

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΑΜΙΓΩΣ  
ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ  
ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ**



**ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΚΑΦΕΝΤΖΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ (Α.Μ. 7153)**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΘΕΟΦΑΝΗΣ ΑΡΑΒΑΝΗΣ  
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΣ ΥΠΟΤΡΟΦΟΣ**



## ΠΑΤΡΑ 2021 ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Διπλωματική Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου και αποσκοπεί στην καταγραφή και μελέτη των σύγχρονων προκλήσεων που αντιμετωπίζει ή, ενδέχεται να αντιμετωπίσει, η τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων. Για τις προκλήσεις αυτές θα προταθούν ενδεχόμενες κατευθύνσεις προς αντιμετώπισή τους. Επιπρόσθετος σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της παρούσας κατάστασης της θέσης των Ελλήνων καταναλωτών απέναντι στην ηλεκτροκίνηση. Η μελέτη αυτή διεξήχθη με χρήση κατάλληλου ερωτηματολογίου, το οποίο και απαντήθηκε από αντιπροσωπευτικό δείγμα καταναλωτών.

Από την θέση αυτή, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Θεοφάνη Αραβανή, Ακαδημαϊκό Υπότροφο του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, για την κατανόηση του, τις πολύτιμες συμβουλές του, την καθοδήγηση του καθώς και την αμεσότητα του κατά την διεξαγωγή της παρούσας εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου για την στήριξη που μου έδωσαν καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

**Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή:** Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Φοιτητής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο Φοιτητής

ΚΑΦΕΝΤΖΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

.....



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εξετάζει τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα, τα οποία κατακτούν ολοένα και μεγαλύτερο μερίδιο στην παγκόσμια αυτοκινητοβιομηχανία, τα τελευταία χρόνια. Η ιδέα της ηλεκτροκίνησης, καθώς αποτελεί νέα τεχνολογία, αντιμετωπίζει κάποιες προκλήσεις. Τέτοιες προκλήσεις αποτελούν, κυρίως, η τεχνολογία συσσωρευτών, οι μέθοδοι φόρτισης και το αποτύπωμα ρύπων. Η παρούσα Διπλωματική Εργασία αποσκοπεί στην περιγραφή και μελέτη των προκλήσεων αυτών, καθώς, επίσης, μελετάται η γενικότερη γνώση/άποψη των Ελλήνων καταναλωτών αναφορικά με την ηλεκτροκίνηση.

Η ανάπτυξη της εργασίας γίνεται σε επτά Κεφάλαια. Στο πρώτο Κεφάλαιο γίνεται μία ιστορική αναδρομή των ηλεκτρικών οχημάτων και αναλύονται οι τύποι ηλεκτρικών οχημάτων. Έπειτα, περιγράφονται τα κύρια εξαρτήματα των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων και αναφέρονται τα πλεονεκτήματα που συνδέονται με την τεχνολογία τους.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην βασική αρχή λειτουργίας ενός επαναφορτιζόμενου συσσωρευτή και αναφέρονται σημαντικές λειτουργικές παράμετροι των συσσωρευτών αυτών. Ακολούθως, περιγράφονται οι τύποι μπαταριών των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων και αναλύονται οι προκλήσεις αναφορικά με την τεχνολογία τους.

Στο τρίτο Κεφάλαιο περιγράφονται τα συστήματα φόρτισης ενώ εμβαθύνουμε στα συστήματα αγωγίμης φόρτισης. Έπειτα, περιγράφονται οι μέθοδοι φόρτισης των αγωγίμων συστημάτων καθώς και οι προκλήσεις που αφορούν την τεχνολογία τους.

Στο τέταρτο Κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή για το πώς επιδρά γενικότερα ο τομέας των μεταφορών, ως προς το περιβάλλον. Τέλος, περιγράφονται οι πιο σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν αν ένα ηλεκτρικό όχημα συνεπάγεται υψηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από εκείνες ενός συμβατικού οχήματος με κινητήρα εσωτερικής καύσης.

Στο πέμπτο Κεφάλαιο προτείνονται, για τις προαναφερθείσες προκλήσεις, ενδεχόμενες κατευθύνσεις για την αντιμετώπισή τους.

Στο έκτο Κεφάλαιο, πραγματοποιείται έρευνα, μέσω κατάλληλου ερωτηματολογίου, όπου διερευνάται σε ποιο βαθμό είναι ενήμεροι οι Έλληνες καταναλωτές για την τεχνολογία της ηλεκτροκίνησης και ποια είναι η στάση τους αναφορικά με την υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων.

Στο έβδομο Κεφάλαιο δίνονται τα συμπεράσματα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, καταγράφεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε καθώς, επίσης, παρουσιάζονται ολοκληρωμένες οι ερωτήσεις του ερωτηματολογίου, όπου ενσωματώνονται στο Παράρτημα.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	iv
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
<b>1<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>2</b>
1.1 Η ΠΡΩΤΗ ΦΑΣΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ .....	2
1.2 Η ΔΕΥΤΕΡΗ ΦΑΣΗ.....	5
1.3 ΑΝΑΘΕΡΜΑΝΣΗ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ.....	7
1.4 ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1990 ΕΩΣ ΣΗΜΕΡΑ.....	10
1.5 ΤΥΠΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ .....	15
<b>1.5.1</b> Υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (Hybrid electric vehicles).....	15
<b>1.5.2</b> Ηλεκτρικά οχήματα με Συσσωρευτές (Battery electric vehicles (BEV))..	16
<b>1.5.3</b> Υβριδικά οχήματα με δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο (Plug-in hybrid vehicle (PHEV)).....	16
<b>1.5.4</b> Ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου (Fuel cell electric vehicles (FCEV)).....	17
<b>1.5.5</b> Ηλεκτρικά οχήματα με με Συσσωρευτές και Ηλεκτροπαραγωγική Μονάδα (Extended-range electric vehicle (E-REV)).....	17
1.6 ΚΥΡΙΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΕΝΟΣ ΑΜΙΓΩΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ .....	18
1.7 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΑΜΙΓΩΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ .....	20
<b>2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΟΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΤΩΝ ΑΜΙΓΩΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>23</b>
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ.....	23
2.1.1 Βασική αρχή λειτουργίας ενός επαναφορτιζόμενου συσσωρευτή.....	23
2.1.2 Σημαντικές λειτουργικές παράμετροι συσσωρευτών .....	24
2.1.3 Τύποι επαναφορτιζόμενων μπαταριών αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων .....	25

2.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΑΥΤΟΝΟΜΙΑ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ .....	26
2.3 ΑΝΗΣΥΧΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ....	31
2.4 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ .....	34
<b>3<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΜΕΘΟΔΩΝ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ .....</b>	<b>38</b>
3.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΦΟΡΤΙΣΗΣ .....	38
3.2 ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 1 ΚΑΙ 2.....	40
3.3 ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 3 .....	42
<b>4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ .....</b>	<b>49</b>
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	49
4.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΜΙΓΩΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ .....	50
4.3 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΜΙΓΩΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ .....	54
<b>5<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΠΡΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΚΛΗΣΕΩΝ .....</b>	<b>56</b>
5.1 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΣΤΕΡΕΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (SOLID-STATE BATTERIES).....	56
5.2 ΑΣΥΡΜΑΤΗ (ΕΠΑΓΩΓΙΚΗ) ΦΟΡΤΙΣΗ.....	60
5.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ.....	64
5.4 ΦΟΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕΣΩ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΠΕ .....	68
<b>6<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ - ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗ .....</b>	<b>72</b>
6.1 ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ .....	72
6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ- ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗ .....	73
<b>7<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>85</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>86</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....</b>	<b>93</b>





## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ευαισθητοποίηση και οι ανησυχίες για τη διατήρηση της ενέργειας και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα αυξάνονται τα τελευταία χρόνια σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες που παράγουν εκπομπές θερμοκηπίου έχουν επηρεάσει σοβαρά το περιβάλλον. Στην αυτοκινητοβιομηχανία, τα οχήματα με κινητήρες εσωτερικής καύσης (ICE) τροφοδοτούν οχήματα εδώ και αιώνες, τα οποία βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα και παράγουν επιβλαβείς εκπομπές. Πιο συγκεκριμένα, οι οδικές μεταφορές αποτελούν μία από τις κύριες πηγές εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, που παράγουν περίπου το 24% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Τα ελαφρά οχήματα είναι υπεύθυνα για την παραγωγή 15% αυτών των εκπομπών. Εκτός από το διοξείδιο του άνθρακα, τα οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης εκπέμπουν και άλλες σημαντικές ρυπαντικές ουσίες όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξείδια του αζώτου, το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) και τα αιωρούμενα σωματίδια (PM). Είναι γνωστό ότι οι ουσίες αυτές είναι επιβλαβής τόσο για το περιβάλλον όσο και για την ανθρώπινη υγεία. Με τις κυβερνητικές πρωτοβουλίες για τη μείωση τέτοιων εκπομπών με όλο και πιο αυστηρά όρια, τα οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICEV) φτάνουν στα φυσικά όρια όσον αφορά τις δυνατότητές τους να περιορίσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Συνεπώς, η μετάβαση σε νέες εναλλακτικές λύσεις πιο αποτελεσματικές και φιλικές ως προς το περιβάλλον, κρίνεται απαραίτητη.

Τα ηλεκτρικά οχήματα θεωρούνται εναλλακτικές λύσεις για τα συμβατικά οχήματα με μηχανή εσωτερικής καύσης. Τα ηλεκτρικά οχήματα τροφοδοτούνται πλήρως από ηλεκτρικούς κινητήρες ή εν μέρει. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες αποδίδουν μηχανική ενέργεια, μετατρέποντας την ηλεκτρική ισχύ που λαμβάνουν είτε από συσσωρευτές είτε από κυψέλες καυσίμου, επιτρέποντας την κίνηση των οχημάτων αυτών.

Τον τελευταίο καιρό, πολλές κυβερνήσεις έχουν ανακοινώσει μελλοντικές απαγορεύσεις αναφορικά με την κυκλοφορία συμβατικών οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης στον δρόμο. Κατά συνέπεια, αν και τα ηλεκτρικά οχήματα αντιπροσωπεύουν σήμερα ένα μικρό μέρος της αγοράς μεταφορών, αναμένεται να γνωρίσουν σημαντική και ταχεία ανάπτυξη τις επόμενες δεκαετίες. Εκτιμάται ότι ο παγκόσμιος στόλος ηλεκτρικών οχημάτων θα αυξηθεί από περίπου 3 εκατομμύρια οχήματα το 2017, σε περίπου 95 με 105 εκατομμύρια οχήματα έως το 2030 και 585 με 823 εκατομμύρια οχήματα έως το 2050. Σε αυτό επίπεδο διείσδυσης στην αγορά, τα ηλεκτρικά οχήματα θα αποτελούν το ένα τρίτο έως το μισό του συνόλου στόλο ελαφρών οχημάτων έως το 2050.

# 1<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

## 1.1 Η ΠΡΩΤΗ ΦΑΣΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ

Μπορεί τα τελευταία χρόνια τα ηλεκτρικά οχήματα να έχουν εισβάλλει στην καθημερινότητα των ανθρώπων και να έχουν αποκτήσει αναγνωρισιμότητα από το ευρύ κοινό, ωστόσο η πρώτη εμφάνιση τους χρονολογείται πολλά χρόνια πριν. Το πρώτο ηλεκτρικό όχημα με συσσωρευτές κατασκευάστηκε το 1834. Πάνω από 50 χρόνια αργότερα, κατασκευάστηκε το πρώτο όχημα με μηχανή εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ) [1].

Η εφεύρεση του ηλεκτροκίνητου οχήματος πέρασε από ποικίλλα στάδια και οφείλεται στις προσπάθειες πολλών εφευρετών. Η πρώτη προσέγγιση έγινε το 1828 από τον Ούγγρο Stephen Ányos Jedlik ο οποίος εφηύρε έναν ηλεκτρικό κινητήρα (σχήμα 1.1), που του επέτρεψε να κατασκευάσει μικρής κλίμακας όχημα. Στην συνέχεια, ακολούθησε ο Ολλανδός Sibranus Stratingh οπού κατασκεύασε ένα μοντέλο τρίκυκλου ηλεκτρικού οχήματος γύρω στο 1835 (σχήμα 1.2). Δύο χρόνια αργότερα, το 1837, ο Thomas Davenport ήταν ο εφευρέτης του πρώτου ηλεκτρικού κινητήρα συνεχούς ρεύματος [1].



**Σχήμα 1.1:** Ο ηλεκτροκινητήρας του Jedlik [2]

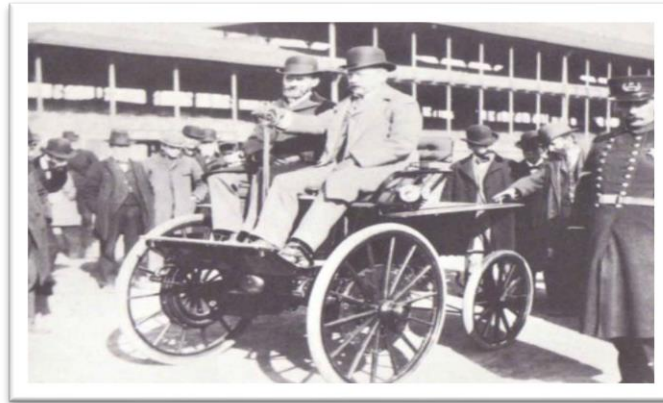


**Σχήμα 1.2 :** Το τρίκυκλο ηλεκτρικό μοντέλο του Sibranus Stratingh [3]

Οι πρώτες αυτές εφευρέσεις αποτέλεσαν κινητήριο δύναμη για μια εκτεταμένη έρευνα πάνω στα ηλεκτρικά οχήματα με την εφεύρεση των πιο πρακτικών και επιτυχών ηλεκτρικών οχημάτων να λαμβάνει χώρα το 1842 [1]. Δημιουργεί τον οχημάτων αυτών ήταν ο Thomas Davenport και ο Robert Davidson όπου ήταν και οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν τις πρόσφατα εφευρεθέντες μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Μείζον πρόβλημα αυτών των συσσωρευτών αποτέλεσε η μη δυνατότητα επαναφόρτισης. Το 1859 ο Gaston Plante, επίλυσε το πρόβλημα με τους μη επαναφορτιζόμενους συσσωρευτές, παρουσιάζοντας τον επαναφορτιζόμενο συσσωρευτή μολύβδου-οξέος [2]. Η περαιτέρω ανάπτυξη αυτού του είδους συσσωρευτών έλαβε χώρα το 1881 από τον Camille Alphonse Faure, όπου σε συνδυασμό με την διαρκή πρόοδο των ηλεκτρικών κινητήρων, αποτελώντας καταλυτικό παράγοντα για την κατασκευή ηλεκτρικών οχημάτων για ιδιωτική χρήση. Το 1881, ο Gustave Troune παρουσίασε ένα λειτουργικό ηλεκτροκίνητο τρίκυκλο στην Διεθνή Έκθεση Ηλεκτρισμού στο Παρίσι. Παρόλα αυτά, το όχημα που θα μπορούσε να έχει προοπτικές ώστε να αποτελέσει προϊόν για το αγοραστικό κοινό, δεν είχε κατασκευαστεί ακόμα [1].

Η τελευταία δεκαετία του 19ου αιώνα υπήρξε περίοδος άνθισης στην φωτεινή εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων. Εκείνη την περίοδο δημιουργήθηκε το **Electrobat** (σχήμα 1.3), το οποίο ήταν το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο των Ην. Πολιτειών. Ο μηχανολόγος μηχανικός Henry G. Morris και ο χημικός Pedro G. Salom από τη Φιλαδέλφεια της Πενσυλβανία, ευθύνονταν για αυτό το θαύμα της ηλεκτροκίνησης [4]. Οι δυο τους αποφάσισαν να συνεργαστούν και να κατασκευάσουν οχήματα με μπαταρία. Το 1885 ξεκίνησε η παραγωγή του Electrobat το οποίο ήταν προϊόν των συνδυασμένων προσπαθειών τους. Το συνολικό βάρος του ανερχόταν στους 2 τόνους, με χαλύβδινους τροχούς για να αντέξουν το υπερβολικά μεγάλο βάρος της μπαταρίας μολύβδου-οξέως των 725 kg. Το Electrobat ήταν ένα μικρό θαύμα για τα δεδομένα της εποχής εκείνης.

Με διαρκή έρευνα και ανάπτυξη, οι εκδόσεις του Electrobat που ακολούθησαν ήταν σημαντικά βελτιωμένες ως προς το βάρος και την ταχύτητα, οι τροχοί διέθεταν πλέον ελαστικά, υπήρξε ανάρτηση ελικοειδούς ελατηρίου και η οδήγηση συνέβαινε από την κίνηση των πίσω τροχών. Οι σύγχρονες εκδόσεις, αποτελούνταν από δύο κινητήρες ισχύος 1,5 ίππων (1,1 kW) [4].

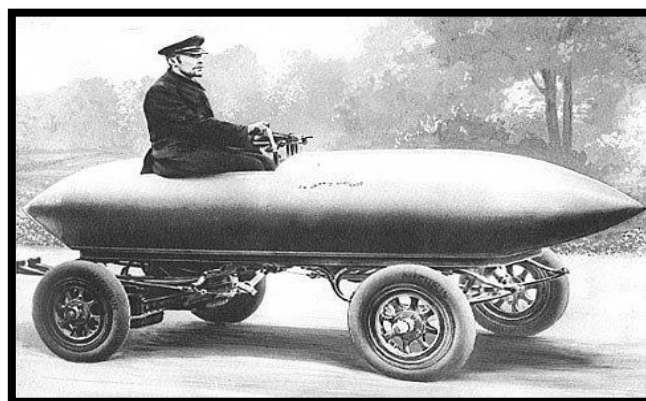


**Σχήμα 1.3** : Morris and Salom στο Electrobat του 1894 [4]

Το δεύτερο μοντέλο, το **Electrobat 2**, ζύγιζε πολύ λιγότερο με το συνολικό βάρος στα 660 kg και διατέλεσε ρόλο ταξί στην εταιρία των Morris & Salom [4]. Τα Electrobat έστριβαν αλλάζοντας την πορεία των οπίσθιων τροχών και διέθεταν δύο ηλεκτροκινητήρες ισχύος 1,1 kW. Η μέγιστη ταχύτητα έφτανε τα 32 km/h, μπορούσε να διανύσει 40 km και το βάρος της μπαταρίας ανερχόταν στα μόλις 256 kg [4]. Μέχρι τον Απρίλιο του 1897 είχε εξυπηρετήσει περίπου χίλιους επιβάτες στην περιοχή του Μανχάταν.

Παράλληλα, η εταιρία Electric Cab Company ξεκίνησε να διαθέτει τις υπηρεσίες της στην Μ. Βρετανία, κατασκευάζοντας 15 ταξί. Αυτά τα ταξί ενσωμάτωναν πολλά ενδιαφέροντα τεχνολογικά χαρακτηριστικά (σύστημα σύμπλεξης / αποσύμπλεξης, αφαιρούμενοι συσσωρευτές).

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι **το πρώτο όχημα** που ξεπέρασε την ταχύτητα των 100 km/h ήταν ηλεκτρικό [1]. Πιο συγκεκριμένα, το 1899 ο βέλγος Camille Jenatzy, με το ιδιαίτερης κατασκευής όχημα του (σχήμα 1.4) [2], κατάφερε στην τρίτη δοκιμή του να αγγίξει τα 105.88 km/h. Η εν λόγω ταχύτητα υπήρξε νούμερο εκτός πραγματικότητας για την εποχή του.



**Σχήμα 1.4** : Ο Camille Jenatzy πάνω στο όχημα του το 1899 [2]

Κατά την διάρκεια της πρώτης δεκαετία του 20<sup>ου</sup> αιώνα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα καταλάμβαναν σημαντικό μερίδιο στην αγορά των Η.Π.Α. Πιο συγκεκριμένα, το 38% ήταν ηλεκτροκίνητα, το 22% βενζινοκίνητα και το 40 % ατμοκίνητα [2]. Οι συγκεκριμένες κατηγορίες αυτοκινήτων ανταγωνίζονταν ποια θα επικρατήσει καθώς, ενώ η κάθε μια κατηγορία διέθετε τα δικά της θετικά χαρακτηριστικά, υπήρχαν και αξιοσημείωτες αδυναμίες που αντιμετώπιζαν. Πιο συγκεκριμένα, τα ατμοκίνητα, ενώ διέθεταν υψηλή ισχύ, απαιτούσαν υψηλό χρόνο εκκίνησης που κυμαίνονταν μεταξύ των 25-45 λεπτών κατά την χειμερινή περίοδο [2]. Για να τεθούν σε λειτουργία χρειαζόνταν νερό και ο χειρισμός τους συνέβαινε εξ ολοκλήρου από οδηγούς με ιδιαίτερες δεξιότητες. Τα βενζινοκίνητα έκαναν αισθητή την παρουσία τους, καθώς παρήγαγαν αυξημένα επίπεδα θορύβου. Εξέπεμπαν δυσάρεστη οσμή, είχαν χαμηλή αξιοπιστία, δονήσεις προκαλούνταν λόγω του κινητήρα εσωτερικής καύσης, το κιβώτιο ταχυτήτων ήταν περίπλοκο στην χρήση [2]. Επίσης, το γεγονός πως η εκκίνηση του κινητήρα εσωτερικής καύσης γινόταν με χειροκίνητο τρόπο, αποτελούσε ενέργεια αυξημένου κινδύνου. Αντιθέτως τα ηλεκτροκίνητα οχήματα λειτουργούσαν χωρίς να εκπέμπουν καυσαέρια ως προς το περιβάλλον, παρήγαγαν σημαντικά μειωμένο θόρυβο και ήταν ανθεκτικά [2]. Η οδήγηση και η εκκίνηση του ηλεκτρικού οχήματος ήταν μια διαδικασία απλή και μπορούσε να επιτευχθεί από έναν αρχάριο οδηγό. Βέβαια τα ηλεκτρικά οχήματα είχαν περιορισμένη αυτονομία, δεν πετύχαιναν τις ίδιες μέγιστες ταχύτητες με τους ανταγωνιστές τους και διέθεταν ιδιαίτερα υψηλή τιμή. Ευνοϊκή συνθήκη για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα λαμβάνοντας υπόψη την χαμηλή αυτονομία τους, αποτέλεσε το γεγονός πως το οδικό δίκτυο της εποχής ήταν σε κακή κατάσταση. Καθώς μόνο οι αστικές μετακινήσεις ήταν εφικτές, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα υπερεπερνούσαν έναντι των άλλων κατηγοριών αυτοκινήτων μέχρι τη δεκαετία του 1920.

## 1.2 Η ΔΕΥΤΕΡΗ ΦΑΣΗ

Έπειτα από την επιτυχία που είχε σημειώσει το ηλεκτρικό αυτοκίνητο στις αρχές του 20ου αιώνα ξεκίνησε να χάνει έδαφος στην βιομηχανία του αυτοκινήτου [5]. Μια σειρά από διαδοχικές μεταβολές συντέλεσαν σε αυτό το αποτέλεσμα. Μεταξύ των πιο καθοριστικών, ήταν η βελτίωση του οδικού δικτύου καθιστώντας αναγκαία την χρήση οχημάτων μεγαλύτερης αυτονομίας [5]. Επιπλέον, η εύρεση μεγάλων αποθεμάτων πετρελαίου σε διεθνή επίπεδο κατέστησε εξαιρετικά χαμηλή την χρέωση των καυσίμων για τους υποψήφιους αγοραστές. Η χαμηλή αυτονομία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων (περίπου 50–65 km) κατέστησε τις υπεραστικές μετακινήσεις ανέφικτες σε συνδυασμό με την χαμηλή ταχύτητα που μπορούσαν να αναπτύξουν (περίπου 24-32 km/h) [5]. Αντιθέτως, τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα είχαν την δυνατότητα να καλύψουν μεγαλύτερες αποστάσεις και με αισθητά πιο γρήγορο ρυθμό από τα αντίστοιχα ηλεκτρικά. Έκτοτε τα βενζινοκίνητα έγιναν πιο εύκολα στην χρήση μετά την ανακάλυψη του ηλεκτρικού εκκινητή (μίζα), από τον Charles Kettering το 1912, ο οποίος αφαίρεσε την ανάγκη της μηχανικής μανιβέλας [5]. Η μανιβέλα αποτελούσε βασικό βήμα, για την εκκίνηση της μηχανής εσωτερικής καύσης. Η παραγωγή σε μαζική κλίμακα του βενζινοκινήτου οχήματος από τον Henry Ford, το οποίο ονομάστηκε Model T (σχήμα 1.5), έδινε δυνατότητα στους υποψήφιους αγοραστές να τα αποκτήσουν σε ιδιαίτερα ελκυστικές τιμές [5]. Ενδεικτικά, το κόστος απόκτησης



του Model T ανερχόταν στα 650 δολάρια, την στιγμή που ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο κόστιζε 1750 δολάρια.



**Σχήμα 1.5:** Ford Model T [6]

Η αρχή της παρακμής των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είχε πραγματοποιηθεί το 1920 ώσπου μια δεκαετία αργότερα, η ηλεκτρική αυτοκινητοβιομηχανία είχε ουσιαστικά εξαφανιστεί.

Τα χρόνια περνούσαν χωρίς σημαντική αναβίωση στη χρήση ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Την στιγμή που ευρωπαϊκές χώρες στέρευαν από καύσιμα, αγωνιζόμενες για το πια θα επιβιώσει στον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, δημιουργήθηκαν ηλεκτρικά οχήματα που ονομάστηκαν milk floats [5]. Τα milk floats είναι ηλεκτρικά οχήματα μέσω των οποίων συνέβαινε η παράδοση φρέσκου γάλατος. Συνολικά, ενώ η ανάπτυξη των οχημάτων με μηχανή εσωτερικής καύσης εξελισσόταν με ταχύ ρυθμό, η τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων δεν παρουσίασε ανάλογη εξέλιξη.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1950, κατασκευάστηκε ένα νέο ηλεκτρικό αυτοκίνητο, το οποίο ονομάστηκε Henney Kilowatt [5] (σχήμα 1.6). Αποτέλεσε προϊόν αμοιβαίας βοήθειας και υποστήριξης μεταξύ Henney Motor Company και της National Union Electric Company, με εμφανή επιρροή από το γαλλικό μοντέλο Renault Dauphine. Το Henney Kilowatt είχε μέγιστη ταχύτητα που άγγιζε 96 km/h και αρκούσε μία μόνο φόρτιση για να ταξιδέψει απροβλημάτιστα για περίπου μία ώρα [5]. Ωστόσο η φανερά αυξημένη απόδοση του σε σχέση με τα παλαιότερα ηλεκτρικά αυτοκίνητα δεν κατέλαβε την ανάλογη αναγνώριση από τους καταναλωτές. Καθοριστικό ρόλο σε αυτό το γεγονός έπαιξε η τιμή του, η οποία ήταν υψηλή σε σύγκριση με τα αντίστοιχα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα της εποχής. Έως το 1961, η παράγωγη του είχε σταματήσει [5].



**Σχήμα 1.6:** Το Henney Kilowatt ήταν ηλεκτρικό αυτοκίνητο παραγωγής του έτους 1961 [5]

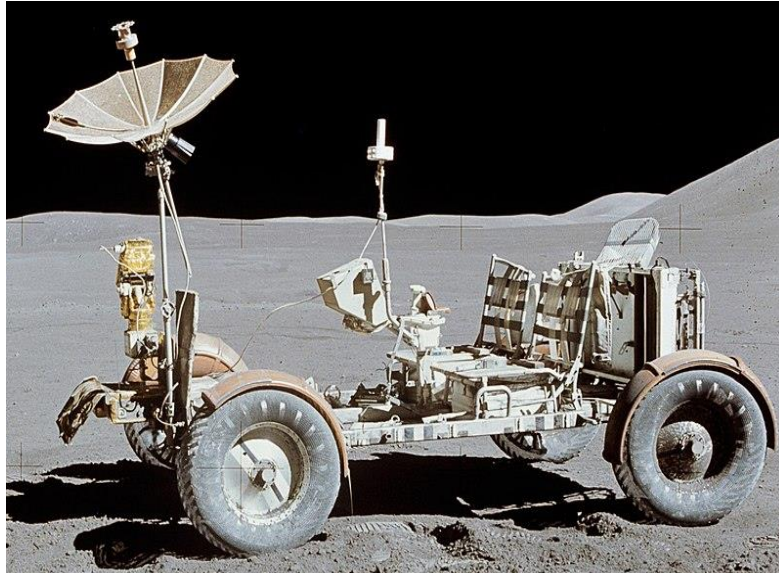
### 1.3 ΑΝΑΘΕΡΜΑΝΣΗ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ

Το 1959, στα πλαίσια κοινής ερευνητικής προσπάθειας, η American Motors Corporation (AMC) και η Sonotone Corporation εξετάσαν το ενδεχόμενο παραγωγής ηλεκτρικού οχήματος το οποίο θα τροφοδοτούνταν από μία αυτό-φοτιζόμενη μπαταρία [5]. Η AMC ήταν γνωστή για καινοτομία στα χαμηλής τιμής αυτοκίνητα, ενώ η Sonotone διέθετε την κατάλληλη τεχνογνωσία για την κατασκευή συσσωρευτών νικελίου-καδμίου που θα ήταν ικανή να επαναφορτιστούν σε μικρό διάστημα, με βάρος το οποίο κυμαινόταν σε χαμηλότερα επίπεδα από τους παραδοσιακούς συσσωρευτές μολύβδου-οξέος [5].

Στα μέσα της δεκαετίας του 1960, σημειώθηκαν κάποιες προσπάθειες για μαζική παραγωγή ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Παρουσιάστηκαν μερικά πρωτότυπα αυτοκίνητα με ηλεκτρική μπαταρία. Μερικά εξ αυτών, ήταν Scottish Aviation Scamp (1965) και μια ηλεκτρική έκδοση του βενζινοκίνητου αυτοκινήτου της General Motors, το Electrovair (1966) [5]. Ωστόσο κανένα από αυτά τα δυο οχήματα δεν κατάφερε να εισχωρήσει σε γραμμή παραγωγής.

Ο καιρός περνούσε, αρκετά πρωτοποριακά σχέδια πραγματοποίησαν την εμφάνισή τους, με κορυφαίο **το πρώτο επανδρωμένο buggy** (σχ. 1.7) που κατάφερε να αποσπάσει την διάκριση του πρώτου επανδρωμένου οχήματος που κινήθηκε στην επιφάνεια του φεγγαριού, στις 31 Ιουλίου του 1971 [5].

Το Lunar Roving Vehicle, όπως ονομάστηκε, ήταν όχημα που απαρτιζόταν από μια μηχανή συνεχούς ρεύματος για τον κάθε τροχό λαμβάνοντας ηλεκτρική ενέργεια από ζεύγος μπαταριών των 36V [5].



**Σχήμα 1.7:** Ηλεκτρικό Buggy στην επιφάνεια του φεγγαριού [5]

Παράλληλα, την δεκαετία του 1970, βασικό παράγοντα για το ανανεωμένο ενδιαφέρον εξέλιξης τεχνολογίας των ηλεκτρικών οχημάτων αποτέλεσαν οι υψηλές περιβαλλοντικές ανησυχίες των διαφόρων κρατών. Οι σημαντικότεροι λόγοι που οδήγησαν στην εν λόγω πυροδοτήσει του ενδιαφέροντος, είναι οι ακόλουθοι:

- Το Clean Air Act του 1970, ο οποίος ήταν ένας ομοσπονδιακός νόμος των Ην. Πολιτειών, απαιτούσε τα κράτη να αναλάβουν τον έλεγχο της ποιότητας του αέρα και να πληρούν συγκεκριμένα πρότυπα βάσει συγκεκριμένου χρονοδιαγράμματος [7].
- Η πετρελαϊκή κρίση του 1973, όταν τα μέλη του Οργανισμού Αραβικών Πετρελαιοπαραγωγών Χωρών ή αλλιώς ΟΑΡΕC, διακήρυξαν εμπάργκο πετρελαίου. Μέχρι το τέλος του εμπάργκο το 1974, η τιμή του πετρελαίου είχε εκτοξευτεί στα ύψη, προκαλώντας το ενδιαφέρον για εναλλακτικές λύσεις έναντι των οχημάτων με καύσιμα [7].
- Το 1976, το Κογκρέσο των Ην. Πολιτειών ανέλαβε δράση και εξουσιοδότησε το τμήμα ενέργειας να υποστηρίξει την έρευνα και ανάπτυξη στα ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα [7].

Κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1970, **δύο εταιρίες** υπήρξαν κύρια πρόσωπα στην παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων [7]. Η πρώτη ήταν η Sebring-Vanguard, η οποία δημιούργησε περισσότερα από 2000 ηλεκτρικά οχήματα, τα οποία ονομάστηκαν Citicar [7]. Αυτά τα μικρής διάστασης αυτοκίνητα (σχήμα 1.8), είχαν τελική ταχύτητα 70 km/h και ήταν ικανά να καλύψουν αποστάσεις 80 έως 95 χιλιομέτρων [7]. Το Citicar, και οι βελτιωμένες εκδόσεις που το διαδέχθηκαν, αποτέλεσε το πιο εμπορικό αμερικανικό ηλεκτρικό αυτοκίνητο μέχρι το 2011, όπου το Tesla Roadster σημείωσε μεγαλύτερες πωλήσεις [7].





**Σχήμα 1.8:** Citicar, μοντέλο του 1976 [8]

Η άλλη εταιρία που έγινε γνώστη ήταν η Zagato όπου δημιούργησε το Elcar. Η Zagato παρήγαγε συνολικά 500 οχήματα, με την παραγωγή του πρώτου να ξεκινά το 1974 [9]. Ήταν ένα όχημα μικρών διαστάσεων (σχήμα 1.9), ιδανικό για αστικές μετακινήσεις, με λιτό εσωτερικό και ηλεκτρικό σύστημα μετάδοσης. Η αυτονομία του άγγιζε τα 80 km/h, παρόμοια με εκείνη του Citicar [9].



**Σχήμα 1.9 :** Elcar, Powder Blue μοντέλο [9]

Οι αυτοκινητοβιομηχανίες παγκοσμίως ξεκίνησαν να επενδύουν περισσότερο στην εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων, με την παρουσίαση του πρώτου ηλεκτρικού οχήματος της BMW να πραγματοποιείται στους Θερινούς Ολυμπιακούς Αγώνες του 1972 [7]. Πιο συγκεκριμένα, το BMW 1602 e (σχήμα 1.10) περιείχε έναν ηλεκτροκινητήρα, απόδοσης 42 ίππων, ο οποίος τροφοδοτούνταν με ηλεκτρική ενέργεια από 12 συσσωρευτές μολύβδου-οξέος [7]. Η τελική του ταχύτητα άγγιζε τα 100 km/h και κάλυπτε απόσταση 60 χιλιομέτρων με μια μόνο φόρτιση [7].

Παράδοξο φάνηκε το γεγονός πως ενώ οι διοργανωτές των Ολυμπιακών Αγώνων έκαναν χρήση του 1602 e κατά τη διάρκεια των αγώνων του Μονάχου, το όχημα δεν τέθηκε ποτέ σε γραμμή παραγωγής.



Σχήμα 1.10: BMW 1602 Electro [10]

Μεγαλύτερος αριθμός ηλεκτρικών αυτοκινήτων παρουσιάστηκαν τη δεκαετία του 1970, αλλά οι πωλήσεις που σημείωσαν δεν ήταν σημαντικές. Βραχνάς στην υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων σε μαζική κλίμακα στάθηκε η **μικρή αυτονομία τους, η χαμηλή ταχύτητα και η μη ελκυστική εμφάνιση**. Παράγοντες οι οποίοι συνέβαλαν στην περαιτέρω μείωση της δημοτικότητας τους κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1980.

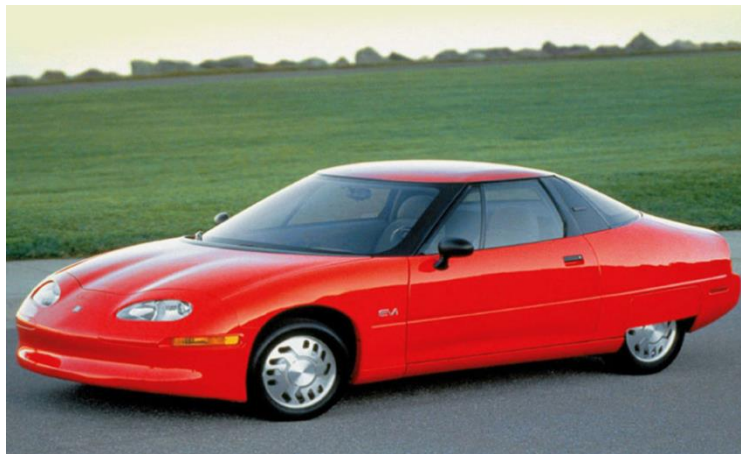
#### 1.4 ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1990 ΕΩΣ ΣΗΜΕΡΑ

Στη σύγχρονη εποχή, το ενδιαφέρον γύρω από την ηλεκτροκίνηση έχει σημειώσει σημαντική άνοδο κυρίως στον τομέα έρευνας και ανάπτυξης. Η χρήση κινητήρων εσωτερικής καύσης είχε αρνητικό αντίκτυπο στον αέρα της πόλης. Αυτός ο παράγοντας έπαιξε σημαντικό ρόλο καθώς ήταν η αφορμή για το Clean Air Act του 1990, ομοσπονδιακός νόμος των Ηνωμένων Πολιτειών, να πραγματοποιήσει αλλαγές στις νομοθεσίες διαφόρων κρατών σχετικά με την εξέταση των επιπέδων ατμοσφαιρικής μόλυνσης. Παράλληλα έλαβε δράση η Energy Act το 1992. Και οι δυο μαζί συντέλεσαν στην αύξηση των επενδύσεων για ηλεκτρικά οχήματα [7].

Την δεκαετία του 1990, η Καλιφόρνια αγωνιζόταν για την μείωση των ατμοσφαιρικών επιπέδων μόλυνσης, μείζον πρόβλημα από το οποίο υπέφερε η πολιτεία για περίπου τέσσερις δεκαετίες [11]. Ο οργανισμός που είχε αναλάβει την αντιμετώπιση της αιθαλομίχλης είναι το California Air Resources Board (CARB). Η CARB δημιούργησε το πρόγραμμα 'Zero Emission Vehicle', με στόχο να ελαττωθεί η πυκνότητα των ρυπογόνων αυτοκινήτων στους δρόμους της Καλιφόρνιας και συγχρόνως να επισπεύσει την διαδικασία υιοθέτησης αυτοκινήτων μηδενικών εκπομπών [11]. Παρέδωσε ένα τελεσίγραφο το οποίο ανέφερε ρητά στους κατασκευαστές πως για να εξακολουθήσουν να πωλούν αυτοκίνητα στην Καλιφόρνια, το 2% των πωλήσεών τους μεταξύ 1998 και 2000 θα πρέπει να εκλύει μηδενικές εκπομπές, αυξάνοντας το 5% για το 2001 και 10 τοις εκατό για το 2003

[11]. Ως αποτέλεσμα, οι αυτοκινητοβιομηχανίες ανέπτυξαν ηλεκτρικά αυτοκίνητα όπως, μερικά εκ των οποίων, αυτά που αναφέρονται συνοπτικά πιο κάτω:

Ένα από τα πρώτα και ενδεχομένως από τα πιο δημοφιλή αυτοκίνητα που κατασκευάστηκαν τηρώντας τους νέους κανονισμούς ήταν το EV1 της General Motor. Το 1996, οι GM δημιούργησε το EV1. Το αυτοκίνητο (σχήμα 1.11) μπορούσε να αποκτηθεί αποκλειστικά με μίσθωση και ήταν διαθέσιμο μόνο στο αγοραστικό κοινό της Καλιφόρνια και της Αριζόνα. Το κόστος μίσθωσης ξεκινούσε από 299 δολάρια και μπορούσε να αγγίξει τα 574 δολάρια το μήνα, κόστος το οποίο εξαρτιόταν από την προσφορά κρατικών εκπτώσεων [11]. Την θέση των μεγάλων πακέτων ιόντων-λιθίου, όπως τα σύγχρονα ηλεκτρικά αυτοκίνητα χρησιμοποιούσαν, διαδέχθηκε συσσωρευτής μολύβδου-οξέος χωρητικότητας 16,5kWh. Το αυτοκίνητο με μία φόρτιση ήταν ικανό να καλύψει αποστάσεις 120 χιλιομέτρων [11]. Στο εμπρόσθιο τμήμα του οχήματος εγκαταστάθηκε ένας ηλεκτροκινητήρας απόδοσης 102kW, με ροπή 149Nm [11]. Το EV1 ήταν επαναστατικό στην κατασκευή του, αποτελώντας ένα από τα πρώτα οχήματα που διέθεταν αλουμίνιο στο πλαίσιο του [11].



**Σχήμα 1.11** : 1996, Η πρώτη γενιά του EV1 [11]

Το 1999, η ανανεωμένη δεύτερη γενιά του EV1 ήταν γεγονός. Σημαντικές βελτιώσεις το διαδέχθηκαν με το κόστος παραγωγής να ανέρχεται σε χαμηλότερα επίπεδα, οι θόρυβοι είχαν μειωθεί είχαν μειωθεί περαιτέρω, αισθητή ελάττωση βάρους και τοποθέτηση μπαταρίας Νικελίου – Μετάλλου Υδριδίου (NiMH). Με αυτόν τον τύπο συσσωρευτή, το EV1 μπορούσε να καλύψει αποστάσεις 200 χιλιομέτρων με μία μόνο φόρτιση [11].

