



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΟΥΜΕΝΑ ΟΧΗΜΑΤΑ»

ΛΟΥΦΑΡΔΑΚΗ ΜΑΡΙΑ ΑΜΑΛΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:
ΠΑΠΑΕΥΘΥΜΙΟΥ ΣΠΥΡΙΔΩΝ
ΜΕΛΗ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ:
ΚΟΝΣΟΛΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ
ΑΡΑΜΠΑΤΖΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΧΑΝΙΑ
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2020

Ευχαριστίες

Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου κ. Παπαευθυμίου Σπύρο, που μου έδωσε την ευκαιρία για την εκπόνηση ενός πολύ ενδιαφέροντος και επίκαιρου θέματος διπλωματικής εργασίας, το οποίο συνδυάζει την Ανάλυση Κύκλου Ζωής με την Ηλεκτροκίνηση.

Επίσης, θα ήθελα να δώσω τις ευχαριστίες μου και στους στενούς φίλους και την οικογένειά μου, οι οποίοι με στήριζαν ανέκαθεν σε κάθε βήμα της εκπαιδευτικής αλλά και προσωπικής πορείας μου.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	1
Περίληψη	4
1. Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment).....	5
1.1. Τα βήματα της ανάλυσης.....	5
1.1.1. Ορισμός σκοπού και στόχου	5
1.1.2. Απογραφική ανάλυση (Life Cycle Inventory - LCI).....	6
1.1.3. Εκτίμηση των επιπτώσεων (Life cycle impact assessment – LCIA).....	6
1.1.4. Ερμηνεία αποτελεσμάτων	6
1.2. Χρήσεις της Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής	6
2. Περί Ηλεκτρικών Οχημάτων	8
2.1. Οι κύριες συνιστώσες ενός ηλεκτρικού οχήματος	8
2.1.1. Ηλεκτρικός κινητήρας	8
2.1.2. Συσσωρευτές.....	9
2.1.3. Ελεγκτής	10
2.1.4. Αναγεννητικά φρένα.....	10
2.1.5. Βοηθητικός εξοπλισμός	10
2.2. Οι διάφοροι τύποι των ηλεκτρικών οχημάτων.....	10
2.2.1. Ηλεκτρικά Οχήματα Με Συσσωρευτές (Battery Electric Vehicles - BEVs).....	11
2.2.2. Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (Hybrid Electric Vehicles - HEVs).....	12
2.2.3. Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Οχήματα με Ηλεκτρική Ενέργεια Από Εξωτερική Πηγή (Plug-in Hybrid Electric Vehicles - PHEVs).....	12
2.2.4. Ηλεκτρικά Οχήματα με Συσσωρευτές και Ηλεκτροπαραγωγική Μονάδα (Range Extended Electric Vehicles – REEVs)	13
2.2.5. Ηλεκτρικά Οχήματα με Ενεργειακά Στοιχεία (Fuel Cells Electric Vehicles - FCEVs)	13
2.3. Η τρέχουσα και μελλοντική τάση στην αγορά ηλεκτρικών οχημάτων	14
3. Η Ανάλυση του Κύκλου Ζωής για τα Ηλεκτρικά Οχήματα	19
3.1. Στάδιο πρώτων υλών	19
3.1.1. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	20
3.1.2. Προκλήσεις για την προμήθεια και επεξεργασία των πρώτων υλών	23
3.1.3. Υπό την σκοπιά της κυκλικής οικονομίας	25
3.2. Το στάδιο της παραγωγής	29
3.2.1. Κατασκευή μπαταρίας.....	30
3.2.2. Επισκόπηση των επιπτώσεων της παραγωγής.....	30
3.2.3. Παράγοντες που επηρεάζουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής.....	34
3.3. Το στάδιο της χρήσης	39

3.3.1.	Ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων λόγω χρήσης	39
3.3.2.	Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG).....	40
3.3.3.	Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.....	41
3.3.4.	Επιπτώσεις στο οικοσύστημα	45
3.3.5.	Παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας του συσσωρευτή	45
3.3.6.	Επιπτώσεις της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	48
3.3.7.	Ο ρόλος των ηλεκτρικών οχημάτων στην ατομική χρήση και κινητικότητα	52
3.4.	Το στάδιο του τέλους του κύκλου ζωής	54
3.4.1.	Τρέχουσες διαδικασίες κατά το τέλος του κύκλου ζωής	54
3.4.2.	Μελλοντικές ανάγκες για το τέλος του κύκλου ζωής.....	56
3.4.3.	Επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση	56
3.4.4.	Επισκόπηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.....	60
4.	Η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο ηλεκτρισμού	63
4.1.	Επιπτώσεις των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο ηλεκτρισμού	63
4.1.1.	Αρνητικές επιπτώσεις στο δίκτυο ηλεκτρισμού	63
4.1.2.	Θετικές επιπτώσεις στο δίκτυο ηλεκτρισμού	64
4.2.	Προτάσεις και προκλήσεις της ενσωμάτωσης των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο ηλεκτρισμού.....	65
4.3.	Η εισαγωγή των ηλεκτρικών οχημάτων στο ελληνικό δίκτυο ηλεκτρισμού	66
4.3.1.	Ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων που μπορούν να ενσωματωθούν στο ελληνικό δίκτυο	66
4.3.2.	Σύγκριση εκπομπών συμβατικών και ηλεκτρικών οχημάτων στον ελληνικό χώρο	67
5.	Συμπεράσματα.....	69
5.1.	Επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή.....	69
5.2.	Επιπτώσεις στην υγεία.....	71
5.2.1.	Τοξικότητα για τον άνθρωπο	71
5.2.2.	Ατμοσφαιρική ρύπανση.....	71
5.2.3.	Ηχορύπανση.....	72
5.3.	Επιπτώσεις στο οικοσύστημα	73
5.4.	Πτυχές των ηλεκτρικών οχημάτων προς βελτίωση	74
5.4.1.	Σχεδιασμός του οχήματος	74
5.4.2.	Χρήση των οχημάτων.....	75
5.4.3.	Επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση	75
5.4.4.	Πηγές ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα	75
	Βιβλιογραφία	77

Περίληψη

Η ανάγκη για ανεξαρτητοποίηση από τα ορυκτά καύσιμα, καθώς και η ανάπτυξη φιλικότερων προς το περιβάλλον τρόπων αυτοκίνησης, έχει οδηγήσει στην δημιουργία της ηλεκτροκίνησης. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα εξετασθεί μέσω της Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής κατά πόσο είναι μια φιλικότερη λύση προς το περιβάλλον σε σχέση με τις υπάρχουσες, δίνοντας έμφαση στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, θα διερευνηθεί η ύπαρξη και ετοιμότητα των κατάλληλων υποδομών για την μαζική υιοθέτηση της. Επιπρόσθετα, θα διευκρινιστούν τα κύρια πλαίσια που πρέπει να εξετασθούν σε μια Ανάλυση Κύκλου Ζωής για ηλεκτρικά αυτοκίνητα και καταληκτικά, θα γίνει σύγκριση μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων και των συμβατικών αυτοκινήτων με μηχανές εσωτερικής καύσης, υπό την σκοπιά της Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής.

Abstract

The need for independence from fossil fuels, as well as the development of more environmentally friendly ways of driving, has led to the electrification of transports. In this thesis, it will be examined through Life Cycle Analysis whether it is a more environmentally friendly solution than the existing ones, with emphasis on greenhouse gas emissions. In addition, the existence and readiness of the appropriate infrastructure for its mass adoption will be investigated. Furthermore, the main frameworks to be considered in a Life Cycle Analysis for electric cars will be clarified, and a comparison will be made between electric vehicles and conventional cars with internal combustion engines, in the aspect of the Life Cycle Analysis.

1. Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment)

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής αποτελεί ένα μεθοδολογικό πλαίσιο που υπολογίζει και ποσοτικοποιεί όλες τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, μιας υπηρεσίας ή μιας διαδικασίας. Η βάση υπολογισμού που απαιτείται για την ανάλυση είναι η λεγόμενη «λειτουργική μονάδα». Αυτή μπορεί να είναι μια μονάδα υλικού (π.χ. ένα κιλό χάλυβα δεδομένης σύνθεσης και ποιότητας), μια μονάδα ενέργειας (π.χ. μια kWh ηλεκτρικής ενέργειας) ή μια μονάδα υπηρεσιών (π.χ. συσκευασία ενός λίτρου γάλακτος). Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η εκτίμηση των επιπτώσεων κατά τη χρήση των υλικών, της ενέργειας και των αποβλήτων που παράγονται και σχετίζονται με ένα προϊόν (ή υπηρεσία ή διαδικασία). Αποτελεί επομένως μια προσέγγιση λεγόμενη “cradle- to – grave” δηλαδή «από την γέννηση στον θάνατο», η οποία ξεκινά με τη συλλογή των απαραίτητων πρώτων υλών από τη γη για την δημιουργία του προϊόντος (γέννηση) και το τέλος της ορίζεται από το σημείο στο οποίο όλα τα υλικά επιστρέφονται στη γη (θάνατος). Καθιστά επομένως δυνατή την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από ολόκληρο τον «κύκλο ζωής» του προϊόντος ή της υπηρεσίας και έτσι εξετάζεται όχι μόνο η φάση παραγωγής, αλλά και όλες οι φάσεις: προ-κατασκευή, κατασκευή, χρήση και διάθεση του προϊόντος, συμπεριλαμβανομένων και όλων των σχετικών υποδομών (π.χ. το εργοστάσιο κατασκευής του προϊόντος) [1]–[3].



Σχήμα 1. Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής, [4]

1.1. Τα βήματα της ανάλυσης

1.1.1. Ορισμός σκοπού και στόχου

Σε αυτό το στάδιο ορίζεται και περιγράφεται το υποκείμενο προϊόν, η διαδικασία ή η δραστηριότητα. Καθορίζεται το πλαίσιο στο οποίο θα γίνει η μελέτη και προσδιορίζονται τα όρια και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις για τα οποία θα γίνει ανασκόπηση για την ανάλυση του κύκλου ζωής. Είναι σημαντική η εφαρμογή όλων των παραπάνω, καθώς έτσι είναι δυνατόν να προσδιοριστούν

διάφορες πτυχές της ανάλυσης όπως είναι το χρονικό διάστημα διεξαγωγής, οι οικονομικοί πόροι και το ανθρώπινο δυναμικό που θα χρειαστούν [4].

Στον καθορισμό του στόχου, θα πρέπει λοιπόν να καταγραφούν τα ακόλουθα [5]:

- Η προβλεπόμενη εφαρμογή (ες) των αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων
- Οι περιορισμοί λόγω μεθόδου, οι παραδοχές που έχουν γίνει
- Οι λόγοι για τη διεξαγωγή της μελέτης
- Ο προσδιορισμός του κοινού το οποίο αφορούν τα αποτελέσματα και συμπεράσματα
- Συγκριτικές μελέτες που πρέπει να γνωστοποιηθούν στο κοινό
- Η εκπροσώπηση της μελέτης και άλλοι σημαντικοί παράγοντες.

1.1.2. Απογραφική ανάλυση (Life Cycle Inventory - LCI)

Σε αυτό το στάδιο γίνεται εξέταση όλων των δεδομένων σχετικά με τις εισροές και εκροές του μελετώμενου συστήματος. Κατά αυτόν τον τρόπο προσδιορίζονται και ποσοτικοποιούνται η χρήση ενέργειας, νερού, υλικών και περιβαλλοντικών εκλύσεων. Αυτές μπορεί να αφορούν για παράδειγμα αέριες εκπομπές, τα στερεά απόβλητα που απορρίπτονται αλλά και τα λύματα [4].

1.1.3. Εκτίμηση των επιπτώσεων (Life cycle impact assessment – LCIA)

Η εκτίμηση επιπτώσεων μεταφράζει τις επιπτώσεις των εισροών και εκροών που αναγράφονται στην απογραφική ανάλυση (LCI), σε δείκτες επιπτώσεων στον άνθρωπο και το περιβάλλον. Ο σκοπός της είναι η καλύτερη κατανόηση της περιβαλλοντικής σημασίας της LCI μετατρέποντας τις περιβαλλοντικές ροές σε περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι επιπτώσεις παρουσιάζονται σε διαφορετικές κατηγορίες που μπορούν να ομαδοποιηθούν ευρέως σε χρήση ενέργειας, χρήση πόρων, εκπομπές, τοξικότητα και παραγωγή αποβλήτων. Κάθε ένας από αυτούς τους τύπους επιπτώσεων μπορεί να συμπεριληφθεί συνοπτικά σε υψηλότερο επίπεδο ως επιπτώσεις στους ανθρώπους, επιπτώσεις στη φύση (οικοσυστήματα) και εξάντληση των πόρων [4], [6].

1.1.4. Ερμηνεία αποτελεσμάτων

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων μπορεί να προκύψει από όλα τα στάδια, αλλά είναι ίσως η πιο σημαντική μετά την εκτίμηση των επιπτώσεων, διότι έτσι θα καθοδηγήσει την ανάπτυξη συμπερασμάτων και συστάσεων με βάση τα αποτελέσματα μιας μελέτης. Σε αυτό το στάδιο επομένως, ερμηνεύονται τα αποτελέσματα της απογραφικής ανάλυσης και της εκτίμησης επιπτώσεων. Βάσει αυτών μπορεί να επιλεγεί το προτιμώμενο προϊόν, διαδικασία ή υπηρεσία με σαφή κατανόηση της αβεβαιότητας και των παραδοχών που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των αποτελεσμάτων [4], [6].

1.2. Χρήσεις της Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής

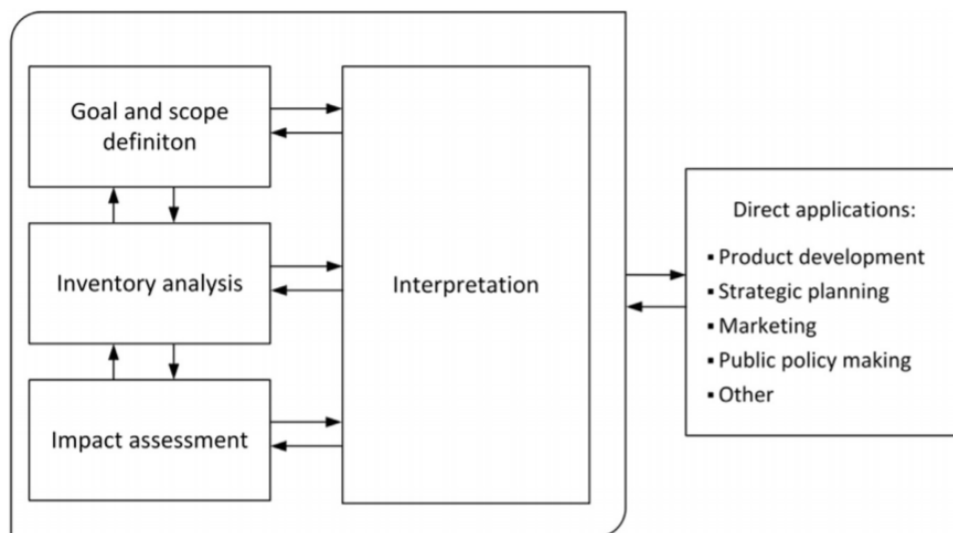
Εκτελώντας μια Ανάλυση Κύκλου Ζωής, μπορούν να αντληθούν σημαντικές πληροφορίες και βάσει αυτών να γίνει λήψη αποφάσεων σε περιβαλλοντικό και όχι μόνο επίπεδο. Για παράδειγμα οι πληροφορίες που μπορούν να αντληθούν είναι [4], [7]:

- Η ανάπτυξη μιας ενδεδειγμένης αξιολόγησης των περιβαλλοντικών συνεπειών που σχετίζονται με ένα δεδομένο προϊόν.

- Η ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών εκλύσεων στον αέρα, το νερό και τη γη σε σχέση με κάθε στάδιο του κύκλου ζωής και σημαντική διαδικασία συνεισφοράς.
- Η αξιολόγηση των επιπτώσεων τόσο στον άνθρωπο όσο και στο οικοσύστημα λόγω της κατανάλωσης των υλικών και των περιβαλλοντικών εκλύσεων στην τοπική κοινότητα, την ευρύτερη περιοχή και τον κόσμο.

Κατά αυτόν τον τρόπο, οι γνώσεις που αποκομήθηκαν από την διαδικασία της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής, μπορούν να βρουν πρακτικό πεδίο εφαρμογής πέραν της περιβαλλοντικής ανάλυσης αλλά με βάση αυτήν. Για παράδειγμα [4], [7]:

- μπορεί να παρουσιαστεί η ανάλυση των περιβαλλοντικών αντισταθμίσεων που σχετίζονται με ένα ή περισσότερα προϊόντα ή διεργασίες, με σκοπό την αποδοχή των ενδιαφερόμενων μερών (πολιτεία, κοινότητα κ.λπ.) για μια προγραμματισμένη ενέργεια.
- μεταξύ δύο ή περισσότερων ανταγωνιστικών προϊόντων ή διαδικασιών είναι δυνατόν να συγκριθούν η υγεία και οι οικολογικές επιπτώσεις και να προσδιοριστούν οι επιπτώσεις ενός συγκεκριμένου προϊόντος ή διαδικασίας.
- προωθείται ο βιώσιμος σχεδιασμός και επανασχεδιασμός προϊόντων και διαδικασιών, με αποτέλεσμα τη μείωση των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη μειωμένη χρήση και απελευθέρωση μη ανανεώσιμων ή τοξικών υλικών. Οι μελέτες ΑΚΖ εντοπίζουν βασικά υλικά και διαδικασίες στους κύκλους ζωής των προϊόντων που ενδέχεται να έχουν τις μεγαλύτερες επιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένης της ζήτησης πόρων και των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία. Αυτές οι αξιολογήσεις περιγράφουν τα πλήρη οφέλη και το κόστος ενός προϊόντος ή μιας διαδικασίας, που επιτρέπει στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να επιλέξουν την πιο αποτελεσματική λύση.
- είναι επίσης δυνατή η χρήση της ανάλυσης για σκοπούς μάρκετινγκ, στρατηγικού προγραμματισμού και άλλων.



Σχήμα 2. Τα βήματα της Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής [7]

2. Περὶ Ηλεκτρικῶν Οχημάτων

Στα πλαίσια της αυτοκίνησης, τα συμβατικά οχήματα χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα ὅπως εἶναι η βενζίνη και το πετρέλαιο για την εκκίνηση μιας μηχανής εσωτερικής καύσης. Παρέχουν μικρή ενεργειακή απόδοση η οποία θεωρητικά ανέρχεται μέχρι και 40%, ωστόσο ὅσον αφορά την πραγματική οδήγηση μια πιο αντιπροσωπευτική τάξη απόδοσης κυμαίνεται μεταξύ 10-15% ([8]). Στον αντίποδα, τα ηλεκτρικά οχήματα συσσωρευτῶν (BEVs) εἶναι δυνατόν να μετατρέψουν το 70-90% της ἐνέργειας που εἶναι αποθηκευμένη στην μπαταρία σε κίνηση [9]. Επομένως υπάρχει η ανάγκη χρήσης πιο αποδοτικῶν οχημάτων σε σχέση με αυτά με μηχανές εσωτερικής καύσης (ICEVs). Αυτό το γεγονός, θα συμβάλλει στην μείωση των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων ἀπὸ τον τομέα των μεταφορῶν σε συνδυασμό με την ελάττωση της χρήσης των ICEVs, η καύση των οποίων συνεισφέρει αρνητικά στους αέριους ρύπους ὅπως εἶναι ευρέως αποδεκτό. Καθώς ἔχουν τεθεί ἤδη παγκόσμιοι στόχοι για την ελάττωση των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων για τον περιορισμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, η ηλεκτροκίνηση εἶναι μια λύση στις μεταφορές που μπορεί να επιφέρει αποτελέσματα. Παρόλα αυτά, χρειάζεται περαιτέρω ἀνάπτυξη των τεχνολογιῶν που αφορούν τα ηλεκτρικά οχήματα αλλά και αυτῶν που τα αφορούν ἐμμέσως, ὅπως εἶναι η ενσωμάτωσή τους στο δίκτυο ηλεκτρισμού κάθε χώρας. Επιπλέον, υπάρχει ἀνάγκη διερεύνησης των προϋποθέσεων κάτω ἀπὸ τις οποίες τα ηλεκτρικά οχήματα θα ἀποφέρουν καρπούς ὅσον ἀφορὰ τον ἀντίκτυπο στο περιβάλλον.

2.1. Οι κύριες συνιστώσες ενός ηλεκτρικού οχήματος

Κατά την τελευταία δεκαετία, οι κατασκευαστές οχημάτων ἔχουν εἰσαγάγει μια σειρά εναλλακτικῶν τεχνολογιῶν κινητήρων. Σε αυτά περιλαμβάνονται ηλεκτρικά οχήματα συσσωρευτῶν που περιλαμβάνουν μια σειρά εξειδικευμένων συνιστωσῶν, ὅπως η μπαταρία, ο ηλεκτροκινητήρας, ο ελεγκτής του κινητήρα και τα φρένα ἀναγέννησης ἐνέργειας. Ἐνα υβριδικό ὄχημα περιλαμβάνει τόσο συμβατικό κινητήρα ὅσο και ηλεκτρικό κινητήρα με μπαταρία, γεγονός που αυξάνει την πολυπλοκότητα των συστημάτων του οχήματος. Τα υβριδικά οχήματα περιλαμβάνουν ὅλα τα ἴδια κύρια μέρη με ἓνα ηλεκτρικό ὄχημα μπαταρίας, καθώς και ἓναν συμβατικό κινητήρα καύσης εἴτε βοηθητικό εἴτε κύριας λειτουργίας και ἐπίσης μια σχετιζόμενη δεξαμενή καυσίμου (Σχήμα 3).

2.1.1. Ηλεκτρικός κινητήρας

Ἐνας ηλεκτρικός κινητήρας τροφοδοτεῖ το ὄχημα χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ἐνέργεια που εἶναι ἀποθηκευμένη στην μπαταρία. Μπορεῖ ἐπίσης να λειτουργήσει ως γεννήτρια για την μπαταρία παράγοντας ηλεκτρική ἐνέργεια ἐνῶ το ὄχημα ἐπιβραδύνεται. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες ἔχουν πολλὰ πλεονεκτήματα ἐναντί των συμβατικῶν κινητήρων καύσης. Αυτό περιλαμβάνει την υψηλότερη ἀπόδοσή τους, υψηλή ἀντοχή, χαμηλότερο κόστος συντήρησης και μικρότερα ἐπίπεδα θορύβου σε χαμηλές ταχύτητες.

Διαφορετικοί τύποι ηλεκτρικῶν κινητήρων χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικά οχήματα, συμπεριλαμβανομένων των επαγωγικῶν κινητήρων ἐναλλασσόμενου ρεύματος (AC) και διαφορετικῶν τύπων κινητήρων συνεχούς ρεύματος (DC). Σε γενικά πλαίσια, οι διάφορες τεχνολογίες που υποστηρίζουν τους ηλεκτροκινητήρες θεωρούνται ἀρκετά καλὰ ἀναπτυγμένες ἀπὸ την ἀποψη ἀποδοτικότητας και αξιοπιστίας. Ὡστόσο, ὀρισμένα κόστη που σχετίζονται με την παραγωγή τους

είναι πιθανό να μειωθούν στο μέλλον χάρη σε πιο αποτελεσματικά συστήματα παραγωγής, βελτιωμένο σχεδιασμό οχημάτων και μικρότερους κινητήρες.

2.1.2. Συσσωρευτές

Ο συσσωρευτής σε ένα ηλεκτρικό όχημα αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια την οποία χρησιμοποιεί ο ηλεκτρικός κινητήρας για να τροφοδοτήσει το όχημα. Τα περισσότερα ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιούν μπαταρίες ιόντων λιθίου. Αυτού του είδους οι μπαταρίες έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τους περισσότερους άλλους τύπους μπαταριών, όπως είναι η μεγαλύτερη χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας και η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Ωστόσο, τα τρέχοντα συστήματα μπαταριών τείνουν να είναι βαριά και δαπανηρά. Επιπλέον, ακόμη και αν οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, χάνουν χωρητικότητα με την πάροδο του χρόνου λόγω της γήρανσής τους και των επαναλαμβανόμενων κύκλων φόρτισης. Η ανάπτυξη βελτιωμένων τεχνολογιών μπαταρίας αποτελεί σημαντική προτεραιότητα για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη. Η μέτρηση ωστόσο της απόδοσης των μπαταριών μπορεί να οριστεί με διάφορα μέτρα, δύο από τα οποία είναι :

- Ενεργειακή πυκνότητα: μια μέτρηση που δείχνει πόση ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί ανά μονάδα όγκου ή μάζας της μπαταρίας. Αυτό το μέτρο σχετίζεται με το εύρος του οχήματος, καθώς οι μπαταρίες με υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα είναι συνήθως ικανές να τροφοδοτούν ένα όχημα για μεγαλύτερες αποστάσεις.
- Πυκνότητα ισχύος: μια μέτρηση της ισχύος ανά μονάδα όγκου, δηλαδή της ταχύτητας που μπορεί μια μπαταρία να λάβει ή να δώσει ενέργεια. Αυτή η μέτρηση σχετίζεται με την απόδοση της οδήγησης, δηλαδή με την επιτάχυνση και την ταχύτητα οδήγησης και τους χρόνους φόρτισης.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι σήμερα ο πιο διαδεδομένος τύπος μπαταρίας στα ηλεκτρικά οχήματα. Μια συμπαγής μπαταρία ιόντων λιθίου που χρησιμοποιείται σε ένα μικρό ηλεκτρικό αυτοκίνητο (περίπου 900 κιλά) περιέχει περίπου 4 κιλά λιθίου. Σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες μπαταριών, οι συσσωρευτές ιόντων λιθίου έχουν σχετικά υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, αν και παρέχουν μόνο περίπου το ένα δέκατο της ενεργειακής πυκνότητας των καυσίμων που χρησιμοποιούνται σε κινητήρες εσωτερικής καύσης. Έχουν επίσης χαμηλά ποσοστά εκφόρτισης, δηλαδή μικρό ποσοστό ενέργειας χάνεται με την πάροδο του χρόνου έτσι ώστε να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν για οδήγηση. Τέτοιες μπαταρίες μπορούν συνήθως να διαρκέσουν περίπου 10 χρόνια και μπορούν να φορτιστούν 2500-3500 φορές.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου μπορούν επίσης να λειτουργούν σε σχετικά μεγάλο εύρος θερμοκρασίας, αν και είναι λιγότερο αποτελεσματικές σε ακραίες θερμοκρασίες ζέστης και κρύου. Οι περισσότερες μπορούν να φορτιστούν μόνο μεταξύ 0 ° C και 45 ° C. Για την προστασία των μπαταριών, ορισμένα οχήματα περιλαμβάνουν ένα σύστημα θέρμανσης και ψύξης για να διασφαλιστεί ότι η φόρτιση και η λειτουργία της μπαταρίας πραγματοποιούνται εντός του βέλτιστου εύρους θερμοκρασίας.

Ωστόσο, το κόστος κατασκευής μπαταριών ιόντων λιθίου είναι υψηλό και το κόστος της μπαταρίας μπορεί να είναι ένα σημαντικό τμήμα της συνολικής τιμής του ηλεκτρικού οχήματος. Το πραγματικό κόστος πρώτων υλών του λιθίου που χρησιμοποιείται αντιστοιχεί μόνο σε ένα μικρό κλάσμα του συνολικού κόστους της μπαταρίας, συνήθως έως και 10% του συνολικού κόστους της μπαταρίας. Τα

κύρια μειονεκτήματα των διαθέσιμων τεχνολογιών μπαταριών ιόντων λιθίου επομένως, είναι η περιορισμένη ενεργειακή τους πυκνότητα και το υψηλό κόστος κατασκευής.

Για να βελτιωθεί σημαντικά το ηλεκτρικό εύρος οδήγησης, διερευνώνται επίσης διάφορες τεχνολογίες μπαταριών, όπως μπαταρίες λιθίου-θείου ή μπαταρίες στερεάς κατάστασης. Τέτοιες τεχνολογίες θα μπορούσαν ενδεχομένως να αυξήσουν σημαντικά την χωρητικότητα της μπαταρίας σε σύγκριση με τις τρέχουσες τεχνολογίες μπαταριών ιόντων λιθίου. Ωστόσο, αυτές οι νέες τεχνολογίες βρίσκονται ακόμη σε πρώιμο στάδιο και δεν συμμορφώνονται ακόμη με τις τρέχουσες απαιτήσεις για διάρκεια ζωής και ασφάλεια της μπαταρίας. Η αντοχή τους αναμένεται να βελτιωθεί στο μέλλον, αλλά η απόδοσή τους σε διαφορετικές θερμοκρασίες είναι επί του παρόντος πολύ αβέβαιη.

2.1.3. Ελεγκτής

Ο ελεγκτής ηλεκτρικού κινητήρα ρυθμίζει την απόδοση του ηλεκτροκινητήρα, συμπεριλαμβανομένης της ρύθμισης της ποσότητας ισχύος που παρέχει η μπαταρία στον κινητήρα.

2.1.4. Αναγεννητικά φρένα

Τα αναγεννητικά συστήματα πέδησης βοηθούν στη διατήρηση της φόρτισης της μπαταρίας σε ηλεκτρικό όχημα, μετατρέποντας σε ηλεκτρική ενέργεια μεγάλο μέρος της ενέργειας που κανονικά θα χαθεί ως θερμότητα κατά το φρενάρισμα. Τέτοια συστήματα περιλαμβάνουν μια μικρή ηλεκτρική γεννήτρια ως μέρος των συστημάτων πέδησης του οχήματος και πρέπει να χρησιμοποιούνται μαζί με συμβατικά φρένα που παράγουν τριβή. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα των αναγεννητικών φρένων, εκτός από τη βελτίωση της συνολικής ενεργειακής απόδοσης του οχήματος, είναι ότι επεκτείνουν τη διάρκεια ζωής του συστήματος πέδησης του οχήματος, καθώς τα μέρη του δεν φθείρονται τόσο γρήγορα.

2.1.5. Βοηθητικός εξοπλισμός

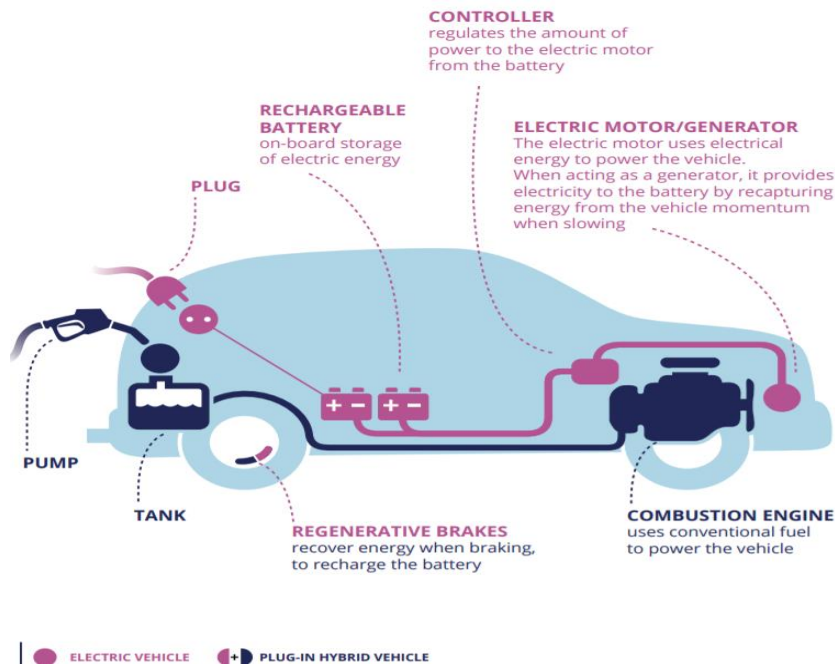
Όπως και τα συμβατικά οχήματα, τα ηλεκτρικά οχήματα ενσωματώνουν διάφορους τύπους βοηθητικού εξοπλισμού. Σε αυτόν τον εξοπλισμό περιλαμβάνεται το υδραυλικό τιμόνι, υποστήριξη πέδησης, φώτα, συστήματα ψύξης και θέρμανσης επιβατών και συστήματα θέρμανσης και ψύξης της μπαταρίας. Ειδικά κατά τη διάρκεια ψυχρών περιόδων, τόσο η μπαταρία όσο και τα συστήματα θέρμανσης επιβατών μπορούν να καταναλώνουν μεγάλο μέρος της χωρητικότητας της μπαταρίας, μειώνοντας ενδεχομένως το εύρος οδήγησης. Η βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας από βοηθητικό εξοπλισμό γίνεται ολοένα και πιο σημαντική στα ηλεκτρικά οχήματα [10].

2.2. Οι διάφοροι τύποι των ηλεκτρικών οχημάτων

Αυτήν την στιγμή στην αγορά υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μεταξύ διαφόρων τύπων οχημάτων. Αυτά μπορεί να είναι υβριδικά, αμιγώς ηλεκτρικά αλλά και οχήματα που τροφοδοτούνται από κυψέλες καυσίμου. Ωστόσο, η κατανόηση των βασικών διαφορών μεταξύ αυτών των τεχνολογιών και των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων τους, δεν είναι πάντα απλή για τους εν δυνάμει καταναλωτές.

Οι κατασκευαστές οχημάτων χρησιμοποιούν σήμερα πέντε βασικούς τύπους τεχνολογίας ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτές οι τεχνολογίες ποικίλλουν ως προς τον τρόπο παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας

στο όχημα ή/και της δυνατότητας επαναφόρτισής του και ως προς τον τρόπο σύνδεσης του ηλεκτρικού κινητήρα και του κινητήρα καύσης. Χαρακτηριστικά όπως αυτά της χωρητικότητας της μπαταρίας, των δυνατοτήτων φόρτισης και της τεχνολογικής πολυπλοκότητας διαμορφώνουν αυτοκίνητα διαφορετικών δυνατοτήτων όσον αφορά την αυτονομία, τις επιλογές ανεφοδιασμού και φυσικά μεταβάλλουν ανάλογα το κόστος του οχήματος.



Σχήμα 3. Οι κυριότερες συνιστώσες των ηλεκτρικών οχημάτων, [10]

2.2.1. Ηλεκτρικά Οχήματα Με Συσσωρευτές (Battery Electric Vehicles - BEVs)

Τα BEVs τροφοδοτούνται αποκλειστικά από έναν ηλεκτροκινητήρα, χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια αποθηκευμένη σε μια ενσωματωμένη μπαταρία. Η μπαταρία πρέπει να φορτίζεται τακτικά, συνδέοντας το όχημα σε σημεία φόρτισης συνδεδεμένα στο τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Τα BEVs έχουν την υψηλότερη ενεργειακή απόδοση όλων των συστημάτων πρόωσης οχημάτων, συνήθως ικανά να μετατρέψουν περίπου το 80% ή περισσότερο της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στην μπαταρία σε κίνηση, όπως προαναφέρθηκε. Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι ιδιαίτερα αποδοτικός και το αναγεννητικό φρενάρισμα παρέχει περαιτέρω οφέλη απόδοσης. Τα αναγεννητικά συστήματα πέδησης βοηθούν στη διατήρηση της φόρτισης της μπαταρίας σε ένα ηλεκτρικό όχημα, μετατρέποντας σε ηλεκτρική ενέργεια μεγάλο μέρος της ενέργειας που κανονικά θα χαθεί ως θερμότητα μέσω του παραδοσιακού φρεναρίσματος.

Δεν υπάρχουν εκπομπές καυσαερίων κατά την οδήγηση των BEVs. Αυτό συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα σε τοπικό επίπεδο. Τα μεγαλύτερα οφέλη για το περιβάλλον μπορούν να επιτευχθούν όταν τα BEVs τροφοδοτούνται από ηλεκτρική ενέργεια ανανεώσιμων πηγών. Ωστόσο, εκλύονται λιγότερες εκπομπές ακόμη και όταν η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από το μέσο μείγμα ενέργειας της Ευρώπης, το οποίο είναι μείγμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ορυκτών καυσίμων.

Τα BEVs, ωστόσο, εξακολουθούν να έχουν κάπως περιορισμένο χιλιομετρικό εύρος οδήγησης σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα και συνήθως χρειάζονται αρκετό χρόνο για να επαναφορτίσουν

τις ενσωματωμένες μπαταρίες τους. Τείνουν να έχουν μεγάλες μπαταρίες για την μεγιστοποίηση της χωρητικότητας αποθήκευσης ενέργειας και ως εκ τούτου να επιτρέπουν μεγαλύτερες διαδρομές οδήγησης. Αυτές οι μεγάλες μπαταρίες κοστίζουν σε γενικά πλαίσια περισσότερο από αυτές που χρησιμοποιούνται σε υβριδικά οχήματα. Ωστόσο, το κόστος της μπαταρίας ανά κιλοβατώρα (kWh) τείνει να είναι μικρότερο για τα BEVs.

2.2.2. Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (Hybrid Electric Vehicles - HEVs)

Τα HEV διατίθενται στο εμπόριο για περισσότερα από 19 χρόνια. Συνδυάζουν έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης και έναν ηλεκτρικό κινητήρα που βοηθά κατά τη διάρκεια, για παράδειγμα, της επιτάχυνσης του οχήματος. Η μπαταρία ενός HEV δεν μπορεί να φορτιστεί στο δίκτυο αλλά συνήθως φορτίζεται κατά την αναγεννητική πέδηση ή ενώ το όχημα κινείται.

Τα HEV συνήθως έχουν χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου και εκπομπές καυσαερίων από τις συμβατικές τεχνολογίες. Όσο πιο εξελιγμένο το υβριδικό σύστημα, τόσο μεγαλύτερη είναι η δυνατότητα μείωσης των εκπομπών. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι και μοντέλα HEVs, που κυμαίνονται από τα μικροϋβριδικά (micro-HEVs), των οποίων το μοναδικό χαρακτηριστικό εξοικονόμησης καυσίμου είναι η αναγεννητική πέδηση και όπου ο ηλεκτρικός κινητήρας από μόνος του δεν είναι ικανός να τροφοδοτήσει το όχημα, έως και τα πλήρως υβριδικά (full HEVs), τα οποία μπορούν να οδηγήσουν μικρές αποστάσεις μόνο με ηλεκτρική ενέργεια.

Οι τρόποι με τους οποίους συνδέεται ο συμβατικός κινητήρας και ο ηλεκτροκινητήρας μπορούν επίσης να διαφέρουν μεταξύ διαφορετικών μοντέλων HEVs. Τα παράλληλα υβριδικά χρησιμοποιούν έναν ηλεκτρικό κινητήρα και έναν κινητήρα καύσης που συνδέονται έτσι ώστε να τροφοδοτούν το όχημα μαζί. Τα υβριδικά παράλληλης σειράς, συνδυάζουν ισχύ από τους συμβατικούς και ηλεκτρικούς κινητήρες για την κίνηση των τροχών, αλλά, σε αντίθεση με ένα παράλληλο υβριδικό, αυτά τα οχήματα μπορούν να οδηγούνται χρησιμοποιώντας μόνο την μπαταρία, αν και συνήθως μόνο σε χαμηλές ταχύτητες και μικρές αποστάσεις. Επομένως, μπορεί να επιτρέπεται στο όχημα να τροφοδοτείται 100% από τον συμβατικό κινητήρα, 100% από τον ηλεκτροκινητήρα ή σε οποιαδήποτε ενδιάμεση αναλογία, όπως για παράδειγμα χρήση κατά 30% του ηλεκτρικού κινητήρα και 70% του κινητήρα καύσης.

Οι μπαταρίες για υβριδικά, τόσο με δυνατότητα φόρτισης (plug-in) όσο και χωρίς (non-plug-in), τείνουν να είναι ακριβότερες από αυτές για ηλεκτρικά οχήματα συσσωρευτών σε σχέση τιμής ανά kWh. Αυτή η υψηλότερη τιμή οφείλεται κυρίως στο ότι τα υβριδικά οχήματα απαιτούν μεγαλύτερη απόδοση ισχύος σε ενέργεια.

2.2.3. Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Οχήματα με Ηλεκτρική Ενέργεια Από Εξωτερική Πηγή (Plug-in Hybrid Electric Vehicles - PHEVs)

Τα PHEVs τροφοδοτούνται από έναν ηλεκτροκινητήρα και έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης σχεδιασμένο να λειτουργεί είτε μαζί είτε ξεχωριστά. Η ενσωματωμένη μπαταρία μπορεί να φορτιστεί από το ηλεκτρικό δίκτυο και ο κινητήρας καύσης υποστηρίζει τον ηλεκτροκινητήρα όταν απαιτείται υψηλότερη ισχύς λειτουργίας ή όταν η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας είναι χαμηλή.

Το εύρος οδήγησης κατά τη χρήση του ηλεκτροκινητήρα είναι μικρότερο από ό, τι για τα BEVs, καθώς οι μπαταρίες των PHEVs τείνουν να έχουν μικρότερη χωρητικότητα. Αυτό συμβαίνει επειδή τα PHEVs βασίζονται λιγότερο στην ηλεκτρική τροφοδοσία του οχήματος. Η χωρητικότητα της μπαταρίας σε

αυτά τα οχήματα έχει σχεδιαστεί περισσότερο για μικρές μετακινήσεις στην πόλη για παράδειγμα, παρά για ταξίδια μεγάλων αποστάσεων.

Όσον αφορά τις μπαταρίες των PHEVs, αυτές τείνουν να είναι πιο ακριβές από ό, τι αυτές των BEVs σε σχέση τιμής ανά kWh. Αυτή η υψηλότερη τιμή οφείλεται κυρίως στο ότι τα PHEVs απαιτούν μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των PHEVs εξαρτώνται από τον τρόπο λειτουργίας τους. Η πλήρως ηλεκτρική λειτουργία έχει ως αποτέλεσμα μηδενικές εκπομπές καυσαερίων, αλλά η λειτουργία χρήσης μόνο του συμβατικού κινητήρα μπορεί να οδηγήσει σε κατανάλωση καυσίμου και επίπεδα εκπομπών ίσα ή υψηλότερα από εκείνα των συμβατικών οχημάτων παρόμοιου μεγέθους, επειδή οι πρόσθετες μπαταρίες αυξάνουν τη μάζα του οχήματος. Επιπλέον, όσον αφορά τα BEVs, η συνολική περιβαλλοντική απόδοση των PHEVs εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο μείγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα PHEVs μπορεί να είναι οικονομικά ελκυστικά για τους οδηγούς εάν η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται είναι φθηνότερη από τη βενζίνη ή το ντίζελ που διαφορετικά θα είχαν χρησιμοποιηθεί.

2.2.4. Ηλεκτρικά Οχήματα με Συσσωρευτές και Ηλεκτροπαραγωγική Μονάδα (Range Extended Electric Vehicles – REEVs)

Τα REEVs έχουν μια σειριακή υβριδική διαμόρφωση στην οποία ο κινητήρας εσωτερικής καύσης δεν έχει άμεση σύνδεση με τους τροχούς. Αντί αυτού, ο κινητήρας καύσης λειτουργεί ως γεννήτρια ηλεκτρικής ενέργειας και χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του ηλεκτρικού κινητήρα ή την επαναφόρτιση της μπαταρίας όταν είναι χαμηλή. Η ενσωματωμένη μπαταρία μπορεί επίσης να φορτιστεί από το δίκτυο. Επομένως ο ηλεκτροκινητήρας είναι αποκλειστικά υπεύθυνος για την άμεση τροφοδοσία του οχήματος.

