ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

«Ανάλυση υβριδικών και αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων»

«Analysis of hybrid and battery electric vehicles»

Υπό

Ξύλου Σοφία ΑΜ: 2919028

Γρίβας Ζαχαρίας ΑΜ: 2919057

Πτυχιακή Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για
την απόκτηση του Πτυχίου του Τμήματος Συστημάτων Ενέργειας

Λάρισα, 2023

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής	Δρ. Στυλιανός Βαγρόπουλος (Επιβλέπων) Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δεύτερος Εξεταστής	Δρ. Ελπινίκη Παπαγεωργίου Καθηγήτρια, Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τρίτος Εξεταστής	Δρ. Νικόλαος Παπανδριανός Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ

Με το παρόν κείμενο βεβαιώνουμε ότι οι κάτωθι υπογράφουσα και υπογράφων είμαστε οι συγγραφείς της παρούσης πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των απαιτήσεων του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Συστημάτων Ενέργειας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και η οποία παραδόθηκε, μετά από έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή μας, σε έντυπη και ψηφιακή μορφή στη Γραμματεία του Τμήματος. Επίσης δηλώνουμε πως κάθε πηγή που χρησιμοποιήσαμε (βιβλιογραφία, αρθρογραφία, δικτυογραφία), για την υποστήριξη των υποθέσεων της μελέτης και της έρευνάς μας, είναι πλήρως συμβατή με τα ακολουθούμενα επιστημονικά πρότυπα και επιπλέον, αναφέρεται ρητά, υπό μορφή αναφοράς-παραπομπής, σε όλο το φάσμα κειμένων της παρούσης εργασίας. Το αυτό ισχύει για τη χρήση δευτερογενών δεδομένων (πινάκων, διαγραμμάτων και εικόνων), ιδεών και λέξεων, τα οποία και αναφέρονται είτε ακριβώς όπως υπάρχουν στις πηγές είτε μεθερμηνεύονται από εμάς.

ΕΠΩΝΥΜΟ	Ξύλου
ΟΝΟΜΑ	Σοφία
ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ	2919028
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	
ΥΠΟΓΡΑΦΗ	

ΕΠΩΝΥΜΟ	Γρίβας
ΟΝΟΜΑ	Ζαχαρίας
ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ	2919057
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	
ΥΠΟΓΡΑΦΗ	

© 2023. Ξύλου Σοφία , © 2023. Γρίβας Ζαχαρίας

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας της Σχολής Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μας, Επικ. Καθηγητή Βαγρόπουλο Στυλιανό και τον υποψήφιο διδάκτορα κύριο Κώστα Αφεντούλη, για τη βοήθειά τους και την καθοδήγησή τους κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της εργασίας μας.

Επίσης είμαστε ευγνώμονες και θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τις οικογένειές μας για την διαρκή και πολύτιμη στήριξη που μας παρείχαν σε ολόκληρη την ακαδημαϊκή μας πορεία.

Τέλος, ευχαριστούμε τον συμφοιτητή και φίλο μας Χρήστο Βουλτσίδη για την ανιδιοτελή υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια της ακαδημαϊκής μας πορείας και την πολύτιμη φιλία του.

Περίληψη

Η υιοθέτηση της τεχνολογίας των ηλεκτρικών και των υβριδικών οχημάτων αποτελεί σήμερα μείζων θέμα παγκοσμίως. Πλέον τα υβριδικά και τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν αρχίσει να εισβάλλουν δυναμικά στην αγορά. Μπορεί το κόστος αγοράς μίας τέτοιας τεχνολογίας να είναι σημαντικό, ωστόσο η μείωση του κόστους λειτουργίας οδηγεί συνήθως σε απόσβεση της αγοράς, συμβάλλοντας παράλληλα στο στόχο της μείωσης των εκπομπών των αέριων ρύπων. Στη παρούσα εργασία συγκεντρώθηκε υλικό με σκοπό την ανάλυση των δύο τεχνολογιών οχημάτων. Αρχικά, θα παρουσιαστούν οι κατηγορίες των υβριδικών οχημάτων και στη συνέχεια θα αναλυθούν οι κατηγορίες των ηλεκτρικών οχημάτων και θα παρουσιαστούν οι τύποι των ηλεκτρικών κινητήρων που χρησιμοποιούνται. Ακολούθως θα γίνει αναφορά στους τύπους των μπαταριών έλξης και θα παρουσιαστούν οι τρόποι με τους οποίους φορτίζουν τα υβριδικά και τα ηλεκτρικά οχήματα. Επιπρόσθετα, θα αναλυθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υβριδικών και ηλεκτρικών οχημάτων σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα θερμικού κινητήρα. Τέλος, θα πραγματοποιηθεί μία σύγκριση ανάμεσα στην τεχνολογία των υβριδικών και στην τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων και θα παρουσιαστεί μία ανασκόπηση της αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων, όπως καταγράφεται σήμερα καθώς και η δυναμική της για το μέλλον.

Λέξεις κλειδιά: ηλεκτρικά οχήματα, ηλεκτρικοί κινητήρες, μπαταρίες, ηλεκτροκίνηση, συσσωρευτές, περιβαλλοντικές επιπτώσεις, υβριδικά οχήματα, φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων

Abstract

The adoption of electric and hybrid vehicle technology is currently a major issue worldwide. Recently, hybrid and electric vehicles have started to gains share of the market. The purchase cost of such a technology may be significant, however the reduction in operating costs usually leads to a payback, while contributing to the goal of reducing air pollutant emissions. In this paper, a research has been carried out to analyze the two vehicle technologies. First, the categories of hybrid vehicles will be presented and then the categories of electric vehicles will be analyzed, together with the types of electric motors that usually are used. Next, the types of traction batteries with be analyzed and the ways in which hybrid and electric vehicles are charging, will be presented. Additionally, the environmental impact of hybrid and electric vehicles compared to conventional heat engine vehicles will be analyzed. Finally, a comparison between hybrid and electric vehicle technology will be made and an overview of the electric vehicle market as it stands today and its future dynamics will be presented.

Keywords : battery electric vehicles, battery types, charging methods, electric vehicles, electric motor types, electromobility, environmental impacts, hybrid vehicles.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή 1

1.1 Ιστορική αναδρομή 1

1.1.1 Ηλεκτροκίνητα οχήματα 1

1.1.2 Υβριδικά οχήματα 4

1.2 Κατηγορίες ηλεκτρικών οχημάτων 7

2. Τεχνολογία υβριδικών οχημάτων 8

2.1 Υβριδικά ηλεκτροκίνητα οχήματα (Hybrid Electric Vehicles - HEVs) 8

2.1.1 Υβριδικά οχήματα σειριακής διάταξης 18

2.1.2 Υβριδικά οχήματα παράλληλης διάταξης 21

2.1.3 Σειριακό-Παράλληλο υβριδικό ηλεκτρικό όχημα, υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα μικτής διάταξης (Series-Parallel hybrid, Combined Hybrid) 36

2.2 Λειτουργίες ανάκτησης και εξοικονόμησης ενέργειας σε υβριδικά οχήματα 38

2.2.1 Αναγεννητική πέδηση 38

2.2.2 Σύστημα 'Start – Stop' 43

2.2.3 Υποδιαστασιολόγηση του κινητήρα εσωτερικής καύσης 44

2.3 Επαναφορτιζόμενο Υβριδικό όχημα με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική πηγή (Plug-in Hybrid Electric Vehicle - PHEV) 45

2.4 Κατηγορίες ηλεκτρικών κινητήρων στις διατάξεις υβριδικών οχημάτων. 49

3. Ανάλυση της τεχνολογίας των ηλεκτρικών οχημάτων 51

3.1 Ηλεκτρικά οχήματα συσσωρευτών (Battery Electric Vehicles – BEV) 51

3.2 Ηλεκτρικό όχημα κυψελών καυσίμου (Fuel Cell Electrical Vehicle – FCEV) 52

3.2.1 Πλεονεκτήματα ηλεκτρικών οχημάτων κυψελών καυσίμου 54

3.2.2 Μειονεκτήματα ηλεκτρικών οχημάτων κυψελών καυσίμου 54

3.3 Ηλεκτρικά οχήματα με αυξημένη αυτονομία (Extended – Range Electric Vehicles ER – EVs) 55

3.4 Ηλεκτρικά οχήματα που έχουν τη δυνατότητα να συνδεθούν στο δίκτυο (Plug in electric vehicle -PEV) 56

3.5 Βασικά εξαρτήματα των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων 58

4. Κατηγορίες ηλεκτρικών κινητήρων 60

4.1 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC) μόνιμου μαγνήτη 61

4.2 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος μόνιμου μαγνήτη χωρίς ψήκτρες (Permanent Magnet Brushless DC Motor – PMBLDC) 63

4.3 Σύγχρονος κινητήρας με μόνιμους μαγνήτες (Permanent Magnet synchronous Motor – PMSM) 65

4.3.1 Ηλεκτρικοί κινητήρες επιφανειακών μαγνητών ημιτονοειδούς ροής (Sinusoidal surface Permanent Magnet Synchronous Machine – SPMSM) 66

4.3.2 Ηλεκτρικοί κινητήρες εμφυτευμένων μαγνητών ημιτονοειδούς ροής (Sinusoidal Interior Magnet Machine – IPMSM) 67

4.3.3 Ηλεκτρικοί κινητήρες επιφανειακών μαγνητών τραπεζοειδούς ροής (Trapezoidal surface Magnet Machine). 68

4.4 Επαγωγικοί κινητήρες (Induction Motor – IM) 70

4.5 Κινητήρες διακοπτικής διέγερσης (Switched Reluctance Motor – SRM) 71

4.6 Σύγχρονοι κινητήρες μαγνητικής αντίστασης (Synchronous Reluctance Motors – SynRM) 73

5. Συσσωρευτές ηλεκτρικών οχημάτων 76

5.1 Βασικές έννοιες συσσωρευτών 76

5.1.1 Εκφόρτιση Συσσωρευτή (Discharge) 77

5.1.2 Φόρτιση συσσωρευτή (Charge) 77

5.1.3 Γενικά χαρακτηριστικά συσσωρευτή 78

5.2 Κατηγορίες μπαταριών 92

5.3 Συστήματα Διαχείρισης Συσσωρευτών 102

5.3.1 Σύστημα Διαχείρισης Συσσωρευτών (Battery Management System – BMS) 102

5.3.2 Θερμικό Σύστημα Διαχείρισης του Συσσωρευτή (Battery Thermal Management System – BTMS) 106

6. Τρόποι φόρτισης των δύο τεχνολογιών 110

6.1 Υποδομές για σταθμούς φόρτισης 111

6.2 Τύποι φόρτισης 113

6.3 Τύποι των συστημάτων φόρτισης 117

6.4 Αρχιτεκτονικές για την φόρτιση ρευματοληπτικών υβριδικών οχημάτων (plug- in) και αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων 120

6.5 Έξυπνη φόρτιση 125

6.6 Οχήματα στο δίκτυο (V2G) 127

7. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις 129

7.1 Επιπτώσεις ρύπων λόγω των συμβατικών οχημάτων 129

7.2 Η συμβολή των ηλεκτρικών οχημάτων στη ρύπανση της ατμόσφαιρας 132

7.3 Ανακύκλωση συσσωρευτών 136

7.3.1 Μηχανική επεξεργασία μπαταριών, δημιουργία 'μαύρης μάζας' 137

7.3.2 Ανάκτηση υλικών των μπαταριών 141

7.3 Σύγκριση θετικών και αρνητικών συνεπειών των συμβατικών και των ηλεκτρικών οχημάτων προς το περιβάλλον 144

8. Σύγκριση των δύο τεχνολογιών 147

8.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ηλεκτρικών οχημάτων 147

8.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των υβριδικών και ρευματοληπτικών (plug-in) υβριδικών οχημάτων 150

8.3 Σύγκριση αμιγώς ηλεκτρικών και υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων με συμβατικά οχήματα 152

8.4 Οι πωλήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων σήμερα 153

8.5 Το μέλλον των ηλεκτρικών οχημάτων 154

9. Συμπέρασμα 156

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 159

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1 : Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο του Thomas Edison [2]. 2
Εικόνα 2 : Ευρείας παραγωγής ηλεκτρικό όχημα στις αρχές του 20ού αιώνα [2]. 3
Εικόνα 3 : Το υβριδικό όχημα του Henri Pieper [3]. 5
Εικόνα 4 : Το όχημα της Woods Motor Vehicle Company [3]. 6
Εικόνα 5 : Κατηγορίες ηλεκτρικών οχημάτων [6]. 7
Εικόνα 6 : Υβριδικό ηλεκτροκίνητο αυτοκίνητο [3]. 8
Εικόνα 7 : Κύρια μέλη ενός υβριδικού οχήματος [7]. 9
Εικόνα 8 : Σύγκριση λειτουργίας ηλεκτρικών μηχανών ανάλογα το μέγεθος τους αλλά και με το πως διαμορφώνεται το κόστος ανάλογα με το μέγεθός τους [3]. 15
Εικόνα 9 : Σχεδιάγραμμα σειριακής σύνδεσης [3]. 16
Εικόνα 10 : Σχεδιάγραμμα παράλληλης σύνδεσης [3]. 16
Εικόνα 11 : Σχεδιάγραμμα μεικτής σύνδεσης [3]. 17
Εικόνα 12 : Συμβολή του ηλεκτρικού κινητήρα και του κινητήρα εσωτερικής καύσης και στις τρείς κατηγορίες [3]. 17
Εικόνα 13 : Σχεδιαγράμματα δομής υβριδικών οχημάτων [3]. 18
Εικόνα 14 : Βασική δομή σειριακού υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος [7]. 18
Εικόνα 15 : Βασική δομή παράλληλου υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος [7]. 22
Εικόνα 16 : Μηχανισμός μηχανικής σύζευξης ροπής [7]. 23
Εικόνα 17 : Συνηθέστερες διατάξεις μηχανικής σύζευξης ροπής [7]. 24
Εικόνα 18 : Σχεδιάγραμμα διάταξης δύο αξόνων [7]. 24
Εικόνα 19 : Σχεδιάγραμμα διάταξης δύο αξόνων (2) [7]. 25
Εικόνα 20 : Διαγράμματα ελκτικής δύναμης και ταχύτητας του οχήματος με διαφορετικά συστήματα μετάδοσης [7]. 26
Εικόνα 21 : Σχεδιάγραμμα αρχιτεκτονικής post-transmission [7]. 29
Εικόνα 22 : Σχεδιάγραμμα αρχιτεκτονικής pre-transmission [7]. 29
Εικόνα 23 : Σχεδιάγραμμα διάταξης με δύο ξεχωριστούς άξονες [7]. 30
Εικόνα 24 : Μηχανισμός σύνδεσης ταχύτητας [5]. 31
Εικόνα 25 : Κύριες διατάξεις σύνδεσης ταχύτητας [7]. 31
Εικόνα 26 : Σχεδιάγραμμα με το πλανητικό σύστημα [7]. 32
Εικόνα 27 : Σχεδιάγραμμα με ηλεκτρικό κινητήρα ελεύθερου κινούμενου στάτη [7]. 32
Εικόνα 28 : Σύστημα μετάδοσης κίνησης με σύνδεση ταχύτητας και ροπής με ηλεκτρικό κινητήρα ελεύθερου κινούμενου στάτη [7]. 33
Εικόνα 29 : Σύστημα μετάδοσης κίνησης με σύνδεση ταχύτητας και ροπής με πλανητικό σύστημα [7]. 34
Εικόνα 30 : Σχεδιάγραμμα μικτής υβριδικής διάταξης [8]. 37
Εικόνα 31 : Λειτουργία της αναγεννητικής πέδησης [8]. 40
Εικόνα 32 : Διακύμανση των δυνάμεων πέδησης με βάση των ρυθμό επιβράδυνσης σε σύστημα με παράλληλη πέδηση [7]. 42
Εικόνα 33 : Δομή του συστήματος <<start - stop>> [11]. 44
Εικόνα 34 : Σύγκριση PHEV και HEV [7]. 46
Εικόνα 35 : Διαφορές ανάμεσα στα συστήματα ενός υβριδικού HEV και ενός υβριδικού PHEV [7]. 47
Εικόνα 36 : Σχεδιάγραμμα της ροής ενέργειας σε ένα plug-in υβριδικό όχημα [7]. 48
Εικόνα 37 : TOYOTA PRIUS Plug-in υβριδικό όχημα [8]. 48
Εικόνα 38 : Ηλεκτρικό όχημα συσσωρευτών (BEV) [1]. 52
Εικόνα 39 : κύρια ηλεκτρικά μέρη σε ένα BEV [5]. 52
Εικόνα 40 : Βασικά μέρη ηλεκτρικού οχήματος κυψελών καυσίμου [14]. 53
Εικόνα 41 : Βασικά εξαρτήματα ηλεκτρικού οχήματος κυψελών καυσίμου [16]. 54
Εικόνα 42 : Υβριδικό όχημα που μπορεί να συνδεθεί με το δίκτυο [13]. 57
Εικόνα 43 : Βασικά εξαρτήματα ενός ηλεκτρικού οχήματος [13]. 58

Εικόνα 44 : Απεικόνιση κινητήρα συνεχούς ρεύματος με μόνιμο μαγνήτη [21]. 62
Εικόνα 45 : Λειτουργία κινητήρα με συνεχές ρεύμα χωρίς ψήκτρες μόνιμου μαγνήτη [21]. 64
Εικόνα 46 : Κινητήρες μόνιμων μαγνητών (α) ακτινική ροή , (β) αξονική ροή [22]. 66
Εικόνα 47 : Κάθετη τομή ηλεκτρικού κινητήρα επιφανειακών μαγνητών ημιτονοειδούς ροής [22]... 67
Εικόνα 48 : Κάθετη τομή ενός κινητήρα εμφυτευμένων μαγνητών με ημιτονοειδή ροή [22]. 68
Εικόνα 49 : Κάθετη τομή κινητήρα επιφανειακών μαγνητών τραπεζοειδούς ροής [22]. 69
Εικόνα 50 : Απεικόνιση της φασικής τάσης του στάτη και των κυματομορφών των ρευμάτων σε ένα κινητήρα μόνιμων μαγνητών τραπεζοειδούς ροής [22]. 70
Εικόνα 51 : Τρόπος λειτουργίας ενός κινητήρα διακοπτικής διέγερσης [21]. 72
Εικόνα 52 : Λειτουργία κελιού συσσωρευτή κατά τη διαδικασία της εκφόρτισης [26]. 77
Εικόνα 53 : Λειτουργία κελιού κατά τη διαδικασία της φόρτισης [26]. 78
Εικόνα 54 : Τάση ανοιχτού και κλειστού κυκλώματος συσσωρευτή [26]. 79
Εικόνα 55 : Πραγματική και θεωρητική ειδική ενέργεια για διάφορους τύπους συσσωρευτών [26]. . 82
Εικόνα 56 : Φαινόμενο μνήμης και αποκατάσταση ενός συσσωρευτή [26]. 84
Εικόνα 57 : Αυτοεκφόρτιση συσσωρευτή σε μορφή διαρροής υγρού [26]. 85
Εικόνα 58 : Αυτοεκφόρτιση συσσωρευτή που έχει ως βάση το νικέλιο σε συνάρτηση με το χρόνο [26]. 86
Εικόνα 59 : Πόλωση του κελιού σε συνάρτηση με το ρεύμα λειτουργίας του [26]. 89
Εικόνα 60 : Τρόποι εκφόρτισης ενός συσσωρευτή σε συνάρτηση με τον χρόνο [26]. 90
Εικόνα 61 : Επίδραση της θερμοκρασίας στη χωρητικότητα του συσσωρευτή, αύξηση θερμοκρασίας από Τ1 σε Τ4 σταδιακά [26]. 91
Εικόνα 62 : Μπαταρία Νικελίου - υδριδίου μετάλλου [25]. 96
Εικόνα 63 : Συστοιχία συσσωρευτών ιόντων-λιθίου σε ένα ηλεκτρικό όχημα με συσσωρευτές (BEV) [2]. 98
Εικόνα 64 : Χαρακτηριστικά συσσωρευτών [28]. 99
Εικόνα 65 : Χαρακτηριστικά συσσωρευτών [28]. 99
Εικόνα 66 : Ενδεικτική διάταξη διαχείρισης ενός συσσωρευτή (Battery Management System – BMS) [26]. 105
Εικόνα 67 : Η διαδικασία της επαγωγικής φόρτισης [18]. 118
Εικόνα 68 : Διαδικασία ενσύρματης φόρτισης [18]. 119
Εικόνα 69 : Μερικοί από τους τύπους βυσμάτων για την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων [18]. 122
Εικόνα 70 : Το βύσμα Combo 1 [8]. 123
Εικόνα 71 : Το βύσμα Combo 2 [8]. 124
Εικόνα 72 : Όχημα στο δίκτυο V2G [18]. 127
Εικόνα 73 : Στάδια μηχανικής επεξεργασίας μπαταριών [34]. 137
Εικόνα 74 : μεταφορά της συστοιχίας με τη βοήθεια μεταφορικής ταινίας [3]. 138
Εικόνα 75 : Συστοιχία μπαταρίας στον κονιορτοποιητή [3]. 139
Εικόνα 76 : Συλλογή μετάλλων σε βιομηχανικές τσάντες από το πρόγραμμα για ανακύκλωση της Volkswagen [3]. 140
Εικόνα 77 : Υδρομεταλλουργική επεξεργασία [3]. 141

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1 : Ποσοστό αυτοεκφόρτισης συσσωρευτών σε συνάρτηση με το χρόνο [26]. 86
Πίνακας 2 : Αυτοεκφόρτιση συσσωρευτή ιόντων - λιθίου για διάφορες συνθήκες φόρτισης και θερμοκρασίες ανά μήνα [26]. 87
Πίνακας 3 : Παραδείγματα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων [8]. 114

Πίνακας 4 : Σύγκριση αμιγώς ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων με τα συμβατικά οχήματα [3]. 152

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1 : Ικανότητα φόρτισης SynRM σε συνάρτηση με τη ταχύτητα [23]. 74
Σχήμα 2 : Ταξινόμηση συστημάτων χρονικής μετατόπισης φορτίου και συστήματα χωρικής μετατόπισης φορτίου [29]. 116
Σχήμα 3 : Πρότυπα εκπομπών Euro για τους ρύπους που έχουν ρυθμιστεί για τα συμβατικά οχήματα που χρησιμοποιούν βενζίνη ως καύσιμο [31]. 131
Σχήμα 4 : Πρότυπα εκπομπών Euro για τους ρύπους που έχουν ρυθμιστεί για τα συμβατικά οχήματα που χρησιμοποιούν πετρέλαιο ως καύσιμο [31]. 132
Σχήμα 5 :Ποσοστά ανάκτησης υλικών σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία [34]. 142
Σχήμα 6 : Ποσοστά ανάκτησης των υλικών σε συνάρτηση το υπεροξείδιο του υδρογόνου (σε θερμοκρασία 59°C,για 2mol/L υπεροξειδίου του υδρογόνου και σε χρόνο 75 λεπτών) [34]. 143
Σχήμα 7 : Ποσοστά ανάκτησης των υλικών σε συνάρτηση το θειικό οξύ (σε θερμοκρασία 59°C,για 50mol/L θειικού οξέος και σε χρόνο 75 λεπτών) [34]. 143
Σχήμα 8 : Ποσοστά ανάκτησης των υλικών σε συνάρτηση με διάφορα οξέα (σε θερμοκρασία 80°C,για [HCL] 4mol/L ή [H2SO4] 2mol/L , [H2O2] 0g/L ή [HCL] 50g/L και σε χρόνο 120 λεπτών) [34]. 144

Συντομογραφίες

ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΟΠ	Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος
ΗΕΔ	Ηλεκτρεγερτική Δύναμη
ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
ΜΕΚ	Μηχανή Εσωτερικής Καύσης
ΜΜΜ	Μέσα Μαζικής Μεταφοράς

AFI	Alternative Fuel in Frastructure
BEVs	Battery Electric Vehicles
BMS	Battery Management System
BTMS	Battery Thermal Management System
CC	Constant Current
CCS	Combined Charging System
CFR	Code of Federal Regulations
CV	Constant Voltage
CVT	Continuously Variable Transmission
DCFC	Direct Current Fast Charging
DOD	Depth of Discharge
DOH	Degree of Hybridization
EM	Electric Motor
EMC	Electromagnetic Compatibility
EPRI	Electric Power Research Institute
ER – EVs	Extended – Range Electric Vehicles
EVs	Electric Vehicles
FCEVs	Fuel Cell Electric Vehicles
G2V	Grid to Vehicle
HEVs	Hybrid Electric Vehicles
ICE	Internal Combustion Engine
IEC	International Electrotechnical Committee
IGCC	Integrated Gasification Combined Cycle
IM	Induction Motor
IPMSM	Interior Permanent Magnet Sinusoidal Machine
IPT	Inductive Power Transfer

IRA	Inflation Reduction Act
LCO	Lithium Cobalt Oxide
LFP	Lithium Iron Phosphate
LMO	Lithium Manganese Oxide
LTO	Lithium Titanium Oxide
NCA	Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide
NGCC	Natural Gas Combined Cycle
Ni-Cd	Nickel – Cadmium
NiMH	Nickel metalhydride
NMC	Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide
OLPT	on-line Power Transfer
PC	Pulse current
PEVs	Plug-in Electric Vehicles
PHEV	Parallel Hybrid Electric Vehicle
PHEVs	Plug – in Hybrid Electric Vehicles
PMBLDC	Permanent Magnet Brushless DC Motor
PMSM	Permanent Magnet Synchronous Motor
PSHEV	Parallel /Series Hybrid Electric Vehicle
RIPT	Coordinate inductive power transfer
SAE	Society of Automotive Engineers
SHEV	Series Hybrid Electric Vehicle
SOC	State of Charge
SOH	State of Health
SPMSM	Sinusoidal Surface Permanent Magnet Synchronous Machine
SRM	Switched Reluctance Motor
STEPS	Stated Policies Scenario
SynRM	Synchronous Reluctance Motors
V	Voltage
V1G	One-way Vehicle Control

1. Εισαγωγή

1.1 Ιστορική αναδρομή

1.1.1 Ηλεκτροκίνητα οχήματα

Τα αυτοκίνητα με μηχανή εσωτερικής καύσης και τα ηλεκτροκίνητα οχήματα εξελίχθηκαν ανάμεσα στα τέλη του 19^{ου} αιώνα και τις αρχές του 20^{ου} αιώνα [1]. Οι πρώτες ενέργειες για την κατασκευή ενός μηχανοκίνητου οχήματος, όπου θα κινείται με ηλεκτρική ενέργεια χρονολογούνται τη δεκαετία του 1830 και αποτελούσαν κατασκευές με πειραματικό χαρακτήρα. Ο σκωτσέζος Robert Anderson ανάμεσα στο 1832 και 1839 κατασκεύασε ένα πολύ απλό όχημα το οποίο κινούταν με ηλεκτρισμό. Την ίδια χρονική περίοδο, το 1835, ο Ολλανδός καθηγητής Stratingh Groningen κατασκεύασε ένα αυτοκίνητου μικρού μεγέθους. Οι συγκεκριμένες εφευρέσεις χρησιμοποιούσαν ηλεκτρικούς κινητήρες οι οποίοι βρίσκονταν σε πειραματικό στάδιο[2].

Το 1834 ο Αμερικανός Thomas Davenport και το 1837 ο Σκωτσέζος Robert Davidson, κατάφεραν και κατασκεύασαν επιτυχώς λειτουργικά οχήματα. Το 1884 ο Βρετανός Gaston Parker κατασκεύασε ένα ολοκληρωμένο ηλεκτρικό αυτοκίνητο το οποίο χρησιμοποιούσε έναν ηλεκτρικό κινητήρα συνεχούς ρεύματος και η πηγή ισχύος προερχόταν από επαναφορτιζόμενες μπαταρίες μολύβδου-οξέος. Οι Lilly και Colton το 1847 κατασκεύασαν ένα ηλεκτρικό όχημα το οποίο τροφοδοτούνταν με ηλεκτρικό ρεύμα από κεντρικό σταθμό με τη βοήθεια ηλεκτροφόρων ραγών . Ακόμη, ο Αμερικανός Moses Farmer κατασκεύασε ένα όχημα τα οποίο μπορούσε να μεταφέρει έως και δύο άτομα. Την ίδια χρονική περίοδο κατασκευάζεται από τον καθηγητή Charles Page ένα όχημα με 100 συσσωρευτές και ηλεκτρικό κινητήρα 16 ίππων, που είχε την δυνατότητα να μεταφέρει έως και 12 άτομα, με μέγιστη ταχύτητα τα 30 km\h [2].

Η σημαντικότερη δυσκολία που αντιμετώπιζαν οι αρχικές κατασκευές δεν ήταν άλλη από τις αδυναμίες των ηλεκτροχημικών συσσωρευτών, και πιο συγκεκριμένα η αδυναμία επαναφόρτισης αλλά και ο χαμηλός λόγος ενέργειας προς όγκο και βάρος. Λύση στο πρόβλημα δόθηκε το 1859 από τον Γάλλο Gastone Plante όταν ανακάλυψε το στοιχείο Μολύβδου-Οξέος που είχε την δυνατότητα επαναφόρτισης. Έπειτα από αρκετά χρόνια άρχισαν να εμφανίζονται και νέοι, βελτιωμένοι τύποι ηλεκτροχημικών συσσωρευτών, με τον συσσωρευτή Νικελίου-Σιδήρου να ξεχωρίζει [2].

Η κατασκευή του ηλεκτροχημικού συσσωρευτή Νικελίου - Σιδήρου έγινε το 1910 από τον Thomas Edison και αποτέλεσε το σημαντικότερο τεχνολογικό επίτευγμα για την συγκεκριμένη εποχή. Ο Thomas Edison χρησιμοποίησε τον συγκεκριμένο τύπο μπαταρίας σε ένα όχημα που κατασκεύασε ο ίδιος (Εικόνα 1) [2].

Εικόνα 1 : Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο του Thomas Edison [2].

Η εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων στο διάστημα αυτών των δεκαετιών είναι σημαντική τόσο στην Αμερική όσο και στην Ευρώπη. Οι επιδόσεις των ηλεκτροκίνητων οχημάτων είναι υπολογίσιμες για τα δεδομένα τις εποχής. Αξίζει να αναφερθεί το όχημα που κατασκεύασε ο Βέλγος Camille Jenatzy την δεκαετία του 1890, όπου κατόρθωσε να ξεπεράσει το όριο των 100 χλμ/ώρα. Οι πρωτοπόρες κατασκευάστριες εταιρίες εκπορεύονταν από τις ΗΠΑ. Από τις πιο γνωστές εταιρίες ήταν η Columbia Electric, Detroit Electric και Brake Electric [2].

Εικόνα 2 : Ευρείας παραγωγής ηλεκτρικό όχημα στις αρχές του 20ού αιώνα [2].

Η αγορά των ηλεκτροκίνητων οχημάτων μέχρι την δεκαετία του 1920 βρισκόταν σε περίοδο ακμής. Από στοιχεία που υπάρχουν αναφέρεται ότι το 1890 το πλήθος των οχημάτων που πουλήθηκαν στην Αμερική, ανέρχεται περίπου στα 4.200 όπου το 38% ήταν ηλεκτροκίνητα οχήματα, το 40% ατμοκίνητα οχήματα και το 22% ήταν βενζινοκίνητα οχήματα. Ακόμη το έτος 1912 ξεχωρίζει, διότι για τις ΗΠΑ ήταν η πιο παραγωγική χρονιά ηλεκτροκίνητων οχημάτων, με 34.000 ηλεκτρικά οχήματα σε κυκλοφορία όπου αποτελεί αρκετά μεγάλο αριθμό για εκείνη την εποχή. Το εύρος ταχύτητας των οχημάτων αυτών κυμαίνονταν από 32 χλμ\ώρα έως 48 χλμ\ώρα όπου αρκούσαν για τα δεδομένα τις εποχής [2].

Χαρακτηριστικό πλεονέκτημα των ηλεκτρικών οχημάτων έναντι των ατμοκίνητων και βενζινοκίνητων οχημάτων αποτελεί η γρήγορη και εύκολη εκκίνηση του κινητήρα. Πιο αναλυτικά στα βενζινοκίνητα οχήματα ήταν απαραίτητη η χρήση μανιβέλας για την περιστροφή του κινητήρα ώστε να τεθεί σε λειτουργία και τα ατμοκίνητα οχήματα χρειαζόντουσαν ένα χρονικό διάστημα 45 λεπτών για την προθέρμανση του ατμού. Συμπερασματικά τα ηλεκτροκίνητα οχήματα ήταν οχήματα πολυτελείας και είχαν πολύ μεγάλη απήχηση στις εύπορες κοινωνικές τάξεις [2].

Επιπρόσθετα οι υπεραστικές μετακινήσεις ήταν αρκετά δύσκολες εξαιτίας του ακατάλληλου οδικού δικτύου διασύνδεσης των πόλεων. Επιπλέον, τα οχήματα με μηχανή εσωτερικής καύσης ως μέσο μεταφοράς ήταν αρκετά θορυβώδη κατά τη λειτουργία τους. Έτσι τα ηλεκτροκίνητα οχήματα προοριζόντουσαν για αστική χρήση και κατάφεραν να επικρατήσουν έναντι των υπολοίπων τύπων έως και την δεκαετία του 1920, όταν από εκεί και έπειτα έγινε αλλαγή πορείας στην αγορά των βενζινοκίνητων οχημάτων [2].

Οι παράγοντες που εμπόδισαν την περαιτέρω διάδοση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι οι παρακάτω [2] :

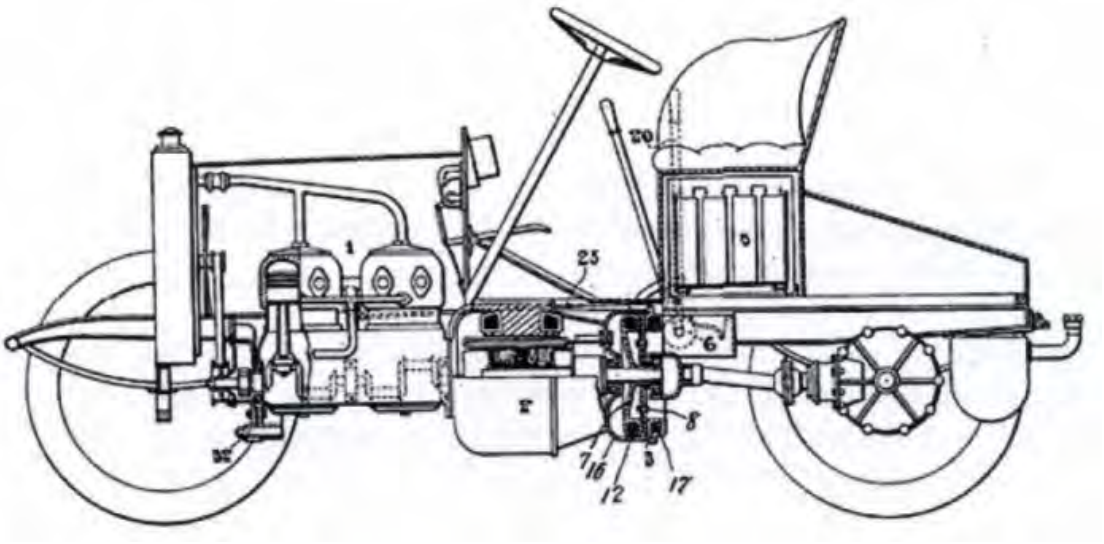
- Η ευκολότερη εκκίνηση του κινητήρα εσωτερικής καύσης στα βενζινοκίνητα οχήματα χάρις στην εφεύρεση του ηλεκτρικού εκκινητή.
- Με την βελτίωση του υπεραστικού οδικού δικτύου επιτακτική ήταν η ανάγκη για την κατασκευή οχημάτων με μεγάλη αυτονομία, ώστε να μπορούν να διανύουν μεγάλες αποστάσεις.
- Η σημαντική μείωση κόστους του πετρελαίου λόγω νέων κοιτασμάτων.
- Οι αρκετά χαμηλές τιμές αγοράς βενζινοκίνητου οχήματος λόγο της μαζικής παραγωγής των βενζινοκίνητων οχημάτων από τον Henry Ford, έναντι των υψηλότερων τιμών των ηλεκτρικών οχημάτων.
- Τα βενζινοκίνητα οχήματα βελτιώθηκαν σημαντικά, με τη μείωση των εκπεμπόμενων καυσαερίων και με τη μείωση του θορύβου κατά την λειτουργία τους.

Εκτός από την Αμερική ίδια στάση ακολούθησε και η Ευρώπη. Συνεπώς βαθμιαία τα ηλεκτρικά οχήματα άρχισαν να αποσύρονται. Το διάστημα παρακμής των ηλεκτρικών οχημάτων είχε διάρκεια περίπου από το 1930 μέχρι και το 1990. Στο διάστημα που μεσολάβησε έγιναν ελάχιστες προσπάθειες για την έρευνα και ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων. Ειδικότερα, μετά το 1960 η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων ήταν μηδενική. Λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εξαιτίας των βενζινοκίνητων οχημάτων, άρχισε να παρουσιάζεται περιβαλλοντικό πρόβλημα το οποίο έγινε ιδιαίτερα αισθητό στα αστικά κέντρα, με αποτέλεσμα την αναζήτηση εναλλακτικών ενεργειακών λύσεων έναντι του πετρελαίου [2].

1.1.2 Υβριδικά οχήματα

Τα υβριδικά οχήματα άρχισαν να πρωτοεμφανίζονται το 1905, με την αίτηση κατοχύρωσης ευρεσιτεχνίας από τον Henri Pieper για το υβριδικό όχημα, στο οποίο θα υπήρχε και ηλεκτροκινητήρας πέρα του βενζινοκινητήρα, ο οποίος θα λειτουργούσε

βοηθητικά ώστε να μπορεί το όχημα να επιταχύνει από τα 0 στα 40 χλμ/ώρα σε χρόνο 10 δευτερολέπτων. Το όχημα αυτό απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα 3 [3].



Εικόνα 3 : Το υβριδικό όχημα του Henri Pieper [3].

Οι όροι "εκπομπές ρύπων" και "κατανάλωση" δεν είχαν την ίδια σημασία τότε όπως έχουν σήμερα. Τα οχήματα κατασκευάζονταν με βασικό κριτήριο τις επιδόσεις και όχι την προστασία του περιβάλλοντος και την οικονομία στην κατανάλωση καυσίμου. Όσον αφορά τη συγκεκριμένη πατέντα, η έλλειψη ηλεκτρικού δικτύου και η χρονοβόρα διαδικασίας για την έγκρισή του είχε σαν αποτέλεσμα να μην ευδοκιμήσει [3].

Παρόμοια κατασκευή είχε εμφανιστεί και το 1900 από τον καθηγητή Ferdinand Porsche, όπου είχε αναπτύξει το σύστημα Lohner-Porsche Mixte όπου εκτός από τον βενζινοκινητήρα περιλάμβανε και ηλεκτροκινητήρα δίνοντας την δυνατότητα να αποθηκευτεί ενέργεια σε μπαταρία. Το όχημα αυτό είχε έναν τετρακύλινδρο κινητήρα συνδεδεμένο κατευθείαν σε ένα δυναμό 80 V(βολτ). Το δυναμό τροφοδοτούσε με ηλεκτρική ενέργεια τους ηλεκτροκινητήρες που είχαν τοποθετηθεί στα μουαγιέ των μπροστινών τροχών, συνεπώς δεν χρησιμοποιήθηκαν κιβώτιο ταχυτήτων, ημιαξόνια και διαφορικό [3].

Η εταιρία Lohner κατόπιν παρουσίασε το μοντέλο με υβριδική τετρακίνητη έκδοση όπου το όχημα έφερε ηλεκτροκινητήρες σε όλους τους τροχούς, με τον βενζινοκινητήρα να κινεί την γεννήτρια για την παραγωγή της απαραίτητης ηλεκτρικής ενέργειας [3].

Σταθμός στην πρόοδο των υβριδικών αυτοκινήτων αποτέλεσε η Woods Motor Vehicle Company, όταν το 1917 παρουσίασε το μοντέλο με όνομα Dual Power (Εικόνα 4) το οποίο αποτελούταν από έναν βενζινοκινητήρα και έναν ηλεκτροκινητήρα που μπορούσαν

όμως να λειτουργήσουν ξεχωριστά ο ένας με τον άλλον. Ο οδηγός του οχήματος μπορούσε να επιλέξει το βενζινοκινητήρα ή τον ηλεκτροκινητήρα για την κίνηση του οχήματος ή και τους δύο ταυτόχρονα στην περίπτωση που επιθυμούσε την μέγιστη ισχύ, χάριν του μαγνητικού συμπλέκτη που ένωνε και αποσύνδεε τους δύο κινητήρες με το σύστημα μετάδοσης κίνησης, με την χρήση δύο διακοπτών που βρίσκονταν στο τιμόνι του οχήματος. Ακόμη, το όχημα κατά την επιβράδυνση του μπορούσε να φορτίσει τις μπαταρίες του αν ο οδηγός συνέδεε τον ηλεκτροκινητήρα, όπου σε αυτήν την περίπτωση θα λειτουργούσε σαν γεννήτρια [3].

Εικόνα 4 : Το όχημα της Woods Motor Vehicle Company [3].

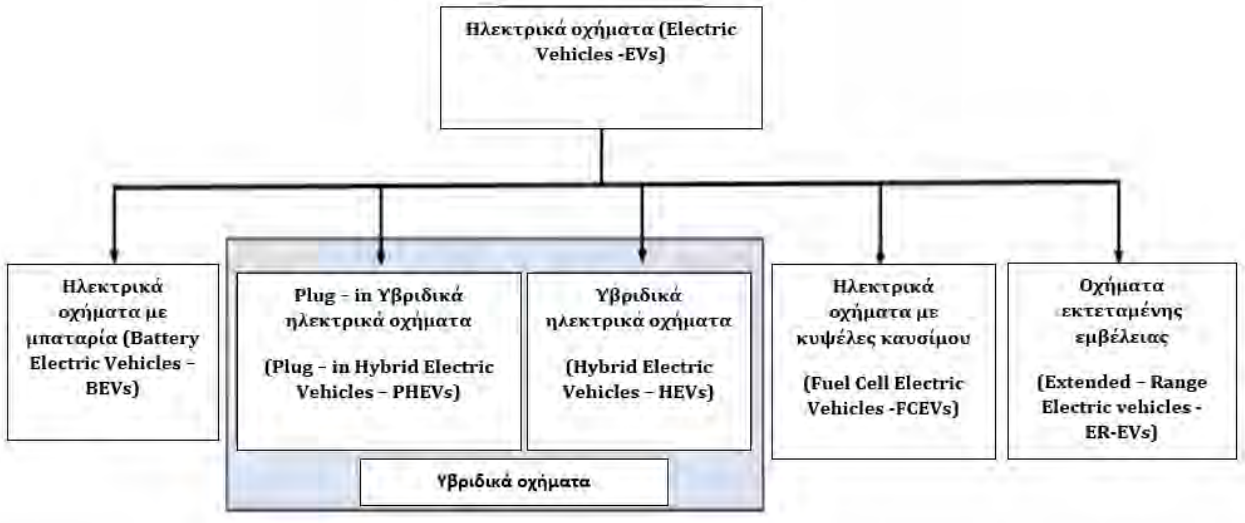
Σήμερα, τα υβριδικά οχήματα συγκροτούν μια καινοτόμα ιδέα στο χώρο της αυτοκινητοβιομηχανίας. Προσδιορίζονται ως συνένωση ενός ηλεκτρικού και ενός συμβατικού οχήματος που κινείται με καύσιμο. Η συμβολή τους είναι αρκετά σημαντική τόσο στην προστασία του περιβάλλοντος με την μείωση των εκλυόμενων ρύπων, όσο και στην εξοικονόμηση χρημάτων εξαιτίας της ανόδου των τιμών στα καύσιμα. Η δημοτικότητα των υβριδικών οχημάτων με την πάροδο του χρόνου αυξάνεται σημαντικά, βάζοντας σε σκέψεις τους ιδιοκτήτες των συμβατικών οχημάτων, για την αντικατάσταση τους με νέας τεχνολογίας υβριδικά οχήματα [4].

1.2 Κατηγορίες ηλεκτρικών οχημάτων

Τα ηλεκτρικά οχήματα παρουσιάζουν διαφορές σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα με θερμικό κινητήρα, πρωτίστως στον τρόπο με τον οποίο κινούνται. Υπάρχουν πολλές παραλλαγές των ηλεκτρικών οχημάτων, είτε λόγω του τρόπου με τον οποίο δημιουργείται η κίνηση είτε λόγω της προέλευσης της πηγής της ηλεκτρικής ενέργειας. Κοινό χαρακτηριστικό που παρουσιάζουν όλοι οι τύποι ηλεκτρικών οχημάτων είναι η ύπαρξη τουλάχιστον ενός ηλεκτρικού κινητήρα για την κίνηση του οχήματος [5]. Οι τύποι των ηλεκτρικών οχημάτων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με τις εκπομπές των ρύπων που δημιουργούνται. Αυτοί οι τύποι όπως φαίνεται και στην εικόνα 5 είναι :

- Οχήματα χωρίς ρύπους (αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα)
- Οχήματα που εκπέμπουν ελάχιστους ρύπους (υβριδικά οχήματα).

Η μεγαλύτερη διαφορά που έχουν οι δύο κατηγορίες, είναι πως στα υβριδικά οχήματα υπάρχει ο βενζινοκινητήρας [5].



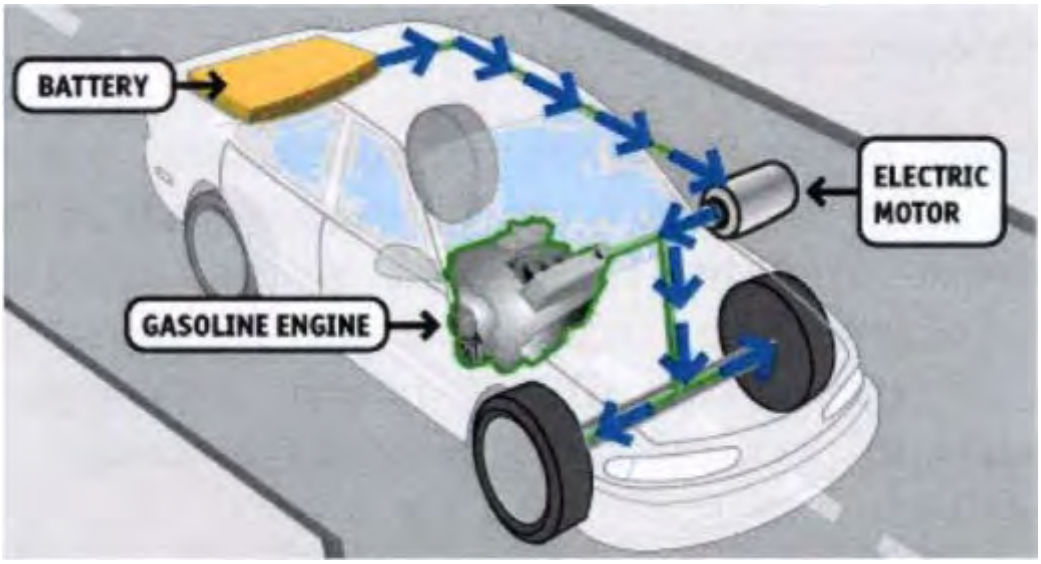
Εικόνα 5 : Κατηγορίες ηλεκτρικών οχημάτων [6].

2. Τεχνολογία υβριδικών οχημάτων

Υπάρχουν δύο τεχνολογίες υβριδικών οχημάτων, τα υβριδικά ηλεκτροκίνητα οχήματα (Hybrid Electric Vehicles - HEVs) και τα ρευματοληπτικά υβριδικά οχήματα (Plug-in Hybrid Electric Vehicles - PHEVs) τα οποία επαναφορτίζονται με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική πηγή.

2.1 Υβριδικά ηλεκτροκίνητα οχήματα (Hybrid Electric Vehicles - HEVs)

Τα υβριδικά ηλεκτροκίνητα οχήματα (εικόνα 6) συγκροτούν συνδετικό κρίκο μεταξύ των συμβατικών βενζινοκίνητων ή πετρελαιοκίνητων οχημάτων με τα ηλεκτροκίνητα οχήματα και διαθέτουν δύο κινητήριες μονάδες. Οι μονάδες αυτές αποτελούνται από έναν θερμικό κινητήρα ο οποίος λειτουργεί με αέριο ή υγρό καύσιμο (βιοκαύσιμο ή ορυκτό) και από έναν ηλεκτροκινητήρα. Ο οποίος λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια όπου μπορεί να παράγεται από ηλεκτρογεννήτρια η οποία είναι συνδεδεμένη μηχανικά με το θερμικό κινητήρα ή με την μετατροπή της κινητικής ενέργειας από το ίδιο το όχημα, η οποία συγκεντρώνεται και αποθηκεύεται στους συσσωρευτές του οχήματος κατά την διάρκεια της επιβράδυνσης, της πέδησης και κίνησης σε κατηφορικό επίπεδο. Τα υβριδικά οχήματα αποτελούνται από πέντε βασικά μέρη όπου παρουσιάζονται και στην εικόνα 7, αυτά είναι, ο κινητήρας εσωτερικής καύσης, η συσκευή διαχωρισμού ισχύος, η μπαταρία, η γεννήτρια και ο ηλεκτρικός κινητήρας [7].

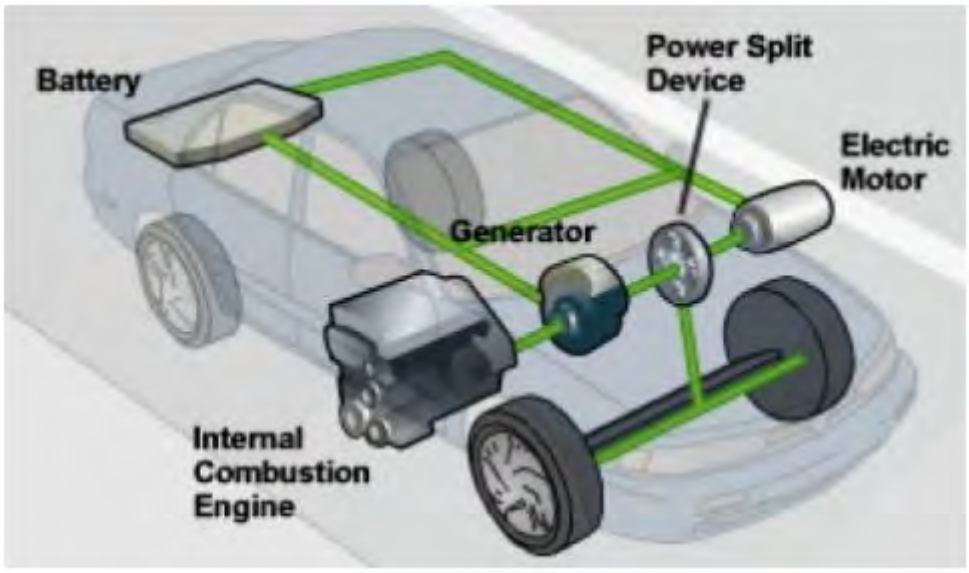


Εικόνα 6 : Υβριδικό ηλεκτροκίνητο αυτοκίνητο [3].

Βασικός σκοπός κατασκευής υβριδικών ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι η επιπλέον μείωση της κατανάλωσης καυσίμου των συμβατικών αυτοκινήτων με θερμικό κινητήρα. Αυτό επιτυγχάνεται με την εκμετάλλευση των απωλειών κινητικής ενέργειας κατά το

φρενάρισμα και την επιβράδυνση του οχήματος αλλά και από τα σημαντικά οφέλη της συνδυασμένης χρήσης του θερμικού και ηλεκτρικού κινητήρα, αξιοποιώντας την ροπή του κάθε κινητήρα σε διάφορες κινητικές καταστάσεις του οχήματος [7].

Αναλυτικότερα ο κινητήρας εσωτερικής καύσης λειτουργεί με υψηλό βαθμό απόδοσης σε ένα περιορισμένο εύρος στροφών και φορτίων, με την λειτουργία του κινητήρα εκτός αυτών των βέλτιστων στροφών, ο βαθμός απόδοσης μειώνεται και υπάρχει αντιοικονομική λειτουργία. Στην περίπτωση του υβριδικού οχήματος ο ηλεκτροκινητήρας χρησιμοποιείται για να υποβοηθήσει τον κινητήρα εσωτερικής καύσης σε περιπτώσεις που λειτουργεί σε αντιοικονομικές συνθήκες. Πρακτικά παραδείγματα είναι η επιτάχυνση με πλήρες γκάζι και η κίνηση του οχήματος με μικρή ταχύτητα και μεγάλο φορτίο. Με την υποβοήθηση του ηλεκτρικού κινητήρα επιτυγχάνεται μείωση στην κατανάλωση καυσίμου αλλά ταυτόχρονα και μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων. Επιπρόσθετα μπορεί να χρησιμοποιηθεί κινητήρας εσωτερικής καύσης μικρότερου μεγέθους για την ίδια απαιτούμενη ισχύ, όπου πρακτικά αυτό σημαίνει μικρότερο βάρος και μέγεθος του θερμικού κινητήρα [4].



Εικόνα 7 : Κύρια μέλη ενός υβριδικού οχήματος [7].

Τα υβριδικά ηλεκτροκίνητα οχήματα (HEVs) δεν διαθέτουν λειτουργία φόρτισης των συσσωρευτών τους από εξωτερική πηγή, γιατί η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται παρέχεται από το ίδιο το όχημα. Αυτός ήταν ένας από τους λόγους για τη γρήγορη μετάβαση στην αγορά καθώς οι υποδομές για ανεφοδιασμό καυσίμου είναι κοινές με τα συμβατικά οχήματα και δεν χρειάζεται εκ νέου κατασκευή νέων υποδομών. Ακόμη παρέχουν στο χρήστη του οχήματος σημαντική οικονομία καυσίμου, αυτονομία μεγαλύτερη ή ίση σε σχέση

με τα συμβατικά οχήματα, πλουσιοπάροχο εξοπλισμό σε συνδυασμό με αυτόματη λειτουργία και αρκετά άνετη οδήγηση. Το κόστος αγοράς ενός υβριδικού ηλεκτροκίνητου οχήματος είναι υψηλό, όμως συμψηφίζεται κατά ένα μέρος με την χαμηλή φορολογία και την χαμηλή κατανάλωση καυσίμου. Τα υβριδικά οχήματα σήμερα έχουν κερδίσει σημαντικό έδαφος στην αγορά και αυξάνεται συνεχώς, διότι οι περισσότερες αυτοκινητοβιομηχανίες διαθέτουν ένα ή περισσότερα υβριδικά οχήματα στον στόλο τους [7]. Ο χαρακτηρισμός ενός οχήματος ως υβριδικό βασίζεται στα ακόλουθα κριτήρια [2],[7] :

Είδος της ενέργειας που χρησιμοποιεί

Βαθμός υβριδοποίησης του οχήματος

Διάταξη του κινητήριου συστήματός του

1. Διαχωρισμός με βάση το είδος της ενέργειας που χρησιμοποιούν.

Τα υβριδικά οχήματα με βάση την ενέργεια που χρησιμοποιούν χωρίζονται σε [8] :

Ηλεκτρικά υβριδικά οχήματα, όπου τα οχήματα αυτά έχουν ένα κινητήρα εσωτερικής καύσης και έναν ηλεκτροκινητήρα.

Θερμικά υβριδικά οχήματα, όπου εκεί υπάρχει μια διάταξη όπου εκμεταλλεύεται την θερμική ενέργεια που περιέχεται στα καυσαέρια ώστε να παραχθεί ατμός, με σκοπό να μεταφερθεί σε έναν ατμοστρόβιλο. Στην συνέχεια ο ατμοστρόβιλος με την βοήθεια ενός κιβωτίου ταχυτήτων υποβοηθά την κίνηση του οχήματος.

Μηχανικά υβριδικά οχήματα, σε ένα τέτοιο σύστημα είναι απαραίτητος ένας σφόνδυλος (μια περιστρεφόμενη μεγάλη μάζα) για την επιτάχυνση και την επιβράδυνση. Όσο χρόνο διαρκεί η επιβράδυνση, η κινητική ενέργεια των τροχών μεταβιβάζεται κατευθείαν στον σφόνδυλο ή μέσω ενός ηλεκτρικού κινητήρα και δεν αποβάλλεται μέσω θερμότητας. Στην περίπτωση της επιτάχυνσης η κινητική ενέργεια διοχετεύεται πάλι στους τροχούς με την βοήθεια ενός κιβωτίου με συνεχώς μεταβαλλόμενες σχέσεις (CVT-Continuously Variable Transmission). Η ενέργεια που αποθηκεύεται είναι ανάλογη της μάζας του σφονδύλου και του τετραγώνου της ταχύτητας του. Σημαντικός παράγοντας για την αποφυγή προβλημάτων είναι η σωστή ζυγοστάθμιση του σφονδύλου.

Υδραυλικά υβριδικά οχήματα, σε αυτή την περίπτωση στα οχήματα υπάρχει μια αντλία που μεταφέρει μια ποσότητα λαδιού (υδραυλικού υγρού) ανάμεσα σε δύο χώρους. Ο ένας

χώρος είναι για την αποθήκευση του υγρού και ο άλλος είναι ένα έμβολο που περιλαμβάνει ένα αέριο. Όταν το όχημα επιβραδύνει με τη βοήθεια της αντλίας αντλείται το υγρό το οποίο συμπιέζει το αέριο. Έτσι με αυτήν τη διαδικασία δεν απαιτείται μεγάλη δύναμη στα φρένα του οχήματος και η ενέργεια που θα απορριπτόταν στο περιβάλλον με τη μορφή θερμότητας μετατρέπεται σε μηχανικό έργο, δηλαδή αποθηκεύεται. Στην περίπτωση της επιτάχυνσης το αέριο εκτονώνεται από τον χώρο που ήταν συμπιεσμένο και μεταφέρει κίνηση στην αντλία, η οποία στην συνέχεια κινεί τους τροχούς του οχήματος. Με αυτό τον τρόπο δεν χρειάζεται υπολογίσιμη συνεισφορά από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης κατά την διάρκεια της επιτάχυνσης. Το σύστημα ελέγχεται εξ ολοκλήρου από έναν ψηφιακό ελεγκτή.

2. Βαθμός υβριδοποίησης

Κατά τη σχεδίαση ενός υβριδικού οχήματος λαμβάνονται υπόψη ορισμένοι σημαντικοί παράγοντες. Ένας εξ αυτών είναι το μέγεθος του κινητήρα εσωτερικής καύσης και το μέγεθος του ηλεκτρικού κινητήρα. Επιπρόσθετα, χρειάζεται να υπολογιστεί η συνολική απαιτούμενη ισχύς και πως αυτή θα μοιραστεί μεταξύ των δύο κινητήρων. Αυτός ο παράγοντας λοιπόν, ονομάζεται βαθμός υβριδοποίησης και είναι από τις δυσκολότερες μεταβλητές που απαιτείται να προσδιοριστούν με ακρίβεια κατά τη σχεδίαση. Δεύτερος σημαντικός παράγοντας είναι το πως θα δίνεται η διαχείριση της ισχύος. Η διαχείριση της ισχύος στα υβριδικά οχήματα αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους ερευνητικούς τομείς [9].

Με βάση τις απαιτήσεις για επιτάχυνση του υβριδικού οχήματος υπολογίζεται η συνολική ισχύς των κινητήρων Αναλυτικότερα το σύστημα μετάδοσης κίνησης του υβριδικού οχήματος θα παίρνει κίνηση ή από την μηχανή εσωτερικής καύσης ή από τον ηλεκτρικό κινητήρα ή σε συνδυασμό σε κάποιες περιπτώσεις που κρίνεται αναγκαίο. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση που ο κύριος κινητήρας προώθησης είναι η μηχανή εσωτερικής καύσης, ο ηλεκτροκινητήρας θα έχει μικρότερη ισχύς και θα συνοδεύεται από μικρότερο συσσωρευτή ενέργειας. Στην αντίθετη περίπτωση όμως ο ηλεκτροκινητήρας θα υπερτερεί σε ισχύ του κινητήρα εσωτερικής καύσης ο οποίος θα είναι πιο μικρός και μπορεί να λειτουργεί ως βοηθητική πηγή ενέργειας, ως φορτιστής της συστοιχίας μπαταριών αλλά και ως ενίσχυση σε καταστάσεις μέγιστης ισχύος [9].

Για την εύκολη ταξινόμηση, ο βαθμός υβριδισμού χρειάζεται να ποσοτικοποιηθεί. Οι συνηθέστεροι τρόποι που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής [9] :

Ταξινόμηση κατά:

Την εξίσωση DOH.

Την ισχύ του δευτερεύοντος συστήματος και τη χωρητικότητα του συσσωρευτή.

- **Η εξίσωση DOH**

Η εξίσωση DOH (Degree Of Hybridization) ή εξίσωση του βαθμού υβριδοποίησης ορίζεται ως η ποσοτικοποίηση του επιπέδου υπεροχής ανάμεσα στις δύο πηγές ισχύος ενός υβριδικού οχήματος. Η μονάδα μέτρησης του DOH είναι ένας καθαρός αριθμός μεταξύ του 0 και του 1, όπου εκπροσωπεί την αναλογία της μέγιστης ισχύος εξόδου των δύο κινητήρων. [9].

Ο βαθμός υβριδισμού ορίζεται ως εξής [9] :

$$DOH=1-[(P_{max,EM} - P_{max,ICE})]/[(P_{max,EM} + P_{max,ICE})] \quad (1.1)$$

Στην περίπτωση που η εξίσωση 1.1εφαρμοστεί σε ένα ηλεκτρικό όχημα ή σε ένα συμβατικό όχημα τα αποτελέσματα θα είναι τα εξής [9] :

$$\mathbf{DOH_{Ηλεκτρικού\ Οχήματος} = 0} \quad (1.2)$$

Αντίστοιχα:

$$\mathbf{DOH_{Συμβατικού\ Οχήματος} = 0} \quad (1.3)$$

Αντίθετα στην περίπτωση ενός υβριδικού οχήματος στο όποιο οι δύο κινητήρες είναι πλήρως ισορροπημένοι ($Pmax,_{EM}= Pmax,_{ICE}$), το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι [9] :

$$\mathbf{DOH_{ΙΣΟΡ} = 1} \quad (1.4)$$

Συμπερασματικά, η εξίσωση 1.1 δηλώνει αν σε ένα υβριδικό όχημα υπερτερεί ο ένας από τους δύο κινητήρες. [9].

Η συγκεκριμένη μέθοδος ουσιαστικά ποσοτικοποιεί τον υβριδισμό του οχήματος και αποτελεί ένα αρκετά χρήσιμο εργαλείο για τη σχεδίαση του οχήματος. Παρόλα αυτά δεν θέτει κάποιες απαιτήσεις, ούτε περιγράφει τη λειτουργικότητα του οχήματος μιας και ο βαθμός υβριδοποίησης δεν μπορεί να δώσει απάντηση στο εάν π.χ. μπορεί να λειτουργήσει το σύστημα του οχήματος σε αμιγώς ηλεκτρική λειτουργία ή όχι. Συγχρόνως, πρόβλημα θα αποτελούσε αν λαμβάνονταν υπόψη όλοι οι ηλεκτρικοί κινητήρες ενός συμβατικού οχήματος

όπως για παράδειγμα ο κινητήρας εκκίνησης ή το δυναμό, γιατί τότε θα χαρακτηρίζονταν και τα συμβατικά οχήματα ως υβριδικά [9].

- **Η ισχύς του δευτερεύοντος συστήματος και τη χωρητικότητα του συσσωρευτή**

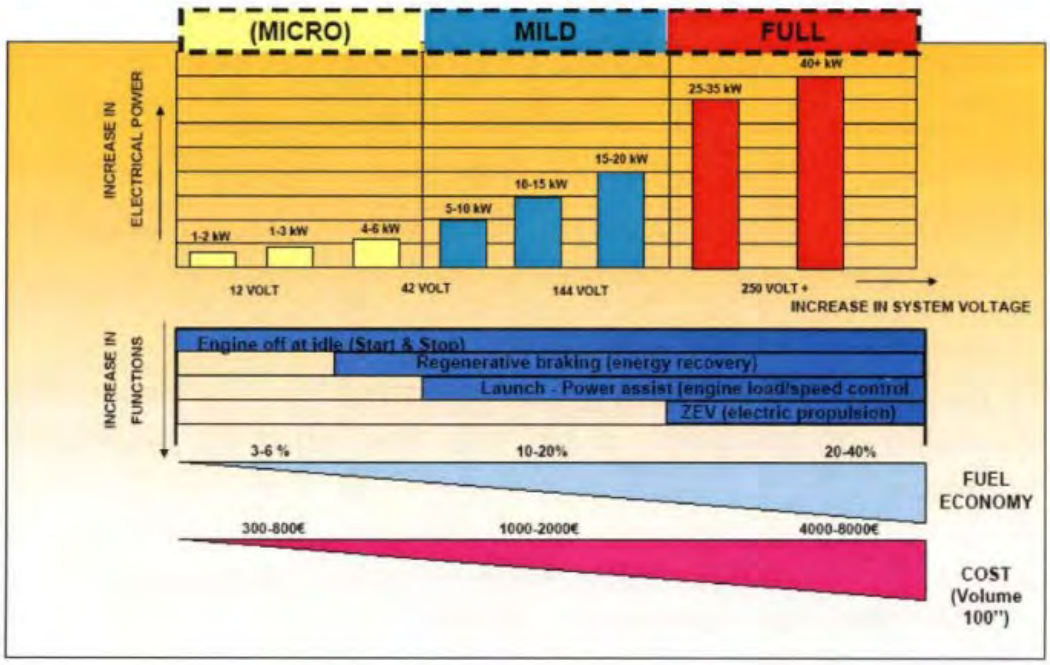
Η συγκεκριμένη μέθοδος προσδιορίζει τον βαθμό υβριδισμού αποκλειστικά με βάση το επίπεδο ισχύος της δευτερεύουσας πηγής ενέργειας και την επάρκεια ενέργειας του ηλεκτροχημικού συσσωρευτή. Δηλαδή δεν σχετίζεται καθόλου με την συνολική ισχύ του οχήματος ή με το σύστημα μετάδοσης κίνησης του οχήματος [9].

