



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

## Συγκριτική μελέτη μεταξύ συμβατικού, ηλεκτρικού και υβριδικού οχήματος

(Comparative study between conventional, electric and hybrid vehicles)

**Πτυχιακή Εργασία:**

**Αναστασία Ντεμίρη 41490**

*Επιβλέπων: ΗΡΑΚΛΗΣ ΒΥΛΛΙΩΤΗΣ, Λέκτορας*

**ΑΙΓΑΛΕΩ**

**ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018**

Copyright © Α. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Α. Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πειραιά.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Με την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Βυλλιώτη Ηρακλή , για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της πτυχιακής εργασίας, δίνοντας μου έτσι την δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον θέμα. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την συμπαράσταση και την βοήθεια τους καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας μου.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....</b>	<b>3</b>
<b>ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ .....</b>	<b>6</b>
<b>ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ .....</b>	<b>8</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>9</b>
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....</b>	<b>10</b>
<b>Κεφάλαιο 1° Εισαγωγή .....</b>	<b>11</b>
1.1 Αναγκαιότητα χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων .....	11
1.1.1 Περιβαλλοντική ρύπανση .....	11
1.1.2 Αποθέματα ορυκτών καυσίμων.....	14
1.1.3 Πετρελαιοβιομηχανίες και τιμή αργού πετρελαίου .....	15
1.2 Εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων στο χρόνο.....	17
1.2.1 Ιστορική αναδρομή.....	17
1.2.2 Παράγοντες που εμπόδισαν τη διάδοση τους.....	20
1.2.3 Οικονομίες κρατών και εταιρίες αυτοκινήτων .....	21
1.3 Στατιστικά χρήσης και κίνητρα σε προηγμένες χώρες.....	22
1.3.1 Βαθμός διάδοσης ηλεκτροκίνητων οχημάτων .....	24
1.3.2 Μέτρα μείωσης εκπομπών ρύπων .....	26
1.4 Σκοπός της παρούσας μελέτης .....	28
<b>Κεφάλαιο 2° Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο .....</b>	<b>29</b>
2.1 Εισαγωγή.....	29
2.2 Δομή και τρόπος λειτουργίας.....	29
2.3 Περιγραφή ηλεκτροκινητήρα.....	32
2.4 Μετατροπείς ισχύος και βοηθητικά συστήματα .....	35
2.5 Μέσα αποθήκευσης και διαχείριση ενέργειας .....	38
2.5.1 Κατηγορίες συσσωρευτών .....	38
2.5.2 Χαρακτηριστικά και ενεργειακή απόδοση.....	42
2.6 Τρέχουσα έρευνα και παραγωγή.....	46
2.6.1 Ηλεκτρικά οχήματα .....	47
2.6.2 Υβριδικά Ηλεκτρικά.....	49
<b>Κεφάλαιο 3° Υβριδικά οχήματα .....</b>	<b>52</b>
3.1 Το υβριδικό αυτοκίνητο σαν συνδυασμός.....	52
3.2 Βασικές υβριδικές τεχνολογίες και κατηγοριοποίηση οχημάτων .....	52
3.3 Τεχνική σύγκριση μεταξύ ηλεκτρικού, συμβατικού και υβριδικού οχήματος .....	63

3.3.1	Εισαγωγικά .....	63
3.3.2	Κατανάλωση καυσίμου και τιμή ανά μονάδα ενέργειας .....	65
3.3.3	Κόστος συντήρησης .....	69
3.3.4	Ατμοσφαιρικοί ρύποι και θόρυβος.....	71
3.4	Οι τάσεις παραγωγής στις αυτοκινητοβιομηχανίες.....	73
<b>Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> Σύγκριση μεταξύ ηλεκτρικού και συμβατικού οχήματος.....</b>		<b>76</b>
4.1	Αλλαγές στη σχεδίαση του αυτοκινήτου.....	76
4.2	Αλλαγές στα μηχανικά μέρη.....	80
4.2.1	Ασφάλεια ηλεκτρικών οχημάτων.....	85
4.2.2	Σύστημα διαχείρισης μπαταριών (BMS).....	86
4.3	Διαφορές ηλεκτροκινητήρων με κινητήρες εσωτερικής καύσης.....	88
4.4	Πλεονεκτήματα ηλεκτρικού οχήματος.....	94
4.5	Μειονεκτήματα ηλεκτρικού οχήματος.....	95
<b>Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> Συμπεράσματα- Προτάσεις .....</b>		<b>97</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>		<b>99</b>

## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Εικόνα 1.1</b> Εκπομπές CO <sub>2</sub> ανά κράτος [14].....	12
<b>Εικόνα 1.2</b> Προβλέψεις αύξησης της θερμοκρασίας με διάφορες μεθόδους, σε περίπτωση δεν ληφθεί καμία μέριμνα για τον περιορισμό των αιτίων που την προκαλούν [3] .....	13
<b>Εικόνα 1.3</b> Αποθέματα πετρελαίου ανά κράτος .....	14
<b>Εικόνα 1.4</b> Σύγκριση ζήτησης πετρελαίου ανά έτος [4],[5] .....	15
<b>Εικόνα 1.5</b> Διακύμανση των τιμών πετρελαίου στο χρόνο [4].....	17
<b>Εικόνα 1.6</b> Το ηλεκτρικό όχημα του Thomas Edison .....	18
<b>Εικόνα 1.7</b> Ηλεκτρικό αυτοκίνητο ευρείας παραγωγής στις αρχές του 20ού αιώνα .....	19
<b>Εικόνα 2.1</b> Διασύνδεση συστημάτων σε ένα ηλεκτρικό όχημα [31].....	31
<b>Εικόνα 2.2</b> Το σύστημα αναγεννητικής πέδησης στο Renault Zoe [20] .....	32
<b>Εικόνα 2.3</b> Διάγραμμα Ηλεκτρικών Κινητήρων [18] .....	33
<b>Εικόνα 2.4</b> Ηλεκτροκινητήρας του Tesla Model S 2012 [16] .....	34
<b>Εικόνα 2.5</b> Λειτουργικό μπλοκ διάγραμμα ενός τυπικού συστήματος ηλεκτρικής πρόωσης [31] .	36
<b>Εικόνα 2.6</b> Μπαταρία υβριδικού οχήματος .....	40
<b>Εικόνα 2.7</b> Συστοιχία από συσσωρευτές Li-ion σε ηλεκτρικό όχημα (BEV) [32],[33].....	41
<b>Εικόνα 2.8</b> Διάγραμμα Ragone διάφορων συσσωρευτών και οχήματα στα οποία χρησιμοποιούνται [17].....	43
<b>Εικόνα 2.9</b> Nissan Leaf [23] .....	47
<b>Εικόνα 2.10</b> BMW i3 .....	48
<b>Εικόνα 2.11</b> Tesla Model S.....	49
<b>Εικόνα 2.12</b> Chevrolet Volt [26].....	49
<b>Εικόνα 2.13</b> Ford Fusion Energi .....	50
<b>Εικόνα 2.14</b> Ford C-Max Hybrid .....	51
<b>Εικόνα 3.1</b> Πλήρως υβριδικό Lexus RX 400H.....	54
<b>Εικόνα 3.2</b> Το Plug-in Υβριδικό της Toyota PHV.....	55
<b>Εικόνα 3.3</b> Σειριακό υβριδικό όχημα .....	56
<b>Εικόνα 3.4</b> Εν παραλλήλω υβριδικό ηλεκτρικό όχημα .....	58
<b>Εικόνα 3.5</b> Υβριδικό όχημα διαμοιρασμού ισχύος .....	60
<b>Εικόνα 3.6</b> Λειτουργία κυψέλης υδρογόνου.....	61
<b>Εικόνα 3.7</b> Toyota Fine-X [52] .....	62
<b>Εικόνα 3.8</b> Σύγκριση κύκλων Otto και Atkinson [51] .....	65
<b>Εικόνα 3.9</b> Επίπεδα εκπομπών CO <sub>2</sub> για βενζινοκίνητα, ντιζελοκίνητα, και υβριδικά οχήματα [55].....	72
<b>Εικόνα 3.10</b> Model 3 της Tesla.....	75
<b>Εικόνα 4.1</b> Αμάξωμα οχήματος.....	76
<b>Εικόνα 4.2</b> Πλαίσιο οχήματος .....	77
<b>Εικόνα 4.3</b> Σύστημα ανάρτησης οχήματος.....	78
<b>Εικόνα 4.4</b> Πλατφόρμα ηλεκτρικού οχήματος .....	79
<b>Εικόνα 4.5</b> Απεικόνιση απλουστευμένης λειτουργίας συμβατικού οχήματος.....	80
<b>Εικόνα 4.6</b> Απεικόνιση μετάδοσης ισχύος σε επιβατικό όχημα 4x2 [40] .....	81
<b>Εικόνα 4.7</b> Δομικά στοιχεία ενός ηλεκτροκίνητου οχήματος [36] .....	82
<b>Εικόνα 4.8</b> Πιθανές δομές ηλεκτρικού οχήματος .....	83
<b>Εικόνα 4.9</b> Τοποθέτηση συστήματος μπαταρίας στο δάπεδο του ηλεκτρικού οχήματος [41] .....	85

<b>Εικόνα 4.10</b> Μπλοκ διάγραμμα εφαρμογής BMS σε ηλεκτρικό όχημα [43] .....	87
<b>Εικόνα 4.11</b> Κύρια μέρη ηλεκτρικού κινητήρα [21].....	88
<b>Εικόνα 4.12</b> Χαρακτηριστικά δύναμης-ροπής του σύγχρονου ηλεκτροκινητήρα του Renault Fluence Z.E.[44] .....	89
<b>Εικόνα 4.13</b> Χαρακτηριστικά δύναμης-ροπής βενζινοκινητήρα ΕΚ του Renault Fluence 1.6 16V 110 καθώς και τα χαρακτηριστικά απόδοσης του πετρελαιοκινητήρα του Renault Fluence dCi 105. ....	89
<b>Εικόνα 4.14</b> Επίπεδα θορύβου (σε dBA) του Nissan Leaf και του VW Golf Variant σε σταθερή ταχύτητα [46] .....	91
<b>Εικόνα 4.15</b> Συστήματα σύμπλεξης-αποσύμπλεξης κινητήρων εσωτερικής καύσης. Αριστερά : συμβατικός συμπλέκτης Δεξιά : σύγχρονος διπλός συμπλέκτης (Dual Clutch) [47] .....	93
<b>Εικόνα 4.16</b> Μετατροπéας ισχύος και περιφερειακά συστήματα ελέγχου κινητηρίου συστήματος [42].....	93

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 1.1</b> Παραγωγή αργού πετρελαίου ανά χώρα [6], [11].....	16
<b>Πίνακας 1.2</b> Οι χώρες στον παγκόσμιο χάρτη, με τα μεγαλύτερα μερίδια αγοράς στα υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα για τα έτη 2013 και 2014 [11] .....	23
<b>Πίνακας 1.3</b> Ραβδόγραμμα αναμενόμενων πωλήσεων οικολογικών οχημάτων έως το 2020 [12].	24
<b>Πίνακας 1.4</b> Εξέλιξη των προτύπων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για εκπομπές ρύπων [13].....	27
<b>Πίνακας 2.1</b> Σύγκριση χαρακτηριστικών διαφόρων τύπων συσσωρευτών για ηλεκτρικά αυτοκίνητα [31] .....	45
<b>Πίνακας 2.2</b> Δημοφιλή ηλεκτρικά οχήματα για το 2017 [19] .....	47
<b>Πίνακας 3.1</b> Φάσεις λειτουργίας ενός σειριακού υβριδικού οχήματος [31] .....	57
<b>Πίνακας 3.2</b> Φάσεις λειτουργίας ενός εν παραλλήλω υβριδικού οχήματος [31,49].....	59
<b>Πίνακας 3.3</b> Συμβατικά οχήματα.....	66
<b>Πίνακας 3.4</b> Κόστος κατανάλωσης για τις δύο κατηγορίες συμβατικών οχημάτων .....	66
<b>Πίνακας 3.5</b> Μοντέλα Ηλεκτρικών- Υβριδικών οχημάτων.....	67
<b>Πίνακας 3. 6</b> Κόστος μετακίνησης για 100 km σε διάφορες τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ε.Ε .....	68
<b>Πίνακας 3.7</b> Σύγκριση κόστους συντήρησης οχημάτων .....	69
<b>Πίνακας 3.8</b> Σύγκριση απόδοσης μεταξύ διαφόρων υβριδικών μοντέλων [56] .....	71
<b>Πίνακας 4.1</b> Λειτουργίες ενός συμβατικού και ενός ηλεκτρικού οχήματος .....	80
<b>Πίνακας 4.2</b> Σύγκριση απόδοσης διαφόρων ηλεκτροκινητήρων [45] .....	90



# SUMMARY

The purpose of this diploma thesis is to present a thorough comparative study between conventional vehicles, hybrid electric vehicles and pure electric vehicles. In general, this thesis deals with the presentation and description of these types of vehicles as well as the way they operate, while focuses on their main technical differences.

At first, Chapter 1 refers to the necessity of the electric car and its history. It also refers to fossil fuels as energy sources, and the environmental impact of their use.

In Chapter 2, there is an overview of the electric vehicle operation, its propulsion systems, and in particular the types of electric motors used, the basic methods of controlling the electric motors, and the converters used to drive the electric motors. Also, there is a presentation of the basic battery types and their support systems.

Then, Chapter 3 presents the modern structure and technology of hybrid vehicles as well as the main categories of hybrid vehicles. A significant part of this chapter is dedicated to a technical comparison between electric, conventional and hybrid vehicles, concerning fuel consumption, maintenance cost, and atmospheric pollution.

In Chapter 4, a comparison between pure electric and conventional vehicles is made, with particular emphasis on changes in the design of the cars and on their mechanical parts, as well as on the differences between electric motors and internal combustion engines. Afterwards, the advantages and disadvantages of the electric vehicle versus a conventional vehicle are listed.

Finally, in Chapter 5 there is an overview of the main results of this study and the final conclusions are made.

**Keywords:** Electric vehicles, Hybrid vehicles, ICE, fuel consumption, batteries.

# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η παρουσίαση μιας αναλυτικής συγκριτικής μελέτης μεταξύ των συμβατικών οχημάτων, των υβριδικών ηλεκτροκίνητων οχημάτων και των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων. Στο σύνολο της η εργασία καταπιάνεται τόσο με τη γενική παρουσίαση και περιγραφή αυτού του είδους των οχημάτων όσο και με τον τρόπο λειτουργίας τους, ενώ επικεντρώνεται στις κύριες τεχνικές διαφορές τους.

Αρχικά, στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην αναγκαιότητα και στην ιστορία του ηλεκτρικού αυτοκινήτου καθώς επίσης στα ορυκτά καύσιμα, στην ενέργεια και στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που δημιουργεί η χρήση τους.

Στη συνέχεια στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται μια αποτύπωση της λειτουργίας ενός ηλεκτρικού οχήματος, των συστημάτων κίνησης αυτών και ιδιαίτερα των ειδών ηλεκτρικών κινητήρων που χρησιμοποιούνται, οι βασικές μέθοδοι ελέγχου του ηλεκτρικού κινητήρα καθώς και οι μετατροπείς που χρησιμοποιούνται για την οδήγηση των ηλεκτρικών μηχανών. Επίσης αναφέρονται οι βασικότεροι τύποι συσσωρευτών και τα συστήματα υποστήριξης τους.

Έπειτα στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζεται η σύγχρονη δομή και τεχνολογία των υβριδικών οχημάτων καθώς επίσης οι βασικές κατηγορίες αυτών. Ακόμη σημαντικό μέρος του κεφαλαίου αποτελεί η τεχνική σύγκριση μεταξύ ηλεκτρικού, συμβατικού και υβριδικού οχήματος στην κατανάλωση καυσίμου, στο κόστος συντήρησης, και στους ατμοσφαιρικούς ρύπους.

Ακολούθως στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, γίνεται η σύγκριση μεταξύ του αμιγώς ηλεκτρικού και συμβατικού οχήματος με ιδιαίτερη έμφαση να δίνεται στις αλλαγές στη σχεδίαση του αυτοκινήτου και στα μηχανικά μέρη αυτών καθώς και στις διαφορές ηλεκτροκινητήρων με κινητήρες εσωτερικής καύσης. Ακόμη, γίνεται αναφορά στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του ηλεκτρικού έναντι ενός συμβατικού οχήματος.

Τέλος, στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, ως επίλογος της πτυχιακής εργασίας γίνεται σύνοψη των κύριων αποτελεσμάτων της μελέτης και διατυπώνονται τα τελικά συμπεράσματα.

**Λέξεις κλειδιά :** Ηλεκτροκίνητα οχήματα, Υβριδικά οχήματα, Μ.Ε.Κ, κατανάλωση καυσίμου, συσσωρευτές.

# Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> Εισαγωγή

## 1.1 Αναγκαιότητα χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων

Σύμφωνα με αναλύσεις και δημοσιεύματα, το 2018 είναι η χρονιά που τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα περάσουν από τη δοκιμαστική - περιορισμένη χρήση, στην εποχή που οι πολίτες είναι εξοικειωμένοι και τα χρησιμοποιούν ευρέως στις μετακινήσεις τους. Είναι το έτος καμπής, όπου η εξέλιξη των ηλεκτρικών-υβριδικών οχημάτων τους δίνει τη δυνατότητα για πρώτη φορά να ανταγωνίζονται στην τιμή και την απόδοση με βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα [1].

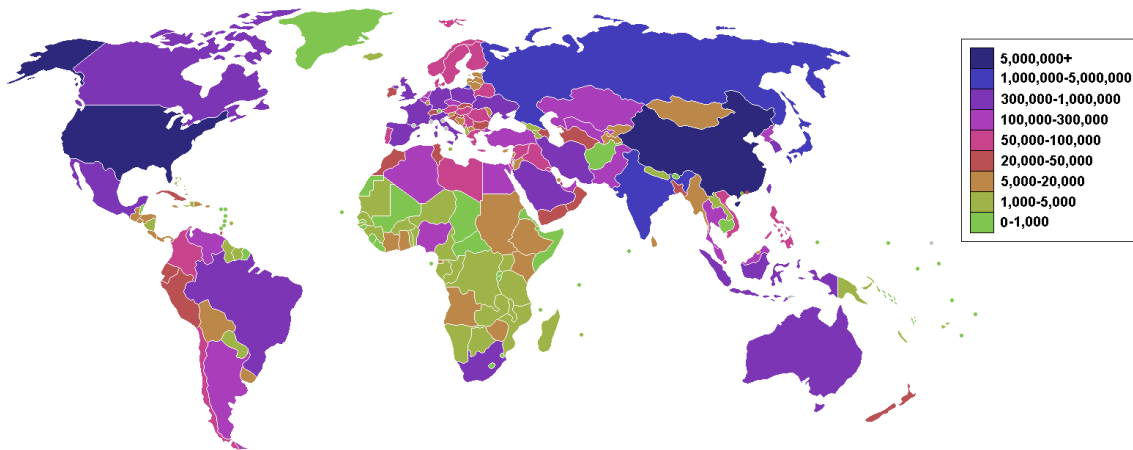
Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα και εναλλακτικά οχήματα υπήρχαν εδώ και δεκαετίες, όμως η ανάπτυξή τους για διάφορους λόγους που θα αναλύσουμε παρακάτω, είχε παραμείνει σχεδόν στάσιμη. Η χρονική συγκυρία που επιλέχτηκε για αυτή τη μετάβαση στο πολυαναμενόμενο «όχημα του μέλλοντος» δεν είναι βέβαια τυχαία. Σίγουρα πλέον η τεχνολογία για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχει φτάσει σε αξιόλογα επίπεδα, η μόλυνση του περιβάλλοντος και η αύξηση της θερμοκρασίας στη Γη επιβάλλουν αυτή τη μεταστροφή, αλλά είναι μια συγκεκριμένη χώρα που οδηγεί τις εξελίξεις. Το 2016 η Κίνα έφερε περισσότερο από το 40% των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στον κόσμο, σε πολίτες που ασφυκτιούν για πόλεις χωρίς μολυσμένο αέρα [1]. Τώρα όλες οι εταιρείες παγκοσμίως προσπαθούν να πάρουν το προβάδισμα στην αγορά με δισεκατομμύρια επενδύσεις, αλλά είναι και η πίεση από τις κυβερνήσεις που οδηγεί σε αυτή την ώθηση προς τη βιομηχανία.

### 1.1.1 Περιβαλλοντική ρύπανση

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί σημαντική απειλή για την υγεία του ανθρώπου και των οικοσυστημάτων κι έγινε αντιληπτή από νωρίς στην Ευρώπη. Παρά το γεγονός ότι πολλές ευρωπαϊκές χώρες είναι ενθουσιώδεις υποστηρικτές μιας παγκόσμιας συμφωνίας για την αλλαγή του κλίματος, διάφορες συγκρούσεις συμφερόντων μεταξύ άλλων χωρών δεν επιτρέπουν προς το παρόν μια ενιαία στρατηγική προς αυτή την κατεύθυνση [2].

Η καύση ορυκτών καυσίμων είναι η βασικότερη ίσως πηγή μόλυνσης του περιβάλλοντος μετά τη ραδιενέργεια. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η βαριά βιομηχανία

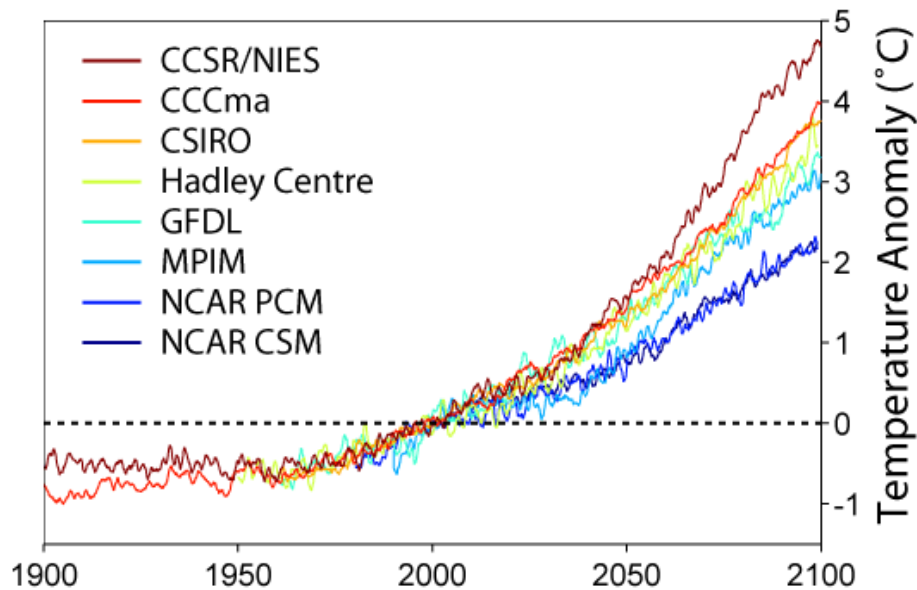
διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο, αλλά ένα πολύ μεγάλο ποσοστό αντιστοιχεί και στα μεταφορικά μέσα με τα παράγωγα των μηχανών εσωτερικής καύσης. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 υπάρχει μια απότομη αύξηση της χρήσης των Ι.Χ, που οδηγεί σε μια όλο και σημαντικότερη υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα.



Εικόνα 1.1 Εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά κράτος [14]

Η ατμοσφαιρική ρύπανση συνδέεται με τον πλήρη κύκλο ζωής των αυτοκινήτων και λοιπών οχημάτων, και συνολικά περιλαμβάνει την ατμοσφαιρική ρύπανση που εκπέμπεται κατά τη διάρκεια λειτουργίας του οχήματος, κατά τον ανεφοδιασμό καυσίμων, στην παραγωγική διαδικασία και κατά τη διαδικασία απόσυρσης τους. Οι πρόσθετες εκπομπές συνδέονται με τη διύλιση και τη διανομή των καυσίμων των οχημάτων. Τα μηχανοκίνητα οχήματα προκαλούν τόσο πρωτοβάθμια όσο και δευτεροβάθμια ρύπανση. Πρωτοβάθμια ρύπανση προκαλείται από εκπομπές ρύπων κατευθείαν στην ατμόσφαιρα και δευτεροβάθμια από χημικές αντιδράσεις μεταξύ των ρύπων στην ατμόσφαιρα. Συνοπτικά, παρατίθενται τα σημαντικότερα συστατικά των ρύπων από μηχανοκίνητα οχήματα:

- Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) Το διοξείδιο του άνθρακα θεωρείται ως ο κυρίαρχος παράγοντας που συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Η επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη στο περιβάλλον είναι σημαντική και επηρεάζει όλα τα οικοσυστήματα. Επίσης, οι υψηλότερες θερμοκρασίες στους πόλους της Γης συμβάλλουν στο λιώσιμο των πάγων, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της στάθμης της θάλασσας, γεγονός που ενδέχεται να οδηγήσει στην κάλυψη μεγάλων εκτάσεων παράκτιων περιοχών στο μέλλον.



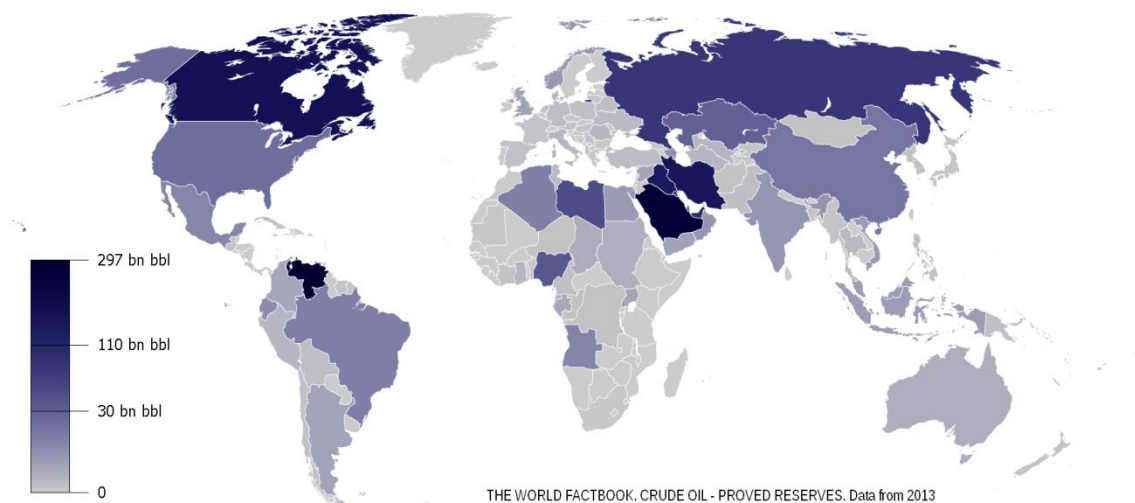
**Εικόνα 1.2** Προβλέψεις αύξησης της θερμοκρασίας με διάφορες μεθόδους, σε περίπτωση δεν ληφθεί καμία μέριμνα για τον περιορισμό των αιτίων που την προκαλούν [3]

- Οξειδία του αζώτου( $\text{NO}_x$ ) Κατά την καύση του άνθρακα παράγονται οξειδία του αζώτου, τα οποία παραμένουν στην ατμόσφαιρα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι εν λόγω ρύποι μπορεί να προκαλέσουν ερεθισμό στους πνεύμονες και να αποδυναμώσουν την άμυνα του οργανισμού. Σχεδόν το 50% των οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα είναι άμεσο αποτέλεσμα της καύσης του άνθρακα.
- Υδρογονάνθρακες (HC) Αυτοί οι ρύποι αντιδρούν με τα οξειδία του αζώτου με την παρουσία ηλιακού φωτός για το σχηματισμό όζοντος, που σε υψηλά επίπεδα της ατμόσφαιρας αποδυναμώνει την απορρόφηση της βλαβερής κοσμικής ακτινοβολίας. Στο επίπεδο του εδάφους αποτελεί κύριο συστατικό του νέφους των πόλεων.
- Μονοοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}$ ) Είναι ένα άοσμο, άχρωμο, αλλά δηλητηριώδες αέριο που ευθύνεται για αρκετούς θανάτους από αναθυμιάσεις.
- Διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ) Υπολογίζεται ότι το 70% του διοξειδίου του θείου που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα προέρχεται από την καύση γαιανθράκων και πετρελαίου. Η χημική αυτή ουσία ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό για τη δημιουργία του φαινομένου της όξινης βροχής.
- Μικροσωματίδια Τα σωματίδια αιθάλης και μετάλλων, με πολύ μικρή διάμετρο, αποτελούν τη σοβαρότερη απειλή για την ανθρώπινη υγεία, καθώς μπορούν να διεισδύσουν βαθιά στους πνεύμονες. Είναι αυτά που δίνουν στο νέφος το σκούρο χρώμα του, όπως αντίστοιχα σε μια πυρκαγιά.

- Τοξικές ουσίες Διάφορες χημικές ενώσεις οι οποίες εκπέμπονται από αυτοκίνητα, διυλιστήρια, αντλίες βενζίνης, συνδέονται με συγγενείς ανωμαλίες, όπως καρκίνο και άλλες σοβαρές ασθένειες.
- Στερεά απόβλητα Κατά τη διαδικασία μετατροπής των ορυκτών καυσίμων σε ενέργεια, παρατηρείται επίσης δημιουργία στερεών αποβλήτων. Αυτά εναποτίθενται εκτός των άλλων σε επιφανειακά αλλά και υπόγεια ύδατα, δημιουργώντας μεγάλα προβλήματα.

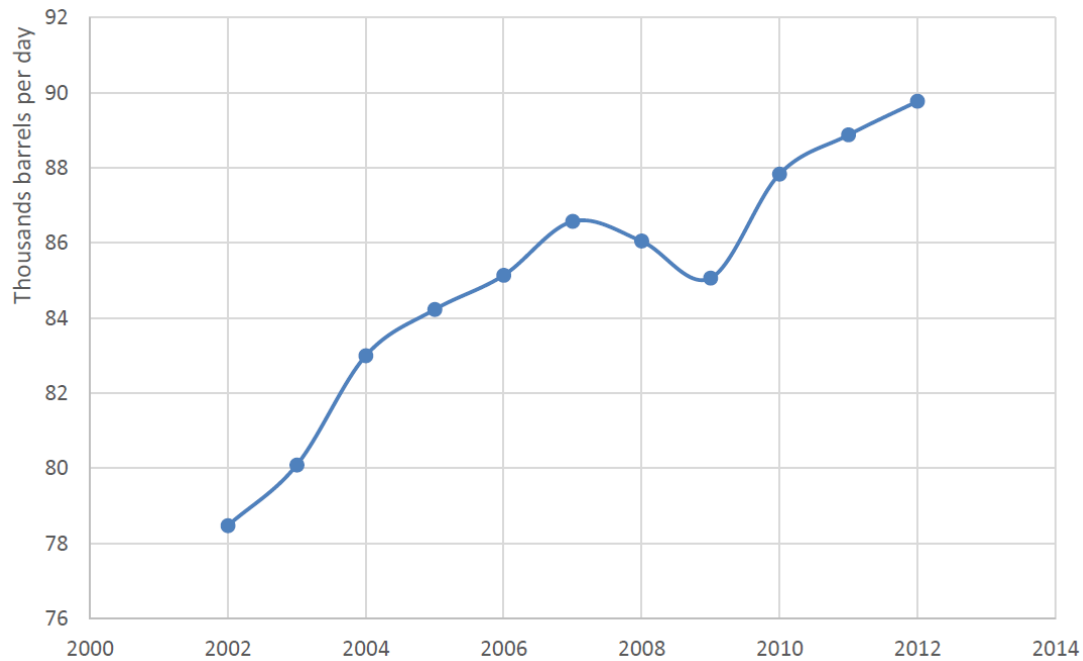
### 1.1.2 Αποθέματα ορυκτών καυσίμων

Τα τελευταία χρόνια γίνεται ιδιαίτερος λόγος σχετικά με τα αποθέματα πετρελαίου και την ενδεχόμενη εξάντληση τους. Στο θέμα εμφανίζονται απόψεις και από τις δύο πλευρές, δηλαδή ότι τα αποθέματα είναι αρκετά περιορισμένα και ότι οι πετρελαιοπηγές θα «στερέψουν», ενώ η αντίθετη πλευρά υποστηρίζει πως δεν υπάρχει απόδειξη για το εύρος των διαθέσιμων αποθεμάτων, μέχρι και ότι οι πηγές ανανεώνονται. Παρ' όλα αυτά η εξόρυξη του «μαύρου χρυσού» έχει εκτοξευτεί τις τελευταίες δεκαετίες και σίγουρα στο εγγύς μέλλον θα υπάρξει κορεσμός.



**Εικόνα 1.3** Αποθέματα πετρελαίου ανά κράτος

Το έτος κατά το οποίο οι νέες ανακαλύψεις πετρελαίου άρχισαν να υπολείπονται της ζήτησης ήταν το 1980 και έκτοτε η κατάσταση παραμένει ελλειμματική [5]. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για μια περίοδο 10 παρελθόντων ετών.



Εικόνα 1.4 Σύγκριση ζήτησης πετρελαίου ανά έτος [4],[5]

### 1.1.3 Πετρελαιοβιομηχανίες και τιμή αργού πετρελαίου

Στο χώρο του πετρελαίου συχνά δημιουργούνται κρίσεις, ενίοτε και τεχνητές, που οφείλονται σε πολλά αντικρουόμενα συμφέροντα μεταξύ κρατών και πετρελαιοβιομηχανιών που αυτά εκπροσωπούν. Οι τιμές και η παραγωγή αργού πετρελαίου εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες και δυστυχώς επηρεάζουν διάφορες πτυχές της καθημερινότητας, ακόμα και την επιβίωση αρκετών ανθρώπων. Συγκεκριμένα, η διαθεσιμότητα καυσίμων επηρεάζει τα μέσα παραγωγής και μεταφοράς προϊόντων, τις κατασκευές, τη γεωργία, τις συγκοινωνίες, τις δημόσιες υπηρεσίες, τη θέρμανση των κατοίκων, και πολλά άλλα. Κυρίως όμως είναι η αιτία για πολεμικές συγκρούσεις, θανάτους και μετανάστευση ολόκληρων πληθυσμών, όπως Ιρανική Επανάσταση 1979, πόλεμος του Κόλπου 1990, Ιράκ 2003, Λιβύη 2011, Συρία σήμερα [11].

Το μεγαλύτερο μέρος των παγκόσμιων συναλλαγών της αγοράς αργού πετρελαίου και των προϊόντων διύλισης γίνεται σε δολάρια ΗΠΑ. Επομένως, κάθε αλλαγή στην ισοτιμία του νομίσματος μιας χώρας έναντι του αμερικανικού δολαρίου επηρεάζει ευθέως το κόστος αγοράς αργού πετρελαίου και επακόλουθα τον πληθωρισμό.

