



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ ΚΑΙ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΣΕ
ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ**

Διπλωματική Εργασία

Παναγιώτου Νικόλαος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Ιούλιος 2021



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

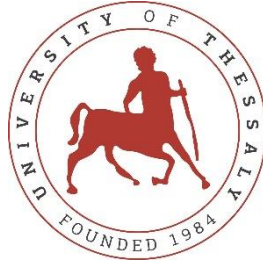
**ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ ΚΑΙ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΣΕ
ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ**

Διπλωματική Εργασία

Παναγιώτου Νικόλαος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Ιούλιος 2021



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

**ELECTRIC CAR AND ITS INTRODUCTION INTO A SMART
GRID**

Diploma Thesis

Panagiotou Nikolaos

Supervisor: Bargiotas Dimitrios

July 2021

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων

Μπαργιώτας Δημήτριος

Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

Δασκαλοπούλου Ασπασία

Επίκουρος Καθηγήτρια, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

Πλέσσας Φώτιος

Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά του γονείς μου που έδειξαν την αμέριστη στήριξή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου και μου προσέφεραν τις απαραίτητες αρετές και αξίες που διέπουν τη ζωή μου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δημήτριο Μπαργιώτα για την δημιουργική μας συνεργασία, για την πολύτιμη καθοδήγησή του και για το εφόδια που μου μετέδωσε, ώστε να συνεχίσω με επιμονή και υπομονή το δρόμο της γνώσης και της μόρφωσης.

**ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ
ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ**

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Δηλώνω επίσης ότι τα αποτελέσματα της εργασίας δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση άλλου πτυχίου. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο Δηλών

Παναγιώτου Νικόλαος

Διπλωματική Εργασία

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ ΚΑΙ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΣΕ ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ

Παναγιώτου Νικόλαος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των ηλεκτρικών οχημάτων και η αλληλεπίδραση τους με τους με το ευφυές ηλεκτρικό δίκτυο. Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται ιστορική αναφορά για την εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων καθώς και το τι επικρατεί στην αγορά τόσο παγκόσμια όσο και εγχώρια. Στην συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζεται το πιο σημαντικό στοιχείο ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου που είναι η πηγή ενέργειας του. Η πιο διαδεδομένη πηγή ενέργειας είναι οι μπαταρίες με πιο γνωστές τις μπαταρίες λιθίου. Βέβαια, η χρήση υπερπυκνωτών και κυψελών καυσίμων μπορούν να δώσουν μία διαφορετική προσέγγιση. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα είδη των βυσμάτων με τα οποία πραγματοποιείται η φόρτιση καθώς και οι χώροι που μπορεί να συμβεί. Στο τέταρτο κεφάλαιο, αναλύεται το ζήτημα της εισαγωγής του αυτοκινήτου στο ηλεκτρικό δίκτυο, τόσο από την πλευρά της φόρτισης και των στρατηγικών που πραγματοποιείται, τόσο και από την λειτουργία του V2G. Γίνεται εκτενής ανάλυση στα πλεονεκτήματα και τις χρήσεις του V2G, με ειδική αναφορά στην συνεργασία του ηλεκτρικού αυτοκινήτου με τις ανανεώσιμες πηγές, αλλά γίνεται και αναφορά στους περιορισμούς που έχει η συγκεκριμένη διαδικασία. Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται η επίδραση της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στην καμπύλη του δικτύου και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του δικτύου καθώς στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν από την κατασκευή και την χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων. Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξα από την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

ELECTRIC CAR AND ITS INTRODUCTION INTO A SMART GRID

Panagiotou Nikolaos

ABSTRACT

The object of this thesis is the study of electric vehicles and their interaction with the smart electrical grid. Initially in the first chapter a historical reference is made to the evolution of electric vehicles as well as what prevails in the market both globally and domestically. Then, in the second chapter, the most important element of an electric car that is its energy source is presented. The most common source of energy is batteries with the best known being lithium batteries. Of course, the use of ultra-capacitors and fuel cells can give a different approach. The third chapter refers to the types of plugs with which the charge is performed as well as the spaces that can occur. In the fourth chapter, the issue of the introduction of the car in the electrical grid is analyzed, both in terms of charging and the strategies carried out, as well as the operation of V2G. An extensive analysis is made of the advantages and uses of V2G, with special reference to the cooperation of the electric car with renewable sources, but also reference is made to the limitations of this process. The fifth chapter analyzes the effect of charging electric vehicles on the network curve and the quality characteristics of the network as well as the environmental impacts resulting from the construction and use of electric vehicles. Finally, the sixth chapter presents the conclusions I came to from the completion of my thesis.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	ix
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	xiii
ABSTRACT	xv
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	xvii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Ιστορική αναδρομή	1
1.2 Η αγορά	4
1.2.1. Η παγκόσμια αγορά	4
1.2.2. Η αγορά στην Ελλάδα	7
1.2.3. Το μέλλον στην αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	11
ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	11
2.1 Εισαγωγή	11
2.2 Τύποι ηλεκτρικών οχημάτων	12
2.3 Δομή ηλεκτρικού οχήματος	12
2.4 Συσσωρευτές	15
2.4.1. Μπαταρία μολύβδου οξέους(lead acid)	17
2.4.2. Μπαταρία νικελίου καδμίου (nickel cadmium).....	17
2.4.3. Μπαταρία νικελίου μετάλλου υδριδίου (nickel metal hydride)	18
2.4.4. Μπαταρία ιόντων λιθίου (lithium ion)	20
2.4.5. Μπαταρία λιθίου πολυμερούς (lithium polymer)	23
2.4.6. Μπαταρία θειούχου νατρίου (sodium sulfur)	23
2.5 Υπερ-πυκνωτές	24
2.6 Κυψέλες καυσίμου	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	31
ΤΡΟΠΟΙ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	31

3.1 Εισαγωγή.....	31
3.2 Σημεία φόρτισης.....	31
3.2.1. Φόρτιση στο σπίτι.....	31
3.2.2. Φόρτιση σε σημεία με δημόσια πρόσβαση	32
3.2.3. Φόρτιση στον χώρο εργασίας.....	33
3.3 Είδη φόρτισης.....	34
3.4 Είδη βυσμάτων για την φόρτιση	37
3.4.1. Υποδοχείς τύπου 1.....	37
3.4.2. Υποδοχείς τύπου 2.....	37
3.4.3. Υποδοχείς CCS.....	39
3.4.4. Υποδοχείς CHAdeMO.....	40
3.4.5. Υπερφορτιστής Tesla	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	43
ΕΞΥΓΝΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ.....	43
4.1 Ευφυές ηλεκτρικό δίκτυο	43
4.1.1. Ηλεκτρικό αυτοκίνητο και ηλεκτρικό δίκτυο.....	45
4.2 Φόρτιση ηλεκτρικού αυτοκινήτου	46
4.2.1. Στρατηγικές φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων	49
4.2.2. Έξυπνη φόρτιση	51
4.3 Η λειτουργία του V2G (Vehicle to Grid).....	58
4.3.1. V2G μονής κατεύθυνσης	58
4.3.2. Αμφίδρομο V2G	59
4.4 Στρατηγικές διαχείρισης του V2G	62
4.4.1. Κεντρική διαχείριση V2G	63
4.4.2. Αποκεντρωμένη διαχείριση V2G	63
4.4.3. Ιεραρχική διαχείριση V2G.....	64
4.5 Δυνατότητες και πλεονεκτήματα του V2G	64
4.5.1 Βοηθητικές υπηρεσίες	64
4.5.2 Υποστήριξη ενεργού ισχύος.....	65
4.5.3 Αντιστάθμιση άεργου ισχύος	66
4.5.4 Συνεργασία με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	67
4.6 Αιολική ενέργεια και V2G	68
4.7 Ηλιακή ενέργεια και V2G	70

4.7.1 Έξυπνες στρατηγικές ελέγχου	73
4.7.2 Χωρική διαμόρφωση	74
4.7.3 Τεχνολογίες του συστήματος φωτοβολταϊκών-ηλεκτρικών οχημάτων	76
4.8 Περιορισμοί ενός έξυπνου V2G	78
4.9 Βελτιστοποίηση του V2G.....	80
4.9.1 Βελτιστοποίηση κόστους	82
4.9.2 Βελτιστοποίηση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα	82
4.9.3 Βελτιστοποίηση της καμπύλης φορτίου και των απωλειών ισχύος.....	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	85
<i>Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ ΣΤΟ</i>	
<i>ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....</i>	85
5.1 Εισαγωγή.....	85
5.2 Επιπτώσεις στο δίκτυο διανομής από την φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων	85
5.2.1. Επίδραση στην καμπύλη ζήτησης του συστήματος	86
5.2.2. Επίδραση στην τάση του ηλεκτρικού δικτύου	89
5.2.3. Επίδραση στην φάση του ηλεκτρικού δικτύου.....	91
5.2.4. Ποιότητα ισχύος και απώλειες	91
5.3 Περιβάλλον και ηλεκτρικό αυτοκίνητο	93
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	97
<i>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ.....</i>	97
<i>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</i>	99

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια γίνεται λόγος για την ρύπανση του περιβάλλοντος, αν και πολλές φορές δεν είναι απόλυτα κατανοητό τι ακριβώς σημαίνει, πως προκαλείται, αν υπάρχουν τρόποι να αντιμετωπισθεί και ποιες είναι οι επιπτώσεις στην υγεία μας. Η περιβαλλοντική ρύπανση είναι άμεσα συνυφασμένη με την εξέλιξη της τεχνολογίας και της επιστήμης, η πρόοδος των οποίων εκτός από τα σημαντικά οφέλη που προσφέρει στον άνθρωπο έχει επίσης και δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία του και στο περιβάλλον. Έτσι η ολοένα και μεγαλύτερη ευαισθησία που δημιουργείται πάνω σε περιβαλλοντικά ζητήματα σε συνδυασμό με την αλόγιστη χρήση των ορυκτών πόρων ανάγκασε τους ανθρώπους και τις επιχειρήσεις να αναζητήσουν πιο εναλλακτικές και οικολογικές λύσεις. Στο πνεύμα των νέων δεδομένων οι κατασκευαστές οχημάτων οδηγήθηκαν στον σχεδιασμό και την κατασκευή ηλεκτρικών οχημάτων. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα εξασφαλίζουν πολύ μικρή εκπομπή ρύπων, καθώς μπορεί κατά την λειτουργία τους η εκπομπή να είναι μηδαμινή, αλλά αν χρησιμοποιούνται συμβατικές μορφές καυσίμων, όπως ο λιγνίτης για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, τότε η ρύπανση συνεχίζει να υπάρχει. Βέβαια, με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια, μπορεί να εκμηδενίσει αυτό το πρόβλημα. Αυτό σε συνδυασμό με την μαζικότερη παραγωγή και χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων θα έχει ως αποτέλεσμα την βελτίωση της ποιότητας του αέρα στις αστικές πόλεις.

Η ευρεία χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να είναι κοινωνικά και τεχνικά αποδεκτή αλλά κρύβει και περιορισμούς όπως οι υποδομές και η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στην συνέχεια της εργασίας θα δούμε ποιες είναι οι προϋποθέσεις και ποιες οι ευκαιρίες που δημιουργούνται με την χρήση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

1.1 Ιστορική αναδρομή

Μπορεί τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα να είναι αρκετά δημοφιλή στις μέρες μας, αλλά αποτελούν δημιούργημα των προηγούμενων αιώνων. Πιο συγκεκριμένα η εφεύρεση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι μια συνεχής ανακάλυψη αντικειμένων, όπως η μπαταρία και ο ηλεκτρικός κινητήρας που αρχίζει από το 1800. Βέβαια δεν μπορούμε να πούμε με

ακρίβεια ποιος είναι ο εφευρέτης και ποια η χώρα προέλευσης, καθώς χώρες όπως η Ουγγαρία, η Ολλανδία και οι Ηνωμένες Πολιτείες ασχολήθηκαν με την δημιουργία ηλεκτρικών αυτοκινήτων μικρής κλίμακας. Στις ΗΠΑ το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο κατασκευάστηκε το 1890 από τον William Morrison, ένα αυτοκίνητο έξι επιβατών που μπορούσε να φτάσει τα 22 χιλιόμετρα. Τα επόμενα χρόνια πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες έδειξαν ενδιαφέρον για τα ηλεκτρικά οχήματα και η Νέα Υόρκη άρχισε να γεμίζει με αυτά, σε μια περίοδο που κυριαρχούσαν τα ατμοκίνητα, τα ηλεκτρικά και τα βενζινοκίνητα οχήματα.

Τα οχήματα που βασίστηκαν στον ατμό άρχισαν να κατασκευάζονται στα τέλη του 1700, με βασικά όμως μειονεκτήματα, ότι ο ατμός δεν ήταν πρακτικός για προσωπικά οχήματα και ότι χρειαζόταν αρκετός χρόνος αναμονής κατά την εκκίνηση, ιδιαίτερα όταν έκανε κρύο. Όσο για τα βενζινοκίνητα οχήματα, έκαναν την εμφάνισή τους μαζί με τα ηλεκτρικά λόγω των βελτιώσεων που έγιναν στους κινητήρες εσωτερικής καύσης. Βέβαια είχαν και αυτά τα αρνητικά τους, καθώς χρειαζόταν πολλή χειροκίνητη προσπάθεια στην οδήγηση (χρήση μανιβέλας χειρός, αλλαγή ταχυτήτων) που τα καθιστούσαν δύσκολα σε κάποιον να τα λειτουργήσει. Επίσης, ήταν θορυβώδες και η εξάτμισή τους απελευθέρωνε ρύπους. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα από την άλλη, δεν είχαν κανένα πρόβλημα που σχετίζεται με τον ατμό ή τη βενζίνη. Δεν έκαναν θόρυβο κατά την λειτουργία τους, ήταν εύκολα στην οδήγηση και δεν εξέπεμπαν δύσσομους ρύπους, όπως τα άλλα αυτοκίνητα της εποχής. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έγιναν γρήγορα δημοφιλή στους κατοίκους των πόλεων. Ήταν ιδανικά για σύντομα ταξίδια γύρω από την πόλη, και οι κακοί δρόμοι εκτός πόλεων σήμαναν ότι λίγα αυτοκίνητα οποιουδήποτε τύπου θα μπορούσαν να βγουν πιο μακριά. Καθώς περισσότεροι άνθρωποι αποκτούσαν πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια τη δεκαετία του 1910, έγινε πιο εύκολο να φορτίζονται ηλεκτρικά αυτοκίνητα, κάτι που τα έκανε δημοφιλή σε όλα τα κοινωνικά στρώματα.

Πολλοί καινοτόμοι τότε σημείωσαν την υψηλή ζήτηση του ηλεκτρικού οχήματος, εξερευνώντας τρόπους βελτίωσης της τεχνολογίας. Για παράδειγμα, ο Ferdinand Porsche, ιδρυτής της εταιρείας σπορ αυτοκινήτων με το ίδιο όνομα, ανέπτυξε ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο που ονομάζεται P1 το 1898. Την ίδια στιγμή, δημιούργησε το πρώτο υβριδικό ηλεκτρικό αυτοκίνητο στον κόσμο, ένα όχημα που τροφοδοτείται από ηλεκτρισμό και μια μηχανή αερίου. Ο Thomas Edison, ένας από τους πιο παραγωγικούς εφευρέτες στον κόσμο, πίστευε ότι τα ηλεκτρικά οχήματα ήταν η ανώτερη τεχνολογία και εργάστηκε για

την κατασκευή μιας καλύτερης μπαταρίας ηλεκτρικών οχημάτων. Ακόμα και ο Henry Ford, ο οποίος ήταν φίλος με τον Edison, συνεργάστηκε με τον Edison για να διερευνήσει επιλογές για ηλεκτρικό αυτοκίνητο χαμηλού κόστους το 1914, σύμφωνα με τον Wired. Ωστόσο, η παρουσίαση ενός βενζινοκίνητου οχήματος του Henry Ford, είχε αρνητικές συνέπειες για το ηλεκτρικό αυτοκίνητο. Το 1908 παρουσιάστηκε το Model T, που έκανε τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα ευρέως διαθέσιμα και προσιτά. Μέχρι το 1912, το βενζινοκίνητο αυτοκίνητο κόστιζε μόνο 650 δολάρια, ενώ ένα ηλεκτρικό είχε τιμή κοντά στα 1.750 δολάρια. Την ίδια χρονιά, ο Charles Kettering παρουσίασε τον ηλεκτρικό εκκινητή, εξαλείφοντας την ανάγκη για μανιβέλα χειρός και προκαλώντας περισσότερες πωλήσεις οχημάτων με βενζίνη. Δεν ήταν μόνο ο οικονομικός παράγοντας που μείωσε την ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων. Μέχρι το 1920 στις ΗΠΑ δημιουργήθηκαν δρόμοι που συνέδεαν τις πόλεις και πολλοί ήταν αυτοί που ήθελαν να τις εξερευνήσουν. Επίσης με την ανακάλυψη του αργού πετρελαίου του Τέξας, το φυσικό αέριο έγινε φθινό και άμεσα διαθέσιμο για τους Αμερικανούς της υπαίθρου και τα πρατήρια καυσίμων άρχισαν να εμφανίζονται σε ολόκληρη τη χώρα. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα να εξαφανιστούν μέχρι το 1935.

Η φθινή, άφθονη βενζίνη και η συνεχής βελτίωση του κινητήρα εσωτερικής καύσης είχε ως αποτέλεσμα την μειωμένη ζήτηση για οχήματα εναλλακτικών καυσίμων. Χρειάστηκαν κοντά στα 60 χρόνια για να επανέλθουν ξανά στο προσκήνιο. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, οι αυτοκινητοβιομηχανίες άρχισαν να τροποποιούν ορισμένα από τα δημοφιλή μοντέλα οχημάτων τους σε ηλεκτρικά οχήματα. Αυτό σήμαινε ότι τα ηλεκτρικά οχήματα πέτυχαν ταχύτητες και επιδόσεις πολύ πιο κοντά στα βενζινοκίνητα οχήματα, και πολλά από αυτά μπορούσαν να κάνουν αποστάσεις κοντά στα 60 χιλιόμετρα. Όμως η ακμάζουσα οικονομία και οι χαμηλές τιμές φυσικού αερίου στα τέλη της δεκαετίας του 1990, δεν ανησυχούσαν τους καταναλωτές. Κάποια γεγονότα όμως άλλαξαν εντελώς την ιστορία για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Το πρώτο σημείο καμπής, ήταν η εισαγωγή του Toyota Prius. Κυκλοφόρησε στην Ιαπωνία το 1997 και έγινε το πρώτο υβριδικό ηλεκτρικό όχημα μαζικής παραγωγής στον κόσμο. Το 2000, το Prius κυκλοφόρησε παγκοσμίως έχοντας πάρα πολλές πωλήσεις. Για να κάνει το Prius πραγματικότητα, η Toyota χρησιμοποίησε μια μπαταρία υδριδίου νικελίου. Έκτοτε, οι αυξανόμενες τιμές της βενζίνης και η αυξανόμενη ανησυχία για τη ρύπανση του περιβάλλοντος, έχουν βοηθήσει το Prius να είναι το υβριδικό με τις μεγαλύτερες πωλήσεις παγκοσμίως κατά την

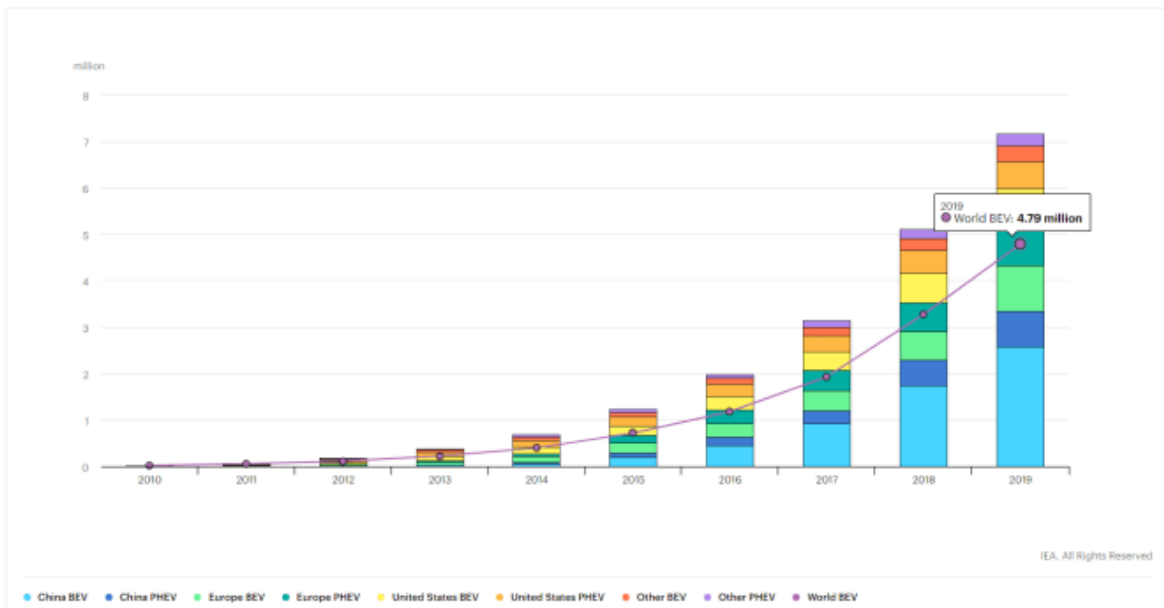
τελευταία δεκαετία. Το άλλο γεγονός που βοήθησε στη διαμόρφωση των ηλεκτρικών οχημάτων, ήταν το 2006 με την Tesla Motors να ανακοινώνει ότι θα άρχιζε να παράγει ένα πολυτελές ηλεκτρικό σπορ αυτοκίνητο, που θα μπορούσε να φτάσει περισσότερα από 200 χιλιόμετρα με μία μόνο φόρτιση. Η ανακοίνωση και η επακόλουθη επιτυχία της Tesla ώθησαν πολλές μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες, να επιταχύνουν την εργασία με τα δικά τους ηλεκτρικά οχήματα. Στα τέλη του 2010, το Chevy Volt και το Nissan LEAF κυκλοφόρησαν στην αγορά προτείνοντας μία πιο οικονομική επιλογή, σε σχέση με την Tesla. Έτσι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα άρχισαν να βρίσκονται στο επίκεντρο, αλλά τα αρχικά μειονεκτήματα του ηλεκτρικού αυτοκινήτου συνέχιζαν να υπάρχουν. Αυτά ήταν οι χώροι φόρτισης και τα είδη των μπαταριών. Όσον αφορά τους χώρους φόρτισης, σε πολλές χώρες έχουν εγκατασταθεί πρίζες φόρτισης, είτε από τα εκάστοτε υπουργεία είτε από τις αυτοκινητοβιομηχανίες και άλλες ιδιωτικές επιχειρήσεις, ενώ μετά από έρευνες το κόστος της μπαταρίας μειώθηκε στο μισό και η απόδοση της αυξήθηκε. Αυτές οι αλλαγές βοήθησαν με την σειρά τους στη μείωση του κόστους των ηλεκτρικών οχημάτων, καθιστώντας τα πιο προσιτά για τους καταναλωτές [1, 2, 3].

1.2 Η αγορά

1.2.1. Η παγκόσμια αγορά

Οι πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων ξεπέρασαν τα 2,1 εκατομμύρια παγκοσμίως το 2019, ξεπερνώντας το 2018 για να αυξήσουν το απόθεμα σε 7,2 εκατομμύρια ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, τα οποία αντιπροσώπευαν το 2,6% των παγκόσμιων πωλήσεων αυτοκινήτων και περίπου το 1% του παγκόσμιου αποθέματος αυτοκινήτων το 2019, σημείωσαν αύξηση 40% από έτος σε έτος. Καθώς η τεχνολογική πρόοδος στην ηλεκτροκίνηση των δίκυκλων, λεωφορείων και φορτηγών εξελίσσεται και η αγορά τους αυξάνεται, τα ηλεκτρικά οχήματα επεκτείνονται σημαντικά. Κάτι που ευνοεί την πώληση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι οι πλεονεκτικές νομοθεσίες καθώς και οι επιδοτήσεις που δίνονται από την κάθε κυβέρνηση για οχήματα με μηδενικούς ή ελάχιστους ρύπους. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα εισήχθησαν στις εμπορικές αγορές το πρώτο μισό της δεκαετίας του 20 και από τότε οι πωλήσεις αυτών έχουν αυξηθεί με ραγδαίους

ρυθμούς. Από τα 20.000 περίπου αυτοκίνητα το 2010, το 2019 ο στόλος των ηλεκτρικών αυτοκινήτων σε ολόκληρο τον κόσμο έχει φτάσει τα 7,2 εκατομμύρια με τα πιο πολλά να συναντώνται στην Κίνα. Όλα αυτά τα στοιχεία παρατηρούνται στο Διάγραμμα 1.1.



Διάγραμμα 1.1: Παγκόσμια ανάπτυξη της αγοράς των ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Το 2019 πουλήθηκαν 2,1 εκατομμύρια ηλεκτρικά αυτοκίνητα αντιπροσωπεύοντας αύξηση 6% από το προηγούμενο έτος, σε σύγκριση με την αύξηση των πωλήσεων από έτος σε έτος που ήταν τουλάχιστον πάνω από 30% από το 2016. Τρεις βασικοί λόγοι εξηγούν αυτήν την τάση:

- Οι αγορές αυτοκινήτων συρρικνώθηκαν. Οι συνολικές πωλήσεις επιβατικών αυτοκινήτων μειώθηκαν το 2019 σε πολλές βασικές χώρες. Οι ταχέως αναπτυσσόμενες αγορές, όπως η Κίνα και η Ινδία για όλους τους τύπους οχημάτων είχαν χαμηλότερες πωλήσεις το 2019 από ότι το 2018. Σε αυτό το πλαίσιο αργών πωλήσεων το 2019, το μερίδιο αγοράς ηλεκτρικών αυτοκινήτων 2,6% στις παγκόσμιες πωλήσεις αυτοκινήτων αποτελεί ρεκόρ. Συγκεκριμένα, η Κίνα (στο 4,9%) και η Ευρώπη (στο 3,5%) πέτυχαν νέα ρεκόρ στο μερίδιο αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων το 2019.
- Οι επιδοτήσεις αγοράς μειώθηκαν σε βασικές αγορές. Η Κίνα μείωσε τις επιδοτήσεις αγοράς ηλεκτρικών αυτοκινήτων κατά περίπου το ήμισυ το 2019. Το αμερικανικό ομοσπονδιακό πρόγραμμα πίστωσης φόρου έληξε για βασικές αυτοκινητοβιομηχανίες ηλεκτρικών οχημάτων, όπως η General Motors και η Tesla. Αυτές οι ενέργειες συνέβαλαν στη σημαντική μείωση των πωλήσεων ηλεκτρικών

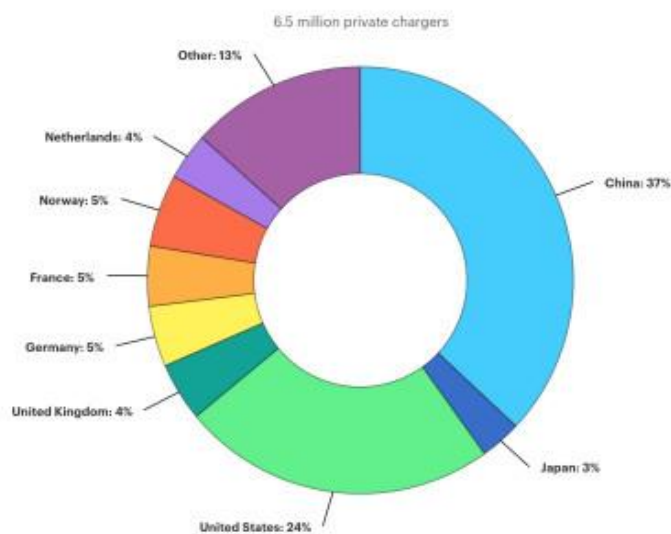
αυτοκινήτων στην Κίνα το δεύτερο εξάμηνο του 2019 και σε πτώση 10% στις Ηνωμένες Πολιτείες κατά τη διάρκεια του έτους. Με το 90% των παγκόσμιων πωλήσεων ηλεκτρικών αυτοκινήτων να συγκεντρώνονται στην Κίνα, την Ευρώπη και τις Ηνωμένες Πολιτείες, η μείωση των επιδοτήσεων σε Κίνα και Ηνωμένες Πολιτείες επηρέασε τις παγκόσμιες πωλήσεις και επισκίασε την αξιοσημείωτη αύξηση των πωλήσεων κατά 50% στην Ευρώπη το 2019, επιβραδύνοντας έτσι την τάση ανάπτυξης.

- Οι προσδοκίες των καταναλωτών για περαιτέρω τεχνολογικές βελτιώσεις και νέα μοντέλα. Σημαντικές βελτιώσεις στην τεχνολογία και μια ευρύτερη ποικιλία μοντέλων ηλεκτρικών αυτοκινήτων που προσφέρονται έχουν δώσει ώθηση στις αποφάσεις αγοράς των καταναλωτών. Οι εκδόσεις 2018-19 ορισμένων κοινών μοντέλων ηλεκτρικών αυτοκινήτων εμφανίζουν πυκνότητα ενέργειας μπαταρίας που είναι 20-100% υψηλότερη από ότι τα αντίστοιχα τους το 2012. Επιπλέον, το κόστος της μπαταρίας έχει μειωθεί περισσότερο από 85% από το 2010. Η παράδοση νέων μοντέλων στην αγορά όπως το Tesla Model 3 προκάλεσαν μια αύξηση των πωλήσεων το 2018 σε βασικές αγορές όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες. Οι αυτοκινητοβιομηχανίες ανακοίνωσαν ένα διαφοροποιημένο μενού ηλεκτρικών αυτοκινήτων, πολλά από τα οποία αναμένονται το 2020 ή το 2021. Για τα επόμενα πέντε χρόνια, οι αυτοκινητοβιομηχανίες ανακοίνωσαν σχέδια για την κυκλοφορία άλλων 200 νέων μοντέλων ηλεκτρικών αυτοκινήτων, πολλά από τα οποία βρίσκονται στη δημοφιλή αγορά σπορ οχημάτων. Για αυτόν το λόγο οι καταναλωτές θεωρούν ότι τα μελλοντικά μοντέλα θα είναι καλύτερα τόσο στο θέμα απόδοσης όσο και στο θέμα τιμής και για αυτό δεν πραγματοποιούν ακόμα την αγορά τους.

Εκτός από το ηλεκτρικό αυτοκίνητο καθ' αυτό πρέπει να δώσουμε εμφάνιση και στους φορτιστές που υπάρχουν. Η υποδομή για φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων συνεχίζει να επεκτείνεται καθώς το 2019, υπήρχαν περίπου 7,3 εκατομμύρια φορτιστές παγκοσμίως, εκ των οποίων περίπου 6,5 εκατομμύρια ήταν ιδιωτικοί, σε σπίτια, πολυκατοικίες και χώρους εργασίας. Η ευκολία, η αποδοτικότητα κόστους και μια ποικιλία πολιτικών υποστήριξης είναι οι κύριοι παράγοντες για την επικράτηση της ιδιωτικής χρέωσης. Οι δημόσιοι φορτιστές αντιπροσώπευαν το 12% των παγκόσμιων φορτιστών το 2019, οι

περισσότεροι από τους οποίους είναι αργοί φορτιστές. Σε παγκόσμιο επίπεδο, ο αριθμός των προσβάσιμων στο κοινό φορτιστών αυξήθηκε κατά 60% το 2019 σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος. Η Κίνα συνεχίζει να πρωτοστατεί στην κυκλοφορία φορτιστών που είναι προσβάσιμες από το κοινό, ιδιαίτερα των γρήγορων φορτιστών, οι οποίοι ταιριάζουν στις πυκνές αστικές περιοχές της με λιγότερες ευκαιρίες για ιδιωτική χρέωση στο σπίτι [4, 5]. Όπως παρατηρούμε και στο Διάγραμμα 1.2 η Κίνα είναι η χώρα με τους πιο πολλούς ιδιωτικούς φορτιστές αργής φόρτισης για το έτος 2019, με τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Νορβηγία να ακολουθούν.

Private electric vehicle slow chargers by country, 2019



Διάγραμμα 1.2: Ποσοστό φορτιστών ηλεκτρικών οχημάτων για το 2019

1.2.2. Η αγορά στην Ελλάδα

Σε εξαίρεση με την Κίνα και τις Ηνωμένες Πολιτείες οι χώρες της Ευρώπης είχαν μεγάλη αύξηση των πωλήσεων των ηλεκτρικών αυτοκινήτων το 2019, με την Νορβηγία να είναι η μεγαλύτερη δύναμη της Ευρώπης, καθώς περισσότερα από τα μισά αυτοκίνητα που κυκλοφορούν στην χώρα είναι ηλεκτρικά. Η Ελλάδα είναι μία χώρα η οποία άργησε να ασχοληθεί με την πώληση ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς το 2015 άρχισαν οι πωλήσεις με την ανταπόκριση να ήταν ελάχιστη. Το 2017 έγινε η ουσιαστική εισαγωγή των ηλεκτρικών οχημάτων στην Ελλάδα, αφού με την κυκλοφορία δύο μοντέλων της BMW (BMW 330e, BMW 225xe Active Tourer) τα επιβατικά έφτασαν τα 334 παρουσιάζοντας μία αύξηση από το 0,06% στο 0,19%.

Η Ελλάδα ακολουθώντας πρότυπα άλλων χωρών εφάρμοσε επιδοτήσεις και προνομιακές νομοθεσίες το 2020, έτσι ώστε οι καταναλωτές να στραφούν στην αγορά των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Πιο συγκεκριμένα, ο νόμος περιλαμβάνει μια σειρά φορολογικών πλεονεκτημάτων για την απόκτηση ή τη μίσθωση ηλεκτρικών οχημάτων ή υβριδικών οχημάτων plug-in, με οχήματα που χρησιμοποιούνται για επαγγελματικούς σκοπούς και βρίσκονται σε νησιά να έχουν περαιτέρω φορολογικές εκπτώσεις. Για αυτό τον λόγο, μετά τον Αύγουστο που άρχισαν οι συγκεκριμένες επιδοτήσεις, υπάρχει μία τεράστια αύξηση στις πωλήσεις των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, αφού η έκπτωση ξεπερνάει τα 6.000 ευρώ. Τον Νοέμβριο πουλήθηκαν 340 μοντέλα αυξάνοντας το ποσοστό επί του συνόλου των νέων αυτοκινήτων σε 4,45% όταν την προηγούμενη χρονιά ήταν 0,55%.

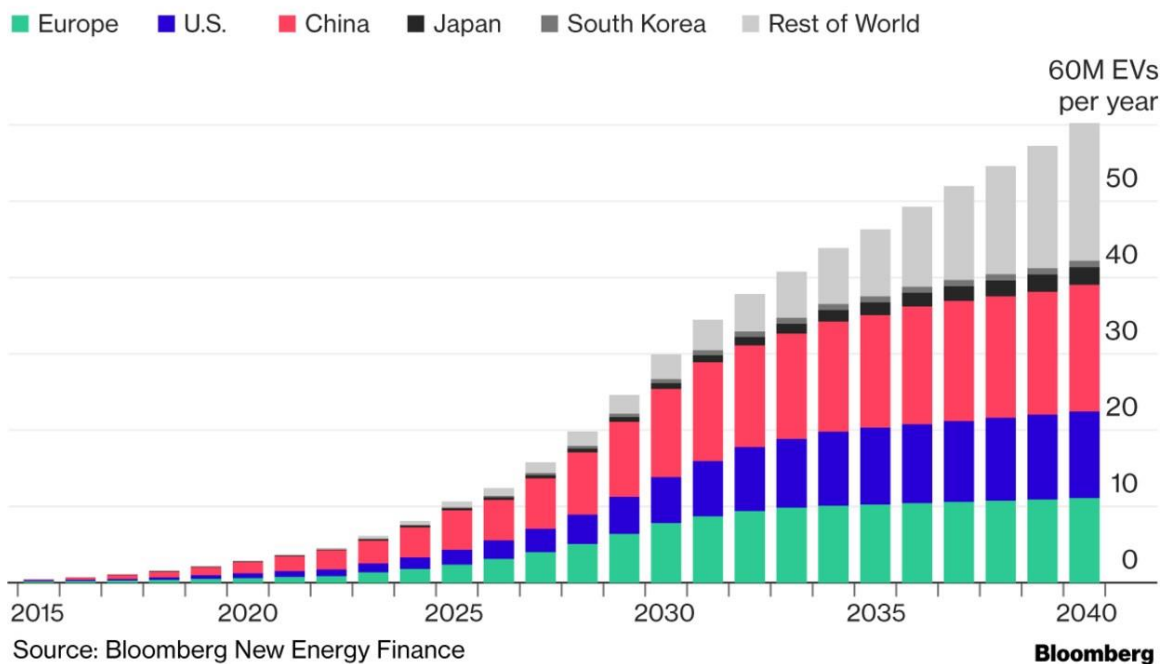
Εκτός από τους οικονομικούς λόγους που έχουν κάνει τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ευρέως διαδεδομένα στην χώρα μας υπάρχουν και άλλοι δύο λόγοι που έχουν συμβάλει σε αυτό. Ο πρώτος είναι ο αριθμός των μοντέλων που είναι διαθέσιμος στην ελληνική αγορά, καθώς ξεπερνάει τα 15 και έτσι δίνονται παραπάνω επιλογές στους καταναλωτές. Ο δεύτερος και πιο σημαντικός είναι οι επενδύσεις που κάνουν εταιρείες κολοσσοί που ασχολούνται αποκλειστικά με την παραγωγή ηλεκτρικών αυτοκινήτων όπως η Tesla και η Next.e.GO φέρνοντας πιο κοντά τα ηλεκτρικά οχήματα στο ελληνικό καταναλωτικό κοινό [6].

