



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

**«Εξέλιξη στην τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων»
«Evolution in electric vehicle technology»**

Υπό
ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΠΛΕΣΣΑΣ

Πτυχιακή Εργασία

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

Λάρισα, 2025

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής Δρ. Μάριος Μοσχάκης
(Επιβλέπων) Καθηγητής, Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας,
Σχολή Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Ελπινίκη Παπαγεωργίου
Καθηγήτρια, Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή
Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Αλέξιος Λεκίδης
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή
Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ

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

ΕΠΩΝΥΜΟ	ΠΛΕΣΣΑΣ
ΟΝΟΜΑ	ΝΙΚΟΛΑΟΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ	2919107
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	07/02/2025
ΥΠΟΓΡΑΦΗ	

© 2025. Πλέσσας Νικόλαος

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

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας την παρούσα Πτυχιακή Εργασία, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς όλους όσους συνέβαλαν σ' αυτό. Ειδικότερα, ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Μοσχάκη Μάριο για την επιλογή του θέματος, την υποστήριξη και την διαρκή βοήθεια που μου προσέφερε, όπως επίσης και τους διδάσκοντες καθηγητές μου του Τμήματος Συστημάτων Ενέργειας για τις γνώσεις και τις εμπειρίες που μου μεταλαμπάδευσαν. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της πτυχιακής εργασίας μου, Καθηγητές κκ. και για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Ευφροσύνη Γκαμέρα και Δημήτριο Πλέσσα, για την υποστήριξή τους και ιδιαίτερα στο συγκεκριμένο στάδιο των σπουδών μου.

Τέλος είμαι ευγνώμων για την ολόψυχη υποστήριξη και πολύτιμη βοήθεια της συντροφού μου, Άρτεμις Λουκαδάκη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας είναι να μελετήσει εκτενώς την εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων. Ειδικότερα, γίνεται ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη των οχημάτων, ενώ παρουσιάζονται αναλυτικά στοιχεία που αφορούν τον τρόπο λειτουργίας τους. Ακόμη, η εργασία επικεντρώνεται σε ζητήματα που αφορούν την τεχνολογία των κινητήρων τους, όπως και στους συσσωρευτές που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα, όπου γίνεται και εκτενής ανάλυση αυτών. Έμφαση δίνεται στους παράγοντες που επιδρούν στη διάρκεια ζωής των συσσωρευτών, όπως και στις σύγχρονες προκλήσεις που συνδέονται με τους συσσωρευτές.

Ακόμη, η εργασία εξετάζει τις τάσεις που διαμορφώνονται στην αγορά ηλεκτρικών οχημάτων, εστιάζοντας τόσο στην παγκόσμια, όσο και στην ευρωπαϊκή, αλλά και στην ελληνική αγορά, ενώ μελετώνται και οι τάσεις του μέλλοντος. Τέλος, παρουσιάζονται εκτενώς όλοι οι παράγοντες που συμβάλλουν στην εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων, όπως είναι η Έρευνα & Ανάπτυξη, η κλιματική αλλαγή, καθώς επίσης και ο ρόλος των δικτύων και διασυνδέσεων, αλλά και ο ρόλος των συσσωρευτών.

Από την εργασία προέκυψαν ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Πιο συγκεκριμένα, τα ηλεκτρικά οχήματα εξελίσσονται διαρκώς τεχνολογικά, γεγονός που συμβάλλει στην συνολική τους βελτίωση, αλλά και στην αύξηση του μεριδίου τους στην αγορά των συνολικών πωλήσεων οχημάτων. Παράλληλα, εξελίσσονται και οι συσσωρευτές που χρησιμοποιούνται, έτσι ώστε να μειωθεί το κόστος τους, αλλά και να αυξηθεί η αυτονομία, προκειμένου τα οχήματα να είναι περισσότερο λειτουργικά. Σημαίνοντα ρόλο διαδραματίζουν στην εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων οι σχετικές πολιτικές που έχουν εφαρμοστεί για την κλιματική αλλαγή, τόσο σε ευρωπαϊκό, όσο και σε εθνικό επίπεδο, καθώς συνδέονται και με σχετικά κίνητρα απόκτησης ηλεκτρικών οχημάτων.

Λέξεις-κλειδιά: *Αγορά Ηλεκτρικών Οχημάτων, Ηλεκτρικά Οχήματα, Ηλεκτροκίνηση, Κινητήρας, Συσσωρευτές.*

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to study extensively the evolution of electric vehicles. In particular, a historical review of the evolution of the vehicles is presented, while detailed data concerning their mode of operation is presented. Furthermore, the thesis focuses on issues related to the technology of their engines, as well as the batteries used in electric vehicles, where an extensive analysis of these is also provided. Emphasis is placed on the factors that affect the lifetime of batteries, as well as on the current challenges associated with batteries.

Furthermore, the paper examines the trends in the electric vehicle market, focusing on the global, European and Greek markets, while future trends are also studied. Finally, all the factors contributing to the development of electric vehicles, such as Research & Development, climate change, as well as the role of networks and interconnections, and the role of batteries, are extensively presented.

Interesting conclusions emerged from the work. In particular, electric vehicles are constantly evolving technologically, which contributes to their overall improvement, but also to their increasing market share in total vehicle sales. At the same time, the batteries used are also evolving, so as to reduce their cost and increase their autonomy, in order to make the vehicles more functional. The relevant policies on climate change, both at European and national level, are playing an important role in the development of electric vehicles, as they are also linked to incentives for the acquisition of electric vehicles.

Keywords: *Electric Vehicle Market, Electric Vehicles, Electromobility, Engine, Batteries.*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	17
3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	19
3.1 Ηλεκτρικά οχήματα	19
3.1.1 Εισαγωγή	19
3.1.2 Ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη των αυτοκινήτων.....	19
3.1.3 Ηλεκτρικά οχήματα στο πέρασμα του χρόνου	22
3.1.4 Τρόπος λειτουργίας ηλεκτρικών οχημάτων	23
3.1.5 Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά ηλεκτρικών οχημάτων	23
3.1.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ηλεκτρικών οχημάτων	25
3.2 Τεχνολογία κινητήρα	29
3.2.1 Τύποι Κινητήρων.....	29
3.2.2 Απόδοση και εξελίξεις	34
3.3 Συσσωρευτές ηλεκτρικών οχημάτων	36
3.3.1 Εισαγωγή	36
3.3.2 Η σημασία των συσσωρευτών στην επιτυχία των ηλεκτρικών οχημάτων	36
3.3.3 Κατηγορίες συσσωρευτών ηλεκτρικών οχημάτων.....	37
3.3.4 Παράγοντες που επιδρούν στη διάρκεια ζωής των συσσωρευτών ηλεκτρικών οχημάτων	41
3.3.5 Σύγχρονες τάσεις και προοπτικές των συσσωρευτών ηλεκτρικών οχημάτων	42
3.3.6 Προκλήσεις	45
3.4 Η αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων.....	47
3.4.1 Εισαγωγή	47
3.4.2 Παγκόσμια αγορά ηλεκτρικών οχημάτων	48
3.4.3 Ευρωπαϊκή αγορά ηλεκτρικών οχημάτων	51
3.4.4 Ελληνική αγορά ηλεκτρικών οχημάτων	53
3.4.5 Στατιστικά στοιχεία.....	57
3.4.6 Προβλέψεις για το μέλλον.....	61
3.5 Παράγοντες που συμβάλλουν στην εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων	63
3.5.1 Εισαγωγή	63
3.5.2 Ο ρόλος της Έρευνας & Ανάπτυξης	63
3.5.3 Κλιματική αλλαγή και ηλεκτροκίνηση	65
3.5.4 Θεσμικό πλαίσιο που συνδέεται με την ηλεκτροκίνηση.....	67
3.5.5 Ο ρόλος των δικτύων και των διασυνδέσεων	69
3.5.6 Συσσωρευτές και ηλεκτροκίνηση	72
4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	73
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	76

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Πρώτο αυτοκίνητο που κατασκευάστηκε με μεταλλικό σασί	21
Εικόνα 2: Δομή επαγωγικού κινητήρα	33
Εικόνα 3: Δομή κινητήρα συνεχούς ρεύματος	34
Εικόνα 4: Μπαταρία μολύβδου-οξέος.....	38
Εικόνα 5: Μπαταρία ιόντων-λιθίου	40
Εικόνα 6: Πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων ανά τον κόσμο (2023).....	58
Εικόνα 7: Ποσοστό ανθρώπων που υποστηρίζουν τις πολιτικές αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής	61
Εικόνα 8: Τρόποι φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.....	70

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Κόστος αντικατάστασης μπαταρίας ηλεκτρικού οχήματος	28
Πίνακας 2: Νέες ταξινομήσεις επιβατικών οχημάτων για τον μήνα Οκτώβριο 2024 ανά κατηγορία.....	53
Πίνακας 3: Υποστηρικτική ορολογία για την κατανόηση των διαγραμμάτων που αφορούν την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων στην Ελλάδα.....	54

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Τύποι υλικών από τα οποία κατασκευάζονται οι μόνιμοι μαγνήτες.....	30
---	----

Συντομογραφίες

BEV: Εξολοκλήρου ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας

EV: Plug-in υβριδικά οχήματα εσωτερικής καύσης με μεγαλύτερη μπαταρία και πρίζα

HEV: Υβριδικά οχήματα εσωτερικής καύσης με πολύ μικρή μπαταρία χωρίς πρίζα

ICE: Θερμικά/εσωτερικής καύσης χωρίς μπαταρία

MoM%: Μηνιαία ποσοστιαία σύγκριση ταξινομήσεων σε σχέση με τον προηγούμενο μήνα

QqQ%: Τριμηνιαία ποσοστιαία σύγκριση ταξινομήσεων σε σχέση με τον προηγούμενο μήνα

YoY%: Ετήσια ποσοστιαία σύγκριση ταξινομήσεων σε σχέση με το προηγούμενο έτος

PHEV: Plug-in υβριδικά οχήματα εσωτερικής καύσης με μεγαλύτερη μπαταρία και πρίζα

A.Π.Ε.: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

E.E.: Ευρωπαϊκή Ένωση

M.E.K.: Μηχανές Εσωτερικής Καύσης

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, έχει γίνει αντιληπτό σε παγκόσμιο επίπεδο ότι η κλιματική αλλαγή βρίσκεται σε εξέλιξη, και τείνει να μετατραπεί σε κλιματική κρίση. Απόρροια της κλιματικής αλλαγής είναι τα έντονα καιρικά φαινόμενα, όπως για παράδειγμα οι παρατεταμένες ξηρασίες, καθώς και οι ιδιαίτερα μεγάλες βροχοπτώσεις (Suprayitno et al., 2024). Ταυτόχρονα, η διαρκής αύξηση του πληθυσμού, αλλά και η βελτίωση γενικά του βιοτικού επιπέδου, οδηγούν στην εξάντληση των φυσικών πόρων. Την ίδια στιγμή, σημαντική περιβαλλοντική επιβάρυνση δημιουργεί η αστικοποίηση, η οποία και αυτή τείνει διαρκώς αυξανόμενη, επηρεάζοντας άμεσα το επίπεδο διαβίωσης, καθώς και την δημόσια υγεία (Theodorou, 2022). Υπό το πρίσμα αυτό, όλο και περισσότερο ενδιαφέρον υπάρχει για αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων από καθαρή ενέργεια και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), με πολλά κράτη να βρίσκονται σε διαδικασία ενεργειακής μετάβασης, ενώ έμφαση δίνεται πλέον στην δημιουργία «έξυπνων» πόλεων, καθώς και σύγχρονων δικτύων, τα οποία αναμένεται να εξυπηρετήσουν τόσο τα κτίρια, όσο και τις μεταφορές, αλλά και τις υπηρεσίες. Θα πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι όλες αυτές οι αλλαγές έχουν στο επίκεντρο την καινοτομία, συμβάλλοντας παράλληλα στη δημιουργία νέων και ποιοτικών θέσεων εργασίας (Thellufsen et al., 2020).

Πιο συγκεκριμένα, η συμβολή του ανθρώπου στην κλιματική αλλαγή θεωρείται ότι είναι καθοριστική, λαμβάνοντας υπόψη ότι κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών διαρκώς εντείνεται. Το κλίμα παγκοσμίως αλλάζει και είναι διαφορετικό από το κλίμα που επικρατούσε τα προηγούμενα έτη. Πλέον, το κλίμα αυτό χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη αστάθεια, όπως επίσης και από επιπτώσεις στη φύση, τους παραγωγικούς τομείς, αλλά και γενικότερα στις κοινωνίες και τις επιμέρους οικονομίες (Καρτάλης κ.α., 2017). Η κλιματική κρίση, που έχει προέλθει ως μετεξέλιξη της κλιματικής αλλαγής, εξελίσσεται με ιδιαίτερα δυναμικό βαθμό, ξεπερνώντας τις προβλέψεις. Απόρροια της κλιματικής κρίσης είναι η διαμόρφωση νέων αναγκών, όπως επίσης και προτεραιοτήτων από τα κράτη και από τις επιχειρήσεις αλλά και από τους πολίτες τους, με τις εν λόγω προτεραιότητες να επιδρούν άμεσα στο αναπτυξιακό μοντέλο που επιλέγει να ακολουθήσει η κάθε χώρα.

Στο πλαίσιο μελέτης της κλιματικής κρίσης, είναι αναγκαίο να αναφερθεί και η έννοια της κλιματικής σταθερότητας, η οποία αφορά την διατήρηση του κλίματος του πλανήτη σε φυσική κατάσταση, όπου επικρατούν χαμηλοί ρυθμοί μεταβολής. Με τους εν λόγω χαμηλούς ρυθμούς μεταβολής, οι άνθρωποι, αλλά και ευρύτερα οι κοινωνίες έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζονται, αλλά και να εξελίσσονται περαιτέρω. Η βιωσιμότητα συνδέεται άρρηκτα με την κλιματική σταθερότητα, με το γεγονός αυτό να συνιστά παγκόσμια περιβαλλοντική και όχι μόνο πρόκληση (IOBE, 2023).

Εξαιτίας της κλιματικής κρίσης, δημιουργούνται πιέσεις, τόσο στο ανθρωπογενές όσο και στο φυσικό περιβάλλον, με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής να είναι ως επί το πλείστον αρνητικές. Σε κάθε περίπτωση όμως, οι επιπτώσεις αυτές διαφοροποιούνται μεταξύ των επιμέρους χωρών και περιοχών. Για παράδειγμα η Ελλάδα αποκτά σταδιακά, στο πέρασμα του χρόνου, θερμότερο και ξηρότερο κλίμα ενώ παράλληλα τα ακραία καιρικά φαινόμενα εντείνονται και εκτιμάται ότι και σε μελλοντικό χρόνο θα απαντώνται συχνότερα. Αντίστοιχες επιδράσεις απαντώνται και στις υπόλοιπες χώρες της Μεσογείου, καθώς η εν λόγω περιοχή δέχεται τις μεγαλύτερες πιέσεις της κλιματικής κρίσης. Αξιοσημείωτο δε είναι το γεγονός ότι οι συνέπειες προκαλούνται σε άλλες χώρες από αυτές οι οποίες ευθύνονται για την κλιματική κρίση, όπως για παράδειγμα είναι οι ΗΠΑ, η Κίνα, η Ινδία κτλ. (Ιδρυμα Μποδοσάκη, 2022).

Εκτός από τις γενικές συνέπειες που προκαλούνται λόγω της κλιματικής κρίσης, ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει για τις επιπτώσεις στον αστικό ιστό, οι οποίες επηρεάζουν τόσο την κοινωνική όσο και την οικονομική ζωή των κατοίκων των περιοχών αυτών. Σε περίπτωση όπου υπάρξει αύξηση της θερμοκρασίας εντός των πόλεων, δημιουργούνται συνέπειες στους ανθρώπους καθώς και στην υγεία αυτών, ενώ παράλληλα οι υψηλές θερμοκρασίες συνδυάζονται άμεσα με υψηλή συγκέντρωση ρύπων της ατμόσφαιρας, με τις εν λόγω θερμοκρασίες να σχετίζονται και με την αστική θερμική νησίδα. Ταυτόχρονα οι υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν εντός του αστικού ιστού, οδηγούν σε αυξημένη φωτοχημική ρύπανση ενώ όπως έχει διαπιστωθεί το φωτοχημικό νέος αυξάνεται κατά 6%, για κάθε 1°C πάνω από το όριο της μέγιστης θερμοκρασίας. Παράλληλα, εξαιτίας της αύξησης της

θερμοκρασίας, εντός των πόλεων αυξάνεται σημαντικά και η ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων (Akbari et al., 2016).

Δεν θα πρέπει να παραβλέπεται το γεγονός ότι λόγω της κλιματικής κρίσης προκαλούνται συνέπειες στον αστικό ιστό και στον τομέα των μεταφορών, με τις συνέπειες αυτές να σχετίζονται με την μετακίνηση με ΙΧ, εξαιτίας της αποφυγής μετακίνησης μεγάλου μέρους του πληθυσμού με μέσα μεταφοράς. Ακόμη, η θερμοκρασία μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω, εξαιτίας της αύξησης της ανθρωπογενούς θερμότητας, η οποία και προκαλείται λόγω της κυκλοφορίας των οχημάτων (Carter et al., 2015).

Οι μεταφορές συνεισφέρουν σημαντικά στην ρύπανση της ατμόσφαιρας, επιβαρύνοντας τόσο την υγεία των πολιτών, όσο και την ποιότητα ζωής αυτών. Παρά τις προσπάθειες που γίνονται από τους κατασκευαστές οχημάτων για την μείωση των ρύπων που προκαλούνται από τα οχήματα, η επιβάρυνση διατηρείται σε υψηλά επίπεδα (Lozhkina & Lozhkin, 2015). Η κλασική μεταφορά αγαθών και ανθρώπων με τη χρήση πετρελαίου ως καύσιμο σε κινητήρες εσωτερικής καύσης, αποτελούν από τους πλέον μεγαλύτερους ρυπαντές, καθώς αντιπροσωπεύουν ποσοστό της τάξεως του 60% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και ισοδύναμων ρύπων που εκλύονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα στην ατμόσφαιρα. Επομένως, η εξέλιξη της επιστήμης έδωσε τη δυνατότητα ανάπτυξης της ηλεκτροκίνησης, λαμβάνοντας υπόψη ότι αυτή μπορεί να αποτελέσει ένα αποτελεσματικό εργαλείο περιβαλλοντικής αλλά και ενεργειακής διαχείρισης, ενώ την ίδια στιγμή ενισχύει την ασφάλεια, καθώς και την αποδοτικότητα των μεταφορών και των μετακινήσεων (Golovanov & Marinescu, 2019).

Ορισμός και σημασία των ηλεκτρικών οχημάτων (ΗΟ)

Με την έννοια των ηλεκτρικών οχημάτων μπορούν να προσδιοριστούν τα μεταφορικά μέσα σταθερής τροχιάς, όπου πρόκειται κυρίως για τρένα και μετρό, όπως επίσης και τα συνδεδεμένα οχήματα (τρόλεϊ), αλλά και τα οχήματα τα οποία έχουν πλήρη ελευθερία κίνησης (Sanguesa et al., 2021). Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα εντάσσονται στην τρίτη κατηγορία των ηλεκτρικών οχημάτων, όπου πρόκειται για οχήματα τα οποία προωθούνται από ηλεκτροκινητήρα, ενώ οι συσσωρευτές που περιλαμβάνουν φορτίζονται από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με το

ελληνικό θεσμικό πλαίσιο, ως οχήματα υψηλής τάσης μπορούν να προσδιοριστούν τα μηχανοκίνητα οχήματα, τα οποία διαθέτουν σύστημα μετάδοσης κίνησης, το οποίο περιέχει τουλάχιστον μια περιφερειακή, εξωτερική, βοηθητική, ηλεκτρική μηχανή, η οποία και λειτουργεί ως μετατροπέας ενέργειας, σε ένα ηλεκτρικό επαναφορτιζόμενο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Το εν λόγω σύστημα μπορεί να φορτίζεται, είτε κατά την κίνηση του οχήματος, είτε κάνοντας χρήση εξωτερικών μέσων. Τα οχήματα αυτά κάνουν χρήση συσσωρευτών, η τάση των οποίων μετασχηματίζεται σε εναλλασσόμενη τάση άνω των 30V, είτε με συνεχή τάση άνω των 60V, προκειμένου να μπορέσει να υπάρξει τροφοδοσία των ηλεκτροκινήτων (Υπουργική Απόφαση προσανατολίζονται 151639/2003-ΦΕΚ 3270/Β/17-5-2023).

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο ηλεκτρικός κινητήρας αποτελεί το σημαντικότερο είδος ηλεκτρικής μηχανής-διάταξης, το οποίο και χρησιμοποιείται προκειμένου να υπάρξει μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική ενέργεια. Οι ηλεκτροκινητήρες αυτοί στηρίζονται στην αλληλεπίδραση που δημιουργείται μεταξύ δύο φορέων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, οι οποίοι έχουν την τάση να προσανατολίζονται μεταξύ τους. Αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης αυτής είναι η δημιουργία δύναμης και ακολούθως ροπής πάνω στον άξονα του ηλεκτροκινητήρα. Διαφορετικά είδη ηλεκτροκινητήρων μπορούν να λειτουργήσουν με την παροχή συνεχούς ρεύματος, όπως επίσης και με την παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος (Selvakumar et al., 2018).

Οι ηλεκτροκινητήρες, σε σχέση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης είναι ελαφρύτεροι και μικρότεροι σε μέγεθος, ενώ ταυτόχρονα θεωρούνται πιο αποδοτικοί στην παραγόμενη ισχύ, όπως επίσης και στις απώλειες θερμότητας που παράγουν. Ταυτόχρονα οι ηλεκτροκινητήρες είναι πιο απλοί στην μηχανολογική τους κατασκευή ενώ συνάμα είναι και πιο οικονομικοί. Ωστόσο σε σχέση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης, οι ηλεκτροκινητήρες έχουν εξάρτηση από μία πηγή παροχής ηλεκτρικού ρεύματος (Patlins et al., 2022).

Η εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων είναι ραγδαία, γεγονός που αποτυπώνεται στην ταχεία αύξηση των πωλήσεών τους, όπως επίσης και στο αυξημένο ενδιαφέρον της αυτοκινητοβιομηχανίας για την παραγωγή αντίστοιχων οχημάτων (Sun et al., 2019). Ταυτόχρονα, σε πολλές χώρες της Ευρώπης και όχι μόνο,

αλλά και στην Ελλάδα, δίνονται κίνητρα για την περαιτέρω επέκταση της αγοράς των ηλεκτροκίνητων οχημάτων. Τα κίνητρα αυτά ωθούν όλο και περισσότερο κόσμο στην απόκτηση ηλεκτρικού οχήματος, ενώ συνάμα μέσω της ενίσχυσης της βιομηχανίας ηλεκτρικών οχημάτων, μπορεί να επιτευχθεί βελτίωση της τεχνολογίας αλλά και περαιτέρω εξέλιξή της, η οποία με τη σειρά της, μπορεί να οδηγήσει σε οικονομίες κλίμακας και περιορισμό της τιμής διάθεσης των ηλεκτρικών οχημάτων προς τους καταναλωτές (Ra, 2024).

Σήμερα σε διεθνές επίπεδο, υψηλό ενδιαφέρον για την απόκτηση ηλεκτρικών οχημάτων παρατηρείται στην Κίνα, η οποία είναι ιδιαίτερα καινοτόμος στην παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων όπως επίσης στις ΗΠΑ, όπου αντίστοιχα παράγονται ηλεκτρικά αυτοκίνητα, τα οποία ενσωματώνουν διαρκώς νέες τεχνολογίες. Ακόμη υψηλό ενδιαφέρον υπάρχει και στην Ευρώπη, κυρίως στην Γαλλία αλλά και στη Γερμανία, ενώ ακολουθούν την τάση αυτή πολλές χώρες. Να σημειωθεί ότι σημαντικό ζήτημα κατά τον εξηλεκτρισμό του στόλου αυτοκινήτων, αποτελεί η ύπαρξη κατάλληλων τεχνολογιών φόρτισης και κυρίως δικτύου φορτιστών σε κοντινές αποστάσεις, έτσι ώστε οι χρήστες των οχημάτων αυτών να μπορούν να εξυπηρετηθούν με τρόπο αποτελεσματικό. Παράλληλα καθώς αυξάνεται η ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων, ζήτημα αποτελεί η τροφοδοσία αυτών με κατάλληλη ενέργεια, καθώς και η αντίστοιχη υποστήριξη της ζήτησης αυτής από τα δίκτυα. Ακόμη, προκειμένου να μπορούν να συνεισφέρουν όντως στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, θα πρέπει η ενέργεια που τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά οχήματα να προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Tripathi et al., 2024).

Στόχος και σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας είναι να μελετήσει την εξέλιξη της τεχνολογίας των ηλεκτρικών οχημάτων, για τα οποία το ενδιαφέρον τόσο σε επιστημονικό, όσο και σε εμπορικό επίπεδο, έχει παρουσιάσει σημαντικά μεγάλη αύξηση κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών. Ειδικότερα, εστιάζει στην ιστορική εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων, στον τρόπο λειτουργίας τους καθώς και στα χαρακτηριστικά αυτών. Επιπλέον, η εργασία στοχεύει στην μελέτη της τεχνολογίας των κινητήρων που χρησιμοποιούνται, όπως και των αντίστοιχων συσσωρευτών, της υφιστάμενης κατάστασης της αγοράς, διεθνώς, στην Ευρώπη, αλλά και στην Ελλάδα,

καθώς και της εξέλιξης των περαιτέρω προκλήσεων και προοπτικών που διαμορφώνονται κατά την ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων.

Δομή της εργασίας

Όσον αφορά την δομή της Πτυχιακής Εργασίας, αυτή αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια. Ειδικότερα, το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή της εργασίας, όπου προσδιορίζονται εννοιολογικά τα ηλεκτρικά οχήματα (ΗΟ) και ακολούθως περιγράφεται ο στόχος και ο σκοπός της εργασίας. Στη συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας, γίνεται λόγος για την μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία. Ακολούθως, στο κεφάλαιο τρία παρατίθενται τα αποτελέσματα της έρευνας, τα οποία και διαρθρώνονται σε πέντε επιμέρους κεφάλαια.

Ειδικότερα, στο κεφάλαιο 3.1 γίνεται λόγος για τα ηλεκτρικά οχήματα, όπου λαμβάνει χώρα ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη των αυτοκινήτων και γίνεται μνεία στα ηλεκτρικά οχήματα στο πέρασμα του χρόνου. Έμφαση δίνεται στον τρόπο λειτουργίας των ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς και στα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών οχημάτων. Τέλος, παρουσιάζονται αναλυτικά τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που απορρέουν από την λειτουργία των ηλεκτρικών οχημάτων. Περαιτέρω, στο κεφάλαιο 3.2 μελετάται αναλυτικά η τεχνολογία κινητήρα, όπου προσδιορίζονται οι βασικοί τύποι των κινητήρων. Συγκεκριμένα, εξετάζονται οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη (Permanent Magnet Motors), οι κινητήρες επαγωγικού κινητήρα, όπως επίσης και οι στρογγυλοειδείς κινητήρες. Ακόμη, το κεφάλαιο αυτό εξετάζει την απόδοση και τις σύγχρονες εξελίξεις, εστιάζοντας στην αύξηση της αποδοτικότητας, στη μείωση του κόστους και του βάρους, όπως επίσης και στην ενσωμάτωση νέων υλικών.

