



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ηλεκτρικό Όχημα: Συνεισφορά και Επιπτώσεις στο
Περιβάλλον



Κωνσταντίνος Παναγιώτης Χρυσικόπουλος

A.M.: HN07429

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Γάρος, Αναπληρωτής καθηγητής



UNIVERSITY OF WEST MACEDONIA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL
& COMPUTER ENGINEERING
COURSE CURRICULUM ELECTRICAL ENGINEERING T.E.

THESIS

Electric vehicle: Contribution and effects on the
environment



Konstantinos Panagiotis Chrysikopoulos

A.M.: HN07429

Επιβλέπων: Konstantinos Gavros , Associate professor

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο “Ηλεκτρικό όχημα: Συνεισφορά και επιπτώσεις στο περιβάλλον” καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και αναφέρονται ρητώς μέσα στο κείμενο που συνοδεύουν, και η οποία έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, υπό την επίβλεψη του μέλους του Τμήματος κ. Κωνσταντίνου Γαύρου, Αναπληρωτή καθηγητή αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή / και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και μόνο.

Copyright (C) Ονοματεπώνυμο Φοιτητή & Επιβλέποντα, Έτος, Πόλη

Copyright (C) Κωνσταντίνος Παναγιώτης Χρυσικόπουλος, Κωνσταντίνος Γαύρος , 2023 , Κοζάνη

Υπογραφή Φοιτητή: _____

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η προσπάθεια μείωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων εστιάζει, σε ένα μεγάλο βαθμό, στην αξιοποίηση της ηλεκτροκίνησης των οχημάτων. Σχετικές έρευνες επιμένουν ότι η στροφή στα ηλεκτρικά οχήματα θα αποτελέσει ένα καίριο βήμα στην μείωση των ρύπων που προκαλούνται από τα καύσιμα κίνησης. Βέβαια, δεν είναι λίγες οι έρευνες που υποστηρίζουν ότι από μόνη της η στροφή στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα δεν μπορεί να εγγυηθεί κάτι τέτοιο, με δεδομένο ότι ένα σημαντικό ποσοστό της απαιτούμενης για την κίνησή τους ηλεκτρική ενέργεια προβλέπεται ότι θα προέρχεται από την καύση του άνθρακα, ενώ και η κατασκευή των μπαταριών για την αποθήκευση της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί διαδικασία ιδιαίτερα επιβαρυντική για το περιβάλλον.

Η παρούσα εργασία εξετάζει τη συνεισφορά της ηλεκτροκίνησης των οχημάτων στην μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων, ανιχνεύοντας, παράλληλα, τις επιπτώσεις της εξαιτίας των δυσκολιών που αναδύονται από την διαχείριση της απαιτούμενης για την κίνησή τους ηλεκτρική ενέργεια. Η επιχειρούμενη διερεύνηση αξιοποιεί την πρόσφατη διεθνή βιβλιογραφία.

Ως γενικό συμπέρασμα εξάγεται ότι τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν μια ιδιαίτερα θετική πρόταση στην προσπάθεια μείωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων, με την προϋπόθεση ότι θα γίνουν σημαντικές προσπάθειες στην κατεύθυνση της οικολογικής διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας, τόσο στο επίπεδο παραγωγής της, όσο και σε αυτό της αποθήκευσής της.

Λέξεις Κλειδιά: Ηλεκτρικά οχήματα, ηλεκτροκίνηση οχημάτων, ηλεκτρικά αυτοκίνητα, μείωση ατμοσφαιρικών ρύπων, προστασία περιβάλλοντος

ABSTRACT

The effort to reduce atmospheric pollutants focuses, to a large extent, on the utilization of the electrification of vehicles. Relevant research insists that the shift to electric vehicles will be a crucial step in reducing the pollution caused by motor fuels. Of course, there are not a few studies that argue that the switch to electric cars alone cannot guarantee this, given that a significant percentage of the electricity required for their movement is predicted to come from the burning of coal. In contrast, the manufacture of batteries to store the required electricity is a process that is particularly burdensome for the environment.

The present paper examines the contribution of the electrification of vehicles to the reduction of atmospheric pollutants, detecting, at the same time, its effects due to the difficulties arising from the management of the electricity required for their movement. The attempted investigation makes use of the recent international literature.

As a general conclusion, it is drawn that electric vehicles are a particularly positive proposition in reducing atmospheric pollutants, provided that significant efforts will be made in the direction of the ecological management of electricity, both at the level of its production and at that of its storage.

Keywords: Electric vehicles, electrification of vehicles, electric cars, reduction of atmospheric pollutants, environmental protection

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη	i
Abstract.....	ii
Ευχαριστίες	iv
Πίνακας Περιεχομένων	vi
Κατάλογος Εικονων	viii
Κατάλογος Πινάκων	ix
Εισαγωγή	10
Κεφάλαιο 1: ΟΔΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΑΕΡΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ – ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	12
1.1 Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου τις τελευταίες δεκαετίες	12
1.2 Η σημαντικότητα της ηλεκτροδότησης των οχημάτων	13
1.3 Ηλεκτροδότηση οχημάτων και μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων: Οι ενέργειες της Ε.Ε.	15
Κεφάλαιο 2: ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗ ΟΔΙΚΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΟΛΥΝΣΗ	24
2.1 Η ηλεκτροδότηση των οδικών μεταφορών και τη σημασία του για τις μελλοντικές τάσεις στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.....	24
2.2 Τύποι ηλεκτρικών οχημάτων.....	24
2.3 Τάσεις στις πωλήσεις και στο απόθεμα ηλεκτρικών οχημάτων	26
2.4 Αντίκτυπος των πολιτικών στην υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων.....	28
2.5 Οδηγία για την έμμεση αλλαγή χρήσης γης.....	31
2.6 Οι εκπομπές που σχετίζονται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	31
Κεφάλαιο 3: Η ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ	33
3.1 Γενικά	33
3.2 Παραγωγή ηλεκτρικών αυτοκινήτων και περιβάλλον.....	33
3.3 Υβριδικά αυτοκίνητα και περιβάλλον.....	34
3.4 Απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια τροφοδότησης ηλεκτρικού αυτοκινήτου.....	34
3.5 Είδη ηλεκτρικών αυτοκινήτων.....	35
3.6 Τεχνολογία Vehicle to Grid (V2G) και αξιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας.....	35
3.7 Λειτουργία κινητήρα ηλεκτρικού αυτοκινήτου.....	37
3.8 Τα εσωτερικά μέρη ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου.....	37
Κεφάλαιο 4: Η ΦΟΡΤΙΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ.....	39
4.1 Μπαταρίες EV (Electric Vehicle).....	39
4.2 Λειτουργία μπαταριών ηλεκτρικού αυτοκινήτου	40
4.3 Τεχνολογία μπαταριών ηλεκτρικού αυτοκινήτου.....	40
4.4 Φόρτιση ηλεκτρικού αυτοκινήτου.....	41
4.4.1 Ηλεκτρική μπαταρία αυτοκινήτου ιόντων λιθίου.....	41
4.4.2 Βασικά ευρήματα της έκθεσης του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος	41
4.5 Σύγκριση ηλεκτρικού αυτοκινήτου με βενζινοκίνητο	42
4.6 Σύγκριση ηλεκτρικού αυτοκινήτου με αυτοκίνητο κινητήρα ΜΕΚ.....	43
4.7 Προβληματισμοί των καταναλωτών	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ.....	45
5.1 Ηλεκτρικά οχήματα και ενεργειακός τομέας – μελλοντικές επιπτώσεις των εκπομπών ρύπων στην Ευρώπη.....	45
5.2 Κλιματικές και Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις.....	48
5.3 Οι χώρες που είναι πρωτοπόρες στην προώθηση και τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων	50
5.4 Σχεδιασμός για το μέλλον.....	50
5.5 Ενέργειες προώθησης της χρήσης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων από ΕΕ και Ευρωπαϊκή Επιτροπή.....	51
5.5.1 Τα ηλεκτρικά οχήματα στην Ε.Ε.....	51

5.5.2 Η σημαντικότητα του τρόπου παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας.....	52
5.6 Η άνοδος των ηλεκτρικών οχημάτων.....	52
5.6.1 Το ηλεκτρικό όχημα ως συμφέρουσα επιλογή.....	52
5.6.2 Οι πρώτες ύλες μπορεί να είναι προβληματικές.....	54
5.6.3 Η ανακύκλωση θα μπορούσε να είναι καλύτερη.....	54
5.6.3 Νέα δεδομένα.....	58
5.6.4 Αξιολόγηση των Οχημάτων ως προς τους κλιματικούς στόχους	62
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	67
ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	69
Αντίκτυπος των πολιτικών στην υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων.....	69
Προοπτικές και πιθανά σημεία συμφόρησης.....	69
Ατενίζοντας το μέλλον.....	72
Το μέλλον των βιώσιμων οδικών μεταφορών.....	73
Αντί Επιλόγου.....	77
Βιβλιογραφία.....	77

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Εκπομπές GHG από τις οδικές μεταφορές στην ΕΕ-27, 2000-2019 (Πηγή: Compilation based on EEA, 2021d)	17
Εικόνα 2. Χρονοδιάγραμμα εισαγωγής προτύπων CO ₂ , καθώς και συμπληρωματικών ρυθμίσεων (Πηγή: European Environment Agency, 2022).....	19
Εικόνα 3. Ταξινόμησεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων (αριστερός άξονας) και μερίδιο ηλεκτρικών αυτοκινήτων στο συνολικό απόθεμα αυτοκινήτων (δεξιός άξονας) στην Ε.Ε. – 27, 2008-2020 (Πηγή: European Environment Agency, 2022).....	26
Εικόνα 4. Μερίδιο ηλεκτρικά φορτιζόμενων φορτηγών, λεωφορείων και φορτηγών στις πωλήσεις νέων οχημάτων στην ΕΕ-27, 2018-2020 (Πηγή: ACEA (2021b).....	28
Εικόνα 5. Σύνολο και μερίδιο του αποθέματος ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων στην ΕΕ-27 έως τον Δεκέμβριο του 2020 (European Environment Agency, 2022)	30
Εικόνα 6. Αμφίδρομη φόρτιση V2G (Πηγή: Renault Group, 2019).....	36
Εικόνα 7. Χαρακτηριστικά μπαταρίας ηλεκτρικού αυτοκινήτου (Πηγή: https://www.edfenergy.com/electric-cars/batteries).....	39
Εικόνα 8. Απαιτούμενη ενέργεια ηλεκτρικών οχημάτων ως ποσοστό της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας το 2050 (Πηγή: http://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Assessing-the-status-of-electrification-of-the-road-transport-passenger-vehicles.pdf).....	47
Εικόνα 9. Προβλέψεις αλλαγών στις εκπομπές CO ₂ στους τομείς της ενέργειας και των οδικών μεταφορών (Πηγή: http://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Assessing-the-status-of-electrification-of-the-road-transport-passenger-vehicles.pdf).....	49
Εικόνα 10. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και μέσο κόστος χρήσης αυτοκινήτου ανά μήνα (συμπεριλαμβανομένης της τιμής αγοράς, της συντήρησης και των καυσίμων) (Πηγή: http://carboncounter.com).....	57
Εικόνα 11. Σύγκριση αυτοκινήτων ως προς τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και το μηνιαίο κόστος χρήσης (συμπεριλαμβανομένης της τιμής αγοράς, της συντήρησης και των καυσίμων) (Πηγή: http://carboncounter.com).....	58

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. (a) Πίνακας μικτού κόστους - εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. (b) Πίνακας καθαρού κόστους αυτοκινήτου - εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (Πηγή: Miotti et al., 2016).....	59
Πίνακας 2. Σύγκριση τεχνολογιών μετάδοσης κίνησης - εκπομπών αερίων θερμοκηπίου ως προς το κόστος αγοράς οχήματος (Πηγή: Miotti et al., 2016).....	60
Πίνακας 3. Πίνακας μικτού κόστους αυτοκινήτου - εκπομπών αερίων θερμοκηπίου για τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις πηγής ενέργειας (Πηγή: Miotti et al., 2016)	62
Πίνακας 4. Μέσος όρος εκπομπών αερίων θερμοκηπίου ανά είδος ενέργειας κίνησης οχημάτων με δεδομένα βάσης 2014 (Πηγή: Miotti et al., 2016).....	63
Πίνακας 5. Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ως συνάρτηση του μεριδίου ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλών εκπομπών άνθρακα (Πηγή: Miotti et al., 2016).....	65

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αναδύεται ολοένα και εντονότερα στην Ευρώπη. Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, το πλαίσιο της πολιτικής που αφορά στο κλίμα και την ενέργεια της ΕΕ είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG) σε όλους τους τομείς, εκτός από τις μεταφορές. Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία αναφέρει ότι η επίτευξη του στόχου της κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050 προϋποθέτει μείωση κατά 90% έως το 2050 στο σύνολο των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στις μεταφορές, συγκριτικά με το 1990. Οι οδικές μεταφορές διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην επίτευξη αυτού του στόχου, καθώς αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 70% των μεταφορών της ΕΕ σε εκπομπές GHG.

Οι περιβαλλοντικές εξωτερικές επιπτώσεις που συνδέονται με τις οδικές μεταφορές, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, μπορούν να περιοριστούν με έναν συνδυασμό στρατηγικών «Αποφυγή, Μετατόπιση, Βελτίωση» (Avoid, Shift, Improve - ASI) (Dalkmann and Brannigan, 2007):

- Οι στρατηγικές «αποφυγής» στοχεύουν στη μείωση του αριθμού των ταξιδιών ή της διάρκειας ταξιδιού.
- Οι στρατηγικές «μετατόπισης» στοχεύουν σε μια στροφή προς περισσότερο φιλικούς προς το περιβάλλον τρόπους μεταφοράς. Μαζί με τις στρατηγικές αποφυγής, αντιμετωπίζουν τη ζήτηση μεταφορών ως τον πλέον καθοριστικό παράγοντα των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, οι οποίες αποδίδονται στις οδικές μεταφορές και διαμορφώνουν το επίκεντρο αυτής της έκθεσης, αποτελούνται από σχεδόν 99% από διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Ορισμένοι από τους κανονισμούς της ΕΕ που σχετίζονται με τα οχήματα αφορούν ειδικά στις εκπομπές CO₂.
- Οι στρατηγικές «βελτίωσης» αφορούν στη βελτίωση των τεχνολογιών οχημάτων και καυσίμων, ώστε να είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον.

