



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Ενεργειακά & Περιβαλλοντικά Έργα**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**Προοπτικές
ανακύκλωσης μπαταριών ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ελλάδα
και στην Ευρώπη**

**Συγγραφέας
Πλατανίτης Σωτήριος
ΑΜ: 201921**

**Επιβλέποντες καθηγητές:
Δρ Χριστιάνα Παπαποστόλου,
Παναγιώτης Κτενίδης**

Αθήνα, Μάρτιος 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

MSc in Energy and Environmental Developments

Diploma Thesis

Prospects of

recycling electric car batteries in Greece and in Europe

Student name and surname: Sotiris Platanitis

Registration Number: 201921

Supervisors name and surname:

Dr Christiana Papapostolou,

Panagiotis Ktenidis

Athens, March 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Ενεργειακά & Περιβαλλοντικά Έργα

Τίτλος εργασίας

Προοπτικές Ανακύκλωσης Μπαταριών Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων Στην Ελλάδα Και Την Ευρώπη

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/A	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΚΑΛΔΕΛΛΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
2	ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ ΚΟΣΜΑΣ	ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
3	ΠΑΠΑΠΟΣΤΟΛΟΥ ΧΡΙΣΤΙΑΝΑ	ΕΠΙΚ. ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Σωτήριος Πλατανίτης του Νικόλαου, με αριθμό μητρώου 201921 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Ενεργειακά και Περιβαλλοντικά έργα του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

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

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

Ο Δηλών



Περιεχόμενα

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ.....	1
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ.....	3
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ.....	3
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η χρήση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων	9
1.1. Εισαγωγή.....	9
1.2. Ιστορική αναδρομή	10
1.3. Νομοθετικό πλαίσιο για την ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα και στην Ευρώπη.....	14
1.4. Κίνητρα για αγορά ηλεκτρικών αυτοκινήτων	19
1.5. Τρόπος λειτουργίας ηλεκτρικών αυτοκινήτων	26
1.6. Περιβαλλοντικά οφέλη χρήσης ηλεκτρικών αυτοκινήτων	33
1.7. Ηλεκτρικά αυτοκίνητα στην Ελλάδα και περιβαλλοντικός αντίκτυπος.....	36
1.8. Ηλεκτρικά αυτοκίνητα στην Ευρώπη.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Οι μπαταρίες στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα.....	43
2.1. Τρόπος λειτουργίας μπαταριών στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα.....	43
2.2. Περιβαλλοντικά οφέλη από τη χρήση επαναφορτιζόμενων μπαταριών.....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Προοπτικές ανακύκλωσης μπαταριών στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα	57
3.1. Η ανακύκλωση μπαταριών των ηλεκτρικών αυτοκινήτων	57
3.2. Προοπτικές ανακύκλωσης μπαταριών των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ελλάδα. 66	
3.3. Προοπτικές ανακύκλωσης μπαταριών των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ευρώπη 70	
3.4 Εργοστάσια ανακύκλωσης μπαταριών ηλεκτρικών αυτοκινήτων.....	75
3.4.1. Εργοστάσιο VW GROUP	75
3.4.2. Εργοστάσιο LI-CYCLE	76
3.4.3. Fortum.....	78
3.4.4. Primobius.....	79
3.4.5. Northvolt	80
3.4.6. Sunlight Group.....	81
3.5 Μέθοδοι ανακύκλωσης μπαταριών ηλεκτρικού αυτοκινήτου	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Μελέτη περίπτωσης	87
4.1. Οι πωλήσεις ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων στην Ελλάδα.....	87
4.2. Οι προοπτικές χρήσης ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων στην Ευρώπη και την Ελλάδα έως το 2030	88
4.3 Σενάρια για τη δημιουργία εργοστασίου ανακύκλωσης μπαταριών ηλεκτρικών αυτοκινήτων.....	89

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεράσματα.....	104
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	106

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετάται η προοπτική ανακύκλωσης μπαταριών ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ελλάδα και η δημιουργία σχετικού εργοστασίου. Ως εκ τούτου, μελετάται η χρήση των μπαταριών στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, όχι μόνο ως προς τη λειτουργία των μπαταριών, αλλά και ως προς τα οφέλη που προσφέρουν, οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά. Στόχος είναι να καταδειχθεί κατά πόσο μπορεί ένα τέτοιο εγχείρημα, δηλαδή η δημιουργία ενός εργοστασίου ανακύκλωσης μπαταριών ηλεκτρικών αυτοκινήτων να λειτουργήσει στην Ελλάδα με όρους οικονομικής βιωσιμότητας. Γι' αυτό το σκοπό εξετάζονται 2 σενάρια πωλήσεων ηλεκτρικών αυτοκινήτων 15% και 8% με την αντίστοιχη παραγωγή μπαταριών, τοποθετώντας το έτος λειτουργίας του εργοστασίου περί το 2036 δηλαδή 18 χρόνια μετά από την κυκλοφορία των αυτοκινήτων. Τα σενάρια κατέδειξαν ότι υπάρχουν προοπτικές το εγχείρημα να καταστεί βιώσιμο με βάσει τις υφιστάμενες τιμές πώλησης των ανακατωμένων υλικών. Επιπλέον και σαφώς οι προοπτικές είναι πιο ελπιδοφόρες στη μελλοντική περίπτωση που ενταχθεί και μέρος του βαλκανικού όγκου αποβλήτων στο δυναμικό διαχείρισης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η χρήση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων

1.1. Εισαγωγή

Επί του παρόντος, ο τομέας των μεταφορών είναι μεγάλος καταναλωτής ορυκτών καυσίμων και συμβάλλει εκτενώς στις παγκόσμιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Το 2005, ο τομέας των μεταφορών ήταν υπεύθυνος για το 15% περίπου των παγκόσμιων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, στις οποίες οι οδικές μεταφορές συμβάλλουν κατά 73%.

Μια σημαντική εξέλιξη που μπορεί να βελτιώσει την απόδοση καυσίμου και να μειώσει τις εκπομπές είναι η εισαγωγή των υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων. Περαιτέρω μείωση των εκπομπών θα μπορούσε να επιτευχθεί με την υποκατάσταση των ορυκτών καυσίμων. Μια εναλλακτική είναι η ηλεκτρική ενέργεια: τα πλήρως ηλεκτρικά αυτοκίνητα (ενέργεια που παρέχεται από μια μπαταρία) έχουν μηδενικό δυναμικό εκπομπών όταν η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται με τη χρήση, για παράδειγμα, μέσο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον, η υψηλή ενεργειακή απόδοση του συστήματος μπαταρίας επηρεάζει θετικά την κατανάλωση ενέργειας από ανάλυση κύκλου ζωής των ηλεκτρικών οχημάτων με μπαταρία.

Ωστόσο, οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται σήμερα σε ηλεκτρικά οχήματα, κυρίως ιόντων λιθίου, έχουν επίσης διάφορους περιορισμούς. (Campanari et al., 2017) δείχνουν ότι το βάρος της μπαταρίας και η κατανάλωση ενέργειας του αυτοκινήτου αυξάνονται σημαντικά με την αυτονομία οδήγησης. Ο (Van Vliet et al., 2013) αναφέρουν ότι σε επίπεδο κόστους 1280 \$/kWh για μπαταρίες Li-ion, το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας των ηλεκτρικών οχημάτων το 2010 ήταν τουλάχιστον 3.600 \$/έτος υψηλότερο σε σύγκριση με τα κανονικά αυτοκίνητα ή τα παράλληλα υβριδικά αυτοκίνητα.

Για να καταστούν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με μπαταρία ανταγωνιστικά με τα οχήματα εσωτερικής καύσης, η Κοινοπραξία Προηγμένων Μπαταριών των ΗΠΑ και άλλοι έχουν ορίσει στόχους απόδοσης και κόστους για τις μπαταρίες.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου θεωρούνται ευρέως ως η πιο πολλά υποσχόμενη τεχνολογία τις επόμενες δεκαετίες και πολλές δραστηριότητες έρευνας και ανάπτυξης λαμβάνουν χώρα για τη βελτίωση της απόδοσης των μπαταριών ιόντων λιθίου.

Ωστόσο, οι προκλήσεις που πρέπει να ξεπεραστούν για την ταυτόχρονη επίτευξη όλων των στόχων είναι πολλές. Ειδικά όσον αφορά τη μείωση του κόστους, οι προσδοκίες αποκλίνουν και το αποτέλεσμα της μάθησης είναι αβέβαιο. Ωστόσο, άλλες καινοτόμες τεχνολογίες μπαταρίας μπορεί να ξεπεράσουν αυτά τα προβλήματα. Στόχος αυτής της εργασίας είναι να εξετάσει τις προοπτικές ανακύκλωσης των μπαταριών στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με τη δημιουργία ενός σχετικού εργοστασίου ανακύκλωσης στον Ελλαδικό χώρο.

1.2. Ιστορική αναδρομή

Το πιο σημαντικό πολιτιστικό σύμβολο αυτού του αιώνα είναι το όχημα, το οποίο έδωσε στους ανθρώπους απaráμιλλη ελευθερία κινήσεων. Ως ένδειξη της σημασίας των αυτοκινήτων στην κοινωνία μας, τα σημερινά αυτοκίνητα είναι κάτι περισσότερο από απλά μέσα μεταφοράς, αλλά σύμβολα κοινωνικής επιτυχίας και τεχνικής υπεροχής, με πολυτελή μοντέλα από τη Rolls-Royce και τη Mercedes-Benz και αγωνιστικά οχήματα από τη McLaren και τη Ferrari. Ακόμη και στα σχέδια Otto και Diesel, το όχημα και ο κινητήρας εσωτερικής καύσης συγχωνεύονται σε μια ενιαία ιδέα στο μυαλό μας λόγω των στενών δεσμών τους μεταξύ τους (Garnieri, 2011).

Έχει αυξηθεί η προσοχή στα οχήματα εναλλακτικών καυσίμων, όπως τα ηλεκτρικά και τα υβριδικά οχήματα, τα τελευταία χρόνια ως αποτέλεσμα των περιβαλλοντικών ανησυχιών και της παγκόσμιας εξάντλησης των πηγών πετρελαίου. Όλο και περισσότερες κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο χρηματοδοτούν ερευνητικά προγράμματα με στόχο την ανάπτυξη και την τελειοποίηση της τεχνολογίας των

ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Αυτό περιλαμβάνει προηγμένους κινητήρες υψηλής απόδοσης, μακροχρόνια επαναφορτιζόμενα συστήματα μπαταριών κυψελών καυσίμου και καινοτόμα συστήματα διαχείρισης και ελέγχου ισχύος με αναγεννητική πέδηση. Υπό αυτό το πρίσμα, τα ηλεκτρικά οχήματα φαίνεται να είναι τεχνολογία αιχμής σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς κινητήρες εσωτερικής καύσης. Παρόλα αυτά, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα κυκλοφορούσαν ήδη πριν από έναν αιώνα (Zivin et. al., 2014).

Ο άνθρωπος πάντα αιχμαλωτιζόταν από την ταχύτητα και οι αρχικές μας προσπάθειες να πάμε πιο γρήγορα από ένα άλογο που καλπάζει χρονολογούνται πολύ πριν από την εφεύρεση των κινητήρων. Ο άνεμος ήταν η πρώτη μη μυϊκή πηγή ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε για κίνηση. Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι το χρησιμοποιούσαν με πανιά στις αρχές της τρίτης χιλιετίας π.Χ. για να προωθήσουν τα πλοία τους χωρίς καρίνα που κατασκευάζονται από πάπυρο ανάντη του ποταμού Νείλου. Τα ιστιοφόρα άρματα που μπορούσαν να ταξιδεύουν με μεγάλες ταχύτητες στην ξηρά περιγράφηκαν για πρώτη φορά στην Κίνα τον πέμπτο αιώνα μ.Χ. Μια χιλιετία αργότερα, ένας Φλαμανδός μαθηματικός και πολυμαθητής, ο Simon Stevin (1548/49–1620), κατασκεύασε ένα πανομοιότυπο όχημα στην Ευρώπη (Sperling, 1995).

Ο πρίγκιπας Maurice του Nassau διασκέδασε με τους αγώνες του γύρω από τις αμμώδεις παραλίες της Ολλανδίας μεταξύ Scheveningen και Petten, όπου έτρεχε πιο γρήγορα από τα άλογα. Άλλοι Ευρωπαίοι μηχανικοί είχαν καταλήξει σε πιο περίπλοκα αυτοκινούμενα οχήματα πριν από τον Stevin. Ο Guido da Vigevano (1280-1349), ένας Ιταλός μηχανικός, κατέληξε σε ένα σχετικά πρώιμο σχέδιο. Όταν ο βασιλιάς Φίλιππος ΣΤ' της Γαλλίας σκεφτόταν μια σταυροφορία το 1331, σχεδίασε ένα μαχητικό αυτοκίνητο που κινούνταν με ανεμόμυλο στο *Texaurus Regis Francie*. Στην Ευρώπη, αυτή ήταν η πρώτη ιδέα για ένα μη μυοκίνητο όχημα. Ο Λεονάρντο ντα Βίντσι (1452–1519) κατασκεύασε επίσης ένα αυτοκινούμενο όχημα, δηλαδή ένα αυτοκίνητο, για σκηνικούς σκοπούς το 1478 (Burton, 2013).

Η έρευνα του Codex Atlanticus αποκαλύπτει ότι αυτό το αυτοκίνητο κινούνταν από τεράστια σπειροειδή ελατήρια που στεγάζονταν σε κυλινδρικά περιβλήματα που μοιάζουν με τύμπανο. Στην Ευρώπη, η κίνηση με ελατήρια άρχισε να χρησιμοποιείται

μόνο σε μικρότερες συσκευές όπως τα ρολόγια περίπου το 1440. Δεν υπήρξε ποτέ αυτοκινούμενο όχημα αποθηκευμένης ενέργειας μέχρι την εφεύρεση του Λεονάρντο. Ο Λεονάρντο μπορεί να το κατασκεύασε και να το χρησιμοποίησε, αλλά ήταν πολύ προηγμένο για την εποχή του και, όπως συμβαίνει συχνά με τέτοιες εφευρέσεις, δεν είδε ποτέ περαιτέρω ανάπτυξη. Πριν ο Thomas Newcomen και ο James Watt δημιουργήσουν τις ατμομηχανές τους, συζητήθηκε η ιδέα της χρήσης ατμού για την κίνηση ενός αυτοκινήτου. Πρώτα ήρθε ένα αυτοκίνητο-παιχνίδι που δημιουργήθηκε από τον Φλαμανδό Ιησουίτη ιεραπόστολο Ferdinand Verbiest (1623-1688) στην Κίνα περίπου το 1672, ο οποίος χρησιμοποίησε τον ατμοστρόβιλο που αναπτύχθηκε από τον Ιταλό μηχανικό Giovanni Branca που δημιουργήθηκε για το 1624 για να τροφοδοτήσει την εφεύρεσή του (Wakefield, 1993).

Δεδομένου ότι οι κινητήρες ήταν ικανοί να παράγουν μηχανική ισχύ όταν έγιναν για πρώτη φορά διαθέσιμοι, οι καινοτόμοι άρχισαν να εξερευνούν τρόπους χρήσης τους για την προώθηση οχημάτων. Ο Cugnot (1725–1804) ήταν ένας Γάλλος αξιωματικός μηχανικός του στρατού που το 1770 ανέπτυξε το πρώτο του αληθινό αυτοκίνητο (ένα τρίκυκλο μήκους 7,25 μέτρων και ταξίδευε με 4 χιλιόμετρα την ώρα) που κινούνταν με ατμό. Επιπλέον, η ατμομηχανή του αυτοκινήτου είχε χαμηλή απόδοση και χαμηλή αναλογία ισχύος προς βάρος σε σύγκριση με τα πρωτόγονα πρότυπα της εποχής της. Ο Watt δημιούργησε τον «καλύτερα αποδοτικό» συμπυκνωτή κινητήρα του μόλις το 1774. Ο Richard Trevithick (1771–1833), ένας Βρετανός μηχανικός, κατασκεύασε μια μικροσκοπική ατμομηχανή «υψηλής πίεσης» το 1784 που χρησιμοποίησε τις πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία χάλυβα και ατμού. Ο François Isaac de Rivaz (1752-1828), ένας Γαλλοελβετός εφευρέτης, κατασκεύασε το πρώτο πρακτικό αλλά ακατέργαστο αυτοκίνητο με κινητήρα εσωτερικής καύσης το 1807, το οποίο προμηθεύτηκε με συνδυασμό υδρογόνου και οξυγόνου, και το χρησιμοποίησε για να τροφοδοτήσει τα πρώτα αυτοκίνητα με κινητήρα εσωτερικής καύσης το επόμενο έτος. Η θερμοδυναμική θεωρία του Carnot το 1824 έδειξε το βασικό ελάττωμα αυτού του είδους κινητήρα, ωστόσο παρέμεινε μοναδικός για δεκαετίες (Guarnieri, 2012).

Ο φυσικός και χημικός Hans Christian Ørsted (1777-1851) πραγματοποίησε ένα πείραμα το 1820 που σηματοδότησε την ανακάλυψη του ηλεκτρομαγνητισμού (την αλληλεπίδραση ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων), αλλά έδειξε επίσης ότι ο

δυναμικός ηλεκτρισμός μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την επίτευξη πολύ ισχυρότερων μηχανικών επιδράσεων από τον ηλεκτροστατικό αυτές.

Λίγα χρόνια μετά το βασικό επίτευγμα του *rested* στην ελαστική ενέργεια και πίεση, εμφανίστηκαν πρώιμες προσπάθειες για την ανάπτυξη ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Μόλις το 1822 ο Peter Barlow, ένας Άγγλος μαθηματικός και επιστήμονας, ανακάλυψε πώς να κρατά ένα αντικείμενο να περιστρέφεται αλληλοεπιδρώντας με ένα ηλεκτρικό ρεύμα και ένα μαγνητικό πεδίο. Ο τροχός του Barlow, όπως αναφέρεται, είχε μια πρωτόγονη διάταξη που δεν ήταν κατάλληλη για τη δημιουργία ουσιαστικών μηχανικών κινήσεων. Το 1820, ο Γερμανός επιστήμονας Johann S. C. Schweigger δημιούργησε τον πρώτο ηλεκτρομαγνητικό πολλαπλασιαστή (το πρώτο πηνίο), ο οποίος παρήγαγε υψηλότερες ηλεκτροδυναμικές δυνάμεις (1779-1857) (Kirsch, 2000).

Ο William Sturgeon (1783-1850), Άγγλος επιστήμονας και εφευρέτης, μπόρεσε να σηκώσει ένα βάρος εννέα λιβρών συνδυάζοντας τον ηλεκτρομαγνητικό πολλαπλασιαστή με έναν πυρήνα σιδήρου (ο πρώτος ηλεκτρομαγνήτης) το 1825. Βελτίωσε το gadget το 1828 μονώνοντας το πηνίο του με μεταξωτή κορδέλα και τυλίγοντάς το με ασφάλεια γύρω από τον πυρήνα του από τον Αμερικανό επιστήμονα Joseph Henry (1797-1878). Στη συνέχεια μπόρεσε να σηκώσει πτώματα ενός τόνου χάρη στη χρήση τέτοιων ηλεκτρομαγνητών. Ο δρόμος άνοιξε για την παραγωγή δυνάμεων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να κινηθούν τα πράγματα (Wakefield, 1998).

Στην πραγματικότητα, οι πρώτοι ηλεκτρικοί κινητήρες κατασκευάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για την προώθηση αυτοκινήτων. Ο Σλοβάκος-Ούγγρος ιερέας Jedlik (1800-1895) δημιούργησε τον πρώτο στοιχειώδη αλλά πρακτικό ηλεκτροκινητήρα το 1827 και τον χρησιμοποίησε τον επόμενο χρόνο για να τροφοδοτήσει ένα μικρό αυτοκίνητο.

Ο καθηγητής Sibrandus Stratingh (1785–1841) του Πανεπιστημίου του Groningen, στην Ολλανδία, ανέπτυξε ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο μικρής κλίμακας το 1835, ενώ ένας Robert Anderson της Σκωτίας πιστεύεται ότι κατασκεύασε ένα στοιχειώδες ηλεκτρικό βαγόνι μεταξύ των ετών 1832 και 1839 με βάση τους ηλεκτρομαγνήτες του Henry. Εμπνευσμένος από το ευρύ ενδιαφέρον εκείνης της εποχής για την ηλεκτρική

ενέργεια, ο Robert Davidson (1804-1894) άρχισε να πειραματίζεται μαζί τους το 1827 και κατασκεύασε την πρώτη ηλεκτρική ατμομηχανή πραγματικού μεγέθους, που ονομάζεται "Galvani", το 1842 (Wakefield, 1998).

Χωρίς επιβάτες ή φορτίο, δοκιμάστηκε στη γραμμή Εδιμβούργου-Γλασκώβης την ίδια χρονιά. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα εκείνης της εποχής χρησιμοποιούσαν μπαταρίες όπως αυτό το τετράτροχο όχημα. Το 1851, ο Αμερικανός ηλεκτρολόγος πειραματιστής Charles Grafton Page (1812-1868) χρησιμοποίησε μια παλινδρομική ηλεκτρική μηχανή για να προωθήσει μια ατμομηχανή.

Η χρήση σιδηροτροχιών ως αγωγών κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας στο Ηνωμένο Βασίλειο το 1840 και στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1847, αντίστοιχα, για τον άνθρακα σε μια ατμομηχανή (εκείνη την εποχή οι σιδηρόδρομοι ατμού ήταν σε πλήρη επέκταση). Εξαιτίας αυτού, οι προγραμματιστές των πρώτων ηλεκτρικών αυτοκινήτων δεν μπόρεσαν να επιτύχουν την επιτυχία που ήλπιζαν. Όσο δούλευαν οι κινητήρες, ήταν μπροστά από τα οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης, τα οποία έκαναν την πρώτη τους εμφάνιση το 1826 με το άτυχο αυτοκίνητο του Αμερικανού εφευρέτη Samuel Morey (1762–1843) και θα έκαναν ένα σημαντικό βήμα προς τα εμπρός το 1863 με τους κινητήρες που κατασκεύασε ο Βέλγος μηχανικός Étienne Lenoir (1822-1900) (Hoyer, 2008).

1.3. Νομοθετικό πλαίσιο για την ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα και στην Ευρώπη

Το κράτος υποχρεούται από τη νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) να εφαρμόσει το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), το οποίο τέθηκε σε δημόσιο σχολιασμό στις 28 Νοεμβρίου 2019. Αυτό είναι το πρώτο μακροπρόθεσμο στρατηγικό σχέδιο με σαφή πορεία για την επίτευξη συγκεκριμένης ενέργειας και στόχους για το κλίμα έως το 2030.

Το ΕΣΕΚ σκιαγραφεί τις απαραίτητες στρατηγικές βάσεις για την προώθηση της ηλεκτροκίνησης, κυρίως μέσω της Πολιτικής Προτεραιότητας και θέτει συγκεκριμένο στόχο, ώστε το μερίδιο των ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων στις νέες ταξινομήσεις το 2030 να ανέρχεται στο 30%. Δεδομένης της εμπλοκής των

μεταφορών στο πρόβλημα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (υπολογίζεται σε περίπου 25% των συνολικών εκπομπών στην ΕΕ).

Αυτός ο στόχος, μαζί με τον αναθεωρημένο στόχο τουλάχιστον 35% της ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) έως το 2030, θα συμβάλει σημαντικά στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με τις οδικές μεταφορές.

Προς το παρόν, το ΕΣΕΚ κατανοεί ότι το αρχικό κόστος των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι το κύριο εμπόδιο για την υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων, αλλά συνειδητοποιεί επίσης ότι είναι κρίσιμο να προετοιμαστεί για την ανάπτυξη της απαιτούμενης υποδομής φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα.

Η διεύρυνση της αγοραστικής βάσης, η αντικατάσταση αυτοκινήτων παλαιότερης τεχνολογίας, η ενίσχυση του τρέχοντος μεριδίου ηλεκτρικών οχημάτων, η δημιουργία υποδομών και παροχών (κίνητρα) και η εκπαίδευση του κοινού μέσω προγραμμάτων επικοινωνίας είναι πέντε από τις πέντε κατευθύνσεις πολιτικής το ΕΣΕΚ για την ηλεκτροκίνηση.

Ανάλογα με το αν πρόκειται για ιδιωτικά, δημόσια, ταξί ή κρατικά αυτοκίνητα, τα κίνητρα που παρέχονται θα χωριστούν σε δύο κατηγορίες: αμιγώς οικονομικά και βασισμένα στη χρήση. Τα αυτοκίνητα κατά της ρύπανσης ευνοούνται στο νομοσχέδιο για τη φορολογική μεταρρύθμιση λόγω της επιπλέον έκπτωσης 30% από τα ακαθάριστα έσοδα, των υψηλότερων συντελεστών απόσβεσης και μιας εξαίρεσης που περιλαμβάνονται στην προτεινόμενη φορολογική μεταρρύθμιση του νόμου.

Επιπλέον, το ΕΣΕΚ αναπτύσσει το Μέτρο Πολιτικής για την ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης σε τουριστικούς προορισμούς και επιτρέπει πιλοτικές δραστηριότητες στα μέσα μαζικής μεταφοράς και ηλεκτρικά ποδήλατα και την κατασκευή σταθμών φόρτισης σε αυτούς τους χώρους.

Ένα καλό σημείο εκκίνησης είναι με τα προαναφερθέντα οικονομικά κίνητρα, τα οποία αποσκοπούν κυρίως στην αντιμετώπιση του ζητήματος του υψηλού αρχικού κόστους των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, προκειμένου να διευρυνθεί η αγοραστική βάση και να αυξηθεί το ποσοστό των ηλεκτρικών οχημάτων στους στόλους. Οι παράγοντες που συμβάλλουν στην προώθηση της ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολλοί,

αλλά όπως επακριβώς επισημαίνει το ΕΣΕΚ χρειάζεται και ένα πλήρες θεσμικό πλαίσιο και ανάπτυξη υποδομών.

Σε σχέση με αυτό το πρόβλημα, θα πρέπει να αναπτυχθούν κίνητρα και μετρήσιμοι στόχοι για την προώθηση όλων των συμβαλλόμενων εξαρτημάτων και την ανάπτυξη της υποδομής του δημόσιου σταθμού φόρτισης, δεδομένης της πολυπλοκότητάς του.

Οι επιχειρήσεις του δημόσιου τομέα και οι φορείς εκμετάλλευσης με θέσεις στάθμευσης, χώρους στάθμευσης και πρατήρια καυσίμων θα πρέπει όλοι να λάβουν κίνητρα για την κατασκευή και λειτουργία δημόσιων σταθμών φόρτισης για τους δικούς τους εργαζόμενους και πελάτες, καθώς και για το ευρύ κοινό. Ανάλογα με το μέγεθος του χώρου στάθμευσης, η ανάγκη κατασκευής και λειτουργίας ενός σταθμού φόρτισης μπορεί να συζητηθεί, τουλάχιστον αρχικά για οργανισμούς του δημόσιου τομέα.

Ένα επιπλέον εμπόδιο για την υιοθέτηση ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι η έλλειψη εγκαταστάσεων φόρτισης, ιδιαίτερα για ταξίδια εκτός πόλεων, όπως αυτά κατά μήκος των αυτοκινητοδρόμων. Θα πρέπει να τεθούν σε εφαρμογή ειδικοί στόχοι και κίνητρα κάλυψης εθνικού δικτύου για να ενθαρρύνουν την εγκατάσταση σταθμών ταχείας φόρτισης σε στάσεις ανάπαυσης, πρατηρίων καυσίμων κατά μήκος αυτοκινητοδρόμων, καθώς και σε όλη την υπόλοιπη εθνική και επαρχιακή υποδομή.

Ανάλογα με το μέγεθος της εταιρείας και την απόσταση από την αστική περιοχή, ενδέχεται να απαιτείται η κατασκευή σταθμού φόρτισης. Για τον εκσυγχρονισμό και την εξυπηρέτηση των πελατών με όλα τα εναλλακτικά καύσιμα, το ΕΣΕΚ ήδη δηλώνει ότι τα πρατήρια θα ενισχυθούν, αλλά θα πρέπει να τεθούν σαφείς ποσοτικοί στόχοι για τη γεωγραφική κάλυψη της χώρας με σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Η εγκατάσταση σταθμών φόρτισης σε συγκροτήματα διαμερισμάτων θα πρέπει να συνοδεύεται από κίνητρα και το απαραίτητο ρυθμιστικό πλαίσιο, ώστε οι κάτοικοι να μπορούν να τα εκμεταλλεύονται ταυτόχρονα. Ανάλογα με το μέγεθος του συγκροτήματος και τα συμφέροντα των κατοίκων, το πλαίσιο θα πρέπει να ελέγχει την αδειοδότηση, τα δικαιώματα χρήσης, τις χρεώσεις και μπορεί ακόμη και να επιβάλλει καθήκον εγκατάστασης.

Οι δημόσιοι σταθμοί φόρτισης θα χρειαστούν πολύ χρόνο για να δημιουργήσουν ένα ολοκληρωμένο δίκτυο. Είναι πολύ πιθανό η επέκταση του δικτύου να υστερεί σε σχέση με την αναμενόμενη αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικών οχημάτων από τους Έλληνες και τον αυξανόμενο αριθμό τουριστών και μεταφορικών εταιρειών που θα βασίζονται στην Ελλάδα ως διαμετακομιστικό σταθμό τα πρώτα χρόνια.

Είναι η κατάλληλη στιγμή για νέες έννοιες όπως οι δυνατότητες των ιδιωτικών σταθμών φόρτισης κατοικιών που βασίζονται σε ένα μοντέλο παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιούμε ήδη για τις μεταφορικές μας ανάγκες (π.χ. UBER, BEAT και άλλες παρόμοιες εφαρμογές). Η εφαρμογή ενός τέτοιου πλαισίου είναι αναπόφευκτα αναγκαία. Η πρόβλεψη των απαιτήσεων φόρτισης ενέργειας ενός σημαντικού αριθμού ηλεκτρικών αυτοκινήτων και των απαιτήσεων στο ηλεκτρικό δίκτυο είναι επίσης βασικά ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν στο μέλλον.

Από την αρχή του σχεδιασμού της υποδομής φόρτισης, αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη προκειμένου να αποφευχθούν δυσκολίες στο τρέχον δίκτυο. Οι σταθμοί φόρτισης μιας εταιρείας ή ενός χώρου στάθμευσης μπορεί να εξυπηρετούνται από ένα τοπικό σύστημα αποθήκευσης που θα αποθηκεύει ενέργεια όταν είναι διαθέσιμη, κατά προτίμηση από ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ) και στη συνέχεια θα τη χρησιμοποιεί για τη φόρτιση αυτοκινήτων.

Θα απαιτηθούν πρόσθετα κίνητρα και η ανάπτυξη και η κατασκευή συστημάτων αποθήκευσης και έξυπνων συστημάτων φόρτισης, εάν πρόκειται να εγκατασταθούν πολυάριθμοι σταθμοί φόρτισης στην ίδια τοποθεσία.

Απαιτούνται κάποιες ακόμη υποδομές για την υποστήριξη της ηλεκτροκίνησης και τη βελτίωση των μεταφορών γενικότερα, πέρα από αυτά που έχουμε ήδη συζητήσει. Ζούμε σε μια εποχή που τα δεδομένα έχουν αντικαταστήσει το πετρέλαιο ως το νέο νόμισμα της οικονομίας.

Για να αξιοποιηθούν στο έπακρο τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, η συλλογή δεδομένων, η ανοιχτή χρήση και η ικανή διαχείριση θα είναι ζωτικής σημασίας, ειδικά για την ηλεκτροκίνηση. Τα δεδομένα πλοήγησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με κοντινούς σταθμούς φόρτισης ως μελέτη περίπτωσης. Θα είναι δυνατή η αποτελεσματικότερη και οικονομικά αποδοτική χρήση των ηλεκτρικών

αυτοκινήτων και των έξυπνων εφαρμογών, εάν τα δεδομένα είναι ελεύθερα διαθέσιμα και χρησιμοποιούνται σύμφωνα με τους νόμους περί απορρήτου και ασφάλειας.

Οι ιδιοκτήτες και οι οδηγοί ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα επωφεληθούν σε μεγάλο βαθμό από τη διαθεσιμότητα μιας πλατφόρμας, όπως αυτή που παρέχει πληροφορίες για τις τοποθεσίες των σταθμών φόρτισης, σε μια περίοδο που το δίκτυο φόρτισης βρίσκεται ακόμη σε αρχικό στάδιο.

Συμπερασματικά, η έρευνα έχει δείξει ότι το περιβαλλοντικό όφελος για το περιβάλλον από τη χρήση ηλεκτρικών αυτοκινήτων έναντι οχημάτων ορυκτών καυσίμων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το πώς παράγουν την ισχύ τους και πώς ανακυκλώνουν τις μπαταρίες τους. Ένα σημαντικό κέρδος μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο εάν η καταναλωμένη ισχύς και η μπαταρία παράγονται με υψηλό ποσοστό ανανεώσιμων πόρων και εάν η μπαταρία ανακυκλώνεται αποτελεσματικά. Όλα τα προαναφερθέντα είναι πιθανό να παίξουν ρόλο στο να φέρουν την ηλεκτρική πρόωση σε ένα μεγάλο κοινό στην Ελλάδα και διεθνώς, πιστεύω.

Λαμβάνεται υπόψιν ότι η Διυπουργική Επιτροπή για την «Ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα» δημιουργεί πλήρες πρόγραμμα κινήτρων καθώς και χωροταξικό πλαίσιο χρέωσης υποδομών, το οποίο θα αξιολογηθεί από τα μέλη της επιτροπής.

Συνοψίζοντας, το ΕΣΕΚ αποτελεί κρίσιμο ορόσημο για την ηλεκτροδότηση του συστήματος οδικών μεταφορών της Ελλάδας και σημαντική συμβολή στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στην προστασία του περιβάλλοντος γενικότερα. Για μελλοντικά στρατηγικά μέτρα για την ανάπτυξη άλλων πτυχών των οδικών μεταφορών, οι στόχοι και οι πολιτικές που ορίζονται στο ΕΣΕΚ θα πρέπει να χρησιμεύσουν ως παράδειγμα. Αντίθετα, υπάρχουν πολλά προβλήματα που απαιτούν σε βάθος διερεύνηση και λύσεις, όπως η ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης δημόσιας και ιδιωτικής υποδομής φόρτισης, η παροχή κινήτρων σε καταναλωτές και επιχειρήσεις να χρησιμοποιούν ηλεκτρικά οχήματα, καθώς και βελτίωση της προσβασιμότητας στη διαχείριση δεδομένων και συστήματα αποθήκευσης. Πρέπει επίσης να μελετηθεί η πραγματική συμβολή της ηλεκτροκίνησης σε ένα πιο αποτελεσματικό και φιλικό προς το περιβάλλον σύστημα μεταφορών. Η διαχείριση

των χρησιμοποιημένων μπαταριών, οι αυξημένες ενεργειακές ανάγκες και ο τρόπος παραγωγής είναι σοβαρά ζητήματα που αν δεν αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά μπορούν να μειώσουν σοβαρά τα οφέλη της ηλεκτροκίνησης, μεταφέροντας το κόστος (οικονομικό και περιβαλλοντικό) από την άμεση χρήση στον τομέα της παραγωγής ενέργειας και της διαχείρισης αποβλήτων, όπως οι χρησιμοποιημένες μπαταρίες και τα υλικά τους.

1.4. Κίνητρα για αγορά ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης θέλουν να προωθήσουν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα και για αυτό το λόγο δίνουν κίνητρα στους υποψήφιους αγοραστές. Τα κίνητρα αυτά έχουν διάφορες μορφές όπως απαλλαγή από φόρους και επιδότηση στην αγορά του αυτοκινήτου. Κάθε χώρα σύμφωνα με τις υποδομές που έχει δημιουργήσει και την οικονομική δυνατότητα που έχει προσφέρει και τα αντίστοιχα κίνητρα.

Επιδότηση και φορολογικά κίνητρα ανά χώρα					
Χώρα	2018	2019	2020	2021	2022
Ελλάδα	<ul style="list-style-type: none"> Τα ηλεκτρικά και τα υβριδικά οχήματα απαλλάσσονται από φόρο ταξινόμησης, φόρο πολυτελείας και από τον φόρο κυκλοφορίας 	Κανένα	<ul style="list-style-type: none"> Επιδότηση 15% επί της τιμής του ηλεκτρικού αυτοκινήτου με μέγιστο ποσό 5500 € Επιδότηση 25% επί της τιμής για ηλεκτρικό ταξί με ποσό έως 8000€ 	<ul style="list-style-type: none"> Επιδότηση 15% επί της τιμής του ηλεκτρικού αυτοκινήτου με μέγιστο ποσό 5500-6000 € με αξία μέχρι 50000€ Επιδότηση 25% επί της τιμής για ηλεκτρικό ταξί με ποσό έως 8000€ Απαλλαγή για όλα τα ηλεκτρικά και υβριδικά αυτοκίνητα από τον φόρο κυκλοφορίας 	<ul style="list-style-type: none"> 40% επιδότηση μέχρι 22000€ για αγορά ηλεκτρικού ταξί. Επιδότηση 30% για αγορά ηλεκτρικού αυτοκινήτου με μέγιστο ποσό επιδότησης 8.000 ευρώ. Επιβράβευση απόσυρσης παλαιού οχήματος με 1.000 ευρώ. Επιδότηση για Αγοράς έξυπνου φορτιστή με 500 ευρώ. Προσαύξηση ενίσχυσης κατά 1.000 ευρώ ειδικά σε νέους έως 29 ετών για την αγορά ηλεκτρικών μικροαυτοκινήτων. Ενίσχυση με επιπλέον ποσό 4.000 ευρώ ανά αυτοκίνητο για αγορά ηλεκτρικού αυτοκινήτου από εταιρείες που δραστηριοποιούνται σε όλα τα νησιά της χώρας. Επιπλέον επιδότηση 1.000 ευρώ θα δικαιούνται τα άτομα με αναπηρία. Επιδότηση 1.000 ευρώ ανά εξαρτώμενο τέκνο προβλέπεται για τις πολύτεκνες οικογένειες που έχουν τουλάχιστον τρία τουλάχιστον εξαρτώμενα τέκνα. Επιδότηση για εταιρείες Ποσοστό επιδότησης για την αγορά ηλεκτρικού αυτοκινήτου 30% με μέγιστο ποσό επιδότησης 8.000 ευρώ ανά όχημα. Απεριόριστο αριθμό οχημάτων για τα οποία η εταιρεία δικαιούται επιδότησης. Επιδότηση για την αγορά και την εγκατάσταση φορτιστή ηλεκτρικού αυτοκινήτου με τον όρο ότι θα εξυπηρετεί αμιγώς τους σκοπούς της εταιρείας και δεν θα χρησιμοποιείται για εμπορική εκμετάλλευση.