Εν συνεχεία, στο κεφάλαιο 3.3 εξετάζονται οι συσσωρευτές των ηλεκτρικών οχημάτων. Ειδικότερα, προσδιορίζεται η σημασία των συσσωρευτών στην επιτυχία των ηλεκτρικών οχημάτων, ενώ αναφέρονται οι κατηγορίες των συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα. Επιπλέον, μελετώνται οι παράγοντες που επιδρούν στη διάρκεια ζωής των συσσωρευτών των ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς και οι σύγχρονες τάσεις και προοπτικές που αφορούν τους συσσωρευτές αυτούς, ενώ τέλος εξετάζονται οι προκλήσεις που συνδέονται με τους συσσωρευτές των

ηλεκτρικών οχημάτων και αφορούν κυρίως το κόστος παραγωγής, τις πρώτες ύλες, όπως επίσης και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Στο κεφάλαιο 3.4 μελετάται αναλυτικά η αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων, όπου εξετάζεται η παγκόσμια αγορά, η ευρωπαϊκή αγορά, καθώς και η ελληνική αγορά. Στο πλαίσιο αυτό παρατίθενται στατιστικά στοιχεία, όπως επίσης και σχετικές προβλέψεις της αγοράς για το μέλλον. Τέλος, στο κεφάλαιο 3.5 παρουσιάζονται οι παράγοντες που συμβάλλουν στην εξέλιξη της τεχνολογίας των ηλεκτρικών οχημάτων. Έμφαση δίνεται στον ρόλο της Έρευνας & Ανάπτυξης (R&D), στην κλιματική αλλαγή και στην ηλεκτροκίνηση, όπως επίσης και στο θεσμικό πλαίσιο το οποίο και διέπει την ηλεκτροκίνηση. Ακόμη, μελετάται ο ρόλος που μπορούν να διαδραματίσουν τα δίκτυα, καθώς και οι διασυνδέσεις, όπως και οι συσσωρευτές στην ηλεκτροκίνηση.

2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Όσον αφορά την μεθοδολογία, στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιείται η βιβλιογραφική αναζήτηση, η οποία και πραγματοποιείται σε επιστημονικά περιοδικά, καθώς επίσης και σε σχετικά συγγράμματα, για τα οποία λαμβάνει χώρα αναζήτηση σε βάσεις επιστημονικών δεδομένων, όπως είναι για παράδειγμα το Scopus, είτε το Google Scholar. Τα άρθρα και τα συγγράμματα αυτά είναι είτε στην ελληνική, είτε κυρίως στην αγγλική γλώσσα. Ως λέξεις κλειδιά για την αναζήτηση αυτή χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες (τόσο στα ελληνικά, όσο και στα αγγλικά): ηλεκτρικά οχήματα, τεχνικά χαρακτηριστικά, κινητήρες, συσσωρευτές, αγορά ηλεκτρικών οχημάτων, ηλεκτροκίνηση, δίκτυα. Τα άρθρα, καθώς και τα επιστημονικά που αναζητήθηκαν είχαν δημοσιευθεί κυρίως μετά το 2015, λαμβάνοντας υπόψη και το γεγονός ότι η ηλεκτροκίνηση, κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών έχει παρουσιάσει σημαντικά μεγάλη δυναμική.

Πέρα από τα επιστημονικά άρθρα, τα επιστημονικά περιοδικά και τα συγγράμματα, αναζητήθηκαν δημοσιευμένες μελέτες, στην αγγλική και ελληνική γλώσσα, οι οποίες κάνουν λόγο για την εξέλιξη της ηλεκτροκίνησης. Καθώς το θέμα παρουσιάζει έντονο ενδιαφέρον, όλο και περισσότερες μελέτες δημοσιεύονται, από ποικίλους φορείς, οι οποίες συνδέονται με κάποιο τρόπο ή επιδιώκουν να συνδεθούν με την ηλεκτροκίνηση και την ανάπτυξη των ηλεκτροκίνητων οχημάτων. Ενδεικτικά, αναζητήθηκαν μελέτες σε φορείς όπως είναι η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε), το Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας, τα διάφορα ακαδημαϊκά ιδρύματα, όπως επίσης και άλλοι φορείς.

Κατά την εκπόνηση της εργασίας, έμφαση δόθηκε στην αναζήτηση και χρήση στατιστικών στοιχείων, τα οποία αφορούν τόσο την εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων, όσο και των υποδομών που τα υποστηρίζουν (π.χ. εξέλιξη της ηλεκτροκίνησης). Σχετικά με τις βάσεις των δεδομένων αυτών, αναζητήθηκαν στοιχεία στην Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, όπως επίσης και σε φορείς όπως είναι η Eurostat, καθώς και η βάση δεδομένων Our World in Data. Επιπλέον, αναζητήθηκε και υλικό που αφορά την εξέλιξη των ηλεκτροκίνητων οχημάτων, σε επιμέρους χώρες, έτσι ώστε να μπορέσουν να εντοπιστούν οι σύγχρονες τάσεις και οι προοπτικές που διαμορφώνονται σε πραγματικό επίπεδο στην αγορά ηλεκτροκίνητων οχημάτων.

Επιπρόσθετα, κατά την συγγραφή της εργασίας χρησιμοποιήθηκε και υλικό από το διαδίκτυο, έτσι ώστε η προσέγγιση αυτή του ζητήματος να είναι όσο το δυνατόν πιο επικαιροποιημένη. Επιδιώχθηκε οι ιστοσελίδες αυτές να είναι έγκυρες και αφορούσαν κυρίως εξελίξεις στον χώρο των αυτοκινήτων, των ηλεκτρικών οχημάτων και της ηλεκτροκίνησης γενικότερα. Να σημειωθεί ότι και στις ιστοσελίδες, τα κριτήρια αναζήτησης τέθηκαν στην ελληνική, αλλά και στην αγγλική γλώσσα.

3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Ηλεκτρικά οχήματα

3.1.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται αναλυτικά τα ηλεκτρικά οχήματα. Ειδικότερα, επιχειρείται μια ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη των οχημάτων, ενώ έπειτα παρουσιάζεται η εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων διαχρονικά. Έμφαση δίνεται στον τρόπο λειτουργίας των οχημάτων αυτών, καθώς και στα βασικά τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται και στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που προκύπτουν από τη λειτουργία τους και την περαιτέρω ανάπτυξη αυτών.

3.1.2 Ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη των αυτοκινήτων

Η ανάπτυξη του αυτοκινήτου εκκινεί ουσιαστικά από την ανακάλυψη του τροχού, όπου αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι δεν μπορεί να αποδοθεί σε ένα μόνο συγκεκριμένο φυσικό πρόσωπο, αλλά περισσότερο συνδέεται με μια ολόκληρη εποχή της αρχαιότητας. Για παράδειγμα, ήδη από το 4.500 π.Χ. γίνονταν αναφορές στον τροχό, με τις χρήσεις αυτού να αφορούν τις μετακινήσεις ανθρώπων, αλλά και προϊόντων και εμπορευμάτων. Τα πρώτα τροχοφόρα οχήματα, κυκλοφόρησαν στην περιοχή της Μέσης Ανατολής, όπως επίσης και στην περιοχή της Ανατολικής Ευρώπης (Lay, 1999).

Το αυτοκίνητο στη σημερινή του μορφή, ξεκίνησε να αναπτύσσεται κατά τα τέλη του 18^{ου} αιώνα, με την εξέλιξη αυτή να συνδέεται με την χρήση του ατμού, όπως επίσης και με την πρόοδο που συνέβη στις μηχανές εσωτερικής καύσης, όπως για παράδειγμα έγινε στις χώρες Γαλλία και Γερμανία. Ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι η χωρητικότητα των οχημάτων αυτών κυμαινόταν από δύο άτομα έως και επτά-οκτώ, ανάλογα με το εκάστοτε μοντέλο. Σημαντική στιγμή στην εξέλιξη του αυτοκινήτου, αποτέλεσε η κατασκευή του πρώτου οχήματος το οποίο και διέθετε κινητήρα εσωτερικής καύσης, κατά το έτος 1886, με το καύσιμο αυτού να είναι η βενζίνη. Την ίδια περίπου περίοδο, ο εφευρέτης Τρουβέ, κατασκεύασε το πρώτο τρίτροχο όχημα, το οποίο και λειτουργούσε με ηλεκτροκίνητο. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι

κατά το ίδιο διάστημα, λάμβαναν χώρα δοκιμές μηχανών, η κίνηση των οποίων γίνονταν με ηλεκτρισμό, αλλά και ατμό. Έτσι την περίοδο αυτή, υπήρξε σχεδόν ταυτόχρονη ανάπτυξη των μηχανών εσωτερικής καύσης και των μηχανών που κινούνταν με ηλεκτρισμό. Όμως, εξαιτίας των προβλημάτων που υπήρχαν στις μπαταρίες, δεν υπήρξε περαιτέρω ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης (Votolato, 2015).

Λίγα χρόνια νωρίτερα και συγκεκριμένα το 1893, κατασκευάστηκε ο πρώτος βενζινοκινητήρας στις ΗΠΑ και συγκεκριμένα στην περιοχή της Μασαχουσέτης, ενώ την ίδια περίοδο κατασκευάστηκε και καινοτόμος κινητήρας, ο οποίος και λειτουργούσε με diesel. Οι περιστρεφόμενοι κινητήρες, βρίσκονταν σε ανταγωνισμό με τον σχεδιασμό των συμβατικών κινητήρων, ωστόσο, η κατασκευή και λειτουργία αυτών συνοδεύονταν από πλήθος τεχνικών προβλημάτων. Στο πέρασμα του χρόνου και συγκεκριμένα από το 1880 έως και το 2010 είχαν κατατεθεί περισσότερα από 100.000 διπλώματα ευρεσιτεχνίας, τα οποία αφορούσαν αυτοκίνητα και μοτοσυκλέτες, γεγονός που πιστοποιεί το ισχυρό ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των οχημάτων. Τα επόμενα χρόνια όλο και εντεινόταν ο ανταγωνισμός, με αποτέλεσμα να αυξάνεται και ο αριθμός των κατασκευαστών, ορισμένοι εκ των οποίων ήταν μεγαλύτεροι και άλλοι μικρότεροι (Robinson, 2000).

Η εξέλιξη των υλικών των οχημάτων ακολούθησε την εξέλιξη των κινητήρων, με τους πρώτους σκελετούς των οχημάτων να κατασκευάζονται από ξύλο, με την τάση αυτή να διαρκεί έως και το 1914, όπου κατασκευάστηκε και το πρώτο όχημα από μεταλλικό σκελετό.

Εικόνα 1: Πρώτο αυτοκίνητο που κατασκευάστηκε με μεταλλικό σασί



Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το 1939 κατασκευάστηκε το πρώτο αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων, που ήταν υδραυλικό και έκανε αυτόματα αλλαγή ταχύτητας κατά τη διάρκεια κίνησης του οχήματος. Η εφεύρεση αυτή ήταν από τις πλέον σημαντικές για την περαιτέρω εξέλιξη του οχήματος. Κάποια χρόνια αργότερα, άρχισαν να κατασκευάζονται οχήματα που διέθεταν κλιματισμό, ενώ το 1966 ξεκίνησε δυναμικά η ανάπτυξη της τεχνολογίας fuel injection, η οποία και συνέβαλε στην βέλτιστη μεταφορά καυσίμου του κινητήρα. Μετά το 1960, οι εταιρείες κατασκευής αυτοκινήτων επικεντρώθηκαν στην ασφάλεια των οχημάτων, με την τοποθέτηση της ζώνης ασφαλείας να τίθεται στο επίκεντρο, αρχικά στα μπροστινά καθίσματα και εν συνεχεία στα πίσω καθίσματα, ενώ λίγα χρόνια αργότερα έγιναν υποχρεωτικές. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990 αποφασίστηκε η τοποθέτηση αερόσακων, ενώ στις αρχές της επόμενης δεκαετίας του 2000, δημιουργήθηκαν οχήματα τα οποία ήταν φιλικά προς το περιβάλλον, τα οποία ήταν υβριδικά. Ωστόσο, στα πρώτα βήματα των οχημάτων αυτών, η αποδοχή τους από το κοινό ήταν περιορισμένη (Kouroussis et al., 2015).

3.1.3 Ηλεκτρικά οχήματα στο πέρασμα του χρόνου

Η εξέλιξη της ηλεκτροκίνησης, συνδέθηκε άμεσα με την τεχνολογική πρόοδο που συντελέστηκε στα επιμέρους τμήματα, τα οποία και συνθέτουν το ηλεκτρικό όχημα. Τα ηλεκτρικά οχήματα ξεκίνησαν να αναπτύσσονται ως ιδέα περίπου στα μέσα του 19^{ου} αιώνα, ενώ την ίδια περίοδο αναπτύσσονταν παράλληλα τόσο τα οχήματα που κινούνταν με ατμό, όσο και τα οχήματα τα οποία χρησιμοποιούσαν μηχανές εσωτερικής καύσης. Οι πρώτες αυτές προσπάθειες που έλαβαν χώρα, είχαν περισσότερο δοκιμαστικό χαρακτήρα, αλλά καθώς ανακαλύφθηκαν μεγάλα κοιτάσματα πετρελαίου, τα οποία εξορύσσονταν σε σχετικά ελκυστική τιμή, το ενδιαφέρον για τα ηλεκτρικά οχήματα τέθηκε σε δεύτερη μοίρα (Burton, 2013).

Τα πρώτα ηλεκτρικά οχήματα που κατασκευάστηκαν κατά τη διάρκεια του 19^{ου} αιώνα χρησιμοποιούσαν μπαταρίες, οι οποίες δεν ήταν επαναφορτιζόμενες, ενώ περίπου μισό αιώνα μετά ξεκίνησαν να κατασκευάζονται μπαταρίες, με σκοπό να χρησιμοποιηθούν σε εμπορικά ηλεκτρικά οχήματα. Να σημειωθεί ότι τα πρώτα αυτά ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιήθηκαν για την αντικατάσταση των ιππύλατων αμαξιών, οι οποίες έως τότε έβρισκαν χρήση στην μεταφορά μεγάλων φορτίων. Η δε ταχύτητα των οχημάτων αυτών δεν ξεπερνούσε τα 35 χιλιόμετρα/ώρα. Από τα πλέον σημαντικά προβλήματα των οχημάτων αυτών ήταν η περιορισμένη αυτονομία τους, ενώ παράλληλα τα οχήματα αυτά έπρεπε να είναι μεγάλου μεγέθους, γεγονός που αύξανε το κόστος παραγωγής τους (Kirsch, 2012).

Ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι κατά το 1912, ο Thomas Edison, δημιούργησε ένα ηλεκτρικό όχημα, το οποίο και παρουσίασε βελτιωμένα χαρακτηριστικά ως προς την μπαταρία του, με αποτέλεσμα να πετύχει αυξημένα επίπεδα αυτονομίας, σε σχέση με τα υπόλοιπα ηλεκτρικά οχήματα, τα οποία και κυκλοφορούσαν έως τότε. Παρόλο που υπήρξαν οι βελτιώσεις αυτές, το κόστος των οχημάτων αυτών παρέμεινε ιδιαίτερα υψηλό, σε σχέση και με τα οχήματα βενζίνης. Παράλληλα, την εποχή αυτή, οι πολιτικές που εφάρμοζαν οι Κυβερνήσεις, ενίσχυαν περισσότερο την κυκλοφορία οχημάτων με βενζίνη, παρά των ηλεκτροκίνητων οχημάτων και έτσι δόθηκαν κίνητρα προς την κατεύθυνση αυτή (Mom, 2016).

Καθώς βελτιώθηκαν σημαντικά οι κινητήρες εσωτερικής καύσης και την ίδια στιγμή αυξήθηκαν οι δυνατότητες των οχημάτων που τους χρησιμοποιούσαν, η

ανάπτυξη των ηλεκτροκίνητων οχημάτων σταμάτησε, ενώ η ανάπτυξη της οδικής υποδομής συνδέθηκε με την περαιτέρω ανάπτυξη και χρήση των ορυκτών καυσίμων. Ωστόσο, το ενδιαφέρον για την ηλεκτροκίνηση αυξήθηκε και πάλι, σε μια νέα βάση, κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, υπό το πρίσμα της κλιματικής αλλαγής, καθώς και των έντονων περιβαλλοντικών πιέσεων που απαντώνται όλο και πιο συχνά. Έτσι, καθώς αυξάνεται η ανεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και χρησιμοποιούνται νέες εναλλακτικές πηγές ενέργειας, δίνεται όλο και περισσότερη έμφαση στην ανάπτυξη των οχημάτων αυτών (Ding et al., 2017).

3.1.4 Τρόπος λειτουργίας ηλεκτρικών οχημάτων

Σε ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο, η κινητική ενέργεια που απαιτείται για την κίνηση αυτού παράγεται από τον ηλεκτρικό κινητήρα που διαθέτει, με το γεγονός αυτό να αποτελεί στοιχείο διαφοροποίησης μεταξύ ενός ηλεκτρικού και ενός συμβατικού οχήματος. Κατά κάποιο τρόπο, οι ηλεκτρικές μηχανές που τοποθετούνται στα ηλεκτρικά οχήματα λειτουργούν τόσο ως κινητήρες, όσο και ως γεννήτριες. Καθώς οι ηλεκτρικοί κινητήρες έχουν τη δυνατότητα να αποδίδουν ροπή και ισχύς, ακόμη και σε χαμηλές στροφές, δεν απαιτείται η χρήση κιβωτίου ταχυτήτων, αλλά ούτε είναι αναγκαίο να υπάρχει μειωτήρας στροφών (Sanguesa et al., 2021).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι ηλεκτροκινητήρες μπορεί να είναι έως και τρεις φορές πιο αποδοτικοί, σε σχέση με τις Μηχανές Εξωτερικής Καύσης (ΜΕΚ), ενώ ο συντελεστής αυτός διαφοροποίησης δύναται να διαφέρει ανάλογα με τον τύπο της μηχανής, όπως επίσης και ανάλογα με τον τύπο του ηλεκτροκινητήρα. Εξίσου σημαντικό είναι το γεγονός ότι οι ηλεκτροκινητήρες κατά τη λειτουργία της δεν εκπέμπουν καυσαέρια, ενώ το σύστημα ψύξης αυτών είναι πιο απλό, λαμβάνοντας υπόψη ότι δεν απαιτείται να γίνεται διαχείριση καυσαερίων, όπως αντίστοιχα συμβαίνει στις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης. Επιπλέον, οι ηλεκτροκινητήρες παρουσιάζουν πλεονεκτήματα σε σχέση με τον όγκο και το βάρος των αντίστοιχων Μηχανών Εσωτερικής Καύσης που διαθέτουν την ίδια ισχύ (Hughes & Drury, 2019).

3.1.5 Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά ηλεκτρικών οχημάτων

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο σχεδιασμός ενός κινητήρα ηλεκτροκίνητου οχήματος παρουσιάζει διαφορές σε σχέση με τις υπόλοιπες

τεχνολογίες των συμβατικών οχημάτων (πετρέλαιο, βενζίνη). Ωστόσο, τα υπόλοιπα μέρη του αυτοκινήτου παραμένουν κοινά, δηλαδή τόσο τα εξωτερικά μέλη, όσο και τα μηχανολογικά. Ειδικότερα, τα μέρη αυτά είναι το αμάξωμα, το οποίο και περιλαμβάνει τα εξωτερικά μέρη του οχήματος, το πλαίσιο, που αποτελεί τον σκελετό του αυτοκινήτου, πάνω στο οποίο στηρίζονται και τα υπόλοιπα μέρη του οχήματος, όπως είναι ο κινητήρας, οι αναρτήσεις κτλ. (Li et al., 2019).

Ακόμη, τα μέρη αυτά αποτελούνται από την ανάρτηση, η οποία και συμβάλλει στην κατάλληλη συμπεριφορά του αυτοκινήτου όταν αυτό κινείται, με την ανάρτηση να περιλαμβάνει τα αμορτισέρ, τα ελατήρια, όπως επίσης και την αντιστρεπτή δοκό, αλλά και τα εξαρτήματα συγκράτησης, αλλά και από το σύστημα διεύθυνσης, όπου πρόκειται ουσιαστικά για τον μηχανισμό που μεταφέρει την εντολή για την πραγματοποίηση της πορείας του οχήματος από το τιμόνι στους τροχούς. Επιπλέον, το όχημα διαθέτει φρένα, και παράλληλα υπάρχει και το σύστημα πέδησης, το οποίο θεωρείται υπεύθυνο για την ασφαλή λειτουργία του οχήματος, όπως και το σύστημα τροφοδοσίας, το οποίο και είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία του κινητήρα, καθώς γίνεται από αυτό διανομή καυσίμου (Sanguesa et al., 2021).

Σε ένα συμβατικό αυτοκίνητο, ο κινητήρας του καταφέρνει να εκμεταλλευτεί μόλις το 1/3 του προϊόντος που παράγεται από την καύση του καυσίμου, έτσι ώστε αυτό να μετατραπεί σε ροπή και ισχύς. Από την άλλη, στα ηλεκτρικά οχήματα ο ηλεκτροκινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια, ο οποίος είτε προβαίνει σε κατανάλωση ενέργειας προκειμένου να παράγει κίνηση, είτε ανακτά ενέργεια, μέσω της διαδικασίας της επιβράδυνσης. Απόρροια των λειτουργιών του, είναι η υψηλή απόδοση, η οποία μπορεί να ξεπεράσει το 90%. Στους κινητήρες εσωτερικής καύσης παράγεται θερμική ενέργεια, η οποία προέρχεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων (βενζίνη ή πετρέλαιο), ενώ αντιθέτως, στους ηλεκτρικούς κινητήρες, η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική. Ουσιαστικά, ο κινητήρας των ηλεκτρικών οχημάτων περιλαμβάνει μία διάταξη αγωγών, οι οποίοι και λειτουργούν ως ηλεκτρομαγνητικά πεδία, τα οποία εφόσον προσανατολιστούν παράγουν δύναμη (Sun et al., 2019).

3.1.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ηλεκτρικών οχημάτων

Καθώς εξελίσσονται τα ηλεκτρικά οχήματα, επιδιώχθηκε να υπάρξει επιπλέον ενίσχυση των θετικών χαρακτηριστικών τους, καθώς και επίλυση των αδυναμιών τους, έτσι ώστε αυτά να καταστούν πιο λειτουργικά, αλλά και περισσότερο ελκυστικά προς τους χρήστες αυτών. Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα πλεονεκτήματα που αφορούν τα ηλεκτρικά οχήματα.

Πλεονεκτήματα

Από τα πλέον βασικά πλεονεκτήματα που αφορούν τα ηλεκτρικά οχήματα είναι ότι αυτά δεν παράγουν ρύπους κατά τη λειτουργία τους και έτσι συμβάλλουν στην μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ιδίως στα αστικά κέντρα όπου το πρόβλημα είναι έντονο. Εξίσου σημαντικό είναι το γεγονός ότι τα οχήματα αυτά, δεν παράγουν καθόλου διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο παρόλο που δεν είναι ρύπος επιβαρύνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου, που αποτελεί μία από τις πλέον σύγχρονες και απαιτητικές περιβαλλοντικές προκλήσεις (Goldstein, 2024). Ιδιαίτερα σημαντικό είναι επίσης και το γεγονός ότι τα ηλεκτρικά οχήματα δημιουργούν χαμηλότερη θερμική επιβάρυνση στον πλανήτη, συνεκτιμώντας το γεγονός ότι η απόδοση που επιτυγχάνουν θεωρείται υπερδιπλάσια από τους συμβατικούς κινητήρες που λειτουργούν με βενζίνη (Sun et al., 2019). Ένας κινητήρας που λειτουργεί με βενζίνη, καταφέρνει και έχει μια απόδοση της τάξεως του 35%, ενώ σε έναν ηλεκτρικό κινητήρα, η απόδοση αυτού μπορεί να προσεγγίσει ακόμη και το 90%. Το υπόλοιπο ποσό ενέργειας σχετίζεται με απώλειες σε θερμότητα, οι οποίες και διαχέονται στο περιβάλλον, ενώ ενισχύει το φαινόμενο του θερμοκηπίου, διαταράσσοντας συνάμα την ατμόσφαιρα σε τοπικό επίπεδο (Kapustina & Izakova, 2023).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στα συμβατικά οχήματα, τα οποία λειτουργούν με Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, η χημική ενέργεια αποθηκεύεται στο καύσιμο και στις περιπτώσεις όπου το καύσιμο είναι πετρέλαιο και βενζίνη αντίστοιχα, ενώ ακολούθως απελευθερώνεται για καύση στον κινητήρα. Η διαδικασία αυτή οδηγεί στην παραγωγή ρύπων, καθώς και σε σημαντικές απώλειες θερμότητας (Patel et al., 2021). Από την άλλη, κατά τη λειτουργία των ηλεκτρικών οχημάτων, γίνεται αποθήκευση της χημικής ενέργειας σε συσσωρευτές, με την ενέργεια αυτή ακολούθως να απελευθερώνεται χωρίς καύση. Έτσι, με τον τρόπο αυτό αποτρέπονται οι βλαβερές

συνέπειες, οι οποίες και θα πρόκυπταν από την διαδικασία της καύσης. Ωστόσο, για να είναι πλήρως οικολογικά τα αυτοκίνητα αυτά, θα πρέπει η ενέργεια που καταναλώνεται να προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), καθώς σε διαφορετική περίπτωση, προκύπτει περιβαλλοντική επιβάρυνση, η οποία αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Barkenbus, 2020).

Ακόμη, τα ηλεκτρικά οχήματα, σύμφωνα με τον τρόπο λειτουργίας τους, έχουν τη δυνατότητα να επαναφορτίζονται όταν συμβαίνουν επιβραδύνσεις του οχήματος και έτσι μπορεί και επιτυγχάνεται βελτίωση του δείκτη κατανάλωσης, ενώ στις περιπτώσεις όπου το όχημα βρίσκεται σε στάση, η κατανάλωση ενέργειας είναι μηδενική. Παράλληλα, στα πλεονεκτήματα των ηλεκτρικών οχημάτων εντάσσεται και το ότι κάνοντας χρήση αυτών, μπορεί να επιτευχθεί μείωση της εξάρτησης της χώρας από τις εισαγωγές καυσίμων. Ουσιαστικά, οι χώρες μπορούν να αξιοποιήσουν Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, προκειμένου να χρησιμοποιήσουν το ρεύμα που παράγεται για την χρήση από τα οχήματα. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας αυτές μπορεί να διαφέρουν μεταξύ των χωρών, λαμβάνοντας υπόψη τους διαθέσιμους ενεργειακούς πόρους που διαθέτει η κάθε χώρα (Liu et al., 2020).

Πέρα όμως από τα περιβαλλοντικά οφέλη που δημιουργούνται από την χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων, σημαντικά πλεονεκτήματα προκύπτουν και στις τεχνικές παραμέτρους των οχημάτων αυτών. Ειδικότερα, τα οχήματα που λειτουργούν με Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, θα πρέπει να ανεβάσουν στροφές, έτσι ώστε να καταφέρουν να πετύχουν την μέγιστη ισχύ και ροπή. Κάτι τέτοιο στα ηλεκτρικά οχήματα δεν συμβαίνει, καθώς αυτά θεωρείται ότι έχουν σταθερή ροή, από το σημείο της ακινησίας, έως και το μέγιστο όριο στροφών λειτουργίας αυτών. Επομένως, υπάρχει δυνατότητα ακόμη και σε χαμηλές στροφές να λειτουργούν κανονικά, έχοντας εύκολο ξεκίνημα. Δεν θα πρέπει να παραληφθεί και το γεγονός ότι τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν σε υψηλότερες στροφές, σε σχέση με τους κινητήρες βενζίνες, ενώ κάποιες φορές μπορεί να ξεπεράσουν ακόμη και τις 14.000 στροφές ανά λεπτό (Muneer et al., 2017).