- **Κατηγοριοποίηση των υβριδικών οχημάτων σχετικά με τον βαθμό υβριδοποίησης**
  - **Μικροϋβριδικά (Micro Hybrid) :** Σε αυτή την κατηγορία τα οχήματα διακρίνονται από χαμηλό ποσοστό υβριδοποίησης, συνδυάζουν όμως αρκετές τεχνολογίες για την μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και της κατανάλωσης καυσίμου. Τα μικροϋβριδικά οχήματα διαθέτουν ένα ηλεκτρικό κινητήρα μειωμένης ισχύος για την γρήγορη επανεκκίνηση της μηχανής εσωτερικής καύσης, ενώ για την κίνηση του οχήματος χρησιμοποιείται αποκλειστικά ο κινητήρας εσωτερικής καύσης. Σε αυτά τα οχήματα ο ηλεκτροκινητήρας έχει την δυνατότητα να υποβοηθήσει κάποια επιμέρους υποσυστήματα όπως το σύστημα αυτόματης απενεργοποίησης του κινητήρα όταν το όχημα ακινητοποιείται, όπως για παράδειγμα στους φωτεινούς σηματοδότες, στο μποτιλιάρισμα και να επανεκκίνηση τον κινητήρα όταν ο οδηγός του οχήματος πατήσει το πεντάλ του γκαζιού, το σύστημα αυτό ελαττώνει την κατανάλωση καυσίμου σε μεικτή κυκλοφορία κατά 6%, κατά 10% σε αστικές συνθήκες και σε 16% σε συνθήκες ανοιχτού δρόμου το σύστημα αυτό ονομάζεται ‘start and stop’. Η λειτουργία του βασίζεται σε ένα δυναμό που λειτουργεί ως μίζα, σε ένα ηλεκτρονικό σύστημα εντολών και σε έναν συσσωρευτή. Ένα ακόμα σύστημα είναι η λειτουργία ανάκτησης ενέργειας κατά το φρενάρισμα του οχήματος με σκοπό την φόρτιση των μπαταριών, η λειτουργία αυτή ονομάζεται ‘regenerative brake’. Ο ηλεκτρικός κινητήρας παρέχει ισχύς μεγέθους 4 με 6 kW, το ποσοστό του βαθμού υβριδοποίησης ανέρχεται στο 5% με 15% [2],[4],[7].
  - **Ήπια ή ελαφρώς υβριδικά (Mild Hybrid) :** Τα ήπια υβριδικά οχήματα παρέχουν την λειτουργία ‘start and stop’, την λειτουργία ανάκτησης ενέργειας των οποίων η λειτουργία αναφέρθηκε παραπάνω. Το όχημα διαθέτει ηλεκτρικό κινητήρα, όπου μπορεί να συμβάλλει στην κίνηση του οχήματος, όμως δεν δίνεται η δυνατότητα κίνησης του οχήματος αποκλειστικά με τον ηλεκτρικό κινητήρα επειδή δεν είναι

συνδεδεμένος με το σύστημα μετάδοσης. Παρ'ολ'αυτά στα ήπια υβριδικά οχήματα όταν ο κινητήρας εσωτερικής καύσης λειτουργεί υπό υψηλό φορτίο, όπως για παράδειγμα σε φάση επιτάχυνσης ή σε κίνηση του οχήματος σε ανηφορικό επίπεδο ο ηλεκτροκινητήρας παρέχει επιπρόσθετη ισχύ. Η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα ανέρχεται στα 10-15 kW, ο συντελεστής υβριδισμού κυμαίνεται στο 10%, και η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας είναι μεταξύ του 15% - 25%. Κάποια πλεονεκτήματα των ήπιων υβριδικών οχημάτων είναι το μειωμένο βάρος του κινητήριου υβριδικού συστήματος και το μικρό κόστος του [2],[4],[7].

- **Πλήρως Υβριδικά οχήματα (Full Hybrid) :** Τα οχήματα που είναι πλήρως υβριδικά χρησιμοποιούν ένα ολοκληρωμένο ηλεκτρικό σύστημα κίνησης του οχήματος, συνεπώς το όχημα μπορεί να κινηθεί εξ ολοκλήρου από τον ηλεκτρικό κινητήρα. Η ισχύς του ηλεκτρικού κινητήρα επαρκεί για τη κίνηση του οχήματος κατά την εκκίνηση, σε συνθήκες με κυκλοφοριακή συμφόρηση, σε συνθήκες κίνησης με χαμηλές ταχύτητες και σε χαμηλά φορτία. Όταν η ισχύς πρέπει να αυξηθεί ο ηλεκτροκινητήρας δεν μπορεί να ανταπεξέλθει και συμβάλλει πλέον και ο κινητήρας εσωτερικής καύσης για να καλυφθεί η απαιτούμενη ισχύς. Όπως και στις προηγούμενες δύο κατηγορίες των μικροϋβριδικών και των ήπιων υβριδικών οχημάτων , έτσι και στα πλήρως υβριδικά οχήματα ο ηλεκτρικός κινητήρας δύναται να ανακτήσει ενέργεια κατά την διάρκεια της πέδησης και να λειτουργήσει σαν γεννήτρια χρησιμοποιώντας την κίνηση από τον άξονα του κινητήρα εσωτερικής καύσης ώστε να φορτίσουν οι μπαταρίες όταν βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα ισχύος. Στα πλήρως υβριδικά οχήματα χρησιμοποιούνται ισχυρότερες μπαταρίες σε σχέση με τα ήπια υβριδικά οχήματα, μια συγκεκριμένη μορφή μετάδοσης της κίνησης και ένας προηγμένος υπολογιστής εντολών. Το σύστημα μετάδοσης κίνησης που χρησιμοποιείται σήμερα στην αγορά είναι τύπου Continuous Variable Transmission (CVT) και αποτελεί τον βέλτιστο συνδυασμό για την λειτουργία των δύο κινητήρων σε ικανοποιητικές ταχύτητες. Στόχος των μηχανικών σχεδίασης των πλήρως υβριδικών οχημάτων είναι η αύξηση της ροπής με άμεσο αποτέλεσμα τις χαμηλές εκπομπές ρύπων και της μικρής μηχανής σε αντίθεση με την συμβατική διάταξη μηχανής εσωτερικής καύσης – συμβατικό κιβώτιο ταχυτήτων. Εν συνεχεία ο ηλεκτρικός κινητήρας που διαθέτουν έχει ισχύ μεγέθους 30kW με 50kW, ο συντελεστής υβριδισμού ανέρχεται στο 25% και η μείωση στην κατανάλωση ενέργειας είναι στην κλίμακα του 20% - 25% [4],[7],[8].

Στην εικόνα 8 παρουσιάζεται η λειτουργία των ηλεκτρικών μηχανών και το κόστος τους σε συνάρτηση με το μέγεθός τους [3].

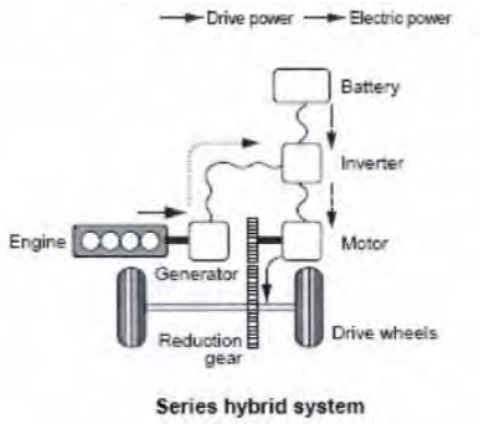


Εικόνα 8 : Σύγκριση λειτουργίας ηλεκτρικών μηχανών ανάλογα το μέγεθος τους αλλά και με το πως διαμορφώνεται το κόστος ανάλογα με το μέγεθός τους [3].

3. Κατηγοριοποίηση ανάλογα με την διάταξη του κινητήριου συστήματος

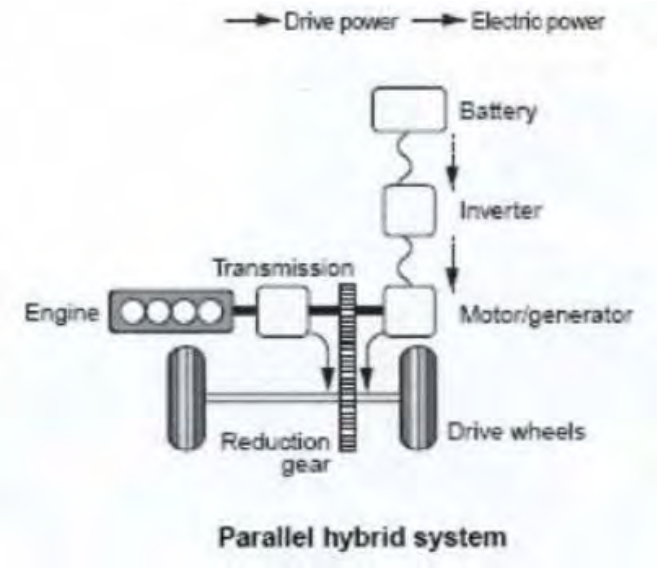
Τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα σχεδιάζονται με στόχο την μεταφορά ενέργειας από τις μονάδες παραγωγής στα φορτία με τις λιγότερες απώλειες ενέργειας οι οποίες σχετίζονται με τους κύκλους οδήγησης. Χωρίζονται λοιπόν σε τρείς κατηγορίες, σύμφωνα με την διάταξη του κινητήριου συστήματος τους αλλά και των υποσυστημάτων που τα αποτελούν. Στην κατηγοριοποίηση της διάταξης του κινητήριου συστήματος των υβριδικών οχημάτων δεν λαμβάνουν μέρος τα μικροϋβριδικά οχήματα διότι όπως αναλύθηκε και προηγουμένως, ο ηλεκτρικός κινητήρας δεν συμβάλλει στην κίνηση του οχήματος. Οι τρείς κατηγορίες διάταξης των υβριδικών οχημάτων είναι [2],[8] :

- **Σειριακό** υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (Series Hybrid Electric Vehicle - SHEV) όπου παρουσιάζεται στην εικόνα 9.



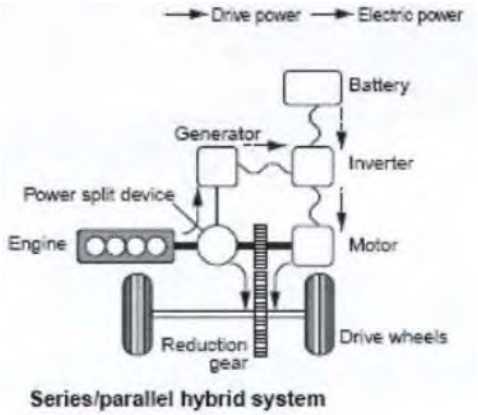
Εικόνα 9 : Σχεδιάγραμμα σειριακής σύνδεσης [3].

- **Παράλληλο** υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (Parallel Hybrid Electric Vehicle - PHEV) όπου παρουσιάζεται στην εικόνα 10.



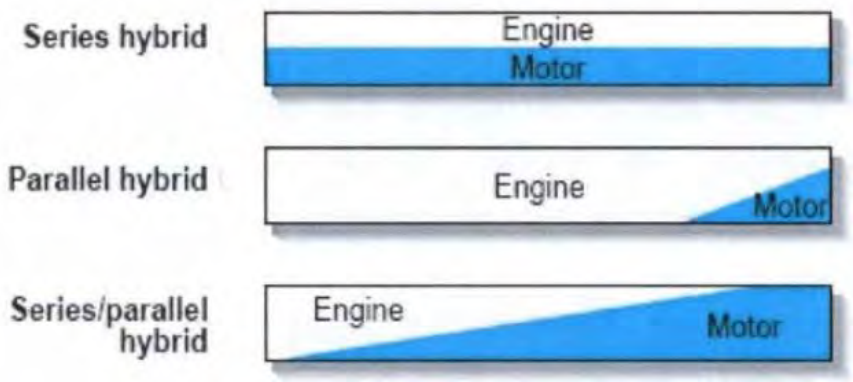
Εικόνα 10 : Σχεδιάγραμμα παράλληλης σύνδεσης [3].

- **Μικτά**, όπου πρακτικά είναι ο συνδυασμός σειριακών και παράλληλων συστημάτων (Parallel/Series Hybrid Electric Vehicle - PSHEV) όπου παρουσιάζεται στην εικόνα 11.

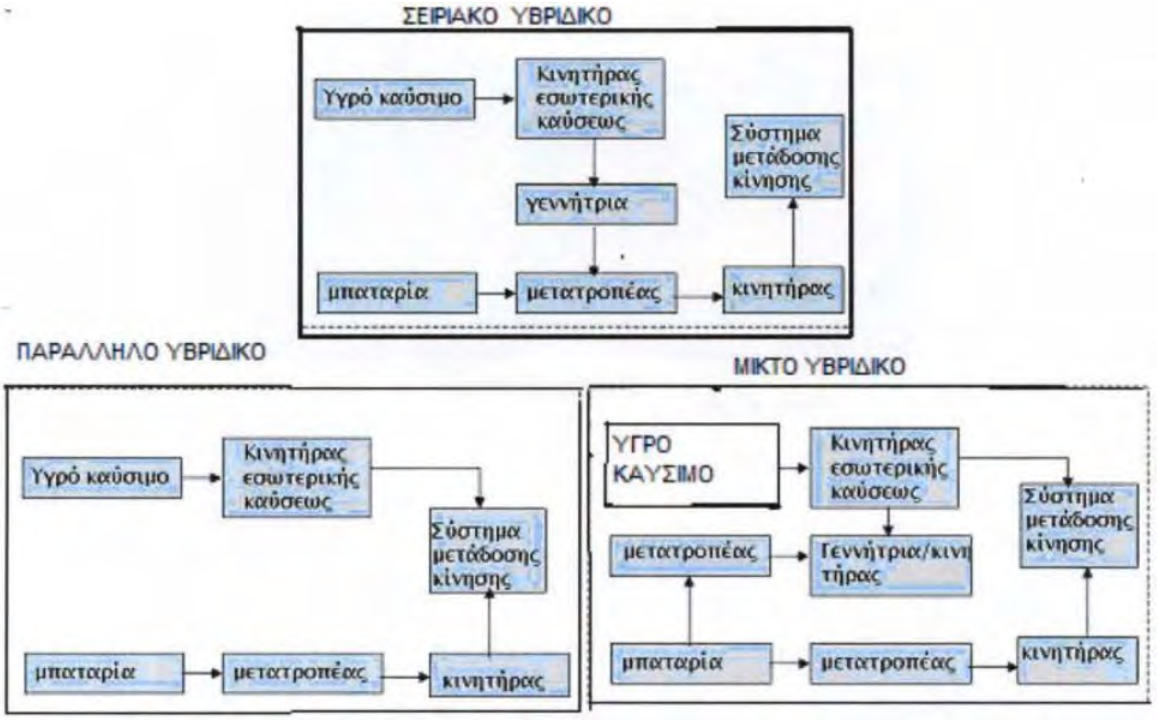


Εικόνα 11 : Σχεδιάγραμμα μεικτής σύνδεσης [3].

Συμπερασματικά στις εικόνες 12 και 13 παρουσιάζονται η συμβολή των δύο κινητήρων στα υβριδικά οχήματα και η δομή των τριών διατάξεων που προαναφέρθηκαν [3].



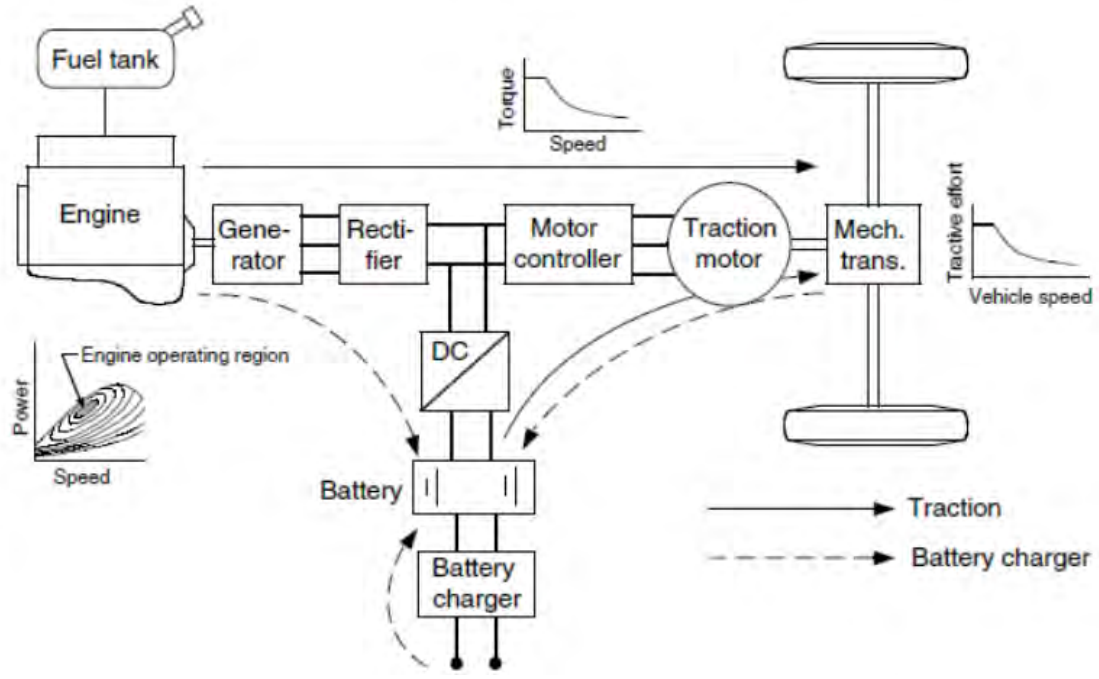
Εικόνα 12 : Συμβολή του ηλεκτρικού κινητήρα και του κινητήρα εσωτερικής καύσης και στις τρείς κατηγορίες [3].



Εικόνα 13 : Σχεδιαγράμματα δομής υβριδικών οχημάτων [3].

2.1.1 Υβριδικά οχήματα σειριακής διάταξης

Τα σειριακά υβριδικά οχήματα αποτελούνται από δύο μονάδες παραγωγής ενέργειας , όπου τροφοδοτούν τον ηλεκτρικό κινητήρα ώστε να μπορεί να κινηθεί το όχημα. Στην ακόλουθη εικόνα 14 απεικονίζεται η βασική δομή ενός σειριακού υβριδικού οχήματος [7].



Εικόνα 14 : Βασική δομή σειριακού υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος [7].

Η δεξαμενή καυσίμου αποτελεί μονοκατευθυντική πηγή ενέργειας, όπως και ο μονοκατευθυντικός μετατροπέας ενέργειας είναι ένας κινητήρας εσωτερικής καύσης προσαρτημένος σε μια ηλεκτρική γεννήτρια. Η γεννήτρια στην έξοδο της συνδέεται με συγκεκριμένη γραμμή μεταφοράς μέσω ενός ηλεκτρονικού ανορθωτή (rectifier). Ο ηλεκτροχημικός συσσωρευτής αποτελεί την αμφίδρομη πηγή ενέργειας όπου συνδέεται με την ίδια γραμμή μεταφοράς χάρις σε έναν ηλεκτρονικό μετατροπέα (DC/DC converter). Ακόμη η γραμμή μεταφοράς είναι συνδεδεμένη με τον ηλεκτρονικό ελεγκτή του ηλεκτρικού κινητήρα [7].

Στην σειριακή διάταξη, ο κινητήρας εσωτερικής καύσης δεν σχετίζεται με την κίνηση των τροχών αλλά έχει ως σκοπό την φόρτιση των ηλεκτροχημικών συσσωρευτών, όπου αποτελούν το πιο σύνηθες αποθηκευτικό μέσο. Αυτή η λειτουργία επιτυγχάνεται μέσω μιας γεννήτριας η οποία είναι συνδεδεμένη μηχανικά με τον άξονα του κινητήρα εσωτερικής καύσης και μπορεί να περιστρέφεται ώστε να λειτουργήσει ως δυναμό και μίζα, αντικαθιστώντας τα συμβατικά εξαρτήματα των οχημάτων. Η κίνηση του οχήματος οφείλεται σε έναν δεύτερο ηλεκτροκινητήρα ο οποίος παίρνει ενέργεια από την γεννήτρια ή τους ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές και είναι συνδεδεμένος με τους τροχούς του οχήματος [7].

Συμπερασματικά, η πρόωση του οχήματος είναι αμιγώς ηλεκτρική, ενώ ο κινητήρας εσωτερικής καύσης μετατρέπει την χημική ενέργεια από τα ορυκτά καύσιμα σε ηλεκτρική ενέργεια για την φόρτιση των ηλεκτροχημικών συσσωρευτών. Ακόμη το σύστημα έχει την δυνατότητα ανάκτησης ενέργειας, όταν ο ηλεκτρικός κινητήρας που είναι συνδεδεμένος με τους τροχούς του οχήματος λειτουργεί σαν γεννήτρια. Έτσι φορτίζουν οι ηλεκτροχημική συσσωρευτές του οχήματος, διότι η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική [7].

Τα σειριακά υβριδικά οχήματα μπορούν να λειτουργήσουν με τις παρακάτω καταστάσεις [2] :

1. **Καθαρά ηλεκτρική λειτουργία :** ο κινητήρας εσωτερικής καύσης δεν λειτουργεί και η πρόωση του οχήματος γίνεται με την κατανάλωση ενέργειας από τους ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές.
2. **Αποκλειστική λειτουργία του κινητήρα εσωτερικής καύσης :** η πρόωση του οχήματος γίνεται με την ισχύ του συνδυασμού κινητήρα εσωτερικής καύσης και γεννήτριας, αλλά όμως οι ηλεκτροχημική συσσωρευτές ούτε αντλούν ούτε παρέχουν

ισχύ από τον άξονα μετάδοσης κίνησης. Ακόμη οι ηλεκτροκινητήρες χρησιμεύουν ως ηλεκτρική μετάδοση από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης στους τροχούς.

3. **Υβριδική λειτουργία :** η ισχύς για την πρόωση του οχήματος παρέχεται από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης και από τους ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές, όταν η ισχύς που απαιτείται είναι περισσότερη από αυτή που παρέχει η γεννήτρια.
4. **Λειτουργία αναγεννητικής πέδησης(regenerative braking) :** σε αυτή την περίπτωση ο ηλεκτρικός κινητήρας λειτουργεί σαν γεννήτρια και η ισχύς που παράγεται εκμεταλλεύεται για την φόρτιση των μπαταριών.
5. **Κίνηση από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης και φόρτιση μπαταριών :** ο συνδυασμός γεννήτριας – κινητήρα εσωτερικής καύσης προσδίδει ισχύ για την φόρτιση των ηλεκτροχημικών συσσωρευτών και την κίνηση του οχήματος, στην περίπτωση που η ισχύς του ηλεκτρικού κινητήρα είναι λιγότερη από την ισχύ που έχει η γεννήτρια στην έξοδο της.
6. **Υβριδική λειτουργία φόρτισης μπαταριών :** ο συνδυασμός κινητήρα εσωτερικής καύσης – γεννήτριας και ο ηλεκτρικός κινητήρας λειτουργούν σαν γεννήτριες για την φόρτιση των μπαταριών.
7. **Λειτουργία φόρτισης μπαταριών :** ο συνδυασμός κινητήρα εσωτερικής καύσης – γεννήτριας φορτίζει τις μπαταρίες και ο ηλεκτρικός κινητήρας δεν απορροφά ισχύ.

Τα σειριακά υβριδικά οχήματα έχουν αρκετά πλεονεκτήματα, όπως είναι αναμενόμενο όμως έχουν και ορισμένα μειονεκτήματα. Παρακάτω θα αναφερθούν αρχικά τα πλεονεκτήματα και στην συνέχεια τα μειονεκτήματα [7].

Πλεονεκτήματα [3],[7] :

- Το σύστημα κίνησης με τον ηλεκτρικό κινητήρα στα σειριακά υβριδικά οχήματα είναι μηχανικά απομονωμένο. Έτσι με αυτή την μέθοδο η ολική απόδοση βελτιστοποιείται. Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης και η ηλεκτρική γεννήτρια δεν χρειάζεται να προσαρμόζονται για όσο διάστημα λειτουργούν στις μεταβολές που σχετίζονται με την διακύμανση του φορτίου που δέχεται ο ηλεκτρικός κινητήρας ανάλογα με την διαδρομή που ακολουθεί το όχημα. Επιπρόσθετα στον κινητήρα εσωτερικής καύσης δεν χρειάζεται να μεταβληθούν οι στροφές περιστροφής του, διότι μπορεί να λειτουργεί σταθερά στην ονομαστική του κατάσταση. Άμεσο αποτέλεσμα είναι η μείωση της κατανάλωσης ορυκτού καυσίμου και η μείωση των

αερίων ρύπων, ακόμη όμως ο κινητήρας εσωτερικής καύσης είναι μικρότερος σε μέγεθος και ισχύ σε σύγκριση με ένα κινητήρα συμβατικού οχήματος.

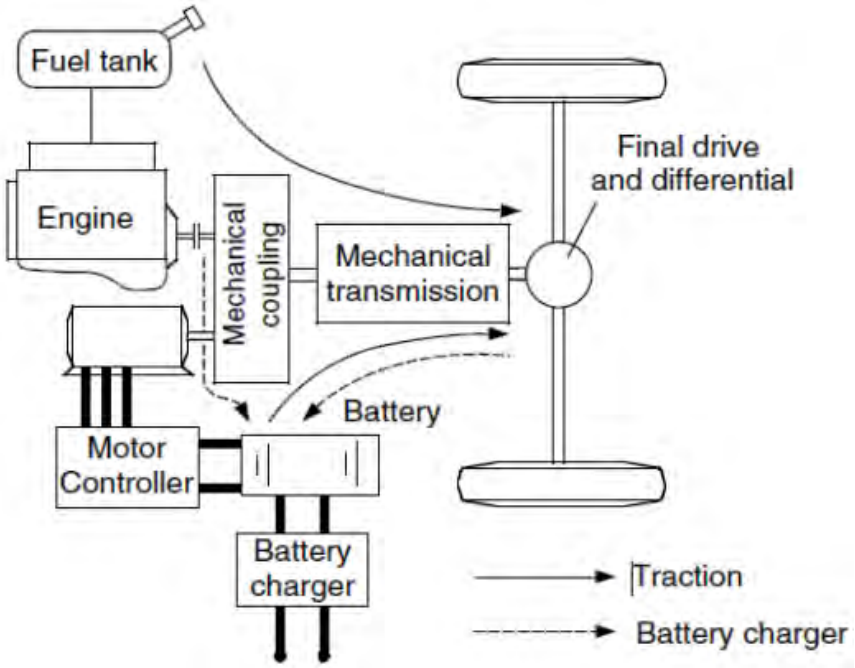
- Το σύστημα μετάδοσης κίνησης (κιβώτιο ταχυτήτων) δεν είναι απαραίτητο λόγω του ηλεκτροκινητήρα.
- Λόγω του μικρότερου όγκου του κινητήρα εσωτερικής καύσης αλλά και η ανεξαρτησία στην σύνδεση μεταξύ αυτού και της γεννήτριας με τον ηλεκτρικό κινητήρα, προσδίδει περισσότερα περιθώρια για τη τοποθέτησή του με βάση την βέλτιστη κατανομή βάρους.

Μειονεκτήματα [3],[7] :

- Η χρήση ηλεκτρικού κινητήρα προκαλεί επιπρόσθετο κόστος και βάρος.
- Επειδή ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι το αποκλειστικό μέσο κίνησης του οχήματος θα πρέπει η διαστασιολόγηση του να είναι ακριβής ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί άριστα σε μέγιστες απαιτήσεις.
- Εξαιτίας της σειριακής σύνδεσης των επιμέρους συστημάτων, ο συνολικός βαθμός απόδοσης της διάταξης για την μετατροπή της ενέργεια και την μετάδοση της κίνησης στους τροχούς δεν είναι ικανοποιητικός. Ο συνολικός βαθμός απόδοσης ισούται με το γινόμενο των βαθμών απόδοσης των επιμέρους συστημάτων. Η ενέργεια που προέρχεται από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης μετατρέπεται δύο φορές, δηλαδή από μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια στον κινητήρα και από ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια στον ηλεκτρικό κινητήρα. Οι απώλειες του ηλεκτροκινητήρα και του κινητήρα εσωτερικής καύσης συναθροίζονται και οι απώλειες που προκύπτουν, μπορεί να είναι μεγάλες.
- Η συγκεκριμένη διάταξη δεν ενδείκνυται για την διάνυση μεγάλων αποστάσεων, διότι απαιτούνται υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις από τον ηλεκτρικό κινητήρα και όπως είναι αναμενόμενο αυξάνονται το βάρος, η ισχύ και το κόστος των εναπομένων συστημάτων που τον τροφοδοτούν.

2.1.2 Υβριδικά οχήματα παράλληλης διάταξης

Στα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα παράλληλης διάταξης η ισχύς στους τροχούς παρέχεται με μηχανικό τρόπο όπως και στα συμβατικά οχήματα. Υπάρχει υποβοήθηση από έναν ηλεκτρικό κινητήρα, ο οποίος έχει συνδεθεί μηχανικά με το σύστημα μετάδοσης της κίνησης. Η ισχύς του ηλεκτρικού κινητήρα και η ισχύς του κινητήρα εσωτερικής καύσης είναι συνδεδεμένες με μηχανική σύζευξη, αυτό φαίνεται και στην εικόνα 15 παρακάτω.



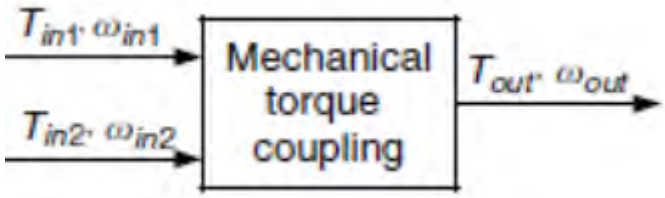
Εικόνα 15 : Βασική δομή παράλληλου υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος [7].

Στην συγκεκριμένη διάταξη η πρόωση του οχήματος γίνεται είτε με τον ηλεκτρικό κινητήρα είτε με την μηχανή εσωτερικής καύσης ή συγχρόνως και με τους δύο κινητήρες μαζί. Το σύστημα συνεργασίας και συμμετοχής των δύο κινητήρων για την πρόωση του οχήματος ελέγχετε από έναν μικροελεγκτή. Σε σύγκριση με την διάταξη σειριακής σύνδεσης , η παράλληλη σύνδεση χρησιμοποιεί ηλεκτρικό κινητήρα μικρότερης ισχύος γιατί λειτουργεί παράλληλα με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης. Ακόμη μικρότερη ισχύς είναι και οι ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές. Παρ'ολ'αυτά το κόστος κατασκευής των παράλληλων υβριδικών οχημάτων είναι ίδιο με αυτό των σειριακών υβριδικών οχημάτων λόγω της ύπαρξης κιβωτίου ταχυτήτων και του μηχανικού συστήματος για τη σύμπλεξη του κινητήρα εσωτερικής καύσης και του ηλεκτρικού κινητήρα με τον άξονα μετάδοσης της κίνησης. Επιπλέον ο έλεγχος για την διαχείριση της ισχύος των δύο μηχανών είναι δυσκολότερος [7].

Η μηχανική σύνδεση του ηλεκτρικού κινητήρα και της μηχανής εσωτερικής καύσης δίνει την δυνατότητα εφαρμογής διάφορων παραλλαγών για την διαμόρφωση του οχήματος. Η μηχανική σύνδεση μπορεί να είναι σύνδεση ταχύτητας ή σύνδεση ροπής [7].

2.1.2.1 Παράλληλο υβριδικό ηλεκτρικό όχημα με σύνδεση ροπής

Όταν γίνεται σύνδεση της ροπής, οι ροπές από τον ηλεκτρικό κινητήρα και την μηχανή εσωτερικής καύσης προστίθενται ή εναλλακτικά η ροπή από την μηχανή εσωτερικής καύσης διαχωρίζεται σε δύο μέρη, ένα για την φόρτιση της μπαταρίας και ένα για την πρόωση του οχήματος [7].



Εικόνα 16 : Μηχανισμός μηχανικής σύζευξης ροπής [7].

Η εικόνα 16 απεικονίζει τον μηχανισμό μηχανικής σύζευξης ροπής, όπου όπως φαίνεται έχει δύο εισόδους, μια από τον ηλεκτρικό κινητήρα και μια από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης. Η έξοδος του μηχανισμού σύζευξης ροπής συνδέεται με το σύστημα μηχανικής μετάδοσης [7].

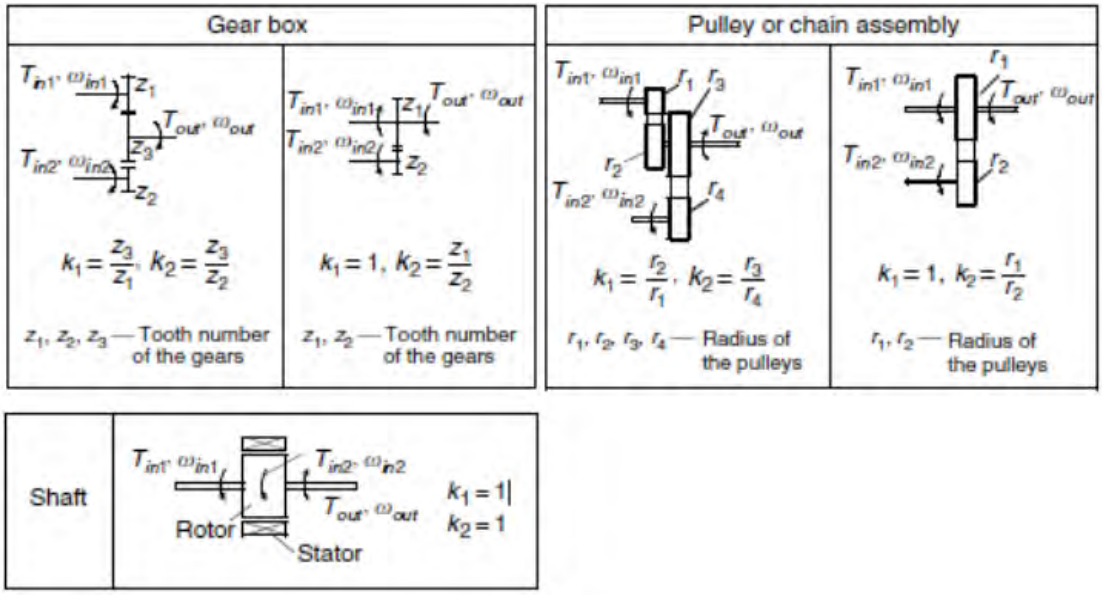
Αν δεν συμπεριληφθούν οι απώλειες, ο υπολογισμός της ταχύτητας εξόδου και της ροπής εξόδου γίνεται με τις ακόλουθες σχέσεις [7] :

$$T_{out} = k_1 T_{in1} + k_2 T_{in2} \quad (1.5)$$

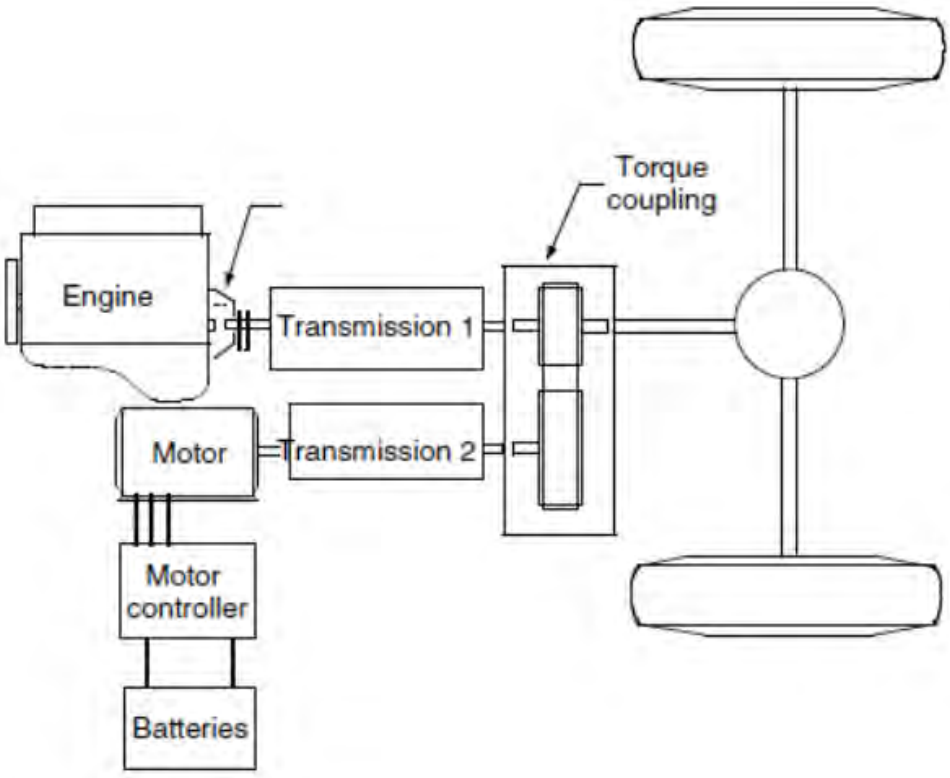
$$\Omega_{out} = \frac{\omega in1}{k1} = \frac{\omega in2}{k2} \quad (1.6)$$

Τα k_1 και k_2 αποτελούν σταθερές που προσδιορίζονται από τον μηχανισμό μηχανικής σύζευξης [7].

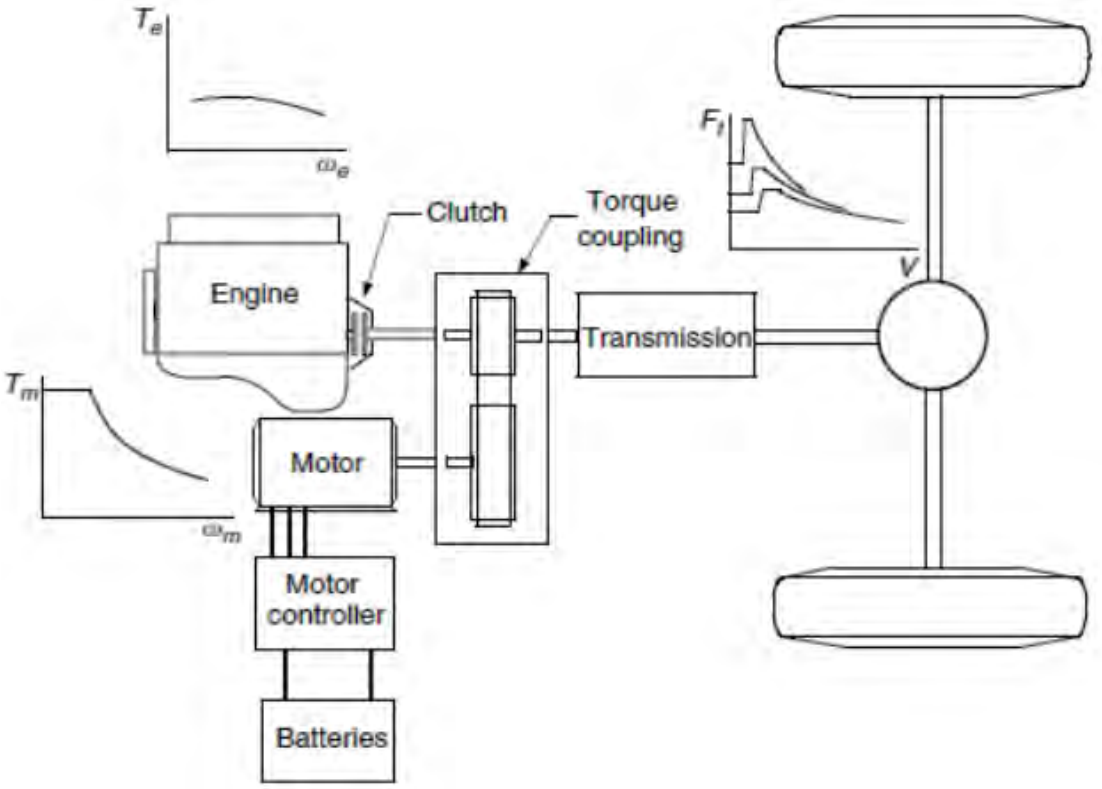
Η δομή του μηχανισμού μηχανικής σύζευξης ροπής (εικόνα 17) μπορεί να διαχωριστεί σε δύο κατηγορίες, πρώτη κατηγορία ως διάταξη ενός άξονα και δεύτερη κατηγορία ως διάταξη δύο αξόνων. Και στις δύο κατηγορίες το σύστημα μετάδοσης της κίνησης γίνεται να σχεδιαστεί με διαφορετικές σχέσεις μετάδοσης προσδίδοντας διαφορετικά χαρακτηριστικά έλξης, ακόμη μπορεί να τοποθετηθεί σε διαφορετικές θέσεις. Για τον βέλτιστο σχεδιασμό λαμβάνονται σοβαρά υπόψη, το μέγεθος, οι απαιτήσεις έλξεως τα χαρακτηριστικά του κινητήρα εσωτερικής καύσης, τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού κινητήρα και των υπόλοιπων συστημάτων [7].



Εικόνα 17 : Συνηθέστερες διατάξεις μηχανικής σύζευξης ροπής [7].

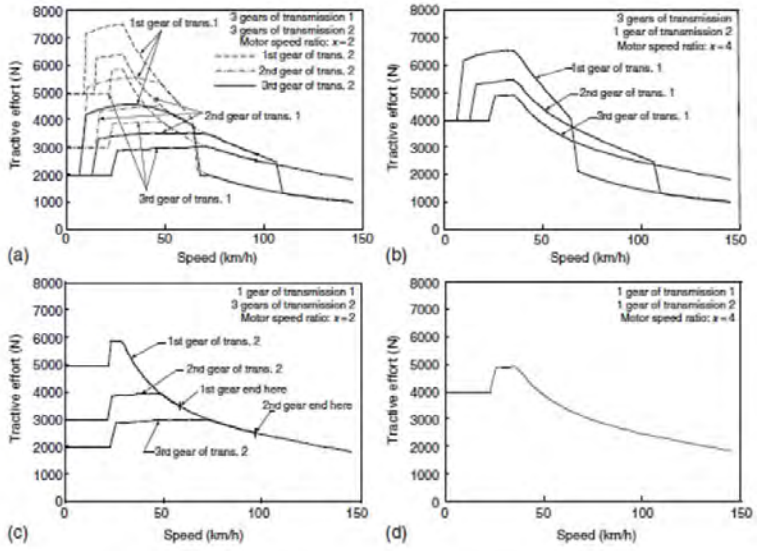


Εικόνα 18 : Σχεδιάγραμμα διάταξης δύο αξόνων [7].



Εικόνα 19 : Σχεδιάγραμμα διάταξης δύο αξόνων (2) [7].

Οι εικόνες 18 και 19 απεικονίζουν δύο διατάξεις παράλληλου υβριδικού οχήματος με δύο άξονες. Στην διάταξη της εικόνας 18 υπάρχουν δύο συστήματα μετάδοσης κίνησης για την σύνδεση των δύο κινητήρων με το σύστημα σύζευξης, όπου το ένα από τα δύο είναι τοποθετημένο ανάμεσα στον ηλεκτρικό κινητήρα και της σύζευξης ροπής και το άλλο ανάμεσα στον κινητήρα εσωτερικής καύσης και της σύζευξης ροπής. Κάθε ένα από δύο συστήματα μετάδοσης κίνησης γίνεται να είναι μίας ή και περισσότερων σχέσεων [7].



Εικόνα 20 : Διαγράμματα ελκτικής δύναμης και ταχύτητας του οχήματος με διαφορετικά συστήματα μετάδοσης [7].

Η εικόνα 20 περιέχει τέσσερα διαγράμματα που δείχνουν το προφίλ της ελκτικής δύναμης με την ταχύτητα του οχήματος για διαφορετικές παραμέτρους μετάδοσης κίνησης. Είναι εμφανές (διάγραμμα (a)) πως δύο συστήματα μετάδοσης πολλαπλών σχέσεων μπορούν να παράγουν πολλά προφίλ ελκτικής δύναμης. Σε σύγκριση με άλλους σχεδιασμούς η συνολική αποτελεσματικότητα και η απόδοση του συστήματος μετάδοσης κίνησης γίνεται να είναι καλύτερη από διαφορετικούς σχεδιασμούς, διότι υπάρχει η δυνατότητα τόσο ο ηλεκτρικός κινητήρας όσο και ο κινητήρας εσωτερικής καύσης να μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα στην βέλτιστη περιοχή τους. Αυτή η παράμετρος δίνει μεγάλη ανοχή κατά τον σχεδιασμό των χαρακτηριστικών του ηλεκτρικού κινητήρα και της μηχανής εσωτερικής καύσης. Παρ'ολ'αυτά, υπάρχει ένα σημαντικό εμπόδιο το οποίο είναι η πολυπλοκότητα του συστήματος [7].

Στην περίπτωση που επιλεχθεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτο σύστημα – transmission 1 σύστημα πολλαπλών σχέσεων και ως δεύτερο σύστημα – transmission 2 σύστημα μίας σχέσης, προκύπτουν οι χαρακτηριστικές του σχήματος (b) της εικόνας 20. Η επιλογή του συστήματος μιας ταχύτητας ωφελείται στο πλεονέκτημα της χαρακτηριστικής που έχουν οι ηλεκτρικοί κινητήρες σχετικά με της υψηλές ροπές σε χαμηλές ταχύτητες. Παράλληλα τα συστήματα μετάδοσης πολλαπλών σχέσεων επιλέγονται για να εξαλειφθούν τα μειονεκτήματα που οφείλονται στις χαρακτηριστικές της ταχύτητας με την ροπή του κινητήρα εσωτερικής καύσης, όπως για παράδειγμα η επίπεδη ροπή εξόδου σε σχέση με την ταχύτητα. Επιπρόσθετα το σύστημα πολλαπλών σχέσεων έχει την τάση να βελτιώνει την απόδοση του κινητήρα εσωτερικής καύσης αλλά και να μειώνει το διάστημα της ταχύτητας

του οχήματος, στο οποίο ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι το μόνο κινητήριο μέσο του οχήματος, ελαχιστοποιώντας έτσι την ενέργεια εκφόρτισης της μπαταρίας [7].

Στον αντίποδα με το προηγούμενο σχεδιασμό, το διάγραμμα (c) της εικόνας 20 δείχνει τα αποτελέσματα στο ενδεχόμενο όπου το σύστημα 1 είναι ένα σύστημα μια σχέσης και το σύστημα 2 είναι ένα σύστημα πολλαπλών σχέσεων. Αυτή η επιλογή δεν είναι η βέλτιστη καθώς δεν αξιοποιεί τα πλεονεκτήματα και από τις δύο μονάδες παραγωγής ενέργειας [7].

Ακόμη το διάγραμμα (d) της εικόνας 20, δείχνει και τα δύο συστήματα ως συστήματα μιας ταχύτητας. Η συγκεκριμένη διάταξη χαρακτηρίζεται από απλό έλεγχο και απλή διαμόρφωση. Ωστόσο, ο στόχος αυτής της διάταξης είναι η μέγιστη δύναμη έλξεως [7].

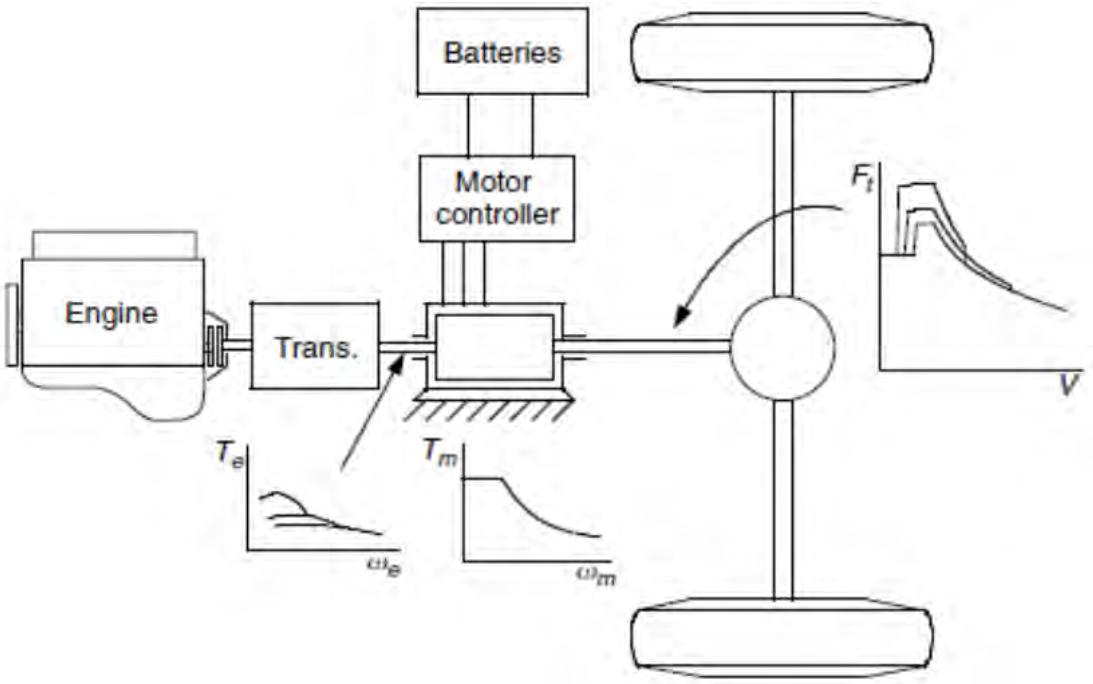
Μια διαφορετική διαμόρφωση ενός υβριδικού οχήματος με σύνδεση ροπής δύο αξόνων απεικονίζεται στην εικόνα 19. Σε αυτή την μορφή διάταξης, επιλέγεται ένα μοναδικό σύστημα μετάδοσης κίνησης, όπου είναι τοποθετημένο ενδιάμεσα από τον άξονα κίνησης και τη σύνδεση της ροπής. Οι ροπές από τον ηλεκτρικό κινητήρα και τον κινητήρα εσωτερικής καύσης αυξάνονται με τον ίδιο βαθμό με το συγκεκριμένο σύστημα μετάδοσης κίνησης. Η σωστή επιλογή συντελεστών k1 και k2, προσδίδει στον ηλεκτρικό κινητήρα ένα διαφορετικό εύρος ταχύτητας σε σχέση με την μηχανή εσωτερικής καύσης, συμπερασματικά γίνεται να τοποθετηθεί ένας ηλεκτρικός κινητήρας ο οποίος λειτουργεί σε υψηλές ταχύτητες με μικρή ροπή και μέγεθος. Στην πράξη η διαμόρφωση αυτή είναι χρήσιμη σε εφαρμογές με μικρή μηχανή εσωτερικής καύσης και μικρό ηλεκτρικό κινητήρα. Στην περίπτωση βελτίωσης της ροπής σε χαμηλές ταχύτητες, το σύστημα μετάδοσης κίνησης μπορεί να είναι περισσότερων της μιας σχέσης [7].

Η ολοκληρωμένη και απλή αρχιτεκτονική σύνδεση της ροπής ενός υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος είναι η προσαρμογή ενός άξονα, έτσι ο ρότορας του ηλεκτρικού κινητήρα να δουλεύει ως σύνδεση ροπής, δηλαδή k1=0 και k2=0. Στα σχήματα των εικόνων 18 και 19 παρουσιάζεται αυτή η αρχιτεκτονική. Ένα σύστημα μετάδοσης κίνησης γίνεται να τοποθετηθεί ή ενδιάμεσα του κινητήρα εσωτερικής καύσης και του ηλεκτρικού κινητήρα ή πίσω από τον ηλεκτρικό κινητήρα που γίνεται η σύζευξη με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης μέσω του συμπλέκτη. Στην πρώτη επιλογή η αρχιτεκτονική χαρακτηρίζεται ως ‘ post-transmission’ όπως φαίνεται και στην εικόνα 21, δηλαδή ο ηλεκτροκινητήρας βρίσκεται πίσω από το σύστημα μετάδοσης κίνησης. Στην δεύτερη επιλογή η αρχιτεκτονική

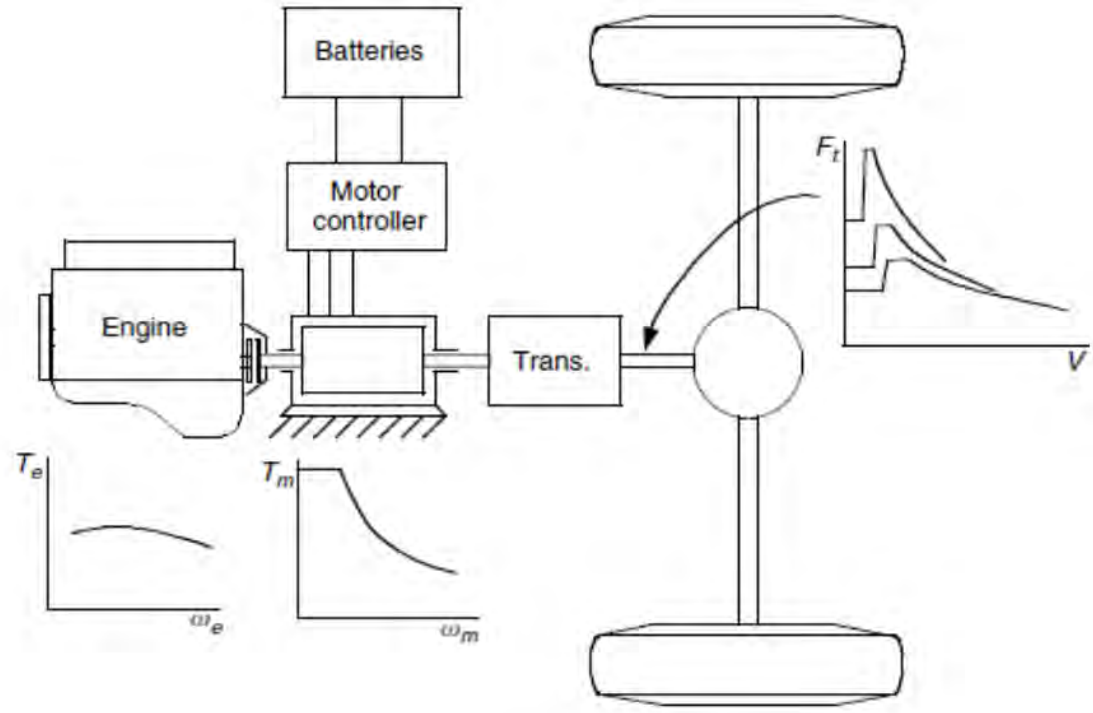
χαρακτηρίζεται ως προ μετάδοσης (pre-transmission) όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 22, δηλαδή ο ηλεκτροκινητήρας βρίσκεται μπροστά από το σύστημα μετάδοσης κίνησης [7].

Στην επιλογή της αρχιτεκτονικής μετά τη μετάδοση (post-transmission), το σύστημα μετάδοσης της κίνησης χρησιμεύει για την μετατροπή της ροπής της μηχανής εσωτερικής καύσης ενώ η ροπή από τον ηλεκτρικό κινητήρα μεταβιβάζεται κατευθείαν στους τροχούς. Βρίσκει εφαρμογές σε περιπτώσεις όπου ο ηλεκτροκινητήρας είναι μεγάλος και έχει μεγάλο εύρος ταχυτήτων σταθερής ισχύος. Η χρησιμότητα του συστήματος μετάδοσης κίνησης σε αυτή την περίπτωση είναι αποκλειστικά η αλλαγή των σημείων λειτουργίας του κινητήρα εσωτερικής καύσης, με σκοπό την καλύτερη απόδοση του οχήματος και την καλύτερη απόδοση της λειτουργίας του θερμικού κινητήρα. Παρόλα αυτά, οι ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές του οχήματος δεν γίνεται να φορτίσουν από τον θερμικό κινητήρα χάρις στην λειτουργία του ηλεκτρικού κινητήρα ως γεννήτρια όταν το όχημα είναι σταματημένο και ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι σταθερά συνδεδεμένος με τους τροχούς [7].

Αντίθετα, στην επιλογή της αρχιτεκτονικής ‘pre-transmission’, η ροπή του ηλεκτρικού κινητήρα και η ροπή του κινητήρα εσωτερικής καύσης μετατρέπονται από το ίδιο σύστημα μετάδοσης κίνησης. Ο ηλεκτρικός και θερμικός κινητήρας θα πρέπει να έχουν το ίδιο εύρος ταχυτήτων. Η αρχιτεκτονική αυτή βρίσκει εφαρμογές σε περιπτώσεις μικρού ηλεκτρικού κινητήρα, όπου χρησιμοποιείται περισσότερο σαν ηλεκτρογεννήτρια, φορτιστής κατά την πέδηση, εκκινητής και βοηθητικός πάροχος ισχύος [7].



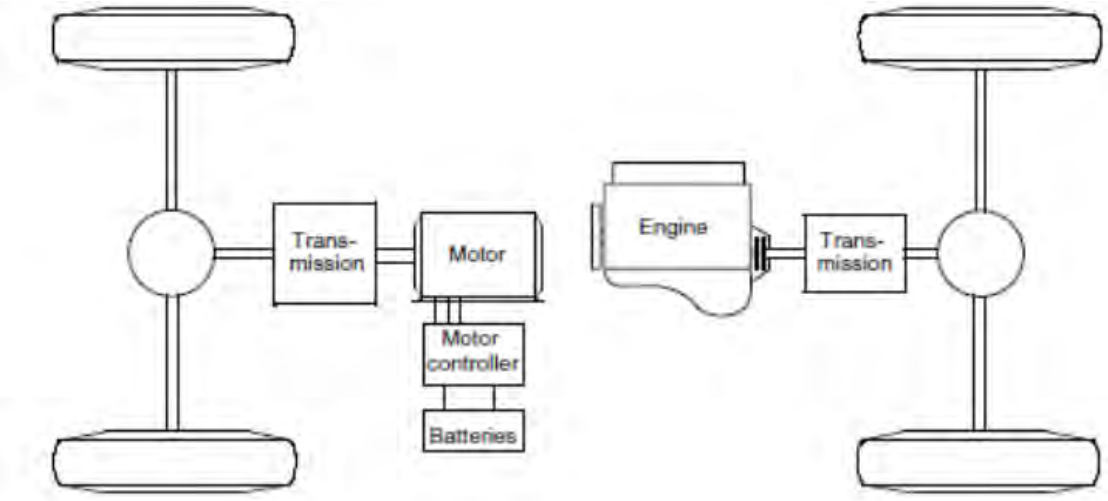
Εικόνα 21 : Σχεδιάγραμμα αρχιτεκτονικής post-transmission [7].



Εικόνα 22 : Σχεδιάγραμμα αρχιτεκτονικής pre-transmission [7].

Εν κατακλείδι, μια ακόμα διάταξη παράλληλου υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος με σύνδεση ροπής αποτελεί η αρχιτεκτονική με ξεχωριστούς άξονες (εικόνα 23), όπου ο ένας άξονας τροφοδοτείται από τον ηλεκτρικό κινητήρα και ο άλλος άξονας τροφοδοτείται από τον θερμικό κινητήρα. Μέσω του δρόμου και του πλαισίου του οχήματος η δύναμη έλξης

από τις δύο πηγές ενέργειας προστίθενται. Το σύστημα αυτό έχει ίδια λειτουργία με το σύστημα δύο αξόνων, και τα δύο συστήματα μετάδοσης κίνησης γίνεται να έχουν είτε μια σχέση είτε πολλές σχέσεις. Αυτή η διάταξη έχει το πλεονέκτημα διατήρησης του συστήματος κινητήρα εσωτερικής καύσης – μετάδοσης σταθερό σε σχέση με ένα συμβατικό όχημα με την προσθήκη μόνο ενός ηλεκτρικού κινητήρα, ακόμη υπάρχει η δυνατότητα κίνησης και στους τέσσερις τροχούς κατά την φάση της υβριδικής λειτουργίας και των δύο μηχανών. Υπάρχει όμως και το μειονέκτημα δέσμευσης αρκετού χώρου από το σύστημα μετάδοσης κίνησης και τον ηλεκτρικό κινητήρα, ελαττώνοντας τον διαθέσιμο χώρο των επιβατών. Το μειονέκτημα μπορεί να εξαλειφθεί τοποθετώντας δύο ηλεκτρικούς κινητήρες αντί ενός στους δύο τροχούς του οχήματος. Ακόμη όταν το όχημα βρίσκεται σε στάση ο κινητήρας εσωτερικής καύσης δεν μπορεί να φορτίσει την μπαταρία του οχήματος [7].



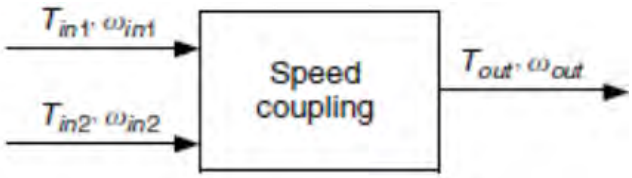
Εικόνα 23 : Σχεδιάγραμμα διάταξης με δύο ξεχωριστούς άξονες [7].

2.1.2.2 Παράλληλο υβριδικό ηλεκτρικό όχημα με σύνδεση ταχύτητας

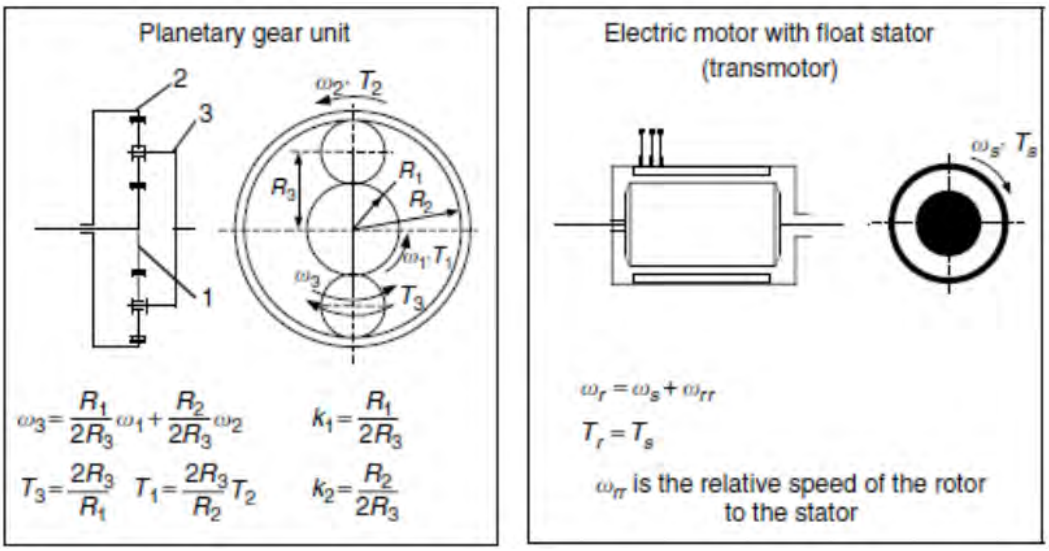
Στα παράλληλα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα με σύνδεση ταχύτητας, οι ταχύτητες και των δύο αξόνων προστίθενται και οι σχέσεις που ορίζουν την ροπή και την ταχύτητα εξόδου είναι οι ακόλουθες όπως φαίνεται και στην εικόνα 24, οι απώλειες δεν συμπεριλαμβάνονται. Τα k_1 και k_2 αποτελούν σταθερές που προσδιορίζονται από το σύστημα μηχανικής σύνδεσης [7].

$$\omega_{out} = k_1\omega_{in1} + k_2\omega_{in2} \quad (1.7)$$

$$T_{out} = \frac{Tin1}{k1} = \frac{Tin2}{k2} \quad (1.8)$$



Εικόνα 24 : Μηχανισμός σύνδεσης ταχύτητας [5].

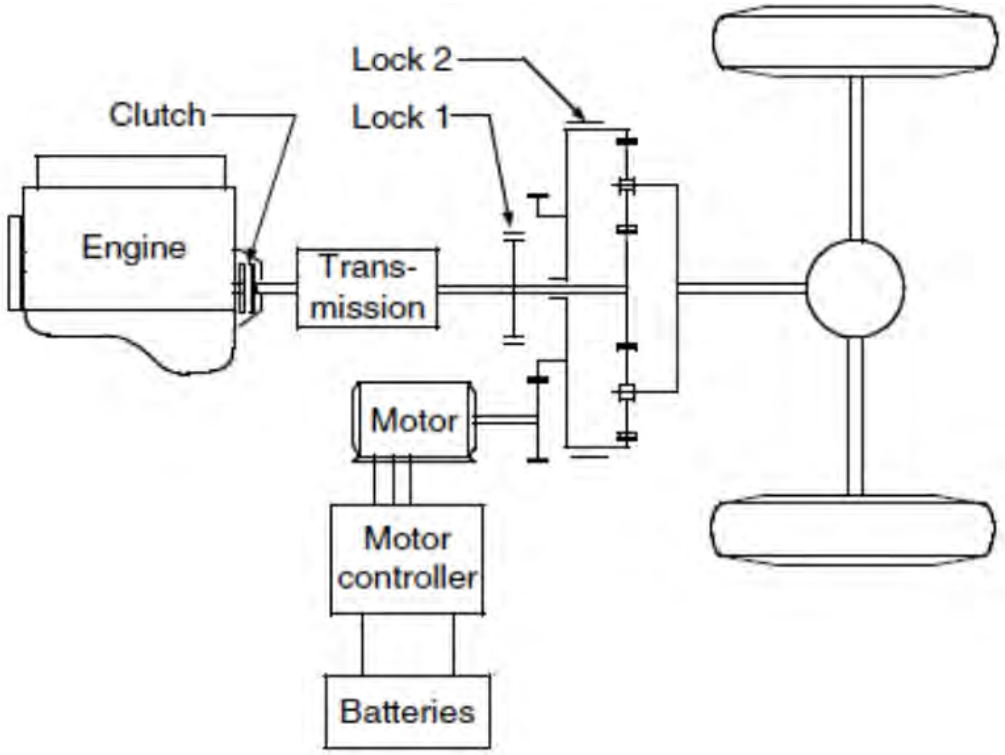


Εικόνα 25 : Κύριες διατάξεις σύνδεσης ταχύτητας [7].

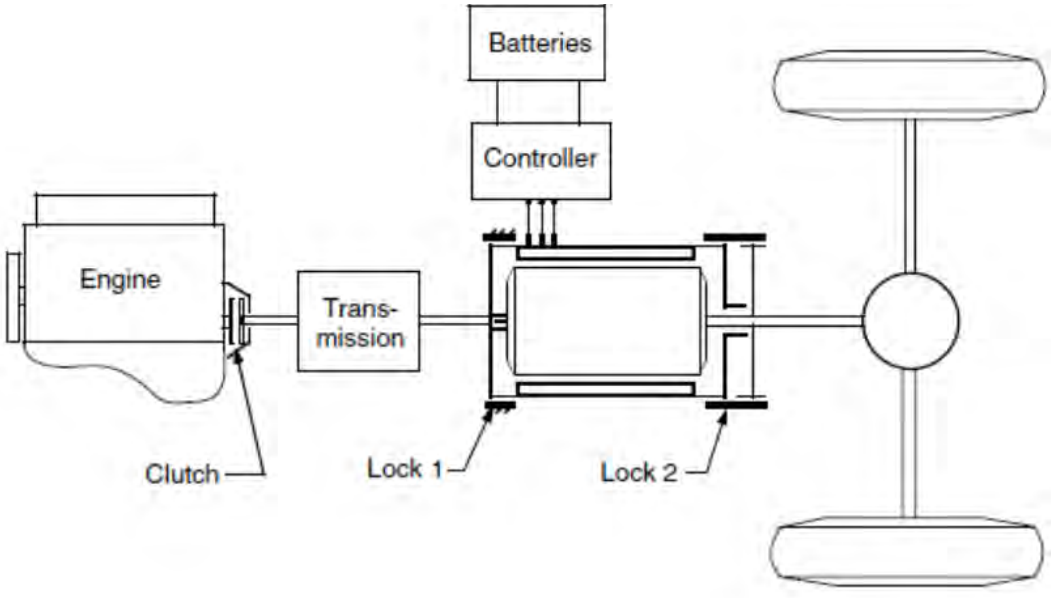
Η εικόνα 25 απεικονίζει τους δύο κύριους μηχανισμούς σύνδεσης ταχύτητας. Αριστερά στην εικόνα είναι το πλανητικό σύστημα σχέσεων και δεξιά ένας ηλεκτρικός κινητήρας όπου ο στάτης είναι ελεύθερος και μπορεί να περιστρέφεται (transmotor). Το πλανητικό σύστημα απαρτίζεται από τρείς εισόδους όπου οι δύο από αυτές είναι είσοδοι του θερμικού κινητήρα και του ηλεκτρικού κινητήρα και η τρίτη είναι η έξοδος προς τους τροχούς. Η αναλογία ροπής και ταχύτητας ανάμεσα των τριών εισόδων αποδεικνύει ότι το σύστημα είναι πραγματικά ένας μηχανισμός σύνδεσης ταχύτητας. Οι σταθερές k_1 και k_2 βασίζονται αποκλειστικά από τον αριθμό των δοντιών της κάθε μιας ταχύτητας και από την ακτίνα της κάθε ταχύτητας [7].