Χώρα	2018	2019	2020	2021	2022
Γερμανία	<ul style="list-style-type: none"> • Επιδότηση 4000€ για αγορά ηλεκτρικού οχήματος • Επιδότηση 3000€ για αγορά plug-in υβριδικού οχήματος • Απαλλαγή των ηλεκτρικών αυτοκινήτων για δέκα χρόνια από το ετήσιο τέλος κυκλοφορία 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιδότηση 4000€ για αγορά ηλεκτρικού οχήματος • Επιδότηση 3000€ για αγορά plug-in υβριδικού οχήματος 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιδότηση 9000€ για αγορά ηλεκτρικού οχήματος με αξία μέχρι 40000€ • Επιδότηση 6750€ για plug-in υβριδικά με αξία μέχρι 40000€ 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιδότηση 9000€ για αγορά ηλεκτρικού οχήματος με αξία μέχρι 40000€ • Επιδότηση 6750€ για plug-in υβριδικά με αξία μέχρι 40000€ 	
Ρουμανία	<ul style="list-style-type: none"> • Τα ηλεκτρικά οχήματα απαλλάσσονται από τον ετήσιο φόρο κυκλοφορίας 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιδότηση 10000 € για αγορά ηλεκτρικού οχήματος • Επιδότηση 4500€ για αγορά υβριδικού οχήματος 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιδότηση 10000 € για αγορά ηλεκτρικού οχήματος • Επιδότηση 4250€ για αγορά plug-in υβριδικού οχήματος με εκπομπές μέχρι 50g CO₂/km 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιδότηση 10000 € για αγορά ηλεκτρικού οχήματος • Επιδότηση 4250€ για αγορά plug-in υβριδικού οχήματος με εκπομπές μέχρι 50g CO₂/km 	
Ισπανία	<ul style="list-style-type: none"> • Μείωση του ετήσιου φόρου κυκλοφορίας 75% για ηλεκτρικά οχήματα • Μείωση 30% στη φορολογία των εταιρικών αυτοκινήτων που είναι ηλεκτρικά ή plug-in υβριδικά και 20% για υβριδικά 	<ul style="list-style-type: none"> • επιδότηση έως 5500€ για ηλεκτρικά και plug-in υβριδικά αυτοκίνητα • επιδότηση 6000€ για ηλεκτρικά φορτηγά 	<ul style="list-style-type: none"> • επιδότηση 5000€ για ηλεκτρικά αυτοκίνητα • επιδότηση 2600€ για οχήματα plug-in υβριδικά • επιδότηση 6000€ για ηλεκτρικά φορτηγά 	<ul style="list-style-type: none"> • επιδότηση από 4500€-7000€ για ηλεκτρικά αυτοκίνητα • επιδότηση 2500€-5000€ για plug-in υβριδικά αυτοκίνητα • επιδότηση 7000€-9000€ για ηλεκτρικά φορτηγά 	
Ουγγαρία	<ul style="list-style-type: none"> • Τα ηλεκτρικά οχήματα απαλλάσσονται από το τέλος ταξινόμησης, τον ετήσιο φόρο κυκλοφορίας και τον φόρο εταιρικών αυτοκινήτων 	<ul style="list-style-type: none"> • Κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιδότηση 7350 € για αγορά ηλεκτρικού αυτοκινήτου με αξία μέχρι 32000€ • Επιδότηση 1500€ για αγορά ηλεκτρικού αυτοκινήτου με αξία από 32000€ μέχρι 44000€ 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιδότηση 7350 € για αγορά ηλεκτρικού αυτοκινήτου με αξία μέχρι 32000€ • Επιδότηση 1500€ για αγορά ηλεκτρικού αυτοκινήτου με αξία από 32000€ μέχρι 44000€ 	

Χώρα	2018	2019	2020	2021	2022
Ιταλία	<ul style="list-style-type: none"> Απαλλαγή των ηλεκτρικών οχημάτων από τον ετήσιο φόρο κυκλοφορίας για τα πέντε πρώτα χρόνια και από τα πέντε χρόνια και μετά έχει μείωση φόρου κατά 75% 	<ul style="list-style-type: none"> Επιδότηση μέχρι 6000€ για αυτοκίνητα με εκπομπές 20 g CO2/km 	<ul style="list-style-type: none"> Επιδότηση 6000€ για αυτοκίνητα με εκπομπές μέχρι 70 g CO2/km και με αξία μέχρι 50000€ 	<ul style="list-style-type: none"> Επιδότηση 6000€ για αυτοκίνητα που εκπέμπουν μέχρι 20 G CO2/km και με αξία μέχρι 50000€ Επιδότηση 2000 € για αγορά plug-in υβριδικό οχήματος 	
Αυστρία	<ul style="list-style-type: none"> Έκπτωση του ΦΠΑ για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα 	<ul style="list-style-type: none"> Επιδότηση 3000€ για αγορά ηλεκτρικού αυτοκινήτου Επιδότηση 1500€ για αγορά plug-in υβριδικών οχημάτων 	<ul style="list-style-type: none"> Επιδότηση 3000€ για αγορά ηλεκτρικού αυτοκινήτου Επιδότηση 1250€ για αγορά plug-in υβριδικών οχημάτων 	<ul style="list-style-type: none"> Επιδότηση 3000 € για αγορά ηλεκτρικού οχήματος με αξία μέχρι 60000€ Επιδότηση 1250€ για αγορά plug-in υβριδικών αυτοκινήτων 	
Σλοβενία	<ul style="list-style-type: none"> Επιδότηση 3000-7500€ για αγορά ηλεκτρικού οχήματος 	<ul style="list-style-type: none"> Επιδότηση 7500 € για ηλεκτρικά αυτοκίνητα Επιδότηση 4500€ για ηλεκτρικά φορτηγά Επιδότηση 4500€ για αγορά plug-in υβριδικών οχημάτων 	<ul style="list-style-type: none"> Επιδότηση 7500 € για ηλεκτρικά αυτοκίνητα Επιδότηση 4500€ για ηλεκτρικά φορτηγά Επιδότηση 4500€ για αγορά plug-in υβριδικών οχημάτων 	<ul style="list-style-type: none"> Επιδότηση 7500 € για ηλεκτρικά αυτοκίνητα Επιδότηση 4500€ για ηλεκτρικά φορτηγά Επιδότηση 4500€ για αγορά plug-in υβριδικών οχημάτων 	
Ιρλανδία	<ul style="list-style-type: none"> Επιδότηση έως 5000€ Ηλεκτρικά και plug in υβριδικά Απαλλαγή από φόρο ταξινόμησης για ηλεκτρικά 5000€ για plug in υβριδικά 2500 € για συμβατικά υβριδικά 1500 € Τα ηλεκτρικά πληρώνουν τον ελάχιστο συντελεστή τελών κυκλοφορίας (120 €) 	<ul style="list-style-type: none"> Επιδότηση έως 5000€ για ηλεκτρικά και plug-in υβριδικά 	<ul style="list-style-type: none"> Επιδότηση έως 5000€ για ηλεκτρικά και plug-in υβριδικά 	<ul style="list-style-type: none"> Επιδότηση έως 5000€ για ηλεκτρικά και plug-in υβριδικά με εκπομπές CO2 λιγότερο από 50 g Επιδότηση έως 3800€ για ηλεκτρικά φορτηγά 	
Φιλανδία	<ul style="list-style-type: none"> Τα ηλεκτρικά οχήματα πληρώνουν τον ελάχιστο συντελεστή φόρου ταξινόμησης 	<ul style="list-style-type: none"> Επιδότηση 5000€ για αγορά ηλεκτρικού οχήματος με αξία μέχρι 50000€ 	<ul style="list-style-type: none"> Επιδότηση 2000€ για αγορά ηλεκτρικού οχήματος με αξία μέχρι 50000€ 	<ul style="list-style-type: none"> Επιδότηση 2000€ για αγορά ηλεκτρικού οχήματος με αξία μέχρι 50000€ Επιδότηση 2000€ για αγορά ηλεκτρικού και υβριδικού οχήματος σε περίπτωση διάλυσης παλαιού αυτοκινήτου 	

Χώρα	2018	2019	2020	2021	2022
Γαλλία	<ul style="list-style-type: none"> • απαλλαγή από το τέλος ταξινόμησης για τα ηλεκτρικά και υβριδικά αυτοκίνητα • επιδότηση 10000 € για αγορά ηλεκτρικών οχημάτων και απόσυρση του παλιού αυτοκινήτου με κινητήρα εσωτερικής καύσης • Χορήγηση ασφαλίστρου για ένα χρόνο για τα καινούργια ηλεκτρικά οχήματα Τα ηλεκτρικά οχήματα απαλλάσσονται από το φόρο εταιρικών αυτοκινήτων 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιδότηση 5000 € για αγορά ηλεκτρικού και plug-in υβριδικού οχήματος 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιδότηση 7000 € για αυτοκίνητα με εκπομπές μέχρι 20g CO₂/km για αξία μέχρι 45000 € Επιδότηση μέχρι 5000 € για οχήματα με αξία μέχρι 45000 € 	Κανένα	
Ηνωμένο βασίλειο	<ul style="list-style-type: none"> • Όλα τα οχήματα με εκπομπές CO₂ έως 100g/km απαλλάσσονται από των ετήσιο φόρο κυκλοφορίας • Τα ηλεκτρικά απαλλάσσονται από τον φόρο της εταιρίας 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιδότηση 35% της τιμής αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων έως 3500€ Επιδότηση 20% της τιμής αγοράς για ηλεκτρικά φορτηγά έως 8000€ 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιδότηση έως 3500€ για ηλεκτρικά ταξί, φορτηγά και αυτοκίνητα με τιμή μέχρι 60000€ 	Κανένα	
Πορτογαλία	<ul style="list-style-type: none"> • κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> • κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιδότηση έως 3000€ για αγορά ηλεκτρικού οχήματος 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιδότηση έως 3000€ για αγορά ηλεκτρικού οχήματος με τιμή μέχρι 62500€ • Επιδότησης 6000€ σε εταιρίες για αγορά ηλεκτρικού οχήματος 	

Χώρα	2018	2019	2020	2021	2022
Κροατία	<ul style="list-style-type: none"> • κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> • κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιδότηση 9000€ για ηλεκτρικά οχήματα • Επιδότηση 5000€ για plug-in υβριδικά οχήματα 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιδότηση 9200€ για αγορά ηλεκτρικού οχήματος • Επιδότηση 4600€ για αγορά plug-in υβριδικού οχήματος 	
Λουξεμβούργο	<ul style="list-style-type: none"> • Κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> • κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιδότηση έως 5000€ για αγορά ηλεκτρικού οχήματος • Επιδότηση 2500€ για αγορά plug-in υβριδικού οχήματος 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιδότηση 8000€ για ηλεκτρικά οχήματα • Επιδότηση 3000€ για plug in υβριδικά με εκπομπές μέχρι 50g/km 	
Τσεχία	<ul style="list-style-type: none"> • Τα ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα απαλλάσσονται από τέλη κυκλοφορίας 	<ul style="list-style-type: none"> • κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> • κίνητρα για εταιρίες, δημόσιο τομέα και ιδιώτες για αγορά ηλεκτρικού και υβριδικού οχήματος 	<ul style="list-style-type: none"> • Κανένα 	
Ολλανδία	<ul style="list-style-type: none"> • κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> • κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιδότηση για αγορά ή μίσθωση ηλεκτρικού αυτοκινήτου 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιδότηση για αγορά ή μίσθωση ηλεκτρικού αυτοκινήτου 	
Βέλγιο	<ul style="list-style-type: none"> • Τα ηλεκτρικά πληρώνουν τον χαμηλότερο συντελεστή φόρου κυκλοφορίας • Τα ηλεκτρικά και τα plug-in υβριδικά με εκπομπές ρύπων μέχρι 50g απαλλάσσονται από το τέλος ταξινόμησης 	<ul style="list-style-type: none"> • Οικονομικά κίνητρα για ηλεκτρικά οχήματα για ιδιώτες και εταιρίες 	<ul style="list-style-type: none"> • Κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> • Κανένα 	
Λιθουανία	<ul style="list-style-type: none"> • Κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> • Κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> • Κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιδότηση 5000€ για αγορά καινούργιου ηλεκτρικού οχήματος • Επιδότηση 2500€ για αγορά μεταχειρισμένου ηλεκτρικού οχήματος 	
Εσθονία	<ul style="list-style-type: none"> • Κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> • Κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιδότηση 5000€ για αγορά ηλεκτρικού οχήματος με αξία μέχρι 50000€ 	<ul style="list-style-type: none"> • Κανένα 	

Χώρα	2018	2019	2020	2021	2022
Πολωνία	Κανένα	Κανένα	<ul style="list-style-type: none"> Επιδότηση 8000€ για αγορά ηλεκτρικού αυτοκινήτου με αξία μέχρι 20000€ 	Κανένα	
Λετονία	<ul style="list-style-type: none"> Τα ηλεκτρικά οχήματα πληρώνουν το χαμηλότερο ποσό για εταιρικό φόρο 	<ul style="list-style-type: none"> κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> κανένα 	
Νορβηγία	<ul style="list-style-type: none"> Εναλλάσσονται τα ηλεκτρικά οχήματα από τον φόρο εισαγωγής 	<ul style="list-style-type: none"> Κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> Κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> Κανένα 	
Σουηδία	<ul style="list-style-type: none"> Μείωση φόρων για ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα 	<ul style="list-style-type: none"> κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> κανένα 	
Κύπρος	<ul style="list-style-type: none"> Τα οχήματα που εκπέμπουν λιγότερο από 120 g CO₂/km απαλλάσσονται από το τέλος ταξινόμησης 	<ul style="list-style-type: none"> κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> κανένα 	
Δανία	<ul style="list-style-type: none"> Κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> Κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> Κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> Κανένα 	
Μάλτα	<ul style="list-style-type: none"> κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> κανένα 	<ul style="list-style-type: none"> κανένα 	

Πίνακας 1. Επιδότηση και φορολογικά κίνητρα ανά χώρα (Acea, 2017-2021)

1.5. Τρόπος λειτουργίας ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Στα μέσα του 19ου αιώνα, οι πρακτικές επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ήταν λίγες. Με τις μοναδικές γεννήτριες διαθέσιμες εκείνη την εποχή, τις πρωτεύουσες κυψέλες, θα επαναφορτίζονταν με μια δαπανηρή, σπάταλη και άσκοπη διαδικασία. Μόλις στα τέλη της δεκαετίας του 1860 έφτασαν βιώσιμα δυνατό, λόγω μιας σειράς καινοτομιών που είχαν λάβει χώρα τις δύο προηγούμενες δεκαετίες.

Η διέγερση ηλεκτρομαγνήτη με μπαταρίες που σχεδιάστηκε από τον Δανό μηχανικό Sören Hjorth το 1851 (κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1854), η οποία επέτρεψε ένα υψηλότερο πεδίο διέγερσης. Ο ρότορας συμπαγούς σιδήρου που εισήχθη από τον εξέχοντα Γερμανό επιχειρηματία και εφευρέτη Werner Siemens το 1856, ο οποίος αυξάνει περαιτέρω το πεδίο διέγερσης.

Το Ring Armature, που εφευρέθηκε από τον Ιταλό επιστήμονα Antonio Pacinotti, το οποίο δημοσιεύτηκε για πρώτη φορά το 1865. Οι ηλεκτρικές γεννήτριες που κινούνταν με ατμομηχανές ήταν οι πρώτες που δημιούργησαν ουσιαστικά άπειρη ηλεκτρική ενέργεια σε φθηνότερες τιμές από τις βασικές ηλεκτροχημικές κυψέλες, ανοίγοντας το δρόμο για ευρεία χρήση ηλεκτρικής ενέργειας σε πολλούς διαφορετικούς κλάδους και βιομηχανίες σε όλους τους τομείς (Andersen, 2013).

Επίσης, το πρώτο πρακτικό επαναφορτιζόμενο στοιχείο έφτασε μόλις ήταν προσβάσιμο, κυρίως ο συσσωρευτής μόλυβδου-οξέος του Gaston Planté, που κατασκευάστηκε το 1859. Ο Camille Alphonse Faure (1840-1898), Γάλλος χημικός, επινόησε ένα ενημερωμένο μοντέλο το 1881 που είχε σημαντική επιτυχία τις επόμενες δεκαετίες. Εκτός από την ιδέα της αναστρεψιμότητας, η οποία αναπτύχθηκε για πρώτη φορά από τη Siemens το 1867, οι ηλεκτροκινητήρες συνεχούς ρεύματος εφευρέθηκαν περίπου την ίδια εποχή με τις γεννήτριες. Ως αποτέλεσμα αυτών των εξελίξεων, οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος έγιναν πιο ώριμοι και ήταν έτοιμοι να βοηθήσουν στην αύξηση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων (Rajashekara, 1994).

Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο του Davidson, το οποίο κατασκευάστηκε τριάντα ένα χρόνια μετά την ηλεκτρική ατμομηχανή του, θεωρείται ως το πρώτο επιχειρησιακό ηλεκτρικό οδικό όχημα στον κόσμο και κατασκευάστηκε το 1873 από τον Robert Davidson. Οι αναλώσιμες μπαταρίες σιδήρου/ψευδαργύρου, ωστόσο, τις καθιστούσαν απαγορευτικά ακριβές στη λειτουργία τους και μη πρακτικές για βιομηχανική χρήση.

Όταν ο William E. Ayrton και ο John Perry δημιούργησαν ένα ελαφρύ ηλεκτρικό τρίκυκλο το 1882, τους εμπόδιζε το βάρος των μπαταριών, οι οποίες ήταν 10 κύτταρα Planté στον αριθμό και ζύγιζαν περισσότερο από τον ίδιο τον κινητήρα. Τα ηλεκτρικά οχήματα που τροφοδοτούνται από τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες της Elwell-Parker Ltd παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά το 1884, δύο χρόνια μετά την ίδρυση της εταιρείας από τον Thomas Parker (1843-1915) (Meckling & Nahm, 2018).

Το 1890, ο Πάρκερ δημιούργησε το σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης του μετρό του Λονδίνου, καθώς και εναέρια τραμ στο Λίβερπουλ και το Μπέρμιγχαμ. Χρησιμοποιώντας ένα σύστημα ελέγχου σειράς/παράλληλου κινητήρα και υδραυλικά φρένα, κατασκεύασε ένα ηλεκτρικό λεωφορείο το 1896 (Meckling & Nahm, 2018).

Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο του Davidson, το οποίο κατασκευάστηκε τριάντα ένα χρόνια μετά την ηλεκτρική ατμομηχανή του, θεωρείται συχνά ως το πρώτο επιχειρησιακό ηλεκτρικό οδικό όχημα στον κόσμο και κατασκευάστηκε το 1873 από τον Robert Davidson (Meckling & Nahm, 2018).

Οι αναλώσιμες μπαταρίες σιδήρου/ψευδαργύρου, ωστόσο, τις καθιστούσαν απαγορευτικά ακριβές στη λειτουργία τους και μη πρακτικές για βιομηχανική χρήση. Όταν ο William E. Ayrton και ο John Perry δημιούργησαν ένα ελαφρύ ηλεκτρικό τρίκυκλο το 1882, τους εμπόδιζε το βάρος των μπαταριών, οι οποίες ήταν 10 κύτταρα Planté στον αριθμό και ζύγιζαν περισσότερο από τον ίδιο τον κινητήρα. Τα ηλεκτρικά οχήματα που τροφοδοτούνται από τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες της Elwell-Parker Ltd παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά το 1884, δύο χρόνια μετά την ίδρυση της εταιρείας από τον Thomas Parker (1843-1915) (Wakefield, 1978).

Το 1890, ο Πάρκερ δημιούργησε το σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης του μετρό του Λονδίνου, καθώς και εναέρια τραμ στο Λίβερπουλ και το Μπέρμιγχαμ. Χρησιμοποιώντας ένα σύστημα ελέγχου σειράς/παράλληλου κινητήρα και υδραυλικά φρένα, κατασκεύασε ένα ηλεκτρικό λεωφορείο το 1896.

Ο Ward Radcliffe, ένας Βρετανός μηχανικός γερμανικής καταγωγής, παρήγαγε ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο με 28 κυψέλες το 1886 και δύο χρόνια αργότερα ο Magnus Volk, ένας Βρετανός μηχανικός της Γερμανίας κατάβαση, είχε κάποια επιτυχία με το ηλεκτρικό του τρίκυκλο. Σε λειτουργία μεταξύ 1896 και 1901, ο ηλεκτρικός σιδηρόδρομος Brighton και Rottingdean Seashore κατά μήκος της ακτής της Μάγχης. Η εταιρεία Immisch & Company με έδρα το Λονδίνο το 1888 παρήγαγε ένα καρότσι σκυλιών τεσσάρων επιβατών που τροφοδοτούνταν από έναν κινητήρα Immisch, ο οποίος κινούνταν με μάντα. Η εταιρεία ιδρύθηκε το 1882 από τον Moritz Immisch, έναν Αγγλο-Γερμανό που είχε συνεργαστεί στο παρελθόν με τη Volk (Ivory & Genus, 2010).

Μια υπηρεσία ηλεκτρικού ταξί ιδρύθηκε το 1889 από την London Electric Cab Company που χρησιμοποιούσε αυτοκίνητα 3 ίππων που διέθεταν μπαταρίες 40 κυττάρων και άλλα καινοτόμα χαρακτηριστικά. Ως αποτέλεσμα πολλών τεχνικών ζητημάτων, συμπεριλαμβανομένου του υψηλού βάρους μπαταρίας, η εταιρεία αναγκάστηκε να κλείσει δύο χρόνια μετά την ίδρυσή της (Villareal, 2011).

Στα γαλλικά, η ανάπτυξη των ηλεκτρικών ήταν πιο αξιοσημείωτη. Ενώ ο Charles Jeantaud ανέπτυξε το πρώτο του ηλεκτρικό όχημα χρησιμοποιώντας έναν κινητήρα Gramme και την μπαταρία του Faure, ο Gustave Trouné (1839-1902) έδειξε ένα ηλεκτρικό τρίκυκλο στην Έκθεση του Παρισιού Internationale d'Électricité το 1881. Υπήρχαν άλλοι πρωτοπόροι που κατασκεύαζαν εμπορικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα λίγα χρόνια αργότερα. Σχεδιάστηκαν για να φαίνονται σαν άμαξες χωρίς άλογα αφού τα άλογά τους αντικαταστάθηκαν με ηλεκτρικούς κινητήρες. Για τα αυτοκινούμενα οχήματα, αυτό ήταν σύνθηρες φαινόμενο, δεδομένου ότι δεν υπήρχε συγκεκριμένη ρύθμιση αυτοκινήτου εκείνη την εποχή (Smil, 2010). Ο Henri Pieper, ο γιος του Βέλγου κατασκευαστή όπλων Pieper, κατασκεύασε το AutoMixte, το πρώτο γνωστό παράλληλο υβριδικό αυτοκίνητο, το οποίο μπορούσε να λειτουργεί με έναν τρόπο κάθε φορά το 1896. Ο Paul Rouchain κατασκεύασε το πρώτο εμπορικά

αποτελεσματικό ηλεκτρικό όχημα το 1893, το οποίο μπορούσε να πάει με 16 χιλιόμετρα την ώρα και μεταφέρει έξι άτομα. Ο Louis Antoine Krieger (1868-1951) από το Παρίσι ανέπτυξε ηλεκτρικά αυτοκίνητα από το 1894 έως το 1906 για τον Jeantaud. Υπάρχουν πολλά τρέχοντα έργα για ηλεκτρικά αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητικά φρένα με ανάκτηση ενέργειας, όπως αυτό που αναπτύχθηκε από το τελευταίο.

Υπήρξε ένας αριθμός διαγωνισμών που διεξήχθησαν από πρώιμους κατασκευαστές ηλεκτρικών οχημάτων στη Γαλλία, οι οποίοι οδήγησαν σε σημαντικές τεχνολογικές προόδους. Ο Gaston de Chasseloup-Laubat, ένας Γάλλος δρομέας αυτοκινήτων, οδήγησε ένα ηλεκτρικό Jeantaud Duc με 63,13 χλμ στις 18 Δεκεμβρίου 1898, για να πετύχει το πρώτο επίσημο ρεκόρ ταχύτητας στην ξηρά. Ο Gaston και ο αντίπαλός του ο Βέλγος Camille Jenatzy (1868-1913), ο οποίος στις 29 Απριλίου 1899 οδήγησε το ηλεκτρικό του Jamais Contente σε σχήμα πυραύλου με 105,88 χλμ/ώρα, κατέρριψε στη συνέχεια μια σειρά από ρεκόρ μέσα σε λίγους μήνες. Ένα χερσαίο όχημα δεν έχει σπάσει ποτέ το φράγμα των 100 χλμ/ώρα.

Ο απώτερος στόχος αυτών των αγώνων ήταν να ενωθούν και να κερδίσουν την ταχέως αναπτυσσόμενη αγορά μεμονωμένων αυτοκινούμενων οχημάτων. Η κοινωνία της Belle Époque ενθουσιάστηκε από τον ηλεκτρικό εξοπλισμό, την κυρίαρχη τεχνολογία της εποχής, ικανό να τρέχει πολύ πιο γρήγορα από τα άλογα και ακόμη και από τις ατμομηχανές εκείνη την εποχή. Μόνο το 1904 οι Ηνωμένες Πολιτείες ξεπέρασαν τη Γαλλία ως ο κορυφαίος κατασκευαστής αυτοκινήτων στον κόσμο (Villareal, 2011).

Όταν ο Αυστριακός μηχανικός Ferdinand Porsche (1875-1951) δημιούργησε το πρώτο του ηλεκτρικό όχημα το 1899, έγινε γνωστός. Ήταν το πρώτο του αυτοκίνητο και περιλάμβανε έναν κινητήρα πλήμνης σε κάθε τροχό, καθιστώντας το αρκετά εξελιγμένο. Αργότερα, εξέθεσε ένα υβριδικό όχημα με και τους τέσσερις τροχούς που κινούνταν με ηλεκτρική ενέργεια.

Οι ΗΠΑ χρειάστηκαν λίγο περισσότερο χρόνο για να αναπτύξουν αποτελεσματικά ηλεκτρικά σε σύγκριση με την Ευρώπη. Ο Andrew L. Riker (1868-1930), ένας δεκαεξάχρονος εφευρέτης, κατασκεύασε ένα απλό ηλεκτρικό ποδήλατο το 1884 συνδέοντας έναν ηλεκτρικό κινητήρα σε ένα ποδήλατο και μια μπαταρία. Οι

ηλεκτροκινητήρες του τέθηκαν σε χρήση πέντε χρόνια αργότερα, όταν ίδρυσε την Riker Motor Vehicle Company, μια από τις πρώτες της χώρας.

Δύο ηλεκτρικά τρίκυκλα κατασκευάστηκαν το 1886 και το 1888 από τους N. S. Possons του Κλίβελαντ και Philip Pratt της Βοστώνης, αντίστοιχα, για να παρουσιάσουν την επαναφορτιζόμενη μπαταρία μόλυβδου οξέος της Brush Electric Co. Ήταν το 1890 που ο William Morrison στο Des Moines κατασκεύασε το πρώτο πρακτικό αμερικανικό τετράτροχο ηλεκτρικό αυτοκίνητο ικανό να μεταφέρει έξι άτομα με μέγιστη ταχύτητα 22 χιλιομέτρων την ώρα (Wilberforce et. al., 2017).

Κατά τη διάρκεια της Παγκόσμιας Κολομβιανής Έκθεσης του 1893 στο Σικάγο διεξήχθησαν οι πρώτοι αγώνες ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Αμερική, προκαλώντας το ενδιαφέρον για τα ηλεκτρικά οχήματα και βοηθώντας να γίνουν δημοφιλής τρόπος μεταφοράς τις επόμενες δεκαετίες. Στη δεκαετία του 1880, τα εμπορικά ηλεκτρικά δίκτυα συνεχούς ρεύματος του Έντισον, τα οποία αποτελούσαν την υποδομή για την επαναφόρτιση των μπαταριών, επεκτάθηκαν σε όλες τις Ηνωμένες Πολιτείες, ενισχύοντας την επέκταση της βιομηχανίας. Υπήρξαν πολλές νέες εκκινήσεις ηλεκτρικών οχημάτων. Ο Hiram Percy Maxim, ένας εξέχων κατασκευαστής ποδηλάτων, δημιούργησε το πρώτο λειτουργικό αμερικανικό ηλεκτρικό αυτοκίνητο το 1896 για την Pope Manufacturing Co. (1869-1936).

Η Electric Vehicle Company δημιουργήθηκε το 1897 για να επωφεληθεί από την αναπτυσσόμενη αγορά και η πρώτη υπηρεσία ηλεκτρικών ταξί παρασχέθηκε στη Νέα Υόρκη και τη Φιλαδέλφεια το 1897. Μέχρι την αλλαγή του αιώνα, είχαν γίνει ο πρώτος Αμερικανός κατασκευαστής ηλεκτρικών οχημάτων. Με εξαίρεση τον Έντισον οι άλλοι κύριοι παραγωγοί ήταν: ο Anthony Electric Baker Detroit Studebaker Columbia Anderson Bailey Chapman Rausch & Lang Waverly Woods (Wilberforce et. al., 2017).

Ο Edison (1847-1931) δημιούργησε την αλκαλική μπαταρία νικελίου-σιδηρού στις αρχές του εικοστού αιώνα για να καλύψει αυτή την αυξανόμενη ανάγκη.

Ωστόσο, οι πιο σημαντικές εξελίξεις στην τεχνολογία ηλεκτροκινητήρων για αυτοκίνητα σημειώθηκαν γύρω στα τέλη του δέκατου ένατου και στις αρχές του εικοστού αιώνα, που μπορεί να θεωρηθεί ως το θεμέλιο της τρέχουσας μετάβασης

στην πλήρη ηλεκτροδότηση της ανθρωπότητας. Η ανθρώπινη φυλή προσπαθεί να επιστρέψει στις τεχνικές και τα μέσα λειτουργίας των αυτοκινήτων που ήταν πιο φιλικά προς το περιβάλλον στο παρελθόν. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θεωρείται πλέον ότι έχουν σημαντικό αρνητικό αντίκτυπο στην αυτοκινητοβιομηχανία και τη βιομηχανία εξόρυξης πετρελαίου, καθώς περιπλέκουν τις εργασίες σχεδιασμού και μειώνουν σημαντικά τις ροές χρημάτων (Wilberforce et. al., 2017).

Για τους οικολογικούς καταναλωτές αυτοκινήτων, τα ηλεκτρικά οχήματα είναι η καλύτερη επιλογή. Στην περίπτωση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, δεν υπάρχουν εκπομπές που να σχετίζονται με τη χρήση τους. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθαρή, ανανεώσιμη ενέργεια για την τροφοδοσία τους. Ακόμα κι αν τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια από μη ανανεώσιμες πηγές, οι ηλεκτροκινητήρες είναι πιο αποδοτικοί από τους κινητήρες εσωτερικής καύσης, με αποτέλεσμα χαμηλότερες εκπομπές άνθρακα ανά μίλι σε σύγκριση με πανομοιότυπα αυτοκίνητα (Kirsch, 2000).

Οι παρουσιάσεις στα μέσα ενημέρωσης και τα άρθρα των μέσων ενημέρωσης σε εφημερίδες, περιοδικά, τηλεόραση και το διαδίκτυο συχνά προωθούν τα οφέλη των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Οι απεικονίσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων στα αγγλόφωνα μέσα ενημέρωσης εξετάζονται σε αυτή τη μελέτη προκειμένου να προσδιοριστούν τα γλωσσικά χαρακτηριστικά. Για να πετύχουμε τον στόχο μας, πρέπει να αντιμετωπίσουμε τα ακόλουθα ζητήματα: να ορίσουμε την έννοια «ηλεκτρικό αυτοκίνητο» και να εξετάσουμε την ανάπτυξη ηλεκτρικών οχημάτων, να αποκαλύψουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ηλεκτρικών οχημάτων σε σύγκριση με τα οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης σε παρουσιάσεις μέσων ενημέρωσης, να αποκαλύψουμε δομικά και σημασιολογικά χαρακτηριστικά της λεξιλογικής παρουσίασης των ηλεκτρικών οχημάτων σε αγγλόφωνα μέσα (Kirsch, 2000).

Η αποτελεσματική επιρροή σε μια συζήτηση μέσων, η παρουσίαση μέσων και η δημιουργία διαφημίσεων εξετάζονται σε αυτό το σύνολο μελετών. Η σημειωτική της διαφήμισης στα μέσα και η λεκτική προώθηση μέσω των μέσων ενημέρωσης εξετάζονται επίσης. Πωλητές και αγοραστές συναντιούνται στην επικοινωνία ή την εσωτερική τους εμφάνιση για να προσφέρουν αντικείμενα, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους και τα οφέλη που θα αποκομίσει ο πιθανός αγοραστής από την

αγορά τους. Η παρουσίαση χρησιμεύει ως γέφυρα μεταξύ της αναζήτησης αντικειμένων και της τελικής απόφασης αγοράς ενός συγκεκριμένου αντικειμένου. Υπάρχει η δυνατότητα προβολής ειδών πλήρους ή μερικής απασχόλησης (Hoyer, 2008). Η κατασκευή ενός εξειδικευμένου ιστότοπου συνδυάζεται γενικά με τη δημιουργία μιας παρουσίασης προϊόντων μερικής απασχόλησης, όπου δημοσιεύονται όλες οι πληροφορίες για καινοτομίες, βελτιώσεις σε συγκεκριμένα αγαθά, δραστηριότητες που πραγματοποιούνται με αυτόν και προνομιακές προσφορές που εκτείνονται σε αυτόν. Σε ό,τι μας αφορά, ένας ιστότοπος είναι μια από τις πιο αποτελεσματικές παρουσιάσεις μέσων, καθώς προσφέρει πολλά οφέλη που είναι αδύνατο να επιτευχθούν σε άλλες μορφές και είδη μέσων. Είναι πλεονεκτικό να υπάρχει ένας ιστότοπος για την παρουσίαση προϊόντων στα μέσα ενημέρωσης, καθώς παρέχει περισσότερες ποιοτικές πληροφορίες για τα αγαθά από τις εσωτερικές συναντήσεις, οι οποίες αφορούν κυρίως την προβολή των αντικειμένων με τον καλύτερο δυνατό τρόπο (Hoyer, 2008).

Η διαθεσιμότητα κριτικών για τα επιλεγμένα προϊόντα: ο δυνητικός αγοραστής μπορεί να δει την καρτέλα απαντήσεων, η οποία υπάρχει σε οποιονδήποτε ιστότοπο λόγω του τεράστιου ανταγωνισμού των παραγωγών. Ο δυνητικός αγοραστής έχει την ευκαιρία, απεριόριστη έγκαιρα, να μελετήσει τα χαρακτηριστικά των επιλεγμένων προϊόντων, τα θετικά και τα μειονεκτήματά του. Όσον αφορά την προβολή προϊόντων, οι θεματικοί ιστότοποι έχουν αποδειχθεί οι πιο επιτυχημένοι. Για το λόγο αυτό, αποφασίσαμε να διεξαγάγουμε μια ολοκληρωμένη ανάλυση της λεξιλογικής παρουσίασης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στον λόγο των αυτοκινητιστικών μέσων με αυτόν τον τρόπο παρουσίασης. Προκειμένου να αναλυθεί η χρήση ορισμένων λεξιλογικών στοιχείων στις παρουσιάσεις των μέσων ενημέρωσης των τριών ηγετών της αγοράς ηλεκτρικών αυτοκινήτων, έπρεπε πρώτα να συγκεντρωθούν δεδομένα σχετικά με το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο λεξιλόγιο από τους κατασκευαστές ηλεκτρικών οχημάτων. Μόνο πρόσφατα ο τομέας των ηλεκτρικών οχημάτων γνώρισε ταχεία ανάπτυξη, επομένως το λεξιλογικό πεδίο των ηλεκτρικών οχημάτων και των αυτοκινήτων γενικά θα αποτελέσει τη βάση της δουλειάς μας (Zhel'tukhina et. al., 2020).

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, από την άλλη πλευρά, γίνονται μια βιώσιμη εναλλακτική λύση στα οχήματα που κινούνται με ορυκτά καύσιμα τον 21ο αιώνα. Με περισσότερα ηλεκτρικά οχήματα στους δρόμους στη Νορβηγία από οποιοδήποτε άλλο ευρωπαϊκό έθνος, η χώρα έχει μια από τις πιο προηγμένες κοινότητες ηλεκτρικών αυτοκινήτων στον κόσμο. Το 2010, η Νορβηγία είχε 151 ηλεκτρικά αυτοκίνητα ανά 100.000 συμβατικά οχήματα, σε σύγκριση με την Αυστρία και την Ολλανδία, που η καθεμία είχε αναλογία 5 ηλεκτρικά οχήματα ανά 100.000 συμβατικά οχήματα, και τη Φινλανδία, η οποία είχε αναλογία 1: 100.000 παραδοσιακά οχήματα. Οι πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων στη Δυτική Ευρώπη έχουν αυξηθεί πρόσφατα, ωστόσο το ποσοστό των ηλεκτρικών οχημάτων που πωλούνται είναι ακόμα χαμηλό (0,2%) σε σύγκριση με τη Νορβηγία (2,86%). Το «Learning by doing», πιλοτικά έργα και η εισαγωγή του ηλεκτρικού οχήματος ως αυτοκίνητο εργασίας είναι συχνά τα πρώτα βήματα για την υλοποίηση της μεταφοράς ηλεκτρικών οχημάτων στις Ηνωμένες Πολιτείες. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, τα οποία είναι μάλλον δαπανηρά, χρειάζονται αλλαγές υποδομής (Narins, 2017).

1.6. Περιβαλλοντικά οφέλη χρήσης ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Για τη μείωση των μελλοντικών εκπομπών και της κατανάλωσης ενέργειας στον κλάδο των μεταφορών, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν αναφερθεί ως σημαντική τεχνολογία. Είμαστε εδώ για να εξετάσουμε και να αξιολογήσουμε τα οφέλη για το περιβάλλον και την ενεργειακή απόδοση των ηλεκτρικών οχημάτων με μπαταρία, τα οποία είναι επί του παρόντος οι μόνες βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις σε οχήματα που κινούνται με κινητήρες εσωτερικής καύσης που είναι τώρα διαθέσιμα στην αγορά. Μια μπαταρία ή μια κυψέλη καυσίμου μπορεί να παρέχει ισχύ για τα ηλεκτρονικά του εσωτερικού ενός οχήματος. Η τεχνολογική δομή του ηλεκτρικού οχήματος με μπαταρία εξηγείται, αποδεικνύοντας ότι είναι πολύ πιο απλό από το όχημα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Όταν τελειώσετε με αυτό, μπορείτε να μετατρέψετε το παλιό σας όχημα με κινητήρα εσωτερικής καύσης σε ηλεκτρονική συσκευή (Hu et. al., 2021).