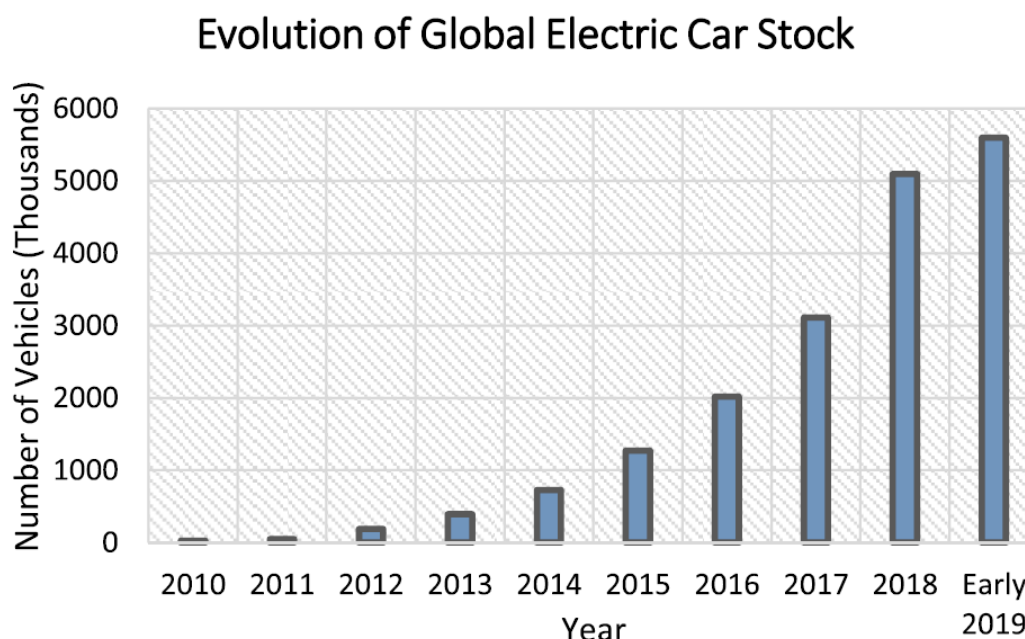
Ένα πλεονέκτημα των REEVs είναι ότι ο συμβατικός κινητήρας μπορεί να είναι μικρός, καθώς απαιτείται μόνο όταν το όχημα υπερβαίνει το ηλεκτρικό εύρος οδήγησης, κάτι που βοηθά στη μείωση του βάρους του οχήματος. Κατά αυτόν τον τρόπο, ένα REEV υπερβαίνει το πρόβλημα μιας περιορισμένης περιοχής οδήγησης -κάτι που αφορά ένα BEV-, επειδή μπορεί να τροφοδοτηθεί και σε συμβατικούς σταθμούς ανεφοδιασμού.

2.2.5. Ηλεκτρικά Οχήματα με Ενεργειακά Στοιχεία (Fuel Cells Electric Vehicles - FCEVs)

Η πρόωση των FCEVs γίνεται επίσης εξ ολοκλήρου από ηλεκτρική ενέργεια. Σε αυτήν την περίπτωση, η ηλεκτρική ενέργεια δεν αποθηκεύεται σε ένα σύστημα μπαταριών, αλλά αντί αυτού παρέχεται από ενεργειακά στοιχεία κυψελών καυσίμου που χρησιμοποιούν υδρογόνο από μια ενσωματωμένη στο όχημα δεξαμενή, με συνδυασμό οξυγόνου από τον αέρα. Τα κύρια πλεονεκτήματα των FCEVs έναντι των BEVs είναι οι μεγαλύτερες διαδρομές οδήγησης και ο ταχύτερος ανεφοδιασμός, που είναι παρόμοια με αυτά ενός συμβατικού οχήματος. Λόγω του τρέχοντος μεγέθους και του βάρους των στοιχείων κυψελών καυσίμου, τα FCEVs είναι πιο κατάλληλα για μεσαία έως μεγάλα οχήματα και μεγαλύτερες αποστάσεις. Η τεχνολογία κυψελών καυσίμου βρίσκεται σε προγενέστερο στάδιο ανάπτυξης από τις τεχνολογίες που περιεγράφηκαν παραπάνω και λίγα μοντέλα FCEVs βρίσκονται επί του παρόντος εμπορικά διαθέσιμα. Απαιτείται περαιτέρω τεχνολογική ανάπτυξη για τα FCEVs για τη βελτίωση της αντοχής τους, τη μείωση του κόστους και τη δημιουργία υποδομής τροφοδοσίας υδρογόνου, συμπεριλαμβανομένων αυτόνομων σταθμών ή αντλιών υδρογόνου [10].

2.3. Η τρέχουσα και μελλοντική τάση στην αγορά ηλεκτρικών οχημάτων

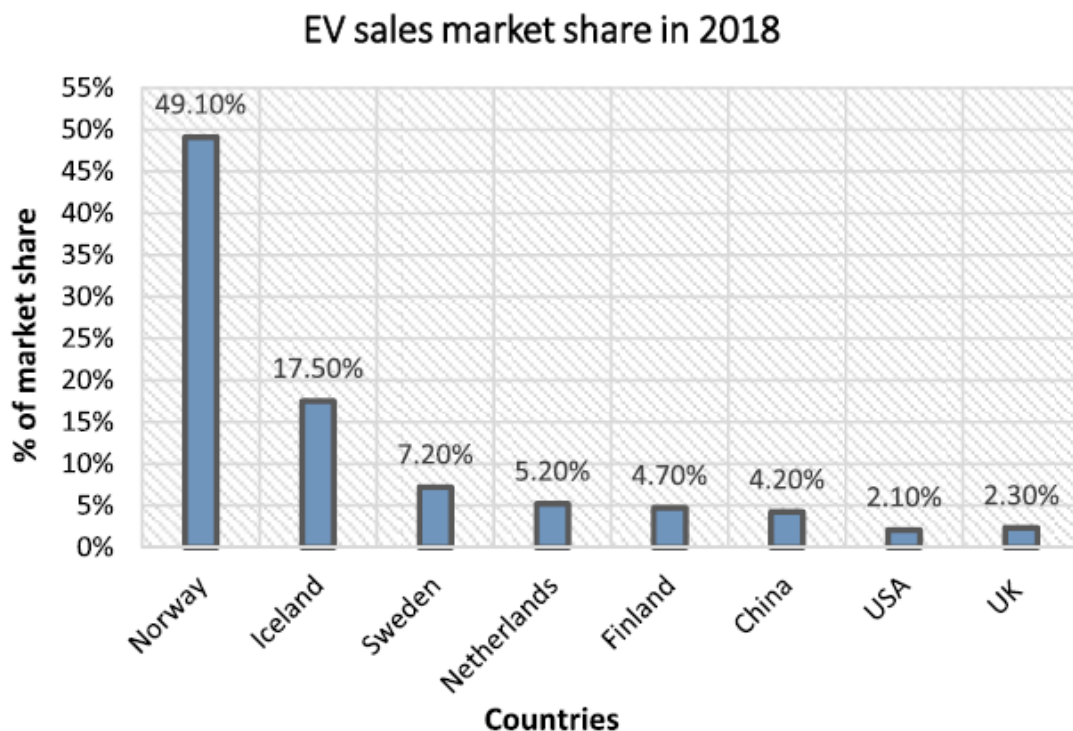
Πρόσφατες αναφορές δείχνουν ότι ο αριθμός των επιβατικών ηλεκτρικών οχημάτων ξεπερνά τα 7 εκατομμύρια, τη στιγμή που την προηγούμενη δεκαετία βρίσκονταν μόνο εκατοντάδες αυτών σε κυκλοφορία. Πέραν αυτών, υπάρχουν πλέον πάνω από 500.000 λεωφορεία, σχεδόν 400.000 βαν και φορτηγά παράδοσης και 184 εκατομμύρια μοτοποδήλατα, σκούτερ και μοτοσικλέτες στο δρόμο παγκοσμίως, τα οποία είναι και αυτά ηλεκτρικά. Η εξέλιξη του παγκόσμιου στόλου μέχρι τις αρχές του 2019 αποτυπώνεται στο Σχήμα 4 [11].



Σχήμα 4. Ανάπτυξη παγκόσμιου στόλου ηλεκτρικών οχημάτων ανά έτος, [12]

Οι χώρες που πρωταγωνιστούν στον παγκόσμιο χάρτη της αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων σύμφωνα με την καταγραφή του 2018, φαίνονται στο Σχήμα 5 με την Νορβηγία να ηγείται, έχοντας μερίδιο αγοράς στο 49,1%, ποσοστό καθόλου ευκαταφρόνητο και συγκρίσιμο με τα ποσοστά άλλων χωρών, κάτι που σημαίνει ότι σχεδόν τα μισά αυτοκίνητα που αγοράζονται στην Νορβηγία, είναι ηλεκτρικά. Ακολουθούν η Ισλανδία με 17,5%, η Σουηδία με 7,2%, η Ολλανδία με 5,2%, η Φινλανδία με 4,7%, η Κίνα με 4,2%, το Ηνωμένο Βασίλειο με 2,3% και οι ΗΠΑ με μόλις 2,1%. Παρόλα αυτά, όσον αφορά την αγορά σε μονάδες, τα ηνία κατέχει η εύλογα η Κίνα λόγω του πληθυσμού της χώρας της, καταγράφοντας 1.053.000 νέα ηλεκτρικά οχήματα για το 2018 [12], [13].

Πιο συγκεκριμένα, το 2018 περίπου το 45% του παγκόσμιου στόλου ηλεκτρικών αυτοκινήτων βρισκόταν στην Κίνα, έναντι 39% το 2017. Το σύνολο των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Κίνα σχεδόν διπλασιάστηκε σε αυτό το διάστημα και έφτασε τα 2,3 εκατομμύρια. Το 2018, η Ευρώπη αντιπροσώπευε το 24% του παγκόσμιου στόλου στα 1,2 εκατομμύρια (εκ των οποίων 0,96 εκατομμύρια ήταν στην Ευρωπαϊκή Ένωση) και οι Ηνωμένες Πολιτείες αντιπροσώπευαν το 22% με 1,1 εκατομμύρια. Μέχρι στιγμής, η Νορβηγία ήταν ο παγκόσμιος ηγέτης όσον αφορά το ποσοστό ηλεκτρικών οχημάτων επί του στόλου της το 2018, με το 10% να απαρτίζουν τα ηλεκτρικά. Ακόμη και με τη συνεχιζόμενη επέκταση των πωλήσεων ηλεκτρικών αυτοκινήτων, μόνο πέντε χώρες, είχαν ποσοστό ηλεκτρικών αυτοκινήτων υψηλότερο από 1% το 2018: η Νορβηγία (10%) 5, η Ισλανδία (3,3%), η Ολλανδία (1,9%), η Σουηδία (1,6%) 6 και η Κίνα (1,1%) [14].



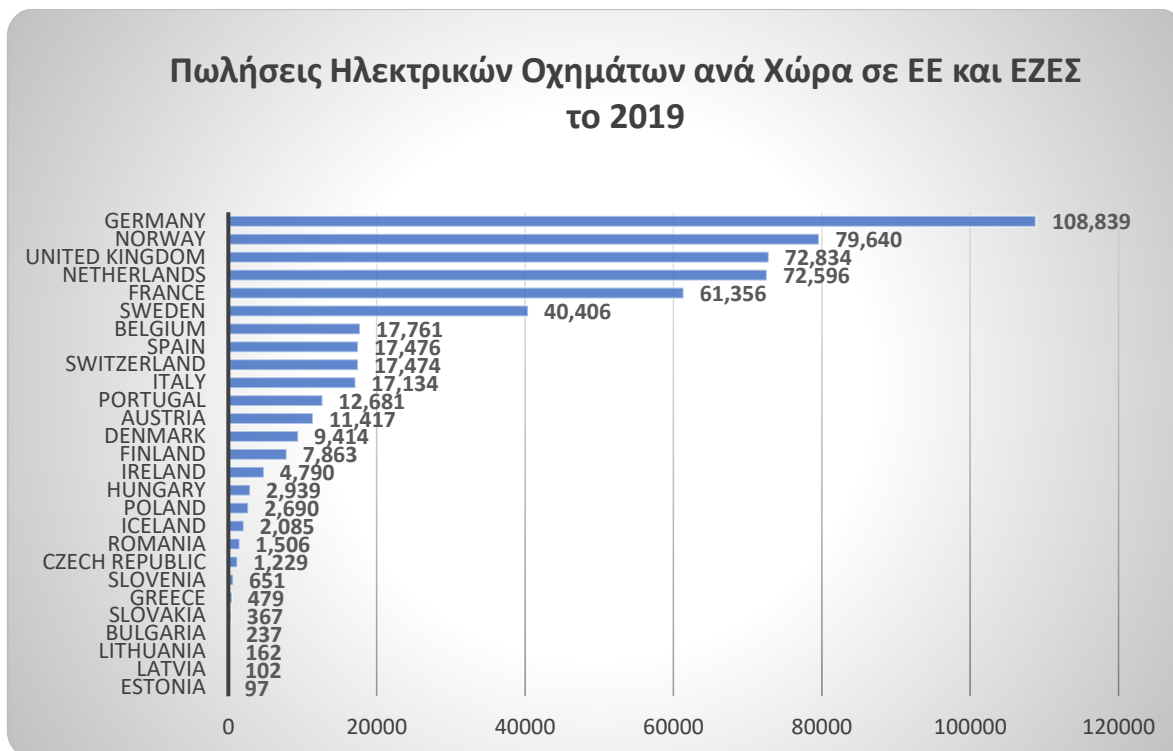
Σχήμα 5. Μερίδιο αγοράς πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων παγκοσμίως το 2018,[12]

Κατά τη διάρκεια του 2019, η αγορά ηλεκτρικά φορτισμένων οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση επεκτάθηκε κατά 53,5%, δηλαδή 465.026 αυτοκίνητα. Εάν προστεθεί η Ευρωπαϊκή Ζώνη Ελευθέρων Συναλλαγών (ΕΖΕΣ) την οποία απαρτίζουν στην προκειμένη η Νορβηγία, Ελβετία και Ισλανδία, η επέκταση ήταν 45,4%, δηλαδή 564.225 αυτοκίνητα - κυρίως λόγω των ηλεκτρικών αυτοκινήτων που παραμένουν πολύ δημοφιλή στη Νορβηγία. Σημειώνεται ότι εξ αυτών τα 365.372 αφορούν ηλεκτρικά οχήματα με συσσωρευτές (BEVs) ενώ τα υπόλοιπα 198.853 ηλεκτρικά επαναφορτιζόμενα οχήματα (PHEVs). Παρόλα αυτά, η Ολλανδία ξεπέρασε τη Νορβηγία ως ηγέτιδα στην αγορά ηλεκτρικών οχημάτων με συσσωρευτές (BEVs), ενώ η Γερμανία ξεπέρασε το Ηνωμένο Βασίλειο ως τη μεγαλύτερη αγορά υβριδικών επαναφορτιζόμενων οχημάτων (PHEVs) στην Ευρώπη. Συνολικά, η αγορά ηλεκτρικά φορτισμένων οχημάτων στην ΕΕ και την ΕΖΕΣ αυξήθηκε περισσότερο από 175.000 αυτοκίνητα κατά τη διάρκεια του 2019, αυξάνοντας το μερίδιο αγοράς από 2% σε 3,6% σε σύγκριση με το 2018. Στα κάτωθι σχήματα (Σχήμα 6 και Σχήμα 7) φαίνονται οι πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων (BEVs και PHEVs) ανά χώρα της ΕΕ και της ΕΖΕΣ για το 2019 [15].

Όσον αφορά τις νέες πωλήσεις οχημάτων σχετικά με το χρησιμοποιούμενο καύσιμο, βλέπουμε ότι υπάρχει μια πτωτική τάση αναφορικά με τα οχήματα που λειτουργούν με ντίζελ. Συνολικά το 2019, σχεδόν το 60% όλων των νέων αυτοκινήτων που καταγράφηκαν στην Ευρωπαϊκή Ένωση χρησιμοποιούσαν βενζίνη (58,9%, έναντι 56,6% το 2018), ενώ το ντίζελ που αντιπροσώπευε το 30,5% των εγγραφών, το 2018 αντιπροσώπευε το 35,9%. Ταυτόχρονα, το 3,0% των καινούργιων επιβατικών αυτοκινήτων στην ΕΕ ήταν ηλεκτρικά φορτιζόμενα οχήματα (μία ποσοστιαία μονάδα περισσότερο από ό, τι το 2018) (Σχήμα 8) [15].

COUNTRY	2019	2018	% CHANGE
AUSTRIA	11,417	9,022	26.5
BELGIUM	17,761	13,243	34.1
BULGARIA	237	220	7.7
CZECH REPUBLIC	1,229	981	25.3
DENMARK	9,414	4,916	91.5
ESTONIA	97	118	-17.8
FINLAND	7,863	5,708	37.8
FRANCE	61,356	45,597	34.6
GERMANY	108,839	67,658	60.9
GREECE	479	299	60.2
HUNGARY	2,939	2,070	42
IRELAND	4,790	1,972	142.9
ITALY	17,134	9,748	75.8
LATVIA	102	90	13.3
LITHUANIA	162	143	13.3
NETHERLANDS	72,596	29,668	144.7
POLAND	2,690	1,379	95.1
PORTUGAL	12,681	7,849	61.6
ROMANIA	1,506	605	148.9
SLOVAKIA	367	293	25.3
SLOVENIA	651	660	-1.4
SPAIN	17,476	11,814	47.9
SWEDEN	40,406	28,979	39.4
UNITED KINGDOM	72,834	59,947	21.5
EUROPEAN UNION	465,026	302,979	53.5
ICELAND	2,085	2,583	-19.3
NORWAY	79,640	72,689	9.6
SWITZERLAND	17,474	9,497	84
EFTA	99,199	84,769	17
EU + EFTA	564,225	387,748	45.5

Σχήμα 6. Μεταβολή Πωλήσεων Ηλεκτρικών Οχημάτων ανά Χώρα σε ΕΕ και ΕΖΕΣ το 2019 και 2018, [15].



Σχήμα 7. Πωλήσεις Ηλεκτρικών Οχημάτων ανά Χώρα σε ΕΕ και ΕΖΕΣ το 2019, [15].

New passenger cars by fuel type in the EU

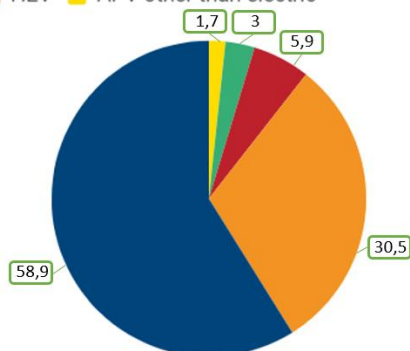
Market shares (%)



European
Automobile
Manufacturers
Association

2019 ▾

■ Petrol ■ Diesel ■ ECV ■ HEV ■ APV other than electric



Σχήμα 8. Νέα οχήματα στην ΕΕ ανά τύπο καυσίμου το 2019, [15]

Παρά τα πολυάριθμα πλεονεκτήματα των EV, μόνο λίγες χώρες συμμετέχουν στην παγκόσμια αγορά ηλεκτρικών οχημάτων. Οι πρωταρχικοί λόγοι είναι το υψηλό κόστος και το ότι ο αριθμός παραγωγής είναι περιορισμένος. Για να ξεπεραστεί αυτό το ζήτημα, οι περισσότεροι κατασκευαστές οχημάτων έχουν θέσει στόχους παραγωγής όπως μπορεί να φανεί στην επόμενη εικόνα (Σχήμα 9), [12]. Αν και η πανδημία του κορωνοϊού αφήνει πίσω της επιπτώσεις και σε αυτόν τον κλάδο, οι μακροπρόθεσμες προοπτικές παραμένουν υποσχόμενες, καθώς αναμένονται καθοριστικές τεχνολογικές εξελίξεις και βελτιώσεις κόστους. Παρόλα αυτά, φαίνεται ότι ορισμένες βραχυπρόθεσμες εκδόσεις ηλεκτρικών

μοντέλων θα καθυστερήσουν, αλλά οι κατασκευαστές προς στιγμήν τηρούν τις μακροπρόθεσμες δεσμεύσεις τους όσον αφορά την ηλεκτροκίνηση. Ενδεικτικά, προβλέπεται ότι μέχρι το 2025, τα ηλεκτρικά οχήματα θα κατακτήσουν το 10% των παγκόσμιων πωλήσεων επιβατικών οχημάτων, αυξάνοντάς το στο 28% για το 2030 και στο 58% για το 2040. Σημειώνεται ότι ορισμένες αγορές επιτυγχάνουν πολύ υψηλότερες διεισδύσεις, αλλά η χαμηλή υιοθέτηση στις αναδυόμενες αγορές μειώνει τον παγκόσμιο μέσο όρο.

BMW	0.1 M EV sales in 2017 and 15–25% of the BMW group's sales by 2025.
Chevrolet	30,000 EV sales by 2017.
Chinese OEMs	4.52 M EV sales by 2020.
Daimler	0.1 M EV sales by 2020.
(smart)	15–25% of sales should be EVs by 2025.
Ford	13 new EV models by 2020.
Honda	Two-thirds of the sales to be electric drive vehicles by 2030.
Renault-Nissan	1.5 M cumulative sales of EVs by 2020.
	30% of yearly sales should be EVs by 2022.
Tesla	0.5 M annual EV sales by 2018.
	25% of total sales would be electric by 2025.
Volkswagen	2–3 M annual EV sales by 2025.
Volvo	1 M aggregate sales and 50% of total sales would be electric by 2025.
Audi	50% of new sales would be EV by 2025.
Porsche	50% of new sales would be EV by 2023.
Toyota	1 million EV sales per year by 2030.

Σχήμα 9. Στόχοι πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων από κατασκευαστές [12].

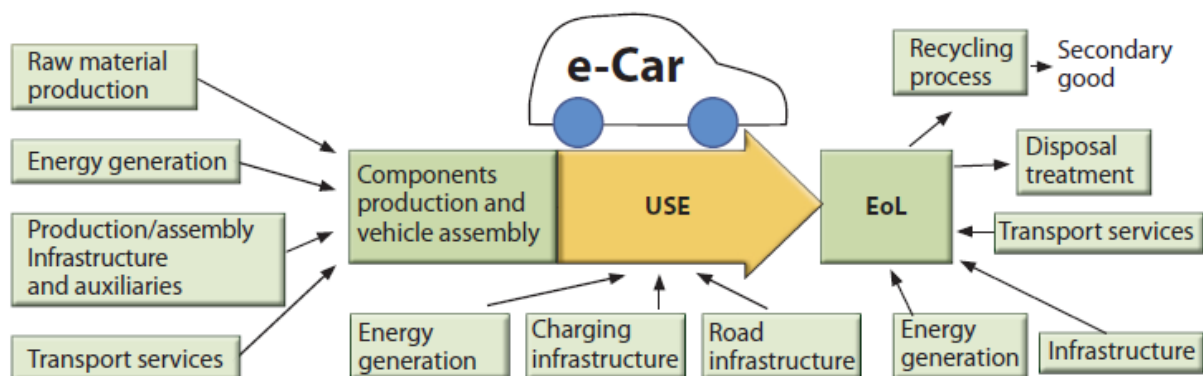
Η Κίνα και η Ευρώπη σε συνδυασμό θα αντιπροσωπεύουν το 72% όλων των πωλήσεων επιβατικών ηλεκτρικών οχημάτων το 2030, λόγω των θεσπισμένων πολιτικών και κανονισμών σε αυτές τις χώρες. Οι ΗΠΑ αντίθετα, μένουν πίσω τα επόμενα χρόνια αλλά καταφτάνουν τους ηγέτες της αγοράς τη δεκαετία του 2030. Σχεδόν το 60% των νοικοκυριών των Η.Π.Α. διαθέτουν δύο ή περισσότερα αυτοκίνητα - και πολλά έχουν τη δυνατότητα να εγκαταστήσουν φόρτιση στο σπίτι - καθιστώντας τα ιδανικά στην υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς το κόστος, η εμβέλεια και οι δυνατότητες επαναφόρτισης συνεχίζουν να βελτιώνονται. Κατά αυτόν τον τρόπο, οι αυτοκινητοβιομηχανίες επικεντρώνουν τις προσπάθειές τους στις αγορές με τους πιο αυστηρούς κανονισμούς για τα επόμενα 10 χρόνια, οδηγώντας έτσι σε χαμηλά ποσοστά υιοθέτησης για τον υπόλοιπο κόσμο.

Αναμένεται επιπλέον ότι η ισοτιμία των τιμών μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων και των οχημάτων με μηχανές εσωτερικής καύσης, επιτυγχάνεται στα μέσα της δεκαετίας του 2020 για τις περισσότερες κατηγορίες οχημάτων, αλλά υπάρχει μια μεγάλη διακύμανση μεταξύ των γεωγραφικών περιοχών. Για την κατηγορία των μεγάλων οχημάτων στην Ευρώπη, η εξίσωση τιμών προβλέπεται έως το 2022, ενώ για τα μικρά οχήματα στην Ινδία και την Ιαπωνία αυτή η ισοτιμία αναμένεται να καθυστερήσει και μετά το 2030 λόγω της κατά μέσο όρο πολύ χαμηλής τιμής αγοράς σε αυτές τις κατηγορίες για τα συμβατικά οχήματα.

Μέχρι να επιτευχθούν αυτά τα σημεία ανατροπής, απαιτούνται πολιτικές υποστήριξης στις περισσότερες αγορές. Οι πωλήσεις αναμένεται να αυξηθούν γρήγορα στη συνέχεια, αλλά η διαθεσιμότητα των υποδομών φόρτισης αρχίζει να περιορίζει την αγορά τη δεκαετία του 2030, για το πλήθος των καταναλωτών χωρίς πρόσβαση σε διαθέσιμες υποδομές είτε κατ' οίκον, είτε σε χώρους εργασίας [11].

3. Η Ανάλυση του Κύκλου Ζωής για τα Ηλεκτρικά Οχήματα

Η Ανάλυση του Κύκλου Ζωής για τα ηλεκτρικά οχήματα, γίνεται με βάση τον προσδιορισμό των επιμέρους χαρακτηριστικών των διαδικασιών του σταδίου των πρώτων υλών, της παραγωγής, της χρήσης και του σταδίου σχετικά με το τέλος του κύκλου ζωής των ηλεκτρικών οχημάτων, όπως αποτυπώνεται συνοπτικά στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 10).



Σχήμα 10. Τα στάδια του Κύκλου Ζωής των ηλεκτρικών οχημάτων, [5]

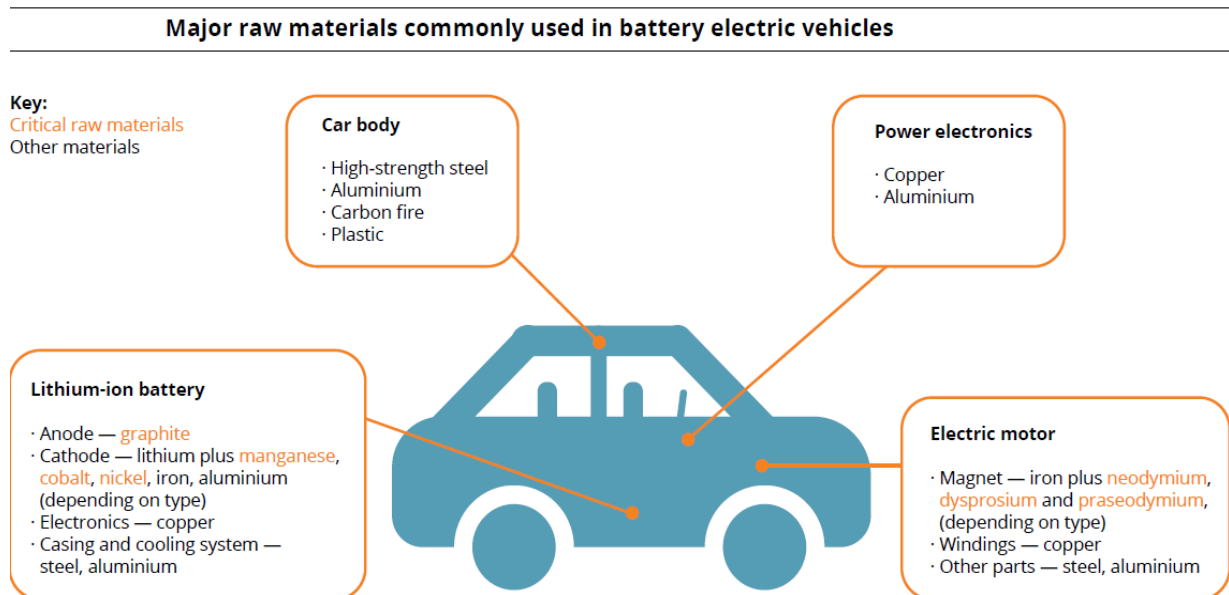
3.1. Στάδιο πρώτων υλών

Αυτό το κεφάλαιο εξετάζει τις βασικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ζητήματα και προκλήσεις που σχετίζονται με την προμήθεια πρώτων υλών για την παραγωγή των BEVs. Το πεδίο έρευνας περιλαμβάνει τις διαδικασίες απόκτησης μετάλλων, πλαστικών και άλλων υλικών που χρησιμοποιούνται στα οχήματα και τα μέρη αυτών.

Η παραγωγή των BEVs απαιτεί ένα σύνολο πρώτων υλών. Σε σύγκριση με ένα ICEV, οι κύριες διαφορές στα απαιτούμενα υλικά προκύπτουν λόγω του συσσωρευτή, των ηλεκτρονικών στοιχείων ισχύος και του ηλεκτρικού κινητήρα σε ένα BEV. Αυτά τα μέρη περιέχουν σημαντικές ποσότητες βασικών μετάλλων όπως ο χαλκός (ένα BEV μπορεί να χρησιμοποιήσει κατά μέσο όρο τέσσερις φορές περισσότερο χαλκό από ένα ICEV, [16], το αλουμίνιο και ο σίδηρος, αλλά και κρίσιμων πρώτων υλών. Η ΕΕ ορίζει τις κρίσιμες πρώτες ύλες (ΚΠΥ) ως υλικά που έχουν υψηλή οικονομική σημασία, αλλά και υψηλό κίνδυνο προμήθειας [17], [18]. Ο κίνδυνος της προμήθειας οφείλεται στο γεγονός ότι υψηλό ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής (δηλαδή η δυνατότητα επεξεργασίας που μετατρέπει τις πρώτες ύλες σε εμπορικά βιομηχανικά προϊόντα) προέρχεται κυρίως από μία ή από ελάχιστες χώρες, κάτι που μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στην παγκόσμια αγορά για μια συγκεκριμένη πρώτη ύλη. Οι ΚΠΥ, συμπεριλαμβανομένων των σπάνιων γαιών, χρησιμοποιούνται περισσότερο στα ηλεκτρικά οχήματα από ό, τι στα ICEVs [19]. Επιπλέον, αυτά τα υλικά απαιτούν εξόρυξη απαιτητική σε ενέργεια αλλά και διαδικασίες διύλισης [20].

Επί του παρόντος, για το αμάξωμα και τα βοηθητικά συστήματα των BEVs, σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται τα ίδια υλικά και παρόμοιες ποσότητες αυτών όπως και για τα ICEVs, καθώς

κάποια μοντέλα BEVs προσαρμόζονται άμεσα από μοντέλα ICEVs. Ωστόσο, λόγω της σημασίας της μεγιστοποίησης της εμβέλειας του οχήματος για τα BEVs, σε ορισμένες περιπτώσεις έχουν ειδικό σχεδιασμό χρησιμοποιώντας πιο ελαφριά υλικά όπως αλουμίνιο, ανθρακονήματα και σύνθετα πλαστικά υλικά. Αυτή η διαδικασία φαίνεται ότι μπορεί να γίνει όλο και πιο σημαντική στο μέλλον.



Σχήμα 11. Βασικά μέταλλα και πρώτες ύλες που απαιτούνται για τα BEVs, [18], [19], [21]

3.1.1. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Υπάρχουν λίγα στοιχεία που να συγκρίνουν άμεσα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εξόρυξης και της επεξεργασίας πρώτων υλών για τα BEVs και ICEVs. Για αυτό το λόγο, δίνεται έμφαση σε ζητήματα που αφορούν την προμήθεια πρώτων υλών, ιδιαίτερα για τα BEV. Οι ποσοτικές συγκρίσεις μεταξύ BEVs και ICEVs για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν από την εξόρυξη πρώτων υλών σε συνδυασμό με την παραγωγή οχημάτων καλύπτονται στο κεφάλαιο για το στάδιο παραγωγής.

3.1.1.1. Κλιματική αλλαγή

Οι διαδικασίες που εμπλέκονται στην προμήθεια πρώτων υλών, που περιλαμβάνουν εξόρυξη, διαχωρισμό και διύλιση, είναι απαιτητικές σε ενέργεια και πόρους. Καταναλώνονται μεγάλες ποσότητες νερού, ενέργειας και άλλων ουσιών όπως η αμμωνία. Αυτό συμβάλλει στο να γίνει η εξαγωγή υλικού και η επεξεργασία σημαντικός συντελεστής στη χρήση ενέργειας και αντίστοιχα στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου [22]–[24]. Οι εκτιμήσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την εξόρυξη και επεξεργασία πρώτων υλών για την παραγωγή των μπαταριών ιόντων λιθίου ποικίλλουν ευρέως, αλλά οι πρόσφατες αναλύσεις κύκλου ζωής δείχνουν ότι ευθύνεται περίπου για το 20% των συνολικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από την παραγωγή μπαταριών [25].

Η ενέργεια που χρησιμοποιείται στην εξόρυξη και επεξεργασία πρώτων υλών μπορεί να έχει τη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας ή ορυκτών καυσίμων τα οποία χρησιμοποιούνται σε οχήματα και μηχανήματα. Σε αντίθεση με τα στάδια κατασκευής και χρήσης των BEVs, όπου η ηλεκτρική ενέργεια είναι η κυρίαρχη πηγή ενέργειας, για την εξόρυξη και επεξεργασία πρώτων υλών

ένα μεγαλύτερο ποσοστό των ενεργειακών απαιτήσεων προέρχεται τόσο από την καύση καυσίμων σε οχήματα, όσο και για την παροχή θερμότητας. Όσον αφορά την ενέργεια που παρέχεται από ηλεκτρισμό, η επίδραση στην κλιματική αλλαγή λόγω αυτού, εξαρτάται από την ένταση άνθρακα των τύπων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που τροφοδοτούν το δίκτυο κατά τη στιγμή και τη θέση χρήσης. Αυτό ποικίλλει σημαντικά ανά χώρα, σημαίνοντας ότι εκείνες οι χώρες με την υψηλότερη ένταση άνθρακα είναι εκείνες όπου κυριαρχούν οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα. Περαιτέρω επεξήγηση του τρόπου με τον οποίο το μείγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ορυκτά καύσιμα, ανανεώσιμες πηγές, πυρηνική ενέργεια, κλπ.) επηρεάζει την ένταση άνθρακα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παρέχεται στο κεφάλαιο του σταδίου της χρήσης.

Εκτός από τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τη χρήση ενέργειας, μια άλλη βασική πηγή αερίων του θερμοκηπίου είναι οι άμεσες εκπομπές CO₂ και υπερφθορανθράκων που προκύπτουν από την παραγωγή αλουμινίου. Ανάλογα με το μοντέλο του οχήματος, αυτό θα μπορούσε να είναι μια σημαντικότερη πηγή για τα BEVs παρά για τα ICEVs, λόγω της μεγαλύτερης ποσότητας αλουμινίου που χρησιμοποιείται για την ελαχιστοποίηση του βάρους των εξαρτημάτων των BEVs.

Η ανακύκλωση των πρώτων υλών μπορεί να μειώσει σημαντικά τους καταναλισκόμενους πόρους για την εκ νέου προμήθεια τους, καθώς έτσι μειώνονται οι ανάγκες για εύρεση νέων πρώτων υλών. Για παράδειγμα, η παραγωγή πρωτογενούς αλουμινίου απαιτεί περίπου 20 φορές περισσότερη ενέργεια από την ανακύκλωση απορριμμάτων και θραυσμάτων αλουμινίου [26]. Επιπλέον, άλλες έρευνες δείχνουν ότι η χρήση εξολοκλήρου ανακυκλωμένων υλικών για την μπαταρία θα μπορούσε να οδηγήσει σε μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έως και 50% σε όλη τη διαδικασία παραγωγής της μπαταρίας [27]. Αν και η διαδικασία ανακύκλωσης απαιτεί πρόσθετη ενέργεια στο τέλος της διάρκειας ζωής ενός οχήματος, το όφελος από την εξοικονόμηση πόρων σε σχέση με το να παραχθούν νέα προϊόντα, είναι συνήθως ανταγωνιστικό. Για παράδειγμα, η ανακύκλωση μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων μέσω πυρομεταλλουργίας (γίνεται περεταίρω ανάλυση στο κεφάλαιο του σταδίου του τέλους του κύκλου ζωής) μπορεί να μειώσει τη ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας κατά 6-56% μέσω των υλικών που ανακτώνται [28]. Ωστόσο, ο βαθμός στον οποίο μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση πόρων μέσω της ανακύκλωσης εξαρτάται, εν μέρει, από την οικονομική ελκυστικότητα των διαφορετικών επιλογών στο τέλος του κύκλου ζωής. Αυτό συζητείται περαιτέρω στο κεφάλαιο το οποίο καλύπτει το τέλος του κύκλου ζωής.

3.1.1.2. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία

Εκτιμάται ότι οι πιθανές επιπτώσεις της φάσης παραγωγής όσον αφορά την ανθρώπινη τοξικότητα, είναι μεταξύ 2,2 με 3,3 φορές μεγαλύτερες για τα ηλεκτρικά οχήματα από ό,τι για τα ICEVs. Το μεγάλο εύρος στο μέγεθος των επιπτώσεων είναι αποτέλεσμα της ποικιλίας των επιλογών ηλεκτρικών οχημάτων, συμπεριλαμβανομένων των πηγών ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται. Οι πιθανές επιπτώσεις στην τοξικότητα για τον άνθρωπο προκύπτουν λόγω των τοξικών εκπομπών που σχετίζονται με την εξόρυξη και την παραγωγή μετάλλων όπως ο χαλκός και το νικέλιο και την εξόρυξη σπάνιων γαιών [21].

Ένα βασικό πρόβλημα για την ανθρώπινη υγεία, είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλείται από διεργασίες υψηλών απαιτήσεων σε ενέργεια που σχετίζονται με την εξαγωγή και επεξεργασία πρώτων υλών. Η καύση καυσίμων - στην παροχή ισχύος σε μηχανήματα και στην παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας - έχει ως αποτέλεσμα εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων (PM), οξειδίων του αζώτου (NO_x) και άλλων ατμοσφαιρικών ρύπων, οι οποίες έχουν, μεταξύ άλλων, επιπτώσεις στην υγεία του αναπνευστικού συστήματος [29]. Οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων από ηλεκτρισμό που παράγεται για την τροφοδοσία αυτών των διαδικασιών εξαρτώνται σε μεγάλο

βαθμό από τις πηγές παραγωγής στο μείγμα ενέργειας, καθώς και από την ποιότητα των καυσίμων και τα μέτρα μείωσης που εφαρμόζονται στις εγκαταστάσεις καύσης. Αυτό συζητείται λεπτομερέστερα στο κεφάλαιο που καλύπτει τη χρήση του οχήματος.

Από τους πολλούς παράγοντες που απαρτίζουν τις επιπτώσεις της ανθρώπινης τοξικότητας που εξετάζεται στις ΑΚΖ (Αναλύσεις Κύκλου Ζωής), οι τοξικές εκπομπές από την απόρριψη απορριμμάτων επεξεργασίας της εξόρυξης χαλκού και νικελίου αντιπροσωπεύουν ένα ποσοστό μεταξύ 70 και 75% του συνολικού αντίκτυπου για τη φάση παραγωγής. Οι διαδικασίες εξόρυξης λιγνίτη και άνθρακα για την παραγωγή ενέργειας αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του υπόλοιπου ποσοστού [21], [30], [31]. Μια πρόσφατη ΑΚΖ έδειξε ότι οι εκπομπές βαρέων μετάλλων (συμπεριλαμβανομένου του μολύβδου, του αρσενικού, του καδμίου, του ψευδαργύρου, του χρωμίου και του υδραργύρου) έχουν επί του παρόντος μεγαλύτερο βάρος στον υπολογισμό επιπτώσεων στην ανθρώπινη τοξικότητα, αν και τα δεδομένα είναι συχνά περιορισμένα [32].

Η εξόρυξη σπάνιων γαιών και ΚΠΥ πραγματοποιείται συχνά σε χώρες όπου οι προφυλάξεις για την υγεία και την ασφάλεια είναι λιγότερο αυστηρές από ό, τι στην ΕΕ. Είναι πιθανό να υπάρχουν τοξικές ουσίες στους υδροφόρους ορίζοντες. Αυτό μπορεί να προκαλέσει ρύπανση πηγών πόσιμου νερού της τοπικής κοινότητας με κινδύνους για την υγεία, όπως αυξημένο κίνδυνο έκθεσης σε ραδιενεργές ουσίες αλλά και αναπνευστικές ασθένειες [20], [23], [33]. Ομοίως, η έκθεση στο κοβάλτιο, συχνά παραπροϊόν της εξόρυξης νικελίου ή χαλκού, μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την υγεία των τοπικών κοινοτήτων εξόρυξης [27].

Η εξόρυξη σπάνιων γαιών, όπως το δυσπρόσιο και το νεοδύμιο, που χρησιμοποιούνται σε μαγνήτες ηλεκτρικών αυτοκινήτων, σχετίζεται επίσης με αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Η εξόρυξη νεοδυμίου παράγει σκόνη, η οποία μπορεί να προκαλέσει πνευμονική εμβολή και βλάβη στο ήπαρ με συσσωρευμένη έκθεση. Το δυσπρόσιο επιπλέον, παρουσιάζει κίνδυνο εκρήξεων. Σε γενικές γραμμές, οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία προκύπτουν από τα απορρίμματα επεξεργασίας των ορυχείων, καθώς τα περισσότερα αποθέματα σπάνιων γαιών περιέχουν ραδιενεργές ουσίες και παρουσιάζουν κίνδυνο εκπομπής ραδιενεργού νερού και σκόνης. Αυτοί οι κίνδυνοι επιδεινώνονται από τις κακές συνθήκες εργασίας: ανεπαρκής εξαερισμός, έλλειψη συνειδητών προφυλάξεων ασφαλείας μεταξύ των εργαζομένων και ακατάλληλη χρήση προστατευτικού εξοπλισμού [33].