1.2.3. Το μέλλον στην αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων

Καθώς η ρύπανση του περιβάλλοντος, η αντιμετώπιση της και η αλόγιστη χρήση των ορυκτών πόρων θα συνεχίσει να απασχολεί την ανθρωπότητα τα ηλεκτρικά οχήματα θα βρίσκονται στο προσκήνιο και όσο περνάνε τα χρόνια ο αριθμός τους θα αυξάνονται. Σε αυτό θα συμβάλλουν οι έρευνες που γίνονται πάνω στην κατασκευή νέων μπαταριών που θα είναι πιο αποδοτικές, επιτρέποντας στο αυτοκίνητο να διανύει περισσότερα χιλιόμετρα και με λιγότερο κόστος κατασκευής, μειώνοντας έτσι και την τιμή πώληση. Έτσι με το πέρασμα των χρόνων τα ηλεκτρικά θα είναι όλο και πιο ανταγωνιστικά σε σχέση με τα συμβατικά, γιατί θα φτάνουν την αυτονομία τους με μία φόρτιση καθώς και την τιμή τους. Παράλληλα, θα λυθεί το ζήτημα της γρήγορης φόρτισης τόσο σε ιδιωτικούς χώρους όσο και σε δημοσίους, που ακόμα και εν κινήσει προβλέπεται ότι θα μπορούν να φορτιστούν. Επίσης, χώρες που δεν ασχολούνται καθόλου ή ασχολούνται ελάχιστα με την πώληση των

ηλεκτρικών οχημάτων θα ασχοληθούν με αυτή την νέα τάση. Έτσι αυτές οι βελτιώσεις θα αντικατοπτρίζονται στην αγορά, καθώς το 2040 προβλέπεται να πωλούνται 60 εκατομμύρια αυτοκίνητα, ένας αριθμός 30 φορές μεγαλύτερος από τον αριθμό πωλήσεων σήμερα. Η Κίνα θα συνεχίσει να έχει τον μεγαλύτερο στόλο ηλεκτρικών αυτοκινήτων με την Ευρώπη να είναι μία πολύ υπολογίσιμη δύναμη, όπως διακρίνεται και από το Διάγραμμα 1.3.

Global Electric-Car Revolution Set to Take Off China set to lead EV market



Διάγραμμα 1.3: Πρόβλεψη για τις πωλήσεις των ηλεκτρικών αυτοκινήτων μέχρι το 2040

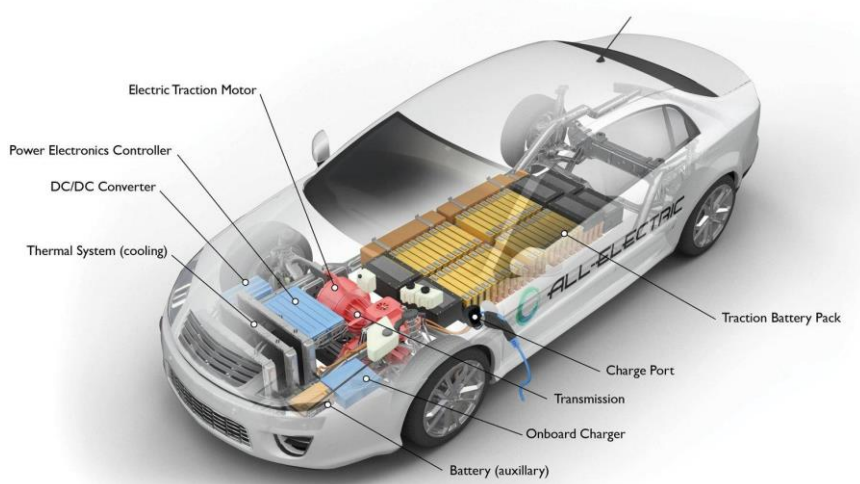
Εκτός από τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μέλλον φαίνεται να έχουν και οχήματα που οι εκπομπές είναι δύσκολο να μειωθούν, όπως τα βαρέα φορτηγά και η ναυτιλία. Οι παγκόσμιες πωλήσεις ηλεκτρικών φορτηγών σημείωσαν ρεκόρ το 2019 με πάνω από 6.000 μονάδες, ενώ ο αριθμός των μοντέλων συνεχίζει να επεκτείνεται. Οι φορτιστές υψηλής ισχύος αναπτύσσονται και τυποποιούνται παγκοσμίως. Η ηλεκτροδότηση των ναυτιλιακών εργασιών στα λιμάνια είναι όλο και πιο συχνή και σταδιακά επιβάλλεται από νομοθεσία στην Ευρώπη, την Κίνα και, στις Ηνωμένες Πολιτείες, στην Καλιφόρνια. Στην αεροπορία, η ηλεκτροδότηση των επίγειων πτητικών λειτουργιών στα αεροσκάφη προσφέρει άμεση δυνατότητα μείωσης των εκπομπών ρύπων και CO2 και εξοικονόμηση λειτουργικού κόστους για τις αεροπορικές εταιρείες [4].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 Εισαγωγή

Ένα ηλεκτροκίνητο όχημα διαφέρει σημαντικά από ένα αντίστοιχο συμβατικό, όσον αφορά τη δομή του κινητήριου συστήματος. Από τεχνικής απόψεως τα ηλεκτρικά οχήματα απαντώνται σε διάφορες παραλλαγές, είτε όσον αφορά την πηγή της ηλεκτρικής ενέργειας, είτε τον τρόπο που παράγεται η κίνηση. Ωστόσο, όλα έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό, που είναι η ύπαρξη ενός τουλάχιστον ηλεκτρικού κινητήρα για την προώθηση του οχήματος. Ουσιαστικά υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε σχέση με τις εκπομπές ρύπων: τα οχήματα μηδενικών ρύπων και τα οχήματα χαμηλών ρύπων, στα οποία ανήκουν τα υβριδικά οχήματα. Το κύριο στοιχείο που διαφοροποιεί τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα από τα υβριδικά, είναι η απουσία βενζινοκινητήρα. Και για τα δύο είδη αυτοκινήτων όμως, υπάρχουν πηγές ενέργειας που αποθηκεύουν, παρέχουν και δέχονται ενέργεια από εξωτερική πηγή. Υπάρχουν διάφοροι τύποι πηγών ενέργειας που έχουν προταθεί για ηλεκτρικά οχήματα, οι πιο σημαντικές από τις οποίες είναι: οι συσσωρευτές ή μπαταρίες, οι υπερπυκνωτές και οι σφόνδυλοι υπερύψηλων ταχυτήτων. Επίσης, υπάρχει και η τεχνολογία των κυψελών καυσίμου, που είναι ένας τύπος μετατροπών ενέργειας. Στην Εικόνα 2.1 παρουσιάζονται τα βασικά μέρη του εσωτερικού ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου.



Εικόνα 2.1: Εσωτερικό ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου

2.2 Τύποι ηλεκτρικών οχημάτων

Ανάλογα τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των ηλεκτρικών οχημάτων, αυτά κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη είναι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, που κινούνται με ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται στους συσσωρευτές του οχήματος και φορτίζονται από το δίκτυο ή από κάποια μονάδα ηλεκτροπαραγωγής. Η δεύτερη κατηγορία είναι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, που τροφοδοτούν τους συσσωρευτές τους με ηλεκτρική ενέργεια όταν αυτοί εκφορτιστούν. Αυτά είναι γνωστά ως ηλεκτρικά αυτοκίνητα με μονάδα επέκτασης της αυτονομίας τους και δεν διαφέρουν με τα κλασικά στον τρόπο φόρτισης τους, απλά ανεφοδιάζονται επίσης και με το είδος καυσίμου που τους επιτρέπει την επέκταση της αυτονομίας τους (βενζίνη, πετρέλαιο, υγραέριο κ.λπ.). Τέλος υπάρχουν και τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά αυτοκίνητα, που κινούνται με συνδυασμό ηλεκτροκινητήρα και θερμικού κινητήρα τα οποία εφοδιάζονται με συμβατό καύσιμο στον θερμικό κινητήρα αλλά και με ηλεκτρική ενέργεια στους συσσωρευτές. Το κοινό και των τριών κατηγοριών είναι ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μπορούν να συνδεθούν με ένα δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, με σκοπό την μερική ή την πλήρη φόρτιση των συσσωρευτών τους [3].

2.3 Δομή ηλεκτρικού οχήματος

Η δομή ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου διαφέρει συνολικά από εκείνη ενός αυτοκινήτου που χρησιμοποιεί μηχανή εσωτερικής καύσης. Μπορεί πολλά μέρη να παραμένουν ίδια, όπως το αμάξωμα, το πλαίσιο, το σύστημα διεύθυνσης, η ανάρτηση και τα φρένα αλλά κάτω από το αμάξωμα παρατηρούνται οι κύριες διαφορές σε σχέση με τα αυτοκίνητα εσωτερικής καύσης. Τα βασικά μέρη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι:

- οι συσσωρευτές (μπαταρίες)
- ο ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος (ελεγκτής)
- ο ηλεκτροκινητήρας

Οι συσσωρευτές αποτελούν ίσως το πιο βασικό μέρος του ηλεκτρικού αυτοκινήτου, καθώς εκεί αποθηκεύεται η ενέργεια που χρειάζεται για να λειτουργήσει το όχημα. Ο ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος ευθύνεται για τον έλεγχο και την διαμόρφωση της τάσης της ενέργειας, που πήρε από τους συσσωρευτές, έτσι ώστε να τροφοδοτήσει τον κινητήρα. Επίσης, είναι υπεύθυνος για την ταχύτητα και την ροπή του του κινητήρα. Ο

ηλεκτροκινητήρας τέλος, είναι υπεύθυνος για την κίνηση του οχήματος. Στην συνέχεια θα αναφέρουμε τα κύρια μέρη που χρησιμοποιούνται για τον ανεφοδιασμό των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Αυτά είναι:

1. Οι τύποι πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά και στα υβριδικά αυτοκίνητα. Αυτοί είναι οι συσσωρευτές, γνωστοί και ως μπαταρίες που για την ώρα έχουν την πιο διαδεδομένη χρήση, οι υπερπυκνωτές και η τεχνολογία κυψελών καυσίμου.
2. Ο ηλεκτρικός ακροδέκτης σύνδεσης των συσσωρευτών με το ηλεκτρικό δίκτυο ή αλλιώς η υποδοχή για το καλώδιο φόρτισης. Μπορούμε να πούμε ότι μοιάζει με το στόμιο πλήρωσης καυσίμου σε ένα συμβατικό αυτοκίνητο. Πίσω από την υποδοχή υπάρχουν ηλεκτρικές μονάδες με σκοπό τόσο τον μετασχηματισμό των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών της ηλεκτρικής ενέργειας, που έρχεται από το δίκτυο καθώς και τη διαχείριση της διαδικασίας φόρτισης, ώστε η διαδικασία αυτή να γίνει με ασφάλεια. Στα συμβατικά αυτοκίνητα δεν συναντάμε κάτι ανάμεσα στο στόμιο και την μηχανή, εκτός από κάποια φίλτρα επιστροφής καυσίμου ή αερισμού.
3. Το καλώδιο σύνδεσης που ενώνει την υποδοχή του αυτοκινήτου με το δίκτυο. Το συγκεκριμένο καλώδιο μπορεί να βρίσκεται στο αυτοκίνητο σε κάποιο αποθηκευτικό του χώρο, συνήθως παρεχόμενο από τον κατασκευαστή ή αγορασμένο από τον χρήστη. Ο κάθε χρήστης θα πρέπει να έχει τους κατάλληλους ακροδέκτες, έτσι ώστε να μπορεί να φορτίσει το όχημα σε οποιαδήποτε υποδοχή. Επίσης υπάρχουν και καλώδια τα οποία είναι τοποθετημένα σε σημεία φόρτισης, κάτι που μοιάζει με τις γνωστές μάνικες που συναντάμε στους παρόχους καυσίμων για τα συμβατικά αυτοκίνητα.
4. Τα σημεία ηλεκτρικής παροχής ενέργειας για την φόρτιση των οχημάτων, κάτι που είναι παρόμοια με τα πρατήρια καυσίμων που συναντάμε για τα συμβατικά αυτοκίνητα. Βέβαια μπορούμε να τα συναντήσουμε και στο σπίτι, αρκεί να υπάρχει μία απλή εγκατάσταση για να φορτίζεται το αυτοκίνητο το βραδύ, καθώς και μέσα στην πόλη, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται φόρτιση όσο ο οδηγός εργάζεται. Επίσης στα συμβατικά πρατήρια καυσίμων βρίσκουμε τέτοιες εγκαταστάσεις. Τα σημεία ηλεκτρικής παροχής ανάλογα με τον τρόπο

τροφοδοσίας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη είναι αυτή που επιτρέπει την φόρτιση των συσσωρευτών με τα χαρακτηριστικά του δικτύου διανομής, κάτι που συναντάται στην οικιακή φόρτιση ή σε φόρτιση από κοινόχρηστα σημεία, δηλαδή σε σημεία που η φόρτιση γίνεται κάτω από ήπιους ρυθμούς. Η δεύτερη κατηγορία είναι αυτή που επιτρέπει την απευθείας τροφοδοσία των συσσωρευτών, ένα είδος φόρτισης που επιλέγεται για γρήγορες φορτίσεις, καθώς επιτρέπεται η μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας και ισχύος. Αυτές οι εγκαταστάσεις που επιτρέπουν τέτοιου είδους φόρτιση, γνωστές ως υπερφορτιστές πρέπει να έχουν μια ηλεκτρονική διάταξη για την διαχείριση του ρυθμού φόρτισης, για να αποτρέπεται ο κίνδυνος να καταστραφούν οι συσσωρευτές από υπερθέρμανση ή από άλλες δυσλειτουργίες.

5. Ο ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος, που μετατρέπει την συνεχή τάση των συσσωρευτών σε κατάλληλη μορφή, έτσι ώστε να τροφοδοτεί τον κινητήρα. Υπεύθυνος για τον τύπο του μετατροπέα ισχύος είναι ο ηλεκτρικός κινητήρας, καθώς ανάλογα τον κινητήρα που χρησιμοποιείται (συνεχούς ή εναλλασσόμενο ρεύματος) χρησιμοποιούνται μετατροπείς συνεχούς τάσης σε συνεχή τάση “τύπου chopper” και μετατροπείς συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη τάση τύπου inverter. Επιπλέον, μία σημαντική διεργασία που πραγματοποιεί ο μετατροπέας είναι ο έλεγχος της ροπής και των στροφών του κινητήρα, κάτι που επιτυγχάνεται με την χρήση των inverter.
6. Ο ηλεκτρικός κινητήρας, που είναι το σημαντικότερο τμήμα ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου, χωρίζεται σε δύο κατηγορίες τον κινητήρα συνεχούς ρεύματος και τον κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος. Οι τύποι κινητήρων συνεχούς ρεύματος που χρησιμοποιούνται είναι: α) οι κινητήρες ανεξάρτητης διέγερσης β) οι κινητήρες παράλληλης διέγερσης γ) οι κινητήρες διέγερσης σε σειρά και δ) οι κινητήρες σύνθετης διέγερσης. Από την άλλη, στους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος υπάρχουν οι κινητήρες με ημιτονοειδή τάση τροφοδοσίας και οι κινητήρες που τροφοδοτούνται με τετραγωνικό παλμό. Στην πρώτη περίπτωση συγκαταλέγονται κινητήρες όπως: α) ο ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου κλωβού β) ο ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας δακτυλιοφόρου δρομέα και γ) ο σύγχρονος τριφασικός με ή χωρίς

μόνιμο μαγνήτη. Στην δεύτερη περίπτωση οι κινητήρες είναι α) τύπου Brushless DC και β) τύπου Switched Reluctance [3].

2.4 Συσσωρευτές

Οι συσσωρευτές είναι ηλεκτροχημικές διατάξεις, που μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια κατά την εκφόρτιση τους και το αντίστροφο κατά τη φόρτισή τους. Οι συσσωρευτές μπορεί να φορτίζονται από διάφορες διατάξεις και με διάφορους τρόπους. Αποτελούνται από μικρές κυψέλες, κάθε μία από τις οποίες αποτελεί ανεξάρτητη και ολοκληρωμένη μονάδα, και οι οποίες συνδέονται σε σειρά ή παράλληλα με σκοπό την ικανοποίηση των απαιτήσεων ισχύος της εκάστοτε εφαρμογής. Στα ηλεκτροκίνητα οχήματα, οι συσσωρευτές είναι η καρδιά του οχήματος καθώς παρέχουν συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα στους ηλεκτροκινητήρες για μεγάλο χρονικό διάστημα. Κατανοούμε έτσι, ότι χρειάζονται πολύ ισχυρότερες μπαταρίες στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα σε σχέση με τα συμβατικά. Σε αντίθεση λοιπόν με τα συμβατικά οχήματα, που χρειάζονται μια μπαταρία εκκίνησης (χρησιμοποιείται για να εκκινήσει ο βενζινοκινητήρας) και μια μπαταρία υψηλής τάσης τα ηλεκτρικά οχήματα δεν χρειάζονται την μπαταρία εκκίνησης. Αυτό δεν σημαίνει όμως ότι τα ηλεκτρικά χρειάζονται μόνο μπαταρίες υψηλής τάσης, υψηλής ενέργειας και υψηλής ισχύος, καθώς είναι αναγκαίες μπαταρίες με δυνατότητα συχνής πλήρους εκφόρτισης ή πλήρους φόρτισης. Τέτοιες μπαταρίες είναι οι μπαταρίες βαθιάς φόρτισης που μπορούν να προσδώσουν ηλεκτρική ενέργεια για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, καθώς και να υποστούν περισσότερες βαθιές εκφορτίσεις.

Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα τυπικά απαιτούν τάση 100-600V. Οι μπαταρίες μπορεί να σχηματίζουν συστοιχίες μονάδων των 6V ή 12V συνδεδεμένων σε σειρά. Σε πολλές περιπτώσεις, εκατοντάδες μεμονωμένα κελιά μπαταριών, το καθένα μεγέθους μπαταρίας φακού, συνδέονται μεταξύ τους για να παρέχουν την απαιτούμενη ισχύ. Πολλοί διαφορετικοί τύποι μπαταριών είναι διαθέσιμοι και υπό έρευνα για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις της ηλεκτροκίνησης στα οχήματα. Προκειμένου να γίνει αντιληπτή η ανάγκη χρήσης μπαταριών υψηλής τάσης στα υβριδικά οχήματα, θεωρείται σκόπιμο να αναφερθούν τα πλεονεκτήματα που προέκυψαν από την αύξηση της τάσης στις μπαταρίες των συμβατικών οχημάτων στη δεκαετία του 1950 από τα 6V στα 12V.

Καταρχήν, η φόρτιση των μπαταριών μπορούσε να γίνει ταχύτερη και με μικρότερη καταπόνηση για την μπαταρία. Επιτράπηκε η μείωση του μεγέθους των καλωδίων, δεδομένου ότι με διπλάσια τάση απαιτούνταν πλέον η μισή ένταση για την παροχή της ίδιας ποσότητας ισχύος. Τα ίδια πλεονεκτήματα ισχύουν και για τα σύγχρονα συμβατικά οχήματα. Εδώ, βέβαια, θα πρέπει να προστεθεί και η διαρκώς αυξανόμενη χρήση ηλεκτρικών συστημάτων. Η αύξηση αυτή μπορεί να καλυφθεί είτε αυξάνοντας τη χωρητικότητα της μπαταρίας και του συστήματος φόρτισης, είτε αυξάνοντας την τάση. Η δεύτερη λύση είναι προτιμότερη, παρά το γεγονός ότι οδηγεί σε μεγαλύτερες και βαρύτερες μπαταρίες, γιατί η ένταση των ρευμάτων θα είναι μικρότερη, το μέγεθος των καλωδίων θα είναι μικρότερο και είναι πιθανή έτσι η αντιστάθμιση της αύξησης του βάρους της μπαταρίας. Με την ίδια λογική, προωθείται και η αύξηση από τα 12V στα 42V. Η ίδια λογική ακολουθείται και κατά τη σχεδίαση ηλεκτρικών και υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων. Η υψηλή τάση απαιτείται για να αποτρέψει την ανάγκη για μεγάλα καλώδια και αγωγούς. Επίσης, διατηρώντας την ένταση του ρεύματος χαμηλή είναι καλύτερο και για τις μπαταρίες. Η πρώτη γενιά του ηλεκτρικού οχήματος χρησιμοποιούσε είκοσι έξι μπαταρίες μολύβδου οξέος των 12V. Οι μεμονωμένες μπαταρίες συνδέονταν σε σειρά. Έτσι, ο συνολικός συσσωρευτής παρείχε 312V τάσης και ζύγιζε 595kg. Η απόσταση αυτονομίας ανάμεσα σε δύο διαδοχικές φορτίσεις ήταν 88 έως 153km. Η επόμενη γενιά των ηλεκτρικών οχημάτων χρησιμοποιούσε μπαταρίες Νικελίου μετάλλου υβριδίου και χαρακτηρίζονταν από ελαφρώς μεγαλύτερη αυτονομία. Οι πιο σημαντικοί τύποι μπαταριών που σχετίζονται με ηλεκτρικά ή υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα είναι:

- Μολύβδου οξέος (lead acid)
- Νικελίου καδμίου (nickel cadmium)
- Νικελίου μετάλλου υβριδίου (nickel metal hydride)
- Ιόντων λιθίου (lithium ion)
- Λιθίου πολυμερούς (lithium polymer)
- Θειούχου νατρίου (sodium sulfur)

Η συντήρηση και ο χρόνος επαναφόρτισης πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο μικροί, ενώ η διάρκεια ζωής μεγάλη και κατά το δυνατόν να προσεγγίζει τη διάρκεια ζωής του οχήματος. Δυστυχώς όμως, οι χημικές αντιδράσεις που παράγουν ρεύμα φθείρουν

παράλληλα το υλικό της μπαταρίας. Επιπλέον πρέπει η μπαταρία να μην υφίσταται υψηλό βαθμό αυτοεκφόρτισης, δεδομένου πως ένα όχημα μπορεί να παραμείνει σταθμευμένο για μεγάλο χρονικό διάστημα και υπάρχει η απαίτηση να είναι σε θέση να εκκινήσει ανά πάσα χρονική στιγμή. Στην συνέχεια θα αναλύσουμε το κάθε είδος μπαταρίας και θα επισημάνουμε τα χαρακτηριστικά τους [3, 7].

2.4.1. Μπαταρία μολύβδου οξέους(lead acid)

Οι μπαταρίες μολύβδου είναι οι πιο διαδεδομένες στην αυτοκινητοβιομηχανία για την εκκίνηση των οχημάτων. Αυτός ο τύπος μπαταριών είναι επαναφορτίσιμος. Αρκετές τέτοιες μπαταρίες μολύβδου είναι συνδεδεμένες σε σειρά για να αποδώσουν υψηλή τάση σε ηλεκτρικά οχήματα. Υπάρχουν αρκετές παραλλαγές τέτοιων μπαταριών, αλλά όλες έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας και κατασκευάζονται με τον ίδιο τρόπο. Τα κελιά αυτών των μπαταριών έχουν ηλεκτρόδια φτιαγμένα από μολύβδο και από οξείδιο του μολύβδου. Οι μπαταρίες μολύβδου είναι από τις παλιότερες σχεδιαστικά μπαταρίες στο εμπόριο [3]. Στην Εικόνα 2.2 παρουσιάζεται η συγκεκριμένη μπαταρία.



Εικόνα 2.2: Μπαταρία μολύβδου οξέως

2.4.2. Μπαταρία νικελίου καδμίου (nickel cadmium)

Οι μπαταρίες Ni-Cd χρησιμοποιούνται σε φορητά ραδιόφωνα, σε ιατρικούς εξοπλισμούς και σε επαγγελματικές κάμερες. Τα ηλεκτρόδια στα κελιά σε μία τέτοια μπαταρία είναι από υδροξείδιο του νικελίου και από κάδμιο. Ο ηλεκτρολύτης είναι υδροξείδιο του καλίου. Αυτές οι μπαταρίες είναι οικονομικές και χαρακτηρίζονται από την μακροζωία. Ωστόσο το κάδμιο δεν είναι φιλικό προς το περιβάλλον και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο έχουν αντικατασταθεί από άλλους τύπους μπαταριών. Το φαινόμενο μνήμης ήταν ένα από τα

προβλήματα των συσσωρευτών Νικελίου - Καδμίου. Κατά το φαινόμενο αυτό η διαθέσιμη ποσότητα ενέργειας μειώνεται σε κάθε φόρτιση, όταν η μπαταρία δεν είναι εντελώς άδεια [3]. Στην Εικόνα 2.3 διακρίνεται η μπαταρία νικελίου καδμίου.



Εικόνα 2.3: Μπαταρία νικελίου καδμίου

2.4.3. Μπαταρία νικελίου μετάλλου υδριδίου (nickel metal hydride)

Στα σύγχρονα ηλεκτρικά οχήματα, η μπαταρία που χρησιμοποιείται κατά βάση είναι η μπαταρία Νικελίου Μετάλλου Υδριδίου (NiMH). Πρόκειται για μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία, παρόμοια με την μπαταρία Νικελίου Καδμίου (Ni-Cd), με τη διαφορά ότι αντί για κάδμιο στην άνοδο της έχει ένα κράμα απορροφητικό σε υδρογόνο. Στην κάθοδο, όπως και στις Ni-Cd μπαταρίες, χρησιμοποιεί νικέλιο. Μια NiMH μπαταρία έχει δυο με τρεις φορές τη χωρητικότητα μιας ισοδύναμου μεγέθους μπαταρίας Ni-Cd. Το μέταλλο στην άνοδο μιας NiMH μπαταρίας είναι ουσιαστικά μια σύνθετη μεταλλική ένωση. Πολλές χημικές ενώσεις έχουν αναπτυχθεί για την εφαρμογή αυτή αλλά αυτές που εφαρμόζονται ανήκουν σε δυο κατηγορίες. Ο πιο κοινός χημικός τύπος είναι ο AB₅, όπου Α είναι ένα μίγμα σπάνιων γαιών, λανθανίου, δμητρίου, νεοδυμίου, πρασινοδυμίου και Β είναι νικέλιο, κοβάλτιο, μαγγάνιο, και αλουμίνιο. Μερικές άλλες μπαταρίες κάνουν χρήση αρνητικών ηλεκτροδίων υψηλότερης χωρητικότητας, βασισμένα σε χημικές ενώσεις τύπου AB₂, όπου Α είναι τιτάνιο ή βανάδιο και Β είναι ζirkόνιο ή νικέλιο, τροποποιημένο με χρώμιο, κοβάλτιο, σίδηρο και μαγγάνιο, εξαιτίας της μειωμένης διάρκειας ζωής της μπαταρίας. Οι μπαταρίες NiMH αποτελούνται από έναν αλκαλικό ηλεκτρολύτη συνήθως υδροξείδιο καλίου. Η τάση φόρτισης είναι 1.4 -1.6 V/στοιχείο. Ένα πλήρως φορτισμένο

στοιχείο έχει τάση 1.35-1.4 V και παρέχει ονομαστική τάση 1.2V κατά μέσο όρο στη διάρκεια της αποφόρτισης και μέχρι 1.0V, διότι περαιτέρω αποφόρτιση μπορεί να προκαλέσει μόνιμη ζημιά στο στοιχείο της μπαταρίας. Ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης επηρεάζεται κατά πολύ από τη θερμοκρασία στην οποία οι μπαταρίες είναι αποθηκευμένες, με τις πιο ψυχρές θερμοκρασίες αποθήκευσης να έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλότερο ρυθμό αποφόρτισης και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Από την άλλη τα υψηλότερης χωρητικότητας στοιχεία που υπάρχουν στην αγορά (> 2700 mAh), φαίνονται να έχουν τους υψηλότερους ρυθμούς αποφόρτισης. Όσον αφορά τις επιδράσεις των μπαταριών NiMH στο περιβάλλον, αυτές είναι τουλάχιστον πολύ πιο φιλικές από τις μπαταρίες Ni-Cd, που περιέχουν το δηλητηριώδες κάδμιο και άλλωστε υπάρχουν προγράμματα ανακύκλωσης τους. Το κόστος τους δεν είναι υψηλό και η τάση τους και η επίδοση τους είναι παρόμοιες με τις πρότυπες αλκαλικές μπαταρίες του ίδιου μεγέθους. Η ικανότητα τους να επαναφορτίζονται εκατοντάδες φορές, οδηγεί στην εξοικονόμηση πόρων και χρημάτων. Οι μπαταρίες NiMH είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για εφαρμογές υψηλής εντάσεως ρεύματος, λόγω της χαμηλής τους εσωτερικής αντίστασης και μπορούν να διαχειριστούν τα ρεύματα υψηλών εντάσεων διατηρώντας την πλήρη χωρητικότητα τους. Επίσης στον κύκλο αποφόρτισης οι μπαταρίες NiMH, λόγω της μικρής τους εσωτερικής αντίστασης, μπορούν και τροφοδοτούν το σύστημα με σταθερή περίπου τάση μέχρι να αποφορτιστούν πλήρως. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι τα υδρίδια μετάλλων είναι σχετικά ασφαλή υλικά για την αποθήκευση ενέργειας και έτσι η προτεινόμενη λύση μέχρι τώρα στα ηλεκτρικά οχήματα, της χρήσης ηλεκτροκινητήρων/ηλεκτρογεννητριών σε συνδυασμό με μια συστοιχία μπαταριών NiMH, παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, όσον αφορά την ευκολία διαχείρισης των αποθεμάτων ενέργειας κάτω από καθεστώς σχετικά αυξημένης ασφάλειας [2, 8]. Στην Εικόνα 2.4 βλέπουμε την μορφή της συγκεκριμένης μπαταρίας.



Εικόνα 2.4: Μπαταρία νικελίου μετάλλου υδριδίου

2.4.4. Μπαταρία ιόντων λιθίου (lithium ion)

Τα τελευταία χρόνια στο χώρο των ηλεκτρικών οχημάτων, γίνεται μια έντονη προσπάθεια ανάπτυξης και χρήσης ενός άλλου είδους μπαταρίας, της μπαταρίας ιόντων Λιθίου (Lithium-ion). Οι μπαταρίες Li-Ion αντιπροσωπεύουν σήμερα την πιο χρησιμοποιούμενη τεχνολογία στα ηλεκτρικά οχήματα, χάρη στην υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και την αυξημένη ισχύ ανά μονάδα μάζας μπαταρίας, επιτρέποντας την ανάπτυξη ορισμένων τύπων μπαταριών με μειωμένο βάρος και διαστάσεις σε ανταγωνιστικές τιμές. Είναι από τις πιο διαδεδομένες μπαταρίες στα φορητά ηλεκτρονικά, με μια από τις καλύτερες αναλογίες ενέργειας προς βάρος, και με αργό ρυθμό αποφόρτισης όταν δεν χρησιμοποιούνται. Εξαιτίας της υψηλής τους ενεργειακής πυκνότητας, οι μπαταρίες Li-ion άρχισαν να γίνονται αντικείμενο έρευνας για τη χρήση τους στην ηλεκτρική αυτοκίνηση καθώς και σε άλλες βιομηχανίες. Οι πρώτες μπαταρίες ιόντων λιθίου εμφανίστηκαν το 1991. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορα μεγέθη και σχήματα αποτελεσματικά για την καλύτερη εξοικονόμηση χώρου της συσκευής που τροφοδοτούν. Είναι επίσης ελαφρύτερες από άλλες ισοδύναμες μπαταρίες. Η ενέργεια σε αυτές τις μπαταρίες αποθηκεύεται διαμέσου της κίνησης των ιόντων λιθίου. Το λίθιο είναι το τρίτο πιο ελαφρύ χημικό στοιχείο, προσφέροντας έτσι ένα συγκριτικό πλεονέκτημα σχετικά με άλλες μπαταρίες που χρησιμοποιούν βαρύτερα μέταλλα. Ένα ακόμα πλεονέκτημα που έχουν οι μπαταρίες Li-ion είναι η υψηλή τάση ανοιχτού κυκλώματος που επιτυγχάνουν σε σχέση με άλλες υδάτινες μπαταρίες, όπως οι μπαταρίες μολύβδου, οι μπαταρίες Νικελίου-Υδριδίου Μετάλλου και οι μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου. Έχουν επίσης χαμηλό ρυθμό αυτοεκφόρτισης. Ένα άλλο

πλεονέκτημα είναι η έλλειψη φαινομένου μνήμης, με αποτέλεσμα αυξημένο κύκλο ζωής. Μοναδικό μειονέκτημα, ωστόσο, των μπαταριών Li-ion είναι ότι η διάρκεια ζωής τους εξαρτάται και από το χρόνο που έχει περάσει από τη στιγμή της κατασκευής τους, ανεξάρτητα από το αν αυτές έχουν φορτιστεί και ανεξάρτητα από τον αριθμό των κύκλων φόρτισης/αποφόρτισης. Έτσι, μια παλιότερη χρονολογικά μπαταρία θα διαρκέσει λιγότερο απ' ό,τι μια καινούρια, εξαιτίας της ηλικίας της και μόνο, κάτι που δεν συμβαίνει με τις άλλες μπαταρίες. Η μείωση της χωρητικότητας της μπαταρίας ξεκινά λοιπόν από τη στιγμή της κατασκευής της, ανεξάρτητα αν αυτή χρησιμοποιείται και εξαρτάται από τη θερμοκρασία αποθήκευσης. Διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης μπορούν να προκαλέσουν διαφορετικές μειώσεις της χωρητικότητας της. Έτσι σε πλήρη φόρτιση της μπαταρίας (100%) έχουμε: 6% μείωση στους 0 °C, 20% μείωση στους 25 °C και 35% μείωση στους 40 °C. Όταν το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας είναι στο 40%, αυτές οι τιμές μειώνονται σε 2, 4, 15% στους αντίστοιχους βαθμούς κελσίου. Όσο η διάρκεια ζωής των μπαταριών μεγαλώνει, η εσωτερική τους αντίσταση αυξάνει. Αυτό προκαλεί πτώση της τάσης στους πόλους κάτω από το απαιτούμενο φορτίο, μειώνοντας το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να πάρει το σύστημα από αυτούς. Σταδιακά λοιπόν, φτάνουν σε ένα σημείο όπου η μπαταρία δεν μπορεί να λειτουργήσει άλλο. Οι μπαταρίες Li-ion αντιμετωπίζουν επίσης μια κατάσταση που ονομάζεται "πλήρης αποφόρτιση" (deep discharge). Σε αυτήν την κατάσταση, η μπαταρία μπορεί να κάνει πολύ καιρό να επαναφορτιστεί ή μπορεί και να μην επαναφορτιστεί. Η "πλήρης αποφόρτιση" λαμβάνει χώρα μόνο όταν τα συστήματα ή οι συσκευές των μπαταριών αυτών μείνουν για πολύ καιρό αχρησιμοποίητα (συνήθως 2 ή περισσότερα χρόνια) ή όταν επαναφορτίζονται τόσο συχνά, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να διατηρήσουν το φορτίο τους. Κάθε στοιχείο μπαταρίας Li-ion ξεχωριστά δεν πρέπει να αποφορτίζεται, κάτω από μια συγκεκριμένη τάση, για την αποφυγή μη αναστρέψιμης ζημιάς. Επιπλέον, η μπαταρία δεν πρέπει να μένει πλήρως φορτισμένη για μεγάλα διαστήματα γιατί έτσι κινδυνεύει να οδηγηθεί στο φαινόμενο της "πλήρους αποφόρτισης" και να καταστραφεί. Χημικά η μπαταρία Li-ion ενέχει πολλούς κινδύνους και έτσι ένα στοιχείο της μπαταρίας απαιτεί αρκετές υποχρεωτικές συσκευές ασφαλείας, για να μπορεί να θεωρείται ασφαλές. Εκτός από τα μειονεκτήματα που προκαλούνται από τη θερμοκρασία και την "πλήρης αποφόρτιση", υπάρχουν επίσης προβλήματα που σχετίζονται με το υψηλό κόστος παραγωγής και την ικανότητα ανακύκλωσης των μπαταριών. Οι μπαταρίες Lithium- ion έχουν ονομαστική τάση ανοιχτού κυκλώματος 3.6

V και τυπική τιμή τάσης φόρτισης 4.2 V. Η διαδικασία φόρτισης γίνεται υπό σταθερή τάση. Στο παρελθόν, οι μπαταρίες αυτές δεν μπορούσαν να φορτιστούν γρήγορα και συνήθως χρειάζονταν τουλάχιστον 2 ώρες για πλήρη φόρτιση. Τα σύγχρονα στοιχεία της μπαταρίας έχουν τη δυνατότητα πλήρους φόρτισης μέσα σε λιγότερο από 45 λεπτά. Μερικές μάλιστα φτάνουν το 90% της φόρτισης τους μέσα σε 10 λεπτά. Η άνοδος ενός συμβατικού Li-ion στοιχείου κατασκευάζεται από άνθρακα, η κάθοδος είναι οξείδιο μετάλλου και ο ηλεκτρολύτης είναι άλας λιθίου σε οργανικό διαλύτη. Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή, υπάρχει στην αγορά μια προοπτική αντικατάστασης των μπαταριών NiMH στα ηλεκτρικά οχήματα από τις μπαταρίες Li-ion. Υπάρχει η πεποίθηση πως η ανάπτυξη της τεχνολογίας, που οδηγεί σε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και ασφάλειας της μπαταρίας, σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους της, θα έχουν ως αποτέλεσμα τη χρήση της μπαταρίας Li-ion στα ηλεκτρικά συστήματα. Επίσης, πολλοί μεγάλοι κατασκευαστές μπαταριών, επενδύουν αρκετά στην ανάπτυξη των μπαταριών Li-ion κυρίως με την μπαταρίες LFP. Οι μπαταρίες LFP (lithium ferro phosphate) χρησιμοποιούν το LFP ως υλικό καθόδου και ένα ηλεκτρόδιο γραφίτη άνθρακα με μεταλλική υποστήριξη ως άνοδο. Μπορεί οι συγκεκριμένοι τύποι μπαταρίες να μην έχουν τόσο πυκνή χωρητικότητα όπως οι άλλες αλλά δεν απαιτούν κοβάλτιο και νικέλιο για την παρασκευή τους κάτι που τις κάνει λιγότερο δαπανηρές και φιλικότερες προς το περιβάλλον. Επίσης έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από άλλες προσεγγίσεις σε μπαταρίες ιόντων λιθίου καθώς είναι πιο ανθεκτικές σε υψηλές θερμοκρασίες. Για αυτό το λόγο, εταιρείες κολοσσοί όπως η Tesla και η Apple ασχολείται με την μελέτη της συγκεκριμένης μπαταρίας [2, 9, 10]. Στην Εικόνα 2.5 παρουσιάζεται η μπαταρία ιόντων λιθίου.