Σε αντίθεση με άλλους τομείς, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου όσον αφορά στον τομέα των μεταφορών έχουν αυξηθεί τις τελευταίες τρεις δεκαετίες. Οι εκπομπές από τις μεταφορές αυξήθηκαν κατά 33,5% μεταξύ 1990 και 2019. Το 2019, οι μεταφορές ήταν υπεύθυνες για το ένα τέταρτο, περίπου, των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της ΕΕ. Οι οδικές μεταφορές αντιπροσώπευαν το 72% των εκπομπών της ΕΕ από το σύνολο των μεταφορών. Με τα

υφιστάμενα μέτρα πολιτικής, οι εκπομπές που οφείλονται στις μεταφορές προβλέπεται να μειωθούν μόνο κατά 22% ως το 2050 σε σύγκριση με το 1990. Αυτό απέχει πολύ από τη μείωση κατά 90% για τις μεταφορές που επιδιώκει η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία έως το 2050.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΟΔΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΑΕΡΙΑ

ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ – ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

1.1 Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου τις τελευταίες δεκαετίες

Οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου που δημιουργούν οι οδικές μεταφορές αυξήθηκαν μεταξύ 1990 και 2019. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι μεταφορές ευθύνονται για το 25% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου της ΕΕ, ενώ οι οδικές μεταφορές αντιπροσωπεύουν τα τρία τέταρτα αυτών των ρύπων (72% το 2019). Οι συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στις μεταφορές αυξήθηκαν περισσότερο από 33% μεταξύ 1990 και 2019 και οι εκπομπές των οδικών μεταφορών κατά σχεδόν 28%. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα υπάρχοντα μέτρα πολιτικής, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από τις μεταφορές προβλέπεται να είναι 3,5% υψηλότερες ως το 2030 σε σχέση με το 1990 και να μειωθούν μόνο κατά 22% έως το 2050 σε σύγκριση με τα αντίστοιχα επίπεδα του 1990. Αυτό απέχει πολύ από τη μείωση κατά 90 % έως το 2050 που απαιτείται από τις μεταφορές για να επιτευχθεί ο συνολικός στόχος για την κλιματική ουδετερότητα του 2050. Ειδικά, οι οδικές μεταφορές προβλέπεται να έχουν ελαφρώς καλύτερες επιδόσεις, με τις εκπομπές να μειώνονται κατά 4% έως το 2030 και κατά 35% έως το 2050, σε σύγκριση με το 1990. Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι εκπομπές CO₂ από επιβατικά αυτοκίνητα στα 27 κράτη – μέλη της ΕΕ (ΕΕ-27) αυξήθηκαν κατά 5,8% μεταξύ 2000 και 2019. Ο κύριος κινητήριος παράγοντας που συνέβαλε στην αύξηση αυτή ήταν η αύξηση κατά 16,6% στον όγκο των μεταφορών επιβατών, σε συνδυασμό με το κυρίαρχο και ελαφρώς αυξανόμενο μερίδιο των μεταφορών αυτοκινήτων μεταξύ των χερσαίων τρόπων μεταφοράς. Αυτό το αποτέλεσμα αντισταθμίστηκε εν μέρει από τη βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση, δηλαδή τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας ανά επιβάτη-χιλιόμετρο και από τη χρήση βιοκαυσίμων. Για τα βαρέα φορτηγά οχήματα, οι εκπομπές CO₂ αυξήθηκαν κατά 5,5% μεταξύ 2000 και 2019. Όσον αφορά στα επιβατικά αυτοκίνητα, η αύξηση της δραστηριότητας των μεταφορών ήταν ο σημαντικότερος παράγοντας που οδήγησε τις εκπομπές προς τα πάνω. Οι εσωτερικές εμπορευματικές μεταφορές και συγκεκριμένα οι οδικές, οι σιδηροδρομικές, οι εσωτερικές

πλωτές οδοί και οι πετρελαιαγωγοί) αυξήθηκαν κατά 22% μεταξύ 2000 και 2019, με διακυμάνσεις που σχετίζονται στενά με τις γενικές τάσεις της οικονομικής δραστηριότητας. Η επίδραση του αυτή στην αύξηση των εκπομπών ενισχύθηκε από το κυρίαρχο και αυξανόμενο μερίδιο των οδικών μεταφορών. Ο σημαντικότερος παράγοντας που αντιστάθμισε εν μέρει την επίδραση της δραστηριότητας των μεταφορών ήταν η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης (μείωση της κατανάλωσης ενέργειας ανά τόνο - χιλιόμετρο) (European Environment Agency, 2022).

1.2 Η σημαντικότητα της ηλεκτροδότησης των οχημάτων

Μέχρι το 2019, η ηλεκτροδότηση του στόλου των οχημάτων δεν έπαιξε ακόμη ουσιαστικό ρόλο στην προσπάθεια μείωσης των εκπομπών CO₂ από τις οδικές μεταφορές. Ωστόσο, αναμένεται να αποκτήσει μεγαλύτερη σημασία τα επόμενα χρόνια.

Οι κλιματικές επιπτώσεις ενός επιβατικού χιλιομέτρου που διανύεται με αυτοκίνητο είναι, επί του παρόντος, σημαντικά υψηλότερες από αυτές των λεωφορείων και των τρένων, καθώς και των ενεργών τρόπων μετακίνησης (περπάτημα και ποδήλατο). Ομοίως, οι κλιματικές επιπτώσεις ενός τόνο - χιλιομέτρου που μεταφέρεται με φορτηγά υπερβαίνουν επί του παρόντος τις επιπτώσεις της σιδηροδρομικής και της εσωτερικής ναυσιπλοΐας. Το μερίδιο των αυτοκινήτων στις χερσαίες επιβατικές μεταφορές και το μερίδιο των φορτηγών στις εσωτερικές εμπορευματικές μεταφορές έχει αυξηθεί, αυξάνοντας έτσι τις κλιματικές επιπτώσεις του τομέα των μεταφορών.

Τα τελευταία 10 χρόνια, τα πρότυπα απόδοσης CO₂ για νέα αυτοκίνητα και φορτηγά έχουν σταδιακά αυστηροποιηθεί στην ΕΕ. Για τα νέα φορτηγά, τα πρώτα πρότυπα υιοθετήθηκαν το 2019. Οι πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων (ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία και plug-in υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα) έχουν αυξηθεί από το 2017, τριπλασιάζοντας τα ποσοστά τους το 2020, όταν άρχισαν να εφαρμόζονται νέοι στόχοι. Ο αριθμός των νέων ηλεκτρικών οχημάτων διαφοροποιείται, ως προς τις πωλήσεις, σημαντικά μεταξύ των κρατών – μελών της ΕΕ. Μέχρι τώρα, οι υψηλότεροι όγκοι πωλήσεων καταγράφηκαν σε χώρες με σχετικά υψηλό κατά κεφαλήν ακαθάριστο εγχώριο προϊόν. Μεταξύ των κρατών μελών με παρόμοια επίπεδα εισοδήματος, οι διαφορές στην απορρόφηση ηλεκτρικών οχημάτων εξηγούνται εν μέρει από τη διακύμανση των εθνικών και τοπικών μέτρων πολιτικής.

Η απόδοση CO₂ ολόκληρου του αποθέματος οχημάτων έχει, επίσης, βελτιωθεί, τόσο για τα επιβατικά αυτοκίνητα όσο και για βαρέως τύπου φορτηγά οχήματα. Για το τελευταίο, αυτό εξηγείται εν μέρει από βελτιώσεις στην απόδοση καυσίμου και στη λειτουργική απόδοση.

Για την επίτευξη των κλιματικών στόχων του 2030 και του 2050, θα χρειαστεί αύξηση του μεριδίου των ηλεκτρικών οχημάτων στο απόθεμα οχημάτων. Τα σημεία συμφόρησης που θα μπορούσαν να παρεμποδίσουν τη μελλοντική ηλεκτροδότηση είναι η παροχή υποδομής φόρτισης και η ανάγκη να καλυφθεί η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας των ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς και η προμήθεια πρώτων υλών για μπαταρίες. Οι αναδυόμενες καινοτόμες λύσεις, καθώς και η υπάρχουσα και η προτεινόμενη νομοθεσία, θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση αυτών των σημείων συμφόρησης. Τα καύσιμα οδικών μεταφορών παραμένουν υψηλής έντασης σε περιεκτικότητα άνθρακα, ιδιαίτερα λαμβάνοντας υπόψη την έμμεση αλλαγή χρήσης γης για την καλλιέργεια των πρώτων υλών που προορίζονται για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Η μείωση της έντασης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου του μείγματος καυσίμων των οδικών μεταφορών οφείλεται κυρίως στο υψηλότερο μερίδιο των βιοκαυσίμων, ένας στόχος για τον οποίο υπάρχει ιδιαίτερη μνεία στο RED II (EU Science Hub – European Commission). Το 2020, προσδιορίστηκε ότι το μέσο ποσοστό ενέργειας από ανανεώσιμα καύσιμα στις μεταφορές στην ΕΕ-27 ήταν 10,2%: το μεγαλύτερο μέρος αυτού του μεριδίου είναι βιοκαύσιμα. Καθώς το μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων αυξάνεται, η ένταση άνθρακα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θα γίνεται όλο και πιο σημαντική για την αξιολόγηση του πλήρους κλιματικού αντίκτυπου των οδικών μεταφορών. Στη βάση των μελλοντικών προοπτικών, θα πρέπει να αξιοποιηθούν όλοι οι παράγοντες για να διασφαλιστεί η απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές. Με το τρέχον πλαίσιο πολιτικής, προβλέπεται ότι οι εκπομπές CO₂ που οφείλονται στις οδικές μεταφορές στην ΕΕ θα μειωθούν κατά 35% μέχρι το 2050 (συγκριτικά με το 1990). Η μείωση θα οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην αυξημένη απόδοση των οχημάτων, συμπεριλαμβανομένης της στροφής προς τα ηλεκτρικά οχήματα. Η ζήτηση για τις μεταφορές προβλέπεται να αυξηθεί και η στροφή των μεταφορών θα έχει περιορισμένη επίδραση στις εκπομπές. Ωστόσο, οι προβλεπόμενοι κινητήριοι παράγοντες μελλοντικών μειώσεων των εκπομπών από μόνοι τους δεν θα έχουν την ίδια επίδραση σε άλλες επιπτώσεις στο περιβάλλον, όπως ο θόρυβος και οι ρύποι του αέρα χωρίς καυσαέρια, η συμφόρηση, η απώλεια βιοποικιλότητας και η χρήση πόρων. Για να εξασφαλιστεί ότι οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου από τις οδικές μεταφορές θα μειωθούν ικανοποιητικά και ότι θα ελαχιστοποιηθούν και άλλες επιπτώσεις, θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν παράγοντες που μέχρι στιγμής οδήγησαν τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου προς τα πάνω (μερίδια ζήτησης και τρόπου μεταφοράς) προκειμένου να μειωθεί ο αντίκτυπος των αερίων θερμοκηπίου στις οδικές μεταφορές.

Οι παγκόσμιες συγκεντρώσεις GHG στην ατμόσφαιρα έχουν ήδη φθάσει σε επίπεδα που δεν πρέπει να ξεπεραστούν, σύμφωνα με την Διακυβερνητική Επιτροπή Κλιματικής Αλλαγής

(IPCC), ώστε να περιοριστεί η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1,5°C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα, έως το 2100. Η πρόσφατη αξιολόγηση από την IPCC υποδεικνύει ότι, χωρίς σημαντικές μειώσεις των εκπομπών, η υπερθέρμανση της γης κατά 1,5°C και 2°C θα ξεπεραστεί (IPCC, 2021).

Τον Δεκέμβριο του 2015 υπεγράφη η Συμφωνία του Παρισιού από 197 χώρες. Δεσμεύτηκαν να μειώσουν ουσιαστικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε παγκόσμιο επίπεδο για να περιορίσουν την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας αυτόν τον αιώνα στους 2°C, ενώ επιδιώκουν τρόπους για να περιορίσουν ακόμη περισσότερο την αύξηση, στους 1,5°C (OHE, 2021b). Η, ήδη παρατηρούμενη, αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 1°C καθιστά αυτόν τον στόχο πολύ δύσκολο. Σύμφωνα με τα Ηνωμένα Έθνη, ο περιορισμός της θέρμανσης στους 1,5°C δεν είναι αδύνατος, ωστόσο απαιτεί άνευ προηγουμένου αλλαγές σε όλες τις πτυχές της κοινωνίας, με τα επόμενα 10 χρόνια να είναι κρίσιμα. Μέχρι το 2030, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) σε παγκόσμιο επίπεδο είναι απαραίτητο να μειωθούν κατά περίπου 45% σε σύγκριση με τα επίπεδα που καταγράφηκαν το 2010 και να φτάσουν στις επιζητούμενες καθαρές μηδενικές εκπομπές μέχρι το 2050 περίπου (UN, 2021a).

1.3 Ηλεκτροδότηση οχημάτων και μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων: Οι ενέργειες της Ε.Ε.

Υπάρχει ένα πλούσιο νομοθετικό πλαίσιο για την υποστήριξη των στόχων της ΕΕ σχετικά με την επίτευξη των κλιματικών της στόχων, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης των εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου στις οδικές μεταφορές. Επιπλέον, η οδηγία που αφορά στην ενεργειακή απόδοση, καθώς και η οδηγία για τη φορολογία της ενέργειας έχουν επίσης αντίκτυπο στον τομέα των οδικών μεταφορών. Για παράδειγμα, ιστορικά, έχει αποδειχθεί ότι οι υψηλοί φόροι συνέβαλαν σε αυτοκίνητα με μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου και, συνεπώς, σε χαμηλότερες μέσες εκπομπές CO₂ ανά όχημα-χιλιόμετρο του αποθέματος αυτοκινήτου στην ΕΕ από το απόθεμα αυτοκινήτων στις Ηνωμένες Πολιτείες, το οποίο έχει χαμηλότερους επικρατούντες φόρους καυσίμων (Eberhard et al., 2000).