Η συζήτηση για την πρακτικότητα του σημερινού ηλεκτρικού οχήματος με μπαταρία αποκαλύπτει ότι τα μικρού μεγέθους τους είναι πολύ ωφέλιμα. Σε αυτήν την ανάρτηση, ένα παλιό Smart phone μετατρέπεται σε e-phone. Πριν και μετά τη μετατροπή, η ενεργειακή απόδοση αυτού του αυτοκινήτου βρέθηκε να είναι τέσσερις φορές μεγαλύτερη από αυτή ενός αυτοκινήτου με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Σε σύγκριση με τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία, τα προκαταρκτικά στατιστικά στοιχεία για την ενεργειακή απόδοση των οχημάτων με κυψέλες καυσίμου δείχνουν ότι είναι οριακά λιγότερο αποδοτικά. Οι απώλειες ενέργειας έως και 63% κατά τη σύνθεση υδρογόνου μειώνουν την απόδοση από το φρεάτιο στον τροχό. Όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση, τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία είναι η μοναδική επιλογή για τα οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Μόνο οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής υψηλής απόδοσης ή ακόμα καλύτερα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να προσφέρουν αυτό το επίπεδο απόδοσης. Μια υπερεκτίμηση 25% των αριθμών κύκλων οδήγησης σύμφωνα με το πρότυπο όχημα με κινητήρα εσωτερικής καύσης σε σχέση με τις συνθήκες του δρόμου έχει βρεθεί στα στατιστικά της βιβλιογραφίας σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης και τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Τα δεδομένα για τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία που έχουν μοντελοποιηθεί και χρησιμοποιηθεί στη βιβλιογραφία είναι συχνά βαριά και δεν αντικατοπτρίζουν τις πιο ευεργετικές συνθήκες οδήγησης για τα ηλεκτρικά οχήματα. Οι γερμανικές συνθήκες δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες μπορεί να επεκταθούν σημαντικά με τη φόρτιση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, έχουν συγκριθεί με τα βιβλιογραφικά δεδομένα, αποδεικνύοντας ένα σημαντικό πλεονέκτημα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου λόγω των συνθηκών του γερμανικού καθαρού ηλεκτρισμού. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι το κύριο επίκεντρο αυτής της μελέτης του αποτυπώματος άνθρακα του κύκλου ζωής του ηλεκτρικού οχήματος. Έως και 5,6, τα δεδομένα αξιολόγησης του κύκλου ζωής της μπαταρίας που έχουν δημοσιευτεί μέχρι στιγμής δείχνουν σημαντικές διακυμάνσεις με βάση τη μεθοδολογική προσέγγιση του κύκλου ζωής της μπαταρίας, καθώς και όσον αφορά τη χημεία της μπαταρίας. Σε σύγκριση με το Smart με κινητήρα εσωτερικής καύσης, το αποτύπωμα άνθρακα του τροποποιημένου Smart 10 ετών μπορεί να μειωθεί περισσότερο από 80% (Notter et. al., 2010).

Παγκοσμίως, το 26% της πρωτογενούς ενέργειας χρησιμοποιείται για λόγους μεταφοράς και το 23% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου συνδέεται με την κατανάλωση ενέργειας. Η κυκλοφορία στους δρόμους αντιπροσωπεύει το 74% όλων των μεταφορικών μέσων παγκοσμίως. Τα οχήματα στο δρόμο και στον αέρα αποτελούν μέρος του κλάδου των μεταφορών. Υπάρχουν τρεις κύριες αιτίες για αυτό: Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι στα περισσότερα έθνη, τα οχήματα είναι ο κύριος τρόπος μεταφοράς στους δρόμους. Για να το θέσω αλλιώς, οι πωλήσεις οχημάτων αυξάνονται ταχύτερα από οποιαδήποτε άλλη βιομηχανία στον κόσμο. Τρίτον, σε αντίθεση με τα φορτηγά, υπάρχουν διαφορετικές τεχνολογίες μετάδοσης κίνησης για ηλεκτρικά οχήματα. Σε αντίθεση με τα μικρά οχήματα, τα οποία μπορούν να κινούνται εξ ολοκλήρου με ηλεκτρική ενέργεια, τα μεγάλα φορτηγά χρειάζονται καύσιμο ντίζελ, το οποίο μπορεί να αντικατασταθεί από ένα συνδυασμό μεθανίου 80% (είτε ορυκτό είτε βιογενές). Σε μικρές διαδρομές, τα λεωφορεία ενδέχεται να τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο, τα λεωφορεία που κινούνται με συμπιεσμένο φυσικό αέριο (μεθάνιο) είναι πιο συνηθισμένα. Η έννοια των συμπαγών οχημάτων που τροφοδοτούνται από κυψέλες καυσίμου και υδρογόνο (H₂) είναι ακόμα στα σπάργανα (Notter et. al., 2010).

Τα αυτοκίνητα αντιπροσωπεύουν το 60% όλων των εκπομπών CO₂ από τις μεταφορές στη Γερμανία. Στα αναπτυσσόμενα ασιατικά έθνη, η κίνηση είναι πιθανό να επεκταθεί τρομερά στο εγγύς μέλλον. Σε όλο τον κόσμο, υπάρχουν τώρα 630 εκατομμύρια οχήματα στους δρόμους. Μέχρι το 2030, ο αριθμός αυτός αναμένεται να ανέλθει στο ένα δισεκατομμύριο. Μέχρι το 2030, η αυτοκινητοβιομηχανία προβλέπεται να αυξηθεί από 63 εκατομμύρια σε 100 εκατομμύρια οχήματα ετησίως. Εκτός από τις εκπομπές CO₂, τα νεότερα για τους κινητήρες εσωτερικής καύσης εξακολουθούν να παράγουν επικίνδυνα καυσαέρια. Η πρόωρη θνησιμότητα προκαλείται από την ατμοσφαιρική ρύπανση σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), ο οποίος υπολογίζει ότι δύο εκατομμύρια άνθρωποι παγκοσμίως πεθαίνουν πρόωρα κάθε χρόνο εξαιτίας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ο ΠΟΥ έχει αναγνωρίσει το όζον, τη λεπτή σκόνη, το NO₂ και το SO₂ ως τους πιο επικίνδυνους τύπους ρύπανσης που προέρχονται κυρίως ή σε μεγάλο βαθμό από την κυκλοφορία. Η κυκλοφορία θα είναι υπεύθυνη για περίπου το ήμισυ του μετρούμενου κόστους

ζωής και υγείας (Holmberg & Erdemir, 2019). Τα υψηλά έξοδα υγειονομικής περίθαλψης είναι αποτέλεσμα των τοξικών εκπομπών των κινητήρων εσωτερικής καύσης, ακόμη και στις ανεπτυγμένες χώρες: Σχεδόν το ένα τέταρτο του πληθυσμού της ΕΕ ζει σε απόσταση 500 μέτρων από έναν δρόμο που βλέπει πάνω από τρία εκατομμύρια αυτοκίνητα να περνούν από αυτόν κάθε χρόνο. Λόγω των υπερβολικών επιπέδων ρύπανσης, περίπου τέσσερα εκατομμύρια χρόνια ζωής χάνονται κάθε χρόνο (Holmberg & Erdemir, 2019).

Οι μελλοντικές μεταφορικές απαιτήσεις απαιτούν την αντικατάσταση των σημερινών τεχνολογιών πρόωσης με πιο αποτελεσματικές και φιλικές προς το περιβάλλον εναλλακτικές λύσεις, προκειμένου να εξαλειφθεί σταδιακά η εξάρτηση από το πετρέλαιο («πετρέλαιο αιχμής»). Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι αποτελεσματικές λύσεις μεταφορών είναι απαραίτητες για την επίτευξη μιας πιο βιώσιμης κοινωνίας. Ένα παράδειγμα αυτής της τεχνολογίας είναι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Επιπλέον, μερικά έθνη έχουν λάβει την απόφαση να μεταφέρουν την παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα σε ανανεώσιμες πηγές, γεγονός που βελτιώνει περαιτέρω την περιβαλλοντική βιωσιμότητα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων σε σύγκριση με τα αυτοκίνητα με κινητήρα εσωτερικής καύσης (Holmberg & Erdemir, 2019).

1.7. Ηλεκτρικά αυτοκίνητα στην Ελλάδα και περιβαλλοντικός αντίκτυπος

Παρά τις βελτιώσεις στην τεχνολογία των οχημάτων, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τον στόλο επιβατηγών αυτοκινήτων της Ελλάδας αυξήθηκαν κατά 54% μεταξύ 1990 και 2010. Λόγω της αύξησης του μεγέθους του στόλου, ο οποίος έχει τετραπλασιαστεί στο ίδιο χρονικό διάστημα.

Εάν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα συνεχίσουν να κερδίζουν μερίδιο αγοράς, ενδέχεται να είναι δυνατή η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σύμφωνα με τους στόχους της πολιτικής της ΕΕ, ενώ παράλληλα θα μειωθεί το περιβαλλοντικό και οικονομικό κόστος που σχετίζεται με την οδήγηση (Efthymiou et. al., 2017).

Τουλάχιστον 5,2 εκατομμύρια επιβατικά αυτοκίνητα χρησιμοποιούνταν στην Ελλάδα μέχρι το τέλος του 2010, με αποτέλεσμα μέση πυκνότητα οχημάτων 458 οχήματα ανά

1000 άτομα, που είναι κοντά στον μέσο όρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης των 473 οχημάτων ανά 1000 κατοίκους το 2009. Η μέση ηλικία του στόλου είναι 10,5 έτη, με το 24% του στόλου να αποτελείται από αυτοκίνητα ηλικίας άνω των 16 ετών, που έχουν κατασκευαστεί πριν από τη θέσπιση των κανονισμών εκπομπών EURO. Η μέση ηλικία του στόλου έχει αυξηθεί κατά 24% μεταξύ 1990 και 2010. Τα παλαιότερα οχήματα έχουν αρνητικό αντίκτυπο στις περιβαλλοντικές και οικονομικές επιδόσεις του στόλου (Efthymiou et. al., 2017).

Όταν προσφέρθηκαν οικονομικά κίνητρα για νέες αγορές αυτοκινήτων, ενθαρρύνθηκε η διάλυση παλαιότερων οχημάτων (1991–92, 2009–2011 και 2011–2012), με αποτέλεσμα τον υψηλό μέσο όρο ηλικίας του στόλου. Ήταν για πρώτη φορά τα δύο προηγούμενα χρόνια (2011–2012) που ο στόλος των οχημάτων συρρικνώθηκε κατά πάνω από 1 τοις εκατό, λόγω κυρίως της ύφεσης και της αύξησης των φόρων για τα αυτοκίνητα (Chatzikomis et. al., 2014).

Δυστυχώς, η τρέχουσα οικονομική κρίση της Ελλάδας ευθύνεται για τη δραματική μείωση των χιλιομέτρων και της κατανάλωσης καυσίμου από το 2009 και όχι οι περιβαλλοντικές πρωτοβουλίες ή οι δημόσιες συγκοινωνίες. Η χρήση βενζίνης μειώθηκε δραματικά το 2010 λόγω της αύξησης των φόρων στα καύσιμα και της μείωσης των διαθέσιμων εσόδων. Το 2010, το κράτος κέρδισε 3,5 δισεκατομμύρια ευρώ σε φόρους που συνδέονται με τη χρήση καυσίμων του στόλου επιβατηγών αυτοκινήτων, ο οποίος αποτελεί σημαντική πηγή κρατικού εισοδήματος. Σημαντική αύξηση σημειώθηκε στο λειτουργικό κόστος καυσίμων του στόλου το 2010 σε σύγκριση με το 2000, όταν το μέσο κόστος ήταν 6,40 €/100χλμ (Nanaki & Koroneos, 2016).

Για την κατασκευή ηλεκτρικών οχημάτων, απαιτείται περισσότερη ενέργεια και υλικά, κυρίως λόγω της ανάγκης για κατασκευή μπαταριών. Οι εκτιμώμενες ενεργειακές ανάγκες για την κατασκευή μπαταριών Li-ion είναι 1.700 MJ ανά kWh. Μια έρευνα για την ανάλυση του κύκλου ζωής της μπαταρίας έδειξε ότι οι ενεργειακές ανάγκες παραγωγής είναι 2.680 MJ/kWh για NiMH, 580 MJ/kWh για PbA, 1.820 MJ/kWh για NiCd, 1.800 MJ/kWh για τεχνολογίες μπαταριών Na/S και 1.680 για τεχνολογίες μπαταριών Li-ion (Karagiannidis et. al., 2005).

Οι εκτιμήσεις για τις μπαταρίες Li-ion ποικίλλουν από 120 έως 166 kg CO₂/kWh χωρητικότητας μπαταρίας, ανάλογα με την ένταση των εκπομπών αέριου του θερμοκήπιου κατά της διαδικασίας κατασκευής.

Υπάρχει ένα αναμενόμενο οικονομικό κόστος 380–450 €/kWh για την κατασκευή μπαταριών ιόντων λιθίου, το οποίο ενδέχεται να μειωθεί στα 300–350 €/kWh έως το 2020 και σε 250 €/kWh μετά το 2020, εφόσον επιτευχθούν οι απαραίτητες οικονομίες κλίμακας.

Στην περίπτωση ενός ηλεκτρικού οχήματος με εγκατεστημένη χωρητικότητα μπαταρίας 30 kWh, το αποτέλεσμα είναι οι επιπλέον ενσωματωμένες εκπομπές παραγωγής CO₂ 3,6–5,5 t CO₂ και το υψηλότερο κόστος κατασκευής 12.500–15.500 €. Για να το θέσουμε διαφορετικά, οι ενσωματωμένες εκπομπές CO₂ παραγωγής ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι 8,8 t CO₂, που αντιπροσωπεύουν το 57% των συνολικών εκπομπών του οχήματος κατά τη διάρκεια ζωής του, ενώ το βενζινοκίνητο όχημα μεσαίου μεγέθους με φυσικό αέριο εκπέμπει μόνο 5,6 t CO₂. Το κόστος των ηλεκτρικών και συμβατικών αυτοκινήτων είναι πιθανό να συγκλίνει γύρω στο 2025, σύμφωνα με έρευνα που βασίζεται στις προβλέψεις μεγάλων κατασκευαστών αυτοκινήτων (Karagiannidis et. al., 2005).

1.8. Ηλεκτρικά αυτοκίνητα στην Ευρώπη

Η ενσωματωμένη αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας είναι κρίσιμη για την επιτυχία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην αγορά. Περισσότερα από δώδεκα σχέδια μπαταριών έχουν εμφανιστεί την τελευταία δεκαετία, τα οποία βασίζονται και βελτιώνονται πάνω στην τυπική μπαταρία μολύβδου-οξέος. Οι αυξημένες απαιτήσεις σε συστήματα μπαταριών αυτοκινήτων είναι αποτέλεσμα του υψηλού ποσοστού και του εύρους ηλεκτρικής λειτουργίας σε plug-in υβριδικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Το βάρος και ο όγκος των μπαταριών έλξης για ηλεκτρικά αυτοκίνητα πρέπει να ελέγχονται για να διασφαλίζεται η κατάλληλη ενεργειακή και πυκνότητα ισχύος. Πρέπει να υπάρχει επαρκής εμβέλεια και απόδοση από τις μπαταρίες. Η τεράστια ποσότητα αποθηκευμένης ενέργειας στις εφαρμογές για κινητά απαιτεί αυστηρά μέτρα ασφαλείας. Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος, υπερφόρτωσης ή υπερθέρμανσης, θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος απότομων ανεξέλεγκτων

εκκενώσεων. Τουλάχιστον, οι μπαταρίες πρόσφυσης θα πρέπει να είναι εγγυημένες για τουλάχιστον 8 έως 10 χρόνια, ανάλογα με την τυπική διάρκεια ζωής του οχήματος. Γενικά, η αρχική χωρητικότητα μιας μπαταρίας μειώνεται κατά τη διάρκεια ζωής της ανεξάρτητα από το είδος χρήσης, καθώς και τον αριθμό και τον τύπο των κύκλων εκφόρτισης που έχει περάσει. Ανάλογα με την ιδέα του οχήματος, η μπαταρία πρέπει να μπορεί να αντέξει έναν ορισμένο αριθμό κύκλων εκφόρτισης-επαναφόρτισης. Απαιτούνται τουλάχιστον 1.000 βαθιές κύκλοι για αμιγώς ηλεκτρικά αυτοκίνητα και μεταξύ 2.000 και 2.500 κύκλοι για plug-in υβριδικά οχήματα με ουσιαστική ηλεκτρική αυτονομία (Hackers et. al., 2009).

Οι μπαταρίες έλξης προσφέρουν ένα ευρύ φάσμα ισχύος και ενεργειακής χωρητικότητας όταν πρόκειται για ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Είναι σημαντικό οι μπαταρίες στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, όπου το σύστημα μετάδοσης κίνησης είναι η μόνη πηγή πρόωσης, να παρέχουν μακροπρόθεσμη αντοχή ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος ή το επίπεδο φόρτισης. Πρέπει να υπάρχει συνεχής παροχή ρεύματος και απόδοσης από μια μπαταρία ανά πάσα στιγμή. Για plug-in υβριδικά και πλήρως ηλεκτρικά αυτοκίνητα, τα έξοδα μπαταρίας είναι το πιο σημαντικό πρόσθετο κόστος. Η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας των ηλεκτρικών αυτοκινήτων καθορίζεται από αυτούς τους παράγοντες (Hackers et. al., 2009).

Από την εισαγωγή των πολιτικών που στοχεύουν στη μείωση της κυκλοφορίας των αυτοκινήτων και στην προώθηση εναλλακτικών λύσεων όπως το περπάτημα, το ποδήλατο κ.λπ., το αυτοκίνητο παραμένει ο πιο δημοφιλής τρόπος μεταφοράς. Στα δυτικά έθνη, όπως η Γαλλία, αντιπροσωπεύει περίπου τα δύο τρίτα όλων των ημερήσιων ταξιδιών. Από την άλλη πλευρά, τα μέσα μαζικής μεταφοράς αντιπροσωπεύουν λιγότερο από το 10% των καθημερινών μετακινήσεων των κατοίκων των πόλεων (Vivanco et. al., 2016).

Με άλλα λόγια, μπορεί να βρισκόμαστε μπροστά στη «δυσκολότερη περίπτωση» αλλαγών όσον αφορά το τρέχον σύστημα μεταφορών που επικεντρώνεται στο αυτοκίνητο. Για την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορεί να είναι μια βιώσιμη επιλογή που μπορεί να αυξήσει την αποδοτικότητα, το κόστος και τη βιωσιμότητα των μεταφορών. Οι πόλεις θα είναι πιο εύρωστες εάν η μεταφορά επιβατών ηλεκτροδοτηθεί και το δίκτυο διανομής θα είναι πιο

αποτελεσματικό, καθώς και μειώνοντας τις αρνητικές εξωτερικές επιδράσεις όπως η ρύπανση. Όταν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με μια πηγή ενέργειας χαμηλών εκπομπών άνθρακα, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν γίνει μια από τις πιο σημαντικές τεχνολογίες για την απαλλαγή από τις ανθρακούχες μεταφορές επιβατών (Vivanco et. al., 2016).

Παρά τις διαβεβαιώσεις αυτές, υπάρχει μεγάλη ασάφεια για το πώς και πού θα γίνει μια τέτοια μεταγραφή. Παρά το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τα ηλεκτρικά οχήματα, μόνο περίπου το 0,2–0,3% του συνόλου του στόλου επιβατών παγκοσμίως τροφοδοτείται από ηλεκτρικούς κινητήρες.

Η Νορβηγία είναι η μόνη χώρα στη Δυτική Ευρώπη που φαίνεται να κάνει μια ταχεία μετάβαση στην ηλεκτρική μεταφορά επιβατών. Ωστόσο, για τις επιβατικές και εμπορικές μεταφορές, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει θέσει ως στόχο το 2050 μηδενικές εκπομπές ρύπων. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, η Επιτροπή σχεδιάζει να επικεντρωθεί στη μείωση των εκπομπών CO₂ στα νέα αυτοκίνητα. Οι στόχοι μείωσης των εκπομπών CO₂ των νέων οχημάτων είχαν μέχρι στιγμής μικρή επίδραση στην επέκταση της βιομηχανίας ηλεκτρικών οχημάτων (Stoycheva et. al., 2018).

Αυτή τη φορά, η Νορβηγία είναι η εξαίρεση, με τις πωλήσεις νέων ηλεκτρικών οχημάτων να αντιπροσωπεύουν το 28,9% του συνόλου των πωλήσεων νέων αυτοκινήτων στην Ευρώπη. Στο σύνολό τους, υπάρχουν ανησυχίες ότι η ηλεκτρική κινητικότητα μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία με τη σειρά της μπορεί να μην βοηθήσει στη μείωση των εκπομπών CO₂ εάν η πηγή ενέργειας είναι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σε αυτό το πλαίσιο, αξίζει τον κόπο να συζητήσουμε το μέλλον των ηλεκτρικών οχημάτων στην Ευρώπη. Τι θα συμβεί εάν δεν επιτευχθούν οι στόχοι και πώς; Σύμφωνα με το έργο H2020 SHAPE-ENERGY, μια διαδικτυακή συζήτηση σχετικά με το εάν όλα τα αυτοκίνητα θα έπρεπε ή όχι να ηλεκτροδοτούνται έως το 2025 ξεκίνησε στην πλατφόρμα Debating Europe τον Ιούνιο του 2017. Μια μεγάλη δεξαμενή σκέψης αφιερωμένη στην οικοδόμηση ενός πιο περιεκτικού, βιώσιμη και στραμμένη προς το μέλλον Ευρώπη, έχει συνεργαστεί με την πλατφόρμα προκειμένου να βοηθήσει στην ενθάρρυνση του λόγου γύρω από κρίσιμα προβλήματα της ΕΕ. Σε σύγκριση με τα άλλα, αυτό ήταν το πιο πολυσυζητημένο επιχείρημα με μεγάλη διαφορά (325 συνολικά). Οι πολίτες

ενθαρρύνονται να εκφράσουν τις απόψεις τους στα αγγλικά στον ιστότοπο Debating Europe, προκειμένου να προσελκύσουν απαντήσεις από τους ευρωπαϊούς ηγέτες. Στην παρουσίαση της συζήτησης, δύο ειδικοί ερωτώνται και οι απόψεις τους για το μέλλον των ηλεκτρικών οχημάτων είναι αντίθετες. Ενθαρρύνεται η συμμετοχή των πολιτών (Bellekom et. al., 2012).

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα επιχειρήματα εξυπηρετούν δύο πρωταρχικούς σκοπούς. Ως πρώτο βήμα, η παροχή υλικού με αμφιλεγόμενο τρόπο προκειμένου να προκληθεί συζήτηση από ένα μεγάλο κοινό. Ως δεύτερος στόχος, τα σχόλια που παρέχονται από τους ανθρώπους θα επιτρέψουν στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής της ΕΕ να λάβουν περισσότερες οξυδερκείς πληροφορίες. Ωστόσο, παρά τις πολλές απαντήσεις αυτής της συζήτησης, οι συζητήσεις πολιτών και τα διαδικτυακά φόρουμ συζητήσεων σπάνια αντανakλούν ολόκληρο τον πληθυσμό. Υπάρχουν συγκεκριμένες ομάδες ατόμων και τρόποι ομιλίας που ευνοεί το διαδίκτυο ή η διαδικτυακή μορφή έναντι άλλων. Ως αποτέλεσμα, είναι αδύνατο για όλους να συμμετέχουν ισότιμα.

Η πρόσβαση στη γνώση, η ευκαιρία να συναντηθούν άτομα από άλλο υπόβαθρο και ο τρόπος με τον οποίο η εμπορευματοποίηση αυτού του περιβάλλοντος επηρεάζει το μέλλον είναι τρεις από τις προκλήσεις, σε σχέση με το πώς το διαδίκτυο μπορεί να ενισχύσει τη δημοκρατία. Ωστόσο, η δημόσια σφαίρα πρέπει να γίνει πιο περιεκτική παρέχοντας ευρύτερη πρόσβαση στις πληροφορίες.

Είναι επίσης πιθανό το διαδίκτυο να διασπάται όλο και περισσότερο, με μια εικονική μάζα ανθρώπων να χωρίζεται σε μικροσκοπικές ομάδες συμφερόντων. Ένα εικονικό περιβάλλον δεν εξασφαλίζει δημοκρατική και λογική συνομιλία μόνο και μόνο λόγω της παρουσίας του. Ωστόσο, η ανάλυση διαδικτυακών συμμετοχικών προγραμμάτων που επιτρέπουν στα άτομα να συμμετέχουν σε δημόσιο διάλογο, όπου μπορούν να εκφράσουν τις απόψεις και τις προτάσεις τους, μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη για τους στόχους διακυβέρνησης και χάραξης πολιτικής. Οι διαδικτυακές συζητήσεις έχουν τη δυνατότητα να επεκτείνουν τα όρια του πολιτικού λόγου πέρα από τα εθνικά σύνορα και να ενθαρρύνουν νέα είδη πολιτικού διαλόγου. Παρά την έλλειψη αισιοδοξίας σχετικά με το ρόλο του διαδικτύου στον εκδημοκρατισμό και τη συζήτηση, οι λεγόμενες τεχνολογίες "Web 2.0" έχουν χρησιμοποιηθεί συχνά για την

προώθηση νέων τρόπων συμμετοχής του κοινού στην πολιτική, ανοίγοντας για τη συμμετοχή απλών ατόμων σε επιστημονικές συζητήσεις, και χρησιμεύουν ως μηχανισμοί για να διασφαλιστεί ότι ακούγονται διαφορετικές φωνές σε διαβουλευτικές διαδικασίες (Bellekom et. al., 2012).

Ο διαβουλευτικός συλλογισμός έχει αποδειχθεί ότι «πειθαρχεί» τις ελίτ, ενθαρρύνοντας τα άτομα που γενικά κυριαρχούν στον δημόσιο λόγο να ακούν τις απόψεις των άλλων δίνοντας φωνή στη διαβουλευτική συλλογιστική.

Λόγω του ευρέος φάσματος απόψεων που εκπροσωπούνται, είμαστε σε θέση να συμμετάσχουμε σε μια πιο ενδεδειγμένη συζήτηση ζητημάτων που σπάνια αντιμετωπίζονται σε προηγούμενη έρευνα σχετικά με το θέμα της υιοθέτησης των ηλεκτρικών οχημάτων. Προκειμένου η μελέτη μας να είναι σύμφωνη με τις απόψεις εκείνων που έχουν περιθωριοποιηθεί ιστορικά, εργαζόμαστε για να αποτρέψουμε την αναπαραγωγή και την ενίσχυση της δύναμης αυτών που την έχουν αυτήν τη στιγμή. Μη παραδοσιακά ερευνητικά ζητήματα όπως η ενεργειακή δικαιοσύνη, ο εφοδιασμός με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και ο μετασχηματισμός του ενεργειακού συστήματος, καθώς και οικολογικά ζητήματα (για παράδειγμα, η μακροζωία των αυτοκινήτων και η παραγωγή αυτοκινήτων) σπάνια εξετάζονται από την οπτική γωνία των πολιτών σε διάφορα γεωγραφικές ή κοινωνικοοικονομικές σφαίρες. Η θεωρία των κοινωνικών πρακτικών, ένα γενικό πλαίσιο για να πλασιώσει συζητήσεις για την κοινωνική αλλαγή, ενημερώνει και μελετά τον τρόπο με τον οποίο οι κοινωνικές πρακτικές αντέχουν και εξελίσσονται (Bellekom et. al., 2012).

Η «μετάβαση» συνεπάγεται μια κατευθυνόμενη διαδικασία, την οποία σημαίνει η λέξη «αλλαγή» σε αυτό το πλαίσιο. Αυτό συνεπάγεται μια αλλαγή κατεύθυνσης από τη μια κατάσταση στην άλλη. Αυτό σημαίνει ότι ακόμη και αν αυτές οι αλλαγές είναι απαραίτητες στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής και τα ηλεκτρικά οχήματα μπορεί να αντιπροσωπεύουν μια πιθανή λύση, η αποτελεσματικότητά τους θα εξαρτηθεί από το πώς η ΕΕ θα επιλέξει να αντιμετωπίσει τις διάφορες οδούς ενεργειακής μετάβασης και σε ποιο βαθμό λαμβάνει υπόψη την ενεργειακή δικαιοσύνη και τον κοινωνικό αντίκτυπο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Οι μπαταρίες στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα

2.1. Τρόπος λειτουργίας μπαταριών στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα

Μία από τις τρέχουσες μεθόδους αντιστοίχισης του ηλεκτρικού συστήματος μετάδοσης κίνησης εξακολουθεί να χρησιμοποιεί τη διαμήκη δυναμική, η οποία δεν μπορεί να πραγματοποιήσει τη μέγιστη χωρητικότητα για την ενσωματωμένη μονάδα αποθήκευσης ενέργειας και δεν μπορεί επίσης να φτάσει τη χαμηλότερη ισοδύναμη κατανάλωση καυσίμου (Shen et. al., 2017).

Μια άλλη μέθοδος αντιστοίχισης επικεντρώνεται στη βελτίωση του διαθέσιμου χώρου, λαμβάνοντας υπόψη τη λογική διάταξη του οχήματος για τη διεύρυνση της ονομαστικής χωρητικότητας ενέργειας για την ενσωματωμένη μονάδα αποθήκευσης ενέργειας, η οποία μπορεί να διατηρήσει τη διαμήκη δυναμική απόδοση σχεδόν αμετάβλητη, αλλά δεν μπορεί να φτάσει τη χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου (Broussely et. al., 1997).

Λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του κινητήρα κίνησης, προτείνεται μέθοδος αντιστοίχισης ηλεκτρικού συστήματος μετάδοσης κίνησης χρησιμοποιώντας συμβατική διαμήκη δυναμική για το σύστημα οδήγησης και μέθοδο cut-and-try για σύστημα αποθήκευσης ενέργειας για επιβατικά αυτοκίνητα που έχουν μετατραπεί από τα παραδοσιακά. Μέσω του συνδυασμού της χρήσης του χώρου του οχήματος που συμβάλλει στην ποσότητα ενέργειας επί του οχήματος, τις απαιτήσεις διαμήκους απόδοσης του οχήματος, το επίπεδο κατανάλωσης καυσίμου ισοδύναμου οχήματος, τις απαιτήσεις παθητικής ασφάλειας και την απαίτηση μέγιστης αυτονομίας οδήγησης, μια ολοκληρωμένη μέθοδος βέλτιστης αντιστοίχισης ηλεκτρικού συστήματος κίνησης με μπαταρίες οδηγεί το ηλεκτρικό όχημα στο να ανυψώνεται (Brandl et. al., 2012).

Οι ανησυχίες για το περιβάλλον και την ενεργειακή ασφάλεια οδηγούν τις επενδύσεις στην ανάπτυξη εναλλακτικών καυσίμων και κινητήρων για τον τομέα των μεταφορών. Η ηλεκτροκίνηση του συστήματος μετάδοσης κίνησης έχει λάβει μεγάλη προσοχή από τις κυβερνήσεις και τη βιομηχανία σε όλο τον κόσμο και με την πρόοδο της τεχνολογίας μπαταριών φωσφορικού σιδήρου λιθίου και τη βελτίωση της αξιοπιστίας του ηλεκτρικού συστήματος μετάδοσης κίνησης, τα ηλεκτρικά οχήματα

με μπαταρία ή τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα που διακρίνονται για την απλότητα και την αξιοπιστία γίνονται πιο συμφέρουσες τεχνολογίες στο εγγύς μέλλον (Wood et. al., 2011).

Όμως, λόγω της σχετικά χαμηλής ενεργειακής πυκνότητας, των υψηλών τιμών και της μικρής αυτονομίας οδήγησης, τα ηλεκτρικά οχήματα εμποδίζονται στη διαδικασία εμπορευματοποίησής τους. Ολόκληρο το σύστημα αποτελείται από ηλεκτρικό σύστημα οδήγησης (συμπεριλαμβανομένου κινητήρα κίνησης και ηλεκτρονικών ισχύος), σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (συμπεριλαμβανομένων κυψελών μπαταρίας, μονάδα ασφαλείας και σύστημα διαχείρισης μπαταρίας), βοηθητικό σύστημα (συμπεριλαμβανομένου ηλεκτρικού υδραυλικού συστήματος διεύθυνσης, ηλεκτρικής ενίσχυσης αντλίας κενού κατά το φρενάρισμα, μετατροπέας χαμηλής τάσης DC-DC που μετατρέπει την υψηλή τάση που βασίζεται στον ορισμό του συστήματος σε χαμηλή τάση 12 V, μετατροπέας σήματος (πύλη, σε περίπτωση που υπάρχει ένα μετατροπέας συστήματος για το ενσωματωμένο σύστημα του παραδοσιακού αυτοκινήτου και ένα άλλο μετατροπέα συστήματος για ηλεκτρικό σύστημα μετάδοσης κίνησης), σύστημα διαχείρισης θερμότητας οχήματος, εξωτερική θύρα φόρτισης), μετατροπέας συστήματος και μονάδα ελέγχου οχήματος (Farmann et. al., 2015).

Έρευνες δείχνουν ότι για τα συμβατικά αυτοκίνητα, η κατανάλωση ενέργειας από το σύστημα πέδησης αντιπροσωπεύει το 30% της συνολικής ενέργειας οδήγησης που παρέχεται από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης μέσω της γραμμής μετάδοσης κίνησης. Η λειτουργία αναγεννητικής πέδησης μπορεί να εφαρμοστεί για ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρίες λόγω της ηλεκτροδότησης του συστήματος μετάδοσης κίνησης και της γρήγορης απόκρισής του, επομένως η εμβέλεια οδήγησης του ηλεκτρικού οχήματος με μπαταρία εξαρτάται από την ενεργειακή ικανότητα του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας, τους πραγματικούς κύκλους οδήγησης, την απόδοση του ηλεκτρικού συστήματος μετάδοσης κίνησης και γενικά χαρακτηριστικά του οχήματος (συμπεριλαμβανομένης της μετωπικής περιοχής, της μάζας, κ.λπ.) και επηρεάζονται επίσης από την ποσότητα ανάκτησης ενέργειας κατά την κατάσταση πέδησης (Song et. al., 2017).

Η ικανότητα ανάκτησης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά οδήγησης του κινητήρα, όπως η ονομαστική και η μέγιστη ροπή ή ισχύς, το εύρος ταχυτήτων ανάκτησης και ο χάρτης απόδοσης κινητήρα, ο συνολικός αλγόριθμος ελέγχου του οχήματος που λαμβάνει υπόψη τις απαιτήσεις ασφάλειας του οχήματος, τη συνήθεια οδήγησης του οδηγού κ.λπ. Συνήθως, όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς οδήγησης του κινητήρα που ρυθμίζουμε κατά την ενσωμάτωση του συστήματος, τόσο μεγαλύτερη ικανότητα ανάκτησης έχει ο κινητήρας οδήγησης. Όσο υψηλότερη είναι η απόδοση του κινητήρα οδήγησης, τόσο μεγαλύτερη ικανότητα ανάκτησης έχει ο κινητήρας οδήγησης. Πολλές έρευνες επικεντρώθηκαν στη μέθοδο αντιστοίχισης. Ο Zeng, χρησιμοποίησε έναν ελεγκτή οχήματος για να ταιριάζει με τις παραμέτρους του συστήματος μετάδοσης κίνησης με βάση τις απαιτήσεις απόδοσης του οχήματος (Zeng et. al., 2019). Ο Hubbard κατασκεύασε λεπτομερή μοντέλα που περιέγραφαν τόσο την παροδική όσο και τη σταθερή λειτουργία καθενός από τα βασικά στοιχεία του συστήματος μετάδοσης κίνησης. Για τα ηλεκτρικά οχήματα, ο πιο δημοφιλής τρόπος αντιστοίχισης του ηλεκτρικού συστήματος μετάδοσης κίνησης αναφέρεται στη μέθοδο αντιστοίχισης για τη συμβατική θεωρία της διαμήκους δυναμικής και στη μέθοδο «cut-and-try» για το ενσωματωμένο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (Hubbard et. al., 2016).

Τα βασικά βήματα υλοποιούνται κυρίως ως εξής (Cetin et. al., 2021):

1. Η ισχύς και η ροπή του κινητήρα κίνησης καθορίζονται ανάλογα με την απόδοση οδήγησης.
2. Ρύθμιση της ονομαστικής τάσης του συστήματος, του εύρους εργασίας τάσης και της χωρητικότητας του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας σύμφωνα με την εμπειρία του μηχανικού.
3. Υπολογισμός και επαλήθευση της δυνατότητας συναρμολόγησης του συνόλου των μονάδων αποθήκευσης ενέργειας στο αυτοκίνητο.
4. Προσομοιώστε και αποκτήστε την ιδανική αυτονομία σύμφωνα με επιλεγμένους κύκλους οδήγησης.
5. Εάν η αυτονομία δεν μπορεί να επιτύχει αντικείμενα ή δεν υπάρχει τρόπος να συναρμολογήσετε όλα τα βασικά εξαρτήματα στο αυτοκίνητο, όπως το σύστημα

ηλεκτρικής οδήγησης, το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, τότε μεταβείτε στο βήμα 1, επαναφέροντας τους στόχους απόδοσης οδήγησης, στη συνέχεια υπολογίστε και επαληθεύστε ξανά.

Είναι δύσκολο να βρεθεί μια τέλεια λύση σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο και στις περισσότερες περιπτώσεις, υπάρχει συμβιβασμός μεταξύ της οδηγικής απόδοσης και της αυτονομίας οδήγησης. Για τη μέθοδο cut-and-try, υπάρχουν ορισμένα μειονεκτήματα: το ένα είναι ότι η εξέταση της ανάκτησης δεν είναι αρκετή εάν εξετάζεται μόνο η ανάκτηση φρένων παθητικά. Σημαίνει παθητικός υπολογισμός πόσης ενέργειας μπορεί να ανακτηθεί κατά τη διαδικασία πέδησης με βάση τον αλγόριθμο γενικού ελέγχου του οχήματος για το υβριδικό σύστημα πέδησης, ενώ παραβλέπεται η επίδραση της σχεδιασμένης μέγιστης ισχύος κινητήρα στην ανάκτηση του φρένου, λόγω της μέγιστης ισχύος του κινητήρα που καθορίζεται από την απόδοση οδήγησης στόχους, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η διαδικασία πέδησης. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι ότι ολόκληρος ο χώρος για το σύστημα μετάδοσης κίνησης δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά.

Για να βελτιωθεί περαιτέρω η αυτονομία οδήγησης του αυτοκινήτου, παρουσιάζεται μια νέα μέθοδος που ονομάζεται μέγιστη ονομαστική ενέργεια για να πραγματοποιηθεί η μέγιστη αποθήκευση ενέργειας στο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Επιπλέον, για να πραγματοποιηθεί η βελτιστοποίηση πολλών αντικειμένων, η μέθοδος all-around match για αμιγώς ηλεκτρικό επιβατικό αυτοκίνητο αναπτύσσεται λαμβάνοντας υπόψη την απαίτηση απόδοσης οδήγησης, τα χαρακτηριστικά της συνολικής σχεδίασης και διάταξης του οχήματος, την αυτονομία οδήγησης, την ανάκτηση ενέργειας πέδησης (Ciceo et. al., 2016).

Τα εξιδανικευμένα χαρακτηριστικά εξόδου του ηλεκτροκινητήρα οδήγησης συνοψίζονται ως εξής χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η απόδοση δυναμικής απόκρισης.

Ο κινητήρας έχει εξαιρετικές επιδόσεις τεσσάρων φράσεων και έχει τα ίδια χαρακτηριστικά ισχύος και ροπής για φράση οδήγησης και ανάκτησης.

Η σταθερή ροπή εξόδου του κινητήρα με ταχύτητα περιστροφής μικρότερη από την ονομαστική ταχύτητα περιστροφής (Ciceo et. al., 2016).

Η ισχύς εξόδου του κινητήρα σταθερή με ταχύτητα περιστροφής που εντοπίζεται μεταξύ της ονομαστικής ταχύτητας περιστροφής και της μέγιστης ταχύτητας περιστροφής.

