



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ
ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΕΞΥΓΝΟ
ΔΙΚΤΥΟ**

Διπλωματική Εργασία

Μπαξεβάνης Ελισσαίος

Επιβλέπων Καθηγητής:

Μπαργιώτας Δημήτριος

Βόλος 2019



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ
ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΕΞΥΓΝΟ
ΔΙΚΤΥΟ**

Διπλωματική Εργασία

Μπαξεβάνης Ελισσαίος

Επιβλέπων Καθηγητής:

Μπαργιώτας Δημήτριος

Βόλος 2019



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

**STUDY AND ANALYSIS OF ELECTRIC CAR AND
CONNECTION WITH THE SMART GRID**

Diploma Thesis

Baxevanis Elissaios

Supervisor:

Bargiotas Dimitrios

Volos 2019

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την περάτωση αυτής της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστώ αρχικά τον επιβλέποντα μου, Αναπληρωτή Καθηγητή Δημήτριο Μπαργιώτα, για την ευκαιρία που μου έδωσε να μελετήσω το συγκεκριμένο θέμα καθώς επίσης και για την καθοδήγηση, τις χρήσιμες συμβουλές και την εμπιστοσύνη προς το πρόσωπο μου σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συν-επιβλέποντα μου, Καθηγητή Ελευθέριο Τσουκαλά για τις πολύτιμες συμβουλές του.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου για την διαρκή και πολύπλευρη στήριξη που μου παρείχαν σε ολόκληρη την έως τώρα ακαδημαϊκή μου πορεία καθώς επίσης και τους φίλους μου, τόσο αυτούς που γνώρισα στη φοιτητική μου ζωή όσο και αυτούς που ήταν και είναι κοντά μου από τα σχολικά μας χρόνια.

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

«Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. 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

Μπαξεβάνης Ελισσαίος

Ημερομηνία

01/07/2019

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και πραγματεύεται το ηλεκτρικό αυτοκίνητο καθώς και τη σύνδεση του με το έξυπνο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο πρώτο κεφάλαιο αρχικά γίνεται μια ιστορική αναδρομή στην πορεία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων από την εφεύρεση τους μέχρι και σήμερα ενώ στη συνέχεια παρουσιάζονται οι διάφορες κατηγορίες που εντάσσονται στην οικογένεια των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Στο τέλος του κεφαλαίου αυτού περιγράφονται οι ηλεκτρικοί κινητήρες καθώς και τα ηλεκτρονικά ισχύος που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Στο δεύτερο κεφάλαιο αυτής της εργασίας αναλύεται ίσως το σημαντικότερο δομικό στοιχείο των ηλεκτρικών αυτοκινήτων που είναι οι συσκευές αποθήκευσης ενέργειας. Αρχικά παρουσιάζεται η κυρίαρχη κατηγορία που είναι η μπαταρία και αναλύονται οι διάφοροι τύποι μπαταριών που χρησιμοποιούνται. Έπειτα γίνεται αναφορά σε δύο ακόμα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας που είναι οι υπερπυκνωτές και οι σφόνδυλοι (Fly-Wheel), ενώ στο τέλος παρουσιάζεται το σύστημα διαχείρισης μπαταρίας. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η φόρτιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων όπου αρχικά παρουσιάζονται τα διάφορα είδη φόρτισης που υπάρχουν ενώ στη συνέχεια η προσοχή στρέφεται στην ενσύρματη φόρτιση, έπειτα αναλύονται τόσο οι σταθμοί ενσύρματης φόρτισης όσο και οι διάφοροι τύποι φορτιστών που χρησιμοποιούνται. Τέλος γίνεται αναφορά στα διάφορα πρότυπα τα οποία αφορούν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις επιδράσεις που μπορεί να έχει το ηλεκτρικό αυτοκίνητο, κυρίως αν εξαπλωθεί στην αγορά. Παρουσιάζονται οι οικονομικές, οι περιβαλλοντικές και οι επιδράσεις στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Στο πέμπτο κεφάλαιο ορίζεται και περιγράφεται το έξυπνο δίκτυο καθώς και η αναγκαιότητα μετάβασης σε αυτό ενώ στη συνέχεια γίνεται η σύνδεση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου με το έξυπνο δίκτυο και περιγράφονται οι πολιτικές φόρτισης καθώς και η διαδικασία Vehicle 2 Grid με τα πλεονεκτήματα που θα επιφέρει. Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα στα

οποία κατέληξα με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας. Η εργασία ολοκληρώνεται με ένα παράρτημα, στο οποίο παρουσιάζονται διάφορα αμιγώς ηλεκτρικά και επαναφορτιζόμενα υβριδικά μοντέλα αυτοκινήτων, που υπάρχουν στην αγορά σήμερα και γίνεται μια επιμέρους σύγκριση ορισμένων χαρακτηριστικών τους.

ABSTRACT

This diploma thesis was developed in the Department of Electrical and Computer Engineering at the University of Thessaly and deals with the electric car but also its connection with the smart electrical grid.

In the first chapter a historical flashback of electric cars is presented, since their invention until today, while afterwards the various types of electric cars are analyzed. At the end of chapter one, electric motors and power electronics which are used in electric cars are described. In the second chapter, one of the most important components of electric cars is explained, which is the energy storage system. Firstly I present the most dominant category which is the battery and most specifically I analyze many different types of batteries used or still being used in electric cars. After that I present to the ultra-capacitors and the fly-wheel energy storage systems and finally the Battery Management System is explained. In the next chapter, chapter 3, the process of charging the electric cars is explained. In first place the various methods of charging are described but I focus mainly on the conductive charging mode which is the dominant method, what comes next is the conductive charging stations and conductive chargers. At the end of chapter 3 the most important standards regarding electric cars are analyzed. Chapter 4 deals with the different impacts of electric cars, mostly if they become widespread in the market, which are financial & environmental impacts but also impacts on the electric grid. In next chapter 5 definition, description but also the necessity of upgrading to the smart grid is described. After that connection between electric car and smart grid is made but also the different charging policies are explained, later at this chapter Vehicle 2 Grid operation and the benefits coming from electric cars connected with the smart grid are presented. Finally the conclusions I have jump to after developing this diploma thesis are mentioned. This thesis is being completed with an appendix, in which various models of battery electric cars and plug-in hybrid electric cars existing in nowadays market are presented, but also a comparison of some of their characteristics is made.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	vi
ABSTRACT.....	viii
Κατάλογος Εικόνων	xii
Κατάλογος Πινάκων.....	xiv
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ	1
1.1 Ιστορική Αναδρομή	1
1.2 Τύποι Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων	7
1.2.1 Αμιγώς Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα – Battery Electric Vehicle(BEV)	8
1.2.2 Υβριδικά Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα – Hybrid Electric Vehicles(HEV).....	9
1.2.3 Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο Εκτεταμένης-Εμβέλειας - Extended-Range Electric Vehicles(EREV)	13
1.2.4 In-Wheel Motor Hybrid Electric Vehicles	14
1.2.5 Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Αυτοκίνητα - Plug in Hybrid EV(PHEV) ...	15
1.2.6 Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα με Κυψέλη Καυσίμου - Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV).....	16
1.3 Μηχανικά Μέρη Ηλεκτρικού Αυτοκινήτου	19
1.4 Ηλεκτρικοί Κινητήρες.....	19
1.5 Ηλεκτρονικά Ισχύος	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	23
ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ	23
2.1 Μπαταρίες.....	23
2.1.1 Ορισμός	23
2.1.2 Χαρακτηριστικά Μεγέθη Μπαταριών	25

2.1.3 Τύποι Μπαταριών	27
2.2 Υπερ-πυκνωτές – Ultra-capacitors	46
2.3 Σφόνδυλοι - Flywheel.....	47
2.4 Σύστημα διαχείρισης μπαταρίας (Battery Management System – BMS)	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	50
ΦΟΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ.....	50
3.1 Είδη Φόρτισης	50
3.1.1 Ενσύρματη Φόρτιση.....	50
3.1.2 Επαγωγική Φόρτιση.....	53
3.1.3 Ανταλλαγή Μπαταρίας – Battery Swap	56
3.2 Σταθμοί φόρτισης ενσύρματης σύνδεσης	57
3.2.1 Κατηγοριοποίηση με βάση την ιδιοκτησία και την πρόσβαση	57
3.2.2 Κατηγοριοποίηση με βάση το επίπεδο ισχύος και το χρόνο φόρτισης ...	59
3.3 Φορτιστές σε σταθμούς ενσύρματης φόρτισης	62
3.3.1 Επί του αυτοκινήτου ή on-board φορτιστές	62
3.3.2 Εκτός του αυτοκινήτου ή off-board φορτιστές	63
3.4 Διεθνή Πρότυπα.....	67
3.4.1 Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή - IEC.....	67
3.4.2 Διεθνή Κοινότητα Μηχανικών Αυτοκινήτων - SAE International.....	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	71
ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ	71
4.1 Οικονομικές επιδράσεις των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.....	72
4.1.1 Οπτική της υπηρεσίας κοινής ωφέλειας	72
4.1.2 Οπτική του κατόχου ηλεκτρικού αυτοκινήτου	73
4.2 Περιβαλλοντική επίδραση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.....	73
4.3 Επίδραση στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας	74

4.3.1 Επίδραση στην καμπύλη φορτίου	75
4.3.2 Επίδραση σε «ποιοτικά» χαρακτηριστικά μεγέθη του ηλεκτρικού δικτύου	76
4.3.3 Επίδραση στην ευστάθεια του δικτύου	77
4.3.4 Επίδραση στα στοιχεία του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας	78
4.3.5 Επίδραση στις απώλειες ισχύος του δικτύου	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	80
ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΣΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	80
5.1 Ορισμός έξυπνου δικτύου	80
5.2 Έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο	80
5.2.1 Αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά του έξυπνου δικτύου	81
5.3 Ηλεκτρικό αυτοκίνητο και έξυπνο δίκτυο	84
5.3.1 Στρατηγικές φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων	84
5.3.2 Ανάλυση διαδικασίας V2G (Vehicle 2 Grid).....	87
5.3.3 Πλεονεκτήματα της αμφίδρομης V2G διαδικασίας	91
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	95
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	95
Βιβλιογραφία	97
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	103
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΤΗΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ 2019	103

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Ο Thomas Edison με ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο το 1913 [1].....	2
Εικόνα 2: Σύγκριση μεγέθους ρεζερβουάρ-μπαταρίας για ίδια απόσταση το 1930 [2]	3
Εικόνα 3: Ηλεκτρικά αυτοκίνητα στα τέλη του 20ού αιώνα, Prius I - GM EV1	5
Εικόνα 4: Σύνοψη των σταδίων της ηλεκτροκίνησης με το πέρασμα του χρόνου....	7
Εικόνα 5: Αμιγώς Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο – Δομή [8].....	9
Εικόνα 6: Υβριδικό Αυτοκίνητο – Δομή [8].....	10
Εικόνα 7: Διατάξεις μετάδοσης κίνησης σε υβριδικά αυτοκίνητα [10].....	12
Εικόνα 8: Ηλεκτρικό αυτοκίνητο εκτεταμένης εμβέλειας - Δομή [8].....	14
Στην εικόνα 9 φαίνεται μια σχηματική αναπαράσταση ενός Εικόνα 9: In-Wheel Motor Hybrid Electric Vehicles όπου διακρίνονται 2 μηχανές εντός των μπροστινών τροχών του αυτοκινήτου και απουσιάζει από το κυρίως σώμα του αυτοκινήτου η ηλεκτρική μηχανή.....	14
Εικόνα 10: In-Wheel Motor Hybrid Electric Vehicles – Δομή [11]	15
Εικόνα 11: Επαναφορτιζόμενο υβριδικό αυτοκίνητο - Δομή [8].....	16
Εικόνα 12: Δομή ηλεκτρικού αυτοκινήτου με κυψέλη καυσίμου [12].....	17
Εικόνα 13: Κατηγοριοποίηση αυτοκινήτων [8]	18
Εικόνα 14: Ηλεκτρικό αυτοκίνητο με όλα τα επιμέρους δομικά στοιχεία του [13]...	22
Εικόνα 15: Σχηματική αναπαράσταση εσωτερικού μπαταρίας	25
Εικόνα 16: Μπαταρία μολύβδου-οξέως για εκκίνηση-φωτισμό-ανάφλεξη	29
Εικόνα 17: Μπαταρία νικελίου-καδμίου.....	31
Εικόνα 18: Μπαταρία νικελίου-μετάλλου-υβριδίου	33
Εικόνα 19: Μπαταρία νικελίου-ψευδαργύρου	34
Εικόνα 20: Δομικά συστατικά και εμφάνιση μπαταρίας θειικού νατρίου [19].....	36
Εικόνα 21: Μπαταρία τύπου ZEBRA με σύστημα διαχείρισης μπαταρίας [24]	39
Εικόνα 22: Μπαταρία πολυμερούς-λιθίου	42
Εικόνα 23: Επιμέρους κομμάτια και ολόκληρη μπαταρία ιόντων-λιθίου	44
Εικόνα 24: Μπαταρία Αερίου-Ψευδαργύρου.....	46
Εικόνα 25: Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας του συστήματος διαχείρισης μπαταρίας [29].....	49
Εικόνα 26: Τα 4 επίπεδα ενσύρματης φόρτισης [31].....	53
Εικόνα 27: Επαγωγική φόρτιση και ο πρώτος επαγωγικής φορτιστής [30] [33]....	54

Εικόνα 28: Επαγωγική φόρτιση με Groundpad [34].....	55
Εικόνα 29: Σταθμός ανταλλαγής μπαταρίας [36].....	57
Εικόνα 30: Κατηγοριοποίηση σταθμών φόρτισης με βάση την ιδιοκτησία και την πρόσβαση [7]	58
Εικόνα 31: Σχεδιάγραμμα φόρτισης χαμηλής ισχύος [32].....	59
Εικόνα 32: Σχεδιάγραμμα φόρτισης μέσης ισχύος [32].....	60
Εικόνα 33: Σχεδιάγραμμα φόρτισης υψηλής ισχύος με AC ρεύμα [32]	61
Εικόνα 34: Σχεδιάγραμμα φόρτισης υψηλής ισχύος με DC ρεύμα [32]	62
Εικόνα 35: Διάφοροι τύποι βυσμάτων και υποδοχών	63
Εικόνα 36: Βύσμα και υποδοχή CHAdeMO [33].....	64
Εικόνα 37: Βύσματα και υποδοχές τύπου CSS.....	66
Εικόνα 38: Πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων σε συνάρτηση με το χρόνο σε παγκόσμιο επίπεδο [44].....	72
Εικόνα 39: Επιδράσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας	75
Εικόνα 40: Παραδοσιακό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας [47]	81
Εικόνα 41: Έξυπνο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας [47].....	83
Εικόνα 42: Dumb Charging VS Smart Charging [49].....	87
Εικόνα 43: Διάγραμμα διαδικασίας V2G [51]	89
Εικόνα 44: Λειτουργία του διαμεσολαβητή	90
Εικόνα 45: Οικονομικά BEV μοντέλα	103
Εικόνα 46: Πολυτελή BEV μοντέλα	105
Εικόνα 47: Οικονομικά PHEV μοντέλα.....	106
Εικόνα 48: Πολυτελή PHEV μοντέλα	107

Κατάλογος Πινάκων

<i>Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά μεγέθη διαφόρων τύπων μπαταριών ιόντων-λιθίου ...</i>	<i>44</i>
<i>Πίνακας 2: Σύγκριση ορισμένων χαρακτηριστικών των δυο εκδόσεων του CCS ..</i>	<i>66</i>
<i>Πίνακας 3: Σύγκριση επιμέρους χαρακτηριστικών του συμβατικού με το έξυπνο ΣΗΕ</i>	<i>83</i>
<i>Πίνακας 4: Οικονομικά BEV - Σύγκριση</i>	<i>104</i>
<i>Πίνακας 5: Πολυτελή BEV - Σύγκριση</i>	<i>105</i>
<i>Πίνακας 6: Οικονομικά PHEV - Σύγκριση</i>	<i>106</i>
<i>Πίνακας 7: Πολυτελή PHEV - Σύγκριση</i>	<i>108</i>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

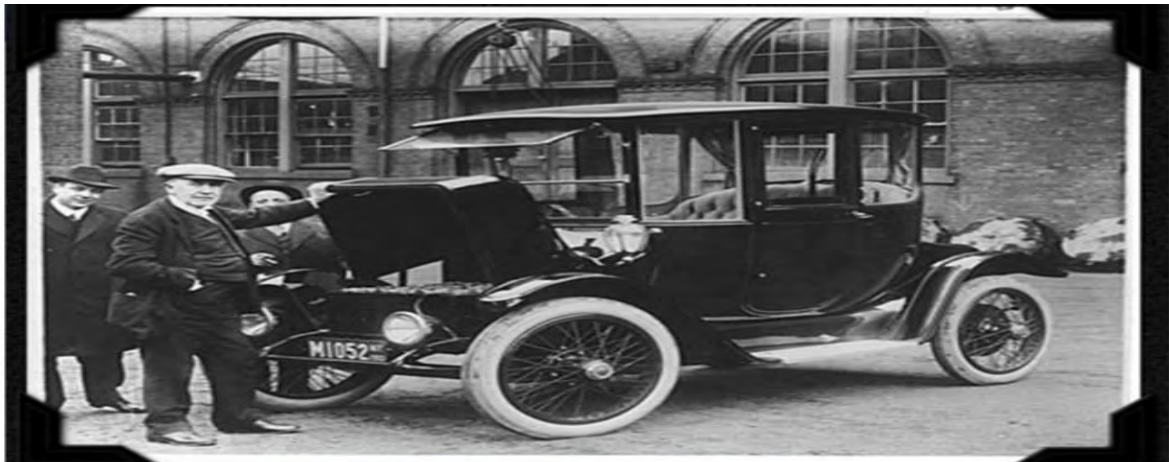
ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

1.1 Ιστορική Αναδρομή

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα δεν είναι μια τόσο νέα τεχνολογία όπως πολλοί πιστεύουν λόγω της δημοτικότητας που αποκτούν τα τελευταία χρόνια για διάφορους λόγους που θα δούμε στη συνέχεια. Η αρχή έγινε περίπου στο 1830 με τα πρώτα ηλεκτρικά αυτοκίνητα της εποχής να χρησιμοποιούν μπαταρίες χωρίς δυνατότητα επαναφόρτισης ωστόσο δεν έγιναν ποτέ διαθέσιμα για μαζική παραγωγή. Στα τέλη του 19ου αιώνα και με την τεχνολογία των μπαταριών να έχει αναπτυχθεί αρκετά αρχίζει η παραγωγή των πρώτων ηλεκτρικών αυτοκινήτων για χρήση από το κοινό και τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα καταφέρνουν να έχουν μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς στις ΗΠΑ αφού αποτελούν τα 1173 (28%) εκ των 4192 συνολικών αυτοκινήτων στις ΗΠΑ. Τα πλεονεκτήματα αυτών των πρώτων ηλεκτρικών αυτοκινήτων ήταν ότι δεν μύριζαν, ούτε έκαναν έντονο θόρυβο κατά τη χρήση, όπως τα αντίστοιχα με μηχανή εσωτερικής καύσης και τα αυτοκίνητα ατμού. Επίσης ήταν πολύ πιο απλά στην λειτουργία τόσο στο ξεκίνημα καθώς ο κινητήρας εσωτερικής καύσης χρειαζόταν χειροκίνητη εκκίνηση με τη χρήση μανιβέλας καθώς επίσης ο οδηγός έπρεπε να αλλάζει ταχύτητες κατά την οδήγηση γεγονός που ήταν πολύ δύσκολο για την εποχή, ενώ τα αυτοκίνητα ατμού απαιτούσαν παραπάνω χρόνο για την εκκίνηση και είχαν μικρότερη εμβέλεια από τα ηλεκτρικά. Η παραγωγή μέχρι το 1920 φτάνει σε εκατοντάδες χιλιάδες ηλεκτρικά οχήματα όπως ταξί, επιβατικά αυτοκίνητα, mini-bus ωστόσο με την διαρκή πρόοδο αυτοκινήτων με μηχανή εσωτερικής καύσης και το φτηνό καύσιμο για αυτές, το καταναλωτικό κοινό στράφηκε προς τα αυτά [1].

Στην Εικόνα 1 φαίνεται ένα από τα πρώτα ηλεκτρικά αυτοκίνητα στις ΗΠΑ περί το 1900 και καταλάμβαναν σημαντικό μερίδιο της τότε αγοράς αυτοκινήτου,

ενώ η αξία του είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από ενός αυτοκινήτου με μηχανή εσωτερικής καύσης.



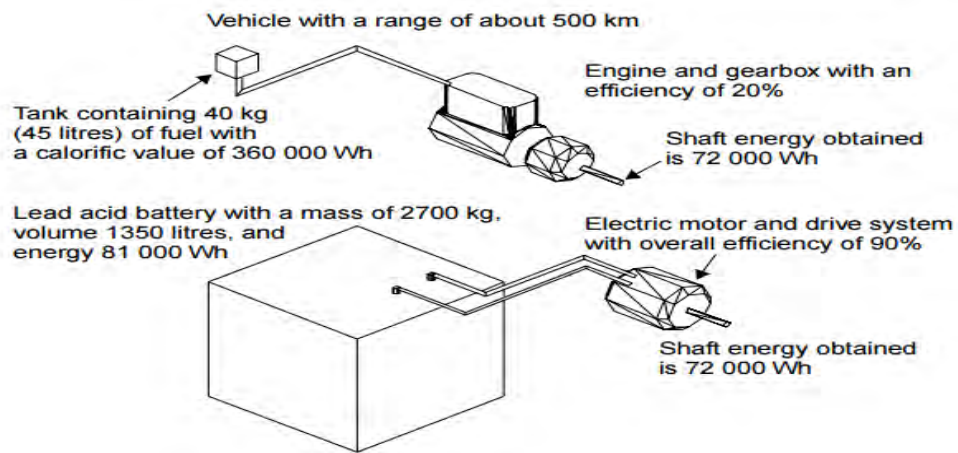
National Museum of American History

Εικόνα 1: Ο Thomas Edison με ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο το 1913 [1]

Μέχρι το 1933 ο αριθμός των ηλεκτρικών αυτοκινήτων πλησιάζει το μηδέν καθώς ήταν ακριβότερα και πιο αργοκίνητα σε σχέση με τους ανταγωνιστές τους, ενδεικτικά ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο κόστιζε 1750\$ ενώ ένα με μηχανή εσωτερικής καύσης 650\$ στις ΗΠΑ, ενώ είχε επιλυθεί και το πρόβλημα της εκκίνησης καθώς τους είχαν πλέον εγκατασταθεί ηλεκτρικά κουμπιά για την εκκίνηση [1]. Τα μειονεκτήματα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων της εποχής ήταν αρκετά έτσι ώστε να τα καταστήσουν μη επιθυμητά από το καταναλωτικό κοινό. Ένα πρώτο μειονέκτημα ήταν το μέγεθος των μπαταριών που χρησιμοποιούνταν, ενδεικτικά να τονίσουμε ότι 4,5 λίτρα πετρελαίου με βάρος περίπου 4 κιλά μπορούν να μεταφραστούν σε περίπου 50 χιλιόμετρα διανυόμενης απόστασης, ενώ αντίστοιχα για ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο χρειαζόταν μια μπαταρία τύπου μολύβδου-οξέος (lead-acid) βάρους 270 κιλών. Αναλογικά λοιπόν βλέπουμε ότι για ένα όχημα με μηχανή εσωτερικής καύσης για το οποίο χρειαζόνταν 45 λίτρα ώστε να διανύσει 500 χιλιόμετρα, το αντίστοιχο ηλεκτρικό αυτοκίνητο της εποχής χρειαζόταν μια μπαταρία τύπου μολύβδου-οξέος βάρους 2.7 τόνων [2].

Στην Εικόνα 2 βλέπουμε μια σχηματική αναπαράσταση στην οποία φαίνεται μια σύγκριση του ρεζερβουάρ ενός αυτοκινήτου με μηχανή εσωτερικής καύσης και η αντίστοιχη μπαταρία της εποχής με τη δυνατότητα κάλυψης της ίδιας

απόστασης, στην οποία παρατηρούμε την τεράστια διαφορά μεγέθους μεταξύ του ρεζερβουάρ και της μπαταρίας.



Εικόνα 2: Σύγκριση μεγέθους ρεζερβουάρ-μπαταρίας για ίδια απόσταση το 1930 [2]

Ένα ακόμα μειονέκτημα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων της εποχής ήταν ο χρόνος που απαιτούνταν για την επαναφόρτιση των μπαταριών. Απαιτούνταν πολλές ώρες για την επαναφόρτιση των μπαταριών μολύβδου-οξέος ενώ για ένα όχημα με ρεζερβουάρ 45 λίτρων απαιτούνταν περίπου ένα λεπτό για τον ανεφοδιασμό. Παρά την πρόοδο των μπαταριών με την οποία ο χρόνος επαναφόρτισης μειώθηκε στην μία ώρα περίπου, ο χρόνος αυτός παραμένει πολύ μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο για γέμισμα του ρεζερβουάρ ενός συμβατικού αυτοκινήτου. Το σημαντικότερο μειονέκτημα ωστόσο αποτελούσε το κόστος σε συνάρτηση με τον περιορισμό στην διανυόμενη απόσταση, δηλαδή παρόλο που ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο μπορούσε να καλύψει σαφώς λιγότερα χιλιόμετρα από ένα αντίστοιχο αυτοκίνητο με μηχανή εσωτερικής καύσης, το πρώτο ήταν ακριβότερο και με χαμηλότερη ποιότητα κατασκευής γεγονός που οδηγούσε το κοινό στην προτίμηση των δεύτερων [2].

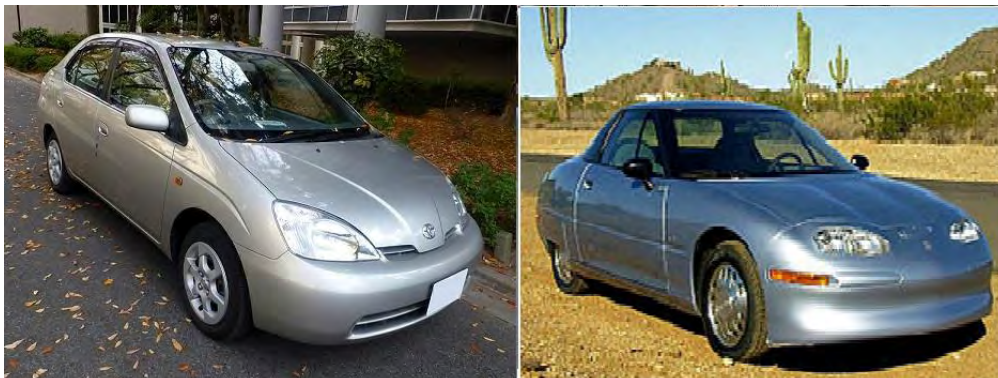
Στις επόμενες δεκαετίες και συγκεκριμένα προς τα τέλη του 20ου αιώνα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα άρχισαν να γίνονται ξανά δημοφιλή για μια σειρά από λόγους. Πρώτος και κυριότερος λόγος ήταν η μόλυνση του περιβάλλοντος από τα οχήματα με μηχανή εσωτερικής καύσης λόγω των υψηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) καθώς επίσης και των καυσαερίων ιδιαίτερα στις μεγαλουπόλεις τα οποία έκαναν την ατμόσφαιρα αποπνικτική για τους κατοίκους.

Το 1970 ιδρύθηκε η Clean Air Act στις ΗΠΑ η οποία ζητούσε από τις πολιτείες να ελέγξουν την ποιότητα του αέρα και σε συνάρτηση με το εμπόριο του πετρελαίου του OPEC το 1973 το οποίο εκτόξευσε την τιμή του πετρελαίου το ενδιαφέρον για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα αναθερμάνθηκε. Χαρακτηριστικά μοντέλα της εποχής ήταν το “CitiCar” της εταιρείας Sebring-Vanguard και το “EiCar” της ιταλικής εταιρείας Zagato. Πέραν αυτών δημιουργήθηκαν και άλλα μοντέλα ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην δεκαετία του 1970 ωστόσο κανένα από τα παραπάνω δεν ευδοκίμησε λόγω των περιορισμών που είχαν και αυτά σε τελική ταχύτητα και διανυόμενη απόσταση [1].

Επόμενη χρονιά σταθμός είναι το 1990 όταν στην πολιτεία της Καλιφόρνια των ΗΠΑ το California Air Resources Board (CARB) έκανε μια πρώτη προσπάθεια για να θεσπίσει αυστηρούς νόμους για τις εκπομπές ρύπων από τα αυτοκίνητα. Το νομοσχέδιο έλεγε ότι μέχρι το 1998 το 2% των αυτοκινήτων της περιφέρειας θα είναι οχήματα με μηδενική εκπομπή ρύπων και αντίστοιχα μέχρι το 2003 θα φτάσει το 10%. Την προσπάθεια αυτή ακολούθησαν και άλλες πολιτείες όπως της Νέας Υόρκης, της Μασαχουσέτης, του Βέρμοντ και της Μέιν. Αντίστοιχες προσπάθειες έγιναν και στην Ευρώπη με την Γερμανία, τη Δανία και την Ελβετία να πρωτοπορούν [3]. Ενώ παράλληλα σημαντική ήταν η εξέλιξη των επαναφορτιζόμενων μπαταριών και των συστημάτων ελέγχου που χρησιμοποιούνταν, καθώς και ο βελτιωμένος σχεδιασμός των ηλεκτρικών αυτοκινήτων αποτελούσε σημαντικό παράγοντα διότι τα καθιστούσε πιο ελκυστικά σε σχέση με το παρελθόν. Η πιο σημαντική πρόοδος έγινε στον τομέα των μπαταριών ωστόσο δεν φαινόταν ικανή για να ανατρέψει τα δεδομένα για το καταναλωτικό κοινό. Κατασκευάστηκαν διάφορες νέες μπαταρίες, όπως μπαταρίες νικελίου-καδμίου (nickel cadmium), νικελίου-υβριδίου καδμίου (nickel metal hydride) οι οποίες είχαν περίπου διπλάσια ενέργεια από τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος καθώς επίσης και μπαταρίες νατρίου-χλωριούχου νικελίου (Sodium nickel chloride) που είχαν τριπλάσια ενέργεια από τις μολύβδου-οξέος. Ωστόσο αποδείχθηκε ότι η αποδοτικότερη μπαταρία της εποχής ήταν η πολυμερούς-λιθίου (lithium-polymer) με χωρητικότητα περίπου τριπλάσια της μολύβδου-οξέος.

Τα παραπάνω θορύβησαν τις εταιρείες της αυτοκινητοβιομηχανίας ιδιαίτερα γεγονός που οδήγησε πολλές σημαντικές εταιρείες να εισέρθουν στον κλάδο των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η General Motors (GM) με το GM impact ή GM EV1 το οποίο ήταν το πρώτο εξ ολοκλήρου ηλεκτρικό αυτοκίνητο της σύγχρονης εποχής, η Nissan με το Nissan FEV, η BMW με το BMW-E1 και η Toyota με το Toyota Prius I. Το Prius-I αποτέλεσε το μόνο επιτυχημένο ηλεκτρικό αυτοκίνητο της εποχής αφού είχε μεγάλη απήχηση στην αγορά της Ιαπωνίας και ακολούθησαν το Prius II το 2000 στην California και το Prius III το 2004 το οποίο ήταν διαθέσιμο παγκοσμίως όπου μέχρι το 2007 είχαν πουληθεί πάνω από ένα εκατομμύριο Prius ενώ έως το 2017 ο αριθμός των αυτοκινήτων της «οικογένειας» του Prius έφτασε τα 6 εκατομμύρια [3].

Στην Εικόνα 3 φαίνονται δύο σημαντικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα περίπου το 2000, στα αριστερά το Prius I, το πρώτο επιτυχημένο ηλεκτρικό αυτοκίνητο και στα δεξιά το GM EV1, το πρώτο εξ ολοκλήρου ηλεκτρικό αυτοκίνητο της εποχής.



Εικόνα 3: Ηλεκτρικά αυτοκίνητα στα τέλη του 20ού αιώνα, Prius I - GM EV1

Αντίθετη πορεία όμως υπήρξε για τις διάφορες άλλες εταιρείες της αυτοκινητοβιομηχανίας που παρήγαγαν ηλεκτρικά αυτοκίνητα καθώς περίπου στο 2000 το ενδιαφέρον για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έπεσε κατακόρυφα ξανά και εμφανίστηκε η απροθυμία των σημαντικών εταιρειών της βιομηχανίας να επενδύσουν περαιτέρω σε αυτά, πλην της Toyota με το Prius, ενδεικτικό στοιχείο αποτελεί ο αριθμός των νέων κατατεθέντων πιστοποιημένων πατεντών εκ των οποίων το 80% αυτών να αφορά τα αυτοκίνητα με μηχανή εσωτερικής καύσης και μόλις το 20% για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Επόμενη χρονιά ορόσημο για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα αποτελεί το 2005 καθώς η κλιματική αλλαγή έχει κάνει για τα

καλά την εμφάνιση της καθώς και η αύξηση της τιμής του πετρελαίου ανοίγουν έναν νέο κύκλο για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Έκτοτε οι κυβερνήσεις πολλών χωρών παγκοσμίως απαίτησαν από την αυτοκινητοβιομηχανία να μειωθούν οι εκπομπές των ρύπων CO₂ ακόμα περισσότερο καθώς θα έπρεπε να ικανοποιηθεί το πρωτόκολλο του Κγγοτο που τέθηκε σε ισχύ τον Φεβρουάριο του 2005 σύμφωνα με το οποίο οι εκπομπές ρύπων που οδηγούν στην υπερθέρμανση του πλανήτη θα πρέπει να μειωθούν και τα αυτοκίνητα με μηχανή εσωτερικής καύσης φέρονται να παίζουν σημαντικό ρόλο σε αυτό. Στις ΗΠΑ εκείνη την εποχή αποφασίστηκε να δοθούν δύο δισεκατομμύρια δολάρια για την ανάπτυξη της βιομηχανίας των μπαταριών, ενώ στην Ευρώπη και συγκεκριμένα σύμφωνα με το 7ο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής ξεκίνησαν διάφορα προγράμματα έρευνας για την ανάπτυξη εναλλακτικών τεχνολογιών για ηλεκτρικούς κινητήρες [4].

Επίσης δόθηκαν διάφορα κίνητρα στους πολίτες ώστε να αποκτήσουν ηλεκτρικό αυτοκίνητο, για παράδειγμα η Αγγλία, η Ιταλία και η Γερμανία έδιναν επιδότηση για την αγορά ηλεκτρικού αυτοκινήτου ενώ η Δανία και το Ισραήλ εξαίρεσαν τους φόρους από τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Έτσι ο ανταγωνισμός στην αγορά των ηλεκτρικών αυτοκινήτων άρχισε να γίνεται έντονος με την έκθεση αυτοκινήτου της Φρανκφούρτης (Frankfurt Motor Show) το 2009 να αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα καθώς σχεδόν όλες οι εταιρείες της αυτοκινητοβιομηχανίας παρουσίασαν πολλά πρωτότυπα μοντέλα ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Ταυτόχρονα όπως είπαμε και παραπάνω το κλειδί για την περαιτέρω ανάπτυξη των ηλεκτρικών αυτοκινήτων ήταν και είναι οι μπαταρίες, πολλές εταιρείες της αυτοκινητοβιομηχανίας άρχισαν να συνεργάζονται στενά με εταιρείες που ειδικεύονται στην ανάπτυξη μπαταριών για την καλύτερη ανάπτυξη των μπαταριών. Το 2011 η Tesla έδωσε σε μαζική παραγωγή το Tesla Roadster που κόστιζε πάνω από 100.000\$, ποσό απαγορευτικό για τους περισσότερους. Το συγκεκριμένο μοντέλο ήταν το πρώτο που χρησιμοποίησε μπαταρία ιόντων λιθίου (Lithium-ion) και το πρώτο που είχε δυνατότητα να καλύψει περίπου 380χλμ με μία φόρτιση. Από την άλλη η Nissan συνεχίζει την πρόοδο του Nissan-Leaf, το οποίο αποτελεί ένα από τα πιο πετυχημένα ηλεκτρικά αυτοκίνητα καθώς μέχρι και το 2016 είχαν πουληθεί 250.000 κομμάτια Nissan-Leaf, μοντέλο το οποίο μπορεί να

διανύσει έως 160χλμ με μία φόρτιση ωστόσο είναι πολύ οικονομικότερο με κόστος που κυμαίνεται στα 30.000\$ [1,4]

Φτάνουμε λοιπόν στη σημερινή εποχή όπου το ενδιαφέρον των περισσότερων αυτοκινητοβιομηχανιών παγκοσμίως εστιάζει στην ανάπτυξη των ηλεκτρικών αυτοκινήτων με τις αιτίες να είναι οι ίδιες με τα παλαιότερα χρόνια αλλά πλέον να γίνεται μεγαλύτερη προσπάθεια ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι που έχουν τεθεί από τις κυβερνήσεις σχετικά με το περιβάλλον αλλά και με την μείωση του ορυκτού πλούτου στη γη. Στην προσπάθεια αυτή πολλές χώρες έχουν δεσμευθεί να απαγορεύσουν τις πωλήσεις οχημάτων με βενζίνη και πετρέλαιο στο μέλλον όπως για παράδειγμα η Νορβηγία μέχρι το 2025 οι Κίνα, Ινδία, Γερμανία μέχρι το 2030 και οι Γαλλία & η Βρετανία μέχρι το 2040 [3].