Σε αντίθεση με άλλους τομείς, οι εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου που οφείλονται στις μεταφορές αυξήθηκαν τις τελευταίες τρεις δεκαετίες. Μετά από μια σύντομη πτώση από την οικονομική κρίση του 2008-2009, οι εκπομπές άρχισαν να αυξάνονται ξανά. Τα προκαταρκτικά στοιχεία δείχνουν ότι το 2020, ως αποτέλεσμα της κρίσης του COVID-19, οι εκπομπές μειώθηκαν (EEA, 2021a). Το 2019, οι οδικές μεταφορές αντιπροσώπευαν ποσοστό

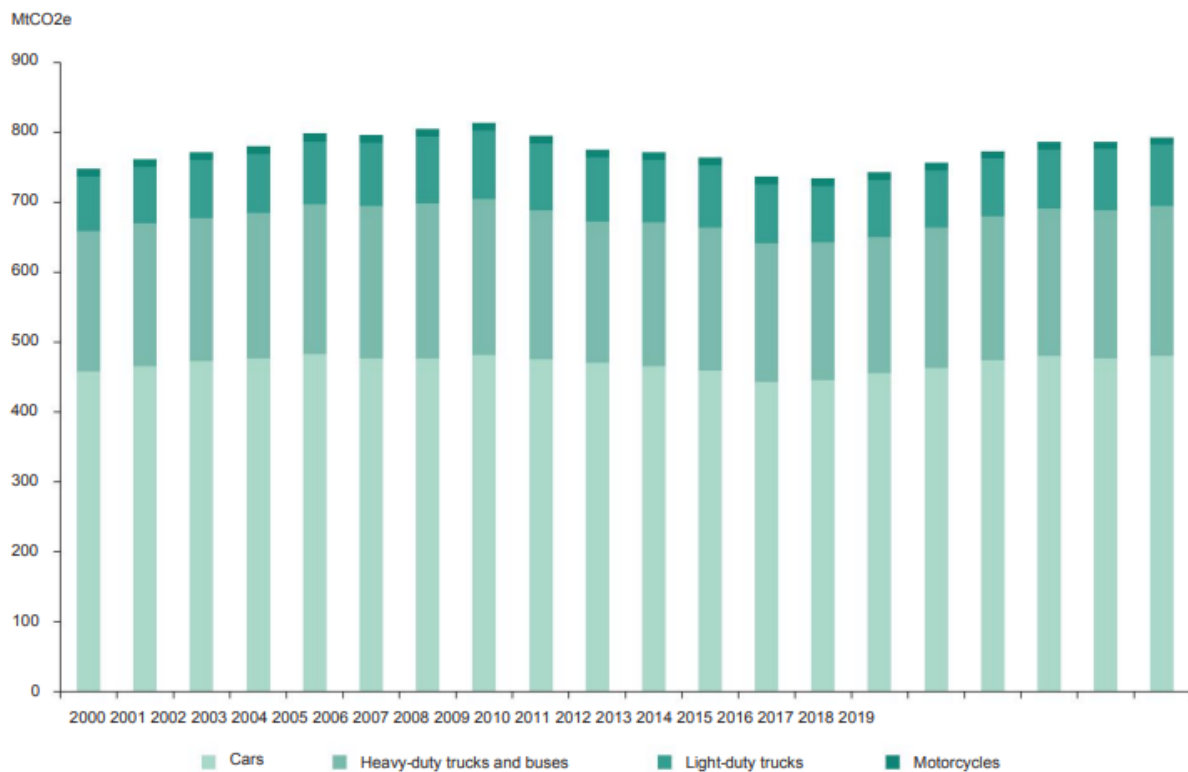
της τάξης του 71,7% των εκπομπών στον τομέα των μεταφορών της ΕΕ-27. Μεταξύ των τρόπων οδικών μεταφορών, τα αυτοκίνητα έχουν κυρίαρχο ρόλο, αντιπροσωπεύοντας το 60,6% των εκπομπών, ακολουθούμενα από τα βαρέα φορτηγά και τα λεωφορεία, τα οποία συγκεντρώνουν το 27,1% των συνολικών εκπομπών ρύπων από τις οδικές μεταφορές το 2019.

Σύμφωνα με το Σενάριο Αναφοράς ΕΕ 2020 (EC, 2021c), οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου που προέρχονται από τις μεταφορές προβλέπεται να μειωθούν και οι οδικές μεταφορές αναμένεται να συμβάλουν σε μεγάλο μέρος αυτής της μείωσης. Στις οδικές μεταφορές, οι περισσότερες μειώσεις εκπομπών προβλέπεται να προέρχονται από επιβατικά αυτοκίνητα.

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από οφείλονται στα επιβατικά αυτοκίνητα στα 27 κράτη μέλη της ΕΕ αυξήθηκαν κατά 5,8% μεταξύ 2000 και 2019. Ο κύριος παράγοντας που συνέβαλε στην αύξηση αυτή ήταν η αύξηση κατά 16% στον όγκο των μεταφορών επιβατών, σε συνδυασμό με το κυρίαρχο και ελαφρώς αυξανόμενο μερίδιο των μεταφορών αυτοκινήτων μεταξύ των χερσαίων τρόπων μεταφοράς. Αυτό το αποτέλεσμα αντισταθμίστηκε εν μέρει από τη βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση, δηλαδή τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας ανά επιβάτη-χιλιόμετρο, και από τη χρήση βιοκαυσίμων. Για τα βαρέα φορτηγά οχήματα, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αυξήθηκαν κατά 5,5% μεταξύ 2000 και 2019, κυρίως λόγω της αύξησης της δραστηριότητας των εμπορευματικών μεταφορών. Αυτό ενισχύθηκε από το αυξανόμενο μερίδιο των οδικών μεταφορών μεταξύ των χερσαίων τρόπων μεταφοράς. Ο σημαντικότερος παράγοντας που αντισταθμισε την αύξηση των εκπομπών ήταν η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, η οποία ήταν πιο σημαντική από ό,τι για τα επιβατικά αυτοκίνητα.

Τα αυτοκίνητα και τα βαρέα επαγγελματικά οχήματα (τα οποία περιλαμβάνουν λεωφορεία, πούλμαν και φορτηγά) είναι υπεύθυνα για τις περισσότερες εκπομπές των οδικών μεταφορών (Εικόνα 1). Μαζί αντιπροσώπευαν σχεδόν το 88% των εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου στις οδικές μεταφορές το 2019. Μεταξύ των βαρέων επαγγελματικών οχημάτων, τα βαρέα φορτηγά οχήματα που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά εμπορευμάτων είναι η κατηγορία με τις μεγαλύτερες εκπομπές (EC, 2021e).

Εικόνα 1. Εκπομπές GHG από τις οδικές μεταφορές στην ΕΕ-27, 2000-2019 (Πηγή: Compilation based on EEA, 2021d)



Οι δύο κύριοι παράγοντες που εξουδετερώνουν τις επιπτώσεις της δραστηριότητας των μεταφορών και συμβάλλουν σε χαμηλότερες εκπομπές CO₂ είναι η υψηλότερη ενεργειακή απόδοση των επιβατικών αυτοκινήτων (η κατανάλωση ενέργειας ανά επιβάτη-χιλιόμετρο μειώθηκε λίγο περισσότερο από 6%) και το υψηλότερο μερίδιο βιοκαυσίμων. Οι βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση είχαν αποτέλεσμα από το 2009, όταν ήταν υποχρεωτικός ο έλεγχος των εκπομπών ρύπων στην προσπάθεια επίτευξης των στόχων μείωσης για τα νέα αυτοκίνητα που πωλούνται στην ΕΕ. Καθώς ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης λαμβάνει υπόψη όλες τις πηγές ενέργειας που καταναλώνονται από τις οδικές μεταφορές, συμπεριλαμβανομένης της ηλεκτρικής ενέργειας, αυτή η επίδραση της ενεργειακής απόδοσης συνδέεται επίσης με την υιοθέτηση ανάλυσης των αποτελεσμάτων της κίνησης των ηλεκτρικών οχημάτων τα τελευταία χρόνια στην μείωση της ρύπανσης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι την εξεταζόμενη περίοδο (2000-2019) η ηλεκτροκίνηση των επιβατικών αυτοκινήτων δεν έχει παίξει ακόμη σημαντικό ρόλο στη μείωση των εκπομπών.

Από το 2009, τα πρότυπα απόδοσης των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα για νέα αυτοκίνητα και για φορτηγά οχήματα έχουν σταδιακά αυστηροποιηθεί στην ΕΕ. Για τα νέα φορτηγά, τα πρώτα πρότυπα υιοθετήθηκαν το 2019. Οι πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων

(ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία και plug-in υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα) έχουν αυξηθεί από το 2017, ενώ τριπλασιάστηκε το 2020, όταν άρχισαν να εφαρμόζονται νέοι στόχοι.

Όπως και παραπάνω αναφέρθηκε, ο αριθμός των νέων ηλεκτρικών οχημάτων διαφέρει σε σημαντικό βαθμό σημαντικά μεταξύ των κρατών – μελών της ΕΕ. Μέχρι τώρα, οι υψηλότεροι όγκοι πωλήσεων είχαν καταγραφεί σε χώρες με σχετικά υψηλό κατά κεφαλήν ακαθάριστο εγχώριο προϊόν.

Η απόδοση του διοξειδίου του άνθρακα ολόκληρου του αποθέματος οχημάτων έχει επίσης βελτιωθεί, τόσο για τα αυτοκίνητα όσο και για τα βαρέα φορτηγά οχήματα. Για το τελευταίο, αυτό εξηγείται εν μέρει από βελτιώσεις στην απόδοση καυσίμου και στη λειτουργική απόδοση.

Προκειμένου να επιτευχθούν οι κλιματικοί στόχοι του 2030 και του 2050 θα χρειαστεί αύξηση του μεριδίου των ηλεκτρικών οχημάτων στο απόθεμα οχημάτων. Τα σημεία συμφόρησης που θα μπορούσαν να παρεμποδίσουν τη μελλοντική ηλεκτροδότηση είναι η παροχή υποδομής φόρτισης, η ανάγκη αντιμετώπισης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας των ηλεκτρικών οχημάτων και η προμήθεια πρώτων υλών για μπαταρίες. Οι αναδυόμενες καινοτόμες λύσεις, καθώς και η υπάρχουσα και η προτεινόμενη νομοθεσία, θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση αυτών των σημείων συμφόρησης.

Η βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση των οχημάτων (ενέργεια που καταναλώνεται ανά χιλιόμετρο), προσδιορίζεται ως ένας από τους πλέον σημαντικούς παράγοντες περιορισμού της αύξησης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG) στις οδικές μεταφορές. Οι βελτιώσεις στην απόδοση των οχημάτων μπορούν να επιτευχθούν αναπτύσσοντας νέες τεχνολογίες οχημάτων και αυξάνοντας την υιοθέτηση των υφιστάμενων τεχνολογιών, στις οποίες οι πολιτικές διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο. Αυτό το κεφάλαιο εξετάζει λεπτομερέστερα την πολιτική της ΕΕ, η οποία αποσκοπεί συγκεκριμένα στη βελτίωση της απόδοσης των οχημάτων, ιδίως των προτύπων απόδοσης εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) της ΕΕ για νέα οχήματα. Αναλύει τις τάσεις στην απόδοση των εκπομπών, τόσο των νέων οχημάτων όσο και του αποθέματος οχημάτων, καθώς και των υποκείμενων καθοριστικών παραγόντων.

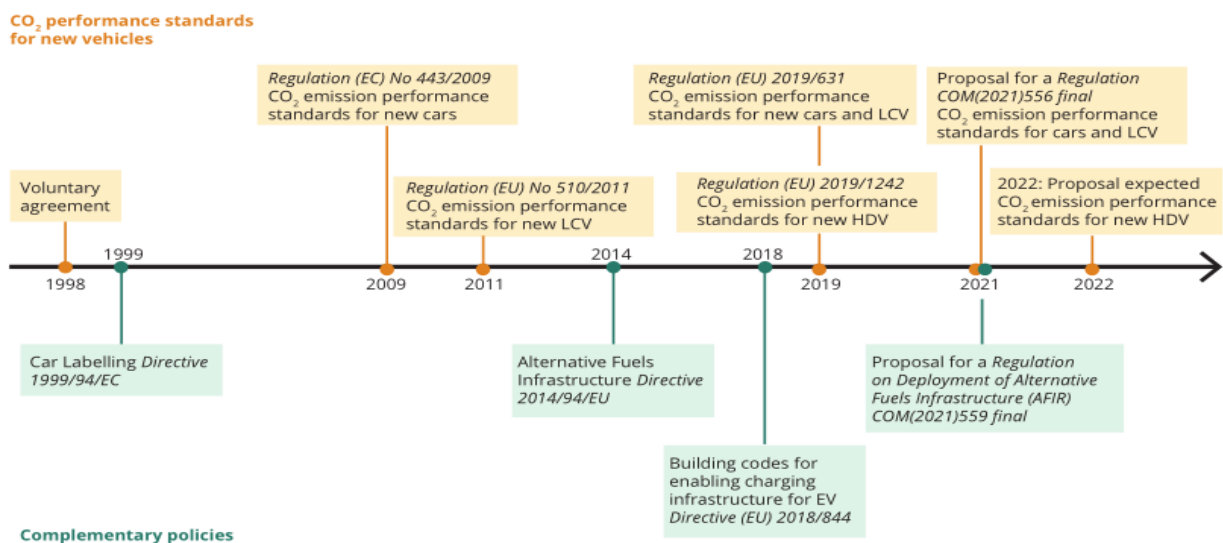
Το 1998 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή και η Ευρωπαϊκή Ένωση Κατασκευαστών Αυτοκινήτων (ACEA) υπέγραψαν εθελοντική συμφωνία στην οποία η ACEA δεσμεύτηκε να επιτύχει στόχο εκπομπών 140 g CO₂/km για νέα επιβατικά αυτοκίνητα έως το 2008. Οι εθελοντικές δεσμεύσεις από Ιάπωνες και Κορεάτες κατασκευαστές περιλάμβαναν την επίτευξη του ίδιου στόχου έως το 2009. Ωστόσο, το 2008 ο μέσος ρυθμός εκπομπών των νέων αυτοκινήτων ήταν 154 g CO₂/km, σημαντικά υψηλότερος από τον στόχο (EEA, 2010). Η έλλειψη προόδου

οδήγησε στη θέσπιση ενός κανονισμού (EU, 2009), ο οποίος στόχευε στον έλεγχο των μέσων εκπομπών των νέων αυτοκινήτων που ταξινομούνται στην ΕΕ, θέτοντας υποχρεωτικούς στόχους σε όλο τον στόλο της ΕΕ για νέα αυτοκίνητα, οι οποίοι σταδιακά έγιναν αυστηρότεροι: από 130 g CO₂/km το 2015 (με σταδιακή εισαγωγή από το 2012) σε 95 g CO₂/km το 2021 (με σταδιακή εισαγωγή από το 2020). Το 2011 εγκρίθηκε παρόμοιος κανονισμός για καινούργια ελαφρά επαγγελματικά οχήματα (βαν) (EU, 2011), ορίζοντας σαν στόχο για το σύνολο του στόλου των οχημάτων της ΕΕ ως προς τις μέσες εκπομπές CO₂ των νέων φορτηγών σε 175 g CO₂/km το 2017 (με σταδιακή εισαγωγή από το 2014), μειώνοντας σε 147 g CO₂/km το 2020.