3.1.1.3. Επιπτώσεις στο οικοσύστημα

Οι διαδικασίες εξόρυξης, η απελευθέρωση τοξικών εκπομπών και οι διαρροές τοξικών ουσιών μπορεί να έχουν επιβλαβείς επιπτώσεις σχετικά με την υγεία των ανθρώπων και των οικοσυστημάτων. Για τα οικοσυστήματα τα παραπάνω μπορεί να περιλαμβάνουν:

- ευτροφισμό
- αύξηση της οξύτητας των υδάτων και υγροτόπων
- μόλυνση του εδάφους με βαρέα μέταλλα και διάβρωση εδαφών
- απώλεια βιοποικιλότητας, συμπεριλαμβανομένης της χερσαίας βλάστησης και των υδρόβιων ειδών και ιδίως των ψαριών [21], [27], [30]

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η χρήση ενέργειας οδηγεί σε εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων από την καύση καυσίμου, συμπεριλαμβανομένων των οξειδίων του αζώτου (NOx) και των οξειδίων του θείου (SOx), που συμβάλλουν στον ευτροφισμό και την αύξηση της οξύτητας. Εκτός από τις εκπομπές από τη χρήση ενέργειας, η παραγωγή των μετάλλων που χρησιμοποιούνται οδηγεί σε άμεσες εκπομπές όξινων αέριων ρύπων:

- διοξείδιο του θείου (SO₂) απελευθερώνεται κατά την πρωτογενή παραγωγή χαλκού και νικελίου από θειούχα μεταλλεύματα για μπαταρίες, ηλεκτρονικά και ηλεκτρικούς κινητήρες [34].
- υδροχλώριο και υδροφθόριο (τα οποία έχουν επίσης επιπτώσεις στην υγεία σε τοπικό επίπεδο) απελευθερώνονται κατά την παραγωγή αλουμινίου [34].

Οι πληροφορίες σχετικά με τις επιπτώσεις των σπάνιων γαιών στο οικοσύστημα (δυσπρόσιο, νεοδύμιο και πρασεοδύμιο) είναι επί του παρόντος περιορισμένες. Ωστόσο, γίνονται περισσότερες μελέτες για τη διερεύνηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της εξόρυξής τους. Παραδοσιακά, θεωρείται ότι είναι χαμηλού κινδύνου για τα οικοσυστήματα, καθώς είναι σε μεγάλο βαθμό μη ασταθή και αδιάλυτα. Οι πρόσφατες εργαστηριακές μελέτες έχουν, ωστόσο, αποκαλύψει την πιθανή βιοσυσσώρευση και τοξικότητά τους σε υδρόβια είδη. Για παράδειγμα, οι σπάνιες γαίες έχει αποδειχθεί ότι περιορίζουν την ανάπτυξη φυτών και ορισμένων ειδών θαλάσσιων φυκιών, καθώς επίσης προκαλούν μειωμένη παραγωγή χλωροφύλλης [33], [35].

3.1.2. Προκλήσεις για την προμήθεια και επεξεργασία των πρώτων υλών

Η αναμενόμενη αύξηση του αριθμού των ηλεκτρικών οχημάτων στην Ευρώπη θα αυξήσει τη ζήτηση για ορισμένες πρώτες ύλες, όπως ο χαλκός και το νικέλιο, και ιδίως τη ζήτηση για ΚΠΥ και σπάνιες γαίες. Αν και αυτή είναι μια βασική πρόκληση για το μέλλον, υπάρχουν επίσης ανησυχίες σχετικά με τη βιωσιμότητα των τρεχουσών πρακτικών.

3.1.2.1. Αύξηση της αυτονομίας των ηλεκτρικών οχημάτων

Η ανησυχία για την αυτονομία των οχημάτων είναι ένα από τα κύρια εμπόδια στην υιοθέτηση των BEVs που αναφέρονται από τους καταναλωτές. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, οι κατασκευαστές οχημάτων προσπαθούν να αυξήσουν την αυτονομία οδήγησης, αυξάνοντας την χωρητικότητα της μπαταρίας και ελαχιστοποιώντας το συνολικό βάρος του οχήματος. Αν και αυτό αυξάνει την ελκυστικότητα των BEVs για τους καταναλωτές, υπάρχει η πιθανότητα αυξημένων επιπτώσεων από την εξόρυξη και επεξεργασία των πρώτων υλών.

Χωρητικότητα μπαταρίας

Ένας από τους τρόπους αύξησης της χωρητικότητας της μπαταρίας, είναι απλούστατα η προσθήκη περισσότερων κυψελών στην συστοιχία των ηλεκτρικών στηλών, όπου με τον όρο συστοιχία νοείται ένα σύνολο ηλεκτρικών στηλών ή συσσωρευτών συνδεδεμένων μεταξύ τους ώστε να αποτελούν ολοκληρωμένη μονάδα. Αν και αυτό αυξάνει το βάρος της συστοιχίας και άρα το συνολικό βάρος του οχήματος, η επιπρόσθετη χωρητικότητα που προσδίδεται το αποζημιώνει με το παραπάνω, προσδίδοντας μεγαλύτερη οδηγική αυτονομία. Σε γενικές γραμμές, τα ηλεκτρικά οχήματα μεγαλύτερων κατηγοριών τείνουν να έχουν ανώτερα εύρη αυτονομίας, αλλά για να επιτευχθεί αυτό τείνουν να έχουν δυσανάλογα μεγάλες μπαταρίες. Για παράδειγμα, τόσο η τυπική χωρητικότητα της μπαταρίας όσο και το εύρος αυτονομίας οδήγησης των BEVs αυξάνονται σε μεγαλύτερες κατηγορίες αυτοκινήτων, δηλαδή υπάρχει σαφής διαφορά ανάμεσα στα «μίνι αυτοκίνητα» και στα «πολυτελή

αυτοκίνητα». Συνήθως, το μέγεθος της μπαταρίας στα οχήματα πολυτελείας είναι περίπου 3,4 φορές μεγαλύτερο από ό, τι στα μίνι αυτοκίνητα, ενώ το εύρος οδήγησης ήταν μόνο περίπου 2,3 φορές μεγαλύτερο λόγω του διπλασιασμού του βάρους του οχήματος. Είναι σαφές ότι η αύξηση της χωρητικότητας της μπαταρίας με την προσθήκη περισσότερων κυψελών αυξάνει αναλογικά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εξόρυξης και της επεξεργασίας των πρώτων υλών [25].

Ένας άλλος τρόπος αύξησης της εμβέλειας του οχήματος είναι η επιλογή μπαταριών με υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα χημικά, η οποία παρέχει μεγαλύτερη χωρητικότητα αποθήκευσης για το ίδιο βάρος μπαταρίας. Ωστόσο, επί του παρόντος, αυτά τα υλικά κυψελών που προσφέρουν υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα έχουν επίσης υψηλότερες επιπτώσεις όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και των ατμοσφαιρικών ρύπων. Από τους διάφορους τύπους μπαταριών ιόντων λιθίου που χρησιμοποιούνται, αυτές με οξειδίο λιθίου-νικελίου-μαγγανίου-κοβαλτίου (NMC) και με οξειδίου λιθίου-κοβαλτίου (LCO) έχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα. Ωστόσο, η ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή κοβαλτίου και νικελίου για αυτές τις μπαταρίες είναι αρκετά μεγάλη, με αποτέλεσμα πολύ υψηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και SO_x ανά μάζα κυψέλης υλικού που παράγεται για αυτούς τους τύπους μπαταριών από ό, τι για άλλες μπαταρίες με διαφορετική χημική σύσταση [27].

Ελαχιστοποίηση του βάρους

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για τη μείωση του βάρους των υλικών που χρησιμοποιούνται στα οχήματα, αλλά από την άποψη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι χρήσιμο να διακρίνουμε δύο τρόπους που μπορεί να γίνει αυτό [8]:

- μείωση της ποσότητας των χρησιμοποιούμενων υλικών μέσω κατάλληλου σχεδιασμού
- αντικατάσταση υπάρχοντων υλικών με λιγότερο πυκνά υλικά ίδιας αντοχής.

Η μείωση της ποσότητας των υλικών που χρησιμοποιούνται μέσω σχεδιασμού (π.χ. με τη χρήση μόνο όσων υλικών απαιτείται για την αντοχή του φορτίου που τοποθετείται σε ένα εξάρτημα) θα πρέπει πάντα να μειώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των χρησιμοποιούμενων πρώτων υλών.

Αντιθέτως, η υποκατάσταση υλικών μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε ορισμένες περιπτώσεις. Για παράδειγμα, μεταλλικά εξαρτήματα του ηλεκτρικού κινητήρα, της μπαταρίας και του αμαξώματος του οχήματος μπορούν να αντικατασταθούν από άλλα μέταλλα όπως αλουμίνιο, μαγνήσιο και τιτάνιο, ή σύνθετα υλικά όπως πλαστικό ενισχυμένο με ανθρακονήματα (CFRP). Αυτά τα υλικά τείνουν να απαιτούν περισσότερη ενέργεια και έχουν υψηλότερη δυναμική στην υπερθέρμανση του πλανήτη στο στάδιο της παραγωγής από τα βαρύτερα υλικά που αντικαθιστούν [8], [36], [37]. Ορισμένα υλικά όπως τα σύνθετα μπορεί επίσης να είναι πιο δύσκολο να ανακυκλωθούν, αυξάνοντας τον αντίκτυπο των διαδικασιών στο τέλος του κύκλου ζωής τους και απαιτώντας τη χρήση νέων πρώτων υλών έναντι των ανακυκλωμένων σε μελλοντικά προϊόντα [8].

Από άποψη κύκλου ζωής, μια πρόσφατη ανάλυση σε επίπεδο υλικών έδειξε ότι η μείωση του βάρους μείωσε τις εκπομπές αερίων σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του οχήματος μόνο για δύο από τα πέντε υλικά που μελετήθηκαν [37]. Ωστόσο, η συνολικές επιπτώσεις εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την πηγή ηλεκτρικής ενέργειας στο στάδιο χρήσης και από τη διάρκεια ζωής του οχήματος και συζητούνται εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο.

3.1.2.2. Αυξανόμενη ζήτηση κρίσιμων πρώτων υλών (ΚΠΥ)

Σχετικά με τα παραπάνω, η αναμενόμενη ανάπτυξη στην αγορά ηλεκτρικών οχημάτων θα συνοδεύεται από αυξανόμενη ζήτηση για ΚΠΥ, συμπεριλαμβανομένων του κοβαλτίου και σπάνιων

γαιών που περιέχονται σε μπαταρίες ιόντων λιθίου [19], [23]. Για παράδειγμα, σε ένα σενάριο περιορισμού της μέσης παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας σε 2 °C, η παγκόσμια ζήτηση λιθίου θα αυξηθεί σε 160.000 τόνους το 2030 και 500.000 τόνους το 2050. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα αντιπροσωπεύουν το 82% της ζήτησης που σχετίζεται με τις οδικές μεταφορές το 2030 και το 83% το 2050. Αυτό προϋποθέτει ότι το 2030 οι ετήσιες πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων (BEVs, PHEVs και FCEVs) θα είναι περίπου 26 εκατομμύρια και το 2050 θα είναι περίπου 97 εκατομμύρια [38].

Το Σχήμα 12 δείχνει τη ζήτηση για ΚΠΥ και σπάνιες γαίες στην ΕΕ έως το 2030. Να παρατηρηθεί η αναμενόμενη αυξημένη ζήτηση για γραφίτη. Ωστόσο, ο γραφίτης διαφέρει από άλλες ΚΠΥ και σπάνιες γαίες επειδή μπορεί να παραχθεί συνθετικά, επομένως δεν θα πρέπει να καλυφθεί όλη αυτή η αυξανόμενη ζήτηση από πρωτογενείς πρώτες ύλες [16], [38].

3.1.2.3 Γεωγραφική διαθεσιμότητα και προμήθεια

Παρά την ονομασία τους, δεν είναι όλες οι κρίσιμες πρώτες ύλες σπάνιες. Ωστόσο, η διαθεσιμότητά τους περιορίζεται σε λίγες περιοχές, αυξάνοντας την αβεβαιότητα για προμήθεια και το κόστος εφοδιασμού [20]. Όσον αφορά την παραγωγή και τις εξαγωγές και τις εισαγωγές πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται στα συστήματα κίνησης και τα ηλεκτρονικά των BEVs, η Κίνα είναι γενικά ο σημαντικότερος πρωταγωνιστής, αντιπροσωπεύοντας το 70% της παγκόσμιας προμήθειας ΚΠΥ [39]. Για την ΕΕ, η Κίνα παρέχει το 62% του συνολικού εφοδιασμού ΚΠΥ, συμπεριλαμβανομένου του 40% του εφοδιασμού της ΕΕ με νεοδύμιο, πρασσεοδύμιο και δυσπρόσιο και του 69% με φυσικού γραφίτη [18], [39]. Η κυριαρχία της αγοράς από μία χώρα δημιουργεί κίνδυνο προσφοράς και οικονομικού κινδύνου. Έχοντας σημαντικό έλεγχο στην τιμή των υλικών, μπορεί να αυξήσει τις τιμές ανά πάσα στιγμή, αποτελώντας ένα οικονομικό ρίσκο για τους αγοραστές αυτών των υλικών [23].

3.1.3. Υπό την σκοπιά της κυκλικής οικονομίας

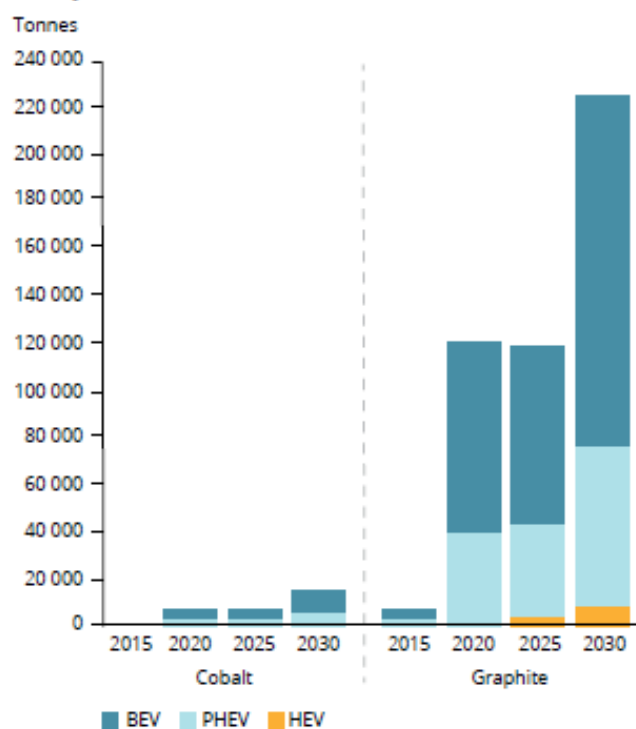
Η εξόρυξη και επεξεργασία πρώτων υλών για ηλεκτρικά οχήματα μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, και ως εκ τούτου πρέπει να βρεθούν λύσεις που να αντιμετωπίζουν αυτήν την πρόκληση. Για παράδειγμα, η περιβαλλοντική επιβάρυνση που προκαλείται από τον εφοδιασμό πρώτων υλών θα μπορούσε να μειωθεί μέσω βελτίωσης στον χειρισμό αποβλήτων και χρησιμοποιώντας ένα ενεργειακό μείγμα με υψηλότερο ποσοστό ανανεώσιμων πηγών [31]. Αυτή η ενότητα θα εξετάσει τους τρόπους με τους οποίους η παραγωγή πρώτων υλών θα μπορούσε να γίνει πιο βιώσιμη, π.χ. από τους καταναλωτές επιλέγοντας το πιο βιώσιμο όχημα για τις ανάγκες τους και μειώνοντας την ποσότητα των ΚΠΥ που απαιτούνται και χρησιμοποιώντας εναλλακτικά υλικά.

3.1.3.1. Επιλογή Οχήματος

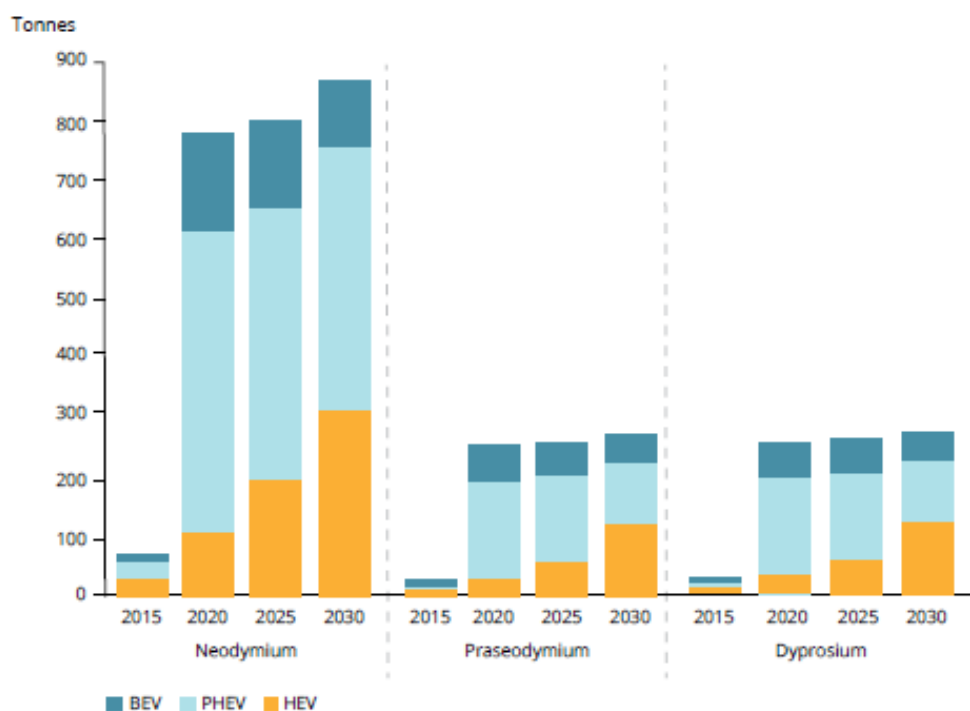
Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εξόρυξης και της επεξεργασίας πρώτων υλών για τα BEVs μπορούν να μειωθούν επιλέγοντας μικρότερα οχήματα που περιέχουν αντίστοιχα χαμηλότερες ποσότητες πρώτων υλών. Αν και αυτό το ζήτημα ισχύει και για τα ICEVs, το μέγεθος και το βάρος του οχήματος είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα BEVs λόγω του υψηλού περιβαλλοντικού αντίκτυπου της προμήθειας πρώτων υλών για τον ηλεκτρικό κινητήρα, τα ηλεκτρονικά ισχύος και ειδικά την μπαταρία. Σε διαφορετικές κατηγορίες αυτοκινήτων, εν γένει τα πολυτελή αυτοκίνητα ζυγίζουν περίπου 1,9 φορές περισσότερο από τα μίνι αυτοκίνητα και οι μπαταρίες τους ζυγίζουν περίπου 3 φορές περισσότερο (Σχήμα 13). Οι επιπτώσεις της επιλογής του καταναλωτή ως προς το μέγεθος και την απόδοση του οχήματος συζητούνται περαιτέρω στο κεφάλαιο σχετικά με το στάδιο παραγωγής [40].

Demand for critical raw materials and rare earth elements in the EU to 2030

Battery



Electric traction motor



Σχήμα 12. Πρόβλεψη ζήτησης σπάνιων γαιών και κρίσιμων πρώτων υλών έως το 2030, [19], [40]

3.1.3.2. Μειωμένη χρήση κρίσιμων πρώτων υλών και υποκατάστατα υλικά

Μειωμένη χρήση κρίσιμων πρώτων υλών και μετάλλων

Η πλήρης αντικατάσταση των σπάνιων γαιών στα BEVs δεν εκτιμάται να συμβεί στο εγγύς μέλλον. Ωστόσο, μέσω κατάλληλου σχεδιασμού θα μπορούσαν να μειωθούν οι ποσότητες που χρησιμοποιούνται. Η πρόκληση για τους κατασκευαστές είναι η μείωση της ποσότητας των σπάνιων γαιών που χρησιμοποιούνται χωρίς να επηρεαστεί αρνητικά η απόδοση. Μία πιθανή λύση είναι να μειωθεί το μέγεθος των κόκκων που χρησιμοποιείται στους μαγνήτες. Το μικρότερο μέγεθος κόκκων απαιτεί λιγότερα μαγνητικά υλικά και ως εκ τούτου έχει τη δυνατότητα να μειώσει την ανάγκη των σπάνιων γαιών [41]. Λαμβάνοντας υπόψη τους οικονομικούς κινδύνους και τους κινδύνους εφοδιασμού που σχετίζονται με τις σπάνιες γαίες, αυτό έχει σημασία τόσο στο εμπόριο όσο και στο περιβάλλον. Υπάρχουν επί του παρόντος πιλοτικές ιδέες για υβριδικά οχήματα που δεν τις εμπεριέχουν, οι οποίες έχουν δείξει ότι είναι δυνατόν για αυτούς τους κινητήρες να επιτύχουν παρόμοιες, αν όχι καλύτερες επιδόσεις, από πλευράς ισχύος, αντοχής και απόδοσης, από τους κινητήρες που βασίζονται σε αυτές. Αυτή είναι μια ιδέα που οι κατασκευαστές ενδέχεται να συνεχίσουν να εξερευνούν [42]. Επίσης, τα μέταλλα αποτελούν βασική αιτία περιβαλλοντικών και τοξικών επιπτώσεων. Η μείωση της χρήσης τους θα μπορούσε επομένως να συμβάλλει στη μείωση αυτών των επιπτώσεων [43].

BEV type	Typical battery weight (kg)	Typical vehicle weight (kg)
Luxury car	553	2 100
Large car	393	1 750
Medium car	253	1 500
Mini car	177	1 100

Σχήμα 13. Κατηγορίες BEVs και ενδεικτικό βάρος οχήματος και μπαταρίας , [40]

Εναλλακτικά υλικά

Η ανάπτυξη πιο βιώσιμων μπαταριών εξαρτάται από τη δυνατότητα σχεδιασμού ηλεκτροενεργών υλικών που έχουν παρόμοια, αν όχι καλύτερη απόδοση, από τα τρέχοντα υλικά, αλλά με χαμηλότερα περιβαλλοντικά κόστη [44]. Η αντικατάστασή τους θα μπορούσε να είναι μια λύση για την Ευρώπη, η οποία στερείται τοπικού ανεφοδιασμού σπάνιων γαιών, ενώ προσφέρει επίσης παγκόσμια περιβαλλοντικά οφέλη μέσω της μείωσης της ζήτησης για αυτά τα υλικά. Ορισμένες μελέτες αναδεικνύουν πολλά υποσχόμενες τις ενώσεις με βάση το νιτρίδιο του σιδήρου και το μαγγάνιο, ως μαγνητικά υλικά υψηλής απόδοσης. Ωστόσο, δεν είναι σαφές εάν αυτά τα υλικά είναι κοντά στην αγορά ή ακόμη και βιώσιμα. Συνεπώς, η εμπορευματοποίηση αυτών των υλικών απέχει αρκετά χρόνια τουλάχιστον [41].

Κατά την ανάπτυξη εναλλακτικών υλικών, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη ολόκληρος ο κύκλος ζωής και όχι μόνο η προμήθεια πρώτων υλών. Αν και μια πρώτη ύλη μπορεί να φαίνεται βιώσιμη, φθηνή και άμεσα διαθέσιμη, πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη οι ανάγκες εξαγωγής και επεξεργασίας και η καταλληλότητά της για ανακύκλωση [44].

Περεταίρω έρευνα

Η έρευνα σχετικά με τη μειωμένη χρήση των σπάνιων γαιών σε μαγνήτες κινητήρων ηλεκτρικών οχημάτων βρίσκεται ακόμη σε σχετικά πρώιμο στάδιο. Καθίσταται σαφές, ωστόσο, ότι πρόκειται για ένα σημαντικό πεδίο έρευνας που θα μπορούσε να έχει σημαντικές επιπτώσεις στη μεγάλη ανάπτυξη

των BEVs. Επί του παρόντος, υπάρχει επαρκής προμήθεια σε σχετικά χαμηλές τιμές, και ως εκ τούτου υπάρχει μικρό κίνητρο για σταδιακή κατάργησή τους και ώθηση για κινητήρες χωρίς σπάνιες γαίες. Όπως προαναφέρθηκε, ωστόσο, από πλευράς εφοδιασμού και οικονομικών είναι αβέβαια και ενέχουν ρίσκο στο μέλλον. Επομένως, μελλοντικά η ανάπτυξη τέτοιων λύσεων θα μπορούσε να γίνει πιο σημαντική [42].

Ενθάρρυνση για επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση

Η επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων, συμπεριλαμβανομένων δευτερευουσών χρήσεων σε άλλες εφαρμογές, θα μπορούσε να μειώσει την απαιτούμενη ποσότητα σπάνιων γαιών και ΚΠΥ. Η ανάκτηση βασικών υλικών ή υλικών με αλυσίδα εφοδιασμού υψηλού ρίσκου θα μπορούσε να μειώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με την προμήθεια και την εξαγωγή σπάνιων γαιών και να συμβάλει στην κυκλική οικονομία.

Όσον αφορά τις σπάνιες γαίες που περιέχονται σε ηλεκτροκινητήρες, παρόλο που το τρέχον επίπεδο ανακύκλωσης για μαγνήτες είναι ακόμη πολύ περιορισμένο [45], αρκετές μελέτες εκτιμούν το πιθανό επίπεδο ανακύκλωσης νεοδυμίου από μαγνήτες να είναι περίπου στο 30% τα επόμενα 20 χρόνια [46]. Το κοβάλτιο είναι το υλικό του τρέχοντος ενδιαφέροντος για την ανακύκλωση μπαταριών ιόντων λιθίου. Ωστόσο, η μείωση της χρήσης κοβαλτίου και οι σχετικές προκλήσεις θα μπορούσαν να κάνουν την ανακύκλωση μη ελκυστική, ειδικά εάν η ανακύκλωση άλλων υλικών όπως το λίθιο ή ο γραφίτης είναι επίσης οικονομικά ανέφικτη [18]. Αν και οι τρέχουσες διαθέσιμες τεχνολογίες ανακύκλωσης μπορεί να είναι επαρκείς για μελλοντικές χημικές ουσίες μπαταριών ιόντων λιθίου, οι διαδικασίες ενδέχεται να πρέπει να προσαρμοστούν για να αντιμετωπίσουν τις μεταβαλλόμενες διαστάσεις της μπαταρίας και το περιεχόμενο ενέργειάς τους.

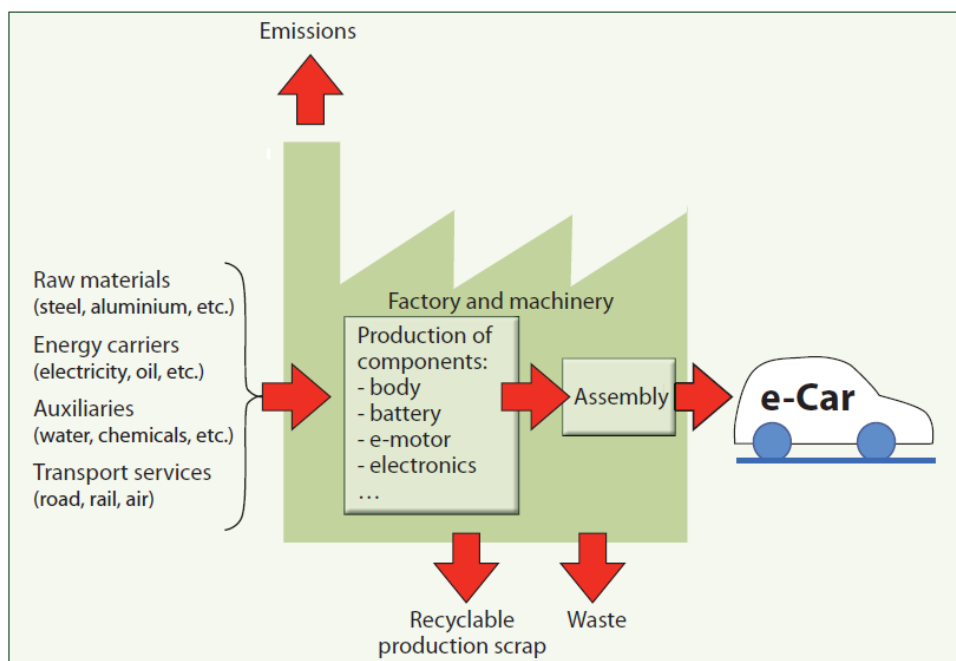
3.2. Το στάδιο της παραγωγής

Σχεδόν όλοι οι μεγάλοι κατασκευαστές αυτοκινήτων παράγουν ή έχουν δεσμευτεί να παράγουν ηλεκτρικά ή υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα. Τα κύρια χαρακτηριστικά που διακρίνουν τα BEVs από τα ICEVs είναι τα μέρη του οχήματος για την αποθήκευση ενέργειας, την πρόωση και το φρενάρισμα. Στη θέση του ρεζερβουάρ καυσίμου, του κινητήρα, του κιβωτίου ταχυτήτων και των συστημάτων εξάτμισης που βρίσκονται στα ICEVs, τα BEVs έχουν αντί αυτών μια μπαταρία, έναν ηλεκτρικό κινητήρα (που λειτουργεί επίσης ως ηλεκτρομαγνητικό φρένο) και ηλεκτρονικά ισχύος.

Επί του παρόντος, άλλα εξαρτήματα, όπως το αμάξωμα του οχήματος και τα βοηθητικά συστήματα, δεν διαφέρουν απαραίτητα. Πολλά υπάρχοντα BEVs έχουν προσαρμοστεί από οχήματα ICEVs για να εξοικονομηθεί χρόνος και κόστος ανάπτυξης αλλά και να επωφεληθούν από τις υπάρχουσες γραμμές παραγωγής [37]. Αξιοσημείωτες εξαιρέσεις αποτελούν μοντέλα όπως το BMW i3 και τα οχήματα της Tesla, στα οποία ενσωματώνονται ελαφριά υλικά για βελτιστοποίηση της οδηγικής αυτονομίας και απόδοσης.

Η παραγωγή της μπαταρίας και άλλων ειδικών εξαρτημάτων για τα BEVs απαιτούν πρώτες ύλες και διαδικασίες συναρμολόγησης διαφορετικές από αυτές για την κατασκευή ICEVs, με αποτέλεσμα οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις να είναι διαφορετικές. Η χρήση εναλλακτικών υλικών (όπως αλουμίνιο) μπορεί επίσης να επηρεάσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι AKZ που συγκρίνουν τα BEVs και ICEVs, δεν διαχωρίζουν συνήθως τις επιπτώσεις προερχόμενες από το στάδιο της εξόρυξης και επεξεργασίας πρώτων υλών και το στάδιο της παραγωγής και συναρμολόγησης των οχημάτων. Αντιθέτως, οι επιπτώσεις αυτών των σταδίων παρουσιάζονται μαζί, καλύπτοντας έτσι αυτές που αποδίδονται στις προηγούμενες διαδικασίες του σταδίου χρήσης του οχήματος. Επομένως οι επιπτώσεις που παρουσιάζονται κάτωθι, είναι σύμφωνες με τα παραπάνω [40].



Σχήμα 14. Κύριες διαδικασίες κατά τη διαδικασία παραγωγής κατά την Ανάλυση Κύκλου Ζωής, [5]

3.2.1. Κατασκευή μπαταρίας

Όπως συμβαίνει και με τα ICEVs, τα διάφορα εξαρτήματα των BEVs κατασκευάζονται συχνά σε διάφορες τοποθεσίες και στη συνέχεια συναρμολογούνται αλλού. Από περιβαλλοντικής απόψεως, η τοποθεσία παραγωγής της μπαταρίας είναι πολύ σημαντική όπως θα συζητηθεί εκτενέστερα, καθώς η μπαταρία αποτελεί μεγάλο μέρος (έως και 25%) της μάζας του οχήματος [47] και περιλαμβάνει διεργασίες που έχουν υψηλές απαιτήσεις σε ενέργεια.

Η ανάπτυξη των μπαταριών ιόντων λιθίου έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην αύξηση της πρακτικότητας των BEVs και του ενδιαφέροντος των καταναλωτών για αυτά, λόγω της ανώτερης ενεργειακής τους πυκνότητας ή / και αντοχής σε σύγκριση με την προηγούμενες τεχνολογίες μπαταριών. Η παραγωγή μπαταριών με συστοιχίες ιόντων λιθίου είναι μια διαδικασία πολλαπλών βημάτων, που περιλαμβάνει:

- προετοιμασία των υλικών ανόδου και καθόδου
- συνδυασμό υλικών ανόδου και καθόδου με υλικά ηλεκτρολύτη, συλλέκτη και διαχωριστή και ένα δοχείο για την παραγωγή των κυψελών
- συναρμολόγηση πολλαπλών κυψελών σε μια συστοιχία μπαταρίας, η οποία περιλαμβάνει επίσης το περίβλημα της μπαταρίας, ηλεκτρικό σύστημα, σύστημα θερμικής διαχείρισης και ηλεκτρονικό σύστημα διαχείρισης της μπαταρίας [25].

Στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ευρώπη, παρόλο που οι πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων υπερβαίνουν ελαφρώς την εγχώρια παραγωγή οχημάτων, η πλειονότητα των μπαταριών πρέπει να εισαχθούν. Αντιθέτως, η Ιαπωνία και η Νότια Κορέα είναι καθαροί εξαγωγείς οχημάτων, και επίσης εξάγουν μεγάλο αριθμό συστοιχιών μπαταρίας στην Ευρώπη. Αυτό το παγκόσμιο εμπόριο μπαταριών είναι σημαντικό από περιβαλλοντική άποψη, καθώς οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός οχήματος που χρησιμοποιείται στην Ευρώπη εξαρτάται από διαδικασίες που πραγματοποιούνται σε άλλες περιοχές του κόσμου, για παράδειγμα εκτός του νομοθετικού πλαισίου της ΕΕ [40].

3.2.2. Επισκόπηση των επιπτώσεων της παραγωγής

3.2.2.1. Πώς γίνεται η μέτρηση των επιπτώσεων στην παραγωγή;

Πριν γίνει αναφορά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής BEVs, αξίζει να τονιστεί ότι μπορούν να εκφραστούν με διαφορετικούς τρόπους. Στο στάδιο χρήσης, εκφράζονται συνήθως ανά χιλιόμετρο, καθώς είναι η δράση της οδήγησης που τις προκαλεί. Ωστόσο, οι επιπτώσεις στο στάδιο της παραγωγής συμβαίνουν πριν από την οδήγηση οποιαδήποτε απόστασης ενός BEV.

Ο απλούστερος τρόπος καθορισμού των επιπτώσεων της παραγωγής είναι ανά όχημα που παράγεται. Ωστόσο, αυτό το είδος εκτίμησης έχει νόημα μόνο εάν υποτεθεί ότι οι απαιτήσεις κατά τη διάρκεια ζωής και η συντήρηση του οχήματος είναι οι ίδιες για όλα τα οχήματα που συγκρίνονται, κάτι που εν γένει μπορεί να μην ισχύει. Ένας καλύτερος τρόπος έκφρασης των επιπτώσεων της παραγωγής είναι ανά χιλιόμετρο. Λαμβάνει υπόψη το σύνολο των χιλιομέτρων που διανύει ένα όχημα κατά τη διάρκεια ζωής του και τις απαιτήσεις συντήρησής του. Αυτό σημαίνει, ωστόσο, ότι τα αποτελέσματα είναι εξαρτώμενα σε μεγάλο βαθμό από τις υποθέσεις της χιλιομετρικής διάρκειας ζωής των οχημάτων [21], και τα δεδομένα σχετικά με αυτό είναι περιορισμένα. Ορισμένες ΑΚΖ χρησιμοποιούν την προσέγγιση ανά όχημα, ενώ άλλες χρησιμοποιούν την προσέγγιση ανά

χιλιόμετρο. Εδώ, χρησιμοποιούνται παραδείγματα αποτελεσμάτων και από τους δύο τύπους AKZ, επομένως πρέπει να ληφθούν υπόψη τα στοιχεία που παρουσιάζονται παραπάνω.

3.2.2.2. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

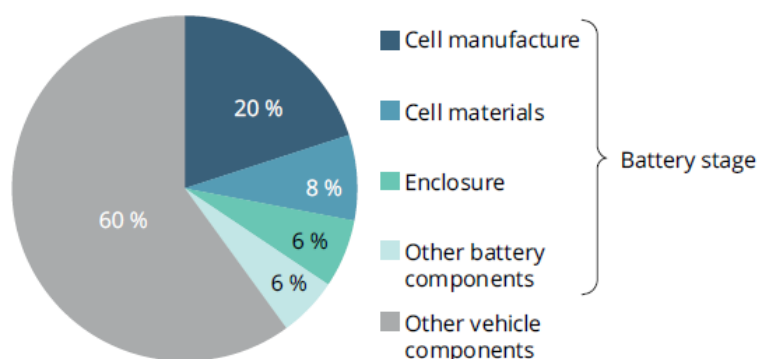
Ένα μεγάλο μέρος των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και των ατμοσφαιρικών ρύπων που απελευθερώνονται κατά την παραγωγή BEVs σχετίζονται με την παραγωγή ηλεκτρισμού και άλλων μορφών ενέργειας που απαιτούνται για διεργασίες κοστοβόρες σε ενέργεια [25].

Οι περισσότερες AKZ των BEVs διαπιστώνουν ότι η παραγωγή μπαταριών είναι υπεύθυνη για το μεγαλύτερο μέρος της χρησιμοποιούμενης ενέργειας (και εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου) στη φάση παραγωγής [31], με εκτιμήσεις που κυμαίνονται μεταξύ 10 και 75% της ενέργειας παραγωγής και 10 και 70 % των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [48]. Μια πρόσφατη έρευνα διαπίστωσε ότι όλα τα στάδια της παραγωγής μπαταρίας αντιπροσωπεύουν το 33-44% των συνολικών εκπομπών της παραγωγής των BEVs [25]. Από αυτό το σύνολο, οι AKZ αναφέρουν ότι η κατασκευή κυψελών και η συναρμολόγηση των μπαταριών αντιπροσωπεύουν μεταξύ 3 και 80% των συνολικών εκπομπών της παραγωγής της μπαταρίας, ανάλογα με την προσέγγιση που ακολουθήθηκε, με το υπόλοιπο να προκύπτει από την εξόρυξη και την επεξεργασία των πρώτων υλών. Πρόσφατα δεδομένα ληφθέντα απευθείας από τους κατασκευαστές, υποδηλώνουν ότι το υψηλότερο από αυτές τις δύο προσεγγίσεις είναι πιο πιθανό να αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα, καθώς αντιπροσωπεύει καλύτερα όλες τις μορφές χρήσης ενέργειας κατά την κατασκευή [25]. Βιομηχανικές μελέτες δείχνουν ότι στις τοποθεσίες κλειδιά παραγωγής μπαταριών ιόντων λιθίου της Κίνας, της Νότιας Κορέας και της Ιαπωνίας, περίπου οι μισές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου προκύπτουν από τη χρήση ενέργειας για την κατασκευή κυψελών των μπαταριών [25], [49]. Τα βασικά στάδια της παραγωγής μπαταριών που χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερα απαιτητικά σε ενέργεια, είναι η ξήρανση (πχ. για την αποτελεσματική συγκόλληση) των ηλεκτροδίων και οι χώροι που χρησιμοποιούνται για αυτήν, οι οποίοι λειτουργούν κατά την κατασκευή των κυψελών [25].

Παρά την υψηλή ενεργειακή απαίτηση της παραγωγής BEVs, οι AKZ διαπιστώνουν ότι η ενέργεια που χρησιμοποιείται στην οδήγηση είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι στην παραγωγή και κυριαρχεί στη χρήση ενέργειας του κύκλου ζωής [31]. Ωστόσο, όπου η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο στάδιο χρήσης μπορεί να γίνει από πηγές ενέργειας χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, η φάση παραγωγής των BEVs μπορεί να είναι υπεύθυνη για έως και το 75% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους [50]. Αυτό συμβαίνει επειδή επί του παρόντος η παραγωγή μπαταριών πραγματοποιείται εν γένει σε χώρες με ηλεκτρική ενέργεια υψηλών εκπομπών άνθρακα [49]. Συγκριτικά, χρησιμοποιώντας το μέσο μείγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Ευρώπης των 28 μελών για το 2015 για την εκτίμηση των επιπτώσεων στα στάδια χρήσης, η φάση παραγωγής της μπαταρίας αντιπροσωπεύει περίπου το 30% των συνολικών αερίων εκπομπών του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια ζωής ενός BEV.

Οι εκτιμήσεις των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προκύπτουν από την παραγωγή BEV ποικίλλουν σημαντικά μεταξύ των AKZ. Για ένα μεσαίου μεγέθους BEV, οι πρόσφατες εκτιμήσεις υποδηλώνουν 6,0-7,4 tCO₂e/tonne [25].

Breakdown of GHG emissions from different parts of the BEV production process



Σχήμα 15. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τα διάφορα στάδια της φάσης παραγωγής των BEVs, [25], [40]

3.2.2.3. Σύγκριση παραγωγής μπαταρίας ηλεκτρικού οχήματος και παραγωγής κινητήρα εσωτερικής καύσης

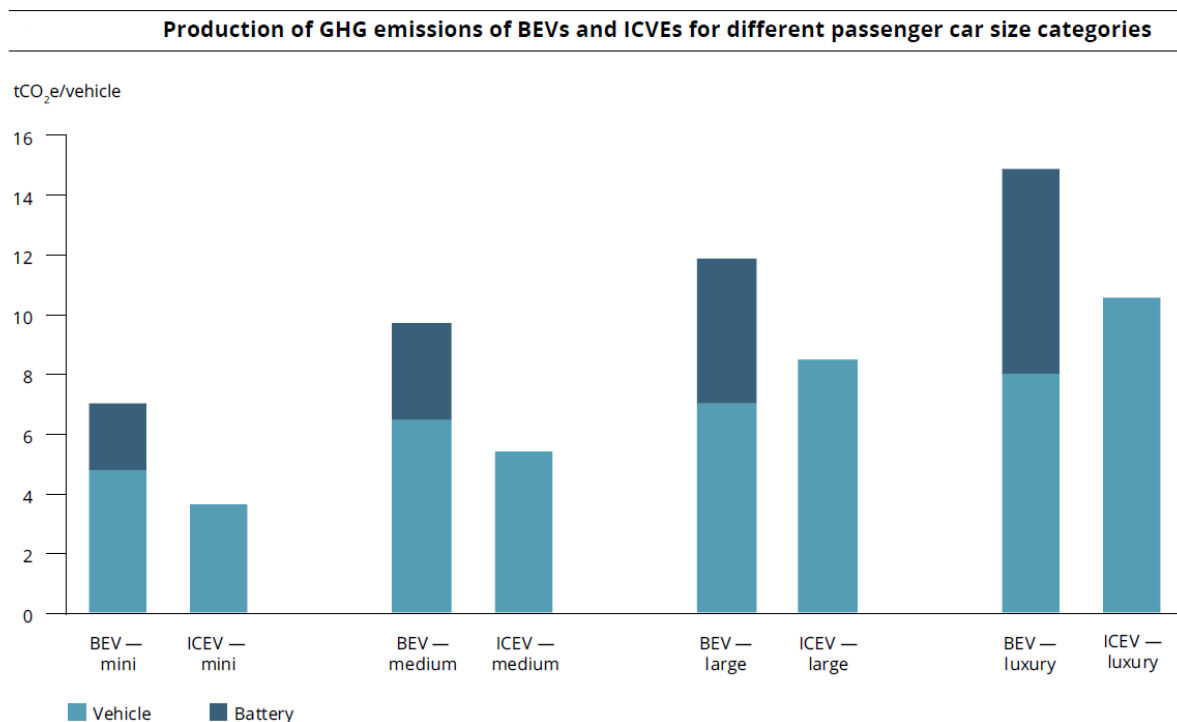
Συγκρίνοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την παραγωγή BEVs και ICEVs (συμπεριλαμβανομένης της προμήθειας πρώτων υλών), τα ευρήματα των AKZ συμφωνούν ότι ο αντίκτυπος της παραγωγής BEVs είναι μεγαλύτερος από αυτόν της παραγωγής ICEVs. Όταν συγκρίνονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου συγκρίσιμου μεγέθους BEVs και ICEVs κατά τη φάση παραγωγής, οι εκπομπές της παραγωγής BEVs εκτιμάται ότι είναι περίπου 1,3-2 φορές μεγαλύτερες από εκείνες της παραγωγής ICEVs [25].