Εικόνα 2.5: Μπαταρία ιόντων λιθίου

2.4.5. Μπαταρία λιθίου πολυμερούς (lithium polymer)

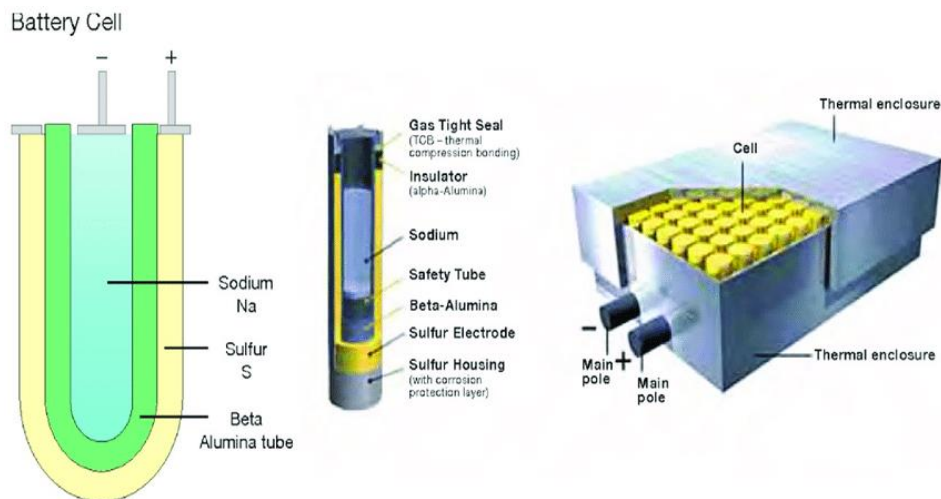
Οι μπαταρίες αυτές μοιάζουν πολύ με τις ιόντων λιθίου. Τα ηλεκτρόδια είναι φτιαγμένα από άνθρακα και από οξείδιο του μετάλλου. Ο στερεός πολυμερής ηλεκτρολύτης δεν είναι εύφλεκτος, επομένως αυτές οι μπαταρίες είναι λιγότερο επικίνδυνες. Επίσης έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν μεγαλύτερη ενέργεια από αυτές του μολύβδου [2]. Στην Εικόνα 2.6 βλέπουμε την συγκεκριμένη μπαταρία.



Εικόνα 2.6: Μπαταρία λιθίου πολυμερούς

2.4.6. Μπαταρία θειούχου νατρίου (sodium sulfur)

Τα ηλεκτρόδια στα κελιά σε μία τέτοια μπαταρία είναι κατασκευασμένα από νάτριο (αρνητικό ηλεκτρόδιο) και από θειάφι (θετικό ηλεκτρόδιο). Αυτός ο τύπος μπαταρίας είναι πολύ αποδοτικός και χρησιμοποιείται στα ηλεκτρικά οχήματα [2]. Στην Εικόνα 2.7 παρουσιάζεται η δομή και το εξωτερικό της μπαταρίας θειούχου νατρίου.



Εικόνα 2.7: Μπαταρία θειούχου νατρίου

Μια συστοιχία συσσωρευτών, που προορίζεται για ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο, θα πρέπει να έχει υψηλή πυκνότητα ενέργειας, μεγάλο κύκλο ζωής, απουσία φαινομένων μνήμης, γρήγορη φόρτιση, υψηλό βαθμό απόδοσης, μεγάλη αξιοπιστία, χαμηλό κόστος, υψηλή απόδοση φόρτισης/εκφόρτισης, μεγάλο εύρος λειτουργίας μεταξύ χαμηλών και υψηλών θερμοκρασιών, πολύ χαμηλό ρυθμό αυτό-εκφόρτισης, καλό βαθμό θερμοκρασίας αποθήκευσης, χαμηλή εσωτερική αντίσταση και δυνατότητα ανακύκλωσης.

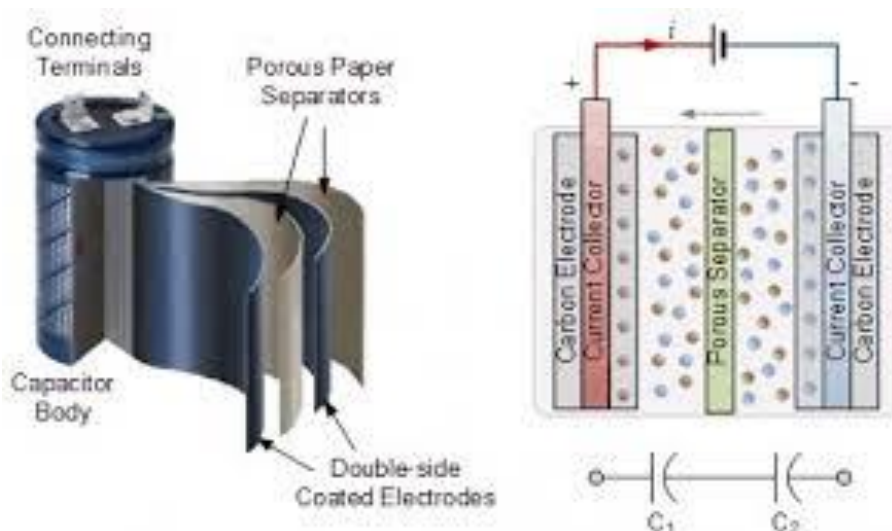
2.5 Υπερ-πυκνωτές

Οι υπερ-πυκνωτές, που ονομάζονται επίσης super-capacitors ή ultra-capacitors, είναι ένα είδος αποθήκευσης ενέργειας που έχει κερδίσει δημοτικότητα τα τελευταία χρόνια. Μπορούν να θεωρηθούν ότι μοιάζουν με διασταύρωση μεταξύ ενός συνηθισμένου πυκνωτή και μιας μπαταρίας, αλλά διαφέρουν και από τα δύο. Οι οπλισμοί του υπερ-πυκνωτή βρίσκονται βυθισμένοι σε υγρό ηλεκτρολύτη, ο οποίος περιέχει ελεύθερα φορτία στη μορφή ιόντων. Ανάμεσά τους παρεμβάλλεται μια πολύ λεπτή πορώδης διαχωριστική μεμβράνη, η οποία εμποδίζει την επαφή των οπλισμών αφήνοντας όμως τα ιόντα να την διαπερνούν. Κατά τη φόρτισή του, τα ηλεκτρόδια φορτίζονται με αντίθετα φορτία, προκαλώντας ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο συγκρατεί στον πυκνωτή το συγκεντρωμένο φορτίο. Τα ηλεκτρόνια, που είναι συγκεντρωμένα στο ένα ηλεκτρόδιο, έλκουν τα θετικά ιόντα του ηλεκτρολύτη και τα θετικά φορτία στο άλλο ηλεκτρόδιο έλκουν τα αρνητικά ιόντα του ηλεκτρολύτη. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μια χωρητικότητα

μεταξύ των ιόντων και της επιφάνειας του οπλισμού. Όμως, σε αντίθεση με τις μπαταρίες, δεν απαιτούνται χημικές αντιδράσεις για την αποθήκευση ενέργειας, αλλά αποθηκεύουν ενέργεια ηλεκτροστατικά (σαν πυκνωτής) και έτσι η ενεργειακή απόδοση είναι πιο υψηλή. Όμως γιατί μία εταιρεία παραγωγής ηλεκτρικών αυτοκινήτων να στραφεί στην κατασκευή οχημάτων αποκλειστικά με υπερ-πυκνωτές;

Αρχικά να τονίσουμε ότι για την ώρα οι υπερ-πυκνωτές δεν μπορούν μόνοι τους να καλύψουν το θέμα της ενέργειας στα ηλεκτρικά οχήματα. Όμως η συνεχής ενασχόληση εταιρειών κολοσσών με τους υπερ-πυκνωτές και η συνεργασία τους με εταιρείες παραγωγής υπερ-πυκνωτών, μας δείχνει ότι κάλλιστα στο μέλλον μπορεί να στηριχθεί ένα αυτοκίνητο αποκλειστικά με υπερ-πυκνωτές. Και αυτό γιατί οι υπερ-πυκνωτές έχουν πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής, με πολύ χαμηλότερες απαιτήσεις συντήρησης, βελτιωμένη απόδοση σε χαμηλή θερμοκρασία και φιλικότητα προς το περιβάλλον. Το μοναδικό μειονέκτημα για τους υπερπυκνωτές είναι το αρχικό τους κόστος και η σχετικά χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα σε σύγκριση με τις μπαταρίες. Όμως, είναι σε θέση να απελευθερώσουν πολύ πιο γρήγορα την ενέργεια τους καθώς η εκφόρτιση δεν εξαρτάται από μια χημική αντίδραση που λαμβάνει χώρα. Επίσης, οι υπερπυκνωτές μπορούν να φορτιστούν σε μια συγκεκριμένη τιμή και, λόγω της διάρκειας ζωής και του μηχανισμού φόρτισης, μπορούν να κρατήσουν την φόρτιση αυτή ουσιαστικά χωρίς απώλειες. Οι μπαταρίες δεν είναι σε θέση να το επιτύχουν αυτό. Οι επαναλαμβανόμενοι κύκλοι φόρτισης και εκφόρτισης μιας μπαταρίας μολύβδου ή μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου, μπορεί να είναι επιζήμιοι για την διάρκεια ζωής τους. Ωστόσο, αυτό δεν συμβαίνει με έναν υπερπυκνωτή. Οι υπερπυκνωτές παρέχουν μεγαλύτερη ελευθερία στην τάση ζεύξης DC ή οπουδήποτε αλλού χρησιμοποιούνται, επειδή η φόρτιση τους δεν απαιτεί κάποια συγκεκριμένη τιμή τάσης. Όποια και αν είναι η τάση που φορτίζονται, αυτήν θα διατηρήσουν. Ως αποτέλεσμα, μια υβριδική τοπολογία που αποτελείται από υπερπυκνωτές, είναι επιθυμητή όταν απαιτούνται μεταβλητές τάσεις για την τροφοδοσία κυκλωμάτων. Έτσι μια τροφοδοσία με μπαταρίες και υπερ-πυκνωτές θα ήταν ιδανική, καθώς σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης ή σε επιταχύνσεις θα χρησιμοποιούνταν οι υπερ-πυκνωτές, ενώ για την γενική χρήση η μπαταρία. Οι υπερ-πυκνωτές έχουν πολύ μεγαλύτερη πυκνότητα ισχύος από τις μπαταρίες. Αυτό τα καθιστά ιδανικά για εφαρμογές υψηλής αποστράγγισης όπως η τροφοδοσία ενός επιταχυνόμενου αυτοκινήτου. Υπάρχουν ήδη στην αγορά τέτοια μοντέλα όπως το Yaris

Hybrid-R της Toyota και το PSA Peugeot Citroen. Χρησιμοποιούν έναν υπερ-πυκνωτή ως μέρος των συστημάτων εξοικονόμησης καυσίμου εκκίνησης. Αυτό επιτρέπει πολύ ταχύτερη αρχική επιτάχυνση. Ένα άλλο μεγάλο πλεονέκτημά τους είναι ότι μπορούν να φορτιστούν πολλές φορές με μικρή ή υποβάθμιση (μπορεί να φτάσει το 1 εκατομμύριο κύκλοι φόρτισης/εκφόρτισης). Αυτό συμβαίνει επειδή δεν εμφανίζονται φυσικές ή χημικές αλλαγές όταν αποθηκεύεται μια φόρτιση μέσα σε αυτές. Σε σύγκριση, οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες διαρκούν 2000-3000 κύκλους εκφόρτισης -φόρτισης. Η αποτελεσματική αποθήκευση και ανάκτηση ενέργειας απαιτεί πολύπλοκες ηλεκτρονικές συσκευές, κυκλώματα ελέγχου και εξισορρόπησης με ηλεκτρονικά ισχύος. Η αυτοεκφόρτιση του υπερπυκνωτή είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν μιας ηλεκτροχημικής μπαταρίας και επομένως είναι κατάλληλοι μόνο για βραχυπρόθεσμη αποθήκευση ενέργειας. Μια τεράστια ποσότητα ενέργειας θα μπορούσε να απελευθερωθεί σε ένα κλάσμα του δευτερολέπτου από έναν υπερ-πυκνωτή και αυτό θα μπορούσε να είναι απειλητικό για την ζωή αν προφυλάξεις δεν έχουν ληφθεί. Η εσωτερική αντίσταση των υπερπυκνωτών είναι πολύ χαμηλή, κάτι που οδηγεί σε υψηλή απόδοση φόρτισης-εκφόρτισης (95% ή περισσότερο). Οπότε αφού οι εσωτερικές αντιστάσεις είναι χαμηλές καταλαβαίνουμε ότι οι υπερ-πυκνωτές μπορούν να έχουν μεγαλύτερο εύρος λειτουργίας, που μπορεί να φτάσει από -40 έως και +65 βαθμών Κελσίου. Από περιβαλλοντικής απόψεως, οι υπερπυκνωτές είναι ασφαλέστεροι για το περιβάλλον καθώς δεν περιέχουν ηλεκτρολύτες ή άλλα ιδιαίτερα τοξικά υλικά. Σε σύγκριση, οι χημικοί ηλεκτρολύτες των επαναφορτιζόμενων μπαταριών παρουσιάζουν κίνδυνο για την ασφάλεια και κίνδυνο κατά την εκποίηση [2, 3]. Στην Εικόνα 2.8 βλέπουμε την εσωτερική δομή ενός υπερπυκνωτή.



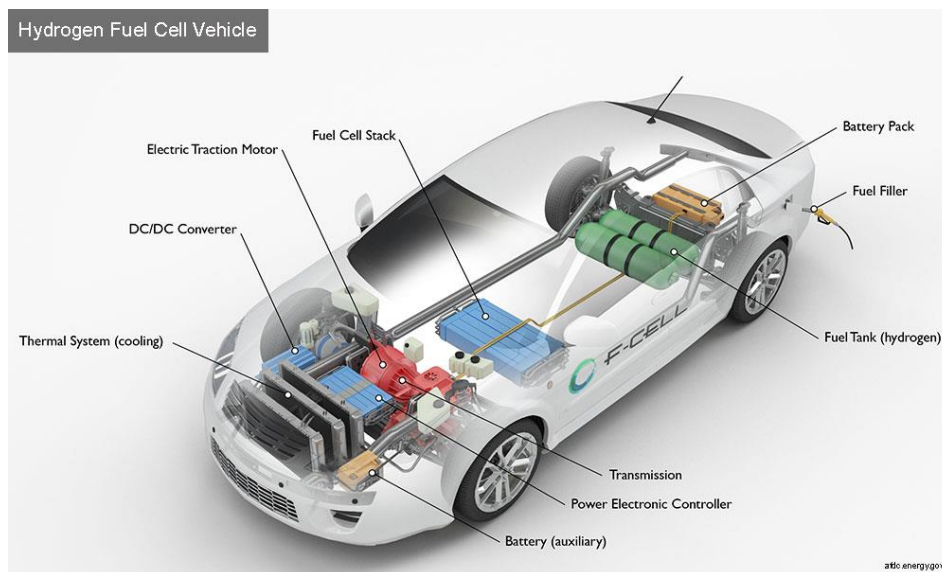
Εικόνα 2.8: Εσωτερική δομή ενός υπερ-πυκνωτή

2.6 Κυψέλες καυσίμου

Η κυψέλη καυσίμου αποτελεί ένα μηχανισμό για την ηλεκτροχημική μετατροπή της ενέργειας, μετατρέποντας υδρογόνο και οξυγόνο σε νερό, παράγοντας ταυτόχρονα με τη διαδικασία αυτή, ηλεκτρισμό και θερμότητα. Ο ηλεκτρισμός παράγεται με τη μορφή συνεχούς ρεύματος. Η πρώτη κυψέλη φτιάχτηκε από τον Sir William Grove, το 1839. Ωστόσο η συστηματική έρευνα πάνω σε αυτές άρχισε μόλις τη δεκαετία του '60, όταν η NASA χρησιμοποίησε κυψέλες καυσίμου στα διαστημικά σκάφη των προγραμμάτων Τζέμινι και Απόλλων ως φθηνότερη λύση από την ηλιακή ενέργεια.

Τα αυτοκίνητα κυψελών καυσίμου υδρογόνου έχουν μπαταρίες που αποθηκεύουν υδρογόνο και οξυγόνο και τροφοδοτούν το όχημα με χημικές αντιδράσεις, μεταξύ των δύο στοιχείων για τη δημιουργία νερού και ενέργειας. Μερικές φορές είναι γνωστά ως ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου (FCEVs), έχουν σωλήνες εξάτμισης, αλλά το μόνο πράγμα που ξεφεύγει από αυτά είναι το νερό. Τα αυτοκίνητα χρειάζονται ανεφοδιασμό, αλλά με υδρογόνο και όχι με βενζίνη ή ντίζελ. Για κάθε γέμιση υδρογόνου, το αυτοκίνητο θα έχει εύρος 320-405km (200-250 μίλια). Η φόρτιση των συγκεκριμένων αυτοκινήτων διαρκεί μόλις λίγα λεπτά (2-3 λεπτά) ένα συγκρίσιμο μέγεθος σε σχέση με τα αυτοκίνητα ντίζελ ή βενζίνης. Οπότε υπάρχει ένα βασικό πλεονέκτημα αυτών των αυτοκινήτων, σε σχέση με τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, που χρησιμοποιούν μπαταρία, καθώς τα τελευταία χρειάζονται τουλάχιστον 30 λεπτά φόρτισης για να φτάσουν στο 80%. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι το εύρος των χιλιομέτρων, είναι ελαφρώς μεγαλύτερο από αυτό

των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Και έτσι δημιουργείται εύλογα η απορία γιατί τα αυτοκίνητα με κυψέλες καυσίμου δεν είναι τόσο διαδεδομένα, όσο τα συμβατικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα, καθώς αντιμετωπίζουν ένα βασικό φόβο των καταναλωτών, που είναι το εύρος χιλιομέτρων και ο χρόνος φόρτισης. Η απάντηση σε αυτό είναι ότι τα συμβατικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι καλύτερα σε απόδοση, σε τιμή, στην διαθεσιμότητα σημείων φόρτισης και είναι πιο οικολογικά. Στην Εικόνα 2.9 παρουσιάζεται ένα αυτοκίνητο με κυψέλες καυσίμου.



Εικόνα 2.9: Αυτοκίνητο με κυψέλες καυσίμου

Αν και ο ανεφοδιασμός ενός αυτοκινήτου με κυψέλες καυσίμου είναι πολύ παρόμοιος στο χρόνο με ένα όχημα κινητήρα εσωτερικής καύσης, οι επιλογές ανεφοδιασμού είναι πολύ περιορισμένες και η επέκταση της υποδομής ανεφοδιασμού είναι πολύ ακριβή σε σύγκριση με την επέκταση της υποδομής φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, ειδικά την συγκεκριμένη χρονική περίοδο που υπάρχει πληθώρα επιδοτήσεων, τόσο για τα σημεία φόρτισης, όσο και για τα ίδια τα οχήματα. Οι ειδικοί συμφωνούν ότι ένας σημαντικός παράγοντας που αποτρέπει τη λήψη αυτή τη στιγμή, είναι το απαγορευτικό κόστος. Οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου είναι πολύ ακριβές και υπάρχουν πολύ λίγα μέρη για αναπλήρωση στα μεγάλα αστικά κέντρα, οπότε η υποδομή δεν είναι εκεί για να υποστηρίξει την τεχνολογία αυτή τη στιγμή. Υπάρχουν επίσης ανησυχίες για την ασφάλεια του κοινού, σχετικά με την παραγωγή υδρογόνου και εγκαταστάσεων αποθήκευσης, καθώς το αέριο υδρογόνο είναι εξαιρετικά εύφλεκτο. Τα ηλεκτρικά

οχήματα μπορούν ήδη να χρεωθούν βολικά στο σπίτι των επιβατών, κάτι που δεν είναι δυνατό για τα οχήματα με κυψέλες καυσίμου. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι οι εκπομπές CO₂ από ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του, δεν είναι μόνο σημαντικά χαμηλότερες από ένα όχημα βενζίνης ή ντίζελ, αλλά είναι επίσης χαμηλότερες από το όχημα με κυψέλες καυσίμου, όπου η πλειονότητα του υδρογόνου παράγεται χρησιμοποιώντας ορυκτά καύσιμα, μέσω αναμόρφωσης ατμού μεθανίου. Υπάρχουν βέβαια ακόμη ορισμένες προσδοκίες στην αγορά, ότι η τεχνολογία κυψελών καυσίμου μπορεί να αυξηθεί. Η άνοδος της παραγωγής υδρογόνου, μέσω της ηλεκτρόλυσης θα μπορούσε να αποτελέσει επιχειρηματική υπόθεση για την παραγωγή υδρογόνου. Ωστόσο, η αποδεδειγμένη δυνατότητα κλιμάκωσης και συνεπώς η μείωση του κόστους της τεχνολογίας μπαταριών και η κακή υποδομή φόρτισης για αυτοκίνητα κυψελών καυσίμου, σημαίνουν ότι τα ηλεκτρικά οχήματα αναμένεται να κυριαρχήσουν στην αγορά επιβατικών οχημάτων τις επόμενες δεκαετίες [11, 12].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΡΟΠΟΙ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

3.1 Εισαγωγή

Καθώς τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα αποτελούν μία καινούργια πρόταση για το καταναλωτικό κοινό θα πρέπει να ασχοληθούμε και με τους τρόπους με τους οποίους μπορούμε να φορτίσουμε ένα τέτοιο όχημα, καθώς για πολλούς αυτοί παραμένουν άγνωστοι και ένας λόγος που δεν προτιμούν τα ηλεκτρικά οχήματα. Στην συνέχεια αυτού του κεφαλαίου θα γίνει αναφορά τόσο στα είδη φόρτισης τόσο και στα βύσματα που πρέπει να χρησιμοποιούνται κατά την φόρτιση, καθώς και στα μέρη που αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί.

3.2 Σημεία φόρτισης

3.2.1. Φόρτιση στο σπίτι

Δεδομένου ότι τα ιδιωτικά αυτοκίνητα είναι συνήθως σταθμευμένα κατά τη διάρκεια της νύχτας, οι περισσότεροι ιδιοκτήτες ηλεκτρικών αυτοκινήτων βασίζονται στη φόρτιση στο σπίτι για να διασφαλίσουν ότι το ηλεκτρικό τους αυτοκίνητο είναι έτοιμο για χρήση κάθε πρωί. Εκτός από το ότι είναι βολικό, η φόρτιση στο σπίτι για μια νύχτα έχει επίσης το πλεονέκτημα ότι είναι ο φθηνότερος τρόπος για επαναφόρτιση. Για να μπορέσει να γίνει μια φόρτιση στο σπίτι οι αγοραστές ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα πρέπει να εγκαταστήσουν ένα σημείο φόρτισης στον χώρο τους. Συνήθως, αυτές οι μονάδες είναι επιτοιχίες και διατίθενται είτε με καλώδιο τύπου 1 ή τύπου 2, το οποίο μπορεί να συνδεθεί απευθείας στο αυτοκίνητο, είτε με υποδοχή τύπου 2 για χρήση με το καλώδιο φόρτισης του οχήματος. Τέτοιες εγκαταστάσεις πολλές φορές ανάλογα την κάθε χώρα χρηματοδοτούνται είτε ολόκληρες, είτε κατά κάποιο μέρος. Υπάρχουν δύο επιλογές ισχύος που προτείνουν οι προμηθευτές για εγκαταστάσεις στο σπίτι και αυτές είναι των 3 kW και των 7 kW. Η δεύτερη επιλογή είναι πιο ακριβή και στην εγκατάσταση και στο κόστος φόρτισης, αλλά μειώνει σημαντικά τον χρόνο φόρτισης εάν το αυτοκίνητο διαθέτει γρήγορο φορτιστή. Για παράδειγμα, το Nissan Leaf σε μονάδα οικιακής φόρτισης 3 kW θα φορτιστεί πλήρως σε περίπου 12-13 ώρες, ενώ η μονάδα 7 kW θα δώσει πλήρη φόρτιση σε περίπου έξι ώρες. Οι τιμές διαφέρουν ανάλογα με τον κατασκευαστή και την ταχύτητα του σημείου χρέωσης. Συνήθως, μια μονάδα 3 kW θα κοστίζει μεταξύ 250 και

500 ευρώ, ενώ ένα σημείο φόρτισης 7 kW θα κοστίζει μεταξύ 450 και 800 ευρώ. Εάν λάβουμε υπόψιν τους παραπάνω χρόνους φόρτισης για μια εγκατάσταση των 3 kW χρειαζόμαστε 2,2 ευρώ για μία πλήρη φόρτιση, ενώ στην εγκατάσταση των 7 kW χρειαζόμαστε 2,7 ευρώ (για τα συγκεκριμένα ποσά χρησιμοποιήθηκε η τιμή του νυχτερινού ρεύματος). Αυτή η διαφορά στην τιμή είναι ελάχιστη αν υπολογίσουμε το πόσο χρειάζεται ένα βενζινοκίνητο αυτοκίνητο για να καλύψει 270 χιλιόμετρα (καθώς τόση είναι η αυτονομία του Nissan Leaf), αφού χρειάζεται κοντά στα 27 ευρώ [3, 13]. Στην Εικόνα 3.1 παρουσιάζεται μια αναπαράσταση φόρτισης στο σπίτι.



Εικόνα 3.1: Φόρτιση στο σπίτι

3.2.2. Φόρτιση σε σημεία με δημόσια πρόσβαση

Ένα βασικό πρόβλημα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι η δυσκολία πραγματοποίησης ταξιδιού μεγάλης απόστασης, καθώς λόγω της αυτονομίας τους για μία μεγάλη διαδρομή θα χρειαστούν εκ νέου φόρτιση. Και τα συμβατικά οχήματα προφανώς χρειάζονται ανατροφοδότηση, αλλά ο χρόνος αυτού είναι ελάχιστος, ενώ η φόρτιση των ηλεκτρικών χρειάζεται στην καλύτερη περίπτωση μισή ώρα για να φτάσει η μπαταρία σε επιθυμητά σημεία. Την λύση σε αυτό το πρόβλημα μπορούν να δώσουν τα δημόσια σημεία φόρτισης, που μπορούν να βρίσκονται είτε σε δρόμους, είτε σε εμπορικά κέντρα είτε στον εργασιακό χώρο. Όταν οι σταθμοί αυτοί βρίσκονται στους δρόμους, μπορούν να λύσουν και ένα άλλο πρόβλημα, που κυρίως συναντάται στα αστικά κέντρα, καθώς δεν έχουν όλοι πρόσβαση σε ιδιωτικό πάρκινγκ. Από την άλλη, ανάλογα το σημείο που θα

επιλέξουμε και το είδος της φόρτισης, ο χρόνος και το κόστος της φόρτισης διαφέρει. Συναντάμε τρία είδη φορτίσεων στα σημεία με δημόσια πρόσβαση αυτά των 3 kW, των 7-22kW και των 43-50kW. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε μία αργή φόρτιση, που όπως προ είπαμε συναντάται κυρίως στα σπίτια και μπορεί να πάρει πάνω από οχτώ ώρες για να είναι πλήρης. Η επόμενη φόρτιση είναι πιο γρήγορη και διαρκεί περίπου τέσσερις με πέντε ώρες για να είναι πλήρης, ενώ η τελευταία είναι η πιο γρήγορη που μπορεί να συναντήσει κανείς σε δημόσιους χώρους, καθώς το αυτοκίνητο φορτίζει πάνω από το 80% σε μισή ώρα. Έτσι με ένα μισάωρο διάλειμμα ο οδηγός μπορεί να φορτίσει το αυτοκίνητο του και να συνεχίσει το ταξίδι του. Όσον αφορά το κόστος τώρα σε τέτοιους σταθμούς υπάρχει συνήθως συγκεκριμένη τιμή για την παροχή της φόρτισης που κυμαίνεται στα 2-3 ευρώ, ενώ ανάλογα το είδος φόρτισης και τον χρόνο φόρτισης προσαρμόζεται και το τελικό κόστος. Για παράδειγμα στους σταθμούς εξυπηρέτησης αυτοκινήτων με την χρήση της πιο γρήγορης φόρτισης για μισή ώρα το κόστος είναι 2,5 ευρώ για την χρήση της εγκατάστασης και επιπλέον 0.25 ευρώ για κάθε λεπτό κάτι που σημαίνει ότι θα κοστίζει 11,5 ευρώ με το αυτοκίνητο να έχει φορτιστεί πάνω από το 80% [3, 13]. Στην Εικόνα 3.2 έχουμε μία φόρτιση σε έναν δημόσιο σταθμό φόρτισης.



Εικόνα 3.2: Φόρτιση σε δημόσια σημεία φόρτισης

3.2.3. Φόρτιση στον χώρο εργασίας

Ειδική αναφορά πρέπει να κάνουμε στην φόρτιση του ηλεκτρικού οχήματος όσο ο οδηγός εργάζεται. Όπως προ είπαμε η φόρτιση στον χώρο εργασίας έγκειται στην ευρύτερη κατηγορία της φόρτισης σε δημόσιο χώρο, αλλά είναι μία πολύ σημαντική κατηγορία, καθώς ο οδηγός φορτίζει το αυτοκίνητο του χωρίς να περιμένει. Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν ακόμα εταιρείες που να έχουν χώρους φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, στον

υπόλοιπο πλανήτη όμως είναι μια σύνηθες επιλογή καθώς είναι ένας πολύ βολικός τρόπος για να επαναφορτίζεται το ηλεκτρικό αυτοκίνητο, τόσο από υπαλλήλους όσο και από επισκέπτες. Οι εταιρίες στο εξωτερικό επιλέγουν εγκαταστάσεις που είναι συμβατές με την μεγαλύτερη γκάμα αυτοκινήτων. Έτσι, η πιο κοινή εγκατάσταση και αυτή που επιλέγουν είναι η επιτοίχια με φορτιστή τύπου 3kW, που απευθύνεται στα περισσότερα ηλεκτρικά οχήματα. Επίσης μια επιχείρηση μπορεί να επιλέξει μια ταχύτερη μονάδα των 22kW ακόμα και εγκατάσταση με υπερφορτιστές. Όπως έχουμε αναλύσει αυτές οι εγκαταστάσεις διαφέρουν στον χρόνο φόρτισης του εκάστοτε αυτοκινήτου, καθώς και στο κόστος της εγκατάστασης. Βέβαια το κόστος μιας εγκατάστασης ανάλογα την χώρα διαφέρει, καθώς η κυβέρνηση κάθε χώρας παρέχει επιδοτήσεις που εκτός από τους χώρους εργασίας εφαρμόζονται και σε οργανισμούς και φιλανθρωπικά ιδρύματα. Για παράδειγμα στην Αγγλία μία πλήρης εγκατάσταση διπλής κεφαλής τύπου 3kW κοστίζει περίπου 1500 λίρες, ενώ όσο αυξάνεται η ισχύς της εγκατάστασης αυξάνεται και το κόστος. Δηλαδή μια μονάδα διπλής κεφαλής 22kW κοστίζει από 2.500 έως 5.000 λίρες και μια πλήρως εγκατεστημένη μονάδα ταχείας φόρτισης μπορεί να κοστίσει έως και 35.000 λίρες [3, 13]. Στην Εικόνα 3.3 παρατηρούμε τους χώρους φόρτισης εγκατεστημένους σε χώρο εργασίας.



Εικόνα 3.3: Φόρτιση στον χώρο εργασίας



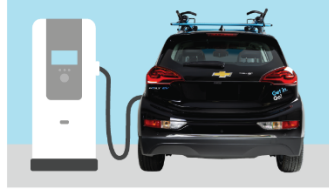
3.3 Είδη φόρτισης

Αρχικά θα πρέπει να τονίσουμε πως τα ηλεκτρικά οχήματα διαφέρουν μεταξύ τους, καθώς κάθε εταιρεία χρησιμοποιεί διαφορετικές μπαταρίες σε χωρητικότητα, κάτι που επηρεάζει την αυτονομία του οχήματος και τον χρόνο φόρτισης. Βέβαια, μία άλλη παράμετρος, που επηρεάζει τον χρόνο φόρτισης, είναι το είδος φόρτισης που

επιλέγουμε να φορτίσουμε το όχημα μας. Υπάρχουν τρία είδη φόρτισης που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε, τα δύο εκ των οποίων έχουν εφαρμογή και για οικιακή χρήση, ενώ φόρτιση μπορεί να συμβεί και σε δημόσιους σταθμούς και ιδιωτικούς. Αναλυτικά αυτά είναι:

- **Level One Charging:** Η φόρτιση επιπέδου 1 χρησιμοποιεί το ίδιο ρεύμα 120Volt που υπάρχει στις τυπικές οικιακές πρίζες αρκεί να υπάρχει ηλεκτρική γραμμή με καλή γείωση μέσω κλασσικού ρευματοδότη κατάλληλων προδιαγραφών ασφαλείας και προστασίας. Μπορεί να εκτελεστεί χρησιμοποιώντας το καλώδιο τροφοδοσίας και τον εξοπλισμό που συνοδεύουν τα περισσότερα ηλεκτρικά αυτοκίνητα.
- **Level Two Charging:** Η φόρτιση επιπέδου 2 χρησιμοποιεί ισχύ 240Volt για να επιτρέψει την ταχύτερη αναγέννηση του συστήματος μπαταρίας ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Η παροχή αυτού του τύπου φόρτισης απαιτεί εγκατάσταση μονάδας EVSE και ηλεκτρική καλωδίωση ικανή να χειριστεί υψηλότερη ισχύ τάσης.
- **DC Fast Charging:** Η γρήγορη φόρτιση DC επιτρέπει την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων στο 80% σε 30-60 λεπτά, μετατρέποντας την τροφοδοσία υψηλής τάσης σε ισχύ DC για άμεση αποθήκευση σε μπαταρίες ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Οι αυτοκινητοβιομηχανίες χρησιμοποιούν επί του παρόντος το ίδιο βύσμα (SAE) J-1772 για φόρτιση επιπέδου 1 και 2, με εξαίρεση την Tesla που διαθέτει προσαρμογέα. Για γρήγορη φόρτιση DC υπάρχουν τρεις τύποι βυσμάτων που χρησιμοποιούνται από διαφορετικές αυτοκινητοβιομηχανίες: τα CHAdeMO, SAE Combined Charging System (Combo / CCS) και Tesla Supercharger. Τα οχήματα ιαπωνικών εταιρειών χρησιμοποιούν CHAdeMO, ενώ τα τρέχοντα και τα επερχόμενα οχήματα από αμερικανικούς και ευρωπαϊούς κατασκευαστές διαθέτουν θύρες SAE CCS. Ο εξοπλισμός υπερσυμπιεστή της Tesla είναι συμβατός μόνο με οχήματα Tesla, παρόλο που προσφέρουν έναν προσαρμογέα που επιτρέπει στους ιδιοκτήτες της Tesla να χρησιμοποιούν τον εξοπλισμό CHAdeMO.

Στην Εικόνα 3.4 που ακολουθεί έχουμε συνοπτικά τα χαρακτηριστικά για τα είδη φόρτισης που αναφέραμε παραπάνω.

AC Level One	AC Level Two	DC Fast Charge
		
Voltage 120v 1-Phase AC	Voltage 208V or 240V 1-Phase AC	Voltage 208 or 480V 3-phase AC
Amps 12-16 Amps	Amps 12-80 Amps (typ. 32 Amps)	Amps <125 amps (typ. 60 amps)
Charging loads 1.4 to 1.9 KW	Charging loads 2.5 to 19.2 kW (typ. 7 kW)	Charging loads <90 kW (typ. 50 kW)
Charge time 3-5 Miles of range per hour	Charge time 10-20 miles of range per hour	Charge time 80% Charge in 20-30 minutes

Εικόνα 3.4: Είδη φόρτισης και χαρακτηριστικά

Όπως είναι λογικό ο κάθε τρόπος φόρτισης έχει τα θετικά και τα αρνητικά του, καθώς διαφέρουν στην προσφερόμενη τάση και στις μέγιστες τιμές ρεύματος που μπορούν να φτάσουν. Η φόρτιση επιπέδου 1 έχει σχεδόν μηδαμινό κόστος εγκατάστασης, εάν η πρίζα είναι κοντά στο χώρο στάθμευσης του ηλεκτρικού αυτοκινήτου, αλλά είναι πολύ χρονοβόρα καθώς φορτίζει 3 με 5 μίλια την ώρα (5 με 8 χιλιόμετρα). Αυτό για ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο μέσης κατηγορίας ισοδυναμεί σε μία μέρα για να ικανοποιηθεί μία πλήρης φόρτισης. Από την άλλη η φόρτιση επιπέδου 2 μας εξασφαλίζει πιο γρήγορη φόρτιση καθώς το εύρος φόρτισης αυξάνεται σε 10 με 20 μίλια την ώρα (16 με 32 χιλιόμετρα) που ισοδυναμεί κοντά στις 6 ώρες πλήρους φόρτισης. Βέβαια αυτό το επίπεδο φόρτισης μπορεί να μας εξοικονομεί χρόνο και να είναι πιο αποδοτικό, αλλά είναι πιο ακριβό από το επίπεδο φόρτισης 1. Όσον αφορά την DC φόρτιση ο χρόνος φόρτισης μειώνεται κατά πολύ καθώς μπορεί ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο να φορτιστεί στο 80% της μπαταρίας του μέσα σε μόλις 20 με 30 λεπτά. Όπως καταλαβαίνουμε η μείωση στον χρόνο φόρτισης επιφέρει σημαντική αύξηση στην τιμή, τόσο κατά την φόρτιση τόσο και κατά την εγκατάσταση. Επίσης όπως είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι ταχυφορτίσεις μπορεί να επιφέρουν φθορές στις μπαταρίες λιθίου. Τέλος για αυτού του είδους την φόρτιση υπάρχουν αρκετά βύσματα, που είναι πιθανόν να συγχύσουν τους οδηγούς των ηλεκτρικών αυτοκινήτων [3, 13, 14].

