



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ : ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ: ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ :

ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ & ΟΦΕΛΗ



Φοιτητής : Ιωάννης Χρονάκης
ΑΜ : tm 6422

Επιβλέπων Καθηγητής : Δήμητρα Βερνάρδου

Ηράκλειο Μάρτιος 2022

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η έννοια της ηλεκτροκίνησης είναι αρκετά παλιά με αρκετές προσπάθειες να έχουν γίνει τα τελευταία 120 χρόνια ώστε να εφαρμοστεί πρακτικά. Όμως μόλις τα τελευταία χρόνια οι προσπάθειες έχουν αποδώσει με αποτέλεσμα να έχουν δημιουργηθεί αξιόπιστα ηλεκτροκίνητα οχήματα τα οποία χρησιμοποιούνται όλο και πιο συχνά για τις μετακινήσεις.

Στην σύγχρονη εποχή τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν αποτελέσει μία εναλλακτική λύση απέναντι στα συμβατικά οχήματα. Σε παγκόσμιο επίπεδο εδώ και αρκετές δεκαετίες, η ηλεκτροκίνηση είναι αρκετά διαδεδομένη στα μέσα μαζικής μεταφοράς όπως στα τρόλεϊ, τα τραμ, το μετρό και στους υπέργειους αστικούς σιδηρόδρομους. Πρόσφατα όμως ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιούνται τόσο στις διάφορες βιομηχανίες όσο και σε ιδιωτικό επίπεδο για τις μεταφορές.

Πλέον οι κατασκευαστές έχουν δημιουργήσει ένα ευρύ φάσμα ηλεκτροκίνητων οχημάτων τα οποία στα επόμενα χρόνια θα αντικαταστήσουν τα οχήματα με κινητήρες εσωτερικής καύσης. Όμως αρκετά είναι και τα προβλήματα που θα πρέπει να λυθούν ώστε η ηλεκτροκίνηση να πάει ένα βήμα παρακάτω.

Στην παρούσα έρευνα θα μελετηθεί η έννοια της ηλεκτροκίνησης και οι προοπτικές της στην Ελλάδα αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο. Θα αναλυθεί η υφιστάμενη κατάσταση παγκοσμίως αλλά και σε εγχώριο επίπεδο, οι τύποι ηλεκτροκίνητων οχημάτων, τα οφέλη, οι προκλήσεις και τέλος οι προοπτικές για διεύρυνση της χρήσης των ηλεκτροκίνητων οχημάτων.

ABSTRACT

The concept of electric drive is quite old with several attempts made in the last 120 years to be applied in practice. But only in recent years have efforts paid off, resulting in the creation of reliable electric vehicles that are increasingly used for transportation.

In modern times, electric vehicles have become an alternative to conventional vehicles. Globally, for several decades, electric mobility has become quite common on public transport such as trolleys, trams, subways and overground urban railways. Recently, however, electric vehicles are used both in various industries and privately for transportation.

Manufacturers have now created a wide range of electric vehicles which in the coming years will replace vehicles with internal combustion engines. But there are also enough problems that need to be solved for electrification to go one step further.

In the present research will be studied the concept of electromobility and its prospects in Greece but also worldwide. The current situation globally and domestically will be analyzed, the types of electric vehicles, the benefits, the challenges and finally the prospects for expanding the use of electric vehicles.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ABSTRACT.....	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗΣ.....	10
1.1. Τα πρώτα βήματα	10
1.2. Η εξαφάνιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων	14
1.3. Η Πρώτη επανεμφάνιση και η εκ νέου εξαφάνιση.....	15
1.4. Η σύγχρονη επανεμφάνιση.....	17
1.5. Η Ελληνική συμμετοχή στην ιστορία του ηλεκτρικού αυτοκινήτου.....	19
2. ΤΟ ΠΑΡΟΝ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ.....	21
2.1. Υφιστάμενη κατάσταση στον κόσμο (+ μοντέλα που κυκλοφορούν)	21
2.2. Υφιστάμενη κατάσταση στην Ελλάδα.....	25
3. ΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	27
3.1. Αμιγώς ηλεκτροκίνητα οχήματα (Battery Electric Vehicles – BEV)	27
3.2. Υβριδικά οχήματα (Hybrid Electric Vehicles-HEV)	27
3.2.1. Micro – υβριδικά οχήματα (Micro Hybrid Electric Vehicles-S&S).....	28
3.2.2. Ήπια υβριδικά (Mild Hybrid Electric Vehicles-MHEV).....	28
3.2.3. Πλήρως υβριδικά (Full Hybrid Electric Vehicles -FHEV).....	28
3.2.4. Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Αυτοκίνητα (Plug-in Hybrid Electric Vehicles – PHEV).....	29
4. Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ.....	31
4.1. Το σύστημα ηλεκτρικής κίνησης.....	31
4.1.1. Ο ασύγχρονος επαγωγικός κινητήρας	31
4.1.2. Ο σύγχρονος κινητήρας μονίμου μαγνήτη	33
4.1.3. Ο κινητήρας μαγνητικής υστέρησης Ηλεκτροκινητήρες με περιέλιξη σειράς DC	35
4.2. Το σύστημα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας.....	35
4.2.1. Οι μπαταρίες Ιόντων Λιθίου.....	37
4.2.2. Οι μπαταρίες μεταλλικού υβριδίου του νικελίου (NiMH).....	38

4.3.	Το σύστημα των ηλεκτρονικών μετατροπέων και η μονάδα διαχείρισης του οχήματος	39
4.4.	Το σύστημα ανάκτησης ενέργειας	40
4.5.	Φόρτιση συσσωρευτών	41
5.	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ_ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ	44
5.1.	Πλεονεκτήματα	44
5.1.1.	Ατμοσφαιρική ρύπανση	44
5.1.2.	Φαινόμενο θερμοκηπίου	44
5.1.3.	Ανάκτηση και οικονομία ενέργειας	47
5.1.4.	Μείωση εξάρτησης	47
5.1.5.	Τεχνικά πλεονεκτήματα	48
5.1.6.	Οικονομικά πλεονεκτήματα	49
5.1.7.	Άλλα πλεονεκτήματα	49
5.2.	Μειονεκτήματα	49
5.2.1.	Περιορισμένη αυτονομία	49
5.2.2.	Υψηλό κόστος αγοράς	50
5.2.3.	Αντικατάσταση μπαταρίας	51
5.2.4.	Έλλειψη χώρων φόρτιση	51
5.2.5.	Χρόνος φόρτισης	52
6.	ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ	53
6.1.	Οι εξελίξεις στους κινητήρες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων	53
6.2.	Οι εξελίξεις στους συσσωρευτές των ηλεκτρικών αυτοκινήτων	57
6.3.	Οι εξελίξεις στο σύστημα των ηλεκτρονικών μετατροπέων και τη μονάδα διαχείρισης του οχήματος	58
6.4.	Οι εξελίξεις στους σταθμούς φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων	59
6.4.1.	Επαγωγική φόρτιση	60
6.5.	Οι εξελίξεις στις τιμές των ηλεκτρικών αυτοκινήτων	64
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	67

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Αντίγραφο του αυτοκινήτου του Stratingh. [3].....	10
Εικόνα 1.2 : Ένα από τα Ηλεκτρικά αυτοκίνητα του Parker [4]	11
Εικόνα 1.3 : Ηλεκτρικό ταξί Bersey, 1897, σχεδιασμένο από τον Walter Bersey [5]	12
Εικόνα 1.4 : Ford Model T του 1925 (έκδοση Touring) [8].....	15
Εικόνα 1.5 : Το General Motors EV1 [10].....	16
Εικόνα 1.6 : Το GE HTV-1, 1982 [11]	17
Εικόνα 1.7 : Το Tesla Roadster 53kWh του 2008 [14].....	19
Εικόνα 1.8 : Κίτρινο Enfield στην Ερμούπολη της Σύρου [9]	20
Εικόνα 1.9 : Οι μπαταρίες κίτρινου ηλεκτρικού αυτοκινήτου Enfield 8000 [9] ..	21
Εικόνα 2.1 : Το αμιγώς ηλεκτροκίνητο αυτοκίνητο Nissan Leaf. [16].....	24
Εικόνα 2.2 : Το Tesla model S [18].....	25
Εικόνα 3.1 : Το Skoda Octavia iV [22]	30
Εικόνα 4.1 : Τα βασικά συστήματα του ηλεκτρικού αυτοκινήτου [23]	31
Εικόνα 4.2 : Ο επαγωγικός κινητήρας του Tesla Model S. [24]	33
Εικόνα 4.3 : Ο εξελιγμένος κινητήρας μόνιμου μαγνήτη της Porsche Taycan. [25]	34
Εικόνα 4.4 : Μπαταρίες ηλεκτρικού αυτοκινήτου [26]	36
Εικόνα 4.5 : Μπαταρίες ηλεκτρικού αυτοκινήτου [27]	37
Εικόνα 4.6 : Μπαταρία Lithium-Ion [28].....	38
Εικόνα 4.7 : Το σύστημα του inverter / controller [29]	39

Εικόνα 4.8 : Ο τρόπος λειτουργίας της ανάκτησης ενέργειας του ID.4 του 2021. [31]	40
Εικόνα 4.9 : Φορτιστές Tesla [35]	43
Εικόνα 5.1 : Εκπομπές CO ₂ από συμβατικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα. [31]	46
Εικόνα 5.2 : Σταθμός φόρτισης αυτοκινήτων. [40].....	52
Εικόνα 6.1 : Μαγνητική ροή και τα τμήματα μηχανών ακτινικής και αξονικής ροής. [41]	54
Εικόνα 6.2 : Αξονικές ηλεκτρικές μηχανές μονού και διπλού ρότορα. [42]	55
Εικόνα 6.3 : Κινητήρας μονού στάτη-διπλού ρότορα. [44].....	56
Εικόνα 6.4 : Chips από το υλικό silicon carbide (SiC) από την Bosh. [46].....	59
Εικόνα 6.5 : Επαγωγική στατική φόρτιση. [47]	61
Εικόνα 6.6 : Σύστημα στατικής επαγωγικής ηλεκτρικών ταξί στο Όσλο της .Momentum Dynamics [48].....	62
Εικόνα 6.7 : Το σύστημα δυναμικής επαγωγικής φόρτισης της Electreon [49]...	63
Εικόνα 6.8 : Το σύστημα δυναμικής επαγωγικής φόρτισης λεωφορείων της Electreon στο Τελ Αβίβ [50].....	64
Εικόνα 6.9 : Το πρόγραμμα "Κινούμαι Ηλεκτρικά" [51]	65

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1 : Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα του επαγωγικού κινητήρα.....	33
Πίνακας 4.2 : Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα του κινητήρα μόνιμου μαγνήτη..	34
Πίνακας 4.3 : Τα πρότυπα φόρτισης ηλεκτρικού αυτοκινήτου [32].....	42
Πίνακας 5.1 : Αυτονομία μοντέλων ηλεκτρικών αυτοκινήτων [38]	50
Πίνακας 5.2 : Σύγκριση κόστους κτήσης-χρήσης αυτοκινήτων. [39].....	51

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1.1 : Η διακύμανση της τιμής του πετρελαίου 1960-2020 [12].....	18
Γράφημα 2.1 : Ετήσιες Πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων από το 2011-2015 [15]	22
Γράφημα 2.2 : Πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων το 2014 [15]	23
Γράφημα 5.1 : Συμμετοχή ανά καύσιμο στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [37].....	48
Γράφημα 5.2 : Η ροπή σε συμβατικά και ηλεκτρικά οχήματα. [13]	48
Γράφημα 6.1 : Σύγκριση αξονικής και ακτινικής ηλεκτρικής μηχανής. [45]	57

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια, η μεγάλη αύξηση της ζήτησης για ορυκτά καύσιμα, μαζί με τη μείωση της προσφοράς, προκάλεσε ανησυχίες για την περιβαλλοντική ρύπανση και την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού σε παγκόσμια κλίμακα. Ο τομέας των μεταφορών είναι ένας από τους μεγαλύτερους και ταχύτερα αναπτυσσόμενους συνεισφέροντας στη ζήτηση ενέργειας και στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου.

Οι κύριες προκλήσεις στον τομέα των μεταφορών σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα και τις αναμενόμενες υψηλότερες τιμές του πετρελαίου, καθώς και στις σοβαρότερες επιπτώσεις που σχετίζονται με το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Ως εκ τούτου, το θέμα των εναλλακτικών καυσίμων για την κάλυψη της μελλοντικής ενεργειακής ζήτησης του τομέα των μεταφορών έχει αποτελέσει ένα σημείο στο οποίο έχει εστιαστεί η σύγχρονη επιστημονική έρευνα και συζήτηση.

Σε εθνικό αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο υπάρχει στροφή προς πράσινες μορφές ενέργειας, με την μεταβολή αυτή να αντικατοπτρίζεται και στον τομέα των μετακινήσεων. Στην Ελλάδα αλλά και σε όλο τον κόσμο παρατηρείται μία τάση για αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων, για περιορισμό της σπατάλης ενέργειας που επιβάλλεται και από διάφορες περιβαλλοντικές συμφωνίες που έχουν σαν στόχο την μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης.

Στο τομέα των οχημάτων, έχουν δημιουργηθεί μία σειρά από υβριδικά και πλήρως ηλεκτροκίνητα οχήματα τα οποία χρησιμοποιούν ηλεκτρικό ρεύμα για την λειτουργία τους. Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα λειτουργούν αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια ενώ τα υβριδικά οχήματα λειτουργούν τόσο με ηλεκτρική ενέργεια όσο και με άλλες μορφές ενέργειας όπως για παράδειγμα η βενζίνη. Στα πλαίσια αυτά η ηλεκτροκίνηση αποτελεί μία σημαντική εναλλακτική που έχει την δυνατότητα να καλύψει τις ανάγκες της σύγχρονης κοινωνίας για μεταφορές χωρίς όμως να επιβαρύνει το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία, προσφέροντας παράλληλα κι άλλα ακόμα πλεονεκτήματα.

Με τον όρο ηλεκτροκίνηση εννοείται η χρήση ηλεκτρικών αυτοκινήτων, καθώς και ηλεκτρικών ποδηλάτων, μοτοσυκλετών, λεωφορείων και φορτηγών. Το κοινό χαρακτηριστικό όλων αυτών είναι ότι κινούνται πλήρως ή εν μέρει ηλεκτρικά, διαθέτουν μέσο αποθήκευσης ενέργειας επί του σκάφους και αντλούν την ενέργειά τους κυρίως από το ηλεκτρικό δίκτυο.

1. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗΣ

1.1. Τα πρώτα βήματα

Η εφεύρεση του πρώτου ηλεκτρικού αυτοκινήτου δεν μπορεί να αποδοθεί σε ένα συγκεκριμένο εφευρέτη αλλά οφείλεται σε πολλά άτομα.

Το 1828 ο Ούγγρος Άνγος Jedlik κατασκεύασε ένα ηλεκτροκινητήρα με τον οποίο κίνησε ένα μικρό ηλεκτρικό αυτοκίνητο. Ανάμεσα στο 1832 και το 1839, ο Σκοτσέζος Robert Anderson κατασκεύασε μια ηλεκτροκίνητη άμαξα, που λειτουργούσε με μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Το 1834, ο σιδηρουργός Thomas Davenport από το Βερμόντ δημιούργησε μια παρόμοια κατασκευή, η οποία κινούνταν πάνω σε μια μικρή, ηλεκτροδοτούμενη, κυκλική τροχιά. Το ίδιο έτος, ο καθηγητής χημείας και τεχνολογίας Sibrandus Stratingh από την Ολλανδία και ο βοηθός του Christopher Becker από τη Γερμανία κατασκεύασαν στο Groningen ένα μικρό ηλεκτρικό αυτοκινούμενο όχημα που λειτουργούσε με μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Ένα ανασκευασμένο τέτοιο όχημα που είναι αυτό που φαίνεται **Εικόνα 1.1** εκτίθεται σήμερα στο Μουσείο του Πανεπιστημίου του Groningen. [1][2]



Εικόνα 1.1: Αντίγραφο του αυτοκινήτου του Stratingh. [3]

Ο Stratingh βελτίωσε τον ηλεκτρικό κινητήρα του Moritz von Jacobi, ενός μηχανικού από την Αγία Πετρούπολη, ο οποίος είχε ευθύγραμμους μαγνήτες. Ο Stratingh

συνειδητοποίησε ότι μπορούσε να παράγει διπλάσια ποσότητα ενέργειας με καμπυλωτούς μαγνήτες. Το αυτοκίνητο αυτό ζύγιζε περίπου τρία κιλά. Μπορούσε να κινείται για είκοσι λεπτά όταν η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη και να μεταφέρει 1,5 κιλό. [1]

Το 1860 ο Gaston Plante εφηύρε την επαναφορτιζόμενη μπαταρία και τα αμέσως επόμενα χρόνια οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες και ηλεκτροκίνηση θα συνδυάζονταν. [2]

Τον Νοέμβριο του 1881, ο Gustave Trouné παρουσίασε ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο στην Διεθνή Έκθεση Ηλεκτρισμού στο Παρίσι (Exposition internationale d'Électricité de Paris). [1]

Το 1883 ξεκινά ο ηλεκτρικός σιδηρόδρομος του Μπράιτον της Αγγλίας, κατασκευασμένος από τον Μάγκνους Βολκ. Η διαδρομή είναι αρχικά μόλις ένα τέταρτο του μιλίου. Αυτό είναι το πρώτο εμπορικό ηλεκτρικό τραμ. [2]

Το 1884 ο Thomas Parker κατασκεύασε ένα πρακτικό ηλεκτρικό αυτοκίνητο στο Wolverhampton, χρησιμοποιώντας επαναφορτιζόμενες μπαταρίες που είχε σχεδιάσει ο ίδιος. Στην **Εικόνα 1.2** βλέπουμε τον ίδιο τον Parker πάνω σε ένα από τα οχήματά του. [1]



Εικόνα 1.2 : Ένα από τα Ηλεκτρικά αυτοκίνητα του Parker [4]

Το 1886 η NS Possons κατασκεύασε ένα ηλεκτρικό τρίκυκλο για την Brush Electric Co στο Κλίβελαντ του Οχάιο. Διέθετε ηλεκτρικό προβολέα πυρακτώσεως Swan και την επαναφορτιζόμενη μπαταρία της εταιρείας Brush που τροφοδοτούσε έναν κινητήρα Brush.

Το 1886 ο Frank Sprague εφευρίσκει έναν κινητήρα DC υψηλής ροπής. Είναι ικανός για σταθερή ταχύτητα κάτω από ποικίλα φορτία και δεν δημιουργεί σπινθήρες και το 1887 τον χρησιμοποιεί στα πρώτα εμπορικά συστήματα ηλεκτρικών τραμ στη Βόρεια Αμερική, ξεκινώντας από το Richmond της Virginia. Το Flocken Elektrowagen του 1888 σχεδιάστηκε από τον Γερμανό εφευρέτη Andreas Flocken. Το 1890 ο William Morrison κατασκευάζει το πρώτο τετράτροχο ηλεκτρικό οδικό όχημα στην Αμερική για να επιδείξει την μπαταρία του. Το 1895 οι Morris & Salom επινοούν ένα κομψό νέο σχέδιο, το οποίο ονομάζουν Electrobat II. Είναι ελαφρύτερο και έχει κίνηση στους μπροστινούς τροχούς με ανάρτηση σπειροειδών ελατηρίου στους πίσω τροχούς. Μαζί με το ηλεκτρικό Morrison συμμετέχει στον πρώτο αγώνα αυτοκινήτου της Αμερικής, που διεξάγεται στο Σικάγο. [1][2]

Το 1897, στην Αμερική και στην Βρετανία τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα χρησιμοποιούνταν ως ταξί. Στο Λονδίνο τα «Walter Bersey's electric cabs», όπως αυτό στην **Εικόνα 1.3**, ήταν τα πρώτα αυτοκινούμενα ταξί, όταν εκείνη την εποχή τα ταξί ήταν ιππήλατα. Στην Νέα Υόρκη, ένας στόλος 13 ηλεκτρικών ταξί, βασισμένα στο Electrobat II, ήταν μέρος ενός πρότζεκτ χρηματοδοτούμενο από την Electric Storage Battery Company of Philadelphia. [1][2]



Εικόνα 1.3 : Ηλεκτρικό ταξί Bersey, 1897, σχεδιασμένο από τον Walter Bersey [5]

Στα τέλη 19ου και στις αρχές του 20ου αιώνα, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ήταν ο πιο δημοφιλής τύπος αυτοκινήτων. Τα έτη 1899 και 1900 ήταν το απόγειο των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Αμερική, καθώς ξεπέρασαν τις πωλήσεις όλων των άλλων τύπων αυτοκινήτων. Ένα παράδειγμα ήταν το Phaeton του 1902 που κατασκευάστηκε από την Woods Motor Vehicle Company του Σικάγο, το οποίο είχε αυτονομία 18 μίλια, τελική ταχύτητα 14 mph και κόστιζε \$2.000. Αργότερα το 1916, ο Woods εφηύρε ένα υβριδικό αυτοκίνητο που είχε κινητήρα εσωτερικής καύσης και ηλεκτροκινητήρα. [6]

Τα ηλεκτρικά οχήματα είχαν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα τότε αυτοκίνητα εσωτερικής καύσης και τα ατμοκίνητα στις αρχές του 1900.

- Δεν είχαν τους κραδασμούς, τη μυρωδιά και τον θόρυβο που σχετίζονται με τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα .
- Η αλλαγή ταχυτήτων στα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα ήταν το πιο δύσκολο κομμάτι της οδήγησης. Τα ηλεκτρικά οχήματα δεν απαιτούσαν αλλαγές ταχυτήτων. Ενώ τα ατμοκίνητα αυτοκίνητα που επίσης δεν είχαν αλλαγή ταχυτήτων, υπέφεραν από μεγάλους χρόνους εκκίνησης έως και 45 λεπτών τα κρύα πρωινά.
- Τα ατμοκίνητα αυτοκίνητα είχαν μικρότερη αυτονομία πριν χρειαστούν νερό, σε σύγκριση με την αυτονομία ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου με μία μόνο φόρτιση. Οι μόνοι καλοί δρόμοι της περιόδου ήταν στην πόλη, πράγμα που σήμαινε ότι οι περισσότερες μετακινήσεις ήταν τοπικές, μια τέλεια κατάσταση για τα ηλεκτρικά οχήματα, καθώς η αυτονομία τους ήταν περιορισμένη.
- Το ηλεκτρικό όχημα ήταν η προτιμώμενη επιλογή πολλών, επειδή δεν απαιτούσε χειροκίνητη προσπάθεια για να ξεκινήσει, όπως με τη μανιβέλα στα βενζινοκίνητα οχήματα, και δεν υπήρχε πάλη με επιλογέα ταχυτήτων.
- Σε αντίθεση με τα αυτοκίνητα με μηχανή εσωτερικής καύσης, τα ηλεκτρικά ήταν λιγότερο θορυβώδη.

Ενώ τα βασικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα κόστιζαν τότε κάτω από 1.000 δολάρια, τα περισσότερα πρώιμα ηλεκτρικά οχήματα ήταν περίτεχνα και ογκώδη σχεδιασμένα για την ανώτερη τάξη και κόστιζαν κατά μέσο όρο 3.000 \$ μέχρι το 1910. Τα ηλεκτρικά οχήματα γνώρισαν επιτυχία στη δεκαετία του 1910-1920, με την παραγωγή να κορυφώνεται το 1912.

Στις αρχές του 20ου αιώνα υπήρχαν γύρω στα 30.000 ηλεκτρικά αυτοκίνητα.