Η ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης σε ένα ICEV είναι σχετικά παρόμοια με εκείνη που απαιτείται για την παραγωγή του ηλεκτροκινητήρα και των συναφών συστημάτων σε ένα BEV [51]. Για τη μεγάλη διαφορά μεταξύ των BEVs και των ICEVs στις ενεργειακές απαιτήσεις παραγωγής είναι υπεύθυνη η μπαταρία του οχήματος (Σχήμα 16).

3.2.2.4. Ατμοσφαιρική ρύπανση και επιπτώσεις στο οικοσύστημα

Οι κύριες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης που σχετίζονται με την παραγωγή BEVs είναι οι εκπομπές SO₂, NO_x, PM και άλλων ρύπων λόγω της χρήσης ενέργειας στην κατασκευή εξαρτημάτων και στη συναρμολόγηση των οχημάτων. Αυτό συμβαίνει μέσω της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε εγκαταστάσεις καύσης ή μέσω άμεσης καύσης καυσίμων για παροχή θερμότητας ή κινητήριας ισχύος. Τα SO₂ και NO_x συνδέονται με την αύξηση της οξύτητας, τον ευτροφισμό και τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Τα PM (αιωρούμενα σωματίδια) είναι ο πιο επιβλαβής ατμοσφαιρικός ρύπος σε σχέση με τις επιπτώσεις στην υγεία [40].

Είναι πιο συνηθισμένο στις AKZ να συμπεριλαμβάνουν τον αντίκτυπο των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων σε ευρύτερες κατηγορίες επιπτώσεων παρά να αναφέρουν εκπομπές μεμονωμένων ρύπων. Ωστόσο, τα διαθέσιμα στοιχεία δείχνουν ότι, σε ολόκληρη τη διαδικασία παραγωγής (συμπεριλαμβανομένης της προμήθειας πρώτων υλών), οι εκπομπές NO_x, SO₂ και PM από την παραγωγή BEVs είναι 1,5-2,5 φορές υψηλότερες από αυτές της παραγωγής ICEVs [52].

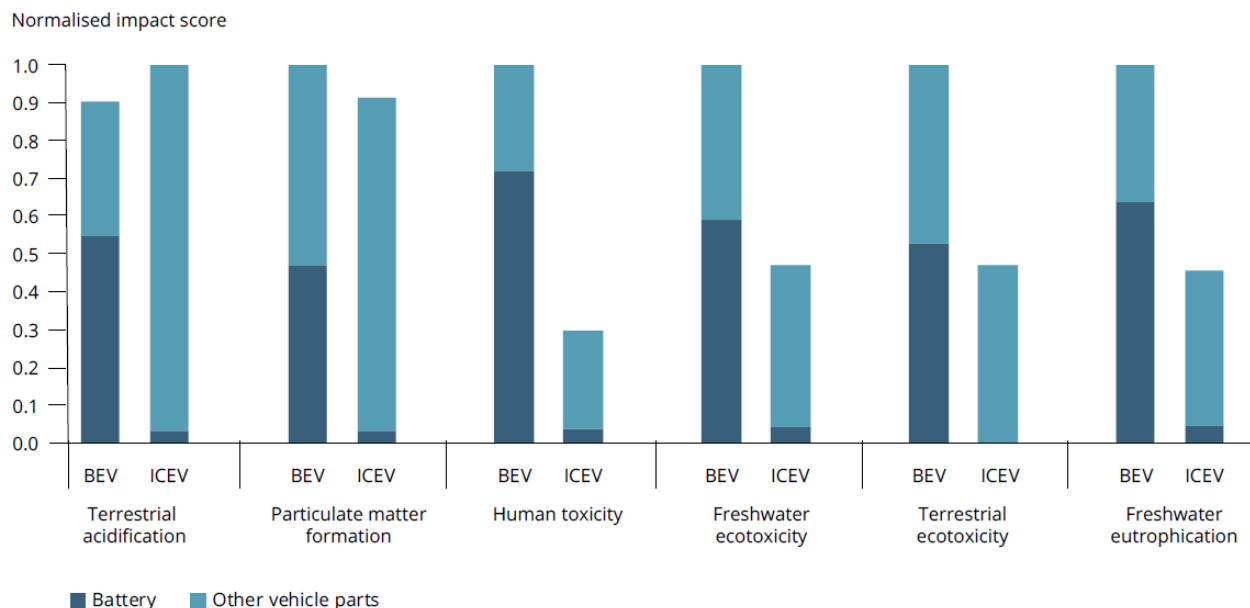


Σχήμα 16. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από BEVs και ICEVs ανά κατηγορία, [40]. Σημείωση: Εκτιμήσεις με βάση διάρκεια ζωής 180.000 km. Επίσης, στις εκπομπές παραγωγής έχουν συμπεριληφθεί και εκείνες από την εξόρυξη και επεξεργασία των πρώτων υλών.

Η κατασκευή μπαταριών είναι ο κύριος λόγος των μεγαλύτερων επιπτώσεων της παραγωγής BEVs σε σύγκριση με την παραγωγή ICEVs σε ένα σύνολο κατηγοριών επιπτώσεων (Σχήμα 17). Ωστόσο, για την επίγεια αύξηση της οξύτητας και τις εκπομπές PM, αυτό μπορεί να αντισταθμιστεί πλήρως ή εν μέρει από την ανάγκη για καταλυτικούς μετατροπείς στα ICEVs. Τα μέταλλα της ομάδας πλατίνας (ιρίδιο, όσμιο, παλλάδιο, λευκόχρυσος, ρόδιο και ρουθένιο) που περιέχονται στους καταλυτικούς μετατροπείς απαιτούν επεξεργασία εντατικής ενέργειας [21], αν και υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα που σχετίζεται με τις επιπτώσεις των μετάλλων της ομάδας πλατίνας.

Ο υψηλός αντίκτυπος της παραγωγής μπαταριών οφείλεται σε συγκεκριμένο βαθμό λόγω της κατασκευής μπαταριών σε χώρες με μείγματα ενέργειας πλούσιας σε ορυκτά καύσιμα, όπως η Κίνα. Τα ευρήματα των περισσότερων AKZ δείχνουν ότι η απελευθέρωση NO_x, SO₂ και PM από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι υπεύθυνη για το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων της φάσης παραγωγής. Ωστόσο, το ποσοστό των συνολικών επιπτώσεων του κύκλου ζωής που αποδίδεται στη φάση παραγωγής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας στο στάδιο χρήσης. Για παράδειγμα, η παραγωγή BEVs αποτελεί περίπου το 70% της πιθανότητας αύξησης της οξύτητας του εδάφους στον κύκλο ζωής όταν η ηλεκτρική ενέργεια στο στάδιο χρήσης παράγεται από φυσικό αέριο, σε σύγκριση με μόνο περίπου 30% όταν παράγεται από άνθρακα [21]. Αυτό θα συζητηθεί περαιτέρω στην επόμενη παράγραφο και το επόμενο κεφάλαιο.

Comparison of the impacts of production of ICEVs and BEVs across six different impact categories



Σχήμα 17. Σύγκριση των επιπτώσεων παραγωγής των ICEVs και BEVs, [21], [40]. Σημείωση: Στις εκπομπές παραγωγής έχουν συμπεριληφθεί και εκείνες από την εξόρυξη και επεξεργασία των πρώτων υλών. Με την κανονικοποιημένη κλίμακα σε κάθε κατηγορία επιπτώσεων οι επιπτώσεις εκφράζονται αναλογικά της μεγαλύτερης. Έχουν χρησιμοποιηθεί δεδομένα για BEV με μπαταρίες LiNMC, ενώ οι επιπτώσεις των οχημάτων βενζίνης και πετρελαίου παρουσιάζονται μαζί στα ICEVs.

3.2.3. Παράγοντες που επηρεάζουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής

Ενώ τα συμπεράσματα πολλών ΑΚΖ είναι ποιοτικά παρόμοια όταν εξετάζονται οι επιπτώσεις στην παραγωγή στο πλαίσιο του κύκλου ζωής ή συγκρίνονται τα BEVs και τα ICEVs, τα ποσοτικά αποτελέσματα των ΑΚΖ εξαρτώνται από μια ποικιλία (αβέβαιων) παραγόντων. Μερικά από αυτά είναι μεθοδολογικά, όπως οι παραδοχές που έγιναν σχετικά με τη διάρκεια ζωής του οχήματος [53], ενώ άλλα οφείλονται στις εγγενείς διαφορές στα οχήματα και τα συστήματα που μελετώνται, όπως ο τύπος του οχήματος και η πηγή ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται [21], [31], [48]. Μερικά βασικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τις εκτιμήσεις των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της παραγωγής BEV περιγράφονται εν συντομία παρακάτω.

3.2.3.1. Μέγεθος οχήματος και συσσωρευτή

Όπως και με τα ICEVs, τα μεγαλύτερα σε μέγεθος BEVs τείνουν να απαιτούν περισσότερη ενέργεια κατά τη φάση κατασκευής και έτσι έχουν μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Σε όλη τη διαδικασία παραγωγής (συμπεριλαμβανομένης της προμήθειας πρώτων υλών) διαπιστώνεται ότι η παραγωγή ενός τυπικού αυτοκινήτου πολυτελούς κατηγορίας, δημιουργεί πάνω από δύο φορές τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ενός τυπικού αυτοκινήτου μίνι κατηγορίας, με 14,9 και 7 τόνους CO₂, αντίστοιχα. Να σημειωθεί ότι το μέγεθος του οχήματος έχει επίσης επιπτώσεις στη ζήτηση πρώτων υλών και στην κατανάλωση ενέργειας στα στάδια χρήσης [54].

Ωστόσο, ενώ οι AKZ συνήθως συγκρίνουν τους τύπους των οχημάτων με μια σταθερή χιλιομετρική διάρκεια ζωής, είναι πιθανό τα μεγαλύτερα BEVs να έχουν μεγαλύτερη χιλιομετρική διάρκεια ζωής από τα μικρότερα οχήματα, όπως παρατηρείται και για τα ICEVs. Αυτό θα μείωνε σημαντικά τη διαφορά στις επιπτώσεις των πρώτων υλών (και του σταδίου παραγωγής) μεταξύ μεγάλων και μικρών οχημάτων ανά χιλιόμετρο που οδηγείται. Παρόλα αυτά μέχρι στιγμής, λίγα δεδομένα είναι διαθέσιμα για την χιλιομετρική διάρκεια ζωής των BEV για τα οποία μπορεί να γίνει αυτή η αξιολόγηση ολοκληρωμένα [40].

Όπως υπάρχουν διαφορές μεταξύ των κατηγοριών των αυτοκινήτων, υπάρχουν επίσης μεγάλες διαφορές στην χωρητικότητα της μπαταρίας ανάλογα την κατηγορία οχήματος για να καλυφθεί η ζήτηση της χιλιομετρικής αυτονομίας των οχημάτων από ορισμένους καταναλωτές, όπως συζητήθηκε προηγουμένως. Η μεγαλύτερη χωρητικότητα της μπαταρίας για την αύξηση του εύρους οδήγησης αυξάνει σημαντικά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής [32], [53]. Ωστόσο, τα τρέχοντα στοιχεία δείχνουν ότι η ανησυχία για την οδηγική αυτονομία των οχημάτων προκαλεί την υπερεκτίμηση των καταναλωτών ως προς τις συνήθειες ανάγκες τους. Στο μέλλον, φαίνεται πιθανή η μείωση αυτής της ανησυχίας, καθώς η υποδομές φόρτισης γίνονται πολυπληθέστερες και οι οδηγοί προσαρμόζονται στη χρήση BEVs, έτσι ώστε η επιλογή του οχήματος να αντικατοπτρίζει καλύτερα τις καθημερινές ανάγκες οδήγησής τους. Εάν παρέχονται τα σωστά κίνητρα για τους καταναλωτές και τους κατασκευαστές, μπορούν να αξιοποιηθούν βελτιώσεις στην ενεργειακή πυκνότητα της μπαταρίας για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την παραγωγή μπαταριών, διατηρώντας παράλληλα το εύρος του οχήματος [40].

3.2.3.2. Σύνολο διανυόμενων χιλιομέτρων κατά τη διάρκεια ζωής του οχήματος

Πολλές αναλύσεις κύκλου ζωής εκφράζουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με την παραγωγή των BEVs ανά χιλιόμετρο, λόγω της υποθέσεως μιας συγκεκριμένης διάρκειας ζωής του οχήματος (ή της μπαταρίας). Αυτό επιτρέπει δίκαιες συγκρίσεις μεταξύ οχημάτων με διαφορετική αναμενόμενη χιλιομετρική διάρκεια ζωής, καθώς η λειτουργική μονάδα δεν είναι πλέον το όχημα αλλά η υπηρεσία κινητικότητας που παρέχει. Η υποτιθέμενη διάρκεια ζωής κυμαίνεται από περίπου 150.000 έως 250.000 χιλιόμετρα [21] ανάλογα με την ανάλυση, με την οποία γίνεται εκτίμηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου ανά χιλιόμετρο λόγω της παραγωγής, με διακύμανση έως και 70% λόγω αυτού του παράγοντα και μόνο. Όσο μεγαλύτερη είναι η χιλιομετρική διάρκεια ζωής ενός οχήματος, τόσο μικρότερη είναι η επίδραση των εκπομπών που σχετίζονται με την παραγωγή στις συνολικές επιπτώσεις του κύκλου ζωής, καθώς οι επιπτώσεις στα στάδια χρήσης γίνονται κυρίαρχες. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη σύγκριση μεταξύ BEVs και ICEVs, επειδή οι υψηλότερες επιπτώσεις των BEVs που σχετίζονται με την παραγωγή μπορούν να αντισταθμιστούν μόνο στο στάδιο χρήσης εάν οδηγηθεί μια επαρκής απόσταση (το λεγόμενο σημείο «break-even»; [8]. Σε μια μελέτη που εστιάζει στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, αυτό το κομβικό σημείο εκτιμήθηκε μεταξύ 44.000 και 70.000 χλμ. [54] – δηλαδή βρίσκεται πολύ χαμηλότερα από τα αναμενόμενα χιλιόμετρα διάρκειας ζωής για τα BEVs. Η πιθανή χιλιομετρική διάρκεια ζωής των BEVs συζητείται περαιτέρω στο επόμενο κεφάλαιο.

3.2.3.3. Τύπος συσσωρευτή

Οι επιπτώσεις ποικίλλουν επίσης ανάλογα με τη χημεία και τη διαμόρφωση της μπαταρίας, λόγω του γεγονότος ότι ορισμένες μπαταρίες απαιτούν περισσότερο εντατικές σε ενέργεια διαδικασίες παραγωγής αλλά και λόγω υλικών. Τα περισσότερα BEVs χρησιμοποιούν επί του παρόντος κάποιο

από τους ακόλουθους τύπους μπαταριών ιόντων λιθίου, οι οποίοι διαφέρουν ως προς το χρησιμοποιούμενο υλικό καθόδου [24]:

- οξειδίο λιθίου-νικελίου-μαγγανίου-κοβαλτίου (LiNMC)
- φωσφορικό άλας λιθίου-σιδήρου (LiFePO₄)
- οξειδίο λιθίου-μαγγανίου (LMO)
- οξειδίο λιθίου-κοβαλτίου (LCO)
- οξειδίο λιθίου-νικελίου-κοβαλτίου-αργιλίου (LiNCA)

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-ion) παρέχουν πυκνότητες υψηλής ενέργειας, οι οποίες είναι ζωτικής σημασίας για την αυτονομία του οχήματος. Ωστόσο, σε όλους τους τύπους μπαταριών λιθίου, οι εκπομπές παραγωγής, η ενεργειακή πυκνότητα και το προσδόκιμο του κύκλου ζωής διαφέρουν, με αποτέλεσμα την αντιστάθμιση μεταξύ της εμβέλειας του οχήματος και της ελαχιστοποίησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής. Ο παραπάνω όρος του προσδόκιμου κύκλου ζωής αναφέρεται στον συνολικό κύκλο φορτίσεων-εκφορτίσεων που μπορεί ένας συσσωρευτής να προσφέρει πριν η χωρητικότητά του να μειωθεί κάτω από ένα ορισμένο κατώφλι της αρχικής του χωρητικότητας. Το εν λόγω κατώφλι δεν είναι τυποποιημένο, αλλά κυμαίνεται μεταξύ 70 και 90%. Το προσδόκιμο του κύκλου ζωής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ποσοστό εκφόρτισης της μπαταρίας, επιτρέποντας όπως είναι αναμενόμενο πολύ περισσότερους κύκλους φόρτισης- εκφόρτισης όταν αυτοί δεν είναι πλήρεις.

Μια υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα σημαίνει ότι, θεωρητικά, απαιτείται λιγότερο υλικό για την παροχή μιας δεδομένης χιλιομετρικής εμβέλειας ενός οχήματος, μειώνοντας έτσι τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ανά όχημα. Ένα υψηλότερο προσδόκιμο ζωής κύκλου μπορεί επίσης να μειώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής μπαταριών, όταν αξιολογείται ανά μονάδα ενέργειας που παρέχεται (ή χιλιόμετρα). Αυτό είναι ένα πιο δίκαιο μέσο σύγκρισης της επίδρασης της παραγωγής μπαταριών σε όλους τους τύπους, καθώς ελέγχει την πιθανή ανάγκη αντικατάστασης μπαταριών κατά τη διάρκεια ζωής των BEVs κατά τη χρήση τύπου μπαταρίας με χαμηλότερο προσδόκιμο κύκλου ζωής [30]. Ο παρακάτω πίνακας (Σχήμα 18) συγκρίνει την ενεργειακή πυκνότητα και το προσδόκιμο κύκλου ζωής για μια σειρά από κοινώς χρησιμοποιούμενα υλικά ηλεκτροδίων.

Properties of different types of Li-ion batteries		
Cathode material	Energy density (Wh/kg)	Cycle life expectancy (charge-discharge cycles)
LCO	150-200	500-1 000
LMO	100-150	300-700
LiNMC	150-220	1 000-2 000
LiFePO ₄	90-120	1 000-2 000
LiNCA	200-260	~ 500

Σχήμα 18. Ενεργειακή πυκνότητα και προσδόκιμο κύκλου ζωής των διάφορων τύπων συσσωρευτών, [40]

Ορισμένα στοιχεία δείχνουν ότι οι μπαταρίες LiFePO₄ έχουν τη δυνατότητα να έχουν τις χαμηλότερες επιπτώσεις στην παραγωγή ανά μονάδα ενέργειας που παρέχεται, λόγω του προσδόκιμου για μεγάλο κύκλο ζωής [30]. Αντίθετα, οι ΑΚΖ που υποθέτουν μια σταθερή χιλιομετρική διάρκεια ζωής διαπιστώνουν ότι οι μπαταρίες LiNMC έχουν τις χαμηλότερες επιπτώσεις παραγωγής σε μια σειρά κατηγοριών επιπτώσεων [32]. Στην πράξη, η τρέχουσα χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα των μπαταριών

LiFePO₄ σημαίνει ότι δεν μπορούν να παρέχουν επαρκή εύρη οδήγησης για τα περισσότερα BEVs και περιορίζονται κυρίως σε υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα [25], με τα BEVs να χρησιμοποιούν κυρίως μπαταρίες LiNMC.

Κοιτώντας στο μέλλον, η ενεργειακή πυκνότητα και το προσδόκιμο του κύκλου ζωής όλων των χημικών μπαταριών ιόντων λιθίου αναμένεται να συνεχίσουν να βελτιώνονται μέσω της περαιτέρω τεχνολογικής ανάπτυξης [32] και υπάρχει επίσης η πιθανότητα εισαγωγής στην αγορά νέων χημικών μπαταριών (π.χ. τιτανικού λιθίου, λιθίου αέρα, ιόντων νατρίου, ιόντων αλουμινίου) που μπορεί να έχουν ανώτερη ενεργειακή πυκνότητα ή προσδόκιμο κύκλου ζωής [40].

3.2.3.4. Ενεργειακή απόδοση κατά την κατασκευή

Ένα άλλο βασικό μέσο για τη μείωση του αντίκτυπου της παραγωγής BEVs είναι η πλήρης εκμετάλλευση των δυνατοτήτων των εγκαταστάσεων παραγωγής για να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας ανά όχημα ή μπαταρία που παράγεται, δηλαδή η ανάπτυξη οικονομιών κλίμακας. Οι εκτιμήσεις της κατανάλωσης ενέργειας στην κατασκευή μπαταριών ποικίλλουν σημαντικά μεταξύ 530 και 1670 MJ / kWh ανά κυψέλη, με την υψηλότερη τιμή να είναι τυπική εγκαταστάσεων μικρής κλίμακας και την χαμηλότερη τιμή τυπική μιας υπερσύγχρονης μεγάλης κλίμακας εγκατάστασης παραγωγής [25]. Συγκεκριμένα, η μεγιστοποίηση της απόδοσης διεργασιών υψηλής έντασης ενέργειας, όπως η ξήρανση των ηλεκτροδίων, θα βοηθήσει να διασφαλιστεί ότι οι εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν τις πλήρεις δυνατότητές τους [24]. Τέτοιες βελτιώσεις στην απόδοση με την πάροδο του χρόνου μέσω οικονομιών κλίμακας έχουν παρατηρηθεί πρόσφατα στην παραγωγή φωτοβολταϊκών κυψελών και νανοϋλικών, και έτσι επίσης να αναμένεται να συμβεί και για την παραγωγή μπαταριών (Kim et al., 2016).

3.2.3.5. Μείγμα καυσίμων που χρησιμοποιείται στην ηλεκτροπαραγωγή

Ένα μεγάλο μέρος των εκπομπών από την παραγωγή BEVs προκύπτει από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω διαδικασιών εντατικών σε ενέργεια [25]. Για παράδειγμα, για την κατασκευή μπαταριών στην Κίνα, το 35-50% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, προκύπτει από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας [55].

Οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που σχετίζονται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτώνται από το μείγμα παραγωγής που διατίθεται στην γεωγραφική τοποθεσία και τη στιγμή της κατασκευής του οχήματος, κάτι που μπορεί να προσφέρει περιθώρια μείωσης των εκπομπών μέσω της απεξάρτησης από τον άνθρακα στο ηλεκτρικό δίκτυο. Επί του παρόντος, τα διάφορα μέρη των BEVs κατασκευάζονται σε διαφορετικές τοποθεσίες, αλλά το μεγαλύτερο μέρος της κατασκευής μπαταριών (το πιο ενεργειακά εντατικό βήμα) γίνεται στην Κίνα, τη Νότια Κορέα και την Ιαπωνία, όπου το ποσοστό του άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι σχετικά υψηλό [25]. Μία μελέτη εκτιμά ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την παραγωγή μπαταριών στην Κίνα ήταν έως και τρεις φορές υψηλότερες από ό, τι στις Ηνωμένες Πολιτείες [55]. Σε μια υποθετική κατάσταση στην οποία η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται μόνο από την αιολική ενέργεια, υπολογίστηκε ότι αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα περίπου 50% μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη φάση παραγωγής σε σύγκριση με το μείγμα ενέργειας του ηλεκτρικού δικτύου της ΕΕ [54].

Βραχυπρόθεσμα, μια αναμενόμενη πτώση της τάξεως του 30% στον βαθμό χρήσης άνθρακα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως θα ήταν πιθανό να οδηγήσει σε μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην παραγωγή μπαταριών περίπου 17% έως το 2030 [49]. Στην Κίνα, όπου οι περισσότερες μπαταρίες ιόντων λιθίου κατασκευάζονται επί του παρόντος, το ποσοστό των

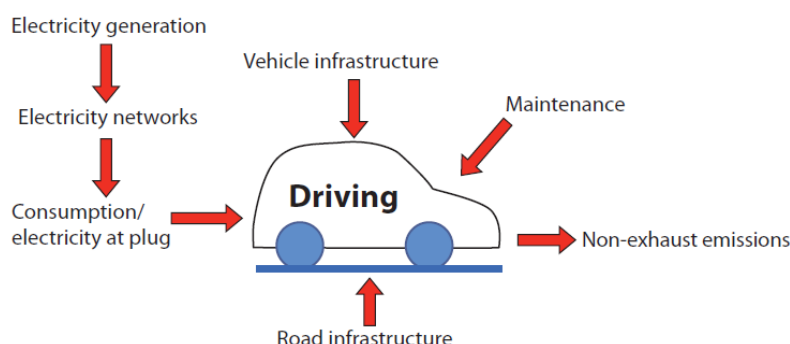
ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας προβλέπεται να αυξηθεί ραγδαία από τώρα έως το 2025, με αντίστοιχη μείωση της έντασης άνθρακα του μείγματος παραγωγής. Στο ίδιο χρονικό διάστημα, εγκαταστάσεις τεχνολογίας μείωσης των εκπομπών αναμένεται να μειώσουν σημαντικά τις εκπομπές NO_x, SO₂ και PM από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Κίνα [56]. Οι διαφορές στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και των ατμοσφαιρικών ρύπων που σχετίζονται με το μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας συζητούνται λεπτομερέστερα στο επόμενο κεφάλαιο.

3.3. Το στάδιο της χρήσης

Στο στάδιο της χρήσης, τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν μηδενικές εκπομπές αερίων ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου και χαμηλό θόρυβο κινητήρα. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες επιπτώσεις τόσο σε τοπικό επίπεδο όσο και απομακρυσμένα από την περιοχή χρήσης, όπως είναι οι εκπομπές από την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται. Οι τοπικές επιπτώσεις από την οδήγηση ενός BEV περιλαμβάνουν:

- θόρυβο που προκαλείται από την αλληλεπίδραση των ελαστικών και του δρόμου, τη ροή αέρα και τη λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα
- ρύπανση αιωρούμενων σωματιδίων (PM) από το μηχανικό φρενάρισμα, τα ελαστικά, την επιφάνεια του δρόμου και την εναιώρηση της σκόνης του δρόμου.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση και η ηχορύπανση έχουν τεκμηριωμένη επίδραση στην ανθρώπινη υγεία, ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές. Εκτός από τις επιπτώσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στα οικοσυστήματα μέσω της κλιματικής αλλαγής, υπάρχουν και άλλες καλά τεκμηριωμένες πιθανές επιπτώσεις στο οικοσύστημα που σχετίζονται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αν και υπάρχει περιορισμένη βιβλιογραφία που τα συνδέει ποσοτικά με τη χρήση BEVs (EEA, 2018).



Σχήμα 19. Κύρια στοιχεία της φάσης χρήσης των BEVs, [5]

3.3.1. Ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων λόγω χρήσης

Λαμβάνοντας υπόψη ένα μεμονωμένο όχημα, οι συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν από το στάδιο χρήσης ενός BEV, εξαρτώνται τόσο από τις επιπτώσεις ανά χιλιόμετρο όσο και από την απόσταση που οδηγείται σε μια συγκεκριμένη περίοδο, δηλαδή:

Συνολικός αντίκτυπος = αντίκτυπος ανά χιλιόμετρο × χιλιόμετρα

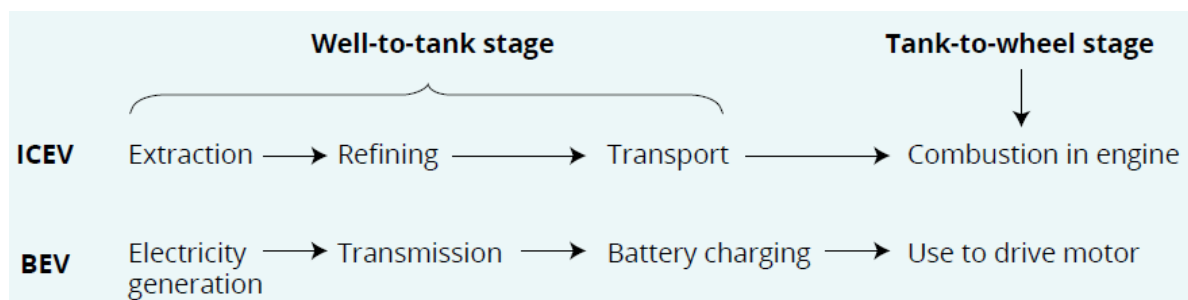
Στη διαθέσιμη ερευνητική βιβλιογραφία σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των BEVs λόγω χρήσης και συγκριτικά με τα ICEVs, οι περισσότερες μελέτες επικεντρώνονται στις επιπτώσεις ανά χιλιόμετρο. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που μπορούν να το επηρεάζουν αυτό όμως, συμπεριλαμβανομένου:

- των πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- των χαρακτηριστικών των οχημάτων
- του τρόπου οδήγησης και της τοποθεσίας οδήγησης
- των μοτίβων φόρτισης.

Επομένως, το να ληφθεί υπόψη μόνο ο αντίκτυπος ανά χιλιόμετρο σε συγκεκριμένο όχημα οδηγεί στην αγνόηση του ευρύτερου πλαισίου. Μια άλλη βασική ιδέα που χρησιμοποιείται κατά τον ποσοτικό προσδιορισμό των επιπτώσεων χρήσης είναι οι όροι «well-to-tank» (WTT), «tank-to-wheel» (TTW) και «well-to-wheel» (WTW), για τη διάκριση των επιπτώσεων από τα διαφορετικά στάδια του κύκλου του καυσίμου.

Επομένως, για να διευκολυνθούν οι συγκρίσεις μεταξύ οχημάτων με διαφορετικές πηγές ενέργειας, η χρήση ενέργειας και οι σχετικές επιπτώσεις τους περιγράφονται συχνά από τους όρους WTT, TTW ή WTW. Αυτοί οι όροι βασίζονται στην έννοια των κύκλων ζωής των ορυκτών καυσίμων για τα ICEVs. Το WTT αναφέρεται στις διαδικασίες που απαιτούνται για την μετατροπή του αργού πετρελαίου από το «πηγάδι» (well) στη δεξαμενή καυσίμου (tank) ως χρησιμοποιήσιμη βενζίνη ή ντίζελ και το TTW αναφέρεται στην καύση στον κινητήρα.

Αυτή η ορολογία έχει επίσης υιοθετηθεί και για τα BEVs, με το WTT να αναφέρεται σε τυχόν επιπτώσεις από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που συμβαίνει πριν από τη φόρτιση του οχήματος και το TTW να αναφέρεται στις άμεσες επιπτώσεις της οδήγησης του οχήματος. Τόσο για τα BEVs όσο και για ICEVs, οι επιπτώσεις των σταδίων WTT και TTW ονομάζονται συλλογικά επιπτώσεις WTW και υπό αυτήν την σκοπιά παρέχεται μια δίκαιη σύγκριση των επιπτώσεων του σταδίου χρήσης μεταξύ οχημάτων με διαφορετικούς κινητήρες [40].



Σχήμα 20. Τα στάδια WTT και TTW τόσο στα ICEVs όσο και στα BEVs, [40]

3.3.2. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG)

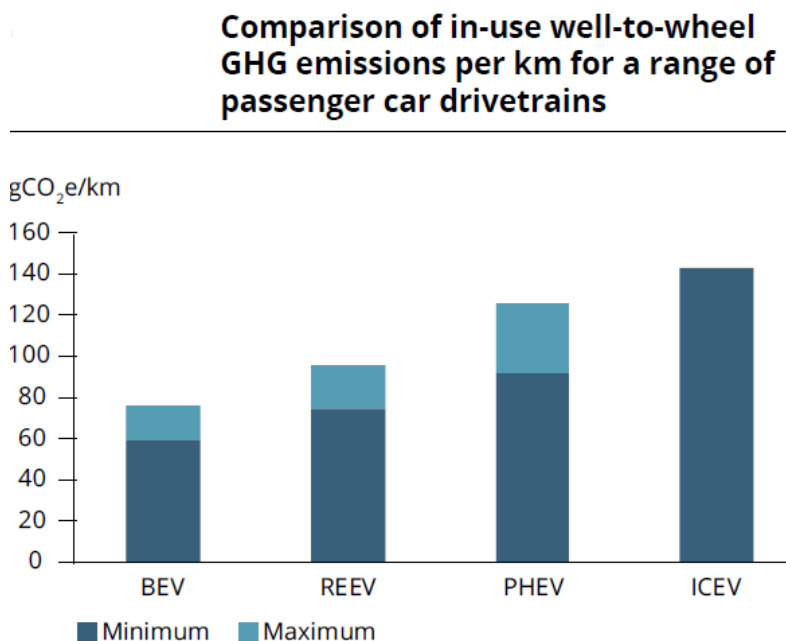
Τα BEVs δεν εκπέμπουν τοπικά GHG (στάδιο TTW). Ωστόσο, εκπέμπουν κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (στάδιο WTT). Η πλειονότητα των ΑΚΖ υποδηλώνουν ότι οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά χιλιόμετρο που οδηγείται από BEV στο WTW στην Ευρώπη, είναι χαμηλότερες από αυτές των ICEVs και των υβριδικών οχημάτων. Με βάση την ένταση άνθρακα του μείγματος ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ το 2015, οι εκπομπές WTW ενός μεσαίου μεγέθους BEV ήταν μεταξύ 60 και 76 gCO₂e / km. Αυτό είναι μεταξύ 47% και 58% χαμηλότερο από τις εκπομπές ενός μέσου μεγέθους επιβατικού ICEVs για το 2015, του οποίου οι εκπομπές ανέρχονται στα 143 gCO₂e / km, στο οποίο έχουν συμπεριληφθεί και οι εκπομπές WTT για τον εφοδιασμό των καυσίμων [40].

Τα οχήματα REEVs και PHEVs έχουν επίσης χαμηλότερες εκπομπές WTW κατά τη χρήση τους από τα ICEVs, επιτρέποντας εξοικονόμηση εκπομπών έως και 48% και 36%, αντίστοιχα (Σχήμα 21).

Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τις εκπομπές αερίων των BEVs είναι:

- η κατανάλωση ενέργειας κατά την οδήγηση
- οι ανά μονάδα απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας αέριες εκπομπές.

Τα BEVs έχουν ανώτερη ενεργειακή απόδοση σε σχέση με τα ICEVs. Τα BEVs μπορούν να μετατρέψουν το 70-90% της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στην μπαταρία σε κίνηση [9], ενώ η θεωρητική μέγιστη απόδοση των ICEVs είναι μόνο 40%. Παρόλα αυτά μια απόδοση της τάξεως 10-15% είναι πιο αντιπροσωπευτική της πραγματικής οδήγησης. Το πλεονέκτημα απόδοσης των BEVs προκύπτει εν μέρει λόγω της υψηλής απόδοσης των μεμονωμένων εξαρτημάτων του κινητήρα όπως είναι η μπαταρία, ο κινητήρας και το σύστημα μετάδοσης ([8]) και εν μέρει λόγω του συστήματος ανάκτησης ενέργειας λόγω πέδησης, το οποίο μπορεί να παρέχει περίπου 10-20% της συνολικής ενέργειας που χρησιμοποιείται ανάλογα με τον τρόπο οδήγησης και τις υπάρχουσες συνθήκες [52]. Τα REEVs και PHEVs μπορούν επίσης να επωφεληθούν από το σύστημα ανάκτησης ενέργειας κατά την πέδηση, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με τα ICEVs σε ορισμένες συνθήκες.



Σχήμα 21. Σύγκριση εκπομπών GHG του σταδίου χρήσης ανά χιλιόμετρο για οχήματα BEVs, REEVs, PHEVs και ICEVs, [31], [40]. Σημείωση: Το ελάχιστο και μέγιστο αναφέρονται στο εύρος τιμών που καταγράφηκαν

3.3.3. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία

Εκ πρώτης όψεως, τα BEVs φαίνεται να είναι ιδανικά για την αντιμετώπιση των εκπομπών αερίων ρύπων και του παραγόμενου θορύβου από τον κινητήρα. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα βασικά σημεία που επηρεάζουν το συνολικό αποτέλεσμα για την ανθρώπινη υγεία, όπως:

- οι τοπικές εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων (PM) ανεξάρτητες της καύσης που προκαλούνται από όλα τα μηχανοκίνητα οχήματα,
- οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων λόγω της παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα σημεία παραγωγής, και
- οι επιπτώσεις της οδικής ασφάλειας εξαιτίας του μειωμένου θορύβου του κινητήρα.

3.3.3.1. Τοπική αέρια ρύπανση

Τα BEVs έχουν μηδενικές εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων λόγω της απουσίας καυσαερίων, αν και εξακολουθούν και πέρα από αυτό να εκπέμπονται αιωρούμενα σωματίδια λόγω της κίνησης του οχήματος. Επιπλέον, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την τροφοδοσία των οχημάτων είναι υπεύθυνη για τις εκπομπές PM, NO_x, SO₂ και άλλων ατμοσφαιρικών ρύπων.

Τα ICEVs εκπέμπουν PM_{2.5} και PM₁₀ (όπου ως PM_{2.5} αναφέρονται αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο έως 2,5μm και PM₁₀ με διάμετρο μικρότερη από 10μm) από την εξάτμιση, την τριβή των τακακιών των φρένων, την τριβή μεταξύ των ελαστικών και της επιφάνειας του δρόμου και επίσης από την εναίωση της υπάρχουσας σκόνης του δρόμου λόγω της επαφής με τα ελαστικά και της τύρβης του αέρα καθώς το όχημα ταξιδεύει. Τα BEVs επίσης εκπέμπουν PM λόγω τριβής ελαστικών-δρόμου, αλλά δεν εκπέμπουν PM λόγω εξάτμισης και οι εκπομπές λόγω της τριβής των τακακιών των φρένων μειώνονται χάρη στη χρήση του συστήματος ανάκτησης ενέργειας κατά την πέδηση όπου είναι δυνατόν [40].

Οι εκτιμήσεις των τοπικών εκπομπών PM από τα BEVs, και η σύγκριση με εκείνες των ICEVs, ποικίλλουν σημαντικά λόγω της δυσκολίας της μέτρησής τους αξιόπιστα σε πραγματικές συνθήκες. Χρησιμοποιώντας εθνικά δεδομένα εκπομπών, μια μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα BEVs παράγουν πιθανώς επίπεδα ρύπανσης PM₁₀ και PM_{2.5} παρόμοια ή ελαφρώς χαμηλότερα από αυτά των ICEVs. Αυτό δικαιολογείται από τον συνδυασμό της φθοράς ελαστικών και δρόμων και του συστήματος ανάκτησης ενέργειας κατά το φρενάρισμα που συνθέτουν περίπου το 80% των εκπομπών PM των οχημάτων βενζίνης και πετρελαίου Euro 6, τη στιγμή που τα BEVs τείνουν κατά μέσο όρο να είναι βαρύτερα από τα αντίστοιχα ICEVs, προκαλώντας μεγαλύτερους ρυθμούς φθοράς των δρόμων και των ελαστικών [57]. Αντίθετα, σε άλλη μελέτη διαπιστώθηκε ότι όταν χρησιμοποιηθούν δεδομένα σχετικά με τις πραγματικές εκπομπές καυσαερίων PM από ICEVs, τα BEVs εκπέμπουν μόνο περίπου το μισό και το ένα όγδοο του συνολικού ποσού των τοπικών PM₁₀ σε σύγκριση με τα οχήματα βενζίνης και ντίζελ Euro 6, αντίστοιχα [58].

Ένα επιπλέον ζήτημα είναι οι εκπομπές των συνθηκών οδήγησης. Για παράδειγμα, στην αστική οδήγηση με συχνές στάσεις και ξεκινήματα όπου οι ταχύτητες είναι χαμηλές, τα σωματίδια λόγω της φθοράς των φρένων μπορούν να αποτελέσουν έως και το 55% των συνολικών εκπομπών PM₁₀ από τα ICEVs. Έτσι το σύστημα ανάκτησης ενέργειας κατά το φρενάρισμα στα BEVs είναι πιθανό να προσφέρει μεγάλη μείωση στις τοπικές εκπομπές PM σε σχέση με τα ICEVs σε αυτές τις συνθήκες. Αντίθετα, στους αυτοκινητόδρομους εκτός αστικού πεδίου τα σωματίδια λόγω φθοράς φρένων μπορεί να αντιπροσωπεύουν μόνο το 3% των συνολικών εκπομπών PM₁₀ από τα ICEVs, επομένως το πλεονέκτημα των BEVs έναντι των ICEVs είναι μικρότερο [58].

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η επαναιώρηση των PM απαιτεί την παρουσία των υπαρχόντων PM στην επιφάνεια του δρόμου. Εάν η εισαγωγή νέων σωματιδίων από την φθορά φρένων και καυσαερίων μειώνεται με την πάροδο του χρόνου αν οι εκπομπές καυσαερίων συνεχίσουν να μειώνονται και τα BEVs γίνονται ολοένα και δημοφιλέστερα, τότε οι εκπομπές από την επαναιώρηση μπορεί επίσης να μειωθούν ταυτόχρονα [40].

3.3.3.2. Αέριοι ρύποι από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Όπως προαναφέρθηκε, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τη φόρτιση μπαταριών BEVs οδηγεί σε εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων από τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Όσον αφορά τα SO₂ και NO_x, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η μόνη πηγή εκπομπής τους στο στάδιο χρήσης, ενώ τα PM (PM₁₀ και PM_{2.5}) απελευθερώνονται επίσης τοπικά κατά την οδήγηση.

Η ποσότητα των εκπομπών NO_x, SO₂ και PM που οφείλονται στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζονται τα BEVs ποικίλλει ανάλογα με την κατανάλωση ενέργειας του οχήματος και την πηγή παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας, όπως συμβαίνει και με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ωστόσο, για τους ατμοσφαιρικούς ρύπους, η χρήση τεχνολογιών μείωσης των εκπομπών και η ποιότητα των καυσίμων στους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής διαδραματίζουν έναν επιπρόσθετο ρόλο στον καθορισμό των εκπομπών των BEVs ανά χιλιόμετρο. Με βάση το μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας της ευρωπαϊκής ένωσης των 28 κρατών μελών του 2013, οι εκπομπές WTW των SO₂ και PM₁₀ ανά χιλιόμετρο στο στάδιο της χρήσης ήταν παρόμοιες με αυτές των βενζινοκίνητων οχημάτων και ελαφρώς μεγαλύτερες από εκείνες των πετρελαιοκίνητων [21]. Αυτό οφείλεται στη μεγάλη ποσότητα εκπομπών αυτών των ουσιών από σταθμούς παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα.

Ωστόσο, η κατάσταση διαφέρει ανάλογα με τη χώρα, τον τύπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και την εγκατεστημένη τεχνολογία μείωσης των ρύπων. Για παράδειγμα, μια μελέτη για την Κίνα και τις Ηνωμένες Πολιτείες διαπίστωσε ότι στις περιοχές με υψηλό ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας με βάση των άνθρακα, οι εκπομπές WTW των NO_x, PM₁₀ και SO₂ των BEVs, ήταν για την Κίνα από δύο έως τέσσερις φορές υψηλότερες και για τις ΗΠΑ έως τέσσερις φορές υψηλότερες από τις αντίστοιχες εκπομπές των ICEVs [56]. Παρόλα αυτά, η ίδια μελέτη υπογράμμισε τον σημαντικό ρόλο των τεχνολογιών για την μείωση των ρύπων - μέχρι το 2025, αναμένονται μειώσεις των εκπομπών από την παραγωγή ηλεκτρισμού- που σημαίνει ότι τα BEVs θα επιφέρουν μειώσεις στις εκπομπές NO_x, PM₁₀ και SO₂ ακόμη και με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα [40].

