



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Τμήμα Μηχανικών
Βιομηχανικής Σχεδίασης & Παραγωγής

Διπλωματική Εργασία

**«Tesla roadster: Το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο με μπαταρία
ιόντων λιθίου (Li-ion) στην παραγωγή: εξέλιξη, καινοτομίες
και μελλοντικά σχέδια»**

Νεκτάριος Μελής

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Χειρχαντέρη Γεωργία

Αθήνα, Ιούλιος 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης & Παραγωγής

Διπλωματική Εργασία

«Tesla roadster: Το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο με μπαταρία ιόντων λιθίου (Li-ion) στην παραγωγή: εξέλιξη, καινοτομίες και μελλοντικά σχέδια»

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

ΜΕΛΗ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ:

ΧΕΙΡΧΑΝΤΕΡΗ ΓΕΩΡΓΙΑ	ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ	
ΠΡΙΝΙΩΤΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
ΣΦΥΡΟΕΡΑ ΕΜΜΑΝΟΥΕΛΑ	ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Νεκτάριος Μελής, 2024

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Βιομηχανικής Σχεδίασης & Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής δεν δηλώνει απαραίτητως την αποδοχή των απόψεων του/της συγγραφέα / των συγγραφέων.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Νεκτάριος Μελής του Νικολάου, με αριθμό μητρώου 18389033 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, Χειρχαντέρη Γεωργία, για την πολύτιμη καθοδήγησή της κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω και στους υπόλοιπους καθηγητές μου, οι οποίοι συνέβαλαν στον εμπλουτισμό των γνώσεών μου σε ό,τι αφορά τον τομέα του Βιομηχανικού Σχεδιασμού. Τέλος, ευχαριστώ και την οικογένειά μου για την ανεκτίμητη υποστήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την εξέλιξη της ηλεκτροκίνησης, εστιάζοντας στις πρωτοποριακές εξελίξεις που εισήγαγε το Tesla Roadster. Έχει ως απώτερο σκοπό την ανάδειξη των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, την εξέλιξή τους με την πάροδο του χρόνου και τα οφέλη που προσφέρουν στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα, γίνεται μία γενικότερη ανάλυση των ηλεκτρικών οχημάτων, δίνοντας έμφαση στη φόρτισή τους, αναλύοντας παράλληλα και την ιστορική εξέλιξη των μπαταριών τους. Ως παράδειγμα χρησιμοποιείται το Tesla Roadster, το οποίο θεωρείται το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο με μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-ion). Παρουσιάζεται μία ιστορική αναδρομή του αυτοκινήτου αυτού, ξεκινώντας από το πρωτότυπο Μοντέλο του 2006, καταλήγοντας στο Μοντέλο 2025, το οποίο αναμένεται να κυκλοφορήσει. Η διπλωματική εργασία εστιάζει κυρίως στον σχεδιασμό του Roadster και τις αλλαγές που υπέστη με τα χρόνια. Γίνεται, ακόμη, μία σύγκριση του αυτοκινήτου αυτού με άλλου είδους οχήματα, παίρνοντας ως παράδειγμα και το Nissan Leaf. Τέλος, εξετάζονται τα περιβαλλοντικά οφέλη της ηλεκτροκίνησης, δείχνοντας, βέβαια, παράλληλα και τα μειονεκτήματά της. Συμπερασματικά, προκύπτει ότι το Tesla Roadster έφερε την επανάσταση στην αυτοκινητοβιομηχανία. Έδειξε στον κόσμο ότι η μετάβαση από τα παραδοσιακά βενζινοκίνητα αυτοκίνητα στα ηλεκτρικά μπορεί να κατορθωθεί. Εστιάζοντας στη βιωσιμότητα και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, επισήμανε τη σημασία της μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και της προώθησης της περιβαλλοντικής συνείδησης στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας.

Λέξεις – Κλειδιά

Ηλεκτροκίνηση, Tesla Roadster, Tesla, Περιβάλλον, Μπαταρίες, Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα

Abstract

This thesis deals with the evolution of electromobility, focusing on the pioneering developments introduced by the Tesla Roadster. It has the ultimate aim of highlighting electric vehicles, their evolution over time and the benefits they offer to the environment. In particular, it provides a general analysis of electric vehicles, focusing on their charging, while also analyzing the historical evolution of their batteries. The Tesla Roadster is used as an example, which is considered to be the first electric car with lithium-ion (Li-ion) batteries. A historical review of this car is presented, starting with the 2006 prototype Model and ending with the Model 2025, which is expected to be launched. The thesis focuses mainly on the design of the Roadster and the changes it has undergone over the years. A comparison of this car with other types of vehicles is also carried out, taking the Nissan Leaf as an example. Finally, the environmental benefits of electrification are examined, showing, of course, its disadvantages at the same time. In conclusion, it can be summarized that the Tesla Roadster has revolutionized the automotive industry. It presented to the world that the transition from traditional petrol cars to electric cars can be achieved. Focusing on sustainability and renewable energy, it highlighted the importance of reducing carbon emissions and promoting environmental awareness in the automotive sector.

Keywords

Electromobility, Tesla Roadster, Tesla, Environment, Batteries, Electric Cars

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	v
Abstract.....	vi
Πίνακας περιεχομένων	vii
Κατάλογος Εικόνων	ix
Εισαγωγή	1
Κεφάλαιο 1: Εξέλιξη της ηλεκτροκίνησης	3
1.1 Ορισμός της ηλεκτροκίνησης	3
1.2 Φορτιστές και φόρτιση οχημάτων ηλεκτροκίνησης	5
1.3 Τρόποι φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος.....	6
1.4 Υποδοχές Φόρτισης Ηλεκτρικού Οχήματος	8
1.5 Διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου	11
1.6 Ομοιότητες και διαφορές μεταξύ ηλεκτρικών και συμβατών αυτοκινήτων.....	12
Κεφάλαιο 2: Ιστορική αναδρομή των αυτοκινήτων με ηλεκτροκίνηση.....	14
2.1 19ος αιώνας.....	14
2.2 20ος αιώνας.....	17
2.3 21ος αιώνας.....	21
2.4 Ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη των μπαταριών	27
2.4.1 Πρώτες μπαταρίες.....	27
2.4.2 Επαναφορτιζόμενες μπαταρίες	28
Κεφάλαιο 3: Ανάλυση του αυτοκινήτου Tesla Roadster	31
3.1 Τα μοντέλα Tesla Roadster	31
3.2 Σχεδιασμός του Tesla Roadster.....	33
3.2.1 Πρωτότυπο μοντέλο 2006.....	33
3.2.2 Μοντέλο Roadster 1.5.....	34
3.2.3 Μοντέλο 2008.....	35
3.2.4 Μοντέλο 2.0.....	36

3.2.5 Μοντέλο Sport 2010	37
3.2.6 Μοντέλο 2.5 Base	38
3.2.7 Μοντέλο Sport 2.5	39
3.2.8 Final Edition	40
3.2.9 Μοντέλο 3.0.....	40
3.2.10 Μοντέλο 2025.....	41
3.3 Ενεργειακή απόδοση του Tesla Roadster.....	42
3.3.1 Αυτοκίνητα βενζίνης.....	43
3.3.2 Υβριδικά αυτοκίνητα	43
3.3.3 Ηλεκτρικά αυτοκίνητα.....	43
3.3.4 Αυτοκίνητα κυψελών καυσίμου υδρογόνου	44
3.3.5 Σύγκριση	45
3.4 Εκπομπές του Tesla Roadster	46
3.5 Επίδοση του Tesla Roadster.....	47
3.6 Από το Lotus Elise στο Tesla Roadster.....	49
3.7 Σύγκριση του Tesla Roadster με το Nissan LEAF.....	50
Κεφάλαιο 4: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ηλεκτροκίνησης.....	52
4.1 Πλεονεκτήματα της ηλεκτροκίνησης	52
4.2 Μειονεκτήματα της ηλεκτροκίνησης.....	53
Κεφάλαιο 5: Περιβαλλοντικά οφέλη των ηλεκτρικών αυτοκινήτων	55
Κεφάλαιο 6: Εκπομπές ρύπων των ηλεκτρικών αυτοκινήτων	57
6.1 Ευρώπη	57
6.2 Νορβηγία.....	57
6.2.1 Εξέλιξη των πωλήσεων ηλεκτρικών αυτοκινήτων στη Νορβηγία	58
6.2.2 Επιπτώσεις στην κατανάλωση ενέργειας.....	59
6.3 Ελλάδα 2023	60
Συμπεράσματα.....	61

Βιβλιογραφία 63

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Αμιγώς ηλεκτρικό αυτοκίνητο με μπαταρία (BEV)	3
Εικόνα 2 Υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (HEV)	4
Εικόνα 3 Plug-in υβριδικό όχημα (PHEV).....	5
Εικόνα 4 Πρώτος τρόπος φόρτισης ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου	7
Εικόνα 5 Δεύτερος τρόπος φόρτισης ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου	7
Εικόνα 6 Τρίτος τρόπος φόρτισης ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου	8
Εικόνα 7 Τέταρτος τρόπος φόρτισης ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου	8
Εικόνα 8 Υποδοχή τύπου 1 J1772	9
Εικόνα 9 Υποδοχή τύπου 2	9
Εικόνα 10 Σύστημα Συνδυασμένης Φόρτισης (CCS 1).....	10
Εικόνα 11 Φορτιστής CHAdeMO	10
Εικόνα 12 Tesla Superchargers	11
Εικόνα 13 Ηλεκτρικό αυτοκίνητο του Stratingh (1835)	14
Εικόνα 14 Η πρώτη επαναφορτιζόμενη μπαταρία από τον Guston Plante (1859)	15
Εικόνα 15 Ο Thomas Parker και το ηλεκτρικό του αυτοκίνητο (1884).....	15
Εικόνα 16 Το πρώτο ηλεκτρικό τρίκυκλο του Gustave Trouvé (1881)	16
Εικόνα 17 Το πρώτο εξαθέσιο ηλεκτρικό αυτοκίνητο του Paul Pouchain (1893).....	16
Εικόνα 18 Το πρώτο ηλεκτρονικό ταξί από τον Walter Bersey (1897).....	17
Εικόνα 19 Το πρώτο ηλεκτρονικό αυτοκίνητο της Nissan το Tama (1947)	18
Εικόνα 20 Το Electrovair II της General Motors (1966).....	18
Εικόνα 21 Το πρωτότυπο ηλεκτρικό αυτοκίνητο της AMC Amitron (1967)	19
Εικόνα 22 Το πρώτο μοντέρνο ηλεκτρικό αυτοκίνητο στην αγορά από την General Motors, το EV1.....	20
Εικόνα 23 Το πρώτο μαζικό σε παραγωγή hybrid αυτοκίνητο, το Toyota Prius	21
Εικόνα 24 Το πρωτότυπο Tesla Roadster (2006)	21
Εικόνα 25 Το πρωτοποριακό Nissan Leaf (2010).....	22

Εικόνα 26 Tesla Model S (2012).....	22
Εικόνα 27 Tesla Model X (2015)	23
Εικόνα 28 Tesla Model 3 (2017).....	23
Εικόνα 29 Tesla Roadster δεύτερης γενιάς (2017).....	24
Εικόνα 30 Hyundai IONIQ Electric (2017)	24
Εικόνα 31 Hyundai Kona Electric 64 kWh (2018)	25
Εικόνα 32 Hyundai Ioniq 5 (2021).....	25
Εικόνα 33 Hyundai Ioniq 6 (2022).....	26
Εικόνα 34 Tesla Cybertruck (2024)	26
Εικόνα 35 Μπαταρία της Βαγδάτης (250 π.Χ έως το 600 μ.Χ).....	27
Εικόνα 36 Βολταϊκή στήλη του Alessandro Volta (1800).....	28
Εικόνα 37 William Cruickshank (1802).....	28
Εικόνα 38 Μπαταρία του John F. Daniell (1836)	29
Εικόνα 39 Μπαταρία νικελίου-καδμίου Waldmar Jungner (1899).....	29
Εικόνα 40 Μπαταρία του Thomas Edison (1901).....	30
Εικόνα 41 Πρώτες μπαταρίες ιόντων λιθίου (1991)	30
Εικόνα 42 AC Propulsion Tzero (1997).....	31
Εικόνα 43 Lotus Elise (2005).....	32
Εικόνα 44 Tesla Roadster 2.5 (2010)	32
Εικόνα 45 Tesla Roadster Final Edition (2012)	33
Εικόνα 46 Tesla Roadster 3.0 (2014)	33
Εικόνα 47 Πρωτότυπο Tesla Roadster (2006).....	34
Εικόνα 48 Ηλεκτροκινητήρας Powertrain 1.5 Tesla Roadster	35
Εικόνα 49 Tesla Roadster (2008)	36
Εικόνα 50 Tesla Roadster 2.0.....	37
Εικόνα 51 Tesla Roadster Sport (2010).....	38
Εικόνα 52 Tesla Roadster 2.5 Base	39

Εικόνα 53 Tesla Roadster 2.5 Sport	39
Εικόνα 54 Tesla Roadster Final Edition (2012)	40
Εικόνα 55 Tesla Roadster 3.0 (2014)	41
Εικόνα 56 Tesla Roadster Δεύτερης Γενιάς (2025)	42
Εικόνα 57 Tweet Elon Musk	42
Εικόνα 58 Σχεδιάγραμμα σύγκρισης εμβέλειας του Leaf και του Roadster.....	51
Εικόνα 59 Εξέλιξη πωλήσεων και αποθεμάτων αυτοκινήτων στη Νορβηγία	58
Εικόνα 60 Κατανάλωση ενέργειας των αυτοκινήτων	59

Εισαγωγή

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν μεταμορφώσει τον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας, προσφέροντας μια βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά βενζινοκίνητα οχήματα, έχοντας το Tesla Roadster να πρωτοστατεί στην καινοτομία και τη βιωσιμότητα. Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα μελετηθεί η εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων, εστιάζοντας στις πρωτοποριακές εξελίξεις που εισήγαγε το Tesla Roadster. Όντας το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο με μπαταρίες ιόντων λιθίου, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως το σύμβολο της ηλεκτροκίνησης. Για τον λόγο αυτό θα διερευνηθεί πώς το Tesla Roadster έχει αναδιαμορφώσει τις αντιλήψεις για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα και έχει ανοίξει το δρόμο για ένα πιο πράσινο μέλλον.

Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο κεφάλαιο θα ασχοληθεί με την εξέλιξη της ηλεκτροκίνησης, αναφέροντας αρχικά τον ορισμό της. Θα γίνει αναφορά στους φορτιστές και στους τρόπους φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς και στις υποδοχές φόρτισής τους. Θα αναφερθεί, ακόμη, και η διάρκεια ζωής των μπαταριών τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο θα γίνει μία ιστορική αναδρομή των αυτοκινήτων με ηλεκτροκίνηση. Η ιστορική αναδρομή θα χωριστεί σε τρεις χρονικές περιόδους. Θα ξεκινήσει από τον 19^ο αιώνα, και, πιο συγκεκριμένα, από την πρώτη προσπάθεια κατασκευής ενός ηλεκτρικού οχήματος τη δεκαετία του 1830. Θα συνεχίσει με τον 20^ο αιώνα και με την κατασκευή του πρώτου ηλεκτρικού αυτοκινήτου της Nissan το 1947. Η ιστορική αναδρομή θα καταλήγει με τον 21^ο αιώνα και την πρώτη αναφορά στο Tesla Roadster. Στο ίδιο κεφάλαιο θα γίνει και μία ιστορική αναδρομή των μπαταριών, χωρίζοντάς την σε δύο ενότητες. Η πρώτη θα αναφερθεί στις πρώτες μπαταρίες και η δεύτερη στις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες.

Στο τρίτο κεφάλαιο θα αναλυθεί το Tesla Roadster. Θα γίνει, αρχικά, μία ιστορική αναδρομή του οχήματος, ξεκινώντας από το πρωτότυπο μοντέλο του 2006. Παράλληλα, θα αναλυθεί και ο σχεδιασμός των διαφόρων μοντέλων του Tesla Roadster που έχουν κατασκευαστεί, καταλήγοντας με το Μοντέλο 2025, το οποίο δεν έχει κυκλοφορήσει ακόμα. Στο ίδιο κεφάλαιο θα μελετηθεί η ενεργειακή απόδοση του Tesla Roadster. Συγκεκριμένα, θα γίνει μία σύγκριση των αυτοκινήτων βενζίνης, των υβριδικών και ηλεκτρικών αυτοκινήτων και των αυτοκινήτων κυψελών καυσίμου υδρογόνου, θέλοντας να αναδειχθούν τα θετικά στοιχεία του Tesla Roadster. Επιπλέον, θα γίνει αναφορά στις εκπομπές του Tesla Roadster, καθώς και στην επίδοσή του. Αναφορά, ακόμη, θα γίνει στη σύλληψη ιδέας του και την επιρροή που είχε από το Lotus Elise. Το κεφάλαιο αυτό θα κλείσει με μία σύγκρισή του με το Nissan Leaf, αναδεικνύοντας την εμβέλεια των δύο αυτοκινήτων.

Το τέταρτο κεφάλαιο θα αναφερθεί γενικά στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της ηλεκτροκίνησης, ενώ το πέμπτο στα περιβαλλοντικά οφέλη τους. Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας θα μελετηθούν οι εκπομπές ρύπων των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Συγκεκριμένα, θα γίνει αναφορά γενικά στην Ευρώπη και πιο αναλυτικά στη Νορβηγία και στην Ελλάδα.

Για τη συγγραφή της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκε βιβλιογραφία που αφορά την ηλεκτροκίνηση, το Tesla Roadster και τα περιβαλλοντικά οφέλη του, καθώς και συνεντεύξεις του Διευθυντή και επικεφαλή τεχνολογικού σχεδιασμού της εταιρείας κατασκευής αυτοκινήτων και ενεργειακών συστημάτων Tesla, Inc., Elon Musk.

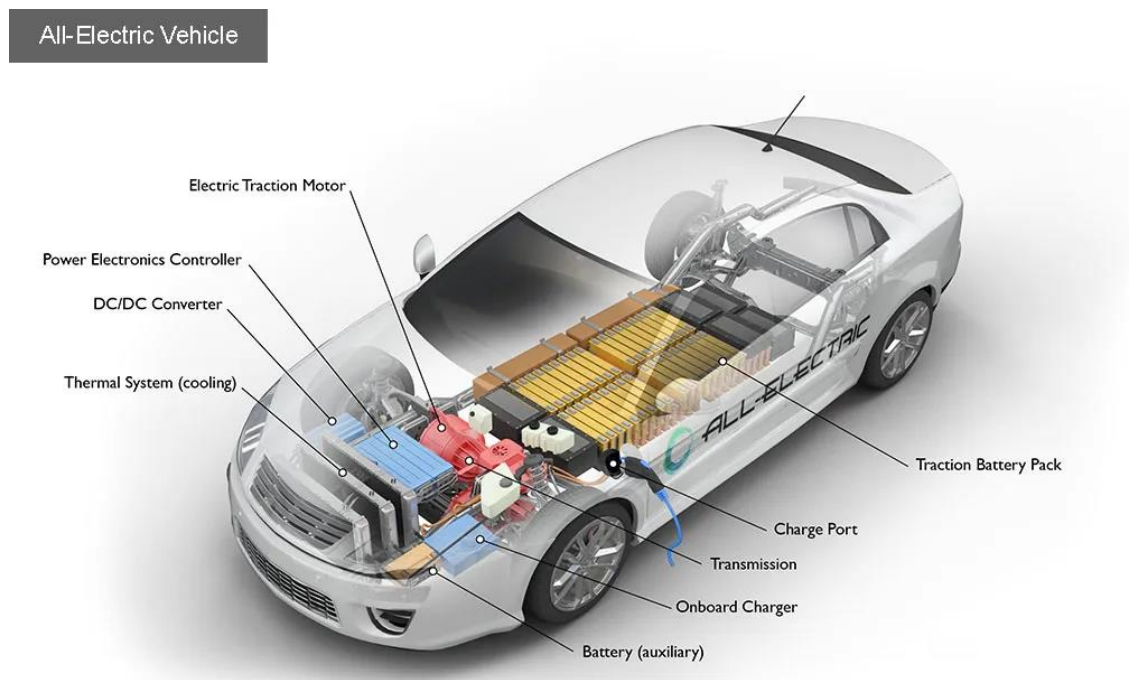
Κεφάλαιο 1: Εξέλιξη της ηλεκτροκίνησης

1.1 Ορισμός της ηλεκτροκίνησης

Ηλεκτρικό όχημα (EV) είναι το αυτοκίνητο που χρησιμοποιεί την ηλεκτρική ενέργεια, η οποία αποθηκεύεται σε επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ως πηγή καυσίμου. Λόγω αυτού έρχεται σε αντίθεση με τα συμβατικά αυτοκίνητα τα οποία χρησιμοποιούν βενζίνη, πετρέλαιο ή φυσικό αέριο ως πηγή καυσίμου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα ηλεκτρικά οχήματα να έχουν σχεδόν μηδέν εκπομπές ρύπων και επομένως να είναι φιλικά προς το περιβάλλον (“Ηλεκτροκίνηση”, 2024).

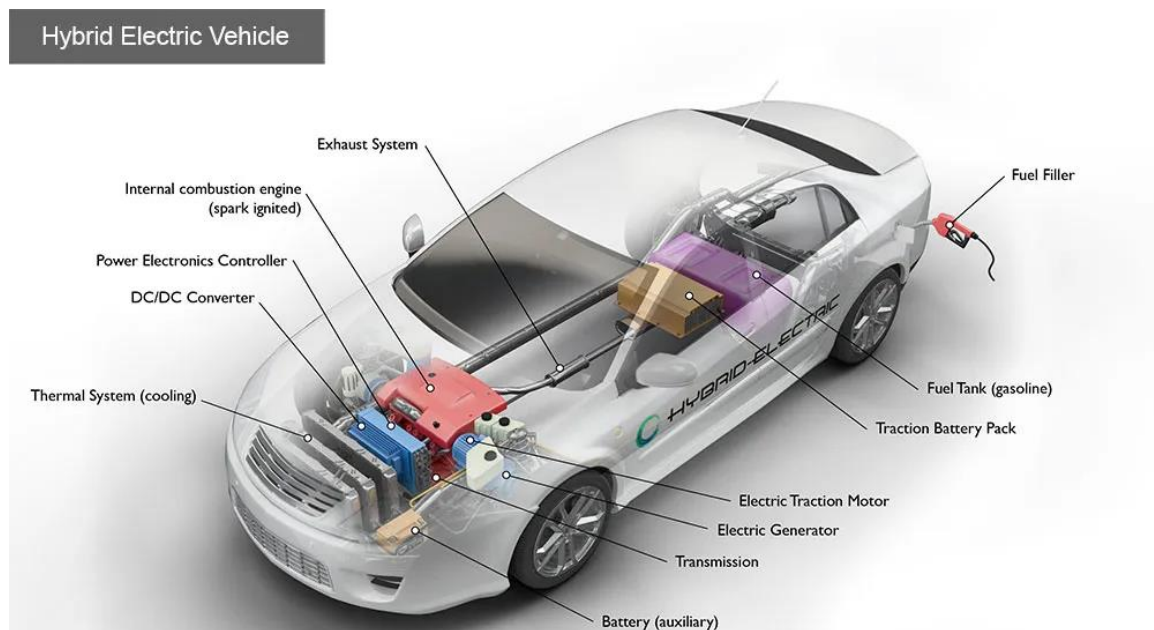
Τα ηλεκτρικά οχήματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: στα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα (BEV), τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV) και στα Plug-in υβριδικά οχήματα (PHEV) (“Όλα τα είδη των Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων”, 2021).

- Τα αμιγώς ηλεκτρικά αυτοκίνητα με μπαταρία (BEV) (βλέπε Εικόνα 1) λειτουργούν εξ' ολοκλήρου με ηλεκτροκινητήρα και με ένα ηλεκτρικό σύστημα μετάδοσης κίνησης.



