



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

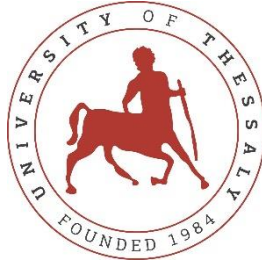
Ηλεκτρικά Οχήματα και Ευφυή Δίκτυα

Διπλωματική Εργασία

Γεώργιος Σαββαΐδης
Ηλίας Τσιρώνης

Επιβλέπων: Γεώργιος Σταμούλης

Ιούνιος 2023



UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

Electric Vehicles and Smart Grid

Diploma Thesis

Georgios Savvaidis

Ilias Tsironis

Supervisor: Georgios Stamoulis

June 2023

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων

Γεώργιος Σταμούλης

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

Νέστωρ Ευμορφόπουλος

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

Μέλος

Αλέξανδρος Χροναίος

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

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, αποτελούν αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλουν οποιασδήποτε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχουν 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

Ο Δηλών

Ηλίας Τσιρώνης

Γεώργιος Σαββαΐδης

DISCLAIMER ON ACADEMIC ETHICS AND INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

Being fully aware of the implications of copyright laws, I expressly state that this diploma thesis, as well as the electronic files and source codes developed or modified in the course of this thesis, are solely the product of my personal work and do not infringe any rights of intellectual property, personality and personal data of third parties, do not contain work / contributions of third parties for which the permission of the authors / beneficiaries is required and are not a product of partial or complete plagiarism, while the sources used are limited to the bibliographic references only and meet the rules of scientific citing. The points where I have used ideas, text, files and / or sources of other authors are clearly mentioned in the text with the appropriate citation and the relevant complete reference is included in the bibliographic references section. I also declare that the results of the work have not been used to obtain another degree. I fully, individually and personally undertake all legal and administrative consequences that may arise in the event that it is proven, in the course of time, that this thesis or part of it does not belong to me because it is a product of plagiarism.

The Declarant

Ilias Tsironis

The Declarant

Georgios Savvaidis

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι λέξεις δεν μπορούν να εκφράσουν την ευγνωμοσύνη μας προς τον υπεύθυνο καθηγητή μας, κ. Σταμούλη για την ανεκτίμητη υπομονή και τα σχόλιά του. Επίσης, δεν θα μπορούσαμε να κάνουμε αυτό το ταξίδι χωρίς τα υπόλοιπα μέλη της επιτροπής, κ. Ευμορφόπουλο και κ. Χροναίο που μας παρείχαν γενναιόδωρα γνώση και τεχνογνωσία και διευκόλυναν την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής μας εργασίας.

Είμαστε επίσης ευγνώμονες στους φίλους και συμφοιτητές μας για τη βοήθειά τους σε διάφορα θέματα, τις συναντήσεις, την ηθική υποστήριξη και για όλες τις μοναδικές στιγμές που μοιραστήκαμε όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος, δε θα μπορούσαμε να μην αναφέρουμε τις οικογένειές μας, και ειδικά τους γονείς μας, αφού η πίστη τους σε εμάς κράτησε το πνεύμα και το κίνητρό μας ψηλά κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας όλα αυτά τα χρόνια.

ΣΥΓΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία για τα ηλεκτρικά οχήματα (EVs), οι συγγραφείς, Ηλίας Τσιρώνης και Γεώργιος Σαββαΐδης, συνεργάστηκαν για να παρέχουν μια ολοκληρωμένη επισκόπηση της τεχνολογίας των EVs και των επιπτώσεών τους. Ο Ηλίας Τσιρώνης συνέβαλε στην εισαγωγή του θέματος, περιγράφοντας την ιστορία και την τρέχουσα κατάσταση των EVs, ενώ ο Γεώργιος Σαββαΐδης επικεντρώθηκε στη δομή και στις μπαταρίες τους, εξηγώντας τον τρόπο λειτουργίας τους και τους διάφορους διαθέσιμους τύπους. Μαζί, διερεύνησαν την ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων με το έξυπνο δίκτυο και τα οφέλη και τις προκλήσεις που συνεπάγεται, με τον πρώτο να παρέχει μια οικονομική προοπτική και τον δεύτερο να συζητά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τέλος, και οι δύο συνεργάστηκαν στο συμπέρασμα, συνοψίζοντας τα βασικά σημεία και συζητώντας πιθανές μελλοντικές εξελίξεις στον τομέα των ηλεκτρικών οχημάτων.

Ηλεκτρικά Οχήματα και Ευφυή Δίκτυα

Γεώργιος Σαββαΐδης, Ηλίας Τσιρώνης

Περίληψη

Το αντικείμενο της διπλωματικής μας εργασίας είναι η μελέτη των ηλεκτρικών οχημάτων και η αλληλεπίδραση τους με το έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο. Αρχικά γίνεται μια εισαγωγή στα ηλεκτρικά οχήματα, καθώς και μια σύντομη ιστορική αναφορά για την εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων. Αναφέρονται επίσης οι κατηγορίες των σύγχρονων EVs μαζί με κάποια θετικά και αρνητικά τους. Εν συνεχεία, στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η δομή των EVs, σύνθεση και λειτουργία, και αναλύεται το σημαντικότερο στοιχείο τους, δηλαδή η πηγή ενέργειάς τους, όπου κυρίως αποτελούν οι μπαταρίες ιόντων λιθίου. Από την άλλη, η χρήση υπερπυκνωτών και κυψελών καυσίμων δίνουν μία εναλλακτική προσέγγιση στην ηλεκτροκίνηση. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται εκτενής ανάλυση στην ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο έξυπνο δίκτυο, κάτι το οποίο αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για να εδραιωθούν τα EVs στην αγορά. Έπειτα, στο τέταρτο κεφάλαιο, προσεγγίζουμε το οικονομικό ζήτημα αυτής της τεχνολογίας αναλύοντας τα κόστη εξοπλισμού, εγκατάστασης, φόρτισης, αλλά και τα κίνητρα σε συνδυασμό με τον ευρύτερο αντίκτυπο που θα έχουν στην οικονομία. Το πέμπτο κεφάλαιο αποτελεί μια μικρή περιβαλλοντική προσέγγιση αναφέροντας τις επιδράσεις που έχουν τα EVs στο περιβάλλον και το πως μπορούν να λειτουργήσουν βοηθητικά σε αυτό. Τέλος, στο κεφάλαιο έξι παρουσιάζουμε τα πορίσματά μας στα οποία καταλήξαμε μετά την ολοκλήρωση της εργασίας μας.

Λέξεις-κλειδιά:

Ηλεκτρικά αυτοκίνητα, Ευφυή Δίκτυα, ΑΠΕ, Κυψέλες Καυσίμου, Όχημα προς Δίκτυο, Δίκτυο προς Όχημα, Όχημα προς Σπίτι, Υπερπυκνωτές, Μπαταρίες Ιόντων Λιθίου, Φορτιστές.

Diploma Thesis

Electric Vehicles and Smart Grid

Georgios Savvaidis, Ilias Tsironis

Abstract

The subject of our diploma thesis is the study of electric vehicles and their interaction with the smart grid. In the first chapter, an introduction to electric vehicles is given, as well as a brief history of the development of electric vehicles. The categories of modern EVs are also mentioned along with some of their positives and negatives. Subsequently, in the second chapter, the structure of EVs, their composition and function are presented, and their most important component, namely its power source, is analysed. The dominant energy source is lithium-ion batteries. On the other hand, the use of supercapacitors and fuel cells give an alternative approach to electromobility. In the third chapter there is an extensive analysis on the integration of electric vehicles into the smart grid which is a prerequisite for EVs to establish themselves in the market. Then, in chapter four, we approach the economic issue of this technology by analysing the costs of equipment, installation, charging and incentives in conjunction with the wider impact on the economy. Chapter five is a short environmental approach, mentioning the effects that EVs have on the environment and how they can be ancillary to it. Finally, chapter six presents the conclusions we have reached after completing our work.

Keywords:

Electric Vehicles (EVs), Smart Grid, RES, Fuel Cells, V2G, G2V, V2H, Supercapacitors, Lithium-Ion Batteries, EV Chargers.

Περιεχόμενα

<i>Περίληψη</i>	<i>viii</i>
<i>Abstract</i>	<i>ix</i>
<i>Κατάλογος εικόνων</i>	<i>xii</i>
<i>Κατάλογος πινάκων</i>	<i>xiii</i>
<i>Συντομογραφίες</i>	<i>xiv</i>
<i>Κεφάλαιο 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ</i>	<i>1</i>
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Ιστορική Αναδρομή	1
1.3 Σύγχρονα EVS και Κατηγορίες	3
1.4 Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί EVs.....	4
<i>Κεφάλαιο 2 ΔΟΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ</i>	<i>7</i>
2.1 Η Σύνθεση ενός Ηλεκτρικού Οχήματος	7
2.2 Η Λειτουργία των Ηλεκτρικών Οχημάτων και των Εξαρτημάτων που συνδέονται με την Ηλεκτροκίνηση	8
2.3 Μπαταρίες	11
2.3.1 Διάφορες Χημικές Συνθέσεις των Μπαταριών Ιόντων Λιθίου	12
2.3.2 Χαρακτηριστικά Μπαταριών που χρησιμοποιούν Ιόντα Λιθίου	15
2.3.3 Άλλα Συστήματα Μπαταριών που ισχύουν για την Ηλεκτρική Κίνηση	19
<i>Κεφάλαιο 3 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ</i> 22	
3.1 Εισαγωγή στο Έξυπνο Δίκτυο.....	22
3.2 Τωρινή Κατάσταση Δικτύου.....	23
3.3 Ενσωμάτωση του Ηλεκτρικού Οχήματος.....	24
3.4 Vehicle To Grid (V2G).....	25
3.4.1 Unidirectional V2G	25
3.4.2 Bidirectional V2G	26
3.4.3 Τωρινή Κατάσταση	27
3.5 Vehicle To Home (V2H).....	28

3.6 Επιπτώσεις, Δυνατότητες και Περιορισμοί	29
Κεφάλαιο 4 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	31
4.1 Κόστος Εξοπλισμού	31
4.2 Κόστος Εγκατάστασης.....	32
4.2.1 Κόστος Φορτιστή Επιπέδου 2	32
4.2.2 Σταθμός Φόρτισης EV για Επαγγελματική Χρήση	33
4.2.3 Κόστος Φορτιστή Επιπέδου 3	34
4.3 Κόστος κατά την Φόρτιση του Ηλεκτρικού Αυτοκινήτου.....	35
4.4 Κίνητρα	35
4.5 Αντίκτυπος στην Οικονομία.....	36
Κεφάλαιο 5 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ.....	38
5.1 Περιβάλλον και Ηλεκτροκίνηση	38
5.2 Επιδράσεις στο Περιβάλλον που Προκαλούν τα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα	41
5.3 Περιβαλλοντικός Αντίκτυπος EVs και Έξυπνου Δικτύου.....	41
Κεφάλαιο 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	43
Βιβλιογραφία.....	45

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1. Μέρη ενός EV	1
Εικόνα 2. Κατηγορίες οχημάτων	3
Εικόνα 3. Εξέλιξη του αριθμού των πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων παγκοσμίως.....	4
Εικόνα 4. Λειτουργία EV	11
Εικόνα 5. Σύγκριση των θεωρητικών και πρακτικών πυκνοτήτων ενέργειας [19].....	12
Εικόνα 6. Η διαμόρφωση μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου [23]	14
Εικόνα 7. Γραμμή παραγωγής μπαταριών [17].....	15
Εικόνα 8. Τα κύρια χαρακτηριστικά των μπαταριών Li-ion [32][33][34].....	19
Εικόνα 9. Εξέλιξη χωρητικότητας των μπαταριών από τα μέσα της δεκαετίας του '80 μέχρι τώρα.....	19
Εικόνα 10. Η απόδοση της ενεργειακής πυκνότητας των μπαταριών [8]	21
Εικόνα 11. Ιδιότητες μπαταριών [21].....	21
Εικόνα 12. Αρχιτεκτονική V2G	25
Εικόνα 13. Διάγραμμα σχέσης τύπων V2G	26
Εικόνα 14. Απεικόνιση V2G δικτύου.....	27
Εικόνα 15. V2H.....	29
Εικόνα 16. Τρεις κατηγορίες φορτιστών EVs	32
Εικόνα 17. Εκπομπή CO ₂	40
Εικόνα 18. Ποσοστά παραγωγής εκπομπών ρύπων, πηγή: http://www.oica.net/man-made-co2-emissions/	40

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1. Κόστος Φορτιστών..... 33

Πίνακας 2. Κόστος εξοπλισμού, πηγή: RMI..... 34

Συντομογραφίες

κ.λπ. και λοιπά

κ.ο.κ και ούτω καθεξής

EV Electric Vehicle

V2G Vehicle to Grid

V2H Vehicle to Home

SG Smart Grid

Μ.Ε.Κ Μηχανή Εσωτερικής Καύσης

ΑΠΕ Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

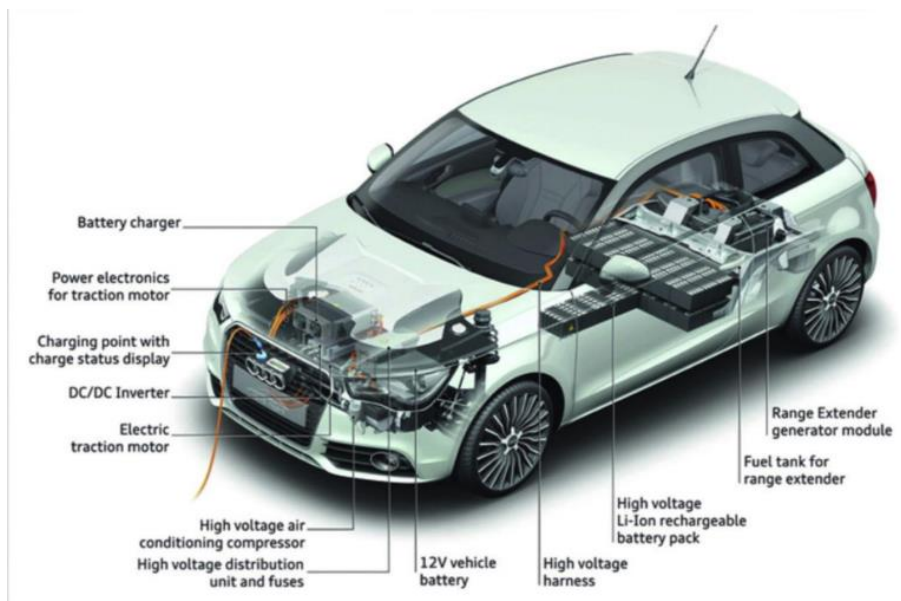
Κεφάλαιο 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ

1.1 Εισαγωγή

Το ηλεκτρικό όχημα είναι ένα όχημα που χρησιμοποιεί μόνο ηλεκτρική ενέργεια για κίνηση, η οποία συχνά αποθηκεύεται σε συστάδες μπαταριών που αποτελούν τη κύρια πηγή ενέργειας. Συχνά είναι επαναφορτιζόμενες και χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία ηλεκτροκινητήρων οι οποίοι κινούν τον άξονα ή τους τροχούς.

Τα ηλεκτρικά οχήματα (EVs) ξεχωρίζουν από τα συμβατικά με κινητήρες εσωτερικής καύσης λόγω της αποκλειστικής χρήσης ηλεκτροκινητήρων. Το ηλεκτρικό όχημα δεν έχει καμία σχέση με το υβριδικό όχημα, το οποίο λειτουργεί με ηλεκτροκινητήρες σε συνδυασμό με κινητήρες εσωτερικής καύσης που είτε συμβάλλουν άμεσα στην κίνηση είτε στην άμεση φόρτιση των μπαταριών.



Εικόνα 1. Μέρη ενός EV

1.2 Ιστορική Αναδρομή

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα χρονολογούνται εδώ και σχεδόν 170 χρόνια, τον 19^ο αιώνα. Η εξέλιξη τους συνέβη ταυτόχρονα με την ανάπτυξη δύο ανταγωνιστικών τύπων οχημάτων, αυτών που κινούνται με ατμό και των οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Ο Σκωτσέζος Robert Anderson παρουσίασε το πρώτο ηλεκτροκίνητο αυτοκίνητο, αν και αρκετά πρωτόγονο. Ταυτόχρονα (1835), ο Ολλανδός καθηγητής Stratingh του Groningen κατασκεύασε ένα

μικροσκοπικό αυτοκίνητο. Αυτές οι πρώιμες τεχνολογίες είχαν ουσιαστικά πειραματικό χαρακτήρα και οι ηλεκτρικοί κινητήρες που υπήρχαν πριν από το 1837, όταν ο Thomas Davenport δημιούργησε έναν κινητήρα, ήταν επίσης πειραματικοί και όχι πρακτικοί.

Κατά την αλλαγή του 19ου και του 20ου αιώνα, οι εφευρέτες και οι κατασκευαστές άρχισαν να προσέχουν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Ο Αυστριακός εφευρέτης Franz Kravogl έδειξε ένα από τα πρώτα ηλεκτρικά δίτροχα στην Παγκόσμια Έκθεση του 1867 στο Παρίσι, όμως κρίθηκε ακατάλληλο για χρήση στο δρόμο. Τον Απρίλιο του 1881, ο Γάλλος εφευρέτης Gustave Trouve δοκίμασε μια παραλλαγή με τρεις τροχούς στο Παρίσι. [36]

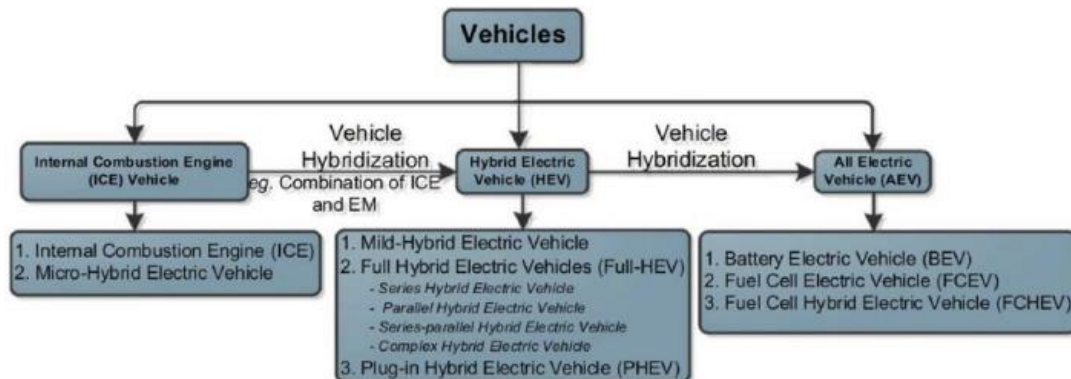
Ο Thomas Parker, ο εφευρέτης του ηλεκτρικού μετρώ του Λονδίνου και των εναέριων τραμ στο Liverpool και το Birmingham, δημιούργησε το 1884 το πρώτο ηλεκτρικό όχημα παραγωγής στο Λονδίνο με βάση δικές του μπαταρίες υψηλής χωρητικότητας. Ο Parker πειραματίστηκε με ηλεκτρικά οχήματα λόγω του πάθους του για τη δημιουργία των πιο ενεργειακά αποδοτικών αυτοκινήτων και της ανησυχίας του για τη ρύπανση του Λονδίνου. Το αυτοκίνητο κατασκευάστηκε από την εταιρεία Elwell-Parker, η οποία δημιουργήθηκε το 1882 για να κατασκευάζει και να εμπορεύεται ηλεκτρικά τραμ. Το 1888, η εταιρεία συνδυάστηκε με ανταγωνιστές για να σχηματίσει την Electric Contractive Corporation. Στη δεκαετία του 1890, η E.C.C. σχεδόν κυριάρχησε στη βρετανική αγορά ηλεκτρικών αυτοκινήτων. [40]

Αξίζει να σημειωθεί ότι το Ηνωμένο Βασίλειο και η Γαλλία ήταν από τις πρώτες χώρες που προώθησαν την ευρεία ανάπτυξη EVs, αν και το 1888, ο Andrea Flocken δημιούργησε το πρώτο EV στη Γερμανία. Πριν από την κυριαρχία των κινητήρων εσωτερικής καύσης, τα ηλεκτρικά οχήματα κατείχαν αρκετά ρεκόρ απόστασης και ταχύτητας. Μεταξύ των πιο σημαντικών ήταν το βελγικό όχημα Jamais Contente του Camille Jenatzy, το οποίο έσπασε το φράγμα των 100 km/h στις 29 Απριλίου 1899. Ιδιαίτερα αξιοσημείωτο ήταν ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου με τετρακίνηση και κινητήρα σε κάθε τροχό από τον Ferdinand Porsche που έσπασε πολλά ρεκόρ. [9]

Οι Ευρωπαίοι χρησιμοποιούσαν ηλεκτρικά τρίκυκλα, ποδήλατα και αυτοκίνητα για περίπου 15 χρόνια πριν από το ενδιαφέρον των Ηνωμένων Πολιτειών για την συγκεκριμένη τεχνολογία. Το 1890-91, ο William Morrison δημιούργησε το πρώτο αμερικανικό ηλεκτρικό αυτοκίνητο, ένα εξαθέσιο βαγόνι ικανό να επιτύχει τελική ταχύτητα 14 mph (23 km/h). Το 1899, ο Thomas Edison παρουσίασε το δικό του ηλεκτρικό αυτοκίνητο που τροφοδοτείται από αλκαλικές μπαταρίες. Το 1895, ένας αγώνας αυτοκινήτων στις Ηνωμένες Πολιτείες κερδίζεται πρώτη φορά από ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο (electrobat II) ενώ το 1896, η Electric Car.Co εισήγαγε τα πρώτα ηλεκτρικά ταξί στους δρόμους της Νέας Υόρκης. Εν τω μεταξύ, το 1896, η εταιρία Andrew Riker άρχισε να κατασκευάζει ηλεκτρικά οχήματα. Στη διάρκεια των επόμενων τριών ετών, το πλήθος των ηλεκτρικών οχημάτων στις Ηνωμένες Πολιτείες αυξήθηκε σημαντικά. [7]

1.3 Σύγχρονα EVS και Κατηγορίες

Με τις αρχές του 21ου αιώνα, ως αποτέλεσμα της άμεσης αντιμετώπισης των συνεπειών της χρήσης οχημάτων με κινητήρες εσωτερικής καύσης, η αλλαγή στην ηλεκτροκίνηση και μιας πιο φιλικής προς το περιβάλλον στάσης κατέληξε άκρως σημαντική και η πραγματική αναζωπύρωση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων ξεκίνησε. Διάφορες προτάσεις σχετικά με την ηλεκτροκίνηση έχουν αρχίσει να εμφανίζονται αφού οι εξελίξεις της αυτονομίας, της διαδικασίας φόρτισης και της απόδοσης έγιναν πλέον αξιοσημείωτες.