Οι κυριότερες πετρελαιοπαραγωγές χώρες, με την αντίστοιχη ημερήσια παραγωγή βαρελιών φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

**Πίνακας 1.1** Παραγωγή αργού πετρελαίου ανά χώρα [6], [11]

↕	Country	↕	Oil Production (bbl/day, 2016) <sup>[1]</sup>
1	 Russia		10,551,497
2	 Saudi Arabia (OPEC)		10,460,710
3	 United States		8,875,817
4	 Iraq (OPEC)		4,451,516
5	 Iran (OPEC)		3,990,956
6	 China		3,980,650
7	 Canada		3,662,694
8	 United Arab Emirates (OPEC)		3,106,077
9	 Kuwait (OPEC)		2,923,825
10	 Brazil		2,515,459
11	 Venezuela (OPEC)		2,276,967
12	 Mexico		2,186,877
13	 Nigeria (OPEC)		1,999,885
14	 Angola (OPEC)		1,769,615
15	 Norway		1,647,975
16	 Kazakhstan		1,595,199
17	 Qatar (OPEC)		1,522,902
18	 Algeria (OPEC)		1,348,361
19	 Oman		1,006,841
20	 United Kingdom		939,760

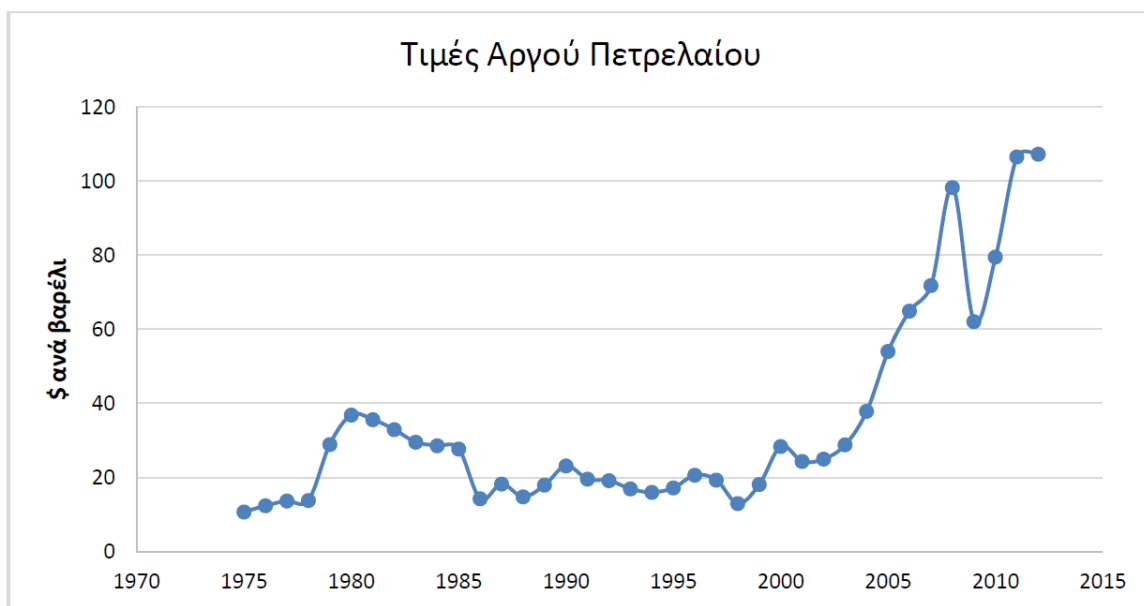
Είναι φανερό ότι οι πρώτες 3 χώρες ελέγχουν την παραγωγή του 35%. Οι χώρες του ΟΠΕΚ συνολικά (Σαουδική Αραβία, Ιράν, Βενεζουέλα, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, Ιράκ, Νιγηρία, Κουβέιτ, Λιβύη, Κατάρ, Ισημερινός, Αγκόλα, Αλγερία, Γκαμπόν) από άποψη αποθεμάτων έχουν το 60% παγκοσμίως. Ιστορικά ο ΟΠΕΚ, συχνά προσπάθησε να συμπεριφερθεί ως καρτέλ και να ελέγχει τις τιμές του πετρελαίου, μεταβάλλοντας συντονισμένα την παραγωγή βαρελιών [6].

Το 2000 χαρακτηρίστηκε από την αύξηση της προσφοράς πετρελαίου από χώρες εκτός ΟΠΕΚ και κυρίως από τη Ρωσία. Η τρομοκρατική επίθεση της 11ης Σεπτεμβρίου 2001 επέφερε μία επίσης θεαματική πτώση των τιμών του αργού πετρελαίου προσωρινά. Επίσης οι Ηνωμένες Πολιτείες ο Καναδάς, η Βραζιλία και το Καζακστάν αναμένεται να αυξήσουν την παραγωγή τους, ενώ εμφανίζεται στην αγορά και το σχιστολιθικό πετρέλαιο.



Μελετώντας τις τιμές του πετρελαίου όπως διαμορφώθηκαν τα έτη 1975 μέχρι το 2012, δημιουργείται το παρακάτω διάγραμμα. Παρατηρούμε ότι η τιμή του αργού πετρελαίου παρουσιάζει σημαντική αύξηση από το 1975 στο 2012 με την τιμή να αυξάνεται περίπου κατά 1000%.

Και εδώ φαίνεται ξεκάθαρα, πως ανεξάρτητα από την αύξηση της παραγωγής παγκοσμίως, οι τιμές παραμένουν προκλητικά υψηλές, με συνεχώς ανοδική πορεία, ενισχύοντας τις σκέψεις για κατευθυνόμενη αγορά και επιτάσσοντας πιο πολύ από ποτέ την ανάγκη αναζήτησης εναλλακτικών πηγών ενέργειας, κυρίως ανανεώσιμων, και εν προκειμένω άμεση στροφή σε ηλεκτρικά ή άλλα οικολογικά οχήματα [4].



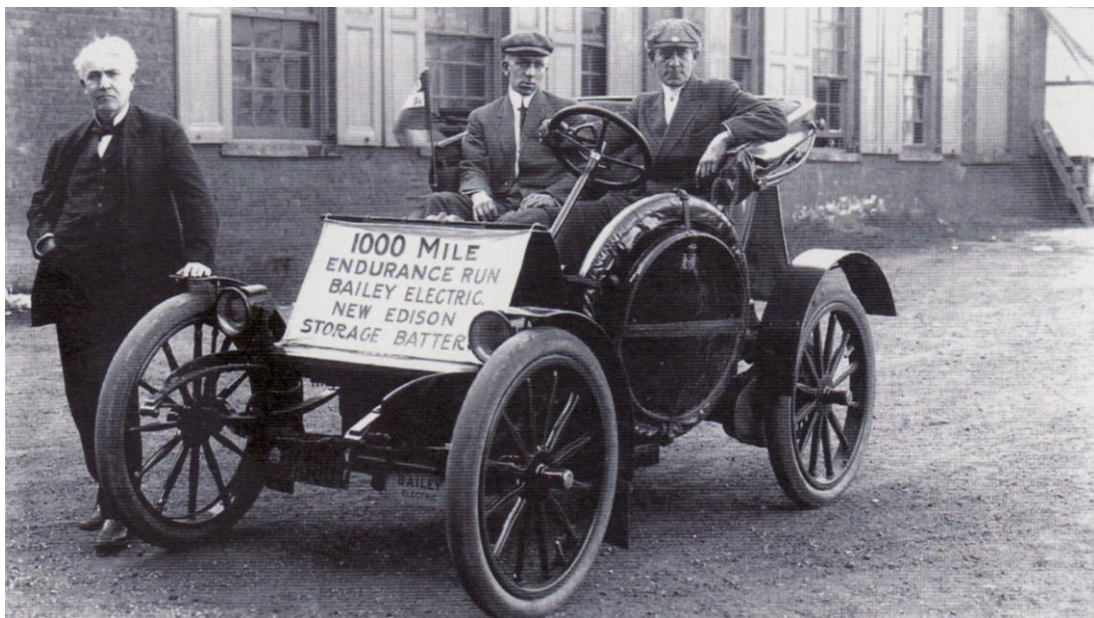
Εικόνα 1.5 Διακύμανση των τιμών πετρελαίου στο χρόνο [4]

## 1.2 Εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων στο χρόνο

### 1.2.1 Ιστορική αναδρομή

Οι πρώτες προσπάθειες για τη δημιουργία ενός μηχανοκίνητου οχήματος, το οποίο να κινείται με ηλεκτρισμό, χρονολογούνται τη δεκαετία του 1830, ως εφευρέσεις με καθαρά πειραματικό χαρακτήρα. Κάπου μεταξύ του 1832 και 1839, ο σκωτσέζος Robert Anderson εφηύρε ένα αρκετά πρόχειρο αυτοκίνητο όχημα που κινούταν με ηλεκτρισμό. Την ίδια εποχή (1835) ο Ολλανδός καθηγητής Stratingh Groningen έφτιαξε ένα μικρού μεγέθους όχημα [7]. Αυτές οι πρώτες εφευρέσεις είχαν καθαρά δοκιμαστικό χαρακτήρα καθώς και οι ηλεκτρικοί κινητήρες που υπήρχαν ήταν πειραματικοί και μη εφαρμόσιμοι στην πράξη.

Περισσότερο πρακτικά και επιτυχή οχήματα ήταν αυτά που φτιάχτηκαν από τον αμερικανό Thomas Davenport (1834) και από τον σκωτσέζο Robert Davidson περί το 1837. Ένα επίσης ολοκληρωμένο ηλεκτρικό αυτοκίνητο φτιάχεται από τον βρετανό Gaston Parker το 1884 χρησιμοποιώντας ηλεκτρικό κινητήρα συνεχούς ρεύματος και ως πηγή ηλεκτρικής ισχύος επαναφορτιζόμενες μπαταρίες μολύβδου-οξέος. Το 1847 οι Lilly και Colton έφτιαξαν ένα ηλεκτρικό όχημα που τροφοδοτούνταν από κεντρικό σταθμό χάρη σε ηλεκτροφόρες ράγες, και ο αμερικανός Moses Farmer κατασκεύασε ένα όχημα που μπορούσε να μεταφέρει δύο άτομα. Την ίδια εποχή, ο καθηγητής Charles Page έφτιαξε ένα όχημα με 100 συσσωρευτές και κινητήρα 16 ίππων που μετέφερε έως και 12 άτομα με μέγιστη ταχύτητα 30 km/h [7].



**Εικόνα 1.6** Το ηλεκτρικό όχημα του Thomas Edison

Το σημαντικότερο πρόβλημα που αντιμετώπιζαν όλες αυτές οι πρώιμες κατασκευές ήταν οι συσσωρευτές με τα μειονεκτήματά τους, όπως ο χαμηλός λόγος ενέργειας προς όγκο και βάρος (πυκνότητα ενέργειας), αλλά κυρίως η μη δυνατότητα επαναφόρτισης. Το πρόβλημα αυτό επιλύθηκε το 1859, όταν ο Γάλλος Gaston Plante ανακάλυψε για πρώτη φορά το στοιχείο Μολύβδου-Οξέος (Pb-Acid), που είχε τη δυνατότητα επαναφόρτισης. Αρκετά χρόνια αργότερα έκαναν την εμφάνισή τους διάφοροι βελτιωμένοι τύποι συσσωρευτών μεταξύ των οποίων ξεχώρισε ο συσσωρευτής Νικελίου-Σιδήρου (Ni-Fe) [7].

Η κατασκευή του έγινε το 1910 από τον Thomas Edison και ήταν το πιο προηγμένο τεχνολογικά στοιχείο την εποχή εκείνη. Ο συγκεκριμένος τύπος μπαταρίας μάλιστα, χρησιμοποιήθηκε σε ένα όχημα που κατασκεύασε ο ίδιος ο Edison και το οποίο απεικονίζεται στην Εικόνα 1.6

Στη διάρκεια αυτών των δεκαετιών η ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων είναι αρκετά μεγάλη τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Αμερική. Οι τεχνικές επιδόσεις μάλιστα των ηλεκτροκίνητων οχημάτων ήταν αρκετά αξιόλογες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το όχημα του Βέλγου Camille Jenatton το οποίο κατά τη δεκαετία του 1890 έσπασε το φράγμα των 100 χλμ/ώρα [7]. Οι πρώτες κατασκευάστριες εταιρείες προέρχονταν από τις ΗΠΑ, με τις πιο γνωστές να είναι οι Detroit Electric, Columbia Electric και Baker Electric.



**Εικόνα 1.7** Ηλεκτρικό αυτοκίνητο ευρείας παραγωγής στις αρχές του 20ού αιώνα

Μέχρι τη δεκαετία του 1920 η αγορά των ηλεκτροκίνητων οχημάτων ανθούσε. Μάλιστα υπάρχουν στοιχεία που δείχνουν ότι το 1890 ο αριθμός των αυτοκινήτων που πουλήθηκαν στην Αμερική ήταν περίπου 4200, εκ των οποίων το 38% ήταν ηλεκτροκίνητα, το 22% βενζινοκίνητα και το 40% ατμοκίνητα. Ανάμεσα στις διάφορες χρονολογίες ξεχωρίζει επίσης το έτος 1912, το οποίο για τις ΗΠΑ ήταν η πιο γόνιμη χρονιά των ηλεκτρικών

οχημάτων, αφού 34000 ηλεκτρικά αυτοκίνητα βρίσκονταν σε κυκλοφορία, αρκετά μεγάλος αριθμός για την εποχή. Οι επιδόσεις ταχύτητάς τους κυμαίνονταν 32 έως 48 χλμ./ώρα και ήταν αρκετά ικανοποιητικές [7],[8].

Βασικό πλεονέκτημα των ηλεκτρικών οχημάτων σε σχέση με τα βενζινοκίνητα και τα ατμοκίνητα ήταν ότι είχαν πολύ πιο εύκολη εκκίνηση, αφού αρκούσε το "κλείσιμο" ενός διακόπτη. Αντίθετα, τα βενζινοκίνητα οχήματα απαιτούσαν χειροκίνητη εκκίνηση (με χρήση μανιβέλας), ενώ τα ατμοκίνητα απαιτούσαν μια προθέρμανση που διαρκούσε περίπου 45'. Συνεπώς τα ηλεκτρικά οχήματα είχαν ευρεία απήχηση στις υψηλές κοινωνικές τάξεις και αποτελούσαν οχήματα πολυτελείας [8].

Επιπλέον το οδικό δίκτυο διασύνδεσης των πόλεων δεν ήταν κατάλληλο για υπεραστικές μετακινήσεις, ενώ για χρήση ως μέσο μεταφοράς, τα οχήματα με μηχανές εσωτερικής καύσης είχαν επίσης το μειονέκτημα ότι ήταν πολύ θορυβώδη κατά τη λειτουργία τους. Όντας λοιπόν περιορισμένα για αστική χρήση και μόνο, τα ηλεκτρικά οχήματα επικρατούσαν έναντι των άλλων τύπων μέχρι τη δεκαετία του 1920, όταν και έγινε μεταστροφή της αγοράς στα βενζινοκίνητα οχήματα.

### **1.2.2 Παράγοντες που εμπόδισαν τη διάδοσή τους**

Οι ειδικές ανάγκες της ηλεκτροκίνησης, καθώς και η καθιέρωση των κινητήρων εσωτερικής καύσης, αποτελούσαν τροχοπέδη στην εξέλιξη του ηλεκτρικού οχήματος, παρότι η γέννηση του προηγήθηκε των οχημάτων εσωτερικής καύσης. Στη δεκαετία του 1920 έγινε μεταστροφή της αγοράς στα βενζινοκίνητα οχήματα στις ΗΠΑ, κυρίως για τους παρακάτω λόγους:

- Η βελτίωση του υπεραστικού οδικού δικτύου αύξησε την ανάγκη για οχήματα μεγάλης αυτονομίας που θα διανύουν μεγάλες αποστάσεις
- Η ανακάλυψη νέων αποθεμάτων πετρελαίου κατέστησε ιδιαίτερα χαμηλό το κόστος των καυσίμων
- Η εφεύρεση του ηλεκτρικού εκκινητή έδωσε τη δυνατότητα στα βενζινοκίνητα οχήματα για εύκολη εκκίνηση
- Η μαζική παραγωγή των βενζινοκίνητων οχημάτων από τον Henry Ford σε αρκετά χαμηλές τιμές, σε αντίθεση με τις τιμές των ηλεκτρικών οχημάτων

- Τα βενζινοκίνητα οχήματα εξελίχθηκαν αρκετά, πετυχαίνοντας τη μείωση του θορύβου καθώς και την μείωση των εκπεμπόμενων καυσαερίων [8].

Η μεταστροφή αυτή εμφανίστηκε και στην Ευρώπη. Ως αποτέλεσμα, σταδιακά αποσύρθηκαν τα ηλεκτρικά οχήματα. Αυτή η περίοδος της παρακμής των ηλεκτρικών οχημάτων κράτησε περίπου από το 1930 έως το 1990. Στο διάστημα αυτό ελάχιστες προσπάθειες έγιναν όσον αφορά την έρευνα των ηλεκτρικών οχημάτων. Μάλιστα, η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων έπαψε εντελώς μέχρι το 1960 οπότε άρχισε και πάλι να αναζωπυρώνεται το ενδιαφέρον, διότι το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα αυτοκίνητα στα αστικά κέντρα είχε αρχίσει να γίνεται ορατό, ενώ παράλληλα έπρεπε να αναζητηθούν εναλλακτικές ενεργειακές λύσεις αντί του πετρελαίου.

Εκτός όμως του γεγονότος ότι τα ηλεκτρικά οχήματα εκείνης της εποχής δε μπόρεσαν να ανταπεξέλθουν στις νέες απαιτήσεις μετακίνησης, υπήρξαν και άλλοι παράγοντες που εμπόδισαν την ανάπτυξή τους, όπως θα αναλυθεί παρακάτω.

### **1.2.3 Οικονομίες κρατών και εταιρίες αυτοκινήτων**

Η περίοδος "παραγκωνισμού" των ηλεκτρικών οχημάτων διήρκησε μέχρι και τις αρχές του 21ου αιώνα, με τη χρήση των ηλεκτρικών κινητήρων να περιορίζεται μόνο σε συγκεκριμένες κατηγορίες οχημάτων, όπως τα τρένα αλλά και τα διάφορα τύπων μικρότερα οχήματα. Σε αυτό το χρονικό διάστημα υπήρξαν διάφορες ενδείξεις ότι οι μεγάλες πετρελαϊκές εταιρίες έχουν κατά καιρούς υπονομεύσει τις προσπάθειες, εξάπλωσης των ηλεκτρικών οχημάτων, κυρίως λόγω του φόβου ότι η συνεπακόλουθη απεξάρτηση από το πετρέλαιο θα έθιγε τα συμφέροντά τους. Δύο από αυτές είναι οι πιο χαρακτηριστικές.

Η πρώτη αναφέρεται στις αρχές της δεκαετίας του 1930, όπου η νεοσύστατη National City Lines (συνεταιρισμός των εταιριών General Motors, Firestone και Standard Oil of California), εξαγόρασε σχεδόν όλα τα δίκτυα ηλεκτρικού τραμ στη χώρα και τα αντικατέστησε με βενζινοκίνητα λεωφορεία της General Motors [8].

Το πιο τρανταχτό παράδειγμα χρονολογείται στα τέλη της δεκαετίας του 1990, όταν και η General Motors κάλεσε σε μαζική ανάκληση τα συνολικά 1.117 αντίτυπα του μοντέλου της EV1 που είχαν παραχθεί από τον Δεκέμβριο του 1996 έως το 1999, τα οποία στη συνέχεια διέλυσε στην πρέσα. Μόνο 40 μοντέλα εξ' αυτών διεσώθησαν, καθώς έγιναν δωρεά σε μουσεία ή εκπαιδευτικά ιδρύματα, κατόπιν σχετικής συμφωνίας να μην

κυκλοφορήσουν πάλι σε δημόσιο δρόμο και αφού τους είχαν πρώτα αφαιρεθεί οι μπαταρίες. Η ίδια η General Motors μάλιστα, έχει κατηγορηθεί ότι σκόπιμα αυτουπονόμευε τότε το EV1, λόγω των πιέσεων που είχε δεχτεί από τις μεγάλες πετρελαϊκές εταιρίες, κατά τη διάρκεια της εξέλιξής του [9],[15].

### Ο «Νόμος της Καλιφόρνια»

Στην δεκαετία του 1990, που το ηλεκτρικό αυτοκίνητο επανέρχεται στο προσκήνιο λόγω της περιβαλλοντικής μόλυνσης, θεσπίζεται ο “Νόμος της Καλιφόρνια” σαν κίνητρο για τη μείωση των εκπομπών ρύπων, και προέβλεπε ότι το μερίδιο αγοράς αυτοκινήτων με μηδενική εκπομπή ρύπων στην Καλιφόρνια θα ανέρχεται στο 2% της συνολικής αγοράς μέχρι το 1998 και στο 10% μέχρι το 2003. Παρατηρείται έτσι μια έντονη κινητικότητα για παραγωγή αυτοκινήτων με μηδενική εκπομπή ρύπων και το 1996 η General Motors θέτει σε εμπορική παραγωγή το προαναφερθέν EV-1, ένα sport αυτοκίνητο με εξαιρετικές επιδόσεις και αυτονομία από 80 μέχρι 140 μίλια. Παράλληλα οι ιαπωνικές αυτοκινητοβιομηχανίες Toyota και Honda εισέρχονται στην αγορά υβριδικών αυτοκινήτων με την κυκλοφορία των Prius και Insight αντίστοιχα [10].

Έπειτα από λίγα χρόνια όμως η Αμερικανική κυβέρνηση, ίσως δεχόμενη πιέσεις, ανακήρυξε ως παράνομο το Νόμο της Καλιφόρνια. Το συμπέρασμα ήταν ότι αντί να δίνονται επιπλέον κίνητρα για φιλικότερα προς το περιβάλλον οχήματα, η ίδια η Κυβέρνηση πήρε πίσω και αυτά που είχε δώσει! Ίσως αυτός να είναι και ένας λόγος που εταιρίες με τεχνογνωσία καθυστέρησαν ή ανέβαλλαν τα σχέδια τους, εφ’ όσον το οικονομικό κατεστημένο δεν ήταν απλά αδιάφορο αλλά ίσως και εχθρικό προς αυτές τις επενδύσεις [10].

### **1.3 Στατιστικά χρήσης και κίνητρα σε προηγμένες χώρες**

Οι κυβερνήσεις αρκετών ανεπτυγμένων χωρών έχουν αντιληφθεί τα πλεονεκτήματα της υβριδικής τεχνολογίας και τα οικονομικά οφέλη στα οποία θα τις οδηγήσουν. Ήδη πολλές κυβερνήσεις, μεταξύ αυτών και η Ελληνική, κάνουν λόγο για ανάγκη αλλαγής των κυβερνητικών οχημάτων από άλλα, υβριδικής τεχνολογίας αλλά και για φορολογικές διευκολύνσεις στους κατόχους υβριδικών αυτοκινήτων. Στην Ελλάδα οι κάτοχοι

υβριδικών οχημάτων δεν πληρώνουν τέλη κυκλοφορίας και ταξινόμησης και επιτρέπεται να κινούνται συνεχώς στον δακτύλιο.

Με στοιχεία του 2014, η Νορβηγία, αναλογικά με τον πληθυσμό της, είναι η χώρα με τη μεγαλύτερη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά αυτοκινήτων και η χώρα με το μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς ηλεκτροκίνητων οχημάτων. Το Μάρτιο του 2014 μάλιστα, η Νορβηγία έγινε η πρώτη χώρα όπου περισσότερα από 1 στα 100 αυτοκίνητα που κυκλοφορούσαν στους δρόμους ήταν ηλεκτροκίνητο. Η Εσθονία έχει τη δεύτερη θέση όσον αφορά τη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά, αναλογικά με τον πληθυσμό της και είναι μάλιστα η πρώτη χώρα που ανέπτυξε και ολοκλήρωσε την κατασκευή δικτύου φόρτισης με πανεθνική κάλυψη. Το εν λόγω δίκτυο είναι εξοπλισμένο με ταχυφορτιστές κατά μήκος των εθνικών οδών, με μέγιστη απόσταση 60 χιλιομέτρων μεταξύ τους. Μια εικόνα σε παγκόσμιο επίπεδο μπορούμε να έχουμε μέσω του πίνακα που ακολουθεί.

**Πίνακας 1.2** Οι χώρες στον παγκόσμιο χάρτη, με τα μεγαλύτερα μερίδια αγοράς σε υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα για τα έτη 2013 και 2014 [11]

Top 10 countries by PEV market share of total new car sales in 2014 and 2013				Top 10 countries by plug-in electric-drive segment in 2013 <sup>(1)</sup>					
Ranking	Country	PEV market share(%)		Ranking	Country	BEV market share(%) 2013 <sup>(2)</sup>	Ranking	Country	PHEV market share(%) 2013 <sup>(2)</sup>
		2014 <sup>(2)</sup>	2013 <sup>(2)</sup>						
1	Norway	13.84%	6.10%	1	Norway	5.75%	1	Netherlands	4.72%
2	Netherlands	3.87%	5.55%	2	Netherlands	0.83%	2	Sweden	0.41%
3	Iceland <sup>[18]</sup>	2.71%	0.94%	3	France	0.79%	3	Japan	0.40%
4	Estonia <sup>[19]</sup>	1.57%	0.73%	4	Estonia	0.73%	4	Norway	0.34%
5	Sweden <sup>[20]</sup>	1.53%	0.71%	5	Iceland	0.69%	5	US	0.31%
6	Japan	1.06%	0.91%	6	Japan	0.51%	6	Iceland	0.25%
7	Denmark <sup>[22]</sup>	0.88%	0.29%	7	Switzerland	0.39%	7	Finland	0.13%
8	Switzerland <sup>[23]</sup>	0.75%	0.44%	8	Sweden	0.30%	8	UK	0.05%
9	US	0.72%	0.60%	9	Denmark	0.28%	9	France	0.05%
10	France	0.70% <sup>(2)</sup>	0.83%	10	US	0.28%	10	Switzerland	0.05%

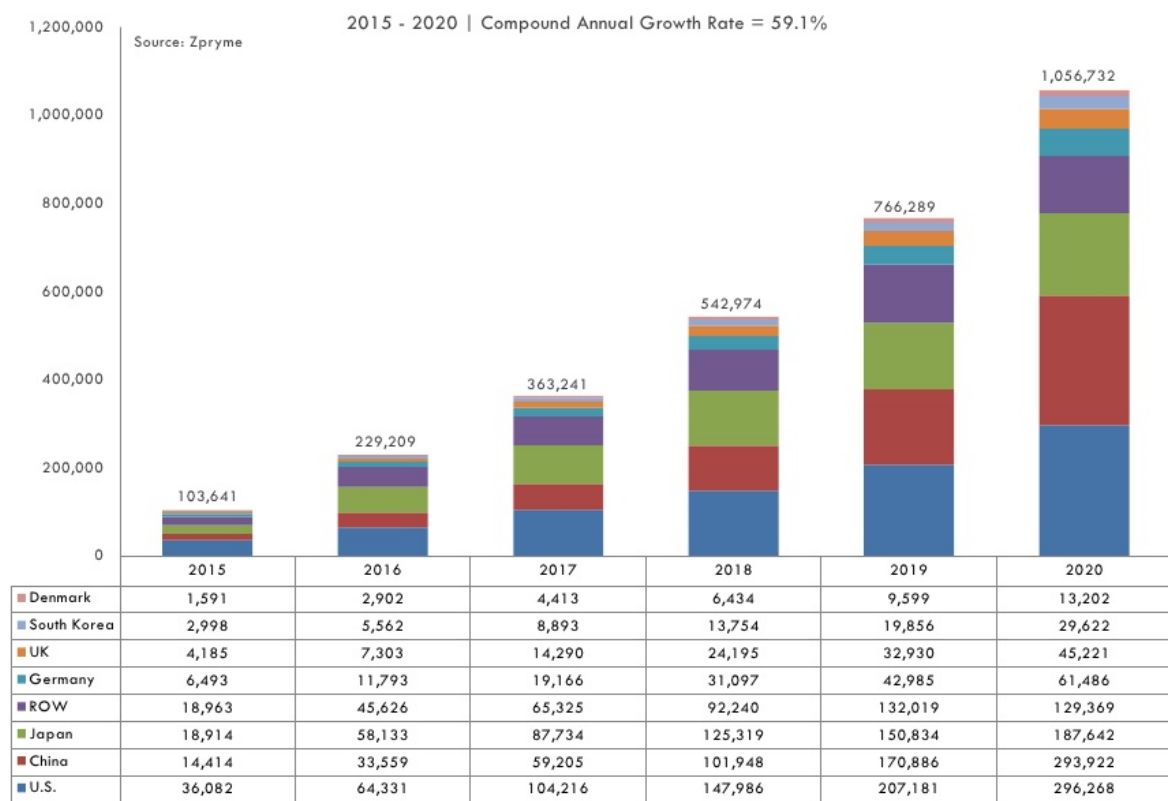
**Note:** (1) Market share of highway-capable plug-in electric-drive vehicles in the corresponding segment as percentage of total new car sales in the country in 2013.  
(2) The French market share corresponds to all-electric passenger cars and utility vans only. In France PHEVs are accounted together with regular hybrids (HEVs).<sup>[24]</sup>

Όπως φαίνεται οι χώρες στα βόρεια της Ευρώπης, εκ των οποίων όπως προαναφέρθηκε με διαφορά πρώτη είναι η Νορβηγία, είναι αυτές όπου τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν τη μεγαλύτερη διείσδυση στην αγορά. Από εκεί και πέρα στη πρώτη δεκάδα οι μόνες χώρες

που συναντώνται εκτός Ευρώπης είναι η Ιαπωνία και οι ΗΠΑ, χώρες με πολύ σημαντικές βιομηχανίες αυτοκινήτων στο παγκόσμιο χάρτη.

Για το έτος 2020 και για τις χώρες όπως Η.Π.Α, Ηνωμένο Βασίλειο, Κίνα, Δανία, Νότια Κορέα, Ιαπωνία και Γερμανία, βλέπουμε στον κάτωθι πίνακα τις αναμενόμενες πωλήσεις οχημάτων καθώς επίσης και την αξία σε δισεκατομμύρια δολάρια που προκύπτει από τις επενδύσεις για την αγορά, την υποδομή, την τεχνολογία και τέλος τα κέρδη από τις επιδοτήσεις για τα οικολογικά οχήματα (ηλεκτρικά, υβριδικά, κυψελών καυσίμου) [12].

**Πίνακας 1.3** Ραβδόγραμμα αναμενόμενων πωλήσεων οικολογικών οχημάτων έως το 2020 [12]



\* η κατηγορία ROW αντιπροσωπεύει τις πωλήσεις σε όλο τον υπόλοιπο κόσμο (rest of the world)

### 1.3.1 Βαθμός διάδοσης ηλεκτροκίνητων οχημάτων

#### Η.Π.Α

Μέχρι σήμερα, τα ηλεκτρικά και υβριδικά αυτοκίνητα δεν αποτελούν σημαντικό ποσοστό του στόλου των Η.Π.Α, αυτό όμως αναμένεται να αλλάξει γρήγορα, καθώς προωθείται η αγορά τους, πιλοτικά προγράμματα για τη χρήση τους και γενναία χρηματοδότηση της απαιτούμενης έρευνας και υποδομής. Προβλέπεται πως οι Η.Π.Α θα έχουν το μεγαλύτερο



μερίδιο της αγοράς και ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης των οχημάτων αυτής της τεχνολογίας θα είναι για την πενταετία 2015-2020 της τάξης του 52,4%.

### Κίνα

Η πολιτική της Κίνας στοχεύει μεταξύ άλλων στην ανάπτυξη και εκμετάλλευση της καθαρής ενέργειας, με επιχορηγήσεις για τα ηλεκτρικά οχήματα και τη δημιουργία ευφυούς δικτύου. Συγκεκριμένα έχει προβλεφθεί σχέδιο τριών φάσεων για το διάστημα 2009-2020 προώθησης της ηλεκτρικής τεχνολογίας, των υποδομών, των έξυπνων μετρητών και συστημάτων διαχείρισης πληροφορίας. Για τα έτη 2015 με 2020 αναμένεται μέση ετήσια αύξηση της τάξης του 82,6%.

### Ιαπωνία

Η ιαπωνική βιομηχανία κρατά τα σκήπτρα στην τεχνολογία μπαταριών και στην ηλεκτροκίνητη βιομηχανία, γεγονός που την καθιστά υπολογίσιμη δύναμη για την αγορά οικολογικών οχημάτων. Τον Απρίλιο του 2010 η Ιαπωνική κυβέρνηση έθεσε σε εφαρμογή σχέδιο αρχικής χρηματοδότησης 1,1 δις \$ με τη συμμετοχή εταιριών όπως η Toyota, η Panasonic και η Toshiba, ενώ υπολογίζεται πως μέχρι το 2030 το ποσοστό πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων θα είναι 50% επί των συνολικών. Επιπλέον έχουν ήδη θεσμοθετηθεί φοροαπαλλαγές και άλλα οικονομικά κίνητρα για την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων, κάτι που κάνει την Ιαπωνία τρίτη δύναμη στην εν λόγω αγορά. Ο δε ετήσιος ρυθμός αύξησης υπολογίζεται σε 58,1%.

### Γερμανία

Ήδη από το 2009 η Γερμανία έχει θέσει ως στόχο για το 2020 στόλο 1.000.000 ηλεκτροκίνητων οχημάτων μέσω προγράμματος αξίας 705.000.000 \$. Αναμένεται να είναι η τέταρτη δύναμη στην αγορά οικολογικών οχημάτων με μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης του αριθμού οχημάτων 56,7%.

### Ηνωμένο Βασίλειο

Το Ηνωμένο Βασίλειο το 2010 ανακοίνωσε επιχορήγηση κατά 25% για την αγορά ηλεκτρικού οχήματος, στοχεύοντας σε 1.700.000 ηλεκτρικά οχήματα μέχρι το 2020 και σε έξυπνους μετρητές ει δυνατόν σε κάθε σπίτι. Στα πλαίσια αυτά προωθεί ρυθμίσεις που θα διευκολύνουν τη στάθμευση για τους οδηγούς των εναλλακτικών οχημάτων καθώς και

ταχύτατο δίκτυο ώστε να είναι αποτελεσματική η επικοινωνία μεταξύ δικτύου και οχήματος.

### Νότια Κορέα

Τον Μάρτιο του 2010 η Κυβέρνηση της χώρας αποφάσισε να διαθέσει 23,3 δις \$ στις εναλλακτικές τεχνολογίες, με στόχο μέχρι το 2030 όλοι οι κάτοικοι της χώρας να χρησιμοποιούν οικολογικά μέσα μεταφοράς. Προσδοκία της χώρας είναι να αποτελέσει την τέταρτη μεγαλύτερη δύναμη στην αγορά μέχρι το 2015, με 10% των συνολικών της οχημάτων να είναι ηλεκτρικά. Ανάμεσα στις χώρες που εξετάζουμε, στην πραγματικότητα η Νότια Κορέα αναμένεται να είναι έβδομη με ετήσιο ρυθμό αύξησης 58,1%.

### Δανία

Το 2009 το 20% της συνολικής παραγωγής ενέργειας γινόταν από ανανεώσιμες πηγές, ενώ στόχος για το 2025 είναι η αύξηση αυτού του ποσοστού σε 30%. Υπολογίζεται δε πως μέχρι το 2020 θα βρίσκονται στην κυκλοφορία 13.300 ηλεκτροκίνητα οχήματα με μέσο ρυθμό ετήσιας αύξησης 52,7%.

## **1.3.2 Μέτρα μείωσης εκπομπών ρύπων**

Παράλληλα με τα κίνητρα για τη χρήση και τη διάδοση οικολογικών οχημάτων, όπως τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, τα υβριδικά οχήματα και τα οχήματα με κυψέλες υδρογόνου, η Ευρωπαϊκή Ένωση παίρνει επιπλέον μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος, μέτρα τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν και σαν αντι-κίνητρα για την παραγωγή και χρήση πετρελαιοκίνητων οχημάτων. Για παράδειγμα, μια συνθήκη της Ευρωπαϊκής Οικονομικής Κομισιόν (ECE) για τη διασυνοριακή ατμοσφαιρική ρύπανση σε μεγάλη απόσταση (CLRTAP) υπογράφηκε το 1979 και τέθηκε σε ισχύ το 1983 για τη μείωση των εκπομπών επιβλαβών ουσιών που προκύπτουν από ανθρωπογενείς παράγοντες, με αποτέλεσμα οι εκπομπές των περισσότερων βασικών ατμοσφαιρικών ρύπων να έχουν μειωθεί σε ολόκληρη την ήπειρο, με σημαντική αποκατάσταση της φυσικής ισορροπίας του επιπέδου οξέων του νερού και του εδάφους.

Μια άλλη αλλαγή ήταν η χρήση αμόλυβδης βενζίνης και πετρελαίου ντίζελ υψηλότερης ποιότητας. Παρά τη σαφή αυτή πρόοδο, η επίτευξη των στόχων του Κιότο για μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εξακολουθεί να είναι δύσκολη [11].