Οι κυριότεροι κατασκευαστές ηλεκτρικών αυτοκινήτων μέχρι στα μέσα του 20ο αιώνα ήταν οι Anthony Electric, Baker, Columbia, Anderson, Edison, Riker, Milburn, Bailey Electric, Detroit Electric και άλλοι. [2][6]

Έξι ηλεκτρικά αυτοκίνητα κατείχαν το ρεκόρ ταχύτητας στην ξηρά. Ένα από αυτά ήταν το La Jamais Contente, που είχε στο μπροστινό μέρος σχήμα πυραύλου που με οδηγό τον Camille Jenatzy, έσπασε το φράγμα των 100 km/h φτάνοντας την ταχύτητα των 105,88 km/h στις 29 Απριλίου 1899. [7]

1.2. Η εξαφάνιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Σταδιακά μετά το 1920 τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα αρχίζουν να μειώνονται και είχαν σχεδόν εξαφανιστεί μέχρι το 1935. Οι λόγοι που οδήγησαν στην εξαφάνισή τους είναι :

- Το καλύτερο οδικό δίκτυο που αναπτύχθηκε και απαιτούσε οχήματα μεγαλύτερης εμβέλειας.
- Η ανακάλυψη του αργού πετρελαίου του Τέξας μείωσε την τιμή της βενζίνης έτσι ώστε να είναι προσιτή στον μέσο καταναλωτή.
- Η εφεύρεση της ηλεκτρικής μίζας από τον Charles Kettering το 1912 που εξάλειψε την ανάγκη για χειροκίνητο στρόφαλο.
- Η έναρξη της μαζικής παραγωγής οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης από τον Henry Ford που κατέστησε αυτά τα οχήματα ευρέως διαθέσιμα και προσιτά, με εύρος τιμών των \$500 έως \$1.000. Ειδικά το Ford Model T, που μια από τις εκδόσεις του βλέπουμε στην **Εικόνα 1.4**, γνώρισε μεγάλη επιτυχία.
- Αντίθετα, η τιμή των λιγότερο αποδοτικά ηλεκτρικών οχημάτων συνέχισε να αυξάνεται. [7]

Τα χρόνια που ακολούθησαν μέχρι τη δεκαετία του 1960 ήταν νεκρά χρόνια για την ανάπτυξη ηλεκτρικών οχημάτων για τη χρήση τους ως προσωπική μεταφορά.



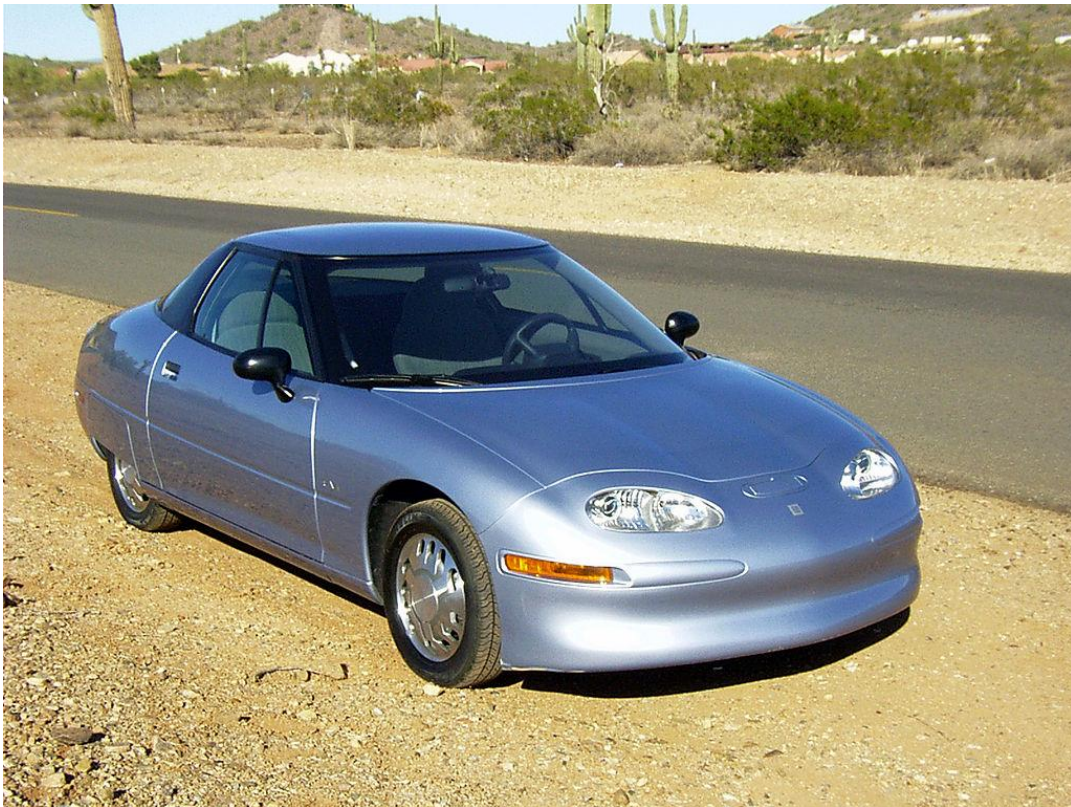
Εικόνα 1.4 : Ford Model T του 1925 (έκδοση Touring) [8]

1.3. Η Πρώτη επανεμφάνιση και η εκ νέου εξαφάνιση

Γύρω στο 1970 Ισραήλ, Αίγυπτος και Σύρια ήταν σε εμπόλεμη κατάσταση. Οι ΗΠΑ στήριζαν το Ισραήλ σε αυτό τον πόλεμο. Το αποτέλεσμα ήταν να επιβληθεί εμπάργκο από τους Άραβες πετρελαιοπαραγωγούς στις ΗΠΑ το 1973. Αυτό ανανέωσε το ενδιαφέρον για εναλλακτικά καύσιμα και τα ηλεκτρικά οχήματα. Σημαντικό ρόλο σε αυτό έπαιξε επίσης και η ατμοσφαιρική ρύπανση από τους κινητήρες εσωτερικής καύσης που έγινε εμφανής και τεκμηριώθηκαν τα προβλήματα που δημιουργούσε στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, ο οργανισμός California Air Resources Board (CARB) άρχισε να απαιτεί αυτοκίνητα με λιγότερους ρύπους, με στόχο αυτοκίνητα με μηδενικούς ρύπους όπως τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων ανέπτυξαν ηλεκτρικά μοντέλα με καλύτερα το Chrysler TEVan, το Ford Ranger EV pickup truck, το GM EV1, το S10 EV pickup, το Honda EV Plus hatchback, το Nissan Altra EV miniwagon και το Toyota RAV4 EV. Ωστόσο, οι μπαταρίες αποδείχτηκαν περιοριστικός παράγοντας. Μέχρι να αναπτυχθούν μπαταρίες υψηλότερης ενεργειακής πυκνότητας στη δεκαετία του 1990, τα αυτοκίνητα έπρεπε να χρησιμοποιούν NiCad ή άλλους τύπους μπαταριών. Αυτές οι μπαταρίες είχαν κακή αναλογία βάρους προς ενέργεια. Το μεγάλο

βάρος και το κόστος των μπαταριών έκανε τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μη πρακτικά για την πλειοψηφία των χρηστών. [7][9]

Για την δεύτερη αυτή εξαφάνιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων κατηγορήθηκαν και οι μεγάλες πετρελαϊκές εταιρίες των οποίων θίγονταν τα συμφέροντα από τα αμιγώς ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Το πιο γνωστό παράδειγμα είναι το General Motors EV1, που βλέπουμε στην **Εικόνα 1.5** και είχαν κατασκευαστεί 1.117 αντίτυπα του από τον Δεκέμβριο του 1996 έως το 1999. Το 2003 η General Motors ακύρωσε το πρόγραμμα EV1 ως μη κερδοφόρο και άρχισε μαζική ανάκληση των αυτοκινήτων, παρά τις αντιδράσεις των πελατών, που τα ήθελαν, και πολλών οικολογικών οργανώσεων. Με εξαίρεση 40 αντίτυπα που δώρισε σε μουσεία και πανεπιστήμια, αφού τα απενεργοποίησε, τα υπόλοιπα κατέληξαν στην πρέσα. Σε ντοκιμαντέρ αμερικανικής παραγωγής 2006 με τον τίτλο «Who killed the electric car?» παρουσιάζονται οι αιτίες και οι πιθανοί υπαίτιοι για τη διακοπή του προγράμματος. Η General Motors κατηγορήθηκε ότι δέχτηκε πιέσεις από τις μεγάλες πετρελαϊκές εταιρίες που σαμποτάριζαν την παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων. [1][2][6][7]



Εικόνα 1.5 : Το General Motors EV1 [10]

Εντωμεταξύ το 1982 ο Andrew Burke ανέπτυξε το GE HTV-1, ως μέρος της «Κοινής Μελέτης Σκοπιμότητας του Υβριδικού Οχήματος» που χρηματοδοτήθηκε από την κυβέρνηση των ΗΠΑ και την GE. Το GE HTV-1 το βλέπουμε στην **Εικόνα 1.6**, και ήταν το πρώτο ελεγχόμενο από υπολογιστή υβριδικό-ηλεκτρικό. Το όχημα αυτό χρησιμοποιούσε έναν υπολογιστή για τον έλεγχο του ηλεκτρικού κινητήρα και του συστήματος ισχύος και διέθετε σύστημα για την επαναφόρτιση των μπαταριών, κάτι που επέτρεψε μεγάλη εξοικονόμηση καυσίμου.. Όλα αυτά ήταν δυνατά επειδή οι υπολογιστές έγιναν αρκετά μικροί και ισχυροί ώστε να μπορούν να τοποθετηθούν σε ένα όχημα. Η παραγωγή του σκόνταψε όμως στην πολιτική της κυβέρνησης Ronald Reagan που με την απελευθέρωση των τιμών του πετρελαίου, άνοιξε πάλι την όρεξη στις πετρελαϊκές εταιρείες. Όταν η GE δεν μπορούσε να πουλήσει το αυτοκίνητο πούλησε την τεχνολογία στην Toyota. [2]



Εικόνα 1.6 :Το GE HTV-1, 1982 [11]

Η Toyota έχοντας πλέον την τεχνολογία κυκλοφόρησε το 1997 το Toyota Prius που έγινε το πρώτο κερδοφόρο υβριδικό αυτοκίνητο στην ιστορία. Το αυτοκίνητο επέτρεπε στους χρήστες να οδηγούν μεγάλες αποστάσεις χρησιμοποιώντας βενζίνη ενώ χρησιμοποιούσαν τον ηλεκτρικό κινητήρα στην πόλη. [2]

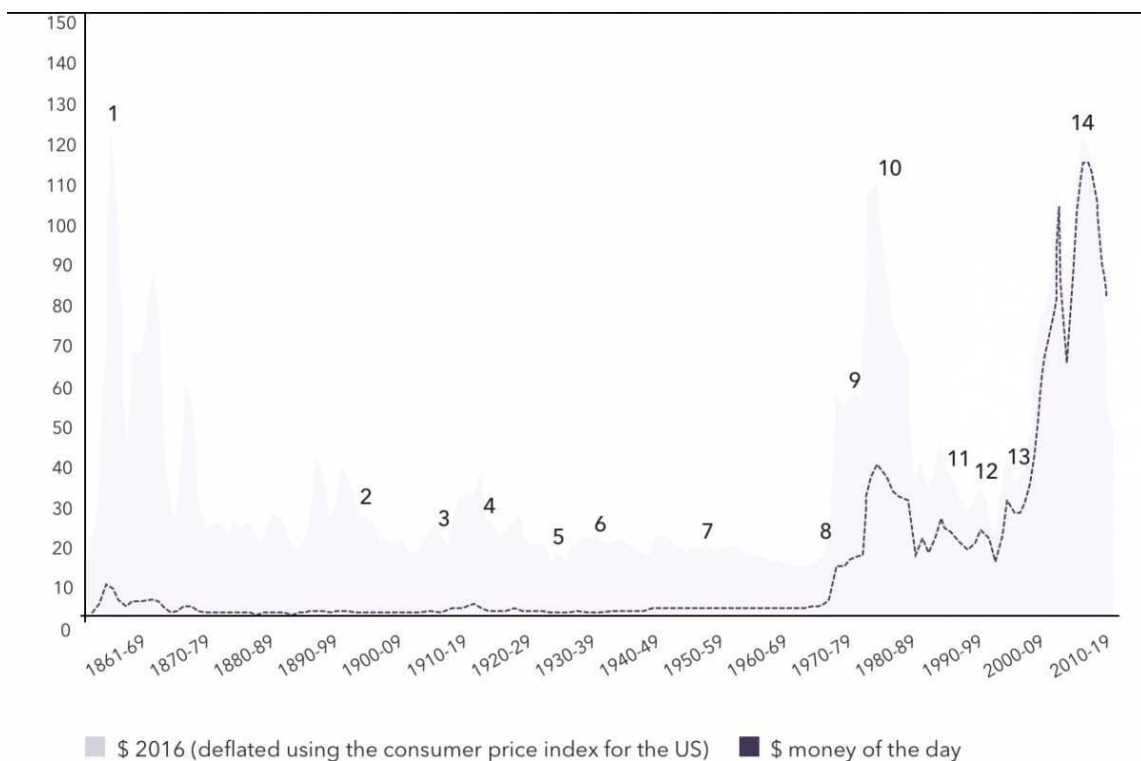
1.4. Η σύγχρονη επανεμφάνιση

Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1990 η τιμή του αργού πετρελαίου κυμάνθηκε γενικά κάτω από \$ 25 το βαρέλι. Από τις αρχές της δεκαετίας του 2000, διάφοροι παράγοντες

όπως η ένταση στη Μ. Ανατολή, η αυξανόμενη ζήτηση από την Κίνα, η πτώση του δολαρίου, η αβεβαιότητα σχετικά με τα παγκόσμια αποθέματα πετρελαίου και τους ρυθμούς εξόρυξης και φυσικά η κερδοσκοπία, προκάλεσαν μια σταδιακή αύξηση της τιμής μέχρι τα \$ 150 / βαρέλι στα μέσα 2008. Στο **Γράφημα 1.1** παρουσιάζεται η διακύμανση της τιμής του πετρελαίου από το 1960 έως το 2020.

Έτσι κατά τη δεκαετία του 2000 αναζωπυρώθηκε πάλι το ενδιαφέρον για τα υβριδικά και τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Οι πωλήσεις του Toyota Prius στην Αμερική εκτοξεύθηκαν, και πολλοί κατασκευαστές άρχισαν να κατασκευάζουν πρωτότυπα ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Λόγω της απροθυμίας των μεγάλων κατασκευαστών να ασχοληθούν και πάλι με την εξέλιξη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου πολλοί νέοι κατασκευαστές εμφανίστηκαν όπως η Reva Electric (Ινδία), η Global Electric Motorcars (GEM, ΗΠΑ), η ElbilNorge AS (Νορβηγία), η Think Global (Νορβηγία) κλπ.



Γράφημα 1.1 : Η διακύμανση της τιμής του πετρελαίου 1960-2020 [12]

Μεταξύ των νέων αυτών εταιρειών ήταν και η Tesla Motors που ιδρύθηκε το 2003 και έβγαλε σε παραγωγή το Tesla Roadster που βλέπουμε στην **Εικόνα 1.7**, το πρώτο ηλεκτροκίνητο μοντέλο της το 2006. Ήταν βασισμένο στη Lotus Elise, και ήταν ένα σπορ αυτοκίνητο με ανάλογες επιδόσεις που το έκανε αγαπητό. Ήταν όμως αρκετά ακριβό με τιμή πώλησης 109.000 \$ στις ΗΠΑ και 99.000€ στην Ευρώπη και με κόστος

αντικατάστασης της μπαταρίας μετά από 7 χρόνια, 36.000\$ ή 12.000\$ με προπληρωμή. Η αυτονομία του ήταν 360-390 km. Παρά το κόστος, κατά την περίοδο 2008 – 2012, οπότε και σταμάτησε η παραγωγή του μοντέλου, πωλήθηκαν 2.500 κομμάτια σε 31 χώρες. Το γεγονός αυτό ώθησε τις μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες να ασχοληθούν ξανά με την ανάπτυξη και εξέλιξη ηλεκτροκίνητων μοντέλων προκειμένου να μην χάσουν πελάτες. Τις περισσότερες πωλήσεις μέχρι σήμερα από αυτή τη νέα γενιά ηλεκτρικών αυτοκινήτων έχουν το Mitsubishi i-MiEV (2009) και τα αδελφάκια του (Peugeot iOn και Citroen S-Zero), το Nissan Leaf (2010), το Tesla Model S (2012), το Renault Zoe (2013), το BMW i3 (2013), και το VW e-Golf (2014). Συγχρόνως οι μεγάλες εταιρείες άρχισαν να αναπτύσσουν και υβριδικά μοντέλα ειδικά στις ακριβές κατηγορίες και σε βαριά αμαξώματα. [6][13]



Εικόνα 1.7 : Το Tesla Roadster 53kWh του 2008 [14]

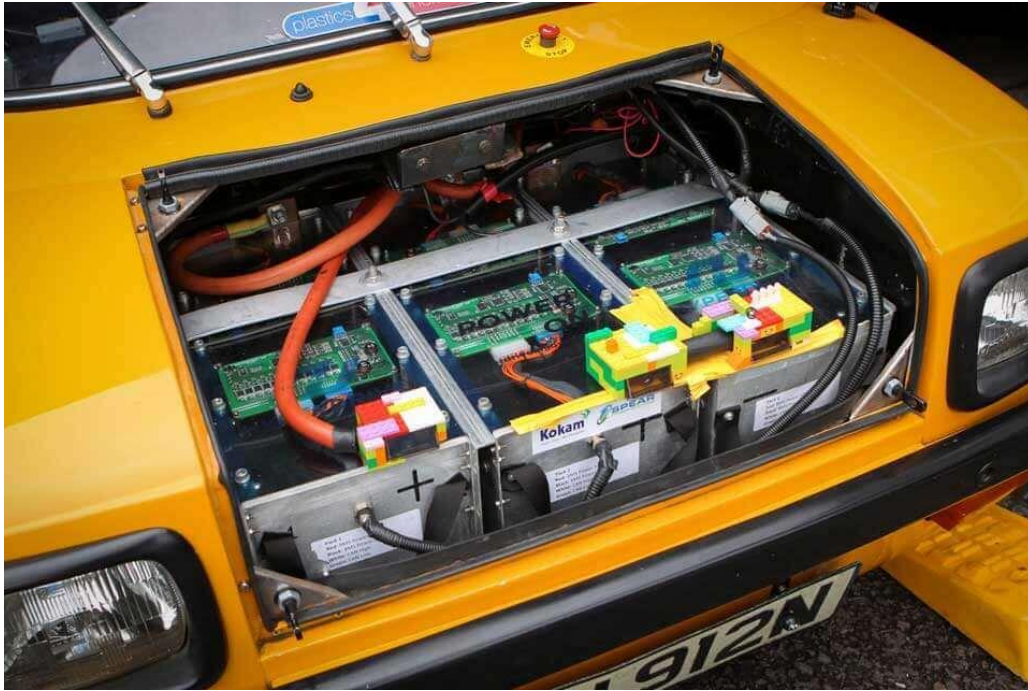
1.5. Η Ελληνική συμμετοχή στην ιστορία του ηλεκτρικού αυτοκινήτου

Το Enfield 8000, είναι το πρώτο ελληνικό ηλεκτρικό αυτοκίνητο που κατασκευάστηκε στη Σύρο το 1973. Το σχεδίασε ο Κωνσταντίνος Αδρακτός στη Βρετανία, στο πλαίσιο ενός διαγωνισμού, και βγήκε και σε μαζική παραγωγή.

Ο Γιάννης Γουλανδρής αγόρασε τη βρετανική εταιρία Enfield, η οποία σχεδίαζε ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Οι εργατικές απεργίες της εποχής είχαν σαν αποτέλεσμα να μην προχωράει η παραγωγή του Enfield 8000 στη Βρετανία οπότε έκλεισε το εργοστάσιο στην Αγγλία και το μετέφερε στη Σύρο. Η παραγωγή του σταμάτησε το 1976. Από τα 120 που παράχθηκαν, σήμερα ένα από αυτά βρίσκεται στο Βιομηχανικό Μουσείο της Ερμούπολης, ενώ κυκλοφορεί πλέον και ένα στους δρόμους της Σύρου και το βλέπουμε στις **Εικόνα 1.8** και **Εικόνα 1.9**. [6]



Εικόνα 1.8 : Κίτρινο Enfield στην Ερμούπολη της Σύρου [9]



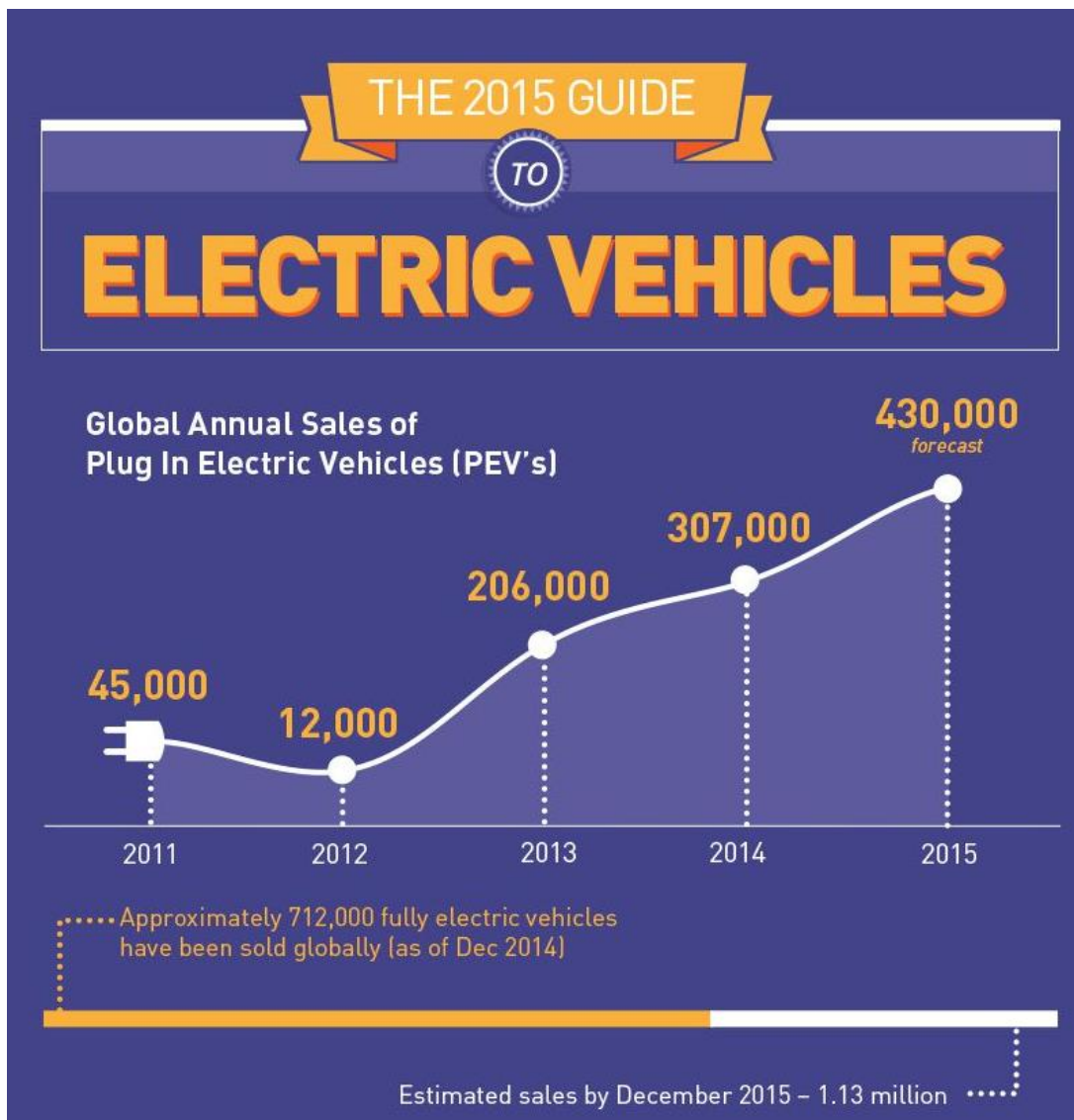
Εικόνα 1.9 : Οι μπαταρίες κίτρινου ηλεκτρικού αυτοκινήτου Enfield 8000 [9]