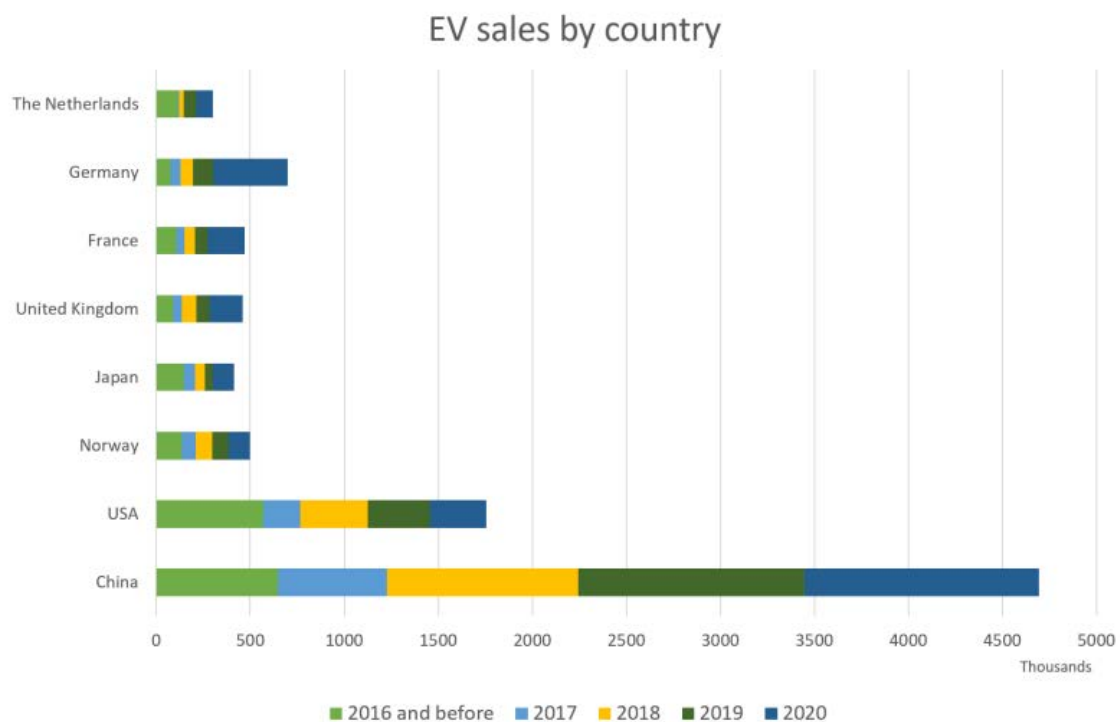
Εικόνα 2. Κατηγορίες οχημάτων

Τα EVs ξεχωρίζουν από τα οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης λόγω της χρήσης εξ' ολοκλήρου ή εν μέρει ηλεκτρικού κινητήρα. Μέχρι τώρα, τα EVs μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις βασικούς τύπους: Battery EV (BEV), Hybrid EV (HEV), Plug-in Hybrid EV (PHEV), Fuel Cell EV (FCEV).

- BEV: Προκειμένου να τροφοδοτηθούν τα BEV, η ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται σε μπαταρίες και μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια από ηλεκτρικούς κινητήρες και έτσι επιτυγχάνονται οι μηδενικοί ρύποι. Επίσης, λόγω της μεγάλης απόδοσης των ηλεκτροκινητήρων και μηχανισμών εξοικονόμησης ενέργειας, όπως τα idling-stop και regenerative-braking, τα BEV εξοικονομούν πολύ περισσότερη ενέργεια από τα συμβατικά οχήματα.
- HEV: Το συγκεκριμένο όχημα χρησιμοποιεί σε συνδυασμό τόσο Μ.Ε.Κ όσο και ηλεκτροκινητήρα. Ενώ βρίσκεται σε κίνηση, χρησιμοποιεί κυρίως τον κινητήρα εσωτερικής καύσης ή παράλληλα λειτουργεί ο ηλεκτροκινητήρας, με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, την αύξηση της εξοικονόμησης ενέργειας και την αύξηση της ανάκτησης ενέργειας σε ορισμένες περιπτώσεις. Ως αποτέλεσμα είναι τόσο η μεγαλύτερη οικονομία όσο και η αποδοτικότητα του καυσίμου.
- PHEV: Μπορεί να θεωρηθεί υποκατηγορία του HEV. Το είδος αυτό έχει την ικανότητα να επαναφορτιστεί συνδέοντας ένα βύσμα στο ηλεκτρικό δίκτυο, σε σύγκριση με την

προηγούμενη γενιά HEV, των οποίων οι μπαταρίες επαναφορτίζονταν επί του οχήματος από τη καύση βενζίνης. Επιπλέον, σε σύγκριση με την πρώτη γενιά HEV, η χωρητικότητα των μπαταριών του PHEV είναι σημαντικά μεγαλύτερη. Ως εκ τούτου, τα PHEV μπορούν να προσφέρουν μεγαλύτερη εμβέλεια οδήγησης σε πλήρως ηλεκτρική λειτουργία. Επίσης, με την ανάπτυξη των ευφών δικτύων και των τεχνολογιών vehicle-to-grid / grid-to-vehicle, έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον τόσο των κατασκευαστών όσο και των πελατών.

- FCEV: Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν τα EVs που χρησιμοποιούν κυψέλες καυσίμου ως κύρια πηγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ηλεκτροχημικής αντίδρασης μεταξύ οξυγόνου και υδρογόνου με αποτέλεσμα τόσο την εκπομπή μηδενικών ρύπων όσο και καλύτερη απόδοση συγκριτικά με τα συμβατικά οχήματα με Μ.Ε.Κ. Τα εμπόδια της υιοθέτησής τους από το κοινό είναι η δυσκολία στην απόκτηση τους και του ανεφοδιασμού υγρού υδρογόνου και οξυγόνου καθώς και το αρκετά υψηλό κόστος των κυψελών καυσίμου.



Εικόνα 3. Εξέλιξη του αριθμού των πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων παγκοσμίως

1.4 Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί EVs

Σε σύγκριση με αυτοκίνητα που λειτουργούν με βενζίνη, τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν μια σειρά από σαφή πλεονεκτήματα, αλλά έχουν επίσης μια σειρά από σημαντικά μειονεκτήματα:

- 1) Δεν δημιουργούν κανένα είδος ρύπανσης καυσαερίων με κανέναν τρόπο.
- 2) Εάν καταναλώνουν ενέργεια που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συνεισφέρουν στη μικρότερη δυνατή ποσότητα ρύπανσης κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Υπό αυτές τις

συνθήκες, θα είναι σε θέση να επιβραδύνουν τη θέρμανση του πλανήτη και να μειώσουν τις ανάγκες του σε πετρέλαιο.

- 3) Παράγουν λιγότερο θόρυβο από τα οχήματα με κινητήρες εσωτερικής καύσης.
- 4) Διατηρούν ουσιαστικά σταθερή ροπή από τη στιγμή που θα ξεκινήσουν μέχρι να φτάσουν στη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα λειτουργίας.
- 5) Έχουν φθηνότερα έξοδα με την πάροδο του χρόνου λόγω του ότι δεν επηρεάζονται από την περιστασιακή άνοδο της τιμής της βενζίνης αλλά και εξαιτίας του χαμηλότερου κόστους επισκευής και συντήρησης. Τα ηλεκτρικά οχήματα απαιτούν αρκετά λιγότερη συντήρηση σε σχέση με τα συμβατικά διότι:
 - Δεν χρειάζονται αλλαγές λαδιών.
 - Δεν παράγουν ρύπους, δεν έχουν σύστημα εξάτμισης, σιγαστήρα προεξαγωγής, καταλύτη και δεν διαθέτουν φίλτρο καπνού.
 - Καθώς τα ηλεκτρικά οχήματα δεν διαθέτουν μηχανικά μέρη όπως έμβολα, σύστημα ανάφλεξης, βαλβίδες ή εκκεντροφόρους, δεν χρειάζονται αντικατάσταση ή ακόμη και συντήρηση σε τέτοια εξαρτήματα. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τους κινητήρες εσωτερικής καύσης, οι οποίοι έχουν αρκετά κινούμενα μέρη.
 - Έχει σχεδιαστεί μηχανισμός έτσι ώστε να αυτοφορτίζεται κατά τη διάρκεια επιβραδύνσεων του οχήματος (regenerative braking), βελτιώνοντας επομένως τη κατανάλωση.

Ακολουθεί μια λίστα με τα μειονεκτήματά τους:

- 1) Υπερβολικά έξοδα παραγωγής, που οδηγούν σε εξίσου υπερβολική τιμή λιανικής.
- 2) Υπάρχει περιορισμός απόστασης σχετικά με το πόσο μακριά μπορούν να φτάσουν μεταξύ των επαναφορτίσεων της μπαταρίας. Στο παρελθόν, έπρεπε να φορτίζουν τις μπαταρίες τους κάθε 100 χιλιόμετρα. Τα πιο πρόσφατα μοντέλα, από την άλλη πλευρά, είναι ικανά να επιτύχουν αυτονομίες από 100 έως 120 χιλιόμετρα για οχήματα πόλης, έως και 250-300 χιλιόμετρα ή περισσότερα για αυτοκίνητα υψηλής ισχύος (Tesla Model S: 430 km). Το supercar ηλεκτρικό Tesla Roadster κατέχει αυτή τη στιγμή το ρεκόρ για τη μεγαλύτερη απόσταση που διανύθηκε με μία μόνο φόρτιση, που κατάφερε να διανύσει 504 χιλιόμετρα (313 μίλια), με μέση ταχύτητα 56 km/h (35 mph) και είχε 5 χιλιόμετρα (τρία μίλια) εμβέλειας που απέμεναν όταν διέσχιζε τη γραμμή τερματισμού. Στον παγκόσμιο οικολογικό διαγωνισμό γνωστό ως Global Green Challenge, που πραγματοποιήθηκε στις 27 Οκτωβρίου 2009 στην Αυστραλία, καταρρίφθηκε το ρεκόρ.
- 3) Μια μεγάλη περίοδος που απαιτείται για την πλήρη επαναφόρτιση, συχνά περίπου έξι ώρες. Από την άλλη πλευρά, ορισμένα σύγχρονα μοντέλα μπορούν σε λιγότερο από μία ώρα να επιτύχουν φόρτιση 80%.

4) Μικρή διάρκεια ζωής της μπαταρίας, συχνά μεταξύ τριών και πέντε ετών. Από την άλλη πλευρά, η General Motors παρέχει μια εγγύηση για τις μπαταρίες για το Chevy Volt που είναι καλή για οκτώ χρόνια ή 100.000 μίλια (160.000 χιλιόμετρα).

Κατά τη διάρκεια της ιστορίας του αυτοκινήτου, η περιορισμένη αποδοχή των ηλεκτρικών αυτοκινήτων έχει συνδεθεί με τα μειονεκτήματα που αναφέρονται παραπάνω. Επιπλέον, υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι μεγάλες εταιρείες πετρελαίου έχουν, ανά περιόδους, υπονομεύσει τις προσπάθειες παραγωγής και υιοθέτησης των EVs, από φόβο πως η αποκοπή που προκύπτει από το πετρέλαιο θα βλάψει τα συμφέροντά τους. Αυτός ο φόβος βασίζεται στο γεγονός ότι τα ηλεκτρικά οχήματα δεν απαιτούν τη χρήση ορυκτών καυσίμων.

Κεφάλαιο 2

ΔΟΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

2.1 Η Σύνθεση ενός Ηλεκτρικού Οχήματος

Το πλαίσιο ενός οχήματος που τροφοδοτείται από ηλεκτροκινητήρα είναι εντελώς διαφορετικό από εκείνο ενός οχήματος που κινείται με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Η δομή του κινητήρα υφίσταται τεράστια ανάπτυξη, παρά το γεγονός ότι τα θεμελιώδη στοιχεία και του ηλεκτρικού αυτοκινήτου παραμένουν τα ίδια όπως ακριβώς είναι και στα παραδοσιακά αυτοκίνητα (δηλ. το αμάξωμα, τα φρένα, οι αναστήσεις κλπ.). Η ηλεκτρική κίνηση υποδεικνύεται συχνά από μια ένδειξη μερικών διαφορετικών γραμμάτων στο πίσω μέρος του οχήματος. Οι αλλαγές που είναι ορατές από το εξωτερικό είναι γενικά λίγες σε σύγκριση με εκείνες των συμβατικών αυτοκινήτων. Ωστόσο, οι πιο σημαντικές διακρίσεις μεταξύ ηλεκτρικών αυτοκινήτων και οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης μπορούν να βρεθούν κάτω από το αμάξωμα του οχήματος. Τα κύρια εξαρτήματα που αποτελούν ένα ηλεκτρικό όχημα είναι οι συσσωρευτές (μπαταρίες), ο ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος (ελεγκτής) και ο ηλεκτροκινητήρας.

Οι συσσωρευτές αποτελούν κύριο μέρος των ηλεκτρικών οχημάτων επειδή χρησιμεύουν ως μέσο αποθήκευσης της ενέργειας που τελικά χρησιμοποιείται για την κίνηση του οχήματος. Είναι ένα από τα πιο θεμελιώδη στοιχεία του ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Ο ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος διαχειρίζεται και τροποποιεί την τάση της ενέργειας που λαμβάνεται από τις μπαταρίες, ώστε να μπορεί στη συνέχεια να τροφοδοτηθεί ο κινητήρας. Αυτό εξασφαλίζει ότι ο κινητήρας λαμβάνει τη βέλτιστη δυνατή ποσότητα ισχύος. Επιπλέον, ο ελεγκτής αναλαμβάνει τη λειτουργία του οχήματος αφού ρυθμίζει τον ρυθμό επιτάχυνσης και την ποσότητα ροπής που παράγει ο κινητήρας. Τέλος, η λειτουργία του οχήματος ελέγχεται από τον ηλεκτροκινητήρα. Η λειτουργία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι μια αρκετά απλή διαδικασία. Για να είμαστε πιο σαφείς, όταν το κλειδί της μίζας είναι περιστραμμένο, το ρεύμα διατρέχει την μπαταρία του οχήματος. Ο ηλεκτροκινητήρας τροφοδοτείται με ηλεκτρισμό από τον ελεγκτή, ο οποίος παίρνει τον χυμό του από την μπαταρία. Πριν στείλει την ενέργεια στον ηλεκτροκινητήρα, ο ελεγκτής ελέγχει την ποσότητα ενέργειας που πρέπει να λάβει ο ηλεκτροκινητήρας διαμορφώνοντας την τάση με κατάλληλο τρόπο. Ταυτόχρονα, ο ελεγκτής παίρνει δεδομένα από το ποτενσιόμετρο που είναι συνδεδεμένο στο γκάζι του οχήματος. Μετά από αυτό, η ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια από τον ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος επιτρέπει στο αυτοκίνητο να κινείται. Συμπερασματικά, το σύστημα μετάδοσης είναι αυτό που μεταφέρει τη δύναμη του κινητήρα στους τροχούς του οχήματος.

2.2 Η Λειτουργία των Ηλεκτρικών Οχημάτων και των Εξαρτημάτων που συνδέονται με την Ηλεκτροκίνηση

Ακολουθεί μια λίστα με τα εξαρτήματα του ηλεκτρικού οχήματος που σχετίζονται με τη μέθοδο με την οποία λαμβάνει την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας:

1. Οι ηλεκτροχημικοί μετατροπείς (συσσωρευτές – μπαταρίες), οι υπερπυκνωτές (ultracapacitors, supercapacitors) και οι σφόνδυλοι υπερυψηλών ταχυτήτων (flywheels) θεωρούνται τρεις από τις σημαντικότερες πηγές ενέργειας που συχνά εφαρμόζονται σε υβριδικά και αμιγώς ηλεκτρικά αυτοκίνητα, μαζί με την τεχνολογία των κυψελών καυσίμου (fuel cells), που αποτελεί μια μορφή μετατροπών ενέργειας.
2. Ο ηλεκτρικός σύνδεσμος που είναι τοποθετημένος στο εξωτερικό του αυτοκινήτου και συνδέει τις μπαταρίες του οχήματος σε εξωτερική πηγή τροφοδοσίας ενέργειας ή σε δίκτυο διανομής ηλεκτρικού ρεύματος. Ο λαιμός πλήρωσης βενζίνης είναι ένα εξάρτημα που είναι ανάλογο με αυτό στα παραδοσιακά αυτοκίνητα. Οποιαδήποτε ηλεκτρική μονάδα εκτός του οχήματος λειτουργεί ως μεσολαβητής μεταξύ ενός εξωτερικού ηλεκτρικού ακροδέκτη και μιας συστοιχίας μπαταριών της οποίας οι στόχοι είναι: α) να μετασχηματίσουν τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρισμού που παρέχονται από την εξωτερική πηγή και β) η διαχείριση της διαδικασίας φόρτισης για να ολοκληρώνεται με τρόπο ασφαλή και για τον χρήστη αλλά και για τις μπαταρίες και με την κατάλληλη ποσότητα ρεύματος. Γενικότερα, τέτοια εξαρτήματα που αφορούν την ηλεκτροκίνηση δεν υπάρχουν στα συμβατικά αυτοκίνητα επειδή το καύσιμο παραδίδεται σε αυτά με την ίδια μορφή κατά την οποία αποθηκεύεται και χρησιμοποιείται. Οι μόνες εξαιρέσεις σε αυτόν τον κανόνα είναι τα βοηθητικά φίλτρα, τα συστήματα επιστροφής καυσίμου ή ακόμα και τα συστήματα εξαερισμού του κυκλώματος ανεφοδιασμού, που κατά καιρούς εισάγονται μεταξύ του κομματιού πλήρωσης και της δεξαμενής καυσίμου.
3. Το καλώδιο που συνδέει τον εξωτερικό ακροδέκτη το οχήματος με το δίκτυο διανομής ρεύματος ή με κάποια άλλη εξωτερική πηγή ρεύματος. Μπορεί να βρεθεί σε δύο διαφορετικές μορφές. Τόσο στη φορητή μορφή του, στην οποία μπορεί να δίνεται από τον κατασκευαστή, όσο και στη σταθερή εκδοχή του, που είναι σε μορφή μόνιμης επέκτασης του σταθμού φόρτισης. Στη φορητή έκδοσή του, διαθέτει ακροδέκτες που είναι κατάλληλοι για σύνδεση με το δίκτυο ή σε εξωτερικό τροφοδοτικό στο ένα άκρο και στον εξωτερικό ακροδέκτη του αυτοκινήτου στο άλλο άκρο. Αυτό επιτρέπει την ασφαλή σύνδεση μεταξύ των δύο. Στη μόνιμη έκδοσή του, έχει έναν ακροδέκτη που είναι μόνιμα συνδεδεμένος εσωτερικά στη συσκευή του σταθμού φόρτισης και έναν άλλο που διαθέτει έναν ακροδέκτη ηλεκτρικής σύνδεσης για τη σύνδεση με το αυτοκίνητο. Στη δεύτερη

έκδοσή του, είναι ολόιδιο με τους γνωστούς εύκαμπτους σωλήνες τροφοδοσίας καυσίμου για παραδοσιακά αυτοκίνητα που είναι μόνιμα προσαρτημένοι στις αντλίες βενζίνης στα πρατήρια καυσίμων.

4. Οι θέσεις όπου μπορεί να αντληθεί ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο ή από πηγές που βρίσκονται εκτός αυτού για να φορτιστεί. Μια βασική διάκριση είναι η ευκολία με την οποία μπορούν να εγκατασταθούν αυτοί οι σταθμοί φόρτισης σε τοποθεσίες όπου υπάρχει ήδη εγκατεστημένο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, η επαναφόρτιση των αυτοκινήτων μπορεί να γίνει με την άνεση και την ασφάλεια του σπιτιού, ακόμη και μέσα στη νύχτα. Είναι ακόμη δυνατό να γίνει αυτό σε απομακρυσμένες τοποθεσίες που στερούνται ανθρώπινης κατοίκησης με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται από μια διερχόμενη γραμμή δικτύου ή ακόμη και από τοπικά συστήματα παραγωγής ενέργειας που τροφοδοτούνται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Υπάρχουν δύο κύριες ταξινομήσεις σημείων παροχής ηλεκτρικής ενέργειας για τη φόρτιση EVs: δημόσια και ιδιωτικά. Η πρώτη κατηγορία αποτελείται από εγκαταστάσεις που πωλούν ενέργεια συμβατή με τις ηλεκτρικές προδιαγραφές του δικτύου διανομής. Ο εξοπλισμός φόρτισης και διαχείρισης που συζητήθηκε νωρίτερα στο ηλεκτρικό αυτοκίνητο χρησιμοποιείται για τη φόρτιση των μπαταριών όταν το όχημα είναι συνδεδεμένο σε μία από αυτές τις θέσεις φόρτισης. Ο ρυθμός φόρτισης και κατά συνέπεια ο χρόνος που χρειάζεται εξαρτάται, όχι μόνο από την παρουσία σταθμού φόρτισης αλλά και από τις συγκεκριμένες τεχνικές ιδιότητες της συσκευής που φορτίζεται. Αυτή η κατηγορία χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον για χρεώσεις που είναι πιο ήπιες, όπως αυτές που χρησιμοποιούνται για φόρτιση στο σπίτι ή ακόμα και για φόρτιση από κοινόχρηστα σημεία με ρυθμό που είναι κάπως γρηγορότερος. Οι σταθμοί φόρτισης που παρέχουν ισχύ με ηλεκτρικές ιδιότητες που είναι επαρκείς για την άμεση τροφοδοσία της συστοιχίας μπαταριών του αυτοκινήτου, αποφεύγοντας έτσι την ανάγκη του ενσωματωμένου φορτιστή, εμπίπτουν στον δεύτερο τύπο θέσεων φόρτισης. Επειδή η παροχή μπορεί να δημιουργηθεί με υψηλή ισχύ και με αναλογικά τεράστια ποσότητα ενέργειας, αυτό καθιστά δυνατή τη φόρτιση των συσσωρευτών εξαιρετικά γρήγορα, γεγονός που ανοίγει τη δυνατότητα να γίνει κάτι τέτοιο. Η παρουσία ηλεκτρονικής συσκευής διαχείρισης ρυθμού φόρτισης στο όχημα, η οποία μπορεί να αποτρέψει τον κίνδυνο πρόκλησης ζημιάς στις μπαταρίες από υπερθέρμανση ή από άλλες δυσλειτουργίες που μπορεί να προκύψουν, είναι απαραίτητη προϋπόθεση για να συμβεί αυτό. Επιπλέον, αυτή η συσκευή πρέπει να συνεργάζεται με την πηγή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας ανταλλάσσοντας πληροφορίες σχετικά με τη διαχείριση της διαδικασίας φόρτισης χρησιμοποιώντας έναν τυποποιημένο κωδικό επικοινωνίας. Σε αυτό το σενάριο, το ηλεκτρικό όχημα θα πρέπει να είναι εξοπλισμένο με

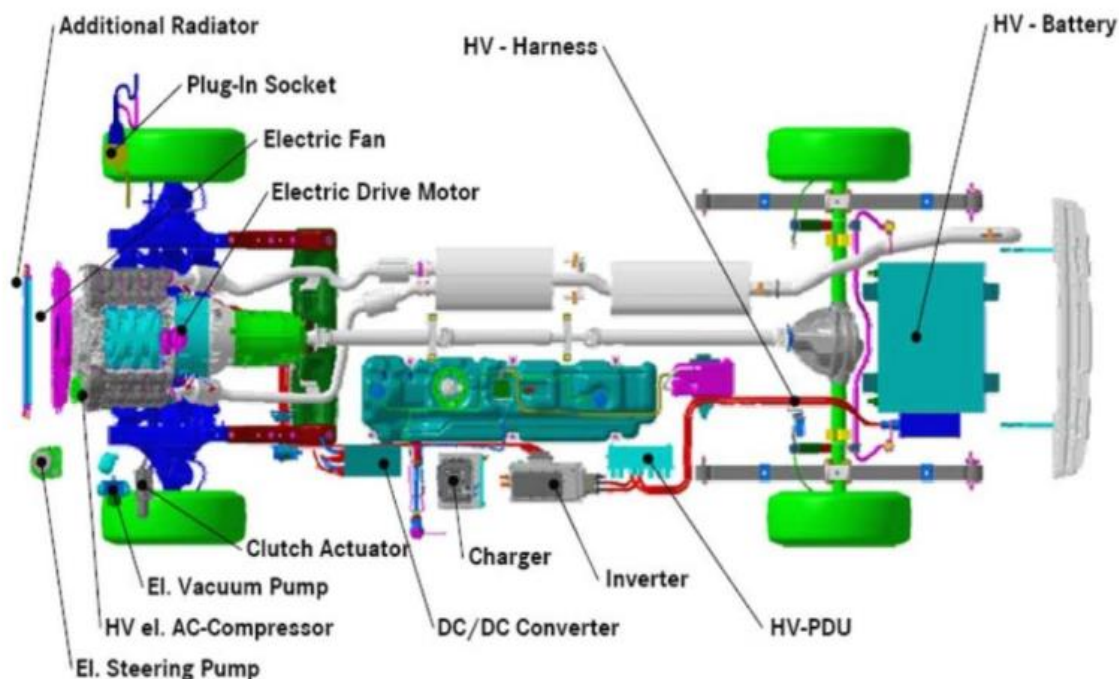
ένα εξειδικευμένο εξωτερικό τερματικό ταχείας φόρτισης που είναι επίσης εξοπλισμένο με τη συσκευή διαχείρισης που συζητήθηκε προηγουμένως.