Ο κινητήρας έχει απόδοση εξόδου για μεγάλο χρονικό διάστημα και μικρό χρονικό διάστημα, αντίστοιχα.

Ο κινητήρας έχει διαφορετική απόδοση με διαφορετική ροπή ή διαφορετική ταχύτητα περιστροφής.

Η μάζα του ηλεκτρικού συστήματος οδήγησης (συμπεριλαμβανομένου του ηλεκτροκινητήρα και των αντίστοιχων ηλεκτρονικών ισχύος) είναι ανάλογη με τη μέγιστη ισχύ τους, με md είναι η πυκνότητα ισχύος του, για σύγχρονο κινητήρα μόνιμου μαγνήτη, md είναι παρόμοια με 700–1 500 W/kg (Zeng et. al., 2014).

Για την ικανοποίηση των συνολικών στόχων του οχήματος, το σύστημα ηλεκτρικής οδήγησης πρέπει να έχει τις εξής λειτουργίες (Zhang et. al., 2020):

1. Χρησιμοποιείται για κάθε κύκλο οδήγησης, για την επίτευξη του στόχου της διαμήκους απόδοσης οδήγησης.
2. Κατά τη διαδικασία αντιστοίχισης ηλεκτρικού συστήματος μετάδοσης κίνησης, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η αύξηση του βάρους τόσο του συστήματος ηλεκτρικής οδήγησης όσο και του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας, επειδή η υψηλότερη ισχύς κινητήρα οδηγεί σε περισσότερη αναγέννηση ενέργειας, η οποία θα κοστίζει πολύ περισσότερο καύσιμο και στη συνέχεια θα επιδεινώσει την οικονομία καυσίμου του αυτοκινήτου.
3. Λαμβάνοντας υπόψη πολύ περισσότερη ενέργεια αναγέννησης από τον κύκλο πέδησης, που θα μειώσει την κατανάλωση ισχύος του αυτοκινήτου, θα βελτιώσει την οικονομία καυσίμου.
4. Λαμβάνοντας υπόψη τον αλγόριθμο γενικού ελέγχου του οχήματος που έχει οριστεί για το υβριδικό σύστημα πέδησης, συμπεριλαμβανομένου του ηλεκτρικού συστήματος πέδησης και του μηχανικού συστήματος πέδησης, σε σύγκριση με την προτεραιότητα δράσης αυτών των δύο συστημάτων, το ηλεκτρικό σύστημα πέδησης είναι πριν από το μηχανικό σύστημα πέδησης, το μηχανικό σύστημα θα ενεργήσει

μόνο εάν το ηλεκτρικό σύστημα το σύστημα πέδησης δεν μπορεί να προσφέρει αρκετή δύναμη πέδησης για το αυτοκίνητο.

5. Εκπλήρωση των γενικών απαιτήσεων διάταξης δεδομένου ότι ο όγκος ολόκληρου του ηλεκτρικού συστήματος μετάδοσης κίνησης επηρεάζεται από τον προσδιορισμό της ισχύος του ηλεκτροκινητήρα.

6. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ο περιορισμός του μέγιστου ρεύματος φόρτισης/εκφόρτισης του πακέτου μπαταρίας, καθώς η μέγιστη απόδοση φόρτισης/εκφόρτισης του πακέτου μπαταρίας πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το μέγιστο ρεύμα φόρτισης/εκφόρτισης του ίδιου του κινητήρα, παραβλέποντας εδώ την επίδραση άλλων βοηθητικών συστημάτων και ηλεκτρονικά ενσωματωμένα σε ρεύμα φόρτισης/εκφόρτισης μπαταρίας.

Αφού προσδιοριστούν οι επιδόσεις του ηλεκτροκινητήρα, με την προϋπόθεση της ισορροπίας μεταξύ της μέγιστης ισχύος εξόδου των μπαταριών και του αιτήματος εισόδου του ηλεκτρικού συστήματος οδήγησης, και, ταυτόχρονα, λαμβάνοντας υπόψη το εύρος οδήγησης, χρησιμοποιείται εδώ η μέθοδος cut-and-try για τον προσδιορισμό την τάση του συστήματος του συστήματος μετάδοσης κίνησης, στη συνέχεια υπολογίζεται η χωρητικότητα του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας και δομείται μία ανάλυση πιθανότητας για να οριστικοποιηθεί η αντιστοίχιση του συστήματος μετάδοσης κίνησης. Η μέθοδος Cut-and-try δεν λαμβάνει υπόψη την επίδραση της ανάκτησης ενέργειας πέδησης στη βελτίωση της ισοδύναμης οικονομίας καυσίμου και δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει πλήρως τον διαθέσιμο χώρο, καθώς δεν μπορεί να πραγματοποιήσει μέγιστη ονομαστική ενέργεια για σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, που μειώνουν την αυτονομία οδήγησης του αυτοκινήτου και δεν μπορεί να πραγματοποιήσει βελτιστοποιημένη οικονομία καυσίμου (He et. al., 2012).

Η χωρητικότητα του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας επηρεάζει άμεσα το εύρος οδήγησης και το βάρος του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας θα βαρύνει το αυτοκίνητο και στη συνέχεια θα καταναλώνει περισσότερο καύσιμο κατά την οδήγηση, το οποίο θα καταναλώνει επιπλέον καύσιμο. Αν και το βάρος του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας αντιστοιχεί περίπου στο 10%-25% του συνολικού βάρους του οχήματος, ακόμη περισσότερες μπαταρίες είναι

εγκατεστημένες στο εσωτερικό του αυτοκινήτου, η επιπλέον κατανάλωση καυσίμου λόγω του επιπλέον βάρους που προκαλείται από τις επιπλέον μπαταρίες είναι πολύ χαμηλότερη σε σύγκριση με το βελτιωμένο εύρος επιπλέον χωρητικότητα του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας, επομένως, λαμβάνοντας υπόψη την περιορισμένη ενεργειακή πυκνότητα του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας που περιορίζεται από τις τρέχουσες τεχνολογίες, θα πρέπει να συναρμολογήσουμε όσο το δυνατόν περισσότερη μονάδα αποθήκευσης ενέργειας, όπως κυψέλη μπαταρίας στο αυτοκίνητο για να επιτύχουμε μέγιστη ονομαστική ενέργεια, για να βελτιώσουμε την αυτονομία οδήγησης (He et. al., 2012).

Η διαμήκης επιτάχυνση για κοινό αυτοκίνητο είναι μικρότερη από 0,5 g και η διαμήκης επιβράδυνση για κοινό αυτοκίνητο είναι περίπου 0,7 g, επομένως θεωρητικά ο ηλεκτρικός κινητήρας που αναπαράγεται κατά την πέδηση είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν κατά την κατάσταση επιτάχυνσης, για να αναπαράγει πολύ περισσότερη ενέργεια κατά τη διάρκεια διαδικασία ανάκτησης, προτιμάται πολύ πιο ισχυρός ηλεκτροκινητήρας, ταυτόχρονα, λαμβάνεται υπόψη το μέγιστο ρεύμα φόρτισης που μπορεί να παρέχει το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (Sun et. al., 2016).

Για να αξιολογηθεί η απόδοση και η αποτελεσματικότητα της ολοκληρωμένης μεθόδου βέλτιστης αντιστοίχισης του ηλεκτρικού συστήματος μετάδοσης κίνησης για ηλεκτρικό όχημα με μπαταρία, το πείραμα προσομοίωσης είναι απαραίτητο πριν από την πραγματική δοκιμή σε οχήματα. Για να συγκριθεί η βέλτιστη μέθοδος αντιστοίχισης με την παραδοσιακή μέθοδο, θα πρέπει να δημιουργηθούν δύο μοντέλα (Sun et. al., 2016).

Η αναγεννητική ενέργεια της ολοκληρωμένης μεθόδου βέλτιστου αγώνα είναι αυξημένη κατά 12,62% της αναγεννητικής ενέργειας της παραδοσιακής μεθόδου αντιστοίχισης. Η απόδοση του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας με τη νέα μέθοδο είναι αυξημένη κατά 2% σε σχέση με την παραδοσιακή (Moura et. al., 2010).

Η ολοκληρωμένη μέθοδος βέλτιστης αντιστοίχισης για κινητήρια μονάδα ηλεκτρικών οχημάτων με μπαταρίες δημιουργείται με βάση τη σύνοψη της χρήσης του χώρου του οχήματος που συμβάλλει στην ποσότητα ενέργειας επί του οχήματος, στις απαιτήσεις διαμήκους απόδοσης του οχήματος, στο επίπεδο κατανάλωσης καυσίμου

ισοδύναμου οχήματος, στην απαίτηση παθητικής ασφάλειας και στη μέγιστη οδήγηση απαίτηση εμβέλειας (Moura et. al., 2010).

Η ολοκληρωμένη μέθοδος βέλτιστης αντιστοίχισης μπορεί να αυξήσει την αναγεννητική ενέργεια και την αποτελεσματικότητα του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας από την παραδοσιακή.

Προτείνονται θεωρητικές και πρακτικές λύσεις για την αντιστοίχιση ηλεκτρικών συστημάτων μετάδοσης κίνησης για σύγχρονα ηλεκτρικά οχήματα που λειτουργούν με μπαταρία για να καταδειχθεί η αποτελεσματικότητα της νέας μεθόδου και η δυναμική των ηλεκτρικών οχημάτων ενισχύεται περαιτέρω (Wang et. al., 2016).

2.2. Περιβαλλοντικά οφέλη από τη χρήση επαναφορτιζόμενων μπαταριών

Η ατμοσφαιρική ρύπανση, η εξάρτηση από καύσιμα πεπερασμένης προσφοράς, η κλιματική αλλαγή και η αύξηση του ενεργειακού κόστους είναι μερικές σημαντικές προκλήσεις του παρόντος κόσμου. Αυτές οι ανησυχίες επιδεινώνονται από τους τομείς των μεταφορών και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς είναι οι κύριοι καταναλωτές ορυκτών καυσίμων και υπεύθυνοι για τα περισσότερα από τα αέρια του θερμοκηπίου που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα. Ο τομέας των μεταφορών έχει βρει στην τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων μια αναδυόμενη λύση για αυτά τα προβλήματα που έχουν αποκτήσει σημασία την τελευταία δεκαετία. Αυτή η μετάβαση στην ηλεκτροκίνητη μεταφορά διευκολύνεται από τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης που περιορίζουν τις εκπομπές που προέρχονται από τις μεταφορές καθώς και τις πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία μπαταριών Li-ion. Η κύρια διαφορά μεταξύ ενός οχήματος που χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια και ενός κοινού κινητήρα εσωτερικής καύσης είναι η πηγή ενέργειας. Ενώ το ένα χρησιμοποιεί παράγωγα αργού πετρελαίου που αποθηκεύονται σε μια δεξαμενή, το άλλο μετατρέπει την αποθηκευμένη ηλεκτροχημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτή η αλλαγή αναγκάζει τους κατασκευαστές αυτοκινήτων να προσαρμόσουν όλα τα συστήματα πρόσφυσης, ελέγχου, ασφάλειας και ψύξης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα ελαφρύτερο σύστημα πρόσφυσης, λόγω ενός μικρότερου ηλεκτροκινητήρα και

χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων, αλλά μια συνολική αύξηση βάρους περίπου 25% λόγω του συστήματος μπαταρίας και όλων των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών πρόσθετων εξαρτημάτων. Παρόλο που το ηλεκτρικό όχημα δεν έχει εκπομπές καυσαερίων, η ενεργειακή του απόδοση, που προέρχεται από την παραγωγή και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας για τη φόρτιση της μπαταρίας των ηλεκτρικών οχημάτων, είναι λιγότερο αποδοτική από αυτή των οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης (Ajanovic & Haas, 2018).

Ως εκ τούτου, οι περισσότερες από τις αξιολογήσεις του κύκλου ζωής επισημαίνουν τη σημασία του μείγματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για τον προσδιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ηλεκτρικών οχημάτων κατά τη φάση χρήσης. Επιπλέον, έχει επίσης εντοπιστεί αύξηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της τάξης του 50% κατά τη φάση παραγωγής ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς ο κατασκευαστής μπαταριών είναι υπεύθυνος για περισσότερο από το 40% αυτών των επιπτώσεων. Έχοντας επίγνωση αυτής της οπισθοδρόμησης, ορισμένοι κατασκευαστές αυτοκινήτων έχουν αρχίσει να αντλαμβάνονται την παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων ως μια ολόκληρη βιομηχανία φιλική προς το περιβάλλον. Για παράδειγμα, ορισμένες εταιρείες προωθούν τη χρήση φυσικού φωτισμού και αερισμού, ηλιακών συλλεκτών και συλλογής βρόχινου νερού στις μονάδες παραγωγής τους (Chau, 2014).

Από οικονομικής πλευράς, η μπαταρία είναι το κύριο εμπόδιο για την ανταγωνιστικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων καθώς το κόστος κατασκευής της αντιπροσωπεύει περίπου το 30 έως 40% της τελικής τιμής των ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτό προκαλεί σημαντική αύξηση του κόστους για τον καταναλωτή. Προκειμένου να λυθεί αυτό το μειονέκτημα, οι κατασκευαστές αυτοκινήτων χρησιμοποιούν διαφορετικές στρατηγικές για να τονώσουν τις αγορές των ηλεκτρικών οχημάτων. Για παράδειγμα, η Renault και η Nissan προσφέρουν μια εναλλακτική λύση ενοικίασης μπαταριών, μειώνοντας την τιμή πώλησης, ενώ άλλες εταιρείες, όπως η κοινοπραξία 4R-energy, επικεντρώνονται σε στρατηγικές δεύτερης ζωής μπαταρίας για την ανάκτηση ορισμένων εσόδων από την μπαταρία είτε μέσω πωλήσεων ή από το κέρδος που προκύπτει από αυτή τη διεύρυνση της ζωής. Αυτή η τελευταία επιλογή είναι αυτή, υποθέτοντας ότι οι μπαταρίες δεν θεωρούνται κατάλληλες για σκοπούς έλξης όταν φτάσουν σε κατάσταση υγείας (SOH) 80% (Chau, 2014).

Υπάρχουν πολλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχουν μελετηθεί στον κύκλο ζωής των ηλεκτρικών οχημάτων, όπως η κλιματική αλλαγή, η εξάντληση των πόρων, η ανθρώπινη τοξικότητα και ο ευτροφισμός μεταξύ άλλων. Ωστόσο, η Δυνατότητα υπερθέρμανσης του πλανήτη, εκφρασμένο σε kg ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (kg CO₂ e.), είναι ο πιο κοινός περιβαλλοντικός δείκτης που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση κύκλου ζωής των ηλεκτρικών οχημάτων για την απλότητα και την κατανόηση του συνολικού αντίκτυπου (Hawkins et al 2012). Η σπανιότητα ή τα κρίσιμα αποθέματα καθορισμένων υλικών, όπως το λίθιο, δεν θα έχουν καμία επίδραση στην ανάλυσή μας, επειδή μόνο οι επαναχρησιμοποιημένες μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων λαμβάνονται υπόψη (Costa et. al., 2021).

Επιπλέον και δεδομένου ότι υπάρχουν πολλές πιθανές εφαρμογές δεύτερης ζωής, η χρήση του αποτυπώματος άνθρακα ή τη Δυνατότητα υπερθέρμανσης του πλανήτη ως περιβαλλοντικού δείκτη θεωρείται ότι είναι η πιο ενδεικνυόμενη παράμετρος προκειμένου να επιτευχθούν συγκρίσιμα αποτελέσματα. Ως εκ τούτου, θα ακολουθηθεί ο κύκλος ζωής που βασίζεται στη μεθοδολογία εκπομπών CO₂. Τα αποτελέσματα του κύκλου ζωής του οξυγόνου εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη μεθοδολογία και τα καθορισμένα όρια του συστήματος. Σε αυτό το άρθρο, τα όρια περιλαμβάνουν την πρώτη και τη δεύτερη διάρκεια ζωής των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων (Costa et. al., 2021).

Η αξιολόγηση της δεύτερης ζωής θα αξιολογηθεί λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικές περιπτώσιολογικές μελέτες επαναχρησιμοποίησης μπαταρίας. Επιπλέον, για να επιτευχθεί μια ευρύτερη κατανόηση της μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλείται από την επαναχρησιμοποίηση των μπαταριών, θα γίνει μια έρευνα των διαφορετικών υλικών ηλεκτροδίων που σχηματίζουν τις μπαταρίες, ενσωματώνοντας τη μελέτη των δυνατοτήτων τους για δεύτερη χρήση. Παρόλο που τα περισσότερα από τα ηλεκτροκίνητα οχήματα είναι υβριδικά αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν μπαταρίες νικελίου-υδριδίου μετάλλου, τα χαρακτηριστικά ισχύος και ενέργειας τους είναι πολύ χαμηλά για τις περισσότερες από τις σταθερές εφαρμογές. Στο τέλος της διάρκειας ζωής του υβριδικού οχήματος, η κατάσταση της υγείας αυτών των μπαταριών είναι πολύ μεταβλητό και πολύ πέρα από το 80% που ορίζεται για τις καθαρές μπαταρίες ηλεκτρικών οχημάτων πριν από την ανακύκλωση.

Για αυτούς τους λόγους, σε αυτή την εργασία λαμβάνονται υπόψη μόνο οι μπαταρίες Li-ion που έχουν χρησιμοποιηθεί σε ένα ηλεκτρικό όχημα, ενώ οι μπαταρίες νικελίου-υδριδίου μετάλλου δεν περιλαμβάνονται (Hawkins et. al., 2012).

Είναι το αποτέλεσμα του συνδυασμού δύο υπαρχουσών προσεγγίσεων: κύκλος ζωής CO₂ ενός ηλεκτρικού οχήματος και κύκλος ζωής CO₂ μιας μπαταρίας σε μια σταθερή εφαρμογή. Η εφαρμογή κύκλος ζωής CO₂ ενός ηλεκτρικού οχήματος: αυτή η προσέγγιση ορίζει τα όρια συστήματος ενός ηλεκτρικού οχήματος που έχει μπαταρία που χρησιμοποιείται μόνο στα ηλεκτρικά οχήματα. Τα όρια αυτής της αξιολόγησης περιλαμβάνουν τις φάσεις παραγωγής μπαταρίας και αυτοκινήτου (συμπεριλαμβανομένων των επιπτώσεων της υπερθέρμανσης του πλανήτη από την απόκτηση υλικών σε όλο τον κόσμο και τη μεταφορά μεταξύ των φάσεων), τη χρήση και αποσυναρμολόγηση ηλεκτρικών οχημάτων και τις φάσεις ανακύκλωσης μπαταριών (Hawkins et. al., 2012).

Από διαφορετικά 3 έργα και άρθρα που χρηματοδοτούνται από την Ευρώπη έχει δηλωθεί ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ενός ηλεκτρικού οχήματος που χρησιμοποιεί το μέσο μίγμα ηλεκτρικής ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης (421 g/kWh) είναι περίπου 35.000 kg CO₂ με την παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων που είναι υπεύθυνη για 11.000 kg CO₂. Αν και αυτά τα αποτελέσματα ενδέχεται να αλλάξουν ουσιαστικά ανάλογα με το μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται, ο μέσος όρος του μείγματος της ΕΕ χρησιμοποιείται για τη διευκόλυνση της σύγκρισης. - κύκλος ζωής CO₂ μπαταρίας σε σταθερή εφαρμογή: Αυτή η προσέγγιση ορίζει ορισμένες πιθανές σταθερές εφαρμογές όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν μπαταρίες σε ηλεκτρικά οχήματα σύμφωνα με τις φυσικές και λειτουργικές τους προδιαγραφές (από 8 έως 25 kWh και μέγιστη ισχύς 80 kW) (Sun et. al., 2020).

Επομένως, θα μελετηθούν μόνο μικρές σταθερές εφαρμογές. Ορισμένες από αυτές τις εφαρμογές, όπως τα ηλιακά συστήματα νησιών, χρησιμοποιούν σήμερα νέες μπαταρίες μολύβδου-οξέος. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η μελέτη θα συγκρίνει τη μείωση των επιπτώσεων της αντικατάστασης αυτών των μπαταριών από επαναχρησιμοποιούμενες μπαταρίες ιόντων λιθίου. Χρησιμοποιώντας το λογισμικό LCA2GO, και σε σύγκριση με τη βιβλιογραφία, υποτίθεται ότι τα αέρια του

θερμοκηπίου που εκπέμπονται από την κατασκευή μιας μπαταρίας μολύβδου-οξέος είναι το 60% αυτών που εκπέμπονται από την κατασκευή μιας μπαταρίας Li-ion με ισοδύναμη χωρητικότητα (Hua et. al., 2021).

Ωστόσο, η διάρκεια ζωής τους μειώνεται κατά 2,5 φορές. Προκειμένου να γίνει μια σωστή ανάλυση κύκλος ζωής CO₂, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι αποτελεσματικότητες των διαφορετικών στοιχείων που εμπλέκονται στη μελέτη. Για τους υπολογισμούς, οι μετατροπείς θεωρείται ότι έχουν απόδοση 90% και οι μπαταρίες λιθίου έχουν περίπου 90-95% απόδοση φόρτισης-εκφόρτισης. Από την άλλη πλευρά, οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος έχουν απόδοση περίπου 80%. Συνεπώς, η συνολική απόδοση του κύκλου φόρτισης-εκφόρτισης θεωρείται ότι είναι 0,7 όταν χρησιμοποιούνται μπαταρίες Li-ion και 0,6 όταν χρησιμοποιούνται μπαταρίες μολύβδου-οξέος. - κύκλος ζωής CO₂ μιας σταθερής εφαρμογής που χρησιμοποιεί μια μπαταρία από ηλεκτρικό όχημα δεύτερης ζωής: Συνδυάζοντας τις δύο προηγούμενες προσεγγίσεις, λαμβάνονται τα πλήρη όρια συστήματος για την 1η και τη 2η διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας EV (Brown et. al., 2010).

Αυτές οι φάσεις είναι η ανακατασκευή της μπαταρίας και η εφαρμογή δεύτερης διάρκειας ζωής. Σε αυτή την εργασία θα διατηρήσουμε το ίδιο ενεργειακό μίγμα για την ενέργεια που ανταλλάσσεται με το δίκτυο κατά τη διάρκεια της δεύτερης ζωής. Αυτή η τελική προσέγγιση είναι αυτή που χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς σε όλη τη διάρκεια της μελέτης. Η νέα μας προσέγγιση περιλαμβάνει δύο επιπλέον βήματα μεταφοράς που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Αυτά τα βήματα περιλαμβάνουν τη μεταφορά της μπαταρίας από το σημείο αποσυναρμολόγησης του ηλεκτρικού οχήματος στο εργοστάσιο ανακατασκευής μπαταριών και από το εργοστάσιο ανακατασκευής στον προορισμό δεύτερης εφαρμογής ζωής (Lopes et. al., 2009).

Και στις δύο περιπτώσεις, οι παραγόμενες εκπομπές υπολογίζονται ομοίως. Η μεταφορά της μπαταρίας θα γίνεται με φορτηγό και θα μεταφέρεται μόνο μία μπαταρία κάθε φορά. Αυτή η υπόθεση πιθανότατα δεν πρόκειται να εξελιχθεί πολύ στο εγγύς μέλλον, καθώς η αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων είναι κάτω από το 1% στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες. Ως εκ τούτου, η μέση απόσταση ταξιδιού για την απόκτηση μπαταρίας θεωρείται ότι είναι 1.000 km. Οι εκπομπές αερίου του θερμοκηπίου που προέρχονται από αυτό το ταξίδι είναι 317 kg CO₂.

Καθώς οι εφαρμογές δεύτερης ζωής που μελετήθηκαν αναμένεται να λειτουργούν με μία μόνο μπαταρία, όλες αυτές οι υποθέσεις μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παράδοση των 4 μπαταριών στον τελικό προορισμό. Αυτή η τιμή αντιπροσωπεύει λιγότερο από το 1% των συνολικών εκπομπών ενός ηλεκτρικού οχήματος κατά την πρώτη του ζωή. Ως εκ τούτου, παρά τις υλικοτεχνικές βελτιστοποιήσεις, δεν θα επιτευχθεί μεγάλη βελτίωση στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι αντιμετώπισης των διαδικασιών επανακατασκευής μπαταριών: η άμεση επαναχρησιμοποίηση της μπαταρίας. η αποσυναρμολόγηση της μπαταρίας σε μονάδες για την εκ νέου κατασκευή της ως νέα μπαταρία προσαρμοσμένη στη δεύτερη εφαρμογή ζωής. και, τέλος, η αποσυναρμολόγηση της μπαταρίας σε επίπεδο κυψέλης για την εκ νέου κατασκευή της ανάλογα με την κατάσταση της υγείας τους (Zhang et. al., 2018).

Όπως έχει φανεί σε προηγούμενες εργασίες, η καλύτερη δυνατότητα για να επιτευχθεί ένα θετικό οικονομικό ισοζύγιο είναι η άμεση επαναχρησιμοποίηση των μπαταριών χωρίς χειρισμό της μονάδας. Κατά συνέπεια, αυτή η επιλογή θα είναι αυτή που θα χρησιμοποιηθεί σε αυτή τη μελέτη. Η διαδικασία ανακατασκευής συνεπάγεται οπτικό έλεγχο, δοκιμή χωρητικότητας και παλμού για τον προσδιορισμό της κατάστασης της υγείας και τις λίγες απαραίτητες ρυθμίσεις για την προσαρμογή της μπαταρίας στη νέα εφαρμογή. Η κατανάλωση ενέργειας στη φάση ανακατασκευής υπολογίζεται σε 27 kWh ανά έλεγχο μπαταρίας, που αντιστοιχεί σε 11,5 kg CO₂ που πρέπει να προστεθούν στις προηγούμενες τιμές. Προκειμένου να ληφθούν συγκρίσιμα αποτελέσματα, είναι σημαντικό να ορίσετε τη λειτουργική μονάδα που θα χρησιμοποιηθεί. Στην ανάλυση κύκλου ζωής ενός ηλεκτρικού οχήματος, η λειτουργική μονάδα που συνήθως λαμβάνεται υπόψη είναι το kg CO₂ εκπέμπονται ανά εμβέλεια ή ανά km. Ωστόσο, σε σταθερές εφαρμογές, η λειτουργική μονάδα που χρησιμοποιείται γενικά είναι kg CO₂ εκπέμπεται ανά βάρος μπαταρίας (kg), ανά χωρητικότητα μπαταρίας (Ah) ή ανά ενέργεια (kWh) που ανταλλάσσεται με το δίκτυο.

Σε αυτή τη μελέτη, kg CO₂ που εκπέμπονται ανά λειτουργική kWh θα χρησιμοποιηθούν δεδομένου ότι δεν έχει νόημα να χρησιμοποιούνται km, βάρος μπαταρίας ή χωρητικότητα μπαταρίας για εφαρμογές δεύτερης ζωής. Ως λειτουργική

kWh ορίζεται η ενέργεια (kWh) που λαμβάνει ο καταναλωτής απευθείας από την μπαταρία (για να μην συγχέεται με την ενέργεια που λαμβάνεται από το δίκτυο ή την πηγή ενέργειας). Στην περίπτωση εφαρμογών δεύτερης ζωής, οι παράγοντες που έχουν σημαντική συμβολή στο περιβάλλον είναι η διάρκεια ζωής της μπαταρίας, η πηγή ενέργειας και η απόδοση του συστήματος (Richardson, 2013):

Διάρκεια ζωής: Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας εξαρτάται από τα υλικά που υπάρχουν στην μπαταρία και από τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Όσο μικρότερη είναι η διάρκεια ζωής της μπαταρίας, τόσο μεγαλύτερη είναι η περιβαλλοντική επίδρασή της.

Πηγή ενέργειας και αποδοτικότητα συστήματος: Η ρύπανση που προέρχεται από τις πηγές ενέργειας είναι απαραίτητη για τη βιωσιμότητα. Δηλαδή είναι προφανώς πιο καθαρό να χρησιμοποιείς ηλιακούς συλλέκτες παρά να καίει άνθρακα. Η αποτελεσματικότητα αντιμετωπίζει ένα παρόμοιο θέμα. Εάν ένα σύστημα είναι πιο αποδοτικό από ένα άλλο, οι απώλειες ενέργειας θα είναι μικρότερες και, κατά συνέπεια, οι επιπτώσεις στο περιβάλλον θα είναι μικρότερες. Ο συντελεστής διάρκειας ζωής της μπαταρίας εξαρτάται από: τη θερμοκρασία (T), τις απαιτήσεις φόρτισης και εκφόρτισης, τη μέση κατάσταση φόρτισης, τον αριθμό των κύκλων και το βάθος εκφόρτισης ανά κύκλο (Xiong et. al., 2020).

Από τη βιβλιογραφία, λαμβάνονται οι εξισώσεις διάρκειας ζωής μπαταριών ιόντων λιθίου και λαμβάνοντας υπόψη τα πειραματικά δεδομένα αυτών των μελετών σε συγκεκριμένα συστήματα μπαταριών ιόντων λιθίου, που είναι τα πιο συνηθισμένα στις μπαταρίες ηλεκτρικών οχημάτων, προσδιορίζονται οι παράμετροι. Ως εκ τούτου, η διάρκεια ζωής της μπαταρίας μπορεί να προβλεφθεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Προοπτικές ανακύκλωσης μπαταριών στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα

3.1. Η ανακύκλωση μπαταριών των ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν τη δυνατότητα να συμβάλουν στην αφαίρεση του άνθρακα στον τομέα των μεταφορών και στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, καθώς τα ηλεκτρικά οχήματα παράγουν λιγότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τα συμβατικά οχήματα σε όλο τον κύκλο ζωής τους. Αυτή η δυνατότητα έχει αναγνωριστεί παγκοσμίως, αναμένοντας ότι μέχρι το 2030 θα μπορούσαν να κυκλοφορούν έως και 125 εκατομμύρια ηλεκτρικά οχήματα στο δρόμο με σχεδόν 5 εκατομμύρια τόνους μπαταριών ιόντων λιθίου που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικά οχήματα να πωλούνται έως το 2025. Αν και αυτό θα μπορούσε να είναι μια εξαιρετική λύση για την απομάκρυνση του άνθρακα από το σύστημα μεταφορών, ωστόσο, μια νέα μελέτη διαπίστωσε ότι οι τεχνολογίες ανακύκλωσης για μπαταρίες ιόντων λιθίου στο τέλος του κύκλου ζωής των μπαταριών ιόντων λιθίου υστερούν σε σχέση με τη γρήγορη αύξηση των ηλεκτρικών οχημάτων, γεγονός που με τη σειρά του θα οδηγήσει σε τεράστιο πρόβλημα αποβλήτων στο μέλλον (Steward et. al., 2019).

Σε παγκόσμιο επίπεδο, πάνω από 11 εκατομμύρια τόνοι δαπανημένων μπαταριών ιόντων λιθίου προβλέπεται να απορριφθούν έως το 2030, καταλήγοντας σε χώρους υγειονομικής ταφής εκτός της ΕΕ. Για παράδειγμα, η εσωτερική αγορά της ΕΕ καταλήγει με περίπου 190.000 τόνους βιομηχανικών μπαταριών κάθε χρόνο. Οι μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων εμπίπτουν επί του παρόντος στην ευρεία κατηγορία βιομηχανικών μπαταριών σύμφωνα με την οδηγία της ΕΕ για τις μπαταρίες και τους κανονισμούς απορριμμάτων μπαταριών και συσσωρευτών του 2009 στο Ηνωμένο Βασίλειο, που είναι τα κύρια μέρη της νομοθεσίας για τα απόβλητα μπαταριών. Σύμφωνα με την Οδηγία, βιομηχανική μπαταρία σημαίνει κάθε μπαταρία που έχει σχεδιαστεί αποκλειστικά για βιομηχανικές ή επαγγελματικές χρήσεις ή χρησιμοποιείται σε οποιονδήποτε τύπο ηλεκτρικού οχήματος. Λόγω της αυξανόμενης αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων οδικών μεταφορών, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε πρόσφατα να ταξινομηθούν οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται

για πρόσφυση σε οδικά οχήματα ως νέα κατηγορία μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων. Επί του παρόντος, στην ΕΕ, Οι βιομηχανικές μπαταρίες δεν συλλέγονται και ανακυκλώνονται σωστά στο τέλος της ζωής τους, με μόνο το 5% του λιθίου να έχει ανακτηθεί μέχρι το 2013, αυξάνοντας τον κίνδυνο απελευθέρωσης επικίνδυνων ουσιών στο περιβάλλον και θέτοντας σημαντικά προβλήματα για την ανθρώπινη υγεία. Υπολογίζεται ότι το 2020 υπήρχαν 250.000 τόνοι απορριμμάτων μπαταριών ιόντων λιθίου και δεν υπήρχε υποδομή για να συνδυαστεί η συλλογή και η ανακύκλωσή τους. Επιπλέον, πολύτιμα υλικά χάνονται επίσης, ως αποτέλεσμα της κακής ανακύκλωσης. Εδώ κλιμακώνονται οι ανησυχίες για τις πρώτες ύλες, ιδίως το κοβάλτιο, το νικέλιο και το μαγγάνιο που εκτός από το λίθιο αποτελούν ουσιαστικό μέρος της σύνθεσης των μπαταριών ιόντων λιθίου. Η ανακύκλωση μπορεί να προσφέρει μια ζωτική λύση στην ανασφάλεια στον εφοδιασμό πρώτων υλών και στις διακυμάνσεις των τιμών. Πράγματι, μέσω της ανάκτησης κρίσιμων πρώτων υλών από τις μπαταρίες ιόντων λιθίου, οι κατασκευαστές μπορούν να προστατευτούν από διακοπές εφοδιασμού και επίσης να δημιουργήσουν πρόσθετες ροές εσόδων. Για παράδειγμα, προβλέπεται ότι μέχρι το 2040 η παγκόσμια αγορά ανακύκλωσης των μπαταριών ιόντων λιθίου θα αξίζει 31 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως, καθώς η αποσυρμένες μπαταρίες από ηλεκτρικά οχήματα μπορεί είτε να επαναχρησιμοποιηθεί για δεύτερη ζωή σε εναλλακτικές εφαρμογές είτε να ανακυκλωθεί για την απόκτηση των πρώτων υλών. Επιπλέον, αυτό, με τη σειρά του, θα βελτίωνε επίσης τις περιβαλλοντικές επιδόσεις όλων των φορέων εκμετάλλευσης που συμμετέχουν στον κύκλο ζωής των μπαταριών, όπως οι παραγωγοί, οι διανομείς και οι τελικοί χρήστες και, ειδικότερα, οι φορείς εκμετάλλευσης που εμπλέκονται άμεσα στην επεξεργασία και την ανακύκλωση των αποβλήτων των μπαταριών ιόντων λιθίου. Η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση (δεύτερης διάρκειας) μπαταρίες ιόντων λιθίου θα μειώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του κύκλου ζωής που συνδέονται με τις μπαταρίες ιόντων λιθίου και τα προϊόντα που βασίζονται σε αυτά (π.χ. αυτοκίνητα), ιδιαίτερα σε εκείνα που σχετίζονται με την εξόρυξη (δηλαδή την εξόρυξη) και την κατασκευή των πρώτων υλών και των ίδιων των μπαταριών ιόντων λιθίου. οι μεγαλύτεροι συντελεστές σε επιπτώσεις όπως η κλιματική αλλαγή, η ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας και η εξάντληση των μετάλλων, καθώς η ανακύκλωση

και η επαναχρησιμοποίηση θα αποτρέψουν τη χρήση παρθένων υλικών (Tang et. al., 2018).

Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό αφού πάνω από 11 εκατομμύρια τόνοι αναλωμένων μπαταριών ιόντων λιθίου προβλέπεται να απορριφθούν έως το 2030, που αντιπροσωπεύει συνολικό αριθμό 58 εκατομμυρίων μονάδων. Με συγκέντρωση 815 κιλών λιθίου ανά μπαταρία, η εφαρμογή της ανακύκλωσης θα παρήγαγε έως και 58.000 τόνους λιθίου, γεγονός που θα μπορούσε να αποτρέψει την εξόρυξη παρθένου λιθίου και άλλων μετάλλων (Tang et. al., 2018).

Η εξόρυξη λιθίου εξαρτάται κυρίως από μερικά μεγάλα ορυχεία, είτε στη Νότια Αμερική (κάτω από αλμυρές λίμνες) είτε στην Αυστραλία (εξόρυξη πετρωμάτων), η οποία περιλαμβάνει περίπου 1.900.000 λίτρα νερού ανά τόνο λιθίου κατά την εξαγωγή λιθίου από άλμη, κυρίως σε νερό φτωχές περιοχές του κόσμου (Elwert et. al., 2016).

Ως εκ τούτου, η εξόρυξη επηρεάζει αρνητικά τις τοπικές κοινότητες επιδεινώνοντας την υγεία (π.χ. ρύπανση του αέρα, του εδάφους και των υδάτων) και αυξάνοντας τις ανισότητες λόγω της εισοδηματικής ανισότητας, των υψηλών πιέσεων στις υποδομές, τη στέγαση και τις υπηρεσίες, μεταξύ άλλων. Οι προκλήσεις της μετάβασης προς μια εγκύκλιο και η βιώσιμη οικονομία είναι τεράστιες, αλλά είναι επιτακτική ανάγκη να τις αναγνωρίσουμε σε πρώιμο στάδιο (Yun et. al., 2018).

Έχουν γίνει αρκετές επιστημονικές μελέτες που επισημαίνουν τη σημασία της βιώσιμης διαχείρισης απορριμμάτων μπαταριών ιόντων λιθίου, συμπεριλαμβανομένου του τρόπου με τον οποίο η απόδοση και η απόδοση των μπαταριών μπορούν να βελτιωθούν με τη χρήση τεχνικών θερμικής διαχείρισης. Έχει επίσης διεξαχθεί έρευνα για την κατανόηση του ρόλου του σχεδιασμού των μπαταριών για την ανακύκλωση και την ανάκτηση κρίσιμων υλικών από τις μπαταρίες ιόντων λιθίου, διασφαλίζοντας ασφαλείς και οικονομικά βιώσιμες διαδικασίες. Ωστόσο, δεν έχουν πραγματοποιηθεί ολοκληρωμένες μελέτες από διεπιστημονική προοπτική που να περιλαμβάνει τόσο νομικές (συμπεριλαμβανομένων των πιο πρόσφατων εξελίξεων) όσο και τεχνικές πτυχές στο τοπίο της κυκλικής οικονομίας. Η οδηγία της ΕΕ για τις μπαταρίες (2006) ήταν σε μεγάλο βαθμό ξεπερασμένη και χρειαζόταν μεγάλη αναθεώρηση. Ως εκ τούτου, το

Δεκέμβριο του 2020, προτάθηκε νέος κανονισμός της ΕΕ για τις μπαταρίες 130 σελίδων που καλύπτει όλους τους τύπους μπαταριών, τονίζοντας επίσης ότι οι μπαταρίες είναι βιώσιμες και ασφαλείς καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους, από τη διαδικασία παραγωγής, τις απαιτήσεις σχεδιασμού έως την ανακύκλωση, την επαναχρησιμοποίηση και την εξασφάλιση δεύτερης ζωής στις μπαταρίες ότι πολύτιμα υλικά ανατροφοδοτούν την οικονομία. Εάν εγκριθεί, ο παρών κανονισμός θα αντικαταστήσει την οδηγία για τις μπαταρίες, καθώς δεν υπάρχουν επί του παρόντος νομικές διατάξεις σε επίπεδο ΕΕ που να αντιμετωπίζουν άλλες πτυχές των φάσεων παραγωγής και χρήσης των μπαταριών, όπως η ηλεκτροχημική απόδοση και ανθεκτικότητα, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ή η υπεύθυνη προμήθεια (Tytgat, 2013).