2. ΤΟ ΠΑΡΟΝ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

2.1. Υφιστάμενη κατάσταση στον κόσμο (+ μοντέλα που κυκλοφορούν)

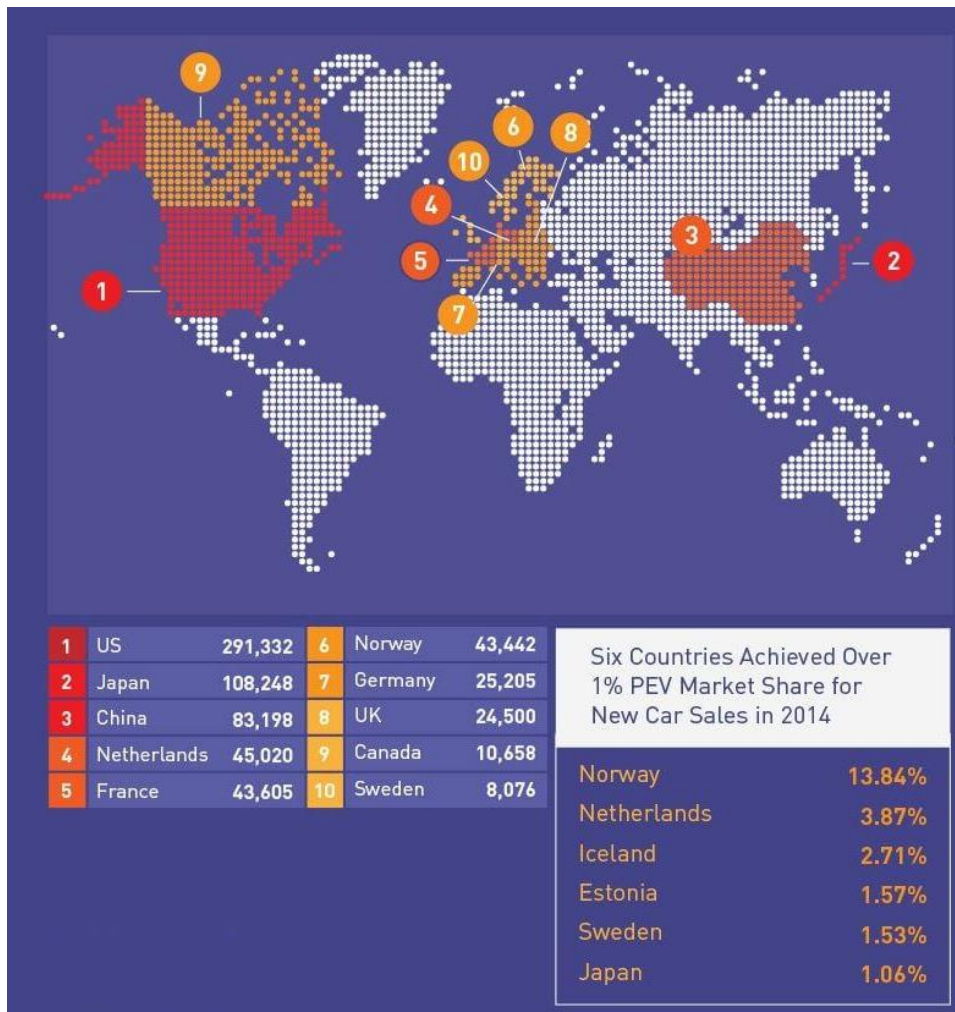
Υπάρχουν περίπου 100 διαθέσιμα ηλεκτρικά μοντέλα στην αγορά και 150 στην κινέζικη αγορά μόνο. Μπορείς να βρεις από μικρά αυτοκίνητα πόλης μέχρι μεγάλα και άνετα SUV και supercars.

Μέχρι το 2015 είχαν κυκλοφορήσει παγκοσμίως πάνω από 1.000.000 υβριδικά / ηλεκτρικά αυτοκίνητα, όπως φαίνεται και από το **Γράφημα 2.1**, εκ των οποίων περισσότερα από τα μισά είναι ηλεκτρικά.



Γράφημα 2.1 : Ετήσιες Πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων από το 2011-2015 [15]

Από το **Γράφημα 2.2** οι αδιαμφισβήτητοι ηγέτες στον όγκο των πωλήσεων ηλεκτρικών αυτοκινήτων για το 2014 είναι οι ΗΠΑ, η Κίνα και η Ιαπωνία . Η κατάσταση αλλάζει άρδην αν αναλύσουμε το ποσοστό αυτών των πωλήσεων σε σχέση με το ΑΕΠ. Σε αυτή την περίπτωση οι ηγέτες είναι: Νορβηγία, Ολλανδία και Ισλανδία. Ενώ οι Ηνωμένες Πολιτείες κατέχουν την πρώτη θέση στις σωρευτικές πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων, η Ευρώπη και η Κίνα ξεπερνούν τις ΗΠΑ σε μηνιαίες πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων. [15]



Γράφημα 2.2 : Πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων το 2014 [15]

Το καλοκαίρι του 2018, ο συνολικός αριθμός των ηλεκτρικών και υβριδικο-ηλεκτρικών αυτοκινήτων που κυκλοφορούν παγκοσμίως, ξεπέρασε τα 4 εκατομμύρια, από τα οποία τα 2,6 εκατομμύρια, δηλαδή το 65%, ήταν αμιγώς ηλεκτροκίνητα. Το Nissan Leaf που το βλέπουμε στην **Εικόνα 2.2**, ήταν το πρώτο σε πωλήσεις διεθνώς ηλεκτρικό αυτοκίνητο, με πάνω από 380.000 αντίτυπα να έχουν πωληθεί διεθνώς έως τον Δεκέμβριο του 2018, ενώ δεύτερο έρχεται το μεγάλο πολυτελές Tesla Model S που φαίνεται στην **Εικόνα 2.2**, με 263.500 αντίτυπα να έχουν πωληθεί διεθνώς έως τον Δεκέμβριο του 2018.



Εικόνα 2.1 :Το αμιγώς ηλεκτροκίνητο αυτοκίνητο Nissan Leaf. [16]

Το Tesla Model 3 είναι το πρώτο σε ετήσιες πωλήσεις διεθνώς ηλεκτρικό αυτοκίνητο το 2018, με πάνω από 145.000 πωλήσεις και το BAIC EC-Series ήταν το δεύτερο με πάνω από 90.000 πωλήσεις. Το Tesla Model 3 είναι το πρώτο σε ετήσιες πωλήσεις διεθνώς ηλεκτρικό αυτοκίνητο από το 2019.

Μια σχετική απήχηση έχουν γνωρίσει και μοντέλα όπως το σπορ Tesla Roadster, το Renault Zoe, τα αυτοκίνητα πόλης Mitsubishi i MiEV, Peugeot iOn και το Citroën C-ZERO, το αυτοκίνητο πόλης BMW i3 κ.α. Στην Ελλάδα έχουν αγοραστεί περιορισμένα αντίτυπα από το ευρύ κοινό.

Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Σύνδεσμο Κατασκευαστών Αυτοκινήτων, το 2,1% των οχημάτων που πουλήθηκαν στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2018 ήταν ηλεκτρικά. Η Νορβηγία ηγείται παγκοσμίως στο μερίδιο αγοράς ηλεκτρικών αυτοκινήτων, με το 5,1% των οχημάτων που βρίσκονται στους Νορβηγικούς δρόμους να είναι ηλεκτρικά. Στις αρχές του 2019 μάλιστα, οι πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων στη Νορβηγία ξεπέρασαν για πρώτη φορά αυτές των βενζινοκινήτων. [17]



Εικόνα 2.2 : Το Tesla model S [18]

Το 2019 πουλήθηκαν 2,2 εκατομμύρια ηλεκτρικά αυτοκίνητα αντιπροσωπεύοντας μόλις το 2,5% των παγκόσμιων πωλήσεων αυτοκινήτων. Το 2020 μπορεί η συνολική αγορά του αυτοκινήτου να συρρικνώθηκε λόγω της πανδημίας αλλά τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα αποτέλεσαν εξαίρεση καταγράφοντας πωλήσεις άνω των 3 εκατομμυρίων αυτοκινήτων και κατακτώντας το 4,1% του συνολικού μεριδίου αγοράς. Το 2021 σύμφωνα οι πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων έφθασαν τα 6,6 εκατομμύρια, αντιπροσωπεύοντας σχεδόν το 9% της παγκόσμιας αγοράς.

Σύμφωνα με υπολογισμούς, σήμερα υπάρχουν περίπου 16 εκατομμύρια ηλεκτρικά αυτοκίνητα στους δρόμους παγκοσμίως, που καταναλώνουν περίπου 30 τεραβατώρες (TWh) ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα συνέβαλαν στην αποφυγή της κατανάλωσης λιπαντικών και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. το 2021. [19]

2.2. Υφιστάμενη κατάσταση στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, το 2021 πουλήθηκαν συνολικά 2.176 ηλεκτρικά μοντέλα, αγγίζοντας πιο το ποσοστό του 3% της ελληνικής αγοράς.

Στην σημαντική αύξηση πωλήσεων των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ελλάδα συνέβαλε το 2021 και η είσοδος στην ελληνική αγορά της αμερικάνικης Tesla, η οποία με το μεσαίο ηλεκτρικό σεντάν Model 3, που είναι το φθηνότερο μοντέλο της, κατάφερε να πάρει την πρώτη θέση της αγοράς με 598 πωλήσεις .

Στη δεύτερη θέση βρέθηκε η Volkswagen, με συνολικά 340 ταξινομήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων με τα μοντέλα ID.3 και ID.4. Την πρώτη τριάδα κλείνει η Peugeot, η οποία ακολουθεί αριθμώντας συνολικά 280 ηλεκτρικά αυτοκίνητα από τις ηλεκτρικές εκδόσεις των Peugeot e-208 και e-2008. Στην τέταρτη θέση βρίσκεται η Fiat, με τις 117 ταξινομήσεις του ηλεκτρικού 500. [20]

Η ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης κυρίως λόγω τη έλλειψης υποδομών φόρτισης καθώς και της έλλειψης εκπαίδευσης σχετικά με τα πλεονεκτήματα των ηλεκτρικών οχημάτων.

Η ΚΟ ΑΒΕΕ, μια εταιρεία του Ομίλου των Ελληνικών Πετρελαίων ξεκίνησε για πρώτη φορά μια προσπάθεια εισαγωγής υποδομής φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων στην Ελλάδα το 2011. Οι σταθμοί φόρτισης είχαν τοποθετηθεί σε τρεις ιδιόκτητους σταθμούς καυσίμων σε συνεργασία με το βοηθητικό πρόγραμμα της ομάδας, Elpedison

3. ΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Σε γενικές γραμμές τα οχήματα μπορούν να διακριθούν σε τρεις ομάδες : οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICEV), υβριδικά οχήματα (HEV) και ηλεκτρικά οχήματα (AEV). [21]

3.1. Αμιγώς ηλεκτροκίνητα οχήματα (Battery Electric Vehicles – BEV)

Τα αμιγώς ηλεκτροκίνητα οχήματα είναι οχήματα που χρησιμοποιούν την ηλεκτρική σαν την μόνη πηγή ενέργειας για τη λειτουργία και κίνηση του οχήματος, που αποθηκεύεται στους επί του οχήματος σε συσσωρευτές και την οποία ανεφοδιάζονται από το δίκτυο ή από κάποια εξωτερική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής. Ένας σημαντικός περιορισμός των BEV είναι ότι το εύρος οδήγησης εξαρτάται από το μέγεθος της μπαταρίας, που με τη σειρά του περιορίζεται από το κόστος και το βάρος.

Το μειονέκτημα των αμιγώς ηλεκτροκίνητων οχημάτων είναι πως μπορούν να ταξιδέψουν μόνο σε μικρές αποστάσεις, πράγμα που περιορίζει την χρήση τους εντός των πόλεων σχεδόν αποκλειστικά.

3.2. Υβριδικά οχήματα (Hybrid Electric Vehicles-HEV)

Τα υβριδικά οχήματα είναι οχήματα που διαθέτουν τόσο κινητήρα εσωτερικής καύσης όσο και ηλεκτρικό κινητήρα για την λειτουργία τους και τα οποία εκτός από τον εφοδιασμό τους με το συμβατικό καύσιμο του θερμικού τους κινητήρα πιθανόν να έχουν επιπρόσθετα τη δυνατότητα να φορτίζουν τους συσσωρευτές τους με ηλεκτρική ενέργεια απευθείας από το δίκτυο ή από κάποια εξωτερική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής.

Ένα υβριδικό ηλεκτρικό όχημα μπορεί να διαθέτει μία ή περισσότερες από τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Start-stop βενζινοκινητήρα
- Ηλεκτρική υποβοήθηση ροπής
- Ανάκτηση ενέργειας (αναγεννητική πέδηση)
- Ηλεκτρική οδήγηση
- Φόρτιση μπαταρίας κατά την οδήγηση
- Φόρτιση μπαταρίας από το δίκτυο

Μία σημαντική παράμετρος που χαρακτηρίζει τη λειτουργία τους είναι ο συντελεστής υβριδοποίησης. Αυτός υπολογίζεται ως ο λόγος της ισχύος του ηλεκτροκινητήρα (ή των ηλεκτροκινητήρων) προς τη συνολικής ισχύος του οχήματος (άθροισμα της ισχύος του

θερμικού κινητήρα και του ηλεκτροκινητήρα ή των ηλεκτροκινητήρων). Έτσι τα υβριδικά οχήματα χωρίζονται σε τρεις υποκατηγορίες:

3.2.1. Micro – υβριδικά οχήματα (Micro Hybrid Electric Vehicles-S&S)

Διαθέτουν σύστημα start-stop. Χρησιμοποιούν έναν μικρό ηλεκτροκινητήρα ο οποίος αντικαθιστά την μίζα και τον εναλλάκτη (το λεγόμενο “δυναμό”). Ο ηλεκτροκινητήρας υποβοηθά τον βενζινοκινητήρα και αναλαμβάνει τις ηλεκτρικές λειτουργίες του αυτοκινήτου όταν δεν υπάρχει φορτίο στον κινητήρα. Για παράδειγμα όταν ο οδηγός δεν πατά καθόλου το γκάζι (στάση ή κατηφόρα) ο βενζινοκινητήρας απενεργοποιείται και αναλαμβάνει να διαχειριστεί τιμόνι-φρένα και υπόλοιπα συστήματα που απαιτούν ενέργεια ο ηλεκτρικός κινητήρας. Όταν το γκάζι πατηθεί ξανά τότε αυτόματα ενεργοποιείται ο κινητήρας εσωτερικής καύσης. Η μπαταρία τους δεν φορτίζει από το δίκτυο αλλά φορτίζει κατά τη διάρκεια της κίνησης του οχήματος και κατά το φρενάρισμα. Ο ηλεκτροκινητήρας τους είναι ισχύος 4kW-6kW και έχουν συντελεστή υβριδοποίησης ενδεικτικά ίσο με 5%. Προσφέρουν μία εκτιμώμενη βελτίωση της κατανάλωσης ίση με 5%-7%.

3.2.2. Ήπια υβριδικά (Mild Hybrid Electric Vehicles-MHEV)

Διαθέτουν όλες τις λειτουργίες ενός Micro Hybrid, και επιπλέον στα Mild Hybrid ο ηλεκτροκινητήρας μπορεί να βοηθήσει κατά την εκκίνηση και την επιτάχυνση του οχήματος. Δεν μπορεί όμως το όχημα να κινηθεί μόνο με τον ηλεκτροκινητήρα και οι μπαταρίες του δεν φορτίζουν από το δίκτυο. Το μεγάλο πλεονέκτημα των ήπιων υβριδικών οχημάτων είναι πως είναι σχετικά οικονομικά, δεν επιβαρύνουν το αυτοκίνητο με μεγάλο επιπλέον βάρος. Διαθέτουν ηλεκτροκινητήρα (ή ηλεκτροκινητήρες) με ισχύ ίση με 10kW – 15kW, συντελεστή υβριδοποίησης ενδεικτικά ίσο με 10% ενώ έχουν μία εκτιμώμενη βελτίωση της κατανάλωσης ίση με 12% – 18%.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα ήπιων υβριδικών αυτοκινήτων είναι τα Suzuki Swift SHVS και Honda CRZ.

3.2.3. Πλήρως υβριδικά (Full Hybrid Electric Vehicles -FHEV)

Η επιπλέον λειτουργία των Full-HEV είναι πως ο ηλεκτρικός κινητήρας και ο κινητήρας εσωτερικής καύσης αλληλοσυμπληρώνονται κατά την διαδικασία της οδήγησης. Όταν το φορτίο είναι μικρό, την κίνηση αναλαμβάνει εξ ολοκλήρου ο ηλεκτροκινητήρας. Όταν παραστεί ανάγκη για παραπάνω δύναμη, ενεργοποιείται ο κινητήρας εσωτερικής καύσης με τον ηλεκτροκινητήρα να λειτουργεί παράλληλα και αναλόγως φορτίου. Αυτό καθιστά

το πλήρως υβριδικό όχημα κατάλληλο και αποτελεσματικό για οδήγηση τόσο σε μεγάλους αυτοκινητόδρομους όσο και σε συνθήκες πόλης. Ταυτόχρονα τα πλήρως υβριδικά οχήματα προσφέρουν το πλεονέκτημα του χαμηλότερου κόστους κατασκευής του κινητήρα και της χρησιμοποιούμενης μπαταρίας. Διαθέτουν ηλεκτροκινητήρα (ή ηλεκτροκινητήρες) με ισχύ ίση με 30kW – 50kW, συντελεστή υβριδοποίησης ενδεικτικά ίσο με 25% και έχουν μία εκτιμώμενη βελτίωση της κατανάλωσης ίση με 20% – 25%.

Το Peugeot 508 Hybrid και DS4/DS5 Hybrid είναι μοντέλα FHEV.

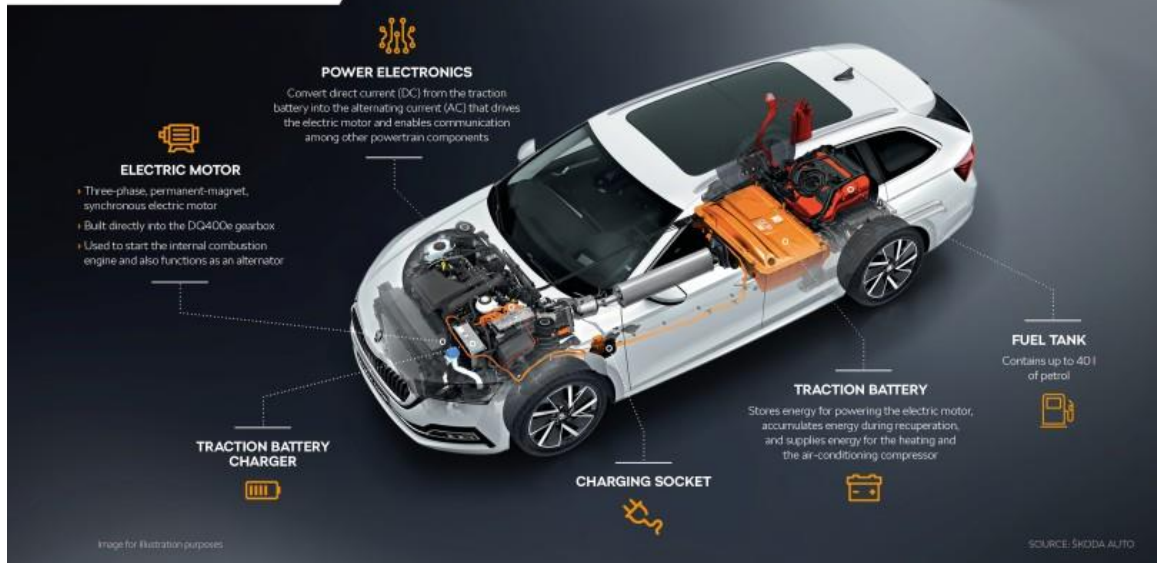
3.2.4. Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Αυτοκίνητα (Plug-in Hybrid Electric Vehicles – PHEV)

Τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEV) είναι το τελευταίο βήμα πριν την αμιγώς ηλεκτρική κίνηση, μεγιστοποιώντας τα οφέλη της συνεργασίας κινητήρα εσωτερικής καύσης και ηλεκτρικού μοτέρ. Οι μπαταρίες των Plug-in υβριδικών μοντέλων είναι αισθητά μεγαλύτερες από εκείνες των απλών υβριδικών, ώστε να μπορούν να συσσωρεύουν αρκετή ενέργεια για να καλύπτουν τα οχήματα για δεκάδες χιλιόμετρα ως αμιγώς ηλεκτρικά με μηδενικές εκπομπές ρύπων. Αυτός ο συνδυασμός μπορεί να μειώσει τους περιορισμούς των ηλεκτροκίνητων οχημάτων επιτρέποντας την χρήση μικρότερων και φθηνότερων μπαταριών και μειώνει την ανάγκη για ύπαρξη υποδομών φόρτισης. Σε αυτήν την περίπτωση ο ηλεκτρικός κινητήρας βρίσκεται μεταξύ του κινητήρα εσωτερικής καύσης και του κιβωτίου ταχυτήτων, οπότε συμβάλλει άμεσα στην αύξηση της απόδοσης στην έξοδο του στροφαλοφόρου άξονα. Η μπαταρία που διαθέτει επαρκεί για 50-70 χιλιόμετρα αυτονομίας, που στην πράξη είναι αρκετά για να καλύψουν τις καθημερινές ανάγκες ενός ευρωπαϊού οδηγού.

Οι μπαταρίες των οχημάτων μπορούν να φορτιστούν είτε από ηλεκτρικές πρίζες του οικιακού δικτύου είτε από σταθμούς φόρτισης. Κατά την διάρκεια της κίνησης μέσα στην πόλη υπάρχει η ανάκτηση ενέργειας, που σημαίνει αποθήκευση της ενέργειας που παράγεται κατά το φρενάρισμα. Σε αυτή την φάση ο ηλεκτρικός κινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια και μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική, η οποία κατόπιν αποθηκεύεται στη μπαταρία. Αυτή η ενέργεια μπορεί στη συνέχεια είτε να χρησιμοποιηθεί κατά την επιτάχυνση, προσφέροντας καλύτερες επιδόσεις, είτε σε καθαρά ηλεκτρική λειτουργία του οχήματος, όταν κάτι τέτοιο είναι η προτίμηση του οδηγού.

Το SEAT Leon e-Hybrid, το Skoda Octavia iV (**Εικόνα 3.1**) και το MINI Countryman Plug-In Hybrid είναι μερικά από τα plug-in υβριδικά που κυκλοφορούν στους δρόμους σήμερα.