Αντίθετα, μια μελέτη περίπτωσης που βασίστηκε στο μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας του Βελγίου για το 2011 έδειξε ότι οι εκπομπές WTW των NO_x και SO₂ ενός τυπικού BEVs ήταν σημαντικά χαμηλότερες από αυτές των συγκρίσιμων βενζινοκίνητων και ντιζελοκίνητων οχημάτων, ενώ οι εκπομπές WTW των PM ήταν μόνο ελαφρώς χαμηλότερες [52]. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι στο Βέλγιο παράγεται περίπου το 60% της ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνική ενέργεια και το αέριο είναι η δεύτερη πιο σημαντική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας [40]. Επομένως, είναι διακριτή η σημασία του μείγματος ηλεκτρικής ενέργειας στον προσδιορισμό των επιπτώσεων όσον αφορά την αέρια ρύπανση.

3.3.3.3. Έκθεση στους αέριους ρύπους και επιπτώσεις στην υγεία

Για να κατανοήσουμε τον αντίκτυπο των ICEVs και των BEVs στην ανθρώπινη υγεία, πρέπει να σημειωθεί ότι η τοποθεσία στην οποία απελευθερώνονται οι εκπομπές είναι σημαντική. Στα αστικά κέντρα, οι εκπομπές NO_x, PM, υδρογονανθράκων και άλλων ρύπων σε επίπεδο χρήσης στο οδικό δίκτυο από τα ICEVs και άλλες πηγές, μπορούν να οδηγήσουν σε πολύ υψηλές τοπικές συγκεντρώσεις σε περιοχές κοντά στις οποίες ζουν και εργάζονται οι άνθρωποι, επηρεάζοντας έτσι σημαντικά την υγεία τους. Στον αντίποδα, οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τείνουν να βρίσκονται μακριά από πυκνοκατοικημένες περιοχές, συμβάλλοντας στη συγκέντρωση αερίων ρύπων σε μια μεγάλη περιοχή εκτός του αστικού πεδίου [40].

Για παράδειγμα, μια μελέτη μοντελοποίησης στη Βαρκελώνη και τη Μαδρίτη διαπίστωσε ότι συγκριτικά με τον τρέχοντα στόλο οχημάτων, η ηλεκτροδότησή τους κατά 40% θα μείωνε τις μέγιστες ωριαίες συγκεντρώσεις NO₂ έως και 16% (30 και 35 μg / m³ στη Βαρκελώνη και τη Μαδρίτη, αντίστοιχα). Οι πρόσθετες εκπομπές από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προκάλεσαν αύξηση της συγκέντρωσης λιγότερο από 3 μg / m³ [59].

Μια άλλη μελέτη στο Βέλγιο διαπίστωσε ότι η χρήση BEVs έχει χαμηλότερες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία κατά την χρήση ακόμη και των λιγότερο ρυπογόνων ICEVs (βενζινοκίνητα οχήματα Euro 6) και σημαντικά χαμηλότερες επιπτώσεις από όλα τα οχήματα με καύσιμο ντίζελ. Λόγω του

μείγματος ηλεκτρικής ενέργειας του Βελγίου στο οποίο κυριαρχεί η πυρηνική ενέργεια, ο αντίκτυπος των εκπομπών που παράγονται μέσω της παραγωγής της για τα BEVs, ήταν μικρότερος από τον αντίκτυπο των εκπομπών των ICEVs [58].

Ωστόσο, σε τοποθεσίες όπου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται στην καύση άνθρακα και όταν αυτή βρίσκεται κοντά σε κέντρα με μεγάλο πληθυσμό (π.χ. σε ορισμένες κινεζικές περιοχές), οι αστικές συγκεντρώσεις NO_x, SO₂ και PM₁₀ μπορεί να αυξηθούν αντικαθιστώντας τα οχήματα ICEVs με οχήματα BEVs [56].

3.3.3.4. Ηχορύπανση

Θόρυβος οδικής κυκλοφορίας

Ο θόρυβος της οδικής κυκλοφορίας προκύπτει από τον συνδυασμό του θορύβου λόγω της πρόωσης (κινητήρας, εξάτμιση και συναφή συστήματα), των ελαστικών αλλά και της αεροδυναμικής σχεδίασης του οχήματος. Η συνεισφορά καθενός από τα παραπάνω εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητά του, καθώς και από την κατάσταση της επιφάνειας του οδοστρώματος, όπως και από την κλίση του δρόμου στην οποία βρίσκεται το όχημα.

Σε πολύ χαμηλές ταχύτητες (<10 km / h), ο θόρυβος των επιβατικών ICEVs προέρχεται κυρίως από τον θόρυβο της πρόωσης. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες των BEVs (και τα σχετικά ηλεκτρονικά ισχύος) εκτιμάται ότι είναι περίπου 10 dB πιο αθόρυβοι από τους κινητήρες των ICEVs [60].

Με την αυξανόμενη ταχύτητα, ο θόρυβος που δημιουργείται από την αλληλεπίδραση μεταξύ των ελαστικών και του δρόμου γίνεται πιο έντονος και κυριαρχεί περίπου από τα 25-30 km / h [61], [62]. Σε αντίθεση με τον θόρυβο του κινητήρα, ο θόρυβος των ελαστικών δεν διαφέρει μεταξύ των BEVs και των ICEVs. Στα 50 km / h, η μείωση θορύβου ενός BEV σε σχέση με ένα ICEV είναι περίπου μόνο 1 dB - μια διαφορά μόλις αντιληπτή από το ανθρώπινο αυτί [60], [62]. Σε πολύ υψηλές ταχύτητες, η αεροδυναμική παίζει επίσης ρόλο, αλλά και πάλι δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ BEVs και ICEVs.

Επομένως, ο αντίκτυπος των BEVs στον θόρυβο επιβατικών αυτοκινήτων αναμένεται να είναι σημαντικός σε αστικές περιοχές όπου οι ταχύτητες είναι χαμηλές και η στατική κυκλοφορία είναι συχνή [60], [62], ενώ σε μεγάλους δρόμους και αυτοκινητόδρομους θα να είναι αμελητέος.

Οδική ασφάλεια

Μια βασική πολιτική σχετικά με τις εκπομπές θορύβου από τα ηλεκτρικά οχήματα τα επόμενα χρόνια, είναι ο κανονισμός της ΕΕ σχετικά με το επίπεδο θορύβου των μηχανοκίνητων οχημάτων, ο οποίος περιλαμβάνει για τα ηλεκτρικά και υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα να είναι εφοδιασμένα με ηχητικά συστήματα προειδοποίησης οχημάτων. Αυτά προορίζονται για την αντιστάθμιση του μειωμένου θορύβου στις χαμηλές ταχύτητες (έως 20 km / h), ώστε να διασφαλιστεί η ασφάλεια εκείνων που σε κάποιο βαθμό βασίζονται σε ακουστικά ερεθίσματα από οχήματα, δηλαδή των ατόμων με προβλήματα όρασης.

Παρόλο που είναι αναγκαία η χρήση τέτοιων προειδοποιητικών ηχητικών συστημάτων που να παράγουν συνεχή ήχο παρόμοιο με αυτόν των οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης, είναι πιθανό να υπάρχει δυνατότητα προσαρμογής τους με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε ο συνολικός θόρυβος που θα παράγεται από ένα BEV, να είναι και πάλι μικρότερος από αυτόν ενός ICEV [40].

Μια άλλη εναλλακτική λύση για τον μετριασμό των επιπτώσεων έκθεσης στο θόρυβο των συστημάτων αυτών, θα μπορούσε να είναι η χρήση χειροκίνητων προειδοποιητικών σημάτων (παρόμοια με κουδούνι ποδηλάτου), που χρησιμοποιείται μόνο όταν είναι απαραίτητο [61].

3.3.4. Επιπτώσεις στο οικοσύστημα

Μια άλλη κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων που έχει η χρήση BEVs είναι η επίδρασή τους στα χερσαία και υδρόβια οικοσυστήματα. Το Σχήμα 22 συγκρίνει τις επιπτώσεις των BEVs και ICEVs βενζίνης και πετρελαίου στο στάδιο χρήσης ανά κατηγορία επιπτώσεων στο οικοσύστημα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο αντίκτυπος του σταδίου χρήσης των BEVs είναι γενικά παρόμοιος με εκείνος των ICEVs όσον αφορά την εδαφική αύξηση της οξύτητας, επειδή οι εκπομπές SO₂ από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με άνθρακα αντισταθμίζουν τις μηδενικές εκπομπές NOx των BEVs κατά την χρήση τους [40]. Ωστόσο, υπάρχουν μελέτες που εκτιμούν μεγαλύτερες επιπτώσεις στην εδαφική αύξηση της οξύτητας λόγω των BEVs [63].

Ο αντίκτυπος είναι πιθανό να είναι παρόμοιος επίσης και για την χερσαία οικοτοξικότητα (αρνητικές μη ανατρέψιμες επιπτώσεις χημικών ουσιών σε ζωντανά συστήματα όπως οργανισμοί, πληθυσμοί, κοινότητες και οικοσυστήματα), καθώς αυτή προκαλείται κυρίως από την απελευθέρωση ψευδαργύρου, χαλκού και τιτανίου από την φθορά των ελαστικών και των φρένων για την οποία τα δεδομένα σχετικά με τις διαφορές είναι περιορισμένα [21].

Αντίθετα, ο ευτροφισμός και η οικοτοξικότητα των γλυκών υδάτων από τη χρήση BEVs είναι υψηλότερα από αυτά της χρήσης ICEVs λόγω των εκπομπών που καταλήγουν στα ύδατα από την εξόρυξη του άνθρακα που απαιτείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [21]. Αυτό επομένως συνεπάγεται ότι η μείωση της χρήσης άνθρακα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα μειώσει σημαντικά αυτές τις επιπτώσεις των BEVs.

Εκτός από αυτά που συζητήθηκαν παραπάνω, υπάρχουν και άλλες επιπτώσεις σχετικά με το οικοσύστημα που σχετίζονται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και τις ανανεώσιμες πηγές. Για παράδειγμα [40]:

- η υδροηλεκτρική παραγωγή ενέργειας μπορεί δυνητικά να οδηγήσει σε απώλεια και υποβάθμιση σημαντικών υδρόβιων οικοτόπων και φυσικών περιοχών
- η παραγωγή βιοκαυσίμων μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια βιοποικιλότητας εάν μετατραπούν σημαντικοί βιότοποι σε τέτοιες καλλιέργειες ή εάν παραγωγικές καλλιεργήσιμες εκτάσεις μετατραπούν σε αντίστοιχες βιοκαυσίμων, μειώνοντας έτσι την παραγωγή τροφίμων.

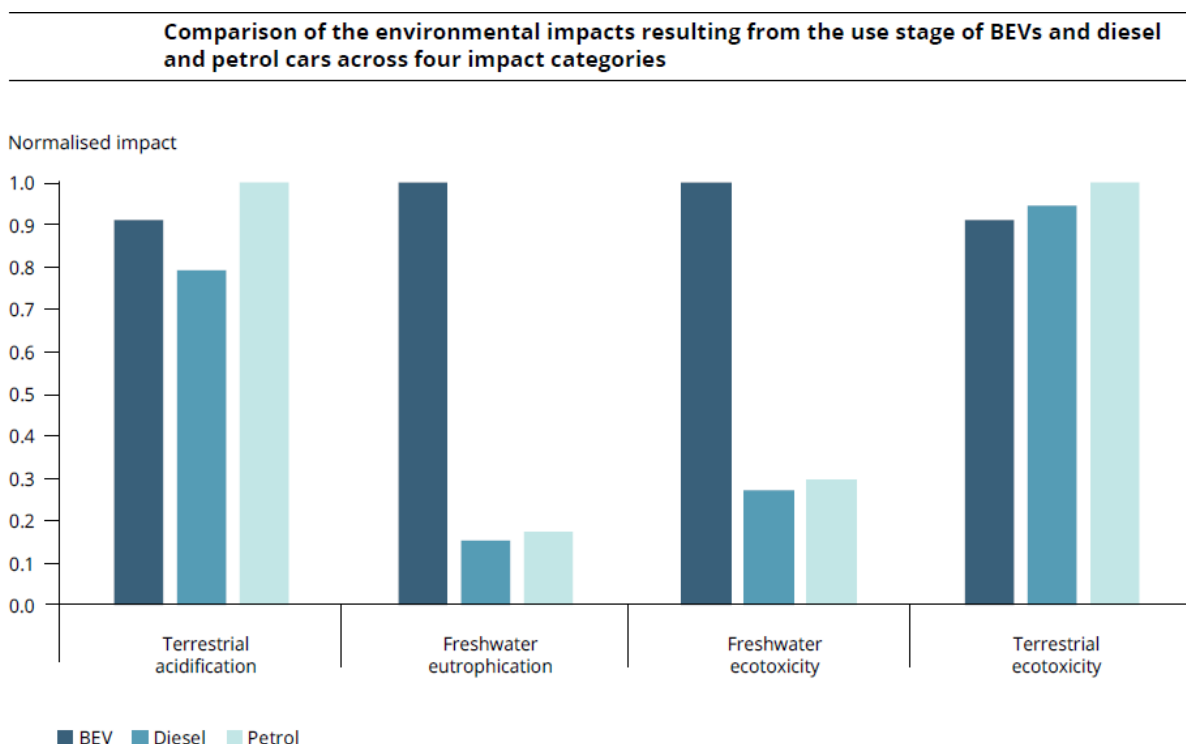
Αυτές οι πιθανές επιπτώσεις πρέπει να εξεταστούν και να ελαχιστοποιηθούν εφόσον είναι δυνατόν να υπάρξει παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα η οποία σε γενικές γραμμές προάγει την ανώτερη περιβαλλοντική απόδοση των BEVs, αντί να μετατοπίζει απλώς τις επιπτώσεις από τη μία κατηγορία αυτοκίνησης στην άλλη.

3.3.5. Παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας του συσσωρευτή

Αν και σε γενικά πλαίσια η κατανάλωση ενέργειας που εμπίπτει κατά το στάδιο TTW («tank-to-wheel») για την οδήγηση των BEVs είναι μεταξύ του ενός τρίτου και του ενός τετάρτου της καταναλισκόμενης ενέργειας ενός ICEV, το πλεονέκτημα ενεργειακής απόδοσης των BEVs έναντι συγκρίσιμων ICEVs ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με:

- την τοποθεσία και τον τρόπο οδήγησης
- τη χρήση βοηθητικών συστημάτων

- το μέγεθος και το βάρος του οχήματος.



Σχήμα 22. Σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά το στάδιο χρήσης για τα BEVs και ICEVs πετρελαίου και βενζίνης, [21], [40]. Σημείωση: Χρησιμοποιήθηκε κανονικοποιημένη κλίμακα με τις επιπτώσεις να κατατάσσονται αναλογικά αυτής με την μεγαλύτερη τιμή. Για τα BEVs χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για μπαταρίες LiNMC και τα δεδομένα προκύπτουν βάσει του ευρωπαϊκού ενεργειακού μείγματος του 2013.

3.3.5.1. Τοποθεσία και τρόπος οδήγησης

Ένας βασικός παράγοντας που επηρεάζει την κατανάλωση ενέργειας των BEVs, των REEVs και των PHEVs είναι ο βαθμός στον οποίο η αναγεννητική πέδηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάκτηση ενέργειας. Το αναγεννητικό φρενάρισμα είναι πιο αποτελεσματικό κατά τη σταδιακή επιβράδυνση και καθόδου ενός οδοστρώματος υπό κλίση. Κατά την απότομη πέδηση, μπορεί να ανακτηθεί χαμηλότερη αναλογία ενέργειας και απαιτείται η χρήση μηχανικών τακακιών φρένων [8].

Τα BEVs έχουν μεγαλύτερο πλεονέκτημα απόδοσης έναντι των ICEVs κατά την οδήγηση σε αστικές περιοχές με ήπιο τρόπο οδήγησης, ο οποίος κάνει την βέλτιστη δυνατή χρήση των συχνών επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων της αστικής οδήγησης για την ανάκτηση ενέργειας. Στην πράξη, ορισμένες μελέτες δείχνουν ότι η κατανάλωση ενέργειας των BEVs ανά χιλιόμετρο, είναι στην πραγματικότητα μικρότερη στις αστικές περιοχές από ό, τι στην οδήγηση εκτός πόλης, ενώ τα ICEVs είναι λιγότερο αποδοτικά στις αστικές περιοχές [64]. Η κατανάλωση ενέργειας κατά το TTW ενός ICEV μπορεί να είναι πάνω από τέσσερις φορές μεγαλύτερη σε σχέση με ένα συγκρίσιμο BEV σε αστικές περιοχές, αλλά μόνο 2,5-3 φορές μεγαλύτερη σε αυτοκινητόδρομους [9]. Παρόλο που ένα επιθετικό στυλ οδήγησης οδηγεί σε υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας τόσο για τα BEVs όσο και για τα ICEVs, το δυναμικό για αυξημένη απόδοση με οικονομική οδήγηση είναι μεγαλύτερο για τα BEVs, χάρη στην αναγεννητική πέδηση.

Όσον αφορά το έδαφος στο οποίο γίνεται η οδήγηση, δεν βρέθηκαν στοιχεία που να αφορούν ειδικά την επίδραση των πιο επίπεδων εδαφών σε σχέση με αυτά υπό κλίση. Ωστόσο, είναι πιθανό τα οχήματα με αναγεννητικά συστήματα πέδησης να έχουν μεγαλύτερο πλεονέκτημα απόδοσης σε λοφώδεις περιοχές σε σχέση με εκείνα που δεν έχουν, επειδή οι κατηφορικές κλίσεις παρέχουν την ευκαιρία ανάκτησης ενέργειας [40].

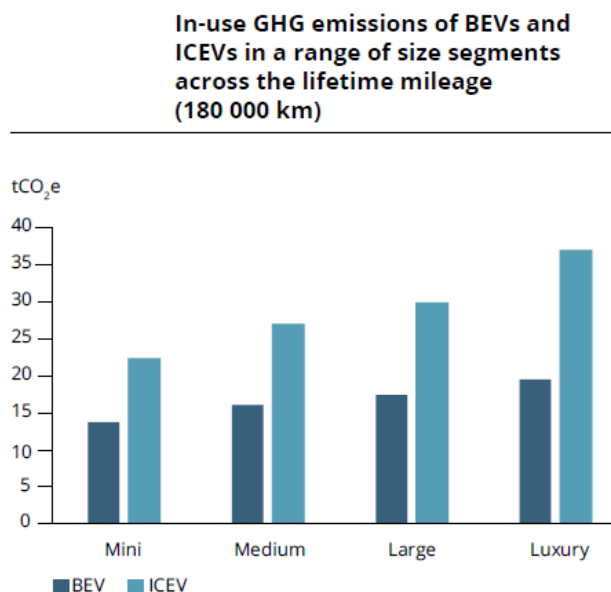
3.3.5.2. Χρήση βοηθητικών συστημάτων

Ένας επιπλέον παράγοντας που επηρεάζει την ενεργειακή απόδοση των BEVs είναι ο βαθμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από βοηθητικά συστήματα (π.χ. θέρμανση και κλιματισμός). Για τα περισσότερα βοηθητικά συστήματα (συμπεριλαμβανομένου του κλιματισμού για ψύξη), η επίδραση στην κατανάλωση ενέργειας σε BEVs και ICEVs είναι παρόμοια. Παρόλα αυτά, για την παροχή θέρμανσης, τα BEVs πρέπει να αντλήσουν ενέργεια από την μπαταρία, ενώ τα ICEVs μπορούν να κάνουν χρήση της απορριφθείσας θερμότητας από τον κινητήρα. Για παράδειγμα, σε μία δοκιμή του 2013 που χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο αυτοκινήτου Nissan LEAF, η χρήση της θέρμανσης προκάλεσε αύξηση 40% στην κατανάλωση ενέργειας, δηλαδή από 13,1 σε 18,3 kWh / 100 km (που ισοδυναμεί με 39-55 gCO_{2e} / km σε κανονικές συνθήκες οδήγησης [50]. Συμπερασματικά, σε ψυχρές συνθήκες στις οποίες είναι απαραίτητη η θέρμανση της καμπίνας του οχήματος, το πλεονέκτημα απόδοσης των BEVs έναντι των ICEVs μειώνεται.

3.3.5.3. Μέγεθος και βάρος οχήματος

Η κατανάλωση ενέργειας των BEV συσχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με το μέγεθος και το βάρος του οχήματος, όπως συμβαίνει και με τα ICEVs. Τα βαρύτερα και μεγαλύτερα BEVs απαιτούν περισσότερη ενέργεια για να επιταχυνθούν και να κινηθούν σε δρόμους με κλίση, και έχουν μεγαλύτερη αντίσταση κύλισης και αντίσταση αέρα από τα μικρότερα και ελαφρύτερα BEVs [8]. Η κατανάλωση ενέργειας οδήγησης ποικίλλει στα διαφορετικά μεγέθη ηλεκτρικών οχημάτων κατά συντελεστή με τιμή 1,4 και μεταξύ 15 και 21 kWh / 100 km για μίνι και πολυτελή αυτοκίνητα, αντίστοιχα [54]. Με βάση το ποσοστό άνθρακα του μέσου μείγματος ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ για το 2015 (300 gCO_{2e} / kWh), αυτό μεταφράζεται σε εκπομπές αερίων θερμοκηπίου κατά τη φάση χρήσης μεταξύ 44 και 63 gCO_{2e} / km, όπως αποτυπώνεται στο Σχήμα 23 [40].

Το μέσο όχημα BEV στην ΕΕ το 2016 ήταν κατά 31% και κατά 5% βαρύτερο από το μέσο επιβατικό αυτοκίνητο βενζίνης και ντίζελ, αντίστοιχα. Σε παρόμοια βάση, τα BEVs είναι μεταξύ 14% και 29% βαρύτερα από ένα αντίστοιχο μέγεθος ICEV από τον ίδιο κατασκευαστή [57]. Αυτό το επιπλέον βάρος μειώνει το πιθανό πλεονέκτημά τους έναντι των ICEVs όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Σε μεγάλο βαθμό οφείλεται στο βάρος της μπαταρίας και την σχετική αύξηση του δευτερογενούς βάρους που απαιτείται για την ενίσχυση του αμαξώματος του οχήματος. Ο ελαφρύς σχεδιασμός των εξαρτημάτων θα μπορούσε να βοηθήσει στην ισορρόπηση αυτής της τάσης, ενδεχομένως αντικαθιστώντας τα υπάρχοντα υλικά με ελαφρύτερα. Ωστόσο, η εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει από αυτό στο στάδιο χρήσης, θα πρέπει να σταθμίζεται έναντι τυχόν επιπρόσθετων επιπτώσεων που προκύπτουν κατά την παραγωγή του οχήματος ή τα στάδια στο τέλος του κύκλου ζωής του [8].



Σχήμα 23. Εκπομπές GHG των BEVs και ICEVs ανά κατηγορία μεγέθους οχήματος με χιλιομετρική διάρκεια ζωής 180.000 km, [40]

3.3.6. Επιπτώσεις της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Για τα ICEVs, οι περισσότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και ατμοσφαιρικών ρύπων συμβαίνουν κατά τη διάρκεια του σταδίου TTW, ενώ για τα BEVs οι περισσότερες εκπομπές συμβαίνουν κατά τη διάρκεια του σταδίου WTT, δηλαδή οι εκπομπές έχουν μεταφερθεί στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, [40].

3.3.6.1. Τρέχουσες εκπομπές

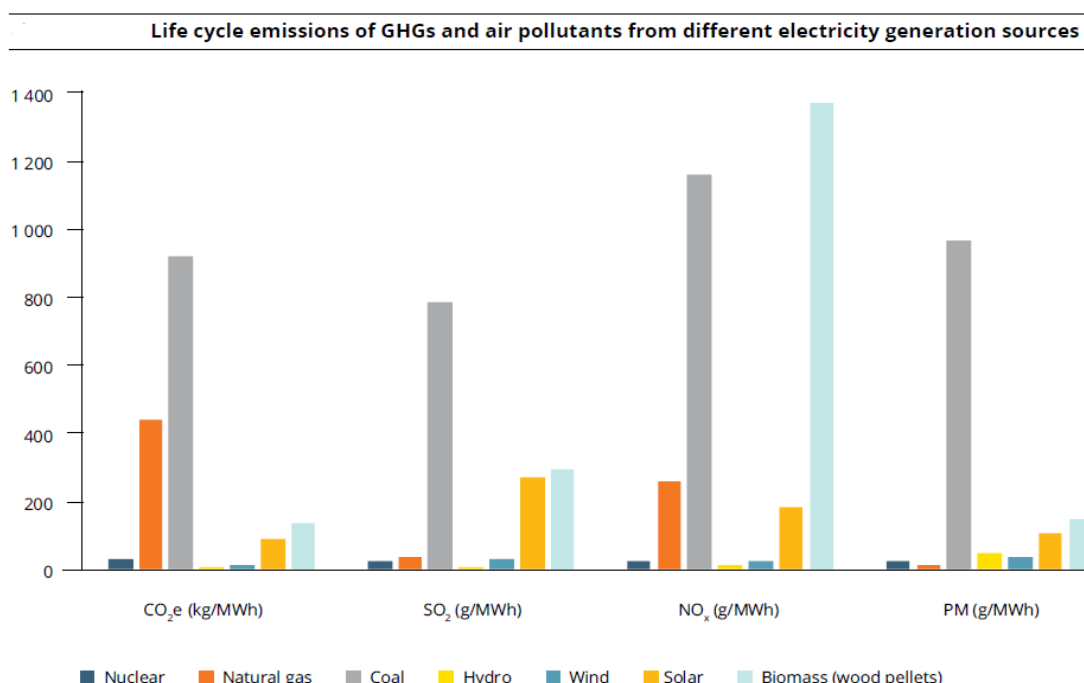
Οι διαφορετικοί τύποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδέονται προς το παρόν με πολύ διαφορετικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και ατμοσφαιρικών ρύπων ανά μονάδα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα έχουν τις υψηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, σημαίνοντας πως εκπέμπουν περισσότερο από το διπλάσιο από τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με φυσικό αέριο. Έχουν επίσης τις υψηλότερες εκπομπές SO₂ και PM. Από την άλλη πλευρά, οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας από βιομάζα και η πυρηνική ενέργεια έχουν το χαμηλότερο αποτύπωμα άνθρακα, αν και δεν είναι μηδενικό λόγω των εκπομπών από την κατασκευή των εγκαταστάσεων παραγωγής. Τέλος, Η υδροηλεκτρική και η αιολική ενέργεια έχουν χαμηλές εκπομπές για όλους τους ρύπους [52], και τα παραπάνω μπορούν να μελετηθούν στο Σχήμα 24 παρακάτω.

Οι εκπομπές GHG κατά το WTW των τυπικών BEVs που φορτίζονται αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από άνθρακα είναι τουλάχιστον τόσο υψηλές όσο για τα ισοδύναμα ICEVs, δηλαδή μεταξύ 139 και 175 gCO₂e / km, ενώ η φόρτιση από την παραγωγή ενέργειας άλλων ορυκτών καυσίμων, έχει ως αποτέλεσμα ελαφρώς χαμηλότερες εκπομπές GHG για τα BEVs από ότι για τα ICEVs [31]. Αντίθετα, αξιοσημείωτο είναι ότι ένα BEV φορτισμένο αποκλειστικά με αιολική ενέργεια θα είχε εκπομπές GHG κατά το WTW μόνο 1 έως 2 gCO₂e / km [40].

Με βάση τα μέσα μείγματα ηλεκτρικής ενέργειας σε ολόκληρη την Ευρώπη το 2013, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανά χιλιόμετρο με ηλεκτρικά οχήματα που φορτίζονται σε διάφορες χώρες της Ευρώπης, ποικίλλουν σημαντικά. Οι εκτιμώμενες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ενός

τυπικού BEV στο στάδιο χρήσης, κυμαίνονταν μεταξύ 9 gCO₂ / km στη Σουηδία όπου κυριαρχούν η παραγωγή πυρηνικής και υδροηλεκτρικής ενέργειας και 234 gCO₂ / km στη Λετονία η οποία εισάγει σε μεγάλο βαθμό ηλεκτρισμό από άνθρακα από γειτονικές χώρες [12]. Παρατηρείται επίσης διακύμανση μεταξύ των χωρών για τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων. Για παράδειγμα, μια μελέτη με βάση το μείγμα ενέργειας του 2012 διαπίστωσε ότι στη Γερμανία κατά το στάδιο WTW, ένα BEV είχε 32% μεγαλύτερες εκπομπές PM₁₀ ανά χιλιόμετρο από ένα ICEV, ενώ στη Γαλλία οι εκπομπές των BEVs ήταν 17% χαμηλότερες [56], [65].

Σε παγκόσμιο επίπεδο, το μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας σε περιοχές κατασκευής οχημάτων και των εξαρτημάτων αυτών έχει επίσης μεγάλο αντίκτυπο στις εκπομπές των κύκλων ζωής των BEVs όπως έχει ήδη αναφερθεί. Στην Κίνα – που είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός μπαταριών ιόντων λιθίου - ο άνθρακας κυριαρχεί στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (75% το 2014) και η τρέχουσα μείωση των εκπομπών είναι χαμηλή [56], [65]. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι εκπομπές CO₂ και ατμοσφαιρικών ρύπων να είναι πολύ υψηλότερες από εκείνες της ΕΕ, όπου μόνο περίπου το 25% της ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται από άνθρακα [29].

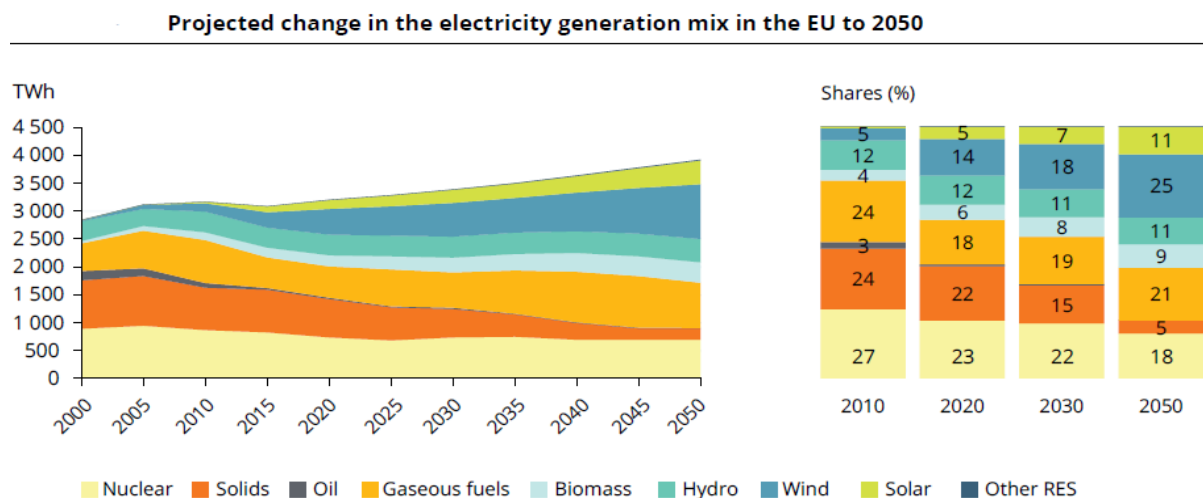


Σχήμα 24. Εκπομπές GHG και αέριοι ρύποι με βάση τις διαφορετικές πηγές ηλεκτρικής ενέργειας, [40], [52]. Σημείωση: Συμπεριλαμβάνονται και οι εκπομπές από την εξόρυξη των καυσίμων και την κατασκευή των εγκαταστάσεων παραγωγής

3.3.6.2. Μελλοντικές εκπομπές

Η ένταση χρήσης άνθρακα του μείγματος ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ αναμένεται να μειωθεί μέχρι το 2050, λόγω της προβλεπόμενης μείωσης της καύσης άνθρακα και της αύξησης του ποσοστού των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Σχήμα 25). Προβλέπεται να μειωθεί από 300 gCO₂e / kWh το 2015 σε 200 και 80 gCO₂e / kWh το 2030 και το 2050, αντίστοιχα [66] σύμφωνα με τις τρέχουσες τάσεις και πολιτικές που υιοθετήθηκαν το 2014. Για ένα τυπικό BEV αυτό μεταφράζεται σε μείωση των εκπομπών GHG από τα τρέχοντα 60 gCO₂e / km σε 40 gCO₂e / km έως το 2030 και σε 16 gCO₂e / km έως το 2050 - μείωση κατά 73% συνολικά. Ωστόσο, οι εκτιμήσεις δεν λαμβάνουν υπόψη την εφαρμογή των πρόσφατα συμφωνηθέντων στόχων για το κλίμα και την ενέργεια για το 2030, ούτε τις περαιτέρω δράσεις που απαιτούνται σύμφωνα με τη συμφωνία του Παρισιού. Επομένως, οι

μειώσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για ένα τυπικό BEV αναμένεται να είναι ακόμη μεγαλύτερες από τα προβλεπόμενα [40].



Σχήμα 25. Προβλεπόμενες εξελίξεις στο ευρωπαϊκό μείγμα ενέργειας ηλεκτρισμού στην ΕΕ μέχρι το 2050, [66]. Σημείωση: ο όρος Solids (Στερεά καύσιμα) αναφέρεται στην καύση άνθρακα και λιγνίτη.

Οι εκπομπές NO_x, SO_x και PM₁₀ από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας μειώθηκαν κατά 41%, 64% και 78%, αντίστοιχα στο διάστημα μεταξύ 2000 και 2005 στην Ευρώπη των 28 κρατών-μελών [40]. Αυτό οφείλεται εν μέρει σε αλλαγές στο μείγμα παραγωγής αλλά και σε βελτιώσεις στις εκπομπές από μονάδες καύσης μετά την εφαρμογή της οδηγίας για τις μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης και της διαδοχής της οδηγίας για τις βιομηχανικές εκπομπές [67]. Οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων του μείγματος παραγωγής είναι πιθανό να συνεχίσουν να μειώνονται το 2030 και το 2050, καθώς η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές αυξάνεται σε ποσοστό, οδηγώντας σε περαιτέρω μείωση των εκπομπών ατμοσφαιρικής ρύπανσης των BEVs στο στάδιο WTT ανά χιλιόμετρο. Μια ανάλυση σεναρίων της ΕΕ [68] υποδηλώνει ότι, με το μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας του 2050, η αντικατάσταση των οχημάτων ICEVs με BEVs και PHEVs θα έχει ως αποτέλεσμα σημαντικές μειώσεις στις εκπομπές WTW των NO_x και PM [69]. Ωστόσο, η ίδια ανάλυση έδειξε ότι οι εκπομπές WTW για το SO₂ θα αυξηθούν, καθώς οι εκπομπές από τα ICEVs είναι σχετικά χαμηλές σε σύγκριση με εκείνες από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα, οι οποίοι θα εξακολουθήσουν να διαδραματίζουν κάποιο ρόλο σε ορισμένες χώρες το 2050. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το σενάριο αναφοράς της ΕΕ δεν έλαβε υπόψη τους πρόσφατους στόχους και τις πολιτικές δεσμεύσεις, οι οποίες ενδέχεται να επιταχύνουν τη σταδιακή κατάργηση των σταθμών παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα και συνεπώς να μειώσουν παράλληλα τις εκπομπές SO₂ [40].

3.3.6.3. Η επίδραση των μοτίβων φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων με συσσωρευτή στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και στις εκπομπές των αέριων ρύπων

Παρόλο που το μέσο μείγμα του δικτύου είναι μια χρήσιμη προσέγγιση για τις πιθανές εκπομπές GHG της φόρτισης των BEVs, δεν λαμβάνει υπόψη την επίδραση που μπορεί να έχει η παροχή και ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, στις εκπομπές GHG [48]. Οι ακριβείς εκπομπές GHG και ατμοσφαιρικών ρύπων κατά το στάδιο WTW για κάθε δεδομένη φόρτιση εξαρτώνται από το στιγμιαίο μείγμα ενέργειας του δικτύου, το οποίο ποικίλλει ανάλογα με την εποχή του χρόνου, την ώρα της ημέρας και το επίπεδο ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Το βασικό σημείο είναι ότι το δίκτυο δεν είναι ανεξάρτητο από τη ζήτηση που απαιτείται μια χρονική στιγμή. Αυτή η

πρόσθετη ζήτηση που δημιουργείται από τη φόρτιση των BEVs μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγή του μείγματος ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο, με αποτέλεσμα είτε αύξηση είτε μείωση των εκπομπών GHG και των αερίων ρύπων, ανάλογα με τον τύπο παραγωγής που διατίθεται για την κάλυψη της πρόσθετης ζήτησης [69]. Για παράδειγμα:

- Η φόρτιση BEVs σε χρονικά διαστήματα κατά τα οποία η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ξεπερνά τη ζήτηση (π.χ. κατά τη διάρκεια μιας ημέρας κατά την οποία η παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα (PV) είναι εφικτή), καθιστά δυνατή την ενσωμάτωση αυτής της περίσσειας στο δίκτυο, με αποτέλεσμα ένα δίκτυο με μείγμα ενέργειας χαμηλότερων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ατμοσφαιρικών ρύπων κατά μέσο όρο.
- Η φόρτιση των BEVs κατά τις απογευματινές ώρες, που συμπίπτει με την κορύφωση της ζήτησης χρήσης ενέργειας για άλλες ανάγκες, θα έχει συνήθως υψηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, καθώς η επιπλέον ζήτηση ικανοποιείται συχνά χρησιμοποιώντας πηγές ηλεκτρικής ενέργειας υψηλών απαιτήσεων σε άνθρακα, όπως είναι οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με αέριο και πετρέλαιο.

3.3.6..4. Διαχείριση της διαδικασίας φόρτισης

Επί του παρόντος, οι περισσότεροι χρήστες των BEVs φορτίζουν τα οχήματά τους στο σπίτι τους μετά το απόγευμα και κατά τη διάρκεια της νύχτας. Έτσι η διαδικασία της φόρτισης συμπίπτει με την αιχμή της ζήτησης ενέργειας των νοικοκυριών αυξάνοντας την, όπου ενδέχεται να απαιτούνται σε πολλές χώρες πηγές παραγωγής υψηλών απαιτήσεων σε άνθρακα, για την κάλυψη της ζήτησης [70].

Καθώς ο αριθμός των BEVs αυξάνεται στο μέλλον, η διαχείριση των μοτίβων φόρτισης για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (καθώς και την υπερφόρτωση του δικτύου) θα γίνει όλο και πιο σημαντική. Για παράδειγμα, στο αντίστοιχο σενάριο μοντελοποίησης για το Ηνωμένο Βασίλειο, φαίνεται ότι η μέγιστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούσε να είναι έως και 18 GW υψηλότερη το 2050 από ό, τι σήμερα (περίπου το 30% της μέγιστης κατανάλωσης του 2016, δηλαδή περίπου 60 GW) με την υπόθεση ότι η υιοθέτηση των BEVs είναι υψηλή, το μέγεθος των οχημάτων είναι μεγάλο και η φόρτιση πραγματοποιείται κατά τις ώρες αιχμής. Αντίθετα, εάν διαχειρίζονται οι χρόνοι κατά τους οποίους γίνεται η φόρτιση, η πρόσθετη μέγιστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι πολύ χαμηλότερη - περίπου 6 GW (10% της τρέχουσας κατανάλωσης αιχμής) [69].

Επομένως, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι εκπομπές GHG του σταδίου WTW των BEVs κατά την φόρτισή τους πρέπει:

- να προωθηθεί η ενσωμάτωση ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλού ανθρακικού αποτυπώματος στο δίκτυο, και
- να αποφευχθεί η επιδείνωση των απαιτήσεων σε ηλεκτρική ενέργεια κατά τις ώρες αιχμής, κάτι που συνδέεται με απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα.

Ένα βασικό μέσο για τη διαχείριση των χρονικών πλαισίων της φόρτισης, είναι μέσω της λεγόμενης «έξυπνης φόρτισης», σύμφωνα με την οποία ο χρόνος στον οποίο λαμβάνει χώρα, ελέγχεται απευθείας από τον διαχειριστή του δικτύου ή μέσω ενός διαμεσολαβητή. Έτσι υπάρχουν συν τοις άλλοις οφέλη όπως η σταθερότητα δικτύου, το χαμηλό κόστος ηλεκτρικής ενέργειας ή και η χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

Η έννοια της «έξυπνης φόρτισης», περιλαμβάνει λοιπόν τεχνολογίες που επιτρέπουν την απομακρυσμένη διαχείριση των χρόνων φόρτισης της μπαταρίας. Η τεχνολογία αυτή δεν έχει ακόμη

υιοθετηθεί μαζικά, αλλά υπάρχει σχετική οδηγία της ΕΕ, καθιστώντας την βασική προτεραιότητα για τα κράτη μέλη της ΕΕ τα επόμενα χρόνια. Θα επιτρέπει λοιπόν, τη φόρτιση κάθε μεμονωμένου BEV κατά τη διάρκεια της νύχτας, με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα έντονης αιχμής στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, κατανέμοντας σε αυτό το χρονικό διάστημα τις φορτίσεις έτσι ώστε να μην συμπίπτουν σε μεγάλο βαθμό. Επιπλέον, η φόρτιση θα μπορούσε να συγκεντρωθεί αυτόματα σε περιόδους προβλεπόμενης υψηλής διαθεσιμότητας ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως κατά τη διάρκεια του μισού της ημέρας από παραγωγή ηλιακής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών [40].

Για να είναι αποτελεσματική επομένως, απαιτεί επίσης υποδομές φόρτισης και κατά τη διάρκεια της ημέρας. Τα σημεία φόρτισης στο χώρο εργασίας είναι σαφώς πολύ σημαντικά. Επιπλέον, η ηλιακή ενέργεια παραγόμενη μέσω φωτοβολταϊκών, έχει έναν σχετικά προβλέψιμο καθημερινό κύκλο, ενώ η παραγωγή ενέργειας μέσω ανέμου είναι πιο απρόβλεπτη. Αυτό σημαίνει ότι τα BEVs θα πρέπει να είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα ώστε να διασφαλιστεί ότι η φόρτιση πραγματοποιείται στον βέλτιστο χρόνο, επιτυγχάνοντας παράλληλα ένα αποδεκτό επίπεδο φόρτισης πριν από την επόμενη χρήση. Παρόλα αυτά, μια σημαντική πρόκληση είναι η ευελιξία συμπεριφοράς των χρηστών. Η έξυπνη φόρτιση απαιτεί από τους ιδιοκτήτες των οχημάτων ευελιξία στους χρόνους χρήσης του οχήματος και να είναι διατεθειμένοι να παραχωρήσουν σε ένα βαθμό τον έλεγχο της διαδικασίας φόρτισης για να ωφεληθεί το σύστημα στο σύνολό του. Τέλος, να σημειωθεί ότι η τεχνολογία αυτή δεν έχει ακόμη υιοθετηθεί μαζικά, αλλά υπάρχει σχετική οδηγία της ΕΕ, καθιστώντας την βασική προτεραιότητα για τα κράτη μέλη της ΕΕ τα επόμενα χρόνια [40].