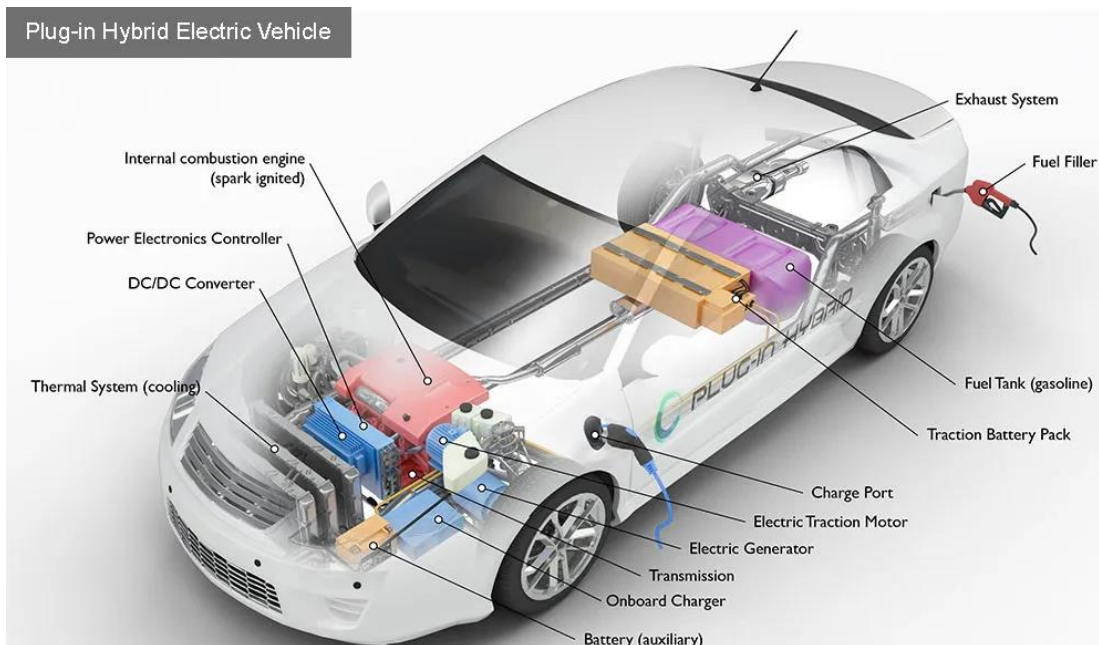
Εικόνα 1 Αμιγώς ηλεκτρικό αυτοκίνητο με μπαταρία (BEV)

- Τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV) (βλέπε Εικόνα 2) διαθέτουν δύο κινητήρες. Ένα κινητήρα εσωτερικής καύσης, που λειτουργεί με βενζίνη και ένα ηλεκτροκινητήρα ο οποίος λειτουργεί με μπαταρία. Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης λαμβάνει ενέργεια από το καύσιμο (βενζίνη), ενώ το μοτέρ παίρνει ηλεκτρική ενέργεια από τις μπαταρίες. Ο βενζινοκινητήρας και ο ηλεκτροκινητήρας λειτουργούν ταυτόχρονα και συνδυάζονται με το κιβώτιο ταχυτήτων, το οποίο με τη σειρά του παρέχει κίνηση στους τροχούς.



Εικόνα 2 Υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (HEV)

- Τα Plug-in υβριδικά οχήματα (PHEV) (βλέπε Εικόνα 3) διαθέτουν αντίστοιχα έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης κι έναν ηλεκτροκινητήρα. Η βασική διαφορά με τα υβριδικά (HEV) είναι πως η φόρτιση γίνεται εξωτερικά μέσω ενός καλωδίου. Τα PHEV μπορούν να θεωρηθούν ότι είναι κάτι στη μέση μεταξύ ηλεκτρικού και συμβατικού/υβριδικού αυτοκινήτου. Διαθέτουν δύο λειτουργίες. Μία πλήρως ηλεκτρική, στην οποία ο κινητήρας και η μπαταρία παρέχουν όλη την ενέργεια του αυτοκινήτου, και μία υβριδική λειτουργία, στην οποία χρησιμοποιείται τόσο η ηλεκτρική ενέργεια όσο και το καύσιμο (βενζίνη).



Εικόνα 3 Plug-in υβριδικό όχημα (PHEV)

1.2 Φορτιστές και φόρτιση οχημάτων ηλεκτροκίνησης

Οι φορτιστές ηλεκτροκίνησης χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες (“Ηλεκτροκίνηση”, 2024):

- Δημόσιας χρήσης: φορτίζονται σε ειδικούς σταθμούς πάνω στο οδικό δίκτυο
- Οικιακής χρήσης: το όχημα φορτίζεται στο σπίτι
- Επαγγελματικής χρήσης: φορτίζονται σε επαγγελματικούς χώρους, όπως για παράδειγμα: ξενοδοχεία ή parking γραφείων ή καταστημάτων κλπ.

Υπάρχουν δύο είδη φόρτισης:

- Εναλλασσόμενη τάση (AC) – είναι η τάση που χρησιμοποιείται στα σπίτια. Βρίσκονται, δηλαδή, στους φορτιστές οικιακής και επαγγελματικής χρήσης
- Συνεχής τάση (DC) – βρίσκεται στα δημόσια σημεία φόρτισης όπου μπορεί να γίνει είτε φόρτιση AC είτε DC, ανάλογα με τις δυνατότητες του οχήματος. Η DC φόρτιση είναι ταχύτερη.

Επιπλέον, είναι σημαντικό να ειπωθεί ότι υπάρχουν δυο κατηγορίες φορτιστών: οι βραδείας φόρτισης (χρειάζονται 3 με 24 ώρες περίπου) και οι ταχείας φόρτισης (χρειάζονται λιγότερο από μία ώρα) (“Ηλεκτροκίνηση”, 2024).

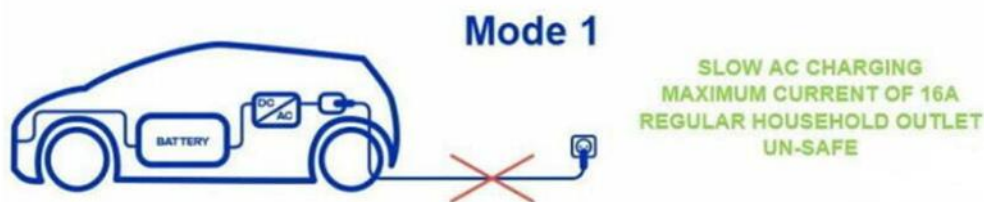
Ο χρόνος φόρτισης ενός ηλεκτροκίνητου οχήματος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Αρχικά, το μέγεθος της μπαταρίας ενός EV μπορεί να κυμαίνεται για παράδειγμα από 5,8 kWh (Renault Twizy) έως 107,8 kWh (Mercedes EQS 580 4matic). Ένας άλλος παράγοντας είναι η κατάσταση της μπαταρίας. Εάν δηλαδή, η μπαταρία είναι φορτισμένη στο 50%, ο χρόνος επαναφόρτισης του ηλεκτρικού αυτοκινήτου θα είναι μικρότερος από ό,τι εάν η μπαταρία είναι πλήρως αποφορτισμένη (“Πόσος χρόνος απαιτείται για τη φόρτιση έναν ηλεκτρικό αρ.С;”, 2022).

Ο μέγιστος ρυθμός φόρτισης ενός ηλεκτρικού οχήματος είναι ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τον χρόνο φόρτισης. Συγκεκριμένα, η μπαταρία του αυτοκινήτου μπορεί να φορτίσει μόνο με τον μέγιστο ρυθμό φόρτισης που μπορεί να δεχθεί το όχημα. Για παράδειγμα, εάν ο μέγιστος ρυθμός φόρτισης του οχήματός είναι 7 kW, δεν θα φορτίσει πιο γρήγορα χρησιμοποιώντας ένα σημείο φόρτισης 22 kW. Παράλληλα, ο χρόνος που απαιτείται για τη φόρτιση περιορίζεται από τον μέγιστο ρυθμό φόρτισης του φορτιστή. Για παράδειγμα, ακόμα κι αν το όχημά μπορεί να φορτίσει με 11kW, θα φορτίζει μόνο με 7kW σε σημείο φόρτισης 7kW (“How long does it take to charge an electric car?”, 2024).

Ένα άλλος παράγοντας επιρροής του χρόνου φόρτισης ενός ηλεκτρικού οχήματος είναι οι καιρικές συνθήκες. Η χαμηλότερη θερμοκρασία του περιβάλλοντος μπορεί να κάνει τη φόρτιση να διαρκέσει λίγο περισσότερο, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια χρήσης γρήγορης φόρτισης. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες σημαίνουν, επίσης, ότι τα οχήματα είναι λιγότερο αποδοτικά, επομένως προστίθενται λιγότερα μίλια ανά χρόνο φόρτισης (“How long does it take to charge an electric car?”, 2024).

1.3 Τρόποι φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος

Υπάρχουν τέσσερις διαφορετικοί τρόποι (Modes) φόρτισης ενός ηλεκτρικού οχήματος. Ο πρώτος τρόπος φόρτισης ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου (Mode 1) (βλέπε Εικόνα 4) αναφέρεται στην οικιακή πρίζα φόρτισης με ένα απλό καλώδιο επέκτασης χωρίς ενδιάμεσες συσκευές ασφαλείας. Χρησιμοποιεί μια συνηθισμένη πρίζα σούκο και το όριο ρεύματος φόρτισης δεν ξεπερνά τα 16A (3,7kW). Η λειτουργία Mode 1 είναι επικίνδυνη καθώς φορτίζει την μπαταρία πολύ αργά (από 0 έως 100% είναι κοντά σε 40-60 ώρες) (“Κατανοώντας τις μεθόδους και τις πρίζες φόρτισης των Ηλεκτρικών Οχημάτων”, 2020).



Εικόνα 4 Πρώτος τρόπος φόρτισης ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου

Ο δεύτερος τρόπος φόρτισης (Mode 2) (βλέπε Εικόνα 5) είναι γνωστός και ως φορητός φορτιστής ηλεκτρικών οχημάτων. Σ' αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ισχύς φόρτισης (έως 22kW) σε σχέση με την πρώτη μέθοδο, ενώ το καλώδιο φόρτισης παρέχει επιπλέον μέσα προστασίας, καθώς και ρύθμιση της έντασης του ρεύματος φόρτισης μέσω επικοινωνίας με το ηλεκτρικό όχημα. Για να φορτιστεί το όχημα πλήρως με αυτή την μέθοδο απαιτεί 14-16 ώρες (“Τρόποι φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος”, 2024).



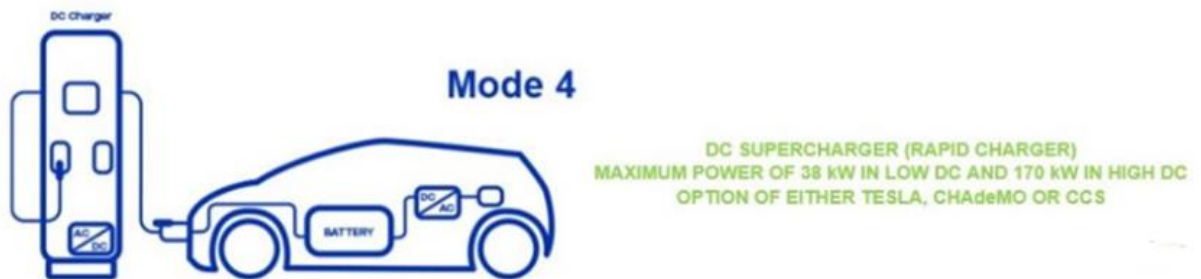
Εικόνα 5 Δεύτερος τρόπος φόρτισης ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου

Ο τρίτος τρόπος φόρτισης (Mode 3) πρόκειται για μια ελεγχόμενη μέθοδο φόρτισης με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), η οποία πραγματοποιείται με τη χρήση σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (βλέπε Εικόνα 6) . Οι σταθμοί αυτοί είναι εξοπλισμένοι με όλα τα απαραίτητα μέσα προστασίας, ενώ επιτυγχάνουν ισχύ φόρτισης έως 44kW (63A). Τα ειδικού τύπου καλώδια που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο αυτή βρίσκονται είτε ενσωματωμένα στον σταθμό φόρτισης, είτε συνδέονται από τον χρήστη σε κατάλληλη πρίζα που φέρει ο σταθμός, ενώ επιτρέπουν την επικοινωνία του οχήματος με τον σταθμό φόρτισης προκειμένου να επιτυγχάνεται ρύθμιση της ισχύος φόρτισης ή διάγνωση σφαλμάτων. Με αυτό τον τρόπο το ηλεκτρικό αυτοκίνητο μπορεί να φορτιστεί πλήρως σε 4-9 ώρες (“Κατανοώντας τις μεθόδους και τις πρίζες φόρτισης των Ηλεκτρικών Οχημάτων”, 2020).



Εικόνα 6 Τρίτος τρόπος φόρτισης ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου

Ο τέταρτος τρόπος φόρτισης (Mode 4) (βλέπε Εικόνα 7) είναι και ο γρηγορότερος τρόπος φόρτισης ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Οι σταθμοί γρήγορης φόρτισης είναι αρκετά ακριβοί, και γι' αυτό είναι μόνο δημόσιοι. Επίσης, τα περισσότερα ηλεκτρικά αυτοκίνητα δεν υποστηρίζουν γρήγορη φόρτιση. Αυτή η λειτουργία φορτίζει το αυτοκίνητο στο 80% από 30 λεπτά έως 1 ώρα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η καθημερινή χρήση αυτής της μεθόδου να υποβαθμίζει την μπαταρία του ηλεκτρικού αυτοκινήτου (“Τρόποι φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος”, 2024).



Εικόνα 7 Τέταρτος τρόπος φόρτισης ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου

1.4 Υποδοχές Φόρτισης Ηλεκτρικού Οχήματος

Τα ηλεκτρικά οχήματα διαθέτουν τουλάχιστον μία από τις ακόλουθες υποδοχές φόρτισης, ενώ συνήθως συνδυάζουν υποδοχές κατάλληλες τόσο για AC όσο και DC φόρτιση. Ο χρήστης χρησιμοποιώντας μία από τις πρίζες που περιγράφονται παραπάνω, συνδέει το κατάλληλο καλώδιο φόρτισης από πλευρά του αυτοκινήτου σε μία από τις εξής υποδοχές (“Types of cables and outlets used for electric car chargers in the European Union”, 2021):

- Υποδοχή τύπου 1 (J1772) (βλέπε Εικόνα 8): Η υποδοχή είναι κατάλληλη για μονοφασική φόρτιση σύμφωνα με τους τρεις πρώτους τρόπους φόρτισης που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Χρησιμοποιείται κυρίως στα ηλεκτρικά οχήματα στην Βόρεια Αμερική (“Types of cables and outlets used for electric car chargers in the European Union”, 2021).



Εικόνα 8 Υποδοχή τύπου 1 J1772

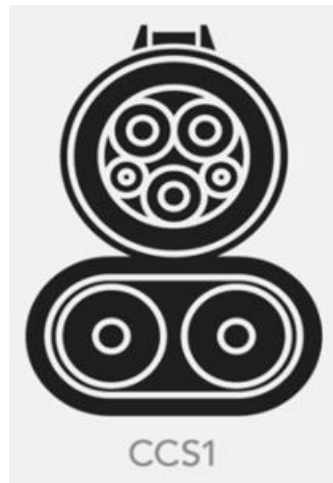
- Υποδοχή τύπου 2 (βλέπε Εικόνα 9): Η υποδοχή είναι κατάλληλη για μονοφασική και τριφασική φόρτιση σύμφωνα με τους τρεις πρώτους τρόπους φόρτισης που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Χρησιμοποιείται κυρίως στα ηλεκτρικά οχήματα στην Ευρώπη και συγκεκριμένα στο Ηνωμένο Βασίλειο. Ακόμη, στην Ευρώπη οι υποδοχές τύπου 2 χρησιμοποιούνται κυρίως για την εναλλασσόμενη φόρτιση AC (Jonathan M. Gitlin, 2022).



Εικόνα 9 Υποδοχή τύπου 2

- Υποδοχή τύπου 3 είναι το Σύστημα Συνδυασμένης Φόρτισης (CCS) Τύπου 1 ή Τύπου 2 (βλέπε Εικόνα 10): Πρόκειται για την υποδοχή που χρησιμοποιείται στην περίπτωση DC φόρτισης και συνδυάζει την αξιοποίηση της υποδοχής Type 1 ή Type 2 με τη χρήση δύο επιπλέον υποδοχών, οπότε και προκύπτουν αντίστοιχα οι υποδοχές CCS1 ή

CCS2. Η CCS1 υποδοχή συναντάται κυρίως στην αμερικάνικη αγορά, ενώ η CCS2 στην ευρωπαϊκή αγορά (Jonathan M. Gitlin, 2022).



Εικόνα 10 Σύστημα Συνδυασμένης Φόρτισης (CCS 1)

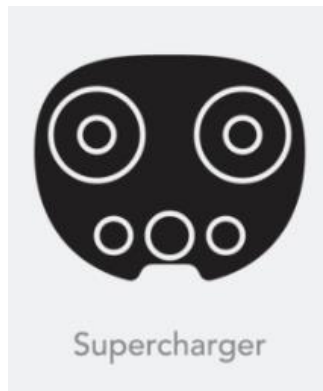
- CHAdeMO: Ο φορτιστής CHAdeMO αναπτύχθηκε στην Ιαπωνία το 2010. Το Nissan Leaf χρησιμοποιούσε αυτόν τον συγκεκριμένο φορτιστή (βλέπε Εικόνα 11). Τα βύσματα φορτιστών CHAdeMO χρησιμοποιούσαν τροφοδοσία συνεχούς ρεύματος για τη φόρτιση ενός EV, πράγμα που σήμαινε ότι μετέτρεπε την ισχύ AC από το σημείο φόρτισης. Οι υποδοχές φορτιστή CHAdeMO θεωρούνταν φορτιστές ταχείας φόρτισης και μπορούσαν να φορτίσουν EV μέχρι τον ρυθμό των 400 kW σε ορισμένα δημόσια σημεία φόρτισης (“A Guide to EV Charging Connector Types”, 2023).



Εικόνα 11 Φορτιστής CHAdeMO

- Tesla Superchargers (ταχεία φόρτιση) (βλέπε Εικόνα 12): Με απλά λόγια, αυτό σημαίνει ότι προσφέρουν απίστευτα γρήγορες ταχύτητες φόρτισης, τέτοιου είδους

που θα μπορούσαν να επαναφορτίσουν μια μπαταρία ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε λιγότερο από μία ώρα. Ακόμη, υπάρχουν τρία διαφορετικά είδη ταχείας φόρτισης της Tesla: τα V1, V2 και V3. Οι V3 προσφέρουν ταχύτητες φόρτισης έως και 250 kW, ενώ οι V2 και V1 περιορίζονται σε πιο αργές ταχύτητες των 150 kW. Πέρα από τη μέγιστη διαθέσιμη ταχύτητα φόρτισης, δεν υπάρχει καμία σημαντική διαφορά μεταξύ των διαφορετικών ειδών φορτιστών της Tesla (Tom Pritchard, 2022).



Εικόνα 12 Tesla Superchargers

1.5 Διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου

Η υποβάθμιση της μπαταρίας ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι σίγουρο ότι θα συμβεί κάποια στιγμή, καθώς μια μπαταρία ιόντων λιθίου όταν φορτίζεται και αποφορτίζεται πολλές φορές χάνει μέρος της χωρητικότητάς της. Το ίδιο ακριβώς πράγμα συμβαίνει και στα κινητά τηλέφωνα ή και στους φορητούς υπολογιστές (laptop). Μια έρευνα που έκανε το περιοδικό *What* το 2020 έδειξε ότι οι μπαταρίες των EV δεν υποβαθμίζονται σε τόσο μεγάλο βαθμό όπως υποβαθμίζονται οι μπαταρίες των φορητών υπολογιστών. Σύμφωνα με τους 1.016 ιδιοκτήτες ηλεκτρικών αυτοκινήτων που συμμετείχαν στην έρευνα, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ηλικίας έως και τριών ετών παρουσίασαν μείωση της χωρητικότητας της μπαταρίας μόνο κατά 2%, ενώ τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, τα οποία ήταν μέχρι έξι ετών, παρουσίασαν υποβάθμιση έως και 8%. Αυτό σημαίνει ότι ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο με αυτονομία 400 χιλιόμετρα θα έχανε τα πρώτα τρία χρόνια μέχρι 8 χιλιόμετρα αυτονομίας, ενώ στα έξι χρόνια η μείωση της αυτονομίας θα ήταν μέχρι 32 χιλιόμετρα (“Ηλεκτρικά αυτοκίνητα: Πόσα χρόνια ζωής έχει η μπαταρία τους”, 2022).

Ωστόσο, η ποιότητα των μπαταριών εξελίσσεται συνεχώς, με αποτέλεσμα αυτά τα μικρά νούμερα να γίνονται ολοένα και πιο μικρά όσο προοδεύει η τεχνολογία. Το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας των ΗΠΑ εκτιμά ότι οι μπαταρίες θα διαρκέσουν από 12 έως 15 χρόνια σε μέτρια κλίματα. Επιπλέον, οι κλιματικές συνθήκες

παίζουν σημαντικό ρόλο στη διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας. Υπερβολική ζέστη ή πολύ κρύο μειώνουν αισθητά την χωρητικότητά της. Η Ελλάδα μπορεί να θεωρηθεί ως μια από τις ιδανικότερες χώρες για τη χρήση ηλεκτρικών αυτοκινήτων, αφού το κλίμα της δεν παρουσιάζει πολύ μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές (“Ηλεκτρικά αυτοκίνητα: Πόσα χρόνια ζωής έχει η μπαταρία τους”, 2022).

1.6 Ομοιότητες και διαφορές μεταξύ ηλεκτρικών και συμβατών αυτοκινήτων

Στην εποχή όπου η ηλεκτροκίνηση αλλάζει τα δεδομένα στην αυτοκίνηση, η σύγκριση μεταξύ συμβατικών και ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι αναπόφευκτη. Δομικά τα ηλεκτρικά (EVs) αυτοκίνητα δεν έχουν τεράστιες διαφορές από τα συμβατικά. Στα ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιείται η ίδια σχεδίαση με τα συμβατικά και πολλές εταιρείες στηρίζουν τα EV πάνω σε πλατφόρμες (σασί και αμάξωμα) που χρησιμοποιούν ήδη οι συμβατικές εκδόσεις. Φυσικά υπάρχουν και μοντέλα που έχουν αναπτύξει πλατφόρμες αποκλειστικά για την ηλεκτροκίνηση. Ωστόσο, μια σχεδιαστική διαφορά που έχουν οι δύο τύποι οχημάτων είναι η φουτουριστική και πιο αεροδυναμική σχεδίαση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων (ο λόγος γίνεται για να έχει λιγότερες όσο το δυνατόν τριβές – υψηλή αεροδυναμική, άρα χαμηλότερη κατανάλωση μπαταρίας, πολύ βασικό για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνεται η αυτονομία των ηλεκτρικών οχημάτων (“Ελλάδα / Σύγκριση συμβατικών και ηλεκτρικών αυτοκινήτων - Διαφορές και ομοιότητες”, 2021).

Επιπλέον, τα τελευταία χρόνια οι καταναλωτές επιλέγουν να αγοράσουν SUV, έχοντας ως αποτέλεσμα οι εταιρείες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων να ακολουθούν αυτή την τάση και να παράγουν και οι ίδιοι ηλεκτρικά SUV. Μια ακόμη διαφοροποίηση μεταξύ των EVs και των συμβατικών είναι οι μεγάλοι αποθηκευτικοί χώροι που προσφέρουν τα ηλεκτρικά οχήματα, καθώς απουσιάζει ο κινητήρας εσωτερικής καύσης που είναι ογκώδης. Αυτό συμβαίνει διότι τα ηλεκτρικά οχήματα δεν διαθέτουν κινητήρα εσωτερικά στο μπροστινό μέρος του οχήματος (“Ελλάδα / Σύγκριση συμβατικών και ηλεκτρικών αυτοκινήτων - Διαφορές και ομοιότητες”, 2021).