Την ίδια δεκαετία ξεκίνησε η παραγωγή του Honda EV Plus (σχήμα 1.12). Πιο συγκεκριμένα ξεκίνησε το 1997 και έλαβε τέλος το 1999, με την παραγωγή 340 μοντέλων στο διάστημα αυτό [12]. Οι μπαταρίες που τοποθετήθηκαν στο EV Plus ήταν Νικελίου-Μετάλλου Υδριδίου (NiMH) και όχι μολύβδου-οξέως. Το EV Plus εφοδιαζόταν με κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος τύπου DC Brushless ο οποίος απέδιδε ισχύ 49 kW (66 hp) και η ταχύτητα του έφτανε τα 130 km/h [12]. Το κόστος απόκτησης του ανέρχονταν στα 53.900 δολάρια.





**Σχήμα 1.12** : Honda EV Plus [13]

Το 2006 η εταιρία Tesla, με την ανακοίνωση πως επρόκειτο να κατασκευάσει ηλεκτρικό αυτοκίνητο με μπαταρία αυτονομίας 320 χιλιομέτρων, συντέλεσε στην **ανόρθωση του κύρους** των ηλεκτρικών οχημάτων [7]. Πιο συγκεκριμένα, το Tesla Roadster (σχήμα 1.13), μοντέλο βασισμένο στο σασί της Lotus Elise με το οποίο συστήθηκε η εταιρία στο αγοραστικό κοινό, είναι ένα υψηλών επιδόσεων ηλεκτροκίνητο αυτοκίνητο που δημιουργήθηκε από την αμερικανική αυτοκινητοβιομηχανία Tesla, από το 2008 έως το 2012 [14]. Κατείχε ρεκόρ με την υψηλότερη αυτονομία στην ιστορία των πλήρως ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων καλύπτοντας αποστάσεις 320 χιλιομέτρων, με τον κεντρικά τοποθετημένο ηλεκτρικό κινητήρα να αποδίδει 185 kW (248 hp) [14]. Η Tesla διέθετε το σπορ αυτοκίνητο της σε περισσότερες από 30 χώρες διεθνώς, καταγράφοντας 2450 πωλήσεις [14]. Τον Ιούλιο του 2010 πραγματοποιήθηκαν βελτιώσεις σε ότι αφορά την ισχύ και την αυτονομία του και τότε μετονομάστηκε σε Roadster sport 2.5 έως και το πέρας της παραγωγής του. Πιο συγκεκριμένα, η ισχύ του Tesla Roadster έφτασε τα 215 kW (288 ίππους) και η αυτονομία του ξεπέρασε τα 390 χιλιόμετρα [14]. Μέσα σε χρόνο 3,7 δευτερολέπτων μπορούσε από μηδενική ταχύτητα να φτάσει στα 100 και το κόστος αγοράς του κυμαίνονταν στα 83.000 € [14].



**Σχήμα 1.13** : Tesla roadster, η πρώτη γενιά [14]

Το 2010, ξεκίνησε η παραγωγή του Nissan Leaf, που κατασκευάζεται από την ιαπωνική εταιρία Nissan, και εντασσόταν στην κατηγορία των μικρομεσαίων αυτοκινήτων. Η πρώτη χώρα στην οποία έγινε η διανομή του Nissan Leaf ήταν οι Ηνωμένες Πολιτείες. Το Nissan Leaf (σχήμα 1.14) ήταν ικανό να διανύσει 160 χιλιόμετρα με μια μόνο φόρτιση και είχε ιδιαίτερα προσιτή τιμή, η οποία υπολογίζεται στα 30.000 δολάρια. Μέχρι σήμερα, το Nissan Leaf έχει καταφέρει να πετύχει τις υψηλότερες πωλήσεις, σε αμιγώς ηλεκτρικό όχημα, σε παγκόσμια κλίμακα. Από την έναρξη παραγωγής του μοντέλου μέχρι το 2019, η Nissan πούλησε πάνω από 400.000 αντίτυπα [15].



**Σχήμα 1.14:** Nissan Leaf, πρώτης γενιάς του 2010 [15]

Το 2012 η εταιρία BMW πραγματοποίησε μια αξιόλογη προσπάθεια στον χώρο της ηλεκτροκίνησης κατασκευάζοντας το BMW 1 Series Active E (σχήμα 1.15). Το Active E, που αποτέλεσε την ηλεκτροκίνητη παραλλαγή της Series1, διαθέτει μπαταρία χωρητικότητας 32 kWh που επέτρεπε στο αυτοκίνητο να διανύσει απόσταση 160 χιλιομέτρων [16]. Ο ηλεκτροκινητήρας ήταν τοποθετημένος στο πίσω τμήμα του οχήματος αποδίδοντας ισχύ 168 ίππων, με την κίνηση να δίδεται από τους πίσω τροχούς. Η μέγιστη ταχύτητα του εν λόγω μοντέλου άγγιζε τα 140 km/h [16].



**Σχήμα 1.15 :** BMW 1 Series Active E [16]

Το 2016 λαμβάνει χώρα η παραγωγή του Chevrolet Bolt EV από την General Motors (σχήμα 1.16) στο εργοστάσιο της GM Orion Assembly στο Μίσιγκαν. Το Chevrolet Bolt EV, διαθέτει ηλεκτρικό κινητήρα, τοποθετημένο στο εμπρόσθιο τμήμα του οχήματος, που αποδίδει ισχύ 149 kW(200 hp) και ροπή 360Nm [17]. Ο ηλεκτρικός κινητήρας τροφοδοτείται από μπαταρία χωρητικότητας 60 kWh

καθιστώντας το Bolt EV ικανό να διανύσει αποστάσεις 380 χιλιομέτρων με μια μόνο φόρτιση [17]. Η συνεισφορά της General Motors στην ηλεκτροκίνηση είναι σημαντική, με το Bolt EV να αποτελεί το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο στην ιστορία της με αυτονομία 380 χιλιομέτρων. Η μέγιστη ταχύτητα που σημειώνει είναι τα 145 km/h, πιθανόν να ακούγεται χαμηλή έναντι των συμβατικών αυτοκινήτων, ιδιαίτερα καλή τιμή για ένα αμιγώς ηλεκτρικό αυτοκίνητο. Το κόστος απόκτησης του ανέρχονταν στα 30.000 δολάρια [17].



**Σχήμα 1.16:** Chevrolet Bolt EV, 2017 [18]

Η παραγωγή του Tesla roadster, όπως προαναφέραμε, ξεκίνησε το 2008, με την επιστροφή της δεύτερης γενιάς να αποτελεί γεγονός. Σύμφωνα με τον Musk, διευθύνων σύμβουλο της εταιρίας, η κυκλοφορία της νέας γενιάς του μοντέλου θα πραγματοποιηθεί το 2022 με βασικό στόχο να απόκτηση το ρεκόρ υψηλότερης ταχύτητας ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Η πρώτη παρουσίαση του νέου roadster συνέβη το 2017 (σχήμα 1.17), στην Ευρώπη για πρώτη φορά, στο Grand Basel Motor Show όπου και ανακοινώθηκαν κάποια από τα εντυπωσιακά χαρακτηριστικά του. Πιο συγκεκριμένα, ο Elon Musk, διευθύνων σύμβουλος της εταιρίας, ανέφερε πως ένα τέταρτο του μιλίου μπορούσε να καλυφθεί σε μόλις 8 δευτερόλεπτα, την στιγμή που τα περισσότερα supercars απαιτούσαν 11 δευτερόλεπτα για να καλύψουν την άνωθεν απόσταση. Η τελική ταχύτητα ξεπερνά τα 402 km/h, μια εκτός πραγματικότητας ταχύτητα για οποιοδήποτε αυτοκίνητο παγκοσμίως [19].

Με ροπή 10.000 Nm, οι τιμές επιτάχυνσης αναμένεται να είναι το ίδιο αξιοσημείωτες. Από μηδενική ταχύτητα κατορθώνει να φθάσει στα 100 σε μόλις 2 δευτερόλεπτα. Αποτελείται από τρεις ηλεκτροκινητήρες, ο ένας προσφέρει κίνηση στους εμπρός τροχούς και οι υπόλοιποι δίνουν κίνηση στους πίσω τροχούς. Με την μπαταρία χωρητικότητας 200kWh, σύμφωνα με τα λεγόμενα της Tesla, το roadster είναι ικανό να διανύσει 1.000 χιλιόμετρα [19]. Αυτονομία εξωπραγματική για ηλεκτρικό αυτοκίνητο.



**Σχήμα 1.17:** Tesla Roadster, η νέα γενιά [19]

## 1.5 ΤΥΠΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Τα ηλεκτρικά οχήματα τροφοδοτούνται πλήρως από ηλεκτρικούς κινητήρες ή εν μέρει. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες αποδίδουν μηχανική ενέργεια, μετατρέποντας την ηλεκτρική ισχύ που λαμβάνουν είτε από συσσωρευτές είτε από κυψέλες καυσίμου, επιτρέποντας την κίνηση των οχημάτων αυτών. Τα οχήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα διαιρούνται στις παρακάτω βασικές κατηγορίες [20]:

- Υβριδικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα (Hybrid electric vehicles(HEV))
- Ηλεκτρικά αυτοκίνητα με μπαταρία (Battery electric vehicles (BEV))
- Υβριδικά αυτοκίνητα με δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο (Plug-in hybrid vehicle (PHEV))
- Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα με μονάδα Επέκτασης της Αυτονομίας τους (Extended-range electric vehicle (EREV))
- Ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου (Fuel cell electric vehicles(FCEV))

### 1.5.1 Υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (Hybrid electric vehicles)

Τα υβριδικά οχήματα αποτελούνται από δύο προωστήριες μονάδες για να επιτευχθεί η κίνηση τους. Αυτές είναι ένας ένας ηλεκτρικός κινητήρας που λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια και ένας κινητήρας εσωτερικής καύσης που λειτουργεί με υγρό ή αέριο καύσιμο. Όταν η ζήτηση ισχύος είναι χαμηλή, τίθεται σε λειτουργία ο ηλεκτρικός κινητήρας (συνήθως μετακινήσεις αστικού περιβάλλοντος). Ενώ ο κινητήρας εσωτερικής καύσης λαμβάνει δράση για οδήγηση με υψηλότερο ρυθμό και αυξημένη ταχύτητα (υπεραστικές μετακινήσεις). Η εναλλαγή από ηλεκτρικό κινητήρα σε κινητήρα εσωτερικής καύσης και το αντίστροφο, πραγματοποιείται αυτόματα. Η λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα συμβαίνει με σκοπό να παραμείνει η κατανάλωση καυσίμου σε χαμηλά πλαίσια και για να αποκτήσει πιο υψηλή απόδοση σε σχέση με ένα συμβατικό όχημα. Ο ηλεκτρικός κινητήρας και η μηχανή εσωτερικής καύσης μπορούν να λειτουργήσουν ταυτόχρονα με σκοπό την βελτίωση των επιδόσεων του οχήματος. Τα υβριδικά οχήματα παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια για να τροφοδοτήσουν η ίδιοι το συσσωρευτή. Όπως και στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με μπαταρία, ο ηλεκτρικός κινητήρας σε ένα υβριδικό αυτοκίνητο έχει την ικανότητα να δρα επίσης ως γεννήτρια. Κατά τις φάσεις επιβράδυνσης ή πέδησης, αποθηκεύεται η τεράστια κινητική ενέργεια του αυτοκινήτου με τη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας στους συσσωρευτές χωρίς να το διαφεύγει ως θερμότητα στο περιβάλλον. Αυτή η ανάκτηση ενέργειας είναι γνωστή και ως **«αναπαραγωγικό φρενάρισμα»**

Τα υβριδικά συστήματα μετάδοσης ισχύος κατανομούνται σε τρεις επιμέρους κατηγορίες:

- **Σειριακά**
- **Παράλληλα**
- **Μικτά** (συνδυασμός των δύο άνωθεν κατηγοριών)



Σε ένα **σειριακό σύστημα μετάδοσης**, ο ηλεκτρικός κινητήρας αποτελεί αποκλειστική πηγή πρόωσης. Η μηχανή εσωτερικής καύσης είναι μηχανικά συνδεδεμένη γεννήτρια με θεμελιώδη ρόλο είτε την τροφοδότηση του ηλεκτρικού κινητήρα, είτε τον εφοδιασμό των συσσωρευτών με ηλεκτρική ενέργεια. Σε ένα **παράλληλο σύστημα μετάδοσης** ισχύος και ο ηλεκτροκινητήρας και η μηχανή εσωτερικής καύσης παρέχουν πρόωση στο όχημα είτε ανεξάρτητα είτε σε συνεργασία μεταξύ τους, δεδομένου ότι και οι δυο τους συνδέονται στο μηχανικό σύστημα μετάδοσης κίνησης. Τέλος, με την ένωση μεταξύ των δύο άνωθεν κατηγοριών προκύπτει το **μικτό σύστημα μετάδοσης** ισχύος. Αυτός ο συνδυασμός συνεπάγεται την αύξηση της συνολικής απόδοσης γεγονός που εξηγείται καθώς τα υβριδικά αυτοκίνητα σε σειρά, σημειώνουν υψηλότερη απόδοση σε μικρές ταχύτητες και τα υβριδικά αυτοκίνητα εν παραλλήλω σημειώνουν υψηλότερη απόδοση στις πιο μεγάλες ταχύτητες.

### 1.5.2 Ηλεκτρικά οχήματα με Συσσωρευτές (Battery electric vehicles (BEV))

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με συσσωρευτές ή πλήρως ηλεκτροκίνητα οχήματα ή αμιγώς ηλεκτροκίνητα οχήματα κινούνται εξ ολοκλήρου με ηλεκτρική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σε επαναφορτιζόμενες συστοιχίες συσσωρευτών. Εάν η ενέργεια της μπαταρίας εξαντληθεί, το όχημα δεν μπορεί να μετακινηθεί έως ότου η μπαταρία επαναφορτιστεί. Οι συσσωρευτές έχουν υψηλό κόστος, υψηλό βάρος και οι χρόνοι επαναφορτίσεις των απαιτούν μεγάλα διαστήματα. Η ηλεκτρική ενέργεια λαμβάνεται συνδέοντας το ηλεκτρικό όχημα σε δημόσιο σταθμό ή σε οικιακή μονάδα φόρτισης. Με την βοήθεια του «αναπαραγωγικού φρεναρίσματος», όπου αναφερθήκαμε πιο πάνω, το εύρος οδήγησης διευρύνεται. Τα BEVs χρησιμοποιούν ηλεκτροκινητήρες χωρίς την συμβολή βοηθητικής πηγής πρόωσης ( π.χ. κινητήρα εσωτερικής καύσης). Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει ή, ενδέχεται να αντιμετωπίσει η τεχνολογία ενός πλήρως ηλεκτρικού αυτοκινήτου.

### 1.5.3 Υβριδικά οχήματα με δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο (Plug-in hybrid vehicle (PHEV))

Ένα plug-in υβριδικό όχημα είναι ένας τύπος υβριδικού οχήματος που χρησιμοποιεί μπαταρίες που επαναφορτίζονται συνδεδεμένα στο δίκτυο ηλεκτρικής παροχής μέσω ενός ειδικού ακροδέκτη, σημείο που τα διαφοροποιεί από τα HEV. Τα υβριδικά οχήματα με δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, διαθέτουν μπαταρία μεγαλύτερης χωρητικότητας σε σχέση με τα απλά υβριδικά.



Όπως τα HEV, η κίνηση τους προκύπτει από τον συνδυασμό ενός ηλεκτροκινητήρα με μία μηχανή εσωτερικής καύσης. Ο ρόλος της μπαταρίας είναι να τροφοδοτήσει τον ηλεκτρικό κινητήρα και ένα καύσιμο όπως η βενζίνη ή το πετρέλαιο ή το αέριο, εφοδιάζει τον κινητήρα εσωτερικής καύσης. Όταν η μπαταρία αποφορτιστεί, ο κινητήρας εσωτερικής καύσης αναλαμβάνει δράση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οδήγηση όπως σε ένα HEV.

#### **1.5.4 Ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου (Fuel cell electric vehicles (FCEV))**

Τα ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου διαθέτουν ως καύσιμο καθαρό υδρογόνο ή υδρογονάνθρακες (όπως μεθανόλη, φυσικό αέριο, κλπ.), συσσωρευμένο σε κάποια δεξαμενή υψηλής πίεσης. Από την ηλεκτροχημική σύνθεση υδρογόνου και οξυγόνου, στην κυψέλη καυσίμου του οχήματος, παράγεται ηλεκτρική ενέργεια με ταυτόχρονη παραγωγή καθαρού νερού. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του ηλεκτρικού κινητήρα του οχήματος που κινεί τους τροχούς. Κατά την διάρκεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παράγονται υδρατμοί, ως υποπροϊόν, οι οποίοι απορρίπτονται στο περιβάλλον διαμέσου του συστήματος εξαγωγής καυσίμων. Παράλληλα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μπαταρία αποθηκεύοντας την περίσσεια ενέργεια που παράγεται. Συγκριτικά με ένα BEV, η μπαταρία είναι μικρότερης χωρητικότητας. Η κυψέλη καυσίμου αποτελεί ένα είδος γεννητριών όπου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, προερχόμενη αποκλειστικά από τις κυψέλες καυσίμου, λαμβάνει χώρα με ηλεκτροχημικό τρόπο.

#### **1.5.5 Ηλεκτρικά οχήματα με με Συσσωρευτές και Ηλεκτροπαραγωγική Μονάδα (Extended-range electric vehicle (E-REV))**

Τα ηλεκτρικά οχήματα με επέκταση εμβέλειας (E-REVs) ουσιαστικά γεφυρώνουν το χάσμα μεταξύ των υβριδικών αυτοκινήτων με δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο (PHEV) και των ηλεκτρικών αυτοκινήτων με μπαταρία (BEV). Τα E-REV, σε αντίθεση με τα ηλεκτρικά οχήματα με συσσωρευτή έχουν μία μικρή βοηθητική μηχανή εσωτερικής καύσης, συνδεδεμένη με γεννήτρια, που αξιοποιείται αποκλειστικά για την επαναφόρτιση της μπαταρίας όταν φθάσει σε χαμηλό επίπεδο. Για την πρόωση του οχήματος χρησιμοποιείται αποκλειστικά ηλεκτρικός κινητήρας συνδεδεμένος με τους κινητήριους τροχούς του οχήματος, σε αντίθεση με τα PHEV που αποτελούνται από τον συνδυασμό ενός ηλεκτροκινητήρα με μία μηχανή εσωτερικής καύσης για να παράγουν κίνηση. Για αστικές μετακινήσεις μπορούν να λειτουργήσουν σε πλήρη ηλεκτρική λειτουργία και, ως αποτέλεσμα, να είναι τόσο ενεργειακά αποδοτικά όσο τα BEV. Για μεγαλύτερες αποστάσεις, τα E-REV χρησιμοποιούν επιπλέον τον κινητήρα εσωτερικής καύσης για την φόρτιση της μπαταρίας.

## 1.6 ΚΥΡΙΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΕΝΟΣ ΑΜΙΓΩΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Τα κύρια εξαρτήματα ενός αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος που αποτελούν θεμελιώδη παράγοντα για την λειτουργία του οχήματος, με απλούς ορισμούς, είναι τα εξής [21]:

**Θύρα φόρτισης (charge port):** Όπως δηλώνει και η ονομασία του (θύρα), είναι μια ειδική υποδοχή που συναντάται στο όχημα και του δίνει την δυνατότητα να συνδέεται με εξωτερική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας για την φόρτιση των συσσωρευτών του.

**Ενσωματωμένος φορτιστής (on-board charger):** Είναι συσκευή, όπου διαμέσου της θύρας φόρτισης, λαμβάνει το εισερχόμενο εναλλασσόμενο ρεύμα και το μετατρέπει σε συνεχές ρεύμα. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η φόρτιση των συσσωρευτών.

**Συγκρότημα συσσωρευτών (traction battery pack):** Ο ρόλος του συσσωρευτή υψηλής τάσης έγκειται στην αποθηκεύσει ηλεκτρικής ενέργειας για την τροφοδότηση του ηλεκτρικού κινητήρα. Ο συσσωρευτής διαθέτει σύστημα διαχείρισης μπαταρίας (Battery Management System) με την μορφή μίνι ενσωματωμένου υπολογιστή, που παρακολουθεί και ρυθμίζει τα χαρακτηριστικά φόρτισης (όπως τάση, ρεύμα, θερμοκρασία) ολόκληρου του συγκροτήματος συσσωρευτών καθώς, επίσης, και των μεμονωμένων μπαταριών. Το ενεργειακό περιεχόμενο του συσσωρευτή εκφράζεται σε κιλοβατώρες (kWh) και παράγει ισχύ συνεχούς ρεύματος. Στις μέρες μας, τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα διαθέτουν συσσωρευτές χωρητικότητας μεταξύ των τιμών 10 και 100 kWh.

**Μετατροπέας ισχύος μπαταρίας (Battery power converter):** Για την επαναφόρτιση της βοηθητικής μπαταρίας, πρέπει να μετατραπεί η ισχύς συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης του συγκροτήματος συσσωρευτών σε ισχύ συνεχούς ρεύματος χαμηλής τάσης. Για την ρύθμιση της τάσης μεταξύ των συσκευών αυτών χρησιμοποιείτε ο μετατροπέας ισχύος (DC to DC power electronic converter).

**Βοηθητική μπαταρία (auxiliary):** Ο ρόλος της βοηθητικής μπαταρίας έγκειται στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για την έναρξη λειτουργίας του ηλεκτρικού οχήματος, πριν ενεργοποιηθεί το συγκρότημα συσσωρευτών. Επίσης, χρησιμοποιείτε για την λειτουργία των αξεσουάρ του ηλεκτρικού οχήματος (όπως φώτα, σύστημα ήχου, κλπ.).

**Ηλεκτρονικός μηχανισμός (motor drive):** Αυτός ο ηλεκτρονικός μηχανισμός ελέγχει τις στροφές, την ροπή και την περιστροφική κατεύθυνση του κινητήρα. Παρεμβάλλεται μεταξύ της πηγής ισχύος και του ηλεκτρικού κινητήρα. Η πηγή ισχύος (το συγκρότημα συσσωρευτών), όπως προαναφερθήκαμε, παράγει ισχύ συνεχούς ρεύματος. Ανάλογα με τον ηλεκτρικό κινητήρα που χρησιμοποιείται, ο ηλεκτρονικός μηχανισμός είναι είτε τύπου αντιστροφέας συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο ρεύμα (Direct Current-to-Alternative Current inverter) είτε τύπου μετατροπέας συνεχούς ρεύματος σε συνεχές ρεύμα άλλης τιμής (Direct Current-to-Direct Current converter) και χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ροής της ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ της μπαταρίας υψηλής τάσης και ηλεκτρικού κινητήρα. Σε αντίθεση με τους μετατροπέες ισχύος που συναντήσαμε νωρίτερα, ο motor drive είναι αμφίδρομος (bi-

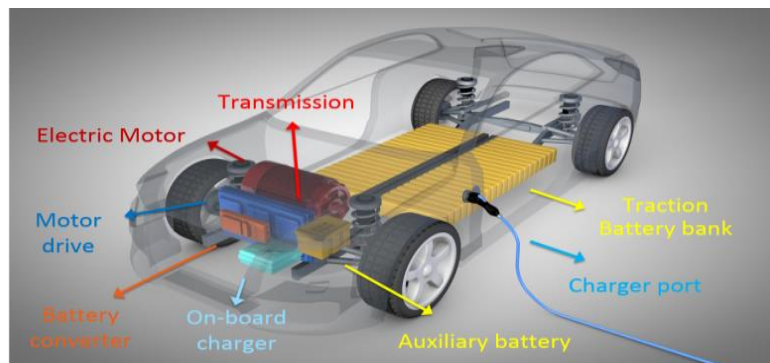
directional converter). Εκτός από το να παρέχει ισχύ στον κινητήρα για πρόωση, τίθεται, επιπλέον, σε λειτουργία ανάκτησης ενέργειας (regenerative braking).

**Ηλεκτρικός κινητήρας/Γεννήτρια (Traction electric motor/Generator):** Αποτελεί την κύρια συσκευή πρόωσης για ένα αμιγώς ηλεκτρικό όχημα. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες αποδίδουν μηχανική ενέργεια, μετατρέποντας την ηλεκτρική ισχύ που λαμβάνουν είτε από συσσωρευτές είτε από κυψέλες καυσίμου. Η ισχύς που παράγει ο κινητήρας μεταφέρεται στους κινητήριους τροχούς μέσω ενός κιβωτίου μετάδοσης κίνησης. Το ενδιαφέρον είναι ο ίδιος ο κινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια κατά την διάρκεια της πέδησης (regenerative braking), επεκτείνοντας, με αυτόν τον τρόπο, την αυτονομία του οχήματος. Οι κινητήρες, που χρησιμοποιούνται σε σχεδόν όλα τα ηλεκτρικά οχήματα, διακρίνονται στους τρεις παρακάτω τύπους :

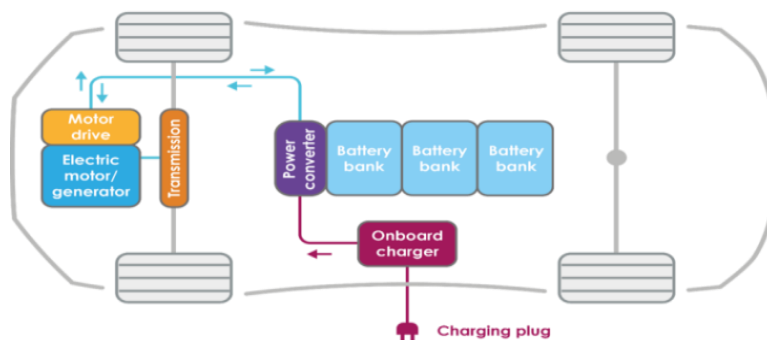
- Σύγχρονος Κινητήρας Απροθυμίας (Synchronous Reluctance Motor)
- Επαγωγικός Κινητήρας Εναλλασσόμενου Ρεύματος (3 Phase AC Induction Motor)
- Κινητήρας Μόνιμου Μαγνήτη (Permanent Magnet Motor)

**Κιβώτιο μετάδοσης κίνησης (Transmission):** Για την κίνηση των τροχών του οχήματος, μεταφέρεται μηχανική ισχύς από τον ηλεκτρικό κινητήρα μέσω του κιβωτίου μετάδοσης κίνησης. Χρησιμοποιείται συνήθως κιβώτιο μονής ταχύτητας, καθώς ο κινητήρας είναι το ίδιο αποδοτικός σε ένα μεγάλο εύρος λειτουργίας.

**Ηλεκτρονικός ελεγκτής ισχύος (Power electronics controller):** Αυτή η μονάδα διαχειρίζεται την ηλεκτρική ισχύ που παρέχεται στους διαφορετικούς μετατροπείς ηλεκτρικής ισχύος του ηλεκτρικού οχήματος.



**Σχήμα 1.18 :** Βασικά εξαρτήματα ηλεκτρικού οχήματος με μπαταρία [21]



**Σχήμα 1.19 :** Μπλοκ διάγραμμα ηλεκτρικού οχήματος με μπαταρία [21]

## 1.7 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΑΜΙΓΩΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Η ηλεκτροκίνηση αποτελεί αδιαμφισβήτητα σημαντικό μέρος της αυτοκίνησης. Τον τελευταίο καιρό, μάλιστα, σημειώνουν αρκετά υψηλές πωλήσεις παγκοσμίως καθώς όλο και περισσότεροι υποψήφιοι αγοραστές στρέφονται ως προς την αγορά των εν λόγω οχημάτων. Αυτό το γεγονός, συμβαίνει καθώς η ηλεκτροκίνηση παρέχει στο χρήστη ποικίλα πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα αλλά, συγχρόνως, δεν μπορούμε να αφηγήσουμε την σημαντική συνεισφορά της ηλεκτροκίνησης ως προς το περιβάλλον (υπό κάποιες προϋποθέσεις). Παρακάτω αναφέρονται ορισμένα πλεονεκτήματα από την χρήση αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων [2]:

- Είναι σημαντική η συνεισφορά της ηλεκτροκίνησης στην ρύθμιση της ρύπανσης της πόλης σε χαμηλά επίπεδα. Κατά τη λειτουργία τέτοιων οχημάτων δεν υπάρχει εκπομπή αερίων και μικροσωματιδίων. Σε αντίθεση στα οχήματα με κινητήρες εσωτερικής καύσης, εκλύετε σημαντική ποσότητα επιβλαβών αερίων εξερχόμενα από το σύστημα της εξάτμισης. Μολονότι πραγματοποιούνται διαρκώς προσπάθειες για την ελάττωση των βλαβερών εκπομπών από τις εξατμίσεις των συμβατικών αυτοκινήτων, η σύγκρισή τους με τα ηλεκτρικά οχήματα είναι μάταιη.
- Τα BEV παράγουν σημαντικά χαμηλότερο θόρυβο (σε ταχύτητες κάτω από 30 χιλιόμετρα/ώρα) συγκρινόμενα με τα συμβατικά αυτοκίνητα, επειδή δεν διαθέτουν κινητήρες εσωτερικής καύσης και συστήματα εξάτμισης. Πιο συγκεκριμένα, η αθόρυβη λειτουργία των ηλεκτροκινήτων συντελεί στην εξάλειψη της ηχορύπανσης, ειδικά σε αστικά περιβάλλοντα, που επιφέρει πολλαπλά προβλήματα στην ψυχική και σωματική υγεία του ατόμου. Με αυτόν τον τρόπο, ένα ηλεκτρικό όχημα που είναι αθόρυβο συμβάλει στην άνοδο του βιοτικού επιπέδου των μελών μιας κοινωνίας, καθιστώντας το άτομο πιο παραγωγικό στις καθημερινές του ενασχολήσεις. Σε μεγαλύτερες ταχύτητες, δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ των ηλεκτρικών και των συμβατικών οχημάτων, καθώς η πλειοψηφία του θορύβου οφείλεται στην κίνηση των ελαστικών και από αεροδυναμικό θόρυβο.
- Επιπρόσθετα, η απλότητα του ηλεκτροκίνητου συστήματος και το γεγονός πως αποτελείται από λιγιστά κινούμενα μέρη/τριβές συνεπάγεται υψηλή αξιοπιστία και ανθεκτικότητα. Ενδεικτικά, πολλά εξαρτήματα όπως πιστόνια, ράβδος σύνδεσης (connecting rod), εκκεντροφόρος άξονας, βαλβίδες, σύστημα ανάφλεξης που συναντώνται στα συμβατικά αυτοκίνητα, δεν απαιτούν συντήρηση στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα καθώς δεν υπάρχουν. Τα αναλώσιμα εξαρτήματα είναι, επίσης, λιγιστά αυξάνοντας έτσι το διάστημα μεταξύ των περιοδικών σέρβις. Με αυτόν τον τρόπο, διεργασίες όπως αλλαγή λαδιού, υγρού μετάδοσης, μπουζί, φίλτρου καυσίμου ή ιμάντων κίνησης αποτελούν παρελθόν. Γεγονός που θέτει τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα πιο αξιόπιστα, ιδιαίτερα απλά ως προς την συντήρησή τους και, συγχρόνως, με χαμηλότερο κόστος συντήρησης μακροπρόθεσμα. Επίσης, χάρις την αναγεννητική πέδηση το φρενάρισμα γίνεται πιο αποτελεσματικό,

δημιουργώντας λιγότερη φθορά στα φρένα. Οι δίσκοι φρένων και τα τακάκια θα συνεχίσουν να χρειάζονται συντήρηση, αλλά το γεγονός αυτό θα λαμβάνει χώρα λιγότερο συχνά. Με αυτόν τον τρόπο, αυξάνει η οικονομία σε χρόνο και χρήματα.

- Το γεγονός ότι η φόρτιση του αυτοκινήτου είναι δυνατόν να γίνει μέσω συμβατικού οικιακού ρευματολήπτη συνεπάγεται σημαντική μείωση από κινδύνους που μπορεί να προκληθούν κατά την διάρκεια της επίσκεψης σε ένα πρατήριο υγρών καυσίμων. Πιο συγκεκριμένα σε ένα πρατήριο υγρών καυσίμων υπάρχουν οι τοξικές αναθυμιάσεις από το γέμισμα της δεξαμενής καυσίμων των οχημάτων με καύσιμο, ενώ συγχρόνως η έξοδος από αυτό αποτελεί συνήθως οδυνηρή διαδικασία. Παράλληλα, το χαμηλής ποιότητας καύσιμο έχει αρνητική επίδραση στο πορτοφόλι του καταναλωτή είτε μέσω της αυξημένης κατανάλωσης είτε μέσω των προβλημάτων που πιθανώς να δημιουργηθούν στον κινητήρα εσωτερικής καύσης.
- Σημαντική υπεροχή του ηλεκτροκινητήρα έναντι του βενζινοκινητήρα συντελεί και το γεγονός ότι ο πρώτος αποδίδει ιδιαίτερα υψηλές τιμές ροπής σε οποιοδήποτε εύρος ταχύτητας, σχεδόν από την ακινησία έως το μέγιστο όριο στροφών. Το γεγονός πως ο οδηγός μπορεί να εκμεταλλευτεί όλη αυτήν την διαθέσιμη ροπή από την στιγμή που πατήσει το πεντάλ του γκαζιού, μεταφράζεται αυτόματα σε ακαριαίες επιταχύνσεις και εξαιρετικές επιδόσεις. Σε επίπεδο αστικών μετακινήσεων, η διαθέσιμη ροπή από οποιοδήποτε εύρος ταχύτητας συμβάλει στην ασφαλή προσπέραση χωρίς να υπάρχει καθυστέρηση στην απόκριση. Ως αποτέλεσμα ο οδηγός δεν νιώθει σε καμία περίπτωση εκτεθειμένος σε μια τέτοια συνθήκη. Αντιθέτως, ένας συμβατικός κινητήρας για να αποδώσει την μέγιστη ροπή του προϋποθέτει πως λειτουργήσει σε υψηλές στροφές (παλαιάς τεχνολογίας συμβατικά αυτοκίνητα) και εντός περιορισμένου εύρους αυτών. Η παραγωγή μηχανικής ροπής από τον ηλεκτροκινητήρα πραγματοποιείται με μειωμένες δονήσεις και ταλαντώσεις, γεγονός το οποίο είναι ακατόρθωτο να πραγματοποιηθεί από ένα συμβατικό κινητήρα εσωτερικής καύσης, προσφέροντας με αυτόν τον τρόπο ήττα και εύρυθμη λειτουργία.
- Ακόμη, τα οχήματα με ηλεκτρικούς κινητήρες έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης. Πιο συγκεκριμένα, οι ηλεκτρικοί κινητήρες μετατρέπουν το 85% της χημικής ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στις μπαταρίες σε κινητική και, ως αποτέλεσμα, την κίνηση των τροχών. Ενδεικτικά, ένας σύγχρονος βενζινοκινητήρας μετατρέπει περίπου το 30% της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στην βενζίνη, σε κινητική ενέργεια. Άρα, στα ηλεκτρικά οχήματα πραγματοποιείται χαμηλή σπατάλη ενέργειας σε σύγκριση με τα συμβατικά αυτοκίνητα, τα οποία χάνουν υψηλό ποσοστό του καυσίμου που καίνε ως ανεκμετάλλευτη θερμότητα (όπως τα καυσαέρια που διαφεύγουν διαμέσου της εξάτμισης).
- Η κατανομή του βάρους ενός ηλεκτρικού οχήματος είναι σταθερή ή καλύτερα δεν διαφοροποιείται με τον ίδιο βαθμό όπως διαφοροποιείται στα συμβατικά αυτοκίνητα. Ένα συμβατικό αυτοκίνητο έχει χαμηλή έως ιδιαίτερα υψηλή

μεταβολή στην κατανομή του βάρους του εάν η δεξαμενή καυσίμου είναι σε πλήρης ή κενή κατάσταση. Παρόμοιο γεγονός, δεν συναντάται με τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Το μέσο αποθήκευσης ενέργειας, το οποίο είναι η μπαταρία, δεν ταλαντεύεται, αντίθετα με τα υγρά καύσιμα εντός του ρεζερβουάρ. Επομένως τα στατικά χαρακτηριστικά του οχήματος παραμένουν σταθερά, καθιστώντας τη δυνατότητα για πιο ακριβή σχεδιασμό πιο εφικτή. Επιπλέον, οι μπαταρίες είναι τοποθετημένες συνήθως ανάμεσα στους άξονες των τροχών και χαμηλά στο δάπεδο του αυτοκινήτου. Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται ίση κατανομή μεταξύ των δύο αξόνων και χαμηλό κέντρο βάρους το οποίο, με την σειρά του, παρέχει υψηλή σταθερότητα στο οχήματα. Επίσης, οι μπαταρίες «απλώνονται» στο δάπεδο του οχήματος προσφέροντας ακαμψία έναντι πλευρικών συγκρούσεων και, ως αποτέλεσμα, επιπλέον ασφάλεια στην καμπίνα των επιβατών.

## 2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΟΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΤΩΝ ΑΜΙΓΩΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ

Οι συσσωρευτές (κοινώς μπαταρίες) έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν ενέργεια, την οποία χρησιμοποιούν με σκοπό να τροφοδοτήσουν μια μεγάλη γκάμα συσκευών. Η συνολική ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται σε έναν συσσωρευτή ονομάζεται χωρητικότητα συσσωρευτή. Υπάρχουν συσσωρευτές μικρής χωρητικότητας, που χρησιμοποιούνται για παράδειγμα σε υπολογιστές, και συσσωρευτές μεγάλης χωρητικότητας, που τροφοδοτούν για παράδειγμα ηλεκτρικά οχήματα ή ακόμα και σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι τρόποι κατηγοριοποίησης συσσωρευτών ποικίλουν με σημαντικότερο εκείνον που σχετίζεται με την ικανότητα ή μη επαναφόρτισης τους. Βάσει αυτής της συνθήκης, κατηγοριοποιούνται σε [22,23]:

**Πρωτεύοντες Συσσωρευτές:** Οι συσσωρευτές που δεν έχουν την ικανότητα να επαναφορτιστούν, συνεπώς μπορούν να αποφορτιστούν μόνο μια φορά, ονομάζονται πρωτεύοντα κελιά (Primary Cells). Χαρακτηριστικό παράδειγμα των μπαταριών αυτών, αποτελούν οι αλκαλικές.

**Δευτερεύοντες Συσσωρευτές:** Αντίθετα, οι μπαταρίες που έχουν την ικανότητα να επαναφορτιστούν, ονομάζονται δευτερεύουσες μπαταρίες (Secondary Batteries). Παραδείγματα εκ των οποίων αποτελούν, οι μπαταρίες υδριδίου-μετάλλου-νικελίου, ιόντων-λιθίου και πολλές άλλες. Στην παρούσα εργασία, θα καταπιαστούμε με τις δευτερεύουσες μπαταρίες καθώς χρησιμοποιούνται για εφαρμογές σε ηλεκτρικά οχήματα.

#### 2.1.1 ΒΑΣΙΚΗ ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΖΟΜΕΝΟΥ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΗ

Συνήθως οι μπαταρίες απαρτίζονται από πλήθος μικρότερων στοιχείων, τα λεγόμενα κελιά. Τα κελιά των μπαταριών είτε μετατρέπουν ηλεκτρική ενέργεια σε χημική ενέργεια (διαδικασία φόρτισης), είτε μετατρέπουν χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια (διαδικασία αποφόρτισης). Τα ηλεκτρικά οχήματα, χρησιμοποιούν από δεκάδες κελιά μπαταρίας έως και χιλιάδες.



Ενδεικτικά, ένα αυτοκίνητο της εταιρίας Tesla που εξοπλίζεται με συστοιχία συσσωρευτών χωρητικότητας 85 kWh, περιέχει 7104 μεμονωμένα κελιά. Κάθε κελί αποτελείται από **τρία** βασικά στοιχεία [23,24] :

- Άνοδος: Το αρνητικό ηλεκτρόδιο
- Κάθοδος: Το θετικό ηλεκτρόδιο
- Τον ηλεκτρολύτη

Μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων παρεμβάλλεται ένας διαχωριστής, ο οποίος δρα σαν μονωτής και αποτρέπει την φυσική επαφή μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων. Η μπαταρία, για την λήψη και την απελευθέρωση ενέργειας, είναι συνδεδεμένη με ένα εξωτερικό κύκλωμα. Η κινητικότητα των ηλεκτρονίων επιτυγχάνεται μέσω του εξωτερικού κυκλώματος και των ιόντων μέσω του ηλεκτρολύτη, αντίστοιχα. Η φόρτιση της μπαταρίας λαμβάνει χώρα, με την κίνηση των ηλεκτρονίων από την κάθοδο στην άνοδο. Ενώ η μπαταρία αποφορτίζεται με την κίνηση των ηλεκτρονίων γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε, η κάθοδος να λαμβάνει ηλεκτρόνια.

Ένα σύμπλεγμα κελιών, διασυνδεδεμένα παράλληλα ή σε σειρά, απαρτίζουν μία μονάδα και ένα σύμπλεγμα μονάδων, και αυτές ομαδοποιημένες είτε σε σειρά είτε εν παραλλήλω, συνθέτουν μια συστοιχία μπαταριών. Σαν ένα μέρος ολόκληρης της συστοιχίας μπαταρίας, μπορεί να χρειαστούν και άλλα βασικά εξαρτήματα όπως σύστημα ψύξης της μπαταρίας ή σύστημα διαχείρισης μπαταρίας. Αυτά τα βασικά εξαρτήματα, χωρίς να λαμβάνουν άμεσα μέρος σε χημικές αντιδράσεις, απαιτούνται για την ορθή και ομαλή λειτουργία της συστοιχίας μπαταριών.