Στην Εικόνα 4 βλέπουμε μια συνοπτική ιστορική αναδρομή με τις διάφορες περιόδους ακμής και παρακμής από τις οποίες πέρασαν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα.



Εικόνα 4: Σύνοψη των σταδίων της ηλεκτροκίνησης με το πέρασμα του χρόνου

1.2 Τύποι Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα χωρίζονται σε αρκετές υποκατηγορίες μιας και έχουν αναπτυχθεί αρκετοί τύποι αυτοκινήτων από την βιομηχανία που εντάσσονται στην οικογένεια των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Η κατηγοριοποίηση γίνεται είτε με βάση τις εκπομπές ρύπων όπου υπάρχει ο διαχωρισμός μηδενικών ή μη μηδενικών ρύπων είτε με βάση την πηγή ενέργειας που διαθέτουν. Ωστόσο σε όλες της κατηγορίες υπάρχει ένα κοινό χαρακτηριστικό γνώρισμα το οποίο είναι η ύπαρξη ενός ηλεκτρικού κινητήρα.

1.2.1 Αμιγώς Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα – Battery Electric Vehicle(BEV)

Ένα αμιγώς ηλεκτρικό αυτοκίνητο παίρνει ενέργεια για να κινηθεί μόνο από τις μπαταρίες συνεπώς θα μπορούσαμε να τα χαρακτηρίσουμε ως τη ναυαρχίδα της οικογένειας των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Τα BEV όπως είναι ευρέως γνωστά δεν έχουν μηχανή εσωτερικής καύσης στην θέση της οποίας υπάρχει ηλεκτρική μηχανή και ένα σύνολο συσκευών & συστημάτων που τη συνοδεύουν όπως τα ηλεκτρονικά ισχύος που θα αναλύσουμε παρακάτω. Η μπαταρία είναι η μοναδική πηγή ενέργειας για το ηλεκτρικό αυτοκίνητο και μπορεί να επαναφορτίζεται με σύνδεση στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και μέσω του συστήματος αναγεννητικής πέδησης (Regenerative Braking) κατά την οποία καθώς μειώνεται η ταχύτητα του αυτοκινήτου ο μηχανισμός αυτός μετατρέπει την κινητική ενέργεια του αυτοκινήτου σε μορφή ενέργειας είτε για άμεση χρήση από τον ηλεκτρικό κινητήρα είτε για αποθήκευση στη μπαταρία. Σε αντίθεση με το παραδοσιακό σύστημα πέδησης όπου η ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα και απελευθερώνεται στο περιβάλλον, με αυτό τον μηχανισμό η ενέργεια ανακτάται με την χρήση ηλεκτρικής μηχανής η οποία λειτουργεί ως γεννήτρια [5].

Η προερχόμενη από την μπαταρία ενέργεια δίνει κατευθείαν τη δυνατότητα στην ηλεκτρική μηχανή να κινήσει τους τροχούς του αυτοκινήτου με την μετατροπή της ενέργειας σε ροπή για το όχημα με αποδοτικότητα περίπου 90% [6]. Γενικότερα το κόστος, τόσο της συντήρησης όσο και της καθημερινής χρήσης, είναι πολύ μικρότερο από το κόστος των αυτοκινήτων με μηχανή εσωτερικής καύσης. Ωστόσο ακόμα και σήμερα το εμπόδιο στην περαιτέρω ανάπτυξη είναι οι μπαταρίες καθώς το κόστος τους είναι υψηλό ενώ παράλληλα προσφέρουν μικρότερη εμβέλεια κίνησης σε σχέση με τα συμβατικά αυτοκίνητα, το κόστος των μπαταριών κατά κύριο λόγο ευθύνεται για την μεγάλη διαφορά στην αρχική τιμή αγοράς μεταξύ ενός BEV και ενός αυτοκινήτου με μηχανή εσωτερικής καύσης. Ωστόσο η πρόοδος που σημειώνεται στα διάφορα δομικά στοιχεία του ηλεκτρικού αυτοκινήτου με κυριότερη τη μπαταρία είναι ραγδαία, ενώ αναμένεται στα επόμενα χρόνια τόσο η εμβέλεια όσο και το κόστος να φτάσουν στα επίπεδα των συμβατικών αυτοκινήτων [7].

Στην Εικόνα 5 βλέπουμε μια περιληπτική δομή ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου όπου η μπαταρία καταλαμβάνει σημαντικό κομμάτι του οχήματος ενώ υπάρχει

μόνο η ηλεκτρική μηχανή και τέλος η φόρτιση γίνεται με σύνδεση στο δίκτυο όπως φαίνεται από τον φορτιστή στα αριστερά της εικόνας.



Εικόνα 5: Αμιγώς Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο – Δομή [8]

1.2.2 Υβριδικά Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα – Hybrid Electric Vehicles(HEV)

Τα υβριδικά αυτοκίνητα δεν ανήκουν στην οικογένεια των ηλεκτρικών αυτοκινήτων ωστόσο αποτελούν μια σημαντική μεταβατική κατηγορία και προάγγελο για τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα που θα δούμε παρακάτω. Ο όρος υβριδικό στην αυτοκινητοβιομηχανία έχει ταυτιστεί με την σύμπραξη ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης με χρήση βενζίνης ή πετρελαίου και ενός ηλεκτρικού κινητήρα που τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια από την μπαταρία. Η μπαταρία που διαθέτουν είναι αρκετά μικρότερου μεγέθους από την αντίστοιχη των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων ενώ επίσης υπάρχουν και σε αυτή την κατηγορία οι συσκευές ελέγχου και ηλεκτρονικά ισχύος. Χαρακτηριστικό γνώρισμα των υβριδικών ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι η απουσία της δυνατότητας να επαναφορτίσουν τις μπαταρίες τους από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Η φόρτιση των μπαταριών γίνεται μέσω του ηλεκτρικού κινητήρα που λειτουργεί ως γεννήτρια στη διαδικασία της φόρτισης και μέσω του συστήματος αναγεννητικής πέδησης [7].

Στην Εικόνα 6 βλέπουμε μια περιληπτική δομή ενός υβριδικού αυτοκινήτου όπου η μπαταρία συνυπάρχει με ένα ρεζερβουάρ βενζίνης ή πετρελαίου ενώ επίσης βλέπουμε χαρακτηριστικά τις 2 μηχανές, την ηλεκτρική στα αριστερά και την εσωτερικής καύσης στα δεξιά καθώς και την απουσία φορτιστή για φόρτιση από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 6: Υβριδικό Αυτοκίνητο – Δομή [8]

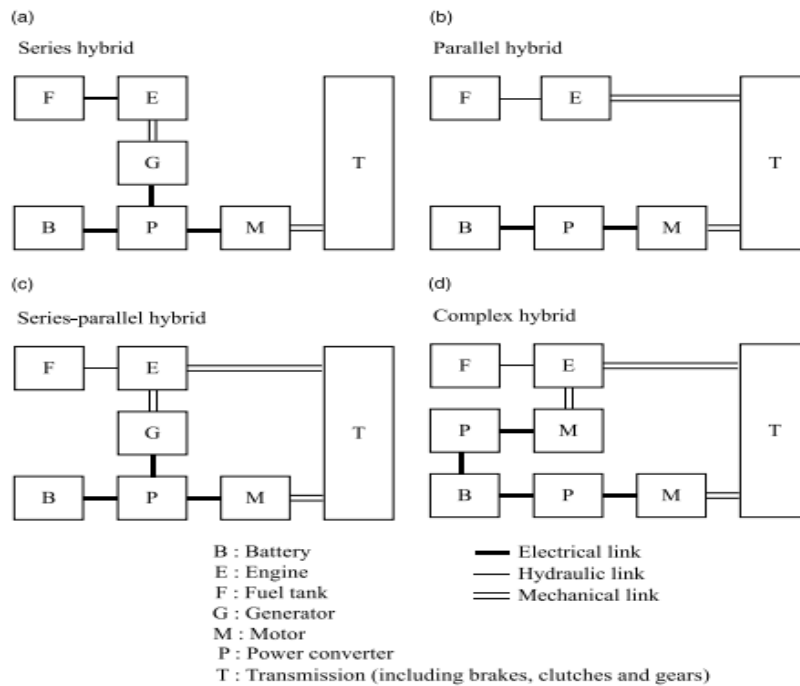
Τα υβριδικά αυτοκίνητα κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με τον τρόπο μετάδοσης της κίνησης σε [9,10]:

- Εν-Σειρά υβριδικό σύστημα, αποτελούν την πιο απλή έκδοση υβριδικού συστήματος αυτοκινήτου. Σε αυτή την κατηγορία η μηχανή εσωτερικής καύσης δεν έχει άμεση σύνδεση με την κίνηση του αυτοκινήτου καθώς ο ρόλος της είναι να επαναφορτίζει τις μπαταρίες με τη βοήθεια του ηλεκτρικού κινητήρα που λειτουργεί ως γεννήτρια αφού μετατρέπει την ενέργεια που παράγεται από την μηχανή εσωτερικής καύσης και αποθηκεύεται στις μπαταρίες και αυτές με την σειρά τους δίνουν ενέργεια στην ηλεκτρική μηχανή του αυτοκινήτου η οποία θέτει τους τροχούς σε κίνηση
- Παράλληλο υβριδικό σύστημα, εδώ η κίνηση του αυτοκινήτου προέρχεται άμεσα και από τις δύο μηχανές (εσωτερικής καύσης & ηλεκτρική μηχανή) καθώς είναι συνδεδεμένες με το σύστημα μετάδοσης κίνησης. Μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση το ποσοστό συνεισφοράς κάθε μηχανής στην

κίνηση για παράδειγμα σε κάποιες περιπτώσεις η μηχανή εσωτερικής καύσης είναι η κυρίαρχη και η ηλεκτρική μηχανή ενεργοποιείται όταν απαιτείται κάποια έξτρα ώθηση (boost) ενώ σε άλλες μπορεί το όχημα να χρησιμοποιεί μόνο την ηλεκτρική μηχανή και ο ρόλος της εσωτερικής καύσης να είναι εφεδρικός.

- Εν-σειρά – παράλληλο υβριδικό σύστημα, τα οποία συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά των δύο παραπάνω κατηγοριών όμως υπάρχει η προσθήκη ενός μηχανικού συνδέσμου μεταξύ του κινητήρα εσωτερικής καύσης και του συστήματος μετάδοσης κίνησης, μέρος το οποίο δεν υπάρχει στα εν-σειρά υβριδικά. Σε σχέση με τα παράλληλα-υβριδικά υπάρχει η διαφοροποίηση έγκειται στο ότι μηχανή εσωτερικής καύσης μπορεί να φορτίσει την μπαταρία. Η τεχνολογία αυτή είναι ιδιαίτερα περίπλοκη συνεπώς είναι και πιο ακριβή ωστόσο έχει υιοθετηθεί από ορισμένους κατασκευαστές.
- Σύνθετο υβριδικό σύστημα, το οποίο μοιάζουν με τα εν-σειρά – παράλληλα υβριδικά συστήματα ωστόσο έχουν μια σημαντική διαφορά η οποία έγκειται στην ροή φορτίου. Στα σύνθετα υβριδικά, η ροή φορτίου προερχόμενη από τον ηλεκτρικό κινητήρα, ο οποίος λειτουργεί ως γεννήτρια κατά τη φόρτιση, είναι αμφίδρομη. Ενώ στα εν-σειρά υβριδικά συστήματα η ροή φορτίου είναι μονής κατεύθυνσης, όπως και τα εν-σειρά – παράλληλα υβριδικά συστήματα είναι ιδιαίτερα πολύπλοκα συστήματα και συνεπώς ακριβότερα.

Στην Εικόνα 7 παρουσιάζονται τα τέσσερα διαφορετικά συστήματα μετάδοσης κίνησης σε υβριδικά αυτοκίνητα που περιγράψαμε παραπάνω. Πάνω αριστερά βλέπουμε την εν-σειρά τοπολογία ενώ δεξιά της την παράλληλη τοπολογία που είναι οι πιο απλές και περισσότερο χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες. Στο κάτω μέρος της εικόνας, στα αριστερά βλέπουμε την εν-σειρά – παράλληλη τοπολογία ενώ στα δεξιά την σύνθετη τοπολογία, τεχνολογίες σχετικά νέες, πολύπλοκότερες και ακριβότερες από τις δύο πιο συνηθισμένες.



Εικόνα 7: Διατάξεις μετάδοσης κίνησης σε υβριδικά αυτοκίνητα [9]

Υπάρχει ακόμα μία παράμετρος κατηγοριοποίησης, όσο αφορά τα υβριδικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα, η οποία έγκειται στον βαθμό της υβριδικότητάς τους με την κατηγοριοποίηση να είναι η εξής [7,9]:

- Full Hybrid Electric Vehicles, τα οποία μπορούν να μεταδώσουν κίνηση στους τροχούς τους με τρεις τρόπους. Αμιγώς ηλεκτρικά χωρίς τη χρήση της μηχανής εσωτερικής καύσης για πρόωση, δηλαδή με χρήση μόνο της ενέργειας που προέρχεται από τις μπαταρίες, αμιγώς με τη χρήση της μηχανής εσωτερικής καύσης χωρίς τη χρήση των μπαταριών και τέλος συνδυάζοντας και τις δύο πηγές. Επίσης διαθέτουν τη δυνατότητα να απενεργοποιούν και ενεργοποιούν τον κινητήρα εσωτερικής καύσης όταν δεν κινούνται, για παράδειγμα σε ένα φανάρι, λειτουργία που είναι γνωστή ως Start/Stop. Ο βαθμός υβριδικότητάς τους εκτιμάται περίπου 25%.
- Mild Hybrid Electric Vehicles, τα οποία έχουν μια πολύ βασική διαφορά από τα Full Hybrid η οποία είναι ότι δεν μπορούν να δουλέψουν αποκλειστικά με την χρήση του ηλεκτρικού κινητήρα. Η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας περιορίζεται στην έξτρα ώθηση (boost) που

χρειάζεται κάποιες φορές το αυτοκίνητο σε στιγμές απότομης επιτάχυνσης καθώς και στην εκκίνηση του κινητήρα εσωτερικής καύσης. Διαθέτουν επίσης τη λειτουργία Start/Stop και ο βαθμός υβριδικότητας τους εκτιμάται περίπου στο 10%

- Micro Hybrid Electric Vehicles, τα οποία μοιάζουν περισσότερο με τα συμβατικά αυτοκίνητα. Διαθέτουν τη λειτουργία Start/Stop και επιπλέον ο ηλεκτροκινητήρας συμμετέχει στην ανάκτηση ενέργειας. Ο βαθμός υβριδικότητας τους εκτιμάται στο 5%

1.2.3 Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο Εκτεταμένης-Εμβέλειας - Extended-Range Electric Vehicles(EREV)

Αποτελούν μια ακόμα μορφή ηλεκτρικού αυτοκινήτου το οποίο κινείται με ενέργεια προερχόμενη από τις μπαταρίες του για κάποια συγκεκριμένη απόσταση, ωστόσο συνδυάζει τον ηλεκτρικό κινητήρα του με μια μικρή μηχανή εσωτερικής καύσης. Η μηχανή εσωτερικής καύσης δεν κινεί άμεσα τους τροχούς του αυτοκινήτου καθώς ο ρόλος της περιορίζεται στο να δουλέψει όταν η στάθμη φόρτισης των μπαταριών πέσει σε χαμηλά επίπεδα. Έτσι μπορεί να γίνει άμεση φόρτιση των μπαταριών ώστε να υπάρξει περισσότερη αυτονομία έως ότου το αυτοκίνητο συνδεθεί με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας [6,7]

Στην Εικόνα 8 φαίνεται μια περιληπτική σχηματική δομή ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου εκτεταμένης εμβέλειας με ύπαρξη μπαταρίας αλλά και ρεζερβουάρ.

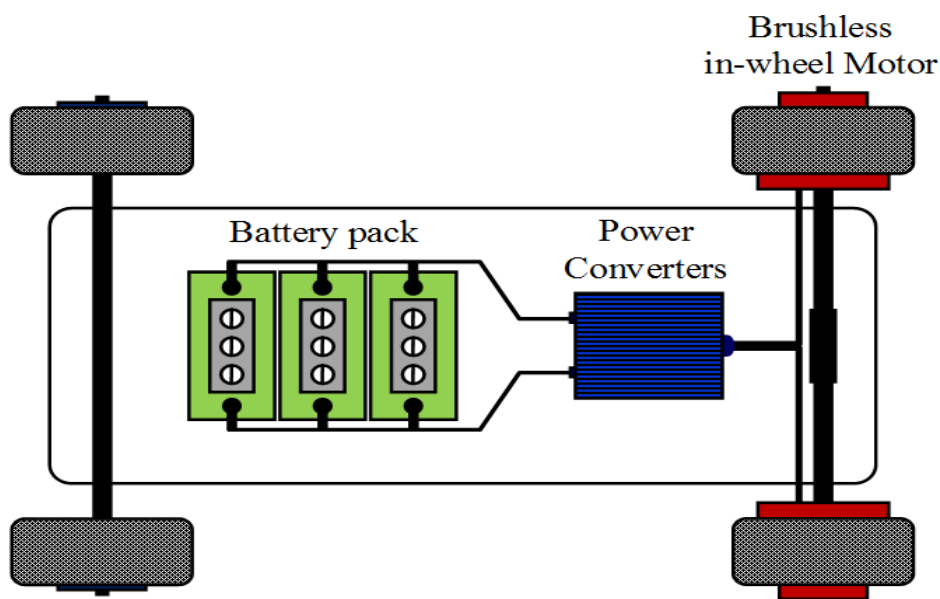


Εικόνα 8: Ηλεκτρικό αυτοκίνητο εκτεταμένης εμβέλειας - Δομή [8]

1.2.4 In-Wheel Motor Hybrid Electric Vehicles

Σε αυτή την κατηγορία υπάρχει η ειδοποιός διαφορά πως σε δύο ή σε όλους τους τροχούς του αυτοκινήτου (ανάλογα τις προδιαγραφές κατασκευής του) εγκαθίστανται μικρότερου μεγέθους από τις προηγούμενες κατηγορίες ηλεκτρικοί κινητήρες οι οποίοι είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους. Γεγονός που επιτρέπει να γίνεται η επιτάχυνση και το φρενάρισμα σε κάθε τροχό ανεξάρτητα από τους υπόλοιπους χωρίς την παρουσία συστήματος μετάδοσης κίνησης (transmission system), χωρίς κινητήριο άξονα (drive shaft), χωρίς διαφορικό σύστημα (differential gear) και γενικότερα χωρίς άλλα περίπλοκα και βαριά εξαρτήματα. Αυτό το μοντέλο υβριδικού ηλεκτρικού αυτοκινήτου παρέχει τη δυνατότητα για σημαντικές διαφοροποιήσεις στο μέγεθος και το σχήμα του αυτοκινήτου (design) καθώς θα δώσει τη δυνατότητα για καινοτόμα εξωτερικά σχήματα, αυξημένη αεροδυναμική λόγω της μείωσης του βάρους ενώ επίσης θα υπάρχει περισσότερος χώρος στο εσωτερικό άρα θα είναι πιο άνετα εσωτερικά [9,11]

Στην Εικόνα 9 φαίνεται μια σχηματική αναπαράσταση ενός In-Wheel Motor Hybrid Electric Vehicle όπου διακρίνονται 2 μηχανές εντός των μπροστινών τροχών του αυτοκινήτου και απουσιάζει από το κυρίως σώμα του αυτοκινήτου η ηλεκτρική μηχανή



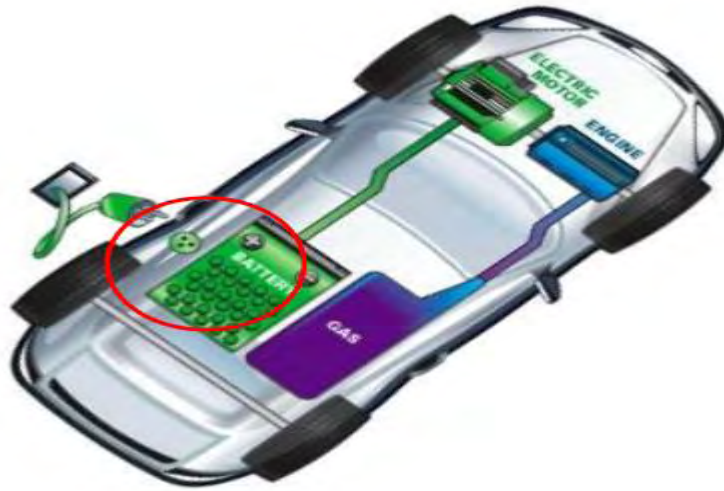
Εικόνα 9: In-Wheel Motor Hybrid Electric Vehicles – Δομή [10]

1.2.5 Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Αυτοκίνητα - Plug in Hybrid EV(PHEV)

Τα Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα (PHEV) ανήκουν στην οικογένεια των υβριδικών αυτοκινήτων και συνδυάζουν μία μηχανή εσωτερικής καύσης (βενζίνης ή πετρελαίου) και μια ηλεκτρική μηχανή μαζί με μία μεγάλη μπαταρία η οποία μπορεί να φορτιστεί από το δίκτυο όπως θα αναλύσουμε παρακάτω. Τα PHEV μπορούν να διανύσουν κάποια απόσταση κάνοντας χρήση μόνο της ηλεκτρικής μηχανής, λειτουργία η οποία ονομάζεται “all electric mode” ενώ επίσης μπορούν να συνδυάζουν και τις δύο μηχανές τους ώστε να κινηθούν λειτουργία που ονομάζεται “hybrid mode” [6]. Το πλεονέκτημα τους είναι το παραπάνω καθώς μπορούν να είναι αμιγώς ηλεκτρικά σε μικρές αποστάσεις, όπως για παράδειγμα για κίνηση μέσα στην πόλη, ενώ προσφέρουν και τη δυνατότητα μεγαλύτερων ταξιδιών λόγω της μηχανής εσωτερικής καύσης συνεπώς δεν υπάρχει περιορισμός στην διανυόμενη απόσταση, όπως για παράδειγμα σε ένα μακρινό ταξίδι. Οι εκπομπές ρύπων που παράγουν είναι μικρότερες από τα συμβατικά αυτοκίνητα με μηχανή εσωτερικής καύσης, συνεπώς αποτελούν μια πολύ καλή εναλλακτική στο δρόμο για τον στόχο της μείωσης των εκπομπών ρύπων από τα αυτοκίνητα [7].

Στην Εικόνα 10 φαίνεται μια περιληπτική δομή ενός επαναφορτιζόμενου υβριδικού αυτοκινήτου όπου η μπαταρία συνυπάρχει με ένα ρεζερβουάρ βενζίνης

ή πετρελαίου ενώ επίσης βλέπουμε χαρακτηριστικά τις 2 μηχανές, την ηλεκτρική στα αριστερά και την εσωτερικής καύσης στα δεξιά καθώς επίσης και τη δυνατότητα σύνδεσης με το δίκτυο για φόρτιση της μπαταρίας.



Εικόνα 10: Επαναφορτιζόμενο υβριδικό αυτοκίνητο - Δομή [8]

Τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα μπορούν να φορτίσουν τις μπαταρίες τους με τους παρακάτω τρόπους

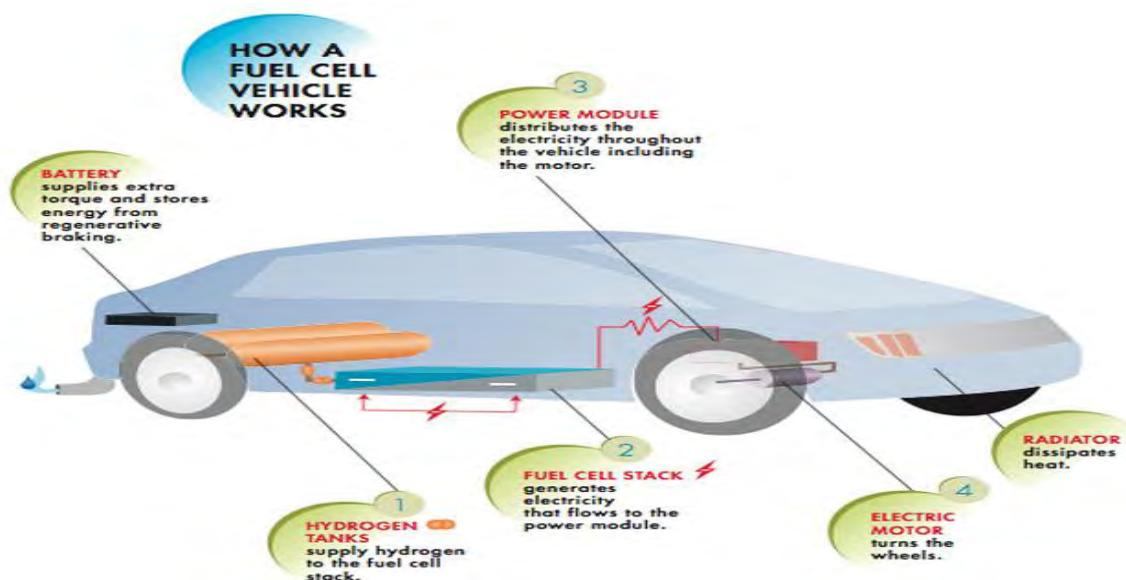
- Συνδέοντας τα με το ηλεκτρικό δίκτυο, ιδιότητα η οποία τα διαχωρίζει από τα Υβριδικά Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα και στη συνέχεια θα αφιερώσουμε ένα ολόκληρο κεφάλαιο για την ανάλυση της φόρτισης από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας
- Με την χρήση της μηχανής εσωτερικής καύσης όπως στα υβριδικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα για την παραγωγή της απαραίτητης ηλεκτρικής ενέργειας για την λειτουργία της ηλεκτρικής μηχανής
- Με το σύστημα αναγεννητικής πέδησης

1.2.6 Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα με Κυψέλη Καυσίμου - Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με κυψέλη καυσίμου, ή FCEV όπως ονομάζονται, είναι η τελευταία κατηγορία ηλεκτρικών οχημάτων καθώς βρίσκονται ακόμα σε χαμηλό βαθμό ανάπτυξης και μεριδίου αγοράς σε σύγκριση με τα υπόλοιπα. Το καύσιμo τους προέρχεται από τον συνδυασμό συμπιεσμένου υδρογόνου και

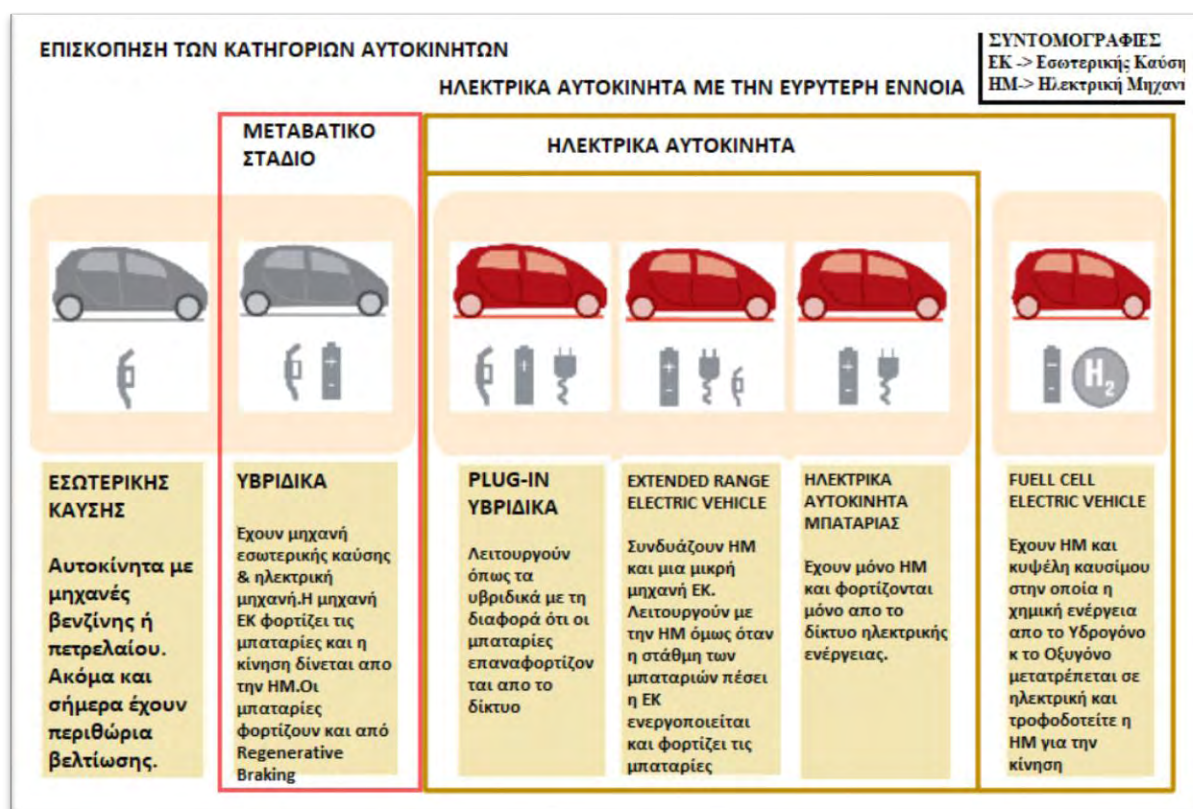
οξυγόνου μέσα στην κυψέλη καυσίμου (fuel cell) όπου η χημική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική η οποία με τη σειρά της τροφοδοτεί την ηλεκτρική μηχανή. Συγκαταλέγονται και αυτά στην οικογένεια των ηλεκτρικών αυτοκινήτων αφού κινούνται αποκλειστικά από την ηλεκτρική ενέργεια και σε αντίθεση με τα υπόλοιπα μπορούν να καλύψουν αποστάσεις εφάμιλλες των αυτοκινήτων με μηχανή εσωτερικής καύσης. Διαθέτουν ένα ρεζερβουάρ παρόμοιο με τα αντίστοιχα της βενζίνης και του πετρελαίου στο οποίο αποθηκεύεται το υδρογόνο από τον σταθμό ανεφοδιασμού ενώ η όλη διαδικασία του ανεφοδιασμού διαρκεί περίπου δέκα λεπτά. Επίσης διαθέτουν μια μπαταρία στην οποία αποθηκεύεται ενέργεια από το σύστημα αναγεννητικής πέδησης, η οποία παρέχεται στο αυτοκίνητο σε στιγμές απότομης επιτάχυνσης και δίνει έξτρα ροπή στο όχημα. Όπως προείπαμε υπάρχει η κυψέλη καυσίμου από την οποία παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια και μεταφέρεται στην μονάδα ενέργειας (power module) της οποίας ο ρόλος είναι να διανέμει την ηλεκτρική ενέργεια τόσο στην ηλεκτρική μηχανή η οποία κινεί τους τροχούς του αυτοκινήτου, όσο και στο υπόλοιπο όχημα για τις βοηθητικές λειτουργίες όπως για παράδειγμα το air condition και το ραδιόφωνο [7,12].

Στην Εικόνα 11 βλέπουμε μια αναπαράσταση ενός FCEV όπου διακρίνουμε την μπαταρία και το ρεζερβουάρ για την αποθήκευση ενέργειας. Επίσης βλέπουμε την κυψέλη καυσίμου, την ηλεκτρική μηχανή και τη μονάδα ενέργειας.



Εικόνα 11: Δομή ηλεκτρικού αυτοκινήτου με κυψέλη καυσίμου [11]

Στην Εικόνα 13 βλέπουμε μια επισκόπηση των διαφόρων τεχνολογιών αυτοκινήτων, όπου γίνεται διαχωρισμός μεταξύ συμβατικών αυτοκινήτων με μηχανή εσωτερικής καύσης στα αριστερά, δίπλα βλέπουμε τα υβριδικά αυτοκίνητα τα οποία δεν συγκαταλέγονται στην οικογένεια των ηλεκτρικών ενώ έπειτα γίνεται κατηγοριοποίηση των επιμέρους τεχνολογιών των ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων. Πρώτα φαίνονται τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα (PHEV), έπειτα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα εκτεταμένης εμβέλειας (EREV) ενώ ακολουθούν τα αμιγώς ηλεκτρικά αυτοκίνητα (BEV). Οι τρεις κατηγορίες αυτές βρίσκονται σε πιο προχωρημένο επίπεδο τόσο τεχνολογικά όσο και σε μερίδιο αγοράς σε σχέση με την επόμενη κατηγορία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων με κυψέλη καυσίμου (FCEV) που βρίσκονται σε πολύ πρώιμα στάδια ανάπτυξης.



Εικόνα 12: Κατηγοριοποίηση αυτοκινήτων [8]

1.3 Μηχανικά Μέρη Ηλεκτρικού Αυτοκινήτου

Η διαφοροποίηση ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε σχέση με ένα συμβατικό αυτοκίνητο έχει να κάνει με την ύπαρξη του ηλεκτρικού κινητήρα, των ηλεκτρονικών ισχύος και των μπαταριών. Στους ηλεκτρικούς κινητήρες και στα ηλεκτρονικά ισχύος θα αναφερθούμε στις επόμενες δύο ενότητες αυτού του κεφαλαίου ενώ για τις μπαταρίες έχει αφιερωθεί το δεύτερο κεφάλαιο αυτής της εργασίας. Ωστόσο πολλά δομικά στοιχεία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι κοινά με αυτά των συμβατικών αυτοκινήτων και αυτά είναι τα παρακάτω [13,14]:

- Αμάξωμα, αποτελείται από όλα τα εξωτερικά μέρη του αυτοκινήτου
- Πλαίσιο, πάνω σε αυτό τοποθετούνται όλα τα μηχανικά μέρη του αυτοκινήτου όπως ο κινητήρας και όλο το αμάξωμα γενικότερα
- Φρένα, ή αλλιώς σύστημα πέδησης, αποτελεί κύριο στοιχείο όλων των αυτοκινήτων
- Ανάρτηση, η οποία ορίζει την συμπεριφορά του αυτοκινήτου στο δρόμο προσφέροντας άνεση και ασφάλεια όταν έχει τις σωστές ρυθμίσεις
- Σύστημα διεύθυνσης, μεταφέρει τις εντολές του οδηγού στα μηχανικά μέρη του αυτοκινήτου
- Σύστημα μετάδοσης κίνησης, είναι το σύστημα το οποίο μεταφέρει την απαραίτητη ενέργεια από τον κινητήρα στους τροχούς προκειμένου να κινηθεί το αυτοκίνητο. Αποτελείται από το κιβώτιο ταχυτήτων (αυτόματο ή χειροκίνητο όπου στην περίπτωση αυτή υπάρχει και ο συμπλέκτης), το διαφορικό σύστημα, τους άξονες των τροχών και τα ημιαξόνια

1.4 Ηλεκτρικοί Κινητήρες

Αποτελούν την καρδιά του συστήματος κίνησης του ηλεκτρικού αυτοκινήτου και πάνω στα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού κινητήρα θα γίνει η προσαρμογή των υπολοίπων δομικών στοιχείων του ηλεκτρικού οχήματος.

Η ενέργεια που παρέχεται στους τροχούς του αυτοκινήτου, αλλά και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για αποθήκευση από τις μπαταρίες, βασίζονται στον ηλεκτρομαγνητισμό. Μια ηλεκτρομαγνητική συσκευή λειτουργεί ως μαγνήτης

αλλά η μαγνητική δύναμη προκύπτει και ελέγχεται από ηλεκτρισμό. Η αρχή λειτουργίας των κινητήρων βασίζεται στη δύναμη Lorenz, η οποία δημιουργεί δυνάμεις μεταξύ αγωγών που διαρρέονται από ρεύμα. Στις περισσότερες μηχανές οι αγωγοί είναι σε κυκλική μορφή και όταν τροφοδοτούνται με ρεύμα δημιουργείται περιστροφική κίνηση. Στην αυτοκινητοβιομηχανία συναντάμε κινητήρες τόσο Συνεχούς Ρεύματος όσο και Εναλλασσόμενου Ρεύματος [12].