THE NEW ŠKODA
OCTAVIA iV



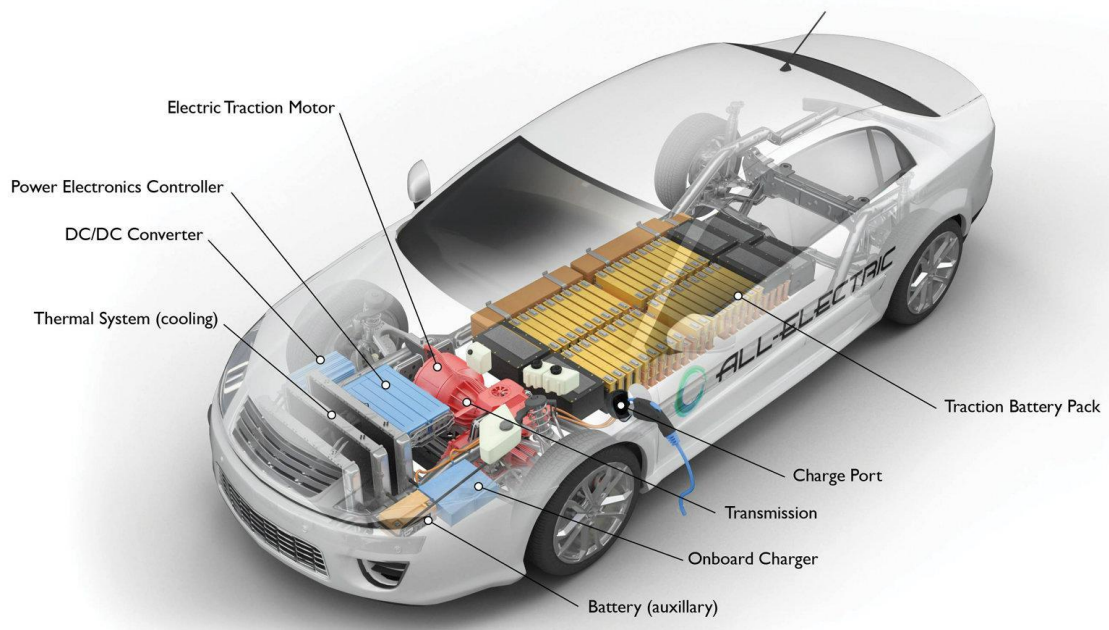
Εικόνα 3.1 : Το Skoda Octavia iV [22]

4. Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

Τα κύρια μέρη από τα οποία αποτελείται ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο είναι:

- Το σύστημα ηλεκτρικής κίνησης
- Το σύστημα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας
- Το σύστημα των ηλεκτρονικών μετατροπών και η μονάδα διαχείρισης του οχήματος

Στην **Εικόνα 4.1** παρουσιάζονται πιο αναλυτικά όλα τα συστήματα και υποσυστήματα ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου.



Εικόνα 4.1 : Τα βασικά συστήματα του ηλεκτρικού αυτοκινήτου [23]

4.1. Το σύστημα ηλεκτρικής κίνησης

Οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα δεν είναι όλοι οι ίδιοι. Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι:

- Ασύγχρονοι επαγωγικοί.
- Μόνιμου μαγνήτη.
- Μαγνητικής υστέρησης.

Σε κάθε περίπτωση η λειτουργία των ηλεκτροκινητήρων είναι αναστρέψιμη και έτσι μπορούν να λειτουργούν και ως γεννήτριες φορτίζοντας την μπαταρία.

4.1.1. Ο ασύγχρονος επαγωγικός κινητήρας

Ο επαγωγικός κινητήρας ανακαλύφθηκε κατόπιν ανεξάρτητων ερευνών από δύο γίγαντες της σκέψης, τον Nikola Tesla και τον Galileo Ferraris. Αν και από ό,τι φαίνεται ο Ιταλός

επιστήμονας τον ανακάλυψε λίγο νωρίτερα (1885) από τον Tesla (1887), εντούτοις ο Tesla ήταν εκείνος που πρώτος κατέθεσε αυτήν την πατέντα. Η χρήση του επαγωγικού κινητήρα είναι γενικευμένη στις μέρες μας.

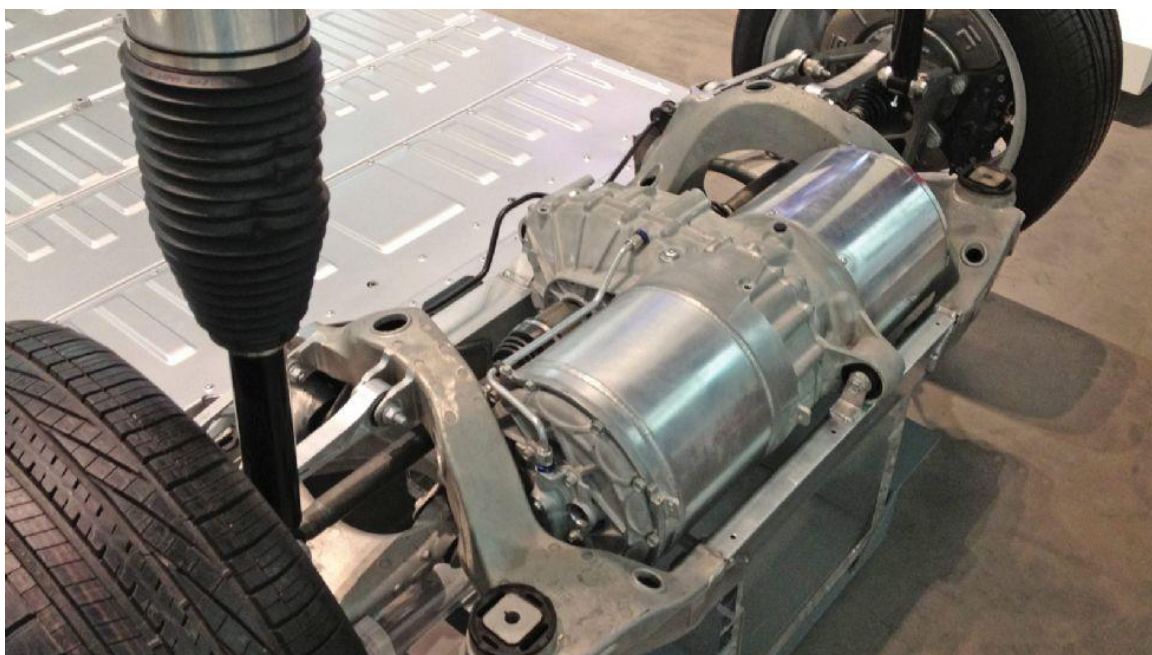
Ο επαγωγικός κινητήρας έχει ένα ακίνητο μέρος που ονομάζεται στάτης και ένα κινούμενο μέρος που ονομάζεται ρότορας. Ο στάτης αποτελείται από έναν ατσάλινο κύλινδρο με εγκοπές μέσα στις οποίες τυλίγεται χαλκός και δημιουργούνται τα πηνία του στάτη. Όταν τα αυτά πηνία τροφοδοτούνται από εναλλασσόμενο ρεύμα δημιουργείται ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του στάτη. Η ταχύτητα περιστροφής αυτού του πεδίου ονομάζεται σύγχρονη ταχύτητα.

Ο ρότορας περιβάλλεται από τον στάτη. Λόγω του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου του στάτη, αναπτύσσεται στον ρότορα ηλεκτρεγερτική δύναμη και ως εκ τούτου επαγωγικά ρεύματα. Λόγω του ρεύματος που διαρρέει τώρα τον ρότορα και του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου του στάτη, αναπτύσσεται δύναμη Lorentz η οποία περιστρέφει τον ρότορα.

Ο κινητήρας ονομάζεται ασύγχρονος γιατί η ταχύτητα περιστροφής του ρότορα είναι πάντα λίγο μικρότερη από εκείνη του του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου του στάτη. Αυτή η διαφορά στην ταχύτητα ονομάζεται ολίσθηση και είναι μέχρι περίπου 5% ανάλογα του κινητήρα.

Ο βαθμός απόδοσης για έναν επαγωγικό κινητήρα είναι περίπου το 90%. Οι ασύγχρονοι ηλεκτροκινητήρες είναι φθηνότεροι απλοί στην κατασκευή και μπορούν να προσφέρουν υψηλότερη ισχύ για αυτό προτιμώνται στα μεγαλύτερα και βαρύτερα αυτοκίνητα. Συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα ενός επαγωγικού κινητήρα παρουσιάζονται στον **Πίνακας 4.1**.

Με ασύγχρονους επαγωγικούς κινητήρες είναι εφοδιασμένα το Tesla Model S (**Εικόνα 4.2**), το Mercedes EQC, το Audi E-Tron και άλλα.



Εικόνα 4.2 : Ο επαγωγικός κινητήρας του Tesla Model S. [24]

ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ	
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
Ικανοποιητικός βαθμός απόδοσης.	Βαρύς και ογκώδης από άλλους τύπους ηλεκτροκινητήρων.
Δεν απαιτεί σπάνιες γαίες για την κατασκευή του.	Μεγαλύτερη ανάγκη ψύξης από άλλους τύπους ηλεκτροκινητήρων λόγω του ότι ο ρότορας διαρρέεται από ρεύμα.
Φθηνός και απλός στην κατασκευή.	Χαμηλότερος βαθμός απόδοσης από άλλους τύπους ηλεκτροκινητήρων.

Πίνακας 4.1 : Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα του επαγωγικού κινητήρα.

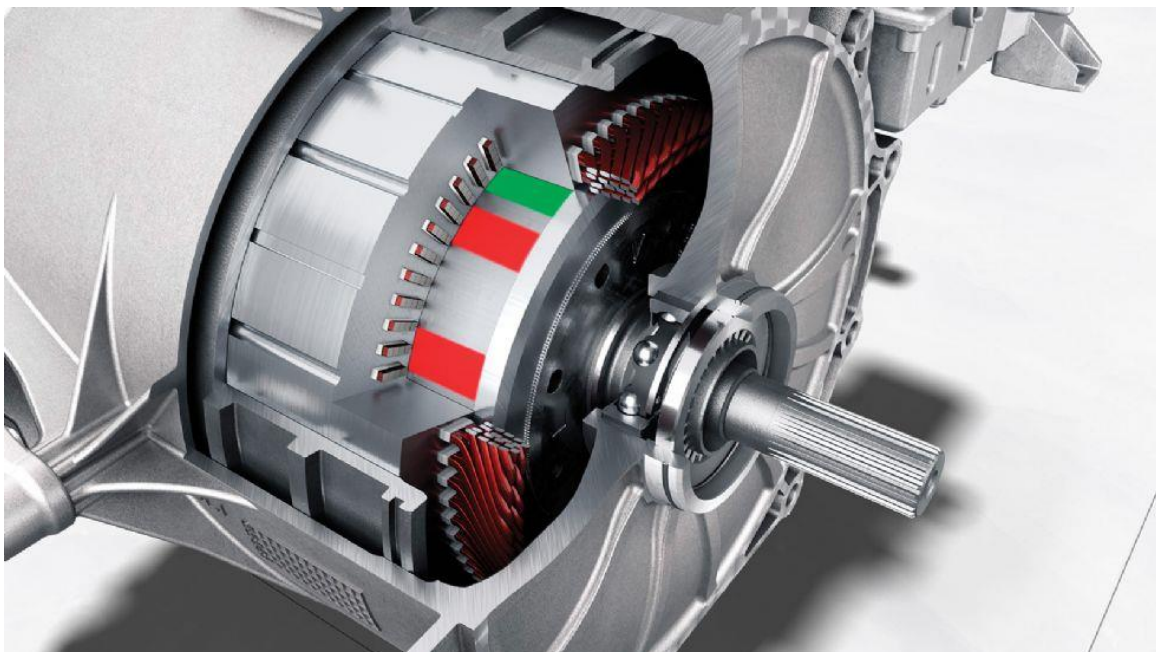
4.1.2. Ο σύγχρονος κινητήρας μόνιμου μαγνήτη

Όπως και οι επαγωγικοί, και οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη, διαθέτουν ρότορα και στάτη αλλά σε έναν μόνιμου μαγνήτη ηλεκτροκινητήρα ο ρότορας αποτελείται από ισχυρούς μαγνήτες νεοδυμίου που ανήκει στις σπάνιες γαίες, καθιστώντας μη αναγκαία την περιέλιξη χαλκού. Οι σπάνιες γαίες βελτιώνουν τον βαθμό απόδοσης του κινητήρα και μειώνουν τις ανάγκες ψύξης του, όμως ανεβάζουν το κόστος του και έχουν και πολιτική

παράμετρο. Ελέγχονται σε μεγάλο βαθμό από την Κίνα. Οι κινητήρες αυτοί είναι σύγχρονοι γιατί το μαγνητικό πεδίο του στάτη και η ταχύτητα περιστροφής του ρότορα δεν παρουσιάζουν ολίσθηση.

Ο κινητήρας μόνιμου μαγνήτη έχει καλύτερο βαθμό απόδοσης από τον ασύγχρονο επαγωγικό που είναι κοντά στο 95% και είναι ελαφρύτερος. Προσφέρει επίσης μεγάλο έλεγχο της ταχύτητα του άξονα του. Συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του σύγχρονου κινητήρα μόνιμου μαγνήτη παρουσιάζονται στον **Πίνακας 4.2**.

Μερικά παραδείγματα οχημάτων με κινητήρες μόνιμου μαγνήτη είναι το Tesla Model 3, η Jaguar i-Pace, το Nissan Leaf, το BMW i3 και το Audi e-Tron το VW id.3, η Porsche Taycan (**Εικόνα 4.3**) και άλλα..



Εικόνα 4.3 : Ο εξελιγμένος κινητήρας μόνιμου μαγνήτη της Porsche Taycan. [25]

ΣΥΓΧΡΟΝΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΜΟΝΙΜΟΥ ΜΑΓΝΗΤΗ	
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
Πολύ καλός βαθμός απόδοσης και για μεγάλο εύρος στροφών	Υψηλό κόστος κατασκευής λόγω των σπάνιων γαιών που απαιτούνται για τον ρότορα
Μειωμένες ανάγκες σε ψύξη	
Υψηλή Ισχύς	

Πίνακας 4.2 : Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα του κινητήρα μόνιμου μαγνήτη.

4.1.3. Ο κινητήρας μαγνητικής υστέρησης Ηλεκτροκινητήρες με περιέλιξη σειράς DC

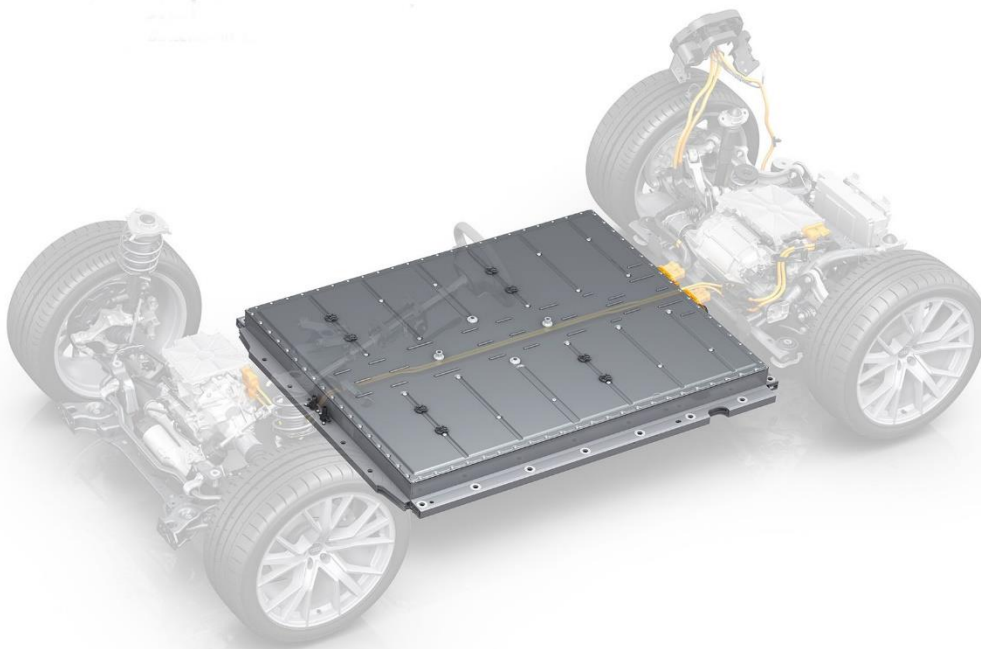
Οι κατασκευαστές γνωρίζουν τα πλεονεκτήματα των κινητήρων μόνιμου μαγνήτη, όμως η ανάγκη για σπάνιες γαίες αποτελεί εμπόδιο για την χρήση τους. Τη λύση στο πρόβλημα των σπανίων γαιών καλούνται να δώσουν οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη μαγνητικής υστέρησης στους οποίους ο ρότορας αποτελείται από έναν δακτύλιο ημιμόνιμου μαγνητικού υλικού όπως χάλυβα υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα. Σε πλήρη ταχύτητα, ο κινητήρας λειτουργεί ως σύγχρονη μηχανή μόνιμου μαγνήτη. Εάν η ταχύτητα μειωθεί τραβώντας τον ρότορα εκτός συγχρονισμού, το πεδίο του στάτη αναγκάζει το υλικό του ρότορα να μαγνητίζεται κυκλικά γύρω από τον βρόχο υστέρησης με αποτέλεσμα ένα πεδίο ρότορα που υστερεί στο πεδίο του στάτη κατά μερικές μοίρες και συνεχίζει να παράγει ροπή. Αυτοί οι κινητήρες παρέχουν καλή ροπή εκκίνησης με πολύ χαμηλό κυματισμό και είναι πολύ αθόρυβοι. Η απόδοσή τους όμως είναι χαμηλή και οι εφαρμογές περιορίζονται σε μικρές ονομαστικές ισχύεις. Τέτοιοι κινητήρες χρησιμοποιούνται από την BMW και την Tesla με κάποιες διαφορές μεταξύ τους. Αυτοί οι τύποι κινητήρα δείχνουν αρκετά υποσχόμενοι και στα επόμενα χρόνια ίσως δούμε περισσότερους από αυτούς, όταν γενικευθεί η ηλεκτροκίνηση.

4.2. Το σύστημα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας

Ένας συσσωρευτής, στην ουσία είναι μια μονάδα αποθήκευσης χημικής ενέργειας, και την αποδίδει με τη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας όταν συνδεθεί σε κάποιο ηλεκτρικό κύκλωμα. Αποτελείται από δυο ηλεκτρόδια που βρίσκονται μέσα σε κάποιο αγώγιμο μέσο, τον ηλεκτρολύτη. Με βάση την σημερινή τεχνολογία και ανάλογα τον τύπο της μπαταρίας, ένας ηλεκτρολύτης μπορεί να είναι υγρός, είτε κάποιας μορφής τζελ ή στερεό υλικό. Τα δύο ηλεκτρόδια χωρίζονται σε άνοδο και κάθοδο, καθώς μεταξύ τους υπάρχει ένα πορώδες τοίχωμα, γνωστό και ως διαχωριστής, προκειμένου να αποφευχθεί το βραχυκύκλωμα. Οι χημικές αντιδράσεις που γίνονται στην μπαταρία, προκαλούν τη συσσώρευση ηλεκτρονίων στην άνοδο και αναπτύσσεται διαφορά δυναμικού μεταξύ ανόδου και καθόδου. Όταν η άνοδος και η κάθοδος συνδεθούν μέσω ηλεκτρικού κυκλώματος αυτό διαρρέεται ηλεκτρικό ρεύμα.

Οι μπαταρίες EV υφίστανται κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης κατά την οδήγηση και κατά την σύνδεσή τους σε σταθμό φόρτισης. Η επανάληψη αυτής της διαδικασίας με την πάροδο του χρόνου επηρεάζει την ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου που μπορεί να συγκρατήσει η

μπαταρία. Αυτό μειώνει το βάθος εκφόρτισης και το χρόνο ζωής της μπαταρίας. Οι περισσότεροι κατασκευαστές έχουν εγγύηση από πέντε έως οκτώ χρόνια για την μπαταρία τους. Ωστόσο, η πρόβλεψη είναι ότι μια μπαταρία ηλεκτρικού αυτοκινήτου θα διαρκέσει από 10 έως 20 χρόνια πριν χρειαστεί να αντικατασταθεί.



Εικόνα 4.4 : Μπαταρίες ηλεκτρικού αυτοκινήτου [26]

Ο τρόπος συνεργασίας μιας μπαταρίας και του ηλεκτροκινητήρα του αυτοκινήτου είναι ο εξής :

- Όταν πατάμε το γκάζι, η μπαταρία τροφοδοτεί αμέσως ρεύμα στον κινητήρα, ο οποίος καταναλώνει σταδιακά την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σε αυτήν.
- Όταν αφήνουμε το γκάζι το αυτοκίνητο αρχίζει να επιβραδύνει και ο κινητήρας λειτουργεί σαν γεννήτρια μετατρέποντας την κίνηση του προς τα εμπρός σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό συμβαίνει πιο έντονα αν πατήσετε τα φρένα. Αυτό το αναγεννητικό φρενάρισμα ανακτά ενέργεια που διαφορετικά θα χανόταν, αποθηκεύοντάς την ξανά στην μπαταρία και βελτιώνοντας έτσι την αυτονομία του αυτοκινήτου.

Τα EV συνήθως χρησιμοποιούν μπαταρίες ιόντων λιθίου λόγω της μεγαλύτερης ενεργειακής πυκνότητάς τους. Άλλοι τύποι μπαταριών που χρησιμοποιούνται είναι οι

μπαταρίες μεταλλικού υβριδίου του νικελίου (NiMH), που έχουν μικρότερη ισχύ προς βάρος σε σχέση με τις μπαταρίες ιόντων λιθίου, άλλα είναι πιο οικονομικές. Μπαταρίες με διαφορετική χημική σύνθεση είναι υπό ανάπτυξη, όπως οι μπαταρίες αέρος-ψευδάργυρου που θα μπορούν να είναι πολύ πιο ελαφριές. Τα EV απαιτούν συστοιχίες μπαταριών που τοποθετούνται κάτω από τον θάλαμο επιβατών του οχήματος, όπως μπορούμε να δούμε στην **Εικόνα 4.4** και στην **Εικόνα 4.5**.



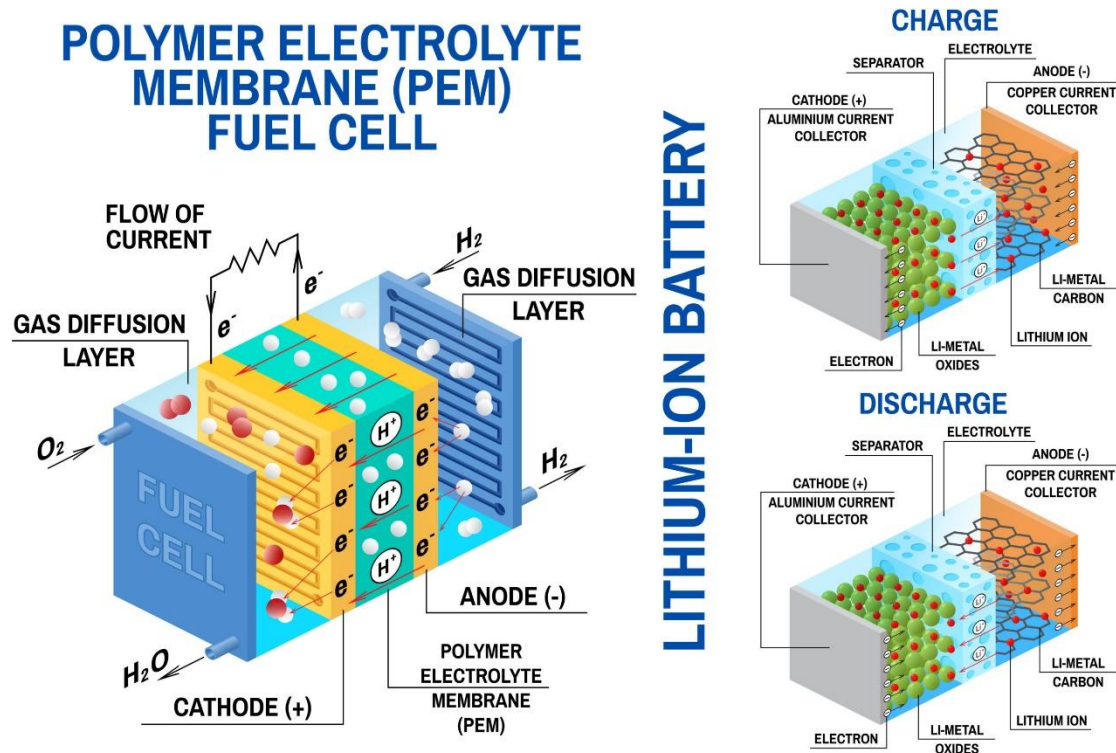
Εικόνα 4.5 : Μπαταρίες ηλεκτρικού αυτοκινήτου [27]

4.2.1. Οι μπαταρίες Ιόντων Λιθίου

Τα στοιχεία των μπαταριών λιθίου, διαθέτουν άνοδο κατασκευασμένη από λίθιο, το οποίο κατά την εκφόρτιση οξειδώνεται, δηλαδή ελευθερώνονται ηλεκτρόνια που ρέουν προς την κάθοδο. Η αντίστροφη διαδικασία συμβαίνει κατά την φόρτιση, ελευθερώνονται ηλεκτρόνια από την κάθοδο που ρέουν προς την άνοδο. Η δομή και η λειτουργίες φόρτισης-εκφόρτισης, μιάς μπαταρίας Ιόντων Λιθίου, φαίνονται παραστατικά στην **Εικόνα 4.6**.