Μία σημαντική διαφορά που εντοπίζεται σε αυτούς τους δύο τύπους αυτοκινήτων είναι οι μπαταρίες. Οι μπαταρίες, δηλαδή, των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι βαρύτερες σε σχέση με εκείνων των συμβατικών αυτοκινήτων. Συγκεκριμένα ζυγίζουν 300 κιλά και είναι τοποθετημένες στο πάτωμα του αυτοκινήτου. Ακόμη, η διάρκεια φόρτισης ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι μεγαλύτερη και μπορεί να διαρκέσει από λίγα λεπτά μέχρι και ώρες με έναν απλό φορτιστή, σε αντίθεση με τα συμβατικά αυτοκίνητα που διαρκεί

μόλις λίγα λεπτά (“Ελλάδα / Σύγκριση συμβατικών και ηλεκτρικών αυτοκινήτων - Διαφορές και ομοιότητες”, 2021).

Στο κομμάτι της συνδεσιμότητας, τόσο τα ηλεκτρικά όσο και τα συμβατικά αυτοκίνητα δεν στερούνται κάτι. Στα EVs αυτή η ανάγκη είναι εντονότερη, καθώς ο οδηγός μέσω αυτής θα πρέπει να διαχειριστεί τη διαδικασία φόρτισης, να ανατρέξει στην ανεύρεση σταθμών φόρτισης και άλλων ζωτικών λειτουργιών του οχήματός του. Η συντήρηση, από την άλλη, στο ηλεκτρικό αυτοκίνητο είναι ελάχιστη. Ο ηλεκτροκινητήρας δεν χρειάζεται συντήρηση και δεν έχει εκατοντάδες παρελκόμενα ανταλλακτικά, με αποτέλεσμα η συντήρηση να είναι πολύ φθηνότερη σε σχέση με αυτή των συμβατών οχημάτων (“Ελλάδα / Σύγκριση συμβατικών και ηλεκτρικών αυτοκινήτων - Διαφορές και ομοιότητες”, 2021).

Κεφάλαιο 2: Ιστορική αναδρομή των αυτοκινήτων με ηλεκτροκίνηση

2.1 19^{ος} αιώνας

Μία πρώτη προσπάθεια κατασκευής ενός ηλεκτρικού οχήματος χρονολογείται στα μέσα του 19^{ου} αιώνα. Συγκεκριμένα, στις αρχές της περιόδου 1832-1839 ο Σκωτσέζος εφευρέτης Robert Anderson δημιούργησε μία ηλεκτρική άμαξα στην οποία, όμως, δεν υπάρχουν σαφείς ενδείξεις λειτουργίας της. Ακόμη, το 1835 ο καθηγητής Stratingh από το Πανεπιστήμιο του Groningen στην Ολλανδία κατασκεύασε ένα από τα πρώτα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μικρής κλίμακας, το οποίο δεν ζύγιζε περισσότερο από 3 κιλά (βλέπε Εικόνα 13). Αυτό το καρότσι είχε έναν πρωτότυπο σχεδιασμό. Είχε έναν ηλεκτρικό κινητήρα που τροφοδοτούνταν από μια μπαταρία ψευδαργύρου. Με γεμάτη μπαταρία, μπορούσε να οδηγήσει για 20 λεπτά και να μεταφέρει αντικείμενα που ζυγίζουν όχι παραπάνω από 1,5 κιλά. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να είχε ένα τεράστιο μειονέκτημα, δεν μπορούσε δηλαδή να κάνει μακρινές αποστάσεις και να μεταφέρει μεγάλα αντικείμενα (“A Brief History of Electric Vehicles”, 2014).



Εικόνα 13 Ηλεκτρικό αυτοκίνητο του Stratingh (1835)

Λίγα χρόνια αργότερα, το 1859, ο Guston Plante δημιούργησε την πρώτη επαναφορτιζόμενη μπαταρία με οξύ μόλυβδου (βλέπε Εικόνα 14). Αυτή η μπαταρία άρχισε γρήγορα να χρησιμοποιείται και στα αυτοκίνητα (“Ιστορία της Μπαταρίας”, 2016). Θα αναλυθεί περαιτέρω παρακάτω σε επόμενο κεφάλαιο. Μία ακόμη κατασκευή ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου υπήρξε το 1884 από τον Thomas Parker (Massimo Guarnieri, 2012). Η κατασκευή αυτή τροφοδοτούταν από επαναφορτιζόμενες μπαταρίες της εταιρίας Elwell-Parker Ltd, η οποία δημιουργήθηκε δύο χρόνια νωρίτερα. Σκοπός της κατασκευής αυτού του αυτοκινήτου ήταν ότι ο Parker ήθελε να μειώσει τη ρύπανση που προκαλούνταν από την καύση άνθρακα στο Λονδίνο. Ήθελε, δηλαδή, να δημιουργήσει μια πιο καθαρή και αποτελεσματική εναλλακτική λύση στα βενζινοκίνητα οχήματα. Αυτό το ηλεκτρικό αυτοκίνητό ήταν μια διαθέσιμα άμαξα που είχε αυτονομία 40 μίλια και τελική ταχύτητα 12 mph (βλέπε Εικόνα 15).



Εικόνα 14 Η πρώτη επαναφορτιζόμενη μπαταρία από τον Guston Plante (1859)



Εικόνα 15 Ο Thomas Parker και το ηλεκτρικό του αυτοκίνητο (1884)

Παράλληλα στη Γαλλία το 1881 ο Gustave Trouné παρουσίασε ένα ηλεκτρικό τρίκυκλο (βλέπε Εικόνα 16) στην πρώτη έκθεση του Παρισιού Internationale d'Électricité (“Trouné’s Electric Tricycle, 1881”, 2022). Αυτό το τρίκυκλο είχε ένα χειριστήριο με το οποίο μπορούσε κανείς να κατευθύνει δύο από τους τρεις λεπτούς τροχούς, ένα φρένο από δέρμα, ένα κάθισμα πλάτη το οποίο ήταν στο ύψος των ώμων του οδηγού και ένα διακόπτη για γκάζι (Jeremy Hart, 2021). Ακόμη, το 1893 ο Γάλλος Paul Rouchain κατασκεύασε το πρώτο επιτυχημένο ηλεκτρικό αυτοκίνητο, ικανό να μεταφέρει έξι επιβάτες (βλέπε Εικόνα 17). Το αυτοκίνητο του διένυε 70 χλμ με 16 χλμ/ώρα και 1330 κιλά και ο κινητήρας έφτανε τους 3,5 ίππους. Ο Paul Rouchain είχε σκεφτεί να εγκαταστήσει μια μηχανή πετρελαίου στον διαθέσιμο χώρο που θα επαναφόρτιζε τις μπαταρίες για να ελαφρύνει το έργο του ηλεκτροκινητήρα (“Notre histoire”, 2024).



Εικόνα 16 Το πρώτο ηλεκτρικό τρίκυκλο του Gustave Trouné (1881)



Εικόνα 17 Το πρώτο εξαθέσιο ηλεκτρικό αυτοκίνητο του Paul Rouchain (1893)

Το 1897 ο Walter Bersey κατασκεύασε τα πρώτα ηλεκτρικά ταξί για το Λονδίνο, τα Bersey taxis (βλέπε Εικόνα 18), τα οποία δύο χρόνια αργότερα εξαφανίστηκαν από τους δρόμους του Λονδίνου. Το ταξί αυτό είχε ταχύτητα 9-12 mph. Το 1896 εκτέθηκαν σε μια έκθεση στο South Kensington. Εμφανίστηκαν, όμως, για πρώτη φορά στον δρόμο στις 19 Αυγούστου 1897. Όταν τα ταξί παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά, ανέλαβαν διαδρομή από το Λονδίνο έως το Μπράιτον. Σύμφωνα με δημοσιεύματα, δεν μπόρεσαν να ολοκληρώσουν αυτή την διαδρομή των 60 μιλίων και κατέληξαν να την ολοκληρώνουν με τρένο. Το ταξί Bersey ήταν γνωστό ως το «κολίμπρι» από τον ήχο του και το κιτρινόμαυρο χρώμα του. Οι μπαταρίες αντικαταστάθηκαν χρησιμοποιώντας ένα υδραυλικό σύστημα ανύψωσης που χρειάστηκε 2-3 λεπτά στον μοναδικό σταθμό επαναφόρτισης στο Λονδίνο. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ήταν ακριβή και έτσι η εταιρεία άρχισε να παράγει τη δική της ηλεκτρική ενέργεια με μεγάλα έξοδα (Selina Hurley, 2012).



Εικόνα 18 Το πρώτο ηλεκτρικό ταξί από τον Walter Bersey (1897)

2.2 20^{ος} αιώνας

Το 1947 στην Ιαπωνία η Nissan κατασκεύασε το πρώτο της ηλεκτρικό αυτοκίνητο, το Tama (βλέπε Εικόνα 19). Τα ηλεκτρικά αυτά αυτοκίνητα χρησιμοποιήθηκαν κυρίως από εταιρείες ταξί, είχαν μπαταρίες μολύβδου-οξέος που μπορούσαν να αντικατασταθούν. Είχαν τελική ταχύτητα 35,2 χλμ/ώρα και αυτονομία 96,3 χιλιομέτρων. Αυτά τα αποτελέσματα ήταν μέτρια σε σχέση με τα σημερινά πρότυπα, αλλά έδιναν στο Tama την υψηλότερη απόδοση σε κυβερνητικές δοκιμές. Μέχρι το 1950, η παροχή πετρελαίου είχε

σταθεροποιηθεί και η παραγωγή του Tama διακόπηκε, όμως η έρευνα της Nissan για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα συνεχίστηκε (“12 Nissan cars that showed the way to an electric future”, 2020).



Εικόνα 19 Το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο της Nissan το Tama (1947)

Το 1966 η General Motors κατασκεύασε ένα νέο ηλεκτρικό αυτοκίνητο, το Electrovair II (βλέπε Εικόνα 20). Έμοιαζε εξωτερικά με το Corvaire δεύτερης γενιάς της Chevrolet, όμως εσωτερικά είχε μια συστοιχία μπαταριών (battery pack) αντί για εξάλιτρο κινητήρα (flat-six engine). Η GM επέλεξε το Corvaire για δύο λόγους. Πρώτον, ήταν το ελαφρύτερο αυτοκίνητο στην εταιρική του σειρά με περίπου 1.134 κιλά και δεύτερον, το Corvaire ήταν ένα αυτοκίνητο πισωκίνητο, καθιστώντας το τον τέλει υποψήφιο για να λάβει έναν κινητήρα επαγωγής στο πίσω μέρος και μια μπαταρία στο αρκετά ευρύχωρο μπροστινό πορτμπαγκάζ (Cirpian Florea, 2021).



Εικόνα 20 Το Electrovair II της General Motors (1966)

Ένα χρόνο αργότερα το 1967 η American Motors Corporation (AMC) παρουσίασε το πρωτότυπο ηλεκτρικό αυτοκίνητο της, το Amitron (βλέπε Εικόνα 21). Το Amitron φαινόταν αρκετά διαφορετικό σε σύγκριση με τα αυτοκίνητα παραγωγής της εποχής. Είχε μήκος μικρότερο από 2.200 χιλιοστά και χωρούσαν τρεις επιβάτες στα πίσω καθίσματα. Η κύρια πηγή ενέργειας αποτελούνταν από δύο (34 κιλά) μπαταρίες λιθίου-νικελίου-φθοριούχου ισχύος 150 watt-hours ανά λίβρα με συνολική χωρητικότητα 22,5 kWh. Το μειονέκτημα αυτών των μπαταριών είναι ότι έχουν σχετικά χαμηλή στιγμιαία ισχύ, πολύ μικρή για να παρέχουν λογική επιτάχυνση. Το αυτοκίνητο, ωστόσο, είχε μια δευτερεύουσα πηγή ενέργειας που αποτελείται από δύο μπαταρίες νικελίου-καδμίου που χρησιμοποιήθηκε για τον χειρισμό υψηλότερων κορυφών ισχύος. Αυτές οι μπαταρίες θα μπορούσαν να επιταχύνουν το αυτοκίνητο στα 50 mph σε 20 δευτερόλεπτα. Κατά την οδήγηση, οι μπαταρίες λιθίου επαναφόρτιζαν τις μπαταρίες νικελίου-καδμίου, το οποίο συνέχισε να τροφοδοτεί τον κινητήρα (Ciprian Florea, 2022).



Εικόνα 21 Το πρωτότυπο ηλεκτρικό αυτοκίνητο της AMC Amitron (1967)

Το 1996 η General Motors παρουσίασε το πρώτο μοντέρνο ηλεκτρικό αυτοκίνητο στην αγορά, το EV1 (βλέπε Εικόνα 22). Από το 1996 έως το 1999 κατασκευάστηκαν συνολικά περίπου 2.500 αυτοκίνητα (Γιάννης Κουτσουφλάκης, 2018). Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο ήταν σχετικά ελαφρύ. Συγκεκριμένα, το βάρος του εξοπλισμού ήταν 1.350 κιλά και το βάρος της μπαταρίας ήταν 530 κιλά. Επίσης, η αυτονομία του αυτοκινήτου ήταν σχετικά χαμηλή, μόλις 74 μίλια. Οφειλόταν στην επιθυμία της εταιρείας να μειώσει την τιμή, γι' αυτό και η πρώτη τροποποίηση χρησιμοποιούσε μπαταρίες μολύβδου-οξέος. Από το 1999, άρχισαν να εμφανίζονται εκδόσεις με μπαταρίες νικελίου-υδριδίου μετάλλου. Χάρη στις μπαταρίες αυτές η εμβέλεια αυξήθηκε στα 150 μίλια. Η ισχύς του τριφασικού ηλεκτροκινητήρα έφτασε στους 138 ίππους και η τελική ταχύτητα

περιορίστηκε στα 80 μίλια την ώρα. Το 2003 η GM απέσυρε το EV1 από την αγορά λόγω υψηλού κόστους παραγωγής και συντήρησης αυτών των αυτοκινήτων (“EV1 Electric Car”, 2016).



Εικόνα 22 Το πρώτο μοντέρνο ηλεκτρικό αυτοκίνητο στην αγορά από την General Motors, το EV1

Τέλος, τον Οκτώβριο του 1997 η Toyota κυκλοφόρησε για πρώτη φορά το πρώτο μαζικό σε παραγωγή hybrid αυτοκίνητο, το Prius (βλέπε Εικόνα 23). Ήταν εξοπλισμένο με υβριδικό σύστημα ισχύος που ονομάζεται THS (Toyota Hybrid System). Είχε τον βενζινοκινητήρα, τον ηλεκτροκινητήρα και το κιβώτιο ταχυτήτων τοποθετημένα εγκάρσια. Ο βενζινοκινητήρας ήταν ένας 1,5 λίτρων και 16 βαλβίδων που λειτουργούσε στον κύκλο Atkinson (του οποίου η διαδρομή εκτόνωσης υπερβαίνει τη διαδρομή συμπίεσης) και χαμηλότερη κατάσταση συντονισμού (lower state of tune) (“The evolution of the Prius”, 2017). Το Prius απέδιδε μόνο 58 ίππους. Από την άλλη ο ηλεκτροκινητήρας AC απέδιδε άλλους 40 ίππους. Το ρεζερβουάρ καυσίμου ήταν τοποθετημένο κάτω από το μαξιλάρι του πίσω καθίσματος. Επίσης, η κατανάλωση καυσίμου ήταν μόνο το 50% ενός συμβατικού αυτοκινήτου εκείνης της εποχής. Η πρώτη γενιά Prius έγινε αμέσως επιτυχία στην Ιαπωνία. Η ζήτησή της ξεπέρασε τον αρχικό μηνιαίο στόχο παραγωγής των 1.000 μονάδων, οπότε η Toyota έπρεπε να διπλασιάσει την παραγωγή της (Josh Noel, 2023).



Εικόνα 23 Το πρώτο μαζικό σε παραγωγή hybrid αυτοκίνητο, το Toyota Prius

2.3 21^{ος} αιώνας

Στις 19 Ιουλίου 2006, στο αεροδρόμιο του Santa Monica, σε μία εκδήλωση (Sebastian Blanco, 2006), η Tesla παρουσίασε για πρώτη φορά στο κοινό το πρωτότυπο Tesla Roadster (βλέπε Εικόνα 24). Η πλήρης ανάλυση του Tesla Roadster θα γίνει στο τρίτο κεφάλαιο. Ακόμη, λίγα χρόνια αργότερα, τον Δεκέμβριο του 2010 η Nissan κυκλοφόρησε για πρώτη φορά το πρωτοποριακό Leaf (βλέπε Εικόνα 25). Το κλειδί για την επιτυχία του LEAF ήταν ο συνδυασμός δεκαετιών έρευνας και ανάπτυξης με τη διορατικότητα των καταναλωτών. Είχε αυτονομία 200 km ανά φόρτιση, καθιστώντας το μια πρακτική επιλογή για πολλούς αγοραστές ηλεκτρικών οχημάτων για πρώτη φορά. Ακόμη, εισήγαγε την ευρεία ιδέα της χρήσης ενός ηλεκτρικού οχήματος ως κινητής πηγής ενέργειας (“12 Nissan cars that showed the way to an electric future”, 2020).



Εικόνα 24 Το πρωτότυπο Tesla Roadster (2006)



Εικόνα 25 Το πρωτοποριακό Nissan Leaf (2010)

Η Tesla το 2012 σταμάτησε την παραγωγή του Tesla Roadster ώστε να επικεντρωθεί στην νέα κυκλοφορία του Model S (βλέπε Εικόνα 26). Κυκλοφόρησε με τρεις διαφορετικές επιλογές μπαταρίας, οι οποίες έδωσαν εκτιμώμενη αυτονομία 235 ή 300 μιλίων. Η επιλογή μπαταρίας με την υψηλότερη απόδοση έδωσε επιτάχυνση από 0 έως 60 μίλια την ώρα σε λίγο περισσότερο από τέσσερα δευτερόλεπτα και τελική ταχύτητα 130 μίλια την ώρα. Σε αντίθεση με το Roadster, το οποίο έφερε το σύστημα μπαταριών του στο πίσω μέρος του αυτοκινήτου, το Model S είχε εγκατεστημένο το σύστημα κάτω από το πάτωμα, το οποίο έδινε επιπλέον χώρο αποθήκευσης στο πίσω μέρος και βελτιωμένο χειρισμό λόγω του χαμηλού κέντρου βάρους του. Αυτή η τοποθέτηση μπαταρίας χρησιμοποιήθηκε σε μεταγενέστερα μοντέλα της Tesla. Τον Σεπτέμβριο του 2015 η Tesla κυκλοφόρησε, επίσης, το Tesla Model X (βλέπε Εικόνα 27). Το Model X είχε μέγιστη αυτονομία μπαταρίας περίπου 340 μίλια και θέσεις για έως και επτά. Το Model X έχει επιτάχυνση από 0 έως 60 μίλια την ώρα σε 3,8 δευτερόλεπτα και τελική ταχύτητα 155 μίλια την ώρα (Barbara A. Schreiber, Erik Gregersen, 2024).



Εικόνα 26 Tesla Model S (2012)



Εικόνα 27 Tesla Model X (2015)

Το 2016 η Tesla παρουσίασε το Model 3 (βλέπε Εικόνα 28) και ένα χρόνο αργότερα βγήκε στην αγορά. Το Model 3 κυκλοφόρησε σε 3 εκδόσεις: την Standard Range Plus, την Long Range και την Performance. Στην Standard Range Plus έκδοση ο κινητήρας είχε μπαταρία 50 kWh και πρόσφερε εκτιμώμενη αυτονομία 263 μίλια και τελική ταχύτητα 140 mph. Μπορούσε, επίσης, να ταξιδέψει 0-60 mph σε 5,3 δευτερόλεπτα. Από την άλλη, η Long Range έκδοση είχε εκτιμώμενη αυτονομία 353 μιλίων, τελική ταχύτητα 145 mph και χρόνο ταξιδιού 0-60 σε 4,2 δευτερόλεπτα. Ωστόσο, η Performance έκδοση χάνει κάποια χιλιόμετρα σε σχέση με την Long Range, προσφέροντας εκτιμώμενη αυτονομία 315 μιλίων, τελική ταχύτητα ξεπερνά τα 162 mph, ταξιδεύοντας 0-60 mph σε 3,1 δευτερόλεπτα (“Tesla Model 3 guide: the cheapest Tesla to date”, 2024).



Εικόνα 28 Tesla Model 3 (2017)

Μετά από 11 χρόνια από την παρουσίαση του Tesla Roadster, ο Elon Musk έδειξε στον κόσμο τη δεύτερη γενιά Tesla Roadster (βλέπε Εικόνα 29) (Andrew J. Hawkins, 2017). Ωστόσο, το Tesla Roadster δεύτερης γενιάς δεν έχει βγει ακόμα μέχρι σήμερα στην αγορά. Την ίδια χρόνια, το 2017, η Hyundai κυκλοφόρησε το πρώτο αυτοκίνητο που προσφέρθηκε σε 3 είδη: hybrid, plug-in hybrid και πλήρες ηλεκτρικό αυτοκίνητο (βλέπε Εικόνα 30) το Hyundai Ioniq (“Hyundai IONIQ Electric & IONIQ Plug-in At The Geneva Motor Show”, 2016). Οι τρεις εκδόσεις του Ioniq (hybrid, plug-in hybrid και πλήρες ηλεκτρικό) έκαναν το ντεμπούτο τους στη Νότια Κορέα τον Ιανουάριο του 2016, καθώς και στην έκθεση αυτοκινήτων της Γενεύης.



Εικόνα 29 Tesla Roadster δεύτερης γενιάς (2017)



Εικόνα 30 Hyundai IONIQ Electric (2017)

Ένα χρόνο αργότερα το 2018 η Hyundai κυκλοφόρησε στην αγορά το Kona που είχε 64 kWh μπαταρία (βλέπε Εικόνα 31). Ωστόσο, η Hyundai δεν σταμάτησε με το Kona. Το 2021 παρουσίασε το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο που χρησιμοποιεί την Electric-Global Modular Platform (E-GMP) το Ioniq 5 (βλέπε Εικόνα 32). Αυτή η πλατφόρμα στεγάζει μια επίπεδη μπαταρία που επιτρέπει να έχει ένα ευρύχωρο και προσαρμόσιμο εσωτερικό, προσφέροντας εξατομικευμένη κινητικότητα με ευέλικτες διαμορφώσεις για την άνεση των επιβατών (“IONIQ 5”, 2021). Ακόμη, το Ioniq 5 πήρε τρία βραβεία στα World Car Awards το 2022, καθώς και Παγκόσμιο Αυτοκίνητο της Χρονιάς, Παγκόσμιο Ηλεκτρικό Όχημα της Χρονιάς και το Παγκόσμιο Σχέδιο Αυτοκινήτου της Χρονιάς, αλλάζοντας την άποψη του κόσμου για τα ηλεκτρικά οχήματα. Η Hyundai το 2022 κυκλοφόρησε στην αγορά το νέο μοντέλο της μάρκας Ioniq, το Ioniq 6 (βλέπε Εικόνα 33) (“IONIQ 6”, 2022).



Εικόνα 31 Hyundai Kona Electric 64 kWh (2018)



Εικόνα 32 Hyundai Ioniq 5 (2021)



Εικόνα 33 Hyundai Ioniq 6 (2022)

Το 2019 η Tesla αποκάλυψε στο Tesla Design Center το αγροτικό (pick-up) τους, το Cybertruck (βλέπε Εικόνα 34), το οποίο βγήκε στην αγορά το 2024. Το Cybertruck έχει ένα Dual Motor 600 ίππων και έχει τρεις ηλεκτροκινητήρες που συνδυαστικά έχουν απόδοση 834 ίππους. Η Tesla ισχυρίζεται ότι το Cybertruck μπορεί να μεταφέρει αντικείμενα έως και 5 χιλιάδες κιλά και έχει εκτιμώμενη αυτονομία έως και 340 μίλια (Eric Stafford, 2024).