Οι απαιτήσεις των ηλεκτρικών αυτοκινήτων από τους κινητήρες είναι η υψηλή ροπή, η ευρεία περιοχή ταχυτήτων λειτουργίας υπό σταθερή ισχύ, η υψηλή πυκνότητα ισχύος, η υψηλή απόδοση, το μικρό βάρος, το χαμηλό κόστος, η αξιοπιστία και η μεγάλη διάρκεια ζωής με την ελάχιστη δυνατή ανάγκη για συντήρηση. Από την στιγμή που ικανοποιούνται όλα τα παραπάνω είναι στην ευχέρεια του εκάστοτε κατασκευαστή ποιο είδος κινητήρα θα επιλέξει. Τα είδη που έχουν επικρατήσει κατά κύριο λόγο στην αγορά των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι τα παρακάτω [2,9,13]:

1. Κινητήρας Επαγωγής, οι οποίοι είναι οι πλέον διαδεδομένοι στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα αφού συνδυάζουν κατασκευαστική απλότητα άρα και χαμηλό κόστος κατασκευής, αξιοπιστία και ανθεκτικότητα αλλά και χαμηλό κόστος συντήρησης για τους ιδιοκτήτες των αυτοκινήτων. Για την οδήγηση τους χρησιμοποιείται διάταξη αντιστροφέα που προσφέρει την επιλογή για εναλλαγή της συχνότητας για καλύτερο έλεγχο της περιστροφής.
2. Κινητήρες μόνιμων μαγνητών, στους οποίους οι μαγνήτες τοποθετούνται στο δρομέα αντικαθιστώντας το τύλιγμα του πεδίου με σκοπό την μείωση των απωλειών χαλκού αλλά και την αύξηση της αξιοπιστίας του κινητήρα λόγω της έλλειψης των ψηκτρών. Η τροφοδοσία τους γίνεται με ημιτονοειδή τάση και έχουν τόσο μεγάλη πυκνότητα ισχύος όσο και απόδοση. Τέλος είναι οικονομικοί στην κατασκευή τους. Δύο από τις βασικότερες κατηγορίες κινητήρων μόνιμων μαγνητών είναι οι σύγχρονοι κινητήρες μόνιμων μαγνητών που παρουσιάζουν τάση εξ επαγωγής ημιτονοειδούς και τραπεζοειδούς κυματομορφής. Αυτοί είναι ο Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM) ή αλλιώς Brushless AC (BLAC) και ο brushless DC (BLDC). Πιο συγκεκριμένα οι BLDC κινητήρες μόνιμων μαγνητών συνεχούς ρεύματος χωρίς συλλέκτη και ψήκτρες, είναι η

τελευταία λέξη της τεχνολογίας γεγονός που αποτυπώνεται από τον υψηλό βαθμό απόδοσης και την μεγάλη πυκνότητα ισχύος αλλά και λόγω των μεγάλων τιμών ροπής που οφείλεται στην τραπεζοειδή μορφή του ρεύματος και της μαγνητικής ροής.

3. Κινητήρες Αντίδρασης (Reluctance), το χαρακτηριστικό των οποίων είναι η χρήση ρότορα με έκτυπους πόλους. Είναι μια πολύ ανθεκτική μηχανή και καθόλου ευαίσθητη στις αλλαγές θερμοκρασίας αλλά ούτε και σε ακραίες συνθήκες κρύου-ζέστης.

1.5 Ηλεκτρονικά Ισχύος

Τα ηλεκτρονικά ισχύος τοποθετούνται μεταξύ των μπαταριών του αυτοκινήτου και του ηλεκτρικού κινητήρα και ο ρόλος τους είναι να μετασχηματίζουν την ισχύ εισόδου που προέρχεται από τις μπαταρίες σε τάση και ρεύμα με το επιθυμητό πλάτος και μορφή. Υπάρχουν τρία είδη, και εξαρτάται από το είδος της μηχανής αλλά και της μπαταρίας, ποιο είδος των ηλεκτρονικών ισχύος που θα χρησιμοποιηθεί [9,13,16].

- Αντιστροφέας – Inverter

Είναι μία ηλεκτρική συσκευή η οποία δέχεται Συνεχές Ρεύμα και το μετασχηματίζει σε Εναλλασσόμενο Ρεύμα. Στα υβριδικά και τα απολύτως ηλεκτρικά αυτοκίνητα το ΣΡ προέρχεται από την μπαταρία και δίδεται στην πρωτεύον περιέλιξη του μετασχηματιστή εντός του περιβλήματος του μετατροπέα. Εκεί υπάρχει ένας ηλεκτρονικός διακόπτης, που αποτελείται από ένα σύνολο τρανζίστορ-ημιαγωγών, μέσω του οποίου υπάρχει συνεχής ροή ρεύματος η οποία ανά τακτά χρονικά διαστήματα αναστρέφεται και ρέει προς τα πίσω. Έτσι δημιουργείται το εναλλασσόμενο ρεύμα στο κύκλωμα του δευτερεύοντος τυλίγματος.

- Μετατροπέας – Converter

Είναι μια ηλεκτρική συσκευή η οποία μπορεί να δέχεται σαν είσοδο είτε Συνεχές Ρεύμα είτε Εναλλασσόμενο Ρεύμα και να του αλλάζει την τάση στην έξοδο. Διαχωρίζονται με βάση την λειτουργία τους σε

α) ανυψωτές τάσης οι οποίοι αυξάνουν την τάση στην έξοδο

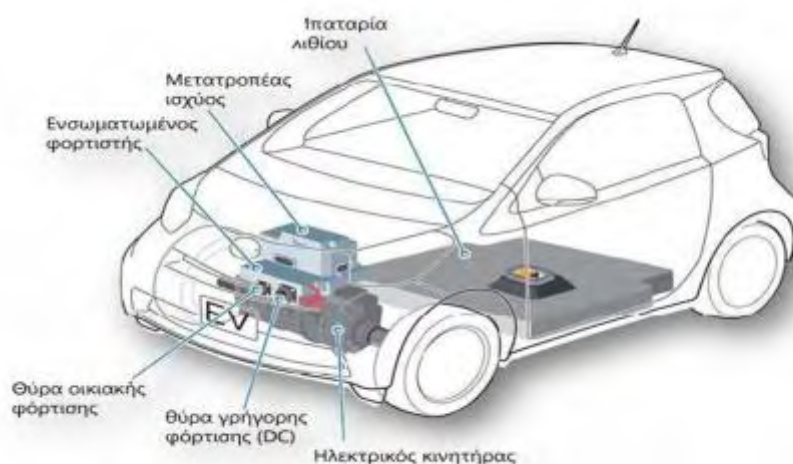
β) υποβιβαστές τάσης οι οποίοι μειώνουν την τάση στην έξοδο

Οι ανυψωτές τάσης είναι οι πιο συνηθισμένοι στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα καθώς ο κινητήρας χρειάζεται σαφώς υψηλότερη τάση για να λειτουργήσει από αυτή που εξέρχεται από την μπαταρία.

- Συνδυασμός Αντιστροφέα/Μετατροπέα – Inverter/Converter Tandem

Ο συνδυασμός αντιστροφέα/μετατροπέα υποδηλώνει την ταυτόχρονη χρήση τους κυρίως από αυτοκίνητα στα οποία εφαρμόζεται το σύστημα της αναγεννητικής πέδησης για την επαναφόρτιση της μπαταρίας. Συνδυάζεται με έναν ενσωματωμένο ρυθμιστή φορτίου και ένα σύστημα ψύξης, ανεξάρτητο από το σύστημα ψύξης της μηχανής, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται από τα τρανζίστορ. Η λειτουργία του είναι να παρέχει ηλεκτρικό φορτίο στην κατάλληλη τάση για την επαναφόρτιση της μπαταρίας αλλά και να παρέχει ηλεκτρικό φορτίο στον κινητήρα στην κατάλληλη τάση λειτουργίας του.

Στην Εικόνα 14 φαίνεται μια σχηματική αναπαράσταση ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου με τα διάφορα επιμέρους κομμάτια τα οποία αναλύσαμε μέχρι τώρα όπως ο ηλεκτρικός κινητήρας και ο μετατροπέας ισχύος καθώς και ορισμένα που θα αναλύσουμε παρακάτω όπως ο ενσωματωμένος επί του αυτοκινήτου φορτιστής, οι θύρες φόρτισης και η μπαταρία λιθίου



Εικόνα 13: Ηλεκτρικό αυτοκίνητο με όλα τα επιμέρους δομικά στοιχεία του [13]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ

2.1 Μπαταρίες

Όπως προαναφέρθηκε, η μπαταρία είναι στοιχείο κλειδί για την εξέλιξη της όλων των τύπων ηλεκτρικών αυτοκινήτων καθώς στα αμιγώς ηλεκτρικά αυτοκίνητα αποτελεί την μοναδική πηγή ενέργειας για το αυτοκίνητο, στα υβριδικά παρόλο που υπάρχει και μηχανή εσωτερικής καύσης η μπαταρία είναι καθοριστικής σημασίας αλλά και στα αυτοκίνητα με κυψέλη καυσίμου είναι βασικό και αναπόσπαστο κομμάτι. Τι είναι όμως η μπαταρία;

2.1.1 Ορισμός

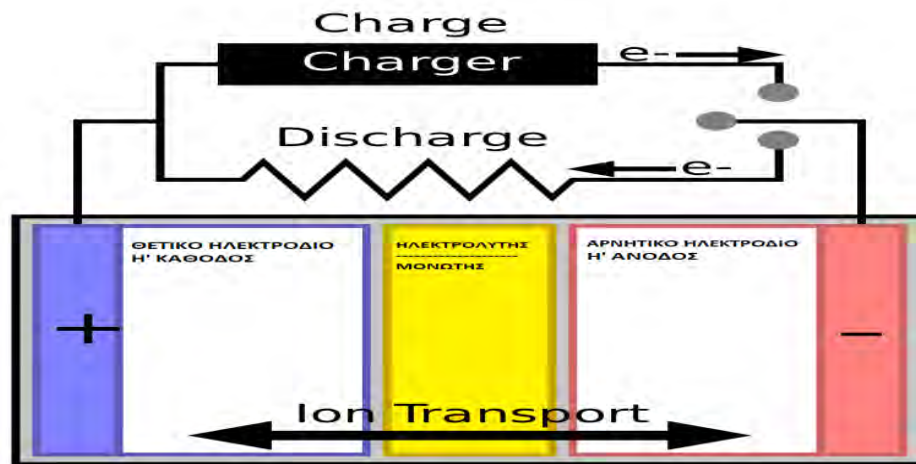
Ως μπαταρία ή (ηλεκτρικός) συσσωρευτής ή μπαταρία έλξης (traction battery), όπως ονομάζεται στο χώρο του ηλεκτρικού αυτοκινήτου, ορίζεται η συσκευή η οποία παίρνει την ηλεκτρική ενέργεια και την αποθηκεύει αφού πρώτα την μετατρέψει σε χημική ενέργεια ενώ για την αποδέσμευση ακολουθεί την αντίστροφη διαδικασία. Η μπαταρία αποτελείται από πληθώρα μικρότερων ηλεκτρικών μονάδων, τα λεγόμενα κελιά (cells). Κάθε κελί με την σειρά του αποτελείται από δύο αγώγιμα υλικά, την άνοδο ή αλλιώς θετικό ηλεκτρόδιο, την κάθοδο ή αλλιώς αρνητικό ηλεκτρόδιο και τον ηλεκτρολύτη ο οποίος είναι το υλικό που διαχωρίζει την άνοδο από την κάθοδο. Μπορεί να είναι υγρό, στερεό ή αέριο ανάλογα την εφαρμογή και έναν μονωτή [2]. Οι ιδιότητες των παραπάνω στοιχείων είναι οι εξής:

- Μονωτής, διαχωρίζει και αποτρέπει να έρθουν σε επαφή μεταξύ τους τα ηλεκτρόδια για την αποφυγή βραχυκυκλωμάτων
- Ηλεκτρολύτης, λειτουργεί ως μεταφορικό μέσο ιόντων μεταξύ των ηλεκτροδίων μέσα σε ένα κελί. Το είδος του υλικού που επιλέγεται διαφέρει ανάλογα τον κατασκευαστή και το που δίνει μεγαλύτερη σημασία

- Κάθοδος ή θετικό ηλεκτρόδιο, κατασκευάζεται από αγώγιμο υλικό το οποίο κατά την εκφόρτιση συγκεντρώνει τα ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα με τη διαδικασία να ονομάζεται αναγωγή
- Άνοδος ή αρνητικό ηλεκτρόδιο, είναι μεταλλικό υλικό και οξειδώνεται κατά την εκφόρτιση καθώς απελευθερώνει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα με τη διαδικασία να ονομάζεται οξείδωση

Η αρχή λειτουργίας της μπαταρίας είναι μία σχετικά απλή διαδικασία τόσο στην εκφόρτιση όσο και στην φόρτιση της. Κατά την εκφόρτιση στα δύο ηλεκτρόδια συνδέεται ένα εξωτερικό κύκλωμα και πραγματοποιείται μια ηλεκτροχημική αντίδραση οξειδοαναγωγής. Τότε υπάρχει μία συνεχής ροή ηλεκτρονίων η οποία ξεκινάει από το ηλεκτρόδιο ανόδου –το οποίο οξειδώνεται- διαμέσου του ηλεκτρικού κυκλώματος που έχει συνδεθεί στη μπαταρία εξωτερικά και οδεύει προς το ηλεκτρόδιο καθόδου. Ολοκληρώνεται με την ροή ιόντων μέσω του ηλεκτρολύτη όπου ανιόντα (αρνητικά ιόντα) ρέουν προς την άνοδο και κατιόντα (θετικά ιόντα) ρέουν προς την κάθοδο. Από την παραπάνω διαδικασία παράγεται το ηλεκτρικό ρεύμα που τροφοδοτεί το εξωτερικό κύκλωμα. Στην αντίστροφη διαδικασία της φόρτισης, εφαρμόζεται εξωτερικό ρεύμα στην μπαταρία και συμβαίνει η αντίστροφη ηλεκτροχημική αντίδραση οξειδοαναγωγής και αποθηκεύεται η ηλεκτρική ενέργεια αφού έχει μετατραπεί σε χημική ενέργεια. Πιο συγκεκριμένα η ροή των ηλεκτρονίων αντιστρέφεται και η οξείδωση γίνεται στην άνοδο η οποία μετατρέπεται σε θετικό ηλεκτρόδιο και η κάθοδος ανάγεται η οποία μετατρέπεται σε αρνητικό ηλεκτρόδιο [14]. Οι βασικές παράμετροι που καθορίζουν την απόδοση και τη συμπεριφορά της μπαταρίας θα αναλυθούν στην επόμενη ενότητα.

Στην Εικόνα 15 βλέπουμε τη σχηματική αναπαράσταση του εσωτερικού μιας μπαταρίας σε γενική μορφή και διακρίνουμε την κάθοδο στο μπλε χρώμα, την άνοδο στο κόκκινο χρώμα ενώ ο ηλεκτρολύτης φαίνεται στο κέντρο στο κίτρινο. Στο πάνω μέρος βλέπουμε το κύκλωμα που δημιουργείται καθώς και τη φορά της ροής ηλεκτρονίων κατά τη φόρτιση και την εκφόρτιση της μπαταρίας.



Εικόνα 14: Σχηματική αναπαράσταση εσωτερικού μπαταρίας

2.1.2 Χαρακτηριστικά Μεγέθη Μπαταριών

Κάθε μπαταρία χαρακτηρίζεται από κάποια βασικά μεγέθη σύμφωνα με τα οποία γίνεται η επιλογή μπαταρίας από τους κατασκευαστές και αυτά είναι [2,18] :

- Ηλεκτρική Τάση, μονάδα μέτρησης είναι τα Volt(V) και είναι η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται μεταξύ των άκρων της ανόδου και της καθόδου
- Εσωτερική Αντίσταση, μονάδα μέτρησης είναι τα Ohm και είναι η αντίσταση που παρουσιάζουν τα αγώγιμα υλικά από τα οποία κατασκευάζεται η μπαταρία στην ροή του ρεύματος. Διαφέρει στα δύο λειτουργίες της μπαταρίας καθώς στην εκφόρτιση είναι σε χαμηλά επίπεδα ενώ στην φόρτιση σε υψηλότερα επίπεδα.
- Χωρητικότητα Μπαταρίας – Αμπερώρια, είναι από τα πλέον βασικά χαρακτηριστικά των μπαταριών και δείχνει πόση ενέργεια βρίσκεται σε μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία. Μετριέται σε Αμπερώρια (Ah) καθώς η εξ ορισμού μονάδα μέτρησης στο SI είναι το Coulomb (C) και είναι πολύ μικρό μέγεθος συνεπώς χρησιμοποιούνται τα Αμπερώρια ($1Ah = 3600C$). Είναι δηλαδή η ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου που μεταφέρεται από έναν αγωγό όταν διαρρέεται από ρεύμα έντασης ενός Amper για μία ώρα. Για να γίνει πιο κατανοητή η έννοια του Αμπερώριου ας δούμε ένα παράδειγμα : Αν μια μπαταρία έχει χωρητικότητα 5Ah σημαίνει ότι μπορεί να δίνει ρεύμα

έντασης 1Amber για 5 ώρες ή ρεύμα έντασης 2.5Amber για 2 ώρες ή ρεύμα έντασης 5Amber για 1 ώρα.

- Ειδική (Συγκεκριμένη) ενέργεια, είναι η ενεργειακή χωρητικότητα ανά μονάδα βάρους μιας μπαταρίας και μονάδα μέτρησης είναι το 1 Wh/kg. Διαχωρίζεται σε θεωρητική και πρακτική ειδική ενέργεια με την πρώτη να είναι η μέγιστη ενέργεια που μπορεί να παραχθεί από τη συγκεκριμένη λειτουργία ενώ η δεύτερη αποτελεί την ρεαλιστική προσέγγιση που φανερώνεται κατά την χρήση της μπαταρίας.
- Ενεργειακή πυκνότητα, είναι η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί ανά μονάδα όγκου της μπαταρίας και μονάδα μέτρησης είναι το 1 Wh/L ή το 1 Wh/cm³ με πιο συνηθισμένη την πρώτη
- Ειδική (Συγκεκριμένη) Ισχύς, είναι η μέγιστη ισχύς ανά μονάδα βάρους του συσσωρευτή που μπορεί να παραχθεί σε ένα μικρό χρονικό διάστημα. Σύμφωνα με αυτή καθορίζεται το βάρος της μπαταρίας ανάλογα με τα επίπεδα απόδοσης που επιθυμεί να πετύχει ο εκάστοτε κατασκευαστής. Έχει μονάδα μέτρησης το 1 W/Kg
- Πυκνότητα Ισχύος, είναι η μέγιστη ισχύς ανά μονάδα όγκου και μονάδα μέτρησης είναι το 1 W/L , καθορίζει τον μέγεθος της μπαταρίας σύμφωνα με τις απαιτήσεις απόδοσης του κατασκευαστή
- Μέγιστο συνεχές ρεύμα εκφόρτισης , είναι η μέγιστη τιμή ρεύματος με την οποία μπορεί η μπαταρία να παρέχει ενέργεια στην ηλεκτρική μηχανή συνεχόμενα και είναι ένας παράγοντας που καθορίζει τη μέγιστη ταχύτητα αλλά και την επιτάχυνση του αυτοκινήτου
- Μέγιστο ρεύμα παλμού αποφόρτισης σε 30 δευτερόλεπτα , είναι η μέγιστη τιμή του ρεύματος που μπορεί να τροφοδοτεί ενέργεια η μπαταρία για παλμούς το πολύ 30 δευτερολέπτων και αποτελεί παράγοντα στην επιτάχυνση του αυτοκινήτου
- Ρυθμός αυτοεκφόρτισης, προκύπτει όταν μια μπαταρία παραμένει ανενεργή για μεγάλο χρονικό διάστημα και είναι η απώλεια της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στην μπαταρία. Οι συνθήκες του περιβάλλοντος μπορούν να επιδεινώσουν τον ρυθμό απώλειας ενέργειας. Μονάδα μέτρησης είναι η μονάδα απολεσθείσας ενέργειας σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα εκφρασμένη σε ποσοστό της χωρητικότητας αμέσως μετά την φόρτιση

- Τάση αποκοπής, είναι το κατώτατο όριο το οποίο καθορίζεται από τον κατασκευαστή στο οποίο η μπαταρία έχει αποφορτιστεί τόσο ώστε να πρέπει να σταματήσει να παρέχει ενέργεια καθώς αν περάσει το σημείο που ορίζει η τάση αποκοπής μπορεί να προκληθεί ζημία –πιθανότατα ανεπανόρθωτη- στην μπαταρία
- Θερμοκρασία Μπαταρίας, τα διάφορα είδη μπαταριών λειτουργούν σε διαφορετικά φάσματα θερμοκρασιών, συνεπώς ορισμένες χρειάζονται να ζεσταθούν πριν την έναρξη λειτουργίας τους και να κρυώσουν αργότερα ενώ σε άλλες η απόδοση πέφτει όταν επικρατεί χαμηλή εξωτερική θερμοκρασία συνεπώς οι κατασκευαστές θα πρέπει εκτός της ορθής επιλογής μπαταρίας να επιλέξουν και τις κατάλληλες μονάδες για περαιτέρω ψύξη και θέρμανση των μπαταριών
- Κύκλος ζωής και κύκλοι φόρτισης μπαταρίας, οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες μπορούν να υποστούν πεπερασμένο αριθμό κύκλων φόρτισης ο οποίος ορίζεται ως η διαδικασία μιας πλήρους φόρτισης και έπειτα μιας εκφόρτισης της μπαταρίας σε ένα προκαθορισμένο ποσοστό της χωρητικότητας της μπαταρίας αλλά και σε προκαθορισμένες συνθήκες περιβάλλοντος. Ο κύκλος ζωής της μπαταρίας επηρεάζεται από το ποσοστό εκφόρτισης καθώς όσο μεγαλύτερο τόσο μικραίνει ο κύκλος ζωής. Επιπρόσθετα οι συνθήκες του περιβάλλοντος, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία, αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες της διάρκειας ζωής της μπαταρίας.

2.1.3 Τύποι Μπαταριών

Οι μπαταρίες διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες υποκατηγορίες, τις πρωτογενείς και τις δευτερογενείς, στα πλαίσια αυτής της εργασίας θα ασχοληθούμε και θα αναλύσουμε μόνο τις δευτερογενείς ή επαναφορτιζόμενες μπαταρίες.

Ως δευτερογενείς μπαταρίες ορίζονται αυτές οι μπαταρίες που μπορούν να επαναφορτιστούν και να χρησιμοποιηθούν για πολλές παραπάνω από μία χρήσεις. Είναι αυτές που χρησιμοποιούνται σε ολόκληρο τον κλάδο της βιομηχανίας των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και σε αυτές θα εστιάσουμε στα πλαίσια

αυτής της διπλωματικής εργασίας. Παρακάτω θα αναλύσουμε τους διάφορους τύπους μπαταριών που χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν και αυτούς που χρησιμοποιούνται σήμερα και στο μέλλον στην αυτοκινητοβιομηχανία. Όπως έχει προαναφερθεί, η μπαταρία είναι το κλειδί για την ανάπτυξη των ηλεκτρικών αυτοκινήτων καθώς η πρόοδος της δεν συμβαδίζει με την εξέλιξη των υπόλοιπων μερών του ηλεκτρικού αυτοκινήτου και συνεπώς είναι ο παράγοντας που επιβραδύνει την απήχηση του στο καταναλωτικό κοινό.

Οι απαιτήσεις των ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων από τις μπαταρίες είναι ιδιαίτερα υψηλές και χαρακτηρίζονται από :

- Απαιτήση για υψηλή συγκεκριμένη ενέργεια και ισχύς ώστε να δίνουν στο αυτοκίνητο όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αυτονομία κίνησης
- Απαιτήση για όσο το δυνατόν μεγαλύτερη και γρηγορότερη επιτάχυνση που καθορίζεται από την πυκνότητα ισχύος
- Απαιτήση για περιορισμό των λειτουργικών εξόδων της μπαταρίας, δηλαδή τον περιορισμό της ανάγκης για συντήρηση παράλληλα με τη δυνατότητα για μεγάλο κύκλο ζωής
- Απαιτήση για υψηλή συγκεκριμένη ισχύς και πυκνότητα ισχύος καθώς είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιτάχυνση του αυτοκινήτου
- Απαιτήση για την ανταπόκριση σε πολλαπλές φορτίσεις υπό υψηλή ισχύ-σε μικρά χρονικά διαστήματα- λόγω της αναγεννητικής πέδησης
- Απαιτήση για συνδυασμό όλων των παραπάνω με το μικρότερο δυνατό κόστος

Στη συνέχεια θα αναλυθούν οι διάφοροι τύποι μπαταριών που χρησιμοποιούνται στην αυτοκινητοβιομηχανία.

➤ Μολύβδου Οξέος (Lead-acid)

Αποτελεί την πρώτη επαναφορτιζόμενη μπαταρία που εφευρέθηκε το 1859 από τον Γάλλο φυσικό Gaston Plante. Βρίσκει εφαρμογή σε πληθώρα εφαρμογών, μια εκ των οποίων είναι και η αυτοκινητοβιομηχανία στην οποία έχει δεσπόζουσα θέση εδώ και πάρα πολλά χρόνια. Χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλα τα οχήματα ως μπαταρία τύπου Εκκίνησης, Φωτισμού και Ανάφλεξης (Starting, Lighting, Ignition SLI Battery). Συνήθως έχει ονομαστική τάση 12Volt τα οποία προκύπτουν από την

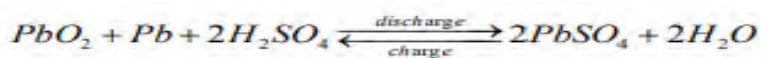
εν σειρά σύνδεση έξι (6) στοιχείων των 2Volt ώστε στους ακροδέκτες να αναπτυχθεί η επιθυμητή τάση των 12Volt. Η τάση λειτουργίας της όμως δεν είναι αυστηρά στα 12Volt καθώς έπειτα από μια πλήρη φόρτιση μπορεί να φτάσει τα 14.5Volt και έπειτα από μια πλήρη αποφόρτιση μπορεί να πέσει στα 10.8Volt. Δύο σημαντικά χαρακτηριστικά αυτών των μπαταριών Μολύβδου Οξέος είναι ότι πρώτον, έχουν χαμηλή εσωτερική αντίσταση συνεπώς κατά την εκκίνηση του αυτοκινήτου μπορεί να αποδώσει υψηλά ρεύματα στην μίζα χωρίς να υπάρξει πτώση τάσης και δεύτερον, το πολύ χαμηλό κόστος για την κατασκευή και αγορά τους τις συνιστά ιδανικές για την εκκίνηση του αυτοκινήτου.

Στην Εικόνα 16 βλέπουμε μια μπαταρία μολύβδου οξέως που χρησιμοποιείται ως μπαταρία τύπου Εκκίνησης, Φωτισμού και Ανάφλεξης σε όλα τα αυτοκίνητα.



Εικόνα 15: Μπαταρία μολύβδου-οξέως για εκκίνηση-φωτισμό-ανάφλεξη

Στα πολύ πρώιμα στάδια των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είχε γίνει χρήση των μπαταριών μολύβδου – οξέος καθώς ήταν από τις πρώτες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες που δημιουργήθηκαν και επειδή το κόστος τους ήταν -και είναι- πολύ μικρό. Το αρνητικό ηλεκτρόδιο της μπαταρίας αποτελείται από Μόλυβδο (Pb), ενώ το θετικό ηλεκτρόδιο αποτελείται από Διοξείδιο του Μολύβδου (PbO₂), ενώ το Θεικό Οξύ παίζει το ρόλο του ηλεκτρολύτη. Παρακάτω φαίνονται οι χημικές αντιδράσεις που γίνονται κατά τη διαδικασία της φόρτισης και της εκφόρτισης :



Στα θετικά των μπαταριών μολύβδου- οξέος είναι το πολύ χαμηλό κόστος που κυμαίνεται μεταξύ 120-150\$/kWh όπως επίσης και οι κύκλοι ζωής που μπορούν να φτάσουν τους 4500. Ωστόσο παρουσιάζουν ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα εξαιτίας των οποίων η χρήση τους στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ως πηγή ενέργειας έχει απορριφθεί και χρησιμοποιούνται μόνο για εκκίνηση-φωτισμό-ανάφλεξη. Τα μειονεκτήματα αυτά είναι ο μεγάλος όγκος και το βάρος, τα οποία εκτός από το χώρο που καταλαμβάνουν μέσα στο ηλεκτρικό αυτοκίνητο, μειώνουν σημαντικά και τις επιδόσεις. Ένα ακόμα μειονέκτημα είναι μικρή συγκέντρωση σε συγκεκριμένη ενέργεια η οποία φτάνει στα 30-50Wh/kg όπως επίσης αξιοσημείωτος είναι και ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης που μπορεί να φτάσει μέχρι και το 20% τον μήνα. Επιπρόσθετα οι μπαταρίες αυτές προσφέρουν πολύ περιορισμένη αυτονομία με μία φόρτιση. Τέλος, πρέπει να τονίσουμε ότι οι μπαταρίες μολύβδου οξέος είναι ιδιαίτερα τοξικές τόσο για το περιβάλλον όσο και για τον άνθρωπο και κατά τη διαδικασία αντικατάστασης τους απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή [19,20].

➤ Μπαταρίες με βάση το Νικέλιο

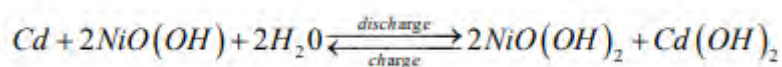
Μια επόμενη κατηγορία αποτελούν οι μπαταρίες που έχουν ως βάση το νικέλιο καθώς έχουν δημιουργηθεί αρκετοί συνδυασμοί από αυτό. Το νικέλιο χρησιμοποιείται υπό την μορφή του υδροξειδίου του νικελίου σαν θετικό ηλεκτρόδιο και η διαφοροποίηση έγκειται στην επιλογή του μετάλλου για το αρνητικό ηλεκτρόδιο, καθώς επίσης και ως ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο το Ποτάσιο (Κάλιο) [15]. Στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα συναντάμε τους παρακάτω τύπους μπαταριών με βάση το νικέλιο:

1. Νικελίου – Καδμίου (Nickel-Cadmium)

Συναντώνται σε πληθώρα εφαρμογών όπως σε ιατρικό εξοπλισμό και κάμερες. Ωστόσο χρησιμοποιήθηκαν ευρέως στο παρελθόν -με φθίνουσα πορεία μέχρι σήμερα- στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα και αποτελούν την πιο ανεπτυγμένη τεχνολογία μεταξύ των μπαταριών νικελίου.

Οι μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου ή NiCd χρησιμοποιούν ως αρνητικό ηλεκτρόδιο το κάδμιο και ο ηλεκτρολύτης από ένα υδατικό διάλυμα ποτασίου.

Παρακάτω φαίνονται οι χημικές αντιδράσεις που γίνονται κατά την φόρτιση και την εκφόρτιση των μπαταριών NiCd:



Είναι μια σαφώς καλύτερη λύση από τις μπαταρίες Μολύβδου-Οξέος καθώς παρουσιάζουν συγκεκριμένη ενέργεια 40-50Wh/Kg και συγκεκριμένη ισχύ 150-350W/kg ενώ μπορούν να λειτουργούν σε πιο ακραίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Επιπρόσθετα πλεονεκτήματα των μπαταριών αυτών είναι ότι έχουν περίπου 2000 έως 3000 κύκλους ζωής χωρίς να απαιτούν κάποια ιδιαίτερη συντήρηση, παρουσιάζουν αυξημένη αξιοπιστία και έχουν ρυθμό αποφόρτισης που φτάνει έως το 10% σε σπάνιες περιπτώσεις. Το κάδμιο είναι ένα σπάνιο χημικό στοιχείο, γεγονός που τις καθιστά πολλαπλάσια ακριβότερες από τις μπαταρίες Μολύβδου-Οξέος χωρίς όμως να είναι απαγορευτικό το κόστος. Τέλος, έχουν ένα πολύ σημαντικό μειονέκτημα, την τοξικότητα του καδμίου το οποίο είναι επικίνδυνο τόσο για το περιβάλλον όσο και για τον άνθρωπο καθώς είναι ένα καρκινογόνο χημικό στοιχείο[21,22].

Στην Εικόνα 17 βλέπουμε μια μπαταρία τύπου νικελίου-καδμίου

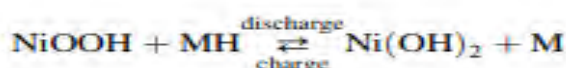


Εικόνα 16: Μπαταρία νικελίου-καδμίου

2. Νικελίου – Μετάλλου-Υδριδίου (Nickel – Metal Hydride)

Αποτελούν μια βελτιωμένη έκδοση των μπαταριών Νικελίου-Καδμίου και ονομάζονται μπαταρίες Νικελίου-Μετάλλου-Υβριδίου ή αλλιώς NiMH (Ni-MH). Η πρώτη μπαταρία NiMH εφευρέθηκε το 1982 από τον Stanford R. Ovshinsky του

οποίου η εταιρία εξαγοράστηκε από την General Motors (GM) το 1984, η οποία χρησιμοποιούσε αυτές τις μπαταρίες στα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα που παρήγαγε όπως το χαρακτηριστικό μοντέλο General Motors EV1. Στις μπαταρίες αυτές τη θέση του αρνητικού ηλεκτροδίου παίρνει το υβρίδιο μετάλλου και το ποτάσιο διατηρεί τη θέση του ηλεκτρολύτη ενώ υπάρχει και διαφοροποίηση στο θετικό ηλεκτρόδιο το οποίο κατασκευάζεται διαφορετικά, ανάλογα με την χρήση για την οποία προορίζεται κάθε φορά. Παρακάτω φαίνονται οι χημικές αντιδράσεις που γίνεται σε αυτού του τύπου τις μπαταρίες στην φόρτιση και στην εκφόρτιση:



Οι μπαταρίες αυτές έχουν μια πληθώρα πλεονεκτημάτων με το βασικότερο να είναι η φιλικότητα προς το περιβάλλον λόγω της μικρότερης τοξικότητας που παρουσιάζει το μέταλλο υβριδίου. Επιπλέον έχουν συγκεκριμένη ενέργεια της τάξης των 50-70Kg/Wh και συγκεκριμένη ισχύ 150-300W/Kg, που αποτελούν σημαντική πρόοδο με τον προκάτοχο τους, τις τύπου NiCd. Ο κύκλος ζωής τους μπορεί να φτάσει μέχρι και 3000, ενώ έχουν τη δυνατότητα για αρκετά γρήγορη επαναφόρτιση καθώς επίσης και μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών κατά το οποίο λειτουργούν. Παρόλα αυτά παρουσιάζουν και αυτές ορισμένα μειονεκτήματα, όπως ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης που μπορεί να φτάσει το 70% υπό κανονικές συνθήκες ή ακόμα και το 95% σε συνθήκες καύσωνα (ενδεικτικά με 45 βαθμούς Κελσίου) στο περιβάλλον ενώ η μηνιαία αυτοεκφόρτιση φτάνει το 3%. Επίσης παράγουν αρκετή θερμότητα κατά τη λειτουργία τους και απαιτούνται λεπτοί χειρισμοί κατά τη χρήση τους. Τέλος το κόστος τους είναι περίπου διπλάσιο από τις μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου. Γεγονός που αποτελεί ότι έχουν χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό από την αυτοκινητοβιομηχανία για τα ηλεκτροκίνητα μοντέλα τους, το οποίο αποτυπώνεται στο ότι μέχρι το 2008 περίπου 2 εκατομμύρια ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα κατασκευάστηκαν με μπαταρίες τύπου Νικελίου-Μετάλλου-Υβριδίου [21,22].

Στην Εικόνα 18 βλέπουμε μια μπαταρία νικελίου-μετάλλου-υβριδίου



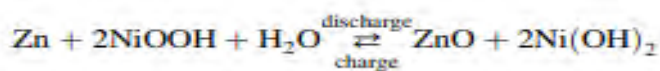
Εικόνα 17: Μπαταρία νικελίου-μετάλλου-υβριδίου

3. Νικελίου – Ψευδαργύρου (Nickel-Zinc)

Οι μπαταρίες τύπου Νικελίου-Ψευδαργύρου έχουν την συντομογραφία NiZn και αναπτύχθηκαν περί το 1930 ενώ το 1960 έγινε απόπειρα να γίνει χρήση τους σε στρατιωτικές εφαρμογές. Το 1970 με την προσπάθεια αναζωπύρωσης του ενδιαφέροντος του καταναλωτικού κοινού για τα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα, χρησιμοποιήθηκαν μπαταρίες τύπου NiZn για βελτίωση της απόδοσης των αυτοκινήτων, παρόλα αυτά δεν σημειώθηκε ιδιαίτερη πρόοδος σε αυτές τις μπαταρίες μέχρι πριν κάποια χρόνια. Ο λόγος της στασιμότητας των μπαταριών NiZn έγκειται στην μικρή διάρκεια ζωής του ηλεκτροδίου του ψευδαργύρου αφού παρουσιάζει ιδιαίτερα υψηλή διαλυτότητα αν τοποθετηθεί σε αλκαλικό ηλεκτρολύτη, πρόβλημα όμως που τα τελευταία χρόνια τείνει να επιλυθεί, γεγονός που επεκτείνει τη διάρκεια ζωής του ηλεκτροδίου του ψευδαργύρου και συνεπώς οι μπαταρίες αυτές επαναφέρονται στο προσκήνιο της ηλεκτροκίνησης. Το ενδιαφέρον για τις μπαταρίες NiZn προέκυψε από το γεγονός ότι συνδυάζονται στοιχεία τα οποία εκπληρώνουν τις απαιτήσεις στον κλάδο της ηλεκτροκίνησης. Το νικέλιο προσφέρει μεγάλο κύκλο ζωής και ο ψευδάργυρος προσφέρει την υψηλή συγκεκριμένη (ειδική) ενέργεια.

Η χημική σύσταση των μπαταριών αυτών απαιτεί στο θετικό ηλεκτρόδιο να τοποθετηθεί το υδροξείδιο του νικελίου, στο αρνητικό ηλεκτρόδιο να τοποθετηθεί οξείδιο του ψευδαργύρου ενώ το ποτάσιο παίζει το ρόλο του ηλεκτρολύτη.