Επιπλέον ο ηλεκτρικός κινητήρας με ελεύθερο κινούμενο στάτη αποτελεί ενδιαφέρων σύστημα. Οι δύο είσοδοι είναι το διάκενο από όπου η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε κίνηση και τον ρότορα. Η ταχύτητα από τον ηλεκτρικό κινητήρα είναι ανάλογη μεταξύ του ρότορα και του στάτη. Εξαιτίας του νόμου δράσης και αντίδρασης, η δράση της ροπής επί του στάτη και του ρότορα είναι η ίδια πάντα και προκύπτει ότι οι σταθερές είναι $k_1=1$ $k_2=1$ [7].

Όπως συμβαίνει με την σύνδεση ροπής, οι μονάδες σύνδεσης ταχύτητας γίνεται να εφαρμοστούν για την δημιουργία διάφορων υβριδικών συστημάτων μετάδοσης κίνησης. Οι ακόλουθες εικόνες 26 και 27 απεικονίζουν τις δύο εφαρμογές υβριδικών συστημάτων κίνησης με σύνδεση ταχύτητας [7].



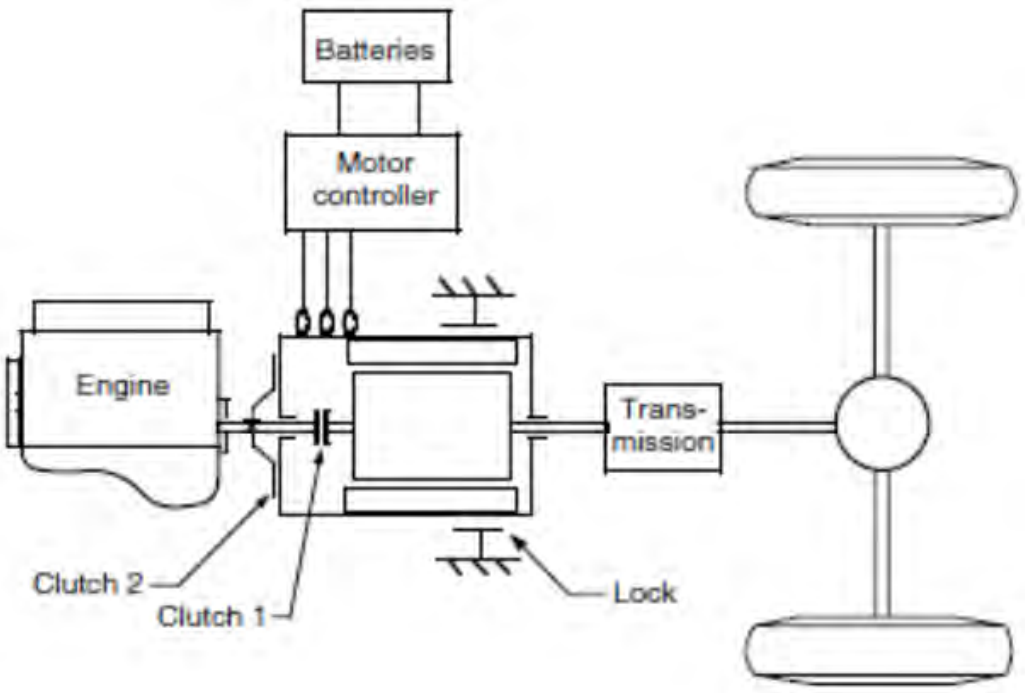
Εικόνα 26 : Σχεδιάγραμμα με το πλανητικό σύστημα [7].



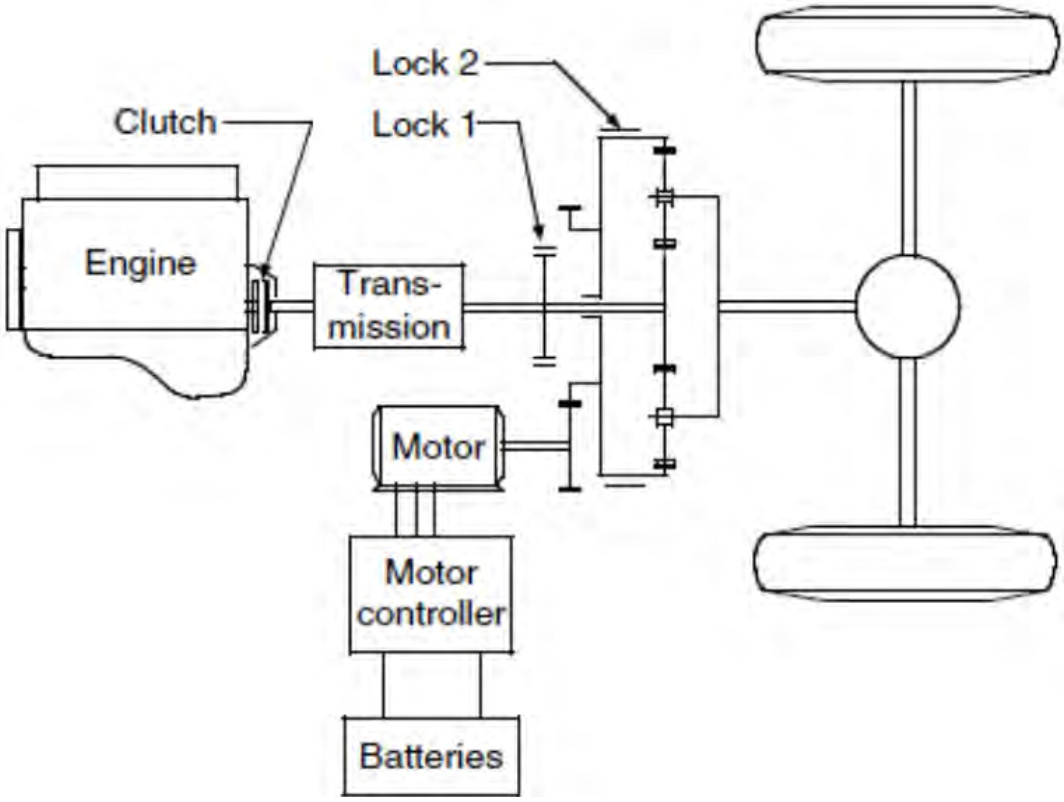
Εικόνα 27 : Σχεδιάγραμμα με ηλεκτρικό κινητήρα ελεύθερου κινούμενου στάτη [7].

2.1.2.3 Παράλληλο υβριδικό ηλεκτρικό όχημα με σύνδεση ταχύτητας και ροπής.

Ενώνοντας τις συνδέσεις ταχύτητας και ροπής προκύπτει ένα υβριδικό όχημα εκ των οποίων οι συνθήκες σύνδεσης ταχύτητας και ροπής γίνεται να επιλεγούν διαφορετικά. Επομένως, το συγκεκριμένο σύστημα είναι πιο περίπλοκο, όμως με αυτή την δομή επιτυγχάνονται η ευελιξία στη μετάδοση της κίνησης αλλά και υβριδικά οχήματα μέγιστων δυνατοτήτων. Δύο παραδείγματα αυτών των συστημάτων απεικονίζονται στις παρακάτω εικόνες 28 και 29 [7].



Εικόνα 28 : Σύστημα μετάδοσης κίνησης με σύνδεση ταχύτητας και ροπής με ηλεκτρικό κινητήρα ελεύθερου κινούμενου στάτη [7].



Εικόνα 29 : Σύστημα μετάδοσης κίνησης με σύνδεση ταχύτητας και ροπής με πλανητικό σύστημα [7].

Οι προαναφερθείσες διατάξεις παράλληλου υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος μπορούν να παρέχουν τις ακόλουθες καταστάσεις λειτουργίας [2], [7] :

1. **Φόρτιση ηλεκτροχημικών συσσωρευτών από το θερμικό κινητήρα :** Η ισχύς που απαιτείται από το σύστημα μετάδοσης κίνησης είναι μικρότερη από την έξοδο του θερμικού κινητήρα, η υπολειπόμενη ισχύς αξιοποιείται για την φόρτιση των ηλεκτροχημικών συσσωρευτών. Έτσι ο ηλεκτροκινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια και αντλεί ενέργεια από τον θερμικό κινητήρα.
2. **Πρόωση του οχήματος αποκλειστικά με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης :** η ισχύς που παρέχεται στους τροχούς είναι αποκλειστικά από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης.
3. **Υβριδική κίνηση με συνεργασία του ηλεκτρικού και θερμικού κινητήρα :** Η ισχύς που απαιτείται από το σύστημα μετάδοσης κίνησης είναι μεγαλύτερη από την έξοδο του θερμικού κινητήρα, ο ηλεκτρικός κινητήρας και ο κινητήρας εσωτερικής καύσης προμηθεύουν ισχύ στον άξονα μετάδοσης κίνησης.
4. **Αναγεννητική πέδηση :** κατά την λειτουργία της αναγεννητικής πέδησης ο ηλεκτρικός κινητήρας εργάζεται σαν γεννήτρια. Το ηλεκτρικό σύστημα απορροφά δυναμική και κινητική ενέργεια.

5. **Πρόωση του οχήματος αποκλειστικά με τον ηλεκτρικό κινητήρα :** η ισχύς που παρέχεται στους τροχούς είναι αποκλειστικά από τον ηλεκτρικό κινητήρα.

Όπως στα σειριακά υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα έτσι και στα παράλληλα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα υπάρχουν κάποια πλεονεκτήματα αλλά και κάποια μειονεκτήματα. Αρχικά θα αναφερθούν τα πλεονεκτήματα και έπειτα τα μειονεκτήματα [7].

Πλεονεκτήματα :

- Η παράλληλη σύνδεση συμβατικού και ηλεκτρικού κινητήρα έχει την ιδιότητα αμοιβαίας βοήθειας και των δύο συστημάτων. Ακόμη και οι δύο κινητήρες μεταφέρουν ισχύ στους τροχούς του οχήματος αφού είναι συνεχώς και ανεξάρτητα συνδεδεμένοι στο σύστημα μετάδοσης κίνησης (κιβώτιο ταχυτήτων).
- Χάρη στην παράλληλη διάταξη μεταφοράς ισχύος και οι δύο κινητήρες είναι οικονομικότεροί και έχουν μικρότερη ισχύ, διότι λειτουργούν συγχρόνως μόνο σε περιπτώσεις μέγιστης ισχύς.
- Επιπλέον στα παράλληλα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα ο θερμικός κινητήρας είναι ενωμένος κατευθείαν με τους τροχούς, απαλείφοντας την μείωση της απόδοσης κατά την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια, αυτό καθιστά τα παράλληλα υβριδικά οχήματα κατάλληλα για κίνηση σε αυτοκινητόδρομο.
- Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης έχει το απαιτούμενο ελάχιστο μέγεθος ώστε το όχημα να μπορεί να κινηθεί με την προσδοκώμενη μέγιστη ταχύτητα σε οριζόντιο επίπεδο, χωρίς αέρα. Ακόμη και ο ηλεκτρικός κινητήρας έχει το απαιτούμενο ελάχιστο μέγεθος για την πρόωση του οχήματος με χαμηλή ταχύτητα εντός πόλης.
- Ο θερμικός κινητήρας μεταφέρει ένα τμήμα της ισχύος του στην γεννήτρια, ώστε οι ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές να επαναφορτιστούν.

Μειονεκτήματα [10] :

- Τα παράλληλα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα έχουν καλή απόδοση σε καταστάσεις λειτουργίας start and stop στην πόλη. Παρ'ολ'αυτά δεν είναι η πιο αποδοτική διάταξη λόγω της μηχανικής σύνδεσης ανάμεσα στο κινητήρα εσωτερικής καύσης και τον άξονα εξόδου.
- Επιπλέον, ο ηλεκτρικός κινητήρας – γεννήτρια δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί συγχρόνως για την κίνηση του οχήματος και την φόρτιση των μπαταριών, έτσι η

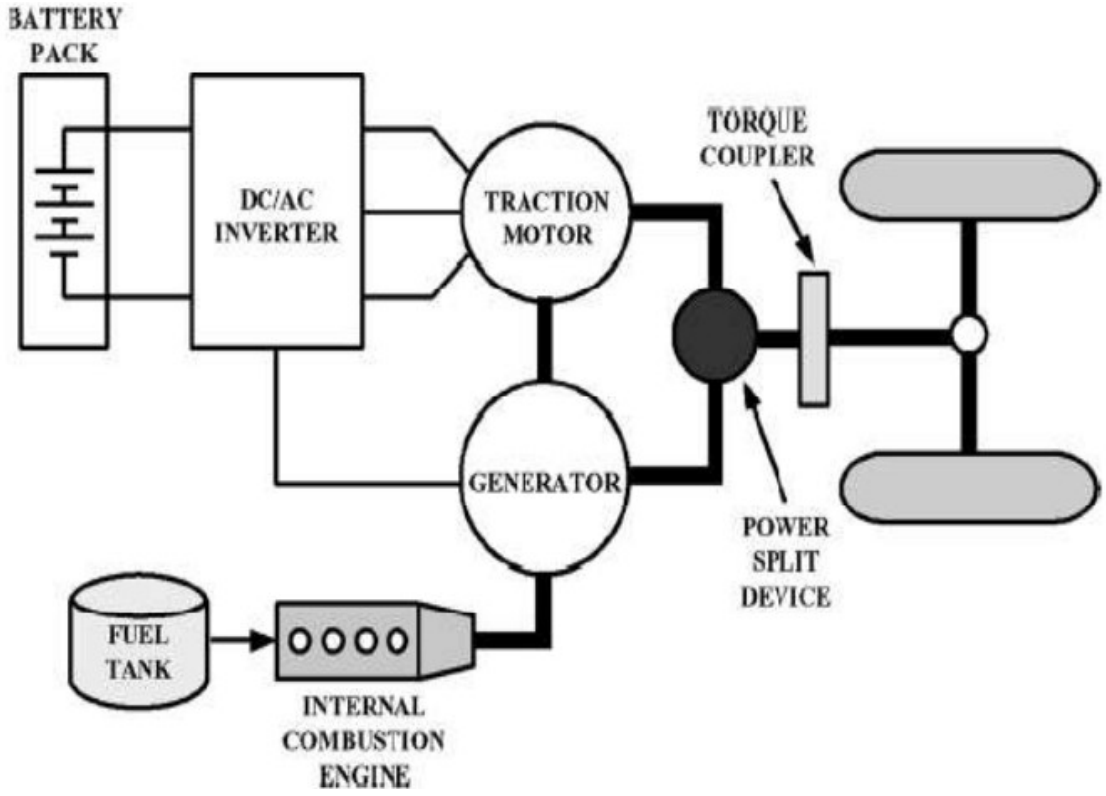
υποβοήθηση ισχύος και η πρόωση του οχήματος με τον ηλεκτρικό κινητήρα πρέπει να γίνεται με σύνεση ώστε να μην εξαντλούνται οι μπαταρίες του οχήματος.

- Το παραπάνω πρόβλημα γίνεται πιο έντονο στην οδήγηση εντός πόλης, όπου οι συνθήκες στάσης και εκκίνησης είναι πιο έντονες, εξαναγκάζοντας τον ηλεκτρικό κινητήρα να καταναλώσει υψηλά επίπεδα ενέργειας από τους ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές.

2.1.3 Σειριακό-Παράλληλο υβριδικό ηλεκτρικό όχημα, υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα μικτής διάταξης (Series-Parallel hybrid, Combined Hybrid)

Σε αυτή την περίπτωση, γίνεται συνδυασμός των δύο προηγούμενων διατάξεων, δηλαδή των σειριακών και παράλληλων διατάξεων. Στην μικτή διάταξη υπάρχει τόσο η σύζευξη του ηλεκτρικού κινητήρα και του κινητήρα εσωτερικής καύσης με τους τροχούς αλλά και η γεννήτρια και οι ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές (εικόνα 30). Τα εξαρτήματα του οχήματος είναι σχεδόν όπως στην παράλληλη διάταξη, με τη μόνη διαφορά στη μικτή διάταξη τον δεύτερο ηλεκτρικό κινητήρα όπου λειτουργεί σαν γεννήτρια με σκοπό την φόρτιση των μπαταριών [7],[8].

Σε καταστάσεις κίνησης όπως: επιτάχυνση, ομαλή εκκίνηση, επιβράδυνση, κίνηση με υψηλές ταχύτητες η συμμετοχή των υπολοίπων υποσυστημάτων είναι πανομοιότυπη με αυτή της παράλληλης διάταξης. Η διαφορά ανάμεσα στην μικτή διάταξη και την παράλληλη διάταξη βρίσκεται στο ότι ο κινητήρας εσωτερικής καύσης γίνεται να μεταφέρει ισχύ στους τροχούς όταν είναι συνδεδεμένος με το σύστημα μετάδοσης κίνησης ή διαφορετικά να φορτίζει τις μπαταρίες με την ηλεκτρική γεννήτρια, όμως δεν γίνεται να τα κάνει και τα δύο ταυτόχρονα. Ο θερμικός κινητήρας σε χαμηλές ταχύτητες είναι αποσυνδεδεμένος από το σύστημα μετάδοσης κίνησης και τότε η μικτή διάταξη μετατρέπεται σε σειριακή διάταξη. Συνεπώς ο θερμικός κινητήρας έχει την ιδιότητα να λειτουργεί σε αυτή την κατάσταση στον καλύτερο βαθμό απόδοσης που έχει και η κίνηση του οχήματος βασίζεται εξολοκλήρου στον ηλεκτρικό κινητήρα ο οποίος τροφοδοτείται από τις μπαταρίες. Σε περιπτώσεις υψηλών επιταχύνσεων και υψηλών ταχυτήτων, ο θερμικός κινητήρας έχει την ικανότητα να προσδώσει καλύτερη ισχύ για την πρόωση του οχήματος, η σειριακή λειτουργία περιορίζεται και επικρατεί η παράλληλη λειτουργία. Η επιλογή σε κάθε περίπτωση για παράλληλη και σειριακή διάταξη γίνεται μέσω μιας υπολογιστικής μονάδας ελέγχου και η εφαρμογή γίνεται μέσω ενός συμπλέκτη [8].



Εικόνα 30 : Σχεδιάγραμμα μικτής υβριδικής διάταξης [8].

Η μικτή διάταξη προσπαθεί να συνδυάσει κάποια από τα πλεονεκτήματα της σειριακής διάταξης και της παράλληλης διάταξης, Παρ'ολ'αυτά ο έλεγχος για την διευθέτηση της ισχύος και η κατανομή της ισχύος γίνεται αρκετά πιο σύνθετος [8].

Πλεονεκτήματα

- Το σύστημα μετάδοσης κίνησης είναι αυτόματο.
- Με τον σταθερό λόγο γραναζιών επιτυγχάνεται περιορισμός των μεταβατικών φαινομένων του θερμικού κινητήρα σε σχέση με την παράλληλη διάταξη υβριδικού οχήματος.
- Δεν χρειάζεται μεγάλος χρόνος ενεργειακών μετατροπών μεταξύ των πηγών ενέργειας.
- Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης γίνεται να συμβάλλει άμεσα στη κίνηση του οχήματος.
- Ο θερμικός κινητήρας δεν χρειάζεται να συμβαδίσει με την ταχύτητα του αυτοκινήτου.

2.1.3.1 Σύνθετη διάταξη (Complex Hybrid)

Η σύνθετη διάταξη υβριδικού συστήματος περιλαμβάνει μια αρκετά σύνθετη διάταξη όπου δεν γίνεται να καταταχθεί στις τρεις προαναφερθείσες κατηγορίες. Αναλυτικότερα η σύνθετη διάταξη είναι σχεδόν όμοια με την σειριακή-παράλληλη διάταξη διότι ο ηλεκτρικός κινητήρας και η γεννήτρια είναι και οι δύο ηλεκτρικές μηχανές. Παρ'ολ'αυτά η κύρια διαφοροποίηση βρίσκεται στην αμφίδρομη ροή ισχύος από τον ηλεκτρικό κινητήρα στα σύνθετα υβριδικά και τη μονοκατευθυντική ροή της γεννήτριας στα σειριακά-παράλληλα υβριδικά οχήματα. Το βασικό μειονέκτημα είναι η μεγάλη πολυπλοκότητα των σύνθετων υβριδικών [7].

2.1.3.2 Ανεξάρτητη διάταξη (Independent Hybrid)

Η ανεξάρτητη διάταξη μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια παραλλαγή της παράλληλης διάταξης. Όμως είναι αρκετά πιο απλή διάταξη ως προς τη δομή του συστήματος κίνησης διότι χρειάζεται πιο απλές και λιγότερες μηχανικές συνδέσεις. Αναλυτικότερα οι δύο μηχανές δεν είναι μηχανικά συνδεδεμένες μέσω κάποιου άξονα, αλλά για την σύζευξη των δύο κινητήρων είναι υπεύθυνος ο δρόμος όπου κινείται το αυτοκίνητο, μέσω της μετάδοσης κίνησης στους τροχούς [7].

Σε αυτή την διάταξη τα οχήματα παίρνουν κίνηση στους μπροστινούς τροχούς από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης και οι πίσω τροχοί παίρνουν κίνηση από τον ηλεκτρικό κινητήρα. Η ισχύς που απαιτείται για την πρόωση του οχήματος γίνεται να παρέχεται και από τους δύο κινητήρες ταυτόχρονα. Η συγκεκριμένη διάταξη εμφανίζει τα ίδια πλεονεκτήματα στην πρόωση του οχήματος με αυτά της παράλληλης διάταξης, ακόμη όμως παρέχουν την δυνατότητα κίνησης και στους τέσσερις τροχούς του οχήματος. Ένας μικροϋπολογιστής είναι υπεύθυνος για την συνεισφορά του κάθε κινητήρα στην πρόωση του οχήματος. Εν κατακλείδι πλεονεκτεί ακόμη για την χωροταξική προσαρμογή επάνω στο όχημα και διαθέτει την λειτουργία αναγεννητικής πέδησης και είναι μια ιδανική λύση για τετρακίνητα οχήματα διότι ο μπροστινός με τον οπίσθιο άξονα κινούνται ανεξάρτητα, χωρίς να χρειάζεται ο κεντρικός άξονας και διαφορικό, μειώνοντας το συνολικό βάρος από το αυτοκίνητο [7],[8].

2.2 Λειτουργίες ανάκτησης και εξοικονόμησης ενέργειας σε υβριδικά οχήματα

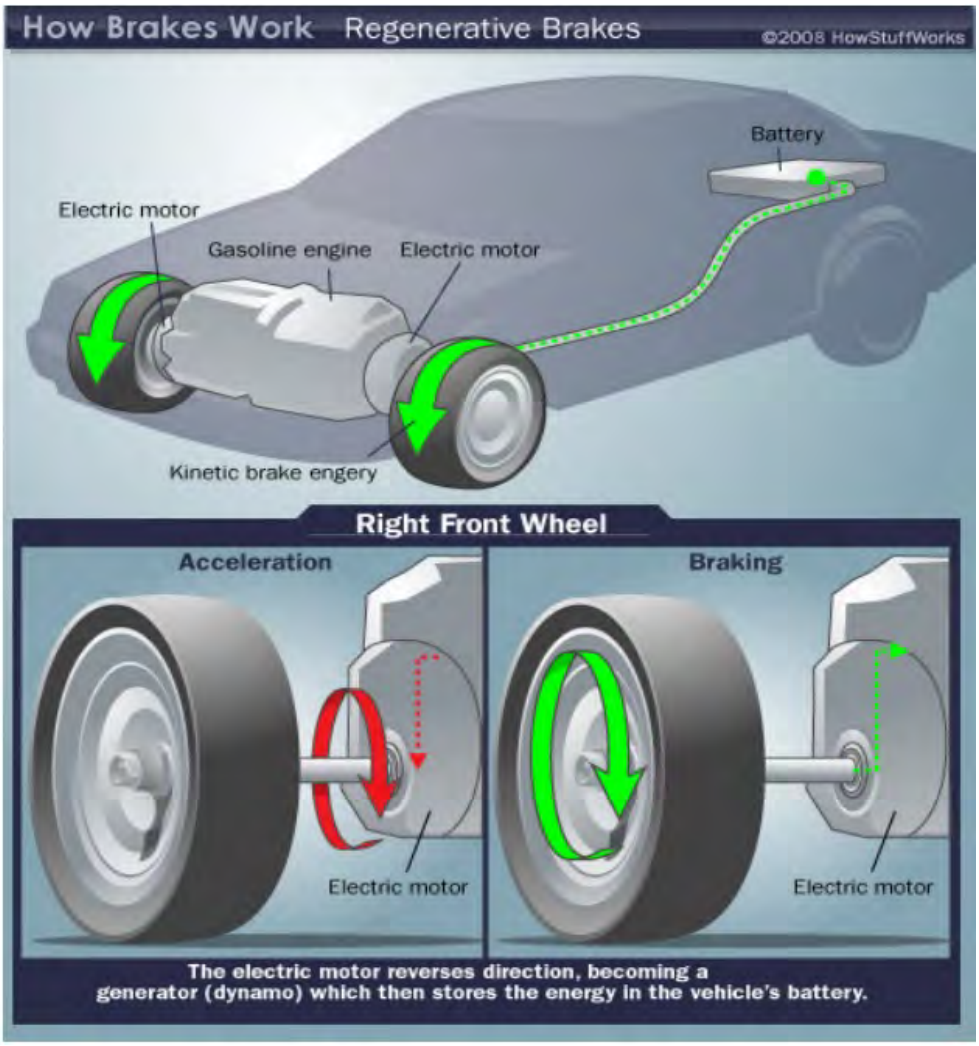
2.2.1 Αναγεννητική πέδηση

Αρκετές φορές προηγουμένως έχει αναφερθεί και αναλυθεί έως ένα βαθμό ο όρος της αναγεννητικής πέδησης. Στην τεχνολογία των υβριδικών οχημάτων με τον όρο 'ανάκτηση' δηλώνεται η ανάκτηση ενέργειας. Στα συμβατικά οχήματα με θερμικό κινητήρα ένα

σημαντικό τμήμα της κινητικής ενέργειας μεταβάλλεται σε θερμότητα, όπου πρακτικά χάνεται στο περιβάλλον και μένει ανεκμετάλλευτη. Στην υβριδική τεχνολογία δίνεται η δυνατότητα να εκμεταλλευτεί το μέρος της ενέργειας αυτής με τις κατάλληλες διατάξεις, μέσω της γεννήτριας και του ηλεκτρικού κινητήρα. Έτσι η ενέργεια κατά την διάρκεια του φρεναρίσματος μετατρέπεται σε ωφέλιμη ηλεκτρική ενέργεια για την φόρτιση των μπαταριών όπως φαίνεται και στην εικόνα 31 [8].

Αναλυτικότερα ο ηλεκτροκινητήρας παράγει ενέργεια σε αντίθεση με την συμβατική του λειτουργία η οποία είναι η πρόωση του οχήματος. Ο ηλεκτρικός κινητήρας βρίσκεται πίσω από το κιβώτιο των ταχυτήτων, ώστε να αποφεύγονται τυχόν απώλειες στην απόδοση της τροφοδοσίας στην μετάδοση της κίνησης [8].

Είναι πρακτικά αδύνατον να εκμεταλλευτεί όλο το ποσό ενέργειας που χάνεται στο περιβάλλον διότι υπάρχουν απώλειες που σχετίζονται με την μείωση της ταχύτητας κίνησης, όπου οφείλονται σε παραμέτρους όπως η αεροδυναμική οπισθέλκουσα και η αντίσταση κύλισης του οχήματος. Παρ’ολ’αυτά ένα μέρος από τη μετασχηματισμένη ενέργεια χάνεται στη πορεία του από τον ηλεκτρικό κινητήρα προς τη συστοιχία των μπαταριών και στην περίπτωση όπου η συστοιχία μπαταριών είναι πλήρως φορτισμένη δεν πραγματοποιείται η ανάκτηση ενέργειας [8].



Εικόνα 31 : Λειτουργία της αναγεννητικής πέδησης [8].

Η ενέργεια που προκύπτει από το φρενάρισμα είναι η κινητική ενέργεια που δημιουργήθηκε από τη διάρκεια επιτάχυνσης του αυτοκινήτου. Η ολική ενέργεια είναι μεγάλη για να την επεξεργαστεί ο ηλεκτροκινητήρας που χρησιμοποιείται για την κίνηση του οχήματος. Για την κατεργασία μεγάλης ενέργειας σε μικρή χρονική διάρκεια είναι απαραίτητη η χρήση ενός αρκετά μεγάλου ηλεκτρικού κινητήρα, κάτι το οποίο δεν είναι καθόλου πρακτικό. Σημαντικό είναι τα υβριδικά οχήματα να είναι εφοδιασμένα με μηχανικό σύστημα πέδησης, ακόμη και αν ο ηλεκτρικός κινητήρας μπορεί να λειτουργήσει με την ιδιότητα της αναγεννητικής πέδησης. Εν συνεχεία τα ποσά εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της αναγεννητικής πέδησης είναι αρκετά σημαντικά, διευρύνοντας την αυτονομία του αυτοκινήτου. Τη στιγμή που θα δοθεί η εντολή για πέδηση από τον οδηγό η κεντρική μονάδα ελέγχου του υβριδικού οχήματος αποφασίζει τον βαθμό πέδησης από το μηχανικό σύστημα πέδησης, την ταχύτητα του οχήματος και την ποσότητα ενέργειας που θα επαναπαραχθεί. Η

αναγεννητική πέδηση αυξάνει την αυτονομία του υβριδικού οχήματος από 10% μέχρι 15% [7].

2.2.1.1 Σύστημα πέδησης υβριδικών οχημάτων

Η προσθήκη της αναγεννητικής πέδησης στα υβριδικά οχήματα είναι ένα αρκετά σύνθετο κομμάτι και προσθέτει μια επιπλέον δυσκολία στο σύστημα πέδησης. Τα δύο μείζονα θέματα είναι το πως οι δυνάμεις πέδησης θα κατανεμηθούν σωστά στους εμπρόσθιους και οπίσθιους τροχούς, ώστε να επιτευχθεί σταθερή πέδηση και το ποιος είναι ο σωστός τρόπος κατανομής των απαιτούμενων συνολικών δυνάμεων πέδησης, ανάμεσα στο μηχανικό φρένο και το φρένο επαναπαραγωγής ενέργειας προκειμένου η κινητική ενέργεια να ανακτηθεί στο βέλτιστο ποσοστό. Επί το πλείστων η αναγεννητική πέδηση είναι παραγωγική αποκλειστικά για τον άξονα κίνησης του οχήματος. χρειάζεται έλεγχος του ηλεκτρικού κινητήρα προκειμένου να παράγεται η ορθή δύναμη πέδησης για την βέλτιστη ανάκτηση της κινητικής ενέργειας και παράλληλα το μηχανικό σύστημα πέδησης θα πρέπει να ελέγχεται ώστε να καλύπτεται επαρκώς η εντολή πέδησης του οδηγού. Αναλυτικότερα, υπάρχουν τρείς διαθέσιμες διατάξεις ελέγχου πέδησης [7] :

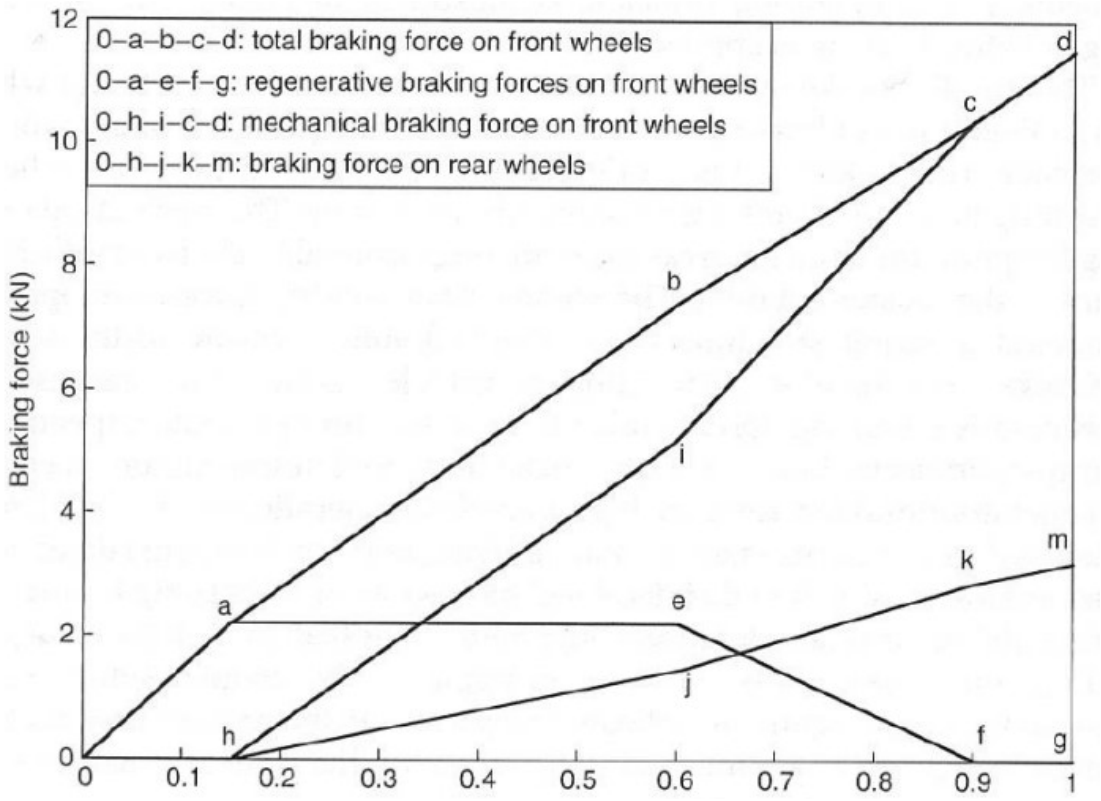
1. Παράλληλη πέδηση.
2. Πέδηση σειράς με βέλτιστη αίσθηση πέδησης.
3. Πέδηση σειράς με βέλτιστη ανάκτηση ενέργειας.

Επιπρόσθετα ο έλεγχος της δύναμης πέδησης του ηλεκτρικού κινητήρα είναι πιο διαχειρίσιμος από ότι ο έλεγχος της δύναμης πέδησης του μηχανικού συστήματος. Έτσι προστίθεται ένα ακόμα πλεονέκτημα στα υβριδικά οχήματα το οποίο είναι η αποφυγή του μπλοκαρίσματος των τροχών [7].

- **Παράλληλη πέδηση**

Η παράλληλη πέδηση αποτελείται από ένα ηλεκτρικό σύστημα φρένων και από το μηχανικό σύστημα φρένων όπου και τα δύο συστήματα δρουν συγχρόνως και παράλληλα. Το μηχανικό σύστημα φρένων έχει σταθερό λόγο κατανομής των δυνάμεων πέδησης στους εμπρόσθιους και οπίσθιους τροχούς. Από την άλλη πλευρά η ηλεκτρική πέδηση συμπληρώνει επιπλέον δύναμη πέδησης στους εμπρόσθιους τροχούς, καλύπτοντας την ολική κατανομή των δυνάμεων πέδησης. Στο μηχανικό σύστημα πέδησης η δύναμη στους εμπρόσθιους και οπίσθιους τροχούς είναι αντίστοιχη με την υδραυλική πίεση της αντλίας φρένων του οχήματος. Στο ηλεκτρικό σύστημα πέδησης η δύναμη που προκύπτει από τον ηλεκτρικό κινητήρα είναι ανάλογη με την επιβράδυνση του οχήματος και με την υδραυλική

πίεση της αντλίας φρένων. Επιπρόσθετα η αναπτυσσόμενη δύναμη από την ηλεκτρική πέδηση που προκύπτει, είναι ανάλογη με την ταχύτητα του ηλεκτρικού κινητήρα, επιπλέον σε χαμηλές ταχύτητες δεν μπορεί να γίνει ανάκτηση κινητικής ενέργειας, έτσι κατά την υψηλή επιβράδυνση του οχήματος η δύναμη της ηλεκτρικής πέδησης υπολογίζεται να είναι μηδενική προκειμένου να εξασφαλιστεί η ισορροπία της ολικής πέδησης του οχήματος (εικόνα 32). Στην περίπτωση μικρής επιβράδυνσης είναι αποτελεσματικό το ηλεκτρικό σύστημα πέδησης. Το συγκεκριμένο σύστημα πέδησης δεν χρειάζεται κάποιο σύστημα για ηλεκτρονικό έλεγχο της μηχανικής πέδησης. Είναι απαραίτητος όμως ένας αισθητήρας πίεσης όπου αντιλαμβάνεται την υδραυλική πίεση στην αντλία φρένου όπου αντιπροσωπεύει την ανάγκη επιβράδυνσης. Μετέπειτα το σήμα από τον αισθητήρα κανονικοποιείται και μεταφέρεται στον ελεγκτή του ηλεκτρικού κινητήρα προκειμένου να σταλθεί η εντολή στον ηλεκτρικό κινητήρα να αποδώσει την απαιτούμενη δύναμη πέδησης. Αναφορικά σε σύγκριση με τα ακόλουθα συστήματα πέδησης σειράς, το σύστημα παράλληλης πέδησης είναι πιο απλό στον έλεγχο και στην κατασκευή του [7].



Εικόνα 32 : Διακύμανση των δυνάμεων πέδησης με βάση των ρυθμό επιβράδυνσης σε σύστημα με παράλληλη πέδηση [7].

- **Πέδηση σειράς – Βέλτιστη αίσθηση**

Στην περίπτωση του συστήματος πέδησης σειράς, το σύστημα στελεχώνεται από έναν ελεγκτή πέδησης όπου ελέγχει στους εμπρόσθιους και οπίσθιους τροχούς του οχήματος τις δυνάμεις πέδησης. Η δουλειά του ελεγκτή είναι η βελτίωση της αίσθησης του οδηγού και η ελαχιστοποίηση της απόστασης για την ακινητοποίηση του οχήματος [7].

Η ηλεκτρική πέδηση εφαρμόζεται στους εμπρόσθιους τροχούς για συνθήκες ήπιας επιβράδυνσης ενώ σε συνθήκες έντονης πέδησης εφαρμόζονται δυνάμεις πέδησης και στους τέσσερις τροχούς του οχήματος. κατά την επιβράδυνση η δύναμη πέδησης στους εμπρόσθιους τροχούς απαρτίζεται από δύο συνιστώσες, τη δύναμη μηχανικής πέδησης και τη δύναμη της ηλεκτρικής πέδησης. Σε περίπτωση όπου η απαιτούμενη δύναμη πέδησης είναι μικρότερη από τη μέγιστη δύναμη πέδησης που δύναται να προσδώσει ηλεκτρικό σύστημα πέδησης εφαρμόζεται μόνο η ηλεκτρική πέδηση. Στον αντίποδα εκτός από την ηλεκτρική πέδηση θα συμβάλλει και η απαραίτητη δύναμη του μηχανικού συστήματος πέδησης [7].

- **Πέδηση σειράς – Βέλτιστη ανάκτησης ενέργειας**

Το συγκεκριμένο σύστημα έχει ως λειτουργία την ανάκτηση ενέργειας κατά τη πέδηση με την ικανοποίηση της βέλτιστης δύναμης πέδησης για επιβράδυνση. Επιπλέον αυτό το σύστημα πέδησης είναι αρκετά σύνθετο από το προηγούμενο σύστημα πέδησης σειράς – βέλτιστης αίσθησης [7].

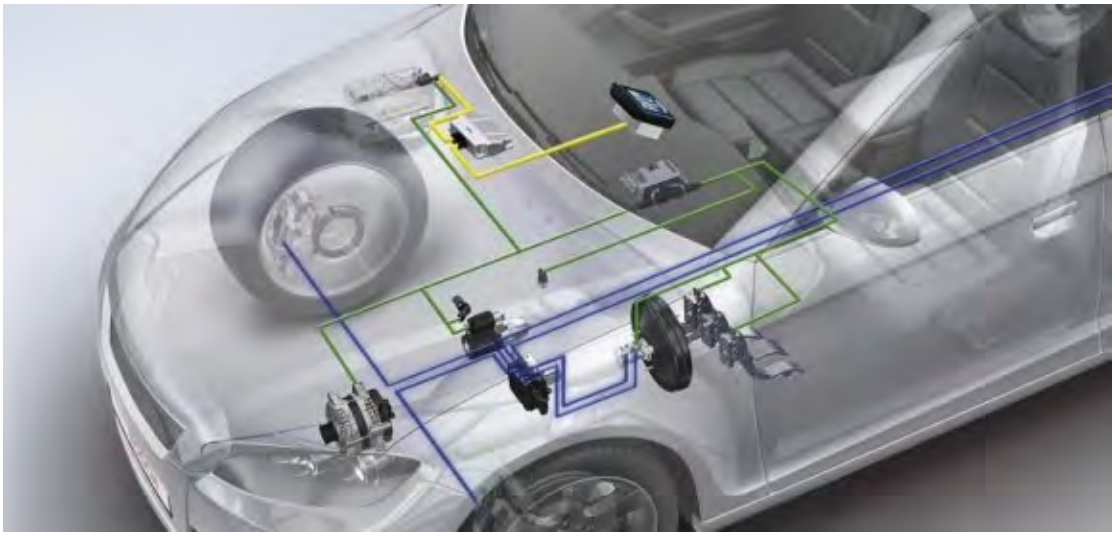
2.2.2 Σύστημα ‘Start – Stop’

Το συγκεκριμένο σύστημα όπου απενεργοποιεί τον θερμικό κινητήρα κατά την διάρκεια που το όχημα είναι ακινητοποιημένο και τον ενεργοποιεί κατά την εκκίνηση του οχήματος βρίσκει εφαρμογή σε όλα τα υβριδικά οχήματα όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 33 [11].

Το συγκεκριμένο σύστημα απαρτίζεται από τα εξής [11] :

- Τον ηλεκτρικό κινητήρα
- Το σύστημα ελέγχου για την κατάσταση που βρίσκεται το όχημα (ακινητοποιημένο ή κινείται)
- Έναν αισθητήρα που υπολογίζει σε τι κατάσταση φόρτισης βρίσκεται ο συσσωρευτής εκείνη την στιγμή αλλά και μελλοντικά.

Η διαδικασία λειτουργίας του συστήματος είναι η ακόλουθη, όταν το όχημα ακινητοποιηθεί ο κινητήρας εσωτερικής καύσης σβήνει σε μικρό χρονικό διάστημα. Όταν πατηθεί ο συμπλέκτης του οχήματος ο κινητήρας εσωτερικής καύσης ενεργοποιείται και το όχημα συνεχίζει την πορεία του. Το σύστημα start- stop κάνει εμφανή την λειτουργία του σε καταστάσεις έντονης κυκλοφοριακής συμφόρησης αλλά και κατά την κίνηση των οχημάτων σε αστικό περιβάλλον κατά την συχνή ακινητοποίηση του οχήματος στους φωτεινούς σηματοδότες. Τα οφέλη του συστήματος είναι εξοικονόμηση καυσίμου και μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων [11].



Εικόνα 33 : Δομή του συστήματος <<start - stop>> [11].

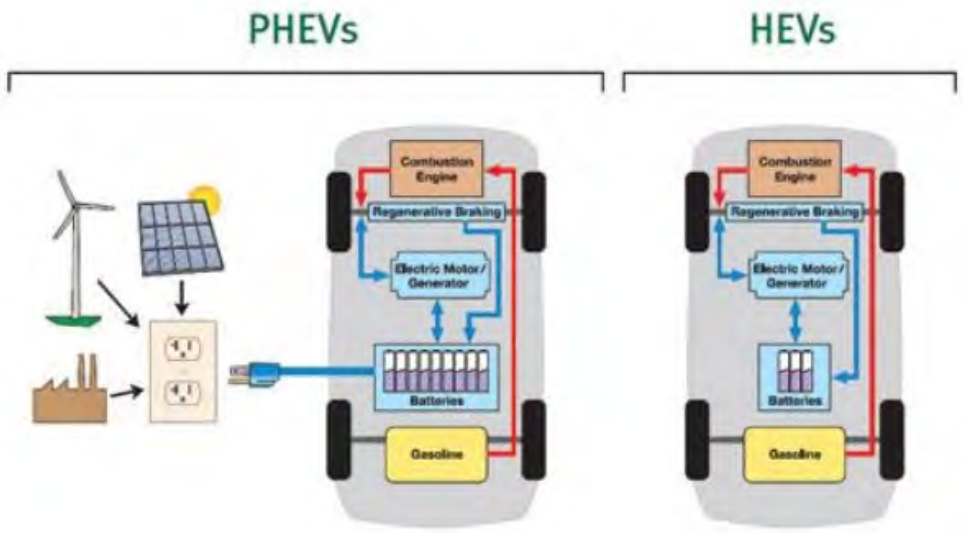
2.2.3 Υποδιαστασιολόγηση του κινητήρα εσωτερικής καύσης

Σε όλα τα οχήματα ο κινητήρας εσωτερικής καύσης καθώς επιταχύνει το όχημα ή κινείται σε κεκλιμένα επίπεδα θα πρέπει να μπορεί να αποδώσει μεγαλύτερη ροπή και ιπποδύναμη. Ενώ σε ήπιες συνθήκες λειτουργίας και σε συνθήκες χωρίς κλίση χρειάζεται μικρή ισχύς για την πρόωση του οχήματος με σταθερή ταχύτητα [4].

Έτσι στα υβριδικά οχήματα ο κινητήρας εσωτερικής καύσης είναι εφικτό να έχει μικρότερο μέγεθος και ισχύ διότι η ροπή και η ιπποδύναμη ενισχύεται από τον ηλεκτρικό κινητήρα όταν κριθεί απαραίτητο[4].

2.3 Επαναφορτιζόμενο Υβριδικό όχημα με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική πηγή (Plug-in Hybrid Electric Vehicle - PHEV)

Τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά οχήματα είναι η εξέλιξη των υβριδικών οχημάτων όπου πλέον ένα τμήμα της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμεύει για την πρόωση του οχήματος αντλείται από το ηλεκτρικό δίκτυο διανομής ενέργειας για να φορτιστούν οι συστοιχίες των μπαταριών. Στην εικόνα 34 παρουσιάζονται οι διαφορές μεταξύ ενός οχήματος PHEV και HEV. Τα plug-in υβριδικά οχήματα όπως για παράδειγμα το TOYOTA PRIUS που απεικονίζεται στην εικόνα 37, είναι ηλεκτρικά υβριδικά οχήματα που για την επαναφόρτιση των συσσωρευτών τους, συνδέονται μέσω καλωδίου με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ή όποια άλλη πηγή μπορεί να τροφοδοτήσει με την απαιτούμενη ισχύ τις μπαταρίες. Ως επί το πλείστων συνδυάζει χαρακτηριστικά και από αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα αλλά και από τα συμβατικά υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα. Ακόμη γίνεται ένα μεγάλο βήμα για την ηλεκτροκίνηση, με αποτέλεσμα να μεγαλώνει το εύρος των οχημάτων που χρησιμοποιούν διαφορετικές ενεργειακές πηγές για τις οδικές μεταφορές με την χρήση αυτών των οχημάτων. Σε συνθήκες καθημερινής οδήγησης εντός αστικού ιστού και όχι μόνο με την διάνυση μικρών αποστάσεων από 20 έως 60 χιλιόμετρα τα οχήματα κινούνται αμιγώς ηλεκτρικά μόνο με τον ηλεκτρικό κινητήρα και χωρίς να εκπέμπουν αέριους ρύπους όπως το CO_2. Αυτή η λύση αποτελεί την χρυσή τομή ανάμεσα στην ηλεκτροκίνηση και τα συμβατικά οχήματα, γιατί με την ηλεκτροκίνηση τα οχήματα κινούνται σε αστικές μετακινήσεις αμιγώς ηλεκτρικά από τις μπαταρίες ενώ δεν περιορίζεται η χρήση τους λόγω αυτονομίας. Ενώ παράλληλα δεν απαιτούνται αρκετές εγκαταστάσεις επαναφόρτισης των μπαταριών, γιατί οποιαδήποτε στιγμή μπορούν να λειτουργήσουν με το θερμικό κινητήρα και να διανύσουν μεγαλύτερες αποστάσεις και να ανεφοδιάσουν καύσιμα από τους συμβατικούς σταθμούς υγρών καυσίμων [7].



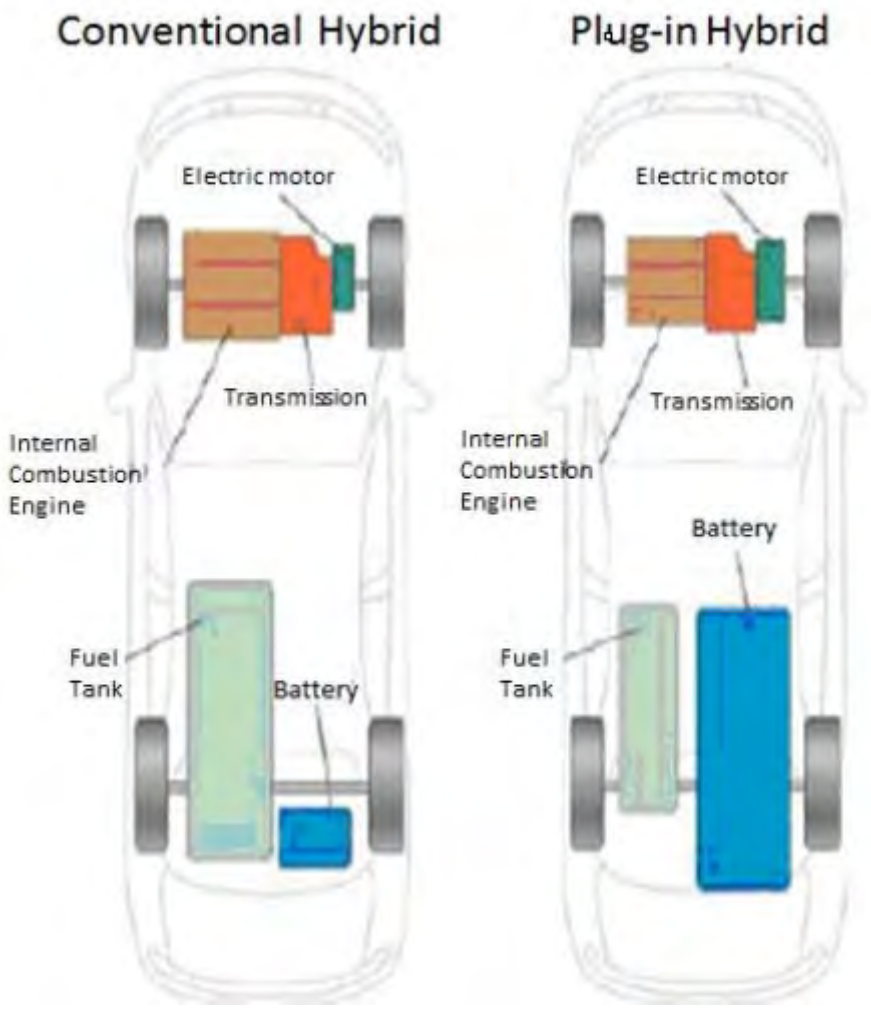
Εικόνα 34 : Σύγκριση PHEV και HEV [7].

Τα plug-in υβριδικά οχήματα από τεχνολογική πλευρά είναι πανομοιότυπα με τα υβριδικά οχήματα προκειμένου ο ηλεκτρικός κινητήρας να εξασφαλίζει την απαιτούμενη ισχύς για την πρόωση το οχήματος σε αστικό περιβάλλον. Εν συνεχεία είναι εφοδιασμένα με μπαταρίες μεγάλης χωρητικότητας προκειμένου να μπορούν αποθηκεύσουν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγουν τα ίδια αλλά και την ηλεκτρική ενέργεια που δέχονται από το δίκτυο ηλεκτρισμού κατά την διάρκεια της επαναφόρτισης τους (εικόνα 35). Ακόμη θα πρέπει να διαθέτουν καλώδιο με ειδικούς ακροδέκτες προκειμένου να συνδεθούν με ειδικούς φορτιστές συσσωρευτών [7].

Ειδικότερα τα υβριδικά οχήματα μπορούν να κινούνται και να επιταχύνουν σε χαμηλές κυρίως ταχύτητες μόνο με τη χρήση του ηλεκτρικού κινητήρα, η φόρτιση της μπαταρίας γίνεται αποκλειστικά από τον θερμικό κινητήρα και το σύστημα της αναγεννητικής πέδησης. Στην περίπτωση των plug-in υβριδικών οχημάτων όμως παρότι λειτουργούν με πανομοιότυπο τρόπο φέρουν συστοιχίες μπαταριών μεγαλύτερης χωρητικότητας προκειμένου ο χρήστης του οχήματος να έχει την δυνατότητα επαναφόρτισης του οχήματος στον οικιακό του χώρο, χρησιμοποιώντας ως πηγή ενέργειας το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας με σκοπό το όχημα να κινείται με ηλεκτρική ενέργεια αλλά μέχρι τα επίπεδα ισχύος που του ορίζει ο ηλεκτρικός κινητήρας. Η επαναφόρτιση των συσσωρευτών γίνεται κατά τη διάρκεια της νύχτας όπου δεν υπάρχει μεγάλη ζήτηση ισχύος στο δίκτυο αλλά και επειδή το όχημα δεν κινείται κατά τις βραδινές ώρες. Συμπερασματικά τα υβριδικά οχήματα και τα plug-in υβριδικά οχήματα χρησιμοποιούν τον ηλεκτρικό κινητήρα ο οποίος τροφοδοτείται από τους συσσωρευτές και το κινητήρα εσωτερικής καύσης

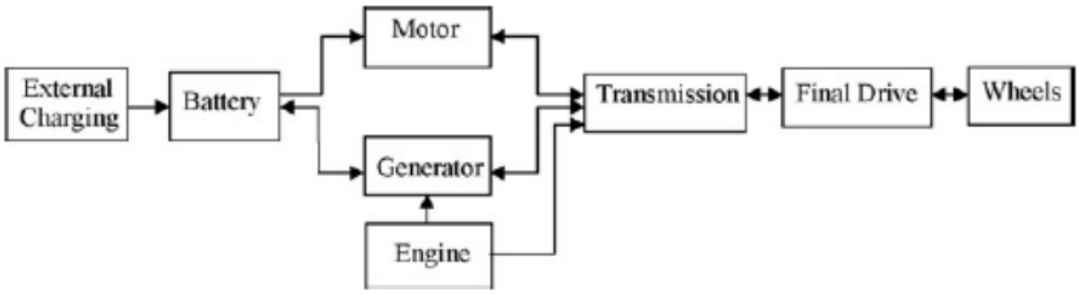
όπου λειτουργεί για την παροχή μεγαλύτερης ισχύς όπου το απαιτούν οι συνθήκες αλλά τα plug-in υβριδικά οχήματα λόγω μεγαλύτερης αυτονομίας γίνεται να χρησιμοποιούν λιγότερο τον θερμικό κινητήρα επειδή έχουν την δυνατότητα να φορτίζουν από εξωτερική πηγή ενέργειας [7].

Ακόμη τα υβριδικά οχήματα plug-in υπερτερούν σε σχέση με τα καθαρά ηλεκτρικά οχήματα στον παράγοντα της αυτονομίας. Καθώς στα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα η αυτονομία είναι περιορισμένη και χρειάζεται επαναφόρτιση σε σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, ενώ τα plug-in υβριδικά οχήματα ανακτούν ενέργεια για την φόρτιση των συσσωρευτών μέσω της αναγεννητικής πέδησης αλλά και μπορούν να κινηθούν μέσω του θερμικού κινητήρα. Λόγω της ύπαρξης του ηλεκτρικού και του θερμικού κινητήρα στα υβριδικά plug-in οχήματα οι συστοιχίες των συσσωρευτών είναι φτηνότερες και μικρότερης χωρητικότητας σε σχέση με αυτές των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων [7].



Εικόνα 35 : Διαφορές ανάμεσα στα συστήματα ενός υβριδικού HEV και ενός υβριδικού PHEV [7].

Τα υβριδικά plug-in οχήματα κατατάσσονται σε κατηγορίες αντιστοίχως με την αυτονομία που προσφέρουν για την διάνυση αποστάσεων ως καθαρά ηλεκτρικά οχήματα π.χ. 20,40,60 χιλιόμετρα. Όπου η απόσταση περιγράφεται με τον όρο PHEV-(χιλιόμετρα)km ή PHEV-(μίλια) π.χ. PHEV-35km, δηλαδή το όχημα μπορεί να διανύσει μόνο με τον ηλεκτρικό κινητήρα 35 χιλιόμετρα και με βάση την χωρητικότητα των μπαταριών που διαθέτουν. Το κόστος αγοράς σχετίζεται άμεσα με τις παραπάνω κατηγορίες [3],[7].



Εικόνα 36 : Σχεδιάγραμμα της ροής ενέργειας σε ένα plug-in υβριδικό όχημα [7].

Σύμφωνα με την Διεθνής Ομοσπονδία Αυτοκινήτου και τους κατασκευαστές αυτοκινήτων έχει συμφωνηθεί ότι για να χαρακτηριστεί ένα όχημα ως plug-in υβριδικό όχημα (PHEV), είναι απαραίτητο να διαθέτει όλες τις λειτουργίες των πλήρως υβριδικών οχημάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω αλλά, ακόμη να μπορούν να συνδέονται με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να επαναφορτίσουν τους συσσωρευτές τους , όπως φαίνεται και στην εικόνα 36 [7].

Εικόνα 37 : TOYOTA PRIUS Plug-in υβριδικό όχημα [8].

2.4 Κατηγορίες ηλεκτρικών κινητήρων στις διατάξεις υβριδικών οχημάτων.

Ο ηλεκτρικός κινητήρας χρησιμοποιείται για την πρόωση και την επιτάχυνση του οχήματος. Ακόμη χρησιμοποιείται για την λειτουργία της αναγεννητικής πέδησης. Είναι αναγκαίο ο ηλεκτρικός κινητήρας να παρέχει υψηλή απόδοση και υψηλή ροπή. Στην περίπτωση όπου ο ηλεκτρικός κινητήρας έχει τοποθετηθεί ενδιάμεσα στον κινητήρα εσωτερικής καύσης και στον άξονα μετάδοσης της κίνησης χρειάζεται ειδική μελέτη και σχεδιασμός προκειμένου να αντέχει στις θερμικές καταπονήσεις [4].

Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός ηλεκτρικού κινητήρα για να τοποθετηθεί σε υβριδικό όχημα είναι τα ακόλουθα [4] :

- Ανεκτό κόστος μαζικής παραγωγής
- Χαμηλή στάθμη θορύβου
- Ανοχή στα σφάλματα
- Προσαρμοσμένος έλεγχος οδήγησης
- Μεγάλη απόδοση για πλατύ φάσμα ταχυτήτων
- Ο λόγος της ισχύος προς το βάρος πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος
- Μεγάλη αξιοπιστία και ανθεκτικότητα
- Ικανότητα λειτουργίας σε υψηλή ταχύτητα
- Για την συντήρηση το κοστολόγιο να είναι μικρό
- Μεγάλο εύρος όπου η ισχύς λειτουργίας είναι σταθερή
- Αντοχή σε υπερφόρτιση για την φάση της προσπέρασης
- Ο λόγος ροπής προς αδράνεια πρέπει να είναι μεγάλος. Η καλή επιτάχυνση του οχήματος σχετίζεται άμεσα με το πόσο μεγάλος είναι ο λόγος, όσο μεγαλύτερος τόσο καλύτερη επιτάχυνση.
- Χαμηλή στάθμη ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών αλλά και στάθμης θορύβου
- Δυνατότητα μέγιστης ροπής σχεδόν 200% - 300% της ονομαστικής συνεχόμενης ροπής

Στα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι τρείς τύποι ηλεκτρικών κινητήρων [4] :

1. Ηλεκτρικός κινητήρας συνεχούς ρεύματος μόνιμου μαγνήτη.
2. Επαγωγικός τριφασικός ηλεκτρικός κινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος.
3. Σύγχρονος ηλεκτρικός κινητήρας μόνιμου μαγνήτη.

Οι τρείς τύποι ηλεκτρικών κινητήρων θα αναλυθούν αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.

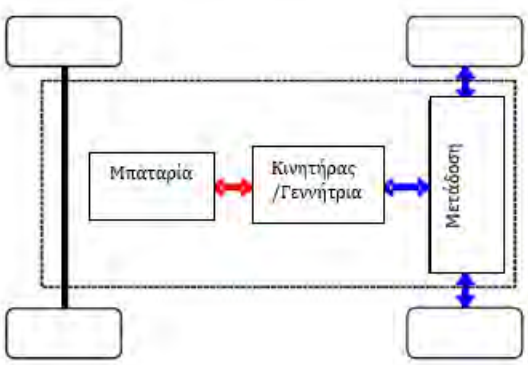
3. Ανάλυση της τεχνολογίας των ηλεκτρικών οχημάτων

Τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα (EVs) αποτελούνται από τουλάχιστον έναν ηλεκτρικό κινητήρα. Ο ηλεκτρικός κινητήρας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια που δέχεται από τις μπαταρίες ή από τις κυψέλες καυσίμου σε μηχανική ενέργεια με σκοπό την κίνηση του οχήματος οι κατηγορίες των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων είναι οι εξής [12] :

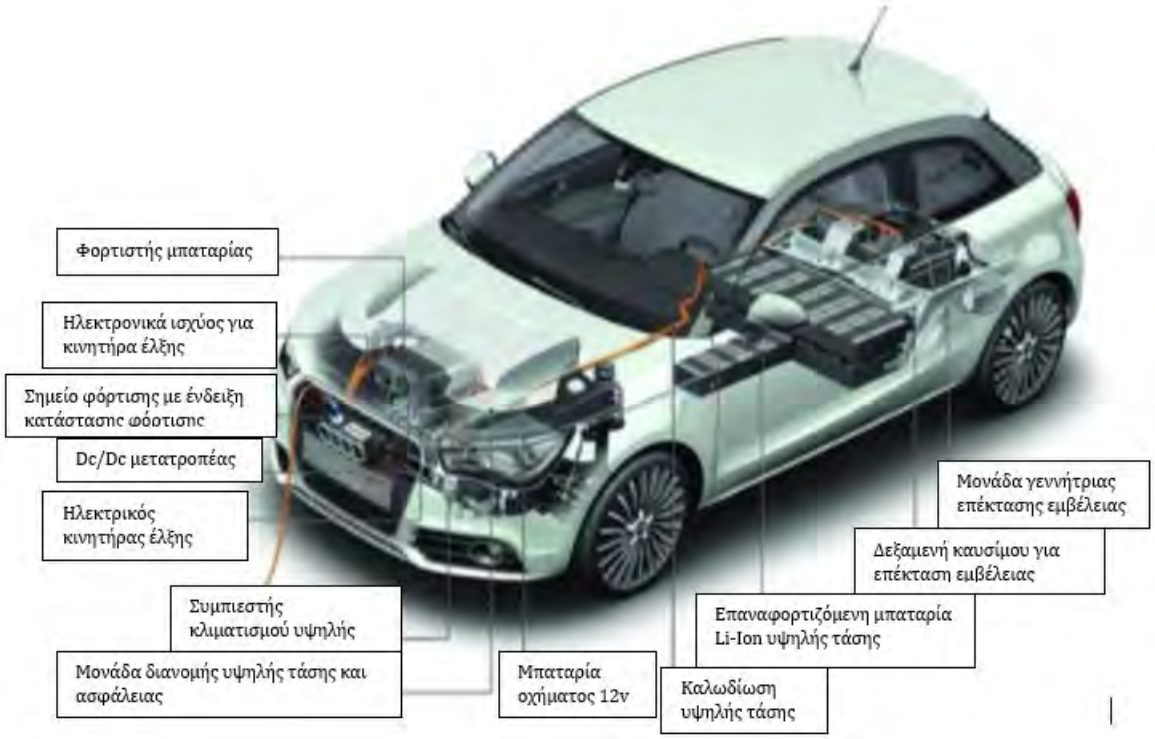
- Ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία (Battery Electric vehicles – BEVs)
- Ηλεκτρικά οχήματα με μονάδα επέκτασης της αυτονομίας τους (Extended – Range Electric Vehicles – EREVs)
- Ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου (Fuel Cell Electric Vehicles – FGEVs)
- Ηλεκτρικά οχήματα με δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο (Plug – in Electric Vehicles – PEVs)

3.1 Ηλεκτρικά οχήματα συσσωρευτών (Battery Electric Vehicles – BEV)

Τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα συσσωρευτών ή αλλιώς BEVs αποτελούνται από έναν ηλεκτρικό κινητήρα που χρησιμοποιείται για την κίνηση του οχήματος και από ένα είδος συσσωρευτών (Οι τύποι των μπαταριών θα αναλυθούν στο κεφάλαιο 4) που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας όπως φαίνεται και στην εικόνα 38. Η κίνηση του κινητήρα ή ακόμη και περισσότερων κινητήρων δημιουργείται λόγω της χημικής ενέργειας που είναι τοποθετημένη στο όχημα. Ένα μειονέκτημα που έχουν τα ηλεκτρικά οχήματα είναι πως έχουν μικρή αυτονομία στην οδήγηση, έχουν τη δυνατότητα να καλύψουν με μέσο όρο έως 150km περίπου χωρίς να φορτίσουν ενδιάμεσα [5]. Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα BEVs φορτίζονται είτε με τη σύνδεση του αυτοκινήτου στο δίκτυο όπως θα αναλυθεί παρακάτω, είτε με αναγεννητική πέδηση, όπου η ενέργεια που παράγεται κατά το φρενάρισμα του αυτοκινήτου αντί να εκλύεται στο περιβάλλον σε μορφή θερμότητας όπως γίνεται στα συμβατικά οχήματα, χρησιμοποιείται ένα μέρος της για να επαναφορτίζουν οι μπαταρίες [13]. Τα ηλεκτρικά οχήματα συσσωρευτών (BEVs) παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα που χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ), για παράδειγμα με τα BEVs δεν δημιουργούνται εκπομπές ρύπων, έχουν χαμηλότερο κόστος λειτουργίας, μεγάλη απόδοση και είναι πιο αθόρυβη η λειτουργία τους. Στην εικόνα 39 παρουσιάζονται τα βασικά μέρη ενός BEV [5].



Εικόνα 38 : Ηλεκτρικό όχημα συσσωρευτών (BEV) [1].



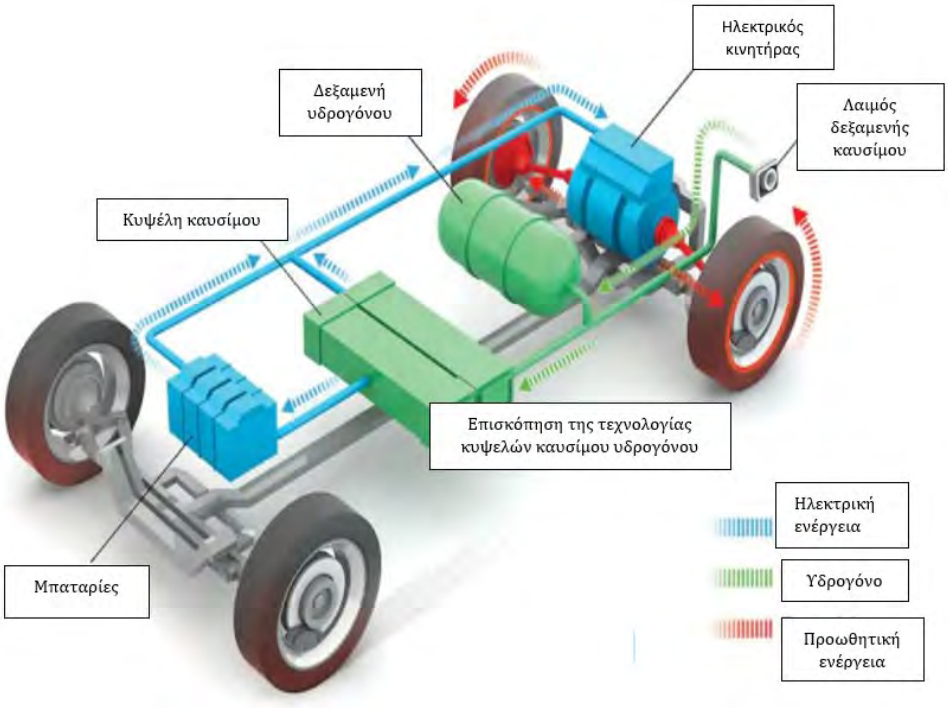
Εικόνα 39 : κύρια ηλεκτρικά μέρη σε ένα BEV [5].