Όσον αφορά τα οχήματα, ένα ακόμη χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η υιοθέτηση νορμών εκπομπών ρύπων που γίνονται αυστηρότερες κάθε χρόνο. Το πρότυπο που άρχισε να ισχύει πρόσφατα λέγεται Euro 6 και υποχρεώνει τα κράτη μέλη να αρνούνται την έγκριση τύπου, την ταξινόμηση, την πώληση ή τη θέση σε κυκλοφορία των οχημάτων που δεν τηρούν τις εν λόγω οριακές τιμές εκπομπών [9].

**Πίνακας 1.4** Εξέλιξη των προτύπων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για εκπομπές ρύπων [13]

<b>Πρότυπα Ευρωπαϊκής Ένωσης για εκπομπές ρύπων επιβατικών αυτοκινήτων</b>						
<b>Πρότυπο</b>	<b>Ημερομηνία ισχύος για εγκρίσεις Τύπου</b>	<b>Ανώτατα όρια ρύπων (γραμ./χλμ.)</b>				
		<b>CO</b>	<b>HC</b>	<b>NOx</b>	<b>HC + NOx</b>	<b>PM</b>
<b>Κινητήρες Πετρελαίου</b>						
Euro 1	Ιούλιος 1992	2,72	-	-	0,97	0,14
Euro 2	Ιανουάριος 1996	0,64	-	-	0,7	0,08
Euro 3	Ιανουάριος 2000	0,5	-	0,5	0,56	0,05
Euro 4	Ιανουάριος 2005	0,5	-	0,25	0,3	0,025
Euro 5	Σεπτέμβριος 2009	0,5	-	0,18	0,23	0,005
Euro 6	Σεπτέμβριος 2014	0,5	-	0,08	0,17	0,005
<b>Κινητήρες Βενζίνης</b>						
Euro 1	Ιούλιος 1992	2,72	-	-	0,97	-
Euro 2	Ιανουάριος 1996	2,2	-	-	0,5	-
Euro 3	Ιανουάριος 2000	2,3	0,2	0,15	-	-
Euro 4	Ιανουάριος 2005	1,0	0,1	0,08	-	-
Euro 5	Σεπτέμβριος 2009	1,0	0,1	0,06	-	0,005*
Euro 6	Σεπτέμβριος 2014	1,0	0,1	0,06	-	0,005*

\*Μόνο για κινητήρες βενζίνης άμεσου ψεκασμού

Χάρη σε αυτές τις προσπάθειες υπήρξε μια σημαντική πρόοδος στην τεχνολογική ανάπτυξη εναλλακτικών οχημάτων, ώστε να φτάσουμε στην τρίτη χρονολογική περίοδο εξέλιξης που επεκτείνεται μέχρι και σήμερα, όπου το ηλεκτρικό όχημα, μετά από πολύ καιρό είναι για άλλη μια φορά στο προσκήνιο, πλέον σαν βιώσιμο μέσον διατήρησης της ποιότητας του αστικού μας περιβάλλοντος.

## 1.4 Σκοπός της παρούσας μελέτης

Κυρίως λόγω του μη ανεπτυγμένου δικτύου φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων και λεπτομερειών που θα αναλυθούν στα επόμενα κεφάλαια, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με συσσωρευτές δεν έχουν ακόμα διατεθεί σε μεγάλους αριθμούς και σε ποικιλία μοντέλων στην αγορά.

Παρ' όλα αυτά, η ανθρωπότητα βρίσκεται στο σημείο που έχει αποφασίσει να αντικαταστήσει τα ρυπογόνα μέσα μετακίνησης, και η κύρια μελέτη που διεξάγεται στις βιομηχανίες αφορά πλέον τα οικολογικά μέσα μετακίνησης. Επίσης, η πανεπιστημιακή έρευνα βρίσκεται σε σημαντική εξέλιξη αυτή τη στιγμή, με την δημιουργία αντίστοιχων προγραμμάτων σε εκπαιδευτικά και ερευνητικά ιδρύματα σε όλο τον κόσμο. Ακολουθώντας αυτή την οικολογική τάση, το αντικείμενο μελέτης της παρούσας πτυχιακής εργασίας δε θα μπορούσε παρά να είναι το ηλεκτρικό αυτοκίνητο, εφ' όσον μάλιστα η έρευνα στην Ελλάδα δεν έχει προχωρήσει αρκετά και βρίσκεται ακόμη σε αρχικά στάδια.

Οι βασικοί στόχοι της ανάλυσης που θα ακολουθήσει είναι:

- ❖ ευαισθητοποίηση γύρω από το ηλεκτρικό-υβριδικό αυτοκίνητο
- ❖ προώθηση περιβαλλοντικών μέσων μετακίνησης
- ❖ παρουσίαση υπάρχουσας τεχνολογίας
- ❖ σύγκριση μεταξύ τριών τύπων οχημάτων
- ❖ επιλογή του βέλτιστου και ιδέες για περαιτέρω ανάπτυξη.

## **Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο**

### **2.1 Εισαγωγή**

Η κατηγορία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων (Electric Vehicles-EVs) περιλαμβάνει αρκετές υλοποιήσεις, όσον αφορά το βαθμό απεξάρτησης από τις μηχανές εσωτερικής καύσης, αλλά και ανάλογα με τον τρόπο επανάκτησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, υπάρχουν τα αμιγώς ηλεκτρικά αυτοκίνητα (Battery Electric Vehicles-BEVs), τα υβριδικά αυτοκίνητα (Hybrid Electric Vehicles-HEVs), τα υβριδικά αυτοκίνητα που συνδέονται στο ηλεκτρικό δίκτυο για φόρτιση (Plug-in Hybrid Electric Vehicles-PHEVs) και τα οχήματα που χρησιμοποιούν κυψέλες καυσίμου υδρογόνου (Fuel Cell Electric Vehicles-FCEVs). Η δομή και ο τρόπος λειτουργίας των παραπάνω παρουσιάζονται αναλυτικά στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο.

Στο παρόν κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με το καθαρά ηλεκτρικό αυτοκίνητο, το οποίο είναι άλλωστε και ο τελικός στόχος ως όχημα με μηδενική ρύπανση. Θα μελετηθούν στη συνέχεια, η κατασκευή και τα μέρη που απαρτίζουν το ηλεκτρικό αυτοκίνητο, η λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα, τα βοηθητικά κυκλώματα και τα μέσα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας.

### **2.2 Δομή και τρόπος λειτουργίας**

Το σύστημα κίνησης ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου αποτελείται από τα εξής υποσυστήματα:

- 1) τον ηλεκτρικό κινητήρα,
- 2) το μετατροπέας ισχύος,
- 3) τη πηγή ενέργειας,
- 4) τη μονάδα ελέγχου,
- 5) και το σύστημα μετάδοσης της κίνησης.

Η κατασκευή ενός ηλεκτρικού οχήματος έχει αλλάξει σε σχέση με τα πρώτα EV οχήματα, τα οποία προέκυπταν από τη μετατροπή των συμβατικών οχημάτων με αντικατάσταση της μηχανής εσωτερικής καύσης και της δεξαμενής καυσίμου από έναν

ηλεκτροκινητήρα και ένα συσσωρευτή, με διατήρηση όλων των υπολοίπων διατάξεων. Η προσέγγιση αυτή είχε μειονεκτήματα όπως μεγάλο βάρος, μικρή ευελιξία και μειωμένη απόδοση, γεγονός που οδήγησε προς την εγκατάλειψη της. Αντί αυτού, τα σύγχρονα ηλεκτρικά οχήματα κατασκευάζονται βάσει νέων και πρωτότυπων σχεδίων για το σύνολο της δομής. Η διαδρομή ισχύος (drive train) του οχήματος αποτελείται από τρία μεγάλα υποσυστήματα [31]:

- την ηλεκτρική προώθηση (Electric Propulsion),
- την πηγή ενέργειας (Energy Source)
- τα βοηθητικά συστήματα (Auxiliary).

Το σύστημα ηλεκτρικής προώθησης αποτελείται με τη σειρά του :

- 1) από έναν ελεγκτή του οχήματος (Vehicle Controller),
- 2) έναν ηλεκτρονικό μετατροπέα ισχύος (Electronic Power Converter),
- 3) τον ηλεκτροκινητήρα (Electric Motor),
- 4) το σύστημα μηχανικής μετάδοσης (Mechanical Transmission)
- 5) και τους τροχούς (Wheel).

Ακόμη το υποσύστημα πηγής ενέργειας περιλαμβάνει:

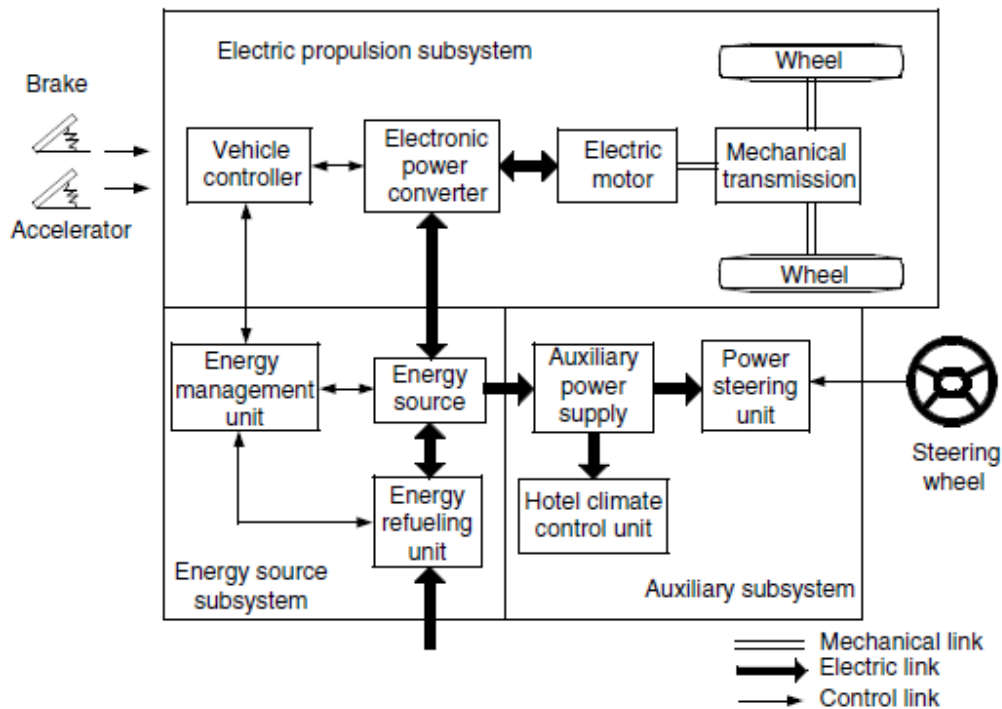
- 1) την πηγή ενέργειας (Energy Source),
- 2) τη μονάδα διαχείρισης ενέργειας (Energy Management Unit)
- 3) και τη μονάδα επαναφόρτισης ενέργειας (Energy Refueling Unit).

Τέλος, το βοηθητικό υποσύστημα αποτελείται από:

- 1) τη μονάδα οδήγησης ισχύος (Power Steering Unit),
- 2) τη μονάδα κλιματικού ελέγχου (Temperature Control Unit)
- 3) και τη μονάδα βοηθητικής υποστήριξης (Auxiliary Power Supply) [31].

Με βάση τις εισόδους που δέχεται από τα πεντάλ επιτάχυνσης και πέδησης, ο ελεγκτής του οχήματος παρέχει κατάλληλα σήματα ελέγχου στον ηλεκτρονικό μετατροπέα ισχύος ο οποίος λειτουργεί για να ελέγχει τη ροή ισχύος ανάμεσα στον ηλεκτροκινητήρα και την πηγή ενέργειας. Η αντίστροφη ροή ισχύος οφείλεται στην εφαρμογή της αναγεννητικής πέδησης (regenerative braking) όπου η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί πίσω στους συσσωρευτές ή σε υπερπυκνωτές. Η μονάδα διαχείρισης ενέργειας συνεργάζεται με τον

ελεγκτή του οχήματος για να ελέγξει τη διαδικασία της αναγεννητικής πέδησης και την ανάκτηση ενέργειας. Επίσης, συνεργάζεται με τη μονάδα επαναφόρτισης ενέργειας για να ελέγξει τη μονάδα επαναφόρτισης καθώς και τη δυνατότητα χρήσης της πηγής ενέργειας. Η μονάδα βοηθητικής υποστήριξης παρέχει την απαιτούμενη ισχύ στα απαιτούμενα επίπεδα τάσης για όλες τις βοηθητικές διατάξεις του οχήματος [31].

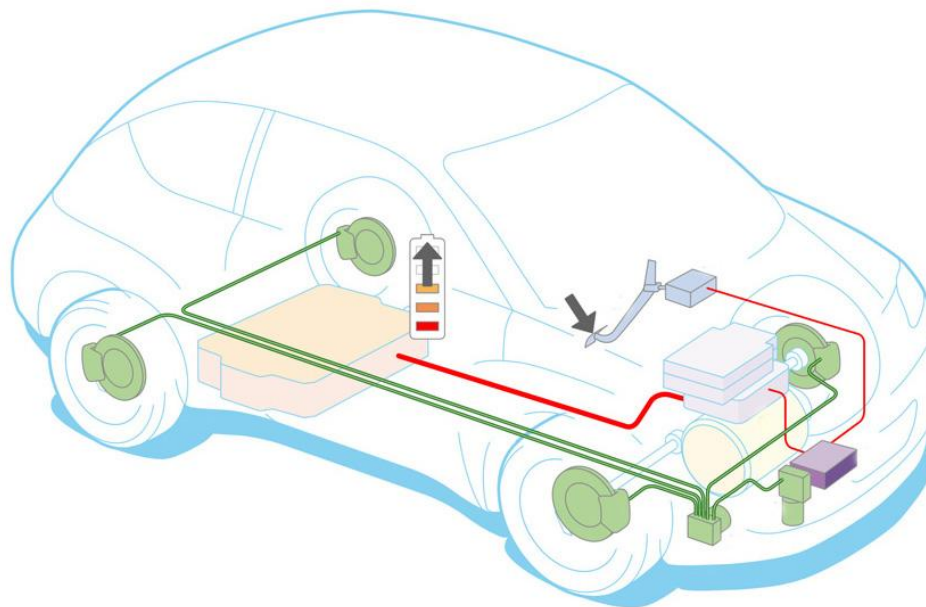


Εικόνα 2.1 Διασύνδεση συστημάτων σε ένα ηλεκτρικό όχημα [31]

Πριν γίνει η ανάλυση των σημαντικότερων από τα προαναφερθέντα υποσυστήματα στα επόμενα κεφάλαια, θα σταθούμε λίγο στην πολύ ενδιαφέρουσα ιδέα της αναγεννητικής πέδησης όπου παράγεται και αποθηκεύεται ενέργεια κατά το φρενάρισμα.

Στα συμβατικά οχήματα κατά το φρενάρισμα έχουμε μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε θερμότητα. Αντίθετα, ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών οχημάτων και των υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων είναι η ικανότητά τους να ανακτούν σημαντικά ποσά ενέργειας κατά την πέδηση. Οι ηλεκτροκινητήρες των EVs και HEVs μπορούν να επιλεγθούν ώστε να λειτουργούν και ως γεννήτριες για τη μετατροπή της κινητικής ή δυναμικής ενέργειας του οχήματος σε ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη φόρτιση των μπαταριών ενός EV ή ενός HEV. Να σημειωθεί, βέβαια, ότι δεν είναι δυνατή η δέσμευση όλης της ενέργειας που είναι διαθέσιμη κατά την πέδηση του οχήματος, ιδιαίτερα κατά τις απότομες επιβραδύνσεις.

Η συνολική ενέργεια είναι συνήθως αρκετά υψηλή για να την επεξεργαστεί ένας ηλεκτρικός κινητήρας που χρησιμοποιείται για την προώθηση. Έτσι, τόσο τα EVs όσο και τα HEVs πρέπει να είναι εφοδιασμένα και με σύστημα μηχανικής πέδησης ακόμη κι αν ο ηλεκτροκινητήρας σχεδιάζεται με δυνατότητα επαναπαραγωγής. Σε συνθήκες όπου το αυτοκίνητο βρίσκεται σε κατάσταση οδήγησης πόλης όπου υπάρχουν επαναλαμβανόμενες αυξομειώσεις μικρών ταχυτήτων και συνεχόμενων φρεναρισμάτων, το ηλεκτρικό σύστημα αναλαμβάνει εξ' ολοκλήρου την πέδηση του αυτοκινήτου. Η αναγεννητική πέδηση μπορεί να αυξήσει την αυτονομία ενός EV κατά 10% έως 15% [31].



Εικόνα 2.2 Το σύστημα αναγεννητικής πέδησης στο Renault Zoe [20]

### 2.3 Περιγραφή ηλεκτροκινητήρα

Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι ίσως το πλέον σημαντικό τμήμα ενός ηλεκτρικού οχήματος. Οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται σε τέτοιου είδους εφαρμογές είναι τόσο οι κινητήρες Σ.Ρ. όσο και οι κινητήρες Ε.Ρ. Οι χρησιμοποιούμενοι τύποι κινητήρων Σ.Ρ. είναι: [21]

- Κινητήρας Σ. Ρ. με διέγερση εν σειρά,
- Κινητήρας Σ. Ρ. με παράλληλη διέγερση,
- Κινητήρας Σ. Ρ. με ξένη διέγερση και
- Κινητήρας Σ. Ρ. με μόνιμο μαγνήτη.



Από τους κινητήρες E.P. υπάρχουν κινητήρες με ημιτονοειδή τάση τροφοδοσίας όπως:

- Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου κλωβού,
- Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας δακτυλιοφόρου δρομέα,
- Σύγχρονος τριφασικός με ή χωρίς μόνιμο μαγνήτη.

Ακόμη υπάρχουν και οι ηλεκτρικοί κινητήρες που τροφοδοτούνται με τετραγωνικούς παλμούς όπως:

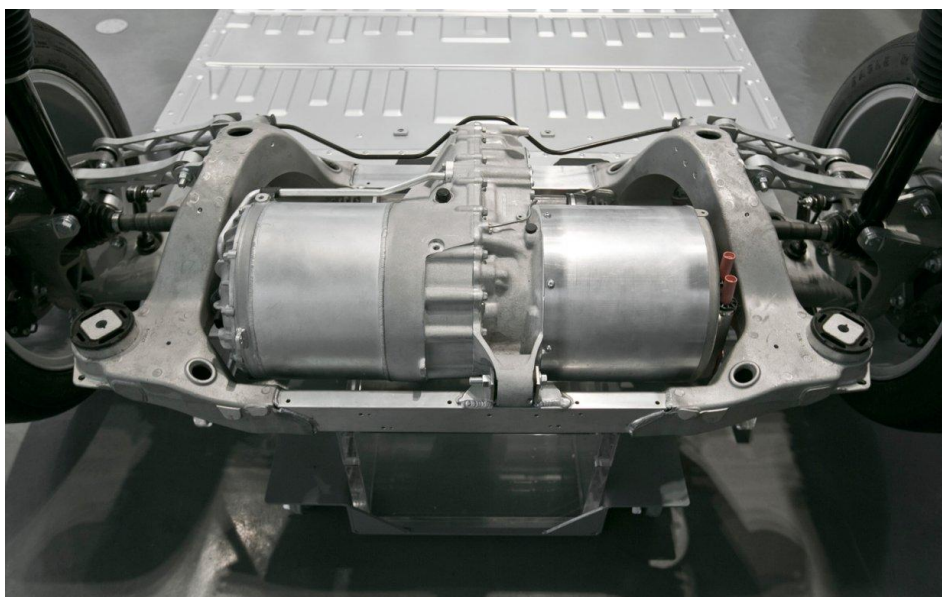
- Κινητήρας τύπου Brushless DC και
- Κινητήρας τύπου Switched Reluctance [21],[22]



Εικόνα 2.3 Διάγραμμα Ηλεκτρικών Κινητήρων [18]

Οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να ικανοποιούν κάποιες απαιτήσεις, όπως:

- 1) Υψηλή ροπή εκκίνησης
- 2) Ικανότητα οδήγησης του οχήματος σε περιοχές με απότομη κλίση εδάφους
- 3) Υψηλό βαθμό απόδοσης
- 4) Ικανότητα παροχής υψηλής ροπής σε μεγάλο εύρος στροφών



**Εικόνα 2.4** Ηλεκτροκινητήρας του Tesla Model S 2012 [16]

Οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται στα EVs και HEVs συνήθως απαιτούν συχνές εκκινήσεις και σταματήματα (starts & stops), υψηλούς ρυθμούς επιτάχυνσης και επιβράδυνσης, υψηλής ροπής και χαμηλής ταχύτητας ανάβαση, χαμηλής ροπής και υψηλής ταχύτητας πλοήγηση, καθώς και ένα πολύ μεγάλο φάσμα ταχυτήτων λειτουργίας.

Οι κινητήρες των EVs και HEVs μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες:

- στους κινητήρες με συλλέκτη (commutator motors)
- και στους κινητήρες χωρίς συλλέκτη (commutatorless motors) [31].

Οι κινητήρες με συλλέκτη είναι κυρίως οι παραδοσιακοί κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC motors), που διακρίνονται στους:

- κινητήρες ανεξάρτητης διέγερσης,
- παράλληλης διέγερσης,
- διέγερσης σειράς,
- σύνθετης διέγερσης
- και τους DC κινητήρες με μόνιμο μαγνήτη

Οι DC κινητήρες χρειάζονται συλλέκτες και ψήκτρες (brushes) για να τροφοδοτήσουν με ρεύμα το τύλιγμα του οπλισμού, γεγονός που τους καθιστά ακατάλληλους και λιγότερο αξιόπιστους για υψηλή ταχύτητα. Παρ' όλα αυτά, λόγω της ώριμης τεχνολογίας τους και τον απλό έλεγχο, οι DC κινητήρες έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετά στα ηλεκτρικά συστήματα πρόωσης.

Οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν, πρόσφατα, οδηγήσει τους ηλεκτροκινητήρες χωρίς συλλέκτη σε μια νέα εποχή. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης τους περιλαμβάνουν υψηλότερη απόδοση, υψηλότερη πυκνότητα ισχύος και χαμηλότερο κόστος λειτουργίας. Είναι πιο αξιόπιστοι σε σύγκριση με τους DC κινητήρες με συλλέκτη. Έτσι, οι ηλεκτροκινητήρες χωρίς συλλέκτη έχουν, πλέον, γίνει πιο ελκυστική επιλογή [22].

Από την άλλη πλευρά οι κινητήρες επαγωγής είναι ένα είδος κινητήρα χωρίς συλλέκτη για την πρόωση EV και HEV οχημάτων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός του χαμηλού τους κόστους, της υψηλής αξιοπιστίας, και της maintenance-free λειτουργίας. Ωστόσο, οι συμβατικοί τρόποι ελέγχου των κινητήρων επαγωγής όπως αυτός της μεταβλητής τάσης μεταβλητής συχνότητας-VVVF δεν μπορεί να παρέχει την επιθυμητή απόδοση.

### **Συμπεράσματα**

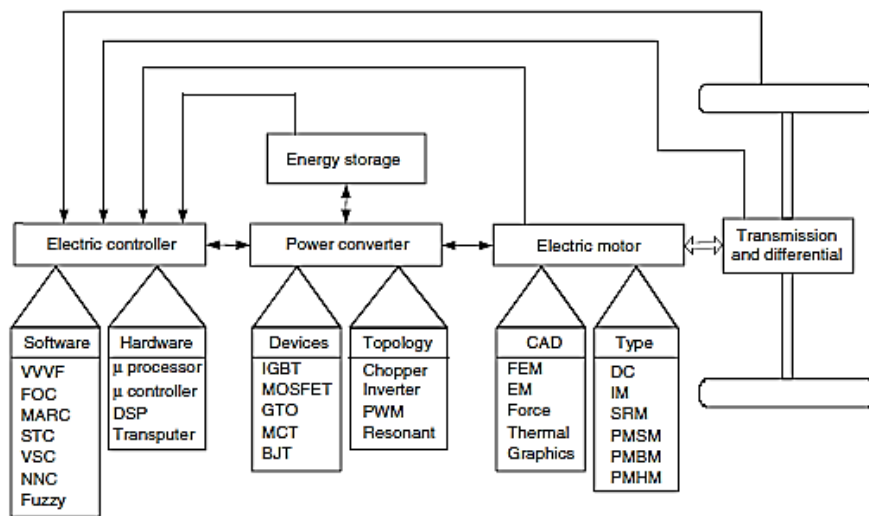
Οι AC κινητήρες επαγωγής έχουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τους DC κινητήρες, γι' αυτό είναι η κύρια επιλογή στις τωρινές υλοποιήσεις ηλεκτρικών οχημάτων. Διαθέτουν χαρακτηριστικά όπως ελαφριά φύση, μικρός όγκος, χαμηλό κόστος και υψηλή απόδοση. Συγκεκριμένα, ο πιο διαδεδομένος τύπος ηλεκτροκινητήρα στις EV και HEV εφαρμογές είναι ο AC σύγχρονος ηλεκτροκινητήρας.

## **2.4 Μετατροπείς ισχύος και βοηθητικά συστήματα**

Το ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης αποτελεί το βασικό «στοιχείο» των ηλεκτρικών (EVs) και υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων (HEVs). Αποτελείται από ηλεκτροκινητήρα, μετατροπέα ισχύος και ηλεκτρονικό ελεγκτή.

Ο ηλεκτρικός κινητήρας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια για την κίνηση του οχήματος ή αντίστροφα, για την ενεργοποίηση της αναγεννητικής πέδησης ή και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με σκοπό τη φόρτιση του επί του οχήματος μέσου αποθήκευσης ενέργειας [31]2. Ο μετατροπέας ισχύος χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση του ηλεκτρικού κινητήρα με την κατάλληλη τάση και ρεύμα. Ο ηλεκτρονικός ελεγκτής δίνει εντολή στον μετατροπέα ρεύματος με παροχή σημάτων ελέγχου σε αυτόν και στη συνέχεια, ελέγχει τη λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα ώστε να παράγει την κατάλληλη ροπή και την ταχύτητα, ανάλογα με την εντολή από τη μονάδα. Ο ηλεκτρονικός ελεγκτής μπορεί να διαιρεθεί περαιτέρω σε τρεις λειτουργικές μονάδες τον αισθητήρα, το κύκλωμα διεπαφής και τον επεξεργαστή. Ο αισθητήρας χρησιμοποιείται για

να μεταφράσει μετρήσιμες ποσότητες, όπως το ρεύμα, τη τάση, τη θερμοκρασία, τη ταχύτητα, τη ροπή και τη ροή, σε ηλεκτρικά σήματα μέσω του κυκλώματος διασύνδεσης. Αυτά τα σήματα προετοιμάζονται στο κατάλληλο επίπεδο πριν τροφοδοτηθούν στον επεξεργαστή. Τα σήματα εξόδου του επεξεργαστή συνήθως ενισχύονται μέσω του κυκλώματος διασύνδεσης ώστε να οδηγήσουν τις συσκευές ημιαγωγών ισχύος του μετατροπέα ισχύος. Το λειτουργικό διάγραμμα ενός ηλεκτρικού συστήματος πρόωσης απεικονίζεται παρακάτω [31].



**Εικόνα 2. 5** Λειτουργικό μπλοκ διάγραμμα ενός τυπικού συστήματος ηλεκτρικής πρόωσης [31]

Η επιλογή των ηλεκτρικών συστημάτων πρόωσης για τα EVs και HEVs εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων, μεταξύ των οποίων η προσδοκία του οδηγού (driver expectation), οι περιορισμοί του οχήματος και η πηγή ενέργειας.

Η «προσδοκία του οδηγού» καθορίζεται από ένα προφίλ οδήγησης, το οποίο περιλαμβάνει την επιτάχυνση, τη μέγιστη ταχύτητα, την ικανότητα αναρρίχησης, την πέδηση και το εύρος λειτουργίας. Οι περιορισμοί του οχήματος, συμπεριλαμβανομένου του όγκου και του βάρους, εξαρτώνται από τον τύπο και το βάρος του οχήματος και το ωφέλιμο φορτίο. Η πηγή ενέργειας σχετίζεται με τις μπαταρίες, τις κυψέλες καυσίμου, τους υπερπυκνωτές, τους σφονδύλους και διάφορες υβριδικές πηγές.

Ως εκ τούτου, η διαδικασία προσδιορισμού των προτιμώμενων χαρακτηριστικών για την ηλεκτρική πρόωση πρέπει να διεξάγεται σε επίπεδο συστήματος. Πρέπει να εξεταστεί η αλληλεπίδραση των υποσυστημάτων και των πιθανών trade-offs [31].

Ο ηλεκτρονικός μετατροπέας είναι το τμήμα εκείνο του συστήματος που μετατρέπει τη συνεχή τάση των συσσωρευτών στα κατάλληλα επίπεδα και μορφή για την τροφοδότηση

του κινητήρα. Επιπλέον, μια πολύ σημαντική διεργασία που πραγματοποιεί ο μετατροπέας είναι ο έλεγχος της ροπής και των στροφών του κινητήρα. Η επιλογή του μετατροπέα που θα χρησιμοποιηθεί σε ένα ηλεκτρικό όχημα εξαρτάται άμεσα από τον ηλεκτρικό κινητήρα ο οποίος χρησιμοποιείται και άρα πρόκειται να τροφοδοτηθεί. Έτσι, βάσει των κινητήρων που χρησιμοποιούνται (συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος) έχουμε τις παρακάτω επιλογές:

- 1) Μετατροπείς Σ.Τ./Σ.Τ. τύπου chopper με διακοπτικό στοιχείο thyristor και βοηθητικό κύκλωμα για τη σβέση του. Βασικό πλεονέκτημα αυτών είναι η δυνατότητα για έλεγχο μεγάλης ισχύος, ενώ μειονεκτήματα αποτελούν η πολυπλοκότητα και η απαίτηση για μεγάλη επαγωγή εξομάλυνσης.
- 2) Μετατροπείς Σ.Τ./Ε.Τ. τύπου αντιστροφέα (Inverter) με διαμόρφωση εύρους παλμών PWM (Pulse Width Modulation). Δρουν με βάση μια αρκετά πολύπλοκη διαδικασία, η οποία σχετίζεται με την ανοχή σε διακυμάνσεις της τάσεως εισόδου και την καταλληλότητα της μεθόδου για εφαρμογές πραγματικού χρόνου που τις περισσότερες φορές συνοδεύονται από τη χρήση μικροελεγκτή.
- 3) Μετατροπείς Σ.Τ./Ε.Τ. τύπου αντιστροφέα συντονισμού (Resonant Inverters), με το κύκλωμα συντονισμού να λειτουργεί με τέτοιο τρόπο ώστε η μετάβαση στην κατάσταση αγωγής του στοιχείου να γίνεται είτε υπό μηδενική τάση (Zero Voltage Switching-ZVS) είτε υπό μηδενικό ρεύμα (Zero Current Switching-ZCS), μηδενίζοντας έτσι τις διακοπτικές απώλειες. Ταυτόχρονα, οι συγκεκριμένοι μετατροπείς παρουσιάζουν ελάχιστες θερμικές απώλειες, μεγάλη πυκνότητα ισχύος και μικρότερες ηλεκτρομαγνητικές παρενοχλήσεις. Από την άλλη, έχουν αυξημένο κόστος ενώ απαιτείται μια πολύπλοκη διάταξη ελέγχου [18].

### **Συμπεράσματα**

Γενικά οι διατάξεις αντιστροφέα μπορούν να οδηγούν κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος που απαιτούν είτε ημιτονοειδή τάση (ασύγχρονος κινητήρας, σύγχρονος κινητήρας) είτε τετραγωνικούς παλμούς (κινητήρας τύπου Brushless, κινητήρας τύπου switched reluctance). Συνήθως, λόγω διάδοσης των κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος, απαιτείται η χρήση της δεύτερης κατηγορίας μετατροπέων, ή της τρίτης κατηγορίας σε ακριβότερα οχήματα.

## 2.5 Μέσα αποθήκευσης και διαχείριση ενέργειας

Υπάρχουν διάφοροι τύποι πηγών ενέργειας που έχουν προταθεί για τα οικολογικά αυτοκίνητα, οι πιο σημαντικές από τις οποίες είναι οι ηλεκτροχημικοί μετατροπείς (συσσωρευτές ή μπαταρίες), οι υπερπυκνωτές (ultracapacitors, supercapacitors) και οι σφόνδυλοι υπερύψηλων ταχυτήτων (flywheels, μηχανικό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας). Επίσης, υπάρχει και η τεχνολογία των κυψελών καυσίμου (fuel cells) που είναι ένας τύπος μετατροπέων ενέργειας [31]. Εδώ θα ασχοληθούμε με τον πιο διαδεδομένο, τους συσσωρευτές.

Η μπαταρία σε ένα ηλεκτρικό ή υβριδικό ηλεκτρικό όχημα και η μπαταρία σε ένα συμβατικό όχημα χρησιμοποιούνται διαφορετικά. Ο βασικός σκοπός της μπαταρίας σε ένα συμβατικό όχημα είναι να παρέχει μεγάλο ηλεκτρικό ρεύμα για ένα σύντομο χρονικό διάστημα προς τον εκκινητή (μίζα) ώστε να εκκινήσει το όχημα. Πρόκειται για έναν τύπο μπαταρίας που συνήθως καλείται μπαταρία εκκίνησης (starting ή starter battery). Από την εκκίνηση του οχήματος και μετά, η τροφοδοσία των ηλεκτρικών συστημάτων γίνεται μέσω του εναλλάκτη. Στα ηλεκτροκίνητα οχήματα, ωστόσο, οι μπαταρίες παρέχουν συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα προς τον ηλεκτροκινητήρα για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Ως εκ τούτου, υπάρχει ανάγκη πολύ ισχυρότερων μπαταριών για ένα ηλεκτροκίνητο όχημα σε σχέση με ένα συμβατικό [31].

Η μπαταρία εκκίνησης είναι απαραίτητη και στα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα, σε συνδυασμό με μια μπαταρία υψηλής τάσης (high voltage battery, HVB) όμως σε ένα καθαρά ηλεκτρικό όχημα ή σε ένα όχημα με κυψέλες καυσίμου δε χρειάζεται. Οι βασικές ενεργειακές πηγές σε αυτά τα οχήματα είναι μπαταρίες υψηλής τάσης.

### 2.5.1 Κατηγορίες συσσωρευτών

#### Συσσωρευτές οξέος - μολύβδου (lead acid / Pb)

Είναι η πιο διαδεδομένη επιλογή για την τροφοδοσία των ηλεκτρικών συστημάτων στα συμβατικά αυτοκίνητα. Οι μπαταρίες που συνδέονται σε συστήματα κίνησης οχημάτων έχουν συνήθως τζελ αντί για υγρό ηλεκτρολύτη, ώστε να αντέχουν στις αυξημένες απαιτήσεις ισχύος. Τα ενεργειακά χαρακτηριστικά τους δεν παρουσιάζουν καλές επιδόσεις, καθώς η τιμή της ειδικής ενέργειάς τους είναι χαμηλή, παραμένουν όμως η φθηνότερη λύση σε σχέση με τα άλλα είδη επαναφορτιζόμενων συσσωρευτών.

Βασικά τους πλεονεκτήματα είναι το χαμηλό κόστος κατασκευής, η μεγάλη αξιοπιστία και η σχετικά χαμηλή αυτοεκφόρτιση. Από την άλλη μεριά, έχουν μεγάλο βάρος, οπότε επιβαρύνουν το όχημα με αρκετά επιπλέον κιλά. Επίσης χρειάζονται σωστή συντήρηση (αναπλήρωση υγρών) ενώ μειώνεται σημαντικά η διάρκεια ζωής τους σε περιπτώσεις ταχείας φόρτισης και σχεδόν πλήρους εκφόρτισης, δηλαδή σε κύκλους φόρτισης που σχετίζονται με τη λειτουργία ενός ηλεκτρικού οχήματος. Συνεπώς είναι κατάλληλες μόνο για την εκκίνηση υβριδικών οχημάτων.