Παρακάτω φαίνονται οι χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν κατά τις διαδικασίες της φόρτισης και της εκφόρτισης:



Οι μπαταρίες τύπου NiZn έχουν συγκεκριμένη (ειδική) ενέργεια 65Wh/kg και συγκεκριμένη (ειδική) ισχύς 150-300W/kg, ενώ η ενεργειακή πυκνότητα φτάνει στα 13-0Wh/L. Παράλληλα ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης είναι μικρότερος από 1%. Οι μπαταρίες αυτές έχουν ιδιαίτερα χαμηλό κόστος, γεγονός που αντισταθμίζει τον μικρότερο κύκλο ζωής που έχουν και είναι περίπου 800 για πλήρη εκφόρτιση (100%), ενώ σε μη-πλήρης εκφόρτιση αυτός ο αριθμός μπορεί να φτάσει και κάποιες χιλιάδες κύκλους. Οι εξωτερικές συνθήκες, και σε αυτή την περίπτωση, είναι παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση, με τη συγκεκριμένη μπαταρία να ανταπεξέρχεται ικανοποιητικά μέχρι και 30 βαθμούς κελσίου υπό το μηδέν. Όμως σε κατάσταση καύσωνα με θερμοκρασία άνω των 40 βαθμών κελσίου η απόδοση της φόρτισης πέφτει αισθητά και οδηγεί στην μείωση της χωρητικότητας της μπαταρίας [16].

Στην Εικόνα 19 βλέπουμε μια μπαταρία τύπου νικελίου-ψευδαργύρου.



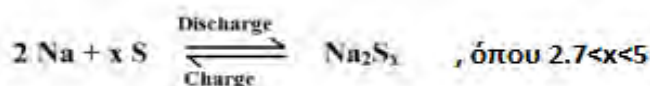
Εικόνα 18: Μπαταρία νικελίου-ψευδαργύρου

➤ Μπαταρίες με βάση το Νάτριο(Sodium based batteries)

Οι μπαταρίες με βάση το Νάτριο εμφανίστηκαν τη δεκαετία του 1970 όταν η γνωστή αυτοκινητοβιομηχανία Ford Motor Company δημιούργησε τις μπαταρίες Θεικού Νατρίου για τις ανάγκες των ηλεκτροκίνητων οχημάτων που παράγαγε την εποχή. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ένα ή δύο ηλεκτρόδια υπό υγροποιημένη μορφή, ενώ σαν βασικό συστατικό σε αυτή την κατηγορία επαναφορτιζόμενων μπαταριών είναι το λιωμένο νάτριο (Molten Sodium) στη θέση του αρνητικού ηλεκτροδίου. Επιπλέον ως επί των πλείστων χρησιμοποιείται στερεός κεραμικός ηλεκτρολύτης. Η ειδοποιός διαφορά των μπαταριών με βάση το Νάτριο είναι η πολύ υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας τους, γεγονός που τις καθιστά κατάλληλες για εφαρμογές μεγάλου μεγέθους όπως το ηλεκτρικό αυτοκίνητο ενώ ακατάλληλες για μικρές εφαρμογές όπως το κινητό τηλέφωνο. Υπάρχουν δύο παραλλαγές οι οποίες βρίσκονται σε προηγμένο τεχνολογικό επίπεδο και ονομάζονται μπαταρίες νατρίου-βήτα (sodium-beta batteries), οι οποίες διαχωρίζονται σε μπαταρίες θεικού νατρίου(sodium sulfur) και μπαταρίες νατρίου-χλωριδίου-μετάλλου(sodium-metal-chloride) [15].

1. Θεικού Νατρίου (Sodium Sulfur)

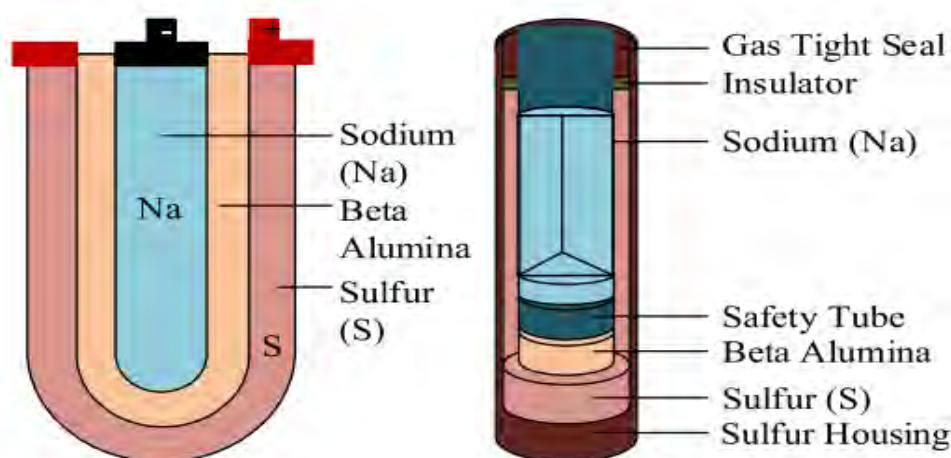
Είναι η πρώτη μπαταρία νατρίου που αναπτύχθηκε το 1966 από την Ford από υλικά τα οποία βρίσκονται σε αφθονία πάνω στη γη, γεγονός που τις καθιστά ιδιαίτερα φθηνές (και η συντομογραφία της είναι NaS). Χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για τα ηλεκτρικά οχήματα της Ford όμως μετέπειτα εισήχθησαν σε εφαρμογές τεράστιου μεγέθους, όπως για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο. Τα βασικά χημικά στοιχεία είναι το Νάτριο το οποίο χρησιμοποιείται με την μορφή υγρού και έχει την θέση του αρνητικού ηλεκτροδίου, το θείο επίσης σε υγρή μορφή το οποίο έχει τη θέση του θετικού ηλεκτροδίου και ως ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται ένας ηλεκτρολύτης κατασκευασμένος από στερεό κεραμικό βήτα-αλουμίνα(β-alumina β-Al₂O₃) ο οποίος είναι κακός αγωγός ηλεκτρονίων συνεπώς μειώνεται το φαινόμενο της αυτοεκφόρτισης. Οι χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν κατά την διαδικασία της φόρτισης και της εκφόρτισης φαίνονται παρακάτω:



Επειδή τόσο τα ηλεκτρόδια όσο και το παράγωγο της παραπάνω χημικής αντίδρασης -το οποίο είναι το πολυσουλφίδιο νατρίου- σε αυτού του τύπου μπαταρίες είναι σε υγρή μορφή και για να διατηρηθούν σε αυτή, η θερμοκρασία λειτουργίας της μπαταρίας είναι ιδιαίτερα υψηλή και κυμαίνεται μεταξύ 300-350 βαθμών κελσίου. Για να διατηρηθεί αυτή η θερμότητα μέσα στην μπαταρία τα κελία τοποθετούνται σε μια θήκη όπου υπάρχει κενό αέρος. Χρησιμοποιείται ακόμα ένα σύστημα για την διαχείριση της θερμοκρασίας της μπαταρίας ώστε σταδιακά να φτάσει στις επιτρεπόμενες θερμοκρασίες λειτουργίας της, πριν την κρύα εκκίνηση(Cold start) ενώ παράλληλα είναι επιφορτισμένο στο να ρίχνει την θερμοκρασία όταν φτάνει στο άνω όριο της επιτρεπόμενης λειτουργίας της. Η μπαταρία θειικού νατρίου αποτέλεσε μια προοπτική για τα ηλεκτρικά οχήματα καθώς έχει χαρακτηριστικά μεγέθη ιδιαίτερα συμβατά με τις απαιτήσεις της αυτοκινητοβιομηχανίας.

Οι συσσωρευτές NaS έχουν συγκεκριμένη (ειδική) ενέργεια της τάξεως των 100Wh/kg η οποία υπό προϋποθέσεις μπορεί έως και να διπλασιαστεί, ενεργειακή πυκνότητα 150-230Wh/L ενώ η συγκεκριμένη (ειδική) ισχύς αγγίζει τα 120W/kg. Δύο ισχυρά χαρακτηριστικά των μπαταριών αυτών είναι ο πολύ μεγάλος κύκλος ζωής που φτάνει τον αριθμό 4500 καθώς επίσης και η ενεργειακή αποδοτικότητα της η οποία αγγίζει το 80%. Μπορούν να κατασκευαστούν τόσο σε επίπεδη μορφή όσο και κυλινδρική μορφή [19,23].

Στην Εικόνα 20 βλέπουμε μια σχηματική αναπαράσταση των μπαταριών θειικού νατρίου, φαίνεται αριστερά τα υλικά ανόδου, καθόδου και ηλεκτρολύτη ενώ δεξιά φαίνεται το σχήμα και η δομή μιας τέτοιας μπαταρίας.



Εικόνα 19: Δομικά συστατικά και εμφάνιση μπαταρίας θειικού νατρίου [15]

2. Νατρίου-χλωριδίου-μετάλλου(sodium-metal-chloride)

Είναι περισσότερο γνωστές ως ZEBRA batteries, ονομασία η οποία προέρχεται από το Zeolite Battery Research Africa και μετονομάστηκε σε Zero Emission Battery Research Activity αργότερα, και έχει καθιερωθεί έτσι έως και σήμερα. Εφευρέθηκε περί το 1978 στην Νότια Αφρική και ο σκοπός τους ήταν να χρησιμοποιηθούν σε ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα καθώς και σε μέσα μαζικής μεταφοράς όπως τα λεωφορεία. Αποτελεί μια βελτιωμένη έκδοση των μπαταριών θειικού νατρίου καθώς έχουν διατηρηθεί όλα τα πλεονεκτήματα που είχαν οι παραπάνω μπαταρίες και έχουν απαλειφθεί σχεδόν όλες οι αμφιβολίες σχετικά με την ασφάλεια, λόγω των δύο υγρών ηλεκτροδίων που τις συνέθεταν. Στις μπαταρίες τύπου Zebra χρησιμοποιείται το νάτριο σε υγρή μορφή ως αρνητικό ηλεκτρόδιο, ενώ υπάρχουν δύο ηλεκτρολύτες. Ο πρωτεύον ηλεκτρολύτης είναι το στερεό κεραμικό βήτα-αλουμίνα ενώ ο δευτερεύον ηλεκτρολύτης είναι το τετραχλωριούχο αργίλιο-νάτριο (NaAlCl_4) γεγονός που έχει βοηθήσει αισθητά στην ενίσχυση της ασφάλειας των μπαταριών αυτών. Στη θέση της καθόδου τοποθετείτε ένα πορώδες χλωριούχο μέταλλο το οποίο μπορεί να είναι χλωριούχο νικέλιο(NiCl_2) ή χλωριούχος σίδηρος(FeCl_2) ή ένας συνδυασμός αυτών των δύο δηλαδή χλωριούχο σίδηρο-νικέλιο(Ni-FeCl_2).

Οι χημικές αντιδράσεις οι οποίες συμβαίνουν στις μπαταρίες τύπου ZEBRA -η οποία χρησιμοποιεί ως θετικό ηλεκτρόδιο το χλωριούχο νικέλιο- κατά τη διαδικασία της φόρτισης και της εκφόρτισης είναι οι εξής:



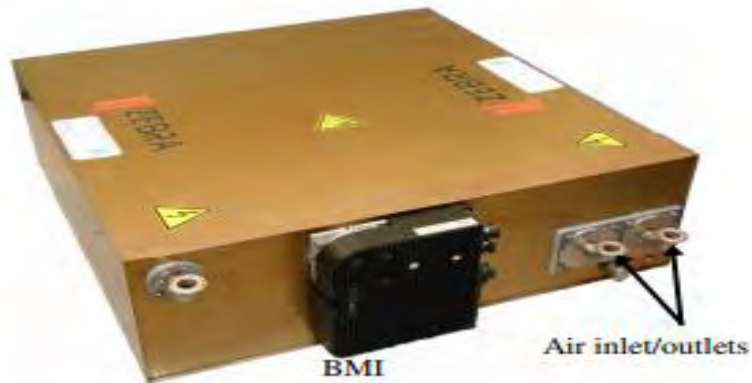
Όπως και η πρώτη μπαταρία της κατηγορίας νατρίου-βήτα έτσι και οι ZEBRA λειτουργούν σε αρκετά υψηλές θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 270-350 βαθμών κελσίου για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ένα διπλό κέλυφος, σε συνθήκες κενού αέρος, κατασκευασμένο από ασφάλι το οποίο έχει θερμομόνωση 2-3 εκατοστών μεταξύ των πλακών του.

Οι μπαταρίες τύπου ZEBRA έχουν χρησιμοποιηθεί σε πληθώρα πρωτότυπων συμβατικών ηλεκτροκίνητων οχημάτων όπως για παράδειγμα το BMW-E1 και το

Mercedes-Benz 'A'-class καθώς επίσης και σε μεγαλύτερα ηλεκτροκίνητα οχήματα όπως τα ηλεκτροκίνητα λεωφορεία που χρησιμοποιήθηκαν ως μέσα μαζικής μεταφοράς στην πολιτεία της Καλιφόρνια και την Ιταλία. Οι συσσωρευτές αυτοί παρουσιάζουν ιδιαίτερα υψηλά χαρακτηριστικά απόδοσης καθώς εμφανίζουν συγκεκριμένη (ειδική) ενέργεια περίπου 90Wh/kg, ενεργειακή πυκνότητα της τάξεως των 150Wh/L ενώ η συγκεκριμένη (ειδική) ισχύς αγγίζει τα 150W/kg. Επιπρόσθετα έχουν μεγάλη διάρκεια καθώς οι κύκλοι ζωής ξεπερνούν τους 3000 το οποίο συνδυάζεται με την ελάχιστη συντήρηση που απαιτούν, συνεπώς είναι πιο προσιτή λύση για το καταναλωτικό κοινό, καθώς δεν υπάρχει περαιτέρω επιβάρυνση με λειτουργικά έξοδα. Ιδιαίτερο πλεονέκτημα των μπαταριών αυτών είναι το γεγονός πως μένουν ανεπηρέαστες από τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος. Τέλος το χαρακτηριστικό που τις έκανε ιδιαίτερα προσιτές στον κλάδο των ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων είναι το γεγονός ότι τα κελία τους είναι κατασκευασμένα έτσι ώστε να αποδίδουν την ενέργεια τους στο 100%, δηλαδή με όσα Αμπερώρια φορτίζεται η μπαταρία, τόσα αποδίδει κατά την εκφόρτιση, δηλαδή δεν έχει απώλειες.

Παρόλα αυτά οι συσσωρευτές τύπου ZEBRA παρουσιάζουν ένα σημαντικό μειονέκτημα το οποίο αποθαρρύνει τους κατασκευαστές από το να τις χρησιμοποιήσουν παρά τα όποια πλεονεκτήματα τους. Το μειονέκτημα αυτό έχει να κάνει με το γεγονός ότι σε εκτενή περίοδο μη χρήσης του οχήματος το αυτοκίνητο θα πρέπει να είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο, έτσι ώστε οι μπαταρίες να παραμένουν σε χρήση διότι σε αντίθετη περίπτωση ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης μπορεί να αγγίζει και το 10% σε καθημερινή βάση, νούμερο απαγορευτικό για ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα [19,24,25].

Στην Εικόνα 21 βλέπουμε μια μπαταρία τύπου ZEBRA με ενσωματωμένο σύστημα διαχείρισης μπαταρίας για το οποίο θα αναφερθούμε σε επόμενο κεφάλαιο και φαίνεται ως ένα μαύρο κουτί με την ονομασία BMI



Εικόνα 20: Μπαταρία τύπου ZEBRA με σύστημα διαχείρισης μπαταρίας [17]

➤ Μπαταρίες με βάση το λίθιο

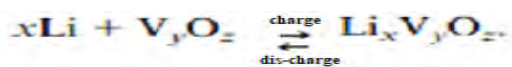
Αποτελούν τη πιο νέα τεχνολογία στον κλάδο των μπαταριών ωστόσο είναι παράλληλα και η πιο πολλά υποσχόμενη. Πρωτοεμφανίστηκαν στην αγορά στα τέλη της δεκαετίας του 1980 όμως οι δυνατότητες τους είναι σαφώς καλύτερες από τις προηγούμενες κατηγορίες συσσωρευτών. Υπάρχουν τόσο πρωτογενείς όσο και δευτερογενείς μπαταρίες λιθίου, όμως κατά κύριο λόγο στην αγορά σήμερα χρησιμοποιούνται οι δευτερογενείς. Χρησιμοποιούνται σε μια πληθώρα εφαρμογών, όπως τα κινητά τηλέφωνα, φορητοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές, στρατιωτικές εφαρμογές και φυσικά στα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα μιας και συγκεντρώνουν πολλά χαρακτηριστικά τα οποία με τις προηγούμενες τεχνολογίες μπαταριών δεν βρίσκονταν σε αυτό το επίπεδο. Μερικά από αυτά είναι η υψηλή πυκνότητα ισχύος και ενεργειακή πυκνότητα, μικρές έως αμελητέες απώλειες σε κάθε κύκλο φόρτισης-εκφόρτισης παράλληλα με αξιοπιστία. Τα μεγέθη αυτά θα αναλύσουμε στη συνέχεια της ενότητας. Υπάρχουν δυο κατηγορίες επαναφορτιζόμενων συσσωρευτών λιθίου και ο διαχωρισμός γίνεται με βάση τη θερμοκρασία λειτουργίας τους. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας θα αναλύσουμε αυτούς που βρίσκουν εφαρμογή στα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα, αυτές είναι οι ιόντων-λιθίου και οι πολυμερούς-(ιόντων)-λιθίου με μια σημαντική διαφορά τους να είναι η μορφή του λιθίου σε κάθε περίπτωση όπου στις μπαταρίες πολυμερούς-λιθίου χρησιμοποιείται το μεταλλικό λίθιο ενώ στις ιόντων-λιθίου όχι [15].

1. Πολυμερούς-Λιθίου (Lithium-Polymer)

Οι συσσωρευτές Πολυμερούς-(ιόντων)-Λιθίου εμφανίζονται συχνότερα ως μπαταρίες LiPo ή LiPoly και είναι μια παραλλαγή των μπαταριών ιόντων-λιθίου, μιας και έχουν παρόμοια δομή όμως έχουν και ορισμένες σημαντικές διαφορές στη δομή τους. Σε αυτού του τύπου τους συσσωρευτές χρησιμοποιείται μεταλλικό λίθιο ως αρνητικό ηλεκτρόδιο και στη θέση του θετικού ηλεκτροδίου τοποθετείται μια σύνθετη χημική ένωση, στην οποία υπάρχουν συνήθως το οξειδίο του βαναδίου(vanadium oxide- V_2O_5 ή V_6O_{13}) και άνθρακας ή κάποιο παράγωγο του, ενώ για το ρόλο του στερεού ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται υπάρχουν τρεις εναλλακτικές

1. το ξηρό στερεό πολυμερές ηλεκτρολύτη που αποτελείται από πολυαιθυλένιο οξειδίο με ένα άλας λιθίου το οποίο είχε βρει ευρεία εφαρμογή στα πρώτα χρόνια –περί το 1980- ανάπτυξης των μπαταριών LiPo
2. τους τύπου gel στερεούς πολυμερές ηλεκτρολύτες που αναπτύχθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1990. Μπορούν να φτιαχτούν από πληθώρα χημικών συστατικών όπως το πολύ-μεθακρυλικό-μεθύλιο (poly – methyl - methacrylate), το πολύ-ακρυλο-νιτρίλιο (polyacrylonitrile) και το πολυβινυλιδενοφθορίδιο (polyvinylidene chloride). Βέβαια αυτή την κατηγορία πολλοί ειδικοί δεν την εντάσσουν στους αμιγώς στερεούς ηλεκτρολύτες όμως είναι γενικότερα αποδεκτοί καθώς συνδυάζουν στοιχεία από τις υπόλοιπες κατηγορίες και χαρακτηρίζονται ως η βέλτιστη επιλογή
3. τους πορώδης σύνθετους ηλεκτρολύτες πολυμερούς που χρησιμοποιήθηκαν στα τέλη του 20^{ου} αιώνα και έχουν ως βάση το πολυαιθυλενοξειδίο (polyethylene oxide). Διαχωρίζονται σε blend-based και mixed-phase σύνθετους ηλεκτρολύτες με τους πρώτους να αποτελούνται από δύο ομογενή συστατικά τα οποία διασπώνται σε ένα κοινό αποδεκτό υδατικό διάλυμα, ενώ οι δεύτεροι αποτελούνται από δύο μη-ομογενή συστατικά όπως το μίγμα πολυμερούς με την προσθήκη ενός οργανικού ή μη συστατικού σε το οποίο δεν διαλύεται σε έναν κοινό διαλύτη

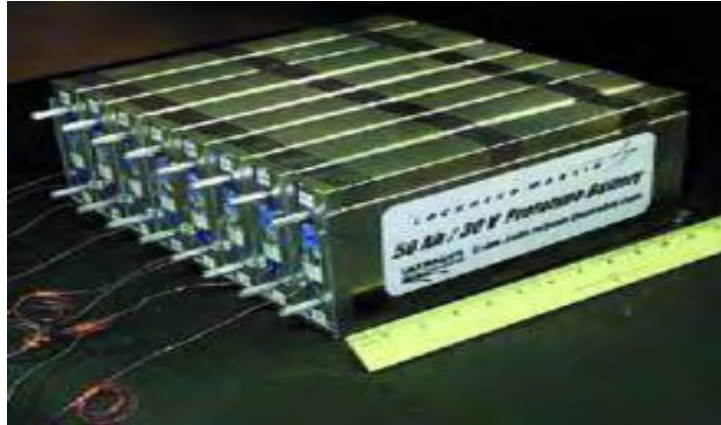
Οι χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στις μπαταρίες αυτού του τύπου κατά τη διαδικασία της φόρτισης και της εκφόρτισης είναι οι παρακάτω:



Οι μπαταρίες αυτές έχουν ένα πολύ προσιτό για τα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα φάσμα θερμοκρασιών λειτουργίας το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 60-80°C και δίνει τη δυνατότητα για ταχύτατη μεταφορά ιόντων μέσα στον ηλεκτρολύτη πολυμερούς, με όποια μορφή και αν έχει αυτός επιλεγεί. Επιπρόσθετα προσφέρουν ορισμένα χαρακτηριστικά μεγέθη ιδιαίτερα επιθυμητά από τους κατασκευαστές όπως την υψηλή συγκεκριμένη (ειδική) ενέργεια η οποία βρίσκεται περίπου στα 155Wh/kg και συγκεκριμένη (ειδική) ισχύς η οποία αγγίζει τα 315W/kg, επιδόσεις σημαντικές καθώς ξεπερνούν τις αντίστοιχες των άλλων μοντέλων μπαταριών. Επιπλέον προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια κατά τη λειτουργία τους μιας και τα υλικά που τις συνθέτουν δεν είναι εύφλεκτα γεγονός που μειώνει τους κινδύνους για του χρήστες των ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων. Τέλος έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύσουν περισσότερη ενέργεια από κάποια προηγούμενα μοντέλα μπαταριών.

Ωστόσο εμφανίζουν και κάποια μειονεκτήματα όπως για παράδειγμα τους λίγους κύκλους ζωής που ανέρχονται σε περίπου 600 νούμερο σαφώς μικρότερο σε σχέση με όλες τις άλλες μπαταρίες, γεγονός που τις καθιστά όχι πρώτη επιλογή για τους κατασκευαστές. Παρόλα αυτά έχει χρησιμοποιηθεί από τη Hyundai σε ορισμένα υβριδικά μοντέλα της, από την KIA στο ηλεκτροκίνητο μοντέλο της KIA soul όπως και από την Ιταλική εταιρεία Bolloré για το αμιγώς ηλεκτρικό μοντέλο της Bolloré Bluecar και του παρέχει τη δυνατότητα σε συνδυασμό με έναν υπερπυκνωτή-για τους οποίους θα μιλήσουμε αργότερα- να έχει αυτονομία κίνησης που φτάνει τα 250χιλιόμετρα [2,13,19].

Στην Εικόνα 22 φαίνεται μια μπαταρία πολυμερούς λιθίου.



Εικόνα 21: Μπαταρία πολυμερούς-λιθίου

2. Ιόντων Λιθίου (Lithium-Ion)

Οι πρώτες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ιόντων λιθίου εισήχθησαν στην αγορά το 1991 από την Sony και αποτελεί ημερομηνία ορόσημο για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου, καθώς έκτοτε επενδύονται όλο και περισσότερα κεφάλαια για την συνεχή ανάπτυξη τους. Συνήθως συναντώνται με την συντομογραφία Li-ion Battery και αποτελούν σήμερα την πιο διαδεδομένη επιλογή μπαταρίας για τα φορητά ηλεκτρονικά, αλλά και για τα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα, μιας και παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις υπόλοιπες μπαταρίες της αγοράς. Το πιο σημαντικό για την αυτοκινητοβιομηχανία είναι το αρκετά μικρότερο βάρος που παρουσιάζουν οι μπαταρίες αυτές. Παρόλα αυτά με τον όρο μπαταρίες ιόντων-λιθίου υπάρχει μια ασάφεια καθώς υπάρχουν πολλές διαφορετικές επιλογές χημικών συνδυασμών για να δημιουργηθούν αυτές οι μπαταρίες και κάθε μία έχει διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από τις υπόλοιπες. Στο χώρο των ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων δίδεται έμφαση από τους κατασκευαστές κυρίως στην ενεργειακή πυκνότητα, την ασφάλεια σε ακραίες περιπτώσεις φόρτισης και αποφόρτισης καθώς επίσης στην αξιοπιστία και την ανθεκτικότητα των μπαταριών με το πέρασμα του χρόνου.

Πιο συγκεκριμένα οι μπαταρίες ιόντων-λιθίου χρησιμοποιούν κατά κύριο λόγο στην άνοδο ενώσεις άνθρακα –συνήθως γραφίτη που αποτελεί μια ορυκτή πολυμορφική μορφή άνθρακα- ενώ πρόσφατα άρχισε και η χρήση του οξειδίου τιτανίου του λιθίου(lithium titanium oxide), ωστόσο λόγω του ότι είναι ιδιαίτερα

ακριβό και συνεπώς θα αυξανόταν το ήδη μεγάλο κόστος των μπαταριών αυτών δεν είναι τόσο διαδεδομένο ακόμα. Στη θέση του ηλεκτρολύτη υπάρχουν δύο εναλλακτικές επιλογές, αυτή του υγρού ηλεκτρολύτη και αυτή του στερεού ηλεκτρολύτη. Οι υγροί ηλεκτρολύτες κατασκευάζονται συνήθως από οργανικό άνθρακα όπως το ανθρακικό προπυλένιο, το ανθρακικό αιθυλένιο και το διμεθυλικό ανθρακικό άλας, παρά την χρησιμοποίησή τους από τις εταιρείες παρουσιάζουν κινδύνους όσο αφορά την ασφάλεια. Μιας και σε περίπτωση διαρροής του υγρού του ηλεκτρολύτη δημιουργείται υδροφθορικό οξύ -όταν το υγρό αντιδράσει με τον αέρα- παράγωγο πολύ επικίνδυνο καθώς είναι ένα από τα πλέον διαβρωτικά οξέα, ενώ επίσης παρουσιάζουν και αυξημένη πιθανότητα αυτανάφλεξης σε περιπτώσεις υπερθέρμανσης. Για τους παραπάνω λόγους οι αυτοκινητοβιομηχανία τείνει στη χρήση των στερεών ηλεκτρολυτών καθώς παρουσιάζουν μεγαλύτερη δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας, χημική σταθερότητα σε ένα μεγαλύτερο φάσμα τάσεων και δεν έχουν τον κίνδυνο της αυτανάφλεξης.

Η κύρια πηγή κατηγοριοποίησης των μπαταριών ιόντων-λιθίου έγκειται στο υλικό που χρησιμοποιείται στην κάθοδο, όπου τα πλέον διαδομένα στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι τα παρακάτω [13,19,26]:

- LiCoO_2 , χρησιμοποιήθηκε στην πρώτη μπαταρία ιόντων-λιθίου της Sony, έχει χρησιμοποιηθεί από πολλές εταιρείες στα πιο νέα μοντέλα όπως η Tesla ωστόσο επειδή το κοβάλτιο είναι σπάνιο συνεπάγεται μεγάλο κόστος γεγονός που αποθαρρύνει τις εταιρίες για την επιλογή του.
- LiMn_2O_4 , αποτελεί την επομένη επιλογή καθόδου για τις μπαταρίες ιόντων-λιθίου και έχει χρησιμοποιηθεί και αυτό στην παραγωγή από μεγάλες εταιρείες όπως η Nissan για το Nissan Leaf. Πλεονέκτημα του αποτελεί η αφθονία με την οποία συναντάτε το μαγγάνιο στη φύση και η σχεδόν αμελητέα τοξικότητα.
- LiFePO_4 , λόγω του φωσφορικού άλατος που εισάχθηκε στην κάθοδο αποτελεί την πιο αξιόπιστη και ασφαλή επιλογή σε σχέση με τις δύο πρώτες. Χρησιμοποιήθηκε και αυτή η μπαταρία από την αυτοκινητοβιομηχανία αφού την εντοπίζουμε σε διάφορα μοντέλα όπως το iMiEV της Mitsubishi. Είναι φθηνότερη επιλογή από τις προαναφερθείσες

καθώς επίσης ο σίδηρος και το φωσφορικό άλας βρίσκονται και αυτά σε αφθονία στη φύση.

- $\text{LiNi}_{1-x}\text{Mn}_x\text{CO}_x\text{O}_2$, η απόδοση της είναι παρόμοια με την μπαταρία ιόντων-λιθίου του τύπου LiCoO_2 όμως έχει μικρότερο κόστος κατασκευής – λόγω των υλικών- και της αυξημένης θερμικής σταθερότητας σε περιπτώσεις εκτεταμένης χρήσης. Έχει επιλεγεί από αρκετές εταιρείες για τα ηλεκτροκίνητα μοντέλα τους εκ των οποίων χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η BMW. Ωστόσο λόγω της έλλειψης που παρουσιάζεται σε κοβάλτιο γίνονται προσπάθειες ώστε να μειωθεί η συμμετοχή του και να γίνει αύξηση του νικελίου κατά κύριο λόγο.

Στην Εικόνα 23 βλέπουμε στα αριστερά επιμέρους κομμάτια και δεξιά μια ολόκληρη μπαταρία ιόντων-λιθίου.



Εικόνα 22: Επιμέρους κομμάτια και ολόκληρη μπαταρία ιόντων-λιθίου

Στον παρακάτω Πίνακα 1 βλέπουμε μια σύνοψη ορισμένων σημαντικών για τα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα χαρακτηριστικών μεγεθών των μπαταριών ιόντων-λιθίου που αναφέρθηκαν παραπάνω. Παρατηρούμε ότι καλύτερες επιλογές αποτελούν οι μπαταρίες LiFePO_4 και $\text{LiNi}_{1-x}\text{Mn}_x\text{CO}_x\text{O}_2$ [19,26].

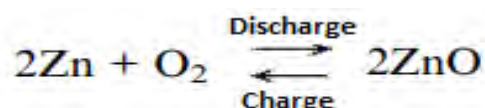
Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά μεγέθη διαφόρων τύπων μπαταριών ιόντων-λιθίου

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚ	LiCoO_2	LiMn_2O_4	LiFePO_4	$\text{LiNi}_{1-x}\text{Mn}_x\text{CO}_x\text{O}_2$
A				O_2
ΚΟΣΤΟΣ	ΥΨΗΛΟ	ΧΑΜΗΛΟ	ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ	ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ
			Ο	

ΑΣΦΑΛΕΙΑ	ΧΑΜΗΛΗ	ΕΝΔΙΑΜΕΣ Η	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ
ΕΙΔΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ(Wh/kg)	155	100-120	160	200
ΕΙΔΙΚΗ ΙΣΧΥΣ(W/KG)	150	250	270	210
ΚΥΚΛΟΙ ΖΩΗΣ	500	500-1000	1000-2000	1000-2000
ΕΠΙΠΕΔΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΕΝΔΙΑΜΕΣ Ο	ΕΝΔΙΑΜΕΣ Ο	ΚΑΛΟ	ΚΑΛΟ

➤ Αέριου – Ψευδαργύρου (Zinc Air)

Η επαναφορτιζόμενη μπαταρία Αερίου-Ψευδαργύρου ή αλλιώς zinc-air battery εφευρέθηκε το 1996 από τον Miro Zoric και χρησιμοποιήθηκε σε μικρού και μεσαίου μεγέθους λεωφορεία στη Σιγκαπούρη. Οι μπαταρίες αυτές παρέχουν δυο επιλογές όσον αφορά την μέθοδο επαναφόρτισης, η πρώτη είναι η συνηθισμένη ηλεκτρική επαναφόρτιση και η δεύτερη η μηχανική επαναφόρτιση κατά την οποία γίνεται αντικατάσταση του ψευδαργύρου. Αποτελεί μια ιδιαίτερη μπαταρία καθώς το οξυγόνο που περιέχει ο ατμοσφαιρικός αέρας χρησιμοποιείται στην κάθοδο. Στην άνοδο χρησιμοποιείται ο ψευδάργυρος ο οποίος είναι σε μια μορφή πλάκας καθώς είναι υλικό που μπορεί να αντικατασταθεί προκειμένου να αποφευχθεί η παραμόρφωση της μπαταρίας όταν τελειώσει ο κύκλος ζωής του. Τέλος, το ρόλο του ηλεκτρολύτη παίζει και σε αυτή την περίπτωση το κάλιο με την μορφή του υδροξειδίου του καλίου. Παρακάτω φαίνονται οι χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν σε αυτού του τύπου μπαταρίες κατά τις διαδικασίες της φόρτισης και της εκφόρτισης:



Όσον αφορά τα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα, δημοφιλέστερη μπαταρία αυτού του τύπου είναι η μηχανικά επαναφορτιζόμενη καθώς ο χρόνος αντικατάστασης του ψευδαργύρου είναι παρόμοιος με το χρόνο που απαιτείται για τον ανεφοδιασμό ενός αυτοκινήτου με μηχανή εσωτερικής καύσης. Επιπλέον,

παρουσιάζει υψηλή ειδική (συγκεκριμένη) ενέργεια και πυκνότητα που φτάνουν στα 230Wh/kg και 270Wh/L αντίστοιχα. Επιπλέον τα υλικά κατασκευής της είναι ιδιαίτερα χαμηλού κόστους, γεγονός που είναι επιθυμητό από την αυτοκινητοβιομηχανία. Ωστόσο παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα εξαιτίας των οποίων δεν χρησιμοποιείται ευρέως και αυτά αφορούν την χαμηλή συγκεκριμένη (ειδική) Ισχύς, η οποία είναι περίπου 105W/kg, καθώς επίσης παρουσιάζουν δυσκολία στην φόρτιση από την αναγεννητική πέδηση [19,27].

Στην Εικόνα 24 βλέπουμε μια μπαταρία αερίου-ψευδαργύρου.



Εικόνα 23: Μπαταρία Αερίου-Ψευδαργύρου

2.2 Υπερ-πυκνωτές – Ultra-capacitors

Οι υπερ-πυκνωτές έχουν παρόμοια δομή και λειτουργία με τους απλούς πυκνωτές ωστόσο έχουν κατά πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα που φτάνει τις είκοσι φορές σε σύγκριση με τους απλούς πυκνωτές. Αποθηκεύουν ενέργεια με την μορφή της ηλεκτρικής, η αποθήκευση γίνεται με την χρήση δύο πλακών που κατασκευάζονται από δύο αγώγιμα υλικά, επικαλύπτονται από ενεργό άνθρακα και τοποθετούνται μέσα σε κάποιον ηλεκτρολύτη. Οι υπερ-πυκνωτές χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, με τη διαφοροποίηση να έγκειται στον μηχανισμό που χρησιμοποιούν για την αποθήκευση ενέργειας και στα υλικά που χρησιμοποιούνται για να κατασκευαστούν. Οι υπερ-πυκνωτές διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Electric double-layer capacitors (EDLC)
- Pseudocapacitors
- Hybrid Capacitors

Όσο αναπτύσσεται η τεχνολογία των υπερ-πυκνωτών τόσο πιο σημαντικοί γίνονται στην αυτοκινητοβιομηχανία μιας και παρουσιάζουν ορισμένα χαρακτηριστικά τα οποία εκλείπουν. Αρχικά, έχουν πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής η οποία φτάνει τα 40 χρόνια και συνδυάζεται με την απουσία ανάγκης για συντήρηση, γεγονός που μειώνει τα λειτουργικά κόστη για τους οδηγούς. Επιπρόσθετα, παρουσιάζουν μεγάλη ανθεκτικότητα στις εξωτερικές συνθήκες και κυρίως στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Σημαντικό χαρακτηριστικό μέγεθος που αφορά τα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα είναι η συγκεκριμένη (ειδική) ισχύς που παρουσιάζουν οι υπερ-πυκνωτές και κυμαίνεται από 1000 έως 2000 W/kg –με την ενεργειακή απόδοση να φτάνει το 95%-, η οποία είναι πολλαπλάσια των μπαταριών, η οποία στις καλύτερες περιπτώσεις είναι μερικές εκατοντάδες W/kg. Οι υπερ-πυκνωτές χρησιμοποιούνται συνήθως σε συνδυασμό με μια μπαταρία και ο ρόλος τους είναι κυρίως η αποθήκευση ενέργειας μέσω του συστήματος πέδησης, καθώς η φόρτιση γίνεται πάρα πολύ γρήγορα. Επίσης για την γρήγορη αποφόρτιση σε περιπτώσεις μεγάλης επιτάχυνσης απαιτείται και πάλι να αποδοθεί η απαιτούμενη ισχύς σε σύντομο χρονικό διάστημα γεγονός που βοηθάει τόσο στην απόδοση του αυτοκινήτου όσο και στην μείωση της κατανάλωσης καυσίμου που φτάνει το 10% [13,19,22].