3.2 Ηλεκτρικό όχημα κυψελών καυσίμου (Fuel Cell Electrical Vehicle – FCEV)

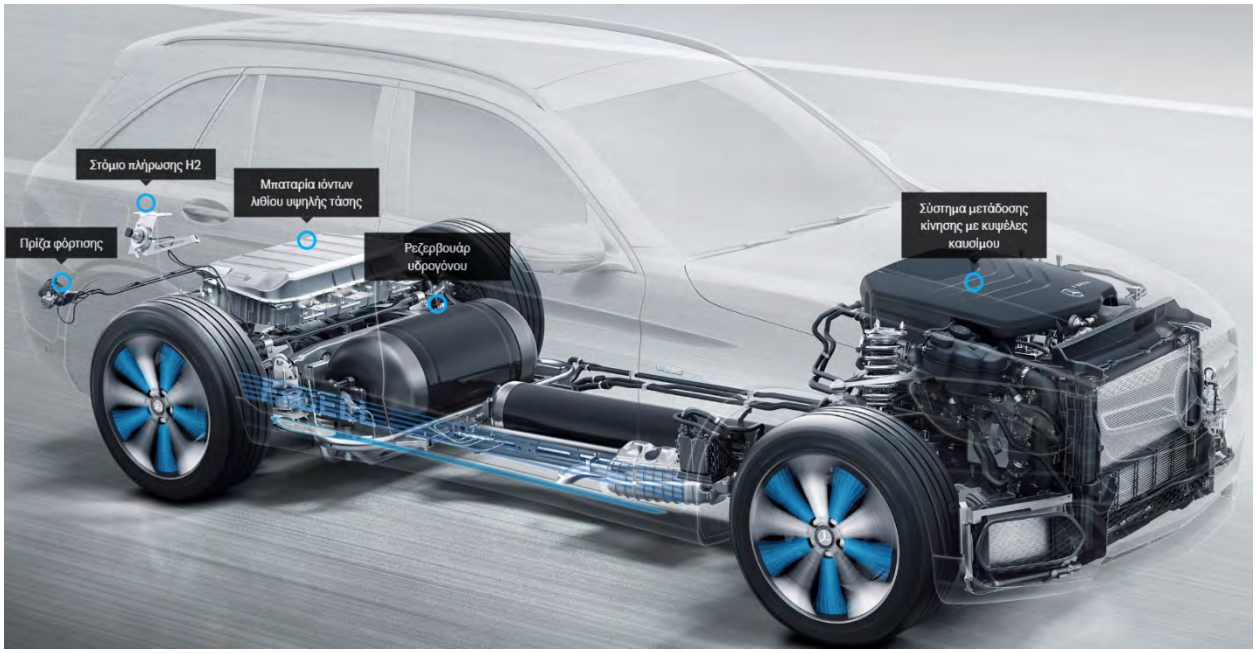
Τα ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου (FCEV) χρησιμοποιούν υδρογόνο ως καύσιμο. Είναι απαραίτητο να σημειωθεί πως τα ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου υδρογόνου δημιουργούν την ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζεται, σε σχέση με άλλα ηλεκτρικά οχήματα [14].

Στα ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου η δεξαμενή καυσίμου (ντεπόζιτο) είναι γεμάτη με υδρογόνο. Το υδρογόνο βρίσκεται σε ειδικά δοχεία όπου υπάρχει υψηλή πίεση και

κατευθύνεται στη κυψέλη καυσίμου. Το υδρογόνο αντιδρά με το οξυγόνο , που παρέχεται από τον αέρα που λαμβάνεται από το περιβάλλον. Έτσι με την αντίδραση που πραγματοποιείται παράγεται ηλεκτρική ενέργεια από την κυψέλη καυσίμου, η οποία κατευθύνεται στον ηλεκτρικό κινητήρα που δίνει κίνηση στους τροχούς. Επιπλέον τα οχήματα που χρησιμοποιούν υδρογόνο έχουν τη δυνατότητα να ανακτήσουν ενέργεια μέσω του φρεναρίσματος (αναγεννητική πέδηση). Στην εικόνα 40 και στην εικόνα 41. παρουσιάζονται τα κύρια μέρη ενός οχήματος κυψελών καυσίμου [14],[15].



Εικόνα 40 : Βασικά μέρη ηλεκτρικού οχήματος κυψελών καυσίμου [14].



Εικόνα 41 : Βασικά εξαρτήματα ηλεκτρικού οχήματος κυψελών καυσίμου [16].

3.2.1 Πλεονεκτήματα ηλεκτρικών οχημάτων κυψελών καυσίμου

- Γρήγορος ανεφοδιασμός του οχήματος με υδρογόνο για καύσιμο [15].
- Μηδενικές εκπομπές άνθρακα [15].
- Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα κυψελών καυσίμου διαθέτουν μεγαλύτερη αυτονομία σε σχέση με τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα. Το ηλεκτρικό όχημα κυψελών καυσίμου, όταν το ντεπόζιτο είναι γεμάτο έχει αυτονομία έως και 480 χιλιόμετρα περίπου. Για να πραγματοποιηθεί αυτό σε ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο απαιτείται μεγάλη συστοιχία μπαταριών, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του βάρους του αυτοκινήτου καθώς και του χρόνου που χρειάζεται για να φορτίσει το αυτοκίνητο [14].
- Η λειτουργικότητα του οχήματος δεν επηρεάζεται από την θερμοκρασία που έχει το περιβάλλον [14].
- Τα οχήματα κυψελών καυσίμου έχουν μεγάλη ροπή ακόμη και σε μικρές ταχύτητες. Έτσι είναι εύκολη η εκκίνηση, επιπλέον δημιουργούν χαμηλή στάθμη θορύβου [14].

3.2.2 Μειονεκτήματα ηλεκτρικών οχημάτων κυψελών καυσίμου

- Υψηλό κόστος αγοράς [14], για παράδειγμα το μοντέλο MIRAI 2023 της Toyota η τιμή του ξεκινά από τα $49.500 (€45.876,60) [17].
- Υψηλότερο κόστος για τη μεταφορά του υδρογόνου σε σχέση με άλλα καύσιμα. Αυτό συμβαίνει επειδή είναι ακριβή η κατασκευή του δικτύου μεταφοράς του υδρογόνου. Έτσι η τιμή πώλησης του καύσιμου υδρογόνου είναι πιο ακριβή σε σύγκριση με την

τιμή της βενζίνης αν και αυτό τις περισσότερες φορές αντισταθμίζεται επειδή τα οχήματα κυψελών καυσίμου έχουν μικρότερη κατανάλωση [14].

- Μεγάλο μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός πως υπάρχουν ελάχιστοι σταθμοί καυσίμου με υδρογόνο για τον ανεφοδιασμό των οχημάτων. Αυτό όμως δεν σημαίνει πως δεν υπάρχει η δυνατότητα ανάπτυξης των σταθμών. Πριν από κάποια χρόνια το ίδιο πρόβλημα αντιμετωπιζόταν και με τους σταθμούς φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων [15].
- Το υδρογόνο που παράγεται δεν είναι αποκλειστικά από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι δομές που υπάρχουν πολλές φορές δεν είναι δυνατό να καλύψουν τη ζήτηση. Έτσι ένα μέρος του υδρογόνου που παράγεται προκύπτει από την χρήση των ορυκτών καυσίμων [14].
- Δημιουργείται ανησυχία σχετικά με την προστασία, στην περίπτωση που προκύψει κάποια διαρροή στις δεξαμενές που βρίσκεται το εύφλεκτο υδρογόνο [15].

3.3 Ηλεκτρικά οχήματα με αυξημένη αυτονομία (Extended – Range Electric Vehicles ER – EVs)

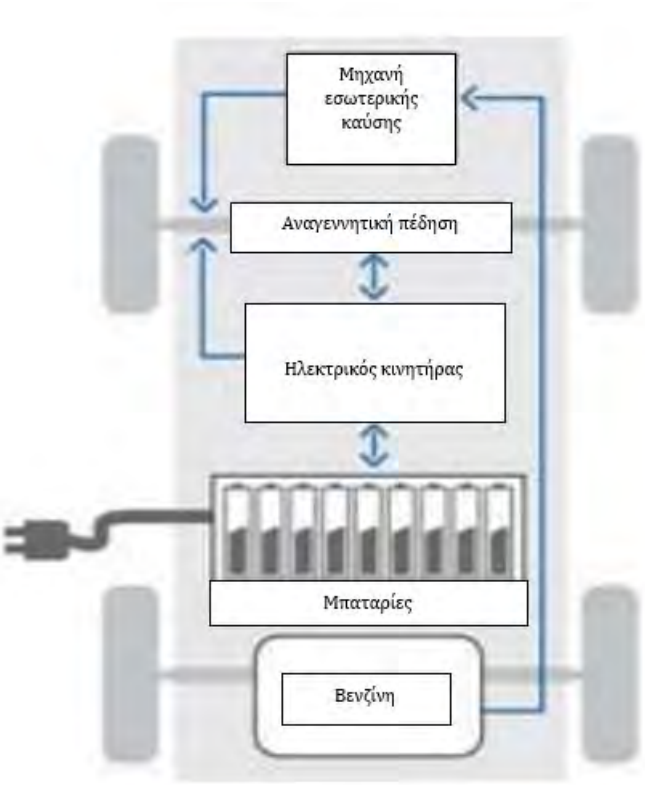
Τα ηλεκτρικά οχήματα με αυξημένη αυτονομία αποτελούν μία μετάβαση από τα υβριδικά οχήματα στα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα, ώστε να βρεθεί λύση στο πρόβλημα που έγκειται στην αυτονομία που μερικές φορές προβληματίζει τους χρήστες που έχουν ηλεκτρικό όχημα με μπαταρίες. Τα ER – EVs αποτελούνται από μία μηχανή εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) και από ένα ή παραπάνω ηλεκτροκινητήρες. Η διαφορά των ηλεκτρικών οχημάτων με αυξημένη αυτονομία σε σχέση με τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά οχήματα, είναι πως η κίνηση του οχήματος στα ER – EVs πραγματοποιείται αποκλειστικά από τον ηλεκτροκινητήρα [5], [7]. Συνεπώς η κίνηση του οχήματος είναι πάντα ηλεκτρική όπως και στα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα. Η μονάδα του θερμικού κινητήρα χρησιμοποιείται ώστε να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια για τη φόρτιση των συσσωρευτών μέσω μίας συζευγμένης ηλεκτρικής γεννήτριας. Η μόνη σύνδεση που δημιουργείται μεταξύ της αυτόνομης ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας και των άλλων συστημάτων του οχήματος, είναι από τους ηλεκτρικούς αγωγούς, με σκοπό να υπάρχει αρκετή ελευθερία χωροθέτησης και να μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικροί πολύστροφοι θερμικοί κινητήρες που θα λειτουργούν με σταθερό αριθμό στροφών και μέγιστη απόδοση [7].

Η λειτουργία των ER – EVs είναι εύκολη καθώς λειτουργούν όπως τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρίες. Όταν η ηλεκτρική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στις μπαταρίες γίνει πιο μικρή από μία οριοθετημένη τιμή, τότε ξεκινά να λειτουργεί η ηλεκτροπαραγωγική

μονάδα που χρησιμοποιεί συμβατικό καύσιμο μπορεί να είναι είτε υγρό είτε αέριο καύσιμο και τροφοδοτεί τον ηλεκτροκινητήρα ή/και φορτίζει τη μπαταρία με σκοπό το όχημα να συνεχίσει να κινείται χωρίς να χρειαστεί στάθμευση για φόρτιση. Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται αυτόματα από την ηλεκτροπαραγωγική μονάδα και όταν η ενέργεια των μπαταριών αυξηθεί πάνω από μία οριακή τιμή η μονάδα σταματά να λειτουργεί. Η αυτονομία που διαθέτουν τα ηλεκτρικά οχήματα με αυξημένη αυτονομία είναι τουλάχιστον ίση με αυτή των συμβατικών οχημάτων [7].

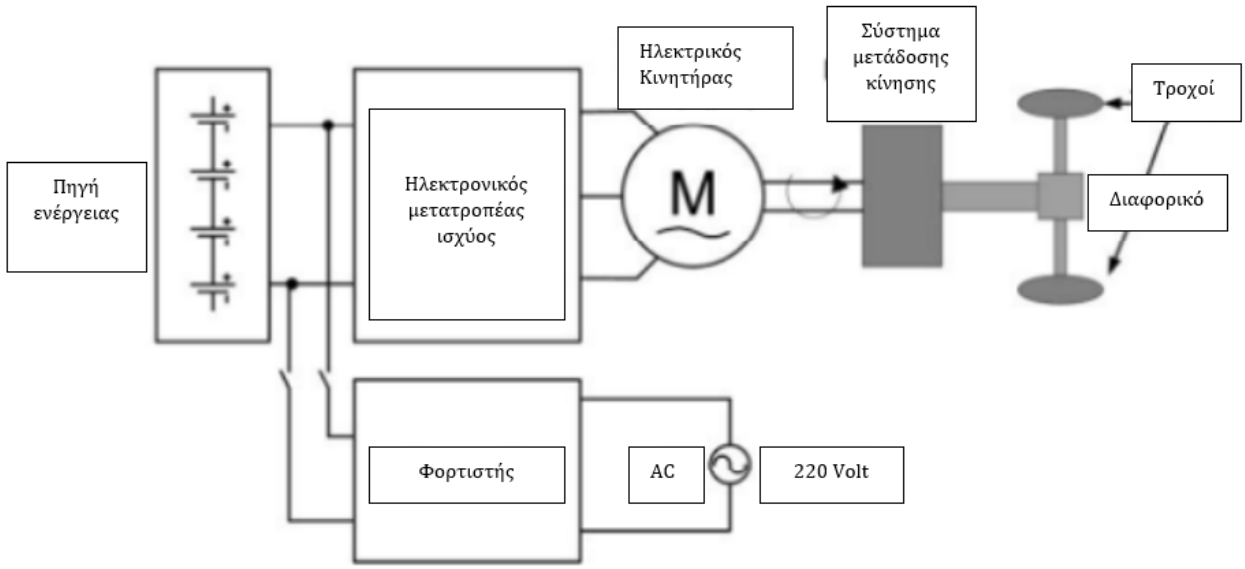
3.4 Ηλεκτρικά οχήματα που έχουν τη δυνατότητα να συνδεθούν στο δίκτυο (Plug in electric vehicle -PEV)

Τα PEVs παρέχουν τη δυνατότητα σύνδεσης του οχήματος με το δίκτυο με σκοπό να ανταλλάσσεται ηλεκτρική ενέργεια όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 42. Όλοι οι τύποι των αυτοκινήτων που έχουν παρουσιαστεί έχουν τη δυνατότητα να συνδέονται με το δίκτυο εάν εγκατασταθεί σε αυτά ο απαραίτητος εξοπλισμός. Ειδικότερα, τα BEVs όπως προαναφέρθηκε έχουν αυτή τη δυνατότητα καθώς από την αρχή της κατασκευής τους παρέχεται ο κατάλληλος εξοπλισμός που χρειάζεται. Έτσι μπορούν είτε να λάβουν ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο για να φορτίσουν οι μπαταρίες ή ακόμη και να δώσουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω των μπαταριών (εκφόρτιση) εάν το δίκτυο τη χρειάζεται [13].



Εικόνα 42 : Υβριδικό όχημα που μπορεί να συνδεθεί με το δίκτυο [13].

Όπως είναι γνωστό η ενέργεια αποθηκεύεται μέσω των συσσωρευτών. Η φόρτιση των μπαταριών συνήθως επιτυγχάνεται με τη χρήση ηλεκτρονικών μετατροπέων AC/DC, όπου το εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) μετατρέπεται σε συνεχές (DC) για να φορτίσουν οι συσσωρευτές. Ο ηλεκτρονικός μετατροπέας είναι υπεύθυνος ώστε να μετατρέπει κατάλληλα την τάση της πηγής για να τροφοδοτήσει τον κινητήρα. Επιπρόσθετα μέσω του ηλεκτρονικού μετατροπέα ρυθμίζεται η λειτουργία του αυτοκινήτου, αυτό συμβαίνει με τη ρύθμιση ουσιαστικά της ταχύτητας και της ροπής του κινητήρα. Στη συνέχεια, για να κινηθεί το όχημα χρειάζεται η ηλεκτρική ενέργεια να μετατραπεί σε μηχανική και αυτό επιτυγχάνεται με τον ηλεκτρικό κινητήρα. Τέλος, το σύστημα για την μετάδοση της κίνησης δίνει κίνηση στους τροχούς ρυθμίζοντας ανάλογα τη ταχύτητα και τη ροπή όπως φαίνεται και στην εικόνα 43 [13].



Εικόνα 43 : Βασικά εξαρτήματα ενός ηλεκτρικού οχήματος [13].

3.5 Βασικά εξαρτήματα των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων

Τα κύρια εξαρτήματα ενός αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος είναι τα εξής [12] :

- Θύρα φόρτισης (charge port)
- Ενσωματωμένος φορτιστής (On – board charger)
- Συστοιχία μπαταριών (Traction battery pack)
- Μετατροπέας ισχύος συσσωρευτή (Battery power converter)
- Βοηθητικός συσσωρευτής (auxiliary)
- Ηλεκτρονικός μηχανισμός (Motor drive)
- Ηλεκτρικός κινητήρας/Γεννήτρια (Traction electric motor/ Generator)
- Κιβώτιο μετάδοσης κίνησης (Transmission)
- Ηλεκτρονικός ελεγκτής ισχύος (Power electronics controller)

Πιο συγκεκριμένα, η θύρα φόρτισης είναι μία υποδοχή που διατίθεται στα οχήματα με σκοπό την σύνδεση του οχήματος με μία εξωτερική πηγή ώστε να φορτίζουν οι μπαταρίες του. Η φόρτιση των μπαταριών πραγματοποιείται με τον ενσωματωμένο φορτιστή ο οποίος λαμβάνει εναλλασσόμενο ρεύμα από τη θύρα και το μετατρέπει σε συνεχές για να φορτιστούν οι μπαταρίες. Στη συνέχεια οι συστοιχίες των μπαταριών χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας και την τροφοδότηση του ηλεκτρικού κινητήρα. Στις μπαταρίες υπάρχει ένα σύστημα διαχείρισης των μπαταριών στην μορφή ενός μικρού ενσωματωμένου υπολογιστή με το οποίο δίνεται η δυνατότητα να παρακολουθείται και να ρυθμίζονται τα χαρακτηριστικά φόρτισης όπως είναι για παράδειγμα η τάση, το ρεύμα , κλπ., ολόκληρης της συστοιχίας των μπαταριών αλλά και μεμονωμένων συσσωρευτών. Με τις

μπαταρίες παράγεται ισχύς συνεχούς ρεύματος και το ενεργειακό περιεχόμενο των μπαταριών εκφράζεται σε κιλοβατώρες (KWh). Η βοηθητική μπαταρία λειτουργεί κατά την εκκίνηση του αυτοκινήτου πριν ενεργοποιηθεί η συστοιχία των μπαταριών, επιπλέον λειτουργεί και στα δευτερεύοντα εξαρτήματα του ηλεκτρικού οχήματος όπως είναι τα φώτα, τα συστήματα ήχου , κλπ. Για να επαναφορτιστεί η βοηθητική μπαταρία είναι απαραίτητη η λειτουργία ενός μετατροπέα ισχύος της μπαταρίας ώστε να μετατρέψει την ισχύ συνεχούς ρεύματος μεγάλης τάσης της συστοιχίας των μπαταριών σε ισχύ συνεχούς ρεύματος μικρής τάσης για τη φόρτιση της βοηθητικής μπαταρίας [12].

Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι το βασικό εξάρτημα για την πρόωση ενός αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος. Ο ηλεκτρικός κινητήρας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνει από τις μπαταρίες ή από τις κυψέλες καυσίμου σε μηχανική ενέργεια με σκοπό τη κίνηση του οχήματος. Η ισχύς που δημιουργεί ο ηλεκτρικός κινητήρας μεταφέρεται στους κινητήριους τροχούς μέσω του κιβωτίου μετάδοσης της κίνησης. Ο ηλεκτρικός κινητήρας έχει την δυνατότητα να λειτουργεί ως γεννήτρια κατά τη διάρκεια της αναγεννητικής πέδησης, έτσι μεγαλώνει η αυτονομία του αυτοκινήτου. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τους ηλεκτρικούς κινητήρες περιέχονται στο κεφάλαιο 3. Μέσω του ηλεκτρονικού μηχανισμού πραγματοποιείται έλεγχος των στροφών , της ροπής και της περιστροφικής κατεύθυνσης του κινητήρα. Ο ηλεκτρονικός μηχανισμός βρίσκεται ανάμεσα στην πηγή ισχύος και στον ηλεκτρικό κινητήρα. Αναλόγως με τον ηλεκτρικό κινητήρα, ο ηλεκτρονικός μηχανισμός λειτουργεί είτε ως αντιστροφέας συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο ρεύμα είτε ως μετατροπέας συνεχούς ρεύματος σε συνεχές ρεύμα άλλης έντασης. Επιπλέον ο ηλεκτρονικός μετατροπέας παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου της ροής της ηλεκτρικής ενέργειας ανάμεσα στο συσσωρευτή υψηλής τάσης και στον ηλεκτρικό κινητήρα, τέλος εκτός από το να προσδίδει ισχύ στο κινητήρα για τη κίνηση του οχήματος, ο ηλεκτρονικός μετατροπέας τίθεται σε λειτουργία για την ανάκτηση της ενέργειας (regenerative braking). Όπως προαναφέρθηκε η μηχανική ισχύς του ηλεκτρικού κινητήρα μεταφέρεται στο κιβώτιο μετάδοσης της κίνησης ώστε να κινηθούν οι τροχοί του οχήματος. Συνηθέστερα χρησιμοποιείται κιβώτιο μονής ταχύτητας, εφόσον ο κινητήρας παραμένει το ίδιο αποδοτικός σε ένα αυξημένο εύρος λειτουργίας. Τέλος ο ηλεκτρονικός ελεγκτής ισχύος είναι υπεύθυνος για την ηλεκτρική ισχύ που τροφοδοτείται στους διαφορετικούς μετατροπείς ηλεκτρικής ισχύος του ηλεκτρικού αυτοκινήτου [12].

4. Κατηγορίες ηλεκτρικών κινητήρων

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες έχουν καθοριστικό ρόλο στις τεχνολογίες των ηλεκτρικών οχημάτων (EV). Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, μέσω του κινητήρα η ηλεκτρική ενέργεια της μπαταρίας μεταβάλλεται σε μηχανική ενέργεια με σκοπό τη κίνηση του οχήματος. Επιπλέον, ο ηλεκτρικός κινητήρας έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί και ως γεννήτρια όπου κατά το φρενάρισμα τίθεται σε λειτουργία η αναγεννητική πέδηση και μεταφέρεται ενέργεια στις μπαταρίες [18]. Παρουσιάζει ενδιαφέρον πως δεν υπάρχει ένας κινητήρας μόνο που να χρησιμοποιείται πιο πολύ. Τόσο ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος όσο και οι υπόλοιποι κινητήρες που θα αναλυθούν παρακάτω χρησιμοποιούνται στις τεχνολογίες των ηλεκτρικών οχημάτων [21]. Τα βασικά χαρακτηριστικά που χρειάζεται να έχουν οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι τα εξής [19] :

- Μεγάλη ροπή, ισχύ και απόδοση
- Ανθεκτικότητα και στιβαρότητα
- Εύκολος έλεγχος
- Μικρό κόστος
- Χαμηλή στάθμη θορύβου
- Μικρό μέγεθος

Υπάρχουν διάφορα είδη ηλεκτρικών κινητήρων που χρησιμοποιούνται στις τεχνολογίες των ηλεκτρικών οχημάτων και παρουσιάζουν διαφορές στην τεχνολογία και στην κατασκευή τους [19].

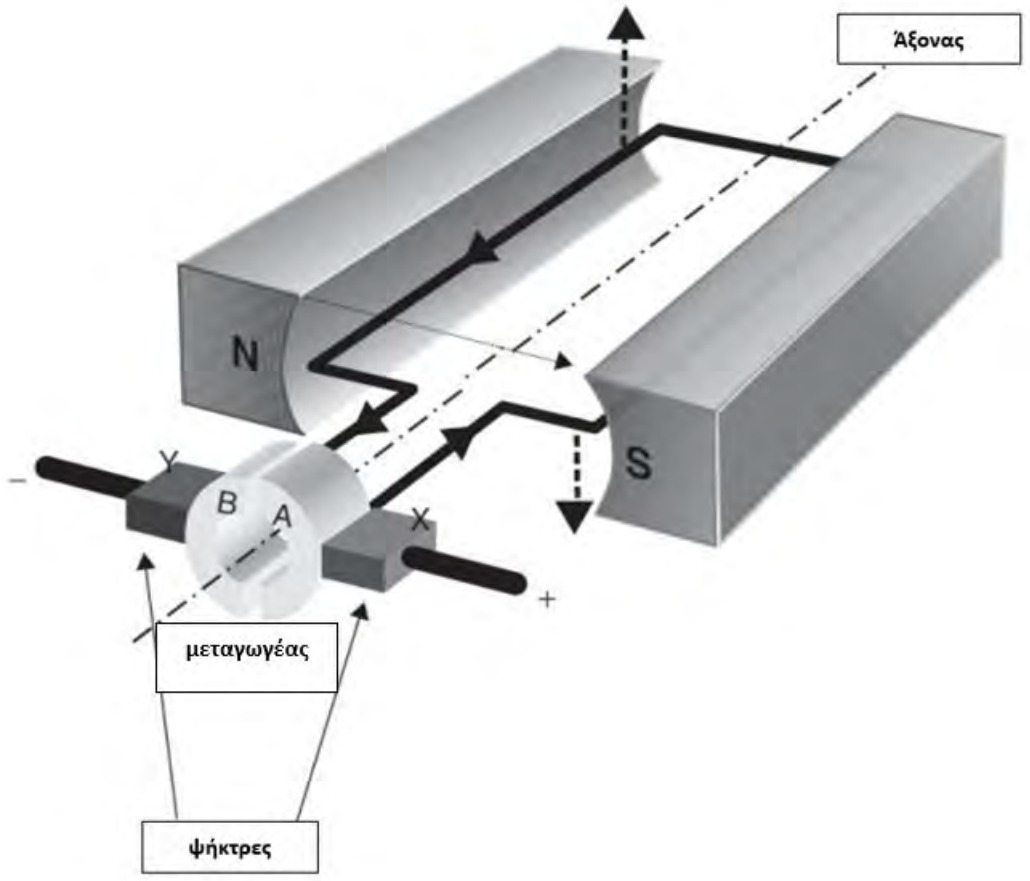
Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC), αποτελούσαν τη συνηθέστερη επιλογή. Αυτό συνέβαινε διότι είχαν απλή ηλεκτρονική τεχνολογία ελέγχου. Όμως είναι ογκώδεις και χρειαζόταν συχνή συντήρηση οπότε δεν κρίνονται κατάλληλοι για να χρησιμοποιηθούν ευρέως στα ηλεκτρικά οχήματα.. Από την άλλη πλευρά, στους κινητήρες με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), χρειάζονται σύνθετα και κοστοβόρα ηλεκτρονικά ισχύος, όπως είναι ο μετατροπέας, επειδή οι μπαταρίες δίνουν συνεχές ρεύμα (DC). Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος παρέχουν μεγαλύτερη πυκνότητα ισχύος, της οποίας η συμβολή είναι πολύ σημαντική, εφόσον παρέχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιούνται πιο μικροί και πιο ελαφριοί κινητήρες με μεγάλη απόδοση, η οποία μεγιστοποιεί την απόσταση για μία γνωστή χωρητικότητα της μπαταρίας. Οι κατηγορίες των ηλεκτρικών κινητήρων που χρησιμοποιούνται στις τεχνολογίες των ηλεκτρικών οχημάτων είναι οι παρακάτω [18] :

- Κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC) μόνιμου μαγνήτη
- Κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες μόνιμου μαγνήτη (Permanent Magnet Brushless DC Motor – PMBLDC)
- Σύγχρονοι κινητήρες με μόνιμο μαγνήτη (Permanent Magnet Synchronous Motor – PMSM)
- Επαγωγικοί κινητήρες (Induction Motor – IM)
- Κινητήρες διακοπτικής διέγερσης (Switched Reluctance Motor – SRM)
- Σύγχρονοι κινητήρες μαγνητικής αντίστασης (Synchronous Reluctance Motors - SynRM)

4.1 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC) μόνιμου μαγνήτη

Αρκετό ενδιαφέρον υπάρχει για τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC motors), καθώς ρυθμίζεται εύκολα η ροπή και είναι εύκολος ο έλεγχός τους, όμως όσον αναφορά τη κατασκευή τους (με ψήκτρες και δακτυλίους) εμφανίζουν προβλήματα στη συντήρησή τους. Με την πρόοδο στην εξέλιξη των κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος μειώθηκε το ενδιαφέρον που υπήρχε για τη χρήση των κινητήρων συνεχούς ρεύματος σε εφαρμογές έλξης. Βέβαια, οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται κανονικά στην αγορά για εφαρμογές που έχουν χαμηλή ισχύ [20].

Ο εξοπλισμός του ηλεκτρικού κινητήρα συνεχούς ρεύματος αποτελείται από ψήκτρες και μόνιμους μαγνήτες. Σε αυτόν το κινητήρα διατίθεται ένα πηνίο, το ρεύμα που περνά από το σύρμα σε μικρή απόσταση από τον μαγνήτη δημιουργεί μία δύναμη στο πηνίο. Όπως φαίνεται στην εικόνα 44, το ρεύμα διέρχεται από τη ψήκτρα Χ στο μισό δακτύλιο Α και γύρω από το πηνίο, έπειτα κατευθύνεται προς τα έξω μέσω του άλλου μισού δακτυλίου Β και μέσω της ψήκτρας Υ (ΧΑΒΥ) [21].



Εικόνα 44 : Απεικόνιση κινητήρα συνεχούς ρεύματος με μόνιμο μαγνήτη [21].

Όπως αναπαρίσταται και στην εικόνα 44 στη μία μεριά η δύναμη βρίσκεται προς τα πάνω ενώ στην άλλη μεριά η δύναμη βρίσκεται προς τα κάτω. Αυτό συμβαίνει διότι το ρεύμα κατευθύνεται πίσω στις ψήκτρες και στον μεταγωγέα. Αυτές οι δύο δυνάμεις δημιουργούν τη περιστροφή του πηνίου. Το πηνίο και ο μεταγωγέας γυρίζουν μέχρι οι μισοί δακτύλιοι που βρίσκονται στο μετατροπέα να ενωθούν ξανά με τις ψήκτρες. Η ροή του ρεύματος έχει την ίδια κατεύθυνση με τους μαγνήτες, έτσι οι δυνάμεις βρίσκονται στην ίδια κατεύθυνση και ο κινητήρας συνεχίζει να περιστρέφεται όπως προηγουμένως [21].

Σε έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος υπάρχει η δυνατότητα να πραγματοποιηθούν πολλές βελτιώσεις, όπως [21] :

- Χρήση περισσότερων πηνίων, με σκοπό το καλώδιο που ρέει το ρεύμα να είναι σε μικρή απόσταση από τους μαγνήτες για περισσότερο χρονικό διάστημα. Ο μεταγωγέας δεν θα απαρτίζεται από δύο μισούς δακτυλίους. Θα αποτελείται από πιο πολλά τμήματα, έτσι το κάθε πηνίο θα έχει δύο τμήματα, όπως στην εικόνα 44.

- Χρήση περισσότερων ζευγών μαγνητών, με σκοπό την αύξηση της ροπής περιστροφής.
- Το πηνίο που περιστρέφεται, είναι τυλιγμένο από ένα κομμάτι σιδήρου για να μην υπάρχει αρκετό κενό αέρα στους μαγνήτες έτσι ώστε να μην εξασθενεί το μαγνητικό πεδίο.
- Κάθε πηνίο να περιλαμβάνεται από αρκετά τυλίγματα, με σκοπό την αύξηση της ροπής και της δύναμης.

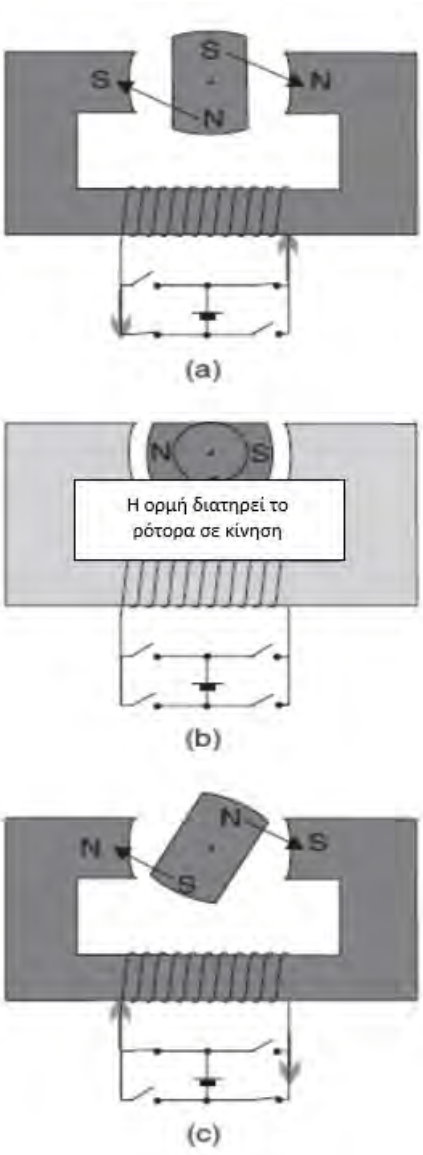
Στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC) υπάρχει πρόβλημα σχετικά με τις ψήκτρες. Μεταξύ των ψηκτρών και του μεταγωγέα δημιουργείται τριβή και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σταδιακή φθορά τους. Άλλο ένα πρόβλημα του συγκεκριμένου κινητήρα αποτελούν οι απώλειες που δημιουργούνται στο ρότορα λόγω της θερμότητας [21].

4.2 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος μόνιμου μαγνήτη χωρίς ψήκτρες (Permanent Magnet Brushless DC Motor – PMBLDC)

Ο κινητήρας με συνεχές ρεύμα χωρίς ψήκτρες στην πραγματικότητα είναι ένας κινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος (AC). Ονομάζεται κινητήρας συνεχούς ρεύματος για δύο λόγους, αρχικά διότι η χαρακτηριστική της ροπής – ταχύτητας είναι αρκετά παρόμοια με εκείνη του κινητήρα συνεχούς ρεύματος (DC) που έχει ψήκτρες. Έπειτα διότι το AC ρεύμα χρειάζεται να έχει μεταβλητή συχνότητα [21].

Όπως απεικονίζεται στην εικόνα 45(a), ο ρότορας συγκροτείται από ένα μόνιμο μαγνήτη. Το ρεύμα περνά και κατευθύνεται εκεί όπου ο στάτης μαγνητίζεται και ο ρότορας γυρνά όπως οι δείκτες του ρολογιού. Ο ρότορας κατευθύνεται μεταξύ των πόλων του στάτη, έτσι μηδενίζεται το ρεύμα του στάτη, όπως φαίνεται στην εικόνα 45(b) [21].

Όπως απεικονίζεται στην εικόνα 45(c), ξεκινά το πηνίο του στάτη ξανά, όμως το ρεύμα άρα και το μαγνητικό πεδίο αναστρέφονται. Συνεπώς το ρεύμα του πηνίου του στάτη εναλλάσσεται και όπως προαναφέρθηκε, ο ρότορας περιστρέφεται όπως οι δείκτες του ρολογιού [21].



Εικόνα 45 : Λειτουργία κινητήρα με συνεχές ρεύμα χωρίς ψήκτρες μόνιμου μαγνήτη [21].

Στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες μόνιμου μαγνήτη μεγαλώνει η ταχύτητα καθώς μικραίνει η ροπή. Ο μαγνήτης που περιστρέφεται προκαλεί μία αντί-ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ) στο πηνίο που κατευθύνεται. Η αντί-ηλεκτρεγερτική δύναμη που δημιουργείται είναι αντίστοιχη με την ταχύτητα περιστροφής και το ρεύμα που κατευθύνεται στο πηνίο θα μειωθεί. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου και η ροπή θα ελαττωθούν λόγω της ελάττωσης του ρεύματος. Έτσι η τάση τροφοδοσίας θα είναι ίση με το μέγεθος της αντί-ηλεκτρεγερτικής δύναμης, συνεπώς επιτυγχάνεται η μέγιστη ταχύτητα. Αυτή η λειτουργία είναι όμοια με τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος με ψήκτρες [21].

Ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες μόνιμου μαγνήτη, χαρακτηρίζεται ως κινητήρας DC επειδή η παροχή συνεχούς ρεύματος είναι απαραίτητη, παρ' όλο που το ρεύμα

μέσω των πηνίων εναλλάσσεται. Επιπρόσθετα, αυτοί οι κινητήρες έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ως γεννήτριες ηλεκτρικής ενέργειας, για δυναμική πέδηση και για αναγεννητική πέδηση [21].

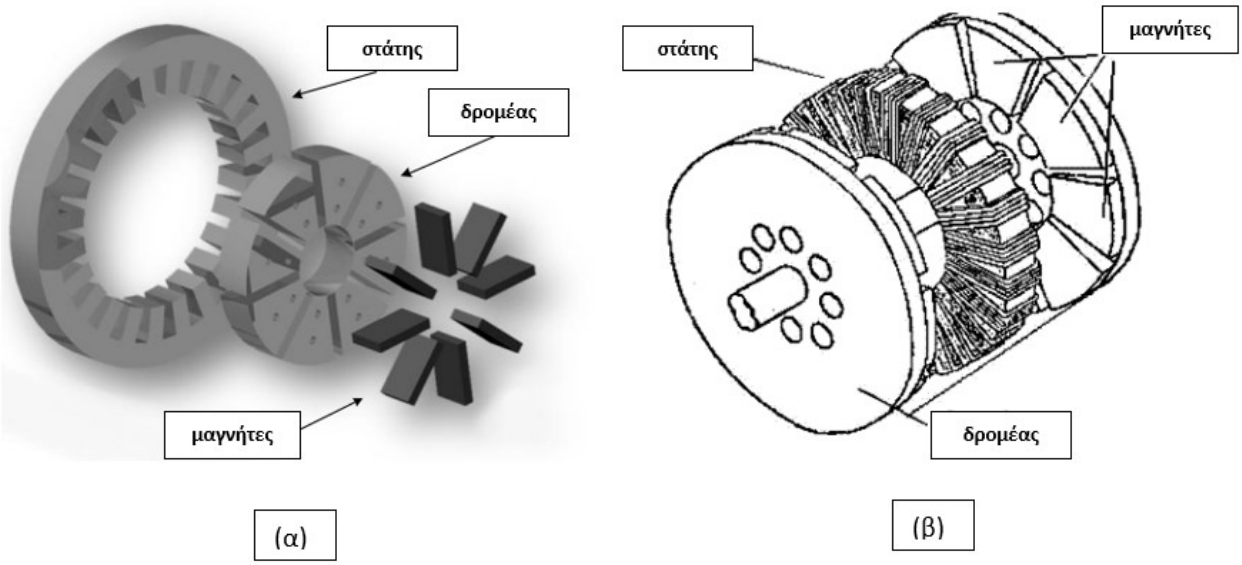
4.3 Σύγχρονος κινητήρας με μόνιμους μαγνήτες (Permanent Magnet synchronous Motor – PMSM)

Ο κινητήρας μόνιμων μαγνητών είναι ουσιαστικά μία τροποποίηση του σύγχρονου ηλεκτρικού κινητήρα, όπου αντί να έχει συνεχές (DC) τύλιγμα διέγερσης αποτελείται από μόνιμους μαγνήτες που δημιουργούν μόνιμη ροή. Με αυτή τη τροποποίηση αποκλείονται οι απώλειες του χαλκού στο δρομέα, εφόσον δεν υπάρχει τύλιγμα διέγερσης, συνεπώς ο κινητήρας εμφανίζει μεγαλύτερη απόδοση. Παράλληλα, λόγω της μεγάλης απόδοσης, δίνεται η δυνατότητα να μειωθεί το μέγεθος του κινητήρα (υψηλότερη πυκνότητα ισχύος) και να μειωθεί η ροπή αδράνειας. Όμως λόγω της σταθερής ροπής των μαγνητών καθίσταται αρκετά δύσκολος ο έλεγχος του κινητήρα και υπάρχει πιθανότητα να δημιουργηθεί απομαγνήτιση του δρομέα [22].

Οι κινητήρες μόνιμων μαγνητών διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες, αναλόγως με τη κατεύθυνση που έχει η μαγνητική ροή στο εσωτερικό της μηχανής, χωρίζονται σε [21] :

- Αξονικής ροής (axial flow)
- Ακτινικής ροής (radial flow)

Στον ηλεκτρικό κινητήρα ακτινικής ροής η μαγνητική ροή που δημιουργείται από τους μόνιμους μαγνήτες περνά από το διάκενο ακτινικά στα τυλίγματα που έχει ο στάτης ώστε το μαγνητικό κύκλωμα να κλείσει, όπως φαίνεται και στην εικόνα 46(α). Σε αντίθεση με τον ηλεκτρικό κινητήρα αξονικής ροής, όπου όπως απεικονίζεται στην εικόνα 46(β), η μαγνητική ροή περνά παράλληλα στον άξονα του δρομέα. Οι δύο μηχανές παρουσιάζουν δισκοειδές σχήμα, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επιτρέπεται η κατασκευή κινητήρων με μεγάλο αριθμό πόλων για εφαρμογές με υψηλή ισχύ και χαμηλές στροφές [21].



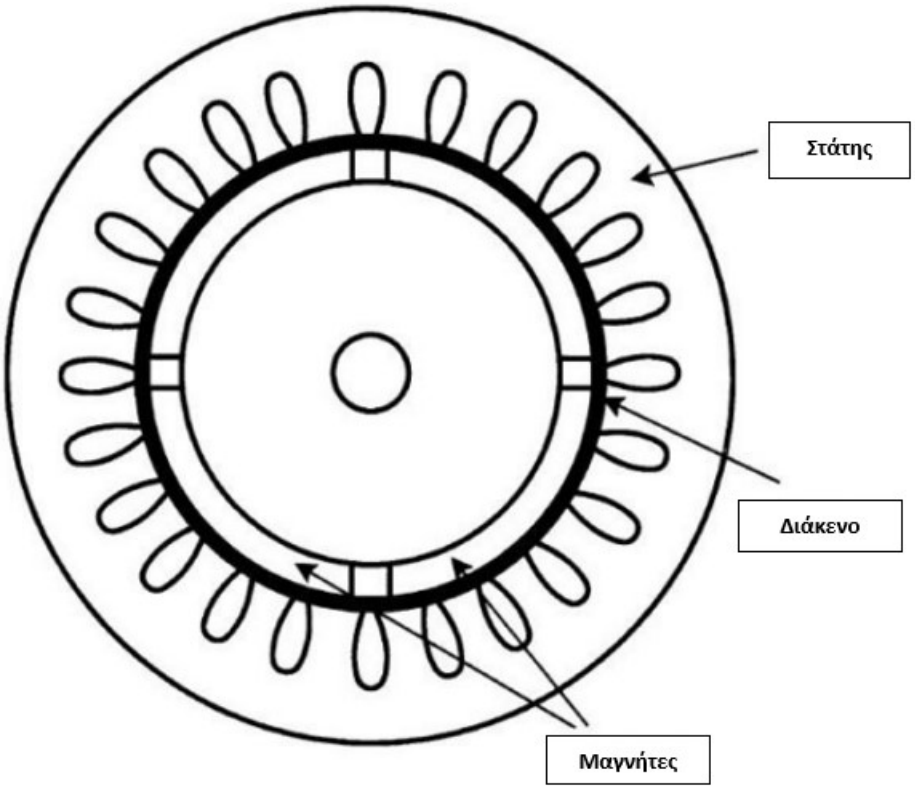
Εικόνα 46 : Κινητήρες μόνιμων μαγνητών (α) ακτινική ροή , (β) αξονική ροή [22].

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες ακτινικής ροής χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες [22] :

- Κινητήρες επιφανειακών μαγνητών ημιτονοειδούς ροής
- Κινητήρες εμφυτευμένων μαγνητών ημιτονοειδούς ροής
- Κινητήρες επιφανειακών μαγνητών τραπεζοειδούς ροής

4.3.1 Ηλεκτρικοί κινητήρες επιφανειακών μαγνητών ημιτονοειδούς ροής (Sinusoidal surface Permanent Magnet Synchronous Machine – SPMSM)

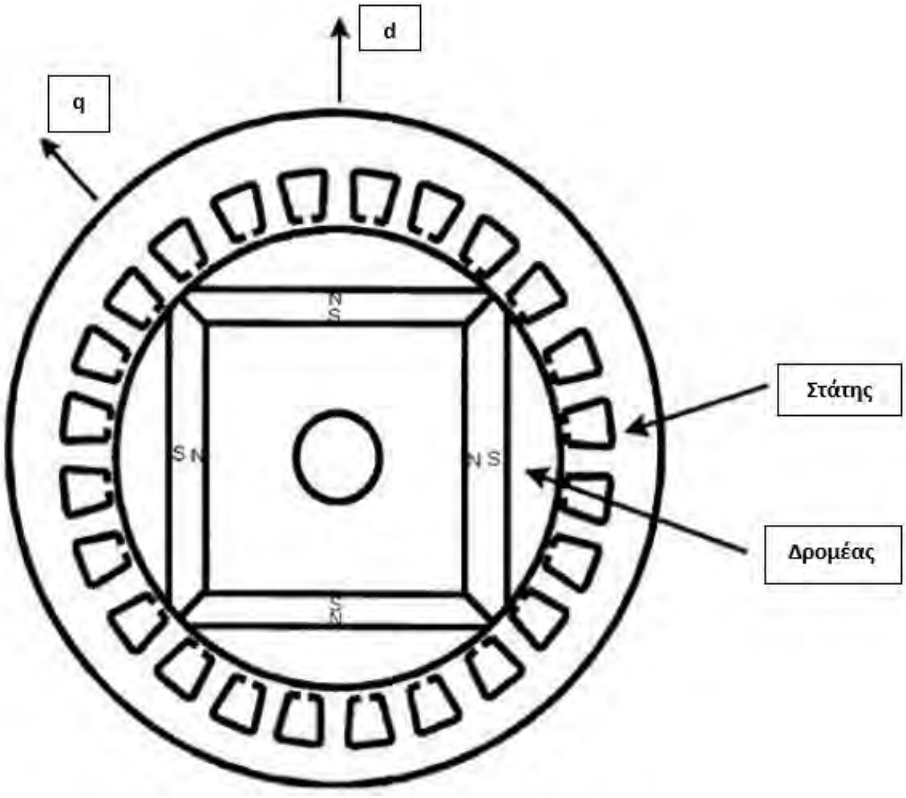
Στον συγκεκριμένο ηλεκτρικό κινητήρα ο στάτης συγκροτείται από ένα τριφασικό ημιτονοειδές τύλιγμα, όπως διακρίνεται και στην εικόνα 47. Αυτό το τύλιγμα δημιουργεί ροή διακένου που στρέφεται με τη σύγχρονη ταχύτητα. Στην επιφάνεια του δρομέα είναι κολλημένοι οι μόνιμοι μαγνήτες με τη χρήση εποξικής κόλλας. Ο πυρήνας του δρομέα είναι σιδερένιος, είναι είτε συμπαγής είτε είναι κατασκευασμένος από διάτρητα ελάσματα ώστε να κατασκευάζεται πιο εύκολα. Στην περίπτωση που οι κινητήρες λειτουργούν με μεταβλητές στροφές, μπορεί να έχουν τύλιγμα απόσβεσης ή τύλιγμα κλωβού, έτσι όμως δημιουργούνται επιπλέον απώλειες λόγω αρμονικών. Στην περίπτωση που ο κινητήρας περιστρέφεται από εξωτερική πηγή, τα τυλίγματα του στάτη δημιουργούν συμμετρικές τριφασικές ημιτονοειδείς τάσεις. Όταν η σχετική επιτρεπτότητα ενός μόνιμου μαγνήτη πλησιάζει τη μονάδα ($\mu_r>1$) και οι μαγνήτες είναι τοποθετημένοι στην επιφάνεια του δρομέα, είναι μεγάλο το ενεργό εύρος διακένου του κινητήρα και δεν εμφανίζει εκτυπότητα. Αυτό συμβάλλει ώστε να μειωθεί το φαινόμενο της αντίδρασης τυμπάνου λόγω της μικρής μαγνητίζουσας αντίδρασης [22].



Εικόνα 47 : Κάθετη τομή ηλεκτρικού κινητήρα επιφανειακών μαγνητών ημιτονοειδούς ροής [22].

4.3.2 Ηλεκτρικοί κινητήρες εμφυτευμένων μαγνητών ημιτονοειδούς ροής (Sinusoidal Interior Magnet Machine – IPMSM)

Αντίθετα με ένα κινητήρα επιφανειακών μαγνητών, ο σύγχρονος κινητήρας εσωτερικών ή εμφυτευμένων μαγνητών έχει εγκατεστημένους τους μαγνήτες στο εσωτερικό του δρομέα. Παρόλο που υπάρχει ένα πλήθος με πιθανές γεωμετρίες στην εικόνα 48 παρουσιάζεται μία τυπική εφαρμογή τοποθέτησης των μαγνητών [22].



Εικόνα 48 : Κάθετη τομή ενός κινητήρα εμφυτευμένων μαγνητών με ημιτονοειδή ροή [22].

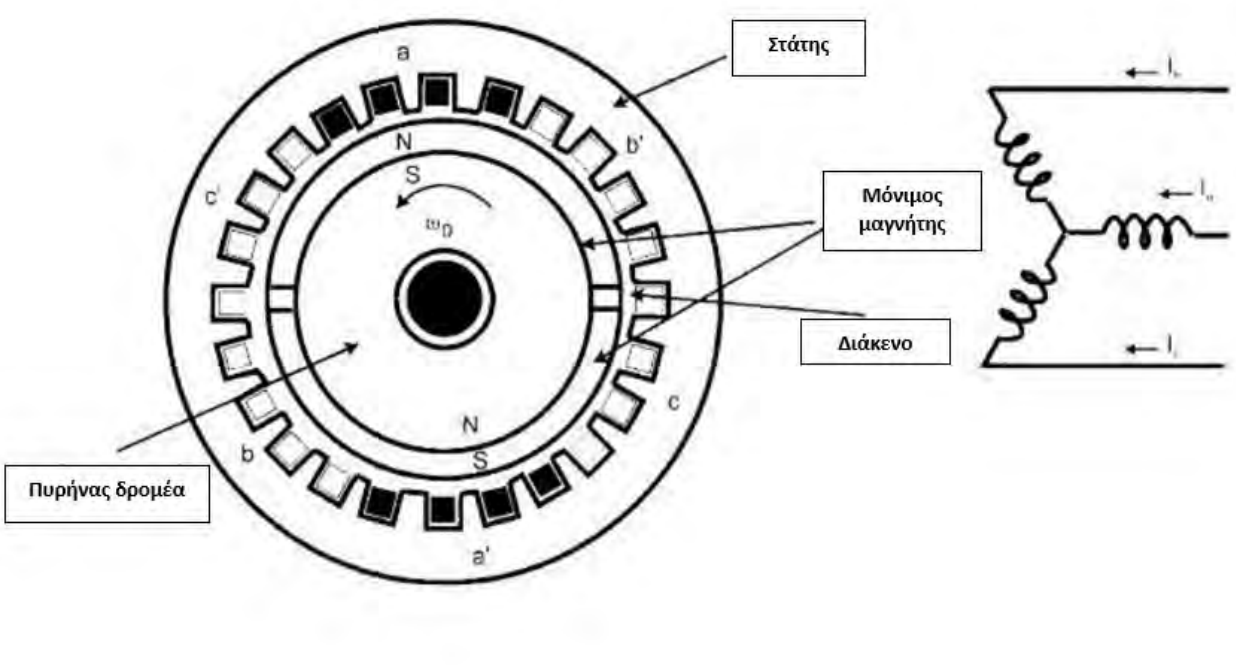
Ο στάτης αποτελείται από το πιο σύνηθες τριφασικό ημιτονοειδές τύλιγμα. Λόγω της διαφοράς στη γεωμετρία σε έναν κινητήρα εσωτερικών μαγνητών δημιουργούνται τα παρακάτω χαρακτηριστικά [22] :

- Υπερισχύει το φαινόμενο της αντίδρασης τυμπάνου, εφόσον είναι χαμηλό το ενεργό εύρος διακένου.
- Ο κινητήρας είναι πιο συμπαγής, έτσι είναι εφικτό να υπάρχει πολύ υψηλότερη ταχύτητα λειτουργίας.
- Το ενεργό μήκος διακένου του άξονα d είναι πιο μεγάλο σε σχέση με τον άξονα q, συνεπώς ο κινητήρας παρουσιάζει εκτυπότητα, πιο συγκεκριμένα ισχύει ότι Ld>Lq, (αντίθετα με ένα σύγχρονο κινητήρα τυλιγμένου πεδίου).

4.3.3 Ηλεκτρικοί κινητήρες επιφανειακών μαγνητών τραπεζοειδούς ροής (Trapezoidal surface Magnet Machine).

Ο σύγχρονος κινητήρας μόνιμων επιφανειακών μαγνητών τραπεζοειδούς ροής δεν παρουσιάζει εκτυπότητα όπως ένας κινητήρας με ημιτονοειδή ροή, με διαφορά πως το τριφασικό τύλιγμα του στάτη, του οποίου συνηθέστερα η σύνδεση είναι αστέρας,

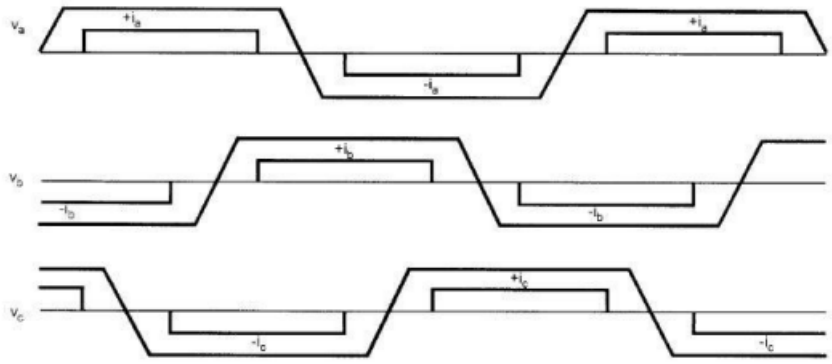
αποτελείται από συγκεντρωμένα τυλίγματα πλήρους βήματος αντί να αποτελείται από τυλίγματα ημιτονοειδούς ροής στο διάκενο του κινητήρα. Στους κινητήρες ημιτονοειδούς ροής, η ημιτονοειδής ροή προσεγγίζεται χρησιμοποιώντας κλασματικό βήμα στα τυλίγματα του στάτη. Στην εικόνα 49 απεικονίζεται η κάθετη τομή ενός κινητήρα τραπεζοειδούς ροής, όπου στα δεξιά παρουσιάζονται οι τρεις φάσεις του στάτη. Ο διπολικός κινητήρας έχει το επιθυμητό διάκενο ώστε να μειωθεί η κυμάτωση της ροής, καθώς ο στάτης συγκροτείται από τέσσερις αγωγούς ανά πόλο και φάση [22].



Εικόνα 49 : Κάθετη τομή κινητήρα επιφανειακών μαγνητών τραπεζοειδούς ροής [22].

Ενώ ο κινητήρας στρέφεται, η ροή που διαρρέεται από ένα φασικό τύλιγμα αλλάζει γραμμικά με το χρόνο, πέρα από το στάδιο που το κενό ενδιάμεσα στους μαγνήτες διέρχεται από τον άξονα της φάσης [22].

Οι φασικές τάσεις του στάτη έχουν συμμετρική τραπεζοειδή κυματομορφή, όταν ο κινητήρας κινείται από εξωτερική πηγή, δηλαδή λειτουργεί ως γεννήτρια, όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 50. Λόγω αυτού στον κινητήρα χρειάζεται ένας ηλεκτρονικός μετατροπέας στους ακροδέκτες του, για να παράγει ρεύμα έξι καταστάσεων στο κέντρο για κάθε μισή περίοδο ώστε να αναπτυχθεί η ροπή [22].



Εικόνα 50 : Απεικόνιση της φασικής τάσης του στάτη και των κυματομορφών των ρευμάτων σε ένα κινητήρα μόνιμων μαγνητών τραπεζοειδούς ροής [22].

Η χρήση του μετατροπέα καθίσταται απαραίτητη, ο ηλεκτρικός κινητήρας συνήθως λειτουργεί και σαν ηλεκτρονικός κινητήρας. Έτσι με τη χρήση ενός αντιστροφέα και ενός αισθητήρα θέσης που βρίσκεται στον άξονα του κινητήρα, μπορεί να πραγματοποιηθεί έλεγχος ώστε οι τραπεζοειδείς κινητήρες μόνιμων μαγνητών και οι ημιτονοειδείς να έχουν τη δυνατότητα να δουλεύουν ως 'Κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες'. Σε σχέση με τους κινητήρες ημιτονοειδούς ροής, οι κινητήρες τραπεζοειδούς ροής ταιριάζουν περισσότερο στην επίδοσή τους με τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος [22].

Οι κινητήρες τραπεζοειδούς ροής είναι απλοί, έχουν χαμηλό κόστος και παρουσιάζουν λίγο πιο υψηλή πυκνότητα ισχύος σε σχέση με έναν ημιτονοειδή κινητήρα. Χρησιμοποιούνται κυρίως για συστήματα οδήγησης με χαμηλή ισχύ (έως λίγα KW) που χρησιμοποιούνται σε σερβομηχανισμούς [22].

4.4 Επαγωγικοί κινητήρες (Induction Motor – IM)

Στους επαγωγικούς κινητήρες, είναι απαραίτητη η τροφοδοσία τους με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), γεγονός που μπορεί να τους κάνει να παρουσιάζονται ως ακατάλληλοι για πηγή συνεχούς ρεύματος (DC), όπως είναι οι συσσωρευτές και οι κυψέλες καυσίμου. Παρ'ολ'αυτά είναι εύκολο να παραχθεί εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) με τη χρήση ενός αντιστροφέα (inverter). Ουσιαστικά, ο αντιστροφέας που χρησιμοποιείται σε έναν επαγωγικό κινητήρα δεν καθίσταται ούτε πιο σύνθετος ούτε έχει μεγαλύτερο κόστος από τα κυκλώματα που χρειάζονται για την οδήγηση των κινητήρων με συνεχές ρεύμα χωρίς ψήκτρες μόνιμου μαγνήτη (BLDC) και των κινητήρων διακοπτικής διέγερσης (SRM). Οι επαγωγικοί κινητήρες παρέχουν αξιοπιστία και κρίνονται κατάλληλοι ώστε να χρησιμοποιηθούν στις τεχνολογίες ηλεκτρικών οχημάτων [21].

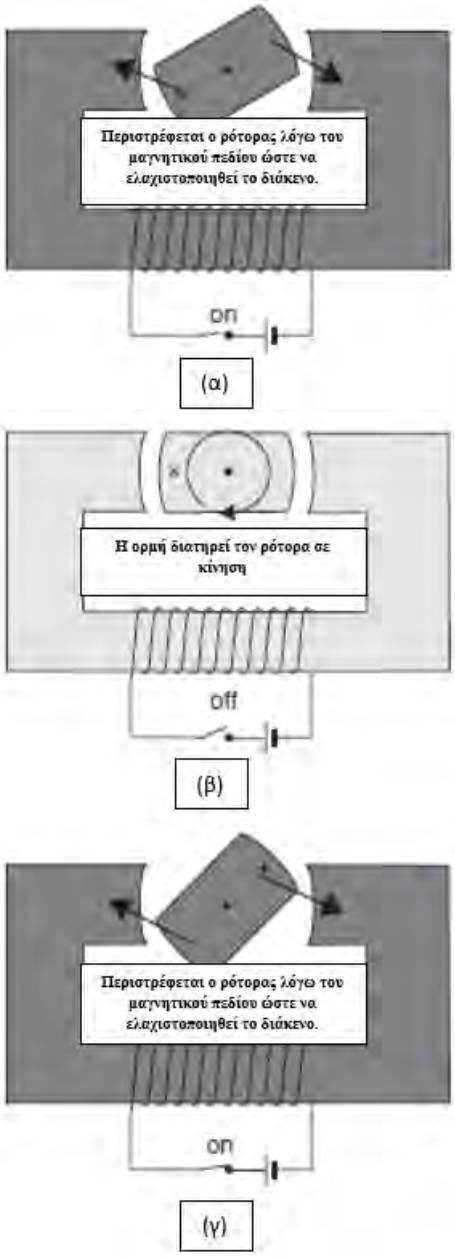
Η μέγιστη ροπή επηρεάζεται από την ένταση που έχει το μαγνητικό πεδίο στο διάκενο ενδιάμεσα στο ρότορα και στα πηνία του στάτη. Αυτό επηρεάζεται από το ρεύμα που έχουν τα πηνία. Πρόβλημα αποτελεί το γεγονός πως όσο μεγαλώνει η συχνότητα, το ρεύμα ελαττώνεται, εάν η τάση είναι σταθερή , εξαιτίας των πηνίων που παρέχουν σύνθετη αντίσταση που είναι ανάλογη με τη συχνότητα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα πως εάν παρέχεται σταθερή τάση στον αντιστροφέα (inverter), τότε η μέγιστη ροπή θα είναι αντιστρόφως ανάλογη σε σχέση με τη ταχύτητα. Αυτό συμβαίνει με το συσσωρευτή ή με το στοιχείο καυσίμου [21].

Λόγω της μεγάλης παραγωγής και της προσιτής τιμής τους, οι επαγωγικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται εκτενώς. Έχει πραγματοποιηθεί έρευνα, όσον αφορά την ανάπτυξη των πιο καλών όσο είναι εφικτό υλικών. Η τεχνολογία των επαγωγικών κινητήρων κατατάσσεται στις πολύ ανεπτυγμένες και στις αξιόπιστες τεχνολογίες [21].

Παρ'ολ'αυτά, με το δεδομένο πως χρειάζεται να παραχθεί ρεύμα με επαγωγή στο ρότορα μεγαλώνει τις απώλειες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι επαγωγικοί κινητήρες να έχουν ελάχιστα χαμηλότερη απόδοση (1% ή 2%), σε σχέση με τους άλλους τύπους ηλεκτρικών κινητήρων χωρίς ψήκτρες [21].

4.5 Κινητήρες διακοπτικής διέγερσης (Switched Reluctance Motor – SRM)

Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργούν οι κινητήρες διακοπτικής διέγερσης είναι πολύ απλός. Όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 51(α), λόγω ενός ρεύματος που διαρρέεται από το πηνίο στο στάτη, έχει ως αποτέλεσμα ο σιδερένιος στάτης και ο ρότορας να μαγνητίζονται. Θα παραχθεί ροπή διότι ο ρότορας δεν ευθυγραμμίζεται με το μαγνητικό πεδίο. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 51(β), ο ρότορας έχει ευθυγραμμιστεί με το στάτη και το ρεύμα μηδενίζεται. Ο ρότορας λόγω της ορμής του, θα στραφεί κατά ένα τέταρτο του κύκλου, όπως απεικονίζεται και στην εικόνα 51(γ). Πραγματοποιείται πάλι μαγνητικό πεδίο , προς την ίδια κατεύθυνση όπως προηγουμένως με αποτέλεσμα να συμβαίνει η ίδια διαδικασία [21].



Εικόνα 51 : Τρόπος λειτουργίας ενός κινητήρα διακοπτικής διέγερσης [21].

Στον κινητήρα διακοπτικής διέγερσης, ο ρότορας αποτελείται από ένα κομμάτι μαλακού σιδήρου. Επιπλέον δεν απαιτείται να εναλλάσσεται το ρεύμα που υπάρχει στο πηνίο. Κατ' ουσίαν οι κινητήρες διακοπτικής διέγερσης είναι αρκετά απλοί, έχουν χαμηλή τιμή κινητήρα και είναι εύκολος ο έλεγχος της ταχύτητας. Επιπλέον σε σχέση με τον κινητήρα συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες μόνιμου μαγνήτη, στον κινητήρα διακοπτικής διέγερσης ο ρότορας δεν είναι μόνιμος μαγνήτης και έτσι δεν πραγματοποιείται αντι-ηλεκτρεγερτική δύναμη, γεγονός που τον καθιστά ικανό και για πιο υψηλές ταχύτητες.

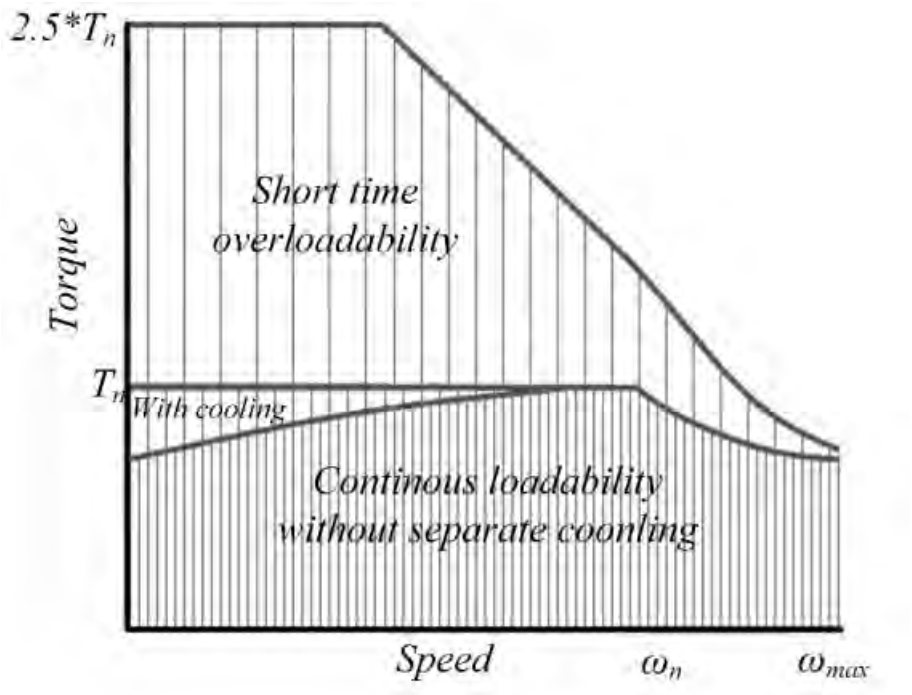
Μία δυσκολία που εμφανίζει ο κινητήρας διακοπτικής διέγερσης είναι πως ο χρόνος που ενεργοποιείται και απενεργοποιείται το ρεύμα είναι απαραίτητο να ελέγχεται με πολύ πιο προσεκτικό τρόπο. Παραδείγματος χάριν, στην περίπτωση που ο ρότορας βρίσκεται σε γωνία 90 μοιρών και το πηνίο έχει μαγνητιστεί , τότε δεν θα δημιουργηθεί ροπή διότι θα είναι συμμετρικό το πεδίο. Συνεπώς η ροπή θα είναι αρκετά πιο μεταβλητή, γι' αυτό το λόγω οι πρώτοι κινητήρες διακοπτικής διέγερσης χαρακτηριζόντουσαν με τη φήμη πως είναι θορυβώδεις [21].

