

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ
ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»



Της φοιτήτριας
Χριστίνα Αυγερίδου
Αρ. Μητρώου: 52201Μ

Επιβλέπων
Ιορδάνης Κιοσκερίδης
Βαθμίδα Καθηγητής

Ημερομηνία 13-06-2025

Τίτλος Δ.Ε. Συγκριτική μελέτη ηλεκτρικών οχημάτων και προοπτικές

Κωδικός Δ.Ε. 24265

Όνοματεπώνυμο φοιτητή Χριστίνα Αυγερίδου

Όνοματεπώνυμο εισηγητή Ιορδάνης Κιοσκερίδης

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. 21-10-2024

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. 13-06-2025

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Εφαρμοσμένα Ηλεκτρονικά Συστήματα» στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της φοιτήτριας Χριστίνας Αυγερίδου που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

*«Στους κοντινούς μου ανθρώπους, που με στήριξαν με αγάπη και υπομονή σε κάθε βήμα
αυτής της διαδρομής»*

Πρόλογος

Η επιλογή του θέματος για τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία βασίστηκε στην αυξανόμενη σημασία που αποκτούν τα ηλεκτρικά οχήματα στο πλαίσιο της παγκόσμιας προσπάθειας για βιώσιμη ανάπτυξη και περιβαλλοντική προστασία. Η ηλεκτροκίνηση αποτελεί μία από τις πιο σύγχρονες και πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες που μπορούν να συμβάλουν ουσιαστικά στη μείωση των εκπομπών ρύπων και στην αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης. Επιπλέον, η εξέλιξη και υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων προκαλεί σημαντικές αλλαγές σε πολλούς τομείς, όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η ενεργειακή πολιτική και η οικονομία, καθιστώντας τη μελέτη τους ιδιαίτερα επίκαιρη και σημαντική.

Το όφελος από αυτή τη διπλωματική εργασία έγκειται στην απόκτηση βαθύτερης γνώσης για τις τεχνολογικές, περιβαλλοντικές και οικονομικές πτυχές της ηλεκτροκίνησης, καθώς και στην κατανόηση των προκλήσεων και ευκαιριών που παρουσιάζονται ειδικά στην ελληνική αγορά. Μέσω αυτής της μελέτης, παρέχεται μια σφαιρική εικόνα που μπορεί να υποστηρίξει την ενημερωμένη λήψη αποφάσεων σε επίπεδο πολιτικής αλλά και επιχειρηματικών στρατηγικών, προωθώντας έτσι την ανάπτυξη καινοτόμων λύσεων και τη βιώσιμη μετακίνηση.

Περίληψη

Αυτή η έρευνα διερευνά τις πολύπλευρες πτυχές των ηλεκτρικών οχημάτων αναλύοντας τις τεχνολογικές τους εξελίξεις, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τις οικονομικές τους επιπτώσεις. Ερευνά το εξελισσόμενο τοπίο της ηλεκτροκίνησης, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις παγκόσμιες τάσεις όσο και το συγκεκριμένο πλαίσιο στην Ελλάδα. Ανάμεσα στις παγκόσμιες πρωτοβουλίες για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν κερδίσει την προβολή ως μια προηγμένη και περιβαλλοντικά βιώσιμη εναλλακτική λύση μεταφοράς. Σκοπός αυτής της μελέτης είναι να παρέχει μια εις βάθος και ολιστική επισκόπηση της τεχνολογίας των ηλεκτρικών οχημάτων, επισημαίνοντας τα πιθανά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα τους καθώς και τα εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν για να διευκολυνθεί η ευρύτερη υιοθέτησή τους. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στις μοναδικές προκλήσεις και ευκαιρίες που αντιμετωπίζει η Ελλάδα όσον αφορά την ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στις μεταφορικές υποδομές, τις πολιτικές και την κοινωνική αποδοχή της. Εξετάζοντας διεξοδικά αυτές τις διαστάσεις, η μελέτη επιδιώκει να συνεισφέρει πολύτιμες γνώσεις για τη μελλοντική ανάπτυξη της ηλεκτρικής κινητικότητας και να ενημερώσει τους ενδιαφερόμενους σχετικά με τα απαραίτητα μέτρα για την προώθηση βιώσιμων λύσεων μεταφορών στην Ελλάδα και όχι μόνο.

«Comparative Study of Electric Vehicles and Prospects»

«Christina Avgeridou»

Abstract

This research explores the multifaceted aspects of electric vehicles by analyzing their technological advancements, environmental impacts, and economic implications. It investigates the evolving landscape of electric mobility, taking into account both global trends and the specific context in Greece. Amid global initiatives to reduce greenhouse gas emissions and combat climate change, electric vehicles have emerged as an advanced and environmentally sustainable transportation alternative. The aim of this study is to provide an in-depth and holistic overview of electric vehicle technology, highlighting their potential environmental benefits as well as the obstacles that need to be overcome to facilitate their wider adoption. Special attention is given to the unique challenges and opportunities faced by Greece regarding the integration of electric vehicles into transport infrastructure, policies, and social acceptance. By thoroughly examining these dimensions, the study seeks to contribute valuable insights for the future development of electric mobility and to inform stakeholders about the necessary measures to promote sustainable transportation solutions in Greece and beyond.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Ιορδάνη Κιοσκερίδη, για την καθοδήγηση, την υποστήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές του σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ την οικογένειά μου και ειδικά τη μητέρα μου για την αμέριστη συμπαράσταση και κατανόησή της όλα αυτά τα χρόνια, καθώς και τους φίλους μου για την ψυχολογική υποστήριξη και την ενθάρρυνση στις δύσκολες στιγμές.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	iv
Περίληψη	v
Abstract	vi
Ευχαριστίες	vii
Περιεχόμενα.....	viii
Κατάλογος Εικόνων	x
Κατάλογος Πινάκων	x
Συνομογραφίες	xi
Κεφάλαιο 1ο : Εισαγωγή	1
1.1 Παρουσίαση Θέματος και Σκοπιμότητα Μελέτης.....	1
1.2 Στόχοι και Ερευνητικά Ερωτήματα	3
1.3 Μεθοδολογία.....	5
1.4 Δομή Δ.Ε	7
Κεφάλαιο 2ο : Τεχνολογική Ανάλυση Ηλεκτρικών Οχημάτων	9
2.1 Εισαγωγή	9
2.2 Ιστορική Αναδρομή Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων	11
2.3 Κατηγορίες Ηλεκτρικών Οχημάτων (BEV, PHEV, HEV, FCEV)	14
2.3.1 BEV – Battery Electric Vehicles (Αμιγώς Ηλεκτρικά Οχήματα)	14
2.3.2 PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicles (Υβριδικά με Φόρτιση από Πρίζα).....	16
2.3.3 HEV – Hybrid Electric Vehicles (Συμβατικά Υβριδικά)	19
2.3.4 FCEV – Fuel Cell Electric Vehicles (Οχήματα Κυψελών Καυσίμου Υδρογόνου).....	22
2.4 Δομή Ηλεκτρικού Οχήματος.....	24

2.5 Σύγκριση με Θερμικά Οχήματα (ICE).....	26
2.5.1 Τεχνολογικές Διαφορές	26
2.5.2 Αποδοτικότητα και Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις	27
2.5.3 Συγκριτική Ανάλυση	28
2.6 Τεχνολογικές Εξελίξεις σε Μπαταρίες και Συστήματα Κίνησης.....	32
Κεφάλαιο 3ο : Περιβαλλοντικές και Οικονομικές Επιπτώσεις	35
3.1 Ανάλυση εκπομπών CO ₂ και Ενεργειακής Κατανάλωσης.....	35
3.2 Συνολικό κόστος Ιδιοκτησίας (Total Cost of Ownership (TCO)).....	38
3.3 Περιβαλλοντικά Οφέλη και Περιορισμοί	43
3.4 Κύκλος ζωής Οχήματος και Ανακύκλωση Μπαταριών	44
Κεφάλαιο 4ο: Ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα και Ευρώπη: Παρούσα Κατάσταση.....	47
4.1 Ανάλυση της Ελληνικής Αγοράς Ηλεκτρικών Οχημάτων	47
4.2 Ιστορική Αναδρομή Ηλεκτροκίνησης στην Ελλάδα.....	50
4.3 Νομοθεσία και Κρατικά Κίνητρα για την Ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα	52
4.4 SWOT Ανάλυση για την Ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα	54
4.5 Σύγκριση Ελλάδας με χώρες της ΕΕ (Στατιστικά, Πολιτικές)	55
4.5.1 Σύγκριση Πολιτικών & Κρατικών Κινήτρων στην ΕΕ-27	56
4.6 Προβλέψεις για το μέλλον της αγοράς	57
Κεφάλαιο 5ο : Συμπεράσματα και Προτάσεις βελτίωσης.....	60
Βιβλιογραφία	62

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1. Ιστορική Αναδρομή Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων, Πηγή: [5]	13
Εικόνα 2.2. Ηλεκτρικά Οχήματα με Μπαταρίες (BEV). Πηγή: [1]	16
Εικόνα 2.3. Plug-in Hybrid Electric Vehicles (Υβριδικά με Φόρτιση από Πρίζα). Πηγή: [11].....	17
Εικόνα 2.4. HEV – Hybrid Electric Vehicles (Συμβατικά Υβριδικά). Πηγή: [5]	20
Εικόνα 2.5. FCEV – Fuel Cell Electric Vehicles (Οχήματα Κυψελών Καυσίμου Υδρογόνου). Πηγή: [14]	22
Εικόνα 2.6. Συγκριτική ενεργειακή απόδοση μεταξύ Η/Ο και ICE.	29
Εικόνα 2.7. Συγκριτικά διαγράμματα για EV και ICE οχήματα για Αυτονομία, Κόστος ανά χιλιόμετρο και Εκπομπές CO ₂	31
Εικόνα 3.1. Σύγκριση TCO (Total Cost of Ownership) ανάμεσα σε ένα Η/Ο και ένα όχημα εσωτερικής καύσης για μια περίοδο 15 ετών και 150.000 χιλιομέτρων	41
Εικόνα 3.2. Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας για τα BEV σε σύγκριση με τα οχήματα με ICE, για 13 Ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες (Στοιχεία 2024). Πηγή: [3]	42
Εικόνα 3.3. Περιβαλλοντικά Οφέλη των Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων. Πηγή: [4]	44
Εικόνα 4.1. Εξέλιξη Ταξινομήσεων Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ελλάδα (2015–2025)	49
Εικόνα 4.2. SWOT Ανάλυση για την Ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα	55

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1. Τεχνολογία & Κατασκευή.....	28
Πίνακας 2.2. Περιβάλλον & Ενεργειακή Απόδοση.....	28
Πίνακας 2.3. Απόδοση – Πρακτικότητα.....	29
Πίνακας 4.1. SWOT Ανάλυση για την Ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα (Δυνατά Σημεία και Αδυναμίες).....	54
Πίνακας 4.2. SWOT Ανάλυση για την Ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα (Ευκαιρίες και Απειλές)	54
Πίνακας 4.3. Πωλήσεις Ηλεκτρικών Οχημάτων (BEV) – Μερίδιο Αγοράς.....	56
Πίνακας 4.4. Υποδομές Φόρτισης	57

Συντομογραφίες

EV	Electric Vehicles
ICE	Internal Combustion Engine
TCO	Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας
ICEV	Κινητήρας Εσωτερικής Καύσης
BEV	Battery Electric Vehicles
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicles
HEV	Hybrid Electric Vehicles
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicles
LCA	Life Cycle Assessment

Κεφάλαιο 1ο : Εισαγωγή

1.1 Παρουσίαση Θέματος και Σκοπιμότητα Μελέτης

Τα Ηλεκτρικά Οχήματα (Electric Vehicles - EV), εφεξής ως Η/Ο, αντιπροσωπεύουν μια από τις πιο πρωτοποριακές και μεταμορφωτικές εξελίξεις στους τομείς των μεταφορών και της ενέργειας. Καθώς η παγκόσμια κοινότητα προσπαθεί να αντιμετωπίσει με τις κλιμακούμενες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, την ταχεία εξάντληση των φυσικών πόρων και το επίμονο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, η μετάβαση σε πιο πράσινους και πιο βιώσιμους τρόπους μεταφοράς έχει καταστεί ουσιαστική και επείγουσα. Σε αυτό το πλαίσιο, τα ηλεκτρικά οχήματα αναγνωρίζονται όλο και περισσότερο ως μια πολλά υποσχόμενη και πρακτική εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης (Internal Combustion Engine - ICE). Παρέχουν μια σειρά από αξιοσημείωτα οφέλη, συμπεριλαμβανομένων περιβαλλοντικών βελτιώσεων με τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, οικονομικά πλεονεκτήματα όπως χαμηλότερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης και τεχνολογικές καινοτομίες που συνεχίζουν να βελτιώνουν την απόδοση και την προσβασιμότητά τους. Καθώς η παγκόσμια κοινότητα αναζητά λύσεις για την αντιμετώπιση πιεστικών περιβαλλοντικών προκλήσεων, τα Η/Ο κερδίζουν δυναμική ως βασικό συστατικό ενός καθαρότερου, πιο βιώσιμου μέλλοντος για τις μεταφορές παγκοσμίως.

Η εμφάνιση και η ευρεία υιοθέτηση των Η/Ο αντιπροσωπεύουν κάτι περισσότερο από μια απλή τεχνολογική ανακάλυψη. Σηματοδοτούν έναν συνολικό μετασχηματισμό ολόκληρου του τοπίου των μεταφορών, που περιλαμβάνει συστήματα παροχής ενέργειας, ανάπτυξη υποδομών και συναφείς βιομηχανίες. Κατά τη σύγκριση ηλεκτρικών οχημάτων με συμβατικά αυτοκίνητα με κινητήρα εσωτερικής καύσης, παίζουν ρόλο πολλοί παράγοντες, όπως η ενεργειακή τους απόδοση, το συνολικό κόστος λειτουργίας, οι απαιτήσεις συντήρησης, η αυτονομία ή η αυτονομία οδήγησης, οι διάρκειες φόρτισης, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα και η διαθεσιμότητα και η προσβασιμότητα των σταθμών φόρτισης. Ταυτόχρονα, οι εξελίξεις στην τεχνολογία μπαταριών ιόντων λιθίου, η σταθερή μείωση του κόστους κατασκευής και παραγωγής και οι προληπτικές κυβερνητικές πρωτοβουλίες με στόχο την προώθηση της υιοθέτησης Η/Ο δημιουργούν συλλογικά ένα νέο ανταγωνιστικό περιβάλλον στον τομέα των μεταφορών. Αυτές οι εξελίξεις οδηγούν σε αλλαγές στη δυναμική της αγοράς, επηρεάζοντας τις επιλογές των καταναλωτών και διαμορφώνουν μελλοντικές πολιτικές μεταφορών και επενδύσεις σε υποδομές.

Η ανανεωμένη έμφαση που δίνουν στα Η/Ο εντείνει περαιτέρω τον παγκόσμιο ανταγωνισμό στη βιομηχανία και ενισχύει τις γρήγορες τεχνολογικές εξελίξεις, συμπεριλαμβανομένων βελτιώσεων στην απόδοση της μπαταρίας, την υποδομή φόρτισης και την αυτονομία των οχημάτων. Επιπλέον, οι διεθνείς συμφωνίες για το κλίμα και οι περιβαλλοντικές δεσμεύσεις - κυρίως η Συμφωνία του Παρισιού- διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διαμόρφωση του μέλλοντος των μεταφορών. Αυτές οι συμφωνίες θέτουν φιλόδοξους στόχους για τη μείωση των

εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και απαιτούν αυστηρότερους κανονισμούς για τα οχήματα που κινούνται με ορυκτά καύσιμα. Ως αποτέλεσμα, οι κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο εφαρμόζουν πολιτικές και κίνητρα που ενθαρρύνουν την υιοθέτηση Η/Ο, όπως επιδοτήσεις, φορολογικά οφέλη και αυστηρότερα πρότυπα εκπομπών ρύπων. Αυτά τα ρυθμιστικά πλαίσια έχουν σχεδιαστεί για να επιταχύνουν τη μετάβαση από τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης σε καθαρότερες, ηλεκτρικές εναλλακτικές λύσεις, ενισχύοντας έτσι τη δυναμική της αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων και ενισχύοντας την καινοτομία σε ολόκληρο τον κλάδο. Εν τω μεταξύ, οι παραδοσιακοί γίγαντες της αυτοκινητοβιομηχανίας όπως η Volkswagen, η Toyota και η General Motors υφίστανται στρατηγικές αλλαγές, εστιάζοντας όλο και περισσότερο τις προσπάθειές τους στην έρευνα, την ανάπτυξη και την κατασκευή σε λύσεις ηλεκτρικής κινητικότητας. Αυτές οι καθιερωμένες εταιρείες επενδύουν σε μεγάλο βαθμό στην τεχνολογία ηλεκτρικών οχημάτων, με στόχο να προσαρμοστούν στις μεταβαλλόμενες συνθήκες της αγοράς και στις προτιμήσεις των καταναλωτών [1].

Ωστόσο, τα Η/Ο συνεχίζουν να αντιμετωπίζουν πολλά εμπόδια και περιορισμούς που εμποδίζουν την ευρεία υιοθέτησή τους. Μία από τις κύριες ανησυχίες είναι το σημαντικό προκαταβολικό κόστος που σχετίζεται με την αγορά ενός Η/Ο, το οποίο μπορεί να είναι αποτρεπτικό για πολλούς πιθανούς αγοραστές. Επιπλέον, τα Η/Ο έχουν συχνά πιο περιορισμένη εμβέλεια οδήγησης ή αυτονομία σε σύγκριση με τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης, εγείροντας ανησυχίες σχετικά με την πρακτικότητά τους για ταξίδια μεγάλων αποστάσεων και καθημερινές μετακινήσεις. Ακόμη, η υποδομή για τη φόρτιση Η/Ο παραμένει ασυνεπής και κατακερματισμένη, με μεγάλη ποικιλία στη διαθεσιμότητα, την προσβασιμότητα και τη συμβατότητα των σταθμών φόρτισης σε διάφορες περιοχές, γεγονός που την καθιστά άβολη για τους χρήστες. Επιπλέον, ζητήματα που αφορούν την προμήθεια, την κατασκευή και την ανακύκλωση μπαταριών θέτουν περιβαλλοντικά και ηθικά ερωτήματα, συμπεριλαμβανομένης της βιωσιμότητας της εξόρυξης πρώτων υλών και των προκλήσεων που συνεπάγεται η απόρριψη ή η επαναχρησιμοποίηση χρησιμοποιημένων μπαταριών.

Εκτός από αυτά τα τεχνικά και οικονομικά εμπόδια, υπάρχει επίσης μια συνεχής συζήτηση σχετικά με το εάν η ηλεκτρική κινητικότητα προσφέρει πραγματικά μια καθαρή και φιλική προς το περιβάλλον λύση. Δεδομένου ότι η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη φόρτιση αυτών των οχημάτων δεν παράγεται πάντα από ανανεώσιμες πηγές, υπάρχουν ανησυχίες ότι το συνολικό αποτύπωμα άνθρακα των Η/Ο μπορεί να μην είναι τόσο χαμηλό όσο αρχικά θεωρήθηκε, ειδικά σε περιοχές που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Συνοπτικά, ενώ τα Η/Ο παρουσιάζουν μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά οχήματα, οι τρέχοντες περιορισμοί τους και οι ευρύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις εξακολουθούν να είναι σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να αντιμετωπιστούν για να αξιοποιηθεί πλήρως το δυναμικό τους ως βιώσιμης επιλογής μεταφοράς.

Κατά συνέπεια, καθίσταται απαραίτητη η διεξαγωγή της παρούσας συγκριτικής ανάλυσης των Η/Ο, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους όσο και τις κοινωνικοοικονομικές τους επιπτώσεις. Μια τέτοια εις βάθος εξέταση είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση του βαθμού στον οποίο τα Η/Ο μπορούν να συμβάλουν στην ευρύτερη

πράσινη μετάβαση, καθώς και για την αξιολόγηση των δυνατοτήτων τους να μεταμορφώσουν το μελλοντικό τοπίο των μεταφορών. Αναλύοντας διάφορες τεχνικές πτυχές — συμπεριλαμβανομένης της τεχνολογίας μπαταριών, της υποδομής φόρτισης και της απόδοσης του οχήματος— παράλληλα με κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες όπως η οικονομική προσιτότητα και τις επιπτώσεις στην απασχόληση και τα κίνητρα πολιτικής, οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να αποκτήσουν μια σαφέστερη εικόνα των πλεονεκτημάτων και των προκλήσεων που συνδέονται με την ηλεκτρική κινητικότητα. Αυτή η προσέγγιση όχι μόνο βοηθά στον εντοπισμό των σημερινών δυνατοτήτων και περιορισμών των Η/Ο, αλλά παρέχει επίσης πολύτιμες πληροφορίες για τις μελλοντικές προοπτικές βιώσιμων μεταφορών. Τελικά, μια ενδελεχής συγκριτική μελέτη χρησιμεύει ως ζωτικής σημασίας θεμέλιο για την ενημέρωση των πολιτικών αποφάσεων, την καθοδήγηση των τεχνολογικών προόδων και τη διαμόρφωση στρατηγικών που υποστηρίζουν ένα πιο φιλικό προς το περιβάλλον και κοινωνικά δίκαιο σύστημα μεταφορών που προχωρά [2].

1.2 Στόχοι και Ερευνητικά Ερωτήματα

Ο πρωταρχικός στόχος αυτής της έρευνας είναι να εξυπηρετήσει πολλούς αλληλένδετους σκοπούς. Αρχικά, η μελέτη επιδιώκει να αναπτύξει μια ολοκληρωμένη και μεθοδική σύγκριση μεταξύ Η/Ο και παραδοσιακών οχημάτων με κινήτρα εσωτερικής καύσης (ICEV), χρησιμοποιώντας μια σειρά αντικειμενικών, μετρήσιμων μετρήσεων. Καθιερώνοντας μια τέτοια δομημένη σύγκριση, η έρευνα στοχεύει να παρέχει σαφείς, βασισμένες σε δεδομένα γνώσεις σχετικά με τη σχετική απόδοση, την αποδοτικότητα, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την οικονομική βιωσιμότητα κάθε τύπου οχήματος. Αυτή η διαδικασία όχι μόνο διευκολύνει τη βαθύτερη κατανόηση των ειδικών πλεονεκτημάτων και περιορισμών που σχετίζονται με τα ηλεκτρικά και συμβατικά αυτοκίνητα, αλλά βοηθά επίσης να οριοθετηθούν οι συνθήκες υπό τις οποίες η μία τεχνολογία μπορεί να είναι προτιμότερη από την άλλη. Επιπλέον, τα ευρήματα από αυτήν τη σύγκριση προορίζονται να ενημερώσουν και να υποστηρίξουν τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων για διάφορους ενδιαφερόμενους, συμπεριλαμβανομένων των καταναλωτών που σκέφτονται την επόμενη αγορά οχήματος, των κατασκευαστών που επιδιώκουν να καινοτομήσουν και να βελτιώσουν τα προϊόντα τους και των υπευθύνων χάραξης πολιτικής που στοχεύουν στην ανάπτυξη αποτελεσματικών κανονισμών και κινήτρων που προάγουν τη βιώσιμη μεταφορά. Τελικά, η μελέτη φιλοδοξεί να συνεισφέρει πολύτιμα εμπειρικά στοιχεία στη συνεχιζόμενη συζήτηση γύρω από την τεχνολογία των μεταφορών, προωθώντας πιο ενημερωμένες, ορθολογικές και βιώσιμες επιλογές στον κλάδο και την κοινωνία γενικότερα.

Επιπλέον, αυτή η έρευνα επιδιώκει να υιοθετήσει μια ολοκληρωμένη επιστημονική μεθοδολογία για την αξιολόγηση τόσο των περιβαλλοντικών όσο και των οικονομικών συνεπειών που συνδέονται με τη στροφή προς την ηλεκτρική κινητικότητα. Είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ότι η μετάβαση στα ηλεκτρικά οχήματα δεν είναι εγγενώς απαλλαγμένη από περιβαλλοντικές ανησυχίες. Διάφοροι παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη για την πλήρη κατανόηση των οικολογικών επιπτώσεών τους, συμπεριλαμβανομένου του περιβαλλοντικού κόστους που συνδέεται με την εξόρυξη και την επεξεργασία στοιχείων σπάνιων γαιών που είναι

απαραίτητα για την κατασκευή μπαταριών, καθώς και την ενέργεια που απαιτείται για τη φόρτιση αυτών των οχημάτων. Επιπλέον, η ανακυκλωσιμότητα και η απόρριψη των ηλεκτρικών εξαρτημάτων διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην αξιολόγηση της συνολικής βιωσιμότητάς τους. Μια ενδελεχής ανάλυση του κύκλου ζωής είναι απαραίτητη για να καθοριστεί εάν τα Η/Ο παρέχουν πραγματικά καθαρό περιβαλλοντικό όφελος όταν λαμβάνεται υπόψη ολόκληρη η διάρκεια ζωής τους—από την εξόρυξη και την κατασκευή πρώτων υλών έως τη χρήση και τη διαχείριση του τέλους ζωής τους. Αυτή η μελέτη στοχεύει να αναλύσει και να ποσοτικοποιήσει πλήρως αυτές τις πτυχές, προκειμένου να εξακριβωθεί εάν, στην πράξη, η ηλεκτρική κινητικότητα προσφέρει μια βιώσιμη και περιβαλλοντικά συμφέρουσα εναλλακτική λύση σε σύγκριση με τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Εν συνόλω, ο στόχος είναι να παρουσιαστεί μια αντικειμενική, βασισμένη σε στοιχεία αξιολόγησης που μπορεί να ενημερώσει τις αποφάσεις πολιτικής, τις πρακτικές του κλάδου και τις επιλογές των καταναλωτών, συμβάλλοντας τελικά σε ένα πιο βιώσιμο μέλλον των μεταφορών.

Ταυτόχρονα, η εργασία εμβαθύνει σε μια συνολική εξέταση των οικονομικών πτυχών που σχετίζονται με τη στροφή προς την ηλεκτρική κινητικότητα. Διερευνά πώς διάφοροι οικονομικοί παράγοντες επηρεάζουν το ποσοστό υιοθέτησης Η/Ο, συμπεριλαμβανομένων των αλλαγών στο κόστος των χρηστών, του ρόλου και της αποτελεσματικότητας των κρατικών κινήτρων και επιδοτήσεων και τις ευρύτερες επιπτώσεις για την αυτοκινητοβιομηχανία συνολικά. Επιπλέον, η ανάλυση εξετάζει τις πιθανές επιπτώσεις στην αγορά εργασίας, όπως αλλαγές στα πρότυπα απασχόλησης στους τομείς της μεταποίησης και της συντήρησης, καθώς και τη δημιουργία νέων ευκαιριών εργασίας σε συναφείς τομείς. Κρίσιμοι για την κατανόηση αυτής της δυναμικής είναι παράγοντες όπως το Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας (TCO), το οποίο περιλαμβάνει την τιμή αγοράς, τη συντήρηση, το κόστος καυσίμου ή ηλεκτρικής ενέργειας και την αξία μεταπώλησης, παρέχοντας μια ολιστική άποψη της οικονομικής βιωσιμότητας των Η/Ο σε σύγκριση με τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Το έγγραφο διερευνά επίσης τη διαθεσιμότητα και τη δομή των κινήτρων που προσφέρονται από τις κυβερνήσεις, όπως φορολογικές εκπτώσεις, επιχορηγήσεις και άλλα οικονομικά οφέλη, καθώς και πώς αυτά επηρεάζουν τις αποφάσεις των καταναλωτών και τη διείσδυση στην αγορά. Επιπλέον, εξετάζει το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη τις διακυμάνσεις μεταξύ των περιοχών, τις μελλοντικές τάσεις των τιμών και την επίδραση της ολοκλήρωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επίσης, η ανάλυση συγκρίνει τα οικονομικά πλεονεκτήματα των Η/Ο έναντι των οχημάτων που είναι εξοπλισμένα με κινητήρες εσωτερικής καύσης, ειδικά εκείνων με αθροιστικό κόστος εκπομπών (C.E.C.), για να αξιολογήσει ποιες επιλογές είναι πιο ελκυστικές οικονομικά μακροπρόθεσμα [3].

Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται επίσης στην εξέταση των διαφόρων στρατηγικών και θεσμικών μέτρων που εισήχθησαν σε διεθνές επίπεδο με στόχο την ενθάρρυνση της υιοθέτησης Η/Ο. Αυτά τα μέτρα περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα πολιτικών πρωτοβουλιών, συμπεριλαμβανομένης της επιβολής φόρων στα οχήματα με υψηλές εκπομπές και ρύπανσης για την αποθάρρυνση της χρήσης τους, την αναγκαστική σταδιακή κατάργηση των μοντέλων που κινούνται με ντίζελ από την αγορά και τη βελτίωση των συστημάτων δημόσιων μεταφορών με την ενσωμάτωση

ηλεκτρικών λεωφορείων για την προώθηση καθαρότερης αστικής κινητικότητας. Επιπλέον, σημαντικές επενδύσεις κατευθύνονται προς την ανάπτυξη και την επέκταση της υποδομής ταχείας φόρτισης για να γίνουν τα Η/Ο πιο «βολικά» και προσβάσιμα για τους καταναλωτές. Η μελέτη περιλαμβάνει επίσης μια συγκριτική ανάλυση των διαφορετικών προσεγγίσεων πολιτικής που υιοθετούνται από διάφορες χώρες, η οποία εμπλουτίζει την κατανόηση των βασικών παραγόντων που συμβάλλουν είτε στην επιτυχή ευρεία υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων είτε στις προκλήσεις και στα εμπόδια που εμποδίζουν την αποδοχή τους. Εξετάζοντας αυτά τα διαφορετικά πλαίσια πολιτικής και τα αποτελέσματά τους, η έρευνα στοχεύει στον εντοπισμό βέλτιστων πρακτικών και διδαγμάτων που μπορούν να ενημερώσουν τις μελλοντικές στρατηγικές για την επιτάχυνση της μετάβασης στην ηλεκτρική κινητικότητα παγκοσμίως.

Τέλος, αυτή η εργασία στοχεύει να εξετάσει τις μελλοντικές προοπτικές της ηλεκτρικής κινητικότητας και τις πιθανές εξελίξεις που βρίσκονται στο μέλλον. Ποιες σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις αναμένονται τα επόμενα χρόνια; Πώς προχωρά η εξέλιξη της τεχνολογίας μπαταριών, όπως η ανάπτυξη μπαταριών στερεάς κατάστασης, και ποιες επιπτώσεις θα έχουν αυτές οι καινοτομίες για την απόδοση, την ασφάλεια και το κόστος; Επιπλέον, τι ρόλο θα διαδραματίσουν οι τεχνολογίες συνδεδεμένων οχημάτων και τα συστήματα αυτόνομης οδήγησης στη διαμόρφωση του τοπίου των ηλεκτρικών μεταφορών; Τα Η/Ο θα γίνουν προσιτά και οικονομικά προσιτά για τον γενικό πληθυσμό ή θα συνεχίσουν να αποτελούν κατά κύριο λόγο ένα είδος πολυτελείας που προορίζεται για πλουσιότερα άτομα; Η αντιμετώπιση αυτών των ερωτημάτων είναι ζωτικής σημασίας, διότι επηρεάζουν άμεσα τις κοινωνικές πτυχές της συνεχιζόμενης τεχνολογικής μετάβασης. Ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόζονται αυτές οι καινοτομίες και η προσβασιμότητά τους θα καθορίσουν πόσο απρόσκοπτα και δίκαια μπορούν να ενσωματωθούν τα ηλεκτρικά οχήματα στην καθημερινή ζωή. Αυτό, με τη σειρά του, θα επηρεάσει την κοινωνική ισότητα, την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και τη συνολική επιτυχία της στροφής προς καθαρότερες επιλογές μεταφοράς. Η κατανόηση αυτών των παραγόντων είναι απαραίτητη για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, τους ενδιαφερόμενους φορείς του κλάδου και την κοινωνία γενικότερα, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι τα οφέλη της ηλεκτρικής κινητικότητας κοινοποιούνται ευρέως και ότι η μετάβαση συμβάλλει θετικά στην κοινωνική ευημερία.

