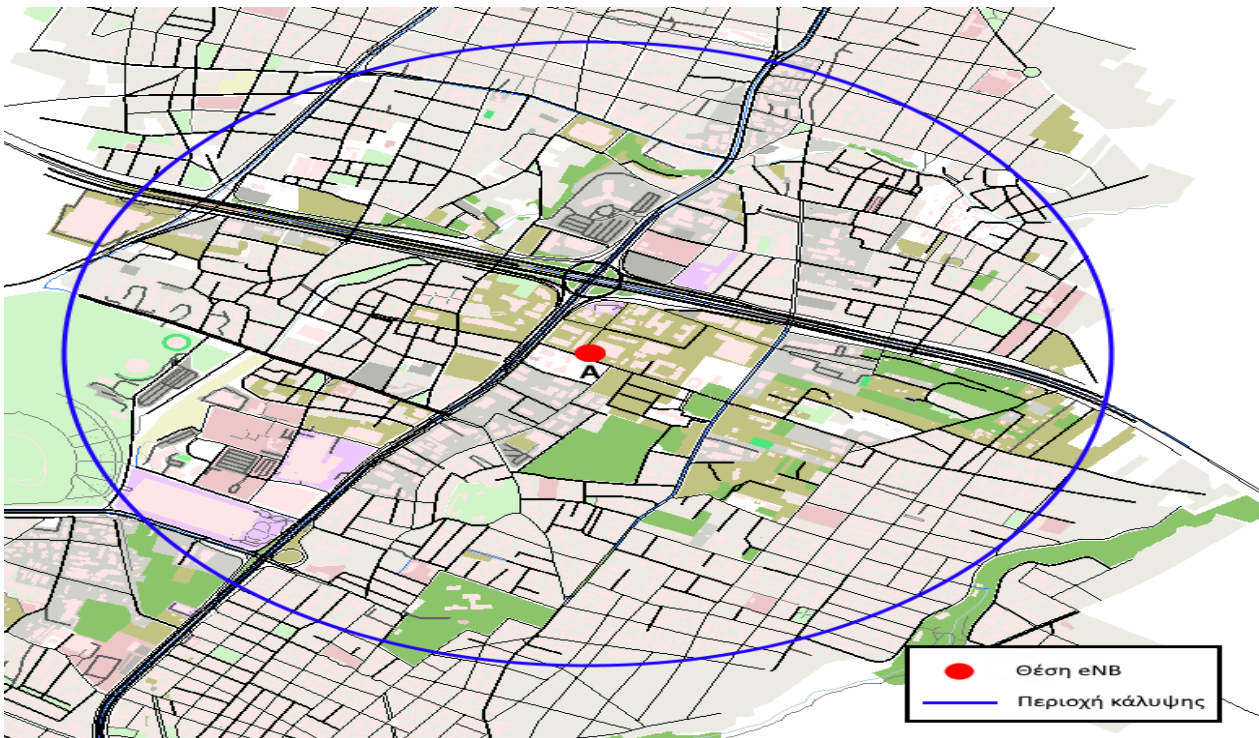
5.1.3 Ενσωμάτωση μηνυμάτων σε ευρύτερο πλαίσιο

Τα μηνύματα της downlink και uplink ζεύξης που αναφέρθηκαν προηγουμένως ενσωματώνονται σε ένα ευρύτερο πλαίσιο του προτύπου IEEE802.11p., το οποίο προσθέτει επιπλέον 32 bytes στα πακέτα ανταλλαγής μηνυμάτων όπως φαίνεται στο Σχ.5.3.

FC	DUR	Address1	Address2	Address3	SEQ	QoS	Body	Frame	Data	FCS
2	4	6	6	6	2	2	0 ... 2304+			4

Σχήμα 5.3 Μορφή πλαισίου IEEE802.11p.

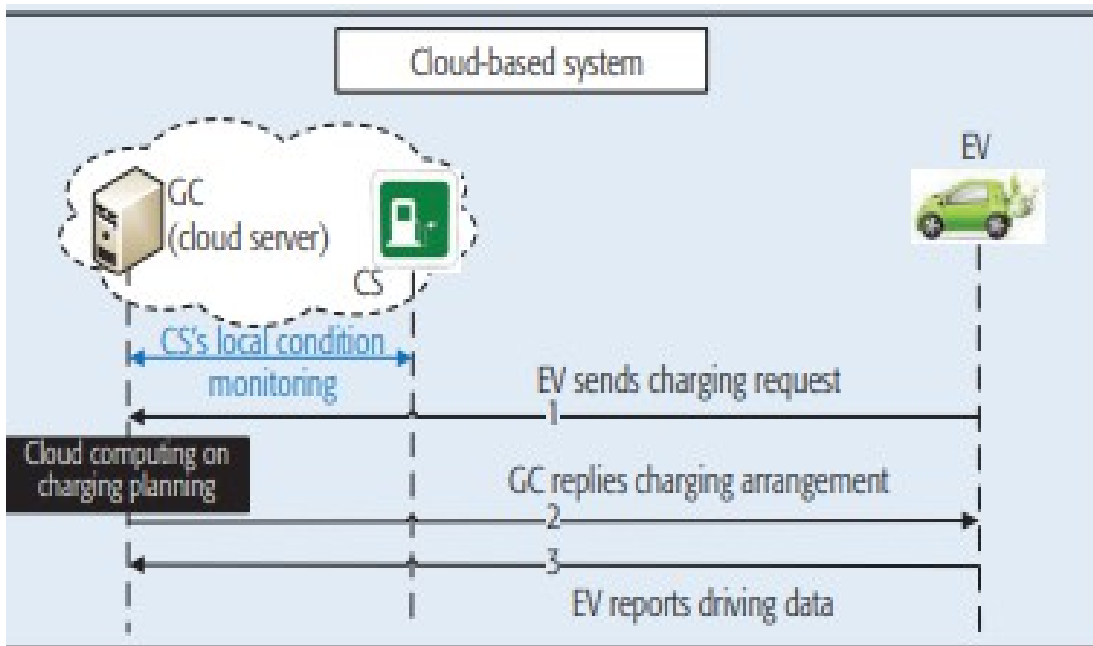
5.2 Διαδικασία φόρτισης για σενάριο κινούμενων οχημάτων



Σχήμα 5.4 Περιβάλλον Προσομοίωσης

Προκειμένου ο σχεδιασμός φόρτισης να μπορεί να εφαρμοσθεί σε ένα σενάριο κεντρικού κόμβου κυκλοφορίας όπως ο κόμβος Κηφισίας που μελετήθηκε στο [9], μήκους 2.5χλμ., χρειάζεται προσοχή. Καθώς η τοποθέτηση οντοτήτων RSUs είναι αρκετά δαπανηρή, με την εμβέλεια τους να είναι αρκετά μικρή (200 - 300m) θα θεωρηθεί οι οντότητες RSUs να είναι εγκατεστημένες στους σταθμούς βάσης. Αρχικά, θα γίνει η παρουσίαση της διαδικασίας φόρτισης με χρήση του LTE. Θεωρώντας το LTE, οι σταθμοί βάσης έχουν μεγάλη εμβέλεια(χιλιομέτρων) και η υποδομή τους είναι ήδη έτοιμη. Τα μηνύματα που μεταδίδονται έχουν μέγεθος 50 – 300bytes. Αφού γίνει η ανάλυση του προβλήματος με το LTE, θα εξετασθεί η προσθήκη της αρχιτεκτονικής MEC που παρέχει υπηρεσίες cloud computing στα άκρα του δικτύου.

5.2.1 Σενάριο φόρτισης με χρήση LTE



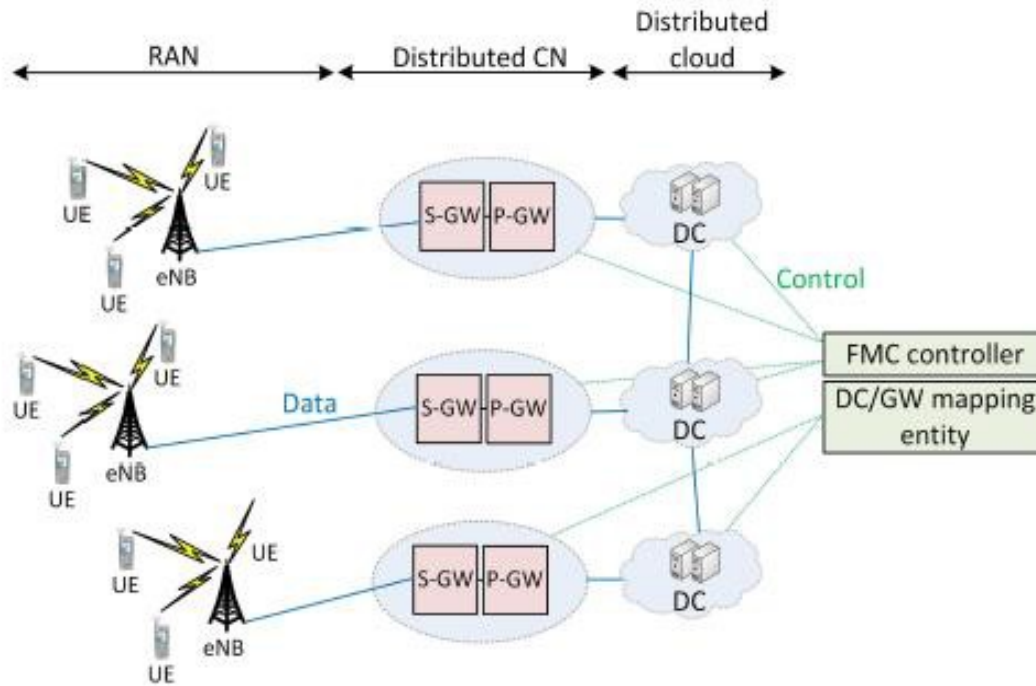
Σχήμα 5.5 Ανταλλασσόμενα μηνύματα στο LTE