Ωστόσο, υπάρχουν και άλλες προσεγγίσεις για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών GHG από τη φόρτιση των BEVs, οι οποίες θα μπορούσαν να ληφθούν παράλληλα με την έξυπνη φόρτιση. Αυτές περιλαμβάνουν [71]:

- Αναβαθμίσεις σε υποδομές του δικτύου, συμπεριλαμβανομένης της πρόσθετης χωρητικότητας αποθήκευσης ενέργειας του δικτύου και της ενσωμάτωσης δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγαλύτερες περιοχές για τη μείωση της διακύμανσης προμήθειας ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.
- Την αντικατάσταση μπαταρίας, δηλαδή την αφαίρεση μιας αποφορτισμένης μπαταρίας και αντικατάστασή της με μια πλήρως φορτισμένη για να αποσυσχετιστεί ο χρόνος χρήσης του οχήματος από τη φόρτιση της μπαταρίας. Έτσι επιτυγχάνεται η φόρτιση των μπαταριών οποιαδήποτε στιγμή της ημέρας.
- Την ελαχιστοποίηση της ζήτησης φόρτισης. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η ανάγκη λειτουργίας σταθμών ηλεκτροπαραγωγής υψηλής έντασης σε άνθρακα για την κάλυψη των περιόδων αιχμής. Η επιλογή οχημάτων με μικρότερες μπαταρίες (συμπεριλαμβανομένων μικρότερων κατηγοριών οχημάτων όπως ηλεκτρικά ποδήλατα) και η χρήση σημείων φόρτισης με μικρότερη ισχύ όταν είναι εφικτό, θα βοηθήσει στο να επιτευχθεί.

3.3.7. Ο ρόλος των ηλεκτρικών οχημάτων στην ατομική χρήση και κινητικότητα

Οι περισσότερες αναλύσεις κύκλου ζωής για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα εστιάζουν στην ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων ανά χιλιόμετρο. Ωστόσο αυτή η πρακτική υποθέτει ότι αποτελούν μια ευθεία αντικατάσταση των ICEVs, για παράδειγμα ότι δηλαδή διανύουν τα ίδια χιλιόμετρα στο διάστημα ενός χρόνου και ότι διανύουν τις ίδιες διαδρομές. Ορισμένες μελέτες δείχνουν ότι η πλειονότητα των ταξιδιών που πραγματοποιούνται από ICEVs θα μπορούσε να επιτευχθεί και από τα

επί του παρόντος διαθέσιμα BEVs με την τρέχουσα αυτονομία, χωρίς επιπλέον φόρτιση [72]. Αυτό υποδηλώνει ότι η ημερήσια απόσταση οδήγησης των BEVs είναι παρόμοια με εκείνη των ICEVs που αντικαθιστούν, ή ελαφρώς χαμηλότερη εάν η ανασφάλεια λόγω εμβέλειας προκαλεί την μη πραγματοποίηση ορισμένων από τα μεγαλύτερα ταξίδια. Ωστόσο, αυτές οι μελέτες δεν λαμβάνουν υπόψη την πιθανώς μακροπρόθεσμη αλλαγή της οδηγικής συμπεριφοράς που μπορεί να προκύψει από την ιδιοκτησία BEVs.

Οι μελέτες που ανέλυσαν τις συνήθειες της χρήσης BEVs και τις αποστάσεις οδήγησης που διανύονται από πραγματικούς ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων, υποδηλώνουν ότι τα φαινόμενα αλλαγής της οδηγικής συμπεριφοράς μπορεί να είναι σημαντικά, ειδικά βραχυπρόθεσμα. Στη Νορβηγία, τα στοιχεία δείχνουν ότι τα BEVs αγοράζονται σε γενικές γραμμές ως πρόσθετο όχημα αντί να αντικαθιστούν ένα ICEV, και ότι οι ιδιοκτήτες BEVs τείνουν να χρησιμοποιούν τα αυτοκίνητά τους για μεγαλύτερο ποσοστό ταξιδιών από τους ιδιοκτήτες ICEVs [72]. Έρευνες στη Νορβηγία έδειξαν επίσης ότι, ενώ οι διαδρομές με BEVs αντικαθιστούν ως επί το πλείστον τις εκτελούμενες με ICEVs, το 10 έως 20% των διαδρομών αντικαθίσταται από αυτές που θα πραγματοποιούνταν από δημόσιους ή μη μηχανοκίνητους (πχ. ποδήλατα) τρόπους μεταφοράς. Αυτό πιθανότατα σχετίζεται με την παροχή τοπικών κινήτρων, όπως δωρεάν στάθμευση, εξαίρεση από διόδια και φόρτιση σε δημόσιες εγκαταστάσεις για BEVs [73]. Στοιχεία από τη Σουηδία αποκάλυψαν παρόμοια μοτίβα, δείχνοντας ότι οι ιδιοκτήτες BEVs κάνουν περισσότερα ταξίδια από ό, τι οι μη ιδιοκτήτες BEVs και χρησιμοποιούν αυτοκίνητο για μεγαλύτερο ποσοστό της διανυθείσας απόστασης [73]. Οι πιθανοί λόγοι ενός τέτοιου φαινομένου μπορεί να οφείλονται στο ότι [40]:

- Το λειτουργικό κόστος οδήγησης ενός BEV είναι πολύ χαμηλότερο από αυτό ενός ICEV.
- Η αρχική χρηματοοικονομική επένδυση είναι υψηλότερη και έτσι οι ιδιοκτήτες μπορεί να οδηγούν τα BEVs περισσότερο για να δικαιολογήσουν ή να αποσβέσουν το κόστος της επένδυσης.
- Η καινοτομία της ιδιοκτησίας ενός BEV μπορεί να ενθαρρύνει τη χρήση.
- Τοπικά κίνητρα, όπως εξαιρέσεις για τέλη στάθμευσης, ζώνες χρέωσης και διόδια σε ορισμένες περιοχές, μπορεί επίσης να ενθαρρύνουν τη χρήση τους.

Εάν η αύξηση χρήσης BEVs έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερα ποσοστά ιδιοκτησίας και αντικατάσταση της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς ή μη μηχανοκίνητων τρόπων μεταφοράς, έναντι των BEVs, τότε αυτό θα αντισταθμίσει μερικά από τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα που έχουν τα BEVs έναντι των ICEVs ανά χιλιόμετρο.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι μέχρι στιγμής τα στοιχεία σχετικά με τη χρήση BEVs στην πραγματική ζωή προέρχονται από σχετικά λίγες χώρες και υπάρχουν ορισμένα μεθοδολογικά ζητήματα που καθιστούν δύσκολη την απομόνωση της επίδρασης πριν και μετά την αγορά ενός BEV, λόγω και άλλων κοινωνικοοικονομικών διαφορών μεταξύ των χωρών [74]. Υψηλότερα ποσοστά ιδιοκτησίας των BEVs σε σχέση με τα άλλα αυτοκίνητα και η αντικατάσταση των μέσων μαζικής μεταφοράς ή των ενεργών τρόπων ταξιδιού (πχ. ποδήλατο) μπορεί να είναι ένα μεταβατικό φαινόμενο όταν τα BEVs αγοράζονται κυρίως ως δεύτερο ή τρίτο αυτοκίνητο σε νοικοκυριά υψηλού εισοδήματος [40].

3.4. Το στάδιο του τέλους του κύκλου ζωής

Αυτήν την στιγμή λόγω της περιορισμένης υιοθέτησης της ηλεκτροκίνησης ως τρόπο μεταφοράς, τα ποσοστά ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης των ηλεκτρικών οχημάτων είναι μικρά, αντανakλώντας έτσι τον μικρό αριθμό κυκλοφορίας τους. Καθώς τα BEVs γίνονται ολοένα και δημοφιλέστερα, θα πρέπει να γίνουν αλλαγές για να ικανοποιηθούν οι μελλοντικές απαιτήσεις για επεξεργασία στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση των μπαταριών έχει τη δυνατότητα να μειώσει τις εκπομπές σε όλο τον κύκλο ζωής και την χρήση πρώτων υλών και πόρων και να προσφέρει σημαντικές ευκαιρίες για την προώθηση μιας κυκλικής οικονομίας, παρόλο που το στάδιο του τέλους ζωής των BEVs έχει τον μικρότερο αντίκτυπο περιβαλλοντικά εάν απομονωθεί από τα υπόλοιπα στάδια.

3.4.1. Τρέχουσες διαδικασίες κατά το τέλος του κύκλου ζωής

Στο πλαίσιο των τρεχουσών διαδικασιών στο τέλος του κύκλου ζωής, ένα σημαντικό ερώτημα είναι ο εντοπισμός και η ανάλυση των βασικών προκλήσεων που σχετίζονται με την ανακύκλωση ηλεκτρικών οχημάτων σήμερα και στο μέλλον.

Σύμφωνα με την οδηγία της ΕΕ για τα οχήματα στο τέλος του κύκλου ζωής τους, απαιτείται από τους κατασκευαστές οχημάτων να αναλάβουν ευθύνη για τα οχήματα και τα εξαρτήματά τους μετά τη χρήση αυτών [25]. Υπό αυτήν την σκοπιά, οι κατασκευαστές οχημάτων είναι οικονομικά υπεύθυνοι είτε για την εκ νέου απόκτηση των προϊόντων τους κατόπιν της χρήσης τους, με τελικό στόχο την επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση ή την ανακατασκευή, ή εναλλακτικά υποχρεούνται να αναθέσουν την ευθύνη σε τρίτους. Η οδηγία περιλαμβάνει τους ακόλουθους ορισμούς [40]:

- Επαναχρησιμοποίηση - οποιαδήποτε λειτουργία στην οποία χρησιμοποιείται ένα εξάρτημα του οχήματος στο τέλος του κύκλου ζωής του για τον ίδιο σκοπό για τον οποίο κατασκευάστηκε αρχικά.
- Ανάκτηση - κάθε ενέργεια που περιλαμβάνει την ανάκτηση μετάλλων, ανόργανων υλικών και εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται για τη μείωση της ρύπανσης λόγω της εκ νέου κατασκευής τους και επίσης την επαναχρησιμοποίηση του πετρελαίου.
- Ανακύκλωση - η επανεπεξεργασία απόβλητων υλικών, είτε για χρήση στον αρχικό σκοπό είτε για διαφορετικό σκοπό (εξαιρουμένης της ανάκτησης ενέργειας).

Όσον αφορά την επεξεργασία του οχήματος στο τέλος του κύκλου ζωής, αυτή ξεκινά με τη συλλογή του και στη συνέχεια το όχημα αποσυναρμολογείται. Σε αυτό το σημείο, συλλέγονται τα εξαρτήματα που περιέχουν επικίνδυνα υλικά, όπως οι μπαταρίες και τα ψυκτικά αέρια, ακολουθούμενα από ανακυκλώσιμα και πολύτιμα υλικά για δευτερεύουσα χρήση, συμπεριλαμβανομένων των κινητήρων, των ελαστικών και των προφυλακτών [75]. Τα κελύφη του αμαξώματος του οχήματος που απομένουν μετά τη διαδικασία αποσυναρμολόγησης τίθενται σε τεμαχιστές. Τα τεμαχισμένα υλικά διαχωρίζονται και στη συνέχεια ο σίδηρος διαχωρίζεται από μη τα σιδηρούχα υλικά [76].

Με την οδηγία ανακύκλωσης της ΕΕ για τις μπαταρίες, στοχεύεται η ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων των μπαταριών και των σχετικών απορριμμάτων στο περιβάλλον, θέτοντας απαιτήσεις για τον τρόπο ανακύκλωσης των διαφορετικών μπαταριών. Αναθέτει επομένως την ευθύνη συλλογής και ανακύκλωσης μπαταριών στους υπεύθυνους της διάθεσης της μπαταρίας στην αγορά [25], [77]. Ορίζονται έτσι συγκεκριμένα επίπεδα απόδοσης για την ανακύκλωση των μπαταριών μολύβδου-οξέος και νικελίου-καδμίου. Εξαιτίας αυτού, ευνοείται η ανάκτηση αυτών των βασικών μετάλλων. Η οδηγία δεν προωθεί επί του παρόντος την ανακύκλωση σπάνιων ή ειδικών μετάλλων ή εκείνων που

επιβαρύνουν περισσότερο το περιβάλλον [25]. Ο κύριος οικονομικός παράγοντας της ανακύκλωσης μπαταριών ιόντων λιθίου είναι η αξία των μπαταριών λόγω μετάλλων, όπως του κοβαλτίου και του νικελίου και έτσι οι τρέχουσες διαδικασίες ανακύκλωσης επικεντρώνονται στην ανάκτηση αυτών των μετάλλων [78], [79]. Άλλα μέταλλα, όπως ο χαλκός και ο σίδηρος, συνήθως ανακτώνται κατά τη διάρκεια των τρεχουσών βιομηχανικών διαδικασιών ανακύκλωσης μπαταριών ιόντων λιθίου. Η έρευνα προτείνει ότι η μελλοντική εστίαση πρέπει να αφορά την απομάκρυνση των σπάνιων γαιών είτε πριν από τον τεμαχισμό είτε με την επεξεργασία των καταλοίπων του τεμαχισμού[40].

Μετά από αυτό, υπάρχει ανάγκη να κατανοηθεί το τρέχον τοπίο της ανακύκλωσης μπαταριών ιόντων λιθίου, συμπεριλαμβανομένου του αριθμού που ανακυκλώνεται και των κύριων τεχνικών ανακύκλωσης. Η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση μπαταριών ιόντων λιθίου θεωρείται προς το παρόν χαμηλή [24], [77], [80]. Αυτό οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως:

- πολύ μικρές ποσότητες μπαταρίας που φτάνουν στο τέλος του κύκλου ζωής τους - τα BEVs έχουν πωλήσεις μόνο τα τελευταία 5 έως 10 χρόνια, επομένως πολύ λίγα οχήματα έχουν φτάσει στο τέλος του κύκλου ζωής τους
- έλλειψη γνώσης του σχεδιασμού της μπαταρίας
- έλλειψη κατάλληλης σήμανσης στις κυψέλες των μπαταριών.

Σε σχέση με τον πρώτο παράγοντα, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου αναμένεται να έχουν τη διάρκεια ζωής του οχήματος (8-10 χρόνια) και μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Ως αποτέλεσμα, δεν αναμένεται ανακύκλωση μεγάλων αριθμών (~200.000) μπαταριών στο τέλος του κύκλου ζωής τους για τουλάχιστον 10 χρόνια [81]. Μέχρι αυτή τη στιγμή, αναμένεται ότι θα έχουν αναπτυχθεί μεγαλύτερης κλίμακας εγκαταστάσεις ανακύκλωσης για την επεξεργασία μεγάλου όγκου μπαταριών στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Το κλειδί για την ανάπτυξη αυτών των εγκαταστάσεων είναι η ανάγκη κατανόησης του τρόπου αποδοτικής και αποτελεσματικής ανάκτησης σπάνιων γαιών από μπαταρίες στο τέλος του κύκλου ζωής τους.

Οι τρέχουσες βιομηχανικές διαδικασίες ανακύκλωσης μπαταριών περιλαμβάνουν συνήθως έναν συνδυασμό διαφορετικών επεξεργασιών όπως: μηχανικό διαχωρισμό, πυρομεταλλουργική και υδρομεταλλουργική επεξεργασία. Οι διάφορες διαδικασίες ανακύκλωσης καλύπτουν διαφορετικά υλικά, απαιτούν διαφορετικές απαιτήσεις ενέργειας και επιτυγχάνουν διαφορετικές αποδόσεις (Σχήμα 26) . Επί του παρόντος, η πυρομεταλλουργία φαίνεται να αποτελεί το επίκεντρο δραστηριοτήτων ανακύκλωσης και η υδρομεταλλουργία χρησιμοποιείται μόνο σε μικρή κλίμακα [40]. Ωστόσο, ο βαθμός στον οποίο χρησιμοποιούνται οι διάφορες διαδικασίες στην Ευρώπη δεν είναι σαφής. Σχετικά με αυτές τις μελλοντικές ανάγκες ανακύκλωσης, υπάρχουν ερευνητικά κέντρα και ομάδες σε ολόκληρη την Ευρώπη που διεξάγουν έρευνες για την ανακύκλωση μπαταριών ιόντων λιθίου [40], [77].

Summary of recycling processes

Recycling process	Main processing steps	Recovered materials
Pyrometallurgy	Heating, smelting and refining	Cobalt, nickel, copper (oxidised), some iron
Pyrolysis	Shredding and smelting	Nickel, cobalt, copper
Hydrometallurgy	Hammer mill, leaching, purification and metal recovery	Copper, aluminium, cobalt, lithium carbonate

Σχήμα 26. Κατεργασίες ανακύκλωσης, [82]

3.4.2. Μελλοντικές ανάγκες για το τέλος του κύκλου ζωής

Καθώς αυξάνεται ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων, θα αυξάνεται και ο αριθμός των μπαταριών ιόντων λιθίου που θα ανακτηθούν και θα απαιτούν επεξεργασία [25], [83]. Για παράδειγμα, το 2011, περισσότερα από 9.000 ηλεκτρικά οχήματα καταχωρήθηκαν στην ΕΕ-28. Με μέση διάρκεια ζωής 10 ετών, αυτό σημαίνει ότι το 2021, τουλάχιστον 9.000 οχήματα θα απαιτήσουν επεξεργασία στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Αυτό θα αυξηθεί σε πάνω από 200.000 έως το 2027. Παρόλο που μπορεί να υπάρχουν ανησυχίες για τη ζήτηση λιθίου και τη διαθεσιμότητά του, είναι δύσκολο να εκτιμηθούν οι μελλοντικές ανάγκες λόγω αβεβαιοτήτων όπως η ποσότητα λιθίου που χρησιμοποιείται ανά μπαταρία, το ποσοστό των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύνολό τους στο μέλλον και τα μελλοντικά ποσοστά ανακύκλωσης λιθίου [25].

Η αυξανόμενη ζήτηση για BEVs θα οδηγήσει επίσης στην αυξανόμενη ζήτηση για σπάνιες γαίες όπως το νεοδύμιο και το δυσπρόσιο. Οι προβλέψεις αυτής της ζήτησης, είναι περιορισμένες. Ωστόσο, η ζήτηση για νεοδύμιο και πρασεοδύμιο είναι πιθανό να αυξηθεί από περίπου 1.000 τόνους ετησίως το 2015 σε περίπου 11.000 τόνους ετησίως το 2025 [40].

Όσον αφορά το απαιτούμενο κοβάλτιο, αναμένεται ότι περισσότερο από το ένα τρίτο θα προέρχεται από ανακύκλωση το 2021. Ωστόσο, εξακολουθείται έτσι να απαιτείται η χρήση νέων υλικών για τα υπολειπόμενα δύο τρίτα, εκτός εάν βρεθεί κάποιο εναλλακτικό υλικό. Ακόμη, τα αποθέματα λιθίου είναι απίθανο να εξαντληθούν σύντομα. Ωστόσο, ο εφοδιασμός του είναι μια αργή διαδικασία που δεν μπορεί να ανταποκριθεί γρήγορα σε απότομες αυξήσεις της ζήτησης, λόγω της διαδικασίας εξόρυξής του. Αυτό καταδεικνύει τη σημασία της μελλοντικής διαθεσιμότητας των υλικών, ένα ζήτημα που καλύπτει πολλά στάδια του κύκλου ζωής, συμπεριλαμβανομένης της προμήθειας πρώτων υλών και του τέλους ζωής [40].

3.4.3. Επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση

Η επαναχρησιμοποίηση, η ανακατασκευή, επαναλειτουργία και ανακύκλωση των μπαταριών είναι βασικές έννοιες που σχετίζονται με την κυκλική οικονομία και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του σταδίου στο τέλος του κύκλου ζωής των μπαταριών.

Η επαναχρησιμοποίηση λοιπόν της μπαταρίας μπορεί να αφορά την άμεση επαναχρησιμοποίησή της σε ηλεκτρικά οχήματα ή την χρήση της σε εναλλακτικές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα στην αποθήκευση ενέργειας. Κατά αυτόν τον τρόπο, παρατείνεται η διάρκεια ζωής των μπαταριών καθυστερώντας την ανάγκη για περαιτέρω διαδικασίες στο τέλος του κύκλου ζωής τους, ωστόσο δεν αναιρεί την ανάγκη για την ανάπτυξη τέτοιων διαδικασιών. Από την άλλη πλευρά, η ανακατασκευή και η επαναλειτουργία ενός συσσωρευτή περιλαμβάνουν την επεξεργασία των υλικών σε μια χρήσιμη μορφή είτε για την ίδια είτε για διαφορετική λειτουργία. Όσον αφορά την ανακύκλωση, αυτή θα λαμβάνει χώρα για ορισμένα υλικά, συμβάλλοντας έτσι στη μετατροπή των αποβλήτων σε αξιοποιήσιμους πόρους. Παρόλα αυτά, απαιτείται υγειονομική ταφή υλικών για εκείνα που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν [40], [84]. Οι επιλογές που υπάρχουν για την διαχείριση μιας μπαταρίας στο τέλος του κύκλου ζωής της αποτυπώνονται στο παρακάτω σχήμα.

3.4.3.1. Άμεση επαναχρησιμοποίηση μπαταρίας

Οι μπαταρίες ηλεκτρικών οχημάτων φτάνουν συνήθως στο τέλος της ζωής τους για χρήση σε οχήματα, μετά από περίπου 8 έως 10 χρόνια ή 150.000 έως 160.000 km, όταν δηλαδή η χωρητικότητά τους είναι κάτω από 80% [84]. Ωστόσο, όταν υπάρχει εναπομένουσα χωρητικότητα στην μπαταρία,

μπορεί να υπάρχουν ευκαιρίες επαναχρησιμοποίησης σε ηλεκτρικά οχήματα, όπως για παράδειγμα λόγω:

- πρόωρης αστοχίας -βλάβης του οχήματος.
- τροχαίων ατυχημάτων
- νέας αντικατάστασης μπαταρίας σε ένα παλαιότερο ηλεκτρικό όχημα το οποίο φτάνει στο τέλος της διάρκειας ζωής του πριν εξαντληθεί η χωρητικότητα της δεύτερης μπαταρίας .

Έρευνες που μελέτησαν τον αντίκτυπο 1.000 ηλεκτρικών οχημάτων υποδηλώνουν ότι η επαναχρησιμοποίηση ήδη χρησιμοποιημένων μπαταριών σε ηλεκτρικά οχήματα θα μπορούσε να προσφέρει καθαρό όφελος 200.000 MJ της ανακτημένης αθροιστικής ζήτησης ενέργειας. Αυτό ισοδυναμεί με την αποφυγή παραγωγής 11 νέων μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων – αντιστοιχούν 18 kWh για την καθεμία [84].

3.4.3.2. Έμμεση επαναχρησιμοποίηση μπαταρίας

Περιλαμβάνει τη χρήση μπαταριών σε διαφορετικές και λιγότερο απαιτητικές στατικές εφαρμογές. Έτσι αποφεύγεται η κατασκευή νέων συστοιχιών μπαταρίας. Η επαναχρησιμοποίηση με αυτόν τον τρόπο, μπορεί επίσης να έχει οικονομικά πλεονεκτήματα λόγω της μεταπώλησης των χρησιμοποιημένων μπαταριών, δίνοντας την ευκαιρία να αποφευχθεί η αγορά μιας νέας μπαταρίας [40].

Γενικά, οι ηλεκτρικές μπαταρίες οχημάτων των οποίων η χωρητικότητα έχει υποβαθμιστεί, προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες στην κυκλική οικονομία μέσω δεύτερης χρήσης εφαρμογών και ειδικά σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Συγκεκριμένα, μπορούν να φανούν χρήσιμες σε εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας σε κατοικίες και σε αποθήκευση ενέργειας ανανεώσιμων πηγών, καθιστώντας έτσι τις αντίστοιχες επενδύσεις σε κατοικίες με εφαρμογές μικρής κλίμακας, λιγότερο οικονομικά ριψοκίνδυνες [48], [85]. Παρουσιάζεται επίσης μια ευκαιρία περεταίρω ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο, καθώς η αποθήκευση της διαλείπουσας ενέργειας (της μη διαρκούς ενέργειας όπως είναι για παράδειγμα η αιολική, καθώς δεν υπάρχει πάντα αέρας) επιτρέπει την εναρμόνιση της προσφοράς και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας [40]. Ένα παράδειγμα στην πραγματική ζωή που έχει βρει εφαρμογή η επαναχρησιμοποίηση των μπαταριών, είναι η χρήση τους σαν σταθμοί γρήγορης φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα σε αυτοκινητόδρομους στο Βέλγιο και τη Γερμανία. Η τεχνολογία επιτρέπει γρήγορη φόρτιση σε περιοχές όπου δεν είναι δυνατή ή πολύ δαπανηρή η σύνδεση υψηλής ισχύος με το δίκτυο [86].

Υπάρχει, ωστόσο, ανάγκη για περισσότερη έρευνα σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων. Συγκεκριμένα, υπάρχει ανάγκη κατανόησης της υποβάθμισης των εξαρτημάτων της μπαταρίας για καλύτερη αξιολόγηση των δυνατοτήτων επαναχρησιμοποίησης και εύρεσης των πιο αποδοτικών εφαρμογών [48], [87]. Παρόλα αυτά, η δεύτερη χρήση σε εφαρμογές τραβά το ενδιαφέρον παγκοσμίως. Σε γενικά πλαίσια, μελέτες έχουν βρει σημαντική εξοικονόμηση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου επαναχρησιμοποιώντας μπαταρίες καθώς τα ηλεκτρικά οχήματα γίνονται πιο δημοφιλή, ειδικά εάν αυτή η επαναχρησιμοποίηση επιτρέπει στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να αντικαθιστούν την ενέργεια από τα ορυκτά καύσιμα. Ωστόσο, υπάρχουν περιορισμοί στην πρόβλεψη της επίδρασης της δεύτερης χρήσης των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων λόγω της έλλειψης δεδομένων σχετικά με την υποβάθμιση της μπαταρίας μετά χρήσης σε οχήματα [48].

3.4.3.3. Ανακατασκευή μπαταριών

Η ανακατασκευή χρησιμοποιημένων μπαταριών ιόντων λιθίου από ηλεκτρικά οχήματα είναι μια σχετικά νέα προσέγγιση όσον αφορά το τέλος του κύκλου ζωής και δεν εφαρμόζεται επί του παρόντος σε μεγάλη κλίμακα. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει την μετατροπή υλικών καθόδου και ανόδου στην αρχική τους κατάσταση για επαναχρησιμοποίηση σε νέες κυψέλες μπαταριών ιόντων λιθίου. Έτσι δημιουργείται ένας κλειστός βρόχος στον οποίο υλικά υψηλής αξίας ανακατασκευάζονται σε νέες μπαταρίες, ενώ τα υπόλοιπα υλικά τροφοδοτούνται σε ροές ανακύκλωσης [40]. Αυτή θεωρείται η πιο φιλική επιλογή προς το περιβάλλον για το τέλος του κύκλου ζωής μιας μπαταρίας [74].

Ορισμένα υλικά ανόδου και καθόδου παραμένουν λειτουργικά σχεδόν στο πλήρες των δυνατοτήτων τους, παρά το γεγονός ότι η υπόλοιπη κυψέλη υποβαθμίζεται σε τέτοιο σημείο που να χρειάζεται αντικατάσταση. Αυτό δείχνει ότι η ανακατασκευή θα μπορούσε να είναι μια αποτελεσματική και πρακτική λύση στην αύξηση του όγκου των αποβλήτων από ηλεκτρικά οχήματα [88]. Η ανακατασκευή μπορεί επίσης να αναφέρεται ως άμεση ανακύκλωση, κάτι που σημαίνει ότι τα υλικά ανακατασκευάζονται για επαναχρησιμοποίηση χωρίς αλλαγή της χημικής τους μορφής. Αυτό έχει περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη, καθώς τα ανακτημένα υλικά δεν χρειάζεται να υποστούν κάποια επεξεργασία απαιτητική σε πόρους.

Ένα παράδειγμα εφαρμογής αυτής της πρακτικής είναι αυτό της Nissan και της Sumitomo Corporation. Τον Μάρτιο του 2018, η Nissan λειτούργησε μια μικρή εγκατάσταση στο Namie της Ιαπωνίας, όπου οι χρησιμοποιημένες μπαταρίες ιόντων λιθίου επανακατασκευάστηκαν ως ανταλλακτικά συστοιχιών μπαταριών για οχήματα Nissan LEAF πρώτης γενιάς. Οι χρησιμοποιημένες μπαταρίες αποσυναρμολογούνται και τυχόν μονάδες αυτών που έχουν χάσει περισσότερο από το 20% της χωρητικότητάς τους αντικαθίστανται από αυτές άλλων μπαταριών. Οι απορριφθείσες μονάδες χρησιμοποιούνται για επαναχρησιμοποίηση (όπως σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας). Μετά την ανακατασκευή, οι μπαταρίες θα πωλούνται περίπου στη μισή τιμή μιας νέας μπαταρίας προς αντικατάσταση, ενώ εξετάζεται εάν η μονάδα θα μπορούσε να επεξεργαστεί ανταλλακτικά μπαταριών για τα τελευταία οχήματα LEAF, καθώς αυτά χρησιμοποιούν διαφορετική χημεία μπαταριών [40].

3.4.3.5. Ανακύκλωση

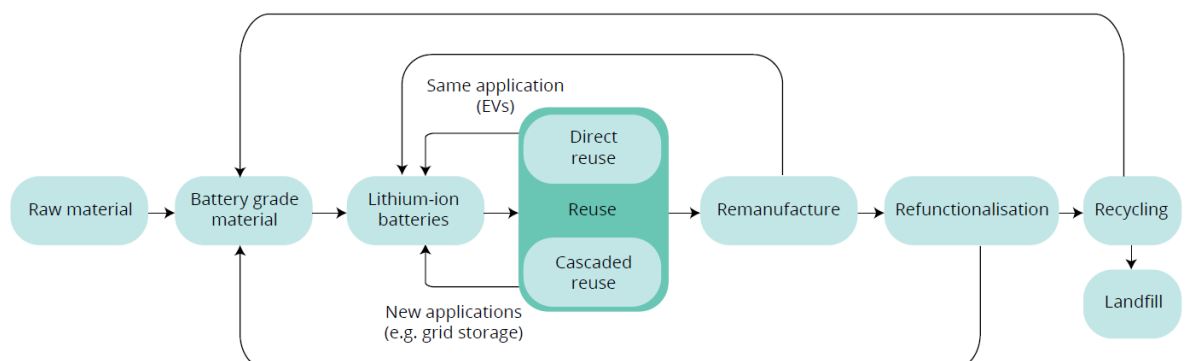
Υπάρχουν βασικές διαφορές μεταξύ των διαδικασιών ανακύκλωσης για τα BEVs και τα ICEVs λόγω διαφορών στη σύνθεση του οχήματος [40]:

- Τα ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιούν κινητήρες υψηλής ισχύος αλλά χαμηλού βάρους.
- Περιέχουν επίσης, συνήθως τέσσερις φορές περισσότερες σπάνιες γαίες από τα αντίστοιχα οχήματα ντίζελ και βενζίνης.
- Ο διαχωρισμός των σπάνιων γαιών από τους μαγνήτες ηλεκτρικών οχημάτων, αν και είναι εφικτός, δεν έχει ακόμη υιοθετηθεί ευρέως από τη βιομηχανία.
- Η μελλοντική αύξηση της χρήσης σύνθετων υλικών όπως το ενισχυμένο πλαστικό με ανθρακονήματα με στόχο την ελαφρύτερη κατασκευή, μπορεί να κάνει την ανακύκλωση πιο δύσκολη.

Ένα πολύ σημαντικό κομμάτι της ανακύκλωσης των ηλεκτρικών οχημάτων, αφορά αυτήν του συσσωρευτή του οχήματος. Οι διαδικασίες ανακύκλωσης των μπαταριών ιόντων λιθίου που εφαρμόζονται, είναι η πυρόλυση, η πυρομεταλλουργία, η υδρομεταλλουργία και οι υδροθερμικές κατεργασίες, οι οποίες περιγράφονται στην συνέχεια [40], [43]:

- Πυρόλυση – περιλαμβάνει την τήξη των υλικών της μπαταρίας για την απόκτηση μετάλλων. Οι μπαταρίες τεμαχίζονται και τήκονται σε κλίβανο όπου προστίθεται ασβεστόλιθος ως παράγοντας σχηματισμού σκωρίας. Όσον αφορά τα πλεονεκτήματα αυτής της διαδικασίας, η πυρόλυση είναι πολύ αποτελεσματική στην ανάκτηση νικελίου, κοβαλτίου και χαλκού σε ένα συμπυκνωμένο και σχετικά καθαρό κράμα και έχει υψηλή απόδοση. Η πυρόλυση εκτελείται επίσης σε βιομηχανική κλίμακα. Όσον αφορά τα μειονεκτήματα, το λίθιο και το μαγγάνιο παγιδεύονται στη σκωρία και καθιστώντας πιθανώς δύσκολη την ανάκτησή τους .
- Πυρομεταλλουργία - οι μπαταρίες ιόντων λιθίου υποβάλλονται σε επεξεργασία σε χυτήριο υψηλής θερμοκρασίας, μετατρέποντας τα οξείδια μετάλλων στη μεταλλική τους μορφή (ένα κράμα λειωμένου μετάλλου). Αυτό το κράμα εξευγενίζεται με σκοπό τη χρήση σε νέα υλικά καθόδου μπαταρίας (π.χ. κοβάλτιο και νικέλιο). Επιπλέον, η παραγόμενη σκωρία περιέχει λίθιο, το οποίο χρησιμοποιείται συχνά σε εφαρμογές σκυροδέματος.
- Υδρομεταλλουργία – αρχικά, υλικά όπως το χαρτί και το πλαστικό αφαιρούνται σε ένα σφυρόμυλο. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται άλμη λιθίου για τον περαιτέρω τεμαχισμό των κυψελών. Τα υλικά διαχωρίζονται, ανακτώνται υπολείμματα σιδήρου και αφαιρούνται άλλα μη μεταλλικά υλικά. Αυτή η διαδικασία ανακτά προϊόντα χαλκού-κοβαλτίου (χαλκός, αλουμίνιο και κοβάλτιο), κρούστα κοβαλτίου (κοβάλτιο και άνθρακας), κατάλοιπα λιθίου (πλαστικό και χάλυβας) και άλμη λιθίου. Η άλμη υποβάλλεται σε περαιτέρω επεξεργασία και ανακτάται το ανθρακικό λίθιο.
- Υδροθερμικές κατεργασίες - οι μπαταρίες διαχωρίζονται συνήθως μηχανικά και τα υλικά της καθόδου συνθλίβονται και προστίθενται σε κάποια μορφή διαλύτη, ο οποίος διαλύει το συνδετικό υλικό από την κάθοδο και αφήνει το φύλλο αλουμινίου να ανακτηθεί με μεταλλικό οξείδιο που βρίσκεται σε διάλυμα. Όσον αφορά τα πλεονεκτήματα, σχετικά με τη χημεία που χρησιμοποιείται και τις διαδικασίες, αυτές είναι αρκετά ώριμες λόγω της χρήσης τους στις διαδικασίες εξόρυξης και θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν σε μεγαλύτερη κλίμακα δεδομένων οικονομικών κινήτρων. Όσον αφορά τα μειονεκτήματα, πολλά από τα πιθανά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη αντισταθμίζονται από τη χρήση ζεστού νερού, οξέων και διαλυτών.

Schematic illustrating options for the end-of-life stage of batteries



Σχήμα 27. Επιλογές διαχείρισης ενός συσσωρευτή στο τέλος του κύκλου ζωής του, [49], [85], [86]

3.4.3.6. Τυποποίηση

Η ανακύκλωση μπαταριών ιόντων λιθίου από ηλεκτρικά οχήματα μπορεί να είναι περίπλοκη λόγω της έλλειψης τυποποίησης. Μπορεί να υπάρχουν παραλλαγές στα χρησιμοποιούμενα υλικά, το σχεδιασμό, τη θέση της μπαταρίας και το σχήμα των συστοιχιών της μπαταρίας. Μπορεί επίσης να υπάρχουν διαφορές μεταξύ κατασκευαστών [80], [81]. Αν και η πλήρης τυποποίηση δεν είναι εφικτή, ένα σύνολο βασικών προτύπων θα μπορούσε να κάνει την ανακύκλωση των μπαταριών λιγότερο χρονοβόρα και λιγότερο περίπλοκη. Για παράδειγμα, εξαρτήματα ανύψωσης (π.χ. οπές ή κλωστές στήριξης) θα μπορούσαν να εγκατασταθούν ως στάνταρ σε μελλοντικές μπαταρίες [25]. Αυτό θα επέτρεπε τη χρήση τυπικών εργαλείων ανύψωσης για την αποσυναρμολόγηση της μπαταρίας και θα μπορούσε επίσης να περιλαμβάνει πρότυπα για διαδικασίες ανακύκλωσης.

Οι κυψέλες μπαταριών πρέπει να σχεδιαστούν με τέτοιο τρόπο ώστε το υλικό να μπορεί να ανακτηθεί σε επεξεργασμένη μορφή. Προτείνεται ότι πρέπει να υπάρξει μετάβαση από την πυρομεταλλουργία στην υδρομεταλλουργία, ώστε να μπορούν να ανακτηθούν περαιτέρω υλικά [40].

3.4.4. Επισκόπηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Η φάση του τέλους του κύκλου ζωής των οχημάτων, είτε των BEVs είτε των ICEVs, δεν είναι αυτή που προσδίδει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ωστόσο, η επεξεργασία που γίνεται στο τέλος του κύκλου ζωής και οι ευκαιρίες επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης που παρουσιάζονται, έχουν σημαντικά οφέλη όσον αφορά τα άλλα στάδια του κύκλου ζωής και ιδίως για την προμήθεια των πρώτων υλών. Για παράδειγμα, η βελτίωση της διαδικασίας διαχείρισης αποβλήτων και η αύξηση του επιπέδου επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης θα μπορούσαν να μειώσουν τις σημαντικές επιπτώσεις της τοξικότητας που σχετίζονται με την εντατική χρήση βασικών μετάλλων όπως ο χαλκός και το νικέλιο στα ηλεκτρικά οχήματα. Επομένως, το τέλος του κύκλου ζωής συμβάλλει στη συνολική περιβαλλοντική επίπτωση ενός ηλεκτρικού οχήματος [89], [90].

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο τέλος του κύκλου ζωής είναι παρόμοιες τόσο για τα BEVs όσο και για ICEVs. Έρευνες δείχνουν ότι ο αντίκτυπος των διαδικασιών επεξεργασίας της μπαταρίας στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στο τέλος του κύκλου ζωής των ηλεκτρικών οχημάτων, ισούται μεταξύ 14 και 23% [54]. Ωστόσο, οι μελέτες σχετικά με τις εκπομπές στο τέλος του κύκλου ζωής των οχημάτων συσσωρευτών, παρουσιάζουν υψηλή αβεβαιότητα λόγω της μικρής διαθεσιμότητας δεδομένων την παρούσα χρονική στιγμή [25], [54].

3.4.4.1. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την επαναχρησιμοποίηση

Άμεση επαναχρησιμοποίηση συσσωρευτή

Η άμεση επαναχρησιμοποίηση είναι η μόνη τρέχουσα διαδικασία στο τέλος του κύκλου ζωής της μπαταρίας ενός ηλεκτρικού οχήματος που επιτρέπει στις μπαταρίες ιόντων λιθίου να εισέλθουν ξανά απευθείας στην αγορά. Είναι η προσέγγιση που προκαλεί τις λιγότερο επιβλαβείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις, καθώς δεν χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν τεχνικές επανεπεξεργασίας στα ανακτημένα υλικά. Αυτή η τεχνική παράγει επίσης πολύ μικρότερη ποσότητα απορριμμάτων σε σύγκριση με άλλες τεχνικές ανακύκλωσης, καθώς απορρίπτονται μόνο μερικά συστατικά πολυμερών (πχ. συνδετικά). Ωστόσο, η άμεση επαναχρησιμοποίηση των μπαταριών περιορίζεται σε εκείνες με επαρκή χωρητικότητα [40].

Έμμεση επαναχρησιμοποίηση συσσωρευτή

Η επαναχρησιμοποίηση μπαταριών ιόντων λιθίου από ηλεκτρικά οχήματα επιτρέπει τη μεγιστοποίηση των πλεονεκτημάτων πριν από το τέλος του κύκλου ζωής, καθυστερώντας την ανάγκη ανακύκλωσης και τελικής επεξεργασίας. Ένα από τα κύρια περιβαλλοντικά οφέλη της επαναχρησιμοποίησης με σκοπό άλλη χρήση από την πρότερη, είναι η ενίσχυση της ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο. Η χρήση των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, θα μπορούσε να αυξήσει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας κατά 72% και να οδηγήσει σε μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 42% στις συνολικές εκπομπές του οχήματος, με βάση τις εκπομπές ανά χιλιόμετρο [49]. Αυτή η εφαρμογή θα μπορούσε επίσης να έχει έμμεσα περιβαλλοντικά οφέλη, καθώς η ανάπτυξη μιας αγοράς μεταχειρισμένων μπαταριών θα μπορούσε να μειώσει το κόστος των ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτό με τη σειρά του θα μπορούσε να αυξήσει την αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων με οφέλη σε σχέση με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και την ποιότητα αέρα λόγω των αέριων ρύπων [91].

Ανακατασκευή συσσωρευτή

Η ανακατασκευή χρησιμοποιημένων μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων και η μετατροπή τους σε νέες μπαταρίες, δημιουργεί έναν κλειστό βρόχο όσον αφορά τα χρησιμοποιούμενα υλικά, καθώς αυτά είτε γίνονται εκ νέου κατάλληλα προς χρήση, είτε κατευθύνονται προς ανακύκλωση. Με αυτόν τον τρόπο, παράγονται μικροί όγκοι αποβλήτων. Έτσι παρουσιάζονται περιβαλλοντικά οφέλη στον κύκλο ζωής και ειδικά στο στάδιο πρώτων υλών, στο στάδιο παραγωγής και στο τέλος του κύκλου ζωής, μειώνοντας την ανάγκη και τη χρήση νέων υλικών. Πολλά από τα οφέλη που επιτυγχάνονται μέσω αυτής της επιλογής στο τέλος του κύκλου ζωής, είναι κοινά με αυτά της άμεσης επαναχρησιμοποίησης [40].

3.4.4.2. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ανακύκλωσης

Μαγνήτες

Η ανακύκλωση των χρησιμοποιημένων μαγνητών με σκοπό τη χρήση τους σε νέους μαγνήτες μπορεί να μειώσει τις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής των μαγνητών μεταξύ 64 και 96%. Ωστόσο, οι σπάνιες γαίες στις μπαταρίες δεν ανακτώνται επί του παρόντος σε βιομηχανική κλίμακα αν και παρόλα αυτά υπάρχουν περιβαλλοντικά οφέλη από αυτό. Επιπλέον, η ανακύκλωση μαγνητών μειώνει την ποσότητα των παράγωγων που απορρίπτονται από τα ηλεκτρικά οχήματα και μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση προκλήσεων σχετικά με την εξάντληση των πόρων. Έχει επίσης οφέλη όσον αφορά την υγεία των ανθρώπων και των οικοσυστημάτων μέσω της μειωμένης ανάγκης εξόρυξης σπάνιων γαιών [40].