Τον Ιανουάριο του 2020, αυτοί οι δύο κανονισμοί αντικαταστάθηκαν από έναν νέο κανονισμό προτύπων (EU, 2019c), ο οποίος καλύπτει τόσο τα νέα επιβατικά όσο και τα νέα ελαφρά επαγγελματικά οχήματα. Ο παρών κανονισμός διατηρεί τους στόχους του 2020 που ορίζονται στους προηγούμενους κανονισμούς και εισάγει νέους στόχους για το σύνολο του στόλου της ΕΕ για το 2025 και το 2030, οι οποίοι ορίζονται ως ποσοστιαία μείωση του σημείου εκκίνησης του 2021 (Εικόνα 2):

- για τα καινούργια επιβατικά αυτοκίνητα — μείωση 15% από το 2025 και μετά και μείωση 37,5% από το 2030 και μετά
- για νέα ελαφρά επαγγελματικά οχήματα — μείωση 15% από το 2025 και μετά και μείωση 31% από το 2030 και μετά

Εικόνα 2. Χρονοδιάγραμμα εισαγωγής προτύπων CO₂, καθώς και συμπληρωματικών ρυθμίσεων (Πηγή: European Environment Agency, 2022)



Επεξηγήσεις: Πρότυπα απόδοσης CO₂ για νέα οχήματα (πορτοκαλί πλαίσια) και οι συμπληρωματικές πολιτικές (πράσινα πλαίσια).

HDV: βαρέως τύπου όχημα - **LCV**: ελαφρύ επαγγελματικό όχημα.

Το σύστημα που προβλέπεται στους κανονισμούς προτύπων εκπομπών CO₂ παρέχει ευελιξία στους κατασκευαστές να αποφασίσουν πώς να συμμορφωθούν και, επομένως, να βελτιώσουν τη σχέση κόστους – αποτελεσματικότητας στην επίτευξη των προτύπων (Littlejohn and Proost, 2019; KU Leuven, 2020). Οι κατασκευαστές μπορούν να αποφασίσουν πόσα θα επενδύσουν σε έρευνα και ανάπτυξη, προκειμένου να βελτιώσουν την απόδοση των οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης ή/και να επενδύσουν στην καινοτομία για να κάνουν τα ηλεκτρικά οχήματα φθηνότερα και/ή να επιτύχουν καλύτερες επιδόσεις από ό,τι σήμερα.

Μια ανάλυση των στρατηγικών των κατασκευαστών δείχνει ότι οι πραγματικές μειώσεις στις εκπομπές CO₂ που σημειώθηκαν στην αγορά αυτοκινήτου της ΕΕ μεταξύ 1998 και 2011 επιτεύχθηκαν κυρίως με την υιοθέτηση τεχνολογιών που βελτιώνουν την απόδοση καυσίμου του στόλου οχημάτων (Reynaert, 2021). Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, άλλες στρατηγικές που ήταν διαθέσιμες στους κατασκευαστές, όπως η μετατόπιση του μείγματος πωλήσεων προς οχήματα με εκπομπές CO₂ κάτω από τον στόχο ή η αύξηση του μεριδίου μικρότερων και πιο αποδοτικών οχημάτων, ήταν λιγότερο σημαντικές. Στο παρελθόν, έχει παρατηρηθεί ότι οι κατασκευαστές πέτυχαν τους στόχους τους εν μέρει βελτιστοποιώντας τις εκπομπές των οχημάτων τους κατά τον κύκλο δοκιμών, αντί να στοχεύουν στη μείωση των εκπομπών στο δρόμο. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο αναπτύχθηκε μια νέα διαδικασία δοκιμών, η World Harmonized Light Vehicle Test Procedure (WLTP), (Lin and Linn, 2019). Για αυτοκίνητα και φορτηγά, οι επίσημα αναφερόμενες εκπομπές CO₂ έως το 2020 βασίζονται σε μετρήσεις που χρησιμοποιούν τον Νέο Ευρωπαϊκό Κύκλο Οδήγησης (NEDC), αλλά από το 2018 οι χώρες έχουν αρχίσει επίσης να αναφέρουν εκπομπές CO₂ με βάση το WLTP, το οποίο αντιπροσωπεύει καλύτερα την πραγματική οδήγηση συνθήκες. Από το 2021 και μετά, η αξιολόγηση συμμόρφωσης θα βασίζεται πλήρως στα δεδομένα WLTP.

Τα ηλεκτρικά οχήματα απαιτούν υποδομή φόρτισης, χωρίς όμως να υφίσταται για όλους τους πολίτες της ΕΕ πρόσβαση σε σημείο επαναφόρτισης στο σπίτι. Περισσότεροι σταθμοί φόρτισης αυξάνουν την ελκυστικότητα ενός ηλεκτρικού οχήματος (EV) και εάν υπάρχουν περισσότερα EV, είναι πιο κερδοφόρο να δημιουργούνται νέοι σταθμοί φόρτισης. Η ΕΕ αναλαμβάνει πρωτοβουλίες για να αυξήσει την έκταση της υποδομής χρέωσης. Η οδηγία για την υποδομή εναλλακτικών καυσίμων (AFID) (ΕΕ, 2014) απαιτούσε από τα κράτη - μέλη να υλοποιήσουν σχέδια ανάπτυξης για υποδομές εναλλακτικών καυσίμων. Ο βέλτιστος αριθμός δημόσια προσβάσιμων σημείων επαναφόρτισης εξαρτάται από παράγοντες που σχετίζονται

με την τοποθεσία, όπως τα μοτίβα ταξιδιού, ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων με μπαταρία (BEV) και των plug-in υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων (PHEV), ο αριθμός των κατόχων ηλεκτρικών αυτοκινήτων μπαταρίας (BEV) με ειδικό ιδιωτικό σημείο επαναφόρτισης και με πρόσβαση σε σημεία επαναφόρτισης στο χώρο εργασίας. Ενδεικτικά, η οδηγία για την υποδομή εναλλακτικών καυσίμων (AFID) ανέφερε ότι απαιτείται ένα δημόσιο σημείο επαναφόρτισης για κάθε δέκα ηλεκτρικά αυτοκίνητα (BEV).

Μια πρόσφατη έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής δείχνει ότι υπάρχει κάποια πρόοδος στην εφαρμογή του AFID (EC, 2021f), αλλά καταλήγει στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει ακόμη ένα ολοκληρωμένο και πλήρες δίκτυο υποδομών εναλλακτικών καυσίμων. Μια αξιολόγηση από το Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο που δημοσιεύθηκε το 2021 διαπίστωσε ότι παρά τις επιτυχίες (όπως η προώθηση ενός κοινού προτύπου πρίζας της ΕΕ) εξακολουθούν να υπάρχουν σημαντικά εμπόδια: η διαθεσιμότητα των σταθμών φόρτισης ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό από χώρα σε χώρα, τα συστήματα πληρωμής δεν είναι εναρμονισμένα με τις ελάχιστες απαιτήσεις, υπάρχουν ανεπαρκείς πληροφορίες για τους χρήστες και τα διαθέσιμα κονδύλια της ΕΕ δεν κατευθύνονται εκεί που χρειάζονται περισσότερο. Συμπεραίνεται ότι η ΕΕ απέχει ακόμη πολύ από τον στόχο της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας του 2019 για ένα εκατομμύριο σημεία επαναφόρτισης έως το 2025 (ECA, 2021). Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο Εναλλακτικών Καυσίμων (EAFO), το 2020 ο αριθμός των δημόσιων σημείων για την επαναφόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων ήταν, περίπου, 224.200 στην ΕΕ, εκ των οποίων το 11% ήταν ταχυφορτιστές (22 kW) (EAFO, 2021a). Ωστόσο, η γεωγραφική τους κατανομή είναι άνιση, ένα πρόβλημα που είναι πιθανό να παραμείνει, ενώ μπορεί ακόμη και να αυξηθεί (EC, 2021d). Επιπλέον, τα στατιστικά στοιχεία του EAFO υποδεικνύουν έναν αυξανόμενο αριθμό EV ανά δημόσιο σημείο επαναφόρτισης με την πάροδο του χρόνου, έχοντας ως δεδομένο ότι ο αριθμός των ταξινομήσεων EV έχει αυξηθεί ταχύτερα από τον αριθμό των δημόσιων σημείων επαναφόρτισης (EC, 2021g).

Οι νέες νομοθετικές προτάσεις που κυκλοφόρησαν στο πακέτο Fit for 55 ενισχύουν τη φιλοδοξία. Προτείνεται αναθεώρηση του AFID, μετατοπίζοντας το νομικό εργαλείο σε κανονισμό. Προσθέτει συγκεκριμένους στόχους, βασισμένους στον στόλο για φόρτιση ισχύος για EV, απαιτεί την εγκατάσταση σημείων φόρτισης και τροφοδοσίας καυσίμων σε τακτά χρονικά διαστήματα σε μεγάλους δρόμους, επιβάλλει στόχους για την υποδομή υδρογόνου, καθώς και υγροποιημένο / συμπιεσμένο φυσικό αέριο και ενισχύει τη διακυβέρνηση για την παρακολούθηση προόδου (EC, 2021d). Η αναθεώρηση του AFID είναι επίσης σημαντική για την πρωτοβουλία επικαιροποίησης του κανονισμού, όσον αφορά στις οδηγίες για το Διερωπαϊκό Δίκτυο Μεταφορών (EC, 2021g). Άλλες πολιτικές που μπορούν να συμβάλουν

στην άρση των φραγμών στην ανάπτυξη των EV είναι οι οικοδομικοί κώδικες για την εγκατάσταση υποδομής φόρτισης. Η αναθεώρηση του 2018 της Οδηγίας της ΕΕ που αφορά στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων ή EPBD (EU, 2018a) περιλαμβάνει μέτρα που διασφαλίζουν ότι οι χώροι στάθμευσης των κτιρίων θα εξοπλίζονται σταδιακά με σημεία επαναφόρτισης για BEV. Το EPBD περιλαμβάνει διατάξεις για τον εξοπλισμό νέων ή ανακαινισμένων κτιρίων με την αποκλειστική υποδομή (αγωγοί γραμμής ηλεκτρικής ενέργειας), κατάλληλη για την επακόλουθη εγκατάσταση σημείων επαναφόρτισης. Ζητεί, επίσης, από τα κράτη μέλη να θεσπίσουν υποχρεώσεις όσον αφορά στην εγκατάσταση ενός minimum αριθμού σημείων επαναφόρτισης, για το σύνολο των μη οικιστικών κτηρίων με πάνω από 20 θέσεις στάθμευσης (έως την 1η Ιανουαρίου 2025) και να απλοποιήσουν την εγκατάσταση σημείων επαναφόρτισης στα κτίρια, π.χ. σε σχέση με τις διαδικασίες αδειοδότησης και έγκρισης. Η συνεχιζόμενη αναθεώρηση του EPBD εξετάζει την ενίσχυση του ότι τα κτίρια πρέπει να είναι κατάλληλα για ηλεκτρικά οχήματα, συμπεριλαμβανομένων των απαιτήσεων έξυπνης φόρτισης (EC, 2021c). Τέλος, οι δημόσιες συμβάσεις μπορεί να είναι μια σχετική συμπληρωματική πολιτική. Η οδηγία για τα καθαρά οχήματα (όπως αναθεωρήθηκε το 2019) προωθεί λύσεις καθαρής κινητικότητας σε διαγωνισμούς δημοσίων συμβάσεων (EE, 2019β). Αυτό, έχει το διπλό πλεονέκτημα της επίδειξης της τεχνολογίας στο κοινό, ενώ επιτρέπει στη βιομηχανία να παράγει και να παραδίδει μαζικές παραγγελίες για την έναρξη οικονομικών κλίμακας. Η αναθεωρημένη οδηγία για τα καθαρά οχήματα στοχεύει στην επιτάχυνση της υιοθέτησης ηλεκτρικών λεωφορείων (και άλλων οχημάτων με δημόσια προμήθεια) στις χώρες της ΕΕ, θέτοντας συγκεκριμένους στόχους για το 2025 και το 2030.

Στις απαρχές της δεκαετίας του 2000 οι εκπομπές CO₂ των νέων επιβατικών αυτοκινήτων μειώθηκαν αργά. Εν αναμονή της έγκρισης του κανονισμού του 2009 στη συνέχεια, οι εκπομπές άρχισαν να μειώνονται ταχύτερα. Ωστόσο, μόλις επιτεύχθηκε ο στόχος του 2015, οι μέσες εκπομπές των νέων αυτοκινήτων άρχισαν να αυξάνονται ξανά, φτάνοντας τα 122,3 g CO₂/km το 2019. Το 2019, σχεδόν όλοι οι κατασκευαστές αυτοκινήτων πέτυχαν τους συγκεκριμένους στόχους εκπομπών, είτε μεμονωμένα είτε ως μέρος μιας ομάδας είτε λόγω παρεκκλίσεων (EEA, 2021b). Το 2020, ο μέσος όρος των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου των νέων επιβατικών αυτοκινήτων μειώθηκαν απότομα στα 107,8 g CO₂/km (EEA, 2021i).