#### Συσσωρευτές νικελίου – καδμίου (NiCd)

Αποτελούν μία καλή εναλλακτική για τις μπαταρίες οξέος-μολύβδου, καθώς παρουσιάζουν σχεδόν διπλάσια τιμή ειδικής ισχύος και μιάμιση φορά μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Από την άλλη μεριά όμως το κόστος τους είναι τρεις φορές μεγαλύτερο. Τα κελιά που απαρτίζουν την κάθε μπαταρία παρέχουν μικρότερη τάση εξόδου σε σχέση με τις μπαταρίες οξέος μολύβδου και συνεπώς απαιτούνται περισσότερα σε πλήθος για την παροχή ίδιας τάσης. Έχουν ανθεκτική κατασκευή, γρήγορο χρόνο φόρτισης και ανοχή της συμπεριφοράς τους σε μεταβολές της θερμοκρασίας. Η φόρτισή τους όμως πρέπει να γίνεται υπό σωστές συνθήκες, ενώ μειονέκτημα τους είναι και η χρήση του τοξικού καδμίου που δυσχεραίνει τη ανακύκλωση τους. Επίσης εμφανίζουν το φαινόμενο μνήμης.

#### Συσσωρευτές νικελίου – μετάλλου υδριδίου (NiMH)

Στα σύγχρονα υβριδικά οχήματα, η μπαταρία που χρησιμοποιείται κυρίως για εκκίνηση είναι η μπαταρία Νικελίου – Μετάλλου Υδριδίου. Η διαφορά αυτού του τύπου μπαταρίας σε σχέση με τον προηγούμενο είναι ότι έχει αντικατασταθεί το κάδμιο στο αρνητικό ηλεκτρόδιο με υδρίδιο μετάλλου, το οποίο δεν είναι τοξικό. Τα χαρακτηριστικά τους στοιχεία είναι γενικά καλύτερα σε σύγκριση με τις μπαταρίες νικελίου – καδμίου. Οι μπαταρίες Νικελίου-Υδριδίου Μετάλλου διαθέτουν υψηλή πυκνότητα ενέργειας (80Wh/kg), πολύ μεγάλη πυκνότητα ισχύος, μικρότερο χρόνο φόρτισης και μεγάλη διάρκεια ζωής [34],[35].

Στα βασικά τους μειονεκτήματα περιλαμβάνεται η μικρή τους ανοχή στις μεταβολές της θερμοκρασίας, ο μεγάλος ρυθμός αυτοεκφόρτισης και το υψηλό κόστος κατασκευής. Συγκρινόμενες με τις Μολύβδου-Οξέος, έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και αυτονομία. Στα θετικά τους συμπεριλαμβάνεται το γεγονός ότι δεν απαιτούν συντήρηση, ενώ μπορούν

να φορτιστούν πολύ γρήγορα (15 λεπτά). Το μεγάλο τους μειονέκτημά είναι πως εάν δεν φορτιστούν σωστά μπορεί να ελευθερώσουν υδρογόνο, με κίνδυνο έκρηξης.



Εικόνα 2.6 Μπαταρία υβριδικού οχήματος

### Συσσωρευτές νικελίου – χλωριούχου νατρίου (NiNaCl)

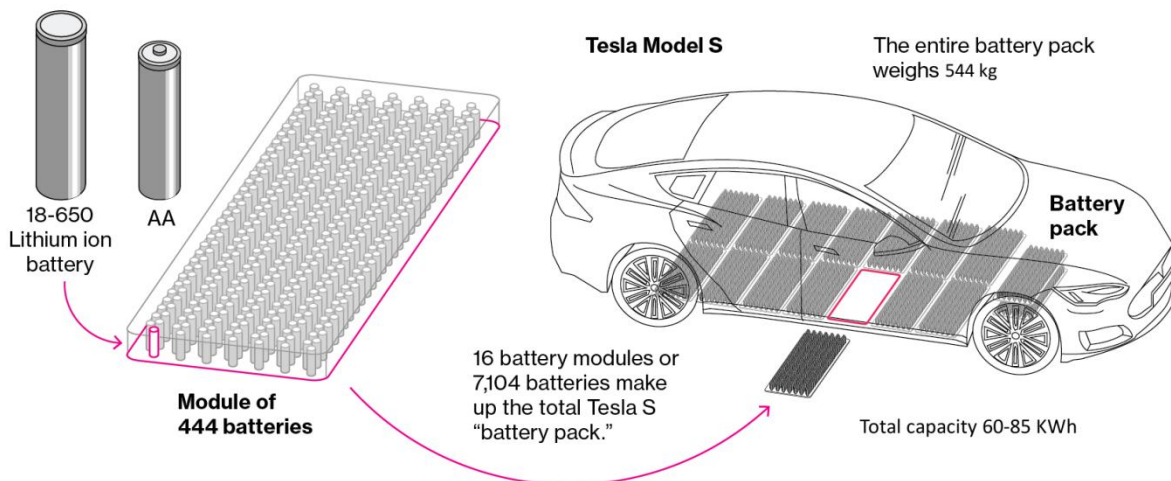
Αυτοί οι συσσωρευτές, γνωστοί και ως «ZEBRA» (Zero Emissions Battery Research Association) αντικατέστησαν τις μπαταρίες νατρίου-θείου με ενεργειακή πυκνότητα σχεδόν 100Wh/kg, που η εμπορική τους προώθηση έχει ανασταλεί εξαιτίας κινδύνων ανάφλεξης. Η θερμοκρασία λειτουργίας τους είναι ιδιαίτερα υψηλή (300 έως 350 °C) ενώ για τη σωστή λειτουργία τους απαιτείται προθέρμανση. Οι μπαταρίες αυτές πρέπει να παραμένουν θερμές όταν δε χρησιμοποιούνται, εκτός αν είναι ανενεργές για χρονικό διάστημα λίγων ωρών, γεγονός που αποτελεί μειονέκτημά τους, καθώς είναι ικανές να χάσουν περίπου 10 % της ενέργειάς τους μέσα σε μία ημέρα. Χρησιμοποιούνται επίσης σε υβριδικά αυτοκίνητα.

### Συσσωρευτές ιόντων λιθίου (Li-ion)

Οι μπαταρίες Li-ion είναι επαναφορτιζόμενες και είναι από τις πιο διαδεδομένες μπαταρίες στα φορητά ηλεκτρονικά με μια από τις καλύτερες αναλογίες ενέργειας προς βάρος. Ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης είναι σχετικά μικρός (10% ανά μήνα), ενώ απαιτείται ακριβής έλεγχος της τάσης κατά τη διαδικασία φόρτισης καθώς εάν η τάση ξεπεράσει κάποιο όριο μπορεί να προκαλέσει καταστροφή του συσσωρευτή. Επίσης, η έκθεσή τους σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσει παραγωγή αναθυμιάσεων και ανάφλεξη των συσσωρευτών [35]. Για αυτό, χρησιμοποιούνται κυκλώματα ασφαλείας για τον έλεγχο



της ορθής λειτουργίας τους. Το κόστος αυτών των μπαταριών είναι αρκετά υψηλό. Συσσωρευτές ιόντων λιθίου χρησιμοποιούν και τα αμιγώς ηλεκτρικά αυτοκίνητα, όπως το υψηλών επιδόσεων Tesla Roadster.



**Εικόνα 2.7** Συστοιχία από συσσωρευτές Li-ion σε ηλεκτρικό όχημα (BEV) [32],[33]

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου χωρίζονται, με βάση το υλικό κατασκευής της ανόδου, σε τέσσερις υποκατηγορίες: τους συσσωρευτές λιθίου-οξειδίου κοβαλτίου, λιθίου-οξειδίου μαγνησίου, τριών στοιχείων, και λιθίου-φωσφορικού σιδήρου (LiFePO<sub>4</sub>).

- Το οξείδιο του κοβαλτίου είναι το επικρατέστερο αυτή τη στιγμή υλικό κατασκευής της ανόδου σε μπαταρίες που συναντάμε σε καταναλωτικά προϊόντα. Υπερέχει σε ενεργειακή πυκνότητα, αλλά δεν τα καταφέρνει τόσο καλά στον τομέα της θερμικής ευστάθειας ενώ και ο κύκλος ζωής τους είναι μέτριος.

- Οι μπαταρίες λιθίου-οξειδίου μαγνησίου επιδεικνύουν μεγαλύτερη θερμική σταθερότητα, αλλά η απόδοσή τους πέφτει με την άνοδο της θερμοκρασίας και δεν θεωρούνται οι καλύτερες για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας.
- Οι μπαταρίες τριών στοιχείων έχουν μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα, αλλά η απόδοσή τους πέφτει σε πολύ υψηλές και πολύ χαμηλές θερμοκρασίες.
- Οι μπαταρίες λιθίου-φωσφορικού σιδήρου έχουν σχετικά μικρή ενεργειακή πυκνότητα, αλλά υπερέχουν στον τομέα της ασφάλειας, κοστίζουν λιγότερο ενώ διαθέτουν και ιδιαίτερα μεγάλο κύκλο ζωής.

### Συσσωρευτές πολυμερών λιθίου (Li-po)

Μια ανεπτυγμένη μπαταρία Li-ion είναι η μπαταρία στοιχείων πολυμερούς λιθίου (lithium polymer cell). Παρουσιάζει, γενικά, καλύτερα χαρακτηριστικά σε σχέση με τις μπαταρίες Li-ion, έχει χαμηλότερο κόστος κατασκευής και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

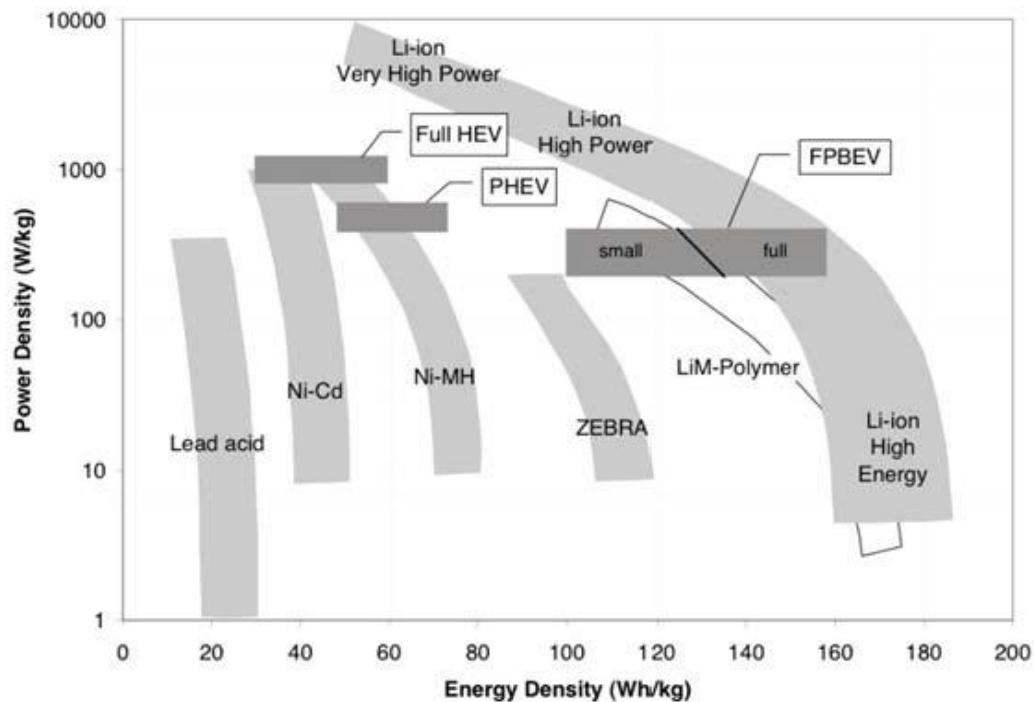
Ο στερεός πολυμερής ηλεκτρολύτης δεν είναι εύφλεκτος, επομένως αυτές οι μπαταρίες είναι λιγότερο επικίνδυνες. Ωστόσο, χημικά η μπαταρία Li-ion ενέχει πολλούς κινδύνους και έτσι ένα στοιχείο της μπαταρίας απαιτεί αρκετές υποχρεωτικές συσκευές ασφαλείας για να μπορεί να θεωρείται ασφαλές. Κάποιες από αυτές είναι: διαχωριστής κλεισίματος (για την υπερθέρμανση), στόμιο (για την αποκατάσταση της πίεσης) και θερμικός διακόπτης (για την υπερφόρτωση). Οι συσκευές αυτές καταλαμβάνουν αρκετό χώρο μέσα στο στοιχείο της μπαταρίας και αυξάνουν αρκετά το επίπεδο αναξιοπιστίας, έτσι ολοένα και νέες έρευνες διεξάγονται για τη βελτίωση της τεχνολογίας.

### **2.5.2 Χαρακτηριστικά και ενεργειακή απόδοση**

Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα χρειάζονται μπαταρίες υψηλής πυκνότητας ενέργειας και ισχύος, αλλά επιπλέον μπαταρίες με δυνατότητα συχνής πλήρους εκφόρτισης ή πλήρους φόρτισης. Μια μπαταρία με αυτό το χαρακτηριστικό ονομάζεται μπαταρία βαθιάς εκφόρτισης (deep cycling). Τέτοιες μπαταρίες τείνουν να έχουν μικρότερη στιγμιαία ισχύ από μια μπαταρία εκκίνησης αλλά μπορούν να προσδώσουν ηλεκτρική ενέργεια για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα.

Για χρήση σε αμιγώς ηλεκτρικό όχημα, η κυριότερη παράμετρος είναι η ειδική ενέργεια, καθώς από αυτήν καθορίζεται η χιλιομετρική αυτονομία του οχήματος (με μόνο μια φόρτιση). Από την άλλη πλευρά, για εφαρμογές υβριδικών-ηλεκτρικών οχημάτων, η

ειδική ισχύς παίζει μεγαλύτερο ρόλο, καθώς ενέργεια παρέχεται και από τον βενζινοκινητήρα, ενώ ικανοποιητική ισχύς απαιτείται για να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση του οχήματος, ιδιαίτερα κατά την επιτάχυνση, την ανάβαση και την αναγεννητική πέδηση. Αναφορικά με τα υλικά κατασκευής αυτών, έμφαση δίνεται σε υλικά που υπάρχουν σε αφθονία, είναι φθηνά, έχουν μελετηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό και είναι επιπλέον ανακυκλώσιμα ή έστω δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον κατά την εναπόθεσή τους σε αυτό.



Εικόνα 2.8 Διάγραμμα Ragone διάφορων συσσωρευτών και οχήματα στα οποία χρησιμοποιούνται [17]

Γενικά, για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος αποθήκευσης ενέργειας σε εφαρμογές οχημάτων, πρέπει να ικανοποιούνται και άλλες απαιτήσεις όπως:

- χαμηλό κόστος
- μεγάλη χωρητικότητα
- ελάχιστη δυνατή συντήρηση
- μικρός χρόνος επαναφόρτισης
- μικρός βαθμός αυτοεκφόρτισης
- μεγάλη διάρκεια ζωής
- μικρό βάρος
- φιλικότητα προς το περιβάλλον
- μη εμφάνιση του φαινομένου μνήμης (με βάση αυτό το φαινόμενο, η διαθέσιμη ποσότητα ενέργειας μειώνεται σε κάθε φόρτιση, εάν κατά το ξεκίνημα της φόρτισης η μπαταρία δεν ήταν εντελώς άδεια)

Για τη μέτρηση και σύγκριση των χαρακτηριστικών αυτών χρησιμοποιούνται κάποια τυποποιημένα μεγέθη, τα σημαντικότερα από τα οποία είναι:

Πυκνότητα Ισχύος ή Ειδική Ισχύς (W/kg): η ροή της ισχύος ανά μονάδα μάζας ή του βάρους της μπαταρίας.

Ενεργειακή πυκνότητα μάζας (Wh/kg): η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί ανά μονάδα μάζας (ή βάρους της μπαταρίας).

Χωρητικότητα μπαταρίας: μετριέται σε αμπερώρες (Ah) π.χ. για μια μπαταρία 10 Ah υποδηλώνει πως παρέχει 1 Amp συνεχούς ρεύματος για 10 h ή 5 Amp για 2 h κλπ.

Βαθμός απόδοσης: η μετατροπή ενέργειας από ηλεκτρική σε χημική έχει απόδοση της τάξης του 80%. Η μετατροπή της χημικής ενέργειας του πετρελαίου σε μηχανική δεν ξεπερνά το 20%.

Τάση στοιχείων (cells) και μπαταρίας: Στα ηλεκτρικά οχήματα, οι τάσεις των μπαταριών ΥΤ είναι από 100V μέχρι 600V. Επίσης, στα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα που κυκλοφορούν αυτή τη στιγμή στην παγκόσμια αγορά η ονομαστική τάση των μπαταριών ΥΤ κυμαίνεται από 200V περίπου μέχρι 350V περίπου.

Ρυθμός εκφόρτισης (discharge rate): Εκφράζει το πόσο γρήγορα χάνει την ενέργεια της μια μπαταρία όταν δεν χρησιμοποιείται.

Βάθος εκφόρτισης (Depth of Discharge): Το βάθος εκφόρτισης (DoD) είναι το ποσοστό χωρητικότητας της μπαταρίας ως προς το οποίο μπορεί εκφορτιστεί η μπαταρία κάθε φορά χωρίς να χάσει τη λειτουργικότητα της. Εκφόρτιση μιας μπαταρίας σε ποσοστό μεγαλύτερο από 80% της χωρητικότητας ονομάζεται βαθιά εκφόρτιση (deep discharge).

Διάρκεια ζωής: Εκφράζει τον αριθμό των πλήρων φόρτισεων-εκφόρτισεων που αντέχει η μπαταρία.

Ενεργειακή απόδοση: Η απόδοση ενέργειας και ισχύος κατά την εκφόρτιση ή τη φόρτιση ως προς τις απώλειες τάσης.

**Πίνακας 2.1** Σύγκριση χαρακτηριστικών διαφόρων τύπων συσσωρευτών για ηλεκτρικά αυτοκίνητα [31]

System	Specific Energy (Wh/kg)	Peak Power (W/kg)	Energy Efficiency (%)	Cycle Life	Self-Discharge (% per 48 h)	Cost (US\$/kWh)
<i>Acidic aqueous solution</i>						
Lead/acid	35–50	150–400	>80	500–1000	0.6	120–150
<i>Alkaline aqueous solution</i>						
Nickel/cadmium	50–60	80–150	75	800	1	250–350
Nickel/iron	50–60	80–150	75	1500–2000	3	200–400
Nickel/zinc	55–75	170–260	65	300	1.6	100–300
Nickel/metal hydride	70–95	200–300	70	750–1200+	6	200–350
Aluminum/air	200–300	160	<50	?	?	?
Iron/air	80–120	90	60	500+	?	50
Zinc/air	100–220	30–80	60	600+	?	90–120
<i>Flow</i>						
Zinc/bromine	70–85	90–110	65–70	500–2000	?	200–250
Vanadium redox	20–30	110	75–85	—	—	400–450
<i>Molten salt</i>						
Sodium/sulfur	150–240	230	80	800+	0 <sup>a</sup>	250–450
Sodium/nickel chloride	90–120	130–160	80	1200+	0 <sup>a</sup>	230–345
Lithium/iron sulfide (FeS)	100–130	150–250	80	1000+	?	110
<i>Organic/lithium</i>						
Lithium-ion	80–130	200–300	>95	1000+	0.7	200

<sup>a</sup>No self-discharge, but some energy loss by cooling.

Από το 2009, η έρευνα έχει στραφεί προς τις μπαταρίες λιθίου-θείου (Li-S), έναν τύπο επαναφορτιζόμενης μπαταρίας, αξιοσημείωτο για την υψηλή ειδική ενέργεια του. Το χαμηλό ατομικό βάρος του λιθίου και το μέτριο βάρος του θείου σημαίνει ότι οι μπαταρίες Li-S είναι σχετικά ελαφρές (περίπου η πυκνότητα του νερού). Επί του παρόντος οι καλύτερες μπαταρίες Li-S προσφέρουν ειδική ενέργεια της τάξης των 500Wh/kg, σημαντικά καλύτερες από τις περισσότερες μπαταρίες ιόντων λιθίου, οι οποίες κυμαίνονται από 150 έως 200Wh/kg [35]. Οι μπαταρίες Li-S με έως 1.500 κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης καταξιώθηκαν περισσότερο μετά τις αρχές του 2014, αλλά προς το παρόν δεν είναι διαθέσιμες στο εμπόριο.

### Συμπεράσματα

Από τους παραπάνω συσσωρευτές, έχουν χρησιμοποιηθεί αρχικά και σε μεγάλη κλίμακα οι συσσωρευτές Μολύβδου-Οξέος, καθώς αποτελούν δοκιμασμένη τεχνολογία ήδη από το 1859. Όμως τα τελευταία χρόνια οι συσσωρευτές Νικελίου-Υδριδίου Μετάλλου και οι συσσωρευτές Ιόντων Λιθίου και στοιχείων Λιθίου-Πολυμερούς τείνουν να κυριαρχήσουν

στις εφαρμογές ηλεκτροκίνησης. Οι συσσωρευτές Λιθίου γενικότερα έχουν θεωρηθεί ως η καλύτερη λύση για τα ηλεκτρικά οχήματα, καθώς:

- Διαθέτουν μεγάλη πυκνότητα ενέργειας
- Παρέχουν σχετικά μεγάλη ισχύ
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής
- Δεν εμφανίζουν το φαινόμενο μνήμης
- Επαναφορτίζονται πολύ γρήγορα [35]

## 2.6 Τρέχουσα έρευνα και παραγωγή

Η ηλεκτροκίνηση κερδίζει, αργά αλλά σταθερά, όλο και μεγαλύτερο μερίδιο στις πωλήσεις αυτοκινήτων εις βάρος των κινητήρων εσωτερικής καύσης, ενώ είναι βέβαιο πως την επόμενη δεκαετία θα αποτελεί την κυρίαρχη τάση. Ενδεικτικό είναι πως οι συνολικές πωλήσεις των plug-in ηλεκτρικών μοντέλων ή PEV σε αυτά περιλαμβάνονται κατά κύριο λόγο τα αμιγώς ηλεκτρικά αυτοκίνητα (BEV- Battery Electric Vehicle) και τα plug-in υβριδικά (PHEV- Plug-in Hybrid Electric Vehicle) είχαν φτάσει μέχρι και τα τέλη του περασμένου Νοεμβρίου και σύμφωνα με τα τελευταία διαθέσιμα στοιχεία, τα 3,3 εκατομμύρια μονάδες σε όλο τον κόσμο. Ακόμα πιο χαρακτηριστικό είναι πως μόνο το 2017 πουλήθηκαν παγκοσμίως περισσότερα από 1.000.000 PEV, ενώ η αντίστοιχη πρόβλεψη για το 2018 κάνει λόγο για 1,7 έως 2,0 εκατομμύρια αυτοκίνητα [30]. Αυτό σημαίνει πως αν τα τελευταία νούμερα επιβεβαιωθούν προς το τέλος της χρονιάς που μόλις ξεκίνησε θα κυκλοφορούν περισσότερα από 5 εκατομμύρια PEVs στους δρόμους της υφελίου. Μάλιστα, καθώς θα εμφανίζονται συνεχώς καινούργια μοντέλα με ακόμα μεγαλύτερη αυτονομία, τόσο σε ό,τι αφορά τα αμιγώς ηλεκτρικά όσο και τα plug-in υβριδικά, η κατηγορία συνολικά θα γίνεται όλο και πιο δημοφιλής, με αποτέλεσμα η ετήσια άνοδος των πωλήσεων της να κυμαίνεται από 50 έως και 100% για ολόκληρη την επόμενη δεκαετία.

Η μεγαλύτερη αγορά PEV παγκοσμίως είναι η Κίνα, η άνοδος στην οποία μετά και τα τελευταία μέτρα της κυβέρνησης της χώρας είναι εκρηκτική, ενώ ακολουθούν οι ΗΠΑ, η Νορβηγία, η Ιαπωνία, η Δανία και η Βρετανία. Χαρακτηριστικό των ευρωπαϊκών τουλάχιστον χωρών που βρίσκονται σε περίοπτες θέσεις σε αυτήν την κατάταξη οι υψηλές κρατικές επιδοτήσεις.

Στον παρακάτω Πίνακα 2.2 αναφέρονται τα πιο δημοφιλή ηλεκτρικά οχήματα για το 2017 σύμφωνα με το Ινστιτούτο Μελετών Περιβάλλοντος και Ενέργειας - The Environmental and Energy Study Institute (EESI) των ΗΠΑ.

**Πίνακας 2.2** Δημοφιλή ηλεκτρικά οχήματα για το 2017 [19]

Table 1: Popular Plug-in Electric Vehicles				
Make/Model	Type	Starting Price	Electric Range (miles)	MPGe (city/highway)
Chevrolet Volt	PHEV	\$33,220	53	106
Tesla Model S	BEV	\$69,200	210-315	90/94
Tesla Model X	BEV	\$90,000	238-289	81/92
Ford Fusion Energi	PHEV	\$31,120	21	104/91
Nissan LEAF	BEV	\$31,545	107	124/101
Ford C-Max Energi	PHEV	\$27,120	20	104/87
BMW i3	BEV or PHEV	\$43,395	81-114	BEV: 137/111 PHEV: 117

### 2.6.1 Ηλεκτρικά οχήματα

➤ **Nissan Leaf:**



**Εικόνα 2.9** Nissan Leaf [23]

- Παραλλαγή του Nissan Leaf S-5 θυρο
- 30 kWh μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-ion)
- Κινητήρας : AC Σύγχρονος ηλεκτροκινητήρας των 80 kW
- Οι εκτιμώμενες MPGε τιμές: έως 200 χλμ. (Πόλη) / 162 χλμ. (Αυτοκινητόδρομος) / 180 χλμ. (Συνδυασμένη)
- Φορτιστής : onboard φορτιστής 3,6 kW (προαιρετικά στα 6,6 kW)
- Θύρα φόρτισης : Κανονικής/Γρήγορης φόρτισης (24h η πλήρης φόρτιση στα 120 V)

➤ **BMW i3:**



**Εικόνα 2.10** BMW i3

- Παραλλαγή του BMW i3 (94 Ah)
- Μπαταρία ιόντων λιθίου 27,2 kWh (Li-ion)
- Ταχεία φόρτιση (125A, 80% SOC: κάτω από 40 λεπτά)
- Κανονική φόρτιση (60A, 80% SOC: 7,5 ώρες)
- Κινητήρας : AC Σύγχρονος ηλεκτροκινητήρας 125kW, μέγιστη ροπή 250 Nm
- Οι εκτιμώμενες MPGε τιμές: έως 300 χλμ. (Πόλη)



➤ **Tesla Model S:**



**Εικόνα 2. 11** Tesla Model S

- 85 kWh Μπαταρίες ιόντων λιθίου
- Κινητήρας : Τριφασικός επαγωγικός κινητήρας 221 ίππων για να κινεί τους εμπρός τροχούς, ο οποίος λειτουργεί σε συνδυασμό με τον 470 ίππων πίσω ηλεκτροκινητήρα, παρέχοντας τετρακίνηση με συνδυασμένη ισχύ εξόδου 691 ίππων (515 kW).
- Φορτιστής : 11kW, 265 V τριών φάσεων 16A
- Βάρος 2,239 kg
- Οι εκτιμώμενες MPGe τιμές: έως 407 χλμ. (Πόλη) [24],[25]

## 2.6.2 Υβριδικά Ηλεκτρικά

➤ **Chevrolet Volt:**



**Εικόνα 2.12** Chevrolet Volt [26]

- Το σύστημά του βασίζεται σε έναν 1.5-λίτρων V4 κύκλου Atkinson κινητήρα 16 βαλβίδων των 75kW με ροπή 140 Nm
- Και σε 2 σύγχρονους κινητήρες μόνιμου μαγνήτη των 111kW, 399Nm
- Η χρησιμοποιούμενη μπαταρία ιόντων λιθίου είναι της τάξης των 18,4kWh
- Καθαρή ηλεκτρική παροχή 85 χλμ και συνολική εμβέλεια 675 χλμ (εκτεταμένη εμβέλεια)
- Βάρος: 1607 κιλά

➤ **Ford Fusion Energi:**



**Εικόνα 2.13** Ford Fusion Energi

- Το μοντέλο του 2015 είναι ένα plug-in υβριδικό ηλεκτρικό όχημα
- Βασικό του στοιχείο είναι ο aluminum head and block 2.0-λίτρων κινητήρας κύκλου Atkinson, που παράγει 141 ίππους και 175Nm ροής και λειτουργεί σε συνδυασμό με έναν 118 ίππων AC μόνιμου μαγνήτη ηλεκτρικό κινητήρα που αποδίδει 118 ίππους και 159Nm ροπή.
- Οι συνολικές τιμές του FWD συστήματος είναι 188 ίπποι και περίπου 217Nm.
- Όταν η μπαταρία είναι φορτισμένη, το σύστημα μπορεί να αποδώσει μέχρι και 195 ίππους και πιθανότατα περισσότερη ροπή καθώς είναι το e-drive του που προσθέτει κάποια επιπλέον km/h.
- Η χρησιμοποιούμενη μπαταρία είναι της τάξης των 7.6kWh.
- Οι τιμές MPGe για ενεργοποιημένη μπαταρία είναι 95 σε πόλη, 81 σε αυτοκινητόδρομο, 88 για μεικτό κύκλο [27],[28].

➤ **Ford C-Max Hybrid:**



**Εικόνα 2.14** Ford C-Max Hybrid

- Αποτελείται από έναν 2.0-λίτρων κινητήρα κύκλου Atkinson καθώς και από έναν ηλεκτροκινητήρα και μπαταρία.
- Ο αλουμινένιος, τεσσάρων βαλβίδων ανά κύλινδρο κινητήρας έχει ονομαστική ισχύ 141 ίππων και 175Nm ροπή.
- Η ηλεκτρικός κινητήρας προσθέτει μέχρι και 114 ίππους και ροπή 240 Nm σε 6.000rpm.
- Η ισχύς διοχετεύεται μέσω eCVT μετάδοσης με πλανητικό σύστημα γραναζιών που μπορεί να αποσυνδέσει ή να συνδυάσει τις δύο ανεξάρτητες πηγές ενέργειας.
- Μια 1.4kWh μπαταρία ιόντων λιθίου χρησιμοποιείται για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Το σύστημα front-wheel-drive είναι ονομαστικής ισχύος 188 ίππων και οι επιδόσεις κατά EPA αξιολογούνται στα 45mpg σε πόλη, 40 σε αυτοκινητόδρομο και 43 συνδυαστικά [24],[29].

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> Υβριδικά οχήματα

### 3.1 Το υβριδικό αυτοκίνητο σαν συνδυασμός

Ένα υβριδικό αυτοκίνητο μπορεί να οριστεί ως ένα όχημα το οποίο συνδυάζει και χρησιμοποιεί τουλάχιστον δυο διαφορετικές πηγές ενέργειας προκειμένου να επιτύχει την κίνηση του [31].

Οι πηγές ενέργειας κυρίως είναι μια συνήθης μηχανή εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ) και μια πιο «φιλική» τεχνολογία προς το περιβάλλον η οποία προσδίδει κίνηση στο όχημα κατά περίπτωση και αναλόγως των απαιτήσεων της κίνησης μέσω ηλεκτρικού κινητήρα, πνευματικής ή υδραυλικής κινητήριας διάταξης, θερμικού κινητήρα και άλλων τεχνολογιών. Ακόμη, ως πηγή ενέργειας για αυτές τις τεχνολογίες μπορεί να θεωρηθεί η ηλιακή ενέργεια, η θερμική, η ηλεκτρική ή η ενέργεια από τη βιομάζα όπως είναι το βιοκαύσιμο, το φυσικό αέριο, το υδρογόνο κλπ [48].

### 3.2 Βασικές υβριδικές τεχνολογίες και κατηγοριοποίηση οχημάτων

Τα οχήματα μπορούν να χαρακτηριστούν ως «υβριδικά» βάσει των εξής κριτηρίων:

- του είδους της ενέργειας που χρησιμοποιούν,
- του βαθμού υβριδοποίησής τους,
- της διάταξης του κινητήριου συστήματός τους,
- του είδους καυσίμου που καταναλώνουν.

#### Κατηγοριοποίηση ως προς το είδος της ενέργειας

Με βάση την ενέργεια που χρησιμοποιούν και των μετατροπών της τα υβριδικά οχήματα κατατάσσονται σε:

- Υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα,
- Υβριδικά μηχανικά οχήματα,
- Υβριδικά υδραυλικά οχήματα,
- Υβριδικά θερμικά οχήματα.

### **Κατηγοριοποίηση ως προς τον βαθμό υβριδοποίησης**

Ως βαθμός υβριδοποίησης ορίζεται ο λόγος της ισχύος του ηλεκτροκινητήρα προς τη συνολική ισχύ του οχήματος (άθροισμα της ισχύος του κινητήρα εσωτερικής καύσης και του ηλεκτροκινητήρα). Έτσι, ο βαθμός υβριδοποίησης περιγράφει τον διαμοιρασμό της ισχύος που παρέχεται από τον ηλεκτρικό κινητήρα ή της ενέργειας που παρέχεται από την αποθήκη ενέργειας σε έναν κύκλο οδήγησης [31].

Ο μηδενικός βαθμός υβριδοποίησης χαρακτηρίζει ένα κοινό όχημα με μηχανή εσωτερικής καύσης χωρίς ηλεκτρικό κινητήρα. Αντίθετα, ένας βαθμός ίσος με 100% αναπαριστά ένα καθαρά ηλεκτρικό όχημα χωρίς καμία μονάδα αποθήκευσης ενέργειας και μονάδα ενεργειακής μετατροπής. Είναι λογικό ότι όσο υψηλότερος είναι ο βαθμός υβριδοποίησης, τόσο μεγαλύτερα θα είναι τα οφέλη ως προς την κατανάλωση καυσίμου, τον θόρυβο και τη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Η Διεθνής Ομοσπονδία Αυτοκινήτου καθώς και οι παγκόσμιοι κατασκευαστές αυτοκινήτων έχουν θεσπίσει την παρακάτω κατηγοριοποίηση των υβριδικών :

#### ➤ **Μικροϋβριδικά (*Micro Hybrid*)**

Αυτή η κατηγορία οχημάτων χαρακτηρίζεται από πολύ μικρό ποσοστό υβριδοποίησης και ενσωματώνει διάφορες τεχνολογίες για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα. Τέτοια οχήματα διαθέτουν ηλεκτρικές μηχανές οι οποίες όμως δεν συνεισφέρουν στην κίνηση του οχήματος αλλά χρησιμοποιούνται για να παρέχουν βοηθητικά την απαραίτητη ηλεκτρική ισχύ στα περιφερειακά υποσυστήματα. Ένα τέτοιο υποσύστημα που μπορεί να υποβοηθείται από μια ηλεκτρική μηχανή είναι το σύστημα αυτόματου σβησίματος και επανέναρξης της μηχανής εσωτερικής καύσης (το λεγόμενο σύστημα «start-stop») ή ένα άλλο σύστημα είναι η λειτουργία ανάκτησης ενέργειας κατά την πέδηση του οχήματος για τη φόρτιση των μπαταριών («regenerative brake»). Το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας κυμαίνεται σε χαμηλά αλλά ικανοποιητικά για το βαθμό υβριδοποίησης επίπεδα της τάξεως του 5%-15%.

#### ➤ **Ήπια Υβριδικά (*Mild Hybrid*)**

Στην περίπτωση των ήπιων υβριδικών οχημάτων, το όχημα περιλαμβάνει ένα ηλεκτρικό κινητήριο σύστημα ικανό να συμμετάσχει στην κίνηση του οχήματος, χωρίς όμως να μπορεί να αναλάβει την εξ' ολοκλήρου κίνησή του. Ένα τέτοιο όχημα έχει την

ικανότητα πέραν της υποβοήθησης της κίνησης ηλεκτρικά, να τροφοδοτήσει με ηλεκτρική ισχύ και τα επιμέρους υποσυστήματα του όπως ακριβώς αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο για τα μικροϋβριδικά οχήματα. Σε αυτό το επίπεδο υβριδοποίησης μπορούμε να κάνουμε λόγο για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε επίπεδα που κυμαίνονται μεταξύ του 15%-25%.