## 2.1.2 ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

Είναι γεγονός, ότι η μπαταρία αποτελεί σημαντικό πυρήνα για το ηλεκτρικό όχημα. Χωρίς την ύπαρξή της, ο ηλεκτρικός κινητήρας δεν μπορεί να εκτελέσει την λειτουργία του. Συνεπώς, οι κατασκευαστές προσπαθούν να βελτιώσουν της μπαταρίες με σκοπό να αυξήσουν την απόδοση για κάθε παράμετρο. Ορισμένες **σημαντικές** παράμετροι, είναι οι ακόλουθοι [25,26,27]:

- **Χωρητικότητα ενέργειας** (Capacity): Είναι η μέγιστη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να εξαχθεί από 100% κατάσταση φόρτισης έως την διακοπή της τάσης.
- **Κατάσταση φόρτισης** (State of charge): Καθορίζει την ποσότητα ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στην μπαταρία την τρέχουσα στιγμή σε σχέση με την συνολική χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας της μπαταρίας.
- **Ενεργειακή πυκνότητα** (Energy density): Ορίζεται ως η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε μια μπαταρία. Η πυκνότητα ενέργειας εκφράζεται με δύο τρόπους. Αν ενέργεια της μπαταρίας εκφράζεται ανά μονάδα όγκου, ονομάζεται **πυκνότητα ογκομετρικής ενέργειας** (Wh/L). Ενώ, αν εκφράζεται ανά μονάδα βάρους ονομάζεται **βαρυμετρική ενέργεια πυκνότητας** (Wh/kg).



Για την επιλογή συγκεκριμένης τεχνολογίας μπαταρίας για εφαρμογές σε ηλεκτρικά οχήματα, η ενεργειακή πυκνότητα αποτελεί σημαντική παράμετρο καθώς συνδέεται με την αυτονομία του οχήματος.

- **Ειδική ισχύς (Specific power):** Αυτή η παράμετρος ορίζεται ως η ισχύ ανά μονάδα κιλό μάζας.
- **Βάθος αποφόρτισης (Depth of discharge %):** Αυτή η παράμετρος εκφράζει τη χωρητικότητα της μπαταρίας που έχει αποφορτιστεί σε σύγκριση με την ύψιστη χωρητικότητα της.
- **Κύκλος ζωής (Cycle life):** Ο αριθμός των κύκλων φόρτισης-αποφόρτισης που βιώνει η μπαταρία, πριν μειωθεί η χωρητικότητα της μπαταρίας στο 80 % της αρχικής χωρητικότητας.
- **Ρυθμός C (C-rates):** Είναι μια παράμετρος που εκφράζει, τον ρυθμό με τον οποίο αποφορτίζεται η μπαταρία σε σύγκριση με την μέγιστη χωρητικότητα της. Μεγαλύτερος ρυθμός C, οδηγεί σε μειωμένο χρόνο αποφόρτισης.
- **Εσωτερική αντίσταση (Internal resistance):** Όταν η απόδοση της μπαταρίας υποβαθμίζεται, δημιουργούνται απώλειες του ποσού της ενέργειας φόρτισης με την μορφή θερμότητας. Αποτέλεσμα το οποίο προκαλεί η εσωτερική αντίσταση, με την αύξηση της.

### 2.1.3 ΤΥΠΟΙ ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΑΜΙΓΩΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Επί του παρόντος, υπάρχουν **τέσσερις** βασικοί τύποι επαναφορτιζόμενων συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές σε ηλεκτρικά οχήματα [22,28,29]:

- **Μολύβδου-οξέος:** Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέως χρησιμοποιούνται για παραπάνω από 150 χρόνια. Αυτές οι μπαταρίες είναι σχετικά φτηνές, αξιόπιστες και η ανησυχία για την ασφάλεια τους κατά την λειτουργία τους είναι μικρή. Ωστόσο, πρόκειται για μία τεχνολογία, όπου η εξέλιξη της σχετικά με την ενέργεια πυκνότητας και την ειδική ισχύ είναι περιορισμένη. Βάσει αυτών των δύο παραμέτρων, και συμπεριλαμβανομένης της ευαισθησίας που παρουσιάζει όσον αφορά την θερμοκρασία και τον κύκλο ζωής, η χρήση της μπαταρίας για εφαρμογές σε ηλεκτρικά οχήματα είναι περιορισμένη. Επιπλέον παράγοντα για την περιορισμένη εφαρμογή τους σε ηλεκτρικά οχήματα αποτέλεσε το υψηλό βάρος τους.
- **Υδριδίου-μετάλλου-νικελίου:** Αυτή οι συσσωρευτές χρησιμοποιούνται κυρίως στα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα. Σε σχέση με τους συσσωρευτές μολύβδου-οξέος η ενεργειακή πυκνότητα είναι σημαντικά βελτιωμένη. Με την κατάλληλη χρήση, αποκτούν μεγάλη διάρκεια ζωής στο πέρασμα του χρόνου.

Μεταξύ των πιο σημαντικών προβλημάτων όσον αφορά την τεχνολογία τους, συγκαταλέγεται το υψηλό κόστος τους και η χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα σε σχέση με τις μπαταρίες ιόντων-λιθίου (που θα δούμε παρακάτω)

- **Μπαταρίες υψηλής θερμοκρασίας (Zebra):** Στις μέρες μας, οι μπαταρίες χλωριούχου νατρίου-νικελίου επιλέγονται για χρήση σε εφαρμογές ηλεκτρικών οχημάτων. Ελκυστικό χαρακτηριστικό για την επιλογή τους, αποτελεί η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα. Χαρακτηριστικό που συνδέεται άμεσα με την τελική υψηλή αυτονομία του οχήματος. Η μπαταρία αυτή θεωρείται κατάλληλη για εφαρμογές σε ηλεκτρικά οχήματα που χρησιμοποιούνται συνεχώς (για πολλές ώρες) όπως λεωφορεία, φορτηγά. Αυτό το γεγονός συμβαίνει καθώς, η υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας της προϋποθέτει προθέρμανση πριν από την κάθε χρήση. Συνεπώς μεγάλα ποσά ενέργειας δαπανούνται εάν σταθμεύει το όχημα τακτικά και για μεγάλα διαστήματα.
- **Μπαταρίες με βάση το λίθιο:** Οι μπαταρίες με βάση το λίθιο, ανάλογα με τον τύπο του συστήματος των ηλεκτρολυτών, κατηγοριοποιούνται σε δύο τύπους. Εκείνες, οι μπαταρίες, ιόντων λιθίου υγρού ηλεκτρολύτη και εκείνες με πολυμερή ηλεκτρολύτη. Γενικά, για εφαρμογές σε ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιούνται ευρεία οι μπαταρίες ιόντων λιθίου με υγρό ηλεκτρολύτη και αποτελούν τον πλέον κορυφαίο τύπο μπαταρίας. Ένας σημαντικός παράγοντας που έπαιξε ρόλο στην ευρεία υιοθέτηση των μπαταριών ιόντων λιθίου για τέτοιου είδους χρήση, είναι η πολύ καλή αναλογία ενέργειας-βάρους που διαθέτουν σε σχέση με άλλες μπαταρίες. Ωστόσο η τεχνολογία των μπαταριών ιόντων λιθίου παρουσιάζει προκλήσεις, τις οποίες θα παραθέσουμε παρακάτω.

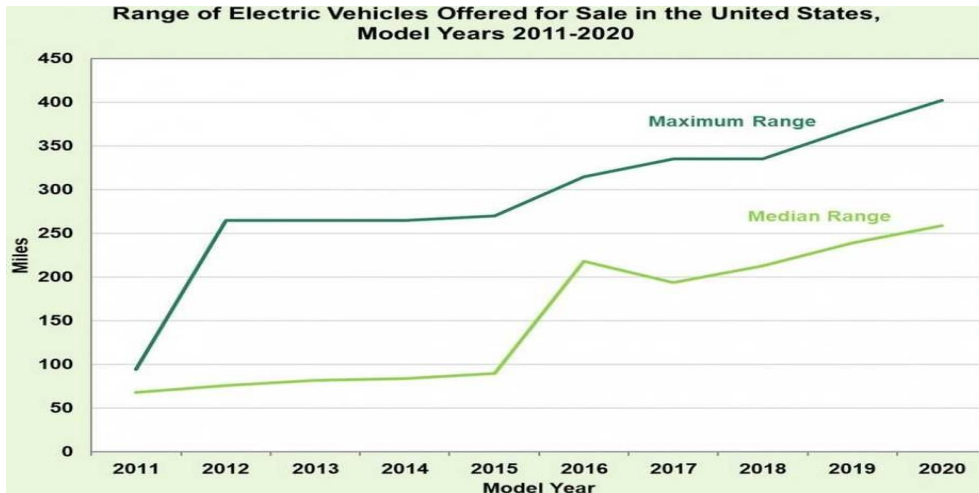
## 2.2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΑΥΤΟΝΟΜΙΑ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ

Η διαρκής ανοδική τεχνολογική ανάπτυξη των αυτοκινητοβιομηχανιών οδήγησε στην αύξηση της ευαισθητοποίησης για την περιβαλλοντική και ενεργειακή απόδοση, δημιουργώντας εναλλακτικές προτάσεις όσων αφορά τον παράγοντα μετακίνησης. Τα ηλεκτρικά οχήματα θεωρούνται εναλλακτικές λύσεις για τα συμβατικά οχήματα με μηχανή εσωτερικής καύσης καθώς, όπως έχουμε αναφέρει στο Κεφάλαιο 1, τα ηλεκτρικά οχήματα υπερέχουν σε σχέση με τα συμβατικά κυρίως υπό όρους απόδοσης, επιτάχυνσης και απλότητας του ηλεκτρικού κινητήρα. Μολονότι, η πρώτη εμφάνιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων χρονολογείτε πολλά χρόνια πριν την εμφάνιση των συμβατικών αυτοκινήτων, τα τελευταία περίπου 20 χρόνια το ενδιαφέρον για την ηλεκτροκίνηση σημείωσε σημαντική άνοδο στον τομέα έρευνας και ανάπτυξης. Επομένως, η ηλεκτροκίνηση θεωρείται νέα τεχνολογία και όπως κάθε νέα τεχνολογία, είναι υπό εξέλιξη. Για να θέσουμε τα πράγματα σε προοπτική, αυτό σημαίνει πως **η τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων αντιμετωπίζει προκλήσεις**. Μία εκ των οποίων, αποτελεί η αυτονομία των ηλεκτρικών οχημάτων ανά φόρτιση. **Η περιορισμένη αυτονομία** των ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί σημαντικό εμπόδιο στην ευρεία αποδοχή της ηλεκτροκίνησης,

ειδικά από την πλευρά των πελατών. Όταν οι υποψήφιοι αγοραστές εξετάζουν το ενδεχόμενο αγοράς ενός οχήματος, το εύρος οδήγησης αποτελεί πρωταρχικό λόγο στο αν τελικά θα προβούν σε αγορά ηλεκτρικού οχήματος. Η περιορισμένη αυτονομία του ηλεκτρικού οχήματος συμβάλει σε αυτό που είναι γνωστό ως **‘άγχος εύρους’** (Range Anxiety) που προκαλείται κατά την λειτουργία τους. Ως άγχος εύρους, έχει ονομαστεί ο φόβος που αισθάνεται ο οδηγός όταν το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας εξαντλείται, με κίνδυνο να ξεμείνει το όχημα στην ‘μέση του δρόμου’ κατά την διάρκεια ενός ενδεχόμενου ταξιδιού [30].

Καθώς το εύρος οδήγησης αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια στην υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων σε μεγάλη κλίμακα, οι αυτοκινητοβιομηχανίες έλαβαν σοβαρά υπόψη αυτόν τον παράγοντα. Ως αποτέλεσμα των δράσεων τους, το εύρος οδήγησης των ηλεκτρικών οχημάτων έχει αδιαμφισβήτητα αυξηθεί κατά το πέρασμα των χρόνων, όπως μπορούμε να αντιληφθούμε από το παρακάτω διάγραμμα. Σύμφωνα με το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ, το έτος 2020 για πρώτη φορά, το μέσο εύρος οδήγησης των ηλεκτρικών οχημάτων που προσφέρονται προς πώληση στις Ην. Πολιτείες ανέρχεται στα περίπου 250 μίλια ανά φόρτιση (περίπου 400 χιλιόμετρα) [31]. Νούμερα υψηλά, που φανερώνουν την αισθητή βελτίωση του εύρους οδήγησης των ηλεκτρικών οχημάτων σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια. Πιο συγκεκριμένα, το μέσο εύρος οδήγησης έχει τετραπλασιαστεί σε σχέση με το 2011, που ήταν μόλις 68 μίλια ανά φόρτιση (περίπου 110 χιλιόμετρα) [31]. Η μέγιστη αυτονομία που μπορούν να πετύχουν είναι τα 400 μίλια ανά φόρτιση (περίπου 640 χιλιόμετρα) [31]. Τιμές τις οποίες πετυχαίνει η μειονότητα των ηλεκτρικών οχημάτων που πωλούνται σήμερα. Συνήθως, τόσο υψηλή αυτονομία πετυχαίνουν τα πολυτελή μοντέλα της εκάστοτε εταιρίας. Από μεγάλο μέρος του πληθυσμού, αυτά τα νούμερα εύρους οδήγησης, μπορεί να χαρακτηριστούν ως επαρκεί. Ωστόσο, παρά την φανερή βελτίωση των ηλεκτρικών οχημάτων όσων αφορά το εύρος οδήγησης, τα γνωστά σε όλους μας οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης κυριαρχούν σε αυτόν το τομέα. Σύμφωνα με το Υπουργείο Ενέργειας των Ην. Πολιτειών, το μέσο εύρος οδήγησης για ένα συμβατικό όχημα με κινητήρα εσωτερικής είναι 412 μίλια (πάνω από 650 χιλιόμετρα) με ένα γέμισμα της δεξαμενής και το μέγιστο εύρος οδήγησης που είναι ικανό να διανύσει με ένα γέμισμα της δεξαμενής είναι 700 μίλια (περίπου 1 εκατομμύριο χιλιόμετρα) [32]. Να σημειωθεί ότι η τόσο υψηλή αυτονομία δεν αφορά μόνο τα ακριβά μοντέλα της εκάστοτε εταιρίας, καθώς και οικονομικά μοντέλα που απευθύνονται στον μέσο αγοραστή πετυχαίνουν τις συγκεκριμένες τιμές. Συγκρίνοντας ως προς το μέσο εύρος οδήγησης των δύο ανωτέρω τύπων οχημάτων, τα συμβατικά οχήματα πετυχαίνουν μεγαλύτερη αυτονομία κατά 250 χιλιόμετρα.

Διαφορά που μπορεί να γίνει ακόμα πιο αισθητή λαμβάνοντας υπόψη πως δεν υπάρχει περιορισμός από το δίκτυο σταθμών φόρτισης καθώς τα συμβατικά οχήματα έχουν την δυνατότητα ανεφοδιασμού της δεξαμενής τους με καύσιμο σε οποιοδήποτε πρατήριο καυσίμων, χωρίς να χρειαστεί χρόνο άνω των πέντε λεπτών για το γέμισμα της δεξαμενής. Για την αντίστοιχη διαδικασία σε ένα αμιγώς ηλεκτρικό όχημα, λαμβάνοντας υπόψη το καλύτερο δυνατό σενάριο (μέσω σταθμού ταχείας φόρτισης level 3), ο χρόνος που απαιτείται είναι τουλάχιστον 30 λεπτά για την φόρτιση 80% της χωρητικότητας της μπαταρίας.



**Σχήμα 2.1:** Εύρος οδήγησης ηλεκτρικών οχημάτων που προσφέρονται προς πώληση στις Ην. Πολιτείες [31]

**Εμπόδιο** στην αποδοχή της ηλεκτροκίνησης αποτελεί αναμφίβολα το **περιορισμένο εύρος** οδήγησης των ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτήν την κατάσταση πυροδοτούν ποικίλοι παράγοντες. Ορισμένοι εκ των οποίων κρίνονται σημαντικοί και επηρεάζουν άμεσα την αυτονομία του ηλεκτρικού οχήματος και άλλοι παράγοντες κρίνονται ως δευτερεύοντες (οδηγικές συνήθειες του οδηγού, όπως καθημερινά χιλιόμετρα, μέγιστες και μέσες ταχύτητες οδήγησης). Παρακάτω, θα εξετάσουμε τους πρωταρχικούς παράγοντες που συμβάλλουν στον περιορισμό της αυτονομίας των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων.

Μια **βασική παράμετρος** που επηρεάζει το εύρος οδήγησης ενός αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος, είναι η **ενεργειακή πυκνότητα** του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας του. Όπως έχουμε αναφέρει, τον ρόλο του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας σε ένα αμιγώς ηλεκτρικό όχημα, παίζουν οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Όλη η ενέργεια που χρειάζεται για να κινηθεί ένα αμιγώς ηλεκτρικό όχημα παρέχεται από τις μπαταρίες αυτές. Ως ενεργειακή πυκνότητα ορίζεται ως η ποσότητα ενέργειας που είναι αποθηκευμένη ανά μονάδα μάζας. Η ενεργειακή πυκνότητα συνδέεται άμεσα με το εύρος οδήγησης καθώς, όσο μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας αποθηκεύεται σε έναν συσσωρευτή τόσο μεγαλύτερος θα είναι ο χρόνος λειτουργίας της μπαταρίας. Συνεπώς, το όχημα θα είναι σε θέση να διανύσει μεγαλύτερη απόσταση. Οι συσσωρευτές, ως σύστημα αποθήκευσης ενέργειας υστερούν σε αυτόν το τομέα.

Η μετάβαση από αυτοκίνητα με ορυκτά καύσιμα σε αυτοκίνητα με μπαταρία αποτελεί πρόκληση από πολλές απόψεις. Ξεκινώντας, ορυκτά καύσιμα, όπως για παράδειγμα η βενζίνη, έχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα. Αυτό το γεγονός, καθιστά τα ορυκτά καύσιμα ως έναν θαυμάσιο τρόπο για αποθήκευση ενέργειας [22]. Στον παρακάτω πίνακα, συγκρίνουμε την βενζίνη με τρεις τύπους μπαταριών που χρησιμοποιούνται στα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα, ως προς την ενεργειακή πυκνότητα.

ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (Wh/kg)	ΣΕ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΗΝ BENZINΗ
Βενζίνη	1900-2020	12000	-
Μολύβδου-Οξέος	2020	50	240x χειρότερα
Υδριδίου-Μετάλλου-Νικελίου	2020	120	100x χειρότερα
Λιθίου	2020	260	50x χειρότερα

**Πίνακας 1:** Ενεργειακή πυκνότητα τριών τύπων μπαταρίας σε σύγκριση με την βενζίνη [22]

Όπως βλέπουμε από τον πίνακα 1, η υπεροχή της βενζίνης σε ενεργειακή πυκνότητα έναντι των τριών τύπων μπαταριών, είναι κάτι παραπάνω από αισθητή. Η χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα των μπαταριών, σε σχέση με την βενζίνη, αποτελεί έναν από τους πιο βασικούς παράγοντες για το περιορισμένο εύρος οδήγησης. Διάφορες χημείες μπαταριών έχουν μελετηθεί για να εξοπλίσουν τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα, με την κάθε χημεία να επιφέρει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Στις μέρες μας, λόγω της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας που διαθέτουν, οι **μπαταρίες ιόντων λιθίου** εφαρμόζονται ευρέως για εφαρμογές σε ηλεκτρικά οχήματα. Δεν μπορούμε να αφηγήσουμε το γεγονός πως κατά το πέρασμα των χρόνων, οι τεχνολογία των μπαταριών ιόντων λιθίου σημειώνει εξέλιξη. Πιο συγκεκριμένα, Η ενεργειακή πυκνότητα των μπαταριών ιόντων λιθίου έχει αυξηθεί από 88 Wh/kg (1991) σε 260 Wh/kg (2020) [30]. Ωστόσο, σε σύγκριση με την βενζίνη, η διαφορά τους εξακολουθεί να είναι μεγάλη.

Για την αντιμετώπιση του περιορισμένου εύρους οδήγησης, οι κατασκευαστές βελτιώνουν την ενεργειακή πυκνότητα των συσσωρευτών, όπως έχουμε αναφέρει, με την ακόμα μεγαλύτερη βελτίωση των ενεργειακών πυκνοτήτων των συσσωρευτών να συμβεί κατά το πέρασμα των χρόνων (γεγονός το οποίο αποτελεί μακροπρόθεσμη προοπτική). Ωστόσο, αυξάνοντας την χωρητικότητα των συσσωρευτών, απαιτούνται περισσότερα κελιά (cells). Γεγονός το οποίο, αυξάνει το συνολικό βάρος του ηλεκτρικού οχήματος. Εν ολίγοις, η μπαταρία πρέπει μην έχει υψηλό βάρος καθώς το συνολικό βάρος του οχήματος πρέπει να είναι όσο πιο ελαφρύ γίνεται. Αυτό το γεγονός περιορίζει την μέγιστη ποσότητα ενέργειας που αποθηκεύεται στην μπαταρία του αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος, το οποίο με την σειρά του, περιορίζει το εύρος οδήγησης [22]. Συνεπώς, το βάρος του συσσωρευτή ενός αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος αποτελεί βασική παράμετρο που επηρεάζει το εύρος οδήγησης.

ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	Επιπλέον κιλά για 500 χιλιόμετρα	Ισοδύναμο
Μολύβδου-Οξέος	2020	3000	Ρινόκερος
Υδριδίου-Μετάλλου-Νικελίου	2020	800	Βίσονας
Λιθίου	2020	400	Γορίλλας

**Πίνακας 2:** Βάρος τριών τύπων μπαταρίας για δυνατότητα αυτονομίας 500 χιλιομέτρων καθώς, επίσης, με τι ισοδυναμεί αυτό το βάρος [22]

Στον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 2), φαίνεται το επιπλέον βάρος τριών τύπων μπαταριών που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές σε ηλεκτρικά οχήματα, για να πετύχουν αυτονομία 500 χιλιομέτρων με μία φόρτιση. Παίρνοντας ως παράδειγμα τις μπαταρίες λιθίου, που χρησιμοποιούνται ευρέως στην ηλεκτροκίνηση στις μέρες μας, για την επίτευξη αυτονομίας 500 χιλιομέτρων, το βάρος του συσσωρευτή θα ζυγίζει 400 κιλά. Για να θέσουμε τα πράγματα σε προοπτική, αυτό το βάρος αντιστοιχεί σε ίσο βάρος με ενός γορίλλα. Έχει διαπιστωθεί ότι, σε σχέση με αντίστοιχα συμβατικά οχήματα, το βάρος των ηλεκτρικών οχημάτων είναι υψηλότερο σε ποσοστό 24% (κατά μέσο όρο) [33]. Μελέτες έχουν δείξει ότι μπορεί να επιτευχθεί μείωση ζήτησης ενέργειας κατά 7%, αν το βάρος ενός επιβατηγού αυτοκινήτου μειωθεί κατά 10 % [33]. Οι μπαταρίες ορισμένων μοντέλων αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων αντιπροσωπεύουν το 1/3 του συνολικού βάρους του οχήματος [33]. Επομένως, το βάρος των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων επηρεάζουν άμεσα το εύρος οδήγησης των ηλεκτρικών οχημάτων.

Όπως έχουμε αναφέρει, το συνολικό βάρος ενός αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος αυξάνεται, όταν εξοπλιστεί με πιο βαριές μπαταρίες αυξημένης χωρητικότητας. Για δυναμική οδήγηση του οχήματος, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί ηλεκτρικός κινητήρας αυξημένης ισχύος με υψηλότερο βάρος [34]. Γεγονός το οποίο αυξάνει περαιτέρω την κατανάλωση, μειώνοντας παράλληλα την αυτονομία του οχήματος.

## 2.3 ΑΝΗΣΥΧΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ

Σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια, η δημοτικότητα των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων έχει σημειώσει ανοδική πορεία, με αποτέλεσμα, ολοένα και περισσότερα τέτοιου τύπου οχήματα να κυκλοφορούν στους δρόμους. Αυτά τα οχήματα, μπορεί να διαφέρουν ως προς την εμφάνιση, τις επιδόσεις ή τον σχεδιασμό. Κοινό τους σημείο (κατά την πλειοψηφία τους) αποτελεί το σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο είναι η μπαταρία ιόντων-λιθίου. Τα τελευταία χρόνια, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου αποτελούν κυρίαρχο μέσο αποθήκευσης για τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα. Για τον λόγο αυτό, θα ασχοληθούμε με τους κίνδυνους ασφάλειας των που πηγάζουν από τέτοιου τύπου μπαταρίες.

Εκτός από τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα, οι μπαταρίες ιόντων-λιθίου χρησιμοποιούνται ευρέως σε υψηλό ποσοστό καταναλωτικών προϊόντων όπως κινητά τηλέφωνα, υπολογιστές και σε άλλες συσκευές. Θέματα ασφάλειας έχουν προκύψει σε αυτές τις συσκευές, χωρίς κάποιες σοβαρές συνέπειες στην πλειοψηφία τους. Αυτό το γεγονός, οφείλεται στο περιορισμένο μέγεθος της μπαταρίας. **Θέματα ασφαλείας** που αφορούν την τεχνολογία των ιόντων λιθίου, απόκτησαν μεγαλύτερη βαρύτητα λόγω του αυξανόμενου αριθμού αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων που κυκλοφορούν στους δρόμους καθώς, επίσης, λόγω των μεγαλύτερων μεγεθών συσσωρευτών για την εφαρμογή τους στα εν λόγω οχήματα. Ορισμένες φορές (αυτά τα ζητήματα ασφαλείας) συντελούν στην πρόκληση φωτιάς στα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα. Παρακάτω, **θα παρουσιάσουμε τους βασικούς κινδύνους που σχετίζονται με τις μπαταρίες ιόντων λιθίου.**

Οι κίνδυνοι πυρκαγιάς που σχετίζονται με τις μπαταρίες αποτελούν σημαντικό ζήτημα ασφαλείας, που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη από τους κατασκευαστές, στον σχεδιασμό των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων. Πρόκληση πυρκαγιάς μπορεί να δημιουργηθεί από αστοχία των συσσωρευτών. Η πιο συνηθισμένη αστοχία για τους συσσωρευτές ιόντων-λιθίου είναι **η θερμική διαφυγή** [35,36,37], όπως ονομάζεται, η οποία αποτελεί πρωταρχικό κίνδυνο για την ασφάλεια των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων. Όταν συμβεί αυτό το καταστροφικό φαινόμενο, προκαλεί αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας στα μεμονωμένα κελιά των μπαταριών. Οι αυξημένες θερμοκρασίες στο εσωτερικό των κελιών της μπαταρίας, δημιουργούνται κυρίως από βραχυκύκλωμα (αλλά επίσης και από άλλους παράγοντες όπως μηχανικής/θερμικής αστοχίας). Παράγοντες που συνδέονται με το βραχυκύκλωμα των κελιών των μπαταριών αποτελούν είτε από ελαττώματα που εμφανίστηκαν κατά την κατασκευή τους είτε από ατυχήματα που συνέβησαν κατά την κυκλοφορία τους στον δρόμο (σύνθλιψη κελιού κατά την διάρκεια αυτοκινητιστικού ατυχήματος υψηλής πρόσκρουσης). Συνέπεια αυτών των παραγόντων, αποτελεί η εκθετική αύξηση της θερμοκρασίας μέσα σε χιλιοστά του δευτερολέπτου υπερβαίνοντας τους 500 °C στο εσωτερικό του κελιού της μπαταρίας. Αυτή η αυξημένη θερμοκρασία μπορεί να 'βλάψει' και τα γειτονικά κελιά της μπαταρίας, προκαλώντας μια αλυσιδωτή αντίδραση (domino effect) όπου εκατοντάδες ή χιλιάδες κελιά ξεκινούν να καίγονται, αυξάνοντας κατά πολύ τον κίνδυνο. Η θερμική διαφυγή συνοδεύεται συνήθως από την εκτόξευση μεγάλου όγκου σκοτεινού καπνού και απελευθέρωση τοξικών αερίων, πυρκαγιών και εκρήξεων του ηλεκτρικού οχήματος. Τα τελευταία χρόνια, το μέγεθος



και η ενεργειακή πυκνότητα των μπαταριών ιόντων λιθίου αυξάνεται, με αποτέλεσμα, μεγαλύτερα ποσά ενέργειας να απελευθερώνονται στην περίπτωση θερμικής διαφυγής. Όπως έχουμε αναφέρει, η μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα είναι θεμιτή στους συσσωρευτές των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων (έχουμε εξηγήσει τον λόγο), αποτελώντας συγχρόνως **μεγάλη πρόκληση για τα θέματα πυρασφάλειας**.

Γενικότερα, οι πυρκαγιές στα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα δεν συμβαίνουν με μεγάλη συχνότητα. Όταν συμβούν, μπορούν να γίνουν **εξαιρετικά επικίνδυνες**. Κυρίως λόγω των τοξικών αερίων που απελευθερώνονται κατά την διάρκεια της θερμικής διαφυγής. Η χημεία του κελιού της μπαταρίας παίζει θεμελιώδη παράγοντα στην σύνθεση αυτών των αερίων. Κατά την διάρκεια πυρκαγιάς στους συσσωρευτές ενός αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος, παράγονται οργανικές χημικές ουσίες που συνήθως υπερβαίνουν τις 100 [38]. Μεταξύ αυτών **παράγονται επικίνδυνα τοξικά αέρια** όπως μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και το υδροφθόριο (HF) [35], τα οποία είναι μοιραία για τον άνθρωπο είτε άμεσα είτε έμμεσα. Μεγαλύτερη ανησυχία αποτελεί το υδροφθόριο διότι επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τους ανθρώπους που θα έρθουν σε επαφή με αυτό καθώς, επίσης, σε δοκιμές πυρκαγιάς έχουν βρεθεί μεγάλες ποσότητες υδροφθορίου. Το υδροφθόριο προέρχεται κυρίως από τον ηλεκτρολύτη ή τον διαχωριστή των κελιών της μπαταρίας και είναι ιδιαίτερα τοξικό. Έχει την ικανότητα να διεισδύει μέσα στο ανθρώπινο δέρμα, προκαλώντας δηλητηρίαση από αλλαγή των επιπέδων ασβεστίου καλίου και μαγνησίου στο αίμα.

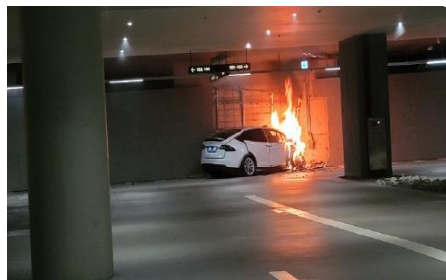
Για την κατάσβεση της πυρκαγιάς στα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα απαιτείται πολύ νερό διότι η επαφή του με τις φλόγες δεν είναι άμεση όπως σε ένα συμβατικό όχημα [39]. Αυτό συμβαίνει καθώς τα κελιά της μπαταρίας βρίσκονται μέσα σε μονάδες και πολλές μονάδες ομαδοποιημένες βρίσκονται σε μία συστοιχία μπαταριών. Χρησιμοποιώντας νερό για την καταπολέμηση της φωτιάς, βοηθάει στην μείωση της θερμοκρασίας της μπαταρίας. Γεγονός το οποίο οδηγεί στην αποτροπή περαιτέρω καύσης των χημικών ουσιών που βρίσκονται στο εσωτερικό της μπαταρίας. Για να μειωθεί η θερμοκρασία στο εσωτερικό της μπαταρίας μπορεί να χρειαστούν μέχρι και ώρες. Εκτιμάται ότι για την κατάσβεση της φωτιάς σε ένα αμιγώς ηλεκτρικό όχημα απαιτούνται περίπου 1000 λίτρα ανά λεπτό [38]. Σε σύγκριση με ένα συμβατικό όχημα, χρησιμοποιείται γύρω στις 10 φορές περισσότερο νερό [40]. Το υδροφθόριο που αναφέραμε προηγουμένως, απελευθερώνεται μέσω καπνών αλλά επίσης, διαλύεται στο νερό απορροής από την πυρκαγιά. Καθώς, λοιπόν, μιλάμε για **τεράστιες ποσότητες νερού**, είναι εύκολο να γίνει εισχώρηση του μολυσμένου νερού στο αποχετευτικό δίκτυο με δυσάρεστες συνέπειες για τον άνθρωπο και το περιβάλλον [38].

Σε μια μπαταρία που έχει υποστεί βλάβη, υπάρχει πιθανότητα τα κελιά που βρίσκονται στην μονάδα της μπαταρίας να μην έχουν επηρεαστεί από αυτήν τη βλάβη. Συνεπώς, η ενέργεια που μπορεί να διέθεταν τα κελιά, πριν από κάποια ενδεχόμενη βλάβη της μπαταρίας, να εξακολουθεί να υπάρχει. Αυτή η παραμένουσα ενέργεια, που ονομάζεται **λανθάνουσα ενέργεια** [36] (stranded energy), ευθύνεται για αναζωπυρώσεις φωτιάς που προκλήθηκαν από την βλάβη της μπαταρίας. Οι πυρκαγιές των μπαταριών των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων, έχει παρατηρηθεί ότι αναζωπυρώνονται έπειτα από ώρες, μέρες ακόμα και μετά από εβδομάδες αφότου η αρχική κατάσβεση της φωτιάς έχει λάβει χώρα από τους πυροσβέστες. Κάποιος τρόπος που να δίνει την δυνατότητα στους πυροσβέστες να μετρήσουν την απομένουσα ενέργεια, δεν έχει βρεθεί. Όταν, τελικά, έχει πραγματοποιηθεί η κατάσβεση της φωτιάς από τους πυροσβέστες και φαινομενικά θεωρείται ασφαλές το



συμβάν, μπορούν να προχωρήσουν σε κάποιες ενέργειες όπως αφαίρεση της μπαταρίας από το ηλεκτρικό όχημα, η μεταφορά και η απόρριψη της. Κατά την διάρκεια αυτών των ενεργειών εγκυμονεί ο κίνδυνος αναζωπυρώσεις της φωτιάς εξαιτίας της λανθάνον ενέργειας.

Ένας επιπλέον κίνδυνος που μπορεί να προκληθεί από μια μπαταρία που έχει υποστεί βλάβη, είναι ο **κίνδυνος ηλεκτροπληξίας** [36]. Αποτελεί βασικό κίνδυνο και δημιουργείτε από την έκθεση στις συνδέσεις υψηλής τάσης τις καεστραμμένης μπαταρίας. Πιο συγκεκριμένα, το ανθρώπινο σώμα αποτελεί αγωγό ηλεκτρικού ρεύματος. Όταν, λοιπόν έρθει σε επαφή με μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, το ρεύμα θα ρέει μέσα στο σώμα. Η ικανότητα του ανθρώπινου σώματος να 'αντιστέκεται' στο ηλεκτρικό ρεύμα (αντίσταση του σώματος) αλλάζει από άτομο σε άτομο καθώς, επίσης, παράγοντες όπως αν το δέρμα είναι ξηρό ή υγρό επηρεάζουν περαιτέρω την κατάσταση. Οι μέγιστες τάσεις που δεν προκαλούν κάποια βλάβη στον άνθρωπο και θεωρούνται ασφαλείς, είναι τις τάξεως των 60 V συνεχούς ρεύματος (DC) και 30 V εναλλασσόμενου ρεύματος (AC). Ενδεικτικά, σε ένα συμβατικό όχημα χρησιμοποιούνται συνήθως μπαταρίες των 12 V, η οποία είναι χαμηλή τάση. Συνεπώς, δεν υπάρχει κάποια ανησυχία για την ασφάλεια του ανθρώπου με μια τόσο χαμηλή τιμή τάσης. Σε ένα αμιγώς ηλεκτρικό όχημα τα πράγματα αλλάζουν. Ένα **αμιγώς ηλεκτρικό όχημα εξοπλίζεται με σύστημα υψηλής τάσης** που λειτουργεί με τιμές 400 V. Στην περίπτωση μια σύγκρουσης, όπου η μπαταρία υψηλής τάσης υποστεί βλάβη και τα συστήματα ασφαλείας της (όπως προστατευτικά καλύμματα και ασφάλειες κυκλώματος) 'υποκύψουν', αυξάνεται ο κίνδυνος ασφαλείας για εκείνους που εμπλέκονται στο ατύχημα. Σε μία τέτοια περίπτωση, το άτομο μπορεί να υποφέρει από σοβαρό τραυματισμό ή ακόμα και θάνατο γίνοντας μέρος του κυκλώματος υψηλής τάσης, ακουμπώντας το όχημα (ή κάποια εκτεθειμένη καλωδίωση).



**Σχήμα 2.2 :** Tesla model X τυλίγεται σε φλόγες από την συντριβή του πάνω στον τοίχο ενός παρκινγκ, στην Κορέα [41]



**Σχήμα 2.3 :** Tesla model S πιάνει δεύτερη φωτιά, αφού έχει προηγηθεί η πρώτη κατάσβεση της, λόγω λανθάνον ενέργεια [42]

## 2.4 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ

Σημαντική πρόκληση για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου αποτελεί το γεγονός ότι, με την πάροδο του χρόνου και λόγω ανεπιθύμητων ενεργειών, μειώνεται η χωρητικότητα τους και αποκτούν εσωτερική αντίσταση. Αυτές οι ενέργειες οδηγούν σε υποβάθμιση της απόδοσης της μπαταρίας και συχνά αναφέρονται ως **γήρανση της μπαταρίας**. Η γήρανση της μπαταρίας αποτελεί εμπόδιο στην ευρέα αποδοχή της ηλεκτροκίνησης και στην επίτευξη ανταγωνιστικού ρόλου στην αυτοκινητοβιομηχανία έναντι διαφορετικών τύπων οχημάτων. Οι κατασκευαστές, δίνουν εγγύηση για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου συνήθως 8 ετών ή 160.000 χιλιομέτρων [33]. Το κριτήριο το οποίο σηματοδοτεί την ημερομηνία λήξης των εν λόγω μπαταριών, για την εφαρμογή τους στα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα, είναι όταν η χωρητικότητα της μπαταρίας φτάσει στο 80 % της αρχικής της χωρητικότητας ή 30 % αύξηση της εσωτερικής αντίστασης της αντίστασης [33]. Οι μηχανισμοί που υποβαθμίζουν χαρακτηριστικά της μπαταρίας, τα οποία οδηγούν στην γήρανση και μείωση της διάρκειας ζωής της, ποικίλλουν. Παρακάτω θα αναφέρουμε τους βασικούς παράγοντες που επιταχύνουν την γήρανση των μπαταριών ιόντων λιθίου. Εντοπίζοντας αυτούς τους παράγοντες, οδηγεί στον εντοπισμό των αδυναμιών των μπαταριών. Γεγονός το οποίο, ενδεχομένως, μπορεί να οδηγήσει στην μελλοντική βελτίωση των μπαταριών

Η γήρανση αποτελεί μεγάλη ανησυχία και περίπλοκο ζήτημα για τις μπαταρίες ιόντων-λιθίου. Υπάρχει μεγάλος αριθμός μηχανισμών που προκαλούν την γήρανση της μπαταρίας, οι οποίοι (κατά την πλειοψηφία τους) λαμβάνουν χώρα στην κάθοδο ή την άνοδο, στον ηλεκτρολύτη και στην εσωτερική επιφάνεια του διαχωριστή. Καθόλη την διάρκεια ζωής της μπαταρίας, οι **τύποι γήρανσης** που έρχεται αντιμέτωποι **είναι δύο**. Ο πρώτος τύπος ονομάζεται **ημερολογιακή γήρανση** (calendar aging) [43] και είναι η γήρανση που πραγματοποιείται όταν δεν εξέρχεται ή εισέρχεται, εκτός η εντός της μπαταρίας, κανένα ρεύμα. Σε αυτόν τον τύπο γήρανσης, η μεγαλύτερη απώλεια χωρητικότητας πραγματοποιείται στα αρχικά στάδια της ζωής της μπαταρίας (όπου η συγκέντρωση λιθίου στην μπαταρία είναι στην ύψιστη τιμή). Ύστερα από εκείνο το σημείο, η μείωση της χωρητικότητας συμβαίνει με πιο σταδιακό ρυθμό. Μείωση της χωρητικότητας της μπαταρίας ενέχει αρνητικές συνέπειες τόσο για την διάρκεια ζωής της μπαταρίας όσο και για την αποτελεσματικότητά της.

Ένας βασικός παράγοντας που επηρεάζει τον ρυθμό με τον οποίο θα αυξηθεί το ποσοστό ημερολογιακής γήρανσης της μπαταρίας αποτελεί η **θερμοκρασία του περιβάλλοντος** [43] στο οποίο βρίσκεται. Όταν ένα όχημα είναι σταθμευμένο και τα ηλεκτρικά συστήματα του οχήματος είναι απενεργοποιημένα, η θερμοκρασία της μπαταρίας του εξαρτάται άμεσα από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η ενίσχυση αυτών των μηχανισμών πραγματοποιείται με υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, οδηγώντας σε υποβάθμιση της μπαταρίας κατά την διάρκεια της ζωής της εντός μικρού χρονικού διαστήματος. Γεγονός το οποίο γίνεται αντιληπτό από τον πίνακα 3.

Από την άλλη πλευρά, πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, οδηγούν σε σχηματισμό μεταλλικού λιθίου γύρω από την άνοδο (lithium plating) [43]. Δυσλειτουργία η οποία αποτελεί κυρίαρχο παράγοντα ενεργοποίησης της ημερολογιακής γήρανσης. Θερμοκρασίες περιβάλλοντος των μπαταριών ιόντων-λιθίου μεταξύ 5 και 20 βαθμών κελσίου συνιστάται καθώς οδηγεί στην αύξηση της διάρκειας της ζωής τους. Τιμές εκτός αυτών των τιμών θερμοκρασίας, οδηγούν σε μείωση χωρητικότητας λόγω ημερολογιακής γήρανσης. Κατά πόσο θα επιτρέψει η υψηλή ή χαμηλή θερμοκρασία του περιβάλλοντος στην ημερολογιακή γήρανση να επηρεάσει την απόδοση και την διάρκεια ζωής της μπαταρίας εξαρτάται, επίσης, από την γεωμετρία και την χημεία του κελιού της μπαταρίας. Καθορίζοντας τελικά αν μπορεί να διαχειριστεί τέτοιες θερμοκρασίες.