2.3 Σφόνδυλοι - Flywheel

Η βασική διαφορά με όλα τα προηγούμενα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας έγκειται στο ότι ο σφόνδυλος αποθηκεύει κινητική ενέργεια και δεν κάνει χρήση του ηλεκτρισμού. Το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με σφόνδυλο υπάρχει εδώ και πολλά χρόνια ωστόσο στην αυτοκινητοβιομηχανία σήμερα χρησιμοποιείται με μια νέα προσέγγιση. Το παραδοσιακό σύστημα σφονδύλου αποτελούνταν από έναν ασάλινο ρότορα πολύ μεγάλου βάρους –εκατοντάδων κιλών- το οποίο περιστρεφόταν με κάποιες εκατοντάδες rad/sec. Ωστόσο στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα χρησιμοποιείται μια βελτιωμένη μορφή πολύ ελαφρύτερη – ζυγίζει μερικές δεκάδες κιλά- και περιστρέφεται με κάποιες χιλιάδες rad/sec, συχνά

συναντάται με ενσωματωμένους μόνιμους μαγνήτες. Το παραπάνω, είναι ιδιαίτερα σημαντική πρόοδος, καθώς όσο μεγαλύτερη η ταχύτητα περιστροφής του ρότορα τόσο περισσότερη ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί μιας και ο τύπος που ορίζει την ενέργεια που μπορεί να αποθηκευτεί είναι ο παρακάτω:

$$E_k = \frac{1}{2} * J * \omega^2$$

Όπου E_k η κινητική ενέργεια, J είναι η ροπή αδράνειας του και ω γωνιακή ταχύτητα του.

Κατά την εκφόρτιση η ταχύτητα του σφονδύλου μειώνεται και η κινητική ενέργεια που χάνεται μετατρέπεται σε ηλεκτρική μέσω της μηχανής και την παρέχει στο αυτοκίνητο. Τέλος, όταν ο σφόνδυλος ούτε φορτίζεται ούτε εκφορτίζεται, συνεχίζει να περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα.

Η ειδική (συγκεκριμένη) ενέργεια του, βρίσκεται σε ικανοποιητικά επίπεδα της τάξης των 100-150Wh/kg ενώ παρουσιάζει πολύ υψηλή ειδική ισχύς που κυμαίνεται από 2 έως 10 kW/kg, νούμερο σαφώς μεγαλύτερο από όλα τα άλλα συστήματα αποθήκευσης. Επιπλέον, αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά του είναι η υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα του που φτάνει το 90%, καθώς επίσης και η μεγάλη διάρκεια ζωής του –περίπου 15 χρόνια- ενώ το μικρό του βάρος και η έλλειψη παραγωγής θερμότητας κατά την λειτουργία αποτελούν σημαντικά πλεονεκτήματα [13,19,22].

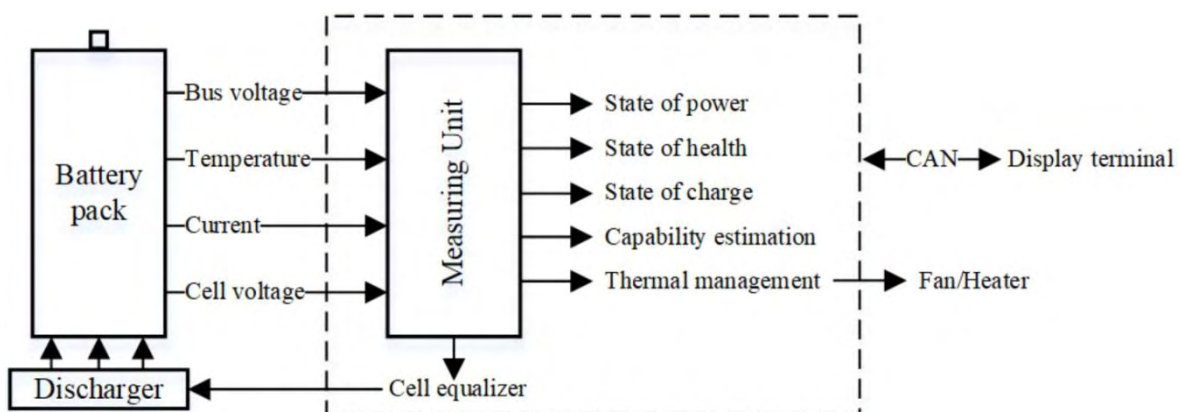
2.4 Σύστημα διαχείρισης μπαταρίας (Battery Management System – BMS)

Όπως έχουμε προαναφέρει, οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στον κλάδο του αυτοκινήτου είναι πολύ μεγάλου μεγέθους καθώς είναι από τα πιο βασικά δομικά συστατικά του ηλεκτρικού αυτοκινήτου και αποτελούνται από χιλιάδες επιμέρους κελιά τα οποία είναι συνδεδεμένα εν σειρά ή παράλληλα. Τα κελιά αυτά πρέπει να φορτίζονται και να εκφορτίζονται ομοιόμορφα, καθώς και να εμποτεύονται κάθε ένα ξεχωριστά για την ασφαλή και αποδοτική λειτουργία της μπαταρίας. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η χρήση του συστήματος διαχείρισης μπαταρίας, το οποίο αποκαλείται συνήθως με τη συντομογραφία BMS(Battery

Management System). Το σύστημα αυτό αποτελείται από διάφορα είδη αισθητήρων, ελεγκτών και ενεργοποιητών (Actuators) με στόχο του τα παρακάτω:

- Την προστασία της μπαταρίας
- Την εύρυθμη λειτουργία εντός ορίων θερμοκρασίας, ρεύματος και τάσης
- Την επίβλεψη και τον ακριβή υπολογισμό των διαφόρων καταστάσεων της μπαταρίας

Στην Εικόνα 25 βλέπουμε μια σχηματική αναπαράσταση του συστήματος διαχείρισης της μπαταρίας όπου βλέπουμε η μπαταρία να στέλνει ορισμένα δεδομένα στο BMS όπως η τάση, η ένταση και η θερμοκρασία, υπό τα οποία λειτουργεί, ενώ το BMS παράγει αποτελέσματα για το επίπεδο ισχύος, το επίπεδο γήρανσης και το επίπεδο φόρτισης. Επίσης γίνεται έλεγχος της θερμοκρασίας και στέλνεται σήμα στο σύστημα ψύξης της μπαταρίας προκειμένου να ψύξει ή να θερμάνει την μονάδα της μπαταρίας (π.χ. το χειμώνα σε ακραίες καταστάσεις κρύου οι μπαταρίες χρειάζονται προθέρμανση ενώ το καλοκαίρι εξαιτίας της λειτουργίας τους μπορεί να υπερθερμανθούν και χρειάζονται ψύξη). Τέλος, όλα τα δεδομένα φτάνουν στον οδηγό προκειμένου να ειδοποιείται για τυχόν σφάλματα ενώ επίσης θα τον βοηθά ώστε να λειτουργεί το αυτοκίνητο του με όσο το δυνατόν αποδοτικότερο τρόπο. [28,29].



Εικόνα 24: Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας του συστήματος διαχείρισης μπαταρίας [18]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΦΟΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε το κοινό χαρακτηριστικό όλων ηλεκτρικών αυτοκινήτων που είναι η ανάγκη για επαναφόρτιση των συσσωρευτών τους.

3.1 Είδη Φόρτισης

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι για να επαναφορτιστούν οι μπαταρίες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και αυτοί είναι η ενσύρματη φόρτιση, η ασύρματη φόρτιση και η ανταλλαγή μπαταρίας. Ωστόσο η πιο διαδεδομένη μέχρι και σήμερα είναι η ενσύρματη φόρτιση και θα επικεντρωθούμε κυρίως σε αυτή.

3.1.1 Ενσύρματη Φόρτιση

Η ενσύρματη φόρτιση αποτελεί την πιο διαδεδομένη και περισσότερο χρησιμοποιούμενη τεχνολογία φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων μέχρι σήμερα. Η φόρτιση αυτού του τύπου απαιτεί την σύνδεση του αυτοκινήτου με το δίκτυο με αγώγιμες επαφές οι οποίες πρέπει να έρθουν σε άμεση σύνδεση μεταξύ τους. Αποτελεί την πιο απλή και ταυτόχρονα αποδοτική μέθοδο φόρτισης και χρησιμοποιείται ευρέως [19].

Σύμφωνα με την International Electrotechnical Committee και το πρότυπο IEC 61851 γίνεται μια πρώτη κατηγοριοποίηση των ειδών ενσύρματης φόρτισης με βάση το χρόνο και το επίπεδο ισχύος ως εξής:

- Αργή φόρτιση ή φόρτιση κανονικής ισχύος (μέχρι και 3.7kW) ονομάζεται η διαδικασία μέχρι την πλήρη φόρτιση των μπαταριών και έχει διάρκεια από 6 έως 12 ώρες
- Ημί-Ταχεία φόρτιση ή φόρτιση μεσαίας ισχύος (3.7 έως 22kW) ονομάζεται η διαδικασία η οποία διαρκεί από 1 έως 5 ώρες

- Ταχεία/Υπερταχεία φόρτιση ή φόρτιση υψηλής ισχύος (πάνω από 22kW) ονομάζεται η διαδικασία η οποία διαρκεί το πολύ μια ώρα και επαναφορτίζει τις μπαταρίες σε ικανοποιητικό βαθμό (συνήθως μέχρι το 80%)

Πρότυπο το οποίο εξελίχθηκε και δημιουργήθηκε το IEC 61851-1 το οποίο λαμβάνει υπόψιν τα παρακάτω

- τον τύπο της σύνδεσης του ηλεκτρικού αυτοκινήτου με το δίκτυο (1Φ ή 3Φ εναλλασσόμενο, συνεχές ρεύμα)
- το επίπεδο της τάσης (για 1Φ εναλλασσόμενο από 110V έως 3Φ εναλλασσόμενο έως 480V)
- την ύπαρξη ή μη γείωσης
- την δυνατότητα «επικοινωνίας» μεταξύ του σταθμού φόρτισης και του ηλεκτρικού αυτοκινήτου
- την παρουσία μιας συσκευής προστασίας

καθορίζει τις 4 μεθόδους φόρτισης οι οποίες υπάρχουν και ακολουθούνται στην Ευρώπη κυρίως ως εξής [7,31,32] :

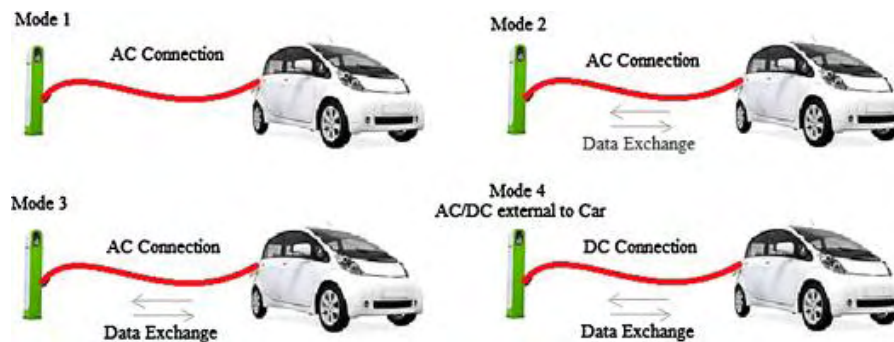
- Επίπεδο 1 (Mode 1) - Αργή φόρτιση από μια συμβατική πρίζα με εναλλασσόμενο ρεύμα: Αποτελεί την πιο συνηθισμένη επιλογή φόρτισης καθώς αρκεί ένας κοινός ρευματοδότης από το σπίτι του εκάστοτε κατόχου ηλεκτρικού αυτοκινήτου προκειμένου να φορτίσει το όχημα του. Σαφώς και πρέπει να τηρούνται ορισμένοι κανόνες ασφαλείας όπως η ύπαρξη γείωσης και ορισμένες διατάξεις ασφαλείας για προστασία τόσο από τυχόν υπερφόρτωση της γραμμής όσο και από τυχόν διαρροή ρεύματος. Είναι μια ιδιαίτερα φθηνή επιλογή καθώς δεν απαιτείται αγορά περαιτέρω εξοπλισμού αφού η πλειοψηφία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων διαθέτουν με την αγορά τους το κατάλληλο καλώδιο φόρτισης. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη φόρτισης δεν ξεπερνούν τα 16A - 230V – 3kW σε μονοφασική παροχή, συνεπώς ο χρόνος φόρτισης σε αυτό το επίπεδο είναι ιδιαίτερα μεγάλος λόγω της περιορισμένης παρεχόμενης ισχύος.
- Επίπεδο 2 (Mode 2) - Αργή φόρτιση από μια κοινόχρηστη συμβατική πρίζα με εναλλασσόμενο ρεύμα η οποία διαθέτει ειδική διάταξη προστασίας των

ηλεκτρικών αυτοκινήτων: Μπορεί να είναι μονοφασική ή τριφασική σύνδεση εναλλασσόμενου ρεύματος και απαραίτητη είναι η ύπαρξη γείωσης, προστασίας και ουδετέρου. Εντός του καλωδίου σύνδεσης βρίσκεται ειδική διάταξη επικοινωνίας που ονομάζεται αγωγός μεταβίβασης σημάτων, με την οποία συνδέονται το ηλεκτρικό αυτοκίνητο με τη συσκευή ελέγχου της φόρτισης που βρίσκεται σε κάποιο ενδιάμεσο σημείο του καλωδίου. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη φόρτισης σε αυτό το επίπεδο φτάνουν μέχρι 32A - 230V- 7kW σε μονοφασική παροχή ενώ σε τριφασική, η ισχύς φτάνει μέχρι τα 22kW συνεπώς και ο χρόνος είναι μειωμένος σε σχέση με το προηγούμενο επίπεδο.

- Επίπεδο 3 (Mode 3) – Ημί-Ταχεία ή Ταχεία φόρτιση χρησιμοποιώντας ειδικό ρευματοδότη με εγκατεστημένο σύστημα προστασίας και ελέγχου: Σε αυτό το επίπεδο η αγωγή σύνδεση μεταξύ ηλεκτρικού αυτοκινήτου και δικτύου παροχής γίνεται με χρήση ενός ειδικού ρευματοδότη ο οποίος πληροί συγκεκριμένες προδιαγραφές ενώ βρίσκεται σε ένα αποκλειστικά δικό του κύκλωμα. Στο προκαθορισμένο σημείο ηλεκτρικής παροχής είναι εγκατεστημένη ειδική μονάδα της οποίας ο ρόλος είναι να ελέγχει και να διαχειρίζεται τη διαδικασία της φόρτισης, πάνω σε αυτή την μονάδα συνδέεται και ο αγωγός μεταβίβασης σημάτων για την επικοινωνία του ηλεκτρικού αυτοκινήτου με τη πηγή. Οι χρόνοι σε αυτό το επίπεδο μειώνονται αρκετά σε σχέση με τα επίπεδα 1 και 2 καθώς τα χαρακτηριστικά μεγέθη στο επίπεδο αυτό φτάνουν μέχρι και 63A – 400V – 43kW σε τριφασική παροχή.
- Επίπεδο 4 (Mode 4) – Ταχεία/Υπερταχεία φόρτιση με χρήση εξωτερικού – ειδικού- φορτιστή κάνοντας χρήση συνεχούς ρεύματος: Αποτελεί την πιο γρήγορη διαδικασία φόρτισης καθώς προσφέρει πολύ υψηλότερα επίπεδα ισχύος σε σχέση με τα προαναφερθέντα επίπεδα 1-2-3. Το εναλλασσόμενο ρεύμα μετατρέπεται σε συνεχές στον σταθμό φόρτισης στον οποίο βρίσκεται ένας μόνιμα εγκατεστημένος ειδικός φορτιστής ο οποίος έχει ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου και προστασίας, η πιο συνηθισμένη τεχνολογία τέτοιου τύπου ονομάζεται CHAdeMO (Charge and Move) στον οποίο θα αναφερθούμε με περισσότερη λεπτομέρεια στη συνέχεια. Επιπρόσθετα ο εκάστοτε φορτιστής που επιλέγεται στο επίπεδο αυτό δεν βρίσκεται επί του οχήματος αλλά είναι εξωτερικός και είναι μόνιμα συνδεδεμένος με το δίκτυο παροχής και για να χρησιμοποιηθεί πρέπει το εκάστοτε ηλεκτρικό όχημα να διαθέτει ειδική

υποδοχή ώστε να ταιριάζει και έπειτα να επιτρέπει την έναρξη της διαδικασίας φόρτισης. Τέλος τα χαρακτηριστικά μεγέθη της φόρτισης σε αυτό το επίπεδο φτάνουν μέχρι 200A - 500V – 100kW.

Στην Εικόνα 26 φαίνονται συνοπτικά τα 4 επίπεδα ενσύρματης φόρτισης και οι επιμέρους βασικές διαφοροποιήσεις που υπάρχουν.



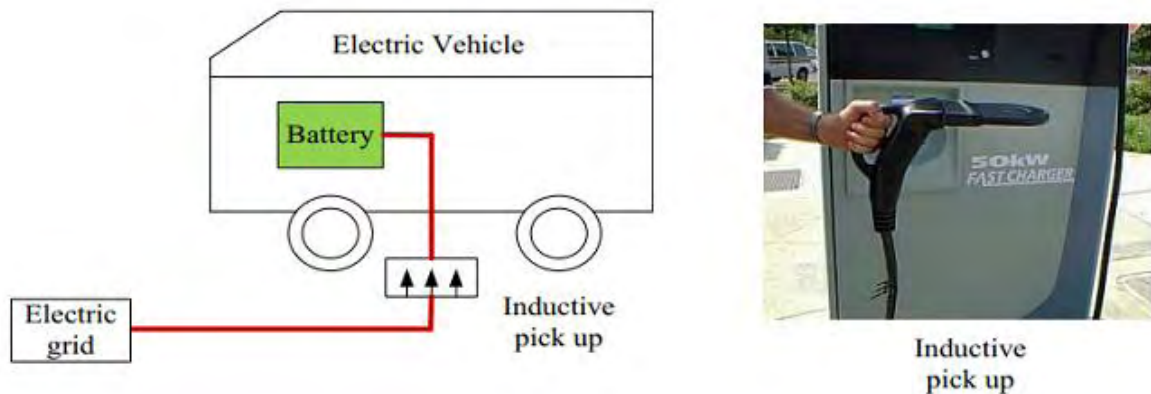
Εικόνα 25: Τα 4 επίπεδα ενσύρματης φόρτισης [20]

3.1.2 Επαγωγική Φόρτιση

Η επαγωγική, ή αλλιώς ασύρματη φόρτιση, δεν απαιτεί τη σύνδεση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μέσω πρίζας καθώς χρησιμοποιείται μια ειδική διάταξη η οποία μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια επαγωγικά δημιουργώντας ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Αποτελεί την πιο νέα τεχνολογία στον κλάδο της φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου φόρτισης είναι η ασφάλεια που παρέχει κατά τη διαδικασία της φόρτισης κάτω από οποιεσδήποτε εξωτερικές συνθήκες. Αυτό συμβαίνει γιατί δεν υπάρχει μεταλλικό στοιχείο στην περιοχή της σύνδεσης, καθώς το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στον φορτιστή (πρωτεύον τύλιγμα) είναι αρκετό για να δημιουργήσει εναλλασσόμενο ρεύμα στη υποδοχή επαναφόρτισης (δευτερεύον τύλιγμα). Επιπρόσθετα μπορεί να τροφοδοτήσει ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο με αρκετά υψηλή ισχύ με βαθμό αποδοτικότητας πάνω από 85%, για παράδειγμα αν η ισχύς εισόδου είναι 7.7kW τότε θα αποδώσει τα 6.6kW κατά τη φόρτιση. Ωστόσο παρουσιάζει ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα τα οποία είναι το υψηλότερο κόστος σε σύγκριση με την ενσύρματη φόρτιση για τα ίδια επίπεδα ισχύος, γεγονός που οφείλεται κυρίως στο ότι είναι αρκετά νέα

τεχνολογία. Επίσης η απώλεια ισχύος είναι αρκετά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη κατά την ενσύρματη φόρτιση [19].

Στην Εικόνα 27 βλέπουμε μια σχηματική αναπαράσταση της επαγωγικής φόρτισης καθώς και τον πρώτο επαγωγικό φορτιστή που κατασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε από την General Motors για το GM EV1.



Εικόνα 26: Επαγωγική φόρτιση και ο πρώτος επαγωγικής φορτιστής [30,33]

Μια ακόμα εξέλιξη αποτελεί η τεχνολογία Wireless Charging της BMW που κυκλοφόρησε στην αγορά τον Ιούλιο του 2018 και αποτελείται από τον Σταθμό Επαγωγικής Φόρτισης (Inductive Charging Station) που ονομάζεται GroundPad και θεωρείται το πρωτεύον τύλιγμα. Μπορεί να εγκατασταθεί είτε σε έναν κλειστό ιδιωτικό χώρο στάθμευσης σε σπίτι είτε σε έναν ανοιχτό χώρο στάθμευσης όπως έναν δημόσιο χώρο στάθμευσης και από το CarPad το οποίο τοποθετείται στο πάτωμα του αυτοκινήτου και αποτελεί το δευτερεύον τύλιγμα. Παρέχει ισχύ της τάξης των 3.2kW και μπορεί να φορτίσει την μπαταρία του αυτοκινήτου σε περίπου τρεισήμισι ώρες. Η διαδικασία της φόρτισης με αυτή τη μέθοδο είναι ιδιαίτερα απλή καθώς ο οδηγός το μόνο που έχει να κάνει είναι να σταθμεύσει ορθά πάνω από το GroundPad –με τη βοήθεια μιας ασύρματης σύνδεσης Internet η οποία συνδέει το αυτοκίνητο με το GroundPad και καθοδηγεί τον οδηγό στο σωστό σημείο- και το μόνο που πρέπει να κάνει ο οδηγός είναι να πατήσει το διακόπτη Start/Stop, με τη φόρτιση να διακόπτεται αυτόματα όταν οι μπαταρίες επαναφορτιστούν πλήρως [21] .

Στην εικόνα 28 φαίνεται το σύστημα GroundPad και ένα όχημα το οποίο πρέπει να σταθμεύσει στην κατάλληλη θέση προκειμένου να επαναφορτίσει τις μπαταρίες του.



Εικόνα 27: Επαγωγική φόρτιση με Groundpad [21]

Επόμενος στόχος της αυτοκινητοβιομηχανίας σε συνεργασία με τους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας είναι να δημιουργηθούν υποδομές δυναμικής ασύρματης φόρτισης στο οδόστρωμα προκειμένου τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα να μπορούν να επαναφορτίζονται σε διάφορα σημεία κατά τη διάρκεια του ταξιδιού τους χωρίς την ανάγκη να σταματήσουν σε έναν σταθμό φόρτισης. Έχουν ήδη ξεκινήσει ορισμένες πρωτοβουλίες προς αυτή την κατεύθυνση όπως για παράδειγμα στη Σουηδία όπου δημιουργήθηκε ο πρώτος δρόμος μήκους 2 χιλιομέτρων όπου έχουν εγκατασταθεί οι υποδομές για την δυναμική ασύρματη φόρτιση των αυτοκινήτων. Πιο συγκεκριμένα ο δρόμος αυτός χωρίζεται σε επιμέρους κομμάτια τα οποία παρέχουν ισχύ μόνο εάν βρίσκεται κάποιο αυτοκίνητο σε αυτά. Η ισχύς παρέχεται μέσω σιδηροτροχιάς που βρίσκεται στο δρόμο και το αυτοκίνητο τη λαμβάνει με κάποιος μορφής CarPad που βρίσκεται στο πάτωμα του. Αν ένα αυτοκίνητο έχει επαναφορτίσει πλήρως τις μπαταρίες του η απομακρυνθεί από το δρόμο αυτό η φόρτιση σταματάει αυτόματα. Τέλος τα αυτοκίνητα διαθέτουν μοναδική ταυτότητα ταυτοποίησης προκειμένου να μπορεί να γίνεται η κοστολόγηση της παρεχόμενης ενέργειας από το σύστημα σε κάθε

έναν χρήστη ξεχωριστά. Συμπεραίνουμε λοιπόν, πως όταν η τεχνολογία αυτή αναπτυχθεί σε ικανοποιητικό βαθμό θα κάνει τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ακόμα πιο προσιτά από το καταναλωτικό κοινό καθώς θα έχει επιλυθεί το κυρίαρχο πρόβλημα που είναι η περιορισμένη αυτονομία [22].

3.1.3 Ανταλλαγή Μπαταρίας – Battery Swap

Αποτελούν μια εναλλακτική λύση για την φόρτιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων αρκετά διαφορετική από τις προαναφερθείσες. Με τον όρο ανταλλαγή μπαταρίας ορίζουμε τη δυνατότητα για τον εκάστοτε κάτοχο ηλεκτρικού αυτοκινήτου να μπορεί να ανταλλάξει την αποφορτισμένη μπαταρία του με μία ίδιου τύπου και χαρακτηριστικών αλλά πλήρως φορτισμένη. Η όλη διαδικασία γίνεται σε εξειδικευμένους σταθμούς ανταλλαγής μπαταριών (Battery Swapping Station – BSS) οι οποίοι είναι πλήρως αυτοματοποιημένοι σε όλα τα στάδια της διαδικασίας αντικατάστασης [19]. Συνοπτικά, η διαδικασία έχει ως εξής, αφού το όχημα εισέρθει στον σταθμό φόρτισης πηγαίνει σε ένα προκαθορισμένο σημείο όπου υπάρχει μια ράμπα στην οποία ανασηκώνεται ψηλά. Εκεί αφαιρείται η μπαταρία και τοποθετείται σε έναν χώρο με άλλες άδειες μπαταρίες. Στη συνέχεια τοποθετείται μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία, το όχημα κατεβαίνει από τη ράμπα και είναι έτοιμο για αναχώρηση . Σημαντικό σημείο αποτελεί ο χρόνος που διαρκεί η διαδικασία ο οποίος είναι σχεδόν εφάμιλλος με τον αντίστοιχο ανεφοδιασμό αυτοκινήτων που χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης, χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι σταθμοί της εταιρείας NIO που χρειάζονται μόνο 3 λεπτά για την όλη διαδικασία [23].

Στην Εικόνα 29 βλέπουμε έναν σταθμό ανταλλαγή μπαταρίας της εταιρείας NIO τόσο με ένα αυτοκίνητο κατά τη διάρκεια ανταλλαγής της μπαταρίας στα αριστερά όσο και το μηχανισμό που χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή της μπαταρίας στα δεξιά.



Εικόνα 28: Σταθμός ανταλλαγής μπαταρίας [23]

Οι σταθμοί αυτοί έχουν αρκετά ακόμα πλεονεκτήματα, όπως για παράδειγμα η φόρτιση των μπαταριών, η οποία γίνεται μαζικά σε συγκεκριμένη τοποθεσία κατά τη διάρκεια της νύχτας –με την μέθοδο της αργής φόρτισης-, γεγονός που αυξάνει τη διάρκεια ζωής τους και δεν επιβαρύνει το δίκτυο κατά τη διάρκεια της μέρας. Συνεπώς αποφεύγονται υπερφορτώσεις και άλλα πιθανά σφάλματα που θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο. Η Κίνα είναι η χώρα με τους περισσότερους σταθμούς ανταλλαγής μπαταρίας παγκοσμίως αφού ταυτόχρονα είναι και η χώρα με τον μεγαλύτερο στόλο ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων. Τέλος πρέπει να αναφέρουμε ότι αυτή η μέθοδος δεν συγκεντρώνει μεγάλες προοπτικές ανάπτυξης καθώς το κόστος για τη δημιουργία των σταθμών ανταλλαγής είναι ιδιαίτερα υψηλό σε σύγκριση με τους σταθμούς ενσύρματης φόρτισης που θα δούμε παρακάτω, καθώς επίσης απαιτούν και ιδιαίτερα μεγάλη έκταση για τη δημιουργία τους.

3.2 Σταθμοί φόρτισης ενσύρματης σύνδεσης

3.2.1 Κατηγοριοποίηση με βάση την ιδιοκτησία και την πρόσβαση

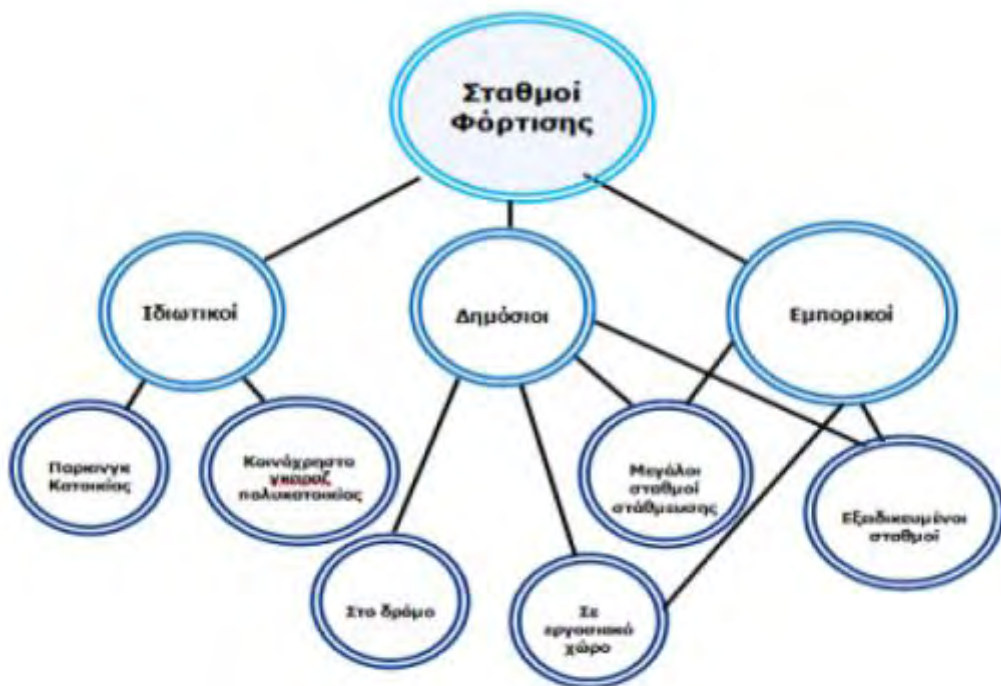
Οι σταθμοί φόρτισης αρχικά κατηγοριοποιούνται με βάση τον τρόπο χρήσης τους από το κοινό και μπορούν να διακριθούν στις παρακάτω κατηγορίες [24]:

- i. Ιδιωτικοί με ιδιωτική πρόσβαση: η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει κατά κύριο λόγο το οικιακό δίκτυο είτε σε ατομικό επίπεδο, όπως το γκαράζ ενός σπιτιού είτε σε λίγο μεγαλύτερη κλίμακα, όπως ένας χώρος στάθμευσης σε πολυκατοικία όπου έχουν πρόσβαση όλοι οι ένοικοι. Η φόρτιση σε αυτού του

τύπου σταθμούς είναι αργή και γίνεται κατά κύριο λόγο τη νύχτα για εκμετάλλευση του νυχτερινού τιμολογίου, καθώς επίσης και της μη-χρήσης του αυτοκινήτου την περίοδο αυτή

- ii. Ιδιωτικοί ή Δημόσιοι με δημόσια πρόσβαση: η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει μια πληθώρα χώρων, όπως για παράδειγμα σταθμούς φόρτισης που συναντώνται στους δρόμους –αντίστοιχα με τους σταθμούς ανεφοδιασμού των αυτοκινήτων με μηχανή εσωτερικής καύσης. Επιπλέον συμπεριλαμβάνει τους χώρους στάθμευσης σε διάφορες κλίμακες, όπως για παράδειγμα στον εργασιακό χώρο ή μεγάλους σταθμούς στάθμευσης σε κεντρικά σημεία των πόλεων. Η φόρτιση σε αυτού του τύπου τους σταθμούς είναι ταχεία ή υπερταχεία καθώς ο χρόνος αναμονής που διαθέτει ο εκάστοτε οδηγός είναι περιορισμένος.

Στο Εικόνα 30 φαίνονται ενδεικτικές θέσεις των σταθμών φόρτιση με βάση την ιδιοκτησία και την δυνατότητα πρόσβασης.



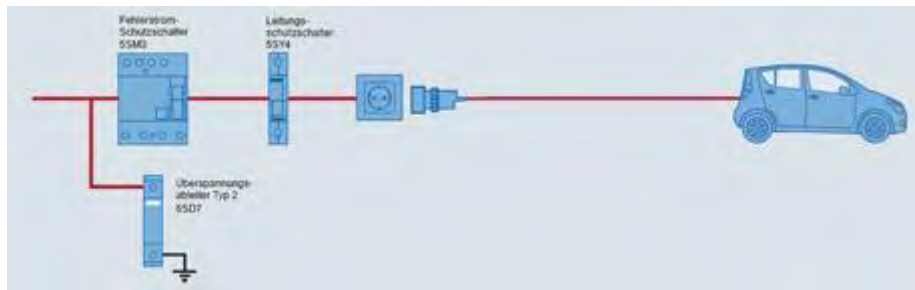
Εικόνα 29: Κατηγοριοποίηση σταθμών φόρτισης με βάση την ιδιοκτησία και την πρόσβαση [7]

3.2.2 Κατηγοριοποίηση με βάση το επίπεδο ισχύος και το χρόνο φόρτισης

Οι σταθμοί φόρτισης κατηγοριοποιούνται περαιτέρω με βάση το επίπεδο ισχύος που προσφέρουν, καθώς και με τη διάρκεια της φόρτισης όπως θα δούμε παρακάτω [7,31,32]:

- i. Χαμηλής ισχύος με μονοφασική παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος: ανήκει στην κατηγορία της αργής φόρτισης και είναι η συνηθέστερη επιλογή για τους ιδιωτικούς σταθμούς με ιδιωτική πρόσβαση καθώς μια συμβατική πρίζα ανήκει σε αυτή την κατηγορία με τα χαρακτηριστικά μεγέθη της να είναι 230V - 16A – 3kW και τη διάρκεια φόρτισης να κυμαίνεται από 6 έως 12 ώρες.

Στην Εικόνα 31 φαίνεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα της συνδεσμολογίας φόρτισης αυτού του επιπέδου



Εικόνα 30: Σχεδιάγραμμα φόρτισης χαμηλής ισχύος [24]

- ii. Μέσης ισχύος με μονοφασική ή τριφασική παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος: αποτελεί μια συνηθισμένη επιλογή τόσο για σταθμούς, τόσο με ιδιωτική όσο και με δημόσια πρόσβαση και συναντάται σε
 - a. ιδιωτικά γκαράζ όπου υπάρχει μεγαλύτερη ασφάλεια και ενσωματωμένη ειδική διάταξη προστασίας των ηλεκτρικών αυτοκινήτων
 - b. χώρους στάθμευσης όλων των κατηγοριών που αναφέρθηκαν παραπάνω
 - c. σταθμούς φόρτισης στο δρόμο αντίστοιχα των πρατηρίων υγρών καυσίμων για τα αυτοκίνητα με μηχανή εσωτερικής καύσης.

Στην περίπτωση αυτή τα χαρακτηριστικά μεγέθη για την μονοφασική παροχή είναι 230V- 32A – 7kW και διάρκεια φόρτισης 4 – 6 ώρες , ενώ στην περίπτωση της τριφασική παροχής τα μεγέθη είναι 230V – 16A – 11kW με διάρκεια φόρτισης 2 – 4 ώρες. Τέλος, υπάρχει και η επιλογή της τριφασικής

παροχής με χαρακτηριστικά μεγέθη 400V – 32A – 22kW η οποία διαρκεί 1-2 ώρες.