4.6 Σύγχρονοι κινητήρες μαγνητικής αντίστασης (Synchronous Reluctance Motors – SynRM)

Οι σύγχρονοι κινητήρες μαγνητικής αντίστασης, δημιουργούν ροπή απροθυμίας που προέρχεται από τη μαγνητική αντίσταση ή αλλιώς από τη μεταβολή της μαγνητικής απροθυμίας. Επειδή η μαγνητική ροή ρέει στη πιο χαμηλή μαγνητική αντίσταση, η ροή που παράγεται από το στάτη ρέει στη πιο χαμηλή μαγνητική αντίσταση στο δρομέα. Στη περίπτωση που ο δρομέας δεν έχει ευθυγραμμιστεί με τη ροή, τότε η ροπή αναλγησίας θα γυρίσει στο δρομέα προς τη κατεύθυνση με τη πιο χαμηλή μεταβολή της μαγνητικής απροθυμίας. Με αυτή τη σημασιολογία, ο λόγος αλαλίας δημιουργεί μαγνητοκινητήρια δύναμη και η ροπή απροθυμίας θα γυρίσει τον δρομέα [23].

Στον σχεδιασμό του ρότορα για τον σύγχρονο κινητήρα μαγνητικής αντίστασης δεν υπάρχουν ράβδοι και μαγνήτες, έτσι δημιουργείται η λειτουργία ενός ψυχρού ρότορα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι SynRM να παρουσιάζουν εξαιρετική ικανότητα φόρτισης, ειδικά σε μικρές ταχύτητες. Ο συγκεκριμένος κινητήρας έχει τη δυνατότητα φόρτισης μέχρι και 2,5 φορές πιο υψηλά σε σχέση με την ονομαστική ροπή. Εξαιτίας της ψυχρής εκκίνησης, η ροπή διάσπασης είναι διαθέσιμη για σύντομο χρόνο. Στο σχήμα 1 αποτυπώνεται η ικανότητα φόρτισης ενός βιομηχανικού σύγχρονου κινητήρα μαγνητικής αντίστασης σε συνάρτηση με τη ταχύτητα. Όπως παρουσιάζεται, υπάρχει ένα εύρος ταχυτήτων και λειτουργίας του κινητήρα με τη δυνατότητα να φορτίζει συνεχόμενα χωρίς να χρειάζεται ξεχωριστή ψύξη [23].

Για να αυξηθεί η πυκνότητα ροπής, ένας συνδυασμός διάταξης τυλίγματος αστέρα – τριγώνου έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει 5,2% πιο μεγάλη πυκνότητα ροπής σε σύγκριση με τη συνήθη (αντί για συμβατική) περίπτωση αστέρα σε ονομαστικές συνθήκες [23].



Σχήμα 1 : Ικανότητα φόρτισης SynRM σε συνάρτηση με τη ταχύτητα [23].

Εφόσον ο σύγχρονος κινητήρας μαγνητικής αντίστασης δεν διαθέτει ρεύμα ρότορα, δεν θα υπάρχουν απώλειες χαλκού στο ρότορα, αυτός είναι και ένας από τους σημαντικότερους λόγους που ο SynRM εμφανίζει πιο καλή απόδοση σε σχέση με ένα επαγωγικό κινητήρα (IM) παρόμοιου μεγέθους. Έτσι εφόσον οι συνολικές απώλειες του σύγχρονου κινητήρα μαγνητικής αντίστασης είναι μικρότερες, χρειάζεται πιο μικρός ανεμιστήρας ψύξης, άρα και οι απώλειες αέρα μπορούν να είναι πιο μικρές. Όμως επειδή ο SynRM έχει πιο χαμηλό συντελεστή ισχύος, οι απώλειες ρεύματος του στάτη και του χαλκού του στάτη μπορεί να είναι λίγο πιο υψηλές, σε σύγκριση με έναν επαγωγικό κινητήρα που έχει πανομοιότυπα τυλίγματα [24].

Η σύγκριση μεταξύ των σύγχρονων κινητήρων μαγνητικής αντίστασης και των επαγωγικών κινητήρων είναι σύνθετη, λόγω του γεγονότος πως οι αρχές λειτουργίας των δύο κινητήρων είναι ριζικά διαφορετικές. Αρχικά χρειάζεται να επιλεχθεί το είδος της προσαρμογής που θα πραγματοποιηθεί, θα γίνει στη συχνότητα τροφοδοσίας ή στην ταχύτητα του κινητήρα; Με το γεγονός πως η ταχύτητα ενός επαγωγικού κινητήρα είναι πιο χαμηλή στη συχνότητα προσαρμογής εξαιτίας της ολίσθησης. Πρακτικά η προσαρμογή της ταχύτητας του κινητήρα θα ήταν χρήσιμη, εφόσον οι ισχύς που έχουν στην έξοδο οι δύο κινητήρες ταιριάζουν. Όμως σε ότι αφορά τις απώλειες, η προσαρμογή της θεμελιώδους συχνότητας μπορεί να αποτελεί πιο σπουδαία διότι, οι απώλειες που δημιουργούνται στο μετατροπέα συχνότητας και οι απώλειες σιδήρου των κινητήρων είναι ανάλογες με τη

συχνότητα τροφοδοσίας. Επιπρόσθετα οι δύο κινητήρες χρειάζονται ξεχωριστούς αλγόριθμους ελέγχου, όμως οι διαφορές που δημιουργούνται στον έλεγχο έχουν τη δυνατότητα να ελαχιστοποιηθούν, εφαρμόζοντας μετατροπέα ίδιας συχνότητας, ο οποίος έχει σχεδιαστεί και για τον σύγχρονο κινητήρα μαγνητικής αντίστασης και για τον επαγωγικό κινητήρα [24].

Οι τύποι των ηλεκτρικών κινητήρων που χρησιμοποιούνται πιο πολύ στη τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων είναι οι ακόλουθοι [4] :

- Κινητήρες συνεχούς ρεύματος μόνιμου μαγνήτη
- Κινητήρες συνεχούς ρεύματος μόνιμου μαγνήτη χωρίς ψήκτρες
- Σύγχρονοι κινητήρες με μόνιμους μαγνήτες
- Επαγωγικοί κινητήρες

Πιο αναλυτικά οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος μόνιμων μαγνητών διαθέτουν υψηλή απόδοση, μεγάλη διάρκεια ζωής, πιο μικρό μέγεθος σε σχέση με άλλους κινητήρες, μεγάλη αξιοπιστία, χαμηλό κόστος συντήρησης , ωστόσο έχουν υψηλό κόστος διότι οι μαγνήτες από σπάνιες γαίες είναι πιο ακριβοί σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μαγνητικά υλικά. Οι επαγωγικοί κινητήρες διαθέτουν ανθεκτική κατασκευή, έχουν χαμηλό κόστος και πολύ υψηλή αξιοπιστία [4].

5. Συσσωρευτές ηλεκτρικών οχημάτων

Η μπαταρία αποτελεί ένα από τα πιο βασικά στοιχεία των διαφορετικών κατηγοριών ηλεκτρικών οχημάτων όπως αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Σε ένα αμιγώς ηλεκτρικό όχημα η μπαταρία αποτελεί το μόνο μέσο για να αποθηκευτεί η ενέργεια, είναι το στοιχείο με το μεγαλύτερο κόστος, το μεγαλύτερο βάρος και όγκο. Όσον αφορά τα υβριδικά οχήματα η μπαταρία έχει βοηθητικό ρόλο και είναι ένα στοιχείο με αυξημένη σημασία.

5.1 Βασικές έννοιες συσσωρευτών

Ο συσσωρευτής αποτελεί μία ηλεκτροχημική συσκευή που έχει τη δυνατότητα μέσω των ηλεκτροχημικών αντιδράσεων που πραγματοποιούνται να μετατρέπει τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Με αυτό το γεγονός φαίνεται πως ο συσσωρευτής δεν δέχεται τους περιορισμούς του κύκλου Carnot που είναι αποτέλεσμα του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου, όπως γίνεται για παράδειγμα στις μηχανές εσωτερικής καύσης. Συνεπώς οι συσσωρευτές έχουν πιο μεγάλη απόδοση σε ότι αφορά τη μετάδοση της ενέργειας [26].

Ενώ χρησιμοποιείται εκτενώς ο όρος συσσωρευτής ή μπαταρία, το κελί (cell) αποτελεί την πιο βασική και την πιο μικρή ηλεκτροχημική μονάδα. Ένας συσσωρευτής απαρτίζεται από ένα ή παραπάνω κελιά, τα οποία μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους είτε σε σειρά, είτε παράλληλα ή ακόμη και σε συνδυασμό των δύο (παράλληλα και σε σειρά), αναλόγως με την τάση και την χωρητικότητα που πρέπει να επιτευχθεί [26].

Τα κελιά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες [26] :

- Τα πρωτογενή κελιά (Primary cells) που δεν επαναφορτίζονται. Μετατρέπουν δηλαδή με μη αντιστρεπτό τρόπο τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Κατά την εξάντληση της αρχικής ποσότητας των αντιδρώντων, δεν είναι δυνατή η αποκατάσταση της ενέργειας στο ηλεκτροχημικό κελί με ηλεκτρικά μέσα.
- Τα δευτερογενή κελιά (Secondary cells) που επαναφορτίζονται, γεγονός που σημαίνει πως οι χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στο κελί του συσσωρευτή έχουν τη δυνατότητα να αντιστρέφονται με παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι με αυτό τον τρόπο αποκαθίσταται η αρχική σύσταση του κελιού.

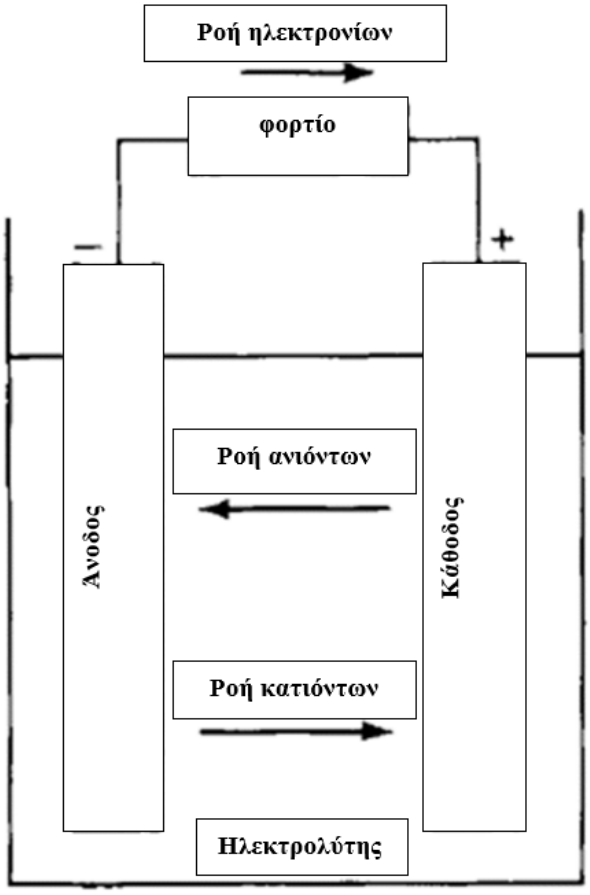
Το κελί του συσσωρευτή απαρτίζεται από τρία κύρια συστατικά [26] :

- Την άνοδο, που οξειδώνεται όταν πραγματοποιείται η ηλεκτροχημική αντίδραση και ελευθερώνει ηλεκτρόνια, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο περνά στο εξωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα.

- Τη κάθοδο, που ανάγεται όταν πραγματοποιείται η ηλεκτροχημική αντίδραση και δέχεται ηλεκτρόνια που υπάρχουν στο εξωτερικό κύκλωμα.
- Τον ηλεκτρολύτη, που είναι το μέσο για να πραγματοποιηθεί η ιοντική μεταφορά ανάμεσα στη κάθοδο και την άνοδο.

5.1.1 Εκφόρτιση Συσσωρευτή (Discharge)

Όταν το κελί συνδέεται σε ένα εξωτερικό φορτίο, θα πραγματοποιηθεί οξείδωση στο αρνητικό ηλεκτρόδιο δηλαδή στην άνοδο, συνεπώς θα ελευθερωθούν ηλεκτρόνια και θα διαρρέουν προς το εξωτερικό φορτίο στο θετικό ηλεκτρόδιο δηλαδή προς τη κάθοδο, όπου προσλαμβάνει τα ηλεκτρόνια, αυτό έχει ως αποτέλεσμα το υλικό της καθόδου να αναχθεί. Η ολοκλήρωση του ηλεκτρικού κυκλώματος συμβαίνει με τον ηλεκτρολύτη, όπου δίνει τη δυνατότητα να μεταφέρονται τα ανιόντα (ή αλλιώς τα αρνητικά ιόντα) στην άνοδο και τα κατιόντα (ή αλλιώς τα θετικά ιόντα) στη κάθοδο όπως φαίνεται και στην εικόνα 52 [26].

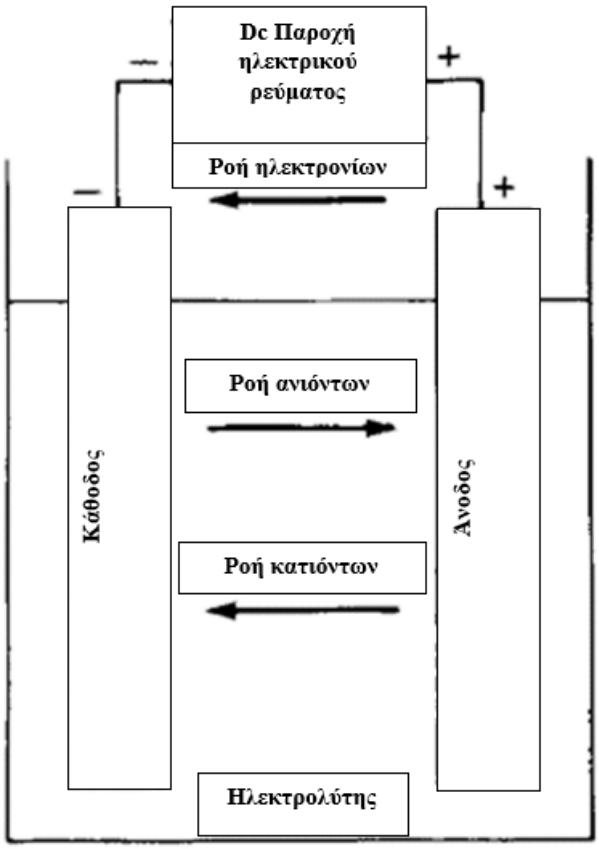


Εικόνα 52 : Λειτουργία κελιού συσσωρευτή κατά τη διαδικασία της εκφόρτισης [26].

5.1.2 Φόρτιση συσσωρευτή (Charge)

Στη φόρτιση η ροή ρεύματος σε ένα κελί που έχει τη δυνατότητα να επαναφορτίζεται αντιστρέφεται. Συνεπώς το θετικό ηλεκτρόδιο θα οξειδωθεί και το αρνητικό ηλεκτρόδιο θα

αναχθεί. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το θετικό ηλεκτρόδιο αποτελεί την άνοδο ενώ το θετικό ηλεκτρόδιο αποτελεί τη κάθοδο. Στην εικόνα 53 παρουσιάζεται η διαδικασία φόρτισης ενός κελιού. Οι όροι άνοδος και κάθοδος στους επαναφορτιζόμενους συσσωρευτές δεν είναι σωστοί διότι το θετικό ηλεκτρόδιο αποτελεί τη κάθοδο και το αρνητικό ηλεκτρόδιο αποτελεί την άνοδο κατά τη διαδικασία της εκφόρτισης του κελιού, σε αντίθεση με τη διαδικασία της φόρτισης που αντιστρέφονται. Η άνοδος είναι το ηλεκτρόδιο που οξειδώνεται και η κάθοδος είναι το ηλεκτρόδιο που ανάγεται [26].



Εικόνα 53 : Λειτουργία κελιού κατά τη διαδικασία της φόρτισης [26].

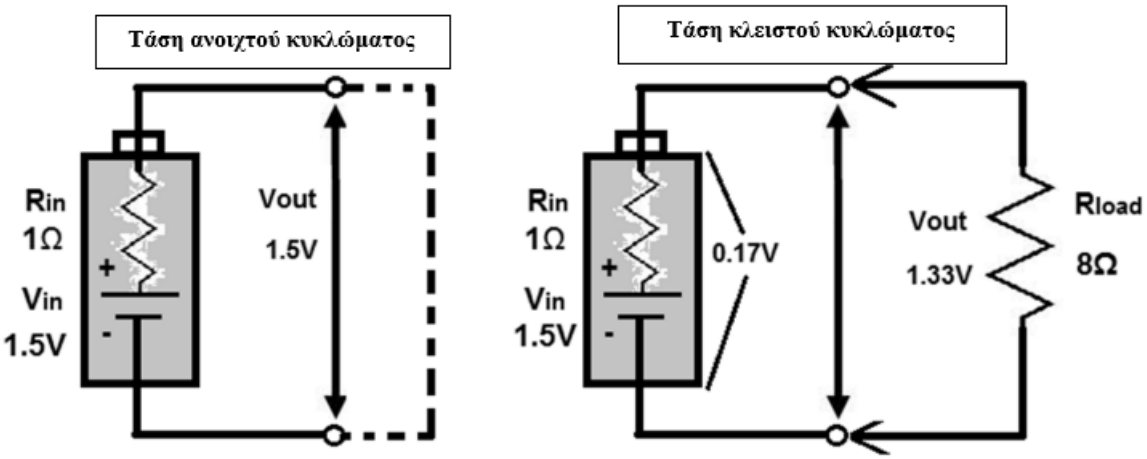
5.1.3 Γενικά χαρακτηριστικά συσσωρευτή

Τάση κελιού του συσσωρευτή [26] :

- Θεωρητική τάση (theoretical voltage), η τιμή της οποίας εξαρτάται από τα υλικά που έχει η άνοδος και η κάθοδος, από τη σύσταση του ηλεκτρολύτη και από τη θερμοκρασία πιο συνηθέστερα η θερμοκρασία αναφοράς είναι στους 25°C.
- Τάση ανοιχτού κυκλώματος (open circuit voltage), είναι η τάση που έχουν οι ακροδέκτες του συσσωρευτή όταν ο συσσωρευτής δεν έχει φορτίο, συνηθέστερα η τιμή της τάσης ανοιχτού κυκλώματος είναι κοντά κατά προσέγγιση με τη τιμή που έχει η θεωρητική τάση.

- Τάση κλειστού κυκλώματος (closed circuit voltage), αποτελεί τη τάση που έχουν οι ακροδέκτες του συσσωρευτή όταν ο συσσωρευτής βρίσκεται υπό φορτίο. Η τιμή της τάσης αυτής διαμορφώνεται ανάλογα με την κατάσταση της φόρτισης και της εκφόρτισης του συσσωρευτή.
- Ονομαστική τάση (nominal voltage), αποτελεί τη τάση λειτουργίας του συσσωρευτή ή αλλιώς τη τάση αναφοράς.
- Τάση λειτουργίας του συσσωρευτή (working voltage), όπου αποτελεί τη τάση του συσσωρευτή όταν βρίσκεται υπό φορτίο κατά τη λειτουργία του. Η τάση λειτουργίας έχει πιο μικρή τιμή σε σχέση με τη τάση ανοιχτού κυκλώματος.
- Μέση τάση (average voltage), αποτελεί τη μέση τιμή της τάσης του συσσωρευτή κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης.
- Τάση μέσου (midpoint voltage), είναι η τιμή που βρίσκεται στο μέσο της καμπύλης της εκφόρτισης του συσσωρευτή ή του κελιού.
- Τάση αποκοπής (cut off voltage), αποτελεί τη τάση που αποκτά ο συσσωρευτής κατά την ολοκλήρωση της επιτρεπτής εκφόρτισης. Συνηθέστερα αποτελεί τη τιμή της τάσης όπου το πιο μεγάλο μέρος του φορτίου του συσσωρευτή ή του κελιού έχει εκφορτιστεί. Επιπλέον η τελική τιμή που θα έχει η τάση είναι ανάλογη με τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής.

Στην εικόνα 54 περιγράφεται η διαφορά της τάσης ανοιχτού κυκλώματος και της τάσης κλειστού κυκλώματος του συσσωρευτή [26].



Εικόνα 54 : Τάση ανοιχτού και κλειστού κυκλώματος συσσωρευτή [26].

Όπως φαίνεται στην εικόνα 54, η τάση ανοιχτού κυκλώματος δεν έχει συνδεθεί συνεπώς δεν δημιουργείται ένα ολοκληρωμένο ηλεκτρικό κύκλωμα γι’ αυτό χαρακτηρίζεται

και ως ανοιχτό κύκλωμα. Η τιμή της πλήρους τάσης εκφράζεται από τη τάση ανοιχτού κυκλώματος. Στην περίπτωση που είναι κλειστό το κύκλωμα και είναι συνδεδεμένο με κάποιο φορτίο δημιουργείται πτώση τάσης διότι περνά ρεύμα από την εσωτερική αντίσταση του συσσωρευτή και αυτό έχει ως αποτέλεσμα η τάση λειτουργίας του κυκλώματος όταν βρίσκεται υπό φορτίο να είναι πιο μικρή από την τάση ανοιχτού κυκλώματος. Όπως φαίνεται και αριστερά στην εικόνα 54 με τη χρήση ενός βολτόμετρου μετρήθηκε η τάση των ακροδεκτών του συσσωρευτή και προσδιορίζεται πως η τιμή είναι 1,5 volts. Στην εικόνα 54 δεξιά ο συσσωρευτής είναι συνδεδεμένος με ένα φορτίο. Χρησιμοποιώντας τον νόμο του ohm (I=V/R) το ρεύμα που περνά από το κύκλωμα με δεδομένο πως υπάρχουν στο κύκλωμα 9Ω, 1Ω που υπάρχει από την εσωτερική αντίσταση και 8Ω που υπάρχουν από το φορτίο, η πηγή τάσης είναι 1,5V, το ρεύμα που περνά από το κύκλωμα είναι 0,17A (I=1,5V/9V=0,17A). Εφόσον ο συσσωρευτής έχει εσωτερική αντίσταση 1Ω τότε η τάση του συσσωρευτή θα μειωθεί V= 0,17A*1Ω = 0,17V [26].

Θεωρητική χωρητικότητα συσσωρευτή

Η θεωρητική χωρητικότητα που έχει ένας συσσωρευτής αντιπροσωπεύει το σύνολο της ποσότητας της ηλεκτρικής ενέργειας που λαμβάνει μέρος στην ηλεκτροχημική αντίδραση και ορίζεται με τη μονάδα Coulombs ή αμπερώρες (Ampere hours – Ah). Η ποσότητα του ηλεκτρικού ρεύματος που προσφέρεται από το θετικό και το αρνητικό ηλεκτρόδιο είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη χωρητικότητα σε Ah ενός κελιού. Τα υλικά που παίρνουν μέρος στην αντίδραση όπως είναι ο ηλεκτρολύτης, το νερό ,κ.α., δεν συγκαταλέγονται στον υπολογισμό της θεωρητικής χωρητικότητας του κελιού του συσσωρευτή [26].

Θεωρητική ενέργεια

Η ενέργεια που περιέχεται σε ένα κελί εκφράζεται και σε Wh (Watt – hours) συμπεριλαμβάνοντας τη ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας και τη τάση. Η θεωρητική ενέργεια εκφράζει τη μέγιστη τιμή της ενέργειας που μπορεί να ληφθεί από ένα ορισμένο ηλεκτροχημικό σύστημα [26] :

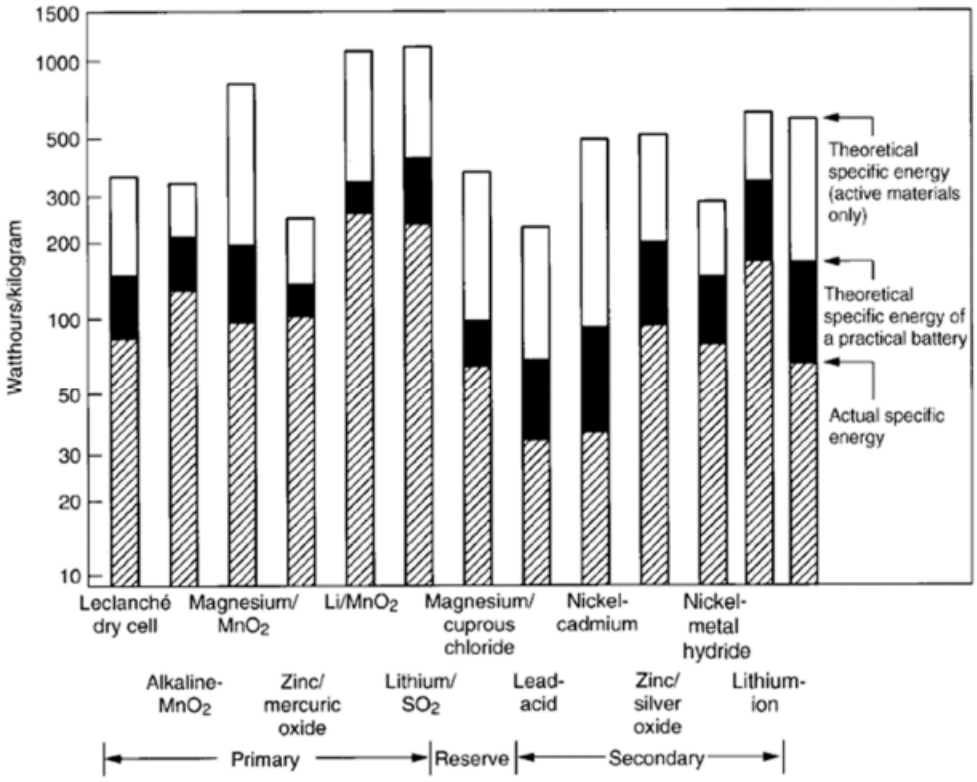
Wh = V *Ah

Πυκνότητα ενέργειας

Η πυκνότητα ενέργειας αναλύεται με τους δύο ακόλουθους τρόπους [26] :

- Ογκομετρική πυκνότητα ενέργειας (Wh/l), όπου εκφράζει το λόγο της εξερχόμενης ενέργειας από έναν συσσωρευτή ή από ένα κελί, την ενέργεια δηλαδή που αξιοποιείται σε Wh ανά μονάδα όγκου (liter). Συνήθως για να γίνει περιγραφή αυτού του χαρακτηριστικού γίνεται χρήση του όρου ενεργειακή πυκνότητα.
- Βαρομετρική πυκνότητα ενέργειας (Wh/kg), όπου εκφράζει το λόγο της εξερχόμενης ενέργειας από έναν συσσωρευτή ή από ένα κελί, την ενέργεια δηλαδή που αξιοποιείται σε Wh ανά μονάδα μάζας (kg). Συνήθως για να γίνει περιγραφή αυτού του χαρακτηριστικού γίνεται χρήση του όρου ειδική ενέργεια.

Πρακτικά αξιοποιείται ένα μόνο ποσό από τη θεωρητική ενέργεια του συσσωρευτή. Αυτό γίνεται επειδή στο σύνολο του όγκου και του βάρους ενός συσσωρευτή πέρα από τα ενεργά υλικά όπως είναι η άνοδος και η κάθοδος συμπεριλαμβάνονται και ο ηλεκτρολύτης και τα μη ενεργά υλικά όπως είναι ο διαχωριστής. Επίσης κατά την εκφόρτιση του συσσωρευτή η τάση είναι πιο μικρή από τη θεωρητική τάση και δεν θα εκφορτιστεί ολοκληρωτικά ο συσσωρευτής μέχρι η τιμή της τάσης δηλαδή να γίνει μηδέν, συνεπώς θα μειωθεί η αξιοποιήσιμη χωρητικότητα του συσσωρευτή σε Ah. Συνεπώς όπως απεικονίζεται και στην εικόνα 55 η πραγματικά αξιοποιήσιμη ειδική ενέργεια του συσσωρευτή κατά την εκφόρτιση με συνθήκες κοντά στις βέλτιστες, κυμαίνεται στο 25% έως 35% της θεωρητικής ενέργειας των υλικών που είναι ενεργά [26].



Εικόνα 55 : Πραγματική και θεωρητική ειδική ενέργεια για διάφορους τύπους συσσωρευτών [26].

Παράγοντας C – rate

Ο παράγοντας C – rate χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του ρεύματος φόρτισης και εκφόρτισης. Περιγράφει τον ρυθμό φόρτισης και εκφόρτισης του συσσωρευτή σε σχέση με τη μέγιστη χωρητικότητά του που εκφράζεται σε Ah. Όταν πραγματοποιείται εκφόρτιση σε nC rate υποδηλώνει πως ο συσσωρευτής θα εκφορτιστεί εντελώς σε 1/n ώρες. Πιο συγκεκριμένα 1C rate υποδηλώνει πως το ρεύμα εκφόρτισης θα εκφορτίσει εντελώς το συσσωρευτή σε 1 ώρα. Για παράδειγμα στη περίπτωση ενός συσσωρευτή που έχει χωρητικότητα 50Ah δηλαδή έχει ρεύμα εκφόρτισης 50A και ο ρυθμός εκφόρτισής του είναι C/2 τότε το ρεύμα με το οποίο ο συσσωρευτής θα εκφορτίζεται θα είναι 25A και ο συσσωρευτής θα έχει εκφορτιστεί εντελώς σε 30 λεπτά [26].

Ανάλυση της κατάστασης του συσσωρευτή

- Κατάσταση φόρτισης του συσσωρευτή (State of Charge - SOC (%)), υπολογίζει ποια είναι η διαθέσιμη χωρητικότητα ενός κελιού ή ενός συσσωρευτή κατά τη διάρκεια που φορτίζεται. Εκφράζεται ως ποσοστό (%) της μέγιστης χωρητικότητας σε Ah. Περιγράφει τη μεταβολή που συμβαίνει στη χωρητικότητα του συσσωρευτή σε συνάρτηση με το χρόνο κατά τη φόρτισή του [26].

- Βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή (Depth of Discharge - DOD (%)), εκφράζει το ποσοστό (%) της χωρητικότητας ενός κελιού ή ενός συσσωρευτή που εκφορτίζεται σε σύγκριση με τη μέγιστη χωρητικότητά του σε Ah. Περιγράφει τη μεταβολή της χωρητικότητας ενός συσσωρευτή σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την εκφόρτισή του [26].

Το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή (DOD) είναι συμπληρωματικό τής κατάστασης φόρτισης του συσσωρευτή (SOC), δηλαδή όσο μεγαλώνει το ένα το άλλο μικραίνει και το αντίστροφο [26].

1. Κατάσταση υγείας του συσσωρευτή (State of Health – SOH), δείχνει τη κατάσταση του συσσωρευτή γενικά και υπολογίζει την ικανότητα του συσσωρευτή να δίνει την καθορισμένη απόδοσή του σε σύγκριση με έναν καινούριο συσσωρευτή. Λαμβάνονται υπόψη συντελεστές όπως είναι η δυνατότητα φόρτισης, η τάση, η εσωτερική αντίσταση, και το φαινόμενο της αυτοεκφόρτισης. Αφορά ένα μέτρο της χωρητικότητας του συσσωρευτή το οποίο σχετίζεται με τη λειτουργία του μακροπρόθεσμα, είναι δηλαδή μία ένδειξη που δείχνει το ποσό της διαθέσιμης διάρκειας ζωής και το ποσό που έχει καταναλώσει ο συσσωρευτής [26].

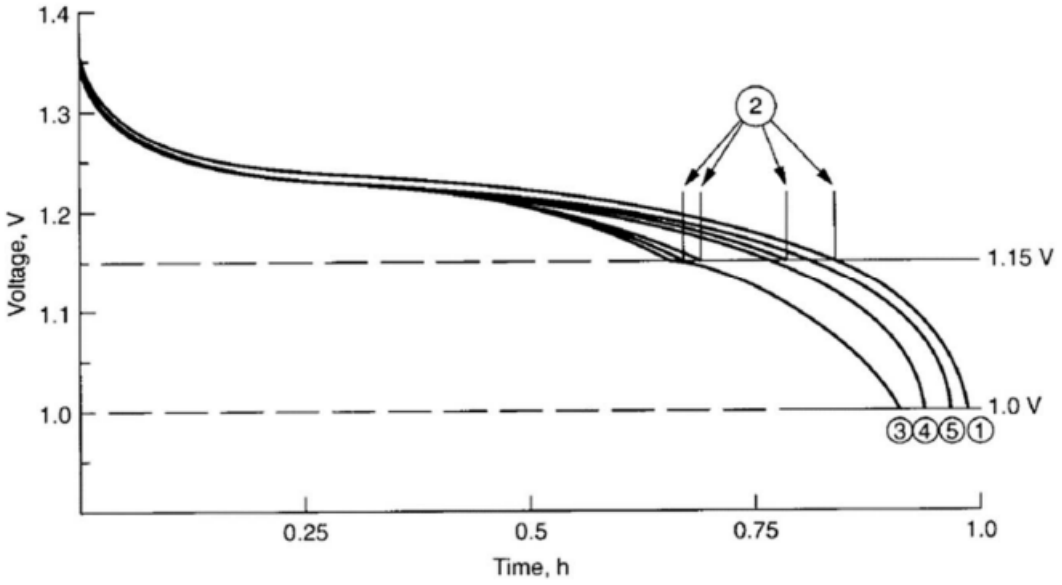
Κύκλος ζωής συσσωρευτή/κελιού

Ο κύκλος ζωής ενός συσσωρευτή ή ενός κελιού αντικατοπτρίζει τον αριθμό των κύκλων φόρτισης ή εκφόρτισης που εκτελούνται σε ένα συσσωρευτή ή κελί προτού υπάρξει αστοχία που σχετίζεται με την επιτυχή εκτέλεση κάποιον καθορισμένων προδιαγραφών επίδοσης. Ο υπολογισμός του κύκλου ζωής πραγματοποιείται σε καθορισμένες συνθήκες εκφόρτισης και φόρτισης. Ο πραγματικός κύκλος ζωής της μπαταρίας/κελιού εξαρτάται από το ρυθμό , το βάθος της εκφόρτισης των κύκλων και από άλλους παράγοντες όπως είναι η θερμοκρασία και η υγρασία. Όσο πιο μεγάλη τιμή έχει το DOD τόσο πιο μικρός είναι ο κύκλος ζωής του συσσωρευτή. Ένα συσσωρευτής για παράδειγμα που έχει 400 κύκλους ζωής για DOD 100%, εάν έχει DOD 50% θα έχει 1000 κύκλους ζωής [26].

Φαινόμενο μνήμης του συσσωρευτή (memory effect)

Όταν ένας συσσωρευτής εκφορτίζεται μερικώς και μετά επαναφορτίζεται και αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για αρκετό διάστημα, η χωρητικότητα και η τάση της μπαταρίας μειώνονται, όπως φαίνεται και στη καμπύλη 2, της εικόνας 56. Όπως φαίνεται και

στη καμπύλη 3 κατά τη πλήρη εκφόρτιση του συσσωρευτή φαίνεται πως η τάση έχει μειωθεί σε σύγκριση με τη πρωτότυπη ολοκληρωμένη εκφόρτιση όπως απεικονίζεται στη καμπύλη 1. Υπάρχει πιθανότητα να παρουσιαστεί μία μεταβολή στο προφίλ της εκφόρτισης του συσσωρευτή και να μην δώσει ολόκληρη τη χωρητικότητα όπως συμβαίνει στην αρχική αποκοπή της τάσης. Αυτό το φαινόμενο αποκαλείται φαινόμενο μνήμης διότι ο συσσωρευτής δείχνει πως θυμάται τη πιο χαμηλή χωρητικότητα που έχει κατά τη μερική εκφόρτιση και όχι κατά τη πλήρη. Αυτό το είδος απώλειας πραγματοποιείται πιο σύντομα όταν ο συσσωρευτής λειτουργεί σε πιο υψηλές θερμοκρασίες. Είναι εφικτό να γίνει αποκατάσταση της πλήρους χωρητικότητας του συσσωρευτή με την πραγματοποίηση μερικών κυκλικών διαδικασιών ανανέωσης της πλήρους φόρτισης και εκφόρτισης του συσσωρευτή. Τα χαρακτηριστικά των κύκλων ανανέωσης απεικονίζονται στις καμπύλες 4 και 5 της εικόνας 56 [26].



Εικόνα 56 : Φαινόμενο μνήμης και αποκατάσταση ενός συσσωρευτή [26].

Φαινόμενο αυτοεκφόρτισης συσσωρευτή (self – discharge)

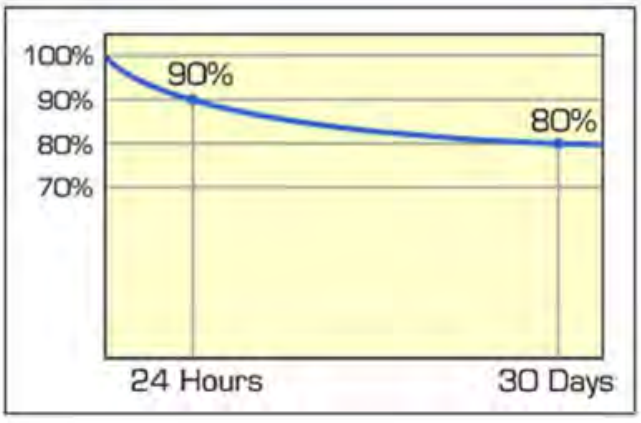
Το φαινόμενο της αυτοεκφόρτισης συμβαίνει σε όλες τις κατηγορίες συσσωρευτών, δεν αποτελεί κάποιο κατασκευαστικό λάθος αλλά είναι ένα χαρακτηριστικό του συσσωρευτή. Στην περίπτωση όμως που πραγματοποιηθούν κάποιες λανθασμένες πρακτικές και χειρισμοί κατά τη κατασκευή του συσσωρευτή το πρόβλημα της αυτοεκφόρτισης μπορεί να μεγαλώσει. Το φαινόμενο της αυτοεκφόρτισης είναι ένα μόνιμο πρόβλημα και δεν γίνεται να αντιστραφεί, μπορεί να αυξηθεί αυτό το φαινόμενο με τη γήρανση του συσσωρευτή, με την επαναλαμβανόμενη φόρτιση και την υψηλή θερμοκρασία. Ένας συσσωρευτής πρέπει να

αποσυρθεί όταν η αυτοεκφόρτισή του φτάσει το 30% μέσα σε 24 ώρες. Στην εικόνα 57 φαίνεται η αυτοεκφόρτιση ενός συσσωρευτή με τη μορφή διαρροής υγρού [26].

Εικόνα 57 : Αυτοεκφόρτιση συσσωρευτή σε μορφή διαρροής υγρού [26].

Το ποσό της αυτοεκφόρτισης ποικίλει και είναι ανάλογο με τη κατηγορία και τη χημεία του συσσωρευτή. Τα πρωτογενή κελιά όπως είναι τα αλκαλικά κελιά και τα κελιά λιθίου – μετάλλου, έχουν τη δυνατότητα να διατηρούν πιο καλά την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σε αυτά και να έχουν απόθεμα για κάποια χρόνια. Σε ότι αφορά τις δευτερογενείς μπαταρίες όπως είναι οι συσσωρευτές μολύβδου – οξέος διαθέτουν ένα από τους πιο μικρούς ρυθμούς αυτοεκφόρτισης και έχουν ως απώλειες μόνο το 5% της χωρητικότητάς τους ανά μήνα. Κατά τη γήρανση όμως και τις χρήσεις του συσσωρευτή μολύβδου – οξέος μπορεί στο κελί του να προκληθεί εσωτερικό βραχυκύκλωμα [26].

Η απώλεια ενέργειας εμφανίζει ασυμπτωτική συμπεριφορά, δηλαδή ο ρυθμός της αυτοεκφόρτισης είναι πιο υψηλός μετά τη διαδικασία της φόρτισης και στη συνέχεια μικραίνει. Οι συσσωρευτές που έχουν ως βάση το νικέλιο παρουσιάζουν απώλειες χωρητικότητας 10 έως 15% τις πρώτες 24 ώρες αφού φορτίσουν , έπειτα παρουσιάζουν 10 με 15% απώλειες της χωρητικότητάς τους ανά μήνα. Στην εικόνα 58 φαίνεται μία τυπική καμπύλη που δείχνει το ποσοστό της απώλειας της χωρητικότητας ενός συσσωρευτή που έχει ως βάση το νικέλιο, το διάστημα που διατηρείται αποθηκευμένος και δεν λειτουργεί. Οι μπαταρίες λιθίου και μολύβδου έχουν πιο χαμηλό ρυθμό αυτοεκφόρτισης [26].



Εικόνα 58 : Αυτοεκφόρτιση συσσωρευτή που έχει ως βάση το νικέλιο σε συνάρτηση με το χρόνο [26].

Πιο αναλυτικά οι συσσωρευτές ιόντων λιθίου έχουν 5% περίπου ρυθμό αυτοεκφόρτισης τις πρώτες 24 ώρες έπειτα 1% με 2% ανά μήνα. Επιπλέον λόγω του κυκλώματος προστασίας προστίθενται άλλα 3% ανά μήνα. Ως αναφορά τους ρυθμούς αυτοεκφόρτισης των συσσωρευτών μολύβδου – οξέος εμφανίζουν παραπλήσια συμπεριφορά με τους συσσωρευτές ιόντων – λιθίου. Στο πίνακα 1 παρουσιάζονται οι εκτιμώμενοι ρυθμοί αυτοεκφόρτισης για διάφορες κατηγορίες συσσωρευτών [26].

Πίνακας 1 : Ποσοστό αυτοεκφόρτισης συσσωρευτών σε συνάρτηση με το χρόνο [26].

Σύστημα συσσωρευτή	**Εκτιμώμενη αυτοεκφόρτιση**
Πρωτογενείς συσσωρευτές λιθίου - μετάλλου	10% σε 5 χρόνια
Αλκαλικές	2% - 3% ανά χρόνο
Μολύβδου οξέος	5% ανά μήνα
Με βάση το νικέλιο	10% - 15% στις 24 ώρες, έπειτα περίπου 10% - 15% ανά μήνα
Ιόντων – λιθίου	5% στις 24 ώρες, έπειτα 1% - 2% ανά μήνα (πρόσθεση επιπλέον 3% λόγω του κυκλώματος προστασίας)

Όσο μεγαλώνει η θερμοκρασία τόσο μεγαλώνει και η αυτοεκφόρτιση των συσσωρευτών, κάθε 10°C ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης του συσσωρευτής γίνεται διπλάσιος. Επιπλέον όπως προαναφέρθηκε η γήρανση αλλά και η κυκλική φόρτιση των συσσωρευτών είναι παράγοντες που μεγαλώνουν το ρυθμό αυτοεκφόρτισής τους [26].

Σε φυσιολογικές συνθήκες ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης παραμένει σχεδόν αμετάβλητος σε όλο το χρόνο ζωής του συσσωρευτή. Όμως η μεγάλη θερμοκρασία και η πλήρη φόρτιση του συσσωρευτή αυξάνουν τον ρυθμό αυτό. Οι συγκεκριμένοι παράγοντες έχουν επιρροή και στη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή. Είναι πιο εύκολη η αστοχία ενός συσσωρευτή ιόντων – λιθίου που έχει φορτιστεί εντελώς παρά σε ένα συσσωρευτή που έχει φορτιστεί μερικώς. Στον πίνακα 2 περιγράφεται ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης ενός συσσωρευτή ιόντων – λιθίου ανά μήνα για διάφορες θερμοκρασίες και διάφορες καταστάσεις φόρτισης [26].

Πίνακας 2 : Αυτοεκφόρτιση συσσωρευτή ιόντων - λιθίου για διάφορες συνθήκες φόρτισης και θερμοκρασίες ανά μήνα [26].

Κατάσταση φόρτισης (SOC)	**0°C**	**25°C**	**60°C**
Πλήρης φόρτιση	6%	20%	35%
40% - 60% φόρτιση	2%	4%	15%

Απώλειες ενέργειας κελιού ενός συσσωρευτή

Κατά τη χημική αντίδραση που συμβαίνει παρατηρείται πως υπάρχει κάποια μείωση στην ελεύθερη ενέργεια Gibbs του συστήματος, όπου αποδίδεται με την παρακάτω εξίσωση [26] :

$$\Delta G^o = -nFE^o$$

Με τη πραγματοποίηση των χημικών αντιδράσεων ενός κελιού η μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί είναι ανάλογη της μεταβολής της ελεύθερης ενέργειας Gibbs. Ιδανική περίπτωση θα ήταν εάν κατά τη διάρκεια που ο συσσωρευτής εκφορτίζεται ήταν εφικτή η μετατροπή όλης της ενέργειας σε αξιοποιήσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Όμως στη πραγματικότητα λόγω της πόλωσης (polarization) που συμβαίνει όταν το ρεύμα διέρχεται μέσα από τα ηλεκτρόδια κατά τη διάρκεια των χημικών αντιδράσεων έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται απώλειες. Οι απώλειες αυτές είναι [26] :

1. Απώλειες λόγω της πόλωσης ενεργοποίησης (activation polarization), όπου κατευθύνει τις ηλεκτροχημικές αντιδράσεις στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων.
2. Απώλειες λόγω της πόλωσης συγκέντρωσης (concentration polarization), όπου μεγαλώνει εξαιτίας των διάφορων συγκεντρώσεων ανάμεσα στα αντιδρώντα και τα προϊόντα στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων.

Λόγω των πολώσεων που δημιουργούνται δαπανάται μέρος από την ενέργεια που μεταδίδεται, ως αποβαλλόμενη ενέργεια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ενέργεια που είναι θεωρητικά διαθέσιμη στα ηλεκτρόδια, να μην είναι εφικτή η πλήρης μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια [26].

Σε θεωρητικό επίπεδο, είναι εφικτό να υπολογιστούν τα φαινόμενα πόλωσης (πόλωση ενεργοποίησης και πόλωση συγκέντρωσης), με κάποιες θεωρητικές εξισώσεις, αφού είναι γνωστές όμως κάποιες ηλεκτροχημικές παράμετροι και η συνθήκη με την οποία μεταφέρεται η μάζα. Πρακτικά όμως δεν είναι εύκολος ο προσδιορισμός των τιμών και για τους δύο τύπους πόλωσης λόγω της δύσκολης δομής που έχουν τα ηλεκτρόδια, για να εκτιμηθούν χρειάζεται η χρήση πολύπλοκων μαθηματικών μοντέλων που για να επιλυθούν χρησιμοποιείται βοήθεια από ηλεκτρονικούς υπολογιστές [26].

Η εσωτερική αντίσταση που έχει ένα κελί αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα που έχει επιρροή στην απόδοση του κελιού. Κατά τη διάρκεια που λειτουργεί το κελί, η εσωτερική αντίσταση δημιουργεί μία μείωση στη τάση, με αποτέλεσμα να δαπανάται ένα ποσό από την ενέργεια που είναι διαθέσιμη και να αποβάλλεται ως απορριπτόμενη θερμότητα. Η μείωση της τάσης που δημιουργείται λόγω της εσωτερικής αντίστασης συνηθέστερα ονομάζεται ωμική πόλωση (ohmic polarization) ή αλλιώς IR πτώση, επιπλέον είναι ανάλογη με το ρεύμα που έχει το σύστημα. Η ολική αντίσταση που υπάρχει σε ένα κελί αποτελείται από το άθροισμα των ηλεκτρονικών αντιστάσεων που προκύπτουν από τα ενεργά υλικά, την ιοντική αντίσταση του ηλεκτρολύτη, των ηλεκτρικών πόλων που έχουν τα δύο ηλεκτρόδια καθώς και των συλλεκτών του ρεύματος και τέλος, της αντίστασης που προκύπτει εξαιτίας της επαφής έχουν τα ενεργά υλικά και οι συλλέκτες τους ρεύματος. Οι αντιστάσεις αυτές έχουν ωμικές, ακολουθούν τον νόμο του Ohm, παρουσιάζουν γραμμική σχέση ανάμεσα στο ρεύμα και την πτώση της τάσης [26].

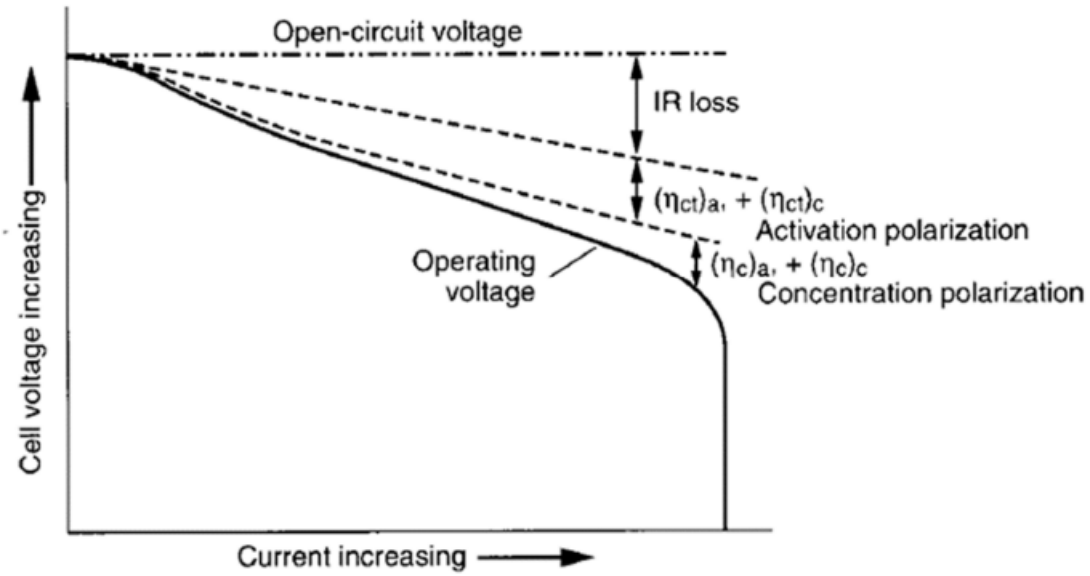
Όταν η τάση που έχει το κελί E, συνδεθεί με ένα εξωτερικό φορτίο R , είναι εφικτό να διατυπωθεί με τη παρακάτω εξίσωση [26] :

$$E = E_0 – [(n_{ct})_\alpha + (n_c)_\alpha] – [(n_{ct})_c + (n_c)_c] - iR_i = iR$$

Όπου , E_0 είναι η τάση ανοιχτού κυκλώματος στο κελί ή η ηλεκτρεγερτική δύναμη του κελιού, $(n_{ct})_\alpha$ και $(n_{ct})_c$ αποτελούν τη πόλωση ενεργοποίησης της ανόδου και της καθόδου, $(n_c)_\alpha$ και $(n_c)_c$ αποτελούν τη πόλωση συγκέντρωσης της ανόδου και της καθόδου, i

είναι το ρεύμα λειτουργίας που έχει το κελί όταν βρίσκεται υπό φορτίο και Ri είναι η εσωτερική αντίσταση που έχει το κελί [26].

Από την εξίσωση που προκύπτει παραπάνω, φαίνεται πως η ενέργεια του κελιού που μπορεί να αξιοποιηθεί μειώνεται λόγω της πόλωσης και της μειώσης της τάσης που δημιουργείται εξαιτίας της εσωτερικής αντίστασης. Η μόνη περίπτωση στην οποία το κελί έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί σε τάση που πλησιάζει τη τάση του ανοιχτού κυκλώματος και να λάβει το πιο μεγάλο μέρος από τη θεωρητικά διαθέσιμη ενέργεια είναι όταν η τιμή που έχει το ρεύμα λειτουργίας του είναι αρκετά μικρή. Στην εικόνα 59 φαίνεται η σχέση ανάμεσα στη πόλωση και το ρεύμα εκφόρτισης τους κελιού [26].



Εικόνα 59 : Πόλωση του κελιού σε συνάρτηση με το ρεύμα λειτουργίας του [26].

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται και ο σχεδιασμός των κελιών επιλέγονται με βάση τις βασικές αρχές της ηλεκτροχημείας ώστε να είναι δυνατό να επιτευχθεί μεγάλη απόδοση λειτουργίας των κελιών και να εμφανίζουν όσο είναι εφικτό λιγότερες απώλειες [26].

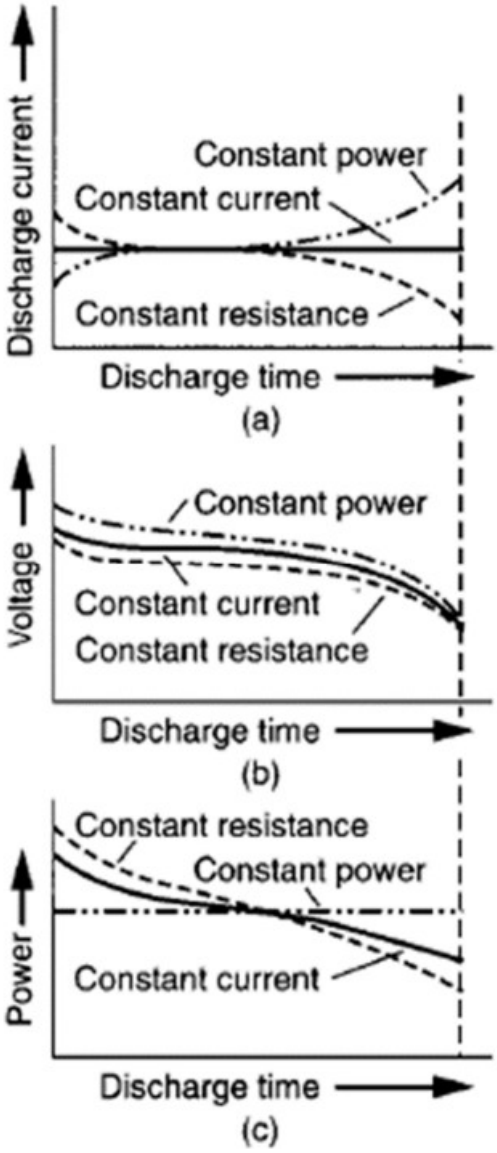
Τρόποι εκφόρτισης κελιού

Υπάρχουν τρεις τρόποι εκφόρτισης ενός συσσωρευτή που είναι οι εξής [26] :

1. Σταθερό ρεύμα, όπου η εκφόρτιση του συσσωρευτή γίνεται με σταθερό ρεύμα.
2. Σταθερή ισχύς, όπου κατά τη διάρκεια που ο συσσωρευτής εκφορτίζεται το ρεύμα μεγαλώνει και η τάση μειώνεται συνεπώς η εκφόρτιση του συσσωρευτή πραγματοποιείται υπό σταθερή ισχύ (ισχύς = τάση × ρεύμα).

3. Σταθερή αντίσταση, όπου κατά τη διάρκεια που ο συσσωρευτής εκφορτίζεται η αντίσταση του φορτίου είναι σταθερή.

Στην εικόνα 60 απεικονίζονται οι τρεις τρόποι με τους οποίους εκφορτίζεται ένας συσσωρευτής. Στην εικόνα 60(α) φαίνεται το προφίλ του ρεύματος, στην εικόνα 60(β) παρουσιάζεται το προφίλ της τάσης και στην εικόνα 60(γ) φαίνεται το προφίλ της ισχύος [26].

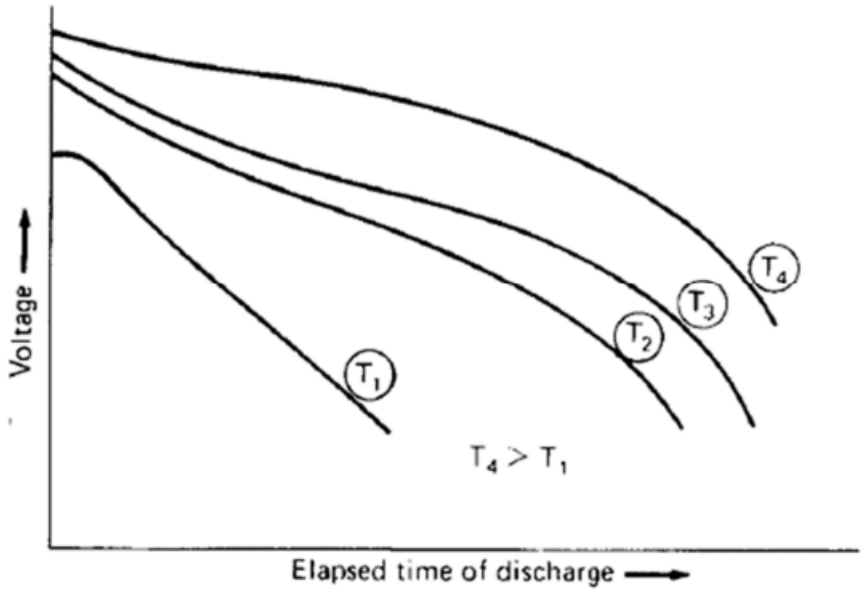


Εικόνα 60 : Τρόποι εκφόρτισης ενός συσσωρευτή σε συνάρτηση με τον χρόνο [26].

Θερμοκρασία συσσωρευτή κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης

Ο χρόνος εκφόρτισης του συσσωρευτή εξαρτάται από την θερμοκρασία με την οποία εκφορτίζεται ο συσσωρευτής και από τα χαρακτηριστικά της τάσης του. Όταν η εκφόρτιση

πραγματοποιείται σε πιο χαμηλές θερμοκρασίες, τότε η χημική ενεργότητα που έχουν τα στοιχεία θα μειωθεί και η εσωτερική αντίσταση του συσσωρευτή θα αυξηθεί, όπως απεικονίζεται και στην εικόνα 61 όπου φαίνονται οι εκφορτίσεις πραγματοποιούνται με ίδιο ρεύμα αλλά με μία σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας (T_1 έως T_4). Η θερμοκρασία T4 αντιστοιχεί στην εκφόρτιση του συσσωρευτή σε θερμοκρασία δωματίου. Λόγω της μείωσης της θερμοκρασίας εκφόρτισης του συσσωρευτή θα μειωθεί η χωρητικότητα και θα αυξηθεί η κλίση της καμπύλης εκφόρτισης. Το προφίλ καθώς και τα χαρακτηριστικά της εκφόρτισης είναι διαφορετικά ανάλογα με τη σχεδίαση του συστήματος, το ρυθμό της εκφόρτισης και άλλων χαρακτηριστικών του συσσωρευτή που χρησιμοποιείται. Γενικότερα έχει παρατηρηθεί πως η πιο καλή συμπεριφορά και επίδοση των συσσωρευτών γίνεται σε ένα εύρος τιμών θερμοκρασίας από 20°C έως και 40°C. Σε πιο μεγάλες θερμοκρασίες θα μειωθεί η εσωτερική αντίσταση και θα μεγαλώσει η τάση της εκφόρτισης, αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα η χωρητικότητα σε Ah και η ενέργεια που εξέρχεται να αυξηθούν. Παρά αυτά τα γεγονότα με την αύξηση της θερμοκρασίας μεγαλώνει η χημική ενεργότητα των στοιχείων, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργείται μία πιθανότητα η εκφόρτιση του συσσωρευτή να πραγματοποιηθεί ραγδαία με αποτέλεσμα να προκληθεί το φαινόμενο του ‘χαμένου φορτίου’ εξαιτίας της αυτοεκφόρτισης τους συσσωρευτή [26].



Εικόνα 61 : Επίδραση της θερμοκρασίας στη χωρητικότητα του συσσωρευτή, αύξηση θερμοκρασίας από T1 σε T4 σταδιακά [26].

5.2 Κατηγορίες μπαταριών

Μία μπαταρία συγκροτείται από δύο ή και περισσότερα κελιά που ενώνονται μεταξύ τους. Τα κελιά απαρτίζονται από θετικά και αρνητικά ηλεκτρόδια που συνδέονται με έναν ηλεκτρολύτη και η χημική ενέργεια που δημιουργείται μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Η χημική αντίδραση που πραγματοποιείται μεταξύ των ηλεκτροδίων και του ηλεκτρολύτη έχει ως αποτέλεσμα να παράγεται συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα. Στις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, η χημική αντίδραση έχει τη δυνατότητα να αντιστραφεί μέσω της αντιστροφής του ρεύματος με αποτέλεσμα ο συσσωρευτής να επανέλθει στη φορτισμένη κατάσταση. Υπάρχουν διάφοροι τύποι μπαταριών στην αγορά, ωστόσο την πιο γνωστή επαναφορτιζόμενη μπαταρία αποτελεί η μπαταρία Μολύβδου–οξέος. Έχουν πραγματοποιηθεί λίγοι συνδυασμοί για εμπορική χρήση σε επαναφορτιζόμενους ηλεκτρικούς συσσωρευτές που είναι κατάλληλοι για να χρησιμοποιηθούν σε οχήματα. Οι συνδυασμοί αυτοί περιέχουν τους εξής συνδυασμούς υλικών [25] :

- Μολύβδου – οξέος
- Νικελίου – υδριδίου μετάλλου
- Νικελίου – καδμίου
- Νικελίου – σιδήρου
- Σιδήρου – λιθίου
- Πολυμερών - λιθίου
- Ιόντων - λιθίου
- Θείου – νατρίου

Παρά τις μακροχρόνιες προσπάθειες ακόμη δεν έχει αναπτυχθεί ο κατάλληλος συσσωρευτής που η συμβολή του να είναι καθοριστική στην εκτεταμένη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων. Όσον αφορά το σχεδιασμό των ηλεκτρικών οχημάτων ο συσσωρευτής αποτελεί μία κλειστή διάταξη που καλύπτει ορισμένα κριτήρια απόδοσης. Τα κριτήρια αυτά αφορούν την προσφερόμενη ενέργεια, τη προσφερόμενη δύναμη, την ενεργειακή πυκνότητα, την αποδοτικότητα σε ότι αφορά αμπερώρια, τις τυπικές τιμές τάσης, τη διαθεσιμότητα στο εμπόριο, την ενεργειακή απόδοση, την τιμή, το ρυθμό που εκφορτίζεται η μπαταρία, το ρυθμό που επαναφορτίζεται η μπαταρία, τις θερμοκρασίες λειτουργίας και τον αριθμό των κύκλο ζωής της μπαταρίας. Κατά το σχεδιασμό χρειάζεται να ληφθούν υπόψη η διαφοροποίηση της διαθέσιμης ενέργειας ανάλογα με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, το επιθυμητό βάθος εκφόρτισης της μπαταρίας, η γεωμετρία που θα

έχουν τα στοιχεία μέσα στο συσσωρευτή, οι ανάγκες για ψύξη, κλπ. προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση του συσσωρευτή [25].

Αναλυτικότερα οι τύποι συσσωρευτών είναι οι εξής :

i. **Συσσωρευτές Μολύβδου – οξέος (Lead – acid)**

Οι συγκεκριμένοι συσσωρευτές χρησιμοποιούνται ευρέως εδώ και πολλά χρόνια με δεδομένο πως έχουν εφευρεθεί από το 1859 από τον Ganston Planté που καταγόταν από τη Γαλλία. Οι συσσωρευτές μολύβδου οξέος είναι οι πρώτοι που είχαν την ικανότητα να επαναφορτίζονται [25], [27]. Το θετικό ηλεκτρόδιο του συσσωρευτή έχει επίστρωση με διοξείδιο του μολύβδου και το αρνητικό ηλεκτρόδιο είναι καλυμμένο από σπογγώδη μόλυβδο. Τα ηλεκτρόδια βυθίζονται στον ηλεκτρολύτη του συσσωρευτή. Ο ηλεκτρολύτης αποτελεί διάλυμα θειικού οξέος που είναι είτε σε μορφή ζελέ είτε σε ρευστή μορφή. Κατά την εκφόρτιση του συσσωρευτή δημιουργείται μία αντίδραση ανάμεσα στο θειικό οξύ του ηλεκτρολύτη και των στοιχείων που έχουν επιστρωθεί τα δύο ηλεκτρόδια. Με αυτόν το τρόπο παράγεται ηλεκτρική ενέργεια και δημιουργείται θειικός μόλυβδος και νερό όπως διακρίνεται και από την παρακάτω χημική ένωση [25] :

$PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 \rightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$

Κατά τη διάρκεια που φορτίζεται η μπαταρία, πραγματοποιείται η αντίστροφη διαδικασία, συνεπώς τα ηλεκτρόδια μεταβάλλονται ξανά σε διοξείδιο του μολύβδου και μόλυβδο και ο ηλεκτρολύτης σε θειικό οξύ [25].