3.4 Είδη βυσμάτων για την φόρτιση

3.4.1. Υποδοχείς τύπου 1

Το βύσμα τύπου 1 είναι ένα μονοφασικό βύσμα που επιτρέπει τη φόρτιση επιπέδων ισχύος έως 7,4 kW (230 V, 32 A). Αυτός ο τύπος συνδέσμου βρίσκεται κυρίως στη Βόρεια Αμερική και στην Ευρώπη και χρησιμοποιείται για την οικιακή φόρτιση σε τροφοδοτικά AC. Το επίσημο πρότυπο είναι SAE J1772 και διαθέτει βύσμα 5 ακίδων. Τα πιο γνωστά μοντέλα που υποστηρίζουν τις υποδοχές τύπου 1 είναι πιο παλιά μοντέλα όπως τα πρώτα Nissan Leafs και Kia Soul EVs, καθώς και τα Peugeot iOn και Citroen C-Zero. Ωστόσο, το νέο Mitsubishi Outlander, ένα δημοφιλές υβριδικό plug-in (PHEV) εξακολουθεί να διαθέτει υποδοχή τύπου 1 για φόρτιση AC. Είναι πλέον δύσκολο να βρεθούν σημεία φόρτισης τύπου 1 καθώς όλα τα νέα σημεία όπως σουπερμάρκετ, ξενοδοχεία και τα λοιπά έχουν υποδοχές τύπου 2. Βέβαια αν ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο έχει υποδοχή τύπου 1 δεν υπάρχει κάποιο πρόβλημα καθώς το βύσμα τύπου 1 θα μπει στην θύρα φόρτισης του αυτοκινήτου και το βύσμα τύπου 2 στο σημείο φόρτισης [3, 15]. Στην Εικόνα 3.5 παρατηρούμε το βύσμα καθώς και την υποδοχή τύπου 1.

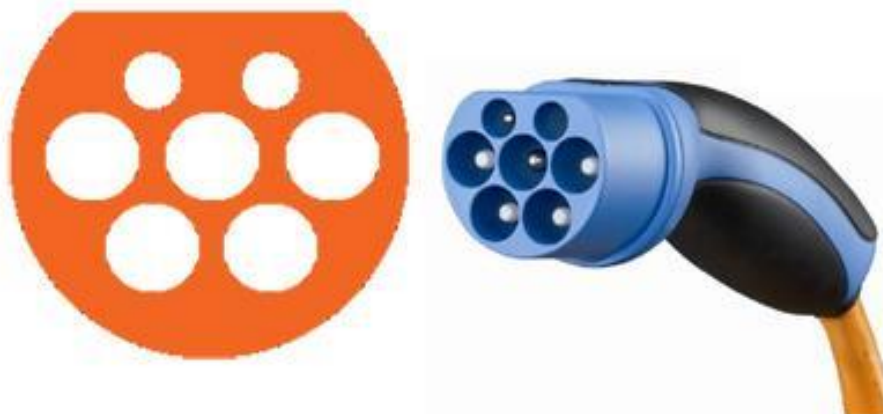


Εικόνα 3.5: Υποδοχή και βύσμα τύπου 1

3.4.2. Υποδοχείς τύπου 2

Το βύσμα τύπου 2 είναι το πιο διαδεδομένο, καθώς συναντάται σε όλο τον κόσμο και όλα τα καλώδια τύπου 3 μπορούν να χρησιμοποιηθούν με αυτούς τους υποδοχείς, καθώς και τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μπορούν να φορτιστούν με βύσματα τύπου 1 και 2. Σε ιδιωτικούς χώρους, τα επίπεδα ισχύος φόρτισης έως και 22 kW είναι κοινά, ενώ επίπεδα ισχύος

φόρτισης έως 43 kW (400 V, 63 A, AC) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε δημόσιους σταθμούς φόρτισης. Οι περισσότεροι δημόσιοι σταθμοί φόρτισης είναι εξοπλισμένοι με υποδοχή τύπου 2. Η Ευρωπαϊκή Ένωση συνιστά συνδέσμους τύπου 2 και μερικές φορές αναφέρονται από το επίσημο πρότυπο 62196-2. Οι υποδοχές τύπου 2 ονομάζονται συχνά συνδέσεις «Mennekes», από τον γερμανικό κατασκευαστή που εφηύρε το σχέδιο. Έχουν βύσμα 7 ακίδων. Το Renault Zoe διαθέτει μια ασυνήθιστη πρίζα τύπου 2. Προσφέρει κανονική φόρτιση AC στο σπίτι έως 7,36 kW, αλλά και γρήγορη φόρτιση AC στα 43 kW σε ορισμένους δημόσιους φορτιστές. Η Tesla έχει αναπτύξει μια τροποποιημένη υποδοχή τύπου 2, που επιτρέπει επίσης γρήγορη φόρτιση DC. Η προσαρμοσμένη υποδοχή τύπου 2 της Tesla, η οποία μπορεί να βρεθεί στα μοντέλα S και Model X στην Ευρώπη, επιτρέπει τόσο τη φόρτιση στο σπίτι με μία κανονική τροφοδοσία εναλλασσόμενου ρεύματος, όσο και την ταχεία φόρτιση έως και 120 kW χρησιμοποιώντας ηλεκτρικό ρεύμα DC. Όπως είπαμε τα βύσματα τύπου 2 είναι τα πιο διαδεδομένα και είναι τα βύσματα που θα τοποθετηθούν σε αδέσμευτα σημεία φόρτισης. Έτσι το καλώδιο που βγαίνει από την μπότα του ηλεκτρικού αυτοκινήτου πρέπει να έχει βύσμα τύπου 2 στο ένα άκρο για να πάει στο σημείο καθολικής φόρτισης στον τοίχο. Σε μια τριφασική παροχή ηλεκτρικού ρεύματος τα σημεία φόρτισης τύπου 2 μπορούν να φορτίσουν στα 22 kW. Ωστόσο, τα ενσωματωμένα κυκλώματα του αυτοκινήτου ενδέχεται να μην επιτρέπουν φόρτιση με τόσο γρήγορη ταχύτητα [3, 15]. Στην Εικόνα 3.6 που ακολουθεί παρατηρούμε το βύσμα καθώς και την υποδοχή τύπου 2.



Εικόνα 3.6: Υποδοχή και βύσμα τύπου 2

3.4.3. Υποδοχείς CCS

Το CCS σημαίνει συνδυασμένο σύστημα φόρτισης. Αυτές οι πρίζες επιτρέπουν γρήγορη φόρτιση DC και έχουν σχεδιαστεί για να φορτίζουν το ηλεκτρικό αυτοκίνητο πολύ γρήγορα, όταν ο χρήστης βρίσκεται μακριά από το σπίτι. Το βύσμα CCS είναι μια βελτιωμένη έκδοση του βύσματος τύπου 2, με δύο επιπλέον επαφές ισχύος για σκοπούς γρήγορης φόρτισης και υποστηρίζει επίπεδα ισχύος φόρτισης AC και DC έως 170 kW. Στην πράξη, η τιμή είναι συνήθως περίπου 50 kW. Στα περισσότερα γρήγορα σημεία φόρτισης CCS στην Ευρώπη συναντάται ισχύς 50 kW DC, αν και οι πρόσφατες εγκαταστάσεις CCS είναι συνήθως 150 kW. Υπάρχουν ακόμη και σταθμοί φόρτισης CCS που έχουν εγκατασταθεί και προσφέρουν εκπληκτικά γρήγορη φόρτιση 350 kW. Το CCS είναι μία δημοφιλής επιλογή για τους κατασκευαστές αυτοκινήτων, καθώς χρησιμοποιείται στα καινούργια μοντέλα των Hyundai, Kia, BMW, Audi, Mercedes, MG, Jaguar, Mini, Peugeot, Opel, Citroen, Nissan και VW. Η Tesla αρχίζει επίσης να προσφέρει μια υποδοχή CCS στην Ευρώπη, ξεκινώντας από το μοντέλο 3. Για να μπορέσει να γίνει η φόρτιση με βύσμα CCS σε ένα πρατήριο καυσίμων, θα πρέπει να τοποθετηθεί στο σημείο υποδοχής του αυτοκινήτου. Σε αυτή την περίπτωση, οι κάτω επαφές του DC θα προσφέρουν την ταχεία φόρτιση, ενώ οι πάνω υποδοχές δεν θα προσφέρουν κάτι στην φόρτιση. Αντίθετα,, εάν κάποιος έχει υποδοχή CCS στο αυτοκίνητο του και θέλει να το φορτίσει στο σπίτι θα συνδέσει το κανονικό βύσμα τύπου 2 στις πάνω υποδοχές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι κάτω υποδοχές να μείνουν κενές και προφανώς ο χρόνος φόρτισης να είναι παρόμοιος με αυτόν που θα έκανε με ένα βύσμα τύπου 2 [3, 15]. Στην Εικόνα 3.7 που ακολουθεί παρατηρούμε το βύσμα καθώς και την υποδοχή τύπου CCS.



Εικόνα 3.7: Υποδοχή τύπου CCS

3.4.4. Υποδοχείς CHAdeMO

Αυτές οι πρίζες επιτρέπουν γρήγορη φόρτιση DC και έχουν σχεδιαστεί για να φορτίζουν το ηλεκτρικό αυτοκίνητο πολύ γρήγορα, όταν ο χρήστης βρίσκεται μακριά από το σπίτι όπως οι CCS. Η Tesla διαθέτει προσαρμογέα CHAdeMO, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιούν γρήγορους φορτιστές CHAdeMO εάν δεν υπάρχουν υπερφορτιστές. Αυτό το σύστημα γρήγορης φόρτισης αναπτύχθηκε στην Ιαπωνία και επιτρέπει χωρητικότητα φόρτισης έως και 50 kW στους κατάλληλους δημόσιους σταθμούς φόρτισης. Οι υποδοχές CHAdeMO βρίσκονται στα ακόλουθα νέα αυτοκίνητα: Nissan Leaf και το Mitsubishi Outlander, καθώς και σε παλιότερα ηλεκτρικά μοντέλα όπως το Peugeot iOn, το Citroen C-Zero, το Kia Soul EV και το Hyundai Ioniq. Τα περισσότερα καινούργια ηλεκτρικά αυτοκίνητα χρησιμοποιούν συστήματα CCS και όχι τόσο το CHAdeMO. Όμως το CHAdeMO έχει ένα σημαντικό πλεονέκτημα που μπορεί να λύσει αρκετά προβλήματα στο θέμα της ηλεκτροδότησης καθώς είναι αμφίδρομος φορτιστής. Αυτό σημαίνει ότι το αυτοκίνητο μπορεί να φορτίζεται στον συγκεκριμένο φορτιστή αλλά και να φορτίζει είτε το σπίτι, είτε το δίκτυο που βρίσκεται ο φορτιστής. Αυτή η ροή ενέργειας είναι γνωστή και ως "Vehicle to Grid" ή V2G. Με την κατάλληλη υποδομή ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί στο σπίτι του ηλεκτρικό ρεύμα που είναι αποθηκευμένο στην μπαταρία του αυτοκινήτου. Επίσης

έπειτα από κατάλληλη συμφωνία το συγκεκριμένο ρεύμα μπορεί να στέλνεται στο δίκτυο και ο χρήστης να πληρώνεται για αυτό [3, 15]. Στην Εικόνα 3.8 παρατηρούμε το βύσμα καθώς και την υποδοχή τύπου CHAdeMO.



Εικόνα 3.8: Υποδοχή και βύσμα τύπου CHAdeMO

3.4.5. Υπερφορτιστής Tesla

Οι σταθμοί φόρτισης DC μόνο για Tesla βρίσκονται σε πρατήρια καυσίμων αυτοκινητοδρόμων. Είναι γνωστοί ως υπερφορτιστές και για την ώρα είναι συμβατοί μόνο με ηλεκτρικά αυτοκίνητα της Tesla. Για τον υπερφορτιστή της, η Tesla χρησιμοποιεί μια τροποποιημένη έκδοση του βύσματος τύπου 2 κάτι που επιτρέπει στο μοντέλο S να επαναφορτιστεί στο 80% εντός 30 λεπτών. Ορισμένες νεότερες εκδόσεις των μοντέλων S και Model X μπορούν να φορτιστούν έως και 150 kW σε υπερσυμπιεστές. Η επερχόμενη έκδοση τριών από τους υπερφορτιστές Tesla, θα προσφέρει ακόμη πιο γρήγορη φόρτιση έως 250 kW [3, 15]. Στην Εικόνα 3.9 παρατηρούμε τα βύσματα που χρησιμοποιεί η Tesla για την φόρτιση των οχημάτων της.



Εικόνα 3.9: Βύσματα που χρησιμοποιεί η Tesla

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΞΥΠΝΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ

4.1 Ευφυές ηλεκτρικό δίκτυο

Το έξυπνο δίκτυο είναι ένας πραγματικός παγκόσμιος μετασχηματισμός, για τον οποίο εκατοντάδες δισεκατομμύρια δολάρια θα δαπανηθούν μέσα στην επόμενη δεκαετία σε πραγματικές τεχνολογίες, που θα παρέχουν έξυπνη διαχείριση του ηλεκτρικού δικτύου. Ωστόσο, ορισμένες πτυχές του ευφυούς δικτύου που περιγράφονται, μπορεί να αποδειχθούν ότι δεν είναι οικονομικά αποδοτικές και στη συνέχεια να πρέπει να περιμένουν, έως ότου αναπτυχθούν φθηνότερες. Δηλαδή, το απόλυτο έξυπνο δίκτυο είναι ένα όραμα, έχοντας κατά νου ότι απαιτεί αιτιολόγηση κόστους σε κάθε βήμα πριν από την εφαρμογή, τις δοκιμές και την επαλήθευση του.

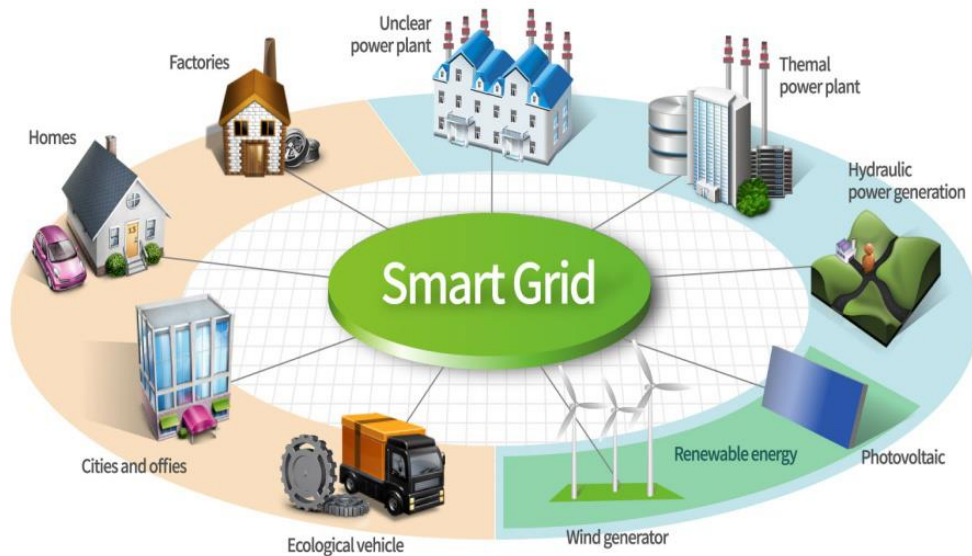
Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, το έξυπνο δίκτυο ορίζεται ως ένα ηλεκτρικό σύστημα που χρησιμοποιεί αμφίδρομες πληροφορίες, με κύριο χαρακτηριστικό την ασφάλεια και την υπολογιστική ευφυΐα με ολοκληρωμένο τρόπο σε όλα τα στάδια ενός δικτύου από την παραγωγή μέχρι την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για να επιτευχθεί ένα σύστημα που είναι καθαρό, ασφαλές, αξιόπιστο, ανθεκτικό, αποτελεσματικό και βιώσιμο. Η επίτευξη ενός έξυπνου δικτύου δεν είναι μια στιγμιαία δημιουργία, αλλά μια σταδιακή διαδικασία που θα απαιτήσει πολλές δεκαετίες για να πραγματοποιηθεί πλήρως. Για να χαρακτηριστεί ένα δίκτυο ως ευφυές, δεν είναι απαραίτητο να ενσωματωθούν όλες οι δυνατότητες ταυτόχρονα, αλλά να ενσωματώνεται κάθε λειτουργία που μπορεί να πραγματοποιηθεί ανεξάρτητα. Υποθέτοντας ότι έχει πραγματοποιηθεί πλήρως, το έξυπνο δίκτυο θα έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά που δεν είναι διαθέσιμα στο συμβατικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας:

- Ασφαλείς αμφίδρομες επικοινωνίες που καλύπτουν το σύστημα από άκρο σε άκρο
- Όλα τα κύρια στοιχεία του δικτύου θα ανιχνεύονται. Τα στοιχεία όπως τα καλώδια, οι μετασχηματισμοί, η χρήση του καταναλωτή και η ποσότητα ισχύος θα παρακολουθούνται συνεχώς σε πραγματικό χρόνο.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά θα παρέχουν τεράστιες ποσότητες εισερχόμενων δεδομένων, που πρέπει να μετατραπούν σε συνειδητοποίηση της κατάστασης του δικτύου. Θα πρέπει να υπάρξουν ελεγκτές για να αυτοματοποιήσουν τη διαχείριση δεδομένων και ενέργειας, έτσι ώστε οι πληροφορίες να βελτιωθούν, να εντοπιστούν

άμεσα τα προβλήματα, να εντοπιστούν και να εκτελεστούν διορθωτικές ενέργειες στο πεδίο. Τέτοιοι ελεγκτές για το έξυπνο δίκτυο θα έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Αυτοθεραπεία. Δηλαδή την αυτόματη επισκευή ή απομάκρυνση δυνητικά ελαττωματικού εξοπλισμού από το σέρβις πριν αποτύχει, και επαναδιαμόρφωση του συστήματος για τον επαναπροσανατολισμό των αποθεμάτων ενέργειας και τη διατήρηση της ισχύος σε όλους τους πελάτες.
- Ευέλικτο. Την ταχεία και ασφαλή διασύνδεση της παραγωγής και την αποθήκευση της ενέργειας σε οποιοδήποτε σημείο του συστήματος, ανά πάσα στιγμή.
- Πρόβλεψη. Τη χρήση μηχανικής εκμάθησης, που θα χρησιμεύσει στην πρόβλεψη των καιρικών επιπτώσεων καθώς και για την ανάλυση για την παροχή προβλέψεων για τα επόμενα πιο πιθανά συμβάντα, έτσι ώστε να ληφθούν κατάλληλες ενέργειες για την αναδιάρθρωση του συστήματος, προτού συμβούν τα επόμενα χειρότερα γεγονότα.
- Διαδραστικό. Δηλαδή να παρέχονται κατάλληλες πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του συστήματος όχι μόνο στους χειριστές, αλλά και επίσης στους πελάτες. Αυτό θα επιτρέψει σε όλους τους βασικούς συμμετέχοντες στο ενεργειακό σύστημα, να διαδραματίσουν ενεργό ρόλο στη βέλτιστη διαχείριση των απρόβλεπτων.
- Βελτιστοποιημένο. Τη γνώση της κατάστασης κάθε μείζονος συνιστώσας σε πραγματικό ή σχεδόν πραγματικό χρόνο και την ύπαρξη εξοπλισμού ελέγχου για την παροχή προαιρετικών διαδρομών δρομολόγησης. Με αυτές τις διαδρομές θα υπάρχει δυνατότητα βελτιστοποίησης και ροής ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο.
- Ασφαλές. Με την αμφίδρομη ικανότητα που έχει το ευφυές δίκτυο και την δυνατότητα να επεμβαίνει από άκρο σε άκρο στο σύστημα, είναι απαραίτητη η ασφάλεια των περιουσιακών στοιχείων.



Εικόνα 4.1: Τομείς που επηρεάζει ένα έξυπνο δίκτυο

Όπως καταλαβαίνουμε από τα παραπάνω χαρακτηριστικά το έξυπνο δίκτυο περιλαμβάνει εγκατάσταση νέου εξοπλισμού σε κρίσιμα σημεία όπως η παραγωγή, η μετάδοση, η διανομή και η κατανάλωση. Για να γίνει το έξυπνο δίκτυο ολοκληρωμένο με την χρήση του εξοπλισμού θα πρέπει να υπάρχουν τεχνολογίες ελέγχου για την επικοινωνία, την διαχείριση δεδομένων, την διαγνωστική ανάλυση και την διαχείριση των εργασιών. Όπως παρατηρούμε και από την Εικόνα 4.1, το έξυπνο δίκτυο είναι η ουσιαστική αλλαγή από την τυφλή ζήτηση στην ελεγχόμενη, καθώς το φορτίο μπορεί να διορθωθεί όταν αυτό είναι αναγκαίο. Στην περίπτωση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου θα είναι δυνατή η τροφοδοσία του δικτύου με ενέργεια, όταν υπάρχει ζήτηση [16, 17].

4.1.1. Ηλεκτρικό αυτοκίνητο και ηλεκτρικό δίκτυο

Η ενσωμάτωση μεγάλου αριθμού ηλεκτρικών σταθμών στο ηλεκτρικό σύστημα ενέργειας είναι μία μεγάλη πρόκληση, που θα απασχολήσει την ανθρωπότητα. Αυτή η διαδικασία απαιτεί αξιολόγηση στις επιμέρους λειτουργίες, για να προσδιοριστούν τα οικονομικά οφέλη και οι επιπτώσεις. Με βάση τις πρόσφατες μελέτες, η πλειονότητα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων φορτίζονται στο σπίτι, αλλά όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί και σε δημόσιους χώρους καθώς και στον εργασιακό χώρο. Έτσι όσο αυξάνονται οι δημόσιοι φορτιστές, η φόρτιση

των ηλεκτρικών οχημάτων θα επηρεάσει άμεσα το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, η υιοθέτηση αυτών των αυτοκινήτων, θα είναι σε θέση να δώσει αξία στο δίκτυο από την άποψη της απόδοσης και της βελτίωσης της ποιότητας της ισχύος. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο εάν ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων είναι μεγάλος και να είναι καλά σχεδιασμένος, ώστε να συμμορφώνεται στα πρότυπα του ηλεκτρικού συστήματος.

Όπως σημειώσαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία, που θα διαδώσει ακόμα πιο πολύ τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, είναι οι εντατικές έρευνες που γίνονται πάνω στις μπαταρίες. Εκτός από την μείωση του κόστους παραγωγής, οι μπαταρίες θα αυξήσουν την απόδοσή τους και έτσι θα είναι χρήσιμες για το ηλεκτρικό δίκτυο. Αυτό θα είναι εφικτό με την εφαρμογή του vehicle to grid (V2G) δηλαδή την χρήση του οχήματος απευθείας στο δίκτυο για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Το V2G γεννά τον προβληματισμό ότι η μπαταρία θα επηρεάζεται λόγω των συνεχών φορτίσεων και εκφορτώσεων. Έρευνες έχουν δείξει όμως, ότι η μείωση της χωρητικότητας της μπαταρίας λιθίου-φωσφορικού σιδήρου (LiFePO₄), ήταν παρόμοια σε οχήματα που χρησιμοποιούσαν το V2G και σε αυτά που είχαν τους γνωστούς τρόπους φόρτισης. Επίσης όσον αφορά της μπαταρίες λιθίου, έχουν εμφανίσει φαινόμενα απώλειας χωρητικότητας όταν γίνεται χρήση V2G, μειώνοντας την ζωή της μπαταρίας κατά τρία χρόνια. Βέβαια, η διάρκεια ζωής της μπαταρίας μπορεί να παραταθεί με έξυπνα προγράμματα φόρτισης. Για αυτό όμως απαιτούνται πολλές μελέτες για να επιβεβαιωθεί η συμπεριφορά της μπαταρίας, όταν πρόκειται να υπάρχουν συναλλαγές με το δίκτυο. Για να επιτευχθεί η λειτουργία του V2G θα πρέπει οι μελλοντικές μπαταρίες να έχουν υψηλή χωρητικότητα, μικρό μέγεθος και χαμηλό κόστος αγοράς. Από την μεριά του δικτύου θα πρέπει να υπάρχουν έξυπνα πλέγματα για ανταλλαγή πληροφοριών και συνεχή ενεργειακή πρόβλεψη. Στην συνέχεια θα παρατηρήσουμε σενάρια αλληλεπίδρασης ηλεκτρικών αυτοκινήτων με το δίκτυο.

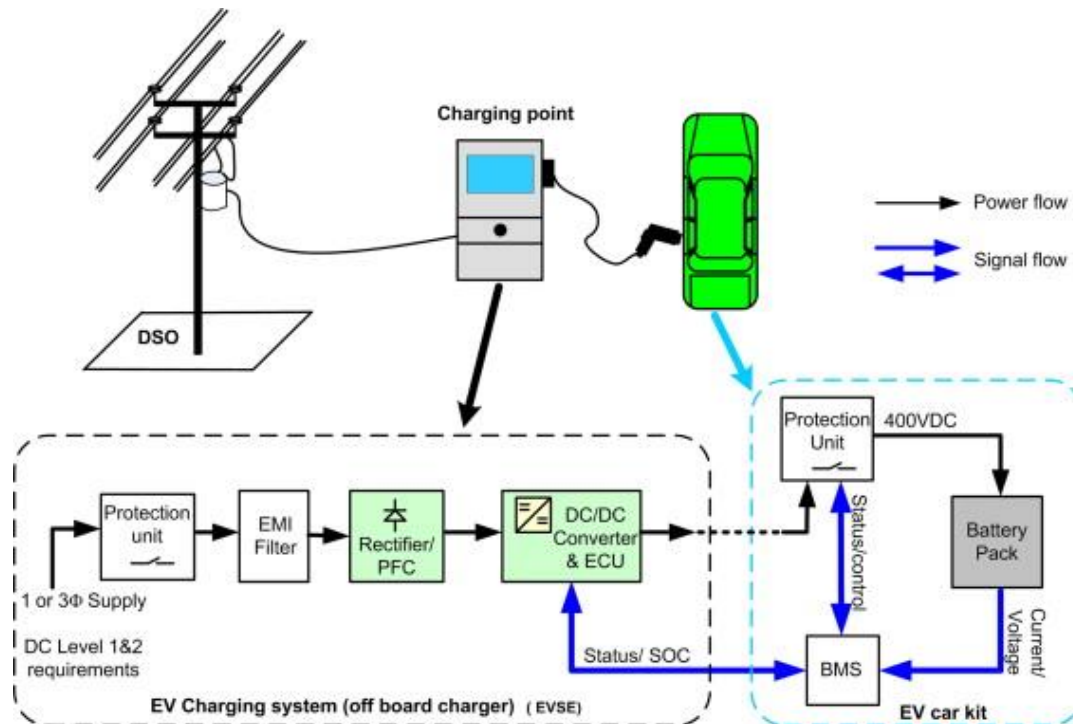
4.2 Φόρτιση ηλεκτρικού αυτοκινήτου

Το πιο βασικό στοιχείο που επηρεάζει το ηλεκτρικό δίκτυο είναι η φόρτιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, είτε μιλάμε για αργή φόρτιση διάρκειας πάνω από ώρες που συναντάται στο σπίτι και στους χώρους εργασίας, είτε για γρήγορη φόρτιση διάρκειας έως μία ώρα που συναντάται σε ειδικούς σταθμούς φόρτισης. Η ισχύς φόρτισης που παρέχεται

συνήθως καθορίζεται από τα ονομαστικά χαρακτηριστικά του φορτιστή μπαταρίας, καθώς και από την τάση της μπαταρίας. Επίσης, ο χρόνος φόρτισης που μπορεί να ξοδέψει ένα ηλεκτρικό όχημα για την πλήρη φόρτιση της μπαταρίας του μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την χωρητικότητα της και τα χαρακτηριστικά του επιπέδου φόρτισης. Η γρήγορη φόρτιση είναι απαραίτητη για την φόρτιση των αυτοκινήτων σε λίγα λεπτά, και αυτό επιτυγχάνεται με τον συνδυασμό της μονοφασικής φόρτισης AC, της τριφασικής φόρτισης AC καθώς και της γρήγορης φόρτισης DC σε μία υποδοχή (γνωστή και ως πρότυπο SAE). Ένας άλλος γρήγορος τρόπος φόρτισης, όπως αναφέραμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, είναι με την χρήση του βύσματος CHAdeMO. Με αυτές τις επιλογές τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα γίνονται ολοένα και πιο δημοφιλή και η φόρτιση τους αρχίζει να θυμίζει τον ανεφοδιασμό των βενζινοκίνητων οχημάτων. Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι η τεχνολογία του V2G μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην γρήγορη DC φόρτιση επιπέδου 1 με ισχύ έως 36Kw, στην γρήγορη DC φόρτιση επιπέδου 2 με ισχύ έως 90kw, καθώς και στην γρήγορη DC φόρτιση με την χρήση του CHAdeMO ικανό να παρέχει ισχύ έως 62,5kW.

Ωστόσο, η τροφοδοσία των ηλεκτρικών οχημάτων γίνεται με AC χαρακτηριστικά. Για να γίνει χρήση DC γρήγορης φόρτισης, θα πρέπει στο σύστημα τροφοδοσίας να υπάρχει ένας ανορθωτής ισχύος. Βέβαια, για την ώρα δεν γίνεται χρήση αυτής της μεθόδου καθώς υπάρχουν ζητήματα κόστους και απώλειας ενέργειας λόγω θερμότητας, αλλά την επόμενη δεκαετία, με τις κατάλληλες έρευνες ενδέχεται να γίνει η πιο ελπιδοφόρα μορφή φόρτισης, για να μιμηθούμε το σύστημα ανατροφοδότησης των βενζινοκίνητων οχημάτων. Η πρόκληση και για αυτή την μέθοδο ανατροφοδότησης θα είναι η υψηλή ζήτηση που απαιτείται για τέτοιους σταθμούς φόρτισης, η διάρκεια ζωής που θα έχει η μπαταρία καθώς και η δυνατότητα ανάπτυξης υπηρεσιών V2G.

Η αναθεωρημένη έκδοση του προτύπου SAE J1772, έκανε την χρήση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων πιο ευέλικτη όσον αφορά την φόρτιση και έδωσε λύσεις για την προσαρμογή των οχημάτων σε τεχνολογίες V2G. Σε αυτό το πρότυπο περιλαμβάνονται διατάξεις για την γρήγορη φόρτιση DC, καθώς και πληροφορίες για την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων και του δικτύου. Στην Εικόνα 4.2 απεικονίζεται η διαμόρφωση της φόρτισης ενός ηλεκτρικού οχήματος για DC φόρτιση επιπέδου 1 και 2. Με τις διαμορφώσεις DC φόρτισης επιπέδου 1 και 2, το σημείο φόρτισης τροφοδοτεί το ρεύμα DC στη μπαταρία του ηλεκτρικού αυτοκινήτου.



Εικόνα 4.2: Φόρτιση ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε επίπεδο φόρτισης 1 και 2

Με την τρέχουσα τεχνολογία μπαταρίας που διαθέτουμε για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, για την επαναφόρτιση τους θα γίνεται κατανάλωση ισχύος σχεδόν ίδια με ένα νοικοκυριό ανά ημέρα. Όταν δύο ή τρία ηλεκτρικά αυτοκίνητα συνδέονται για σκοπούς φόρτισης, υπάρχει αναλογική αύξηση της χρήσης ενέργειας. Ως εκ τούτου, υπάρχει αύξηση της κατανάλωσης στο ηλεκτρικό δίκτυο. Μελέτες έχουν δείξει ότι η χρήση του φορτιστή 3.3 kW που χρησιμοποιείται κυρίως για φόρτιση στο σπίτι θα αυξήσει την ζήτηση ενέργειας ενός νοικοκυριού κατά 17–25%. Η φόρτιση συνήθως γίνεται με μη ελεγχόμενο τρόπο, καθώς τα οχήματα λαμβάνουν ανεξέλεγκτη ενέργεια από το δίκτυο. Η φόρτιση με μη ελεγχόμενο ρυθμό, επιφέρει αρνητικά χαρακτηριστικά στο σύστημα διανομής ενέργειας, καθώς αυξάνεται το κόστος για την επένδυση του δικτύου και υπάρχει κίνδυνος υπερφόρτωσης.

Όχι μόνο στην μη ελεγχόμενη φόρτιση, αλλά και σε όλες τις μορφές φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, αυτό που επηρεάζεται από το δίκτυο, είναι το σύστημα διανομής. Εάν αυτό το επιπρόσθετο φορτίο δεν ελεγχθεί κατάλληλα, μπορεί να οδηγήσει σε περαιτέρω γήρανση του εξοπλισμού του συστήματος ισχύος και ενεργοποίηση των ρελέ υπό αυστηρές συνθήκες υπερφόρτωσης. Αναφέρεται ότι έως και το 60-70% του απαιτούμενου πρόσθετου επενδυτικού κόστους στην ισχύ μπορεί να εξοικονομηθεί εάν

υιοθετηθούν τα συστήματα έξυπνης φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Ένας άλλος τρόπος για την καταπράυνση του συστήματος διανομής, είναι η βελτιστοποίηση της διαθέσιμης ισχύος χρησιμοποιώντας τα συστήματα φόρτισης. Με αυτό τον τρόπο είναι πιο εύκολη η διεξόδυση μεγάλου αριθμού ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο, καθώς και μείωση 40% στις επενδύσεις που απαιτούνται για το δίκτυο [18].

4.2.1. Στρατηγικές φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

Προηγουμένως αναφερθήκαμε τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται η φόρτιση ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου και ότι η πιο συνηθισμένη της μορφή είναι η μη ελεγχόμενη φόρτιση. Υπάρχουν αρκετές στρατηγικές βέβαια και στην συνέχεια αυτής της υποενότητας θα τις αναλύσουμε.

- Μη ελεγχόμενη φόρτιση: Ως μη ελεγχόμενη στρατηγική ορίζεται η διαδικασία φόρτισης ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου ή ενός στόλου ηλεκτρικών οχημάτων που πραγματοποιείται χωρίς προγραμματισμό, χωρίς την χρήση βελτιστοποιήσεων, χωρίς την χρήση μηχανισμών τιμολόγησης και χωρίς τον συντονισμό μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων. Η μη ελεγχόμενη στρατηγική διαθέτει τρεις πιο ειδικές κατηγορίες την άμεση, την φόρτιση με καθυστέρηση και την τυχαία
 - Άμεση μη ελεγχόμενη φόρτιση (Uncoordinated Direct Charging) : Είναι η φόρτιση που ξεκινάει αμέσως με την σύνδεση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου στην πρίζα και σταματάει όταν φτάσει το επιθυμητικό επίπεδο φόρτισης ή όταν ο χρήστης το αποσυνδέει από την πρίζα.
 - Μη ελεγχόμενη με καθυστέρηση φόρτιση (Uncoordinated Delayed Charging) : Είναι η φόρτιση ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου που μπορεί να καθυστερήσει κατά μία χρονική περίοδο, κυρίως μέχρι τον χρόνο αιχμής, για να μην υπάρχει συμφόρηση στο δίκτυο. Όμως, επειδή η φόρτιση γίνεται με μη ελεγχόμενο τρόπο αυτό μπορεί να δημιουργήσει φορτίο εκτός του χρόνου αιχμής κάτι που είναι γνωστό σαν αιχμή αναπήδησης.
 - Τυχαία μη ελεγχόμενη φόρτιση (Uncoordinated Random Charging) : Αφορά την φόρτιση ενός στόλου ηλεκτρικών οχημάτων που πραγματοποιείται τυχαία κατά την διάρκεια μίας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου. Είναι παρόμοια με την άμεση μη ελεγχόμενη φόρτιση.

- Ελεγχόμενη φόρτιση: Ως ελεγχόμενη στρατηγική φόρτισης σε αντίθεση με την μη ελεγχόμενη είναι η φόρτιση ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου ή ενός στόλου ηλεκτρικών οχημάτων που πραγματοποιείται με προγραμματισμό, με την χρήση βελτιστοποιήσεων και με την χρήση μηχανισμών τιμολόγησης. Έχει δύο πιο ειδικούς κλάδους την συνεχή και την διακριτή ελεγχόμενη φόρτιση που η καθεμιά με την σειρά της διαθέτει την άμεση και την φόρτιση με καθυστέρηση.
 - Συνεχής άμεση ελεγχόμενη φόρτιση (Continuous Coordinated Direct Charging) : Είναι η φόρτιση που ξεκινάει αμέσως με την σύνδεση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου στο δίκτυο και σταματάει όταν φτάσει το επιθυμητικό επίπεδο φόρτισης ή όταν ο χρήστης το αποσυνδέσει. Η διαφορά με την άμεση μη ελεγχόμενη φόρτιση είναι ότι χρησιμοποιεί τεχνικές βελτιστοποίησης έτσι ώστε τα ηλεκτρικά οχήματα να φορτίζονται κατά την διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου χωρίς να διακόπτεται η φόρτιση. Επιπλέον, ο τρόπος φόρτισης συντονίζεται με τρόπο ώστε να αποφεύγεται η φόρτιση κατά τη διάρκεια του χρόνου αιχμής και να γεμίζει κοιλάδες (fill valleys strategy) κατά τη διάρκεια του χρόνου εκτός αιχμής.
 - Συνεχής με καθυστέρηση ελεγχόμενη φόρτιση (Continuous Coordinated Delayed Charging) : Είναι η φόρτιση ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου που μπορεί να καθυστερήσει μέχρι τον χρόνο αιχμής. Με την χρήση βελτιστοποιήσεων η φόρτιση γίνεται συνεχόμενα χωρίς να διακόπτεται. Προσφέρει αποσυμφόρηση του δικτύου χρησιμοποιώντας τεχνικές μειωμένης τιμολόγησης όταν δεν υπάρχει ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και την τεχνική του γεμίσματος κοιλάδας.
 - Διακριτή άμεση ελεγχόμενη φόρτιση (Discrete Coordinated Direct Charging) : Ο τρόπος φόρτισης ενός στόλου ηλεκτρικών οχημάτων στον οποίο φορτίζονται αυτόματα όταν συνδέονται στο δίκτυο έως ότου φορτιστούν στο επιθυμητό επίπεδο ή να αποσυνδεθούν. Αυτή η στρατηγική φόρτισης χρησιμοποιεί τεχνικές βελτιστοποίησης και χρεώνει τα ηλεκτρικά οχήματα εντός διακριτών διαστημάτων για μια περίοδο. Το διάστημα αυτό εξαρτάται από τον μηχανικό που σχεδιάζει τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης. Μπορεί να κυμαίνεται από αρκετά δευτερόλεπτα έως

αρκετά λεπτά. Για κάθε διάστημα, η φόρτιση πραγματοποιείται για περιορισμένο αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων. Ο σκοπός αυτής της μεθόδου είναι να επεκτείνει τη λειτουργία φόρτισης σε μια πιο εκτεταμένη περίοδο για να μειώσει τον αντίκτυπο της υψηλής διείσδυσης των EV στο δίκτυο.