### ➤ Πλήρως Υβριδικά (*Full Hybrid*)

Σε αντίθεση με τα υβριδικά οχήματα που ανήκουν στις δυο προηγούμενες κατηγορίες, για τα πλήρως υβριδικά οχήματα εκτός από την ταυτόχρονη λειτουργία και των δυο πηγών ενέργειας, ο ένας ή οι περισσότεροι ηλεκτροκινητήρες έχουν τη δυνατότητα της εξ' ολοκλήρου κίνησης του οχήματος χωρίς την υποβοήθηση της Μ.Ε.Κ. Σε αυτή την κατηγορία οχημάτων, ο ηλεκτρικός κινητήρας που χρησιμοποιείται μπορεί να προσφέρει ισχύ μεγαλύτερη του 30% της μέγιστης ισχύος του βενζινοκινητήρα ή κινητήρα Diesel του οχήματος. Ένα παράδειγμα υβριδικού οχήματος είναι τα ευρέως διαδεδομένα Toyota Prius και τα Lexus RX 400H. Προφανώς τα πλήρως υβριδικά οχήματα επωφελούνται όλα τα οφέλη των υβριδικών οχημάτων όπως η ανάκτηση ενέργειας κατά την πέδηση και η λειτουργία «Start-Stop».



Εικόνα 3.1 Πλήρως υβριδικό Lexus RX 400H

### ➤ Υβριδικά με σύστημα εξωτερικής ηλεκτρικής φόρτισης (*Plug-in Hybrid*)

Τα υβριδικά οχήματα με σύστημα εξωτερικής ηλεκτρικής φόρτισης (*Plug-in Hybrid, PHEV*) μοιάζουν πλήρως με τα πλήρως υβριδικά οχήματα με τη μόνη διαφορά ότι ο

ηλεκτροκινητήρας σε αυτή την περίπτωση είναι ο μόνος υπεύθυνος για την ισχύ που φτάνει στους τροχούς. Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης του οχήματος είναι σχετικά μικρός και ο κύριος σκοπός του είναι να στρέφει μια κοινή γεννήτρια για τη φόρτιση των μπαταριών του οχήματος όταν αυτές εξαντλούνται. Ακόμα, μια σημαντική διαφορά είναι ότι σε αυτά τα οχήματα παρέχεται η δυνατότητα επαναφόρτισης των μπαταριών μέσω μετασχηματιστή ο οποίος συνδέεται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Οχήματα τέτοιου τύπου είναι ικανά να διανύσουν μεγάλες αποστάσεις χωρίς τη χρήση της Μ.Ε.Κ και αυτός είναι και ο λόγος που διαθέτουν μεγαλύτερες συστοιχίες ηλεκτρικών συσσωρευτών.



Εικόνα 3.2 Το Plug-in Υβριδικό της Toyota PHV

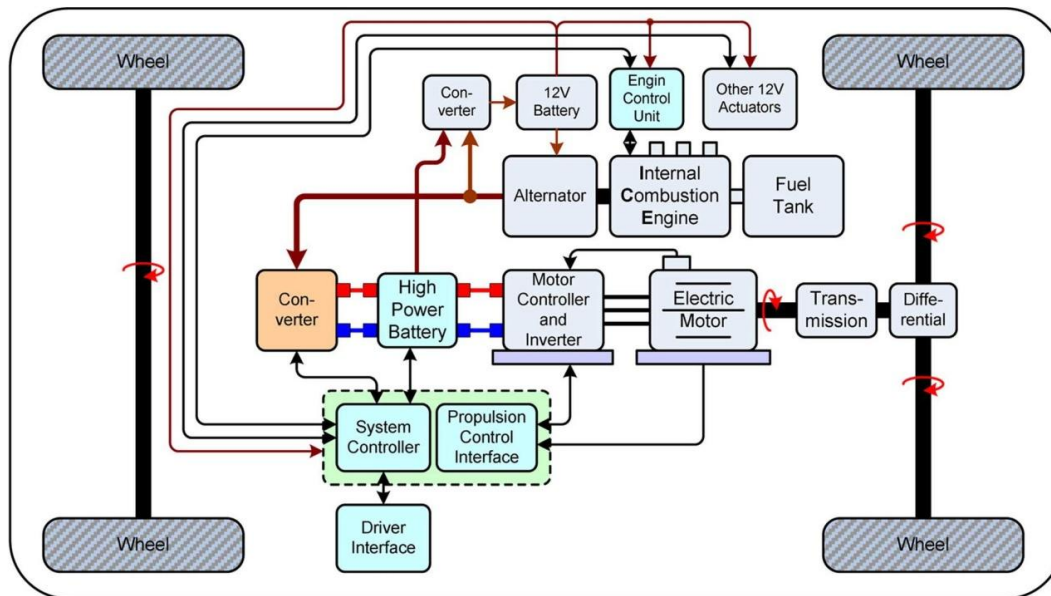
### **Κατηγοριοποίηση ως προς τη διάταξη του κινητήριου συστήματος**

Ο κύριος στόχος σχεδίασης ενός υβριδικού οχήματος είναι η μεταφορά ενέργειας από τις πηγές προς τα φορτία με τις ελάχιστες απώλειες, οι οποίες εξαρτώνται από τους κύκλους οδήγησης [31]. Υπάρχουν τρεις βασικές τοπολογίες υβριδικών οχημάτων:

- Σειριακό υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (*Series Hybrid Electric Vehicle-SHEV*)
- Εν παραλλήλω υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (*Parallel Hybrid Electric Vehicle-PHEV*)
- Μικτά, που ουσιαστικά είναι ο συνδυασμός σειριακών και παράλληλων συστημάτων (*Parallel/Series Hybrid Electric Vehicle - PSHEV*)

### ➤ Σειριακό υβριδικό ηλεκτρικό όχημα

Το υβριδικό όχημα σειριακής τοπολογίας δε συνδέει μηχανικά τη Μ.Ε.Κ με τους τροχούς, καθώς μόνον ο ηλεκτρικός κινητήρας συνδέεται άμεσα στον άξονα μετάδοσης και χρησιμοποιείται για την πρόωση του οχήματος. Η δεύτερη μονάδα μετατροπής ενέργειας χρησιμοποιείται για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 3.3 Σειριακό υβριδικό όχημα

Η Μ.Ε.Κ συνδέεται στη γεννήτρια, η οποία με τη σειρά της χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει τον κινητήρα ή και να φορτίσει τις μπαταρίες. Η μπαταρία φορτίζεται από τη σειρά της μηχανής εσωτερικής καύσης και της γεννήτριας και στην περίπτωση της αναγεννητικής πέδησης μέσω του ηλεκτρικού κινητήρα [31]. Η ακριβής συνδεσμολογία απεικονίζεται στο διάγραμμα της παραπάνω Εικόνας 3.3 [49]. Στον παρακάτω Πίνακα 3.1 παρατίθενται οι κύριες φάσεις λειτουργίας ενός σειριακού υβριδικού οχήματος.

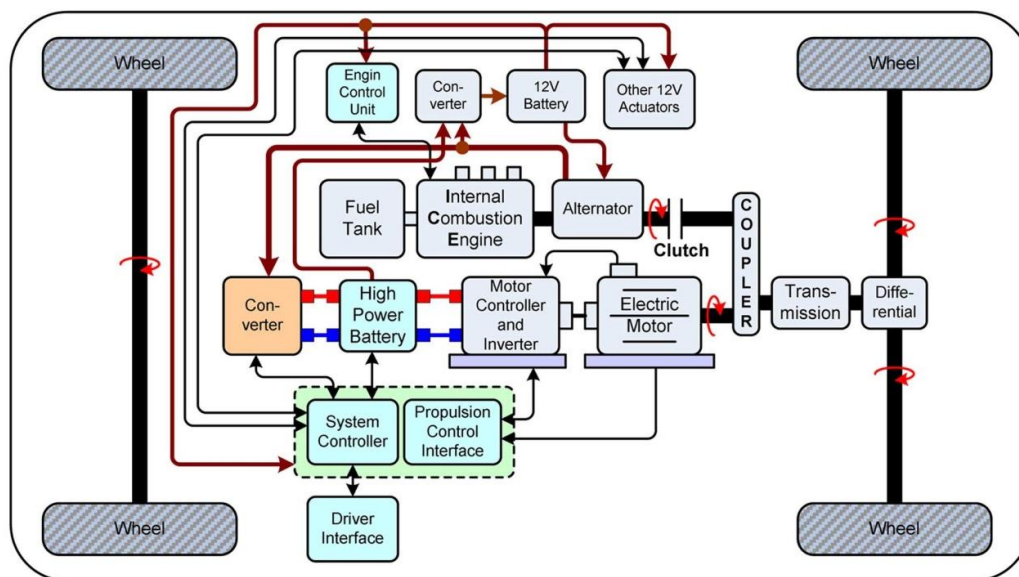


**Πίνακας 3.1** Φάσεις λειτουργίας ενός σειριακού υβριδικού οχήματος [31]

<b>Φάσεις λειτουργίας</b>	<b>Περιγραφή</b>
<b>Αμιγώς ηλεκτρική λειτουργία</b>	Η Μ.Ε.Κ είναι απενεργοποιημένη και το όχημα κινείται καταναλώνοντας ενέργεια από τις μπαταρίες.
<b>Αποκλειστική λειτουργία της Μ.Ε.Κ</b>	Η ισχύς για την κίνηση του οχήματος προέρχεται από το σύμπλεγμα Μ.Ε.Κ-γεννήτριας, ενώ οι μπαταρίες ούτε παρέχουν ούτε απορροφούν ισχύ από τον άξονα μετάδοσης κίνησης. Οι ηλεκτρικές μηχανές λειτουργούν ως ηλεκτρική μετάδοση από τη Μ.Ε.Κ στους τροχούς.
<b>Υβριδική λειτουργία</b>	Η ισχύς για την κίνηση απορροφάται και από τις μπαταρίες και από τη Μ.Ε.Κ αν η απαιτούμενη ισχύς του ηλεκτροκινητήρα είναι μεγαλύτερη από την ισχύ εξόδου της γεννήτριας.
<b>Φόρτιση μπαταριών και κίνηση από τη Μ.Ε.Κ</b>	Το σύμπλεγμα Μ.Ε.Κ - γεννήτριας παρέχει ισχύ για τη φόρτιση των μπαταριών και την πρόωση του οχήματος αν η απαιτούμενη ισχύς του ηλεκτροκινητήρα είναι μικρότερη από την ισχύ εξόδου της γεννήτριας.
<b>Λειτουργία αναγεννητικής πέδησης</b>	Ο ηλεκτρικός κινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια. Η ισχύς που παράγεται χρησιμοποιείται για τη φόρτιση των μπαταριών.
<b>Λειτουργία φόρτισης μπαταριών</b>	Ο ηλεκτρικός κινητήρας δεν απορροφά ισχύ και το σύμπλεγμα Μ.Ε.Κ-γεννήτριας φορτίζει τις μπαταρίες.
<b>Υβριδική λειτουργία φόρτισης μπαταριών</b>	Το σύμπλεγμα Μ.Ε.Κ-γεννήτριας και ο ηλεκτρικός κινητήρας λειτουργούν ως γεννήτριες για τη φόρτιση των μπαταριών.

### ➤ Εν παραλλήλω υβριδικό ηλεκτρικό όχημα

Σε ένα παράλληλο υβριδικό σχηματισμό τόσο η Μ.Ε.Κ, όσο και ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι μηχανικά συνδεδεμένοι εν παραλλήλω και μεταδίδουν κίνηση στους τροχούς. Και οι δύο μπορούν να παρέχουν πρόωση ανεξάρτητα ή και σε συνεργασία, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.4. Ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας επιλέγεται το εύρος μέγιστης απόδοσης και για τις δύο μηχανές. Έτσι σε έναν τέτοιο σχηματισμό ο ηλεκτροκινητήρας χρησιμοποιείται κυρίως για τη μετακίνηση του οχήματος με μικρή ταχύτητα μέσα στην πόλη καθώς έχει το ελάχιστο δυνατό μέγεθος για τις απαιτήσεις που έχουν οριστεί. Αντιθέτως η Μ.Ε.Κ έχει το ελάχιστο εκείνο μέγεθος που απαιτείται προκειμένου το αυτοκίνητο να μπορεί να κινείται με την επιθυμητή μέγιστη ταχύτητα σε οριζόντιο επίπεδο. Εκτός από την ευθύνη της κίνησης που έχει σε μεγάλες ταχύτητες η Μ.Ε.Κ είναι επίσης υπεύθυνη να διοχετεύει ένα μικρό μέρος της ισχύος της στη γεννήτρια, με σκοπό να επαναφορτιστούν οι μπαταρίες για να παρέχουν την απαραίτητη ισχύ για την ηλεκτροκίνηση σε χαμηλές ταχύτητες [49].



**Εικόνα 3.4** Εν παραλλήλω υβριδικό ηλεκτρικό όχημα

Στον παρακάτω Πίνακα 3.2 παρατίθενται οι κύριες φάσεις λειτουργίας ενός εν παραλλήλω υβριδικού οχήματος.

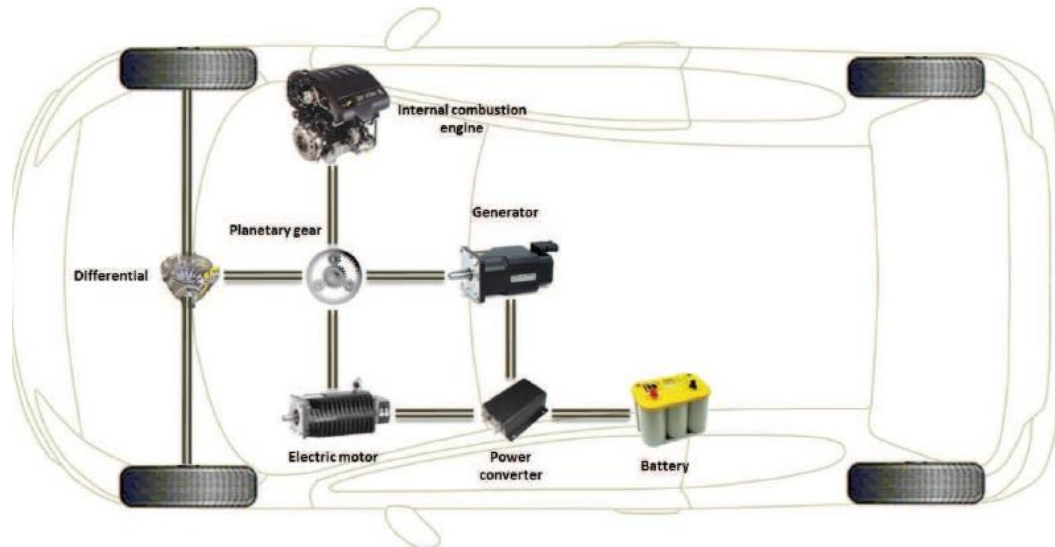
**Πίνακας 3.2** Φάσεις λειτουργίας ενός εν παραλλήλω υβριδικού οχήματος [31,49]

<b>Φάσεις λειτουργίας</b>	<b>Περιγραφή</b>
<b>Υβριδική λειτουργία (Εκκίνηση/Επιτάχυνση)</b>	Η Μ.Ε.Κ μαζί με την ηλεκτρική μηχανή παρέχουν ισχύ στον άξονα μετάδοσης κίνησης αν η απαιτούμενη ισχύς από τη μετάδοση είναι υψηλότερη από την έξοδο της Μ.Ε.Κ
<b>Αποκλειστική λειτουργία της Μ.Ε.Κ (Πορεία)</b>	Μόνο η Μ.Ε.Κ παρέχει ισχύ στους τροχούς.
<b>Αποκλειστική λειτουργία της ηλεκτρικής μηχανής (προαιρετική φάση λειτουργίας)</b>	Μόνο η ηλεκτρική μηχανή παρέχει ισχύ στους τροχούς
<b>Λειτουργία αναγεννητικής πέδησης</b>	Ο ηλεκτρικός κινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια. Η κινητική ή δυναμική ενέργεια απορροφάται από το ηλεκτρικό σύστημα
<b>Φόρτιση μπαταριών από τη Μ.Ε.Κ (Μικρό φορτίο)</b>	Αν η απαιτούμενη ισχύς από τη μετάδοση είναι μικρότερη από την έξοδο της Μ.Ε.Κ η εναπομείνουσα ισχύς χρησιμοποιείται για τη φόρτιση των μπαταριών. Τότε, ο ηλεκτρικός κινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια και απορροφά ενέργεια από τη Μ.Ε.Κ

➤ **Μικτά συστήματα μετάδοσης ισχύος**

Ένας σειριακός/ παράλληλος ή αλλιώς μικτός σχηματισμός συστήματος μετάδοσης ισχύος εμφανίζει τόσο τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα που υπάρχουν στους παράλληλους και τους σειριακούς σχηματισμούς. Στην περίπτωση αυτή ο κινητήρας μπορεί να κινήσει απευθείας τους τροχούς αλλά μπορεί να είναι και εντελώς αποσυνδεδεμένος από αυτούς ώστε να κινούνται μόνο με τον ηλεκτροκινητήρα. Έτσι ο κάθε κινητήρας είναι υπεύθυνος για την κίνηση του οχήματος από 0% έως 100% και το

τελικό 100% της απόδοσης της ισχύος μπορεί να προέρχεται από οποιονδήποτε συνδυασμό ποσοστών χρήσης του ηλεκτροκινητήρα και της Μ.Ε.Κ. Επίσης ο κινητήρας εσωτερικής καύσης μπορεί να λειτουργήσει ως γεννήτρια για τις μπαταρίες που τροφοδοτούν τον ηλεκτροκινητήρα.



**Εικόνα 3.5** Υβριδικό όχημα διαμοιρασμού ισχύος

Η διάταξη διαμοιρασμού ισχύος συνδυάζει μερικά πλεονεκτήματα και των δύο προαναφερθέντων τύπων, αναφορικά:

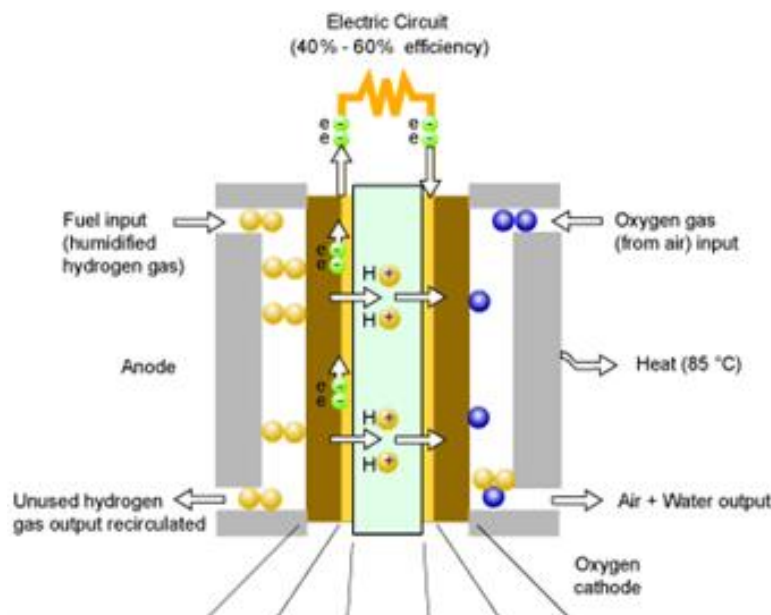
1. Η μηχανή εσωτερικής καύσης δε χρειάζεται να ακολουθήσει την ταχύτητα του οχήματος (ομαλή λειτουργία).
2. Η μηχανή εσωτερικής καύσης μπορεί άμεσα να παράσχει πρόωση στο όχημα.
3. Δεν απαιτείται εκτεταμένη αλυσίδα ενεργειακών μετατροπών.
4. Υπάρχει ένα πλήρως αυτόματο σύστημα μετάδοσης κίνησης.
5. Η ύπαρξη σταθερού λόγου γραναζιών συμβάλλει στον περιορισμό των μεταβατικών φαινομένων της μηχανής εσωτερικής καύσης συγκριτικά με το εν παραλλήλω υβριδικό όχημα.

### Κατηγοριοποίηση ως προς το είδος καυσίμου

Εδώ αξίζει να σημειωθεί το υβριδικό ηλεκτρικό όχημα με κυψέλες καυσίμου με υδρογόνο. Οι κυψέλες καυσίμου παράγουν την απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια μέσω χημικής αντίδρασης μεταξύ του υδρογόνου και του οξυγόνου χωρίς να παράγουν βλαβερές

εκπομπές παρά μόνο θερμότητα και νερό. Ουσιαστικά, μετατρέπουν τη χημική ενέργεια μιας αντίδρασης απευθείας σε ηλεκτρική. Η βασική δομή μιας κυψέλης καυσίμου υδρογόνου αποτελείται από μια λεπτή μεμβράνη ηλεκτρολύτη που έρχεται σε επαφή με μια πορώδη άνοδο από τη μια πλευρά και μια πορώδη κάθοδο από την άλλη πλευρά.

Τα καύσιμα αέριας μορφής τροφοδοτούνται συνεχώς προς την άνοδο (υδρογόνο) και ένα οξειδωτικό (οξυγόνο) τροφοδοτείται προς την κάθοδο. Με την διαδικασία αυτή λαμβάνουν χώρα ηλεκτροχημικές αντιδράσεις στα ηλεκτρόδια και παράγεται το ηλεκτρικό ρεύμα [50].



**Εικόνα 3.6** Λειτουργία κυψέλης υδρογόνου

Η διαφορά της κυψέλης καυσίμου σε σχέση με μια μπαταρία είναι ότι η μπαταρία είναι μονάδα αποθήκευσης ενέργειας και η μέγιστη διαθέσιμη ενέργεια καθορίζεται από την ποσότητα χημικής ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στη μπαταρία. Το βασικό αποτέλεσμα είναι ότι η μπαταρία σταματάει να παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν καταναλωθεί η χημική ενέργεια ενώ η κυψέλη καυσίμου θεωρητικά μπορεί να παράγει ενέργεια όσο το καύσιμο και το οξειδωτικό παρέχονται στην άνοδο και την κάθοδο. Στην πραγματικότητα όμως η χημική διάβρωση και η δυσλειτουργία των υλικών περιορίζει τη χρήση κυψελών καυσίμου υδρογόνου.

Τα υβριδικά οχήματα κυψελών καυσίμου (Fuel Cell Vehicles-FCVs) αποθηκεύουν το υδρογόνο σε δεξαμενές καυσίμου που εντοπίζονται μέσα στο όχημα και η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται τροφοδοτεί την μπαταρία που είναι υπεύθυνη να δώσει ενέργεια

στον ηλεκτροκινητήρα για την κίνηση του οχήματος. Επίσης τα FCVs μπορούν να τροφοδοτούνται με αέριο υδρογόνο πέραν της δεξαμενής καυσίμου και από την παραγωγή του υδρογόνου μέσα από ένα δευτερεύον καύσιμο όπως η μεθανόλη, η αιθανόλη ή το φυσικό αέριο που εμπεριέχει οξυγόνο [31]. Αυτά τα δευτερεύοντα καύσιμα μετατρέπονται σε αέριο υδρογόνο μέσω ενός αναμορφωτή καυσίμου που είναι επί του οχήματος.

Να σημειωθεί πως τα οχήματα που τροφοδοτούνται απευθείας με υδρογόνο δεν εκπέμπουν ρύπους παρά μόνο θερμότητα και νερό, ενώ όταν τροφοδοτούνται με υδρογόνο μέσω δευτερευόντων καυσίμων παράγουν μικρές ποσότητες ρύπων.

Τα πλεονεκτήματα των κυψελών καυσίμου πέραν της οικολογικής τους φύσης ώστε να αποτελούν την προσφορά λύσης σε περιβαλλοντικά και ενεργειακά ζητήματα, αφορούν και την ευκολία ενσωμάτωσής τους στα οχήματα καθότι λειτουργούν αθόρυβα, χωρίς κραδασμούς και δονήσεις και μεταφέρουν την ενέργειά τους σε μορφή ηλεκτρισμού, συνεπώς μπορούν να τοποθετηθούν οπουδήποτε σε ένα όχημα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα οχήματος με κυψέλες καυσίμου είναι το Toyota Fine-X το οποίο χρησιμοποιεί μια συμβατική κυψέλη καυσίμου κάτω από το δάπεδο του οχήματος και τέσσερις ηλεκτροκινητήρες στους τέσσερις τροχούς.



**Εικόνα 3.7** Toyota Fine-X [52]

### 3.3 Τεχνική σύγκριση μεταξύ ηλεκτρικού, συμβατικού και υβριδικού οχήματος

#### 3.3.1 Εισαγωγικά

Με βάση την παραπάνω ανάλυση των υβριδικών οχημάτων μπορούμε να καταλήξουμε σε κάποια πλεονεκτήματά τους έναντι των συμβατικών οχημάτων με μια Μ.Ε.Κ. Είναι φανερό ότι ο συνδυασμός δυο διαφορετικών κινητηρίων συστημάτων, ενός ηλεκτρικού κινητήρα και μιας μηχανής εσωτερικής καύσης, μπορεί να μας προσφέρει [31]:

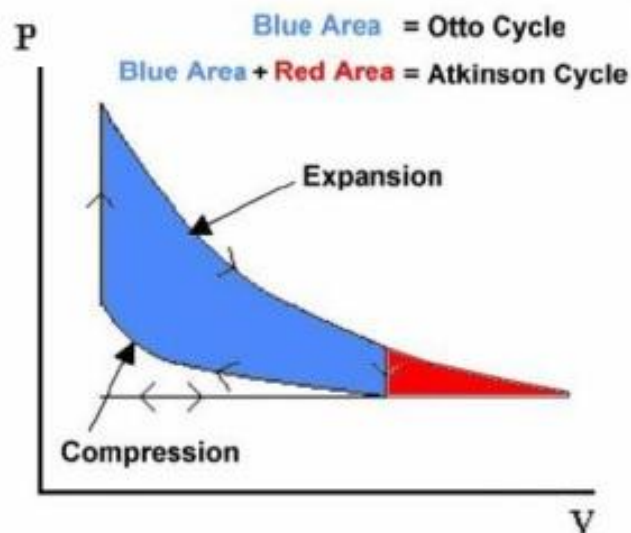
1) **Καλύτερη διαχείριση της ενέργειας :** Εξαιτίας της ύπαρξης δύο διαφορετικών τεχνολογιών σε ένα αυτοκίνητο, οι ενεργειακές απαιτήσεις αυτού διαμοιράζονται με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή διαχείριση της ενέργειας κατά την κίνηση του οχήματος. Για παράδειγμα σε ένα υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (HEV) ο ηλεκτρικός κινητήρας αναλαμβάνει την εκκίνηση του οχήματος όπου η Μ.Ε.Κ. θα είχε μεγαλύτερη κατανάλωση για να το επιτύχει καθώς επίσης ο ηλεκτρικός κινητήρας αναλαμβάνει και την κίνηση του οχήματος σε χαμηλές ταχύτητες καθώς παρουσιάζει μέγιστη ροπή σε χαμηλές στροφές αλλά και υποβοηθά τον συμβατικό κινητήρα όπου αυτό απαιτείται όπως η ανάβαση σε ανηφόρα ή η αύξηση των απαιτήσεων της ισχύος κατά την επιτάχυνση. Από την άλλη πλευρά, η Μ.Ε.Κ. αναλαμβάνει την κίνηση του οχήματος σε μεσαίες και υψηλές ταχύτητες διότι παρουσιάζει μεγαλύτερο συντελεστή απόδοσης από τον ηλεκτροκινητήρα. Έτσι στο υβριδικό αυτοκίνητο απαιτείται μικρότερη σε μέγεθος Μ.Ε.Κ. συγκριτικά με ένα συμβατικό όχημα καθώς έχει μικρότερο εύρο ισχύος που πρέπει να αποδώσει. Σε γενικές γραμμές η ύπαρξη του ηλεκτρικού κινητήρα βελτιώνει την επιτάχυνση και την εκκίνηση του υβριδικού οχήματος ενώ σύγχρονος μειώνονται οι δονήσεις και οι θόρυβοι εξαιτίας της υπό συνθήκης συνδυαστικής λειτουργίας της με τη μηχανή εσωτερικής καύσης.

2) **Τροφοδότηση περιφερειακών συστημάτων απευθείας από τους συσσωρευτές :** Σε ένα υβριδικό ηλεκτρικό όχημα, η απαιτούμενη ισχύς των περιφερειακών συστημάτων του όπως το Air Condition, οι αντλίες λαδιού και βενζίνης, το ηλεκτρικό υδραυλικό σύστημα διεύθυνσης, οι ανεμιστήρες του μπορούν να τροφοδοτούνται απευθείας από τους συσσωρευτές. Κατά συνέπεια δεν υπάρχει κανένας λόγος να αντλείται μηχανική

ισχύς από τον άξονα του βενζινοκινητήρα και να μεταδίδεται μέσω ιμάντων και γραναζιών στα επιμέρους προαναφερθέντα υποσυστήματα όπως γίνεται στα συμβατικά οχήματα.

- 3) **Μικρό κόστος συντήρησης :** Αν και το συνολικό κόστος απόκτησης ενός υβριδικού οχήματος είναι αυξημένο λόγω της προηγμένης τεχνολογίας που χρησιμοποιείται το συνολικό κόστος συντήρησης ενός υβριδικού οχήματος είναι αρκετά μικρότερο συγκριτικά με ένα συμβατικό όχημα με δεδομένο το ότι χρησιμοποιούνται Μ.Ε.Κ. χαμηλότερου κυβισμού και επιπλέον ο ηλεκτροκινητήρας απαιτεί σχεδόν μηδενική συντήρηση λόγω της μη ύπαρξης τριβών κατά τη λειτουργία.
  
- 4) **Αρχή λειτουργίας του Atkinson :** Μέσω της υβριδικής τεχνολογίας στην αυτοκίνηση παρέχεται η δυνατότητα εναλλακτικής αρχής λειτουργίας της Μ.Ε.Κ. Για την καύση γενικά χρησιμοποιούνται οι λεγόμενοι θερμοδυναμικοί κύκλοι και στα συμβατικά αυτοκίνητα συνήθως επιλέγεται η αρχή λειτουργίας του Otto ή αλλιώς Otto Cycle λόγω του ότι εμφανίζει ικανοποιητική απόδοση για ένα μεγάλο εύρος στροφών. Επειδή όμως στα υβριδικά αυτοκίνητα υπάρχει και ο ηλεκτροκινητήρας και γίνεται λόγος για μια συνδυαστική λειτουργία ηλεκτροκινητήρα-Μ.Ε.Κ, εφαρμόζεται η αρχή λειτουργίας του Atkinson (Atkinson Cycle) η οποία είναι φανερά αποδοτικότερη για συγκεκριμένο εύρος στροφών από την αντίστοιχη απόδοση της αρχής λειτουργίας του Otto. Για παράδειγμα σε έναν τετράχρονο κινητήρα κύκλου Atkinson δεν υπάρχει συμμετρία στις φάσεις συμπίεσης και εκτόνωσης καθώς υπάρχει βραδυπορία ως προς το κλείσιμο των βαλβίδων, ένα γεγονός που καθυστερεί τη συμπίεση. Ο συγκεκριμένος τρόπος λειτουργίας επιτυγχάνει μεγαλύτερη εκτόνωση ενώ υπάρχει μικρότερη συμπίεση με αποτέλεσμα η θερμοκρασία των καυσαερίων να είναι μικρότερη συγκριτικά με τους κινητήρες που χρησιμοποιούν την αρχή λειτουργίας του Otto.





Εικόνα 3.8 Σύγκριση κύκλων Otto και Atkinson [51]

5) **Περιορισμό των εξόδων :** Τέλος, η μειωμένη κατανάλωση καυσίμου οδηγεί στον περιορισμό των εξόδων μετακίνησης, στην αύξηση της οικονομίας και στο συμπέρασμα των χαμηλότερων ρύπων. Επιπλέον, πολλές κυβερνήσεις των ανεπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών, αντιλαμβανόμενες τα πλεονεκτήματα της υβριδικής τεχνολογίας παρέχουν οικονομικά οφέλη για την απόκτηση υβριδικών οχημάτων αλλά και φορολογικές ελαφρύνσεις π.χ. μηδενικά τέλη κυκλοφορίας, και εφαρμόζουν ήδη τέτοιες τεχνολογίες στα MMM όπως τα λεωφορεία.

### 3.3.2 Κατανάλωση καυσίμου και τιμή ανά μονάδα ενέργειας

Όπως έχει αναφερθεί και στα πρώτα κεφάλαια αυτής της εργασίας ένα συμβατικό όχημα ταξινομείται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το καύσιμο που χρησιμοποιοιεί. Οι δύο κατηγορίες είναι τα βενζινοκίνητα και τα πετρελαιοκίνητα οχήματα. Σχεδόν όλα τα συμβατικά αυτοκίνητα είναι εφοδιασμένα με τους παραδοσιακούς κινητήρες εσωτερικής καύσης που και στις δύο περιπτώσεις έχουν περίπου ίδια αρχή λειτουργίας. Για αντικειμενικότερη σύγκριση στην παρακάτω ανάλυση χρησιμοποιούνται οχήματα τα οποία είναι από τα οικονομικότερα της αγοράς και με την χαμηλότερη δυνατή κατανάλωση. Επιλέγονται αυτοκίνητα με αυτά τα χαρακτηριστικά μιας και αυτά είναι κοντά στα βασικά χαρακτηριστικά των υβριδικών και ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Έτσι στον παρακάτω Πίνακα 3.3 αναφέρονται μερικά από αυτά.

**Πίνακας 3.3** Συμβατικά οχήματα

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Τύπος καυσίμου	Έτος παραγωγής	Μέση κατανάλωση (lt/100km)	Κόστος (Euro)
Toyota	Yaris	Βενζίνη	2012	8.8	12200
VW	Polo	Diesel	2009	7.1	12900
Audi	A3	Diesel	2013	8.3	19700
BMW	32xDrive	Diesel	2014	8.1	44800
Honda	Civic	Βενζίνη	2008	7.8	16800
Mercedes Benz	E250 Bluetec	Diesel	2014	8.3	55000
VW	Golf	Diesel	2011	8.3	13950
Ford	Fiesta	Βενζίνη	2014	8.3	9900
Ford	Focus	Βενζίνη	2012	8.6	14000
Mini	Done	Βενζίνη	2011	9.4	19500

Έχοντας ως βάση τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα είναι φανερό ότι η μέση κατανάλωση για τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα είναι κοντά στα 7,23 lt/100km ενώ για τα ντιζελοκίνητα αυτοκίνητα είναι περίπου στα 6,64 lt/100km. Έχοντας σαν δεδομένο ότι η μέση τιμή της αμόλυβδης βενζίνης στην Ελλάδα ανέρχεται σε 1,557 Euro/lt και η τιμή του Diesel 1,29115 Euro/lt προκύπτει ο παρακάτω Πίνακας 3.4 ο οποίος δίνει το κόστος κατανάλωσης για τις δύο κατηγορίες οχημάτων [53].

**Πίνακας 3.4** Κόστος κατανάλωσης για τις δύο κατηγορίες συμβατικών οχημάτων

Βενζινοκίνητα	Ντιζελοκίνητα
11,25711 (Euro/100km)	8,5732 (Euro/100km)
<b>ΠΗΓΗ</b> : ΠΟΠΕΚ, Τιμές καυσίμων λιανικής στην Ε.Ε 16/04/2018	

Στον παρακάτω Πίνακα 3.5 παρατίθενται μερικά από τα μοντέλα και μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών οχημάτων (συμπεριλαμβανομένων των PHEV).