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι μπαταρίες μολύβδου – οξέος είναι πως έχουν τη δυνατότητα να ανακυκλώνονται εύκολα και δεν απαιτείται να ανανεώνεται ο ηλεκτρολύτης τους. Αντιθέτως όμως, τα μειονεκτήματά τους είναι πως έχουν μεγάλο βάρος που αποτελεί έως και το 20% του συνολικού βάρους που έχει ένα όχημα. Εάν πραγματοποιηθεί πλήρη εκκένωση η μπαταρία θα υποστεί μερική καταστροφή, επιπλέον διαθέτουν πολύ μικρή ενεργειακή πυκνότητα (40Wh/kg). Παρουσιάζουν μέτρια έως και μεγάλη αυτό – εκφόρτιση επειδή η χημική τους σύνθεση είναι ασταθής. Επιπρόσθετα τα υλικά των ηλεκτροδίων αλλοιώνονται όσο η μπαταρία δεν είναι σε λειτουργία. Οι συγκεκριμένοι συσσωρευτές έχουν ξεχωριστή ευαισθησία στη διαχείριση της φόρτισής τους και στις καιρικές συνθήκες του περιβάλλοντος με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν υψηλή μείωση στο χρόνο ζωής τους [25],[27]. Τέλος οι μπαταρίες μολύβδου – οξέος εκπέμπουν οξυγόνο, υδρογόνο και θείο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερα τοξικές και επικίνδυνες τόσο για τον άνθρωπο όσο και για το περιβάλλον. Χρειάζεται να

δοθεί πολύ προσοχή να μην υπάρχει κάποια διαρροή στον ηλεκτρολύτη, στη περίσταση που το κέλυφος του συσσωρευτή δεν έχει κλείσει και για οποιοδήποτε λόγο ανατραπεί [25].

ii. Συσσωρευτές Νικελίου – καδμίου (Ni – Cd)

Οι συσσωρευτές νικελίου – καδμίου αποτελούν τους πρώτους αλκαλικούς συσσωρευτές που δημιουργήθηκαν από τον Waldemar Jungner που καταγόταν από τη Σουηδία το 1899 [27]. Η λειτουργία των συσσωρευτών στηρίζεται σε δύο ηλεκτρόδια, όπου στο θετικό ηλεκτρόδιο χρησιμοποιείται οξείδιο και υδροξείδιο του νικελίου (NiO(OH)) και στο αρνητικό ηλεκτρόδιο χρησιμοποιείται μεταλλικό κάδμιο. Ανάμεσα στα δύο ηλεκτρόδια χρησιμοποιείται ο ηλεκτρολύτης που συγκροτείται από ένα διάλυμα υδροξειδίου του καλίου όταν ο συσσωρευτής σχεδιάζεται ώστε να λειτουργεί σε μικρές θερμοκρασίες. Ο συγκεκριμένος ηλεκτρολύτης αποτελεί τον πρώτο ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιήθηκε σε συσσωρευτή. Στο ενδεχόμενο που ο συσσωρευτής χρειάζεται να λειτουργήσει σε μεγάλες θερμοκρασίες, τότε θα χρησιμοποιηθεί ηλεκτρολύτης που αποτελείται από υδατικό υδροξείδιο του νατρίου [25],[27]. Η χημική αντίδραση που διενεργείται ώστε να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια είναι η ακόλουθη [25] :

$Cd + 2NiO(OH) + 2H_2O \leftarrow \rightarrow Cd(OH)_2 + 2Ni(OH)_2$

Σε σύγκριση με τους συσσωρευτές μολύβδου – οξέος, οι συσσωρευτές νικελίου – καδμίου πλεονεκτούν στα περισσότερα χαρακτηριστικά τους. Διαθέτουν μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα (50 Wh/kg – 56 Wh/kg περίπου), εμφανίζουν αρκετά υψηλή ανθεκτικότητα στις ακραίες θερμοκρασίες, παρουσιάζουν ανθεκτικότητα σε μεγάλες αποφορτίσεις μπορούν δηλαδή να εκφορτίζονται για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να δημιουργηθεί κάποια βλάβη, έχουν πολλούς κύκλους φόρτισης – εκφόρτισης δηλαδή έχουν μεγάλο χρόνο ζωής. Οι συσσωρευτές νικελίου – καδμίου είναι αρκετά αξιόπιστοι και δεν απαιτούν μεγάλη συντήρηση, όμως είναι πολύ ακριβή η τιμή τους διότι το κάδμιο αποτελεί ένα υλικό που είναι δυσεύρετο συνεπώς η κατασκευή των κελιών έχει υψηλό κόστος. Το κάδμιο είναι τοξικό αυτό έχει ως αποτέλεσμα η χρήση των συγκεκριμένων συσσωρευτών να μειώνεται αρκετά και να χρειάζεται πολύ προσοχή κατά την αντικατάσταση των μπαταριών [25],[27]. Επιπλέον εάν γίνει υπερφόρτιση της μπαταρίας για αρκετό χρονικό διάστημα τότε θα δημιουργηθούν απώλειες νερού. Γι ’αυτό και τα κελιά που είναι μέσα στις μπαταρίες έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να μπορούν να ενέχουν υψηλή ποσότητα ηλεκτρολύτη, με αυτόν τον τρόπο δεν απαιτείται να συντηρούνται συχνά οι μπαταρίες. Οι μπαταρίες νικελίου – καδμίου έχουν το φαινόμενο της ‘μνήμης’. Αυτό συνεπάγεται πως στην περίπτωση που δεν έχουν εκφορτιστεί εντελώς πριν πραγματοποιηθεί η επόμενη φόρτιση, όταν γίνουν πολλές φορτίσεις θα μειωθεί η χωρητικότητα των συσσωρευτών. Συνεπώς ο κύκλος φόρτισης που

είχαν στη αρχή θα αλλάξει με ένα μειωμένο κύκλο φόρτισης που αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην αξιοποιούνται πλήρως οι δυνατότητες των μπαταριών. Δημιουργείται μία προσωρινή πτώση τάσης, όπως συμβαίνει και στη περίπτωση που το αρνητικό ηλεκτρόδιο υπερφορτιστεί σε μεγάλη θερμοκρασία. Τέλος, το κάδμιο είναι τοξικό και καρκινογόνο συνεπώς θεωρείται βλαβερό για το περιβάλλον, έτσι γίνεται δύσκολη η παραγωγή των συσσωρευτών σε μεγάλη κλίμακα καθώς και η ανακύκλωσή τους [25].

iii. Συσσωρευτές Νικελίου – Υδριδίου μετάλλου (NiMH)

Οι πρώτοι συσσωρευτές NiMH εντάχθηκαν στην αγορά το 1989 και αποτελούσαν μία παραλλαγή των συσσωρευτών νικελίου – υδρογόνου. Οι μπαταρίες νικελίου υδριδίου μετάλλου αξιοποιούνται ήδη σε ορισμένα υβριδικά οχήματα, η διαφορά τους σε σχέση με τις μπαταρίες νικελίου – καδμίου είναι πως στο αρνητικό ηλεκτρόδιο δεν περιέχεται κάδμιο αλλά δημιουργείται από υδρίδιο μετάλλου, αυτή η διαφοροποίηση βρίσκεται στο γεγονός πως το υδρίδιο μετάλλου δεσμεύει το υδρογόνο και έτσι κατά την εκφόρτιση λειτουργεί σαν μία κυψέλη υδρογόνου. Η χημική αντίδραση που πραγματοποιείται στο θετικό ηλεκτρόδιο είναι όμοια με τις μπαταρίες νικελίου – καδμίου. Στο αρνητικό ηλεκτρόδιο το υδρογόνο που έχει δεσμευτεί από το μέταλλο, ελευθερώνεται και αντιδρά με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ηλεκτρόνια και νερό [25],[27].

Ο τρόπος που λειτουργούν οι μπαταρίες NiMH στηρίζεται στη χημική αντίδραση όπου το υδρογόνο κάποιες φορές δεσμεύεται από το μέταλλο και κάποιες φορές ελευθερώνεται. Η πίεση του υδρογόνου χρειάζεται να διατηρείται σε συγκεκριμένη τιμή. Συνεπώς στο εσωτερικό των πλακών η πίεση χρειάζεται να διατηρείται σταθερή αλλά και να μην εισέλθει αέρας διότι αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα να αποβάλλεται από το υδρίδιο του μετάλλου και έτσι θα καλυφθεί ο χώρος που ήταν διαθέσιμος για το υδρογόνο. Παρακάτω παρουσιάζεται η χημική αντίδραση που δημιουργείται [25] :

$$MH + NiOOH \rightarrow \leftarrow M + Ni(OH)_2$$

Οι μπαταρίες νικελίου – υδριδίου μετάλλου παρουσιάζουν πιο μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα (80Wh/kg περίπου) σε σύγκριση με τις μπαταρίες νικελίου – καδμίου. Επιπλέον οι συσσωρευτές NiMH εμφανίζουν πιο μεγάλη διάρκεια ζωής σε σχέση με τους συσσωρευτές NiCd. Σύμφωνα με το γεγονός πως οι μπαταρίες NiMH δεν περιέχουν τοξικά στοιχεία όπως είναι το κάδμιο είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον, επίσης ένα ακόμα πλεονέκτημα που παρουσιάζουν είναι πως η φόρτιση των συγκεκριμένων συσσωρευτών πραγματοποιείται πολύ γρήγορα. Όμως οι συγκεκριμένες μπαταρίες έχουν μικρή εσωτερική

αντίσταση και απελευθερώνεται θερμότητα. Αν συμπεριληφθεί πως και κατά της διάρκεια της εξώθερμης αντίδρασης απελευθερώνεται επιπλέον θερμότητα φαίνεται πόσο απαραίτητο είναι να υπάρχει ψύξη στις μπαταρίες νικελίου – υδριδίου μετάλλου. Μία διαδικασία με την οποία μπορεί να παραχθεί ψύξη είναι να συνδεθούν ανεμιστήρες στο κάλυμμα που έχει η μπαταρία όπως φαίνεται και στην εικόνα 62. Η διαδικασία με την οποία φορτίζουν οι μπαταρίες NiMH είναι όμοια με τη φόρτιση των συσσωρευτών NiCd. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που έχουν οι συσσωρευτές νικελίου – υδριδίου μετάλλου είναι πως κατά τη διάρκεια της φόρτισης και στη εκφόρτισης η ποσότητα του ηλεκτρολύτη δεν επηρεάζεται, με αποτέλεσμα η τάση στα άκρα του συσσωρευτή και η εσωτερική αντίστασή του να παραμένουν σταθερά σε σχέση με άλλους τύπους μπαταριών. Κάποια ακόμη αρνητικά όμως που παρουσιάζουν οι συγκεκριμένοι συσσωρευτές είναι πως έχουν μεγάλη αυτό εκφόρτιση, μικρό βαθμό απόδοσης ο οποίος μειώνεται ακόμη πιο πολύ σε αρκετά μικρές θερμοκρασίες και τέλος είναι ακριβή η κατασκευή τους [25],[27].

Εικόνα 62 : Μπαταρία Νικελίου - υδριδίου μετάλλου [25].

iv. Συσσωρευτές Λιθίου – Πολυμερούς και Ιόντων – Λιθίου (Lithium – ion)

Στους συσσωρευτές ιόντων – λιθίου (εικόνα 63) πραγματοποιούνται έρευνες από το 1912 καθώς το λίθιο αποτελούσε ένα στοιχείο με πολλές προοπτικές στο τομέα της αποθήκευσης της ενέργειας, διότι είχε την ιδιότητα να εμφανίζει μεγάλες τιμές ενέργειας προς βάρος (Wh/kg) με αρκετά μικρή πυκνότητα. Παρά το γεγονός πως οι έρευνες βρίσκονταν ακόμη σε αρχικό στάδιο, οι πρώτοι συσσωρευτές λιθίου ήταν διαθέσιμοι στην αγορά τη δεκαετία του 1970. Οι πρώτοι συσσωρευτές ιόντων – λιθίου κατασκευάστηκαν το 1985 από μια ερευνητική ομάδα από την Ιαπωνία με επικεφαλή τον Akira Yoshino. Το 1991 ήταν διαθέσιμες πλέον στην αγορά από την εταιρία Sony [27].

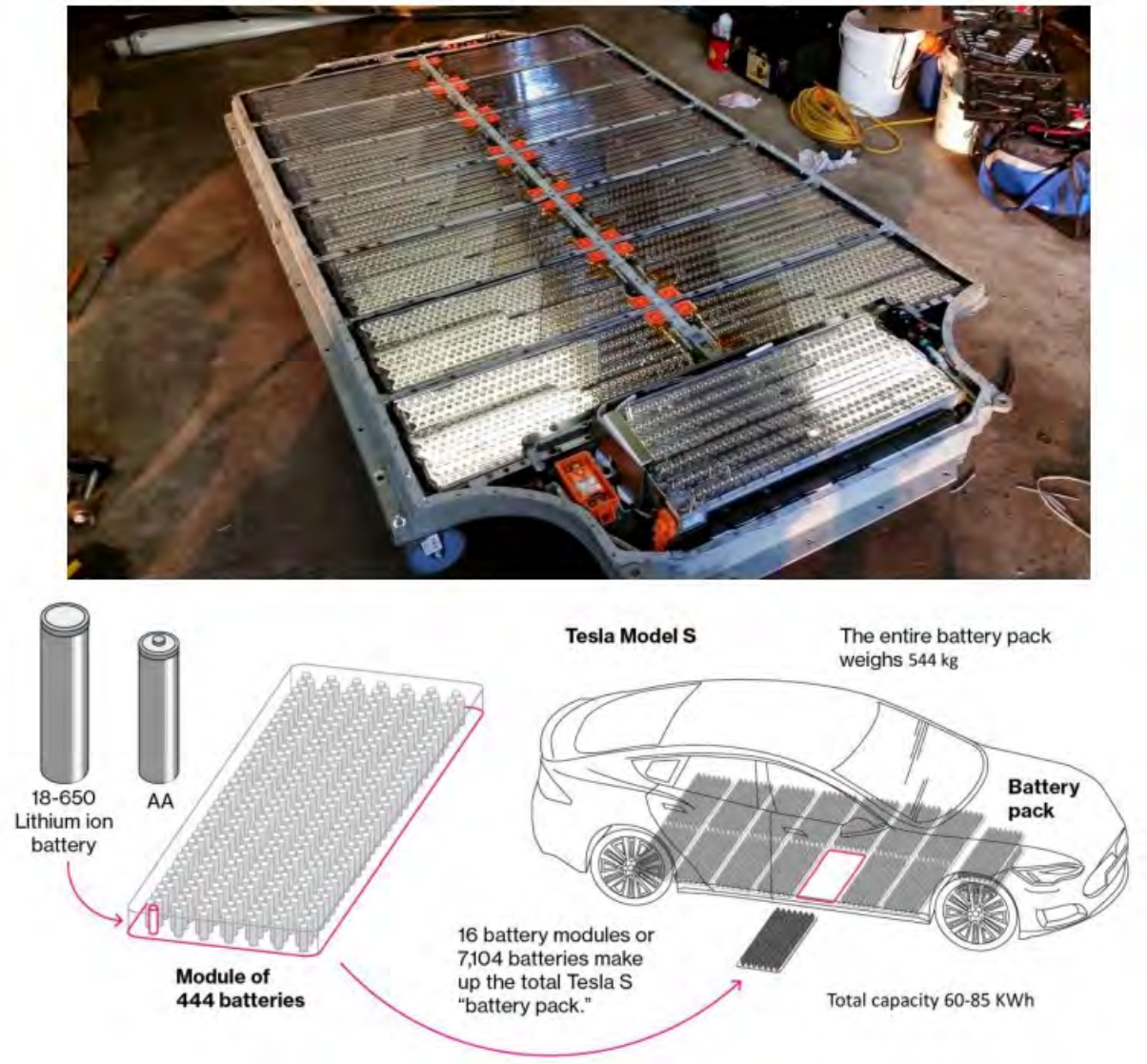
Οι μπαταρίες λιθίου διαθέτουν την πιο μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα, όμως είναι πολύ ακριβές. Θεωρείται πως είναι πιθανό ο συγκεκριμένος τύπος συσσωρευτών να περιορίσει τους υπόλοιπους τύπους στην τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων. Όπως προαναφέρθηκε οι μπαταρίες λιθίου είναι ακριβές, αυτό συμβαίνει επειδή ακόμη βρίσκονται στα αρχικά στάδια της ανάπτυξής τους [25].

Υπάρχουν δύο τύποι συσσωρευτών λιθίου που χρησιμοποιούνται εκτεταμένα, οι συσσωρευτές λιθίου – πολυμερούς και οι συσσωρευτές ιόντων – λιθίου. Το αρνητικό ηλεκτρόδιο των συσσωρευτών λιθίου – πολυμερούς περιλαμβάνεται από λίθιο και το θετικό ηλεκτρόδιο από μία στρώση οξειδίου μετάλλου. Πραγματοποιείται χημική αντίδραση ανάμεσα στο λίθιο και το οξείδιο μετάλλου, δημιουργώντας οξείδιο λιθίου και απελευθερώνοντας ενέργεια. Το λίθιο κινείται μέσα στον ηλεκτρολύτη και παράλληλα λειτουργεί ως αντιδρών. Συνεπώς η χημική εξίσωση που προκύπτει είναι [25] :

C6LiX + MψOz → ← 6C + LiXMΨOZ

Το θετικό ηλεκτρόδιο των μπαταριών ιόντων – λιθίου περιέχει μία στρώση οξειδίου μετάλλου και στο αρνητικό ηλεκτρόδιο περιέχεται λιθιούχος άνθρακας. Ο ηλεκτρολύτης που χρησιμοποιείται αποτελείται από υγρό οργανικό διάλυμα ή από στερεό πολυμερές [25]. Ο συγκεκριμένος τύπος συσσωρευτή αποτελεί τον πιο κατάλληλο για την τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων διότι έχουν αρκετά λιγότερα μειονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες μπαταρίες που προαναφέρθηκαν. Διαθέτουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, μεγάλη πυκνότητα ισχύος και μεγάλο βαθμό απόδοσης στους κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης με τιμές ανάμεσα στο 80% και 90%. Παρουσιάζουν υψηλή διάρκεια ζωής, ιδίως οι μπαταρίες ιόντων – λιθίου, επιπλέον δεν παρουσιάζουν το επιβλαβές φαινόμενο μνήμης που τις εξαναγκάζει να χάνουν τη χωρητικότητά τους. Ένα ακόμη πλεονέκτημα που εμφανίζουν είναι πως έχουν τη δυνατότητα γρήγορης επαναφόρτισης ειδικότερα τα πιο καινούρια μοντέλα, όμως χρειάζονται συγκεκριμένο τύπο φορτιστή που να τροφοδοτεί την έξοδό του με σταθερό ρεύμα. Αντίθετα υπάρχει ο κίνδυνος να γίνει αυτανάφλεξη των συσσωρευτών σε αρκετά μεγάλες θερμοκρασίες, γι’ αυτό μέσω των συστημάτων διαχείρισης που χρησιμοποιούνται εξασφαλίζεται πως οι μπαταρίες θα έχουν ασφαλή λειτουργία και θα εμποδίζεται το φαινόμενο της υπερφόρτισης. Επίσης έχουν υψηλό κόστος και είναι βλαβερές προς το περιβάλλον διότι όταν κατασκευάζονται γίνεται χρήση στοιχείων που είναι τοξικά. Παρ’ όλα αυτά πραγματοποιούνται προσπάθειες ώστε αυτά τα μειονεκτήματα εάν δεν είναι

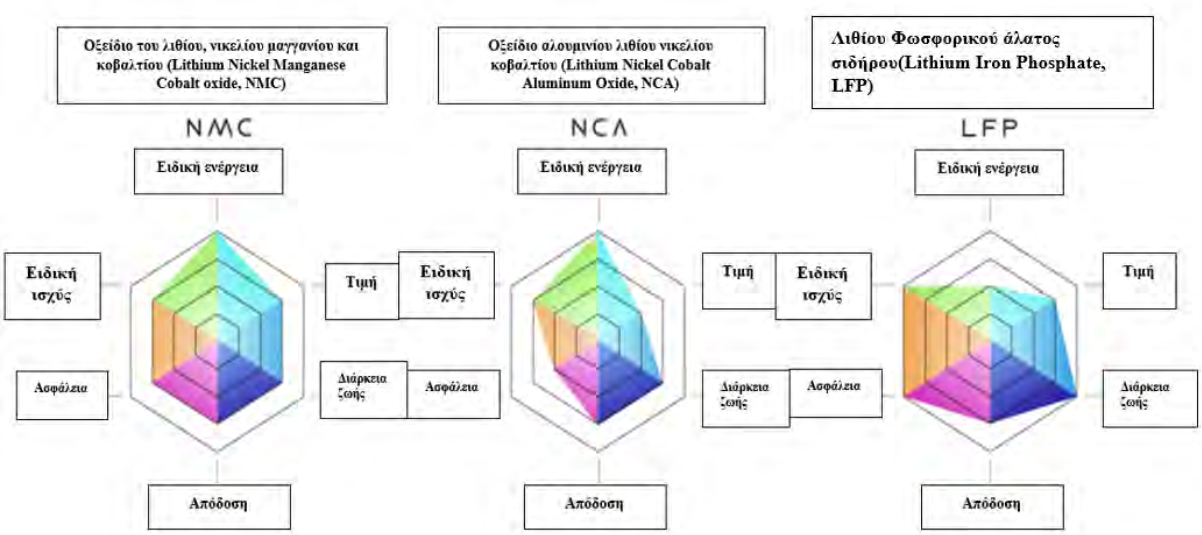
εφικτό να εξαλειφθούν, έστω να μειωθούν. Κάτι που γίνεται με επιτυχία χρησιμοποιώντας άλλες παραλλαγές για συσσωρευτές ιόντων – λιθίου [25],[27].



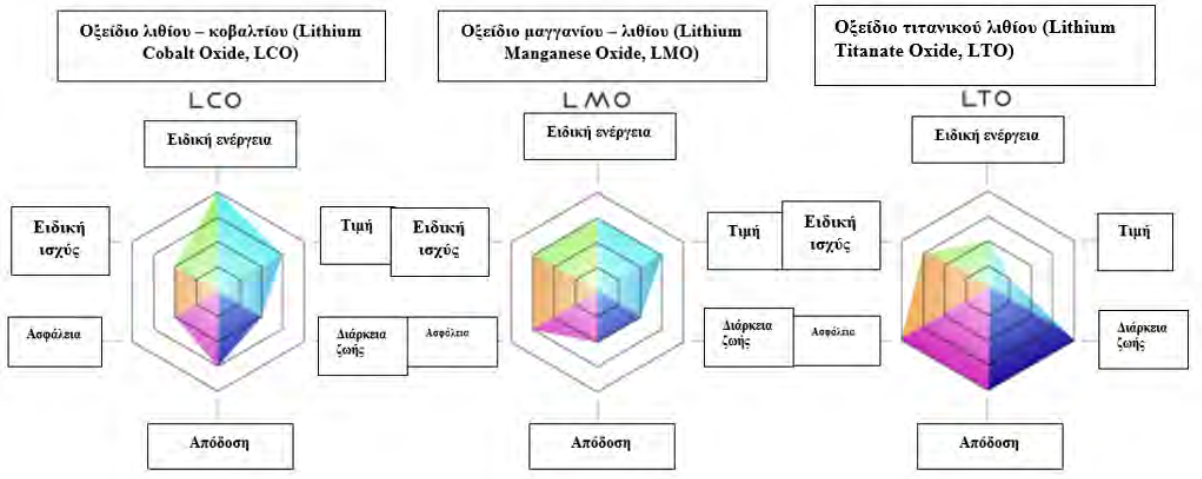
Εικόνα 63 : Συστοιχία συσσωρευτών ιόντων-λιθίου σε ένα ηλεκτρικό όχημα με συσσωρευτές (BEV) [2].

Υπάρχουν έξι βασικοί τύποι συσσωρευτών ιόντων λιθίου, στις εικόνες 64 και 65 παρουσιάζεται μία σύγκριση μεταξύ των συσσωρευτών ιόντων λιθίου όντας το επίκεντρο για τη μετάβαση στη καθαρή ενέργεια μίας και είναι η κύρια τεχνολογία από την οποία τροφοδοτούνται τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα και τα συστήματα για την αποθήκευση ενέργειας. Ωστόσο υπάρχουν πολλά είδη συσσωρευτών ιόντων λιθίου με το κάθε ένα να παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα [28].

Στις εικόνες 64 και 65 φαίνονται τα χαρακτηριστικά ανάμεσα στις έξι κύριες κατηγορίες συσσωρευτών ιόντων λιθίου [28].



Εικόνα 64 : Χαρακτηριστικά συσσωρευτών [28].



Εικόνα 65 : Χαρακτηριστικά συσσωρευτών [28].

Κάθε μία από τις έξι κατηγορίες συσσωρευτών ιόντων λιθίου διαθέτει διαφορετική χημική σύνθεση. Η άνοδος στους περισσότερους συσσωρευτές ιόντων λιθίου κατασκευάζεται από γραφίτη. Συνηθέστερα, η ορυκτολογική σύνθεση που έχει η κάθοδος αλλάζει, κάνοντας τη διαφορά ανάμεσα στη τεχνολογία της χημείας των συσσωρευτών. Το υλικό από το οποίο αποτελείται η κάθοδος συνήθως είναι το λίθιο μαζί με άλλα ορυκτά όπως είναι για παράδειγμα το νικέλιο, το κοβάλτιο, το μαγγάνιο ή ο σίδηρος. Από αυτή τη σύνθεση καθορίζεται η χωρητικότητα, η ισχύς, η απόδοση, η τιμή, η ασφάλεια και η διάρκεια ζωής του συσσωρευτή [28].

1. **Οξείδιο λιθίου νικελίου – μαγγανίου – κοβαλτίου (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide, NMC)**

Η κάθοδος των συσσωρευτών NMC έχουν συνηθέστερα μεγάλο ποσοστό νικελίου, το οποίο μεγαλώνει την ενεργειακή πυκνότητα του συσσωρευτή και μεγαλώνει το εύρος της απόστασης των ηλεκτρικών οχημάτων. Όμως η μεγάλη ποσότητα νικελίου μπορεί να προκαλέσει αστάθεια στο συσσωρευτή, γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται το κοβάλτιο και το μαγγάνιο, ώστε να βελτιωθεί η θερμική σταθερότητα και η ασφάλεια του συσσωρευτή. Αρκετοί συνδυασμοί των συσσωρευτών NMC έχουν πετύχει στην αγορά, όπως για παράδειγμα οι συσσωρευτές NMC811 που αποτελούνται από νικέλιο σε ποσοστό 80%, νικέλιο σε ποσοστό 10% και μαγγάνιο σε ποσοστό 10%, οι συσσωρευτές NMC532 και οι συσσωρευτές NMC622 [28].

2. **Οξείδιο νικελίου – κοβαλτίου – αλουμινίου λιθίου (Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide, NCA)**

Οι συσσωρευτές NCA έχουν όμοια πλεονεκτήματα με τους συσσωρευτές NMC, σε αυτά συμπεριλαμβάνονται η μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα και η ειδική ισχύς. Οι συσσωρευτές NCA χρησιμοποιούν αλουμίνιο αντί για μαγγάνιο ώστε να μεγαλώσει η σταθερότητα. Όμως οι κάθοδοι των συγκεκριμένων συσσωρευτών είναι πιο λίγο ασφαλείς σε σχέση με άλλες τεχνολογίες συσσωρευτών ιόντων λιθίου, έχουν πιο αυξημένο κόστος και συνηθέστερα χρησιμοποιούνται σε μοντέλα ηλεκτρικών οχημάτων μεγάλης απόδοσης [28].

3. **Λιθίου φωσφορικού άλατος σιδήρου (Lithium Iron Phosphate, LFP)**

Οι συσσωρευτές LFP είναι πιο φθηνοί κατά τη κατασκευή τους σε σύγκριση με τις παραλλαγές που έχουν ως βάση το νικέλιο, επειδή αντί για νικέλιο και κοβάλτιο χρησιμοποιούν σίδηρο και φωσφορικό άλας. Εν τούτοις διαθέτουν πιο μικρή ειδική ενέργεια και είναι πιο κατάλληλες για να χρησιμοποιηθούν σε ηλεκτρικά οχήματα τυπικής ή μικρής εμβέλειας. Επιπρόσθετα, οι LFP Θεωρούνται μία από τις πιο ασφαλείς χημικές ουσίες και διαθέτουν υψηλή διάρκεια ζωής, επιτρέποντας να χρησιμοποιούνται σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας [28].

4. **Οξείδιο κοβαλτίου λιθίου (Lithium Cobalt Oxide, LCO)**

Οι συσσωρευτές LCO διαθέτουν εξαιρετικά πυκνή ενέργεια, στα μειονεκτήματά τους περιλαμβάνονται η μικρή διάρκεια ζωής, η μικρή θερμική σταθερότητα και η περιορισμένη ειδική ισχύς. Ωστόσο οι συγκεκριμένοι συσσωρευτές είναι δημοφιλείς σε εφαρμογές με χαμηλό φορτίο όπως είναι για παράδειγμα τα κινητά και οι φορητοί υπολογιστές, όπου μπορούν να διαθέτουν πιο μικρά ποσά ενέργειας για μεγάλο χρονικό διάστημα [28].

5. Οξείδιο λιθίου – μαγγανίου (Lithium Manganese oxide, LMO)

Οι συγκεκριμένοι συσσωρευτές είναι γνωστοί και ως συσσωρευτές σπινέλιου μαγγανίου, παρέχουν υψηλή ασφάλεια και έχουν τη δυνατότητα να φορτίζονται και να εκφορτίζονται γρήγορα. Στα ηλεκτρικά οχήματα συνηθέστερα το υλικό της καθόδου LMO αναμιγνύεται με NMC. Κατά την επιτάχυνση το LMO δίνει μεγάλο ρεύμα και το NMC επιτρέπει πιο μεγάλο εύρος απόστασης κατά την οδήγηση [28].

6. Οξείδιο τιτανικού λιθίου (Lithium Titanate Oxide, LTO)

Αντίθετα με τους παραπάνω χημικούς τύπους, όπου η διαφορά έγκειται στη σύνθεση της καθόδου, οι συσσωρευτές LTO κάνουν χρήση μίας μοναδικής επιφάνειας ανόδου που αποτελείται από οξείδια λιθίου και τιτανίου. Οι συσσωρευτές αυτοί έχουν πολύ υψηλή ασφάλεια και απόδοση σε πολύ μεγάλες θερμοκρασίες, ωστόσο διαθέτουν μικρή χωρητικότητα και έχουν σχετικά υψηλό κόστος, περιορίζοντας έτσι την ευρεία χρήση τους [28].

v. Υπερπυκνωτές (supercapacitors)

Μέσω του υπερπυκνωτή αποθηκεύεται ηλεκτρική ενέργεια. Στο μέλλον προορίζεται πως θα χρησιμοποιούνται υπερπυκνωτές αντί για τις κλασικές μπαταρίες, επειδή έχουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις μπαταρίες. Οι υπερπυκνωτές χρησιμοποιούν ένα είδος στατικού ηλεκτρισμού για να αποθηκεύουν ενέργεια, σε αντίθεση με τις μπαταρίες που χρησιμοποιούν χημικές ουσίες γεγονός που τις καθιστά δύσκολα διαχειρίσιμες. Αυτό συνεπάγεται πως οι επιδόσεις των υπερπυκνωτών μπορούν να προβλεφθούν, τα υλικά τους είναι πιο αξιόπιστα και είναι πιο λίγο ευαίσθητοι στις αλλαγές της θερμοκρασίας, επιπλέον έχουν τη δυνατότητα να αποφορτίζονται εντελώς για μία πιο ασφαλή αποστολή [25].

Από τη δεκαετία του 1950 είχαν αρχίσει να πραγματοποιούνται πειραματισμοί σχετικά με τους υπερπυκνωτές από τους ερευνητές, είχαν δημιουργηθεί διάφορες κατηγορίες και τροποποιήσεις αυτών. Επικράτησαν τρεις παραλλαγές στην κατασκευή των υπερπυκνωτών όπου η διαφορά τους βασίζεται στον τρόπο με τον οποίο κατασκευάζονται τα ηλεκτρόδιά τους. Οι παραλλαγές αυτές είναι [25] :

1. Ψευδοπυκνωτές όπου έχουν ηλεκτρόδια οξειδίων μετάλλων επάνω σε ένα φορέα με ενεργό άνθρακα που έχουν τοποθετηθεί μέσα στον ηλεκτρολύτη.
2. Υπερπυκνωτές με διπλό στρώμα όπου έχουν ηλεκτρόδια από ενεργό άνθρακα ή παραγώγων του άνθρακα που έχουν τοποθετηθεί μέσα στον ηλεκτρολύτη.

3. Υβριδικοί υπερπυκνωτές, με το ένα ηλεκτρόδιο να έχει φτιαχτεί από ενεργό άνθρακα και το άλλο ηλεκτρόδιο να έχει κατασκευαστεί από οξείδια μετάλλων που είναι τοποθετημένα σε ηλεκτρολύτη. Αυτή η παραλλαγή είναι συνδυασμός των ψευδοπυκνωτών και των υπερπυκνωτών διπλού στρώματος.

Οι υπερπυκνωτές είναι ένας συνδυασμός των μπαταριών και των απλών πυκνωτών. Έχουν υψηλές χωρητικότητες που τους επιτρέπουν να θεωρούνται αξιόπιστοι ώστε να αντικαταστήσουν τις κλασικές μπαταρίες σε συστήματα με εφεδρική λειτουργία, όπου χρειάζεται να τροφοδοτηθεί άμεσα ο κινητήρας. Οι χωρητικότητες των υπερπυκνωτών μπορούν να φτάσουν έως και τα 10.000 F, με τάση λειτουργίας παρόμοια με εκείνη των ανάλογων στοιχείων που έχουν οι κοινές μπαταρίες. Έτσι με τον συνδυασμό πολλών υπερπυκνωτών σε σειρά γίνεται να δημιουργηθεί ονομαστική τάση λειτουργίας όμοια με εκείνη που έχουν οι κλασικές μπαταρίες οχημάτων [25].

Οι κατηγορίες των συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται πιο πολύ στην αγορά για την τεχνολογία των ηλεκτρικών και των υβριδικών οχημάτων είναι οι εξής [7] :

- Ιόντων – Λιθίου
- Νικελίου – Υδριδίου μετάλλου
- Μολύβδου οξέος

5.3 Συστήματα Διαχείρισης Συσσωρευτών

5.3.1 Σύστημα Διαχείρισης Συσσωρευτών (Battery Management System – BMS)

Τα συστήματα διαχείρισης των κελιών, των συστοιχιών και των συσσωρευτών συμβάλλουν σημαντικά στην απόδοση των ηλεκτρικών οχημάτων, στην τιμή αλλά και την ασφάλεια του συσσωρευτή καθώς οι μεγάλες αλλαγές στη θερμοκρασία και στη τάση του κελιού και της συστοιχίας ενός συσσωρευτή μπορεί να προκαλέσουν μείωση στην απόδοση του συσσωρευτή και να προκληθούν δυσκολίες ασφάλειας. Γενικότερα η τάση και η χωρητικότητα που έχουν τα κελιά του συσσωρευτή είναι αρκετά πιο μικρή σε σχέση με τις ανάγκες του οχήματος. Συνεπώς αρκετά κελιά και συστοιχίες είναι συνδεδεμένα παράλληλα ή σε σειρά για να είναι εφικτό να ικανοποιούνται οι ανάγκες αυξημένης τάσης και εμβέλειας σε ένα σύγχρονο ηλεκτρικό όχημα. Κάποιες φορές η απόδοση του συσσωρευτή διαφέρει από την αναμενόμενη λόγω κάποιων κατασκευαστικών προβλημάτων και λειτουργικών αλλαγών στα κελιά του συσσωρευτή, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργείται πιθανότητα να μειωθεί ο χρόνος ζωής και η αποδοτικότητα του συσσωρευτή και να προκληθούν κίνδυνοι

στην περίπτωση μέγιστων θερμοκρασιών και κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης. Επιπρόσθετα στη περίπτωση όπου τα κελιά του συσσωρευτή είναι συνδεδεμένα σε σειρά, τότε το κελί που είναι πιο λίγο φορτισμένο θα καθορίσει το τέλος της εκφόρτισης ακόμη και αν τα υπόλοιπα κελιά του συσσωρευτή έχουν ένα ποσό αποθηκευμένης ενέργειας, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειωθεί η συνολική αξιοποιήσιμη χωρητικότητα του συσσωρευτή. Επειδή δεν υπάρχει σωστή διαχείριση του συσσωρευτή, αυτή η ανισορροπία που επικρατεί κατά τη φόρτιση σιγά σιγά επιδεινώνεται. Για όλους τους λόγους που προαναφέρθηκαν, είναι αναγκαίο να υπάρχει ένα σύστημα διαχείρισης του συσσωρευτή, όπου θα επιβλέπει τη λειτουργία κάθε κελιού και κάθε συστοιχίας του συσσωρευτή και θα προσφέρει την ισορροπία που χρειάζεται ώστε να εξασφαλιστεί πως ο συσσωρευτής (ιδίως ο συσσωρευτής ιόντων – λιθίου) θα λειτουργεί με ασφάλεια σε συγκεκριμένο εύρος τιμών τάσης και θερμοκρασίας [26].

Δίνονται οδηγίες από τους κατασκευαστές των συσσωρευτών σχετικά με το εύρος τιμών λειτουργίας της θερμοκρασίας και της τάσης του συσσωρευτή, είναι απαραίτητο αυτές οι οδηγίες να τηρούνται. Σε ότι αφορά τη χρήση των συσσωρευτών ιόντων – λιθίου στα ηλεκτρικά οχήματα, το εύρος τιμών λειτουργίας της θερμοκρασίας κυμαίνεται από τους -20°C έως και τους 55°C κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης ενώ κατά τη διάρκεια της φόρτισης κυμαίνεται μεταξύ 0°C έως και 45°C. Το εύρος τιμών της τάσης λειτουργίας ποικίλει σύμφωνα με τη χημεία του συσσωρευτή, τυπικά ένα εύρος τιμών για την τάση λειτουργίας είναι από 1,5 Volt έως 4,2Volt. Στην περίπτωση που η θερμοκρασία που έχει αναπτυχθεί στο κελί ξεπεράσει τους 120°C υπάρχει πιθανότητα να δημιουργηθούν αέρια που είναι εύφλεκτα και σε θερμοκρασίες που ξεπερνούν τους 130°C μπορεί να ξεκινήσει να λιώνει ο διαχωριστής και σε πιο υψηλές θερμοκρασίες να ξεκινήσει να αποσυντίθεται το θετικό ηλεκτρόδιο σύμφωνα με τη χημική σύσταση του συσσωρευτή. Εάν η θερμοκρασία ξεπεράσει του 200°C δημιουργείται ο κίνδυνος να παραχθεί οξυγόνο λόγω της διάσπασης των θετικών ηλεκτροδίων, έτσι μπορεί να υπάρξει διαφυγή θερμότητας. Στην περίπτωση που η φόρτιση των συσσωρευτών πραγματοποιείται σε θερμοκρασία μικρότερη του μηδενός, τότε το μέταλλο του λιθίου μεταφέρεται στην επιφάνεια του άνθρακα που περιέχει το αρνητικό ηλεκτρόδιο, με αποτέλεσμα να μειώνεται η διάρκεια ζωής του συσσωρευτή. Σε ακόμη πιο μικρές θερμοκρασίες υπάρχει η πιθανότητα καταστροφής της καθόδου με αποτέλεσμα να προκληθεί βραχυκύκλωμα. Παράλληλα, με την αρκετά υψηλή εκφόρτιση των συσσωρευτών καταρρέει το ιοντικό πλέγμα και μικραίνει η απόδοση του συσσωρευτή. Επιπλέον σε αρκετά υψηλή εκφόρτιση ή σε πολύ μικρές τάσεις μπορεί να μειωθεί η ποσότητα του ηλεκτρολύτη

με αποτέλεσμα να παραχθούν υγρά που είναι εύφλεκτα και να δημιουργηθούν προβλήματα σχετικά με την ασφάλεια του συσσωρευτή. Η υπερφόρτιση ή η πολύ μεγάλη τάση περιέχει κινδύνους διότι μπορεί να προκληθεί διάσπαση στο θετικό ηλεκτρόδιο και να παραχθεί θερμότητα στο συσσωρευτή με αποτέλεσμα, η εξασθένιση της χωρητικότητας του συσσωρευτή να επιταχυνθεί και έτσι να προκληθούν εσωτερικά βραχυκυκλώματα. Συμπεριλαμβάνοντας τα παραπάνω που αναφέρθηκαν κρίνεται απαραίτητο να υπάρχει ένα σύστημα διαχείρισης του συσσωρευτή ώστε να διατηρούνται οι βέλτιστες παράμετροι λειτουργίας και να συνδράμει ώστε να προλαμβάνονται τα παραπάνω προβλήματα του συσσωρευτή [26].

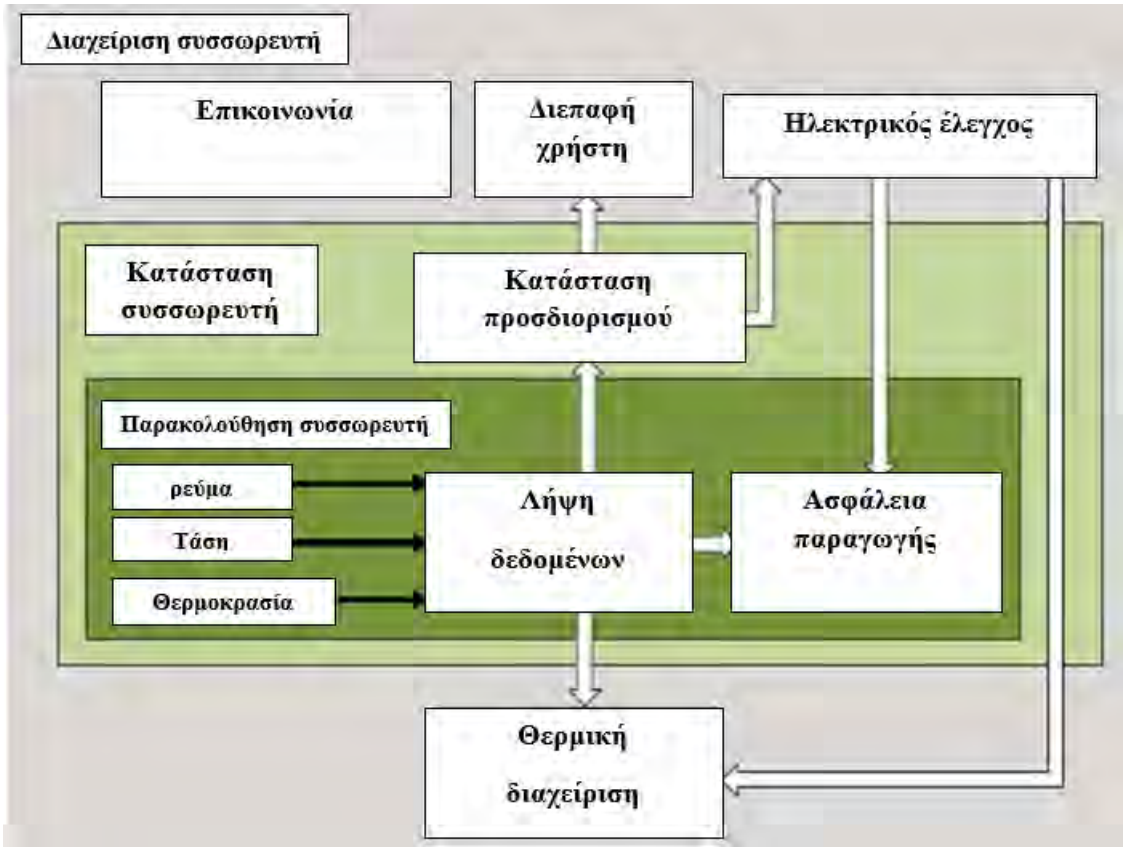
Δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη περιγραφή σχετικά με τις λειτουργίες που εκτελούν τα συστήματα διαχείρισης του συσσωρευτή (BMS), όμως οι τρεις βασικές λειτουργίες είναι [26] :

1. Εξασφάλιση πως η λειτουργία των συσσωρευτών θα είναι ασφαλής και επέκταση του χρόνου ζωής τους, καθώς τα BMS θα τους επιτρέπουν να λειτουργούν στο σωστό εύρος τιμών θερμοκρασίας και τάσης.
2. Μεγιστοποιούν την απόδοση και μεταδίδουν το σήμα στου χρήστες ή ακόμη και στις εξωτερικές συσκευές.
3. Παρακολούθηση του κάθε κελιού και συστοιχίας του συσσωρευτή ώστε να αποφευχθούν τυχόν λάθη.

Η παρατήρηση των συσσωρευτών κατά τη λειτουργία τους είναι μία αρκετά δύσκολή διαδικασία στην τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων διότι οι συσσωρευτές δεν είναι πάντα εντελώς φορτισμένοι. Επιπρόσθετα η διαδικασία της εκφόρτισης των συσσωρευτών σχεδόν ποτέ δεν αρχίζει από τη πλήρη φόρτιση, πραγματοποιείται σε ένα εκτεταμένο φάσμα διάφορων ρυθμών ρεύματος και έτσι δημιουργείται το ενδεχόμενο να υπάρξει υπερβολική εκφόρτιση. Συνεπώς η διαχείριση του συστήματος του συσσωρευτή αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα ώστε να βελτιωθεί η απόδοση, να υπάρχει ασφάλεια στο όχημα και να μεγαλώσει η διάρκεια ζωής του συσσωρευτή στην τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων [26].

Οι βασικές τιμές εισόδου των συστημάτων διαχείρισης των συσσωρευτών είναι η τάση, το ρεύμα και η θερμοκρασία, ορίζουν την κατάσταση του συσσωρευτή όπως είναι για παράδειγμα η φόρτιση, η κατάσταση της υγείας και η ασφαλής λειτουργία του συσσωρευτή. Υπάρχει πιθανότητα τα συστήματα διαχείρισης του συσσωρευτή να έχουν διαθέσιμες

επιπλέον εισόδους οι οποίες είναι ή ψηφιακές για παράδειγμα τα πλήκτρα της ενεργοποίησης ON – OFF ή αναλογικές όπως είναι για παράδειγμα οι αισθητήρες της επιτάχυνσης και οι αισθητήρες για το φρενάρισμα. Στην έξοδο αυτών των συστημάτων βρίσκεται η θερμική διαχείριση του συσσωρευτή δηλαδή ο ανεμιστήρας και ο ηλεκτρικός θερμαντήρας, το σύστημα διαχείρισης για την τάση ασφαλείας (διακόπτης του βασικού κυκλώματος), η διασπορά της αντίστασης και ο πυκνωτής όπου αποτελούν το σύστημα για την εξισορρόπηση και τέλος το σύστημα για την επικοινωνία και τις ψηφιακές εισόδους όπως είναι δηλαδή η σήμανση φόρτισης και ο συναγερμός σε περίπτωση κάποιου λάθους. Ως βοηθητικά μέσα των συστημάτων διαχείρισης του συσσωρευτή λειτουργούν οι ανεμιστήρες για ψύξη σε θερμικό σύστημα διαχείρισης που χρησιμοποιούν αέρα ή οι αντλίες σε θερμικό σύστημα διαχείρισης που χρησιμοποιούν υγρό μέσο και έτσι ελέγχουν τα κυκλώματα για τη διεργασία πριν από τη φόρτιση του συσσωρευτή και οργανώνουν τα συστήματα που προαναφέρθηκαν , όπως είναι ο συναγερμός σε περίπτωση κάποιου λάθους και η διακοπή λειτουργίας. Στην εικόνα 66 παρουσιάζεται μία ενδεικτική διάταξη διαχείρισης ενός συσσωρευτή (Battery Management System – BMS) [26] :



Εικόνα 66 : Ενδεικτική διάταξη διαχείρισης ενός συσσωρευτή (Battery Management System – BMS) [26].

Οι απαιτήσεις που έχει το σύστημα διαχείρισης του συσσωρευτή είναι ανάλογες με τη χημεία του συσσωρευτή που χρησιμοποιείται συνολικά. Για παράδειγμα στους συσσωρευτές μολύβδου – οξέος το πιο σημαντικό ρόλο έχει η τελική φάση κατά τη διαδικασία της φόρτισης και η επίβλεψη της τάσης γίνεται σε επίπεδο συστοιχίας. Στους συσσωρευτές νικελίου – υδριδίου μετάλλου η λειτουργία τους εξαρτάται από τη θερμοκρασία και σε αυτό επικεντρώνεται το σύστημα διαχείρισης του συσσωρευτή. Οι καμπύλες που σχηματίζουν κατά τη φόρτιση και την εκφόρτιση έχουν σχεδόν επίπεδη μορφή και αυτό στο συγκεκριμένο τύπο συσσωρευτή δυσχεραίνει τον υπολογισμό του SOC. Επιπρόσθετα το σύστημα διαχείρισης πρέπει να συμπεριλαμβάνει και το φαινόμενο της μνήμης, γι' αυτό είναι απαραίτητο να υπάρχει έστω ένας αισθητήρας ρεύματος που να συνδυάζεται με έναν αισθητήρας τάση ώστε να υπολογιστεί η κατάσταση της φόρτισης των συσσωρευτών μολύβδου – οξέος. Στους συσσωρευτές ιόντων – λιθίου είναι απαραίτητο να παρακολουθείται το σύστημα σε επίπεδο κελί ώστε να αποτραπεί η υπερφόρτιση, να μην υπάρχει ανομοιομορφία στη θερμοκρασία που αναπαράγεται και να αποφευχθεί η επιτάχυνση του φαινομένου της γήρανσης. Συνεπώς τα συστήματα διαχείρισης των συσσωρευτών ιόντων – λιθίου τείνουν να έχουν υψηλό κόστος και είναι περίπλοκα [26].

Συνοψίζοντας οι βασικές λειτουργίες που πρέπει να πραγματοποιεί το σύστημα διαχείρισης του συσσωρευτή είναι να ανιχνεύει τις παραμέτρους και να προσδιορίζει τη κατάσταση του συσσωρευτή, να ρυθμίζει κατάλληλα το συσσωρευτή ώστε να υπάρχει ασφάλεια , να ελέγχει τη φόρτιση και να εξασφαλίζει την εξισορρόπηση κατά τη λειτουργία του συσσωρευτή. Επιπλέον είναι υπεύθυνο για την ενσωματωμένη διάγνωση, τη θερμική διαχείριση και σύνδεση του συσσωρευτή με τα δίκτυα που είναι διαθέσιμα, να αποθηκεύει τα δεδομένα κ.α. [26].

5.3.2 Θερμικό Σύστημα Διαχείρισης του Συσσωρευτή (Battery Thermal Management System – BTMS)

Εάν κατά τη λειτουργία των συσσωρευτών ιόντων – λιθίου δεν υπάρχει ένα ομαλό εύρος θερμοκρασιών, τότε θα μειωθεί η απόδοση και η σταθερότητα που έχουν τα κελιά των συσσωρευτών. Οι μεταβολές της θερμοκρασίας που συμβαίνουν στα κελιά είναι ένα γεγονός που συμβαίνει σχεδόν πάντα επειδή επηρεάζεται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος και από τη θερμότητα που απελευθερώνεται όταν συμβαίνουν πολλές χημικές αντιδράσεις κατά τη διάρκεια τη φόρτισης και της εκφόρτισης. Συνεπώς είναι απαραίτητο να σχεδιαστεί ένα σύστημα θερμικής διαχείρισης του συσσωρευτή ώστε να είναι εφικτό να υπάρχει ένα σταθερό εύρος θερμοκρασιών κατά τη λειτουργία του συσσωρευτή και να μικρύνουν οι

θερμοκρασιακές διακυμάνσεις που συμβαίνουν σε επίπεδο κελιού ή συστοιχίας ή σε ένα σύνολο και έτσι θα προλαμβάνονται οι συνέπειες που είναι σχετικές με τις θερμοκρασίες κατά τη λειτουργία των συσσωρευτών. Το εύρος των θερμοκρασιών κατά τη λειτουργία του συσσωρευτή πρέπει να κυμαίνεται στους 15°C έως και τους 35°C , η διαφορά θερμοκρασίας από μία συστοιχία κελιών σε μία άλλη πρέπει να είναι πιο μικρή από τους 5°C. Η ενεργειακή πυκνότητα που έχουν οι συσσωρευτές ιόντων – λιθίου υπερβαίνει προγενέστερους συσσωρευτές ωστόσο οι σύγχρονες τεχνολογίες ηλεκτρικών οχημάτων έχουν ακόμη πιο μεγάλες απαιτήσεις ενεργειακής πυκνότητας συνεπώς δημιουργείται η ανάγκη να συμμετέχουν πιο πολλά κελιά συσσωρευτών στο σύνολο για να καλύψουν τις ανάγκες του αυτοκινήτου. Αυτή η τάση μεγαλώνει περισσότερο τη παραγωγή και τη συγκέντρωση θερμότητας των συσσωρευτών γι’ αυτό αυξάνεται και η αναγκαιότητα ύπαρξης ενός συστήματος θερμικής διαχείρισης του συσσωρευτή [26].

Το σύστημα θερμικής διαχείρισης του συσσωρευτή πρέπει να εκτελεί τέσσερεις κύριες λειτουργίες οι οποίες είναι οι εξής [26] :

1. Ψύξη ώστε να απομακρύνεται η θερμότητα από το συσσωρευτή.
2. Θέρμανση ώστε να βελτιώνεται η θερμοκρασία του συσσωρευτή όταν είναι αρκετά μικρή.
3. Μόνωση για την αποφυγή των απότομων αλλαγών της θερμοκρασίας στο συσσωρευτή.
4. Εξαερισμός για την απομάκρυνση των πιθανών επικίνδυνων αερίων από το συσσωρευτή.

Το θερμικό σύστημα διαχείρισης του συσσωρευτή χρειάζεται να είναι συμπαγές, να έχει μικρό βάρος και τιμή, να παρέχει μεγάλη αξιοπιστία, να είναι εύκολη η συντήρησή του, να έχει μικρή κατανάλωση ισχύος και να εφαρμόζεται εύκολα σε ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο. Τα πιο πολλά συστήματα θερμικής διαχείρισης των συσσωρευτών επικεντρώνονται στη ψύξη του συστήματος και όχι στη θέρμανση , αυτό γίνεται επειδή είναι εξώθερμη αντίδραση η διεργασία της φόρτισης και της εκφόρτισης του συσσωρευτή και επειδή αποβάλλεται θερμότητα στα συστατικά που έχει το σύστημα κατά τη λειτουργία του [26].

Υπάρχουν διάφορα κριτήρια με τα οποία γίνεται η κατηγοριοποίηση των συστημάτων ψύξης των συσσωρευτών. Ένας διαχωρισμός που γίνεται είναι με βάση το μέσο που χρησιμοποιείται στη ψύξη, υπάρχουν οι παρακάτω κατηγορίες [26] :

- Συστήματα ψύξης που χρησιμοποιούν αέρα

- Συστήματα ψύξης που χρησιμοποιούν υγρό
- Συστήματα ψύξης που γίνεται αλλαγή της φάσης του υλικού

Κριτήριο επίσης αποτελεί η ισχύς που καταναλώνεται, με βάση αυτή τα συστήματα χωρίζονται σε παθητικά συστήματα ψύξης όπου χρησιμοποιούν αποκλειστικά τη θερμοκρασία που έχει το περιβάλλον και σε ενεργητικά συστήματα ψύξης όπου η ψύξη παρέχεται από μία πηγή ενέργειας. Ο τελευταίος διαχωρισμός σχετίζεται με την άμεση και την έμμεση ψύξη που αφορά αν το μέσο είναι σε επαφή με το συσσωρευτή ή όχι [26].

Το σύστημα ψύξης κάποιων οχημάτων όπως είναι το Nissan Leaf στηρίζεται στη φυσική συναγωγή. Στα πιο πολλά συστήματα ψύξης εγκαθίστανται ένα ή και παραπάνω ανεμιστήρες για να υπάρχει επαρκή μεταφορά θερμότητας. Ενδεικτικά ένα παθητικό σύστημα που χρησιμοποιεί ως μέσο τον αέρα, είναι όταν εισέρχεται αέρας από τη καμπίνα που είναι οι επιβάτες και στηρίζεται σε εκείνον που χειρίζεται το όχημα που ελέγχει τη λειτουργία του κλιματιστικού (το καλοκαίρι προσδίδει ψύξη και το χειμώνα προσδίδει θέρμανση). Η προσέγγιση αυτή είναι απλή και αποτελεί τη πιο κοινή στα ηλεκτροκίνητα οχήματα που έχουν σύστημα ψύξης με αέρα όπως είναι το Toyota Prius. Στα ενεργητικά συστήματα ψύξης που χρησιμοποιούν αέρα , ο αέρας που ψύχεται είναι συνδεδεμένος απευθείας με το σύστημα κλιματισμού που διαθέτει το όχημα με το σύστημα του συσσωρευτή όπως είναι το First – Generation Ford Escape Hybrid, US Model Year 2004 2006. Άλλη περίπτωση είναι όταν γίνεται προσθήκη ενός δεύτερου συστήματος ψύξης μόνο για το συσσωρευτή όπως είναι το Lexus LS 600h, US Model Year 2006 – 2012. Με τη συγκεκριμένη προσέγγιση παραλείπεται το άτομο που χειρίζεται το όχημα και η θερμοκρασία που έχει η καμπίνα ώστε να γίνει αξιοποίηση της βέλτιστης θερμοκρασίας εισόδου του συσσωρευτή. Εάν προστεθεί δεύτερο σύστημα ψύξης και αεραγωγοί τότε μεγαλώνει ο όγκος, το βάρος και η τιμή του συστήματος σε σχέση με τα παθητικά συστήματα αέρα. Η ψύξη που χρησιμοποιεί ως μέσο υγρό συνηθίζεται να έχει πιο μεγάλο βαθμό θερμικού ελέγχου σε σύγκριση με τη ψύξη που έχει ως μέσο τον αέρα επειδή χρειάζεται να υπάρχει ειδικός εναλλάκτης θερμότητας. Επιπρόσθετα το σύστημα ψύξης που χρησιμοποιεί το υγρό ως μέσο είναι αποδοτικότερο ογκομετρικά σε σύγκριση με τη ψύξη που έχει μέσο τον αέρα εξαιτίας της αρκετά πιο μεγάλης θερμοχωρητικότητας που έχει το ψυκτικό μέσο (συνηθέστερα αποτελεί ένα μίγμα νερού και αιθυνελογλυκόλης με αναλογία 50/50%) και τα κανάλια (σωλήνες αντί για αεραγωγούς). Η ψύξη που έχει ως μέσο υγρό μεγαλώνει το βάρος, τη τιμή, είναι πιο πολύπλοκη κατασκευαστικά και αυξάνεται ο αριθμός των εξαρτημάτων σε σύγκριση με τα παθητικά συστήματα ψύξης που χρησιμοποιούν ως

μέσο αέρα. Συνεπώς αυτό το σύστημα ψύξης χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε οχήματα που έχουν αυξημένες ανάγκες για θερμικό έλεγχο όπως είναι τα μεγάλα ηλεκτρικά οχήματα για παράδειγμα το Ford Focus EV [26].

6. Τρόποι φόρτισης των δύο τεχνολογιών

Τα οχήματα που για την πρόωση τους χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια ως κύρια πηγή ενέργειας χρήζουν διαφορετικές μεθόδους φόρτισης σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα όπου ο ανεφοδιασμός καυσίμου γίνεται στους σταθμούς υγρών καυσίμων. Τα συμβατικά οχήματα ανεφοδιάζονται με υγρό καύσιμο σε σύντομο χρονικό διάστημα, ενώ στα ηλεκτροκίνητα οχήματα η φόρτιση των συσσωρευτών χρειάζεται αρκετό χρόνο. Αναγκαία προϋπόθεση για τη ευρεία διάδοση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι η δημιουργία υποδομών σταθμών φόρτισης όπως για παράδειγμα σε χώρους εργασίας όπου ο εργαζόμενος κατά την διάρκεια της εργασίας του μπορεί να φορτίζει το όχημά του αλλά και σε χώρους των σπιτιών όπου θα μπορούν κατά τη διάρκεια της νύχτας να φορτίζουν τα ηλεκτρικά οχήματα οι ιδιοκτήτες τους. Οι υποδομές αυτές λοιπόν ευνοούν την εξάπλωση των επαναφορτιζόμενων οχημάτων από εξωτερική πηγή φόρτισης (plug-in). Επιπρόσθετα, είναι αρκετά σημαντική η κατασκευή σταθμών γρήγορης φόρτισης στους αυτοκινητόδρομους για την κάλυψη μεγάλων αποστάσεων, όπου το όχημα θα φορτίζει αρκετά γρήγορα. [8].

Οι σταθμοί φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να είναι [1] :

- Δημόσιοι με πρόσβαση από όλους, για παράδειγμα σε δημόσιους δρόμους, μπορεί όμως οι σταθμοί φόρτισης να ανήκουν και σε δημόσιους φορείς. Η κατασκευή τους βρίσκει εφαρμογή στους χώρους στάθμευσης των δρόμων, κυρίως όμως προορίζονται για τους αυτοκινητοδρόμους προκειμένου να αυξηθεί η αυτονομία των οχημάτων κατά την διάρκεια του ταξιδιού.
- Ιδιωτικοί με ιδιωτική πρόσβαση, για παράδειγμα οικιακοί χώροι στάθμευσης (γκαράζ). Η φόρτιση γίνεται με κάποιες συγκεκριμένες προδιαγραφές, κάποιες από αυτές είναι η φόρτιση σε νυχτερινές ώρες και η παροχή από το ηλεκτρικό δίκτυο είναι μονοφασική. Επιπλέον η διαδικασία της φόρτισης διαρκεί σχεδόν 6 με 8 ώρες και το μέγιστο ρεύμα φόρτισης δεν είναι μεγαλύτερο από τα 15Α, η χρέωση της κατανάλωσης στο τιμολόγιο είναι χαμηλότερη και οι καταναλωτές γίνεται να προσαρμοστούν σε ομάδες προκειμένου να διαπραγματεύονται την τιμή χρέωσης της ενέργειας, πληρώνοντας ο κάθε ιδιοκτήτης ξεχωριστά το μερίδιο που του αναλογεί. Ακόμη όμως μπορούν να πωλούν την ενέργεια από τους συσσωρευτές των οχημάτων στο κεντρικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, με λίγες αλλαγές στον υπάρχοντα εξοπλισμό των φορτιστών.

- Ιδιωτικοί με δημόσια πρόσβαση, για παράδειγμα ο εργασιακός χώρος, μεγάλοι χώροι στάθμευσης εμπορικών καταστημάτων όπου τα ηλεκτρικά οχήματα θα μπορούν να επαναφορτίσουν τις μπαταρίες τους όσο είναι σταθμευμένα, πληρώνοντας το αντίστοιχο ποσό για την φόρτιση. Ακόμη ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντα χώρου οι σταθμοί φόρτισης θα παρέχουν επιλογές για την διαδικασία φόρτισης όπως η αργή και γρήγορη φόρτιση.

6.1 Υποδομές για σταθμούς φόρτισης

Οι φορτιστές θα πρέπει να συμβαδίζουν με κάποια πρότυπα ασφαλείας, τα πρότυπα αυτά είναι [18] :

- Κλάση προστασίας : IP6K9K και IP6K7
- SAE J2929: Πρότυπο ασφαλείας για υβριδικό και ηλεκτρικό σύστημα μπαταρίας αυτοκινήτων
- FCC Μέρος 15 Κατηγορία Β : ο ομοσπονδιακός κώδικας κανονισμών (CFR)
- ISO 26262: Λειτουργική ασφάλεια – οδικά οχήματα
- UL 2202: EV(Ηλεκτρικό Όχημα) εξοπλισμό φόρτισης
- ISO: 6469-3: ηλεκτρικά οδικά οχήματα – προδιαγραφές ασφάλειας – προστασία προσώπων εναντίον ηλεκτρικών κινδύνων
- IEC 60950: ασφάλεια εξοπλισμού πληροφορικής
- ECE R100: προστασία από ηλεκτροπληξία
- IEC 61851-21: EV σύστημα αγώγιμης φόρτισης, απαιτήσεις για αγώγιμη σύνδεση σε παροχή AC/DC
- IEC 61000: ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC)

Αξίζει να επισημανθεί ότι ακόμη, τα δίκτυα φόρτισης παρέχουν πρίζες φόρτισης με εναλλασσόμενο ρεύμα, με βάση τις ισχύουσες εθνικές προδιαγραφές, πρωτόκολλα και πρότυπα φόρτισης των οχημάτων. Όσο διαρκεί η συμβατική φόρτιση με εναλλασσόμενο ρεύμα η ηλεκτρική ενέργεια μετακινείται στον ενσωματωμένο φορτιστή που υπάρχει στο όχημα. Στην Ευρώπη το επικρατέστερο πρότυπο φόρτισης εναλλασσόμενου ρεύματος είναι το IEC 62196, επιπέδου 1 όπου είναι μια πρίζα με τάση 230V και ρεύμα 15A. Στις Ηνωμένες πολιτείες Αμερικής και στην Ιαπωνία το επικρατέστερο πρότυπο φόρτισης με εναλλασσόμενο ρεύμα είναι το SAE J1772 όπου, είναι ίδιο με το πρότυπο που χρησιμοποιούν οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής στις πρίζες των σπιτιών τους και είναι

επιπέδου 1 με τάση 120V και ρεύμα 16A είτε επιπέδου 2 με τάση 220V και ρεύμα 32A. Ακόμη στο Ηνωμένο Βασίλειο οι σταθμοί φόρτισης λειτουργούν με το πρότυπο BS 1363 με τις συμβατικές πρίζες τάσης 230V και 13A. Τέλος στην Αυστραλία χρησιμοποιείτε το πρότυπο AS 3112 όπου οι πρίζες έχουν τάση 230V και ρεύμα 15A [18].

Επιπρόσθετα, σχετικά με τις οδηγίες της SAE και της EPRI, η διαδικασία φόρτισης των συσσωρευτών μπορεί να διαχωριστή σε τρία επίπεδα μαζί με το σύστημα ασφαλείας και τις απαιτήσεις λειτουργικότητας, σε επίπεδο 1 με εναλλασσόμενη τάση (AC), σε επίπεδο 2 με εναλλασσόμενη τάση(AC) και σε επίπεδο τρία με ταχεία φόρτιση συνεχούς ρεύματος (DCFC). Με την αναθεώρηση των προτύπων SAE η ταχεία φόρτιση με συνεχές ρεύμα (DCFC) χωρίζεται πλέον σε δύο επίπεδα, επίπεδο 1 και επίπεδο 2 [18].

Τα διεθνή πρότυπα οργανισμών όπως είναι παραδείγματος χάρη η International Electrotechnical Committee (IEC) προσδιορίζουν την ένταση φόρτισης των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων. Έχουν καθοριστεί με βάση το πρότυπο της, τέσσερις τρόποι φόρτισης [1] :

1. Απλή φόρτιση μέσω μιας πρίζας όπου είναι εφοδιασμένη με ειδική διάταξη προστασίας για τα ηλεκτρικά οχήματα.
2. Απλή φόρτιση μέσω μιας πρίζας με μονοφασική ή τριφασική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.
3. Ταχεία ή απλή φόρτιση μέσω ειδικού βύσματος για την επαναφόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων με πολλούς ακροδέκτες (Multipin).
4. Ταχεία φόρτιση μέσω εξειδικευμένης τεχνολογίας φόρτισης.

6.2 Τύποι φόρτισης

Οι τύποι φόρτισης είναι αρκετοί και σχετίζονται άμεσα με την απαιτούμενη ισχύ από τους σταθμούς φόρτισης και το διάστημα φόρτισης του οχήματος, όπου το διάστημα φόρτισης διαμορφώνεται σύμφωνα με το αν η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος είναι μονοφασική ή τριφασική, αλλά και με το ρεύμα και την τάση της παροχής. Αναλυτικότερα η τύποι φόρτισης είναι οι ακόλουθοι [1], [8] :

- Η διάρκεια φόρτισης του οχήματος διαρκεί 6 με 8 ώρες, η παροχή είναι μονοφασική, το ρεύμα είναι 16A, η ισχύς είναι 3,3kW και η τάση 230V.
- Η διάρκεια φόρτισης του οχήματος διαρκεί 4 με 6 ώρες, η παροχή είναι μονοφασική, το ρεύμα είναι 32A, η ισχύς είναι 7kW και η τάση 230V.
- Η διάρκεια φόρτισης του οχήματος διαρκεί 1 με 2 ώρες, η παροχή είναι μονοφασική, το ρεύμα είναι 32A, η ισχύς είναι 22kW και η τάση 400V.
- Η διάρκεια φόρτισης του οχήματος διαρκεί 20 με 30 λεπτά, η παροχή είναι τριφασική, το ρεύμα είναι 63A, η ισχύς είναι 43kW και η τάση 400V.
- Η διάρκεια φόρτισης του οχήματος διαρκεί 10 λεπτά, η παροχή είναι τριφασική συνεχούς ρεύματος, το ρεύμα είναι 350A, η ισχύς είναι 120kW και η τάση 500V.

Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται μερικά παραδείγματα φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων σε συνάρτηση με το χρόνο και την ονομαστική τάση.

Πίνακας 3 : Παραδείγματα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων [8].

ΕΦΑΡΜΟΓΗ	**ΧΡΟΝΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ**	**ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗ**	**ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**
Οικιακή	6 – 8 ώρες	Μονοφασική 230V 50 Hz	Φόρτιση κατά την διάρκεια της νύχτας
Ιδιωτική και Δημόσια στάθμευση	6 – 8 ώρες	Μονοφασική 230V 50Hz	Η εγκατεστημένη ηλεκτρική τροφοδοσία είναι ένα ζήτημα
Στάθμευση σε εμπορικά κέντρα	2 ώρες	Μονοφασική, 230V, 50Hz Τριφασική, 400V, 50Hz	Όλες τις ώρες
Στόλος οχημάτων και Εμπορικά οχήματα	6 – 8 ώρες	Μονοφασική, 230V, 50Hz Τριφασική, 400V, 50Hz	Φόρτιση κατά την διάρκεια της νύχτας
Σταθμοί φόρτισης κατά μήκος των δρόμων	2 ώρες	Μονοφασική, 230V, 50Hz Τριφασική, 400V, 50Hz	Όλες τις ώρες
Σταθμοί ταχείας φόρτισης πάνω στους δρόμους	10 – 30 λεπτά	Τριφασική, 400V, 50Hz, εναλλασσόμενη τάση 500V ή συνεχές τάση 600V	Όλες τις ώρες
Αμαξοστάσια λεωφορείων	5 – 6 ώρες	Τριφασική, 400V, 50Hz	Η φόρτιση είναι συνεχής
Σταθμοί φόρτισης μοτοσυκλετών	2 – 4 ώρες	Μονοφασική, 230V, 50Hz	Όλες τις ώρες

Ο χρόνος φόρτισης της μπαταρίας και η απόδοση ενός φορτιστή σχετίζεται άμεσα από τον τρόπο φόρτισης. Ο βαθμός απόδοσης για έναν φορτιστή με αργή φόρτιση ανέρχεται στο 92% ενώ για έναν φορτιστή με γρήγορη φόρτιση στο 87% [8].