- Διακριτή με καθυστέρηση ελεγχόμενη φόρτιση (Discrete Coordinated Delayed Charging) : Αυτή η στρατηγική φόρτισης δεν διαφέρει πολύ από την συνεχή με καθυστέρηση ελεγχόμενη φόρτιση. Η μόνη διαφορά είναι ότι καθυστερεί για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα προκειμένου να μειωθεί η αρνητική επίδραση που έχει η φόρτιση στο δίκτυο. Βέβαια αυτή η στρατηγική δεν έχει χρησιμοποιηθεί ακόμα και είναι σε πειραματικό επίπεδο.
- Έξυπνη φόρτιση: Για να θεωρηθεί μία φόρτιση έξυπνη θα πρέπει να γίνει χρήση τεχνολογιών και ύπαρξη κατάλληλων υποδομών στο έξυπνο δίκτυο. Στόχος της έξυπνης φόρτισης είναι η βελτιστοποίηση της διαδικασίας φόρτισης με στόχο την αποφυγή συμφόρησης του δικτύου διανομής και η ικανοποίηση του εκάστοτε οδηγού. Πιο συγκεκριμένα, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα φορτίζονται τις ώρες όπου δεν υπάρχει ζήτηση φορτίου και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι στα χαμηλότερα επίπεδα. Συνεπώς θα αποφεύγεται η φόρτιση στις ώρες αιχμής και θα φορτίζονται όταν θα υπάρχει πλεόνασμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας η οποία δεν θα χρησιμεύει στο δίκτυο, συνήθως από τις ανανεώσιμες πηγές όπως θα δούμε παρακάτω [19].

4.2.2. Έξυπνη φόρτιση

Όπως αναφέραμε παραπάνω μία στρατηγική φόρτισης είναι η έξυπνη φόρτιση. Για να πραγματοποιηθεί πρέπει να τηρούνται κάποιες προϋποθέσεις στο δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα αυτές είναι η έξυπνη τιμολόγηση, οι έξυπνες τεχνολογίες και η έξυπνη υποδομή που θα πρέπει να έχει το δίκτυο. Στην συνέχεια θα αναλύσουμε εκτενώς αυτές τις κατηγορίες

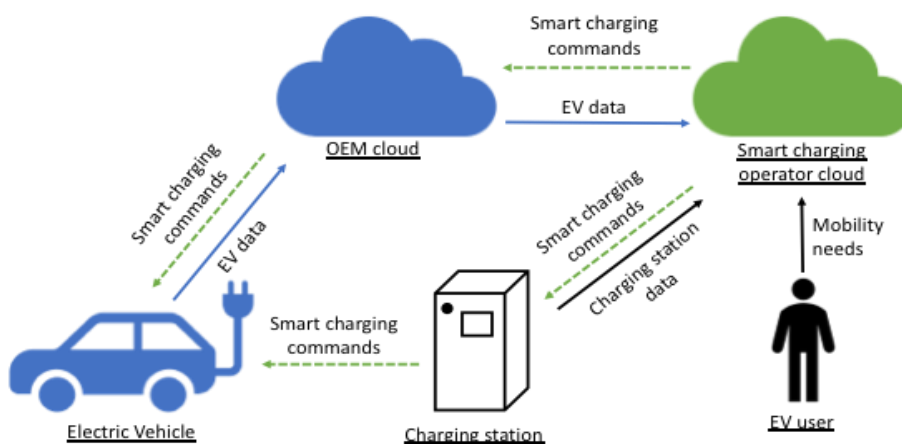
- Έξυπνη τιμολόγηση : Σαν έξυπνη τιμολόγηση μπορεί να χαρακτηριστεί η φόρτιση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου τις κατάλληλες ώρες, ώστε να μην επιβαρύνεται το δίκτυο, να μην αυξάνεται το κόστος παραγωγής της ενέργειας, αλλά ταυτόχρονα ο

οδηγός να μην επηρεάζεται. Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά της έξυπνης φόρτισης είναι η έξυπνη τιμολόγηση, δηλαδή η συνεχής αλλαγή της κοστολόγησης της ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα την ζήτηση που επικρατεί στο δίκτυο. Με αυτό τον μηχανισμό, οι πελάτες επιβραβεύονται με χαμηλότερες τιμές, καθώς φορτίζουν το όχημά τους σε περιόδους χαμηλού φορτίου για το δίκτυο. Η έξυπνη φόρτιση δεν χρειάζεται επιπλέον μηχανισμούς πάνω στην υποδομή του δικτύου, και έτσι δεν απαιτείται μελλοντική επένδυση για το δίκτυο. Η τυπική τιμολόγηση βασίζεται σε μια σταθερή χρέωση ανά κιλοβατώρα για τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας των καταναλωτών. Ο οδηγός ωφελείται φορτίζοντας το όχημα την επιθυμητή ώρα, ανεξάρτητα από τις συνθήκες δικτύου και ανεξάρτητα από το κόστος παραγωγής και παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα πιλοτικά προγράμματα, με έξυπνες τιμές, δείχνουν ότι εκείνοι οι καταναλωτές που συμμετέχουν ανταποκρίνονται στα σήματα τιμών και είναι πρόθυμοι να αλλάξουν τη συμπεριφορά τους. Τα τρέχοντα μοντέλα τιμολόγησης είναι δύο, αυτό της τιμολόγησης χρόνου χρήσης και της τιμολόγησης σε πραγματικό χρόνο.

Το μοντέλο της τιμολόγησης χρόνου χρήσης είναι έχει απλή εφαρμογή. Με αυτή την τιμολόγηση, το βοηθητικό πρόγραμμα ορίζει διαφορετικές τιμές για διαφορετικά χρονικά διαστήματα, γνωστά και ως τιμολόγια νυκτός και τιμολόγια σαββατοκύριακου, και οι τιμές βασίζονται συνήθως στην προηγούμενη κατανάλωση ενέργειας των καταναλωτών. Αυτός ο σχεδιασμός, που χρονολογείται από τη δεκαετία του 1970 και του 1980, δεν απαιτεί προηγμένη τεχνολογία μέτρησης. Η αποτελεσματικότητά του ποικίλλει σημαντικά μεταξύ των χωρών, ανάλογα με το σχεδιασμό και την αναλογία μεταξύ των περιόδων υψηλότερης και χαμηλότερης τιμής. Η διαφορά μεταξύ των δύο τιμών πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη για να ενθαρρύνει τους πελάτες να αλλάξουν τη συμπεριφορά τους. Το πρόγραμμα τιμολόγησης χρόνου χρήσης αναφέρθηκε ότι είναι οικονομικό. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα εξοικονόμηση 10% και επιπλέον, επιτυγχάνεται μείωση κατά 56% της μέγιστης ζήτησης ισχύος.

Το μοντέλο της τιμολόγησης σε πραγματικό χρόνο, είναι πιο περίπλοκο καθώς αλλάζει ανάλογα με την πραγματική κατάσταση στο δίκτυο τροφοδοσίας σε καθορισμένα διαστήματα και συνεπώς απαιτεί έξυπνη μέτρηση. Η ανάπτυξη έξυπνων μετρητών υπήρξε ένα δύσκολο εμπόδιο, με πολλές χώρες να είναι πολύ

πίσω από τον στόχο τους. Δύο άλλα σχέδια σημειώσεων είναι οι κρίσιμες τιμές αιχμής και οι εκπτώσεις αιχμής. Όπως υποδηλώνει το όνομα, ένα σχέδιο εκπτώσεων αιχμής πληρώνει ένα καθορισμένο ποσό στους καταναλωτές, που μετατοπίζουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τις ώρες αιχμής. Εάν χρησιμοποιούν ισχύ κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η τιμή είναι η ίδια με τις ώρες αιχμής. Τα τιμολόγια ηλεκτρικής ενέργειας που υποστηρίζουν τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων, απαιτούν από τους καταναλωτές να μάθουν πώς να τα χρησιμοποιούν καλύτερα για να εξοικονομήσουν χρήματα. Η εκπαίδευση των πελατών είναι το κλειδί, ιδίως για την προσέλκυση νέων ομάδων χρηστών, οι οποίες δεν είναι ήδη πεπεισμένοι για τα ειδικά πλεονεκτήματα των ηλεκτρικών οχημάτων. Η έξυπνη φόρτιση αποκτά ζωτική σημασία, καθώς τα ηλεκτρικά οχήματα δεν συμβάλλουν στην υπερφόρτωση του δικτύου τις ώρες αιχμής. Βέβαια για την ώρα, τα ηλεκτρικά οχήματα δεν είναι αρκετά για να επιβεβαιωθεί με επιτυχία η έξυπνη φόρτιση. Σε έναν πλήρη ανεπτυγμένο τομέα ηλεκτρικών μεταφορών, θα χρειαστεί η ενσωμάτωση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές καθώς και καλύτερα σχέδια τιμολογήσεων για να είναι η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων πιο φιλική προς το δίκτυο. Στην Εικόνα 4.3 παρατηρούμε την παρέμβαση του οδηγού στο δίκτυο για να πραγματοποιήσει την έξυπνη φόρτιση, με την χρήση των πληροφοριών και των εντολών που δέχεται.



Εικόνα 4.3: Χρήση δεδομένων για την πραγματοποίηση της έξυπνης φόρτισης

- Έξυπνη τεχνολογία: Για να έχει αντίκτυπο η έξυπνη τιμολόγηση, θα πρέπει να εισάγουμε στο δίκτυο έξυπνες τεχνολογίες για να κάνουν πιο εύκολη την χρήση των καταναλωτών. Οι τεχνολογίες αυτές θα επιτρέπουν στους πελάτες να αντιδρούν γρήγορα στα σήματα τιμών και χωρίς πολλή προσπάθεια. Τα μοντέλα τιμολόγησης σε πραγματικό χρόνο απαιτούν πιο πολύπλοκη τεχνολογία, που παρακολουθεί και προσαρμόζει την κατανάλωση με βάση τα σήματα τιμών. Μεγαλύτερες μειώσεις της ζήτησης επιτεύχθηκαν όταν αναπτύχθηκε η έξυπνη τεχνολογία. Η τεχνολογία μπορεί να θεωρηθεί έξυπνη, εάν πληροί τις ακόλουθες ελάχιστες απαιτήσεις:
 - Να μπορεί να μετρήσει την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο
 - Να μπορεί να μεταδώσει πληροφορίες στον καταναλωτή
 - Να μπορεί να ελέγχει αυτόματα την κατανάλωση

Οι απλούστερες μορφές έξυπνης τεχνολογίας περιλαμβάνουν έξυπνους μετρητές και άλλες παρόμοιες συσκευές. Αυτά μπορούν γενικά να παρακολουθούν και να επιβλέπουν την χρήση της ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στους καταναλωτές να έχουν εύκολη πρόσβαση σε δεδομένα μέσω μιας εφαρμογής για κινητά. Ο κάτοχος του ηλεκτρικού οχήματος έχει την δυνατότητα μέσω της εφαρμογής να αποκτήσει πληροφορίες για την φόρτιση, όπως την κατάσταση φόρτισης, τους χρόνους άφιξης και αναχώρησης ή την επιλογή για τις υπηρεσίες V2G. Ωστόσο, υπάρχει μια αργή επικοινωνιακή απόκριση σε αυτήν την αρχιτεκτονική, καθώς οι καταναλωτές εξακολουθούν να υποχρεούνται είτε να αναλάβουν δράση, είτε άμεσα, είτε εξ αποστάσεως, ή να το πράξουν μέσω τρίτου μέρους, όπως ένας αθροιστής. Θα ήταν καλύτερα όλες οι πληροφορίες διεργασίας να αντιμετωπίζονται αυτόματα στο επίπεδο του μηχανήματος, χωρίς να απαιτείται η συμμετοχή του οδηγού για αποτελεσματικότερη και πιο αξιόπιστη λειτουργία, όπως ένα σύστημα με λειτουργικότητα για αυτόματη απόκριση σε τιμές ή άλλα σήματα. Ορισμένοι έξυπνοι φορτιστές, για παράδειγμα, μπορούν να προσαρμόσουν τα επίπεδα φόρτισης με βάση τις συνθήκες δικτύου.

Προς το παρόν, είναι δύσκολο να προβλεφθεί ποια επιχειρηματικά μοντέλα και τεχνολογίες θα επιβιώσουν για τη διαχείριση της φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς αυτό το περιβάλλον είναι συνεχώς μεταβαλλόμενο. Ορισμένοι

κατασκευαστές εγκαθιστούν τον εξοπλισμό μέτρησης στο όχημα, άλλοι τον τοποθετούν στον εξοπλισμό φόρτισης και άλλοι στο καλώδιο φόρτισης. Οι χρήστες ηλεκτρικών οχημάτων του μέλλοντος, μπορεί να έχουν την επιλογή να επιλέξουν από διαφορετικά επίπεδα τεχνολογικής ικανότητας, διαφορετικές κατηγορίες τιμών και μια ποικιλία λύσεων στις προκλήσεις κινητικότητας.

Σε περιοχές όπου ένας μεγάλος αριθμός χρηστών έχει πρόσβαση σε εγκαταστάσεις φόρτισης, η έξυπνη τεχνολογία εξισορρόπησης μπορεί να βοηθήσει στη διαχείριση του φορτίου για την παροχή υπηρεσιών φόρτισης στους καταναλωτές, αποφεύγοντας ταυτόχρονα την πίεση στο δίκτυο κατά τις ώρες αιχμής. Οι ιδιοκτήτες μπορούν να χρησιμοποιήσουν λύσεις εξισορρόπησης φορτίου για να χρεώσουν μεγαλύτερο αριθμό οχημάτων, κατά τη διάρκεια των νυχτερινών ωρών, χωρίς να αυξήσουν τη μέγιστη ζήτηση του δικτύου. Η τεχνολογία εξισορρόπησης μπορεί επίσης να εφαρμοστεί για να αποφευχθούν περιττές επενδύσεις χωρητικότητας, για την ενσωμάτωση μεγαλύτερων, συμπυκνωμένων φορτίων όπως ηλεκτρικές αποθήκες λεωφορείων.

- Έξυπνη υποδομή του δικτύου: Ένα αμφίδρομο δίκτυο επικοινωνίας του έξυπνου δικτύου στη δομή, επιτρέπει σε πολλές τεχνολογίες να ελέγχουν έναν αριθμό κατανεμημένων ενεργειακών πόρων σε τεράστιες διασπαρμένες γεωγραφικές περιοχές. Σε αυτήν την περίπτωση, η ασύρματη επικοινωνία είναι η λύση για τις εφαρμογές V2G. Διαθέτει χαμηλό κόστος και κάλυψη ευρείας περιοχής. Στην αλληλεπίδραση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου με το έξυπνο δίκτυο, αναμένουμε συχνές μεθόδους επικοινωνίας και αναγνώρισης με διάφορες συσκευές συστήματος, όπως οι έξυπνοι μετρητές για επιτυχή λειτουργία.

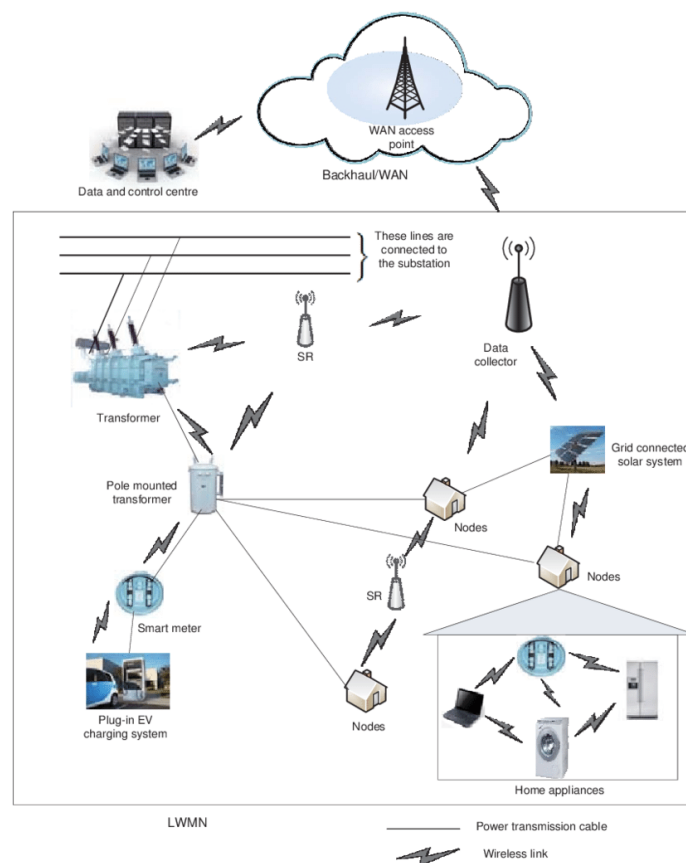
Υπάρχουν δύο σενάρια για να υπάρχει επικοινωνία μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων και του δικτύου. Πρώτον, είναι η επικοινωνία μεταξύ ηλεκτρικών αυτοκινήτων και έξυπνων μετρητών με την χρήση προηγμένων αισθητήρων, ενώ δεύτερος τρόπος είναι μεταξύ των μικρομεσαίων επιχειρήσεων και των φορέων εκμετάλλευσης δικτύου. Το πρώτο μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας την επικοινωνία γραμμής ισχύος(PLC), ενώ το δεύτερο χρησιμοποιώντας προηγμένες λύσεις δικτύου κινητής τηλεφωνίας όπως 3G και 4G LTE. Ωστόσο, με την ανάπτυξη των ηλεκτροκινητήρων, δημιουργούνται νέες προκλήσεις στην παρακολούθηση, την επικοινωνία και την αρχιτεκτονική ελέγχου. Για παράδειγμα, ένα προηγμένο

σύστημα μετρητών θα πρέπει να μπορεί να επιτρέπει στο ηλεκτρικό αυτοκίνητο να συνδέεται με διαφορετικό αθροιστή, προμηθευτή ενέργειας ή δίκτυο επισκεπτών όταν είναι μακριά από το δίκτυο.

Η προηγμένη ανάπτυξη της ασύρματης επικοινωνίας, φαίνεται να ευνοεί τις έξυπνες εγκαταστάσεις μετρήσεων. Αυτή είναι μια ελκυστική περίπτωση για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, καθώς είναι χωρικά διασκορπισμένα στον πραγματικό κόσμο. Για την επιτυχή λειτουργία τους, θα πρέπει να είναι σε θέση να συνδέονται ανά πάσα στιγμή για την επαναφόρτιση των μπαταριών τους ή την παροχή ισχύος στο δίκτυο (δηλ. V2G). Σε αυτήν την περίπτωση, ο αθροιστής πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίσει ένα συγκεκριμένο ηλεκτρικό όχημα σε πραγματικό χρόνο για την τιμολόγηση της απαιτούμενης ισχύος.

Επιπλέον, το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων είναι ένα αναδυόμενο δίκτυο ελέγχου που έχει αποκτήσει δημοτικότητα στο έξυπνο δίκτυο. Πρόσφατα, ορισμένες έρευνες έχουν δείξει πολλά υποσχόμενες εφαρμογές του συγκεκριμένου δικτύου στη λειτουργία των μικροδικτύων (micro grid). Χρησιμοποιώντας την ίδια ιδέα, το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων μπορεί να υιοθετηθεί για την ενίσχυση της διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων. Οι προκλήσεις εξακολουθούν να είναι υψηλές στην υιοθέτηση του δικτύου αισθητήρων κυρίως για τις υπηρεσίες V2G. Αυτές οι προκλήσεις περιλαμβάνουν μικρότερα εύρη, σε σύγκριση με άλλες ασύρματες τεχνολογίες, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση του ποσοστού επιτυχίας καθώς αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών. Βέβαια με το δίκτυο μπορεί να επιτευχθεί η βελτίωση της ζήτησης δικτύου, η αξιοπιστία των ηλεκτρικών οχημάτων και η παράδοση των δεδομένων με ελάχιστα μηνύματα και για αυτό προτείνεται για την εφαρμογή του V2G. Εκτός από αυτό, η τεχνολογία ZigBee έχει διερευνηθεί και δοκιμαστεί από διάφορους ερευνητές, ιδίως για εφαρμογές που αφορούν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Η τεχνολογία ZigBee είναι απλή και απαιτεί χαμηλό εύρος ζώνης για την εφαρμογή της. Ωστόσο, τα ζητήματα όπως η παρεμβολή επικοινωνίας με άλλες συσκευές, που μοιράζονται την ίδια γραμμή μετάδοσης, η μικρή μνήμη και οι καθυστερήσεις στην επικοινωνία, πρέπει να αντιμετωπιστούν, ώστε η τεχνολογία ZigBee να είναι αξιόπιστη και αποτελεσματική για τις εφαρμογές V2G.

Από την άλλη πλευρά, θα πρέπει να διασφαλιστεί η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο για το δίκτυο επικοινωνίας, μεταξύ των ηλεκτρικών αυτοκινήτων της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, προκειμένου να αποφευχθούν ανεπιθύμητες συμπεριφορές στο έξυπνο δίκτυο, όπως η παραβίαση των τιμών και η συμφόρηση του συστήματος από κακόβουλο λογισμικό. Αυτά είναι κρίσιμα ζητήματα στο δίκτυο επικοινωνίας, καθώς είναι ευάλωτο και μπορούν εύκολα να γίνουν επιθέσεις στο δίκτυο. Επίσης είναι απαραίτητο να παρέχεται ασφάλεια, όταν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα συνδέονται στο δίκτυο. Εάν τα προαναφερθέντα ζητήματα δεν ληφθούν υπόψη, θα μειώσουν τα πραγματικά οφέλη και την αξιοπιστία των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά ενέργειας. Στην Εικόνα 4.4 φαίνεται η αρχιτεκτονική του δικτύου επικοινωνίας και οι λειτουργίες για τις αλληλεπιδράσεις με το έξυπνο δίκτυο. Η τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας που θα χρησιμοποιηθεί, εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των σημείων επικοινωνίας και από τον όγκο των δεδομένων που θα μεταδοθούν [20].



Εικόνα 4.4: Επικοινωνία του δικτύου για την φόρτιση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου

4.3 Η λειτουργία του V2G (Vehicle to Grid)

Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να ενσωματωθούν σε συστήματα ισχύος και να λειτουργούν με διαφορετικούς στόχους, καθώς μπορούν να αντλούν ενέργεια από το δίκτυο κατά την φόρτιση, αλλά και να τροφοδοτούν το δίκτυο με ισχύ. Αυτή η λειτουργία είναι γνωστή ως vehicle to grid (V2G). Με την αύξηση του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς και την βελτίωση των συστημάτων ελέγχου θα μπορεί να υλοποιηθεί το V2G σε πραγματικό επίπεδο. Με αυτό τον τρόπο τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα λειτουργούν σαν ένα ενιαίο σύνολο πηγής ενέργειας, που θα μπορεί να συμμετέχουν στην αγορά ενέργειας για την υποστήριξη του ηλεκτρικού δικτύου, όταν αυτό είναι αναγκαίο. Η αλληλεπίδραση του ηλεκτρικού οχήματος με το δίκτυο, μπορεί να πραγματοποιηθεί με το V2G με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι η μονοκατευθυντική ροή ισχύος και ο δεύτερος η αμφίδρομη. Στην συνέχεια του κεφαλαίου θα εμβαθύνουμε σε αυτούς τους δύο τρόπους.

4.3.1. V2G μονής κατεύθυνσης

Το V2G μονής κατεύθυνσης (Unidirectional V2G) είναι μια τεχνολογία που ελέγχει τον ρυθμό φόρτισης της μπαταρίας ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε μία κατεύθυνση ροής ισχύος μεταξύ του οχήματος και του δικτύου. Η υλοποίηση του μονοκατευθυντικού V2G είναι δαπανηρή με την προσθήκη ενός απλού ελεγκτή για τη διαχείριση του ποσοστού φόρτισης. Για να εφαρμοστεί το μονοκατευθυντικό V2G είναι αναγκαία η ύπαρξη μιας μορφής αγοροπωλησίας ενέργειας μεταξύ των ιδιοκτητών των ηλεκτρικών οχημάτων της ηλεκτρικής ενέργειας. Προκειμένου να ενθαρρυνθεί η συμμετοχή των ιδιοκτητών των ηλεκτρικών αυτοκινήτων αυτή η πολιτική πρέπει να εγγυάται έσοδα στους ιδιοκτήτες εάν χρεώνουν τα ηλεκτρικά τους οχήματα κατά τις ώρες αιχμής και περιορίζουν τη φόρτιση τους κατά τις περιόδους αιχμής. Ταυτόχρονα, με αυτή την διαδικασία αποφεύγεται η υπερφόρτωση του δικτύου κατά τις ώρες αιχμής. Επιπλέον, το μονοκατευθυντικό V2G μπορεί να επιτύχει τη μεγιστοποίηση του κέρδους και την ελαχιστοποίηση των εκπομπών χρησιμοποιώντας τεχνικές βελτιστοποιήσεων. Ωστόσο, οι μονοκατευθυντικές υπηρεσίες V2G περιορίζονται από τη δυνατότητα παροχής βοηθητικών υπηρεσιών στο ηλεκτρικό δίκτυο. Λειτουργίες όπως μέγιστα φορτία, υποστήριξη άεργου ισχύος, ρύθμιση τάσης και ρύθμιση συχνότητας μπορούν να επιτευχθούν μόνο με την χρήση του αμφίδρομου V2G [21, 22].

4.3.2. Αμφίδρομο V2G

Το αμφίδρομο V2G είναι μία διαδικασία ροής ισχύος διπλής κατεύθυνσης μεταξύ ηλεκτρικού αυτοκινήτου και του δικτύου ισχύος που μπορεί να επιφέρει πολλά οφέλη. Ένας τυπικός αμφίδρομος φορτιστής μπαταρίας EV αποτελείται από μετατροπέα AC/DC και έναν μετατροπέα DC/DC. Ο μετατροπέας AC/DC χρησιμοποιείται για τη διόρθωση της ισχύος AC από το δίκτυο τροφοδοσίας στην τροφοδοσία DC κατά τη διάρκεια της λειτουργίας φόρτισης και αναστρέφει την ισχύ DC στην τροφοδοσία AC πριν από την έγχυση πίσω στο δίκτυο τροφοδοσίας στη λειτουργία εκφόρτισης. Από την άλλη πλευρά, ο μετατροπέας DC/DC είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο της αμφίδρομης ροής ισχύος, λειτουργώντας ως μετατροπέας υποβάθμισης ή ανύψωσης τάσης κατά την λειτουργία της φόρτισης και της εκφόρτισης αντίστοιχα.

Το αμφίδρομο V2G παρέχει μεγαλύτερες ευελιξίες και δυνατότητες βελτίωσης των λειτουργιών του συστήματος ισχύος. Τα κύρια οφέλη είναι η υποστήριξη ενεργού ισχύος, η υποστήριξη άεργου ισχύος, η ρύθμιση συντελεστών ισχύος και η υποστήριξη για την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτές οι υπηρεσίες επιτυγχάνονται φορτίζοντας το ηλεκτρικό αυτοκίνητο κατά τις ώρες εκτός αιχμής και εισάγουν επιπλέον ενέργεια στο δίκτυο ισχύος κατά τις ώρες αιχμής. Εκτός από την παροχή ενεργού υποστήριξης, το αμφίδρομο V2G έχει τη δυνατότητα να παρέχει άεργη ισχύ για ρύθμιση τάσης δικτύου. Αυτή η υπηρεσία μπορεί να υλοποιηθεί με επαρκές μέγεθος του πυκνωτή συνδέσμου φορτιστή DC και σωστή ρύθμιση ελέγχου. Η ρύθμιση του συντελεστή ισχύος είναι επίσης μία από τις υπηρεσίες που προσφέρει η αμφίδρομη τεχνολογία V2G, η οποία μπορεί να μειώσει τις απώλειες ισχύος στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Επιπλέον, το αμφίδρομο V2G βοηθά επίσης την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ανεμογεννήτρια και τα φωτοβολταϊκά είναι απρόβλεπτη και ασυνεπής, καθώς αυτοί οι ανανεώσιμοι πόροι εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον καιρό. Το αμφίδρομο V2G χρησιμοποιεί την κινητικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων για να ενεργήσει ως ενεργειακή αποθήκευση και προμηθευτής για την επίλυση του ζητήματος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στην συνέχεια θα δούμε πως οι ανανεώσιμες πηγές μπορούν να βοηθήσουν το V2G για να εισαχθεί πιο εύκολα στο δίκτυο.

Προς το παρόν, η εφαρμογή αμφίδρομου V2G αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις. Ένα από τα εμπόδια είναι το ζήτημα υποβάθμισης της μπαταρίας λόγω των συχνών κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης που απαιτούνται από το αμφίδρομο V2G. Επιπλέον, το ζήτημα της αυτονομίας του εκάστοτε ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι μια άλλη σημαντική πρόκληση για την εφαρμογή του αμφίδρομου V2G. Για λόγους ασφαλείας, οι ιδιοκτήτες των αυτοκινήτων θα προσπαθούν να επικρατεί υψηλή φόρτιση της μπαταρίας για την πραγματοποίηση μεγάλων ταξιδιών, κάτι που θα τους εμποδίσει να συμμετέχουν ενεργά στις αμφίδρομες υπηρεσίες V2G. Επίσης θα πρέπει να εφαρμοστούν νέες τεχνολογίες κάτι που σημαίνει ότι το κόστος θα είναι αυξημένο. Κατανοούμε λοιπόν ότι, το αμφίδρομο V2G έχει τη δυνατότητα να υιοθετηθεί στο μέλλον όταν η αγορά και η τεχνολογία θα είναι έτοιμες. Στον Πίνακα 4.1 μπορούμε να παρατηρήσουμε τις διαφορές της μονοκατευθυντικής και της αμφίδρομης διαδικασίας V2G.

Πίνακας 4.1: Διαφορές μεταξύ μονοκατευθυντικού και αμφίδρομου V2G

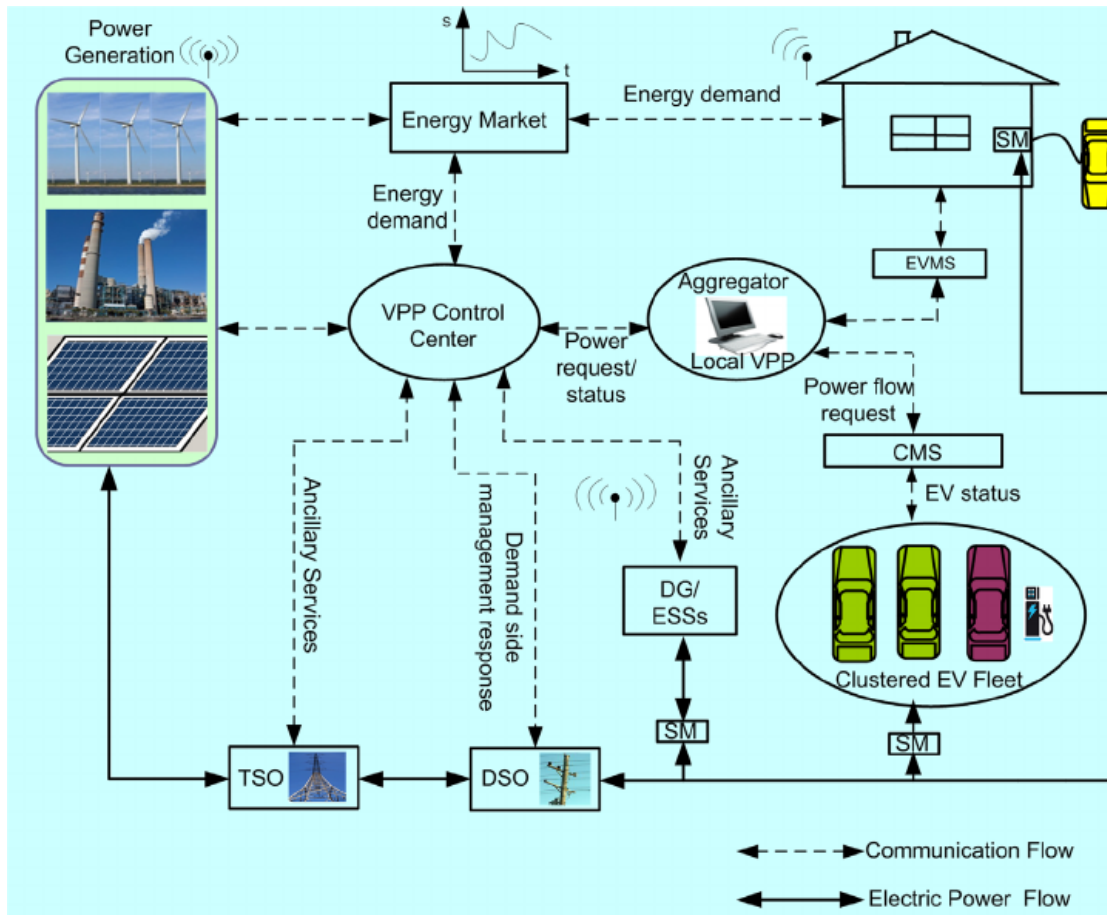
	Μονοκατευθυντικό V2G	Αμφίδρομο V2G
Επίπεδο φόρτισης	Επίπεδο 1,2 και 3	Επίπεδο 1 και 2
Κόστος	Χαμηλό	Υψηλό
Οφέλη	Αποτρέπει την υπερφόρτωση του δικτύου Μεγιστοποιεί το κέρδος Μειώνει τις εκπομπές ρύπων	Αποτρέπει την υπερφόρτωση του δικτύου Μειώνει τις απώλειες ισχύος Βελτιώνει την κατάσταση φόρτισης Διατηρεί το επίπεδο της τάσης Διορθώνει γρήγορα τις ζημιές στο δίκτυο Μεγιστοποιεί το κέρδος Μειώνει τις εκπομπές ρύπων
Περιορισμοί	Περιορισμένη δυνατότητα επισκευής	Υποβάθμιση μπαταρίας Περίπλοκη τεχνολογία

Παρατηρώντας τον Πίνακα 4.1 συμπεραίνουμε πως είναι δύσκολη η υλοποίηση του αμφίδρομου V2G. Βέβαια, μελέτες έχουν δείξει ότι οχήματα που χρησιμοποιούνται για την αμφίδρομη ροή ισχύος είναι δύο φορές πιο αποδοτικά, όσον αφορά την ζήτηση, από αυτά που χρησιμοποιούνται για την μονοκατευθυντική. Δηλαδή, στην μονοκατευθυντική διαμόρφωση χρειάζεται η διπλάσια χωρητικότητα μπαταρίας για να καλύψει την ζήτηση, που θα κάλυπτε η αμφίδρομη. Επιπλέον, τα ετήσια έσοδα που αποκτώνται από την αμφίδρομη ροή ενέργειας 12,3% περισσότερο σε σύγκριση με τη μονοκατευθυντική. Όμως υπάρχουν ζητήματα στα συστήματα προστασίας, που κάνουν την αμφίδρομη ροή ενέργειας αναξιόπιστη. Για αυτό τον λόγο, έρευνες έχουν στραφεί προς την βιωσιμότητα της μονοκατευθυντικής ροή ισχύος, που με την χρήση μεγαλύτερων σε χωρητικότητα μπαταριών μπορεί να φτάσει τα οφέλη της αμφίδρομης.

Εν τω μεταξύ, η εικονική μονάδα παραγωγής ενέργειας γνωστή και ως VPP προσφέρει ένα σενάριο συγκέντρωσης, που διευκολύνει τον έλεγχο και την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ του κέντρου ελέγχου και του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων για τη διευκόλυνση της υλοποίησης του V2G. Διαφορετικά σχήματα VPP στο πλαίσιο V2G μπορούν να μοντελοποιηθούν, ανάλογα με τον τρόπο ελέγχου που θέλουμε να επιβάλλουμε στο δίκτυο. Η προσέγγιση ελέγχου στο VPP μπορεί να είναι κεντρική, ιεραρχική ή αποκεντρωμένη που θα αναλύσουμε παρακάτω. Στο κεντρικό σύστημα ελέγχου, η λήψη αποφάσεων και η ανταλλαγή δεδομένων βασίζονται στο κεντρικό κέντρο ελέγχου VPP, ενώ στο σύστημα κατανεμημένου ελέγχου οι αποφάσεις και η ροή πληροφοριών επιτυγχάνονται πλήρως με τον κατανεμημένο τρόπο. Οι μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων υπό την αρχιτεκτονική VPP, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξισορρόπηση των προβλέψεων ζήτησης και κατανάλωσης του ηλεκτρικού δικτύου. Ο συσσωρευτής ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου λειτουργεί ως εικονικός σταθμός παραγωγής ενέργειας για το ηλεκτρικό δίκτυο. Έτσι ο στόλος των ηλεκτρικών αυτοκινήτων μπορεί να δώσει πληροφορίες, όπως η διαθέσιμη ισχύς και να επικοινωνεί με το κέντρο ελέγχου όπως παρατηρούμε στην Εικόνα 4.5.

Καταλαβαίνουμε ότι με την λειτουργία του VPP μπορούμε να βελτιστοποιήσουμε το ζήτημα του V2G και να ελαχιστοποιήσουμε το κόστος λειτουργίας. Παρατηρείται μέσα

από μελέτες, ότι με τη λειτουργία ενός στόλου ηλεκτρικών αυτοκινήτων με τις υπηρεσίες του V2G, το λειτουργικό κόστος του δικτύου μειώνεται κατά 26,5% [21, 22].



Εικόνα 4.5: Προσομοίωση ενός συστήματος με την χρήση V2G

4.4 Στρατηγικές διαχείρισης του V2G

Η σωστή διαχείριση ενός δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από το πόσο καλά ο διαχειριστής μπορεί να εξισορροπήσει την προσφορά και την ζήτηση που το παρουσιάζεται. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μέσω του V2G αποτελούν ένα είδος τεχνολογίας που μπορεί να συμβάλει σε υπηρεσίες ευελιξίας όταν υπάρχει ζήτηση, καθώς διαθέτουν μεγάλες μπαταρίες που συγκαταλέγονται στα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Η πρόκληση για τις μπαταρίες αυτές είναι ότι αποτελούν μία μορφή αποθήκευσης η οποία είναι κινητή, κάτι που τις διαφοροποιεί από τις στατικές μορφές ενέργειας που έχουν ενσωματωθεί στο δίκτυο. Επειδή όμως ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο παραμένει σταθμευμένο για το 95% του χρόνου, μπορεί η μπαταρία του να αποτελέσει μία πηγή

ενέργειας όταν υπάρχει ζήτηση. Για να επιτευχθεί η αποσυμφόρηση του δικτύου ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει διάφορα μοντέλα για την διαχείριση του V2G με τα πιο χαρακτηριστικά να είναι η κεντρική διαχείριση V2G, η αποκεντρωμένη διαχείριση V2G και η ιεραρχική διαχείριση V2G [21].