1.3 Μεθοδολογία

Αυτή η έρευνα υιοθετεί ένα ολοκληρωμένο, συστηματικό και πολυδιάστατο μεθοδολογικό πλαίσιο που έχει σχεδιαστεί για να διευκολύνει μια εις βάθος συγκριτική ανάλυση μεταξύ ηλεκτρικών οχημάτων και παραδοσιακών, συμβατικών οχημάτων. Επιπλέον, στοχεύει να εξετάσει και να αξιολογήσει τις μελλοντικές δυνατότητες ανάπτυξης και τις πιθανές τροχιές της ηλεκτροκίνησης στον ευρύτερο τομέα των μεταφορών. Η μεθοδολογική προσέγγιση δομείται γύρω από τρεις κύριες φάσεις: το αρχικό στάδιο περιλαμβάνει μια εκτενή ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας για τη συγκέντρωση σχετικών θεωρητικών γνώσεων, προηγούμενων ευρημάτων και τρέχουσες τάσεις που σχετίζονται με τα ηλεκτρικά οχήματα και τα συμβατικά αυτοκίνητα. Η δεύτερη φάση επικεντρώνεται στη συλλογή πρωτογενών και δευτερογενών

δεδομένων, χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές όπως έρευνες, συνεντεύξεις και εξόρυξη δεδομένων, ακολουθούμενη από αυστηρή ανάλυση για τον εντοπισμό προτύπων, συσχετισμών και σημαντικών παραγόντων που επηρεάζουν την υιοθέτηση και την απόδοση των ηλεκτρικών οχημάτων. Το τελικό στάδιο περιλαμβάνει μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση των ευρημάτων τόσο μέσω ποσοτικών μεθόδων, συμπεριλαμβανομένης της στατιστικής ανάλυσης και μοντελοποίησης, όσο και ποιοτικών τεχνικών, όπως η θεματική ανάλυση. Αυτή η πολυεπίπεδη προσέγγιση διασφαλίζει την ενδελεχή κατανόηση του θέματος, επιτρέποντας στους ερευνητές να βγάλουν τεκμηριωμένα συμπεράσματα σχετικά με τα συγκριτικά πλεονεκτήματα, τις προκλήσεις και τις μελλοντικές προοπτικές της ηλεκτροκίνησης σε σύγκριση με τις παραδοσιακές τεχνολογίες οχημάτων.

Αρχικά, για να αποκτηθεί μια ολοκληρωμένη κατανόηση του αντικειμένου και να αναπτυχθεί μια στέρεη θεωρητική βάση, πραγματοποιήθηκε μια λεπτομερής και εκτενής ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας. Αυτή η ανασκόπηση περιλάμβανε ένα ευρύ φάσμα πηγών, συμπεριλαμβανομένων επιστημονικών άρθρων με κριτές, τεχνικών εκθέσεων, επίσημων δημοσιεύσεων από διάφορους οργανισμούς και διεθνών ερευνητικών μελετών που επικεντρώθηκαν στα ηλεκτρικά οχήματα. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην εξέταση των διακριτών χαρακτηριστικών και χαρακτηριστικών των διαφορετικών κατηγοριών ηλεκτρικών οχημάτων, όπως τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία (Battery Electric Vehicle - BEV), τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα με βύσματα (Plug-in Hybrid Electric Vehicle - PHEV) και τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (Hybrid Electric Vehicles - HEV). Η ανασκόπηση περιελάμβανε επίσης μια διεξοδική σύγκριση αυτών των τύπων οχημάτων όσον αφορά την ενεργειακή τους απόδοση, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την οικονομική σκοπιμότητα και βιωσιμότητα. Οι γνώσεις και οι πληροφορίες που συγκεντρώθηκαν από αυτό το ευρύ φάσμα της βιβλιογραφίας χρησίμευσαν ως βάση για την ανάπτυξη σχετικών κριτηρίων αξιολόγησης και δεικτών. Επιπλέον, αυτή η περιεκτική ανασκόπηση διαδραμάτισε κρίσιμο ρόλο στη διατύπωση των υποθέσεων της έρευνας, καθοδηγώντας την επακόλουθη ανάλυση και διασφαλίζοντας ότι η μελέτη βασίζεται στην υπάρχουσα γνώση και την επιστημονική συναίνεση.

Στη δεύτερη φάση της έρευνας, δίνεται έμφαση στη συλλογή και εξέταση δευτερογενών ποσοτικών δεδομένων που σχετίζονται τόσο με τις αγορές ηλεκτρικών όσο και συμβατικών οχημάτων. Αυτό περιλαμβάνει λεπτομερείς πληροφορίες για τα στοιχεία των πωλήσεων οχημάτων, τα λειτουργικά έξοδα, τα επίπεδα εκπομπών και την ανάπτυξη και διαθεσιμότητα υποδομής φόρτισης. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτό το στάδιο προέρχονται από μια ποικιλία αξιόπιστων πηγών, συμπεριλαμβανομένων των βάσεων δεδομένων διεθνών οργανισμών, εκθέσεων κυβερνητικών υπηρεσιών και εκτενών αναλύσεων της αγοράς εμπορικών αυτοκινήτων. Για να διευκολυνθεί μια ενδελεχής και ακριβής ποσοτική αξιολόγηση, χρησιμοποιήθηκαν μια σειρά στατιστικών εργαλείων και μοντέλων, όπως η Ανάλυση Κόστους-Οφέλους (Cost-Benefit Analysis – CBA). Αυτές οι αναλυτικές μέθοδοι επέτρεψαν στη μελέτη να αξιολογήσει κρίσιμους οικονομικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας κατά τη διάρκεια ζωής ενός οχήματος, την πιθανή απόδοση επένδυσης για τους καταναλωτές και τους ενδιαφερόμενους και τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα που

σχετίζονται με τα Η/Ο σε σύγκριση με τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Ο συνδυασμός εκτεταμένης συλλογής δεδομένων και αυστηρών αναλυτικών τεχνικών παρείχε μια σταθερή βάση για την κατανόηση της οικονομικής βιωσιμότητας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της μετάβασης από τα συμβατικά στα Η/Ο εντός του υπό μελέτη πλαίσιο.

Τελικά, η έρευνα καταλήγει στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστάσεων πολιτικής και προτάσεων τεχνολογικής προόδου που βασίζονται στα ευρήματα της μελέτης. Αυτές οι προτάσεις στοχεύουν να διευκολύνουν και να προωθήσουν την απρόσκοπτη ενσωμάτωση των Η/Ο τόσο στην αγορά όσο και στην κοινωνία γενικότερα. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται σε αυτή τη μελέτη υιοθετεί μια αυστηρή επιστημονική προσέγγιση, συνδυάζοντας καλά καθιερωμένα θεωρητικά πλαίσια με πρακτικές, πραγματικές εφαρμογές. Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση όχι μόνο ενισχύει την ευρωστία της έρευνας, αλλά παρέχει επίσης πολύτιμα και λειτουργικά εργαλεία για ένα ευρύ φάσμα ενδιαφερομένων, συμπεριλαμβανομένων ερευνητών που επιδιώκουν να εμβαθύνουν την κατανόησή τους, πολιτικών που στοχεύουν στη δημιουργία αποτελεσματικών κανονισμών και κινήτρων και επιχειρήσεων που προσπαθούν να καινοτομήσουν και να επεκταθούν στη βιομηχανία Η/Ο. Αντιμετωπίζοντας τόσο τις πολιτικές όσο και τις τεχνολογικές διαστάσεις, η μελέτη προσφέρει μια ολιστική προοπτική που μπορεί να καθοδηγήσει στρατηγικές αποφάσεις και να προωθήσει τη βιώσιμη ανάπτυξη στη μετάβαση προς καθαρότερες λύσεις μεταφορών.

1.4 Δομή Δ.Ε

Η παρούσα εργασία είναι οργανωμένη σε έξι κεφάλαια, καθένα από τα οποία εξετάζει επιμέρους πτυχές του φαινομένου της ηλεκτροκίνησης και συμβάλλει στην ολοκληρωμένη κατανόηση του αντικειμένου της μελέτης.

Στο Κεφάλαιο 1, με τίτλο «Εισαγωγή», παρουσιάζεται το γενικό πλαίσιο της μελέτης και η σκοπιμότητα διερεύνησης του φαινομένου της ηλεκτροκίνησης. Περιγράφονται οι λόγοι που καθιστούν επίκαιρο και σημαντικό το θέμα, διατυπώνονται οι βασικοί στόχοι της έρευνας και τα ερευνητικά ερωτήματα που επιδιώκεται να απαντηθούν. Επιπλέον, αναλύεται η μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθείται και παρουσιάζεται η δομή της εργασίας.

Το Κεφάλαιο 2 εστιάζει στην Τεχνολογική Ανάλυση των Ηλεκτρικών Οχημάτων. Αρχικά, πραγματοποιείται μια σύντομη ιστορική αναδρομή για την εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων έως τη σύγχρονη εποχή. Έπειτα, ορίζονται οι βασικές κατηγορίες ηλεκτροκίνητων οχημάτων, όπως τα BEV, PHEV, HEV και FCEV. Ακολουθεί σύγκριση των ηλεκτρικών με τα συμβατικά οχήματα εσωτερικής καύσης (ICE), σε τεχνικό επίπεδο, με έμφαση σε ζητήματα όπως η αυτονομία, η φόρτιση, οι επιδόσεις και η συντήρηση. Τέλος, παρουσιάζονται οι πιο πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις σε μπαταρίες, υλικά και συστήματα κίνησης.

Το Κεφάλαιο 3 εξετάζει τις Περιβαλλοντικές και Οικονομικές Επιπτώσεις των ηλεκτρικών οχημάτων. Πραγματοποιείται ανάλυση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και της

συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης κατά τη χρήση των οχημάτων. Ακολουθεί συγκριτική παρουσίαση του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας (Total Cost of Ownership – TCO) μεταξύ ηλεκτρικών και συμβατικών οχημάτων. Εξετάζονται επίσης τα περιβαλλοντικά οφέλη της ηλεκτροκίνησης, όπως η μείωση ατμοσφαιρικών ρύπων, καθώς και οι περιορισμοί, όπως οι επιπτώσεις από την παραγωγή και την ανακύκλωση των μπαταριών. Επιπλέον, αναλύεται ο κύκλος ζωής των οχημάτων και τα ζητήματα βιωσιμότητας της τεχνολογίας.

Το Κεφάλαιο 4 επικεντρώνεται στην Ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα και την τρέχουσα κατάσταση της αγοράς. Αξιολογείται η πορεία διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων στην ελληνική αγορά, παρουσιάζεται η σχετική νομοθεσία και αναλύονται τα κίνητρα που προσφέρονται από την πολιτεία, όπως το πρόγραμμα «Κινούμαι Ηλεκτρικά». Παράλληλα, εξετάζεται η υφιστάμενη υποδομή φόρτισης και τα εμπόδια που παρατηρούνται στην ανάπτυξη του τομέα, τόσο από τεχνική όσο και από κοινωνικοοικονομική σκοπιά. Τέλος, αναλύεται η συμμετοχή δημόσιων και ιδιωτικών φορέων στην προώθηση της ηλεκτροκίνησης.

Στο Κεφάλαιο 5 πραγματοποιείται η Συγκριτική Μελέτη και Ανάλυση Προοπτικών. Η Ελλάδα συγκρίνεται με άλλες ευρωπαϊκές χώρες όσον αφορά τα ποσοστά διείσδυσης ηλεκτροκίνητων οχημάτων, τις εφαρμοζόμενες πολιτικές και τα οικονομικά ή περιβαλλοντικά αποτελέσματα. Παράλληλα, παρουσιάζεται SWOT ανάλυση της ηλεκτροκίνησης στη χώρα, ώστε να εντοπιστούν τα δυνατά σημεία, οι αδυναμίες, οι ευκαιρίες και οι απειλές. Στο τέλος του κεφαλαίου αναπτύσσονται οι μελλοντικές προοπτικές της ελληνικής αγοράς, με έμφαση στις αναδυόμενες ανάγκες για εκπαίδευση, τεχνογνωσία, επενδύσεις σε υποδομές και καινοτομία.

Τέλος, το Κεφάλαιο 6 περιλαμβάνει τα Συμπεράσματα και τις Προτάσεις που προκύπτουν από τη μελέτη. Συνοψίζονται τα βασικά ευρήματα κάθε κεφαλαίου και διατυπώνονται προτάσεις πολιτικής, τεχνολογικής και κοινωνικής φύσεως για την προώθηση της ηλεκτροκίνησης στην Ελλάδα και διεθνώς. Το κεφάλαιο αυτό αποσκοπεί στην ενίσχυση της συζήτησης γύρω από το μέλλον των μεταφορών, ενσωματώνοντας τόσο τα εμπειρικά δεδομένα όσο και τη στρατηγική προοπτική που αναδεικνύει η εργασία.

Κεφάλαιο 2ο : Τεχνολογική Ανάλυση Ηλεκτρικών Οχημάτων

2.1 Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες, οι ραγδαίες εξελίξεις στην τεχνολογία έχουν οδηγήσει σε βαθιές μεταμορφώσεις στον κλάδο των μεταφορών. Μεταξύ αυτών των εξελίξεων, η ηλεκτρική κινητικότητα έχει αναδειχθεί ως κεντρικό στοιχείο των παγκόσμιων προσπαθειών για την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης και τη στροφή προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Τα Η/Ο είναι κάτι περισσότερο από ένα απλό εναλλακτικό μέσο μεταφοράς, ενσωματώνουν ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών αιχμής που επηρεάζουν διάφορους τομείς όπως η μηχανική, τα ενεργειακά συστήματα, η τεχνολογία πληροφοριών και η ανάπτυξη υποδομών. Η ανάλυση των τεχνολογικών πτυχών αυτών των οχημάτων παρέχει πολύτιμες γνώσεις για τις δυνατότητές τους, τις προκλήσεις και τις δυνατότητες για μελλοντική ανάπτυξή τους. Αυτή η κατανόηση είναι απαραίτητη για την καθοδήγηση της διαμόρφωσης αποτελεσματικών πολιτικών, τη διαμόρφωση βιομηχανικών στρατηγικών και την κατεύθυνση των προσπαθειών καινοτομίας που στοχεύουν στη βελτιστοποίηση λύσεων ηλεκτρικής κινητικότητας.

Ο όρος «Ηλεκτρικά Οχήματα» περιλαμβάνει ένα ευρύ και ποικίλο φάσμα τεχνολογικών σχεδίων και συστημάτων, το καθένα από τα οποία διαφέρει στον τρόπο παραγωγής, αποθήκευσης και χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας για την τροφοδοσία του οχήματος. Μεταξύ αυτών, ο πιο κοινός και ευρέως αναγνωρισμένος τύπος είναι το αμιγώς ηλεκτρικό όχημα, γνωστό και ως ηλεκτρικό όχημα με μπαταρία (BEV). Αυτά τα οχήματα λειτουργούν αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σε επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, βασισμένα αποκλειστικά σε ηλεκτρικούς κινητήρες για πρόωση χωρίς εξαρτήματα κινητήρα εσωτερικής καύσης. Εκτός από τα BEV, υπάρχουν υβριδικά οχήματα, γνωστά ως HEV, τα οποία συνδυάζουν έναν παραδοσιακό κινητήρα εσωτερικής καύσης με έναν ηλεκτροκινητήρα. Αυτά τα υβριδικά μπορούν να κάνουν εναλλαγή μεταξύ ή να χρησιμοποιούν ταυτόχρονα και τις δύο πηγές ενέργειας, παρέχοντας οφέλη όπως βελτιωμένη απόδοση καυσίμου και μειωμένες εκπομπές ρύπων. Βασισμένοι σε αυτήν την ιδέα, τα plug-in υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEV) διαθέτουν επίσης κινητήρα εσωτερικής καύσης και ηλεκτροκινητήρα, αλλά διαφέρουν στο ότι μπορούν να επαναφορτιστούν συνδέοντας μια εξωτερική πηγή ενέργειας, προσφέροντας αυξημένη αυτονομία μόνο για ηλεκτρισμό και μεγαλύτερη ευελιξία για τον χρήστη. Πέρα από αυτά, μια άλλη καινοτόμος κατηγορία περιλαμβάνει οχήματα κυψελών καυσίμου υδρογόνου, που συντομεύονται ως Ηλεκτρικά Οχήματα Κυψελών Καυσίμου (FCEVs). Αυτά τα οχήματα παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω μιας χημικής αντίδρασης μεταξύ υδρογόνου και οξυγόνου μέσα σε μια κυψέλη καυσίμου, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια που τροφοδοτεί το όχημα. Συγκεκριμένα, η μόνη εκπομπή που παράγεται κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας είναι οι υδρατμοί, καθιστώντας τα FCEV μια φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση. Συνολικά, το φάσμα των τεχνολογιών ηλεκτρικών οχημάτων συνεχίζει να επεκτείνεται και να εξελίσσεται,

αντανακλώντας τις συνεχείς εξελίξεις που στοχεύουν στη βελτίωση της απόδοσης, στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και στη βελτίωση της ευκολίας των χρηστών [4].

Μια άλλη ουσιαστική πτυχή είναι η διάρκεια ζωής και οι τεχνολογικές εξελίξεις που σχετίζονται με τις μπαταρίες, οι οποίες χρησιμεύουν ως το σύστημα αποθήκευσης πρωτογενούς ενέργειας στα Η/Ο. Αυτό περιλαμβάνει μια εις βάθος ανάλυση των τρεχουσών τεχνολογιών μπαταριών, ιδιαίτερα των μπαταριών ιόντων λιθίου (Li-ion), οι οποίες παραμένουν το βιομηχανικό πρότυπο λόγω της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας, της αξιοπιστίας και της οικονομικής τους αποδοτικότητας. Πέρα από Li-ion, ο τομέας εξερευνά και αναπτύσσει ενεργά μελλοντικές τεχνολογίες μπαταριών, όπως μπαταρίες στερεάς κατάστασης που υπόσχονται υψηλότερη ασφάλεια και ενεργειακή πυκνότητα, καθώς και μπαταρίες με βάση το γραφένιο που θα μπορούσαν να προσφέρουν ταχύτερους χρόνους φόρτισης και βελτιωμένη αντοχή. Η αξιολόγηση λαμβάνει επίσης υπόψη τη συμβατότητα των Η/Ο με τα υπάρχοντα και αναδυόμενα δίκτυα και υποδομές φόρτισης, κάτι που είναι ζωτικής σημασίας για την ευρεία υιοθέτηση και την ευκολία των χρηστών. Αυτό περιλαμβάνει την αξιολόγηση της διαθεσιμότητας, της προσβασιμότητας και της διαλειτουργικότητας των σταθμών φόρτισης, καθώς και την ανάπτυξη τυποποιημένων πρωτοκόλλων για τη διευκόλυνση της απρόσκοπτης συνδεσιμότητας. Σε συνδυασμό με αυτούς τους παράγοντες υλικού και υποδομής, δίνεται μεγάλη προσοχή στις εξελίξεις στα συστήματα διαχείρισης ενέργειας, ιδίως στα Συστήματα Διαχείρισης Μπαταριών (Battery Management Systems - BMS). Αυτά τα εξελιγμένα συστήματα παρακολουθούν, ελέγχουν και βελτιστοποιούν την απόδοση της μπαταρίας, διασφαλίζοντας ασφάλεια, μακροζωία και αποτελεσματικότητα. Επιπλέον, η ενσωμάτωση τεχνολογιών αιχμής όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) και τα χαρακτηριστικά συνδεσιμότητας μετατρέπουν τα Η/Ο σε έξυπνες, συνδεδεμένες και έξυπνες λύσεις κινητικότητας. Αυτές οι καινοτομίες επιτρέπουν την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, την προγνωστική συντήρηση, τη βελτιωμένη πλοήγηση και τη βελτιωμένη εμπειρία χρήστη, επεκτείνοντας έτσι σημαντικά τις τεχνολογικές προοπτικές και τις δυνατότητες του κλάδου των ηλεκτρικών οχημάτων.

Συνοπτικά, η τεχνολογική πτυχή των Η/Ο αποτελεί το βασικό θεμέλιο που στηρίζει τη συνεχή ανάπτυξη, ανάπτυξη και ευρεία υιοθέτηση της ηλεκτροκίνησης. Μια ολοκληρωμένη διερεύνηση των τεχνολογικών χαρακτηριστικών, των πρόσφατων καινοτομιών και των υφιστάμενων προκλήσεων σε αυτόν τον τομέα είναι ζωτικής σημασίας—όχι μόνο για την ακριβή αξιολόγηση του δυναμικού βιωσιμότητας των Η/Ο αλλά και για την ενημέρωση στρατηγικών που στοχεύουν στη δημιουργία μιας πιο φιλικής προς το περιβάλλον και αποδοτικής υποδομής μεταφορών. Αυτό το κεφάλαιο εμβαθύνει στις διάφορες ταξινομήσεις και τεχνικές προδιαγραφές των ηλεκτρικών οχημάτων, παρέχοντας λεπτομερείς πληροφορίες για τις πιο πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία των Η/Ο. Προσφέρει επίσης συγκριτικές αναλύσεις μεταξύ αυτών των σύγχρονων καινοτομιών και των παραδοσιακών οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE), τονίζοντας τις διαφορές και τα πιθανά πλεονεκτήματα των συστημάτων ηλεκτρικής πρόωσης. Εξετάζοντας αυτές τις πτυχές, το κεφάλαιο στοχεύει να ρίξει φως στον τρόπο με τον οποίο η τεχνολογική πρόοδος διαμορφώνει το μέλλον της κινητικότητας, τονίζοντας τη σημασία των

συνεχών προσπαθειών έρευνας και ανάπτυξης για να ξεπεραστούν τα υπάρχοντα εμπόδια και να επιταχυνθεί η μετάβαση προς καθαρότερες λύσεις μεταφορών.

2.2 Ιστορική Αναδρομή Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων

Η έννοια των Η/Ο συχνά γίνεται αντιληπτή ως πρόσφατη καινοτομία. Ωστόσο, αυτή η αντίληψη δεν ευθυγραμμίζεται πλήρως με την ιστορική πραγματικότητα. Ενώ τις τελευταίες δεκαετίες υπήρξε έξαρση του ενδιαφέροντος και της ανάπτυξης της ηλεκτρικής κινητικότητας -που οφείλεται σε μεγάλο βαθμό από τις αυξανόμενες ανησυχίες για την υποβάθμιση του περιβάλλοντος και την επείγουσα ανάγκη για βιώσιμες ενεργειακές λύσεις- η προέλευση των ηλεκτρικών οχημάτων χρονολογείται πολύ πιο πίσω, φθάνοντας στον 19ο αιώνα. Κατά τη διάρκεια της ιστορίας τους, τα Η/Ο γνώρισαν μια σειρά από ανόδους και πτώσεις, που χαρακτηρίστηκαν από περιόδους καινοτομίας και προόδου, ακολουθούμενες από περιόδους στασιμότητας ή παρακμής. Αυτές οι διακυμάνσεις έχουν επηρεαστεί από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των τεχνολογικών προόδων, των οικονομικών συνθηκών που επικρατούν, των περιβαλλοντικών παραγόντων και του επιπέδου πολιτικής υποστήριξης και δέσμευσης. Η τροχιά ανάπτυξης των Η/Ο δεν είναι επομένως γραμμική, αλλά μάλλον χαρακτηρίζεται από πολλαπλούς κύκλους αναγέννησης και οπισθοδρόμησης, αντανακλώντας τη σύνθετη αλληλεπίδραση επιστημονικών, οικονομικών, περιβαλλοντικών και πολιτικών δυνάμεων με την πάροδο του χρόνου.

Οι αρχικές προσπάθειες για την ανάπτυξη οχημάτων που κινούνται χωρίς άλογα χρονολογούνται από τις αρχές του 19ου αιώνα. Ήδη από το 1828, ο Ούγγρος εφευρέτης Άνγος Jedlik κατασκεύασε έναν μικρό ηλεκτροκινητήρα και κατασκεύασε ένα πειραματικό μοντέλο οχήματος για να δείξει τις δυνατότητές του. Μετά το πρωτοποριακό έργο του Jedlik, αναδείχθηκαν πολλές παρόμοιες προσπάθειες σε όλη την Ευρώπη και τις Ηνωμένες Πολιτείες, αντανακλώντας ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για εναλλακτικούς τρόπους μεταφοράς. Στα τέλη του 19ου αιώνα, τα Η/Ο είχαν αρχίσει να βρίσκουν πρακτική εφαρμογή, ιδιαίτερα για ταξίδια μικρών αποστάσεων εντός των πόλεων. Η δημοτικότητά τους τροφοδοτήθηκε από πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα παραδοσιακά βενζινοκίνητα οχήματα, συμπεριλαμβανομένης της αθόρυβης λειτουργίας, η οποία συνέβαλε σε ένα πιο γαλήνιο αστικό περιβάλλον και της ευκολίας χρήσης, καθώς τα Η/Ο δεν απαιτούσαν πολύπλοκες διαδικασίες χειροκίνητης εκκίνησης. Αυτές οι πρώτες εξελίξεις σηματοδότησε την αρχή μιας τεχνολογικής αλλαγής που θα επηρέαζε τελικά το μέλλον των μεταφορών, θέτοντας τις βάσεις για συνεχείς καινοτομίες στην ηλεκτρική κινητικότητα.

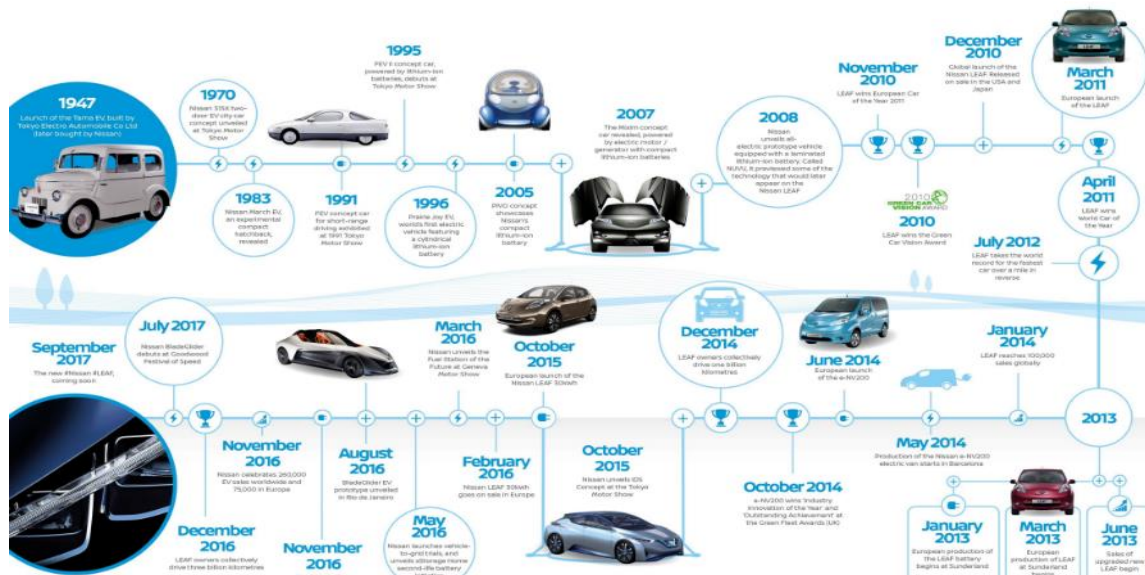
Κατά τις πρώτες δεκαετίες του 20ου αιώνα, τα Η/Ο γνώρισαν μια στιγμιαία σημαντικής δημοτικότητας και ανάπτυξης. Στις Ηνωμένες Πολιτείες γύρω στο 1900, σχεδόν το ένα τρίτο όλων των αυτοκινήτων στους δρόμους κινούνταν με ηλεκτρική ενέργεια, αντικατοπτρίζοντας ένα σημαντικό μερίδιο αγοράς και ένα υψηλό επίπεδο καταναλωτικού ενδιαφέροντος. Μία από τις πιο εξέχουσες εταιρείες εκείνης της εποχής ήταν η Detroit Electric, η οποία κέρδισε τη φήμη για

την παραγωγή ηλεκτρικών αυτοκινήτων που μπορούσαν να διανύσουν περίπου 130 χιλιόμετρα, ή περίπου 81 μίλια, με μία μόνο φόρτιση μπαταρίας - ένα εντυπωσιακό επίτευγμα εκείνη την εποχή. Συγκεκριμένα, επιρροή εφευρέτες και βιομήχανοι όπως ο Thomas Edison και ο Henry Ford διερεύνησαν επίσης τις δυνατότητες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, με τον Edison να διεξάγει πειράματα για τη βελτίωση της τεχνολογίας των μπαταριών και τη Ford να εξετάζει ηλεκτρικά μοντέλα για μαζική παραγωγή. Υπήρξε ακόμη και μια αξιοσημείωτη συνεργασία μεταξύ του Edison και της Ford, με στόχο την ανάπτυξη ενός προσιτού και πρακτικού ηλεκτρικού οχήματος που θα μπορούσε να προσελκύσει τη μαζική αγορά. Ωστόσο, παρά τις προσπάθειές τους και τον αρχικό ενθουσιασμό, αυτά τα εγχειρήματα τελικά δεν οδήγησαν σε ευρεία υιοθέτηση ηλεκτρικών αυτοκινήτων εκείνη την περίοδο. Έτσι, οι αρχές του 20ου αιώνα αντιπροσώπευαν ένα σύντομο αλλά αξιοσημείωτο κεφάλαιο στην ιστορία των ηλεκτρικών οχημάτων, που χαρακτηρίζεται από τεχνολογική καινοτομία και πρωτοποριακές προσπάθειες που, για διάφορους λόγους, δεν σημείωσαν μακροπρόθεσμη επιτυχία [5].

Το ανανεωμένο κύμα ενδιαφέροντος για την ηλεκτρική κινητικότητα έλαβε χώρα κατά τη δεκαετία του 1990, σηματοδοτώντας ένα σημαντικό κεφάλαιο στην εξέλιξη των βιώσιμων μεταφορών. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η General Motors παρουσίασε το EV1, ένα πρωτοποριακό πλήρως ηλεκτρικό όχημα που διατέθηκε μέσω προγραμμάτων χρηματοδοτικής μίσθωσης σε μια επιλεγμένη ομάδα πελατών σε όλες τις Ηνωμένες Πολιτείες, περί το 1997 (Εικόνα 2.1). Το EV1 προκάλεσε μεγάλο ενθουσιασμό στους πρώτους χρήστες και στους υποστηρικτές του περιβάλλοντος, οι οποίοι το είδαν ως μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά βενζινοκίνητα αυτοκίνητα. Ωστόσο, παρά την αρχική θετική υποδοχή και τη δυνατότητα ευρείας υιοθέτησης, το έργο τερματίστηκε απροσδόκητα. Η εταιρεία ανακάλεσε όλα τα μισθωμένα EV1 και τελικά τα οχήματα καταστράφηκαν, μια κίνηση που συγκλόνισε πολλούς και πυροδότησε εκτεταμένη διαμάχη. Αυτό το απότομο τέλος του προγράμματος τροφοδότησε υποψίες και οδήγησε σε πολλές θεωρίες συνωμοσίας που υποδηλώνουν ότι ισχυρές βιομηχανίες, ιδιαίτερα οι κατασκευαστές πετρελαίου και παραδοσιακών αυτοκινήτων, μπορεί να έχουν ασκήσει επιρροή για να καταστείλουν την ανάπτυξη ηλεκτρικών οχημάτων. Η συζήτηση απέκτησε περαιτέρω δυναμική το 2006 όταν ένα ντοκιμαντέρ με τίτλο " Who Killed the Electric Car?;" ανέδειξε το θέμα. Η ταινία εξέτασε κριτικά τις συνθήκες γύρω από την κατάρρευση του EV1 και υπογράμμισε την πιθανότητα ότι οι εταιρικές και οι βιομηχανικές πιέσεις έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην καταστολή της εξέλιξης της ηλεκτρικής κινητικότητας. Το ντοκιμαντέρ έφερε την προσοχή σε εθνικό και διεθνές επίπεδο στο θέμα, προκαλώντας συζητήσεις για την επιρροή της βιομηχανίας, την περιβαλλοντική πολιτική και το μέλλον των καθαρών τεχνολογιών μεταφορών. Αυτή η περίοδος σηματοδότησε μια κομβική στιγμή στην ιστορία των Η/Ο, αντανακλώντας τόσο τις δυνατότητες όσο και τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει η μετάβαση προς πιο βιώσιμες λύσεις μεταφορών.