Συσσωρευτές ιόντων λιθίου

Η ανακύκλωση μπαταριών ιόντων λιθίου από ηλεκτρικά οχήματα έχει τη δυνατότητα να μειώσει τις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ηλεκτρικών οχημάτων μειώνοντας την ανάγκη για νέα υλικά. Για παράδειγμα, η ανάκτηση υλικών μέσω της πυρομεταλλουργικής διαδικασίας μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της απαίτησης για πρωτογενή ενέργεια κατά 6-56% και μείωση των εκπομπών GHG κατά 23%, συγκριτικά με την παραγωγή νέων υλικών [28].

Η πυρομεταλλουργική διεργασία περιλαμβάνει την αποτέφρωση πλαστικού και αυτό έχει τον μεγαλύτερο αντίκτυπο στο δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη από όλα τα στάδια της διαδικασίας αυτής. Από την άλλη πλευρά, ο μεγαλύτερος αντίκτυπος στον άνθρωπο και τα χερσαία οικοσυστήματα όσον αφορά την τοξικότητα, προέρχεται από την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας για αυτήν την διαδικασία [92]. Σε σύγκριση με την υδρομεταλλουργική διεργασία, η

πυρομεταλλουργία έχει υψηλότερες εκπομπές διοξινών, υδραργύρου και ενώσεων χλωρίου λόγω της καύσης και των διαδικασιών παραγωγής οπτάνθρακα, και επομένως απαιτούνται αποτελεσματικά συστήματα φιλτραρίσματος ατμοσφαιρικών ρύπων για την αποτροπή αυτών των επιβλαβών εκλύσεων. Παρομοίως, επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία μπορεί να προκύψουν από εκπομπές SO₂ από την καύση οπτάνθρακα, εάν δεν πραγματοποιηθεί προηγουμένως διαχωρισμός ασβέστου. Έμμεσες επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων και του οικοσυστήματος μπορεί να συμβούν μέσω εκλύσεων SO₂, PM και πτητικών οργανικών ενώσεων κατά τη μεταφορά των χρησιμοποιημένων μπαταριών από φορτηγά και στη συνέχεια σε πλοία και στις εγκαταστάσεις ανακύκλωσης [28]. Αυτό τονίζει τη σημασία της τοποθεσίας της εγκατάστασης κατά το σχεδιασμό μιας νέας υποδομής ανακύκλωσης.

Μέσω της υδρομεταλλουργικής διαδικασίας, ο γύψος και τα κατάλοιπά του αποστέλλονται σε χώρους υγειονομικής ταφής και αυτό έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στο δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη και της επίγειας οικοτοξικότητας από όλα τα στάδια αυτής της διαδικασίας. Παρόλα αυτά, η επίπτωση της τοξικότητας στον άνθρωπο προέρχεται κυρίως από το στάδιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [92]. Σε σύγκριση με την πυρομεταλλουργία, αυτή η διαδικασία έχει λιγότερες άμεσες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις λόγω της απουσίας της καύσης. Ωστόσο, εάν ληφθούν υπόψη οι επιπτώσεις της αλυσίδας εφοδιασμού της χημικής παραγωγής που απαιτείται για αυτήν τη διαδικασία, αυτά τα πλεονεκτήματα μειώνονται. Η θέση των εγκαταστάσεων θα μπορούσε επίσης να είναι σημαντική σε αυτή τη διαδικασία λόγω της απαιτούμενης ποσότητας νερού. Αυτό θα μπορούσε να έχει επιζήμιες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και αυτή των οικοσυστημάτων, εάν οι εγκαταστάσεις βρίσκονται σε περιοχές με έλλειψη νερού [28].

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ανακύκλωση μπαταριών ιόντων λιθίου ηλεκτρικών οχημάτων θα μπορούσε να έχει θετικά περιβαλλοντικά οφέλη κατά την διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής. Κατά την εξέταση των μεμονωμένων διεργασιών, αυτά τα οφέλη θα μπορούσαν να μεγιστοποιηθούν αυξάνοντας το ποσοστό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα και μέσω της κατάλληλης επεξεργασίας των υπολειμμάτων γύψου αποτρέποντας την υγειονομική ταφή [92].

3.4.4.3. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της υγειονομικής ταφής

Η υγειονομική ταφή των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων, είναι η λιγότερο επιθυμητή επιλογή στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Λόγω των υλικών που χρησιμοποιούνται στους συσσωρευτές, αυτοί ενέχουν κινδύνους για το περιβάλλον και τον άνθρωπο λόγω [40]:

- κινδύνου πυρκαγιάς σε χώρους υγειονομικής ταφής και σε οχήματα μεταφοράς
- μόλυνσης του εδάφους και του νερού από υδροφθόριο σε περίπτωση που οι ηλεκτρολύτες εκτεθούν σε νερό
- πιθανής ρύπανσης των υπόγειων υδάτων μέσω έκλυσης τοξικών ουσιών.

Τα υπολείμματα από τον τεμαχισμό των οχημάτων κατά τις διαδικασίες στο τέλος του κύκλου ζωής τους, αποστέλλονται συχνά σε χώρους υγειονομικής ταφής. Αν και ταξινομούνται ως μη επικίνδυνα απόβλητα, ενδέχεται παρόλα αυτά να υπάρχουν συστατικά όπως βαρέα μέταλλα που είναι επικίνδυνα και μπορούν να προκαλέσουν ρύπανση στα υπόγεια ύδατα [75]. Ωστόσο, δεν πρέπει να ληφθούν υπόψη μόνο οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της υγειονομικής ταφής. Η υγειονομική ταφή υλικών αποκλείει ευκαιρίες για εξοικονόμηση πόρων και ενέργειας σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής των ηλεκτρικών οχημάτων [88].

4. Η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο ηλεκτρισμού

Οι ανεπαρκείς υποδομές φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, μειώνουν την ευελιξία και την ευκολία της χρήσης τους, καθιστώντας τα στη συνέχεια μια λιγότερο ελκυστική πρόταση όσον αφορά την αυτοκίνηση. Κατά αυτόν τον τρόπο, η ύπαρξη μικρού αριθμού ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά δικαιολογεί την έλλειψη κατάλληλων υποδομών φόρτισης αυτήν την στιγμή, καθώς αυτό το επιχειρηματικό μοντέλο δεν είναι οικονομικά βιώσιμο σήμερα, λόγω αυτής της μικρής υιοθέτησής τους. Ωστόσο, η ανάπτυξη δημόσιων υποδομών φόρτισης είναι απαραίτητη για την υποστήριξη αυτών των αναγκών των ηλεκτρικών οχημάτων που υπάρχουν ήδη στην αγορά, ώστε να μπορούν και στη συνέχεια να εισέλθουν όλο και περισσότερα [12].

Από την άλλη πλευρά, η αναπτυσσόμενη αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων δημιουργεί απαιτήσεις για μεγάλο αριθμό σταθμών φόρτισης, οι οποίοι είναι το μέσο για την ενσωμάτωσή τους στο δίκτυο ενέργειας. Οι σταθμοί φόρτισης που χρησιμοποιούνται μπορούν να ταξινομηθούν σε οικιακούς και μη οικιακούς τύπους και αφορούν τόσο την αργή φόρτιση, όσο και τη γρήγορη [93]. Το μεγαλύτερο ποσοστό της τρέχουσας φόρτισης γίνεται σε κατοικίες υποστηρίζοντας αργές θύρες φόρτισης. Ωστόσο, οι μελλοντικοί σταθμοί σχεδιάζεται να κατασκευαστούν σε εμπορικά σημεία ώστε να διευκολυνθεί ο ανεφοδιασμός των ηλεκτρικών οχημάτων παρέχοντας όλους τους τύπους θυρών φόρτισης [94]. Έχουν ήδη δημιουργηθεί εμπορικοί σταθμοί φόρτισης που υποστηρίζουν γρήγορη φόρτιση και μπορούν να φορτίσουν ένα ηλεκτρικό όχημα εντός μίας ώρας. Για παράδειγμα, μέχρι το 2018, η Tesla είχε δημιουργήσει συνολικά 1431 σταθμούς γρήγορης φόρτισης σε όλο τον κόσμο από τους οποίους 694 βρίσκονται στη Βόρεια Αμερική, 442 στην Ευρώπη και 294 στην περιοχή της Ασίας-Ειρηνικού [12].

4.1. Επιπτώσεις των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο ηλεκτρισμού

Μέχρι σήμερα υπήρχε ελάχιστη σύνδεση μεταξύ του τομέα των μεταφορών και του τομέα της ηλεκτροδότησης. Όμως, με την ευρεία εισαγωγή του ηλεκτρισμού στις μεταφορές, τα παραδοσιακά μοντέλα ηλεκτροδότησης θα κληθούν να αλλάξουν άρδην, καθώς έχει επιφέρει σημαντικές προκλήσεις αλλά και οφέλη για τα δίκτυα ηλεκτρισμού.

4.1.1. Αρνητικές επιπτώσεις στο δίκτυο ηλεκτρισμού

Τα ηλεκτρικά οχήματα αντιπροσωπεύουν μια σημαντική πρόκληση για τις υποδομές ηλεκτρισμού. Η εκτεταμένη ενσωμάτωσή τους στο δίκτυο διανομής μπορεί να προκαλέσει διάφορα προβλήματα στην λειτουργία της ηλεκτροδότησης κάποια από τα οποία συνοψίζονται παρακάτω [12]:

- Αύξηση ζήτησης- η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στα δίκτυα διανομής ηλεκτρισμού μπορεί να προσθέσει ζήτηση μέχρι και 1000 TWh, δηλαδή 25% αύξηση της τρέχουσας ζήτησης.
- Υπερφόρτωση- καθώς οι υπάρχουσες υποδομές δεν είναι σχεδιασμένες ώστε να μπορούν να αντέξουν την παραπάνω ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να υπάρξει υπερφόρτωση του δικτύου επηρεάζοντας έτσι συν τοις άλλοις τη διάρκεια ζωής των μετασχηματιστών.

- Ανισορροπία φάσης και τάσης- δεδομένου των ηλεκτρικών οχημάτων που φορτίζονται με μια φάση, μπορεί να προκληθεί ανισορροπία φάσης εάν μεγάλος αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων φορτίζονται χρησιμοποιώντας την ίδια φάση. Επιπλέον, οι ενδεχόμενες ανισορροπίες ρεύματος μπορούν να προκαλέσουν ανισορροπίες τάσης και πτώση αυτής και αποκλίσεις στα σημεία διασύνδεσης των φορτιστών.
- Απώλεια ισχύος- η μεγάλη διείσδυση των EV στο δίκτυο προκαλεί τεράστια ποσότητα κατανάλωσης ενέργειας, η οποία οδηγεί σε απώλεια ισχύος στο σύστημα διανομής. Η αύξηση της απώλειας ισχύος μπορεί να φτάσει έως και το 40% στις ώρες εκτός αιχμής, λαμβάνοντας υπόψη ότι το 60% των οχημάτων είναι ηλεκτρικά και συνδέονται με το σύστημα διανομής. Παρόλα αυτά, η συντονισμένη φόρτιση και επιλογή της βέλτιστης θέσης και χωρητικότητας των σταθμών φόρτισης μπορεί να ελαχιστοποιήσει την απώλεια ισχύος στο δίκτυο.
- Αστάθεια συστήματος- τα ηλεκτρικά οχήματα αντλούν μεγάλη ποσότητα ισχύος σε σύντομη διάρκεια, γεγονός που προκαλεί αστάθεια στο σύστημα ηλεκτροδότησης. Συνολικά, το σύστημα ηλεκτροδότησης γίνεται πιο ευάλωτο σε διαταραχές και χρειάζεται περισσότερος χρόνος για να επιστρέψει σε σταθερή κατάσταση λόγω της μεγαλύτερης διείσδυσής τους στο δίκτυο. Παρόλα αυτά, εάν γίνει σωστή διαχείριση, η ενσωμάτωσή τους μπορεί να αυξήσει τη σταθερότητα του δικτύου.

4.1.2. Θετικές επιπτώσεις στο δίκτυο ηλεκτρισμού

Αν και η υπερβολική διείσδυση EV στο δίκτυο μπορεί να δημιουργήσει ζητήματα όπως υποβάθμιση της ποιότητας ισχύος, αύξηση του φορτίου τις ώρες αιχμής και προβλήματα ρύθμισης ισχύος, όλα αυτά τα ζητήματα μπορούν να επιλυθούν χρησιμοποιώντας προηγμένες τεχνικές διαχείρισης ισχύος. Παρακάτω, συνοψίζονται οι θετικές επιπτώσεις της ενσωμάτωσης EV στο δίκτυο σε ένα συντονισμένο περιβάλλον [12]:

- Διαχείριση ισχύος - χρησιμοποιώντας προγραμματισμένη φόρτιση και αποφόρτιση, είναι δυνατόν να επιτευχθεί καλύτερη διαχείριση της ισχύος. Επιπλέον, η ζήτηση κατά τις ώρες αιχμής μπορεί να διευκολυνθεί από την προγραμματισμένη αποφόρτιση των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων κατά τις ώρες αυτές.
- Βελτιωμένη ποιότητα ισχύος - η διακύμανση της τάσης που προκαλείται από την ανεξέλεγκτη διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων, μπορεί να επιλυθεί με την ελεγχόμενη ενσωμάτωσή τους στο δίκτυο. Έτσι οι αυξομειώσεις της τάσης μπορούν να εξομαλυνθούν. Επιπλέον, όταν είναι αναγκαίο, μπορεί να γίνει χρήση άεργου ισχύος στο δίκτυο και η ανισορροπία τάσης μπορεί να επιλυθεί με την κατανομή της ισχύος μέσω φάσεων.
- Ρυθμίσεις δικτύου - ρύθμιση συχνότητας διορθώνοντας τις αποκλίσεις των συχνοτήτων του δικτύου. Επιπλέον, είναι δυνατή η ρύθμιση της τάσης τροφοδοτώντας και απορροφώντας άεργη ισχύ. Ακόμη, αποθηκεύοντας την περίσσεια ισχύος, υπάρχει δυνατότητα σταθεροποίησής της και βελτίωση της σταθερότητας των απομονωμένων ηλεκτρικών δικτύων.

- Υποστήριξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας- η αβεβαιότητα όσον αφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορεί να κατασταλεί με τη λειτουργία των ηλεκτρικών οχημάτων για την αποθήκευση ενέργειας. Κατά αυτόν τον τρόπο, η χρήση τους ως μέσο αρωγής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να μειώσει τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα.

4.2. Προτάσεις και προκλήσεις της ενσωμάτωσης των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο ηλεκτρισμού

Η τρέχουσα κατάσταση της ενσωμάτωσης των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο ηλεκτροδότησης, μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω με βάση τεχνολογιών «έξυπνου δικτύου» με τις οποίες είναι δυνατή η αλληλεπίδραση μεταξύ ηλεκτρικών οχημάτων, ηλεκτρικών δικτύων και δικτύων μεταφοράς.

Με το έξυπνο δίκτυο ηλεκτροδότησης μπορεί να ρυθμίζεται ηλεκτρονικά η παραγόμενη ισχύς και η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας και να ελέγχεται η παραγωγή της. Αυτές οι τεχνολογίες σύμφωνα και με την ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων, περιλαμβάνουν πρακτικές όπως αυτήν της «έξυπνης φόρτισης» που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Με τη σειρά της, η έξυπνη φόρτιση δημιουργεί τη δυνατότητα αμφίδρομης μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, με την οποία τα συνδεδεμένα οχήματα μπορούν να τροφοδοτούν ενέργεια πίσω στο δίκτυο όταν είναι απαραίτητο - το λεγόμενο σύστημα «vehicle to grid» (V2G)- ενδεχομένως σε αντάλλαγμα για μια οικονομική επιβράβευση. Δύο τρόποι εφαρμογής υπάρχουν για το σύστημα αυτό [40]:

1. Η μαζική αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή η πραγματοποίηση της φόρτισης των οχημάτων όταν η ζήτηση είναι χαμηλή και έπειτα όταν απαιτείται παραπάνω ενέργεια, τότε το δίκτυο τροφοδοτείται από τα οχήματα
2. Η παροχή των λεγόμενων «υπηρεσιών συστήματος», για την ενίσχυση της σταθερότητας του δικτύου απελευθερώνοντας στιγμιαία μικρή ποσότητα ισχύος για την ρύθμιση της τάσης και της συχνότητας του ηλεκτρικού ρεύματος.

Ενώ η μαζική αποθήκευση είναι ελκυστική, η προσέγγιση συνεπάγεται αυξημένους κύκλους βαθιάς φόρτισης -εκφόρτισης και θα έχει επομένως σημαντικό αντίκτυπο στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και ως εκ τούτου στο κόστος του οχήματος. Οι βαθείς κύκλοι φόρτισης -εκφόρτισης που απαιτούνται για τη μαζική αποθήκευση θα περιπλέξουν επίσης τη διαχείριση της φόρτισης του οχήματος, ώστε να διασφαλιστεί ότι τα οχήματα θα φορτίζονται από τον ιδιοκτήτη όταν απαιτείται. Επί του παρόντος, η παροχή υπηρεσιών συστήματος φαίνεται να είναι μια πιο βιώσιμη εφαρμογή του V2G από τη μαζική αποθήκευση. Οι μπαταρίες έχουν εξαιρετικά γρήγορους χρόνους απόκρισης, καθιστώντας τις κατάλληλες για αυτόν τον σκοπό και απαιτεί μικρούς μόνο κύκλους φόρτισης -εκφόρτισης, με πολύ χαμηλότερη επίδραση στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και επομένως στο κόστος του οχήματος [95].

Άλλες στρατηγικές διαχείρισης που μπορούν να υιοθετηθούν, είναι η ανάπτυξη ενός δυναμικού συστήματος τιμολόγησης, έτσι ώστε τα οχήματα να φορτίζονται κυρίως κατά τη διάρκεια χρονικών διαστημάτων όπου το κόστος φόρτισης είναι το χαμηλότερο, σε αντιστοιχία χαμηλής τιμής και χαμηλού φορτίου του δικτύου και αντιστροφα. Ακόμα μία στρατηγική, μπορεί να είναι ένα σύστημα διαχείρισης της φόρτισης ώστε να κατανέμει την φόρτιση στις περιόδους της χαμηλότερης ζήτησης και σε περιόδους όπου υπάρχει μεγάλη παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές [96].

Στο σύγχρονο δίκτυο, τα ηλεκτρικά οχήματα λειτουργούν ως ηλεκτρικό φορτίο, μέσα μεταφοράς, μέσα αποθήκευσης ενέργειας, καθώς και κόμβοι επικοινωνίας. Λειτουργούν ως δίαυλος για τη διασύνδεση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, του δικτύου κυκλοφορίας και του δικτύου

επικοινωνίας. Έτσι, κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος προγραμματισμού της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παραπάνω [12].

Επιπροσθέτως, παρουσιάζονται προκλήσεις και σε άλλους τομείς οι οποίοι επιδέχονται βελτιώσεις, ώστε να διευκολυνθεί η υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων. Για παράδειγμα [12]:

- Τα πρότυπα για την κατασκευή εξοπλισμού φόρτισης δεν είναι κοινά παγκοσμίως. Για παράδειγμα, η Ιαπωνία, οι ΗΠΑ και η Ευρώπη χρησιμοποιούν διαφορετικά πρότυπα σύνδεσης για τη φόρτιση των οχημάτων [97]. Επομένως, η ομοιογένεια στα πρότυπα φόρτισης και στις συσκευές μπορεί να μειώσει το κόστος και να κάνει τα ηλεκτρικά οχήματα πιο δημοφιλή στην αγορά.
- Προς το παρόν, δεν υποστηρίζουν όλα τα ηλεκτρικά μοντέλα όλα τα επίπεδα φόρτισης και ομοίως δεν έχουν όλοι οι δημόσιοι σταθμοί φόρτισης δυνατότητα φόρτισης για όλα τα επίπεδα ισχύος. Λόγω αυτού, οι χρήστες των BEVs αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην εύρεση κατάλληλων σταθμών φόρτισης.
- Καθώς οι σταθμοί φόρτισης δημιουργούνται από διαφορετικές εταιρείες σε διαφορετικές τοποθεσίες, οι διατάξεις των εγκαταστάσεων των σταθμών φόρτισης είναι διαφορετικές. Κάτι που προκαλεί την δυσαρέσκεια των χρηστών, καθώς καλούνται να προσαρμοστούν κάθε φορά στις διαφορετικές εγκαταστάσεις για την φόρτιση των οχημάτων τους. Η υιοθέτηση ίδιων διατάξεων στις εγκαταστάσεις, όπως συμβαίνει και με τις αντίστοιχες των ICEVs, θα αυξήσει τη δημοτικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων.
- Η δημιουργία ιδιωτικών εγκαταστάσεων γρήγορης φόρτισης, όπως στο σπίτι, εξακολουθεί να αποτελεί πρόβλημα, το οποίο συνήθως απαιτεί από τους ιδιοκτήτες των οχημάτων την δικαιοδοσία από τις αρμόδιες υπηρεσίες. Αυτή η μακρά διαδικασία αποθαρρύνει τους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων να δημιουργήσουν ιδιωτικές εγκαταστάσεις γρήγορης φόρτισης για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις τους.
- Ο σχεδιασμός για την τοποθεσία εγκατάστασης των σταθμών φόρτισης στις πόλεις καθώς και στους αυτοκινητόδρομους είναι σημαντικός. Προς το παρόν, τα σημεία φόρτισης προορίζονται κυρίως για πόλεις, ενώ οι περισσότεροι αυτοκινητόδρομοι δεν έχουν ακόμη συμπεριληφθεί στο σχέδιο, κάτι που επηρεάζει τους ιδιοκτήτες των ηλεκτρικών οχημάτων.
- Οι σταθμοί φόρτισης μπορούν να χρησιμοποιούν επίσης ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως φωτοβολταϊκή ή αιολική ενέργεια. Ωστόσο, ο σχεδιασμός και η εφαρμογή τέτοιων σταθμών φόρτισης είναι δαπανηρά και απαιτούν μεγάλο εκτάσεις χώρου. Για αυτόν τον λόγο, είναι οι κατάλληλοι στους αυτοκινητόδρομους όπου υπάρχουν πολλές αχρησιμοποίητες εκτάσεις.

4.3. Η εισαγωγή των ηλεκτρικών οχημάτων στο ελληνικό δίκτυο ηλεκτρισμού

4.3.1. Ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων που μπορούν να ενσωματωθούν στο ελληνικό δίκτυο

Σύμφωνα με μια έρευνα για τις επιπτώσεις των φορτιζόμενων οχημάτων στο ελληνικό δίκτυο ηλεκτρισμού, έχει γίνει μια αξιολόγηση για τον αριθμό των οχημάτων που μπορούν να εισαχθούν στο ελληνικό δίκτυο και τις επιπτώσεις που μπορεί αυτό να επιφέρει. Για την διεξαγωγή της έρευνας,

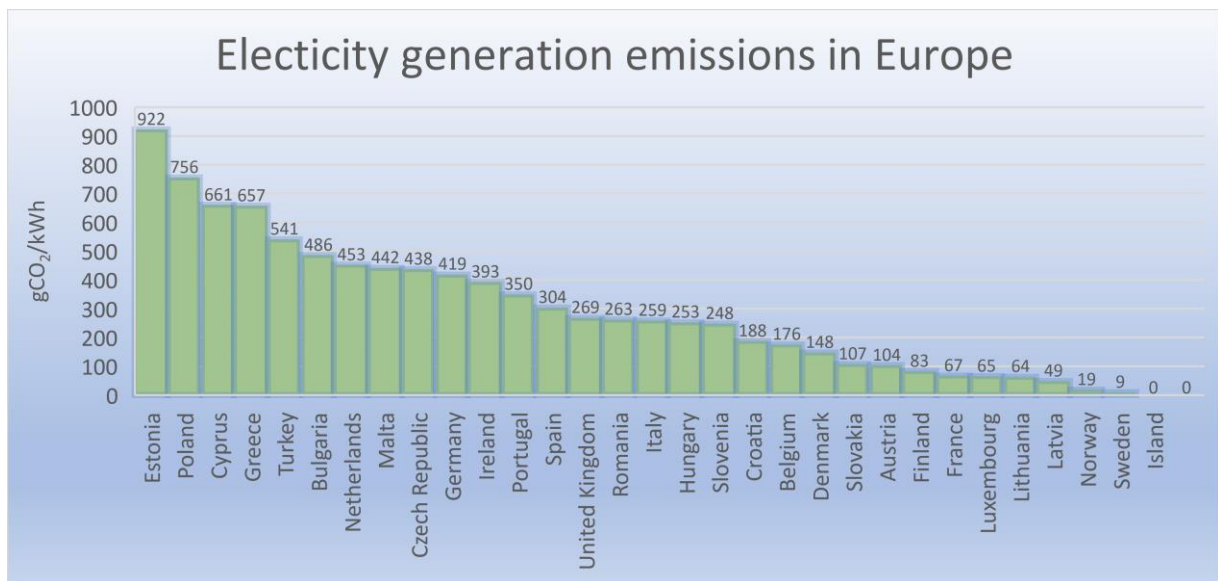
εξετάστηκε η εισαγωγή των φορτιζόμενων οχημάτων τόσο στο αστικό όσο και στο επαρχιακό δίκτυο. Επιπλέον, εξετάστηκαν τρεις στρατηγικές φόρτισης [96]:

- Στρατηγική Α - η απρογραμματίστη σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο, συνήθως μετά το τελευταίο ταξίδι της ημέρας ή όταν υπάρχει διαθέσιμο σημείο φόρτισης.
- Στρατηγική Β - με αυτόν τον τύπο φόρτισης θεωρείται ότι οι ιδιοκτήτες φορτίζουν τα οχήματά τους κατά τις ώρες της ημέρας όταν η ζήτηση ενέργειας είναι η χαμηλότερη. Συνήθως, η κινητικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων κατά τις ώρες εκτός αιχμής είναι περιορισμένη και αυτό επιτρέπει την αποτελεσματική διαχείριση της φόρτισης.
- Στρατηγική Γ- η έννοια της φόρτισης σε αυτήν την περίπτωση, είναι να ρυθμιστεί η ενεργειακή ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων κατά τις χρονικές περιόδους που η τροφοδοσία υπερβαίνει ένα προκαθορισμένο ανώτατο όριο. Σε περίπτωση που η συνολική ζήτηση του φορτίου είναι κάτω από αυτό το ανώτατο όριο, τότε επιτρέπεται η φόρτισή τους. Σε διαφορετική περίπτωση όταν το συνολικό φορτίο της γραμμής υπερβεί το προκαθορισμένο ανώτατο όριο τότε η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων αποκλείεται.

Ο αριθμός των οχημάτων που μπορούν να τροφοδοτηθούν από το δίκτυο ποικίλει τόσο ανάλογα με την στρατηγική φόρτισης που θα εφαρμοσθεί, όσο και με το αν εξετάζεται ένα αστικό ή ένα επαρχιακό δίκτυο. Όσον αφορά το επαρχιακό δίκτυο, σύμφωνα με την φόρτιση της Στρατηγικής Α μόνο 100 ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο χωρίς να παραβιαστούν περιορισμοί περί θερμικών ορίων των κλάδων του δικτύου και περί ορίων των επιπέδων της τάσης. Εφαρμόζοντας την φόρτιση της Στρατηγικής Β, σύμφωνα με την έρευνα μπορούν να συνδεθούν έως και 500 ηλεκτρικά οχήματα και με την Στρατηγική Γ περισσότερα από 1000. Από την άλλη πλευρά, για το αστικό δίκτυο βρέθηκε ότι με την χρήση στρατηγικών έξυπνης φόρτισης όπως είναι η Στρατηγική Β και Γ, μπορούν να τροφοδοτηθούν από το συγκεκριμένο δίκτυο μέχρι και 2000 ηλεκτρικά οχήματα. Παρόλα αυτά, σε ένα αστικό δίκτυο πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι ανάγκες τροφοδοσίας που προκύπτουν όχι μόνο από αυτές των μόνιμων κατοίκων, αλλά και εκείνες που παρουσιάζονται κατά την επίσκεψη και άλλων οδηγών σε μια τέτοια περιοχή. Επιπλέον αξίζει να σημειωθεί ότι για τις ανάγκες τις έρευνας για το επαρχιακό δίκτυο, λήφθηκε υπόψη ένα δίκτυο με υψηλή ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών. Επομένως συμπεραίνουμε ότι ανάλογα με το εξεταζόμενο δίκτυο μιας περιοχής μπορεί να προκύπτουν και άλλοι αριθμοί ενσωμάτωσης ηλεκτρικών οχημάτων που μπορεί να επιτευχθούν, καθώς μπορεί να υπάρχουν σημαντικές διαφορές.

4.3.2. Σύγκριση εκπομπών συμβατικών και ηλεκτρικών οχημάτων στον ελληνικό χώρο

Σύμφωνα με την πρόσφατη αναφορά του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (ΕΕΑ) για το έτος 2017, οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα που προέρχονται από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα, ανέρχονται σε 657 gCO₂/kWh. Εν συγκρίσει, αναφέρεται ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ισλανδία αποφέρει μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και αυτό οφείλεται στο ότι βασίζεται εξολοκλήρου στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (γεωθερμική και υδροηλεκτρική), ενώ το κράτος με τις μεγαλύτερες εκπομπές αποδίδεται στην Εσθονία με 922 gCO₂/kWh, καθώς τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα είναι υψηλής έντασης άνθρακα (Σχήμα 28). Είναι ευρέως αποδεκτό επομένως, ότι οι παραγόμενοι αέριοι ρύποι από την υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να είναι σημαντικά μεταβλητοί αναλόγως της χώρας στην οποία φορτίζονται τα οχήματα, λόγω του διαφορετικού μείγματος ενέργειας της κάθε χώρας και άρα της απόκλισης των αέριων εκπομπών που εκλύονται [98].



Σχήμα 28. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά παραγόμενη κιλοβατώρα ηλεκτρικής ενέργειας ανά χώρα στην Ευρώπη, [98]

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά χιλιόμετρο από ηλεκτρικά οχήματα που κινούνται στον ελλαδικό χώρο και παρατίθενται με συγκρίσιμα μοντέλα αυτοκινήτων που χρησιμοποιούν ως καύσιμο την βενζίνη. Για τις ανάγκες των υπολογισμών της σύγκρισης υποτέθηκε ότι οι εκπομπές ανέρχονται σε 657 gCO₂/kWh όπως αναφέρθηκε παραπάνω, κάτι που σημαίνει ότι στο τρέχον αλλά και στο μελλοντικό διάστημα αναμένεται να είναι μειωμένες. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν τα προσφερόμενα δεδομένα των οχημάτων από τις επίσημες αναφορές των κατασκευαστών και με βάση την κατανάλωση των ηλεκτρικών οχημάτων και την τιμή των εκπομπών που προαναφέρθηκε, συντάχθηκε ο κάτωθι πίνακας (Σχήμα 29). Σκοπός της έρευνας είναι να συγκριθούν τα οχήματα όσο αυτό είναι δυνατόν, λόγω των διαφοροποιήσεων που προκύπτουν καθώς δεν είναι δυνατό να υπάρχουν πανομοιότυπα ηλεκτρικά και συμβατικά οχήματα. Επομένως, αυτή η σύγκριση έγινε με κριτήριο την παρόμοια απόδοση ισχύος και την κατηγορία των αυτοκινήτων (Σχήμα 29).

Μοντέλο	Καύσιμο	Κατανάλωση (l/100km kWh/100km)	Εκπομπές ή (gCO ₂ /km)	Ισχύς (PS)	Εμβέλεια (km)
VW Golf 150ps	βενζίνη	7,8	130-135	150	-
Nissan Leaf	ηλεκτρικό	14,6	96	150	270
Hyundai i30	βενζίνη	5,7-5,9	129-134	140	-
VW e-Golf	ηλεκτρικό	15,4	101	136	316
Kia XCeed 1.6T	βενζίνη	6,7-7,2	152-162	204	-
Hyundai Kona	ηλεκτρικό	14,7	97	204	449

Σχήμα 29. Σύγκριση εκπομπών ανάμεσα σε ηλεκτρικά και συμβατικά μοντέλα με βάση την ισχύ και την κατηγορία των οχημάτων, [99]–[103]

5. Συμπεράσματα

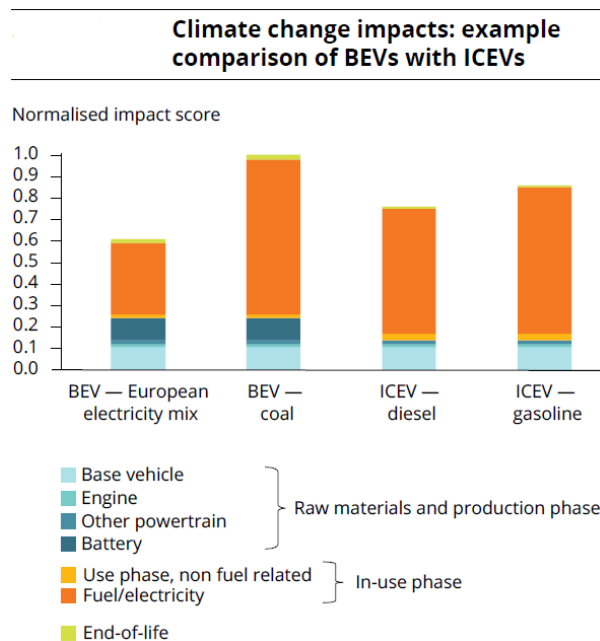
Τα BEVs προσφέρουν σημαντικές ευκαιρίες για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της τοπικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ωστόσο, όπως φαίνεται, υπάρχει η πιθανότητα αυξημένων επιπέδων τοξικότητας για τον άνθρωπο και επιπτώσεων που σχετίζονται με το οικοσύστημα, όπως συνοψίζεται παρακάτω. Για να μπορέσουμε να συνειδητοποιήσουμε πλήρως τα οφέλη και να μειώσουμε τα πιθανά μειονεκτήματα των BEVs, υπάρχουν ορισμένες βασικές πτυχές που σχετίζονται με την κυκλική οικονομία που πρέπει να ληφθούν υπόψη, όπως είναι ο σχεδιασμός του οχήματος, η χρήση και επιλογή οχήματος, η επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωσή του και οι πηγές ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

5.1. Επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή

Επί του παρόντος, οι αναλύσεις κύκλου ζωής (AKZ) για τα ηλεκτροκίνητα οχήματα με συσσωρευτές (BEVs) και η σύγκρισή τους με τα αυτοκίνητα εσωτερικής καύσης (ICEVs) επικεντρώνονται από τις εκτιμήσεις για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής [104]. Η εν λόγω σύγκριση του κύκλου ζωής των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) των BEVs και των ICEVs εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το μέγεθος του υπό εξέταση οχήματος, τη χιλιομετρική διάρκεια ζωής, τις παραδοχές σχετικά με το μείγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και από το εάν ένα ICEV είναι βενζινοκίνητο ή πετρελαιοκίνητο όχημα [40].

Η πληθώρα των Αναλύσεων Κύκλου Ζωής έχουν δείξει ότι τα BEVs αποδίδουν λιγότερα αέρια του θερμοκηπίου κατά τον κύκλο ζωής τους σε σχέση με τα ICEVs. Εν γένει, τα αέρια του θερμοκηπίου που έχουν συσχετισθεί με τις πρώτες ύλες και την φάση παραγωγής των ηλεκτρικών οχημάτων, είναι 1,3-2 φορές υψηλότερα από αυτά των αυτοκινήτων εσωτερικής καύσης [40]. Αυτό όμως μπορεί να αντισταθμιστεί με το παραπάνω, λόγω των χαμηλότερων εκπομπών ανά χιλιόμετρο που αποδίδουν τα ηλεκτρικά οχήματα, ανάλογα πάντα με την πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Σχήμα 30). Αναφέρεται ότι τα αέρια του θερμοκηπίου του κύκλου ζωής των ηλεκτρικών αυτοκινήτων των οποίων οι μπαταρίες έχουν φορτισθεί με τη χρήση του μέσου ευρωπαϊκού μείγματος ηλεκτρισμού, είναι 17-21% και 26-30% χαμηλότερα από ό, τι παρόμοια πετρελαιοκίνητα και βενζινοκίνητα οχήματα, αντίστοιχα [21]. Αυτό συνάδει ευρέως με τις πιο πρόσφατες εκτιμήσεις που βασίζονται στο μέσο ευρωπαϊκό μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας [25], [54].

Το ηλεκτρικό μείγμα ενέργειας έχει επιρροή σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής, αλλά κυρίως στις εκπομπές του σταδίου της χρήσης. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 30, η φόρτιση των BEVs με ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από άνθρακα, έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερες εκπομπές στον κύκλο ζωής του οχήματος από ό, τι από τα ICEVs, ενώ η φόρτιση με αιολική ενέργεια μπορεί να οδηγήσει σε εκπομπές σχεδόν 90% χαμηλότερες από τις ισοδύναμες των ICEVs [53]. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σημαντική διακύμανση στις σχετικές εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου των BEVs και ICEVs σε όλες τις ευρωπαϊκές χώρες. Στο μέλλον, με την μεγαλύτερη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλότερου ανθρακικού αποτυπώματος στο ευρωπαϊκό μείγμα ενέργειας (Σχήμα 25), η τυπική εξοικονόμηση εκπομπών του θερμοκηπίου των BEVs σε σχέση με τα ICEVs θα βελτιωθεί περαιτέρω [25].



Σχήμα 30. Σύγκριση κλιματικών επιπτώσεων μεταξύ BEVs και ICEVs ανάλογα της πηγής ενέργειας σε κανονικοποιημένη κλίμακα, [21]. Σημείωση: Οι επιπτώσεις είναι κανονικοποιημένες σε σχέση με το όχημα με τον υψηλότερο αντίκτυπο, το οποίο λαμβάνει βαθμολογία 1

Οι υψηλότερες εκπομπές GHG των BEVs σε σχέση με τα ICEVs από τις πρώτες ύλες και τη φάση παραγωγής, σχετίζονται με τις ενεργειακές απαιτήσεις για την εξαγωγή και επεξεργασία των πρώτων υλών καθώς και την παραγωγή των μπαταριών. Για τις μπαταρίες, η τοποθεσία κατασκευής είναι καθοριστικής σημασίας όσον αφορά την ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται. Οι τρέχουσες χώρες που κυριαρχούν στην παγκόσμια παραγωγή μπαταριών ιόντων λιθίου (Κίνα, Νότια Κορέα και Ιαπωνία) έχουν σχετικά υψηλής έντασης άνθρακα ηλεκτρικό μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας. Μια αλλαγή στη χρήση ενέργειας με λιγότερο άνθρακα - μέσω αλλαγής είτε της τοποθεσίας παραγωγής είτε της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε τοπικό επίπεδο - θα οδηγήσει σε χαμηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για αυτά τα στάδια. Καθώς η συμβολή των εκπομπών από το στάδιο χρήσης μειώνεται, έτσι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τις πρώτες ύλες και τη φάση παραγωγής γίνονται όλο και πιο σημαντικές [25], [40].

Για το τέλος του κύκλου ζωής, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι χαμηλές σε σχέση με τον συνολικό κύκλο ζωής τόσο για τα BEVs όσο και για τα ICEVs [21], [89]. Ωστόσο, υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα γύρω από τα δεδομένα. Τα αποτελέσματα εξαρτώνται από υποθέσεις γύρω από το ενδεχόμενο επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης των BEVs και επομένως χρειάζεται περαιτέρω έρευνα.

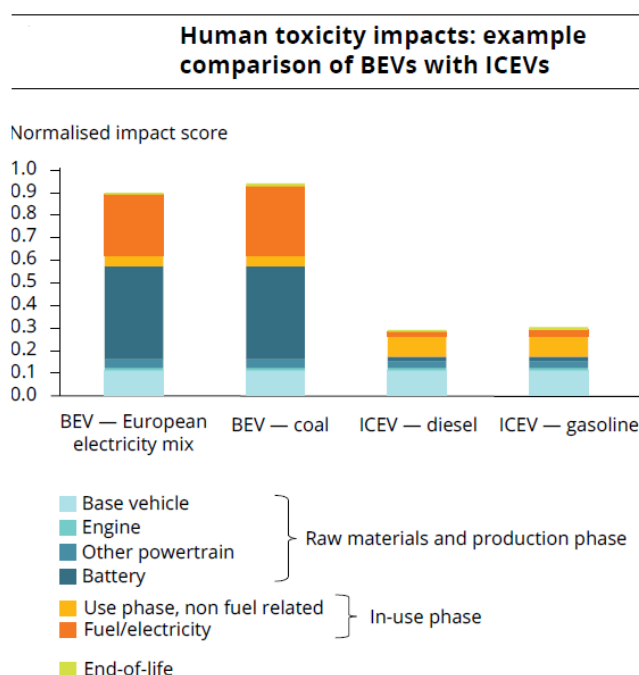
Η χιλιομετρική διάρκεια ζωής των BEVs και η διάρκεια ζωής της μπαταρίας, έχει μεγάλη επίδραση στην εξοικονόμηση εκπομπών GHG κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής των BEVs σε σχέση με τα ICEVs. Όσο υψηλότερη είναι η χιλιομετρική διάρκεια ζωής, τόσο περισσότερο κυριαρχούν οι επιπτώσεις του σταδίου χρήσης στη σύγκριση, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη εξοικονόμηση εκπομπών για τα BEVs, εκτός εάν φορτίζονται με ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη από άνθρακα [40].

5.2. Επιπτώσεις στην υγεία

Οι επιπτώσεις στην υγεία που εξετάζονται περιλαμβάνουν ατμοσφαιρική ρύπανση, έκθεση στον θόρυβο και την τοξικότητα για τον άνθρωπο. Η τοξικότητα για τον άνθρωπο είναι μια περίπλοκη πτυχή της ΑΚΖ, που περιλαμβάνει τις επιπτώσεις των εκπομπών πολλών διαφορετικών ουσιών στον αέρα και τα ύδατα. Στις ΑΚΖ των BEVs και ICEVs, η απελευθέρωση βαρέων μετάλλων και οι ενώσεις τους κυριαρχούν επί του παρόντος στα αποτελέσματα των επιπτώσεων [32].

5.2.1. Τοξικότητα για τον άνθρωπο

Φαίνεται ότι τα BEVs θα μπορούσαν να είναι υπεύθυνα για μεγαλύτερες αρνητικές επιπτώσεις συνολικά, από τα αντίστοιχα ICEVs (Σχήμα 31). Ο αυξημένος αντίκτυπος των BEVs στην ανθρώπινη τοξικότητα σε σύγκριση με τα ICEVs, προκύπτει από το γεγονός ότι υπάρχουν πρόσθετες ανάγκες χαλκού και νικελίου που για την παραγωγή των BEVs, με τοξικές εκπομπές που συμβαίνουν κυρίως κατά την απόρριψη των θειικών υπολειμμάτων της εξόρυξης αυτών των μετάλλων. Η εξόρυξη άνθρακα που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σχετίζεται επίσης με την ανθρώπινη τοξικότητα στο στάδιο παραγωγής και χρήσης των οχημάτων [63]. Ωστόσο η αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από πηγές που δεν χρησιμοποιούν άνθρακα, θα μειώσουν τις επιπτώσεις της τοξικότητας στον άνθρωπο [63], [89].