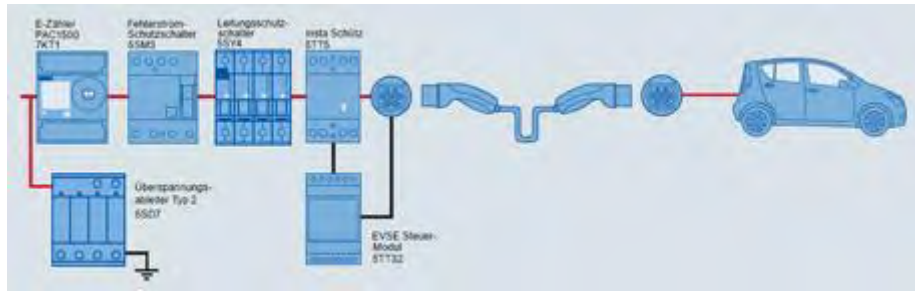
Στην Εικόνα 32 φαίνεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα της συνδεσμολογίας φόρτισης αυτού του επιπέδου



Εικόνα 31: Σχεδιάγραμμα φόρτισης μέσης ισχύος [24]

- iii. Υψηλής ισχύος με τριφασική παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος: ανήκει στην κατηγορία της υπερ-ταχείας φόρτισης και τη συναντάμε σε ορισμένους δημόσιους σταθμούς με δημόσια πρόσβαση. Συνήθως όμως συναντάται σε εξειδικευμένους σταθμούς φόρτισης οι οποίοι αναπτύσσονται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια εξαιτίας του αυξανόμενου μεριδίου αγοράς που καταλαμβάνουν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Χρησιμοποιείται ειδικός εξωτερικός φορτιστής ο οποίος συνδέεται απευθείας με τους συσσωρευτές του αυτοκινήτου χωρίς την παρέμβαση της συσκευής φόρτισης του εκάστοτε οχήματος. Στην περίπτωση αυτή τα χαρακτηριστικά μεγέθη είναι 400V – 63A – 43kW και διάρκεια φόρτισης μικρότερης της ώρας , συνήθως 20 με 40 λεπτά της ώρας.

Στην Εικόνα 33 φαίνεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα της συνδεσμολογίας φόρτισης αυτού του επιπέδου



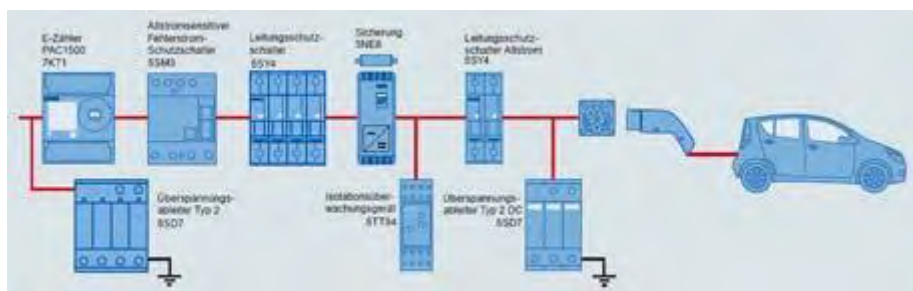
Εικόνα 32: Σχεδιάγραμμα φόρτισης υψηλής ισχύος με AC ρεύμα [24]

iv. Υψηλής ισχύος με συνεχές ρεύμα: ανήκει και αυτή στην κατηγορία της υπερταχείας φόρτισης και είναι μια αρκετά νέα-εναλλακτική τεχνολογία φόρτισης και συναντάται σε εξειδικευμένους σταθμούς φόρτισης. Οι σταθμοί αυτοί λειτουργούν διαφορετικά σε σχέση με τους προαναφερθέντες καθώς χρησιμοποιούν έναν ειδικό εξωτερικό φορτιστή ο οποίος διαθέτει ειδικό σύστημα ελέγχου και προστασίας, το βύσμα του οποίου απαιτεί ειδική θύρα υποδοχής καθώς δεν έχουν όλα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα αυτή τη δυνατότητα, ενώ συνδέεται απευθείας με τους συσσωρευτές όπως και ο αντίστοιχος της παραπάνω κατηγορίας. Επιπλέον το εναλλασσόμενο ρεύμα που φτάνει στο σταθμό μετατρέπεται σε συνεχές με τη χρήση μετατροπέα που είναι εγκατεστημένος σε κάθε τέτοιο σταθμό. Σύμφωνα με τα ανανεωμένα πρότυπα της SAE (Society of Automotive Engineers), οι σταθμοί συνεχούς ρεύματος χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες οι οποίες είναι

- ❖ DC επίπεδο 1 με χαρακτηριστικά μεγέθη έως 500V-80A-40kW
- ❖ DC επίπεδο 2 με χαρακτηριστικά μεγέθη έως 500V-200A-100kW

Ενώ ο χρόνος φόρτισης διαρκεί και σε αυτή την περίπτωση λιγότερο από μια ώρα και προσφέρει στις μπαταρίες ποσοστό φόρτισης μέχρι περίπου 80%. Ωστόσο οι σταθμοί αυτού του είδους είναι ιδιαίτερα ακριβοί καθώς σύμφωνα με μελέτες έχουν κοστολογηθεί από 50.000 έως 150.000 ευρώ περίπου, το οποίο εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τα υλικά που θα χρησιμοποιούν.

Στην Εικόνα 34 φαίνεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα της συνδεσμολογίας φόρτισης αυτού του επιπέδου.



Εικόνα 33: Σχεδιάγραμμα φόρτισης υψηλής ισχύος με DC ρεύμα [24]

3.3 Φορτιστές σε σταθμούς ενσύρματης φόρτισης

Όπως προαναφέραμε, οι φορτιστές ηλεκτρικών αυτοκινήτων διαχωρίζονται αρχικά σε φορτιστές «επί του αυτοκινήτου» ή “on-board” και «εκτός του αυτοκινήτου» ή “off-board”.

3.3.1 Επί του αυτοκινήτου ή on-board φορτιστές

Οι “on-board” παρέχονται συνήθως από όλες τις εταιρίες της αυτοκινητοβιομηχανίας κατά την αγορά ενός ηλεκτροκίνητου αυτοκινήτου οποιουδήποτε τύπου. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε υπάρχει μια διαθέσιμη συμβατική πρίζα ή γενικότερα μια παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος. Πιο συγκεκριμένα είναι ένα εύκαμπτο καλώδιο το οποίο έχει στο ένα άκρο του έναν ρευματολήπτη (Plug) για σύνδεση με την αντίστοιχη πρίζα (Socket outlet) ενώ στο άλλο άκρο του βρίσκεται ένας σύνδεσμος (Vehicle Connector) ο οποίος συνδέεται στην υποδοχή του αυτοκινήτου (Vehicle Coupler). Ο φορτιστής αυτού του τύπου ικανοποιεί τα επίπεδα 1-2-3 της ενότητας 3.1.1 με ορισμένες διαφοροποιήσεις στα βύσματα όπως θα δούμε παρακάτω [25].

❖ Χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι ρευματοδοτών και βυσμάτων για φόρτιση εναλλασσόμενου ρεύματος για τα επίπεδα 1-2-3. Εκτός των κοινότυπων ρευματοδοτών και φιν οικιακού τύπου χρησιμοποιούνται και οι αντίστοιχες βιομηχανικού τύπου. Το πρότυπο 62196 -2 έχει ορίσει 3 τύπους ρευματοδοτών-υποδοχών.

- Στην Βόρεια Αμερική και στην Ιαπωνία χρησιμοποιούνται ρευματοδότες και φιν ονομασία SAE J1772 και αναφέρονται ως Τύπου 1 και αφορούν μονοφασική παροχή.

- Στην Ευρώπη χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο οι ρευματοδότες και φις με ονομασία -VDE-AR-E 2623-2-2 και αναφέρονται ως Τύπου 2 και αφορούν τόσο μονοφασική όσο και τριφασική παροχή.
- Τέλος υπάρχουν οι φορτιστές που ακολουθούν τις προδιαγραφές του οργανισμού EV Plug Alliance και είναι γνωστός με την ονομασία SCAME ή Τύπου 3. Κατηγοριοποιείται περαιτέρω σε τρεις διαφορετικές εκδόσεις όπου η πρώτη αφορά μονοφασική παροχή μέχρι 16Α, η δεύτερη μονοφασική παροχή μέχρι 32Α και η τρίτη τριφασική παροχή μέχρι 63Α.

Στην Εικόνα 35 φαίνονται κάποια ενδεικτικά μοντέλα της αγοράς από τα βύσματα και τις υποδοχές που περιγράφηκαν παραπάνω, από αριστερά προς τα δεξιά συναντάμε του Τύπου 1, του Τύπου 2 και του Τύπου 3



Εικόνα 34: Διάφοροι τύποι βυσμάτων και υποδοχών

3.3.2 Εκτός του αυτοκινήτου ή off-board φορτιστές

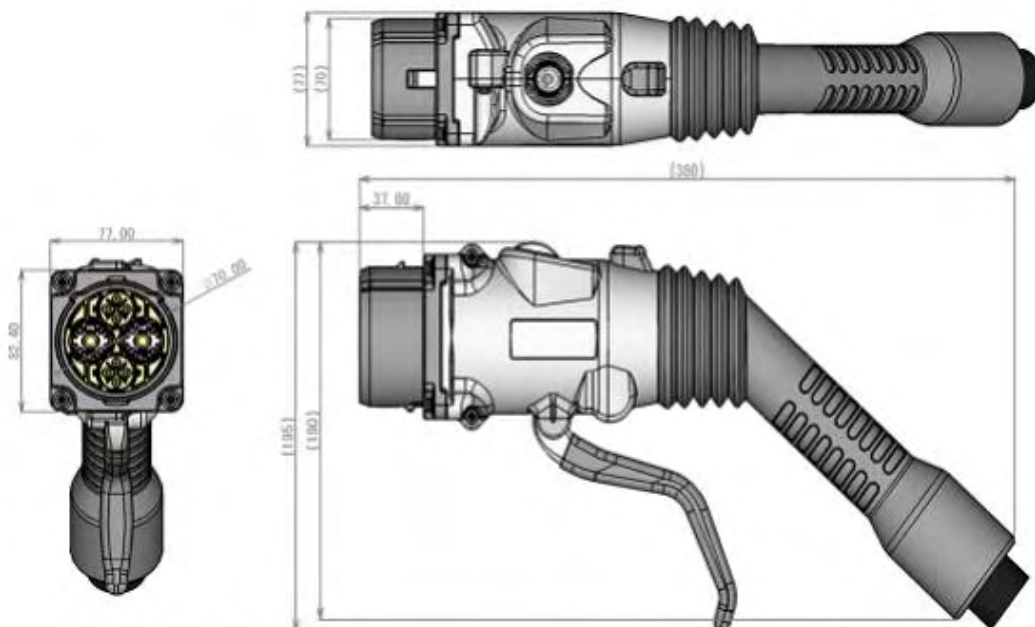
Οι “off-board” βρίσκονται μόνιμα εγκατεστημένοι στους σταθμούς φόρτισης και αποτελεί μια αρκετά νέα τεχνολογία στον τομέα της ταχείας φόρτισης των συσσωρευτών ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Οι φορτιστές αυτοί παρακάμπτουν το “on-board” σύστημα φόρτισης και συνδέονται απευθείας με τους συσσωρευτές του αυτοκινήτου και το τροφοδοτούν με μεγάλα ποσά ισχύος σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Ωστόσο η φόρτιση είναι ελεγχόμενη και προσαρμόζεται στα χαρακτηριστικά του εκάστοτε συσσωρευτή προκειμένου να αποφευχθούν βλάβες

που θα προκύπτουν από καταπονήσεις, προερχόμενες κυρίως από υπερθέρμανση.

➤ Πρότυπο CHAdeMO (Charge and Move)

Για να επιτευχθεί η φόρτιση των μπαταριών των ηλεκτρικών αυτοκινήτων από παροχή συνεχούς ρεύματος συνεργάστηκαν οι κορυφαίες εταιρίες τόσο της αυτοκινητοβιομηχανίας όσο και άλλες εμπλεκόμενες εταιρίες του χώρου προκειμένου να δημιουργηθεί το σύστημα ταχείας φόρτισης συνεχούς ρεύματος το οποίο ονόμασαν CHAdeMO – Charge and Move («Φόρτισε και Φύγε») και βρίσκει ευρύτερη εφαρμογή στην Ιαπωνία. Δημιουργήθηκε ένας οργανισμός για τον σκοπό αυτό, γνωστός ως “CHAdeMO Association”, ο οποίος ανέπτυξε πρωτόκολλο για το σκοπό αυτό. Γίνεται χρήση εξωτερικού (“off-board”) φορτιστή, όπως προαναφέρθηκε, ο οποίος ρυθμίζει τη φόρτιση σύμφωνα με τις εντολές που δέχεται από τους συσσωρευτές του αυτοκινήτου για αποφυγή καταπονήσεων στους συσσωρευτές [33,37].

Το τυποποιημένο βύσμα και η υποδοχή CHAdeMO φαίνονται στην Εικόνα 36.



Εικόνα 35: Βύσμα και υποδοχή CHAdeMO [25]

Το πρότυπο αυτό από τη δημιουργία του και έπειτα συνεχίζει να εξελίσσεται και να ανανεώνεται συνεχώς ακολουθώντας τις καθημερινές εξελίξεις τόσο στην τεχνολογία όσο και στις ανάγκες των καταναλωτών. Το αρχικό πρωτόκολλο ονομάζεται CHAdeMO 0.9 και πολλοί φορτιστές αυτού του τύπου το ακολουθούν ακόμα. Υπήρξαν αρκετές αναβαθμίσεις όπως η 1.0 (2012) όπου καθορίστηκαν θέματα σχετικά με την ασφάλεια και τη συμβατότητα, η 1.1 (2015) όπου εισήχθη η δυναμική αλλαγή της έντασης του ρεύματος κατά τη φόρτιση, η 1.2(2017) όπου ανέβηκε το επίπεδο ισχύος φόρτισης στα 200kW ενώ καθορίστηκαν οι παράμετροι ασφαλείας για αποφυγή καταπονήσεων και τέλος το 2.0 (2018) όπου το επίπεδο ισχύος ανέβηκε μέχρι τα 400kW και επιτρέπει και σε μεγαλύτερα οχήματα όπως φορτηγά και λεωφορεία να χρησιμοποιήσουν το σύστημα και αναμένεται να εφαρμοστεί από το 2020 [33,37].

➤ Συνδυαζόμενο Σύστημα Φόρτισης – Combined Charging System (CCS)

Επτά μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες (BMW, Audi, Ford, Porsche, Daimler, General Motors & Volkswagen) αποφάσισαν να συνεργαστούν προκειμένου να δημιουργήσουν ένα ενιαίο πρότυπο ακροδεκτών που θα εφαρμόζουν για φόρτιση στα ηλεκτροκίνητα μοντέλα τους στην Ευρώπη και στις ΗΠΑ. Στο πρότυπο αυτό συναντάμε ακροδέκτες που καλύπτουν τόσο τη φόρτιση με εναλλασσόμενο ρεύμα (μονοφασική & τριφασική) όσο και με συνεχές ρεύμα, ωστόσο έχουν ίδιες διαστάσεις και μορφολογία προκειμένου να εξυπηρετούν όλων των ειδών τις φορτίσεις και να εφαρμόζουν σε όλες τις υποδοχές. Η τυποποίηση των ακροδεκτών που επιλέχθηκε για το Combo System –όπως αλλιώς αποκαλείται– είναι συμβατή τόσο με τον ακροδέκτη SAE J1772 που χρησιμοποιείται κυρίως στις ΗΠΑ (Combo System 1) όσο και με τον -VDE-AR-E 2623-2-2 που χρησιμοποιείται στην Ευρώπη (Combo System 2). Επίσης, εφαρμόζουν κοινό πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ οχήματος και εξωτερικού φορτιστή για βελτιστοποίηση της ταχείας & υπερταχείας φόρτισης, το πρωτόκολλο αυτό είναι γνωστό ως “HomePlug Green Phy” [38,39].

Στην Εικόνα 37, βλέπουμε τους δύο διαφορετικούς τύπους φορτιστών & υποδοχών CCS 1.0 και CCS 2.0 με τον πρώτο να βρίσκει εφαρμογή κυρίως στις

ΗΠΑ ενώ ο δεύτερος στην Ευρώπη. Και στις δύο περιπτώσεις το πάνω μέρος του ακροδέκτη με τα 5 και 3 pin's αντίστοιχα αφορά την φόρτιση με AC ενώ το κάτω μέρος με τα 2 pin's αφορά τη φόρτιση με DC ρεύμα.



Εικόνα 36: Βύσματα και υποδοχές τύπου CCS

Τέλος πρέπει να αναφερθεί πως και αυτό το σύστημα φόρτισης εξελίσσεται σύμφωνα με τις ανάγκες των καταναλωτών και διαχωρίζεται σε δύο εκδόσεις η CCS 1.0 και η CCS 2.0 οι οποίες καθορίζουν σημαντικούς παράγοντες τόσο για την φόρτιση με συνεχές όσο και με εναλλασσόμενο ρεύμα. Η κυριότερη διαφοροποίηση τους έγκειται στη φόρτιση με συνεχές ρεύμα με τις διαφοροποιήσεις που θα δούμε στον παρακάτω πίνακα [26].

Παρακάτω στον Πίνακα 2 βλέπουμε τις επιμέρους διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο εκδόσεων του Combined Charging System όπου τα χαρακτηριστικά μεγέθη της φόρτισης αυξήθηκαν κατά πολύ στην έκδοση CCS 2.0

Πίνακας 1: Σύγκριση ορισμένων χαρακτηριστικών των δυο εκδόσεων του CCS

Χαρακτηριστικό	CCS 1.0	CCS 2.0
Μέγεθος		
Ισχύς	<80kW	<350kW
Τάση	<500V	200-1000V
Ένταση Ρεύματος	<200A	<500A

3.4 Διεθνή Πρότυπα

Η ανάπτυξη των ηλεκτρικών αυτοκινήτων γίνεται διάσπαρτα ανά τις προηγμένες τεχνολογικά χώρες και χωρίς την εφαρμογή ενιαίων κανονισμών μέχρι πριν λίγα χρόνια όπου σχεδόν κάθε χώρα εφάρμοζε τους δικούς της κανόνες. Όμως με το ενδιαφέρον του καταναλωτικού κοινού να στρέφεται όλο και περισσότερο προς τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα υπήρχε ανάγκη για την εφαρμογή διεθνών προτύπων προκειμένου η ανάπτυξη της αγοράς να συνεχιστεί. Η πρωτοβουλία ανήκει σε δύο οργανισμούς τυποποίησης των οποίων τα πρότυπα εφαρμόζονται πλέον σχεδόν παγκοσμίως. Οι οργανισμοί αυτοί είναι η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή – International Electrotechnical Commission (IEC) και η Διεθνής Κοινότητα Μηχανικών Αυτοκινήτων – Society of Automotive Engineers International (SAE International).

3.4.1 Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή - IEC

Ξεκινώντας από την Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC), έχει θεσπίσει τα παρακάτω πρότυπα [30,31,40] :

- ❖ IEC 61851: Συστήματα Ενσύρματης Φόρτισης
 - 61851–1:2010, καθορίζει γενικές απαιτήσεις, ρυθμίζει την καλωδίωση και τα βύσματα φόρτισης, ορίζει μεθόδους & επίπεδα φόρτισης
 - 61851-21-1: 2017, απαιτήσεις ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας για on-board ενσύρματη φόρτιση από εναλλασσόμενο ή συνεχές ρεύμα
 - 61851-21-2:2018, απαιτήσεις ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας για off-board ενσύρματη φόρτιση από εναλλασσόμενο ή συνεχές ρεύμα
 - 61851-23:2014, καθορίζει τις απαιτήσεις για σταθμούς φόρτισης συνεχούς ρεύματος(ΣΡ) όπως ασφάλεια, αρμονικές, σύνδεση με το δίκτυο και την “αρχιτεκτονική” επικοινωνίας οχήματος-σταθμού ΣΡ
 - 61851-24:2014, καθορίζει την ψηφιακή επικοινωνία οχήματος-σταθμού ΣΡ για έλεγχο της φόρτισης με ΣΡ
- ❖ IEC 62196: Βύσματα, Πρίζες, Βύσματα που εφαρμόζουν στο Αυτοκίνητο, Υποδοχή Αυτοκινήτου

- 62196-1, καθορίζει γενικές απαιτήσεις για βύσματα, πρίζες, βύσματα που εφαρμόζουν στο Αυτοκίνητο, υποδοχή αυτοκινήτου και υπάρχουν 3 επιμέρους εκδόσεις:
 - 2003: τα χαρακτηριστικά μεγέθη φόρτισης Εναλλασσόμενου ρεύματος (EP) & Συνεχούς Ρεύματος (ΣΡ) να φτάνουν μέχρι 690V-250A και 600V-400A αντίστοιχα
 - 2011: στην φόρτιση με ΣΡ η τάση αυξάνεται μέχρι τα 1500V
 - 2014: γενικές απαιτήσεις συνδυαζόμενης συνδεσιμότητας όπως χρησιμοποιείται από το Combo Charging System(CCS)
- 62196-2:2011, είναι μια επέκταση του 62196-1 και καθορίζει τον ακριβή σχεδιασμό των διαφόρων τύπων βυσμάτων-πριζών-βυσμάτων αυτοκινήτου-υποδοχών αυτοκινήτου που χρησιμοποιούνται σε φόρτιση με EP. Τα κατηγοριοποιεί σε Type 1,2,3 για τις διάφορες μεθόδους φόρτισης που καθορίζονται από το IEC 61851-1. Ενώ στην έκδοση 62196-2:2016 έγινε η εισαγωγή μιας ειδικής μονάδας προστασίας στην κατηγορία Type 2
- 62196-3:2014, είναι μια επέκταση του 62196-1 και καθορίζει τον ακριβή σχεδιασμό των βυσμάτων και των υποδοχών των αυτοκινήτων για φόρτιση ΣΡ
- ❖ IEC 60309: Βύσματα, Υποδοχές και Συζευκτήρες
 - 60309-1, καθορίζει τις βασικές απαιτήσεις, τους κανόνες ασφαλείας και τα χαρακτηριστικά λειτουργικότητα για βύσματα, υποδοχές & συζευκτήρες βιομηχανικού τύπου καθώς είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται στους σταθμούς φόρτισης
 - 60309-2, καθορίζει τα διάφορα μεγέθη βυσμάτων και πριζών με διαφορετικό αριθμό ακροδεκτών(rins) ανάλογα την παροχή και τον αριθμό των φάσεων, επίσης καθορίζει το χρωματικό κώδικα της καλωδίωσης ανάλογα τη τάση και τη συχνότητα
- ❖ IEC 60364: Περιγράφει τις απαιτήσεις ηλεκτρικών εγκαταστάσεων σε κτήρια
 - IEC 60364-7-722 : 2018, εισάγει τις απαιτήσεις για την επαγωγική φόρτιση και καθορίζει τη χρήση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων ως παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας προς το δίκτυο με τη διαδικασία Vehicle 2 Grid(V2G) που θα δούμε παρακάτω

3.4.2 Διεθνή Κοινότητα Μηχανικών Αυτοκινήτων - SAE International

Όσο αφορά την Διεθνή Κοινότητα Μηχανικών Αυτοκινήτων(SAE International) έχει θεσπίσει τα ακόλουθα πρότυπα [30,31,41] :

- ❖ SAE J1772: Συστήματα Ενσύρματης Φόρτισης
 - Η αρχική έκδοση καθορίζει τις προδιαγραφές για την φόρτιση με εναλλασσόμενο ρεύμα ενώ ορίζει και τα διάφορα επίπεδα φόρτισης καθώς και τις μεθόδους
 - Σε μεταγενέστερη έκδοση συμβαδίζει με το αντίστοιχο πρότυπο της IEC σχετικά με τον νέο-κοινό πρότυπο που συνέταξαν και αφορά το Combined Charging System και καθορίζει τις προδιαγραφές για αυτό
- ❖ SAE J2847: Επικοινωνία
 - SAE J2847-1:2010, Περιγράφει το μέσο με το οποίο γίνεται επικοινωνία αυτοκινήτου – σταθμού καθώς επίσης και τις προϋποθέσεις που πρέπει να πληροί ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο ώστε να μπορεί να συνδεθεί με το δίκτυο παροχής μέσω σταθμών εναλλασσόμενου ρεύματος. Στην ανανεωμένη έκδοση αυτού του 2013 καθορίζονται και οι προϋποθέσεις για την έξυπνη φόρτιση, δηλαδή με τη χρήση των ευφυών δικτύων που θα αναλύσουμε έπειτα.
 - SAE J2847-2:2011, Περιγράφει την επέκταση των μηνυμάτων που περιλαμβάνει το παραπάνω πρότυπο προκειμένου να συμπεριλάβει τα αναγκαία μηνύματα για την φόρτιση με συνεχές ρεύμα
- ❖ SAE J2344: Ασφάλεια
 - SAE J2344-1:2010, Είναι η αναθεωρημένη έκδοση (πρώτη το 1998 και έχει εγκαταλειφτεί) η οποία καθορίζει το ευρύτερο πλαίσιο που αφορά την ασφάλεια οχημάτων στα οποία εμφανίζεται υψηλή τάση κυρίως κατά τη διαδικασία της φόρτισης
- ❖ SAE J2293: Συστήματα μεταφοράς ενέργειας για ηλεκτρικά αυτοκίνητα
 - SAE J2293-1:2014, Καθορίζει τις απαιτήσεις για τη διαδικασία της φόρτισης (μεταφορά ενέργειας) για τις διάφορες αρχιτεκτονικές του

συστήματος φόρτισης που μπορεί να είναι ενσύρματη φόρτιση είτε εναλλασσόμενου είτε συνεχούς ρεύματος ή ασύρματη φόρτιση

❖ SAE J2954: Επαγωγική φόρτιση

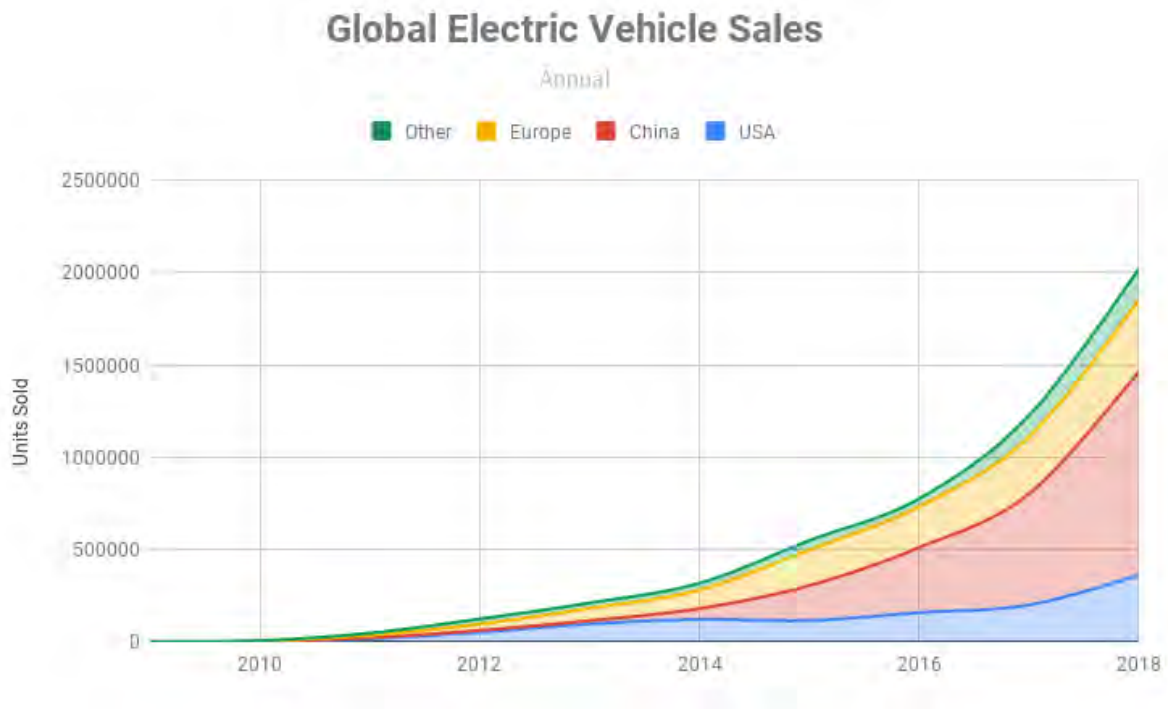
- Αποτελεί το πρώτο πρότυπο παγκοσμίως το οποίο καθορίζει τις προϋποθέσεις για την επαγωγική φόρτιση ηλεκτρικών αυτοκινήτων με ισχύς που φτάνει μέχρι τα 7.7kW στην έκδοση του 2017 ενώ στην αναθεώρηση που έγινε το 2019 η ισχύς φτάνει μέχρι τα 11kW ανά επίπεδο (επίπεδο 1-2-3)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ

Τα ορυκτά καύσιμα είναι κυρίαρχες πηγές ενέργειας τόσο στον κλάδο της παραγωγής ενέργειας όσο και στον κλάδο των αυτοκινήτων εδώ και δεκαετίες. Ωστόσο τα αποθέματα στον πλανήτη μας μειώνονται με ταχύτατους ρυθμούς ενώ η επίδραση τους στην ατμόσφαιρα είναι ιδιαίτερα αρνητική. Καθώς τα αποθέματα τους μειώνονται η τιμή τους θα αυξάνεται, συνεπώς είναι αναγκαία η εξεύρεση εναλλακτικών λύσεων, οι οποίες κατά κύριο λόγο δεν θα έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην ατμόσφαιρα και θα είναι οικονομικότερες. Στον κλάδο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεσπόζουσες εναλλακτικές θεωρούνται οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια ενώ στον κλάδο των αυτοκινήτων τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα αποτελούν την πιο πολλά υποσχόμενη τεχνολογία. Ειδικότερα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θεωρούνται μηδενικών εκπομπών ρύπων, συνεπώς δεν επιδεινώνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, δεν έχουν –άμεσο- αντίκτυπο στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή η οποία ανησυχεί όλο και περισσότερο τους ειδικούς, ενώ υπάρχουν προβλέψεις για αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης κατά 2°C αν δεν ληφθούν μέτρα. Η συνεισφορά των αυτοκινήτων με μηχανή εσωτερικής καύσης στην κλιματική αλλαγή θεωρείται τεράστια μιας και το 2009 έρευνες έδειξαν ότι ευθύνονται για το 25% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [42,43]. Έκτοτε έχει γίνει μια μεταβολή τόσο από τις κυβερνήσεις όσο και από την αυτοκινητοβιομηχανία για την ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων όπου του 2018 ήταν χρονιά ορόσημο καθώς μόνο αυτό το έτος πουλήθηκαν περισσότερα από 2 εκατομμύρια οχήματα ανά τον κόσμο ενώ η αύξηση που παρουσιάζουν είναι ραγδαία.

Στην εικόνα φαίνεται ένα γράφημα στο οποίο παρουσιάζονται οι πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων από το 2010 και έπειτα και παρατηρούμε ότι κάθε χρόνο γίνονται όλο και πιο δημοφιλή στο κοινό ενώ οι προβλέψεις των αναλυτών της αγοράς αυτής κάνουν λόγο για συνέχιση προς αυτή την κατεύθυνση, καθώς δεν υπάρχουν στοιχεία που να δείχνουν επιβράδυνση της αγοράς ηλεκτρικού αυτοκινήτου [27].



Εικόνα 37: Πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων σε συνάρτηση με το χρόνο σε παγκόσμιο επίπεδο [27]

4.1 Οικονομικές επιδράσεις των ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Η οικονομική επίδραση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων παρατηρούνται από δύο διαφορετικές σκοπίες, αυτή της υπηρεσίας κοινής ωφέλειας που διαχειρίζεται το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και αυτή του κατόχου ηλεκτρικού αυτοκινήτου.

4.1.1 Οπτική της υπηρεσίας κοινής ωφέλειας

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα σε αυτή την περίπτωση θεωρούνται ως νέα επιπλέον φορτία τα οποία θα πρέπει να συνδεθούν με το ηλεκτρικό δίκτυο προκειμένου να τροφοδοτηθούν. Συνεπώς θα πρέπει να αυξηθεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας άρα και το κόστος -λόγω της χρήσης περισσότερου καυσίμου- έτσι ώστε το δίκτυο να μπορεί να ανταποκριθεί στις νέες απαιτήσεις. Επιπλέον, οι απώλειες ενέργειας του δικτύου θα αυξηθούν κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας κατά μήκος του δικτύου για την τροφοδοσία όλων αυτών των νέων φορτίων. Ωστόσο, το κόστος μπορεί να μειωθεί σημαντικά με την μεγαλύτερη διείσδυση των ΑΠΕ στο δίκτυο καθώς και με τη χρήση στρατηγικών μεθόδων

φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, όπως θα αναλύσουμε στη συνέχεια [30,42,43].

4.1.2 Οπτική του κατόχου ηλεκτρικού αυτοκινήτου

Ο κάτοχος ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου βλέπει το κόστος του καυσίμου καθώς και τα λειτουργικά κόστη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου του να είναι αισθητά μειωμένα σε σύγκριση με ένα αυτοκίνητο που χρησιμοποιεί μηχανή εσωτερικής καύσης λόγω της μεγαλύτερης αποδοτικότητας που παρουσιάζουν οι ηλεκτρικές μηχανές που φτάνει το 70% ενώ αντίστοιχα στις μηχανές εσωτερικής καύσης το 18%. Επιπλέον η τεχνολογία των συσσωρευτών εξελίσσεται με ραγδαία βήματα, όπως είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, συνεπώς τόσο η εμβέλεια όσο και η αξιοπιστία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων βελτιώνεται ενώ και το κόστος των συσσωρευτών –το οποίο θεωρείται από τα μεγαλύτερα μεταξύ των διαφόρων δομικών στοιχείων των ηλεκτρικών αυτοκινήτων- θα μειώνεται. Ωστόσο ακόμα και σήμερα το κόστος για την αγορά ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου οποιασδήποτε υποκατηγορίας είναι αρκετά μεγαλύτερο από το αντίστοιχο ενός αυτοκινήτου με μηχανή εσωτερικής καύσης. Για τον σκοπό αυτό έχει εισαχθεί και χρησιμοποιείται η έννοια της περιόδου ανταπόδοσης δηλαδή σε πόσο καιρό θα κάνει απόσβεση του παραπάνω κεφαλαίου που δαπάνησε για το ηλεκτρικό αυτοκίνητο σε σχέση με ένα συμβατικό ο εκάστοτε αγοραστής, η οποία σήμερα εκτιμάται περίπου στα 20 χρόνια, ωστόσο προβλέπεται ότι μέχρι το 2030 θα έχει φτάσει τα 5 χρόνια [30,42,43].

4.2 Περιβαλλοντική επίδραση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων

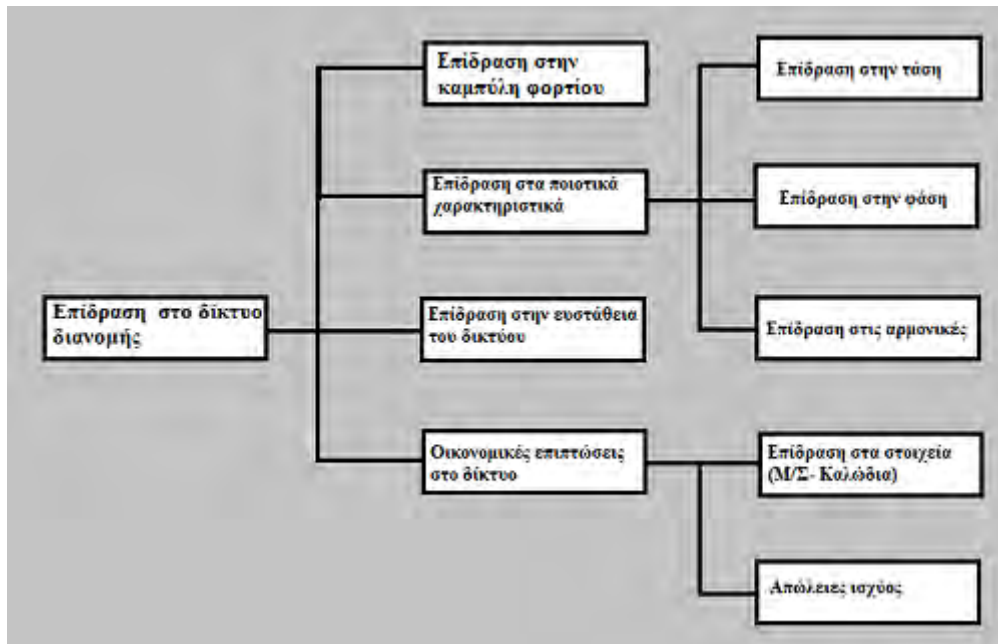
Σύμφωνα με διάφορες έρευνες παρατηρήθηκε ότι όσο μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας τόσο μικρότερο είναι το περιβαλλοντικό όφελος από τη χρήση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Πιο συγκεκριμένα για να συγκριθεί η περιβαλλοντική επίδραση μεταξύ των ηλεκτρικών και αυτών με κινητήρα εσωτερικής καύσης αυτοκινήτων χρησιμοποιείται ο όρος “wells-to-wheels emissions”, σύμφωνα με τον οποίο υπολογίζονται οι συνολικοί ρύποι που παράγει ένα αυτοκίνητο από την μέρα κυκλοφορίας του έως την απόσυρση του και λαμβάνει υπόψιν τις έμμεσες εκπομπές ρύπων, αυτές που προκύπτουν από το καύσιμο και τα υλικά που

χρησιμοποιούνται για να παραχθεί η απαραίτητη ενέργεια για την κίνηση του καθώς και οι άμεσες εκπομπές ρύπων από την εξάτμιση του αυτοκινήτου. Μάλιστα σε κάποιες περιοχές, που χρησιμοποιούν άνθρακα ή/και φυσικό αέριο για παράδειγμα ως κύριες πηγές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, παρατηρήθηκε ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν ίσως παρόμοιο ή ελάχιστα υψηλότερο ή ελάχιστα χαμηλότερο “wells-to-wheels emissions” σε σχέση με τα αυτοκίνητα με μηχανή εσωτερικής καύσης, συνεπώς και τα αποτελέσματα της χρήσης τους δεν είναι τα επιθυμητά [28]. Σύμφωνα με τους συγγραφείς των [30,42,43] αποδεικνύεται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διείσδυση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στο ηλεκτρικό δίκτυο τόσο μεγαλύτερη είναι η ανάγκη για ενσωμάτωση περισσότερων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας που οδηγούν σε ένα πιο φιλικό προς το περιβάλλον ηλεκτρικό δίκτυο. Τέλος πρέπει να αναφερθούμε στις μπαταρίες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων καθώς μπορεί οι νέες τεχνολογίες, όπως η -κυρίαρχη- Ιόντων-Λιθίου, να μην περιέχουν επικίνδυνα χημικά συστατικά όπως οι προκάτοχοι τους (π.χ. Μολύβδου-Οξέος). Ωστόσο αν δεν ανακυκλωθούν και καταλήξουν σε κάποια παράνομη χωματερή είναι πολύ πιθανό να προκαλέσουν μόλυνση στα υπόγεια ύδατα.