Το πραγματικό σημείο καμπής στην ανάπτυξη των Η/Ο μπορεί να αναχθεί στην ίδρυση της Tesla Motors το 2003. Αυτή η πρωτοποριακή εταιρεία ξεκίνησε γρήγορα να αμφισβητήσει τις επικρατούσες αντιλήψεις για το τι θα μπορούσαν να είναι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Το 2008, η Tesla παρουσίασε το πρώτο της μοντέλο, το Roadster, το οποίο κατασκευάστηκε με βάση την

προηγμένη τεχνολογία μπαταριών ιόντων λιθίου. Αυτό το όχημα παρουσίασε αξιοσημείωτες δυνατότητες απόδοσης που δεν είχαν συσχετιστεί με τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα πριν, αποδεικνύοντας ότι η ηλεκτρική κινητικότητα θα μπορούσε να είναι τόσο ισχυρή όσο και επιθυμητή. Η καινοτόμος προσέγγιση της Tesla, σε συνδυασμό με το έξυπνο μάρκετινγκ και την ικανότητά της να δημιουργεί ενθουσιασμό γύρω από τα προϊόντα της, έπαιξε σημαντικό ρόλο στην αναζωογόνηση του ενδιαφέροντος για τα ηλεκτρικά οχήματα τόσο μεταξύ των καταναλωτών όσο και των ενδιαφερόμενων μερών της βιομηχανίας. Η επιτυχία τους όχι μόνο απέδειξε τις δυνατότητες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων αλλά και άσκησε σημαντική πίεση στους παραδοσιακούς κατασκευαστές αυτοκινήτων να λάβουν πιο σοβαρά υπόψη την ηλεκτρική κινητικότητα. Ως αποτέλεσμα, μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες σε όλο τον κόσμο άρχισαν να επιταχύνουν τις επενδύσεις τους στην τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων, σηματοδοτώντας μια σημαντική αλλαγή στην αυτοκινητοβιομηχανία και θέτοντας το έδαφος για την ταχεία ανάπτυξη της ηλεκτρικής κινητικότητας τα επόμενα χρόνια.



Εικόνα 2.1. Ιστορική Αναδρομή Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων, Πηγή: [5]

Ξεκινώντας από τη δεκαετία του 2010, το παγκόσμιο τοπίο των μεταφορών γνώρισε μια συνεπή και ολοένα και πιο σημαντική μετάβαση προς την ηλεκτρική κινητικότητα. Αυτή η τάση οφείλεται σε πολλούς τεχνολογικούς, ρυθμιστικούς και οικονομικούς παράγοντες. Συγκεκριμένα, έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην τεχνολογία μπαταριών, η οποία οδήγησε σε μακροχρόνιες, πιο αποτελεσματικές και πιο προσιτές λύσεις αποθήκευσης ενέργειας. Ταυτόχρονα, η επέκταση και η βελτίωση της υποδομής φόρτισης έχουν κάνει την ιδιοκτησία ηλεκτρικών οχημάτων πιο πρακτική και προσβάσιμη για τους καταναλωτές σε όλο τον κόσμο. Οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί έχουν γίνει πιο αυστηροί, υποχρεώνοντας τις

αυτοκινητοβιομηχανίες και τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής να δώσουν προτεραιότητα στις καθαρότερες επιλογές μεταφοράς και να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, οι κυβερνήσεις σε διάφορες χώρες έχουν εισαγάγει μια σειρά από οικονομικά κίνητρα, συμπεριλαμβανομένων επιδοτήσεων, εκπτώσεων φόρου και εκπτώσεων, για να ενθαρρύνουν τους καταναλωτές να υιοθετήσουν ηλεκτρικά οχήματα και να υποστηρίξουν τους κατασκευαστές στη μετάβαση σε πιο πράσινες μεθόδους παραγωγής.

Αυτός ο συνδυασμός τεχνολογικών προόδων και υποστηρικτικών πολιτικών έχει επιταχύνει σημαντικά το ποσοστό υιοθέτησης των Η/Ο, με αποτέλεσμα την αξιοσημείωτη αύξηση του μεριδίου αγοράς τους. Σήμερα, σχεδόν όλοι οι εξέχοντες κατασκευαστές αυτοκινήτων —όπως η Volkswagen, η BMW, η Mercedes-Benz, η Toyota και πολλοί άλλοι— έχουν δεσμεύσει σημαντικούς πόρους για την ανάπτυξη και την κατασκευή ηλεκτρικών ή υβριδικών μοντέλων. Πολλές από αυτές τις εταιρείες έχουν δημιουργήσει αποκλειστικές γραμμές παραγωγής αποκλειστικά για Η/Ο, σηματοδοτώντας μια σημαντική στρατηγική αλλαγή στην αυτοκινητοβιομηχανία. Αυτή η συνεχής εξέλιξη αντανακλά μια ευρύτερη κοινωνική ώθηση για βιώσιμες λύσεις μεταφορών και μια παγκόσμια προσπάθεια για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Ως αποτέλεσμα, η αγορά ηλεκτρικών οχημάτων συνεχίζει να επεκτείνεται γρήγορα, με καινοτομίες στην τεχνολογία μπαταριών, την υποδομή και την πολιτική υποστήριξη που τροφοδοτούν την ανάπτυξή της και διαμορφώνουν το μέλλον της κινητικότητας παγκοσμίως [6].

2.3 Κατηγορίες Ηλεκτρικών Οχημάτων (BEV, PHEV, HEV, FCEV)

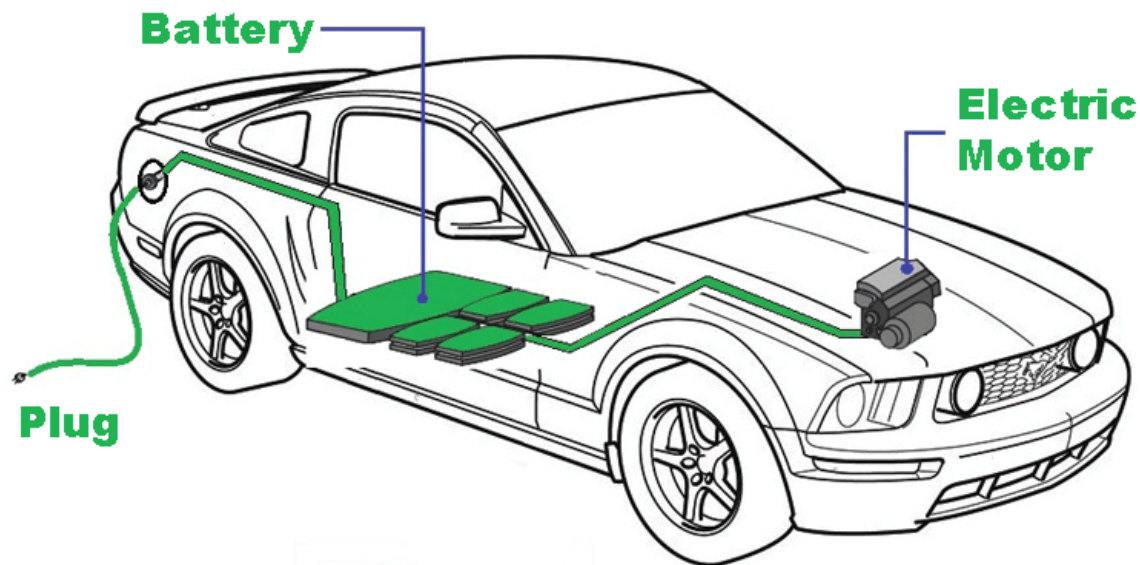
Τις τελευταίες δεκαετίες, έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στις τεχνολογίες ηλεκτρικών οχημάτων, με αποτέλεσμα την εμφάνιση πολλών διαφορετικών τύπων ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτές οι κατηγορίες περιλαμβάνουν τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία (Battery Electric Vehicles - BEV), τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα με σύνδεση (Plug-in Hybrid Electric Vehicles - PHEV), τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (Hybrid Electric Vehicles - HEV) και τα ηλεκτρικά οχήματα με κυψέλες καυσίμου (Fuel Cell Electric Vehicles - FCEV). Κάθε μία από αυτές τις ταξινομήσεις ποικίλλει σημαντικά ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους, τις πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούν, την εμβέλεια οδήγησης, τις απαιτήσεις συντήρησης και τη συνολική τους επίδραση στο περιβάλλον. Καθώς οι εξελίξεις συνεχίζονται, αυτά τα οχήματα γίνονται πιο αποτελεσματικά, προσβάσιμα και φιλικά προς το περιβάλλον, αντανακλώντας μια αυξανόμενη στροφή προς λύσεις βιώσιμων μεταφορών παγκοσμίως [7].

2.3.1 BEV – Battery Electric Vehicles (Αμιγώς Ηλεκτρικά Οχήματα)

Τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρίες (BEV) είναι αυτοκίνητα που λειτουργούν αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται από ενσωματωμένες μπαταρίες ιόντων λιθίου. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά οχήματα που βασίζονται σε κινητήρες εσωτερικής καύσης που κινούνται με βενζίνη ή ντίζελ, τα BEV δεν χρησιμοποιούν κανένα είδος καυσίμου για την πρόωσή τους. Ως

αποτέλεσμα, δεν παράγουν εκπομπές από την εξάτμιση κατά τη λειτουργία, καθιστώντας τα φιλικά προς το περιβάλλον και συμβάλλοντας στις προσπάθειες μείωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των αερίων του θερμοκηπίου. Η αυτονομία οδήγησης ενός BEV —δηλαδή, πόσο μακριά μπορεί να διανύσει με μία μόνο φόρτιση— εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος και τη χωρητικότητα της μπαταρίας του. Επί του παρόντος, τα περισσότερα εμπορικά διαθέσιμα BEV προσφέρουν εμβέλεια που συνήθως κυμαίνεται μεταξύ περίπου 200 χιλιομέτρων (περίπου 124 μίλια) και 600 χιλιομέτρων (περίπου 370 μίλια), αν και οι κατασκευαστές εργάζονται συνεχώς για να βελτιώσουν την τεχνολογία μπαταριών για να επεκτείνουν αυτήν την απόσταση. Η επαναφόρτιση ενός BEV είναι απλή. Οι μπαταρίες του οχήματος μπορούν να αναπληρωθούν συνδέοντας σε τυπικές οικιακές πρίζες, αποκλειστικούς σταθμούς φόρτισης ή υποδομές ταχείας φόρτισης, γεγονός που μπορεί να μειώσει σημαντικά τον χρόνο φόρτισης. Καθώς η τεχνολογία προχωρά, οι βελτιώσεις στην απόδοση της μπαταρίας, την ταχύτητα φόρτισης και την ενεργειακή πυκνότητα αναμένεται να κάνουν τα BEV πιο πρακτικά και προσβάσιμα για ένα ευρύτερο φάσμα καταναλωτών [2].

Ένα από τα κύρια οφέλη αυτής της τεχνολογίας είναι ότι παράγει μηδενικές εκπομπές, καθιστώντας την φιλική προς το περιβάλλον και συμβάλλοντας στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, τείνει να έχει χαμηλότερο λειτουργικό κόστος επειδή χρησιμοποιεί φθηνότερες πηγές ενέργειας, όπως η ηλεκτρική ενέργεια, και γενικά απαιτεί λιγότερη συντήρηση λόγω λιγότερων κινητών μερών και απλούστερων μηχανικών συστημάτων. Επιπλέον, προσφέρει αθόρυβη λειτουργία, μειώνοντας σημαντικά την ηχορύπανση και παρέχει άμεση απόκριση του κινητήρα, εξασφαλίζοντας γρήγορη επιτάχυνση και ομαλή απόδοση χωρίς καθυστερήσεις. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα μειονεκτήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Για παράδειγμα, ο χρόνος που απαιτείται για την επαναφόρτιση των μπαταριών ή την αποθήκευση ενέργειας είναι σημαντικά μεγαλύτερος από τις παραδοσιακές μεθόδους ανεφοδιασμού, οι οποίες μπορεί να είναι άβολες κατά τη διάρκεια μεγάλων ταξιδιών ή αυστηρών προγραμμάτων. Επιπλέον, η εμβέλεια που μπορούν να καλύψουν αυτά τα οχήματα με μία μόνο φόρτιση είναι επί του παρόντος περιορισμένη σε σύγκριση με τα συμβατικά αντίστοιχα που κινούνται με καύσιμο, αν και οι συνεχείς εξελίξεις ενισχύουν σταδιακά αυτήν την πτυχή. Επιπλέον, μια σημαντική πρόκληση παραμένει η δημιουργία μιας ολοκληρωμένης υποδομής φόρτισης, καθώς η διαθεσιμότητα και η προσβασιμότητα των σταθμών φόρτισης εξακολουθούν να αναπτύσσονται σε πολλές περιοχές, περιορίζοντας ενδεχομένως την ευρεία υιοθέτηση και την ευκολία [3].

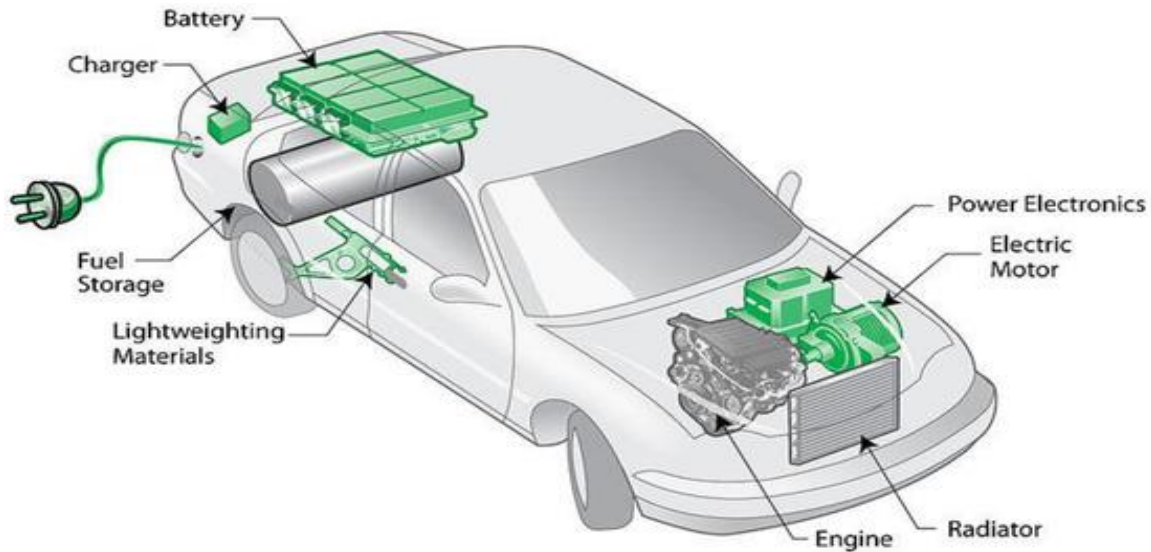


Εικόνα 2.2. Ηλεκτρικά Οχήματα με Μπαταρίες (BEV). Πηγή: [1]

2.3.2 PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicles (Υβριδικά με Φόρτιση από Πρίζα)

Τα Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV), τα οποία στα ελληνικά αναφέρονται ως «υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα με δυνατότητα φόρτισης από μια πρίζα», αντιπροσωπεύουν μια μεταβατική τεχνολογία που γεφυρώνει το χάσμα μεταξύ των παραδοσιακών οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης και των πλήρως ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Αυτά τα οχήματα έχουν σχεδιαστεί και αναπτυχθεί ως ένα ενδιάμεσο βήμα στην εξέλιξη των μεταφορών, συνδυάζοντας στοιχεία τόσο των συμβατικών βενζινοκίνητων αυτοκινήτων όσο και των σύγχρονων ηλεκτρικών οχημάτων. Ο πρωταρχικός στόχος πίσω από την ανάπτυξη των PHEV είναι η σημαντική μείωση των επιβλαβών εκπομπών και η βελτίωση της συνολικής ενεργειακής απόδοσης, συμβάλλοντας έτσι στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα και στον καθαρότερο αέρα. Ταυτόχρονα, προσφέρουν στους καταναλωτές έναν συγκεκριμένο βαθμό άνεσης και ευελιξίας, επιτρέποντάς τους να επιλέξουν μεταξύ διαφορετικών τρόπων λειτουργίας ανάλογα με τις ανάγκες τους.

Τα PHEV μπορούν να λειτουργούν μόνο με ηλεκτρική ενέργεια για μικρότερα ταξίδια, γεγονός που ελαχιστοποιεί την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές ρύπων ή να μεταβαίνουν στον κινητήρα εσωτερικής καύσης τους για μεγαλύτερες διαδρομές, παρέχοντας μεγαλύτερη εμβέλεια και μειώνοντας τις ανησυχίες σχετικά με τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και την υποδομή φόρτισης. Αυτή η διπλή λειτουργία καθιστά τα PHEV ελκυστική επιλογή για τους οδηγούς που επιδιώκουν να μεταβούν σε πιο πράσινες λύσεις μεταφοράς χωρίς να θυσιάζουν την πρακτικότητα και την εξοικείωση των παραδοσιακών οχημάτων. Επιπλέον, η δυνατότητα επαναφόρτισης αυτών των οχημάτων συνδέοντας σε τυπικές ηλεκτρικές πρίζες προσφέρει έναν βολικό και προσιτό τρόπο διατήρησης του ηλεκτρικού τους φορτίου, ενισχύοντας περαιτέρω την ελκυστικότητά τους ως ευέλικτο και φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο μεταφοράς [11].



Εικόνα 2.3. Plug-in Hybrid Electric Vehicles (Υβριδικά με Φόρτιση από Πρίζα). Πηγή: [11]

Τα PHEV παρουσιάζουν πολυάριθμα αξιοσημείωτα οφέλη για τους οδηγούς καθώς και για το περιβάλλον γενικότερα. Αρχικά, συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ιδιαίτερα κατά την οδήγηση στην πόλη, όπου το όχημα μπορεί να λειτουργεί αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια, εξαλείφοντας έτσι τις εκπομπές από την εξάτμιση εντελώς. Αυτό τα καθιστά μια φιλική προς το περιβάλλον επιλογή για τους αστικούς μετακινούμενους που επιδιώκουν να μειώσουν το αποτύπωμα άνθρακα. Επιπλέον, τα PHEV τείνουν να έχουν χαμηλότερα λειτουργικά έξοδα σε σύγκριση με τα παραδοσιακά βενζινοκίνητα αυτοκίνητα, επειδή η φόρτιση των μπαταριών τους γενικά κοστίζει λιγότερο από την αγορά βενζίνης, με αποτέλεσμα να εξοικονομούνται με την πάροδο του χρόνου. Πέρα από την εξοικονόμηση κόστους, παρέχουν ένα επίπεδο άνεσης και ηρεμίας μέσω της ευελιξίας και των δυνατοτήτων εμβέλειάς τους.

Από τεχνικής πλευράς, PHEV είναι εξοπλισμένα με διπλές πηγές ισχύος: έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE) σε συνδυασμό με έναν ή περισσότερους ηλεκτρικούς κινητήρες. Αυτά τα οχήματα παράγουν συνήθως συνολική ιπποδύναμη που κυμαίνεται από περίπου 100 έως 250 ίππους, ανάλογα με τη συγκεκριμένη μάρκα και το μοντέλο. Η χωρητικότητα της μπαταρίας τους συνήθως κυμαίνεται από 8 έως 20 kWh, γεγονός που επηρεάζει άμεσα τις ικανότητές τους για ηλεκτρική οδήγηση. Η αυτονομία οδήγησης μόνο με ηλεκτρισμό των PHEV κυμαίνεται γενικά μεταξύ 30 και 80 χιλιομέτρων (περίπου 20 έως 50 μίλια), καθιστώντας τα κατάλληλα για καθημερινές μετακινήσεις στην πόλη και σύντομα ταξίδια χωρίς να ενεργοποιείται ο κινητήρας εσωτερικής καύσης. Για παράδειγμα, το Toyota Prius Plug-in Hybrid προσφέρει ηλεκτρική αυτονομία περίπου 64 km (περίπου 40 μίλια), επιτρέποντας σημαντικές μετακινήσεις με μηδενικές εκπομπές σε αστικά περιβάλλοντα. Ομοίως, η BMW X5 xDrive45e μπορεί να επιτύχει

ηλεκτρική αυτονομία έως και 87 km (περίπου 54 μίλια) όταν είναι πλήρως φορτισμένη, παρέχοντας άφθονη ηλεκτρική οδήγηση για τυπικές καθημερινές εργασίες. Η φόρτιση αυτών των οχημάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται. Όταν συνδέεται σε μια τυπική οικιακή πρίζα, η οποία συνήθως παρέχει περίπου 2,3 kW, οι χρόνοι φόρτισης κυμαίνονται γενικά από 4 έως 6 ώρες, διασφαλίζοντας ότι το όχημα είναι έτοιμο για χρήση μετά από μια ημερήσια ανάπαυση. Αντίθετα, η χρήση ενός σταθμού φόρτισης επιπέδου 2 με υψηλότερη ισχύ εξόδου περίπου 7,4 kW μπορεί να μειώσει σημαντικά τη διάρκεια φόρτισης σε περίπου 2 έως 3 ώρες. Αυτή η ευελιξία στις επιλογές φόρτισης επιτρέπει στους οδηγούς να επιλέγουν βολικές μεθόδους με βάση τα καθημερινά τους χρονοδιαγράμματα και την πρόσβαση στην υποδομή φόρτισης, καθιστώντας τα PHEV πρακτική επιλογή για όσους θέλουν να μειώσουν την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές ρύπων, διατηρώντας παράλληλα την άνεση του παραδοσιακού καυσίμου.

Σε αντίθεση με τα πλήρως ηλεκτρικά οχήματα που περιορίζονται από τη χωρητικότητα της μπαταρίας και μπορεί να προκαλέσουν άγχος εμβέλειας, τα PHEV ενσωματώνουν έναν συμβατικό κινητήρα εσωτερικής καύσης που επεκτείνει την απόσταση οδήγησης, επιτρέποντας στους οδηγούς να κάνουν μεγαλύτερα ταξίδια χωρίς να ανησυχούν ότι θα μείνουν χωρίς ρεύμα ή χρειάζονται άμεση πρόσβαση σε σταθμούς φόρτισης. Αυτός ο συνδυασμός ηλεκτρικής ισχύος και ισχύος καύσης προσφέρει μια ισορροπημένη λύση, δίνοντας στους οδηγούς την ευελιξία να επιλέγουν ηλεκτρική λειτουργία για σύντομα ταξίδια και να βασίζονται στον βενζινοκινητήρα για εκτεταμένες διαδρομές, διευρύνοντας έτσι τις επιλογές κινητικότητάς τους. Συνολικά, τα PHEV συνδυάζουν περιβαλλοντικά οφέλη, οικονομική εξοικονόμηση και πρακτική χρησιμότητα, καθιστώντας τα μια ελκυστική εναλλακτική λύση για όσους θέλουν να μεταβούν σε καθαρότερες και πιο αποτελεσματικές επιλογές μεταφοράς.

Αν και τα εν λόγω οχήματα προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα, δεν είναι χωρίς το σύνολο των προκλήσεων. Ένα από τα κύρια εμπόδια είναι το υψηλότερο κόστος εκ των προτέρων σε σύγκριση με τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης, το οποίο μπορεί να αποτρέψει τους πιθανούς αγοραστές από το να κάνουν αλλαγή. Ωστόσο, πολλές κυβερνήσεις και οργανισμοί αναγνωρίζουν αυτό το εμπόδιο και έχουν εφαρμόσει διάφορες επιδοτήσεις, εκπτώσεις και κίνητρα για να κάνουν τα PHEV πιο οικονομικά προσβάσιμα και ελκυστικά στους καταναλωτές. Επιπλέον, τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα των PHEV εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο χρήσης τους. Έτσι, εάν ένας οδηγός δεν φορτίζει τακτικά την μπαταρία του οχήματος ή βασίζεται κυρίως στον κινητήρα εσωτερικής καύσης για πρόωση, τα επίπεδα εκπομπών του οχήματος μπορεί να γίνουν συγκρίσιμα με αυτά των συμβατικών βενζινοκίνητων αυτοκινήτων, μειώνοντας έτσι τα περιβαλλοντικά του οφέλη. Πέρα από τα πρότυπα χρήσης, υπάρχουν επίσης ανησυχίες σχετικά με τη μακροζωία και την απόδοση των ίδιων των μπαταριών. Η τεχνολογία των μπαταριών, ενώ βελτιώνεται συνεχώς, εξακολουθεί να παρουσιάζει προβλήματα που σχετίζονται με την υποβάθμιση με την πάροδο του χρόνου, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη εμβέλεια οδήγησης και απόδοση. Επιπλέον, το κόστος που σχετίζεται με την αντικατάσταση των μπαταριών μπορεί να είναι σημαντικό, εγείροντας ερωτήματα σχετικά με τη μακροπρόθεσμη οικονομική βιωσιμότητα της κατοχής ενός PHEV.

Αυτοί οι παράγοντες υπογραμμίζουν ότι, παρά τις δυνατότητές τους ως πιο πράσινη επιλογή μεταφοράς, τα PHEV αντιμετωπίζουν πρακτικές και οικονομικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν για να διευκολυνθεί η ευρύτερη υιοθέτηση και να μεγιστοποιηθούν τα περιβαλλοντικά οφέλη τους [12].

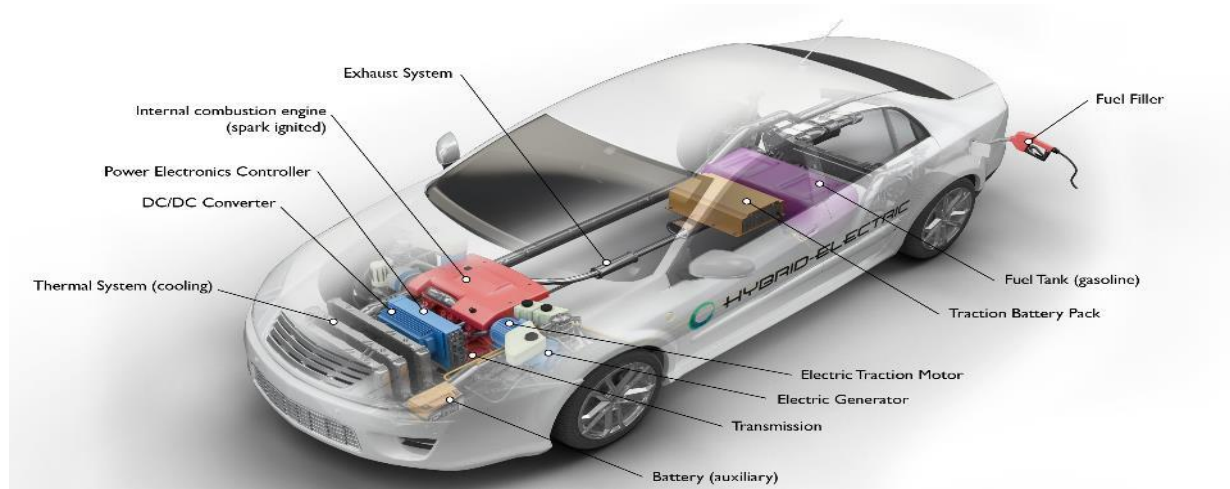
2.3.3 HEV – Hybrid Electric Vehicles (Συμβατικά Υβριδικά)

Τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV) αποτελούν θεμελιώδες συστατικό των λύσεων βιώσιμων μεταφορών στη σύγχρονη εποχή του 21ου αιώνα. Αυτά τα καινοτόμα οχήματα ενσωματώνουν έναν παραδοσιακό κινητήρα εσωτερικής καύσης με έναν ηλεκτροκινητήρα και μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία, που συνεργάζονται για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης καυσίμου και την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η ανάπτυξη και η ανάπτυξη των HEV σηματοδότησε ένα σημαντικό ορόσημο στην αναζήτηση πιο πράσινης κινητικότητας, με στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τη μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα. Τα πρώτα εμπορικά διαθέσιμα HEV έκαναν το ντεμπούτο τους τη δεκαετία του 1990, με το Toyota Prius να αναδεικνύεται ως το πιο αναγνωρίσιμο μοντέλο, τραβώντας την παγκόσμια προσοχή και θέτοντας το έδαφος για περαιτέρω εξελίξεις στην υβριδική τεχνολογία. Με τα χρόνια, τα HEVs έχουν υποστεί σημαντικές τεχνολογικές βελτιώσεις, βελτιώνοντας την απόδοσή τους, τη χωρητικότητα της μπαταρίας και τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας. Η εμπορική τους παρουσία έχει επεκταθεί σε πολλές αγορές παγκοσμίως, με γνώμονα την αύξηση της περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης, τους αυστηρότερους κανονισμούς εκπομπών ρύπων και τις προόδους στη μηχανική αυτοκινήτων. Σήμερα, τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα θεωρούνται ευρέως ως μια κρίσιμη μεταβατική τεχνολογία που γεφυρώνει τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης και τα πλήρως ηλεκτρικά αυτοκίνητα, διαδραματίζοντας βασικό ρόλο στην ευρύτερη κίνηση προς βιώσιμα και φιλικά προς το περιβάλλον συστήματα μεταφορών.

Τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV) χρησιμοποιούν ένα σύστημα διπλής ισχύος που περιλαμβάνει έναν παραδοσιακό κινητήρα εσωτερικής καύσης, που συνήθως τροφοδοτείται από βενζίνη, και έναν ή περισσότερους ηλεκτρικούς κινητήρες που αντλούν ενέργεια από μια ειδική μπαταρία. Η μπαταρία σε ένα HEV επαναφορτίζεται κυρίως μέσω αναγεννητικής πέδησης -όπου η κινητική ενέργεια που παράγεται κατά την επιβράδυνση μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια και αποθηκεύεται- και από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης κατά την κανονική λειτουργία. Σε αντίθεση με τα Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV), τα HEV δεν έχουν σχεδιαστεί για να συνδέονται με εξωτερικούς σταθμούς φόρτισης. Αντίθετα, οι μπαταρίες τους φορτίζονται εσωτερικά μέσω των συστημάτων του οχήματος. Ο ενσωματωμένος υπολογιστής του οχήματος παρακολουθεί συνεχώς τις συνθήκες οδήγησης, όπως η ταχύτητα, η επιτάχυνση και το φορτίο, για να καθορίσει τον πιο αποτελεσματικό τρόπο ανάπτυξης των πηγών ισχύος. Ανάλογα με παράγοντες όπως η κυκλοφορία, το έδαφος και το στυλ οδήγησης, το σύστημα αποφασίζει έξυπνα αν θα βασίζεται αποκλειστικά στον ηλεκτροκινητήρα, στον κινητήρα εσωτερικής καύσης ή σε συνδυασμό και των δύο, με στόχο τη βελτιστοποίηση της απόδοσης καυσίμου, τη μείωση των εκπομπών και τη διατήρηση της απόδοσης. Αυτός ο απρόσκοπτος συντονισμός επιτρέπει στα

Κεφάλαιο 2

HEV να παρέχουν μια πιο ομαλή οδηγική εμπειρία, επιτυγχάνοντας παράλληλα καλύτερη οικονομία καυσίμου σε σύγκριση με τα συμβατικά βενζινοκίνητα αυτοκίνητα. Η ενοποίηση αυτών των δύο πηγών ενέργειας και οι περίπλοκες στρατηγικές ελέγχου που εμπλέκονται καθιστούν τα HEV μια ευέλικτη και φιλική προς το περιβάλλον επιλογή μεταφοράς που εξισορροπεί την ισχύ, την απόδοση και τη βιωσιμότητα.