Τα μέρη που ανταλλάσσουν μηνύματα είναι ο εξυπηρετητής νέφους, ο σταθμός φόρτισης και το ηλεκτρικό όχημα. Το περιεχόμενο του πακέτου που αποστέλλει ένα όχημα έχει τη μορφή του πακέτου του Σχ.5.2. Τα πακέτα που αποστέλλονται από τον εξυπηρετητή νέφους έχουν τη μορφή του πακέτου του Σχ.5.1.

Προκειμένου να μπορέσει το δίκτυο LTE να εξυπηρετήσει τους πολλούς χρήστες που εμπλέκονται στη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων, θα εξεταστεί η εφαρμογή της αρχιτεκτονικής FMC(Follow Me Cloud).

Τα δύο νέα μέρη που εισάγει η FMC είναι

1. Ο FMC Ελεγκτής
Αυτός περιλαμβάνει τους αποθηκευτικούς και υπολογιστικούς πόρους του συστήματος. Επιπλέον, διαχειρίζεται τα κέντρα δεδομένων και αποφασίζει ποιον εξοπλισμό χρήστη θα εξυπηρετήσει το καθένα
2. Η Οντότητα Απεικόνισης
Η οποία συλλέγει δεδομένα, όπως είναι ο χρόνος επικοινωνίας μεταξύ του πυρήνα του δικτύου και του κέντρου δεδομένων



Σχήμα 5.6 Αρχιτεκτονική FMC

Κάθε πακέτο που αποστέλλει ένα όχημα έχει μέγεθος 300bytes και ρυθμό μετάδοσης uplink 100kbps. Κάθε πακέτο που αποστέλλεται στα οχήματα έχει μέγεθος 200bytes και ο ρυθμός μετάδοσης του είναι 1Mbps. Κάθε ζεύξη του Σχ.5.6 έχει μέγιστο ρυθμό μετάδοσης 100Mbps και εισάγει συνολική καθυστέρηση σε κάθε μία από τις ζεύξεις downlink και uplink 20ms. Η επικοινωνία ξεκινά από το όχημα με την αποστολή κάποιου αιτήματος φόρτισης στον εξυπηρετητή νέφους. Στη συνέχεια, ο εξυπηρετητής νέφους στέλνει μήνυμα στο όχημα ενημερώνοντας το για τη διαθεσιμότητα κάποιου ελεύθερου σταθμού φόρτισης. Τελικά, το όχημα πραγματοποιεί κράτηση θέσης. Θεωρείται ότι το 20% των οχημάτων στον κόμβο Κηφισίας αποστέλλουν μήνυμα στον εξυπηρετητή νέφους, ενώ τελικά μόνο το 10% πραγματοποιεί κράτηση θέσης. Οι ουρές των ζεύξεων είναι DropTail με χωρητικότητα 100 πακέτων. Για να προσδιοριστεί η καθυστέρηση κάθε πακέτου ανοδικής και καθοδικής ζεύξης χρησιμοποιείται η σχέση:

$$t = (s \times 8 \text{ bits})/R + 20\text{ms} \quad (5.1)$$

όπου s το μέγεθος του πακέτου σε bytes και R ο ρυθμός μετάδοσης του πακέτου σε bps. Το t προκύπτει από το άθροισμα του χρόνου μετάδοσης του πακέτου και της συνολικής καθυστέρησης από τις ζεύξεις (20ms). Η διάρκεια καθυστέρησης κάθε πακέτου ανοδικής ζεύξης είναι $(300 \times 8\text{bits})/(100\text{kbps}) + 20\text{ms} = 44\text{ms}$. Η διάρκεια καθυστέρησης καθοδικής ζεύξης είναι $(200 \times 8\text{bits})/(1\text{Mbps}) + 20\text{ms} = 21.6\text{ms}$, αντίστοιχα. Τα μεγέθη των πακέτων ανερχόμενης και κατερχόμενης ζεύξης (300bytes και 200bytes αντίστοιχα) προέκυψαν από τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο [16], ενώ οι ρυθμοί μετάδοσης ανερχόμενης και κατερχόμενης ζεύξης (100kbps και 1Mbps) επιλέχθηκαν σύμφωνα με τη μελέτη που έγινε στο [9].

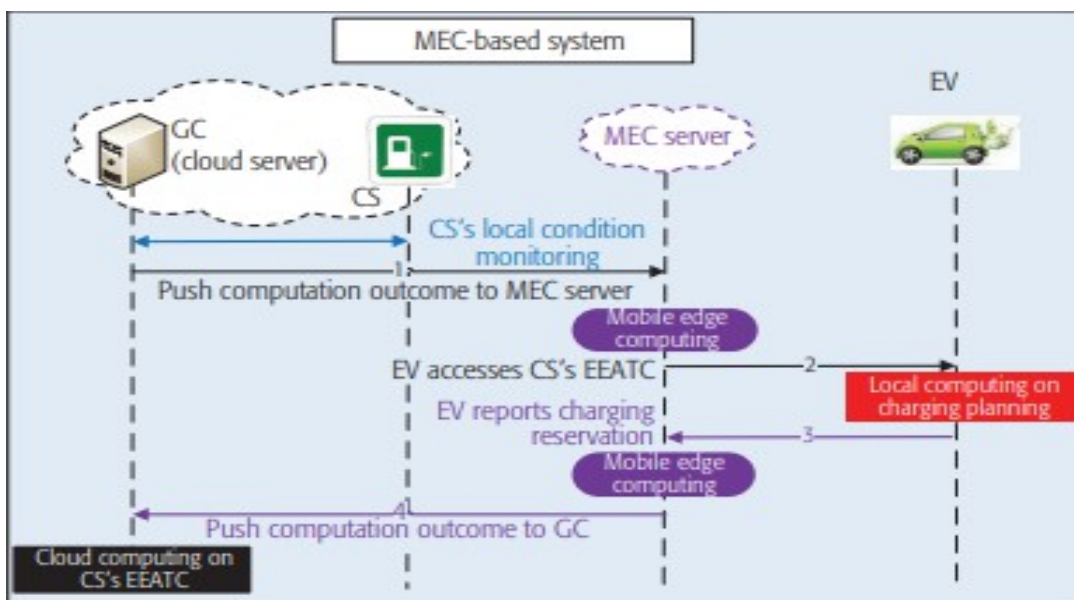
Υπολογισμός χρόνου για την ανταλλαγή μηνυμάτων

Η διαδικασία ξεκινά με το 20% των κινούμενων οχημάτων να αποστέλλουν αίτημα στον εξυπηρετητή νέφους. Σύμφωνα με την (5.1), το πακέτο που στέλνει κάθε όχημα φθάνει στον εξυπηρετητή νέφους σε 44ms. Στη συνέχεια, ο εξυπηρετητής νέφους αποστέλλει πακέτο

πληροφορίας σε κάθε ένα όχημα που αιτήθηκε φόρτιση. Ο χρόνος αποστολής κάθε πακέτου είναι 21.6ms. Τέλος, κάνει κράτηση το 10% των κινούμενων οχημάτων στέλνοντας το κάθε ένα μήνυμα με καθυστέρηση διάρκειας 44ms. Η συνολική διαδικασία επικοινωνίας για κάθε όχημα διαρκεί περίπου 110ms (44ms + 21.6ms + 44ms).

Πρέπει να επισημανθεί ότι στην πραγματικότητα τα ανταλλασσόμενα μηνύματα στο δίκτυο δεν αφορούν μόνο τη φόρτιση οχημάτων. Συνυπάρχουν υπηρεσίες που αφορούν την οδική ασφάλεια ή την εξυπηρέτηση των πεζών(εφαρμογές κινητών τηλεφώνων). Από τα προηγούμενα, αρχίζει να φαίνεται ότι χρειάζεται μια αλλαγή στην υπάρχουσα αρχιτεκτονική. Μια λύση μπορεί να είναι η προσθήκη ενός τοπικού εξυπηρετητή που θα επεξεργάζεται τα δεδομένα στις παρυφές του δικτύου. Ο τοπικός εξυπηρετητής θα μπορεί να συγχωνεύει τα αιτήματα των οχημάτων και να αποστέλλει στον απομακρυσμένο εξυπηρετητή μόνο συγκεντρωτικά μηνύματα. Αυτή η λύση θα εξεταστεί στη συνέχεια μέσω της αρχιτεκτονικής MEC.