Το μικρό βάρος, η υψηλότερη τάση των στοιχείων (απο 2,90 volt έως 4,20 volt), η μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα, η χαμηλή αυτοεκφόρτιση, η γρήγορη επαναφόρτιση, η αντοχή σε

κυκλικές εφαρμογές και η δυνατότητα πολύμηνης αποθήκευσης, τις καθιστούν κατάλληλες, για χρήση τόσο σε κυκλικές εφαρμογές όσο και σε εφαρμογές εκκίνησης.



Εικόνα 4.6 : Μπαταρία Lithium-Ion [28]

Παρότι φαίνεται να αποτελούν την καλύτερη δυνατή λύση, δεν σημαίνει πως δεν έχουν και σοβαρά μειονεκτήματα. Αρχικά η εξαγωγή των πρώτων υλών για την κατασκευή τους καθώς και η εξόρυξη αυτών είναι πολλές φορές επιβλαβής για το περιβάλλον ή τον άνθρωπο. Οι σημερινές μπαταρίες ιόντων λιθίου χρησιμοποιούν επίσης έναν ηλεκτρολύτη στον οποίο το κύριο συστατικό, είναι το ανθρακικό αιθυλένιο που είναι εύφλεκτο.

Επίσης, η απόρριψη των παραπάνω συσσωρευτών πρέπει να πραγματοποιείται με μεγάλη προσοχή, καθώς τα συστατικά τα οποία αποτελούνται είναι εξαιρετικά αντιδραστικά, πράγμα που τα κάνει τοξικά απόβλητα. Έτσι, η ανακύκλωση των παραπάνω μπαταριών αποτελεί μεγάλη πρόκληση, εξαιτίας του συνδυασμού διαφορετικών πρώτων υλών, ενώ δεν έχει υπάρξει μέχρι σήμερα κάποια διαδικασία που να ανακτά το μεγαλύτερο μέρος τους με χαμηλό κόστος ρύπανσης. Επίσης σε συνθήκες ακραίων θερμοκρασιών είναι αρκετά ευαίσθητες.

4.2.2. Οι μπαταρίες μεταλλικού υβριδίου του νικελίου (NiMH)

Οι μπαταρίες NiMH στο αρνητικό ηλεκτρόδιό τους (άνοδος) χρησιμοποιούν αντί για λίθιο, ένα κράμα από αλόη, βανάδιο, νικέλιο και τιτάνιο έχει την ιδιότητα να απορροφά

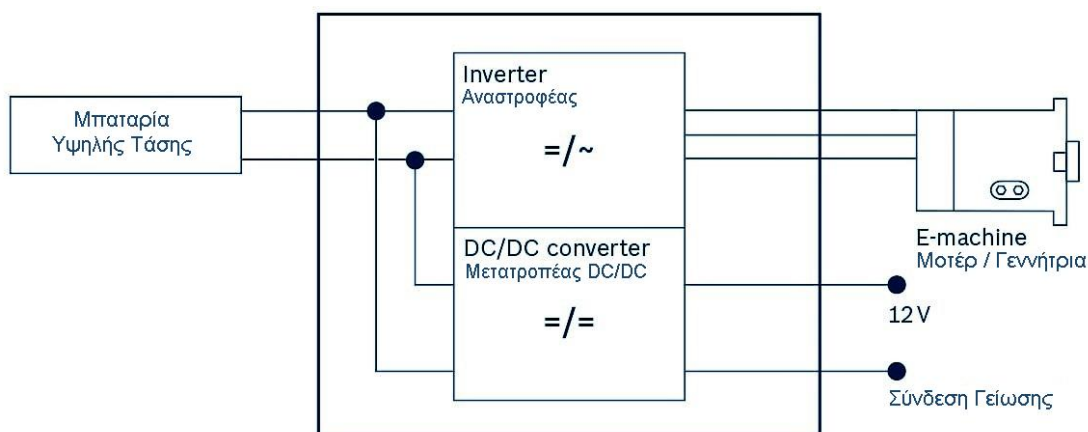
υδρογόνο. Τα πλεονεκτήματά τους είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής, η αξιοπιστία και το μικρότερο κόστος και η μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση σχετικά με τις μπαταρίες Li-ion. Έχει όμως το μειονέκτημα να επηρεάζεται από υψηλές θερμοκρασίες και να απαιτεί ψύξη.

4.3. Το σύστημα των ηλεκτρονικών μετατροπέων και η μονάδα διαχείρισης του οχήματος

Οι κινητήρες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι εναλλασσόμενου ρεύματος ενώ οι μπαταρίες τους μπορούν να δώσουν συνεχές ρεύμα. Το σύστημα των ηλεκτρονικών μετατροπέων και η μονάδα διαχείρισης του οχήματος περιλαμβάνει τα εξής:

- Το σύστημα διαχείρισης φόρτισης της κύριας μπαταρίας από οικιακή πρίζα 220 V ή σταθμούς φόρτισης,
- Τον DC-DC μετατροπέα για τη φόρτιση μιας 12βολτης μπαταρίας που υποστηρίζει όλα τα κύρια και βοηθητικά ηλεκτρικά συστήματα.
- Τον DC-AC (inverter / controller) (**Εικόνα 4.7**) για την τροφοδοσία, τον έλεγχο της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα και τον έλεγχο ανάκτησης ενέργειας.

Ο τρόπος λειτουργίας του inverter / controller για τον έλεγχο του ρυθμού περιστροφής του κινητήρα είναι ο εξής : Το πεντάλ γκαζιού λειτουργεί σαν ποτενσιόμετρο που η τάση εξόδου του αλλάζει ανάλογα με το πάτημα του ποδιού. Αυτή την τάση χρησιμοποιεί σαν τάση ελέγχου ο inverter / controller, και ανάλογα τροφοδοτεί τον κινητήρα.



Εικόνα 4.7 :Το σύστημα του inverter / controller [29]

4.4. Το σύστημα ανάκτησης ενέργειας

Κατά το φρενάρισμα ενός συμβατικού οχήματος η κινητική ενέργεια του μετατρέπεται σε θερμική, που διασκορπίζεται στην ατμόσφαιρα. Σε ένα ηλεκτρικό ή υβριδικό, η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε ρεύμα, που φορτίζει την μπαταρία και στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κίνηση του αυτοκινήτου. Η διαδικασία συνήθως ονομάζεται «αναγεννητική πέδηση». Στα σύγχρονα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, υπάρχει ηλεκτρονική μονάδα που διαχειρίζεται το σύστημα πέδησης. Παίρνει πληροφορία για την πρόθεση του οδηγού να φρενάρι από αισθητήρα που υπάρχει στο πεντάλ του φρένου. Αξιολογεί τη δύναμη που ασκεί ο οδηγός και την ταχύτητα με την οποία πατά στο πεντάλ. Υπολογίζει την τιμή της ροπής πέδησης που πρέπει να δώσει το συμβατικό σύστημα φρένων και αφαιρεί από αυτή την ροπή από την αναγεννητική πέδηση. Σε απλή επιβράδυνση, τα συμβατικά φρένα λειτουργούν ως εφεδρικά, όταν το σύστημα πέδησης με ανάκτηση δεν παρέχει αρκετή ισχύ. Ωστόσο, σε ένα απότομο φρενάρισμα με συμβατικά φρένα, τα τακάκια, παίρνουν το μεγαλύτερο φορτίο. Αυτό συμβαίνει επειδή η ανάπτυξη ροπής πέδησης από τη γεννήτρια αργεί να πάρει μεγάλες τιμές. Το ίδιο ισχύει και σε φρενάρισμα από μεγάλες ταχύτητες, όταν η ισχύς της γεννήτριας δεν επαρκεί από μόνη της. [30]

Στην παρακάτω **Εικόνα 4.8** βλέπουμε το τρόπο λειτουργίας του συστήματος ανάκτησης ενέργειας στο VW-ID4.



Εικόνα 4.8 : Ο τρόπος λειτουργίας της ανάκτησης ενέργειας του ID.4 του 2021. [31]

4.5. Φόρτιση συσσωρευτών

Η διεθνής εμπειρία έχει δείξει ότι το 85% των χρηστών ηλεκτροκίνητων οχημάτων φορτίζουν τα οχήματα στην δική τους κατοικία. Το υπόλοιπο ποσοστό των χρηστών φορτίζουν τα οχήματα στον χώρο εργασίας τους και το μικρότερο ποσοστό φορτίζεται τα οχήματα σε δημόσιους χώρους.

Κατά συνέπεια ένα μεγάλο μέρος του δικτύου δημοσίων σημείων χρέωσης θα μπορούσε να παραμείνει αχρησιμοποίητο και μη οικονομικά βιώσιμο. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι κατά τη διάρκεια της νύχτας μέσω ενός φορτιστή που είναι εγκαταστημένος στο σπίτι του ιδιοκτήτη, ή μέσω ταχυφορτιστών που είναι εγκαταστημένοι σε δημόσιους χώρους και επιχειρήσεις.

Η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC) καθιέρωσε τέσσερις τυποποιημένους τρόπους φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων: [32][33]

- Mode 1 – (AC) Βραδεία φόρτιση από ρευματοδότη γενικής χρήσεως.
Απευθείας από ανεξάρτητη ηλεκτρική γραμμή με καλή γείωση μέσω κλασσικού μονοφασικού ρευματοδότη κατάλληλων προδιαγραφών ασφαλείας και προστασίας.
Η φόρτιση πραγματοποιείται με εύκαμπτο καλώδιο. Ενδείκνυται για οικιακή χρήση.
- Mode 2 – (AC) Βραδεία φόρτιση από ρευματοδότη γενικής χρήσεως με διάταξη προστασίας κατά της ηλεκτροπληξίας (RCD) επί του καλωδίου.
Άμεσα από ανεξάρτητη ηλεκτρική γραμμή με καλή γείωση μέσω κλασσικού ρευματοδότη (μονοφασικού ή τριφασικού) κατάλληλων προδιαγραφών ασφαλείας και προστασίας.
Το εύκαμπτο καλώδιο φόρτισης διαθέτει ειδική συσκευή προστασίας. Υπάρχει δυνατότητα παροχής πληροφοριών της φόρτισης μέσω δυο πρόσθετων αγωγών επικοινωνίας ενσωματωμένων στο καλώδιο σύνδεσης. Ενδείκνυται για οικιακή χρήση.
- Mode 3 – (AC) Από βραδεία έως και ημιταχεία φόρτιση από ειδικό ρευματοδότη.
Έμμεσα από ανεξάρτητη ηλεκτρική γραμμή με καλή γείωση με το καλώδιο παροχής να καταλήγει σε ειδικό σύστημα «σταθμού» φόρτισης κατάλληλων προδιαγραφών ασφαλείας, προστασίας και ελέγχου λειτουργίας.
Το εύκαμπτο καλώδιο φόρτισης είναι μόνιμα συνδεδεμένο στο σύστημα φόρτισης και καταλήγει σε ειδικών προδιαγραφών ακροδέκτες σύνδεσης (μονοφασικούς ή τριφασικούς) με το όχημα. Υπάρχει δυνατότητα παροχής πληροφοριών της φόρτισης μέσω δυο πρόσθετων αγωγών επικοινωνίας ενσωματωμένων στο καλώδιο σύνδεσης.

Ενδείκνυται για οικιακή, και επαγγελματική χρήση (κτίρια γραφείων, ξενοδοχεία κ.λπ.).

- Mode 4 – (DC) Ταχεία/Υπερταχεία φόρτιση από εξωτερικό φορτιστή που παρέχει συνεχές ρεύμα.

Έμμεσα από ανεξάρτητη ηλεκτρική γραμμή με καλή γείωση με το καλώδιο παροχής να καταλήγει σε ειδικό σύστημα «σταθμού» φόρτισης κατάλληλων προδιαγραφών ασφαλείας, προστασίας και ελέγχου λειτουργίας.

Στο σύστημα αυτό φόρτισης, το AC του δικτύου μετατρέπεται σε DC. Το εύκαμπτο καλώδιο φόρτισης είναι μόνιμα συνδεδεμένο στο σύστημα φόρτισης και καταλήγει σε ειδικών προδιαγραφών ακροδέκτες σύνδεσης. Υπάρχει δυνατότητα παροχής πληροφοριών της φόρτισης από το ίδιο το σύστημα.

Ενδείκνυται για επαγγελματική χρήση, κυρίως σε σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.

Μια 8ωρη φόρτιση κατά τη διάρκεια της νύχτας προσφέρει περίπου 65 km αυτονομίας μέσω μιας πρίζας 120 βολτ ενώ μια πρίζα 240 βολτ μπορεί να προσφέρει περίπου 290 km αυτονομίας μέσα στον ίδιο χρόνο

Συνοπτικά τα πρότυπα φόρτισης της IEC φαίνονται στον **Πίνακα 4.3**.

Χαρακτηρισμός φόρτισης	Συμβολισμός	Διάρκεια φόρτισης	Ισχύς [KW]	Ηλεκτρο-δότηση
Αργή AC		(6 ÷ 8) ώρες	3,7	1φ
Γρήγορη AC		(3 ÷ 4) ώρες	7,4 ÷ 22	3φ
Ταχεία AC		(30 ÷ 60) λεπτά	23 ÷ 50	3φ
Ταχεία DC		(20 ÷ 40) λεπτά	50	DC

Πίνακας 4.3 : Τα πρότυπα φόρτισης ηλεκτρικού αυτοκινήτου [32]

Ανά περιοχές στον κόσμο ο τρόπος φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι ίδιος ανάμεσα στις εταιρίες αυτοκινήτων και φορτιστών. Εξαίρεση αποτελούν τα αυτοκίνητα και οι σταθμοί φόρτισης της Tesla στην Αμερική (**Εικόνα 4.9**), όπου χρησιμοποιούν διαφορετικό τρόπο φόρτισης. Η φόρτιση των αυτοκινήτων σε μη Tesla φορτιστές μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση αντάπτορα. [34]



Εικόνα 4.9 : Φορτιστές Tesla [35]

Κάποιες εταιρείες πειραματίζονται με την τεχνολογία αλλαγής μπαταρίας για να μειώσουν το χρόνο αναμονής κατά την διάρκεια της φόρτισης. Ένας ταχυφορτιστής μπορεί να φορτίσει τα περισσότερα αυτοκίνητα στο 80% της χωρητικότητας της μπαταρίας τους μέσα σε 45 με 50 λεπτά. Το τελευταίο 20% παίρνει παραπάνω χρόνο επειδή το σύστημα επιβραδύνει την φόρτιση, ώστε να μην προκληθούν βλάβες στη μπαταρία.

5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ_ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

Προφανώς αυτό που θα καθορίσει το μέλλον των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι το ισοζύγιο μεταξύ πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων που προκύπτουν από μία γενικευμένη χρήση τους.

Σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε σχετικά με τα τεχνολογία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων προκύπτουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα : [36]

5.1. Πλεονεκτήματα

5.1.1. Ατμοσφαιρική ρύπανση

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα δεν παράγουν κανενός είδους ρύπους εξάτμισης κατά τη χρήση τους. Επομένως μπορούμε να πούμε προς το παρόν ότι μειώνουν την ατμοσφαιρική ρύπανση και τα προβλήματα που αυτή προκαλεί στον άνθρωπο και το περιβάλλον, τουλάχιστον για τις περιοχές που βρίσκονται μακριά από τις περιοχές των σταθμών ηλεκτρικής ενέργειας.

5.1.2. Φαινόμενο θερμοκηπίου

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα δεν παράγουν CO₂ που δεν θεωρείται ρύπος αλλά είναι το σημαντικότερο αέριο που συμβάλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επίσης δημιουργούν μικρότερη θερμική επιβάρυνση στον πλανήτη αφού έχουν υπερδιπλάσια απόδοση από τους βενζινοκινητήρες. Ένας βενζινοκινητήρας έχει βαθμό απόδοσης κοντά στο 35% και ένας ηλεκτροκινητήρας πάνω από 90%. Το υπόλοιπο ποσοστό ενέργειας αντιπροσωπεύει κυρίως τις απώλειες σε θερμότητα που διαχέεται στο περιβάλλον και συμβάλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου αλλά και στην διατάραξη της φυσιολογικής θερμοκρασίας σε τοπικό επίπεδο.

Είναι όμως πράγματι οικολογικά τα EV's; Η ουσιαστική διαφορά μεταξύ των συμβατικών και των ηλεκτρικών αυτοκινήτων έχει να κάνει με τον τρόπο αποθήκευσης της χημικής ενέργειας η οποία κατόπιν θα μετατραπεί σε κινητική ενέργεια. Στα συμβατικά αυτοκίνητα, η χημική ενέργεια είναι αποθηκευμένη στο καύσιμο (βενζίνη, πετρέλαιο, αιθανόλη κλπ) και αυτή απελευθερώνεται μέσω καύσης μέσα στον κινητήρα με αποτέλεσμα παραγωγή ρύπων και μεγάλες απώλειες σε θερμότητα. Στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα η χημική ενέργεια είναι αποθηκευμένη σε συσσωρευτές και απελευθερώνεται χωρίς καύση και τις βλαβερές συνέπειές της.

Αυτό όμως δεν σημαίνει πως το ηλεκτρικό αυτοκίνητο είναι οικολογικό μιας και η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο αμάξι πρέπει να έχει παραχθεί από κάποια πηγή ενέργειας, είτε αυτή παράγεται από ορυκτά καύσιμα είτε από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Όταν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να χαρακτηριστούν ως πλήρως οικολογικά.

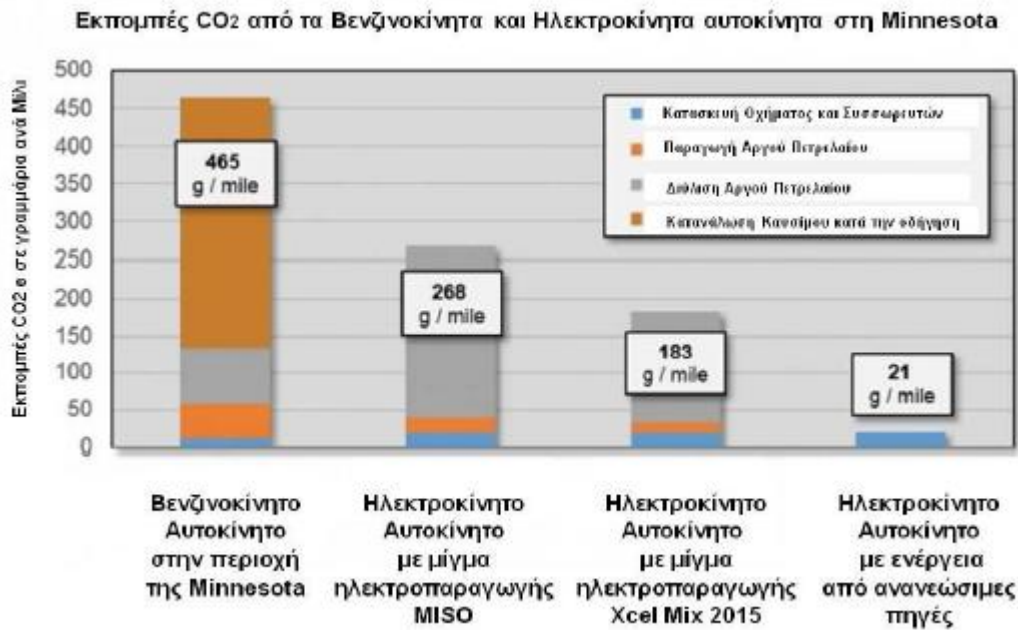
Είναι όμως οικολογικά όταν η ενέργεια που τα ηλεκτρικά αμάξια καταναλώνουν παράγεται από ορυκτά καύσιμα σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής; Δυστυχώς το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται παγκοσμίως προέρχεται από τα ορυκτά καύσιμα κάτι που καθιστά και την ηλεκτροκίνηση ρυπογόνο για το περιβάλλον.

Μια πρόσφατη και εμπειριστατωμένη έρευνα που έγινε προσφάτως αποδεικνύει τις σημαντικά χαμηλότερες εκπομπές CO₂ που προκαλεί η κατασκευή και η χρήση ηλεκτρικών αυτοκινήτων ακόμα και όταν η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται για την κίνησή τους παράγεται με τον πλέον ρυπογόνο τρόπο, όπως συμβαίνει στη Minnesota των ΗΠΑ. [31]

Οι ερευνητές επέλεξαν την Minnesota ως πεδίο, διότι εκεί μείγμα ηλεκτροπαραγωγής στηρίζεται στην αξιοποίηση εξαιρετικά ρυπογόνων καυσίμων όπως είναι ο άνθρακας και το αργό πετρέλαιο που εξάγεται από τα πετρελαιοφόρα αμμώδη κοιτάσματα της Alberta και μάλιστα με χρήση παλαιάς τεχνολογίας και χαμηλής απόδοσης εγκαταστάσεων παραγωγής.

Επελέγη ένα μέσης κατηγορίας βενζινοκίνητο αυτοκίνητο το οποίο σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του διέτρεξε 160.000 μίλια στην περιοχή της Minnesota και το οποίο, βάσει των υπολογισμών των μελετητών, προκάλεσε μέση παραγωγή 465 γραμμαρίων CO₂ για κάθε ένα μίλι που διέτρεξε κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του.

Οι υπολογισμοί στηρίχθηκαν στη γνωστή βάση «wells-to-wheels» που χρησιμοποιείται σε αυτές τις έρευνες και συμπεριέλαβε όλες τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που προκλήθηκαν κατά τις διεργασίες εξόρυξης, μεταφοράς, διύλισης, διανομής και χρήσης του καυσίμου όπως επίσης και εκείνες που προκλήθηκαν κατά την κατασκευή των αυτοκινήτων και των συσσωρευτών τους από την βιομηχανία οχημάτων.



Εικόνα 5.1 : Εκπομπές CO₂ από συμβατικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα. [31]

Οι ίδιες ακριβώς αρχές τηρήθηκαν στη συνέχεια και για τους υπολογισμούς των εκπομπών ενός μέσου ηλεκτροκίνητου αυτοκινήτου με τα ίδια χαρακτηριστικά ανέσεως και μεταφορικής ικανότητας που κινήθηκε στον ίδιο κύκλο ζωής, στην ίδια περιοχή και για τις ίδιες αποστάσεις. Το αυτοκίνητο αυτό για τους σκοπούς της έρευνας χρησιμοποίησε ηλεκτρική ενέργεια από τρία διαφορετικά μείγματα ηλεκτροπαραγωγής.