5. Ο ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος είναι το στοιχείο του συστήματος που λαμβάνει τη σταθερή τάση που παράγεται από τις μπαταρίες και τη μετασχηματίζει σε μια μορφή που είναι κατάλληλη για την τροφοδοσία του κινητήρα. Επίσης, είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο της ροπής, καθώς και της ταχύτητας του κινητήρα, η οποία είναι μια εξαιρετικά σημαντική διαδικασία. Σε ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο, το είδος του ηλεκτροκινητήρα που είναι εγκατεστημένο είναι ο μοναδικός παράγοντας που καθορίζει ποιος τύπος μετατροπέα πρέπει να εγκατασταθεί. Έτσι, έχουμε μετατροπείς DC/DC, οι οποίοι είναι τύπου chopper, αλλά και μετατροπείς DC/AC, που είναι τύπου inverter, ανάλογα με τους τύπους των κινητήρων που χρησιμοποιούνται. Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος που χρειάζονται είτε τετράγωνους παλμούς είτε ημιτονοειδή τάση (ασύγχρονοι κινητήρες και σύγχρονοι κινητήρες, αντίστοιχα) μπορούν να οδηγηθούν από συσκευές μετατροπέα (μοτέρ χωρίς ψήκτρες, κινητήρα μεταγωγής).
6. Ο ηλεκτρικός κινητήρας ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι αναμφισβήτητο το σημαντικότερο εξάρτημα του οχήματος. Οι κινητήρες DC και AC είναι οι τύποι κινητήρων που συναντώνται σε αυτού του είδους τις εφαρμογές.

Οι τύποι κινητήρων που χρησιμοποιούνται με συνεχές ρεύμα είναι οι ακόλουθοι: Κινητήρας DC με διέγερση σε σειρά, Κινητήρας DC με παράλληλη διέγερση, Κινητήρας DC με εξωτερική διέγερση και Κινητήρας DC με μόνιμο μαγνήτη.

Από τους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, έχουμε κινητήρες με ημιτονοειδή τάση τροφοδοσίας όπως: Ασύγχρονος τριφασικός βραχυκυκλωμένος κινητήρας κλωβού, Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας ρότορα δακτυλίου και Τριφασικός σύγχρονος με ή χωρίς μόνιμο μαγνήτη. Από την άλλη πλευρά, έχουμε κινητήρες που τροφοδοτούνται με τετράγωνους παλμούς όπως: Κινητήρας συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες και Αντίδραση κινητήρα με μεταγωγή.

Από όλους τους παραπάνω τύπους κινητήρων οι περισσότεροι χρησιμοποιούμενοι είναι ο σύγχρονος κινητήρας με μόνιμο μαγνήτη, ο κινητήρας DC με διέγερση σειράς, ο τριφασικός ασύγχρονος με βραχυκυκλωμένο κλωβό, ο κινητήρας τύπου Brushless και τέλος ο κινητήρας DC με μόνιμο μαγνήτη.

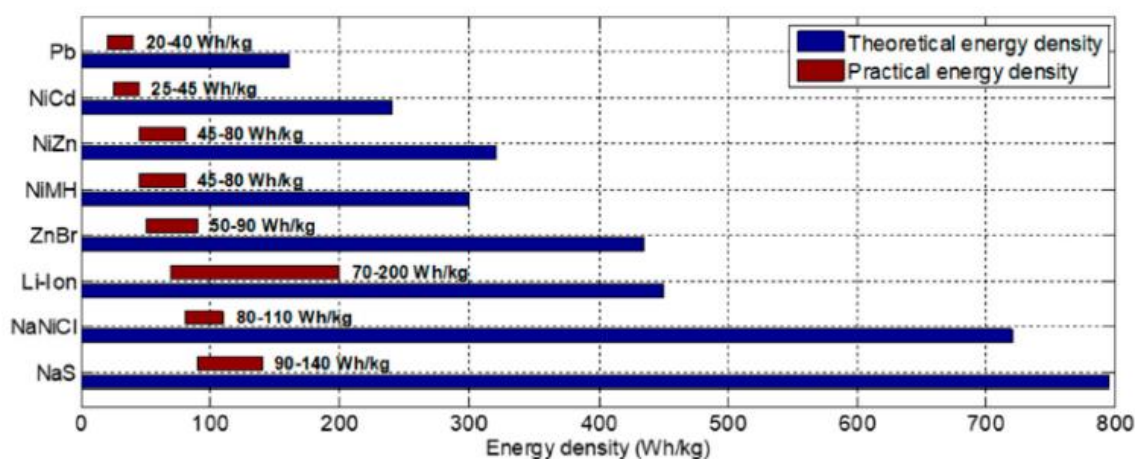


Εικόνα 4. Λειτουργία EV

2.3 Μπαταρίες

Η εφαρμογή επιτυχημένων συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη επιτυχημένης ηλεκτρικής κινητικότητας. Έχει παρατηρηθεί αρκετή επιστημονική πρόοδος στις μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-ion), αλλά η πρόοδος που έχει σημειωθεί δεν ήταν τόσο απότομη όσο αναμενόταν. Όταν πρόκειται για τον καθορισμό των δυνατοτήτων των ηλεκτρικών οχημάτων, βασικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι η ισχύς και η παραγωγή ενέργειας των μπαταριών ιόντων λιθίου, καθώς και το σχετικό κόστος αλλά και η διάρκεια ζωής τους. Η λειτουργία τέτοιου είδους συστημάτων σε χαμηλές και σε υψηλές θερμοκρασίες, η οποία προάγει και την απόδοση αλλά και τη γήρανση, αποτελεί πρόβλημα για τον έλεγχο της θερμοκρασίας αυτών των μπαταριών [14][43]. Ωστόσο, η ανάπτυξη τεχνολογιών που είναι πιο εξελιγμένες χημικά, όπως οι μπαταρίες λιθίου-θείου και μετάλλου-αέρα, έχει επισκιάσει τη χρήση των μπαταριών ιόντων λιθίου σε κάποιο βαθμό. Βέβαια, για να μετουσιωθούν αυτές οι χημικές ουσίες και να χρησιμοποιηθούν σε μπαταρίες πραγματικού μεγέθους (ESS), η διαδικασία χρειάζεται σημαντικό χρονικό διάστημα—πιθανώς περισσότερα από 10 χρόνια [20][8]. Οι μετρήσεις που έγιναν, τόσο θεωρητικά όσο και πρακτικά, προκειμένου να προσδιοριστεί η ενεργειακή πυκνότητα των διαφόρων τύπων μπαταριών απεικονίζονται στο γράφημα που φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 5). Σε σύγκριση με τους άλλους τύπους, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου διαθέτουν την μέγιστη δυνατή ενεργειακή πυκνότητα μόλις τεθούν σε λειτουργία. Η θεωρητική ενεργειακή πυκνότητα είναι ένας όρος που αναφέρεται σε αναλυτικούς υπολογισμούς που

βασίζονται στις ιδιότητες των υλικών και υπολογίζεται με βάση το μέγιστο δυναμικό της σχετικής χημείας. Από την άλλη πλευρά, η πρακτική πυκνότητα ενέργειας είναι ένας όρος που αναφέρεται στις πραγματικές μετρήσεις ενέργειας που παρέχονται από ολοκληρωμένα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Αν και οι μπαταρίες παραμένουν σαν πρωταρχικό θέμα συζήτησης, οι υπερπυκνωτές είναι ικανοί να ταιριάζουν σχεδόν με αυτές όσον αφορά τη χρησιμότητα και την απλότητα με την οποία μπορούν να εφαρμοστούν [6]. Ωστόσο, επειδή οι υπερπυκνωτές έχουν χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα, είναι οι καταλληλότεροι για χρήση σε εφαρμογές υψηλής ισχύος που απαιτούν απλώς μια προσωρινή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο συνδυασμός υπερπυκνωτών και μπαταριών, όπως φαίνεται στα FCHEV [10], είναι μια αρκετά ρεαλιστική προσέγγιση. Όμως, είναι αισθητά δύσκολο να επιτευχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα επειδή τα συστήματα αυτά έχουν αυξημένη πολυπλοκότητα (σε επίπεδο ελέγχου κλπ.) [24]. Αν και αυτή είναι μια εξαιρετική στρατηγική, είναι αρκετά δύσκολο να επιτευχθούν τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα.



Εικόνα 5. Σύγκριση των θεωρητικών και πρακτικών πυκνοτήτων ενέργειας [19]

2.3.1 Διάφορες Χημικές Συνθέσεις των Μπαταριών Ιόντων Λιθίου

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το λίθιο είναι από τα πιο υποσχόμενα μέταλλα σε σύγκριση με τα άλλα όσον αφορά τη χημεία που εμπλέκεται στην παραγωγή μπαταριών. Είναι επίσης πολύ ελαφρύ και έχει υψηλή αγωγιμότητα, εκτός του ότι είναι γενικά διαθέσιμο και δεν είναι επιβλαβές. Λόγω αυτού του σημαντικού πλεονεκτήματος σε σχέση με άλλα χημικά συστατικά, οι μπαταρίες που βασίζονται στο λίθιο είναι σε θέση να αποθηκεύουν σημαντικές ποσότητες ενέργειας. Ωστόσο, λόγω του γεγονότος ότι το λίθιο είναι ένα εξαιρετικά αντιδραστικό στοιχείο, είναι δύσκολο να κατασκευαστούν κύτταρα με βάση το λίθιο που να είναι ακίνδυνα. Για να σκληρυνθεί, δεν πρέπει να χρησιμοποιείται μέταλλο λιθίου. Αντίθετα, πρέπει να χρησιμοποιούνται χημικές ουσίες που μπορούν να εκπέμπουν ιόντα (Li^+). Σε μια χημική αντίδραση που μπορεί να γίνει με κάθε τρόπο, αυτά τα ιόντα μετακινούνται εμπρός και πίσω μεταξύ δύο ηλεκτροδίων.

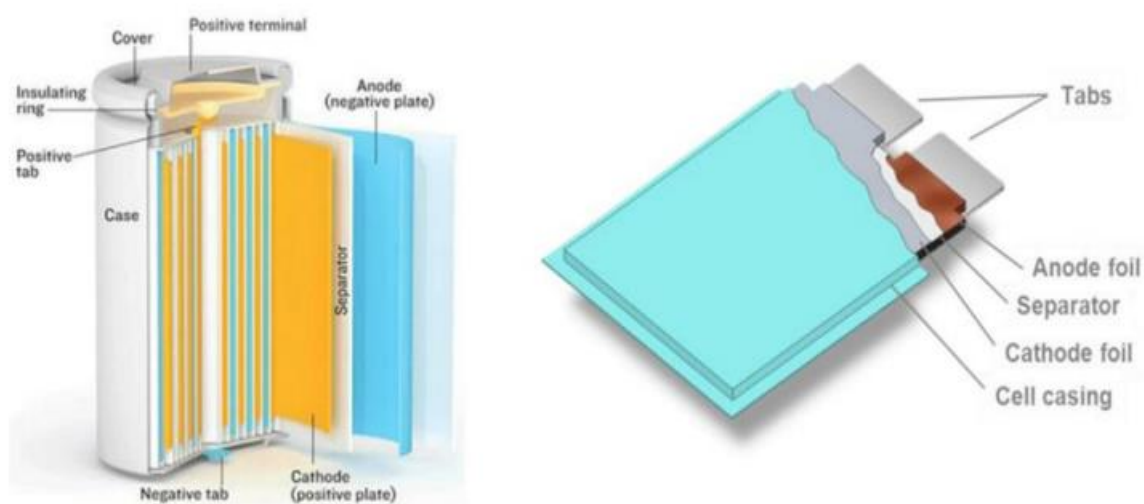
Η άνοδος, η κάθοδος, ο διαχωριστής και ο ηλεκτρολύτης είναι τα τέσσερα κύρια στοιχεία που συνθέτουν μια μπαταρία ιόντων λιθίου. Ενώ μια μπαταρία φορτίζεται, τα ιόντα λιθίου ταξιδεύουν από την κάθοδο στην άνοδο μέσω του ηλεκτρολύτη. Όταν μια μπαταρία αποφορτίζεται, τα ιόντα λιθίου ταξιδεύουν προς την άλλη κατεύθυνση. Λόγω του ρόλου που διαδραματίζει το ιόν στην προαναφερθείσα διαδικασία, οι μπαταρίες που είναι διαθέσιμες στην αγορά σήμερα έχουν πάρει το όνομα των μπαταριών "ιόντων λιθίου". Ορισμένες από τις ενώσεις (μέταλλα οξειδίου του λιθίου) που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ιόντων λιθίου είναι οι εξής: οξειδίο κοβαλτίου λιθίου (LCO), οξειδίο μαγγανίου λιθίου (LMO), φωσφορικός σίδηρος λιθίου (LFP), οξειδίο αλουμινίου κοβαλτίου νικελίου λιθίου (NCA) και οξειδίο κοβαλτίου μαγγανίου νικελίου λιθίου (NMC). Οι πολυάριθμες μεταθέσεις των προαναφερθέντων παραγόντων έχουν ως αποτέλεσμα σημαντικές διακυμάνσεις στις ιδιότητες μιας μπαταρίας. Λόγω της φτωχότερης αγωγιμότητάς τους και του μεγαλύτερου συντελεστή διάχυσης, οι ενώσεις που αναφέρονται παραπάνω έχουν σημαντικά υψηλότερη αντίσταση συγκριτικά με το μέταλλο λιθίου. Αυτός ο περιορισμός μπορεί να παρακαμφθεί συνδυάζοντας τη μορφή «σκόνης» μιας ένωσης λιθίου με έναν αγωγίμο υλικό άνθρακα. Για να είμαστε πιο ακριβείς, ένα συνδετικό και ένας διαλύτης χρησιμοποιούνται για το σχηματισμό της καθόδου, η οποία στη συνέχεια συνδέεται σε ένα πολύ λεπτό φύλλο αλουμινόχαρτου. Αν και ο γραφίτης χρησιμοποιείται ως υλικό ανόδου, αρκετοί κατασκευαστές μπαταριών χρησιμοποιούν τιτανικό λίθιο (LTO) ως άνοδο χωρίς γραφίτη [22]. Η διαδικασία κατασκευής της ανόδου μοιάζει αρκετά με τη διαδικασία κατασκευής της καθόδου, με την εξαίρεση ότι το κράμα που χρησιμοποιείται για την κατασκευή της ανόδου συνδέεται σε ένα φύλλο χαλκού κατά τη δημιουργία της ανόδου. Η κάθοδος, η οποία είναι κατασκευασμένη από φύλλο αλουμινίου, και η άνοδος, η οποία είναι κατασκευασμένη από φύλλο χαλκού, σταματούν και τα δύο στα άκρα του στοιχείου της μπαταρίας.

Ο ηλεκτρολύτης θεωρείται ένα παρασκεύασμα που αποτελείται από αρκετούς οργανικούς διαλύτες και άλας λιθίου. Το εξαφθοροφωσφορικό λίθιο (LiPF_6), το υπερχλωρικό λίθιο (LiClO_4) και το εξαφθοροβενζυλικό λίθιο (LiHFB) είναι όλα παραδείγματα κοινών αλάτων λιθίου (LiAsF_6). Λόγω του ουσιαστικού του ρόλου στην ενίσχυση της κινητικότητας των ιόντων λιθίου, ο οργανικός διαλύτης είναι βασικό συστατικό στη συνολική απόδοση της μπαταρίας. Ειδικά σε περιπτώσεις που παράγεται ένα στοιχείο, αλλά δεν είναι τόσο μακροχρόνιο όσο θα μπορούσε να είναι, παράδειγμα στις μπαταρίες πολυμερούς-ιόντων λιθίου, όπου εισάγεται γέλη στον ηλεκτρολύτη που ήταν προηγουμένως εκεί για να αποφευχθεί διαρροή.

Αιθυλμεθυλάνθρακας, διμεθυλάνθρακας, διαιθυλάνθρακας, προπυλένιο-άνθρακας και αιθυλένιο-άνθρακας είναι μερικοί από τους πιο κοινούς οργανικούς διαλύτες.

Μεταξύ της ανόδου και της καθόδου υπάρχει ένα χαρακτηριστικό ασφαλείας γνωστό ως διαχωριστής, το οποίο εμποδίζει τα δύο να έρθουν σε άμεση επαφή μεταξύ τους. Σε περίπτωση

που η μπαταρία υποστεί βραχυκύκλωμα, για παράδειγμα, τα ιόντα μπορούν εύκολα να διαρρήξουν τον διαχωριστή σε μεγάλους αριθμούς. Το πολυαιθυλένιο και το πολυπροπυλένιο είναι οι δύο τύποι διαχωριστικού υλικού που χρησιμοποιούνται πιο συχνά. Σε περίπτωση που η κυψέλη υπερθερμανθεί, γεγονός που αποτελεί ένδειξη θερμικής διαφυγής, αυτά τα υλικά θα λιώσουν, γεγονός που θα σφραγίσει τα μικροπορώδη χαρακτηριστικά του διαχωριστή και θα σταματήσει τη διέλευση των ιόντων. Αυτό θα διακόψει τη θερμική διαφυγή. Το κύτταρο υφίσταται ανεπανόρθωτη βλάβη ως αποτέλεσμα αυτής της δράσης, αλλά δεν οδηγεί σε ουσιαστικές δυσμενείς επιπτώσεις. Επιπλέον, οι κυψέλες ιόντων λιθίου διαθέτουν πρόσθετα μέτρα ασφαλείας και στοιχεία, όπως αεραγωγούς που μειώνουν την πίεση, εξαρτήματα που ενισχύουν τη μηχανική λειτουργία του στοιχείου και μονωτές στα άκρα των ηλεκτροδίων όπου συμβαίνει η πλειονότητα των βραχυκυκλωμάτων [17]. Ο σχηματισμός κυλίνδρου και ο σχηματισμός στοιβάς είναι οι δύο ξεχωριστές ποικιλίες κυψελών που μπορούν να βρεθούν σε αυτές τις μπαταρίες, όπως παρατηρείται στην Εικόνα 6.



Εικόνα 6. Η διαμόρφωση μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου [23]

Στη διάταξη που είναι γνωστή ως στοιβά, η άνοδος, η κάθοδος και ο διαχωριστής περιέχονται όλα μέσα σε μια πολυστρωματική μεμβράνη (κελί-περίβλημα). Σε κυλινδρική διάταξη, τα στρώματα τυλίγονται και στη συνέχεια σφραγίζονται στο εσωτερικό ενός μεταλλικού δοχείου. Οι παραπάνω δύο διατάξεις χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία μιας ποικιλίας μεγεθών κελιών. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν κάποιες διαστάσεις που είναι πιο χαρακτηριστικές από άλλες. Όταν πρόκειται για κυλινδρικά σχέδια, η κυψέλη τύπου 18650, η οποία έχει ύψος 65 χιλιοστά και διάμετρο 18 χιλιοστά, είναι η πιο κοινή [23].

Οι κυψέλες ιόντων λιθίου αποτελούν ένα σύστημα διαχείρισης μπαταρίας (BMS ή Battery Management System) για τη διαχείριση και τη παρακολούθηση βασικών λειτουργιών και

επιδόσεων, όπως ρεύμα, τάση, κατάσταση φόρτισης (SOC), κατάσταση υγείας (SOH) και θερμοκρασία. Ένα BMS αποτελείται αποκλειστικά από διάφορα σεντ τρανζίστορ λόγω της κατασκευής του [5][38].



Εικόνα 7. Γραμμή παραγωγής μπαταριών [17]

2.3.2 Χαρακτηριστικά Μπαταριών που χρησιμοποιούν Ιόντα Λιθίου

Η «ιδιαιτέρη» ενέργεια, η ανθεκτικότητα, η ισχύς και η ασφάλεια μιας μπαταρίας είναι τα χαρακτηριστικά που θεωρούνται υψίστης σημασίας. Η ενέργεια που εκφράζεται ως ποσοστό του συνολικού βάρους αναφέρεται ως «ειδική» ενέργεια. Η «ειδική» ενέργεια μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου καθορίζεται από το υλικό καθόδου που χρησιμοποιείται στην μπαταρία, τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της ανόδου και των νανο-μικροαρχιτεκτονικών και των δύο αυτών στοιχείων. Τόσο το συνολικό βάρος του κυττάρου όσο και η διαμόρφωσή του επηρεάζονται οριακά από τα ενεργά συστατικά που αποτελούν το κύτταρο. Η «συγκεκριμένη» ποσότητα ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί στις σύγχρονες μπαταρίες ιόντων λιθίου κυμαίνεται από 90 έως 250 Wh/kg (βατώρα ανά κιλό). Η ενεργειακή απόδοση των μπαταριών NCA είναι σημαντικά υψηλότερη από αυτή των μπαταριών LFP. Ένα από τα πρωταρχικά κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή αυτών των μπαταριών ήταν η «συγκεκριμένη» ενέργεια. Παρόλα αυτά, η μέγιστη ισχύς που μπορεί να παρέχει μια μπαταρία αυτού του τύπου καθορίζεται από τη πυκνότητα των ιόντων λιθίου, την τάση της, την κατάσταση του στερεού ενδιάμεσου ηλεκτρολύτη (γνωστό και ως SEI ή Solid Electrolyte Interphase), την αντίσταση του συντελεστή των ηλεκτροδίων και την αγωγιμότητά τους. Οι ανάγκες ισχύος καθορίζονται από την εφαρμογή και αυτά τα κριτήρια είναι ο αποφασιστικός παράγοντας για την καταλληλότητα μιας μπαταρίας.

Ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνετε υπόψιν στην επιλογή μπαταρίας είναι η μακροζωία της. Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας επηρεάζεται από το περιβάλλον στο οποίο χρησιμοποιείται αλλά και από τον τρόπο χρήσης της κάθε φορά. Η υπερφόρτιση για παράδειγμα

μειώνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, ειδικά όταν το περιβάλλον στο οποίο χρησιμοποιείται είναι εχθρικό, όπως όταν η θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή ή πολύ υψηλή. Ως αποτέλεσμα, υπάρχουν δύο διακριτές μορφές γήρανσης που μπορεί να εμφανιστούν στις μπαταρίες: η χρονολογική γήρανση και η γήρανση που προκαλείται από τη χρήση. Όσον αφορά τη διαδικασία της χρονολογικής γήρανσης, αυτή λαμβάνει χώρα ακόμη και στη περίπτωση που η μπαταρία δεν χρησιμοποιείται και οφείλεται ιδιαίτερα στις συνθήκες του περιβάλλοντος. Όταν πρόκειται για το φαινόμενο που είναι γνωστό ως «γήρανση μέσω της χρήσης», αυτό το φαινόμενο προκαλείται από την ταυτόχρονη δράση σκληρών συνθηκών φόρτισης και αποφόρτισης και χρονολογικής γήρανσης. Από πρακτική άποψη, η απώλεια λιθίου και ενεργών συστατικών των ηλεκτροδίων είναι η αιτία της γήρανσης, και ως αποτέλεσμα, μπορεί να ανιχνευθεί μείωση της απώλειας ισχύος και της χωρητικότητας. Η διάλυση, η δομική αποσύνθεση και η απομόνωση σωματιδίων είναι μερικές από τις αιτίες που συμβάλλουν στην απώλεια των δύο στοιχείων που συζητήθηκαν παραπάνω [4]. Όταν εξετάζουμε ένα προϊόν ή μια υπηρεσία από την οπτική γωνία του τελικού χρήστη, η πιο ουσιαστική εκτίμηση για τον καταναλωτή είναι η μέγιστη ποσότητα ενέργειας που μπορεί να παρασχεθεί από το προϊόν ή την υπηρεσία πριν πέσει η απόδοσή του στο 80% του αρχικού του επιπέδου. Προφανώς, αυτό εξαρτάται από τις ανάγκες της εφαρμογής. Η ανάπτυξη νέων, πιο εξελιγμένων μπαταριών που έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής καθίσταται δυνατή χάρη στην ολοκληρωμένη κατανόηση των παραγόντων που προκαλούν την υποβάθμιση των μπαταριών με το πλήρωμα του χρόνου.

Εξαιτίας της παρουσίας λιθίου, οξυγόνου και ενός εύφλεκτου ηλεκτρολύτη, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου παρέχουν ένα σημαντικό τεχνολογικό πρόβλημα όσον αφορά τη διασφάλιση της ασφάλειας των χρηστών. Ως εκ τούτου, έχουν ήδη βρει χρήση σε εφαρμογές υψηλού πονταρίσματος όπως η μεταφορά, τόσο στο έδαφος όσο και στον αέρα. Οι έρευνες για την ασφάλεια των μπαταριών διεξάγονται τώρα με μεγάλη λεπτομέρεια και το καθήκον δεν είναι μόνο να βρεθούν τρόποι για να γίνουν ασφαλέστερες σε ποικίλες εφαρμογές, αλλά και να βρεθούν τρόποι για να τις ενισχύσουν σε τομείς όπως η ισχύς και η ενέργεια χωρίς να θυσιάζουν την ασφάλειά τους. Εάν μια κυψέλη υπερθερμανθεί σε σημείο όπου το μεταλλικό της οξείδιο διασπάται ως αποτέλεσμα παρατεταμένης υπερφόρτισης ή βραχυκυκλώματος, τότε η μπαταρία μπορεί να πιάσει φωτιά ως αποτέλεσμα της αντίδρασης του οξυγόνου που απελευθερώνεται με το λίθιο [11][37]. Αυτό μπορεί να συμβεί εάν η κυψέλη υπερθερμανθεί λόγω παρατεταμένης υπερφόρτισης ή βραχυκυκλώματος. Η λειτουργία της μπαταρίας περιλαμβάνει τρία διαφορετικά επίπεδα, καθένα από τα οποία έχει το δικό του σύνολο βαλβίδων ασφαλείας. Το πρώτο αφορά τον πιθανό κίνδυνο που ενέχουν οι χημικές του ενώσεις, το δεύτερο αφορά τη διάταξη των επιμέρους κυτταρικών συστατικών και το τρίτο αφορά την αποτελεσματική διαχείριση του συστήματος μέσω του BMS. Όσον αφορά τη διάταξη της κυψέλης, είναι δυνατό να αποτραπούν βραχυκυκλώματα ανόδου-

κάθοδου με προσεκτική επιλογή των δομικών μερών της κυψέλης και των λειτουργιών που είναι ενσωματωμένες σε αυτήν. Αυτό ισχύει ανεξάρτητα από το αν το κελί είναι παλιό ή είναι αποτέλεσμα ατυχήματος. Τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό, ένα BMS μπορεί να είναι ένα εξαιρετικό εργαλείο για την πρόληψη υπερφορτώσεων και βραχυκυκλωμάτων μέσω της ρύθμισης της τάσης και του ρεύματος, διασφαλίζοντας επομένως τη διατήρηση ασφαλών συνθηκών εργασίας.

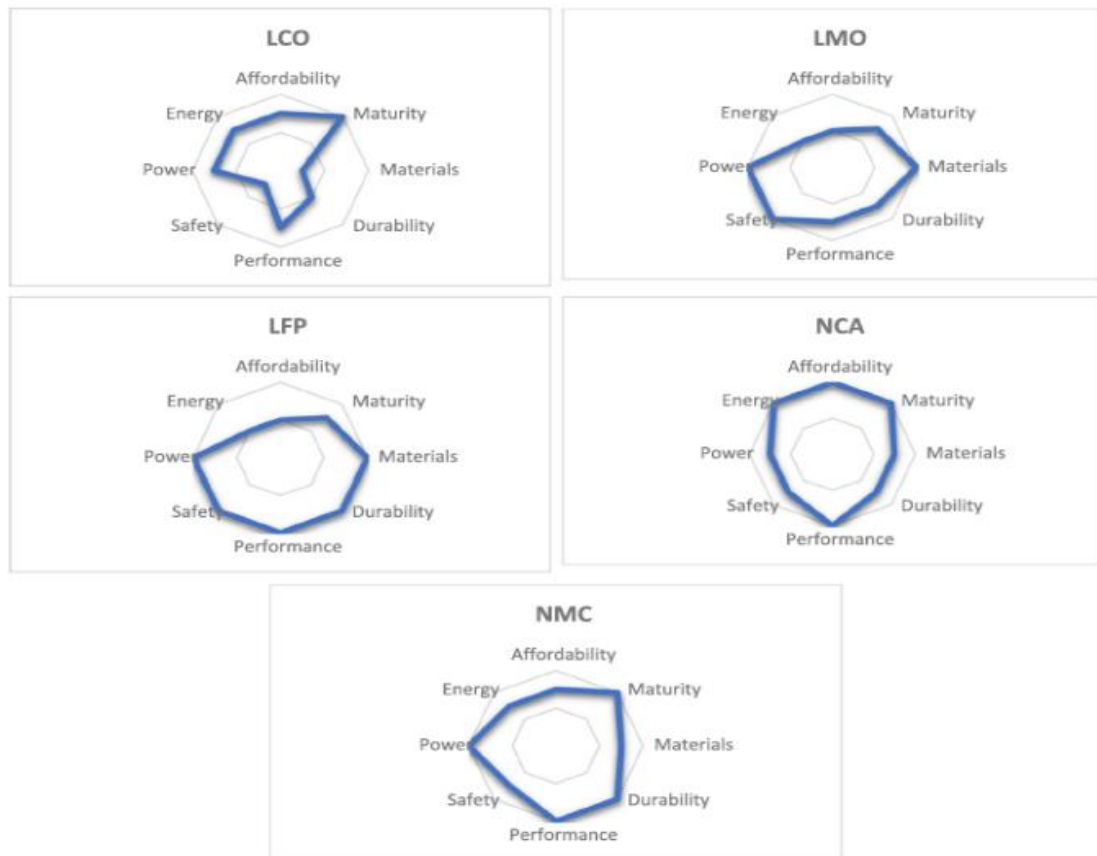
Τα βασικά διακριτικά χαρακτηριστικά των μπαταριών Li-ion που κυκλοφορούν στο εμπόριο περιγράφονται στην Εικόνα 8 [32][34]. Το LCO ήταν το πρώτο χημικό που εισήλθε στην αγορά το 1991. Η κάθοδός του είναι κατασκευασμένη από οξείδιο του κοβαλτίου λιθίου (LiCoO_2) και η άνοδος του είναι κατασκευασμένη από γραφίτη. Το LCO ήταν η πρώτη χημική ένωση που παρήχθη σε μεγάλες ποσότητες (C_6). Οι μπαταρίες LCO γίνονται όλο και πιο δημοφιλείς για χρήση σε φορητές συσκευές λόγω της υψηλής «ειδικής» ενέργειάς τους, η οποία κυμαίνεται από 150 έως 190 Wh/kg, καθώς και της τεχνολογικής τους ωριμότητας. Το γεγονός ότι μπορεί να αντέξει μεταξύ 500 και 1000 πλήρεις κύκλους δείχνει ότι έχει προσδόκιμο ζωής μερικών ετών, το οποίο είναι κατάλληλο για αυτού του είδους τις ηλεκτρικές συσκευές. Η θερμική αστάθεια του οξειδίου του κοβαλτίου είναι το κύριο μειονέκτημά του, καθιστώντας το λιγότερο ασφαλές από άλλες επιλογές. Στους 150 βαθμούς Κελσίου είναι πιθανή η θερμική διαφυγή [39].

Το 1996 σηματοδότησε την αρχή της χρήσης του LMO σε εμπορικούς χώρους. Η κάθοδος του αποτελείται από οξείδιο του μαγγανίου λιθίου (LiMn_2O_4), το οποίο έχει μια τρισδιάστατη δομή γνωστή ως σπινέλιο. Αυτή η δομή ενθαρρύνει τη διέλευση του ιόντος στο ηλεκτρόδιο, που τη σειρά του οδηγεί σε χαμηλό επίπεδο εσωτερικής αντίστασης. Επιπλέον, ο γραφίτης συνθέτει το υλικό κάθοδου στην μπαταρία και έχει υψηλότερη διάρκεια ζωής από το LCO, με τη διάρκεια να κυμαίνεται από 1000 - 1500 κύκλους, αλλά έχει μικρότερη ενεργειακή πυκνότητα, με «ειδική» ενέργεια που κυμαίνεται από 100-140 Wh/kg. Η μπαταρία LMO είναι πιο ασφαλής από άλλους τύπους επειδή το οξείδιο του μαγγανίου έχει σταθερότητα σε υψηλή θερμοκρασία. Σε περίπου 250 βαθμούς Κελσίου, αναπτύσσεται θερμική φυγή. Επιπλέον, δεν είναι επιβλαβές για το περιβάλλον σε καμία περίπτωση επειδή δεν περιλαμβάνει κοβάλτιο.

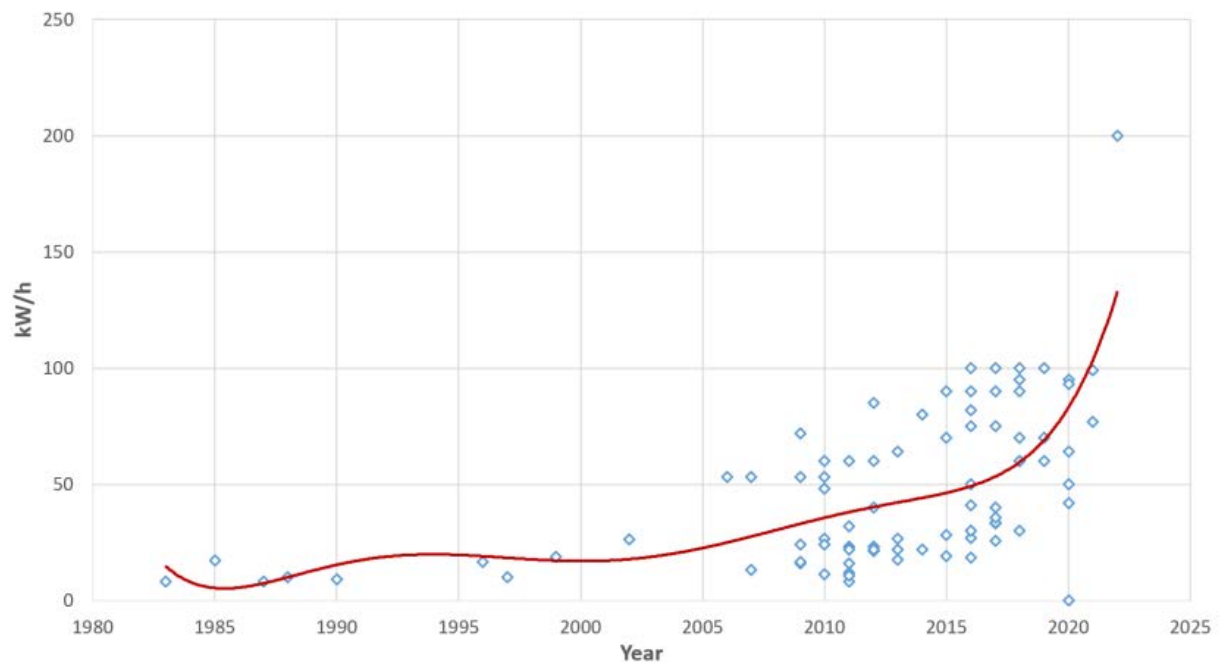
Η κάθοδος στη μπαταρία LFP είναι κατασκευασμένη από φωσφορικό σίδηρο λιθίου (LiFePO_4), ενώ ο γραφίτης χρησιμοποιείται ως συστατικό για την άνοδο. Η βιομηχανία προβλέπει ότι αυτές οι μπαταρίες θα έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, αλλά μπορούν να επιβιώσουν έως και 2000 πλήρεις κύκλους. Αυτή είναι μια πολύ ρεαλιστική προσδοκία. Η μπαταρία LFP είναι αποτελεσματική σε ένα ευρύ φάσμα φόρτισης (SOC με εύρος 15–100%) και η κυψέλη διατηρεί μια σταθερή τάση σε αυτό το εύρος φόρτισης. Αυτό δείχνει ότι η απόδοση του κυττάρου είναι επίσης συνεπής. Η «ειδική» ενέργειά του κυμαίνεται από 90 έως 140 Wh/kg, που είναι μια πολύ μέτρια ποσότητα σε σύγκριση με την ενέργεια άλλων τύπων χημείας. Αυτή η χημική ουσία

προσφέρει σημαντικό δυναμικό εφαρμογής στον τομέα των συστημάτων ισχύος και εντός αλλά και εκτός δικτύου.

Στη μπαταρία NMC, το οξείδιο του κοβαλτίου του μαγγανίου νικελίου λιθίου, με συντομογραφία LiNiMnCoO_2 , χρησιμεύει ως κάθοδος, ενώ ο γραφίτης ως άνοδος. Έχει μεγάλη διάρκεια ζωής 1000–2000 κύκλων και υψηλή «ειδική» πυκνότητα στην περιοχή των 140–200 Wh/kg. Επίσης, η διάρκεια ζωής του είναι σε αυτό το εύρος. Η αλλαγή των ποσοστών νικελίου, μαγγανίου και κοβαλτίου σε μια μπαταρία έχει ως αποτέλεσμα να αλλάζει τις ιδιότητές της και να επιτρέπει την ανάπτυξη λύσεων που είναι μοναδικά κατάλληλες για μεμονωμένες χρήσεις [42]. Όταν υπάρχει μεγαλύτερη ποσότητα νικελίου, υπάρχει και μεγαλύτερη ποσότητα «ειδικής» ενέργειας, αλλά όταν υπάρχει μεγαλύτερη ποσότητα μαγγανίου, υπάρχει αύξηση της ισχύος. Παρά το γεγονός ότι παρουσιάστηκαν μόλις το 2004, έγιναν γρήγορα το πρότυπο για ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα και χρησιμοποιούνται εκτενώς σε φορητές συσκευές, ηλεκτρικά εργαλεία και ιατρικό εξοπλισμό. Το 1999, η μπαταρία NCA κυκλοφόρησε τελικά στο κοινό, με την κάθοδο να αποτελείται από οξείδιο αλουμινίου λιθίου νικελίου κοβαλτίου (LiNiCoAlO_2) και την άνοδο να αποτελείται από γραφίτη. Σε αυτόν τον τύπο μπαταρίας, οι κάθοδοι συνήθως χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό 5% αλουμινίου, 15% κοβαλτίου και 80% νικελίου. Συγκριτικά με τη μπαταρία LCO, αυτή έχει μικρότερη εξάρτηση από το κοβάλτιο. Οι μπαταρίες NCA προσφέρουν υψηλή απόδοση ισχύος και μπορούν να επιβιώσουν από 1000 έως 1500 πλήρεις κύκλους. Επιπλέον, η «ειδική» ενέργειά του είναι σημαντικά υψηλότερη από αυτή των μπαταριών NMC, με ισχύ μεταξύ 200 και 250 Wh/kg. Το πιο σημαντικό είναι ότι αυτή η καινοτομία εμφανίζεται στη σειρά ηλεκτρικών οχημάτων της Tesla ως βασικό χαρακτηριστικό. Ο μακροπρόθεσμος στόχος της Tesla είναι να επιτύχει υπεροχή στην αγορά μέσω της μαζικής κατασκευής τέτοιων μπαταριών σε συνεργασία με την Panasonic. Οι εταιρείες θέλουν να επιτύχουν ετήσια παραγωγή 35 GWh (Giga watt ώρες), που είναι αρκετή ενέργεια για να τροφοδοτήσουν 500.000 ηλεκτρικά οχήματα. Η επιχείρηση προσπαθεί συνεχώς να βελτιώσει αυτή την τεχνολογία, η οποία, όταν συνδυάζεται με τη μαζική κατασκευή, θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της τιμής της μπαταρίας και, ως εκ τούτου, της τιμής του ηλεκτρικού αυτοκινήτου στο σύνολό του [42].



Εικόνα 8. Τα κύρια χαρακτηριστικά των μπαταριών Li-ion [32][33][34]



Εικόνα 9. Εξέλιξη χωρητικότητας των μπαταριών από τα μέσα της δεκαετίας του '80 μέχρι τώρα

2.3.3 Άλλα Συστήματα Μπαταριών που ισχύουν για την Ηλεκτρική Κίνηση

Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος, γνωστές και ως μπαταρίες pb-acid, είναι μακράν οι λιγότερο δαπανηρές στην κατασκευή από όλους τους διαφορετικούς τύπους μπαταριών. Λόγω της

περιορισμένης ποσότητας ενέργειας που περιέχουν, είναι ιδανικά για εφαρμογές στην ηλεκτροκίνηση στις οποίες το κόστος έχει προτεραιότητα έναντι άλλων παραμέτρων, όπως το βάρος και η κάλυψη μεγάλων αποστάσεων. Χρησιμοποιούνται κυρίως στην περίπτωση των ηλεκτρικών σκούτερ και των μικρών υβριδικών οχημάτων. Μια ποικιλία εξελίξεων που αναπτύχθηκαν τα τελευταία χρόνια κατέστησαν δυνατή τη χρήση τους σε αυτοκίνητα που είναι είτε ήπια υβριδικά είτε πλήρη υβριδικά. Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι ηλεκτρολυτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μπαταρίες μολύβδου οξέος: ένας υγρός ηλεκτρολύτης και ένας ηλεκτρολύτης που απορροφάται σε ίνες γυαλιού που είναι οργανωμένες σε επίπεδο σχέδιο. Για να αυξηθεί το DCA (ικανότητα αποδοχής δυναμικής φόρτισης) και να λειτουργήσει σωστά ο μηχανισμός start-stop, ο άνθρακας αναμιγνύεται στην αρνητικά δραστική ουσία.

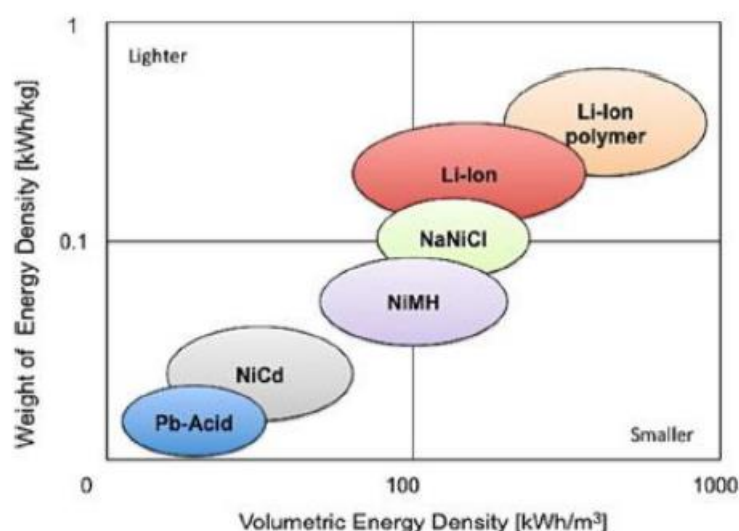
Τα οφέλη του περιλαμβάνουν φθινό κόστος παραγωγής, εγγενή ασφάλεια και υψηλά ποσοστά ανακυκλωσιμότητας (σχεδόν 95% υψηλότερα από όλες τις άλλες τεχνολογίες μπαταριών). Η χρήση μικρότερων μπαταριών μολύβδου οξέος ως βοηθητικές πηγές ενέργειας είναι συνηθισμένη σχεδόν σε κάθε τύπο ηλεκτρικού οχήματος που χρησιμοποιεί μπαταρίες υψηλής τάσης. Ο πρωταρχικός λόγος για αυτό είναι η ασφάλεια, αφού σε περίπτωση ατυχήματος, η βασική μπαταρία θα διαχωριστεί από το ηλεκτρικό σύστημα και τη θέση της θα πάρει η εφεδρική μπαταρία. Τέλος, είναι υπεύθυνη για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στις λειτουργίες του BLI, το οποίο σημαίνει Beginning Lighting Ignition [29].

Νικελικό κάδμιο (NiCd): Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου έχουν απότομη και σημαντικά μεγαλύτερη πυκνότητα ισχύος από τις μπαταρίες μολύβδου, ωστόσο το κόστος είναι σημαντικά υψηλότερο για αυτές τις μπαταρίες. Οι μπαταρίες νικελίου καδμίου έχουν ελάχιστα υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από τις μπαταρίες μολύβδου. Επίσης, από τις διαθέσιμες τεχνολογίες, οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου έχουν τη μεγαλύτερη μέση διάρκεια ζωής (1500 κύκλοι), παρά το γεγονός ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει περιορίσει τη χρήση αυτών των μπαταριών λόγω της παρουσίας καδμίου [21].