Θερμοκρασία	40% αποθηκευμένη ενέργεια	100% αποθηκευμένη ενέργεια
0°C	98% (μετά από 1 χρόνο)	94% (μετά από 1 χρόνο)
25°C	96% (μετά από 1 χρόνο)	80% (μετά από 1 χρόνο)
40°C	85% (μετά από 1 χρόνο)	65% (μετά από 1 χρόνο)
60°C	75% (μετά από 1 χρόνο)	60% (μετά από 1 χρόνο)

**Πίνακας 3 :** Εκτιμώμενη χωρητικότητα κελιού ιόντων λιθίου ανάλογα με την θερμοκρασία περιβάλλοντος υπό διαφορετικά επίπεδα φόρτισης [44]

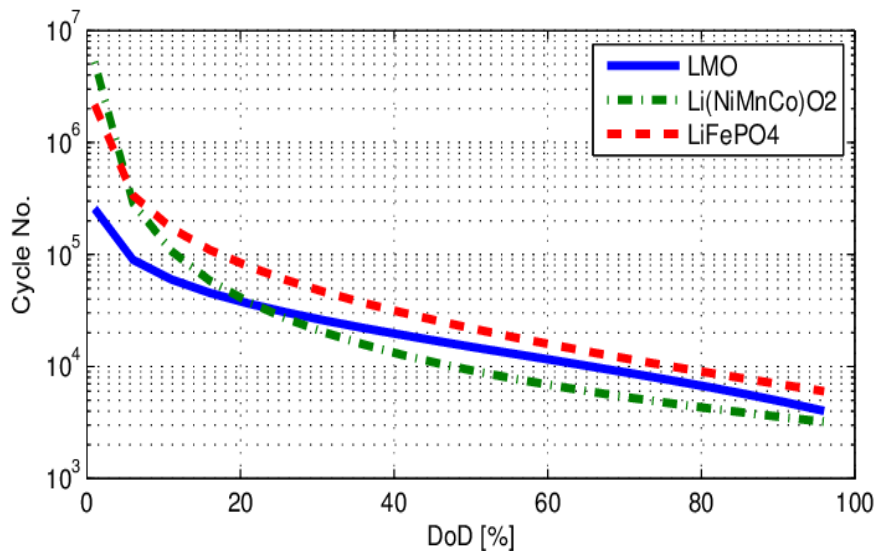
Η ημερολογιακή γήρανση επηρεάζεται, επίσης, από το **επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας** [43], το οποίο αντιπροσωπεύει το ποσοστό αποθηκευμένης ποσότητας στην μπαταρία σε σχέση με την συνολική της χωρητικότητα. Το επίπεδο φόρτισης και η τάση κατά την φόρτιση της μπαταρίας συνδέονται μεταξύ τους. Υψηλότερη τάση, κατά την φόρτιση, ανά κελί της μπαταρίας οδηγεί σε υψηλότερο επίπεδο φόρτισης. Αυξημένα επίπεδα φόρτισης (πάνω από 85%), οδηγούν σε αύξηση της τάσης ανοιχτού κυκλώματος (open circuit voltage). Λόγω της αύξησης της τάσης ανοιχτού κυκλώματος, η στρώση που ονομάζεται 'στερεή ενδιάμεση φάση ηλεκτρολύτη' αναπτύσσεται στην επιφάνεια της ανόδου. Γεγονός το οποίο οδηγεί στην αύξηση της εσωτερικής αντίστασης και μείωσης της χωρητικότητας της μπαταρίας. Ο πίνακας 4 δείχνει πόσο μειώνεται ο κύκλος ζωής της μπαταρίας λόγω των υψηλών επιπέδων φόρτισης. Χαμηλά επίπεδα φόρτισης (κάτω των 20%) είναι εξίσου υπεύθυνα για την εξασθένηση της χωρητικότητας και αύξηση της εσωτερικής αντίστασης της μπαταρίας.

Τάση φόρτισης (V/cell)	Κύκλοι ζωής μπαταρίας	Διαθέσιμη αποθηκευμένη ενέργεια
4.2	300-500	100%
4.15	400-700	90-95%
4.1	600-1000	85-90%
4.05	850-1500	80-85%
4.00	1200-2000	70-75%
3.9	2,400-4,000	60-65%

**Πίνακας 4 :** Κύκλοι αποφόρτισης μπαταρίας από διαφορετικά επίπεδα φόρτισης [44]

Ο δεύτερος τύπος γήρανσης ονομάζεται **κυκλική γήρανση** (cyclic aging) και είναι η γήρανση που συμβαίνει κατά την φόρτιση ή αποφόρτιση του κελιού της μπαταρίας [43]. Ένας παράγοντας που επιταχύνει την κυκλική γήρανση είναι ο **ρυθμός C**. Ένας υψηλός ρυθμός C μπορεί να παρουσιασθεί λόγω της εσωτερικής αντίστασης του κελιού, κατά την γρήγορη φόρτιση ή αποφόρτιση της μπαταρίας. Υψηλός ρυθμός C μπορεί να προκαλέσει τον σχηματισμό μεταλλικού λιθίου γύρω από την άνοδο (lithium plating). Αυτή η στρώση μεταλλικού λιθίου, μπορεί να αποκτήσει δένδριτική μορφή (λόγω της επίδρασης της βαρύτητας). Γεγονός το οποίο οδηγεί σε μείωση της χωρητικότητας (self-discharge) ή σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να προκαλέσει εσωτερικό βραχυκύκλωμα της μπαταρίας. Επίσης, όσο πιο υψηλός είναι ο ρυθμός C, τόσο μεγαλύτερη θερμότητα παράγεται εντός του κελιού της μπαταρίας. Λόγω της εσωτερικής αντίστασης της μπαταρίας και των υψηλών ρευμάτων φόρτισης (fast-charging) [33], μέρος της ενέργειας της μπαταρίας μετατρέπεται σε θερμότητα, αυξάνοντας την θερμοκρασία λειτουργίας μέσα στο κελί της μπαταρίας. Ως αποτέλεσμα (εφόσον ο ρυθμός C έχει υπερβεί συγκεκριμένο επίπεδο), προκαλείται υποβάθμιση της μπαταρίας αυξάνοντας τον ρυθμό με τον οποίο μειώνεται η χωρητικότητα της.

Κυρίαρχη επίδραση στην επιτάχυνση της κυκλικής γήρανσης, και κατ' επέκταση στην μείωση διάρκειας ζωής των μπαταριών ιόντων-λιθίου, αποτελεί το **βάθος αποφόρτισης** (Depth of discharge, DOD) [43]. Υψηλά βάθη αποφόρτισης προκαλούν πίεση στο κελί της μπαταρίας, οδηγώντας σε πιθανή βλάβη των αρνητικών ηλεκτροδίων. Γεγονός το οποίο αυξάνει την απώλεια χωρητικότητας ή συντελεί στην πρόκληση βλάβης στο κελί. Όπως φαίνεται από το σχήμα 2.4, μεγάλα βάθη αποφόρτισης καταλήγουν σε μείωση διάρκειας ζωής της μπαταρίας



**Σχήμα 2.4 :** Κύκλος ζωής μπαταριών ιόντων λιθίου με βάση το βάθος αποφόρτισης [45]

Όλοι οι παραπάνω παράγοντες, είτε μεμονωμένα είτε συνδυαστικά, οδηγούν σε υποβάθμιση της απόδοσης της μπαταρίας και στην εξασθένηση της χωρητικότητας κατά το πέρασμα του χρόνου. Κυριότερο ζήτημα αποτελεί, όταν φτάσει η χωρητικότητα της μπαταρίας στο 80% της αρχικής της χωρητικότητας. Όταν μια τέτοια μείωση στην χωρητικότητα της μπαταρίας λάβει χώρα, σηματοδοτεί το τέλος της ζωής της μπαταρίας. Συνεπώς, σε αυτήν την περίπτωση απαιτείται αλλαγή της μπαταρίας.

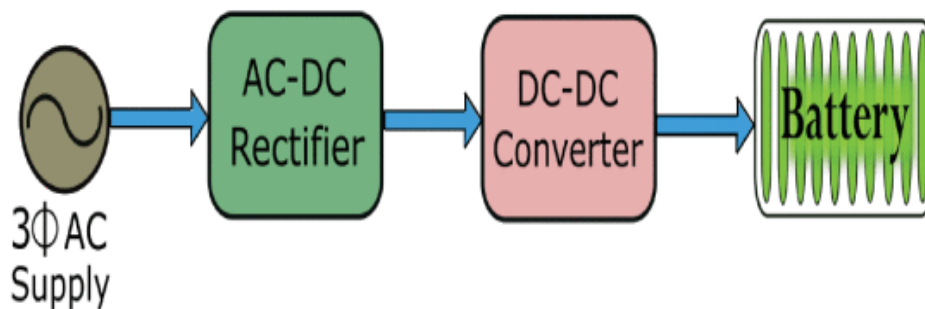
Είναι γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια έχει πραγματοποιηθεί μείωση στην τιμή της μπαταρίας. Πιο συγκεκριμένα, το 2020 η τιμή της μπαταρίας έπεσε στα 137\$ ανά κιλοβατώρα. Ωστόσο, αναλογίζοντας ότι η τιμή της μπαταρίας αντιστοιχεί στο 25%-55% της συνολικής αξίας του οχήματος, δεν φαίνεται να είναι αρκετή η μείωση στην τιμή της [33]. Συνεπώς η γήρανση της μπαταρίας με την πάροδο του χρόνου, μπορεί να αποβεί επώδυνη για την 'τσέπη' του ιδιοκτήτη σε ενδεχόμενη αντικατάστασης της.

Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα που πηγάζει από την γήρανση της μπαταρίας, είναι η τιμή μεταπώλησης του αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος. Όπως έχουμε αναφέρει, Οι κατασκευαστές, δίνουν εγγύηση για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου συνήθως 8 ετών ή 160.000 χιλιομέτρων. Μετά από αυτήν την περίοδο, δημιουργείται αβεβαιότητα για την διάρκεια ζωής της μπαταρίας καθώς υπάρχει κίνδυνος αντικατάστασης. Δεδομένου ότι η αντικατάσταση της μπαταρία κοστίζει από 2,060 € μέχρι και πάνω από 8,220 € (ανάλογα το όχημα), η αξία των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων μειώνεται σε μεγάλο βαθμό [33]. Γεγονός το οποίο, δημιουργεί στον ιδιοκτήτη δυσκολίες, αναφορικά με την μεταπώληση του οχήματος.

## 3<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΜΕΘΟΔΩΝ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

### 3.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Η διαδικασία φόρτισης των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς και άλλων τύπων ηλεκτρικών οχημάτων συμπεριλαμβάνοντας τα υβριδικά, ολοκληρώνεται εξωτερικά από ένα δίκτυο ισχύος διαμέσου μιας συσκευής που ονομάζεται φορτιστής μπαταρίας. Στο σχήμα 1, παρουσιάζεται η βασική διάταξη των φορτιστών. Μέσω μετατροπής ενέργειας στην μπαταρία και ταυτόχρονης επεξεργασίας και ελέγχου του ηλεκτρικού ρεύματος φορτίζεται η μπαταρία του ηλεκτρικού οχήματος από τον φορτιστή. Κατά την διαδικασία φόρτισης, η διαθεσιμότητα εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) από το ηλεκτρικό δίκτυο αποτελεί βασική ανάγκη για τον φορτιστή, ενώ για την μπαταρία απαιτείται συνεχές ρεύμα (DC). Για να επιτευχθεί το κατάλληλο επίπεδο ισχύος συνεχούς ρεύματος για την φόρτιση της μπαταρίας απαιτείται κατάλληλος σχεδιασμός του φορτιστή ενσωματώνοντας ανορθωτή (rectifier). Ο φορτιστής του ηλεκτρικού οχήματος είναι, συνήθως, κατασκευασμένος ως μετατροπέας εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές ρεύμα (AC/DC). Σε περίπτωση γρήγορης φόρτισης, για καλύτερη μετατροπή ενέργειας, προστίθεται ένας μετατροπέας συνεχούς ρεύματος σε συνεχές ρεύμα (DC/DC)



**Σχήμα 3.1 :** Βασική διαμόρφωση του φορτιστή της μπαταρίας

Σύμφωνα με τον τρόπο μεταφοράς της ενέργειας, τα συστήματα φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων **ταξινομούνται σε 3** κατηγορίες :

- Σύστημα αγωγίμης φόρτισης (Conductive charging system)
- Σύστημα επαγωγικής φόρτισης (Inductive charging system)
- Δίκτυα ανταλλαγής μπαταριών (Battery swapping networks)

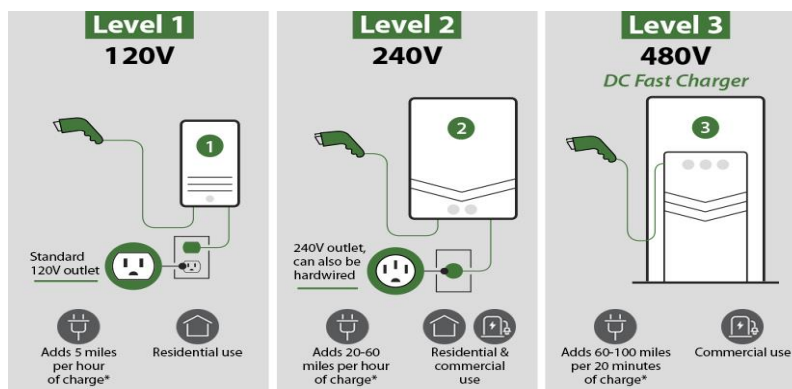


Σε αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με το σύστημα αγωγίμης φόρτισης καθώς αποτελεί την πιο χρησιμοποιούμενη μέθοδο, εδώ και πολλά χρόνια, για την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων. Τα άλλα δυο είδη φόρτισης, θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο, ως ενδεχόμενες κατευθύνσεις για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που συζητούνται.

Στα αγωγήμα συστήματα, απαιτείται άμεση σύνδεση μεταξύ του φορτιστή και του ηλεκτρικού οχήματος. Στην αγωγήμη λειτουργία, η ενέργεια μεταφέρεται μέσω καλωδιακής σύνδεσης που επιτρέπει την επαφή του δικτύου τροφοδοσίας και της μπαταρίας. Το καλώδιο μπορεί να τροφοδοτηθεί από την πρίζα οποιουδήποτε επιπέδου ισχύος φόρτισης. Πρότυπα τηρούνται, που σχετίζονται με την ασφάλεια εγκατάσταση και σύνδεση του εξοπλισμού τροφοδοσίας του ηλεκτρικού οχήματος (EVSE) με το ηλεκτρικό όχημα, για την επίτευξη της φόρτισης [46]. Ο εξοπλισμός τροφοδοσίας του ηλεκτρικού οχήματος, ο οποίος είναι γνωστός και ως ηλεκτρικό σημείο επαναφόρτισης, είναι η υποδομή (συμπεριλαμβανομένων των καλωδίων, συνδέσμων) που χρησιμοποιείται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από πηγή ηλεκτρικής ενέργειας στον φορτιστή του ηλεκτρικού οχήματος. Ο χρόνος που απαιτείται για πλήρη φόρτιση καθορίζεται από διαφορετικά ρεύματα και τάσης παραμόρφωσης, γνωστά ως επίπεδα φόρτισης. Η εταιρεία μηχανικών αυτοκινήτων και το Ινστιτούτο Ηλεκτρικής Έρευνας ισχύος έχουν κατηγοριοποιήσει τα επίπεδα φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων σε τρία επίπεδα, τα οποία είναι τα εξής [46,47,48]:

- **Επίπεδο φόρτισης 1:** Άμεση φόρτιση από ανεξάρτητη ηλεκτρική γραμμή με καλή γείωση μέσω μονοφασικού ή τριφασικού οικιακού ρευματοδότη (ο οποίος είναι γειωμένος). Ουσιαστικά, είναι μια συμβατική πρίζα τοίχου. Για την φόρτιση της μπαταρίας, απαιτείται μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος που προέρχεται από το τοπικό σύστημα διανομής σε συνεχές ρεύμα. Αυτή η μετατροπή, πραγματοποιείται χάρη τον ενσωματωμένο μετατροπέα (on-board inverter) που είναι ενσωματωμένος στο ηλεκτρικό όχημα. Αυτό το επίπεδο φόρτισης παρέχει ισχύ μεταξύ 1.3-1.9 kW και χρησιμοποιείται κυρίως για οικιακή χρήση (θεωρητικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί οπουδήποτε), όπου δεν απαιτείται κάποια επιπρόσθετη υποδομή (επιπλέον κυκλώματα). Αποτελεί την πιο βολική και φθηνή μέθοδο φόρτισης καθώς, επίσης, και την πιο αργή (σε σχέση με τα άλλα επίπεδα φόρτισης που θα συναντήσουμε παρακάτω)
- **Επίπεδο φόρτισης 2:** Η φόρτιση επιπέδου 2 λαμβάνει χώρα σε αναβαθμισμένες πρίζες των 220V. Τα παλαιότερα σπίτια, ανάλογα με την υποδομή τους, μπορεί ενδεχομένως να χρειαστούν ηλεκτρικές αναβαθμίσεις (αναβαθμισμένα κυκλώματα και σε σπάνιες περιπτώσεις αναβαθμισμένο μετασχηματιστή. Τα πιο μοντέρνα σπίτια συνήθως διαθέτουν αυτές τις πρίζες. Χρησιμοποιείται για την φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων τόσο για ιδιωτικές εγκαταστάσεις όσο και για δημόσιες. Ανάλογα με το επίπεδο ρεύματος που μπορεί να αντέξει το κύκλωμα, αυτό το επίπεδο φόρτισης παρέχει ισχύ από 6.6 kW έως 19,2 kW και αποτελεί πιο γρήγορη μέθοδο φόρτισης από εκείνη του επιπέδου 1.

- Επίπεδο φόρτισης 3:** Η φόρτιση επιπέδου 3 είναι κατάλληλη για δημόσιες και εμπορικές εφαρμογές. Η φόρτιση αυτού του τύπου πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας εξωτερικούς φορτιστές (λόγω του μεγέθους του φορτιστή και των απαιτήσεων ψύξης των ηλεκτρονικών του) για την μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές και η σύνδεση του με το ηλεκτρικό όχημα, μπορεί να είναι απευθείας σε συνεχές ρεύμα. Ως αποτέλεσμα, παρέχει πολύ υψηλά επίπεδα ισχύος και, για τον λόγο αυτό, αποτελεί την πιο γρήγορη μέθοδο φόρτισης από τα 3 επίπεδα. Το επίπεδο φόρτισης 3 παρέχει ισχύ 50 kW, 150 kW και 350 kW (ultra fast direct-current fast charging). Οι φορτιστές τέτοιου τύπου που συναντώνται σε δημόσιες εγκαταστάσεις, κατά την πλειοψηφία λειτουργούν με ισχύ εξόδου στα 50 kW. Τιμές ισχύος που ανέρχονται στα 150 και 350 kW απαιτούν 'ειδικό' εξοπλισμό που δεν έχει αναπτυχθεί σε εμπορική βάση και με την τωρινή τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων να μην μπορεί να υποστηρίξει τέτοια επίπεδα ισχύος.



**Σχήμα 3.2 :** Επίπεδα φόρτισης 1,2 και 3 [49]

### 3.2 ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 1 ΚΑΙ 2

Σημαντικό εμπόδιο στην ευρεία αποδοχή και εξάπλωση των ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί ο χρόνος φόρτισης. Η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων απαιτεί πολύ περισσότερο χρόνο από την πλήρωση της δεξαμενής ενός συμβατικού οχήματος. Πιο συγκεκριμένα, τα επίπεδα φόρτισης 1 και 2, χρειάζονται 8-16 ώρες και 4-8 ώρες αντίστοιχα (ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος της μπαταρίας), για την πλήρη φόρτιση της μπαταρίας του ηλεκτρικού οχήματος. Για την αντίστοιχη διαδικασία σε ένα συμβατικό όχημα, ανεφοδιασμού της δεξαμενής με καύσιμο, μπορεί να χρειαστεί χρόνος λιγότερος των 10 λεπτών. Διαφορά κάτι παραπάνω από αισθητή. Συνεπώς, οι μεγάλοι χρόνοι φόρτισης, σε συνδυασμό με την χαμηλή αυτονομία των ηλεκτρικών οχημάτων, υποβάλουν ενδεχομένως τον υποψήφιο αγοραστή σε 'δεύτερες σκέψεις' για το αν τελικά θα προβεί στην αγορά του εν λόγω οχήματος. Για τον λόγο αυτόν, τα επίπεδα φόρτισης 1 και 2 είναι κατάλληλα για φόρτιση στο σπίτι κατά την διάρκεια της νύχτας, όπου παραμένουν σταθμευμένα για πολλές ώρες.

Η φόρτιση στο σπίτι σε συνδυασμό με την φόρτιση κατά την διάρκεια της νύχτας αποτελεί ιδιαίτερα βολική μέθοδο για τον ιδιοκτήτη καθώς επιτρέπει την φόρτιση του ηλεκτρικού οχήματος από την άνεση του σπιτιού. Έπειτα από την νυχτερινή φόρτιση στην οποία 'υποβλήθηκε' το ηλεκτρικό όχημα, είναι έτοιμο για μετακίνηση το επόμενο πρωί. Διαδικασία η οποία δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί στα συμβατικά οχήματα, αποτελώντας ξεκάθαρη υπεροχή των ηλεκτρικών οχημάτων σε αυτόν τον τομέα. Ωστόσο, μια σημαντική παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη αποτελεί το γεγονός πως για να πραγματοποιηθεί φόρτιση στο σπίτι κατά την διάρκεια της νύχτας προϋποθέτει, από την μεριά του ιδιοκτήτη, ιδιωτικό χώρο στάθμευσης. Μεγάλο ποσοστό ανθρώπων δεν διαθέτουν ιδιωτικό χώρο στάθμευσης στο σπίτι. Αρχικά πρέπει να σημειώσουμε πως ανά χώρα και περιοχή, διαφέρει η πρόσβαση στα βύσματα στο σπίτι και η δυνατότητα προσθήκης φορτιστή. Στο Ηνωμένο Βασίλειο μόνο το 55% των ιδιοκτητών αυτοκινήτων έχουν πρόσβαση σε γκαράζ ενώ στο Λονδίνο, μόνο το 48% των οδηγών οχημάτων διαθέτουν ιδιωτικό χώρο στάθμευσης. Στις ΗΠΑ, κάτω από το 50 % των ιδιοκτητών ηλεκτρικών οχημάτων διαθέτουν χώρο στάθμευσης [33]. Οι μειονότητες των ευρωπαϊκών, επίσης, έχουν πρόσβαση σε ιδιωτικό χώρο στάθμευσης για την επαναφόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων τους (περίπου το 20% στην Γαλλία) [50]. Επομένως, το γεγονός ότι όλα τα ηλεκτρικά θα μπορούν να φορτιστούν κατά την διάρκεια της νύχτας, αποτελεί ψευδαίσθηση. Μια επιπλέον παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη αποτελεί το γεγονός ότι η πρόσβαση σε ιδιωτικό χώρο στάθμευσης δεν συνεπάγεται απαραίτητα και πρόσβαση σε ηλεκτρική ενέργεια. Για τους κατοίκους διαμερισμάτων οι εγκαταστάσεις στάθμευσης μπορεί να βρίσκονται σε ανοιχτούς χώρους στάθμευσης, χωρίς πρόσβαση σε ηλεκτρική ενέργεια [51]. Συνήθως, ούτε τα διαμερίσματα με εσωτερικούς χώρους στάθμευσης δεν εξοπλίζονται με πρίζες. Υπό αυτή την συνθήκη, η φόρτιση του ηλεκτρικού οχήματος στο σπίτι μοιάζει ανέφικτη [51].

Ένας άλλος περιορισμός της οικιακής φόρτισης αποτελούν οι μακρινές αποστάσεις. Εάν τα ταξίδια υπερβούν την αυτονομία του ηλεκτρικού οχήματος, τότε η φόρτιση του αναγκαστικά θα λάβει χώρα εκτός σπιτιού. Ενισχύοντας, με αυτόν τον τρόπο, το άγχος εύρους. Αν δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί η φόρτιση του οχήματος εκτός σπιτιού, θα παραμείνει ως δεύτερο όχημα για τους οικονομικά ισχυρούς, προτιμώντας ένα όχημα εσωτερικής καύσης για τις μακρινές αποστάσεις. Από την άλλη μεριά, εάν χρησιμοποιείται συχνά για μακρινές αποστάσεις (ενδεχομένως για εργασιακούς λόγους) και θα είναι το μοναδικό όχημα στην κατοχή του ιδιοκτήτη, αποτελεί ζήτημα το οποίο μπορεί να οδηγήσει τον υποψήφιο αγοραστή στην μη αγορά ηλεκτρικού οχήματος. Συνεπώς, επαρκής υποδομή φόρτισης (ένας συνδυασμός φόρτισης στον χώρο εργασίας, υποδομές δημόσιας αργής και γρήγορης φόρτισης) κρίνεται απαραίτητη καθώς η αποκλειστική χρήση οικιακής φόρτισης δημιουργεί σημαντικά εμπόδια στην υιοθέτηση και ευρεία εξάπλωση της ηλεκτροκίνησης, κάνοντας ουσιαστικά την μετάβαση από τα οχήματα εσωτερικής καύσης στα ηλεκτρικά οχήματα εμφανώς πιο δύσκολη.

### 3.3 ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ 3

Όσον αφορά την μείωση του χρόνου φόρτισης, μία καλή λύση μπορεί να είναι η γρήγορη φόρτιση. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, η γρήγορη φόρτιση (επίπεδο φόρτισης 3) χρησιμοποιείται για δημόσιες και εμπορικές εφαρμογές. Λόγω της υψηλής τιμής ισχύος που παρέχει αυτό το επίπεδο φόρτισης, η φόρτιση του ηλεκτρικού οχήματος πραγματοποιείται μέσα σε πολύ λίγο χρόνο.



**Σχήμα 3.3 :** Χρόνοι φόρτισης των τριών τύπων φόρτισης [52]

Πιο συγκεκριμένα, οι γρήγοροι φορτιστές, μέσα σε περίπου 30 λεπτά, εγγυούνται κατάσταση φόρτισης στο επίπεδο του 80% (το τελευταίο 20 % απαιτεί πολύ χρόνο για να φορτιστεί μια μπαταρία). Ενώ όταν τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να υποστηρίξουν την εξαιρετικά υψηλή ισχύ των 350 kW, των ‘πολύ γρήγορων φορτιστών’ (ultra-fast charging), η φόρτιση τους μπορεί να επιτευχθεί έως και 80% σε περίπου δέκα λεπτά.

Είναι αδιαμφισβήτητο το γεγονός ότι με την εισβολή των γρήγορων σταθμών φόρτισης η πολύωρη αναμονή, με σκοπό να φορτιστεί πλήρως το ηλεκτρικό όχημα, θα αποτελέσει παρελθόν. Ταυτόχρονα, θα ενισχυθεί η αυτοπεποίθηση των ιδιοκτητών των ηλεκτρικών οχημάτων, ωθώντας τους στο να κάνουν ταξίδια χωρίς να υπάρχει το αίσθημα άγχους εύρους. Αν και όλα μοιάζουν ιδανικά, αυτό το γεγονός δεν σημαίνει πως η τεχνολογία της γρήγορης φόρτισης δεν αντιμετωπίζει προκλήσεις ή ότι δεν έχει αρνητικές επιδράσεις. Οι μεγάλες ποσότητες ισχύος, λόγω της γρήγορης φόρτισης, έχουν αρνητικό αντίκτυπο στο σύστημα μπαταριών. Κατά την διάρκεια της γρήγορης φόρτισης, ρεύματα υψηλής φόρτισης οδηγούν σε αύξηση της θερμοκρασίας της με επιπτώσεις στην διάρκεια ζωής και την απόδοση της μπαταρίας [53,54]. Για να ξεπεραστεί η υποβάθμιση της μπαταρίας μέσω της αύξησης της θερμοκρασίας, ένα πιο περίπλοκο σύστημα ψύξης είναι απαραίτητο [54]. Ένα απλό σύστημα ψύξης αέρα μπορεί να είναι αρκετό, στην περίπτωση ‘αργής φόρτισης’.

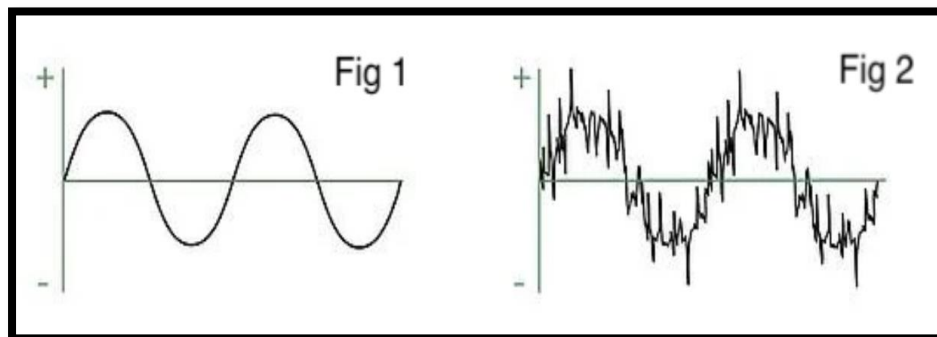
Ωστόσο, στην περίπτωση γρήγορης φόρτισης δεν συμβαίνει το ίδιο και η χρήση υδρόψυξης κρίνεται αναγκαία [53]. Αυτό το σύστημα ψύξης φυσικά απαιτεί περισσότερα εξαρτήματα και συντήρηση, τα οποία σε συνδυασμό αυξάνουν την πολυπλοκότητα, το βάρος και το κόστος του συστήματος της μπαταρίας [54]. Εάν η γρήγορη φόρτιση της μπαταρίας λαμβάνει χώρα πολύ συχνά, τότε το σύστημα διαχείρισης της μπαταρίας επεμβαίνει μειώνοντας το ρεύμα φόρτισης και αυξάνοντας τον χρόνο φόρτισης. Επίσης, όταν αυξάνεται το ρεύμα κατά την φόρτιση, μπορεί να προκληθεί σχηματισμός μεταλλικού λιθίου γύρω από την άνοδο (lithium plating). Αυτή η στρώση μεταλλικού λιθίου μπορεί να επιταχύνει την γήρανση της μπαταρίας.

Ένα άλλο ζήτημα με την δημιουργία σταθμών φόρτισης αφορά την ενσωμάτωση τους στο δίκτυο. Η υποδομή επιπέδου 1 φόρτισης απαιτεί μόνο περίπου 3 kW περίπου, από το δίκτυο τροφοδοσίας, το οποίο ποσό ενέργειας απαιτούν και οι κοινές οικιακές συσκευές για την λειτουργία τους [55]. Γεγονός το οποίο επιτρέπει την ταυτόχρονη φόρτιση πολλών ηλεκτρικών οχημάτων, χωρίς να επιδρά αρνητικά στο ευρύτερο δίκτυο. Ωστόσο, δεν ισχύει το ίδιο και για τις υποδομές επιπέδου 3. Τέτοιες υποδομές μπορεί να απαιτούν έως και 150kW από το δίκτυο, τα οποία είναι πολύ υψηλά ποσά ενέργειας [55]. Η εν λόγω υψηλή απαιτούμενη ισχύς έχει πολλές αρνητικές επιπτώσεις καθώς καταπονεί το σύστημα ισχύος υπό την μορφή αυξημένων απωλειών διανομής και υποβάθμιση της ποιότητας ισχύος. Σε αυτήν την καταπόνηση συμβάλει, επίσης, σημαντικά η ανεξέλεγκτη φόρτιση (uncontrolled charging) [56]. Η ανεξέλεγκτη φόρτιση σημαίνει ότι ο οδηγός του ηλεκτρικού οχήματος, κατά την άφιξη του σε έναν προορισμό, συνδέει το ηλεκτρικό του όχημα σε μια εγκατάσταση φόρτισης. Για να αναλογιστούμε το πρόβλημα της ανεξέλεγκτης φόρτισης αρκεί να σκεφτούμε ένα σενάριο, στο οποίο μεγάλος αριθμός ιδιοκτητών που φτάνουν στο σπίτι τους (ενδεχομένως από την δουλειά τους) και εντός περιορισμένης περιόδου συνδέουν τα οχήματά τους για φόρτιση. Δηλαδή, όταν ήδη η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι στην υψηλότερη τιμή της. Αυτή η ζήτηση κατά την διάρκεια ωρών αιχμής μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα όπως, σταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας αναγκάζονται να παράξουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια [56]. Ως αποτέλεσμα, το συνολικό κόστος παραγωγής ενέργειας αυξάνεται. Οι χωρητικότητες των γραμμών μεταφοράς, διανομής ή των συνδέσεων των κτιρίων μπορεί να υπερβούν τα όρια τους από την επιπλέον ζήτηση ενέργειας κατά την διάρκεια ωρών αιχμής. Μπορεί ενδεχομένως να χρειαστούν υψηλές επενδύσεις για την επέκταση εγκατεστημένων χωρητικοτήτων ή για την γενικότερη αναβάθμιση του δικτύου (αναβάθμιση μετασχηματιστή) [56]. Παρακάτω, παρουσιάζονται οι αρνητικές επιπτώσεις των γρήγορων σταθμών φόρτισης από την ενσωμάτωση τους στο δίκτυο, όταν υπάρχουν αρκετοί γρήγοροι φορτιστές στο ίδιο μέρος σε συνδυασμό με ανεξέλεγκτη φόρτιση: [48,57,33]

- **Επιπτώσεις στην φόρτωση δικτύου (Power network):** Υπό τις συνθήκες που περιγράψαμε πιο πάνω, μία σειρά από προβλήματα στο δίκτυο ισχύος δύναται να προκληθούν. Οι απώλειες ενέργειας του συστήματος ισχύος αποτελεί μια εξ αυτών. Με την φόρτιση συστάδων ηλεκτρικών οχημάτων, λόγω της αύξησης απαίτησης φορτίου, οι απώλειες ενέργειας αυξάνονται.

Ιδιαίτερα σημαντική κρίνεται η περίοδος μέγιστου φορτίου καθώς οι απώλειες είναι ανάλογες του τετραγώνου του ρεύματος. Γεγονός το οποίο θα αποτελέσει ένα σημαντικό ζήτημα για τους χειριστές δικτύου ισχύος, σε μελλοντική διείσδυση υψηλού ποσοστού ηλεκτρικών οχημάτων. Μία ακόμα συνέπεια από την φόρτωση δικτύου αποτελεί η υπερφόρτωση των στοιχείων (overloading components). Στοιχεία όπως τροφοδοτές χαμηλής τάσης, μετασχηματιστές και καλώδια είναι πιο ευαίσθητοι από υπερφόρτωση που μπορεί να προκληθεί λόγω ανεξέλεγκτης φόρτισης και μη κατάλληλου σχεδιασμού. Με αποτέλεσμα, την υποβάθμιση και μείωση της ζωής των στοιχείων αυτών αν η λειτουργία τους δεν είναι ισορροπημένη για μεγάλες χρονικές περιόδους κάτω από την τιμή φορτίου.

- **Ζητήματα με την ποιότητα ισχύος:** Η γρήγορη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων έχει επιζήμια αποτελέσματα σχετικά με την ποιότητα ισχύος του δικτύου. Ένα τυπικό φορτίο γρήγορης φόρτισης κυμαίνεται από 50 kW έως 350 kW. Στην περίπτωση που ταυτόχρονη φόρτιση πολλαπλών οχημάτων στον ίδιο κλάδο διανομής λαμβάνει χώρα, μπορεί να προκληθεί πτώση τάσης από την εν λόγω συμφόρηση του δικτύου. Αυτό το γεγονός, έχει ως συνέπεια την μείωση της τάσης κάτω από την αποδεκτή, παραβιάζοντας τα ασφαλή όρια τιμών τάσεων. Οι φορτιστές μπαταριών ηλεκτρικού οχήματος χρησιμοποιούν ηλεκτρονικές συσκευές ισχύος για τη μετατροπή εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές ρεύμα. Αυτές οι ηλεκτρικές συσκευές εισάγουν αρμονικές (harmonics) στο σύστημα. Γεγονός το οποίο αποτελεί κύριο πρόβλημα, αφού οι αρμονικές συμβάλλουν στην υποβάθμιση της ποιότητας ισχύος. Πιο συγκεκριμένα, οι αρμονικές παραμορφώνουν τις κυματομορφές τάσης και ρεύματος, μειώνοντας την ποιότητα ισχύος. Οι μετασχηματιστές ισχύος, επίσης, θα επηρεαστούν από τα αρμονικά ρεύματα καθώς ρέουν εντός των περιελίξεων τους. Αυτό το γεγονός οδηγεί σε απώλειες ισχύος που μειώνουν την απόδοση των στοιχείων του συστήματος ισχύος. Οι απώλειες ισχύος, επίσης, αυξάνουν την θέρμανση των καλωδίων τροφοδοσίας και των αγωγών.



**Σχήμα 3.4 :** Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος από το ηλεκτρικό δίκτυο σε ημιτονοειδής μορφή πριν και μετά, από την παραμόρφωση λόγω αρμονικών [58]



Η υποδομή φόρτισης έχει μεγάλη σημασία για την επιτυχή ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων σε αστικές περιοχές. Βασικά μέρη αρχιτεκτονικής της φόρτισης αποτελούν οι σταθμοί φόρτισης, σημεία φόρτισης και τα επίπεδα φόρτισης. Ο όρος σταθμός φόρτισης συνήθως αναφέρεται σε ένα μοναδικό κομμάτι εξοπλισμού φόρτισης ενός ηλεκτρικού οχήματος, ενώ το σημείο φόρτισης αναφέρεται στους μεμονωμένους συνδέσμους (connectors) που μπορούν να φορτίσουν ένα ηλεκτρικό όχημα ανά πάσα στιγμή. Μελλοντικά, τα επίπεδα φόρτισης 1 και 2 αργής φόρτισης πιθανότατα θα είναι τα πιο χρησιμοποιημένα σχήματα λόγω ευκολίας και χαμηλού κόστους ηλεκτρική ενέργειας. Ωστόσο, για την εισαγωγή ηλεκτρικών οχημάτων σε μεγάλη κλίμακα, οι επαρκείς υποδομές φορτίσεις φαίνεται να αποτελούν θεμελιώδη παράγοντα.

Η ζήτηση για υποδομή φόρτισης είναι πιο σημαντική καθώς τα ηλεκτρικά οχήματα στο δρόμο πολλαπλασιάζονται. Ένας διαθέσιμος σταθμός φόρτισης μπορεί αποτελέσει, για τους μετακινούμενους μεγάλων αποστάσεων, κρίσιμη προϋπόθεση για την ολοκλήρωση του ταξιδιού και επιστροφή στο σπίτι. Ακόμα και όταν η φόρτιση δεν είναι κρίσιμη, πολλοί οδηγοί ηλεκτρικών οχημάτων ενδέχεται να 'συνδεθούν' για να αποκτήσουν πιο πολύ αυτοπεποίθηση και να αποβάλλουν το αίσθημα 'άγχους εύρους' ή για να συντομεύσουν τον κύκλο αποφόρτισης και να μειώσουν τη φθορά της μπαταρίας. Επιπλέον, εάν υπάρχει διαθέσιμη υποδομή φόρτισης, απαιτούνται μικρότερες μπαταρίες και επομένως λιγότερο ακριβά οχήματα για την κάλυψη των αναγκών των καταναλωτών. Συνεπώς, η έλλειψη σταθμών φόρτισης μπορεί να κάνει τα ηλεκτρικά οχήματα λιγότερο βολικά και να συμβάλλουν στην ενίσχυση του άγχους με αποτέλεσμα λιγότερα άτομα να αγκαλιάζουν τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων. Ωστόσο, για την αύξηση των υποδομών σε μεγάλη κλίμακα απαιτούνται μεγάλες επενδύσεις καθώς μια τέτοια εγκατάσταση δημοσίων σταθμών φόρτισης αποτελεί εγχείρημα το οποίο ενέχει υψηλό κόστος [46]. Γεγονός το οποίο αποτελεί σημαντικό 'παράγοντα κλειδώματος' που εμποδίζει την τεχνολογική αλλαγή. Πιο συγκεκριμένα, το κόστος που σχετίζεται με την υποδομή φόρτισης χαρακτηρίζεται, ως σταθερό. Περιλαμβάνει το κόστος που σχετίζεται με την αγορά του εξοπλισμού που απαιτείται για την επαναφόρτιση του οχήματος. Το σταθερό κόστος, που σχετίζεται με διαφορετικούς τύπους εξοπλισμού τροφοδοσίας (EVSE), αποτελείται από [46]:

- **Το κόστος εγκατάστασης και προετοιμασίας του χώρου:** Αυτό το κόστος συμπεριλαμβάνει άδειες, κόστος εργασίας, και τάφρο για τοποθέτηση καλωδίων. Για παράδειγμα, για το επίπεδο φόρτισης 1 αυτά τα κόστη, δεν υπάρχουν. Για το επίπεδο φόρτισης κατοικίας 2, το κόστος είναι ελάχιστο εκτός εάν εγκατασταθείς νέων κυκλωμάτων απαιτούνται. Για εμπορική χρήση ή δημόσιοι φορτιστές επιπέδου 2 το κόστος εγκατάστασης αυξάνεται σημαντικά καθώς απαιτεί συνήθως κάποια μορφή επεκτάσεων καλωδίωσης, εγκατάσταση σήμανσης, και τάφρος για την εγκατάσταση των πρόσθετων συνδέσεων στο δίκτυο.