Αναφορά θα πρέπει να γίνει και στα οικονομικά πλεονεκτήματα. Πιο αναλυτικά, αυτά αφορούν το σχετικά χαμηλό κόστος μετακίνησης, ενώ και η τιμή του ρεύματος θεωρείται χαμηλότερη ανά μονάδα ενέργειας σε σχέση με την βενζίνη και

το πετρέλαιο. Ενδιαφέρον έχει και το γεγονός ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα απαιτούν λιγότερες διαδικασίες συντήρησης, κάτι που συνδέεται με το γεγονός ότι δεν διαθέτουν σύστημα εξαγωγής καυσαερίων, ούτε διάταξη εξάτμισης, αλλά ούτε και σιγαστήρα πριν από την εξάτμιση. Ακόμη δεν απαιτείται να διαθέτουν καταλύτη ή φίλτρο καπνού, καθώς δεν υπάρχει σκοπιμότητα χρήσης αυτών (Barkenbus, 2020).

Μειονεκτήματα

Μέχρι στιγμής, παρά το γεγονός ότι η τεχνολογία κατασκευής των ηλεκτρικών οχημάτων αναπτύσσεται διαρκώς, ακόμη και σήμερα απαντώνται ορισμένα μειονεκτήματα, τα οποία συνδέονται με τα ηλεκτρικά οχήματα. Ειδικότερα, στο βασικό μειονέκτημα συγκαταλέγεται το υψηλό κόστος κατασκευής, το οποίο ακόμη και σήμερα παραμένει σε υψηλά επίπεδα, σε σχέση με ένα απλό αυτοκίνητο που κινείται με ορυκτά καύσιμα. Ακόμη, ως μειονέκτημα θεωρείται το ζήτημα της φόρτισης, βέβαια με το δίκτυο φόρτισης να διαφοροποιείται μεταξύ των επιμέρους χωρών (Milev et al., 2021). Στην Ελλάδα, για παράδειγμα, παρά το γεγονός ότι το δίκτυο ηλεκτροφορτιστών επεκτείνεται διαρκώς, ακόμη και σήμερα θεωρείται περιορισμένο και για να μπορέσει να προσελκύσει πρόσθετο κοινό είναι αναγκαίο να διερευνηθεί περαιτέρω. Να σημειωθεί επίσης ότι παρόλο που επήλθε σημαντική πρόοδος στις ταχύτητες φόρτισης των οχημάτων και έτσι από διαστήματα ωρών πλέον η φόρτιση μπορεί να γίνει σε μερικά λεπτά, χρησιμοποιώντας τους κατάλληλους ταχυφορτιστές, παραμένει σημαντικά πιο χρονοβόρα διαδικασία, σε σχέση με ένα γέμισμα του ρεζερβουάρ, με συμβατικό καύσιμο (Azizbek, 2024).

Ως μειονέκτημα μπορεί να χαρακτηριστεί για τα ηλεκτρικά οχήματα η φόρτιση σε δημόσιο ηλεκτροφορτιστή, καθώς περιορίζει σημαντικά το όφελος που προκύπτει από τη χρήση του, σε σχέση πάντοτε με το να φορτίσει κάποιος το όχημά του στο σπίτι του. Αξιοσημείωτο δε, είναι το γεγονός ότι αν αποφασίσει κάποιος χρήστης του ηλεκτρικού οχήματος να κινηθεί με πολύ υψηλές ταχύτητες, τότε θα πρέπει να γνωρίζει ότι περιορίζεται αισθητά και ο χρόνος της αυτονομίας της μπαταρίας, γεγονός που μπορεί να δυσκολέψει το ίδιο το ταξίδι. Για το λόγο αυτό τα ηλεκτρικά οχήματα λειτουργούν περισσότερο αποδοτικά εντός πόλεως (Targonya et al., 2019).

Σε περιβαλλοντικό επίπεδο, αφενός ισχύει ότι τα ηλεκτρικά οχήματα δεν παράγουν αέριους ρύπους κατά την κυκλοφορία τους, ωστόσο, δεν ισχύει ότι δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον, αν συνεκτιμηθεί ο συνολικός κύκλος ζωής τους. Ειδικότερα, η εξόρυξη των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των μπαταριών, όπως για παράδειγμα είναι το νικέλιο, το λίθιο, το κοβάλτιο κτλ., δύναται να δημιουργήσει σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα, ενώ προβλήματα δημιουργούνται και αν ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι οι σπάνιες αυτές γαίες υπάρχουν μόνο σε ορισμένες περιοχές του πλανήτη, γεγονός που αυξάνει την ευαλωτότητα. Σημαντικό πρόβλημα αποτελεί και για τα ηλεκτρικά οχήματα το κόστος αντικατάστασης της μπαταρίας, το οποίο κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα, βέβαια αυτό εξαρτάται και από την εταιρεία του αυτοκινήτου, από το μέγεθος, όπως επίσης και από την χωρητικότητα της μπαταρίας. Σύμφωνα με τα δεδομένα που ισχύουν σήμερα, η εγγύηση της μπαταρίας ενός αυτοκινήτου διαρκεί 8 χρόνια ή 160.000 χιλιόμετρα, όπου ουσιαστικά αν παρέλθουν αυτά, η μπαταρία του οχήματος έχει πέσει κάτω από το 70% της χωρητικότητας (Sobol & Dyiakon, 2020).

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται το κόστος αντικατάστασης της μπαταρίας των πλέον δημοφιλών αυτοκινήτων στην Ελλάδα, όπως οι τιμές αυτές δόθηκαν τον Οκτώβριο του 2024 από τον Σύνδεσμο Εισαγωγέων Αντιπροσώπων Αυτοκινήτων (ΣΕΕΑ) (Cosmote Insurance, 2024).

Πίνακας 1: Κόστος αντικατάστασης μπαταρίας ηλεκτρικού οχήματος

Μοντέλο Αυτοκινήτου	Χωρητικότητα (kWh)	Κόστος Αντικατάστασης (ευρώ)
FIAT 500e	24-42 kWh	~6.000-10.000
Opel Mokka	50 kWh	~8.000-12.000
Hyundai Kona Electric	39-64 kWh	~10.000-16.000
Volkswagen ID.4	52-77 kWh	~12.000-18.000
Volkswagen ID.3	45-77 kWh	~12.000-18.000
Skoda Enyaq	58-77 kWh	~12.000-20.000
Volvo XC40 Recharge	78 kWh	~15.000-20.000

Mercedes EQA	66.5 kWh	~15.000-20.000
Mercedes EQC	80 kWh	~15.000-20.000
Tesla Model 3	50-75 kWh	~15.000-22.000
Tesla Model Y	75 kWh	~15.000-22.000

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτουν πολύ ενδιαφέροντα συμπεράσματα σχετικά με το κόστος αντικατάστασης των μπαταριών, τουλάχιστον για την ελληνική αγορά ηλεκτρικών οχημάτων. Ουσιαστικά, όσο μεγαλύτερο είναι το όχημα τόσο μεγαλύτερο κόστος απαιτείται για την αντικατάσταση της μπαταρίας, όπως επίσης το κόστος φαίνεται να αυξάνεται ανάλογα με το μοντέλο και την αναγνωρισιμότητα της μάρκας.

3.2 Τεχνολογία κινητήρα

3.2.1 Τύποι Κινητήρων

Μόνιμου μαγνήτη (Permanent Magnet Motors)

Από τους πλέον ελκυστικούς κινητήρες για τη λειτουργία των ηλεκτρικών οχημάτων είναι οι κινητήρες που δεν διαθέτουν ψύκτρες, με μόνιμο μαγνήτη. Η υψηλή πυκνότητα ισχύος, καθώς και η υψηλή απόδοση, συνδέονται με τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αυτών. Ωστόσο, δεν θα πρέπει να παραβλέπεται το γεγονός ότι εξαιτίας της απουσίας ψηκτρών, υπάρχει υψηλή θερμική αστάθεια, όπως επίσης και υψηλό κόστος αυτών. Τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται οι μόνιμοι μαγνήτες (PM) διαδραματίζουν σημαίνοντα ρόλο στην αποτελεσματική λειτουργία αυτών. Η μελέτη των υλικών αυτών λαμβάνει χώρα εδώ και πάρα πολλά χρόνια, ωστόσο τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον είναι υψηλότερο και έτσι έχουν προκύψει αρκετές καινοτόμες προσεγγίσεις (Vlachou et al., 2024).

Σήμερα, κατά κύριο λόγο απαντώνται τέσσερις διαφορετικοί τύποι υλικών από τα οποία κατασκευάζονται οι μόνιμοι μαγνήτες, τα οποία και παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί.

Σχήμα 1: Τύποι υλικών από τα οποία κατασκευάζονται οι μόνιμοι μαγνήτες



Ειδικότερα, οι μαγνήτες φερρίτη απαντώνται ήδη από την δεκαετία του 1930 και έχουν βρει πλήθος εφαρμογών ως εμπορικοί μαγνήτες, εξαιτίας του χαμηλού κόστους παραγωγής, καθώς και λόγω της μεγάλης αφθονίας των υλικών που υπήρχαν. Σημαντικό πλεονέκτημα του υλικού αυτού είναι η υψηλή ηλεκτρική αντίσταση, η οποία έχει τη δυνατότητα να καταστέλλει την απώλεια ρεύματος στροβίλου. Από την άλλη όμως, οι μαγνήτες φερρίτη παρουσιάζουν υψηλό συντελεστή θερμοκρασίας, καθώς επίσης και χαμηλή πυκνότητα ενέργειας, με αποτέλεσμα το υλικό αυτό να καθίσταται ευάλωτο στις μεταβολές της θερμοκρασίας, αλλά και να είναι ογκώδη σε μέγεθος, γεγονός που δυσχεραίνει τις χρήσεις τους σε μηχανές ηλεκτροκίνητων οχημάτων (Vlachou et al., 2024).

Περαιτέρω, το υλικό Alnico, αποτελεί ψευδώνυμο του κράματος που περιλαμβάνει αλουμίνιο – νικέλιο – κοβάλτιο (Al-Ni-Co), με το κράμα αυτό να έχει ως βάση το σίδηρο. Ουσιαστικά, αποτέλεσε το πρώτο σύγχρονο μαγνητικό υλικό, και βρίσκει εφαρμογή ήδη από την δεκαετία του 1940. Χαρακτηριστικό του υλικού αυτού είναι η υψηλή αντίσταση που προσφέρει, ενώ εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας Curie που το χαρακτηρίζει μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας. Ωστόσο, πρόβλημα του υλικού αυτού αποτελεί η χαμηλή μαγνητική αντίσταση που παρουσιάζει, με αποτέλεσμα να είναι εύκολος ο απομαγνητισμός του,

με αποτέλεσμα να έχει περιορισμένη εφαρμογή στους μαγνητικούς κινητήρες ηλεκτροκίνητων οχημάτων (Vlachou et al., 2024).

Το σαμάριο – κοβάλτιο (Sm-Co), ξεκίνησε να χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960. Το υλικό αυτό παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως είναι για παράδειγμα η υψηλή αντίσταση, η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, όπως επίσης και η υψηλή θερμοκρασία Curie, ενώ υψηλός θεωρείται και ο συντελεστής χαμηλής θερμοκρασίας. Από την άλλη, βασικό μειονέκτημα του υλικού αυτού θεωρείται το κόστος του, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι σπάνιες γαίες παρουσιάζουν υψηλά κόστη απόκτησης, με το σαμάριο να είναι πολύ ακριβό (Rom et al., 2024).

Σχετικά με το υλικό νεοδύμιο – σίδηρος – βόριο (Nd-Fe-B), αυτό κατασκευάστηκε για πρώτη φορά το 1984, με το κόστος αυτού να είναι χαμηλότερο από το σαμάριο – κοβάλτιο, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι το νεοδύμιο είναι υλικό πιο χαμηλού κόστους, με αποτέλεσμα να θεωρείται κατάλληλο για κινητήρες μόνιμου μαγνήτη ηλεκτρικών οχημάτων. Ωστόσο και εδώ, προβληματισμό προκαλεί η χαμηλή θερμοκρασία Curie (345°C), η οποία οδηγεί σε περιορισμένες χρήσεις σε εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας. Ακόμη, για το υλικό αυτό προβληματισμό δημιουργεί η υψηλή ζήτηση, η οποία τροφοδοτείται από τις χρήσεις του υλικού για την κατασκευή ηλεκτροκινητήρων (Sakkas et al., 2023).

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη, έχουν αντικαταστήσει τους επαγωγικούς κινητήρες, καθώς η χρήση αυτών συνοδεύεται από μια σειρά πλεονεκτημάτων. Πιο αναλυτικά, καθώς το μαγνητικό πεδίο υπόκειται σε διέγερση από κινητήρες μόνιμων μαγνητών υψηλής ενέργειας, το συνολικό βάρος, καθώς και ο όγκος μπορούν να περιοριστούν σημαντικά σε μια δεδομένη ισχύ εξόδου, με αποτέλεσμα να υπάρχει υψηλότερη πυκνότητα ισχύος. Καθώς δεν υπάρχει απώλεια χαλκού από τον ρότορα, οι κινητήρες αυτοί έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν υψηλότερες αποδόσεις. Επιπλέον, καθώς η θερμότητα προέρχεται κυρίως από τον στάτη, έχει τη δυνατότητα να διαχέεται περισσότερο αποτελεσματικά προς το περιβάλλον και έτσι δημιουργείται ευκολότερη ψύξη. Ακόμη, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η διέγερση του κινητήρα μόνιμου μαγνήτη δεν παρουσιάζει κανέναν κίνδυνο για ελαττώματα κατασκευής, όπως επίσης και για υπερθέρμανση,

αλλά και για μηχανική βλάβη, το συγκεκριμένο είδος κινητήρα θεωρείται ότι προσφέρει υψηλό βαθμό αξιοπιστίας. Τέλος, καθώς δεν υπάρχουν περιελίξεις χαλκού στον ρότορα, οι κινητήρες αυτοί παρουσιάζουν χαμηλότερη ηλεκτρομηχανική χρονική σταθερότητα και επομένως έχουν καλύτερη δυναμική απόκριση (Burnand & Perriard, 2019).

Από την άλλη, θα πρέπει να γίνει αναφορά και στα μειονεκτήματα των κινητήρων αυτού του τύπου. Πιο αναλυτικά, καθώς οι κινητήρες αυτοί στηρίζονται σε σπάνιες γαίες, η τιμή του κινητήρα μπορεί να είναι σημαντικά πιο υψηλή, σε σχέση με τους επαγωγικούς κινητήρες, οι οποίοι και αναλύονται στη συνέχεια. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι οι μόνιμοι μαγνήτες βρίσκονται στον ρότορα, η μηχανική λειτουργία του ρότορα παρουσιάζει προβλήματα, όταν επικρατούν υψηλές ταχύτητες λειτουργίας. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι αν το μηχάνημα δεν έχει σχεδιαστεί, είτε λειτουργήσει με τον κατάλληλο τρόπο, τότε οι μόνιμοι μαγνήτες μπορεί να απομαγνητιστούν, κατά λάθος, από το πεδίο υψηλής αντίδρασης οπλισμού, είτε από υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας (Vlachou et al., 2024).

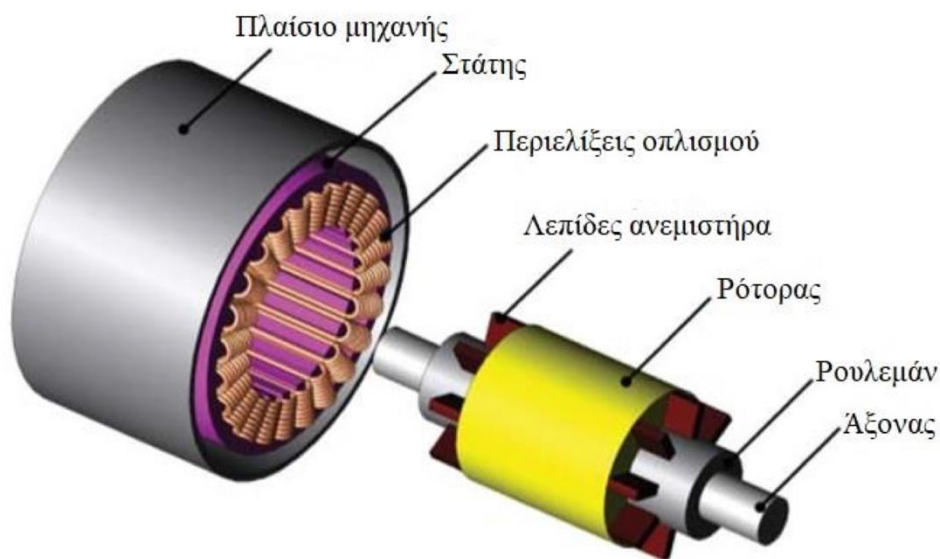
Επαγωγικού κινητήρα

Οι επαγωγικοί ηλεκτροκινητήρες αποτελούν την πιο αναπτυγμένη τεχνολογία μεταξύ των διαφόρων κινητήρων χωρίς συλλέκτη. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι απαντώνται δύο τύποι επαγωγικών μηχανών, όπου ο πρώτος τύπος αφορά τις επαγωγικές μηχανές δακτυλιοφόρου δρομέα, ενώ ο δεύτερος αφορά τις επαγωγικές μηχανές βραχυκυκλωμένου δρομέα ή κλωβού. Καθώς το κόστος συντήρησης είναι υψηλό, αλλά και δεν υπάρχει ανθεκτικότητα, ο επαγωγικός κινητήρας δακτυλιοφόρου δρομέα δεν προτιμάται έναντι του επαγωγικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα. Οι επαγωγικοί κινητήρες παρουσιάζουν το πλεονέκτημα του χαμηλού κόστους, όπως επίσης και της υψηλής αντοχής (Kasri et al., 2024).

Αναφορικά με την δομή του επαγωγικού κινητήρα, ο συνηθέστερος τύπος είναι ο επαγωγικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα, ο οποίος και παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 2). Όπως διαπιστώνεται από την εικόνα αυτή, ο κινητήρας αποτελείται από έναν στάτη, που είναι ενσωματωμένος σε τριφασικές περιελίξεις οπλισμού, όπως επίσης και από ένα ρότορα, ο οποίος είναι ενσωματωμένος με ράβδους κλωβών, οι οποίοι και βραχυκυκλώνονται από δύο

ακραίες δακτυλίου, για τις οποίες υπάρχει δυνατότητα χύτευσης με ανεμιστήρα, έτσι ώστε να βοηθήσουν στη ψύξη της μηχανής κατά τη διάρκεια περιστροφής. Ακόμη, υπάρχουν δύο ακριανά ρουλεμάν, τα οποία στηρίζουν τον ρότορα, καθώς και ένα πλαίσιο μηχανής, το οποίο διαθέτει δύο καπάκια, για να μπορεί να «στεγάζεται» η μηχανή (Δουράλας & Μπέρμπερι, 2020).

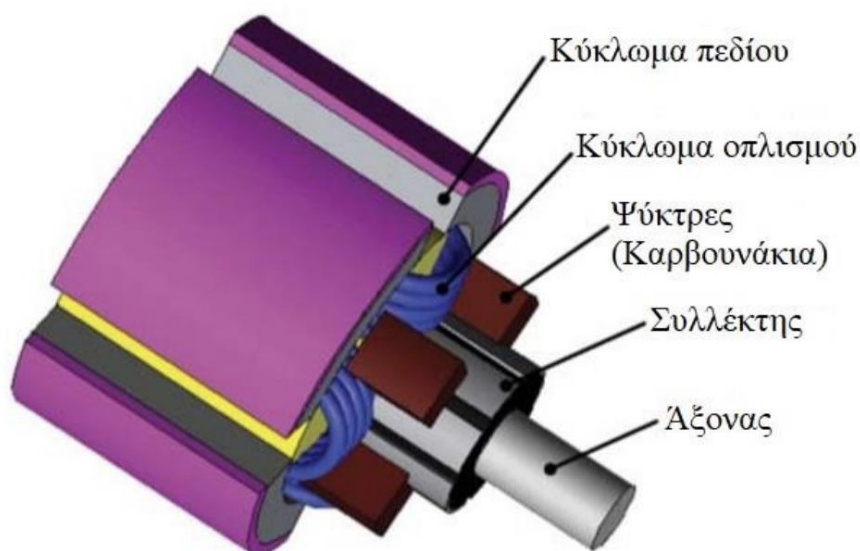
Εικόνα 2: Δομή επαγωγικού κινητήρα



Κινητήρες συνεχούς ρεύματος

Οι κινητήρες της συγκεκριμένης κατηγορίας έχουν ανακαλυφθεί εδώ και περίπου διακόσια χρόνια, ενώ η λειτουργία τους ξεπερνά ήδη τον έναν αιώνα. Ωστόσο, καθώς ανακαλύφθηκαν οι μηχανές AC, ο ρόλος των μηχανών συνεχούς ρεύματος για ηλεκτρική κίνηση σταδιακά περιορίζεται. Η χρήση του κινητήρα αυτού σε ηλεκτρικά οχήματα συνδέεται με την απλότητα. Μια βασική δομή μιας τέτοιας μηχανής συνεχούς ρεύματος αποτελείται από τον στάτη (stator), από τον ρότορα (rotor), καθώς επίσης και τον συλλέκτη (commutator). Ουσιαστικά, στον κινητήρα αυτόν, ο στάτης είναι το κύκλωμα του πεδίου, το οποίο και ενσωματώνει τους μόνιμους μαγνήτες για την παραγωγή μαγνητικού πεδίου διέγερσης. Από την άλλη, ο ρότορας είναι το κύκλωμα οπλισμού, το οποίο και εγκαθιστά την περιέλιξη του οπλισμού, με το ρεύμα του οπλισμού να είναι αμφίδρομο. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η δομή κινητήρα συνεχούς ρεύματος (Δουράλας & Μπέρμπερι, 2020).

Εικόνα 3: Δομή κινητήρα συνεχούς ρεύματος



3.2.2 Απόδοση και εξελίξεις

Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει και στους υβριδικούς κινητήρες μόνιμου μαγνήτη μαγνητικής υστέρησης, για τους οποίους παρουσιάζεται μεγάλο ενδιαφέρον κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών. Καθώς υπάρχει το πρόβλημα των σπάνιων γαιών, έχει ξεκινήσει από μεγάλους κατασκευαστές του χώρου η χρήση τέτοιου είδους κινητήρων. Για παράδειγμα στην περίπτωση της Tesla, ο ρότορας που χρησιμοποιείται διαθέτει «φλέβες» μαγνητικού υλικού, το οποίο βρίσκεται σε συνδυασμό με μη μαγνητικό ενώ υπάρχουν και ηλεκτρομαγνήτες του στάτορα. Ουσιαστικά τα δύο μαγνητικά πεδία τα οποία και δημιουργούνται θεωρείται ότι είναι «κλειδωμένα», όπως συμβαίνει σε έναν τυπικό κινητήρα μόνιμου μαγνήτη (Guo et al., 2023).

Αυξημένο ενδιαφέρον επιδεικνύουν οι αυτοκινητοβιομηχανίες παραγωγής ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην προσθετική κατασκευή, καθώς συνδέεται με κινητήρες υψηλής απόδοσης. Ωστόσο ακόμη και σήμερα πρόβλημα αποτελεί το υψηλό αρχικό κόστος, οι μεγάλοι χρόνοι παραγωγής, η αδυναμία παραγωγής

μεμονωμένων εξαρτημάτων, όπως και τα προβλήματα εκτύπωσης πολλαπλών υλικών (Rodriguez-Vargas et al., 2023).

Καθώς το ενδιαφέρον για την ηλεκτροκίνηση αυξάνεται διαρκώς, έχει δοθεί έμφαση στην βελτίωση των υλικών των ηλεκτροκινητήρων, έτσι ώστε αυτοί να είναι περισσότερο αποδοτικοί και συνάμα πιο αποτελεσματικοί. Προς την κατεύθυνση αυτή συμβάλλει και η εξέλιξη των υλικών και ιδίως η ενίσχυση των μαγνητικών, ηλεκτρονικών και θερμικών επιδόσεων των κινητήρων έλξης. Βασική επιδίωξη της επιστημονικής κοινότητας αλλά και της βιομηχανίας είναι να περιορίσουν τις σπάνιες γαίες, ουσιαστικά προβαίνοντας σε αντικατάσταση αυτών. Οι κατασκευαστές μαγνητών προσπαθούν να περιορίσουν την περιεκτικότητα των μαγνητών σε σπάνιες γαίες, διατηρώντας, είτε βελτιώνοντας ταυτόχρονα την απόδοση αυτών. Ενδιαφέρον έχει και το γεγονός ότι η ανακύκλωση, καθώς και η ανάκτηση θεωρείται ως μια πιθανή λύση για τη φθινή εξόρυξη των υλικών αυτών, ωστόσο, θα πρέπει να λυθούν και ζητήματα που αφορούν την ποιότητα. Επιπρόσθετα, άλλες χρήσιμες εναλλακτικές λύσεις μπορεί να είναι το νιτρίδιο του σιδήρου, όπως επίσης και οι ενώσεις με βάση το μαγγάνιο, με την εμπορευματοποίηση να συνιστά εμπόδιο (Nategh et al., 2020).

Η επιλογή των υλικών θεωρείται κρίσιμη παράμετρος για τον περιορισμό της μάζας των κινητήρων έλξης, χωρίς όμως να δημιουργούνται προβλήματα με την απόδοση τους. Προς την κατεύθυνση αυτή γίνεται αντικατάσταση των χάλκινων συρμάτων στον στάτη με σύρματα αλουμινίου. Ωστόσο στην περίπτωση αυτή, η εξοικονόμηση βάρους που επιτυγχάνεται οδηγεί σε μείωση της μέγιστης ισχύος. Θα πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι τα φύλλα πλαστικοποίησης του δρομέα εκτελούν σημαντικές λειτουργίες, όπως για παράδειγμα είναι η μείωση της μαγνητικής αντίστασης, καθώς επίσης και η μετάδοση ροπής μεταξύ του άξονα του δρομέα και του ζυγού του δρομέα (Gobbi et al., 2024).

Ακόμη να σημειωθεί ότι τα υλικά που αφορούν τα ελάσματα κυριαρχούνται από τον χάλυβα πυριτίου, αλλά ο χάλυβας κοβαλτίου, καθώς και τα κράματα κοβαλτίου-σιδήρου, παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον εξαιτίας των ανώτερων μαγνητικών ιδιοτήτων που διαθέτουν, με αποτέλεσμα να οδηγούν σε περισσότερο αποδοτικούς και συμπαγείς κινητήρες. Ωστόσο, τα υλικά αυτά είναι περισσότερο

ακριβά από τα παραδοσιακά ελάσματα χάλυβα πυριτίου, καθώς σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το κόστος κατασκευής αυτών (Gobbi et al., 2024).

Επιπλέον, τα υλικά που αφορούν τον μαγνητικό πυρήνα, βρίσκονται όλο και περισσότερο στο επίκεντρο, εξαιτίας του κρίσιμου ρόλου που μπορούν να διαδραματίσουν στον καθορισμό των απωλειών στους κινητήρες έλξης. Προκειμένου να υπάρξει υψηλή απόδοση απαιτείται να υπάρχει ένα μαλακός μαγνητικός πυρήνας, ο οποίος θα χαρακτηρίζεται από υψηλή διαπερατότητα καθώς και χαμηλές απώλειες πυρήνα για την απόδοση υψηλών επιδόσεων. Ακόμη προκύπτει ότι ένας μαλακός μαγνήτης με σύνθετο υλικό και μέση μαγνητική διαπερατότητα, ειδική ηλεκτρική αντίσταση και απώλειες υστέρησης επιτυγχάνει υψηλότερη απόδοση, ενώ η μηχανή ανάλυσης επιβεβαιώνει τη δυνατότητα κατασκευής (Gobbi et al., 2024).