Η αύξηση των εκπομπών μεταξύ 2017 και 2019 οφειλόταν κυρίως στην αύξηση του μεριδίου των οχημάτων τύπου SUV, καθώς και άλλων μεγαλύτερων και βαρύτερων αυτοκινήτων. Το 2007, τα SUV είχαν μερίδιο αγοράς 8% όλων των νέων επιβατικών αυτοκινήτων. Το ποσοστό αυτό αυξήθηκε σε 26% το 2016 και σε 38% το 2019 (EEA, 2020b & 2021c). Το 2019, ένα νεοταξινομημένο βενζινοκίνητο SUV εξέπεμπε περίπου 13 g CO₂/km περισσότερο

από το μέσο όρο του νέου βενζινοκίνητου αυτοκινήτου χωρίς SUV. Την περίοδο 2017-2019 η τάση προς τα SUV και άλλα μεγαλύτερα και βαρύτερα αυτοκίνητα υπεραντιστάθμισε τη μείωση των εκπομπών CO₂ που προέκυψε από τα κέρδη απόδοσης στα συμβατικά αυτοκίνητα βενζίνης και ντίζελ και τη μέτρια πρόσληψη ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Το 2019 τα BEV και τα PHEV αντιπροσώπευαν μαζί, μόνο το 3,5% των νέων εγγραφών. Η αντιστροφή της τάσης το 2020 μπορεί να εξηγηθεί από την αύξηση του μεριδίου των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στις ταξινομήσεις νέων αυτοκινήτων, το οποίο τριπλασιάστηκε σε ένα χρόνο για να φτάσει περίπου το 11%, καθώς εισήχθησαν σταδιακά οι νέοι αυστηρότεροι στόχοι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗ ΟΔΙΚΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΟΛΥΝΣΗ

2.1 Η ηλεκτροδότηση των οδικών μεταφορών και τη σημασία του για τις μελλοντικές τάσεις στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

Η συμβολή της ηλεκτροκίνησης των οδικών μεταφορών στην απαλλαγή από τον άνθρακα ήταν περιορισμένη μέχρι το 2019, αλλά οι φιλοδοξίες της ΕΕ είναι υψηλές. Αυτό αντικατοπτρίζεται στα ισχυρότερα πρότυπα εκπομπών CO₂ για αυτοκίνητα και φορτηγά που προτείνονται στο πακέτο Fit for 55. Σύμφωνα με την πρόταση της Επιτροπής, όλα τα νέα επιβατικά αυτοκίνητα και φορτηγά που ταξινομούνται από το 2035 θα πρέπει να έχουν μηδενικές εκπομπές ρύπων. Επιπλέον, η πρόταση για τον αναθεωρημένο κανονισμό για την υποδομή εναλλακτικών καυσίμων υποχρεώνει τα κράτη μέλη να επεκτείνουν την ικανότητα φόρτισης και να προχωρήσουν στην εγκατάσταση σημείων φόρτισης και ανεφοδιασμού καυσίμων σε τακτά χρονικά διαστήματα σε μεγάλους δρόμους (EC, 2021n & 2021o).

2.2 Τύποι ηλεκτρικών οχημάτων

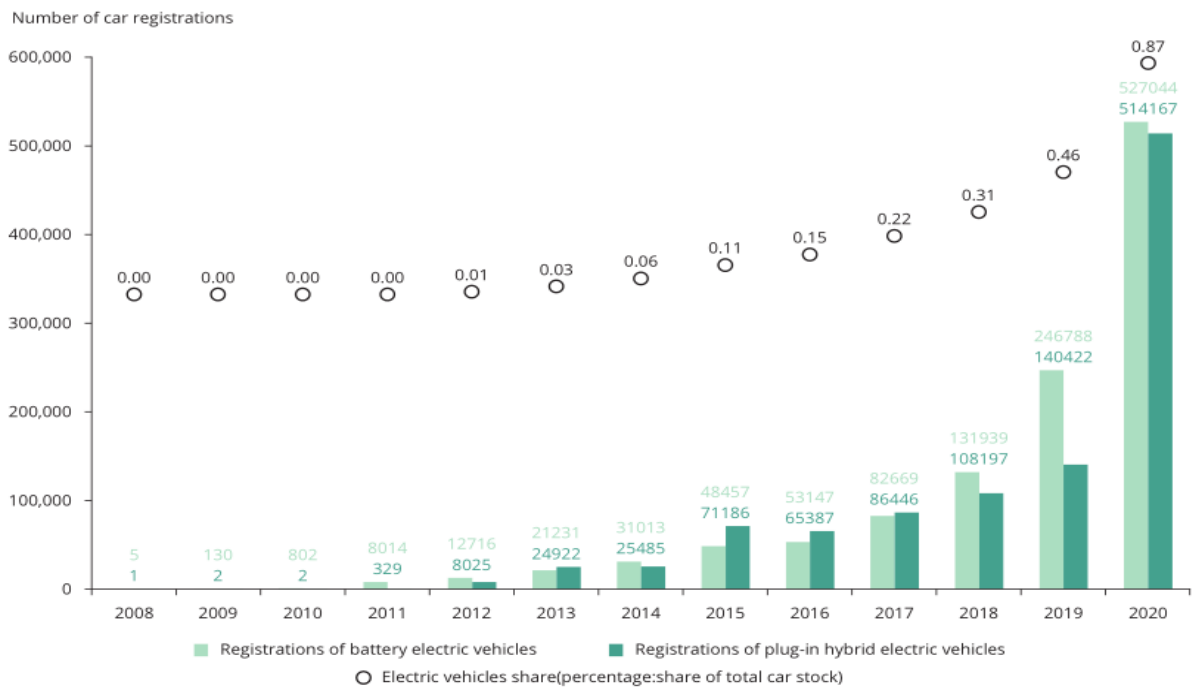
Διάφοροι τύποι οχημάτων μπορούν να αναφέρονται ως «ηλεκτρικά οχήματα» ή Evs:

- **Ηλεκτρικό όχημα με μπαταρία (BEV)**, το οποίο τροφοδοτείται αποκλειστικά από ηλεκτρικό κινητήρα, χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια, η οποία είναι αποθηκευμένη σε μπαταρία που πρέπει να φορτιστεί, συνήθως συνδέοντας το όχημα σε σημείο επαναφόρτισης, το οποίο είναι συνδεδεμένο στο τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο. Η πρόσφατη βιβλιογραφία (Carroll, 2021; Nykvist and Olsson, 2021) προτείνει ότι η ηλεκτροκίνηση μπορεί επίσης να γίνει σύντομα μια επιλογή, η οποία είναι εφικτή για τα βαρέα φορτηγά. Για να συμβεί αυτό, πρέπει να συνεχιστεί η ταχεία πτώση του κόστους των μπαταριών και η αύξηση της διάρκειας ζωής τους. Η δεύτερη προϋπόθεση θα ήταν ένα πυκνό δίκτυο υποδομής γρήγορης φόρτισης, που θα επέτρεπε τη φόρτιση κατά μέσο όρο κάθε 4,5 ώρες, εναρμονιζόμενο με τους

κανονισμούς της ΕΕ για την υποχρεωτική ανάπαυση των οδηγών, και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν μικρότερες μπαταρίες. Λεπτομερείς προσομοιώσεις οχημάτων από το Διεθνές Συμβούλιο Καθαρών Μεταφορών δείχνουν ότι με ενεργειακή χωρητικότητα μπαταρίας 700 kWh, μπορεί να επιτευχθεί στο μέλλον αυτονομία 500 km, η οποία θα επαρκεί για μεγάλο μέρος των λειτουργιών. Η απώλεια χωρητικότητας φορτίου λόγω της παρουσίας μπαταρίας εκτιμάται ότι είναι μικρή και αναμένεται να εξαφανιστεί στο μέλλον (Basma et al., 2021). Στην ΕΕ, οι νέες ταξινομήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων αυξάνονται σταθερά τα τελευταία χρόνια, με επιτάχυνση το 2020, όταν το μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων μεταξύ των νέων ταξινομήσεων στην ΕΕ τριπλασιάστηκε σε σύγκριση με το 2019 (Εικόνα 3, παρακάτω).

- **Plug-in υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (PHEV)**, το οποίο τροφοδοτείται από έναν ηλεκτροκινητήρα και έναν κινητήρα ΜΕΚ (εσωτερικής καύσης) που έχουν σχεδιαστεί να λειτουργούν είτε μαζί είτε χωριστά. Η ενσωματωμένη μπαταρία φορτίζει από το δίκτυο, ενώ ο κινητήρας εσωτερικής καύσης υποστηρίζει τον ηλεκτροκινητήρα όταν απαιτείται περισσότερη ισχύς λειτουργίας ή όταν η φόρτιση της μπαταρίας είναι χαμηλή.
- **Ηλεκτρικό όχημα κυψελών καυσίμου (FCEV)**: προωθείται εξ ολοκλήρου από ηλεκτρική ενέργεια, η οποία παράγεται επί του σκάφους από μια στοίβα κυψελών καυσίμου, η οποία χρησιμοποιεί υδρογόνο, το οποίο πρέπει να μεταφερθεί σε μια δεξαμενή.

Εικόνα 3. Ταξινομήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων (αριστερός άξονας) και μερίδιο ηλεκτρικών αυτοκινήτων στο συνολικό απόθεμα αυτοκινήτων (δεξιός άξονας) στην Ε.Ε. – 27, 2008-2020 (Πηγή: European Environment Agency, 2022)



Στο πλαίσιο αυτό, τα οχήματα που χρησιμοποιούν έναν κινητήρα ΜΕΚ και έναν ηλεκτροκινητήρα που υποβοηθά τον συμβατικό κινητήρα, αλλά που δεν μπορούν να φορτιστούν από το δίκτυο, δεν θεωρούνται ηλεκτρικά οχήματα.

Τα FCEV μπορούν να παρέχουν μεγαλύτερες αποστάσεις από τα BEV και ο χρόνος που απαιτείται για τον ανεφοδιασμό είναι παρόμοιος με αυτόν των οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Τα μειονεκτήματα είναι το υψηλό κόστος, κυρίως λόγω των ακριβών κυψελών καυσίμου, και η χαμηλότερη απόδοσή τους από τα BEV. Επί του παρόντος, λίγα FCEV προσφέρονται προς πώληση στην αγορά της ΕΕ και η υποδομή ανεφοδιασμού είναι λιγότερο ανεπτυγμένη από αυτή των ηλεκτρικών αυτοκινήτων (JRC και DG Mobility and Transport, 2020).

2.3 Τάσεις στις πωλήσεις και στο απόθεμα ηλεκτρικών οχημάτων

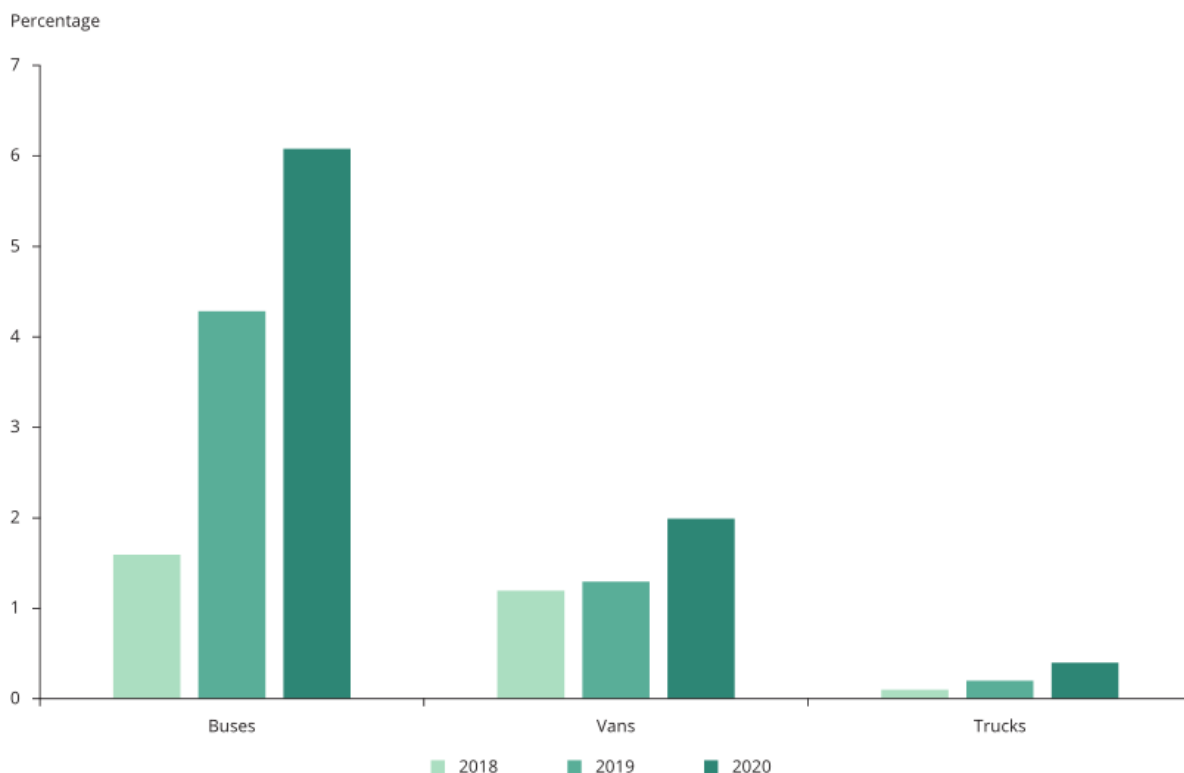
Στην ΕΕ, οι νέες ταξινομήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων αυξάνονται σταθερά τα τελευταία χρόνια, με επιτάχυνση το 2020, όταν το μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων μεταξύ των νέων ταξινομήσεων στην ΕΕ τριπλασιάστηκε σε σύγκριση με το 2019 (Εικόνα 3). Ως ποσοστό του

συνολικού αποθέματος αυτοκινήτων, ωστόσο, παραμένουν κάτω από το 1%. Το 2020, τα BEV και τα PHEV αντιπροσώπευαν μαζί το 0,87% του αποθέματος αυτοκινήτων στην ΕΕ (EAFO, 2021b).

Μεταξύ των φορτηγών και των HDV, το ποσοστό ηλεκτροκίνησης των νέων οχημάτων αυξάνεται, αλλά παραμένει μέτριο σε σύγκριση με αυτό των επιβατικών αυτοκινήτων. Μεταξύ των HDV, η ηλεκτροκίνηση είναι πιο διαδεδομένη στα λεωφορεία. Σε αυτό το τμήμα το μερίδιο των ηλεκτρικά φορτιζόμενων οχημάτων στις συνολικές πωλήσεις νέων οχημάτων είναι σημαντικό: 6% το 2020. Ωστόσο, αυτό το ποσοστό είναι πολύ χαμηλότερο για τα φορτηγά και τα φορτηγά (Εικόνα 4).