Εικόνα 2.4. HEV – Hybrid Electric Vehicles (Συμβατικά Υβριδικά). Πηγή: [5]

Υπάρχουν κυρίως τρεις κατηγορίες υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων (HEV), η καθεμία που διακρίνεται από το επίπεδο ηλεκτρικής υποβοήθησης και τη λειτουργικότητά της. Ο πρώτος τύπος είναι γνωστός ως μικρο-υβρίδια, τα οποία είναι σχετικά βασικά στο σχεδιασμό. Αυτά τα οχήματα διαθέτουν κυρίως σύστημα start-stop που σβήνει αυτόματα τον κινητήρα όταν το όχημα βρίσκεται στο ρελαντί, όπως στα φανάρια ή σε μποτιλιάρίσματα, και στη συνέχεια τον επανεκκινεί γρήγορα όταν χρειάζεται. Αυτό μειώνει την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές ρύπων κατά την οδήγηση σταματώντας, αλλά δεν συνεπάγεται σημαντική χρήση ηλεκτρικής πρόωσης πέρα από αυτή τη λειτουργία.

Τα μικρουβριδικά (micro-hybrids), τα οποία αποτελούν την πρώτη κατηγορία, υποστηρίζουν κυρίως την εκκίνηση και το σταμάτημα του κινητήρα, τα ήπια υβριδικά βοηθούν τον κινητήρα με ηλεκτρική ισχύ αλλά δεν μπορούν να οδηγήσουν ανεξάρτητα και τα πλήρως υβριδικά έχουν επαρκή ηλεκτρική ικανότητα να οδηγούν το όχημα μόνα τους σε χαμηλές ταχύτητες, προσφέροντας μια σειρά πλεονεκτημάτων στην οικονομία καυσίμου και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε αυτούς τους διαφορετικούς τύπους υβριδικών οχημάτων.

Η δεύτερη κατηγορία ονομάζεται ήπια υβρίδια (mild hybrids). Αυτά τα οχήματα ενσωματώνουν έναν πιο προηγμένο ηλεκτροκινητήρα που λειτουργεί σε συνδυασμό με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης για να παρέχει πρόσθετη υποβοήθηση ισχύος. Ενώ ο ηλεκτροκινητήρας στα ήπια υβριδικά συμβάλλει στη βελτίωση της απόδοσης καυσίμου και στη

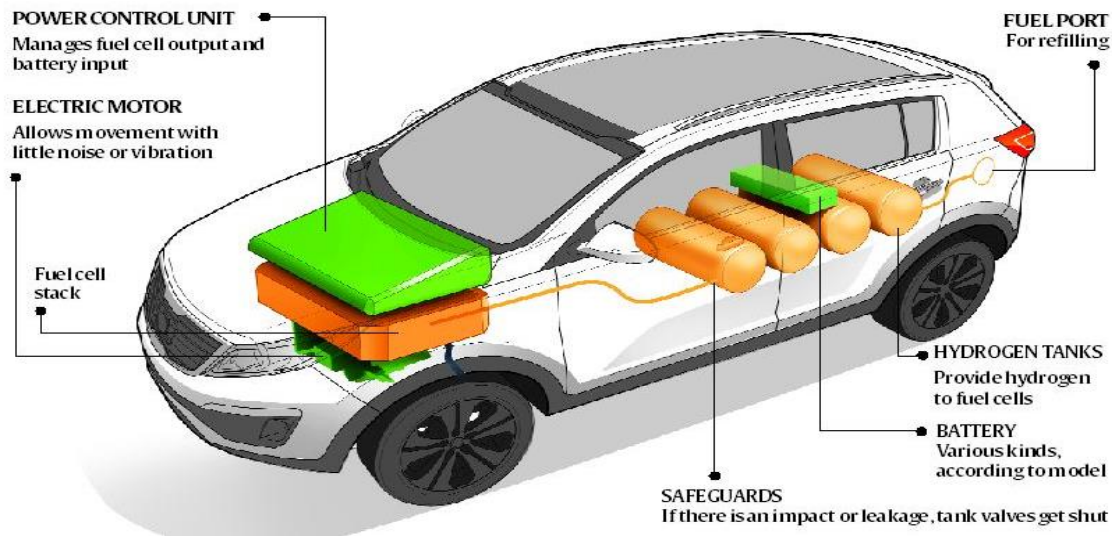
μείωση των εκπομπών, δεν έχει τη δυνατότητα να οδηγεί ανεξάρτητα το όχημα. Αντίθετα, βοηθά τον κινητήρα κατά την επιτάχυνση, την ανάβαση σε λόφο ή όταν απαιτείται επιπλέον ισχύς, κάνοντας τη συνολική οδηγική εμπειρία πιο ομαλή και πιο αποτελεσματική. Ωστόσο, το όχημα εξακολουθεί να βασίζεται κυρίως στον κινητήρα εσωτερικής καύσης για τις περισσότερες οδηγικές εργασίες.

Ο τρίτος και πιο ικανός τύπος HEV είναι το πλήρες υβρίδιο (full hybrids), γνωστό και ως ισχυρό υβρίδιο. Αυτά τα οχήματα είναι εξοπλισμένα με έναν πιο ισχυρό ηλεκτροκινητήρα και μια μεγαλύτερη μπαταρία, που τους επιτρέπει να λειτουργούν σε πολλές λειτουργίες. Συγκεκριμένα, τα πλήρως υβριδικά μπορούν να ωθήσουν το όχημα χρησιμοποιώντας αποκλειστικά ηλεκτρική ενέργεια σε χαμηλές ταχύτητες και για μικρές αποστάσεις, όπως κατά την οδήγηση στην πόλη ή σε κίνηση σταμάτημα. Αυτή η ικανότητα επιτρέπει σημαντική εξοικονόμηση καυσίμου και χαμηλότερες εκπομπές ρύπων σε σύγκριση με τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Ο ηλεκτροκινητήρας στα πλήρως υβριδικά μπορεί να λειτουργεί ανεξάρτητα ή σε συνδυασμό με τον κινητήρα, παρέχοντας ευέλικτες επιλογές οδήγησης και βελτιώνοντας τη συνολική απόδοση.

Ενώ τα HEV προσφέρουν πολλά αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα, έχουν επίσης ορισμένα μειονεκτήματα που πρέπει να ληφθούν προσεκτικά υπόψη. Ένας από τους κύριους περιορισμούς είναι η σχετικά μικρή εμβέλεια οδήγησης μόνο με ηλεκτρική ενέργεια, πράγμα που σημαίνει ότι ο ηλεκτροκινητήρας μπορεί να τροφοδοτήσει το όχημα μόνο για περιορισμένη απόσταση προτού χρειαστεί να ξεκινήσει ο κινητήρας εσωτερικής καύσης. Ως αποτέλεσμα, τα HEV εξακολουθούν να εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τους κινητήρες εσωτερικής καύσης τους για να παρέχουν την απαραίτητη ισχύ για μεγαλύτερα ταξίδια ή υψηλότερες ταχύτητες, μειώνοντας ορισμένα από τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα που σχετίζονται με την πλήρη ηλεκτρική οδήγηση. Επιπλέον, κατά τη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, τα HEV γενικά δεν αποδίδουν τόσο καλά όσο τα πλήρως ηλεκτρικά οχήματα (BEV), τα οποία παράγουν μηδενικές εκπομπές καυσαερίων και μπορούν να αξιοποιήσουν καθαρότερες πηγές ενέργειας ανάλογα με το μείγμα του δικτύου. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι η υψηλότερη αρχική τιμή αγοράς των HEV σε σύγκριση με τα συμβατικά βενζινοκίνητα ή πετρελαιοκίνητα οχήματα, η οποία μπορεί να χρησιμεύσει ως εμπόδιο για πολλούς καταναλωτές που εξετάζουν τις επιλογές τους. Αν και αυτό το αρχικό κόστος μπορεί να μετριαστεί με την πάροδο του χρόνου μέσω της εξοικονόμησης καυσίμων και των χαμηλότερων εξόδων συντήρησης, η αρχική επένδυση παραμένει ένα εμπόδιο που μπορεί να αποθαρρύνει ορισμένους πιθανούς αγοραστές. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα των υβριδικών συστημάτων μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένο κόστος συντήρησης και πιθανές επισκευές κατά τη διάρκεια ζωής του οχήματος. Παρά τους περιορισμούς αυτούς, τα HEV εξακολουθούν να είναι μια δημοφιλής μεταβατική τεχνολογία, προσφέροντας ένα σκαλοπάτι προς την πλήρως ηλεκτρική κινητικότητα, παρέχοντας παράλληλα οφέλη όπως βελτιωμένη οικονομία καυσίμου και μειωμένες εκπομπές ρύπων σε σύγκριση με τα παραδοσιακά οχήματα.

2.3.4 FCEV – Fuel Cell Electric Vehicles (Οχήματα Κυψελών Καυσίμου Υδρογόνου)

Τα ηλεκτρικά οχήματα με κυψέλες καυσίμου (FCEV) αντιπροσωπεύουν μια αιχμή στην τεχνολογία βιώσιμων μεταφορών. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης που βασίζονται στην καύση βενζίνης ή ντίζελ ή τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία (BEV) που εξαρτώνται αποκλειστικά από την ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται σε μεγάλες συστοιχίες μπαταριών που φορτίζονται από το ηλεκτρικό δίκτυο, τα FCEV παράγουν ηλεκτρική ενέργεια επί του σκάφους μέσω μιας χημικής διαδικασίας που περιλαμβάνει υδρογόνο και οξυγόνο. Αυτή η διαδικασία, γνωστή ως ηλεκτροχημική μετατροπή, επιτρέπει στο όχημα να παράγει ενέργεια σε πραγματικό χρόνο όπως χρειάζεται, χωρίς την ανάγκη για μεγάλες μπαταρίες ή συχνούς σταθμούς φόρτισης. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα των FCEV είναι οι δυνατότητές τους για μηδενικές εκπομπές καυσαερίων, καθώς το μόνο υποπροϊόν τους κατά τη λειτουργία είναι οι υδρατμοί, καθιστώντας τα μια φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα. Επιπλέον, τα FCEV αναγνωρίζονται για την υψηλή ενεργειακή τους απόδοση, επιτρέποντας μεγαλύτερες αποστάσεις οδήγησης και ταχύτερους χρόνους ανεφοδιασμού σε σύγκριση με πολλά ηλεκτρικά οχήματα. Ως εκ τούτου, θεωρούνται όλο και περισσότερο ως ζωτικής σημασίας συνιστώσα στις παγκόσμιες στρατηγικές που στοχεύουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στην επίτευξη ενός βιώσιμου τομέα μεταφορών με χαμηλές εκπομπές άνθρακα. Η ανάπτυξη και η ανάπτυξή τους υπόσχονται αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο μετακινούμε ανθρώπους και αγαθά, συμβάλλοντας σημαντικά στις προσπάθειες για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα παγκοσμίως [14].



Εικόνα 2.5. FCEV – Fuel Cell Electric Vehicles (Οχήματα Κυψελών Καυσίμου Υδρογόνου). Πηγή: [14]

Η βασική τεχνολογία που επιτρέπει τα ηλεκτρικά οχήματα με κυψέλες καυσίμου (FCEV) είναι γνωστή ως η ίδια η κυψέλη καυσίμου. Αυτή η συσκευή λειτουργεί συνδυάζοντας αέριο υδρογόνο (H₂) με οξυγόνο (O₂) από τον αέρα μέσω μιας ηλεκτροχημικής διαδικασίας. Κατά τη διάρκεια αυτής της αντίδρασης, η κυψέλη καυσίμου παράγει ηλεκτρική ενέργεια, μαζί με θερμότητα και υδρατμούς ως υποπροϊόντα. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια δεν χρησιμοποιείται αμέσως. Αντίθετα, αποθηκεύεται προσωρινά σε ένα αποκλειστικό σύστημα μπαταρίας εντός του οχήματος. Αυτή η αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια στη συνέχεια τροφοδοτεί έναν ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος κινεί τους τροχούς και ωθεί το όχημα προς τα εμπρός. Ένα από τα πιο αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα των FCEV είναι ότι οι εκπομπές καυσαερίων τους αποτελούνται αποκλειστικά από καθαρό νερό, καθιστώντας τα μια φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Οι κυψέλες καυσίμου είναι γνωστές για την εντυπωσιακή ενεργειακή τους απόδοση, μετατρέποντας συνήθως περίπου το 40 έως 60 τοις εκατό της χημικής ενέργειας που αποθηκεύεται στο υδρογόνο σε χρησιμοποιήσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Επιπλέον, δεδομένου ότι λειτουργούν μέσω ηλεκτροχημικής διαδικασίας και όχι καύσης, οι κυψέλες καυσίμου λειτουργούν πολύ αθόρυβα, παράγοντας ελάχιστο θόρυβο κατά τη λειτουργία. Αυτός ο συνδυασμός υψηλής απόδοσης, καθαρών εκπομπών και αθόρυβης λειτουργίας καθιστά τα FCEV μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για λύσεις βιώσιμων μεταφορών.

Τα ηλεκτρικά οχήματα με κυψέλες καυσίμου (FCEV) μπορούν να ξαναγεμιστούν σε μόλις τρία έως πέντε λεπτά με τη χρήση συμπιεσμένου υδρογόνου, καθιστώντας τη διαδικασία ανεφοδιασμού με καύσιμα σημαντικά ταχύτερη από τη φόρτιση πολλών ηλεκτρικών οχημάτων. Μόλις γεμίσουν, αυτά τα οχήματα μπορούν συνήθως να ταξιδέψουν μεταξύ 500 και 700 χιλιομέτρων σε ένα μόνο ρεζερβουάρ, μια εμβέλεια που είναι συγκρίσιμη ή και ξεπερνά αυτή πολλών ηλεκτρικών αυτοκινήτων με μπαταρία. Για παράδειγμα, το Toyota Mirai δεύτερης γενιάς μπορεί να καλύψει περίπου 650 χιλιόμετρα πριν χρειαστεί επαναπλήρωση, αναδεικνύοντας την εντυπωσιακή αντοχή του. Το υδρογόνο που χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία αυτών των οχημάτων αποθηκεύεται σε εξειδικευμένες δεξαμενές υψηλής πίεσης που έχουν σχεδιαστεί για να διασφαλίζουν τη μέγιστη ασφάλεια. Αυτές οι δεξαμενές είναι κατασκευασμένες από προηγμένα σύνθετα υλικά που μπορούν να αντέξουν πιέσεις έως και 700 bar, παρέχοντας αντοχή και ανθεκτικότητα ενώ ελαχιστοποιούν το βάρος. Αυτός ο συνδυασμός γρήγορου ανεφοδιασμού καυσίμου, σημαντικής αυτονομίας οδήγησης και ασφαλών λύσεων αποθήκευσης καθιστά τα FCEV μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση για όσους αναζητούν μια καθαρή και αποτελεσματική επιλογή μεταφοράς με ελάχιστο χρόνο διακοπής λειτουργίας.

Αν και τα FCEV προσφέρουν πολλά αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα, εξακολουθούν να εμποδίζονται από αρκετές σημαντικές προκλήσεις. Το κυριότερο μεταξύ αυτών είναι η ανεπαρκής διαθεσιμότητα σταθμών ανεφοδιασμού υδρογόνου. Ακόμη και σε πολύ ανεπτυγμένες χώρες, η υποδομή για τον ανεφοδιασμό των υδρογονοκίνητων αυτοκινήτων παραμένει σπάνια και ανεπαρκής για να υποστηρίξει την ευρεία υιοθέτηση. Επιπλέον, η ίδια η διαδικασία παραγωγής υδρογόνου είναι συχνά ενεργοβόρα και στις περισσότερες περιπτώσεις βασίζεται σε

μεγάλο βαθμό στο φυσικό αέριο, γεγονός που εγείρει ανησυχίες για τις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και το αποτύπωμα άνθρακα του καυσίμου.

Πέρα από τα ζητήματα εφοδιασμού, η τεχνολογική πολυπλοκότητα που συνεπάγεται η ανάπτυξη κυψελών καυσίμου και οι εξειδικευμένες δεξαμενές αποθήκευσης που απαιτούνται για το υδρογόνο αποτελούν σημαντικά εμπόδια. Αυτά τα εξαρτήματα είναι δαπανηρά στην κατασκευή τους και ο περίπλοκος σχεδιασμός τους περιπλέκει τις προσπάθειες για την κλιμάκωση της παραγωγής και για να γίνουν τα FCEV πιο προσιτά για τους καταναλωτές. Όλοι αυτοί οι παράγοντες συμβάλλουν συλλογικά στον αργό ρυθμό διείσδυσης στην αγορά για οχήματα κυψελών καυσίμου υδρογόνου, παρά τα πολλά υποσχόμενα πλεονεκτήματά τους.

2.4 Δομή Ηλεκτρικού Οχήματος

Στον πυρήνα κάθε ηλεκτρικού οχήματος βρίσκεται το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, που αποτελείται κυρίως από μπαταρίες. Αυτές οι μπαταρίες είναι συνήθως κυψέλες ιόντων λιθίου υψηλής τάσης που αποθηκεύουν την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την τροφοδοσία του οχήματος. Το μέγεθος και η χωρητικότητα αυτών των μπαταριών επηρεάζουν άμεσα την εμβέλεια ή την αυτονομία του οχήματος. Συχνά, οι μπαταρίες τοποθετούνται κατά μήκος του δαπέδου του πλαισίου του οχήματος, μια θέση που επιλέγεται για να χαμηλώνει το κέντρο βάρους, το οποίο ενισχύει τη σταθερότητα και το χειρισμό κατά την οδήγηση.

Εκτός από την μπαταρία, τα ηλεκτρικά οχήματα είναι εξοπλισμένα με μια σειρά από άλλα ζωτικής σημασίας εξαρτήματα, όπως ηλεκτρικούς κινητήρες που μετατρέπουν την αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική κίνηση, μετατροπείς ισχύος που ελέγχουν τη ροή του ηλεκτρισμού και εξελιγμένα συστήματα ψύξης για τη διατήρηση της βέλτιστης απόδοσης της μπαταρίας. Ο ίδιος ο ηλεκτροκινητήρας είναι μια εξαιρετικά αποδοτική συσκευή που παρέχει άμεση ροπή, επιτρέποντας γρήγορη επιτάχυνση και ομαλή λειτουργία. Το σύστημα διαχείρισης ισχύος του οχήματος παρακολουθεί και ρυθμίζει συνεχώς τη χρήση ενέργειας για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης και την επέκταση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας. Σε σύγκριση με τους κινητήρες εσωτερικής καύσης, τα ηλεκτρικά οχήματα λειτουργούν πολύ πιο αθόρυβα και παράγουν μηδενικές εκπομπές καυσαερίων, καθιστώντας τα φιλικά προς το περιβάλλον επιλογές. Απαιτούν επίσης λιγότερη συντήρηση επειδή έχουν λιγότερα κινούμενα μέρη, δεν αλλάζουν λάδια και μειωμένη φθορά σε εξαρτήματα όπως τα φρένα λόγω των αναγεννητικών συστημάτων πέδησης που ανακτούν ενέργεια κατά την επιβράδυνση. Τα ηλεκτρικά οχήματα (EV) διαφέρουν σημαντικά από τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE), τόσο ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους όσο και ως προς τα βασικά εξαρτήματά τους. Ο σχεδιασμός τους στοχεύει στη μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης, στην απλοποίηση των λειτουργικών διαδικασιών και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Ενώ μοιράζονται ορισμένα εξαρτήματα με τα συμβατικά αυτοκίνητα - όπως το πλαίσιο, οι μηχανισμοί διεύθυνσης και τα συστήματα πέδησης - ενσωματώνουν εξειδικευμένα εξαρτήματα μοναδικά για τα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης.

Για να διασφαλιστεί η αποτελεσματική και αξιόπιστη λειτουργία τόσο της μπαταρίας όσο και του κινητήρα εντός του συστήματος, είναι απαραίτητο να εφαρμοστεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης ενέργειας. Αυτό το σύστημα περιλαμβάνει πολλά κρίσιμα εξαρτήματα, συμπεριλαμβανομένου του μετατροπέα ισχύος, κοινώς γνωστό ως μετατροπέα, του ενσωματωμένου φορτιστή και του συστήματος διαχείρισης μπαταρίας (BMS). Ο μετατροπέας διαδραματίζει ζωτικό ρόλο μετατρέποντας την ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται από την μπαταρία, η οποία είναι σε μορφή συνεχούς ρεύματος (DC), σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) κατάλληλο για την τροφοδοσία του κινητήρα. Αυτή η μετατροπή είναι ζωτικής σημασίας επειδή οι περισσότεροι ηλεκτρικοί κινητήρες λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα και ο μετατροπέας εξασφαλίζει απρόσκοπτη μεταφορά ενέργειας μεταξύ της μπαταρίας και του κινητήρα. Μαζί, αυτά τα εξαρτήματα λειτουργούν αρμονικά για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης, της ασφάλειας και της διάρκειας ζωής του συστήματος ισχύος του ηλεκτρικού οχήματος. Ο μετατροπέας εξασφαλίζει αποτελεσματική παροχή ισχύος στον κινητήρα, ο ενσωματωμένος φορτιστής διατηρεί την ετοιμότητα της μπαταρίας μέσω ασφαλούς επαναφόρτισης και το BMS προστατεύει την υγεία της μπαταρίας μέσω προσεκτικής παρακολούθησης και ρύθμισης. Χωρίς αυτό το ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης ενέργειας, η λειτουργία της μπαταρίας και του κινητήρα θα ήταν αναποτελεσματική και δυνητικά επικίνδυνη, υπογραμμίζοντας τη σημασία κάθε εξαρτήματος για τη διασφάλιση της ομαλής και ασφαλούς λειτουργίας των συστημάτων ηλεκτρικής πρόωσης. Επιπλέον, ο ενσωματωμένος φορτιστής είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση της διαδικασίας επαναφόρτισης της μπαταρίας από εξωτερική πηγή τροφοδοσίας, διασφαλίζοντας ότι η μπαταρία φορτίζεται με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα, αποτρέποντας παράλληλα την υπερφόρτιση ή την υπερθέρμανση. Το σύστημα διαχείρισης μπαταριών (BMS), από την άλλη πλευρά, χρησιμεύει ως ο εγκέφαλος του πακέτου μπαταριών. Παρακολουθεί συνεχώς την κατάσταση κάθε μεμονωμένης κυψέλης μπαταρίας, ελέγχοντας παραμέτρους όπως η τάση, η θερμοκρασία και η κατάσταση φόρτισης. Το BMS διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση της υγείας και της μακροζωίας της μπαταρίας ρυθμίζοντας τις διαδικασίες φόρτισης και εκφόρτισης, εξισορροπώντας τις τάσεις της κυψέλης και παρέχοντας τις απαραίτητες προστασίες έναντι συνθηκών που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ζημιά, όπως υπερένταση, υπέρταση ή θερμική διαρροή.

Ακόμη, βασικά στοιχεία του συνολικού συστήματος του Η/Ο είναι ο μετατροπέας ισχύος και η μονάδα ελέγχου. Αυτό το εξελιγμένο εξάρτημα παίζει κρίσιμο ρόλο στη διαχείριση του τρόπου με τον οποίο η ενέργεια κατανέμεται σε όλο το όχημα, διασφαλίζοντας βέλτιστη απόδοση και αποδοτικότητα. Επιβλέπει διάφορες λειτουργίες όπως ο έλεγχος της επιτάχυνσης, η διαχείριση των δυνάμεων πέδησης και η διευκόλυνση των διαδικασιών ανάκτησης ενέργειας. Ρυθμίζοντας με ακρίβεια τη ροή ισχύος, ο μετατροπέας και η μονάδα ελέγχου συμβάλλουν στη διατήρηση της ομαλής λειτουργίας και της απόκρισης κατά την οδήγηση. Ένα από τα ξεχωριστά χαρακτηριστικά που ενεργοποιούνται από αυτό το σύστημα είναι το «αναγεννητικό» φρενάρισμα, μια καινοτόμος τεχνολογία που βελτιώνει την ενεργειακή απόδοση. Όταν το όχημα επιβραδύνει, αντί να βασίζεται αποκλειστικά στα παραδοσιακά φρένα τριβής για να διαχέει την κινητική ενέργεια ως θερμότητα, η αναγεννητική πέδηση δεσμεύει αυτήν την ενέργεια. Το

σύστημα μετατρέπει την κινητική ενέργεια του οχήματος σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία στη συνέχεια τροφοδοτείται πίσω στην μπαταρία για να αποθηκευτεί για μελλοντική χρήση. Αυτή η διαδικασία όχι μόνο επεκτείνει την εμβέλεια οδήγησης των ηλεκτρικών οχημάτων αξιοποιώντας στο έπακρο τη διαθέσιμη ενέργεια, αλλά και μειώνει τη φθορά στα παραδοσιακά εξαρτήματα πέδησης, οδηγώντας σε χαμηλότερο κόστος συντήρησης.

2.5 Σύγκριση με Θερμικά Οχήματα (ICE)

Η παγκόσμια μετάβαση προς πιο βιώσιμους και οικολογικούς τρόπους μεταφοράς έχει αυξήσει σημαντικά την εξέχουσα θέση των Ηλεκτρικών Οχημάτων, διακρίνοντάς τα από τα συμβατικά οχήματα που κινούνται με κινητήρες εσωτερικής καύσης (ICE). Καθώς εντείνονται οι ανησυχίες για την κλιματική αλλαγή, την ατμοσφαιρική ρύπανση και τους πεπερασμένους πόρους ορυκτών καυσίμων, υπάρχει αυξανόμενη επιτακτική ανάγκη για μείωση των εκπομπών άνθρακα, εξοικονόμηση ενέργειας και απομάκρυνση από την εξάρτηση από τα παραδοσιακά καύσιμα βενζίνης και ντίζελ. Αυτή η ώθηση για πιο πράσινες λύσεις μετακίνησης έχει ωθήσει τις γρήγορες εξελίξεις στην τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων, καθιστώντας τα EV πιο προσιτά και αποτελεσματικά από ποτέ. Ωστόσο, αρκετοί κρίσιμοι παράγοντες εξακολουθούν να επηρεάζουν τη συνεχιζόμενη σύγκριση μεταξύ ηλεκτρικών και οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης, όπως η τεχνολογική ωριμότητα, η οικονομική προσιτότητα, η ανάπτυξη υποδομής και η καθημερινή πρακτικότητα για τους καταναλωτές [15].

2.5.1 Τεχνολογικές Διαφορές

Τα Η/Ο λειτουργούν χρησιμοποιώντας ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σε μπαταρίες ιόντων λιθίου, οι οποίες παρέχουν ισχύ σε έναν ή περισσότερους ηλεκτρικούς κινητήρες που είναι υπεύθυνοι για την πρόωση. Αυτές οι μπαταρίες είναι επαναφορτιζόμενες και μπορούν να φορτιστούν από το ηλεκτρικό δίκτυο, καθιστώντας τα EV μια φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά οχήματα. Αντίθετα, τα οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE) βασίζονται σε βενζίνη ή καύσιμο ντίζελ για να τροφοδοτήσουν έναν θερμικό κινητήρα που καίει το καύσιμο για να παράγει μηχανική ενέργεια, η οποία στη συνέχεια κινεί το όχημα. Η θεμελιώδης διαφορά έγκειται στον τρόπο με τον οποίο αυτά τα οχήματα παράγουν ενέργεια: τα EV μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται στις μπαταρίες απευθείας σε κίνηση, ενώ τα οχήματα ICE καίνε καύσιμο για να παράγουν θερμότητα που κινεί έμβολα ή τουρμπίνες. Από μηχανική άποψη, τα EV τείνουν να έχουν απλούστερο σχεδιασμό σε σύγκριση με τα αντίστοιχα εσωτερικής καύσης. Περιέχουν λιγότερα κινούμενα μέρη επειδή δεν διαθέτουν εξαρτήματα όπως τα έμβολα του κινητήρα, οι βαλβίδες, οι μάντες χρονισμού και τα πολύπλοκα συστήματα εξάτμισης. Αντίθετα, διαθέτουν συνήθως έναν ηλεκτρικό κινητήρα, μια μπαταρία και ένα βασικό σύστημα ελέγχου, το οποίο οδηγεί σε μια πιο απλή και αξιόπιστη μηχανική ρύθμιση. Αυτός ο βελτιωμένος σχεδιασμός μεταφράζεται σε πολλά πρακτικά πλεονεκτήματα, όπως μειωμένες ανάγκες συντήρησης, λιγότερες επισκευές και συχνά μεγαλύτερα διαστήματα μεταξύ των service.

Συνολικά, τα Η/Ο αντιπροσωπεύουν μια σημαντική τεχνολογική αλλαγή από τα συμβατικά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης, προσφέροντας έναν καθαρότερο, πιο αποτελεσματικό και μηχανικά απλούστερο τρόπο μεταφοράς. Η εξάρτησή τους από την ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται σε επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, σε συνδυασμό με τα ελάχιστα κινούμενα μέρη τους, τα τοποθετεί ως μια πολλά υποσχόμενη λύση για βιώσιμη κινητικότητα, μείωση των εκπομπών και μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με τα παραδοσιακά αυτοκίνητα με βενζίνη ή ντίζελ. Επιπλέον, τα EV γενικά δεν απαιτούν ένα παραδοσιακό σύστημα μετάδοσης, όπως κιβώτια ταχυτήτων πολλαπλών ταχυτήτων, επειδή οι ηλεκτρικοί κινητήρες μπορούν να προσφέρουν ένα ευρύ φάσμα ροπής σε διάφορες ταχύτητες αποτελεσματικά. Αυτή η απλότητα όχι μόνο ενισχύει την ανθεκτικότητα του οχήματος, αλλά μειώνει επίσης τη μηχανική πολυπλοκότητα, καθιστώντας τα EV ευκολότερα και λιγότερο δαπανηρά στη συντήρηση καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους. Η απουσία συστημάτων εξάτμισης, αλλαγής λαδιών και άλλων εργασιών συντήρησης που σχετίζονται με τα καύσιμα συμβάλλει περαιτέρω στο χαμηλότερο λειτουργικό κόστος τους.

2.5.2 Αποδοτικότητα και Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Τα Η/Ο είναι σημαντικά πιο ενεργειακά αποδοτικά σε σύγκριση με τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE), επιτυγχάνοντας συχνά επίπεδα απόδοσης έως και τρεις φορές υψηλότερα. Για παράδειγμα, για κάθε 100 μονάδες ενέργειας που παρέχονται σε ένα EV, μπορεί να ανακτήσει περισσότερες από 80 μονάδες για κίνηση και λειτουργία, επιδεικνύοντας υψηλό επίπεδο χρήσης ενέργειας. Αντίθετα, τα οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης τείνουν να σπαταλούν ένα σημαντικό μέρος της ενέργειας που καταναλώνουν, μετατρέποντάς τη κυρίως σε θερμότητα παρά σε χρήσιμη κίνηση. Αυτή η αναποτελεσματικότητα έχει ως αποτέλεσμα λιγότερο αποτελεσματική χρήση καυσίμου ή ηλεκτρικής ενέργειας, καθιστώντας τα EV μια πιο βιώσιμη επιλογή μεταφοράς όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας. Αντίθετα, τα οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης εκπέμπουν συνεχώς ρύπους όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), οξειδία του αζώτου (NO_x) και σωματίδια σε όλη τη διάρκεια ζωής τους. Αυτές οι εκπομπές συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή, το σχηματισμό αιθαλομίχλης, αναπνευστικά προβλήματα και άλλα θέματα υγείας.