3.3 Συσσωρευτές ηλεκτρικών οχημάτων

3.3.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό μελετάει τους συσσωρευτές που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα. Πιο συγκεκριμένα, επισημαίνεται η σημασία τους στην επιτυχή λειτουργία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, περιγράφονται οι κατηγορίες των συσσωρευτών και εξετάζονται οι παράγοντες που επιδρούν στη διάρκεια ζωής τους. Επιπρόσθετα αναδεικνύονται οι σύγχρονες τάσεις και οι προοπτικές που αφορούν τις μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων και τέλος περιγράφονται οι σχετικές προκλήσεις.

3.3.2 Η σημασία των συσσωρευτών στην επιτυχία των ηλεκτρικών οχημάτων

Οι συσσωρευτές των ηλεκτρικών οχημάτων αποτελούν από τις πλέον κρίσιμες παραμέτρους για την επιτυχία του οχήματος καθώς και για την αποτελεσματική λειτουργία του. Ουσιαστικά οι μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων λειτουργούν ως αποθήκες ενέργειας, περιλαμβάνοντας ένα πλήθος στοιχείων μπαταρίας. Η ποσότητα της ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε kWh, εκτιμάται κατόπιν του αριθμού και του ενεργειακού περιεχόμενου των στοιχείων, ενώ η ισχύς φόρτισης εκτιμάται σε kW και αφορά το πόσο γρήγορα φορτίζεται ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο στον σταθμό φόρτισης (Hwang et al., 2024).

Επιπλέον, η μπαταρία ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου μπορεί να θεωρηθεί ότι λειτουργεί κατά κάποιο τρόπο όπως λειτουργεί η μπαταρία ενός κινητού τηλεφώνου. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι χρησιμοποιώντας ένα ευφύες σύστημα διαχείρισης θερμότητας, μπορεί να διατηρηθεί η μπαταρία του ηλεκτρικού οχήματος σε μια βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας. Επομένως το σύστημα αυτό προστατεύει την μπαταρία από υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες, όταν απαιτείται υψηλή ισχύς κατά την οδήγηση, ενώ ταυτόχρονα επιτυγχάνονται οι βέλτιστες δυνατές διάρκειες φόρτισης για το όχημα (Krishna et al., 2024).

Ξεχωριστή αναφορά θα πρέπει να γίνει στο βάρος της μπαταρίας, καθώς όσο πιο υψηλό είναι αυτό, τόσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια που μπορεί να αποθηκεύσει. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η μπαταρία ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου μπορεί να ζυγίζει ακόμη και εκατοντάδες κιλά. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, η τεχνολογία που αφορά τις μπαταρίες διαρκώς βελτιώνεται, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η απόδοση της μπαταρίας, χωρίς να αυξάνεται περαιτέρω το βάρος της. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει τόσο η διάρκεια ζωής της μπαταρίας, καθώς αυτή μειώνεται στο πέρασμα του χρόνου, λαμβάνοντας υπόψη μια φυσιολογική διαδικασία γήρανσης όσο και το κόστος αυτής, καθώς επηρεάζει το συνολικό κόστος κτήσης του οχήματος. Επίσης πέρα από το κόστος κτήσης, μια ακριβή μπαταρία, εφόσον απαιτείται αντικατάσταση, επιβαρύνει σημαντικά τον ιδιοκτήτη του αυτοκινήτου στον συνολικό κύκλο ζωής του οχήματος (Louback et al., 2024).

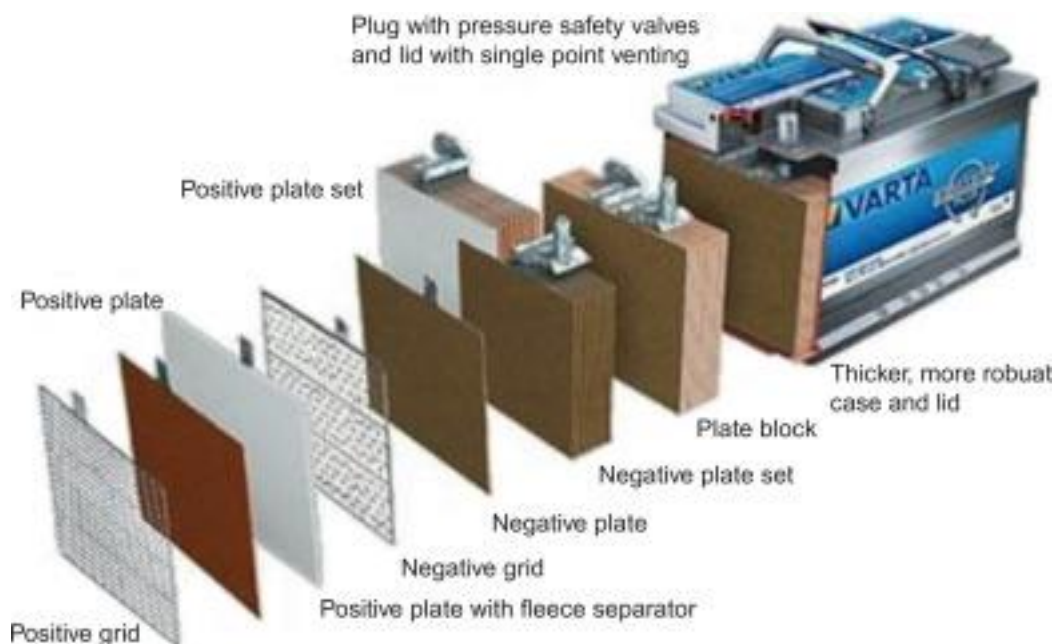
3.3.3 Κατηγορίες συσσωρευτών ηλεκτρικών οχημάτων

Καθώς τα ηλεκτρικά οχήματα εξελίσσονται διαρκώς, ανάλογη εξέλιξη απαντάται και στους συσσωρευτές που χρησιμοποιούνται από τα ηλεκτρικά οχήματα. Βασική επιδίωξη της εξέλιξης αυτής, αποτελεί η βελτίωση των χρόνων φόρτισης, η χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα, αλλά και το κόστος κατασκευής αυτών, καθώς το κόστος αυτό επιδρά καθοριστικά και στο συνολικό κόστος του ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι σημαντικότερες κατηγορίες συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα (Hakam et al., 2024).

Μπαταρίες μόλυβδου-οξέος (Pd-Acid)

Οι μπαταρίες αυτές θεωρείται ότι αποτελούν μια προηγμένη τεχνολογία, καθώς έχουν εφαρμοστεί επιτυχώς στον τομέα της ηλεκτροκίνησης. Το συγκεκριμένο είδος μπαταρίας θεωρείται και πλημμυρισμένου τύπου, καθώς τα ηλεκτρόδια αυτών βυθίζονται σε ηλεκτρολύτη υγρής μορφής. Μέχρι πρότινος, μεγάλος αριθμός οχημάτων χρησιμοποιούσε τέτοιου είδους μπαταρίες, καθώς παρουσιάζουν τον συνδυασμό υψηλής αξιοπιστίας με χαμηλό κόστος παραγωγής. Ωστόσο, η χρήση των μπαταριών αυτών συνοδεύεται με ορισμένα μειονεκτήματα, τα οποία και αφορούν το μεγάλο ποσοστό μάζας του οχήματος, το οποίο κυμαίνεται στα επίπεδα 30-50%. Καθώς οι μπαταρίες του τύπου αυτού έχουν πολύ χαμηλά επίπεδα ειδικής ενέργειας, σε σχέση με τα υγρά καύσιμα και αυτό σε συνδυασμό με τη μεγάλη μάζα τους, συνεπάγεται χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα. Στις περιπτώσεις όπου επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες, το εύρος εφαρμογής των μπαταριών αυτού του τύπου περιορίζεται, ενώ σημαντικός κίνδυνος μπορεί να αποτελέσουν κατά τη χρήση των μπαταριών, οι επιβλαβείς ουσίες που εκπέμπονται, όπως για παράδειγμα είναι το θείο. Ακόμη, δύναται να υπάρξει κίνδυνος διαρροής του ηλεκτρολύτη από το κέλυφος των μπαταριών (Roy et al., 2024).

Εικόνα 4: Μπαταρία μολύβδου-οξέος



Μπαταρίες νικελίου-καδμίου (Ni-Cd)

Οι μπαταρίες νικελίου – καδμίου (Ni-Cd), διαθέτουν ενεργειακή πυκνότητα, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 40-60 (Wh/kg) και έτσι μπορούν να αποτελέσουν αποδοτικότερη λύση, σε σχέση με τις μπαταρίες μολύβδου – οξέος. Οι μπαταρίες της κατηγορίας αυτής, έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν σε χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ ο κύκλος ζωής τους μπορεί να χαρακτηριστεί ως μεγάλος, γεγονός που ενισχύει την αξιοπιστία τους. Σημαντικό είναι επίσης το γεγονός ότι δεν απαιτείται κάποιου είδους συντήρηση. Από την άλλη, πρόβλημα αποτελεί για τον συγκεκριμένο τύπο μπαταριών το υψηλό κόστος παραγωγής αυτών, με το κόστος αυτό να αυξάνεται εξαιτίας της σπανιότητας του καδμίου. Επίσης, εξαιτίας των υλικών που χρησιμοποιούνται για τον συγκεκριμένο τύπο μπαταριών, αυτές μπορούν να χαρακτηριστούν ως τοξικές. Καθώς χρησιμοποιούνται, οι μπαταρίες αυτές, περιορίζεται η χωρητικότητά τους, όπου πρόκειται για το φαινόμενο «μνήμης» (Mahmood et al., 2024).

Μπαταρίες νικελίου-μετάλλου-υδριδίου (NiMH)

Οι μπαταρίες νικελίου – μέταλλου – υδριδίου, μπορούν να θεωρηθούν μετεξέλιξη των μπαταριών νικελίου-καδμίου. Η αλλαγή αυτή που συνέβη οδήγησε σε αύξηση της ενεργειακής πυκνότητας των μπαταριών αυτών, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 30-80 (Wh/kg). Ταυτόχρονα, επήλθε και αύξηση της διάρκειας ζωής τους, η οποία πλέον ξεπερνά τους 1.000 κύκλους. Ακόμη, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι μπαταρίες αυτές, καθώς εξελίχθηκαν έγιναν περισσότερο φιλικές προς το περιβάλλον. Από την άλλη όμως, οι εν λόγω μπαταρίες παρουσιάζουν και ορισμένες αδυναμίες, όπως είναι ο υψηλός βαθμός εκφόρτισης που έχουν, καθώς και η χαμηλή απόδοση που καταφέρνουν να πετύχουν όταν επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες. Ακόμη, η φόρτισή τους θεωρείται πιο πολύπλοκη διαδικασία, ενώ η απόδοση φόρτισης-εκφόρτισης θεωρείται ότι είναι χαμηλή (Dangwal et al., 2024).

Μπαταρίες ιόντων-λιθίου

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μπαταρίες ιόντων – λιθίου, καθώς πρόκειται για τον πλέον διαδεδομένο τύπο μπαταριών. Πιο συγκεκριμένα, το είδος αυτό των μπαταριών έχει υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, αλλά και μεγάλη διάρκεια

ζωής, ενώ θετικό είναι και το γεγονός ότι μπορεί να λειτουργήσει σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και μάλιστα με τρόπο αποδοτικό. Οι μπαταρίες αυτές παρουσιάζουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα της τάξεως των 160 Wh/Kg, όπως επίσης και χημική σταθερότητα, καθώς επίσης και μεγάλη διάρκεια ζωής. Ωστόσο, οι μπαταρίες ιόντων-λιθίου έχουν υψηλό κόστος κτήσης, ενώ υπάρχει και ο κίνδυνος αυτανάφλεξης, σε περίπτωση όπου υπάρξει υπερφόρτιση αυτών. Σε χαμηλές θερμοκρασίες, οι μπαταρίες αυτές μπορεί να έχουν χαμηλότερη απόδοση, ενώ δεν θα πρέπει να παραλειφθεί και το γεγονός ότι κατά τη χρήση τους, γίνεται υποβάθμιση των χαρακτηριστικών τους (Kainat et al., 2024).

Εικόνα 5: Μπαταρία ιόντων-λιθίου



Στην ίδια κατηγορία μπαταριών μπορούν να ενταχθούν και οι μπαταρίες πολυμερούς – λιθίου, οι επιδόσεις των οποίων είναι παρόμοιες με τις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Βασικό χαρακτηριστικό των μπαταριών πολυμερούς – λιθίου είναι η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα που τις χαρακτηρίζει, ενώ διαθέτουν καλύτερες αντοχές σε φυσική καταπόνηση, όπως και σε ακραίες θερμοκρασίες λειτουργίας, σε σχέση με τις μπαταρίες ιόντων – λιθίου. Τέλος, να αναφερθεί ότι οι εν λόγω μπαταρίες παρουσιάζουν μεγαλύτερη ασφάλεια από έκρηξη, ακόμη και στις περιπτώσεις όπου η μπαταρία έχει υποστεί αλλοιώσεις, είτε υπερφόρτιση (Nasaijpour-Esfahani et al., 2024).

3.3.4 Παράγοντες που επιδρούν στη διάρκεια ζωής των συσσωρευτών ηλεκτρικών οχημάτων

Αναμφίβολα, η διάρκεια ζωής των μπαταριών στα ηλεκτρικά οχήματα μπορεί να επηρεαστεί εξαιτίας μια σειράς παραγόντων, ενώ η εκτίμηση αυτής γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τους κύκλους φόρτισης/εκφόρτισης. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη διάρκεια ζωής των μπαταριών είναι η θερμοκρασία, ο χρόνος φόρτισης, ο σχεδιασμός αυτών, αλλά και το προφίλ εκφόρτισης που παρουσιάζουν. Ωστόσο, το προφίλ εκφόρτισης σχετίζεται άμεσα με την οδηγική συμπεριφορά που ακολουθεί ο εκάστοτε χρήστης του ηλεκτρικού αυτοκινήτου (Ali et al., 2024).

Ειδικότερα, αναφορικά με την θερμοκρασία, να σημειωθεί ότι είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες που επιδρούν στη διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας. Η αντοχή μιας μπαταρίας ελέγχεται σε συγκεκριμένες θερμοκρασιακές συνθήκες, όπου η θερμοκρασία είναι 25°C. Η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί στην αύξηση της χωρητικότητας της μπαταρίας, ωστόσο αυτό δημιουργεί χημική οξείδωση, η οποία συμβάλλει στην μείωση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας. Από την άλλη, όταν οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές, τότε περιορίζεται η διάρκεια ζωής των μπαταριών, καθώς αυξάνεται η εσωτερική αντίσταση (Rahman & Alharbi, 2024).

Ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος για την λειτουργία μιας μπαταρίας ηλεκτρικού οχήματος, θεωρείται ότι είναι το βάθος εκκένωσης, καθώς σε περίπτωση που η αποφόρτιση της μπαταρίας κυμαίνεται σε επίπεδα κάτω του 10%, τότε μπορεί να υπάρξουν κίνδυνοι που αφορούν τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Για το λόγο αυτό άλλωστε, οι κατασκευαστές των συσσωρευτών προτείνουν η φόρτιση να γίνεται όταν το ποσοστό της μπαταρίας κυμαίνεται μεταξύ 10% και 100%. Ο ρυθμός με τον οποίο αποφορτίζεται η μπαταρία μπορεί να θεωρηθεί ως ένα δυναμικό φαινόμενο, το οποίο συνδέεται άμεσα με τις συνθήκες λειτουργίας του οχήματος. Παράλληλα, στον ρυθμό με τον οποίο αποφορτίζεται ένα όχημα επιδρά ο ρυθμός φόρτισης της μπαταρίας, συνεκτιμώντας την ονομαστική χωρητικότητα της μπαταρίας, όπως επίσης και την ένταση του ρεύματος (Ali et al., 2024).

3.3.5 Σύγχρονες τάσεις και προοπτικές των συσσωρευτών ηλεκτρικών οχημάτων

Καθώς το ενδιαφέρον για την κατασκευή ηλεκτρικών οχημάτων τα οποία επιτυγχάνουν υψηλές επιδόσεις, αλλά και μεγάλη αποδοτικότητα, έχει αυξηθεί σημαντικά, δόθηκε έμφαση στην έρευνα και ανάπτυξη της αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Αναμφίβολα, η επιλογή των συσκευών αποθήκευσης επιδρά καθοριστικά στην εμφάνιση, στην χρηστικότητα, όπως επίσης και στην εμπορευσιμότητα των ηλεκτρικών οχημάτων. Μέχρι σήμερα, οι μπαταρίες ιόντων – λιθίου παρουσιάζουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, καθώς επίσης και υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας, με αποτέλεσμα να βρίσκουν ευρεία εφαρμογή (Ding et al., 2020). Παρ' όλα αυτά, η έρευνα για εναλλακτικές μεθόδους αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας έχει αυξηθεί, εστιάζοντας σε μπαταρίες στερεάς κατάστασης, σε υπερπυκνωτές, όπως επίσης και σε κυψέλες καυσίμου υδρογόνου, με την έρευνα αυτή να υποκινείται και λόγω της ανάγκης για αυξημένες επιδόσεις και βιωσιμότητα (Cannarella & Arnold, 2024).

Οι παραπάνω καινοτομίες, για τις οποίες υπάρχει αυξημένο ενδιαφέρον, αναμένεται να προσδιορίσουν και τον τρόπο ανάπτυξης των επόμενων γενιών ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς παρέχουν πλήθος οφελών τόσο ως προς την ενεργειακή πυκνότητα, όσο και με την ταχύτητα φόρτισης, αλλά και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τη λειτουργία τους. Παρά το γεγονός ότι υπάρχει σημαντική πρόοδος στις μπαταρίες αποθήκευσης ενέργειας, υπάρχουν εμπόδια και ανησυχίες που θα πρέπει να ξεπεραστούν, κυρίως όσον αφορά την ασφάλεια και την διαθεσιμότητα των πόρων. Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας στα ηλεκτρικά οχήματα περιπλέκεται περισσότερο εξαιτίας της περαιτέρω ενσωμάτωσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, καθώς και λόγω των έξυπνων δικτύων που αναπτύσσονται σταδιακά. Για την αντιμετώπιση των δυσκολιών αυτών και την περαιτέρω επιτάχυνση της καινοτομίας, είναι αναγκαίο να υπάρξει διεπιστημονική συνεργασία, μεταξύ της ερευνητικής κοινότητας, των μηχανικών, όπως επίσης και των παραγόντων της βιομηχανίας, αλλά και των υπεύθυνων χάραξης πολιτικής. Η κατάλληλη επιλογή των μεθόδων αποθήκευσης ενέργειας στα ηλεκτρικά οχήματα, αναμένεται να βελτιώσει τις επιδόσεις τους, μετριάζοντας συνάμα το κόστος κτήσης τους.

Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει στους υπερπυκνωτές, όπου πρόκειται για διατάξεις αποθήκευσης ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που αποτελούνται από ηλεκτρόδια, καθώς και ηλεκτρολύτες. Η ικανότητα των διατάξεων αυτών να αποθηκεύουν ενέργεια συνδέεται με μια σειρά στοιχείων, όπως είναι ο ηλεκτρολύτης, το μέγεθος των ιόντων, καθώς επίσης και η λειτουργία των διαθέσιμων ηλεκτροδίων και ηλεκτρολυτών. Περαιτέρω, οι υπερπυκνωτές εξαιτίας της υψηλής αγωγιμότητας των συλλεκτών ρεύματος χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία αποτελεσματικών ηλεκτρικών συνδέσεων μεταξύ των ηλεκτροδίων και των εξωτερικών επαφών (Simon & Gogotsi, 2008). Τα υβριδικά συστήματα που χρησιμοποιούν υπερπυκνωτές μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες, με την πρώτη να είναι αυτά που έχουν υβριδικά συστήματα τύπου μπαταρίας, αυτά που είναι ασύμμετρα υβριδικά και αυτά που είναι σύνθετα υβριδικά.

Επιπλέον, ένα ακόμη πεδίο ενδιαφέροντος για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε ηλεκτρικά οχήματα είναι οι κυψέλες καυσίμου. Οι κυψέλες καυσίμου αποτελούν μία βιώσιμη λύση για τις περιβαλλοντικές πιέσεις που δημιουργούνται, καθώς μπορούν και παράγουν απευθείας ηλεκτρική ενέργεια, χρησιμοποιώντας αυτή για την τροφοδοσία του οχήματος, με τρόπο που θεωρείται φιλικός προς το περιβάλλον (Larcher & Tarascon, 2015).

Επιπρόσθετα, αναφορά θα πρέπει να γίνει στα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας Flywheen, τα οποία παρουσιάζουν στοιχεία καινοτομίας και λειτουργούν με σφόνδυλο. Ουσιαστικά, τα συστήματα αυτά κατασκευάζονται προκειμένου να υπάρξει αποθήκευση κινητικής ενέργειας σε μια περιστρεφόμενη μάζα, παρέχοντας έτσι ένα ευέλικτο και αποτελεσματικό τρόπο για την κάλυψη των απαιτήσεων που αφορούν την αποθήκευση ενέργειας. Το σύστημα αυτό στηρίζεται στην θεμελιώδη ιδέα της διατήρησης ενέργειας σύμφωνα με την οποία κάθε ενέργεια που προστίθεται στο σύστημα μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια, με την οποία περιστρέφεται ο σφόνδυλος. Εφόσον χρειαστεί, η ενέργεια αυτή αποθηκεύεται και μπορεί να υπάρξει εκ νέου μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια. Το σύστημα αυτό για να μπορεί να λειτουργεί με τρόπο αποτελεσματικό αποτελείται από τον ρότορα του σφονδύλου, από την γεννήτρια του κινητήρα, από ρουλεμάν, από περίβλημα κενού, όπως επίσης και από σύστημα ελέγχου (Simon & Gogotsi, 2008).

Αναφορά θα πρέπει να γίνει και στις αναδυόμενες τεχνολογίες που αφορούν την αποθήκευση ενέργειας. Ειδικότερα, στην κατηγορία αυτή εντάσσονται οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης, όπου πρόκειται για μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, η οποία θα μπορέσει να ξεπεράσει τις συμβατικές μπαταρίες ιόντων – λιθίου. Να σημειωθεί ότι σε σχέση με τις παραδοσιακές μπαταρίες ιόντων – λιθίου οι εν λόγω μπαταρίες παρουσιάζουν μια σειρά πλεονεκτημάτων, όπως είναι η αυξημένη ενεργειακή πυκνότητα, η οποία επιτυγχάνεται μέσω της εξάλειψης της απαίτησης για ανενεργό υλικό ηλεκτρολύτη, επιτρέποντας με τον τρόπο αυτό να υπάρχει πυκνότερη διάταξη των ενεργών στοιχείων ηλεκτροδίου. Ακόμη, το συγκεκριμένο είδος μπαταρίας συνδέεται με την εξάλειψη της πιθανότητας διαρροής ηλεκτρολύτη, κάτι που αντίστοιχα στις μπαταρίες ιόντων λιθίου μπορεί να αποτελεί πρόβλημα. Καθώς δεν υπάρχουν στις μπαταρίες αυτές εύφλεκτοι υγροί ηλεκτρολύτες, ενισχύεται η θερμική σταθερότητα, ενώ περιορίζεται ο κίνδυνος θερμικής διαφυγής. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι εξαιτίας της μικρότερης φθοράς των ηλεκτροδίων, αλλά και λόγω της αυξημένης ανθεκτικότητας στις καταπονήσεις, οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης θεωρείται ότι έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (Larcher & Tarascon, 2015).

Μια ακόμη αναδυόμενη τεχνολογία μπαταριών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μελλοντικό χρόνο και σε μεγαλύτερο βαθμό στα ηλεκτρικά οχήματα είναι οι μπαταρίες θείου – λιθίου. Ο συγκεκριμένος τύπος μπαταριών, σε σχέση με τις συμβατικές μπαταρίες ιόντων – λιθίου, παρέχουν υψηλότερη θεωρητική πυκνότητα ενέργειας. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το θείο έχει υψηλή θεωρητική ειδική χωρητικότητα, η οποία φθάνει τα 1675mAh/g, η οποία και είναι σημαντικά υψηλότερη από την ειδική χωρητικότητα των περισσότερων υλικών καθόδου που βρίσκουν εφαρμογή στις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Οι μπαταρίες αυτές είναι κατάλληλες για ηλεκτρικά οχήματα τα οποία κινούνται σε μεγάλες αποστάσεις, όπως επίσης και όταν υπάρχει παρατεταμένη διάρκεια λειτουργίας σε φορητές ηλεκτρικές συσκευές. Ουσιαστικά, τα οχήματα τα οποία διαθέτουν μπαταρία αυτού του είδους, έχουν τη δυνατότητα να διανύουν μεγαλύτερα διαστήματα μεταξύ φορτίσεων (Larcher & Tarascon, 2015).

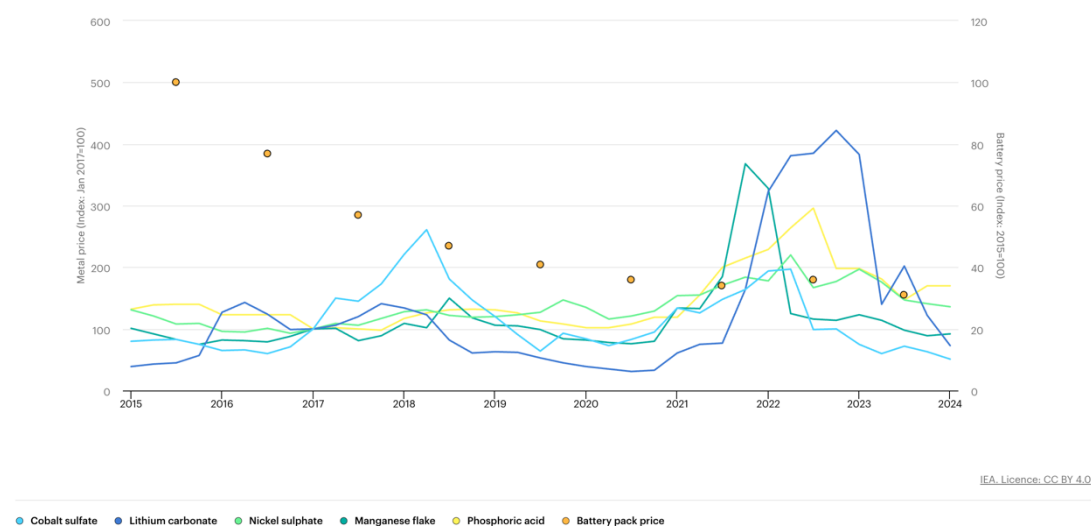
3.3.6 Προκλήσεις

Κόστος παραγωγής

Το κόστος παραγωγής των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων παραμένει σε υψηλά επίπεδα, γεγονός που αυξάνει το συνολικό κόστος κτήσης του οχήματος. Οι εταιρείες του κλάδου επικεντρώνονται στη μείωση του κόστους μπαταριών, προκειμένου να μειωθεί και το συνολικό κόστος των οχημάτων και επομένως να μπορέσουν να αυξήσουν τον όγκο των πωλήσεων. Οι τιμές των μπαταριών συνδέονται άμεσα με το κόστος των πρώτων υλών, το οποίο μεταβάλλεται, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι οι σπάνιες γαίες και τα υπόλοιπα μέταλλα που χρησιμοποιούνται δεν υπάρχουν παντού στον πλανήτη και επομένως υπάρχει ευαλωτότητα, η οποία συνδέεται με μια σειρά παραγόντων, όπως για παράδειγμα είναι οι γεωπολιτικές συνθήκες που επικρατούν (IEA, 2024b).

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η εξέλιξη επιλεγμένων υλικών μπαταρίας ιόντων λιθίου, κατά τη διάρκεια των ετών 2015-2024. Όπως διαπιστώνεται από το διάγραμμα παρατηρούνται μεγάλες διακυμάνσεις, οι οποίες και σχετίζονται με εξωγενείς παράγοντες, όπως για παράδειγμα είναι ο πόλεμος μεταξύ Ρωσίας-Ουκρανίας (IEA, 2024b).