Σχήμα 31. Σύγκριση BEVs και ICEVs σχετικά με την τοξικότητα στον άνθρωπο [21]. Σημείωση: Οι επιπτώσεις είναι κανονικοποιημένες

5.2.2. Ατμοσφαιρική ρύπανση

Τα BEVs προσφέρουν πιθανώς τοπικά οφέλη όσον αφορά την ποιότητα του αέρα λόγω μηδενικών εκπομπών καυσαερίων. Ωστόσο, τα BEVs εξακολουθούν να εκπέμπουν PM τοπικά λόγω φθοράς των ελαστικών, των φρένων και του δρόμου. Επιπλέον, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παράγει επίσης εκπομπές.

Στην Ευρώπη, οι εκπομπές NOx που εξοικονομούνται από τα καυσαέρια των ICEVs πιθανώς είναι μεγαλύτερες των εκπομπών NOx που απελευθερώνονται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τα BEVs [69].

Για τα PM, αναφέρεται ότι οι εκπομπές από τις πρώτες ύλες και την παραγωγή είναι μεγαλύτερες για τα BEVs από ό,τι για τα ICEVs, κυρίως λόγω της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από άνθρακα και χρησιμοποιείται στην κατασκευή μπαταριών. Στο στάδιο της χρήσης, οι εκπομπές PM από τα BEVs λόγω της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το μείγμα της ηλεκτρικής ενέργειας, με αυτήν που παράγεται από άνθρακα να σχετίζεται με υψηλότερες εκπομπές PM σε σχέση με την καύση των ICEVs. Για το μέσο ευρωπαϊκό μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας, αναφέρεται ότι οι εκπομπές PM από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι παρόμοιες ή ελαφρώς υψηλότερες από εκείνες της καύσης των ICEVs [21], [63]. Εστιάζοντας στις τοπικές εκπομπές PM, υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα και διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων, λόγω εκτιμήσεων με πραγματικά δεδομένα για τα ICEVs και διαφορετικών μεθόδων εκτίμησης για τις εκπομπές που δεν αφορούν καύση. Ορισμένες μελέτες δείχνουν ισοτιμία ή πολύ μικρή μείωση των τοπικών εκπομπών PM από τα BEVs σε σχέση με τα ICEVs [57], αλλά άλλες αναφέρουν μια πολύ μεγαλύτερη μείωση από τα BEVs [58].

Όσον αφορά τις τοπικές επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα, η γεωγραφική τοποθεσία των εκπομπών που εκλύονται είναι σημαντική. Όπου οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας βρίσκονται μακριά από τα αστικά κέντρα, η αντικατάσταση των ICEVs με BEVs είναι πιθανό να οδηγήσει σε βελτίωση της ποιότητας του αστικού αέρα, ακόμη και σε περιβάλλοντα όπου οι συνολικές εκπομπές των τελευταίων ενδέχεται να είναι μεγαλύτερες [59].

Καθώς το ποσοστό της ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται και η καύση άνθρακα μειώνεται στο ευρωπαϊκό μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας τις επόμενες δεκαετίες (Σχήμα 25), το πλεονέκτημα των BEVs σχετικά με την ποιότητα του αέρα έναντι των ICEVs είναι πιθανό να αυξηθεί παράλληλα [69].

5.2.3. Ηχορύπανση

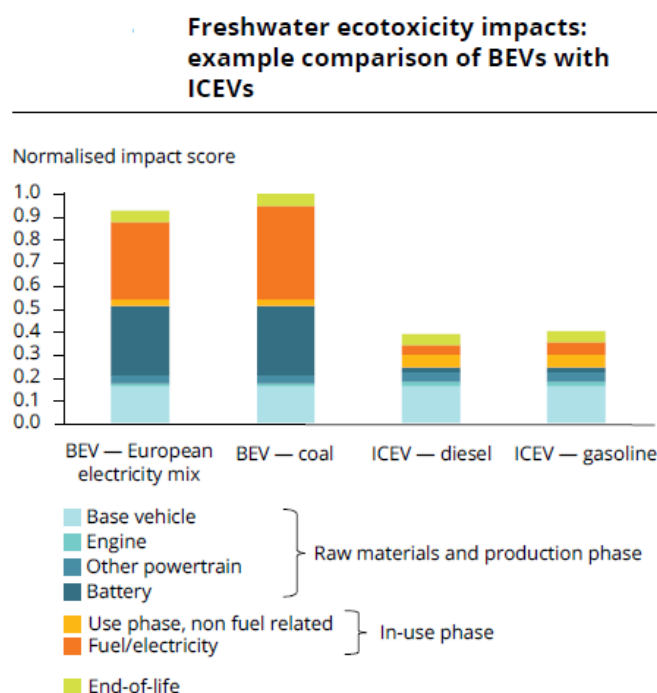
Η διαφορά στις εκπομπές θορύβου μεταξύ BEVs και ICEVs εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα του οχήματος. Λαμβάνοντας υπόψη τα επιβατικά αυτοκίνητα, ο θόρυβος του κινητήρα από τα ICEVs εκτιμάται ότι είναι περίπου 10 dB υψηλότερος από αυτόν των BEVs και είναι η κύρια πηγή θορύβου σε στάση ή σε πολύ χαμηλές ταχύτητες [60]. Ωστόσο, με την αύξηση της ταχύτητας, ο θόρυβος που προκαλείται από την αλληλεπίδραση μεταξύ των ελαστικών και του δρόμου γίνεται πιο σημαντικός και κυριαρχεί περίπου από τα 25-30 km / h και δεν υπάρχει διαφοροποίηση μεταξύ των BEVs και ICEVs [62], [105]. Στα 50 km / h, το δυναμικό μείωσης θορύβου ενός BEV σε σχέση με ένα ICEV είναι μόνο περίπου 1 dB, μια διαφορά μόλις αντιληπτή από το ανθρώπινο αυτί [60], [62].

Επομένως, οι μελέτες δείχνουν ότι τα οφέλη της ηλεκτροδότησης των επιβατικών αυτοκινήτων όσον αφορά τα επίπεδα θορύβου, αποδίδονται στις αστικές περιοχές όπου οι ταχύτητες είναι γενικά χαμηλές και η κυκλοφορία είναι συχνά στατική. Αντιθέτως, φαίνεται ότι είναι απίθανο να υπάρχει μεγάλο όφελος σε αγροτικούς δρόμους ή αυτοκινητόδρομους όπου οι ταχύτητες είναι υψηλότερες. Η έκταση της μείωσης του θορύβου θα εξαρτηθεί επίσης έντονα από το ποσοστό των BEVs στο συνολικό στόλο των οχημάτων [60], [62], [105]. Ωστόσο η ανάγκη ηχητικών συστημάτων προειδοποίησης οχημάτων στα BEVs για την αντιμετώπιση των προβλημάτων οδικής ασφάλειας λόγω έλλειψης θορύβου, ενδέχεται να ελαττώσει τις προοπτικές για αυτήν την μείωση του θορύβου της κυκλοφορίας.

5.3. Επιπτώσεις στο οικοσύστημα

Οι πτυχές που σχετίζονται με τις επιπτώσεις του οικοσυστήματος που συλλέγονται από τις AKZ σχετίζονται με την οικοτοξικότητα γλυκών υδάτων, την οικοτοξικότητα και αύξηση της οξύτητας των εδαφών.

Για την οικοτοξικότητα του γλυκού νερού (Σχήμα 32), τα ευρήματα είναι μικτά. Υπάρχουν έρευνες που υποδηλώνουν ότι οι επιπτώσεις στην Ευρώπη είναι υψηλότερες από τα BEVs από ό, τι από τα ICEVs [21], [104], ενώ άλλες δείχνουν ότι μπορούν να είναι μικρότερες [106]. Οι επιπτώσεις στην οικοτοξικότητα των γλυκών υδάτων προκύπτουν σε μεγάλο βαθμό από την εξόρυξη και την επεξεργασία μετάλλων και από την εξόρυξη και καύση άνθρακα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με το τελευταίο να αφορά τόσο την παραγωγή, όσο και τη χρήση των οχημάτων [21].



Σχήμα 32. Σύγκριση των επιπτώσεων της οικοτοξικότητας των BEVs και ICEVs, [21]. Σημείωση: Οι επιπτώσεις βρίσκονται σε κανονικοποιημένη κλίμακα.

Για την αύξηση της οξύτητας των εδαφών και πάλι υπάρχουν αντικρουόμενα ευρήματα. Έρευνες δείχνουν ότι οι επιπτώσεις του κύκλου ζωής των BEVs και ICEVs είναι παρόμοιες [21], ενώ άλλες αναφέρουν ότι τα BEVs έχουν μεγαλύτερο αντίκτυπο [63]. Αυτά τα αποτελέσματα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις παραδοχές που έγιναν αφενός σχετικά με τις αυξημένες εκπομπές SO₂ από την παραγωγή των μπαταριών και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τα BEVs, έναντι αφετέρου των οφελών των μηδενικών εκπομπών NO_x.

Το ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα αναμένεται να αυξηθεί τόσο στην Ευρώπη όσο και σε βασικές γεωγραφικές τοποθεσίες παραγωγής μπαταριών στο μέλλον, το οποίο θα συμβάλει στη μείωση των επιπτώσεων της οικοτοξικότητας των γλυκών υδάτων και της αύξησης της οξύτητας των εδαφών σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής [49], [66]. Για παράδειγμα, αναφέρεται ότι, εάν η αύξηση της οξύτητας των εδαφών είναι υψηλότερη για τα BEVs από ό, τι για τα ICEVs, μέχρι το 2030 θα ισχύει το αντίστροφο, αντικατοπτρίζοντας την αναμενόμενη μεταβολή του μείγματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας .

Οι πληροφορίες σχετικά με την εδαφική οικολογικότητα υποδηλώνουν ότι τα BEVs και ICEVs έχουν παρόμοιες επιπτώσεις σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους και αφορούν κυρίως εκπομπές σωματιδίων μετάλλων λόγω της φθοράς ελαστικών και φρένων κατά τη διάρκεια του σταδίου χρήσης [66].

5.4. Πτυχές των ηλεκτρικών οχημάτων προς βελτίωση

5.4.1. Σχεδιασμός του οχήματος

Για το σχεδιασμό του οχήματος, το πιο σημαντικό στοιχείο που καθορίζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι η μπαταρία. Εδώ, η τυποποίηση του σχεδιασμού της μπαταρίας θα μπορούσε να διαδραματίσει βασικό ρόλο στη διασφάλιση της επαναχρησιμοποίησης και της ανακύκλωσής της στο μέλλον. Συμπληρώνοντας τα παραπάνω μπορεί να υπάρξει σχεδιασμός που επιτρέπει εξαρχής της διαδικασίας μειωμένες εισροές πρώτων υλών, παράλληλα με τη χρήση εναλλακτικών υλικών.

Επιπλέον, οι προσδοκίες των καταναλωτών όσον αφορά την αυτονομία των οχημάτων θα είναι καθοριστικής σημασίας για τη μελλοντική ανάπτυξη της μπαταρίας. Οι μεγαλύτερες - και επομένως βαρύτερες - μπαταρίες παρέχουν μεγαλύτερη αποθήκευση ενέργειας και με τη σειρά της αυξημένη αυτονομία, η οποία βοηθά στην αντιμετώπιση της ανησυχίας των καταναλωτών σχετικά με τη χρήση των BEVs. Ωστόσο, οι μεγαλύτερες μπαταρίες απαιτούν περισσότερες πρώτες ύλες και ενέργεια για την παραγωγή τους, οδηγώντας σε μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και το επιπλέον βάρος οδηγεί επίσης σε υψηλότερη ενεργειακή απαίτηση ανά χιλιόμετρο [40]. Καθώς η ενεργειακή πυκνότητα των μπαταριών ιόντων λιθίου συνεχίζει να αυξάνεται, οι επιπτώσεις σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής θα ελαχιστοποιηθούν εάν η αυτοκινητοβιομηχανία έχει κίνητρα να κατασκευάσει οχήματα μέτριας αυτονομίας με ολοένα και μικρότερες μπαταρίες, σε αντίθεση με εκείνα με συνεχώς αυξανόμενη αυτονομία. Η διαθεσιμότητα των υποδομών φόρτισης και ο χρόνος που απαιτείται για τη φόρτιση διαδραματίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στη διαχείριση των προσδοκιών των καταναλωτών.

Αξίζει να σημειωθεί επιπλέον ότι εναλλακτικές χημικές ουσίες μπαταριών (π.χ. λιθίου-οξυγόνου, ιόντων νατρίου ή ιόντων αλουμινίου) μπορεί να είναι διαθέσιμες, παρέχοντας νέες ευκαιρίες και προκλήσεις σχετικά με την ελαχιστοποίηση του αντίκτυπου των σταδίων πρώτων υλών, παραγωγής και του τέλους του κύκλου ζωής [8].

Επιπλέον, η μεγιστοποίηση της εμβέλειας του οχήματος δίνει έμφαση στον ελαφρύ σχεδιασμό των BEVs μέσω χρήσης ελαφρύτερων υλικών. Αυτό μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας του σταδίου χρήσης, αλλά μπορεί να κοστίσει υψηλότερα στις επιπτώσεις της παραγωγής και να περιορίσει τις δυνατότητες ανακύκλωσης υλικών [40]. Όσον αφορά τις συνολικές επιπτώσεις, όταν υπάρχει αντιστάθμιση μεταξύ των επιπτώσεων στο στάδιο χρήσης και άλλων σταδίων, τότε καθίσταται σημαντική η χιλιομετρική διάρκεια ζωής των BEVs. Σημαίνοντας ότι όσο υψηλότερη είναι η χιλιομετρική διάρκεια ζωής ενός οχήματος, τόσο χαμηλότερη είναι η επίδραση των επιπτώσεων που σχετίζονται με την παραγωγή.

Η χιλιομετρική διάρκεια ζωής είναι εν μέρει, ζήτημα σχεδιασμού. Μπορεί να μεγιστοποιηθεί εάν η ανθεκτικότητα και η ευκολία των διαδικασιών συντήρησης έχουν προτεραιότητα στο σχεδιασμό μεμονωμένων εξαρτημάτων (ειδικά της μπαταρίας) και του οχήματος στο σύνολό του [40].

5.4.2. Χρήση των οχημάτων

Για τη χρήση των οχημάτων, προς το παρόν τα διαθέσιμα αξιόπιστα στοιχεία σχετικά με δεδομένα περί των ετήσιων χιλιομέτρων που διανύονται, του σκοπού ταξιδιού και της χιλιομετρικής διάρκειας ζωής, είναι περιορισμένα, λόγω της μικρής εισροής των BEVs στις μεταφορές έως σχετικά πρόσφατα. Μελλοντική έρευνα σε αυτό το θέμα θα μπορούσε να κάνει χρήση δεδομένων από εθνικές έρευνες και περιοδικές δοκιμές, που θα είναι υποχρεωτικές σε ολόκληρη την ΕΕ.

Τα BEVs θα μπορούσαν να βοηθήσουν τη μετάβαση της κοινωνίας σε μια πιο βιώσιμη κινητικότητα. Η «επιμερισμένη κινητικότητα» (shared mobility) θα μπορούσε να είναι το κλειδί για μια σειρά λόγων. Με τον όρο επιμερισμένη κινητικότητα νοείται ένα σύνολο οχημάτων (που μπορεί να ανήκει σε ιδιώτες, εταιρείες ή κυβερνήσεις) που χρησιμοποιείται κατά τις απαιτήσεις των καταναλωτών, λειτουργώντας μέσω ταξί, συλλόγων αυτοκινήτων, βραχυπρόθεσμων προγραμμάτων ενοικίασης και κοινής χρήσης. Αυτό το μοντέλο κινητικότητας εισάγει ένα νέο τρόπο κινητικότητας σε αντίθεση παραδοσιακά με την προσωπική ιδιοκτησία των οχημάτων.

Οι λόγοι που μπορεί να φανεί χρήσιμη η εισαγωγή της επιμερισμένης κινητικότητας είναι αρκετοί. Πρώτον, επιτρέπει την δοκιμή των ηλεκτρικών οχημάτων, η οποία έχει αποδειχθεί ότι μειώνει την ανησυχία περί εμβέλειας. Αυτό με τη σειρά του θα μπορούσε να έχει επιπτώσεις από την άποψη των προσδοκιών για το εύρος των οχημάτων και ως εκ τούτου να επιτρέψει τη χρήση ελαφρύτερων - και άρα χαμηλότερης χωρητικότητας- μπαταριών με μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τη φάση παραγωγής. Δεύτερον, η επιμερισμένη κινητικότητα, ειδικά όταν επιτρέπει στους καταναλωτές την πρόσβαση σε μια σειρά επιλογών οχημάτων θα μπορούσαν να βοηθήσουν στη διασφάλιση της επιλογής του καταλληλότερου αυτοκινήτου για τις ανάγκες τους. Τρίτον, ενώ τα BEVs διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο όσον αφορά τη μελλοντική κινητικότητα, είναι σημαντικό να εξεταστεί ο ρόλος τους παράλληλα με τα μέσα μαζικής μεταφοράς και τον ενεργό τρόπο μετακίνησης (περπάτημα και ποδηλασία) [40].

5.4.3. Επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση

Ο σχεδιασμός της επαναχρησιμοποίησης και της ανακύκλωσης είναι ανάγκη να γίνει από την αρχή. Στο πλαίσιο της μελλοντικής πρόσβασης σε σπάνιες γαίες, πρέπει να εξεταστούν νέες διαδικασίες στον σχεδιασμό και να γίνει περεταίρω έρευνα για την πλήρη κατανόηση των εμποδίων και των ευκαιριών που προκύπτουν από τις εφαρμογές της δεύτερης χρήσης και ανακατασκευής των συσσωρευτών. Υπάρχει επιπλέον, ανάγκη καλύτερης κατανόησης της χρήσης των συνθετικών υλικών άνθρακα και των μελλοντικών αναγκών ανακύκλωσής τους [56], [66].

5.4.4. Πηγές ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα

Ο ρόλος των πηγών ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα είναι σημαντικός σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής για να επιτευχθούν τα οφέλη της πλήρους πιθανής μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη χρήση των BEVs. Αν και έχει τον μεγαλύτερο αντίκτυπο στο στάδιο της χρήσης, σχετίζεται επίσης με τα στάδια εξόρυξης και παραγωγής πρώτων υλών, τα οποία περιλαμβάνουν διεργασίες εντατικές σε ενέργεια.

Η μείωση της χρήσης άνθρακα έχει περαιτέρω οφέλη, όσον αφορά τη μείωση της ανθρώπινης οικοτοξικότητας και των επιπτώσεων στο οικοσύστημα που σχετίζονται με την εξόρυξη και την καύση άνθρακα. Το ποσοστό των ανανεώσιμων πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας αναμένεται να αυξηθεί τις επόμενες δεκαετίες, τόσο στην ΕΕ (όπου γίνεται χρήση των BEVs) όσο και σε βασικές τοποθεσίες παραγωγής μπαταριών εκτός της ΕΕ [40]. Επιπλέον,

καθώς αυξάνεται ο στόλος των BEVs, θα είναι σημαντικό να διαχειρίζονται τα πρότυπα φόρτισης BEVs με τρόπο που να μπορεί να εκμεταλλευτεί τις ανανεώσιμες και άλλες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και να αποφευχθεί η πρόκληση υψηλής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Ακόμη, γίνονται έρευνες σχετικά με τη χρήση των μπαταριών των BEVs που παίζουν ενεργό ρόλο στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας για την αποθήκευση της περίσσειας ανανεώσιμης ισχύος και την παροχή υπηρεσιών σταθεροποίησης δικτύου, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί είτε όταν τα BEVs είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο για τροφοδοσία είτε όταν γίνεται δεύτερη χρήση των συσσωρευτών στο δίκτυο [40].

Βιβλιογραφία

- [1] A. Leip and A. Uwizeye, “Nitrogen footprints,” in *Encyclopedia of Ecology*, Elsevier, 2018, pp. 370–382.
- [2] G. Jonker and J. Harmsen, “Creating Design Solutions,” in *Engineering for Sustainability*, Elsevier, 2012, pp. 61–81.
- [3] Chatzikokolaki, “Πολυτεχνείο Κρήτης Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Τομέας Συστήματα Παραγωγής « Ανάλυση του Κύκλου Ζωής του Φωτοβολταϊκού CdTe τεχνολογίας Λεπτού Υμενίου » Διατριβή που υπεβλήθη για τη μερική ικανοποίηση των απαιτήσεων,” 2016.
- [4] M. L. Brusseau, “Sustainable Development and Other Solutions to Pollution and Global Change,” in *Environmental and Pollution Science*, Elsevier, 2019, pp. 585–603.
- [5] “for the LCA of electric vehicles,” 2013.
- [6] J. Harvey, A. Kendall, and A. Saboori, “The Role of Life Cycle Assessment in Reducing Greenhouse Gas Emissions from Road Construction and Maintenance for Sustainable Transportation,” 2015.
- [7] P. Brancoli and K. Bolton, “Life Cycle Assessment of Waste Management Systems,” in *Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches*, Elsevier, 2019, pp. 23–33.
- [8] P. Egede, “Concept for the Environmental Assessment of Lightweight Electric Vehicles,” 2017, pp. 59–91.
- [9] T. Gustafsson and A. Johansson, “Comparison between Battery Electric Vehicles and Internal Combustion Engine Vehicles fueled by Electrofuels From an energy efficiency and cost perspective,” p. 71, 2015, [Online]. Available: <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/218621/218621.pdf>.
- [10] EEA, *Electric Vehicles in Europe - 2016 - Approaching adolescence*, no. 20. 2016.
- [11] “EVO 2020.” <https://bnef.turtl.co/story/evo-2020/page/6/1?teaser=yes> (accessed Jun. 05, 2020).
- [12] H. S. Das, M. M. Rahman, S. Li, and C. W. Tan, “Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 120, no. February 2019, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2019.109618.
- [13] “• Chart: Who Leads the Charge Towards Electric Mobility? | Statista.” <https://www.statista.com/chart/13143/electric-vehicle-sales/> (accessed Jun. 06, 2020).
- [14] Till Bunsen *et al.*, “Global EV Outlook 2019 to electric mobility,” *OECD iea.org*, p. 232, 2019, [Online]. Available: www.iea.org/publications/reports/globalevoutlook2019/.
- [15] ACEA, “Fuel types of new cars: petrol +11.9%, diesel -3.7%, electric +80.5% in fourth quarter of 2019 | ACEA - European Automobile Manufacturers’ Association,” 2020.

- <https://www.acea.be/press-releases/article/fuel-types-of-new-cars-petrol-11.9-diesel-3.7-electric-81.3-in-fourth-quart> (accessed Sep. 15, 2020).
- [16] Y. le Petit, "Electric vehicle life cycle analysis and raw material availability," *Transport and environment*, no. October 2017, pp. 1–12, 2017, [Online]. Available: https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2017_10_EV_LCA_briefing_final.pdf.
 - [17] G. A. A. Blengini, D. Blagoeva, J. Dewulf, A. Others, and Others, *JRC Technical reports - Assessment of the Methodology for Establishing the EU List of Critical Raw Materials - Annexes*. 2017.
 - [18] European Commission (EC), "COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT. Report on Critical Raw Materials and the Circular Economy. SWD(2018) 36 final. 16.1.2018 (PART 1/3)," pp. 1–15, 2018, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
 - [19] F. Mathieux *et al.*, *Critical Raw Materials and the Circular Economy. Background report*, no. October. 2017.
 - [20] K. T. Gradin, S. Poulikidou, A. Björklund, and C. Luttrupp, "Scrutinising the electric vehicle material backpack," *Journal of Cleaner Production*, vol. 172, pp. 1699–1710, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.12.035.
 - [21] T. R. Hawkins, B. Singh, G. Majeau-Bettez, and A. H. Strømman, "Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles," *Journal of Industrial Ecology*, vol. 17, no. 1, pp. 53–64, 2013, doi: 10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x.
 - [22] D. Larcher and J. M. Tarascon, "Towards greener and more sustainable batteries for electrical energy storage," *Nature Chemistry*, vol. 7, no. 1. Nature Publishing Group, pp. 19–29, 01-Jan-2015, doi: 10.1038/nchem.2085.
 - [23] S. Massari and M. Ruberti, "Rare earth elements as critical raw materials: Focus on international markets and future strategies," *Resources Policy*, vol. 38, no. 1, pp. 36–43, Mar. 2013, doi: 10.1016/j.resourpol.2012.07.001.
 - [24] J. B. Dunn, L. Gaines, J. C. Kelly, C. James, and K. G. Gallagher, "The significance of Li-ion batteries in electric vehicle life-cycle energy and emissions and recycling's role in its reduction †," 2015, doi: 10.1039/c4ee03029j.
 - [25] Ellingsen and C. Hung, *Part 2: Research for TRAN Committee - Resource and climate aspects of lithium-ion traction batteries and battery electric vehicles*, no. February. 2018.
 - [26] IEA-GHG-2000, "Greenhouse Gas Emissions from Major Industrial Sources - IV, the Aluminium Industry," *IEA GHG, 2000: Greenhouse Gas Emissions from Major Industrial Sources - IV, the Aluminium Industry*, no. April, 2000.
 - [27] J. B. Dunn, L. Gaines, J. C. Kelly, C. James, and K. G. Gallagher, "Environmental Science vehicle life-cycle energy and emissions and," pp. 158–168, 2015, doi: 10.1039/c4ee03029j.
 - [28] T. P. Hendrickson, O. Kavvada, N. Shah, R. Sathre, and C. D Scown, "Life-cycle implications and supply chain logistics of electric vehicle battery recycling in California," *Environmental Research Letters*, vol. 10, no. 1, Jan. 2015, doi: 10.1088/1748-9326/10/1/014011.
 - [29] EEA, *E.E.A. Air quality in Europe — 2017 report — EEA Report No 13/2017*, no. 13. 2017.

- [30] G. Majeau-Bettez, T. R. Hawkins, and A. H. Strømman, "Life cycle environmental assessment of lithium-ion and nickel metal hydride batteries for plug-in hybrid and battery electric vehicles," *Environmental Science and Technology*, vol. 45, no. 10, pp. 4548–4554, 2011, doi: 10.1021/es103607c.
- [31] "Nordelöf2014_Article_EnvironmentalImpactsOfHybridPl.pdf." .
- [32] H. Helms, J. Jöhrens, C. Kämper, J. Giegrich, and A. Liebich, "Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen," 2016. Accessed: 24-Jul-2020. [Online].
- [33] K. T. Rim, K. H. Koo, and J. S. Park, "Toxicological evaluations of rare earths and their health impacts to workers: A literature review," *Safety and Health at Work*, vol. 4, no. 1, pp. 12–26, 2013, doi: 10.5491/SHAW.2013.4.1.12.
- [34] EEA, "EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016: Technical guidance to prepare national emission inventories. European Environment Agency.," no. 21, p. 124, 2016, doi: 10.2800/92722.
- [35] G. A. Macmillan *et al.*, "Environmental Drivers of Rare Earth Element Bioaccumulation in Freshwater Zooplankton," *Environmental Science and Technology*, vol. 53, no. 3, pp. 1650–1660, 2019, doi: 10.1021/acs.est.8b05547.
- [36] H. C. Kim and T. J. Wallington, "Life cycle assessment of vehicle lightweighting: A physics-based model of mass-induced fuel consumption," *Environmental Science and Technology*, vol. 47, no. 24, pp. 14358–14366, Dec. 2013, doi: 10.1021/es402954w.
- [37] F. del Pero, M. Delogu, and M. Pierini, "Life Cycle Assessment in the automotive sector: A comparative case study of Internal Combustion Engine (ICE) and electric car," in *Procedia Structural Integrity*, 2018, vol. 12, pp. 521–537, doi: 10.1016/j.prostr.2018.11.066.
- [38] oc-praktikum, "Die Methode der Ökobilanz," *Oc-Praktikum*, pp. 1–12, 2018, [Online]. Available: https://www.oc-praktikum.de/nop/de/articles/pdf/LCAMethod_de.pdf.
- [39] European Commission, "Study on the review of the list of Critical Raw Materials: executive summary," *European Commission*, no. June, p. 93, 2017, doi: 10.2873/876644.
- [40] EEA, "Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report," 2018, doi: 10.2800/77428.
- [41] J. D. Widmer, R. Martin, and M. Kimiabeigi, "Electric vehicle traction motors without rare earth magnets," *Sustainable Materials and Technologies*, vol. 3, pp. 7–13, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.susmat.2015.02.001.
- [42] C. C. Pavel and E. Tzimas, *Raw materials in the European defence industry*. 2016.
- [43] U.S. EPA, "Application of Life-Cycle Assessment to Nanoscale Technology: Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles," *United States Environmental Protection Agency*, pp. 1–119, 2013, [Online]. Available: https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-01/documents/lithium_batteries_lca.pdf.
- [44] D. Larcher and J. M. Tarascon, "Towards greener and more sustainable batteries for electrical energy storage," *Nature Chemistry*, vol. 7, no. 1. Nature Publishing Group, pp. 19–29, 01-Jan-2015, doi: 10.1038/nchem.2085.

- [45] "DIRECTORATE GENERAL FOR INTERNAL POLICIES POLICY DEPARTMENT A: ECONOMIC AND SCIENTIFIC POLICY Recovery of Rare Earths from Electronic wastes: An opportunity for High-Tech SMEs STUDY." Accessed: 14-Sep-2020. [Online].
- [46] D. T. Blagoeva, P. Alves Dias, A. Marmier, and C. C. Pavel, *Assessment of potential bottlenecks along the materials supply chain for the future deployment of low-carbon energy and transport technologies in the EU. Wind power, photovoltaic and electric vehicles technologies, time frame: 2015-2030*. 2016.
- [47] A. Mayyas, M. Omar, M. Hayajneh, and A. R. Mayyas, "Vehicle's lightweight design vs. electrification from life cycle assessment perspective," *Journal of Cleaner Production*, vol. 167, pp. 687–701, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.08.145.
- [48] R. Nealer and T. P. Hendrickson, "Review of Recent Lifecycle Assessments of Energy and Greenhouse Gas Emissions for Electric Vehicles," *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, vol. 2, no. 3, pp. 66–73, 2015, doi: 10.1007/s40518-015-0033-x.
- [49] D. Hall and N. Lutsey, "Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions," 2018, doi: 10.1088/1748-9326/11/5/054010.
- [50] R. Faria, P. Marques, P. Moura, F. Freire, J. Delgado, and A. T. de Almeida, "Impact of the electricity mix and use profile in the life-cycle assessment of electric vehicles," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 24, Pergamon, pp. 271–287, 01-Aug-2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.03.063.
- [51] P. Nobis, C. Pellinger, and T. Staudacher, "eFlott - Wissenschaftliche Analyse zur Elektromobilität," *Ffe.De*, p. 222, 2011, [Online]. Available: http://www.ffe.de/download/berichte/Endbericht_Energiezukunft_2050_Teil_II.pdf.
- [52] S. Rangaraju, L. de Vroey, M. Messagie, J. Mertens, and J. van Mierlo, "Impacts of electricity mix, charging profile, and driving behavior on the emissions performance of battery electric vehicles: A Belgian case study," *Applied Energy*, vol. 148, pp. 496–505, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.01.121.
- [53] IEA, "Task 31: Fuels and energy carriers for transport Impact of different drivetrain options, fuels and vehicle use on GHG emissions of cars Using a tool to determine and compare GHG life cycle impact Final report Authors of report," 2017. Accessed: 18-Jul-2020. [Online].
- [54] Ellingsen, "The size and range effect: Life-cycle greenhouse gas emissions of electric vehicles," *CONCAWE Review*, vol. 2017, p. 6, 2017.
- [55] H. Hao, X. Cheng, Z. Liu, and F. Zhao, "China's traction battery technology roadmap: Targets, impacts and concerns," *Energy Policy*, vol. 108, pp. 355–358, 2017, doi: 10.1016/j.enpol.2017.06.011.
- [56] H. Huo, H. Cai, Q. Zhang, F. Liu, and K. He, "Life-cycle assessment of greenhouse gas and air emissions of electric vehicles: A comparison between China and the U.S.," *Atmospheric Environment*, vol. 108, pp. 107–116, May 2015, doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.02.073.
- [57] V. R. J. H. Timmers and P. A. J. Achten, "Non-exhaust PM emissions from electric vehicles," *Atmospheric Environment*, vol. 134, Elsevier Ltd, pp. 10–17, 01-Jun-2016, doi: 10.1016/j.atmosenv.2016.03.017.

- [58] N. Hooftman, L. Oliveira, M. Messagie, T. Coosemans, and J. van Mierlo, "Environmental analysis of petrol, diesel and electric passenger cars in a Belgian urban setting," *Energies*, vol. 9, no. 2, pp. 1–24, 2016, doi: 10.3390/en9020084.
- [59] A. Soret, M. Guevara, and J. M. Baldasano, "The potential impacts of electric vehicles on air quality in the urban areas of Barcelona and Madrid (Spain)," *Atmospheric Environment*, vol. 99, no. March 2018, pp. 51–63, 2014, doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.09.048.
- [60] E. Verheijen and J. Jabben, "Effect of electric cars on traffic noise and safety," *Public Health*, p. 29, 2010, doi: Report 680300009.
- [61] "1," 2013. Accessed: 10-Aug-2020. [Online]. Available: www.umweltbundesamt.de.
- [62] H. Campello-Vicente, R. Peral-Orts, N. Campillo-Davo, and E. Velasco-Sanchez, "The effect of electric vehicles on urban noise maps," *Applied Acoustics*, vol. 116, pp. 59–64, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.apacoust.2016.09.018.
- [63] C. Bauer, J. Hofer, H. J. Althaus, A. del Duce, and A. Simons, "The environmental performance of current and future passenger vehicles: Life Cycle Assessment based on a novel scenario analysis framework," *Applied Energy*, vol. 157, pp. 871–883, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.01.019.
- [64] E. Helmers, J. Dietz, and S. Hartard, "ASSESSING AND MANAGING LIFE CYCLES OF ELECTRIC VEHICLES Electric car life cycle assessment based on real-world mileage and the electric conversion scenario," *The International Journal of Life Cycle Assessment*, doi: 10.1007/s11367-015-0934-3.
- [65] Y. Wu and L. Zhang, "Can the development of electric vehicles reduce the emission of air pollutants and greenhouse gases in developing countries?," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 51, pp. 129–145, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.trd.2016.12.007.
- [66] P. Capros, "EU Reference Scenario 2016," *EU Reference Scenario 2016*, p. 27, 2016, doi: 10.2833/9127.
- [67] EEA, *European Union emission inventory report 1990–2015 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution*, no. 9. 2017.
- [68] P. Capros et al., *EU Reference Scenario 2013*. 2013.
- [69] Öko-Institut e.V, "Assessing the status of electrification of the road transport passenger vehicles and potential future implications for the environment and European energy system," p. 74, 2016, [Online]. Available: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Assessing-the-status-of-electrification-of-the-road-transport-passenger-vehicles.pdf>.
- [70] N. G. E. S. O, "Future Energy Scenarios: July 2019," no. 4031152, 2019, [Online]. Available: <http://fes.nationalgrid.com/media/1409/fes-2019.pdf>.
- [71] S. Greaves, H. Backman, and A. B. Ellison, "An empirical assessment of the feasibility of battery electric vehicles for day-to-day driving," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 66, no. 1, pp. 226–237, 2014, doi: 10.1016/j.tra.2014.05.011.
- [72] C. A. Klöckner, A. Nayum, and M. Mehmetoglu, "Positive and negative spillover effects from electric car purchase to car use," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 21, pp. 32–38, Jun. 2013, doi: 10.1016/j.trd.2013.02.007.

- [73] J. H. M. Langbroek, J. P. Franklin, and Y. O. Susilo, "Electric vehicle users and their travel patterns in Greater Stockholm," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 52, pp. 98–111, May 2017, doi: 10.1016/j.trd.2017.02.015.
- [74] M. O. Ramoni and H. C. Zhang, "End-of-life (EOL) issues and options for electric vehicle batteries," *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 15, no. 6, pp. 881–891, 2013, doi: 10.1007/s10098-013-0588-4.
- [75] S. Sakai *et al.*, "An international comparative study of end-of-life vehicle (ELV) recycling systems," *J Mater Cycles Waste Manag*, vol. 16, pp. 1–20, 2014, doi: 10.1007/s10163-013-0173-2.
- [76] "The Near-Zero European Waste Innovation Network Title: Analysis of the End of Life Vehicle value chain." Accessed: 15-Aug-2020. [Online].
- [77] M. Romare and L. Dahllöf, *The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries A Study with Focus on Current Technology and Batteries for light-duty vehicles*. 2017.
- [78] E. Gratz, Q. Sa, D. Apelian, and Y. Wang, "A closed loop process for recycling spent lithium ion batteries," *Journal of Power Sources*, vol. 262, pp. 255–262, Sep. 2014, doi: 10.1016/j.jpowsour.2014.03.126.
- [79] B. Reuter, J. Kulcsár, A. M. Bradshaw, T. Hamacher, and M. Lienkamp, "Consequences for the environmental impact during the life cycle of an electric vehicle due to different technical and methodological approaches to the treatment of the car body Conference on Future Automotive Technology : Focus Electromobility," no. June 2014, pp. 18–19, 2013.
- [80] T. Elwert *et al.*, "Current developments and challenges in the recycling of key components of (Hybrid) electric vehicles," *Recycling*, vol. 1, no. 1, pp. 25–60, 2016, doi: 10.3390/recycling1010025.
- [81] L. Gaines, "The future of automotive lithium-ion battery recycling: Charting a sustainable course," *Sustainable Materials and Technologies*, vol. 1, pp. 2–7, Dec. 2014, doi: 10.1016/j.susmat.2014.10.001.
- [82] N. Natkunarajah, M. Scharf, and P. Scharf, "Scenarios for the return of lithium-ion batteries out of electric cars for recycling," *Procedia CIRP*, vol. 29, pp. 740–745, 2015, doi: 10.1016/j.procir.2015.02.170.
- [83] J. Speirs, M. Contestabile, Y. Houari, and R. Gross, "The future of lithium availability for electric vehicle batteries," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 35. Elsevier Ltd, pp. 183–193, Jul-2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.04.018.
- [84] K. Richa, C. W. Babbitt, and G. Gaustad, "Eco-Efficiency Analysis of a Lithium-Ion Battery Waste Hierarchy Inspired by Circular Economy," *Journal of Industrial Ecology*, vol. 21, no. 3, pp. 715–730, Jun. 2017, doi: 10.1111/jiec.12607.
- [85] L. Ahmadi, M. Fowler, S. B. Young, R. A. Fraser, B. Gaffney, and S. B. Walker, "Energy efficiency of Li-ion battery packs re-used in stationary power applications," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 8, pp. 9–17, Dec. 2014, doi: 10.1016/j.seta.2014.06.006.

- [86] L. Canals Casals, B. Amante García, and L. v. Cremades, "Electric vehicle battery reuse: Preparing for a second life," *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 10, no. 2Special Issue, pp. 266–285, May 2017, doi: 10.3926/jiem.2009.
- [87] H. Idjis, D. Attias, J. C. Bocquet, and S. Richet, "Designing a sustainable recycling network for batteries from electric vehicles. Development and optimization of scenarios," in *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 2013, vol. 408, pp. 609–618, doi: 10.1007/978-3-642-40543-3_64.
- [88] G. Gaustad, M. Krystofik, M. Bustamante, and K. Badami, "Circular economy strategies for mitigating critical material supply issues," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 135, pp. 24–33, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.resconrec.2017.08.002.
- [89] C. Tagliaferri *et al.*, "Life cycle assessment of future electric and hybrid vehicles: A cradle-to-grave systems engineering approach," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 112, pp. 298–309, Aug. 2016, doi: 10.1016/j.cherd.2016.07.003.
- [90] J. van Mierlo, M. Messagie, and S. Rangaraju, "Comparative environmental assessment of alternative fueled vehicles using a life cycle assessment," in *Transportation Research Procedia*, 2017, vol. 25, pp. 3435–3445, doi: 10.1016/j.trpro.2017.05.244.
- [91] E. N. Elkind, "Reuse and Repower: How to Save Money and Clean the Grid with Second-Life Electric Vehicle Batteries," *UCLA School of Law*, no. September, pp. 1–36, 2014, [Online]. Available: https://www.law.berkeley.edu/files/ccelp/Reuse_and_Repower_-_Web_Copy.pdf.
- [92] A. Boyden, V. K. Soo, and M. Doolan, "The Environmental Impacts of Recycling Portable Lithium-Ion Batteries," *Procedia CIRP*, vol. 48, pp. 188–193, 2016, doi: 10.1016/j.procir.2016.03.100.
- [93] N. Karali, "Vehicle-Grid Integration EV Fast Charging Infrastructure," 2017. Accessed: 24-Aug-2020. [Online].
- [94] W. Su, "химияNo Title," no. 2, 2013.
- [95] M. Noori, Y. Zhao, N. C. Onat, S. Gardner, and O. Tatari, "Light-duty electric vehicles to improve the integrity of the electricity grid through Vehicle-to-Grid technology: Analysis of regional net revenue and emissions savings," 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.01.030.
- [96] E. Voumvoulakis, E. Leonidaki, and G. Papoutsis, "EVALUATION OF THE IMPACT OF PLUG-IN ELECTRIC VEHICLES IN GREEK DISTRIBUTION NETWORK," 2017. Accessed: 02-Sep-2020. [Online].
- [97] G. Haddadian, M. Khodayar, and M. Shahidehpour, "Accelerating the Global Adoption of Electric Vehicles: Barriers and Drivers," *Electricity Journal*, vol. 28, no. 10, pp. 53–68, Dec. 2015, doi: 10.1016/j.tej.2015.11.011.
- [98] EEA, "CO2 Intensity of Electricity Generation — European Environment Agency," 2017. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/co2-intensity-of-electricity-generation> (accessed Sep. 15, 2020).
- [99] "KONA by Hyundai." <https://www.hyundai.gr/hyundai-kona/> (accessed Sep. 15, 2020).
- [100] "Hyundai i30." <https://www.hyundai.gr/hyundai-i30/> (accessed Sep. 15, 2020).

- [101] “Νέο Golf | Μοντέλα | Volkswagen.” <https://www.volkswagen.gr/el/models-and-configurator/golf-8.html> (accessed Sep. 15, 2020).
- [102] “Νέο Nissan Leaf - EV - Ηλεκτροκίνητο Όχημα | Nissan.” <https://www.nissan.gr/vehicles/new-vehicles/leaf.html> (accessed Sep. 15, 2020).
- [103] “e-Golf.” <https://www.volkswagen.gr/el/models-and-configurator/e-golf.html> (accessed Sep. 15, 2020).
- [104] E. Helmers and M. Weiss, “Advances and critical aspects in the life-cycle assessment of battery electric cars,” *Energy and Emission Control Technologies*, vol. Volume 5, pp. 1–18, 2017, doi: 10.2147/eect.s60408.
- [105] UBA-DE, “1,” 2013. Accessed: 09-Sep-2020. [Online]. Available: www.umweltbundesamt.de.
- [106] S. Bóren and H. Ny, “A strategic sustainability analysis of electric vehicles in EU today and towards 2050,” *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, vol. 10, no. 3, pp. 294–302, 2016, [Online]. Available: <https://publications.waset.org/10003726/pdf>.