5.2.2 Σενάριο φόρτισης με χρήση της αρχιτεκτονικής MEC



Σχήμα 5.7 Ανταλλασσόμενα μηνύματα με χρήση MEC

Με τη βοήθεια της αρχιτεκτονικής MEC, η επικοινωνία γίνεται σύμφωνα με το Σχ.5.7. Η ανταλλαγή μηνυμάτων ξεκινά από τον εξυπηρετητή νέφους. Τα οχήματα απαντούν σε κάποιο πακέτο που τους γνωστοποιεί την πληροφορία φόρτισης. Κάθε χρονικό διάστημα διάρκειας T , ο εξυπηρετητής νέφους γνωστοποιεί τη διαθεσιμότητα των σταθμών φόρτισης στον εξυπηρετητή MEC. Όταν το όχημα ενημερωθεί για τη διαθεσιμότητα θέσεων, αποστέλλει, εφόσον το ζητήσει ο χρήστης του, στον εξυπηρετητή MEC αίτημα φόρτισης ώστε να γίνει κράτηση μίας θέσης φόρτισης.

Στη συνέχεια, ο εξυπηρετητής MEC συγκεντρώνει όλα τα αιτήματα φόρτισης (σε κάποιο χρονικό διάστημα διάρκειας $T+L$) σε ένα πακέτο και αποστέλλει την πληροφορία στον εξυπηρετητή νέφους. Έστω ότι ο εξυπηρετητής νέφους ενημερώνει τον εξυπηρετητή MEC κάθε $T=0.5\text{sec}$ και σε χρόνο $L=1\text{sec}$ ο τελευταίος συγκεντρώνει τα πακέτα από τα οχήματα. Η καθυστέρηση της ζεύξης μεταξύ του εξυπηρετητή MEC και του οχήματος είναι σχεδόν μηδενική, ενώ η καθυστέρηση της ζεύξης μεταξύ των κόμβων MEC και των εξυπηρετητών νέφους είναι 20ms. Επιπλέον, θεωρείται ότι το πακέτο με όλες τις κρατήσεις θέσεων που αποστέλλει ο MEC εξυπηρετητής στον εξυπηρετητή νέφους έχει μέγεθος 1000bytes. Επειδή η ανερχόμενη ζεύξη εξυπηρετεί με ρυθμό

100kbps, ο χρόνος μετάδοσης αυτού του μηνύματος θα είναι $(1000 \times 8\text{bits})/(100\text{kbps}) + 20\text{ms} = 100\text{ms}$.

Υπολογισμός χρόνου για την κράτηση θέσεων φόρτισης

Τα οχήματα που εισέρχονται στην περιοχή κάλυψης του εξυπηρετητή MEC λαμβάνουν μήνυμα όπου τους ανακοινώνεται η διαθεσιμότητα θέσεων στους σταθμούς φόρτισης. Η πληροφορία αυτή αποστέλλεται σε όλα τα οχήματα που καλύπτει ο MEC, από τα οποία αναμένεται να πραγματοποιήσουν κράτηση το 10%. Θα θεωρηθεί ότι σε κάθε διάστημα L κάνουν αίτημα φόρτισης το 1/3 αυτών των οχημάτων, με την διαδικασία κράτησης τους να διαρκεί

$$T + L + 100\text{ms} = 1.6\text{sec}$$

όπου T+L ο χρόνος συλλογής των πακέτων που θα αθροιστούν και θα μεταδοθούν και 100ms η καθυστέρηση μετάδοσης του πακέτου 1000bytes από τον εξυπηρετητή MEC στον εξυπηρετητή νέφους. Η συνολική διαδικασία κράτησης των αιτούμενων οχημάτων διαρκεί 4.8sec (3 x 1.6sec).

Συμπεράσματα

Με τη χρήση της MEC αρχιτεκτονικής τα μοναδικά οχήματα που επικοινωνούν έμμεσα(μέσω του MEC) με τον εξυπηρετητή νέφους είναι μόνον εκείνα που αιτούνται κράτηση θέσης. Επιπλέον, ο απομακρυσμένος εξυπηρετητής δεν έχει καθόλου φόρτο εργασίας για την ενημέρωση των οχημάτων ή την κράτηση επιμέρους θέσεων.

5.3 Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος στην οικία

Σε αυτήν την ενότητα, θα μελετηθεί η G2H (Grid to Home) τεχνολογία σε μια αραιοκατοικημένη περιοχή με χαμηλό φόρτο χρησιμοποίησης του ηλεκτρικού δικτύου. Συγκεκριμένα, πρόκειται για μια περιοχή στο Καπανδρίτι ακτίνας 0.20km. Η φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων πραγματοποιείται κυρίως τις απογευματινές και βραδυνές ώρες. Για τη φόρτιση στο σπίτι πρέπει να υπάρχει ο απαιτούμενος εξοπλισμός, όπως αισθητήρες και συσκευές έξυπνης μέτρησης, προκειμένου να μην υπερφορτωθεί το ηλεκτρικό δίκτυο σε περίπτωση ζήτησης ενέργειας από πολλούς χρήστες.

Η περιοχή μελέτης του Σχ.5.8 περιέχει 50 περίπου κατοικίες και η μέση διάρκεια φόρτισης θεωρείται δύο ώρες περίπου. Σε κάθε οικία θεωρείται ότι φορτίζεται ένα όχημα.



Σχήμα 5.8 Περιοχή μελέτης - Καπανδρίτι

5.3.1 Σενάριο φόρτισης με χρήση LTE

Χρησιμοποιείται ως βάση η ανταλλαγή μηνυμάτων που γίνεται στο Σχ.5.5 και θεωρείται ότι κάθε πακέτο που λαμβάνει μέρος στην επικοινωνία έχει μέγεθος 100bytes. Η ταχύτητα μετάδοσης των πακέτων είναι 100kbps στην ανοδική ζεύξη και 1Mbps στην καθοδική ζεύξη. Επιπλέον, υπάρχει ένας απομεμακρυσμένος εξυπηρετητής που γνωρίζει την κατάσταση του ηλεκτρικού δικτύου. Τέλος, με την χρησιμοποίηση της FMC αρχιτεκτονικής, προστίθεται καθυστέρηση 20ms σε κάθε αποστολή πακέτου για τη μετάδοσή του.

Πρωινές ώρες

Τις πρωινές ώρες θεωρείται ότι θα γίνει αίτημα φόρτισης από 10 οχήματα. Κάθε θέση φόρτισης στο σπίτι αποστέλλει ένα πακέτο αιτήματος φόρτισης στον απομακρυσμένο εξυπηρετητή με διάρκεια αποστολής πακέτου σύμφωνα με την (5.1) $(100 \times 8\text{bits})/(100\text{kbps}) + 20\text{ms} = 28\text{ms}$ (ανοδική ζεύξη). Ο εξυπηρετητής αποστέλλει ένα πακέτο, στο οποίο ενημερώνει ότι το ηλεκτρικό δίκτυο δεν είναι απασχολημένο, καθώς επίσης και την τιμή της υπηρεσίας φόρτισης. Η διάρκεια αποστολής του πακέτου στην καθοδική ζεύξη είναι $(100 \times 8\text{bits})/(1\text{Mbps}) + 20\text{ms} = 20.8\text{ms}$. Μετέπειτα, αποστέλλεται πακέτο πληροφορίας στον απομακρυσμένο εξυπηρετητή, για την εκκίνηση της διαδικασίας φόρτισης διάρκειας 28 ms. Η συνολική διάρκεια για την επικοινωνία φόρτισης ενός οχήματος στην οικία είναι περίπου 77ms (28ms + 20.8ms + 28ms).