Διάγραμμα 1: Εξέλιξη επιλεγμένων υλικών μπαταρίας ιόντων-λιθίου κατά τη διάρκεια των ετών 2015-2024



Ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι οι τιμές των μπαταριών διαφοροποιούνται μεταξύ των επιμέρους χωρών. Για παράδειγμα πιο φθηνές είναι στην Κίνα, ενώ ακολουθεί η Βόρεια Αμερική, η Ευρώπη, καθώς επίσης και άλλες χώρες που βρίσκονται στην περιοχή της Ασίας – Ειρηνικού. Ωστόσο ως θετικό μπορεί να χαρακτηριστεί το γεγονός ότι επιτυγχάνεται μια σύγκλιση τα τελευταία έτη ως προς την τιμή της αγοράς της μπαταρίας. Παρ’ όλα αυτά η κατασκευή των μπαταριών στην Ευρώπη και στις ΗΠΑ παραμένει πολύ πιο ακριβή, σε σχέση με την Κίνα. Για παράδειγμα η παραγωγή μιας κυψέλης μπαταρίας στις ΗΠΑ κοστίζει 20% περισσότερο σε σχέση με την Κίνα, εφόσον θεωρηθεί ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στα υλικά που χρησιμοποιούνται (IEA, 2024b).

Πρώτες ύλες

Καθώς η τεχνολογία αναπτύσσεται και δημιουργούνται σχετικές καινοτομίες στο πεδίο της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στα ηλεκτρικά οχήματα, οι μπαταρίες καταφέρνουν και επιτυγχάνουν βελτιωμένες επιδόσεις, όπως για παράδειγμα γίνεται μέσω των ηλεκτροδίων πολλαπλών στρώσεων, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται ταχύτερη φόρτιση. Παράλληλα, λαμβάνουν χώρα προσπάθειες για την αύξηση της περιεκτικότητας σε μαγγάνιο, έτσι ώστε να μπορέσει να αυξηθεί η ενεργειακή πυκνότητα αλλά και να διατηρηθεί το χαμηλό κόστος, είτε για να μπορέσει να υπάρξει μείωση του κόστους, διατηρώντας όμως την υψηλή ενεργειακή πυκνότητα (Lehtimäki et al., 2024).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η προβλεπόμενη αύξηση της ζήτησης υλικών για την επίτευξη των στόχων κλιματικής ουδετερότητας στον τομέα των μεταφορών είναι τόσο μεγάλη, που δεν είναι δυνατό να αυξηθεί η παραγωγική ικανότητα, αρκετά γρήγορα, έτσι ώστε να μπορεί να επιτευχθεί επαρκής εφοδιασμός. Τα χαμηλής περιεκτικότητας αποθέματα είναι δύσκολο να προσεγγιστούν, καθώς αυξάνεται σημαντικά τόσο το κόστος εξόρυξης όσο και το κόστος επεξεργασίας, ενώ μπορεί να απαιτούνται νέες τεχνολογίες για αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση (Yang et al., 2022).

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Η εστίαση σε κοιτάσματα τα οποία θεωρούνται χαμηλής ποιότητας μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη περιβαλλοντική επιβάρυνση, εξαιτίας της αυξανόμενης

χρήσης νερού που αυξάνει τον ανταγωνισμό με άλλους χρήστες νερού. Ταυτόχρονα τα μεταλλεία από όπου εξορύσσονται οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μπαταριών, βρίσκονται αντιμέτωπα με συμφόρηση, ως προς την πρωτογενή παραγωγή ενώ οι νέες υποδομές μεταλλείων, εκτός του ότι δημιουργούν μεγάλες περιβαλλοντικές πιέσεις, απαιτούν για να κατασκευαστούν από πέντε έως και εικοσιπέντε έτη, λαμβάνοντας υπόψη και τις κανονιστικές διαδικασίες όπως επίσης και τις προκαταρκτικές αξιολογήσεις (Yang et al., 2022).

Για να γίνουν πλήρως κατανοητές οι περιβαλλοντικές συνέπειες που συνοδεύουν την παραγωγή μπαταριών, θα πρέπει να εξεταστούν όλες οι φάσεις του κύκλου ζωής, από την εξόρυξη των πρώτων υλών έως και το τέλος της ζωής τους. Η πρωτογενής παραγωγή των υλικών που συνθέτουν τις μπαταρίες, απαιτεί ορυκτή ενέργεια και νερό, με αποτέλεσμα οι έμμεσες περιβαλλοντικές συνέπειες της ηλεκτροκίνησης να είναι πολλαπλάσιες των άμεσων επιπτώσεων. Επομένως το ενεργειακό μίγμα που χρησιμοποιείται για την διαδικασία εξόρυξης διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο μέγεθος των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, τα οποία και εκλύονται από την πρωτογενή παραγωγή. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η παραγωγή ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας εντείνει περαιτέρω τη ζήτηση για μέταλλα, η οποία με τη σειρά της απαιτεί περισσότερη ανανεώσιμη ενέργεια και έτσι δημιουργείται ένας αυτοτροφοδοτούμενος βρόγχος, στον οποίο η παραγωγική ικανότητα των μετάλλων δεν μπορεί να καλύψει τις διαρκώς αυξανόμενες ανάγκες (Niri et al., 2024).

3.4 Η αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων

3.4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζεται η αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων. Ειδικότερα, περιγράφονται οι διεθνείς τάσεις που αφορούν την αγορά αυτή, όπως επίσης μελετάται η ευρωπαϊκή αγορά, καθώς και η ελληνική αγορά. Έμφαση δίνεται στην ανάδειξη στατιστικών στοιχείων που αφορούν τα ηλεκτροκίνητα οχήματα, όπως επίσης και στις προβλέψεις που γίνονται για το μέλλον.

3.4.2 Παγκόσμια αγορά ηλεκτρικών οχημάτων

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων αναπτύσσεται διαρκώς κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών. Ειδικότερα, λαμβάνοντας υπόψη στοιχεία που αφορούν το έτος 2023, οι πωλήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων πλησίασαν τα 14 εκατομμύρια, εκ των οποίων το 95% κατανέμεται στην Κίνα, στην Ευρώπη, καθώς και στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Πλέον, λαμβάνοντας υπόψη και τις πωλήσεις του έτους 2023, ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων στα τέλη του 2023 ανέρχονταν σε 40 εκατομμύρια. Μεταξύ των ετών 2022 και 2023, οι πωλήσεις των οχημάτων αυτών παρουσίασαν αύξηση της τάξεως του 35%, με τον αριθμό αυτό να είναι έξι φορές πιο υψηλός σε σχέση με το 2018. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι κατά το 2023, οι νέες ταξινομήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων ανά εβδομάδα ανέρχονταν σε 250.000, με τον αριθμό αυτό να είναι μεγαλύτερος από το ετήσιο σύνολο που αφορούσε το έτος 2013, δηλαδή δέκα χρόνια πριν. Αναφορικά με τα ποσοστά των ηλεκτρικών αυτοκινήτων επί του συνόλου των αυτοκινήτων που πωλούνται, για το έτος 2023 και πάλι, τα ηλεκτρικά οχήματα αντιπροσώπευαν περίπου το 18% του συνόλου των αυτοκινήτων που πωλήθηκαν το 2023, ενώ το 2022 το ποσοστό αυτό ήταν στο 22% και το 2018, μόλις το 2% επί του συνόλου των αυτοκινήτων που πωλούνταν (IEA, 2024).

Ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει στο γεγονός ότι παρόλο που οι πωλήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων αυξάνονται διαρκώς, αυτές παραμένουν εξαιρετικά συγκεντρωμένες σε λίγες μεγάλες αγορές. Σύμφωνα και πάλι με τα στοιχεία του 2023, περίπου το 60% των νέων ταξινομήσεων αφορά την Κίνα, ενώ περίπου το 25% των πωλήσεων πραγματοποιείται στην Ευρώπη και το 10% στις Ηνωμένες Πολιτείες. Στις χώρες αυτές, τα ηλεκτρικά οχήματα αντιπροσωπεύουν μεγάλο μερίδιο των τοπικών αγορών αυτοκινήτων, καθώς στην Κίνα μία στις τρεις νέες ταξινομήσεις αφορούσαν ηλεκτρικό αυτοκίνητο, ενώ στην Ευρώπη η αναλογία αυτή ήταν μία στις πέντε και στις ΗΠΑ μία στις δέκα. Αξιοσημείωτο είναι ότι οι πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων παραμένουν περιορισμένες ακόμη και σε αναπτυσσόμενες αγορές οχημάτων, όπως είναι για παράδειγμα η Ιαπωνία και η Ινδία (IEA, 2024).

Η μεγάλη ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων στην Κίνα τροφοδοτεί και την συνολική ανάπτυξη της αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων. Έτσι η αγορά των συμβατικών

οχημάτων παρουσίασε συρρίκνωση κατά 8%, ενώ η αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων παρουσίασε ανάπτυξη της τάξεως του 5%. Το 2023, ήταν και το πρώτο έτος στην Κίνα, όπου η βιομηχανία Νέων Ενεργειακών Οχημάτων κατάφερε να λειτουργήσει χωρίς να απαιτείται η στήριξη εθνικών επιδοτήσεων, οι οποίες δόθηκαν κατά την προηγούμενη δεκαετία και ενίσχυσαν περαιτέρω την ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων. Στην Κίνα επίσης συνεχίζεται η παροχή σχετικών κινήτρων για την απόκτηση ηλεκτρικών οχημάτων, με τα κίνητρα αυτά να αφορούν την φοροαπαλλαγή, ενώ ορισμένα κίνητρα δίνονται για την πραγματοποίηση σχετικών επενδύσεων στα ηλεκτρικά οχήματα. Καθώς η αγορά βρίσκεται σε διαδικασία ωρίμανσης, εισέρχεται πλέον σε μια φάση όπου επικρατεί αυξημένος ανταγωνισμός τιμών, καθώς και ενοποίηση. Επιπλέον, η Κίνα λειτουργεί ως δυνατός εξαγωγέας ηλεκτρικών οχημάτων, με τον αριθμό αυτών να ξεπερνά τα 1,2 εκατομμύρια για το έτος 2023. Οι κύριες αγορές στις οποίες απευθύνονται τα κινέζικα ηλεκτρικά οχήματα ήταν οι χώρες που βρίσκονται στην περιοχή της Ασίας-Ειρηνικού, όπως επίσης και η Ταϊλάνδη, αλλά και η Αυστραλία.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, οι νέες ταξινομήσεις ηλεκτρικών οχημάτων υπολογίζονταν το 2023 σε 1,4 εκατομμύρια, με τον αριθμό αυτό να είναι αυξημένος κατά 40%, σε σχέση με το 2022. Παρά το γεγονός ότι η ετήσια αύξηση το 2023 ήταν βραδύτερη από ότι τα δύο προηγούμενα έτη, η ζήτηση για τα ηλεκτρικά οχήματα παραμένει ισχυρή στις ΗΠΑ. Σημαίνοντα ρόλο προς την περαιτέρω επέκταση της αγοράς ηλεκτροκίνητων οχημάτων στις ΗΠΑ διαδραμάτισε η πτώση των τιμών αυτών, καθώς επίσης και η πίστωση φόρου καθαρών οχημάτων που δόθηκε. Ουσιαστικά, οι πωλήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων στις ΗΠΑ υποστηρίχθηκαν από τον σχετικό νόμο που αφορούσε τη μείωση του πληθωρισμού (IRA). Να σημειωθεί επίσης ότι τόσο το 2023, όσο και το 2024, τα επιχειρηματικά μοντέλα χρηματοδοτικής μίσθωσης που εφαρμόζονται παρέχουν τη δυνατότητα στα ηλεκτρικά οχήματα, έτσι ώστε αυτά να πληρούν τις απαιτήσεις για φορολογικές πιστώσεις (IEA, 2024).

Περαιτέρω, οι πωλήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων συνέχισαν να αυξάνονται και στις αναδυόμενες και αναπτυσσόμενες οικονομίες εκτός Κίνας για το 2023, αλλά γενικά παράμειναν σε χαμηλά επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα, στην Ινδία οι ταξινομήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων για το έτος 2023 παρουσίασαν αύξηση, η οποία ανήλθε σε

70% σε ετήσια βάση, φθάνοντας τα 80.000 οχήματα, ενώ το 2% των οχημάτων που πωλήθηκαν ήταν ηλεκτρικά. Τα τελευταία χρόνια, στην Ινδία, στην ενίσχυση της ζήτησης συνέβαλαν τα φορολογικά κίνητρα που δόθηκαν, όπως επίσης και οι αντίστοιχες εκστρατείες. Ενδιαφέρον έχει και το γεγονός ότι οι τοπικές αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν διατηρήσει ισχυρή θέση στην αγορά, καθώς διαθέτουν ποσοστό 80% των πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων στην Ινδία.

Στην Ταϊλάνδη, οι ταξινομήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων υπερτετραπλασιάστηκαν σε ετήσια βάση και έτσι έφθασαν τα 90.000, με το μερίδιο αυτό των πωλήσεων να ανέρχεται στο 10%. Η αύξηση αυτή παρατηρείται σε μια αγορά όπου οι συνολικές πωλήσεις των οχημάτων υπέστησαν μείωση μεταξύ των ετών 2022 και 2023. Η ταχεία εξάπλωση των πωλήσεων στηρίχθηκε στους χαμηλότερους φόρους εισαγωγής, όπως επίσης και στην εγχώρια κατασκευή μπαταριών, ενώ σημαντικός είναι ο ρόλος που διαδραματίζουν οι Κινέζικες εταιρείες στις πωλήσεις αυτών. Σε βάθος τεσσάρων ετών, η Ταϊλάνδη σκοπεύει να προσελκύσει επενδύσεις που προσεγγίζουν τα 28 δισεκατομμύρια ευρώ και αφορούν την κατασκευή ηλεκτρικών οχημάτων (IEA, 2024).

Περαιτέρω, στο Βιετνάμ έπειτα από την εξαιρετική χρονιά του 2022, για την συνολική ανάπτυξη της αγοράς αυτοκινήτων, το 2023, υπήρξε συρρίκνωση των γενικών πωλήσεων κατά περίπου 25%. Ωστόσο, δεν συνέβη το ίδιο με τα ηλεκτρικά οχήματα, καθώς παρουσιάζουν διαρκή αύξηση. Έτσι, από 100 οχήματα που πωλήθηκαν το 2021, το 2022 ο αριθμός αυτών ανήλθε σε 7.000 και το 2023 σε 30.000, με το μερίδιο των πωλήσεων να ανέρχεται στο 15%. Και σε αυτή την περίπτωση, όπως και σε άλλες χώρες της περιοχής, οι πωλήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων γίνονται κατά κύριο λόγο από εγχώρια εταιρεία, ενώ η εταιρεία που παράγει τα ηλεκτρικά οχήματα επεκτείνεται και στις ΗΠΑ πραγματοποιώντας σχετικές επενδύσεις ύψους 2 δισεκατομμυρίων ευρώ. Αντίστοιχα και στην Μαλαισία, οι νέες ταξινομήσεις ηλεκτρικών οχημάτων υπερτριπλασιάστηκαν το 2023, με την τάση αυτή να υποστηρίζεται από φορολογικές ελαφρύνσεις, καθώς και από απαλλαγές στους εισαγωγικούς δεσμούς.

Σχετικά με την περιοχή της Λατινικής Αμερικής, οι πωλήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων για το έτος 2023, προσέγγισαν τις 90.000, με τις αγορές της Βραζιλίας, της

Κολομβίας, της Κόστα Ρίκα και του Μεξικού να ηγούνται της περιοχής. Πιο αναλυτικά, στην Βραζιλία, οι νέες ταξινομήσεις ηλεκτρικών οχημάτων αυξήθηκαν σε περισσότερες από 50.000, αποκτώντας μερίδιο αγοράς 3%, με την ανάπτυξη αυτή να στηρίζεται στην εισαγωγή κινέζικων εταιρειών ηλεκτροκίνητων οχημάτων. Ακόμη, στο Μεξικό, οι ταξινομήσεις ηλεκτρικών οχημάτων παρουσίασαν αύξηση 80% ετησίως, με 15.000 οχήματα, τα οποία καταλαμβάνουν περίπου το 1% της αγοράς. Η γειτνίαση με τις ΗΠΑ συμβάλλει στην επίτευξη ευνοϊκών εμπορικών συμφωνιών, όπως επίσης και στην ανάπτυξη αξιόπιστων αλυσίδων εφοδιασμού. Ήδη πολύ μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες, έχουν ξεκινήσει την κατασκευή, είτε σκοπεύουν να το κάνουν σύντομα, παραγωγικών μονάδων οι οποίες κατασκευάζουν ηλεκτρικά οχήματα (IEA, 2024).

Τέλος, να σημειωθεί ότι στην Αφρική, την Ευρασία και τη Μέση Ανατολή, τα ηλεκτρικά οχήματα είναι σπάνια, αντιπροσωπεύοντας ποσοστό λιγότερο από το 1% των συνολικών πωλήσεων αυτοκινήτων. Ωστόσο, καθώς αναπτύσσονται οι κινέζικες εταιρείες ηλεκτρικών οχημάτων, αναζητούν νέες ευκαιρίες για περαιτέρω επέκταση σε νέες αγορές, όπως είναι οι προαναφερθείσες περιοχές.

3.4.3 Ευρωπαϊκή αγορά ηλεκτρικών οχημάτων

Στην αγορά της Ευρώπης, οι νέες ταξινομήσεις ηλεκτρικών οχημάτων για το έτος 2023 προσέγγισαν τα 3,2 εκατομμύρια, παρουσιάζοντας αύξηση της τάξεως του 20% σε σχέση με το 2022. Αντίστοιχα, στην Ευρωπαϊκή Ένωση οι πωλήσεις ξεπέρασαν τα 2,4 εκατομμύρια ηλεκτρικά οχήματα, παρουσιάζοντας παρόμοιους ρυθμούς αύξησης με την Ευρώπη. Αξιολογώντας τα στοιχεία αυτά, διαπιστώνεται ότι η ανάπτυξη παρέμεινε ισχυρή, καθώς οι αγορές της Ευρώπης ωριμάζουν, ενώ δεν είναι λίγες οι χώρες αυτές που κατάφεραν και πέτυχαν σημαντικό ορόσημο για το έτος 2023. Για παράδειγμα, η Γερμανία ήταν η τρίτη χώρα μετά την Κίνα και τις ΗΠΑ, όπου το ποσοστό των νέων ταξινομήσεων μέσα στο έτος ξεπέρασε τις 500.000 οχήματα, με το 18% των πωλήσεων να είναι ηλεκτρικά αυτοκίνητα με μπαταρία, ενώ ένα ακόμη ποσοστό της τάξεως του 6% ήταν υβριδικά plug-in.

Αυξητική τάση παρουσιάστηκε και το 2024, όπου η αύξηση των ηλεκτρικών οχημάτων ξεπέρασε το 5% και ήταν ελαφρώς πιο υψηλή από την αύξηση των συνολικών πωλήσεων αυτοκινήτων. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η αύξηση των

πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων ξεπέρασε το 35% σε σχέση με το προηγούμενο έτος στο Βέλγιο, με τον αριθμό των πωλήσεων αυτών να ανέρχεται σε 60.000 ηλεκτρικά οχήματα. Ωστόσο, χαμηλότερη ήταν η αύξηση των πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων στις μεγαλύτερες αγορές της Ευρώπης, όπως είναι η Γαλλία, η Γερμανία, η Ιταλία, καθώς και το Ηνωμένο Βασίλειο, όπου οι εν λόγω χώρες μαζί εκφράζουν περίπου το 60% των συνολικών πωλήσεων αυτοκινήτων. Στην Γαλλία, οι συνολικές πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων το πρώτο τρίμηνο του 2024 ήταν αυξημένες κατά 15% περίπου, ενώ παρόμοια ήταν και η αύξηση των πωλήσεων και στο Ηνωμένο Βασίλειο. Ενδιαφέρον έχει και το γεγονός ότι στη Γερμανία, όπου οι επιδοτήσεις ηλεκτρικών οχημάτων με μπαταρία έπαψαν να ισχύουν το 2024, οι πωλήσεις παρουσίασαν μείωση της τάξεως του 5%. Στην Ιταλία, οι πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων κατά τη διάρκεια των τριών πρώτων μηνών του 2024, βρίσκονταν σε επίπεδα 20% χαμηλότερα, σε σχέση με την ίδια περίοδο το 2023, με την μείωση αυτή να συνδέεται με τον περιορισμό των σχετικών κινήτρων για την απόκτηση ηλεκτρικού οχήματος (IEA, 2024).

Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει στις τάσεις τιμολόγησης που επικρατούν μεταξύ των επιμέρους χωρών της Ευρώπης, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι οι τιμές των ηλεκτρικών οχημάτων επηρεάζουν εν τέλει τις καταναλωτικές προτιμήσεις. Για παράδειγμα, στη Νορβηγία, καθώς τα ηλεκτρικά οχήματα λαμβάνουν σχετική απαλλαγή φόρου, είναι ήδη πιο φθηνά από τα αντίστοιχα οχήματα που λειτουργούν με μηχανή εσωτερικής καύσης. Αντίστοιχα, στη Γερμανία, σύμφωνα με στοιχεία που αφορούν το έτος 2022, περίπου το 40% των ηλεκτρικών μεσαίων ηλεκτρικών οχημάτων που πωλούνται, ήταν φθηνότερα από τον μέσο όρο των αντίστοιχων αυτοκινήτων εσωτερικής καύσης.

Στην Γαλλία, για το έτος 2023, τα φθηνότερα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είχαν τιμές που κυμαίνονταν μεταξύ 22.000-30.000 ευρώ, ενώ τα πιο δημοφιλή μικρά μοντέλα που λειτουργούν με μηχανή εσωτερικής καύσης είχαν τιμές που κυμαίνονταν μεταξύ 10.000-20.000 ευρώ. Στην Βρετανία, τα ηλεκτρικά SUV λαμβάνουν σχετική πριμοδότηση, η οποία ανέρχεται στο 45% έναντι των αντίστοιχων οχημάτων εσωτερικής καύσης. Αντίστοιχα με την Γαλλία, για το 2023, στο Ηνωμένο Βασίλειο, τα φθηνότερα ηλεκτρικά οχήματα κυμαίνονται μεταξύ 27.000-30.000 στερλίνες, ενώ αντίστοιχα, τα συμβατικά οχήματα που είναι δημοφιλή και κινούνται με μηχανές

εσωτερικής καύσης, έχουν τιμές που κινούνται μεταξύ 10.000-17.000 στερλίνες (IEA, 2024).

3.4.4 Ελληνική αγορά ηλεκτρικών οχημάτων

Η αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων αναπτύσσεται και αυτή δυναμικά, όπως και στην υπόλοιπη Ευρώπη, καθώς και σε άλλες χώρες του κόσμου. Η ανάπτυξη αυτή συνδέεται τόσο με τις σύγχρονες τάσεις που επικρατούν, όσο και με τα κίνητρα που παρέχονται τόσο προς ιδιώτες, όσο και προς τις επιχειρήσεις, προκειμένου αυτοί να αποκτήσουν ηλεκτρικό όχημα. Τα κίνητρα αυτά παρουσιάζονται και αναλύονται στη συνέχεια.

Σύμφωνα με τα στοιχεία του Συνδέσμου Εισαγωγέων Αντιπροσώπων Αυτοκινήτων για τον μήνα Οκτώβριο 2024, η αγορά των καινούργιων επιβατικών αυτοκινήτων παρουσίασε πτώση, η οποία ανήλθε σε 14,3%, σε σχέση με τον Οκτώβριο του προηγούμενου έτους. Ωστόσο, κατά τους πρώτους δέκα μήνες του 2024, ο αριθμός των οχημάτων που ταξινομήθηκαν ανήλθε σε περίπου 118.000, παρουσιάζοντας αύξηση της τάξεως του 1,7% σε σχέση με το έτος 2023. Για τον ίδιο μήνα, όπου υπάρχουν και τα πιο πρόσφατα στοιχεία, τα υβριδικά αυτοκίνητα βρίσκονταν στην πρώτη θέση των προτιμήσεων των καταναλωτών, προσεγγίζοντας το 47,5%, όταν αντίστοιχα τα βενζινοκίνητα ήταν περίπου στο 27%. Να σημειωθεί επίσης ότι περισσότερα από τα μισά οχήματα που ταξινομήθηκαν κατά τον Οκτώβριο του 2024 φέραν κινητήρα έως 1.400 κυβικά εκατοστά (Σύνδεσμος Εισαγωγέων Αντιπροσώπων Αυτοκινήτων, 2025).

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται αναλυτικά, οι νέες ταξινομήσεις για τον μήνα Οκτώβριο του 2024 (Σύνδεσμος Εισαγωγέων Αντιπροσώπων Αυτοκινήτων, 2025).

Πίνακας 2: Νέες ταξινομήσεις επιβατικών οχημάτων για τον μήνα Οκτώβριο 2024 ανά κατηγορία

Κατηγορία οχήματος	Αριθμός οχημάτων
Υβριδικά	4.585
Βενζινοκίνητα	2.601

Ηλεκτρικά	918
Plug-in υβριδικά	750
Πετρελαιοκίνητα	394
Σύνολο	9.670

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με την ιστοσελίδα evstats.gr, για τον Νοέμβριο του 2024, στην Ελλάδα, μόλις το 0,363% των επιβατικών αυτοκινήτων είναι αμιγώς ηλεκτρικά, με το ποσοστό αυτό να μεταφράζεται με ένα όχημα ανά 276 επιβατικά οχήματα. Ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι κάθε μέρα γίνεται ταξινόμηση κατά μέσο όρων 36 αμιγώς ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων, ενώ το μηνιαίο μερίδιο αγοράς αυτών ανέρχεται σε 10,37% (evstats.gr, 2025).

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν ορισμένα διαγράμματα που αφορούν βασικά στοιχεία της αγοράς ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ελλάδα, με τα δεδομένα αυτά να αντλούνται και πάλι από την ιστοσελίδα evstats.gr. Για την καλύτερη κατανόηση των διαγραμμάτων, στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται η ορολογία που χρησιμοποιείται από αυτούς (evstats.gr, 2025).