Όπως βλέπουμε και στην **Εικόνα 5.1** οι μετρήσεις για το CO₂ έδειξαν τα εξής:

- Στην πρώτη και ιδανικότερη περίπτωση το ηλεκτροκίνητο αυτοκίνητο κινήθηκε με ηλεκτρική ενέργεια που προήλθε αποκλειστικά από ανανεώσιμες πηγές. Η ποσότητα CO₂ που υπολογίσθηκε ότι παρήχθη ήταν 21 gr ανά μίλι και είναι κατά 22 περίπου φορές μικρότερη εκείνης των 465 gr ανά μίλι του βενζινοκίνητου αυτοκινήτου.
- Στη δεύτερη περίπτωση το ηλεκτρικό αυτοκίνητο κινήθηκε με την ηλεκτρική ενέργεια που διατίθεται στην περιοχή της Minnesota από τον προμηθευτή Xcel Energy με την ονομασία Xcel Mix 2015. Η ποσότητα CO₂ που υπολογίσθηκε ότι παρήχθη ήταν 183 gr ανά μίλι αντιστοιχεί με μείωση κατά 61% των εκπομπών που παράγονται από το βενζινοκίνητο αυτοκίνητο.
- Στην τρίτη και δυσμενέστατη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε το πλέον ρυπογόνο μείγμα ηλεκτροπαραγωγής όπως είναι εκείνο που διατίθεται από την Midcontinent Independent System Operator (MISO). Η ποσότητα CO₂ που υπολογίσθηκε σε αυτή

την περίπτωση ότι παρήχθη ήταν 268 gr ανά μίλι, και αντιστοιχεί σε μείωση κατά 42% των εκπομπών που παράγονται από το βενζινοκίνητο αυτοκίνητο.

Η συνολική ποσότητα που θα παραχθεί σε ολόκληρη τη διάρκεια ζωής κάθε ενός από τα παραπάνω αυτοκίνητα είναι 74,3 τόνοι για το βενζινοκίνητο, 42,9 τόνοι για το ηλεκτροκίνητο που θα χρησιμοποιήσει το δυσμενέστερο μείγμα ηλεκτροπαραγωγής, 24,1 τόνοι για το ηλεκτροκίνητο που θα χρησιμοποιήσει το ενδιάμεσο μείγμα ηλεκτροπαραγωγής και 3,4 τόνοι για το ηλεκτροκίνητο που θα χρησιμοποιήσει αποκλειστικά ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές.

Ακόμα λοιπόν και με το πλέον ρυπογόνο μείγμα υπάρχει σημαντικότερη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τα 2/3 από εκείνη των βενζινοκίνητων αυτοκινήτων και μπορεί να φτάσει στο 95%, αν το σύνολο της ηλεκτροπαραγωγής ήταν αποκλειστικά στις ανανεώσιμες πηγές..

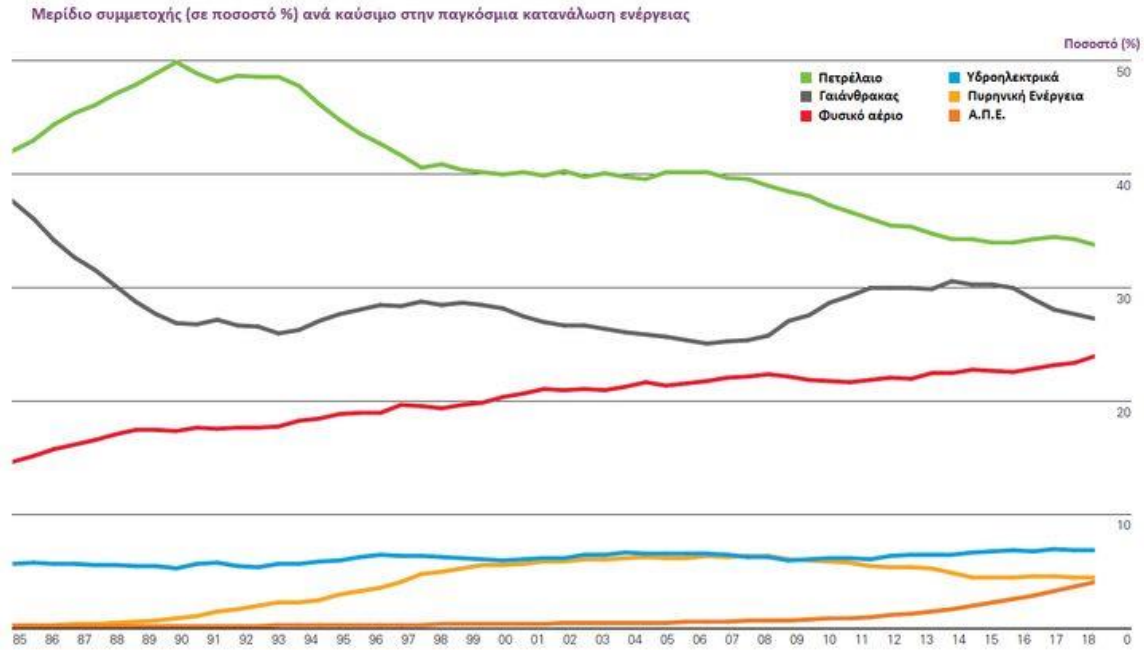
Αντίστοιχη πρέπει να υποθέσουμε ότι είναι και η μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων από την χρήση των ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων.

5.1.3. Ανάκτηση και οικονομία ενέργειας

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα λειτουργούν έτσι ώστε να αυτοφορτίζονται κατά τις επιβραδύνσεις του οχήματος (regenerative braking), βελτιώνοντας παραπάνω τον δείκτη κατανάλωσης, ενώ κατά τη στάση (π.χ. φανάρια) δεν καταναλώνουν καθόλου ενέργεια.

5.1.4. Μείωση εξάρτησης

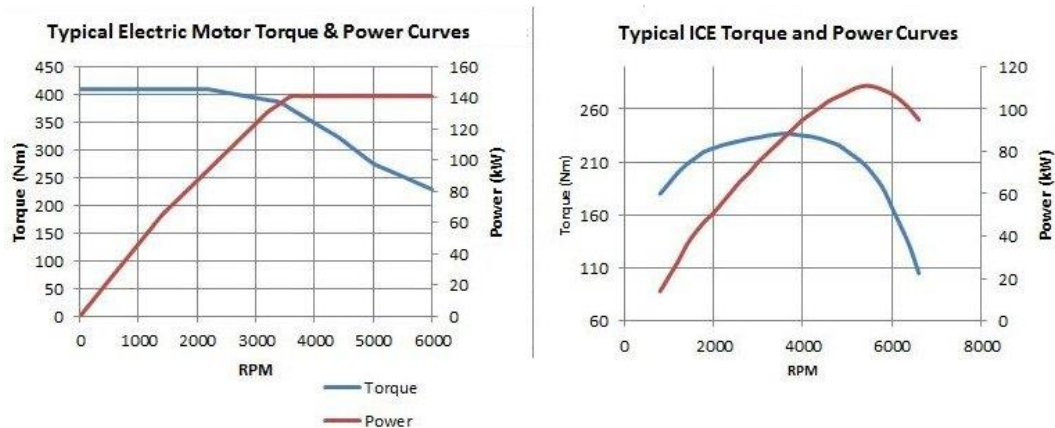
Επειδή η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται σε κάθε χώρα παράγεται εν μέρει και από πηγές που διαθέτει η ίδια η χώρα, όπως άνθρακας, λιγνίτης, φυσικό αέριο, ΑΠΕ, υδροηλεκτρικά ή γεωθερμία (**Γράφημα 5.1**). Η χρήση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων μειώνει σημαντικά την εξάρτηση μιας χώρας από τις πετρελαιοπαραγωγούς χώρες και τις εταιρείες που εξορίσουν και εκμεταλλεύονται τα κοιτάσματα πετρελαίου. Εξάλλου δεν θα πρέπει να ξεχνάμε ότι οι ορυκτοί πόροι είναι πεπερασμένοι.



Γράφημα 5.1 : Συμμετοχή ανά καύσιμο στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [37]

5.1.5. Τεχνικά πλεονεκτήματα

Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης πρέπει να ανεβάσουν στροφές για να φτάσουν στη μέγιστη ισχύ και ροπή. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν σχεδόν σταθερή ροπή από την ακινησία έως το μέγιστο όριο στροφών λειτουργίας. Έτσι λειτουργούν αβίαστα σε χαμηλές στροφές δίνοντας ικανοποιητικό «τράβηγμα» και εύκολο ξεκίνημα από στάση. Αυτό τους κάνει ιδανικούς σε συνθήκες πόλης με πυκνή κυκλοφορία. Επίσης έχουν ευχέρεια να λειτουργούν σε πιο υψηλές στροφές από τους βενζινοκινητήρες, συχνά ακόμα και ως τις 14.000 στροφές το λεπτό. Παρακάτω στο **Γράφημα 5.2** βλέπουμε φαίνεται η διαφορά στην ανάπτυξη ροπής και ισχύος ανάμεσα σε ηλεκτρικά και συμβατικά αυτοκίνητα.



Γράφημα 5.2 : Η ροπή σε συμβατικά και ηλεκτρικά οχήματα. [13]

5.1.6. Οικονομικά πλεονεκτήματα

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν χαμηλότερο κόστος μετακίνησης, καθώς η τιμή του ρεύματος είναι αρκετά χαμηλότερη ανά μονάδα ενέργειας από τη βενζίνη, η οποία μάλιστα επηρεάζεται από την κάθε τόσο αύξηση της τιμής του πετρελαίου. Ένα ηλεκτρικό όχημα σπαταλάει περίπου 0,02 ευρώ ανά 1,5 χιλιόμετρο ενώ ένα συμβατικό όχημα σπαταλάει περίπου 0,12 ευρώ ανά 1,5 χιλιόμετρο.

Χρειάζονται πολύ λιγότερο σέρβις και συντήρηση, καθώς:

- Δεν απαιτούν τις τακτικές αλλαγές λαδιών.
- Δεν έχουν σύστημα εξαγωγής καυσαερίων και διάταξη εξάτμισης, ούτε σιγαστήρα (σιλανσιέ) προ της εξάτμισης, καταλύτη ή φίλτρο καπνού.
- Δεν απαιτούν αντικατάσταση ή έστω συντήρηση σε μηχανικά μέρη, όπως σύστημα ανάφλεξης, πιστόνια, βαλβίδες ή εκκεντροφόρους, διότι στα HV's δεν υπάρχουν, ενώ οι μηχανές εσωτερικής καύσης έχουν πάνω από 100 κινούμενα μέρη.
- Δεν απαιτούν το σύστημα ψύξης των μηχανών εσωτερικής καύσης.

5.1.7. Άλλα πλεονεκτήματα

- Είναι πιο αθόρυβα από τα αυτοκίνητα εσωτερικής καύσης, μειώνοντας την ηχορύπανση στις πόλεις και δημιουργώντας μικρότερη επιβάρυνση στα φυσικά οικοσυστήματα.
- Οδηγούνται πιο εύκολα διότι όλα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι αυτόματα. (δεν έχουν συμπλέκτη και ταχύτητες, επιβραδύνουν αφήνοντας το γκάτζι).

5.2. Μειονεκτήματα

5.2.1. Περιορισμένη αυτονομία

Περιορισμένη απόσταση ταξιδιού μεταξύ κάθε επαναφόρτισης της μπαταρίας. Στο παρελθόν κάθε 60 - 100 χιλιόμετρα χρειαζόνταν επαναφόρτιση. Ωστόσο, τα πιο σύγχρονα μοντέλα επιτυγχάνουν αυτονομίες που ξεκινούν από 100 έως 120 χιλιόμετρα στα αυτοκίνητα πόλης και φτάνουν στα 300 - 500 χιλιόμετρα ή και παραπάνω, σε αυτοκίνητα μεγάλης ισχύος (Tesla Model S: 630 χλμ.). Το σημερινό ρεκόρ ανήκει σε ένα ηλεκτροκίνητο με το όνομα The Phoenix, που κατάφερε να διανύσει 1.608,54 χιλιόμετρα (999,5 μίλια) με μία μόνο φόρτιση. Το ρεκόρ επετεύχθη στις 16 Οκτωβρίου 2017, κατά τη διάρκεια του Auto Club Motor Speedway, στις ΗΠΑ. Μια σύγκριση στην αυτονομία μεταξύ διαφόρων μοντέλων φαίνεται στον **Πίνακα 5.1**.

Μοντέλα που έφτασαν με πολύ χαμηλά επίπεδα ενέργειας στο σημείο τερματισμού

Μοντέλο	Χλμ. Βάσει WLTP (μετρήσεις κατασκευαστών)	Χλμ. βάσει NAF (δοκιμή)
Tesla Model S	610	645
Tesla Model 3	560	612
Hyundai Kona Electric	568,5	484
Tesla Model X	507	547
Kia e-Niro	455	524,7
Kia e-Soul	452	520
Opel Ampera -e	423	512
Jaguar I-Pace	436	455
Renault Zoe ZE 50	395	453
Mercedes-Benz EQC	403	434
Audi e-tron 55 quattro	370	400
Nissan Leaf e +	385	397
Hyundai IONIQ	311	342
BMW i3 120 Ah	310	319
Nissan Leaf	270	305,5
VW e-Up	258	289,5
Skoda Citigo e IV	258	280
Seat Mii Electric	258	279
VW e-Golf	231	259

Πίνακας 5.1 : Αυτονομία μοντέλων ηλεκτρικών αυτοκινήτων [38]

5.2.2. Υψηλό κόστος αγοράς

Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο προς το παρόν έχει υψηλές δαπάνες κατασκευής, με αποτέλεσμα την υψηλή τιμή πώλησης. Αρκετές μελέτες σχετικά με το κόστος απόκτησης ενός ηλεκτρικού οχήματος έδειξαν πως αποτελεί ένα σημαντικό κριτήριο για την επιλογή των ηλεκτρικών οχημάτων από τους καταναλωτές.

Διάφορες μελέτες κατέληξαν στο συμπέρασμα πως το συνολικό αρχικό κόστος αγοράς ηλεκτροκίνητου οχήματος ήταν 2,5 φορές υψηλότερο από όχημα εσωτερικής καύσης.

Έχουν γίνει αρκετές εκτιμήσεις σχετικά με το κόστος κτήσης και χρήσης σε διάφορες χώρες για να μελετήσουν τον οικονομικό αντίκτυπο της αγοράς ηλεκτροκίνητου οχήματος. Κάθε χώρα έχει το δικό της κόστος κυρίως λόγω των διαφορών στις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας/καύσιμου, ασφάλιστρα, φόρους κι επιδοτήσεις. Μια σύγκριση κόστους σε βάθος

πενταετίας μεταξύ ηλεκτρικών αυτοκινήτων και συμβατικών για την Αγγλία μπορούμε να δούμε στον Πίνακας 5.2.

Κόστη

	 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ Nissan Leaf Visia	 BENZINΗ Ford Focus Hatchback	 ΠΙΤΡΕΛΑΙΟ Ford Focus Hatchback
Τιμή Νέου	£26,180	£17,135	£17,815
Φόρος 1ου χρόνου	£0	£160	£120
Φόρος 2ου χρόνου	£0	£140	£140
Κατηγορία ασφάλισης	18	14	14
Κόστος ανά μίλι	£0.02	£0.10	£0.07
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΕ ΒΑΘΟΣ 5 ΧΡΟΝΩΝ	£26,980	£21,855	£21,295

Με βάση 8.000 μίλια τον χρόνο

Μη λαμβάνοντας υπόψη το κόστος ασφάλισης, το κόστος χρήσης ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι μεγαλύτερο τη δεδομένη περίοδο, λόγω του μεγαλύτερου κόστους αγοράς.

Πίνακας 5.2 : Σύγκριση κόστους κτήσης-χρήσης αυτοκινήτων. [39]

5.2.3. Αντικατάσταση μπαταρίας

Ένα άλλο σημαντικό κόστος είναι το κόστος της αλλαγής των μπαταριών των ηλεκτροκίνητων οχημάτων. Προς το παρόν ένα μεγάλο κόστος της αγοράς και συντήρησης ηλεκτροκίνητων οχημάτων είναι το κόστος των μπαταριών. Ταυτόχρονα το κόστος αγοράς και συντήρησης αυτών των μπαταριών είναι αρκετά υψηλό και απαιτεί συνεχή προσοχή. Η διάρκεια ζωής μπαταριών είναι συνήθως 3 - 5 χρόνια. Παρ' όλα αυτά, σε αρκετά νεότερα μοντέλα η διάρκεια ζωής έχει βελτιωθεί. Για παράδειγμα, για το Chevrolet Volt ο όμιλος της General Motors δίνει επίσημη εγγύηση 8 έτη ή 100.000 μίλια (160.000 χιλιόμετρα) για τις μπαταρίες.

5.2.4. Έλλειψη χώρων φόρτιση

Μια υποδομή φόρτισης (Εικόνα 5.2) περιλαμβάνει γρήγορους και αργούς φορτιστές για την υποστήριξη της ηλεκτροκίνησης. Αρκετές μελέτες έχουν επιβεβαιώσει πως δεν εντοπίζονται διαθέσιμες επαρκείς υποδομές φόρτισης των ηλεκτροκίνητων οχημάτων και ιδιαίτερα στην περίπτωση της Ελλάδας.

Η ανεπαρκής υποδομή φόρτισης μειώνει την ευελιξία και την ευκολία των χρηστών, καθιστώντας την απόκτηση και χρήση των ηλεκτροκίνητων οχημάτων λιγότερο πρακτικά. Αυτή η ανεπάρκεια χώρων φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων οφείλεται στο γεγονός πως δεν αποτελεί βιώσιμο οικονομικά επιχειρηματικό μοντέλο η δημιουργία χώρων φόρτισης καθώς υπάρχουν λίγα ηλεκτρικά οχήματα στην αγορά. Ωστόσο, η ανάπτυξη δημόσιας υποδομής χρέωσης είναι απαραίτητη για την υποστήριξη των αναγκών φόρτισης των αυτοκινήτων.



Εικόνα 5.2 : Σταθμός φόρτισης αυτοκινήτων. [40]

5.2.5. Χρόνος φόρτισης

Μεγάλος χρόνος επαναφόρτισης, συνήθως 6 ώρες για πλήρη επαναφόρτιση. Ωστόσο, αρκετά σύγχρονα μοντέλα μπορούν να φορτιστούν κατά 80% σε χρόνο λιγότερο από μια ώρα με υπερταχεία φόρτιση.

Από τα παραπάνω είναι λοιπόν φανερό ότι το ισοζύγιο γέρνει ήδη προς το μέρος των πλεονεκτημάτων των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Αν επιπλέον εξαλειφθούν ή ακόμη και αν μετριαστούν μερικά από τα μειονεκτήματά τους τότε είναι σίγουρο ότι θα επικρατήσουν συντομότερα.

6. ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

Η ηλεκτροκίνηση πλέον έχει μπει για τα καλά στη ζωή μας. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μπορεί ακόμα να είναι η μειοψηφία, ωστόσο η δυναμική τους είναι αλματώδης. Γι' αυτό και οι κατασκευαστές έχουν ρίξει εκεί το βάρος τους εξελίσσοντας νέες τεχνολογίες που θα αντιμετωπίσουν τα μειονεκτήματα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

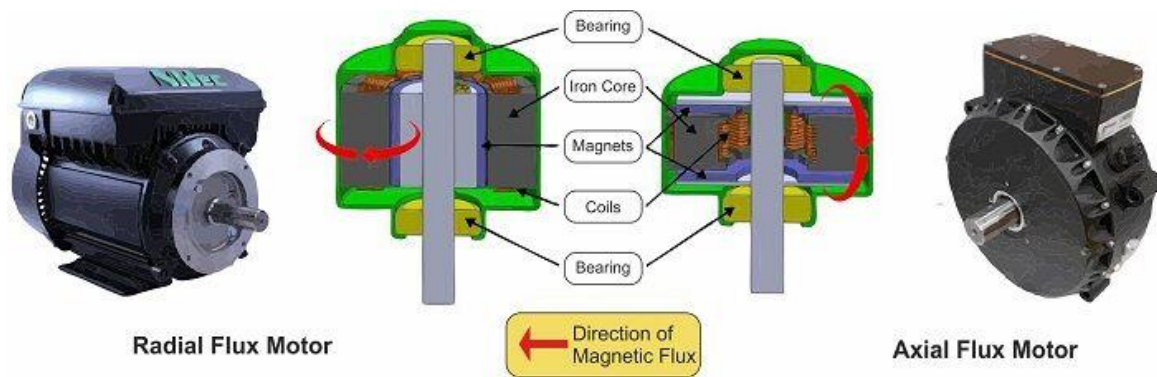
6.1. Οι εξελίξεις στους κινητήρες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Όσο αφορά τους ηλεκτρικούς κινητήρες η έρευνα κατευθύνεται σήμερα προς την αξιοποίηση των κινητήρων αξονικής ροής. Οι κινητήρες αυτοί είναι μόνιμου μαγνήτη. Σε κινητήρες μόνιμου μαγνήτη (PM) (ακτινικούς και αξονικούς), το σύνολο των περιελίξεων AC δημιουργεί μια σειρά βόρειων και νότιων μαγνητικών πόλων κατά μήκος του διακένου αέρα της μηχανής. Η αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των πόλων και των μόνιμων μαγνητικών πόλων στην επιφάνεια του ρότορα, έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη της ροπής που περιστρέφει τον ρότορα. Γενικά οι ηλεκτρικές μηχανές μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες :

- Ηλεκτρικές μηχανές ακτινικής
- Ηλεκτρικές μηχανές αξονικής ροής

Η διαφορά όπως υποδηλώνουν τα ονόματά τους είναι ότι στις μηχανές αξονικής ροής η διεύθυνση της μαγνητικής ροής είναι παράλληλη με τον άξονα περιστροφής της μηχανής ενώ στις μηχανές ακτινικής ροής η διεύθυνση μαγνητικής ροής είναι παράλληλη στην ακτίνα του άξονα περιστροφής . Αποτέλεσμα αυτού του διαφορετικού σχεδιασμού είναι ότι η διαδρομή της μαγνητικής ροής στην ακτινική μηχανή είναι πολύ μεγαλύτερη από την διαδρομή στην αξονική μηχανή. Το μαγνητικό πεδίο είναι πιο ισχυρό κατά μήκος της συντομότερης διαδρομής, γεγονός που συμβάλλει στην αύξηση της απόδοσης και της πυκνότητας ισχύος του μηχανήματος. Οι κινητήρες αξονικής ροής έχουν αποδόσεις που συνήθως υπερβαίνουν το 96%. Οι κινητήρες είναι μικρότεροι σε όγκο, από πέντε έως οκτώ φορές, και είναι δύο έως πέντε φορές ελαφρύτεροι. Δεδομένου ότι η διαδρομή ροής στις μηχανές αξονικής ροής είναι μονοδιάστατη, μπορεί να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρικοί χάλυβες με προσανατολισμό κόκκων. Οι χάλυβες αυτοί διευκολύνουν τη διέλευση της μαγνητικής ροής και αυξάνουν την απόδοση. Λόγω της υψηλότερης διαπερατότητας αυτού του τύπου χάλυβα, οι απώλειες σιδήρου σε μια μηχανή αξονικής ροής μπορούν να μειωθούν και η απόδοση μπορεί να αυξηθεί κατά 2%. Στην παρακάτω **Εικόνα 6.1**

φαίνονται τα τμήματα και η μαγνητική ροή σε μιά αξονικής και μια ακτινικής ροής ηλεκτρική μηχανή.