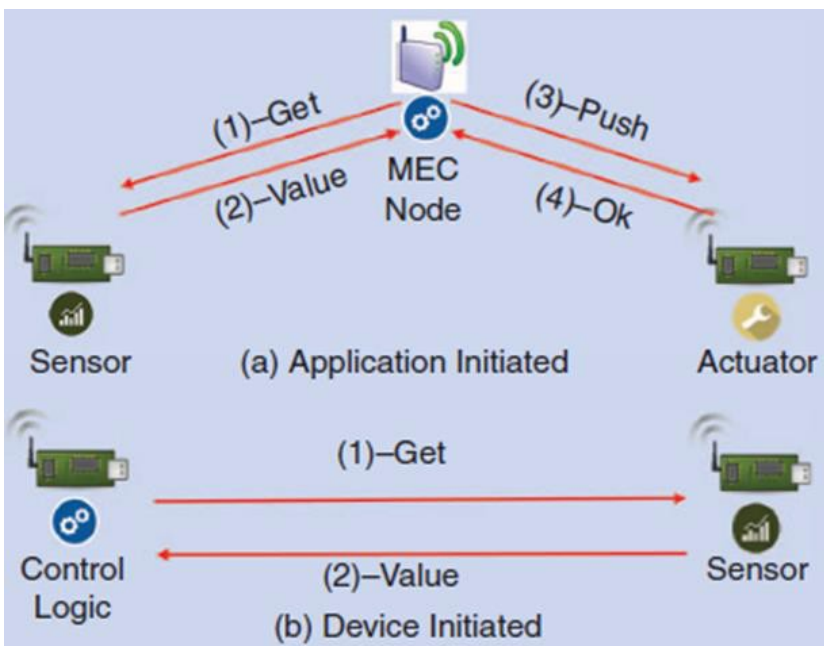
Απογευματινές/Βραδυνές ώρες

Αυτές τις ώρες, ενδεχομένως το ηλεκτρικό δίκτυο να είναι υπερφορτωμένο. Θεωρώντας ότι ο απομακρυσμένος εξυπηρετητής έχει γνώση για την κατάσταση του ηλεκτρικού δικτύου, γίνεται απόρριψη κάποιων αιτημάτων φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Παρόλο που επιλέχθηκε μια αραιοκατοικημένη περιοχή προς μελέτη είναι γεγονός ότι θα ζητήσουν ηλεκτρική ενέργεια και οχήματα μιας μεγαλύτερης γεωγραφικά περιοχής.

5.3.2 Σενάριο φόρτισης με χρήση της αρχιτεκτονικής MEC

Σε αυτό το σενάριο θα τοποθετηθεί ένας εξυπηρετητής MEC κοντά στην κατοικία των κατόχων ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Προκειμένου να υπάρξει υλοποίηση του σεναρίου φόρτισης με χρήση των MEC εξυπηρετητών, χρειάζεται να τοποθετηθεί ένας αισθητήρας υποδοχής, κοντά στην πρίζα όπου θα συνδεθεί το όχημα, ώστε να λαμβάνει πληροφορία από τον τοπικό εξυπηρετητή MEC. Ο MEC εξυπηρετητής δέχεται διαρκώς ενημέρωση για την κατάσταση του ηλεκτρικού δικτύου.

Κατά τη διαδικασία επικοινωνίας, ο MEC εξυπηρετητής στέλνει μήνυμα στον αισθητήρα υποδοχής για να τον ενημερώσει για το πόσο απασχολημένο είναι το δίκτυο. Όταν το όχημα συνδεθεί στην πρίζα, ο αισθητήρας λαμβάνει την τιμή SoC και αποστέλλει ένα πακέτο στον εξυπηρετητή MEC γνωστοποιώντας του αυτήν την τιμή (αίτημα για φόρτιση). Όταν δεν υπάρχει υπερφόρτωση του ηλεκτρικού δικτύου, ο εξυπηρετητής MEC αποστέλλει ένα πακέτο εκκίνησης της διαδικασίας στην υποδοχή (actuator) και η τελευταία με τη σειρά της απαντά με ένα μήνυμα προς αυτόν. Αυτή η επικοινωνία περιγράφεται στο Σχ.5.9(a) (Εκκίνηση Εφαρμογής Φόρτισης – Application Initiated).



Σχήμα 5.9 Επικοινωνία με την εφαρμογή MEC

Στο Σχ.5.9(b) (Εκκίνηση Συσκευής – Device Initiated). περιγράφεται η λογική επικοινωνίας μεταξύ οχήματος και ενός αισθητήρα έξυπνης μέτρησης. Σε αυτή τη διαδικασία, ο εξυπηρετητής MEC επιβλέπει την κατανάλωση ενέργεια, προκειμένου να μην υπερφορτωθεί το δίκτυο.

Η καθυστέρηση στις ζεύξεις επικοινωνίας με τον αισθητήρα υποδοχής (sensor) και την πρίζα (actuator) είναι μηδενική και η καθυστέρηση μεταξύ τοπικού και απομακρυσμένου εξυπηρετητή είναι 20ms. Τα πακέτα που ανταλλάσσει ο εξυπηρετητής MEC με τις οντότητες της κατοικίας (sensor, actuator) έχουν μέγεθος 100bytes και η ταχύτητα uplink είναι 100kbps με την ταχύτητα downlink να είναι 1Mbps. Η διάρκεια αποστολής μηνυμάτων μεταξύ των MEC εξυπηρετητή, αισθητήρα και πρίζας υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση

$$t = (s \times 8\text{bits})/R \quad (5.2)$$

όπου s το μέγεθος του πακέτου σε bytes και R ο ρυθμός μετάδοσης του πακέτου σε bps.

Σύμφωνα με το Σχ.5.9, τα ανταλλασσόμενα πακέτα είναι συνολικά τέσσερα (δύο ανοδικής και δύο καθοδικής ζεύξης). Η επικοινωνία γίνεται μεταξύ των MEC εξυπηρετητή, actuator και sensor. Σύμφωνα με την (5.2) κάθε πακέτο uplink έχει καθυστέρηση διάρκειας $(100 \times 8\text{bits})/100\text{kbps} = 8\text{ms}$, ενώ κάθε πακέτο downlink $(100 \times 8\text{bits})/(1\text{Mbps}) = 0.8\text{ms}$. Τέλος, αποστέλλεται ένα πακέτο από τον εξυπηρετητή MEC στον απομακρυσμένο εξυπηρετητή και η διάρκεια καθυστέρησης του σύμφωνα με την (5.1) είναι $(100 \times 8\text{bits})/(100\text{kbps}) + 20\text{ms} = 28\text{ms}$. Επομένως, όταν το δίκτυο δεν είναι απασχολημένο η καθυστέρηση εκκίνησης της φόρτισης του οχήματος είναι περίπου 45.5ms ($28\text{ms} + 2 \times 8\text{ms} + 2 \times 0.8\text{ms}$).

Αποτελέσματα

Χρόνος εξυπηρέτησης οχήματος με τη χρήση LTE (ms)	Χρόνος εξυπηρέτησης οχήματος με τη χρήση MEC (ms)
77	45.5

Πίνακας 5.3 Σύγκριση χρόνου εξυπηρέτησης ενός οχήματος

Με την χρήση της αρχιτεκτονικής LTE η εκκίνηση της επικοινωνίας γίνεται από το όχημα. Στην περίπτωση συμφόρησης, το όχημα χρειάζεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα να αποστέλλει κάποιο πακέτο πληροφορίας στο πληροφοριακό κέντρο, ώστε να ελέγχει αν το ηλεκτρικό δίκτυο είναι διαθέσιμο. Αυτή η μέθοδος συναντά δυσκολίες το βράδυ.

Με την αρχιτεκτονική MEC, η εκκίνηση της επικοινωνίας γίνεται από τον εξυπηρετητή MEC, ο οποίος κάνει ενημέρωση για τη διαθεσιμότητα του δικτύου. Το όχημα μπορεί να συνδεθεί στην πρίζα της οικίας οποτεδήποτε, ακόμα και όταν υπάρχει συμφόρηση στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η φόρτιση θα ξεκινήσει όταν το δίκτυο είναι διαθέσιμο.

5.4 Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος σε χώρο στάθμευσης

Θα γίνει ανάλυση της διαδικασίας επικοινωνίας για φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος σε ιδιωτικό χώρο στάθμευσης. Αρχικά, ένα σύστημα φόρτισης σε χώρο στάθμευσης πρέπει να ικανοποιεί κάποιες προδιαγραφές. Αυτές είναι:

1. Η ορθή διαχείριση της ζήτησης. Χρειάζεται να γίνονται διεργασίες στο σύστημα προκειμένου η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας να ισορροπεί με την προσφορά, αξιοποιώντας και τη δυνατότητα χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
2. Η αυτόματη χρέωση και ο έλεγχος του συστήματος
3. Η εύκολη και οικονομική τοποθέτηση του εξοπλισμού φόρτισης
4. Η ευκολία στη χρήση του

5. Η δυνατότητα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας από τα ηλεκτρικά οχήματα πίσω στο δίκτυο όταν αυτό είναι απαραίτητο για την εξισορρόπηση προσφοράς – ζήτησης.

Χρειάζεται, επίσης, να γίνει αναφορά στην οντότητα CNO (Charging Network Operator). Αυτή είναι μια φυσική οντότητα (hardware) η οποία καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια, την οποία μεταπωλεί σε καταναλωτές για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων. Η CNO είναι υπεύθυνη για την προσφορά του δικτύου και της δυνατότητας επικοινωνίας που χρειάζονται οι σταθμοί φόρτισης για τη λειτουργία τους.