4.4.1. Κεντρική διαχείριση V2G

Το κεντρικό V2G είναι η τρέχουσα αρχιτεκτονική του δικτύου διανομής, στην οποία ο διαχειριστής του δικτύου είναι υπεύθυνος για τη διασφάλιση της ασφαλούς και αξιόπιστης λειτουργίας του. Ο διαχειριστής επικοινωνεί με τις εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας εγκαίρως και ελέγχει τις γεννήτριες σύμφωνα με τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, αυτή η αρχιτεκτονική στερείται ευελιξίας και οδηγεί σε υψηλό κόστος, διότι ορισμένες ειδικές γεννήτριες, όπως οι εφεδρικές γεννήτριες και οι βοηθητικές εγκαταστάσεις, πρέπει να προστεθούν για να αντιμετωπίσουν ορισμένες ασυνήθιστες καταστάσεις, δηλαδή μέγιστο φορτίο και πτώση τάσης. Συντονίζοντας τα ηλεκτρικά δίκτυα με τους σταθμούς φόρτισης μπορεί να επιτευχθεί μία ρύθμιση του φορτίου αιχμής κατά την διάρκεια φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον το ποσοστό χρησιμοποίησης των στοιχείων του δικτύου θα βελτιωθεί και θα αυξηθούν τα έσοδα από την πώληση ισχύος [21, 23].

4.4.2. Αποκεντρωμένη διαχείριση V2G

Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι συχνά διάσπαρτα παντού, τα οποία δεν μπορούν να διαχειριστούν από την κεντρική διαχείριση. Έτσι μία ελπιδοφόρα μορφή διαχείρισης έξυπνου δικτύου είναι η αποκεντρωμένη διαχείριση. Με την χρήση του έξυπνου δικτύου και τεχνολογιών όπως η μαζική χρήση δεδομένων και άλλων που θα αναλύσουμε παρακάτω, ο διαχειριστής θα μπορεί να συγκεντρώσει τις απαιτούμενες πληροφορίες και να ελέγξει τις συσκευές, έχοντας πάντα την άδεια των χρηστών των ηλεκτρικών οχημάτων. Ωστόσο, σε αυτήν τη φάση, το δίκτυο ισχύος διανομής θα υποδιαιρεθεί σε πολλά μικροδίκτυα για να εκμεταλλευτεί επαρκώς το πιθανό όφελος, δηλαδή συγχρονισμό φόρτισης-εκφόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι αθροιστές θα εξελιχθούν στους χειριστές των μικροδικτύων, οι οποίοι θα συναλλάσσονται με το δίκτυο και θα του προσφέρουν βοηθητικές υπηρεσίες [21, 23].

4.4.3. Ιεραρχική διαχείριση V2G

Η ιεραρχική αρχιτεκτονική υπηρεσιών V2G είναι ένα μείγμα κεντρικής αρχιτεκτονικής και αποκεντρωμένης αρχιτεκτονικής. Ο διαχειριστής δικτύου επιλέγει αυτήν την αρχιτεκτονική ως συμβιβαστικό τρόπο για την αντιμετώπιση τόσο του αυξανόμενου ασταθούς φορτίου όσο και των διακοπτόμενων πηγών ισχύος, λόγω του υψηλού κόστους που εμφανίζει η κεντρική αρχιτεκτονική. Επιπλέον, το δίκτυο τροφοδοσίας δεν είναι τόσο έξυπνο για να μπορέσει να λάβει ακριβείς πληροφορίες σχετικά με τις συναλλαγές υπηρεσιών V2G και ηλεκτρικών οχημάτων, πόσο μάλλον να έχει τη δυνατότητα να τους ελέγχει αυτόματα. Έτσι με την χρήση ενός ενδιάμεσου πράκτορα γίνεται ο συντονισμός των χρηστών των ηλεκτρικών οχημάτων για να συμμετάσχουν σε υπηρεσίες V2G και να επενδύσουν στις σχετικές εγκαταστάσεις. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσε να μειωθεί αποτελεσματικά η πίεση διαχείρισης και επένδυσης στο δίκτυο και να μεταφερθεί η ευθύνη της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων σε αθροιστές, όπου το δίκτυο θα χρειάζεται απλώς να διαχειριστεί έναν περιορισμένο αριθμό αθροιστών αντί για μεγάλο αριθμό ηλεκτρικών αυτοκινήτων [21, 23].

4.5 Δυνατότητες και πλεονεκτήματα του V2G

Η τεχνολογία του V2G είναι ένας ερευνητικός τομέας με μεγάλο ενδιαφέρον, καθώς υπάρχουν διάφορες εφαρμογές για να πραγματοποιήσουν την αλληλεπίδραση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου με το έξυπνο δίκτυο. Τα πλεονεκτήματα του V2G δεν είναι μόνο τα προνόμια για το ηλεκτρικό δίκτυο αλλά και για τους ιδιοκτήτες των ηλεκτρικών οχημάτων. Τα οφέλη του V2G θα αναλυθούν περαιτέρω με λεπτομέρεια, οι οποίες περιλαμβάνουν βοηθητικές υπηρεσίες, υποστήριξη ενεργού ισχύος, αντιστάθμιση άεργης ισχύος και την υποστήριξη από/για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

4.5.1 Βοηθητικές υπηρεσίες

Το αμφίδρομο V2G παρέχει βοηθητικές υπηρεσίες φόρτισης στο ηλεκτρικό δίκτυο ελέγχοντας τους ρυθμούς φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων κατόπιν αιτήματος από τους χειριστές του δικτύου τροφοδοσίας. Ο συσσωρευτής διαχειρίζεται και ελέγχει έναν μεγάλο στόλο ηλεκτρικών αυτοκινήτων για την επίτευξη των βοηθητικών υπηρεσιών. Οι

βοηθητικές υπηρεσίες μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες, που είναι η ρύθμιση δικτύου και η στρεφόμενη εφεδρεία.

Το ηλεκτρικό δίκτυο παρέχει την δυνατότητα ρύθμισης συχνότητας για να ταιριάζει με τη ζήτηση παραγωγής και φορτίου. Οι διαχειριστές δικτύου ελέγχουν σε πραγματικό χρόνο την παραγωγή ενέργειας, για να ανταποκριθούν στην ζήτηση του δικτύου, είτε αυξάνοντας είτε μειώνοντας την. Στην περίπτωση του V2G μπορεί να επιτευχθεί η ρύθμιση της ισχύος με την χρήση του V2G μονής κατεύθυνσης και με δύο είδη φορτίων τα σταθερά και τα δυναμικά φορτία. Τα ηλεκτρικά οχήματα που συνδέονται στο δίκτυο θεωρούνται δυναμικά φορτία στην τεχνολογία V2G, όπου οι ρυθμοί φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων ρυθμίζονται ανάλογα με τα σταθερά φορτία που υπάρχουν στο δίκτυο για να επιτευχθεί η κατάλληλη ισχύς στο δίκτυο.

Από την άλλη πλευρά, η στρεφόμενη εφεδρεία (spinning reserve) είναι μια επιπλέον λειτουργία που παρέχει γρήγορη απόκριση, γενικά εντός 10 λεπτών για την αντιστάθμιση της διακοπής της παραγωγής. Προκειμένου να επιτευχθούν οι υπηρεσίες στρεφόμενης εφεδρείας χρησιμοποιώντας μονοκατευθυντικό V2G, μειώνοντας τους ρυθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Οι βοηθητικές υπηρεσίες που παρέχονται από κάθε ηλεκτρικό όχημα αντισταθμίζονται με βάση το χρονικό διάστημα που οι υπηρεσίες είναι διαθέσιμες. Αυτή η πολιτική είναι ελκυστική για τους ιδιοκτήτες, καθώς τα έσοδα είναι εγγυημένα [22].

4.5.2 Υποστήριξη ενεργού ισχύος

Μια άλλη υπηρεσία του V2G είναι η παροχή υποστήριξης της ενεργού ισχύος στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η υποστήριξη ενεργού ισχύος απαιτεί ηλεκτρικά οχήματα για να αποφορτίσει την ενέργεια των μπαταριών και επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας το αμφίδρομο V2G. Η μέγιστη ισχύς συνήθως απαιτείται για ένα μικρό χρονικό διάστημα μέσα σε μια μέρα, για αυτό θα ήταν πιο οικονομικό να παρέχεται από ηλεκτρικά οχήματα που συνδέονται στο δίκτυο. Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια την περίοδο αιχμής, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση της φθοράς των εξαρτημάτων του συστήματος ισχύος κατά τη διάρκεια της μέγιστης περιόδου φόρτωσης. Επίσης κατά τις ώρες αιχμής, οι ιδιοκτήτες των ηλεκτρικών οχημάτων μπορούν να φορτίσουν τις μπαταρίες τους σε χαμηλότερη τιμή.

Η υποστήριξη ενεργού ισχύος είναι μια σημαντική υπηρεσία του V2G με πολλά πλεονεκτήματα. Ένα από τα πλεονεκτήματα είναι η μείωση της απώλειας ισχύος. Διατηρώντας τη λειτουργική ικανότητα του συστήματος ισχύος σε χαμηλότερο επίπεδο, οι συνολικές απώλειες ισχύος θα μειωθούν. Παραδοσιακά, το σύστημα ισχύος κατασκευάζεται για να καλύψει την υψηλότερη κορυφή της ζήτησης φορτίου. Έτσι, ο ηλεκτρικός εξοπλισμός δεν χρησιμοποιείται κατά την ώρα αιχμής. Η εφαρμογή της τεχνικής αιχμής φορτίου με τη χρήση της τεχνολογίας V2G μπορεί να μεγιστοποιήσει τη χωρητικότητα του εξοπλισμού ισχύος και να αποτρέψει επιπλέον κόστος αναβάθμισης εξοπλισμού. Επιπλέον, η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων σε ώρες εκτός αιχμής είναι μια καλή μέθοδος για την αποφυγή της υπερφόρτωσης του συστήματος ισχύος και της γήρανσης του εξοπλισμού. Βέβαια, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες, όπως η πιθανότητα σύνδεσης ηλεκτρικών οχημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο, η διαθέσιμη ενέργεια στη μπαταρία και το βάθος εκφόρτισης της μπαταρίας [22].

4.5.3 Αντιστάθμιση άεργου ισχύος

Η αντιστάθμιση άεργης ισχύος είναι μια τεχνική για την παροχή ρύθμισης τάσης στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η υποστήριξη άεργης ισχύος παρέχει επίσης διόρθωση συντελεστή ισχύος, η οποία μειώνει τις τρέχουσες ροές από την παραγωγή. Επιπλέον, αυτή η υπηρεσία μπορεί να μειώσει τη φόρτωση του εξοπλισμού ισχύος, γεγονός που οδηγεί στην αύξηση της αποδοτικότητας λειτουργίας του συστήματος ισχύος. Στις περισσότερες περιπτώσεις, απαιτείται χωρητική άεργη ισχύς για την αντιστάθμιση του δικτύου ισχύος. Με την σύνδεση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου στο δίκτυο παρέχεται η υπηρεσία αντιστάθμισης άεργης ισχύος λόγω της χωρητικής άεργης ισχύος που διατηρείται στον πυκνωτή του φορτιστή της μπαταρίας του αυτοκινήτου, που είναι διπλής κατεύθυνσης. Δεδομένου ότι η αντιστάθμιση άεργης ισχύος παρέχεται από τον πυκνωτή φορτιστή μπαταρίας διπλής κατεύθυνσης, αυτή η υπηρεσία δεν θα προκαλέσει υποβάθμιση στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Η αντιστάθμιση άεργης ισχύος γίνεται με τον έλεγχο της εναλλαγής του μετατροπέα AC / DC με διάφορες στρατηγικές ελέγχου. Ο έλεγχος αντιστάθμισης άεργης ισχύος ρυθμίζει την τάση του δικτύου ισχύος κατά τη διαδικασία της γρήγορης φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Επομένως, το πρόβλημα πτώσης τάσης

δικτύου λόγω της λειτουργίας φόρτισης μπορεί να αντιμετωπιστεί από τον προτεινόμενο έλεγχο αντιστάθμισης άεργης ισχύος του σταθμού φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων [22].

4.5.4 Συνεργασία με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Ένας από τους βασικούς λόγους προώθησης των ηλεκτρικών οχημάτων, είναι ότι ο τομέας των μεταφορών, είναι ο κύριος υπεύθυνος για την ατμοσφαιρική ρύπανση, καθώς παράγει το ένα τέταρτο των αερίων του θερμοκηπίου. Για αυτό τον λόγο, πολλές χώρες έχουν συμφωνήσει σε μέτρα που θα περιορίζουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, προκειμένου να αποφευχθούν μη βιώσιμες κλιματικές αλλαγές. Σαν στόχος για την ευρωπαϊκή ένωση, είναι η μείωση των ρύπων που προέρχονται από μεταφορές τουλάχιστον 60% λιγότερο από το 1990, κάτι που είναι ζωτικής σημασίας για την υγεία μας. Για αυτό τον λόγο και προσφέρει ευκαιρίες σε επενδυτές που θα ασχοληθούν και θα αναπτύξουν καινοτομίες. Έτσι, τα μέτρα όχι μόνο θα βελτιώσουν την ποιότητα του αέρα, αλλά θα ωφελήσουν τους πολίτες και τους καταναλωτές.

Τα συγκεκριμένα μέτρα περιλαμβάνουν:

- Την αξιοποίηση των ψηφιακών τεχνολογιών, την εφαρμογή της προσιτής τιμολόγησης και την προώθηση της μείωσης των εκπομπών από τις μεταφορές, προκειμένου να ενισχυθεί η αποτελεσματικότητα του συστήματος μεταφορών
- Την ενθάρρυνση και την επιτάχυνση μιας επαναστατικής αλλαγής σε κινητήρες εσωτερικής καύσης και την χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας για μεταφορές με χαμηλότερα επίπεδα εκπομπών και που χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα όπως υδρογόνο, καινοτόμα βιοκαύσιμα, ανανεώσιμα καύσιμα και ηλεκτρική ενέργεια
- Την επιτάχυνση της μαζικής παραγωγής των οχημάτων χαμηλών και μηδενικών εκπομπών

Η διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων την τελευταία δεκαετία, εκτός ότι έχει στηριχθεί από προγράμματα επιδοτήσεων που εισάγει η κάθε χώρα, έχει δείξει ότι μειώνει την εκπομπή των καυσαερίων αφού η εξάρτηση από το πετρέλαιο είναι ελάχιστη. Ωστόσο, η ολοένα και αυξανόμενη διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων, θα δημιουργήσει το πρόβλημα της συμφόρησης του δικτύου, καθώς θα υπάρχει αυξημένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Εκτός από τους τρόπους που αναλύσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, μια

αποτελεσματική προσέγγιση για την ανακούφιση του δικτύου, είναι η τοπική χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις υποδομές φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Υπάρχει έλλειψη συστηματικών μελετών σχετικά με την ενσωμάτωση των ηλεκτρικών σταθμών με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την αλληλεπίδραση τους με το ηλεκτρικό δίκτυο. Στην συνέχεια του κεφαλαίου θα δούμε πως η ενσωμάτωση ηλεκτροκινητήρων στο δίκτυο με την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια) θα συνεισφέρει σε μία βιώσιμη κινητικότητα και στην σημαντική μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.

Η επίτευξη ενός τέτοιου στόχου είναι εφικτή, αφού η αυξανόμενη ισχύς της αιολικής ενέργειας και της ηλιακής φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, μας δίνει αυτή την δυνατότητα. Τα μεγάλα υπεράκτια αιολικά πάρκα τείνουν να κατευθύνουν χωρητικότητα υψηλής ισχύος σε μία τοποθεσία. Συγκεκριμένα, το μέγεθος της διακύμανσης ισχύος μπορεί να φτάσει σε εξαιρετικά υψηλές τιμές λόγω των μεταβολών της ταχύτητας του ανέμου. Επιπλέον, η αιολική ενέργεια και τα φωτοβολταϊκά είναι γνωστά ως πηγές ενέργειας που δεν μπορούν να διανεμηθούν, καθώς η ενεργός παραγωγή ισχύος μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου.

Τα ηλεκτρικά οχήματα προσφέρουν ένα ηλεκτρικό φορτίο στο δίκτυο όταν η φόρτιση τους γίνεται συντονισμένα. Όμως, όταν αυτό γίνεται διάσπαρτα κατά την διάρκεια της ημέρας επιφέρει προβλήματα συμφόρησης στο δίκτυο. Στην συνέχεια του κεφαλαίου, θα παρουσιάσουμε λύσεις για την ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων με την βοήθεια της αιολικής και της ηλιακής ενέργειας. Η διαδικασία αυτή είναι εφικτή μόνο όταν γίνεται σε ένα έξυπνο δίκτυο, καθώς η χρήση της τεχνολογίας ελέγχου, επικοινωνίας και αποθήκευσης είναι απαραίτητες. Στην συνέχεια θα ερευνήσουμε σε βάθος την συνεργασία της αιολικής και της ηλιακής ενέργειας με το V2G [18].

4.6 Αιολική ενέργεια και V2G

Η ιδέα της χρήσης συστημάτων μετατροπής αιολικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι μια διαδεδομένη και εφικτή εναλλακτική λύση για την παραγωγή ενέργειας. Η συνεργασία μεταξύ αυτών των συστημάτων και των ηλεκτρικών οχημάτων, αποτελεί μία πρόκληση, καθώς πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με μελέτες που αφορούν αυτό το θέμα. Η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων σε συστήματα ισχύος

μαζί με την αιολική ενέργεια, έχει αναφερθεί ότι είναι ιδανική για την παροχή βοηθητικών υπηρεσιών, ειδικά σε απομονωμένα δίκτυα.

Σε έρευνα που έγινε από τον Kempton, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είχαν την δυνατότητα της έξυπνης φόρτισης, καθώς επίσης φορτίζονταν σε ενδιάμεσες τιμές φόρτισης και αποδείχθηκε ότι οι υπηρεσίες V2G αυξήθηκαν με την διείσδυση της αιολικής ενέργειας από το 41% στο 59%. Σε μία άλλη έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τον Pillai, διαπιστώθηκε ότι το ηλεκτρικό δίκτυο εμφανίζει αστάθεια στην συχνότητα, καθώς υπάρχει μεταβλητότητα στις τιμές της αιολικής ενέργειας. Έτσι τα ηλεκτρικά οχήματα μέσω μοντέλων προσομοίωσης, χρησιμοποιήθηκαν για την ενίσχυση του δικτύου και την υποστήριξη της συχνότητας. Αποδείχθηκε λοιπόν, ότι με την βοήθεια μιας μπαταρίας ηλεκτρικού αυτοκινήτου χωρητικότητας 16MW, μπορεί να υποστηριχθεί εισαγωγή αιολικής ενέργειας της τάξης των 42MW στο δίκτυο, ενώ χωρίς την χρήση του V2G μπορεί να γίνει ενσωμάτωση αιολικής ενέργειας της τάξης των 20MW. Με την χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων σε V2G συστήματα, είναι δυνατόν να ενσωματωθεί το 82% της παραγόμενης αιολικής ενέργειας στο δίκτυο, κάτι που το κάνει πιο αξιόπιστο καθώς δεν υπάρχει ενδοιασμός για την σταθερότητα της συχνότητας. Και στις δύο μελέτες οι έξυπνες τεχνολογίες δεν ελήφθησαν υπόψη, αλλά είναι σαφές ότι οι έξυπνοι μετρητές και άλλες τεχνολογίες επικοινωνίας, είναι αναπόφευκτες για την αποτελεσματική ενσωμάτωση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και των συστημάτων αιολικής ενέργειας στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Γενικώς έχει παρατηρηθεί ότι η ισχύς που παράγεται από τα συστήματα αιολικής ενέργειας, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι V2G υπηρεσίες, εμφανίζει μεγάλη ανομοιομορφία μεταξύ της προβλεπόμενης ισχύος και της κατανάλωσης σε μια ημέρα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το πλεόνασμα ισχύος που παράγεται, δεν καταναλώνεται από τα διαθέσιμα φορτία. Ωστόσο, με τη χρήση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, η απόδοση είναι πολύ βελτιωμένη, καθώς η διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης δίνει την απαιτούμενη ισχύ στο δίκτυο. Ακόμη, ο έξυπνος προγραμματισμός φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, μπορεί να μειώσει σημαντικά το λειτουργικό κόστος των συστημάτων ισχύος και να εξισορροπήσει τις μεγάλες διακυμάνσεις, που συναντώνται στις γεννήτριες αιολικής ενέργειας [18, 24].

4.7 Ηλιακή ενέργεια και V2G

Η στρατηγική της χρήσης των ηλεκτρικών οχημάτων, για την μεταφορά ενέργειας από αυτά προς το δίκτυο σε ένα έξυπνο περιβάλλον δικτύου, μπορεί να προσφέρει υποστήριξη στο δίκτυο διανομής και ανοίγει μια νέα ευκαιρία εσόδων για τους ιδιοκτήτες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Το V2G έχει τη δυνατότητα να μειώσει το λειτουργικό κόστος του δικτύου σε αστικές περιοχές με υψηλή ζήτηση, όπου οι τιμές αιχμής ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλές. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, όπως έχουν αναφέρει αντιμετωπίζονται ως κατανεμημένες πηγές ενέργειας, όταν αυτά συνδέονται σε υποδοχείς φόρτισης και έτσι μπορούν να παίξουν τον ρόλο των βραχυπρόθεσμων συσκευών αποθήκευσης ενέργειας. Σε ένα περιβάλλον έξυπνου δικτύου, ο συνδυασμός των ηλεκτρικών οχημάτων και των φωτοβολταϊκών, μπορεί να προσφέρει μια καλή λύση για να βοηθήσει το ηλεκτρικό δίκτυο.

Οι έρευνες σχετικά με τη χρήση της ηλιακής ενέργειας είναι διαφοροποιημένη σημαντικά, σε σύγκριση με διάφορες μελέτες που εστιάζουν στην αιολική ενέργεια, καθώς παράγουν ηλεκτρική ενέργεια σε επίπεδα μέσης και χαμηλής τάσης. Όμως οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες συσσωρεύονται, δημιουργώντας μεγάλες τιμές ισχύος για το δίκτυο. Για αυτό τον λόγο, συναντάμε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών στα σημεία φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, κάτι που υποστηρίζει ακόμα πιο πολύ την διείσδυση τους στο δίκτυο. Η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών στην οροφή των σημείων στάθμευσης για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι αρκετά ελκυστική, καθώς προωθεί την "πράσινη" φόρτιση. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μπορεί να είναι οικολογικά και να κινούνται με σχεδόν μηδενικούς ρύπους, αλλά εξακολουθούν να τροφοδοτούνται με ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται με συμβατικές μεθόδους, όπως ο λιγνίτης. Με την χρήση της ηλιακής ενέργειας μέσω των φωτοβολταϊκών στα σημεία φόρτισης, έχει παρατηρηθεί ότι ένα όχημα εξοικονομεί 0,6 τόνους εκπομπών CO₂ ετησίως, κάτι που αντιστοιχεί σε έως και 55% εξοικονόμηση εκπομπών κατά τη χρήση του συστήματος φόρτισης στο σπίτι. Με την χρήση της έξυπνης φόρτισης δε, υπάρχει επιπλέον εξοικονόμηση 0,36 τόνους εκπομπών CO₂ που ισοδυναμεί με έως και 85% μείωση εκπομπών συνολικά. Εκτός από το περιβαλλοντολογικό αντίκτυπο, η συγκεκριμένη εγκατάσταση παρουσιάζει και οικονομία στο θέμα κόστους. Λόγω της αύξησης της τιμής της θύρας φόρτισης, κυρίως από τις τεχνολογίες επικοινωνίας που τοποθετούνται στις υποδομές, φαίνεται πως η χρήση φωτοβολταϊκών στα σημεία φόρτισης είναι μία προτιμότερη επιλογή. Επίσης, οι

συναλλαγές V2G είναι επίσης εφικτές σε αυτά τα φωτοβολταϊκά συστήματα και είναι δυνατός ο προγραμματισμός της παραγωγής της ενέργειας, για τη μείωση του λειτουργικού κόστους και τη βελτίωση της λειτουργίας δικτύου.

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστοιχιών στις κορυφές των σημείων φόρτισης κρύβει κάποιες ιδιαιτερότητες, καθώς υπάρχει μεταβλητότητα της ηλιακής ενέργειας ανάλογα την εποχή. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η παραγωγή ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας (έως 12,6kWh) είναι υψηλή, ενώ κατά τη χειμερινή περίοδο η παραγωγή (έως 3,78kWh) είναι εμφανώς μειωμένη. Στην πρώτη περίπτωση, το μεγαλύτερο μέρος της ισχύς μπορεί να γυρίσει πίσω στο δίκτυο με την μορφή του V2G, καθώς υπάρχει πλεονασμός και έτσι να μειωθεί το κόστος επένδυσης που δαπανήθηκε. Το χειμώνα δεν είναι διαθέσιμη η επιλογή του V2G, αλλά υπάρχει αρκετή ισχύς για επαναφόρτιση. Ακόμα, ένα άλλο ζήτημα που αντιμετωπίζουν οι εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών είναι οι αιφνίδιες διακυμάνσεις στην ισχύ λόγω των σύννεφων που μπορεί να μειώσει την ισχύ κοντά στο 22%. Με την υποστήριξη των αμφίδρομων φορτιστών για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, αυτή η απώλεια μπορεί να αντισταθμιστεί. Σε αυτή την περίπτωση τα φωτοβολταϊκά δεν θα συνεισφέρουν στην φόρτιση του οχήματος, αλλά με την χρήση του V2G θα παρέχει υποστήριξη στο δίκτυο. Με τον παραπάνω τρόπο επίσης μπορεί να αντιμετωπιστεί το ζήτημα της προσφοράς ενέργειας μόνο την ημέρα, καθώς μόνο τότε τα φωτοβολταϊκά μπορούν να παράξουν ενέργεια. Οι χώροι εργασίας είναι ιδανικοί για τέτοιες εγκαταστάσεις, καθώς τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να φορτίζονται κατά τη διάρκεια της ημέρας στους χώρους στάθμευσης. Με αυτή την εγκατάσταση τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα είναι σε θέση να δημιουργήσουν ένα δίκτυο μεταξύ των φωτοβολταϊκών γνωστό και ως S2V (solar to vehicle). Στην Εικόνα 4.6 εμφανίζεται μία τέτοια εγκατάσταση.

Εκτός από την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στα σημεία φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, υπάρχει και το σενάριο της αυτόνομης συνεργασίας αυτών των δύο, μέσα στο δίκτυο. Αυτό γίνεται με τον σωστό προγραμματισμό μίας έξυπνης φόρτισης, με την χρήση της πλεονάζουσας ενέργειας που προσφέρουν τα φωτοβολταϊκά, που θα επιφέρει μείωση στο συνολικό της κόστος. Ωστόσο, όπως προαναφέρθηκε υπάρχει μεταβλητότητα στην ισχύ που παράγουν τα φωτοβολταϊκά, αλλά αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με την βοήθεια του έξυπνου δικτύου και την χρήση των τεχνολογιών ελέγχου και επικοινωνίας. Για αυτό η απευθείας σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων με τα φωτοβολταϊκά, με την βοήθεια ενός αμφίδρομου φορτιστή DC είναι απαραίτητη. Έτσι, μπορούν να

απορροφήσουν την υπερβολική παραγόμενη ισχύ τις πρωινές ώρες και να συνεισφέρουν στο δίκτυο τις υπόλοιπες. Το σύστημα DC θεωρείται ότι είναι εφικτή και ελκυστική λύση στο μελλοντικό μοντέλο του ηλεκτρικού δικτύου. Σε αυτήν την περίπτωση, ο αμφίδρομος φορτιστής DC μπορεί να τοποθετηθεί εύκολα σε αυτό το ηλεκτρικό μοντέλο και μπορεί να τροφοδοτήσει την αποθηκευμένη ισχύ της μπαταρίας, κατά την περίοδο υψηλής ζήτησης, όταν η παραγωγή φωτοβολταϊκής ενέργειας είναι χαμηλή.



Εικόνα 4.6: Εγκατάσταση με φωτοβολταϊκά στα σημεία φόρτισης

Η συνεργασία των φωτοβολταϊκών συστημάτων και των ηλεκτρικών οχημάτων πραγματοποιείται κάτω από συγκεκριμένες τεχνολογίες και απαιτεί την ύπαρξη χωρικής διαμόρφωσης. Με την χρήση έξυπνων τεχνολογιών, είναι δυνατή η χρήση πληροφοριών με σκοπό υποστήριξης μίας έξυπνης στρατηγικής ελέγχου. Θα δούμε στην συνέχεια πως οι στρατηγικές ελέγχου, η χωρική διαμόρφωση και οι τεχνολογίες κάνουν εφικτή την αλληλεπίδραση των φωτοβολταϊκών συστημάτων και των ηλεκτρικών οχημάτων [18, 25].

4.7.1 Έξυπνες στρατηγικές ελέγχου

Οι έξυπνες στρατηγικές ελέγχου είναι ο πυρήνας των S2V συστημάτων. Αποτελούν τον κύριο μοχλό που ενισχύει μια πιθανή συνέργεια. Ένα βασικό στοιχείο σε αυτές τις στρατηγικές, είναι η ικανότητα των ηλεκτρικών οχημάτων να χρησιμοποιούν αμφίδρομη ροή, δηλαδή την λειτουργία του V2G.

Ο σκοπός της ύπαρξης ενός μηχανισμού ελέγχου επικεντρώνεται κυρίως στους οικονομικές αλλαγές που μπορεί να επιφέρει. Ένας εικονικός στόχος μπορεί να είναι η αύξηση των εσόδων μιας οντότητας, όπως είναι ο σταθμός φόρτισης ή την μείωση του κόστους της συνολικής ενέργειας. Το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας, το κόστος φόρτισης και το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, είναι επίσης τομείς που μπορεί να ρυθμίσει μία έξυπνη στρατηγική ελέγχου. Εκτός από τον οικονομικό παράγοντα μπορεί να επηρεάσει και άλλους, όπως είναι η Με την ενεργειακή απόδοση, ο στόχος μπορεί να είναι η βελτίωση της αυτοκατανάλωσης του συστήματος ή η μείωση των απωλειών ισχύος στο σύστημα. Το οικολογικό αποτύπωμα μπορεί να στοχεύσει σε μείωση των άμεσων και έμμεσων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Ο έλεγχος του συστήματος φωτοβολταϊκά-ηλεκτρικά αυτοκίνητα καθορίζει το επίπεδο συντονισμού των ευέλικτων φορτίων και μπορεί να γίνει με δύο τρόπους, συγκεντρωτικά και αποκεντρωτικά. Στην πρώτη περίπτωση, ένας αθροιστής είναι υπεύθυνος για την διαχείριση του προγραμματισμού της φόρτισης, τόσο από την πλευρά του δικτύου, όσο και από την πλευρά του στόλου των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Αυτή η λειτουργία είναι πλεονεκτική επειδή παρέχει καλά αποτελέσματα, με καλή χρήση των δυνατοτήτων του δικτύου και των βοηθητικών υπηρεσιών. Τα μειονεκτήματά του είναι ότι απαιτεί μια περίπλοκη αρχιτεκτονική επικοινωνίας, που χειρίζεται μεγάλες ποσότητες δεδομένων. Στην περίπτωση της αποκεντρωμένης λειτουργίας, ο οδηγός του ηλεκτρικού οχήματος είναι υπεύθυνος για την διαχείριση του αθροιστή, κυρίως αντιδρώντας πάνω σε κίνητρα που παρουσιάζονται, όπως είναι η δυναμική τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η λειτουργία έχει καλύτερα αποτελέσματα για τους καταναλωτές, καθώς δεν απαιτεί περίπλοκες μορφές επικοινωνίας, όμως τα κέρδη είναι χαμηλότερα και επηρεάζονται πολύ από την συμπεριφορά του χρήστη.

Για να υπάρχουν καλύτερα αποτελέσματα σε συστήματα φωτοβολταϊκών-ηλεκτρικών αυτοκινήτων, χρησιμοποιούνται μέθοδοι βελτιστοποίησης για την διαχείριση της

ενέργειας. Ένα δίκτυο έχει διαφορετικές απαιτήσεις, ανάλογα την χρονική στιγμή. Οι απαιτήσεις αυτές, μπορεί να είναι η ενίσχυση της εισαγόμενης ισχύς, η μείωση του κόστους λειτουργίας του δίκτυο καθώς και η μείωση των εκπομπών ρύπων. Στην περίπτωση που υπάρχουν αρκετές θέσεις φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων και αρκετή φωτοβολταϊκή ισχύ, η μέθοδος βελτιστοποίησης μπορεί να εξοικονομήσει την ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά και από το δίκτυο, καθώς και να συνεισφέρει στην δυναμική φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων. Για την επίλυση τέτοιων προβλημάτων χρειάζονται μεγάλες ποσότητες δεδομένων. Εκτός από αυτό, τα προβλήματα αυτά περιέχουν μεταβλητά στοιχεία, όπως η ηλιακή ακτινοβολία και η ζήτηση της ενέργειας για φόρτιση. Για αυτό τον λόγο, πολλοί ερευνητές χρησιμοποιούν για την επίλυση μαθηματικά μοντέλα και κυρίως την στοχαστική μοντελοποίηση τέτοιων συστημάτων. Με την συγκεκριμένη μοντελοποίηση έχει αποδειχθεί ότι μειώνεται το σφάλμα πρόβλεψης κατά 15-30% σε σύγκριση με χρήση μίας ανεξέλεγκτης στρατηγικής [25].

4.7.2 Χωρική διαμόρφωση

Οι έξυπνες στρατηγικές ελέγχου έχουν σχεδιαστεί για συγκεκριμένες χωρικές διαμορφώσεις, όπου συγκεντρώνονται οι τεχνολογίες ηλεκτρικών οχημάτων και φωτοβολταϊκών συστημάτων. Αυτές οι διαμορφώσεις φέρνουν συγκεκριμένους περιορισμούς, οι οποίοι μπορούν να εμφανιστούν, είτε σε ένα σπίτι, είτε σε έναν σταθμό φόρτισης. Εκτός από τα χαρακτηριστικά των εγκαταστάσεων, σημαντικό ρόλο στην χωρική διαμόρφωση, παίζει ο αριθμός του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς και η χωρητικότητα των φωτοβολταϊκών.

Η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων και ηλεκτρικών οχημάτων σε ένα σπίτι, θα μπορούσε να θέσει ως στόχο την μηδενική εκπομπή ρύπων και η συνεργασία τους να βελτιώσει την χρήση τους. Η φόρτιση ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου με την βοήθεια ηλιακών συλλεκτών σε ένα σπίτι την καθιστά λιγότερο δαπανηρή, αλλά μεγάλο ρόλο σε αυτό παίζει η συμπεριφορά του οδηγού. Ένας οδηγός που διανύει αποστάσεις μεγάλης εμβέλειας, δεν επωφελείται της φόρτισης φωτοβολταϊκών, ενώ οι χρήστες με πολλές καθημερινές μετακινήσεις στο σπίτι επωφελούνται σχεδόν του 70% της φωτοβολταϊκής ενέργειας στη φόρτιση του αυτοκινήτου τους. Οι οδηγοί που πραγματοποιούν αποστάσεις μικρής εμβέλειας έχουν περίπου 40% ηλιακή ενέργεια, που προσφέρεται από τα

φωτοβολταϊκά εξοικονομώντας περίπου 100 ευρώ ετήσια από την φόρτιση του ηλεκτρικού τους αυτοκινήτου. Βέβαια, χωρίς την χρήση της έξυπνης φόρτισης, τα ηλεκτρικά οχήματα αυξάνουν την κατανάλωση ενέργειας και επιβαρύνουν το δίκτυο. Ο μόνος τρόπος για να είναι αποδοτική η συνέργεια του συστήματος, είναι η αποκλειστική χρήση ηλιακών συλλεκτών σε ένα μικροδίκτυο για την ελαχιστοποίηση το κόστους φόρτισης και της χρήσης του V2G. Με αυτό τον τρόπο έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να επέλθει μείωση κόστους από 8% έως 33% ανά κτίριο, αν υπάρχει συνεργασία των κτιρίων με άμεση ανταλλαγή ενέργειας. Επίσης, το V2G που στην συγκεκριμένη περίπτωση ονομάζεται όχημα στο σπίτι (V2H), μπορεί να επεκτείνει την αυτοκατανάλωση ενός νοικοκυριού, αλλά για την ώρα δεν ενδεικνύεται λόγω της υποβάθμισης της μπαταρίας. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα ηλιακά πάνελ παρέχουν 20-30% φορτίων στο σπίτι και το V2H 30% της ισχύος στο σπίτι. Με την χρήση ενός συστήματος αποθήκευσης και με την βελτιστοποίηση της φόρτισης του οχήματος, ο λογαριασμός του ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να μειωθεί κοντά στο 50%. Βέβαια το σύστημα φωτοβολταϊκών-ηλεκτρικών αυτοκινήτων, δεν είναι το ιδανικό καθώς οι οδηγοί επιστρέφουν στο σπίτι το βράδυ, όπου και συνδέονται σε ώρες υψηλής ζήτησης για το νοικοκυριό. Με την χρήση μίας πρόσθετης πηγής ενεργειακής ευελιξίας, είναι επωφελής για τη διαχείριση ενέργειας στο σπίτι.