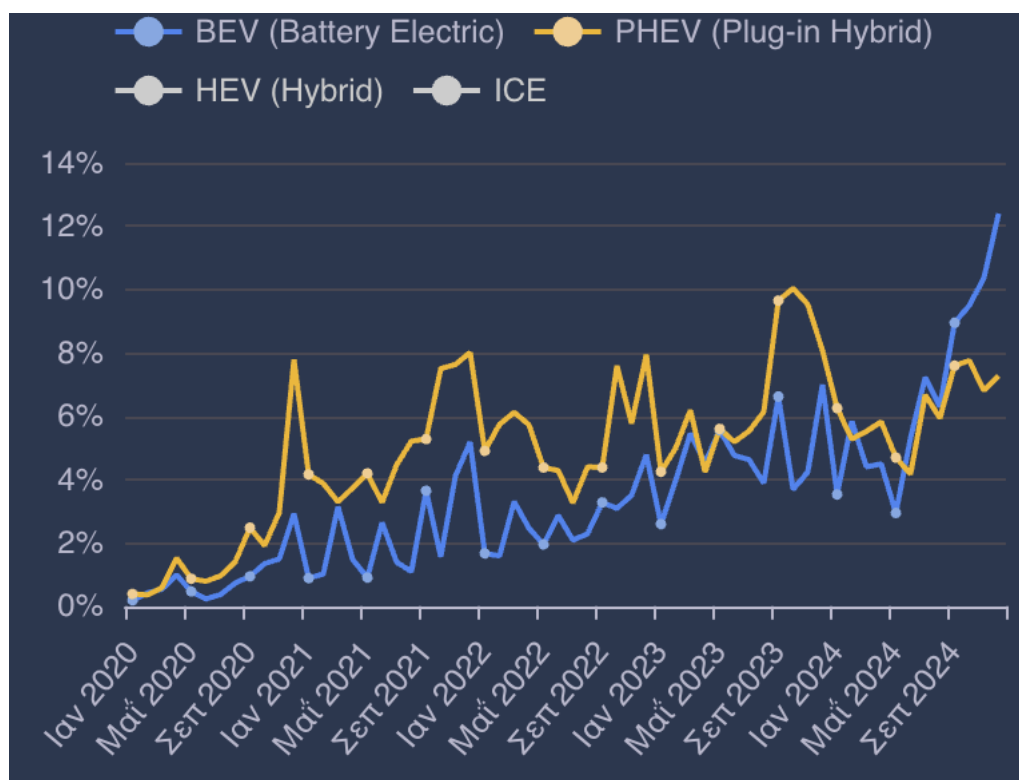
Πίνακας 3: Υποστηρικτική ορολογία για την κατανόηση των διαγραμμάτων που αφορούν την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων στην Ελλάδα

BEV	Εξολοκλήρου Ηλεκτρικά Οχήματα Μπαταρίας
PHEV	Plug-in Υβριδικά Οχήματα Εσωτερικές Καύσης με μεγαλύτερη μπαταρία και πρίζα
EV	Επαναφορτιζόμενα Οχήματα με πρίζα (BEV+PHEV)
HEV	Υβριδικά Οχήματα Εσωτερικής Καύσης με πολύ μικρή μπαταρία χωρίς πρίζα

ICE	Θερμικά/Εσωτερικής Καύσης χωρίς μπαταρία
MoM %	Μηνιαία Ποσοστιαία Σύγκριση Ταξινομήσεων σε σχέση με τον προηγούμενο μήνα
QoQ %	Τριμηνιαία Ποσοστιαία Σύγκριση Ταξινομήσεων σε σχέση με το προηγούμενο τρίμηνο
YoY %	Ετήσια Ποσοστιαία Σύγκριση Ταξινομήσεων σε σχέση με το προηγούμενο έτος

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η εξέλιξη του % μεριδίου αγοράς σε μηνιαία βάση (evstats.gr, 2025).

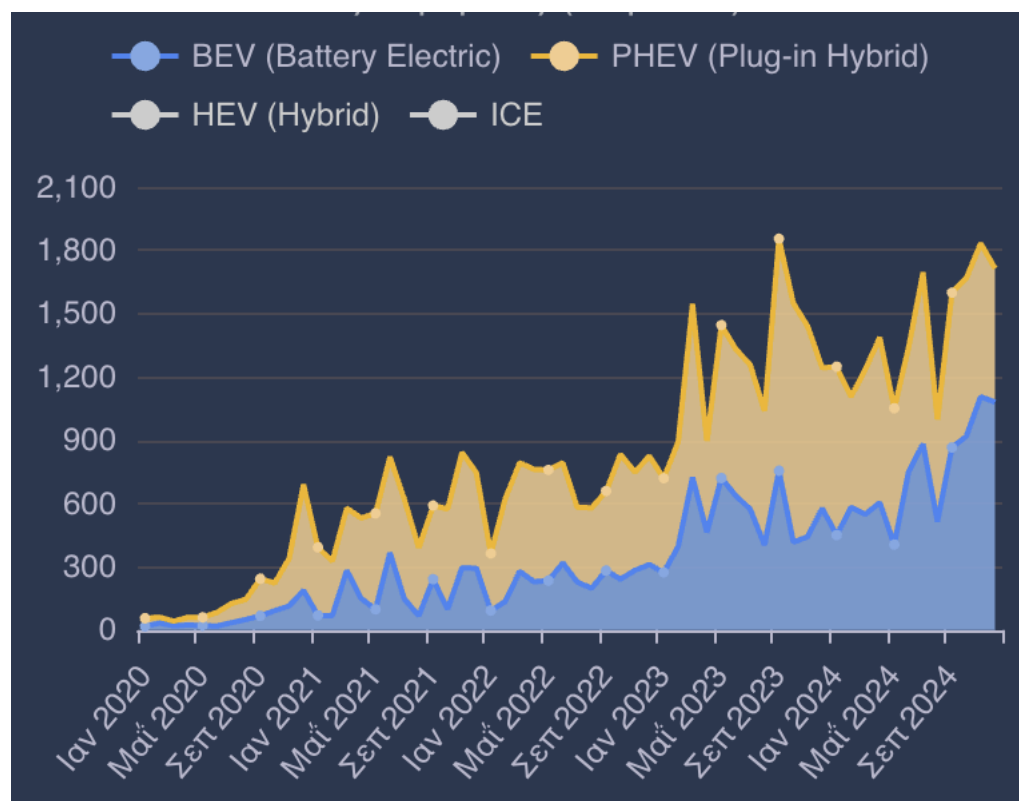
Διάγραμμα 2: % μερίδιο αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων σε μηνιαία βάση κατά τη διάρκεια των ετών 2020-2024



Όπως προκύπτει από το διάγραμμα αυτό το ποσοστό των plug in οχημάτων σε μηνιαία βάση υπερτερεί έως και τον Απρίλιο του 2024, ενώ ακολούθως παρουσιάζεται σημαντική αύξηση των εξολοκλήρου ηλεκτρικών οχημάτων, λαμβάνοντας υπόψη ότι το ποσοστό τους εκτοξεύεται από το 3% περίπου τον Μάιο του 2024, στο 12% τον Νοέμβριο της ίδιας χρονιάς.

Αντίστοιχα, στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η εξέλιξη των μηνιαίων ταξινομήσεων ηλεκτρικών οχημάτων, έως και τον Νοέμβριο του 2024. Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει ότι τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα κερδίζουν έδαφος, ενώ αντίστοιχα αυξητικές είναι και οι τάσεις και στα Plug-in υβριδικά οχήματα (evstats,gr, 2025).

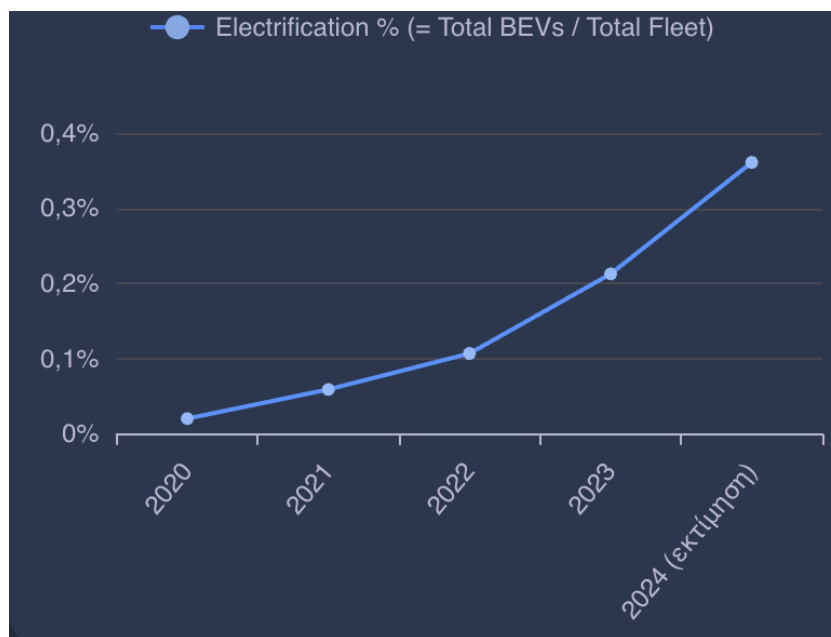
Διάγραμμα 3: Ταξινομήσεις μηνιαία (2020-Νοέμβριος 2024)



Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η εξέλιξη του ποσοστού του εξηλεκτρισμού του στόλου ετησίως, όπως αυτή απεικονίζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί. Όπως διαπιστώνεται από το εν λόγω διάγραμμα παρά το γεγονός ότι υπάρχει μεγάλη αύξηση του ποσοστού εξηλεκτρισμού του επιβατικού στόλου και έτσι από το 0%

περίπου για το έτος 2020, πλέον για το 2024, το ποσοστό αυτό προσεγγίζει το 0,4% (evstats.gr, 2025).

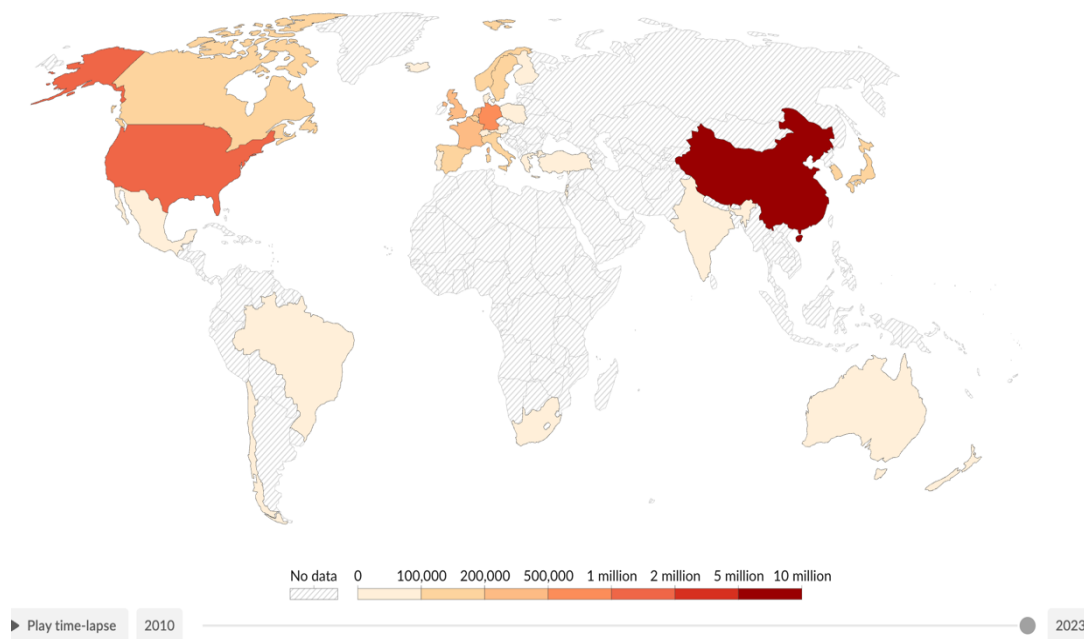
Διάγραμμα 4: % εξηλεκτισμού του επιβατικού στόλου (2020-2025)



3.4.5 Στατιστικά στοιχεία

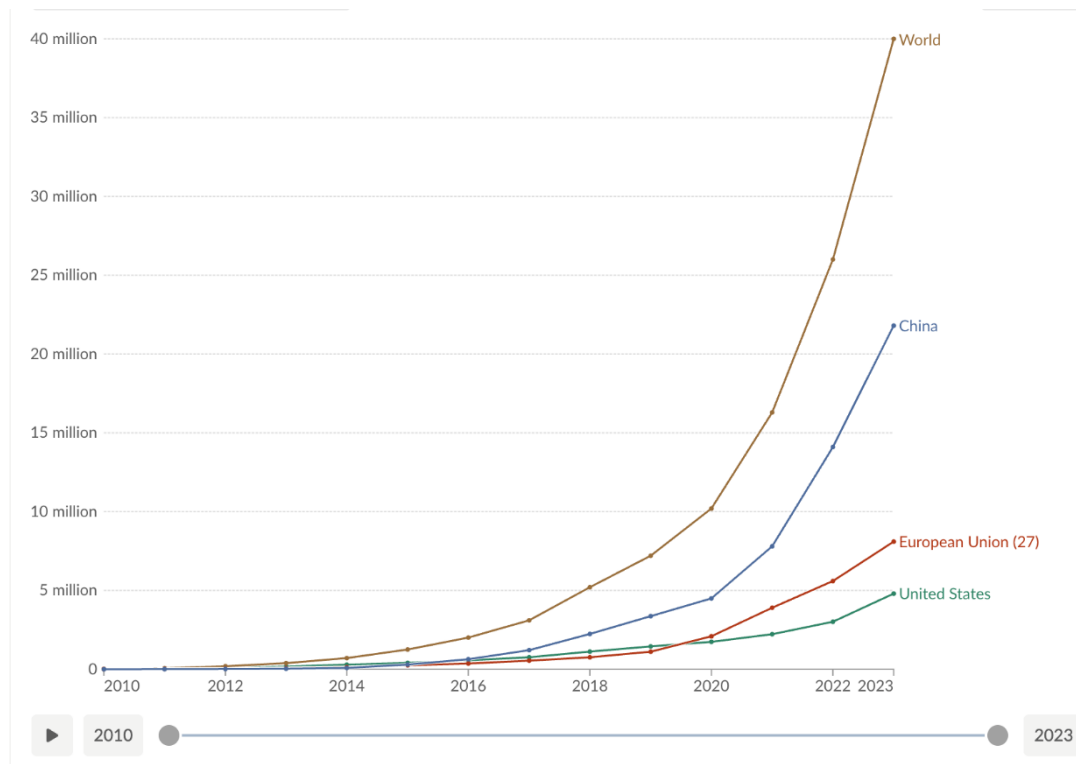
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται ορισμένα στατιστικά στοιχεία τα οποία αφορούν την εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων. Ακολουθώντας, στην εικόνα παρουσιάζεται ο αριθμός των νέων ηλεκτρικών οχημάτων, τα οποία και πωλήθηκαν για το έτος 2023 παγκοσμίως. Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, στην πρώτη θέση βρίσκεται η Κίνα, ενώ υψηλές πωλήσεις απαντώνται και στις ΗΠΑ, όπως επίσης και σε επιλεγμένες πόλεις της Ευρώπης, όπως είναι κυρίως η Γερμανία, αλλά και η Γαλλία (Our World in Data, 2025).

Εικόνα 6: Πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων ανά τον κόσμο (2023)



Αντίστοιχα, στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η εξέλιξη του αριθμού των ηλεκτρικών οχημάτων από το 2010 έως και το 2023, παγκοσμίως και ειδικότερα στην Κίνα, στην Ευρωπαϊκή Ένωση των 27 κρατών μελών, καθώς επίσης και στις ΗΠΑ.

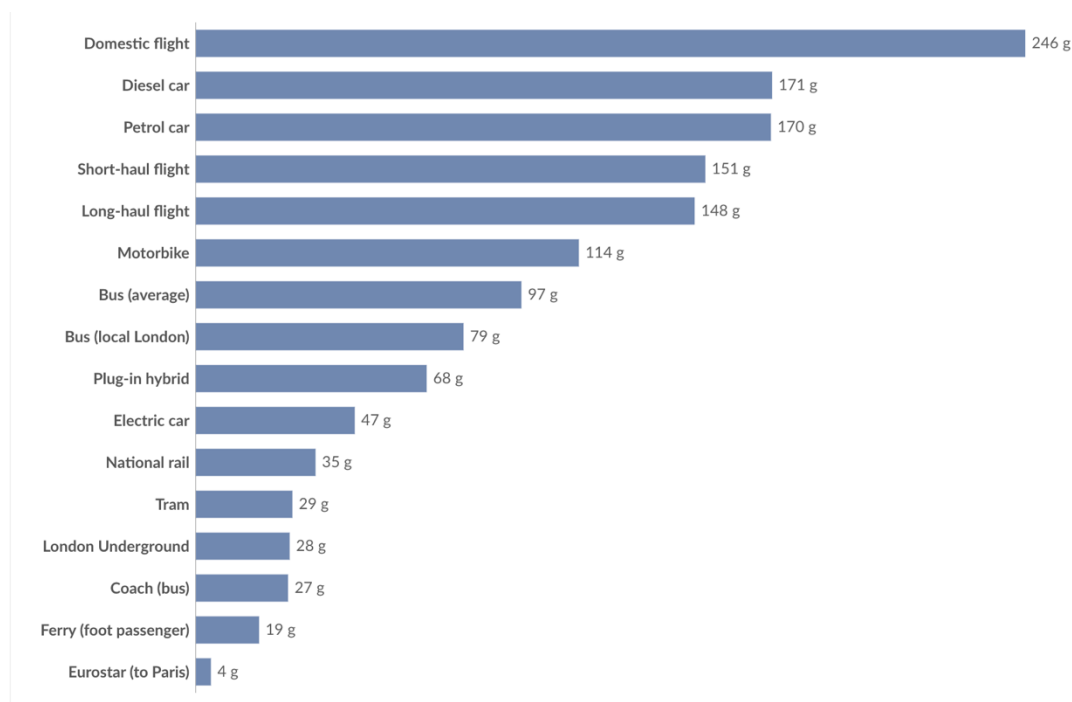
Διάγραμμα 5: Αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων παγκοσμίως και σε επιλεγμένες περιοχές (2010-2023)



Όπως διαπιστώνεται μετά το 2020 υπήρξε ραγδαία αύξηση των ηλεκτροκινήτων οχημάτων σε παγκόσμιο επίπεδο, γεγονός που συνδέεται με τις διαρκείς τεχνολογικές εξελίξεις, όπως επίσης και με την στροφή στην πράσινη ενέργεια, αλλά και με τα κίνητρα που δόθηκαν τόσο στην Ευρώπη, όσο και σε άλλες χώρες. Ανάλογη πορεία μ' αυτή της παγκόσμιας εξέλιξης οχημάτων ακολουθεί και η Κίνα, ενώ μικρότερος είναι ο ρυθμός ανάπτυξης για την Ευρωπαϊκή Ένωση, καθώς και για τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι ο αριθμός των οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στις ΗΠΑ μαζί, υπερτερεί σημαντικά του αριθμού των ηλεκτρικών οχημάτων της Κίνας (Our World in Data, 2025).

Εν συνεχεία, στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το ανθρακικό αποτύπωμα των ταξιδιών ανά χιλιόμετρο για το έτος 2022 και ανά μέσο μεταφοράς.

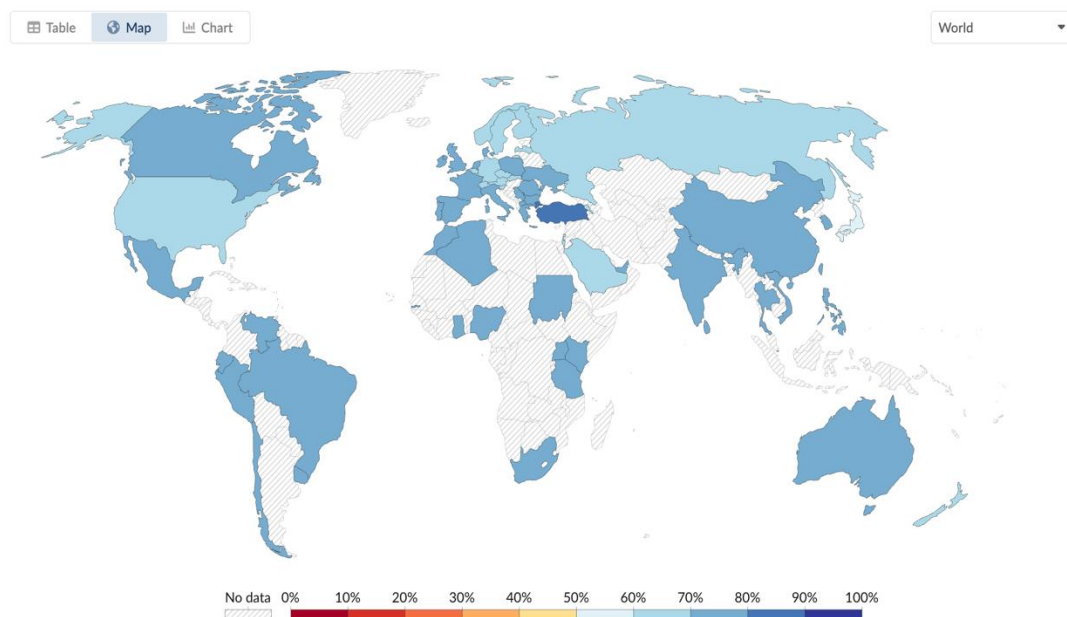
Διάγραμμα 6: Ανθρακικό αποτύπωμα ταξιδιών ανά χιλιόμετρο για το έτος 2022 και ανά μέσο μεταφοράς



Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι το ηλεκτρικό αυτοκίνητο παράγει 47g ανθρακικό αποτύπωμα ανά χιλιόμετρο που διανύει και αυτό σύμφωνα με στοιχεία του 2022, τα οποία δύναται να έχουν ήδη μεταβληθεί, λαμβάνοντας υπόψη τις ταχείες τεχνολογικές μεταβολές. Για να γίνει αντιληπτή η σημαντικά μεγαλύτερη επιβάρυνση που προκαλείται από τα οχήματα που κινούνται με diesel, αυτά παράγουν 171g, ενώ σε παρόμοια επίπεδα κυμαίνονται και τα επίπεδα των εκπομπών που παράγουν τα οχήματα βενζίνης. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι τα οχήματα plug-in υβριδικά παράγουν 68g εκπομπές ανά χιλιόμετρο, εξίσου σημαντικά λιγότερες, σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα (Our World in Data, 2025).

Τέλος, ένα ακόμη ενδιαφέρον στοιχείο αποτελεί η υποστήριξη των ανθρώπων σε παγκόσμιο επίπεδο της αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται το ποσοστό των ανθρώπων που υποστηρίζουν τις σχετικές πολιτικές σε παγκόσμιο επίπεδο. Στις χώρες αυτές, η περαιτέρω επέκταση της αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων φαίνεται να είναι ιδιαίτερα ελκυστική, καθώς οι καταναλωτές-υποψήφιοι πελάτες γνωρίζουν τα οφέλη τα οποία προκύπτουν από την ηλεκτροκίνηση (Our World in Data, 2025).

Εικόνα 7: Ποσοστό ανθρώπων που υποστηρίζουν τις πολιτικές αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής



3.4.6 Προβλέψεις για το μέλλον

Σημαίνοντα ρόλο μεταξύ άλλων στην περαιτέρω ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να διαδραματίσει και η ίδια η εξέλιξη της αγοράς, με τις τάσεις που διαμορφώνει και κατά πόσο οι εξελίξεις της αγοράς θα μπορέσουν να προσελκύσουν το αγοραστικό κοινό. Το 2023, ο αριθμός των μοντέλων ηλεκτρικών οχημάτων παρουσίασε αύξηση, η οποία έφθασε το 15%, με τον αριθμό αυτών να φθάνει σχεδόν τα 590. Η αύξηση αυτή των μοντέλων συνδέεται με την επιθυμία των επιχειρήσεων να προσελκύσουν την διαρκώς αυξανόμενη καταναλωτική βάση. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι την στιγμή που τα μοντέλα ηλεκτρικών οχημάτων παρουσιάζουν διαρκή αύξηση, τα μοντέλα που χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης, υπέστησαν μείωση, κατά 2% για τέταρτη συνεχόμενη χρονιά. Αξιοσημείωτο είναι και το γεγονός ότι έως και το 2028, ο αριθμός των νέων μοντέλων ηλεκτρικών αυτοκινήτων μπορεί να ξεπεράσει ακόμη και τα 1.000 οχήματα. Αν δε, πρόκειται να συνεχιστεί η πτώση των μοντέλων που λειτουργούν με μηχανές εσωτερικής καύσης, τότε προβλέπεται ότι το 2030, ο αριθμός των ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα βρίσκεται

στα ίδια επίπεδα με τον αριθμό των αυτοκινήτων που κινούνται με μηχανές εσωτερικής καύσης.

Μια ακόμη τάση που διαπιστώνεται κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών και αναμένεται να συνεχιστεί κατά τη διάρκεια των επόμενων ετών, αφορά την μείωση του μεριδίου των μικρών και μεσαίων μοντέλων ηλεκτρικών αυτοκινήτων, συνεκτιμώντας το γεγονός ότι τα δύο τρίτα των ηλεκτρικών μοντέλων με μπαταρία στην αγορά ήταν τύπου SUV, είτε pick-up φορτηγά, είτε μεγάλα αυτοκίνητα. Στις ΗΠΑ για παράδειγμα, το 2023, μόλις το ¼ των πωλήσεων αφορούσε μικρά και μεσαία ηλεκτρικά μοντέλα με μπαταρία, σε σύγκριση με το 40% αυτών στην Ευρώπη και το 50% στην Κίνα. Ουσιαστικά, αυτό που γίνεται και αναμένεται να συνεχιστεί και τα επόμενα χρόνια είναι τα ηλεκτρικά οχήματα να γίνονται μεγαλύτερα, ακολουθώντας την αντίστοιχη τάση που αφορά και τα συμβατικά οχήματα. Αυξητικές τάσεις αναμένονται τα επόμενα χρόνια και στα οχήματα τύπου SUV, τόσο στις ΗΠΑ, όσο και στην Ευρώπη, αλλά παγκοσμίως (IEA, 2024).

Οι τιμές των ηλεκτρικών οχημάτων, τόσο στην Ευρώπη, όσο και στις ΗΠΑ, κατά τη διάρκεια των επόμενων ετών, αναμένεται να μειωθούν περαιτέρω, με την μείωση αυτή να σχετίζεται με την πτώση των τιμών των μπαταριών, όπως επίσης και εξαιτίας της βελτίωσης της αποτελεσματικότητας, αλλά και του ανταγωνισμού μεταξύ των επιχειρήσεων που κατασκευάζουν ηλεκτρικά οχήματα. Όπως προβλέπεται, κατά τη διάρκεια των ετών 2025-2028, αναμένεται να υπάρξει ισορροπία των τιμών μεταξύ των ηλεκτρικών και των συμβατικών οχημάτων, με την ισορροπία αυτή όμως να εξαρτάται και από τα επιμέρους μοντέλα. Δεν θα πρέπει να παραλείπεται το γεγονός ότι κάποιες μεταβλητές της αγοράς που επιδρούν στην τιμή είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες και μπορεί να οδηγήσουν σε καθυστέρηση την εξίσωση των τιμών μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων και των συμβατικών.

Για παράδειγμα, τέτοιες μεταβλητές μπορεί να είναι οι ασταθείς τιμές των εμπορευμάτων, διάφορα προβλήματα που προκύπτουν στην αλυσίδα εφοδιασμού, όπως επίσης και η ικανότητα των αυτοκινητοβιομηχανιών να αποκομίζουν το κατάλληλο κέρδος από την παραγωγή φθηνότερων ηλεκτρικών οχημάτων. Ουσιαστικά, ο τυπικός κανόνας της οικονομίας όπου οι οικονομίες κλίμακας περιορίζουν το κόστος, στην περίπτωση των ηλεκτρικών οχημάτων περιπλέκεται

περισσότερο, εξαιτίας των υπολοίπων δυνάμεων της αγοράς. Για παράδειγμα, τέτοιες δυνάμεις είναι το ρυθμιστικό πλαίσιο, ο γεωπολιτικός ανταγωνισμός που διαρκώς εντείνεται, τα κίνητρα για την παραγωγή οχημάτων εντός των χωρών και φυσικά οι διαρκείς τεχνολογικές μεταβολές, οι οποίες επιδρούν στην κατασκευή, αλλά και στο κόστος των μπαταριών, συνεκτιμώντας ότι και τα επιμέρους στάδια κατασκευής ενός ηλεκτρικού οχήματος (π.χ. μπαταρία), έχουν τις δικές τους περιφερειακές οικονομίες κλίμακας (IEA, 2024).