Η ηλεκτροκίνηση των βαρέων οχημάτων είναι δύσκολη, λόγω της πρόκλησης του ανταγωνισμού με τη μεγάλη γκάμα των φορτηγών ντίζελ. Η πρόσφατη βιβλιογραφία (Carroll, 2021· Nykvist and Olsson, 2021) προτείνει ότι η ηλεκτροκίνηση μπορεί, επίσης, να γίνει μια οικονομικά εφικτή επιλογή για βαρέα φορτηγά σε σύντομο χρονικό διάστημα. Για να συμβεί αυτό, πρέπει να συνεχιστεί η ταχεία πτώση του κόστους των μπαταριών και η αύξηση της διάρκειας ζωής τους. Η δεύτερη προϋπόθεση θα ήταν ένα πυκνό δίκτυο υποδομής γρήγορης φόρτισης, που θα επέτρεπε τη φόρτιση κατά μέσο όρο κάθε 4,5 ώρες, σύμφωνα πάντα με τους κανονισμούς της ΕΕ για την υποχρεωτική ανάπαυση των οδηγών, και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν μικρότερες μπαταρίες. Λεπτομερείς προσομοιώσεις οχημάτων από το Διεθνές Συμβούλιο Καθαρών Μεταφορών δείχνουν ότι, με ενεργειακή χωρητικότητα μπαταρίας 700 kWh, μπορεί να επιτευχθεί στο μέλλον αυτονομία 500 km, η οποία θα επαρκεί για μεγάλο μέρος των λειτουργιών. Η απώλεια χωρητικότητας φορτίου λόγω της παρουσίας μπαταρίας εκτιμάται ότι είναι μικρή και αναμένεται να εξαφανιστεί στο μέλλον (Basma et al., 2021). Μια άλλη επιλογή για εμπορευματικές μεταφορές μεγάλων αποστάσεων είναι ένα σύστημα εναέριων καλωδίων αλυσοειδών σε κεντρικούς δρόμους, που τροφοδοτούν φορτηγά με ηλεκτρική ενέργεια.

Εικόνα 4. Μερίδιο ηλεκτρικά φορτιζόμενων φορτηγών, λεωφορείων και βαν στις πωλήσεις νέων οχημάτων στην ΕΕ-27, 2018-2020 (Πηγή: ACEA (2021b)).



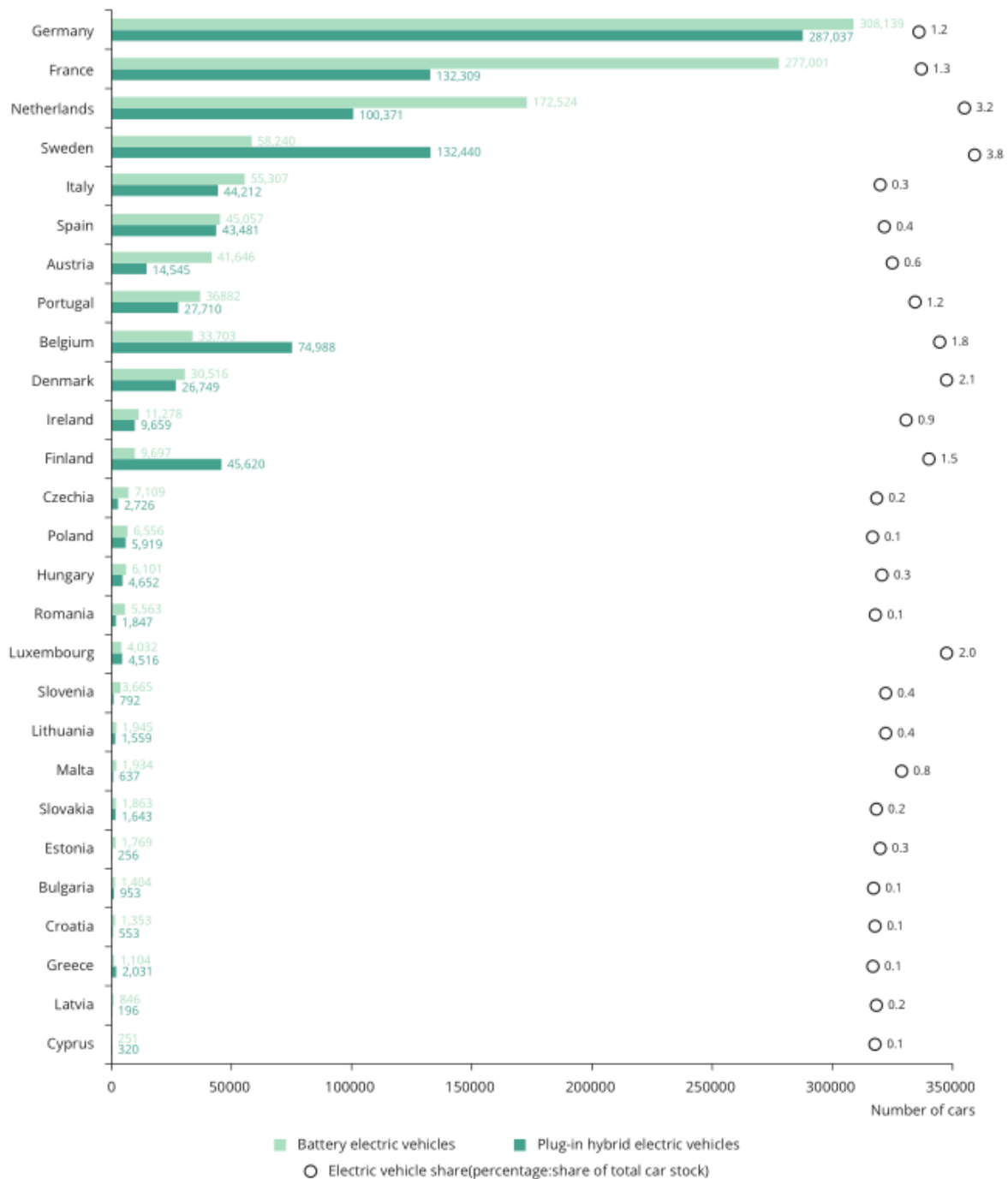
2.4 Αντίκτυπος των πολιτικών στην υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων

Η πρόσφατη ανάπτυξη της ευρωπαϊκής αγοράς ηλεκτρικών αυτοκινήτων (EV) επηρεάζεται έντονα από τα πρότυπα απόδοσης εκπομπών CO₂ της ΕΕ (Wappelhorst, 2021a). Ο στόχος των 95g CO₂/km για όλο τον στόλο για τα νέα αυτοκίνητα εφαρμόζεται από το 2020 (ο στόχος μέχρι το 2019 ήταν 130 g CO₂/km). Καθώς μόνο λίγα οχήματα με κινητήρες εσωτερικής καύσης έχουν εκπομπές κάτω από 95 g CO₂/km, ο στόχος είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί χωρίς σημαντικό μερίδιο Evs. Δίπλα στα πρότυπα της ΕΕ, το 2020/2021 τα μέτρα αποκατάστασης των συνεπειών του COVID-19 ήταν επίσης σημαντικά για την παροχή κινήτρων για επενδύσεις στην ηλεκτρική κινητικότητα. Είναι αυτός ένας από τους λόγους, εξαιτίας των οποίων οι συνέπειες της πανδημίας έπληξαν λιγότερο σοβαρά τον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας (de Vet et al., 2021).

Η απορρόφηση του Evs στην ΕΕ-27 συγκεντρώνεται σε μικρό αριθμό χωρών (Εικόνα 5). Το 2020, πέντε χώρες της ΕΕ με τον υψηλότερο αριθμό ηλεκτρικών αυτοκινήτων, μαζί αντιπροσώπευαν το 75% του αποθέματος ηλεκτρικών αυτοκινήτων (EAFO, 2021b):

Γερμανία, Γαλλία, Ολλανδία, Σουηδία και Βέλγιο. Όσον αφορά στο μερίδιο EV στο απόθεμα αυτοκινήτων, οι πέντε χώρες με το υψηλότερο μερίδιο είναι η Σουηδία (3,7%), η Ολλανδία (3,2%), η Δανία (2,1%), το Λουξεμβούργο (2,0%) και το Βέλγιο (1,8%). Τα τελευταία χρόνια, οι πωλήσεις του EVs έχουν συγκεντρωθεί κατά κύριο λόγο σε ευρωπαϊκές χώρες με σχετικά υψηλό κατά κεφαλήν ΑΕΠ (ACEA, 2021a), όπου περισσότερα άτομα μπορούν να αντέξουν οικονομικά να αγοράσουν ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο δεδομένων των υφιστάμενων πολιτικών. Μεταξύ των χωρών με παρόμοια επίπεδα εισοδήματος, η διακύμανση στα εθνικά και τοπικά μέτρα εξηγεί, επίσης, μέρος της διαφοράς στην απορρόφηση ηλεκτρικών οχημάτων (Wappelhorst, 2021a & 2021b).

Εικόνα 5. Σύνολο και μερίδιο του αποθέματος ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων στην ΕΕ-27 έως τον Δεκέμβριο του 2020 (European Environment Agency, 2022)



Σύμφωνα με έρευνες, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα φαίνεται να αποτελούν για το περιβάλλον μια θετική επιλογή, αφού εκπέμπουν λιγότερα καυσαέρια από τα αυτοκίνητα που κινούνται με βενζίνη ή πετρέλαιο, επιβαρύνοντας σε μικρότερο βαθμό από τα συμβατικά αυτοκίνητα το φαινόμενο του θερμοκηπίου και, εντέλει, αποτελώντας μια ηπιότερη πηγή ρύπανσης της ατμόσφαιρας, σε σύγκριση πάντα με τα συμβατικά οχήματα. Βέβαια, η παραγωγή τους αποτελεί συνάρτηση τόσο της παραπάνω λειτουργίας τους ως προς την μόλυνση του

περιβάλλοντος, όσο και της διασφάλισης παραγωγής επαρκούς και σημαντικού βαθμού οικολογικής ηλεκτρικής ενέργειας για την κίνησή τους.

Οι εκτιμήσεις για την αύξηση των ηλεκτρικών οχημάτων τα επόμενα χρόνια είναι ιδιαίτερα αισιόδοξες. Ειδικότερα, προβλέπεται ότι 140 εκατομμύρια ηλεκτρικά οχήματα θα κυκλοφορήσουν παγκοσμίως έως το 2030 (Jacoby, 2019).

Καθώς το μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων αυξάνεται, η ένταση άνθρακα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θα γίνεται όλο και πιο σημαντική για την αξιολόγηση του πλήρους κλιματικού αντίκτυπου των οδικών μεταφορών.

2.5 Οδηγία για την έμμεση αλλαγή χρήσης γης

Η αύξηση των πρώτων υλών για την παραγωγή βιοκαυσίμων μπορεί έμμεσα να οδηγήσει στην αύξηση της γεωργικής γης σε προηγούμενως ακαλλιέργητες εκτάσεις (ILUC). Αυτή η διαδικασία μπορεί να προκαλέσει αρνητικές συνέπειες στη βιοποικιλότητα, καθώς και στα αποθέματα άνθρακα, σε περιπτώσεις όπου τέτοιες επεκτάσεις επεκτείνονται σε δάση, υγροτόπους και τυρφώνες, επειδή η επακόλουθη απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που αποθηκεύεται στα δέντρα και το έδαφος μπορεί να υπερβεί τις εκπομπές GHG, εξοικονόμηση που προκύπτει από τη χρήση των βιοκαυσίμων.

Λόγω αυτών των ανησυχιών, η Οδηγία ILUC [οδηγία 2015/1513, (EU, 2015)] εισήγαγε τον πρόσθετο περιορισμό ότι το μερίδιο της ενέργειας από βιοκαύσιμα, τα οποία παράγονται από καλλιέργειες που αναπτύσσονται σε γεωργική γη δεν πρέπει να υπερβαίνει το 7% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στις μεταφορές στα κράτη – μέλη της ΕΕ το 2020. Επιπλέον, προστέθηκε κατάλογος πρώτων υλών, συμπεριλαμβανομένων φυκιών και αποβλήτων ή υπολειμμάτων, τα οποία δεν υπολογίζονται στο όριο του 7%, και η συνεισφορά τους στον στόχο του 10% (στο RED) θεωρήθηκε ότι είναι διπλάσια από το ενεργειακό τους περιεχόμενο.

2.6 Οι εκπομπές που σχετίζονται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Η ένταση εκπομπών GHG της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε επίπεδο ΕΕ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της έντασης GHG της ηλεκτρικής ενέργειας που

χρησιμοποιείται στις οδικές μεταφορές. Αυτή η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται από ηλεκτρικά οχήματα και, συνεπώς, συνιστά εκπομπές ιδιαίτερα σημαντικές, αφού αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο όλων των εκπομπών GHG που απελευθερώνονται στο περιβάλλον από την παραγωγή, την επεξεργασία και την παράδοση ενός φορέα καυσίμου ή ενέργειας, σχετιζόμενες με αυτά τα οχήματα.

Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (EEA, 2021c) η ένταση εκπομπών GHG της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ-27 ήταν 231 g CO_{2e}/kWh το 2020, που είναι περίπου το ήμισυ της έντασης του 1990 (501 g CO_{2e}/kWh). (**Υπενθύμιση:** gCO_{2e}: γραμμάρια ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα).

Από το 2010, η μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα στα ανανεώσιμα καύσιμα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ήταν ο κύριος παράγοντας πίσω από αυτή τη θετική εξέλιξη. Για να επιτύχει η ΕΕ καθαρή μείωση κατά 55% στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου έως το 2030, σε σύγκριση με το 1990, η ένταση εκπομπών της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 110 και 118 g CO_{2e}/kWh .