Οι μπαταρίες είναι γνωστές ως μπαταρίες υδριδίου μετάλλου νικελίου (NiMH) αποτελούν μια εξέλιξη των μπαταριών νικελίου καδμίου με στόχο την παραγωγή μπαταρίας χωρίς τη χρήση επικίνδυνου καδμίου, διατηρώντας ταυτόχρονα τα οφέλη των μπαταριών νικελίου καδμίου. Λόγω της ομοιότητας στις τάσεις των κυψελών τους καθώς και στις καμπύλες φόρτισης και αποφόρτισης, οι μπαταρίες NiMH και NiCd μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά. Έχουν υπερδιπλάσια ενεργειακή πυκνότητα από το νικέλιο κάδμιο, και κυρίως λόγω της υψηλής πυκνότητας ισχύος (πάνω από 1000 Wh/kg) και της μεγάλης διάρκειας ζωής τους, έχουν καθιερωθεί ως οι κύριοι παίκτες στο παγκόσμιο εμπόριο υβριδικών ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Η εφαρμογή τους στα αυτοκίνητα δεν είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της ασφάλειας των επιβατών. Αυτή η τεχνολογία μπορεί να βρεθεί σε υβριδικά οχήματα που παράγονται από μια

μεγάλη ποικιλία κατασκευαστών, συμπεριλαμβανομένων των Toyota, Honda, Lexus και πολλών άλλων. Τα υβριδικά αυτοκίνητα που παράγονται από κατασκευαστές αυτοκινήτων κάνουν σήμερα εκτεταμένη χρήση αυτών των μπαταριών και αναμένεται ότι αυτή η πρακτική θα συνεχιστεί στο άμεσο μέλλον. Ωστόσο, λόγω του υψηλού κόστους των υλικών που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή τους, οι περισσότεροι αναλυτές του κλάδου δεν προβλέπουν ευρεία υιοθέτηση αυτής της τεχνολογίας μπαταριών σε πλήρως ηλεκτρικά αυτοκίνητα ή plug-in υβριδικά στο εγγύς μέλλον. Οι μπαταρίες υδριδίου μετάλλου νικελίου δεν φαίνεται να είναι σε θέση να ανταγωνιστούν τις μπαταρίες ιόντων λιθίου κατά τη διάρκεια μιας μακράς χρονικής περιόδου [3].

Παρακάτω στην Εικόνα 10, φαίνεται η ενεργειακή πυκνότητα που παρέχεται από διάφορους τύπους μπαταριών που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Ενώ στην Εικόνα 11, φαίνονται οι ενεργειακές τιμές που παρέχουν αυτές οι μπαταρίες, οι κύκλοι ζωής τους και η ενεργειακή τους απόδοση.



Εικόνα 10. Η απόδοση της ενεργειακής πυκνότητας των μπαταριών [8]

	<i>Specific energy</i> (Wh/kg)	<i>No. of cycles</i>	<i>Energy efficiency (%)</i>	<i>Losses due to heating</i>
Pb-acid	40	500	82.5	n.a.
NiCd	60	1350	72.5	n.a.
NiMH	70	1350	70.0	n.a.
Li-ion	125	1000	90.0	n.a.
NaNiCl	125	1000	92.5	7.2%

Εικόνα 11. Ιδιότητες μπαταριών [21]

Κεφάλαιο 3

ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ

3.1 Εισαγωγή στο Έξυπνο Δίκτυο

Για να υπάρξει σημαντική μείωση στην ποσότητα των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ως αποτέλεσμα της ευρείας υιοθέτησης ηλεκτρικών οχημάτων, είναι επιτακτική ανάγκη τα ηλεκτρικά οχήματα να φορτίζονται με ενέργεια που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές (π.χ. αιολική, ηλιακή). Με απλά λόγια, νέες τεχνολογίες πρέπει να αναπτυχθούν προκειμένου ένα έξυπνο δίκτυο (smart grid) να είναι ικανό να διασφαλίζει την απρόσκοπτη ενσωμάτωση διαφόρων πηγών ενέργειας στα υπάρχοντα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Μια βιώσιμη λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα μπορεί να θεωρηθεί η αποθήκευση ενέργειας στα ηλεκτρικά οχήματα όταν υπάρχει πλεόνασμα και στη συνέχεια όταν υπάρχει ανάγκη να τη στέλνουν πίσω στο δίκτυο, η διαδικασία ονομάζεται vehicle to grid (V2G).

Πρόσφατη έρευνα δείχνει ότι η πλειονότητα των εγκαταστάσεων φόρτισης EV είναι σχεδιασμένη για οικιακή χρήση. Από την άλλη πλευρά, αναμένεται ότι η πλειονότητα της φόρτισης EV θα πραγματοποιείται σε δημόσιους, εμπορικούς σταθμούς φόρτισης ή σε χώρους εργασίας. Έτσι, αναμένεται ότι η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων θα έχει άμεσο αντίκτυπο στο ηλεκτρικό δίκτυο διανομής. Παρόλα αυτά, η υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει σημαντικά την απόδοση, την αποτελεσματικότητα και την ποιότητα ισχύος του ηλεκτρικού δικτύου. Αυτό μπορεί να γίνει κατανοητό εάν η ενσωμάτωση μεγάλου αριθμού ηλεκτρικών οχημάτων είναι καλά σχεδιασμένη και αναδιαρθρωθεί ώστε να ανταποκρίνεται στα λειτουργικά κριτήρια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Λόγω του γεγονότος ότι τα οχήματα κινούνται για ένα μικρό κομμάτι της ημέρας και ένα σημαντικό ποσοστό οχημάτων παραμένουν ακίνητα σε χώρους στάθμευσης, και λόγω του γεγονότος ότι τα ηλεκτρικά οχήματα εξοπλίζονται με μεγάλες μπαταρίες, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν ως συσκευές αποθήκευσης όταν είναι σταθμευμένα (V2G) και συνεπώς να αυξηθεί η χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας του δικτύου. Στην πραγματικότητα, έχουν υπάρξει μελέτες που έχουν δείξει πως η υπάρχουσα χωρητικότητα του δικτύου θα μπορούσε να αυξηθεί κατά δύο φορές εάν μόνο το ένα τέταρτο των οχημάτων στις Ηνωμένες Πολιτείες ήταν ηλεκτρικά. Παρόλα αυτά, το γεγονός ότι ένας μεγάλος αριθμός ηλεκτρικών αυτοκινήτων απαιτεί φόρτιση σε καθημερινή βάση, το φορτίο του δικτύου μπορεί να επιβαρυνθεί υπερβολικά εάν φορτίζουν ταυτόχρονα όταν χρειάζεται.

3.2 Τωρινή Κατάσταση Δικτύου

Τα σημερινά δίκτυα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ενέργειας έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν στιγμιαία και αξιόπιστη ηλεκτρική ενέργεια. Όταν ένας πελάτης τοποθετεί μια συσκευή στη πρίζα, αναμένει στιγμιαία παράδοση ρεύματος οποιαδήποτε στιγμή της ημέρας ή της νύχτας. Η παραδοσιακή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται κυρίως σε τεράστιες, κεντρικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής ικανές να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες δεκάδων χιλιάδων, αν όχι εκατοντάδων χιλιάδων, ιδιωτικών κατοικιών κι όχι μόνο. Οι μεγάλες εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής μέσω άνθρακα, φυσικού αερίου και οι πυρηνικοί σταθμοί αντιπροσωπεύουν το υψηλότερο ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Ενώ οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής κυρίως με βάση τον άνθρακα ενδιαφερόμενοι για τη βέλτιστη οικονομική απόδοση, παρά τις μεταβλητές ανάγκες των καταναλωτών και του δικτύου χρειάζεται η συνεχής λειτουργία τους. Επιπλέον, οι τεχνολογικοί περιορισμοί, ιδιαίτερα στους πυρηνικούς σταθμούς, περιορίζουν τη γρήγορη αλλαγή στην παραγωγή που απαιτείται για να συνοδεύει τις διακυμάνσεις στο φορτίο. Ως αποτέλεσμα, η πλειονότητα της ηλεκτρικής υποδομής μιας χώρας δεν εκμεταλλεύεται τα πλεονεκτήματα της επιπλέον «μετατόπισης φορτίου» ή των ευέλικτων συστημάτων παραγωγής. Γενικότερα, το σύστημα ισχύος πρέπει να διατηρεί μια ισορροπία μεταξύ του φορτίου και της παραγωγής, συχνά γνωστή ως ζήτηση και προσφορά ενέργειας, ενώ η ροή της ενέργειας λαμβάνει τη μορφή τόσο της άεργου όσο και της πραγματικής ισχύος. Παραδείγματος χάρη η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο είναι πολύ απρόβλεπτη και μπορεί να απαιτήσει περαιτέρω έλεγχο συχνότητας.

Όμως, η χρήση σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας σε περιόδους υψηλής ζήτησης είχε ως αποτέλεσμα αρκετές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να αυξήσουν τις τιμές τέτοιων υπηρεσιών. Αυτή η στρατηγική τιμολόγησης έχει δύο στόχους κατά νου: ο πρώτος είναι να μειώσει την ποσότητα ισχύος που καταναλώνεται σε περιόδους υψηλής ζήτησης και ο δεύτερος είναι να αντισταθμίσει τις οικονομικές αποκλίσεις που υπάρχουν μεταξύ της χρήσης των γεννητριών σε ώρες αιχμής και των μονάδων βασικής ζήτησης.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, μπορεί να γίνει αντιληπτό ότι η αποθήκευση ενέργειας έχει αποτελέσει εδώ και καιρό το επίκεντρο της έρευνας, όπως και το ερώτημα πώς να εκμεταλλευτούμε καλύτερα τις στιγμές που υπάρχει σχετικά φθηνή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Πλέον γίνεται έρευνα σε μπαταρίες που είναι πιο εξελιγμένες και έχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα. Με οποιοδήποτε μέτρο που μπορεί να είναι επωφελής για την εξισορρόπηση φορτίου και την ηλεκτροπαραγωγή σε ένα σύστημα, οι συμβατικές μπαταρίες δεν έχουν την οικονομική αποδοτικότητα που απαιτείται για να χρησιμοποιηθούν. Η ιδέα είναι ότι οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται σε όλα τα ηλεκτρικά οχήματα θα μπορούν μια μέρα να προσφέρουν τα ίδια οφέλη που προσφέρουν άλλες μέθοδοι αποθήκευσης ενέργειας. Χρειάζεται αρκετός χρόνος για να αλλάξουν τα πράγματα λόγω των

απίστευτα τεράστιων κεφαλαίων που είναι απαραίτητα για την τεχνολογική ανάπτυξη στο δίκτυο. Ωστόσο, οι προσαρμογές που γίνονται θα τεθούν σε εφαρμογή για μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι υποδομές που κατασκευάζονται σήμερα θα συνεχίσουν να λειτουργούν κανονικά για σειρά ετών. Με τη βοήθεια του διαδικτύου και, γενικότερα, του αναδυόμενου έξυπνου δικτύου (Smart Grid), η ιδέα ενός πιο αποδοτικού δικτύου είναι πλέον εφικτή.

3.3 Ενσωμάτωση του Ηλεκτρικού Οχήματος

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τόσο η αυξημένη περιβαλλοντική ρύπανση του πλανήτη από τα οχήματα με Μ.Ε.Κ. όσο και η ακόμα περισσότερη ρύπανση που προβλέπεται τα επόμενα χρόνια βάση της πληθυσμιακής έκρηξης που προβλέπεται έχουν οδηγήσει σε αυξημένο ενδιαφέρον για το ηλεκτρικό όχημα.

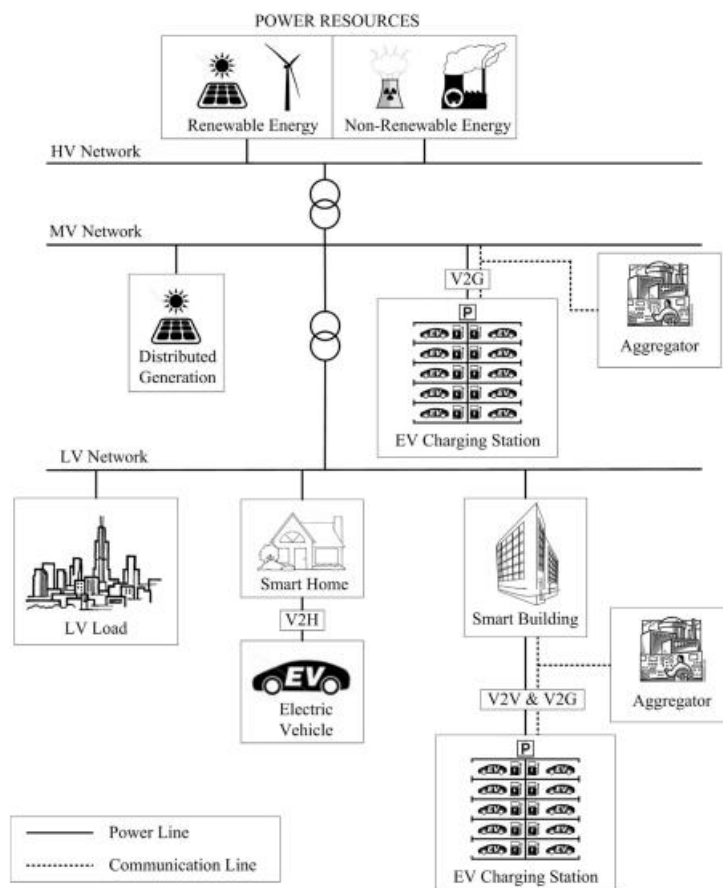
Η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω ενός προγράμματος ανταπόκρισης στη ζήτηση, το οποίο βοηθά στη διαχείριση του προβλήματος της ζήτησης σε ώρα αιχμής. Ως στοιχείο αυτής της πιο ολοκληρωμένης έξυπνης προσέγγισης στη ζήτηση, οι καταναμημένοι πόροι, όπως οι μπαταρίες που βρίσκονται στα EVs, έχουν τη δυνατότητα να λειτουργήσουν είτε ως πηγή ενέργειας είτε ως φορτίο ανάλογα με τις συνθήκες και τις απαιτήσεις του δικτύου. Ο σκοπός των προγραμμάτων ανταπόκρισης στη ζήτηση είναι να επιστρατεύσουν τους πόρους των καταναλωτών για την ελάφρυνση του φορτίου σε περιόδους υψηλής ενεργειακής ζήτησης. Η πλειονότητα των προγραμμάτων απόκρισης ζήτησης παρέχουν επίσης οικονομικά κίνητρα στους συμμετέχοντες να μειώσουν το φορτίο σε ώρες υψηλής ζήτησης. Η ιδέα της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) ως πηγή ενέργειας για το δίκτυο είναι αρκετά απλή. Το Grid to Vehicle (G2V) αναφέρεται στη διαδικασία κατά την οποία ένα όχημα φορτίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως οποιαδήποτε άλλη συσκευή, ενώ το Vehicle to Grid (V2G) περιγράφει τη διαδικασία κατά την οποία η ισχύς μεταφέρεται προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Επί του παρόντος, υπάρχουν τρεις ξεχωριστές τεχνολογίες για την τροφοδοσία ηλεκτρικών οχημάτων συνδεδεμένων στο δίκτυο και είναι οι συνδέσεις Vehicle to Home (V2H), Vehicle to Vehicle (V2V), Vehicle to Grid (V2G).

Η ισχύς που μεταφέρεται μεταξύ της μπαταρίας EV και του οικιακού δικτύου αναφέρεται ως V2H. Σε αυτό το σενάριο, μια μπαταρία ηλεκτρικού οχήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα είδος αποθήκευσης ενέργειας, η οποία παρέχει ενέργεια έκτακτης ανάγκης στις ηλεκτρικές συσκευές του σπιτιού καθώς και στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο σπίτι. Το δίκτυο V2V είναι μια τοπική κοινότητα ιδιοκτητών ηλεκτρικών οχημάτων που μπορεί να μοιράζονται τη δυνατότητα να φορτίζουν και να αποφορτίζουν ο ένας τις μπαταρίες του άλλου. Το V2G κάνει χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από την τοπική κοινότητα ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) και

την πουλά στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας υπό τη διεύθυνση και τη διαχείριση ενός τοπικού συσσωρευτή.

Γενικότερα, τα V2V, V2H και V2G περιλαμβάνουν στοιχεία όπως φορτία ισχύος, πηγές ενέργειας, συσσωρευτές δικτύων ισχύος, συστήματα μετάδοσης ισχύος, συστήματα επικοινωνίας, ηλεκτρικά οχήματα και φορτιστές που συνδέουν οχήματα με δίκτυα ισχύος. Η τυπική αρχιτεκτονική συστήματος V2G απεικονίζεται παρακάτω στην Εικόνα 12.



Εικόνα 12. Αρχιτεκτονική V2G

3.4 Vehicle To Grid (V2G)

Το V2G είναι μια συντομογραφία του "vehicle-to-grid", όπου αναφέρεται στη διαχείριση και τον έλεγχο φορτίων ηλεκτρικών οχημάτων (EV) που εκτελείται από το δίκτυο ηλεκτροδότησης μέσω της επικοινωνίας μεταξύ αυτοκινήτων και του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.

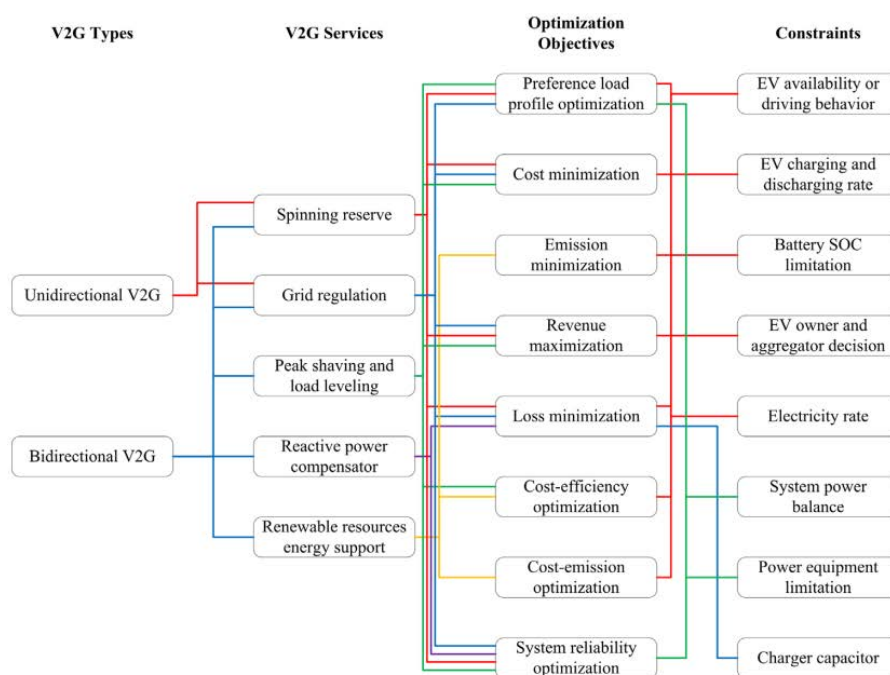
3.4.1 Unidirectional V2G

Μια μέθοδος γνωστή ως μονόδρομης επικοινωνίας οχήματος προς δίκτυο (V2G) ρυθμίζει τον ρυθμό με τον οποίο φορτίζεται μια μπαταρία ηλεκτρικού οχήματος (EV) σε μία κατεύθυνση ροής

ισχύος μεταξύ του δικτύου και του EV. Η προσθήκη ενός απλού ελεγκτή για τον έλεγχο του ποσοστού φόρτισης καθιστά την εφαρμογή του Unidirectional V2G μια φθηνή προσπάθεια.

Το ηλεκτρικό δίκτυο μπορεί να επωφεληθεί από βοηθητικές υπηρεσίες Unidirectional V2G, όπως ο έλεγχος του ηλεκτρικού δικτύου και η αλλαγή αποθεματικού.

Αυτό έχει τη δυνατότητα να αυξήσει τη λειτουργική ευελιξία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Προκειμένου να εκτελεστεί επιτυχώς το Unidirectional V2G, πρέπει πρώτα να υπάρχει μια ελκυστική στρατηγική εμπορίας ενέργειας ανάμεσα στους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων και της εταιρείας παραγωγής ενέργειας. Μια στρατηγική εμπορίας ενέργειας πρέπει να εγγυάται εισόδημα στους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων αν φορτίζουν τα οχήματά τους σε ώρες εκτός αιχμής και πρέπει να περιορίσει το χρόνο φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων κατά τις ώρες αιχμής, προκειμένου να τονωθεί η συμμετοχή των ιδιοκτητών ηλεκτρικών οχημάτων (EV). Ταυτόχρονα, το βοηθητικό δίκτυο μπορεί να αποτρέψει την υπερφόρτωση κατά τις πιο πολυσύχναστες ώρες της ημέρας. Ωστόσο, η δυνατότητα παροχής βοηθητικών υπηρεσιών στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένας από τους παράγοντες που περιορίζουν τη χρήση υπηρεσιών Unidirectional V2G.