Εικόνα 34 Tesla Cybertruck (2024)

2.4 Ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη των μπαταριών

2.4.1 Πρώτες μπαταρίες

Το 1938 ο Γερμανός αρχαιολόγος Wilhelm Konig ανακάλυψε στο Ιράκ ένα χάλκινο κύλινδρο που μέσα είχε μια σιδερένια ράβδο και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ήταν μια αρχαία μπαταρία που ονομάζεται μπαταρία της Βαγδάτης (βλέπε Εικόνα 35). Αυτή η μπαταρία χρονολογείται περίπου στο διάστημα 250 π.Χ. έως το 600 μ.Χ. Το 1981 ο Δρ. Αρν Έγκεμπρεχτ κατασκεύασε μια ίδια μπαταρία με αυτή της Βαγδάτης και μέσα σε δύο ώρες κατάφερε να επιχρυσώσει ασημένια αντικείμενα. Με αυτό τον τρόπο κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η χρήση αυτής της μπαταρίας ήταν η επίστρωση και επιχρυσωση μετάλλων με τη μέθοδο της ηλεκτρόλυσης (D.E. Von Handorf, 2002).



Εικόνα 35 Μπαταρία της Βαγδάτης (250 π.Χ. έως το 600 μ.Χ.)

Το 1800 ο Alessandro Volta κατασκεύασε τη βολταϊκή στήλη (βλέπε Εικόνα 36) (“Γεννήθηκε ο Alessandro Volta, κυρίως γνωστός για την εφεύρεση της ηλεκτρικής μπαταρίας”, 2022). Δύο χρόνια αργότερα το 1802 ο William Cruickshank κατασκεύασε την πρώτη μπαταρία για μαζική παραγωγή (βλέπε Εικόνα 37). Τοποθέτησε τετράγωνα φύλλα χαλκού με ισομεγέθη φύλλα ψευδαργύρου που ήταν τοποθετημένα σε ένα μακρύ ορθογώνιο ξύλινο κουτί τα οποία έπειτα συγκολλούνταν μεταξύ τους. Τα κενά (Grooves) που είχε το κουτί συγκρατούσε τις μεταλλικές πλάκες στη θέση τους και στη συνέχεια το

κουτί γεμίζονταν με υγροποιημένο οξύ και σφραγιζόταν (“Batteries In A Portable World”, 2017).



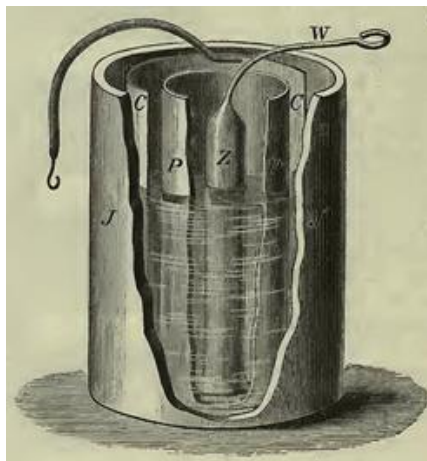
Εικόνα 36 Βολταϊκή στήλη του Alessandro Volta (1800)



Εικόνα 37 Η μπαταρία του William Cruickshank (1802)

2.4.2 Επαναφορτιζόμενες μπαταρίες

Το 1836 ο Άγγλος χημικός John F. Daniell κατασκεύασε μια βελτιωμένη μπαταρία που παρήγαγε σταθερότερο ρεύμα από προηγούμενες προσπάθειες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (βλέπε Εικόνα 38). Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, το 1859 ο Guston Plante δημιούργησε την πρώτη επαναφορτιζόμενη μπαταρία βασισμένη σε οξύ μολύβδου, σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα. Το 1899 ο Σουηδός εφευρέτης Waldmar Jungner ανέπτυξε μια μπαταρία νικελίου-καδμίου (NiCd) που χρησιμοποιούσε νικέλιο ως θετικό ηλεκτρόδιο (κάθοδος) και κάδμιο ως αρνητικό (άνοδος) (βλέπε Εικόνα 39). Ωστόσο, σε σύγκριση με τον χαλκό, το κόστος των υλικών αύξησε την κατανάλωση (“Batteries In A Portable World”, 2017).



Εικόνα 38 Μπαταρία του John F. Daniell (1836)



Εικόνα 39 Μπαταρία νικελίου-καδμίου Waldmar Jungner (1899)

Δύο χρόνια αργότερα, το 1901 ο Thomas Edison αντικατέστησε το κάδμιο με σίδηρο. Η μπαταρία αυτή ονομάστηκε νικέλιο-σίδηρο (NiFe) (βλέπε Εικόνα 40). Η χαμηλή ειδική ενέργεια, η κακή απόδοση σε χαμηλή θερμοκρασία και η υψηλή αυτό-εκφόρτιση περιόρισαν την επιτυχία της μπαταρίας νικελίου-σιδηρού (“Thomas Edison’s Nickel-Iron Batteries”, 2022). Ωστόσο, ο Schlecht και ο Ackermann το 1932 βελτίωσαν την μπαταρία νικελίου-καδμίου (NiCd). Στη δεκαετία του 1990, οι περιβαλλοντολόγοι στην Ευρώπη ανησυχούσαν για τη ζημιά που προκλήθηκε από τις μπαταρίες NiCd. Γι’ αυτόν τον λόγο η Ευρωπαϊκή Ένωση περιόρισε την πώληση αυτής της μπαταρίας. Μια εναλλακτική λύση που υπήρχε ήταν οι μπαταρίες με νικέλιο-υδρίδιο μετάλλου (NiMH), μια πιο φιλική προς το περιβάλλον μπαταρία που είναι παρόμοια με το NiCd. Τέλος, το 1991 η Sony και η

Asahi Group κυκλοφόρησαν στην αγορά τις πρώτες μπαταρίες ιόντων λιθίου (LiB) (βλέπε Εικόνα 41) (Aditya Dhage, 2023).



Εικόνα 40 Μπαταρία του Thomas Edison (1901)



Εικόνα 41 Πρώτες μπαταρίες ιόντων λιθίου (1991)

Κεφάλαιο 3: Ανάλυση του αυτοκινήτου Tesla Roadster

3.1 Τα μοντέλα Tesla Roadster

Όπως αναφέρθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο, η Tesla το 2006 παρουσίασε για πρώτη φορά στο κοινό το πρωτότυπο Roadster στο αεροδρόμιο του Santa Monica σε μια εκδήλωση (βλέπε Εικόνα 24) (Sebastian Blanco, 2006). Ωστόσο, δεν ξεκίνησε η ιστορία του Roadster τότε. Η ιδέα κατασκευής αυτού του αυτοκινήτου προήλθε από το Tzero της AC Propulsion (βλέπε Εικόνα 42) και από το Lotus Elise (βλέπε Εικόνα 43), όπως ανέφερε ο Elon Musk στην συνέντευξη που δώσει στον Joe Rogan στις 7 Σεπτεμβρίου 2018 (Joe Rogan, 2018). Με άλλα λόγια, το Roadster είχε την εξωτερική εμφάνιση του Lotus Elise και στο εσωτερικό του αυτοκινήτου είχε τις ηλεκτρικές μπαταρίες από το Tzero. Ωστόσο, αυτό είχε σαν αποτέλεσμα το αυτοκίνητο να είναι 30% πιο βαρύ, με αποτέλεσμα να πρέπει να γίνουν αλλαγές στον σκελετό του αυτοκινήτου. Αυτή δεν ήταν η μόνη αλλαγή που έκανε η Tesla στο Lotus Elise. Έπρεπε παράλληλα να κάνουν αλλαγές στη δομή και στο σύστημα κλιματισμού. Το μόνο κοινό που είχε με το Lotus Elise ήταν το παρμπρίζ, το ταμπλό (πλήρης με τους αερόσακους και το τιμόνι), οι καθρέφτες, καθώς και η αφαιρούμενη μαλακή οροφή ώστε να αποφύγουν το ακριβό κόστος ανάπτυξης και δοκιμών ασφαλείας (Joe Rogan, 2018). Το πρώτο Tesla Roadster το παρέλαβε ο ίδιος ο Elon Musk τον Φεβρουάριο του 2008. Ένα χρόνο αργότερα το 2009 η εταιρεία παράγαγε 500 παρόμοια οχήματα μέχρι τον Ιούνιο του 2009 (“Who bought the first car that Tesla ever made?”, 2023).



Εικόνα 42 AC Propulsion Tzero (1997)



Εικόνα 43 Lotus Elise (2005)

Στα μέσα Μαρτίου 2010 η Tesla είχε επιδείξει την πρακτικότητα των ηλεκτρικών της αυτοκινήτων στέλνοντας ένα από τα Roadster της σε όλο τον κόσμο. Ξεκινώντας από την έκθεση αυτοκινήτου της Γενεύης, το Roadster ολοκλήρωσε το ταξίδι του κατά την άφιξή του στο Παρίσι στις 28 Σεπτεμβρίου 2010 (“Tesla's around the world trip”, 2010). Τον Ιούνιο του 2010, η Tesla παρουσίασε το Roadster 2.5 (βλέπε Εικόνα 44) (“Tesla Unveils Roadster 2.5 at Newest Stores in Europe and North America”, 2010). Το 2012 το Tesla Roadster πωλήθηκε σε περιορισμένο αριθμό μόνο στην Ευρώπη, Ασία και την Αυστραλία. Δεκαπέντε Final Edition Roadster (βλέπε Εικόνα 45) κατασκευάστηκαν για να κλείσει ο κύκλος κατασκευής του πρώτου ηλεκτρικού αυτοκινήτου της Tesla. Τον Δεκέμβριο του 2014 η Tesla ανακοίνωσε μια νέα αναβάθμιση στα Roadster, το Roadster 3.0 (βλέπε Εικόνα 46) (Adam Lynton, 2011).



Εικόνα 44 Tesla Roadster 2.5 (2010)



Εικόνα 45 Tesla Roadster Final Edition (2012)



Εικόνα 46 Tesla Roadster 3.0 (2014)

3.2 Σχεδιασμός του Tesla Roadster

3.2.1 Πρωτότυπο μοντέλο 2006

Το μοντέλο του 2006 (βλέπε Εικόνα 47) ήταν πισωκίνητο (rear wheel drive) και η μηχανή του ήταν τοποθετημένη στη μέση του οχήματος (mid placed engine). Η ισχύς παρέχεται από μια μονάδα παραγωγής ισχύος που αναπτύσσει ισχύ και ροπή 248 ίππων (251 PS/185 kW) στις 8000 rpm και 286 Nm (211 lb·ft/29,2 kgm) αντίστοιχα. Η ισχύς παρέχεται από έναν χειροκίνητο κιβώτιο δύο ταχυτήτων στους τροχούς. Το Tesla Roadster ζύγιζε 1220 κιλά (2006 Tesla Roadster US, 2018). Η μέγιστη δηλωμένη ταχύτητά του ήταν 209 km/h ή 130 mph, 0-60mph σε 3,9 δευτερόλεπτα. Η τιμή πώλησης του αυτοκινήτου ήταν στα 80.000-120.000\$. Το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας του Roadster (ESS)

παρείχε ισχύ σε ολόκληρο το όχημα, συμπεριλαμβανομένου του κινητήρα. Αυτό το σύστημα περιλάμβανε 6.831 κύτταρα ιόντων λιθίου, ένα δίκτυο μικροεπεξεργαστών για τη διατήρηση της ισορροπίας φόρτισης και της θερμοκρασίας μεταξύ των μπαταριών, ένα σύστημα ψύξης και ένα ανεξάρτητο σύστημα ασφαλείας που ήταν σχεδιασμένο να αποσυνδέει την τροφοδοσία εκτός του περιβλήματος κάτω από μια ποικιλία ανιχνεύσιμων καταστάσεων ασφαλείας (Ed Grabianowski, 2024).



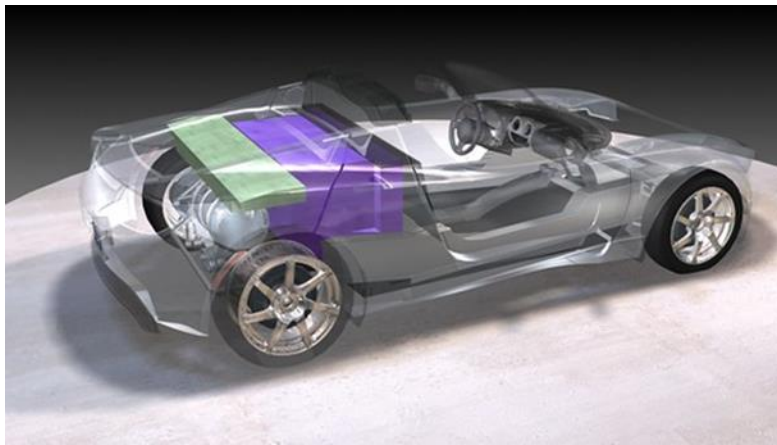
Εικόνα 47 Πρωτότυπο Tesla Roadster (2006)

3.2.2 Μοντέλο Roadster 1.5

Η δεύτερη γενιά Tesla Roadster είχε ακριβώς την ίδια εμφάνιση, αλλά είχε το καινούργιο «Powertrain 1.5» σύστημα. Αυτό το σύστημα μετάδοσης κίνησης διέθετε έναν βελτιωμένο κινητήρα, έναν μετατροπέα και ένα κιβώτιο ταχυτήτων που έχουν σχεδιαστεί για να αντικαταστήσουν το προηγούμενο κιβώτιο δύο ταχυτήτων τους, το οποίο είχε πολλές προκλήσεις αντοχής, απόδοσης και κόστους. Το ελαττωματικό κιβώτιο δύο ταχυτήτων ουσιαστικά ανάγκασε την Tesla να πουλήσει το Roadster της κλειδωμένο στη δεύτερη ταχύτητα, εμποδίζοντας δραματικά την επιτάχυνση. Το κιβώτιο ταχυτήτων μίας ταχύτητας βελτιώνει τη ροπή του κινητήρα κατά λίγο περισσότερο από 30%. Ο χρόνος $\frac{1}{4}$ μιλίου για το αυτοκίνητο ήταν περίπου στα 12,9 δευτερολέπτων. Η τελική ταχύτητα του οχήματος ήταν στα 120 mph, σύμφωνα με τις αναφορές του CTO της Tesla, JB Straubel (“What is the Tesla Roadster 1.5, exactly?”, 2008).

Η ιστοσελίδα της Tesla αναφέρει τις εξής βελτιώσεις του κινητήρα Powertrain 1.5 (βλέπε Εικόνα 48). Αρχικά, είχε ένα βελτιωμένο μετατροπέα (PEM) που παρείχε υψηλότερο ρεύμα στον κινητήρα. Είχε ένα βελτιωμένο μοτέρ για να χειρίζεται υψηλά ρεύματα και ροπή. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είχε ένα νέο κιβώτιο ταχυτήτων μιας

ταχύτητας κι ένα βελτιωμένο καλώδιο κινητήρα. Ακόμη, είχε αναβαθμισμένο υλικολογισμικό οχήματος, χωρίς να υπάρχουν αλλαγές στο πακέτο μπαταριών. Ο μετατροπέας (PEM) που χρησιμοποιούνταν στο Roadster 1.5 λειτουργούσε ως ενισχυτής και οδηγός που μετατρέπει και ρυθμίζει την ισχύ από την μπαταρία στον κινητήρα. Όταν πατάει κανείς το πεντάλ, μεταφέρει μήνυμα στο PEM να δώσει στον κινητήρα λίγη ισχύ. Χρησιμοποιώντας νεότερα IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors) που μετατρέπουν και ρυθμίζουν την ισχύ από την μπαταρία, μπόρεσαν να ενισχύσουν το ρεύμα εξόδου PEM κατά περίπου 33% από 640A rms σε 850A rms με τον ίδιο αριθμό IGBT (JB Straubel, 2008).



Εικόνα 48 Ηλεκτροκινητήρας Powertrain 1.5 Tesla Roadster

3.2.3 Μοντέλο 2008

Η ισχύς του μοντέλου Roadster του 2008 (βλέπε Εικόνα 49) ήταν 248 ίπποι, 0-60mph σε 4 δευτερόλεπτα, τελική ταχύτητα 130 mph (209 km/h) και περιστροφές του κινητήρα ανά λεπτό 211. Ήταν πισωκίνητο και η μηχανή του βρισκόταν στη μέση του οχήματος (rear wheel drive και mid placed engine), όπως το πρωτότυπο μοντέλο του 2006. Ωστόσο, η μια διαφορά που είχε με το πρωτότυπο αυτοκίνητο ήταν ότι το κιβώτιο ταχυτήτων ήταν μονής ταχύτητας. Είχε εκτιμώμενο βάρος 2690 pounds, η αναλογία βάρους του αυτοκινήτου προς ροπή ήταν 12,7 pounds/pound-foot. Το βάρος του αυτοκινήτου χωρίς φορτίο ήταν 1235 κιλά. Η Tesla ισχυρίζεται ότι η απόδοση του Roadster ήταν έξι φορές μεγαλύτερη από εκείνη των ανταγωνιστικών спор αυτοκινήτων και συνεισέφερε δέκα φορές λιγότερες εκπομπές CO₂. Η εμβέλεια του αυτοκινήτου ήταν 372 km (231 mi) και η φόρτιση του διαρκούσε περίπου 3,5 ώρες. Η τιμή πώλησης (MSRP) του αυτοκινήτου ήταν στα 98.950\$ (Kim Reynolds, 2008).



Εικόνα 49 Tesla Roadster (2008)

3.2.4 Μοντέλο 2.0

Το Tesla Roadster 2.0 (βλέπε Εικόνα 50) ήταν ένα πλήρως πισωκίνητο ηλεκτρικό αυτοκίνητο (all-electric rear-wheel drive roadster). Η Tesla σταμάτησε την κατασκευή του 2.0 το 2009. Αυτό το μοντέλο είχε αναβαθμισμένο εσωτερικό και επιλογέα «ταχυτήτων» με πλήκτρα, «εκτελεστικό εσωτερικό» από εκτεθειμένα ανθρακονήματα και δέρμα υψηλής ποιότητας, ρυθμιζόμενη ανάρτηση και αξεσουάρ αμαξώματος με διαφανή επίστρωση από ανθρακονήματα. Είχε, ακόμη, ένα ντουλαπάκι που κλειδώνεται με το πάτημα ενός κουμπιού. Διέθετε μια κεντρικά τοποθετημένη οθόνη προβολής βίντεο για την παρακολούθηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, συμπεριλαμβανομένης της εκτιμώμενης εμβέλειας αυτονομίας μέχρι τον αριθμό των βαρελιών πετρελαίου που εξοικονόμησε ο οδηγός του αυτοκινήτου (Zahari Mladenov, 2009). Επίσης, το Roadster 2.0 διέθετε μπαταρία 53 kWh, επιτρέποντάς του να ταξιδέψει έως και 238 μίλια με μία μόνο φόρτιση. Το αυτοκίνητο είχε μέση απόδοση 21.2 kWh per 100 miles. Μπορούσε να επιταχύνει από τα 0 -60 mph σε 3,9 δευτερόλεπτα και είχε ταχύτητα 125 mph. Το σύστημα κίνησης του αυτοκινήτου απέδιδε ισχύ έως 185 kW (248 hp) και ροπή 273 lb-ft. Η (msrp) τιμή πώλησης του αυτοκινήτου ήταν 109.000\$ (“Tesla Roadster 2”, 2024).



Εικόνα 50 Tesla Roadster 2.0

3.2.5 Μοντέλο Sport 2010

Το Tesla Roadster Sport του 2010 (βλέπε Εικόνα 51) είχε επιτάχυνση από 0-60mph σε 3,7 δευτερόλεπτα. Το ηλεκτρικό μοτέρ είχε χειροποίητο στάτορα και αυξημένη πυκνότητα περιελίξεων για χαμηλότερη αντίσταση και υψηλότερη μέγιστη ροπή (a hand-wound stator and increased winding density for lower resistance and higher peak torque). Ακόμη, είχε βελτιωμένη ανάρτηση με ρυθμιζόμενους αποσβεστήρες (dampers) και μπάρες αντιστρεπτικής προστασίας (anti-roll bars) που ρυθμιζόνταν ανάλογα με τις προδιαγραφές του κάθε οδηγού. Η αρχική τιμή του Sport 2010 άρχιζε από τα 128,500\$ στην Αμερική και στην Ευρώπη στα 112.000€. Οι παραδόσεις ξεκίνησαν στα τέλη του Ιουνίου του 2010. Ο ανώτερος αντιπρόεδρος παγκόσμιων πωλήσεων, υπηρεσιών και μάρκετινγκ της Tesla, ο Michael van der Sande, ανέφερε το εξής στην παρουσίαση του Tesla Roadster Sport:

«Αυτό το αυτοκίνητο μπορεί να νικήσει σχεδόν οτιδήποτε στην κατηγορία τιμής του – ωστόσο είναι δύο φορές πιο αποδοτικό από τα συμπαγή υβριδικά σεντάν».

Συνέχισε, λέγοντας, «Αν αρνείστε να συμβιβαστείτε με τις επιδόσεις ή το περιβάλλον, το Roadster Sport είναι η μόνη σας επιλογή».

Ο Διευθύνων Σύμβουλος, Πρόεδρος και Αρχιτέκτονας Προϊόντων, Elon Musk δήλωσε το εξής:

«Το Roadster Sport ενσαρκώνει το πνεύμα συνεχούς βελτίωσης της Tesla»

Συνέχισε, αναφέροντας ότι, «Το Roadster υπήρξε μια μεγάλη επιτυχία, αλλά κανείς σε αυτή την εταιρεία δεν παραμένει ικανοποιημένος με την υπάρχουσα κατάσταση» (“Tesla Motors introduces Roadster Sport”, 2010).



Εικόνα 51 Tesla Roadster Sport (2010)

3.2.6 Μοντέλο 2.5 Base

The Roadster 2.5 (βλέπε Εικόνα 52) ήταν η τέταρτη επανάληψη του Roadster της Tesla μέσα σε μόλις δύο χρόνια, αντανakλώντας τη δέσμευση της Tesla στην καινοτομία και τον στενό βρόγχο ανατροφοδότησης με τους μηχανικούς και τους πελάτες της (Eric Loveday, 2011). Περιλάμβανε ασημένιες και μαύρες κατευθυντικές σφυρήλατες ζάντες (directional forged wheels). Τα καθίσματα ήταν πιο άνετα από το προηγούμενο μοντέλο, είχε μεγαλύτερα πιο υποστηρικτικά μαξιλάρια και ένα νέο σύστημα υποστήριξης της οσφυϊκής μοίρας. Το υλικό ελέγχου της ισχύος επέτρεπε την έντονη οδήγηση σε εξαιρετικά θερμά κλίματα.. Είχε μια 7" οθόνη αφής με κάμερα οπισθοπορείας. Διέθετε βελτιωμένο εσωτερικό, μείωση του θορύβου, συμπεριλαμβανομένου ενός νέου υλικού επένδυσης του μπροστινού φτερού, το οποίο είναι φτιαγμένο από ανθρακόνημα (“Tesla Roadster approved for Australian Roads”, 2011). Το Roadster απέδιδε 215 kW (288 hp) και 400 Nm στιγμιαίας ροπής. Μπορούσε να επιταχύνει από τα 0-60 mph σε 3.7 δευτερόλεπτα χωρίς να καταναλώσει ρεύμα (“Tesla Roadster 2.5 Base”, 2024). Ακόμη, το Tesla Roadster 2.5 βασικό μοντέλο μπορούσε να διανύσει μεταξύ 220–268 μιλίων με μια φόρτιση. Η αρχική τιμή του αυτοκινήτου ήταν 206.188 αυστραλιανά δολάρια (“Tesla Roadster approved for Australian Roads”, 2011).