5.4.1 Χρήση πλατφόρμας DOMOCELL για φόρτιση σε χώρο στάθμευσης

Όλες οι προδιαγραφές που αναφέρθηκαν προηγουμένως ικανοποιούνται από μια πλατφόρμα που αναπτύχθηκε από το ισπανικό ερευνητικό πρόγραμμα DOMOCELL. Η πλατφόρμα DOMOCELL είναι σχεδιασμένη προκειμένου να αξιοποιεί την επικοινωνία μεταξύ των CNO και των εταιρειών παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Άρα, επιτρέπει στις CNO να ελέγχουν πότε και πώς θα φορτίζονται τα ηλεκτρικά οχήματα σύμφωνα με τις εντολές που δίνονται από τις ηλεκτρικές εταιρείες. Επίσης, η DOMOCELL αποτελεί μια από τις οικονομικότερες και αποδοτικότερες λύσεις για τη φόρτιση σε χώρους στάθμευσης και παρέχει έναν απλό τρόπο επιβεβαίωσης της γνησιότητας των χρηστών, καθώς και ένα αποδεκτό κόστος μηνιαίας χρέωσης.

Η πλατφόρμα DOMOCELL αποφεύγει να χρησιμοποιεί μια συγκεντρωτική διαχείριση του συστήματος επικοινωνιών όπως θα γινόταν με το LTE, μειώνοντας, έτσι, τον κίνδυνο συμφόρησης. Επίσης, δεν χρησιμοποιεί ούτε μια πλήρως αποκεντρωμένη διαχείριση που θα είχε δυσκολία στη συντήρηση και δυσχέρεια στην αποδοτική χρήση των διαθέσιμων πόρων. Αντίθετα, χρησιμοποιείται μια αρχιτεκτονική παρόμοια του MEC. Κατά αυτόν τον τρόπο, μοιράζεται η ευφυΐα του συστήματος σε πληροφοριακές οντότητες στα άκρα, οι οποίες συγκεντρώνουν δεδομένα από τους σταθμούς φόρτισης, τους διαχειρίζονται και επικοινωνούν με απομακρυσμένους εξυπηρετητές όταν χρειαστεί. Αυτές οι πληροφοριακές οντότητες θα αποκαλούνται Συγκεντρωτές (Concentrators) από εδώ και στο εξής.

5.4.1.1 Αρχιτεκτονική πλατφόρμας DOMOCELL

Η πλατφόρμα DOMOCELL χρησιμοποιεί μια ημι-συγκεντρωτική (όπως εξηγήθηκε προηγουμένως), ιεραρχική και υβριδική διαχείριση της επικοινωνίας.

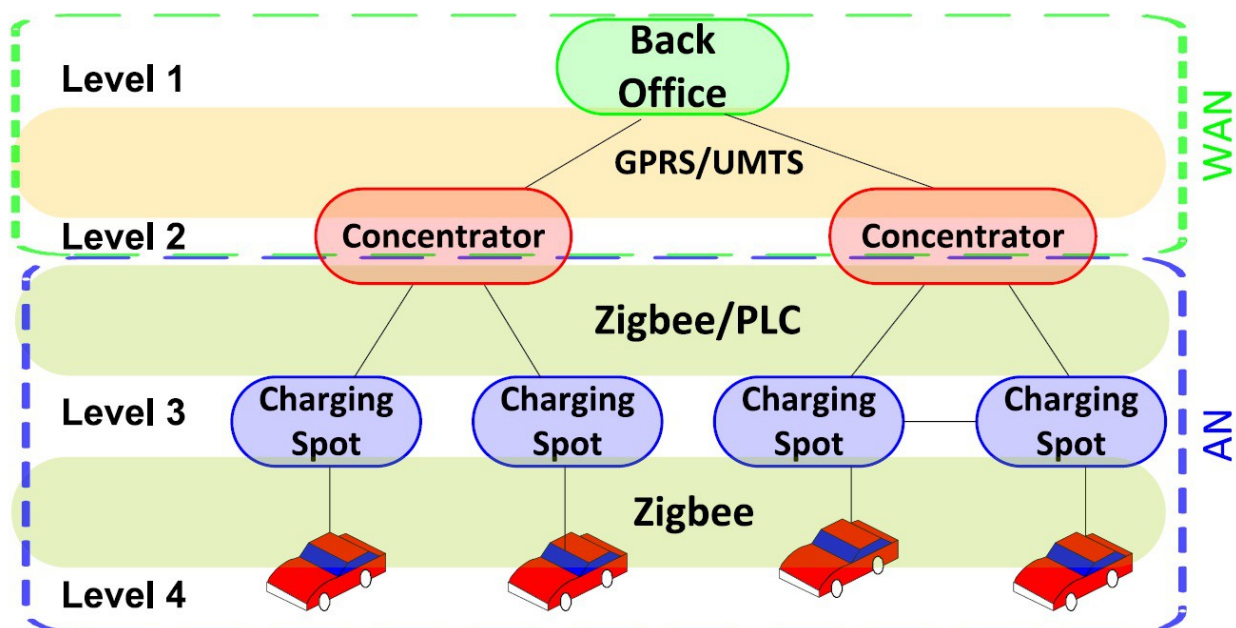
Είναι ιεραρχική καθώς χρησιμοποιεί μια δομή τεσσάρων επιπέδων:

- Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα βρίσκονται στο χαμηλότερο επίπεδο (τέταρτο)
- Οι σταθμοί φόρτισης βρίσκονται στο τρίτο επίπεδο
- Οι Concentrators βρίσκονται στο δεύτερο επίπεδο
- Το πρώτο επίπεδο καταλαμβάνει το back office

Είναι υβριδική καθώς χρησιμοποιεί διαφορετικές τεχνολογίες επικοινωνίας μεταξύ των διαφόρων επιπέδων:

- Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα και οι σταθμοί φόρτισης επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω της τεχνολογίας Zigbee, η οποία βοηθά στη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και στην ύπαρξη αξιοπιστίας και ασφάλειας
- Μεταξύ των σταθμών φόρτισης και των Concentrators χρησιμοποιείται είτε η τεχνολογία PLC είτε πάλι η Zigbee
- Μεταξύ των Concentrators και του Back Office χρησιμοποιείται είτε η τεχνολογία GPRS(General Packet Radio Service) ή η UMTS(Universal Mobile Telecommunications System) στα δίκτυα 3G και 4G. Αυτές οι τεχνολογίες επιλέχτηκαν επειδή είναι ήδη εγκατεστημένες παντού και η συντήρησή τους είναι αρμοδιότητα των χειριστών του δικτύου.

Όλα αυτά φαίνονται στο Σχ.5.10:



Σχήμα 5.10 Τεχνολογίες επικοινωνίας στην DOMOCELL

Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν τα κύρια δομικά στοιχεία της DOMOCELL:

- Zigbee Vehicular Device (ZVD)
Το ZVD είναι το πρωτοπόρο στοιχείο της πλατφόρμας. Ουσιαστικά πρόκειται για μια συσκευή εγκατεστημένη στο ηλεκτρικό όχημα, η οποία παρακολουθεί την κατάσταση του συσσωρευτή του οχήματος, επικοινωνεί με την πλατφόρμα μέσω της ασύρματης επικοινωνίας με το Zigbee Charging Spot (ZCS) και επικοινωνεί μέσω διεπαφών του αυτοκινήτου με το χρήστη του. Η χρήση του ZVD μειώνει τις αρμοδιότητες του ZCS όσον αφορά τον έλεγχο διάφορων παραμέτρων της φόρτισης. Έτσι, μειώνεται το κόστος του ZCS και ταυτόχρονα ενθαρρύνεται η χρήση της υπηρεσίας σε χώρους στάθμευσης, όπου υπάρχει μειωμένη οικονομική δυνατότητα.
- Zigbee Charging Spot (ZCS)

Ο ZCS διαθέτει ένα ηλεκτρικό μετρητή και μια συσκευή Zigbee. Η συσκευή Zigbee χρησιμοποιείται για την ασύρματη διαχείριση του σταθμού φόρτισης και του ηλεκτρικού μετρητή. Ο ηλεκτρικός μετρητής χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης. Λειτουργίες όπως η οργάνωση, η αδειοδότηση και η διαχείριση της φόρτισης πραγματοποιούνται από άλλα δομικά στοιχεία της πλατφόρμας, μειώνοντας περαιτέρω το κόστος του ZCS.

- **Concetrator**

Σε κάθε χώρο στάθμευσης υπάρχει τουλάχιστον ένας Concetrator. Είναι συνδεδεμένος με όλους τους ZCS μέσω Zigbee ή PLC και επικοινωνεί με το Back Office μέσω κινητών επικοινωνιών. Οι λειτουργίες του Concetrator είναι οι εξής;

1. Συντονίζει το Zigbee δίκτυο των ZCSs
2. Λειτουργεί ως διεπαφή με τον Local AAA εξυπηρετητή
3. Είναι ο συνδετικός κρίκος μεταξύ του δικτύου των ZCSs και του Back Office
4. Εξουσιοδοτεί και οργανώνει τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων. Κάθε ημέρα, οι Concetrators λαμβάνουν πληροφορίες από το Back Office σχετικά με τη διαθεσιμότητα και την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος. Επίσης, λαμβάνουν από τα ZVDs την πληροφορία σχετικά με τη ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος. Έτσι, οι concetrators βοηθούν καθοριστικά στη σωστή και αποτελεσματική διαχείριση της φόρτισης.