Στην περίπτωση ύπαρξης φωτοβολταϊκών και ηλεκτρικών οχημάτων σε έναν χώρο φόρτισης, είτε τα φωτοβολταϊκά έχουν τοποθετηθεί επιτόπια, είτε εκτός του σταθμού, οι προσδοκίες είναι σχεδόν ίδιες με τις εγκαταστάσεις που υπάρχουν σε ένα νοικοκυριό. Δηλαδή, την μείωση του κόστους λειτουργίας της εγκατάστασης και τα περιβαλλοντικά οφέλη. Μία τέτοια εγκατάσταση συναντάται είτε σε χώρους εργασίας είτε σε σημεία δημόσια φόρτισης. Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στην φόρτιση ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου, αφού το μερίδιο φόρτισης τους φτάνει έως το 72%. Βέβαια η διάρκεια φόρτισης επηρεάζεται από την ισχύ που αποδίδουν τα φωτοβολταϊκά στο σύστημα. Η χαμηλότερη ισχύς αυξάνει την διάρκεια φόρτισης και έτσι παίζει έναν σημαντικό παράγοντα στην απόδοση της φόρτισης. Πολλές μελέτες έχουν γίνει πάνω στα συγκεκριμένα συστήματα, που αποδεικνύουν ότι με την χρήση τεχνολογιών ελέγχου και με μοντέλα λήψης αποφάσεων τα κόστη φόρτισης μειώνονται 50-75%, ενώ μπορεί να αυξηθεί και η αυτοκατανάλωση των φωτοβολταϊκών κατά 20%. Με την χρήση των έξυπνων τεχνολογιών δεν αυξάνεται ιδιαίτερα η απόδοση της φόρτισης, αλλά μπορεί να προσφέρει στο δίκτυο ενέργεια μειώνοντας κατά 40% το φορτίο αιχμής. Με την χρήση των

κατάλληλων βελτιστοποιήσεων και αλγορίθμων τα συστήματα φωτοβολταϊκών και ηλεκτρικών οχημάτων σε χώρο φόρτισης, μπορεί να είναι πολύ επικερδής. Τα συγκεκριμένα συστήματα διαχειρίζοντας δεδομένα, που δέχεται από το δίκτυο είναι σε θέση να χρησιμοποιεί δυνατότητες V2G, να ανταλλάσσει ενέργεια και να προσφέρει εφεδρικές υπηρεσίες στο δίκτυο. Η βέλτιστη στρατηγική οδηγεί σε μείωση κατά 250% του κόστους ενέργειας του συστήματος κατά μέσο όρο κατά τη διάρκεια του έτους [25].

4.7.3 Τεχνολογίες του συστήματος φωτοβολταϊκών-ηλεκτρικών οχημάτων

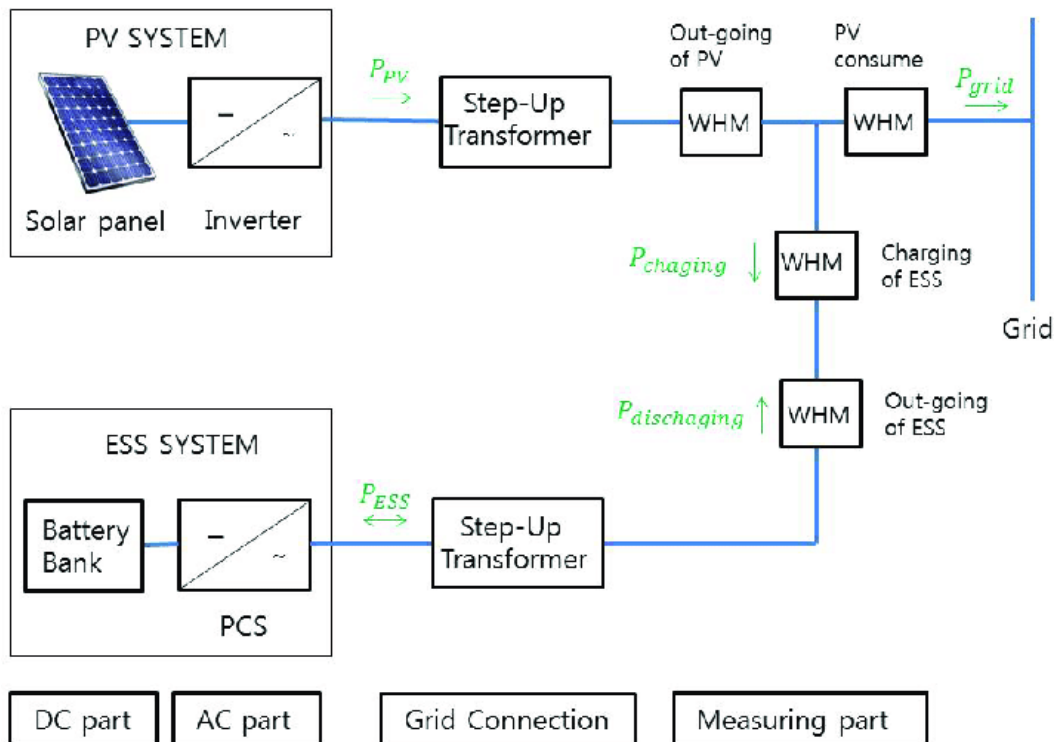
Υπάρχουν τεχνολογίες που μπορούν να ενταχθούν στο σύστημα έξυπνου ελέγχου και να επηρεάσουν την λειτουργία των συστημάτων φωτοβολταϊκών-ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Τέτοιες τεχνολογίες είναι ένα σύστημα αποθήκευσης μπαταρίας, καθώς και θερμικός εξαερισμός-κλιματισμός των κτιρίων. Θα εξετάσουμε στην συνέχεια τα αποτελέσματα αυτών των δύο μεθόδων.

Το σύστημα αποθήκευσης μπαταρίας (ESS) προσφέρει ευελιξία σε ένα σύστημα φωτοβολταϊκών-ηλεκτρικών αυτοκινήτων, όταν η ζήτηση για την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων και η παραγωγή των φωτοβολταϊκών δεν είναι συντονισμένη. Με την χρήση του ESS μπορεί να αυξηθεί η πληρότητα φόρτισης του αυτοκινήτου ενώ παράλληλα να μειωθεί η συνολική ανταλλαγή ηλεκτρικής ενέργειας με το δίκτυο. Μία πρόσθετη τεχνολογία στο σύστημα μπορεί να επιφέρει επιπλέον κόστος επένδυσης αλλά έχει αποδειχθεί ότι με το ESS ελαχιστοποιείται το κόστος λειτουργίας. Ο βέλτιστος σταθμός φόρτισης με αποθήκευση μπαταρίας φτάνει το διπλάσιο της καλύτερης απόδοσης επένδυσης, από έναν σταθμό που διαθέτει μόνο φωτοβολταϊκό. Το σύστημα αποθήκευσης μπαταρίας έχει την δυνατότητα να μειώσει την ζήτηση από το δίκτυο. Αυτό εξαρτάται κυρίως από την χωρητικότητα του ESS καθώς για ESS με χωρητικότητα 10kW υπάρχει μείωση 13%, ενώ για ESS με χωρητικότητα 30kW υπάρχει μέγιστη μείωση 25%. Όπως σημειώθηκε νωρίτερα, το κόστος εγκατάστασης ενός συστήματος αποθήκευσης μπαταρίας, είναι το μοναδικό αγκάθι για την χρησιμοποίηση του στα συστήματα φωτοβολταϊκών-ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Με την πρόβλεψη ότι το κόστος των μπαταριών θα μειωθεί, οι ειδικοί θεωρούν ότι θα η εγκατάσταση ενός ESS θα επιφέρει κέρδος σε ένα σύστημα φωτοβολταϊκών-ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Στην Εικόνα 4.7

παρουσιάζονται τα επιμέρους στοιχεία της αλληλεπίδρασης των φωτοβολταϊκών με ένα ESS.

Η θέρμανση, ο εξαερισμός και ο κλιματισμός (HVAC), αντιπροσωπεύουν περισσότερα από τα μισά της κατανάλωσης ενέργειας των κτιρίων. Μεταξύ άλλων, έχει παρατηρηθεί ότι υπάρχει αλληλεπίδραση της φωτοβολταϊκής ενέργεια με τις αντλίες θερμότητας που θεωρούνται ως καταναλωμένη πηγή ενέργειας, παίζει καθοριστικό ρόλο στα έξυπνα δίκτυα. Η βέλτιστη στρατηγική θέρμανσης και εξαερισμού, μπορεί να μειώσει το κόστος της ετήσιας φόρτισης ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου κατά 8-16%, ενώ εάν συνδυαστεί με την χρήση της έξυπνης φόρτισης το κόστος μπορεί να μειωθεί κατά 19-33%. Κατανοούμε ότι σε ένα έξυπνο δίκτυο υπάρχει ορατό όφελος για την εγκατάσταση του HVAC. Η μαζική εισαγωγή αντλιών θερμότητας στο δίκτυο μπορεί να βοηθήσει τα φωτοβολταϊκά συστήματα με υποστήριξη, όταν η ενέργεια είναι περιορισμένη. Εάν η απόδοση των αντλιών θερμότητας είναι αντίθετη σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά, δηλαδή να έχουν μεγαλύτερη απόδοση το χειμώνα και λιγότερη το καλοκαίρι, τότε υπάρχει μια ενδιαφέρουσα συμπληρωματικότητα που μπορεί να ωφελήσει τα φωτοβολταϊκά και κατ' επέκταση το σύστημα φωτοβολταϊκών-ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Η συνεργασία των φωτοβολταϊκών συστημάτων και των ηλεκτρικών οχημάτων θα πρέπει να διερευνηθεί περισσότερο, καθώς αυτά τα δύο θα πρέπει να λειτουργούν με μία αμοιβαία σχέση και να αλληλοσυμπληρώνονται. Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να βελτιώσουν την ενσωμάτωση της ηλιακής ενέργειας, υποστηρίζοντας το σύστημα διανομής με τις υπηρεσίες του V2G. Μελέτες έχουν δείξει ότι η εγκατάσταση της φωτοβολταϊκής ηλιακής ενέργειας σε χώρους στάθμευσης, μπορεί να καλύψει μεταξύ 15% και 40% της ενεργειακής ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων στο μέλλον. Ωστόσο, θα πρέπει να μελετηθεί εκτενέστερα το πώς αλληλοεπιδρά το S2V σε καταστάσεις ενίσχυσης του δικτύου και σε καταστάσεις που απαιτείται η μόνιμη αποθήκευση. Οι υπάρχουσες μελέτες είναι ελπιδοφόρες, καθώς έχουν δείξει μια πιθανή αμοιβαία σχέση με τη διείσδυση τόσο των ηλεκτρικών οχημάτων, όσο και των ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων [25].



Εικόνα 4.7: Φωτοβολταϊκό σύστημα και σύστημα αποθήκευσης μπαταρίας

4.8 Περιορισμοί ενός έξυπνου V2G

Η τεχνολογία του V2G είναι ένας ερευνητικός τομέας με μεγάλο ενδιαφέρον, καθώς υπάρχουν διάφορες εφαρμογές για να πραγματοποιήσουν την αλληλεπίδραση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου με το έξυπνο δίκτυο. Ωστόσο, δεν υπάρχουν και οι κατάλληλες τεχνολογίες έξυπνου δικτύου για την ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων, όπως τεχνολογίες επικοινωνίας και μπαταρίας. Επίσης δεν έχουν γίνει ακόμα οι κατάλληλες μελέτες για να συνειδητοποιήσουμε την βιωσιμότητα του V2G, ενώ αυτές που έχουν πραγματοποιηθεί, μπορεί να δείχνουν δυνατότητες υποστήριξης του ηλεκτρικού δικτύου, αλλά έχουν γίνει για μικρό αριθμό ηλεκτρικών αυτοκινήτων, χωρίς έτσι να είναι ξεκάθαρο το συμπέρασμα για έναν μεγάλο στόλο ηλεκτρικών οχημάτων.

Τα ηλεκτρικά οχήματα, συνήθως συγκεντρώνονται και αντιμετωπίζονται ως δυναμικές καταναεμημένες πηγές ενέργειας στα σχήματα V2G για την υποστήριξη του ηλεκτρικού δικτύου. Ορισμένες μελέτες έχουν αποδείξει ότι είναι μια καλή επιλογή για το μελλοντικό μοντέλο συστήματος ισχύος, όπως συζητήθηκε προηγουμένως. Η ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων ως πηγή ενέργειας, για την εξισορρόπηση του ηλεκτρικού δικτύου, δεν είναι μια νέα ιδέα, καθώς υπάρχουν τεχνολογίες που ήδη χρησιμοποιούνται για αυτό τον λόγο όπως η αντλία υδροηλεκτρικής ενέργειας και η συγκεντρωτική ηλιακή ενέργεια.

Αυτά ανταγωνίζονται την τεχνολογία του V2G στην αγορά ενέργειας, καθώς η αντλία υδροηλεκτρικής ενέργειας θεωρείται πολύ φθηνότερη επιλογή από το V2G και η συγκεντρωτική ηλιακή ενέργεια μπορεί να αποθηκεύσει ενέργεια για πολύ καιρό, σε σύγκριση με τη μπαταρία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Η διεξόδυση αυτών των πηγών ενέργειας στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας αναμένεται να αυξηθεί, για αυτό πρέπει να γίνουν έρευνες για την οικονομική βιωσιμότητα του V2G σε σχέση με τις άλλες πηγές ενέργειας.

Επιπλέον, τα σχήματα V2G έχουν δείξει μια ευοίωνη λύση στην αγορά ενέργειας. Ο πρωταρχικός στόχος για την υιοθέτηση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στον κόσμο, είναι η αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων από την τροφοδοσία των οχημάτων εσωτερικής καύσης. Για να είναι βιώσιμη αυτή η τεχνολογία όμως, θα πρέπει να γίνουν αναβαθμίσεις στο δίκτυο σε αμφίδρομους μετατροπείς ισχύος, σε προηγμένη επικοινωνία και σε έξυπνους μετρητές. Για να εισαχθεί στο V2G ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο, θα πρέπει να διαθέτει έναν αμφίδρομο φορτιστή μπαταρίας. Ένας αμφίδρομος φορτιστής μπαταρίας είναι το υλικό που αποτελείται από πολύπλοκους ελεγκτές και καλωδίωση υψηλής τάσης με αυστηρή απαίτηση ασφάλειας. Εκτός αυτού, οι κατασκευαστές των ηλεκτρικών οχημάτων, δεν έχουν ακόμη εισαγάγει πολλά αυτοκίνητα με δυνατότητα υπηρεσίες V2G. Επιπλέον, το V2G έχει τη δυνατότητα να αυξήσει την απώλεια ενέργειας, το οποίο είναι ένα άλλο δυσμενές ζήτημα στο σύστημα ισχύος. Η εφαρμογή V2G απαιτεί συχνούς κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης και αυτές οι διαδικασίες περιλαμβάνουν ενεργειακές μετατροπές, που θα συμβάλουν σε περισσότερες απώλειες μετατροπής. Πολλαπλές μετατροπές ενέργειας για έναν μεγάλο στόλο ηλεκτρικών οχημάτων στην διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης, μπορεί να υποδηλώνουν σοβαρές απώλειες ενέργειας στο σύστημα ισχύος.

Οι συμμετοχές μεγάλου αριθμού ηλεκτρικών οχημάτων είναι κρίσιμες προϋποθέσεις για την εφαρμογή του V2G. Ωστόσο, υπάρχουν κοινωνικοί περιορισμοί που εμποδίζουν την αποδοχή της τεχνολογίας V2G. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι ιδιοκτήτες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων διασφαλίζουν μια εγγυημένη ποσότητα ενέργειας που αποθηκεύεται στη μπαταρία για χρήση έκτακτης ανάγκης και απρόβλεπτη διαδρομή. Δεδομένου ότι η συμμετοχή στην τεχνολογία V2G απαιτεί από αυτούς να μοιράζονται την ενέργεια των μπαταριών με το ηλεκτρικό δίκτυο, αυτό θα δημιουργήσει το άγχος στους ιδιοκτήτες, για το πόση απόσταση θα μπορεί να καλύψει τελικά το όχημα. Η έλλειψη

δυνατότητας χρέωσης, καθιστά την κατάσταση χειρότερη. Προκειμένου να μειωθούν τα κοινωνικά εμπόδια για την εφαρμογή V2G, απαιτείται ένα καλά σχεδιασμένο δίκτυο φόρτισης.

Ένας προβληματισμός που υπάρχει για τα V2G είναι η απόδοση των μπαταριών, καθώς οι μπαταρίες έχουν την τάση να υποβαθμίζονται ανάλογα με τους κύκλους φόρτισης και αποφόρτισης της μπαταρίας. Δεν είναι μόνο οι κύκλοι φόρτισης και αποφόρτισης που επηρεάζουν τον ρυθμό γήρανσης μίας μπαταρίας, αλλά και η τάση της και η θερμοκρασία. Για να υλοποιηθεί ένα δίκτυο V2G, θα πρέπει οι κύκλοι φόρτισης να μην είναι γρήγοροι, καθώς έχει αποδειχθεί ότι η μπαταρία υποβαθμίζεται πιο εύκολα σε σχέση με τους αργούς κύκλους φόρτισης. Επίσης μελέτες έχουν δείξει ότι η εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας, αυξάνεται σε χαμηλή θερμοκρασία και σε καταστάσεις ακραίας φόρτισης της μπαταρίας. Ως εκ τούτου, ο κύκλος της μπαταρίας πρέπει να διατηρείται γύρω από τα μεσαία εύρη της φόρτισης, για να ελαχιστοποιηθεί ο ρυθμός αύξησης του της εσωτερικής αντίστασης. Η υγεία της μπαταρίας θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη για την εφαρμογή της τεχνολογίας V2G. Η ισορροπία μεταξύ του οικονομικού παράγοντα και του τεχνικού παράγοντα της μπαταρίας είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτιστοποίηση των πλεονεκτημάτων για τους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων και την χρήση της ενέργειας.

Όπως αναλύθηκε στην συγκεκριμένη ενότητα, είναι σαφές ότι η υιοθέτηση EV στο σύστημα ισχύος, θα απεικονίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως οι δυναμικές καταναεμημένες πηγές ενέργειας στο πλαίσιο του εικονικού σταθμού παραγωγής ενέργειας (VPP). Σε αυτήν την περίπτωση, θα υποστηρίξουν την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ιδίως αιολικής και φωτοβολταϊκής ενέργειας. Οι έρευνες σε αυτούς τους τομείς είναι ζωτικής σημασίας για να διερευνήσουν τα οφέλη και να ενισχύσουν την αμοιβαία σχέση με το έξυπνο δίκτυο. Οι υπηρεσίες V2G στο δίκτυο, θα διευρύνουν τη μετάβαση του συστήματος ισχύος, στο αποτελεσματικό δίκτυο εικονικής ισχύος [21, 22].

4.9 Βελτιστοποίηση του V2G

Η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών σταθμών και του δικτύου τροφοδοσίας θα δημιουργήσει ένα περίπλοκο V2G σύστημα, το οποίο περιλαμβάνει μεγάλους αριθμούς μη γραμμικών μεταβλητών. Υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης που χρησιμοποιούνται στον τομέα της μηχανικής. Για την επίλυση προβλημάτων στον τομέα των μαθηματικών και της εφαρμοσμένης μηχανικής χρησιμοποιούνται διάφορες

μέθοδοι, όπως η Βελτιστοποίηση Σωματιδίων Swarm (Particle Swarm Optimization) και ο Γενετικός Αλγόριθμος (Genetic Algorithm).

Ο γενετικός αλγόριθμος (GA) είναι μια μέθοδος βελτιστοποίησης, η οποία εμπνέεται από την εξέλιξη ενός ζωντανού οργανισμού. Αρχικά, το GA απαιτεί την αναπαράσταση μιας πιθανής λύσης ως το γενετικό χρωμόσωμα. Αυτό το χρωμόσωμα αναπαρίσταται από πραγματικούς αριθμούς, συνήθως δυαδικές συμβολοσειρές δυαδικών ψηφίων. Μια σωστή λειτουργία φυσικής κατάστασης θα υπολογίσει και θα αξιολογήσει τη βαθμολογία του γενετικού χρωμοσώματος. Μετά την αξιολόγηση, ο αλγόριθμος θα επαναληφθεί ξανά για την αναπαραγωγή μιας νέας γενιάς χρωμοσώματος. Η επανάληψη επαναλαμβάνεται έως ότου ικανοποιηθούν τα κριτήρια διακοπής. Οι λειτουργίες GA μπορούν να ταξινομηθούν σε μερικά στάδια, τα οποία είναι η αρχικοποίηση, η επιλογή, η αναπαραγωγή, η αξιολόγηση και ο τερματισμός.

Η Βελτιστοποίηση Σωματιδίων Swarm (PSO) είναι μια υπολογιστική μέθοδος που επιλύει ένα πρόβλημα με την επαναληπτική μέθοδο προκειμένου να βελτιωθεί η λύση του δεδομένου προβλήματος. Στο PSO, η τυχαία πιθανή λύση, που ονομάζεται σωματίδιο, μετακινείται μέσω του προβλήματος με συγκεκριμένη ταχύτητα. Κάθε μεμονωμένο σωματίδιο στο σμήνος μπορεί να αλληλοεπιδρά με τα υπόλοιπα. Αυτό τους επιτρέπει να προσαρμόζουν την κινούμενη ταχύτητα τους σύμφωνα με τα μοτίβα κίνησης των σωματιδίων. Στην επανάληψη του αλγορίθμου, κάθε σωματίδιο παρακολουθεί τη θέση του στον προβληματικό χώρο.

Η τεχνολογία V2G όπως είδαμε και σε προηγούμενη υποενότητα επιτρέπει στο βοηθητικό πρόγραμμα ισχύος και στους αθροιστές να επιτυγχάνουν υπηρεσίες V2G, όπως ρύθμιση τάσης, στρεφόμενη εφεδρεία και μετατόπιση φορτίου. Μερικοί στόχοι μπορούν να βελτιστοποιηθούν για τη λήψη των επιθυμητών υπηρεσιών V2G. Για παράδειγμα, ελαχιστοποίηση κόστους λειτουργίας, ελαχιστοποίηση απώλειας ισχύος και μεγιστοποίηση κέρδους είναι μερικοί από τους στόχους βελτιστοποίησης για την υλοποίηση του V2G. Στην συνέχεια θα αναλύσουμε κάποιες από αυτές τις βελτιστοποιημένες λειτουργίες [21, 22].

4.9.1 Βελτιστοποίηση κόστους

Για να μπορέσουμε να βελτιστοποιήσουμε το κόστος λειτουργίας του συστήματος ισχύος θα πρέπει να αναλογιστούμε πρώτα τις μεταβλητές από τις οποίες εξαρτάται. Το κόστος λειτουργίας του ηλεκτρικού δικτύου περιλαμβάνει κόστος καυσίμου, κόστος εκκίνησης και κόστος V2G. Το κόστος καυσίμου είναι μία συνάρτηση που εξαρτάται από την ισχύ εξόδου του συστήματος. Το κόστος εκκίνησης είναι το κόστος που απαιτείται για την επανεκκίνηση μιας μονάδας παραγωγής και εξαρτάται από την θερμοκρασία του λέβητα. Όταν αυτός είναι δροσερός λόγω μη χρήσης απαιτεί περισσότερο καύσιμο από όταν είναι σε συνεχή λειτουργία. Τέλος, το κόστος V2G είναι το κόστος που καταβάλλεται στον ιδιοκτήτη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου για τις υπηρεσίες του V2G. Επομένως, ο στόχος βελτιστοποίησης για την εφαρμογή V2G είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας του συστήματος ισχύος. Ο τύπος που ακολουθεί εμφανίζει την σχέση που έχει το κόστος λειτουργίας του συστήματος ισχύος με τις μεταβλητές που αναφέραμε [21, 22].

$$\min TC = \text{Fuelcost} + \text{Start} - \text{upcost} + \text{V2Gcost}$$

4.9.2 Βελτιστοποίηση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα

Σε πολλές χώρες και στην ευρωπαϊκή ένωση υπάρχουν νομοθεσίες που επιβάλλουν στις βιομηχανίες να έχουν λιγότερες εκπομπές καυσαερίων. Με αυτό τον τρόπο οι βιομηχανίες που οι εκπομπές εργοστασίου παραγωγής έχουν υπερβεί το όριο αναγκάζονται είτε να αγοράσουν περισσότερα δικαιώματα από την αγορά ή θα πρέπει να πληρώσουν πρόστιμο. Ως εκ τούτου, η ελαχιστοποίηση των εκπομπών είναι επίσης κρίσιμος στόχος που πρέπει να επιτευχθεί κατά την εφαρμογή του V2G. Αυτό βοηθά στην προστασία του περιβάλλοντος και στη μείωση των δαπανών της ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε αυτή την προσπάθεια της πράσινης ενέργειας σημαντική στήριξη μπορούν να προσφέρουν τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών και V2G συστημάτων. Όταν η ανανεώσιμη ενέργεια παράγει ανεπαρκή ποσότητα ενέργειας, τα ηλεκτρικά οχήματα θα λειτουργούν ως εφεδρική μπαταρία για την ενεργειακή ζήτηση. Σε περίπτωση υπερβολικής παραγωγής ενέργειας από την ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, το ηλεκτρικό αυτοκίνητο θα αποθηκεύει την υπερβολική ισχύ. Έτσι επιτυγχάνεται ο στόχος του δικτύου καθαρής ισχύος και η μείωση του κόστους παραγωγής [21, 22].

4.9.3 Βελτιστοποίηση της καμπύλης φορτίου και των απωλειών ισχύος

Στις μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων πολλές φορές μπορεί να υπάρχει συσσωρευμένη υπερβολική ενέργεια που με την βοήθεια του V2G μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε για την υποστήριξη του δικτύου τροφοδοσίας. Οι κύριοι στόχοι είναι η ισοπέδωση του τοπικού προφίλ φορτίου με μέγιστο ξύρισμα φορτίου και ισοπέδωση φορτίου, καθώς και η μείωση των απωλειών ισχύος. Έρευνες έχουν δείξει ότι οι μέγιστες υπηρεσίες ξυρίσματος φορτίου και ισοπέδωσης φορτίου ελαχιστοποιούν το σφάλμα μεταξύ της καμπύλης πραγματικού φορτίου και της καμπύλης φορτίου στόχου κάτι που αποδεικνύεται από τον παρακάτω τύπο όπου T είναι ο συνολικός αριθμός χρονικού διαστήματος, $P_{Load,t}$ είναι η ζήτηση φορτίου στο χρόνο t και $P_{target,t}$ είναι ο στόχος φόρτωσης στο χρόνο t .

$$\min E = \sum_{t=1}^T (P_{Load,t} - P_{target,t})$$

Άλλες έρευνες έχουν προτείνει μια στρατηγική ελέγχου V2G που είναι σε θέση να παρέχει ισοπέδωση φορτίου καθώς και να ελαχιστοποιεί τις απώλειες με την χρήση της παρακάτω συνάρτησης, όπου T είναι ο συνολικός αριθμός χρονικού διαστήματος, N είναι ο συνολικός αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων, I_{Load} είναι το ρεύμα φόρτωσης ζήτησης και $I_{EV,v}$ είναι το ρεύμα ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων.

$$\min L = \sum_{t=1}^T \left[I_{Load}(t) - \sum_{V=1}^N I_{EV,V}(t) \right]^2$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

5.1 Εισαγωγή

Στα δύο προηγούμενα κεφάλαια αναλύσαμε τους τρόπους με τους οποίους ένα ηλεκτρικό δίκτυο μπορεί να απορροφήσει την ζήτηση της ενέργειας που προκύπτει από την φόρτιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Σημειώθηκε ότι η χρήση έξυπνων τεχνολογιών είναι επιτακτική, καθώς είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες μετατροπής των ηλεκτρικών οχημάτων σε φορτία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο δίκτυο. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά τόσο στις περιβαλλοντικές επιδράσεις που προκαλούν τα ηλεκτρικά οχήματα τόσο και στις επιδράσεις στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

5.2 Επιπτώσεις στο δίκτυο διανομής από την φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων

Με την πάροδο του χρόνου το πλήθος των ηλεκτρικών αυτοκινήτων αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά, γεγονός που θα οδηγήσει στην δημιουργία ενός νέου φορτίου, ιδιαίτερα μεγάλου μεγέθους, το οποίο θα προβληματίσει το δίκτυο από διάφορες σκοπιές στο εγγύς μέλλον. Το φορτίο αυτό είναι δυναμικό καθώς μπορεί να μετατοπιστεί τόσο ως προς το χώρο όσο και ως προς το χρόνο. Η ενεργειακή ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων εξαρτάται από την καθημερινή τους χρήση, δηλαδή την απόσταση που διανύεται καθημερινά και την συμπεριφορά των χρηστών στην κυκλοφορία. Η καθημερινή τους συμπεριφορά στον τρόπο κυκλοφορίας δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ντετερμινιστικό τρόπο, επομένως το φορτίο φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ντετερμινιστικές μεθόδους. Επιπλέον, οι τεχνικές προδιαγραφές του ηλεκτρικού στόλου και η υποδομή φόρτισης καθορίζουν επίσης την καμπύλη φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Με την υπάρχουσα κατάσταση του ηλεκτρικού δικτύου αναμένεται να δημιουργηθούν μια σειρά από προβλήματα στο δίκτυο από το επιπρόσθετο φορτίο των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Σε αυτή την ενότητα με την χρήση σεναρίων θα προσδιοριστούν οι ανάγκες που δημιουργούνται από την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων.

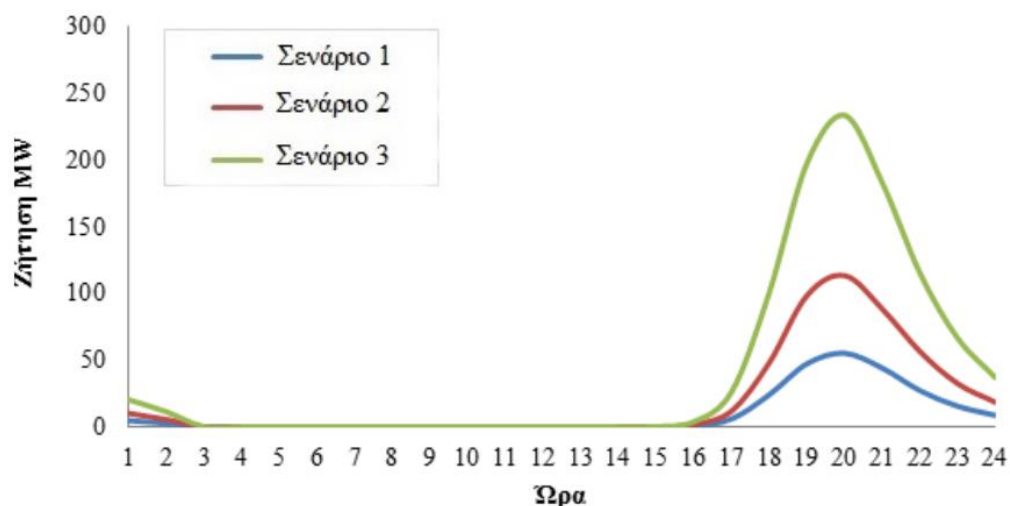
Στα συγκεκριμένα σενάρια υπάρχουν κάποιες σταθερές όπως είναι η εποχή, ο χρόνος φόρτισης και η ένταση του ρεύματος που γίνεται η φόρτιση. Έχει επιλεγθεί ως εποχή ο

χειμώνας, καθώς η ζήτηση είναι υψηλότερη εκείνη την εποχή, η φόρτιση γίνεται για περίπου έξι ώρες και η κάθε συσκευή φορτίζει με σταθερό ρεύμα των 10 A. Η φόρτιση λαμβάνει χώρα σε σπίτια με τρεις διαφορετικές περιπτώσεις, με το 10%, 20%, 30% των σπιτιών να διαθέτουν ηλεκτρικές συσκευές για την φόρτιση των οχημάτων κάτι που υποδηλώνει τον αριθμό του συνολικού στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων.

5.2.1. Επίδραση στην καμπύλη ζήτησης του συστήματος

- Ανεξέλεγκτη ή αλλιώς μη ελεγχόμενη φόρτιση

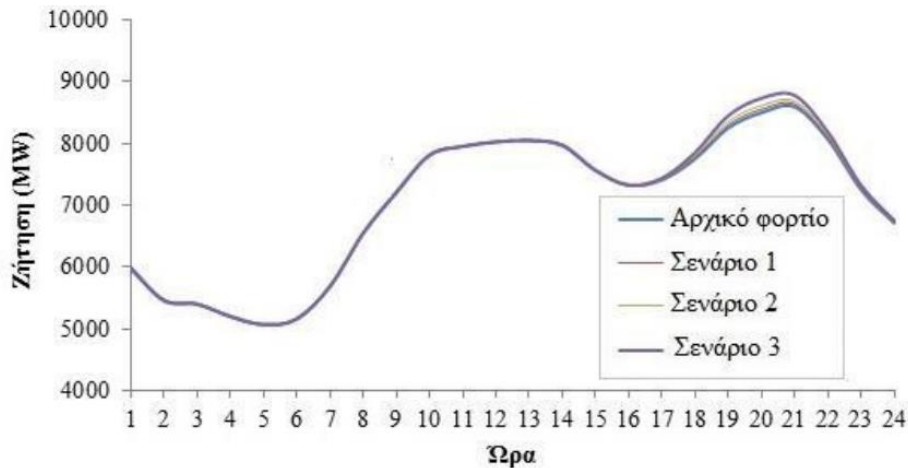
Προϋποθέτει ότι δεν υπάρχουν έλεγχοι για την τροποποίηση του προγραμματισμού φορτίου. Έτσι, οι χρήστες θα συνδέουν τα οχήματά τους στα σημεία φόρτισης, τις ώρες που τους βολεύουν, δηλαδή όταν γυρνάνε από την δουλειά περίπου στις 6 το απόγευμα. Το αποτέλεσμα είναι ότι η φόρτιση των οχημάτων αυξάνει το προϋπάρχον φορτίο αιχμής και δίνει ακόμη μεγαλύτερη ζήτηση. Από την Εικόνα 5.1 παρατηρούμε, ότι με την αύξηση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι αναλογική και η αύξηση της ζήτησης. Όσο διπλασιάζεται ο αριθμός του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων τόσο διπλασιάζεται και η μέγιστη απαιτούμενη ισχύς που είναι αναγκαία κατά την φόρτιση.



Εικόνα 5.1: Ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικών οχημάτων κατά την ανεξέλεγκτη φόρτιση

Η ζήτηση ενέργειας των ηλεκτρικών οχημάτων έχουν ως αποτέλεσμα της αύξηση της καμπύλης φορτίου του δικτύου. Όπως είναι φυσιολογικό όσο μεγαλύτερος είναι ο στόλος των οχημάτων τόσο πιο έντονη είναι και η επιβάρυνση του δικτύου. Στην χειρότερη

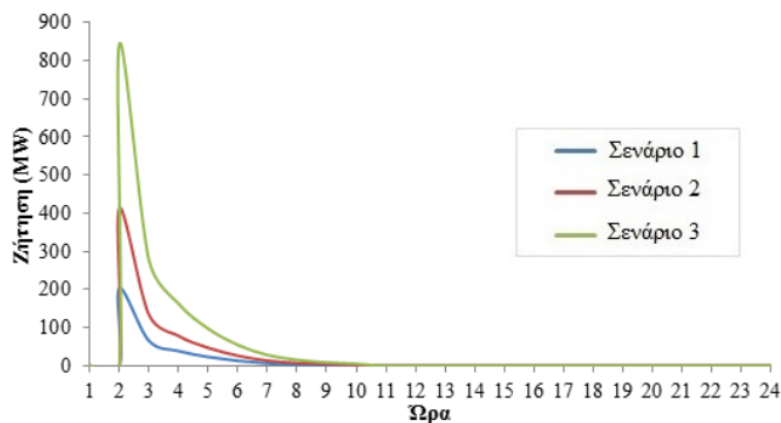
περίπτωση που έχουμε έναν μεγάλο αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων να φορτίζονται υπάρχει μία αύξηση λίγο παραπάνω από το 2% της αιχμής του δικτύου, όπως παρατηρούμε και στην Εικόνα 5.2. Μπορεί αυτή η αύξηση να μην είναι πολύ μεγάλη όμως συμπίπτει με τις περιόδους αιχμής επιβαρύνοντας το δίκτυο.



Εικόνα 5.2: Ημερήσια καμπύλη φορτίου και η επίδραση κατά την μη ελεγχόμενη φόρτιση

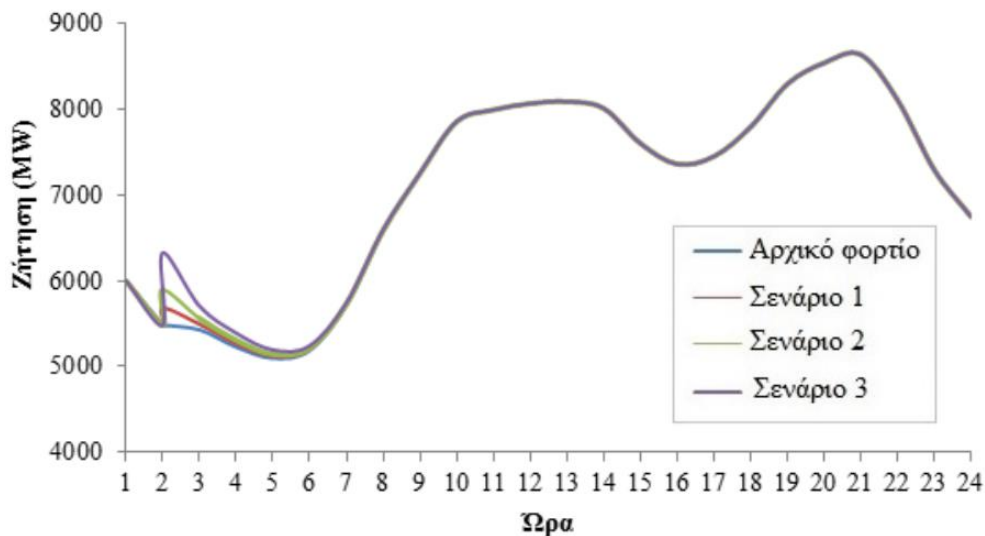
- Ελεγχόμενη φόρτιση με τιμολόγηση

Προϋποθέτει ότι το προφίλ ζήτησης μπορεί να γίνει πιο ομοιόμορφο με τη σταδιακή εφαρμογή των προγραμμάτων χρέωσης, όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο με την επιβολή της έξυπνης χρέωσης. Σκοπός της ελεγχόμενης φόρτισης με τιμολόγηση είναι η φόρτιση των οχημάτων εκτός των ωρών αιχμής. Όπως παρατηρούμε από την Εικόνα 5.3 η ζήτηση ενέργειας των ηλεκτρικών οχημάτων εμφανίζουν μία μεγάλη αύξηση κατά την αρχή της φόρτισης. Αυτό αιτιολογείται καθώς η φόρτιση ταυτοχρονίζεται.