- **Κόστος για αναβαθμίσεις υποδομής κοινής ωφέλειας:** Σε ορισμένες περιπτώσεις, αυτά τα κόστη αποτελούν βασικό κομμάτι του συνολικού κόστους ενώ σε άλλες είναι ελάχιστα ή περιττά κόστη. Για παράδειγμα, σε περιπτώσεις όπου τοποθετούνται πολλοί φορτιστές στο ίδιο μέρος, οι απαιτήσεις υποδομής ενδέχεται να είναι αυξημένες, καθώς η μέγιστη ζήτηση είναι μεγαλύτερη. Για έναν εξοπλισμό τροφοδοσίας ηλεκτρικού οχήματος επιπέδου 2, είναι απίθανο να χρειάζεται αναβάθμιση μετασχηματιστή. Ωστόσο, από την ταυτόχρονη λειτουργία φορτιστών στο ίδιο κύκλωμα, αναβάθμιση στον μετασχηματιστή μπορεί να είναι απαραίτητη καθώς υπάρχει σημαντική πιθανότητα υπερφόρτωσης του.
- **Κόστος του εξοπλισμού φόρτισης:** Αυτά τα κόστη διαφέρουν ανάλογα με τους τύπους φορτιστή.

Κόστος Κεφαλαίου	Επίπεδο φόρτισης 1	Επίπεδο φόρτισης 2
Εγκατάσταση (ανά φορτιστή)	0 €	1.114 €
Προετοιμασία χώρου (ανά φορτιστή)	0 €	0 €
Υπηρεσία κοινής ωφέλειας (ανά σταθμό)	0 €	0 €
Μετασχηματιστή (ανά σταθμό)	0 €	0 €
Εξοπλισμός (ανά φορτιστή)	0 €	822 €

**Πίνακας 1 :** Εκτιμήσεις σταθερού κόστους για κάθε τύπο οικιακού φορτιστή [46]

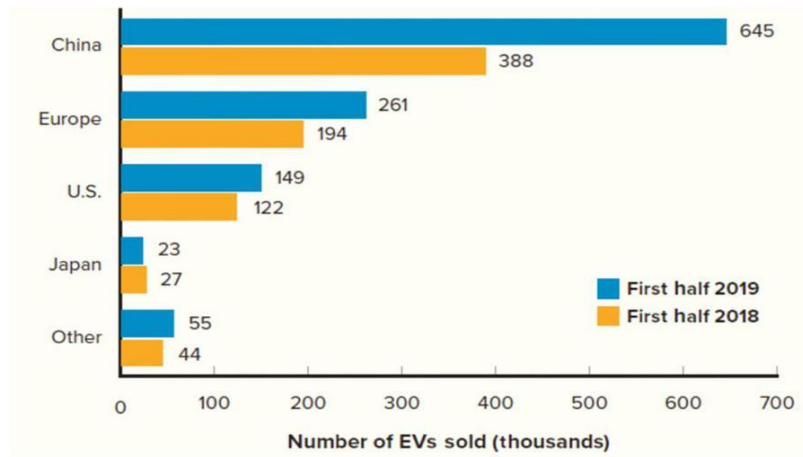
Κόστος Κεφαλαίου	Επίπεδο φόρτισης 2	Επίπεδο φόρτισης 3
Εγκατάσταση (ανά φορτιστή)	2.555 €	18.600 €
Προετοιμασία χώρου (ανά φορτιστή)	2.465 €	10.274 €
Υπηρεσία κοινής ωφέλειας ( ανά σταθμό)	3.287 €	14.384 €
Μετασχηματιστή (ανά σταθμό)	4.682 €	26.708 €
Εξοπλισμός (ανά φορτιστή)	3.157 €	28.766 €

**Πίνακας 2 :** Εκτιμήσεις σταθερού κόστους για κάθε τύπο εμπορικού φορτιστή [46]

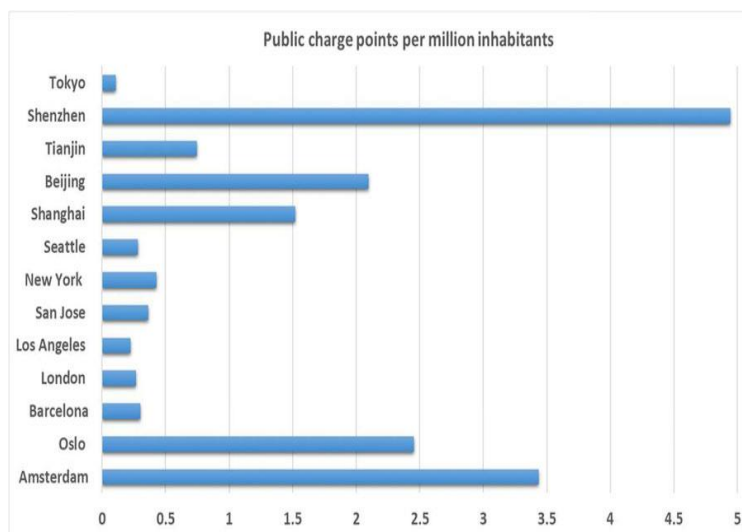
Μια καλή ιδέα, που θα βοηθούσε στην ευρεία αποδοχή των ηλεκτρικών οχημάτων, θα ήταν η τοποθέτηση υποδομών γρήγορης φόρτισης σε όσα περισσότερα σημεία ήταν δυνατόν καθώς οι άνθρωποι εκτιμούν την επιλογή για γρήγορη φόρτιση για ποικίλους λόγους. Ωστόσο, η τοποθέτηση υποδομών γρήγορης φόρτισης σε μεγάλη κλίμακα, έχει ιδιαίτερα υψηλό κόστος. Βέβαια, και η τοποθέτηση υποδομών επιπέδου φόρτισης 2 σε μεγάλη κλίμακα έχει υψηλό κόστος αλλά σε σχέση με τις υποδομές γρήγορης φόρτισης, μοιάζει πολύ μικρό. Γεγονός το οποίο γίνεται αντιληπτό από τον πίνακα 2, όπου ένας σταθμός γρήγορης φόρτισης κοστίζει κατά πολλές φορές πιο πάνω από έναν σταθμό επιπέδου 2 φόρτισης. Το υψηλό αυτό κόστος οφείλετε σε σημαντικό βαθμό για την έλλειψη υποδομών ταχείας φόρτισης.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να ξεκαθαρίσουμε ότι, δεν είναι σαφές ακόμα πόσοι σταθμοί ταχείας φόρτισης θα χρειαστούν ή ποιος είναι ο ελάχιστος αριθμός υποδομών ταχείας φόρτισης. Ωστόσο, συγκριτικά με τους σταθμούς φόρτισης επιπέδου 2, είναι αισθητά πιο λίγοι σε αριθμό. Σύμφωνα με το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ, οι τοποθεσίες σταθμών φόρτισης που είχαν οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής το 2020, ήταν 31.826 σε αριθμό [59]. Η μειονότητα (4799) αυτών των θέσεων φόρτισης υποστηρίζει γρήγορη φόρτιση (Επιπέδου φόρτισης 3, άνω των 50 kW DC) και το μεγαλύτερο μέρος (28.324) είναι τοποθεσίες με σταθμούς φόρτισης επιπέδου 2 [59]. Το 2019, είχαν εγκατασταθεί 202.000 σταθμοί φόρτισης σε Ευρώπη και Ελβετία. Περίπου το 5,4% είναι γρήγοροι φορτιστές και 61% των φορτιστών στην Ευρώπη είναι φορτιστές εναλλασσόμενου ρεύματος με 11 kW ή 22 kW και περίπου. Το άλλο 33,6% είναι μονοφασικός φορτιστής εναλλασσόμενου ρεύματος με 3,7 kW ή 7,4 kW [59].

Το κόστος φαίνεται να είναι έννοια αλληλένδετη με την αβεβαιότητα, στην συγκεκριμένη περίπτωση. Η αβεβαιότητα προκαλεί έλλειψη προθυμίας για επένδυση σε σταθμούς φόρτισης, και η έλλειψη επενδύσεων προκαλεί με τη σειρά του περισσότερο αβεβαιότητα. Ο φαύλος κύκλος μοιάζει πολύ με το συχνά δηλωμένο πρόβλημα κοτόπουλου και αυγού (όρος προερχόμενος από το φιλοσοφικό ερώτημα, ποιο έρχεται πρώτο το αυγό ή η κότα) [60]. Αυτό το πρόβλημα περιγράφει την απροθυμία του κατασκευαστές αυτοκινήτων για την εισαγωγή ηλεκτρικών οχημάτων στην απουσία υποδομών σταθμών φόρτισης και, ομοίως, η απροθυμία των παρόχων καυσίμων να επενδύσουν σε ακριβές υποδομές μη βιώσιμες, όταν όχι τέτοια οχήματα είναι διαθέσιμα. Η αύξηση ή η μείωση της ζήτησης των υποδομών φόρτισης, καθοδηγείται σε σημαντικό βαθμό από τον ρυθμό διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων. Στα παρακάτω σχήματα 3.5 και 3.6 γίνεται αντιληπτό πως ανάλογα με τις πωλήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων, τα σημεία φόρτισης ακολουθούν ανάλογη πορεία. Πιο συγκεκριμένα, το 2019 η Κίνα κατείχε το ρεκόρ με τις υψηλότερες πωλήσεις. Όπως ήταν αναμενόμενο η Σεντσέν, μια μεγάλη πόλη της Κίνας, διαθέτει τα περισσότερα σημεία δημόσιας φόρτισης σε αριθμό (πάνω από 4500 χιλιάδες) ανά εκατομμύριο κατοίκων [61].



**Σχήμα 3.5 :** Πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων κατά το πρώτο εξάμηνο του 2019 και του 2018 [61]



**Σχήμα 3.6 :** Δημόσια σημεία φόρτισης ανά εκατομμύριο κατοίκων [61]

Συνοψίζοντας, η χρησιμότητα οικιακών σταθμών φόρτισης κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική καθώς θα χρησιμοποιηθούν ως η κύρια πηγή ισχύος για τη φόρτιση της μπαταρία των ηλεκτρικών οχημάτων. Εξίσου σημαντική είναι η επένδυση σε σταθμούς γρήγορης δημόσιας φόρτισης για την άρση αβεβαιοτήτων όπως το άγχος του εύρους. Είναι λοιπόν προφανές ότι για την υποστήριξη της νέας γενιάς ηλεκτρικών οχημάτων, απαιτείται επαρκής υποδομή φόρτισης τόσο οικιακή όσο και δημοσία.

## 4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι αρνητικές επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής είναι εμφανής ανά περιοχές σε ολόκληρο τον κόσμο. Παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας, θέρμανση των ωκεανών, συρρίκνωση των παγετώνων, άνοδος της στάθμης της θάλασσας, ακραία περιστατικά (ακραία κύματα κρύου και θερμότητας), αποτελούν απόδειξη για την κλιματική αλλαγή. Σημαντικό παράγοντα στην αύξηση των κλιματικών αλλαγών παίζει ο τομέας των μεταφορών, αποτελώντας την δεύτερη μεγαλύτερη πηγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως. Πιο συγκεκριμένα, συμβάλει σε ποσοστό 14% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Επίσης, ατμοσφαιρικοί ρύποι όπως διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), οξείδια αζώτου (NO<sub>x</sub>), και σωματίδια (PM) εκπέμπονται από τον τομέα των μεταφορών. Η παγκόσμια κλιματική αλλαγή που πυροδοτείται από τον τομέα των μεταφορών επιδρά και στην ανθρώπινη υγεία. Σύμφωνα με τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας, υπολογίζεται πως 3 εκατομμύρια θάνατοι οφείλονται στην ποιότητα αστικού αέρα [61].

Για την αντιμετώπιση των προαναφερθεισών προκλήσεων, η ενεργειακή μετάβαση σε φορείς ενέργειας χαμηλού ή μηδενικού άνθρακα κρίνεται αναγκαία. Τα ηλεκτρικά οχήματα φαίνεται να αποτελούν έναν τέτοιο φορέα καθώς αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για μελλοντικά συστήματα μεταφοράς, χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Λόγω των μηδενικών εκπομπών ρύπων από το σύστημα εξαγωγής καυσαερίων (καθώς δεν διαθέτουν τέτοιο σύστημα), τα ηλεκτρικά οχήματα συμβάλλουν στην καλύτερη ποιότητα ζωής κυρίως σε αστικό περιβάλλον [61].

Ωστόσο, η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων από άποψη κύκλου ζωής δεν φαίνεται να ωφελεί και τόσο το περιβάλλον καθώς, από αυτήν την οπτική, η χρήση τους δεν συνεπάγεται μηδενικές εκπομπές ρύπων. **Σημαντικοί παράγοντες** που καθορίζουν αν ένα ηλεκτρικό όχημα συνεπάγεται υψηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από εκείνες ενός συμβατικού οχήματος με κινητήρα εσωτερικής καύσης, αποτελούν **η κατασκευή** καθώς, επίσης, **από πού προέρχεται η ηλεκτρική ενέργεια** που καταναλώνεται κατά την φόρτιση, των εν λόγω οχημάτων. Επομένως, με βάση τις εκπομπές κύκλου ζωής, θα αναλυθεί σε αυτό το κεφάλαιο το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων [61].

## 4.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΜΙΓΩΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

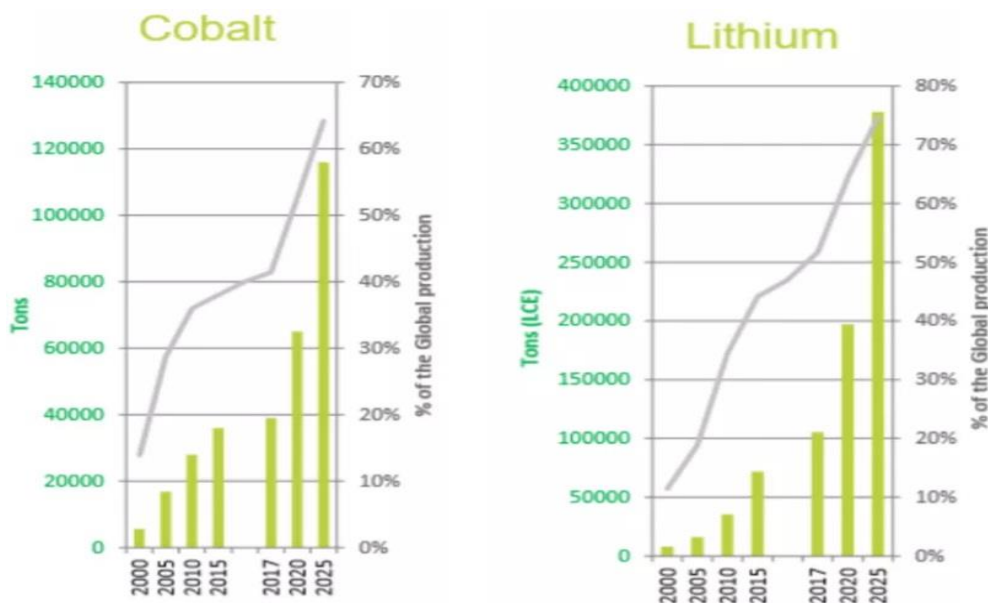
**Το περιβαλλοντικό κόστος** ενός οχήματος κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής του, εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά την διάρκεια παραγωγής του. Οι εκπομπές των εν λόγω βλαβερών αερίων αποτελούν απειλή για το περιβάλλον.

Είναι γεγονός ότι ένα αμιγώς ηλεκτρικό όχημα κατά την λειτουργία του παράγει μηδενικές άμεσες εκπομπές ρύπων, λόγω της απουσίας συστήματος εξαγωγής καυσαερίων. Λόγω των μηδενικών εκπομπών από το σύστημα εξαγωγής, δημιουργείται το στερεότυπο ότι τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα δεν παράγουν εκπομπές αερίων βλαβερών για το περιβάλλον. Στην πραγματικότητα, αν λάβουμε υπόψη τις επιπτώσεις καθ' όλη την διάρκεια ζωής του οχήματος, τα πράγματα αναφορικά με το περιβαλλοντολογικό αποτύπωμα γίνονται πιο περίπλοκα. Στις συνολικές εκπομπές κύκλου ζωής ενός αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος, συνεισφέρουν σε σημαντικό βαθμό οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την κατασκευή ενός τέτοιου οχήματος. Γενικά, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που απελευθερώνονται κατά την κατασκευή ενός συμβατικού οχήματος και οι εκπομπές για την κατασκευή ενός ηλεκτρικού οχήματος, είναι παρόμοιες. Κατά μέσο όρο, για την παραγωγή ενός συμβατικού οχήματος απελευθερώνονται περίπου 7 τόνοι αερίων του θερμοκηπίου. Αυτό το ποσό είναι σχεδόν το ίδιο για την παραγωγή ενός ηλεκτρικού οχήματος, αν δεν συμπεριλάβουμε την μπαταρία. Αν συμπεριλάβουμε την μπαταρία τα πράγματα αλλάζουν. Η μπαταρία ευθύνεται για την μεγάλη διαφορά εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (και ενεργειακών απαιτήσεων), μεταξύ των δύο τύπων οχημάτων, κατά την κατασκευή. Πιο συγκεκριμένα, η παραγωγή ενός ηλεκτρικού οχήματος μπορεί να επιφέρει **2 φορές** περισσότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου συγκριτικά με ένα συμβατικό όχημα.

Σύμφωνα με μελέτη του Σουηδικού Ενεργειακού Σχεδιασμού κατά το έτος 2019, για την μεταφορά, κατασκευή και την εξαγωγή των υλικών για την κατασκευή μπαταριών ιόντων λιθίου εκπέμπονται 60-150kg CO<sub>2</sub>-eq/kWh (που σημαίνει ότι όλες οι εκπομπές εκφράζονται ως το ισοδύναμο των CO<sub>2</sub> σε kg). Για να θέσουμε τα πράγματα σε προοπτική, αυτό σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η μπαταρία ενός ηλεκτρικού οχήματος τόσο πιο πολλές εκπομπές αερίων παράγει. Λαμβάνοντας μια ενδιάμεση τιμή των 100kg CO<sub>2</sub>-eq/kWh, μπορούμε να υπολογίσουμε πως παράγονται 3 επιπλέον τόνοι CO<sub>2</sub>-eq για μπαταρία χαμηλής χωρητικότητας 30 kWh που χρησιμοποιείται στο Nissan Leaf και 7.5 τόνοι για υψηλής χωρητικότητας μπαταρίας 75 kWh που χρησιμοποιείται στο Tesla Model 3. Συνεπώς, η κατασκευή ενός αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος έχει πιο μεγάλο περιβαλλοντολογικό κόστος συγκριτικά με ένα συμβατικό όχημα. Οι μπαταρίες υψηλής χωρητικότητας στα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα ενισχύει σημαντικά την αυτονομία οδήγησης, αποτελώντας συγχρόνως **μεγάλη πρόκληση** για το περιβάλλον.



Ένα σημαντικό ποσοστό από τις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, για την κατασκευή των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων, οφείλεται από το γεγονός ότι οι μπαταρίες αυτών των τύπων οχημάτων κατασκευάζονται από πρώτες ύλες όπως **το λίθιο και το κοβάλτιο**. Δραστηριότητες με πολύ ρυπογόνες διαδικασίες απαιτούνται καθώς αυτές οι πρώτες ύλες βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της γης. Αυτές οι πρώτες ύλες, χρησιμοποιούνται και για άλλες βιομηχανικές εφαρμογές (όπως σε κινητά, φορητούς υπολογιστές) καθώς, επίσης, η παροχή τους στην φύση δεν είναι άφθονη. Πρόσφατες ανησυχίες έχουν δημιουργηθεί σχετικά με την διαθεσιμότητα των πρώτων υλών μακροπρόθεσμα και πως, μια τέτοια κατάσταση, μπορεί να επηρεάσει το συνολικό κόστος των μπαταριών. Ανάλυση από ερευνητές του Τεχνολογικού Ινστιτούτου Μασαχουσέτης αναφέρει πως χωρίς τον σωστό σχεδιασμό, ορισμένες από τις πρώτες ύλες που απαιτούνται για την κατασκευή των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων, ενδεχομένως να παρουσιάσουν έλλειψη σε βραχυπρόθεσμο επίπεδο. Αυτή η ανάλυση έδειξε οι πρώτες ύλες που πιθανόν να επηρεαστούν και να παρουσιαστεί προσωρινή έλλειψη στην παραγωγή τους, είναι το κοβάλτιο και το λίθιο. Γεγονός το οποίο αποκτά μεγαλύτερη βαρύτητα, αν λάβουμε υπόψη την αύξηση των πρώτων υλών (σχήμα 4.1) που εκτιμάται ότι θα χρειαστεί για την κατασκευή επαναφορτιζόμενων μπαταριών στο κοντινό μέλλον (σχήμα 4.1) [33].



**Σχήμα 4.1 :** Θα χρειαστεί αύξηση πρώτων υλών για τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες [33]

Παρά τις προβλέψεις, η ουσία είναι ότι κοινωνικά και οικολογικά θέματα συχνά πυροδοτούνται από την εξόρυξη των πρώτων υλών [33]. Το περιβάλλον εργασίας στα ορυχεία είναι εξαιρετικά ανθυγιεινό για τους εργαζόμενους σε χώρες που είναι πλούσιες σε πρώτες ύλες και οι μισθοί είναι χαμηλοί. Επίσης, σύνηθες γεγονός αποτελούν οι συγκρούσεις μεταξύ εταιρειών εξορύξεων πρώτων υλών και του τοπικού πληθυσμού, αναφορικά με την αλόγιστη κατανάλωση νερού και αύξηση του περιβαλλοντολογικού κόστους που συνδέεται με την εξόρυξη επεξεργασία των πρώτων υλών [33].

Το λίθιο αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για την κατασκευή μπαταριών για χρήση σε ηλεκτρικά οχήματα. Ένας τρόπος για την εξόρυξη του, είναι από την απομόνωση από τα ορυκτά [62]. Ταχεία μέθοδος εξόρυξης αλλά, συγχρόνως, ακριβή λόγω δυσκολίας στον καθαρισμό του. Τα ορυκτά καύσιμα που περιέχουν λίθιο, είναι μαγματογενή πετρώματα που βρίσκονται στο υπέδαφος ή σε κοιλάτητες. Αυτά τα σκληρά πετρώματα συναντώνται κυρίως στην Αυστραλία. Η δεύτερη μέθοδος για την εξόρυξη λιθίου, που απαιτεί περισσότερο χρόνο, είναι η απομόνωση από την άλμη. Μέσω αυτής της μεθόδου, αντλούνται υπόγεια νερά που διαθέτουν άλατα λιθίου και ‘απομονώνονται’ σε πισίνες να εξατμιστούν (συνήθως για 12-18 μήνες) [62]. Η άλμη συναντάται στην Αργεντινή, Χιλή και την Βολιβία. Σε αυτές τις 3 χώρες, γνωστές και ως ‘το τρίγωνο λιθίου’, βρίσκεται το 75% του λιθίου παγκοσμίως [63]. Η διαδικασία εξόρυξης λιθίου μπορεί να έχει σοβαρές περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις. ‘Το τρίγωνο λιθίου’ αποτελεί ένα από τα πιο ξηρά μέρη πάνω στην γη, γεγονός το οποίο οφείλεται από την διαδικασία εξόρυξης. Στο Salar de Atacama (που αποτελεί το μεγαλύτερο διαμέρισμα με αλάτι στην Χιλή), το 65% του νερού της περιοχής καταναλώνεται λόγω εξόρυξης λιθίου [63]. Ως αποτέλεσμα, σοβαρές ελλείψεις νερού λαμβάνουν χώρα καθώς, επίσης, οι τοπικοί αγρότες αγωνίζονται για να αναπτύξουν τις καλλιέργειες και να εκτρέφουν ζώα. Επίσης, η εισβολή τοξικών χημικών στην παροχή του νερού είναι πολύ πιθανόν να συμβεί. Στο ανατολικό Θιβέτ (όπου βρίσκεται, σε μικρότερο ποσοστό από τις άλλες χώρες, στο υπέδαφος του λίθιο), πολλαπλές φορές έχουν εισέλθει τοξικές χημικές ουσίες στον ποταμό Lichu, δηλητηριάζοντας, επίσης, το γύρω έδαφος [63]. Γεγονός το οποίο οφείλεται για τον θάνατο ψαριών και ζώων εκτροφής.

Εκτός από το λίθιο, υπάρχει και άλλο μέταλλο που χρησιμοποιείται για την κατασκευή μπαταριών με ‘σκοτεινή πλευρά’. Το στοιχείο αυτό είναι το κοβάλτιο όπου περιέχεται στις πιο πολλές καθόδους μπαταριών ιόντων λιθίου. Και στην περίπτωση εξόρυξης κοβαλτίου, εξακολουθούν να υπάρχουν περιβαλλοντικά ζητήματα όπως ανησυχητικά επίπεδα ραδιενέργειας σε ορισμένες περιοχές εξόρυξης, μόλυνση ποταμιών και πόσιμο νερό από τα απόβλητα των ορυχείων και μόλυνση αέρα από διατρήσεις και ανατινάξεις. Το μεγαλύτερο ποσοστό κοβαλτίου (πάνω από 65% τις παγκόσμιας προσφοράς) εξορύσσεται στην Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό, μια από τις φτωχότερες χώρες [33]. Το μέταλλο αυτό παράγεται υπό αδιαφανής συνθήκες, όχι μόνο από άποψη ρυπαρής εξόρυξης αλλά απασχόλησης μικρών παιδιών (σχήμα 4.2). Υπολογίζεται ότι το 20% του κοβαλτίου που εξάγεται από την Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό, προέρχεται από Βιοτεχνική Εξόρυξη. Σε αυτού του είδος την εξόρυξη (γνωστή και ως Μικρή Κλίμακας Εξόρυξη) οι ανθρακωρύχοι έχουν έλλειψη εξοπλισμού (δεν φορούν μάσκες, γάντια και πολλές φορές ούτε εργαλεία) καθώς, επίσης, είναι ευάλωτοι σε όλες τις μορφές κακοποίησης. Περίπου 200,000 – 255,000 ανθρακωρύχοι, εργάζονται για την εξόρυξη κοβαλτίου. Σύμφωνα με την UNICEF, εκτιμάται πως 40,000 από τους οποίους είναι παιδιά ηλικίας από 7 – 18 χρονών [63]. Επίσης, η χρόνια έκθεση σε σκόνη που περιέχει το κοβάλτιο μπορεί να προκαλέσει σοβαρούς κινδύνους για την υγεία, όπως δυνητικά θανατηφόρα πνευμονική νόσο.



**Σχήμα 4.2 :** Παιδική εργασία και εξόρυξη κοβαλτίου [63]

Επομένως, εκτός από το υψηλό περιβαλλοντολογικό κόστος που σχετίζεται με τις εξορύξεις μετάλλων για την κατασκευή των μπαταριών, υπάρχει και το ηθικό κομμάτι που δεν μπορούμε να μην το λάβουμε υπόψη.

Κατά τη διάρκεια της παραγωγής αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος, ένα μεγάλο ποσοστό εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ατμοσφαιρικών ρύπων σχετίζονται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι περισσότερες μελέτες (Life Cycle Analysis) φανερώνουν ότι για το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας που χρησιμοποιείται κατά την φάση παραγωγής αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος, ευθύνεται η κατασκευή της μπαταρίας σε ποσοστό έως 75% της παραγωγής ενέργειας [64]. Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται για εφαρμογή σε αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα απαιτούν πολύ ενέργεια τόσο για την εξόρυξη πρώτων υλών όσο για την συναρμολόγησή τους. Ανάλογα από πού προέρχεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, βασιζόμενη στο μείγμα της ηλεκτρικής ενέργειας της κάθε χώρας (στο οποίο θα αναφερθούμε αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο), καθορίζονται σε σημαντικό βαθμό οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και ατμοσφαιρικών ρύπων κατά την κατασκευή της μπαταρίας.

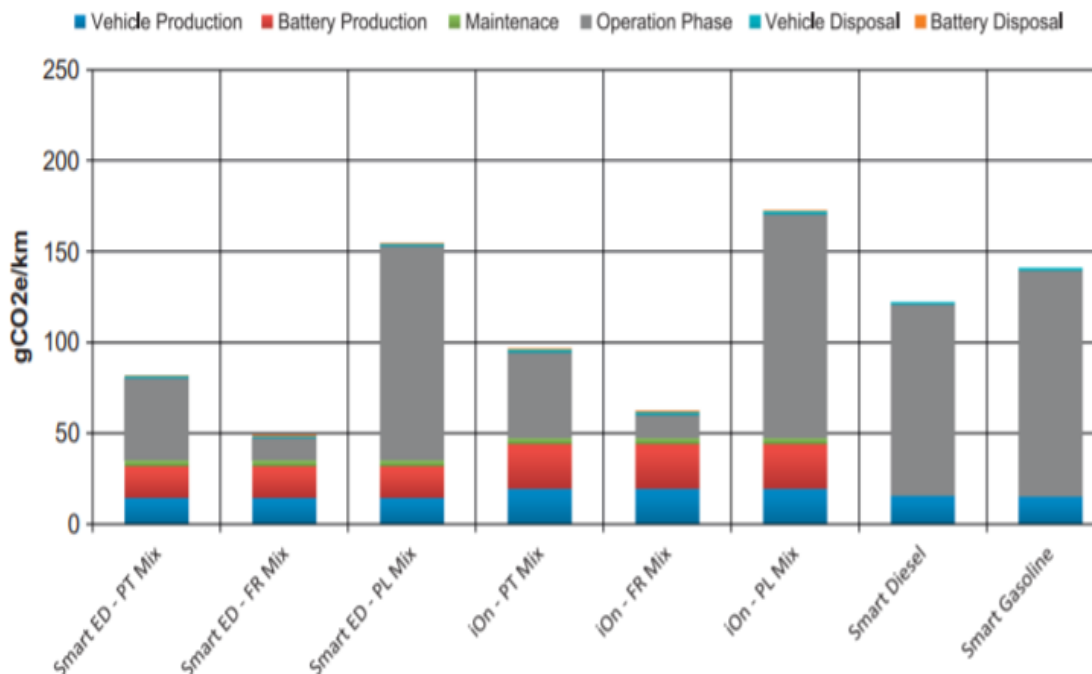
Για την συναρμολόγηση και κατασκευή αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος (και κάθε οχήματος), η κατασκευή των επιμέρους μερών του, πραγματοποιούνται σε διαφορετικές χώρες. Ενώ, η κατασκευή των μπαταριών τους, λαμβάνει χώρα σε μεγάλο ποσοστό (90%) στην Κίνα, Νότια Κορέα και Ιαπωνία. Σε αυτές τις χώρες, η καύση για την παραγωγή ενέργειας βασίζεται σε ορυκτά καύσιμα. Εκτιμάται ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην Κίνα, είναι έως και 3 φορές πάνω από εκείνες των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής [64], λόγω του γεγονότος ότι η ηλεκτρική ενέργεια της Κίνας προέρχεται από μεγαλύτερο ποσοστό άνθρακα (60% και 20% σε Κίνα και Αμερική [65,66], αντίστοιχα).

Παρά την υψηλή ενεργειακή απαίτηση κατά την παραγωγή αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος, η ενέργεια που χρησιμοποιείται κατά την λειτουργία του, είναι πολύ μεγαλύτερη. Γεγονός το οποίο σημαίνει πως αυξάνεται το περιβαλλοντολογικό κόστος κατά την λειτουργία του εν λόγω οχήματος .

### 4.3 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΜΙΓΩΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Στις συνολικές διοξειδίου του άνθρακα κατά τον κύκλο ζωής αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος, εκτός των εκπομπών κατά την κατασκευή, συμπεριλαμβάνονται και οι εκπομπές κατά την χρήση αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος. Οι εκπομπές αυτές έχουν ιδιαίτερα υψηλό περιβαλλοντολογικό κόστος καθώς **κατέχουν το υψηλότερο ποσοστό** των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος. Οι εκπομπές κατά την φάση λειτουργίας εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το **μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας** που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με σκοπό την φόρτιση ενός αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος καθ' όλη την διάρκεια ζωής του. Το μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τον αν το ηλεκτρικό όχημα ξεπερνά το συμβατικό, σε εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που είναι βλαβερές για το περιβάλλον. Αυτό το γεγονός συμβαίνει αν η χρησιμοποιούμενη πρωτογενής πηγή ενέργειας, για την τροφοδότηση των σταθμών ηλεκτρικής ενέργειας, είναι ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο και άνθρακας) [67]. Πιο συγκεκριμένα, η κύρια πρωτογενής πηγή ενέργειας συμβάλλει άμεσα στις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο με τη σειρά του επηρεάζει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου κατά την φάση χρήσης ενός αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι, το μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας ποικίλλει σημαντικά από την μία χώρα στην άλλη ανάλογα με την εγχώρια παραγωγή καυσίμων. Επίσης, το ποσοστό πρωτογενής πηγής ενέργειας που χρησιμοποιεί η κάθε χώρα, μεταβάλλεται με τον χρόνο.

Η κύρια πηγή καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως, είναι ο άνθρακας [68]. Φθηνός και εύκολος στην παραγωγή, αντιπροσώπευε το 38 % του μείγματος ηλεκτρικής ενέργειας το έτος 2018 [68]. Ωστόσο, η καύση του άνθρακα για την παραγωγή ενέργειας σε τόσο μεγάλο ποσοστό, οδηγεί σε καταστροφικές συνέπειες για το περιβάλλον συμβάλλοντας στην κλιματική αλλαγή. Για να θέσουμε τα πράγματα σε προοπτική, ένα μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας βασισμένο σε άνθρακα μπορεί να οδηγήσει σε εντελώς διαφορετικές επιπτώσεις σε σύγκριση με εκείνο που προέρχεται από συστήματα ανανεώσιμης ενέργειας. Μια πολλή σημαντική επίπτωση είναι η σημαντική αύξηση των εκπομπών 'Well-To-Wheel' (WTW). Σε αυτές τις εκπομπές περιλαμβάνονται εκείνες που σχετίζονται με την παραγωγή, επεξεργασία, διανομή και χρήση των καυσίμων. Για παράδειγμα, οι εκπομπές 'Well-To-Wheel' αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων που φορτίζονται από ηλεκτρική ενέργεια που βασίζεται σε μεγάλο ποσοστό από την καύση άνθρακα, κυμαίνονται μεταξύ 139 – 175 gCO<sub>2e</sub> / km (τιμή η οποία μεταβάλλεται ανάλογα με την χωρητικότητα της μπαταρίας) [61]. Ο αριθμός αυτός των εν λόγω εκπομπών είναι τόσο υψηλός, όσο για ένα ισοδύναμο συμβατικό όχημα με μηχανή εσωτερικής καύσης.



**Πίνακας 1 :** Ένταση αερίων θερμοκηπίου με βάση τα χιλιόμετρα που έχουν διανυθεί και το μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας [69]

Στον πίνακα 1, παρουσιάζονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κύκλου ζωής που αφορούν τρεις τύπους οχημάτων. Οι τρεις αυτοί τύποι οχημάτων είναι τα αμιγώς ηλεκτρικά, τα πετρελαιοκίνητα και τα βενζινοκίνητα. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων υπολογίστηκαν με βάση το μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας της Πολωνίας, Γαλλίας και Πορτογαλίας. Παρατηρούμε πως ανάμεσα στις 3 χώρες, η χώρα με τις περισσότερες εκπομπές 'gCO<sub>2</sub>e' ανά χιλιόμετρο είναι η Πολωνία. Αυτό το γεγονός συμβαίνει καθώς το μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας της Πολωνίας εξαρτάται σε υψηλό ποσοστό από ορυκτές πηγές ενέργειας όπως το άνθρακα. Πιο συγκεκριμένα, το 88% της ηλεκτρικής ενέργειας στην Πολωνία προέρχεται από την καύση άνθρακα [70]. Έπειτα ακολουθεί η Πορτογαλία με ποσοστό 23% [71] και τελευταία η Γαλλία [72] με περίπου 4%. Το μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζει σε μεγάλο ποσοστό τις εκπομπές κατά την λειτουργία ενός αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος. Στην περίπτωση της Πολωνίας, που η παραγωγή ενέργειας βασίζεται στην καύση άνθρακα στο υψηλότερο ποσοστό της, η φάση κατά την λειτουργία αντιπροσωπεύει το 70-80 % των συνολικών εκπομπών. Σε χώρες όπως η Γαλλία, όπου το μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας εκπέμπει χαμηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου καθώς η παραγωγή προέρχεται από πυρηνική ενέργεια (φιλική ως προς το περιβάλλον), οι εκπομπές κατά την χρήση δεν είναι σημαντικές.

Σύμφωνα με τον πίνακα 1, παρατηρούμε πως για το ίδιο όχημα (smart), η ηλεκτρική έκδοση ξεπερνά σε εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου εκείνες των συμβατικών οχημάτων (βενζινοκίνητη και πετρελαιοκίνητη έκδοση), στην περίπτωση της Πολωνίας. Συνεπώς, κατά πόσο 'καθαρό' ή 'βρώμικο' είναι το ποσοστό του μείγματος ηλεκτρικής ενέργειας της κάθε χώρας, καθορίζει τις συνολικές εκπομπές του ηλεκτρικού οχήματος.

## 5<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΠΡΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΚΛΗΣΕΩΝ

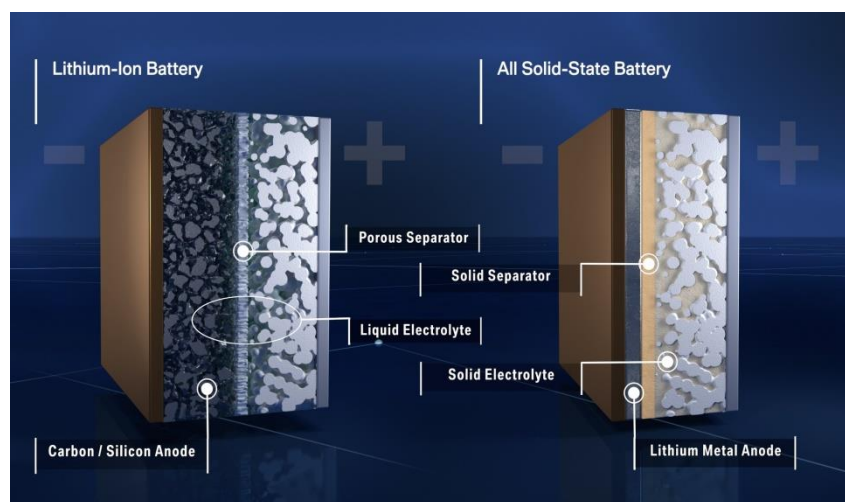
Η ανάπτυξη και η χρήση των Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων (Η/Ο) παρουσίασαν αρκετές δυσκολίες σε παγκόσμιο επίπεδο στις τελευταίες δύο δεκαετίες οι οποίες κύρια αφορούσαν τα τεχνολογικά θέματα εξέλιξής τους, τα οικονομικά συμφέροντα που σχετίζονται με τους διάφορους κλάδους της αυτοκινητοβιομηχανίας και τη συσχέτιση της λειτουργίας τους με τη χρησιμοποίηση των ΑΠΕ. Όμως, τα τελευταία χρόνια, παρά το ότι η διεθνής αυτοκινητοβιομηχανία έχει αναπτύξει συμβατικούς κινητήρες με καλύτερους βαθμούς απόδοσης και μειωμένες στάθμες ρύπων, υπάρχουν ορατές ενδείξεις ότι έχει αποφασίσει να στραφεί οριστικά προς την ανάπτυξη Η/Ο με πολύ σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις. Τα πρώτα προϊόντα της νέας τεχνολογίας Η/Ο από πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες είναι ήδη διαθέσιμα στην αγορά ενώ οι ανακοινώσεις για την παραγωγή μεγαλύτερου αριθμού προϊόντων έχουν ένα αρκετά αυξημένο ρυθμό. Αυτή η τάση είναι ενθαρρυντική αλλά δεν είναι αρκετή για να επιτευχθεί η επιθυμητή στάθμη διείσδυσης των Η/Ο στην αγορά στο μέλλον [20]. Αυτό το γεγονός συμβαίνει καθώς η τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων αντιμετωπίζει προκλήσεις (οι οποίες έχουν αναλυθεί σε παραπάνω κεφάλαια). Στο κεφάλαιο αυτό, για τις προκλήσεις αυτές, θα συζητηθούν ενδεχόμενες κατευθύνσεις προς την αντιμετώπιση τους. Αυτές οι κατευθύνσεις αφορούν ενδιαφέρουσες ανερχόμενες τεχνολογίες όπου η συμβολή τους στον τομέα της ηλεκτροκίνησης, κατά την γνώμη μας, θα αποτελέσει θεμελιώδη παράγοντα για την επίτευξη επιθυμητού ρυθμού διείσδυσης των Η/Ο στην αγορά στο μέλλον.

### 5.1 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΣΤΕΡΕΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (SOLID-STATE BATTERIES)

Τα τελευταία χρόνια, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν αλλάξει πραγματικά τον κόσμο μας, αποκτώντας μεγάλο μερίδιο στην παγκόσμια αγορά. Αυτό το γεγονός συμβαίνει καθώς οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, εκτός από τα ηλεκτρικά οχήματα, χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές όπως κινητά, φορητούς υπολογιστές αλλά και ως αδιάκοπη πηγή ενέργειας προσφέροντας εγγυημένη προστασία ισχύος για συνδεδεμένα ηλεκτρονικά (UPS). Επίσης, εξελίξεις αναφορικά με την τεχνολογία τους (όπως αύξηση ενεργειακής πυκνότητας και μείωση τιμής ανά kWh σε σχέση με το παρελθόν), έχει σημειωθεί κατά το πέρασμα των χρόνων. Ωστόσο, οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει η τεχνολογία τους (οι οποίες έχουν αναλυθεί, σε προηγούμενα κεφάλαια) αποτελούν βραχνά στην περαιτέρω εξέλιξη τους, περιορίζοντας την δυνατότητα σημαντικής βελτίωσης των μπαταριών ιόντων λιθίου στο άμεσο μέλλον. Ένας τύπος μπαταρίας, που η τεχνολογία του φαίνεται ενδιαφέρουσα και θα μπορούσε να αλλάξει τον τρόπο που αποθηκεύεται η ενέργεια, είναι η μπαταρία στερεάς κατάστασης.