- **Local authentication, authorization, and accounting server (Local AAA)**

Ο Local AAA εξυπηρετητής είναι υπεύθυνος για την επιβεβαίωση της γνησιότητας του χρήστη, την αδειοδότηση της φόρτισης και την καταχώρηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης. Ο εξυπηρετητής επικοινωνεί τόσο με τα ZVDs όσο και με το Back Office μέσω του Concetrator. Ο Local AAA εξυπηρετητής χρησιμοποιεί ένα τοπικό φάκελο με τα πιστοποιητικά των χρηστών τα οποία ανανεώνονται από τον Main AAA εξυπηρετητή που βρίσκεται στο Back Office. Επιπλέον, ο Local AAA εξυπηρετητής αποθηκεύει σε μια βάση δεδομένων την ηλεκτρική κατανάλωση των χρηστών η οποία ανά διαστήματα αποστέλλεται στο Back Office.

- **Πλατφόρμα Επικοινωνιών (Communications platform)**

Η Πλατφόρμα Επικοινωνιών λειτουργεί ως ενδιάμεσος μεταξύ του Back Office και όλων των Concetrators. Επίσης, ευθύνεται για τη συντήρηση και διαχείριση του δικτύου των Concetrators.

- **Back Office**

Το Back office αποτελεί το κεντρικό μέρος του συστήματος. Κάθε CNO που χρησιμοποιεί την πλατφόρμα DOMOCELL έχει τουλάχιστον ένα Back Office. Ο Back Office χωρίζεται σε τέσσερις επιμέρους μονάδες:

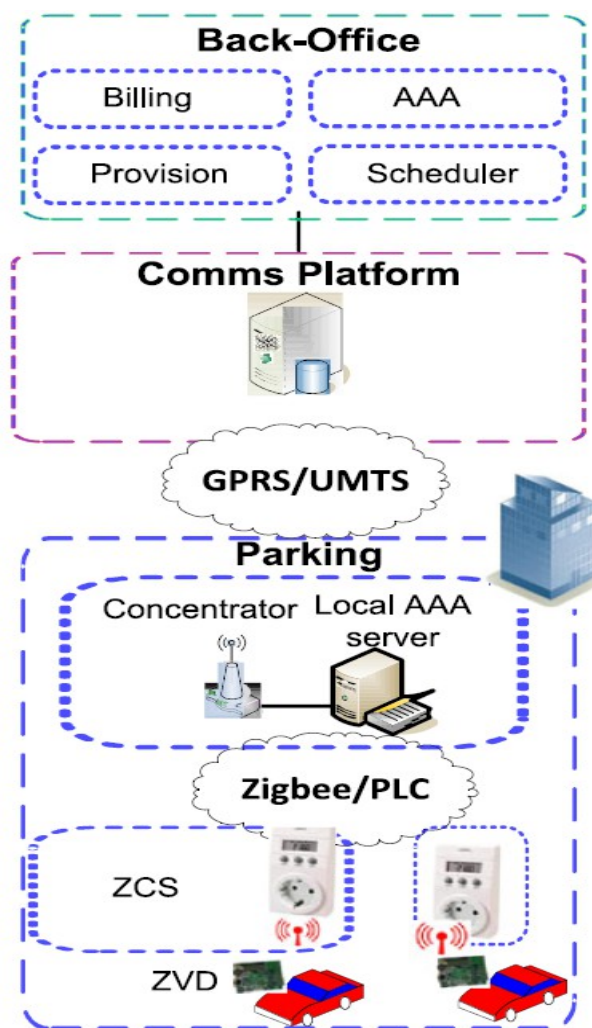
- **Μονάδα χρέωσης**

Είναι υπεύθυνη να συλλέγει τις επιμέρους χρεώσεις και να δημιουργεί τους μηνιαίους λογαριασμούς

- **Μονάδα Provision**

Είναι υπεύθυνη για την ενσωμάτωση της πλατφόρμας DOMOCELL στο ηλεκτρικό δίκτυο. Επίσης, αυτή η μονάδα παράγει πληροφορία για τη διαθεσιμότητα και την τιμή του ρεύματος για τη μονάδα Scheduler.

- Μονάδα Main AAA
Αυτή η μονάδα αποτελείται από έναν AAA εξυπηρετητή, μια βάση δεδομένων με τις πληροφορίες χρέωσης των χρηστών και ένα φάκελο με όλα τα διαπιστευτήρια των χρηστών του CNO. Χρησιμοποιείται επίσης, για την αναγνώριση των χρηστών σε περιπτώσεις όπου είτε οι χρήστες δεν είναι εγγεγραμμένοι σε χώρο στάθμευσης που διαχειρίζεται ο δικός τους CNO είτε προσπαθούν να συνδεθούν σε χώρο στάθμευσης που διαχειρίζεται διαφορετικός CNO.
- Μονάδα Scheduler
Αυτή η μονάδα διαχειρίζεται την ολική κατανάλωση ρεύματος κάθε χώρου στάθμευσης. Επίσης, ενημερώνει κάθε Concentrator για τη διαθεσιμότητα της ηλεκτρικής ενέργειας όπως και για την τιμή της σε κάθε χρονική ζώνη.



Σχήμα 5.11 Δομικά στοιχεία πλατφόρμας DOMOCELL

5.4.1.2 Πρωτόκολλα επικοινωνίας

Σε αυτό το εδάφιο θα γίνει αναφορά σε δύο πρωτόκολλα που δημιουργήθηκαν αποκλειστικά για την πλατφόρμα DOMOCELL:

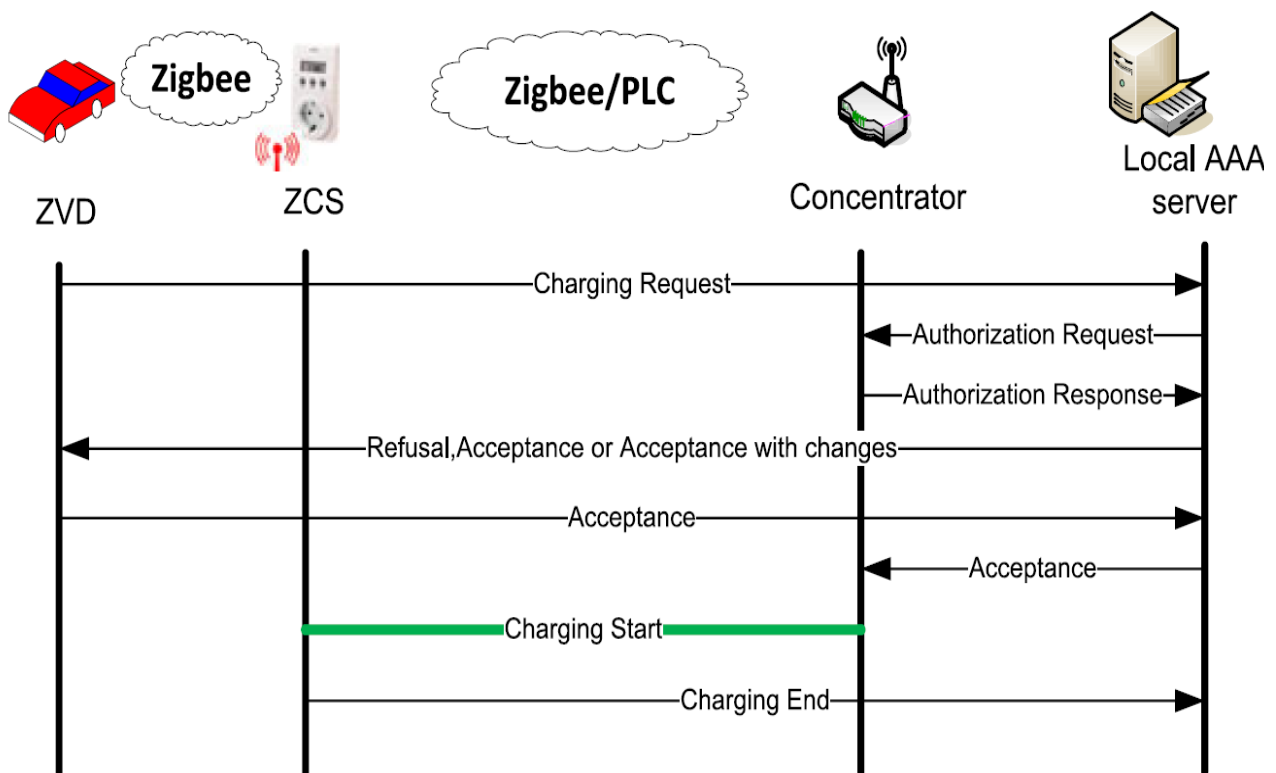
Πρωτόκολλο Ελέγχου (Control Protocol)

Είναι σχεδιασμένο για την επικοινωνία μεταξύ των ZVDs, των ZCSs και των Concentrators. Το πρωτόκολλο καθορίζει τα μηνύματα που χρησιμοποιούνται για τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Μεταξύ του ZVD και ZCS, επιβεβαίωση της γνησιότητας, και εξουσιοδότηση της φόρτισης.
- Μεταξύ του ZCS και του Concentrator, εντολές για εκκίνηση ή παύση της φόρτισης και αναφορά της κατανάλωσης όταν η φόρτιση ολοκληρωθεί.