Εικόνα 5.3: Ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικών οχημάτων κατά την ελεγχόμενη φόρτιση

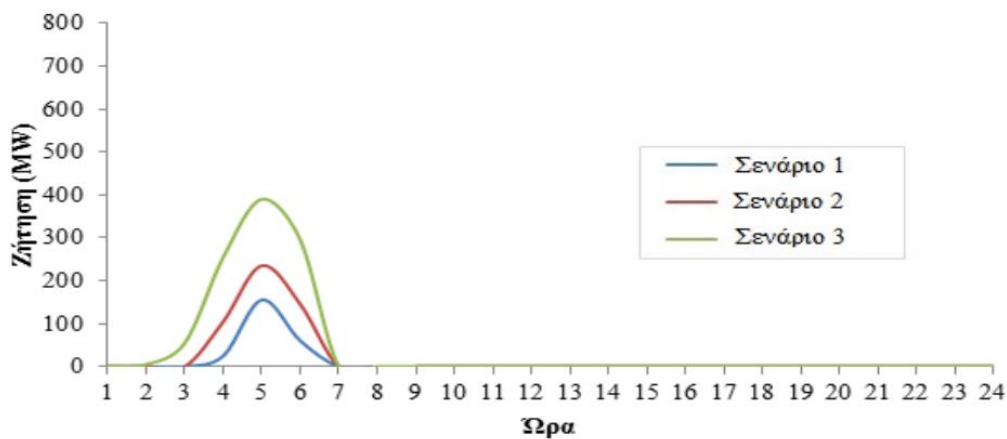
Μία ακόμα διαφορά της ελεγχόμενης φόρτισης με τιμολόγηση με την μη ελεγχόμενη είναι η επίδραση της στην καμπύλη φορτίου. Με την ελεγχόμενη φόρτιση επιτυγχάνουμε την μετατόπιση της φόρτισης κατά της ώρες μη αιχμής. Βέβαια η συγχρονισμένη φόρτιση όλων των οχημάτων προκαλεί σημαντική αύξηση της ζήτησης τις συγκεκριμένες ώρες όπως παρατηρούμε και στην Εικόνα 5.4. Αυτή η αύξηση στην ζήτηση μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στο δίκτυο κατά τον προγραμματισμό των εργασιών του.



Εικόνα 5.4: Ημερήσια καμπύλη φορτίου και η επίδραση κατά την ελεγχόμενη φόρτιση

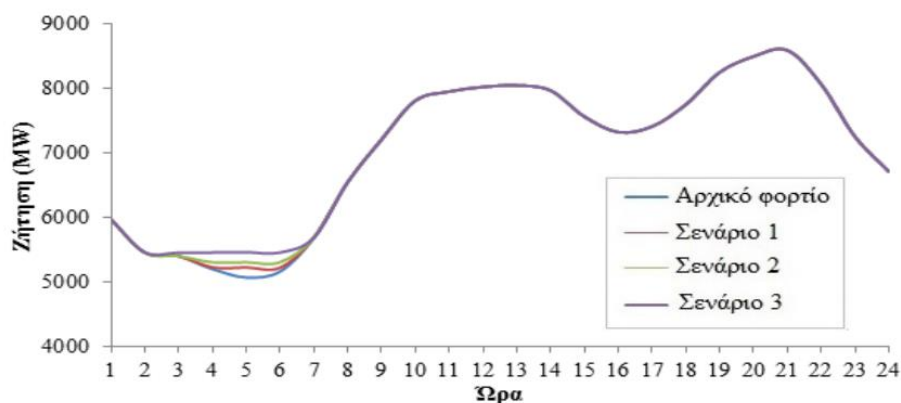
- Ελεγχόμενη φόρτιση με γέμισμα κοιλάδας (valley filling)

Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο μία στρατηγική φόρτισης είναι αυτή με γέμισμα κοιλάδας. Στην ουσία στο γέμισμα κοιλάδας μεταφέρουμε την φόρτιση σε ώρες όπου η καμπύλη ζήτησης είναι χαμηλή. Όπως μπορούμε να συμπεράνουμε και από την Εικόνα 5.1 κατάλληλες ώρες για να εφαρμοστεί είναι οι πρωινές ώρες. Παρατηρούμε από την Εικόνα 5.5 ότι η μέγιστη ζήτηση που προκύπτει είναι σχεδόν η μισή από την στρατηγική της ελεγχόμενης φόρτισης με τιμολόγηση. Αυτό βέβαια αιτιολογείται καθώς στο γέμισμα κοιλάδας η φόρτιση κατανέμεται ομοιόμορφα σε περιόδους που η κατανάλωση του συστήματος είναι στο ελάχιστο.



Εικόνα 5.5: Ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικών οχημάτων κατά το γέμισμα κοιλάδας

Η επίδραση στην καμπύλη ζήτησης του δικτύου από την φόρτιση με γέμισμα κοιλάδας παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.6. Εκεί παρατηρούμε ότι υπάρχει αύξηση της καμπύλης στο φορτίο βάσης του συστήματος καθώς η φόρτιση έχει μετατοπιστεί σε περιόδους εκτός αιχμής [26].

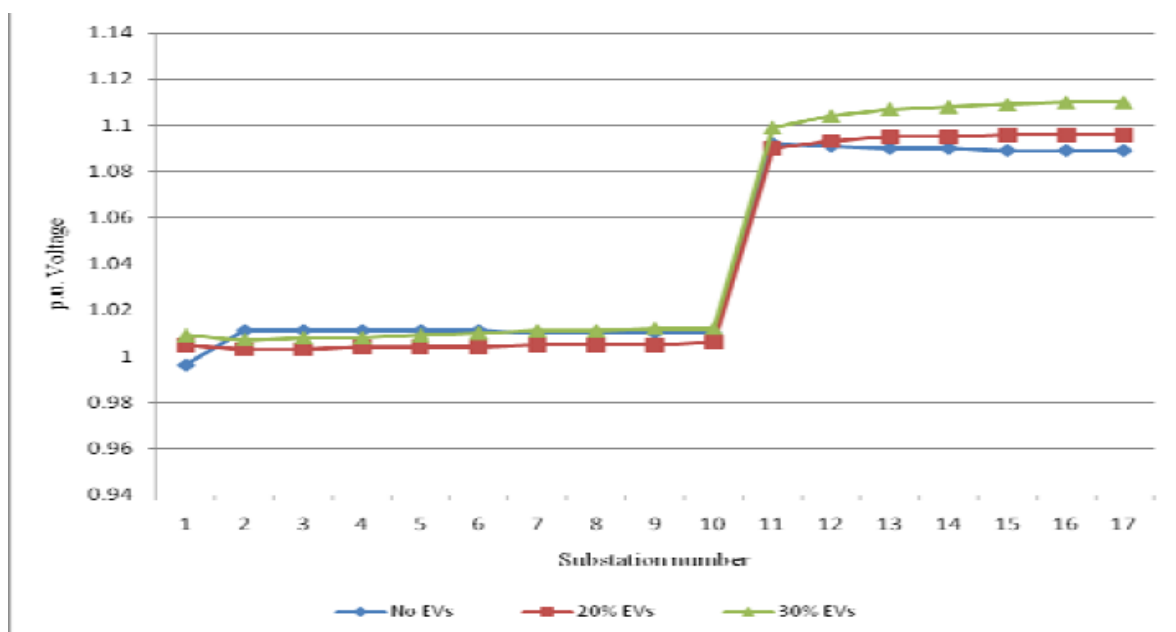


Εικόνα 5.6: Ημερήσια καμπύλη φορτίου και η επίδραση κατά το γέμισμα κοιλάδας

5.2.2. Επίδραση στην τάση του ηλεκτρικού δικτύου

Η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να επηρεάσει την τάση του ηλεκτρικού δικτύου καθώς και όπως θα δούμε στην συνέχεια και την φάση του. Τα αποτελέσματα των ερευνών ποικίλουν, καθώς εξαρτώνται από το μέγεθος του στόλου των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, τα χαρακτηριστικά του δικτύου και τα χαρακτηριστικά φόρτισης. Μπορεί να

φανεί ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων, επειδή η τάση τροφοδοσίας υπερβαίνει το απαιτούμενο όριο λειτουργίας θα προκαλέσει μεγαλύτερα προβλήματα και λόγω της αστάθειας της μπορεί να προκαλέσει διακοπή ρεύματος. Συγκεκριμένα, όταν υπάρχουν φορτιστές στις κατοικίες σε επίπεδο 20%, η λειτουργία του εναλλάκτη διατηρεί τα επίπεδα τάσης εντός του νόμιμου ελάχιστου ορίου, το οποίο είναι κάτω του 5% για 11kV. Ωστόσο όταν οι φορτιστές φτάνουν στο επίπεδο του 30%, οι εναλλάκτες φτάνουν στο όριο τους και η τάση υποτίμησης πέφτουν κάτω από το όριο. Η Εικόνα 5.7 δείχνει το διάγραμμα τάσης σε ελάχιστες καταστάσεις φόρτισης. Μπορεί να παρατηρηθεί ότι στην περίπτωση που τα ηλεκτρικά οχήματα είναι στο 20%, μόνο όταν λειτουργεί ο εναλλάκτης, η τελική τάση είναι ακριβώς κάτω από το νόμιμο μέγιστο όριο του 10%. Ωστόσο, όταν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα φτάνουν το 30%, ο εναλλάκτης φτάνει το όριο του και το επίπεδο της τάσης σε όλα τα σημεία υπερβαίνει το νόμιμο όριό της



Εικόνα 5.7: Η επίδραση της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στην τάση

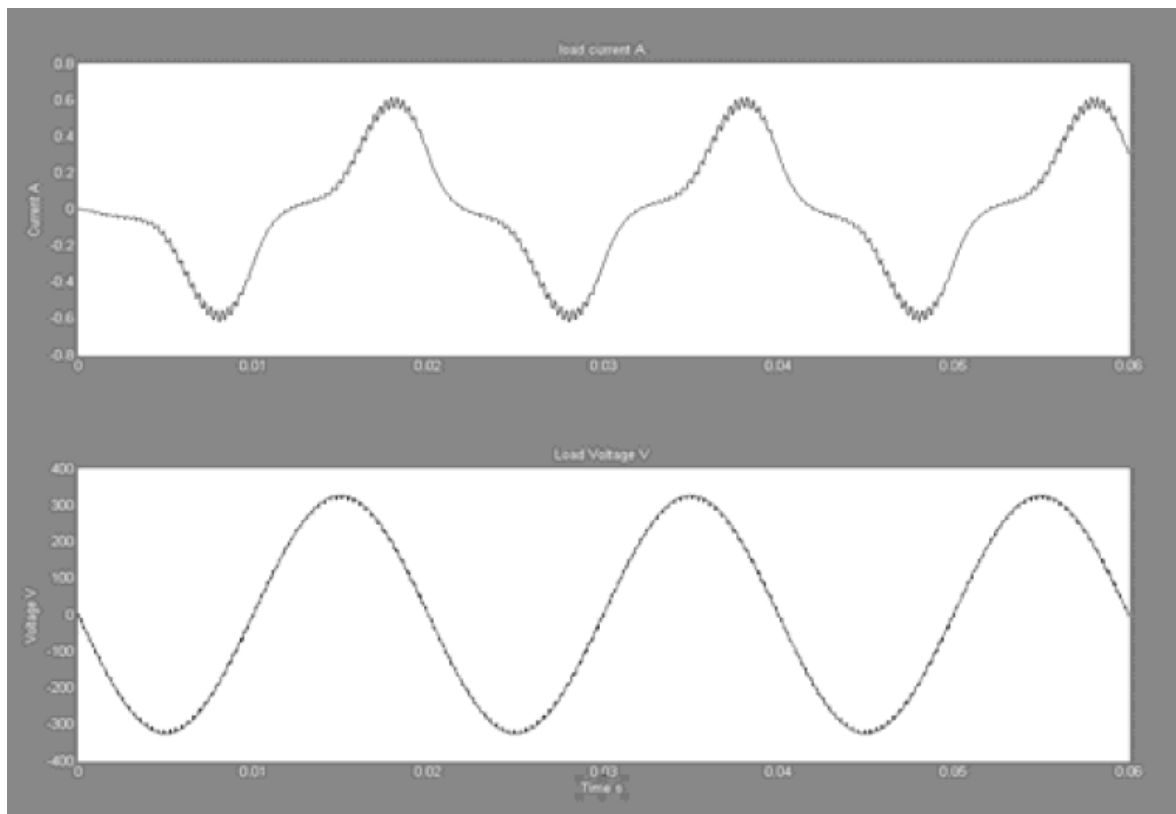
Βέβαια θα υπάρξουν διαφορετικές καταστάσεις φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων είτε σε καταστάσεις ανατροφοδότησης, είτε σε φόρτιση με τοπική κατανομή είτε σε πάρκα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Φαίνεται ότι σε όλες τις περιπτώσεις εάν ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων ξεπερνάει το 20% τότε η τάση ξεπερνά το όριο του 10%. Αυτό το αντίκτυπο θα υπάρχει σε όλες τις περιπτώσεις και η έκταση του θα εξαρτάται από την διανομή του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων μέσα στο δίκτυο [27].

5.2.3. Επίδραση στην φάση του ηλεκτρικού δικτύου

Η τριφασική παροχή, παρέχει μεγαλύτερη ισχύ και επομένως ταχύτερη φόρτιση, αλλά η διαθεσιμότητα τριών φάσεων στα σημεία τροφοδοσίας είναι προς το παρόν περιορισμένη. Οι μονοφασικές συσκευές διασύνδεσης είναι πιο πρακτικές. Ως εκ τούτου, πρέπει να αξιολογηθεί η επίπτωση στην ισορροπία των τριών φάσεων. Σε αντίθεση με την τάση του ηλεκτρικού δικτύου, η επίδραση στη φάση του δικτύου δεν εξαρτάται από τον αριθμό των ηλεκτρικών οχημάτων που υπάρχουν στο δίκτυο. Κυρίως, έχει να κάνει με την κατανομή του φορτίου στις τρεις φάσεις του δικτύου όταν εφαρμόζεται οικιακή μονοφασική φόρτιση. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση που η κατανομή γίνει άνισα, αν δηλαδή η μία φάση δεχθεί όλο το φορτίο τότε θα δημιουργηθεί αστάθεια φάσης [27].

5.2.4. Ποιότητα ισχύος και απώλειες

Οι συσκευές διασύνδεσης ηλεκτρικών οχημάτων χρησιμοποιούν ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος και αυτές είναι μη γραμμικές συσκευές λόγω των αρχών λειτουργίας τους. Επομένως, το ρεύμα εισόδου του μετατροπέα περιέχει γενικά υψηλά επίπεδα αρμονικών και αυτά αντιμετωπίζονται συνήθως με χρήση ελέγχου. Οι κατασκευαστές ισχυρίζονται ότι οι μετατροπείς τους παράγουν καλή ποιότητα ισχύος, τόσο κατά την φόρτιση όσο και στην ανατροφοδότηση. Ως εκ τούτου, δεν φαίνεται να προκύπτουν σημαντικά ζητήματα κατά την κανονική λειτουργία του συστήματος. Στην Εικόνα 5.8 φαίνεται το φιλτραρισμένο ρεύμα δικτύου σε αμπέρ και η τάση σε βολτ για κατάσταση βλάβης εντός του μετατροπέα. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, το ρεύμα είναι πολύ παραμορφωμένο και αυτό θα μπορούσε να επηρεάσει το τοπικό δίκτυο, ειδικά εάν υπάρχουν πολλά ηλεκτρικά οχήματα που έχουν παρόμοια προβλήματα.



Εικόνα 5.8: Η επίδραση της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στην τάση

Η ύπαρξη ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο απαιτεί την κατανομή ισχύος σε πολλές τοποθεσίες, η οποία αναμένεται να αυξήσει την απώλεια διαφόρων εξαρτημάτων που υπάρχουν στο δίκτυο όπως μετασχηματιστές και καλώδια. Έρευνες έχουν δείξει ότι όταν υπάρχει μεγάλος αριθμός ηλεκτρικών αυτοκινήτων στο δίκτυο παρατηρείται ότι η απώλεια είναι τόσο υψηλή που ξεπερνά το 40%. Η χρονική μετατόπιση της φόρτισης του ηλεκτρικού οχήματος από πρωί σε βράδυ δεν μπορεί να λύσει το πρόβλημα της απώλειας του δικτύου, καθώς το πρόβλημα παραμένει και κατά τις ώρες μη-αιχμής, δηλαδή το βράδυ [27].

5.3 Περιβάλλον και ηλεκτρικό αυτοκίνητο

Ένας από τους κύριους λόγους που τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν μία τάση και πηγή έρευνας και εξέλιξης τα τελευταία χρόνια, είναι το περιβαλλοντικό αποτύπωμα τους. Η μόλυνση του περιβάλλοντος κάνει επιτακτική την χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας, με σκοπό την μείωση εκπομπών των ρύπων. Είτε με την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων, με την συμβατική παραγωγή ενέργειας, είτε με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα συγκεκριμένα οχήματα δεν παύουν να είναι πολύ πιο οικολογικά, σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα με κινητήρες εσωτερικής καύσης. Θα δούμε στην συνέχεια, ποιο είναι το αντίκτυπο των ηλεκτρικών αυτοκινήτων σε σχέση με τα συμβατικά, καθώς και μία περιβαλλοντική εκτίμηση για τα επόμενα χρόνια, λόγω της μαζικότερης κινητικότητας των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και της εξέλιξης που έχουν δεχθεί οι μπαταρίες.

Ένα από τα πιο σημαντικά αγκάθια όταν υπάρχει συζήτηση για την χρήση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, είναι από που προέρχεται η ενέργεια για την φόρτιση τους. Στις περισσότερες χώρες το φυσικό αέριο και ο άνθρακας αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό καυσίμων για την παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος. Το φυσικό αέριο παράγει περίπου το ήμισυ της ποσότητας εκπομπών που παράγει ο άνθρακας, αλλά εάν τα δύο τρίτα της ενέργειας της χώρας προέρχονται από αυτές τις μη ανανεώσιμες πηγές, το ποσό των εκπομπών εξακολουθεί να είναι υψηλό. Τα τελευταία χρόνια, κυβερνήσεις έχουν στραφεί στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (υδροηλεκτρική ενέργεια, αιολική ενέργεια, βιομάζα και ηλιακή ενέργεια), δίνοντας αισιοδοξία για μία πιο πράσινη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Ακόμη και με την ενέργεια που προέρχεται από αυτό το δίκτυο των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα πλήρως ηλεκτρικά αυτοκίνητα παράγουν ακόμα λιγότερες από τις μισές εκπομπές βενζινοκίνητων αυτοκινήτων. Τα πλήρως ηλεκτρικά αυτοκίνητα παράγουν ετησίως 2,08 τόνους CO₂. Αυτός ο αριθμός μπορεί να φαίνεται μεγάλος, αλλά αν αναλογιστεί κανείς ότι τα αυτοκίνητα με κινητήρα εσωτερικής καύσης παράγουν ετησίως 4,6 τόνους CO₂, η μείωση είναι πολύ μεγάλη καθώς ξεπερνάει το 50%. Τα συγκεκριμένα στοιχεία αφορούν μόνο τις εκπομπές που παράγονται για τη φόρτιση των οχημάτων και όχι τις εκπομπές από την κατασκευή οχημάτων, τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, την καύση και τις απώλειες δικτύου. Βέβαια, όσο περισσότερη ενέργεια παράγεται μέσω ανανεώσιμων πηγών, τόσο πιο πράσινα γίνονται τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα και ο ισχυρισμός τους για μηδενικές εκπομπές έρχεται ολοένα

και πιο κοντά. Στον Πίνακα 5.1 παρατηρούμε τους δείκτες εκπομπών για όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, που μας δίνει την δυνατότητα να συμπεράνουμε πόσο “καθαρή” είναι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται σε κάθε χώρα. Αυτός ο δείκτης αντικατοπτρίζει το ενεργειακό μείγμα που χρησιμοποιείται για να παραχθεί η ηλεκτρική ενέργεια. Είναι αξιοσημείωτο ότι η Ελλάδα έχει έναν από τους μεγαλύτερους δείκτες, κάτι που οφείλεται στην μικρή διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στην χρήση του λιγνίτη ως κύριο καύσιμο για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Εάν δεν γίνει στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές δεν θα μπορούμε να μιλάμε για μία “πράσινη” ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα, όπως γίνεται σε χώρες με πολύ χαμηλό δείκτη εκπομπών όπως η Σουηδία και η Γαλλία.

Πίνακας 5.1: Συντελεστές εκπομπών CO₂ για τις χώρες της Ε.Ε

National and European emission factors for consumed electricity

Country	Standard emission factor (t CO ₂ /MWh _e)	LCA emission factor (t CO ₂ -eq/MWh _e)
Austria	0.209	0.310
Belgium	0.285	0.402
Germany	0.624	0.706
Denmark	0.461	0.760
Spain	0.440	0.639
Finland	0.216	0.418
France	0.056	0.146
United Kingdom	0.543	0.658
Greece	1.149	1.167
Ireland	0.732	0.870
Italy	0.483	0.708
Netherlands	0.435	0.716
Portugal	0.369	0.750
Sweden	0.023	0.079
Bulgaria	0.819	0.906
Cyprus	0.874	1.019
Czech Republic	0.950	0.802
Estonia	0.908	1.593
Hungary	0.566	0.678
Lithuania	0.153	0.174
Latvia	0.109	0.563
Poland	1.191	1.185
Romania	0.701	1.084
Slovenia	0.557	0.602
Slovakia	0.252	0.353
EU-27	0.460	0.578

Εκτός από τους ρύπους που παράγονται κατά την κίνηση των αυτοκινήτων υπάρχουν ρύποι οι οποίοι εκπέμπονται κατά την εξόρυξη, τη διύλιση, τη μεταφορά και την

κατασκευή πρώτων υλών σε διάφορα εξαρτήματα που θα συναρμολογηθούν για την παραγωγή του ίδιου του αυτοκινήτου. Αυτή η διαδικασία είναι σχεδόν ίδια στα συμβατικά και στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Ωστόσο, στο τέλος της διαδικασίας κατασκευής, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι αυτά που παράγουν περισσότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Αυτό συμβαίνει γιατί τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα αποθηκεύουν ενέργεια σε μεγάλες μπαταρίες που έχουν υψηλό περιβαλλοντικό κόστος. Οι μπαταρίες αυτές κατασκευάζονται από στοιχεία σπάνιας Γης όπως λίθιο, νικέλιο, κοβάλτιο ή γραφίτη που υπάρχουν μόνο κάτω από την επιφάνεια της Γης και επομένως εξαρτώνται από δραστηριότητες εξόρυξης με πολύ ρυπογόνες διαδικασίες. Για την παραγωγή ενός τόνου από αυτά τα σπάνια στοιχεία Γης, παράγονται 75 τόνοι από όξινα απόβλητα και ένας τόνος από ραδιενεργά απόβλητα. Παρά τα ζητήματα ρύπανσης, αυτά τα στοιχεία σύμφωνα με έρευνες εκτιμάται ότι θα βρίσκονται σε απόθεμα για τα επόμενα 185 χρόνια, ακόμη και αν η αγορά ηλεκτρικών αυτοκινήτων τριπλασιαστεί. Εκτός από τους ρύπους στην εξόρυξη των σπάνιων στοιχείων Γης, ρύποι παράγονται κατά την παραγωγή των ίδιων των μπαταριών. Αυτοί οι ρύποι αποτελούν το ήμισυ των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων, καθώς το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας δεν προέρχεται από πηγές χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Οι ρύποι από την παραγωγή μπαταριών μπορούν να μειωθούν βέβαια με την εισαγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Ακόμα και με αυτούς τους ρύπους που παράγονται για τα υλικά και για την μπαταρία, το αντίκτυπο των μπαταριών ιόντων λιθίου, σε σύγκριση με τα συμβατικά αυτοκίνητα, αντισταθμίζεται εντός περίπου 2 χρόνων από τη μέση οδήγηση. Αυτό σημαίνει, ότι από την στιγμή αυτή και μετά τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι πιο οικολογικά από τα συμβατικά μέχρι η μπαταρία τους να φτάσει στο τέλος του κύκλου ζωής της (8-10 χρόνια). Μετά το τέλος ζωής του κύκλου της μπαταρίας σημαντικό ρόλο παίζει η ανακύκλωση της, στο κατά πόσο θα είναι μια οικολογική επιλογή. Στη συμβατική αυτοκινητοβιομηχανία, το 99% των μπαταριών μολύβδου-οξέος ανακυκλώνονται. Αυτό δεν ισχύει για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου που έχουν πολύ συγκεκριμένο μείγμα χημικών συστατικών και μικρές ποσότητες λιθίου και σύμφωνα με έρευνες μόνο το 5% συλλέχθηκε, ενώ το υπόλοιπο αποτεφρώθηκε ή απορρίφθηκε σε χώρους υγειονομικής ταφής κάτι που καθιστά τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα όχι τόσο πράσινη επιλογή. Ωστόσο, όσο περισσότερες μπαταρίες παράγονται, καθώς η αγορά ηλεκτρικών αυτοκινήτων αυξάνεται, τόσο πιο ενδιαφέρον θα έχει η διαδικασία ανακύκλωσης ή ανάκτησης των σπάνιων στοιχείων. Με

την ανάπτυξη βιομηχανιών ανακύκλωσης, τα ηλεκτρικά οχήματα θα αποτελούν μια αμιγώς πράσινη επιλογή, καθώς έτσι θα μπορέσουμε να αντισταθμίσουμε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατασκευή των μπαταριών.

Προφανώς τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα δεν είναι οχήματα μηδενικών εκπομπών. Οι πηγές παραγωγής CO₂, όπως προείπαμε, μπορεί να προέλθουν κατά τη διάρκεια της παραγωγής της μπαταρίας, της παραγωγής ενέργειας για την κίνηση του οχήματος και στο τέλος του κύκλου ζωής των μπαταριών. Για την παραγωγή των μπαταριών απαιτούνται μεγάλα ποσά ενέργειας, που απελευθερώνουν ρύπους κατά τις εξορυκτικές διαδικασίες για την εξαγωγή των σπάνιων στοιχείων Γης. Για την παραγωγή ενέργειας, εάν το αυτοκίνητο τροφοδοτείται με ενέργεια από την καύση ορυκτών καυσίμων, εξακολουθεί να απελευθερώνει CO₂ στην ατμόσφαιρα, ενώ για την ανακύκλωση των μπαταριών δεν υπάρχουν οι κατάλληλες τεχνολογίες και οι περισσότερες μπαταρίες δεν ανακυκλώνονται. Ακόμα όμως και υπό αυτές τις συνθήκες, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα δεν παύουν να είναι μία οικολογική και φιλική προς το περιβάλλον λύση, αν και επιδέχονται πολλές βελτιώσεις. Ειδικά όταν η παραγωγή των ηλεκτρικών οχημάτων συνδέεται με την εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τότε αυτή η διαδικασία κάνει την χρήση των συγκεκριμένων οχημάτων ακόμα πιο "πράσινη". Για αυτό χώρες όπως η Νορβηγία και η Γερμανία προωθούν την ανάπτυξη της αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων, προσφέροντας φορολογικά οφέλη, ενώ παράλληλα αυξάνουν τις εγκαταστάσεις με ανανεώσιμες πηγές.

Με τις βελτιώσεις που επιδέχονται τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, κατανοούμε ότι είναι επιτακτική η μαζικότερη παραγωγή τους για την μείωση των εκπομπών. Βέβαια, η ολοένα και μεγαλύτερη αύξηση των αστικών κέντρων μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στην κυκλοφορία, στην φόρτιση και στα υψηλά ποσοστά κατανάλωσης. Για αυτό τον λόγο ίσως θα ήταν προτιμότερη η έρευνα και παραγωγή μέσων μαζικής μεταφοράς που θα κινούνται με την ηλεκτρική ενέργεια. Έτσι θα μειωθεί δραματικά το αποτύπωμα του άνθρακα, αλλά παράλληλα θα είμαστε σίγουροι για την βιωσιμότητα και την αειφορία των ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς έτσι θα διασφαλίσουμε την ύπαρξη των κατάλληλων πόρων για την παραγωγή των μπαταριών [28].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα καθώς και οι δυνατότητες που προκαλεί η ένταξη τους στο ευφυές δίκτυο. Αρχικά παρουσιάστηκαν οι μορφές ενέργειας με τις οποίες το όχημα μπορεί να κινηθεί, με τις μπαταρίες ιόντων λιθίου να είναι η κυρίαρχη επιλογή. Βέβαια στο μέλλον η ανάπτυξη τεχνολογιών όπως οι υπερπυκνωτές και οι κυψέλες καυσίμων, μπορεί να επιφέρει αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο κινούνται τα οχήματα είτε γίνει χρήση αυτών εξ ολοκλήρου είτε σε συνδυασμό με τις μπαταρίες. Στην συνέχεια, παρουσιάστηκαν οι τρόποι και οι χώροι που μπορεί να φορτιστεί ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο με την ενσύρματη φόρτιση συνεχούς ρεύματος να είναι η δημοφιλέστερη επιλογή, καθώς μειώνει κατά πολύ ένα βασικό μειονέκτημα των ηλεκτρικών οχημάτων που είναι η αναμονή κατά τον χρόνο φόρτισης. Επίσης έγινε εκτενής αναφορά στον ρόλο που μπορούν να παίξουν τα ηλεκτρικά οχήματα ως πηγές ηλεκτρικής ενέργειας, στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η λειτουργία του V2G και η έξυπνη φόρτιση προσφέρει λύσεις στην προσφορά ενέργειας, καθώς η μαζική εισαγωγή ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο είναι ένα πρόβλημα που δεν μπορεί να διαχειριστεί λόγω του μεγάλου φορτίου που θα δημιουργηθεί. Για αυτό τον λόγο με την χρήση έξυπνων τεχνολογιών, όπως οι έξυπνοι μετρητές και με τις κατάλληλες υποδομές, το δίκτυο θα μετατραπεί σε έξυπνο, μπορώντας έτσι να υποστηρίξει έναν μεγάλο αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων και παράλληλα να τα χρησιμοποιήσει σαν μορφές ενέργειας. Με την βοήθεια των ανανεώσιμων πηγών εκτός από την υποστήριξη του δικτύου σε ώρες αιχμής, όταν δηλαδή τα ηλεκτρικά οχήματα φορτίζονται, θα μπορούμε να χαρακτηρίσουμε τα ηλεκτρικά οχήματα ακόμη πιο οικολογικά καθώς οι ρύποι που ελευθερώνονται κατά την φόρτιση τους εκμηδενίζονται. Τέλος, σημειώθηκε ότι χωρίς την χρήση των έξυπνων τεχνολογιών και την βοήθεια των ανανεώσιμων πηγών το ηλεκτρικό δίκτυο θα βρεθεί σε δυσμενή κατάσταση, καθώς ο μεγάλος αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων θα φέρει αρνητικές επιπτώσεις σε αυτό, αφού με την ανεξέλεγκτη φόρτιση τους θα υπάρχει αστάθεια στην τάση και στην φάση του δικτύου, ενώ οι απώλειες ισχύος είναι πολύ μεγάλες.

Υπάρχουν αρκετά προβλήματα που πρέπει να υπερκεράσουν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έτσι ώστε να καταλάβουν το κόσμο. Αρχικά το κόστος τους είναι αρκετά μεγαλύτερο από αυτό των συμβατικών οχημάτων, κυρίως λόγω το κόστος κατασκευής της μπαταρίας τους.

Σύμφωνα με έρευνες αυτό το κόστος θα μειωθεί και θα φτάσει αυτό των συμβατικών οχημάτων κοντά στο 2024. Αυτό εξηγείται καθώς οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τις μπαταρίες συνεχώς αναπτύσσονται. Βέβαια, οι μπαταρίες αποτελούνται από σπάνιες πρώτες ύλες, που σε μερικές δεκαετίες θα έχουν εξαντληθεί. Η ανακύκλωση των μπαταριών είναι μία πρόκληση στην βιομηχανία των ηλεκτρικών οχημάτων, αφού είναι το μοναδικό αγκάθι της φιλικότητας προς το περιβάλλον με το ποσοστό των υλικών που τελικά ανακυκλώνονται να φτάνει για την ώρα στο 5%. Ένας ακόμη περιορισμός είναι οι εγκαταστάσεις για τους χώρους φόρτισης και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Σε χώρες όπως η Ελλάδα, που δεν υπάρχουν αρκετοί σταθμοί φόρτισης και που δεν υπάρχουν έξυπνες τεχνολογίες τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα όταν βρίσκονται σε μεγάλο αριθμό αποτελούν ένα πρόβλημα λόγω της συνεχής ζήτησης ενέργειας. Βέβαια, με την αναβάθμιση του ηλεκτρικού δικτύου, την εισαγωγή περισσότερων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την δημιουργία περισσότερων σταθμών φόρτισης τα ηλεκτρικά οχήματα από πρόβλημα στο θέμα της ζήτησης θα μετατραπούν σε λύση για το θέμα της προσφοράς.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, κατανοούμε ότι τα ηλεκτρικά οχήματα ακόμα και στην παρούσα κατάσταση, αποτελούν μια εξαιρετική εναλλακτική λύση για το πρόβλημα της μόλυνσης του περιβάλλοντος από το τομέα των μεταφορών, ενώ με την χρήση του έξυπνου δικτύου και την βοήθεια των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα ωφεληθεί και το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] M. Dijk, R. Orsato και R. Kemp. “The emergence of an electric mobility trajectory”, Energy Policy, 2013.
- [2] Βουγιουκλάκης Παναγιώτης, Κοντογιώργης Μιχαήλ. “Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο”. Πτυχιακή εργασία, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Τμήμα Τεχνολογίας, 2012.
- [3] Μέτσιου Ν. Άννα. “ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ, ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ-ΥΙΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ”. Διπλωματική εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο Τμήμα Διαχείρισης Τεχνικών Έργων, 2018.
- [4] International Energy Agency. “Global EV Outlook”, 2020.
- [5] Aurélie Glerum, Lidija Stankovikj, Michaël Thémans, Michel Bierlaire. “Forecasting the Demand for Electric Vehicles: Accounting for Attitudes and Perceptions”, Transportation Science, 48: 4: 483-499, 2014.
- [6] Alexandros Parellis, Costis Stambolis. “Prospects for the Electric Vehicle Market in Greece and Business Opportunities”, IENE, 2018.
- [7] Y. Li, H. Guo, F. Qi, Z. Guo and M. Li, “Comparative Study of the Influence of Open Circuit Voltages Tests on State of Charge Online Estimation for Lithium-Ion Batteries”, IEEE Access, 8: 17525-17547, 2020.
- [8] Kwo-Hsiung Young, “Research in Nickel/Metal Hydride Batteries 2017”, Batteries, 4, 9, 2018.
- [9] Nitta Naoki, Wu Feixiang, Lee Jung Tae, Yushin Gleb. “Li-ion battery materials: present and future”, Materials Today, 18: 5: 252-264, 2015.
- [10] Dominic Notter, Marcel Gauch, Rolf Widmer, Patrick Wäger, Anna Stamp, Rainer Zah, Hans-Jörg Althaus. “Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles”, Environmental Science & Technology, 44: 19: 7744-7744, 2010.
- [11] Σιγάλας Νικόλαος και Μιγγίρης Παναγιώτης. “Ηλεκτροκίνητα οχήματα και έξυπνο δίκτυο(Plug-in electric vehicles and the smart grid)”. Πτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής Σχολή Μηχανικών Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών, 2018.

- [12] Appleby A. "Fuel cells and hydrogen fuel", *International Journal of Hydrogen Energy*, 19: 2: 175-180, 1994.
- [13] Henry Lee, Alex Clark. "Charging the Future: Challenges and Opportunities for Electric Vehicle Adoption", *SSRN Electronic Journal*, 2018.
- [14] IRENA, "INNOVATION OUTLOOK: SMART CHARGING FOR ELECTRIC VEHICLES", IRENA, 2019.
- [15] Morris Brenna, Federica Foadelli, Carola Leone, Michela Longo. "Electric Vehicles Charging Technology Review and Optimal Size Estimation", *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 15: 6: 2539-2552, 2020.
- [16] Roger N Anderson. "Smart Grid: The Future of the Electric Energy System".
- [17] Amam Hossain Bagdadee, Li Zhang. Smart Grid: "A Brief Assessment of the Smart Grid Technologies for Modern Power System", *Journal of Engineering Technology*, 8: 1: 22: 2019.
- [18] Francis Mwasilu, Jackson John Justo, Eun-Kyung Kim, Ton Duc Do, Jin-Woo Jung. "Electric vehicles and smart grid interaction: A review on vehicle to grid and renewable energy sources integration", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34: 501-516, 2014.
- [19] Claude Ziad El-Bayeh, Khaled Alzaareer, Al-Motasem I. Aldaoudeyeh, Brahim Brahmi, Mohamed Zellagui. "Charging and Discharging Strategies of Electric Vehicles: A Survey", *World Electric Vehicle Journal*, 12: 1: 11: 2021.
- [20] Hildermeier Julia, Kolokathis Christos, Rosenow Jan, Hogan Michael, Wiese Catharina, Jahn Andreas. "Smart EV Charging: A Global Review of Promising Practices", *World Electric Vehicle Journal*, 10: 4: 8, 2019.
- [21] Samir M Shariff, Danish Iqbal, M Saad Alam, Furkan Ahmad. "A State of the Art Review of Electric Vehicle to Grid (V2G) technology", *Materials Science and Engineering*, 2019.
- [22] Kang Miao Tan, Vigna K. Ramachandaramurthy, Jia Ying Yong. "Integration of electric vehicles in smart grid: A review on vehicle to grid technologies and optimization techniques", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53: 720-732: 2016.

- [23] Lefeng Shi, Tong Lv, Yandi Wang. "Vehicle-to-grid service development logic and management formulation", *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 7: 4: 935-947, 2019.
- [24] Anastasiadis Anestis, Vokas Georgios, Konstantinopoulos Stavros, Kondylis Georgios, Khalil Toni, Polyzakis Apostolos, Tsatsakis Konstantinos. "Wind Generation and Electric Vehicles coordination in Microgrids for Peak Shaving purposes", *Energy Procedia*, 407-416, 2017.
- [25] Quentin Hoarau, Yannick Perez. "Interactions between electric mobility and photovoltaic generation: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94: 510-522, 2018.
- [26] Ε. Καρφόπουλος, "Συμβολή στη διαχείριση των ηλεκτρικών οχημάτων για την αποδοτικότερη ενσωμάτωσή τους στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας," Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών. Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, 2017.
- [27] G.A. Putrus, P. Suwanapingkarl, D. Johnston, E.C. Bentley, M. Narayana. "Impact of electric vehicles on power distribution networks", *IEEE*, 827-831, 2009.
- [28] Ashley Schmid. "An Analysis of the Environmental Impact of Electric Vehicles", *Scholars' Mine*, 1: 2: 10, 2017.