Η συνεχιζόμενη απελευθέρωση αυτών των ουσιών από τα οχήματα ICE υπογραμμίζει τη σημασία της μετάβασης σε καθαρότερες επιλογές μεταφοράς όπως τα EV, τα οποία, όταν τροφοδοτούνται από πιο πράσινη ηλεκτρική ενέργεια, μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τις επιπτώσεις στην υγεία που σχετίζονται με τις προσωπικές και εμπορικές μεταφορές. Επιπλέον, τα ηλεκτρικά οχήματα παράγουν μηδενικές εκπομπές καυσαερίων κατά τη λειτουργία, γεγονός που μειώνει σημαντικά τη συμβολή τους στην ατμοσφαιρική ρύπανση και τη συσσώρευση αερίων του θερμοκηπίου. Αυτό το περιβαλλοντικό όφελος είναι ιδιαίτερα κρίσιμο στις αστικές περιοχές, όπου τα ζητήματα ποιότητας του αέρα είναι πιο έντονα. Ωστόσο, ο συνολικός περιβαλλοντικός αντίκτυπος των ηλεκτρικών οχημάτων επηρεάζεται από αρκετούς παράγοντες πέρα από τη λειτουργία τους. Για παράδειγμα, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ποικίλλει ανάλογα με τις πηγές

ενέργειας που χρησιμοποιούνται - οι ανανεώσιμες πηγές όπως η αιολική, η ηλιακή και η υδροηλεκτρική ενέργεια οδηγούν σε καθαρότερη ηλεκτρική ενέργεια, ενώ οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με βάση τα ορυκτά καύσιμα συμβάλλουν στη ρύπανση και τις εκπομπές άνθρακα. Επιπλέον, η διαδικασία εξόρυξης και επεξεργασίας πρώτων υλών για την κατασκευή μπαταριών, όπως το λίθιο, το κοβάλτιο και το νικέλιο, μπορεί να έχει σημαντικές οικολογικές και κοινωνικές επιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένης της καταστροφής των οικοτόπων, της κατανάλωσης νερού και της ρύπανσης [16].

2.5.3 Συγκριτική Ανάλυση

Η παρούσα ολοκληρωμένη συγκριτική εξέταση των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) και των οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICEV), εστιάζει στα θεμελιώδη τεχνικά χαρακτηριστικά τους, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τις λειτουργικές πτυχές τους. Αυτή η ανάλυση εμβαθύνει στις βασικές διαφορές και ομοιότητες μεταξύ αυτών των δύο τύπων οχημάτων, επισημαίνοντας πώς ποικίλλουν τα προφίλ σχεδίασης, απόδοσης και βιωσιμότητας. Διερευνά τα τεχνολογικά στοιχεία, όπως συστήματα κινητήρων, πηγές ενέργειας και μηχανισμούς τροφοδοσίας καυσίμου, παρέχοντας πληροφορίες για τα αντίστοιχα πλεονεκτήματα και περιορισμούς τους. Επιπλέον, αξιολογεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών, της κατανάλωσης πόρων και του οικολογικού αποτυπώματος, για να κατανοήσει τον ρόλο τους στην προώθηση βιώσιμων μεταφορών. Η συζήτηση καλύπτει επίσης τα λειτουργικά χαρακτηριστικά, περιλαμβάνοντας παράγοντες όπως η αυτονομία οδήγησης, οι απαιτήσεις συντήρησης, το κόστος ιδιοκτησίας και η εμπειρία χρήστη. Εξετάζοντας λεπτομερώς αυτές τις διαστάσεις, αυτή η συγκριτική ανάλυση στοχεύει να προσφέρει μια λεπτομερή κατανόηση των βασικών τεχνικών, περιβαλλοντικών και πρακτικών παραμέτρων που επηρεάζουν την υιοθέτηση και την απόδοση των EVs έναντι των οχημάτων ICE.

Πίνακας 2.1. Τεχνολογία & Κατασκευή

Χαρακτηριστικό	Ηλεκτρικά Οχήματα (EV)	Θερμικά Οχήματα (ICE)
Κινητήρας	Ηλεκτροκινητήρας	Βενζινοκινητήρας ή πετρελαιοκινητήρας
Κινούμενα μέρη	Πολύ λίγα (~20)	Πάνω από 200
Κιβώτιο ταχυτήτων	Συνήθως μονοτάχυτο	Πολυτάχυτο, χειροκίνητο ή αυτόματο
Συντήρηση	Ελάχιστη (χωρίς λάδια, φίλτρα, μάντες)	Συχνή και ακριβότερη

Πίνακας 2.2. Περιβάλλον & Ενεργειακή Απόδοση

Παράμετρος	EV	ICE
Εκπομπές CO₂	Μηδενικές κατά την οδήγηση	Υψηλές – εξαρτώνται από τον κινητήρα
Ενεργειακή απόδοση	80–90% (κατανάλωση ενέργειας προς κίνηση)	20–30% (μεγάλες απώλειες σε θερμότητα)

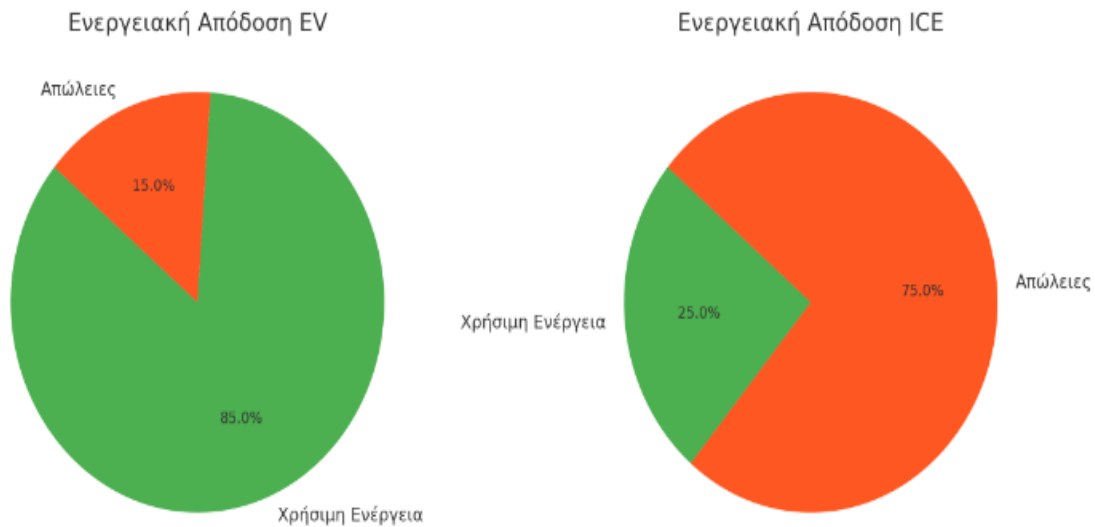
Θόρυβος	Πολύ χαμηλός	Υψηλός – ειδικά σε παλαιότερα οχήματα
Πηγή ενέργειας	Ηλεκτρισμός (δυνητικά από ΑΠΕ)	Ορυκτά καύσιμα

Πίνακας 2.3. Κόστος

Παράμετρος	EV	ICE
Τιμή αγοράς	Υψηλότερη (μειώνεται σταδιακά)	Χαμηλότερη
Ενέργεια/Καύσιμο	Φθηνότερη (kWh vs λίτρα)	Ακριβό καύσιμο (κυμαινόμενο κόστος)
Συντήρηση/Service	Φθηνότερη – λιγότερες φθορές	Ακριβότερη – αλλαγές λαδιών, αναλώσιμα
Αξία μεταπώλησης	Ασταθής (λόγω νέας τεχνολογίας)	Σταθερότερη (ευρύτερη αγορά)

Πίνακας 2.3. Απόδοση – Πρακτικότητα

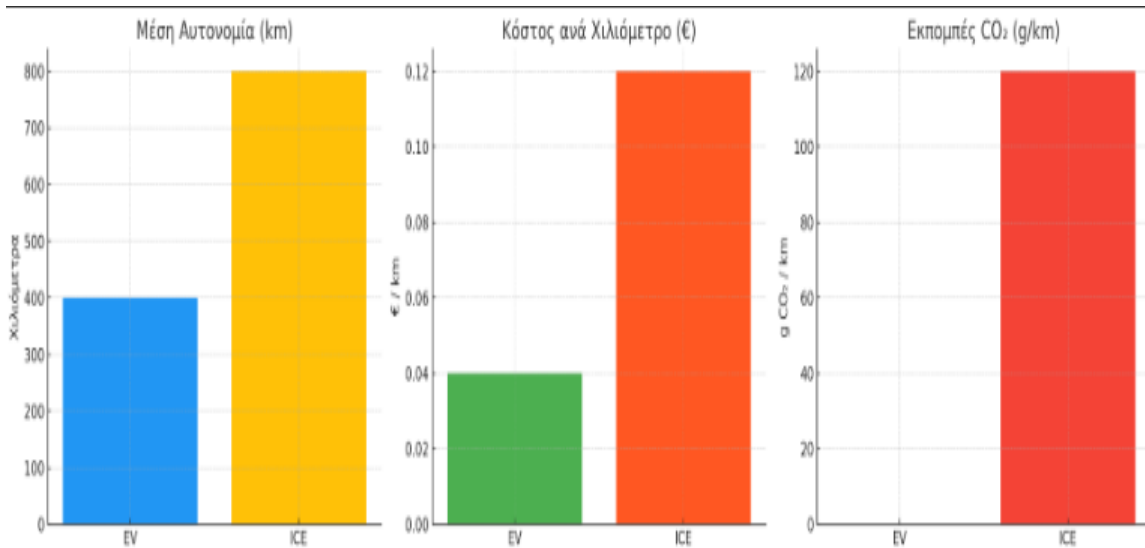
Παράμετρος	EV	ICE
Επιτάχυνση	Άμεση ροπή – πολύ γρήγορη	Προοδευτική
Αυτονομία	300–500 χλμ. (υψηλότερη σε premium EV)	600–1000 χλμ.
Χρόνος "ανεφοδιασμού"	30 λεπτά (ταχυφόρτιση) έως ώρες	3–5 λεπτά
Υποδομές	Υπό ανάπτυξη (ανάλογα με τη χώρα)	Εξαιρετικά ανεπτυγμένες



Εικόνα 2.6. Συγκριτική ενεργειακή απόδοση μεταξύ H/O και ICE.

Η ειδοποιός διαφορά στη χρήση ενέργειας μεταξύ EV και οχημάτων ICE υπογραμμίζει τα πιθανά πλεονεκτήματα της μετάβασης προς την ηλεκτρική κινητικότητα. Η υψηλότερη απόδοση των ηλεκτρικών οχημάτων μεταφράζεται σε χαμηλότερο ενεργειακό κόστος ανά μίλι που διανύεται και σε μειωμένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, ειδικά όταν η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται παράγεται από ανανεώσιμες πηγές. Αντίθετα, η περιορισμένη απόδοση των οχημάτων ICE τονίζει τους εγγενείς περιορισμούς της τεχνολογίας εσωτερικής καύσης, η οποία συνεχίζει να αντιμετωπίζει προκλήσεις που σχετίζονται με τη σπατάλη ενέργειας και τη ρύπανση. Ως εκ τούτου, αυτή η σύγκριση υπογραμμίζει τη σημασία της υιοθέτησης καθαρότερων, πιο αποτελεσματικών επιλογών μεταφοράς για την προώθηση της βιωσιμότητας και της εξοικονόμησης ενέργειας στο μέλλον.

Το γράφημα που παρουσιάζεται παραπάνω παρέχει μια λεπτομερή σύγκριση των επιπέδων ενεργειακής απόδοσης μεταξύ H/O και ICE. Αποδεικνύει ξεκάθαρα ότι τα EV είναι σημαντικά πιο αποτελεσματικά στη χρήση της ενέργειας που καταναλώνουν για σκοπούς πρόωσης. Συγκεκριμένα, τα Ηλεκτρικά Οχήματα μπορούν να μετατρέψουν περίπου το 85% της ηλεκτρικής ενέργειας που αντλούν από τις πηγές ενέργειας τους σε χρήσιμη κίνηση, πράγμα που σημαίνει ότι μόνο το 15% περίπου της ενέργειας χάνεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, κυρίως ως μικρές ηλεκτρικές ή μηχανικές απώλειες. Αυτό το υψηλό επίπεδο απόδοσης υπογραμμίζει τις τεχνολογικές εξελίξεις και τα βελτιστοποιημένα χαρακτηριστικά σχεδιασμού που είναι εγγενή στα EV, επιτρέποντάς τους να κάνουν καλύτερη χρήση της ενέργειας που τους παρέχεται. Αντίθετα, τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης είναι σημαντικά λιγότερο αποδοτικά στη μετατροπή του καυσίμου σε κίνηση. Συνήθως χρησιμοποιούν περίπου το 25% της χημικής ενέργειας που αποθηκεύεται στα καύσιμα για πρόωση, αφήνοντας ένα σημαντικό 75% της ενέργειας αχρησιμοποίητο για σκοπούς οδήγησης. Η πλειονότητα αυτής της απώλειας ενέργειας συμβαίνει ως θερμότητα, που παράγεται μέσω της διαδικασίας καύσης, τριβής μέσα στα εξαρτήματα του κινητήρα και άλλες μηχανικές ανεπάρκειες. Αυτή η σημαντική σπατάλη ενέργειας όχι μόνο επηρεάζει τη συνολική απόδοση του οχήματος, αλλά οδηγεί επίσης σε υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου και αυξημένες εκπομπές ρύπων, συμβάλλοντας σε περιβαλλοντικές ανησυχίες.



Εικόνα 2.7. Συγκριτικά διαγράμματα για EV και ICE οχήματα για Αυτονομία, Κόστος ανά χιλιόμετρο και Εκπομπές CO₂

Η παραπάνω εικόνα παρουσιάζει τρία συγκριτικά διαγράμματα μεταξύ ηλεκτρικών οχημάτων (EV) και οχημάτων εσωτερικής καύσης (ICE), εστιάζοντας σε βασικούς δείκτες: αυτονομία, κόστος ανά χιλιόμετρο και εκπομπές CO₂.

Στο πρώτο διάγραμμα συγκρίνεται η μέση αυτονομία των δύο τύπων οχημάτων. Τα θερμικά οχήματα διαθέτουν σημαντικά μεγαλύτερη αυτονομία, φτάνοντας κατά μέσο όρο τα 800 χιλιόμετρα με ένα γεμάτο ρεζερβουάρ. Αντίθετα, τα ηλεκτρικά οχήματα προσφέρουν περίπου 400 χιλιόμετρα αυτονομίας ανά πλήρη φόρτιση, αν και αυτό το νούμερο συνεχώς αυξάνεται με την πρόοδο της τεχνολογίας. Η διαφορά αυτή κάνει τα ICE πιο κατάλληλα για ταξίδια μεγάλων αποστάσεων, ενώ τα EV εξυπηρετούν καλύτερα τις καθημερινές μετακινήσεις εντός πόλης.

Στο δεύτερο διάγραμμα αποτυπώνεται το κόστος ανά χιλιόμετρο, το οποίο είναι σαφώς μικρότερο για τα ηλεκτρικά οχήματα (~0,04€/km) συγκριτικά με τα θερμικά (~0,12€/km). Αυτή η διαφορά προκύπτει από το χαμηλότερο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας έναντι της βενζίνης ή του πετρελαίου, αλλά και από την υψηλότερη ενεργειακή απόδοση των ηλεκτροκινητήρων.

Τέλος, το τρίτο διάγραμμα καταγράφει τις εκπομπές CO₂. Τα EV δεν παράγουν καθόλου εκπομπές κατά την οδήγηση, ενώ τα ICE εκπέμπουν κατά μέσο όρο 120 γραμμάρια CO₂ ανά χιλιόμετρο. Το στοιχείο αυτό αναδεικνύει την περιβαλλοντική υπεροχή των EV, ιδιαίτερα σε ένα πλαίσιο βιώσιμης κινητικότητας και μείωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης [17].

2.6 Τεχνολογικές Εξελίξεις σε Μπαταρίες και Συστήματα Κίνησης

Η παγκόσμια κίνηση προς την υιοθέτηση πηγών ηλεκτρικής ενέργειας αντιπροσωπεύει μια από τις πιο πρωτοποριακές τεχνολογικές εξελίξεις και περιβαλλοντικές πρωτοβουλίες του 21ου αιώνα. Η άνοδος των Η/Ο προσφέρει τη δυνατότητα να μειωθούν σημαντικά οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, να μειωθεί η εξάρτηση από τα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα και να ενισχυθεί η συνολική ενεργειακή απόδοση στις μεταφορές και σε άλλους τομείς. Στο επίκεντρο αυτής της μετάβασης βρίσκονται οι εξελίξεις στις τεχνολογίες μπαταριών και στα συστήματα ηλεκτρικής κίνησης, τα οποία έχουν γνωρίσει αξιοσημείωτη πρόοδο τα τελευταία χρόνια. Αυτές οι καινοτομίες όχι μόνο επιτρέπουν μεγαλύτερες αποστάσεις οδήγησης και ταχύτερους χρόνους φόρτισης, αλλά συμβάλλουν επίσης στον ευρύτερο στόχο της δημιουργίας μιας πιο βιώσιμης και καθαρότερης υποδομής μεταφορών. Καθώς οι κυβερνήσεις, οι βιομηχανίες και οι καταναλωτές δίνουν ολοένα και μεγαλύτερη προτεραιότητα στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα, η ανάπτυξη και η υιοθέτηση της τεχνολογίας Η/Ο συνεχίζει να επιταχύνεται, υπόσχοντας μετασχηματιστικό αντίκτυπο στην παγκόσμια κινητικότητα και τα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-ion) χρησιμεύουν ως η κύρια λύση αποθήκευσης ενέργειας για την πλειοψηφία των σύγχρονων ηλεκτρικών οχημάτων. Με την πάροδο των ετών, η ενεργειακή τους πυκνότητα έχει σημειώσει σημαντικές προόδους, επιτρέποντας στα οχήματα να επιτυγχάνουν μεγαλύτερες αποστάσεις οδήγησης, ενώ μειώνουν το συνολικό μέγεθος και το βάρος των μπαταριών. Παράλληλα με αυτές τις βελτιώσεις, το κόστος ανά κιλοβατώρα μειώνεται σταθερά, καθιστώντας τα Η/Ο πιο προσιτά σε ένα ευρύτερο τμήμα των καταναλωτών. Εκτός από τις τρέχουσες τεχνολογίες, αναδύμενες καινοτομίες όπως οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης είναι στον ορίζοντα. Αυτές οι μπαταρίες επόμενης γενιάς αναμένεται να προσφέρουν αξιοσημείωτα οφέλη, συμπεριλαμβανομένης της βελτιωμένης ασφάλειας λόγω της εξάλειψης των εύφλεκτων υγρών ηλεκτρολυτών, ταχύτερους χρόνους φόρτισης και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μπαταρίες ιόντων λιθίου υγρής κυψέλης, οι παραλλαγές στερεάς κατάστασης μειώνουν σημαντικά τον κίνδυνο πυρκαγιάς ή εκρήξεων, αντιμετωπίζοντας ορισμένες από τις κύριες ανησυχίες ασφαλείας που σχετίζονται με τις υπάρχουσες μπαταρίες ηλεκτρικών οχημάτων. Καθώς η έρευνα και η ανάπτυξη συνεχίζονται σε αυτόν τον τομέα, η εξέλιξη της τεχνολογίας μπαταριών υπόσχεται να βελτιώσει περαιτέρω την απόδοση, την ασφάλεια και την οικονομική προσιτότητα των ηλεκτρικών οχημάτων, ανοίγοντας το δρόμο για ευρύτερη υιοθέτηση και καθαρότερο μέλλον στις μεταφορές.

Μια επιπλέον σημαντική πτυχή που πρέπει να λάβετε υπόψη είναι η πρόοδος των δυνατοτήτων γρήγορης φόρτισης. Η επέκταση της υποδομής γρήγορης φόρτισης σε συνδυασμό με την υιοθέτηση τεχνολογιών φόρτισης υψηλής ισχύος, όπως τα συστήματα 800 volt, διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη δραστική μείωση του χρόνου που αφιερώνουν οι οδηγοί περιμένοντας να επαναφορτιστούν τα οχήματά τους. Κορυφαίες αυτοκινητοβιομηχανίες όπως η Tesla, η Porsche και η Hyundai έχουν ήδη κυκλοφορήσει μοντέλα εξοπλισμένα με χαρακτηριστικά ταχείας φόρτισης, επιτρέποντας στις μπαταρίες τους να φτάσουν το 80% της χωρητικότητας μέσα σε μόλις 15 έως 20 λεπτά. Αυτή η ικανότητα γρήγορης φόρτισης όχι μόνο

βελτιώνει την άνεση των χρηστών, αλλά βοηθά επίσης να γίνει η υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων πιο πρακτική και ελκυστική για ένα ευρύτερο κοινό.

Επιπλέον, σημειώνεται σημαντική πρόοδος στην ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων διαχείρισης ενέργειας, κοινώς γνωστών ως Συστήματα Διαχείρισης Μπαταριών (BMS). Αυτά τα εξελιγμένα συστήματα παρακολουθούν συνεχώς κρίσιμες παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, η τάση και η συνολική υγεία των μεμονωμένων στοιχείων εντός της μπαταρίας. Με την ακριβή παρακολούθηση αυτών των μετρήσεων, οι τεχνολογίες BMS συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση των διαδικασιών φόρτισης και εκφόρτισης, στην πρόληψη πιθανών αστοχιών και στη διασφάλιση της ασφάλειας του οχήματος. Ως αποτέλεσμα, συμβάλλουν στην αύξηση της αξιοπιστίας, της ασφάλειας και της συνολικής διάρκειας ζωής των μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων. Ο συνδυασμός ταχύτερων μεθόδων φόρτισης και πιο έξυπνων λύσεων διαχείρισης μπαταρίας είναι καθοριστικός για την αντιμετώπιση ορισμένων από τις βασικές προκλήσεις που αντιμετωπίζει η τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων, ανοίγοντας το δρόμο για ευρύτερη υιοθέτηση και πιο αποτελεσματική χρήση ενέργειας στον τομέα των μεταφορών.

Οι καινοτομίες στην αρχιτεκτονική των κινητήρων έχουν εισαγάγει νέες διαμορφώσεις που βελτιώνουν την απόδοση και το χειρισμό του οχήματος. Για παράδειγμα, οι κινητήρες εντός τροχού ενσωματώνουν τον ηλεκτροκινητήρα απευθείας στο συγκρότημα των τροχών, μειώνοντας την πολυπλοκότητα του συστήματος μετάδοσης κίνησης και επιτρέποντας πιο ακριβή έλεγχο μεμονωμένων τροχών. Ομοίως, η υιοθέτηση διπλών ηλεκτροκινητήρων σε συστήματα τετρακίνησης επιτρέπει καλύτερη πρόσφυση, σταθερότητα και δυναμικό χειρισμό, ειδικά σε δύσκολες συνθήκες οδήγησης. Αυτές οι εξελίξεις συμβάλλουν στη βελτίωση της συνολικής απόδοσης και ασφάλειας του οχήματος. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στους κινητήρες μόνιμου μαγνήτη έχουν επίσης εξελιχθεί. Η ενσωμάτωση στοιχείων σπάνιων γαιών, όπως το νεοδύμιο και το δυσπρόσιο, σε μόνιμους μαγνήτες ενισχύει σημαντικά την απόδοση και την πυκνότητα ισχύος αυτών των κινητήρων. Ωστόσο, λόγω ανησυχιών σχετικά με την προσφορά και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εξόρυξης σπάνιων γαιών, η έρευνα προχωρά σε τεχνολογίες κινητήρων χωρίς μαγνήτες. Αυτά τα εναλλακτικά σχέδια στοχεύουν στη διατήρηση ή ακόμα και στη βελτίωση της απόδοσης, μειώνοντας παράλληλα την εξάρτηση από κρίσιμες πρώτες ύλες, ενισχύοντας έτσι τη βιωσιμότητα και την ανθεκτικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας για συστήματα ηλεκτροκίνησης.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση αναγεννητικών συστημάτων πέδησης επιτρέπει στις μπαταρίες του οχήματος να ανακτούν και να επαναφορτίζουν ενέργεια κατά την επιβράδυνση ή όταν το όχημα βρίσκεται σε κίνηση, οδηγώντας σε σημαντική ώθηση στη συνολική ενεργειακή απόδοση και επεκτείνοντας την αυτονομία οδήγησης. Τα σύγχρονα Η/Ο εξοπλίζονται όλο και περισσότερο με προηγμένους αλγόριθμους και λογισμικό βελτιστοποίησης καυσίμου που αναλύουν διάφορους παράγοντες για τη βελτίωση της απόδοσης και της αποδοτικότητας. Με την ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης (AI), αυτά τα οχήματα μπορούν να προβλέψουν έξυπνα τις επερχόμενες συνθήκες οδήγησης, όπως κυκλοφοριακή συμφόρηση, κλίσεις δρόμου και μοτίβα οδήγησης, επιτρέποντάς τους να προσαρμόσουν δυναμικά την κατανομή ισχύος, να βελτιστοποιήσουν τη

Κεφάλαιο 2

χρήση ενέργειας και να βελτιώσουν τη λειτουργική απόδοση. Αυτή η συνέργεια αναγεννητικής πέδησης, ευφυούς λογισμικού και προβλέψεων βάσει τεχνητής νοημοσύνης όχι μόνο μεγιστοποιεί την εξοικονόμηση ενέργειας αλλά ενισχύει επίσης την οδηγική εμπειρία διασφαλίζοντας ομαλότερη λειτουργία και καλύτερη διαχείριση των πόρων. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται, τα Η/Ο γίνονται πιο έξυπνα και πιο αποτελεσματικά, ανοίγοντας το δρόμο για βιώσιμες λύσεις μεταφοράς που είναι τόσο φιλικές προς το περιβάλλον όσο και οικονομικά αποδοτικές [17].

Κεφάλαιο 3ο : Περιβαλλοντικές και Οικονομικές Επιπτώσεις

3.1 Ανάλυση εκπομπών CO₂ και Ενεργειακής Κατανάλωσης

Τα Η/Ο αναγνωρίζονται όλο και περισσότερο ως ζωτικής σημασίας συστατικό στην παγκόσμια στρατηγική για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και τη διευκόλυνση της στροφής προς βιώσιμες, καθαρές λύσεις κινητικότητας. Για την πλήρη κατανόηση και αξιολόγηση των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων, είναι απαραίτητο να διεξαχθεί μια ενδεδειγμένη και λεπτομερής αξιολόγηση που θα λαμβάνει υπόψη όλα τα στάδια της ύπαρξής τους. Αυτό περιλαμβάνει την εξέταση δύο βασικών πτυχών: της ποσότητας ενέργειας που καταναλώνουν κατά τη λειτουργία και των συνολικών εκπομπών CO₂ που παράγονται σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους, από την κατασκευή και την εξόρυξη πρώτων υλών έως τη χρήση, τη συντήρηση και την τελική απόρριψη ή ανακύκλωση. Μια τέτοια ολοκληρωμένη αξιολόγηση πραγματοποιείται συνήθως μέσω μιας Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment - LCA), η οποία παρέχει μια εις βάθος ανάλυση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των Η/Ο λαμβάνοντας υπόψη όλους τους σχετικούς παράγοντες και διαδικασίες που εμπλέκονται στην παραγωγή, τη χρήση και τη διαχείριση του τέλους ζωής τους.

Πέρα από την απόδοση καυσίμου, τα περιβαλλοντικά οφέλη των ηλεκτρικών οχημάτων είναι επίσης αξιοσημείωτα. Γενικά παράγουν χαμηλότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου κατά τη λειτουργία. Τα συμβατικά οχήματα εκπέμπουν περίπου 120 έως 180 γραμμάρια CO₂ ανά διανυόμενο χιλιόμετρο, αριθμός που επηρεάζεται από τον τύπο του καυσίμου που χρησιμοποιείται, την τεχνολογία του κινητήρα και την οδηγική συμπεριφορά. Αντίθετα, τα Η/Ο, ανάλογα με την πηγή της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν, μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις εκπομπές άνθρακα, ειδικά όταν τροφοδοτούνται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Κατά τη φάση λειτουργίας, τα Η/Ο όχι μόνο υπερτερούν των παραδοσιακών οχημάτων σε ενεργειακή απόδοση, αλλά συμβάλλουν λιγότερο στην ατμοσφαιρική ρύπανση και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, καθιστώντας τα μια πιο βιώσιμη επιλογή μεταφοράς. Ο ηλεκτροκινητήρας που χρησιμοποιείται στα Η/Ο επιτυγχάνει συνήθως θερμοδυναμική απόδοση που κυμαίνεται από περίπου 85% έως 95%, που σημαίνει ότι ένα μεγάλο ποσοστό της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται αποτελεσματικά σε μηχανική ισχύ. Συγκριτικά, οι κινητήρες εσωτερικής καύσης είναι σημαντικά λιγότερο αποδοτικοί, γενικά περιορίζονται σε περίπου 20% έως 30%, με μεγάλο μέρος της ενέργειας να χάνεται ως θερμότητα κατά την καύση και τις μηχανικές διεργασίες. Συνεπώς, τα ηλεκτρικά οχήματα τείνουν να είναι πιο ενεργειακά αποδοτικά συνολικά [15].

Ωστόσο, η προέλευση της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται είναι ζωτικός παράγοντας για την αξιολόγηση των συνολικών περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων. Για παράδειγμα, εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπου ένα σημαντικό μερίδιο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η αιολική, η ηλιακή και

η υδροηλεκτρική ενέργεια, οι εκτιμώμενες εκπομπές CO₂ που σχετίζονται με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για ένα σύστημα υψηλής τάσης (H/V) κυμαίνονται περίπου μεταξύ 35 και 80 γραμμαρίων CO₂ ανά διανυόμενο χιλιόμετρο. Αντίθετα, σε χώρες που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον άνθρακα για τις ενεργειακές τους ανάγκες -όπως η Πολωνία ή η Ινδία- οι έμμεσες εκπομπές που αποδίδονται στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να κλιμακωθούν σημαντικά, μερικές φορές φτάνοντας ή και ξεπερνώντας τα 100 έως 120 γραμμάρια CO₂ ανά χιλιόμετρο. Αυτή η παραλλαγή υπογραμμίζει πώς η σύνθεση του ηλεκτρικού δικτύου έχει άμεσο και βαθύ αντίκτυπο στην πραγματική περιβαλλοντική απόδοση των ηλεκτροκίνητων μεταφορών ή συστημάτων, καθώς το αποτύπωμα άνθρακα επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας.

Το CO₂ που σχετίζεται με τη διαδικασία κατασκευής, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για την παραγωγή της μπαταρίας, είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Για παράδειγμα, η δημιουργία μιας τυπικής μπαταρίας ιόντων λιθίου 60 kWh - που χρησιμοποιείται συνήθως σε ηλεκτρικά οχήματα όπως το Tesla Model 3 ή το VW ID.4 - έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή περίπου 3 έως 9 τόνων CO₂. Η ακριβής ποσότητα ποικίλλει ανάλογα με τις πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία παραγωγής. Εάν η διαδικασία βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στα ορυκτά καύσιμα, οι εκπομπές τείνουν να είναι υψηλότερες, ενώ ένα καθαρότερο ενεργειακό μείγμα μπορεί να μειώσει σημαντικά το αποτύπωμα άνθρακα. Αυτή η αρχική απελευθέρωση αερίων του θερμοκηπίου αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό αρχικό περιβαλλοντικό κόστος. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτή η αρχική επένδυση άνθρακα αντισταθμίζεται κατά τη διάρκεια ζωής του οχήματος, γενικά μέσα σε ένα χρονικό διάστημα περίπου 2 έως 4 ετών τακτικής χρήσης. Όσον αφορά τη διανυθείσα απόσταση, αυτό μεταφράζεται σε περίπου 30.000 έως 60.000 χιλιόμετρα, ανάλογα με διάφορους παράγοντες όπως οι συνθήκες οδήγησης, οι πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται για τη φόρτιση και η περιφερειακή απόδοση. Κατά τη διάρκεια της λειτουργικής ζωής του οχήματος, οι εκπομπές που σχετίζονται με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για φόρτιση είναι συνήθως χαμηλότερες από εκείνες των παραδοσιακών οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης, καθιστώντας τα ηλεκτρικά οχήματα μια πιο φιλική προς το περιβάλλον επιλογή μακροπρόθεσμα.