Diameter Protocol

Αυτό χρησιμοποιείται σε περίπτωση όπου κάποιος χρήστης θέλει να φορτίσει το όχημά του σε κάποιον χώρο στάθμευσης και δεν είναι καταχωρισμένος τοπικά. Δηλαδή, είτε δεν έχει ξαναφορτιστεί σε αυτόν αλλά ο χώρος στάθμευσης ελέγχεται από τον ίδιο CNO από τον οποίο λαμβάνει υπηρεσίες ο χρήστης ελέγχει το χώρο στάθμευσης διαφορετικός CNO.



Σχήμα 5.12 Πρωτόκολλο Ελέγχου

5.4.1.3 Περιπτώσεις χρήσης - Προσομοίωση προβλήματος

Αρχικά, για κάθε χρήστη ηλεκτρικού οχήματος ο CNO που τον εξυπηρετεί εγκαθιστά ένα ZVD στο όχημα και του παρέχει ένα κωδικό πρόσβασης. Ο χρήστης καταχωρεί στον CNO τις τοποθεσίες

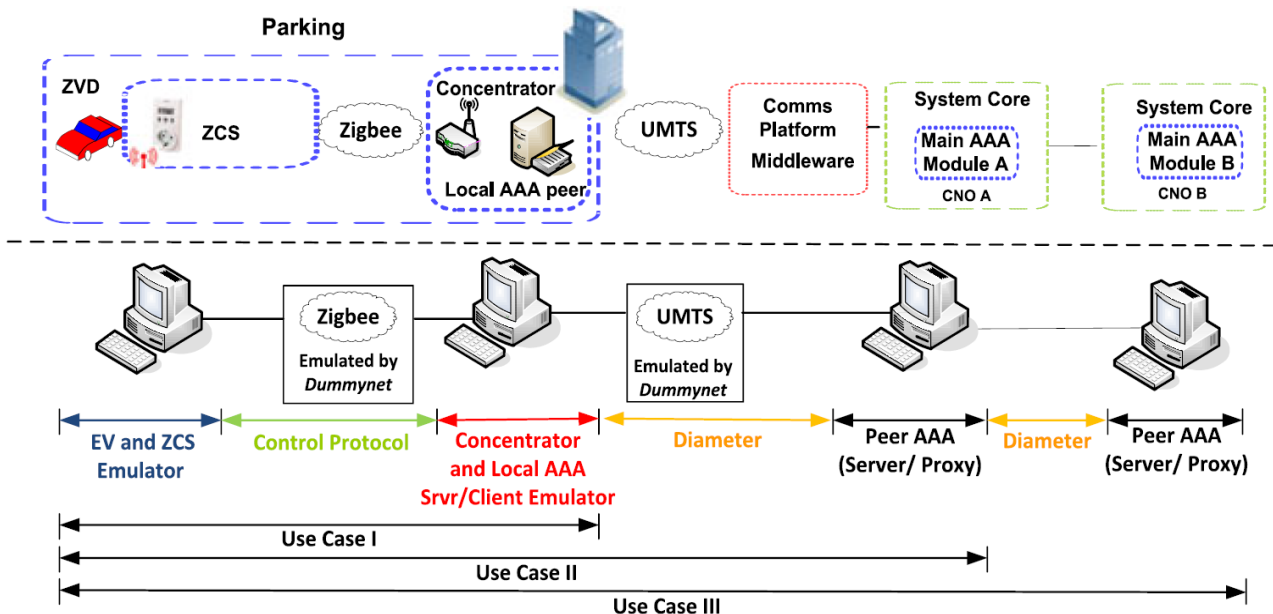
στις οποίες επιθυμεί να φορτίζει το όχημα του.

Στη συνέχεια, θα γίνει αναφορά σε τρεις περιπτώσεις χρήσης που προκύπτουν για τη φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος σε χώρο στάθμευσης:

- Ο χρήστης είναι ήδη καταχωρισμένος στον local AAA εξυπηρετητή
Σε αυτήν την περίπτωση, ο χρήστης σταθμεύει το αυτοκίνητο του σε ένα χώρο στάθμευσης που έχει καταχωρίσει στον CNO του. Ο χρόνος ταυτοποίησης του είναι ελάχιστος.
- Ο χρήστης δεν είναι καταχωρισμένος στον local AAA εξυπηρετητή
Σε αυτήν την περίπτωση ο χρήστης παρκάρει το όχημα σε ένα χώρο στάθμευσης που εξυπηρετεί ο αρχικός του CNO αλλά δεν είναι στον κατάλογο με τις τοποθεσίες που έχει ζητήσει να φορτίζει το όχημα του. Σε αυτήν την περίπτωση, υπάρχει μεγαλύτερος χρόνος ταυτοποίησης λόγω ανάγκης για περισσότερες επικοινωνίες μεταξύ των μερών του συστήματος.
- Υπηρεσία Περιαγωγής (Roaming)
Σε αυτήν την περίπτωση, ο χρήστης επιθυμεί να φορτίσει το όχημα σε χώρο στάθμευσης που εξυπηρετεί διαφορετικός CNO. Η φόρτιση εδώ είναι δυνατή μόνο εφόσον ο αρχικός CNO έχει μια σύμβαση υπηρεσιών με το διαφορετικό CNO. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, θα γίνει η ταυτοποίηση με περισσότερες διαδικασίες επικοινωνίας, άρα και με μεγαλύτερη καθυστέρηση και μεγαλύτερο κόστος λόγω της υπηρεσίας περιαγωγής.

Θα ακολουθήσει η διαδικασία προσομοίωσης και τα αποτελέσματα όπως διαπιστώθηκαν στο [17]

Στο Σχ.5.13 φαίνονται στο πάνω μέρος τα δομικά στοιχεία της πλατφόρμας DOMOCELL και στο κάτω μέρος τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση. Επίσης, φαίνονται και οι τεχνολογίες επικοινωνίας. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση είναι το Dummynet.



Σχήμα 5.13 Αντιστοίχιση στοιχείων πραγματικότητας - προσομοίωσης

Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση των ζεύξεων επικοινωνίας είναι οι

εξής:

- Στη ζεύξη Zigbee υποτίθεται ότι οι αποστάσεις μεταξύ των συσκευών Zigbee δεν υπερβαίνουν τα 50m. Η μέση καθυστέρηση της ζεύξης είναι 51ms και το εύρος ζώνης 156Kbps.
- Στη ζεύξη UMTS η μέση καθυστέρηση θεωρείται 80 ms και το εύρος ζώνης 384 Kbps

Τα νούμερα επιλέχθηκαν έτσι, σύμφωνα με αναλύσεις που έγιναν στο [21] και [22] αλλά και στο [17].

Πραγματοποιήθηκαν δύο δοκιμές στο [17], εκάστη με διαφορετικούς σκοπούς:

1) Η πρώτη δοκιμή αφορά την εξέταση της συμπεριφοράς επιβεβαίωσης της γνησιότητας και ως μέτρο χρησιμοποιήθηκε ο χρόνος επιβεβαίωσης της γνησιότητας. Και για τις τρεις περιπτώσεις χρήσης που αναφέρθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου η καθυστέρηση ήταν σε ένα διάστημα μερικών δευτερολέπτων(κυρίως μεταξύ 1sec και 2sec). Η τρίτη περίπτωση χρήσης χρειάστηκε τον περισσότερο χρόνο, κάτι αναμενόμενο.

2) Η δεύτερη δοκιμή αφορά την εξέταση της αξιοπιστίας του συστήματος. Ελέγχθηκε ότι μέχρι και 30 ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να ταυτοποιηθούν και καταχωρηθούν στην πλατφόρμα DOMOCELL ταυτόχρονα. Μάλιστα, εξετάστηκε κάποια από τα αυτοκίνητα να βρίσκονται σε διαφορετικές κατηγορίες χρήσης που αναφέρθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου. Σε κάθε περίπτωση η εξέταση υπήρξε επιτυχής.