Ο τρόπος λειτουργίας των μπαταριών στερεάς κατάστασης, σε σύγκριση με τον τρόπο λειτουργίας των συμβατικών μπαταριών ιόντων λιθίου, είναι παρόμοιος σε αρκετά μεγάλο βαθμό [73,73,75]. Πιο συγκεκριμένα, η μπαταρία ιόντων λιθίου αποτελείται από την άνοδο, την κάθοδο, τον διαχωριστή (που κρατά ανέπαφη την άνοδο και την κάθοδο) και τον ηλεκτρολύτη. Σε αυτόν τον τύπο μπαταρίας χρησιμοποιείται ηλεκτρολύτης σε υγρή μορφή. Ο ηλεκτρολύτης επιτρέπει τη ροή του ρεύματος μεταξύ της ανόδου και της καθόδου. Στις μπαταρίες στερεάς κατάστασης, καταργείται ο υγρός ηλεκτρολύτης και την θέση του παίρνει, όπως δηλώνει και το όνομα τους, ένας στερεός ηλεκτρολύτης. Η διαφορά ανάμεσα στον ηλεκτρολύτη, όπου φαίνεται στο σχήμα 5.1, αποτελεί και την βασική διαφορά ανάμεσα στους δυο τύπους μπαταριών. Ένας στερεός ηλεκτρολύτης, μπορεί να έχει τη μορφή γυαλιού, κεραμικών ή άλλων υλικών.



**Σχήμα 5.1 :** Δομή μπαταριών ιόντων λιθίου και στερεάς κατάστασης [75]

Χάρη στην χρήση στερεών ηλεκτρολυτών, η τεχνολογία των μπαταριών στερεάς κατάστασης, υπόσχεται πολλές βελτιώσεις οι οποίες φαίνονται παρακάτω [73,74,75,76,77]:

- **Ενεργειακή πυκνότητα:** Είναι γεγονός πως το ‘άγχος εύρους’ αποτελεί μεγάλη ανησυχία για του υποψήφιους αγοραστές, όταν πρόκειται να αγοράσουν ηλεκτρικό όχημα. Για τον λόγο αυτό, βασική προτεραιότητα των αυτοκινητοβιομηχανιών, αποτελεί η αύξηση του εύρους οδήγησης των οχημάτων αυτών. Παρά τις προσπάθειες αυτές, αυξανόμενη ζήτηση για καλύτερη και βελτιωμένη τεχνολογία μπαταρίας, εξακολουθεί να υπάρχει. Αυτός είναι ο λόγος, όπου οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης υπερέχουν έναντι των χρησιμοποιούμενων μπαταριών ιόντων λιθίου. Αύξηση της ενεργειακής πυκνότητας επιτυγχάνεται, ως άμεσο όφελος, από την αλλαγή υγρού σε στερεό ηλεκτρολύτη. Αυτό το γεγονός συμβαίνει καθώς οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης δεν απαιτούν μεγάλους διαχωριστές (όπως στις μπαταρίες ιόντων λιθίου, όπου το πάχος τους είναι 20-30 microns), παρά μόνον ένα πολύ λεπτού πάχους διαχωριστή (3-4 microns) για την αποφυγή

βραχυκυκλώματος. Οι ενεργειακή πυκνότητα που μπορούν να αποθηκεύσουν είναι γύρω στις 2,5 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με την τεχνολογία των μπαταριών ιόντων λιθίου. Ως αποτέλεσμα, πολύ μεγαλύτερη αυτονομία για τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα σε σχέση με την τεχνολογία μπαταριών ιόντων λιθίου.

- **Ασφαλέστερη εμπειρία μπαταρίας:** Οι υγροί ηλεκτρολύτες, που χρησιμοποιούνται στις μπαταρίες ιόντων λιθίου, είναι πολύ εύφλεκτοι. Λόγω των ηλεκτρολυτών τους, περιστατικά όπως θερμική διαφυγή (από μια πιθανή διαρροή λόγω εξωτερικών δυνάμεων, γεγονός που οδηγεί σε έκρηξη και πυρκαγιά) είναι πιθανόν να λάβουν χώρα, με επιζήμια αποτελέσματα τόσο για το όχημα όσο για την ασφάλεια του επιβαίνοντα. Αντίθετα, οι στερεοί ηλεκτρολύτες των μπαταριών στερεάς κατάστασης παρουσιάζουν χαμηλότερο κίνδυνο ανάφλεξης καθώς δεν είναι εύφλεκτοι. Επίσης, τα επίπεδα ασφάλειας είναι αυξημένα στις εν λόγω μπαταρίες που χρησιμοποιείται στερεός ηλεκτρολύτης καθώς έχει βελτιωμένη σταθερότητα λόγω της δομής του. Ακόμα και αν ο ηλεκτρολύτης υποστεί ζημιά, η δομή του διατηρείται. Λόγω του χαμηλού κινδύνου ανάφλεξης, απαιτούν λιγότερα συστήματα ασφαλείας (ενδέχεται να μην χρειαστούν ούτε σύστημα διαχείρισης μπαταρίας) από ότι οι μπαταρίες ιόντων λιθίου. Γεγονός το οποίο οδηγεί σε μικρότερες και ελαφρύτερες μπαταρίες καθώς, επίσης, απλοποιείτε σημαντικά η κατασκευή τους (λιγότερο κόστος κατά την συντήρηση).
- **Γρηγορότεροι χρόνοι φόρτισης:** Με την χρήση μπαταριών στερεάς κατάστασης, ο χρόνος φόρτισης μειώνεται σημαντικά. Σε σχέση με τις τρέχουσες τεχνολογίες μπαταριών, είναι 4-6 φορές γρηγορότερες κατά την επαναφόρτιση τους. Η QuantumScape (νεοσύστατη εταιρία, που πρωτοπορεί στην ανάπτυξη μπαταριών στερεάς κατάστασης) ισχυρίζεται πως μπαταρία στερεάς κατάστασης, αυτονομίας 500 χιλιομέτρων, μπορεί να φορτιστεί από άδεια κατάσταση φόρτισης σε επίπεδο φόρτισης 80 %, σε μόλις 15 λεπτά. Πιο γρήγοροι χρόνοι επαναφόρτισης σε σχέση με την καλύτερη σημερινή τεχνολογία μπαταριών. Πιο συγκεκριμένα, η επαναφόρτιση των μπαταριών στερεάς κατάστασης είναι έως και δυο φορές πιο γρήγορη σε σχέση με την αντίστοιχη μπαταρία ενός οχήματος της εταιρίας Tesla, χρησιμοποιώντας ταχυφορτιστές (άνω των 72 kW) της ίδιας εταιρίας.

Οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης δεν αποτελούν νέα εφεύρεση. Οι επιστήμονες μελετούν τις μπαταρίες στερεάς κατάστασης από το 1950 [78]. Εκείνη την περίοδο πολλά ηλεκτροχημικά συστήματα χρησιμοποίησαν αυτές τις μπαταρίες. Οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης δεν περιορίζονται μόνο ως σύστημα αποθήκευσης ενέργειας για ηλεκτρικά οχήματα.

Χρησιμοποιούνται, επίσης, σε φορητές συσκευές, βηματοδότες και για αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων (αυτόματη αναγνώριση ετικετών που συνδέονται με αντικείμενα μέσω ηλεκτρομαγνητικών πεδίων). Ωστόσο, η χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα που διέθεταν, απέτρεψε την ευρεία εφαρμογή τους και την παραγωγή τους σε ευρεία κλίμακα. Η βελτίωση της τεχνολογίας και η αναβίωση του ενδιαφέροντος για τις συγκεκριμένες μπαταρίες ξεκίνησε στις αρχές 21ού αιώνα, την ίδια περίοδο που ξεκίνησαν να παράγονται ηλεκτρικά οχήματα μαζί. Το 2011, η εταιρία Bollore ξεκίνησε να παράγει μπαταρίες στερεάς κατάστασης [78]. Ωστόσο, η τεχνολογία τους δεν έφθασε σε επίπεδο παραγωγής μεγάλης κλίμακας. Αυτή η κατάσταση συνέχισε να επικρατεί και στις μέρες μας. Γεγονός το οποίο συμβαίνει καθώς οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης, εκτός από τα οφέλη που παρέχει ο ηλεκτρολύτης στερεάς κατάστασης, αντιμετωπίζουν κάποιες προκλήσεις που εμποδίζουν την ανάπτυξή τους σε εμπορικό επίπεδο. Οι ανησυχίες αυτές, αναφέρονται παρακάτω [79,80]:

- **Υψηλό κόστος:** Κατά την αρχική φάση ανάπτυξης των μπαταριών στερεού επιπέδου, το κόστος εκτιμάται ότι θα κυμαίνεται από 400\$-800\$ ανά κιλοβατώρα. Υψηλό κόστος σε σχέση με τις μπαταρίες ιόντων λιθίου, που κοστίζουν 137 \$ ανά κιλοβατώρα. Το συγκριτικά υψηλό κόστος, μπορεί να σταθεί εμπόδιο στην παραγωγή και στην ευρέα χρήση στα ηλεκτρικά οχήματα.
- **Δενδρίτες:** Το πρόβλημα συναντάται μετά την επανάληψη φορτίσεων-εκφορτίσεων της μπαταρίας, όπου μπορεί να δημιουργηθεί βραχυκύκλωμα. Η κύρια αιτία για την πρόκληση βραχυκυκλώματος, είναι η ανάπτυξη δενδριτών. Οι δενδρίτες αναπτύσσονται μέσω του ηλεκτρολύτη. Μπορούν, μάλιστα, να αυξηθούν σε τέτοιο βαθμό, όπου υπάρχει πιθανότητα να τρυπήσουν τον διαχωριστή.

Αδιαμφισβήτητα, υπάρχει ανάγκη να αναπτυχθεί μια εναλλακτική λύση συστήματος αποθήκευσης ενέργειας καθώς, από άποψη τεχνολογικών εξελίξεων, οι συμβατικές μπαταρίες ιόντων λιθίου οδεύουν προς επίπεδο κορεσμού. Οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης αποτελούν μια ενδιαφέρουσα τεχνολογία. Σίγουρα, αντιμετωπίζουν προκλήσεις αναφορικά με την εμπορευματοποίηση τους. Γεγονός το οποίο είναι λογικό καθώς κάθε νέα τεχνολογία που δεν έχει αναπτυχθεί σε μεγάλη κλίμακα, αντιμετωπίζει προκλήσεις. Εκτός από τις προκλήσεις, η τεχνολογία των μπαταριών στερεάς κατάστασης προσφέρει πολλαπλά πλεονεκτήματα. Στο άμεσο μέλλον, αναμένεται να παρέχουν βελτιωμένα προϊόντα ως προς την απόδοση και το συνολικό κόστος παραγωγής. Αυτό το γεγονός προκύπτει καθώς μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες επενδύουν στην ανάπτυξη τεχνολογίας των μπαταριών αυτών [81]. Η Volkswagen σε συνεργασία με την QuantumScape, έχουν ξεκινήσει διαδικασίες για την ανάπτυξη μπαταριών στερεάς κατάστασης. Μέχρι το 2025, η Volkswagen έχει θέση ως στόχο την παραγωγή 1 εκατομμύριου ηλεκτρικών οχημάτων, που θα εξοπλίζονται με τις εν λόγω μπαταρίες. Στην ίδια ημερομηνία, Hyundai και η BMW, αναμένεται να βγάλουν τα δικά τους μοντέλα βασισμένα σε μπαταρίες στερεάς κατάστασης.

## 5.2 ΑΣΥΡΜΑΤΗ (ΕΠΑΓΩΓΙΚΗ) ΦΟΡΤΙΣΗ

Είναι γεγονός ότι η ανάπτυξη κατάλληλων υποδομών φόρτισης, αποτελεί κρίσιμο παράγοντα τόσο για την αύξηση της αυτοπεποίθησης των υποψήφιων αγοραστών (αναφορικά με το 'άγχος εύρους') όσο για τον ρυθμό διείσδυσης των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά. Ανάμεσα στους πιο σημαντικούς παράγοντες που καθορίζουν την επάρκεια του δικτύου ηλεκτρικής φόρτισης, είναι οι εξής [82]: ο κατάλληλος αριθμός φορτιστών και ο απαιτούμενος χρόνος φόρτισης. Για να επιτευχθεί ο κατάλληλος αριθμός φορτιστών απαιτείται οργανωμένο στρατηγικό πλάνο, που θα λαμβάνει υπόψη τόσο τις υψηλές επενδύσεις όσο και τις ανάγκες και συνήθειες των οδηγών. Αναφορικά με τον χρόνο φόρτισης, τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα υστερούν σε σημαντικό βαθμό σε σχέση με τον αντίστοιχο χρόνο ανατροφοδότησης των συμβατικών οχημάτων. Μόνο οι σταθμοί γρήγορης φόρτισης τείνουν να πλησιάσουν τους χρόνους φόρτισης, με τον αντίστοιχο χρόνο ανατροφοδότησης των συμβατικών οχημάτων, υπόσχοντας σχεδόν πλήρη φόρτιση σε λιγότερο από 30 λεπτά [82].

Μια ενδιαφέρουσα πρόταση ταχείας φόρτισης, αποτελεί η επαγωγική φόρτιση. Μέσω της ασύρματης φόρτισης, μεγάλα ποσά ισχύος μεταφέρονται ασύρματα μεταξύ του ηλεκτρικού δικτύου και του συσσωρευτή του αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος. Η φόρτιση του οχήματος πραγματοποιείται κατά την τοποθέτηση του πάνω από τον φορτιστή.

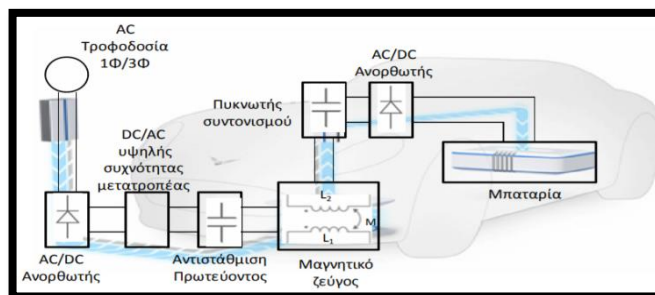
Η ασύρματη φόρτιση αποτελεί εφεύρεση του μεγάλου επιστήμονα Nikola Tesla. Το 1891, ξεκίνησε το πείραμα για την ασύρματη μετάδοση ισχύος συμβάλλοντας παράλληλα στην ανάπτυξη του πηνίου Tesla. Το 1901, ξεκίνησε να αναπτύσσει τον πύργο Wardencllyffe (φαίνεται στο σχήμα 5.2), που προοριζόταν για μεγάλος σταθμός ενέργειας υψηλής τάσης, με βασικό στόχο την δημιουργία ενός νέου ασύρματου συστήματος μετάδοσης ισχύος. Ωστόσο, το σχέδιο αυτό δεν 'απέδωσε καρπούς' καθώς, λόγω χρεών του Nikola Tesla, ο πύργος κατεδαφίστηκε το 1917 [83].



**Σχήμα 5.2 :** Πύργος Wardencllyffe [84]

Η αρχή λειτουργίας ενός συστήματος ασύρματης φόρτισης είναι ίδια, με την αρχή λειτουργίας των μετασχηματιστών [82]. Πιο συγκεκριμένα, αποτελείται από δυο τυλίγματα, το πρωτεύον και το δευτερεύον. Η ενέργεια ανάμεσα στα δύο τυλίγματα, μεταφέρεται από το πρωτεύον στο δευτερεύον. Τα πηνία αυτά πρέπει να τοποθετούνται σε συγκεκριμένες αποστάσεις (γεωμετρική ευθυγράμμιση) το ένα σε σχέση με το άλλο καθώς, σε περίπτωση αύξησης των αποστάσεων μεταξύ των πηνίων, μειώνεται με γρήγορο ρυθμό η αποτελεσματικότητα της ασύρματης μεταφοράς ενέργειας. Το πρωτεύον τύλιγμα (που προσλαμβάνει ενέργεια) βρίσκεται στον δρόμο και το δευτερεύον τύλιγμα (προσφέρει ενέργεια σε ένα ηλεκτρικό φορτίο) συναντάται εντός του οχήματος.

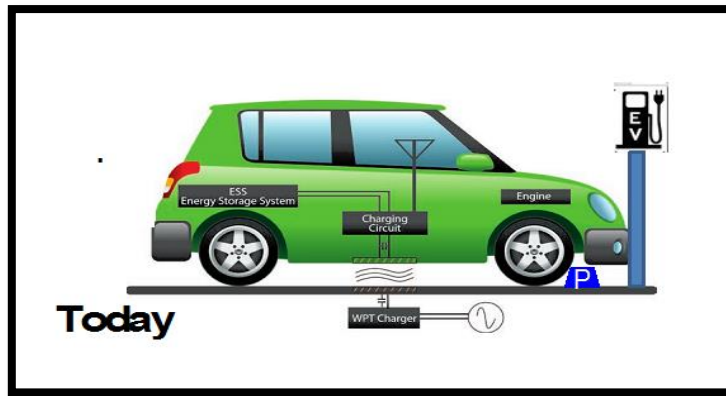
Η γενική περιγραφή της επαγωγικής φόρτισης απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα (5.3) [82]. Αρχικά, χρησιμοποιείται AC/DC ανορθωτής για μετατροπή εναλλασσόμενης (AC) τάσης του δικτύου σε συνεχή (DC). Έπειτα, διανέμεται ρεύμα υψηλής συχνότητας στο πρωτεύον πηνίο μέσω ενός DC/AC μετατροπέα υψηλής συχνότητας. Ακολουθώντας, το ρεύμα ρέει μέσω του πρωτεύοντος πηνίου, αναπτύσσοντας ένα μαγνητικό πεδίο. Το εναλλασσόμενο αυτό πεδίο, εξαιτίας του νόμου του Faraday, επάγει εναλλασσόμενη τάση στα άκρα του δευτερεύοντος τυλίγματος. Επίσης, στο πρωτεύον τύλιγμα χρησιμοποιείται, για την εξισορρόπηση της άεργου ισχύος [85] (ισχύς που δεν μετατρέπεται σε έργο, αντανακλάται από την συσκευή και επιστρέφει στο ηλεκτρικό δίκτυο), κύκλωμα αντιστάθμισης. Ενώ, στο δευτερεύον τύλιγμα χρησιμοποιείται, για την επιτάχυνση του ρυθμού με τον διανέμεται η ισχύς, πυκνωτής συντονισμού. Ο σκοπός όλης αυτής της διαδικασίας, είναι η φόρτιση του ηλεκτρικού οχήματος. Για να πραγματοποιηθεί η φόρτιση του οχήματος, απαιτείται η μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης του δευτερεύοντος πηνίου σε συνεχή. Αυτή η μετατροπή λαμβάνει χώρα μέσω AC/DC ανορθωτή [82].



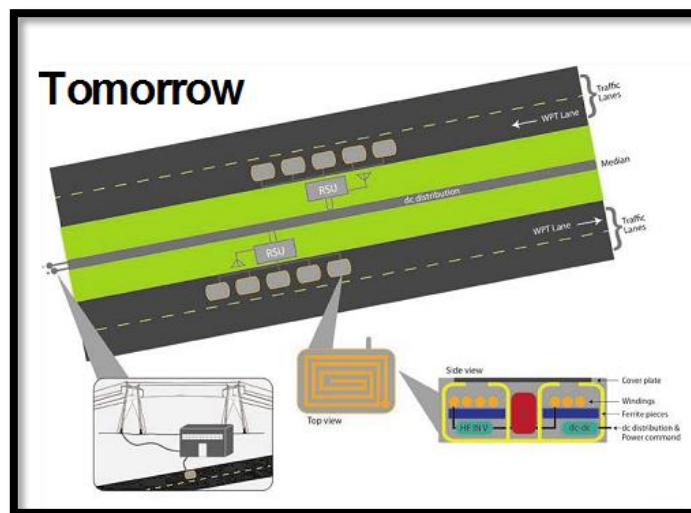
**Σχήμα 5.3 :** Επιμέρους στάδια ασύρματους φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος [82]

Η επαγωγική φόρτιση διακρίνεται σε **δύο** κατηγορίες [86] :

- **Στατική φόρτιση :** Η φόρτιση ξεκινά κατά την στάθμευση του οχήματος πάνω από τον φορτιστή, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.4
- **Δυναμική φόρτιση :** Με αυτήν την μέθοδο, η φόρτιση του οχήματος πραγματοποιείται κατά την κίνηση του στον δρόμο. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.5, μέσα στην ειδική λωρίδα βρίσκεται το πρωτεύον τύλιγμα. Η ενέργεια μεταφέρεται από το πρωτεύον στο δευτερεύον τύλιγμα, κατά την κίνηση του οχήματος (από μεσαίες έως υψηλές ταχύτητες)



Σχήμα 5.4 : Στατική φόρτιση [86]



Σχήμα 5.5 : Δυναμική φόρτιση [86]

Η τεχνολογία ασύρματης φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων προσφέρει πολλαπλά **πλεονεκτήματα**. Αρχικά, η διαδικασία φόρτισης απλοποιείται σε σημαντικό βαθμό καθώς, μέσω της ασύρματης φόρτισης, ο οδηγός απαλλάσσεται από την χρήση καλωδίων. Κίνδυνοι σχετικοί με την χρήση καλωδίων όπως φθαρμένα καλώδια ή βροχερό περιβάλλον, εξαλείφονται μέσω των ασύρματων σταθμών φόρτισης [82]. Επιπλέον, το ασύρματο σύστημα μεταφοράς ενέργειας βρίσκεται κάτω από το έδαφος. Με αυτόν τον τρόπο, εξαλείφονται κίνδυνοι που αφορούν την έκθεση του σταθμού σε εξωτερικούς χώρους (όπως άσχημες καιρικές συνθήκες) καθώς, επίσης, αποφεύγονται και τα φαινόμενα βανδαλισμών (κλοπή καλωδίων φόρτισης κλπ.) [82].

Μέσω της ασύρματης μεταφοράς ισχύος, η πολύωρη φόρτιση θα αποτελέσει παρελθόν. Πιο συγκεκριμένα, μέσω της δυναμικής φόρτισης (που θα δούμε παρακάτω), η φόρτιση του οχήματος πραγματοποιείται καθώς αυτό κινείται στον δρόμο. Χαρακτηριστικό το οποίο είναι πολύ σημαντικό, αφού η φόρτιση σε ένα ηλεκτρικό όχημα θα μπορέσει να πραγματοποιηθεί με πιο γρήγορο ρυθμό σε σχέση με τον αντίστοιχο χρόνο ανατροφοδότησης ενός συμβατικού οχήματος. Με αυτό τον τρόπο, ο χρόνος κατά την διάρκεια της φόρτισης είναι ελάχιστος (εξαρτάται, βέβαια,

από το επίπεδο τροφοδοσίας του εναλλασσόμενου ρεύματος και την απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη). Γεγονός το οποίο σημαίνει πως μια σημαντική πρόκληση, που αποτελεί ο απαιτούμενος χρόνος φόρτισης, θα αντιμετωπιστεί συμβάλλοντας παράλληλα στην ώθηση των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά. Επίσης, μειώνεται η ανάγκη στάσης σε σταθμούς φόρτισης καθώς, με την χρήση αυτής της τεχνολογίας, τα οχήματα φορτίζονται μόνο τους συμβάλλοντας στην αύξηση της άνεσης του οδηγού κατά την διάρκεια ενός ταξιδιού. Χάρης την δυναμική φόρτιση (όπου ο απαιτούμενος χρόνος μειώνεται ριζικά), η χωρητικότητα της μπαταρίας θα μπορούσε να μειωθεί έως και 20 % [87]. Ως αποτέλεσμα, το συνολικό κόστος ενός αμιγώς ηλεκτρικός οχήματος θα μειωνόταν σημαντικά (λαμβάνοντας υπόψη πως η τιμή της μπαταρίας αντιστοιχεί στο 25%-55% της συνολικής αξίας αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος) καθώς, επίσης, και το συνολικό βάρος του οχήματος (οι μπαταρίες ορισμένων μοντέλων αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων αντιπροσωπεύουν το 1/3 του συνολικού βάρους του οχήματος) [33].

Ωστόσο, **τα ασύρματα συστήματα φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα είναι υπό ανάπτυξη**. Γεγονός από το οποίο προκύπτει πως, αναφορικά με την τεχνολογία τους, παρουσιάζονται κάποιες ανησυχίες. **Η πρώτη ανησυχία** [82,88,89], έχει να κάνει με την ασφάλεια λόγω ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Ξεκινώντας, μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος τυλίγματος, υπάρχει μαγνητικό πεδίο υψηλής συχνότητας κατά τη διάρκεια ασύρματης φόρτισης μιας μπαταρίας ηλεκτρικού οχήματος. Τα δύο αυτά τυλίγματα, έχουν μεγάλο κενό αέρα (λόγω της μεταξύ τους απόστασης), γεγονός το οποίο μπορεί να προκαλέσει υψηλό πεδίο διαρροής. Η έκθεση στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, που εγείρεται από τη χρήση συστημάτων επαγωγικής φόρτισης, αποτελεί μείζον ανησυχία για την ανθρώπινη υγεία. Σχετικά με τους περιορισμούς που πρέπει να ισχύουν κατά την έκθεση στα ηλεκτρομαγνητικά αυτά πεδία, έχουν εκδοθεί ειδικές οδηγίες από την ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection).

Μια ακόμα ανησυχία, που ενδέχεται να επηρεάσει το μέλλον της ασύρματης φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, **αποτελούν οι υψηλές επενδύσεις για την ανάπτυξη υποδομών** [82]. Για παράδειγμα, **το κόστος** για την ανάπτυξη λωρίδας δρόμου μήκους ενός χιλιομέτρου (για την δυναμική φόρτιση), ανέρχεται στα 400.000 δολάρια [89]. Επίσης, ένας ακόμα παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη, είναι η ζήτηση ισχύος. Η καμπύλη φορτίου του ηλεκτρικού φορτίου αναμένεται να μεταβληθεί σε σημαντικό βαθμό, από την ανάπτυξη επαγωγικών φορτιστών σε μεγάλη κλίμακα. Γεγονός το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα όπως υπερφόρτωση των γραμμών ή των μετασχηματιστών καθώς ήδη τα δίκτυα διανομής εξυπηρετούν μεγάλα φορτία [82]. Συνεπώς, για την αποφυγή τέτοιων καταστάσεων, θα απαιτηθούν **περαιτέρω επενδύσεις** για την τοπική ενίσχυση των υποδομών των δικτύων διανομής.

Κλείνοντας, είναι γεγονός ότι η τεχνολογία ασύρματης φόρτισης παρέχει πολλαπλά πλεονεκτήματα συγκριτικά με την συμβατική ενσύρματη φόρτιση καθώς, επίσης, θα συμβάλει στην αύξηση του ρυθμού διεξόδου των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά. Ήδη, οι εταιρίες συνεργάζονται μεταξύ τους για την ανάπτυξη της τεχνολογίας της συγκεκριμένης μεθόδου φόρτισης. Πιο συγκεκριμένα, η Nichicon Corporation και η Qualcomm σύναψαν συμφωνία, με βάση την οποία, αναμένεται να εμπορευματοποιήσουν τεχνολογία ασύρματης φόρτισης (Qualcomm Halo System) που θα χρησιμοποιείται τόσο σε υβριδικά όσο και σε αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα [90]. Κατασκευαστές ηλεκτρικών οχημάτων καταβάλουν, επίσης, προσπάθειες για την

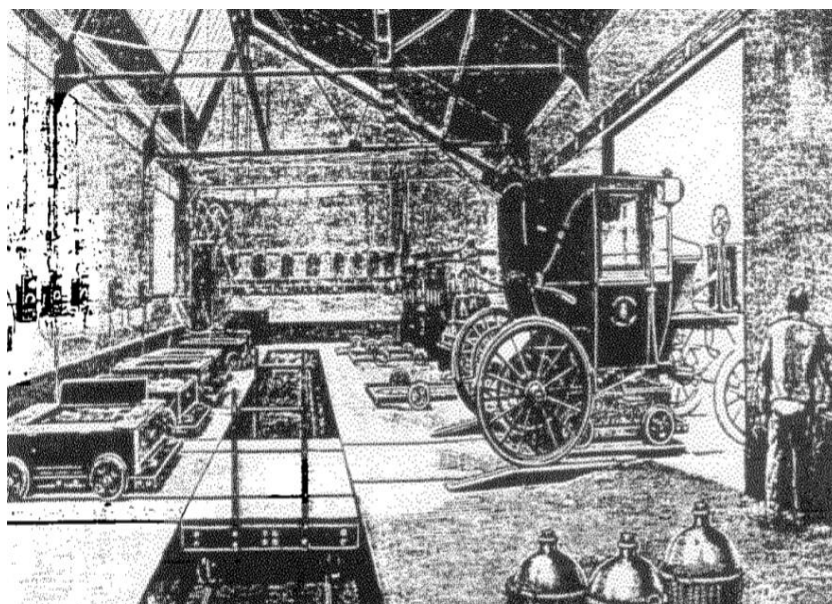


ανάπτυξη δικών τους συστημάτων επαγωγικής φόρτισης. Το 2018, Η Bmw δημιούργησε το δικό της σύστημα ασύρματης φόρτισης, όπου το όχημα σταθμεύει πάνω από τον επαγωγικό φορτιστή και, με το πάτημα ενός κουμπιού, ξεκινά η φόρτιση [90]. Ένα γεγονός που πρέπει να αναφερθεί είναι πως η ασύρματη φόρτιση δεν περιορίζεται μόνο για χρήση σε επιβατικά οχήματα αλλά και για βαρέως τύπου οχήματα. Η εταιρία Electreon πρόσφατα κατασκεύασε έναν δρόμο-ασύρματο φορτιστή μήκους 1,65 χιλιομέτρων, για την φόρτιση ηλεκτρικού φορτηγού [91]. Οι πρώτες δοκιμές, που έλαβαν χώρα σε τμήμα 200 μέτρων του δρόμου αυτού, στέφθηκαν με επιτυχία. Ωστόσο, καθότι η ασύρματη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί μια υπό εξέλιξη τεχνολογία, χρειάζονται σίγουρα περαιτέρω μελέτες αναφορικά με την ανθρώπινη ασφάλεια και τις μείωσης κόστους των συστημάτων αυτών.

### 5.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

Μια ακόμα μέθοδος ταχείας φόρτισης, που η τεχνολογία της παρουσιάζει ενδιαφέρον, αποτελεί η μέθοδος ανταλλαγής μπαταριών. Μέθοδος, μέσω της οποίας, πιστεύεται πως θα καταπολεμηθούν ζητήματα αναφορικά με την φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων.

Η μέθοδος ανταλλαγής μπαταριών δεν αποτελεί νέα ιδέα [33]. Η πρώτη εφαρμογή της πραγματοποιήθηκε στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.5. Καθώς την περίοδο εκείνη τα πρώτα ηλεκτρικά οχήματα εμφανίστηκαν στους δρόμους της Ευρώπης και της Αμερικής, τα προβλήματα αναφορικά με την περιορισμένη αυτονομία και τους υψηλούς χρόνους επαναφόρτισης, ήταν αισθητά [33]. Στην προσπάθεια αντιμετώπισης των προβλημάτων αυτών, προτάθηκε η ιδέα ανταλλαγής μπαταριών.

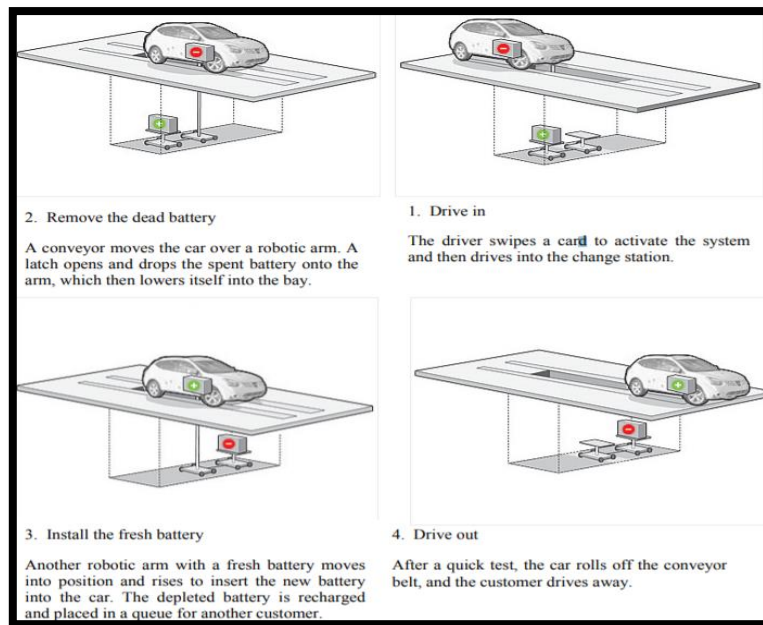


**Σχήμα 5.5 :** Σταθμός ανταλλαγής μπαταριών στο Παρίσι, το έτος 1899 [92]

Το 2011, μέσω της εταιρίας **Better Place**, πραγματοποιήθηκαν οι πρώτες σύγχρονες εμπορικές εφαρμογές της μεθόδου ανταλλαγής μπαταριών [93]. Πιο συγκεκριμένα, η εταιρία ανέπτυξε ένα δίκτυο από Σταθμούς Ανταλλαγής Μπαταριών στο Ισραήλ και στην Δανία, όπου διέθετε τις μπαταρίες. Η **Better Place** σε συνεργασία με την **Renault**, δημιούργησαν το πρώτο ηλεκτρικό όχημα με δυνατότητα ανταλλαγής μπαταρίας, το **Renault Fluence Z.E** [93]. Η χρήση της μεθόδου αυτής, περιοριζόταν μόνον για επιβατικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Ωστόσο το 2013, η εταιρία χρεοκόπησε λόγω υψηλής απαιτούμενης επενδύσεις για την ανάπτυξη των υποδομών καθώς, επίσης, η διείσδυση στην αγορά ήταν πολύ μικρότερη από το αναμενόμενο.

Η ανταλλαγή μπαταριών είναι μια διαδικασία κατά την οποία η μπαταρία ενός ηλεκτρικού οχήματος, στην οποία η κατάσταση φόρτισης είναι κάτω από το προκαθορισμένο επίπεδο, αντικαθίσταται σε πολύ γρήγορο ρυθμό από μια πλήρως φορτισμένη. Οι εξειδικευμένες εγκαταστάσεις που λαμβάνει χώρα η παραπάνω μέθοδος ονομάζονται **Σταθμοί Ανταλλαγής Μπαταριών** (Battery Swapping Stations). Επίσης, η παραπάνω διαδικασία μπορεί να εκτελεστεί από ρομποτικό αυτοματοποιημένο σύστημα, στους πιο σύγχρονους Σταθμούς Ανταλλαγής Μπαταριών.

Στο σχήμα 5.6, απεικονίζεται η λειτουργία ένας Σταθμούς Ανταλλαγής Μπαταριών. Αρχικά, για να μπορεί λειτουργήσει η μέθοδος ανταλλαγής μπαταριών, απαιτείται ηλεκτρικό όχημα με αρχιτεκτονική μπαταρίας κατάλληλα σχεδιασμένη για την μέθοδο αυτή [94]. Κατά την είσοδο του οχήματος στον σταθμό, ο οδηγός σύρει την κάρτα του. Με αυτόν τον τρόπο, όλα τα δεδομένα που αφορούν αυτήν την κάρτα, εντοπίζονται από το σύστημα πληροφοριών. Αυτά τα δεδομένα παρέχουν πληροφορίες όπως το ιστορικό ανταλλαγών, πληροφορίες για την μπαταρία του οχήματος και άλλες σχετικές πληροφορίες. Αφού πρώτα επαληθευθούν τα δεδομένα από το λειτουργικό προσωπικό, το όχημα θα κατευθυνθεί στο σταθμό όπου θα λάβει χώρα η αλλαγή της μπαταρίας. Για λόγους ασφαλείας, η ισχύς του οχήματος είναι απενεργοποιημένη κατά την διάρκεια της διαδικασίας [94]. Ένας μεταφορέας κινεί το όχημα με ακρίβεια, πάνω από τον ρομποτικό βραχίονα ο οποίος αφαιρεί την 'εξαντλημένη' μπαταρία (αφού ανοίξει το μάνταλο, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.6). Η 'εξαντλημένη' μπαταρία τοποθετείται εντός ραφιού φόρτισης, από τους ρομποτικούς βραχίονες, με σκοπό να φορτιστεί και να χρησιμοποιηθεί για άλλον πελάτη. Για την πλήρη διαφάνεια της διαδικασίας, δημιουργούνται αντίγραφα ασφαλείας όλων των δεδομένων, τα οποία θα είναι προσβάσιμα τόσο από τις αρχές όσο και από τους πελάτες. Έπειτα, ένας άλλος ρομποτικός βραχίονας τοποθετεί μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία εντός του οχήματος [94]. Μετά από μια γρήγορη δοκιμή, το όχημα είναι έτοιμο για χρήση.



**Σχήμα 5.6 :** Λειτουργία Σταθμού Ανταλλαγής Μπαταριών [87]

Η μέθοδος ανταλλαγής μπαταριών προσφέρει πολλαπλά **πλεονεκτήματα** τόσο για τους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων όσο και για ολόκληρη την κοινότητα. Ξεκινώντας, το πρώτο και πολύ σημαντικό πλεονέκτημα, αυτής της μεθόδου φόρτισης, είναι η **εξοικονόμηση χρόνου** για τους οδηγούς [33]. Πιο συγκεκριμένα, η αντικατάσταση της μπαταρίας μπορεί να πραγματοποιηθεί σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, χαρακτηριστικό το οποίο είναι ιδιαίτερα ελκυστικό προς τους πελάτες. Για παράδειγμα, η μέθοδος ανταλλαγής μπαταριών πραγματοποιείται από την εταιρία Tesla (διάσημος κατασκευαστής ηλεκτρικών οχημάτων), σε μόλις 90 δευτερόλεπτα [87]. Δηλαδή, η διαδικασία ‘ανταλλαγής’ πραγματοποιείται σε πολύ γρήγορο χρόνο, αντίστοιχο με τον χρόνο ανατροφοδότησης οχήματος με κινητήρα εσωτερικής καύσης.

Επιπλέον θετική επιρροή από την μέθοδο ανταλλαγής μπαταριών, αποτελεί η **αύξηση της διάρκειας ζωής των μπαταριών** [87]. Στους σταθμούς ανταλλαγής μπαταριών, η φόρτιση της εναλλασσόμενης μπαταρίας πραγματοποιείται σε συνθήκες ελεγχόμενης θερμοκρασίας, μέσω μιας προηγμένη στρατηγική φόρτισης ελέγχου όπου παρακολουθείτε για την κατάσταση φόρτισης και τον αριθμό κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης που έχει υποβληθεί. Γεγονός το οποίο οδηγεί στην επέκταση της ζωής της μπαταρίας και αποφυγής διαδοχικών ζημιών, σε αντίθεση με την γρήγορη φόρτιση η οποία οδηγεί στην υποβάθμιση της. Επίσης, καθώς βρίσκονται πολλές μπαταρίες συγκεντρωμένες στον ίδιο σταθμό, είναι πιο εύκολη η διαχείριση και η συντήρησή τους.

Η γρήγορη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να απαιτήσει έως και 150 kW από το δίκτυο, τα οποία είναι πολύ υψηλά ενέργειας. Η εν λόγω υψηλή απαιτούμενη ισχύς έχει πολλές αρνητικές επιπτώσεις καθώς καταπονεί το σύστημα ισχύος υπό την μορφή αυξημένων απωλειών διανομής και υποβάθμιση της ποιότητας ισχύος. Σε αυτήν την καταπόνηση συμβάλει, επίσης, σημαντικά η ανεξέλεγκτη φόρτιση (uncontrolled charging). Αυτή η απρόβλεπτη της ζήτησης

ενέργειας από την πλευρά των ιδιοκτητών, ενδεχομένως όταν ήδη η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι στην υψηλότερη τιμή της, μπορεί να προκαλέσει σημαντικές επιπτώσεις στο δίκτυο (όπως αστάθεια και αύξηση φορτίου αιχμής). Μέσω της μεθόδου ανταλλαγής μπαταριών, τέτοιες καταστάσεις μπορούν να αποφευχθούν καθώς προσφέρει δυνατότητα ελεγχόμενης στρατηγικής φόρτισης [87,33]. Αυτό σημαίνει πως η φόρτιση των μπαταριών μπορεί να προγραμματιστεί να συμβεί σε ώρες εκτός αιχμής ή μπορεί, επίσης, να αυξήσει τον χρόνο φόρτισης μειώνοντας την ζήτηση φορτίου. Γεγονός το οποίο σημαίνει, πως περαιτέρω επενδύσεις για αναβάθμιση και την τοπική ενίσχυση των υποδομών των δικτύων διανομής, δεν θα χρειαστούν. Επίσης, στους σταθμούς ανταλλαγής υπάρχουν πολλές φορτισμένες μπαταρίες, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν οποιαδήποτε στιγμή. Όταν, λοιπόν, οι ανταλλασσόμενες μπαταρίες δεν χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία ηλεκτρικών οχημάτων, μπορούν να προσφέρουν τις υπηρεσίες τους κατά τις ώρες όπου το δίκτυο είναι 'απασχολημένο'. Συμβάλλοντας, με αυτόν τον τρόπο, **στην ευστάθεια του δικτύου**.