Εικόνα 6.1 : Μαγνητική ροή και τα τμήματα μηχανών ακτινικής και αξονικής ροής. [41]

Η τεχνολογία αξονικής ροής είχε κατοχυρωθεί με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον Νικόλα Τέσλα το 1889 , οι μηχανές ακτινικής ροής όμως, είναι μέχρι σήμερα οι πιο διαδεδομένες διότι σχεδιάζονται και κατασκευάζονται πιο εύκολα και έχουν σχετικά καλή απόδοση.

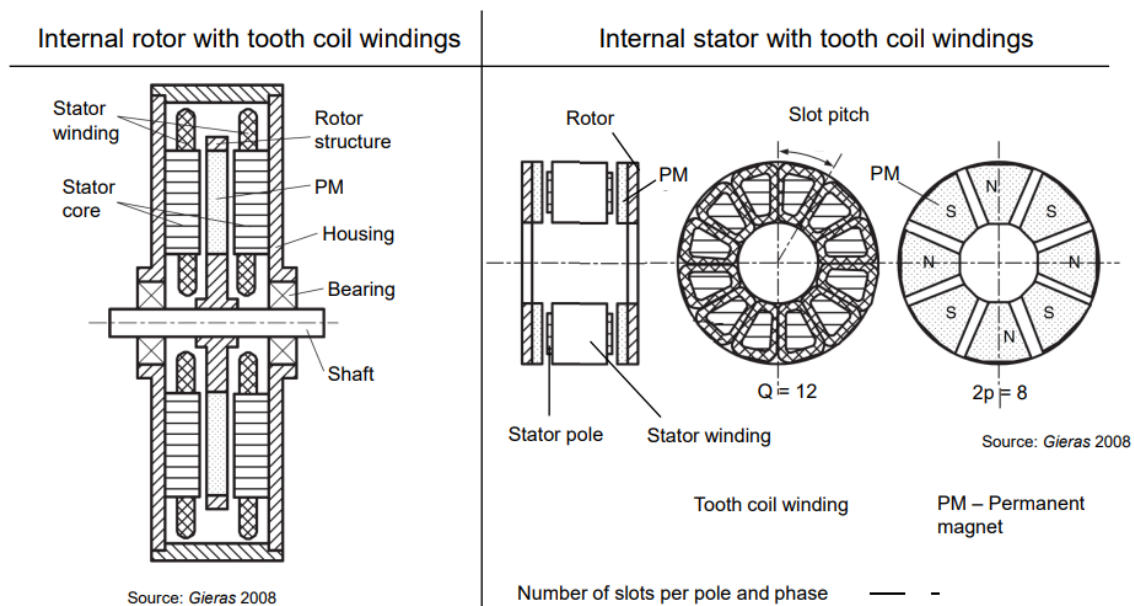
Υπάρχουν δύο κύριες τοπολογίες κινητήρων αξονικής ροής :

- Μονού στάτη - διπλού ρότορα
- Διπλού στάτη -μονού ρότορα.

Μια μηχανή αξονικής ροής με μονό στάτη επιτρέπει τη χρήση διπλού ρότορα. Δεδομένου ότι η ροπή εξόδου της μηχανής μόνιμου μαγνήτη είναι ανάλογη της ενεργού περιοχής διακένου αέρα για σταθερή ηλεκτρική και μαγνητική φόρτιση, η μηχανή μόνιμου μαγνήτη αξονικής ροής με διπλό διάκενο ρότορας έχει υψηλότερο λόγο ροπής προς βάρος. Αυτό ενισχύεται περισσότερο από το φαινόμενο «μοχλού». Για μηχανές αξονικής ροής, οι μαγνήτες βρίσκονται πιο μακριά από τον κεντρικό άξονα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ασκούν μεγαλύτερη ροπή στον κεντρικό άξονα.

Επίσης οι κινητήρες μονού στάτη έχουν το στάτη στη μέση και χρησιμοποιούνται και οι δύο πλευρές του για να δημιουργήσουν ροπή σε έναν δίσκο ρότορα η κάθε μία. Έτσι έχουμε μείωση απωλειών στα τυλίγματα του στάτη κατά το ήμισυ και μείωση βάρους και όγκου, αλλά υπάρχει πρόβλημα με την ψύξη του στάτη που βρίσκεται πλέον σε πολύ

κλειστό χώρο. Στην **Εικόνα 6.2** βλέπουμε την κατασκευαστική διαφορά μεταξύ αξονικών ηλεκτρικών μηχανών μονού και διπλού ρότορα. [42]



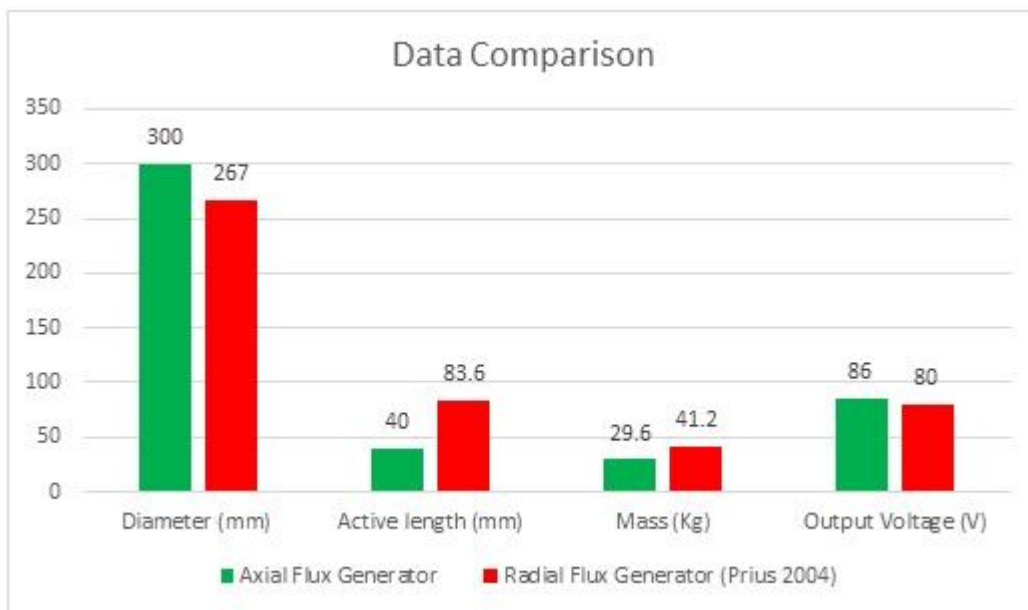
Εικόνα 6.2 : Αξονικές ηλεκτρικές μηχανές μονού και διπλού ρότορα. [42]

Οι περισσότερες εταιρείες αυτοκινήτων που παράγουν αυτόν τον τύπο κινητήρα περιορίζονται στη δημιουργία πρωτοτύπων και στη βιοτεχνική κατασκευή, γεγονός που τους καθιστά αρκετά ακριβούς. Ο δρόμος προς την αυτοματοποιημένη παραγωγή και την επίτευξη μαζικής παραγωγής έχει αποδειχθεί εξαιρετικά δύσκολος. Οι κατασκευαστές λοιπόν αυτού του πολύ δυνατού σχετικά με τον όγκο του κινητήρα καλούνται σήμερα να λύσουν κυρίως το πρόβλημα της ψύξης αλλά και άλλα κατασκευαστικά του προβλήματα προκειμένου να γίνει εμπορικά εκμεταλλεύσιμος και να αυξήσει ακόμη περισσότερο τις αποδόσεις των ηλεκτρικών οχημάτων. Στο μέλλον, μπορούμε να περιμένουμε ότι οι κινητήρες αξονικής ροής, και ιδιαίτερα η παραλλαγή μονού στάτη (**Εικόνα 6.3**), θα διεκδικούν ένα ολοένα μεγαλύτερο μέρος της αυξανόμενης αγοράς ηλεκτρικών κινητήρων για αυτοκίνητα. [43]



Εικόνα 6.3 : Κινητήρας μονού στάτη-διπλού ρότορα. [44]

Παρακάτω, στο **Γράφημα 6.1** παρουσιάζονται τα συγκριτικά στοιχεία μεταξύ δύο μηχανών μιας ακτινικής και μιάς αξονικής που ελήφθησαν μέσω προσομοίωσης. Η μία μηχανή είναι ο ακτινωτός σύγχρονος κινητήρας μόνιμου μαγνήτη που χρησιμοποιείται στο μοντέλο του 2004 του Toyota Prius (υβριδικό αυτοκίνητο) και η δεύτερη είναι μια μηχανή αξονικής ροής μονού ρότορα 24 πόλων. Και οι δύο μηχανές για τις ανάγκες της προσομοίωσης λειτούργησαν σαν γεννήτριες. Τα αποτελέσματα της τάσης χωρίς φορτίο και των δύο μηχανών φαίνονται στο διάγραμμα. Η ακτινική μηχανή παράγει τάση εξόδου 80V ενώ η μηχανή αξονικής ροής παρέχει τάση εξόδου 86V. Η μηχανή αξονικής ροής παρέχει υψηλότερη ισχύ εξόδου με λιγότερη μάζα και μικρότερο όγκο και διαστάσεις.



Γράφημα 6.1 : Σύγκριση αξονικής και ακτινικής ηλεκτρικής μηχανής. [45]

6.2. Οι εξελίξεις στους συσσωρευτές των ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Η νέα τεχνολογία που φαίνεται να έρχεται στον τομέα των συσσωρευτών, είναι οι μπαταρίες Solid State (ξηρού τύπου) και υπόσχεται να φέρει την επανάσταση στο χώρο της ηλεκτροκίνησης. Παρά την εξέλιξη των μπαταριών λιθίου και την ευρύτερη χρήση τους στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, δεν μπορούμε να πούμε ότι η σημερινή αυτονομία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων μας επιτρέπει να ξεχάσουμε τους παραδοσιακούς θερμικούς κινητήρες. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν επικρατήσει επειδή είναι φθηνές και έχουν καλή απόδοση. Στις σύγχρονες μπαταρίες ιόντων λιθίου, τα ιόντα μετακινούνται από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο κατά μήκος του υγρού ή τύπου gel ηλεκτρολύτη (ονομάζεται επίσης ιοντική αγωγιμότητα). Σε μπαταρίες πλήρως ξηρού τύπου, ο υγρός ηλεκτρολύτης αντικαθίσταται από μια στερεή ένωση που ωστόσο επιτρέπει στα ιόντα λιθίου να κυκλοφορούν μέσα σε αυτόν.

Ενώ οι στερεοί ηλεκτρολύτες ανακαλύφθηκαν για πρώτη φορά τον 19ο αιώνα, αρκετά μειονεκτήματα με κυριότερο το υψηλό κόστος κατασκευής, έχουν αποτρέψει την ευρεία χρήση τους. Οι εξελίξεις που έφερε η ηλεκτροκίνηση των οχημάτων στα τέλη του 20ου και στις αρχές του 21ου αιώνα έχουν ανανεώσει το ενδιαφέρον για τους στερεούς ηλεκτρολύτες και χάρη σε εντατική έρευνα ανακαλύφθηκαν νέες οικογένειες στερεών ηλεκτρολυτών με πολύ υψηλή ιοντική αγωγιμότητα, παρόμοια με τον υγρό ηλεκτρολύτη.

Ο πατέρας της μπαταρίας Li-ion και βραβευμένος με Νόμπελ, John B. Goodenough, μαζί με την ερευνήτρια Maria Helena Braga, δημοσίευσαν μια εργασία το 2017 σχετικά με την ανάπτυξη μιας μπαταρίας χαμηλού κόστους με υψηλή ογκομετρική πυκνότητα ενέργειας και γρήγορους ρυθμούς φόρτισης και εκφόρτισης, που βασίζεται σε ηλεκτρολύτη γυαλιού που είναι άκαυστο και έχει μεγάλη διάρκεια ζωής. Επιπλέον, οι Braga και Goodenough διαπίστωσαν ότι οι ηλεκτρολύτες τους από συμπαγές γυαλί θα μπορούσαν να λειτουργούν και να διατηρούν υψηλή αγωγιμότητα σε θερμοκρασίες κάτω από το μηδέν έως και -20C, αντιμετωπίζοντας ένα σημαντικό μειονέκτημα των τυπικών μπαταριών EV. Παρά τα πολλά υποσχόμενα πλεονεκτήματα, εξακολουθούν να υπάρχουν πολλοί περιορισμοί που εμποδίζουν τη μετάβαση των μπαταριών ξηρού τύπου από την ακαδημαϊκή έρευνα στην παραγωγή μεγάλης κλίμακας.

Οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης μπορούν να προσφέρουν πιθανές λύσεις για πολλά προβλήματα των μπαταριών ιόντων λιθίου υγρού ηλεκτρολύτη, όπως η ευφλεκτότητα, η περιορισμένη τάση, ο ασταθής σχηματισμός ενδιάμεσης φάσης στερεού ηλεκτρολύτη, η κακή απόδοση και η αντοχή σε κύκλους φόρτισης εκφόρτισης. Οι μπαταρίες ξηρού τύπου θα έχουν μικρότερες διαστάσεις, καλύτερη απόδοση, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, θα είναι πιο γρήγορες στη φόρτιση και ελαφρύτερες.

Μερικές εταιρείες βέβαια όπως η Tesla υποστηρίζουν πως οι μπαταρίες ξηρού τύπου αποτελούν μία λανθασμένη ελπίδα για την αυτοκίνηση και πως χρειάζεται περισσότερος χρόνος για την εξέλιξή τους. Θεωρούν ότι προς το παρόν, η καλύτερη λύση και η πιο αποδοτική είναι η επιπλέον ανάπτυξη των σημερινών μπαταριών, καθώς επικεντρώνει και τις έρευνές της πάνω σε αυτές. Για αυτό, η Tesla σε συνεργασία με την Panasonic πριν από λίγο καιρό, παρουσίασε μια εξελιγμένη μορφή της ήδη υπάρχουσας μπαταρίας της, την «4680», που υπόσχεται πενταπλάσια αποθηκευτική ικανότητα.

6.3. Οι εξελίξεις στο σύστημα των ηλεκτρονικών μετατροπέων και τη μονάδα διαχείρισης του οχήματος

Ο τομέας αυτός θα λέγαμε ότι ακολουθεί τους δικούς του ρυθμούς εξέλιξης και δεν ακολουθεί αυτούς των υπολοίπων συστημάτων του ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Αυτό συμβαίνει διότι εξαρτάται από την εξέλιξη των Ηλεκτρονικών Ισχύος και την εξέλιξη των υπολογιστών. Αυτά όμως επειδή επηρεάζουν όλη την τεχνολογία μας έχουν ήδη εξελιχθεί αρκετά και συνεχίζουν να εξελίσσονται. Η αυτοκινητοβιομηχανία λοιπόν δεν χρειάζεται

να ξοδεύεται σε χρόνο και χρήμα για έρευνα σε τέτοια συστήματα γιατί συνήθως αυτό που ζητά το βρίσκει σε πολύ ικανοποιητικό ποσοστό από τις εξειδικευμένες εταιρείες.

Μια τέτοια εταιρία είναι η Bosh που σύντομα θα βγάλει στη μαζική παραγωγή τις πλακέτες ημιαγωγών από καρβίδιο του πυριτίου, που αποτελούν μια σημαντική εξέλιξη για την αύξηση της αυτονομίας και τη μείωση του χρόνου φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Οι chips από το υλικό silicon carbide (SiC) (**Εικόνα 6.4**) είναι μικρότερα, πιο ισχυρά και εξαιρετικά πιο αποδοτικά. Η προσθήκη του πυριτίου προσφέρει σημαντικά οφέλη, και ένα πρωτεύον είναι η μείωση στο μισό της απώλειας ενέργειας με τη μορφή θερμότητας. Τα συγκεκριμένα chips είναι σημαντικά για τις πλατφόρμες 800V πολλών καινούριων ηλεκτρικών αυτοκινήτων, που επιτρέπουν την πολύ ταχύτερη φόρτιση. [46]



Εικόνα 6.4 : Chips από το υλικό silicon carbide (SiC) από την Bosh. [46]

6.4. Οι εξελίξεις στους σταθμούς φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Τα προβλήματα που πρέπει να ξεπεραστούν εδώ είναι η αύξηση των σταθμών φόρτισης και βελτίωση των χρόνων φόρτισης

Επειδή σε αντίθεση από τα συμβατικά οχήματα ο ανεφοδιασμός των ηλεκτρικών αυτοκινήτων μπορεί να γίνει και στο σπίτι, μια ιδιωτική επένδυση σε σταθμούς φόρτισης αυτομάτως κατατάσσεται στις επενδύσεις χαμηλής απόδοσης. Υπάρχει λοιπόν ανάγκη για τη δημιουργία μιας δημόσιας υποδομής χρέωσης. Σε κοινή επιστολή, η Ευρωπαϊκή Ένωση Κατασκευαστών Αυτοκινήτων (ACEA), η Ευρωπαϊκή Οργάνωση Καταναλωτών (BEUC) και η Μεταφορών και Περιβάλλοντος (TE) συνέστησαν στην Ευρωπαϊκή Ένωση να θέσει δεσμευτικούς στόχους για 1 εκατομμύριο δημόσια σημεία φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα έως το 2024 και 3 εκατομμύρια έως το 2029, για να δώσει στους καταναλωτές την εμπιστοσύνη να στραφούν στη νέα τεχνολογία. Αυτό θα απαιτήσει σημαντική αύξηση των επενδύσεων, καθώς υπήρχαν λιγότεροι από 250.000 δημόσιοι φορτιστές EV στην Ευρώπη το 2020. Οι ευρωπαϊκές κυβερνήσεις αναλαμβάνουν ήδη δράση για τη βελτίωση και την επέκταση της τρέχουσας υποδομής δημόσιας φόρτισης EV. [17]

Ήδη στην αγορά προσφέρονται σε αποδεκτές τιμές ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα με αυτονομία που υπερβαίνει τα 350 χλμ. Αυτή η αυτονομία είναι υπεραρκετή ακόμα και για τους πιο απαιτητικούς χρήστες προκειμένου να καλύψουν τις ημερήσιες ανάγκες τους ενώ για το μεγαλύτερο ποσοστό χρηστών καλύπτει ακόμα και τις ανάγκες κίνησης της εβδομάδας. Επομένως για όσους μπορούν να φορτίζουν το ηλεκτρικό αυτοκίνητο στο σπίτι ή στο χώρο εργασίας η φόρτιση παρέχεται κατά τον πλέον άνετο και φτηνό τρόπο.

Όσο αφορά την ταχύτητα φόρτισης οι κατασκευαστές συστημάτων φόρτισης προσφέρουν σήμερα μονάδες υψηλής ισχύος 175kW ή και 350kW στις οποίες η φόρτιση κρατάει μερικά λεπτά μόνο. Οι αγοραστές ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα πρέπει να βεβαιώνονται ότι το αυτοκίνητο που αγοράζουν διαθέτει την αναγκαία εγκατάσταση σύνδεσής τους με τέτοιου είδους φορτιστές. Η παραπέρα έρευνα είναι σίγουρο ότι θα οδηγήσει σε ακόμη καλύτερους χρόνους σχετικά σύντομα και εύκολα.

6.4.1. Επαγωγική φόρτιση

Η επιστημονική έρευνα όμως επικεντρώνεται εκτός από την ταχύτητα φόρτισης και στον τομέα της ασύρματης φόρτισης.

Είναι γνωστό ότι η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να γίνει επαγωγικά χωρίς κάποια επαφή ή χρήση καλωδίου. Το πρόβλημα είναι ότι αυτή η επαγωγική μεταφορά απαιτεί ειδικές ηλεκτρολογικές διατάξεις τόσο προς την πλευρά της πηγής της ηλεκτρικής ενέργειας όσο και προς την πλευρά του δέκτη. Επίσης η μεταξύ τους απόσταση πρέπει να είναι μικρή για την αποφυγή απωλειών. Για τη φόρτιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων

χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά επαγωγικό ζεύγος από την General Motors, στο ιστορικό της ηλεκτρικό αυτοκίνητο EV1. Το σύστημα ήταν κατασκευασμένο από την Hughes Electronics και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε από την Chevrolet αλλά και από την Toyota. Μέχρι σήμερα ο ρυθμός μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας που έχει επιτευχθεί είναι μικρός σχετικά συγκρινόμενος με τους ρυθμούς που επιτυγχάνονται με τις καλωδιακές συνδέσεις.

Επαγωγική φόρτιση μπορούμε να έχουμε δύο ειδών, τη στατική και τη δυναμική.

Η στατική μπορεί να γίνει με πομπό ηλεκτρικής ενέργειας τοποθετημένο σε σταθερό σημείο, συνήθως στο επίπεδο του δρόμου και με δέκτη στο κάτω μέρος του αυτοκινήτου το οποίο έρχεται και σταθμεύει ακριβώς πάνω από τον πομπό παραμένοντας εκεί ακίνητο για όλη τη διάρκεια της φόρτισης. Το σύστημα φαίνεται παραστατικά στην **Εικόνα 6.5**.

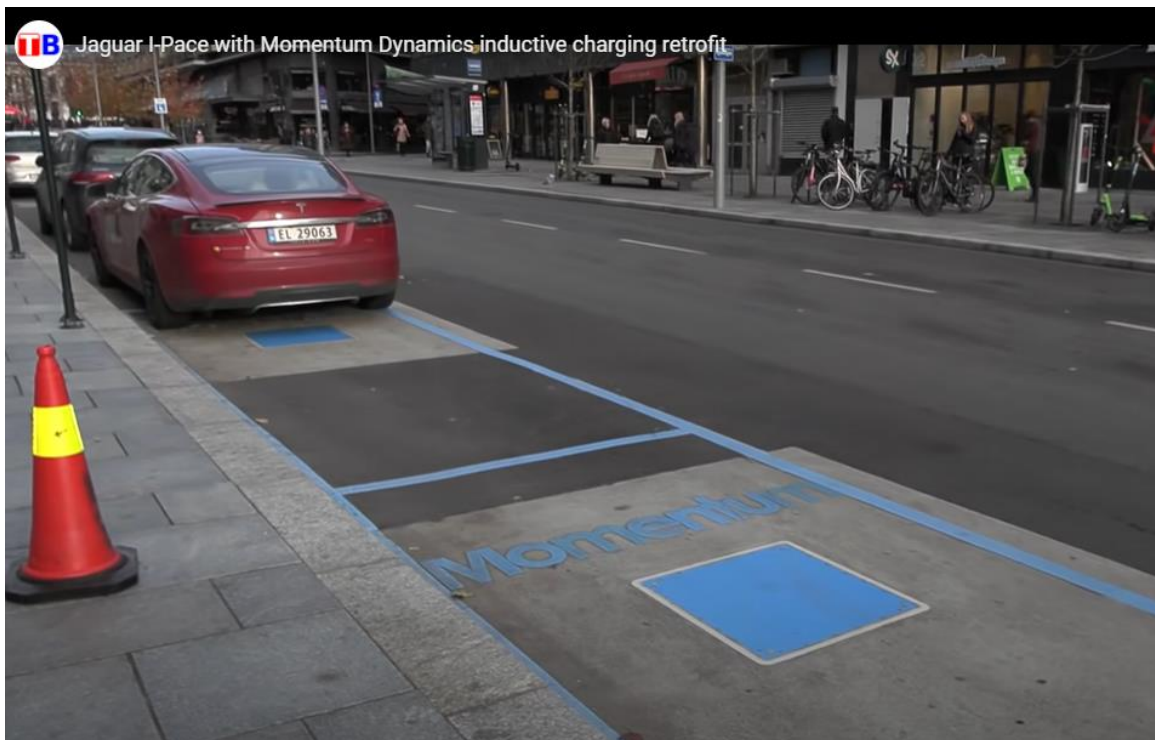


Εικόνα 6.5 : Επαγωγική στατική φόρτιση. [47]

Οι ερευνητές επικεντρώνουν τις προσπάθειές τους στο να βρουν τρόπους για να μειώσουν τις απώλειες φόρτισης από τους πομπούς στους δέκτες. Μόλις ξεπεραστεί το πρόβλημα, τότε θα έχει γίνει ένα μεγάλο βήμα για να μπορέσει η τεχνολογία να περάσει και στην παραγωγική διαδικασία. Ήδη όμως πολλά μοντέλα προσφέρουν συστήματα επαγωγικής φόρτισης. Όμως αυτή η τεχνολογία έχει ακόμη πολύ δρόμο για την ολοκλήρωσή της, καθώς σήμερα υπάρχει διεθνής τυποποίηση η οποία καλύπτει την επαγωγική φόρτιση μόνο

μέχρι τα 11kW. Όμως όπως όλα δείχνουν, πολύ σύντομα θα υπάρξει τυποποίηση για ακόμη μεγαλύτερη ισχύ. [31]

Μια εταιρία που αναπτύσσει συστήματα για στατική επαγωγική φόρτιση είναι η Momentum Dynamics. Ένα από τα συστήματα της εφαρμόζεται στο Όσλο σε στόλο ταξί με αυτοκίνητα Jaguar i-Pace (Εικόνα 6.6) και μπορεί να αναπτύξει ισχύ μέχρι 50kW, για περιορισμένα χρονικά διαστήματα. Τα ταξί μπορούν να φορτίζονται ενώ περιμένουν στην πιάτσα χωρίς καμία παρέμβαση του οδηγού.