Εικόνα 52 Tesla Roadster 2.5 Base

3.2.7 Μοντέλο Sport 2.5

Το Tesla Roadster 2.5 Sport (βλέπε Εικόνα 53) ήταν ένα πλήρως ηλεκτρικό αυτοκίνητο με κίνηση στους πίσω τροχούς. Κυκλοφόρησε το 2010 αντικαθιστώντας το παλαιότερο Tesla Roadster 2.0. Ωστόσο, η Tesla σταμάτησε να κατασκευάζει το 2.5 Sport το 2012. Το 2.5 Sport διέφερε από το κανονικό μοντέλο Roadster με στοιχεία, όπως πάνελ από ανθρακονήματα, τροποποιημένο μπροστινό τμήμα για να αντικατοπτρίζει τα νεότερα μοντέλα Tesla, βελτιωμένα καθίσματα, εσωτερική ηχομόνωση και πρόσθετες επιλογές ελέγχου. Κάτω από το καπό βρισκόταν ένας 3-φασικός, 4-πολικός επαγωγικός κινητήρας που παρήγαγε μέγιστη καθαρή ισχύ 300 ίππων και έως 295 lbs-ft ροπής. Το 2.5 Sport μπορούσε να επιταχύνει από 0 έως 60 mph σε 3,6 δευτερόλεπτα και τελική ταχύτητα 125 mph. Το σύστημα μετάδοσης κίνησης του αυτοκινήτου απέδιδε έως και 215 kW. Το πακέτο αναβάθμισης από ένα απλό Roadster σε ένα Sport κόστιζε 19.500\$ (“MF Vault: Tesla Roadster Sport 2.5 Review”, 2012).



Εικόνα 53 Tesla Roadster 2.5 Sport

3.2.8 Final Edition

Η Tesla το 2014 παρήγαγε μια ειδική έκδοση 15 Final Edition Roadster (βλέπε Εικόνα 54) για να κλείσει τον κύκλο παραγωγής αυτού του ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Τα δεκαπέντε αυτοκίνητα ειδικής έκδοσης πουλήθηκαν σε καθεμία από τις τρεις περιοχές πωλήσεων, τη Βόρεια Αμερική, την Ευρώπη και την Ασία, κατανέμοντας πέντε μονάδες σε καθεμία (Alina Moore, 2011). Το Final Edition Roadster δεν είχε καμία τροποποίηση απόδοσης, αλλά διέθετε με σπορ ατομική κόκκινη βαφή, ένα δίδυμο από σκούρες ασημί ρίγες στο καπό και το πίσω περίβλημα και αποκλειστικές ανθρακί ζάντες αλουμινίου (Tesla Roadster (2008), 2022). Το Final Edition δεν είχε πολλές αλλαγές στο εσωτερικό του, επομένως ο ίδιος ηλεκτροκινητήρας υπήρξε κάτω από το καπό, αποδίδοντας 248 ίππους, επιτρέποντας στο αυτοκίνητο να επιταχύνει από 0-60 μίλια/ώρα σε 3,9 δευτερόλεπτα. Μπορούσε να ταξιδέψει για περισσότερα από 200 μίλια ανά φόρτιση (Alina Moore, 2011).



Εικόνα 54 Tesla Roadster Final Edition (2012)

3.2.9 Μοντέλο 3.0

Στις 26 Δεκεμβρίου 2014 η Tesla ανακοίνωσε το Roadster 3.0 (βλέπε Εικόνα 55). Αυτό το μοντέλο είχε νέες κυψέλες (battery cells) που είχαν 31% περισσότερη ενέργεια από την αρχική κυψέλη του Roadster (“Roadster 3.0”, 2014). Τα ελαστικά του αρχικού μοντέλου είχαν συντελεστή αντίστασης κύλισης C_{rr} 11,0 kg/τόνο. Τα νέα ελαστικά που χρησιμοποιήθηκαν στο Roadster 3.0 είχαν C_{rr} περίπου 8,9 kg/τόνο, δηλαδή βελτίωση περίπου 20%. Βελτιώθηκε, επίσης, στα έδρανα των τροχών που μείωναν περαιτέρω τη συνολική αντίσταση κύλισης του αυτοκινήτου (“Roadster 3.0”, 2014). Με όλες αυτές τις βελτιώσεις μπορούσε να πετύχει μια προβλεπόμενη βελτίωση 40-50% στην εμβέλεια μεταξύ του αρχικού Roadster και του Roadster 3.0. Υπό κανονικές συνθήκες το μοντέλο 3.0 μπορούσε να διανύσει πάνω από 400 μίλια (“Roadster 3.0”, 2014). Οι αγοραστές μπορούσαν να αγοράσουν την καινούργια μπαταρία 3.0 η οποία μπορούσε να φτάσει στις 80 kWh, αρκετή για να αυξήσει την αυτονομία κατά περίπου 40% στα 340 μίλια (547

χιλιόμετρα). Η τιμή της μπαταρίας 3.0 είχε φτάσει στα 55.000\$ στον Καναδά (Darryn John, 2023).



Εικόνα 55 Tesla Roadster 3.0 (2014)

3.2.10 Μοντέλο 2025

Στις 16 Νοεμβρίου του 2017 η Tesla ανακοίνωσε την επόμενη γενιά Roadster (βλέπε Εικόνα 56). Την ίδια περίοδο ο Elon Musk ισχυρίστηκε ότι το νέο Roadster μπορούσε να φτάσει τα 60 μίλια την ώρα σε 1,9 δευτερόλεπτα, με τελική ταχύτητα πάνω από 250 μίλια την ώρα και αυτονομία 620 μιλίων. Οι τιμές ξεκίνησαν από 200.000\$ και οι παραδόσεις έπρεπε να ξεκινήσουν το 2020. Με τα χρόνια υπήρξαν αρκετές αναφορές για το Roadster's powertrain δεύτερης γενιάς. Οι τελευταίες αναφορές δείχνουν ότι το Roadster μπορεί να έχει μπαταρία 200,0 κιλοβατώρας και τρεις ηλεκτρικούς κινητήρες—έναν μπροστά και δύο πίσω. Αυτό θα έδινε στο supercar πάνω από 1.000 ίππους. Ο Musk ανέφερε ότι το Roadster θα έχει ροπή 7.376 λιβρών-ποδιών, ωστόσο αυτός ο αριθμός είναι παραπλανητικός. Πιθανότατα θα έχει πιο κοντά στα 758 lb-ft. Ακόμη, ο Elon είπε ότι «το σπορ αυτοκίνητο θα είναι διαθέσιμο με δέκα προωθητές πυραύλων που θα "βελτίωναν" δραματικά την επιτάχυνση, την τελική ταχύτητα, το φρενάρισμα και τις στροφές». Επίσης, ανέφερε το 2021 ότι «το αυτοκίνητο θα πετύχαινε 60 mph σε 1,1 δευτερόλεπτο με τους προαιρετικούς πυραύλους». Στις 28 Φεβρουαρίου 2024 ισχυρίστηκε στο Twitter (βλέπε Εικόνα 57) ότι το αυτοκίνητο θα είναι πιο γρήγορο με αποτέλεσμα να πετύχει επιτάχυνση 0-60 mph σε λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο (Chris Bruce, 2024).



Εικόνα 56 Tesla Roadster Δεύτερης Γενιάς (2025)



Εικόνα 57 Tweet Elon Musk

3.3 Ενεργειακή απόδοση του Tesla Roadster

Για να υπολογιστεί η ενεργειακή απόδοση από την πηγή εξόρυξης πετρελαίου μέχρι τον τροχό (well-to-wheel energy efficiency) οποιουδήποτε αυτοκινήτου, θα πρέπει να ξεκινήσει κανείς με το ενεργειακό περιεχόμενο του αρχικού καυσίμου (π.χ. άνθρακα, αργό πετρέλαιο ή φυσικό αέριο), όπως αυτό βγαίνει από το έδαφος. Στη συνέχεια, πρέπει να παρακολουθήσει το ενεργειακό περιεχόμενο αυτού του καυσίμου καθώς μετατρέπεται στο τελικό προϊόν του (π.χ. βενζίνη ή ηλεκτρική ενέργεια), αφαιρώντας την ενέργεια που απαιτείται για τη μεταφορά του καυσίμου στο αυτοκίνητο. Τέλος, θα πρέπει να χρησιμοποιήσει την αποδοτικότητα καυσίμου του ίδιου του αυτοκινήτου (π.χ. τα διαφημιζόμενα mpg) για να ολοκληρώσει την εξίσωση. Όλα τα καύσιμα μπορούν να περιγραφούν με βάση την ενέργεια ανά μονάδα μάζας (Martin Eberhard και Marc Tarpenning, 2006).

3.3.1 Αυτοκίνητα βενζίνης

Αρχικά θα υπολογιστεί η ενεργειακή απόδοση από την πηγή εξόρυξης μέχρι τον τροχό ενός κανονικού βενζινοκίνητου αυτοκινήτου. Πρώτον, ας πάρουμε το ενεργειακό περιεχόμενο της βενζίνης, το οποίο είναι 46,7 MJ/kg ή 34,3 MJ/l. Δεύτερον, γνωρίζουμε ότι η παραγωγή της βενζίνης και η μεταφορά της στο βενζινάδικο είναι κατά μέσο όρο 81,7% αποδοτική, πράγμα που σημαίνει ότι το 18,3% του ενεργειακού περιεχομένου του αργού πετρελαίου χάνεται στην παραγωγή και τη μεταφορά. Τρίτον, αν $34,3 \text{ MJ/l} / 81,7\% = 42 \text{ MJ/l}$, για την παραγωγή ενός λίτρου βενζίνης στην αντλία βενζίνης απαιτούνται 42 μεγατζάουλ αργού πετρελαίου. Το πιο αποδοτικό συνηθισμένο βενζινοκίνητο αυτοκίνητο που κατασκευάστηκε ήταν το Honda Civic VX του 1993, το οποίο βαθμολογήθηκε από την EPA με 51 mpg για συνδυασμένη οδήγηση στην πόλη και στον αυτοκινητόδρομο. Μετατρέποντας σε μετρικές τιμές, το αυτοκίνητο αυτό είχε βαθμολογηθεί με 21,7 χιλιόμετρα ανά λίτρο βενζίνης. Συνεπώς, η απόδοσή του είναι $21,7 \text{ km/l} / 42 \text{ MJ/l} = 0,52 \text{ km/MJ}$. Λάβετε υπόψη ότι το Honda Civic VX είχε περίπου διπλάσια κατανάλωση βενζίνης από τα τυπικά αυτοκίνητα - ένα αυτοκίνητο όπως το Toyota Camry έχει βαθμολογία περίπου 0,28 km/MJ (Martin Eberhard και Marc Tarpenning, 2006).

3.3.2 Υβριδικά αυτοκίνητα

Το πιο αποδοτικό υβριδικό αυτοκίνητο είναι το Honda Insight του 2005, το οποίο επιτυγχάνει 63 mpg για συνδυασμένη οδήγηση στην πόλη και στον αυτοκινητόδρομο. Χρησιμοποιώντας παρόμοια μαθηματικά που χρησιμοποιήθηκαν για το Civic VX παραπάνω, η ενεργειακή απόδοση του Insight από την πηγή εξόρυξης μέχρι τον τροχό είναι 0,64 km/MJ. Το περίφημο Toyota Prius έχει βαθμολογηθεί από την EPA για 55 mpg σε συνδυασμό πόλης και αυτοκινητόδρομου, με ενεργειακή απόδοση 0,56 km/MJ (Martin Eberhard και Marc Tarpenning, 2006).

3.3.3 Ηλεκτρικά αυτοκίνητα

Ακόμη και με ελαστικά και γρανάζια βελτιστοποιημένα για απόδοση (και όχι για απόλυτη αποδοτικότητα), το Tesla Roadster καταναλώνει μόνο περίπου 110 watt-ώρες (0,40 mega-joules) ηλεκτρικής ενέργειας από την μπαταρία για να διανύσει ένα χιλιόμετρο, ή 2,53 km/MJ. Ο ενεργειακός κύκλος (φόρτιση και στη συνέχεια εκφόρτιση) των μπαταριών ιόντων λιθίου στο Tesla Roadster είναι περίπου 86% αποδοτικός. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε 100 μεγα-τζάουλ ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται για τη φόρτιση μιας τέτοιας μπαταρίας, μόνο 86 μεγα-τζάουλ ηλεκτρικής ενέργειας είναι διαθέσιμα από την μπαταρία για την τροφοδοσία του κινητήρα του αυτοκινήτου. Έτσι, η ενεργειακή απόδοση του Tesla Roadster «από την ηλεκτρική έξοδο στον τροχό» είναι $2,53 \text{ km/MJ} \times 86\% = 2,18 \text{ km/MJ}$ (Martin Eberhard και Marc Tarpenning, 2006).

Ο πιο αποδοτικός τρόπος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι με μια ηλεκτρογεννήτρια φυσικού αερίου «συνδυασμένου κύκλου». (Μια γεννήτρια συνδυασμένου κύκλου καίει το φυσικό αέριο σε έναν αεριοστρόβιλο υψηλής απόδοσης και χρησιμοποιεί την απορριπτόμενη θερμότητα αυτού του στρόβιλου για την παραγωγή ατμού, ο οποίος γυρίζει έναν δεύτερο στρόβιλο (και οι δύο στρόβιλοι γυρίζουν ηλεκτρικές γεννήτριες). Η καλύτερη από αυτές τις γεννήτριες σήμερα είναι η γεννήτρια «H-System» της General Electric, η οποία έχει απόδοση 60%, πράγμα που σημαίνει ότι το 40% του ενεργειακού περιεχομένου του φυσικού αερίου σπαταλιέται στην παραγωγή. Η ανάκτηση του φυσικού αερίου είναι αποδοτική κατά 97,5% και η επεξεργασία είναι επίσης αποδοτική κατά 97,5%. Η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται στη συνέχεια μέσω του ηλεκτρικού δικτύου, το οποίο έχει μέση απόδοση 92%, δίνοντας μια απόδοση «από την πηγή εξόρυξης στην ηλεκτρική πρίζα» $60\% \times 92\% \times 97,5\% \times 97,5\% = 52,5\%$. Λαμβάνοντας υπόψη την απόδοση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την πηγή εξόρυξης προς την ηλεκτρική πρίζα και την απόδοση του Tesla Roadster από το ηλεκτρικό δίκτυο προς τον τροχό, η ενεργειακή απόδοση του Tesla Roadster από την πηγή προς τον τροχό είναι $2,18 \text{ km/MJ} \times 52,5\% = 1,14 \text{ km/MJ}$, δηλαδή διπλάσια από την απόδοση του Toyota Prius (Martin Eberhard και Marc Tarpenning, 2006).

3.3.4 Αυτοκίνητα κυψελών καυσίμου υδρογόνου

Είναι γνωστό ότι το ενεργειακό περιεχόμενο του υδρογόνου είναι 141,9 MJ/kg, 16 οπότε μπορεί να υπολογιστεί ότι η απόδοση του οχήματος είναι $80,5 \text{ km/kg} / 141,9 \text{ MJ/kg} = 0,57 \text{ km/MJ}$. (Είναι σαφές ότι η κυψέλη καυσίμου της Honda δεν πλησιάζει ούτε κατά διάνοια τη θεωρητική απόδοση 50% που υποτίθεται παραπάνω) (Martin Eberhard και Marc Tarpenning, 2006).

Όταν υπολογίζουμε την ενεργειακή απόδοση από την πηγή εξόρυξης μέχρι τον τροχό αυτού του πειραματικού αυτοκινήτου της Honda, έχουμε $0,57 \text{ km/MJ} \times 61\% = 0,35 \text{ km/MJ}$, ούτε καν τόσο καλά όσο το συνηθισμένο πετρελαιοκίνητο Volkswagen Jetta, πόσο μάλλον το βενζινοκίνητο Honda Civic VX ή το υβριδικό αυτοκίνητο Honda Insight. Ωστόσο, ορισμένοι υποστηρικτές των κυψελών καυσίμου υδρογόνου υποστηρίζουν ότι θα ήταν καλύτερο να παράγεται υδρογόνο μέσω ηλεκτρόλυσης του νερού. Η απόδοση του υδρογόνου που παράγεται μέσω ηλεκτρόλυσης από την πηγή εξόρυξης στη δεξαμενή είναι μόνο περίπου 22% και η ενεργειακή απόδοση από την πηγή εξόρυξης στον τροχό του θεωρητικού μας αυτοκινήτου με κυψέλες καυσίμου θα ήταν $2,53 \text{ km/MJ} \times 50\% \times 22\% = 0,28 \text{ km/MJ}$, ενώ η ενεργειακή απόδοση από την πηγή εξόρυξης στον τροχό του Honda FCX θα ήταν $0,57 \text{ km/MJ} \times 22\% = 0,12 \text{ km/MJ}$, ακόμη λιγότερο αποδοτική από μια Porsche Turbo (Martin Eberhard και Marc Tarpenning, 2006).

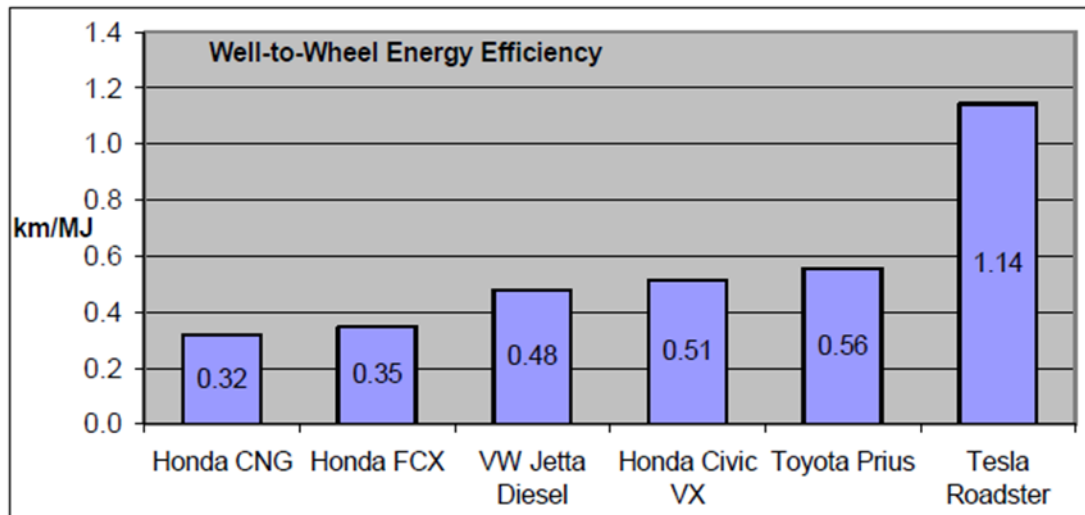
Ακόμη και με την πρωτοβουλία της κυβέρνησης των ΗΠΑ ύψους 1,2 δισεκατομμυρίων δολαρίων για τη μείωση της εξάρτησης των ΗΠΑ από το ξένο πετρέλαιο

με την ανάπτυξη κυψελών καυσίμου που λειτουργούν με υδρογόνο, μια πρόσφατη έκθεση μιας ομάδας της Εθνικής Ακαδημίας Επιστημών δείχνει ότι οι Αμερικανοί δεν πρέπει να κρατούν την αναπνοή τους περιμένοντας τα αυτοκίνητα να φτάσουν στις εκθέσεις. «Στην καλύτερη περίπτωση, η μετάβαση σε μια οικονομία υδρογόνου θα πάρει πολλές δεκαετίες και οι όποιες μειώσεις στις εισαγωγές πετρελαίου και στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι πιθανό να είναι μικρές κατά τα επόμενα 25 χρόνια», δήλωσε η Ακαδημία (Martin Eberhard και Marc Tarpenning, 2006).

3.3.5 Σύγκριση

Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει την ενεργειακή απόδοση από την πηγή εξόρυξης μέχρι τον τροχό διαφόρων τύπων αυτοκινήτων υψηλής απόδοσης – συμπεριλαμβανομένης μιας εκτίμησης της απόδοσης του Tesla Roadster – με βάση τα μετρημένα πρωτότυπα επιδόσεων (Martin Eberhard και Marc Tarpenning, 2006).

Τεχνολογία	Παράδειγμα οχήματος	Πηγή Καυσίμου	Καλή Απόδοση Στον Σταθμό	Χιλιόμετρα Οχήματος	Απόδοση οχημάτων	Καλή απόδοση στους τροχούς
Κινητήρας Φυσικού Αερίου	Honda CNG	Φυσικό αέριο	86.00%	35 mpg	0.37 km/MJ	0.318 km/MJ
Κυψέλη καυσίμου υδρογόνου	Honda FCX	Φυσικό αέριο	61.00%	64 m/kg	0.57 km/MJ	0.348 km/MJ
Μηχανή πετρελαίου	VW Jetta Diesel	Μαζούτ (Crude Oil)	90.10%	50 mpg	0.53 km/MJ	0.478 km/MJ
Κινητήρας βενζίνης	Honda Civic VX	Μαζούτ (Crude Oil)	81.70%	51 mpg	0.63 km/MJ	0.515 km/MJ
Υβριδικό (αέριο/ηλεκτρικό)	Toyota Prius	Μαζούτ (Crude Oil)	81.70%	55 mpg	0.68 km/MJ	0.556 km/MJ
Ηλεκτρικά	Tesla Roadster	Φυσικό αέριο	52.50%	110 Wh/km	2.18 km/MJ	1.145 km/MJ



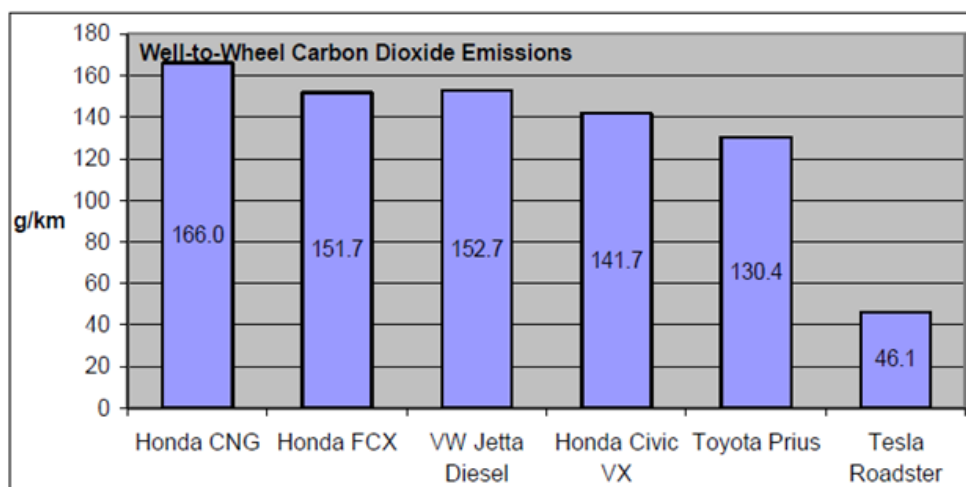
3.4 Εκπομπές του Tesla Roadster

Η καύση των καυσίμων παράγει μια ποικιλία εκπομπών, όπως θείο, μόλυβδο, άκαυστους υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Με την πάροδο των ετών, βελτιώθηκαν οι εκπομπές τόσο των αυτοκινήτων όσο και των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την αναδιαμόρφωση των καυσίμων για την εξάλειψη του θείου και των μετάλλων, καθώς και με τη βελτίωση της καύσης και του καθαρισμού μετά την καύση για την εξάλειψη των άκαυστων υδρογονανθράκων. Στο τέλος, ένας ιδανικός κινητήρας ή σταθμός παραγωγής ενέργειας θα εκπέμπει μόνο διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Το νερό είναι αρμόζον, αλλά το διοξείδιο του άνθρακα είναι το αέριο του θερμοκηπίου που δεν μπορεί να αποφευχθεί (Martin Eberhard και Marc Tarpenning, 2006).