Από την άλλη μεριά, υπάρχουν **κάποιες προκλήσεις** που αντιμετωπίζει η τεχνολογία αυτής της μεθόδου φόρτισης κατά την εφαρμογή της. Ξεκινώντας, μια σημαντική απαίτηση για να επιτύχει η τεχνολογία ανταλλαγής των μπαταριών, θα ήταν η τυποποίηση των μπαταριών αυτών [33,95]. Αυτό σημαίνει πως οι εναλλάξιμες μπαταρίες θα πρέπει να είναι συμβατές, με ηλεκτρικά οχήματα που είναι κατασκευασμένα από διαφορετικούς κατασκευαστές. Αυτή η τυποποίηση και η συμβατότητα με τα χαρακτηριστικά πολλαπλών πλατφορμών, θεωρείται ως η μόνη ελπίδα για την επιτυχία αυτής της τεχνολογίας φόρτισης. Η εν λόγω τυποποίηση μπορεί να ακούγεται ως μια απλή λύση, δεδομένου ότι, οι κατασκευαστές, θα παρουσιάσουν την ανάλογη προθυμία. Ωστόσο, η εφαρμογή τους αποτελεί δύσκολο εγχείρημα καθώς οι σχεδιαστικές παράμετροι ποικίλλουν ανά κατασκευαστή ηλεκτρικού οχήματος. Οι μπαταρίες είναι τοποθετημένες συνήθως ανάμεσα στους άξονες των τροχών και χαμηλά στο δάπεδο του αυτοκινήτου, επηρεάζοντας μεγέθη όπως η σταθερότητα και ακαμψία (έναντι πλευρικών συγκρούσεων). Επομένως, μέσω της 'κοινής' πλατφόρμας που θα κατασκευαστούν μπαταρίες παρόμοιας αρχιτεκτονικής, θα συμβάλει στον περιορισμό των προϊόντων που σχεδιάστηκαν αποκλειστικά από οποιονδήποτε κατασκευαστή, από άποψη καινοτομίας, μοναδικότητας και ευελιξίας. Ουσιαστικά, οι μπαταρίες που θα παράγουν, θα είναι παρόμοιες. Προβλήματα τυποποίησης για εταιρίες όπως η Tesla και η Nio, που κατασκευάζουν οι ίδιοι το όχημα και τον σταθμό ανταλλαγής μπαταριών, δεν θα υπάρξουν. Ωστόσο, για άλλες εταιρίες που δεν έχουν αυτή την δυνατότητα, αποτελεί πρόκληση.

Η **δομή του οχήματος** θα πρέπει να σχεδιαστεί, για την πραγματοποίηση της αλλαγής μπαταρίας, με γνώμονα την εύκολη αφαίρεση και επανεγκατάσταση της μπαταρίας από το πλαίσιο του οχήματος [33]. Συνεπώς, η ελευθερία σχεδίασης και προσαρμογής θα περιοριστεί, αποκτώντας κάποια όρια.

Δεδομένου ότι η μπαταρία αντιπροσωπεύει υπόψη πως η τιμή της μπαταρίας αντιστοιχεί στο 25%-55% της συνολικής αξίας αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος, καταλαβαίνουμε πως η αρχική επένδυση για την αγορά μπαταριών, είναι τεράστια [33]. Ο αριθμός των μπαταριών που θα χρησιμοποιηθεί στον σταθμό, θα πρέπει να διαμορφωθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να υπερβαίνει την ημερήσια απαίτηση με σκοπό να επαρκούν για την κάλυψη των αναγκών των πελατών. Επίσης, δυο ακόμα παράμετροι, που αποτελούν σημαντική προϋπόθεση για την λειτουργία του σταθμού

συμβάλλοντας παράλληλα στην αύξηση του τελικού κόστους του (και δεν πρέπει να παραλειφθούν), αποτελούν ο φορτιστής και το ρομπότ ανταλλαγής [96]. Ενδεικτικά, η εταιρία Better Place για την κατασκευή του δικού της σταθμού ανταλλαγής, της κόστισε 500,000 δολάρια.

Επί του παρόντος, η εταιρία Nio έχει αναπτύξει ένα δίκτυο σταθμών ανταλλαγής σε μεγάλη κλίμακα, για την εξυπηρέτηση των πελατών. Η εταιρία, ξεκίνησε το 2014 και μέχρι το 2020, είχε κατασκευάσει 135 σταθμούς ανταλλαγής σε 59 πόλεις της Κίνας. Ο πρώτος της σταθμός ονομάστηκε 'Power Swap Station' και, η διαδικασία ανταλλαγής, υλοποιούταν σε μόλις 3 λεπτά. Κλείνοντας, η μέθοδος ανταλλαγής μπαταριών, αποτελεί τεχνολογία με τεράστιες δυνατότητες. Ωστόσο, για να επικρατήσει μελλοντικά και να υπερέχει έναντι άλλων μεθόδων φόρτισης, απαιτείται η αντιμετώπιση των προκλήσεων από τις οποίες 'υποφέρει' η εν λόγω τεχνολογία.

#### **5.4 ΦΟΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕΣΩ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΠΕ**

Σημαντικό παράγοντα στην αύξηση των κλιματικών αλλαγών και στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος, παίζει ο τομέας των μεταφορών. Πιο συγκεκριμένα, συμβάλει σε ποσοστό 14% των παγκοσμίων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αποτελώντας την δεύτερη μεγαλύτερη πηγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως. Επίσης, το 1/5 των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην Ευρώπη, παράγονται από τις οδικές μεταφορές. Το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί κύριο αέριο του θερμοκηπίου [97]. Μείωση αυτών των εκπομπών σημειώθηκε το 2012, κατά 3.3 %. Ωστόσο, σε σχέση με το 1990, έχει σημειωθεί αύξηση 20.5% των εκπομπών αυτών [97]. Συνεπώς, η ενεργειακή μετάβαση σε φορείς ενέργειας χαμηλού ή μηδενικού άνθρακα κρίνεται αναγκαία. Τα ηλεκτρικά οχήματα φαίνεται να αποτελούν έναν τέτοιο φορέα. Ωστόσο, σημαντικό παράγοντα στον αν τελικά τα ηλεκτρικά οχήματα είναι χαμηλού ή μηδενικού άνθρακα, αποτελούν οι εκπομπές κατά την χρήση του ηλεκτρικού οχήματος. Δηλαδή, από πού προέρχεται η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται κατά την φόρτιση των εν λόγω οχημάτων. Οι εκπομπές αυτές χρήζουν ιδιαίτερης σημασίας καθώς κατέχουν το υψηλότερο ποσοστό των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος. Πιο συγκεκριμένα, στις χώρες όπου το μείγμα ενέργειας βασίζεται στον άνθρακα, μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ενός ηλεκτρικού οχήματος σε σχέση με ένα συμβατικό. Για να είναι 'καθαρή' η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται για την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων, πρέπει να περιοριστεί η χρήση ορυκτών καυσίμων (για την τροφοδότηση των σταθμών ηλεκτρικής ενέργειας), ως πρωτογενής πηγές ενέργειας. Την θέση των οποίων, πρέπει να πάρουν εναλλακτικές μορφές ενέργειας με χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Τέτοιες μορφές ενέργειας, που η τεχνολογία τους παρουσιάζει ενδιαφέρον συμβάλλοντας, παράλληλα, στην μείωση επιβάρυνσης του περιβάλλοντος, αποτελούν οι διεσπαρμένες παραγωγές ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Αν και το βασικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας αυτής είναι το περιβαλλοντικό, θα δούμε πως αλλιώς μπορεί να ωφελήσει την τεχνολογία των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων.

Σε αυτό το σημείο, κρίνεται απαραίτητο να επισημανθεί η έννοια των όρων ΑΠΕ και διεσπαρμένη παραγωγή ενέργειας. Ως ΑΠΕ ορίζονται οι μη ορυκτές ενεργειακές πηγές, οι οποίες υπάρχουν εν αφθονία στο φυσικό περιβάλλον [98]. Τέτοιες μορφές ενέργειας, είναι η ηλιακή, η γεωθερμική, η βιομάζα, η αιολική, η υδατόπτωση και η ενέργεια από την θάλασσα (που χωρίζεται περαιτέρω σε ενέργεια από παλίρροιες, ενέργεια από τα κύματα, ενέργεια από τους ωκεανούς). Όλες οι ΑΠΕ, με εξαίρεση τη γεωθερμία, έχουν ως κύρια γενεσιουργό αιτία την ηλιακή ακτινοβολία, μια και ο κύκλος του νερού, η δύναμη του ανέμου και η ανάπτυξη των φυτών οφείλονται στην ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω στη γη [97].

Ο όρος διεσπαρμένη παραγωγή (ΔΠ) ηλεκτρικής ενέργειας (ΗΕ), αναφέρεται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πολλές, μικρές και διεσπαρμένες γεωγραφικά μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που κατασκευάζονται πλησίον των θέσεων ζήτησης και αποσκοπούν στην τοπική εξυπηρέτηση των φορτίων [99,98]. Οι μονάδες αυτές είναι συνήθως μικρότερες του 1MW και συνδέονται σε δίκτυα Μέσης Τάσης ή ακόμα και Χαμηλής Τάσης εφόσον η ισχύς τους είναι μικρότερη των 100kWp. Τέλος οι ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί με εγκατεστημένη ισχύ από 1 έως και 50MW μπορούν να συνδεθούν τόσο στην Υψηλή όσο και στη Μέση Τάση. Η τελική απόφαση είναι αποτέλεσμα συγκερασμού μεταξύ τεχνοοικονομικών μελετών και αποφάσεων που αφορούν την στρατηγική ανάπτυξης των δικτύων [98].

Παρότι τα βασικά κριτήρια για να χαρακτηριστεί μια μονάδα ηλεκτροπαραγωγής ως διεσπαρμένη πηγή είναι το σημείο σύνδεσής της και η ισχύς της, τα τελευταία χρόνια ο ως άνω όρος έχει ταυτιστεί με τις τεχνολογίες ΑΠΕ. Πράγματι, η πλειοψηφία των μονάδων ΑΠΕ αποτελούν συστήματα διεσπαρμένης παραγωγής [100]. Τα **σημαντικότερα είδη διεσπαρμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας**, είναι τα παρακάτω [99] :

- Τα φωτοβολταϊκά πάρκα μικρής ή μεγαλύτερης ισχύος
- Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί (ΥΗΣ)
- Τα αιολικά πάρκα
- Οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα-βιοαέριο

**Τα οφέλη, από την ενσωμάτωση διεσπαρμένης παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ στον τομέα της ηλεκτροκίνησης, παρουσιάζονται παρακάτω :**

- **Οχήματα χαμηλών εκπομπών ρύπων:** Το κυριότερο όφελος από τη χρήση διεσπαρμένης παραγωγής είναι περιβαλλοντικό. Οι περισσότερες τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής από ΑΠΕ προσφέρουν καθαρότερη και πιο αθόρυβη λειτουργία. Δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον καθώς για την εκμετάλλευσή τους, δεν απαιτούνται ενεργητικές παρεμβάσεις όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση. Συνεπώς, πρόκειται για καθαρές μορφές ενέργειας που δεν εκλύουν επικίνδυνους ρύπους όπως οξειδία του αζώτου, διοξείδιο του άνθρακα, ραδιενεργά απόβλητα και υδρογονάνθρακες, οι οποίοι είναι άρρηκτα συνυφασμένα με την επιβάρυνση του περιβάλλοντος και την κλιματική αλλαγή. Αυτοί οι επικίνδυνοι ρύποι εκλύονται από τους συμβατικούς τρόπους ηλεκτροπαραγωγής και είναι τα 'παραπροϊόντα' από την καύση των



οργανικών καυσίμων [98]. Συνεπώς, μέσω της διεσπαρμένης παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ, η ηλεκτρική ενέργεια που θα καταναλώνεται για την φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων, θα είναι πιο 'καθαρή'. Γεγονός το οποίο έχει βαρύνουσα σημασία ιδιαίτερα, στο μέλλον, όπου αναμένεται μεγάλη διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στον χώρο της αυτοκίνησης και, συνεπώς, μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Βάση μιας πρόσφατης έρευνας, εκτιμάται ότι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τα ηλεκτρικά οχήματα στην Ευρώπη, θα αυξηθεί από 0.03% το 2014 σε 4.5% το 2030 και περίπου στο 9.5% το 2050 [97]. Μια άλλη μελέτη έδειξε ότι [101] 50,000 ηλεκτρικά οχήματα, χρησιμοποιώντας ένα μείγμα από ΑΠΕ (ηλιακή και αιολική ενέργεια) για την φόρτιση αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων, οδήγησαν σε 400 Mtons λιγότερες εκπομπές ετησίως.

- **Διαθέσιμη ενέργεια και στις πιο απομακρυσμένες περιοχές :** Με τις τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής προσφέρεται ενέργεια σε απομακρυσμένες περιοχές όπου η επιλογή των παραδοσιακών γραμμών διανομής δεν είναι δυνατή. Τέτοιες περιοχές, όπως μικρά απομακρυσμένα χωριά, βρίσκονται εκτός του ηλεκτρικού δικτύου και επωφελούνται από τη διεσπαρμένη παραγωγή ως βασική πηγή ενέργειας. Με αυτόν τον τρόπο, θα δίνεται η δυνατότητα να κατασκευαστούν σταθμοί φόρτισης σε απομακρυσμένες περιοχές, όπου δεν θα μπορούσαν να κατασκευαστούν με τους συμβατικούς τρόπους παραγωγής ενέργειας. Συνεπώς, το γεγονός αυτό δρα ως κατασταλτικό του 'άγχος εύρους' για τους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων συμβάλλοντας, παράλληλα, στην αύξηση της αυτοπεποίθησης τους για την πραγματοποίηση ταξιδιών μεγαλύτερων αποστάσεων (που δεν θα περιορίζονται, για παράδειγμα, εντός πόλης)
- **Μείωση απωλειών του συστήματος:** Ένα από τα βασικά μελήματα των επιχειρήσεων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης μέσω της ελαχιστοποίησης των απωλειών του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας. Είναι γνωστό ότι η (ηλεκτρική) απόσταση των μονάδων παραγωγής από τα σημεία κατανάλωσης, το επίπεδο φόρτισης των γραμμών μεταφοράς και διανομής, είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες που καθορίζουν το ποσό των ενεργειακών απωλειών [98]. Επιπρόσθετα, εφόσον οι απώλειες είναι τετραγωνική συνάρτηση της έντασης του ρεύματος, οι μεγαλύτερες απώλειες εμφανίζονται κατά τη χρονική περίοδο του μέγιστου φορτίου. Με την μερική ή ολική τροφοδότηση τοπικών φορτίων με το μοντέλο της διεσπαρμένης παραγωγής μπορεί να συμβάλει στη μείωση των ηλεκτρικών απωλειών και στην εξοικονόμηση ενέργειας, διότι με τον τρόπο αυτό μειώνεται η μεταφερόμενη ενέργεια μέσω των γραμμών μεταφοράς και διανομής [98]. Γεγονός το οποίο μπορεί να βοηθήσει, με την σειρά του, στην πιο γρήγορη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση σταθμών ταχείας φόρτισης για την φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων, είναι απαραίτητη η παροχή κατάλληλης υψηλής ισχύς για να επιτευχθεί η γρήγορη φόρτιση. Μέσω των μειωμένων απωλειών από το μοντέλο της διεσπαρμένης παραγωγής,



μπορεί να επιτευχθεί κατάλληλη τροφοδοσία των σταθμών φόρτισης, γεγονός το οποίο οδηγεί σε αποτελεσματική και σωστή απόδοση της διαδικασίας φόρτισης της μπαταρίας [102]. Συνεπώς, μειωμένοι χρόνοι φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων μπορούν να πραγματοποιηθούν, μέσω αυτής της διαδικασίας, γεγονός το οποίο μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση του ρυθμού διεισδύσεις των ηλεκτρικών οχημάτων.

Η ενσωμάτωση συστημάτων ΑΠΕ με τη μορφή διεσπαρμένων μονάδων, δείχνει να αποτελεί μία ιδιαίτερα ελκυστική προοπτική για την τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων. Ωστόσο η τεχνολογία αυτή, λόγω των προκλήσεων που αντιμετωπίζει δεν αποτελεί εύκολο εγχείρημα. **Οι βασικές προκλήσεις από την τεχνολογία των ΑΠΕ με την μορφή διεσπαρμένης παραγωγής**, που αποτελούν τροχοπέδη στην ανάπτυξη τους, παρουσιάζονται παρακάτω :

- **Διακοπτόμενη λειτουργία:** Από διακοπτόμενη ενεργειακή παραγωγή χαρακτηρίζονται οι αιολικές, οι ηλιακές και οι εφαρμογές θαλασσιών κυμάτων. Για παράδειγμα, ο άνεμος δεν φυσά συνεχώς και, κατά την διάρκεια της μέρας, μπορεί ο ήλιος να καλύπτεται από σύννεφα. Προφανώς, η ενέργεια που παράγεται από τις 'διαλείπουσες πηγές' δεν μπορεί χαρακτηριστεί ως αμετάβλητη και αξιόπιστη λύση για την παροχή ισχύος, δημιουργώντας σημαντικό αντίκτυπο στην ευελιξία του συστήματος. Αυτό το γεγονός λόγω της 'διαλείπουσας' φύσης των ΑΠΕ, μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα του συστήματος ισχύος, που αφορούν την ισορροπία μεταξύ συνεχούς διατήρησης παραγωγής και ζήτησης ενέργειας [98,33]. Πρόβλημα το οποίο μπορεί να γίνει αντιληπτό, αν αναλογιστούμε τα μεγάλα ποσά ενέργειας που απαιτούνται κατά την διάρκεια γρήγορης φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, ένα τυπικό φορτίο γρήγορης φόρτισης κυμαίνεται από 50 kW έως 350 kW. Στην περίπτωση δε που λαμβάνει χώρα ταυτόχρονη φόρτιση πολλαπλών οχημάτων στον ίδιο κλάδο διανομής, τα πράγματα γίνονται ακόμα πιο δύσκολα. Συνεπώς, η κάλυψη μεγάλου ποσοστού της ενεργειακής κατανάλωσης από διεσπαρμένα συστήματα ΑΠΕ μπορεί να προκαλέσει μεγάλες διακυμάνσεις της τάσης, ή ακόμα μπορεί να οδηγήσει και σε ανεπάρκεια ηλεκτροδότησης στις περιπτώσεις όπου οι παραπάνω μονάδες δεν μπορούν να ανταποκριθούν σε μια απρόσμενη διαταραχή του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας [98].
- **Κόστος:** Το αρχικό κόστος ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος σε σύγκριση με τις σημερινές τιμές των κλασικών πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παραμένει ακόμη υψηλό και αποτελεί βραχνά στην ευρεία διείσδυση των ΑΠΕ. Αν και τα λειτουργικά έξοδα των ΑΠΕ είναι μικρά, οι επενδύσεις σε ΑΠΕ χαρακτηρίζονται από υψηλό πάγιο κόστος. Σε αυτό το σημείο δεν μπορούμε να παραλείψουμε το γεγονός πως τα τελευταία χρόνια, το κόστος των ΑΠΕ έχει σημειώσει καθοδική πορεία. Ωστόσο, όταν συγκρίνεται με τις κλασικές μεθόδους ηλεκτροπαραγωγής, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ εξακολουθεί να μην είναι ικανοποιητικά ανταγωνιστική. Επίσης, κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη εφεδρικών πηγών ενέργειας ή μεσών αποθήκευσης, λόγω των περιοδικών διακυμάνσεων στη διαθεσιμότητά τους, γεγονός το οποίο αυξάνει περαιτέρω το κόστος.

## 6<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ - ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗ

### 6.1 ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ

Για την πραγματοποίηση της έρευνας, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος διανομής ερωτηματολογίου. Το ερωτηματολόγιο διεξήχθη με σκοπό να μελετηθεί **η παρούσα κατάσταση της θέσης των Ελλήνων καταναλωτών** απέναντι στην ηλεκτροκίνηση καθώς, επίσης, να μελετηθεί η **γενικότερη γνώση** τους, στο θέμα της ηλεκτροκίνησης.

Ο λόγος που επιλέχθηκε ερωτηματολόγιο, έναντι άλλων μεθόδων, είναι διότι η διανομή του, λαμβάνει χώρα αρκετά εύκολα. Η δημιουργία και η αποστολή του ερωτηματολογίου πραγματοποιήθηκε ηλεκτρονικά μέσω της διαδικτυακής πλατφόρμας Google Forms.

Ανάμεσα στα οφέλη από την χρήση ηλεκτρονικών ερωτηματολογίων, αποτελεί το μηδενικό κόστος (σε σχέση με τη διανομή έντυπων ερωτηματολογίων). Επίσης, μέσω των μεσών κοινωνικής δικτύωσης, υπάρχει η δυνατότητα να σταλούν σε μεγάλο αριθμό ατόμων και να προσφέρουν τη συλλογή μεγάλου όγκου πληροφοριών άμεσα.

Το ερωτηματολόγιο έχει τίτλο «Έρευνα για την ηλεκτροκίνηση», οι ερωτήσεις του είναι αρκετά απλές, ενώ ο απαιτούμενος χρόνος για την συμπλήρωση του, δεν ξεπερνά τα 2 λεπτά. Αποτελείται από **17 ερωτήσεις** και έχει μοιραστεί σε δυο ενότητες. Στην πρώτη ενότητα, περιλαμβάνονται ορισμένες προσωπικές ερωτήσεις, ενώ στην δεύτερη ενότητα, τίθενται ερωτήσεις που αφορούν στην ηλεκτροκίνηση. Ενδεικτικά, ακολουθούν παρακάτω, ερωτήσεις που αφορούν και τις 2 ενότητες του ερωτηματολογίου:

## **Πρώτο Μέρος:** Προσωπικά στοιχεία

Επιλογή φύλου.

- Άνδρας
- Γυναίκα
- Άλλο

## **Δεύτερο Μέρος:** Ερωτήσεις σχετικά με την ηλεκτροκίνηση

Πόσος χρόνος απαιτείται για να ολοκληρωθεί ένας κύκλος φόρτισης των μπαταριών των πλήρως ηλεκτρικών οχημάτων ;

- 30-60 λεπτά
- 1-3 ώρες
- 3-6 ώρες
- Περισσότερες από 7 ώρες

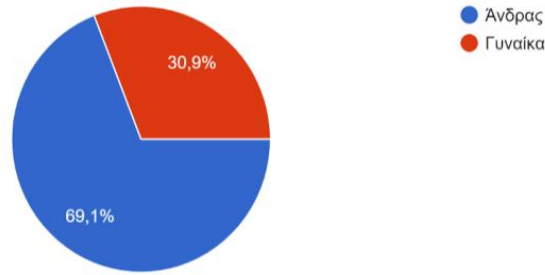
Οι ερωτήσεις του ερωτηματολογίου παρουσιάζονται ολοκληρωμένες στο **Παράρτημα**.

## **6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ- ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗ**

**Η πρώτη ενότητα** του ερωτηματολογίου αφορά προσωπικά στοιχεία του ερωτηθέντος και λαμβάνει μέρος ολόκληρο το μέγεθος δείγματος, δηλαδή 152 άτομα. Όλες οι ερωτήσεις επισημάνθηκαν ως υποχρεωτικές.

### **Φύλο**

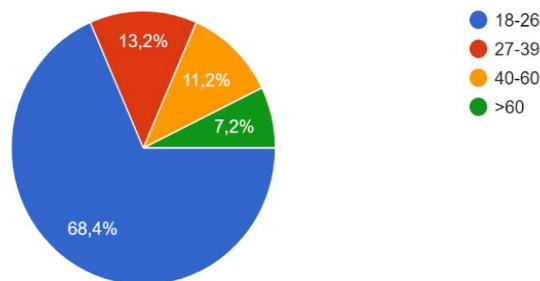
Το 69,1 % που απάντησαν είναι άνδρες, όπου αποτέλεσαν το υψηλότερο ποσοστό, και το υπόλοιπο 30,9% είναι γυναίκες (σχήμα 6.1).



**Σχήμα 6.1:** Το ποσοστό ερωτηθέντων, ανάλογα με το φύλο.

### Ηλικία

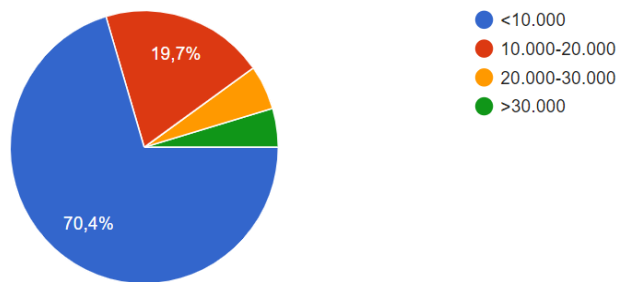
Βάση των 4 ηλικιακών ομάδων, οι ερωτηθέντες δήλωσαν την ηλικία τους, επιλέγοντας μία από αυτές. Το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλικίας των ερωτηθέντων (68,4%) κυμαίνεται από 18 έως 26 ετών. Συνεχίζοντας κατά φθίνουσα σειρά με τα ποσοστά, το 13,2% του δείγματος είναι από 27 μέχρι 39 ετών, το 11,2% από 40 μέχρι 60 και το υπόλοιπο 7,2% άνω των 60 ετών (σχήμα 6.2).



**Σχήμα 6.2:** Το ποσοστό ερωτηθέντων, ανάλογα με την ηλικία.

### Οικογενειακό εισόδημα

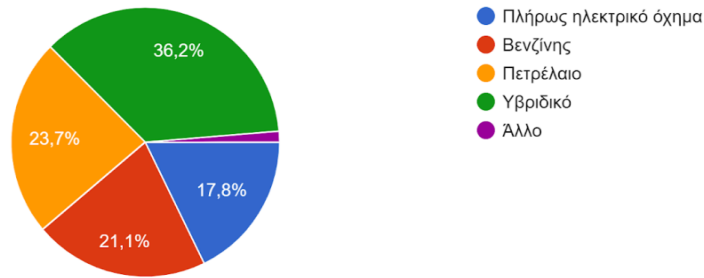
Το 70,4% λαμβάνει ετήσιο εισόδημα μικρότερο των 10.000 ευρώ, το 19,7% από 10.000 μέχρι 20.000, το 5,3% από 20.000 μέχρι 30.000, και το εισόδημα του 4,6% των ερωτηθέντων ξεπερνά τις 30.000 ευρώ (σχήμα 6.3).



**Σχήμα 6.3:** Ετήσιο οικογενειακό εισόδημα του δείγματος.

**Στην δεύτερη ενότητα** του ερωτηματολογίου, έγιναν ερωτήσεις που αφορούν την γενικότερη γνώση των ελλήνων καταναλωτών αναφορικά με την ηλεκτροκίνηση και σε ποιο βαθμό είναι εξοικειωμένη με αυτή.

Αρχικά ρωτήθηκε μέσω του ερωτηματολογίου, αν δινόταν η δυνατότητα στους έλληνες καταναλωτές να επιλέξουν ένα όχημα από τις κατηγορίες ηλεκτροκίνητο, βενζίνης, πετρελαίου ή οποιοδήποτε άλλο. Οι απαντήσεις είχαν ως εξής: Το μεγαλύτερο ποσοστό των ερωτηθέντων (36,2%) θα διάλεγαν υβριδικό, ενώ η αμέσως επόμενη προτίμηση είναι το πετρελαιοκίνητο όχημα με 23,7%. Έπειτα, το 21,1% επέλεξε βενζινοκίνητο όχημα, το 17,8% επέλεξε πλήρως ηλεκτρικό όχημα και το υπόλοιπο 1,3% θα επέλεγε ένα άλλο τύπου όχημα (σχήμα 6.4). Το υψηλότερο ποσοστό των ερωτηθέντων αν είχε την δυνατότητα να αγοράσει όχημα, αυτό θα ήταν το υβριδικό, γεγονός από το οποίο παρατηρείται προθυμία στην ένταξη ηλεκτρικών οχημάτων στην καθημερινότητα των πολιτών, αφού το υβριδικό όχημα, είναι ηλεκτρικό. Η πρώτη επιλογή τους, βασίζεται σε ένα σύνολο από χαρακτηριστικά που επιθυμούν να έχει το όχημα το οποίο θα αγοράσουν. Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό, το οποίο, ενδεχομένως, τους ώθησε στην επιλογής τους και προσφέρεται μέσω του υβριδικού οχήματος, είναι η οικονομία καυσίμου. Αν συνδέσουμε αυτή την διαπίστωση με το γεγονός ότι το υψηλότερο ποσοστό των ερωτηθέντων, λαμβάνει ετήσιο εισόδημα μικρότερο των 10.000 ευρώ (ερώτηση αναφορικά με το οικογενειακό εισόδημα), φαίνεται πως η οικονομία καυσίμου έπαιξε σημαντικό παράγοντα για την επιλογή υβριδικού οχήματος. Τα πλήρως ηλεκτρικά οχήματα αποτέλεσαν προτελευταία επιλογή των ερωτηθέντων, ενδεχομένως γιατί (η τεχνολογία τους) δημιουργεί ανασφάλεια λόγω της αυτονομίας, του μη επαρκές δικτύου σταθμών φόρτισης στην χώρα μας και του χρόνου που απαιτείται για την φόρτιση των μπαταριών ενός ηλεκτρικού οχήματος (όπως φαίνεται σε παρακάτω απαντήσεις).

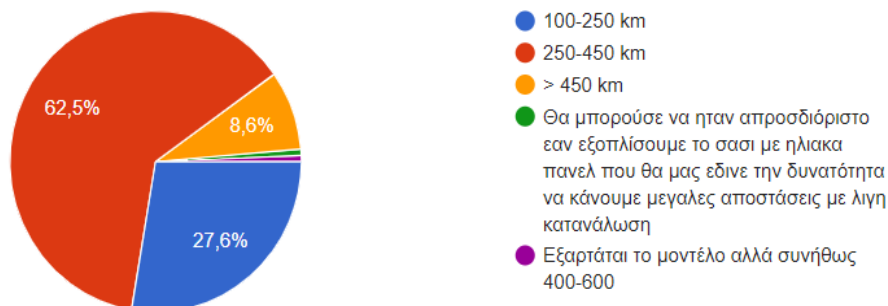


**Σχήμα 6.4:** Πρόθεση αγοράς οχήματος μεταξύ υβριδικού, πετρελαιοκίνητου, βενζινοκίνητου, πλήρως ηλεκτρικού ή οποιοδήποτε άλλου οχήματος.

Αναφορικά με την αυτονομία ενός πλήρως ηλεκτρικού οχήματος, δηλαδή πόση απόσταση πιστεύουν (οι ερωτηθέντες) ότι μπορούν να διανύσουν τα πλήρως ηλεκτρικά οχήματα με μία φόρτιση, η πλειοψηφία (62,5%) των ερωτηθέντων απάντησαν ότι κυμαίνεται από 250 μέχρι 450 χιλιόμετρα, ενώ το αμέσως μεγαλύτερο ποσοστό (27,6%) απάντησε ότι κυμαίνεται μεταξύ 100 έως 250 χιλιομέτρων. Έπειτα, το 8,6% απάντησε περισσότερα από 450 χιλιόμετρα. Το υπόλοιπο 1,3% των ερωτηθέντων που απάντησαν 'άλλο', τους ζητήθηκε (υποχρεωτικά) να αναπτύξουν συνοπτικά την απάντησή τους (σχήμα 6.5). Οι απαντήσεις που δόθηκαν είναι:

- Εξαρτάται από το μοντέλο, αλλά, συνήθως, η αυτονομία των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων κυμαίνεται από 400 μέχρι 600 χιλιόμετρα.
- Θα μπορούσε να ήταν απροσδιόριστο εάν εξοπλίσουμε το σασί με ηλιακά πάνελ που θα μας έδιναν την δυνατότητα να κάνουμε μεγάλες αποστάσεις με λίγη κατανάλωση

Πάνω από του μισούς ερωτηθέντες (62,5%) απάντησαν σωστά ότι η αυτονομία ενός πλήρως ηλεκτρικού οχήματος κυμαίνεται μεταξύ 250 έως 450 χιλιομέτρων, γεγονός το οποίο δηλώνει πως η πλειοψηφία ήταν ενημερωμένη επί του θέματος.

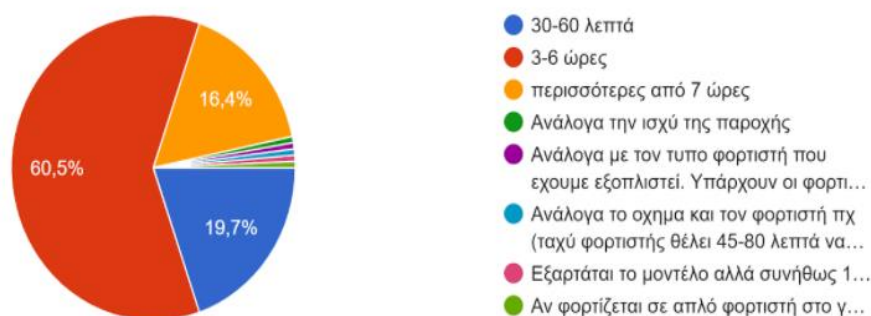


**Σχήμα 6.5:** Το γράφημα περιγράφει την γνώμη των ερωτηθέντων, ως προς την αυτονομία του ηλεκτρικού οχήματος.

Η πλειοψηφία των ερωτηθέντων (60,5%) απάντησε ότι για να ολοκληρωθεί ένας κύκλος φόρτισης, των μπαταριών των πλήρως ηλεκτρικών οχημάτων, απαιτούνται 3 μέχρι 6 ώρες. Το 19,6% των ερωτηθέντων πιστεύει πως χρειάζονται από 30 έως 60 λεπτά, ενώ το 16,4% πιστεύει πως χρειάζονται παραπάνω από 7 ώρες. Το μικρότερο ποσοστό 3,4% των ερωτηθέντων απάντησαν 'άλλο' (σχήμα 6.6), όπου τους ζητήθηκε (υποχρεωτικά) να αναπτύξουν συνοπτικά την απάντησή τους. Οι απαντήσεις που δόθηκαν είναι:

- Ανάλογα την ισχύ της παροχής
- Αν φορτίζεται σε απλό φορτιστή στο γκαράζ, συνήθως, χρειάζονται 7 ώρες. Αν η φόρτιση του ηλεκτρικού οχήματος πραγματοποιείται μέσω σταθμού ταχείας φόρτισης, χρειάζεται γύρω στην 1 ώρα.
- Εξαρτάται το μοντέλο αλλά συνήθως 1-2 ώρες
- Ανάλογα το όχημα και τον φορτιστή. Για παράδειγμα, για την φόρτιση μικρού μοντέλου ηλεκτρικού οχήματος μέσω ταχυφορτιστή, χρειάζονται 45-80 λεπτά.
- Ανάλογα με τον τύπο φορτιστή που έχουμε εξοπλιστεί. Υπάρχουν φορτιστές ταχείας φόρτισης, που αρκούν 45 έως 60 λεπτά για να φορτίσουν πλήρως την μπαταρία του ηλεκτρικού οχήματος.

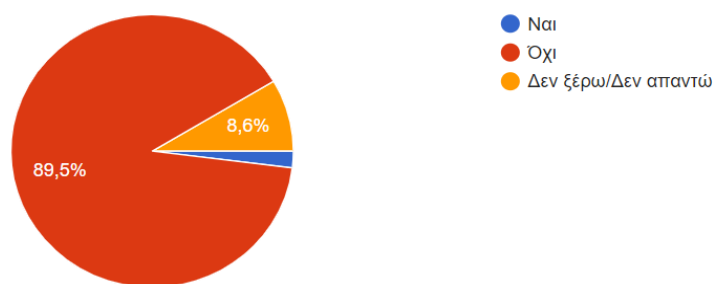
Όλες οι απαντήσεις θα ήταν σωστές, αν οι ερωτηθέντες λάμβαναν υπόψη μια ακόμη παράμετρο, η οποία είναι το επίπεδο φόρτισης. Για παράδειγμα, για να ολοκληρωθεί ένας κύκλος φόρτισης, των μπαταριών των πλήρως ηλεκτρικών οχημάτων, απαιτούνται από 30 έως 60, αν η φόρτιση ήταν επιπέδου 3. Επίσης, για την πλήρη φόρτιση των μπαταριών των πλήρως ηλεκτρικών οχημάτων απαιτούνται από 3 έως 6 ώρες και περισσότερες από 7, αν η φόρτιση ήταν επιπέδου 2 και 1, αντίστοιχα. Το 3,4% του ποσοστού των ερωτηθέντων έκανε αυτή την διευκρίνιση, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι η περισσότερη έχουν άγνοια επί του θέματος (σχήμα 6.6). Καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό δεν γνωρίζει τον πραγματικό χρόνο που απαιτείται για την πλήρη φόρτιση της μπαταρίας ενός ηλεκτρικού οχήματος, ενδεχομένως το γεγονός αυτό να συντέλεσε στην επιλογή άλλου οχήματος και όχι ενός πλήρως ηλεκτρικού (σε προηγούμενη ερώτηση).



**Σχήμα 6.6:** Το γράφημα περιγράφει την γνώμη των ερωτηθέντων, αναφορικά με τον χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση ενός κύκλου φόρτισης, των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων.



Η πλειοψηφία (89,5%) θεωρεί πως το δίκτυο φόρτισης σε δημόσιους χώρους είναι μη επαρκές (από άποψη υποδομών) στην χώρα μας. Έπειτα, το 8,9% των ερωτηθέντων δήλωσε πως δεν γνωρίζει, ενώ το μικρότερο ποσοστό (2%) θεώρησε πως το δίκτυο φόρτισης στην Ελλάδα, είναι επαρκές (σχήμα 6.7). Περίπου 9 στους 10 δήλωσαν πως το δίκτυο φόρτισης είναι μη επαρκές στην χώρα μας, το οποίο είναι μεγάλο ποσοστό, γεγονός που καταδεικνύει πως γνωρίζουν την πραγματικότητα που επικρατεί στην χώρα μας (αναφορικά με τα μη επαρκές δίκτυα φόρτισης σε δημόσιους χώρους). Το γεγονός αυτό φανερώνει, επίσης, τον δισταγμό των ερωτηθέντων στην επιλογή πλήρως ηλεκτρικού οχήματος αν τους δινόταν η ευκαιρία, σε προηγούμενη ερώτηση.



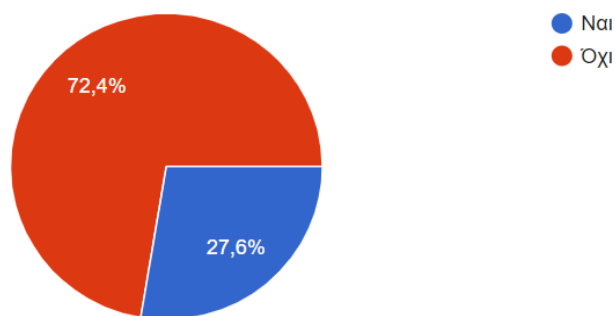
**Σχήμα 6.7:** Το γράφημα περιγράφει την γνώμη των ερωτηθέντων για το αν το δίκτυο φόρτισης σε δημόσιους χώρους (από άποψη υποδομών) είναι επαρκές, στην χώρα μας.

Το μεγαλύτερο ποσοστό (72,4%) των ερωτηθέντων, πιστεύει ότι ένα ηλεκτρικό όχημα δεν συμβάλει στην ρύπανση της ατμόσφαιρας, ενώ το υπόλοιπο 27,6% πιστεύει πως επιβαρύνεται το περιβάλλον από την χρήση αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος (σχήμα 6.8). Περίπου 3 στους 4 δηλώνουν ότι το ηλεκτρικό όχημα δεν συμβάλει στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος, γεγονός από το οποίο φαίνεται ότι δεν έχουν εμβαθύνει στο θέμα. Πιθανώς, να έχουν πληροφορηθεί από διαφημίσεις ότι τα πλήρως ηλεκτρικά οχήματα δεν συμβάλουν στην ρύπανση της ατμόσφαιρας, όπου τα προβάλλουν ως οχήματα μηδενικών εκπομπών. Ωστόσο, αν κάποιος εμβαθύνει επί του θέματος, θα συνειδητοποιήσει πως είναι οχήματα μηδενικών εκπομπών ως προς τις άμεσες και όχι τις έμμεσες εκπομπές τους.

Στην περίπτωση που οι ερωτηθέντες απάντησαν θετικά στο ερώτημα αν το αμιγώς ηλεκτρικό όχημα συμβάλει στην ρύπανση της ατμόσφαιρας, τους ζητήθηκε να αναφέρουν (εν συντομία) έναν παράγοντα που αφορά στα ηλεκτρικά οχήματα και πιστεύουν ότι συμβάλει στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Οι πιο συχνά διατυπωμένες απαντήσεις που δόθηκαν είναι οι εξής:

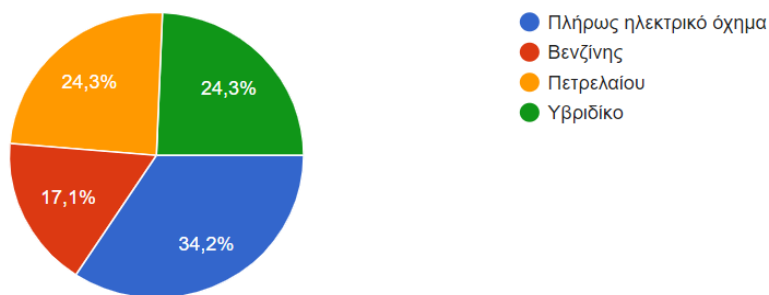
- Η κατασκευή των μπαταριών των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων, αποτελεί διαδικασία ιδιαίτερα επιβλαβής ως προς το περιβάλλον
- Αν η προερχόμενη ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται κατά την φόρτιση των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων, προέρχεται από συμβατικούς τρόπους παραγωγής (όπως λιγνιτικές μονάδες) και όχι από ΑΠΕ, τότε η τεχνολογία των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων προκαλεί την εκπομπή ρύπων.
- Εναποθέτηση άχρηστων μπαταριών μετά το πέρας της ζωής του

Περίπου 1 στους 4 έδωσαν πιο σωστή και ολοκληρωμένη απάντηση.