5.4.1.4 Συμπεράσματα

Η αρχιτεκτονική που εξετάστηκε επιτρέπει στους CNOs να ελέγχουν την προσφορά και τη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας αποδοτικά, τόσο προς τα αυτοκίνητα όσο και από αυτά. Επίσης, διευκολύνει τη φόρτιση οχημάτων σε χώρους στάθμευσης εξυπηρετούμενους από διαφορετικούς CNOs μέσω περιαγωγής. Η κύρια καινοτομία, όμως, της πλατφόρμας DOMOCELL είναι η εισαγωγή της οντότητας ZVD, που επιτρέπει τη μείωση του κόστους υποδομών φόρτισης στους χώρους στάθμευσης, επιτρέποντας την ευρεία εξάπλωση αυτής της μεθόδου φόρτισης. Επιπλέον, η συνεισφορά της αρχιτεκτονικής MEC φαίνεται στα δομικά στάδια της πλατφόρμας, επιτρέποντας τη μείωση του φόρτου μηνυμάτων προς τα πληροφοριακά κέντρα και παρέχοντας τις κατάλληλες τεχνολογίες και λειτουργίες, ώστε να υπάρχει έγκαιρη ταυτοποίηση των χρηστών των ηλεκτρικών οχημάτων και να διασφαλίζεται η εξυπηρέτηση όλων των οχημάτων ταυτόχρονα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑ

Τα ηλεκτρικά οχήματα αναμένεται να κυριαρχήσουν στις μετακινήσεις τις επόμενες δεκαετίες στις αναπτυγμένες χώρες. Ο λόγος είναι ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση αυξάνεται συνεχώς, με αποτέλεσμα να αναζητούνται τρόποι ελαχιστοποίησής της. Τόσο η χρήση ΑΠΕ όσο και η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να αμβλύνουν το πρόβλημα του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Στην παρούσα διπλωματική αναλύθηκαν οι οικονομικές επιπτώσεις της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων στους πολίτες και στα κράτη όπως και οι ενεργειακές επιπτώσεις στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Όσον αφορά τις οικονομικές επιπτώσεις, προκειμένου οι χρήστες ηλεκτρικών οχημάτων να επωφεληθούν οικονομικά σε σχέση με τη χρήση συμβατικών οχημάτων, απαιτείται κάτι λιγότερο από μια δεκαετία. Σε επίπεδο κρατών γίνεται γνωστό από έρευνα ότι θα αυξηθεί το έλλειμμα εμπορικού ισοζυγίου αν τα ηλεκτρικά οχήματα δεν παράγονται στην ίδια χώρα και γίνεται εισαγωγή τους. Από την άλλη πλευρά, θα μειωθούν τα κρατικά έσοδα και θα ελαφρυνθεί το σύστημα υγείας μελλοντικά λόγω της καθαρότερης ατμόσφαιρας.

Σχετικά με την ενεργειακή επίπτωση στο ηλεκτρικό δίκτυο θα χρειαστεί να εφαρμοστούν καινοτόμες τεχνολογίες και συστήματα προκειμένου η επιβάρυνσή του να μην προκαλέσει προβλήματα στο σύνολο των χρηστών ηλεκτρικής ενέργειας. Η τεχνολογία Smart Grid φαίνεται να μπορεί να συνεισφέρει στην ομαλή ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο καθώς επιτρέπει την πλήρη ρύθμιση των ενεργών φορτίων στο δίκτυο και επιτρέπει την ομαλή και αμφίδρομη ροή ενέργειας μεταξύ δικτύου και ηλεκτρικών οχημάτων.

Στην παρούσα διπλωματική εξετάστηκαν οι χρήσεις του LTE, τόσο αυτοτελώς όσο και σε συνδυασμό με το MEC, όσον αφορά την επικοινωνία για φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων. Μελετήθηκαν τρία σενάρια σχετικά με την τοποθεσία όπου βρίσκεται ένα όχημα που ζητεί φόρτιση. Και στις τρεις περιπτώσεις, φάνηκε η χρησιμότητα της αρχιτεκτονικής MEC στις επικοινωνίες οχημάτων δεδομένου ότι παρέχει ταχύτερη και αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων στις παρυφές του δικτύου. Με αυτόν τον τρόπο, δεν επιβαρύνεται το δίκτυο κορμού, οπότε δεν επιβαρύνεται συνολικά το δίκτυο και οι χρήστες του. Η χρησιμότητα αυτή θα ενισχυθεί περαιτέρω από τη χρήση της τεχνολογίας MEC μέσω των δικτύων 5G.

Ορισμένες προτάσεις για μελλοντική έρευνα είναι:

- Να επιχειρηθεί προσομοίωση των τριών περιπτώσεων επικοινωνίας για φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων με χρήση υπολογιστή και συναφών προσομοιωτικών εργαλείων όπως το NS3.
- Να γίνει περαιτέρω οικονομική ανάλυση για τα ηλεκτρικά οχήματα με αναφορά στην Ελλάδα.(πχ επιδότηση για ηλεκτρικά οχήματα κλπ.). Στην παρούσα εργασία έχουν ληφθεί υπόψη οικονομικά στοιχεία για την περίπτωση της Ισλανδίας.
- Να εξεταστεί η χρήση του 5G για τις κάθε είδους επικοινωνίες των ηλεκτρικών οχημάτων.

Βιβλιογραφία

- [1]. ETSI TR 102 638 V1.1.1 (2009-06): Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications Definitions
- [2]. D. Founda, S. Kazadris, N. Mihalopoulos, E. Gerasopoulos, "Long-term visibility variation in Athens (1931–2013): A proxy for local and regional atmospheric aerosol loads", March 2016, Atmospheric Chemistry and Physics
- [3]. Σπυρος Λιβιεράτος, "Σημειώσεις Ευφύες Ηλεκτρικό Δίκτυο", Οκτώβριος 2014, Α.Σ.ΠΑΙ.Τ.Ε
- [4]. "Make your Network Edge Intelligent and Meet Tomorrow's Needs Today", 2016, Cisco public
- [5]. Y. Gao, M. Ehsani, «Electronic Braking system of EV», 2001, SAE Technical Paper Series
- [6]. K. Zhang, Y. Mao, S. Leng, Y. He, Y. Zhang, «Mobile Edge Computing for Vehicular Networks», IEEE Vehicular Technology Magazine, June 2017
- [7]. C. Vallati, A. Viridis, «Mobile edge computing come home», October 2016
- [8]. J. Moorhouse, K. Laufenberg, «Electric Vehicles: Powering the future», September 2010, The Pembina Institute
- [9]. Π. Γραμματικός, "Εφαρμογή MEC στις επικοινωνίες οχημάτων", Οκτώβριος 2018, Διπλωματική εργασία
- [10]. Ελισάβετ Δ. Γιαννακίδου, "Εφαρμογή του Mobile Edge Computing στη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων", Φεβρουάριος 2019, Διπλωματική εργασία
- [11]. Ξενοφών Μ. Μαυρουδής, "Τεχνολογίες Επικοινωνιών για Διασύνδεση των Ηλεκτρικών Οχημάτων με το Ευφύες Δίκτυο Ενέργειας", Νοέμβριος 2016, Διπλωματική εργασία
- [12]. Weixiang Shen; Thanh Tu Vo; Kapoor, A. (July 2012). "Charging algorithms of lithium-ion batteries: An overview". 2012 7th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)
- [13]. Peter Kasten, Joß Bracker, Markus Haller Öko-Institut e.V. Joko Purwanto Transport & Mobility Leuven (TML), "Electric mobility in Europe – Future impact on the emissions and the energy systems", 22.09.2016
- [14]. Richardson, Peter; Flynn, Damian; Keane, Andrew, "Optimal charging of electric vehicles in low-voltage distribution systems", 2011-06-23, IEEE
- [15]. Jóhann Sigurðsson, "Economic Effect of Implementing Electric Cars", 2010, MSc thesis
- [16]. D. Said, H. Mouftah, "Novel communication protocol for the EV Charging/discharging service based on vanets", May 2017
- [17]. Gregorio López, Víctor Custodio, Francisco J. Herrera and José Ignacio Moreno, "Machine-to

-machine communications infrastructure for smart electric vehicle charging in private parking lots", October 2013

[18]. www.wikipedia.org

[19]. Quiroga, Tony, "Driving the Future". Car and Driver (Hachette Filipacchi Media U.S., Inc.): p. 52, August 2009

[20]. Yue Cao, Houbing Song, Omprakash Kaiwartya, Bingpeng Zhou, Yuan Zhuang, Yang Cao, and Xu Zhang, "Mobile Edge Computing for Big-Data-Enabled Electric Vehicle Charging", March 2018

[21]. Pinedo-Frausto ED, Garcia-Macias JA. "An experimental analysis of Zigbee networks". 2008, 33rd IEEE Conference on Local Computer Networks

[22]. Budzisz L, Ferrús R, Brunstrom A, Grinnemo K, Fracchia R, Galante G, Casadevall F. "Towards transport-layer mobility: evolution of SCTP multihoming". March 2008, Computer Communications

[23]. Mohammad Kabalo, Florence Berthold Benjamin Blunier, David Bouquain, Sheldon Williamson, Abdellatif Miraoui, "Efficiency comparison of wire and wireless battery charging: Based on connection probability analysis", 2014, IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)