Μπορούν να υπολογιστούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την πηγή εξόρυξης μέχρι τον τροχό για ένα δεδομένο όχημα με τρόπο παρόμοιο με τον τρόπο που υπολογίστηκε η ενεργειακή απόδοση στην προηγούμενη ενότητα, αφού είναι γνωστή η περιεκτικότητα του καυσίμου προέλευσης σε άνθρακα. Με τέλεια καύση, όλος ο άνθρακας του αρχικού καυσίμου θα μετατραπεί τελικά σε διοξείδιο του άνθρακα. Υποθέτοντας τέλεια καύση, μπορεί να υπολογιστεί η «περιεκτικότητα σε CO₂» οποιουδήποτε καυσίμου προέλευσης. Το αργό πετρέλαιο έχει περιεκτικότητα σε άνθρακα 19,9 γραμμάρια ανά MJ και το φυσικό αέριο έχει περιεκτικότητα σε άνθρακα 14,4 γραμμάρια ανά MJ. 1 γραμμάριο άνθρακα μετατρέπεται σε 3,67 γραμμάρια CO₂, αφού το ατομικό βάρος του άνθρακα είναι 12 και του οξυγόνου 16. Επομένως, η περιεκτικότητα του αργού πετρελαίου σε CO₂ είναι 73,0 γραμμάρια CO₂ ανά MJ και το φυσικό αέριο έχει περιεκτικότητα σε CO₂ 52,8 γραμμάρια CO₂ ανά MJ (Martin Eberhard και Marc Tarpenning, 2006).

Με αυτούς τους αριθμούς, μπορούν να υπολογιστούν οι εκπομπές από την πηγή εξόρυξης στον τροχό των διαφόρων οχημάτων, με βάση την περιεκτικότητα σε άνθρακα του καυσίμου προέλευσης και την ενεργειακή απόδοση των οχημάτων (Martin Eberhard και Marc Tarpenning, 2006):

Τεχνολογία	Παράδειγμα Αυτοκινήτου	Πηγή Καυσίμου		Τροχός με Τροχός	
			Περιεκτικότητα σε CO ₂	Αποδοτικότητα	Εκπομπές CO ₂
Κινητήρας Φυσικού Αερίου	Honda CNG	Φυσικό αέριο	52.8 g/MJ	0.32 km/MJ	166.0 g/km
Κυψέλη καυσίμου υδρογόνου	Honda FCX	Φυσικό αέριο	52.8 g/MJ	0.35 km/MJ	151.7 g/km
Μηχανή πετρελαίου	VW Jetta Diesel	Μαζούτ (Crude Oil)	73.0 g/MJ	0.48 km/MJ	152.7 g/km
Κινητήρας βενζίνης	Honda Civic VX	Μαζούτ (Crude Oil)	73.0 g/MJ	0.52 km/MJ	141.7 g/km
Υβριδικό (αέριο/ηλεκτρικό)	Toyota Prius	Μαζούτ (Crude Oil)	73.0 g/MJ	0.56 km/MJ	130.4 g/km
Ηλεκτρικά	Tesla Roadster	Φυσικό αέριο	52.8 g/MJ	1.15 km/MJ	46.1 g/km



3.5 Επίδοση του Tesla Roadster

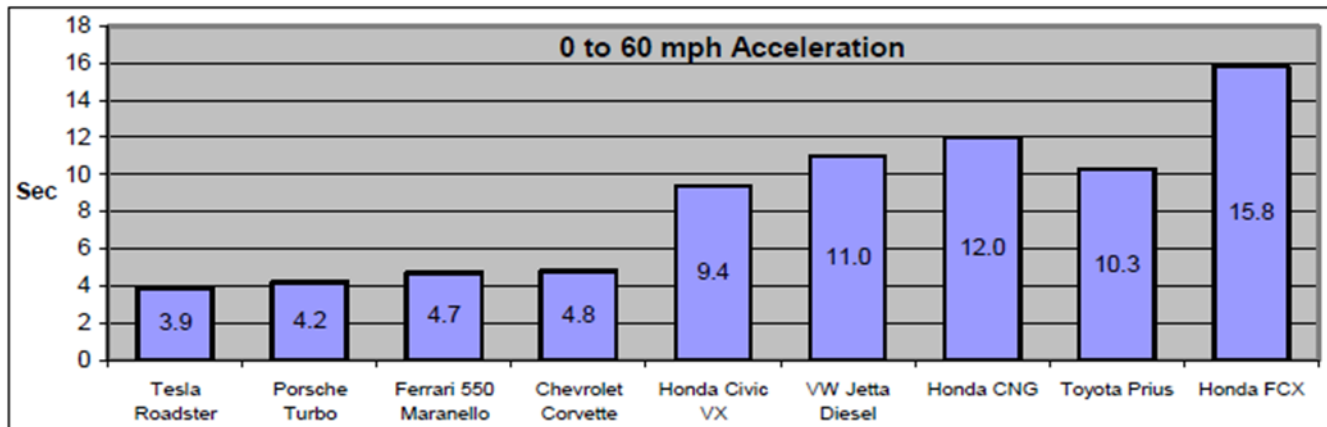
Το όραμα της αντικατάστασης πολλών από τα αυτοκίνητα που κυκλοφορούν στους δρόμους με καθαρά οχήματα μετακίνησης οδήγησε τους περισσότερους παραγωγούς ηλεκτρικών αυτοκινήτων να κατασκευάσουν αυτοκίνητα χαμηλού κόστους με όσο το δυνατόν χαμηλότερη τιμή. Αλλά ακόμη και αν μπορούσε να διατυπωθεί ένα ισχυρό επιχείρημα ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα είναι τελικά φθηνότερα από τα αντίστοιχα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα, σίγουρα δεν θα είναι φθηνότερα έως ότου ο όγκος των πωλήσεών τους προσεγγίσει αυτόν ενός τυπικού βενζινοκίνητου αυτοκινήτου - πολλές χιλιάδες ετησίως τουλάχιστον (Martin Eberhard και Marc Tarpenning, 2006).

Μέχρις ότου ένας κατασκευαστής ηλεκτρικών αυτοκινήτων επιτύχει αρκετά υψηλές πωλήσεις ώστε να προσεγγίσει την αποδοτικότητα του όγκου πωλήσεων ενός κατασκευαστή βενζινοκίνητων αυτοκινήτων, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα πρέπει να ανταγωνίζονται για άλλους λόγους εκτός από την τιμή. Εκτός από το προφανές πλεονέκτημα των εκπομπών ρύπων, υπάρχει και ένας άλλος τρόπος με τον οποίο ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο μπορεί να υπερτερεί κατά πολύ έναντι ενός βενζινοκίνητου αυτοκινήτου – με μια λέξη, η ροπή. Ένας βενζινοκινητήρας έχει πολύ μικρή ροπή στις χαμηλές στροφές και αποδίδει λογική ιπποδύναμη μόνο σε ένα στενό εύρος στροφών. Από την άλλη πλευρά, ένας ηλεκτροκινητήρας έχει υψηλή ροπή στις μηδενικές στροφές και παρέχει σχεδόν σταθερή ροπή μέχρι περίπου τις 6.000 στροφές ανά λεπτό και συνεχίζει να παρέχει υψηλή ισχύ και μετά τις 13.000 στροφές ανά λεπτό. Αυτό σημαίνει ότι ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο επιδόσεων μπορεί να είναι πολύ γρήγορο χωρίς την ανάγκη χρήσης πεντάλ συμπλέκτη και οι επιδόσεις του αυτοκινήτου είναι διαθέσιμες σε έναν οδηγό χωρίς ιδιαίτερες οδηγικές ικανότητες (Martin Eberhard και Marc Tarpenning, 2006).

Με έναν βενζινοκινητήρα, οι επιδόσεις συνοδεύονται από ένα μεγάλο τίμημα – αν θέλει κανείς ένα αυτοκίνητο που έχει τη δυνατότητα να επιταχύνει γρήγορα, χρειάζεται έναν κινητήρα υψηλής ιπποδύναμης και θα έχει υψηλή κατανάλωση καυσίμου ακόμη και όταν δεν το οδηγεί σκληρά. Από την άλλη πλευρά, ο διπλασιασμός της ιπποδύναμης ενός ηλεκτροκινητήρα βελτιώνει την απόδοση. Επομένως, είναι αρκετά εύκολο να κατασκευάσει κανείς ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο που να είναι και πολύ αποδοτικό και επίσης πολύ γρήγορο (Martin Eberhard και Marc Tarpenning, 2006).

Στο ένα άκρο του φάσματος, το ηλεκτρικό αυτοκίνητο έχει υψηλότερη απόδοση και χαμηλότερες συνολικές εκπομπές από τα πιο αποδοτικά αυτοκίνητα. Στο άλλο άκρο του φάσματος, το ηλεκτρικό αυτοκίνητο επιταχύνει τουλάχιστον τόσο καλά όσο τα καλύτερα σπορ αυτοκίνητα, αλλά είναι έξι φορές πιο αποδοτικό και παράγει το ένα δέκατο της ρύπανσης. Το παρακάτω διάγραμμα συγκρίνει το Tesla Roadster με αρκετά αυτοκίνητα υψηλών επιδόσεων και με αρκετά αυτοκίνητα υψηλής απόδοσης (Martin Eberhard και Marc Tarpenning, 2006).

Τεχνολογία	Παράδειγμα Οχημάτος	Χιλιόμετρα Αερίου	Καλή απόδοση των τροχών	Καλές Εκπομπές CO2 Στους Τροχούς	Επιτάχυνση 0 to 60 mph
Ηλεκτρικό	Tesla Roadster	110 Wh/km	1.15 km/MJ	46.1 g/km	3.9 sec
Βενζινοκινητήρας (Turbo 6-κύλινδρος)	Porsche Turbo	22 mpg	0.22 km/MJ	328.2 g/km	4.2 sec
Βενζινοκινητήρας (V12)	Ferrari 550 Maranello	11.7 mpg	0.12 km/MJ	617.1 g/km	4.7 sec
Βενζινοκινητήρας (V8)	Chevrolet Corvette	25.0 mpg	0.25 km/MJ	288.8 g/km	4.8 sec
Βενζινοκινητήρας (VTEC 4-κύλινδρος)	Honda Civic VX	51.0 mpg	0.52 km/MJ	141.6 g/km	9.4 sec
Κινητήρας ντιζελ (4-κύλινδρος)	VW Jetta Diesel	50.0 mpg	0.48 km/MJ	152.1 g/km	11.0 sec
Κινητήρας φυσικού αερίου (4-κύλινδρος)	Honda CNG	35.0 mpg	0.32 km/MJ	165.0 g/km	12.0 sec
Υβριδικό (3-κύλινδρο φυσικό αέριο/ηλεκτρικό)	Toyota Prius	55.0 mpg	0.56 km/MJ	131.3 g/km	10.3 sec
Κυνήλη καυσίμου υδρογόνου	Honda FCX	64 mi/kg	0.35 km/MJ	151.7 g/km	15.8 sec



3.6 Από το Lotus Elise στο Tesla Roadster

Το Tesla Roadster θεωρείται συχνά ως το πρώτο αυτοκίνητο που έκανε τα EV να κερδίσουν την προσοχή του κοινού. Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 3.1, η κατασκευή του Tesla Roadster προήλθε από το Tzero της AC Propulsion και το Lotus Elise. Θεωρητικά, δηλαδή, ήταν ένα ηλεκτρικό Lotus Elise. Ωστόσο, η τελική έκδοση του Roadster κατέληξε να δανειστεί μόνο το 7% των εξαρτημάτων της από το Elise, ενώ τα υπόλοιπα τροποποιήθηκαν πλήρως. Συγκεκριμένα, διέθετε εντελώς διαφορετικό σύστημα μετάδοσης κίνησης, διαφορετικά φρένα, ABS (σύστημα αντιμπλοκαρίσματος τροχών), HVAC (θέρμανση, εξαερισμός και κλιματισμός) και πίσω ανάρτηση. Ακόμη, η μπαταρία του αυτοκινήτου βρισκόταν στη μέση και ζύγιζε 1.000 rounds (453 κιλά) ενώ η δομή του Elise δεν μπορούσε να αντέξει τέτοιο βάρος. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα η δομή του Roadster να χρειαστεί να αλλάξει δραστικά. Προκειμένου το αυτοκίνητο να αντέξει αυτό το προσθετικό βάρος, το αλουμινένιο πλαίσιο που βρισκόταν η μπαταρία έπρεπε να επανασχεδιαστεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Tesla. Ακόμη, η δομή πρόσκρουσης στο μπροστινό μέρος έγινε μεγαλύτερη για να φιλοξενήσει το επιπλέον βάρος. Το πακέτο μπαταρίας αναθεωρήθηκε περαιτέρω για να αυξηθεί η ακαμψία. Οι πλευρικές μπάρες μετακινήθηκαν πιο κάτω για να βελτιωθεί η είσοδος και η έξοδος, ώστε οι ψηλότεροι επιβάτες να μπορούν να μπαίνουν και να βγαίνουν πιο άνετα (Nacim Ourabah, 2024).

Η Tesla εργάστηκε επίσης σ' ένα νέο πίσω υποπλαίσιο, προσαρμόζοντάς το ουσιαστικά στο πακέτο μπαταριών, τον κινητήρα και το κιβώτιο ταχυτήτων. Δεδομένου ότι το Roadster είχε κάποιο βάρος λόγω του βαρύτερου ηλεκτρικού συστήματος κίνησης, προστέθηκαν επίσης νέα ψαλίδια. Με αυτές τις αλλαγές, είχε πλέον ένα μεταξόνιο που ήταν περίπου δύο ίντσες μακρύτερο από το Elise (Nacim Ourabah, 2024).

Ο παρακάτω πίνακας συγκρίνει τις εξωτερικές διαστάσεις της πρώτης γενιάς Roadster με το Lotus Elise:

	Πρώτης γενιάς Tesla Roadster	Lotus Elise
Μήκος	155,4 ίντσες	146,7 ίντσες
Πλάτος	73,7 ίντσες	67,7 ίντσες
Ύψος	44,1 ίντσες	47,3 ίντσες
Μεταξόνιο	92,6 ίντσες	90,6 ίντσες
Απόβαρο	2.690 pounds (1.200 κιλά)	1.664 pounds (754 κιλά)

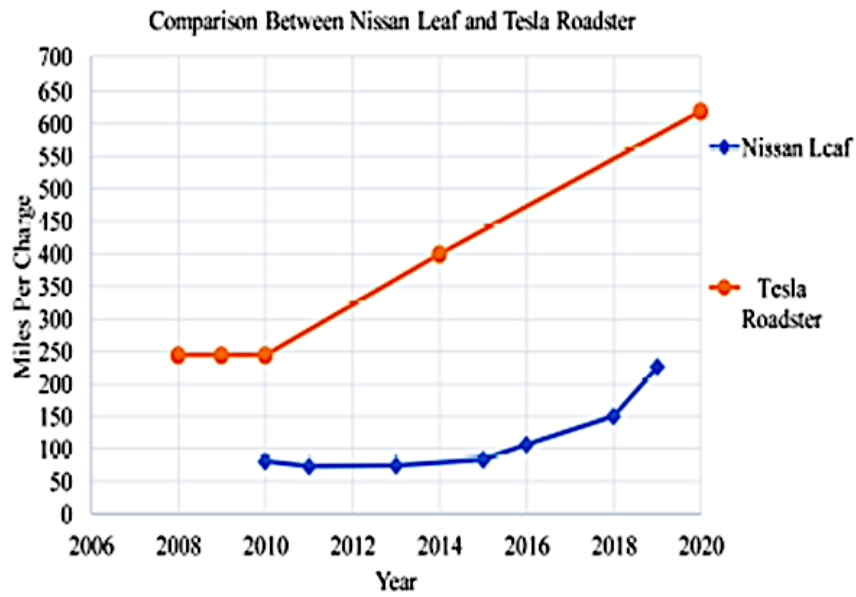
Συνολικά, το Roadster εφοδιάστηκε με τα παρακάτω πρόσθετα χαρακτηριστικά που δεν περιλαμβάνονταν αρχικά στο Lotus Elise (Nacim Ourabah, 2024).:

- Επανασχεδιασμένα καθίσματα, φαρδύτερα κατά αρκετές ίντσες
- Νέο υλικό επένδυσης με ανθρακονήματα, αντί για το fiberglass της Lotus
- Μια εσωτερική κονσόλα από ανθρακονήματα
- Μια προσαρμοσμένη, έγχρωμη οθόνη LCD
- Ένα νέο ραδιόφωνο Blaupunkt με υποδοχή iPod και προαιρετικό δορυφορικό ραδιόφωνο και σύστημα δορυφορικής πλοήγησης.
- Δερμάτινα πάνελ πόρτας και ηλεκτρική απελευθέρωση πορτμπαγκάζ

3.7 Σύγκριση του Tesla Roadster με το Nissan LEAF

Το Nissan Leaf, το οποίο παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στην αγορά το 2010 όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.3, είχε κυκλοφορήσει για πρώτη φορά με αυτονομία 81 μιλίων ανά απλή φόρτιση. Ως το πρώτο EV μαζικής παραγωγής από μεγάλο κατασκευαστή, αυτό το φιλικό προς το περιβάλλον όχημα τιμήθηκε με τη διάκριση του Ευρωπαϊκού Αυτοκινήτου της Χρονιάς το 2011. Βέβαια, το πρώτο Tesla Roadster παρουσιάστηκε το 2008, όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.3, ακόμη νωρίτερα από το Leaf. Το πρώτο Roadster είχε εμβέλεια 244 μιλίων ανά φόρτιση. Έκτοτε, τόσο η Nissan όσο και η Tesla παρήγαγαν ανανεωμένα μοντέλα των αρχικών τους εκδόσεων με καλύτερες προδιαγραφές (Noon Hussein και Ahmed M Massoud, 2019).

Στο παρακάτω σχεδιάγραμμα συγκρίνεται η εμβέλεια του Leaf και του Roadster με την πάροδο του χρόνου.



Εικόνα 58 Σχεδιάγραμμα σύγκρισης εμβέλειας του Leaf και του Roadster

Κεφάλαιο 4: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ηλεκτροκίνησης

4.1 Πλεονεκτήματα της ηλεκτροκίνησης

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν πολλά σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα παραδοσιακά αυτοκίνητα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Αρχικά, ένα πρώτο πλεονέκτημα αποτελεί το κόστος συντήρησης. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν χαμηλότερο κόστος λειτουργίας σε σχέση με τα παραδοσιακά αυτοκίνητα. Μπορεί η τιμή της αγοράς των ηλεκτρικών αυτοκινήτων να είναι υψηλή, ωστόσο η χρήση τους εξοικονομεί χρήματα στην φόρτιση του αυτοκινήτου (“Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα”, 2024). Επιπλέον, έχουν μεγαλύτερη ευκολία στη φόρτιση. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν πλέον μεγαλύτερη αυτονομία και υπάρχει μια συνεχής ανάπτυξη του δικτύου φόρτισης σε δημόσιους χώρους και σταθμούς φόρτισης στο σπίτι. Η φόρτιση αυτοκινήτων στο σπίτι είναι πολύ πιο εύκολη από ό,τι οι περισσότεροι πιστεύουν, διότι οι περισσότεροι φορτιστές μπορούν να συνδεθούν με μια απλή οικιακή πρίζα (“Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα”, 2024).

Ένα ακόμη πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι είναι αθόρυβα κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Οι ηλεκτροκινητήρες τους είναι αθόρυβοι, έχοντας ως αποτέλεσμα η οδήγηση να είναι πολύ πιο ήσυχη και άνετη (“Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα”, 2024). Γενικότερα κατέχουν περισσότερη ευελιξία και άνεση σε σχέση με τα παραδοσιακά αυτοκίνητα. Πιο συγκεκριμένα, οι ηλεκτρικοί κινητήρες προσφέρουν ευχέρεια στην οδήγηση, καθώς δεν απαιτούν συνεχή αλλαγή ταχυτήτων. Επιπλέον, οι ηλεκτρικοί κινητήρες δεν παράγουν κραδασμούς και δονήσεις, καθιστώντας την οδήγηση πιο ευχάριστη (“Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα”, 2024).

Σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μειώνουν το αποτύπωμα του άνθρακα (carbon footprint), διότι δεν εκπέμπουν CO₂ ή άλλα αέρια του θερμοκηπίου (greenhouse gases), καθιστώντας τα πολύ πιο φιλικά προς το περιβάλλον (Ana Almerini, 2024). Επιπλέον, οι ηλεκτρικοί κινητήρες προσφέρουν υψηλή απόδοση και επιτάχυνση σε σχέση με τους κινητήρες εσωτερικής καύσης, καθιστώντας τα ιδανικά για την οδήγηση σε αυτοκινητόδρομους και άλλες επαρχιακές οδούς (“Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα”, 2024).

Τέλος, χάρη στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα υπάρχει βελτίωση στις υποδομές, καθώς η δημοτικότητά τους αυξάνεται. Ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων στο δρόμο έχει αυξηθεί μαζικά τα τελευταία χρόνια. Η αύξηση της ζήτησης για ηλεκτρικά αυτοκίνητα συνέβαλε στη στήριξη της επέκτασης και της βελτίωσης της απαιτούμενης υποδομής για ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Αυτό είχε, επίσης, ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των ηλεκτρικών οχημάτων που παράγονται από κατασκευαστές και την εισαγωγή κρατικών

επιδοτήσεων και επιχορηγήσεων για τη στήριξη της υιοθέτησης των ηλεκτρικών οχημάτων (Nimisha Jain, 2022).

4.2 Μειονεκτήματα της ηλεκτροκίνησης

Αν και τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν αρκετά πλεονεκτήματα, υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα. Αρχικά, το κόστος των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι υψηλότερο σε σχέση με τα παραδοσιακά αυτοκίνητα. Αν και το κόστος συντήρησης της οδήγησης ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι σημαντικά χαμηλότερο από ένα παραδοσιακό αυτοκίνητο βενζίνης ή ντίζελ, η τιμή αγοράς ενός ηλεκτρικού είναι στην πιο ακριβή πλευρά (“The pros and cons of owning an electric car”, 2023). Επιπλέον, ο χρόνος φόρτισης των μπαταριών τους είναι πολύ μεγαλύτερος από ό,τι ο χρόνος που απαιτείται για τον πλήρη ανεφοδιασμό ενός αυτοκινήτου με καύσιμα. Ως μέσο όρο χρειάζεται 8-20 ώρες για να φορτίσει ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο με φορτιστή επιπέδου 1, και 4-8 ώρες με φορτιστή επιπέδου 2. Υπάρχουν, ωστόσο, φορτιστές ταχείας φόρτισης DC που μπορούν να φορτίσουν το αυτοκίνητο σε 30-60 λεπτά, ωστόσο δεν είναι ορθό να χρησιμοποιούνται αυτοί οι φορτιστές σε καθημερινή βάση διότι μειώνουν την μακροζωία της μπαταρίας του αυτοκινήτου (“Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα”, 2024).

Παρόλο που τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα δεν εκπέμπουν ρύπους κατά την κίνησή τους, η παραγωγή των μπαταριών τους μπορεί να προκαλέσει ρύπανση και περιβαλλοντικά προβλήματα. Η παραγωγή των μπαταριών απαιτεί τη χρήση σπάνιων μετάλλων και άλλων πρώτων υλών που μπορεί να προκαλέσουν περιβαλλοντική ζημιά κατά την εξόρυξη και την επεξεργασία τους. Επιπλέον, η απόρριψη των μπαταριών μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στην υγεία, καθώς περιέχουν τοξικά υλικά που μπορούν να διαρρεύσουν στο έδαφος και τα ύδατα (“Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα”, 2024).

Η ίδια η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να προκαλέσει περιβαλλοντικά προβλήματα. Συγκεκριμένα, το ηλεκτρικό ρεύμα που χρησιμοποιείται για τη φόρτιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και προέρχεται από καύση ορυκτών, αυτό με τη σειρά του συμβάλλει στο πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής. Για αυτό το λόγο, οι εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οφείλουν να υιοθετούν τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων.