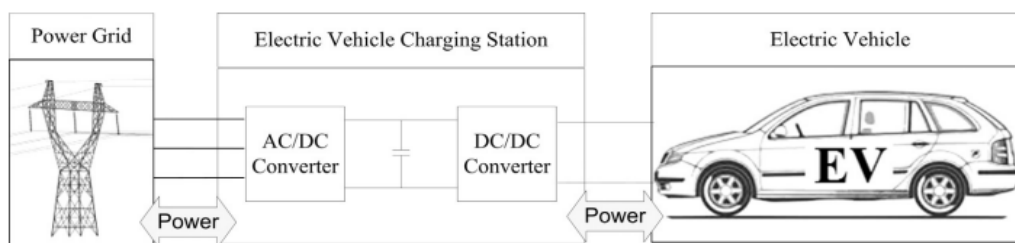


Εικόνα 13. Διάγραμμα σχέσης τύπων V2G

3.4.2 Bidirectional V2G

Ο όρος "Bidirectional V2G" αναφέρεται στη ροή ισχύος που πηγαίνει και προς τις δύο κατευθύνσεις μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων και του δικτύου, έτσι ώστε να μπορούν να πραγματοποιηθούν πολλά πλεονεκτήματα.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 14, τα εξαρτήματα που συνθέτουν έναν τυπικό αμφίδρομο φορτιστή μπαταρίας ηλεκτρικών οχημάτων είναι ένας μετατροπέας AC/DC και ένας μετατροπέας DC/DC. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας φόρτισης για ένα ηλεκτρικό όχημα (EV), η ισχύς AC από το ηλεκτρικό δίκτυο μετατρέπεται σε ισχύ συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιώντας έναν μετατροπέα AC/DC. Κατά τη λειτουργία αποφόρτισης, ο μετατροπέας AC/DC αναστρέφει την τροφοδοσία συνεχούς ρεύματος ξανά σε τροφοδοσία εναλλασσόμενου ρεύματος πριν την εισάγει ξανά στο ηλεκτρικό δίκτυο. Ωστόσο, ο μετατροπέας DC/DC είναι το εξάρτημα που είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση της αμφίδρομης ροής ισχύος μέσω της χρήσης της τεχνολογίας ελέγχου ρεύματος. Το Bidirectional V2G προσφέρει μεγαλύτερο βαθμό ευελιξίας και ευκαιρίες για βελτίωση της απόδοσης του δικτύου. Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα είναι η υποστήριξη για ενεργό ισχύ, η υποστήριξη άεργου ισχύος, η διαχείριση του συντελεστή ισχύος και η υποστήριξη για την ενοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η άμεση υποβοήθηση ισχύος από Bidirectional V2G μπορεί να προσφέρει εξισορρόπηση φορτίου. Για την παροχή αυτών των υπηρεσιών, τα ηλεκτρικά οχήματα (EV) χρεώνονται εκτός των ωρών αιχμής, και στη συνέχεια πρόσθετη ενέργεια από τα EV εισέρχεται στο ηλεκτρικό δίκτυο κατά τις ώρες που θεωρούνται ότι είναι αιχμής. Εκτός από την παροχή υποβοήθησης ενεργού ισχύος, το Bidirectional V2G διαθέτει τη δυνατότητα να προσφέρει άεργο ισχύ για τον σκοπό της ρύθμισης της τάσης του δικτύου. Επίσης, η ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό δίκτυο μπορεί να διευκολυνθεί με τη χρήση Bidirectional V2G. Λόγω του γεγονότος ότι οι ανεμογεννήτριες και τα ηλιακά φωτοβολταϊκά πάνελ εξαρτώνται ως επί το πλείστον από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες, η ισχύς που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως αυτές είναι ασταθής και αναξιόπιστη. Η φύση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να μετριαστεί με τη χρήση αμφίδρομης V2G, η οποία βάζει την κινητικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων να λειτουργεί ως αποθήκη αλλά και ως πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 14. Απεικόνιση V2G δικτύου

3.4.3 Τωρινή Κατάσταση

Η υιοθέτηση του Bidirectional V2G αντιμετωπίζεται με μεγάλη αντίσταση από πολλά εμπόδια. Ένα από τα κύρια εμπόδια είναι το θέμα της φθοράς της μπαταρίας, το οποίο προκαλείται από

τους επαναλαμβανόμενους κύκλους φόρτισης και αποφόρτισης που είναι απαραίτητοι για την ανάπτυξη του Bidirectional V2G. Λόγω της πολυπλοκότητας ενός αμφίδρομου φορτιστή μπαταρίας, απαιτείται πρόσθετο υλικό, το οποίο με τη σειρά του οδηγεί στην απαίτηση για περαιτέρω επενδύσεις. Επιπλέον, το πρόβλημα των κοινωνικών φραγμών είναι ένα ακόμη σημαντικό εμπόδιο στην ανάπτυξη Bidirectional V2G. Για λόγους «ασφαλείας», οι κάτοχοι ηλεκτρικών οχημάτων συχνά προσπαθούν να επιτύχουν υψηλό ποσοστό φόρτισης της μπαταρίας προετοιμάζοντας την απροσδόκητη κατανάλωση ενός ταξιδιού. Εξαιτίας αυτού, δεν θα μπορούν να συμμετέχουν ενεργά στην αμφίδρομη «σχέση» V2G.

Προκειμένου το V2G να εφαρμοστεί με επιτυχία, υπάρχει ανάγκη για περισσότερες τεχνολογικές εξελίξεις. Αυτή τη στιγμή, πολλά κράτη έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούν μονής κατεύθυνσης V2G σε μια προσπάθεια να μειώσουν τον αντίκτυπο του προβλήματος του κοινωνικού φραγμού και να αυξήσουν το ποσοστό διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά. Όταν προετοιμαστούν τόσο η αγορά όσο και η τεχνολογία, υπάρχει πιθανότητα να εφαρμοστεί Bidirectional V2G στο μέλλον.

3.5 Vehicle To Home (V2H)

Το Vehicle to Home (V2H) είναι μια νέα τεχνολογία που επιτρέπει στην ενέργεια που αποθηκεύεται σε ένα ηλεκτρικό όχημα να χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας για το σπίτι.

Με λίγα λόγια, αυτή η τεχνολογία είναι σαν να έχετε μια φορητή μονάδα αποθήκευσης ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση των λογαριασμών ηλεκτρικής ενέργειας και την παροχή επιπλέον ενέργειας κατά τη διάρκεια μιας διακοπής ρεύματος. Το V2H λειτουργεί συνδέοντας την μπαταρία του αυτοκινήτου στο ηλεκτρικό σύστημα του σπιτιού. Αυτή η σύνδεση επιτρέπει την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στην μπαταρία του αυτοκινήτου να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία του σπιτιού. Η σύνδεση επιτρέπει επίσης την επαναφόρτιση της μπαταρίας του αυτοκινήτου από την ηλεκτρική ενέργεια του σπιτιού, κάτι που μπορεί να είναι ένας πολύ καλός τρόπος για να εξοικονομήσετε χρήματα στους λογαριασμούς ενέργειας.

Η κύρια πρόκληση της τεχνολογίας V2H είναι η ασφάλεια. Όπως συμβαίνει με κάθε τεχνολογία που περιλαμβάνει ηλεκτρική ενέργεια, είναι σημαντικό να βεβαιωθεί κάποιος ότι η σύνδεση μεταξύ του αυτοκινήτου και του σπιτιού είναι ασφαλής και αξιόπιστη.

Επιπλέον, είναι σημαντικό να επιβεβαιωθεί ότι η μπαταρία του αυτοκινήτου είναι συμβατή με το ηλεκτρικό σύστημα του σπιτιού για να διασφαλιστεί ότι είναι σε θέση να παρέχει τη σωστή ποσότητα ενέργειας.

Η τεχνολογία V2H πρέπει επίσης να είναι σε θέση να χειρίζεται περιόδους υψηλής ζήτησης στο σπίτι, όπως όταν χρησιμοποιούνται συσκευές. Αυτό απαιτεί η μπαταρία του αυτοκινήτου να είναι σε θέση να παρέχει την επιπλέον ισχύ που απαιτείται ενώ διατηρεί τη δική της φόρτιση. Επίσης

είναι δυνατό να εφαρμοστεί σε απομονωμένα ηλεκτρικά συστήματα και συγχρόνως με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ώστε να αυξηθεί η αποτελεσματικότητά τους.



Εικόνα 15. V2H

3.6 Επιπτώσεις, Δυνατότητες και Περιορισμοί

Στα συστήματα V2G, τα EVs συνήθως ομαδοποιούνται και θεωρούνται ως καταναεμημένες πηγές ενέργειας. Αυτό γίνεται προκειμένου να παρέχουν βοηθητικές υπηρεσίες που υποστηρίζουν το ηλεκτρικό δίκτυο. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, μια σειρά από μελέτες έχουν δείξει ότι αυτή η ιδέα είναι ανώτερη, και έχουν επίσης δείξει ότι είναι μια βέλτιστη επιλογή ενός μελλοντικού συστήματος ισχύος. Τα ειδικά συστήματα αποθήκευσης μπαταριών, η αντλούμενη υδροηλεκτρική αποθήκευση και η συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια (Concentrated Solar Power, CSP) είναι μερικές από τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη διαδικασία.

Για παράδειγμα, η αντλούμενη υδροηλεκτρική αποθήκευση θεωρείται γενικά ως μια σημαντικά πιο οικονομική εναλλακτική από το V2G. Σε σύγκριση με τις μπαταρίες ενός ηλεκτρικού οχήματος, το CPS, το οποίο χρησιμοποιείται ως σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, έχει απόδοση έως και 99% και μπορεί να διατηρήσει την ενέργεια αποθηκευμένη για σημαντικό χρονικό διάστημα.

Έρευνες έχουν δείξει ότι η μονάδα CPS ως μονάδα αποθήκευσης ενέργειας με σκοπό την υποστήριξη της ζήτησης αιχμής και της ρύθμισης γίνεται όλο και πιο ελκυστική επιλογή καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να προοδεύει. Το Άμπου Ντάμπι, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, φιλοξένησε πρόσφατα τα εγκαίνια της μεγαλύτερης εγκατάστασης συγκεντρωμένης ηλιακής ενέργειας (CSP) στον κόσμο, η οποία έχει χωρητικότητα 100 MW. Σύμφωνα με προβλέψεις του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας, η αναλογία του CPS και άλλων τύπων πηγών ενέργειας που είναι ενσωματωμένα στο δίκτυο του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας προβλέπεται να αυξηθεί. Αυτό υποκινεί την ανάγκη εκτενούς μελέτης για την διερεύνηση της οικονομικής βιωσιμότητας των ηλεκτρικών οχημάτων για τη τεχνολογία V2G σε σύγκριση με άλλες μελλοντικές μονάδες αποθήκευσης ενέργειας. Επιπλέον, τα συστήματα V2G έχουν επιδείξει μια εποικοδομητική

προσέγγιση στο πρόβλημα της αγοράς ενέργειας. Η αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων ως πηγής ηλεκτρικής ενέργειας για τα συμβατικά αυτοκίνητα εσωτερικής καύσης είναι ο κύριος στόχος της παγκόσμιας ώθησης για την ευρεία υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs). Η εισαγωγή του V2G απαιτεί αναβάθμιση της τεχνολογίας των ηλεκτρικών οχημάτων (EV) προκειμένου να ανταποκρίνεται στο αυξημένο εύρος χρήσης στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Ένας μετατροπέας ισχύος, εξελιγμένη συνδεσιμότητα, έξυπνοι μετρητές και νέοι συμμετέχοντες στην αγορά είναι μερικά από τα στοιχεία της αναβαθμισμένης τεχνολογίας. Επιπλέον, οι κατασκευαστές ηλεκτρικών οχημάτων (EV) δεν έχουν ακόμη παράγει σημαντικό αριθμό αυτοκινήτων με δυνατότητα EV για τις υπηρεσίες V2G. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων θα πρέπει να καθορίσουν εάν θα συμμετάσχουν ή όχι σε αυτές τις συμβάσεις προτού μπορέσει να επιδιωχθεί το νέο δυναμικό της αγοράς (δηλαδή V2G). Το δίλημμα είναι εάν οι κατασκευαστές πρέπει ή όχι να κατασκευάσουν το ηλεκτρικό όχημα (EV) σε δύο διαφορετικούς τύπους, ο ένας από τους οποίους είναι κανονικός και ο άλλος με δυνατότητα EV για τεχνολογία vehicle to grid (V2G). Εάν επιλέξουν την τελευταία επιλογή, είναι προφανές ότι θα απαιτηθεί πρόσθετο κόστος, δηλαδή η τεχνολογία παραμένει περιττή για τον ιδιοκτήτη που θα είναι απρόθυμος να ενταχθεί στην αγορά ενέργειας. Αυτή είναι μια πρόκληση και μπορεί να προκαλέσει μείωση στο μερίδιο αγοράς. Προκειμένου να γεφυρωθεί αυτό το χάσμα αβεβαιότητας και να προσφερθεί μια εφαρμόσιμη λύση και στα δύο μέρη—δηλαδή, στους κατασκευαστές ή/και τους πελάτες πριν από τους παράγοντες της ενεργειακής αγοράς—απαιτούνται μελέτες και έρευνες.

Η διαθεσιμότητα των σχετικών τεχνολογιών είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της τεχνολογίας V2G. Παρά τις σημαντικές προόδους τις τελευταίες δεκαετίες, η πρακτική μπαταρία EV και ο φορτιστής V2G βρίσκονται ακόμα σε φάση δοκιμών. Επιπλέον, για τη μελλοντική υιοθέτηση του V2G, απαιτείται ένα ολοκληρωμένο δίκτυο σταθμών φόρτισης EV με υποδομή αμφίδρομης επικοινωνίας. Η ολική μετάβαση του κλάδου των μεταφορών στην ηλεκτρική ενέργεια και η ανάπτυξη της τεχνολογίας V2G είναι μακροπρόθεσμοι στόχοι. Ωστόσο, η τεχνολογία V2G είναι μια δελεαστική πρόταση που μπορεί να προσφέρει πολλαπλές υπηρεσίες και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Η κυβέρνηση, οι επιχειρήσεις κοινής ωφελείας και οι ιδιοκτήτες EV απαιτείται να συμμετέχουν ενεργά και να συνεργάζονται για την επιτυχία της τεχνολογίας V2G. Ένα κατάλληλο σύστημα διαχείρισης V2G και μια πολιτική βασισμένη σε κίνητρα θα είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική εφαρμογή της τεχνολογίας V2G.

Κεφάλαιο 4

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

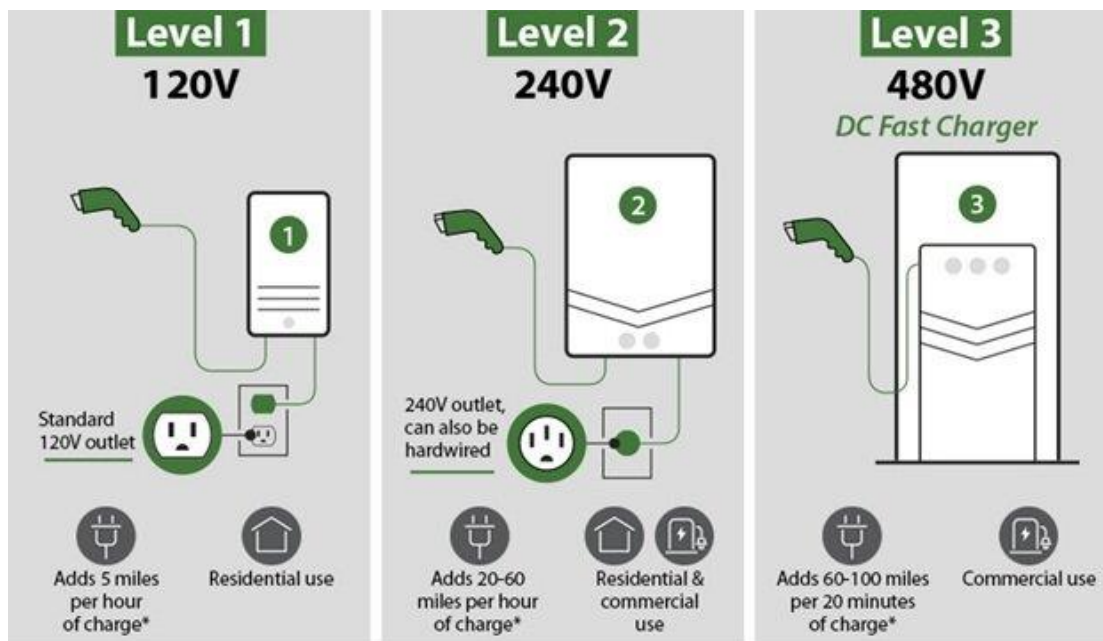
4.1 Κόστος Εξοπλισμού

Τα τελευταία χρόνια, το κόστος του εξοπλισμού σταθμών φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα έχει μειωθεί και αναμένεται ότι οι τιμές εγκατάστασης θα μειωθούν, αφού και οι ειδικοί αποκτούν περισσότερη εμπειρία στην εγκατάσταση σταθμών φόρτισης.

Η τιμή ενός σταθμού φόρτισης ηλεκτρικού αυτοκινήτου ποικίλει αισθητά ανάλογα με την υπάρχουσα ηλεκτρική υποδομή και τις απαιτήσεις. Ωστόσο, προβλέπεται ότι ένας οικιακός φορτιστής θα κοστίζει περίπου 900€ κατά μέσο όρο.

Η τιμή για ένα σταθμό φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων γίνεται να αλλάξει σύμφωνα με τις προτιμήσεις του ιδιοκτήτη και υπάρχουν δύο βασικές εναλλακτικές λύσεις που είναι διαθέσιμες σε μεμονωμένους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων:

1. Μια δυνατότητα είναι να χρησιμοποιήσετε έναν φορτιστή επιπέδου 1, ο οποίος είναι διαθέσιμος χωρίς κόστος. Όλα τα μοντέλα ηλεκτρικών οχημάτων είναι εξοπλισμένα με βασική καλωδίωση που τους επιτρέπει να συνδέονται σε πρίζα 110 V, που είναι ο τύπος πρίζας που συναντάμε συχνά στα ευρωπαϊκά σπίτια. Εφόσον υπάρχει ήδη βύσμα 110 V στο γκαράζ, το μόνο κόστος που σχετίζεται με αυτήν την επιλογή είναι το κόστος της ενέργειας που απαιτείται για τη φόρτιση του οχήματος. Αυτή η διαμόρφωση θα επιτρέπει μόνο ρυθμούς φόρτισης 8 χιλιομέτρων την ώρα. Επομένως, εάν δεν γίνεται μόνο ελαφριά μετακίνηση, είναι απαραίτητη μια πιο γρήγορη επιλογή φόρτισης.
2. Η εγκατάσταση ενός φορτιστή επιπέδου 2 που απαιτεί σύνδεση σε πρίζα 240V θα κοστίζει περίπου 900€. Η πλειοψηφία των ανθρώπων που διαθέτουν ηλεκτρικά αυτοκίνητα επιλέγουν να φορτίζουν τα οχήματά τους στο σπίτι, αγοράζοντας φορτιστή EVSE (Electric Vehicle Supply Equipment) Επιπέδου 2. Απαιτείται έξοδος 240 V για φορτίσεις επιπέδου 2, κάτι που χρησιμοποιεί η πλειονότητα των στεγνωτηρίων/πλυντηρίων ρούχων. Η τιμή ενός σταθμού φόρτισης επιπέδου 2 είναι τυπικά κοντά στα 900 ευρώ, που αντιπροσωπεύει τόσο το κόστος του εξοπλισμού όσο και το κόστος εγκατάστασης.
3. Όταν πρόκειται για σταθμούς φόρτισης EVs που προορίζονται για εμπορική χρήση, επιλέγεται η επιλογή χρέωσης επιπέδου 2 για επιχειρήσεις. Η απόκτηση σταθμών ταχείας φόρτισης DC, γνωστών και ως φορτιστές Επιπέδου 3, είναι άλλη μια εναλλακτική λύση για τις εμπορικές επιχειρήσεις, ωστόσο το κόστος ενός φορτιστή EV επιπέδου 3 είναι υψηλό και αυτοί οι φορτιστές αγοράζονται συχνά μέσω παρόχων δικτύου φόρτισης EV.



Εικόνα 16. Κατηγορίες φορτιστών EVs

4.2 Κόστος Εγκατάστασης

4.2.1 Κόστος Φορτιστή Επιπέδου 2

Η κατασκευή και η εγκατάσταση ενός σταθμού φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος Επιπέδου 2 αντιπροσωπεύει ένα μικρό μέρος του συνολικού κόστους, ενώ ο εξοπλισμός αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μέρος της δαπάνης (περίπου 900 ευρώ). Οι επιτοίχιοι φορτιστές ηλεκτρικών οχημάτων επιπέδου 2 μπορούν να κυμαίνονται από 250 € για ένα μοντέλο που δεν διαθέτει σύνδεση Wi-Fi (Siemens Versicharge) έως 500 € για μια συσκευή που διαθέτει συνδεσιμότητα Wi-Fi (Chargepoint ή JuiceBox). Ένας φορητός φορτιστής επιπέδου 2 είναι μια άλλη εναλλακτική λύση και αυτός μπορεί να αγοραστεί σε τιμή που είναι κάπως χαμηλότερη από τις ασύρματες συσκευές που κοστίζουν 500 ευρώ. Επίσης, μπορεί συχνά να αγοραστεί για λιγότερο από 350 € και το AeroVironment TurboCord είναι η μάρκα που έχει το μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς. Όταν συνδέεστε σε ένα βύσμα στο σπίτι ή σε δημόσιο σταθμό που έχει έξοδο μόνο 220 V, αυτό μπορεί να είναι μια καλή επιλογή για φόρτιση.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας ενδεικτικός πίνακας κόστους φορτιστών:

MODEL	SNAPSHOT	SPECIAL FEATURES	DIMENSIONS	PRICE
JuiceBox Pro 40-Amp	Smallest in class and great for California drivers	Wifi enabled with app and connection to rewards program	10 x 6 x 3 inches	589\$
Siemens VC30GRYU Versicharge 30-Amp	Best Value and high-quality ratings	Siemens quality (UL Labs), Wifi options	20.5 x 18 x 15 inches	359\$
ChargePoint 32-Amp	Sleek and lightweight	App connects to ChargePoint network, Wifi enabled	18.5 x 15 x 7 inches	599\$
ClipperCreek HCS-40P	Sturdy U.S.-made model	Best-in class 3-year warranty	NA	589\$

Πίνακας 1. Κόστος Φορτιστών

4.2.2 Σταθμός Φόρτισης EV για Επαγγελματική Χρήση

Ένας σταθμός φόρτισης επιπέδου 2 για μια εταιρεία (εταιρική χρήση ή προς πώληση) μπορεί να έχει μια τιμή που είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτή ενός οικιακού φορτιστή, και συνήθως να κοστίζει περισσότερα από 5.000 € για εξοπλισμό και εγκατάσταση μαζί. Παραδείγματος χάρη, η τιμή του εξοπλισμού μπορεί να κυμαίνεται από 2.000 € έως και πάνω από 5.000 €. Το κόστος του εξοπλισμού είναι μεγαλύτερο, καθώς συχνά τοποθετείται σε βάση και έχει επιπλέον λειτουργίες όπως επεξεργασία πληρωμών, οθόνες LCD και άλλες δυνατότητες παρακολούθησης δεδομένων, κάτι που καθιστά και πιο δύσκολη τη μεταφορά του. Η πλειοψηφία αυτών των συσκευών περιλαμβάνει επίσης τουλάχιστον δύο συνδέσεις φόρτισης ως βασικό εξοπλισμό. Επιπλέον, το κόστος εγκατάστασης για φορτιστές επιπέδου 2 σε εμπορικές εγκαταστάσεις μπορεί να κυμαίνεται από περίπου 4.000 € έως 7.000 €. Εάν ο φορτιστής εγκατασταθεί σε δημόσιο χώρο στάθμευσης και όχι εκτός δρόμου, το κόστος εγκατάστασης θα μειωθεί σημαντικά λόγω του γεγονότος ότι οι φορτιστές μπορεί να στοιβάζονται ο ένας πάνω στον άλλο και η καλωδίωση είναι απλοποιημένη. Η καλωδίωση ενός φορτιστή που τοποθετείται σε ιδιωτική τοποθεσία είναι συνήθως πιο περίπλοκη και οι εγκαταστάσεις που χρειάζονται κάθετη διάτρηση για καλωδίωση είναι πιο ακριβές.

Η αυξημένη κυκλοφορία φορτιστών λιανικής μπορεί να αποσβέσει γρήγορα το κόστος εγκατάστασης ενός φορτιστή ηλεκτρικού οχήματος (EV) σε μια εταιρεία, γι' αυτό και ένας αυξανόμενος αριθμός εταιρειών αναζητά επιλογές για τοποθέτηση σε λιανικό εμπόριο, όπως η συγχώνευση ηλιακών πάρκων.