Η ΕΕ επέλεξε έναν κανονισμό ως νομικό μέσο, ο οποίος σε αντίθεση με μια οδηγία εφαρμόζεται άμεσα στα κράτη μέλη, γεγονός που καταδεικνύει την αυξημένη σημασία αυτού του τομέα. Συγκεκριμένα, στοχεύει στην ενίσχυση της λειτουργίας της εσωτερικής αγοράς μπαταριών της ΕΕ, ενώ ταυτόχρονα προωθεί το πλάνο κλείνοντας τον βρόχο των υλικών και μειώνοντας τις περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις των μπαταριών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Η σημασία των βιώσιμων μπαταριών στην ΕΕ είναι επίσης ορατή στην πρόσφατη έγκριση της ΕΚ για κρατική ενίσχυση 2,9 δισεκατομμυρίων ευρώ για την ευρωπαϊκή καινοτομία μπαταριών που καλύπτει δώδεκα κράτη μέλη, ώστε να επικεντρωθεί σε μια επόμενη γενιά μπαταριών σε ολόκληρη την αλυσίδα μπαταριών. Σε παρόμοια γραμμή, η κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου σχεδιάζει επίσης να αναθεωρήσει τους Κανονισμούς του Ηνωμένου Βασιλείου του 2009 για να διευκολύνει την ανακύκλωση των μπαταριών EV στο μέλλον. Μετά το Brexit, το Ηνωμένο Βασίλειο (ΗΒ) δεν υποχρεούται πλέον να ακολουθεί τους κανόνες της ΕΕ και ως εκ τούτου, ο προτεινόμενος κανονισμός της ΕΕ για τις μπαταρίες δεν θα ισχύει για το Ηνωμένο Βασίλειο, επιτρέποντας μεγαλύτερη ευελιξία στον σχεδιασμό του καταστατικού του βιβλίου για τα απόβλητα. Ωστόσο, το ΗΒ δεν θα απομακρυνθεί από την προσέγγιση της ΕΕ για την ενθάρρυνση της κυκλικότητας. Σαφώς, το Ινστιτούτο Faraday του Ηνωμένου Βασιλείου διαδραματίζει ηγετικό ρόλο στην προώθηση της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης εξαρτημάτων μπαταριών, όπου μία από τις

οκτώ τεχνικές προκλήσεις που έχουν τεθεί είναι να μπορεί να ανακυκλώσει το 95% ενός πακέτου μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων έως το 2035 (Abdelbaky et. al., 2021).

Τα ρυθμιστικά πλαίσια είναι απαραίτητα για τη μετάβαση προς μια κοινότητα. Ως εκ τούτου, στο παρόν κεφάλαιο εξετάζεται η τρέχουσα νομοθεσία της ΕΕ και του Ηνωμένου Βασιλείου για τη διαχείριση των απορριμμάτων μπαταριών, συμπεριλαμβανομένων των πιο πρόσφατων εξελίξεων. Ωστόσο, είναι σημαντικό τα ρυθμιστικά πλαίσια να ευθυγραμμίζονται με τον ρυθμό τεχνολογικής ανάπτυξης, ιδίως όσον αφορά τη δημιουργία μιας αγοράς για δεύτερη ζωή των ακραίων κατασκευαστών αυτοκινήτων καθώς και για την ανακύκλωση μπαταριών ιόντων λιθίου (Abdelbaky et. al., 2021).

Το μοντέλο της έχει αναπόφευκτα αποκτήσει δυναμική μεταβαλλόμενων συστημάτων από τη γραμμική προσέγγιση take-make-use-waste σε πιο κυκλικά, όπου οι πόροι χρησιμοποιούνται και διατηρούνται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για να μειωθούν και ελπίζουμε να αποφευχθούν οι σπατάλες όσο το δυνατόν περισσότερο. Το μοντέλο αυτό βασίζεται σε μια προσέγγιση σκέψης κύκλου ζωής για τη διασφάλιση της βιωσιμότητας, με σεβασμό στην ιεραρχία των αποβλήτων, όπως ορίζεται από την Οδηγία Πλαίσιο της ΕΕ για τα Απόβλητα, κοινώς γνωστή ως η οδηγία για τα ύδατα, όπως τροποποιήθηκε με την πρόληψη να είναι η πιο προτιμώμενη επιλογή. Οι εταιρείες μπορεί να υπονομεύσουν ένα μη βιώσιμο μοντέλο business-as-usual, εάν η ιεραρχία των αποβλήτων είναι σαφής, επομένως, χωρίς αναθεώρηση ολόκληρης της αλυσίδας εφοδιασμού, του τρόπου λειτουργίας και της ριζικής αλλαγής στα υλικά των προϊόντων. Η ιδέα έχει συζητηθεί στην ΕΕ για κάποιο χρονικό διάστημα (Miedema & Moll, 2013).

Ήδη το 2015, η ΕΕ εξέδωσε ένα φιλόδοξο σχέδιο δράσης για την κυκλική οικονομία, το οποίο περιελάμβανε βήματα για την ενθάρρυνση της μετάβασης της Ευρώπης σε μία κοινότητα, καλύπτοντας μέτρα που καλύπτουν ολόκληρο τον κύκλο: από την παραγωγή και την κατανάλωση έως τη διαχείριση απορριμμάτων και την αγορά δευτερογενών πρώτων υλών, επομένως, συμβάλλοντας στην «κλείσιμο του βρόχου» των κύκλων ζωής των προϊόντων μέσω μεγαλύτερης ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης (Miedema & Moll, 2013).

Το 2020, η ΕΕ εξέδωσε ένα νέο Σχέδιο Δράσης για την Κυκλική Οικονομία, το οποίο αποτελεί ένα από τα κύρια τμήματα της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας, της νέας ατζέντας της Ευρώπης για βιώσιμη ανάπτυξη. Μεταξύ άλλων, το νέο Σχέδιο Δράσης για την Κυκλική Οικονομία καλεί να επικεντρωθεί στους τομείς που χρησιμοποιούν τους περισσότερους πόρους και όπου οι δυνατότητες κυκλικότητας είναι μεγάλες, όπως οι μπαταρίες και τα οχήματα. Αυτό το σχέδιο αναλαμβάνει επίσης δεσμεύσεις που έχουν καθυστερήσει εδώ και καιρό να εισαγάγει ένα νέο ρυθμιστικό πλαίσιο για τις μπαταρίες, να ενισχύσει τη βιωσιμότητα της αναδυόμενης αλυσίδας αξίας μπαταριών για την ηλεκτροκίνηση και να ενισχύσει το κυκλικό δυναμικό όλων των μπαταριών. Εκτός από τους κανόνες για το υποχρεωτικό ανακυκλωμένο περιεχόμενο για ορισμένα υλικά ή εξαρτήματα και τη βελτίωση της απόδοσης της ανακύκλωσης, η ΕΕ στοχεύει επίσης να βελτιώσει τις απαιτήσεις βιωσιμότητας και διαφάνειας για τις μπαταρίες, λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψη το αποτύπωμα άνθρακα της κατασκευής μπαταριών, την ηθική προμήθεια πρώτων υλών και την ασφάλεια των προμήθειων και διευκόλυνση της επαναχρησιμοποίησης και της ανακύκλωσης. Ωστόσο, δεν έχει σημειωθεί επαρκής πρόοδος για την αντιμετώπιση της ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης μπαταριών EV μέχρι στιγμής, καθώς το μέσο ποσοστό ανακύκλωσης στα κράτη μέλη της ΕΕ είναι 48%, ενώ το λίθιο εξακολουθεί να χάνεται με ποσοστά ανάκτησης 15% παγκοσμίως (Choi & Rhee, 2020).

Ο Παγκόσμιος οργανισμός υγείας θέτει τα θεμέλια για κάθε ροή αποβλήτων με έναν ευρύ ορισμό των αποβλήτων, ως κάθε ουσία ή αντικείμενο που ο κάτοχος απορρίπτει ή σκοπεύει ή καλείται να απορρίψει. Στην απόφαση ορόσημο Vesso και Zanetti. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έκρινε ότι η έννοια των αποβλήτων δεν αποκλείει ουσίες και αντικείμενα που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν οικονομικά. Αυτός ο σχηματικός ορισμός των αποβλήτων σήμαινε ότι ήταν δύσκολο για τα κράτη μέλη να τον εφαρμόσουν σε διάφορες πρακτικές καταστάσεις, ιδίως σε καταστάσεις όπου ένα απόβλητο παύει να είναι απόβλητο (και γίνεται νέα ή δευτερεύουσα πρώτη ύλη. Όσον αφορά τα επικίνδυνα απόβλητα, τα οποία αποτελούνται από απόβλητα που περιέχουν ουσίες ή ιδιότητες επιβλαβείς για τον άνθρωπο και το περιβάλλον, μπορεί να είναι συναφής για τον προσδιορισμό του εάν τα επικίνδυνα απόβλητα παύουν να

είναι απόβλητα. Η υπόθεση έδειξε επίσης ότι οι εθνικές απαγορεύσεις μπορεί να αποτύχουν να εξασφαλίσουν προστασία σε ολόκληρη την ΕΕ και θα υποβαθμίσουν τους άλλους στόχους της Καταχώριση, Αξιολόγηση, Εξουσιοδότηση και Περιορισμός Χημικών Προϊόντων (καταχώριση, αξιολόγηση, εξουσιοδότηση και περιορισμός χημικών ουσιών), όπως η ελεύθερη κυκλοφορία ουσιών στην εσωτερική αγορά και η ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας και της καινοτομίας (Idjis & Da Costa, 2017).

Επομένως, αυτή η γκρίζα ζώνη της ταξινόμησης των αποβλήτων και των δευτερογενών πρώτων υλών απαιτεί περαιτέρω σαφήνεια παρά τα κριτήρια για το τέλος των αποβλήτων. Εκτός από το γενικό πλαίσιο, υπάρχει η Οδηγία για τις μπαταρίες, η οποία είναι το κύριο κομμάτι της νομοθεσίας της ΕΕ που έχει αφιερωθεί μέχρι στιγμής στις μπαταρίες. Απευθύνεται στον κύκλο ζωής των μπαταριών, από το σχεδιασμό, τη διάθεση στην αγορά έως τη συλλογή, επεξεργασία και ανακύκλωση εξαντλημένων μπαταριών στο τέλος του κύκλου ζωής τους (Idjis & Da Costa, 2017).

Καλύπτει τρεις κύριες κατηγορίες:

- 1) φορητές μπαταρίες
- 2) μπαταρίες αυτοκινήτου &
- 3) βιομηχανικές μπαταρίες.

Οι μπαταρίες από ηλεκτρικά οχήματα εμπίπτουν στην τελευταία κατηγορία.

Κύριος στόχος της Οδηγίας είναι η μείωση των αρνητικών επιπτώσεων των μπαταριών και των απορριμμάτων μπαταριών στο περιβάλλον (λόγω της παρουσίας επικίνδυνων συστατικών) καθώς και η διασφάλιση της δίκαιης λειτουργίας της εσωτερικής αγοράς στην ΕΕ.

Η διαχείριση των χημικών που χρησιμοποιούνται στις μπαταρίες δεν εμπίπτει στο πεδίο εφαρμογής της Οδηγίας (και καλύπτονται από την εξειδικευμένη νομοθεσία, όπως η Καταχώριση, Αξιολόγηση, Εξουσιοδότηση και Περιορισμός Χημικών Προϊόντων), εκτός από την απαγόρευση χρήσης υδραργύρου και καδμίου στις μπαταρίες. Είναι παράνομη η υγειονομική ταφή, η αποτέφρωση ή η ακατάλληλη απόρριψη χρησιμοποιημένων μπαταριών. και όλες οι χρησιμοποιημένες μπαταρίες που συλλέγονται πρέπει να υποβληθούν σε επεξεργασία και ανακύκλωση. Αυτά

ενισχύονται στην πρόταση για νέο κανονισμό για τις μπαταρίες. Η Οδηγία ενσωματώνει την αρχή της ευθύνης του παραγωγού, με την ευθύνη των παραγωγών για τη διαχείριση στο τέλος του κύκλου ζωής των μπαταριών που διαθέτουν στην αγορά. Οι παραγωγοί πρέπει να καλύψουν το κόστος συλλογής, επεξεργασίας και ανακύκλωσης όλων των απορριμμάτων μπαταριών. Όσον αφορά τις βιομηχανικές μπαταρίες, οι παραγωγοί, για παράδειγμα, δεν μπορούν να αρνηθούν να πάρουν πίσω χρησιμοποιημένες βιομηχανικές μπαταρίες από τους τελικούς χρήστες. Ωστόσο, η οδηγία δε θέτει στόχους για τη συλλογή απορριμμάτων ηλεκτρικών στηλών βιομηχανικής ή αυτοκινητοβιομηχανίας. Αυτό σήμαινε ότι περίπου 56.000 τόνοι (11%) βιομηχανικών μπαταριών που διατέθηκαν στην αγορά χάνονταν σε ετήσια βάση. Συγκεκριμένα, οι βιομηχανικές μπαταρίες ιόντων λιθίου, δημοφιλείς στα ηλεκτρικά οχήματα, ταξινομούνται επί του παρόντος ως «άλλες μπαταρίες» στην κατηγορία Βιομηχανικές μπαταρίες. Καθώς ο στόχος απόδοσης ανακύκλωσης για άλλες μπαταρίες ορίζεται στο 50%, η νομοθεσία δεν εγγυάται την ανάκτηση λιθίου ή άλλων πολύτιμων υλικών, όπως το κοβάλτιο που περιέχεται σε αυτές τις μπαταρίες (Steward et. al., 2019).

Αυτό θα πρέπει να διορθωθεί με τον πρόσφατα προτεινόμενο κανονισμό, ο οποίος, καταρχάς, συνιστά τη δημιουργία μιας νέας κατηγορίας μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων, ειδικά σχεδιασμένων για να παρέχουν πρόσφυση σε υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα για οδικές μεταφορές. Δεύτερον, η σημασία του λιθίου για την αλυσίδα αξίας των μπαταριών αντιμετωπίζεται επίσης μέσω νέων στόχων για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου, όπου ο στόχος απόδοσης ανακύκλωσης για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου προτείνεται στο 65% έως το 2025 με τα ποσοστά ανάκτησης υλικών για Co, Ni, Li, Cu προτείνονται στο 90%, 90%, 35% και 90% το 2025, αντίστοιχα. Η τρέχουσα οδηγία για τις μπαταρίες έχει επικριθεί για την αποτυχία να αντιμετωπίσει όλες τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τους κινδύνους των διαφόρων σταδίων του κύκλου ζωής μιας μπαταρίας. Πράγματι, δεν λαμβάνει υπόψη τις αρνητικές εξωτερικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, για παράδειγμα, από την τεράστια εξόρυξη πρώτων υλών ή από διαδικασίες ανακύκλωσης που απαιτούν εκτεταμένες παροχές ενέργειας και νερού. Για παράδειγμα, υψηλές ποσότητες εκπομπών αερίων του

θερμοκηπίου προκύπτουν από την πυρομεταλλουργική διαδικασία των μπαταριών ιόντων λιθίου (Simon et. al., 2015).

Η διύλιση χαλκού, κοβαλτίου και νικελίου είναι επίσης μια ενεργοβόρα διαδικασία που παράγει σημαντική ποσότητα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που κυμαίνονται από 3,2 kg CO₂ ανά kg χαλκού σε 12,8 kg CO₂ ανά κιλό κοβαλτίου. Ωστόσο, ακόμα χαμηλότερο αν λάβουμε υπόψη ότι περίπου 1012 kg CO₂ συνδέονται με την εξόρυξη και την παραγωγή μετάλλων, που αντιστοιχούν στο 10% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με την ενέργεια. Ως εκ τούτου, ο νέος κανονισμός για τις μπαταρίες προτείνει νέους κανόνες για το αποτύπωμα άνθρακα των ακραίων κατασκευαστών αυτοκινήτων με απαιτήσεις σταδιακής πληροφόρησης, μια δήλωση αποτυπώματος άνθρακα. ακολουθούμενες από κατηγορίες απόδοσης αποτυπώματος άνθρακα· και τελικά, τη συμμόρφωση με τα μέγιστα όρια του αποτυπώματος άνθρακα του κύκλου ζωής (Simon et. al., 2015).

Τέλος, ο προτεινόμενος κανονισμός για τις μπαταρίες (εάν εγκριθεί) θα λειτουργεί σύμφωνα με άλλη νομοθεσία, όπως η Οδηγία για τα οχήματα στο τέλος του κύκλου ζωής τους η οποία ορίζει την αποσυναρμολόγηση και την ανακύκλωση των οχημάτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους πιο φιλικά προς το περιβάλλον. Για παράδειγμα, περιέχει στόχους για επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και ανάκτηση των οχημάτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους και των συστατικών τους. Παρέχει επίσης διατάξεις για τους παραγωγούς να κατασκευάζουν νέα οχήματα χωρίς επικίνδυνες ουσίες (δηλαδή μόλυβδο, υδράργυρο, κάδμιο και εξασθενές χρώμιο). Δεδομένου ότι η προθεσμία για την εφαρμογή όλων των οδηγιών που συζητήθηκαν παραπάνω παρήλθε πριν το ΗΒ παύσει να είναι κράτος μέλος της ΕΕ, όλες μεταφέρθηκαν στο νομικό τοπίο του ΗΒ (Tygtat, 2013).

Συγκεκριμένα, η Οδηγία για τις μπαταρίες ΕΕ εφαρμόστηκε στους κανονισμούς του Ηνωμένου Βασιλείου, οι οποίοι στοχεύουν στη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης των μπαταριών και στον καθορισμό απαιτήσεων για τη συλλογή, επεξεργασία, ανακύκλωση και απόρριψη απορριμμάτων μπαταριών και επηρεάζει τους παραγωγούς, τους διανομείς μπαταριών, συλλέκτες απορριμμάτων μπαταριών, ανακυκλωτές και εξαγωγείς. Σε ευθυγράμμιση με την οδηγία, καλύπτει επίσης τις τρεις κατηγορίες μπαταριών, συμπεριλαμβανομένων των βιομηχανικών μπαταριών

με απαγόρευση διάθεσης βιομηχανικών μπαταριών σε χώρους υγειονομικής ταφής ή με αποτέφρωση. Των μπαταριών ιόντων λιθίου εμπίπτουν στην κατηγορία βιομηχανικών μπαταριών και το Ηνωμένο Βασίλειο δεν έχει επί του παρόντος καμία ειδική νομοθεσία για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Το τμήμα 35 των Κανονισμών προβλέπει ότι οι παραγωγοί βιομηχανικών μπαταριών πρέπει να εξαργυρώνουν τις βιομηχανικές μπαταρίες δωρεάν και εντός εύλογου χρονικού διαστήματος από τον τελικό χρήστη βιομηχανικών μπαταριών. Πρέπει να τηρούνται αρχεία για την ποσότητα σε τόνους βιομηχανικών μπαταριών που διατίθενται στην αγορά του Ηνωμένου Βασιλείου για πρώτη φορά και την ποσότητα σε τόνους βιομηχανικών μπαταριών που επιστρέφονται ή συλλέγονται και παραδίδονται σε εγκεκριμένο χειριστή επεξεργασίας μπαταριών για επεξεργασία ή ανακύκλωση ή σε εγκεκριμένη μπαταρία εξαγωγέα για επεξεργασία ή ανακύκλωση εκτός του ΗΒ (Elwert et. al., 2018).

3.2. Προοπτικές ανακύκλωσης των μπαταριών των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα ισχύουν φορολογικά κίνητρα για τους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων. Τα φορολογικά οφέλη συνδέονται με φορολογικές απαλλαγές, έξοδα κυκλοφορίας και εγγραφής. Σύμφωνα με την έκθεση της Ελληνική Ένωση Ενεργειακής Οικονομίας για την ελληνική αγορά ενέργειας, (2019), η προώθηση τόσο φορολογικών όσο και μη φορολογικών κινήτρων στην Ελλάδα απαιτείται για τη δημιουργία σημαντικής αύξησης του μεριδίου των ηλεκτρικών οχημάτων. Η Ελληνική Ένωση Ενεργειακής Οικονομίας (2019), λαμβάνοντας υπόψη τις οικονομικές δυνατότητες της χώρας, το χαμηλό κατά κεφαλήν ΑΕΠ, καθώς και τα προηγούμενα χρόνια ύφεσης στη χώρα, προτείνει ότι προκειμένου να επιτευχθεί υψηλή και γρήγορη διείσδυση της ηλεκτρονικής κινητικότητας στον τομέα των μεταφορών. Τα κίνητρα θα πρέπει να επικεντρωθούν σε οικονομικούς παράγοντες, ώστε να δοθεί μια λύση ελκυστική και βιώσιμη για τον Έλληνα αγοραστή. Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη τις «ειδικές ομάδες χρηστών» όπως οι στόλοι λεωφορείων και ταξί και η ανεπαρκής παρουσία σταθμών φόρτισης, τονίζεται η ανάγκη ενός ολοκληρωμένου σχεδίου για την

αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων. Το 2020, έχει γίνει ένα σημαντικό βήμα για την προώθηση της ηλεκτρονικής κινητικότητας και την προσέλκυση των οδηγών της χώρας για την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων. Το νέο νομικό πλαίσιο για την ηλεκτρονική κινητικότητα παρείχε τόσο φορολογικά όσο και μη φορολογικά κίνητρα για την ανάπτυξη της ηλεκτρονικής κινητικότητας, όπως επιδοτήσεις για την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων, τη δημιουργία νέων χώρων στάθμευσης, την επιβολή περιβαλλοντικού φόρου και την απαγόρευση του εισαγωγής παλαιών μεταχειρισμένων οχημάτων καθώς και φορολογικές απαλλαγές για την αγορά και μίσθωση BEV (Ortar & Ryghaug, 2019).

Το κρατικό επιχορηγούμενο πρόγραμμα «κίνηση ηλεκτρικά» (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2020), εισήχθη για την αγορά ή μίσθωση ηλεκτρικών οχημάτων, επιδοτώντας έως και είκοσι τοις εκατό (20%) του συνολικού κόστους αγοράς ηλεκτρικών αυτοκινήτων και έως σαράντα τοις εκατό (40%) για ηλεκτρικά ποδήλατα. Το σημαντικό ποσό της επιδότησης που χορηγήθηκε συνδέθηκε επίσης με πρόσθετο μπόνους για την απόσυρση παλαιών και ρυπογόνων αυτοκινήτων, καθώς και για την αγορά εγχώριων φορτιστών ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Το πρόγραμμα ίσχυε και για επαγγελματίες οδηγούς, δηλαδή οδηγούς ταξί, με στόχο να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα του παλιού και ρυπογόνου στόλου ταξί στη χώρα. Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, (2020), τα πρώτα αποτελέσματα του προγράμματος ήταν πολύ ενθαρρυντικά (Ortar & Ryghaug, 2019).

Τις πρώτες 15 ημέρες υποβλήθηκαν περίπου 5.000 αιτήσεις για επιδότηση αγοράς ηλεκτρικού οχήματος, που αντιπροσωπεύει περίπου το δέκα τοις εκατό (10%) των διαθέσιμων πόρων. Το Πρόγραμμα δημιούργησε τζίρο στην αγορά 35 εκατομμυρίων ευρώ σε μια περίοδο οικονομικής ανάκαμψης και πανδημίας COVID-19, κάτι που δεν μπορεί να αγνοηθεί. Το Πρόγραμμα, εκτός από τα προφανή περιβαλλοντικά οφέλη και τα προαναφερθέντα αποτελέσματα οικονομικής ανάπτυξης, έδειξε έναν βιώσιμο και βιώσιμο τρόπο προώθησης της ηλεκτρονικής κινητικότητας. Σημειώνεται ότι η συμμετοχή των ελληνικών νησιών έφτασε περίπου το είκοσι τοις εκατό (20%) του συνόλου των οχημάτων που επιδοτούνται μέσω του Προγράμματος. Επιπλέον, γίνονται πρωτοβουλίες από τον Ιδιωτικό τομέα για την εγκατάσταση σημείων φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Οι δήμοι μεγάλου και μεσαίου μεγέθους

υποχρεούνται να εκπονήσουν σχέδια φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων για τη διάθεση επαρκούς αριθμού προσβάσιμων στο κοινό σημείων φόρτισης και σχετικών χώρων στάθμευσης, τα οποία θα λαμβάνουν υπόψη τα αστικά και κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής. Επιπλέον, απλοποιήθηκαν οι διαδικασίες αδειοδότησης για εγκαταστάσεις υποδομής φόρτισης οχημάτων. Λόγω του νέου καθιερωμένου πλαισίου για την προώθηση της ηλεκτρονικής κινητικότητας, η Ελλάδα συμπεριλήφθηκε πρόσφατα στις οκτώ χώρες της ΕΕ, παρέχοντας ένα ολιστικό δίκτυο κινήτρων, άμεσα και έμμεσα, για την αντικατάσταση παλαιών, ρυπογόνων οχημάτων (Habib et. al., 2018).

Τέλος, σύμφωνα με τα τελευταία νέα και ανακοινώσεις στο Electric Vehicle Conference 2020, η στρατηγική του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών είναι η περαιτέρω προώθηση της eMobility εστιάζοντας στην ανανέωση του γηρασμένου στόλου αυτοκινήτων και στη δημιουργία ενός ευρύτερου δικτύου δημόσια προσβάσιμους σταθμούς φόρτισης.

Μαζί με την εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων, μια νέα ιδέα που εισήχθη πρόσφατα και φαίνεται πολλά υποσχόμενη για την ταχεία ανάπτυξη της ηλεκτρονικής κινητικότητας, είναι η έννοια οχήματα στο δίκτυο. Τα οχήματα στο δίκτυο είναι μια πιο προηγμένη τεχνικά ιδέα που βασίζεται στην τεχνολογία ενσωμάτωση οχήματος στο δίκτυο. Μια τεχνολογία που βασικά προσεγγίζει τη σύνδεση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και του συστήματος μεταφορών με τρόπους που θα ωφεληθούν και οι δύο. Στην ιδέα οχήματα στο δίκτυο, ένα όχημα συνδέεται στο δίκτυο όχι μόνο για να φορτίσει την μπαταρία του, αλλά και για να διοχετεύσει ηλεκτρική ενέργεια από την μπαταρία του στο δίκτυο σε ορισμένες περιπτώσεις. Τέτοιες περιπτώσεις περιλαμβάνουν την μπαταρία του οχήματος που θα χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο από τον Διαχειριστή του Δικτύου για την αντιμετώπιση προβλημάτων ευστάθειας του δικτύου. Η τεχνολογία οχήματα στο δίκτυο, επιτρέπει στα ηλεκτρικά οχήματα που τροφοδοτούνται από μπαταρία να λειτουργούν ως κινητή μονάδα αποθήκευσης ενέργειας μέσω της χρήσης μιας αμφίδρομης μονάδας φόρτισης. Αυτός ο αμφίδρομος τρόπος φόρτισης βοηθά στην καλύτερη διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας και, επομένως, στην αποφυγή τυχόν σπατάλης ενέργειας με αποτέλεσμα καλύτερη διαχείριση πόρων. Γίνεται προφανές ότι τα ηλεκτρικά

οχήματα προορίζονται να εξυπηρετούν τα δίκτυα ενέργειας ως προσωρινές μονάδες αποθήκευσης ενέργειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη βελτιστοποίηση και σταθεροποίηση του δικτύου με έξυπνες τεχνολογίες. Επιπλέον, οι ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων που θα παρέχουν ρεύμα στο δίκτυο, θα αποζημιωθούν για την υπηρεσία αυτή (Kaldellis & Zafirakis, 2020).

Προτείνεται ότι τα οχήματα στο δίκτυο θα μπορούσε να χρησιμεύσει ως πρόσθετη πηγή εσόδων και καθώς η αγορά ηλεκτρικών οχημάτων και η τεχνολογία προχωρούν, ως πολύτιμο εργαλείο ή πόρος και για το δίκτυο. Η ιδέα οχήματα στο δίκτυο περιλαμβάνει έναν επαναστατικό τρόπο για την προώθηση της ηλεκτρονικής κινητικότητας και διαφέρει στη φύση από τα κίνητρα που εισήγαγαν οι κυβερνήσεις και παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες ενότητες. Όπως αναφέρθηκε ήδη, τα πιο συχνά εφαρμοζόμενα κίνητρα για την ενθάρρυνση της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων ήταν με τη μορφή επιδοτήσεων ή φορολογικών απαλλαγών που απαιτούν τη χορήγηση οικονομικής βοήθειας από τις χώρες (Anastasiadou, 2021).

Η ιδέα οχήματα στο δίκτυο χρησιμεύει ως ένα επιπλέον κίνητρο μετατρέποντας τα BEV από «καταναλωτή» ενέργειας σε «παραγωγό» ή κυριολεκτικά σε «καταναλωτή», που καταναλώνει και παράγει. Αυτή η ιδέα επιτρέπει στους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων να πωλούν ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο κατά τη διάρκεια των απαιτήσεων αιχμής, όταν η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι στο υψηλότερο επίπεδο και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας πολύ μεγαλύτερο από τον ημερήσιο μέσο όρο. Η τεχνολογία οχήματα στο δίκτυο μπορεί να δημιουργήσει κέρδος στους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στη μπαταρία του ηλεκτρικού οχήματος και από τις προαναφερθείσες υπηρεσίες υποστήριξης δικτύου όταν τα ηλεκτρικά οχήματα είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο. Η ιδέα οχήματα στο δίκτυο υποστηρίζει την επίτευξη συντομότερων στόχων της ΕΕ που έχουν τεθεί για καθαρότερη, πιο προσιτή, ανανεώσιμη ενέργεια. Υποστηρίζει επίσης τη μετατροπή σε ένα πιο έξυπνο, πιο σταθερό, ευέλικτο δίκτυο, που δεν βασίζεται σε ορυκτά καύσιμα. Η αύξηση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δημιουργεί ένα καθαρότερο περιβάλλον χωρίς την ανάγκη κατανάλωσης καυσίμων με βάση τον άνθρακα (Anastasiadou, 2021).

3.3. Προοπτικές ανακύκλωσης των μπαταριών των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ευρώπη

Τα δευτερεύοντα υλικά δεν μπορούν να λειτουργήσουν αν δεν υπάρχει αγορά για αυτά. Μια αγορά για τη δεύτερη ζωή των μεταχειρισμένων ηλεκτρικών μπαταριών αναδύεται, καθώς η απορρόφηση των ηλεκτρικών οχημάτων αυξάνεται απότομα. Ωστόσο, επί του παρόντος, ούτε η οδηγία για τις μπαταρίες ούτε οι κανονισμοί του Ηνωμένου Βασιλείου αφορούν τη δεύτερη ζωή των μπαταριών. Δεν καθορίζουν το νομικό πλαίσιο εντός του οποίου μπορεί να αναπτυχθεί η δεύτερη ζωή των μπαταριών με περαιτέρω ευκαιρίες βελτίωσης των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων. Σε σχέση με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, μπορεί να μειώσει τη διάθεση των απορριμμάτων και να αυξήσει το ποσοστό ανακύκλωσης. Το εξαφθοροφωσφορικό λίθιο, ένας ηλεκτρολύτης που χρησιμοποιείται σε αυτές τις μπαταρίες, είναι επικίνδυνο και πολύ εύφλεκτο (Kushnir, 2015).

Η αντικατάσταση πρωτογενών υλικών με δευτερογενή ανακυκλωμένα υλικά θα μπορούσε επίσης να συμβάλει στην αντιστάθμιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων διαφορετικών σταδίων στον κύκλο ζωής μιας μπαταρίας, προστατεύοντας τα φυσικά οικοσυστήματα και τη βιοποικιλότητα. Όσον αφορά την ανταγωνιστικότητα των ανακτημένων υλικών σε σύγκριση με τις πρώτες ύλες, οι εκπομπές που προκαλούνται από την ανακύκλωση μετάλλων (μόλυβδος, λίθιο ή νικέλιο) αντισταθμίζονται από την εξοικονόμηση εκπομπών λόγω της χαμηλότερης ανάγκης για εξορυκτικές δραστηριότητες, καθώς οι διαδικασίες ανακύκλωσης προκαλούν χαμηλότερα περιβαλλοντικά βάρη από εξόρυξη πρώτης ύλης. Εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις στις διαδικασίες συλλογής και ανακύκλωσης, καθώς μέχρι στιγμής η ποιότητα των υλικών που ανακτώνται μεταφράζεται σε οικονομική εξοικονόμηση μεταξύ 5% και 20% (Kushnir, 2015).

Ως εκ τούτου, εκτιμάται ότι το τελικό ισοζύγιο είναι θετικό, ειδικά εάν η περιβαλλοντική ζημία θεωρηθεί ως αρνητική εξωτερικότητα. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου και οι μπαταρίες υδριδίου μετάλλου νικελίου παρουσίασαν επίσης υψηλή αθροιστική ενεργειακή απαίτηση όταν αξιολογήθηκαν ανά μάζα προϊόντος, που υπολογίζεται σε ~90 MJ ανά κιλό μπαταρίας. Το θείο νατρίου και οι μπαταρίες

μολύβδου οξέος υπερείχαν στις τεχνολογίες που αναλύθηκαν. Ωστόσο, ο συγγραφέας αναγνώρισε την έλλειψη διαθέσιμων και αξιόπιστων δεδομένων για τις μπαταρίες νατρίου-θείου Sodium Sulphur (Cazzola et. al., 2016).

Ο Ellingsen πραγματοποίησε επίσης μια αξιολόγηση εκτίμησης κύκλου ζωής από βάση σε πύλη αξιολογώντας ένα ολοκληρωμένο σύνολο 13 περιβαλλοντικών δεικτών χρησιμοποιώντας τρεις λειτουργικές μονάδες (π.χ. μονάδα μπαταρίας, μάζα, kWh). Εξετάζοντας τη χωρητικότητα των μπαταριών (kWh), υπολόγισαν ότι το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη κυμαίνεται από 172 έως 487 kg CO₂ ανά kWh ενώ η εξάντληση των πόρων κυμαίνεται από 154 έως 157 kg /kWh (Ciez & Whitacre, 2019).

Ο Wang και ο Zhong αξιολόγησαν όχι μόνο την κατασκευή των μπαταριών ιόντων λιθίου συμπεριλαμβανομένης της εξέλιξης των μπαταριών, αλλά και τον αντίκτυπο της ανακύκλωσης στον κύκλο ζωής. Διαπίστωσαν ότι η εξέλιξη των μπαταριών, σύμφωνα με την κινεζική αγορά και τεχνολογίες, θα μειώσει από μόνη της τις επιπτώσεις που σχετίζονται με τον κύκλο ζωής των μπαταριών κατά περίπου 4% στην περίπτωση του δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη και κατά 8% στην περίπτωση εξάντλησης του ορυκτά καύσιμα. Η εξάντληση των πόρων είναι το μεγαλύτερο όφελος, καθώς οι εκτιμήσεις έδειξαν μείωση 46%. Ωστόσο, η συμπερίληψη της ανακύκλωσης στο τέλος της ζωής των μπαταριών είναι μακράν η πιο ωφέλιμη δραστηριότητα (Wang & Zhong, 2015).

Οι συγγραφείς διαπίστωσαν ότι η ανακύκλωση μειώνει το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη κατά 56%, η εξάντληση των ορυκτών καυσίμων κατά 45% και η εξάντληση των πόρων κατά 92%. Όσον αφορά τον οικονομικό αντίκτυπο, οι εφαρμογές επανατοποθέτησης και δεύτερης χρήσης μπορεί να είναι οικονομικά αποδοτικές ή ακόμα και κερδοφόρα, ανάλογα με τα κέρδη που προκύπτουν από μπαταρίες (ανακατασκευασμένες ή ανακαινισμένες), με το κόστος αποσυναρμολόγησης και ανακατασκευής (η επεξεργασία επικίνδυνων και εύφλεκτων εξαρτημάτων απαιτεί ειδικές εγκαταστάσεις και υψηλά ειδικευμένο προσωπικό) και τις διαφορές στο κόστος με την παραγωγή νέων ίσης απόδοσης μπαταρίες (Wang & Zhong, 2015).

Οι μελετητές προσδιόρισαν ότι όταν εξετάζεται η εξέλιξη των μπαταριών, υπάρχει μείωση στο κέρδος των εταιρειών ανακύκλωσης με την πάροδο του χρόνου, λόγω

του περιορισμού του κοβαλτίου καθώς οι μπαταρίες θα χρησιμοποιούν λιγότερο κοβάλτιο, ωστόσο η επιχείρηση ανακύκλωσης θα είναι καλύτερα κερδοφόρα. Τόνισαν επίσης τα ζητήματα που σχετίζονται με τη συλλογή μπαταριών, τα οποία θα μπορούσαν να είναι πιο επιζήμια από την εξέλιξη της τεχνολογίας ανακύκλωσης. Η αυξημένη αποδοτικότητα των πόρων μειώνει επίσης τον κίνδυνο διακοπής της εφοδιαστικής αλυσίδας λόγω της μικρότερης εξάρτησης από τις εισαγωγές. Όπως σημειώνεται από την ΕΕ, «η αλυσίδα εφοδιασμού αυτών των υλικών είναι δυνητικά ευάλωτη σε διαταραχές. Λόγω των μεγάλων ποσοτήτων που απαιτούνται στο μέλλον, η ανακύκλωση υλικών θα καθίσταται ολοένα και πιο σημαντική για τη μείωση της εξάρτησης της ΕΕ από τις αγορές τρίτων χωρών και θα πρέπει να ενθαρρυνθεί στο πλαίσιο της μετάβασης σε μια κυκλική οικονομία». Τέλος, όσον αφορά τις κοινωνικές επιπτώσεις, μια αγορά δευτερογενών υλικών μπορεί να δημιουργήσει νέες ευκαιρίες απασχόλησης στην αλυσίδα εφοδιασμού, να βελτιώσει τις περιβαλλοντικές και υγειονομικές συνθήκες και να διευκολύνει την περαιτέρω συνεργασία μεταξύ διαφορετικών ενδιαφερομένων και αρχών, να δημιουργήσει συνεταιριστικές αλυσίδες εφοδιασμού και να προωθήσει τη βιομηχανική συμβίωση. Επιπλέον, μπορεί επίσης να μειώσει την εξάρτηση από ξένους πρωτογενείς πόρους (ασφάλεια πόρων), με περαιτέρω κοινωνικό αντίκτυπο στη μείωση της παιδικής εργασίας και των συγκρούσεων (δηλαδή η εξόρυξη κοβαλτίου από τη Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην ένοπλη επιθετικότητα και την παιδική εργασία). Με βάση τα παραπάνω, δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι η ΕΕ στον πρόσφατα προτεινόμενο κανονισμό για τις μπαταρίες στοχεύει να επιβάλει την υπεύθυνη προμήθεια πρώτων υλών, αντιμετωπίζοντας τους κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς κινδύνους που σχετίζονται με την εξόρυξη, την επεξεργασία και την εμπορία πρώτων υλών σκοπούς κατασκευής μπαταριών (Peigo et. al., 2013).