Εκτός από τις υπάρχουσες τεχνολογίες, η συνεχιζόμενη έρευνα και ανάπτυξη εξερευνά νέα υλικά και χημικές μπαταρίες που θα μπορούσαν να φέρουν επανάσταση στην ενεργειακή απόδοση των H/O στο μέλλον. Για παράδειγμα, οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης αναδεικνύονται ως μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά κύτταρα ιόντων λιθίου. Αυτές οι μπαταρίες χρησιμοποιούν στερεούς ηλεκτρολύτες αντί για υγρούς, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε πολλά οφέλη, όπως αυξημένη ενεργειακή πυκνότητα, μειωμένο βάρος και ενισχυμένη ασφάλεια. Το μικρότερο βάρος και η υψηλότερη ενεργειακή χωρητικότητα των μπαταριών στερεάς κατάστασης θα μπορούσαν να επεκτείνουν σημαντικά την αυτονομία του οχήματος, ενώ θα μειώσουν τις ενεργειακές απαιτήσεις για λειτουργία. Καθώς αυτές οι καινοτομίες ωριμάζουν και γίνονται εμπορικά βιώσιμες, έχουν τη δυνατότητα να μεταμορφώσουν περαιτέρω το τοπίο της ηλεκτρικής κινητικότητας, καθιστώντας τα H/O ακόμα πιο αποτελεσματικά, βιώσιμα και προσβάσιμα για ευρεία υιοθέτηση. Επιπλέον, τα προηγμένα

συστήματα διαχείρισης θερμότητας διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη βελτιστοποίηση της απόδοσης των EV. Αυτά τα συστήματα ρυθμίζουν τη θερμοκρασία του πακέτου μπαταριών και άλλων κρίσιμων εξαρτημάτων, διασφαλίζοντας ότι λειτουργούν εντός των βέλτιστων ορίων θερμοκρασίας. Διατηρώντας τις κατάλληλες θερμικές συνθήκες, αυτά τα συστήματα βοηθούν στην πρόληψη της υπερθέρμανσης και της υποβάθμισης των στοιχείων της μπαταρίας, παρατείνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και διατηρώντας υψηλά επίπεδα απόδοσης με την πάροδο του χρόνου.

Η βελτιωμένη διαχείριση θερμότητας όχι μόνο ενισχύει την ασφάλεια αλλά και εξασφαλίζει σταθερή απόδοση, ειδικά σε ακραίες καιρικές συνθήκες. Εκτός από τη μείωση των εκπομπών, η συνολική ενεργειακή απόδοση των Η/Ο βελτιώνεται σημαντικά μέσω διαφόρων καινοτόμων τεχνολογιών. Μια τέτοια τεχνολογία είναι τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας, ιδίως το αναγεννητικό φρενάρισμα, το οποίο συλλαμβάνει και μετατρέπει την κινητική ενέργεια που συνήθως θα διαχέεται ως θερμότητα κατά την πέδηση σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτή η ανακτώμενη ενέργεια μπορεί στη συνέχεια να αποθηκευτεί στην μπαταρία του οχήματος για μελλοντική χρήση, βελτιώνοντας αποτελεσματικά την αυτονομία του οχήματος και μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας. Ανάλογα με το σύστημα και τις συνθήκες οδήγησης, η πέδηση με ανάκτηση μπορεί να ανακτήσει από περίπου 15% έως 25% της ενέργειας που διαφορετικά θα χάνονταν, καθιστώντας το όχημα πιο αποδοτικό και φιλικό προς το περιβάλλον.

Τέλος, η ικανότητα ανακύκλωσης χρησιμοποιημένων μπαταριών και επαναχρησιμοποίησής τους για εφαρμογές δεύτερης ζωής σε αξιόπιστες λύσεις αποθήκευσης ενέργειας διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην προώθηση της συνολικής βιωσιμότητας των ηλεκτρικών οχημάτων. Οι πρόοδοι στις τεχνολογίες ανακύκλωσης έχουν οδηγήσει σε σημαντική αύξηση του ποσοστού των ανακυκλώσιμων υλικών που εξάγονται από σύγχρονες μπαταρίες, με τις τρέχουσες εκτιμήσεις να δείχνουν ότι περισσότερο από το 70% έως 90% των εξαρτημάτων των μπαταριών μπορούν να ανακτηθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν. Αυτό το υψηλό ποσοστό ανακύκλωσης όχι μόνο μειώνει τη ζήτηση για εξόρυξη πρώτων υλών, αλλά ελαχιστοποιεί επίσης τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τη δημιουργία απορριμμάτων. Επιπλέον, τα ρυθμιστικά πλαίσια τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε διεθνές επίπεδο δίνουν ολοένα και μεγαλύτερη έμφαση στην ανάπτυξη μιας κυκλικής οικονομίας κλειστού βρόχου στον τομέα της ηλεκτρικής κινητικότητας. Αυτές οι νομοθετικές πρωτοβουλίες στοχεύουν στη δημιουργία ολοκληρωμένων συστημάτων συλλογής, επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης μπαταριών, διασφαλίζοντας έτσι ότι πολύτιμα υλικά διατηρούνται σε κυκλοφορία και ότι ο κύκλος ζωής των μπαταριών επεκτείνεται μέσω εφαρμογών δεύτερης ζωής. Τέτοια μέτρα είναι ουσιαστικά βήματα προς τη δημιουργία μιας βιώσιμης, αποτελεσματικής και περιβαλλοντικά υπεύθυνης βιομηχανίας ηλεκτρικών οχημάτων που ευθυγραμμίζεται με τις παγκόσμιες προσπάθειες για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα και τη διατήρηση των φυσικών πόρων.

3.2 Συνολικό κόστος Ιδιοκτησίας (Total Cost of Ownership (TCO))

Το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας (Total Cost of Ownership - TCO) ενός οχήματος περιλαμβάνει τη συνολική συσσώρευση όλων των εξόδων που πραγματοποιήθηκαν σε όλη τη διάρκεια ζωής του οχήματος. Αυτό περιλαμβάνει έξοδα που σχετίζονται με την αγορά ή τη μίσθωση του οχήματος, καθώς και τα έξοδα που σχετίζονται με τη λειτουργία, τη συντήρηση, τις επισκευές, την ασφάλιση και την ενδεχόμενη διάθεση ή μεταπώλησή του. Όταν εξετάζουμε τα Η/Ο, η αξιολόγηση του TCO γίνεται ιδιαίτερα σημαντική, καθώς παρέχει μια λεπτομερή κατανόηση των συνολικών οικονομικών επιπτώσεων και της πιθανής απόδοσης επένδυσης κατά τη διάρκεια ζωής του οχήματος. Αυτή η ανάλυση είναι ζωτικής σημασίας για τους καταναλωτές, τους διαχειριστές στόλου και τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, καθώς βοηθά στον προσδιορισμό των οικονομικών πλεονεκτημάτων ή μειονεκτημάτων της επιλογής Η/Ο σε σύγκριση με τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE), τα οποία βασίζονται σε βενζίνη ή ντίζελ. Εξετάζοντας το TCO, οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να λάβουν πιο ενημερωμένες αποφάσεις σχετικά με το ποιος τύπος οχήματος προσφέρει την καλύτερη αξία, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως το κόστος καυσίμου, τις ανάγκες συντήρησης, τα κρατικά κίνητρα και την υπολειμματική αξία, διευκολύνοντας έτσι μια συνολική αξιολόγηση της μακροπρόθεσμης οικονομικής βιωσιμότητας των ηλεκτρικών οχημάτων έναντι των συμβατικών επιλογών.

Τα Η/Ο έχουν γενικά υψηλότερη αρχική τιμή αγοράς σε σύγκριση με τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ακριβή τεχνολογία μπαταριών που τροφοδοτεί τα Η/Ο. Για παράδειγμα, ένα τυπικό συμπαγές ηλεκτρικό αυτοκίνητο κατηγορίας C - όπως το Volkswagen ID.3 ή το Tesla Model 3 - μπορεί να κοστίζει λιανικά μεταξύ περίπου 35.000 και 45.000 €. Αντίθετα, ένα συμβατικό αυτοκίνητο παρόμοιου μεγέθους, όπως το Volkswagen Golf με κινητήρα εσωτερικής καύσης, συνήθως κοστίζει μεταξύ 25.000 και 30.000 €. Παρά αυτή την αρχική διαφορά κόστους, πολλές κυβερνήσεις και τοπικές αρχές προσφέρουν διάφορα κίνητρα, εκπτώσεις και επιδοτήσεις που στοχεύουν στην προώθηση της ηλεκτρικής κινητικότητας. Αυτά τα μέτρα οικονομικής στήριξης μπορούν να μειώσουν την πραγματική τιμή αγοράς κατά περίπου 4.000 έως 9.000 €, βελτιώνοντας σημαντικά την προσιτότητα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και καθιστώντας τα πιο προσιτά σε ένα ευρύτερο φάσμα καταναλωτών. Ενώ η αρχική τιμή αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων παραμένει υψηλότερη από αυτή των παραδοσιακών αυτοκινήτων, ο συνδυασμός κυβερνητικών κινήτρων, χαμηλότερου λειτουργικού κόστους, μειωμένων εξόδων συντήρησης και πιθανών φορολογικών οφελών καθιστά την ιδιοκτησία ηλεκτρικού οχήματος ολοένα και πιο ελκυστική. Μακροπρόθεσμα, η εξοικονόμηση καυσίμων και συντήρησης μπορεί να αντισταθμίσει το υψηλότερο αρχικό κόστος, και η επέκταση της υποδομής φόρτισης ενισχύει περαιτέρω την πρακτικότητά τους.

Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται και οι εγγυήσεις των μπαταριών επεκτείνονται, η υπολειμματική αξία και η συνολική προσιτή τιμή των ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να βελτιωθούν, ενισχύοντας τον ρόλο τους ως βιώσιμη εναλλακτική λύση στην αγορά αυτοκινήτων. Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι μηχανικά απλούστερα από τα αντίστοιχα ICE λόγω λιγότερων κινούμενων μερών - δεν απαιτούνται πολύπλοκα κιβώτια ταχυτήτων, συστήματα εξάτμισης,

μπουζί, μάντες ή αλλαγές λαδιών. Ως αποτέλεσμα, το κόστος συντήρησης για τα ηλεκτρικά οχήματα είναι συνήθως σημαντικά χαμηλότερο. Μελέτες που διεξήχθησαν από οργανισμούς όπως οι Consumer Reports και η ADAC δείχνουν ότι τα έξοδα συντήρησης για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι συχνά μεταξύ 30% και 50% χαμηλότερα από εκείνα για συγκρίσιμα οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Για παράδειγμα, σε μια περίοδο 8 ετών, το συνολικό κόστος συντήρησης για ένα ηλεκτρικό όχημα μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 2.000 και 2.500 ευρώ, ενώ ένα όχημα με κινητήρα εσωτερικής καύσης θα μπορούσε να έχει κόστος από 4.000 έως 5.000 ευρώ κατά την ίδια περίοδο, λαμβάνοντας υπόψη τις επισκευές, την αντικατάσταση ελαστικών, την αλλαγή υγρών και άλλες συνήθεις υπηρεσίες [1].

Όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση, τα Η/Ο σαφώς ξεπερνούν τα παραδοσιακά οχήματα. Κατά μέσο όρο, ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο καταναλώνει περίπου 17 κιλοβατώρες (kWh) ανά 100 χιλιόμετρα οδήγησης. Δεδομένου του τυπικού τιμολογίου ηλεκτρικής ενέργειας για οικιακή χρήση περίπου 0,20 ευρώ ανά kWh, αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα κόστος ενέργειας περίπου 3,40 ευρώ για κάθε 100 χιλιόμετρα που διανύονται. Συγκριτικά, ένα συμβατικό όχημα με κατανάλωση καυσίμου περίπου 7 λίτρα ανά 100 χλμ., με τιμή καυσίμου 1,90 € ανά λίτρο, επιβαρύνεται με περίπου 13,30 € σε κόστος καυσίμου για την ίδια απόσταση. Σε μια μακροπρόθεσμη διαδρομή περίπου 150.000 χλμ., αυτή η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να συσσωρευτεί σε περισσότερα από 15.000 €, κυρίως μόνο μέσω της μείωσης του κόστους καυσίμων. Επιπλέον, τα ηλεκτρικά οχήματα τείνουν να έχουν πιο προβλέψιμο και σταθερό λειτουργικό κόστος, καθώς οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας είναι γενικά λιγότερο ασταθείς από τις τιμές των καυσίμων, συμβάλλοντας περαιτέρω στην εξοικονόμηση κόστους κατά τη διάρκεια ζωής του οχήματος. Για τους ιδιοκτήτες που φορτίζουν κυρίως τα ηλεκτρικά τους οχήματα στο σπίτι, η επένδυση σε έναν ειδικό επιτοίχιο σταθμό φόρτισης - που συχνά κοστίζει μεταξύ 800 και 1.200 € - μπορεί να είναι μια αξιόλογη δαπάνη. Ενώ αυτό αντιπροσωπεύει μια αρχική επένδυση, προσφέρει την ευκολία της ταχύτερης και πιο οικονομικής φόρτισης, καθιστώντας την καθημερινή χρήση πιο πρακτική. Από την άλλη πλευρά, οι δημόσιοι σταθμοί φόρτισης συνήθως χρεώνουν μεταξύ 0,30 και 0,60 ευρώ ανά kWh, κάτι που μπορεί να είναι πιο ακριβό, αλλά είναι απαραίτητο για μεγαλύτερα ταξίδια ή καταστάσεις όπου η φόρτιση στο σπίτι δεν είναι εφικτή. Οι δημόσιες υποδομές φόρτισης συνεχίζουν να επεκτείνονται, αυξάνοντας την προσβασιμότητα για τους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων και μειώνοντας το άγχος της αυτονομίας, υποστηρίζοντας έτσι την ευρύτερη υιοθέτηση λύσεων ηλεκτρικής κινητικότητας. Η αξία μεταπώλησης των Η/Ο είναι ολοένα και πιο ευνοϊκή, ειδικά για μοντέλα που είναι γνωστά για τις αξιόπιστες μπαταρίες τους και διατηρούν μια καλή υπολειπόμενη αυτονομία. Καθώς η αγορά μεταχειρισμένων ηλεκτρικών αυτοκινήτων επεκτείνεται, τέτοια οχήματα γίνονται ιδιαίτερα περιζήτητα. Παρ' όλα αυτά, οι ραγδαίες εξελίξεις στην τεχνολογία Η/Ο και οι βελτιώσεις των μπαταριών μπορούν μερικές φορές να οδηγήσουν σε μειωμένες υπολειμματικές αξίες για τα παλαιότερα μοντέλα, καθώς οι καταναλωτές προτιμούν νεότερες, πιο αποδοτικές εκδόσεις. Ωστόσο, με την επέκταση των εγγυήσεων των μπαταριών - που συνήθως καλύπτουν 8 χρόνια ή έως 160.000 χλμ. - και τις συνεχιζόμενες τεχνολογικές βελτιώσεις, αναμένεται ότι τα ποσοστά απόσβεσης θα σταθεροποιηθούν, καθιστώντας τα ηλεκτρικά οχήματα μια πιο προβλέψιμη επένδυση στην αγορά

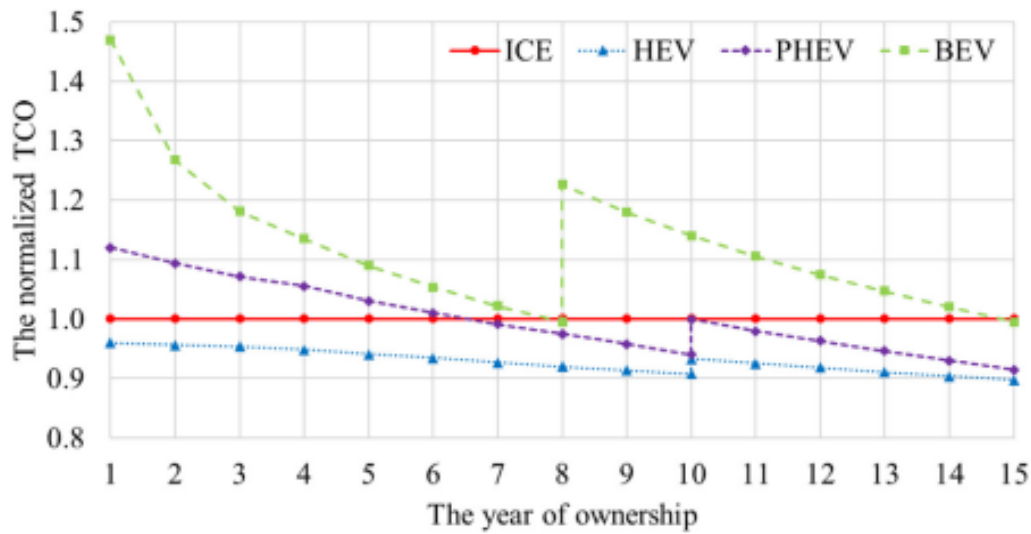
Κεφάλαιο 3

μεταχειρισμένων οχημάτων. Ακόμη, πολλές περιοχές προσφέρουν κίνητρα για τους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων με τη μορφή μειωμένων ή μηδενικών τελών κυκλοφορίας και χαμηλότερων φόρων ακίνητης περιουσίας, τα οποία μπορούν να μειώσουν σημαντικά το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας. Τέλος, ενώ τα ασφάλιστρα για τα ηλεκτρικά οχήματα μπορεί μερικές φορές να είναι ελαφρώς υψηλότερα λόγω της υψηλότερης αγοραίας αξίας τους και του κόστους επισκευής, αυτή η πιθανή αύξηση συχνά αντισταθμίζεται από τη χαμηλότερη πιθανότητα μηχανικών βλαβών και βλαβών, οι οποίες μπορούν να μειώσουν τα έξοδα επισκευής και διεκδίκησης αποζημιώσεων με την πάροδο του χρόνου [2].

Ο επόμενος πίνακας αποτελεί μια συγκριτική ανάλυση - σύγκριση TCO (Total Cost of Ownership) ανάμεσα σε ένα Η/Ο και ένα όχημα εσωτερικής καύσης για μια περίοδο 15 ετών και 150.000 χιλιομέτρων, με ενδεικτικά στοιχεία για μεσαίας κατηγορίας οχήματα (π.χ. VW ID.3 vs VW Golf):

Πίνακας 3.1. Σύγκριση TCO (Total Cost of Ownership) ανάμεσα σε ένα Η/Ο και ένα όχημα εσωτερικής καύσης για μια περίοδο 15 ετών και 150.000 χιλιομέτρων

Κατηγορία	Ηλεκτρικό Όχημα (Η/Ο)	Όχημα Εσωτερικής Καύσης (ICE)
Αρχικό κόστος αγοράς	40.000 €	28.000 €
Επιδότησεις/Κίνητρα	-6.000 €	0 €
Καθαρό κόστος αγοράς	34.000 €	28.000 €
Κόστος ενέργειας (150.000 km)	0,20 €/kWh × 17 kWh/100km = 5.100 €	1,90 €/lt × 7 lt/100km = 19.950 €
Συντήρηση & Service	~2.500 €	~4.500 €
Ασφάλιση (8 έτη)	6.400 € (800 €/έτος)	6.000 € (750 €/έτος)
Τέλη κυκλοφορίας	0 €	~2.000 € (~250 €/έτος)
Αξία μεταπώλησης (8ο έτος)	~13.000 €	~9.000 €
Συνολικό TCO (15 έτη)	(34.000 + 5.100 + 2.500 + 6.400 - 13.000) = 35.000 €	(28.000 + 19.950 + 4.500 + 6.000 + 2.000 - 9.000) = 51.450 €
Κόστος ανά χλμ	0,233 €/km	0,343 €/km

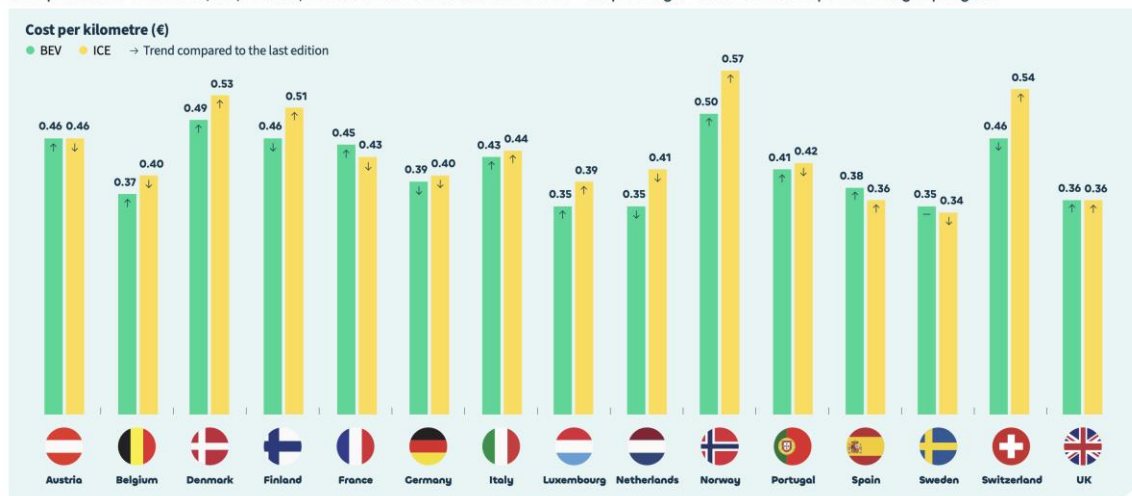


Εικόνα 3.1. Σύγκριση TCO (Total Cost of Ownership) ανάμεσα σε ένα Η/Ο και ένα όχημα εσωτερικής καύσης για μια περίοδο 15 ετών και 150.000 χιλιομέτρων

Βάσει του Aynvens Mobility Guide 2024 [20], υπήρξαν σημαντικές αλλαγές στην ανταγωνιστικότητα του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας σε διάφορες αγορές παγκοσμίως [3]. Αν και τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία (BEV) συνεχίζουν να κατέχουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε 13 ευρωπαϊκές χώρες, όπως το Βέλγιο, η Δανία και η Γερμανία, αυτό το πλεονέκτημα έχει μειωθεί σε πολλές άλλες χώρες. Συγκεκριμένα, το χάσμα μειώθηκε ή και αντιστράφηκε σε αγορές όπως η Γαλλία, η Σουηδία και η Ισπανία, όπου τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης ή εναλλακτικές επιλογές κινητήρων γίνονται ολοένα και πιο οικονομικά. Αυτές οι αλλαγές υπογραμμίζουν την εξελισσόμενη οικονομική δυναμική, τις αλλαγές στα κρατικά κίνητρα, τις τιμές των καυσίμων, την υποδομή φόρτισης και τις προτιμήσεις των καταναλωτών που επηρεάζουν τη σχετική ελκυστικότητα των BEV σε διαφορετικές περιοχές. Ως αποτέλεσμα, οι αυτοκινητοβιομηχανίες και οι καταναλωτές πρέπει να επανεκτιμήσουν τις στρατηγικές και τις επιλογές τους υπό το φως αυτών των συνεχιζόμενων αλλαγών στην ανταγωνιστικότητα της αγοράς (Εικ. 3.2).

Κεφάλαιο 3

Cost per Km for 48 months/120,000 Km, BEV VS ICE TCO Benchmark Q1 2024 – all passenger car models in scope excluding Top Mgmt.



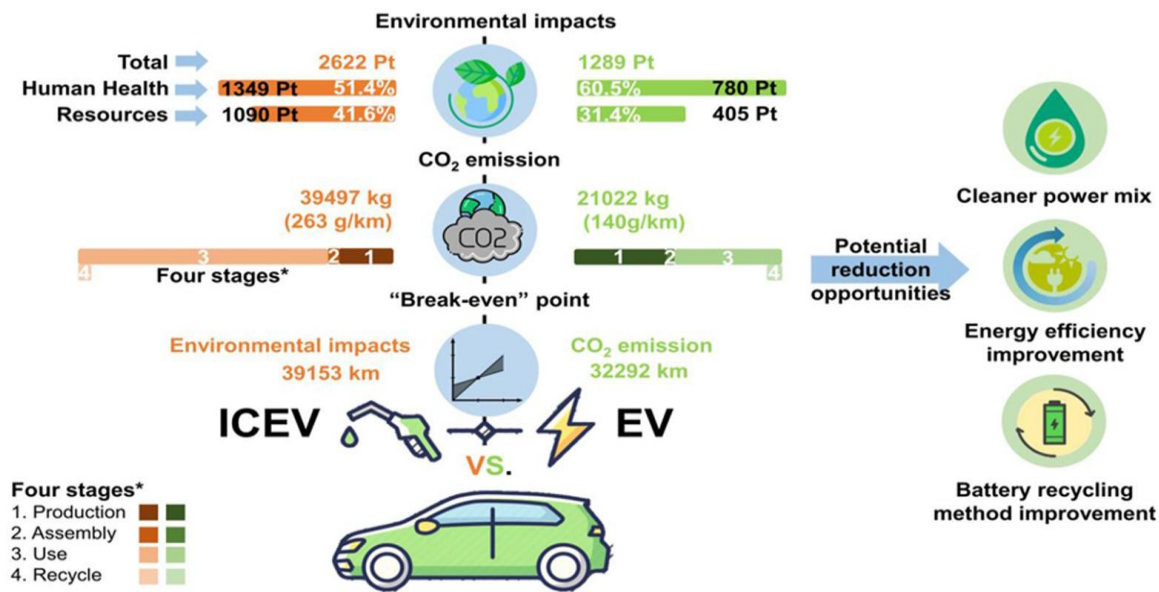
Εικόνα 3.2. Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας για τα BEV σε σύγκριση με τα οχήματα με ICE, για 13 Ευρωπαϊκές Πρωτεύουσες (Στοιχεία 2024). Πηγή: [3]

Σε διάφορες χώρες, το συνολικό κόστος της κατοχής ενός BEV έχει πλέον ξεπεράσει αυτό των παραδοσιακών οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Αυτή η αλλαγή οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στον τερματισμό των κρατικών οικονομικών κινήτρων για τους αγοραστές ηλεκτρικών οχημάτων και στην πρόσφατη κλιμάκωση των τιμών της ενέργειας. Για παράδειγμα, η Γαλλία απέσυρε τα πλεονεκτήματά της για εταιρικούς πελάτες που αγοράζουν BEV και η Γερμανία απροσδόκητα ακύρωσε εντελώς τις επιδοτήσεις για την αγορά H/O. Αυτές οι αλλαγές πολιτικής έχουν καταστήσει προσωρινά τα οχήματα ICE πιο ελκυστικά οικονομικά, ειδικά βραχυπρόθεσμα. Αντίθετα, στο Ηνωμένο Βασίλειο και την Αυστρία, το συνολικό κόστος της κατοχής ενός BEV ευθυγραμμίστηκε για άλλη μια φορά με αυτό των οχημάτων ICE, υποδηλώνοντας μια στροφή πίσω προς την ισοτιμία. Παρά αυτά τα εμπόδια, τα BEV εξακολουθούν να έχουν σημαντικά μακροπρόθεσμα οικονομικά οφέλη σε πολλές αγορές. Παράγοντες όπως η αυξανόμενη ποικιλία των διαθέσιμων μοντέλων EV και η ταχεία ανάπτυξη της υποδομής φόρτισης διαδραματίζουν κρίσιμους ρόλους στη διατήρηση της ανταγωνιστικότητας των BEV. Χώρες όπως η Ολλανδία και η Νορβηγία βρίσκονται στην πρώτη γραμμή της επέκτασης των υποδομών, γεγονός που έχει μειώσει σημαντικά το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας των BEV καθιστώντας τη χρέωση πιο προσιτή και βολική. Αυτή η συνεχιζόμενη πρόοδος υποδηλώνει ότι, ακόμη και εν μέσω των τρεχουσών προκλήσεων, η οικονομική άποψη για τα ηλεκτρικά οχήματα παραμένει ισχυρή σε διάφορες περιοχές, υποστηριζόμενη από την καινοτομία της αγοράς και τις βελτιώσεις υποδομής που συνεχίζουν να καθιστούν τα BEV βιώσιμη και ελκυστική επιλογή για τους καταναλωτές.

3.3 Περιβαλλοντικά Οφέλη και Περιορισμοί

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα Η/Ο αντιπροσωπεύουν μια από τις πιο ελπιδοφόρες και καινοτόμες λύσεις για την αντιμετώπιση των πιεστικών ζητημάτων των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ιδιαίτερα σε πυκνοκατοικημένα αστικά περιβάλλοντα. Το πρωταρχικό περιβαλλοντικό όφελος των Η/Ο προέρχεται από την ικανότητά τους να λειτουργούν χωρίς να παράγουν άμεσες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ή άλλων επιβλαβών ρύπων κατά τη χρήση. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης που καίνε ορυκτά καύσιμα και απελευθερώνουν μια ποικιλία ρύπων, συμπεριλαμβανομένων των οξειδίων του αζώτου (NO_x), των σωματιδίων (PM) και σημαντικών ποσοτήτων CO₂, τα Η/Ο δεν παράγουν τέτοιες εκπομπές κατά τη λειτουργία τους. Αυτή η θεμελιώδης διαφορά διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα, ειδικά σε πόλεις όπου η ρύπανση από οχήματα συμβάλλει πρωτίστως στην αιθαλομίχλη, στα αναπνευστικά προβλήματα υγείας και στη συνολική υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Ως αποτέλεσμα, η ευρεία υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων προσφέρει μια πολλά υποσχόμενη πορεία προς καθαρότερες, πιο υγιείς αστικές ατμόσφαιρες και σημαντική μείωση του αποτυπώματος άνθρακα που σχετίζεται με τις μεταφορές [4].

Ενώ οι κινητήρες εσωτερικής καύσης συνήθως μετατρέπουν μόνο περίπου το 25-30% της ενέργειας του καυσίμου σε κίνηση, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να επιτύχουν ποσοστά απόδοσης μεταξύ 85% και 90%. Αυτή η ουσιαστική διαφορά σημαίνει ότι, για την ίδια ποσότητα ενέργειας που καταναλώνεται, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να ταξιδέψουν πολύ μακρύτερα από τα αντίστοιχα βενζίνης ή ντίζελ, μειώνοντας έτσι τις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με τη μεταφορά. Κατά την εξέταση ολόκληρου του κύκλου ζωής—κατασκευή, λειτουργία και διάθεση στο τέλος του κύκλου ζωής— μελέτες που διεξήχθησαν από οργανισμούς όπως ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (ΕΟΠ) και το Διεθνές Συμβούλιο Καθαρών Μεταφορών (International Council for Clean Transportation (ICCT)) έδειξαν ότι, κάτω από ένα μέσο ευρωπαϊκό ενεργειακό μείγμα — το οποίο περιλαμβάνει περίπου 45% ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ, 35% συνολικού οχήματος), 35% 40% και 60% λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) σε μια τυπική διάρκεια ζωής περίπου 200.000 χιλιομέτρων σε σύγκριση με ισοδύναμα οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης [5].



Εικόνα 3.3. Περιβαλλοντικά Οφέλη των Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων. Πηγή: [4]

Πέρα από τα άμεσα περιβαλλοντικά οφέλη τους, τα Η/Ο διαδραματίζουν επίσης κρίσιμο ρόλο στην προώθηση της μετάβασης σε συστήματα καθαρότερης ενέργειας. Η ευρεία υιοθέτησή τους ενθαρρύνει την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο, καθώς η υποδομή φόρτισης μπορεί να συνδυαστεί με ηλιακά φωτοβολταϊκά πάνελ και να ενσωματωθεί σε συστήματα έξυπνων δικτύων. Αυτή η συνέργεια όχι μόνο ενισχύει τη βιωσιμότητα των μεταφορών, αλλά προωθεί επίσης μια πιο ανθεκτική και φιλική προς το περιβάλλον ενεργειακή οικονομία, ανοίγοντας το δρόμο για ένα μέλλον όπου οι μεταφορές και η παραγωγή ενέργειας θα συνεργάζονται για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα και την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής.