4.2.3 Κόστος Φορτιστή Επιπέδου 3

Η εγκατάσταση ενός σταθμού γρήγορης φόρτισης επιπέδου 3 ή DC, συνήθως πρέπει να γίνει μέσω ενός από τα δίκτυα σταθμών φόρτισης EV και μπορεί να κοστίσει περισσότερα από 50.000 € για να κατασκευαστεί και δεν αποτελεί μια οικονομική λύση. Ο εξοπλισμός και η εγκατάσταση είναι οι δύο πιο σημαντικοί παράγοντες που οδήγησαν στη συνολική αύξηση του κόστους. Για να ολοκληρωθεί η εγκατάσταση, ο ηλεκτρολόγος μπορεί να χρειαστεί να καταβάλει περισσότερες από 40 ώρες εργασίας και η εγκατάσταση μπορεί να χρειαστεί μετασχηματιστή.

Παρακάτω αναφέρεται το κόστος για οικιακούς φορτιστές επιπέδου 2, φορτιστές επιπέδου 2 για επιχειρήσεις και φορτιστές επιπέδου 3:

	Level 2 Home	Level 2 Parking Garage	Level 2 Curb-side	DC Fast Charging	Description/Key Assumptions
Charge station hardware	\$450–\$1,000	\$1,500–\$2,500	\$1,500–\$3,000	\$12,000–\$35,000	
Electrician Materials	\$50–\$150	\$210–\$510	\$150–\$300	\$300–\$600	• \$1.50–2.50/ft for conduit and wire, plus <u>misc</u> other materials • \$50–80/hour (per <u>dist?</u>)
Electrician Labor	\$100–\$350	\$1,240–\$2,940	\$800–\$1,500	\$1,600–\$3,000	• \$500–1000 if new breaker is required • Assume 2x electrical cost for level 3
Other Materials		\$50–\$100	\$50–\$150	\$100–\$400	• \$25–100/ft for trenching/boring—depends on surface, soil, and underground complexity • Mounting, signage, protection, and restoration also included here, but don't usually contribute more than a few hundred dollars
Other Labor		\$250–\$750	\$2,500–\$7,500	\$5,000–\$15,000	
Transformer	NA	NA	NA	\$10,000–\$25,000	• 480V transformer installed by utility
Mobilization	\$50–\$200	\$250–\$500	\$250–\$500	\$600–\$1,200	• Home: 1–3 hours of electrician time for a home installation • Public: \$250–500 of time for 1–2 electricians and other labor. We found that the work could usually be completed in a single visit from each contractor.
Permitting	\$0–\$100	\$50–\$200	\$50–\$200	\$50–\$200	• Varies city to city, often a flat fee for one or several stations

Πίνακας 2. Κόστος εξοπλισμού, πηγή: RMI

4.3 Κόστος κατά την Φόρτιση του Ηλεκτρικού Αυτοκινήτου

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε, για λόγους κατανόησης, ότι το κόστος των ηλεκτρικών οχημάτων που είναι πλέον προσβάσιμα στην ελληνική αγορά κυμαίνεται συνήθως από 30.000 έως 50.000 ευρώ. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνεται συνήθως από 10 έως 20 kWh ανά 100 χιλιόμετρα και για να ληφθεί ακριβής εκτίμηση κόστους, πρέπει να υπολογιστεί με το τιμολόγιο που επιβάλλεται σε κάθε μεμονωμένο προμηθευτή έχοντας υπόψη τυχόν παραλλαγές (π.χ. νυχτερινό τιμολόγιο). Λαμβάνοντας υπόψη την εκτιμώμενη κατανάλωση 15 kWh ανά 100km και την τιμή ηλεκτρικής ενέργειας 0,10 € ανά kWh (συν των ρυθμιζόμενων δαπανών), το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται σε 1,50 € ανά 100 km. Αυτό το κόστος μπορεί να αντιπαραβληθεί, για παράδειγμα, με 12,25 € σε ένα συμβατικό αυτοκίνητο, υποθέτοντας τιμή βενζίνης 1,75€/λίτρο και κατανάλωση 7 λίτρα/100 χιλιόμετρα. Σε αυτό το σενάριο, το συμβατικό αυτοκίνητο θα καταναλώνει περισσότερα καύσιμα. Πέρα από το προφανές χαμηλό κόστος χρήσης, το οποίο δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της τιμής των καυσίμων, το ποσό συντήρησης που απαιτείται είναι επίσης αρκετά χαμηλό. Επιπλέον, ο αντίκτυπος που έχουν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα στο περιβάλλον είναι σταθερός καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους.

4.4 Κίνητρα

Ιδιαίτερα εν μέσω οικονομικής ύφεσης, το υψηλό κόστος αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων λειτουργεί ως σημαντικό εμπόδιο. Εξαιτίας αυτού, η εισαγωγή οικονομικών κινήτρων είναι υψίστης σημασίας. Οι πολίτες είναι αυτοί που πρέπει να πληρώσουν το τίμημα για κάθε είδους επιδότηση. Είναι λοιπόν λογικό οι χώρες να αξιολογούν με μεγάλη προσοχή από πού θα προέλθει οποιαδήποτε βοήθεια καθώς και ποια ποσά είναι λογικά, λαμβάνοντας υπόψη τόσο το τρέχον οικονομικό κλίμα όσο και τους δικούς τους περιβαλλοντικούς στόχους. Η τεχνική που ακολουθεί η Γαλλία είναι ιδιαίτερης σημασίας, διότι ο αριθμός των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στη χώρα αυτή αυξήθηκε από 10.000 το 2012 σε 100.000 το 2016. Η θέσπιση διαφόρων οικονομικών κινήτρων λειτούργησε ως ώθηση για αυτό το άλμα της αναπτυξιακής διαδικασίας. Στη Γαλλία, οι καταναλωτές μπορούν να λάβουν επιδότηση 3.500 ευρώ όταν ανταλλάσσουν το παραδοσιακό τους αυτοκίνητο για ένα ηλεκτρικό υβριδικό, και αυτή η αξία επιδότησης αυξάνεται στα 10.000 ευρώ για ένα αμιγώς ηλεκτρικό όχημα. Τόσο ο αριθμός των ατόμων που αγοράζουν ηλεκτρικά αυτοκίνητα όσο και ο αριθμός των τοποθεσιών φόρτισης στο Βέλγιο αυξήθηκαν κατά τρεις φορές το 2016 σε σχέση με το προηγούμενο έτος αφού το ποσό της επιδότησης φτάνει τα 4.000 ευρώ. Στη Γερμανία, η επιδότηση για τα πλήρως ηλεκτρικά οχήματα μπορεί να φτάσει τα 4.000 ευρώ, ενώ για τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά οχήματα μπορεί να φτάσει τα 3.000 ευρώ. Ως συνέπεια αυτού, η κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου δήλωσε ότι θα διαθέσει 290 εκατομμύρια λίρες για

να ωθήσει τα οχήματα χαμηλών εκπομπών ρύπων, εκ των οποίων οι 80 εκατομμύρια λίρες είναι διαθέσιμες για την ενίσχυση των υποδομών φόρτισης. Το μέγιστο ποσό που μπορεί να χορηγηθεί ως επιχορήγηση αγοράς είναι £4.500 και καλύπτει το 35% του συνολικού κόστους.

Εκτός από την οικονομική βοήθεια για αγορά ηλεκτρικού οχήματος, πολλά έθνη στην Ευρώπη έχουν θεσπίσει και άλλες μορφές κινήτρων, όπως μειώσεις ή πλήρεις απαλλαγές από την πληρωμή φόρου ιδιοκτησίας και των τελών κυκλοφορίας, καθώς και ευνοϊκότερες ρυθμίσεις για τη πρόσβαση στα αστικά κέντρα και τη στάθμευση. Υπάρχουν επίσης δελεαστικά κίνητρα για τους υπαλλήλους που οδηγούν επαγγελματικά οχήματα.

Στην Ελλάδα, η πολιτική υποβοήθησης της ηλεκτροκίνησης είναι πολύ περιορισμένη στο σημερινό περιβάλλον, διότι συνίσταται μόνο σε απαλλαγή από τους φόρους και τα τέλη κυκλοφορίας. Ωστόσο, το Πλαίσιο Πολιτικής Υποδομής Εναλλακτικών Καυσίμων που δημοσιεύθηκε το 2017, πλαισιώνει μια εκτενή αναφορά στην ηλεκτροκίνηση καθώς και σε μια ποικιλία κινήτρων που θα εξεταστούν στο εγγύς μέλλον. Αυτά τα κίνητρα περιλαμβάνουν τα μέσα μαζικής μεταφοράς, τα δημοτικά οχήματα και τα ταξί. Το λυπητερό, αλλά αισιόδοξο σενάριο υπολογίζει ότι θα υπάρχουν μόνο 8.000 ηλεκτρικά αυτοκίνητα μέχρι το 2025 και ότι ο αριθμός τους δεν θα ξεπεράσει τις 15.000 μέχρι το 2030. Μια ενδιαφέρουσα νέα εξέλιξη που συνέβη πριν από λίγο καιρό είναι το γεγονός ότι ένας συγκεκριμένος προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας προσφέρει τώρα μια επιδότηση της τάξης των 9.000€ σε πελάτες που αγοράζουν ένα συγκεκριμένο ηλεκτρικό μοντέλο καθώς και την προσφορά δωρεάν ηλεκτρικής ενέργειας για προκαθορισμένο χρονικό διάστημα και προκαθορισμένο αριθμό χιλιομέτρων.

4.5 Αντίκτυπος στην Οικονομία

Τα ηλεκτρικά οχήματα (EV) και η τεχνολογία έξυπνων δικτύων έχουν τη δυνατότητα να επιφέρουν σημαντικά οικονομικά οφέλη, τόσο όσον αφορά τη δημιουργία θέσεων εργασίας όσο και την αυξημένη απόδοση στη χρήση ενέργειας. Η ενσωμάτωση των EV στο έξυπνο δίκτυο επιτρέπει πιο αποτελεσματική φόρτιση και μπορεί να συμβάλει στη μείωση της πίεσης στο δίκτυο, ενώ παράλληλα δημιουργεί θέσεις εργασίας σε διάφορους κλάδους.

Ένα από τα κύρια οικονομικά οφέλη των ηλεκτρικών οχημάτων και της τεχνολογίας έξυπνου δικτύου είναι η δυνατότητα μείωσης του ενεργειακού κόστους για τους καταναλωτές. Με τη διαχείριση του φορτίου στο δίκτυο πιο αποτελεσματικά, η τεχνολογία έξυπνου δικτύου μπορεί να συμβάλει στη μείωση της ανάγκης για ακριβούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με φορτίο αιχμής, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την κάλυψη περιόδων υψηλής ζήτησης. Αυτό μπορεί να συμβάλει στη μείωση του συνολικού ενεργειακού κόστους και να καταστήσει την ενέργεια πιο προσιτή για τους καταναλωτές. Εκτός από τη μείωση του ενεργειακού κόστους, η ενσωμάτωση των EV στο έξυπνο δίκτυο μπορεί επίσης να δημιουργήσει νέες θέσεις εργασίας σε διάφορους κλάδους. Καθώς

εγκαθίστανται περισσότεροι σταθμοί φόρτισης, αυξάνεται η ζήτηση ηλεκτρολόγων και άλλων επαγγελματιών για την εγκατάσταση και συντήρηση της υποδομής φόρτισης. Η παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων και των εξαρτημάτων τους μπορεί επίσης να δημιουργήσει θέσεις εργασίας στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας και της τεχνολογίας.

Η τεχνολογία Smart Grid επιτρέπει επίσης την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει νέες θέσεις εργασίας στην κατασκευή και συντήρηση εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συμβάλλοντας παράλληλα στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα του ενεργειακού συστήματος. Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί επίσης να μειώσει την εξάρτηση από το ξένο πετρέλαιο και να συμβάλει στη σταθεροποίηση των τιμών της ενέργειας.

Ένα άλλο οικονομικό όφελος των ηλεκτρικών οχημάτων και της τεχνολογίας έξυπνων δικτύων είναι η δυνατότητα μείωσης του κόστους υγειονομικής περίθαλψης που σχετίζεται με την ατμοσφαιρική ρύπανση. Οι εκπομπές από τα παραδοσιακά βενζινοκίνητα οχήματα έχουν συνδεθεί με μια ποικιλία προβλημάτων υγείας, συμπεριλαμβανομένου του άσθματος και των καρδιακών παθήσεων. Με τη μείωση του αριθμού των βενζινοκίνητων οχημάτων στο δρόμο, το σύστημα υγειονομικής περίθαλψης μπορεί να εξοικονομήσει χρήματα για τη θεραπεία αυτών των ασθενειών.

Ωστόσο, υπάρχουν επίσης πιθανές οικονομικές προκλήσεις που σχετίζονται με την ευρεία υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων και της τεχνολογίας έξυπνων δικτύων. Μια ανησυχία είναι ο αντίκτυπος στη βιομηχανία ορυκτών καυσίμων, που θα μπορούσε ενδεχομένως να οδηγήσει σε απώλεια θέσεων εργασίας και οικονομική αναστάτωση σε περιοχές που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την παραγωγή πετρελαίου. Μπορεί επίσης να υπάρξει ανάγκη για προγράμματα επανεκπαίδευσης και εκπαίδευσης που θα βοηθήσουν τους εργαζόμενους να μεταβούν σε νέες βιομηχανίες και σταδιοδρομίες.

Συμπερασματικά, η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο έξυπνο δίκτυο έχει τη δυνατότητα να επιφέρει σημαντικά οικονομικά οφέλη. Με τη μείωση του ενεργειακού κόστους, τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και τη μείωση του κόστους υγειονομικής περίθαλψης που σχετίζεται με την ατμοσφαιρική ρύπανση, τα ηλεκτρικά οχήματα και η τεχνολογία έξυπνων δικτύων μπορούν να συμβάλουν στην οικονομική ανάπτυξη και βιωσιμότητα. Ωστόσο, μπορεί επίσης να υπάρχουν προκλήσεις που σχετίζονται με τη μετάβαση σε ένα πιο αποτελεσματικό και βιώσιμο ενεργειακό σύστημα, συμπεριλαμβανομένης της ανάγκης για προγράμματα επανεκπαίδευσης και εκπαίδευσης για εργαζόμενους σε κλάδους που ενδέχεται να επηρεαστούν από τη μετάβαση.

Κεφάλαιο 5

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

5.1 Περιβάλλον και Ηλεκτροκίνηση

Τα μηχανοκίνητα οχήματα απορρίπτουν ρύπους στην ατμόσφαιρα καθ' όλη τη διάρκεια της κυκλοφορίας τους, συμπεριλαμβανομένης της οδήγησης τους, του ανεφοδιασμού τους, της κατασκευής τους και της απόσυρσής τους. Η διαδικασία διύλισης και διανομής βενζίνης για αυτοκίνητα σχετίζεται με την παραγωγή πρόσθετων ρύπων. Η πρωτογενής και η δευτερογενής ρύπανση είναι οι δύο κατηγορίες ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλούνται από οχήματα και φορτηγά. Η δευτερογενής ρύπανση είναι το αποτέλεσμα χημικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ μολυσματικών ουσιών που υπάρχουν ήδη στην ατμόσφαιρα, ενώ η πρωτογενής ρύπανση είναι αποτέλεσμα άμεσων εκπομπών στο περιβάλλον.

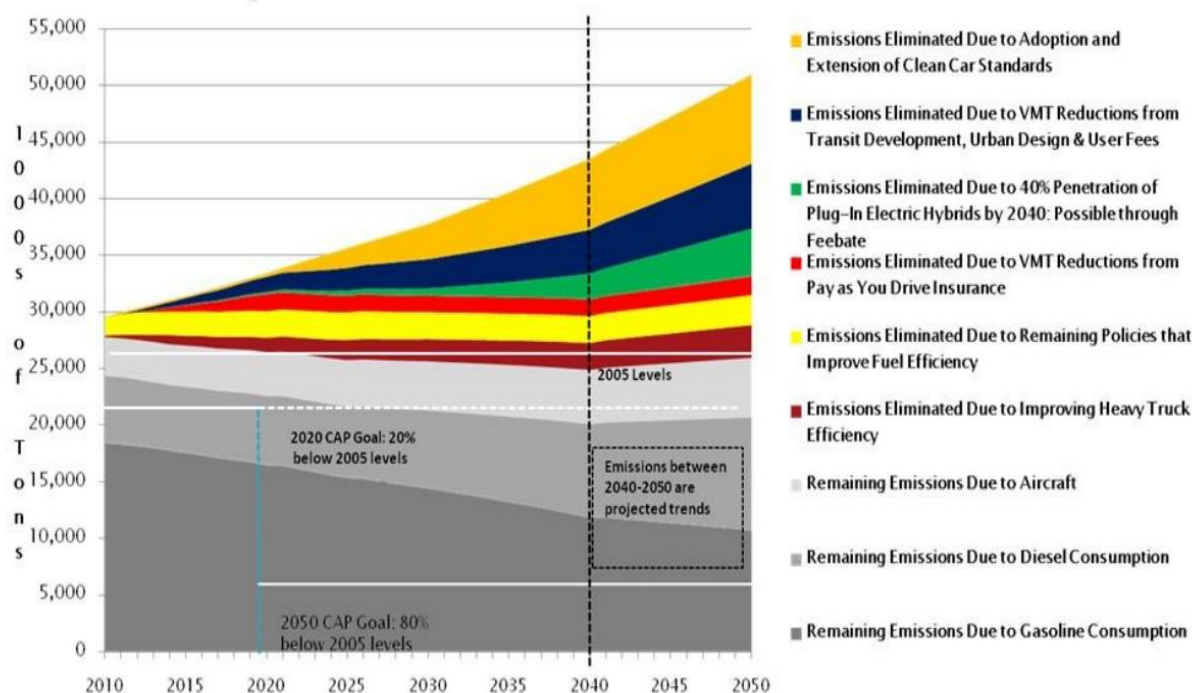
Οι ακόλουθοι είναι οι κύριοι ρύποι που προκαλούνται από τα μηχανοκίνητα οχήματα:

- Σωματίδια αιθάλης και μετάλλου: Αυτά είναι τα σωματίδια που προκαλούν την αιθαλομίχλη. Δεδομένου ότι είναι μικρότερα από το $\frac{1}{10}$ του πλάτους μιας ανθρώπινης τρίχας, τα λεπτά σωματίδια αντιπροσωπεύουν τον μεγαλύτερο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία επειδή μπορούν να ταξιδέψουν στα πιο απομακρυσμένα μέρη των πνευμόνων. Επιπλέον, υπάρχει άμεσος κίνδυνος ρύπανσης από υδρογονάνθρακες, διοξείδια του θείου και οξείδια του αζώτου.
- Υδρογονάνθρακες (HC): Το όζον στο επίπεδο του εδάφους είναι ένα κύριο συστατικό της αιθαλομίχλης και σχηματίζεται όταν οι ρύποι αυτοί συνδυάζονται με οξείδια του αζώτου σε συνδυασμό με το ηλιακό φως για να το παράξουν. Στο επίπεδο του εδάφους, αυτό το αέριο προκαλεί ερεθισμό στο αναπνευστικό μας σύστημα, προκαλώντας μας βήχα, πνιγμό και μείωση της χωρητικότητας των πνευμόνων. Ωστόσο, στην ανώτερη ατμόσφαιρα, αυτό το αέριο είναι πλεονεκτικό.
- Οξείδια του αζώτου (NO_x): Αυτοί οι ρύποι προκαλούν ερεθισμό στους πνεύμονες και μειώνουν την άμυνα ενός οργανισμού σε αναπνευστικές ασθένειες όπως η γρίπη και η πνευμονία. Επιπλέον, συμβάλλουν στην παραγωγή όζοντος, καθώς και σωματιδίων στο έδαφος.

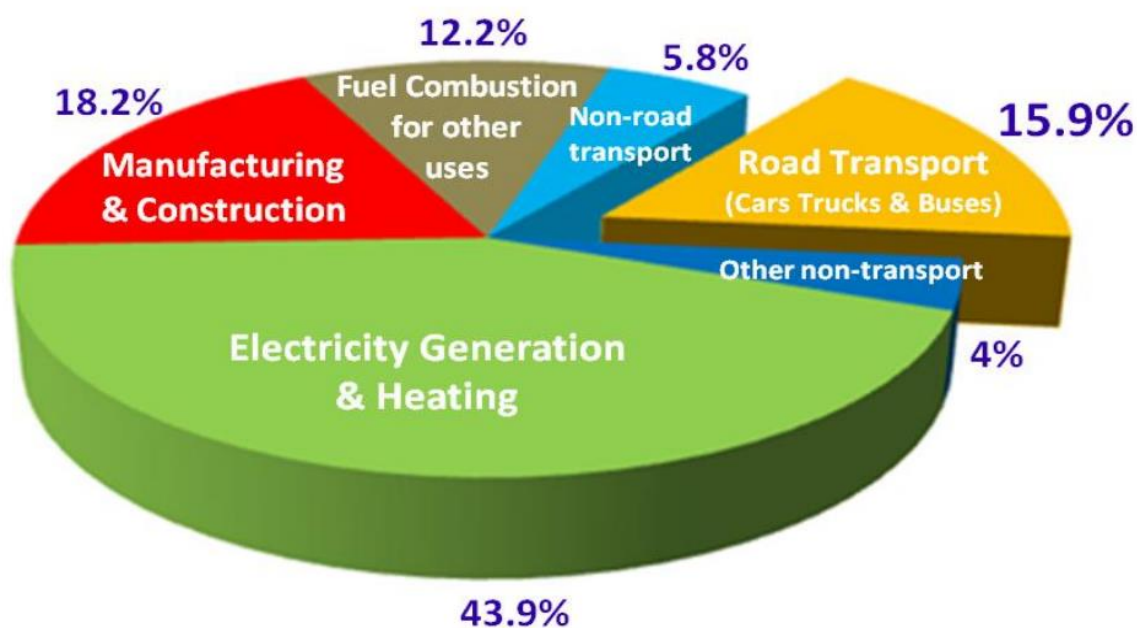
- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO): Η καύση ορυκτών καυσίμων, όπως η βενζίνη, έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή αυτού του τοξικού, άοσμου και άχρωμου αερίου, το οποίο απελευθερώνεται κυρίως στην ατμόσφαιρα από μηχανοκίνητα οχήματα όπως αυτοκίνητα και φορτηγά. Όταν εισπνέεται CO₂, εμποδίζει το οξυγόνο να φτάσει στον εγκέφαλο, καθώς και σε άλλα κρίσιμα όργανα, όπως την καρδιά. Τα νεογέννητα παιδιά και τα άτομα με χρόνιες παθήσεις διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο δυσμενών συνεπειών από την έκθεση στο μονοξείδιο του άνθρακα (CO).
- Διοξείδιο του θείου (SO₂): Αυτός ο ρύπος παράγεται από τις εγκαταστάσεις που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και τα αυτοκίνητα στο δρόμο που καίνε καύσιμα που περιλαμβάνουν θείο, ιδιαίτερα ντίζελ. Τα μικρά παιδιά και όσοι έχουν ήδη άσθμα διατρέχουν τον υψηλότερο κίνδυνο να αναπτύξουν προβλήματα υγείας ως αποτέλεσμα του διοξειδίου του θείου, το οποίο μπορεί να αντιδράσει στο περιβάλλον για να παράγει μικρά σωματίδια.
- Τοξικά: Οι συγκεκριμένες χημικές ενώσεις έχουν συσχετιστεί με καρκίνο, γενετικές ανωμαλίες και πολλές άλλες απειλητικές για τη ζωή διαταραχές. Η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος έχει καθορίσει ότι οι ατμοσφαιρικοί ρύποι που παράγονται από τα συμβατικά οχήματα, που περιλαμβάνουν ακεταλδεΰδη, βενζόλιο και 1,3-βουταδιένιο, ευθύνονται για περίπου το 50% όλων των κακοηθειών που προκαλούνται από τη ρύπανση της ατμόσφαιρας.
- Αέρια θερμοκηπίου: Ρύποι όπως το διοξείδιο του άνθρακα, που εκπέμπονται από τα μηχανοκίνητα οχήματα, είναι ένας άλλος παράγοντας στην εξέλιξη της κλιματικής αλλαγής σε παγκόσμια κλίμακα.