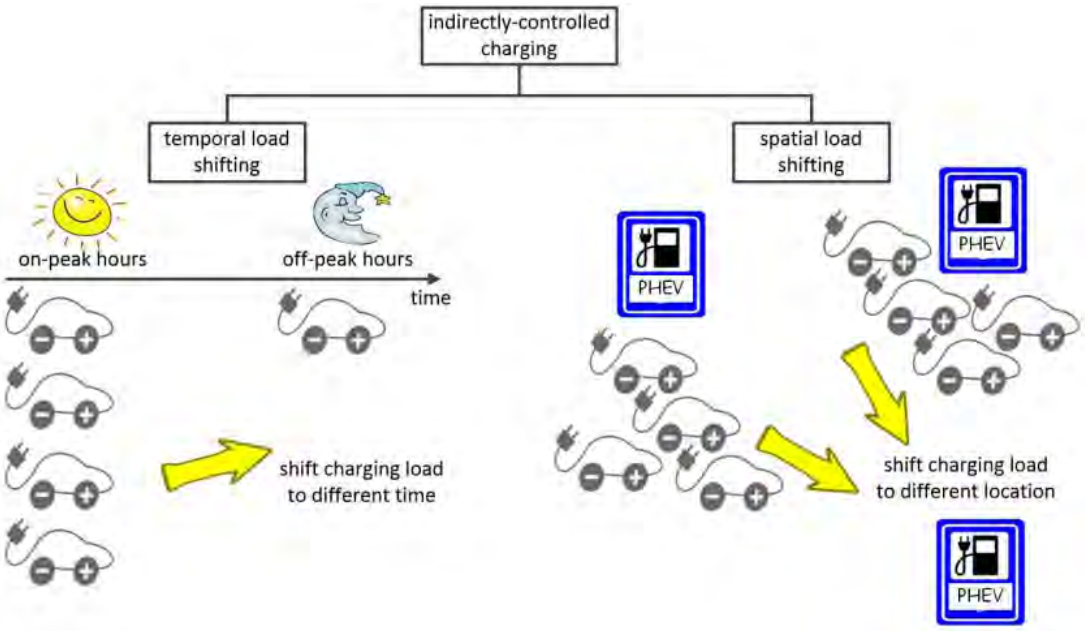
Η Society of Automotive Engineers (SAE) προκειμένου να κατοχυρώσει κοινά πρότυπα φόρτισης οχημάτων, δημιούργησε ένα κοινό καλώδιο παροχής ενέργειας στο ηλεκτρικό όχημα και συγκεκριμένα πρότυπα για την μεταφορά ενέργειας. Με την κατοχύρωση αυτών των προτύπων διασφαλίζεται το κοινό καλώδιο φόρτισης στα ηλεκτρικά οχήματα, ώστε να μπορούν να επαναφορτίσουν τις μπαταρίες τους σε όλους τους σταθμούς φόρτισης [8].

Όπως προαναφέρθηκε οι φορτιστές των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να είναι είτε οικιακοί είτε δημόσιοι. Οι οικιακοί φορτιστές είναι σχεδιασμένοι για να προσφέρουν ισχύς μικρής κλίμακας με τον καλύτερο δυνατό τρόπο διότι η διαδικασία της φόρτισης μπορεί να κρατήσει για αρκετές ώρες, καθώς τα οχήματα φορτίζουν κατά τις βραδινές ώρες όπου δεν χρησιμοποιούνται. Ενώ οι δημόσιοι φορτιστές αποτελούν την καλύτερη λύση, διότι μπορούν να προμηθεύονται ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά πάρκα) και μπορούν να τοποθετηθούν στα περισσότερα δυνατά μέρη. Το πλεονέκτημα των δημόσιων και οικιακών φορτιστών είναι ότι υπάρχει η δυνατότητα οι χρήστες να φορτίσουν τα οχήματα τους όταν η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλή. Το βασικότερο μειονέκτημα είναι πως κάθε διαδικασία φόρτισης αποτελεί ανεξάρτητο γεγονός, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει πιθανότητα υπερφόρτωσης του δικτύου [8].

Στα ηλεκτρικά οχήματα η φόρτιση των μπαταριών μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο διαφορετικές μεθόδους, με την ελεγχόμενη και μη ελεγχόμενη φόρτιση, αναλυτικότερα [8],[29] :

- Η ελεγχόμενη φόρτιση διαθέτει συστήματα όπου ελέγχουν παραμέτρους που δεν συμμετέχουν στο σύστημα, όπως είναι το κόστος φόρτισης και η τιμή της ενέργειας, διότι επιδρούν στην λειτουργία της φόρτισης. Τα συστήματα λοιπόν μέσω της ελεγχόμενης φόρτισης έχουν ως βασικό σκοπό την διατήρηση της αποδοτικής λειτουργίας, της ποιότητας ισχύος και της σταθερότητας του δικτύου. Η υπερφόρτωση του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να αποφευχθεί με την επερχόμενη αύξηση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας στις ώρες αιχμής, μεταφέροντας ένα τμήμα από το φορτίο φόρτισης σε ένα χρονικό διάστημα εκτός της περιόδου αιχμής, με την απαραίτητη διαθέσιμη εφεδρική χωρητικότητα στο δίκτυο. Στο σχήμα 2

απεικονίζονται τα συστήματα φόρτισης όπου μετακινούν το πεδίο φόρτισης στον χρόνο με τον έλεγχο των τιμών, χαρακτηρίζονται ως συστήματα χρονικής μετατόπισης φορτίου. Ακόμη υπάρχει μια κατηγορία ελεγχόμενων συστημάτων που ονομάζεται χωρικά συστήματα μετατόπισης φορτίων, όπου ελέγχουν τις τιμές με σκοπό να μεταβάλουν το χωρικό φορτίο φόρτισης από μια υπερφορτωμένη περιοχή σε κάποια άλλη που δεν είναι.



Σχήμα 2 : Ταξινόμηση συστημάτων χρονικής μετατόπισης φορτίου και συστήματα χωρικής μετατόπισης φορτίου [29].

- Στην μη ελεγχόμενη φόρτιση τα οχήματα φορτίζουν κατευθείαν με την σύνδεση τους στον φορτιστή ή με κάποια χρονική καθυστέρηση που προσδιορίζεται από τον χρήστη του οχήματος. Η χρονική καθυστέρηση χρησιμοποιείται από τον ιδιοκτήτη του οχήματος προκειμένου να προσαρμόσει την φόρτιση σε περιόδους εκτός αιχμής για την χαμηλότερη τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Ακόμη όταν αρχίσει η διαδικασία της φόρτισης, συνεχίζεται μέχρι να χρησιμοποιηθεί το όχημα ή να φορτίσει πλήρως η μπαταρίας του οχήματος. Εξαιτίας της έλλειψης ελέγχου αν ένα σύνολο από οχήματα φορτίζουν συγχρόνως η ζήτηση αυξάνεται σημαντικά, όμως αυξάνεται σημαντικά και το φορτίο αιχμής, προκαλώντας προβλήματα υπερφόρτισης στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Παρόλα αυτά ο συγκεκριμένος τρόπος φόρτισης είναι ο πιο διαδεδομένος σήμερα.

6.3 Τύποι των συστημάτων φόρτισης

Ο φορτιστής είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για την φόρτιση μιας επαναφορτιζόμενης μπαταρίας ενός ηλεκτρικού οχήματος, εμπεριέχει έναν ανορθωτή για την μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές ρεύμα και η φόρτιση των μπαταριών γίνεται με τις ακόλουθες τρεις μεθόδους [18] :

1. Επαγωγική μέθοδος φόρτισης
2. Αγώγιμη μέθοδος φόρτισης με την χρήση βύσματος όπου είναι η επικρατέστερη έως σήμερα
3. Αλλαγή μπαταρίας

Η επαγωγική μέθοδος φόρτισης όπως φαίνεται και στην εικόνα 67 συχνά αναφέρεται και ως ασύρματη φόρτιση, η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στην μπαταρία του ηλεκτρικού οχήματος γίνεται με την χρήση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Ο συγκεκριμένος τύπος φόρτισης δεν απαιτεί βύσματα και καλώδια που είναι απαραίτητα στα ενσύρματα συστήματα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της είναι ότι μπορεί να παρέχει φόρτιση σε όλες τις καιρικές συνθήκες με μεγάλη ασφάλεια. Παρόλα αυτά η επαγωγική μέθοδος φόρτισης δεν είναι διαθέσιμη για τα ηλεκτρικά οχήματα που βρίσκονται σήμερα στο εμπόριο, γιατί υπάρχουν κάποιες ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια και την υγεία των χρηστών. Οι προδιαγραφές που απαιτούνται καθορίζονται από ορισμένους οργανισμούς τυποποίησης σε όλο τον κόσμο, παραδείγματος χάρει ο ICNIRP στην Ευρώπη, ο ARPANSA στην Αυστραλία, ο καναδικός κώδικάς ασφαλείας 6 στον Καναδά και ο IEEE C95.1 στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Οι τεχνολογίες για την παροχή της ασύρματης φόρτισης διαφοροποιούνται με βάση την απόδοση, τη συχνότητα αλλά και άλλους παράγοντες. [18]

Οι τεχνολογίες αυτές περιλαμβάνουν [18] :

- Την μεταφορά ισχύος μόνιμου μαγνήτη με χαμηλή απόδοση.
- Την επαγωγική μεταφορά ισχύος (IPT), όπου είναι μια πλήρως ανεπτυγμένη τεχνολογία η οποία δεν είναι ασύρματη αλλά είναι ανέπαφη.
- Η χωρητική μεταφορά ισχύος, όπου έχει αρκετά πλεονεκτήματα όταν βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα ισχύος εξαιτίας του μικρού μεγέθους και κόστους, δεν είναι όμως η καλύτερη μέθοδος για φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων με υψηλή ισχύς.
- Η συντονισμένη επαγωγική μεταφορά ισχύος (RIPT).

- Η on-line επαγωγική μεταφορά (OLPT) είναι όμως αρκετά απαιτητική για την υποδομή της.
- Η μεταφορά συντονισμού είναι παρόμοια τεχνολογία με την συντονισμένη επαγωγική μεταφορά ισχύος, όμως η συχνότητα του συντονισμού στην περίπτωση αυτή είναι στην τάξη των MHz, και μπορεί προξενήσει προβλήματα, εάν δεν τηρηθούν τα σωστά μέτρα ασφαλείας.

Εικόνα 67 : Η διαδικασία της επαγωγικής φόρτισης [18].

Στην αγώγιμη φόρτιση υπάρχει κατευθείαν σύνδεση του οχήματος και του φορτιστή όπως διακρίνεται και στην εικόνα 68. Η διαδικασία της φόρτισης πραγματοποιείται μέσω της σύνδεσης του φορτιστή και της μπαταρίας του οχήματος. Ακόμη αναγκαία είναι κάποια ηλεκτρονικά ισχύος όπως ένας ανορθωτής, ένας μετατροπέας που έχει υποστεί διόρθωση στον συντελεστή ισχύος και η κατηγοριοποίηση γίνεται ως φορτιστές εκτός οχήματος και φορτιστές εντός οχήματος. Επιπρόσθετα στα οχήματα που ο φορτιστής είναι εκτός του οχήματος το σύστημα ρύθμισης των συσσωρευτών και ο ανορθωτής είναι ενσωματωμένα στον σταθμό φόρτισης ενώ στην αντίθετη περίπτωση, όπου ο φορτιστής είναι εντός του οχήματος ο ανορθωτής και το σύστημα ρύθμισης των μπαταριών είναι ενσωματωμένα στον φορτιστή του οχήματος [18].

Εικόνα 68 : Διαδικασία ενσύρματης φόρτισης [18].

Η αλλαγή μπαταρίας είναι μια μέθοδος όπου οι ιδιοκτήτες των οχημάτων μπορούν να αντικαταστήσουν την κενή μπαταρία του οχήματος με μια μπαταρίας που είναι γεμάτη σε έναν σταθμό ανταλλαγής μπαταριών. Οι σταθμοί ανταλλαγής μπαταριών προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα, κάποια από αυτά είναι ο μικρός χρόνος, σε σύγκριση με τα υπόλοιπα, το μικρό κόστος διαχείρισης προκειμένου οι μπαταρίες να συλλέγονται και να διαχειρίζονται σε κεντρικά σημεία και το προσδόκιμο ζωής των συσσωρευτών είναι μεγαλύτερο. Για την επαναφόρτιση των μπαταριών ενός ηλεκτρικού οχήματος χρησιμοποιούνται ορισμένες διαφορετικές τεχνικές φόρτισης. Αναλυτικότερα οι συμβατικές τεχνικές φόρτισης είναι η σταθερή τάση (Constant Voltage, CV), το σταθερό ρεύμα (Constant Current, CC) και η κωνική φόρτιση. Ακόμη αξιόλογες τεχνικές για γρήγορη φόρτιση μπαταριών σε ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν η φόρτιση αρνητικού παλμού (Negative Pulse, NP) και η φόρτιση με ρεύμα παλμού (Pulse Current, PC) [18].

Η τεχνική φόρτισης με σταθερό ρεύμα (CC) είναι η πιο απλή τεχνική φόρτισης διότι χρησιμοποιεί ένα μοναδικό ρεύμα μικρής έντασης στην άδεια μπαταρία. Πρακτικά το ρεύμα φόρτισης ορίζεται ως το 10% από την μέγιστη ονομαστική χωρητικότητα του συσσωρευτή. Η τεχνική αυτή είναι κατάλληλη για συσσωρευτές νικελίου-υδριδίου μετάλλου (Ni-MH) και νικελίου-καδμίου (Ni-Cd). Επιπλέον η τεχνική φόρτισης με σταθερή τάση (CV) φορτίζει τον συσσωρευτή με μια σταθερή τάση μεταβάλλει όμως μόνο το ρεύμα φόρτισης μέχρι αυτό να φτάσει στο μηδέν. Η φόρτιση με σταθερή τάση βρίσκει εφαρμογή σε συστήματα εφεδρικής ισχύος για έκτακτη ανάγκη και ο κατάλληλος τύπος συσσωρευτών για την τεχνική αυτή είναι οι συσσωρευτές μολύβδου οξέος. Τέλος η λειτουργία της κωνικής φόρτισης επιτυγχάνεται από μια μη ρυθμισμένη πηγή σταθερής τάσης όπου το ρεύμα φόρτισης πέφτει με ανομοιόμορφο ρυθμό εξαιτίας της αύξησης της τάσης του στοιχείου ενώ συγκεντρώνεται το

φορτίο. Η κωνική φόρτιση μπορεί να καταστρέψει την μπαταρία σε περίπτωση που υπάρξει υπερφόρτιση [18].

Επίσης υπάρχει μια ακόμα τεχνική φόρτισης η οποία είναι με σταθερό ρεύμα (CC) και σταθερή τάση (CV) και εφαρμόζεται στους περισσότερους φορτιστές του εμπορίου, ώστε να μπορούν να φορτίσουν συσσωρευτές τύπου ιόντων-λιθίου (Li-ion) οι οποίοι απαιτούν, μεγαλύτερη πυκνότητα και ισχύ από τους υπόλοιπους συσσωρευτές. Κάποια από τα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ότι μέσω της χρήσης ενός ελεγκτή του συσσωρευτή περιορίζεται τόσο η τάση όσο και το ρεύμα. Εξαιτίας αυτών ελαχιστοποιείται η θερμική καταπόνηση και παρεμποδίζονται οι υπερτάσεις. Η διαδικασία της φόρτισης αρχίζει με την χρήση ενός σταθερού ρεύματος προκειμένου το επίπεδο τάσης της μπαταρίας να φτάσει στο προκαθορισμένο επίπεδο, στην συνέχεια εφαρμόζεται μια συνεχόμενη τάση έως η φόρτιση τελειώσει. Η μέθοδος φόρτισης με σταθερό ρεύμα (CC) είναι πιο γρήγορη σε σύγκριση με την μέθοδο σταθερής τάσης (CV). Η μέθοδος σταθερής τάσης (CV) συμβάλλει στη προφύλαξη του συσσωρευτή από ενδεχόμενες υπερτάσεις, όπου θα ήταν καταστροφικές για αυτόν [18].

Η τεχνική φόρτισης με ρεύμα παλμού (PC) τροφοδοτεί τον συσσωρευτή με ρεύμα φόρτισης σε παλμούς. Ο έλεγχος του ρυθμού φόρτισης γίνεται με την παραμετροποίηση του πλάτους των παλμών, στην συγκεκριμένη μέθοδο είναι αρκετά σημαντικός ο έλεγχος των παλμών. Αναφορικά η ταχύτητα φόρτισης με ρεύμα παλμού (PC) είναι κατά δύο φορές περίπου πιο γρήγορη από την ταχύτητα της φόρτισης με σταθερό ρεύμα (CC) και σταθερή τάση (CV). Μια παραλλαγή της φόρτισης με ρεύμα παλμού είναι η παλμική φόρτιση με μεταβλητή τάση, η συγκεκριμένη μέθοδος δεν χρησιμοποιεί σταθερό πλάτος παλμού, αλλά αναζητεί και προμηθεύει τον κατάλληλο παλμό φόρτισης με ένα εύρος στο πλάτος παλμού στον συσσωρευτή ώστε να επισπεύσει την ταχύτητα φόρτισης αλλά και την απόδοση του συστήματος [18].

6.4 Αρχιτεκτονικές για την φόρτιση ρευματοληπτικών υβριδικών οχημάτων (plug- in) και αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων

Από τα πιο σημαντικά συστήματα στα ρευματοληπτικά (Plug-in) υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEV) και στα ηλεκτρικά οχήματα (EV) είναι το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Ο χρόνος φόρτισης των συσσωρευτών του οχήματος, η ενεργειακή πυκνότητα των συσσωρευτών, το κόστος και η διάρκεια ζωής των συσσωρευτών είναι οι κύριοι παράγοντες

για την βελτίωση και την ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων προκειμένου να εξαπλωθούν περεταίρω στην αγορά. Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι άμεσα συνδεδεμένα με τον χρόνο φόρτισης και την ενεργειακή πυκνότητα των συσσωρευτών, είναι από τις κύριες παραμέτρους που περιορίζουν την εμβέλεια των ηλεκτρικών οχημάτων και περιορίζουν τις πωλήσεις τους σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα. Επιπρόσθετα η διάρκεια ζωής της μπαταρίας και ο χρόνος φόρτισης είναι σημαντικοί παράγοντες που σχετίζονται άμεσα με τα χαρακτηριστικά του φορτιστή των συσσωρευτών. Συνεπώς οι φορτιστές των συσσωρευτών είναι ο βασικός παράγοντας για την βιωσιμότητα των ηλεκτρικών οχημάτων στο παρόν και το μέλλον [18].

Οι ταξινομήσεις που προκύπτουν σχετίζονται με τον τύπο σύνδεσης, την δομή, τον χρόνο φόρτισης και την ονομαστική ισχύ. Παρ'ολ'αυτά μια συμβατική ταξινόμηση για τους φορτιστές είναι στις ονομαστικές ονομασίες της ισχύος τους. Η ταξινόμηση σχετικά με τα επίπεδα ισχύος των φορτιστών που αποδίδουν στους συσσωρευτές είναι [18] :

1. Επίπεδο 1 με ισχύς λιγότερη από 1,92kW.
2. Επίπεδο 2 με ισχύς από 2kW έως 19,2kW.
3. Επίπεδο 3 με ισχύς περισσότερη από 20kW.

Ακόμη ανάλογα με την μορφή εισόδου του ρεύματος στο όχημα, οι φορτιστές γίνεται να είναι συνεχούς ρεύματος(DC) και εναλλασσόμενου ρεύματος(AC), αλλά και ανάλογα με το που είναι ο φορτιστής χωρίζονται σε φορτιστές εντός και εκτός του οχήματος [18].

Οι φορτιστές που είναι ενσωματωμένοι στο όχημα βρίσκονται στο εσωτερικό του οχήματος, είναι απλοί και ευέλικτοι αλλά και ο επιπλέον εξωτερικός εξοπλισμός είναι μηδαμινός εκτός από την πρίζα παροχής ενέργειας. Οι φορτιστές εντός οχήματος χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, σε φορτιστές που χρησιμοποιούν αποκλειστικό μετατροπέα ισχύος και σε φορτιστές που είναι ενσωματωμένοι και κάνουν χρήση τους υπάρχοντες μετατροπείς ισχύος του συστήματος ισχύος όπου μεταφέρουν την ισχύ από τους συσσωρευτές του οχήματος στον ηλεκτρικό κινητήρα. Οι αποκλειστικοί ενσωματωμένοι φορτιστές επειδή έχουν μικρό όγκο και βάρος, έχουν και μικρή ισχύς γι' αυτό χαρακτηρίζονται ως αργοί φορτιστές επιπέδου 1, η φόρτιση γίνεται με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) κατά την νυχτερινή περίοδο και είναι επί το πλείστων μονοφασικοί. Ενώ οι ενσωματωμένοι φορτιστές εκμεταλλεύονται τους μετατροπείς κίνησης του ηλεκτρικού κινητήρα, επομένως η ονομαστική ισχύς των φορτιστών αυξάνεται χωρίς να προστίθενται επιπλέον βάρος, μέγεθος και κόστος στο όχημα μειώνοντας και τον χρόνο φόρτισης. Οι συγκεκριμένοι φορτιστές μπορεί να είναι είτε

μονοφασική είτε τριφασική, χαρακτηρίζονται ως αργοί αλλά και ως ημι-γρήγοροι φορτιστές επιπέδου 2. Οι χρήσεις τους είναι για οικιακή φόρτιση, σε κάποιο χώρο στάθμευσης αλλά και στην δουλεία με διάρκεια φόρτισης από δέκα ώρες έως μερικές παραπάνω [18].

Εν κατακλείδι οι φορτιστές εκτός οχήματος συγκροτούνται από συγκεκριμένες μεθόδους φόρτισης για εξωτερική φόρτιση. Έτσι δεν περιπλέκονται μεγάλοι περιορισμοί για τον όγκο και το βάρος του φορτιστή σε αντίθεση με τους φορτιστές που βρίσκονται εντός αυτοκινήτου. Το βύσμα του καλωδίου είναι για χρήση συνεχές ρεύματος (DC) και συνδέεται απευθείας με τις μπαταρίες του οχήματος. Χάρις στην μεγαλύτερη χωρητικότητα ισχύος του μετατροπέα η διαδικασία της φόρτισης επιτυγχάνεται σε διάστημα μικρότερο από μια ώρα, εκεί βασίζεται μάλιστα και η ονομασία "DC-Fast Chargers" και κατατάσσονται στο επίπεδο 3. Επιπρόσθετα όμως λόγω του μεγάλου μεγέθους τους και της μεγάλης ισχύος τους αλλά και της τριφασικής παροχής δεν προορίζονται για οικιακή χρήση ή σε χώρους δουλειάς. Οι χώροι που τοποθετούνται όμως είναι δημόσιοι χώροι που μοιάζουν με τους συμβατικούς σταθμούς υγρών καυσίμων αλλά και χώροι στάθμευσης [18].

Εικόνα 69 : Μερικοί από τους τύπους βυσμάτων για την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων [18].

Ο τύπος 1 ¨J1772¨ όπως φαίνεται και στην εικόνα 69 αποτελεί το ζευγάρι ρευματολήπτη-πρίζας που βρίσκει εφαρμογή στην Ιαπωνία και τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Στην Ιαπωνία και τις ΗΠΑ δεν υπάρχει τριφασικό δίκτυο, οπότε υπάρχει περιορισμός σε μονοφασικό δίκτυο και λιγότερη ισχύς στην έξοδο του φορτιστή. Ο συγκεκριμένος τύπος καλωδίου είναι μόνιμα ενσωματωμένος στον φορτιστή [8].

Ο τύπος 2 ¨Mennekes¨ όπως φαίνεται και στην εικόνα 69 είναι το ζευγάρι ρευματολήπτη-πρίζα που χρησιμοποιείται στην Ευρώπη. Στον τύπο 2 μπορεί να εφαρμοστεί

είτε μονοφασική είτε τριφασική φόρτιση με την ανάλογη υψηλότερη τιμή ισχύος στην έξοδο του φορτιστή, ακόμη το καλώδιο φόρτισης μπορεί να αφαιρεθεί από τον φορτιστή του σταθμού φόρτισης [8].

Ο τύπος 3 ¨CHAdeMO¨ όπως διακρίνεται στην εικόνα 69 αποτελεί το πρώτο πρότυπο φόρτισης με συνεχές ρεύμα (DC) στην Ιαπωνία. Σήμερα αρκετές αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν συμφωνήσει στο νέο πρότυπο φόρτισης Combo όπου υπάρχει η δυνατότητα για φόρτιση με συνεχές ρεύμα (DC) αλλά και με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) με το ίδιο καλώδιο φόρτισης. Σταδιακά το πρότυπο CHAdeMO θα αντικατασταθεί από το πρότυπο Compo σε αρκετές χώρες εκτός της Ιαπωνίας. Ο τύποι βυσμάτων (CCS1 και CCS2) φαίνονται στις εικόνες 69,70,71.[8].

Εικόνα 70 : Το βύσμα Combo 1 [8].

Εικόνα 71 : Το βύσμα Combo 2 [8].

Ο τύπος 4 χαρακτηρίζεται ως ¨Combo¨ και απεικονίζεται στην εικόνα 69 αλλά και στις εικόνες 70 και 71. Αναλυτικότερα τα συγκεκριμένα βύσματα συνδυάζουν μονοφασική και τριφασική παροχή για φόρτιση με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) αλλά και φόρτιση με συνεχές ρεύμα (DC). Το βύσμα Combo 1 είναι κατάλληλο για μονοφασική παροχή φόρτισης με εναλλασσόμενο ρεύμα αλλά και με συνεχές ρεύμα και το βύσμα Combo 2 που προορίζεται για τριφασική παροχή για φόρτιση με εναλλασσόμενο αλλά και με συνεχές ρεύμα [8].

Σήμερα σε 41 χώρες οι τάσεις για την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι οι ακόλουθες [18] :

- Η Tesla παρουσίασε την έκδοση 3(V3) η οποία παρέχει φόρτιση μέχρι και τα 250 kW, διπλασιάζοντας έτσι την ταχύτητα φόρτισης σε σύγκριση με το έκδοση 2 (V2). Τα καινούργια οχήματα Tesla Model 3 μπορούν να φορτίσουν με την έκδοση 3 μέσω του δικτύου, ενώ για τα παλαιότερα μοντέλα οχημάτων της Tesla πρέπει να γίνει αναβάθμιση στο λογισμικό τους , ώστε να φορτίζουν και αυτά με την 3 έκδοση. Η Tesla εκτός της πρόσβασης της στο πρότυπο CHAdeMO μέσω κάποιων τροποποιήσεων, δίνει πρόσβαση και στο πρότυπο συνδυασμένου συστήματος φόρτισης (CCS) σε αρκετές χώρες. Όσον αφορά την Ευρώπη σύμφωνα με τις διατάξεις της οδηγίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την Υποδομή Εναλλακτικών Καυσίμων (AFI), το πρότυπο CCS Combo 2 είναι υποχρεωτικό και το Tesla Model 3 έχει την δυνατότητα να επαναφορτίσει με γρήγορη φόρτιση.

- Το πρότυπο CHAdeMO παρουσίασε το νέο πρωτόκολλο φόρτισης CHAdeMO 2.0, που παρέχει δυνατότητα υψηλής φόρτισης με ισχύς μέχρι και τα 400kW (CHAdeMO,2018a).
- Στην Σιγκαπούρη οριστικοποιήθηκε το πρότυπο IEC 62196-2 Type 2 ως πρότυπο για την φόρτιση με εναλλασσόμενο ρεύμα και το CCs Combo 2 ως στάνταρ για την φόρτιση με συνεχές ρεύμα.
- Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής παρουσιάστηκε το πρότυπο J3068 από την Εταιρεία Μηχανικών Αυτοκινήτου (SAE), που προορίζεται για συγκεκριμένα φορτηγά μεσαίου και βαρέως μεγέθους (SAE International, 2018).
- Το Μνημόνιο Συνεννόησης (MoU) ανάμεσα στην Ιαπωνική Ένωση CHAdeMO και του Συμβουλίου Ηλεκτρισμού της Κίνας (Πρότυπο GB/T), όπου υπεγράφη το 2018 και εμπεριέχει την δημιουργία ενός κοινού πρότυπου υπερταχείας φόρτισης μέχρι 900kW, περιλαμβάνοντας και την λειτουργία του V2G, αλλά και την δημιουργία ενός νέου προτύπου για ηλεκτρικά οχήματα χαμηλής ταχύτητας και δίτροχα.
- Τα πρότυπα CHAdeMO και CCS Combo 2 αποτελούν για την Ινδία υποχρεωτικά βύσματα για γρήγορους φορτιστές συνεχόμενου ρεύματος (DC). Το πρότυπο IEC 62196-2 Type 2 παραμένει το κύριο πρότυπο για γρήγορη φόρτιση με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), αλλά και το πρότυπο IEC 60309 για αργή φόρτιση τόσο με εναλλασσόμενο όσο και με συνεχές ρεύμα.

6.5 Έξυπνη φόρτιση

Με την αύξηση των ηλεκτρικών οχημάτων και των βυσματικών υβριδικών οχημάτων το προφίλ του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας θα επηρεαστεί, αφού τα ηλεκτρικά οχήματα είναι επιπλέον φορτία που καταναλώνουν ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο προκειμένου να φορτίσουν τις μπαταρίες τους. Βάση κάποιων υπολογισμών έχει υπολογιστεί πως το φορτίο αιχμής του ηλεκτρικού δικτύου θα αυξηθεί. Προκειμένου να υπάρξει βιωσιμότητα στην διάδοση των ηλεκτρικών οχημάτων χρειάζεται να εφαρμοστούν στρατηγικές με κύριο σκοπό την βελτιστοποίηση, την διαχείριση, τον περιορισμό της χρήσης των συσκευών φόρτισης και την παρακολούθηση. Πρακτικά η έξυπνη φόρτιση συνδυάζει τους κανονισμούς, την διαθέσιμη τεχνολογία με τις λειτουργίες, ώστε το δίκτυο να λειτουργεί με μεγάλη αξιοπιστία αλλά και με οικονομική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Με την διαδικασία της έξυπνης φόρτισης, είναι εφικτό να διαχειριστεί την ισχύ φόρτισης, τον χρόνο φόρτισης του οχήματος αλλά και άλλες αλληλεπιδράσεις μεταξύ οχήματος και δικτύου. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται με την χρήση αλγορίθμων, με την χρήση της βελτιστοποίησης που

αποτρέπουν την υπερπλήρωση των γραμμών, των μετασχηματιστών αλλά και την μείωση των επιβλαβών αερίων του θερμοκηπίου [18].

Συμπερασματικά η έξυπνη φόρτιση με όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως διευκολύνει έως ενός σημείου το επίπεδο ελέγχου κατά την διάρκεια της φόρτισης. Η ικανότητα να γίνονται πολύ γρήγορα οι απαραίτητες αλλαγές, προκειμένου να προσαρμόζονται συνεχώς στην μεταβαλλόμενη ζήτηση είναι ο στόχος για αλληλεπίδραση ανάμεσα στις εταιρίες προμήθειας της ενέργειας και τους πελάτες (χρήστες οχημάτων). Χάρις σε αυτή την αλληλεπίδραση οι εταιρίες προμήθειας ενέργειας γίνεται να μετατρέψουν το προφίλ από την ζήτηση των χρηστών αλλά και οι πελάτες γίνεται να διαμορφώσουν το προφίλ της ζήτησης, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη λειτουργία του δικτύου συμβαδίζοντας με μια προκαθορισμένη σύμβαση. Με βάση αυτή την λειτουργία τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να αντλούν ενέργεια από το δίκτυο ως ένα τυπικό φορτίο αλλά και να παρέχουν ενέργεια στο δίκτυο ως ενεργές μονάδες. Είναι προφανές ότι δεν προκαλούν συμφόρηση στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και ταυτόχρονα συμβάλλουν σε περιόδους με έλλειψη από ενέργεια στο δίκτυο [18].

Υπάρχουν ορισμένοι παράμετροι που συναποτελούν διαφορετικές επιλογές φόρτισης και τιμολόγησης στην έξυπνη φόρτιση, κάποιες από αυτές είναι [18] :

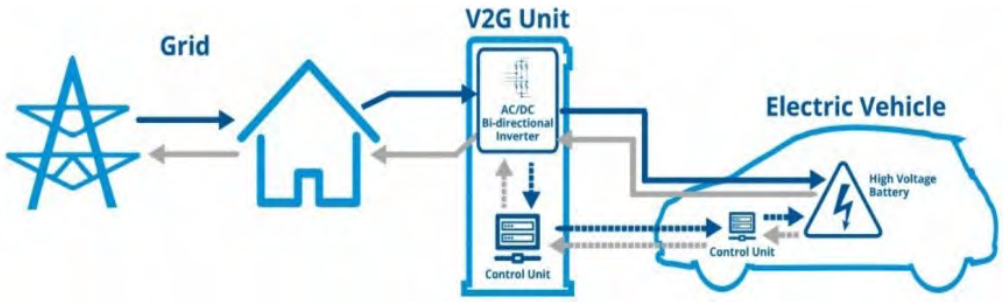
- Μηχανισμοί άμεσου ελέγχου, όπως για παράδειγμα η εκκίνηση και ο τερματισμός της φόρτισης. Το ηλεκτρικό όχημα θέτει σε λειτουργία αυτούς τους μηχανισμούς σε πραγματικό χρόνο.
- Χρόνος χρήσης, όπου παρακινεί τους χρήστες των οχημάτων να μεταφέρουν τη χρέωση της φόρτισης από τις περιόδους με υψηλή αιχμή σε περιόδους εκτός αιχμής. Το συγκεκριμένο σύστημα χωρίζει την ημέρα σε μια σειρά από διαστήματα, συνήθως χωρίζεται σε δύο διαστήματα αιχμής και εκτός αιχμής επιλέγοντας διαφορετική τιμή στο κάθε ένα. Συνεπώς τα οχήματα γίνεται να κατηγοριοποιηθούν με βάση την προτεραιότητα της χρέωσης, εικάζοντας μεγαλύτερες τιμές σε μεγαλύτερη προτεραιότητα. Με τον έλεγχο επιτυγχάνεται η λιγότερη διακύμανση των απωλειών μετάδοσης στο δίκτυο και των τάσεων στους κόμβους.
- Μονόδρομος έλεγχος οχημάτων (V1G), όπου επιτρέπεται η αύξηση ή η μείωση του ρυθμού φόρτισης. Στην συγκεκριμένη λειτουργία ανάμεσα στο βυσματικό ηλεκτρικό όχημα και το δίκτυο η διαδρομή ισχύος γίνεται μόνο από το δίκτυο προς το όχημα. Το V1G ή ¨Grid to Vehicle¨ (G2V) παρέχει συμπληρωματικές υπηρεσίες δικτύου

κάνοντας χρήση ένα μεταβαλλόμενο ρυθμό φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων που βασίζεται στις ανάγκες παραγωγής ενέργειας. Οι επιπλέον υπηρεσίες που αναφέρθηκαν δίνουν την δυνατότητα στα ηλεκτρικά οχήματα να λειτουργούν ως διαμοιραζόμενοι ενεργειακοί πόροι. Επιπρόσθετα περιέχουν την διαχείριση του δικτύου χάρις την αντιστάθμισης ισχύος, την ρύθμιση της συχνότητας, την ιδιοποίηση του αποθεματικού ως εφεδρικό για την απρόοπτη απώλεια ισχύος, κ.λπ.

- Αμφίδρομη φόρτιση, όπου ένα μέρος ισχύος μπορεί να μεταφερθεί από το δίκτυο στο ηλεκτρικό αυτοκίνητο για την φόρτιση των συσσωρευτών ή να μεταφερθεί ισχύς από το όχημα προς το δίκτυο.

6.6 Οχήματα στο δίκτυο (V2G)

Ο Amory Lovins το 1995 πρότεινε την τεχνολογία V2G δηλαδή όχημα στο δίκτυο, η τεχνολογία αυτή μελετήθηκε με έρευνα από τον καθηγητή William Kempton. Το νόημα του V2G είναι κομμάτι της έξυπνης φόρτισης, όπου τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν εκτός του να απορροφούν ενέργεια από το δίκτυο για επαναφόρτιση, να παρέχουν ενέργεια στο δίκτυο σε περιόδους αιχμής. Στην ακόλουθη εικόνα 72 παρουσιάζεται με ένα σχεδιάγραμμα η λειτουργία του V2G [18].



Εικόνα 72 : Όχημα στο δίκτυο V2G [18].

Με αυτό τον τρόπο φόρτισης, το ηλεκτρικό όχημα απορροφά ενέργεια από το δίκτυο όταν η στάθμη ενέργειας του συσσωρευτή είναι χαμηλή. Με την λειτουργία V2G η στάθμη φόρτισης του συσσωρευτή του ηλεκτρικού οχήματος επιτηρείται συνεχώς προκειμένου να διακοπεί όταν κριθεί αναγκαίο, ώστε να αποσυμφορήσει το έξυπνο δίκτυο. Ο φορτιστής συνδέεται σε αμφίδρομη διάταξη με το δίκτυο διότι παρέχει ενέργεια από το δίκτυο στο όχημα αλλά και το αντίστροφο, αντλεί ενέργεια από το όχημα και την παρέχει στο δίκτυο. Επιπρόσθετα τα ηλεκτρικά οχήματα γίνεται να αποθηκεύσουν ενέργεια από κάποια τοπική παραγωγή ενέργειας κατά την διάρκεια της ημέρας και να την αποδώσουν τις βραδινές ώρες προκειμένου να βοηθήσουν στη κάλυψη των αναγκών της ζήτησης ενέργειας. Η τεχνολογία

του V2G συσχετίζεται άμεσα με υψηλά οικονομικά οφέλη, όπου μεταφράζεται σε ένα ακόμη κίνητρο για την εξάπλωση και εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων. Ακόμη μερικά πλεονέκτημα της τεχνολογίας V2G είναι η εξισορρόπηση των αποκλίσεων ισχύος από τις μη εγγυημένης παραγωγής μονάδες ΑΠΕ, για παράδειγμα τα φωτοβολταϊκά και τα αιολικά πάρκα, ακόμη συμβάλλει στην περιθωριοποίησης των συμβατικών μονάδων άνθρακα συνεισφέροντας στην μείωση της χρήσης του άνθρακα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [18].

Παρ'ολ'αυτά η τεχνολογία V2G έχει και ορισμένα μειονεκτήματα, που σχετίζονται άμεσα με το πρόσθετο κόστος ενέργειας που προκύπτει από την επιπλέον φόρτιση, όπου θα χρειάζονταν για την συντήρηση της απαιτούμενης κατάστασης φόρτισης. Επιπλέον λόγω των συχνών φορτίσεων και εκφορτίσεων των συσσωρευτών, η διάρκεια ζωής τους θα μειώνεται σημαντικά [18].

Συμπερασματικά η τεχνολογία V2G παρέχει αρκετά και μεγάλης σημασίας οφέλη, όμως ο υψηλός αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων που αλληλοεπιδρά με το έξυπνο δίκτυο και το V2G θέτει ορισμένα εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν. Τα εμπόδια αυτά συνδέονται με την αμφίδρομη φόρτιση αλλά και με την στρατηγική φόρτισης και εκφόρτισης. Εν συνεχεία το σύστημα επικοινωνίας και η υποδομή είναι αρκετά σημαντικοί παράμετροι για την σωστή εφαρμογή της τεχνολογίας V2G αλλά και για την εξασφάλιση της προστασίας της ιδιωτικής ζωής των ιδιοκτητών με οχήματα που συνδέονται στο δίκτυο [18].

7. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

7.1 Επιπτώσεις ρύπων λόγω των συμβατικών οχημάτων

Οι συνέπειες που δημιουργούνται εξαιτίας των ατμοσφαιρικών ρύπων επηρεάζουν τόσο το περιβάλλον όσο και την υγεία του ανθρώπου. Η ατμοσφαιρική ρύπανση ευθύνεται για τους πρόωρους θανάτους πολλών ανθρώπων στην Ευρώπη καθώς επίσης και για την αύξηση του ποσοστού των ανθρώπων που νοσούν από βρογχικό άσθμα ή από άλλες ασθένειες του αναπνευστικού. Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι υπεύθυνο για πολλά προβλήματα υγείας, όταν το εισπνέει ο άνθρωπος κρατά την αιμογλοβίνη στο αίμα στη θέση του οξυγόνου έτσι δημιουργείται η καρβοξυαιμογλοβίνη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται το οξυγόνο στο αίμα και να επηρεάζονται αρνητικά οι νοητικές λειτουργίες. Επιπλέον αυξάνεται ο καρδιακός παλμός εφόσον ο οργανισμός καταβάλει προσπάθεια ώστε να εξαλειφθεί η ανεπάρκεια του οξυγόνου. Παρατηρείται επίσης πως μπορεί να προκληθεί αδυναμία αντίληψης στα ηχητικά σήματα και πονοκέφαλος, σε μεγάλο ποσοστό υπάρχει η πιθανότητα να προκαλέσει μέχρι και θάνατο. Οι οργανισμοί που είναι πιο ευαίσθητοι νιώθουν πιο έντονα τις συνέπειες που έχουν οι ρύποι στον οργανισμό τους. Παρατηρείται πως σε περιοχές που είναι αστικές η συγκέντρωση των ρύπων είναι μεταξύ των 5ppm έως και 50ppm, όμως οι άνθρωποι που οδηγούν αυτοκίνητα πολλές φορές εκτίθενται σε συγκεντρώσεις που φτάνουν μέχρι και 100ppm [30].

Οι υδρογονάνθρακες δεν επηρεάζουν αρνητικά μόνο τους οργανισμούς αλλά και το περιβάλλον καθώς συμμετέχουν στην αύξηση της συγκέντρωσης του όζοντος στη τροπόσφαιρα. Κάποιοι υδρογονάνθρακες θεωρείται πως είναι καρκινογόνοι και τοξικοί. Επιπλέον συμβάλλουν ώστε να δημιουργηθούν δευτερογενή οξειδωμένα παράγωγά τους, μέσα από τους μηχανισμούς που δημιουργούν το φωτοχημικό νέφος [30].

Στη δημιουργία του φωτοχημικού νέφους συμβάλλουν και τα οξείδια του αζώτου. Όταν υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση οξειδίου του αζώτου σε συνδυασμό με την ηλιακή ακτινοβολία, τότε σχηματίζονται ρύποι που είναι δευτερεύοντες αλλά μπορούν να προκαλέσουν συνέπειες στην υγεία του ανθρώπου. Όπως και στη περίπτωση του διοξειδίου του άνθρακα, δεσμεύεται η αιμογλοβίνη στο αίμα, όμως δεν δημιουργούνται ιδιαίτερες δυσκολίες στον οργανισμό του ανθρώπου διότι η συγκέντρωση του οξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα είναι πολύ μικρή. Όμως το οξείδιο του αζώτου μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό στο αναπνευστικό σύστημα. Επιπλέον μπορεί να βλάψει και να προκαλέσει γήρανση στα υλικά, για παράδειγμα διάβρωση στις μεταλλικές επιφάνειες και

αποχρωματισμό στα επιχρίσματα. Σημαντική συνέπεια αποτελεί το γεγονός πως το οξείδιο του αζώτου συμμετέχει στη δημιουργία της όξινης βροχής [30].

Σοβαρά προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου μπορούν να προκληθούν και από τα σωματίδια που βρίσκονται στον αέρα λόγω του μικρού μεγέθους που έχουν. Ο οργανισμός μπορεί να αποβάλλει μέσω του αναπνευστικού συστήματος τα σωματίδια που το μέγεθός τους είναι μεγαλύτερο από 10 μm. Αντίθετα ο κίνδυνος για την υγεία του ανθρώπου μεγαλώνει όταν τα σωματίδια έχουν μέγεθος μικρότερο από 2,5μm. Τα σωματίδια έχουν τόσο μικρό μέγεθος που μπορεί να εισχωρήσουν εύκολα στους πνεύμονες και στη κυκλοφορία του αίματος του ανθ7ρώπου με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν διάφορα προβλήματα. Τα μικροσκοπικά σωματίδια εισέρχονται βαθιά μέσα στους πνεύμονες και είναι υπαίτια για την πρόκληση σοβαρών προβλημάτων υγείας του ανθρώπου όπως είναι η καρδιακή προσβολή, το εγκεφαλικό, το άσθμα, η οξεία βρογχίτιδα και ο πρόωρος θάνατος. Επιπρόσθετα η Πνευμονολογική εταιρία της Αμερικής υποστηρίζει πως η μόλυνση στο αναπνευστικό λόγω των σωματιδίων μπορεί ενδεχομένως να προκαλέσει καρκίνο και πρόβλημα στην αναπαραγωγή και στην ανάπτυξη [30].

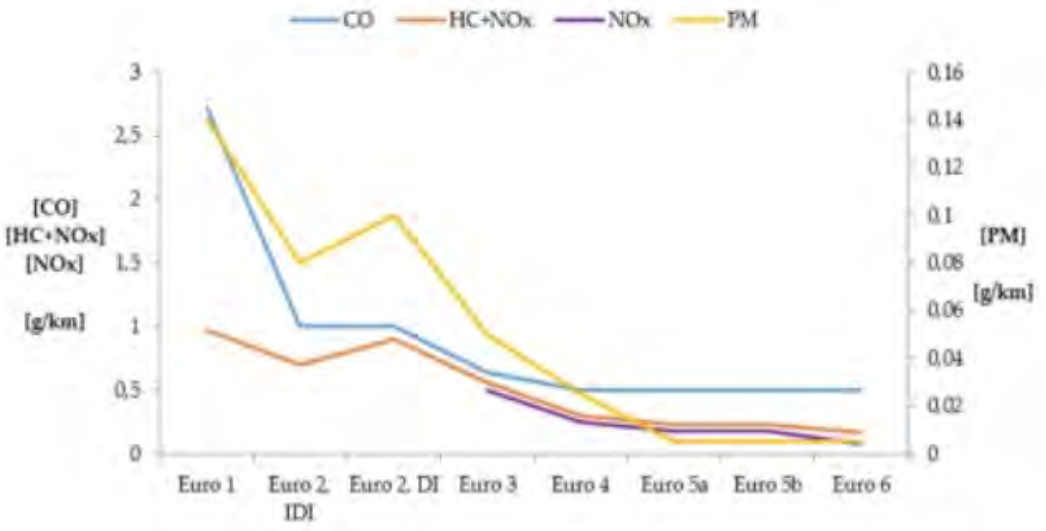
Αέριο ρύπο αποτελεί και το όζον που υπάρχει στη τροπόσφαιρα. Έχει μεγάλη οξειδωτική δράση και δημιουργεί επιπτώσεις στην αγροτική παραγωγή και βασικότερα στη βλάστηση. Στον άνθρωπο είναι πιθανό να προκληθούν προβλήματα στο αναπνευστικό σύστημα, πόνοι στο στήθος, ενοχλητικός βήχας, άσθμα και φλεγμονή στις κυψελίδες των πνευμόνων [30].

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε πόλεις της Ελλάδας και φαίνεται πως τα τελευταία χρόνια υπάρχει μία πτώση στις συγκεντρώσεις των αέριων ρύπων. Αυτό συμβαίνει επειδή τις προηγούμενες δεκαετίες εφαρμόστηκαν τα μέτρα που είχαν τεθεί όπως είναι για παράδειγμα η βελτίωση των συμβατικών οχημάτων Ι.Χ., η θέσπιση της κάρτας ελέγχου για τα καυσαέρια, η χρήση καυσίμων που έχουν πιο καλές τεχνικές προδιαγραφές, η λειτουργία και η εξάπλωση των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς (ΜΜΜ),κλπ. [31].

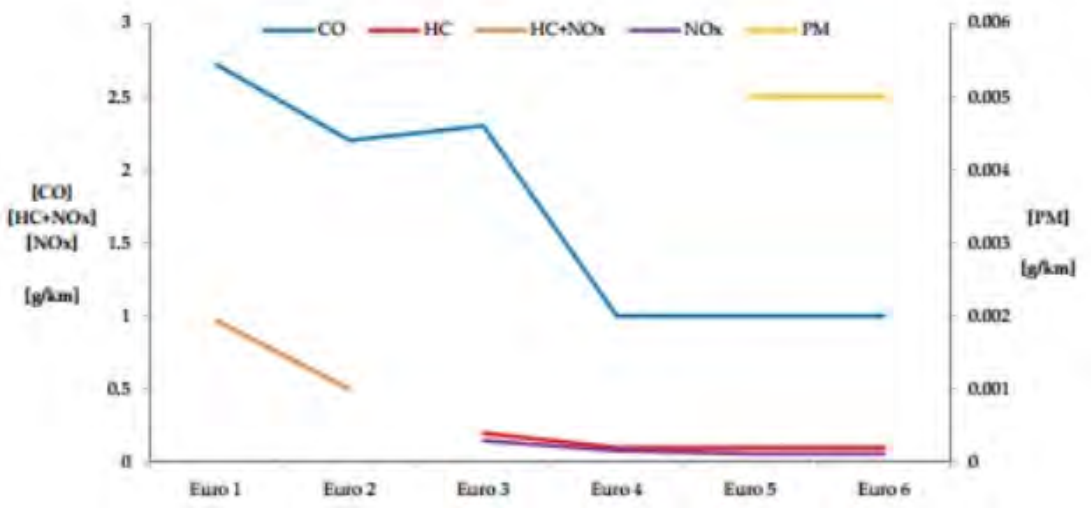
Παρόλο που η ποιότητα του αέρα στις πόλεις είναι καλύτερη τα τελευταία χρόνια, υπάρχουν ακόμη μερικές υπερβάσεις στα όρια που ισχύουν για τη ποιότητα της ατμόσφαιρας από κάποιους ρύπους, με κυρίαρχη πόλη την Αθήνα. Στην Ελλάδα τα βασικά χαρακτηριστικά της ποιότητας αέρα κάθε ρύπου παρουσιάζονται παρακάτω [31] :

- Οι συγκεντρώσεις από τους πρωτογενείς ρύπους όπως είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) , το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και το διοξείδιο του θείου (SO_2) έχουν μειωθεί.
- Γενικότερα το όζον παραμένει σταθερό εκτός από κάποιες υπερβάσεις στα όρια που έχουν καταγραφεί στη πόλη της Αθήνας το καλοκαίρι.
- Στη Θεσσαλονίκη και την Αθήνα υπάρχει υπέρβαση στις τιμές των $ΑΣ_{10}$.
- Στη πόλη της Αθήνας υπάρχει υπέρβαση στις τιμές του διοξειδίου του αζώτου (NO_2).
- Οι συγκεντρώσεις που έχουν τα βαρέα μέταλλα όπως είναι το αρσενικό (As),το κάδμιο (Cd), το νικέλιο (Ni) και ο μόλυβδος (Pb) είναι πιο κάτω από τα κατώτερα όρια που έχουν εκτιμηθεί.

Συχνά πραγματοποιείται αξιολόγηση των διάφορων τεχνολογιών των συμβατικών οχημάτων σχετικά με τις επιπτώσεις που προκαλούν κατά τη χρήση τους στη ποιότητα της ατμόσφαιρας. Η αξιολόγηση αυτή σχετίζεται με τους ρύπους που δέχονται ρυθμίσεις όπως είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα σωματίδια που αιωρούνται και τα οξείδια του αζώτου. Στα σχήματα 3 και 4 παρουσιάζεται η μείωση των εκπομπών σύμφωνα με τα πρότυπα εκπομπών Euro για τα συμβατικά οχήματα [31].



Σχήμα 3 : Πρότυπα εκπομπών Euro για τους ρύπους που έχουν ρυθμιστεί για τα συμβατικά οχήματα που χρησιμοποιούν βενζίνη ως καύσιμο [31].



Σχήμα 4 : Πρότυπα εκπομπών Euro για τους ρύπους που έχουν ρυθμιστεί για τα συμβατικά οχήματα που χρησιμοποιούν πετρέλαιο ως καύσιμο [31].

7.2 Η συμβολή των ηλεκτρικών οχημάτων στη ρύπανση της ατμόσφαιρας

Στατιστικά οι θάνατοι που προκαλούνται λόγω της ρύπανσης της ατμόσφαιρας καταλαμβάνουν τη Πέμπτη θέση, περίπου το 10% των θανάτων που υπάρχουν ετησίως οφείλονται είτε άμεσα είτε έμμεσα στη ρύπανση της ατμόσφαιρας. Ειδικότερα στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έως τα μέσα του 2010 σχεδόν 400.000 άνθρωποι ετησίως έχαναν πρόωρα τη ζωή τους, επειδή αυξήθηκαν οι ρύποι λόγω της υψηλής συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου και ευρύτερα λόγω της σκόνης που δημιουργήθηκε από τα σωματίδια. Τα τελευταία χρόνια η κακή ποιότητα του αέρα συνεχίζει να είναι κυρίαρχη στις πόλης της ΕΕ, παρά τις ενέργειες που έχουν γίνει με τη νομοθεσία που ισχύει ώστε να μειωθεί αυτό το φαινόμενο, θέτοντας έτσι ορισμένα επιτρεπτά όρια για τη ρύπανση και τη συγκέντρωση των σωματιδίων. Υπάρχει μία αδυναμία στην εφαρμογή αυτών των κανονισμών, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επιδεινώνεται η υγεία των πολιτών που είναι στις πόλεις της ΕΕ επειδή συνεχίζουν να εισπνέουν αέρα που έχει χαρακτηριστεί βλαβερός [30].

Πιο συγκεκριμένα θεωρείται πως τα αέρια του θερμοκηπίου αποτελούν τη βασική αιτία για τη ρύπανση της ατμόσφαιρας, δημιουργούν σε υψηλό βαθμό θέρμανση στην ατμόσφαιρα και συγχρόνως έχουν καθοριστικό ρόλο στην αλλαγή του κλίματος. Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (ΕΟΠ) το διοξείδιο του άνθρακα είναι το αέριο με τη πιο μεγάλη καταγραφή που φτάνει έως και το 80%. Έτσι για να εφαρμοστούν οι δεσμεύσεις των εταίρων για τη μείωση της ποσότητας του διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται, κρίθηκε ως λύση από το σύνολο της αυτοκινητοβιομηχανίας να κατασκευαστούν τα ηλεκτρικά οχήματα [30].

Με βάσει τα αποτελέσματα που προέκυψαν από έρευνες που πραγματοποιήθηκαν από τον ΕΟΠ φαίνεται πως τα αέρια του θερμοκηπίου που δημιουργούνται από τις οδικές μεταφορές αυξήθηκαν σε ποσοστό 22%. Αυτό το γεγονός έχει πολύ μεγάλη σημασία ειδικά αν υπολογιστεί πως αυτή η ποσότητα αποτελεί σχεδόν το 1/5 των συνολικών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου της ΕΕ. Άρα η ηλεκτρική κίνηση μπορεί να συμβάλλει θετικά ώστε να μειωθούν οι ρύποι που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Έχει εκτιμηθεί πως ένα ηλεκτρικό όχημα έχει τη δυνατότητα να μειώσει την παραγωγή των αερίων του θερμοκηπίου κατά 5 σχεδόν μετρικούς τόνους ετησίως, όπου αυτή η ποσότητα είναι ανάλογη με τη φύτευση 209 δέντρων. Ουσιαστικά σε ένα χρόνο χρειάζονται περισσότερα από 81.000.000 δέντρα ώστε να απορροφηθεί η συγκεκριμένη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα [30].

Πρέπει να σημειωθεί πως όπως και στη περίπτωση των συμβατικών οχημάτων , τα ηλεκτρικά οχήματα δεν είναι απολύτως καθαρά σε ότι αφορά τους ρύπους που παράγονται. Όμως αποτελούν μία επιλογή που ενδείκνυται για το περιβάλλον, πιο συγκεκριμένα για την οδήγηση στο κέντρο των πόλεων διότι δαπανούν πιο λίγη ενέργεια , μειώνοντας έτσι τους ρύπους και τα σωματίδια που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα όπως είναι για παράδειγμα το οξείδιο του αζώτου (NO_x) λόγω των εξατμίσεων. Όμως συνεχίζουν να υπάρχουν τα σωματίδια που παράγονται από τη πέδηση αλλά και από τη σταδιακή υλική ζημιά που δημιουργείται στα ελαστικά του οχήματος. Συνολικά με τη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων υπάρχει μείωση στη παραγωγή των σωματιδίων και στο θόρυβο που δημιουργείται κατά τη λειτουργία τους, ειδικότερα σε πιο χαμηλή ταχύτητα, σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα [30].

Οι εκπομπές που παράγονται από τα οχήματα χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες [31] :

1. Άμεσες εκπομπές
2. Εκπομπές που σχετίζονται με όλο το κύκλο ζωής των οχημάτων

Οι άμεσες εκπομπές μεταφέρονται κατευθείαν στην ατμόσφαιρα μέσω των εξατμίσεων ή κατά τη διαδικασία της τροφοδοσίας του οχήματος και περιέχουν σωματίδια τα οποία καθίστανται βλαβερά για την υγεία του ανθρώπου και ρύπους που δημιουργούν νέφος όπως είναι το οξείδιο του αζώτου (NO_x) και αέρια του θερμοκηπίου με το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) να είναι το πιο βασικό. Έτσι, επειδή με τη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων επιτυγχάνεται μηδενική δημιουργία άμεσων εκπομπών, θεωρείται πως είναι πιο φιλικά προς το περιβάλλον, αφού προασπίζουν την κλιματική ουδετερότητα και συμμετέχουν στην

ελάττωση της αιθαλομίχλης, με αποτέλεσμα να γίνεται καλύτερη η ποιότητα του αέρα, βασικότερα στις πόλεις. Σε ότι αφορά τα plug – in υβριδικά οχήματα που εκτός από τον ηλεκτρικό κινητήρα αποτελούνται και από έναν συμβατικό κινητήρα, δημιουργούν εκπομπές που προκαλούνται από την εξάτμιση και από την εξαγωγή, όταν λειτουργούν με τον συμβατικό κινητήρα. Όμως ακόμη και τότε παράγουν λιγότερους ρύπους, γι' αυτό είναι πιο αποτελεσματικά σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα [30].

Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι εκπομπές που δημιουργούνται σε όλο το κύκλο ζωής των οχημάτων, είναι οι εκπομπές που προκύπτουν κατά τη παραγωγή, τη διανομή , τη χρήση και την ανακύκλωση των καυσίμων και των αυτοκινήτων. Σε ένα συμβατικό αυτοκίνητο για παράδειγμα που χρησιμοποιεί ως καύσιμη ύλη τη βενζίνη δημιουργούνται εκπομπές από την εξαγωγή του πετρελαίου από το έδαφος, έπειτα από τη μετατροπή του σε βενζίνη και τη διανομή του στους σταθμούς, τέλος παράγονται επίσης εκπομπές όταν γίνεται η καύση της βενζίνης στα οχήματα. Όπως συμβαίνει με τις άμεσες εκπομπές έτσι και οι εκπομπές που προέρχονται από το κύκλο ζωής έχουν ευθύνη για ορισμένες κατηγορίες εκπομπών νοσογόνων ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου. Γενικότερα όλα τα είδη οχημάτων παράγουν σημαντικές ποσότητες εκπομπών από το κύκλο ζωής τους , όμως όταν παράγεται ηλεκτρική ενέργεια παρατηρείται πως το ποσό των εκπομπών είναι πιο μικρό σε σχέση με τη καύση της βενζίνης ή του πετρελαίου, έτσι τα ηλεκτρικά οχήματα παράγουν πιο λίγες εκπομπές κατά τη διάρκεια ζωής τους [30].

Η ενέργεια που υπάρχει στα σημεία φόρτισης των οχημάτων προμηθεύεται από τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής κοινής ωφέλειας. Ένας τέτοιος σταθμός που χρησιμοποιεί ως καύσιμη ύλη τον άνθρακα αποτελεί ένα σταθμό παραγωγής ατμοηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Η διεργασία της καύσης έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή εκπομπών στην ατμόσφαιρα λόγω των καυσαερίων. Έτσι δημιουργείται ρύπανση που είναι ανάλογη με το καύσιμο που χρησιμοποιείται. Τα καυσαέρια που δημιουργούνται δεν επιδρούν μόνο στον ατμοσφαιρικό αέρα αλλά επηρεάζουν ακόμη το νερό και το έδαφος. Τα σημερινά πρότυπα περιορίζουν όλο και πιο πολύ τα ποσά των συστατικών που είναι τοξικά και τη σκόνη των καυσαερίων που δημιουργούνται από τους σταθμούς παραγωγής της ενέργειας. Όμως ακόμη δεν έχει επιτευχθεί η μείωση 100% των εκπομπών τοξικών συστατικών από τα καυσαέρια [32].

Με δεδομένο πως τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν μηδενικούς ρύπους φαίνεται πως είναι πιο φιλικά προς το περιβάλλον. Όμως κατά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να

τροφοδοτηθεί το δίκτυο, παράγονται εκπομπές αερίων ρύπων στην ατμόσφαιρα. Για τη σύγκριση των εκπομπών που παράγονται από τα ηλεκτρικά και τα συμβατικά αυτοκίνητα μελετώνται οι εκπομπές που παράγονται καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του αυτοκινήτου, περιλαμβάνονται η ενέργεια και τα υλικά που χρησιμοποιούνται ώστε να κατασκευαστεί το αυτοκίνητο και οι άμεσες εκπομπές ρύπων που δημιουργούνται όταν εξάγονται τα καυσαέρια [33].

Σύμφωνα με έρευνες προκύπτει πως το πλεονέκτημα που έχουν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα σε ότι αφορά τους αέριους ρύπους, διαφέρει και επηρεάζεται από το είδος της καύσιμης ύλης που χρησιμοποιείται για να παραχθεί η ηλεκτρική ενέργεια. Έχει γίνει εκτίμηση πως σε μία θερμοηλεκτρική μονάδα που ως καύσιμο χρησιμοποιείται το κάρβουνο παράγονται 350 – 380gCO_2e/MJ περίπου που είναι ισοδύναμο με 160 - 380gCO_2e/km όταν δαπανάται από ένα ηλεκτρικό όχημα. Με τη χρήση της τεχνολογίας ολοκληρωμένης αεριοποίησης συνδυασμένου κύκλου (Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC), το αποτέλεσμα βελτιώνεται ελαφρώς καθώς θα παραχθούν 280gCO_2e/MJ που είναι ισοδύναμο με 130gCO_2e/km. Το φυσικό αέριο έχει πιο μεγάλο εύρος διακύμανσης και επηρεάζεται από τη χώρα από την οποία παράγεται [33].

Οι πιο πολλές καινούριες μονάδες για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που έχουν ως καύσιμη ύλη το φυσικό αέριο στη Βόρεια Αμερική και στην Ευρώπη χρησιμοποιούν την εξελιγμένη τεχνολογία συνδυασμένου κύκλου με φυσικό αέριο (Natural Gas Combined Cycle, NGCC) που επιτρέπει να βελτιώνεται η απόδοση των καυσίμων φυσικού αερίου κατά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, εκπέμποντας τα πιο μικρά ποσά διοξειδίου του άνθρακα (CO_2). Έχει υπολογιστεί πως από μία τέτοια μονάδα παράγονται 150gCO_2e/MJ που ισοδυναμούν με 80gCO_2e/km. Η συμμετοχή του διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διαδικασία της εξόρυξης των ορυκτών καυσίμων δεν είναι ασήμαντη καθώς αυξάνει το ποσό κατά 5% με 10%. Επιπρόσθετα το μείγμα της ηλεκτροπαραγωγής αλλάζει ανάλογα με τη περιοχή, την εποχή αλλά και με την ώρα στη διάρκεια της μέρας [33].

Γενικότερα ένα ηλεκτρικό όχημα έχει τη δυνατότητα να έχει οικολογικό πλεονέκτημα, όταν η φόρτισή του γίνεται με ηλεκτρικό ρεύμα που έχει παραχθεί από θερμοηλεκτρικό εργοστάσιο που έχει εκπομπές που κυμαίνονται μεταξύ 500 – 600gCO_2/kWh. Υπάρχει μεγάλη βελτίωση στην αποδοτικότητα, κατά τη λειτουργία με βάση τη διάρκεια ζωής, όταν το ηλεκτρικό αυτοκίνητο φορτίζεται με ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) [33].

Με τη παραγωγή του CO_2 από τα εργοστάσια παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, με βάση τα στοιχεία από το αρμόδιο Υπουργείο Περιβάλλοντος, ο μέσος συντελεστής μείγματος ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα είναι ίσος με 833,6gCO_2/kWh [33].

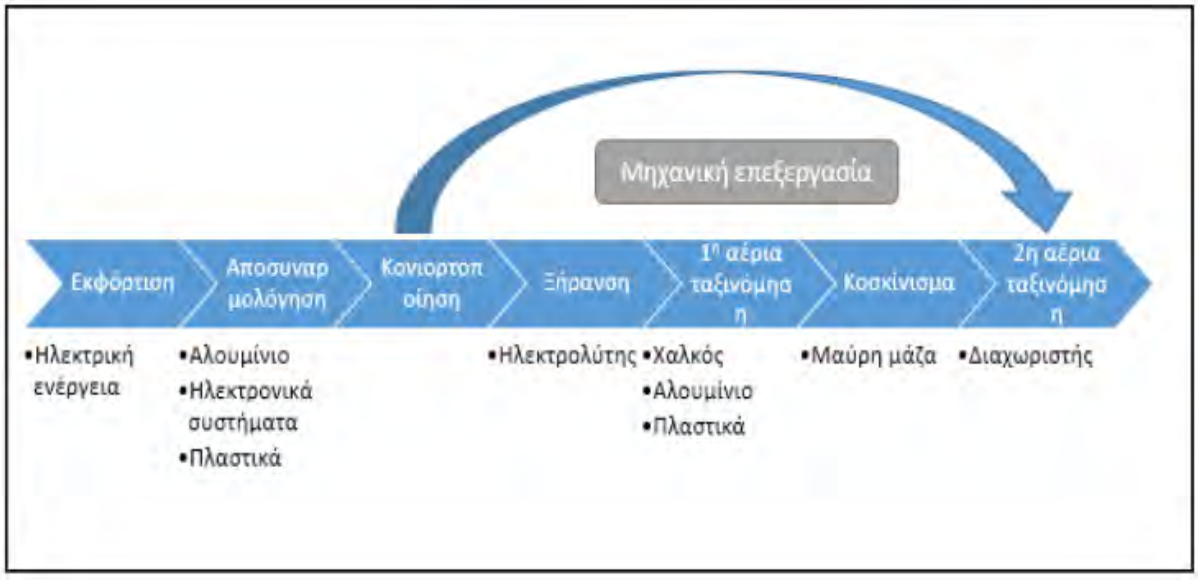
Επιπλέον περιβαλλοντικό ζήτημα αποτελεί και η κατασκευή των συσσωρευτών, που έχει μεγάλη δυναμική οξίνισης που συνδέεται με τις διεργασίες της τήξης των μετάλλων (χαλκός, νικέλιο, μονοξείδιο του άνθρακα) που χρησιμοποιούνται ως κύρια στοιχεία για να κατασκευαστούν οι συσσωρευτές ,όλων των κατηγοριών. Ταυτόχρονα, μόνο ένα ποσοστό 50 με 70% από τα υλικά που συνθέτουν ένα συσσωρευτή διαθέτουν την ικανότητα επαναχρησιμοποίησης ή ανακύκλωσης, αυτό το γεγονός είναι αποθαρρυντικό για τους ιδιοκτήτες σε ότι αφορά τη μεταγενέστερη εκμετάλλευση του συσσωρευτή [33].