Επιπλέον, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν μικρότερη εμβέλεια οδήγησης. Το εύρος οδήγησης σ’ ένα ηλεκτρικό όχημα αναφέρεται στην απόσταση που μπορεί να διανύσει το όχημα με μία μόνο φόρτιση της μπαταρίας του. Σε σύγκριση με τα συμβατικά αυτοκίνητα, τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν μικρότερη αυτονομία (“Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο:

Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα”, 2024). Παράλληλα, υπάρχει και μία υποβάθμιση στη μπαταρία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Καθώς η τεχνολογία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων συνεχίζει να εξελίσσεται, το ίδιο συμβαίνει και με το κόστος της μπαταρίας. Η αντικατάσταση των μπαταριών είναι ακριβή ανάλογα με το μοντέλο και τον τύπο του ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Το κόστος αντικατάστασης της μπαταρίας μπορεί επίσης να επηρεάσει την αξία μεταπώλησης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, καθώς η μπαταρία θα πρέπει να αντικατασταθεί κάποια στιγμή κατά τη διάρκεια της ζωής του αυτοκινήτου (“The pros and cons of owning an electric car”, 2023).

Ένα ακόμη μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι η επισκευή ή η αντικατάσταση της μπαταρίας ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου μπορεί να είναι ακριβή. Αν και δεν συμβαίνει συχνά, οι μπαταρίες μπορεί να χαλάσουν ή να χρειαστούν επισκευές, το κόστος των οποίων μπορεί να είναι αρκετά υψηλό. Αυτό, βέβαια, εξαρτάται από το είδος της ζημιάς και το μοντέλο του αυτοκινήτου. Οι μπαταρίες υποστηρίζονται από μια υπόσχεση εγγύησης μερικών ετών, επομένως σε περίπτωση που η μπαταρία αποτύχει εντός της περιόδου εγγύησης, οι κατασκευαστές συνήθως παρέχουν δωρεάν αντικατάσταση (Nimisha Jain, 2022)

Υπάρχουν, ακόμη, και κάποιοι περιορισμοί υλικών. Οι μπαταρίες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων απαιτούν συγκεκριμένα υλικά, όπως το λίθιο, για την παραγωγή τους και η ύπαρξη υλικών ενδεχομένως να είναι περιορισμένη (Στέφανος Βερβέρας, 2023). Τέλος, μπορεί να υπάρξουν επιδράσεις στην αποθήκευση. Η αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων μπαταριών ηλεκτρικών αυτοκινήτων μπορεί να έχει επιπτώσεις στην περιβαλλοντική ασφάλεια και στην ασφάλεια των κατοίκων (Στέφανος Βερβέρας, 2023).

Κεφάλαιο 5: Περιβαλλοντικά οφέλη των ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Κύριος λόγος αυτού είναι ότι στην κατασκευή αυτών των οχημάτων, χρησιμοποιούνται φιλικά προς τον περιβάλλον υλικά. Σημαντικό, δεν χρησιμοποιούν καύσιμα, όπως για παράδειγμα βενζίνη ή πετρέλαιο, αλλά έχουν ως πηγή κίνησης έναν ηλεκτροκινητήρα που παίρνει ενέργεια από επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Εξαλείφοντας τη διαδικασία καύσης, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μειώνουν σημαντικά τις εκπομπές καυσαερίων και επομένως συνεισφέρουν στην μείωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων (“Benefits of Electric Cars for the Environment”, 2024).

Επιπλέον, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα δεν έχουν καμία εξάτμιση. Με άλλα λόγια, δεν εκπέμπουν ρύπους, κάτι που βελτιώνει κατά πολύ την ποιότητα του αέρα, ειδικά στις πόλεις όπου κυκλοφορούν πολλά αυτοκίνητα. Αντίστοιχα, στις ίδιες πόλεις ο θόρυβος που αποτελεί μεγάλο πρόβλημα και επηρεάζει την ποιότητα ζωής των κατοίκων μπορεί να μειωθεί δραματικά με την κυκλοφορία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων (“Τα περιβαλλοντικά οφέλη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου”, 2024). Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα δεν διαθέτουν κινητήρα εσωτερικής καύσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να είναι σχεδόν αθόρυβα, βοηθώντας στη μείωση της ηχορύπανσης της ατμόσφαιρας. Μάλιστα, η μείωση του θορύβου είναι τόσο δραματική σε σχέση με τα συμβατικά αυτοκίνητα, που οι κατασκευαστές διερευνούν τρόπους να αυξήσουν κάπως τον θόρυβο για θέμα ασφάλειας, ώστε να ακούν οι πεζοί την επικείμενη άφιξη ενός ηλεκτρικού οχήματος και έτσι να μειωθεί ο κίνδυνος ατυχήματος (“Benefits of Electric Cars for the Environment”, 2024).

Ένα ακόμη όφελος αποτελεί το γεγονός ότι οι μπαταρίες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων μπορούν να ανακυκλωθούν ή να χρησιμοποιηθούν ξανά (δεύτερη ευκαιρία). Με την έννοια «δεύτερη ευκαιρία» μιας μπαταρίας εννοείται ότι η μπαταρία βρίσκεται στο τέλος κύκλου ζωής της και μπορεί να ανακυκλωθεί. Μπορεί, δηλαδή, να χρησιμοποιηθεί σε πολλές άλλες εφαρμογές αφού διατηρεί το 70-80% της δύναμής της. (“Ξεκίνησε η 1η ανακύκλωση μπαταρίας ηλεκτρικού αυτοκινήτου στην Ελλάδα!”, 2020). Για παράδειγμα, η εταιρεία Re-Battery έχει αναλάβει τη διαχείριση όλων των αποβλήτων της αυτοκινητοβιομηχανίας της Ελλάδας. Με αυτό τον τρόπο τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα γίνονται όλο και περισσότερο βιώσιμα, φιλικά προς το περιβάλλον, αφήνοντας όσο το δυνατόν μικρότερο αποτύπωμα σε αυτό (Τριαντάφυλλος Τσουλφάς, 2020).

Παράλληλα, τα EV είναι πιο ενεργειακά αποδοτικά από τα παραδοσιακά βενζινοκίνητα οχήματα. Η απόδοση μετατροπής ενέργειας των ηλεκτρικών οχημάτων είναι περίπου 60%, σε σχέση με τα βενζινοκίνητα οχήματα που είναι περίπου 20%. Αυτό σημαίνει ότι τα EV καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια για να διανύσουν την ίδια απόσταση,

με αποτέλεσμα χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και φυσικά μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (“How do EVs help conserve the environment?”, 2023).

Πρέπει όμως να τονισθεί ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα δεν είναι 100% καθαρά για το περιβάλλον. Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη φόρτιση της μπαταρίας έχει κατά κάποιο τρόπο επιβαρύνει με τη σειρά της το περιβάλλον κατά την διεργασία παραγωγής της. Αυτό πάντα εξαρτάται από τους τρόπους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που κάθε χώρα έχει. Ωστόσο, και πάλι σε σύγκριση με τα συμβατικά αυτοκίνητα και τις ενεργειακές τους απαιτήσεις, τα ηλεκτρικά είναι κατά πολύ καθαρότερα και πιο αποδοτικά (“Τα περιβαλλοντικά οφέλη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου”, 2024). Η ανάλυση αυτού του δεδομένου ακολουθεί στο επόμενο κεφάλαιο με παρουσίαση αποτελεσμάτων με παραδείγματα ανά χώρα ενδιαφέροντος, όπου μπορούν να γίνουν συγκρίσεις βάσει του τρόπου παραγωγής ενέργειας και της δυνατότητας υποστήριξης των ηλεκτρικών οχημάτων με αναφορά στο κόστος αγοράς, λειτουργίας/χρήσης, συντήρησης κλπ.

Κεφάλαιο 6: Εκπομπές ρύπων των ηλεκτρικών αυτοκινήτων

6.1 Ευρώπη

Τα πλήρως ηλεκτρικά οχήματα, τα plug-in υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEV) και τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV) παράγουν συνήθως χαμηλότερες εκπομπές καυσαερίων από τα συμβατικά οχήματα και μηδενικές εκπομπές καυσαερίων όταν λειτουργούν μόνο με ηλεκτρική ενέργεια. Οι εκπομπές καυσαερίων είναι ένας μόνο παράγοντας για την εξέταση των εκπομπών του κύκλου ζωής ενός οχήματος (“Emissions from Electric Vehicles”, 2024).

Σύμφωνα με τις αναφορές (report) του ΕΟΠ (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος), οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου των ηλεκτρικών οχημάτων το 2018 ήταν περίπου 17-30% χαμηλότερες από τις εκπομπές των βενζινοκίνητων και πετρελαιοκίνητων αυτοκινήτων. Η παραγωγή ηλεκτρικών αυτοκινήτων αναμένεται, επίσης, να γίνει πιο αποτελεσματική. Το ίδιο συμβαίνει και με την παραγωγή καθαρότερης ηλεκτρικής ενέργειας. Κάθε χρόνο οι εκπομπές του κύκλου ζωής ενός τυπικού ηλεκτρικού οχήματος θα μπορούσαν να μειωθούν τουλάχιστον κατά 73% έως το 2050 (“Electric vehicles”, 2024).

Ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων αυξάνεται στην Ευρώπη κάθε χρόνο. Για παράδειγμα, οι ταξινομήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων για το 2022 αποτέλεσαν το 21,6% στο μερίδιο των συνολικών ταξινομήσεων νέων αυτοκινήτων, σύμφωνα με προκαταρκτικά στοιχεία. Για ένα βιώσιμο σύστημα κινητικότητας τα ηλεκτρικά οχήματα από μόνα τους δεν θα είναι αρκετά. Επιπλέον, η παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων θα εξακολουθεί να απαιτεί σημαντικούς πόρους και να προκαλεί ρύπανση. Παράλληλα, τα ηλεκτρικά οχήματα δεν θα λύσουν το πρόβλημα της αυξανόμενης ζήτησης μεταφορών, καθώς και του χρόνου που αφιερώνεται στην κυκλοφορία ή της εύρεσης θέσης στάθμευσης (“Electric vehicles”, 2024).

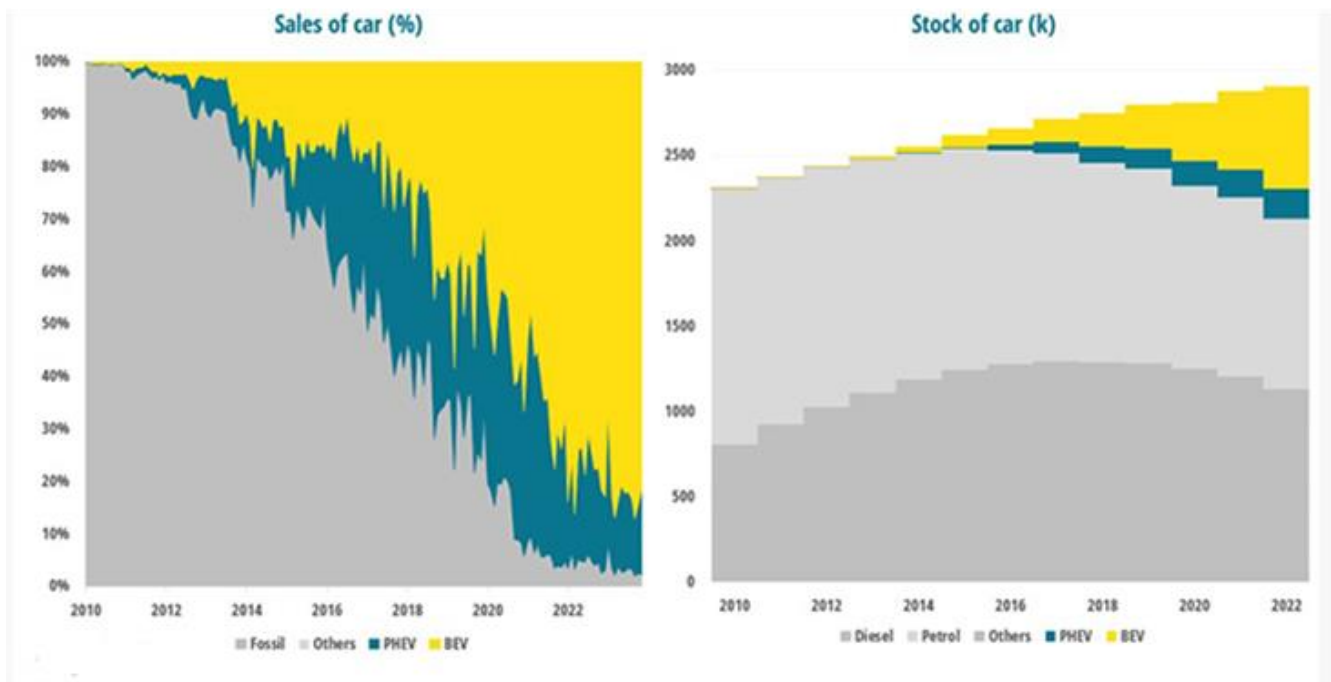
6.2 Νορβηγία

Η Νορβηγία είναι μια χώρα που έχει σημειώσει μεγάλη πρόοδο στην υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων. Το 2017, το νορβηγικό κοινοβούλιο ενέκρινε έναν εθνικό στόχο ότι όλα τα νέα αυτοκίνητα που θα πωληθούν έως το 2025 θα πρέπει να είναι οχήματα μηδενικών εκπομπών. Αυτό ήταν ένα πολύ πρώιμο βήμα σε σύγκριση με άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Η ανάπτυξη της αγοράς αυτοκινήτων στη Νορβηγία μπορεί να θεωρηθεί ως παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο θα μπορούσε να εξελιχθεί η κατανάλωση ενέργειας στην Ευρώπη με αυξανόμενο μερίδιο των BEV στις πωλήσεις αυτοκινήτων (“EV: Sales, underlying policies, impacts”, 2024).

6.2.1 Εξέλιξη των πωλήσεων ηλεκτρικών αυτοκινήτων στη Νορβηγία

Η Νορβηγία έχει μακρά ιστορία ανάπτυξης ηλεκτρικών οχημάτων, η οποία χρονολογείται από τη δεκαετία του 1990. Τα τελευταία 30 χρόνια, τα οχήματα μηδενικών εκπομπών ρύπων επωφελήθηκαν από μια σειρά φόρων και κανονιστικών πλεονεκτημάτων, όπως μειώσεις ή απαλλαγές από ΦΠΑ, φόρο αγοράς και τέλη κυκλοφορίας. Αυτοί οι κανονισμοί εφαρμόστηκαν για να ενισχύσουν την οικονομική ανταγωνιστικότητα των EV σε σύγκριση με τα αυτοκίνητα με κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE). Η στρατηγική ήταν να δοθεί μια ευκαιρία γι' αυτή τη νέα τεχνολογία, με την προσδοκία ότι το κόστος των μπαταριών θα μειωνόταν με την πάροδο του χρόνου καθώς αυξανόταν η παραγωγή (“EV: Sales, underlying policies, impacts”, 2024).

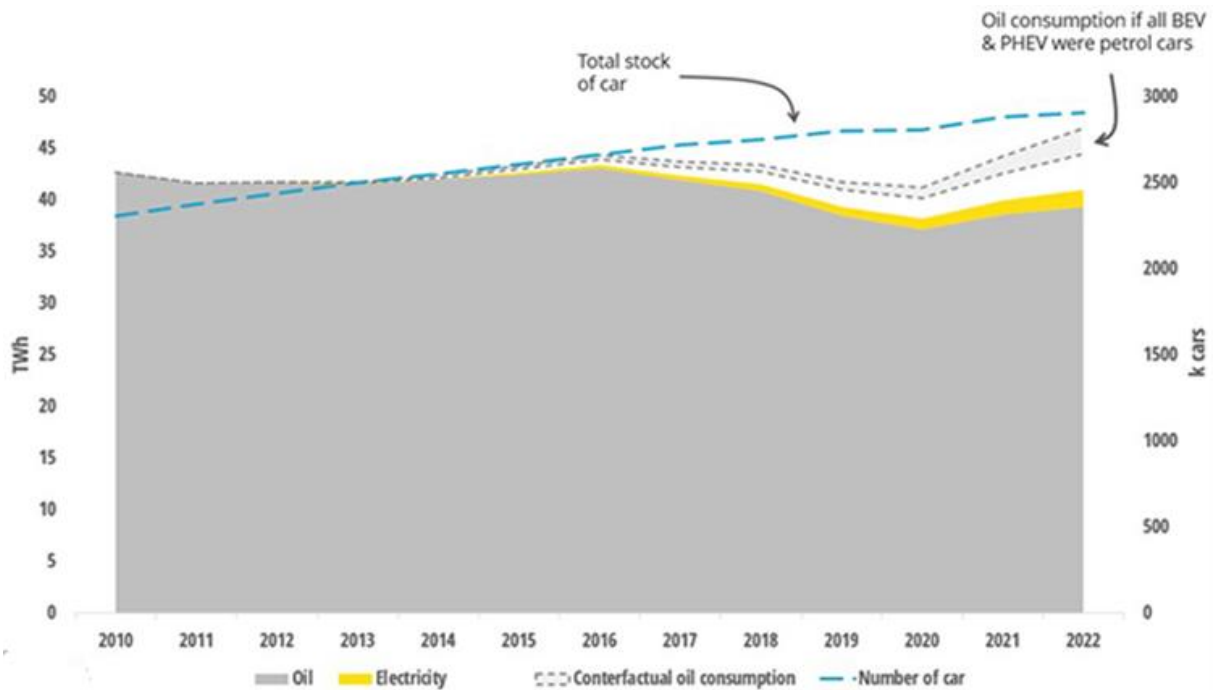
Όλα αυτά τα κίνητρα απέδωσαν 20 χρόνια αργότερα. Οι πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων άρχισαν να αυξάνονται σημαντικά στις αρχές της δεκαετίας του 2010, καθώς η τεχνολογία ωριμάζε. Τα τελευταία δύο χρόνια, τα ηλεκτρικά οχήματα κατείχαν σταθερά πάνω από το 80% των μεριδίων αγοράς. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα αντιπροσωπεύουν σήμερα το 20% του στόλου αυτοκινήτων (βλέπε Εικόνα 59) (“EV: Sales, underlying policies, impacts”, 2024).



Εικόνα 59 Εξέλιξη πωλήσεων και αποθεμάτων αυτοκινήτων στη Νορβηγία

6.2.2 Επιπτώσεις στην κατανάλωση ενέργειας

Το 2022, η Νορβηγία παράγαγε 146 TWh ηλεκτρικής ενέργειας, το 88% της οποίας ήταν υδροηλεκτρική. Αυτή η τεράστια υδροηλεκτρική ισχύς αποτέλεσε τη ραχοκοκαλιά της ανάπτυξης της ηλεκτρικής ενέργειας από τις εγκαταστάσεις της, εξασφαλίζοντας μια σταθερή και χωρίς CO₂ παραγωγική ικανότητα. Το μερίδιο της ηλεκτρικής παραγωγής που διατέθηκε για τον τομέα των μεταφορών ήταν περίπου 2% της συνολικής κατανάλωσης το 2022. Επιπλέον, ένας υπολογισμός «back-of-the-envelope» δείχνει ότι εάν ο στόλος των αυτοκινήτων παρέμενε 100% πετρελαιοκίνητος, η Νορβηγία θα κατανάλωνε μεταξύ 14% και 18% περισσότερο για τις μεταφορές με αυτοκίνητα το 2022 (περίπου 45 TWh αντί για 39 TWh) (βλέπε Εικόνα 60). Τα τελευταία δέκα χρόνια, η Νορβηγία εξοικονόμησε περίπου 25 TWh πετρελαίου χάρη στην ανάπτυξη των ηλεκτρικών αυτοκινήτων (“EV: Sales, underlying policies, impacts”, 2024).



Εικόνα 60 Κατανάλωση ενέργειας των αυτοκινήτων

Συνεπώς, ο κίνδυνος ανεπαρκούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη Νορβηγία δεν αποτελεί ανησυχία. Περισσότεροι κίνδυνοι ελλοχεύουν όσον αφορά τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας λόγω μη συντονισμένης φόρτισης. Η Νορβηγία είναι μία από τις χώρες με τη μεγαλύτερη διαθεσιμότητα οικιακής φόρτισης στον κόσμο. Προς το παρόν, το 80% των ιδιοκτητών τείνουν να φορτίζουν τα αυτοκίνητά τους στο σπίτι, κυρίως κατά τη διάρκεια της νύχτας. Στο μέλλον θα μπορούσαν να δημιουργηθούν τοπικές υπερφορτώσεις

εάν οι ιδιοκτήτες EV φορτίζουν τα αυτοκίνητά τους την ίδια στιγμή κατά τη διάρκεια της αιχμής της ζήτησης, ιδίως σε χαλαρά συνδεδεμένες περιοχές (“EV: Sales, underlying policies, impacts”, 2024).

6.3 Ελλάδα 2023

Στην Ελλάδα το 2023 τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έβγαζαν τους μισούς ρύπους σε σχέση με τα πιο σύγχρονα θερμικά αυτοκίνητα, άσχετα αν αυτά κατανάλωναν βενζίνη, diesel, υγραέριο ή φυσικό αέριο. Για την ακρίβεια, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα στην Ελλάδα προκαλούν πολύ λιγότερη μόλυνση ακόμα κι όταν συγκρίνονται με τα υβριδικά. Συγκεκριμένα, οι εκπομπές ρύπων των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι στα 55 gr CO₂/km. Συγκριτικά οι εκπομπές της βενζίνης, του diesel, του υγραερίου και του φυσικού αερίου είναι στη συντριπτική πλειοψηφία πάνω από 110 gr CO₂/km και τα SUV είναι της τάξης των 140-180 gr CO₂/km. Από την άλλη, τα υβριδικά είναι στις τιμές της τάξης των 90 – 110 gr CO₂/km στα μικρά αυτοκίνητα και 110 – 140 gr CO₂/km στα SUV (Σωτήρης Χάλλας, 2024).

Το 2023, το 57% της παραγωγής ρεύματος έγινε χωρίς ρύπους. Το ποσοστό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ήταν 47,92%, ενώ 9,08% ήταν η συνδρομή των υδροηλεκτρικών σταθμών. Ο λιγνίτης ήταν 10,13%, ενώ το φυσικό αέριο ήταν αρκετά χαμηλά με 32,84%. Τα άλλα καύσιμα, όπως το diesel, είχαν ελάχιστη συνεισφορά με 0,03%. Σύμφωνα με την ΔΕΔΔΗΕ, η Ελλάδα το 2023 παράγαγε 47,92 TWh ρεύματος, με μόλις 1,55 TWh να εισάγονται από τις γειτονικές χώρες (για παράδειγμα, Ιταλία) (Σωτήρης Χάλλας, 2024).

Οι εκπομπές CO₂ της Ελλάδας για παραγωγή ρεύματος το 2023 ήταν 14,7 εκατομμύρια τόνοι. Έτσι, η Ελλάδα εκπέμπει 306,76 gr CO₂ για κάθε kWh ρεύματος που παράγει. Ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο καταναλώνει 18 kWh/100 km, δηλαδή 0,18 kWh για κάθε km που διανύει. Αυτή η κατανάλωση ρεύματος αντιστοιχεί σε 55,21 gr CO₂/km. Τέλος, με δεδομένο τις τεράστιες επενδύσεις που γίνονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κάθε χρόνο, το 2024 οι εκπομπές ρύπων της Ελλάδας για παραγωγή ρεύματος θα είναι όλο και μικρότερες. Αυτό σημαίνει ότι και η επιβάρυνση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα γίνει πιο μικρή, ενώ όταν φτάσει η χώρα σε 100% ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όσα ηλεκτρικά αυτοκίνητα κι αν κυκλοφορούν, οι εκπομπές ρύπων θα είναι μηδενικές (Σωτήρης Χάλλας, 2024).

Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε μία μελέτη της εξέλιξης της ηλεκτροκίνησης. Η εξέλιξη αυτή παρουσιάστηκε μέσω μίας ιστορικής αναδρομής των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, ξεκινώντας από τότε που πρωτοεμφανίστηκαν τον 19^ο αιώνα. Έγινε, ακόμη, αναφορά στις μπαταρίες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, την εξέλιξή τους, καθώς και στους τρόπους φόρτισής τους, αναλύοντας παράλληλα και τις υποδοχές φόρτισής τους (π.χ. φορτιστές, σταθμοί φόρτισης). Στη διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε ως κύριο παράδειγμα το Tesla Roadster, όντας το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο με μπαταρία ιόντων λιθίου (Li-ion). Πιο συγκεκριμένα, έγινε ανάλυση των διαφόρων μοντέλων που κυκλοφόρησαν από το 2008, κάνοντας μία μικρή ιστορική αναδρομή στην εξέλιξή του. Αναλύθηκε ο σχεδιασμός τους, η επίδοσή, οι χρόνοι φόρτισης και η απόσταση απόδοσής τους. Έγινε, ακόμη, μία σύγκριση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων με τα παραδοσιακά βενζινοκίνητα οχήματα, βασιζόμενοι στο ευρείας παραγωγής Nissan Leaf. Παράλληλα, μελετήθηκαν και τα περιβαλλοντικά οφέλη των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, καθώς και τα μειονεκτήματα που μπορεί να κατέχουν.

Η διπλωματική εργασία ασχολήθηκε περισσότερο με τη σχεδίαση του Tesla Roadster. Σκοπός της εργασίας ήταν να γίνει μία παρουσίαση του αυτοκινήτου αυτού, παρατηρώντας τις αλλαγές που υπέστη μέσα στον χρόνο. Παρατηρήθηκε ότι μεγάλες αλλαγές υπήρξαν στο μηχανολογικό σχεδιασμό του Roadster, όπως για παράδειγμα στην ιπποδύναμη, στην κατανάλωση ενέργειας και στις μπαταρίες, ενώ η εξωτερική μορφή του παρέμεινε σχεδόν ίδια.

Από την παραπάνω μελέτη συμπεραίνεται ότι το Tesla Roadster έφερε αρκετές καινοτόμες ιδέες στον κόσμο της αυτοκινητοβιομηχανίας. Αρχικά, ήταν ένα από τα πρώτα ηλεκτρικά οχήματα που έθεσε ως προτεραιότητα τις επιδόσεις και το στυλ, αμφισβητώντας την αντίληψη ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα δεν μπορούν να είναι και τόσο εντυπωσιακά. Μια ακόμη καινοτόμα ιδέα που έφερε το Tesla Roadster στην αυτοκινητοβιομηχανία ήταν η χρήση της τεχνολογίας μπαταριών ιόντων λιθίου, οι οποίες επέτρεψαν στο αυτοκίνητο να διανύσει μεγαλύτερες αποστάσεις και ταχύτερους χρόνους φόρτισης σε σύγκριση με άλλα ηλεκτρικά οχήματα. Αυτή η στροφή προς πιο αποδοτικά και ισχυρά συστήματα μπαταριών έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην αλλαγή της αντίληψης για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, με αποτέλεσμα την αποδοχή τους από το ευρύ κοινό και στην ευρεία υιοθέτησή τους στην αυτοκινητοβιομηχανία. Επιπλέον, η εστίαση του Tesla Roadster στη βιωσιμότητα και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας υπογράμμισε τη σημασία της μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και της προώθησης της περιβαλλοντικής συνείδησης στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας.

Το Tesla Roadster εισήγαγε, επίσης, την έννοια της χρήσης ενός ηλεκτρικού συστήματος κίνησης με υψηλή απόδοση και ανάλυση και παρουσίαση στον χρήστη (οδηγό) κατά τον χρόνο χρήσης (οδήγησης). Αυτό το σύστημα βρισκόταν στην αριστερή

πλευρά του τιμονιού. Αν και ήταν απλά μια μικρή οθόνη, μπορούσε να προβάλλει βασικές πληροφορίες, όπως για παράδειγμα σχετικά με το ποσοστό φόρτισης της μπαταρίας κατά την οδήγηση κλπ. (Hamed Paydarfar, 2023). Ακόμη, το Tesla Roadster είχε σύστημα επαναφόρτισης των μπαταριών κατά το φρενάρισμα (regenerative braking), το οποίο είχε εφαρμοστεί για πρώτη φορά το 1967 στο AMC Amitron. Με αυτό τον τρόπο οι μπαταρίες μπορούσαν να επαναφορτιστούν κατά την διάρκεια φρεναρίσματος ή όταν το αυτοκίνητο βρισκόταν σε στάθμευση (Hamed Paydarfar, 2023).

Τέλος, με την επιτυχία του μοντέλου Roadster, η Tesla έδειξε στον κόσμο αλλά και στην αυτοκινητοβιομηχανία ότι η μετάβαση από τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης στα ηλεκτρικά είναι εφικτή και απαραίτητη. Με τον τρόπο αυτό, το Tesla Roadster επηρέασε θετικά την αυτοκινητοβιομηχανία, προωθώντας την καινοτομία και τη βιώσιμη μετάβαση σε πιο φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις για μετακινήσεις. Όλα αυτά δεν μπορούν παρά να οδηγήσουν στο συμπέρασμα ότι το Tesla Roadster ήταν μία κατασκευή αρκετά καινοτόμα για την εποχή του. Μελλοντικά η τεχνολογία που χρησιμοποιεί η Tesla για την κατασκευή αυτού του αυτοκινήτου, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ευρέως και σε οχήματα μεταφορών. Ηλεκτρικά λεωφορεία έχουν ήδη κάνει την εμφάνισή τους, όπου φαίνεται η διάδοση της ηλεκτροκίνησης να έχει ήδη επιτευχθεί και στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Επίσης, αν η διεύρυνση της τεχνολογίας αυτής συνεχιστεί και πολλαπλασιαστεί, ίσως φανούν εκτενέστερα τα οφέλη που μπορεί να προσφέρει στο περιβάλλον.

Βιβλιογραφία

- Almerini, A. (2024, Ιούνιος 5). *Pros and cons of electric cars*. <https://www.solarreviews.com/blog/10-pros-and-cons-of-electric-cars>
- Alternative Fuels Data Center. (2024). *Emissions from Electric Vehicles*. <https://afdc.energy.gov/vehicles/electric-emissions>
- American History. (2016, Ιανουάριος 19). *EV1 Electric Car*. <https://americanhistory.si.edu/explore/exhibitions/ev1-electric-car#:~:text=The%20EV1%20was%20the%20first,California%2C%20Arizona%2C%20and%20Georgia>
- Amperorio. (2016, Νοέμβριος 1). *Ιστορία της Μπαταρίας*. <https://www.amperorio.gr/index.php/el/istoria-tis-mpatarias.html>
- Autocar. (2010, Μάρτιος 19). *Tesla's around the world trip*. <https://www.autocar.co.uk/car-news/new-cars/teslas-around-world-trip>
- Axa. (2023, Ιανουάριος 23). *The pros and cons of owning an electric car*. <https://www.axa.co.uk/car-insurance/tips-and-guides/electric-cars-pros-and-cons/>
- Βερβέρας, Σ. (2023, Ιανουάριος 20). *Τεχνολογίες ηλεκτροκίνησης και αύξηση της αυτονομίας των ηλεκτρικών αυτοκινήτων* <https://periochimatou.gr/2023/01/20/%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B5%CF%82-%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BA%CE%AF%CE%BD%CE%B7%CF%83%CE%B7%CF%82-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%B1%CF%8D%CE%BE%CE%B7/>
- Blanco, S. (2006, Ιούλιος 20). *Tesla Roadster unveiling in Santa Monica*. <https://www.autoblog.com/2006/07/20/tesla-roadster-unveiling-in-santa-monica/>
- Blink. (2020, Ιούνιος 20). *Κατανοώντας τις μεθόδους και τις πρίζες φόρτισης των Ηλεκτρικών Οχημάτων*. <https://blinkcharging.gr/%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CE%BD%CE%BF%CF%8E%CE%BD%CF%84%CE%B1%CF%82-%CF%84%CE%B9%CF%82-%CE%BC%CE%B5%CE%B8%CF%8C%CE%B4%CE%BF%CF%85%CF%82-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CF%84%CE%B9%CF%82-%CF%80%CF%81%CE%AF%CE%B6/>

- Blink. (2021, Ιανουάριος 11). *Types of cables and outlets used for electric car chargers in the European Union*. <https://blinkcharging.gr/en/types-of-cables-and-outlets-used-for-electric-car-chargers-in-the-european-union/>
- Blog.spotawheel. (2021, Δεκέμβριος 2003). *Όλα τα είδη των Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων*. <https://blog.spotawheel.gr/ola-ta-eidi-twn-hlektrikwn-autokinhtwn/>
- Bruce, C. (2024, Μάρτιος 4). *2025 Tesla Roadster: Everything We Know*. <https://www.motor1.com/features/710485/tesla-roadster-speed-horsepower-range-price/#:~:text=Elon%20even%20showed%20a%20concept,supposed%20to%20be gin%20in%202020>
- Buchmann, I. (2017). *Batteries in a Portable World*. Cadex Electronics Inc.
- Car specs A-Z. (2018, Αύγουστος 18). *2006 Tesla Roadster US*. <https://www.carfolio.com/tesla-roadster-143671#specs-h2>
- Connected-Kerb. (2023, Οκτώβριος 31). *A Guide to EV Charging Connector Types*. <https://connectedkerb.com/stories-and-reports/a-guide-to-ev-charging-connector-types/>
- Darryn, J. (2023, Οκτώβριος 3). *Tesla increases price of classic Roadster 3.0 battery upgrade*. <https://driveteslacanada.ca/news/tesla-increases-price-of-classic-roadster-3-0-battery-upgrade/>
- Dhage, A. (2023, Μάρτιος 12). *SONY Lithium Ion Batteries- Worlds First commercialized LiB 1991*. <https://www.batterydesign.net/sony-lithium-ion-batteries-worlds-first-commercialized-lib-1991/>
- Digital Museums Canada. (2024). *Trouvé's Electric Tricycle, 1881*. https://www.communitystories.ca/v2/electric-vehicles-canada_vehicules-electriques/gallery/trouves-electric-tricycle-1881/
- Ελληνικό Μουσείο Πληροφορικής. (2022, Φεβρουάριος 21). *Γεννήθηκε ο Alessandro Volta, κυρίως γνωστός για την εφεύρεση της ηλεκτρικής μπαταρίας*. <https://elmp.gr/sansimera/gennithike-o-alessandro-volta-kyrios-gnostos-gia-tin-efeyresi-tis-ilektrikis-mpatarias/>
- Eberhard, M. & Tarpenning, M. (2006). *The 21st Century Electric Car Tesla Motors*.
- Electrek. (2024, Ιούνιος). *Tesla Model 3 guide: the cheapest Tesla to date*. <https://electrek.co/guides/tesla-model-3/>
- Enerdata. (2024, Απρίλιος 11). *EV: Sales, underlying policies, impacts*. <https://www.enerdata.fr/publications/executive-briefing/electric-vehicles-trends.html>

- Eurolife FFH. (2024). *Τα περιβαλλοντικά οφέλη του ηλεκτρικού αυτοκινήτου.*
<https://www.eurolife.gr/el-GR/Blog/articles/20220602-oxima-ilektriko-ofeli-gia-to-perivallon#:~:text=%CE%9A%CE%B1%CE%B8%CF%8E%CF%82%20%CE%BF%20%CE%BA%CF%8C%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%82%20%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%83%CF%80%CE%B1%CE%B8%CE%B5%CE%AF%20%CE%BD%CE%B1,%CE%BA%CE%B1%CF%8D%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B1%20%CE%B3%CE%B9%CE%B1%20%CF%84%CE%B7%20%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%B3%CE%AF%CE%B1%20%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%82>
- European Environment Agency. (2024, Ιούνιος 12). *Electric vehicles.*
<https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/electric-vehicles>
- EV Charge +. (2024). Τρόποι φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος.
<https://evchargeplus.com/el/tropoi-fortisis-ilektrikou-oximatos/>
- EvGateway. (2023, Απρίλιος 19). *How do EVs help conserve the environment?.*
<https://www.linkedin.com/pulse/how-do-evs-help-conserve-environment-evgateway>
- Florea, C. (2021, Δεκέμβριος 11). *The Story of the 1966 Chevrolet Electrovair, the Electric Corvair You Never Knew Existed.* <https://www.autoevolution.com/news/the-story-of-the-1966-chevrolet-electrovair-the-electric-corvair-you-never-knew-existed-176296.html#>
- Florea, C. (2022, Μάρτιος 11). *Remembering the AMC Amitron, the EV Concept That Looks Like a Mini Tesla Cybertruck.*
<https://www.autoevolution.com/news/remembering-the-amc-amitron-the-ev-concept-that-looks-like-a-mini-tesla-cybertruck-183716.html>
- Gitlin, J. M. (2022, Ιούλιος 28). *You won't be confused about electric vehicle charging after reading this.* <https://arstechnica.com/cars/2022/07/the-ars-technica-guide-to-electric-vehicle-charging/3/>
- Gocar. (2022, Αύγουστος 13). *Ξεκίνησε η 1η ανακύκλωση μπαταρίας ηλεκτρικού αυτοκινήτου στην Ελλάδα!.*
https://www.gocar.gr/news/feed/40575.anakyklwsh_mpatarias_Ellada.html
- Go-e. (2022, Μάιος 30). *Πόσος χρόνος απαιτείται για τη φόρτιση έναν ηλεκτρικό αρ. C;.*
<https://go-e.com/el/periodiko/posos-khronos-apaititai-yia-ti-phortisi-enan-ilektriko-ar-c>
- Grabianowski, E. (2024, Μάιος 17). *How the Tesla Roadster Works.*
<https://auto.howstuffworks.com/tesla-roadster.htm>

- Green.org. (2024, Φεβρουάριος 7). *Benefits of Electric Cars for the Environment*. <https://green.org/2024/01/30/benefits-of-electric-cars-for-the-environment/>
- Greencars compare. (2024). *Tesla Roadster 2*. <https://greencarscompare.com/cars/tesla-roadster/>
- Greencars compare. (2024). *Tesla Roadster 2.5 Base*. <https://greencarscompare.com/cars/tesla-roadster-B/>
- Guarnieri, M. (2012). Looking back to electric cars. *Τρίτο συνέδριο IEEE. HISTory of EElectro-technology CONference (HISTELCON)*. DOI: 10.1109/HISTELCON.2012.6487583
- Hawkins, A. J. & Warren T. (2017, Νοέμβριος 17). *Tesla's new second-generation Roadster will be the quickest production car ever made*. <https://www.theverge.com/2017/11/17/16669024/tesla-roadster-2017-fastest-car-world>
- Hurley, S. (2012, Ιούλιος 9). *The Surprisingly Old Story Of London's First Ever Electric Taxi* <https://blog.sciencemuseum.org.uk/the-surprisingly-old-story-of-londons-first-ever-electric-taxi/>
- Hussein, N. & Ahmed M. M. (2019). Electric Vehicle Fast Chargers: Futuristic Vision, Market Trends and Requirements. *Δεύτερο διεθνές συνέδριο Smart Grid and Renewable Energy (SGRE)*. DOI: 10.1109/SGRE46976.2019.9020974
- Hyundai. (2021). *IONIQ 5*. <https://www.hyundai.com/worldwide/en/footer/hyundai-experiences/vehicle-history/2021/ioniq5>
- Hyundai. (2022) *IONIQ 6*. <https://www.hyundai.com/worldwide/en/footer/corporate/vehicle-history/2022/ioniq6>
- Jain, N. (2022, Μάρτιος 28). *What are the advantages and disadvantages of electric cars?* <https://www.autotrader.co.uk/content/advice/benefits-and-downsides-of-owning-an-electric-or-hybrid-car?refresh=true>
- Κουτσοφλάκης, Γ. (2018, Ιανουάριος 4). *Σαν σήμερα: Το 1996, η General Motors ανακοινώνει το EV1*. <https://www.drive.gr/posts/classic/san-simera-1996-i-general-motors-anakoionei-ev1>
- Kane, M. (2016, Μάρτιος 2). *Hyundai IONIQ Electric & IONIQ Plug-in At The Geneva Motor Show*. <https://insideevs.com/news/328792/hyundai-ioniq-electric-amp-ioniq-plug-in-at-the-geneva-motor-show-gallery-new-stats/>

- Lifo. (2021, Ιούνιος 17). *Ελλάδα / Σύγκριση συμβατικών και ηλεκτρικών αυτοκινήτων - Διαφορές και ομοιότητες*. <https://www.lifo.gr/now/greece/syγκrissi-symbatikon-kai-ilektrikon-aytokiniton-diafores-kai-omoiotites>
- Loveday, E. (2011, Ιανουάριος 18). *Tesla Roadster 2.5 arrives in Australia; pricing starts at \$206,188*. <https://www.autoblog.com/2011/01/18/tesla-roadster-2-5-arrives-in-australia-pricing-starts-at-206/>
- Lynton, A. (2011, Δεκέμβριος 20). *Tesla bids farewell to the roadster with final edition*. <https://carbuzz.com/news/tesla-bids-farewell-to-the-roadster-with-final-edition/>
- Mladenov, Z. (2009, Ιούλιος 22). *Tesla Roadster 2*. <https://www.automobilesreview.com/auto-news/tesla-roadster-2/16337/>
- Moore, A. (2011, Δεκέμβριος 19). *2012 Tesla Roadster Final Edition*. <https://www.topspeed.com/cars/tesla/2012-tesla-roadster-final-edition/>
- Motoringfile. (2012, Δεκέμβριος 26). *MF Vault: Tesla Roadster Sport 2.5 Review*. <https://www.motoringfile.com/2012/12/26/mf-vault-tesla-roadster-sport-2-5-review/>
- Newmoney. (2022, Απρίλιος 15). *Ηλεκτρικά αυτοκίνητα: Πόσα χρόνια ζωής έχει η μπαταρία τους*. <https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/teχνologia/ilektrika-aftokinita-posa-chronia-zois-echi-i-bataria-tous/>
- Nissan Stories USA. (2020, Νοέμβριος 27). *12 Nissan cars that showed the way to an electric future*. <https://usa.nissanstories.com/en-US/releases/12-nissan-cars-that-showed-the-way-to-an-electric-future#:~:text=Released%20in%201947%2C%20the%20Tama,a%20orange%20of%2096.3%20kilometers>
- Noel, J. (2023, Μάιος 12). *Toyota Prius Generations*. <https://www.autolist.com/toyota-prius/toyota-prius-generations>
- Nova Volt. (2024). *Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα*. <https://novavolt.gr/blogs/hlektrokinisi/hlektriko-aytokinito-pleonektimata-meionektimata>
- On Electric Cars. (2008, Νοέμβριος 11). *What is the Tesla Roadster 1.5, exactly?*. <https://onelectriccars.com/what-is-the-tesla-roadster-1-5-exactly/368/#comments>
- Ourabah, N. (2024, Φεβρουάριος 15). *Why The Tesla Roadster Remains In The Lotus Elise's Shadow Even Today*. <https://www.topspeed.com/why-tesla-roadster-remains-in-lotus-elises-shadow/>

Paydarfar, H. (2023, Ιανουάριος 27). *This Is Why The Original Tesla Roadster Was Way Ahead Of Its Time*. <https://www.hotcars.com/original-tesla-roadster-ahead-of-its-time/>

Pir.gr (2024). Ηλεκτροκίνηση.

<https://www.pir.gr/ilektrokinisi/#:~:text=%CE%A9%CF%82%20%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BA%CE%AF%CE%BD%CE%B7%CF%83%CE%B7%20%CE%B5%CE%BD%CE%BD%CE%BF%CE%BF%CF%8D%CE%BC%CE%B5%20%CF%84%CE%BF%20%CF%83%CF%8D%CE%BD%CE%BF%CE%BB%CE%BF,%CE%BD%CE%B1%20%CF%80%CF%81%CE%B1%CE%B3%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%80%CE%BF%CE%B9%CE%B5%CE%AF%20%CF%84%CE%B9%CF%82%20%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%AE%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%20%CF%84%CE%BF%CF%85>

Podpoint. (2024, Ιούνιος 14). *How long does it take to charge an electric car?*. <https://podpoint.com/guides/driver/how-long-to-charge-an-electric-car#:~:text=A%20typical%20electric%20car%20>

Pouchain. (2024). *Notre histoire*. <https://www.pouchain.fr/notre-histoire/>

Pritchard, T. (2022, Σεπτέμβριος 13). *What is a Tesla Supercharger? Everything you need to know*. <https://www.tomsguide.com/reference/what-is-a-tesla-supercharger-everything-you-need-to-know>

Reynolds, K. (2008, Ιανουάριος 23). *2008 Tesla Roadster First Drive*. <https://www.motortrend.com/reviews/2008-tesla-roadster/>

Rogan, J. (2019), *Joe Rogan Experience #1169 – Elon Musk*. Αμερική: YouTube.

ΣοφοκλέουςIn. (2021, Απρίλιος 11). *Αυτές είναι οι κατηγορίες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων*. <https://www.sofokleousin.gr/aytes-einai-oi-katigories-ton-ilektrikon-aytokiniton>

Schreiber, B. A., & Gregersen E. (2024, Ιούνιος 15). *Tesla under Musk: Model S, Model 3, and Model Y*. <https://www.britannica.com/money/Tesla-Motors/Tesla-under-Musk-Model-S-Model-3-and-Model-Y#ref348350>

Stafford, E. (2024). *2024 Tesla Cybertruck*. <https://www.caranddriver.com/tesla/cybertruck>

Straubel, JB. (2008, Μάιος 27). *An Engineering Update on Powertrain 1.5*. <https://www.tesla.com/blog/engineering-update-powertrain-15>

Τσουλφάς, Τ. (2020, Δεκέμβριος 13). *Μπαταρίες ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Είναι νωρίς για ανακύκλωση;*. <https://www.rebattery.gr/mpataries-ilektrikon-aytokiniton-einai-noris-gia-anakyklosi/>

- Tesla. (2010, Απρίλιος 20). *Tesla Motors introduces Roadster Sport*. https://www.tesla.com/el_gr/blog/tesla-motors-introduces-roadster-sport
- Tesla. (2010, Ιούνιος 30). *Tesla Unveils Roadster 2.5 at Newest Stores in Europe and North America*. <https://www.tesla.com/blog/tesla-unveils-roadster-25-newest-stores-europe-and-north-america>
- Tesla. (2011, Ιανουάριος 11). *Tesla Roadster approved for Australian Roads*. <https://www.tesla.com/blog/tesla-roadster-approved-australian-roads>
- Tesla. (2014, Δεκέμβριος 26). *Roadster 3.0*. <https://www.tesla.com/blog/roadster-30>
- Toyota. (2017 Αύγουστος 4). *The evolution of the Prius*. <https://global.toyota/en/prius20th/evolution/>
- Ups Battery center. (2014, Δεκέμβριος 27). *A Brief History of Electric Vehicles*. <https://blog.upsbatterycenter.com/history-of-electric-vehicles/>
- UPS Battery center. (2022, Νοέμβριος 7). *Thomas Edison's Nickel-Iron Batteries*. <https://blog.upsbatterycenter.com/thomas-edisons-nickel-iron-batteries/>
- Von Handorf, D.E. (2002). The Baghdad Battery—Myth or Reality?. *Plating & Surface Finishing*. 84-87.
- Χάλλας, Σ. (2024, Φεβρουάριος 28). *Πόσο ρυπαίνουν, πραγματικά, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα στην Ελλάδα.;* https://www.gocar.gr/news/feed/46041,Poso_rypainoyn_hlektrika_Ellada.html#:~:text=%CE%A0%CE%B9%CE%BF%20%CF%83%CF%85%CE%B3%CE%BA%CE%B5%CE%BA%CF%81%CE%B9%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%B1%2C%20%CE%BF%CE%B9%20%CE%B5%CE%BA%CF%80%CE%BF%CE%BC%CF%80%CE%AD%CF%82%20%CF%81%CF%8D%CF%80%CF%89%CE%BD,%CF%83%CF%84%CE%B1%2055%20gr%20CO2%2Fkm