**Πίνακας 3.5** Χαρακτηριστικά ηλεκτρικών- υβριδικών οχημάτων

<b>Κατασκευαστής / Μοντέλο</b>	<b>Τύπος</b>	<b>Έτος</b>	<b>Εμβέλεια (km)</b>	<b>Μπαταρία (kWh)</b>	<b>Μέση κατανάλωση (Wh/km)</b>	<b>Κόστος (Euro)</b>
Chevrolet Spark	BEV	2014	132	20	174	19500
Honda Fit	BEV	2013	132	20	181	27000
Nissan Leaf	BEV	2013	135	24	182	31300
Ford Focus E	BEV	2012	122	23	192	25550
Tesla S	BEV	2012	335	60	217	52000
Renault Zoe	BEV	2015	150	22	146	15600
Chevrolet Volt	PHEV	2013	61	16.5	217	25000
Toyota Prius	PHEV	2012	23	4.4	180	17800
BMW i3	BEV/ E-REV	2015	150/ 280	22	147/ 129	37000/ 41000
Citroen C-Zero	BEV	2012	148	16	182	30000
Ford C Max	PHEV	2013	34	7.6	211	18000
Mitsubishi i-MiEV	BEV	2013	100	16	186	33000

Το κόστος κατανάλωσης ανά km ενός EV, εξαρτάται άμεσα από την τιμή αγοράς της kWh του ηλεκτρικού ρεύματος η οποία κυμαίνεται (E.E των 28) για οικιακούς καταναλωτές μεταξύ 0,094 Euro/kWh (Βουλγαρία) και 0,308 Euro/kWh (Δανία). Η τιμή κατανάλωσης ανά km εξαρτάται επίσης και από την μέση κατανάλωση των BEV και των PHEV. Με την συγκεκριμένη λογική προκύπτει ο ακόλουθος Πίνακας 3.6 για το κόστος μετακίνησης για 100 km σε διάφορες τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας [54].

**Πίνακας 3. 6** Κόστος μετακίνησης για 100 km σε διάφορες τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ε.Ε

Κατασκευαστής / Μοντέλο	Τύπος	Μέση κατανάλωση (kWh/km)	Κόστος για 0,094 E/kWh (Euro)	Κόστος για 0,308 E/kWh (Euro)	Κόστος για (Ε.Ε των 28) 0,205 E/kWh
Chevrolet Spark	BEV	0.174	1.636	5.359	3.567
Honda Fit	BEV	0.181	1.701	5.575	3.711
Nissan Leaf	BEV	0.182	1.711	5.606	3.731
Ford Focus E	BEV	0.192	1.805	5.914	3.936
Tesla S	BEV	0.217	2.04	6.684	4.449
Renault Zoe	BEV	0.146	1.372	4.497	2.993
Chevrolet Volt	PHEV	0.217	2.040	6.694	4.449
Toyota Prius	PHEV	0.180	1.692	5.544	3.690
BMW i3	BEV	0.147	1.382	4.528	3.014
Citroen C-Zero	BEV	0.182	1.711	5.606	3.731
Ford C Max	PHEV	0.211	1.983	6.5	4.326
Mitsubishi i-MiEV	BEV	0.186	1.75	5.73	3.813
<b>ΠΗΓΗ : Eurostat 2018</b>					

Όπως εύκολα μπορούμε να δούμε από τους παραπάνω Πίνακες 3.3-3.6 η τιμή αγοράς ενός συμβατικού οχήματος είναι αρκετά μικρότερη ενός ηλεκτρικού οχήματος, αντίθετα στο θέμα της κατανάλωσης για μια διαδρομή 100 km το κόστος μετακίνησης είναι κατά μέσο όρο πολύ μικρότερο, μόλις 1,74 Ευρώ (περίπτωση φθηνού ηλεκτρικού ρεύματος).

Όμως, και για την περίπτωση που υπολογίσουμε με βάση το μέσο κόστος του ρεύματος στις 28 χώρες της ΕΕ, δηλαδή 0,205 E/KWh, το κόστος μετακίνησης είναι 3,78 Ευρώ ανά 100 χιλιόμετρα, σχεδόν το 1/3 του κόστους για μετακίνηση με ένα βενζινοκίνητο όχημα και λιγότερο από 1/2 του κόστους μετακίνησης με πετρέλαιο ντίζελ.

### 3.3.3 Κόστος συντήρησης

Προκειμένου να ερευνηθούν οι διαφορές μεταξύ του κόστους συντήρησης των ηλεκτρικών, υβριδικών και συμβατικών οχημάτων θεωρείται απαραίτητη η παρουσίαση έξι οχημάτων, με βάση την πλατφόρμα του Edmunds.com, η οποία υποδεικνύει τα ετήσια έξοδα των οχημάτων σε μια περίοδο 3 ετών. Η σύγκριση έγινε με βάση τις διαφορετικές εμπειρίες των ιδιοκτητών των συγκεκριμένων μοντέλων που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.7 [57].

Συγκεκριμένα, τα πιο συνηθισμένα έξοδα συντήρησης σχετίζονται με την αλλαγή ή αναπλήρωση των τυπικών υγρών του οχήματος, όπως η τακτική αλλαγή λαδιού κινητήρα, υγρών ψυκτικού μέσου και υγρού των υαλοκαθαριστήρων. Ακόμη, υπάρχουν και άλλα μέρη του αυτοκινήτου τα οποία με την πάροδο του χρόνου αντιμετωπίζουν την ανάγκη ανανέωσης. όπως η μπαταρία, τα ελαστικά, τα βύσματα εκκίνησης, το φίλτρο αέρα καμπίνας ή τα φίλτρα αέρα του κινητήρα κλπ. Επίσης ένα άλλο θέμα της τακτικής διαδικασίας συντήρησης του οχήματος για μια περίοδο περίπου τριών ετών είναι οι τροχοί του, οι οποίοι σίγουρα θα πρέπει να ισοροπηθούν και να ευθυγραμμιστούν μετά από μια πιθανή αλλαγή ελαστικών.

Τέλος, στις δαπάνες συντήρησης περιλαμβάνονται και οι τακτικές επίσημες επισκέψεις που ζητούνται από τον κατασκευαστή για την εγγύηση του αυτοκινήτου.

Πίνακας 3.7 Σύγκριση κόστους συντήρησης οχημάτων

Κατασκευαστής / Μοντέλο	Τύπος	Κόστος συντήρησης στα 3 έτη ( Euro)	Κόστος επισκευών στα 3 έτη ( Euro)	Σύνολο (Euro)
Ford Focus EV	BEV	1070	95	1165
Tesla Model S 90D	BEV	1580	0	1580
Audi A3 e-tron	PHEV	2974	0	2974
VW GTI	M.E.K	1884	150	2034
Porsche Panamera 4E Hybrid	PHEV	4330	3385	7715
BMW 650i Gran Coupe X-Drive	M.E.K	4270	2850	7120

Στη σύγκριση των δαπανών συντήρησης και επισκευής των συγκεκριμένων οχημάτων στο κομμάτι των «οικονομικότερων» αυτοκινήτων για την περίοδο των τριών ετών, τα έξοδα συντήρησης είναι αρκετά υψηλότερα από αυτά της επισκευής. Ένας λόγος μπορεί να είναι η υψηλή κατασκευαστική εγγύηση, η οποία συνήθως καλύπτει περίοδο τουλάχιστον πέντε ετών. Αυτό έχει ως συνέπεια τις χαμηλές δαπάνες επισκευής για τον καταναλωτή κατά τα πρώτα έτη της ιδιοκτησίας. Το πιο απαιτητικό αυτοκίνητο για τη συντήρηση και την επισκευή του είναι το PHEV της Audi, με την αναμενόμενη δαπάνη εντός τριετούς ιδιοκτησίας να είναι κοντά στα 3.000 ευρώ. Η αιτία εμφάνισης ενός τέτοιου ποσού έγκειται στη πολυπλοκότητα της υβριδικής λειτουργίας του συνδυασμού της Μ.Ε.Κ και του ηλεκτρικού κινητήρα και επομένως της μεγαλύτερης ανάγκης συντήρησης αυτών.

Στον τομέα των πολυτελών οχημάτων, εντοπίζουμε σημαντικές διαφορές στις δαπάνες μεταξύ του PHEV από την Porsche, του οχήματος με κινητήρα εσωτερικής καύσης της BMW και το πλήρως ηλεκτρικό της Tesla. Τα δύο πρώτα που αναφέρθηκαν φαίνεται να έχουν ιδιαίτερα υψηλές οικονομικές απαιτήσεις, καθώς και τα δύο απαιτούν πάνω από 7.000 ευρώ σε συντήρηση και επισκευές. Ωστόσο, το γεγονός αυτό δεν φαίνεται να είναι συγκλονιστικό, αφού και τα δύο είναι προϊόντα κατασκευαστών πολυτελών αυτοκινήτων με τιμή αγοράς άνω των 90.000 ευρώ.

Τέλος το μοντέλο της Tesla, έχει παρόμοια αναμενόμενα κόστη συντήρησης και επισκευής (περίπου 1.500 Ευρώ) ως BEV από ένα μοντέλο της Ford που ανήκει στην ομάδα των μικρών οικογενειακών αυτοκινήτων και αυτό οφείλεται στον μοναδικό ηλεκτρικό κινητήρα. Ένα τέτοιο χαμηλό κόστος μετά από τρία χρόνια χρήσης σε τέτοιου είδους πολυτελή οχήματα υψηλής τιμής αποτελεί κατανοητό πλεονέκτημα της αγοράς έναντι των ανταγωνιστών του.

### **Κόστος Μπαταριών**

Αυτό το κόστος όπως είναι φυσικό δεν υπάρχει στα συμβατικά αυτοκίνητα και είναι ένα κόστος που επιβαρύνει μόνο τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Δυστυχώς ο προσδιορισμός του κόστους για αυτές δεν μπορεί να γίνει με ακρίβεια αφού η τεχνολογία των μπαταριών προχωρά καθημερινά μειώνοντας συνέχεια το κόστος τους. Αν θέλαμε να κάνουμε έναν αρκετά χονδρικό υπολογισμό, έχοντας σαν δεδομένα τις τιμές που ισχύουν σήμερα θα λέγαμε ότι το ετήσιο κόστος για την διατήρηση των μπαταριών κυμαίνεται από 500 έως 1000 ευρώ ανάλογα βέβαια και την κατηγορία του οχήματος.

### 3.3.4 Ατμοσφαιρικοί ρύποι και θόρυβος

Είναι γνωστό ότι οι μειωμένες εκπομπές αερίων ρύπανσης, λόγω της χαμηλότερης κατανάλωσης καυσίμων έχει ως αποτέλεσμα την βελτίωση της υγείας του ανθρώπου αναφορικά με τα αναπνευστικά προβλήματα και άλλες ασθένειες. Η μείωση της ρύπανσης στο αστικό περιβάλλον μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντική λόγω της εξάλειψης των λειτουργιών του οχήματος εν στάση, χαρακτηριστικό που συναντάται σχεδόν στα περισσότερα σύγχρονα υβριδικά οχήματα.

Οι εκπομπές των υβριδικών οχημάτων σήμερα πλησιάζουν ή είναι ακόμη και χαμηλότερες από το συνιστώμενο επίπεδο που έχει οριστεί από την EPA (Environmental Protection Agency). Τα συνιστώμενα επίπεδα που προτείνουν για ένα τυπικό επιβατικό όχημα πρέπει να ισοδυναμούν με 5.5 μετρικούς τόνους CO<sub>2</sub>. Τα τρία πιο δημοφιλή υβριδικά οχήματα, Honda Insight, Honda Civic και Toyota Prius, υπερκαλύπτουν ήδη τα πρότυπα (Πίνακας 3.8) αποτυπώνοντας μια σημαντική βελτίωση στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

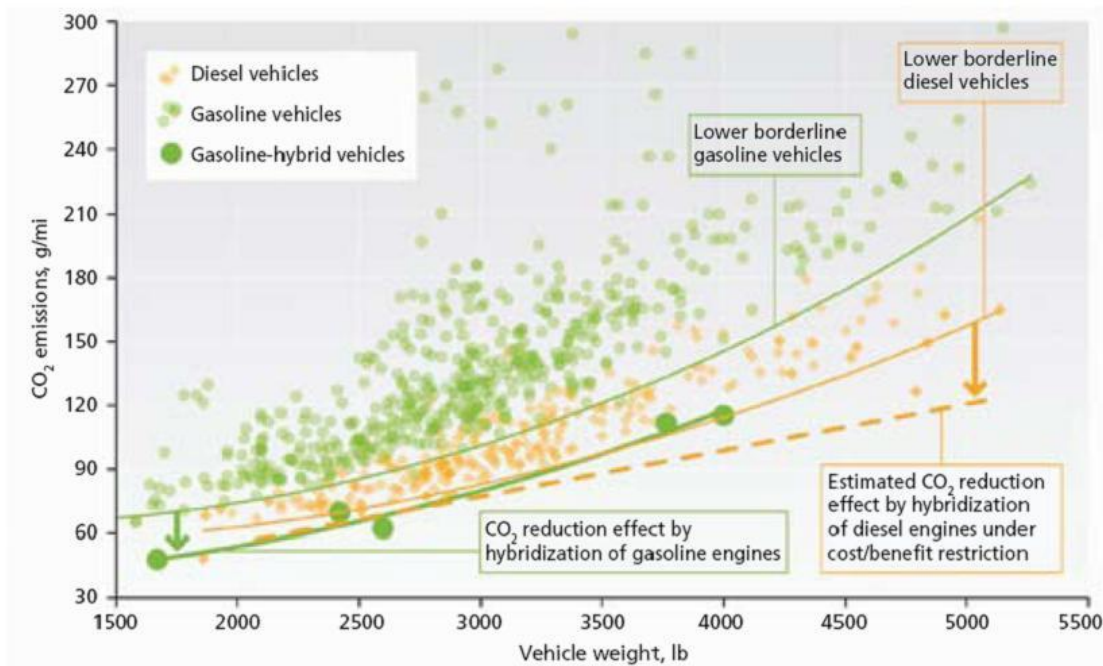
**Πίνακας 3.8** Σύγκριση απόδοσης μεταξύ διαφόρων υβριδικών μοντέλων [56]

Κατασκευαστής / Μοντέλο	Έτος	Απόδοση κατά EPA		Ετήσια κατανάλωση καυσίμου (Ευρώ/Έτος)	Εκπομπές CO <sub>2</sub> (Τόνοι/ Έτος)	Βαθμολογία ατμοσφαιρικής ρύπανσης κατά EPA
		Εντός πόλης (Km/lit)	Εκτός πόλης (Km/lit)			
Toyota Prius	2014	21.7	20.4	604	3.7	9
Ford Fusion	2012	17.4	15.3	773	4.7	N/A
Honda Civic	2015	17	19.3	719	4.4	9
Honda Insight	2011	17	18.3	737	4.5	N/A
Chevrolet Malibu	2011	11.1	14.5	1042	6.3	6
Lexus GS 450 H	2012	9.4	10.6	1432	8	N/A
Chevrolet Tahoe Hybrid	2013	8.9	9.4	1437	8.7	6
Toyota Camry Hybrid	2014	14	14.5	888	5.4	8
Ford Escape	2011	14.5	13.2	945	5.7	8

Τα υβριδικά οχήματα επιδεικνύουν μια εξαιρετική βελτίωση προς το περιβάλλον ως προς την ποιότητα αέριων εκπομπών σε σύγκριση με τα οχήματα που κινούνται με καύσιμα. Ωστόσο, η ύπαρξη ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης σε συνδυασμό με τον ηλεκτρικό κινητήρα δείχνει ότι τα οχήματα αυτά εξακολουθούν να συμβάλουν σε ένα μικρό ποσοστό στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Λόγω όμως του μικρού μεγέθους και του χαμηλού βάρους τους, τα σύγχρονα υβριδικά οχήματα καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια και καύσιμα με αποτέλεσμα μειωμένες εκπομπές. Με τη βοήθεια του ηλεκτροκινητήρα η Μ.Ε.Κ μπορεί να είναι μικρότερη σε μέγεθος και επόμενος λιγότερο ρυπογόνα.

Στο διάγραμμα της Εικόνα 3.9 αποτυπώνεται μια σύγκριση μεταξύ των εκπομπών CO<sub>2</sub> των υβριδικών οχημάτων και των βενζινοκίνητων, όπου ανάλογα με την κατασκευάστρια εταιρία και την υιοθετούμενη τεχνολογία επιτυγχάνονται διαφορετικές τιμές ρύπανσης.



CO<sub>2</sub> emissions levels for gasoline and diesel vehicles showing the effect of hybridization.

**Εικόνα 3.9** Επίπεδα εκπομπών CO<sub>2</sub> για βενζινοκίνητα, ντιζελοκίνητα, και υβριδικά οχήματα [55]

Η μείωση των εκπομπών θορύβου που προκύπτουν από την ουσιαστική χρήση του ηλεκτροκινητήρα στο ρελαντί και στις χαμηλές ταχύτητες, οδηγούν με τη σειρά τους σε μείωση του θορύβου αυτοκίνησης σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα, αν και ο θόρυβος από τα ελαστικά και ο αεροδυναμικός θόρυβος που είναι οι μεγαλύτεροι κατά την κίνηση σε μεγάλες ταχύτητες, δεν επηρεάζονται από τον υβριδικό σχεδιασμό του



οχήματος. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να τονιστεί ότι ο μειωμένος θόρυβος δεν είναι πάντα επωφελείς για όλους τους χρηστές του οδικού δικτύου, καθώς οι τυφλοί ή οι άνθρωποι με προβλήματα όρασης θεωρούν τον θόρυβο των Μ.Ε.Κ χρήσιμη βοήθεια κατά τη διέλευση τους από δρόμους και πιστεύουν ότι είναι πολύ πιθανό τα υβριδικά οχήματα θα μπορούσαν να θέσουν ένα απροσδόκητο κίνδυνο.

### 3.4 Οι τάσεις παραγωγής στις αυτοκινητοβιομηχανίες

Σύμφωνα με την έρευνα με την ονομασία Automotive Manager που έγινε για λογαριασμό της Oliver Wayman το αυξημένο ενδιαφέρον για αυτόνομα οχήματα έχει ως αποτέλεσμα σήμερα να αναδειχτούν πέντε βασικές τάσεις οι οποίες επηρεάζουν την αυτοκινητοβιομηχανία [58]. Αυτές είναι οι εξής:

1. **Ο ανταγωνισμός για τις πατέντες :** Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων και οι εταιρείες τεχνολογίας έχουν μπει σε έναν «αγώνα δρόμου» για το ποιος θα πάρει τα πρωτεία στην αυτονομία. Από το 2012 έως και 2016 ζητήθηκε η κατοχύρωση περίπου 1200 πατεντών με το 1/3 αυτών να προέρχεται από εταιρείες τεχνολογίας όπως η Google που έχει τις περισσότερες (221) ακολουθούν οι Apple, Facebook, Microsoft, Amazon και Uber. Από τις κατασκευάστριες, τα ηνία στην κατηγορία διασυνδεδεμένα και αυτόνομα οχήματα, κρατά η Audi με 223 πατέντες, ακολουθούμενη από την BMW με 198, τη Daimler με 159, τη GM με 141 και τη VW με 75.
2. **Προηγμένα Συστήματα Υποβοήθησης του Οδηγού (ADAS):** Τεχνολογίες όπως βοήθεια για να παραμείνει ο οδηγός στον δρόμο, φρενάρισμα σε περίπτωση που κάτι απρόσμενο συμβεί και βοήθεια για το παρκάρισμα, θα βρίσκονται στα μισά αυτοκίνητα παγκοσμίως μέχρι το έτος 2030.
3. **Big Data:** Οι εταιρείες αυτοκινήτων θα μπορούσαν να αποκομίσουν 500 με 1000 δολάρια ανά αυτοκίνητο, αναλύοντας και βελτιστοποιώντας εμπορικά πρότυπα με big data. Στο σημείο αυτό, φαίνεται ότι οι μη παραδοσιακοί παίχτες, οι οποίοι όμως εξειδικεύονται στα big data, είναι έτοιμοι να αδράξουν την ευκαιρία και να μπουν στο παιχνίδι.

4. **Ηλεκτρικά αυτοκίνητα:** Τα ηλεκτρικά οχήματα θα αποτελούν το 30% της παραγωγής αυτοκινήτων μέχρι το 2025. Ωστόσο για να γίνει αυτό, θα πρέπει να ληφθεί και η κατάλληλη νομοθεσία ώστε να υπάρξουν οι κατάλληλες υποδομές. Αν κάτι τέτοιο δεν συμβεί, η παραπάνω πρόβλεψη δεν μπορεί να ισχύσει.
5. **Αλλαγές στον τρόπο πωλήσεων αυτοκινήτων:** Σύμφωνα με την έκθεση, θα πρέπει να αλλάξει η τιμολογιακή πολιτική των αυτοκινήτων με διάφορους τρόπους, όπως για παράδειγμα η μείωση του κόστους διανομής.

Στο κομμάτι των πωλήσεων των οχημάτων, μετά την προσχώρηση της Mitsubishi στη Nissan-Renault Alliance, η ομάδα αυτών ξεπέρασε σε πωλήσεις την VW αλλά και την Toyota για το έτος 2017. Πιο συγκεκριμένα οι πωλήσεις της Nissan ανήλθαν στα 5,82 εκατομμύρια οχήματα, ενώ αντίθετα η αυτοκινητοβιομηχανία Renault ανακοίνωσε αριθμό πωλήσεων 3,76 εκατομμυρίων οχημάτων. Οι πωλήσεις της Mitsubishi ανήλθαν σε 1,03 εκατομμύρια. Έτσι συνολικά, οι τρεις τους για το 2017 άγγιξαν σε πωλήσεις τα 10,6 εκατομμύρια οχήματα. Ο αυτοκινητοβιομηχανία της VW, που δραστηριοποιείται με τις μάρκες Audi, Skoda, Seat, Porsche, Bentley και Lamborghini μαζί φυσικά με αυτή της Volkswagen, δεν ξεπέρασε την παραγωγή των 10,53 εκατομμυρίων ελαφρών οχημάτων, χάνοντας έτσι την πρωτιά που είχε κερδίσει το 2016. Αντίστοιχα, η Toyota, η οποία βρισκόταν στη 2η θέση το 2016, παρουσίασε πωλήσεις 10,2 εκατομμυρίων μονάδων το 2017 [59].

Η Renault και η Nissan και ορισμένες άλλες αυτοκινητοβιομηχανίες επιδιώκουν να μοιραστούν περισσότερα ανταλλακτικά οχημάτων και να αναπτύξουν κοινές πλατφόρμες παραγωγής για να μειώσουν το κόστος έρευνας και εξέλιξης, με στόχο πάντα να αυξήσουν το κόστος. Η αυτοκινητοβιομηχανία της Toyota ακολουθεί μια παρόμοια προσέγγιση, ενώ συνεργάζεται επίσης με τη Mazda και την Suzuki για να επιμεριστεί το κόστος ανάπτυξης πρωτοποριακών νέων τεχνολογιών και κατασκευή ηλεκτρικών αυτοκινήτων [59].

Από την άλλη πλευρά, στο κομμάτι της ηλεκτροκίνητης αυτοκινητοβιομηχανίας, φαίνεται ότι με τα σημερινά δεδομένα, η Tesla είναι ένας «νάνος» της αγοράς αυτοκινήτου. Το 2016 οι συνολικές πωλήσεις της άγγιξαν τις 80.000 οχήματα. Ωστόσο, στη συνεχώς αναπτυσσόμενη αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων, τα οποία τη νέα δεκαετία αναμένεται να ισοφαρίσουν και σταδιακά να ξεπεράσουν τις πωλήσεις των συμβατικών, η Tesla είναι πολύ ισχυρός «παίκτης».



**Εικόνα 3.10** Model 3 της Tesla

Εκεί που οι περισσότεροι μεγάλοι κατασκευαστές έχουν μετά βίας ένα ή δύο αμιγώς ηλεκτρικά μοντέλα παραγωγής, η Tesla έχει ήδη τρία και ετοιμάζει τέταρτο. Πιο συγκεκριμένα σήμερα η εταιρεία διαθέτει τα Model S, X, 3 και στο άμεσο μέλλον το Y, το οποίο θα είναι ένα αστικό SUV, βασισμένο στο Model 3 [60].

Το Model 3 είναι το αυτοκίνητο με τις περισσότερες online παραγγελίες στην ιστορία της βιομηχανίας αυτοκινήτου με 375.000 παραγγελίες μέσα σε τρεις μήνες το 2016. Το Model 3 είναι το πρώτο «μαζικό» μοντέλο της Tesla, με τιμή που ξεκινά από τις 35.000 δολάρια. Αυτό το μοντέλο, μαζί με τον Model Y, που αναμένεται το 2019, αναμένεται να εκτινάξουν τις πωλήσεις της εταιρείας.

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> Σύγκριση μεταξύ ηλεκτρικού και συμβατικού οχήματος

### 4.1 Αλλαγές στη σχεδίαση του αυτοκινήτου

Από εξωτερικής πλευράς τα ηλεκτρικά οχήματα είναι σχεδόν παρόμοια με τα οχήματα που περιλαμβάνουν κινητήρες εσωτερικής καύσης, με την διαφορά ότι τα ηλεκτροκίνητα οχήματα δεν περιλαμβάνουν εξάτμιση καθώς επίσης και δοχείο ρεζερβουάρ. Με άλλα λόγια η διαφορετική δομή των ηλεκτρικών οχημάτων από τα συμβατικά οχήματα, είναι ότι η μπαταρία και ο ηλεκτροκινητήρας αντικαθιστούν το ρεζερβουάρ καυσίμου και την ΜΕΚ αντίστοιχα. Με αυτό το τρόπο γίνεται κατανοητό ότι τα βασικά μέρη που αποτελούν ένα ηλεκτρικό όχημα δεν μεταβάλλονται κατά πολύ του συμβατικού για σχεδιαστικούς αλλά και εμπορικούς λόγους. Έτσι τα κύρια μέρη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι:

- **Αμαξώμα**

Όλα τα εξωτερικά μέρη ενός αυτοκινήτου (πόρτες, παράθυρα, οροφή κ.λπ.) αποτελούν το αμαξώμά του. Ανάλογα με τον τύπο του αμαξώματος διαχωρίζουμε τα αυτοκίνητα σε διάφορες κατηγορίες όπως σεντάν, λίφτπακ, στέισον βάγκον, κουπέ κ.ά. Τα μέρη ενός αμαξώματος ενώνονται με το πλαίσιο είτε με βίδες, είτε με συγκολλήσεις οι οποίες σε όλα τα σύγχρονα εργοστάσια γίνονται αποκλειστικά από ρομπότ. Η συναρμολόγηση των μερών του αμαξώματος γίνεται και αυτή από ρομπότ ενώ μεγάλη προσοχή δίνεται στην ποιότητα συναρμογής τους. Μεγάλο ρόλο για την εμφάνιση ενός αμαξώματος πέρα από τη σχεδίαση και την ποιότητα συναρμογής του παίζει και η βαφή.



Εικόνα 4.1 Αμαξώμα οχήματος

- **Πλαίσιο**

Βασική αρχή για την κατασκευή ενός αυτοκινήτου αποτελεί το πλαίσιο. Πάνω σε αυτό στηρίζονται όλα τα μηχανικά μέρη του αυτοκινήτου όπως ο κινητήρας και οι αναρτήσεις και γενικά όλο το αμάξωμα.



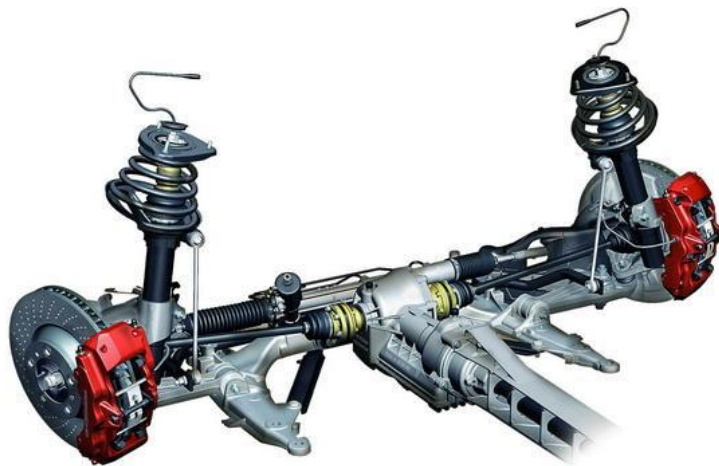
Εικόνα 4.2 Πλαίσιο οχήματος

Το μη αυτοφερόμενο πλαίσιο ή σασί ή τύπου σκάλας, όπως συνηθίζεται να λέγεται λόγω του σχήματός του, επικράτησε για πολλά χρόνια στα επιβατικά αυτοκίνητα μέχρι τη δεκαετία του 1970 ενώ σήμερα χρησιμοποιείται αποκλειστικά μόνο σε μερικά εκτός δρόμου οχήματα. Το πιο διαδεδομένο υλικό κατασκευής των πλαισίων είναι ο χάλυβας. Η χρήση "εξωτικών" υλικών όπως ανθρακονήματα, κέβλαρ και μαγνήσιο αποτελεί βασικό "συστατικό" κατασκευής των μονοθέσιων της F1. Το αλουμίνιο ξεκίνησε τα πρώτα του βήματα στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή спор και πολυτελών αυτοκινήτων για να περάσει πλέον στις μέρες μας σε αυτοκίνητα μαζικής παραγωγής.

- **Ανάρτηση**

Η ανάρτηση ορίζει τη συμπεριφορά του αυτοκινήτου στο δρόμο, ενώ ένα σωστό ρυθμισμένο σύστημα οφείλει να αντιδρά σωστά στις δυνάμεις που ασκούνται επάνω του προσφέροντας άνεση και ασφάλεια. Όπως και στο συμβατικό έτσι και στο ηλεκτρικό αυτοκίνητο χρειάζεται οι τροχοί να επιτρέπουν κατακόρυφες κινήσεις ώστε να ακολουθούν τα εμπόδια που συναντάνε στο δρόμο τους χωρίς να μεταβάλλεται η

γεωμετρία τους. Επίσης πρέπει να εξασφαλίζει τη συνεχή επαφή των τροχών με το δρόμο, να επιτρέπει στους κατευθυντήριους τροχούς να στρίβουν, να περιορίζει τις κινήσεις τους στο διαμήκη άξονα μεταδίδοντας στο πλαίσιο τις δυνάμεις επιτάχυνσης από τη ροπή στρέψης των κινητήριων τροχών και τις δυνάμεις επιβράδυνσης από τα φρένα και, τέλος, να απομονώνει την καμπίνα των επιβατών από τις αναταράξεις της κίνησης. Η λειτουργία της ανάρτησης ορίζεται από τη γεωμετρία τους, δηλαδή τον τρόπο με τον οποίο εφάπτονται οι τροχοί στο δρόμο, κάτι που καθορίζει και την απόκριση του συστήματος διεύθυνσης. Όταν οι τροχοί του ίδιου άξονα είναι στραμμένοι αντίθετα ο ένας με τον άλλο προς τα μέσα ως προς τη διεύθυνση κίνησης, δηλαδή συγκλίνουν, τότε μιλάμε για θετική σύγκλιση. Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν αποκλίνουν, έχουμε αρνητική σύγκλιση, ενώ όταν είναι εντελώς παράλληλοι έχουμε μηδενική σύγκλιση [37].

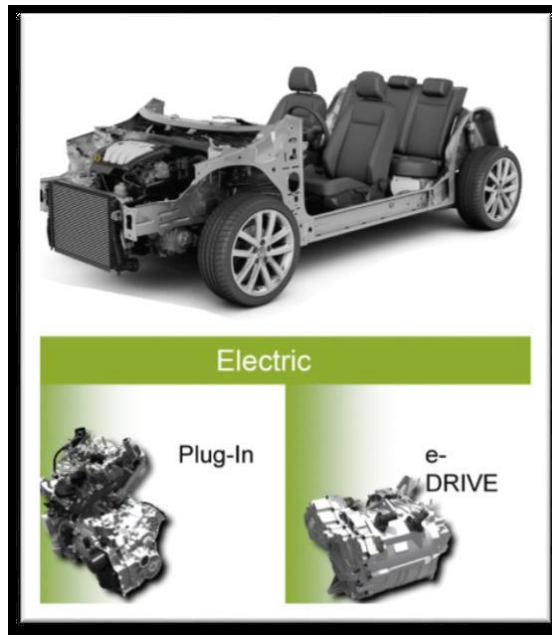


**Εικόνα 4.3** Σύστημα ανάρτησης οχήματος

- **Πλατφόρμα**

Ως πλατφόρμα νοείται η συμπαγής, άκαμπτη δομή στην οποία προσαρτώνται τα μηχανικά μέρη του αυτοκινήτου (π.χ κινητήρας) καθώς επίσης και οι εκάστοτε πηγές ενέργειας (μπαταρίες). Οι αυτοκινητοβιομηχανίες, με αφορμή την οικονομική κρίση, πλάσαραν τη νέα μόδα χρήσης κοινών πλατφορμών από διαφορετικά μοντέλα αυτοκινήτων. Έτσι, η συγκεκριμένη δομή που προσφέρει και μια πιο ευέλικτη αρχιτεκτονική στα οχήματα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε μοντέλα διαφορετικών κατηγοριών, φιλοξενώντας διαφορετικούς τύπος κινητήρων, μετάδοσης κίνησης, διαστάσεις. Τα χαρακτηριστικά της πλατφόρμας (βάρος, κόστος) παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του συνολικού κόστους του κάθε οχήματος. Συνεπώς η ίδια γραμμή

παραγωγής μπορεί να κατασκευάζει ίδιες πλατφόρμες, αλλά για διαφορετικά τύπου οχήματα.



Εικόνα 4.4 Πλατφόρμα ηλεκτρικού οχήματος

Να τονιστεί ότι η κατανομή του βάρους ενός ηλεκτρικού οχήματος δεν μεταβάλλεται, όπως μεταβάλλεται στα συμβατικά αυτοκίνητα. Ένα συμβατικό αυτοκίνητο έχει μικρή έως πολύ μεγάλη διαφοροποίηση στην κατανομή του βάρους του εάν το ρεζερβουάρ είναι γεμάτο ή άδειο. Κάτι τέτοιο δε συμβαίνει με τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Το βάρος του μέσου αποθήκευσης ενέργειας έχει συγκεκριμένο κέντρο βάρους και δεν ταλαντεύεται, αντίθετα με τα υγρά καύσιμα εντός του ρεζερβουάρ. Επομένως τα στατικά χαρακτηριστικά του οχήματος παραμένουν αμετάβλητα, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα για πιο ακριβή σχεδιασμό.

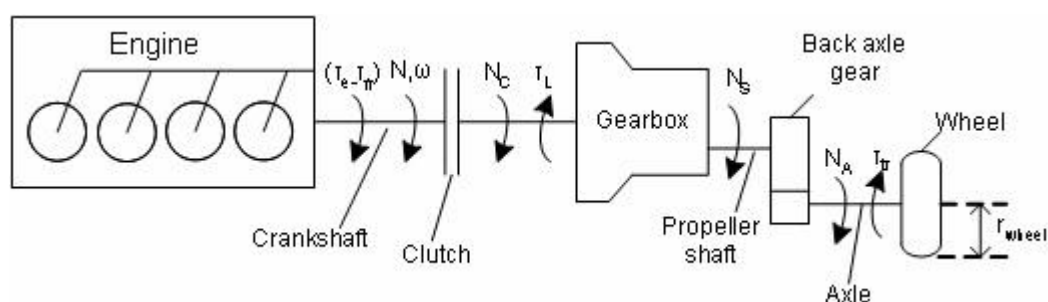
Το 70% των εσωτερικών εξαρτημάτων σε ένα ηλεκτρικό αμάξι είναι τελείως διαφορετικά από ένα συμβατικό αμάξι εσωτερικής καύσης. Το ηλεκτρικό αμάξι έχει μόνο ένα κινούμενο μέρος, δηλαδή αυτό το οποίο είναι υπεύθυνο για την κίνηση του οχήματος (τον άξονα της μηχανής) τροφοδοτούμενο από μια πηγή συνεχούς ρεύματος (συσσωρευτές) καθώς και πλήθος από εξειδικευμένα ηλεκτρονικά συστήματα που αντικαθιστούν τα μηχανικά μέρη ενός συμβατικού οχήματος προκειμένου να εκτελεστούν οι κατάλληλες διεργασίες. Στον παρακάτω Πίνακα 4.1 αναφέρονται τα μέρη τα οποία εξασφαλίζουν τις βασικές λειτουργίες ενός συμβατικού οχήματος κινητήρα εσωτερικής καύσης συγκριτικά με ένα αμιγώς ηλεκτρικό όχημα.