Καθώς το μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων αυξάνεται στο μέλλον, η ένταση άνθρακα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θα γίνει επίσης όλο και πιο σημαντική για την αξιολόγηση του πλήρους κλιματικού αντίκτυπου των οδικών μεταφορών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

3.1 Γενικά

Το κύριο όφελος της χρήσης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι η συμβολή τους στην βελτίωση της ποιότητας του αέρα. Χωρίς εξάτμιση, τα αμιγώς ηλεκτρικά αυτοκίνητα δεν παράγουν εκπομπές CO₂ κατά την οδήγηση. Το γεγονός αυτό συνδέεται με την σημαντική μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα υπόσχονται πιο καθαρούς δρόμους, διαμορφώνοντας τις πόλεις σε ένα καλύτερο μέρος για πεζούς και ποδηλάτες. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε περισσότερο από ένα έτος, μόνο ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο είναι σε θέση να εξοικονομήσει, κατά μέσο όρο, 1,5 εκατομμύριο γραμμάρια CO₂. Η ποσότητα αυτή ισοδυναμεί με τέσσερις πτήσεις με επιστροφή από το Λονδίνο στη Βαρκελώνη.

Ο δήμαρχος του Λονδίνου υποστηρίζει ότι οι οδικές μεταφορές ευθύνονται για την μισή, περίπου, ατμοσφαιρική ρύπανση της πρωτεύουσας (Mayor of London, 2023). Αυτός είναι ο λόγος που η κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου και τα τοπικά συμβούλια επιθυμούν να επιταχύνουν τον αριθμό των ηλεκτρικών αυτοκινήτων που θα κυκλοφορούν στους δρόμους. Η κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου έχει θέσει ως στόχο της την απαγόρευση της πώλησης αυτοκινήτων βενζίνης και ντίζελ έως το 2040. Η κυβέρνηση επιδιώκει επίσης να μειώσει τις εκπομπές άνθρακα στο μηδέν έως το 2050, και τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα διαδραματίσουν μεγάλο ρόλο σε αυτό.

Επιπλέον, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν επίσης να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση του προβλήματος της ηχορύπανσης, ειδικά σε πόλεις, στις οποίες οι ταχύτητες είναι, γενικά, χαμηλές. Καθώς τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι πολύ πιο αθόρυβα από τα συμβατικά οχήματα, η οδήγηση με ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί ένα περισσότερο ήπιο και γαλήνιο περιβάλλον.

3.2 Παραγωγή ηλεκτρικών αυτοκινήτων και περιβάλλον

Η κατασκευή ηλεκτρικών αυτοκινήτων απαιτεί την κατανάλωση υψηλού ποσού ενέργειας. Όμως, ακόμη και όταν ληφθεί υπόψη η κατασκευή μπαταριών, τα ηλεκτρικά

αυτοκίνητα εξακολουθούν να αποτελούν ανταγωνιστική πράσινη επιλογή. Αυτό οφείλεται στη μείωση των εκπομπών που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια ζωής του αυτοκινήτου.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι εκπομπές που οφείλονται στην παραγωγή ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου τείνουν να είναι υψηλότερες από ένα συμβατικό αυτοκίνητο. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην κατασκευή μπαταριών ιόντων λιθίου, οι οποίες αποτελούν ουσιαστικό μέρος ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Περισσότερο από το ένα τρίτο των εκπομπών CO₂ κατά τη διάρκεια της ζωής ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου οφείλεται στην ενέργεια που καταναλώνεται για την κατασκευή του (Hall & Lutsey, 2018). Καθώς η τεχνολογία προχωρά, τα δεδομένα αυτά βαίνουν προς το καλύτερο.

Η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση μπαταριών είναι, επίσης, μια αναπτυσσόμενη αγορά (Edf, 2022). Η έρευνα για τη χρήση μεταχειρισμένων μπαταριών εξετάζει τρόπους επαναχρησιμοποίησης τους σε νέες τεχνολογίες, όπως η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας.

3.3 Υβριδικά αυτοκίνητα και περιβάλλον

Τα plug-in υβριδικά αυτοκίνητα συνδυάζουν έναν ηλεκτροκινητήρα με έναν παραδοσιακό κινητήρα καυσίμου και παράγουν ορισμένες εκπομπές κατά τη διάρκεια της οδήγησης.

Τα πράσινα διαπιστευτήρια ενός υβριδικού αυτοκινήτου εξαρτώνται από το μέγεθος της διαδρομής που διανύεται σε ηλεκτρικά μίλια, καθώς και από τον τρόπο με τον οποίο φορτίζεται το όχημα. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο είναι σημαντικό για τους οδηγούς υβριδικών να εξετάζουν πώς παράγεται η ηλεκτρική τους ενέργεια. Οι έρευνες δείχνουν ότι τα ηλεκτρικά οχήματα διαδραματίζουν μεγάλο ρόλο στη μείωση των εκπομπών ρύπων που δημιουργούνται από τις μεταφορές και ότι αποτελούν σημαντικό παράγοντα στην προσπάθεια καθαρότητας του αέρα.

3.4 Απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια τροφοδότησης ηλεκτρικού αυτοκινήτου

Έρευνα του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Ενέργειας διαπίστωσε ότι, ακόμη και με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία απαιτείται για την φόρτιση των μπαταριών του, οι εκπομπές άνθρακα ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι περίπου 17 – 30% λιγότερες από την οδήγηση ενός αυτοκινήτου βενζίνης ή ντίζελ (European Environment Agency, 2023). Οι εκπομπές από

την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βελτιώνονται επίσης εντυπωσιακά όταν χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια με χαμηλές εκπομπές άνθρακα.

3.5 Είδη ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Υπάρχουν μερικοί διαφορετικοί τύποι ηλεκτρικών οχημάτων (EV). Ορισμένα, τα οποία λειτουργούν αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια, ονομάζονται αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα. Αυτά που μπορούν να λειτουργούν με συνδυασμό ηλεκτρικής ενέργειας και βενζίνης ή ντίζελ ονομάζονται υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα. Ειδικότερα, οι επιλογές σε αυτοκίνητα που κινούνται – και – με ηλεκτρική ενέργεια είναι:

Plug-in electric: Τα αυτοκίνητα αυτού του τύπου λειτουργούν αποκλειστικά με ηλεκτρισμό και παίρνουν όλη τους την ισχύ όταν είναι συνδεδεμένα σε φόρτιση. Αυτός ο τύπος δεν χρειάζεται βενζίνη ή ντίζελ για να λειτουργήσει, επομένως δεν παράγει εκπομπές ρύπων όπως συμβαίνει με τα παραδοσιακά αυτοκίνητα.

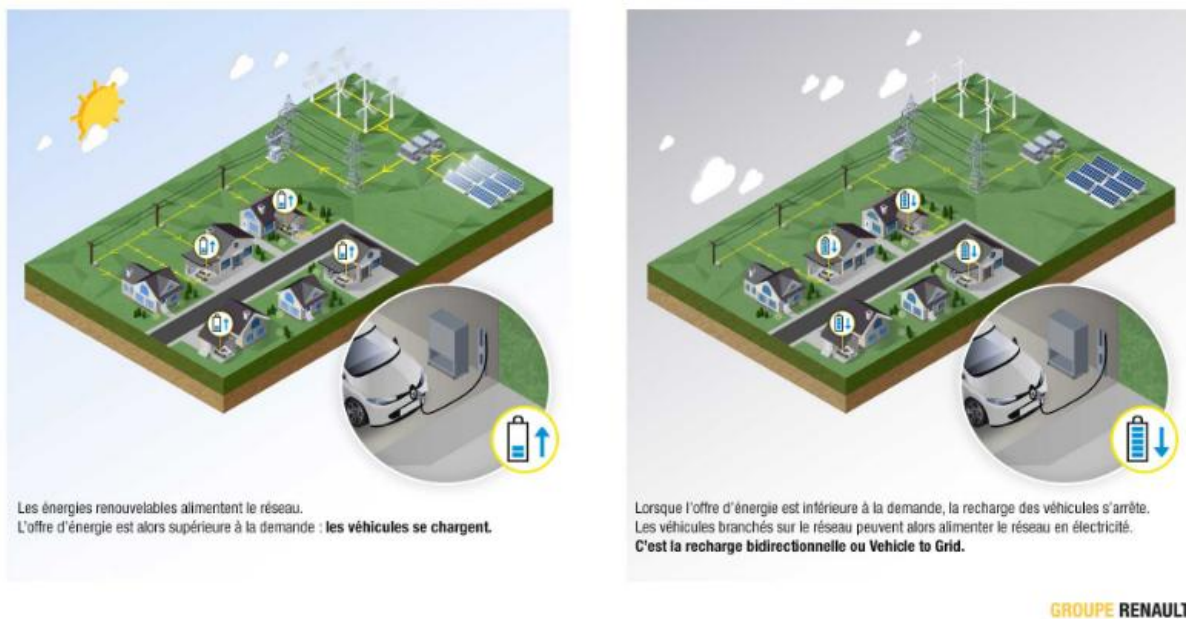
Plug-in hybrid: Αυτά τα αυτοκίνητα λειτουργούν κατά κύριο λόγο με ηλεκτρισμό, όμως έχουν, επίσης, έναν παραδοσιακό κινητήρα καυσίμου, προκειμένου να υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί βενζίνη ή πετρέλαιο, όταν η ηλεκτρική ενέργεια εξαντληθεί. Όταν λειτουργούν με καύσιμα, αυτά τα αυτοκίνητα παράγουν εκπομπές ρύπων, κάτι που δεν υφίσταται όταν λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια. Τα plug-in υβριδικά αυτοκίνητα μπορούν να συνδεθούν σε μια πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, προκειμένου να επαναφορτίσουν την μπαταρία τους.

Hybrid – electric. Τα αυτοκίνητα αυτά λειτουργούν κατά κύριο λόγο με καύσιμο, όπως βενζίνη ή πετρέλαιο, αλλά διαθέτουν επίσης ηλεκτρική μπαταρία που επαναφορτίζεται μέσω αναγεννητικής πέδησης, λειτουργία που επιτρέπει την εναλλαγή μεταξύ της αξιοποίησης του κινητήρα καυσίμου και της λειτουργίας «EV» με το πάτημα ενός κουμπιού. Τα αυτοκίνητα αυτά δεν είναι εφικτό να συνδεθούν σε πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα να βασίζονται στη βενζίνη ή στο ντίζελ για ενέργεια.

3.6 Τεχνολογία Vehicle to Grid (V2G) και αξιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας

Η τεχνολογία V2G (Vehicle to Grid – Από το όχημα στο δίκτυο) κερδίζει συνεχώς έδαφος. Πλέον, η μπαταρία ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου αντιμετωπίζεται ως επέκταση του

ηλεκτρικού δικτύου, ως ενεργειακό απόθεμα, από το οποίο οι προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να αντλήσουν την ενέργεια αυτή. Σύμφωνα με την τεχνολογία V2G, η φόρτιση είναι αμφίδρομη, με την έννοια ότι το δίκτυο τροφοδοτεί με ηλεκτρική ενέργεια την μπαταρία του αυτοκινήτου, όμως, είναι εφικτό, εφόσον κριθεί ως συμφέρον, ο ιδιοκτήτης του αυτοκινήτου με τεχνολογία V2G, να τροφοδοτήσει το ηλεκτρικό δίκτυο με την ενέργεια που έχει απομείνει στην μπαταρία του. Για παράδειγμα, επιστρέφοντας το απόγευμα στο σπίτι του, μπορεί να τροφοδοτήσει τις ηλεκτρικές συσκευές του σπιτιού του και, στη συνέχεια, μπορεί να επαναφορτίσει την μπαταρία του αυτοκινήτου του με φθηνότερο (νυχτερινό) ρεύμα από το δίκτυο. Γενικά, με το όχημα σε δίκτυο, ένας χρήστης ηλεκτρικού οχήματος μπορεί να αποφασίσει να αποθηκεύσει ηλεκτρική ενέργεια όταν οι τιμές είναι οι χαμηλότερες και στη συνέχεια να το χρησιμοποιήσει όταν η τιμή ανέβει.



Εικόνα 6. Αμφίδρομη φόρτιση V2G (Πηγή: Renault Group, 2019)

Επιπρόσθετα, οι προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να αξιοποιήσουν την χωρητικότητα των μπαταριών των ηλεκτρικών αυτοκινήτων V2G, αξιοποιώντας τις ως αποθηκευτικό χώρο ηλεκτρικής ενέργειας, όταν η ενέργεια αυτή, η οποία μπορεί να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, πλεονάζει στο δίκτυο. Έτσι, θα αποφευχθούν οι αναγκαστικές, δυσάρεστες διακοπές τροφοδοσίας ηλεκτρικής ενέργειας από τις ανανεώσιμες πηγές, ενώ και οι κάτοχοι αυτοκινήτων V2G θα έχουν οικονομικό όφελος. Προφανώς, αυτή η αξιοποίηση απαιτεί την εγκατάσταση και λειτουργία ενός έξυπνου ηλεκτρικού δικτύου, στο

οποίο οι ροές ενέργειας βελτιστοποιούνται συνεχώς χάρη στην παρακολούθηση που πραγματοποιείται σε κάθε βήμα της διαδρομής (Renault Group, 2019).

3.7 Λειτουργία κινητήρα ηλεκτρικού αυτοκινήτου

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα λειτουργούν, λαμβάνοντας ηλεκτρική ενέργεια από ένα σημείο φόρτισης στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται σε επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, οι οποίες τροφοδοτούν έναν ηλεκτρικό κινητήρα που περιστρέφει τους τροχούς. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα επιταχύνουν γρηγορότερα από τα οχήματα που φέρουν τους παραδοσιακούς κινητήρες ΜΕΚ.

3.8 Τα εσωτερικά μέρη ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν 90% λιγότερα κινούμενα μέρη από ένα συμβατικό αυτοκίνητο (μηχανής εσωτερικής καύσης). Ειδικότερα, τα βασικά μέρη ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι:

Ηλεκτρικός κινητήρας - Παρέχει ισχύ για την περιστροφή των τροχών. Μπορεί να είναι τύπου DC/AC, ωστόσο, οι κινητήρες AC είναι πιο συνηθισμένοι.

Μετατροπέας (Inverter) - Μετατρέπει το ηλεκτρικό ρεύμα με τη μορφή συνεχούς ρεύματος (DC) σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC)

Σύστημα μετάδοσης κίνησης - Τα EV διαθέτουν κιβώτιο ταχυτήτων μίας ταχύτητας που στέλνει την ισχύ από τον κινητήρα στους τροχούς.