Τα διαγράμματα που ακολουθούν καταδεικνύουν ότι η ρύπανση που προκαλείται από τα μηχανοκίνητα οχήματα αντιπροσωπεύει σημαντικό μέρος της και πως όσο αυξάνεται ο πληθυσμός, αυξάνεται ανάλογα και ο αριθμός των αυτοκινήτων στους δρόμους. Δεδομένου ότι αυτό θα οδηγήσει στην παραγωγή μεγαλύτερης ποσότητας ρύπανσης από ό,τι υπάρχει ήδη αυτή τη στιγμή, οι επιστήμονες έχουν στρέψει την προσοχή τους στην έρευνα και την ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον καινοτομιών στις μεταφορές.

CO₂ Emissions from the Transportation Sector



Εικόνα 17. Εκπομπή CO₂



Εικόνα 18. Ποσοστά παραγωγής εκπομπών ρύπων,
πηγή: <http://www.oica.net/man-made-co2-emissions/>

5.2 Επιδράσεις στο Περιβάλλον που Προκαλούν τα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα

Σύμφωνα με τα ευρήματα μιας σειράς μελετών, έχει προσδιοριστεί ότι τα οφέλη για το περιβάλλον που προκύπτουν από τη χρήση ηλεκτρικών αυτοκινήτων μετριάζονται από το βαθμό στον οποίο ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας προέρχεται από πόρους που δεν αναπληρώνονται. Για να είμαστε πιο συγκεκριμένοι, ο όρος "wells-to-wheels emissions" χρησιμοποιείται για να συγκριθεί η επίδραση που έχουν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα στο περιβάλλον σε αντίθεση με εκείνα που κινούνται από κινητήρα εσωτερικής καύσης. Αυτή η μέθοδος υπολογίζει τη συνολική ποσότητα των ρύπων που παράγονται από ένα αυτοκίνητο από την ημέρα κυκλοφορίας του στην αγορά μέχρι την ημέρα που βγαίνει εκτός λειτουργίας. Αυτή η μέθοδος λαμβάνει υπόψη τόσο τις άμεσες όσο και τις έμμεσες εκπομπές, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που είναι το αποτέλεσμα των καυσίμων και των υλικών που απαιτούνται για την παραγωγή της αναγκαίας ενέργειας που χρειάζεται ένα όχημα. Στην πραγματικότητα, σε ορισμένες περιοχές, για παράδειγμα, εκείνες στις οποίες ο άνθρακας και/ή το φυσικό αέριο είναι οι κύριοι πόροι για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, έχει παρατηρηθεί ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν "wells-to-wheels emissions" που είναι οριακά υψηλότερες ή οριακά χαμηλότερες από εκείνες των αυτοκινήτων με μηχανή εσωτερικής καύσης. Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα της χρήσης τους δεν είναι τα επιθυμητά [25]. Έχει αποδειχθεί, όπως αναφέρουν οι συγγραφείς των [26][28][31], ότι όσο μεγαλύτερη είναι η εδραίωση των EVs στο ηλεκτρικό δίκτυο, τόσο εντείνεται και η ανάγκη ενσωμάτωσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), που τελικά έχει ως αποτέλεσμα ένα ηλεκτρικό δίκτυο που είναι πιο φιλικό προς το περιβάλλον. Το τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό, αφορά τις μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα. Οι σύγχρονες τεχνολογίες, όπως η επί του παρόντος διαδεδομένη Ιόντων-Λιθίου, μπορεί να μην περιλαμβάνουν δυνητικά επιβλαβή χημικά συστατικά όπως οι πρόδρομοί τους (π.χ. Μόλυβδος-Οξέος). Όμως, εάν δεν ανακυκλωθούν και καταλήξουν σε κάποια παράνομη χωματερή, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να μολύνουν τα υπόγεια ύδατα. Αυτό συμβαίνει γιατί οι παράνομες χωματερές δεν ελέγχονται.

5.3 Περιβαλλοντικός Αντίκτυπος EVs και Έξυπνου Δικτύου

Η ενσωμάτωση των Ηλεκτρικών Οχημάτων (EVs) και της τεχνολογίας Smart Grid έχει τη δυνατότητα να μειώσει σημαντικά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μεταφορών. Αξιοποιώντας τη δύναμη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την έξυπνη διαχείριση του δικτύου, αυτή η αναδυόμενη τεχνολογία υπόσχεται να ελαχιστοποιήσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και την ατμοσφαιρική ρύπανση, βελτιώνοντας παράλληλα την ενεργειακή απόδοση.

Ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά οφέλη των ηλεκτρικών οχημάτων είναι η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Σε αντίθεση με τα βενζινοκίνητα οχήματα, τα EV δεν εκπέμπουν

εκπομπές καυσαερίων, γεγονός που μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα στις αστικές περιοχές και στη μείωση των κινδύνων για την υγεία που συνδέονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση. Επιπλέον, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) για την τροφοδοσία ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά μηδενικών εκπομπών.

Εκτός από τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, η ενσωμάτωση των EV και της τεχνολογίας έξυπνου δικτύου μπορεί επίσης να βελτιώσει την ενεργειακή απόδοση. Το έξυπνο δίκτυο μπορεί να παρακολουθεί και να διαχειρίζεται τη ροή της ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, βελτιστοποιώντας τη χρήση ενέργειας και μειώνοντας τα απόβλητα. Όταν συνδυάζεται με σταθμούς φόρτισης EV, αυτή η τεχνολογία μπορεί να διασφαλίσει ότι τα οχήματα φορτίζονται όταν η ζήτηση είναι χαμηλή και η ηλεκτρική ενέργεια φθηνότερη, συμβάλλοντας σε πιο αποδοτική και οικονομική χρήση ενέργειας. Επιπλέον, η χρήση τεχνολογίας έξυπνων δικτύων μπορεί να μειώσει την ανάγκη για σταθμούς παραγωγής ενέργειας αιχμής, οι οποίοι συχνά τροφοδοτούνται από ορυκτά καύσιμα και μπορούν να δημιουργήσουν υψηλά επίπεδα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Με τη διαχείριση του φορτίου στο δίκτυο πιο αποτελεσματικά, η τεχνολογία έξυπνου δικτύου μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των συνολικών εκπομπών και στη βελτίωση της βιωσιμότητας του ενεργειακού συστήματος. Ωστόσο, υπάρχουν επίσης πιθανές περιβαλλοντικές ανησυχίες που σχετίζονται με την ευρεία υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων και της τεχνολογίας έξυπνων δικτύων. Η παραγωγή και η απόρριψη των μπαταριών που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα μπορεί να έχει σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένης της εξόρυξης και της επεξεργασίας υλικών και της λανθασμένης απόρριψης των χρησιμοποιημένων μπαταριών. Επιπλέον, η αυξημένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για την τροφοδοσία ηλεκτρικών οχημάτων θα μπορούσε να οδηγήσει στην επέκταση των υποδομών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία θα μπορούσε να έχει αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Συνολικά, η ενοποίηση των ηλεκτρικών οχημάτων και της τεχνολογίας έξυπνου δικτύου έχει τη δυνατότητα να μειώσει σημαντικά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μεταφορών. Με τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αυτή η τεχνολογία υπόσχεται να βελτιώσει τη βιωσιμότητα του ενεργειακού συστήματος και να συμβάλει σε ένα πιο υγιεινό περιβάλλον. Ωστόσο, θα είναι σημαντικό να αντιμετωπιστούν οι περιβαλλοντικές προκλήσεις που σχετίζονται με την παραγωγή και τη διάθεση εξαρτημάτων EV, καθώς και την επέκταση της υποδομής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, προκειμένου να μεγιστοποιηθούν τα περιβαλλοντικά οφέλη αυτής της τεχνολογίας.

Κεφάλαιο 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία ερευνήσαμε το ηλεκτρικό όχημα, καθώς και τις προοπτικές ένταξής του στο ευφύες δίκτυο. Τα κυρίαρχα τμήματα της αγοράς είναι τα αμιγώς ηλεκτρικά αυτοκίνητα και τα plug-in υβριδικά αυτοκίνητα. Εξετάσαμε τους διάφορους τύπους διαθέσιμων μπαταριών και καταλήξαμε ότι οι μπαταρίες ιόντων λιθίου θα κυριαρχούν στα ηλεκτρικά οχήματα, αλλά η ενσωμάτωση μπαταριών με άλλες συσκευές αποθήκευσης ενέργειας όπως σφόνδυλοι, υπερπυκνωτές και κυψέλες καυσίμου έχουν πολλά υποσχόμενες δυνατότητες. Πολλές μέθοδοι ταχείας φόρτισης ερευνώνται συνεχώς στον τομέα του ανεφοδιασμού, με τη φόρτιση συνεχούς ρεύματος να αποτελεί ζωτική πτυχή των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στο προσεχές μέλλον, καθώς θα μειώσει τον χρόνο επαναφόρτισης της μπαταρίας και θα τα καταστήσει συγκρίσιμα με τα συμβατικά αυτοκίνητα.

Παρόλα αυτά, η εφαρμογή των Ηλεκτρικών Οχημάτων (EV) και των Έξυπνων Δικτύων (SG) έχει αποτελέσει θέμα μεγάλου ενδιαφέροντος τα τελευταία χρόνια λόγω των πιθανών πλεονεκτημάτων που μπορούν να αποφέρουν στην κοινωνία, όπως η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, η βελτίωση της ποιότητας του αέρα και η ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας. Η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα ηλεκτρικού δικτύου παρουσιάζει πολλές προκλήσεις, όπως η υποδομή φόρτισης, η σταθερότητα του δικτύου και η κατάλληλη διαχείριση του φορτίου. Οι τεχνολογίες Smart Grid μπορούν να διαδραματίσουν κρίσιμο ρόλο στην αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων και στη διασφάλιση της απρόσκοπτης ενσωμάτωσης των EV στο σύστημα δικτύου. Μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις στην ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο είναι η υποδομή της φόρτισης. Το υπάρχον σύστημα δικτύου δεν έχει σχεδιαστεί για να χειρίζεται το πρόσθετο φορτίο της φόρτισης EV και η κατασκευή νέας υποδομής μπορεί να είναι δαπανηρή. Ωστόσο, οι τεχνολογίες Smart Grid μπορούν να αλληλοεπιδράσουν με το EV για να το φορτίσουν στον βέλτιστο χρόνο, μειώνοντας ταυτόχρονα την επιβάρυνση του συστήματος του δικτύου. Μια άλλη πρόκληση είναι η σταθερότητα του δικτύου. Τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν τη δυνατότητα να υπερφορτώσουν το σύστημα του δικτύου, ειδικά κατά τις περιόδους αιχμής. Όμως, οι τεχνολογίες Smart Grid μπορούν να παρακολουθούν το σύστημα δικτύου και να διαχειρίζονται το φορτίο για να εξασφαλίσουν τη σταθερότητα του συστήματος. Επιπλέον, οι τεχνολογίες Smart Grid μπορούν να επιτρέψουν αμφίδρομη ροή ενέργειας, επιτρέποντας στα ηλεκτρικά οχήματα να παρέχουν ισχύ πίσω στο δίκτυο όταν η ζήτηση είναι υψηλή.

Η διαχείριση φορτίου αποτελεί επίσης σημαντική πρόκληση για την ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα δικτύου. Η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων κατά τις ώρες αιχμής

μπορεί να οδηγήσει σε αστάθεια του δικτύου και σε αυξημένες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, οι τεχνολογίες Smart Grid μπορούν να διαχειριστούν το φορτίο φορτίζοντας EV σε ώρες εκτός αιχμής. Αυτό όχι μόνο θα συμβάλει στη μείωση της επιβάρυνσης του δικτύου αλλά και θα ωφελήσει τους καταναλωτές παρέχοντάς τους φθηνότερες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας.

Συμπερασματικά, η ενσωμάτωση των EV στο σύστημα δικτύου παρουσιάζει αρκετές προκλήσεις, αλλά η εφαρμογή τεχνολογιών Smart Grid μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπισή τους και να διασφαλίσει την απρόσκοπτη ενσωμάτωση των EV στο σύστημα δικτύου. Οι τεχνολογίες Smart Grid μπορούν να διαδραματίσουν κρίσιμο ρόλο στη διαχείριση του φορτίου, στη διασφάλιση της σταθερότητας του δικτύου και στη μείωση της επιβάρυνσης του συστήματος δικτύου. Καθώς οι ρυθμιστικές αρχές θεωρούν τα Smart Grid, ως εργαλεία για την αύξηση της αποδοτικότητας, των περιβαλλοντικών οφελών και των πελατών, η εφαρμογή των τεχνολογιών Smart Grid μπορεί να βοηθήσει στην επίτευξη των συνολικών στόχων των μελλοντικών δικτύων. Ως εκ τούτου, η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα δικτύου, μαζί με την εφαρμογή τεχνολογιών Smart Grid, είναι ένα σημαντικό βήμα προς ένα βιώσιμο ενεργειακό μέλλον.

Βιβλιογραφία

- [1] Alexander D, Hilshey Member, Paul DH, Hines Jonathan R. Estimating the acceleration of transformer aging due to electric vehicle charging. Power Energy Soc General Meet 2011, p.24–9.
- [2] Anjan A., Adrian B., Jason G., Best practises in the deployment of smart grid technologies,
https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/dotcom/client_service/epng/pdfs/mck%20on%20smart%20grids/mosg_bestpractices_vf.pdf.
- [3] Bakker, Daan. (2010, Aug). Battery Electric Vehicles (Master's thesis). Universiteit Utrecht. Retrieved from http://www.emicbg.org/files/Battery_Electric_Vehicles.pdf.
- [4] Barre, A., Deguilhem, B., Grolleau, S., Gerard, M., Suard, F., Riu, D. (2013). A review on lithium-ion battery ageing mechanisms and estimations for automotive application. Journal of Power Sources, p. 680-689. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2013.05.040.
- [5] Barsukov, Y., & Qian, J. (2013). Battery power management for portable devices. London, United Kingdom. Artech House.
- [6] Burke, A., & Miller, M. (2011). The power capability of ultracapacitors and lithium batteries for electric and hybrid vehicle application. Journal of Power Sources, p.514-522. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2010.06.092.
- [7] Chan, C. C. (2013). The Rise & Fall Of Electric Vehicles In 1828-1930: Lessons Learned. Proceeding Of The IEEE. 101(1), p. 206-212.
- [8] Christensen, J., Albertus, P., Sanchez-Carrera, R. S., Lohmann, T., Kozinsky, B., Liedtke, R., Ahmed, J., Kojic, A. (2012). A Critical Review of Li/Air Batteries. Journal of the Electrochemical Society. 159(2): R1-R30. DOI: 10.1149/2.086202jes.
- [9] Cub Scout Car Show. (2008, Jan). Retrieved from http://www.macscouter.com/CubScouts/PowWow07/SCCC_2007/CubScoutThemes/Jan_2008.pdf.
- [10] Das, S. H., Tan, W. C., Yatim, A. H. M. (2017). Fuel cell electric vehicles: A review on power conditioning units and topologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, p. 268-291.

- [11] Golubkov, A., Scheikl, S., Planteu, R., Voitic, G., Wiltse, H., Stangl, C., Fauler, G... (2015). Thermal runaway of commercial 18650 Li-ion batteries with LFP and NCA cathodes – impact of state of charge and overcharge. RSC Advances, p. 57171- 57186. DOI: 10.1039/c5ra05897j.
- [12] Gong Q, Midlan-Mohler S, Marano V, Rizzoni G. Study of PEV charging on residential distribution transformer life. IEEE Trans Smart Grid 2012, p.:404–12.
- [13] Green RC, Wang L, Alam M. The impact of plug-in hybrid electric vehicles on distribution networks: a review and outlook. Renew Sustain Energy Rev 2011, p. 544–53.
- [14] Jaguemont, J., Boulon, L., Venet, P., Dube, Y., Sari, A. (2015, Aug 27). Lithium-Ion Battery Aging Experiments at Subzero Temperatures and Model Development for Capacity Fade Estimation. IEEE Transportation Vehicle Technology. 65, p. 4328-4343. DOI: 10.1109/TVT.2015.2473841.
- [15] Julio A. , Vicente T., Piedad G., Francisco J.,Johann M. M., A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges, Smart Cities 2021, 4, p. 372–404. <https://doi.org/10.3390/smartcities4010022>.
- [16] Kempton W, Tomic' J (2005), Vehicle-to-grid power implementation: from stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy. J Power Sources 144, p. 280–294.
- [17] Lowe, M., Tokuoka, S., Trigg, T., Gereffi, G. (2010). Lithium-ion batteries for electric vehicles: The U.S. value chain. Center on Globalization, Governance & Competitiveness. Retrieved from [https://unstats.un.org/unsd/trade/s_geneva2011/refdocs/RDs/LithiumIon%20Batteries%20\(Gereffi%20-%20May%202010\).pdf](https://unstats.un.org/unsd/trade/s_geneva2011/refdocs/RDs/LithiumIon%20Batteries%20(Gereffi%20-%20May%202010).pdf).
- [18] Malik A., Asif K., Awais M., Hasan A., Overview of smart grid implementation: Frameworks, impact, performance and challenges, Journal of Energy Storage, Volume 49, May 2022, 104056, <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104056>.
- [19] Malik, M., Dincer, I., Rosen, M. A. (2016). Review on use of phase change materials in battery thermal management for electric and hybrid electric vehicles. International Journal of Energy Research, p. 1011-1031. DOI: 10.1002/er.3496.B.E.

- [20] Manzetti, S., Mariasiu, F. (2015). Electric vehicle battery technologies: From present state to future systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 1004-1012. DOI: 10.1016/j.rser.2015.07.010.
- [21] Matheys, J., Mierlo, J., Timmermans, J. M., Bossche, P. (2008, Feb). Life-cycle assessment of batteries in the context of the EU Directive on end-of-life vehicles. *International Journal of Vehicle Design*, p. 189-203. DOI: 10.1504/IJVD.2008.017182.
- [22] Moorthi, M. (2017). Lithium titanate based batteries for high and high cycle life applications. NEI Corporation. Retrieved from www.neicorporation.com.
- [23] Muenzel, V., Hollenkamp, F. A., Bhatt, A., Hoog, J., Brazil, M., Thomas, D., Mareels, I. (2015). A Comparative Testing Study of Commercial 18650-Format Lithium-Ion Battery Cells. *Journal of The Electrochemical Society*., p. A1592- A1600. DOI: 10.1149/2.0721508jes.
- [24] Ostadi, A., Kazerani, M., Chen, S. K. (2013). Hybrid Energy Storage System (HESS) in Vehicular Applications: A Review on Interfacing Battery and Ultra-capacitor Units. In *Proceedings of the IEEE Transportation Electrification Conference and Expo*, Detroit, MI, USA.
- [25] Paul S, et al. A review of smart technology (Smart Grid) and its features. *Kalyani: Non-Conventional Energy (ICONCE)*; 2014.
- [26] Reddy T, et al. A review of smart grid communication technologies. *Int J Curr Eng Technol* 2014, p. 2405–13.
- [27] Richardson DB. Electric vehicles and the electric grid: a review of modeling approaches, Impacts, and renewable energy integration. *Renew Sustain Energy Rev* 2013, p. 247–54.
- [28] Sharma Konark, Saini Lalit Mohan. Performance analysis of smart metering for smart grid: an overview. *Renew Sustain Energy Rev* 201, p. 720–35.
- [29] Smith, M., Gladwin, D., Stone, D. (2017, Aug). Experimental analysis of Dynamic Charge Acceptance test conditions for lead-acid and lithium iron phosphate cells. *Journal of Energy Storage*, p. 55-65. DOI: 10.1016/j.est.2017.03.012.

- [30] Soares FJ, Lopes JAP, Almeida PMR. A Monte Carlo method to evaluate electric vehicles impacts in distribution networks. In: Proceedings of IEEE conference on innovative technologies for an efficient and reliable electricity supply, Waltham: IEEE; 2010. p. 365–372.
- [31] Sofana Reka S, Ramesh V. A smart survey on demand response potential in global energy market. Indian J Sci Technol 2015, p. 474–83.
- [32] Tarascon, M., & Armand, M. (2001). Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. Nature International Journal of Science, p. 359-367. DOI: 10.1038/35104644
- [33] Technology Roadmap: Electric and plug-in hybrid electric vehicles (EV/PHEV). (2011). Retrieved from:
http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/EV_PHEV_Roadmap.pdf.
- [34] The Battery University website (2018). Retrieved from <https://batteryuniversity.com/>
- [35] Tulpule P. J., Marano V., Yurkovich S., Rizzoni G., Economic and environmental impacts of a PV powered workplace parking garage charging station. Appl Energy 2013, p. 323–32.
- [36] Wakefield, E.H. (1994). History of the Electric Automobile. PA: Society of Automotive Engineers. 1, 2-3.
- [37] Wang, Q., Ping, P., Zhao, X., Chu, G., Sun, J., Chen, C. (2012, Jun 15). Thermal runaway caused fire and explosion of lithium-ion battery. Journal of Power Sources., p. 210-224. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2012.02.038.
- [38] Weicker, P. (2014). A systems approach to lithium-ion battery management. London, United Kingdom. Artech House.
- [39] Williard, N., He, W., Hendricks, C., Pecht, M. (2013). Lessons Learned from the 787 Dreamliner Issue on Lithium-Ion Battery Reliability. Energies, p. 4682-4695. DOI: 10.3390/en6094682.
- [40] World's first electric car build by Victorian inventor. (2009, Apr.24), DailyTelegraph.
<http://www.telegraph.co.uk/news/newstopics/howaboutthat/5212278/Worlds-firstelectric-car-built-by-Victorianinventorin-1884.html>.

- [41] Xiaolin M., Rui Z., Daniel T., Vehicle-to-Vehicle charging system fundamental and design comparison, 2019 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), DOI: 10.1109/ICIT.2019.8755057.
- [42] Yoo, G., Jang, B., Son, J. (2015, Jan). Novel design of core shell structure by NCA modification on NCM cathode material to enhance capacity and cycle life for lithium secondary battery. *Ceramics International*, p. 1913-1916. DOI: 10.1016/j.ceramint.2014.09.077.
- [43] Zhang, X., Kong, X., Li, G., Li, J. (2014). Thermodynamic assessment of active cooling/heating methods for lithium-ion batteries of electric vehicles in extreme conditions. *Energy*, p.1092-1101. DOI: doi.org/10.1016/j.energy.2013.10.088.