3.5 Παράγοντες που συμβάλλουν στην εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων

3.5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται αναλυτικά οι παράγοντες που επιδρούν στην εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων. Ειδικότερα, μελετάται ο ρόλος της Έρευνας & Ανάπτυξης, καθώς επίσης και η σύνδεση που δημιουργείται μεταξύ της κλιματικής αλλαγής και της ηλεκτροκίνησης. Έμφαση δίνεται ακόμη στο θεσμικό πλαίσιο το οποίο σχετίζεται με την ηλεκτροκίνηση, καθώς και στον ρόλο των δικτύων και συνδέσεων, όπως και με στους συσσωρευτές και στην επίδραση αυτών στην εξέλιξη της ηλεκτροκίνησης.

3.5.2 Ο ρόλος της Έρευνας & Ανάπτυξης

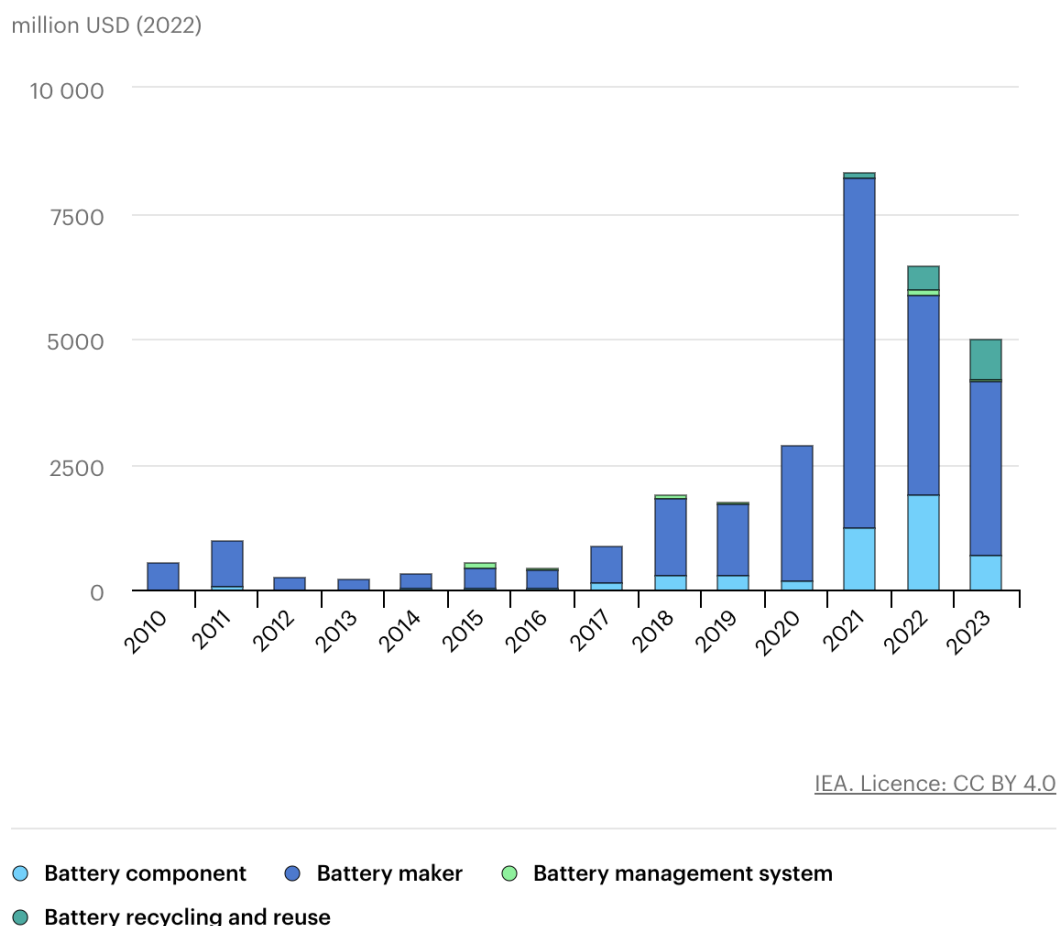
Η Έρευνα & Ανάπτυξη, που αφορά την ηλεκτροκίνηση, αποτελεί σημαίνοντα παράγοντα για την περαιτέρω ανάπτυξη των ίδιων των ηλεκτρικών οχημάτων. Για την ενδυνάμωση της Έρευνας & Ανάπτυξης στον τομέα των ηλεκτρικών οχημάτων, κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, έχουν πραγματοποιηθεί σημαντικές επενδύσεις από επιχειρηματικά κεφάλαια (Venture Capital), με τις επενδύσεις αυτές να πραγματοποιούνται έχοντας ως κίνητρο μεγάλες μελλοντικές αποδόσεις. Ακόμη, ένας σημαντικός αριθμός μεγάλων επιχειρήσεων, χρησιμοποιούν Venture Capital, προκειμένου να χρηματοδοτήσουν νεοφυείς επιχειρήσεις, αλλά και για να αναπτύξουν τεχνολογία, είτε να «αγοράσουν» ιδέες που αναπτύσσονται από νεοεισερχόμενους (Hao et al., 2024). Οι επενδύσεις αυτές αφορούν κυρίως πρώιμα στάδια (seed capital), ενώ έμφαση δίνεται στην χρηματοδότηση επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται στην παραγωγή μπαταριών. Μέσω των επενδύσεων αυτών στην

έρευνα και ανάπτυξη, οι μεγάλες επιχειρήσεις που κυριαρχούν στον κλάδο, καταφέρνουν και διατηρούν διαρκώς το ανταγωνιστικό τους πλεονέκτημα, σε μια αγορά, όπου οι συνθήκες μεταβάλλονται διαρκώς, ενώ αντίστοιχα, μεταβολές γίνονται και στα ρυθμιστικά περιβάλλοντα (IEA, 2024).

Παρόλο που διαπιστώθηκε μια μείωση των επενδύσεων από τα Venture Capital το 2023, έναντι του 2022, οι επενδύσεις παραμένουν σε σημαντικά υψηλότερα επίπεδα, σε σχέση με το 2019. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι επενδύσεις που πραγματοποιήθηκαν σε τεχνολογίες φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων για το έτος 2023, μέσω Venture Capital, ξεπέρασαν τα 260 εκατομμύρια δολάρια. Ακόμη, θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο στάδιο ανάπτυξης, οι προγραμματιστές τεχνολογίας μπαταριών κατάφεραν να συγκεντρώσουν από χρηματοδοτήσεις για το έτος 2023 κεφάλαια ύψους 5 δισεκατομμύρια δολάρια, ενώ αντίστοιχα οι κατασκευαστές των ηλεκτρικών οχημάτων συγκέντρωσαν περισσότερα από 2,5 δισεκατομμύρια δολάρια, λαμβάνοντας σημαντική υποστήριξη από δημόσιους επενδυτές, με το ενδιαφέρον αυτό να αντικατοπτρίζει το αυξημένο ενδιαφέρον που επιδεικνύουν οι Κυβερνήσεις σχετικά με την περαιτέρω τόνωση της παραγωγικής τους ικανότητας, είτε της επιτάχυνσης και περαιτέρω επέκτασης τους.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι επενδύσεις των επιχειρηματικών κεφαλαίων σε φάση ανάπτυξης των μπαταριών ανά τεχνολογία κατά τη διάρκεια των ετών 2010-2023 (IEA, 2024α).

Διάγραμμα 7: Επενδύσεις επιχειρηματικών κεφαλαίων ανά φάση ανάπτυξη σε μπαταρίες ανά τεχνολογία (2010-2023)



Όπως προκύπτει από το παραπάνω διάγραμμα, οι επενδύσεις αυτές έφτασαν στο μέγιστο σημείο κατά το έτος 2021, ενώ ακολούθως αποκλιμακώνονται παραμένοντας ωστόσο σε επίπεδα προ πανδημίας. Το 2023, διαπιστώνεται αύξηση των επενδύσεων στον τομέα που αφορά την διαχείριση συστημάτων μπαταριών, όπως επίσης και υψηλές επενδύσεις απαντώνται κατά τη διάρκεια των ετών 2021-2022-2023 στα εξαρτήματα, από τα οποία και κατασκευάζονται οι μπαταρίες.

3.5.3 Κλιματική αλλαγή και ηλεκτροκίνηση

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί πλέον μια απειλή, καθώς συνδέεται με πλήθος επιπτώσεων στο φυσικό και ανθρώπινο περιβάλλον. Επομένως, καθίσταται αναγκαίο να υπάρξει μετριασμός αυτής, όπως επίσης και αντιμετώπιση με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο των συνεπειών της. Στα πλαίσια των προσπαθειών αυτών, κρίσιμος είναι ο ρόλος της ηλεκτροκίνησης, καθώς αντικαθίσταται ρυπογόνα οχήματα, με νέα

οχήματα, υψηλής εξοικονόμησης ενέργειας, τα οποία κινούνται με ηλεκτρική ενέργεια. Ταυτόχρονα, επιδιώκεται η παραγωγή της ενέργειας αυτής να γίνεται με πρακτικές που είναι ιδιαίτερα φιλικές προς το περιβάλλον (Καρτάλης κ.α., 2017).

Τα ηλεκτρικά οχήματα, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, έχουν χαμηλότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα από τα συμβατικά οχήματα, ενώ δεν εκπέμπουν αέριους ρύπους κατά την κίνησή τους, γεγονός που βοηθά τόσο το κλίμα, όσο και την ποιότητα του περιβάλλοντος των πόλεων, οι οποίες είναι ήδη επιβαρυνμένες. Καθώς η ενέργεια που χρησιμοποιείται για τα ηλεκτρικά οχήματα παράγεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, τα οχήματα αυτά εν τέλει παράγουν πολύ λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Για παράδειγμα, σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, η ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται ανά μονάδα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση έχει περιοριστεί στο μισό, κατά τη διάρκεια των ετών 1990 και 2023, ενώ στο μέλλον αναμένεται να υπάρξουν περαιτέρω εκπομπές (European Commission, 2024).

Συμπληρωματικά, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε όλη τη διάρκεια ζωής των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, δηλαδή από τη στιγμή εξόρυξης των πρώτων υλών, έως και την κατασκευή του οχήματος και της μπαταρίας, αλλά και μέχρι το στάδιο ανακύκλωσης στο τέλος του κύκλου ζωής του οχήματος, θεωρείται ότι βρίσκονται σε χαμηλότερα επίπεδα, από τις αντίστοιχες εκπομπές των συμβατικών αυτοκινήτων, τα οποία και κινούνται με ορυκτά καύσιμα. Παρά το γεγονός ότι δεν σχετίζεται άμεσα με την κλιματική αλλαγή, τα ηλεκτρικά οχήματα συμβάλλουν στον περιορισμό της ηχορύπανσης, η οποία εκτός από τους ανθρώπους επιδρά και στην άγρια ζωή. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση διαθέτει κανόνες που αφορούν την ανακύκλωση των μπαταριών και των πρώτων υλών, οι οποίες και απαιτούνται για την κατασκευή των μπαταριών (European Commission, 2024).

Η ηλεκτροκίνηση, στα πλαίσια αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής, μπορεί να δημιουργήσει σημαντική αναπτυξιακή δυναμική σε τοπικό επίπεδο, καθώς η ενέργεια που πρόκειται να καταναλώνεται από τα ηλεκτρικά οχήματα, μπορεί να παράγεται επί τόπου, στις επιμέρους περιοχές και εγκαταστάσεις που εξυπηρετούν τα ηλεκτρικά οχήματα, βελτιστοποιώντας ακόμη περισσότερο την ενεργειακή

αποδοτικότητα. Ταυτόχρονα, ευνοϊκή συγκυρία δημιουργείται για την ηλεκτροκίνηση αν ληφθεί υπόψη και το γεγονός ότι διαρκώς εξελίσσονται οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και επεκτείνεται η εγκαταστημένη ισχύς αυτών, σε συνδυασμό με τις τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (European Commission, 2024).

Η περαιτέρω ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης συνδέεται άμεσα με την κλιματική αλλαγή, λαμβάνοντας υπόψη ότι διαμορφώνονται διαρκώς πολιτικές για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, όπως επίσης γίνονται επενδύσεις σε πράσινες τεχνολογίες, ενώ ταυτόχρονα και οι ίδιοι οι καταναλωτές αναζητούν λύσεις σε όλες τις εκφάνσεις τους, οι οποίες είναι φιλικές προς το περιβάλλον και δεν επιβαρύνουν περαιτέρω την κλιματική αλλαγή (IEA, 2023).

3.5.4 Θεσμικό πλαίσιο που συνδέεται με την ηλεκτροκίνηση

Στο θεσμικό πλαίσιο που αφορά την ηλεκτροκίνηση, ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει στα σχετικά κίνητρα που έχουν δοθεί, δίνονται και απ' ότι φαίνεται θα συνεχίσουν να δίνονται τόσο στην Ευρώπη, όσο και στην Ελλάδα, προκειμένου να μπορέσει να υπάρξει περαιτέρω επέκταση των ηλεκτροκίνητων οχημάτων.

Ειδικότερα, η Ευρωπαϊκή Ένωση, εδώ και αρκετά χρόνια θεωρεί ότι θα πρέπει να υπάρξει απεξάρτηση από το πετρέλαιο και γενικότερα από τα ορυκτά καύσιμα και για το λόγο αυτό έχει στραφεί στην περαιτέρω ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Ταυτόχρονα, η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αποσκοπεί στην βελτίωση του ενεργειακού εφοδιασμού. Έως το 2020, προβλέπονταν η αύξηση της χρήσης των Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας κατά 20%, όπως επίσης και το 20% της συνολικής ενέργειας που χρησιμοποιούνταν να προέρχονται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Ταυτόχρονα, προβλέπονταν μείωση κατά 20% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, σε σχέση με τα επίπεδα που βρίσκονταν το 1990. Ο στόχος αυτός επεκτάθηκε στο 40% έως και το 2030, ενώ αντίστοιχα προβλέπονταν στην Λευκή Βίβλο που αφορά τις μεταφορές, στόχος μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 60%, με χρονικό ορίζοντα το 2050 (Ypodomes.com, 2023).

Πλήθος ευρωπαϊκών χωρών προχώρησε στη θέσπιση κινήτρων, προκειμένου να τονωθεί η ζήτηση ηλεκτρικών αυτοκινήτων, με τα κίνητρα αυτά να περιλαμβάνουν δημοσιονομική στήριξη και κυρίως φορολογικά οφέλη, αλλά και προγράμματα

άμεσης επιδότησης. Σύμφωνα με στοιχεία που αφορούν το έτος 2023, είκοσι κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης προσέφεραν κίνητρα για την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων, ενώ επτά χώρες δεν προσέφεραν. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι τα περισσότερα από τα προβλεπόμενα αυτά κίνητρα αφορούσαν φορολογικές μειώσεις, είτε φορολογικές απαλλαγές. Για παράδειγμα, τέτοιες χώρες ήταν το Βέλγιο, η Βουλγαρία, η Δανία, η Φιλανδία, η Λετονία, η Σλοβακία, καθώς επίσης και η Σουηδία (Ypodomes.com, 2023).

Η Ελλάδα ακολουθώντας την τάση αυτή έχει θεσπίσει σειρά κινήτρων για την απόκτηση ηλεκτρικών οχημάτων. Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει στα προγράμματα «Κινούμαι Ηλεκτρικά», τα οποία έχουν θεσπιστεί στην Ελλάδα και ήδη έχουν υλοποιηθεί ήδη δύο σχετικοί «κύκλοι», ενώ τη στιγμή αυτή που γράφτηκε η παρούσα εργασία, σε εξέλιξη βρίσκεται ο τρίτος κύκλος του προγράμματος με την ονομασία «Κινούμαι ηλεκτρικά 3». Το πρόγραμμα αυτό απευθύνεται τόσο σε φυσικά πρόσωπα, όσο και σε εταιρείες (Κινούμαι Ηλεκτρικά 3, 2025).

Ειδικότερα, όσον αφορά τα φυσικά πρόσωπα, προβλέπεται επιδότηση της τάξεως του 30% της τιμής του ηλεκτρικού οχήματος, προ Φ.Π.Α., ενώ η πρόβλεψη αυτή αφορά και την χρονομίσθωση εκτός από την αγορά, με το μέγιστο ποσό να ανέρχεται σε 9.000 ευρώ. Παράλληλα, προβλέπεται η επιβράβευση απόσυρσης αυτοκινήτου με 2.000 ευρώ, καθώς και επιδότηση για την αγορά φορτιστή, με το ύψος της επιδότησης αυτής να ανέρχεται σε 500 ευρώ. Ακόμη, υπάρχει ειδική πρόβλεψη για τα ΑΜΕΑ, καθώς λαμβάνουν επιπλέον επιδότηση 1.000 ευρώ για την απόκτηση οχήματος. Ειδική μέριμνα υπάρχει και για τις πολύτεκνες οικογένειες, η οποία φθάνει τα 1.000 ευρώ ανά εξαρτώμενο τέκνο από το τρίτο και πάνω, με το συνολικό ποσό πρόσθετης επιδότησης να μην μπορεί να ξεπεράσει τα 4.000 ευρώ. Επιπλέον και για τους νέους ηλικίας έως 29 ετών υπήρξε ειδική μέριμνα, καθώς προβλέπονταν να λαμβάνουν 1.000 ευρώ επιπλέον για τον αγορά αυτοκινήτου και μικροαυτοκινήτου. Επιπρόσθετα, προβλέπεται επιδότηση 40% της τιμής προς Φ.Π.Α. για την απόκτηση επαγγελματικών ηλεκτρικών τρίκυκλων και μικροαυτοκινήτων, με το μέγιστο ποσό της επιδότησης αυτής να ανέρχεται σε 4.000 ευρώ. Αντίστοιχα, προβλέπεται επιδότηση ύψους 30% της τιμής προ Φ.Π.Α., έχοντας ως μέγιστο ποσό τα 1.300 ευρώ για την απόκτηση ηλεκτρικών δικύκλων, ενώ τέλος προβλέπεται επιδότηση ύψους

40% της τιμής αγοράς για ηλεκτρικά ποδήλατα, με το μέγιστο ποσό επιδότησης να ανέρχεται σε 800 ευρώ (Κινούμαι Ηλεκτρικά 3, 2025).

Ξεχωριστά κίνητρα, στο πρόγραμμα αυτό προβλέπονται για τις εταιρείες. Πιο αναλυτικά, προβλέπεται επιδότηση 30% της τιμής προ Φ.Π.Α. για την αγορά ή την χρονομίσθωση ηλεκτρικού αυτοκινήτου, με το μέγιστο ποσό να φθάνει τις 6.000 ευρώ ανά όχημα, εφόσον η εταιρεία προμηθευτεί έως 20 οχήματα, ενώ το μέγιστο ποσό ανέρχεται στις 4.000 ευρώ ανά όχημα από 21 οχήματα και πάνω. Παράλληλα, προβλέπεται επιβράβευση απόσυρσης με 2.000 ευρώ ανά όχημα και επιδότηση αγοράς έξυπνου φορτιστή, που φθάνει τα 400 ευρώ για κάθε φορτιστή. Περαιτέρω, προβλέπεται επιδότηση 40% της τιμής προ Φ.Π.Α. με μέγιστο ποσό επιδότησης 3.000 ευρώ για την απόκτηση επαγγελματικών τρίκυκλων και μικροαυτοκινήτων, όπως επίσης και 30% επιδότηση της τιμής προ Φ.Π.Α. και με μέγιστο ποσό επιδότησης 1.300 ευρώ για την αγορά ηλεκτρικών δίκυκλων. Ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι προβλέπεται και επιδότηση σε εταιρείες ταχυμεταφορών, διανομών και τουριστικών εταιρειών για αγορά έως και 10 ηλεκτρικών ποδηλάτων. Τέλος, υπάρχει ειδική πρόβλεψη με πρόσθετη επιδότηση ύψους 4.000 ευρώ ανά αυτοκίνητο για εταιρείες που αναπτύσσουν δραστηριότητα σε νησιά (Κινούμαι Ηλεκτρικά 3, 2025).

3.5.5 *Ο ρόλος των δικτύων και των διασυνδέσεων*

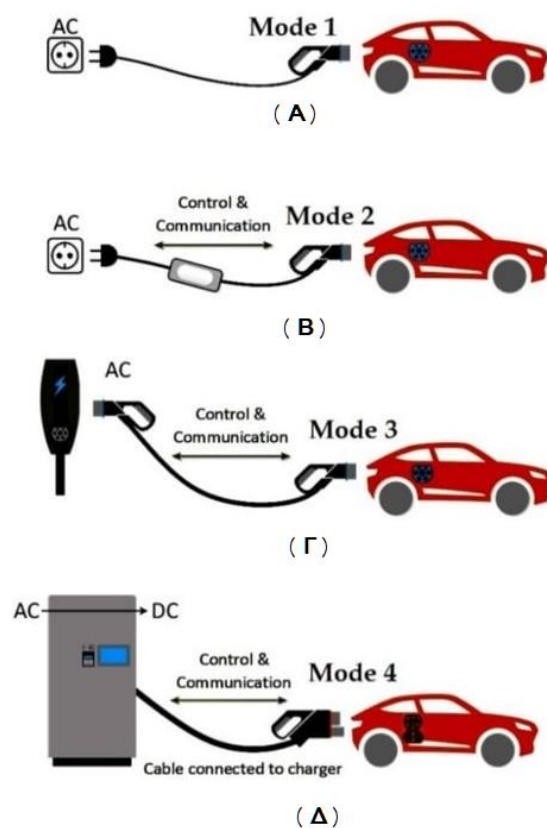
Στην ενότητα αυτή θα πρέπει να γίνει αναφορά στις επιμέρους τεχνολογίες φόρτισης, οι οποίες χρησιμοποιούνται και σήμερα.

Σε περίπτωση που υπάρχει επαγωγική σύνδεση, η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στο όχημα δεν συμβαίνει απευθείας μέσω των αγωγών, αλλά η φόρτιση γίνεται μέσω επαγωγών. Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται μέσω μαγνητικού πεδίου, κάνοντας χρήση εναλλασσόμενης πηγής τάσης. Επιπλέον, το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρεται από τον ηλεκτρικό φορτιστή στο όχημα και έπειτα γίνεται μαγνητική ζεύξη μεταξύ της συσκευής και της θήρας του αυτοκινήτου. Η μονάδα της εξωτερικής φόρτισης κατευθύνει το ηλεκτρικό ρεύμα στο εσωτερικό της συσκευής, χρησιμοποιώντας πρωτεύων τύλιγμα μετασχηματιστή. Λόγω του μαγνητικού πεδίου, η μαγνητική ροή επάγεται, με αποτέλεσμα να δημιουργείται εναλλασσόμενο ρεύμα, το οποίο και μετατρέπεται σε συνεχές, μέσω ενός μετατροπέα ρεύματος. Ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι αυτός ο τρόπος φόρτισης της μπαταρίας

θεωρείται ιδιαίτερα ασφαλής, καθώς δεν υπάρχει μεταλλική επαφή της θύρας φόρτισης και της συσκευής της φόρτισης.

Ακόμη, υπάρχει η ενσύρματη σύνδεση, η οποία συναντάται ιδιαίτερα συχνά, όπου η παροχή ρεύματος μπορεί να είναι τριφασική, είτε μονοφασική και με εναλλασσόμενο, είτε συνεχές ρεύμα. Στο σύστημα αυτό, ο έλεγχος της φόρτισης γίνεται στο όχημα, το οποίο και διαθέτει το κατάλληλο σύστημα ελέγχου, ενώ οι σταθμοί φόρτισης διαχωρίζονται σύμφωνα με την ισχύ φόρτισης που μπορούν να παρέχουν. Οι σταθμοί που διαθέτουν τριφασικές παροχές εναλλασσόμενου ρεύματος, έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν μεγάλη ποσότητα ισχύος, χωρίς όμως να υπάρχουν απαιτήσεις για μεγάλη τάση, είτε για μεγάλη ποσότητα ρεύματος. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι πιθανοί τρόποι φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων.

Εικόνα 8: Τρόποι φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων



Προκειμένου να διευκολυνθεί περαιτέρω η ηλεκτροκίνηση, τόσο η Ευρωπαϊκή Ένωση, όσο και η Ελληνική Κυβέρνηση, έχουν προβεί στη θέσπιση

συγκεκριμένων στόχων, με χρονικό ορίζοντα αυτών το 2025, το 2030, καθώς και το 2050. Ειδικότερα, για το 2025, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κανονισμό για τις υποδομές εναλλακτικών καυσίμων, προβλέπεται ανάπτυξη υποδομών φόρτισης και συγκεκριμένα 600kW κάθε 60 χλμ. για ελαφρά οχήματα με ένα τουλάχιστον σημείο εξόδου 150 kW, όπως επίσης προβλέπονται 2.000 kW ανά 60 km/100km για τα βαρέα οχήματα με τουλάχιστον δύο σημεία εξόδου 800 kW. Περαιτέρω, με χρονικό ορίζοντα το 2030, προβλέπεται σύμφωνα και πάλι με τον Ευρωπαϊκό Κανονισμό για τις υποδομές εναλλακτικών καυσίμων, 900 kW κάθε 60 km για τα ελαφρά οχήματα, καθώς 5.000 kW ανά 60km/100 km για βαρέα (Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας-Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών-Υπουργείο Ανάπτυξης & Επενδύσεων, 2023).

Οι επιλογές φόρτισης που διαθέτει κάποιος χρήστης ηλεκτρικού οχήματος είναι η οικιακή, η δημόσια, καθώς επίσης και η φόρτιση στον χώρο εργασίας του. Λαμβάνοντας υπόψη διεθνής προσεγγίσεις, ποσοστό της τάξεως του 80% φορτίζει στην κατοικία του το ηλεκτρικό αυτοκίνητο, κατά τη διάρκεια της νύχτας κυρίως. Αντίστοιχα, περίπου 10-12% επιλέγουν να φορτίσουν το αυτοκίνητό τους στην εργασία τους, ενώ ένα μικρότερο ποσοστό επιλέγει την δημόσια φόρτιση (Αγερίδης, 2018).

Από τις πλέον κρίσιμες παραμέτρους για την περαιτέρω ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης είναι η καθαρή και συνάμα φθηνή ενέργεια που θα πρέπει να είναι διαθέσιμη, έτσι ώστε να μπορούν να την χρησιμοποιούν οποτεδήποτε επιθυμούν. Προς την κατεύθυνση αυτή και για τον μετριασμό της στοχαστικότητας που συνοδεύει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, είναι σημαντικό να υπάρξει εστίαση τόσο στο ζήτημα της αποθήκευσης ενέργειας, όσο και στο θέμα των ισχυρών διασυνδέσεων. Μέσω των διασυνδέσεων δίνεται η δυνατότητα απορρόφησης από το σύστημα της πλεονάζουσας ενέργειας, η οποία και παράγεται σε περιόδους όπου επικρατούν ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες. Από την άλλη, οι διασυνδέσεις μπορούν να συμβάλλουν και στην εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, εφόσον κάτι τέτοιο απαιτείται, κατά τις περιόδους όπου οι εγχώριες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας δεν είναι σε θέση να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες των πολιτών.

Για την περαιτέρω ενδυνάμωση του δικτύου ηλεκτροκίνησης, απαιτούνται ενέργειες επέκτασης αυτού, έτσι ώστε ο χρήστης του ηλεκτρικού οχήματος να μην απαιτεί να διαθέσει σημαντικό χρόνο για να μπορέσει να φορτίσει το αυτοκίνητό του. Για τον αποτελεσματικότερο εντοπισμό των σταθμών ανεφοδιασμού καυσίμων, χρησιμοποιούνται ήδη σύγχρονα εργαλεία τεχνολογίας, τα οποία και διευκολύνουν τους πελάτες και τους υποψήφιους πελάτες για ηλεκτροφόρτιση.