**Πίνακας 4.1** Λειτουργίες ενός συμβατικού και ενός ηλεκτρικού οχήματος

Λειτουργία	Συμβατικά οχήματα	Ηλεκτρικά οχήματα
Αποθήκευση ενέργειας για την κίνηση του οχήματος	Δοχείο καυσίμου	Μπαταρία
Ανανέωση της ενέργεια που χρειάζεται για κίνηση	Αντλία καυσίμου	Φορτιστής
Παροχή της δύναμη για την κίνηση του οχήματος	Κινητήρας εσωτερικής καύσης	Ηλεκτρικός κινητήρας
Έλεγχος επιτάχυνσης και ταχύτητας	Καρμπυρατέρ	Ελεγκτής ταχύτητας
Προσφορά ενέργεια στα διάφορα μέρη	Εναλλάκτης	DC/DC μετατροπέας
Μετατροπή DC σε AC για την τροφοδότηση AC κινητήρα	-	DC/AC μετατροπέας
Ελάττωση επίπεδων τοξικότητας από τα καυσαέρια	Καταλύτης	-

## 4.2 Αλλαγές στα μηχανικά μέρη

Στο συμβατικό όχημα η μετάδοση ισχύος και η μεταφορά ροπής από τον κινητήρα στο τροχό γίνεται με τον τρόπο που απεικονίζεται στην Εικόνα 4.5. Έτσι η κίνηση του τροχού γίνεται μέσω του κινητήρα διαμέσου του συμπλέκτη, του κιβωτίου ταχυτήτων και του ημιαξονίου του τροχού.



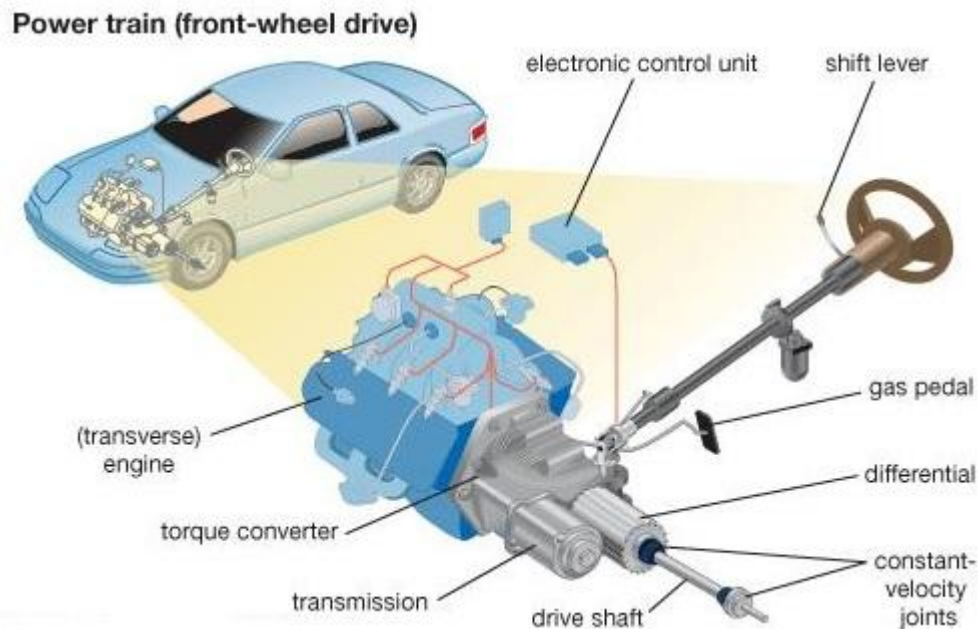
**Εικόνα 4.5** Απεικόνιση απλουστευμένης λειτουργίας συμβατικού οχήματος



Μια πιο λεπτομερής ανάλυση της λειτουργίας ενός συμβατικού οχήματος περιλαμβάνει:

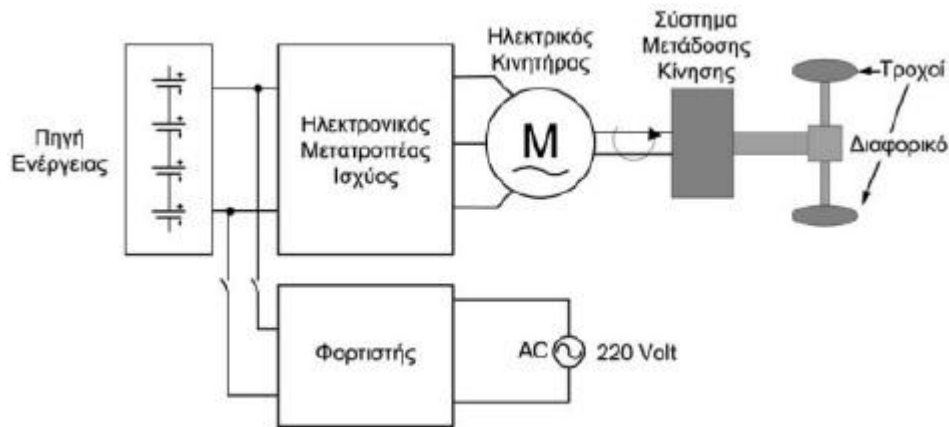
1. Το μοντέλο του κινητήρα περιγράφοντας τις θερμοδυναμικές διεργασίες στους κυλίνδρους και στις πολλαπλές σωληνώσεις εισαγωγής και εξαγωγής.
2. Το μοντέλο του συστήματος μετάδοσης ισχύος που αποτελείται από τον μετατροπέα ροπής, το κιβώτιο ταχυτήτων, τους άξονες μετάδοσης κίνησης, το διαφορικό, τα ημιαξόνια: αυτή παρέχει τη σύνδεση μεταξύ του κινητήρα και του μοντέλου δυναμικής του οχήματος
3. Τη δυναμική του οχήματος.
4. Τις δυνάμεις αντίστασης στην κίνηση του οχήματος [39].

Ένα τυπικό σύστημα μετάδοσης ισχύος ενός 4x2 οχήματος απεικονίζεται στην Εικόνα 4.6. Ο κινητήρας είναι συνδεδεμένος στον μετατροπέα ροπής του οποίου η άτρακτος εξόδου είναι ενωμένη στο αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων, στον άξονα μετάδοσης κίνησης, στο διαφορικό και σε δυο ημιαξόνια, ενώνοντας το διαφορικό με τους κινητήριους τροχούς. Στο χειροκίνητο κιβώτιο ταχυτήτων, ο κινητήρας συνδέεται απευθείας στο κιβώτιο διαμέσου του συμπλέκτη [40].



**Εικόνα 4.6** Απεικόνιση μετάδοσης ισχύος σε επιβατικό όχημα 4x2 [40]

Από την άλλη πλευρά ένα ηλεκτροκίνητο όχημα διαφέρει σημαντικά από ένα αντίστοιχο συμβατικό όσο αναφορά τη δομή του κινητήριου συστήματος. Από τεχνικής πλευράς τα ηλεκτρικά οχήματα ενσωματώνουν διάφορες παραλλαγές είτε όσον αφορά την πηγή ενέργειας είτε το τρόπο που παράγεται η κίνηση. Ωστόσο, όλα έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό, που είναι η ύπαρξη ενός τουλάχιστον ηλεκτρικού κινητήρα για την προώθηση του οχήματος.



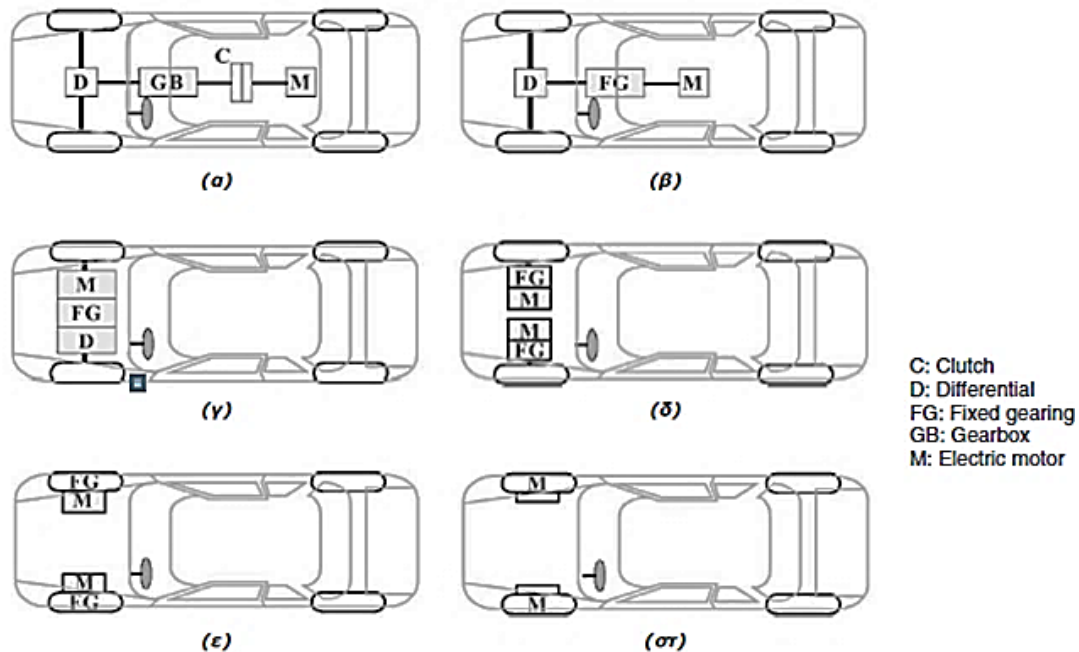
Εικόνα 4.7 Δομικά στοιχεία ενός ηλεκτροκίνητου οχήματος [36]

Στο παραπάνω σχήμα της Εικόνας 4.7 δίνεται ένα γενικό διάγραμμα των τμημάτων που συνήθως αποτελούν ένα ηλεκτρικό όχημα τα οποία είναι :

1. Η πηγή ενέργειας (η μονάδα αποθήκευσης ενέργειας μέσω φορτιστή).
2. Ο ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος.
3. Ο ηλεκτρικός κινητήρας.
4. Το σύστημα μετάδοσης κίνησης.
5. Το διαφορικό και οι τροχοί του οχήματος.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η κατασκευή ενός ηλεκτρικού οχήματος έχει αλλάξει σε σχέση με τα πρώτα EV οχήματα, τα οποία πρόεκυπταν από τη μετατροπή των συμβατικών οχημάτων με αντικατάσταση της μηχανής εσωτερικής καύσης και της δεξαμενής καυσίμου από έναν ηλεκτροκινητήρα και ένα συσσωρευτή, με διατήρηση όλων των υπολοίπων διατάξεων. Η προσέγγιση αυτή όμως είχε μειονεκτήματα όπως μεγάλο βάρος, μικρή ευελιξία και μειωμένη απόδοση, γεγονός που με το χρόνο οδήγησε προς την εγκατάλειψη της.

Μηχανικά τα σύγχρονα ηλεκτρικά οχήματα κατασκευάζονται βάσει νέων και πρότυπων σχεδίων για το σύνολο της δομής. Λόγω των αρκετών παραλλαγών ως προς τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής προώθησης και των πηγών ενέργειας, υπάρχει, κατ' επέκταση, μια ποικιλία πιθανών αρχιτεκτονικών δομών ενός ηλεκτρικού οχήματος όπως φαίνεται στις Εικόνες 4.8 α-στ [38]:



**Εικόνα 4.8** Πιθανές δομές ηλεκτρικού οχήματος

Έτσι, αναλύοντας τις παραπάνω δομές έχουμε :

**α) Συμβατικός τύπος:** Στο Σχήμα 4.8α απεικονίζεται η πρώτη εναλλακτική, στην οποία ένα σύστημα ηλεκτρικής προώθησης αντικαθιστά τη ΜΕΚ ενός συμβατικού οχήματος. Αποτελείται από έναν ηλεκτροκινητήρα (M), ένα συμπλέκτη (C), ένα κιβώτιο ταχυτήτων (GB) και ένα διαφορικό (D). Ο συμπλέκτης και το κιβώτιο ταχυτήτων μπορούν να αντικατασταθούν από ένα σύστημα αυτόματης μετάδοσης. Ο συμπλέκτης χρησιμοποιείται για να συμπλέξει ή να αποσυμπλέξει την ισχύ του ηλεκτροκινητήρα από τους τροχούς. Το κιβώτιο ταχυτήτων παρέχει ένα σύνολο σχέσεων για να διαφοροποιήσει το προφίλ ταχύτητας-ισχύος (ροπής) ώστε να προσαρμοστεί στις απαιτήσεις του φορτίου. Το διαφορικό επιτρέπει στους τροχούς των δύο πλευρών να οδηγούνται με διαφορετικές ταχύτητες όταν το όχημα κινείται σε καμπύλη τροχιά.

**β) Τύπος χωρίς σύστημα μετάδοσης (RF):** Με έναν ηλεκτροκινητήρα (M) που παρέχει σταθερή ισχύ σε ένα ευρύ φάσμα ταχυτήτων, ένα σύστημα σταθερής σχέσης (FG) μπορεί να αντικαταστήσει το κιβώτιο ταχυτήτων και να περιορίσει την ανάγκη για συμπλέκτη (Σχήμα 4.8β). Αυτή η δομή όχι μόνο μειώνει το μέγεθος και το βάρος του μηχανικού συστήματος μετάδοσης αλλά επίσης απλοποιεί και τη συνολική διαδρομή ισχύος, αφού δεν απαιτείται αλλαγή ταχυτήτων.

**γ) Τύπος χωρίς σύστημα μετάδοσης (front engine-front wheel, FF):** Ομοίως με την περίπτωση β, ο ηλεκτροκινητήρας (M), το σύστημα σταθερής σχέσης (FG) και το διαφορικό (D) μπορούν να ολοκληρωθούν περαιτέρω σε μια ενιαία διάταξη που μέσω των δύο ημιαξονίων συνδέεται με τους τροχούς οδήγησης (Σχήμα 4.8γ). Η διαδρομή ισχύος απλοποιείται ακόμη περισσότερο και περιορίζεται σε όγκο.

**δ) Τύπος χωρίς διαφορικό:** Στο Σχήμα 4.8 δ, το μηχανικό διαφορικό αντικαθίσταται από τη χρήση δύο κινητήρων έλξης. Καθένας από αυτούς κινεί τον τροχό μιας πλευράς και λειτουργεί σε διαφορετική ταχύτητα όταν το όχημα κινείται κατά μήκος μιας καμπύλης διαδρομής

**ε) Τύπος εντός τροχού:** Για να απλοποιηθεί ακόμη περισσότερο η διαδρομή ισχύος, κάθε ηλεκτροκινητήρας μπορεί να ενσωματωθεί με τον τροχό (Σχήμα 4.8ε). Η δομή αυτή ονομάζεται in-wheel drive. Ένα λεπτό πλανητικό σύστημα σχέσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μειώσει την ταχύτητα του ηλεκτροκινητήρα και να βελτιώσει τη ροπή του.

**στ) Τύπος εντός τροχού (χωρίς σταθερή σχέση):** Αφαιρώντας τελείως κάθε μηχανικό σύστημα σχέσεων ανάμεσα στον ηλεκτροκινητήρα και τον τροχό οδήγησης, ο ρότορας του ηλεκτροκινητήρα συνδέεται απ' ευθείας στον τροχό (Σχήμα 4.8 στ). Ο έλεγχος ταχύτητας του ηλεκτροκινητήρα ισοδυναμεί με τον έλεγχο της ταχύτητας του τροχού και άρα του οχήματος. Ωστόσο, αυτή η δομή απαιτεί ηλεκτροκινητήρα με υψηλότερη ροπή για την εκκίνηση και την επιτάχυνση του οχήματος και άρα μεγαλύτερο όγκο.

Από τους τύπους που περιγράφηκαν παραπάνω, δεν είναι εύκολο να αποφασίσει κανείς ποιος είναι ο καλύτερος για ένα ηλεκτρικό όχημα. Η επιλογή των δομών καθορίζεται άμεσα από το μέγεθος, το βάρος, την απόδοση και το κόστος του οχήματος.

#### 4.2.1 Ασφάλεια ηλεκτρικών οχημάτων

Το θέμα της ασφάλειας που προσφέρει η ύπαρξη μπαταρίας στο ηλεκτρικό όχημα είναι πρωταρχικής σημασίας. Το θέμα της ασφάλειας εστιάζεται στην ανάπτυξη τεχνικών και συστημάτων για την αποφυγή του κινδύνου ηλεκτροπληξίας λόγω υψηλής τάσης, του κινδύνου έκρηξης, πυρκαγιάς, υψηλής θερμοκρασίας λόγω της μεγάλης ποσότητας ενέργειας και της κακής οδικής συμπεριφοράς του οχήματος λόγω του μεγάλου βάρους του συστήματος μπαταρίας [36],[42]. Η τοποθέτηση του συστήματος μπαταρίας γίνεται κατά προτίμηση στο κατώτερο δυνατό τμήμα του οχήματος, όπως φαίνεται και στη Εικόνα 4.9.



**Εικόνα 4.9** Τοποθέτηση συστήματος μπαταρίας στο δάπεδο του ηλεκτρικού οχήματος [41]

Κάτι τέτοιο εξασφαλίζει αποδεκτή οδική συμπεριφορά του οχήματος, μετατοπίζοντας όσο το δυνατόν πιο χαμηλά το κέντρο βάρους του οχήματος. Η ύπαρξη υψηλής τάσης, η οποία σε ένα σύστημα μπαταρίας μπορεί να πάρει τιμές ιδιαίτερα επικίνδυνες για τη ζωή του ανθρώπου, απαιτεί ειδική φροντίδα κατά το σχεδιασμό. Συνήθως τα συστήματα μπαταρίας οχημάτων διαθέτουν διακόπτες απομόνωσης, τόσο μεταξύ μπαταρίας και μετατροπέα όσο και μεταξύ ομάδων στοιχείων μπαταρίας, ώστε να είναι εύκολη η άμεση υποβίβαση της τάσης, διακόπτοντας τις συνδέσεις μεταξύ των ομάδων, σε περίπτωση ατυχήματος ή ανάγκης. Συνήθως τα ρελέ ομαδοποίησης, συγκρατούνται μεταξύ άλλων και από αισθητήρες πλευρικής επιτάχυνσης, που προβλέπουν την ακανόνιστη συμπεριφορά του οχήματος και διακόπτουν πριν το όχημα συγκρουστεί [36].

Οι ακροδέκτες του συστήματος μπαταρίας δεν είναι συνδεδεμένοι σε κανένα μέρος του οχήματος, όπως γινόταν παραδοσιακά στα συμβατικά οχήματα. Έτσι όλο το κινητήριο σύστημα δεν έχει κανένα κοινό σημείο αναφοράς τάσης με το πλαίσιο του οχήματος.

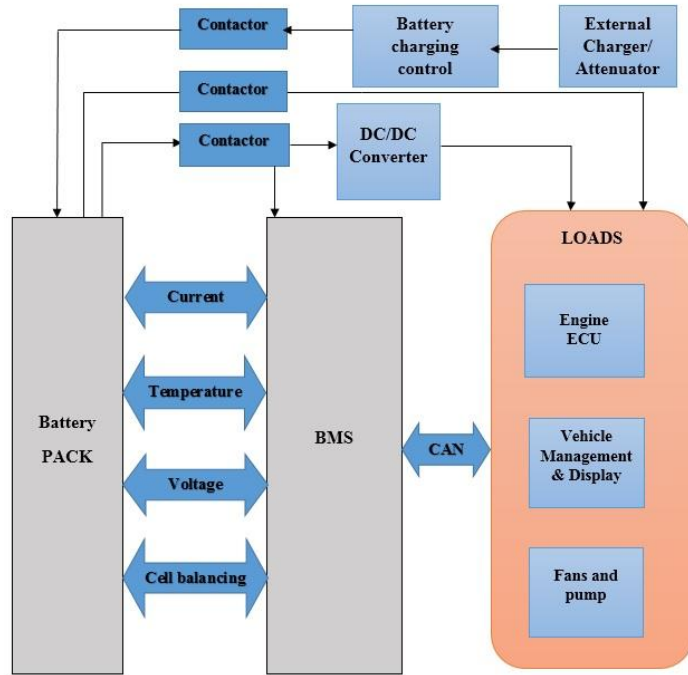
Ιδιαίτερα σοβαρό είναι το θέμα της θερμικής ασφάλειας, λόγω της μεγάλης ποσότητας ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στο σύστημα μπαταρίας. Ένα ποσό ενέργειας της τάξης των 10-20 kWh είναι ικανό να αναπτύξει υψηλές θερμοκρασίες και να προκαλέσει τήξη των μηχανικών μερών και μετάλλων που το περιβάλλουν, ακόμα και του πατώματος του οχήματος, με άμεσο κίνδυνο των επιβατών και των γύρω παρευρισκόμενων.

Τα στοιχεία μπαταριών οχημάτων, εξοπλίζονται με ιδιαίτερα ανθεκτικό περίβλημα ώστε σε περίπτωση ατυχήματος να είναι δύσκολη η βραχυκύκλωση λόγω αγωγής των στοιχείων μεταξύ τους, κατά τρόπο που δεν παρεμβάλλεται ρελέ προστασίας. Επιπλέον ο διαχωρισμός των στοιχείων σε ομάδες επιτρέπει, εκτός της κατάτμησης και την απομόνωση σε μικρότερες ενεργειακές ομάδες, όπου ακόμα και αν μια ομάδα καταστραφεί λόγω βραχυκυκλώματος, αποτρέπεται το ενδεχόμενο αλυσιδωτής καταστροφής. Συνήθως η ομαδοποίηση των μπαταριών ως προς τάση συνδυάζεται με την ενεργειακή ομαδοποίηση, οδηγώντας σε διακριτές στο χώρο και γαλβανικά απομονωτικές ομάδες, μέσα στο ενιαίο περίβλημα του συστήματος [42].

Τέλος πολλοί κατασκευαστές σχεδιάζουν υδρόψυκτα κελύφη, όχι μόνο για την ψύξη του συστήματος αλλά και για την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση ενδεχομένου βραχυκυκλώματος.

#### **4.2.2 Σύστημα διαχείρισης μπαταριών (BMS)**

Τα ηλεκτρικά οχήματα απαιτούν συνεχώς επιτάχυνση ή επιβράδυνση μέσω του κινητηρίου συστήματος. Αυτό μεταφράζεται από την πλευρά της μπαταρίας ως έντονος ρυθμός εκφόρτισης ή φόρτισης αντίστοιχα. Η μπαταρία του ηλεκτρικού οχήματος θα πρέπει να μπορεί να ανταπεξέλθει στις πολύ γρήγορες φορτίσεις και εκφορτίσεις με εύλογο βαθμό απόδοσης και κυρίως χωρίς να πλήττεται ο χρόνος ζωής της. Αυτό καθιστά απαραίτητη την ύπαρξη συστήματος διαχείρισης της μπαταρίας (Battery Management System-BMS) το οποίο να αποτρέπει από απαγορευτικού ρυθμούς φόρτισης/εκφόρτισης αλλά και από απαγορευτικό επίπεδο φόρτισης/εκφόρτισης (Stage of Charge-SoC).



Εικόνα 4.10 Μπλοκ διάγραμμα εφαρμογής BMS σε ηλεκτρικό όχημα [43]

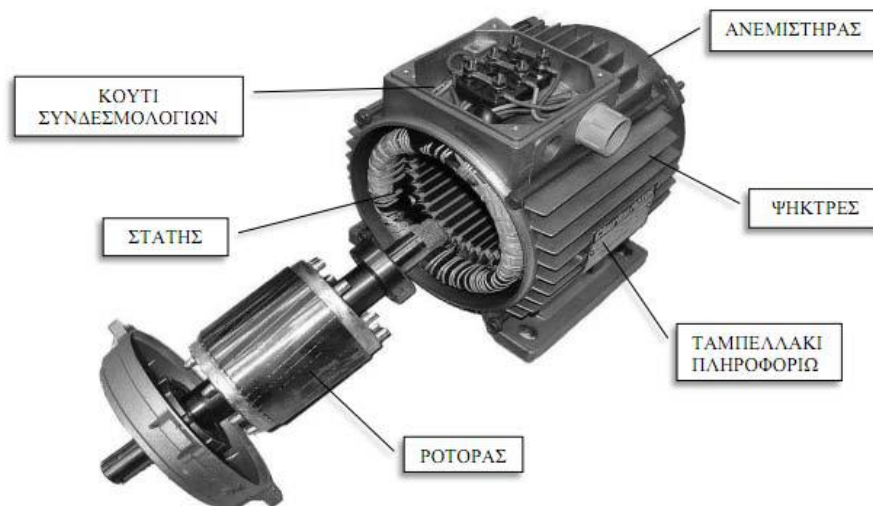
Αναλυτικότερα το BMS επιτελεί τις παρακάτω λειτουργίες:

- Συλλέγει πληροφορίες από αισθητήρες για τα μεγέθη της τάσης, του ρεύματος και της θερμοκρασίας.
- Μέσα από επεξεργασία των μετρούμενων αυτών μεγεθών, προσδιορίζει χρήσιμα μεγέθη όπως το SoC, τη διαθέσιμη ενέργεια, την εναπομένουσα εμβέλεια του ηλεκτρικού οχήματος για τις δεδομένες συνθήκες οδήγησης και το δεδομένο SoC.
- Ελέγχει το φορτιστή προκειμένου να διασφαλιστεί βέλτιστη φόρτιση της μπαταρίας.
- Φροντίζει για την εξισορροπημένη φόρτιση όλων των στοιχείων που απαρτίζουν τη συστοιχία. Κατά αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η βέλτιστη επίδοση της μπαταρίας.
- Η εξισορρόπηση φόρτισης είναι απαραίτητη διότι με την πάροδο του χρόνου κάποια στοιχεία τείνουν να εκφορτίζονται περισσότερο.
- Αποτρέπει την υπερφόρτιση και υπερεκφόρτιση της μπαταρίας και άλλες καταστάσεις που μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο τον εξοπλισμό ή το χρήστη.
- Επιτελεί θερμική διαχείριση παρακολουθώντας τη θερμοκρασία κάθε στοιχείου της μπαταρίας τόσο κατά τη φόρτιση όσο και κατά την εκφόρτιση.
- Εξασφαλίζει τη διεπαφή της μπαταρίας με τον κεντρικό ελεγκτή του οχήματος [42],[43].

Κατά αυτόν τον τρόπο το BMS μπορεί να επικοινωνεί με τα υπόλοιπα συστήματα του οχήματος (π.χ. με το αντικλεπτικό σύστημα το οποίο θα αποσυνδέει την μπαταρία σε περίπτωση απόπειρας κλοπής).

#### 4.3 Διαφορές ηλεκτροκινητήρων με κινητήρες εσωτερικής καύσης

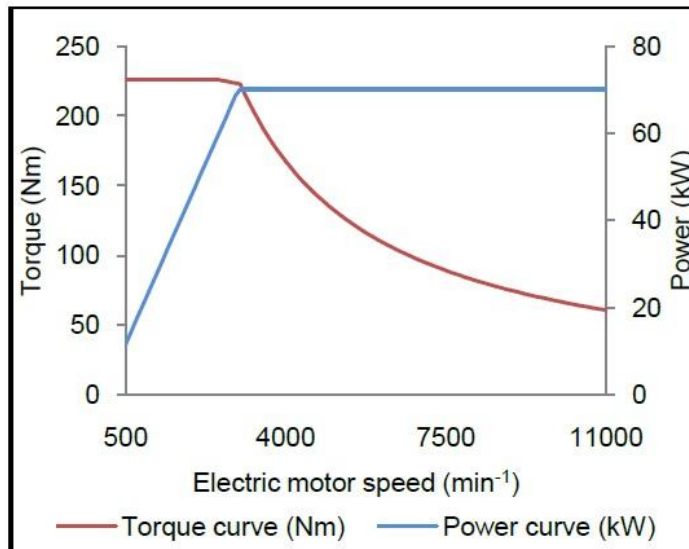
Γενικά, ένα ηλεκτρικό σύστημα κίνησης είναι πολύ πιο απλό σε σύγκριση με ένα σύστημα που χρησιμοποιεί κινητήρα εσωτερικής καύσης. Λόγω της εξέλιξης των ηλεκτροκινητήρων έλξης δεν απαιτείται κάποιο σύστημα πολλαπλασιασμού της ροπής στο σύστημα της μετάδοσης της κίνησης προς τους κινητήριους τροχούς. Η μόνη μηχανολογική διάταξη που απαιτείται είναι η σύνδεση του άξονα του κινητήρα με τον εκάστοτε άξονα κίνησης με ένα σταθερό λόγο μετάδοσης.



Εικόνα 4.11 Κύρια μέρη ηλεκτρικού κινητήρα [21]

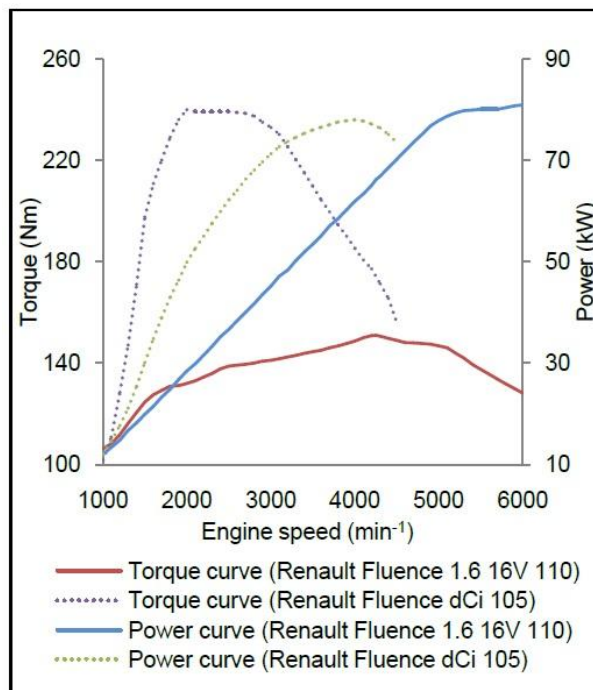
Βασική διαφορά του ηλεκτροκινητήρα έναντι του βενζινοκινητήρα αποτελεί το γεγονός ότι ο πρώτος μπορεί να αποδώσει υψηλές τιμές ροπής από μηδενική περιστροφική ταχύτητα. Η παραγωγή μηχανικής ροπής από τον ηλεκτροκινητήρα γίνεται χωρίς κραδασμούς και ταλαντώσεις, κάτι που είναι αδύνατο να συμβεί από ένα συμβατικό κινητήρα εσωτερικής καύσης. Η παραγόμενη ροπή είναι επίσης σταθερή και δεν εμφανίζει ταλαντώσεις, προσφέροντας ήπια και ομαλή λειτουργία [21].





**Εικόνα 4.12** Χαρακτηριστικά δύναμης-ροπής του σύγχρονου ηλεκτροκινητήρα του Renault Fluence Z.E. [44]

Για να παραχθεί η μέγιστη ροπή από ένα συμβατικό κινητήρα απαιτείται να λειτουργήσει σε υψηλές στροφές, ενώ οι υψηλές τιμές ροπής του (>75%) υπάρχουν σε περιορισμένο εύρος στροφών [44]. Αντιθέτως, ένας ηλεκτροκινητήρας που έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές κίνησης οχημάτων, μπορεί να αποδίδει την ίδια σταθερή ονομαστική μηχανική ροπή για ένα σχετικά μεγάλο εύρος στροφών (3000rpm-4000rpm) [42].



**Εικόνα 4.13** Χαρακτηριστικά δύναμης-ροπής βενζινοκινητήρα ΕΚ του Renault Fluence 1.6 16V 110 καθώς και τα χαρακτηριστικά απόδοσης του πετρελαιοκινητήρα του Renault Fluence dCi 105.

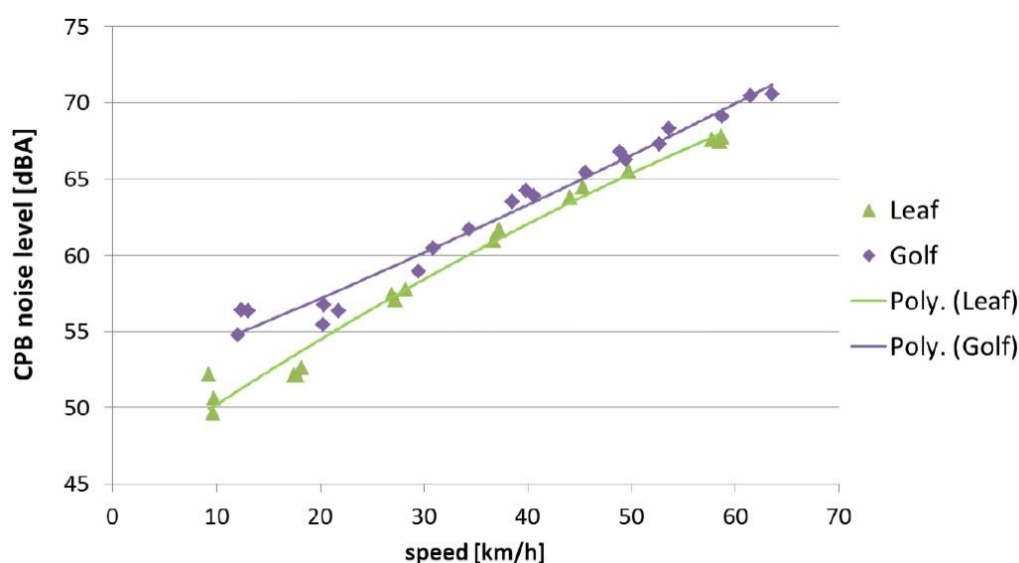
Το χαρακτηριστικό του ηλεκτροκινητήρα να αποδίδει υψηλές τιμές ροπής από μηδενική ταχύτητα, απλουστεύει τη χρήση του οχήματος. Στη περίπτωση ενός συμβατικού αυτοκινήτου με χειροκίνητο κιβώτιο ταχυτήτων, απαιτείται ο χρήστης του να συντονίζει, σε κάθε αλλαγή σχέσης, τα πεντάλ του γκαζιού και του συμπλέκτη, ώστε η αλλαγές να γίνονται ομαλά δίχως ανεπιθύμητα τραντάγματα. Ακόμη, κατά την εκκίνηση, πρέπει ο χρήστης να είναι ακόμη πιο προσεκτικός συντονίζοντας με τα πόδια του τα πεντάλ, διότι είναι πιθανό να απενεργοποιηθεί ο Κινητήρας Εσωτερικής Καύσης, αφού σε χαμηλές στροφές η παραγόμενη μηχανική ροπή του είναι αρκετά χαμηλή. Βέβαια τα ανωτέρω προβλήματα λύνονται χρησιμοποιώντας σφόνδυλο στο στροφαλοφόρο άξονα και αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων. Όμως ο σφόνδυλος, ως αναρτώμενη μάζα, δηλαδή ροπή αδράνειας επί του άξονα δυσκολεύει την επιτάχυνση του κινητήρα. Παράλληλα, τα αυτοκίνητα με αυτόματο κιβώτιο έχει παρατηρηθεί ότι καταναλώνουν περισσότερο από τα αντίστοιχα με χειροκίνητο, κάτι που αποδεικνύει ότι το αυτόματο κιβώτιο έχει μικρότερο βαθμό απόδοσης από το χειροκίνητο, όντας πιο πολύπλοκο. Ακόμη, τα ηλεκτρικά συστήματα κίνησης οχημάτων έχουν πολλαπλάσια απόδοση σε σύγκριση με τα συστήματα που χρησιμοποιούν κινητήρα εσωτερικής καύσης. Ενδεικτικά, ένας σύγχρονος καλά σχεδιασμένος βενζινοκινητήρας έχει βαθμό απόδοσης περίπου 27% που αν πολλαπλασιαστεί με τη απόδοση των συστημάτων κίνησης που ακολουθούν έως τους τροχούς μειώνεται ακόμη περισσότερο. Αντίθετα, τα σύγχρονα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν απόδοση που αγγίζει το 80%. Έτσι δε γίνεται σπατάλη ενέργειας όπως συμβαίνει με τα συμβατικά αυτοκίνητα που απαιτούν εξεζητημένα συστήματα απομάκρυνσης θερμότητας ώστε να μην καταστραφεί το κινητήριο σύστημα.