3.4 Κύκλος ζωής Οχήματος και Ανακύκλωση Μπαταριών

Σε όλη τη διάρκεια ζωής ενός οχήματος, τα Η/Ο τείνουν να επιδεικνύουν μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση σε σύγκριση με τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Αυτό σημαίνει ότι τα Η/Ο γενικά χρησιμοποιούν την ενέργεια πιο αποτελεσματικά, μετατρέποντας μεγαλύτερο ποσοστό της αποθηκευμένης ηλεκτρικής ενέργειας σε χρήσιμη κίνηση, με αποτέλεσμα χαμηλότερη συνολική κατανάλωση ενέργειας και μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Παρά αυτό το πλεονέκτημα, η απόδοση και η μακροζωία της μπαταρίας του οχήματος παραμένουν κρίσιμοι παράγοντες που επηρεάζουν τη συνολική βιωσιμότητα και την οικονομική βιωσιμότητα των ηλεκτρικών οχημάτων. Οι περισσότερες μπαταρίες είναι σχεδιασμένες να λειτουργούν αποτελεσματικά για μια περίοδο που κυμαίνεται από περίπου 8 έως 15 χρόνια, αν και αυτή η διάρκεια μπορεί να ποικίλλει σημαντικά βάσει πολλών παραγόντων, όπως οι συνθήκες οδήγησης, η συχνότητα και η μέθοδος φόρτισης, οι περιβαλλοντικές συνθήκες

και οι πρακτικές συντήρησης. Η σωστή διαχείριση των κύκλων φόρτισης, η αποφυγή ακραίων θερμοκρασιών και η ήπια οδήγηση μπορούν να συμβάλουν στην παράταση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας. Όταν οι μπαταρίες φτάσουν στο τέλος της ωφέλιμης ζωής τους στα οχήματα, συχνά διατηρούν σημαντικό μέρος της χωρητικότητάς τους και μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για άλλες εφαρμογές που απαιτούν λιγότερη ενέργεια, όπως σταθερά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας για σπίτια, επιχειρήσεις ή διαχείριση ενέργειας σε επίπεδο δικτύου. Αυτές οι εφαρμογές δεύτερης ζωής συμβάλλουν στη μεγιστοποίηση της αξίας των μπαταριών, στη μείωση της σπατάλης και στην υποστήριξη της ενσωμάτωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο. Συνολικά, ενώ η τεχνολογία των μπαταριών συνεχίζει να βελτιώνεται, η κατανόηση και η διαχείριση της απόδοσης και της διάρκειας ζωής της μπαταρίας είναι ουσιαστικής σημασίας για τη βελτιστοποίηση των πλεονεκτημάτων των ηλεκτρικών οχημάτων και την προώθηση πρακτικών βιώσιμης ενέργειας.

Η ανακύκλωση μπαταριών παίζει καθοριστικό ρόλο στην προώθηση των αρχών της κυκλικής οικονομίας και στη μείωση της εξάρτησής μας από την εξόρυξη πεπερασμένων πρώτων υλών. Η διαδικασία της ανακύκλωσης περιλαμβάνει τη συστηματική ανάκτηση βασικών και πολύτιμων μετάλλων και υλικών που βρίσκονται στις χρησιμοποιημένες μπαταρίες, συμπεριλαμβανομένων λιθίου, κοβαλτίου, μαγγανίου και άλλων βασικών συστατικών. Αυτές οι μέθοδοι ανάκτησης περιλαμβάνουν μια σειρά τεχνικών όπως η θερμική επεξεργασία, η υδρομεταλλουργική επεξεργασία και ο μηχανικός διαχωρισμός, καθεμία σχεδιασμένη για την αποτελεσματική εξαγωγή και καθαρισμό των υλικών για επαναχρησιμοποίηση. Καθώς η ζήτηση για μπαταρίες συνεχίζει να αυξάνεται, ιδιαίτερα με την άνοδο των ηλεκτρικών οχημάτων και της αποθήκευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τόσο οι εταιρείες όσο και οι κυβερνήσεις αφιερώνουν ολοένα και περισσότερο πόρους για την ανάπτυξη και την εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών ανακύκλωσης. Αυτές οι καινοτομίες στοχεύουν στη μεγιστοποίηση των ποσοστών ανάκτησης, στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Ενισχύοντας τις διαδικασίες ανακύκλωσης, οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να μειώσουν σημαντικά το οικολογικό αποτύπωμα που σχετίζεται με την παραγωγή και την απόρριψη μπαταριών, ενώ παράλληλα μειώνουν το κόστος κατασκευής νέων μπαταριών. Αυτή η στροφή προς πιο βιώσιμες πρακτικές όχι μόνο βοηθά στη διατήρηση κρίσιμων πόρων, αλλά υποστηρίζει επίσης ευρύτερες προσπάθειες για τη δημιουργία ενός πιο βιώσιμου και ανθεκτικού ενεργειακού οικοσυστήματος.

Τέλος, η εφαρμογή πρακτικών βιώσιμης διαχείρισης για τα Η/Ο και τις σχετικές μπαταρίες τους είναι απαραίτητη για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών κινδύνων και την προώθηση μιας πιο εύρωστης κυκλικής οικονομίας. Οι εξελίξεις στις καινοτόμες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης μπαταριών στερεάς κατάστασης, έχουν μεγάλες δυνατότητες για την παράταση της διάρκειας ζωής των μπαταριών, τη βελτίωση των προτύπων ασφαλείας και την απλοποίηση της διαδικασίας ανακύκλωσης. Ταυτόχρονα, είναι ζωτικής σημασίας να ενισχυθεί η σχετική νομοθεσία και να δημιουργηθεί ολοκληρωμένη υποδομή ανακύκλωσης για την υποστήριξη αυτών των πρωτοβουλιών. Επιπλέον, η αύξηση της ευαισθητοποίησης και της εκπαίδευσης των καταναλωτών σχετικά με τη σημασία της υπεύθυνης απόρριψης και ανακύκλωσης των

Κεφάλαιο 3

μπαταριών EV είναι ζωτικής σημασίας στοιχεία για τη διασφάλιση της επιτυχίας της ευρύτερης πράσινης μετάβασης. Ενσωματώνοντας την τεχνολογική καινοτομία με μέτρα πολιτικής και τη δημόσια δέσμευση, οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να συνεργαστούν για να δημιουργήσουν ένα πιο βιώσιμο και φιλικό προς το περιβάλλον μέλλον για την ηλεκτρική κινητικότητα.

Κεφάλαιο 4ο: Ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα και Ευρώπη: Παρούσα Κατάσταση

4.1 Ανάλυση της Ελληνικής Αγοράς Ηλεκτρικών Οχημάτων

Ο κλάδος των Η/Ο στην Ελλάδα γνώρισε μια αξιοσημείωτη επέκταση ξεκινώντας γύρω στο 2020, κυρίως λόγω της έναρξης της πρωτοβουλίας «I Drive Electric». Αυτό το πρόγραμμα σχεδιάστηκε για να προωθήσει την υιοθέτηση της ηλεκτρικής κινητικότητας παρέχοντας οικονομικά κίνητρα σε καταναλωτές που αγοράζουν ηλεκτρικά αυτοκίνητα, ηλεκτρικές μοτοσυκλέτες και ηλεκτρικά ποδήλατα. Επιπλέον, προσφέρει υποστήριξη για την εγκατάσταση σταθμών φόρτισης στο σπίτι, διευκολύνοντας τους χρήστες να φορτίζουν τα οχήματά τους άνετα. Ως αποτέλεσμα αυτών των μέτρων, το ενδιαφέρον του κοινού για τα ηλεκτρικά οχήματα έχει αυξηθεί σημαντικά, με περισσότερους καταναλωτές να δείχνουν περιέργεια και προθυμία να στραφούν σε καθαρότερες επιλογές μεταφοράς. Ωστόσο, παρά τον αυξημένο ενθουσιασμό, το συνολικό μερίδιο αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων στην Ελλάδα παραμένει σχετικά μέτριο. Το 2024, εκτιμάται ότι τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα, γνωστά και ως ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία (BEV), αντιπροσώπευαν περίπου το 4 έως 5 τοις εκατό όλων των ταξινομήσεων νέων αυτοκινήτων στη χώρα. Αν και αυτό το ποσοστό σηματοδοτεί βελτίωση σε σύγκριση με τα προηγούμενα χρόνια, εξακολουθεί να υπολείπεται των ρυθμών διείσδυσης που παρατηρούνται σε πολλές άλλες ευρωπαϊκές χώρες, όπου τα ηλεκτρικά οχήματα τείνουν να αποτελούν μεγαλύτερο ποσοστό των πωλήσεων νέων αυτοκινήτων. Αυτό υποδηλώνει ότι ενώ η Ελλάδα σημειώνει πρόοδο στην υιοθέτηση της ηλεκτρικής κινητικότητας, εξακολουθεί να υπάρχει σημαντική δυνατότητα ανάπτυξης καθώς αναπτύσσονται οι υποδομές και η ευαισθητοποίηση των καταναλωτών συνεχίζει να αυξάνεται.

Μια σημαντική πρόκληση που εμποδίζει την ευρύτερη αποδοχή και χρήση των Η/Ο σε όλη την Ελλάδα είναι η ανεπαρκής ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης και προσβάσιμης υποδομής φόρτισης. Ενώ έχουν γίνει προσπάθειες για την αύξηση του αριθμού των δημόσιων σταθμών φόρτισης —ιδιαίτερα σε μεγάλες πόλεις, δημοφιλείς τουριστικούς προορισμούς, ξενοδοχεία, εμπορικά κέντρα και συγκοινωνιακούς κόμβους— η διανομή αυτών των εγκαταστάσεων εξακολουθεί να είναι ασυνεπής και συχνά περιορίζεται σε συγκεκριμένες αστικές περιοχές. Αυτή η άνιση γεωγραφική κάλυψη δημιουργεί σημαντικά κενά, καθιστώντας δύσκολο για τους ιδιοκτήτες Η/Ο να προγραμματίσουν με σιγουριά μεγαλύτερα ταξίδια ή να ταξιδέψουν σε πιο απομακρυσμένες περιοχές. Ως αποτέλεσμα, οι αγροτικές κοινότητες και τα πολυάριθμα νησιά που είναι διάσπαρτα σε όλη την Ελλάδα αντιμετωπίζουν ιδιαίτερες προκλήσεις λόγω της αραιής διαθεσιμότητας σημείων φόρτισης, που μπορεί να είναι σημαντικός αποτρεπτικός για τους πιθανούς αγοραστές Η/Ο. Πολλοί καταναλωτές, ειδικά εκείνοι που κάνουν συχνά μεγάλα ταξίδια ή ζουν σε λιγότερο πυκνοκατοικημένες περιοχές, αποθαρρύνονται από την ταλαιπωρία και την αβεβαιότητα που σχετίζεται με την εύρεση κοντινών σταθμών φόρτισης. Αυτή η κατάσταση

εμποδίζει το συνολικό ποσοστό υιοθέτησης ηλεκτρικών οχημάτων στη χώρα, καθώς η αντιληπτή ή η πραγματική έλλειψη προσιτών και αξιόπιστων επιλογών φόρτισης παραμένει σημαντικό εμπόδιο για την ευρεία αποδοχή.

Ταυτόχρονα, ενώ η αρχική τιμή αγοράς Η/Ο έχει σημειώσει αισθητή πτώση τα τελευταία χρόνια, εξακολουθεί να τείνει να είναι υψηλότερη από αυτή των συγκρίσιμων οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Αν και οι κυβερνήσεις και οι αρμόδιες αρχές έχουν εισαγάγει διάφορες επιδοτήσεις και κίνητρα για να ενθαρρύνουν την υιοθέτηση της ηλεκτρικής κινητικότητας, αυτά τα οικονομικά οφέλη από μόνα τους είναι συχνά ανεπαρκή για να αντισταθμίσουν πλήρως το υψηλότερο αρχικό κόστος. Ως αποτέλεσμα, οι οικονομικοί παράγοντες εξακολουθούν να λειτουργούν ως σημαντικό εμπόδιο στην ευρεία αποδοχή και ενσωμάτωση των Η/Ο, ιδιαίτερα σε χώρες όπου σημαντικό μέρος του πληθυσμού αντιμετωπίζει περιορισμένη αγοραστική δύναμη ή οικονομικούς περιορισμούς. Σε τέτοια πλαίσια, η υψηλότερη αρχική επένδυση παραμένει αποτρεπτικός παράγοντας για πολλούς πιθανούς αγοραστές. Ωστόσο, τα Η/Ο προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα που μπορούν να τα κάνουν πιο ελκυστικά μακροπρόθεσμα. Για παράδειγμα, το κόστος λειτουργίας τους είναι γενικά χαμηλότερο λόγω μειωμένων εξόδων καυσίμου και λιγότερων μηχανικών εξαρτημάτων που απαιτούν συντήρηση. Επιπλέον, πολλές περιφέρειες έχουν καταργήσει ή μειώσει σημαντικά τα τέλη κυκλοφορίας για τα Η/Ο, μειώνοντας περαιτέρω τις τρέχουσες δαπάνες. Η απλότητα της συντήρησης, η οποία περιλαμβάνει λιγότερα κινούμενα μέρη και λιγότερο συχνή συντήρηση, συμβάλλει επίσης στην εξοικονόμηση κόστους και στην ευκολία για τους ιδιοκτήτες. Μαζί, αυτοί οι παράγοντες εξοικονόμηση κόστους λειτουργίας, φορολογικές απαλλαγές και χαμηλότερες απαιτήσεις συντήρησης ενισχύουν την ελκυστικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων με την πάροδο του χρόνου, υπογραμμίζοντας τα πιθανά οφέλη τους παρά το αρχικό οικονομικό εμπόδιο. Καθώς οι τεχνολογικές εξελίξεις συνεχίζονται και επιτυγχάνονται οικονομίες κλίμακας, είναι πιθανό το χάσμα στο κόστος αγοράς να μειωθεί περαιτέρω, ενθαρρύνοντας τη μεγαλύτερη υιοθέτηση και ενσωμάτωση λύσεων ηλεκτρικής κινητικότητας σε διάφορες αγορές.

Μεταξύ των ετών 2015 και 2019, η Ελλάδα είδε μια σταδιακή και μέτρια αρχή στην υιοθέτηση Η/Ο, με τον αριθμό των πρόσφατα ταξινομημένων αμιγώς ηλεκτρικών αυτοκινήτων να αυξάνεται αργά με την πάροδο των ετών. Το 2015 ταξινομήθηκαν συνολικά 35 νέα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία (BEVs), σηματοδοτώντας την αρχική φάση της ηλεκτροκίνησης στη χώρα. Το επόμενο έτος, το 2016, ο αριθμός των νέων εγγραφών BEV μειώθηκε σημαντικά σε μόλις 9, υποδηλώνοντας μια προσεκτική ή περιορισμένη απορρόφηση κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Ωστόσο, το 2017, σημειώθηκε αξιοσημείωτη αύξηση, με 47 νέα BEVs να καταγράφονται, γεγονός που υποδηλώνει αυξανόμενο ενδιαφέρον και κάποια δυναμική για την υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων. Η ανοδική τάση συνεχίστηκε εντονότερα το 2018, με την καταχώριση 88 νέων BEVs, αντανakλώντας την αύξηση της ευαισθητοποίησης και πιθανώς την έναρξη υποστηρικτικών πολιτικών ή κινήτρων. Μέχρι το 2019, ο αριθμός των νέων ηλεκτρικών οχημάτων που ταξινομήθηκαν υπερδιπλασιάστηκε σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος, φτάνοντας τα 190, γεγονός που έδειξε σημαντική επιτάχυνση στην υιοθέτηση και υποδηλώνει μια αλλαγή στάσης απέναντι στην ηλεκτρική κινητικότητα των καταναλωτών στην Ελλάδα.

Συνολικά, η περίοδος από το 2015 έως το 2019 μπορεί να χαρακτηριστεί ως η φάση πρώιμης υιοθέτησης, όπου το αρχικό ενδιαφέρον σταδιακά διευρύνθηκε, ανοίγοντας το δρόμο για ευρύτερη αποδοχή των ηλεκτρικών οχημάτων στη χώρα (Εικ. 4.1).

Στην αρχική φάση του προγράμματος, κατά τους πρώτους εννέα μήνες του 2020, η χώρα είδε 292 νέες ταξινομήσεις BEV και 590 νέα PHEV, γεγονός που δείχνει έγκαιρο ενδιαφέρον και θετική ανταπόκριση στα κίνητρα. Η τάση συνέχισε να αυξάνεται και μέχρι το 2022, το ποσοστό των νέων εγγραφών BEV είχε αυξηθεί σημαντικά, φθάνοντας το 11,8%, αντικατοπτρίζοντας μια σταθερή στροφή προς την ηλεκτρική κινητικότητα μεταξύ των καταναλωτών. Το έτος 2023 σημειώθηκε μια αξιοσημείωτη αύξηση στην υιοθέτηση Η/Ο, με συνολικά 6.379 νέες ταξινομήσεις BEV που καταγράφηκαν. Αυτή η απότομη αύξηση υπογράμμισε την αποτελεσματικότητα των κινήτρων και την αυξανόμενη αποδοχή των ηλεκτρικών οχημάτων σε ολόκληρη τη χώρα. Μέχρι τον Μάρτιο του 2024, το μερίδιο των BEV στις ταξινομήσεις νέων οχημάτων είχε αυξηθεί περαιτέρω στο 9,6%. Αν και αυτό το ποσοστό παρουσίασε σημαντική ανάπτυξη από μόλις 2,6% το 2020, εξακολουθεί να υστερεί σε σχέση με τον ευρωπαϊκό μέσο όρο του 17,8%, υπογραμμίζοντας τις συνεχιζόμενες προσπάθειες που απαιτούνται για τη μείωση αυτού του χάσματος και την επιτάχυνση της υιοθέτησης σε εθνικό επίπεδο. Η ανάπτυξη της πρωτοβουλίας «I Drive Electric» το 2020 σηματοδότησε ένα σημαντικό βήμα προόδου στην προώθηση της υιοθέτησης Η/Ο, το οποίο παρείχε σημαντικά οικονομικά κίνητρα, προσφέροντας επιδοτήσεις έως και 6.000 ευρώ για άτομα που αγοράζουν BEV και επιπλέον 500 ευρώ για την εγκατάσταση υποδομής φόρτισης στο σπίτι. Αυτά τα κίνητρα έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην αύξηση των ταξινομήσεων ηλεκτρικών οχημάτων τα επόμενα χρόνια.



Εικόνα 11. Εξέλιξη Ταξινομήσεων Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ελλάδα (2015–2025)

Μέχρι τον Απρίλιο του 2025, η Ελλάδα έχει ταξινομήσει συνολικά 23.866 BEV από τις αρχές του 2019. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η χώρα γνώρισε σταθερή ανάπτυξη στην υιοθέτηση Η/Ο ως μέρος των προσπαθειών της για προώθηση βιώσιμων μεταφορών και μείωση των εκπομπών άνθρακα. Συγκεκριμένα, μόνο τον Απρίλιο του 2025, υπήρξαν 630 νέες εγγραφές BEV, που αντιπροσωπεύει αύξηση 4,3% σε σύγκριση με τον αντίστοιχο μήνα του προηγούμενου έτους.

4.2 Ιστορική Αναδρομή Ηλεκτροκίνησης στην Ελλάδα

Η ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα ακολουθεί μια αναπτυξιακή πορεία που, αν και έχει καθυστερήσει κάπως σε σύγκριση με άλλα ευρωπαϊκά έθνη, γνώρισε μια αξιοσημείωτη αύξηση του ενδιαφέροντος και ταχεία πρόοδο τα τελευταία χρόνια. Η έννοια της ηλεκτροκίνησης δεν είναι καινοφανής. υπάρχει εδώ και αρκετό καιρό και έχει κερδίσει την προσοχή παγκοσμίως ως βιώσιμη εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Ωστόσο, η μεγάλης κλίμακας υιοθέτηση και ενσωμάτωση λύσεων ηλεκτρικής μετακίνησης στις υποδομές μεταφορών της Ελλάδας άρχισε να διαμορφώνεται σχετικά πρόσφατα. Αυτή η σταδιακή μετατόπιση έχει επηρεαστεί από έναν συνδυασμό τεχνολογικών προόδων, οικονομικών εκτιμήσεων και θεσμικών εξελίξεων. Στο παρελθόν, η Ελλάδα αντιμετώπισε διάφορες προκλήσεις που εμπόδισαν την ευρεία ανάπτυξη ηλεκτρικών οχημάτων, συμπεριλαμβανομένων των περιορισμένων υποδομών φόρτισης, του υψηλού αρχικού κόστους και της έλλειψης υποστηρικτικών πολιτικών. Ωστόσο, πρόσφατες προσπάθειες κυβερνητικών αρχών, ιδιωτικών εταιρειών και διεθνών οργανισμών έχουν αρχίσει να αντιμετωπίζουν αυτά τα εμπόδια, οδηγώντας σε αυξημένες επενδύσεις σε δίκτυα φόρτισης, κίνητρα για αγορές ηλεκτρικών οχημάτων και ανάπτυξη πολιτικών με στόχο την προώθηση βιώσιμων μεταφορών. Ως αποτέλεσμα, η Ελλάδα πλέον συμμετέχει στον μετασχηματισμό του τοπίου της κινητικότητάς της, με την αυξανόμενη υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων και την αυξανόμενη αναγνώριση της ηλεκτροκίνησης ως βασικά συστατικά του περιβαλλοντικού και ενεργειακού της μέλλοντος. Αυτή η εξελισσόμενη τάση αντανάκλα τη δέσμευση της χώρας να ευθυγραμμιστεί με τους ευρύτερους ευρωπαϊκούς στόχους βιωσιμότητας και να μεταβεί σε καθαρότερα, πιο αποτελεσματικά συστήματα μεταφορών.

Η αρχική έκθεση της Ελλάδας στην ηλεκτρική κινητικότητα χρονολογείται από τα τέλη του 20^{ου} αιώνα, κυρίως μέσω της εισαγωγής διαφόρων τεχνολογικών καινοτομιών και ελάχιστων πειραματικών μοντέλων οχημάτων. Παρά τις πρώτες αυτές προσπάθειες, το ενδιαφέρον των καταναλωτών και η υιοθέτηση Η/Ο παρέμειναν σχετικά χαμηλά κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Αρκετοί παράγοντες συνέβαλαν σε αυτή την αργή πρόοδο, συμπεριλαμβανομένου του υψηλού κόστους που σχετίζεται με τα Η/Ο, γεγονός που τα έκανε λιγότερο προσβάσιμα στον μέσο καταναλωτή. Επιπλέον, η περιορισμένη ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης υποδομής φόρτισης αποτελούσε σημαντικό εμπόδιο, καθιστώντας άβολο και μη πρακτικό για πολλούς πιθανούς χρήστες να εξετάσουν το ενδεχόμενο μετάβασης στην ηλεκτρική κινητικότητα. Επιπλέον, η μεγάλη εξάρτηση της Ελλάδας από ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή και τη μεταφορά ενέργειας εμπόδισε περαιτέρω την ευρεία αποδοχή και την ενσωμάτωση των ηλεκτρικών

οχημάτων στο εθνικό τοπίο μεταφορών. Ως αποτέλεσμα, η μετάβαση προς την ηλεκτρική κινητικότητα παρουσίασε σημαντικές καθυστερήσεις, παραμένοντας ένα εξειδικευμένο τμήμα και όχι μια κύρια εναλλακτική λύση για πολλά χρόνια.

Καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της δεκαετίας, εισήχθησαν διάφορες πολιτικές και κανονισμοί σε όλες τις ευρωπαϊκές χώρες για να ενθαρρύνουν την υιοθέτηση φιλικών προς το περιβάλλον οχημάτων, με την Ελλάδα να συμμετέχει ενεργά σε αυτές τις προσπάθειες. Το 2020, η ελληνική κυβέρνηση παρουσίασε το πρόγραμμα «Κινούμαι Ηλεκτρικά», μια εθνική πρωτοβουλία που έχει σχεδιαστεί για να επιταχύνει τη μετάβαση στην ηλεκτρική κινητικότητα. Το πρόγραμμα αυτό παρέχει οικονομικά κίνητρα και επιδοτήσεις σε ιδιώτες και επιχειρήσεις για την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς και για την εγκατάσταση υποδομών φόρτισης, όπως σταθμούς φόρτισης και οικιακούς φορτιστές. Η έναρξη αυτής της πρωτοβουλίας σηματοδότησε ένα σημαντικό βήμα προς τη μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στη χώρα. Ταυτόχρονα, οι προσπάθειες για τη δημιουργία ενός ισχυρού θεσμικού πλαισίου για την ανάπτυξη και την επέκταση της υποδομής φόρτισης κέρδισαν δυναμική. Αυτό περιλάμβανε τη διαμόρφωση πολιτικών και κατευθυντήριων γραμμών για τη διευκόλυνση της εγκατάστασης τόσο δημόσιων όσο και ιδιωτικών σταθμών φόρτισης σε όλη την Ελλάδα, διασφαλίζοντας καλύτερη προσβασιμότητα και ευκολία για τους χρήστες ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτές οι εξελίξεις έθεσαν τις βάσεις για μια πιο ολοκληρωμένη και ολοκληρωμένη προσέγγιση για την προώθηση της ηλεκτρικής κινητικότητας, ευθυγραμμίζοντας την Ελλάδα με τους ευρύτερους ευρωπαϊκούς στόχους αειφορίας και περιβαλλοντικής ευθύνης.

Τα τελευταία χρόνια, έχει σημειωθεί σημαντική αύξηση στην εγκατάσταση υποδομής φόρτισης σε διάφορες περιοχές, με εκατοντάδες σταθμούς φόρτισης να διατίθενται πλέον σε αστικά κέντρα, δημοφιλείς τουριστικούς προορισμούς και κατά μήκος των μεγάλων εθνικών οδικών δικτύων. Ενώ ο τρέχων αριθμός σημείων φόρτισης εξακολουθεί να είναι χαμηλός σε σύγκριση με ορισμένες άλλες ευρωπαϊκές χώρες που έχουν κάνει πιο εκτεταμένες επενδύσεις σε υποδομές ηλεκτρικών οχημάτων, ο ρυθμός ανάπτυξης παραμένει συνεπής και ενθαρρυντικός. Ταυτόχρονα, η κυβέρνηση και οι δημοτικές αρχές έχουν αρχίσει να ενσωματώνουν τα Η/Ο στους επίσημους στόλους τους, επιδεικνύοντας δέσμευση για πιο βιώσιμες επιλογές μεταφοράς. Επιπλέον, πολλές πόλεις προχωρούν με ολοκληρωμένες πρωτοβουλίες «έξυπνων πόλεων» που στοχεύουν στη βελτίωση της αστικής διαβίωσης μέσω καινοτόμων λύσεων, συμπεριλαμβανομένης της ενσωμάτωσης συστημάτων βιώσιμης κινητικότητας, όπως σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, έξυπνης διαχείρισης της κυκλοφορίας και επιλογών φιλικών προς το περιβάλλον μέσων μαζικής μεταφοράς. Αυτές οι προσπάθειες αντικατοπτρίζουν μια ευρύτερη στροφή προς τον περιβαλλοντικά συνειδητοποιημένο αστικό σχεδιασμό και την αναγνώριση της σημασίας της μείωσης των εκπομπών άνθρακα και της προώθησης καθαρότερων, πιο αποτελεσματικών εναλλακτικών μεταφορών. Συνολικά, ενώ υπάρχει ακόμη περιθώριο ανάπτυξης, οι συνεχιζόμενες εξελίξεις υποδεικνύουν μια σταθερή και θετική κίνηση προς ένα πιο πράσινο και πιο τεχνολογικά ολοκληρωμένο τοπίο μεταφορών.

4.3 Νομοθεσία και Κρατικά Κίνητρα για την Ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα

Ο Ν. 4710/2020 αντιπροσωπεύει μια συνολική νομοθετική προσπάθεια για την προώθηση της ηλεκτροκίνησης στην Ελλάδα, που περιλαμβάνει οικονομική στήριξη, ανάπτυξη υποδομών, ολοκλήρωση πολεοδομικού σχεδιασμού και εκσυγχρονισμό του δημόσιου τομέα, όλα με στόχο την προώθηση ενός καθαρότερου, πιο βιώσιμου οικοσυστήματος μεταφορών σε όλη τη χώρα. Επιπλέον, η νομοθεσία επιβάλλει τη δημιουργία Τοπικών Σχεδίων Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων, τα οποία πρόκειται να αναπτυχθούν από δήμους σε όλη την Ελλάδα. Αυτά τα σχέδια αποσκοπούν στην αξιολόγηση των τοπικών αναγκών, στον εντοπισμό κατάλληλων τοποθεσιών για σταθμούς φόρτισης και στον συντονισμό της ανάπτυξης της υποδομής με τρόπο που να υποστηρίζει την ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης σε κοινοτικό επίπεδο.

Ο νόμος τονίζει επίσης τη σημασία της ενσωμάτωσης της υποδομής φόρτισης σε νέες κτιριακές εξελίξεις, απαιτώντας οι νέες κατασκευές να περιλαμβάνουν διατάξεις για εγκαταστάσεις φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, διασφαλίζοντας έτσι τη μελλοντική προστασία του πολεοδομικού σχεδιασμού. Η Ελλάδα έχει εφαρμόσει μια ολοκληρωμένη δέσμη νομοθετικών μέτρων και υπουργικών αποφάσεων για την προώθηση της ηλεκτροκίνησης σε όλη τη χώρα. Μεταξύ αυτών των πρωτοβουλιών, το πιο σημαντικό ορόσημο ήταν η ψήφιση του Ν. 4710/2020, με τίτλο «Προώθηση της Ηλεκτροκίνησης». Αυτή η νομοθεσία έθεσε το θεμελιώδες πλαίσιο για την υποστήριξη της μετάβασης στα ηλεκτρικά οχήματα με τη θέσπιση βασικών πολιτικών και μηχανισμών που στοχεύουν στην ενθάρρυνση της υιοθέτησης και της ανάπτυξης υποδομών. Εκτός από τις υποδομές και τα οικονομικά κίνητρα, ο νόμος προβλέπει στρατηγική στροφή προς την πράσινη μετακίνηση των μέσων μαζικής μεταφοράς. Καθορίζει ένα χρονοδιάγραμμα για τη σταδιακή ηλεκτροδότηση των δημόσιων στόλων, ξεκινώντας με οχήματα που λειτουργούν από κυβερνητικά υπουργεία και τοπικές αρχές. Αυτή η σταδιακή προσέγγιση στοχεύει στη μείωση των εκπομπών από τις υπηρεσίες δημόσιων μεταφορών και να καταδείξει τη δέσμευση της Ελλάδας για βιώσιμη κινητικότητα. Ακόμη, ο νόμος προβλέπει διάφορες μορφές οικονομικής στήριξης, συμπεριλαμβανομένων επιδοτήσεων που διατίθενται τόσο σε ιδιώτες όσο και σε οργανισμούς —που καλύπτουν ιδιώτες, επιχειρήσεις και δημόσιους φορείς— για τη διευκόλυνση της αγοράς και χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων. Στοχεύει επίσης να καταστήσει την εγκατάσταση υποδομής φόρτισης πιο προσιτή με τον εξορθολογισμό των διαδικασιών και την παροχή κινήτρων για τη δημιουργία σταθμών φόρτισης σε κατοικημένες περιοχές καθώς και σε δημόσιους χώρους όπως πάρκινγκ, εμπορικά κέντρα και κατά μήκος των δρόμων.