Συνεπάγεται, πως η περιβαλλοντική επίπτωση που προκαλούν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα συνάδει με τη μεγάλη περιβαλλοντική επιβάρυνση που προκαλείται από τα υλικά που συνθέτουν το συσσωρευτή. Τα μικρά ηλεκτρικά αυτοκίνητα παρουσιάζουν πιο μικρή περιβαλλοντική επιβάρυνση και αυτό οφείλεται στο μικρότερο μέγεθος του συσσωρευτή που χρησιμοποιείται σε σχέση με τα πιο μεγάλα οχήματα [33].

7.3 Ανακύκλωση συσσωρευτών

Για να επιτευχθεί η ανακύκλωση των συσσωρευτών με το μέγιστο εφικτό ποσοστό ανάκτησης χρειάζεται να πραγματοποιηθεί μηχανική επεξεργασία. Η διαδικασία της ανακύκλωσης έχει βασιστεί στο μοντέλο της LithoRec με ορισμένες διαφοροποιήσεις. Έχει σχεδιαστεί και έχει υπολογιστεί με τέτοιο τρόπο η συγκεκριμένη μέθοδος ώστε να είναι εφικτό να ανακυκλώνονται 8 μπαταρίες κάθε μέρα, άρα 2920 ετησίως. Εάν υπολογιστεί πως η κάθε μπαταρία έχει βάρος 400 κιλά περίπου, αυτό σημαίνει πως είναι εφικτό να γίνει επεξεργασία 3,2 τόνων ημερησίως άρα 1168 τόνων ετησίως [34].

Στην εικόνα 73 παρουσιάζονται τα στάδια μηχανικής επεξεργασίας που θα πραγματοποιηθούν για την ανακύκλωση των μπαταριών. Στο κάτω μέρος κάθε σταδίου φαίνεται το υλικό που θα ανακτηθεί. Για να γίνει η μηχανική επεξεργασία πρέπει προηγουμένως να έχει εκφορτιστεί εντελώς η μπαταρία και να έχει αποσυναρμολογηθεί σε επιμέρους συστοιχίες [34].



Εικόνα 73 : Στάδια μηχανικής επεξεργασίας μπαταριών [34].

7.3.1 Μηχανική επεξεργασία μπαταριών, δημιουργία 'μαύρης μάζας'

Αρχικά ο συσσωρευτής αφαιρείται από το ηλεκτρικό όχημα και μετριέται το βάρος του, έπειτα θα τοποθετηθεί σε μία κατασκευή και θα γίνει δοκιμή από το διαγνωστικό μηχάνημα για να εξασφαλιστεί πως η μπαταρία είναι πλήρως εκφορτισμένη. Η ενέργεια που έχει απομείνει εφόσον είναι εφικτό μπορεί να μεταβιβαστεί στα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με σκοπό να χρησιμοποιηθεί σε άλλες εφαρμογές [34].

Η εκφόρτιση της μπαταρίας θα σταματήσει όταν δοθεί ενημέρωση από το διαγνωστικό πως έχει εκφορτιστεί εντελώς ή πως η τάση της μπαταρίας είναι πιο μικρή από 2V. Είναι απαραίτητο η μπαταρία να εκφορτιστεί εντελώς ώστε να αποφευχθούν τυχόν εκρήξεις, φωτιά και να εξασφαλιστεί η ασφάλεια των εργαζομένων στα στάδια που ακολουθούν. Στο στάδιο που ακολουθεί, η μπαταρία θα αποσυναρμολογηθεί σε συστοιχίες, κάθε συστοιχία θα τοποθετηθεί ξεχωριστά στη μεταφορική ταινία και μέσω αυτής θα οδηγηθούν σε έναν καινούριο χώρο για να γίνει η κονιορτοποίηση τους [34].

Στην εικόνα 74 παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο μεταφέρονται οι συστοιχίες μίας μπαταρίας που οδηγούνται για κονιορτοποίηση μέσω της μεταφορικής ταινίας. Οι συστοιχίες που βρίσκονται μέσα σε κάθε μπαταρία εξαρτώνται από τον κατασκευαστή επειδή κάθε μπαταρία αποτελείται από διαφορετικό αριθμό συστοιχιών. Κατά μέσο όρο πιο συχνά οι συστοιχίες είναι 6 με βάρος κατά μέσο όρο 50 kg η κάθε συστοιχία, στο μέλλον ο αριθμός των συστοιχιών τείνει να μεγαλώσει [34].

Εικόνα 74 : μεταφορά της συστοιχίας με τη βοήθεια μεταφορικής ταινίας [3].

Η διαμόρφωση του χώρου κονιορτοποίησης είναι συγκεκριμένων προδιαγραφών και εξαρτάται από το κονιορτοποιητή. Προτείνεται το κουβούκλιο να είναι κλειστό, μέσα σε αυτό το χώρο η διαδικασία της κονιορτοποίησης γίνεται χρησιμοποιώντας ένα αδρανές αέριο συνηθέστερα το αργό ή το άζωτο ώστε να μειωθεί το οξυγόνο και να αποφευχθούν οι εκρήξεις και η πυρκαγιά. Το πιο μεγάλο ποσοστό οξυγόνου που επιτρέπεται να υπάρχει στο χώρο είναι 4%. Η λειτουργία του κονιορτοποιητή αρχίζει στα 0,9 kW και στη συνέχεια φτάνει στα 1,6 kW. Το πιο μεγάλο όριο λειτουργίας που μπορεί να φτάσει ο κονιορτοποιητής είναι στα 0,3kW. Στο χρονικό διάστημα 2 λεπτών η συστοιχία πλέον έχει τεμαχιστεί και έτσι ο μύλος θα επιστρέψει στα 1,6kW [34].

Στην εικόνα 75 παρουσιάζεται ο κονιορτοποιητής έτοιμος να λειτουργήσει για να πραγματοποιηθεί το θρυμμάτισμα της συστοιχίας. Όπως φαίνεται ο χώρος (το κουβούκλιο) είναι κλειστός ώστε να αποφευχθούν τυχόν πιθανά ατυχήματα [34].

Εικόνα 75 : Συστοιχία μπαταρίας στον κονιορτοποιητή [3].

Αφού γίνει η πρώτη φάση της κονιορτοποίησης, τα εξαρτήματα που είναι τεμαχισμένα θα περάσουν σε μία δεύτερη φάση όπου θα κονιορτοποιηθούν ξανά για να αποκτήσουν τη μορφή σκόνης. Η σκόνη που έχει δημιουργηθεί περνά στον αποξηραντή, για να εξατμιστεί και να συμπυκνωθεί ο ηλεκτρολύτης. Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους μπορεί να εξατμιστεί ο ηλεκτρολύτης. Στο πρώτο τρόπο η εξάτμιση πραγματοποιείται στους 100°C έως και τους 140°C και προστίθενται 0,45kg από ένα αδρανές αέριο για 1kg από τη μπαταρία. Ο αποξηραντής αρχικά λειτουργεί στα 2,6kW και φτάνει έως και τα 5kW. Στο χρονικό διάστημα των 300 λεπτών υπό τις συγκεκριμένες συνθήκες, ο ηλεκτρολύτης έχει τη δυνατότητα να ανακτηθεί έως και κατά 98% [34].

Στο δεύτερο τρόπο, η σκόνη που έχει δημιουργηθεί εισάγεται στον αποξηραντή για χρονικό διάστημα 30 λεπτών σε θερμοκρασία 245°C και ο ηλεκτρολύτης θα ανακτηθεί σε ανάλογο ποσοστό. Ο ηλεκτρολύτης που έχει πλέον ανακτηθεί θα συγκεντρωθεί σε μεγάλες μεταλλικές δεξαμενές ώστε να γίνει η επαναχρησιμοποίησή του σε διάφορες εφαρμογές στη βιομηχανία, αλλά και για να παραχθούν νέες μπαταρίες. Στη συνέχεια θα διαχωριστούν τα υλικά της αποξηραμένης μάζας με την αέρια ταξινόμηση και τη χρήση του κοσκινίσματος [34].

Η πρώτη αέρια ταξινόμηση διαρκεί για ένα διάστημα 3 ωρών, πραγματοποιείται με μεγάλη ταχύτητα αέρα και χρειάζονται περίπου 1,6 kW. Κατά τη διάρκεια του

κοκκινίσματος χρησιμοποιείται δόνηση και αέρια ταξινόμηση για χρονικό διάστημα 1,3 ωρών περίπου στο 1,5 kW έως και τα 5 kW. Η δεύτερη ταξινόμηση έχει διάρκεια 4,2 ωρών και απαιτούνται 250W. Κατά το διαχωρισμό συνολικά γίνεται χρήση ανεμιστήρων, βιομηχανικών κόσκινων και κόσκινων ζιγκ ζαγκ [34].

Κατά τη πρώτη φάση του κοσκινίσματος γίνεται διαχωρισμός της αποκαλούμενης «μαύρης μάζας» , όπου εκεί περιέχονται μέταλλα από μία μπαταρία όπως είναι το μαγγάνιο, το νικέλιο, το λίθιο, κ.λπ. Η μαύρη μάζα μέσω των σωλήνων και με τη χρήση ανεμιστήρων κατευθύνεται σε μία άλλη ταξινόμηση ώστε να συλλεχθεί. Η «σκόνη» που υπολείπεται κατευθύνεται στους μαγνητικούς διαχωριστές ώστε να συλλεχθεί και να ανακτηθεί ο σίδηρος. Κατά τη δεύτερη φάση του κοσκινίσματος χρησιμοποιείται η αέρια ταξινόμηση για να γίνει διαχωρισμός του πλαστικού από το αλουμίνιο και το χαλκό ανάλογα με τη ταχύτητα που έχει ο αέρας [34].

Κάθε μάζα που προκύπτει από τις διαδικασίες που περιεγράφηκαν μέσω των σωληνώσεων και των ανεμιστήρων κατευθύνεται χωριστά σε μεγάλες πλαστικές τσάντες της βιομηχανίας όπως φαίνεται και στην εικόνα 76. Τα δοχεία της εικόνας από αριστερά προς τα δεξιά το πρώτο περιέχει πλαστικό, το δεύτερο αλουμίνιο – χαλκό και το τρίτο περιέχει τη μαύρη μάζα. Αφού έχουν διαχωριστεί τα μέταλλα της μπαταρίας, κάθε βιομηχανική τσάντα θα οδηγηθεί για επιπλέον επεξεργασία ώστε να πραγματοποιηθεί η πλήρης ανάκτηση [34].

Εικόνα 76 : Συλλογή μετάλλων σε βιομηχανικές τσάντες από το πρόγραμμα για ανακύκλωση της Volkswagen [3].

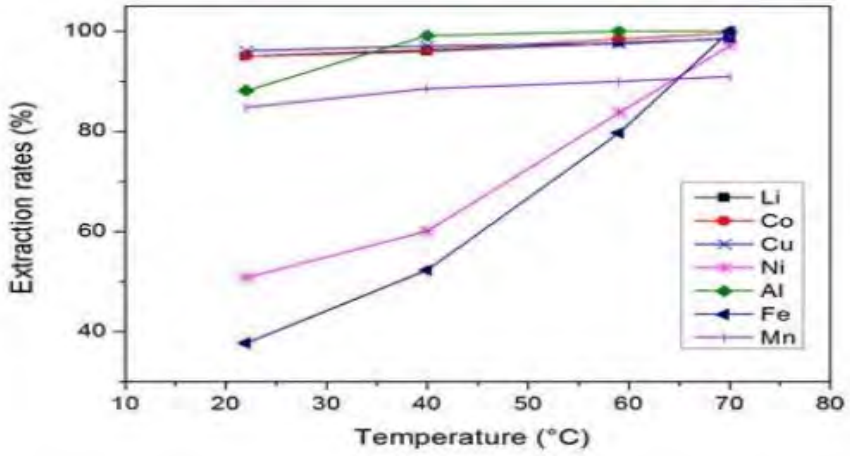
7.3.2 Ανάκτηση υλικών των μπαταριών

Για να γίνει πλήρη ανάκτηση των υλικών της μπαταρίας, το τελευταίο στάδιο που πραγματοποιείται είναι η υδρομεταλλουργία. Μέσω αυτής της μεθόδου παρέχεται η ικανότητα να ανακτώνται τα υλικά σε υψηλό ποσοστό, σύμφωνα με τους στόχους της Ευρωπαϊκής οδηγίας 2020/798/ΕΚ. Αναλυτικότερα στην εικόνα 77 φαίνονται τα στάδια επεξεργασίας της υδρομεταλλουργίας και τα υλικά που θα ανακτηθούν μέσω αυτής της διαδικασίας [34].

Εικόνα 77 : Υδρομεταλλουργική επεξεργασία [3].

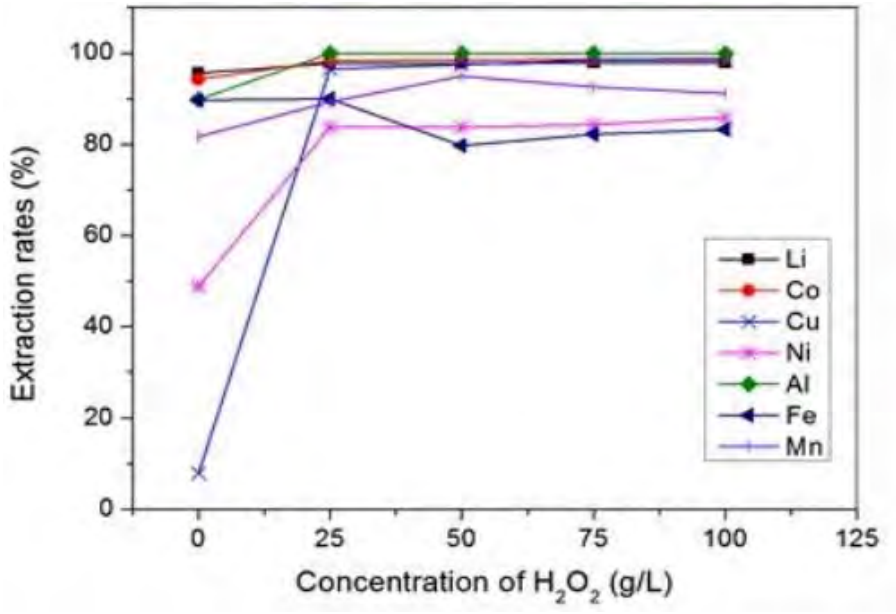
Από μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί προκύπτει πως η θερμοκρασία, ο χρόνος και η ανάμειξη των οξέων που προστίθενται για να επιτευχθούν υψηλά ποσοστά ανάκτησης , είναι σημαντικοί παράγοντες στη μέθοδο ανάκτησης των μετάλλων [34].

Στο σχήμα 5 φαίνεται το ποσοστό ανάκτησης που έχουν τα υλικά σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία. Όταν η θερμοκρασία είναι στους 22°C το ποσοστό ανάκτησης του νικελίου είναι στο 50%. Όταν η θερμοκρασία αυξηθεί στους 70°C, τότε φαίνεται πως το ποσοστό ανάκτησης αυξάνεται κατακόρυφα στο 97%. Διακρίνεται μία διαφορά 47% εξαιτίας της θερμοκρασίας. Όμοια διακύμανση φαίνεται και στη περίπτωση του σιδήρου. Στις ίδιες θερμοκρασίες το κοβάλτιο θα παρουσιάσει μία αύξηση 5%. Τα μέταλλα που απομένουν εμφανίζουν ποσοστά ανάκτησης πιο μεγάλα από 88% στους 22°C. Αναλυτικότερα σε ότι αφορά το λίθιο όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.3 έχει ποσοστό ανάκτησης 95% και όταν η θερμοκρασία αυξηθεί στους 70°C μπορεί να φτάσει έως και 98,5%. Ο χαλκός στις ίδιες θερμοκρασίες αρχίζει από ποσοστό ανάκτησης 96% και φτάνει έως και 98,6%. Τέλος το αλουμίνιο έχει περίπου 100% ποσοστό ανάκτησης στους 60°C, ενώ το μαγγάνιο σε οποιαδήποτε θερμοκρασία κυμαίνεται σε ένα ποσοστό ανάκτησης 85% [34].



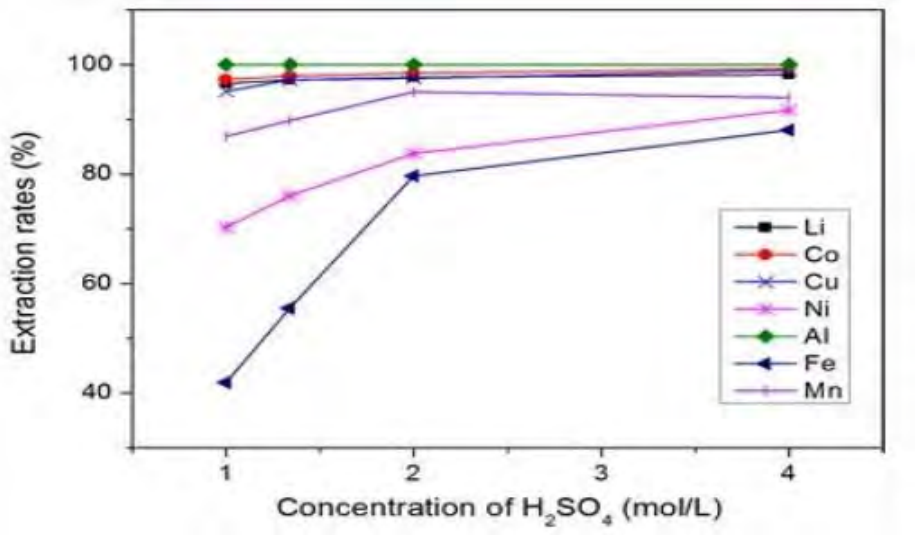
Σχήμα 5 :Ποσοστά ανάκτησης υλικών σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία [34].

Στο σχήμα 6 φαίνονται τα ποσοστά ανάκτησης που εμφανίζουν τα υλικά σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση του υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2) ανά λίτρο. Η πιο μεγάλη διακύμανση ανάκτησης φαίνεται στο χαλκό που έχει ποσοστό 7,9% και όταν προστίθενται 25g/L υπεροξειδίου του υδρογόνου το ποσοστό αυξάνεται στο 96,6%. Φαίνεται μία πολύ υψηλή διακύμανση με ποσοστό 88,7%. Το νικέλιο έχει ποσοστό ανάκτησης 48,9% και με το ποσό υπεροξειδίου του υδρογόνου θα αυξηθεί στο 83,7%, μία διακύμανση δηλαδή της τάξεως 34,8%. Σε πιο μεγάλες συγκεντρώσεις δεν φαίνεται κάποια μεγάλη αλλαγή, παρατηρείται μόνο μία διακύμανση της τάξεως 2% για τα μέταλλα του σχήματος. Το λίθιο για την ίδια προσθήκη υπεροξειδίου του υδρογόνου από ποσοστό ανάκτησης 95,7% θα φτάσει στο 97,7% και το κοβάλτιο από 94,3% θα φτάσει στο 98,4%, ενώ το ποσοστό ανάκτησης που έχει ο σίδηρος δεν έχει κάποιο όφελος εάν προστεθεί το H_2O_2. Γενικότερα όταν προστίθεται το υπεροξείδιο του υδρογόνου είναι πολύ αποδοτικό για το χαλκό και το νικέλιο και προτείνεται να προστίθενται 50g/L για να εμφανίζουν πιο καλά αποτελέσματα [34].



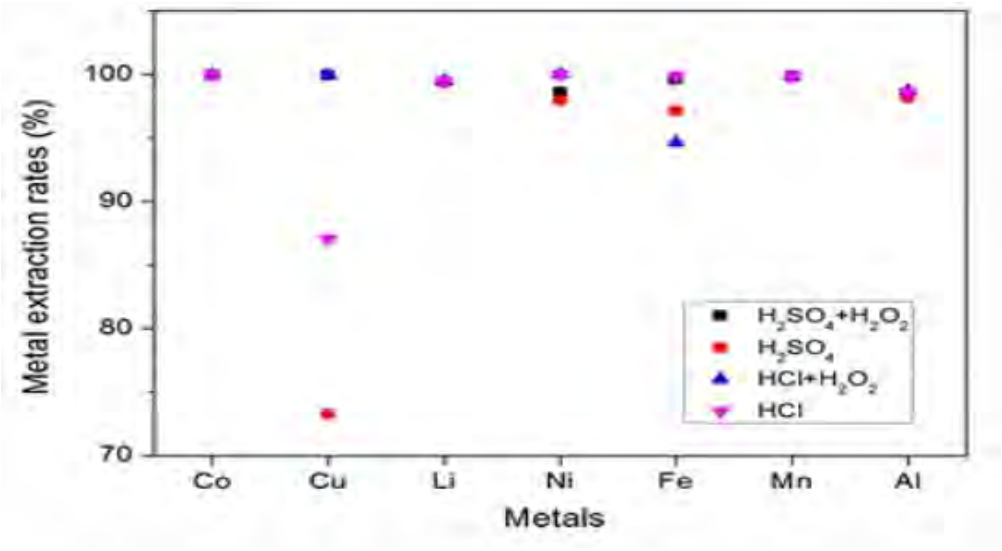
Σχήμα 6 : Ποσοστά ανάκτησης των υλικών σε συνάρτηση το υπεροξείδιο του υδρογόνου (σε θερμοκρασία 59°C,για 2mol/L υπεροξειδίου του υδρογόνου και σε χρόνο 75 λεπτών) [34].

Στο σχήμα 7 φαίνονται τα ποσοστά ανάκτησης που εμφανίζουν τα υλικά σε συνάρτηση με τις διάφορες συγκεντρώσεις του θειικού οξέος (H_2SO_4) για 1, 1,33,2 και 4 mol/L. Το νικέλιο ανακτάται με ποσοστό 90% με τη προσθήκη 4mol/L, για την ίδια συγκέντρωση ο σίδηρος ανέρχεται με 88,1% ποσοστό ανάκτησης. Η διαφορά στο ποσοστό ανάκτησης των υπόλοιπων μετάλλων είναι αμελητέα της τάξεως 2% και 4%. Τέλος το μαγγάνιο ανακτάται με ποσοστό που κυμαίνεται στο 90% [34].



Σχήμα 7 : Ποσοστά ανάκτησης των υλικών σε συνάρτηση το θειικό οξύ (σε θερμοκρασία 59°C,για 50mol/L θειικού οξέος και σε χρόνο 75 λεπτών) [34].

Στο σχήμα 8 φαίνονται συνολικά τα ποσοστά ανάκτησης κάθε υλικού για διάφορα οξέα και διάφορους συνδυασμούς οξέων. Μετά από έρευνα προκύπτει πως η πιο ιδανική λύση είναι όταν συνδυάζεται το υπεροξείδιο του υδρογόνου με θειικό οξύ.



Σχήμα 8 : Ποσοστά ανάκτησης των υλικών σε συνάρτηση με διάφορα οξέα (σε θερμοκρασία 80°C,για [HCL] 4mol/L ή [H2SO4] 2mol/L , [H2O2] 0g/L ή [HCL] 50g/L και σε χρόνο 120 λεπτών) [34].

7.3 Σύγκριση θετικών και αρνητικών συνεπειών των συμβατικών και των ηλεκτρικών οχημάτων προς το περιβάλλον

Με βάση την έκθεση από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος, που ερευνά τα στοιχεία που σχετίζονται με τις συνέπειες που δημιουργούνται λόγω των ηλεκτρικών οχημάτων, η μεταβολή του κλίματος, η ποιότητα του αέρα, ο θόρυβος και τα οικοσυστήματα σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα, φαίνεται πως καθ' όλη τη διάρκεια ζωής ενός ηλεκτρικού οχήματος στην Ευρώπη παράγονται πιο λίγοι ρύποι στην ατμόσφαιρα και ρύποι του θερμοκηπίου σε σχέση με ένα συμβατικό όχημα που χρησιμοποιεί ως καύσιμη ύλη είτε βενζίνη είτε πετρέλαιο. Οι εκπομπές αυξάνονται κατά τη παραγωγή των ηλεκτρικών οχημάτων, όμως αντισταθμίζονται καθώς εκπέμπουν πιο χαμηλές εκπομπές όταν χρησιμοποιούνται με το πέρασμα του χρόνου [30].

Επίσης τα ηλεκτρικά οχήματα καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους με βάση το τρέχον ενεργειακό μείγμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, δημιουργούν περίπου τα 2/3 των αερίων του θερμοκηπίου από αυτά των συμβατικών οχημάτων, ενώ κατά τη χρήση τους έχουν μηδενικές εκπομπές άνθρακα, με τις τελευταίες να δημιουργούνται λόγω της παραγωγής της ενέργειας που έχει χρησιμοποιηθεί. Για παράδειγμα η καύση του λιγνίτη, εφόσον για να παραχθεί χρειάζεται σημαντική κατανάλωση ενέργειας. Το ποσό της ενέργειας που ξοδεύεται για να

κατασκευαστεί ένα ηλεκτρικό όχημα είναι πιο μεγάλο σε σύγκριση με την ενέργεια που χρειάζεται για να κατασκευαστεί ένα συμβατικό όχημα. Αυτό συμβαίνει λόγω της κατασκευής των συσσωρευτών ιόντων λιθίου, που αποτελούν κύριο μέρος των ηλεκτρικών οχημάτων. Όμως από ένα ηλεκτρικό όχημα στη διάρκεια ενός χρόνου μπορούν να εξοικονομηθούν από την ατμόσφαιρα 1,5 εκατομμύρια gr CO_2 [30].

Φαίνεται πως το αποτέλεσμα από τη σύγκριση των δύο τεχνολογιών, είναι πιο λίγο ευνοϊκό για τα ηλεκτρικά οχήματα σε ότι αφορά τις συνέπειες που προκαλούν στο οικοσύστημα από την παραγωγή τους και λόγω της τοξικότητας που εμφανίζουν τα σχετικά υλικά. Οι επιπτώσεις αυτές προκαλούνται βασικότερα λόγω της διαδικασίας της εξόρυξης και της επεξεργασίας των πρώτων υλών όπως είναι το νικέλιο και ο χαλκός. Χωρίς καμία αμφιβολία όμως, οι συνέπειες αυτές θα ήταν εφικτό να ελαχιστοποιηθούν μέσω της κυκλικής οικονομίας ώστε να επαναχρησιμοποιούνται και να ανακυκλώνονται τα οχήματα ή τμήματα και εξαρτήματα αυτών και ιδιαίτερα οι συσσωρευτές τους [30].

Προς επιβεβαίωση όλων των παραπάνω που προαναφέρθηκαν, το 2019 πραγματοποιήθηκε ακόμη μία μελέτη από το πανεπιστήμιο Northwestern που βρίσκεται στο Ιλινόις, όπου ποσοτικοποιήθηκαν οι διαφορές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που παράγονται από τα ηλεκτρικά οχήματα που χρησιμοποιούν συσσωρευτές σε σύγκριση με τους θερμικούς κινητήρες. Διαπιστώθηκε πως ακόμη και στη περίπτωση που η ηλεκτρική ενέργεια δημιουργείται από πηγές καύσης, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα εμφανίζουν θετική επίπτωση στην ποιότητα του αέρα αλλά και στη κλιματική αλλαγή [30].

Για να ποσοτικοποιηθούν οι διαφορές ανάμεσα στους δύο τύπους αυτοκινήτων έγινε χρήση ενός αλγορίθμου, όπου αναδιατυπώνει της εκπομπές και προσομοιώνει μοντέλα ποιότητας του αέρα. Μέσω αυτών των μεθόδων ερευνήθηκαν δύο τύποι ρύπων που σχετίζονται με τα οχήματα και τις εκπομπές ενέργειας, αυτοί είναι τα σωματίδια και το όζον. Οι δύο τύποι ρύπων αποτελούν βασικά συστατικά της αιθαλομίχλης και μπορούν να δημιουργήσουν πολλά προβλήματα υγείας, όπως είναι για παράδειγμα το άσθμα, η χρόνια βρογχίτιδα και το εμφύσημα. Λόγω της πολυπλοκότητας στην αλλαγή της χημείας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης συμπεριλήφθηκαν μεταβλητές, όπως είναι τα δυνητικά ποσοστά υιοθέτησης ηλεκτρικών αυτοκινήτων, η δημιουργία ηλεκτρικής τροφοδοσίας αυτοκινήτου, όπου συμπεριλαμβάνονται μόνο οι πηγές καύσης και οι βελτιωμένες πηγές ΑΠΕ, οι γεωγραφική τοποθεσία, η ώρα της μέρας και η εποχή [30].

Έτσι, εξακριβώθηκε μείωση στα επίπεδα του όζοντος σε προσομοιώσεις με πιο θερμούς καιρικά μήνες. Τα σχετικά επίπεδα το χειμώνα σημειώνουν μία μικρή αύξηση, όμως και πάλι παραμένουν αισθητά πιο χαμηλά σε σχέση με το καλοκαίρι. Το συμπέρασμα που προκύπτει από όλα τα σενάρια είναι πως όσο πιο πολλά οχήματα πηγαίνουν σε ηλεκτρική ενέργεια, τόσο θα βελτιώνονται τα επίπεδα του όζοντος [30].

Αντίστοιχα η ομίχλη ή αλλιώς η σωματιδιακή ύλη, σημείωσε μεγάλη μείωση τη περίοδο του χειμώνα. Υπήρχαν όμως υψηλότερες διακυμάνσεις όταν ερευνήθηκαν παράγοντες όπως ο τρόπος με τον οποίο δημιουργείται η ισχύς ή η περιοχή. Συνεπώς οι τοποθεσίες που έχουν πιο πολύ ισχύ από άνθρακα στο ενεργειακό μείγμα τους, θα εμφανίσουν αύξηση της ομίχλης κατά τη περίοδο του καλοκαιριού. Αντιθέτως οι τοποθεσίες με πιο καθαρές πηγές ενέργειας εμφανίζουν σημαντική μείωση στην ομίχλη που προκαλείται από τον άνθρωπο. Άρα όταν υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις για ισχύ φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στο συγκεκριμένο ενεργειακό μείγμα θα μπορούσαν να δημιουργηθούν μικρές αυξήσεις στα σωματίδια τη περίοδο του καλοκαιριού, εξαιτίας της εξάρτησης που υπάρχει για τη παραγωγή ενέργειας από τη καύση του άνθρακα. Όμως εάν αλλάξει ο τρόπος με τον οποίο παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια και προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), τότε η ρύπανση που δημιουργείται από τα σωματίδια θα μειωθεί δραστικά [30].

8. Σύγκριση των δύο τεχνολογιών

8.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ηλεκτρικών οχημάτων

Τα ηλεκτρικά οχήματα (EV), σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα παρέχουν πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα [7].

Πλεονεκτήματα :

- Ο ηλεκτρικός κινητήρας του οχήματος σε αντίθεση με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης, δεν παράγει αέριους ρύπους συμβάλλοντας στην μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης [7],[32],[35].
- Τα ηλεκτρικά οχήματα συνεισφέρουν στην μείωση της ηχορύπανσης, που καθιστά την ατμόσφαιρα των σύγχρονων πόλεων ανυπόφορη, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα της ζωής των ανθρώπων ακόμη συμβάλουν στην μειωμένη ενόχληση των οικοσυστημάτων. Πρακτικά το ηλεκτρικά οχήματα είναι αθόρυβα σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα [2], [35].
- Η τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων παρέχει την δυνατότητα χρησιμοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την επαναφόρτιση των συσσωρευτών από τα οχήματα [7].
- Τα ηλεκτρικά οχήματα επιβαρύνουν ελάχιστα το περιβάλλον με θερμική μόλυνση, διότι ο ηλεκτρικός κινητήρας έχει πολύ υψηλό βαθμό απόδοσης [2].
- Τα ηλεκτρικά οχήματα γίνεται να αποτελούν μέρος ενός συστήματος που θα περιλαμβάνει σταθμούς φόρτισης σε κάθε σπίτι αλλά και ενός εξελιγμένου δικτύου που θα έχει την δυνατότητα να ενισχύσει την κίνηση των οχημάτων [7].
- Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο έχει υψηλό βαθμό απόδοσης, η κατασκευή και η επισκευή του είναι πιο εύκολη και η απαίτηση για συντήρηση είναι μικρότερη. Δεν χρειάζεται νερό για την ψύξη του κινητήρα αλλά ούτε και φίλτρα και έλαιο κινητήρα με άμεσο αποτέλεσμα οι θερμοκρασιακές μεταβολές του περιβάλλοντος να μην το επηρεάζουν [1], [32].
- Καταναλώνεται ενέργεια μόνο όταν το όχημα κινείται, ενώ σε περιπτώσεις στάσης το ηλεκτρικό όχημα δεν καταναλώνει ενέργεια. Αποτελεί μια καλή επιλογή χάρις αυτού για χρήση σε αστικά κέντρα [1].
- Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της χρήσης ενός ηλεκτρικού οχήματος είναι πολύ μικρότερο σε σύγκριση με ένα συμβατικό όχημα της ίδιας κατηγορίας [1].

- Με την τεχνολογία οχήματος στο δίκτυο (V2G), όπου όπως προαναφέρθηκε μπορεί να μεταφερθεί ενέργεια από το ηλεκτρικό όχημα στο δίκτυο και ειδικότερα στα νησιά μπορεί να αποθηκευτεί ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και να αποδοθεί στο δίκτυο σε ώρες με υψηλή ζήτηση [1].
- Τα ηλεκτρικά οχήματα γίνεται να διαχειριστούν αποδοτικά την ηλεκτρική ενέργεια, δηλαδή φορτίζουν σε περιόδους με χαμηλή ζήτηση ενέργειας για παράδειγμα την νύχτα και να αποσυνδέονται αυτόματα από το δίκτυο σε περιόδους με μεγάλη αιχμή ζήτησης [7].
- Υπάρχει η δυνατότητα φόρτισης των συσσωρευτών κατά την επιβράδυνση του οχήματος (regenerative braking), βελτιώνοντας την κατανάλωση του [2],[35].
- Ο ηλεκτρικός κινητήρας έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τον συμβατικό θερμικό κινητήρα [2].
- Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι περισσότερο αξιόπιστα από τα συμβατικά οχήματα [7].
- Έχουν έμμεσα χαμηλό κόστος λειτουργίας, καθώς το ηλεκτρικό όχημα δεν επηρεάζεται από τις αυξήσεις στην τιμή των ορυκτών καυσίμων αλλά και λόγο του μικρότερου κόστους συντήρησης. Αναλυτικότερα τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν χαμηλότερο κόστος συντήρησης γιατί δεν χρειάζονται αλλαγή του ελαίου του κινητήρα ανά διαστήματα, δεν έχουν σύστημα εξαγωγής καυσαερίων, διάταξη εξάτμισης, καταλύτη και σιλανσιέ και δεν απαιτούν συντήρηση ή ακόμα και αντικατάσταση σε μηχανικά μέρη όπως είναι έμβολα, βαλβίδες, σύστημα ανάφλεξης αλλά και σε υπόλοιπα κινούμενα μέρη [35].
- Παρέχουν σταθερή ροπή από χαμηλές έως της μέγιστες στροφές κινητήρα [35].
- Οι ηλεκτρικοί κινητήρες μπορούν να λειτουργήσουν σε υψηλότερες στροφές σε σχέση με τους συμβατικούς θερμικούς κινητήρες, φθάνοντας συχνά και τις 14000 στροφές / λεπτό [35].
- Σύμφωνα με την ‘Διακήρυξη για το Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο’ που είχε υπογραφεί τον Μάρτιο του 2009, σχετικά με την εμπορική χρήση ηλεκτρικών αυτοκινήτων προκύπτουν σημαντικά κέρδη για την βιώσιμη κινητικότητα στην Ευρωπαϊκή Ένωση: [7]
    1. Τα ηλεκτρικά οχήματα συμβάλουν στον στόχο της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με το περιβάλλον και την ενέργεια, αναλυτικότερα με τα ηλεκτρικά οχήματα μειώνονται οι εκπομπές CO_2, μειώνεται η εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα και η ατμόσφαιρα γίνεται πιο καθαρή.

2. Με τα ηλεκτρικά οχήματα δίνεται μια ευκαιρία στην Ευρώπη να προβάλει την πράσινη οικονομία και να ενισχύσει την ανταγωνιστικότητα της στην κατασκευή και παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων.
3. Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι αρκετά πιο αποδοτικά από τα συμβατικά οχήματα, με την διάδοσή τους γίνεται να δημιουργηθούν υποδομές δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, όπου θα μπορούν να παρέχουν και αυτά ενέργεια στο δίκτυο ηλεκτρισμού.

Μειονεκτήματα:

- Το κυριότερο μειονέκτημα των ηλεκτρικών οχημάτων σχετίζεται με τους ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές ακόμη και σήμερα παρά την συνεχή βελτίωσή τους στο πέρασμα του χρόνου. Αναλυτικότερα παρουσιάζονται εμπόδια σχετικά με την πυκνότητα ενέργειας, δηλαδή το λόγο της αποθηκευμένης ενέργειας της μπαταρίας προς το βάρος και τον όγκο της, όπου πρακτικά είναι αρκετά μικρότερη σε σχέση με την πυκνότητα ενέργειας της βενζίνης. Με αποτέλεσμα τον περιορισμό της αυτονομίας σε περιπτώσεις με αυξημένη ενεργειακή ζήτηση και απαίτηση συσσωρευτών με μεγαλύτερο βάρος και όγκο [1], [2], [7].
- Σημαντικό πρόβλημα είναι και η διάρκεια φόρτισης των μπαταριών διότι μια πλήρης φόρτιση διαρκεί κάποιο χρονικό διάστημα, σε αντίθεση με ένα συμβατικό όχημα που ανεφοδιάζει με υγρά καύσιμα σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα [1],[2],[7],[32],[35].
- Το ηλεκτρικό όχημα συνήθως έχει λιγότερες επιδόσεις σε σχέση με ένα συμβατικό όχημα εξαιτίας της ανεπάρκειας των μπαταριών [1].
- Η μικρή διάρκεια ζωής των μπαταριών περίπου 5 έτη, όπου σε συνδυασμό με το αρκετά υψηλό κόστος αντικατάστασης με καινούργιους συσσωρευτές δημιουργεί, μια οικονομική δυσκολία που θέτει εμπόδια στην εξάπλωση των ηλεκτρικών οχημάτων [1],[2],[7],[32],[35].
- Μια καθημερινή δυσκολία στην χρήση του ηλεκτρικού οχήματος αποτελεί η δυσκολία προσέγγισης σε σταθμούς φόρτισης, σε αντίθεση με τους σταθμούς ορυκτών καυσίμων [1],[2],[7].
- Τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν περιορισμένη αυτονομία. Τα σύγχρονα μοντέλα πόλης επιτυγχάνουν αυτονομίες από 130 μέχρι και 150 χιλιόμετρα και τα αυτοκίνητα μεγάλης ισχύος αγγίζουν τα 250 με 300 χιλιόμετρα [2].

- Σε περιπτώσεις που το ηλεκτρικό όχημα επαναφορτίζει τους συσσωρευτές με ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από θερμοηλεκτρικά εργοστάσια με καύσιμη ύλη λιγνίτη, άνθρακα και πετρέλαιο ενδέχεται η ρύπανση να είναι υψηλότερη σε σχέση με ένα συμβατικό όχημα [1].
- Οι συσσωρευτές σε περίπτωση ατυχήματος ή βλάβης μπορούν να προκαλέσουν σοβαρό τραυματισμό στους επιβάτες από ανάφλεξη ή έκρηξη αλλά και σε περίπτωση ανεπαρκούς μόνωσης εγκυμονεί κίνδυνος ηλεκτροπληξίας [2].
- Υψηλό κόστος αγοράς σε σχέση με ένα συμβατικό αυτοκίνητο [2],[32],[35].

8.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των υβριδικών και ρευματοληπτικών (plug-in) υβριδικών οχημάτων

Πλεονεκτήματα υβριδικών οχημάτων (HEV) :

- Τα υβριδικά οχήματα συνδυάζουν δύο κινητήρες, έναν ηλεκτρικό κινητήρα και έναν θερμικό κινητήρα κατορθώνοντας μικρότερη κατανάλωση καυσίμου σε ποσοστό 40% με 50% εντός πόλεως, αλλά και εκπεμπόμενοι αέριοι ρύποι είναι αρκετά λιγότεροι [3],[4].
- Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης έχει μικρότερες διαστάσεις σε σχέση με ένα θερμικό κινητήρα ενός συμβατικού οχήματος [3].
- Ο θερμικός κινητήρας λειτουργεί σε σταθερή ταχύτητα του φάσματος λειτουργίας με αρκετά υψηλή απόδοση [3].
- Μπορούν να επαναφορτίσουν τις συστοιχίες των συσσωρευτών τους με την λειτουργία της αναγεννητικής πέδησης [3].
- Ο συντελεστής απόδοσης είναι υψηλός κατά την εκκίνηση αλλά και κατά την λειτουργία του οχήματος σε χαμηλές ταχύτητες [3].
- Λόγω της υψηλής ζήτησης η χρηματική τους αξία διατηρείται σε υψηλά επίπεδα σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα [3].
- Σημαντικός παράγοντας είναι πως τα υβριδικά οχήματα είναι απαλλαγμένα από τους φόρους τελών κυκλοφορίας και εξαιτίας της χαμηλότερης κατανάλωσης βενζίνης, συμβάλουν στην γρήγορη απόσβεση των αυξημένων τιμών κτήσης τους σε μερικά έτη [4].
- Χάρις στην χρήση των ορυκτών καυσίμων διατηρείται η υψηλή ενεργειακή απόδοση των ορυκτών καυσίμων, διατηρώντας την μεγάλη αυτονομία των συμβατικών οχημάτων [4].

Μειονεκτήματα υβριδικών οχημάτων (HEV) :

- Η κατασκευή των οχημάτων είναι σύνθετη, με άμεση συνέπεια το υψηλό κόστος κτήσης [3].
- Λόγο τις ύπαρξης και συνεργασίας μηχανικών συστημάτων αλλά και ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων σε περίπτωση βλάβης χρειάζεται εξειδικευμένο προσωπικό για την επίλυση του προβλήματος [3].
- Το πρόσθετο βάρος των συσσωρευτών επηρεάζει αρνητικά τις επιδόσεις και την ευστάθεια του οχήματος [3].
- Υψηλό κόστος αντικατάστασης των συσσωρευτών με περιορισμένη διάρκεια ζωής [4].
- Η υβριδική τεχνολογία δεν έχει αναπτυχθεί πλήρως σε τετρακίνητα οχήματα (4X4), χρειάζονται ακόμη αρκετή μελέτη για την βελτίωσή τους προκειμένου να μειωθεί η υψηλή κατανάλωση ενέργειας [4].

Πλεονεκτήματα των ρευματοληπτικών (plug-in) υβριδικών οχημάτων :

- Το υβριδικό όχημα όταν κινείται με ηλεκτρική ενέργεια είναι οικονομικότερο σε σχέση με την χρήση ορυκτών καυσίμων για κίνηση, διότι η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι αρκετά μικρότερη από αυτή των ορυκτών καυσίμων [3].
- Με την χρήση των Plug-in υβριδικών οχημάτων θα μειωθούν οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, γιατί τα Plug-in υβριδικά οχήματα παράγουν λιγότερους ρύπους σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα αλλά και με τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV) [3].
- Τα Plug-in υβριδικά οχήματα παρέχουν την δυνατότητα επαναφόρτισης των συσσωρευτών τους από ανανεώσιμές πηγές ενέργειας [3].
- Με την χρήση των Plug-in υβριδικών οχημάτων το ηλεκτρικό δίκτυο εξελίσσεται και μπορούν να τοποθετηθούν σταθμοί φόρτισης σε οικίες συμβάλλοντας στην διάδοση των ηλεκτρικών οχημάτων [3].
- Ακόμα ένα πλεονέκτημα των Plug-in υβριδικών οχημάτων είναι ότι μπορούν να γίνουν ακόμα πιο αποδοτικά σε σχέση με τα συμβατικά υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα, καθώς ο θερμικός κινητήρας χρησιμοποιείται λιγότερο μπορεί να λειτουργεί αρκετά κοντά στο μέγιστο θερμικό βαθμό απόδοσης του [3].

- Η φόρτιση των Plug-in υβριδικών οχημάτων γίνεται σε περιόδους εκτός αιχμής ζήτησης, για παράδειγμα βραδινές ώρες, ενώ σε περίπτωση που ενώ φορτίζουν υπάρχει μεγάλη ζήτηση ενέργειας σταματούν την φόρτιση αυτόματα [3].
- Με την τεχνολογία V2G τα Plug-in υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να μεταφέρουν ενέργεια στο δίκτυο όταν χρειαστεί, όπως σε περιόδους με υψηλή ζήτηση αλλά και για την εξισορρόπηση του φορτίου στο δίκτυο [3].

Μειονεκτήματα των ρευματοληπτικών (plug-in) υβριδικών οχημάτων (Plug-in) :

- Σε συνθήκες όπου το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας του δικτύου προέρχεται από άνθρακα, αυξάνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα [3].
- Τα Plug-in υβριδικά οχήματα έχουν αρκετά μεγαλύτερο κόστος και βάρος από τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα εξαιτίας των μεγαλύτερων συστοιχιών συσσωρευτών που έχουν [3].
- Επιτυγχάνεται μεγάλη μείωση εκπεμπόμενων ρύπων μόνο όταν τα Plug-in υβριδικά οχήματα επαναφορτίζουν τις μπαταρίες τους με ανανεώσιμές πηγές ενέργειας [3].

8.3 Σύγκριση αμιγώς ηλεκτρικών και υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων με συμβατικά οχήματα

Πίνακας 4 : Σύγκριση αμιγώς ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων με τα συμβατικά οχήματα [3].

Τομέας απόδοσης	Ηλεκτρικό όχημα	Υβριδικό όχημα
Μειωμένες εκπομπές ρύπων	Υψηλή μείωση	Σημαντική μείωση
Θόρυβος	Υψηλή μείωση	Σημαντική μείωση
Συνολικός βαθμός απόδοσης	Σχεδόν ίδιος	Υψηλός
Λόγος ισχύς/ βάρος	Αρκετά χαμηλός	Χαμηλός
Ευκολία στην οδήγηση	Σχεδόν ίδια	Σχεδόν ίδια
Ομαλό στην οδήγηση	Σχεδόν ίδια	Σχεδόν ίδια
Εμβέλεια	Αρκετά περιορισμένη	Σχεδόν ίδια
Επαναφόρτιση	Αρκετά πιο αργή	Παρόμοια
Ανθεκτικότητα	Υψηλή	Υψηλή
Κόστος κτήσης	Αρκετά Υψηλό	Αρκετά Υψηλό
Κόστος λειτουργίας	Πιο χαμηλό	Πολύ χαμηλότερο

8.4 Οι πωλήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων σήμερα

Το έτος 2022 οι πωλήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων κατέγραψαν νέο ρεκόρ, το ίδιο δυναμική αναμένεται πώς θα είναι και το έτος 2023. Οι πωλήσεις στην αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων ξεπέρασαν τις 10 εκατομμύρια το 2022. Την χρονιά 2022 από το σύνολο των αυτοκινήτων που πωλήθηκαν το 14% ήταν ηλεκτρικά οχήματα. Σημειώνοντας μια αύξηση της τάξης του 9% περίπου από το 2021 και σχεδόν 5% από το 2020. Οι τρεις αγορές που επικράτησαν στις παγκόσμιες πωλήσεις είναι οι εξής [36] :

- Κίνα, ως πρωτοπόρος με σχεδόν 60% των παγκόσμιων πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων. Ακόμη αξίζει να αναφερθεί ότι τα μισά σχεδόν ηλεκτρικά οχήματα που κυκλοφορούν σε όλο τον κόσμο είναι στη χώρα της Κίνας. Η Κίνα ήδη έχει υπερβεί τον στόχο της, για νέες ενεργειακές πωλήσεις οχημάτων για το έτος 2025.
- Ευρώπη, καταλαμβάνει την δεύτερη θέση στις πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων. Οι πωλήσεις αυξήθηκαν πάνω από το 15% το έτος 2022, όπου πρακτικά μεταφράζεται πως ένα στα πέντε οχήματα που πωλούνται είναι ηλεκτρικό.
- Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, ως η τρίτη μεγαλύτερη αγορά, με τις πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων να αυξάνονται σε ποσοστό 55% το έτος 2022.

Κατά το έτος 2023 οι πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων ενδέχεται να είναι πολύ περισσότερες . Ήδη το πρώτο τρίμηνο έχουν πωληθεί 2,3 εκατομμύρια ηλεκτρικά οχήματα, σχεδόν 25% περισσότερα από την ίδια χρονική περίοδο το 2022. Αναμένεται πως μέχρι το τέλος του 2023 οι πωλήσεις θα φτάσουν τα 14 εκατομμύρια, με μια αύξηση 35% σε σύγκριση με το έτος 2022 [36].

Σαν τελικό αποτέλεσμα προκύπτει πως τα ηλεκτρικά οχήματα θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύουν το 18% από τις συνολικές πωλήσεις οχημάτων, κατά την διάρκεια του έτους. Στην ενίσχυση των πωλήσεων μπορούν να συμβάλουν τα κίνητρα και οι εθνικές πολιτικές, αλλά και οι αυξήσεις στην τιμή του πετρελαίου που παρατηρούνται το τελευταίο διάστημα. Έτσι όλο και περισσότεροι υποψήφιοι αγοραστές ηλεκτρικών οχημάτων θα προβούν σε αγορά [36].

Είναι εμφανή τα ελπιδοφόρα σημάδια για τις αναπτυσσόμενες αγορές ηλεκτρικών οχημάτων, αν και είναι σε μικρό ποσοστό ακόμη. Γενικότερα οι πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων είναι χαμηλές εκτός των μεγάλων αγορών, Παρ'ολ'αυτά το έτος 2022 αποτέλεσε μια χρονιά εξέλιξης για την Ταϊλάνδη, την Ινδία και την Ινδονησία. Οι πωλήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων συνολικά στις χώρες αυτές υπερτριπλασιάστηκαν σε σχέση με την

χρονιά του 2021, αγγίζοντας τις 80.000. Αναλυτικότερα για την Ταϊλάνδη, το ποσοστό των ηλεκτρικών οχημάτων, στο σύνολο των πωλήσεων ανέρχεται λίγο περισσότερο από 3% για το 2022, ενώ παράλληλα τόσο στην Ινδονησία, όσο και στην Ινδία έχουν κατά μέσο όρο 1,5% για το 2022 [36].

Η κατασκευή των εξαρτημάτων και των ηλεκτρικών οχημάτων, στην Ινδία αυξάνεται με την στήριξη του προγράμματος κινήτρων της κυβέρνησης με ποσό ύψους 3,2 δισεκατομμύρια δολάρια που προσέλκυσε επενδύσεις με ποσά ύψους 8,3 δισεκατομμύρια δολάρια. Επιπρόσθετα η Ταϊλάνδη και η Ινδονησία βοηθούν τα προγράμματα πολιτικής στήριξης, παρέχοντας ενδεχόμενη πολύτιμη εμπειρία για νέες εισερχόμενες οικονομίες στην αγορά που σκοπεύουν να προωθήσουν την αγορά ηλεκτρικού οχήματος [36].

8.5 Το μέλλον των ηλεκτρικών οχημάτων

Οι πολιτικές ορόσημο των ηλεκτρικών οχημάτων καθορίζονται με βάση την φιλικότητα τους προς το περιβάλλον. Σύμφωνα με το σενάριο καθορισμένων πολιτικών του IEA (Stated Policies Scenario - STEPS), η προοπτικές σε όλο τον κόσμο σχετικά με τις πωλήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων με βάση τις υπάρχουσες πολιτικές και τους στόχους που έχουν τεθεί, έχει αυξηθεί στο 35% για το 2030 [36].

Βάση των προβλέψεων, η Κίνα διατηρεί την πρωτιά ως η μεγαλύτερη αγορά για ηλεκτρικά οχήματα με ποσοστό 40% από τις συνολικές πωλήσεις έως το 2030 στις STEPS. Οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής διπλασιάζουν το ποσοστό αγοράς τους στο 20% έως το τέλος της δεκαετίας, διότι η πρόσφατη πολιτική αναφέρει αύξησης της ζήτησης, ακόμη η Ευρώπη διατηρεί το ποσοστό της με μέγεθος 25%. Η ζήτηση που έχει προβλεφθεί για τα ηλεκτρικά οχήματα στις μεγάλες αγορές οχημάτων θα έχει άμεση επίδραση στις αγορές ενέργειας αλλά και στους στόχους που έχουν τεθεί για το περιβάλλον. Η ζήτηση πετρελαίου για τη χρήση του στις οδικές μεταφορές με βάση τις υπάρχουσες πολιτικές αναμένεται να αυξηθεί έως το 2025, παρόλα αυτά τα ηλεκτρικά οχήματα υπολογίζεται ότι θα εκτοπίσουν 5 εκατομμύρια βαρέλια ημερησίως το 2030 [36].

Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και την Ευρώπη έχει ψηφιστεί νομοθεσία σχετικά με τους κοινούς στόχους για την ηλεκτροκίνηση. Αρχικά η Ευρωπαϊκή Ένωση ακολούθησε νέα μέτρα για τις αέριες εκπομπές CO_2 και έτσι τα φορτηγά και τα επιβατικά οχήματα θα συμμορφώνονται με το πρότυπο Fit for 55 έως το 2030. Επιπρόσθετα στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής ο νόμος για την μείωση του πληθωρισμού (IRA) με συσχέτιση με τον νόμο Advanced Clean Cars II της Καλιφόρνιας από αρκετές πολιτείες στοχεύουν ότι τα

ηλεκτρικά οχήματα θα αποτελούν το 50% του μεριδίου αγοράς οχημάτων έως το 2030, σε συνδυασμό με τους εθνικούς στόχους το ποσοστό ενδέχεται να αυξηθεί ακόμη περισσότερο με την θέσπιση των προτύπων εκπομπών από την υπηρεσία προστασίας του περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής [36].

Ακόμη η κατασκευή των συσσωρευτών διευρύνεται όλο ένα και περισσότερο, με βασικό κίνητρο την πορεία εξέλιξης των ηλεκτρικών οχημάτων. Τον Μάρτιο του 2023, έγιναν αναφορές σχετικά με την παραγωγική ικανότητα των συσσωρευτών. Τα αποτελέσματα ήταν πολύ ενθαρρυντικά διότι οι παραγωγή μπορεί να καλύψει την ζήτηση που θα υπάρξει έως το 2030 αλλά ακόμη και την ζήτηση για το σενάριο των οχημάτων με μηδενικές εκπομπές ρύπων μέχρι το 2050. Αναμένεται λοιπόν τα ηλεκτρικά οχήματα να επιτύχουν αρκετά υψηλότερο ποσοστό πωλήσεων, με βάση την πορεία που έχει καθοριστεί από τους κυβερνητικούς και εθνικούς στόχους και κανόνες [36].

9. Συμπέρασμα

Η τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων πρωτοεμφανίστηκε στα τέλη του 19ου αιώνα με τις αρχές του 20ου αιώνα. Στο διάστημα αυτό τα ηλεκτρικά οχήματα είχαν περιθωριοποιήσει τα οχήματα με μηχανή εσωτερικής καύσης εξαιτίας ορισμένων παραγόντων, όπως η χρήση μανιβέλας στα βενζινοκίνητα οχήματα για την εκκίνηση του κινητήρα και η θορυβώδη λειτουργία τους. Με τη πάροδο του χρόνου τα οχήματα με τη μηχανή εσωτερικής καύσης άρχισαν να βελτιώνονται εμποδίζοντας την εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων. Έτσι τα ηλεκτρικά οχήματα περίπου μεταξύ 1930 έως 1990 βρίσκονταν σε παρακμή. Η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων έως το 1960 ήταν πλήρως αδρανοποιημένη. Παράλληλα το 1905 διακρίνεται η εμφάνιση των υβριδικών οχημάτων, τα οποία χρησιμοποιούσαν δύο κινητήρες έναν ηλεκτρικό κινητήρα και έναν βενζινοκινητήρα. Ο ηλεκτρικός κινητήρας υποβοηθούσε τον συμβατικό κινητήρα. Σήμερα η επανένταξη των υβριδικών και των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων παγκόσμια στην αγορά των αυτοκινητοβιομηχανιών κερδίζει σημαντικό έδαφος εξαιτίας της ραγδαίας εξέλιξής τους.

Οι τύποι των ηλεκτρικών οχημάτων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τις εκπομπές των ρύπων που δημιουργούνται. Στη πρώτη κατηγορία ανήκουν τα οχήματα χωρίς ρύπους, δηλαδή τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα που περιλαμβάνουν τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία, τα ηλεκτρικά οχήματα με κυψέλες καυσίμου, τα οχήματα εκτεταμένης εμβέλειας και τα ηλεκτρικά οχήματα που έχουν τη δυνατότητα να συνδεθούν στο δίκτυο. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα οχήματα που εκπέμπουν ελάχιστους ρύπους, δηλαδή τα υβριδικά οχήματα και τα ρευματοληπτικά υβριδικά οχήματα.

Ο ηλεκτρικός κινητήρας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια για τη κίνηση του οχήματος, επιπλέον έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί ως γεννήτρια για την ανάκτηση ενέργειας μέσω της αναγεννητικής πέδησης. Οι τύποι των ηλεκτρικών κινητήρων που χρησιμοποιούνται στις τεχνολογίες των υβριδικών και των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων είναι οι επαγωγικοί κινητήρες, οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος μόνιμου μαγνήτη, οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος μόνιμου μαγνήτη χωρίς ψήκτρες και οι σύγχρονοι κινητήρες με μόνιμους μαγνήτες.

Η αποθήκευση ενέργειας στα υβριδικά και στα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα πραγματοποιείται μέσω των ηλεκτροχημικών συσσωρευτών. Στο παρελθόν οι συσσωρευτές εμφάνιζαν αρκετά μειονεκτήματα όπως είναι η μικρή αυτονομία και η σχετικά χαμηλή

πυκνότητα ενέργειας σε σχέση με το μεγάλο βάρος και όγκο τους. Προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση του συσσωρευτή, κατά το σχεδιασμό του χρειάζεται να ληφθούν υπόψιν η διαφοροποίηση της διαθέσιμης ενέργειας ανάλογα με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, το επιθυμητό βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή, η γεωμετρία των στοιχείων μέσα στο συσσωρευτή και οι ανάγκες για ψύξη. Σήμερα οι συσσωρευτές έχουν εμφανίσει σημαντική βελτίωση στην αύξηση της αυτονομίας και της πυκνότητα ισχύος. Οι κατηγορίες των συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται περισσότερο στις τεχνολογίες των υβριδικών και των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων είναι οι συσσωρευτές ιόντων-λιθίου, νικελίου-υδριδίου μετάλλου και μολύβδου-οξέος.

Τα ρευματοληπτικά υβριδικά και αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα για τη διαδικασία φόρτισής τους χρησιμοποιούν το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των φορτιστών, οι οποίοι βρίσκονται στους σταθμούς φόρτισης. Οι σταθμοί φόρτισης δύναται να είναι είτε ιδιωτικοί (κυρίως σε οικίες) είτε δημόσιοι, παραδείγματος χάρη στους αυτοκινητόδρομους και στους δημόσιους χώρους. Οι φορτιστές είναι απαραίτητο να συμμορφώνονται με κάποια πρότυπα ασφαλείας. Επιπλέον, οι τύποι φόρτισης ποικίλουν ανάλογα με την απαιτούμενη ισχύ από τους σταθμούς φόρτισης και το διάστημα φόρτισης του οχήματος. Η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να είναι είτε μονοφασική είτε τριφασική. Επιπρόσθετα υπάρχει η δυνατότητα έξυπνης φόρτισης όπου το όχημα μέσω του V2G μπορεί να παρέχει ενέργεια προς το δίκτυο.

Τα συμβατικά οχήματα συμβάλλουν αρκετά στην αύξηση των ατμοσφαιρικών ρύπων, με αποτέλεσμα να επηρεάζονται τόσο το περιβάλλον όσο και η υγεία του ανθρώπου. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος εφαρμόζεται η χρήση των υβριδικών και των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων. Η τεχνολογία των υβριδικών και των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων οδηγεί σε αύξηση των εκλυόμενων ρύπων στη περίπτωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς για τη φόρτισή τους. Ωστόσο κατά τη λειτουργία τους τα υβριδικά οχήματα παράγουν ελάχιστους ρύπους και τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν μηδενικούς ρύπους. Ακόμη δύναται να αλλάξει ο τρόπος με τον οποίο παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια και να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Τότε η μείωση των ρύπων είναι ακόμη πιο δραστική. Συνολικά οι ρύποι που δημιουργούνται από τα υβριδικά και τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα είναι μειωμένοι σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα.

Τέλος, από τη σύγκριση των υβριδικών και των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων με τα συμβατικά οχήματα προκύπτουν ορισμένα πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των υβριδικών και των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων είναι οι μειωμένες εκπομπές ρύπων, ο μειωμένος θόρυβος και το μειωμένο κόστος λειτουργίας τους. Αντίθετα, έχουν περιορισμένη αυτονομία, υψηλό κόστος αγοράς και χρειάζεται κάποιο ικανό διάστημα για την επαναφόρτιση των συσσωρευτών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Λυριντζής, Παναγιώτης. "Ανακύκλωση Μπαταριών Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων." (2017).
2. Ντεμίρη, Αναστασία. "Συγκριτική μελέτη μεταξύ συμβατικού, ηλεκτρικού και υβριδικού οχήματος." (2018).
3. Κόλλιας, Σπυρίδων. "DC κινητήρες υβριδικά οχήματα." (2010).
4. Μπάκολης, Χαράλαμπος ΑΜ, and Δήμος ΑΜ Φυτίλης. "Συστήματα ανάκτησης ενέργειας στα υβριδικά οχήματα." (2015).
5. Γκερεδάκης, Εμμανουήλ. "Επισκόπηση τεχνολογίας και νομοθετικού πλαισίου λειτουργίας σταθμών φόρτισης για ηλεκτρικά αυτοκίνητα-Κατευθύνσεις για την εγκατάσταση σταθμού φόρτισης στο ΕΛΜΕΠΑ." (2021).
6. Sanguesa, Julio A., et al. "A review on electric vehicles: Technologies and challenges." Smart Cities 4.1 (2021): 372-404.
7. Ζώτου, Ευφροσύνη. "Υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα." (2016).
8. Γκυρτής, Δανιήλ, and Γαβριήλ-Χρήστος Γαλανόπουλος. "Μελέτη και επιλογή ηλεκτρικών στοιχείων για το ηλεκτρικό-υβριδικό αυτοκίνητο." (2017).
9. ΓΙΑΝΝΟΥΛΗΣ, ΓΙΩΡΓΟΣ, and ΒΑΣΙΛΗΣ ΛΑΓΩΝΙΚΑΣ. "ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ." (2020).
10. Zhuang, Weichao, et al. "A survey of powertrain configuration studies on hybrid electric vehicles." Applied Energy 262 (2020): 114553.
11. Γουλοδήμος, Ιωάννης. "Μελέτη υβριδικού-ηλεκτρικού οχήματος (HEV) κατά τη διάρκεια του παγκόσμιου κύκλου πόλης WLTC-Σύγκριση εκπομπών και επιδόσεων με συμβατικό όχημα." (2020).
12. ΚΑΦΕΝΤΖΗΣ, ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ. "ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΑΜΙΓΩΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ." (2021).
13. Κατσιφής, Γεώργιος Σ. "Τρόποι φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και φυσικής σύνδεσης αυτών με το δίκτυο." (2013).
14. Μαρκουλάτος, Αλέξανδρος. "Επισκόπηση στοιχείων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στα ηλεκτρικά οχήματα." (2020).
15. Τσιολάκης, Ραφαήλ. "Ηλεκτρικά αυτοκίνητα: μηχανολογική λειτουργία, ηλεκτροκίνηση και η σύνδεσή τους στο έξυπνο δίκτυο." (2020).
16. www.mercedes-benz.gr
17. www.toyota.com

18. Μπαρλίκας, Αλέξανδρος, and Μανιολ Μουγιολλάρι. "ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ-ΑΥΤΟΝΟΜΙΑ." (2022).
19. Sun, Xiaoli, et al. "Technology development of electric vehicles: A review." Energies 13.1 (2019): 90.
20. Hashemnia, Nasser, and Behzad Asaei. "Comparative study of using different electric motors in the electric vehicles." 2008 18th International Conference on Electrical Machines. IEEE, 2008.
21. ΓΕΩΡΓΙΟΥ, ΜΙΧΑΗΛ, and ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΠΟΥΛΟΣ. "ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ." (2021).
22. Αποστολόπουλος, Νικόλαος Δ. Έλεγχος κινητήρα μονίμων μαγνητών για εφαρμογές ηλεκτρικών οχημάτων. BS thesis. 2012.
23. Heidari, Hamidreza, et al. "A review of synchronous reluctance motor-drive advancements." Sustainability 13.2 (2021): 729.
24. Kärkkäinen, Hannu, et al. "Technology comparison of induction motor and synchronous reluctance motor." IECON 2017-43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. IEEE, 2017.
25. Μαυρουδής, Ξενοφών. "Τεχνολογίες επικοινωνιών για διασύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων με το ευφυές δίκτυο ενέργειας." (2017).
26. Γανωτή, Βασιλική. Θερμική ανάλυση συστήματος μπαταρίας για ηλεκτροκίνητο όχημα. Diss. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2019.
27. Καραγκούνης, Δημήτριος. "Σύγκριση Τεχνολογιών Μετάδοσης Δεδομένων για Σύνδεση Ηλεκτρικών Οχημάτων με το Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας." (2016).
28. Elements.visual.capitalist.com
29. Δημόπουλος, Τρύφων. Συστήματα φόρτισης για ηλεκτρικά υβριδικά οχήματα συνδεόμενα σε έξυπνο δίκτυο. No. GRI-2020-27858. Aristotle University of Thessaloniki, 2020.
30. Διακρούση, Σαλώμη. "Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα: Αέρια Ρύπανση και Διαχείριση Μπαταρίας." (2021).
31. Δραγάση, Αικατερίνη Ελένη. "Επίδραση της χρήσης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης." (2021).
32. Karczewski, Mirosław, et al. "Analysis of electric vehicles efficiency and their influence on environmental pollution." Journal of KONES 26.4 (2019): 97-104.
33. Ζαχαροπούλου, Θεοδώρα Μ. Βελτιστοποίηση αντιρρυπαντικού σχεδιασμού υβριδικών οχημάτων. Diss. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2016.

34. Τζάτσης, Αλέξανδρος. "Επαναχρησιμοποίηση και Ανακύκλωση συσσωρευτών: Προκλήσεις και μελλοντικές προοπτικές." (2021).
35. Ταχτσή, Άννα. "Τεχνολογία ανάκτησης ενέργειας σε Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα." (2015).
36. https://iea.blob.core.windows.net/assets/dacf14d2-eabc-498a-8263-9f97fd5dc327/GEVO2023.pdf iea.org