4.3 Επίδραση στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας

Με την πάροδο του χρόνου το πλήθος των ηλεκτρικών αυτοκινήτων αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά, γεγονός που θα οδηγήσει στην δημιουργία ενός νέου –για το δίκτυο- φορτίου, ιδιαίτερα μεγάλου μεγέθους, το οποίο θα «δοκιμάσει» το δίκτυο από διάφορες σκοπιές στο εγγύς μέλλον. Το φορτίο αυτό είναι μη-γραμμικό - δυναμικό καθώς μπορεί να μετατοπιστεί τόσο ως προς το χώρο όσο και ως προς το χρόνο. Με την υπάρχουσα κατάσταση του ηλεκτρικού δικτύου αναμένεται να δημιουργηθούν μια σειρά από προβλήματα στο δίκτυο από το επιπρόσθετο φορτίο των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Στην Εικόνα 39 φαίνονται τα πιθανά προβλήματα που θα δημιουργηθούν στο δίκτυο λόγω των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.



Εικόνα 38: Επιδράσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας

Στη συνέχεια θα περιγράψουμε τις πιθανές αρνητικές επιδράσεις των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στο υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο όπως φαίνονται στην παραπάνω εικόνα, σύμφωνα με το χειρότερο σενάριο, βάσει του οποίου η φόρτιση γίνεται ανεξέλεγκτα και χωρίς «στρατηγική».

4.3.1 Επίδραση στην καμπύλη φορτίου

Έχει υλοποιηθεί μεγάλο πλήθος ερευνών σε πολλές χώρες ανά τον κόσμο σχετικά με την επίδραση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην ημερήσια καμπύλη φορτίου του ηλεκτρικού δικτύου. Από αυτές τις έρευνες που έγιναν στις ΗΠΑ, στη Γερμανία, στην Αυστραλία, στην Εσθονία και στην Κορέα δηλαδή σε διαφορετικά ηλεκτρικά δίκτυα, με διαφορετικές παραμέτρους το καθένα συμπεραίνουμε ότι εάν ο κάθε κάτοχος ηλεκτρικού αυτοκινήτου έχει τη δυνατότητα να φορτίζει οπουδήποτε και οποτεδήποτε το αυτοκίνητο του τότε το φορτίο θα αυξηθεί ιδιαίτερα τις ώρες αιχμής. Επίσης θα δημιουργήσει και μια νέα χρονική περίοδο αιχμής κατά τις απογευματινές ώρες λόγω της επιστροφής στο σπίτι από τη δουλειά και την επιθυμία για άμεση φόρτιση του αυτοκινήτου. Ενώ πρέπει να συμπληρώσουμε ότι αν αυξηθεί σημαντικά ο στόλος των ηλεκτρικών αυτοκινήτων το δίκτυο δεν μπορεί να υποστηρίξει τις απαιτήσεις φορτίου κατά τις ώρες αιχμής

άρα θα τεθεί ζήτημα όσο αφορά την αξιοπιστία του δικτύου. Συνεπώς αυτό το νέο φορτίο πρέπει να μετακινηθεί στις ώρες μη-αιχμής προκειμένου να μην χρειαστεί η διεύρυνση των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [30,43].

4.3.2 Επίδραση σε «ποιοτικά» χαρακτηριστικά μεγέθη του ηλεκτρικού δικτύου

Το φορτίο των ηλεκτρικών αυτοκινήτων αναμένεται να επηρεάσει και ορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας:

- Επίδραση στην τάση και στην φάση του ηλεκτρικού δικτύου

Και σε αυτή την κατηγορία επίδρασης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στο δίκτυο έχει πραγματοποιηθεί μια πληθώρα προσομοιώσεων με χρήση εργαλείων όπως το Monte Carlo Simulation και το MATLAB Simulink, με τα ευρήματα ωστόσο να ποικίλουν και να εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες όπως το μέγεθος του στόλου των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, τα χαρακτηριστικά του δικτύου και τα χαρακτηριστικά φόρτισης. Παρατηρείται ότι όσο μεγαλύτερο το πλήθος των ηλεκτρικών αυτοκινήτων τόσο μεγαλύτερο πρόβλημα δημιουργείται στη τάση του δικτύου καθώς βρίσκεται εκτός των επιθυμητών ορίων λειτουργίας, δηλαδή εμφανίζεται αστάθεια στην τάση και μπορεί να οδηγήσει σε Black-Out. Σε μικρά επίπεδα διείσδυσης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στο δίκτυο η διαφοροποίηση που παρατηρείται στην τάση βρίσκεται στα όρια του 1% , ποσοστό που είναι αποδεκτό από το δίκτυο συνεπώς δεν δημιουργείται πρόβλημα. Όσον αφορά την επίδραση στη φάση του δικτύου, το πρόβλημα εμφανίζεται και στις δύο περιπτώσεις, είτε με χαμηλά είτε με υψηλά ποσοστά διείσδυσης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στο δίκτυο, και έχει να κάνει κυρίως με την κατανομή του φορτίου στις τρεις φάσεις του δικτύου όταν εφαρμόζεται οικιακή μονοφασική φόρτιση. Πιο συγκεκριμένα σε περίπτωση που η κατανομή γίνει άνισα, δηλαδή αν η μια φάση για παράδειγμα δεχθεί όλο το φορτίο τότε θα δημιουργηθεί αστάθεια φάσης [30,43,45].

- Επίδραση στις αρμονικές του ηλεκτρικού δικτύου

Η ονομαστική συχνότητα του ηλεκτρικού δικτύου είναι συνήθως 50Hz στην Ευρώπη ή 60Hz στην Αμερική και οι αρμονικές της τάσης και του ρεύματος

κυμαίνονται σε κάποιο ακέραιο πολλαπλάσιο της ονομαστικής συχνότητας και δείχνουν ότι υπάρχει κάποια ανωμαλία στο δίκτυο. Λόγω του ότι το φορτίο των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι μη-γραμμικό, όπως προείπαμε, μπορεί να προκαλέσει διαταραχές τόσο στην αρμονική του ρεύματος (Total Current Harmonic Distortion – THDi) όσο και στην αρμονική της τάσης (Total Voltage Harmonic Distortion – THDv), γεγονότα που είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα για το δίκτυο. Τα αποτελέσματα των διεξαχθέντων ερευνών είναι και σε αυτή την περίπτωση διφορούμενα καθώς και πάλι υπάρχει εξάρτηση από το πλήθος των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στο δίκτυο όπως επίσης και από την ταχύτητα φόρτισης. Όταν το ποσοστό εισχώρησης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στο δίκτυο είναι μικρό δεν παρατηρείται διαταραχή στις αρμονικές κατά την αργή φόρτιση, όμως η χρήση της ταχείας ή υπερταχείας μεθόδου φόρτισης ακόμα και με μικρό αριθμό αυτοκινήτων μπορεί να επιφέρει διαταραχή στις αρμονικές. Όταν το ποσοστό των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι υψηλό τότε δεδομένα δημιουργούνται προβλήματα τόσο λόγω της αργής φόρτισης όσο και από την ταχεία και την υπερταχεία. Μάλιστα σύμφωνα το πρότυπο EN 50160 η THDv δεν πρέπει να ξεπερνάει το 8% μέχρι την 40^η αρμονική ωστόσο ακόμα και ελάχιστα αυτοκίνητα σε διαδικασία ταχείας ή υπερταχείας φόρτισης αρκούν για να γίνει η υπέρβαση σε αυτό, άρα συμπεραίνουμε ότι δημιουργείται σημαντικό ζήτημα [30,43].

4.3.3 Επίδραση στην ευστάθεια του δικτύου

Ως ευστάθεια του ηλεκτρικού δικτύου ονομάζουμε την ικανότητα του δικτύου να επανέρχεται σε σταθερή κατάσταση αφού έχει βρεθεί σε μια μεταβατική κατάσταση, η ευστάθεια του δικτύου έχει άμεση σύνδεση με την αξιοπιστία του καθώς όσο καλύτερη ευστάθεια παρουσιάζει τόσο πιο αξιόπιστο γίνεται. Το φορτίο των ηλεκτρικών αυτοκινήτων επηρεάζει σημαντικά την ευστάθεια του δικτύου λόγω των αρμονικών που επιφέρουν στο δίκτυο, και δημιουργεί αστάθεια καθώς αυξάνει το χρόνο που απαιτείται για να επιστρέψει σε σταθερή κατάσταση. Από την άλλη πλευρά όμως θα αναλύσουμε παρακάτω τη λειτουργία Vehicle 2 Grid (V2G) και θα δούμε ότι ενισχύει την ευστάθεια του δικτύου [28].

4.3.4 Επίδραση στα στοιχεία του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

Όσο περισσότερα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ενταχθούν στο δίκτυο τόσο μεγαλύτερη θα είναι η ανάγκη για παραγωγή, μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας στις επιμέρους περιοχές ζήτησης του φορτίου. Οι μετασχηματιστές και τα καλώδια που χρησιμοποιούνται αυτή τη στιγμή στα ηλεκτρικά δίκτυα διανομής σε ολόκληρο σχεδόν τον κόσμο δεν πληρούν τις προδιαγραφές για να αντέξουν ένα τόσο μεγάλο νέο φορτίο και είναι ένας παράγοντας που καθυστερεί την ανάπτυξη των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Έρευνες έδειξαν ότι η επίδραση στους μετασχηματιστές είναι ανάλογη του τρόπου και του επιπέδου φόρτισης που χρησιμοποιείται από το εκάστοτε ηλεκτρικό αυτοκίνητο -όπως τα περιγράψαμε στο κεφάλαιο 3. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται ένα μετρητικό μέγεθος που ονομάζεται συντελεστής γήρανσης του μετασχηματιστή και σε όσο υψηλότερο επίπεδο φόρτισης μεταβαίνουμε τόσο αυξάνεται αυτός ο συντελεστής, συνεπώς μειώνεται η διάρκεια ζωής του μετασχηματιστή. Επιπλέον η υπάρχουσα καλωδίωση του δικτύου αναμένεται να παρουσιάσει πρόβλημα με την αύξηση του αριθμού των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Ειδικότερα τα καλώδια αυτά μπορούν να ανταπεξέλθουν αν το συνολικό ποσοστό των ηλεκτρικών αυτοκινήτων που θα εφαρμόζει αργή και ταχεία φόρτιση δεν ξεπεράσει το 25% και 15% αντίστοιχα. Άρα καταλήγουμε στο ότι τα υπάρχοντα στοιχεία του δικτύου δεν μπορούν να ανταποκριθούν όταν το μερίδιο αγοράς των ηλεκτρικών αυτοκινήτων αυξηθεί [30,43,45].

4.3.5 Επίδραση στις απώλειες ισχύος του δικτύου

Η ύπαρξη ηλεκτρικών αυτοκινήτων στο δίκτυο απαιτεί την διανομή ηλεκτρικής ενέργειας σε πολλαπλές τοποθεσίες γεγονός που αναμένεται να αυξήσει τις απώλειες του δικτύου στα επιμέρους στοιχεία του (μετασχηματιστές, καλώδια κλπ) και υπάρχει έντονος προβληματισμός στις αρμόδιες υπηρεσίες. Σύμφωνα με έρευνες όπου υπήρχαν δύο σενάρια, το πρώτο ήταν χωρίς την ύπαρξη ηλεκτρικών αυτοκινήτων και στο δεύτερο με κάποιο σημαντικό ποσοστό επί του συνόλου των αυτοκινήτων να είναι ηλεκτρικά παρατηρήθηκε ότι υπάρχουν απώλειες που φτάνουν μέχρι το 40%. Ενώ το πρόβλημα παραμένει ακόμα και σε περίπτωση που η φόρτιση γίνεται το βράδυ δηλαδή στις ώρες μη-αιχμής συνεπώς

η χρονική μετατόπιση του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων δεν λύνει το πρόβλημα των απωλειών του δικτύου [28].

Όλες οι παραπάνω αρνητικές επιπτώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι πρέπει να εκμοντερνιστεί το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας προκειμένου να καταστεί ικανό να απορροφήσει και να ανταπεξέλθει στο σημαντικό φορτίο που θα προέρχεται από τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Η καλύτερη προοπτική προς αυτή την κατεύθυνση αποτελεί η μετάβαση στο έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο λόγω των χαρακτηριστικών που παρουσιάζει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΣΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

5.1 Ορισμός έξυπνου δικτύου

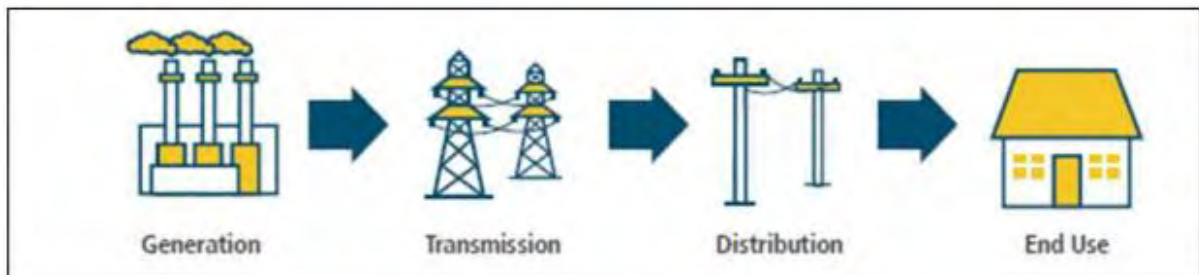
Έχουν δοθεί πολλοί ορισμοί σχετικά με το έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο καθώς είναι μια πολύ ευρεία έννοια, ωστόσο ενδεικτικά θα παρουσιάσουμε δύο ορισμούς [29]:

- Η αρμόδια επιτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης δίνει τον παρακάτω ορισμό «Έξυπνο δίκτυο είναι ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο μπορεί ενσωματώσει τη συμπεριφορά και πράξεις όλων των χρηστών που είναι συνδεδεμένοι σε αυτό, παραγωγούς, καταναλωτές και αυτούς που και παράγουν και καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια προκειμένου να εξασφαλιστεί η οικονομική αποδοτικότητα, η βιωσιμότητα σε συνδυασμό με χαμηλά επίπεδα απωλειών καθώς και υψηλός βαθμός ποιότητας και ασφάλειας της τροφοδοσίας»
- Το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ (Department Of Energy) αναφέρει «Ένα έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο χρησιμοποιεί ψηφιακή αμφίδρομη επικοινωνία, προηγμένα πληροφοριακά συστήματα, σύστημα αυτοματισμού για να εντοπίζει και να ανταποκρίνεται σε τοπικές αλλαγές στη χρήση, βελτιώνει την αποδοτικότητα της λειτουργίας του συστήματος ενώ μειώνει τα λειτουργικά κόστη και αυξάνει την αξιοπιστία του συστήματος»

5.2 Έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο

Η έννοια του παραδοσιακού ηλεκτρικού δικτύου, το οποίο αριθμεί περισσότερα από 100 χρόνια ζωής, αναφέρεται σε ένα δίκτυο που αποτελείται από σταθμούς παραγωγής ενέργειας, υποσταθμούς, μετασχηματιστές, γραμμές μεταφοράς και πολλά άλλα στοιχεία που επιτρέπουν την παραγωγή, μεταφορά & διανομή ηλεκτρικής ενέργειας προς τον τελικό καταναλωτή. Όμως με την πάροδο του χρόνου οι απαιτήσεις από το ηλεκτρικό δίκτυο αυξάνονται άρα παρουσιάζεται η ανάγκη για εκσυγχρονισμό του δικτύου.

Στην Εικόνα 40 βλέπουμε μια επισκόπηση του παραδοσιακού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας όπου υπάρχει ροή ενέργειας μονής κατεύθυνσης από τους σταθμούς παραγωγής προς τους τελικούς καταναλωτές.



Εικόνα 39: Παραδοσιακό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας [30]

Γενικότερα με τον όρο έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο αναφερόμαστε στο παραδοσιακό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας στο οποίο όμως έχει γίνει ενσωμάτωση τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών.

5.2.1 Αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά του έξυπνου δικτύου

Ορισμένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του έξυπνου δικτύου παρουσιάζονται παρακάτω [43,47] :

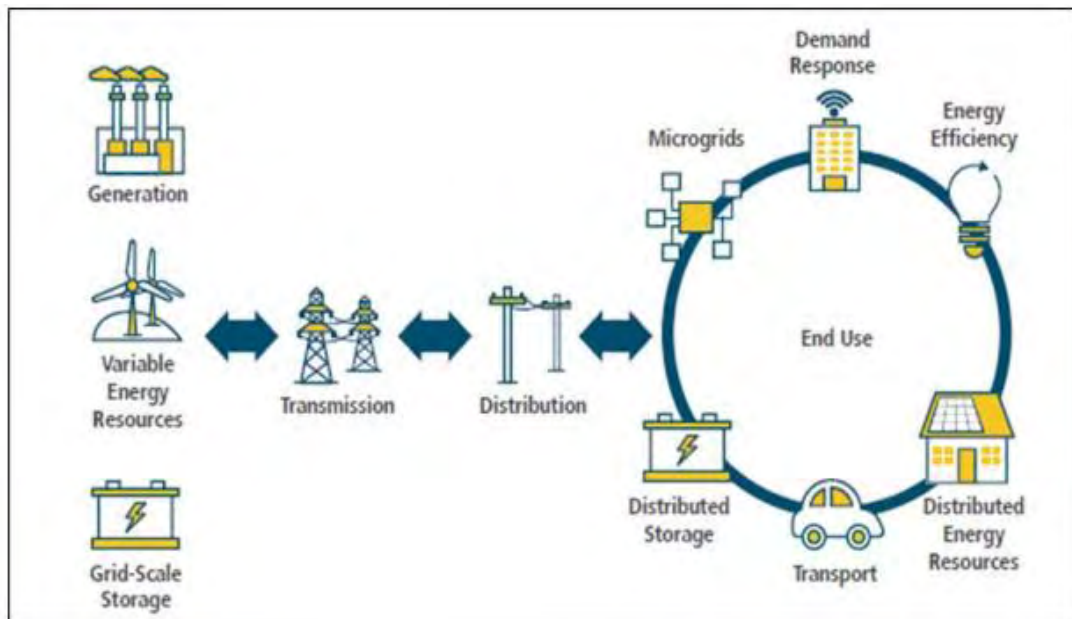
- **Advanced Metering Infrastructure (AMI)**, το οποίο αποτελείται από έξυπνους μετρητές, αισθητήρες, δίκτυα επικοινωνίας και συστήματα διαχείρισης πληροφορίας. Συλλέγει και στέλνει δεδομένα προς και από το διαχειριστή σε πραγματικό χρόνο(π.χ. κάθε 15 λεπτά) ενώ οι αισθητήρες επιτρέπουν τον καλύτερο έλεγχο ολόκληρης της δομής του έξυπνου δικτύου
- Σύστημα **SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition)**, από το σύστημα αυτό παρακολουθούνται τα δεδομένα που συλλέγονται από το AMI και μέσω αυτού στέλνονται τα διάφορα σήματα στους καταναλωτές, ενώ επίσης ο διαχειριστής μπορεί να πάρει τον έλεγχο κάποιων συσκευών του εκάστοτε πελάτη όταν θεωρείται αναγκαίο
- **Αυτόματη αποκατάσταση βλαβών - αυτό-θεραπεία (self-healing)**, το σύστημα αυτό λειτουργεί αυτοματοποιημένα και εντοπίζει τυχόν ανωμαλίες στο δίκτυο όπως υπερ-ένταση, υπερ-τάση, πτώση τάσης κλπ με τις πληροφορίες να στέλνονται στα κεντρικά και να ενεργοποιείται η αυτό-

θεραπεία όπου το δίκτυο λαμβάνει τα κατάλληλα μέτρα για την αντιμετώπιση της βλάβης χωρίς την επέμβαση του τεχνικού

- Ενσωμάτωση μικροδικτύων, με τη χρήση του έξυπνου δικτύου καθίσταται ευκολότερη η παραγωγή ηλεκτρικής αποκεντρωμένα γεγονός που οδηγεί στην καλύτερη κάλυψη των φορτίων τοπικά και μειώνει τις απώλειες
- Ιδιοπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με τη χρήση της οποίας ενθαρρύνονται οι καταναλωτές να εγκαταστήσουν μικρές οικιακές μονάδες παραγωγής ενέργειας (π.χ. φωτοβολταϊκά στη στέγη) για κάλυψη μέρους των δικών τους αναγκών αλλά και τροφοδοσίας του δικτύου σε περιπτώσεις ανάγκης
- Λειτουργία V2G, η οποία δίνει τη δυνατότητα στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα να τροφοδοτήσουν το δίκτυο με ενέργεια, για την οποία θα αφιερώσουμε μια ολόκληρη υποενότητα στη συνέχεια αυτής της εργασίας
- Απόκριση στη ζήτηση (Demand Response), η διαδικασία που ενθαρρύνει τους καταναλωτές να έχουν ενεργό συμμετοχή στο δίκτυο και τους παρέχει διάφορα κίνητρα για το σκοπό αυτό. Συνήθως ο διαχειριστής στέλνει σήμα προκειμένου ο εκάστοτε πελάτης να μειώσει το φορτίο που χρησιμοποιεί κάποιες ώρες αιχμής ή σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης και σε αντάλλαγμα μπορεί να δεχθεί μείωση του λογαριασμού του. Ουσιαστικά αποτελεί τη βάση για τη δημιουργία των διαφόρων στρατηγικών φόρτισης
- Αποθήκευση ενέργειας, θα υπάρχει η ευελιξία στην αποθήκευση ενέργειας σε περιπτώσεις όπου θα παράγεται περισσότερη ενέργεια από ότι χρειάζεται το δίκτυο, συνήθως από τις ΑΠΕ όπου δεν μπορεί να γίνει ασφαλής πρόβλεψη της παραγωγής και η ενέργεια θα αποθηκεύεται είτε σε κεντρικό (π.χ. συστήματα αντλησιοταμίευσης) επίπεδο είτε σε τοπικό επίπεδο(π.χ. συστοιχίες μπαταριών)

Στην Εικόνα 41 βλέπουμε μια ενδεικτική επισκόπηση του μελλοντικού έξυπνου δικτύου όπου υπάρχει αμφίδρομη ροή τόσο ενέργειας όσο και πληροφορίας ενώ επιπλέον η παραγωγή γίνεται τόσο από μεγάλους σταθμούς, όσο από μικροδίκτυα και ΑΠΕ ενώ υπάρχει και η δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας. Επιπλέον έχουν ενσωματωθεί τα ηλεκτρικά

αυτοκίνητα καθώς και διάφορα άλλα χαρακτηριστικά όπως η απόκριση ζήτησης και η ενεργειακή αποδοτικότητα.



Εικόνα 40: Έξυπνο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας [30]

Στον Πίνακα 3 βλέπουμε μια σύγκριση μεταξύ των χαρακτηριστικών του συμβατικού ηλεκτρικού δικτύου και του μελλοντικού έξυπνου δικτύου.

Πίνακας 2: Σύγκριση επιμέρους χαρακτηριστικών του συμβατικού με το έξυπνο ΣΗΕ

Παραδοσιακό Δίκτυο	Έξυπνο Δίκτυο
Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός	Ψηφιακός εξοπλισμός
Παραδοσιακοί μετρητές	Έξυπνοι μετρητές
Ενιαία και κατά προσέγγιση τιμολόγηση	Δυναμική και ακριβής τιμολόγηση
Μονόδρομη ροή ισχύος-πληροφορίας	Αμφίδρομη ροή ισχύος-πληροφορίας
Συγκεντρωτική παραγωγή	Διεσπαρμένη παραγωγή
Χειροκίνητη αποκατάσταση βλαβών	Σύστημα αυτό-θεραπείας
Περιορισμένη διείσδυση ΑΠΕ	Πλήρης διείσδυση ΑΠΕ
Χωρίς αποθήκευση ενέργειας	Αποθήκευση Ενέργειας

Παθητική συμμετοχή καταναλωτών	Ενεργός συμμετοχή καταναλωτών(Demand-response)
	Καταναλωτές με ιδιοπαραγωγή
	Παρακολούθηση & χειρισμοί σε πραγματικό χρόνο

5.3 Ηλεκτρικό αυτοκίνητο και έξυπνο δίκτυο

Η πορεία εδραίωσης στην αγορά των ηλεκτρικών αυτοκινήτων φαίνεται να είναι εξαρτημένη σε μεγάλο βαθμό από την αναβάθμιση του συμβατικού ηλεκτρικού δικτύου στο έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο. Σε προηγούμενα κεφάλαια αναλύθηκαν μια σειρά από λόγους για τους οποίους το υπάρχον δίκτυο δεν μπορεί να ανταπεξέλθει αν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα κατακτήσουν ένα σημαντικό κομμάτι της αγοράς. Συνεπώς μονόδρομος φαίνεται να είναι η εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων που προσφέρει το έξυπνο δίκτυο.

5.3.1 Στρατηγικές φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Στην ενότητα 4.3 αναλύσαμε τις πιθανές αρνητικές επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρουν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα στο ηλεκτρικό δίκτυο λόγω της ανεξέλεγκτης φόρτισης δίχως στρατηγική. Πρέπει ωστόσο να περιγράψουμε τα διαθέσιμα είδη στρατηγικών φόρτισης καθώς είναι προαπαιτούμενα βήματα μέχρις ότου να υλοποιηθεί η έξυπνη φόρτιση και μετέπειτα η αμφίδρομη V2G διαδικασία. Οι στρατηγικές φόρτισης κατηγοριοποιούνται ως εξής [48,49]:

- Ανεξέλεγκτη στρατηγική φόρτισης (Dumb Charging), σε αυτή την περίπτωση ο εκάστοτε κάτοχος ηλεκτρικού αυτοκινήτου συνδέει το όχημα του όποτε επιθυμεί στο δίκτυο. Αυτό έχει ως συνέπεια συνήθως να επιλέξει να φορτίσει το όχημα του κατά τις περιόδους αιχμής του δικτύου οι οποίες είναι συμπίπτουν με τις ώρες επιστροφής από τη δουλειά στο σπίτι καθώς και η άφιξη στο χώρο εργασίας. Όταν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα φτάσουν σε υψηλά επίπεδα διείσδυσης στην αγορά ακολουθώντας αυτή τη στρατηγική αναμένεται να επιβαρυνθεί

σημαντικά το δίκτυο και συγκεκριμένα το φορτίο αιχμής με αποτέλεσμα να προκληθούν σφάλματα στο δίκτυο





- Στρατηγική πολλαπλών τιμολογιακών διαστημάτων (Multiple Tariff Charging), σε αυτή την περίπτωση ο διαχειριστής του δικτύου ορίζει διαφορετικές τιμολογιακές ζώνες κατά τη διάρκεια της ημέρας προκειμένου να ωθήσει τους κατόχους ηλεκτρικών αυτοκινήτων να αλλάξουν τα ωράρια φόρτισης που ακολουθούν. Για παράδειγμα μπορεί να θεσπίσει μια ζώνη χαμηλής τιμής, μια ζώνη μεσαίας τιμής και μια ζώνη υψηλής τιμής οι οποίες θα αφορούν τις νυχτερινές ώρες, τις ώρες μη αιχμής μέσα στην μέρα και τις ώρες αιχμής αντίστοιχα. Στόχος είναι να δώσει κίνητρο στους οδηγούς να φορτίσουν τα αυτοκίνητα τους στις ώρες μη αιχμής και κατά συνέπεια να μειωθεί η επιβάρυνση του δικτύου. Παράλληλα θα επωφεληθούν οικονομικά οι οδηγοί λόγω της χαμηλότερης τιμής ζώνης που θα επιλέξουν. Πολλές φορές ωστόσο δεν είναι αρκετή για να βελτιωθεί η κατάσταση του δικτύου καθώς ενδέχεται να μετατοπίσει τις ώρες φορτίου αιχμής, αν φορτίζονται και πάλι ταυτόχρονα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα
- Γέμισμα Κοιλιάδας (Valley Filling), η στρατηγική αυτή πήρε την ονομασία της εξαιτίας του βασικού στόχου της, ο οποίος είναι η μετατόπιση του φορτίου των ηλεκτρικών αυτοκινήτων σε περιόδους μη αιχμής έτσι ώστε οι κοιλότητες της καμπύλης φορτίου να παρουσιάζουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ομοιομορφία και να μην υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις. Η στρατηγική αυτή βασίζεται κατά πολύ στο γεγονός ότι κατά τις νυκτερινές ώρες η πλειοψηφία των αυτοκινήτων βρίσκεται σταθμευμένη ενώ παράλληλα η κατανάλωση ενέργειας από το δίκτυο είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα.
- Έξυπνη φόρτιση (Smart Charging), ονομάζεται αλλιώς και διαδικασία V1G για την οποία απαραίτητη είναι η χρήση τεχνολογιών που θα χρησιμοποιούνται στο έξυπνο δίκτυο όπως το Advanced Metering Infrastructure καθώς και η αμφίδρομη επικοινωνία με το διαχειριστή σε πραγματικό χρόνο. Στόχος της έξυπνης φόρτισης είναι η βελτιστοποίηση της διαδικασίας φόρτισης με στόχο την αποφυγή υπερφόρτωσης δικτύου διανομής του εκάστοτε συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και η

ικανοποίηση του εκάστοτε οδηγού. Πιο συγκεκριμένα, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα φορτίζονται τις ώρες όπου η ζήτηση φορτίου ή/και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι στα χαμηλότερα επίπεδα. Συνεπώς θα αποφεύγεται η φόρτιση στις ώρες φορτίου αιχμής, ή θα φορτίζονται όταν θα υπάρχει πλεόνασμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας η οποία δεν θα χρησιμεύει στο δίκτυο, συνήθως από τις ΑΠΕ όπως θα δούμε παρακάτω. Για να επιτευχθεί αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνικές που προϋποθέτουν την σύνδεση του οχήματος με το δίκτυο όμως το πότε θα τροφοδοτηθεί με ενέργεια αποφασίζεται με τους δύο παρακάτω τρόπους:

- i. Άμεσος έλεγχος της φόρτισης από το διαχειριστή, δηλαδή ο διαχειριστής θα κρίνει το πότε και με ποιον ρυθμό θα φορτιστεί το αυτοκίνητο προκειμένου να μην επιβαρύνει το δίκτυο
- ii. Έμμεσος έλεγχος φόρτισης από το διαχειριστή, στην περίπτωση αυτή το αυτοκίνητο θα διαθέτει μια έξυπνη συσκευή η οποία θα «διαβάζει» τα σήματα τιμής που θα λαμβάνει από το διαχειριστή και θα ενεργοποιεί και θα απενεργοποιεί τη διαδικασία φόρτισης αυτόματα

Βασική Προϋπόθεση των παραπάνω θα είναι το αυτοκίνητο να είναι διαθέσιμο να κινηθεί οποιαδήποτε ώρα το χρειαστεί ο κάτοχος του. Συνεπώς θα πρέπει να ακολουθούνται αυστηρά οι όροι που έχουν συμφωνηθεί μεταξύ οδηγού-διαχειριστή σχετικά με τον έλεγχο της φόρτισης.

Στην Εικόνα 42 βλέπουμε μελέτες οι οποίες πραγματοποιήθηκαν από διάφορους οργανισμούς υπό διαφορετικά σενάρια εργασίας. Παρατηρούμε ότι, σε όλες τις περιπτώσεις έχει επιτευχθεί μείωση του φορτίου αιχμής σε σημαντικό βαθμό, με την υλοποίηση της έξυπνης στρατηγικής φόρτισης.

 Study	 Scenario	 Uncontrolled charging	 Smart charging
IRENA	50% penetration in an isolated system with 27% solar share	↑9% increase in peak load 0.5% solar curtailment	↑5% increase in peak load (V2G) Down to 0% curtailment
RMI, 2016	23% penetration US (California, Hawaii, Minnesota, New York, Texas)	↑11% increase in peak load	↑1.3% increase in peak load (V1G)
Taljegard, 2017	100% penetration Denmark, Germany, Norway & Sweden	↑20% increase in peak load	↓7% decrease in peak load (V2G)
Chen and Wu, 2018	1 MILLION EVs in Guanzhou region, China	↑15% increase in peak load	↓43-50% reduction in valley/peak difference

Εικόνα 41: Dumb Charging VS Smart Charging [31]

5.3.2 Ανάλυση διαδικασίας V2G (Vehicle 2 Grid)

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα στο υπάρχον δίκτυο λειτουργούν κατά κύριο λόγο ως συσσωρευτές που φορτίζονται από το δίκτυο και εκφορτίζονται κατά τη διάρκεια των μετακινήσεων από τους κατόχους τους. Στο συμβατικό δίκτυο λοιπόν χρησιμοποιήθηκε αρχικά η λειτουργία V2G μονής κατεύθυνσης (uni-directional V2G) η οποία διαμόρφωνε το ρυθμό φόρτισης των αυτοκινήτων από το δίκτυο με τη χρήση των συμβατικών φορτιστών, οι οποίοι ενισχύονταν από μια διάταξη για επικοινωνία, χωρίς ωστόσο να έχουν όλα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα τη δυνατότητα αυτή.

Με την υλοποίηση του έξυπνου δικτύου και την εφαρμογή της διαδικασίας V2G με αμφίδρομη (bi-directional) επικοινωνία & ροή ισχύος, τα αποτελέσματα μπορούν να βελτιστοποιηθούν. Η αμφίδρομη V2G διαδικασία είναι επωφελής αρχικά ως προς το δίκτυο, με την παροχή ενέργειας προς αυτό καθώς και με την αποθήκευση ενέργειας σε περιόδους που υπάρχει πλεόνασμα από την παραγωγή. Όπως επίσης και προς τους κατόχους ηλεκτρικών αυτοκινήτων,

καθώς μπορεί να τους προσφέρει επιπλέον έσοδα από την παροχή ενέργειας στο δίκτυο. Συνεπώς είναι μια επέκταση της έξυπνης στρατηγικής φόρτισης και περιλαμβάνει πολλές από τις λειτουργίες της.