**Πίνακας 4.2** Σύγκριση απόδοσης διαφόρων ηλεκτροκινητήρων [45]

<b>Τύπος κινητήρα</b>	<b>Κορυφαία Απόδοση (%)</b>	<b>Απόδοση σε φορτίο 10% (%)</b>
DC κινητήρας με ψήκτρες	85-90	80-85
DC κινητήρας χωρίς ψήκτρες	>95	70-80
AC επαγωγικός κινητήρας	>90	>90
Σύγχρονος κινητήρας	>92	80-85
Switched Reluctance	<95	>90

Το γεγονός ότι ένας ηλεκτροκινητήρας μπορεί να αποδώσει την ονομαστική του ροπή για μεγάλο εύρος στροφών, αποτελεί ακόμα ένα πλεονέκτημα όσον αφορά τις επιδόσεις ενός οχήματος. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στο σχεδιαστή να χρησιμοποιήσει πολύ πιο απλά συστήματα μετάδοσης κίνησης και πολλαπλασιασμού ροπής, δηλαδή κιβώτια ταχυτήτων, μειωτήρες κλπ.

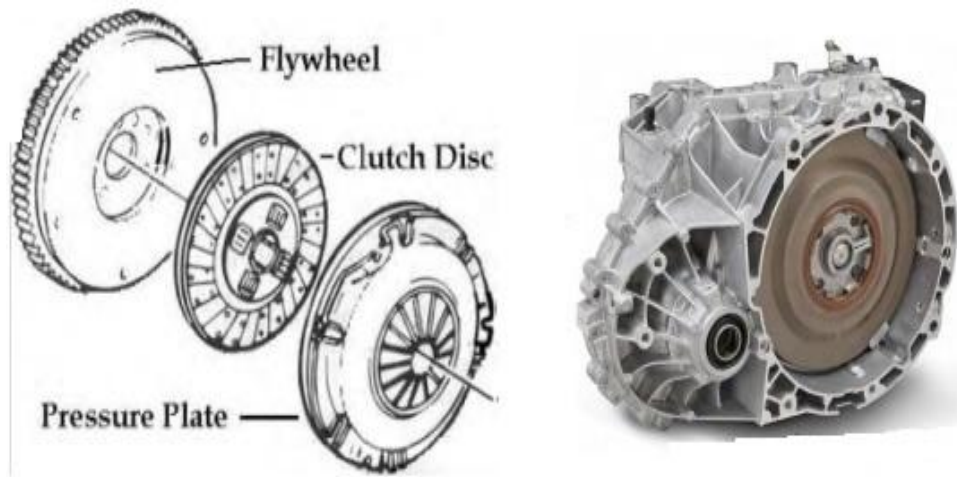
Την ίδια στιγμή το ηλεκτρικό αυτοκίνητο είναι πάρα πολύ φιλικό προς το κοινωνικό σύνολο. Η αθόρυβη λειτουργία των ηλεκτροκινητήρων βοηθά σημαντικά στην καταπολέμηση της ηχορύπανσης, που αποτελεί αιτία πολλών προβλημάτων της ψυχικής αλλά και σωματικής υγείας του ατόμου [36]. Έτσι, μπορεί να βελτιωθεί και η ποιότητα της καθημερινής ζωής των μελών ενός κοινωνικού συνόλου, αυξάνοντας την αποδοτικότητά τους στις καθημερινές τους δραστηριότητες. Πρόσφατες έρευνες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι σε χαμηλές ταχύτητες τα EVs αυτοκίνητα είναι 4-5 dB λιγότερο θορυβώδη από τα αντίστοιχα συμβατικά οχήματα που περιέχουν κινητήρα εσωτερικής καύσης. Αντίθετα σε τιμές ταχύτητας άνω των 30 km/h ο εκπεμπόμενος θόρυβος θεωρείται σχεδόν αμελητέος διότι την ίδια στιγμή αυξάνεται ο θόρυβος του ελαστικού/οδοστρώματος. Βέβαια σε κάθε περίπτωση ιδιαίτερο ρόλο παίζει η ιπποδύναμη του κάθε κινητήρα, ο τρόπος σχεδίασης αυτού καθώς και η κατάσταση λειτουργίας που βρίσκεται. Η παρακάτω Εικόνα 4.14 αναφέρεται στο παράδειγμα σύγκρισης θορύβου μεταξύ δυο νέων μοντέλων, του ηλεκτρικού μοντέλου Nissan Leaf και του κινητήρα diesel VW Golf Variant [46].



**Εικόνα 4.14** Επίπεδα θορύβου (σε dBA) του Nissan Leaf και του VW Golf Variant σε σταθερή ταχύτητα [46]

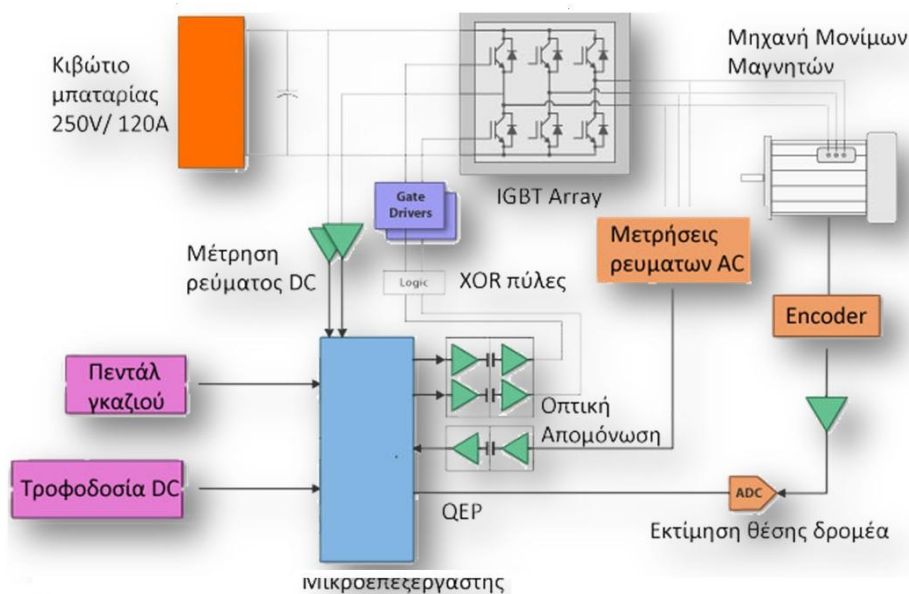
Όσον αφορά τη ρύπανση των πόλεων, η ηλεκτροκίνηση έχει να προσφέρει πολλά οφέλη. Κατά τη λειτουργία τέτοιων οχημάτων δεν εκλύονται μικροσωματίδια αιθάλης και μετάλλων, οξείδια του αζώτου, υδρογονάνθρακες, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου και αέρια του θερμοκηπίου όπως συμβαίνει με τους κινητήρες εσωτερικής καύσης, τα οποία αποτελούν συστατικά του νέφους και προκαλούν προβλήματα στο αναπνευστικό σύστημα. Παρότι έχουν γίνει και γίνονται προσπάθειες να μειωθούν οι βλαβερές εκπομπές από τις εξατμίσεις των συμβατικών αυτοκινήτων, δεν μπορούν να συγκριθούν με τα ηλεκτρικά οχήματα.

Το γεγονός ότι το ηλεκτροκινητήριο σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής, χωρίς να καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια, αποτελεί ένα ακόμη πλεονέκτημα. Σαν συνέπεια αυτού, είναι προφανές ότι κατά την κυκλοφοριακή συμφόρηση δεν καταναλώνεται ενέργεια, όπως συμβαίνει με τα συμβατικά οχήματα. Βέβαια, τα περισσότερα σύγχρονα συμβατικά αυτοκίνητα ενσωματώνουν αυτόματο σύστημα διακοπής/επαναλειτουργίας του κινητήρα μειώνοντας κατά πολύ την κατανάλωση καυσίμου. Όμως, τέτοια συστήματα επιβαρύνουν τον κινητήρα και τα περιφερειακά του συστήματα, αυξάνοντας την πιθανότητα να αστοχήσει κάποιο εξάρτημα. Επιπλέον, ένα πρόσθετο πλεονέκτημα των κινητήριων συστημάτων με ηλεκτρισμό είναι η εκκίνησή τους. Για να εκκινήσει ένας κινητήρας εσωτερικής καύσης απαιτείται να αποζευχθεί από το σύστημα μετάδοσης της μηχανικής ροπής στους τροχούς. Για το λόγο αυτό, απαιτείται κατάλληλο σύστημα σύμπλεξης-αποσύμπλεξης με εφαπτόμενες επιφάνειες (Εικόνα 4.15). Στη συνέχεια πρέπει να μεταφερθεί περιστροφική κίνηση στον στρόφαλο του κινητήρα μέσω του ηλεκτρικού εκκινητή (μίζα) και να ενεργοποιηθούν διάφορα άλλα υποσυστήματα, όπως είναι η αντλία καυσίμου και ο πολλαπλασιαστής των μπουζί. Η ηλεκτρική ενέργεια σε ένα συμβατικό αυτοκίνητο παρέχεται από μία μικρή γεννήτρια που είναι συζευγμένη με στρόφαλο του κινητήρα. Δυστυχώς, όμως, έτσι μειώνεται ακόμα περισσότερο ο ολικός βαθμός απόδοσης του κινητήριου συστήματος.



**Εικόνα 4.15** Συστήματα σύμπλεξης-αποσύμπλεξης κινητήρων εσωτερικής καύσης.  
 Αριστερά : συμβατικός συμπλέκτης Δεξιά : σύγχρονος διπλός συμπλέκτης (Dual Clutch) [47]

Αντίθετα, σε ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο μπορεί το σύστημα κίνησης να ενεργοποιηθεί χωρίς να απαιτείται χρήση τέτοιου μηχανισμού. Απλώς ενεργοποιούνται οι κατάλληλοι ηλεκτρονικοί μετατροπείς και τα επιμέρους υποσυστήματα, τα οποία είναι σταθεράς κατάστασης. Άρα το σύστημα μετάδοσης είναι ακόμα απλούστερο. Επιπλέον, η ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να ανακτηθεί κατά την κίνηση ενός τέτοιου αυτοκινήτου ανακτάται μέσω του ηλεκτροκινητήριου συστήματος, χωρίς χρήση επιμέρους μηχανικών εξαρτημάτων.



**Εικόνα 4.16** Μετατροπέας ισχύος και περιφερειακά συστήματα ελέγχου κινητήριου συστήματος [42]

#### 4.4 Πλεονεκτήματα ηλεκτρικού οχήματος

Το βασικότερο πλεονέκτημα από τη χρήση ενός ηλεκτρικού οχήματος είναι φυσικά η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας οφείλεται στα καυσαέρια των συμβατικών οχημάτων. Το ηλεκτρικό όχημα δεν έχει εξάτμιση όπως τα βενζινοκίνητα, αφού δεν παράγει ρύπους κατά τη λειτουργία του.

Η επόμενη συνεισφορά του αφορά στη μείωση της ηχορύπανσης που κάνει την ατμόσφαιρα των μοντέρνων πόλεων ανυπόφορη, συμβάλλοντας στην δραστική βελτίωση της ποιότητας της ζωής αλλά και ελάχιστη όχληση των οικοσυστημάτων. Το ηλεκτρικό όχημα είναι ουσιαστικά αθόρυβο συγκρινόμενο με τα συμβατικά αυτοκίνητα.

Επιπλέον, τα ηλεκτρικά οχήματα προκαλούν ελάχιστη θερμική επιβάρυνση στο περιβάλλον (θερμική μόλυνση), εξαιτίας του εξαιρετικά υψηλού βαθμού απόδοσης του ηλεκτρικού κινητήρα.

Η ενέργεια που απαιτείται για την ηλεκτρική κίνηση μπορεί εύκολα να παραχθεί από ανανεώσιμες πηγές και να διοχετευτεί μέσω κατάλληλων υποδομών στο δίκτυο διανομής. Ακόμα και αν η παραγωγή της ενέργειάς γίνεται με συμβατικές μεθόδους (π.χ. λιγνίτης) ο βαθμός απόδοσης είναι πολύ μεγαλύτερος συγκριτικά με την επιτόπου καύση των συμβατικών κινητήρων. Επιπλέον, στα κέντρα παραγωγής ενέργειας οι διαδικασίες καθαρισμού και αποκατάστασης της ρύπανσης μπορεί να γίνουν πολύ πιο αποτελεσματικές σε σχέση με την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε κάθε ένα από τα χιλιάδες οχήματα που κυκλοφορούν στις πόλεις.

Όσον αφορά την οικονομία, ένα τέτοιο όχημα καταναλώνει ενέργεια μόνο όταν κινείται. Όταν δεν κινείται, όπως κατά τη στάση σε σηματοδότες ή σε μεγάλη κυκλοφοριακή συμφόρηση, δεν καταναλώνει ενέργεια. Συνεπώς είναι ιδανική επιλογή για χρήση σε αστικά κέντρα. Επιπλέον, μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να αυτο-φορτίζεται κατά τις επιβραδύνσεις (regenerative braking), βελτιώνοντας έτσι τον δείκτη κατανάλωσης

Περαιτέρω, τα EVs προσφέρουν τη δυνατότητα αποδοτικής διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας, γιατί φορτίζονται πρωτίστως σε περιόδους όπου υπάρχει χαμηλή ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, με μειωμένο νυχτερινό τιμολόγιο.

Η ηλεκτρική μηχανή έχει πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής συγκρινόμενη με αυτή του συμβατικού οχήματος. Υπολογίζεται μάλιστα ίση με 1.000.000 μίλια εν αντιθέσει με τα 100.000 μίλια του συμβατικού κατά μέσο όρο.

Επιπλέον, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα χρειάζονται λιγότερη συντήρηση, καθώς:

1. Ο ηλεκτροκινητήρας δεν θερμαίνεται πολύ κατά τη λειτουργία του, έτσι δεν απαιτείται ανεμιστήρας και ψυγείο νερού για την ψύξη του. Επίσης δεν χρειάζεται αλλαγή λαδιών και φίλτρων, καταλύτη και άλλων αναλώσιμων.
2. Δεν απαιτούν αντικατάσταση ή έστω συντήρηση σε μηχανικά μέρη, όπως σύστημα ανάφλεξης, πιστόνια, βαλβίδες ή εκκεντροφόρους, διότι δεν υπάρχουν, ενώ στις μηχανές εσωτερικής συναντώνται πάνω από 100 κινούμενα μέρη.
3. Ο ίδιος ο ηλεκτροκινητήρας αλλά και δομή του ηλεκτρικού οχήματος συνολικά είναι πολύ πιο απλή σε σχέση με τα συμβατικά αυτοκίνητα. Το μόνο που χρειάζεται είναι ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος, καθιστώντας τα ηλεκτρικά οχήματα περισσότερο αξιόπιστα και λιγότερο επιρρεπή σε βλάβες από ότι τα συμβατικά οχήματα.
4. Τέλος, η οδήγηση είναι πιο εύκολη από ένα συμβατικό όχημα, αφού δεν απαιτούνται για τον χειρισμό τους υψηλές μηχανικές γνώσεις και εμπειρία. Το ηλεκτρικό σύστημα κίνησης διαθέτει καλή επιτάχυνση σε πολύ μεγαλύτερο εύρος στροφών με αποτέλεσμα να μην είναι αναγκαία η χρήση συστήματος ταχυτήτων.

Γενικότερα, η τεχνολογία ηλεκτρικού αυτοκινήτου προσφέρει μια ευκαιρία να προωθηθεί η πράσινη οικονομία, η οποία θα ενισχύσει την ανταγωνιστικότητα της χώρας στην αντίστοιχη αγορά. Ένα επιπλέον όφελος είναι ότι ενισχύεται η ενεργειακή μας ανεξαρτησία, εξαλείφοντας την ανάγκη εισαγωγής ορυκτών καυσίμων.

#### **4.5 Μειονεκτήματα ηλεκτρικού οχήματος**

Τα μειονεκτήματα που αφορούν τα ηλεκτρικά οχήματα προέρχονται κυρίως από τους συσσωρευτές και αυτό γιατί μέχρι σήμερα, παρά τη μακρόχρονη πορεία τους, παρουσιάζουν αδύνατα σημεία. Το πρώτο σχετίζεται με την πυκνότητα ενέργειας, δηλαδή το λόγο της αποθηκευμένης ενέργειας του συσσωρευτή προς τον όγκο και το βάρος του, η οποία είναι πολύ χαμηλή σε σχέση με τη βενζίνη. Για παράδειγμα, 1 χιλιόγραμμα βενζίνης έχει ειδική ενέργεια της τάξεως των 12.000 Wh. Αντίθετα 1 χιλιόγραμμα από τον καλύτερο συσσωρευτή Λιθίου έχει ειδική ενέργεια της τάξεως των 300-500 Wh. Σήμερα, αν και η πυκνότητα ενέργειας έχει βελτιωθεί σημαντικά σε ορισμένα πειραματικά μοντέλα συσσωρευτών, εξακολουθεί να παραμένει ένα από τα βασικά μειονεκτήματα αυτών των στοιχείων αποθήκευσης.

Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα είναι η διάρκεια φόρτισης των συσσωρευτών καθώς μια πλήρης επαναφόρτιση διαρκεί κάποιες ώρες. Αντίθετα, ένα συμβατικό όχημα χρειάζεται ελάχιστο χρόνο για τον εφοδιασμό του με υγρά καύσιμα.

Αρνητικό παράγοντα αποτελεί επίσης η μικρή διάρκεια ζωής τους (περίπου 5 χρόνια όπως σε όλες τις ηλεκτρονικές συσκευές). Αν συνδυαστεί με το μεγάλο κόστος των καινούριων συσσωρευτών, προκαλείται μια οικονομική δυσχέρεια που επηρεάζει αισθητά το συνολικό κόστος του ηλεκτρικού οχήματος.

Βασικό μειονέκτημα αποτελεί και η ασφάλεια των συσσωρευτών, οι οποίοι μπορεί να τραυματίσουν σοβαρά τους επιβάτες από έκρηξη ή ανάφλεξη σε περίπτωση ατυχήματος ή βλάβης, ενώ σε περίπτωση κακής μόνωσης υπάρχει κίνδυνος ηλεκτροπληξίας.

Σημαντικός ανασταλτικός παράγοντας στη χρήση των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων μέχρι σήμερα είναι η περιορισμένη αυτονομία τους. Η απόσταση ταξιδιού μεταξύ κάθε επαναφόρτισης της μπαταρίας στο παρελθόν περιοριζόταν σε 100 km, ωστόσο με τα πιο σύγχρονα μοντέλα επιτυγχάνονται αυτονομίες που ξεκινούν από 130 έως 150 km στα αυτοκίνητα πόλης. Μάλιστα φτάνουν στα 250-300 km ή και παραπάνω για αυτοκίνητα μεγάλης ισχύος, με μεγαλύτερο όγκος και βάρος συσσωρευτών.

Την κατάσταση χειροτερεύει η δυσκολία πρόσβασης σε φορτιστή, σε αντίθεση με τους σταθμούς καυσίμων που συναντάμε παντού. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με τους φορητούς φορτιστές ή τους σταθμούς φόρτισης, που πλέον συναντάμε όλο και συχνότερα σε πόλεις του εξωτερικού.

Επίσης, το ηλεκτρικό όχημα έχει μικρότερες επιδόσεις από το συμβατικό, εξαιτίας της φύσης των συσσωρευτών, που δεν ευνοούν τις απότομες μεταβολές ταχύτητας ούτε τις μεγάλες τελικές. Μάλιστα, τη διάρκεια της μπαταρίας επηρεάζουν αρκετά και παράγοντες που μέχρι τώρα δεν λαμβάνονταν τόσο υπ' όψη, όπως η συνεχής οδήγηση σε ανηφόρες και η υπερβολική χρήση των βοηθητικών ηλεκτρικών υποσυστημάτων (κλιματισμός, θέρμανση, υαλοκαθαριστήρες, ραδιόφωνο, ηλεκτρικά παράθυρα κλπ). Μπορούμε να μιλάμε μέχρι και για συνολική αλλαγή στις συνήθειες οδήγησης. Αυτό μπορεί αρχικά να ξενίσει κάποιους οδηγούς, αλλά σαν γενικό αποτέλεσμα η κυκλοφορία θα είναι πιο ομαλή και τα τροχαία ατυχήματα θα μειωθούν.

Σαν τελευταίο μειονέκτημα αναφέρεται το κόστος αγοράς ενός ηλεκτρικού οχήματος σήμερα, συγκρινόμενο με ένα συμβατικό. Και αναφέρεται σαν τελευταίο, επειδή σε πολλές χώρες του κόσμου δίνεται επιχορήγηση για την αγορά του, ενώ οι τιμές αναμένεται να πέσουν αισθητά τα επόμενα χρόνια.



## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> Συμπεράσματα- Προτάσεις

Σε μια χρονική περίοδο όπου η προστασία του περιβάλλοντος και η εξοικονόμηση ενέργειας προκαλούν έντονη ανησυχία, η ανάπτυξη υβριδικών, ηλεκτρικών και οχημάτων κυψελών καυσίμου έχει επιταχυνθεί. Η ύπαρξη εμπορικά βιώσιμων ηλεκτρικών και υβριδικών ηλεκτροκίνητων οχημάτων γίνεται πραγματικότητα με δεδομένο ότι αυτά τα οχήματα είναι πλέον διαθέσιμα στην αγορά. Οι πρόσφατες εξελίξεις, μάλιστα στα ηλεκτρικά συστήματα μετάδοσης κίνησης και στις τεχνολογίες μπαταριών καθιστούν την ανάπτυξη τέτοιων οχημάτων τεχνικά και εμπορικά πιο ισχυρή.

Αναφορικά με το ηλεκτρικό όχημα, το μέλλον του προδιαγράφεται αρκετά θετικό λόγω και της ανάπτυξης της τεχνολογίας τόσο των τρόπων τροφοδοσίας αυτού όσο και των ηλεκτροκινητήρων. Εξάλλου το συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για το ηλεκτρικό όχημα αποτελεί από μόνο του σημαντική εγγύηση για την μελλοντική του πορεία.

Πιθανά προβλήματα που σχετίζονται με την περιορισμένη αυτονομία κινήσεως καθώς και ο αυξημένος χρόνος φόρτισης των συσσωρευτών του ηλεκτρικού οχήματος αντιμετωπίζονται με τη χρήση του υβριδικού οχήματος, που θεωρείται ενδιάμεσο βήμα στη μετάβαση από το συμβατικό στο ηλεκτρικό όχημα.

Από πλευράς κόστους, το αρχικό υψηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας του ηλεκτρικού οχήματος το οποίο είναι με τη σειρά του ένα πρόβλημα στη διείσδυση του στην αγορά, βρίσκει ως λύση σίγουρα τη ζήτηση, διότι το κόστος του είναι αντιστρόφως ανάλογο του αριθμού παραγωγής και κυκλοφορίας του. Με βάση τα δεδομένα ήδη η παγκόσμια αγορά έχει στραφεί στο ηλεκτρικό αυτοκίνητο με όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον, ενώ οι τάσεις σε διεθνές επίπεδο φανερώουν μεγάλη διείσδυση ηλεκτρικών αυτοκινήτων τα επόμενα έτη.

Από άποψη σχεδιασμού, οι προσπάθειες εστιάζουν στη μείωση του βάρους, του όγκου και του κόστους ώστε να επιτευχθούν τα επιθυμητά επίπεδα ως προς την επίδοση και την απόδοση. Έτσι, κάνοντας μια καλύτερη μελέτη σχεδιασμού του οχήματος με βελτιστοποιημένη στρατηγική ελέγχου για τα διάφορα είδη προτύπων οδήγησης και την επιλογή κατάλληλων στοιχείων, μπορεί να επιτευχθεί καλύτερη ενεργειακή απόδοση.

Από την άλλη, οι τεχνολογικές προκλήσεις του μέλλοντος συνδέονται κυρίως με τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, τους ηλεκτρικούς κινητήρες καθώς και τα ηλεκτρονικά ισχύος. Συνοπτικά, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας θα πρέπει να έχουν ικανοποιητικά χαρακτηριστικά ως προς την πυκνότητα ενέργειας και την ειδική ισχύ.

Ακόμη, βελτιώσεις απαιτούνται στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας καθώς και τον αριθμό των κύκλων βαθιάς εκφόρτισης και στην απόδοση φόρτισης/εκφόρτισης.

Ως προς τους ηλεκτρικούς κινητήρες, οι προκλήσεις σχετίζονται άμεσα με το μικρό βάρος, το μεγάλο εύρος ταχυτήτων, την υψηλή αποδοτικότητα, τη μέγιστη ροπή και τη διάρκεια ζωής. Ταυτόχρονα, για κινητήρες τέτοιου τύπου θα πρέπει να αναπτυχθούν και οι κατάλληλοι ελεγκτές για την εύρωστη λειτουργία του οχήματος.

Η ηλεκτροκίνηση είναι περιβαλλοντικά πιο φιλική από την χρήση συμβατικών οχημάτων, ωστόσο αυτό δεν αποτελεί ακόμα την τέλεια λύση, καθώς εξαρτάται από το ενεργειακό μείγμα του συστήματος από το οποίο απορροφά ενέργεια το ηλεκτρικό αυτοκίνητο (π.χ. λιγνιτικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος). Ακόμη σημαντικός είναι ο ρόλος της ηλεκτροκίνησης στην μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο ιδίως όταν η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται μπορεί να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ).

Στην Ελλάδα θα ήταν εύκολο να επωφεληθούμε από τη μείωση των εκπομπών στην ηλεκτροκίνηση αν η ηλεκτρική ενέργεια που φορτίζει τους συσσωρευτές των ηλεκτροκίνητων οχημάτων προέρχεται αποκλειστικά από ΑΠΕ. Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι το ηλεκτρικό όχημα με συσσωρευτή, ως μονάδα διεσπαρμένης αποθήκευσης ενταγμένη σε ένα «έξυπνο» δίκτυο, μπορεί αφενός να λειτουργήσει ως κρίκος μεταξύ ΑΠΕ και δικτύου, αφετέρου να συμβάλλει κατά αξιόπιστο τρόπο στη μείωση της αιχμής ζήτησης, ενισχύοντας την ίδια στιγμή και την αξιοπιστία του δικτύου. Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να βρει εφαρμογή στα μη διασυνδεδεμένα ελληνικά νησιά, με αποτελέσματα τη μείωση των εκπομπών, την αξιοπιστία του δικτύου, αλλά και την οικονομική ελάφρυνση του καταναλωτή.

Τέλος, σημαντικός είναι ο ρόλος της Πολιτείας, που είναι αυτή η οποία θα πρέπει να βοηθήσει προκειμένου να διευκολύνει τη διεύθυνση «πράσινων» αυτοκινήτων θεσπίζοντας πρόσθετα μέτρα, όπως την εφαρμογή προγράμματος απόσυρσης με συνδυασμό επιδοτούμενης αγοράς υβριδικού ή ηλεκτρικού αυτοκινήτου, οργάνωση δημόσιου δικτύου φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων, μετατροπή δημόσιων και δημοτικών οχημάτων σε υβριδικά ή αγορά νέων ηλεκτρικών οχημάτων καθώς επίσης ειδική τιμολογιακή πολιτική και ελαφρύνσεις για τους κατόχους ηλεκτρικών οχημάτων.

Επίσης, θα πρέπει να καλλιεργηθούν συνθήκες ευαισθητοποίησης των πολιτών σε θέματα εξοικονόμησης ενέργειας και προστασίας του περιβάλλοντος και επομένως αναδιάταξης των προτεραιοτήτων τους στον πίνακα των κριτηρίων με τα οποία αποφασίζουν την αγορά νέων αυτοκινήτων ή την απόσυρση των παλαιών.

## Βιβλιογραφία

- [1]. “Electric cars will come of age in 2018”, The Economist (October 2017), New York
- [2]. <http://www.tosynergeio.gr/autokinisi/yvridika-ilektrika-oximata>
- [3]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_warming](https://en.wikipedia.org/wiki/Global_warming)
- [4]. U.S. Energy Information Administration, Washington DC 20585 ([www.eia.gov](http://www.eia.gov))
- [5]. Samuel A. Van Vactor “Electric Vehicles and Peak Oil Demand” Developing & Delivering Affordable Energy in the 21st Century, 2008
- [6]. Organization of the Petroleum Exporting Countries, Helderstorferstrasse 17, Vienna, Austria ([www.opec.org](http://www.opec.org))
- [7]. “Wikipedia” | The electric vehicle [https://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle)
- [8]. R. Matulka, 15 September 2014 <http://energy.gov/articles/history-electric-car>
- [9]. Quiroga, Tony (August 2009). "Driving the Future". Car and Driver (Hachette Filipacchi Media U.S., Inc.): pp. 52
- [10]. Taylor, Michael (April 24, 2005) “Owners charged up over electric cars, but manufacturers have pulled the plug”. San Francisco Chronicle
- [11]. Global EV Outlook 2015, International Energy Agency ([www.iea.org](http://www.iea.org)) 9 rue de la Fédération, Paris
- [12]. “Smart Grid Insights:V2G”, July 2010 by Zpryme
- [13]. [www.autotriti.gr](http://www.autotriti.gr), 30/09/2009

- [14]. EDGAR database, Netherlands Environmental Assessment Agency, European Commission, 2015
- [15]. Who Killed the Electric Car? (documentary), director Chris Payne, Sony Pictures Home Entertainment, November 2006
- [16]. <http://ev-cars.ru/node/47>
- [17]. California Air Resources Board, Kalhammer, F.R. et al. «Status and prospects for zero emissions vehicle technology», Report of the ARB independent expert panel, Sacramento 2007
- [18]. Νικόλαος Δ. Νικολακόπουλος, Ανασκόπηση τεχνολογίας σύνδεσης οχημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο (Vehicle to Grid - V2G), Διπλωματική εργασία, Μάιος 2012
- [19]. <http://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-plug-in-electric-vehicles-2017>
- [20]. <http://myrenaultzoe.com/index.php/zoe-description/>
- [21]. Stephen J. Chapman, Ηλεκτρικές Μηχανές AC-DC, 3η Έκδοση, Α. Τζιόλα
- [22]. <https://www.tesla.com/blog/induction-versus-dc-brushless-motors>
- [23]. <https://www.arval.be/nl>
- [24]. <http://www.electricecocars.com/2017-tesla-model-s-review-price/>
- [25]. <https://www.tesla.com/models>
- [26]. <http://www.motortrend.com/cars/chevrolet/volt/2018/>
- [27]. <https://www.caranddriver.com/reviews/2017-ford-fusion-energi-plug-in-hybrid-first-drive-review>

- [28]. <https://www.cars.com/reviews/our-view-2017-ford-fusion-energi-1420692080242/>
- [29]. <https://www.billmraefordjacksonville.com/showroom/2018/Ford/C-Max%20Hybrid/Hatchback.htm>
- [30]. <http://www.cnn.gr/style/aytokinito/story/111905/ta-plug-in-ilektrika-xeperasan-ta-3-ekatommyria-pagkosmios>
- [31]. M. Ehsani, “Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory and Design”, CRC Press LLC, USA, 2005.
- [32]. <https://www.bloomberg.com/graphics/2017-lithium-battery-future/>
- [33]. <https://insideevs.com/weather-impact-tesla-battery-video/>
- [34]. A. Cooper and P. Moseley, “Progress in the development of lead-acid batteries for hybrid electric vehicles,” in IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC, pp. 1 –6, Sept. 2006
- [35]. K. Yiu, “Battery technologies for electric vehicles and other green industrial projects,” in Power Electronics Systems and Applications (PESA), 2011 4th International Conference on, 2011.
- [36]. Ε.Ι. Ρίκου, «Μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας σε ηλεκτροκίνητα οχήματα», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πάτρα 2005.
- [37]. <https://www.autotriti.gr/magazine/posleitourgei.asp>
- [38]. <http://vehiclestech.blogspot.gr/2011/06/IlektrikoautokinitoElectricvehicleEV.html>

- [39]. Παναγιώτης Βαμβαράκης “Ανασκόπηση τεχνολογιών υβριδικών οχημάτων με ηλεκτροκινητήρα και εμβολοφόρο Μ.Ε.Κ” Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ Σεπτέμβριος 2007
- [40]. [http://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty2/vseo/print.php?page=7448&typ=html](http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=7448&typ=html)
- [41]. <https://myelectriccar.com.au/mitsubishi-miev/>
- [42]. Κωνσταντίνος Λάσκαρης, Σχεδιασμός και Κατασκευή Κινητήρων Μονίμων Μαγνητών για Ηλεκτρικά Οχήματα, Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Ε.Μ.Π, 2011
- [43]. Rohit S. Dhaigude, Javed H. Shaikh, “Battery Management System in Electric Vehicle”, 7<sup>th</sup> International Conference on Recent Trends In Engineering Science & Management 01<sup>st</sup> - 02<sup>nd</sup> April 2017
- [44]. S. Beganović, S. Dacić, Comparison of Dynamic Characteristics of Electric and Conventional Road Vehicles, Green Design Conference Sarajevo, pp 149-156, Bosnia and Herzegovina 2012
- [45]. Swaraj Ravindra Jape, Archana Thosar, Comparison of Electric Motors for Electric Vehicle Application, International Journal of Research in Engineering and Technology, pp 12-17, Vol 6, 2017
- [46]. Lykke M. Iversen, Danish Road Directorate, Measurement of noise from electrical vehicles and internal combustion engine vehicles under urban driving conditions, Oslo, June 2017 <https://www.toi.no/getfile.php/1340825/mmarkiv/Forside%202015/competttoredrag/Lykke%20-Silent%20Urban%20Driving.pdf>
- [47]. <https://www.allpar.com/photos/mopar/dual-clutch/dual-clutch.jpg>
- [48]. <http://www.hybrid-vehicle.org/>

- [49]. Ali Emadi, Young Joo Lee, Kaushik Rajashekara, Power Electronics and Motor Drives in Electric,Hybrid Electric, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 55, No. 6, June 2008
- [50]. <https://www.renewableenergyworld.com/hydrogen/tech.html>
- [51]. <http://mechanic-info.blogspot.gr/2011/12/atkinson-cycle-for-hybrid-car.html>
- [52]. [http://www.toyota-global.com/showroom/toyota\\_design/concept\\_cars/gallery\\_fine\\_t.html](http://www.toyota-global.com/showroom/toyota_design/concept_cars/gallery_fine_t.html)
- [53]. <https://www.popek.gr/index.php/el/times-kafsimon/home>
- [54]. [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity\\_price\\_statistics/el](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics/el)
- [55]. <https://bznotes.files.wordpress.com/2007/04/diesel-hybrid1.jpg>
- [56]. <https://www.fueleconomy.gov/feg/hybrids.jsp>
- [57]. <https://www.edmunds.com/>
- [58]. <https://www.businesswire.com/news/home/20170620006073/en/Google-Patents-Automakers-Connected-Self-Driving-Cars-Oliver>
- [59]. <http://www.fortunegreece.com/article/stin-korifi-ton-pagkosmion-poliseon-i-renault-nissan/>
- [60]. <http://www.insider.gr/>

**ΑΙΓΑΛΕΩ-ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018**