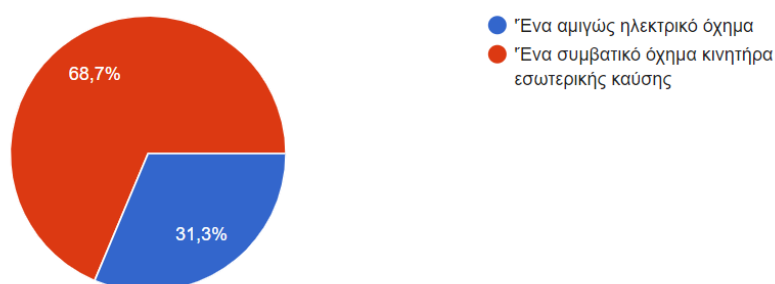
**Σχήμα 6.8:** Το γράφημα περιγράφει την γνώμη των ερωτηθέντων για το αν το ηλεκτρικό όχημα συμβάλει στην ρύπανση της ατμόσφαιρας.

Έπειτα, ζητήθηκε από τους ερωτηθέντες να δηλώσουν ποιος τύπος οχήματος (κατά την γνώμη τους) αποτελεί οικονομικά συμφέρουσα επιλογή, όσον αφορά το κόστος απόκτησης και την μακροπρόθεσμη συντήρησή του. Το μεγαλύτερο ποσοστό 34,2% υποστηρίζει ότι το ηλεκτροκίνητο όχημα είναι το πιο οικονομικό, λαμβάνοντας υπόψη τις δυο παραπάνω παραμέτρους. Ακολούθησαν το υβριδικό και το βενζινοκίνητο όχημα με ακριβός ίδιο ποσοστό (24,3%), ενώ το υπόλοιπο ποσοστό ερωτηθέντων (17,1%) δήλωσε το βενζινοκίνητο ως το οικονομικότερο (σχήμα 6.9). Αρχικά, όλες οι απαντήσεις είναι σχετικά κοντά, χωρίς μεγάλη απόκλιση η μία με την άλλη. Η πρώτη επιλογή, ανεξάρτητα από το αν είναι σωστή η όχι, φανερώνει πως μεγάλο δείγμα των ατόμων που απάντησαν θεωρεί τα πλήρως ηλεκτρικά οχήματα, οικονομικά συμφέρουσα επιλογή, γεγονός το οποίο δεν μπορεί να χαρακτηρίσει την αγοραστική τους συμπεριφορά.



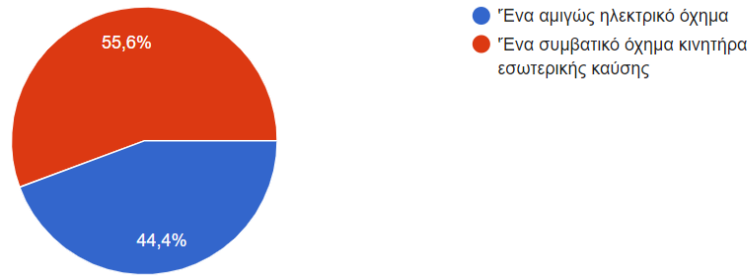
**Σχήμα 6.9:** Οικονομικότερο όχημα ως προς τη αγορά και τη συντήρηση του, κατά την κρίση των ερωτηθέντων.

Ακολούθως, ζητήθηκε από τους ερωτηθέντες να δηλώσουν ποιο όχημα πιστεύουν, αμιγώς ηλεκτρικό ή συμβατικό με κινητήρα εσωτερικής καύσης, πως έχει το μεγαλύτερο βάρος. Το μεγαλύτερο ποσοστό (68,7%) δήλωσε πως το μεγαλύτερο βάρος το έχει το συμβατικό όχημα κινητήρα εσωτερικής καύσης, ενώ το υπόλοιπο (31,3%) δήλωσε το αμιγώς ηλεκτρικό όχημα (σχήμα 6.10). Μια από τις πιο βασικές και γνωστές διαφορές ανάμεσα στα πλήρως ηλεκτρικά και συμβατικά οχήματα, αποτελεί το γεγονός πως τα πλήρως ηλεκτρικά οχήματα εξοπλίζονται με μπαταρίες. Με αυτήν τη συλλογιστική, εξάγεται το συμπέρασμα ότι πιθανώς οι ερωτηθέντες θεωρούν λανθασμένα, πως η μπαταρία του ηλεκτρικού οχήματος, έχει αμελητέο βάρος.



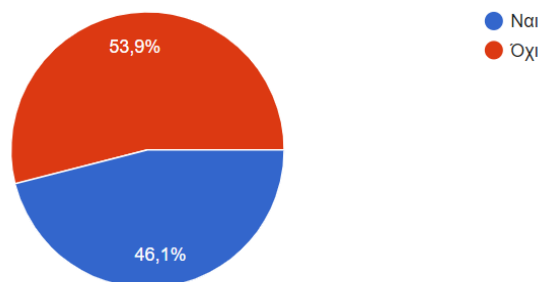
**Σχήμα 6.10:** Μεγαλύτερο βάρος οχήματος, αμιγώς ηλεκτρικού ή συμβατικού με κινητήρα εσωτερικής καύσης, κατά την γνώμη των ερωτηθέντων.

Έπειτα τους ζητήθηκε να δηλώσουν ποιο όχημα πιστεύουν, αμιγώς ηλεκτρικό ή συμβατικό με κινητήρα εσωτερικής καύσης, πως επιτυγχάνει μεγαλύτερη απόδοση. Οι περισσότεροι, με ποσοστό (55,6%), δήλωσαν πως το συμβατικό όχημα επιτυγχάνει υψηλότερη απόδοση, ενώ το υπόλοιπο 44,4% απάντησε αμιγώς ηλεκτρικό όχημα (σχήμα 6.11). Γεγονός το οποίο δείχνει πως οι πλειοψηφία των ερωτηθέντων δεν είναι ενημερωμένοι αναφορικά με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών οχημάτων.



**Σχήμα 6.11:** Μεγαλύτερη απόδοση οχήματος, αμιγώς ηλεκτρικού ή συμβατικού με κινητήρα εσωτερικής καύσης, κατά την γνώμη των ερωτηθέντων.

Στην ερώτηση αν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα πετυχαίνουν υψηλότερες επιδόσεις από τα συμβατικά αυτοκίνητα με κινητήρα εσωτερικής καύσης, η πλειοψηφία των ερωτηθέντων (53,9%) απάντησε αρνητικά, ενώ το υπόλοιπο 46,1% απάντησε πως τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα πετυχαίνουν υψηλότερες επιδόσεις (σχήμα 6.12). Συγκρίνοντας αυτήν την ερώτηση με την προηγούμενη, παρατηρούμε ότι τα ποσοστά των απαντήσεων έχουν μοιραστεί με σχεδόν ίδιο τρόπο. Γεγονός το οποίο φανερώνει πως όσοι απάντησαν (ή καλύτερα το μεγαλύτερο ποσοστό) ότι τα συμβατικά οχήματα έχουν μεγαλύτερη απόδοση, δήλωσαν, σε αυτή την ερώτηση, πως τα συμβατικά αυτοκίνητα πετυχαίνουν υψηλότερες επιδόσεις σε σχέση με τα ηλεκτρικά. Συνεπώς, η διαπίστωση μας περί άγνοιας των τεχνικών χαρακτηριστικών των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, επαληθεύεται.



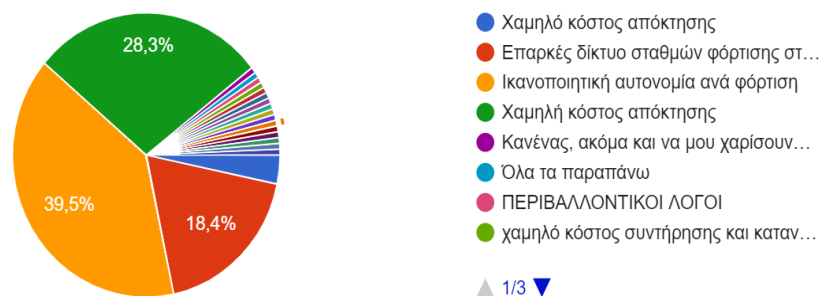
**Σχήμα 6.12:** Υψηλότερες επιδόσεις των ηλεκτρικών αυτοκινήτων από τα συμβατικά, κατά την γνώμη των ερωτηθέντων.

Το υψηλότερο ποσοστό (39,5%) των ερωτηθέντων, δήλωσε πως ο παράγοντας που θα τους ωθούσε στην αγορά ηλεκτρικού αυτοκινήτου, είναι η ικανοποιητική αυτονομία ανά φόρτιση. Το 28,3% των ερωτηθέντων επέλεξε το χαμηλό κόστος απόκτησης, το 18,4% επέλεξε επαρκές δίκτυο σταθμών φόρτισης στην περιοχή τους, ενώ το υπόλοιπο 13,8% επέλεξε 'άλλο' (σχήμα 6.13). Η πρώτη επιλογή, η ικανοποιητική αυτονομία ανά φόρτιση, αποτελεί σημαντικό παράγοντα που θα ωθούσε όχι μόνο του Έλληνες καταναλωτές (όπως φάνηκε από το ερωτηματολόγιο), αλλά τους καταναλωτές σε παγκόσμιο επίπεδο. Η ικανοποιητική αυτονομία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων αποτελεί θεμελιώδη παράγοντα για την

αύξηση του ρυθμού διείσδυσης των εν λόγω οχημάτων. Η δεύτερη επιλογή, και έχοντας σχετικά μικρή διαφορά με την πρώτη επιλογή, φανερώνει πως οι ερωτηθέντες γνωρίζουν ότι το κόστος για την απόκτηση πλήρως ηλεκτρικού οχήματος δεν είναι χαμηλό. Λόγω του γεγονότος ότι το μεγαλύτερο ποσοστό ερωτηθέντων γνωρίζει την ελληνική πραγματικότητα αναφορικά με το δίκτυο σταθμών φόρτισης, θα περιμέναμε πως οι τρίτη κατά σειρά επιλογή τους, θα ήταν ανάμεσα στις πρώτες. Ωστόσο, φάνηκε πως δείχνουν περισσότερη βαρύτητα σε παράγοντες που έχουν να κάνουν με την αυτονομία και το κόστος απόκτησης.

Στους ερωτηθέντες που επέλεξαν 'άλλο' ως απάντηση, τους ζητήθηκε (υποχρεωτικά) να αναπτύξουν συνοπτικά την απάντησή τους. Οι απαντήσεις που δόθηκαν είναι:

- Κανένας παράγοντας από τους παραπάνω.
- Όλα τα παραπάνω.
- Φιλικό ως προς το περιβάλλον, κατά την φάση λειτουργίας και κατασκευής του.
- Χαμηλό κόστος απόκτησης σε συνδυασμό με επαρκές δίκτυο σταθμών φόρτισης.
- Χαμηλό κόστος συντήρησης σε συνδυασμό με χαμηλή κατανάλωση.



Σχήμα 6.13: Παράγοντας που θα ωθούσε τους ερωτηθέντες, στην αγορά ηλεκτρικού αυτοκινήτου.

Σε αυτήν την ερώτηση, ζητήθηκε από τους ερωτηθέντες να αναφέρουν το βασικότερο πλεονέκτημα της ηλεκτροκίνησης. Απάντησαν 113 άτομα καθώς η συγκεκριμένη ερώτηση, δεν ήταν υποχρεωτική. Οι πιο συχνά διατυπωμένες απαντήσεις που δόθηκαν είναι οι εξής:

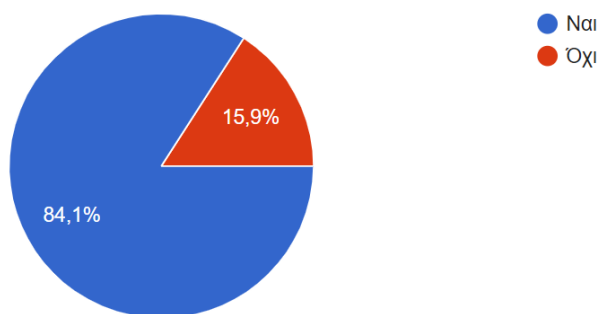
- Αθόρυβη λειτουργία
- Η τεχνολογία της ηλεκτροκίνησης είναι φιλική ως προς το περιβάλλον καθώς εκπέμπει μηδενικούς ρύπους
- Χαμηλό κόστος μετακίνησης ανά χιλιόμετρο
- Υψηλές επιδόσεις
- Χαμηλό κόστος συντήρησης

Ακολούθως, ζητήθηκε από τους ερωτηθέντες, να αναφέρουν το βασικότερο μειονέκτημα της ηλεκτροκίνησης. Απάντησαν 111 άτομα καθώς, η συγκεκριμένη ερώτηση, δεν ήταν υποχρεωτική. Οι πιο συχνά διατυπωμένες απαντήσεις που δόθηκαν είναι οι εξής:

- Περιορισμένη αυτονομία
- Υψηλό κόστος απόκτησης
- Η φόρτιση των μπαταριών των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων, είναι χρονοβόρα
- Μη επαρκές δίκτυο σταθμών φόρτισης
- Απουσία ήχου κινητήρα
- Διάρκεια ζωής της μπαταρίας
- Μειωμένη απόδοση

Απαντήσεις οι οποίες, κατά την πλειοψηφία τους, ήταν αναμενόμενες και προβλέψιμες (λαμβάνοντας υπόψη τις απαντήσεις, σε προηγούμενες ερωτήσεις).

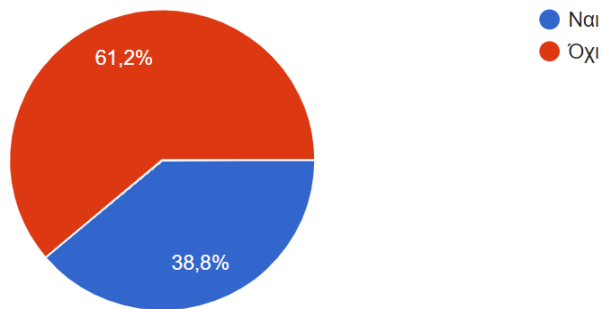
Στην ερώτηση, αν η τεχνολογία της ηλεκτροκίνησης θα επικρατήσει στην παγκόσμια αυτοκινητοβιομηχανία στο άμεσο μέλλον, πάνω από τους μισούς ερωτηθέντες, 84,1%, απάντησαν θετικά, ενώ η μειονότητα των ερωτηθέντων (15,9%) απάντησε αρνητικά (σχήμα 6.14). Με το ποσοστό που απάντησε σωστά, πάνω από τους μισούς, είναι σαφές πως ο κόσμος είναι ενήμερος για την νέα τάση των ηλεκτρικών οχημάτων, που τείνει να παγιωθεί στο εξωτερικό.



**Σχήμα 6.14:** Γνώμη των ερωτηθέντων, αναφορικά με το αν η τεχνολογία της ηλεκτροκίνησης θα επικρατήσει στην παγκόσμια αυτοκινητοβιομηχανία στο άμεσο μέλλον.

Τέλος, στην ερώτηση, αν η τεχνολογία της ηλεκτροκίνησης θα επικρατήσει στην Ελληνική αυτοκινητοβιομηχανία στο άμεσο μέλλον, το 61,2% απάντησε αρνητικά, ενώ το μικρότερο ποσοστό 38,8% απάντησε ναι (σχήμα 6.15). Με την πλειοψηφία των ερωτηθέντων που απάντησε αρνητικά στην ερώτηση, φαίνεται πως οι Έλληνες καταναλωτές πιστεύουν πως η Ελλάδα δεν είναι έτοιμη για να υποδεχτεί την τεχνολογία της ηλεκτροκίνησης. Ανάμεσα στους παράγοντες που τους ώθησαν να απαντήσουν αρνητικά, είναι πιθανώς η ανεπάρκεια του δικτύου σταθμών φόρτισης στην χώρας (περίπου 9 στους 10 το δήλωσαν σε προηγούμενη ερώτηση).

Η δημιουργία δικτύου σταθμών φόρτισης σε μεγάλη κλίμακα, απαιτεί τεράστιες επενδύσεις. Στην Ελλάδα, η οποία βιώνει οικονομική κρίση τα τελευταία χρόνια, μοιάζει ανέφικτη η εδραίωση αυτής της τεχνολογίας, λόγω των υψηλών αυτών επενδύσεων. Συνεπώς, με αυτή την συλλογιστική, φαίνεται πως οι Έλληνες καταναλωτές, θεωρούν ότι ένα τέτοιο εγχείρημα είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί στην χώρα μας, γεγονός το οποίο καθόρισε την απάντησή τους.



**Σχήμα 6.15:** Γνώμη των ερωτηθέντων, αναφορικά με το αν η τεχνολογία της ηλεκτροκίνησης θα επικρατήσει στην Ελληνική αυτοκινητοβιομηχανία στο άμεσο μέλλον.



## 7<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα Διπλωματική είδαμε ότι από την εμφάνιση του πρώτου αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος, έχει σημειωθεί σημαντική εξέλιξη στους κινητήρες σε τεχνολογικό και κατασκευαστικό επίπεδο, πετυχαίνοντας καλύτερες επιδόσεις. Στην συνέχεια, ασχοληθήκαμε με τα κύρια εξαρτήματα που απαρτίζουν ένα αμιγώς ηλεκτρικό όχημα, καθώς, επίσης, και με τα πλεονεκτήματα με τα οποία συνδέεται η τεχνολογία τους. Παράλληλα, έγινε εμβάθυνση στις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα. Τέτοιες προκλήσεις αποτελούν, κυρίως, η τεχνολογία συσσωρευτών, οι μέθοδοι φόρτισης και το αποτύπωμα ρύπων, οι οποίες και αναλύθηκαν. Μολονότι υπάρχουν ορατές ενδείξεις ότι η διεθνής αυτοκινητοβιομηχανία έχει στραφεί οριστικά προς την ανάπτυξη ηλεκτροκίνητων οχημάτων, οι εν λόγω προκλήσεις αποτελούν τροχοπέδη στην διείσδυση των εν λόγω οχημάτων σε μεγάλη κλίμακα, στην αγορά. Για να επιτευχθεί μαζική υιοθέτηση των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων, πρέπει να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις που ήδη αναφέρθηκαν. Στην Διπλωματική Εργασία, συζητήθηκαν ενδεχόμενες κατευθύνσεις προς την αντιμετώπιση των προκλήσεων. Αυτές οι κατευθύνσεις αφορούν ενδιαφέρουσες ανερχόμενες τεχνολογίες, των οποίων η συμβολή στον τομέα της ηλεκτροκίνησης, κατά την γνώμη μας, θα αποτελέσει θεμελιώδη παράγοντα για την επίτευξη επιθυμητού ρυθμού διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά στο μέλλον. Κάποιες από αυτές, έχουν ήδη ξεκινήσει να εφαρμόζονται σε ηλεκτρικά οχήματα, σε μικρή κλίμακα.

Η παρούσα εργασία διερεύνησε, μέσω ερωτηματολογίου, την παρούσα κατάσταση της θέσης/άποψης των Ελλήνων καταναλωτών απέναντι στην ηλεκτροκίνηση, καθώς, επίσης, τον βαθμό στον οποίο οι Έλληνες καταναλωτές είναι ενημερωμένοι σε θέματα που αφορούν την τεχνολογία της ηλεκτροκίνησης. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως, γενικά, παρατηρείται μία θετική στάση των ερωτηθέντων για την υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων, η οποία όμως πρέπει να ενισχυθεί από τη σωστή ενημέρωση γύρω από το θέμα καθώς η πλειοψηφία των ερωτηθέντων είχαν άγνοια σε θέματα που αφορούσαν τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών οχημάτων. Τέλος, έγινε σαφές πως, για την υιοθέτηση της ηλεκτροκίνησης στην Ελλάδα, είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα μεγαλύτερης αυτονομίας, καθώς, επίσης, να δημιουργηθούν επαρκείς υποδομές φόρτισης σε συνδυασμό με την ανταπόδοση συγκεκριμένων κινήτρων από την πλευρά της Πολιτείας όπως ειδική τιμολογιακή χρέωση αναφορικά με την παροχή υπηρεσιών επαναφόρτισης για τους κατόχους ηλεκτρικών οχημάτων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] C. C. CHAN, *THE RISE & FALL OF ELECTRIC VEHICLES IN 1828–1930: LESSONS LEARNED*, Proceedings of the IEEE, Vol. 101, pp. 207-211, 2013.
- [2] Διπλωματική Εργασία - Μελέτη Και Κατασκευή Οχήματος Πόλης Με Διαφορικό Ηλεκτροκινητήριο Σύστημα – Δημήτριος Βιδιαδάκης – Νεφέλη Τσιάρα, σελ. 9-21, 39-44, 2012.
- [3] V. Christian Manz, *Stratingh & Becker electric vehicle from 1835*, Prestige Electric Car, 2017. (Εικόνα : τρίκυκλο ηλεκτρικό μοντέλο του Sibranus Stratingh)
- [4] *Ιστορία του ηλεκτρικού αυτοκινήτου 1890 – 1900*, Amperorio, 2019. (Εικόνα: Electrobat του 1894)
- [5] [https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_the\\_electric\\_vehicle#Early\\_history](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_electric_vehicle#Early_history)
- [6] <https://www.rdclassics.com/classic-cars/ford/model-t/touring-brass-era-2800> (Εικόνα: Ford Model T)
- [7] Cadie Thompson, *The fascinating evolution of the electric car*, INSIDER, 2015.
- [8] <https://en.wikipedia.org/wiki/Citicar>
- [9] <https://www.lanemotormuseum.org/collection/cars/item/elcar-1975>
- [10] [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BMW\\_1602\\_Elektro.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BMW_1602_Elektro.jpg) (Εικόνα: BMW 1602 Elektro)
- [11] *The electric car revolution of the 1990s – a Redline story*, Redline Admin, 2019.
- [12] [https://en.wikipedia.org/wiki/Honda\\_EV\\_Plus](https://en.wikipedia.org/wiki/Honda_EV_Plus)
- [13] <https://global.honda/heritage/timeline/producthistory/automobiles/1997EVPlus.html> (Εικόνα: Honda EV Plus)
- [14] [https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla\\_Roadster\\_\(first\\_generation\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_Roadster_(first_generation)) (Εικόνα: Tesla Roadster)
- [15] [https://el.wikipedia.org/wiki/Nissan\\_Leaf](https://el.wikipedia.org/wiki/Nissan_Leaf) (Εικόνα: Nissan Leaf)
- [16] [https://en.wikipedia.org/wiki/BMW\\_ActiveE](https://en.wikipedia.org/wiki/BMW_ActiveE) (Εικόνα: BMW 1 Series Active E)
- [17] [https://en.wikipedia.org/wiki/Chevrolet\\_Bolt](https://en.wikipedia.org/wiki/Chevrolet_Bolt)

- [18] <https://gmauthority.com/blog/2016/11/2017-chevrolet-bolt-ev-configurator-fires-up/> (Εικόνα: Chevrolet Bolt EV 2017)
- [19] Γιώργος Σκευοφύλαξ, *Tesla Roadster: Έρχεται το 2022*, newsauto, 2021.
- [20] <http://www.opengov.gr/minenv/wp-content/uploads/downloads/2012/01/tekniki-ekthesi.pdf> (Τύποι ηλεκτρικών οχημάτων, σελ. 8-14)
- [21] [https://ocw.tudelft.nl/course-readings/2-1-2-lecture-notes-parts-of-an-ev-recap/?course\\_id=29398](https://ocw.tudelft.nl/course-readings/2-1-2-lecture-notes-parts-of-an-ev-recap/?course_id=29398) (Κύρια εξαρτήματα αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος)
- [22] <https://online-learning.tudelft.nl/courses/electric-cars-technology/> (Τεχνολογία μπαταρίας ηλεκτρικού οχήματος)
- [23] Aswinth Raj, *All you want to know about Electric Vehicle Batteries*, CircuitDigest, 2018.
- [24] <https://www.energy.gov/science/doe-explainsbatteries>
- [25] *A Guide to Understanding Battery Specifications*, MIT Electric Vehicle Team, 2008.
- [26] *Battery Parameters*, Team Cellerite, 2020.
- [27] Jordan Hanania, Braden Heffernan, James Jenden, Ryan Leeson, Tamsin Mah, Jasper Martin, Kailyn Stenhouse, Jason Donev, *Energy density*, UNIVERSITY OF CALGARY, 2018.
- [28] Björn Sandén, Pontus Wallgren, *SYSTEMS PERSPECTIVES ON ELECTROMOBILITY*, Chalmers University of Technology, pp. 36-41, 2017
- [29] [https://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_vehicle\\_battery#Lead-acid](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle_battery#Lead-acid)
- [30] Rob van Haaren, *Assessment of Electric Cars Range Requirements and Usage Patterns based on Driving Behavior recorded in the National Household Travel Survey of 2009*, Earth and Environmental Engineering Department, Columbia University, Fu Foundation School of Engineering and Applied Science, pp. 4-6, 2011.
- [31] Tom Moloughney, *The Median Range Of Fully Electric Vehicles Exceeded 250 Miles In 2020*, INSIDEEVs, 2021.
- [32] Green Car Congress, *DOE: MY2016 PHEV median full range longer than gasoline vehicle median range*, BioAge Group, 2016.
- [33] Bakogiannis Nikolaos, *RETHINKING BATTERY SWAPPING: A view for the future of Automobility*, Technical Report, pp. 28-76, 2020.
- [34] D. Berjoza and I. Jurgena, *Effects of change in the weight of electric vehicles on their performance characteristics*, Agronomy Research, pp. 953-954, 2017.
- [35] Roeland Bisschop, Ola Willstrand, Francine Amon, Max Rosengren, *Fire Safety of Lithium-Ion Batteries in Road*, RISE Research Institutes of Sweden, pp. 30-47, 2019.

- [36] National Transportation Safety Board, *Safety Risks to Emergency Responders from Lithium-Ion*, Safety Report, pp. 6-8, 2020.
- [37] TECHNICAL NOTES, *Lithium-ion Batteries Part II: Safety*, LIGHTING GLOBAL, pp. 1-6, 2019.
- [38] Pippa Neill, *Electric Vehicle Fires should we be concerned*, airqualitynews.com, 2020.
- [39] Jeff Plungis, *How Tesla and Other EV Battery Fires Challenge First-Responder Tactics*, Consumer Reports, 2018.
- [40] Michael Cropp, *Electric car fires: 'There can be a risk of reignition for up to five days'*, Radio New Zealand, 2019.
- [41] Matt Gutman, Soo Youn, *Firefighters work 16 hours to put out fires in Tesla Model S*, abc NEWS, 2018. (Εικόνα: Tesla model X)
- [42] <https://pulsenews.co.kr/view.php?sc=30800028&year=2020&no=1269676>  
(Εικόνα: Tesla model S)
- [43] SHIHUI XIONG, *A STUDY OF THE FACTORS THAT AFFECT LITHIUM ION BATTERY DEGRADATION*, A Thesis presented to the Faculty of the Graduate School at the University of Missouri-Columbia, pp. 30-42, 2019.
- [44] *BU-808: How to Prolong Lithium-based Batteries*, BATTERY UNIVERSITY, 2019.
- [45] [https://www.researchgate.net/figure/Comparison-of-cycle-life-for-different-types-of-lithium-ion-batteries-adjusted-to\\_fig2\\_303890624](https://www.researchgate.net/figure/Comparison-of-cycle-life-for-different-types-of-lithium-ion-batteries-adjusted-to_fig2_303890624)
- [46] Henry Lee, Alex Clark, *Charging the Future: Challenges and Opportunities for Electric Vehicle Adoption*, HARVARD Kennedy School, pp. 19-29, 2018.
- [47] Hussain Shareef, Md. Mainul Islam, Azah Mohamed, *A review of the stage-of-the-art charging technologies, placement methodologies, and impacts of electric vehicles*, ELSEVIER, pp. 404-409, 2016.
- [48] Wajahat Khan, Aqueel Ahmad, Furkan Ahmad & Mohammad Saad Alam, *A Comprehensive Review of Fast Charging Infrastructure for Electric Vehicles*, Smart Science, pp. 2-3,7-8 , 2018
- [49] <https://www.cenhud.com/my-energy/electric-vehicles/how-to-charge/> (Εικόνα: Επίπεδα φόρτισης 1, 2 και 3)
- [50] Florian Hacker, Ralph Harthan, Felix Matthes, Wiebke Zimmer, *Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in Europe*, ETC/ACC Technical Paper, pp. 63, 2009.
- [51] <https://www.mpoweruk.com/infrastructure.htm>
- [52] <https://www.evgo.com/blog/charging-basics-fast-charging-and-the-ev-revolution/>  
(Εικόνα: Χρόνοι φόρτισης των τριών τύπων φόρτισης)

- [53] Chengxiu Chen, Fei Shang, Mohamad Salameh, Mahesh Krishnamurthy, *Challenges and Advancements in Fast Charging*, IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, pp. 696-697, 2018.
- [54] B.Lunz, D.U.Sauer, *Electric road vehicle battery charging systems and infrastructure*, ScienceDirect, pp. 456-458, 2015
- [55] Marc-Olivier Metais, O. Jouini, Yannick Perez, Jaâfar Berrada, Emilia Suomalainen, *Too much or not enough? Planning electric vehicle charging infrastructure: a review of modeling options*, HAL, pp. 4-5, 2021.
- [56] Wirges Johannes, *Planning the Charging Infrastructure for Electric Vehicles in Cities and Regions*, KIT Scientific Publishing, pp. 55-56 , 2016.
- [57] Dr. Chandrasekhar Reddy Atla, Rahul Bagadia, Umashankar Gantayat, Sudhanshu Mishra, Dr. Indradip Mitra, Sinan Muhiudden, Srinivas Narayana, Dr. Nagaraja Ramappa, *Impact Assessment of Electric Vehicle Charging Infrastructure in Electricity Distribution Systems*, A technical study report from India, pp. 30-36, 2019.
- [58] <https://evreporter.com/harmonic-pollution-and-ev-charging/> (Εικόνα: Παραμόρφωση λόγω αρμονικών)
- [59] Amelie Burkert, Heiko Fechtner and Benedikt Schmuelling, *Interdisciplinary Analysis of Social Acceptance Regarding Electric Vehicles with a Focus on Charging Infrastructure and Driving Range in Germany*, World Electric Vehicle Journal, pp. 14-16, 2019.
- [60] Bakker, J.J., *Contesting range anxiety the role of electric vehicle charging infrastructure in the transportation transition*, Eindhoven University of Technology, pp. 50-55, 2011.
- [61] Evanthia A. Nanaki, *Electric Vehicles for Smart Cities: Trends, Challenges, and Opportunities*, ELSEVIER, 2020.
- [62] <https://bioximikos.gr/topics/economy/765-ti-ginetai-me-to-terastio-apothema-lithiou-sti-volivia>
- [63] Grace Blackshaw, *We must not overlook the dark side of electric vehicles*, Varsity, 2021.
- [64] Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives - TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report, European Environment Agency, pp. 24-33, 2018.
- [65] [https://www.researchgate.net/figure/China-electricity-average-grid-mix-38\\_fig15\\_304815768](https://www.researchgate.net/figure/China-electricity-average-grid-mix-38_fig15_304815768)
- [66] <https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/electricity-in-the-us.php>
- [67] <https://www.planete-energies.com/en/medias/close/what-energy-mix>
- [68] <https://www.planete-energies.com/en/medias/close/what-power-generation-mix>

[69] Ricardo Faria, Pedro Marques, Pedro Moura, Fausto Freire, Joaquim Delgado, Aníbal T.de Almeida, *Impact of the electricity mix and use profile in the life-cycle assessment of electric vehicles*, ScienceDirect, pp. 278-280, 2013.

[70] [https://www.paih.gov.pl/files/?id\\_plik=19610](https://www.paih.gov.pl/files/?id_plik=19610)

[71] [https://www.researchgate.net/figure/Electricity-supply-in-Portugal-in-2011-Source-7\\_fig3\\_272704744](https://www.researchgate.net/figure/Electricity-supply-in-Portugal-in-2011-Source-7_fig3_272704744)

[72] [https://www.researchgate.net/figure/Electricity-mix-of-France-in-2015-percentages-20\\_fig2\\_315873087](https://www.researchgate.net/figure/Electricity-mix-of-France-in-2015-percentages-20_fig2_315873087)

[73] Clint Demeritt, *What is a Solid-State Battery And Why You Will Want One*, Dragonfly energy, 2021.

[74] [http://www.change-climate.com/Renewables/Solid\\_State\\_Batteries.htm](http://www.change-climate.com/Renewables/Solid_State_Batteries.htm)

[75] ELECTRIC CARS: WHAT ARE SOLID-STATE BATTERIES?, THE SYNDAY TIMES DRIVING, 2021.

[76] Solid-State Batteries: The Technology of the 2030s but the Research Challenge of the 2020s, THE FARADAY INSTITUTION, pp. 2, 2020.

[77] <https://www.samsungdi.com/column/technology/detail/56462.html?listType=gallery>

[78] [https://en.wikipedia.org/wiki/Solid-state\\_battery#History](https://en.wikipedia.org/wiki/Solid-state_battery#History)

[79] Hans Anton Tveit, *Are solid-state batteries the holy grail for 2030*, TECHNOLOGY OUTLOOK 2030, DNV.

[80] *UNDERSTANDING WHY SOLID-STATE BATTERIES FAIL COULD USHER IN BEYOND LITHIUM-ION ERA*, THE FARADAY INSTITUTION, 2020.

[81] *A Possible Replacement for Conventional Liquid Lithium-ion Batteries in Electric Vehicles*, Futurebridge, 2019.

[82] Ιωάννης Καρακίτσιος, Ευάγγελος Καρφόπουλος, Νίκος Χατζηαργυρίου, *Ασύρματη Φόρτιση Ηλεκτρικών Οχημάτων*, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, σελ. 2-3, 6-8.

[83] Kiranmai Momidi, *Wireless Electric Vehicle Charging System*, Circuit Digest, 2019.

[84] [https://en.wikipedia.org/wiki/Wardenclyffe\\_Tower](https://en.wikipedia.org/wiki/Wardenclyffe_Tower)

[85] <https://www.shop-e.gr/%CF%87%CF%81%CE%B7%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B1-%CE%B1%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1/47-%CE%95%CE%BE%CE%BF%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%BD%CF%8C%CE%BC%CE%B7%CF%83%CE%B7-%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%82/122-2012-12-20-17-21-03>

- [86] Dr. Joachim G. Taiber, *Overview about Wireless Charging of Electrified Vehicles – basic principles and challenges*, IEEE, 2014.
- [87] Wencong Su, Jianhui Wang, Zechun Hu, *Planning, Control, and Management Strategies for Parking Lots for PEVs*, ResearchGate, pp. 9-12, 2015.
- [88] Hai Jiang, Paul Brazis Jr., Mahmood Tabaddor and Joseph Bablo, *Safety Considerations of Wireless Charger For Electric Vehicles – A Review Paper*, IEEE, pp.3, 2012.
- [89] Siqi Li, Chunting Chris Mi, *Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Applications*, IEEE JOURNAL OF EMERGING AND SELECTED TOPICS IN POWER ELECTRONICS, VOL. 3, pp. 13-14, 2015.
- [90] <https://www.alliedmarketresearch.com/wireless-electric-vehicle-charging-market>
- [91] Νίκος Λουπάκης, *Είναι εφικτή η ασύρματη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων εν κινήσει;*, Liberal, 2021.
- [92] C. Arthur Maccarley, *A Review of Battery Exchange Technology for Refueling of Electric Vehicles*, ResearchGate, 2000.
- [93] Νικόλαος Μπακογιάννης, *Επαναπροσδιορίζοντας την μέθοδο ανταλλαγής μπαταριών στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα*, 2020.
- [94] Furkan Ahmad, Mohammad Saad Alam, Ibrahim Saad Alsaidan, Samir M Shariff, *Battery Swapping Station for Electric Vehicles: Opportunities and Challenges*, ResearchGate, 2020.
- [95] Furkan Ahmad, Mohammad Saad Alam, Ibrahim Saad Alsaidan, Samir M. Shariff, *Battery swapping station for electric vehicles: opportunities and challenges*, 2020.
- [96] Yu Cheng and Chengwei Zhang, *Configuration and operation combined optimization for EV battery swapping station considering PV consumption bundling*, Protection and Control of Modern Power Systems, pp. 4. 2017
- [97] Michela Longo, Federica Foiadelli, Wahiba Yaïci, *Electric Vehicles Integrated with Renewable Energy Sources for Sustainable Mobility*, ResearchGate, pp. 206-209, 2019.
- [98] Αναστάσιος Χ. Κυρίσης, Βέλτιστος Σχεδιασμός Υψίσουχου Μονοφασικού Αντιστροφέα για τη Διασύνδεση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων Μικρής Ισχύος με το Δίκτυο Χαμηλής Τάσης, Διδακτορική Διατριβή Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, 2009
- [99] Στημονιάρης Δημήτριος, Τσιαμήτρος Δημήτριος, *Διανεμημένη Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας*, ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ, σελ. 4-5, 2014.
- [100] Ilias G. Doulos, *Οι ενεργειακές κοινότητες ως όχημα αντιμετώπισης της ενεργειακής φτώχειας στις ορεινές περιοχές*, σελ. 4-5 , 2019.



[101] Asaad Mohammad, Ramon Zamora and Tek Tjing Lie, Integration of Electric Vehicles in the Distribution Network: A Review of PV Based Electric Vehicle Modelling, *Energies*, pp. 3, 2020.

[102] Jaroslaw Jajczyk, Arkadiusz Dobrzycki, Michal Filipiak and Dariusz Kurz, *Analysis of power and energy losses in power systems of electric bus battery charging stations*, pp. 1. 2017.

# **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

## **ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ - ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗ**

## Πρώτο Μέρος: Προσωπικά Στοιχεία

1. Επιλογή φύλου.

- Άνδρας
- Γυναίκα
- Άλλο

2. Ποια είναι η ηλικία σας;

- 18-26
- 27-39
- 40-60
- >60

3. Ποιο είναι το ετήσιο εισόδημά σας;

- <10.000
- 10.000-20.000
- 20.000-30.000
- >30.000

## Δεύτερο μέρος: Ερωτήσεις που αφορούν στην ηλεκτροκίνηση

4. Αν σας δινόταν η δυνατότητα να επιλέξετε ένα όχημα από τις παρακάτω κατηγορίες, ποιο θα επιλέγατε;

- Πλήρως ηλεκτρικό όχημα
- Βενζινοκίνητο όχημα
- Πετρελαιοκίνητο όχημα
- Υβριδικό όχημα
- Άλλο

5. Πόση απόσταση πιστεύετε μπορούν να διανύσουν τα πλήρως ηλεκτρικά οχήματα με μία μόνο φόρτιση ;

- 100-250 km
- 250-450 km
- > 450 km
- Άλλο..

6. Πόσος χρόνος απαιτείται για να ολοκληρωθεί ένας κύκλος φόρτισης των μπαταριών των πλήρως ηλεκτρικών οχημάτων ;

- 30-60 λεπτά
- 1-3 ώρες
- 3-6 ώρες
- Περισσότερες από 7 ώρες

7. Θεωρείτε πως το δίκτυο σταθμών φόρτισης σε δημόσιους χώρους είναι επαρκές (από άποψη δομών) στην χώρα μας ;

- Ναι
- Όχι
- Δεν ξέρω/Δεν απαντώ

8. Πιστεύετε ότι ένα ηλεκτρικό όχημα συμβάλει στην ρύπανση της ατμόσφαιρας;

- Ναι
- Όχι

Αν ναι, αναφέρατε (εν συντομία) έναν παράγοντα που αφορά στα ηλεκτρικά οχήματα και πιστεύετε πως συμβάλει στην ρύπανση της ατμόσφαιρας:

9. Ποιο κατά την γνώμη σας από τα παρακάτω οχήματα αποτελεί οικονομικά συμφέρουσα επιλογή, όσον αφορά το κόστος απόκτησης και την μακροπρόθεσμη συντήρησή του ;

- Πλήρως ηλεκτρικό όχημα
- Βενζινοκίνητο όχημα
- Πετρελαιοκίνητο όχημα
- Υβριδικό όχημα

10. Ποιο από τα παρακάτω θεωρείτε πως έχει μεγαλύτερο βάρος;

- Ένα αμιγώς ηλεκτρικό όχημα
- Ένα συμβατικό όχημα κινητήρα εσωτερικής καύσης

11. Ποιο από τα παρακάτω θεωρείτε πως επιτυγχάνει μεγαλύτερη απόδοση;

- Ένα αμιγώς ηλεκτρικό όχημα.
- Ένα συμβατικό όχημα κινητήρα εσωτερικής καύσης.

12. Πιστεύετε ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα πετυχαίνουν υψηλότερες επιδόσεις σε σχέση με τα συμβατικά αυτοκίνητα με κινητήρα εσωτερικής καύσης;

- Ναι
- Όχι

13. Ποιος παράγοντας θα σας ωθούσε στην αγορά ηλεκτρικού οχήματος;

- Χαμηλό κόστος απόκτησης
- Επαρκές δίκτυο σταθμών φόρτισης στην περιοχή σας
- Ικανοποιητική αυτονομία ανά φόρτιση
- Άλλο..

14. Ποιο, κατά τη γνώμη σας, είναι το βασικότερο πλεονέκτημα της ηλεκτροκίνησης;

15. Ποιο, κατά τη γνώμη σας, είναι το βασικότερο μειονέκτημα της ηλεκτροκίνησης;

16. Θεωρείτε πως η τεχνολογία της ηλεκτροκίνησης θα επικρατήσει στην παγκόσμια αυτοκινητοβιομηχανία στο άμεσο μέλλον;

- Ναι
- Όχι

17. Θεωρείτε πως η τεχνολογία της ηλεκτροκίνησης θα επικρατήσει στην ελληνική αυτοκινητοβιομηχανία στο άμεσο μέλλον;

- Ναι
- Όχι