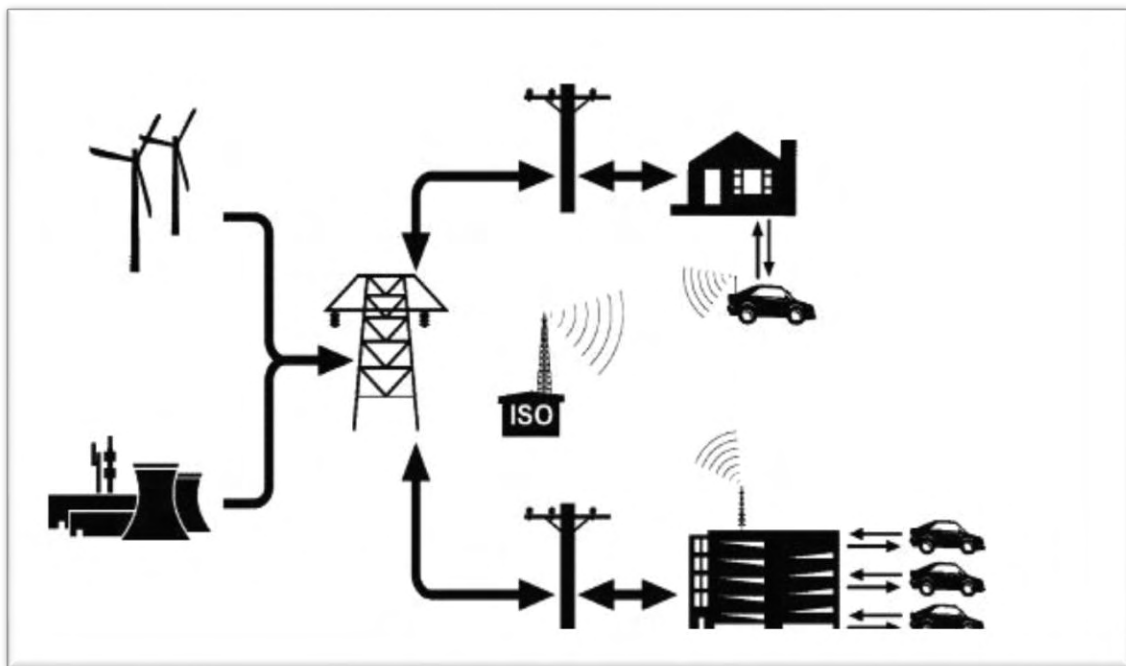
Πιο συγκεκριμένα όμως με τον όρο αμφίδρομη V2G αναφερόμαστε στην πλήρως ελεγχόμενη ροή ηλεκτρικής ενέργειας από το ηλεκτρικό αυτοκίνητο προς το δίκτυο, σύμφωνα με την οποία τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα λειτουργούν ως διεσπαρμένες πηγές ενέργειας τις ώρες που είναι σταθμευμένα και παύουν να είναι απλά μεταφορικά μέσα. Σύμφωνα με έρευνες, το 92% των οχημάτων βρίσκεται σε καθεστώς ακινησίας ακόμα και τις ώρες αιχμής κατά τη διάρκεια της ημέρας, άρα είναι διαθέσιμα για χρήση του ως πηγή ενέργειας αλλά και ως συσκευή αποθήκευσης από το διαχειριστή. Για τη διαδικασία V2G απαιτούνται δύο συνδέσεις με το δίκτυο :

- Σύνδεση ισχύος, μέσω της οποίας γίνεται η αμφίδρομη ροή ενέργειας κατά της διαδικασία της φόρτισης από το δίκτυο και της διαδικασίας εκφόρτισης στο δίκτυο
- Σύνδεση ελέγχου, μέσω της οποίας θα στέλνονται και θα αναλύονται τα σήματα (π.χ. απαίτηση για άμεση παροχή ενέργειας στο δίκτυο) που στέλνονται καθώς επίσης θα γίνεται καταγραφή του ποσού ενέργειας που μεταφέρεται

Τα ηλεκτρονικά ισχύος που θα διαθέτουν τα ηλεκτρικά οχήματα θα πρέπει να υποστηρίζουν τη διαδικασία αμφίδρομης V2G, συνεπώς να μπορούν μετατρέπουν τη συνεχή τάση που παρέχει η μπαταρία του εκάστοτε αυτοκινήτου σε εναλλασσόμενη τάση που χρησιμοποιεί το δίκτυο, δηλαδή να εκτελούν την αντίστροφη διαδικασία από αυτή της φόρτισης. Επίσης κάθε όχημα θα διαθέτει on-board έξυπνο σύστημα επικοινωνίας σύμφωνα με το οποίο θα γίνεται ο γεωγραφικός προσδιορισμός του, καθώς επίσης και η συνολική μεταφορά ενέργειας από και προς το αυτοκίνητο προκειμένου να γίνεται η ακριβής τιμολόγηση. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι ζωτικής σημασίας για τη διαδικασία V2G καθώς ο διαμεσολαβητής θα πρέπει να παρακολουθεί και να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή την τοποθεσία, τη διαθέσιμη ποσότητα ενέργειας όπως και την στάθμη φόρτισης των μπαταριών των αυτοκινήτων που βρίσκονται υπό

την επίβλεψη του ενώ από την άλλη πλευρά θα μπορεί να τους μεταβιβάσει σήματα στο αυτοκίνητο και κατ' επέκταση στον οδηγό, όπως για παράδειγμα την τιμή της κιλοβατώρας [43,48,50]

Στην Εικόνα 42 βλέπουμε μια μελλοντική συνολική απεικόνιση της διαδικασίας V2G σε ένα έξυπνο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας όπου η ροή πληροφορίας και ενέργειας που γίνεται από και προς το δίκτυο είναι αμφίδρομη όπως φαίνεται



Εικόνα 42: Διάγραμμα διαδικασίας V2G [32]

Αναφέραμε παραπάνω την έννοια του διαμεσολαβητή (aggregator), τι είναι όμως ο διαμεσολαβητής; Διαμεσολαβητής είναι εκείνος που θα έχει υπό την επίβλεψη του έναν στόλο ηλεκτρικών αυτοκινήτων και θα ακολουθεί ιεραρχική δομή. Πιο συγκεκριμένα θα υπάρχει διαμεσολαβητής σε τοπικό επίπεδο, όπως για παράδειγμα ο διαχειριστής ενός μεγάλου σταθμού parking ή ακόμα και σε επίπεδο μίας πόλης όπου θα έχει υπό την επίβλεψη του όλα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα της πόλης. Έπειτα θα υπάρχει ο κεντρικός διαμεσολαβητής που θα επικοινωνεί με το διαχειριστή του δικτύου και τους τοπικούς διαμεσολαβητές. Η αρμοδιότητα του θα είναι να επικοινωνεί με τον κεντρικό διαχειριστή του συστήματος ηλεκτρικής

ενέργειας και να μεταφέρει τα εκάστοτε σήματα από και προς τα χαμηλότερα επίπεδα έως ότου τα σήματα φτάσουν σε κάθε ένα αυτοκίνητο υπό την επίβλεψη του τοπικού διαμεσολαβητή, ενώ αντίστοιχα τα σήματα από τα αυτοκίνητα στον κεντρικό διαχειριστή. Σκοπός της χρήσης του διαμεσολαβητή είναι να αφαιρέσει από τον κεντρικό διαχειριστή του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας την ανάγκη να επικοινωνεί με κάθε ένα από τα εκατομμύρια ηλεκτρικά οχήματα του δικτύου ξεχωριστά. Άρα συμπεραίνουμε ότι ο ρόλος του διαμεσολαβητή είναι να δημιουργήσουν & να διαχειρίζονται επιμέρους στόλους που θα περιλαμβάνουν χιλιάδες μονάδες ηλεκτρικών αυτοκινήτων ώστε να γίνει ευκολότερη η διαχείρισή τους [45,49].

Στην Εικόνα 43 βλέπουμε μια επισκόπηση ενός έξυπνου δικτύου με τα δύο επίπεδα διαμεσολαβητή αυτό του τοπικού επιπέδου και αυτού του κεντρικού επιπέδου.



Εικόνα 43: Λειτουργία του διαμεσολαβητή

Επιπρόσθετα ένα χρόνιο πρόβλημα που αντιμετωπίζει το συμβατικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας βρίσκει λύση με την μετάβαση στο έξυπνο δίκτυο, αυτό της αποθήκευσης ενέργειας. Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας όπως για παράδειγμα η αντλησιοταμίευση, το σύστημα συμπίεσης αέρα, οι σφόνδυλοι, οι υπερπυκνωτές και οι μπαταρίες. Όλες οι κατηγορίες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων διαθέτουν μπαταρίες, συνεπώς με την υλοποίηση τη αμφίδρομης V2G διαδικασίας όλα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα που υπάρχουν στο δίκτυο θα μπορούν να θεωρηθούν ως διεσπαρμένες συσκευές αποθήκευσης ενέργειας. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της ανάγκης για εκτεταμένη επένδυση σε άλλες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας συνεπώς και θα περιοριστεί το κόστος για τις υποδομές του δικτύου για την υπηρεσία κοινής ωφέλειας.

5.3.3 Πλεονεκτήματα της αμφίδρομης V2G διαδικασίας

Στην ενότητα αυτή θα αναλύσουμε τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη διαδικασία V2G κυρίως ως προς το δίκτυο αλλά και προς την πλευρά του εκάστοτε ιδιοκτήτη ηλεκτρικού αυτοκινήτου.

➤ Πλεονεκτήματα που αφορούν το δίκτυο

Τα πλεονεκτήματα σχετικά με το δίκτυο μπορούν να διαχωριστούν σε αυτά της ενίσχυσης της αξιοπιστίας του δικτύου και την αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ

1. Ενίσχυση αξιοπιστίας του δικτύου

Η αμφίδρομη διαδικασία V2G μπορεί να ενισχύσει το δίκτυο με μια σειρά από τρόπους τους οποίους θα αναλύσουμε παρακάτω

i. Επικουρικές υπηρεσίες [43,50,51]:

Με τον όρο επικουρικές υπηρεσίες αναφερόμαστε στις βοηθητικές υπηρεσίες που παρέχονται στο δίκτυο με σκοπό την αύξηση της αξιοπιστίας και της βιωσιμότητας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα παρέχουν επικουρικές υπηρεσίες μέσω της αμφίδρομης V2G διαδικασίας με δύο τρόπους.

- Ο πρώτος είναι αυτός της στρεφόμενης εφεδρείας (spinning-reserve), δηλαδή της παροχής ισχύος στο δίκτυο σε μικρό χρονικό διάστημα από την στιγμή του αιτήματος από το διαχειριστή (π.χ. 10 λεπτά). Ουσιαστικά οι κάτοχοι των ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα πληρώνονται για την παροχή στρεφόμενης εφεδρείας απλά και μόνο αν έχουν συνδεδεμένα τα οχήματά τους με το δίκτυο όντας έτοιμα να προσφέρουν ενέργεια. Συνήθως η στρεφόμενη εφεδρεία καλείται σπάνια από ένα δίκτυο άρα τα ηλεκτρικά οχήματα δεν θα προσφέρουν πραγματικά ενέργεια στο δίκτυο δηλαδή οι μπαταρίες τους θα παραμένουν φορτισμένες τις περισσότερες φορές και δεν θα προκαλείται πρόβλημα στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας
- Η δεύτερη μορφή επικουρικής υπηρεσίας είναι αυτή της ρύθμισης της συχνότητας (frequency regulation) ή συντομότερα ρύθμιση (regulation) του δικτύου μέσω της εξισορρόπησης της παραγωγής με τη ζήτηση. Σε αυτή την περίπτωση γίνεται ακόμα πιο κατανοητή η ανάγκη του έξυπνου δικτύου καθώς ο διαχειριστής πρέπει να έχει επικοινωνία με το εκάστοτε όχημα σε πραγματικό χρόνο έτσι ώστε να έχει τη δυνατότητα να ανταποκριθεί στο αίτημα σε μικρό χρονικό διάστημα (π.χ. 1 λεπτό). Η υπηρεσία αυτή πολύ συχνά χωρίζεται σε δύο μέρη, την άνω ρύθμιση (regulation up) και την κάτω ρύθμιση (regulation down). Στην άνω ρύθμιση είτε αυξάνεται η ροή ισχύος προς το δίκτυο μέσω της διαδικασίας V2G ή στέλνεται σήμα για μείωση του ρυθμού φόρτισης των μπαταριών από το δίκτυο. Στην κάτω ρύθμιση γίνονται οι αντίστροφες λειτουργίες, δηλαδή είτε μειώνεται η ροή ισχύος προς το δίκτυο μέσω της V2G διαδικασίας είτε αυξάνεται ο ρυθμός φόρτισης των μπαταριών. Συνήθως γίνεται κάποιος συνδυασμός των δύο αυτών ρυθμίσεων με αποτέλεσμα οι μπαταρίες να αποφορτίζονται κατά ένα πολύ μικρό ποσοστό γεγονός που δεν επηρεάζει τη διάρκεια ζωής των μπαταριών.

ii. Κάλυψη της ισχύος αιχμής (peak shaving) [43,50]:

Συνήθως η καμπύλη φορτίου του εκάστοτε ηλεκτρικού δικτύου φτάνει στο μέγιστο της, δηλαδή σε κατάσταση αιχμής για ένα μικρό χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια μιας ημέρας, ωστόσο για να καλυφθεί αυτή η

ανάγκη στο συμβατικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ενεργοποιούνται ειδικές μονάδες παραγωγής με αρκετά υψηλό κόστος παραγωγής. Όμως στο έξυπνο δίκτυο μπορεί να επιτευχθεί η ομαλοποίηση της καμπύλης φορτίου μέσω της κάλυψης της ισχύος αιχμής (peak shaving) με διάφορους τρόπους, όπως για παράδειγμα με την απόκριση στη ζήτηση (Demand-Response) που αναφέραμε παραπάνω αλλά και από τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, μέσω της αμφίδρομης διαδικασίας V2G και την παροχή ισχύος από το αυτοκίνητο στο δίκτυο.

iii. Αντιστάθμιση άεργου ισχύος (Reactive power compensation) [28]:

Στο συμβατικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας η αντιστάθμιση άεργου ισχύος γίνεται με την εγκατάσταση κάποιων ειδικών αντισταθμιστικών διατάξεων οι οποίες παρέχουν την απαιτούμενη άεργο ισχύς έτσι ώστε να επιτευχθεί η ρύθμιση της τάσης και του συντελεστή ισχύος στο δίκτυο. Με την μετάβαση στο έξυπνο δίκτυο και την εφαρμογή της αμφίδρομης διαδικασίας V2G η αντιστάθμιση άεργου ισχύος γίνεται με χρήση των φορτιστών που θα χρησιμοποιούνται για την φόρτιση με συνεχές ρεύμα από το δίκτυο, οι οποίοι θα υποστηρίζουν την αμφίδρομη ροή ισχύος καθώς θα έχουν και ενσωματωμένη μονάδα ελέγχου.

2. Καλύτερη ενσωμάτωση των ΑΠΕ [43,48,50]:

Με την αμφίδρομη διαδικασία V2G δίνεται η δυνατότητα για μεγαλύτερη ενσωμάτωση των ΑΠΕ καθώς λειτουργούν ως αντισταθμιστικός παράγοντας. Η πρόβλεψη της παραγωγής ισχύος από ΑΠΕ δεν μπορεί να επιτευχθεί με μεγάλη ακρίβεια ειδικά στην περίπτωση της αιολικής ενέργειας. Συνεπώς τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα λύνουν αυτό το ζήτημα καθώς μπορούν να φορτίζονται τις περιόδους κατά τις οποίες η παραγωγή ενέργειας από τις ΑΠΕ βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα και το δίκτυο δεν χρειάζεται την παραπάνω ενέργεια, συνεπώς θα λειτουργούν ως συσκευές αποθήκευσης. Από την άλλη πλευρά σε περιόδους όπου η παραγωγή ενέργειας από τις ΑΠΕ είναι σε χαμηλά επίπεδα και δεν επαρκεί για να καλυφθεί η ανάγκη του δικτύου σε ενέργεια τότε τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα παρέχουν τη συμπληρωματική ισχύς που απαιτείται.

➤ Πλεονεκτήματα που αφορούν τον ιδιοκτήτη ηλεκτρικού αυτοκινήτου [33]:

1. Οικονομικά κίνητρα

Τα κίνητρα τα οποία θα δίδονται στους κατόχους των ηλεκτρικών αυτοκινήτων προκειμένου να δελεαστούν και να συμμετέχουν στο εγχείρημα της V2G διαδικασίας θα είναι κατά κύριο λόγο οικονομικά. Σύμφωνα με [33] και την υλοποίηση ενός αλγορίθμου πρόβλεψης του οφέλους του ιδιοκτήτη, αυτό εκτιμάται να φτάνει μέχρι και τα 300\$ τον μήνα συμπεριλαμβανομένου του κόστους για τον ανεφοδιασμό για τις καθημερινές του μετακινήσεις.

2. Οικιακή συσκευή αποθήκευσης ενέργειας

Όπως προαναφέραμε στο έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο θα προωθείται η ιδιοπαραγωγή από οικιακές μονάδες παραγωγής ενέργειας για κάλυψη μέρους των αναγκών του εκάστοτε σπιτιού αλλά και παροχής ισχύος στο δίκτυο. Επειδή οι μονάδες αυτές συνήθως θα είναι από ΑΠΕ και δεν μπορεί να προβλεφθεί η παραγωγή τους με ακρίβεια θα μπορεί το ηλεκτρικό αυτοκίνητο να παίζει το ρόλο τις επιπλέον οικιακής συσκευής αποθήκευσης ενέργειας πέραν αυτής που θα υπάρχει στο σπίτι. Ειδικότερα σε περιόδους που το δίκτυο δεν θα χρειάζεται ενέργεια και οι συσκευές αποθήκευσης ενέργειας του σπιτιού είναι γεμάτες ή μπορεί να υπάρξει κάποια δυσλειτουργία με την διαδικασία V2G, η παραπάνω παραγόμενη ενέργεια δεν θα χαθεί αλλά θα αποθηκευτεί στο ηλεκτρικό αυτοκίνητο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε εκτενώς το ηλεκτρικό αυτοκίνητο καθώς και οι προοπτικές του στο έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο. Κυρίαρχες κατηγορίες της αγοράς είναι και αναμένονται να είναι τα αμιγώς ηλεκτρικά αυτοκίνητα και τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Αναλύθηκαν οι διάφοροι τύποι μπαταριών που υπάρχουν και οδηγήθηκα στο συμπέρασμα ότι οι μπαταρίες ιόντων λιθίου θα κυριαρχήσουν στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ενώ καλές προοπτικές παρουσιάζει ο συνδυασμός των μπαταριών με άλλα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας όπως ο σφόνδυλος και οι υπερ-πυκνωτές. Στη συνέχεια κατέληξα ότι παρά την πολλά υποσχόμενη επαγωγική φόρτιση και την ακριβή ανταλλαγή μπαταρίας η ενσύρματη φόρτιση θα είναι κυρίαρχη. Για το σκοπό αυτό αναπτύσσονται όλο και περισσότερο οι διάφορες τεχνολογίες γρήγορης φόρτισης, με την φόρτιση με συνεχές ρεύμα να είναι κομμάτι κλειδί για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα στο μέλλον, αφού θα μειώσει το χρόνο ανεφοδιασμού της μπαταρίας και θα τα καταστήσει παρόμοια με τα συμβατικά αυτοκίνητα. Επίσης γίνεται προσπάθεια να ενοποιηθούν και να είναι κοινά τα πρότυπα καθώς και τα διάφορα στοιχεία που αφορούν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα όπως οι φορτιστές και οι μέθοδοι φόρτισης, για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν κοινά πρότυπα από τους σημαντικότερους οργανισμούς του χώρου, όπως το Combined Charging System. Οι επιδράσεις των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, αν και όταν αποκτήσουν σημαντικό μερίδιο αγοράς, αναμένεται να είναι ποικίλες, τόσο θετικές όσο και αρνητικές, κυριότερες είναι οι οικονομικές, οι περιβαλλοντικές και οι επιδράσεις στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο φέρεται να είναι ανίκανο να διαχειριστεί το φορτίο από έναν μεγάλο στόλο ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Για το λόγο αυτό αναγκαία συνθήκη φαίνεται να είναι η μετάβαση στο έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο για την εκμετάλλευση διαφόρων χαρακτηριστικών του όπως η έξυπνη στρατηγική φόρτισης καθώς και η αμφίδρομη διαδικασία Vehicle 2 Grid. Επίσης το ηλεκτρικό αυτοκίνητο θα παρέχει επικουρικές υπηρεσίες στο δίκτυο, θα βοηθήσει στην

ευρύτερη ένταξη των ΑΠΕ στο δίκτυο ενώ επίσης θα προσφέρει οφέλη στους κατόχους ηλεκτρικών αυτοκίνητων όπως οικονομικά με την μείωση του λογαριασμού του ηλεκτρικού ρεύματος όταν τροφοδοτούν το δίκτυο με ενέργεια, μέσω του αυτοκίνητου τους και της διαδικασίας V2G. Τέλος λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω καταλήγω στο συμπέρασμα ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι μια εξαιρετική εναλλακτική λύση για το πρόβλημα της μόλυνσης του περιβάλλοντος από το τομέα των μεταφορών, ενώ με την υλοποίηση του έξυπνου δικτύου και την ενσωμάτωση των ΑΠΕ θα ωφεληθεί και το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] C. Thompson, «How the electric car became the future of transportation,» *Business Insider*, 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.businessinsider.com/electric-car-history-2017-5>.
- [2] J. Larminie και J. Lowry, *Electric Vehicle Technology Explained*, Sussex: John Wiley & Sons, LTD, 2003.
- [3] «Electric-Car,» *Wikipedia*, [Ηλεκτρονικό]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_car.
- [4] M. Dijk, R. Orsato και R. Kemp, «The emergence of an electric mobility trajectory,» *Energy Policy*, 2013.
- [5] «Regenerative Braking,» *Wikipedia*, [Ηλεκτρονικό]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Regenerative_brake.
- [6] B. Rich, «Electric Cars: Defining Battery-Electrics, Plug-In Hybrids, Range Extended & More,» *greencarreports*, 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.greencarreports.com/news/1098066_electric-cars-defining-battery-electrics-plug-in-hybrids-range-extended-more.
- [7] Ε. Διαλύνας, «ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΡΟΠΩΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ,» ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ, ΑΘΗΝΑ, 2012.
- [8] Γ. Αγερίδης, *Τρέχουσες Τεχνολογίες Ηλεκτρικών Οχημάτων και Θεσμικό Πλαίσιο στην Ελλάδα*, ΤΕΙ Πειραιά, 2015.
- [9] K. Chau και Y. Wong, «Overview of power management in hybrid electric vehicles,» *Energy Conversion and Management*, pp. 1953-1968, 2002.

- [10] D. Yousfi, A. Elbacha και A. A. Ouahman, *Efficient Sensorless PMSM Drive for Electric Vehicle Traction Systems*, Marocco, 2011.
- [11] «How a Hydrogen Fuel Cell Vehicle Works,» HyGen, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.hygen.com/how-a-hydrogen-fuel-cell-vehicle-works/>.
- [12] C. Gable και S. Gable, «How Electric Motors and Generators Work,» ThoughtCo, 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.thoughtco.com/how-electric-motors-and-generators-work-85463>.
- [13] Ν. Σπυρίδων και Ρ. Ι. Janocha, *Ανάλυση δομής και λειτουργίας ηλεκτρικού οχήματος*, ΤΕΙ Πειραιά, 2014.
- [14] Κ. Γ. ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ, "ΔΙΑΤΑΞΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ", ΠΑΤΡΑ, 2013.
- [15] M. Hannan, M. Hoque, A. Mohamed και A. Ayob, «Review of energy storage systems for electric vehicle applications: Issues and challenges,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 771-789, 2017.
- [16] A. Shukla, S. Venugopalan και B. Hariprakash, «Nickel-based rechargeable batteries,» *JOURNAL OF POWER SOURCES*, pp. 125-148, 2001.
- [17] T. M. O'Sullivan, C. M. Bingham και R. E. Clark, *Zebra Battery Technologies for the All Electric Smart Car*, International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 2006.
- [18] M. U. Al, A. Zafar, S. H. Nengroo, S. Hussain, M. J. Alvi και H.-J. Kim, «Towards a Smarter Battery Management System for Electric Vehicle Applications: A Critical Review of Lithium-Ion Battery State of Charge Estimation,» *Energies*, 2019.
- [19] H. Shareef, M. M. Islam και A. Mohamed, «A review of the stage-of-the-art charging technologies, placement methodologies, and impacts of electric vehicles,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 403-420, 2016.

- [20] M. C. Falvo, D. Sbordone, S. Bayram και M. Devetsikiotis, «EV Charging Stations and Modes : International Standards,» IEEE, Ischia, Italy, 2014.
- [21] Ν. Τσάδαρης, «Η BMW i λανσάρει πρώτη παγκοσμίως την ασύρματη φόρτιση αυτοκινήτων,» newsbeast, 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.newsbeast.gr/car/arthro/3701048/i-bmw-i-lansari-proti-pagkosmios-tin-asirmati-fortisi-aftokiniton>.
- [22] «Σουηδία: Εγκαινιάστηκε ο πρώτος ηλεκτροδοτούμενος δρόμος για την φόρτιση αυτοκινήτων,» energypress, 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://energypress.gr/news/soyidia-egkainiastike-o-protos-ilektrodotoymenos-dromos-gia-tin-fortisi-aytokiniton>.
- [23] D. J. Ferris, «NIO's electric car battery swapping station looks to pick up where Tesla left off,» teslarati, 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.teslarati.com/nio-battery-swapping-station-power-swap/>.
- [24] Δ.-Σ. Θανασιά και Π. Τσάκαλος, *Τεχνολογίες σύνδεσης οχημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο*, ΤΕΙ Πειραια, 2012.
- [25] Δ. Νέγκας, «Τα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα και ο ανεφοδιασμός τους με Ηλεκτρική Ενέργεια,» ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ – ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο., Αθήνα, 2011.
- [26] «Combined_Charging_System,» Wikipedia, [Ηλεκτρονικό]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Combined_Charging_System.
- [27] B. Gerrard, «2018 Was A Huge Year For Electric Vehicles (In Charts),» Medium Corporation, 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://medium.com/@braydeng/2018-was-a-huge-year-for-electric-vehicles-in-charts-b6aad055bdf>.
- [28] J. Y. Yong, V. Ramachandaramurthy, K. M. Tan και N. Mithulanathan, «A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 365-385, 2015.

- [29] «Smart Grid,» Wikipedia, [Ηλεκτρονικό]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_grid#Definition_of_%22smart_grid%22.
- [30] Q. E. R. (. T. Force, *TRANSFORMING THE NATION'S ELECTRICITY SYSTEM: THE SECOND INSTALLMENT OF THE QER*, 2017.
- [31] I. R. E. A. IRENA, «INNOVATION OUTLOOK: SMART CHARGING FOR ELECTRIC VEHICLES,» IRENA, 2019.
- [32] W. Kempton και J. Tomic', «Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue,» *Journal of Power Sources*, 2005.
- [33] H. P. Agrawal, P. Pani, A. Athreya, A. Panday και H. O. Bansal, «Integration of the Vehicle-to-Grid Technology,» 2015.
- [34] O. Momoh και M. Omoigui, «An Overview of Hybrid Electric Vehicle Technology,» IEEE, Dearborn, USA, 2009.
- [35] Α. Θανόπουλος, *Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα και Συστήματα Τροφοδοσίας τους*, ΕΜΠ, Αθήνα, 2016.
- [36] C. Gable και S. Gable, «Inverters and Converters in Hybrids and EV,» ThoughtCo, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.thoughtco.com/how-inverters-and-converters-work-85612>.
- [37] M. e. v. team, *A Guide to Understanding Battery Specifications*, 2008.
- [38] «Lead-Acid Battery,» Wikipedia, [Ηλεκτρονικό]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Lead%E2%80%93acid_battery.
- [39] K. Chau, Y. Wong και C. Chan, «An overview of energy sources for electric vehicles,» *Energy Conversion & Management*, pp. 1021-1039, 1999.
- [40] D. Kumara, S. K. Rajouriab, S. Kuhar και D. Kanchan, «Progress and prospects of sodium-sulfur batteries: A review,» *Solid State Ionics*, pp. 8-16, 2017.

- [41] Cord-H.Dustmann, «Advances in ZEBRA batteries,» *JOURNAL OF POWER SOURCES*, 2004.
- [42] X. Chen, S. Weixiang, T. V. Thanh, C. Zhenwei και K. Ajay, «An Overview of Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles,» IEE, Hawthorn- Australia, 2012.
- [43] P. Gu, Z. Mingbo, Z. Qunxing, X. Xiao, X. Huaiguo και P. Huan, «Rechargeable zinc–air batteries: a promising way to green energy,» *Journal of Materials Chemistry A* , 2017.
- [44] L. Lu, X. Han, J. Li, J. Hua και O. Minggao, «A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles,» *Journal of Power Sources*, pp. 272-288, 2013.
- [45] «Επίσημη ιστοσελίδα της CHAdeMO Association,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.chademo.com/>.
- [46] ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο, «ΕΥΡΩΠΑΙΟΙ ΚΑΙ ΑΜΕΡΙΚΑΝΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΕΣ ΣΥΜΦΩΝΟΥΝ ΣΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΝΙΑΙΟΥ ΤΥΠΟΥ ΥΠΟΔΟΧΩΝ ΚΑΙ ΑΚΡΟΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΡΙΚΩΝ ΤΟΥΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ (COMBO SYSTEM),» 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.heliev.gr/wp-content/uploads/2017/11/Combo-Charging-System.pdf>.
- [47] «Επίσημη ιστοσελίδα της IEC,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.iec.ch/>.
- [48] «Επίσημη ιστοσελίδα της SAE International,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.sae.org/>.
- [49] D. B. Richardson, «Electric vehicles and the electric grid: A review of modeling approaches,Impacts, and renewable energy integration,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 247-254, 2013.
- [50] P. Maheshwari, Y. Tambawala, H. S. V. S. K. Nunna και S. Doolla, «A Review on Plug-in Electric Vehicles Charging : Standards and Impact on Distribution System,» *IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and*

Energy Systems, 2014.

- [51] S. Habib, M. Kamran και U. Rashid, «Impact analysis of vehicle-to-grid technology and charging strategies of electric vehicles on distribution networks - A review,» *Journal of Power Sources*, 2015.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΤΗΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ 2019

Σκοπός του παραρτήματος αυτού είναι να παρουσιαστούν ενδεικτικά ορισμένα μοντέλα αμιγώς ηλεκτρικών αυτοκινήτων και ορισμένα Plug-In Υβριδικά Αυτοκίνητα από κατασκευαστές από διάφορες γεωγραφικές περιοχές όπως Αμερική, Ευρώπη και Ασία προκειμένου να δοθεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στις υπάρχουσες τεχνολογίες ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Αρχικά θα κάνουμε μια επιμέρους σύγκριση μεταξύ αμιγώς ηλεκτρικών αυτοκινήτων και για το σκοπό αυτό θα γίνει χρήση της ιστοσελίδας <http://www.evcompare.io> η οποία συμβαδίζει με τις τεχνολογικές εξελίξεις και παρέχει αξιόπιστα και ενημερωμένα στοιχεία. Τα χαρακτηριστικά τα οποία έχουν επιλεγεί για σύγκριση είναι αυτά που ενδιαφέρουν περισσότερο έναν πιθανό αγοραστή όπως φαίνονται στους παρακάτω πίνακες. Με πιο σκούρο χρώμα σημειώνονται τα καλύτερα χαρακτηριστικά στην εκάστοτε κατηγορία.

Στην πρώτη σύγκριση επιλέχθηκαν μοντέλα τα οποία απευθύνονται στο μεγαλύτερο μέρος των πιθανών αγοραστών καθώς η τιμή τους δεν είναι απαγορευτική για κάποιον με μέσο εισόδημα.



Εικόνα 44: Οικονομικά BEV μοντέλα

Παρατηρούμε στον πίνακα 4 ότι τα οικονομικά μοντέλα αμιγώς ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι αρκετά ακριβότερα από τα αντίστοιχα συμβατικά ενώ και οι

επιδόσεις είναι χαμηλότερες. Ωστόσο φαίνεται ότι στα επόμενα χρόνια θα εξισορροπηθεί η κατάσταση

Πίνακας 3: Οικονομικά BEV - Σύγκριση

ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	Nissan Leaf	VW e-Golf	Fiat 500e	Chevrolet Bolt
ΤΙΜΗ (\$)	36.550	30.495	32.995	36.620
ΧΩΡΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΙΑΠΩΝΙΑ- ΗΠΑ- Η.Β.	ΓΕΡΜΑΝΙΑ	ΜΕΞΙΚΟ	ΗΠΑ
ΕΜΒΕΛΕΙΑ(km)	363	201	135	383
ΧΩΡΙΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ(kWh)	62	35.8	24	60
ON-BOARD AC ΦΟΡΤΙΣΤΗΣ(kW)	6.6	7.2	6.6	7.2
MAX DC CHARGE POWER (kW)	100	50	ΔΕΝ ΔΙΑΘΕΤΕΙ	80
ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ 0-100km(sec)	6,9	9.6	9.1	7.2
ΤΕΛΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ(km/h)	160	150	140	146
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (kWh/100km)	16.1	11.9	17.8	15.8
ΜΗΧΑΝΗ	ΜΟΝΙΜΟΥ ΜΑΓΝΗΤΗ	ΜΟΝΙΜΟΥ ΜΑΓΝΗΤΗ	ΜΟΝΙΜΟΥ ΜΑΓΝΗΤΗ	ΜΟΝΙΜΟΥ ΜΑΓΝΗΤΗ

Στην επόμενη σύγκριση επιλέγηκαν αυτοκίνητα από την πολυτελή κατηγορία τα οποία απευθύνονται σε πιθανούς αγοραστές με υψηλότερο από το μέσο εισόδημα και στην εικόνα 45 φαίνονται τα μοντέλα που θα συγκρίνουμε.



Εικόνα 45: Πολυτελή BEV μοντέλα

Παρατηρούμε στον πίνακα 5 ότι τα χαρακτηριστικά της κατηγορίας αυτής δεν απέχουν πολύ από τα αντίστοιχα μοντέλα με μηχανές εσωτερικής καύσης συνεπώς η επιλογή αφορά σχεδόν αποκλειστικά την επιθυμία του εκάστοτε υποψήφιου αγοραστή

Πίνακας 4: Πολυτελή BEV - Σύγκριση

ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	Tesla Model S	Jaguar I-PACE	BMW i3
ΤΙΜΗ (\$)	75.000	69.500	44.450
ΧΩΡΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΗΠΑ- ΟΛΛΑΝΔΙΑ	ΑΥΣΤΡΙΑ	ΓΕΡΜΑΝΙΑ
ΕΜΒΕΛΕΙΑ(km)	458	376	246
ΧΩΡΙΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ(kWh)	80	90	42.2
ON-BOARD AC ΦΟΡΤΙΣΤΗΣ(kW)	11.5	7	11
MAX DC CHARGE POWER (kW)	200	100	50
ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ 0- 100km(sec)	4.2	4.8	7.3
ΤΕΛΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ(km/h)	250	200	150
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (kWh/100km)	17.8	18.8	13.6
ΜΗΧΑΝΗ	ΜΟΝΙΜΟΥ	ΜΟΝΙΜΟΥ	ΜΟΝΙΜΟΥ

Στη συνέχεια θα γίνει μια επιμέρους σύγκριση μεταξύ ορισμένων Επαναφορτιζόμενων Υβριδικών Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων (PHEV) και για το σκοπό αυτό θα γίνει χρήση των ιστοσελίδων <https://insideevs.com/> και <https://www.fueleconomy.gov/> για συλλογή και σύγκριση των επιθυμητών χαρακτηριστικών.

Αρχικά θα γίνει και εδώ μια σύγκριση μεταξύ μοντέλων που απευθύνονται στο μεγαλύτερο κομμάτι του πληθυσμού με μέσο εισόδημα ενώ στην εικόνα 46 βλέπουμε τα PHEV μοντέλα που θα συγκρίνουμε.



Εικόνα 46: Οικονομικά PHEV μοντέλα

Παρατηρούμε στον πίνακα 6 ότι η δυνατότητα για εξολοκλήρου κίνηση με ηλεκτρισμό είναι σαφώς μικρότερη από τα εξολοκλήρου ηλεκτρικά αυτοκίνητα ωστόσο είναι επαρκής για την καθημερινότητα ενός ανθρώπου που ζει στην πόλη και διανύει μικρές αποστάσεις. Επιπλέον όμως παρέχουν μεγάλη εμβέλεια συνδυαστικά γεγονός που τα κάνει παρόμοια με τα συμβατικά αυτοκίνητα άρα δεν αλλάζουν οι οδηγικές συνήθειες των πιθανών αγοραστών.

Πίνακας 5: Οικονομικά PHEV - Σύγκριση

ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	Toyota Prius	Mini Cooper COUNTRYMAN	SE	Chevrolet Volt
ΤΙΜΗ (\$)	27.350	36.900		33.500
ΧΩΡΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΙΑΠΩΝΙΑ	Η.Β.		ΗΠΑ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ	40	20		85

ΕΜΒΕΛΕΙΑ(km)			
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΜΒΕΛΕΙΑ(km)	1030	435	675
ΧΩΡΙΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ(kWh)	8.8	7.6	18.4
ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΡΕΖΕΡΒΟΥΑΡ(lt)	43	36	33
ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ 0-100km(sec)	8.4	6.7	8.4
ΤΕΛΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ(km/h)	180	125	157

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε μια σύγκριση μεταξύ αυτοκινήτων από την πολυτελή κατηγορία που αφορούν και μικρότερο μέρος του πληθυσμού, ενώ στην εικόνα 47 φαίνονται τα μοντέλα που θα συγκρίνουμε.



Εικόνα 47: Πολυτελή PHEV μοντέλα

Παρατηρούμε στον πίνακα 7 ότι στην πολυτελή κατηγορία επαναφορτιζόμενων υβριδικών ηλεκτρικών αυτοκινήτων τα χαρακτηριστικά δεν διαφέρουν ιδιαίτερα ούτε από τα αντίστοιχα αμιγώς ηλεκτρικά αλλά ούτε και από τα συμβατικά πολυτελή αυτοκίνητα συνεπώς και πάλι είναι στο χέρι το εκάστοτε αγοραστή τι μοντέλο θα επιλέξει.

Πίνακας 6: Πολυτελή PHEV - Σύγκριση

ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	BMW i8 coupe	Porsche Panamera 4 e-hybrid	Volvo XC90
ΤΙΜΗ (\$)	147.500	102.900	67.000
ΧΩΡΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΓΕΡΜΑΝΙΑ	ΓΕΡΜΑΝΙΑ	ΣΟΥΗΔΙΑ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΜΒΕΛΕΙΑ(km)	27	25	27
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΜΒΕΛΕΙΑ(km)	514	772	788
ΧΩΡΙΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ(kWh)	11.6	14.1	10.4
ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΡΕΖΕΡΒΟΥΑΡ(lt)	42	80	70
ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ 0- 100km(sec)	4.2	4.4	4.9
ΤΕΛΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ(km/h)	250	275	230