Το βασικότερο πρόγραμμα για την προώθηση της ηλεκτροκίνησης στην Ελλάδα είναι το “Κινούμαι Ηλεκτρικά”. Κατά τη διάρκεια αυτής της αρχικής φάσης, το πρόγραμμα πρόσφερε επιδότηση έως και 6.000 ευρώ για να ενθαρρύνει την αγορά νέων ηλεκτρικών οχημάτων με μπαταρία. Επιπλέον, δόθηκε ένα επιπλέον οικονομικό κίνητρο 1.000 ευρώ στους καταναλωτές που επέλεξαν να αντικαταστήσουν τα παλιά, παραδοσιακά οχήματά τους με νέα ηλεκτρικά. Η πρωτοβουλία υποστήριξε επίσης την εγκατάσταση έξυπνων σταθμών φόρτισης στο σπίτι

προσφέροντας 500 ευρώ για την αγορά τέτοιων φορτιστών, διευκολύνοντας τους ιδιοκτήτες να φορτίζουν τα οχήματά τους στο σπίτι. Πέρα από μεμονωμένους καταναλωτές, το πρόγραμμα επέκτεινε τα πλεονεκτήματά του για να συμπεριλάβει ηλεκτρικά ποδήλατα και ποδήλατα, καθώς και οχήματα εταιρικού στόλου, προωθώντας έτσι βιώσιμες επιλογές μεταφοράς σε διαφορετικούς τομείς. Η δεύτερη φάση του προγράμματος επέκτεινε την εστίασή του, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στην υποστήριξη των εύάλωτων κοινωνικά ομάδων. Αυτό περιλάμβανε στοχευμένη βοήθεια για νέους έως 29 ετών, άτομα με αναπηρία και οικογένειες με τρία ή περισσότερα παιδιά. Σε αυτή τη φάση, το ποσοστό επιδότησης θα μπορούσε να φτάσει έως και το 30% της τιμής αγοράς του οχήματος, με μέγιστο όφελος τα 8.000 ευρώ, καθιστώντας τα ηλεκτρικά οχήματα πιο προσιτά για αυτές τις ομάδες. Το πρόγραμμα παρείχε επίσης σημαντικές επιδοτήσεις για τα ταξί, με επιχορηγήσεις έως και 22.500 ευρώ ανά όχημα, με στόχο τον εκσυγχρονισμό των στόλων ταξί με καθαρότερες, ηλεκτρικές επιλογές.

Μια σημαντική πτυχή αυτής της φάσης ήταν η ισχυρή ώθηση για την ανάπτυξη της υποδομής φόρτισης, ενθαρρύνοντας την εγκατάσταση τόσο δημόσιων όσο και ιδιωτικών σταθμών φόρτισης για την υποστήριξη του αυξανόμενου αριθμού ηλεκτρικών οχημάτων στο δρόμο. Αυτό το πρόγραμμα χρησιμεύει ως το κύριο πρόγραμμα που υποστηρίζεται από το κράτος για την προώθηση της υιοθέτησης ηλεκτρικών οχημάτων στη χώρα. Έχει αναπτυχθεί σε πολλαπλές, διαδοχικές φάσεις για να βελτιώσει σταδιακά την εμπέδωση και την αποτελεσματικότητά του. Αυτή η σταδιακή προσέγγιση καταδεικνύει τη δέσμευση της κυβέρνησης να προωθήσει τις βιώσιμες μεταφορές αυξάνοντας σταδιακά την οικονομική υποστήριξη, στοχεύοντας συγκεκριμένες ομάδες στην κοινωνία και επενδύοντας σε απαραίτητες υποδομές για τη διευκόλυνση της ευρείας υιοθέτησης της ηλεκτρικής κινητικότητας.










Τα Η/Ο, συμπεριλαμβανομένων των BEV, επωφελούνται από πολλά οικονομικά και πρακτικά προνόμια που ενθαρρύνουν την υιοθέτησή τους. Ένα από τα πιο αξιοσημείωτα οφέλη είναι η πλήρης απαλλαγή από τα τέλη κυκλοφορίας, καθιστώντας τα BEV μια πιο προσιτή επιλογή τόσο για τους καταναλωτές όσο και για τους φορείς εκμετάλλευσης στόλου. Αυτή η εξαίρεση μειώνει σημαντικά το τρέχον κόστος που σχετίζεται με την ιδιοκτησία οχήματος, παρέχοντας ένα επιτακτικό οικονομικό κίνητρο για ιδιώτες και επιχειρήσεις να επιλέξουν ηλεκτρικά μοντέλα έναντι συμβατικών οχημάτων βενζίνης ή ντίζελ. Επίσης, κάποια επιπλέον οφέλη είναι η ελεύθερη στάθμευση σε πολλούς δήμους (π.χ. Αθήνα, Θεσσαλονίκη), φορολογικά κίνητρα για εταιρείες (αποσβέσεις, μειωμένη φορολογία σε ηλεκτρικά εταιρικά οχήματα) και δικαίωμα εισόδου στον δακτύλιο για BEV και PHEV.

Έως το έτος 2030, η Ελλάδα στοχεύει να διασφαλίσει ότι περίπου ένα στα τρία νέα οχήματα που αγοράστηκαν στη χώρα είναι ηλεκτρικά, αντικατοπτρίζοντας μια σημαντική στροφή προς τις βιώσιμες μεταφορές. Για την υποστήριξη αυτού του στόχου, έχει οριστεί ένα βασικό ορόσημο για την εγκατάσταση συνολικά 10.000 σταθμών φόρτισης Η/Ο σε ολόκληρη τη χώρα έως το 2025, διευκολύνοντας την ευρεία προσβασιμότητα και ενθαρρύνοντας την υιοθέτηση της ηλεκτρικής κινητικότητας. Επιπλέον, η κυβέρνηση έχει δεσμευτεί να μεταμορφώσει ένα σημαντικό μέρος του στόλου της στον δημόσιο τομέα, με στόχο να μετατρέψει τουλάχιστον το










30% όλων των κρατικών οχημάτων σε ηλεκτρικά συστήματα κίνησης έως το 2030. Αυτές οι πρωτοβουλίες αποτελούν μέρος μιας συνολικής στρατηγικής για την προώθηση καθαρότερων μεταφορών, τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και την τοποθέτηση της Ελλάδας ως ηγέτη στη βιώσιμη κινητικότητα στην περιοχή.

4.4 SWOT Ανάλυση για την Ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα

Πίνακας 4.1. SWOT Ανάλυση για την Ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα (Δυνατά Σημεία και Αδυναμίες)

Δυνατά Σημεία (Strengths)	Αδυναμίες (Weaknesses)
 Κρατικά κίνητρα αγοράς Η/Ο (επιδότησεις, απαλλαγές, δωρεάν στάθμευση).	 Περιορισμένο δίκτυο υποδομών φόρτισης, ειδικά εκτός αστικών κέντρων.
 Νεότερο θεσμικό πλαίσιο (Ν.4710/2020) με υποχρεώσεις για δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς.	 Ανεπαρκής διαθεσιμότητα ταχυφορτιστών σε εθνικό οδικό δίκτυο.
 Ευνοϊκές κλιματολογικές και γεωγραφικές συνθήκες (μικρές αποστάσεις πόλεων).	 Δυσκολία εγκατάστασης φορτιστών σε πολυκατοικίες και κέντρα πόλεων.
 Μηδενικά τέλη κυκλοφορίας & άλλες φοροαπαλλαγές.	 Υψηλό κόστος απόκτησης Η/Ο παρά την επιδότηση, ειδικά σε σύγκριση με συμβατικά μοντέλα.
 Αυξητική τάση πωλήσεων BEV/PHEV από το 2020.	 Έλλειψη εξειδικευμένων τεχνικών και συνεργείων για Η/Ο.

Πίνακας 4.2. SWOT Ανάλυση για την Ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα (Ευκαιρίες και Απειλές)

Ευκαιρίες (Opportunities)	Απειλές (Threats)
Ευρωπαϊκή χρηματοδότηση (Ταμείο Ανάκαμψης, ΕΣΠΑ, Green Deal).	 Δυσπιστία των καταναλωτών λόγω φόβου αυτονομίας και άγνοιας τεχνολογίας.
 Πράσινες μεταφορές σε δημόσιο και εταιρικό στόλο.	 Γραφειοκρατικά εμπόδια και καθυστερήσεις στις αδειοδοτήσεις φορτιστών.
 Ραγδαία εξέλιξη τεχνολογίας (αυτονομία, χρόνος φόρτισης, κόστος μπαταριών).	 Εξάρτηση από τις παγκόσμιες αλυσίδες εφοδιασμού για μπαταρίες και οχήματα.
 Τουρισμός – Προώθηση "πράσινων νησιών" με ηλεκτρικά οχήματα.	 Αστάθεια οικονομικού περιβάλλοντος (πληθωρισμός, επιτόκια) επηρεάζει καταναλωτική εμπιστοσύνη.
 Σύνδεση με πολιτικές για βιώσιμη αστική κινητικότητα και μικροκινητικότητα.	 Ανταγωνισμός από plug-in hybrid και νέες τεχνολογίες (π.χ. υδρογόνο).



Εικόνα 12. SWOT Ανάλυση για την Ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα

4.5 Σύγκριση Ελλάδας με χώρες της ΕΕ (Στατιστικά, Πολιτικές)

Το 2024, η ηλεκτροκίνηση στην Ευρωπαϊκή Ένωση καταγράφει σημαντική αύξηση με το μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων (BEV & PHEV) στις νέες πωλήσεις να φτάνει το 32%, σύμφωνα με δεδομένα από το European Alternative Fuels Observatory. Συνολικά, κυκλοφορούν πάνω από 7 εκατομμύρια ηλεκτρικά οχήματα στην ΕΕ, με έμφαση σε χώρες όπως η Γερμανία (πάνω από 1,5 εκατ. EV), η Γαλλία και η Ολλανδία. Το δίκτυο δημόσιων φορτιστών αριθμεί πλέον 450.000 σημεία φόρτισης, με πυκνότητα περίπου 1 φορτιστή ανά 15 EV. Η ΕΕ εφαρμόζει κανονισμούς όπως το CO2 Fleet Target 2030, με όρια 80 γρ/χλμ, ενώ παράλληλα χρηματοδοτεί έργα για την ανάπτυξη υποδομών και έρευνα σε μπαταρίες.

Η Ελλάδα, αντιθέτως, εμφανίζει ακόμα περιορισμένα μεγέθη στην ηλεκτροκίνηση. Το μερίδιο των νέων εγγραφών EV ανέρχεται στο 6,8% το 2024, σύμφωνα με την Ελληνική Ένωση Εισαγωγέων Αυτοκινήτων. Το συνολικό στόλο ηλεκτρικών οχημάτων δεν υπερβαίνει τα 25.000 οχήματα, με την πλειοψηφία να είναι BEV. Το δίκτυο δημόσιων φορτιστών αριθμεί περίπου 2.300 σημεία, με πυκνότητα 1 φορτιστή ανά 11 EV, που ωστόσο υπολείπεται σημαντικά σε σχέση με τον ευρωπαϊκό μέσο όρο. Οι βασικοί περιορισμοί της αγοράς στην Ελλάδα είναι το υψηλό αρχικό κόστος αγοράς, η ανεπάρκεια υποδομών φόρτισης εκτός αστικών κέντρων, και η χαμηλή διείσδυση σε εταιρικό και δημόσιο στόλο.

Κεφάλαιο 4

Ωστόσο, η Ελλάδα στοχεύει στην ευθυγράμμιση με τους ευρωπαϊκούς στόχους, μέσω του Εθνικού Σχεδίου για την Ενέργεια και το Κλίμα (NECP) και του Ταμείου Ανάκαμψης, επενδύοντας άνω των 200 εκατ. ευρώ σε υποδομές φόρτισης και επιδοτήσεις για ηλεκτρικά οχήματα και ηλεκτροκίνητα μέσα μαζικής μεταφοράς. Η αναμενόμενη ετήσια αύξηση των πωλήσεων EV εκτιμάται στο 35% για την επόμενη πενταετία, υποστηριζόμενη από την αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και την ενίσχυση της φόρτισης σε οικίες και επαγγελματικούς χώρους.

Πίνακας 4.3. Πωλήσεις Ηλεκτρικών Οχημάτων (BEV) – Μερίδιο Αγοράς

Χώρα	Πωλήσεις BEV 2024	Μερίδιο BEV στις νέες ταξινομήσεις
Ελλάδα	~8.600	~6,3%
ΕΕ (μέσος όρος)	~1.993.000	13,6%
Γερμανία	~524.000	18,4%
Γαλλία	~330.000	16,8%
Ολλανδία	~110.000	24,0%
Ιταλία	~65.600	4,2%
Πολωνία	~16.500	3,0%

4.5.1 Σύγκριση Πολιτικών & Κρατικών Κινήτρων στην ΕΕ-27

Πίνακας 4.4. Πολιτικές & Κρατικά Κίνητρα

Παράμετρος	Ελλάδα	ΕΕ (γενικά)
Επιδότηση αγοράς BEV	30% έως 8.000 € μέσω του προγράμματος "Κινούμαι Ηλεκτρικά 3"	Ποικίλλει ανά χώρα: π.χ., Γαλλία έως 7.000 €, Γερμανία έως 6.000 € (έληξε το 2023)
Απαλλαγή από τέλη κυκλοφορίας	Ναι	Ναι σε πολλές χώρες, αλλά όχι παντού
Επιδότηση φορτιστή	Έως 500 € για οικιακό φορτιστή	Διαφοροποιείται ανά χώρα
Ειδικά κίνητρα για ταξί	Έως 22.500 €	Παρόμοια προγράμματα σε πολλές χώρες
Στόχος για το 2030	1 στα 3 νέα οχήματα να είναι ηλεκτρικά	ΕΕ: Τέλος πώλησης θερμικών οχημάτων έως το 2035

Πίνακας 4.5. Υποδομές Φόρτισης

Παράμετρος	Ελλάδα	ΕΕ (γενικά)
Δημόσιοι φορτιστές ανά 100 km	Περίπου 1,5	Μέσος όρος ΕΕ: περίπου 5,0
Πυκνότητα φορτιστών	Χαμηλή, κυρίως σε αστικά κέντρα	Υψηλότερη σε χώρες όπως Ολλανδία, Γερμανία, Γαλλία

Η Ελλάδα βιώνει μια αξιοσημείωτη ανοδική τάση στην υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων, με αξιοσημείωτη αύξηση των πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων με μπαταρία (BEV) το 2024. Αυτή η αύξηση αντανακλά το αυξανόμενο ενδιαφέρον των καταναλωτών και μια ευρύτερη στροφή προς βιώσιμες επιλογές μεταφοράς εντός της χώρας. Παρά τη θετική αυτή δυναμική, το μερίδιο αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων στην Ελλάδα εξακολουθεί να υστερεί σε σχέση με τα μέσα επίπεδα που παρατηρούνται σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση, υποδηλώνοντας ότι υπάρχουν σημαντικά περιθώρια ανάπτυξης και ανάπτυξης στον τομέα αυτό.

Ωστόσο, για να επιτύχει τους φιλόδοξους στόχους που έχουν τεθεί για το 2030, η Ελλάδα θα χρειαστεί να εφαρμόσει πιο ολοκληρωμένες πολιτικές και να ενισχύσει σημαντικά τις επενδύσεις σε υποδομές φόρτισης. Αυτό συνεπάγεται όχι μόνο την επέκταση του αριθμού των σημείων φόρτισης στις αστικές και αγροτικές περιοχές, αλλά και τη βελτίωση της προσβασιμότητας και της ταχύτητάς τους. Η ενίσχυση των ρυθμιστικών πλαισίων, η ενθάρρυνση της συμμετοχής του ιδιωτικού τομέα και η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο φόρτισης είναι ουσιαστικά βήματα για να διασφαλιστεί η ομαλή μετάβαση στην ηλεκτρική κινητικότητα. Οι κυβερνητικές πρωτοβουλίες, συμπεριλαμβανομένων των διαφόρων επιδοτήσεων και προγραμμάτων κινήτρων, διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ενθάρρυνση των καταναλωτών και των επιχειρήσεων στη μετάβαση στην ηλεκτρική κινητικότητα. Αυτά τα μέτρα συνέβαλαν στην αύξηση της ευαισθητοποίησης και στο να καταστούν τα ηλεκτρικά οχήματα πιο οικονομικά προσβάσιμα. Ωστόσο, ένα από τα βασικά εμπόδια που αντιμετωπίζει οι φιλοδοξίες της Ελλάδας για την ηλεκτροκίνηση είναι η περιορισμένη ανάπτυξη της υποδομής φόρτισης. Το τρέχον δίκτυο σταθμών φόρτισης εξακολουθεί να είναι ανεπαρκές για να καλύψει την αυξανόμενη ζήτηση, η οποία μπορεί να εμποδίσει την ευρεία υιοθέτηση και την εμπιστοσύνη των καταναλωτών στα ηλεκτρικά οχήματα. Έτσι, ενώ η Ελλάδα κάνει πολλά υποσχόμενα βήματα προς την υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων, απαιτείται συνεχής προσπάθεια και στρατηγικός σχεδιασμός για την πλήρη υλοποίηση των στόχων βιώσιμων μεταφορών και την ευθυγράμμιση με τους ευρύτερους στόχους της ΕΕ.

4.6 Προβλέψεις για το μέλλον της αγοράς

Οι προοπτικές για την ανάπτυξη της ηλεκτρικής κινητικότητας στην Ελλάδα φαίνεται να είναι πολύ ελπιδοφόρες, αναδεικνύοντας σημαντικές δυνατότητες επέκτασης και περαιτέρω προόδου στον τομέα αυτό. Αν και υπάρχουν πολλές ευκαιρίες για ανάπτυξη, υπάρχουν επίσης

αξιοσημείωτες προκλήσεις και εμπόδια που πρέπει να αντιμετωπιστούν για την πλήρη αξιοποίηση αυτού του δυναμικού. Η παγκόσμια κίνηση προς την υιοθέτηση καθαρότερων και πιο βιώσιμων πηγών ενέργειας, σε συνδυασμό με τη συνολική στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης με στόχο τη μείωση των εκπομπών άνθρακα από τον τομέα των μεταφορών, είναι πιθανό να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην επίσπευση της στροφής προς την ηλεκτρική κινητικότητα στην Ελλάδα. Καθώς αυτές οι παγκόσμιες και περιφερειακές πολιτικές αποκτούν δυναμική, η Ελλάδα αναμένεται να βιώσει έναν γρήγορο μετασχηματισμό στις μεταφορικές υποδομές και πρακτικές της, προωθώντας ένα πιο φιλικό προς το περιβάλλον και βιώσιμο μέλλον. Ωστόσο, αυτή η μετάβαση θα απαιτήσει συντονισμένες προσπάθειες, στρατηγικές επενδύσεις και καινοτόμες λύσεις για να ξεπεραστούν τα υπάρχοντα εμπόδια όπως η ανάπτυξη υποδομών, η δημόσια αποδοχή και η τεχνολογική προσαρμογή, διασφαλίζοντας ότι η χώρα μπορεί να επωφεληθεί πλήρως από τις ευκαιρίες που προσφέρει η ηλεκτρική κινητικότητα.

Μέχρι το 2030, οι προβλέψεις δείχνουν ότι τα Η/Ο θα αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 30-35% του συνόλου των πωλήσεων νέων αυτοκινήτων στην Ελλάδα. Αυτή η σημαντική αύξηση αντανακλά μια αυξανόμενη τάση τόσο μεταξύ των μεμονωμένων καταναλωτών όσο και των εμπορικών οντοτήτων, η οποία οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στα κρατικά κίνητρα, τις επιδοτήσεις και την αισθητή μείωση του κόστους που σχετίζεται με την παραγωγή μπαταριών και την τεχνολογία. Ως αποτέλεσμα αυτών των οικονομικών κινήτρων και της τεχνολογικής προόδου, η υιοθέτηση Η/Ο αναμένεται να επιταχυνθεί σημαντικά τα επόμενα χρόνια. Οι συνεχιζόμενες καινοτομίες στην τεχνολογία μπαταριών και στο σχεδιασμό του οχήματος είναι έτοιμες να βελτιώσουν την αυτονομία οδήγησης, να μειώσουν τους χρόνους φόρτισης και να βελτιώσουν τη συνολική απόδοση, καθιστώντας τα ηλεκτρικά οχήματα όλο και πιο ελκυστικά και πρακτικά για καθημερινή χρήση. Τέτοιες εξελίξεις πιθανότατα θα οδηγήσουν σε μια ουσιαστική αλλαγή στο αυτοκινητιστικό τοπίο της χώρας, μετατρέποντας τον κλάδο των μεταφορών της Ελλάδας σε ένα πιο βιώσιμο και φιλικό προς το περιβάλλον σύστημα. Ο συνδυασμός υποστηρικτικών πολιτικών, τεχνολογικής προόδου και αυξανόμενης ευαισθητοποίησης για περιβαλλοντικά ζητήματα θα οδηγήσει περαιτέρω αυτή τη μετάβαση, τοποθετώντας τελικά τα ηλεκτρικά οχήματα ως κύρια επιλογή για τους Έλληνες καταναλωτές και τις επιχειρήσεις μέχρι το τέλος αυτής της δεκαετίας.

Ένα ουσιαστικό στοιχείο που επηρεάζει σημαντικά την ευρεία υιοθέτηση της ηλεκτρικής κινητικότητας είναι η ανάπτυξη και η επέκταση αξιόπιστης υποδομής φόρτισης. Σύμφωνα με τις προβλέψεις και τις προβλέψεις του κλάδου, μέχρι το 2027 έως το 2028, η Ελλάδα αναμένεται να διαθέτει ένα εκτεταμένο δίκτυο με περισσότερους από 10.000 δημόσιους σταθμούς φόρτισης στρατηγικά κατανομημένους σε όλη τη χώρα. Αυτή η επέκταση θα επικεντρωθεί ιδιαίτερα σε βασικούς τομείς όπως τα μεγάλα αστικά κέντρα, τα νησιά, διασφαλίζοντας ότι οι κάτοικοι και οι επισκέπτες έχουν εύκολη πρόσβαση στις εγκαταστάσεις φόρτισης. Επιπλέον, η ανάπτυξη σταθμών υψηλής ταχύτητας και γρήγορης φόρτισης κατά μήκος του εθνικού δικτύου αυτοκινητοδρόμων θα διευκολύνει την απρόσκοπτη μετακίνηση μεγάλων αποστάσεων, καθιστώντας τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα πρακτική και ελκυστική επιλογή για εκτεταμένα ταξίδια σε όλη την Ελλάδα. Αυτή η ολοκληρωμένη ανάπτυξη υποδομής φόρτισης είναι έτοιμη να παίξει καθοριστικό ρόλο στην επιτάχυνση της μετάβασης προς την ηλεκτρική κινητικότητα, στη μείωση

του άγχους της εμβέλειας και στην υποστήριξη των ευρύτερων στόχων της χώρας για περιβαλλοντική βιωσιμότητα και ενεργειακή απόδοση.

Κεφάλαιο 5ο : Συμπεράσματα και Προτάσεις βελτίωσης

Η παρούσα έρευνα τόνισε την περίπλοκη και πολύπλευρη φύση της ηλεκτροκίνησης τόσο ως τεχνολογικής καινοτομίας όσο και ως περιβαλλοντικής στρατηγικής. Μια σε βάθος εξέταση των Η/Ο αποκάλυψε ένα ευρύ φάσμα τύπων, συμπεριλαμβανομένων των BEV, των HEV και των FCEVs, το καθένα που καλύπτει διαφορετικές ανάγκες χρηστών, απαιτήσεις υποδομής και περιβαλλοντικούς στόχους. Η ποικιλομορφία μεταξύ αυτών των τύπων οχημάτων υπογραμμίζει τη σημασία της επιλογής κατάλληλων λύσεων με βάση συγκεκριμένα πλαίσια και στόχους. Επιπλέον, η πρόοδος των τεχνολογιών μπαταριών και των σχεδίων συστημάτων μετάδοσης κίνησης διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στη βελτίωση της συνολικής απόδοσης, στην επέκταση της αυτονομίας του οχήματος και στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η πρόοδος σε αυτούς τους τομείς είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση των τρεχουσών προκλήσεων που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας, τη χρήση πόρων και τις εκπομπές, ανοίγοντας έτσι το δρόμο για πιο βιώσιμη και ευρεία υιοθέτηση λύσεων ηλεκτροκίνησης παγκοσμίως.

Όσον αφορά τόσο τις περιβαλλοντικές όσο και τις οικονομικές επιπτώσεις, η έρευνα αποκάλυψε μια σημαντική μείωση στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Αυτό υπογραμμίζει τη θετική συμβολή των Η/Ο στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου και στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Επιπλέον, η ανάλυση έδειξε ότι το TCO για Η/Ο γίνεται σταδιακά πιο προσιτό και ανταγωνιστικό με τα παραδοσιακά οχήματα, ιδιαίτερα όταν λαμβάνονται υπόψη τα κρατικά κίνητρα, οι φορολογικές εκπτώσεις και άλλα οικονομικά οφέλη, καθώς και το χαμηλότερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης κατά τη διάρκεια ζωής του οχήματος. Παρά αυτές τις ελπιδοφόρες εξελίξεις, παραμένουν αρκετές προκλήσεις που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα της ηλεκτρικής κινητικότητας. Συγκεκριμένα, τα θέματα που σχετίζονται με την ανακύκλωση μπαταριών και τη συνολική διαχείριση του κύκλου ζωής των υλικών μπαταριών είναι κρίσιμης σημασίας. Καθώς η ζήτηση για Η/Ο συνεχίζει να αυξάνεται, η διασφάλιση της υπεύθυνης ανακύκλωσης των χρησιμοποιημένων μπαταριών και η ανάπτυξη βιώσιμων μεθόδων προμήθειας και απόρριψης είναι ουσιαστικής σημασίας για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και της εξάντλησης των πόρων. Αυτό υπογραμμίζει την ανάγκη για συνεχή έρευνα και τεχνολογικές προόδους στην τεχνολογία μπαταριών, τις διαδικασίες ανακύκλωσης και τις τεχνικές ανάκτησης υλικών για τη βελτίωση της βιωσιμότητας και της φιλικότητας προς το περιβάλλον των Η/Ο στο μέλλον.

Στην Ελλάδα, παρά την αντιμετώπιση ορισμένων οικονομικών και υποδομών προκλήσεων, οι προοπτικές παραμένουν ελπιδοφόρες για την επέκταση της ηλεκτροκίνησης. Η χώρα επιδεικνύει σημαντικές δυνατότητες ανάπτυξης, ιδιαίτερα εάν καταβληθούν προσπάθειες για την ενίσχυση του δικτύου υποδομής φόρτισης και για την αύξηση της ευαισθητοποίησης του κοινού σχετικά με τα οφέλη και την πρακτικότητα των Η/Ο. Αυτές οι βελτιώσεις θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν ως καταλύτες για ευρύτερη υιοθέτηση μεταξύ των καταναλωτών και των επιχειρήσεων. Η

ανάλυση SWOT (Δυνατά σημεία, Αδυναμίες, Ευκαιρίες, Απειλές) υπογραμμίζει περαιτέρω τη σημασία της διαρκούς επένδυσης και της ακλόνητης πολιτικής δέσμευσης για την ταχεία μετάβαση από τα παραδοσιακά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης σε ηλεκτρικές εναλλακτικές λύσεις. Τέτοιες συντονισμένες προσπάθειες είναι ζωτικής σημασίας για την υπέρβαση των υφιστάμενων φραγμών και την αξιοποίηση ευκαιριών εντός της αγοράς. Η ενίσχυση των υποδομών, η παροχή κινήτρων στους καταναλωτές και η προώθηση της καινοτομίας είναι κρίσιμα βήματα προς τα εμπρός. Αυτή η στροφή προς την ηλεκτροκίνηση δεν είναι μόνο απαραίτητη για τον εκσυγχρονισμό των μεταφορών, αλλά και ευθυγραμμίζεται με τους ευρύτερους περιβαλλοντικούς στόχους που έχουν τεθεί από την Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή Ένωση. Η επίτευξη φιλόδοξων στόχων που σχετίζονται με τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην επιτυχή υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων. Ως εκ τούτου, η συνεχής υποστήριξη πολιτικής, οι στρατηγικές επενδύσεις και η δημόσια δέσμευση είναι απαραίτητες για να διασφαλιστεί ότι η Ελλάδα και η Ευρώπη στο σύνολό τους μπορούν να υλοποιήσουν τους στόχους βιωσιμότητας και τη μετάβαση προς ένα καθαρότερο, πιο πράσινο μέλλον στις μεταφορές.

Βιβλιογραφία

- [1] C. Deng, Y. Qian, X. Song, M. Xie, H. Duan, P. Shen και Q. Qiao, Are electric vehicles really the optimal option for the transportation sector in China to approach pollution reduction and carbon neutrality goals?, *Journal of Environmental Management*, 2024.
- [2] J. Larminie και J. Lowry, *Electric Vehicle Technology Explained*, Wiley, 2012.
- [3] C. Chan και K. Chau, *Modern Electric Vehicle Technology*, Oxford University Press, 2001.
- [4] I. Besselink , *Design of an Electric Vehicle: Analysis and Comparison with Internal Combustion Engine Vehicles*, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 62, no. 3, pp. 1026–1037, 2013.
- [5] J. Milburn, *The Rise and Fall of the Electric Car in the Early 20th Century*, *IEEE Technology and Society Magazine*, vol. 23, no. 2, pp. 32–38, 2004.
- [6] S. Williams, *Electric Cars – The Future Then and Now*, Springer, 2019.
- [7] M. Emadi, M. Ehsani και J. Miller, *Vehicular Electric Power Systems: Land, Sea, Air, and Space Vehicles*, Marcel Dekker, 2003.
- [8] A. Faraz, A. Ambikapathy, S. Thangavel, K. Logavani και A. Prasad, *Battery Electric Vehicles (BEVs)*, *Green Energy and Technology*, 2021.
- [9] N. Priyadarshi, F. Azam, K. Bhoi και A. Sharma, *A multilevel inverter-controlled photovoltaic generation*, *Advances in Greener Energy Technologies*, 2020.
- [10] R. Aswinth, «Circuitdigest,» 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://circuitdigest.com/article/all-you-want-to-know-about-electric-vehicle-batteries>. [Πρόσβαση 26 Απρίλιος 2025].
- [11] S. Muneer, I. Kolhe και S. Sangha, *lectric Vehicles: Prospects and Challenges*, Elsevier, 201.
- [12] H. Lovatt, V. Agelidis και D. Hyland, *A Battery/Ultracapacitor Energy Storage System for Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles*, in *Proc. IEEE VPPC*, pp. 323–

328., 2001.

- [13] U.S. Department of Energy, «Afdc.energy.gov,» 2024. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-hybrid-electric-cars-work>. [Πρόσβαση 10 Μάιος 2025].
- [14] T. Yoshida και K. Kojima, Toyota MIRAI Fuel Cell Vehicle and Progress Toward a Future Hydrogen Society, Electrochemical Society Interface, 2015.
- [15] T. Hawkins, O. Gausen και A. Strømman, Environmental Impacts of Hybrid and Electric Vehicles – A Review, The International Journal of Life Cycle Assessment, vol. 17, pp. 997–1014, 2012.
- [16] J. Mock, Electric Vehicles Are Cleaner than Internal Combustion Engine Vehicles Everywhere, ICCT Briefing Paper, 2021.
- [17] M. Ehsani, Y. Gao και S. Longo, Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles, CRC Press, 2018.
- [18] K. Hu, J. Wu και . T. Schwanen, Differences in Energy Consumption in Electric Vehicles: An Exploratory Real-World Study in Beijing, Journal of Advanced Transportation, 2017.
- [19] P. Suttakul, W. Wongsapai, T. Fongsamootr, Y. Mona και K. Poolsawat, Total cost of ownership of internal combustion engine and electric vehicles: A real-world comparison for the case of Thailand, e 4th International Conference on Clean Energy and Electrical Systems (CEES 2022), 2022.
- [20] Ayvens, «ayvens,» 13 Ιανουάριος 2025. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.ayvens.com/en-cp/blog/sustainability/mobility-guide-2024/>. [Πρόσβαση 20 Μάιος 2025].
- [21] M. Shafique και X. Luo, Environmental life cycle assessment of battery electric vehicles from the current and future energy mix perspective, Journal of Environmental Management, 2022.