Η προώθηση των πρακτικών της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα ηλεκτρικά οχήματα απαιτεί την ανάπτυξη και εφαρμογή μιας αλυσίδας εφοδιασμού μαζί με υποδομή που περιλαμβάνει συλλογή και διαλογή, αποσυναρμολόγηση, ανάκτηση και ανακατασκευή υλικών, συμπεριλαμβανομένης της επαναχρησιμοποίησης, της ανακύκλωσης και της ανάπτυξης νέων αγορών για ανακυκλωμένα υλικά και ανακατασκευασμένες μπαταρίες. Ως εκ τούτου, οι ακόλουθες ενότητες θα

συζητήσουν ορισμένες από αυτές τις βασικές δραστηριότητες όσον αφορά τις νομικές απαιτήσεις και τις τεχνολογικές επιπτώσεις. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η υφιστάμενη οδηγία δεν θέτει συγκεκριμένους στόχους συλλογής ή υποχρεώσεις αναφοράς για βιομηχανικές μπαταρίες, οι οποίες περιλαμβάνουν τις μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων. Επίσης, αποτυγχάνει να καθορίσει στόχους για την ανάκτηση ζωτικών υλικών, όπως αυτοί που περιέχονται στα LIB, κάτι που είναι πραγματικά προβληματικό (Peiro et. al., 2013).

Η έλλειψη συγκεκριμένου στόχου για την αποτελεσματικότητα της ανακύκλωσης των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων αποθαρρύνει την ανάκτηση και επιδεινώνει την ανισορροπία. Ως εκ τούτου, χάνονται μεγάλες ευκαιρίες για επιχειρηματικές δραστηριότητες, καθώς έχει υπολογιστεί ότι η αξία των ανακτημένων υλικών (κοβάλτιο, νικέλιο, αλουμίνιο και λίθιο) το 2030 θα μπορούσε να ανέλθει σε 408 εκατομμύρια ευρώ, υπό τον όρο ότι το ποσοστό συλλογής οριστεί στο 65% και η ανακύκλωση απόδοση για μπαταρίες λιθίου 57%. Αυτό με τη σειρά του θα συνέβαλε στη διατήρηση αυτών των υλικών στην οικονομία της ΕΕ και στη δημιουργία 2618 νέων θέσεων εργασίας (Wang & Yu, 2021).

Επιπλέον, ορισμένες μελέτες έχουν επίσης επισημάνει ότι οι στόχοι συλλογής δεν πρέπει να περιορίζονται σε έναν μόνο τύπο μπαταριών, καθώς δεν είναι αποτελεσματικός. Μπορεί επίσης να σημαίνει ότι ορισμένες μπαταρίες δεν αξίζει να ανακυκλωθούν. Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες ελπιδοφόρες εξελίξεις. Τον Μάιο του 2020, η ΕΚ δημοσίευσε την αρχική της εκτίμηση επιπτώσεων για τον εκσυγχρονισμό της Οδηγίας. Επιπλέον, στο Ευρωπαϊκό Στρατηγικό Σχέδιο Ενεργειακής Τεχνολογίας, υπάρχει επίσης πρόταση για τη συλλογή του 70% των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων κάθε είδους έως το 2030. Πιο πρόσφατα, τον Δεκέμβριο του 2020 ο προτεινόμενος Κανονισμός δεν περιέχει καμία διάταξη για τα ποσοστά συλλογής μπαταριών από ηλεκτρικά οχήματα. Ωστόσο, αναμένεται ότι όλες οι μπαταρίες από ηλεκτρικά οχήματα θα συλλέγονταν πλήρως. Επιπλέον, προτείνει επίσης την εισαγωγή ενός βαθμιαίου ανακυκλωμένου περιεχομένου πολύτιμου υλικού στις μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων, το οποίο θα συζητηθεί περαιτέρω στις επόμενες υποενότητες. Η πρόσφατη αξιολόγηση της Οδηγίας εντόπισε ότι οι τρέχουσες διατάξεις για την «ανάκτηση υλικών» είναι ανεπαρκείς, καθώς δεν

αντικατοπτρίζουν πλήρως τη σημασία που αποκτάται από την αποδοτικότητα των πόρων και τις πολιτικές της ΕΕ. Σημειώθηκε επίσης ότι ο τρέχων ορισμός της αποδοτικότητας της ανακύκλωσης στην οδηγία προσανατολίζεται στον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας των διεργασιών και όχι στην ανάκτηση υλικών. Δεδομένου ότι η ανακύκλωση υψηλής ποιότητας δεν ορίζεται ως προτεραιότητα, η συμμόρφωση με ορισμένους τρέχοντες στόχους θα μπορούσε να επιτευχθεί με ανακύκλωση υλικών χαμηλότερης ποιότητας (δηλαδή επιλέγοντας ποια εξαρτήματα ή υλικά μπαταρίας θα ανακυκλωθούν) (Wang & Yu, 2021).

Για παράδειγμα, υπάρχουν επί του παρόντος μόνο στόχοι για την αποτελεσματικότητα της ανακύκλωσης του μολύβδου και του καδμίου, αλλά όχι για άλλα πολύτιμα συστατικά. Χωρίς περαιτέρω εξειδίκευση άλλων υποχρεώσεων ανακύκλωσης, η σκέψη του κύκλου ζωής υπονομεύεται. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, ο νέος κανονισμός επιβάλλει υποχρεώσεις παροχής λεπτομερούς τεχνικής τεκμηρίωσης με πληροφορίες σχετικά με την ποσότητα κοβαλτίου, μολύβδου, λιθίου ή νικελίου που ανακτάται από απόβλητα που υπάρχουν σε ενεργά υλικά που θα πρέπει να συνοδεύουν τη μπαταρία των ηλεκτρικών οχημάτων (από την 1η Ιανουαρίου 2027). και από τον Ιανουάριο του 2030 οι μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων θα πρέπει να αποτελούνται από συγκεκριμένα καθορισμένα επίπεδα ανακυκλωμένου περιεχομένου (δηλαδή 12% κοβάλτιο, 85% μόλυβδος, 4% λίθιο και 4% νικέλιο, τα οποία θα αυξηθούν περαιτέρω σε 20% κοβάλτιο, 10% λίθιο και 12 % νικελίου έως τον Ιανουάριο του 2035 (Wang & Yu, 2021).

Όσον αφορά την ΕΕ, η ανακύκλωση έχει αρκετά πλεονεκτήματα. Πρώτον, η ανακύκλωση μειώνει την εξάντληση των πρώτων υλών και την ανασφάλεια των πόρων, ειδικά εάν τα υλικά είναι σπάνια ή/και εισάγονται από δυνητικά «ανήθικες» πηγές. Η εξόρυξη πρώτων υλών έχει μεγάλες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις. Επομένως, η αντικατάσταση της πρωτογενούς/παρθένας παραγωγής μετάλλων, όπως το κοβάλτιο και το νικέλιο, ολικά ή μερικώς, θα μείωνε σημαντικά αυτές τις επιπτώσεις. Δεύτερον, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου περιέχουν υλικά υψηλής αξίας. Έτσι, η ανάκτηση, για παράδειγμα, χάλυβα υψηλής ποιότητας και άλλων πολύτιμων μετάλλων, όπως το νικέλιο, το κοβάλτιο και το μαγγάνιο από τη διαδικασία αποσυναρμολόγησης δημιουργεί πρόσθετα οικονομικά και περιβαλλοντικά

πλεονεκτήματα. Μια σύνθεση μπαταρίας αποτελείται γενικά από ένα περίβλημα αλουμινίου, τη μονάδα διαχείρισης μπαταρίας και καλώδια. Γενικά, περίπου το 55% ενός συστήματος μπαταρίας είναι αφιερωμένο στις κυψέλες της μπαταρίας που περιέχουν τον ηλεκτρολύτη, τον διαχωριστή (πλαστικά), το περίβλημα κυψέλης και τα ηλεκτρόδια. Ενώ η άνοδος είναι ένα φύλλο χαλκού επικαλυμμένο κυρίως με γραφίτη, το κύριο συστατικό της επικάλυψης καθόδου είναι ένα οξείδιο μετάλλου μεταπτώσεως που περιέχει διαφορετικές αναλογίες λιθίου, νικελίου, κοβαλτίου και οξειδίου μαγγανίου.

3.4 Εργοστάσια ανακύκλωσης μπαταριών ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Η ανακύκλωση μπαταριών ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι σε πολύ πρώιμο στάδιο ακόμα. Κάποιες εταιρίες δημιουργούν πιλοτικά εργοστάσια για ανακύκλωση των μπαταριών των αυτοκινήτων παραγωγής τους. Παρακάτω θα γίνει παρουσίαση σε κάποια από τα εργοστάσια που λειτουργούν στον κόσμο.

3.4.1. Εργοστάσιο VW GROUP

Το εργοστάσιο βρίσκεται στο Salzgitter της Γερμανίας και είναι 650 m². Ο στόχος της εταιρίας είναι με την ανακύκλωση των μπαταριών να επιστρέφει πολύτιμες πρώτες ύλες στην αλυσίδα της διαδικασίας παραγωγής των μπαταριών.

Η ανακύκλωση αυτή την στιγμή είναι 1200 τόνους ετησίως δηλαδή 3000 μπαταρίες ηλεκτρικών αυτοκινήτων με δυνατότητα επέκτασης.

Ο τρόπος ανακύκλωσης του εργοστασίου του ομίλου VW είναι:

Η μπαταρία εισέρχεται στη διαδικασία ανακύκλωσης, πρώτα αδειάζει και αποσυναρμολογείται. Οι πρώτες ύλες όπως το περίβλημα αλουμινίου, το καλώδιο χαλκού και το πλαστικό έχουν ήδη ανακτηθεί εδώ και οδηγούνται για ανακύκλωση. Στη συνέχεια, οι μονάδες μπαταρίας θρυμματίζονται κάτω από μια προστατευτική ατμόσφαιρα και ο υγρός ηλεκτρολύτης που διαφεύγει τις μετατρέπει σε μια υγρή μάζα, την κοκκοποίηση. Αυτό στεγνώνει, περνά μέσα από διάφορα κόσκινα και στη μαγνητική ζώνη, και έτσι γίνεται λεπτότερο και λεπτότερο. Τελικά,

παράγεται η λεγόμενη "μαύρη μάζα", η οποία περιέχει, μεταξύ άλλων, πολύτιμο γραφίτη καθώς και λίθιο, μαγγάνιο, κοβάλτιο και νικέλιο. Μια συνεργαζόμενη εταιρεία από τη χημική βιομηχανία στη συνέχεια τη χωρίζει στα επιμέρους συστατικά της χρησιμοποιώντας μια υδρομεταλλουργική διαδικασία, δηλαδή χρησιμοποιώντας νερό και διαλύτες. Αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δευτερεύουσα πρώτη ύλη για την κατασκευή νέων μπαταριών - χωρίς καμία απώλεια ποιότητας σε σύγκριση με το νέο, πρωτογενές υλικό.

Υπολογίζεται ότι η εξοικονόμηση ρύπων CO₂ στην κατασκευή μιας μπαταρίας χρησιμοποιώντας μεθόδους που προέρχονται από ανακυκλωμένο υλικό και «πράσινη» ηλεκτρική ενέργεια, ανέρχεται σε περίπου 1,3 τόνους ανά 62 kWh. Πρόκειται για τεράστιο μέγεθος, που υπογραμμίζει με τον πλέον εμφατικό τρόπο την σημασία του εγχειρήματος (Volkswagen Group News, 2021).

3.4.2. Εργοστάσιο LI-CYCLE

Η LI-CYCLE έχει κάνει αρκετά βήματα για την ανακύκλωση μπαταριών ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Έχει δημιουργήσει αρκετές μονάδες ανακύκλωσης σε διάφορες περιοχές για να καλύψει μεγάλο μέρος στον τομέα της ανακύκλωσης.

Οι μονάδες ανακύκλωσης της LI-CYCLE είναι:

- Li Cycle commercial spoke 1. Το έτος ίδρυσης του είναι το 2019, στο Κινγκ Στον, Οντάριο. Η ανακύκλωση στην ίδρυση της μονάδας ήταν 2500 τόνους / έτος και με την αναβάθμιση που έγινε το 2020 η μονάδα έφτασε να ανακυκλώνει 5000 τόνους / έτος.
- Li cycle commercial spoke 2. Η μονάδα ξεκίνησε να λειτουργεί το 2020, στο Gastman business park , Νέα Υόρκη. Η μονάδα ανακυκλώνει 5000 τόνους / έτος.
- Li cycle commercial spoke 3. Η μονάδα θα ξεκινήσει την λειτουργία της το 2022, στο Phoenix , Arizona. Η μονάδα θα έχει δυνατότητα να ανακυκλώνει 10000 τόνους / έτος.
- Li cycle commercial hub 1. Η κεντρική μονάδα θα είναι έτοιμη για λειτουργία το 2023, στο Rochester, New York. Η μονάδα θα έχει δυνατότητα ανακύκλωσης

60000 τόνους / έτος που αντιστοιχούν σε 120000 μπαταρίες ηλεκτρικών οχημάτων. Η επένδυση κοστολογείται στα 170 εκατομμυρία δολάρια.

Όσον αφορά τα περιβαλλοντικά οφέλη, μια ανάλυση κύκλου ζωής τρίτου μέρους επιβεβαίωσε μια εξοικονόμηση 60 % των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε σχέση με την ανάκτηση της ίδιας ποσότητας υλικού από την εξόρυξη.

Η διαδικασία της αποσυναρμολόγησης μέχρι το σημείο που γίνονται μαύρη μάζα πραγματοποιείται στις μονάδες Spoke η διαδικασία μετά την μαύρη μάζα μέχρι και το τελικό στάδιο της ανακύκλωσης γίνεται στη κεντρική μονάδα Hub. Αφού τεμαχιστεί το υλικό, τα μηχανικά εξαρτήματα διαχωρίζονται ώστε να περιλαμβάνουν χαλκό, αλουμίνιο και πλαστικά. Στη συνέχεια, έρχεται η διαδικασία της υγρής χημείας για τον διαχωρισμό υλικών όπως το νικέλιο, το κοβάλτιο και το λίθιο. Οι εισερχόμενες μπαταρίες μετατρέπονται από φορτισμένη κατάσταση σε αδρανή αντικείμενα με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα. Η διαδικασία είναι εντελώς βιώσιμη και δεν έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή στερεών ή υγρών αποβλήτων στην εγκατάσταση. Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας μπορούν να λάβουν μπαταρίες ιόντων λιθίου σε οποιοδήποτε μέγεθος, μορφή, χημική σύνθεση ή κατάσταση φόρτισης. Μια μηχανική διαδικασία ταξινομεί τις μπαταρίες για ασφαλή και αποτελεσματική επεξεργασία. Οι μπαταρίες διασπώνται μηχανικά σε αδρανή υλικά, χωρίς κίνδυνο πυρκαγιάς ή έκρηξης. Αυτά τα υλικά στη συνέχεια χωρίζονται περαιτέρω σε δύο σειρές προϊόντων: μια λεγόμενη «μαύρη μάζα» υλικών μπαταρίας και μικτό χαλκό και αλουμίνιο. Η μαύρη μάζα προέρχεται από υλικά μπαταριών από μπαταρίες καθόδου και ανόδου. Τα υλικά που ανακτήθηκαν περιλαμβάνουν λίθιο, νικέλιο, κοβάλτιο, γραφίτη, χαλκό και αλουμίνιο. Ο χαλκός και το αλουμίνιο που ανακτήθηκαν με μηχανική ασφαλή μείωση μεγέθους μπορούν να ανακυκλωθούν συνήθως και αποτελεσματικά, ειδικά στην περίπτωση του αλουμινίου. Η μαύρη μάζα μεταφέρεται στις εγκαταστάσεις του Li-Cycle's Hub για περαιτέρω επεξεργασία σε νέες μπαταρίες. Σε κεντρικά υδρομεταλλουργικά εργοστάσια ανακύκλωσης που ονομάζονται Hubs, το Li-Cycle επεξεργάζεται μαύρη μάζα από υλικά καθόδου και ανόδου σε τελικά προϊόντα μπαταρίας, τα οποία μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για την παραγωγή μπαταριών ιόντων λιθίου. Η Li-Cycle βρίσκει επίσης άλλες εφαρμογές για τα προϊόντα ανακυκλωμένων

μπαταριών υψηλής απόδοσης. Η υδρομεταλλουργία είναι η μέθοδος εξορυκτικής μεταλλουργίας για τη λήψη μετάλλων από μεταλλεύματα. Οι υδρομεταλλουργικές τεχνικές χρησιμοποιούν διαλύματα με βάση το νερό για την ανάκτηση μετάλλων και χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση μετάλλων από μεταλλεύματα και συμπυκνώματα, καθώς και για ανακύκλωση. Η υδρομεταλλουργική τεχνολογία ανακύκλωσης της Li-Cycle ανακτά λίθιο, νικέλιο, κοβάλτιο και άλλα μέταλλα από μαύρη μάζα. Παράγει αυτά τα μέταλλα σε τόσο υψηλή ποιότητα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία νέων μπαταριών. Το κύκλωμα στη μονάδα υδρομεταλλουργικής ανακύκλωσης της Li-Cycle ανακτά θειικά και ανθρακικά υλικά μετάλλων από τη μαύρη μάζα με αρκετή καθαρότητα για να χρησιμοποιήσει αργότερα τα μέταλλα για την παραγωγή καθόδων και προδρόμων για νέες μπαταρίες.

3.4.3. Fortum

Η Fortum κατασκεύασε ένα εργοστάσιο ανακύκλωσης μπαταριών ιόντων λιθίου στη Harjavalta της Φινλανδίας. Η επένδυση θα κοστίσει περίπου 24 εκατομμύρια ευρώ και θα δημιουργήσει τριάντα θέσεις εργασίας. Το εργοστάσιο θα μπορεί να ανακτά σπάνια μέταλλα από παλιές μπαταρίες ιόντων λιθίου ηλεκτρικών οχημάτων, ενώ θα έχει την δυνατότητα να ανακυκλώνει διάφορα υλικά απορριμμάτων που προέρχονται από την αλυσίδα εφοδιασμού των μπαταριών.

Για την διαδικασία ανακύκλωσης μπαταριών ιόντων λιθίου χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός από μηχανικές και υδρομεταλλουργικές διαδικασίες. Οι διαδικασίες γίνονται με χαμηλή περιεκτικότητα σε CO₂ και γίνεται ανάκτηση λιθίου, κοβαλτίου, μαγγανίου και νικελίου από την μπαταρία.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου πρώτα αποσυναρμολογούνται και υποβάλλονται σε επεξεργασία κατά τη διάρκεια μιας μηχανικής διαδικασίας. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου πρώτα αποσυναρμολογούνται και υποβάλλονται σε επεξεργασία κατά τη διάρκεια μιας μηχανικής διαδικασίας. Η διαδικασία υδρομεταλλουργικής ανακύκλωσης περιλαμβάνει μια μέθοδο χημικής καθίζησης που επιτρέπει την ανάκτηση σπάνιων ορυκτών από τη μαύρη μάζα. Μόλις τελειώσει η διαδικασία τα

μέταλλα που συλλέχτηκαν παραδίδονται στους κατασκευαστές μπαταριών για επαναχρησιμοποίηση στην παραγωγή νέων μπαταριών (Fortum 2021).

3.4.4. Primobius

Η Primobius GmbH είναι μια κοινοπραξία μεταξύ της εισηγμένης εταιρείας Neometals Ltd και του ιδιωτικού γερμανικού παγκόσμιου κατασκευαστή εργοστασίων, SMS group GmbH. Η διαδικασία ανακύκλωσης Primobius προσφέρει μια κλιμακούμενη, αποτελεσματική, βιώσιμη λύση ανακύκλωσης που παράγει υλικά μπαταρίας υψηλής καθαρότητας, χαμηλού αποτυπώματος άνθρακα για επαναχρησιμοποίηση στην αλυσίδα εφοδιασμού μπαταριών.

Η μονάδα παραγωγής του ομίλου SMS Hilchenbach καλύπτει συνολικά 40.000 m² μια ειδική εγκατάσταση 2.000 m² στεγάζει το εργοστάσιο ανακύκλωσης Primobius στο Hilchenbach της Γερμανίας.

Η τεχνολογία ανακύκλωσης των μπαταριών ιόντων λιθίου έχει σχεδιαστεί για να ανακτά κοβάλτιο, νικέλιο, λίθιο, χαλκό, σίδηρο, αλουμίνιο, άνθρακα, πλαστικά και μαγγάνιο σε εμπορεύσιμα προϊόντα που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν στην αλυσίδα εφοδιασμού μπαταριών.

Η τεχνολογία ανακύκλωσης των μπαταριών ιόντων λιθίου δοκιμάστηκε με επιτυχία σε μια πιλοτική δοκιμή στο SGS Lakefield του Καναδά. Η πιλοτική δοκιμή πέτυχε συνολική μαζική ανάκτηση νέων προϊόντων από ζωοτροφές ίση με περίπου 85%. Περαιτέρω, τα στερεά νικελίου και θεικού κοβαλτίου παρήχθησαν με προδιαγραφές κατάλληλες για χρήση στην παραγωγή καθόδου. Η Primobius στοχεύει να χρησιμοποιήσει τις επίδειξης εκμάθησης των εγκαταστάσεων για να βελτιστοποιήσει την τεχνολογία ανακύκλωσης των μπαταριών ιόντων λιθίου και τα ποσοστά ανάκτησης έως και 95% της μάζας της μπαταρίας.

Η τεχνολογία ανακύκλωσης των μπαταριών ιόντων λιθίου περιλαμβάνει δύο στάδια:

- Τεμαχισμός και βελτιστοποίηση για τον φυσικό διαχωρισμό εξαρτημάτων και αφαίρεση μεταλλικών περιβλημάτων, φύλλων ηλεκτροδίων και πλαστικών από τα κύρια υλικά της μπαταρίας.

- Έκπλυση, καθαρισμός και καθίζηση για την παραγωγή κυρίως εξευγενισμένων χημικών προϊόντων μέσω της εγκατάστασης υδρομεταλλουργικής επεξεργασίας.

Πρώτα οι μπαταρίες τεμαχίζονται και στη συνέχεια ταξινομούνται τα πλαστικά και τα μεταλλικά εξαρτήματα από τη λεγόμενη «μαύρη μάζα». Η διαδικασία τεμαχισμού ξεκινάει με ξήρανση και εμπλουτισμό για τον διαχωρισμό χονδροειδών μετάλλων και πλαστικών υλικών για επεξεργασία στο υδρομεταλλουργικό τμήμα του εργοστασίου. Η διαδικασία θρυμματίζει με ασφάλεια τις μεμονωμένες κυψέλες χωρίς να απαιτείται προηγούμενη εκφόρτιση λόγω των πολλαπλών συστημάτων ασφαλείας που περιλαμβάνει υγρό τεμαχισμό και περιβάλλον με κάλυμμα αδρανούς αερίου για τη διαχείριση του κινδύνου πυρκαγιάς. Επίσης προβλέπει καταστάσεις όπου οι μονάδες μπορεί να χρειαστεί να αποσυναρμολογηθούν σε συστατικά στοιχεία. Οι μπαταρίες μπορεί να χρειαστεί να αποφορτιστούν για να περιοριστεί η συγκεντρωτική ισχύς που περιέχεται πριν το τεμαχισμό. Το προϊόν μαύρης μάζας περιέχει τα ενεργά υλικά για τη λειτουργία των μπαταριών. Κατά τις ακόλουθες υδρομεταλλουργικές διεργασίες, είναι δυνατή η εξαγωγή από αυτά τα ενεργά υλικά λιθίου, νικελίου και κοβαλτίου σε κατάλληλη μορφή για επαναχρησιμοποίηση στην κατασκευή υλικών καθόδου μπαταρίας (Primobius 2023).

3.4.5. Northvolt

Η κοινοπραξία ανακύκλωσης μπαταριών Northvolt–Hydro Hydrovolt έχει ξεκινήσει εμπορικές εργασίες ανακύκλωσης στο εργοστάσιό της στο Fredrikstad της Νορβηγίας. Η Hydrovolt είναι το μεγαλύτερο εργοστάσιο ανακύκλωσης μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων στην Ευρώπη, με ικανότητα επεξεργασίας 12.000 τόνων συστοιχιών μπαταριών σε ετήσια βάση. Η πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία ανακύκλωσης επιτρέπει την ανάκτηση έως και 95% των υλικών από τις μπαταρίες, συμπεριλαμβανομένης της μαύρης μάζας. Η Hydrovolt διερευνά μια επέκταση της ικανότητας ανακύκλωσης εντός της Ευρώπης, με μακροπρόθεσμο στόχο την ανακύκλωση περίπου 70.000 τόνων συστοιχιών μπαταριών έως το 2025 και 300.000 τόνων συστοιχιών μπαταριών έως το 2030.

Η διαδικασία ανακύκλωσης μπαταριών τροφοδοτείται 100% από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Μόλις οι μπαταρίες φτάσουν στο εργοστάσιο αποφορτίζονται για λόγος ασφαλείας. Το πρώτο βήμα στη διαδικασία ανακύκλωσης είναι η αποσυναρμολόγηση. Αφαιρούμε τις μονάδες μπαταριών από το εξωτερικό περίβλημα της συσκευασίας τους. Καθώς τα περιβλήματα συσκευασίας είναι συνήθως κατασκευασμένα από αλουμίνιο το οποίο ανακυκλώνετε από διαφορετικό εργοστάσιο. Από αυτό το σημείο και μετά, η διαδικασία λειτουργεί σε ένα αυτοματοποιημένο σύστημα κλειστού βρόχου. Αυτό βελτιώνει την ασφάλεια αλλά διασφαλίζει επίσης ότι δεν χάνεται σχεδόν κανένα υλικό χάρη σε ένα σύστημα συλλογής σκόνης. Οι μονάδες συνθλίβονται και τεμαχίζονται. Ο ηλεκτρολύτης της μπαταρίας εξατμίζεται και συλλέγεται, και τα υπόλοιπα στερεά υλικά ταξινομούνται σε κλάσματα πλαστικού, αλουμινίου, χαλκού και μαύρης μάζας. Η μαύρη μάζα είναι μια πολύτιμη σκόνη που περιέχει μέταλλα νικελίου, μαγγανίου, κοβαλτίου και λιθίου. Η ανακύκλωση μαύρης μάζας απαιτεί υδρομεταλλουργική επεξεργασία. Η Northvolt έχει αναπτύξει και επικυρώσει μια διεργασία υδρομέτρου στις εγκαταστάσεις της στα εργαστήρια Northvolt, Σουηδία.

Ο όμιλος Northvolt, Revolt, (2022) κατασκευάζει ένα από τα μεγαλύτερα εργοστάσια ανακύκλωσης μπαταριών που προβλέπεται να ξεκινήσει να λειτουργεί το 2023, θα ανακυκλώνει περίπου 125.000 τόνους μπαταριών ετησίως (Northvolt 2022).

3.4.6. Sunlight Group

Η sunlight group δεσμεύτηκε για τη δημιουργία του πρώτου Ελληνικού εργοστάσιο ανακύκλωσης μπαταριών από ηλεκτρικά αυτοκίνητα, με την πιλοτική μονάδα με το όνομα Relife η οποία δημιουργήθηκε στις εγκαταστάσεις της εταιρίας στη βόρεια Ελλάδα στην πόλη της Ξάνθης.

Το εργοστάσιο θα έχει δυναμικό 500 τόνους μπαταριών λίθου ανά έτος και το κόστος του θα είναι 5,1 εκατομμύρια ευρώ από τα οποία τα 3,6 εκατομμύρια ευρώ θα είναι από χρηματοδότηση από τον οργανισμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης EIT RawMaterials, και τα υπόλοιπα από ίδια κεφάλαια της εταιρίας.

Ο στόχος του εργοστασίου θα είναι να πραγματοποιείτε ανάκτηση σε ποσοστό >95% και σε επίπεδο καθαρότητας ανθρακικού λιθίου άνω του 99%. (the-sunlight-group 2023)

3.5 Μέθοδοι ανακύκλωσης μπαταριών ηλεκτρικού αυτοκινήτου

Σε μία τυπική μπαταρία ενός ηλεκτρικού οχήματος μπορούμε να ανακτήσουμε λίθιο, νικέλιο, κοβάλτιο και μαγγάνιο. Ωστόσο η ανακύκλωση των μπαταριών ιόντων λιθίου από τεχνική άποψη δεν είναι καθόλου απλή λόγω της εξαιρετικά μεταβλητής σύνθεσής τους (δηλ. υψηλή ανάμειξη υλικών και μικρές διαστάσεις τέτοιου μείγματος που περιπλέκει τον φυσικό διαχωρισμό) και το μηχανικό σχεδιασμό. Ως εκ τούτου, αυτό σημαίνει ότι απαιτείται μια σειρά από διεργασίες υψηλής έντασης ενέργειας για την ανάκτηση τμημάτων των υλικών που χρησιμοποιούνται στις μπαταρίες ιόντων λιθίου, οι οποίες περιγράφονται παρακάτω, με λεπτομερή βήματα και μεθόδους (Wang & Yu, 2021).

Βήμα 1: Σταθεροποίηση ή απενεργοποίηση. Πριν από την εισαγωγή των μπαταριών στον κύκλο ανακύκλωσης, απαιτείται ένα αρχικό βήμα για τη σταθεροποίηση της φόρτισης για να αποφευχθεί η ανεξέλεγκτη ηλεκτρική και θερμική εκφόρτιση, η οποία μπορεί να παρασυρθεί εκτελώντας μια ελεγχόμενη εκφόρτιση σε ιοντικά διαλύματα. Αρχικά, το θαλασσινό νερό ήταν το κύριο μέσο που χρησιμοποιήθηκε για αυτό το έργο. Δοκιμάστηκαν επίσης διαφορετικά διαλύματα (αλατούχου και βασικού), ιδίως για την αξιολόγηση του βέλτιστου σημείου μεταξύ της ικανότητας εκκένωσης και των επιπέδων διαβρωτικότητας ορισμένων από τα διαλύματα στις μονάδες. Αυτός ο τύπος διεργασίας χρησιμοποιείται επίσης στη μέθοδο Retriev όπου η σύνθλιψη των μπαταριών πραγματοποιείται εντός ενός πολτού που μειώνει την αντιδραστικότητα του υλικού. Μια άλλη μέθοδος απενεργοποίησης αποτελείται από μια θερμική προεπεξεργασία. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας οι μπαταρίες θερμαίνονται μέχρι τις μέγιστες θερμοκρασίες περίπου 300°C. Επί του παρόντος, αναπτύσσεται και βελτιστοποιείται μια πολλά υποσχόμενη ιδέα για την εκφόρτιση των μπαταριών στο δίκτυο για την επαναχρησιμοποίηση μέρους της ηλεκτρικής ενέργειας σε ώρες αιχμής.

Βήμα 2: Φυσικός διαχωρισμός. Το μείγμα διαλύματος πλούσιου σε λίθιο, πλαστικών και χαρτιών χαμηλής πυκνότητας, μαγνητικών περιβλημάτων, επικαλυμμένων ηλεκτροδίων και σκονών ηλεκτροδίων που σχηματίζουν την μπαταρία υφίσταται μια σειρά διεργασιών που περιλαμβάνουν βαρείς θραυστήρες, τραπέζια αναδευτήρα, κόσκινα, φίλτρα και μαγνήτες. Το αποτέλεσμα είναι γενικά ένα λεπτό κλάσμα που περιέχει μια συγκέντρωση επικαλύψεων ηλεκτροδίων και ένα χονδροειδές κλάσμα που αποτελείται από πλαστικά, υλικά περιβλήματος και μεταλλικά φύλλα. Αυτά τα χονδροειδή κλάσματα μπορούν να υποβληθούν σε διαδικασίες μαγνητικού διαχωρισμού για να ξεχωρίσουν το μαγνητικό υλικό (δηλαδή χαλύβδινα περιβλήματα) και μια διαδικασία διαχωρισμού πυκνότητας για τον διαχωρισμό των πλαστικών από τα φύλλα. Το λεπτότερο κλάσμα αναφέρεται ως «μαύρη μάζα» και περιλαμβάνει τις επικαλύψεις ηλεκτροδίων (οξειδία μετάλλων και άνθρακα). Ο άνθρακας μπορεί τελικά να διαχωριστεί από τα οξειδία μετάλλων με αφρόπλευση. Μια περαιτέρω πρόοδος στις διαδικασίες φυσικού διαχωρισμού προσφέρεται από τη διαδικασία LithoRec, η οποία περιλαμβάνει ένα δεύτερο στάδιο φυσικού διαχωρισμού (θρυμματισμός και άλεση) για περαιτέρω διαχωρισμό των επικαλύψεων ηλεκτροδίων και επίτευξη βελτιωμένης απόδοσης στην ανακύκλωση μέσω ενός πιο επιλεκτικού διαχωρισμού, συμπεριλαμβανομένης της ανακύκλωσης λίθιο το οποίο συχνά παραμελείται υπέρ των άλλων μετάλλων. Αυτό το δεύτερο βήμα σύνθλιψης μειώνει επίσης τις διαδικασίες υψηλής θερμοκρασίας (πυρομεταλλουργικά βήματα), ως εκ τούτου, κινείται προς μια διαδικασία πιο ενεργειακά αποδοτική. Υπάρχουν εμπορικά διαθέσιμες μέθοδοι, οι οποίες χρησιμοποιούν τα δύο πρώτα βήματα που ορίζονται παραπάνω (Or et. al., 2020).

Για παράδειγμα, περιλαμβάνεται ένα στάδιο μηχανικής/φυσικής διαδικασίας, που περιλαμβάνει τον τεμαχισμό και την αποσυναρμολόγηση σε προστατευτική αέρια ατμόσφαιρα και περαιτέρω εξουδετέρωση ακολουθούμενη από έκπλυση. Ομοίως, η μέθοδος Retriev προτείνει μια σύνθλιψη κάτω από μίγμα πολτού (δηλαδή αυτή η υγρή σύνθλιψη οδηγεί σε μειωμένη αντιδραστικότητα των στοιχείων της μπαταρίας και αποφυγή επιβλαβών εκπομπών) που ακολουθείται από φιλτράρισμα και ανάκτηση των διαφορετικών κλασμάτων, ξήρανση και θέρμανση στους 400 °C. Αυτά τα βήματα παράγουν επίσης έναν αφρό που περιέχει άνθρακα, ο οποίος μπορεί να

ανακτηθεί μέσω αφρού και ένα κοβαλτικό λίθιο. Στη διαδικασία UMICORE Val' Eas Ò, από την άλλη πλευρά, η απενεργοποίηση και ο διαχωρισμός πραγματοποιούνται μέσω θερμικής διεργασίας με θέρμανση των κυττάρων σε τρία στάδια: i) παραγωγή διαλύτη ηλεκτρολύτη, ii) βήμα πυρόλυσης που αφαιρεί το πολυμερικό κλάσμα. και τέλος, iii) ένα πυρομεταλλουργικό βήμα σε υψηλότερη θερμοκρασία (>1400 °C) για τη συλλογή των υπόλοιπων μετάλλων που ακολουθείται από ένα υδρομεταλλουργικό στάδιο. Οι εναλλακτικές τεχνικές χρησιμοποιούν το συνδυασμό δύο διεργασιών. Για παράδειγμα, οι μέθοδοι μηχανοχημικής ανάκτησης δείχνουν ότι το οξείδιο λιθίου/κοβαλτίου μπορεί αρχικά να συν-αλεσθεί με διάφορα πρόσθετα σε ένα σύστημα ερμητικής άλεσης με σφαιρίδια και στη συνέχεια το Co και το Li μπορούν να ανακτηθούν με μια διαδικασία έκπλυσης νερού. Εναλλακτικά, η υψηλή θερμοκρασία και ο μαγνητικός διαχωρισμός μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό για την ανακύκλωση κοβαλτίου, ανθρακικού λιθίου και γραφίτη από μπαταρίες λιθίου LiCoO₂/γραφίτη. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί απευθείας τη χημεία της μπαταρίας για να ωφελήσει την αντίδραση ανακύκλωσης, ιδιαίτερα τη χρήση του γραφίτη ως αναγωγικού παράγοντα του μεταλλικού συστατικού που φέρει σε κυκλώσιμο άλας (Or et. al., 2020).

Βήμα 3: Πυρομεταλλουργική μέθοδος. Η ανάκτηση πυρομεταλλουργικών μετάλλων χρησιμοποιεί έναν κλίβανο υψηλής θερμοκρασίας (>1400 °C) για την αναγωγή των συστατικών οξειδίων μετάλλων σε ένα κράμα μετάλλου Co, Cu, Fe και Ni, παρόμοια με τη διαδικασία τήξης ενός ορυκτού μεταλλεύματος. Τα προϊόντα αυτής της διαδικασίας είναι: ένα μεταλλικό κράμα, σκωρία και αέρια. Το κράμα μετάλλου μπορεί να διαχωριστεί περαιτέρω μέσω υδρομεταλλουργικών διεργασιών, που περιγράφονται παρακάτω και η σκωρία, η οποία γενικά περιέχει αλουμίνιο, μαγγάνιο και λίθιο, μπορεί επίσης να ανακτηθεί με περαιτέρω υδρομεταλλουργική επεξεργασία ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας σε άλλες βιομηχανίες, όπως η βιομηχανία τσιμέντου. Στην πυρομεταλλουργική διαδικασία δεν δίνεται πραγματική προσοχή στην ανάκτηση των ηλεκτρολυτών και των πλαστικών (περίπου 40-50% του βάρους της μπαταρίας) ή άλλων συστατικών, όπως τα άλατα λιθίου, αλλά στην πραγματικότητα επικεντρώνεται κυρίως στα συλλογή μόνο του κλάσματος κοβαλτίου και νικελίου.

Βήμα 4: Υδρομεταλλουργικές μέθοδοι. Οι υδρομεταλλουργικές επεξεργασίες αποπλύνουν τα επιθυμητά μέταλλα από τις καθόδους με τη χρήση υδατικών διαλυμάτων. Με διαφορά ο πιο κοινός συνδυασμός αντιδραστηρίων που αναφέρθηκε είναι το H_2SO_4/H_2O_2 . Περίληψη των υφιστάμενων εμπορικών μεθόδων για την ανακύκλωση μπαταριών. Το υδρομεταλλουργικό στάδιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ειδικές συνθέσεις μπαταριών για την άμεση σύνθεση του υλικού της καθόδου. Αυτό, ειδικά, λειτουργεί καλά με μπαταρίες NiMnCo και το πρόδρομο υδροξείδιο σχηματίζεται κατά τη διάρκεια του υδρομεταλλουργικού σταδίου. Ωστόσο, το υλικό που ανασυντίθεται συχνά παρουσιάζει χημικά και κρυσταλλικά χαρακτηριστικά που διαφέρουν από το αρχικό υλικό, επηρεάζοντας τις ηλεκτροχημικές ιδιότητες και τελικά την απόδοση (Zhang et. al., 2016).