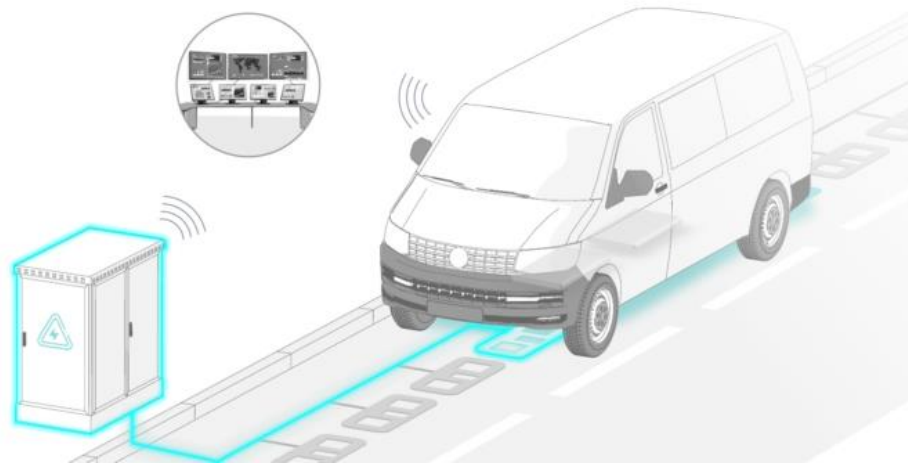


Εικόνα 6.6 : Σύστημα στατικής επαγωγικής ηλεκτρικών ταξί στο Όσλο της Momentum Dynamics [48]

Τα ασύρματα συστήματα φόρτισης υψηλής ισχύος της Momentum Dynamics μπορούν να παρέχουν απεριόριστη εμβέλεια σε στόλους με καθορισμένες διαδρομές και καθορισμένες στάσεις φορτίζοντας τα κατά την ώρα της στάσης. [48]

Η δυναμική επαγωγική φόρτιση μπορεί να γίνει σε αυτοκίνητο το οποίο διαθέτει δέκτη στο κάτω μέρος του και το οποίο φορτίζεται, κινούμενο πάνω από πολλούς, διαδοχικά τοποθετημένους στην επιφάνεια του δρόμου πομπούς ηλεκτρικής ενέργειας. Η εταιρία Electreon εξειδικεύεται σε τέτοια συστήματα. Η τεχνολογία ασύρματης φόρτισης της Electreon αναπτύσσεται κατά μήκος Ηλεκτρικών Δρόμων, επιτρέποντας στους ηλεκτρικούς στόλους να φορτίζονται άνετα καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας τους. Αυτό μειώνει την ανάγκη για βαριές μπαταρίες. Το ολοκληρωμένο σύστημα περιλαμβάνει

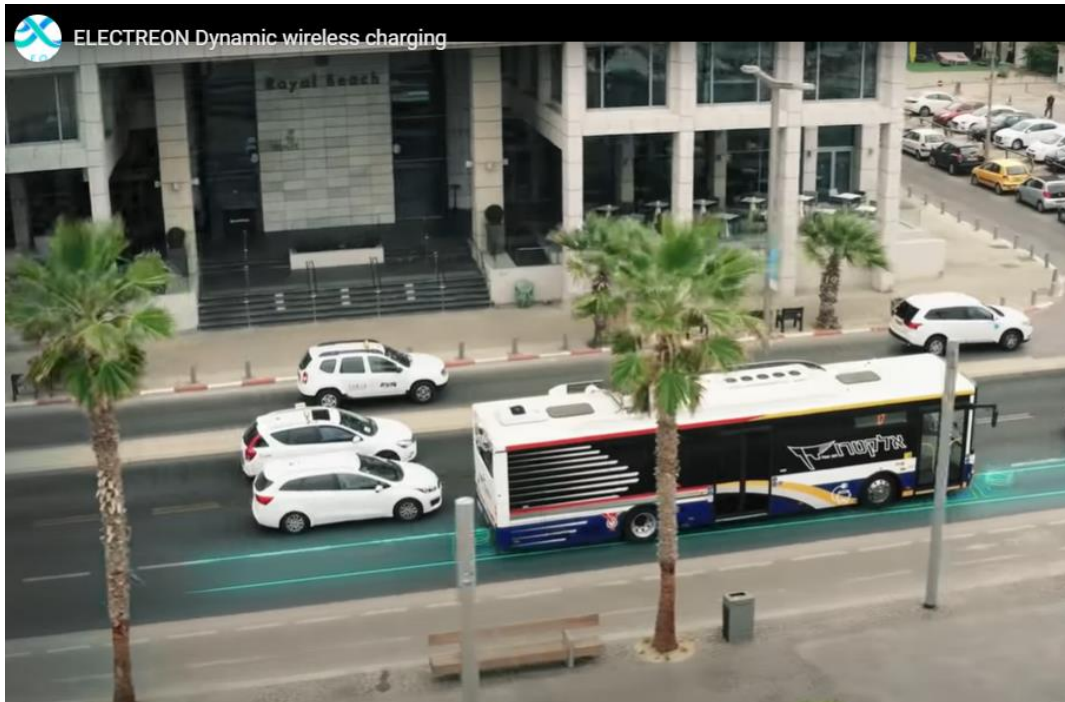
υπόγεια υποδομή, τεχνολογία στην πλευρά του οχήματος και προηγμένο λογισμικό διαχείρισης φόρτισης και φαίνεται στην **Εικόνα 6.7**.



Εικόνα 6.7 : Το σύστημα δυναμικής επαγωγικής φόρτισης της Electreon [49]

Τον Σεπτέμβριο του 2020, η Electreon συνεργάστηκε με την πόλη του Τελ Αβίβ και την Dan Bus Company για να δημιουργήσει το πρώτο της λειτουργικό, δημόσιο ασύρματο ηλεκτρικό οδικό σύστημα (wERS) για το αστικό περιβάλλον στο Ισραήλ (**Εικόνα 6.8**).

Αυτό το έργο ασύρματος Electric Road περιλαμβάνει και έναν ασύρματο σταθμό ηλεκτρικής φόρτισης στον τερματικό σταθμό λεωφορείων του σιδηροδρομικού σταθμού του Πανεπιστημίου του Τελ Αβίβ, ο οποίος φορτίζει το σταθερό e-bus όταν οι επιβάτες επιβιβάζονται και αποβιβάζονται στο όχημα. Αυτή η στρατηγική φόρτισης κάνει βέλτιστη χρήση του χρόνου αδράνειας στην πρώτη στάση της διαδρομής για τη φόρτιση του λεωφορείου. [50]



Εικόνα 6.8 : Το σύστημα δυναμικής επαγωγικής φόρτισης λεωφορείων της Electreon στο Τελ Αβίβ [50]

6.5. Οι εξελίξεις στις τιμές των ηλεκτρικών αυτοκινήτων

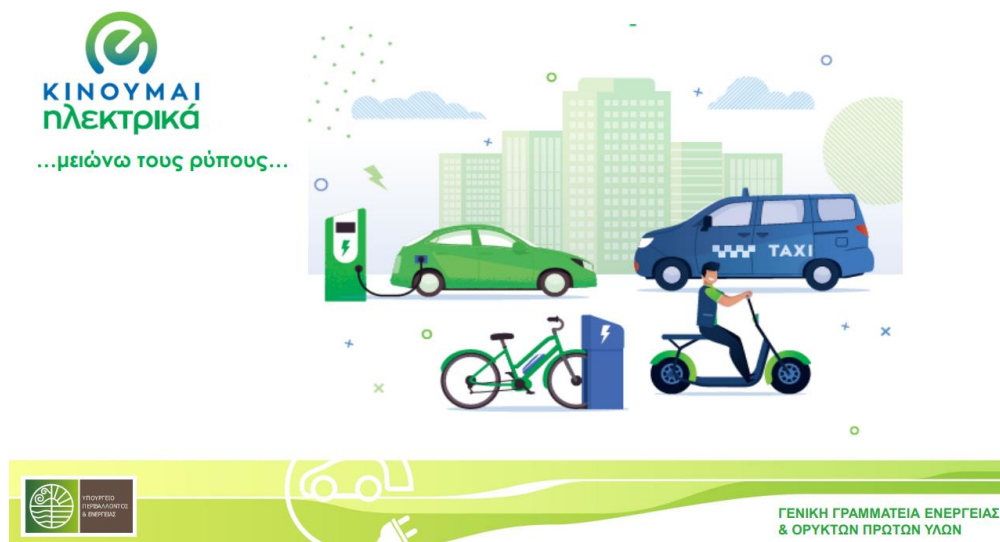
Ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο μεσαίας κατηγορίας στοιχίζει σήμερα κοντά στις 30.000 ευρώ, έναντι των 18.000-20.000 ευρώ που στοιχίζει ένα αντίστοιχο συμβατικό όχημα. Η μπαταρία αποτελεί το σημαντικότερο κομμάτι ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου και είναι αποκλειστικά αυτή που ανεβάζει στα ύψη το κόστος του. Η τιμή της μπαταρίας όμως σταδιακά μειώνεται, παρά το γεγονός ότι αυξάνεται η χωρητικότητα της και αυτό οδηγεί σε σταδιακή μείωση τη συνολική τιμή των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Έρευνες συγκλίνουν στο συμπέρασμα ότι το κόστος των μπαταριών των ηλεκτρικών αυτοκινήτων αναμένεται να μειωθεί άνω του 50% στα αμέσως επόμενα χρόνια. Έτσι εκτιμάται ότι η παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων θα είναι οικονομικότερη από την παραγωγή συμβατικών από το 2027 και έπειτα.

Προς το παρόν οι ευρωπαϊκές κυβερνήσεις ενθαρρύνουν τους καταναλωτές μέσω επιδοτήσεων και κινήτρων για την αγορά ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Στην Ελλάδα το πρόγραμμα «Κινούμαι Ηλεκτρικά» (Εικόνα 6.9) ξεκίνησε το 2020 και προέβλεπε μια σειρά επιδοτήσεων και κινήτρων για την αγορά ηλεκτρικού αυτοκινήτου από φυσικά πρόσωπα που ήταν τα εξής : [51]

- Επιδότηση του 20% της αξίας και μέχρι του ποσού των 6000 € ,για αγορά ή μίσθωση αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος λιανικής τιμής προ φόρων έως 30.000 €.
- Επιδότηση του 15% της αξίας και μέχρι του ποσού των 6000 € ,για αγορά ή μίσθωση αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος λιανικής τιμής προ φόρων από 30.001 € έως 50.000 €.
- Επιδότηση 500€ για την αγορά έξυπνου οικιακού φορτιστή υπό την προϋπόθεση ότι θα τεκμαίρεται η δυνατότητα τους να τον εγκαταστήσουν σε ιδιόκτητο ή μισθωμένο σημείο στην κύρια κατοικία τους.
- Επιπλέον επιδότηση 1000€ για ειδικές κατηγορίες που δικαιούνται επιπλέον επιδότησης είναι οι (πολύτεκνοι, ΑΜΕΑ).
- Επιπλέον επιδότηση 1000€ για απόσυρση παλαιού οχήματος το οποίο έχει ταξινομηθεί στην Ελλάδα έως την 1.1.2013.

Από τον Ιούλιο του 2020, όταν ψηφίστηκε ο σχετικός νόμος μέχρι τέλη του 2021 είχαν ταξινομηθεί πάνω από 7.500 νέα ηλεκτρικά οχήματα, ενώ μέχρι τότε μόλις 1.000 οχήματα είχαν ταξινομηθεί. Από τον Ιανουάριο έως και τον Οκτώβριο του 2021, ταξινομήθηκαν 5.375 νέα ηλεκτρικά οχήματα, έναντι στόχου 3.700 οχημάτων που είχε το πρόγραμμα για το σύνολο του έτους.



Εικόνα 6.9 : Το πρόγραμμα "Κινούμαι Ηλεκτρικά" [51]

Ο νέος κύκλος του προγράμματος αναμένεται να ξεκινήσει τον Απρίλιο του 2022 και προβλέπει:

- Επιδότηση του 30% της αξίας και μέχρι του ποσού των 8000 € ,για αγορά ή μίσθωση αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος.
- Επιδότηση 500€ για την αγορά έξυπνου οικιακού φορτιστή υπό την προϋπόθεση ότι θα τεκμαίρεται η δυνατότητα τους να τον εγκαταστήσουν σε ιδιόκτητο ή μισθωμένο σημείο στην κύρια κατοικία τους.
- Επιπλέον επιδότηση 1000€ για ειδικές κατηγορίες που δικαιούνται επιπλέον επιδότησης είναι οι (πολύτεκνοι, ΑΜΕΑ).
- Επιπλέον επιδότηση 1000€ για απόσυρση παλαιού οχήματος το οποίο έχει ταξινομηθεί στην Ελλάδα έως την 1.1.2013.
- Επιπλέον επιδότηση 1000€ για νέους έως 29 ετών.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για 100 περίπου χρόνια από τότε που έκανε δυναμικά την πρώτη του εμφάνιση το ηλεκτρικό αυτοκίνητο, η εξέλιξή του ήταν στάσιμη με μικρές εξάρσεις. Για αυτό ευθύνεται η ευκολία εξόρυξης και η προσιτή τιμή του πετρελαίου. Σημαντικό ρόλο όμως έπαιξαν και τα συμφέροντα των εταιριών εξόρυξης αλλά και αυτά των κατασκευαστών που το εμπόριο των πολλών ανταλλακτικών που απαιτούν τα συμβατικά οχήματα τους απέφερε σημαντικά κέρδη. Η κλιματική κρίση όμως και η σταδιακή αλλά συνεχόμενη αύξηση της τιμής του πετρελαίου μετά το 2000 επέβαλε την επιστροφή των ηλεκτρικών οχημάτων και την επιτάχυνση της εξέλιξης τους.

Εκτός από τα περιβαλλοντικά οφέλη και του μειωμένου κόστους κατά την κίνηση του, το ηλεκτρικό αυτοκίνητο όμως μας υπενθύμισε στη νέα του επανεμφάνιση και τα υπόλοιπα πλεονεκτήματα του που είναι η ευκολία και η απλότητα στο χειρισμό του, οι επιδόσεις του, οι λίγες βλάβες του και η ελάχιστη συντήρηση που απαιτεί και μεταφράζεται σε οικονομία χρόνου και χρημάτων. Υπό τις παρούσες όμως συνθήκες του πολέμου που ζούμε στην Ευρώπη όμως θα πρέπει να αναρωτηθούμε μήπως αυτό που τελικά θα μας προσφέρει είναι κάτι πολύ πιο σημαντικό. Και αυτό θα είναι η απεξάρτηση κρατών και εθνών από τις χώρες παραγωγούς ορυκτών καυσίμων και τις εταιρείες εξόρυξης που πολλές φορές συμπεριφέρονται σαν κράτος εν κρατεί και καθορίζουν τις τύχες ολόκληρων λαών προς εξυπηρέτηση των συμφερόντων τους. Η ενέργεια που μας περιβάλλει σε διάφορες μορφές είναι άφθονη και μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική με σχετικά απλούς και εύκολους τρόπους σε σχετικά μικρές εγκαταστάσεις. Το μόνο πρόβλημα που μας απασχολεί σοβαρά είναι ουσιαστικά η αποθήκευσή της σε μεγάλες ποσότητες. Αυτό είναι και το σημαντικότερο μειονέκτημα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων γιατί περιορίζει την αυτονομία τους. Έχει όμως ήδη λυθεί σε ικανοποιητικό βαθμό και όλα συνηγορούν στο ότι γρήγορα θα γίνουν περισσότερο αυτόνομα από τα αυτοκίνητα με θερμικό κινητήρα.

Όλα δείχνουν ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ξαναήρθαν στη ζωή των ανθρώπων μετά από 120 χρόνια, και θα μείνουν για πολύ αυτή τη φορά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] «el.wikipedia.org,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_electric_vehicle.
- [2] «Edison Tech Center,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://edisontechcenter.org/ElectricCars.html>.
- [3] University of Groningen, «University Museum,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.rug.nl/museum/collections/collection-stories/09-stratingh.jpg>
- [4] «upload.wikimedia.org,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e7/Thomas_Parker_Electric_car.jpg/280px-Thomas_Parker_Electric_car.jpg
- [5] «blog.sciencemuseum.org.uk,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://blog.sciencemuseum.org.uk/wp-content/uploads/2012/07/large_1922_0170-768x551.jpg
- [6] «carselectric,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://carselectric.gr/kare-kare-mia-anadromi-stin-istoria-ton-ilektrikon-ochimaton/>
- [7] «https://en.wikipedia.org,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/La_Jamais_Contente
- [8] «upload.wikimedia.org,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/12/1925_Ford_Model_T_touring.jpg/220px-1925_Ford_Model_T_touring.jpg
- [9] «hellasdirect.gr,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.hellasdirect.gr/blog/content/images/2022/02/istoria-ilektrikon_23-1.jpeg
- [10] «upload.wikimedia.org,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/af/EV1A014_%2819%29.jpg/308px-EV1A014_%2819%29.jpg
- [11] «78.media.tumblr.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://78.media.tumblr.com/cfa543734551386ac507ae19b678985b/tumblr_p0vbwxJRTf1ti77kbo1_500.jpg
- [12] «bangingnews.gr,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.bankingnews.gr/index.php?id=464946>
- [13] «getelectric.gr,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://getelectric.gr/ilektrokinisi-ena-akrivo-paichnidi-i-to-mellon-tis-aytokinisis/>

- [14] «Auto-Data.net,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.auto-data.net/images/f122/Tesla-Roadster_1.jpg
- [15] «concienciaeco.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.concienciaeco.com/2015/08/08/la-venta-de-vehiculos-electricos-alcanza-el-millon-de-unidades/>
- [16] «acea.auto,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.acea.auto/>
- [17] «caranddriver.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.caranddriver.com/tesla/model-s>
- [18] «caranddriver.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.caranddriver.com/tesla/model-s>
- [19] «carselectric.gr/,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://carselectric.gr/poliseis-ilektrikon-theamatiki-afxisi-to-2021/>
- [20] «4troxoi.gr,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.4troxoi.gr/agora/ilektrika-aytokinita-pos-diamorfothikan-oi-taxinomiseis-to-2021/>
- [21] «trcoff.gr,» Αύγουστος 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://trcoff.gr/other/ta-idi-ilektrikon-kaiybridikon-oxhmaton/>
- [22] «www.caranddriver.gr,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.caranddriver.gr/eidiseis/arthro/ybridiko_i_ilektriko_skoda-7793199/#group=nogroup&photo=1
- [23] «www.autoagora.gr,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.autoagora.gr/jpg/news/1600/ELECTRI-CARS-912019.jpg>
- [24] «www.autotriti.gr,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.autotriti.gr/jpg/AUTOTRITI/980/NEWS/29919_tech_2.jpg
- [25] «www.autotriti.gr,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.autotriti.gr/jpg/AUTOTRITI/980/NEWS/29919_tech_2.jpg
- [26] «www.motorone.gr,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.motorone.gr/wp-content/uploads/2022/03/A1912715_large.jpg
- [27] «amperorio.gr,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.amperorio.gr/index.php/el/istoria-tou-ilektrikou-aftokinitou>
- [28] «taskus.ee,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://taskus.ee/lithium-ion-battery/>
- [29] «www.tosynergeio.gr,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.tosynergeio.gr/images/stories/1105/3is-genias2.jpeg>
- [30] «sciencedirect.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/regenerative-braking>

- [31] «heliev.gr,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.heliev.gr>
- [32] «ilektroytomatismoι.blogspot,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://ilektroytomatismoι.blogspot.com/2017/02/blog-post_26.html
- [33] Δ. Νέγκας, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.heliev.gr/wp-content/uploads/2017/11/Ανεφοδιασμός-EV.pdf>
- [34] «el.wikipedia.org,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρικό_αυτοκίνητο
- [35] «www.hibridosyelectricos.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/tesla-acelerara-supercargadores-v3-recarga-25-km-minuto/20200601142909035581.html>
- [36] «el.wikipedia.org,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρικό_αυτοκίνητο
- [37] «img.huffingtonpost.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://img.huffingtonpost.com/asset/5fce42ed210000370273e440.png?ops=scalefit_720_noupscale&format=webp
- [38] «www.hellasdirect.gr,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.hellasdirect.gr/blog/autonomia-hlektrika-aytokinhta-oi-kalyteres-epidoseis-3/>
- [39] «www.tosynergeio.gr,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.tosynergeio.gr/images/stories/1105/asterismo2.jpg>
- [40] «www.tosynergeio.gr,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.tosynergeio.gr/autokinisi/yvridika-ilektrika-oximata?start=8>
- [41] «www.linquip.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.linquip.com/blog/what-is-axial-flux-motor/>
- [42] Kersten Reis, Marcel Lehr, Andreas Binder, «Comparison of axial-flux and radial-flux machines for use in wheel-hub-drives,» 2014
- [43] «www.linquip.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.linquip.com/blog/what-is-axial-flux-motor/>
- [44] «www.traxial.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.traxial.com/blog/why-arent-all-electric-vehicle-motors-axial-flux-yet/>
- [45] «www.emworks.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.emworks.com/blog/storage/uploads/2020/10/12/Data-comparison-between-radial-and-axial-flux-machines.jpg>

- [46] «carandmotor.gr,» [Ηλεκτρονικό]. Available:
<https://www.carandmotor.gr/electric/nea/ta-chips-pyritioy-einai-neo-bima-tis-ilektrkinisis>
- [47] «www.liberal.gr,» [Ηλεκτρονικό]. Available:
<https://www.liberal.gr/ckfinderIMG/userfiles/images/parking%20witricity.jpg>
- [48] «momentumdynamics.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available:
<https://momentumdynamics.com/>
- [49] «electreon.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://electreon.com/wp-content/uploads/system-diagram-VA-837x414.png>
- [50] «electreon.com,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://electreon.com/projects>
- [51] Υ. Π. κ. Ενέργειας, «Κινούμαι Ηλεκτρικά,» 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available:
<https://kinoumeilektrika.gov.gr/>