3.5.6 Συσσωρευτές και ηλεκτροκίνηση

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι συσσωρευτές αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό τμήμα της αλυσίδας ανάπτυξης της ηλεκτροκίνησης. Οι προκλήσεις είναι ποικίλες και δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν ούτε σε τοπικό, ούτε σε περιφερειακό επίπεδο. Το κόστος των συσσωρευτών πρέπει να μειωθεί άμεσα, έτσι ώστε να σταματήσουν και οι επιδοτήσεις προς τα ηλεκτρικά οχήματα, αλλά και για μπορούν να πραγματοποιούν ισχυρές πωλήσεις, την ίδια στιγμή που το ποσοστό εξηλεκτρισμού της χώρας βελτιώνεται.

Προς την κατεύθυνση αυτή, δηλαδή της μείωσης του κόστους των μπαταριών, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αναλάβει σχετικές πρωτοβουλίες, έτσι ώστε αφενός να προσελκύσει κεφάλαια, και αφετέρου να παράγει τεχνογνωσία, η οποία θα μπορέσει να αξιοποιηθεί με τρόπο αποτελεσματικό στην πραγματική οικονομία. Παράλληλα, η περαιτέρω ανάπτυξη της αγοράς θα μπορέσει να συμβάλλει στην ένταση του ανταγωνισμού μεταξύ των επιμέρους επιχειρήσεων αλλά και χωρών, με αποτέλεσμα να μπορέσει σε μακροπρόθεσμο επίπεδο να υπάρξει και μείωση των τιμών. Ωστόσο κίνδυνο συνιστά η υψηλή εξάρτηση από σπάνιες γαίες για την κατασκευή των μπαταριών. Σε επίπεδο χρηστών, θα πρέπει να δοθεί έμφαση στην βέλτιστη χρήση των συστημάτων φόρτισης, έτσι ώστε να προστατεύεται η μπαταρία και να επιτυγχάνεται η βέλτιστη δυνατή απόδοση.

Επιπλέον, σημαίνοντα ρόλο στην περαιτέρω ανάπτυξη των συσσωρευτών θα διαδραματίσουν οι χώρες κάτοχοι των πρώτων υλών, που είναι κυρίως σπάνιες γαίες, καθώς αυτές μπορούν να διαμορφώσουν την κατάλληλη πολιτική περαιτέρω προώθησης ή μη. Εναλλακτικά γίνονται διαφορετικές προσεγγίσεις, έτσι ώστε τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των μπαταριών να μην ανήκουν στις σπάνιες γαίες, αλλά να μπορεί κάποιος να τα βρει με μεγαλύτερη ευκολία.

4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, έχει υπάρξει σημαντικά μεγάλη αλλαγή στην ηλεκτροκίνηση και ουσιαστικά σε όλη την αγορά οχημάτων. Ωστόσο, η ηλεκτροκίνηση δεν είναι κάτι νέο, καθώς εδώ και πολλά χρόνια είχαν κατασκευαστεί ηλεκτρικά οχήματα (ΗΟ), τα οποία όμως τέθηκαν στο περιθώριο εξαιτίας της ταχείας ανάπτυξης των ορυκτών καυσίμων και κυρίως της βενζίνης.

Πλέον, έπειτα από μια δεκαετία πειραματισμών και πιλοτικών δράσεων, τα ηλεκτρικά οχήματα διαρκώς αυξάνονται σε διεθνές επίπεδο και μάλιστα σε ορισμένες περιοχές του πλανήτη, όπως είναι η Κίνα, οι ΗΠΑ, καθώς και η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.), ακόμη περισσότερο. Τα ηλεκτρικά οχήματα διαφέρουν σημαντικά από τα συμβατικά, καθώς δεν απαιτούν ορυκτά καύσιμα για να λειτουργήσουν, αλλά μόνο ηλεκτρική φόρτιση, την οποία ουσιαστικά μπορούν να πραγματοποιούν από οποιοδήποτε σημείο υπάρχει σχετικός φορτιστής. Χαρακτηριστικό αυτών είναι ότι κατά τη λειτουργία τους δεν παράγουν αέριους ρύπους, γεγονός που βελτιώνει το περιβάλλον και την ποιότητα ζωής των ανθρώπων που διαμένουν στις πόλεις, ενώ ταυτόχρονα, όταν λειτουργούν και με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), συμβάλλουν ακόμη περισσότερο στον μετριασμό των εκπομπών.

Ιδίως κατά τη διάρκεια της τελευταίας τετραετίας, η αγορά ηλεκτροκίνησης δυναμώνει διαρκώς, γεγονός που πιστοποιείται και από τις επενδύσεις που πραγματοποιούνται σ' αυτή, σε παγκόσμιο επίπεδο, όπως επίσης και από τις διαρκείς τεχνολογικές εξελίξεις που συντελούνται, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα να περιορίζεται και το σχετικό κόστος παραγωγής των οχημάτων αυτών, το οποίο βαίνει διαρκώς μειούμενο, αξιοποιώντας και πρακτικές όπως είναι η τεχνητή νοημοσύνη.

Η ανάπτυξη των οχημάτων αυτών συνδέεται με μια σειρά προκλήσεων που θα πρέπει να ξεπεραστούν, προκειμένου τα ηλεκτρικά οχήματα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμη πιο μαζικά. Ειδικότερα, οι προκλήσεις αυτές αφορούν την μείωση του κόστους των μπαταριών, οι οποίες ακόμη και σήμερα παραμένουν σε πολύ υψηλό επίπεδο, καθώς επίσης και την ταυτόχρονη αύξηση της αυτονομίας τους, έτσι ώστε μπορούν είναι αξιόπιστα ως προς τις μετακινήσεις. Την ίδια στιγμή, απαιτείται σημαντική ανάπτυξη του δικτύου ηλεκτροφόρτισης, σχεδόν σε όλες τις

χώρες, όπως επίσης και στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στην Ελλάδα. Το αξιόπιστο και πυκνό δίκτυο, σε συνδυασμό με το κόστος αυτού, αποτελούν κρίσιμες παραμέτρους για κάποιον προκειμένου να λάβει την απόφαση να αποκτήσει ηλεκτρικό αυτοκίνητο.

Προκειμένου να ενισχύσουν την περαιτέρω επέκταση των ηλεκτροκίνητων οχημάτων, παγκοσμίως, αλλά και στην Ευρωπαϊκή Ένωση, καθώς και στην Ελλάδα, παρέχονται κίνητρα απόκτησης ηλεκτρικών οχημάτων, με τα κίνητρα αυτά να αφορούν κυρίως φοροαπαλλαγές και σχετικές εκπτώσεις φόρου, τόσο για τα φυσικά πρόσωπα, όσο και για εταιρείες, ενώ στην κατηγορία των κινήτρων εντάσσονται και οι άμεσες επιδοτήσεις, έτσι ώστε το κόστος απόκτησης των ηλεκτρικών αυτών οχημάτων να είναι περισσότερο ελκυστικό. Προς την ίδια κατεύθυνση δόθηκαν και προγράμματα που αφορούσαν τον δημόσιο τομέα, έτσι ώστε να λειτουργήσουν τα οχήματα αυτά ως πρότυπα και για περαιτέρω επέκταση από τον υπόλοιπο δημόσιο τομέα και από τον ιδιωτικό τομέα.

Η Ελλάδα ακολουθεί τις διεθνείς αυτές τάσεις, με τον αριθμό των ηλεκτρικών οχημάτων να αυξάνεται, ενώ προς την κατεύθυνση αυτή βοηθάνε και τα σχετικά κίνητρα. Ωστόσο, παρά την διαρκή ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης, το ποσοστό εξηλεκτρισμού του στόλου οχημάτων κυμαίνεται σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα (κάτω από 1%). Ωστόσο, τα επόμενα χρόνια αναμένεται περαιτέρω αύξηση της χρήσης των ηλεκτρικών οχημάτων, ενώ σημαντική ώθηση δόθηκε κατά το πρόσφατο παρελθόν και από την προώθηση ηλεκτρικών οχημάτων που έγινε μέσω των εταιρειών, είτε για ίδια χρήση, είτε για να καλύψουν τις ανάγκες των εργαζομένων τους μέσω leasing.

Η κλιματική αλλαγή που πλέον έχει μετατραπεί σε κλιματική κρίση, λαμβάνοντας υπόψη και τα ακραία καιρικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα όλο και πιο συχνά και όλο και πιο σφοδρά, αποτελεί μια πραγματικότητα, η οποία ουσιαστικά μπορεί να λειτουργήσει ως επιταχυντής της περαιτέρω ανάπτυξης της ηλεκτροκίνησης. Καθώς έχουν θεσπιστεί ήδη μέτρα για τον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής, τα ηλεκτρικά οχήματα, μπορούν να συμβάλλουν στην πραγματοποίηση καθαρών μετακινήσεων, ενώ αν δοθεί και η δέουσα σημασία στο τέλος του κύκλου ζωής τους στην διαχείριση των αποβλήτων που παράγονται, αναμένεται να επιβαρύνουν πολύ λιγότερο το περιβάλλον από τα συμβατικά οχήματα, τα οποία και κινούνται με συμβατικά καύσιμα (Lehtimäki et al., 2024).

Θα πρέπει να συνεχιστεί η έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα, καθώς τον εξελίσσει θεαματικά, ενώ η γενικότερη εξέλιξη της τεχνολογίας καθώς και των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, αναμένεται να συμβάλλουν περαιτέρω στην επέκταση του κλάδου. Υψίστης σημασίας μπορεί να είναι ο ρόλος της ακαδημαϊκής κοινότητας, των startup, όπως και των ιδίων των τμημάτων Έρευνας & Ανάπτυξης (R&D) των εταιρειών. Εξίσου σημαντικός είναι και ο ρόλος των πολιτών που είναι ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων, οι οποίοι μπορούν να παρέχουν την κατάλληλη ανατροφοδότηση και στη συνέχεια να γίνονται οι σχετικές παρεμβάσεις - βελτιώσεις. Βασική παράμετρος για την περαιτέρω επέκταση της αγοράς ηλεκτροκίνητων οχημάτων θα είναι η κατάσταση που επικρατεί στην παγκόσμια οικονομία, καθώς σε περίπτωση έντονης αστάθειας μπορεί να επηρεαστεί η ζήτηση, η οποία με τη σειρά της θα έχει συνέπεια στις τεχνολογικές εξελίξεις και στην περαιτέρω ανάπτυξη των εταιρειών.

Σε επίπεδο πολιτείας θα πρέπει να σχεδιαστούν κίνητρα, τα οποία όμως θα έχουν πιο μόνιμο χαρακτήρα και ουσιαστικά δεν θα είναι πρόσκαιρα. Για παράδειγμα θα μπορούσε να δοθεί μόνιμη φοροαπαλλαγή, συνεκτιμώντας τον ρυθμό διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων. Στο πλαίσιο των κινήτρων αυτών, το βασικό επιχείρημα θα είναι η προστασία του περιβάλλοντος καθώς και η μετάβαση προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα, περισσότερο βιώσιμη και ταυτόχρονα συμπεριληπτική. Αντίστοιχα, μπορούν να δοθούν κίνητρα, για παράδειγμα τοποθέτηση ηλεκτρικού φορτιστή στο σπίτι σε συνδυασμό με εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων, έτσι ώστε να προάγεται περαιτέρω η βιωσιμότητα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Akbari, H., Cartalis, C., Kolokotsa, D., Muscio, A., Pisello, A.L., Rossi, F., Santamouris, M., Synnefa, A., Wong, N.H., Zinzi, M. (2016). Local climate change and urban heat island mitigation techniques-The state of the art. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22, 1-16.
- Ali, Z. M., Calasan, M., Gandoman, F. H., Jurado, F., & Aleem, S. H. A. (2024). Review of batteries reliability in electric vehicle and E-mobility applications. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(2), 102442.
- Azizbek, M. (2024). Advantages and Disadvantages of Electric Cars. *Excellencia: International Multi-disciplinary Journal of Education (2994-9521)*, 2(2), 123-126.
- Barkenbus, J. N. (2020). Prospects for electric vehicles. *Sustainability*, 12(14), 5813.
- Burnand, G., & Perriard, Y. (2019, September). Very-high-speed miniaturized permanent magnet motors: Design and optimization. In *2019 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)* (pp. 5258-5264). IEEE.
- Burton, N. (2013). *History of electric cars*. Crowood.
- Carter, J.G., Cavan, G., Connelly, A., Guy, S., Handley, J., Kazmierczak, A. (2015). *Climate change and the city: Building capacity for urban adaptation in Progress in Planning*, 95, 1-66.
- Cannarella, J. & Arnold, C.B. (2014). Perspectives on the development of solid-state rechargeable batteries. *ECS Transactions*, 61(33), 53-68.
- Cosmote Insurance (2024). *Μπαταρία ηλεκτρικού αυτοκινήτου: Πόσο κοστίζει; Διαθέσιμο στο: <https://www.cosmoteinsurance.gr/car/odigos-asfalisis/mpataria-hlektrikou-aftokinitoy-poso-kostizei>* [Πρόσβαση 1 Δεκεμβρίου 2024].
- evstats.gr (2025). *Κύρια Συμπεράσματα-Νοέμβριος 2024. Διαθέσιμο στο: <https://www.evstats.gr/el>* [Πρόσβαση 10 Ιανουαρίου 2025].
- Dangwal, S., Li, Y., & Edalati, K. (2024). AB-type dual-phase high-entropy alloys as negative electrode of Ni-MH batteries: Impact of interphases on electrochemical performance. *Materials Chemistry and Physics*, 319, 129397.
- Ding, N., Prasad, K., & Lie, T. T. (2017). The electric vehicle: a review. *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*, 9(1), 49-66.
- Ding, F., Zhang, W., Boommier, C., Xu, K. (2020). Advances in non-aqueous lithium-oxygen batteries. *Angewandte Chemie International Edition*, 59(26), 10692-10705.

European Commission (2024). *5 things you should know about electric cars*. Διαθέσιμο στο: https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/news/5-things-you-should-know-about-electric-cars-2024-05-14_en [Πρόσβαση 10 Ιανουαρίου 2025].

Gobbi, M., Sattar, A., Palazzetti, R., & Mastinu, G. (2024). Traction motors for electric vehicles: Maximization of mechanical efficiency—A review. *Applied Energy*, 357, 122496.

Goldstein, M. (2024). *The Pros and Cons of Converting a Gas Car into an Electric Car*.

Golovanov, N., & Marinescu, A. (2019, May). Electromobility and climate change. In *2019 8th International Conference on Modern Power Systems (MPS)* (pp. 1-5). IEEE.

Guo, Y., Ba, X., Liu, L., Lu, H., Lei, G., Yin, W., & Zhu, J. (2023). A review of electric motors with soft magnetic composite cores for electric drives. *Energies*, 16(4), 2053.

Hakam, Y., Gaga, A., & Elhadadi, B. (2024). Exploring the state of electric vehicles: An evidence-based examination of current and future electric vehicle technologies and smart charging stations. *Energy Reports*, 11, 4102-4114.

Hao, X., Wang, H., Zheng, Y., Lin, Y., Han, S., Zhong, R., & Li, J. (2024). Toward Carbon Neutral Road Transport: Development Strategies and New R&D Organizational Paradigms. *Automotive Innovation*, 1-16.

Hwang, F. S., Confrey, T., Reidy, C., Picovici, D., Callaghan, D., Culliton, D., & Nolan, C. (2024). Review of battery thermal management systems in electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 192, 114171.

Hughes, A., & Drury, B. (2019). *Electric motors and drives: fundamentals, types and applications*. Newnes.

IEA (2023). *Rapid progress of key clean energy technologies shows the new energy economy is emerging faster than many think*. Διαθέσιμο στο: <https://www.iea.org/news/rapid-progress-of-key-clean-energy-technologies-shows-the-new-energy-economy-is-emerging-faster-than-many-think> [Πρόσβαση 10 Ιανουαρίου 2025].

IEA (2024). *Global EV Outlook 2024-Moving towards increased affordability*. IEA-Electric Vehicles Initiative-Glean Energy Ministerial.

IEA (2024α). *Trends in the electric vehicle industry*. Διαθέσιμο στο: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024/trends-in-the-electric-vehicle-industry> [Πρόσβαση 10 Ιανουαρίου 2025].

Kainat, S., Anwer, J., Hamid, A., Gull, N., & Khan, S. M. (2024). Electrolytes in lithium-ion batteries: Advancements in the era of twenties (2020's). *Materials Chemistry and Physics*, 313, 128796.

Kapustina, L., & Izakova, N. (2023). Impact of Electric Vehicles on the Environment: Pros and Cons. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 451, p. 02003). EDP Sciences.

- Kasri, A., Ouari, K., Belkhier, Y., Bajaj, M., & Zaitsev, I. (2024). Optimizing electric vehicle powertrains peak performance with robust predictive direct torque control of induction motors: A practical approach and experimental validation. *Scientific Reports*, 14(1), 14977.
- Kirsch, D. A. (1997). The electric car and the burden of history: Studies in automotive systems rivalry in America, 1890-1996. *Business and Economic History*, 304-310.
- Kouroussis, G., Dehombreux, P., & Verlinden, O. (2015). Vehicle and powertrain dynamics analysis with an automatic gearbox. *Mechanism and Machine Theory*, 83, 109-124.
- Krishna, T. N. V., Kumar, S. V. P. D., Srinivasa Rao, S., & Chang, L. (2024). Powering the Future: Advanced Battery Management Systems (BMS) for Electric Vehicles. *Energies*, 17(14), 3360.
- Larcher D & Tarascon J M, Towards greener and more sustainable batteries for electrical energy storage, *Nature Chemistry*, 7(1) (2015) 19–29.
- Lay, M. G. (1999). *Ways of the World: A History of the World's Roads and of the Vehicles that Used Them*. Rutgers university press.
- Lehtimäki, H., Karhu, M., Kotilainen, J. M., Sairinen, R., Jokilaakso, A., Lassi, U., & Huttunen-Saarivirta, E. (2024). Sustainability of the use of critical raw materials in electric vehicle batteries: A transdisciplinary review. *Environmental Challenges*, 16, 100966.
- Li, Z., Khajepour, A., & Song, J. (2019). A comprehensive review of the key technologies for pure electric vehicles. *Energy*, 182, 824-839.
- Liu, C., Chau, K. T., Lee, C. H., & Song, Z. (2020). A critical review of advanced electric machines and control strategies for electric vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 109(6), 1004-1028.
- Lozhkina, O. V., & Lozhkin, V. N. (2015). Estimation of road transport related air pollution in Saint Petersburg using European and Russian calculation models. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 36, 178-189.
- Louback, E., Biswas, A., Machado, F., & Emadi, A. (2024). A review of the design process of energy management systems for dual-motor battery electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 193, 114293.
- Mahmood, A., Gill, R., & Raffi, M. (2024). Upcycling spent Ni–Cd battery for selective synthesis of nanoparticles to harness into electro-conductive thin films: An eco-friendly approach for e-waste management. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 181, 108626.
- Milev, G., Hastings, A., & Al-Habaibeh, A. (2021). The environmental and financial implications of expanding the use of electric cars-A Case study of Scotland. *Energy and Built Environment*, 2(2), 204-213.
- Mom, G. (2016). Inventing the miracle battery: Thomas Edison and the electric vehicle. *History of Technology Volume 20*, 17.

- Muneer, T., Kolhe, M., & Doyle, A. (2017). *Electric vehicles: prospects and challenges*.
- Nasajpour-Esfahani, N., Garmestani, H., Bagheritabar, M., Jasim, D. J., Toghraie, D., Dadkhah, S., & Firoozeh, H. (2024). Comprehensive review of lithium-ion battery materials and development challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 203, 114783.
- Nategh, S., Boglietti, A., Barber, D., Liu, Y., & Brammer, R. (2020). Thermal and manufacturing aspects of traction motors potting: A deep experimental evaluation. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 35(2), 1026-1035.
- Niri, A. J., Poelzer, G. A., Zhang, S. E., Rosenkranz, J., Pettersson, M., & Ghorbani, Y. (2024). Sustainability challenges throughout the electric vehicle battery value chain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 191, 114176.
- Patel, J. N. N., Bhoi, A. K., Padmanaban, S., & Holm-Nielsen, J. B. (2021). *Electric Vehicles*. Springer Singapore, Singapore.
- Patlins, A., Hnatov, A., Arhun, S., Hnatova, H., & Saraiev, O. (2022, May). Features of converting a car with an internal combustion engine into an electric car. In *2022 IEEE 7th International Energy Conference (ENERGYCON)* (pp. 1-6). IEEE.
- Ra., C. (2024). The Electric-Car Battery Revolution. *Nature*, 626,8.
- Rahman, T., & Alharbi, T. (2024). Exploring lithium-Ion battery degradation: A concise review of critical factors, impacts, data-driven degradation estimation techniques, and sustainable directions for energy storage systems. *Batteries*, 10(7), 220.
- Robinson, A. J. (2000). *Petrol engine development strategy: executive summary* (Doctoral dissertation, University of Warwick).
- Rodriguez-Vargas, B. R., Stornelli, G., Folgarait, P., Ridolfi, M. R., Miranda Pérez, A. F., & Di Schino, A. (2023). Recent advances in additive manufacturing of soft magnetic materials: A review. *Materials*, 16(16), 5610.
- Rom, C. L., Smaha, R. W., O'Donnell, S., Dugu, S., & Bauers, S. R. (2024). Emerging magnetic materials for electric vehicle drive motors. *MRS Bulletin*, 49(7), 738-750.
- Roy, N., Rajasekhara Reddy, G., Pallavolu, M. R., Nallapureddy, R. R., Dhananjaya, M., Sai Kumar, A., ... & Joo, S. W. (2024). High-Performance Battery-Type Supercapacitors Based on Self-Oriented Growth of Nanorods/Nanospheres Composite Assembled on Self-Standing Conductive GO/CNF Frameworks. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 16(27), 34859-34879.
- Sakkas, G. K., Vasilopoulos, C. R. C., Bouchas, K. G., & Kladas, A. G. (2023). Advanced design of PWM inverter fed permanent magnet motors. *IEEE Transactions on Magnetics*, 59(11), 1-11.
- Sanguesa, J. A., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martinez, F. J., & Marquez-Barja, J. M. (2021). A review on electric vehicles: Technologies and challenges. *Smart Cities*, 4(1), 372-404.

Selvakumar, T., Karthik, S., & Kumar, S. A. (2018, February). Modern Electric Engine for Future Cars. In *2018 International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS)* (pp. 289-293). IEEE.

Simon P & Gogotsi Y (2008). *Materials for electrochemical capacitors*, *Nature Materials*, 7(11), 845–854.

Sobol, Ł., & Dyjakon, A. (2020). The influence of power sources for charging the batteries of electric cars on CO2 emissions during daily driving: A case study from Poland. *Energies*, 13(16), 4267.

Sun, X., Li, Z., Wang, X., & Li, C. (2019). Technology development of electric vehicles: A review. *Energies*, 13(1), 90.

Suprayitno, D., Iskandar, S., Dahurandi, K., Hendarto, T., & Rumambi, F. J. (2024). Public Policy In The Era Of Climate Change: Adapting Strategies For Sustainable Futures. *Migration Letters*, 21(S6), 945-958.

Targonya, A., Khmeluk, A., & Bankovskaya, I. (2019). *Electric cars: advantages and disadvantages*.

Thellufsen, J. Z., Lund, H., Sorknæs, P., Østergaard, P. A., Chang, M., Drysdale, D., ... & Sperling, K. (2020). Smart energy cities in a 100% renewable energy context. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 129, 109922.

Theodorou, P. (2022). The effects of urbanisation on ecological interactions. *Current Opinion in Insect Science*, 52, 100922.

Tripathi, S., Bachmann, N., Brunner, M., & Jodlbauer, H. (2024). Exploring Time-Based Characteristics of the E-Car Market for Effective Market Segmentation. *Procedia Computer Science*, 232, 64-76.

Our World in Data (2025). *Electric vehicles-charts*. Διαθέσιμο στο: <https://ourworldindata.org/search?q=electric%20vehicles%20> [Πρόσβαση 10 Ιανουαρίου 2025].

Vlachou, V. I., Sakkas, G. K., Xintaropoulos, F. P., Pechlivanidou, M. S. C., Kefalas, T. D., Tsili, M. A., & Kladas, A. G. (2024). Overview on Permanent Magnet Motor Trends and Developments. *Energies*, 17(2), 538.

Votolato, G. (2015). *Car*. Reaktion Books.

Yang, Z., Huang, H., & Lin, F. (2022). Sustainable electric vehicle batteries for a sustainable world: perspectives on battery cathodes, environment, supply chain, manufacturing, life cycle, and policy. *Advanced Energy Materials*, 12(26), 2200383.

Ypodomes.com (2023). *Κίνητρα για ηλεκτροκίνηση δίνει όλη η Ε.Ε.-Τι ισχύει στην Ελλάδα με το «Κινοῦμαι ηλεκτρικά»*. Διαθέσιμο στο: <https://ypodomes.com/forologika-kinitra-gia-agora-ilektrikon-aytokiniton-ti-provlepetai/> [Πρόσβαση 1 Ιανουαρίου 2025].

Αγερίδης, Γ. (2018). *Η ηλεκτροκίνηση σήμερα στην Ελλάδα και στον κόσμο*. Αθήνα: ΚΑΠΕ-Διευθυντής Ενεργειακής Αποδοτικότητας-Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας.

Δουραλάς, Θ. & Μπέρμπερι Κ. (2020). *Πτυχιακή Εργασία: Εφαρμογή Συστημάτων Ηλεκτρικής Κίνησης στο Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο*. Αθήνα: Ανώτατη Σχολή Παιδαγωγικής και Τεχνολογικής Εκπαίδευσης-Τμήμα Εκπαιδευτικών Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Εκπαιδευτικών Ηλεκτρονικών Μηχανικών.

Ίδρυμα Μποδοσάκη (2022). *Σχέδιο Δράσης για το Περιβάλλον και το Κλίμα-Δεδομένα και Προτάσεις 2022-2030*. Αθήνα: Ίδρυμα Μποδοσάκη.

IOBE (2023). *Προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή: Προκλήσεις και προοπτικές για την ελληνική οικονομία*. Αθήνα: Ίδρυμα Οικονομικών & Βιομηχανικών Ερευνών (IOBE).

Καρτάλης, Κ., Κοκκώσης, Χ., Οικονόμου, Α., Σανταμούρης, Μ., Αγαθαγγελίδης, Η., Πολύδωρος, Α. (2017). *Οι Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στην Ανάπτυξη*. Αθήνα: διαΝΕΟσις-Οργανισμός Έρευνας & Ανάλυσης.

Κινούμαι Ηλεκτρικά 3 (2025). *Κινούμαι Ηλεκτρικά Γ' Κύκλος-Πρόγραμμα επιδότησης αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων και φορτιστών*. Διαθέσιμο στο: <https://kinoumeilektrika3.gov.gr/index.html> [Πρόσβαση 1 Ιανουαρίου 2025].

Σύνδεσμος Εισαγωγέων Αντιπροσώπων Αυτοκινήτων (2025). *Νέα της αγοράς-Η Ελληνική αγορά οχημάτων (Οκτώβριος 2024)*. Διαθέσιμο στο: <https://seaa.gr/market-news/β> [Πρόσβαση 1 Ιανουαρίου 2025].

Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας-Υπουργείο Υποδομών & Μεταφορών & Υπουργείο Ανάπτυξης & Επενδύσεων (2023). *Εθνικό Σχέδιο Ηλεκτροκίνησης-Δημόσια Διαβούλευση*. Διαθέσιμο στο: <https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2023/05/Εθνικό-Σχέδιο-Ηλεκτροκίνησης.pdf> [Πρόσβαση 1 Δεκεμβρίου 2024].

Υπουργική Απόφαση 151639/2023-ΦΕΚ 3270/Β/17-5-2023. Προϋποθέσεις και διαδικασία αναγγελίας έναρξης άσκησης επαγγέλματος τεχνίτη οχημάτων υψηλής τάσης για συντήρηση και επισκευή οχήματος υψηλής τάσης. Διαθέσιμο στο: https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2023-05/3270b_2023.pdf [Πρόσβαση 1 Δεκεμβρίου 2024].