Βήμα 5: Άμεση ανακύκλωση & άμεση αναγέννηση. Παρόμοια με το τελευταίο βήμα που περιεγράφηκε παραπάνω, η αφαίρεση υλικού καθόδου ή ανόδου από το ηλεκτρόδιο για επισκευή και επαναχρησιμοποίηση σε ένα ανακατασκευασμένο των μπαταριών ιόντων λιθίου γνωστό ως άμεση ανακύκλωση. Κατ' αρχήν, τα μικτά καθοδικά υλικά μετάλλου-οξειδίου μπορούν να επανενσωματωθούν σε ένα νέο ηλεκτρόδιο καθόδου με ελάχιστες αλλαγές στην κρυσταλλική μορφολογία του ενεργού υλικού, αποφεύγοντας έτσι κάθε κίνδυνο μειωμένης απόδοσης. Ωστόσο, αυτό απαιτεί την αναπλήρωση της περιεκτικότητας σε λίθιο (το λίθιο «χάνεται» κατά τη χρήση της μπαταρίας). Αυτό γίνεται με προσθήκη φρέσκου Li_2CO_3 ορυδροθερμικής επεξεργασίας με διάλυμα που περιέχει $LiOH/Li_2SO_4$ πριν από την ανόπτηση ή με την υποστήριξη υπερήχων. Η μέθοδος απευθείας αναγέννησης αποδεικνύει μια διαδικασία πολύ υψηλής απόδοσης και για μπαταρία με την προσέγγιση μπαταρία φωσφορικού σιδήρου λιθίου. Αυτή είναι μια αναδυόμενη τεχνολογία για την ανακύκλωση των μπαταριών ιόντων λιθίου και την ανάκτηση μετάλλων και είναι δυνητικά συμπληρωματική με τις υδρομεταλλουργικές και πυρομεταλλουργικές διεργασίες που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος για την εξόρυξη μετάλλων.

Το κοβάλτιο και το νικέλιο είναι ιδιαίτερα δύσκολο να διαχωριστούν και απαιτούν πρόσθετα στάδια εκχύλισης με διαλύτη. Συνολικά, η μεταβλητότητα των προσεγγίσεων που περιεγράφηκαν παραπάνω, δείχνει ότι για να επιτευχθεί υψηλότερη απόδοση ανακύκλωσης και κατά συνέπεια, μια βιώσιμη στρατηγική στο

τέλος της ζωής της μπαταρίας, είναι απαραίτητο να εργαστούμε σε διαφορετικές γεωμετρίες, ενδεχομένως πιο τυποποιημένα σχέδια που θα μπορούσαν να υποστηρίξουν την αυτοματοποίηση της αποσυναρμολόγηση των μπαταριών, καθώς και ανάπτυξη νέων συνδετικών, με βάση υλικά που είναι διαλυτά στο νερό, ευνοώντας έτσι τον διαχωρισμό των μικρότερων κλασμάτων και, τέλος, βελτιστοποιούν τις χημικές ιδιότητες των μπαταριών που ευνοούν την ποσότητα και την ποιότητα της ανάκτησης και την άμεση επανασύνθεση του. Οι κάθοδοι φαίνεται να είναι ο τρόπος για να γίνει βιώσιμο το τέλος ζωής των μπαταριών και να βελτιωθεί η ασφάλεια των διεργασιών (Slattery et. al., 2021).

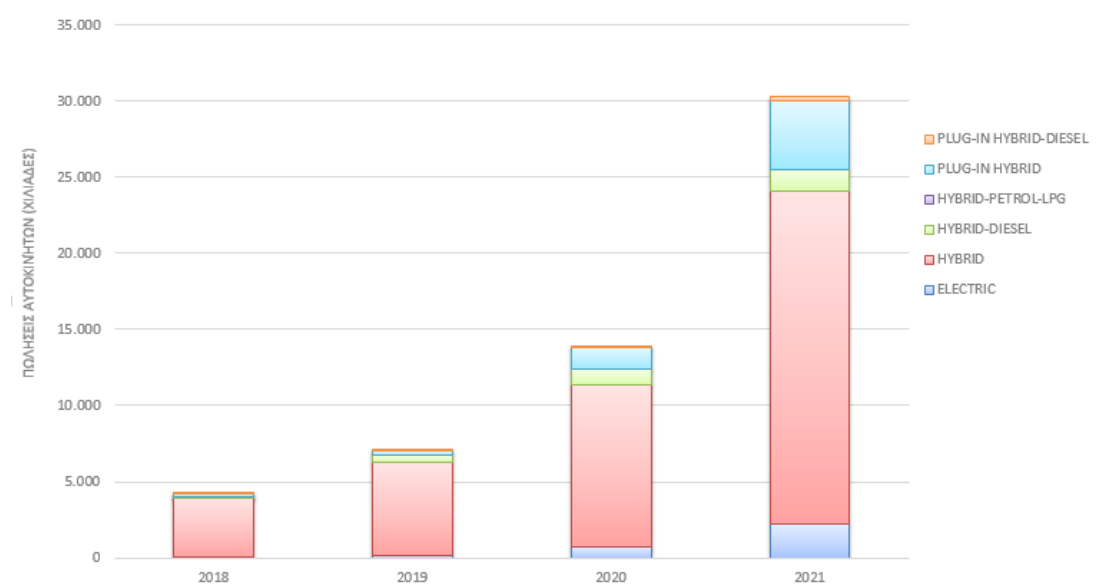
Ως εκ τούτου διαφαίνεται να υπάρχει και εμπειρία και το σχετικό πεδίο για τη δημιουργία εργοστασίου ανακύκλωσης μπαταριών ηλεκτρονικών αυτοκίνητων αυτοκινήτων στην Ελλάδα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Μελέτη περίπτωσης

Με βάση τα ως άνω σε αυτό το κεφάλαιο θα εξεταστεί αν στην Ελλάδα τα επόμενα χρόνια θα είναι βιώσιμη η κατασκευή και λειτουργία ενός εργοστασίου ανακύκλωσης μπαταριών ηλεκτρικών αυτοκινήτων με επιλογή κατάλληλης μεθόδου ανακύκλωσης (ανάκτησης υλικών).

Για το λόγο αυτό δύο σενάρια εκτιμώνται: το πρώτο λαμβάνει υπόψη σχετικά μεγάλο ρυθμό αύξησης των πωλήσεων των ηλεκτρικών αυτοκινήτων (15%) (και αντίστοιχα του ρυθμού παραγωγής μπαταριών προς ανακύκλωση) και το δεύτερο ένα μικρότερο ρυθμό (8%) αύξησης των πωλήσεων των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Επιπλέον έχουν χρησιμοποιηθεί κρίσιμες παράμετροι της αγοράς όπως, το κόστος της ανακύκλωσης, το επενδυτικό κόστος δημιουργίας του εργοστασίου καθώς και η τιμή πώλησης των ανακτώμενων υλικών.

4.1. Οι πωλήσεις ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων στην Ελλάδα



Πίνακας 2. Οι πωλήσεις ηλεκτρικών, υβριδικών και plug-in αυτοκινήτων στην Ελλάδα (ΣΕΑΑ, 2023)

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα, παρατηρείται ότι από το 2018 μέχρι το 2021 υπάρχει μεγάλη αύξηση των πωλήσεων των ηλεκτρικών, υβριδικών και plug-in οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα παρατηρείται μεγάλη αύξηση στα υβριδικά οχήματα

μετά ακολουθούν τα plug-in οχήματα είτε πετρελαίου είτε βενζίνης και την μικρότερη αύξηση την έχουν τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα. Στην αύξηση των πωλήσεων σημαντικός μέρος έχουν τα κίνητρα από την κυβέρνηση που είναι και οικονομικά με επιδότηση επί της τιμής αγοράς και φορολογικά όπως απαλλαγής φόρων από τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα που υπάρχουν στο αυτοκίνητα με κινητήρα εσωτερικής καύσης.

4.2. Οι προοπτικές χρήσης ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων στην Ευρώπη και την Ελλάδα έως το 2030

Σύμφωνα με την ΕΕ, η κλιματική αλλαγή και η ανάγκη για εναλλακτικές πηγές ενέργειας είναι οι δύο πιο σημαντικοί παράγοντες για τον καθορισμό στόχων ηλεκτροκίνησης. Αυτό περιλαμβάνει στόχο 30 εκατομμυρίων ηλεκτρικών οχημάτων στην Ευρώπη έως το 2030 και μερίδιο αγοράς 25% σε μπαταρίες παγκοσμίως, το οποίο πλέον ανέρχεται στο 3%.

Έως το 2050, η Ευρώπη στοχεύει να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 60 τοις εκατό και να μειώσει την αστική κυκλοφορία κατά 30 τοις εκατό, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας στον τομέα των μεταφορών. Κατασκευασμένο χρησιμοποιώντας εξ ολοκλήρου αυτοκίνητα που δεν είναι συμβατικά.

Το πρώτο βήμα είναι η αντικατάσταση του παλιού στόλου οχημάτων. Ο παλαιότερος στόλος αυτοκινήτων της Ευρώπης χρησιμοποιείται τώρα. Αν και αυτός ο στόχος είναι υψηλός, είναι επίσης εφικτός: έως το έτος 2030, ένα στα τρία νέα αυτοκίνητα που πωλούνται να είναι ηλεκτρικά. Και έχουμε μια στρατηγική για κάθε είδος οχήματος.

Για να ενθαρρυνθούν οι πολίτες να αγοράσουν ή να νοικιάσουν ηλεκτρικά αυτοκίνητα, παρέχεται ένα ευρύ φάσμα κινήτρων για αυτοκίνητα και μοτοσικλέτες. Εκτός από τα κίνητρα για φορτηγά, ενθαρρύνουμε επίσης τις επιχειρήσεις να αντικαταστήσουν τον τρέχοντα στόλο τους με ηλεκτρικά οχήματα.

4.3 Σενάρια για τη δημιουργία εργοστασίου ανακύκλωσης μπαταριών ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Με στόχο τη δημιουργία εργοστασίου ανακύκλωσης μπαταριών ηλεκτρικών αυτοκινήτων και με την προοπτική της επέκτασης της δυναμικότητάς του στο μέλλον σε συνεργασία με τις Βαλκανικές χώρες προκρίνεται ως πιθανή λύση η χωροθέτησή του στη Βόρεια Ελλάδα. Το εργοστάσιο θα μπορεί (ιδανικά) να λειτουργήσει από το 2036 έτος στο οποίο οι μπαταρίες από τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μετά από 8 χρόνια χρήσης στο ίδιο το αυτοκίνητο και 10 χρόνια χρήσης σε εφαρμογές δεύτερης ζωής (ανεμογεννήτριες, φωτισμό δρόμων κλπ), σύνολο 18 χρόνια, θα είναι «έτοιμες» για ανακύκλωση. Στα πλαίσια αυτά αναλύθηκε παραπάνω θα εξεταστούν δύο σενάρια που έχουν σχέση με το ρυθμό αύξησης των πωλήσεων των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και της σχετικής παραγωγής (μπαταριών προς ανακύκλωση): το πρώτο σενάριο λαμβάνει υπόψη 15% αύξηση των πωλήσεων (ένα σενάριο αισιόδοξο όπως θα μπορούσε να χαρακτηριστεί), ενώ το δεύτερο σενάριο λαμβάνει υπόψη μία συντηρητική αύξηση της τάξης του 8% επί των πωλήσεων. Και για τα δύο σενάρια ισχύουν οι ίδιοι σχεδιαστικοί παράμετροι δυναμικότητας, επενδυτικού κόστους, έκτασης εργοστασίου. Επιπλέον εκτιμάται ότι το μέσο μέγεθος μπαταρίας αυτοκινήτου είναι 400 kg. Το εργοστάσιο θα έχει έτος λειτουργίας το 2036, στους παρακάτω πίνακες που χρησιμοποιήθηκαν για τα σενάρια το έτος ξεκινάει το 2018 για να γίνετε αντιληπτό ότι τα αυτοκίνητα που θα κυκλοφορήσουν το 2018, το 2036 θα είναι οι μπαταρίες στους σε κατάσταση για ανακύκλωση διότι χρησιμοποιούνται για 18 χρόνια.

Περιοχή: Βόρεια Ελλάδα

Έτος λειτουργίας : 2036

Δυναμικότητα εργοστασίου: 5.000 τόνοι ανά έτος

Κόστος επένδυσης: 10.000.000 €

Μέγεθος / έκταση εργοστασίου: 700 τ.μ.

Μέγεθος μπαταρίας αυτοκινήτου: 400 kg

Σύνθεση μπαταρίας ηλεκτρικού αυτοκινήτου (ποσοστό)	
Μεταλλικό κουτί	7%
Πλαστικό	8%
Γραφίτης	19%
Χαλκός	11%
Κοβάλτιο	9%
Μαγγάνιο	6%
Νικέλιο	6%
Λίθιο	2%
Οξυγόνο	11%
Αλουμίνιο	5%
Ηλεκτρολύτης	16%

Πίνακας 3. Σύνθεση μπαταρίας ηλεκτρικού αυτοκινήτου (Popescu, Dorneanu & Petru, 2022)

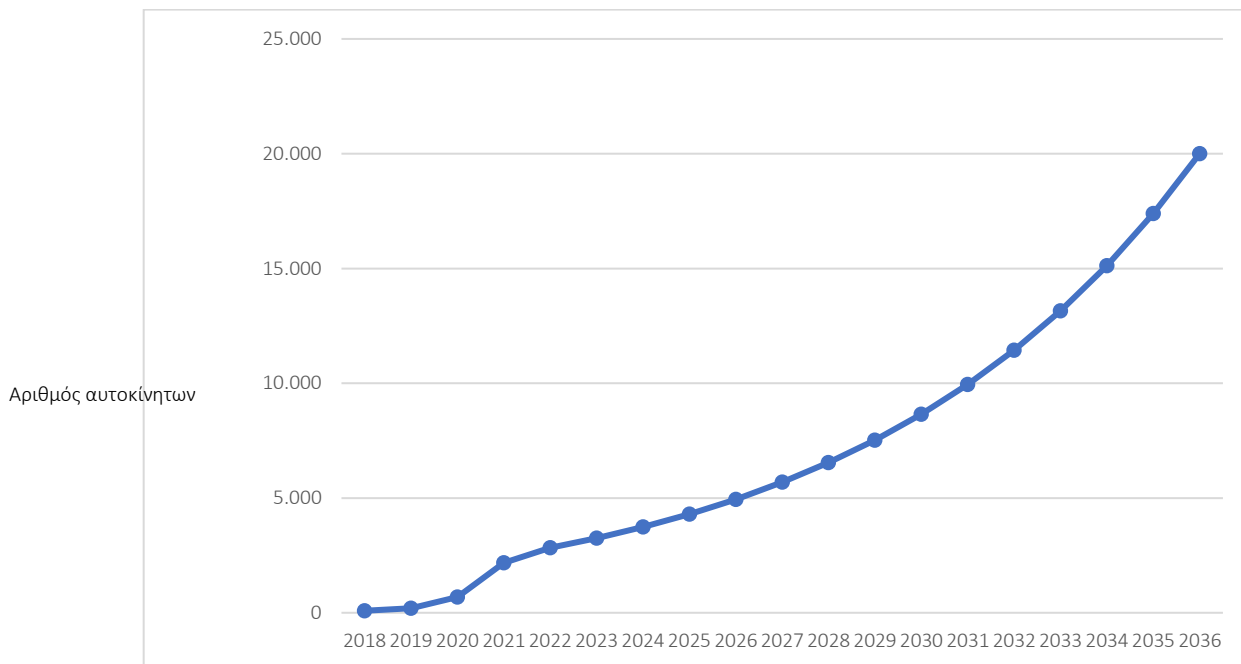
Κόστος υλικών (€/τόνο)	
Λίθιο	30000
Κοβάλτιο	40,500
Νικέλιο	20000
Μαγγάνιο	1480
Χαλκός	8300
Αλουμίνιο	2500
Γραφίτης	15000
Πλαστικό	560
Μεταλλικό κουτί	550

Πίνακας 4. Κόστος υλικών (€/τόνο) (Daily Metal Price Charts, 2023)

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας με τα έξοδα του εργοστασίου ανακύκλωσης ο οποίος λαμβάνει υπόψη τα ακόλουθα:

- Η αγορά πώλησης ηλεκτρικών αυτοκινήτων και αντίστοιχα παραγωγής μπαταριών γίνεται για τα έτη 2018- 2036.
- Ο χρονικός ορίζοντας μελέτης είναι υπολογίζεται για ~20 χρόνια λειτουργίας του εργοστασίου (δηλ έως το 2054).
- Οι πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων από το 2022 ακολουθούν το ρυθμό αύξηση του σεναρίου (15%).
- Για τον υπολογισμό του βάρους των αποβλήτων λαμβάνεται υπόψη πρακτικά με το μέσο βάρος της μπαταρίας ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου (400kg).
- Σχετικά με τα κόστη επεξεργασίας λαμβάνονται οι ακόλουθες τιμές: 90 €/τόνο για τη μηχανική επεξεργασία και 5000 €/τόνο για την υδρομεταλλουργική επεξεργασία.
- Επίσης στο σύνολο των εξόδων υπολογίζεται μία μέση ετήσια αύξηση 5%.
- Τέλος το κόστος μεταφοράς υπολογίζεται ως 2% επί του συνολικού κόστους.

1ο σενάριο (ρυθμός αύξησης 15%)								
Έξοδα								
Έτος	Πωλήσεις αυτοκινήτων	Απόβλητα(τόνος) 18 χρόνια μετά την κυκλοφορία του αυτοκινήτου	Κόστος Διάσπασης αποβ. [Μηχανική Επεξεργασία]	Κόστος υδρομεταλλουργικής επεξεργασίας	Κόστος από διαδικασίες	Σύνολο Εξόδων από Επεξεργασία (Με αύξηση 5%)	Έξοδα Σταθερά (5%)	Κόστος μεταφοράς
2018	88	35,20	3.168,00 €	140.800 €	143.968,00 €	151.166 €	7.558 €	2.879,36 €
2019	190	76,00	6.840,00 €	304.000 €	310.840,00 €	326.382 €	16.319 €	6.216,80 €
2020	679	271,60	24.444,00 €	1.086.400 €	1.110.844,00 €	1.166.386 €	58.319 €	22.216,88 €
2021	2.176	870,40	78.336,00 €	3.481.600 €	3.559.936,00 €	3.737.933 €	186.897 €	71.198,72 €
2022	2.827	1.130,80	101.772,00 €	4.523.200 €	4.624.972,00 €	4.856.221 €	242.811 €	92.499,44 €
2023	3.251	1.300,42	117.037,80 €	5.201.680 €	5.318.717,80 €	5.584.654 €	279.233 €	106.374,36 €
2024	3.739	1.495,48	134.593,47 €	5.981.932 €	6.116.525,47 €	6.422.352 €	321.118 €	122.330,51 €
2025	4.300	1.719,81	154.782,49 €	6.879.222 €	7.034.004,29 €	7.385.705 €	369.285 €	140.680,09 €
2026	4.944	1.977,78	177.999,86 €	7.911.105 €	8.089.104,93 €	8.493.560 €	424.678 €	161.782,10 €
2027	5.686	2.274,44	204.699,84 €	9.097.771 €	9.302.470,67 €	9.767.594 €	488.380 €	186.049,41 €
2028	6.539	2.615,61	235.404,82 €	10.462.436 €	10.697.841,28 €	11.232.733 €	561.637 €	213.956,83 €
2029	7.520	3.007,95	270.715,54 €	12.031.802 €	12.302.517,47 €	12.917.643 €	645.882 €	246.050,35 €
2030	8.648	3.459,14	311.322,87 €	13.836.572 €	14.147.895,09 €	14.855.290 €	742.764 €	282.957,90 €
2031	9.945	3.978,01	358.021,31 €	15.912.058 €	16.270.079,35 €	17.083.583 €	854.179 €	325.401,59 €
2032	11.437	4.574,72	411.724,50 €	18.298.867 €	18.710.591,25 €	19.646.121 €	982.306 €	374.211,83 €
2033	13.152	5.260,92	473.483,18 €	21.043.697 €	21.517.179,94 €	22.593.039 €	1.129.652 €	430.343,60 €
2034	15.125	6.050,06	544.505,65 €	24.200.251 €	24.744.756,93 €	25.981.995 €	1.299.100 €	494.895,14 €
2035	17.394	6.957,57	626.181,50 €	27.830.289 €	28.456.470,47 €	29.879.294 €	1.493.965 €	569.129,41 €
2036	20.003	8.001,21	720.108,73 €	32.004.832 €	32.724.941,04 €	34.361.188 €	1.718.059 €	654.498,82 €



Διάγραμμα 1: Πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ελλάδα 2018-2036

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας με τα έσοδα του εργοστασίου ανακύκλωσης ο οποίος λαμβάνει υπόψη τα ακόλουθα:

- Η αγορά πώλησης ηλεκτρικών αυτοκινήτων και αντίστοιχα παραγωγής μπαταριών γίνεται για τα έτη 2018- 2036.
- Ο χρονικός ορίζοντας μελέτης είναι υπολογίζεται για ~20 χρόνια λειτουργίας του εργοστασίου (δηλ έως το 2038).
- Τα έσοδα προκύπτουν από την πώληση των ανακτώμενων υλικών με τα αντίστοιχα ποσοστά τους και με βάση τις τρέχουσες τιμές της σχετικής αγοράς (π.χ ο χαλκός πωλείται 8000 €/τόνο).

1^ο σενάριο (Ρυθμός αύξησης πωλήσεων ηλεκτρικών αυτοκινήτων 15%)

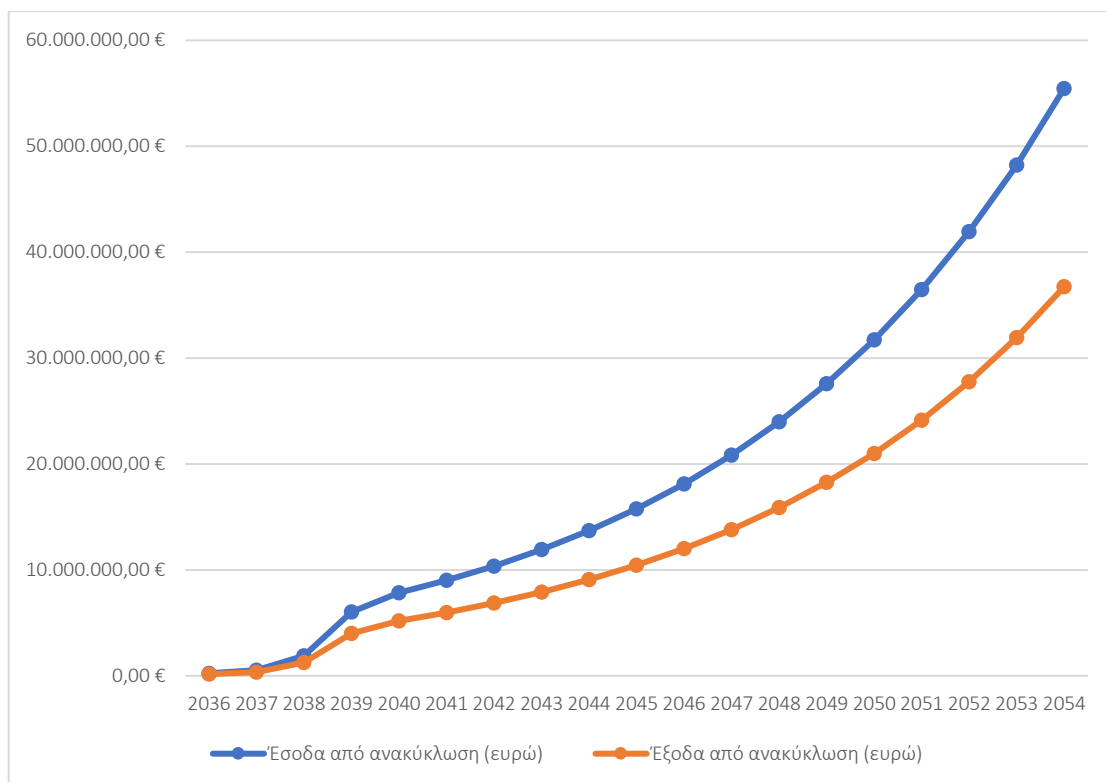
										Έσοδα
€/τόνο	8.000 €	560 €	2.500 €	40.500 €	17.000 €	18.000 €	550 €	1.480 €	15.000 €	Σύνολο
Έτος	χαλκός (10,4%)	πλαστικό (7,6%)	Αλουμίνιο(4,7%)	κοβάλτιο (8,5%)	νικέλιο (5,7%)	λίθιο (1,9%)	μεταλλικό περίβλημα (6,6%)	μαγγάνιο (5,7%)	γραφίτης (18%)	
2018	30.384,64 €	1.498,11 €	4.136,00 €	72.705,60 €	24.076,80 €	12.038,40 €	1.277,76 €	2.969,47 €	95.040,00	244.126,78 €
2019	65.603,20 €	3.234,56 €	8.930,00 €	156.978,00 €	51.984,00 €	25.992,00 €	2.508,00 €	6.411,36 €	205.200,00	526.841,12 €
2020	234.445,12 €	11.559,30 €	31.913,00 €	560.989,80 €	185.774,40 €	92.887,20 €	8.962,80 €	22.912,18 €	733.320,00	1.882.763,79 €
2021	751.329,28 €	37.044,22 €	102.272,00 €	1.797.811,20 €	595.353,60 €	297.676,80 €	28.723,20 €	73.426,94 €	2.350.080,00	6.033.717,25 €
2022	976.106,56 €	48.126,85 €	132.869,00 €	2.335.667,40 €	773.467,20 €	386.733,60 €	37.316,40 €	95.394,29 €	3.053.160,00	7.838.841,30 €
2023	1.122.522,54 €	55.345,88 €	152.799,35 €	2.686.017,51 €	889.487,28 €	444.743,64 €	42.913,86 €	109.703,43 €	3.511.134,00	9.014.667,49 €
2024	1.290.900,93 €	63.647,76 €	175.719,25 €	3.088.920,14 €	1.022.910,37 €	511.455,19 €	49.350,94 €	126.158,95 €	4.037.804,10	10.366.867,61 €
2025	1.484.536,06 €	73.194,92 €	202.077,14 €	3.552.258,16 €	1.176.346,93 €	588.173,46 €	56.753,58 €	145.082,79 €	4.643.474,72	11.921.897,76 €
2026	1.707.216,47 €	84.174,16 €	232.388,71 €	4.085.096,88 €	1.352.798,97 €	676.399,48 €	65.266,62 €	166.845,21 €	5.339.995,92	13.710.182,42 €
2027	1.963.298,95 €	96.800,28 €	267.247,02 €	4.697.861,41 €	1.555.718,81 €	777.859,41 €	75.056,61 €	191.871,99 €	6.140.995,31	15.766.709,78 €
2028	2.257.793,79 €	111.320,32 €	307.334,07 €	5.402.540,62 €	1.789.076,63 €	894.538,32 €	86.315,10 €	220.652,78 €	7.062.144,61	18.131.716,25 €
2029	2.596.462,86 €	128.018,37 €	353.434,18 €	6.212.921,72 €	2.057.438,13 €	1.028.719,06 €	99.262,37 €	253.750,70 €	8.121.466,30	20.851.473,69 €
2030	2.985.932,28 €	147.221,13 €	406.449,31 €	7.144.859,98 €	2.366.053,85 €	1.183.026,92 €	114.151,72 €	291.813,31 €	9.339.686,24	23.979.194,74 €
2031	3.433.822,13 €	169.304,30 €	467.416,71 €	8.216.588,97 €	2.720.961,93 €	1.360.480,96 €	131.274,48 €	335.585,30 €	10.740.639,18	27.576.073,95 €
2032	3.948.895,44 €	194.699,94 €	537.529,21 €	9.449.077,32 €	3.129.106,21 €	1.564.553,11 €	150.965,65 €	385.923,10 €	12.351.735,06	31.712.485,04 €
2033	4.541.229,76 €	223.904,93 €	618.158,59 €	10.866.438,92 €	3.598.472,15 €	1.799.236,07 €	173.610,50 €	443.811,56 €	14.204.495,31	36.469.357,80 €
2034	5.222.414,23 €	257.490,67 €	710.882,38 €	12.496.404,75 €	4.138.242,97 €	2.069.121,48 €	199.652,07 €	510.383,30 €	16.335.169,61	41.939.761,47 €
2035	6.005.776,36 €	296.114,27 €	817.514,74 €	14.370.865,47 €	4.758.979,41 €	2.379.489,71 €	229.599,88 €	586.940,79 €	18.785.445,05	48.230.725,69 €
2036	6.906.642,81 €	340.531,42 €	940.141,95 €	16.526.495,29 €	5.472.826,33 €	2.736.413,16 €	264.039,87 €	674.981,91 €	21.603.261,81	55.465.334,55 €

Πίνακας 6. Έσοδα πρώτου σεναρίου.

Στον παρακάτω πίνακα συγκεντρώνονται τα έσοδα και τα έξοδα του εργοστασίου για την ανακύκλωση.

1 ^ο σενάριο (Ρυθμός αύξησης πωλήσεων ηλεκτρικών αυτοκινήτων 15%)			
Συγκεντρωτικός πίνακας			
Έτος	Έσοδα από ανακύκλωση	Έξοδα από ανακύκλωση	Έσοδα-Έξοδα
2018	244.126,78 €	161.604,08 €	82.522,70 €
2019	526.841,12 €	348.917,90 €	177.923,22 €
2020	1.882.763,79 €	1.246.922,39 €	635.841,40 €
2021	6.033.717,25 €	3.996.028,16 €	2.037.689,09 €
2022	7.838.841,30 €	5.191.531,07 €	2.647.310,23 €
2023	9.014.667,49 €	5.970.260,73 €	3.044.406,76 €
2024	10.366.867,61 €	6.865.799,84 €	3.501.067,77 €
2025	11.921.897,76 €	7.895.669,82 €	4.026.227,94 €
2026	13.710.182,42 €	9.080.020,29 €	4.630.162,13 €
2027	15.766.709,78 €	10.442.023,33 €	5.324.686,45 €
2028	18.131.716,25 €	12.008.326,83 €	6.123.389,42 €
2029	20.851.473,69 €	13.809.575,86 €	7.041.897,83 €
2030	23.979.194,74 €	15.881.012,23 €	8.098.182,51 €
2031	27.576.073,95 €	18.263.164,07 €	9.312.909,88 €
2032	31.712.485,04 €	21.002.638,68 €	10.709.846,36 €
2033	36.469.357,80 €	24.153.034,48 €	12.316.323,32 €
2034	41.939.761,47 €	27.775.989,65 €	14.163.771,82 €
2035	48.230.725,69 €	31.942.388,10 €	16.288.337,59 €
2036	55.465.334,55 €	36.733.746,32 €	18.731.588,23 €

Πίνακας 7. Συγκεντρωτικός πίνακας πρώτου σεναρίου.



Διάγραμμα 2: Έσοδα – έξοδα πρώτου σεναρίου

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας με τα έξοδα του εργοστασίου ανακύκλωσης ο οποίος λαμβάνει υπόψη τα ακόλουθα:

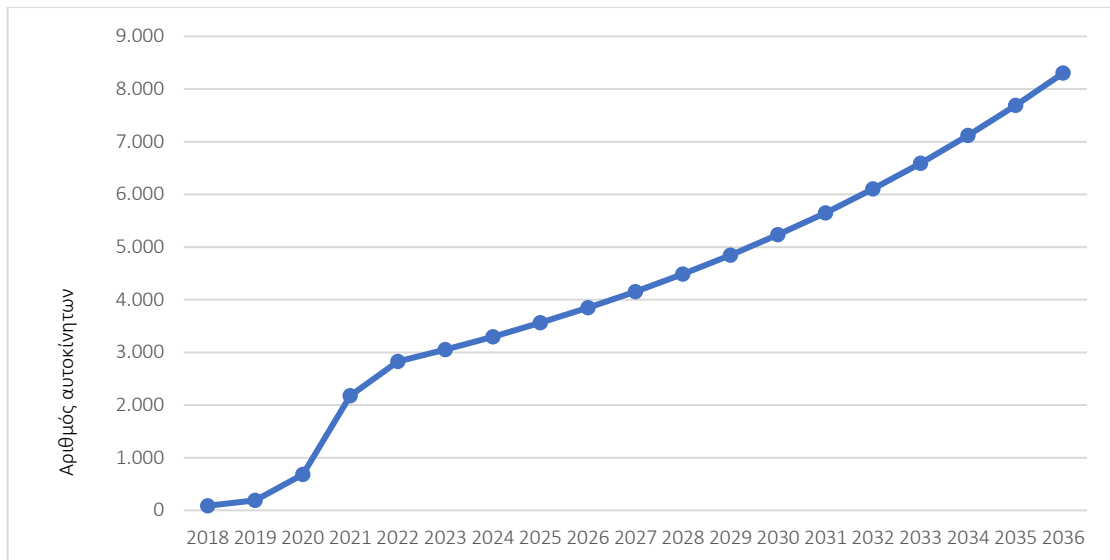
- Η αγορά πώλησης ηλεκτρικών αυτοκινήτων και αντίστοιχα παραγωγής μπαταριών γίνεται για τα έτη 2018- 2036.
- Ο χρονικός ορίζοντας μελέτης είναι υπολογίζεται για ~20 χρόνια λειτουργίας του εργοστασίου (δηλ έως το 2054).
- Οι πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων από το 2022 ακολουθούν το ρυθμό αύξηση του σεναρίου (8%).
- Για τον υπολογισμό του βάρους των αποβλήτων λαμβάνεται υπόψη πρακτικά με το μέσο βάρος της μπαταρίας ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου (400kg).
- Σχετικά με τα κόστη επεξεργασίας λαμβάνονται οι ακόλουθες τιμές: 90 €/τόνο για τη μηχανική επεξεργασία και 5000 €/τόνο για την υδρομεταλλουργική επεξεργασία.
- Επίσης στο σύνολο των εξόδων υπολογίζεται μία μέση ετήσια αύξηση 5%.
- Τέλος το κόστος μεταφοράς υπολογίζεται ως 2% επί του συνολικού κόστους.

2^ο σενάριο (Ρυθμός αύξησης πωλήσεων ηλεκτρικών αυτοκινήτων 8%)

Έξοδα

Έτος	Πωλήσεις αυτοκινήτων	Απόβλητα (σε τόνους) 18 χρόνια μετά την κυκλοφορία του αυτοκινήτου	Κόστος Διάσπασης αποβ. (Μηχανική Επεξεργασία)	Κόστος υδρομεταλλουργικής επεξεργασίας	Κόστος από διαδικασίες	Σύνολο Εξόδων από Επεξεργασία (Με αύξηση 5%)	Έξοδα Σταθερά (Με αύξηση 5%)	Κόστος μεταφοράς
2018	88	35,20	3.168,00 €	140.800 €	143.968,00 €	151.166 €	7.558 €	2.879,36 €
2019	190	76,00	6.840,00 €	304.000 €	310.840,00 €	326.382 €	16.319 €	6.216,80 €
2020	679	271,60	24.444,00 €	1.086.400 €	1.110.844,00 €	1.166.386 €	58.319 €	22.216,88 €
2021	2.176	870,40	78.336,00 €	3.481.600 €	3.559.936,00 €	3.737.933 €	186.897 €	71.198,72 €
2022	2.827	1.130,80	101.772,00 €	4.523.200 €	4.624.972,00 €	4.856.221 €	242.811 €	92.499,44 €
2023	3.053	1.221,26	109.913,76 €	4.885.056 €	4.994.969,76 €	5.244.718 €	262.236 €	99.899,40 €
2024	3.297	1.318,97	118.706,86 €	5.275.860 €	5.394.567,34 €	5.664.296 €	283.215 €	107.891,35 €
2025	3.561	1.424,48	128.203,41 €	5.697.929 €	5.826.132,73 €	6.117.439 €	305.872 €	116.522,65 €
2026	3.846	1.538,44	138.459,68 €	6.153.764 €	6.292.223,35 €	6.606.835 €	330.342 €	125.844,47 €
2027	4.154	1.661,52	149.536,46 €	6.646.065 €	6.795.601,21 €	7.135.381 €	356.769 €	135.912,02 €
2028	4.486	1.794,44	161.499,37 €	7.177.750 €	7.339.249,31 €	7.706.212 €	385.311 €	146.784,99 €
2029	4.845	1.937,99	174.419,32 €	7.751.970 €	7.926.389,26 €	8.322.709 €	416.135 €	158.527,79 €
2030	5.233	2.093,03	188.372,87 €	8.372.128 €	8.560.500,40 €	8.988.525 €	449.426 €	171.210,01 €
2031	5.651	2.260,47	203.442,70 €	9.041.898 €	9.245.340,43 €	9.707.607 €	485.380 €	184.906,81 €
2032	6.103	2.441,31	219.718,11 €	9.765.250 €	9.984.967,66 €	10.484.216 €	524.211 €	199.699,35 €
2033	6.592	2.636,62	237.295,56 €	10.546.470 €	10.783.765,08 €	11.322.953 €	566.148 €	215.675,30 €
2034	7.119	2.847,55	256.279,21 €	11.390.187 €	11.646.466,28 €	12.228.790 €	611.439 €	232.929,33 €
2035	7.688	3.075,35	276.781,55 €	12.301.402 €	12.578.183,58 €	13.207.093 €	660.355 €	251.563,67 €
2036	8.303	3.321,38	298.924,07 €	13.285.514 €	13.584.438,27 €	14.263.660 €	713.183 €	271.688,77 €

Πίνακας 8. Έξοδα δευτέρου σεναρίου



Διάγραμμα 3: Πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ελλάδα 2018-2036

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας με τα έσοδα του εργοστασίου ανακύκλωσης ο οποίος λαμβάνει υπόψη τα ακόλουθα:

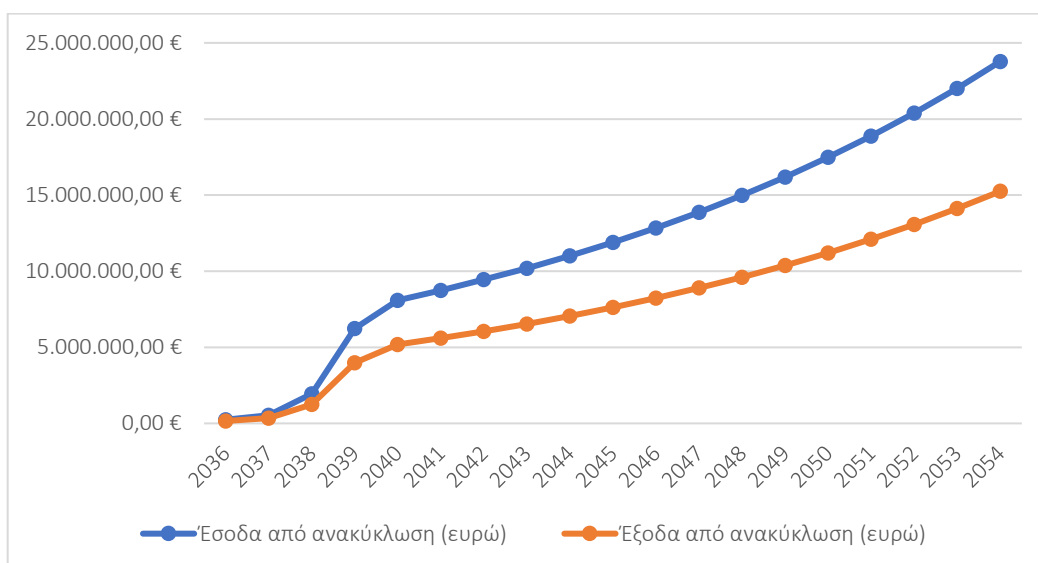
- Ο χρονικός ορίζοντας μελέτης είναι 2018- 2036.
- Η αγορά πώλησης ηλεκτρικών αυτοκινήτων και αντίστοιχα παραγωγής μπαταριών γίνεται για τα έτη 2018- 2036.
- Ο χρονικός ορίζοντας μελέτης είναι υπολογίζεται για ~20 χρόνια λειτουργίας του εργοστασίου (δηλ έως το 2054).
- Τα έσοδα προκύπτουν από την πώληση των ανακτώμενων υλικών με τα αντίστοιχα ποσοστά και με βάση τις τρέχουσες τιμές της σχετικής αγοράς (π.χ ο χαλκός πωλείται 8000 €/τόνο).

2° σενάριο (Ρυθμός αύξησης πωλήσεων ηλεκτρικών αυτοκινήτων 8%)										
Έσοδα										
€/τόνο	8.000 €	560 €	2.500 €	40.500 €	17.000 €	18.000 €	550 €	1.480 €	15.000 €	
Έτος	χαλκός (10,4%)	πλαστικό (7,6%)	αλουμίνιο 4,7%	κοβάλτιο (8,5%)	νικέλιο (5,7%)	λίθιο (1,9%)	μεταλλικό περιβάλημα	μαγγάνιο (5,7%)	γραφίτης (18%)	Σύνολο
2018	30.384,64 €	1.498,11 €	4.136,00 €	72.705,60 €	24.076,80 €	12.038,40 €	1.277,76 €	2.969,47 €	95.040,00	244.126,78 €
2019	65.603,20 €	3.234,56 €	8.930,00 €	156.978,00 €	51.984,00 €	43.320,00 €	2.508,00 €	6.411,36 €	205.200,00	544.169,12 €
2020	234.445,12 €	11.559,30 €	31.913,00 €	560.989,80 €	185.774,40 €	154.812,00 €	8.962,80 €	22.912,18 €	733.320,00	1.944.688,59 €
2021	751.329,28 €	37.044,22 €	102.272,00 €	1.797.811,20 €	595.353,60 €	496.128,00 €	28.723,20 €	73.426,94 €	2.350.080,00	6.232.168,45 €
2022	976.106,56 €	48.126,85 €	132.869,00 €	2.335.667,40 €	773.467,20 €	644.556,00 €	37.316,40 €	95.394,29 €	3.053.160,00	8.096.663,70 €
2023	1.054.195,08 €	51.977,00 €	143.498,52 €	2.522.520,79 €	835.344,58 €	696.120,48 €	40.301,71 €	103.025,83 €	3.297.412,80	8.744.396,79 €
2024	1.138.530,69 €	56.135,16 €	154.978,40 €	2.724.322,46 €	902.172,14 €	751.810,12 €	43.525,85 €	111.267,90 €	3.561.205,82	9.443.948,54 €
2025	1.229.613,15 €	60.625,97 €	167.376,67 €	2.942.268,25 €	974.345,91 €	811.954,93 €	47.007,92 €	120.169,33 €	3.846.102,29	10.199.464,42 €
2026	1.327.982,20 €	65.476,05 €	180.766,81 €	3.177.649,71 €	1.052.293,59 €	876.911,32 €	50.768,55 €	129.782,88 €	4.153.790,47	11.015.421,57 €
2027	1.434.220,77 €	70.714,13 €	195.228,15 €	3.431.861,69 €	1.136.477,07 €	947.064,23 €	54.830,03 €	140.165,51 €	4.486.093,71	11.896.655,30 €
2028	1.548.958,44 €	76.371,26 €	210.846,40 €	3.706.410,62 €	1.227.395,24 €	1.022.829,37 €	59.216,44 €	151.378,75 €	4.844.981,21	12.848.387,72 €
2029	1.672.875,11 €	82.480,96 €	227.714,12 €	4.002.923,47 €	1.325.586,86 €	1.104.655,72 €	63.953,75 €	163.489,05 €	5.232.579,70	13.876.258,74 €
2030	1.806.705,12 €	89.079,44 €	245.931,25 €	4.323.157,35 €	1.431.633,81 €	1.193.028,17 €	69.070,05 €	176.568,17 €	5.651.186,08	14.986.359,44 €
2031	1.951.241,53 €	96.205,79 €	265.605,75 €	4.669.009,94 €	1.546.164,51 €	1.288.470,43 €	74.595,66 €	190.693,62 €	6.103.280,97	16.185.268,19 €
2032	2.107.340,85 €	103.902,26 €	286.854,21 €	5.042.530,74 €	1.669.857,67 €	1.391.548,06 €	80.563,31 €	205.949,11 €	6.591.543,44	17.480.089,65 €
2033	2.275.928,12 €	112.214,44 €	309.802,54 €	5.445.933,19 €	1.803.446,29 €	1.502.871,91 €	87.008,37 €	222.425,04 €	7.118.866,92	18.878.496,82 €
2034	2.458.002,37 €	121.191,59 €	334.586,75 €	5.881.607,85 €	1.947.721,99 €	1.623.101,66 €	93.969,04 €	240.219,05 €	7.688.376,27	20.388.776,57 €
2035	2.654.642,56 €	130.886,92 €	361.353,68 €	6.352.136,48 €	2.103.539,75 €	1.752.949,79 €	101.486,57 €	259.436,57 €	8.303.446,38	22.019.878,69 €
2036	2.867.013,96 €	141.357,87 €	390.261,98 €	6.860.307,40 €	2.271.822,93 €	1.893.185,77 €	109.605,49 €	280.191,49 €	8.967.722,09	23.781.468,99 €

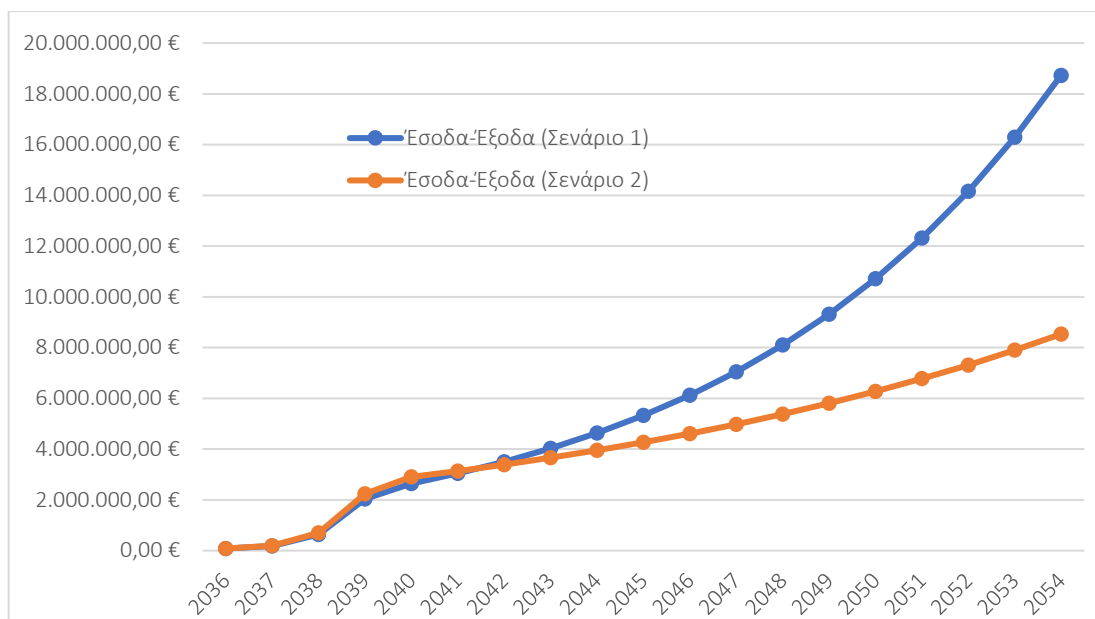
Πίνακας 9. Έσοδα δευτέρου σεναρίου

2 ^ο σενάριο (Ρυθμός αύξησης πωλήσεων ηλεκτρικών αυτοκινήτων 8%)			
Συγκεντρωτικός πίνακας			
Έτος	Έσοδα από ανακύκλωση (ευρώ)	Έξοδα από ανακύκλωση (ευρώ)	Έσοδα-Έξοδα
2018	244.126,78 €	161.604,08 €	82.522,70 €
2019	544.169,12 €	348.917,90 €	195.251,22 €
2020	1.944.688,59 €	1.246.922,39 €	697.766,20 €
2021	6.232.168,45 €	3.996.028,16 €	2.236.140,29 €
2022	8.096.663,70 €	5.191.531,07 €	2.905.132,63 €
2023	8.744.396,79 €	5.606.853,56 €	3.137.543,24 €
2024	9.443.948,54 €	6.055.401,84 €	3.388.546,69 €
2025	10.199.464,42 €	6.539.833,99 €	3.659.630,43 €
2026	11.015.421,57 €	7.063.020,71 €	3.952.400,87 €
2027	11.896.655,30 €	7.628.062,36 €	4.268.592,93 €
2028	12.848.387,72 €	8.238.307,35 €	4.610.080,37 €
2029	13.876.258,74 €	8.897.371,94 €	4.978.886,80 €
2030	14.986.359,44 €	9.609.161,70 €	5.377.197,74 €
2031	16.185.268,19 €	10.377.894,63 €	5.807.373,56 €
2032	17.480.089,65 €	11.208.126,20 €	6.271.963,45 €
2033	18.878.496,82 €	12.104.776,30 €	6.773.720,52 €
2034	20.388.776,57 €	13.073.158,40 €	7.315.618,16 €
2035	22.019.878,69 €	14.119.011,07 €	7.900.867,62 €
2036	23.781.468,99 €	15.248.531,96 €	8.532.937,03 €

Πίνακας 10. Συγκεντρωτικός πίνακας δευτέρου σεναρίου



Διάγραμμα 4: Έσοδα - έξοδα δευτέρου σεναρίου



Διάγραμμα 5: Σύγκριση κερδών από τα δύο σενάρια

Παρακάτω παρουσιάζεται ο συγκεντρωτικός πίνακας των σεναρίων.

	Σενάριο 1	Σενάριο 2
ΚΠΑ	36.089.924 €	19.043.092 €
IRR	18% >5%	15% >5%
Έσοδα ανά τόνο	6.932 €	
Έξοδα ανά τόνο	4.591 €	
Καθαρό κέρδος ανά tn	2.341 €	
Έσοδα ανά kWh	49,51 €	
Έξοδα ανά kWh	32,79 €	
Καθαρό κέρδος ανά kWh	16,72 €	
Καθαρό κέρδος ανά kWh*	5 - 18 €	

Πίνακας 11. Συγκεντρωτικός πίνακας και για τα δύο σενάρια (*βάσει βιβλιογραφίας)

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται βασικά οικονομικά στοιχεία των εσόδων και των εξόδων του εργοστασίου και για τα δύο σενάρια και παραθέτοντάς και οι τιμές ανά kWh από τα στοιχεία που υπάρχουν στη βιβλιογραφία. Πιο αναλυτικά:

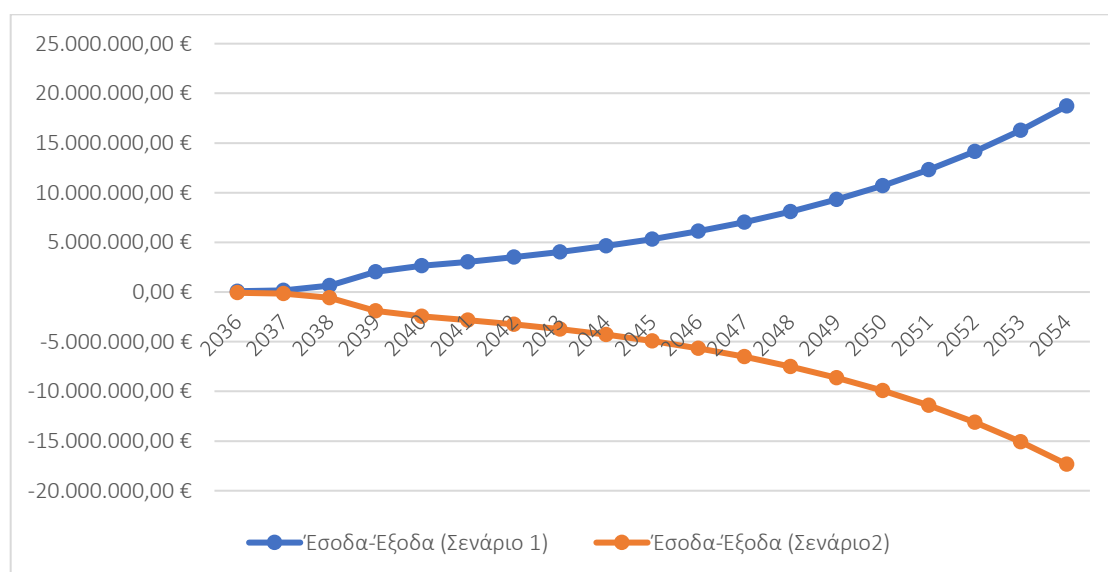
- Θα υπάρξει σημαντικός αριθμός από ηλεκτρικά αυτοκίνητα στην Ελλάδα τα επόμενα χρόνια.

- Θα υπάρξει ανάγκη για δημιουργία εργοστασίου ανακύκλωσης μπαταριών από ηλεκτρικά αυτοκίνητα.
- Εξετάστηκαν δύο σενάρια διείσδυσης ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ελλάδα.
- Η καθαρή παρούσα αξία και στα δύο σενάρια είναι θετική άρα η επένδυση είναι βιώσιμη, όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός αύξησης των αυτοκινήτων τόσο αυξάνεται η καθαρή παρούσα αξία.
- Το IRR στο Σενάριο 1 είναι 18%, στο σενάριο 2 είναι 15%. Στα δύο σενάρια το IRR είναι μεγαλύτερο από το προεξοφλητικό επιτόκιο άρα η επένδυση αξίζει να πραγματοποιηθεί.
- Σύμφωνα με τα αποτελέσματα με όσο μεγαλύτερο ρυθμό αυξάνονται τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα τόσο νωρίτερα θα χρειαστεί η δημιουργία του εργοστασίου.

Εναλλακτικά Σενάρια - Ανάλυση ευαισθησίας

Στο πλαίσιο της ανάλυσης ευαισθησίας των προτεινόμενων λύσεων, εξετάστηκαν δύο επιπλέον σενάρια.

Σενάριο 1: Μεγαλύτερο κόστος δημιουργίας του εργοστασίου, αντίστοιχο με τα Ευρωπαϊκά, δηλαδή 25.000.000 €. **Σενάριο 2:** Μειωμένα έσοδα εργοστασίου από ανάκτηση υλικών (τα έσοδα θα είναι τα μισά σε σχέση με το βασικό σενάριο).



Διάγραμμα 6: Σύγκριση κερδών σεναρίων

Παρακάτω παρουσιάζεται ο συγκεντρωτικός πίνακας για τα σενάρια ευαισθησίας που εξετάστηκαν.

	Σενάριο 1	Σενάριο 2
ΚΠΑ	10.704.250 €	-113.879.545 €
IRR	7%>5%	Δεν υπολογίζεται

Πίνακας 12. Συγκεντρωτικός πίνακας των δύο σεναρίων

Με τον παραπάνω πίνακα γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι και τα δύο σενάρια της ανάλυσης ευαισθησίας δεν είναι βιώσιμα. Τα ακραία σενάρια που εξετάστηκαν για τη δημιουργία του εργοστασίου ανακύκλωσης μπαταριών από ηλεκτρικά αυτοκίνητα δεν θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε δημιουργία ενός βιώσιμου εργοστασίου καθώς στην πρώτη περίπτωση τα έξοδα δημιουργίας ήταν μεγάλα και στην δεύτερη τα έσοδα ήταν ελάχιστα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεράσματα

Για να αποφευχθεί η μετατόπιση του φόρτου από τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στις τοπικές επιπτώσεις από την εξόρυξη, τη διύλιση και ενδεχομένως την ανακύκλωση, οι στρατηγικές μετριασμού του κλίματος πρέπει να περιλαμβάνουν διατάξεις που να διασφαλίζουν ότι η ηλεκτροδότηση των οχημάτων είναι συνεπής με τους τρεις πυλώνες της Αειφορίας, τον κοινωνικό, τον περιβαλλοντικό και τον οικονομικό παράγοντα.

Όσον αφορά τη διαχείριση, αυτό σημαίνει ότι οι μπαταρίες θα πρέπει να μεταφέρονται σε εγκαταστάσεις που έχουν τις χαμηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και μέγιστο κοινωνικό όφελος, εκτός από το ότι είναι οικονομικά αποδοτικές.

Μια άλλη πολλά υποσχόμενη ευκαιρία για μελλοντική έρευνα είναι ο τοπικά βελτιστοποιημένος σχεδιασμός συστήματος που προσδιορίζει την προτιμώμενη τοποθεσία των εγκαταστάσεων λαμβάνοντας υπόψη το κόστος, τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και τις τοπικές περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις.

Ακόμα, δεδομένης της πολυπλοκότητας της ασφαλούς μεταφοράς μπαταριών σε συμμόρφωση με τους κανονισμούς και των οικονομικών πλεονεκτημάτων της μεταφοράς μπαταριών χύμα, οι εγκαταστάσεις που συλλέγουν και αποθηκεύουν μπαταρίες θα αποτελούν κρίσιμο συστατικό του οικοσυστήματος. Η ασφάλεια, το κόστος και οι κανονιστικές εκτιμήσεις για την αποθήκευση των μπαταριών θα ήταν πολύτιμος τομέας για μελλοντική μελέτη, όπως και η περαιτέρω εξερεύνηση της πραγματικής διαδρομής μεταξύ της απόσυρσης και της συλλογής.

Οι μπαταρίες θα πρέπει να συλλέγονται σε αντιπροσωπείες, ενώ μπορούν επίσης να εξαχθούν, να πωληθούν σε δημοπρασίες, να αγοραστούν και να μεταπωληθούν από αποσυναρμολογητές αυτοκινήτων ή ακόμη και να χρησιμοποιηθούν σε σπίτια εκτός δικτύου. Οι λεπτομέρειες σχετικά με το πώς εκτυλίσσεται αυτό και ποιος εμπλέκεται πρέπει να γίνει κατανοητό για τη δημιουργία πολιτικής που θα επαναφέρει αποτελεσματικά τις μπαταρίες στα σημεία συλλογής και στις εγκαταστάσεις ανακύκλωσης.

Στα πλαίσια αυτά εξετάστηκαν δύο σενάρια για τη δημιουργία εργοστασίου ανακύκλωσης μπαταριών από ηλεκτρικά αυτοκίνητα στην Ελλάδα τα οποία ακολουθούν και τους σχετικούς ρυθμούς αύξησης πώλησης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων (8% και 15%), σύμφωνα με τα οποία τα επόμενα χρόνια θα υπάρξει σημαντική αύξηση των πωλήσεων των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Αυτό θα δώσει και ένα δυναμικό παραγωγής αντίστοιχο μπαταριών. Με βάση τα ως άνω, η καθαρά παρούσα αξία και των δύο σεναρίων είναι θετική και το IRR και στα δύο σενάρια είναι μεγαλύτερο από το προεξοφλητικό επιτόκιο άρα η επένδυση και στα δύο σενάρια φαίνεται να είναι βιώσιμη.

Τέλος αναφορικά με τις προοπτικές συνέχισης της παρούσας εργασίας αξίζει να εξετασθούν τα ακόλουθα:

- Η δημιουργία ενός εργοστασίου ανακύκλωσης μπαταριών ηλεκτρικών αυτοκινήτων με μεγαλύτερο δυναμικό το οποίο να εξυπηρετεί όλα τα Βαλκάνια (Διαβαλκανικό).
- Η εξέταση βιωσιμότητας ενός εργοστασίου ανακύκλωσης μπαταριών και άλλων ηλεκτρικών οχημάτων (e-bike, e-scooters).
- Η εξέταση βιωσιμότητας εργοστασίου ανακύκλωσης μπαταριών με διαφορετικές μεθόδους ανακύκλωσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Abdelbaky, M., Peeters, J. R., & Dewulf, W. (2021). On the influence of second use, future battery technologies, and battery lifetime on the maximum recycled content of future electric vehicle batteries in Europe. *Waste Management*, 125, 1-9.

Acea (2017) Interactive map – Electric vehicle incentives per country in Europe (2017). Available from <https://www.acea.auto/figure/interactive-map-electric-vehicle-purchase-incentives-per-country-in-europe-2017-update/>. (Accessed 31 October 2017)

Acea (2019) Interactive map – Electric vehicle incentives per country in Europe (2019). Available from <https://www.acea.auto/figure/interactive-map-electric-vehicle-purchase-incentives-per-country-in-europe-2019-update/>. (Accessed 3 July 2019)

Acea (2020) Interactive map – Electric vehicle incentives per country in Europe (2020). Available from <https://www.acea.auto/figure/interactive-map-electric-vehicle-purchase-incentives-per-country-in-europe-2020-update/>. (Accessed 9 September 2020)

Acea (2021) Interactive map – Electric vehicle incentives per country in Europe (2021). Available from <https://www.acea.auto/figure/interactive-map-electric-vehicle-purchase-incentives-per-country-in-europe-2021-update/>. (Accessed 22 December 2021)

Ajanovic, A., & Haas, R. (2018). Electric vehicles: solution or new problem?. *Environment, Development and Sustainability*, 20(1), 7-22.

Anastasiadou, K. (2021). Sustainable mobility driven prioritization of new vehicle technologies, based on a new decision-aiding methodology. *Sustainability*, 13(9), 4760.

Andersen, O. (2013). Towards the Use of Electric Cars. In *Unintended Consequences of Renewable Energy* (pp. 71-80). Springer, London.

Bellekom, S., Benders, R., Pelgröm, S., & Moll, H. (2012). Electric cars and wind energy: Two problems, one solution? A study to combine wind energy and electric cars in 2020 in The Netherlands. *Energy*, 45(1), 859-866.

Brandl, M., Gall, H., Wenger, M., Lorentz, V., Giegerich, M., Baronti, F., ... & Prochazka, W. (2012, March). Batteries and battery management systems for electric vehicles. In *2012 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE)* (pp. 971-976). IEEE.

Broussely, M., Planchat, J. P., Rigobert, G., Virey, D., & Sarre, G. (1997). Lithium-ion batteries for electric vehicles: performances of 100 Ah cells. *Journal of power sources*, 68(1), 8-12.

Brown, S., Pyke, D., & Steenhof, P. (2010). Electric vehicles: The role and importance of standards in an emerging market. *Energy Policy*, 38(7), 3797-3806.

Bueno, P. R., & Leite, E. R. (2003). Nanostructured Li ion insertion electrodes. 1. Discussion on fast transport and short path for ion diffusion. *The Journal of Physical Chemistry B*, 107(34), 8868-8877.

Campanari S., Francesco V. (2017). Carbon recovery from wastewater through bioconversion into biodegradable polymers.

- Burton, N. (2013). History of electric cars. Crowood.
- Cazzola, P., Gorner, M., Schuitmaker, R., & Maroney, E. (2016). Global EV outlook 2016. International Energy Agency, France.
- Çetin, M. S., Güler, H., & Gençoğlu, M. T. (2021, October). Fuzzy Logic Based Battery Control System Design for Electric Vehicles. In 2021 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU) (pp. 1-4). IEEE.
- Chatzikomis, C. I., Spentzas, K. N., & Mamalis, A. G. (2014). Environmental and economic effects of widespread introduction of electric vehicles in Greece. *European Transport Research Review*, 6(4), 365-376.
- Chau, K. T. (2014). Pure electric vehicles. In *Alternative fuels and advanced vehicle technologies for improved environmental performance* (pp. 655-684). Woodhead Publishing.
- Choi, Y., & Rhee, S. W. (2020). Current status and perspectives on recycling of end-of-life battery of electric vehicle in Korea (Republic of). *Waste Management*, 106, 261-270.
- Ciceo, S., Mollet, Y., Sarrazin, M., Van Der Auweraer, H., & Martis, C. S. (2016). Model-based design and testing for the energy consumption analysis of the electric vehicles. *Electrotehnica, Electronica, Automatica*, 64(4), 46.
- Ciez, R. E., & Whitacre, J. F. (2019). Examining different recycling processes for lithium-ion batteries. *Nature Sustainability*, 2(2), 148-156.
- Costa, C. M., Barbosa, J. C., Castro, H., Gonçalves, R., & Lanceros-Méndez, S. (2021). Electric vehicles: To what extent are environmentally friendly and cost effective?–

Comparative study by european countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111548.

Daily Metal Price: Free Metal Price Tables and Charts, 2023. Available online at: <https://www.dailymetalprice.com/>

Diekmann, J., Hanisch, C., Frobose L., Froböse, G., Schällicke, .T., Loellhoeffel, T., Fölster A.-S., & Kwade, A., (2016). Ecological Recycling of Lithium-Ion Batteries from Electric Vehicles with Focus on Mechanical Processes, *J. Electrochem. Soc.*, 164, A6184-A6191.

Efthymiou, D., Chrysostomou, K., Morfoulaki, M., & Aifantopoulou, G. (2017). Electric vehicles charging infrastructure location: a genetic algorithm approach. *European Transport Research Review*, 9(2), 27.

Elwert, T., Goldmann, D., Römer, F., Buchert, M., Merz, C., Schueler, D., & Sutter, J. (2016). Current developments and challenges in the recycling of key components of (hybrid) electric vehicles. *Recycling*, 1(1), 25-60.

Elwert, T., Römer, F., Schneider, K., Hua, Q., & Buchert, M. (2018). Recycling of batteries from electric vehicles. In *Behaviour of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles* (pp. 289-321). Springer, Cham.

Farmann, A., Waag, W., Marongiu, A., & Sauer, D. U. (2015). Critical review of on-board capacity estimation techniques for lithium-ion batteries in electric and hybrid electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 281, 114-130.

Fortum (2021) Fortum makes new Harjavalta recycling plant investment to expand its battery recycling capacity [online]. Available from:

<https://www.fortum.com/media/2021/06/fortum-makes-new-harjavalta-recycling-plant-investment-expand-its-battery-recycling-capacity> (Accessed 17 June 2021)

Guarnieri, M. (2011). When cars went electric, part one [historical]. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 5(1), 61-62.

Guarnieri, M. (2012, September). Looking back to electric cars. In 2012 Third IEEE HISTory of ELECTro-technology CONFerence (HISTELCON) (pp. 1-6). IEEE.

Habib, S., Khan, M. M., Abbas, F., Sang, L., Shahid, M. U., & Tang, H. (2018). A comprehensive study of implemented international standards, technical challenges, impacts and prospects for electric vehicles. *IEEE Access*, 6, 13866-13890.

Hacker, F., Harthan, R., Matthes, F., & Zimmer, W. (2009). Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in Europe- Critical Review of Literature. ETC/ACC technical paper, 4, 56-90.

Hawkins, T. R., Gausen, O. M., & Strømman, A. H. (2012). Environmental impacts of hybrid and electric vehicles—a review. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(8), 997-1014.

He, H., Zhang, X., Xiong, R., Xu, Y., & Guo, H. (2012). Online model-based estimation of state-of-charge and open-circuit voltage of lithium-ion batteries in electric vehicles. *Energy*, 39(1), 310-318.

Holmberg, K., & Erdemir, A. (2019). The impact of tribology on energy use and CO₂ emission globally and in combustion engine and electric cars. *Tribology International*, 135, 389-396.

Høyer, K. G. (2008). The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars. *Utilities Policy*, 16(2), 63-71.

Hu, J. W., Javaid, A., & Creutzig, F. (2021). Leverage points for accelerating adoption of shared electric cars: Perceived benefits and environmental impact of NEVs. *Energy Policy*, 155, 112349.

Hua, Y., Liu, X., Zhou, S., Huang, Y., Ling, H., & Yang, S. (2021). Toward sustainable reuse of retired lithium-ion batteries from electric vehicles. *Resources, Conservation and Recycling*, 168, 105249.

Hubbard, C., Bavlsik, J., Hegde, C., & Hu, C. (2016). Data-driven prognostics of lithium-ion rechargeable battery using bilinear kernel regression. In *Annual Conference of the PHM Society* (Vol. 8, No. 1).

Hydrovol. Recycling [online]. Available from : <https://hydrovolt.com/recycling/>

Idjis, H., & da Costa, P. (2017). Is electric vehicles battery recovery a source of cost or profit?. In *The automobile revolution* (pp. 117-134). Springer, Cham.

Ivory, C., & Genus, A. (2010). Symbolic consumption, signification and the 'lockout' of electric cars, 1885–1914. *Business History*, 52(7), 1107-1122.

Karagiannidis, A., Perkoulidis, G., Papadopoulos, A., Moussiopoulos, N., & Tsatsarelis, T. (2005). Characteristics of wastes from electric and electronic equipment in Greece: results of a field survey. *Waste management & research*, 23(4), 381-388.

Kebriaei, M., Niasar, A. H., & Asaei, B. (2015, October). Hybrid electric vehicles: An overview. In *2015 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE)* (pp. 299-305). IEEE.

Kirsch, D. A. (2000). *The electric vehicle and the burden of history*. Rutgers University Press.

Kushnir, D. (2015). *lithium ion battery recycling technology 2015. Current State and Future Prospects*; ESAReport, 18.

li-cycle A unique and dependable approach to solving the global battery recycling problem [online]. Available from: <https://li-cycle.com/technology/>

Lopes, J. P., Soares, F. J., Almeida, P. R., Baptista, P. C., Silva, C. M., & Farias, T. L. (2009, July). Quantification of technical impacts and environmental benefits of electric vehicles integration on electricity grids. In *2009 8th International Symposium on Advanced Electromechanical Motion Systems & Electric Drives Joint Symposium* (pp. 1-6). IEEE.

Meckling, J., & Nahm, J. (2018). When do states disrupt industries? Electric cars and the politics of innovation. *Review of International Political Economy*, 25(4), 505-529.

Miedema, J. H., & Moll, H. C. (2013). Lithium availability in the EU27 for battery-driven vehicles: The impact of recycling and substitution on the confrontation between supply and demand until 2050. *Resources Policy*, 38(2), 204-211.

Moura, S. J., Callaway, D. S., Fathy, H. K., & Stein, J. L. (2010). Tradeoffs between battery energy capacity and stochastic optimal power management in plug-in hybrid electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 195(9), 2979-2988.

Nanaki, E. A., & Koroneos, C. J. (2016). Climate change mitigation and deployment of electric vehicles in urban areas. *Renewable energy*, 99, 1153-1160

Narins, T. P. (2017). The battery business: Lithium availability and the growth of the global electric car industry. *The Extractive Industries and Society*, 4(2), 321-328.

Nitta, N., Wu, F., Lee T. J. Yushin, G. (2015). Li-ion battery materials: present and future, *Materials Today*, 18(5), 252-264.

Northvolt (2022). Europe's largest electric vehicle battery recycling plant begins operations [online]. Available from: <https://northvolt.com/articles/hydrovolt/> (Accessed 15 May 2022)

Notter, D. A., Gauch, M., Widmer, R., Wager, P., Stamp, A., Zah, R., & Althaus, H. J. (2010). Contribution of Li-ion batteries to the environmental impact of electric vehicles.

Or, T., Gourley, S. W., Kaliyappan, K., Yu, A., & Chen, Z. (2020). Recycling of mixed cathode lithium-ion batteries for electric vehicles: Current status and future outlook. *Carbon Energy*, 2(1), 6-43.

Ortar, N., & Ryghaug, M. (2019). Should all cars be electric by 2025? The electric car debate in Europe. *Sustainability*, 11(7), 1868.

Popescu, I. A., Dorneanu, S. A. , Petru, I. (2022). Economic analysis of Li-ion battery recycling using hydrometallurgical processes. *International Scientific Journals*, 2022, 21-23. Ανακτήθηκε Ιανουάριο, 2022, από <https://stumejournals.com/journals/innovations/2022/1/21>

Primobius (2023) Our setup [online]. Available from: <https://www.primobius.com/about-us/the-company>

Rajashekara, K. (1994). History of electric vehicles in General Motors. *IEEE transactions on industry applications*, 30(4), 897-904.

Richardson, D. B. (2013). Electric vehicles and the electric grid: A review of modeling approaches, Impacts, and renewable energy integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 247-254.

Sabri, M. F. M., Danapalasingam, K. A., & Rahmat, M. F. (2016). A review on hybrid electric vehicles architecture and energy management strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1433-1442.

Shen, P., Ouyang, M., Lu, L., Li, J., & Feng, X. (2017). The co-estimation of state of charge, state of health, and state of function for lithium-ion batteries in electric vehicles. *IEEE Transactions on vehicular technology*, 67(1), 92-103.

Simon, B., Ziemann, S., & Weil, M. (2015). Potential metal requirement of active materials in lithium-ion battery cells of electric vehicles and its impact on reserves: Focus on Europe. *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 300-310.

Slattery, M., Dunn, J., & Kendall, A. (2021). Transportation of electric vehicle lithium-ion batteries at end-of-life: A literature review. *Resources, Conservation and Recycling*, 174, 105755.

Smil, V. (2010). *Energy myths and realities*. Washington, DC: AEI Press.

Song, Z., Hou, J., Hofmann, H., Li, J., & Ouyang, M. (2017). Sliding-mode and Lyapunov function-based control for battery/supercapacitor hybrid energy storage system used in electric vehicles. *Energy*, 122, 601-612.

Sperling, D. (1995). Electric cars and lead. *Science*, 269(5225), 744-744.

- Steward, D., Mayyas, A., & Mann, M. (2019). Economics and challenges of Li-ion battery recycling from end-of-life vehicles. *Procedia Manufacturing*, 33, 272-279.
- Stoycheva, S., Marchese, D., Paul, C., Padoan, S., Juhmani, A. S., & Linkov, I. (2018). Multi-criteria decision analysis framework for sustainable manufacturing in automotive industry. *Journal of Cleaner Production*, 187, 257-272.
- Sun, F., Xiong, R., & He, H. (2016). A systematic state-of-charge estimation framework for multi-cell battery pack in electric vehicles using bias correction technique. *Applied Energy*, 162, 1399-1409.
- Sun, X., Li, Z., Wang, X., & Li, C. (2020). Technology development of electric vehicles: A review. *Energies*, 13(1), 90.
- Sunlight (2023) ReLiFe: Πρωτοποριακό έργο ανακύκλωσης μπαταριών λιθίου από τη Sunlight Group και τους εταίρους της (Online). Available from: <https://www.the-sunlight-group.com/el/greece/articles/relife-protoporiako-ergo-anakyklosis-mpatarion-lithioy-apo-ti-sunlight-group-kai/> (Accessed 22 March 2023)
- Tang, Y., Zhang, Q., Li, Y., Wang, G., & Li, Y. (2018). Recycling mechanisms and policy suggestions for spent electric vehicles' power battery-A case of Beijing. *Journal of Cleaner Production*, 186, 388-406.
- Tytgat, J. (2013, November). The Recycling Efficiency of Li-ion EV batteries according to the European Commission Regulation, and the relation with the End-of-Life Vehicles Directive recycling rate. In *2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)* (pp. 1-9). IEEE.

Villareal, A. (2011). The social construction of the market for electric cars in France: politics coming to the aid of economics. *International Journal of automotive technology and management*, 11(4), 326-339.

Vivanco, D. F., Kemp, R., & van der Voet, E. (2016). How to deal with the rebound effect? A policy-oriented approach. *Energy Policy*, 94, 114-125.

Volkswagen Group News (2021) From old to new – Battery recycling in Salzgitter [online]. Available from: <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/stories/from-old-to-new-battery-recycling-in-salzgitter-6782> (Accessed 29 January 2021)

Wakefield, E. H. (1978, March). The electric phoenix an illustrated history of electric cars, motors, controllers, and batteries. In 28th IEEE Vehicular Technology Conference (Vol. 28, pp. 73-74). IEEE.

Wakefield, E. H. (1993). History of the electric automobile battery-only powered cars.

Wakefield, E. H. (1998). History of the electric automobile-hybrid electric vehicles (Vol. 187).

Wang, D., Coignard, J., Zeng, T., Zhang, C., & Saxena, S. (2016). Quantifying electric vehicle battery degradation from driving vs. vehicle-to-grid services. *Journal of Power Sources*, 332, 193-203.

Wang, S., & Yu, J. (2021). Evaluating the electric vehicle popularization trend in China after 2020 and its challenges in the recycling industry. *Waste Management & Research*, 39(6), 818-827.

Wang, Y., Zhang, C., & Chen, Z. (2016). An adaptive remaining energy prediction approach for lithium-ion batteries in electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 305, 80-88.

Wang, Y., & Zhong, W. H. (2015). Development of electrolytes towards achieving safe and high-performance energy-storage devices: a review. *ChemElectroChem*, 2(1), 22-36.

Wood, E., Alexander, M., & Bradley, T. H. (2011). Investigation of battery end-of-life conditions for plug-in hybrid electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 196(11), 5147-5154.

Xiong, S., Ji, J., & Ma, X. (2020). Environmental and economic evaluation of remanufacturing lithium-ion batteries from electric vehicles. *Waste Management*, 102, 579-586.

Yun, L., Linh, D., Shui, L., Peng, X., Garg, A., Le, M. L. P., ... & Sandoval, J. (2018). Metallurgical and mechanical methods for recycling of lithium-ion battery pack for electric vehicles. *Resources, Conservation and Recycling*, 136, 198-208.

Zeng, X., Li, M., Abd El-Hady, D., Alshitari, W., Al-Bogami, A. S., Lu, J., & Amine, K. (2019). Commercialization of lithium battery technologies for electric vehicles. *Advanced Energy Materials*, 9(27), 1900161.

Zeng, X., Li, J., & Singh, N. (2014). Recycling of spent lithium-ion battery: a critical review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44(10), 1129-1165.

Zhang, X., Li, L., Fan, E., Xue, Q., Bian, Y., Wu, F., & Chen, R. (2018). Toward sustainable and systematic recycling of spent rechargeable batteries. *Chemical Society Reviews*, 47(19), 7239-7302.

Zhang, W., Yang, J., Wu, X., Hu, Y., Yu, W., Wang, J., ... & Kumar, R. V. (2016). A critical review on secondary lead recycling technology and its prospect. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 108-122.

Zhang, L., Zeng, Z., & Qu, X. (2020). On the role of battery capacity fading mechanism in the lifecycle cost of electric bus fleet. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(4), 2371-2380.

Zheltukhina, M. R., Slyshkin, G. G., Caselles, C. G., Dubinina, N. V., Borbotko, L. A., Shirokikh, A. Y., & Sausheva, H. V. (2020). Automobile Media Discourse: Verbal Media Presentation of the Electric Cars. *Online Journal of Communication and Media Technologies*, 10(3), e202012.

Zivin, J. S. G., Kotchen, M. J., & Mansur, E. T. (2014). Spatial and temporal heterogeneity of marginal emissions: Implications for electric cars and other electricity-shifting policies. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 107, 248-268.

ΣΕΑΑ [ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΙΣΓΑΓΩΓΕΩΝ ΑΝΤΙΠΡΟΩΠΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ], 2023. Πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Ελλάδα. Διαθέσιμο: <https://seaa.gr/>

Τσάδαρης, Ν. (2021) Το πρώτο εργοστάσιο ανακύκλωσης μπαταριών ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Διαθέσιμο: <https://www.news.gr/auto/article/2491674/anakiklosi-batarion-ilektrikon-aftokiniton.html>