Μπαταρίες - Αποθηκεύει την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία ενός EV. Όσο υψηλότερα είναι τα kW της μπαταρίας, τόσο μεγαλύτερη είναι η εμβέλεια.

Φόρτιση - Συνδέεται σε πρίζα ή σημείο φόρτισης EV, προκειμένου να φορτιστεί η μπαταρία του αυτοκινήτου.



Εικόνα 6. Λειτουργία ηλεκτρικού αυτοκινήτου (Πηγή: <https://www.edfenergy.com/energywise/how-do-electric-cars-work>)

4.2 Λειτουργία μπαταριών ηλεκτρικού αυτοκινήτου

Ενώ τα αυτοκίνητα με κινητήρα εσωτερικής καύσης λαμβάνουν ενέργεια από την καύση βενζίνης ή πετρελαίου, ένα ηλεκτρικό όχημα λαμβάνει την ισχύ του απευθείας από ένα μεγάλο πακέτο μπαταριών. Πρόκειται για ένα πακέτο που αποτελείται από χιλιάδες μεμονωμένα κύτταρα ιόντων λιθίου, τα οποία συνεργάζονται μεταξύ τους. Όταν το αυτοκίνητο φορτίζεται, η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για να γίνουν χημικές αλλαγές στις μπαταρίες του. Όταν το ηλεκτρικό αυτοκίνητο βρίσκεται σε κίνηση, αυτές οι αλλαγές αντιστρέφονται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

4.3 Τεχνολογία μπαταριών ηλεκτρικού αυτοκινήτου

Οι μπαταρίες ηλεκτρικών αυτοκινήτων (Electric Vehicle Batteries) υφίστανται κύκλους «εκφόρτισης» που συμβαίνουν κατά την οδήγηση και «φόρτισης» όταν το αυτοκίνητο είναι συνδεδεμένο στην πρίζα. Η επανάληψη αυτής της διαδικασίας με την πάροδο του χρόνου επηρεάζει την ποσότητα φόρτισης που μπορεί να κρατήσει η μπαταρία. Αυτό μειώνει το εύρος και το χρόνο που απαιτείται μεταξύ κάθε διαδρομής για φόρτιση. Οι περισσότεροι κατασκευαστές έχουν εγγύηση πέντε έως οκτώ ετών για την μπαταρία τους. Ωστόσο, η τρέχουσα πρόβλεψη είναι ότι μια μπαταρία ηλεκτρικού αυτοκινήτου θα διαρκέσει από 10 έως 20 χρόνια πριν απαιτηθεί η αντικατάστασή της (Battery University, 2022).

Ο τρόπος συνεργασίας μιας μπαταρίας και του ηλεκτροκινητήρα του αυτοκινήτου είναι ιδιαίτερα απλός, αφού η μπαταρία συνδέεται με έναν ή περισσότερους ηλεκτρικούς κινητήρες, οι οποίοι κινούν τους τροχούς. Όταν ασκείται πίεση στο γκάζι, το αυτοκίνητο τροφοδοτεί αμέσως ρεύμα στον κινητήρα, ο οποίος καταναλώνει σταδιακά την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στις μπαταρίες (Edf, 2023a).

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες λειτουργούν επίσης ως γεννήτριες, οπότε όταν αφαιρείται η πίεση από το γκάζι, το αυτοκίνητο αρχίζει να επιβραδύνει μετατρέποντας την κίνηση προς τα εμπρός σε ηλεκτρική ενέργεια – αυτό συμβαίνει πιο έντονα αν ασκηθεί πίεση στα φρένα. Αυτό το αναγεννητικό φρενάρισμα ανακτά ενέργεια που, διαφορετικά, θα χανόταν, αποθηκευοντάς την ξανά στην μπαταρία και βελτιώνοντας έτσι την αυτονομία του αυτοκινήτου.

4.4 Φόρτιση ηλεκτρικού αυτοκινήτου

4.4.1 Ηλεκτρική μπαταρία αυτοκινήτου ιόντων λιθίου

Η μπαταρία ιόντων λιθίου είναι ένας τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας που χρησιμοποιείται σε ηλεκτρικά οχήματα και σε ορισμένα φορητά ηλεκτρονικά. Έχει υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από τις τυπικές επαναφορτιζόμενες μπαταρίες μολύβδου – οξέος ή νικελίου-καδμίου. Αυτό σημαίνει ότι οι κατασκευαστές μπαταριών μπορούν να εξοικονομήσουν χώρο, μειώνοντας το συνολικό μέγεθος της μπαταρίας.

Το λίθιο είναι επίσης το ελαφρύτερο από όλα τα μέταλλα. Ωστόσο, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου δεν περιέχουν μέταλλο λιθίου, αλλά ιόντα.

4.4.2 Βασικά ευρήματα της έκθεσης του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος

Πρόσφατη έκθεση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (European Environment Agency) καταλήγει στο συμπέρασμα ότι, όσον αφορά στην κλιματική αλλαγή και στην ποιότητα του αέρα, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι προτιμότερα σε σημαντικό ποσοστό από τα αυτοκίνητα βενζίνης ή πετρελαίου (European Environment Agency, 2022). Σε αντίθεση με ορισμένες δημόσιες αμφιβολίες και αβεβαιότητες όσον αφορά στα περιβαλλοντικά οφέλη των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, η επιστήμη γίνεται όλο και πιο ξεκάθαρη. Ακόμη και με το τρέχον μίγμα ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη, το οποίο εξακολουθεί να συμπεριλαμβάνει μεγάλη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα, τα οφέλη που καταγράφονται είναι ξεκάθαρα. Αυτά τα οφέλη θα αυξηθούν περαιτέρω μελλοντικά, καθώς η Ευρώπη χρησιμοποιεί περισσότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο μέλλον (Unterstaller, 2018).

Αυτή είναι επίσης μια από τις πρώτες αναφορές που φέρνουν μια προοπτική κυκλικής οικονομίας στη συζήτηση για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, δίνοντας μεγάλη βαρύτητα στην επαναχρησιμοποίηση, στην ανακατασκευή, καθώς και στην ανακύκλωση. Έχουν γίνει πλήθος επιστημονικών μελετών όσον αφορά στις επιπτώσεις στον κύκλο ζωής των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Απαιτείται η βελτίωση στην επαναχρησιμοποίηση και στην ανακύκλωση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και των εξαρτημάτων τους, στην προσπάθεια ελαχιστοποίησης του αντίκτυπου των συνεπειών της παραγωγής τους στο περιβάλλον. Επιπρόσθετα, η φάση της διάρκειας ζωής τους αποκτά ιδιαίτερη σημασία για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, τα οποία περιέχουν πολλά μέταλλα και άλλες κρίσιμες πρώτες ύλες που μπορούν να καταναλώσουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας για την επεξεργασία τους και να εμπλέκουν, κάποιες φορές, τοξικές ουσίες στην παραγωγή τους. Επομένως, αν καταστεί εφικτή η ανάκτησή τους από

υπάρχοντα αυτοκίνητα προς επαναχρησιμοποίηση τους, αυτό θα αποτελεί είναι μεγάλο όφελος.

Στο ερώτημα, ποιες ενέργειες θα πρέπει να αναληφθούν, προκειμένου να γίνουν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα περισσότερο βιώσιμα και να αξιοποιηθούν τα οφέλη τους στον μέγιστο βαθμό τόσο για το περιβάλλον, όσο και την υγεία, η έκθεση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος επισημαίνει πως θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας που αξιοποιείται για την κατασκευή και τη λειτουργία ηλεκτρικών οχημάτων προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η έκθεσή επισημαίνει ότι αυτός είναι ο μεγαλύτερος μεμονωμένος παράγοντας επιρροής στις περιβαλλοντικές και υγειονομικές επιδόσεις τους.

Θα πρέπει, επίσης, η προσπάθεια να εστιαστεί στην αύξηση της διάρκειας ζωής των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Η αύξηση χρήσης των χιλιομέτρων για κάθε ηλεκτρικό αυτοκίνητο που παράγεται είναι ζωτικής σημασίας. Έτσι, εάν οδηγηθούν για 70.000 χιλιόμετρα (km) και στη συνέχεια διαλυθούν, η συνολική περιβαλλοντική τους απόδοση δεν φαίνεται τόσο καλή σε σύγκριση με τα συμβατικά αυτοκίνητα, λόγω της επιπλέον ενέργειας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή τους – περισσότερη από αυτή ενός συμβατικού αυτοκινήτου. Αλλά, εφόσον οδηγηθούν για 150.000 km ή περισσότερο, η σύγκριση ευνοεί έντονα τα ηλεκτρικά οχήματα. Τέλος, όταν ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο πρέπει να οδηγηθεί σε διάλυση, θα πρέπει να αξιοποιηθούν στο έπακρο τα υλικά του.

4.5 Σύγκριση ηλεκτρικού αυτοκινήτου με βενζινοκίνητο

Το Ινστιτούτο Επιστήμης και Τεχνολογίας του Λουξεμβούργου έχει δημιουργήσει ένα εργαλείο, το οποίο συγκρίνει τις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, έναντι αυτών με κινητήρα βενζίνης. Ο κύριος στόχος είναι να γίνει κατανοητό στους χρήστες ότι η ηλεκτροκίνηση οδηγεί σε πλεονεκτήματα έναντι της συμβατικής, εφόσον μια σειρά παραγόντων συμβάλλουν στην εικόνα της αυτή. Πιο συγκεκριμένα, η «πράσινη» εικόνα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων δεν είναι άσχετη με τον τρόπο εφοδιασμού τους με ηλεκτρική ενέργεια, αφού η κατασκευή και η λειτουργία της μπαταρίας που θα διασφαλίσει την ενέργεια κίνησης και λειτουργίας του, αποτελεί κομβικό παράγοντα. Τόσο το μέγεθός της και η διάρκεια ζωής της, όσο και τα υλικά κατασκευής της, αποτελούν προσδιοριστικά στοιχεία στην διαμόρφωση της οικολογικής εικόνας των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

4.6 Σύγκριση ηλεκτρικού αυτοκινήτου με αυτοκίνητο κινητήρα ΜΕΚ

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να τονιστεί ότι κανένα αυτοκίνητο δεν θα καταστεί ποτέ 100% καθαρό. Προφανώς, ούτε το ηλεκτρικό. Αυτό που, με τα μέχρι σήμερα δεδομένα, φαίνεται αδιαμφισβήτητο είναι ότι ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο είναι η καλύτερη επιλογή για το περιβάλλον. Ωστόσο, η χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς ή απλώς το περπάτημα ή το ποδήλατο στη δουλειά θα είναι πάντα πολύ καλύτερη για το περιβάλλον. Ένα αυτοκίνητο είναι ακόμα αυτοκίνητο. Η αντικατάσταση ενός τύπου αυτοκινήτου με άλλου τύπου όχημα δεν πρόκειται να λύσει προβλήματα μεταφοράς, όπως αυτό της κυκλοφοριακής συμφόρησης.

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι απλώς πιο αποδοτικοί από τους κινητήρες εσωτερικής καύσης, επομένως περισσότερη ενέργεια που καταναλώνεται στην μπαταρία καταλήγει να χρησιμοποιείται για την οδήγηση του αυτοκινήτου. Ειδικά, κατά την οδήγηση σε πόλεις, τα ηλεκτρικά οχήματα σπαταλούν λιγότερη ενέργεια. Επίσης, δεν υπάρχουν εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων από την εξάτμιση, όπως οξειδία και σωματίδια του αζώτου. Φυσικά, η παραγωγή σωματιδίων από το φρενάρισμα και τη φθορά των ελαστικών υφίσταται και στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, αλλά, συνολικά, είναι λιγότερα από ό,τι από αυτά που παράγονται από ένα αυτοκίνητο βενζίνης ή ντίζελ. Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν, επίσης, να επιτύχουν μείωση του θορύβου. Ειδικά σε χαμηλότερες ταχύτητες εκπέμπουν λιγότερο από τα συμβατικά αυτοκίνητα.

Από άποψη υγείας, το κύριο όφελος σχετίζεται με την ποιότητα του αέρα. Προφανώς δεν θα πάψει ένα ποσοστό ατμοσφαιρικής ρύπανσης από την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, αλλά αυτή συνήθως προέρχεται από σταθμούς παραγωγής ενέργειας, οι οποίοι μπορεί να έχουν καλύτερους ελέγχους ρύπανσης από ό,τι θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε ένα συμβατικό όχημα και, συνήθως, βρίσκονται πιο μακριά από πυκνοκατοικημένες περιοχές, αντίθετα με τα αυτοκίνητα με μηχανές εσωτερικής καύσης, τα οποία, κινούμενα μέσα σε αυτές, επιβαρύνουν ιδιαίτερα την ποιότητα του αέρα τους.

4.7 Προβληματισμοί των καταναλωτών

Υπάρχουν πολλές ανησυχίες των καταναλωτών για το αν υπάρχουν αρκετά σημεία φόρτισης κατά μήκος των αυτοκινητοδρόμων ή των χώρων στάθμευσης, καθώς και για την

καταπόνηση των δικτύων ηλεκτροδότησης και του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας. Προς το παρόν, κυκλοφορεί μικρός αριθμός ηλεκτρικών αυτοκινήτων στους δρόμους. Ορισμένες πόλεις έχουν μεγαλύτερο αριθμό ηλεκτρικών αυτοκινήτων από άλλες, αλλά, συνολικά, περίπου το 1,5 % του στόλου νέων αυτοκινήτων στην Ευρώπη που πωλήθηκαν πέρυσι ήταν ηλεκτρικά οχήματα (ηλεκτρικά με μπαταρία και υβριδικά plug-in). Επομένως, οι υποδομές θα πρέπει να αναπτυχθούν, καθώς όλο και περισσότερα ηλεκτρικά αυτοκίνητα εμφανίζονται στους δρόμους. Σε ορισμένες από τις μεγαλύτερες πόλεις, οι υποδομές είναι ήδη επαρκείς και ο αριθμός των σταθμών φόρτισης που είναι προσβάσιμοι στο κοινό αυξάνεται ραγδαία τα τελευταία χρόνια.

Όσον αφορά στον λογαριασμό του ρεύματος, σίγουρα θα αυξηθεί, αλλά η λειτουργία ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου θα κοστίσει λιγότερο από ένα κανονικό αυτοκίνητο με βενζίνη ή ντίζελ. Αυτό συμβάλλει στην αντιστάθμιση της υψηλής τιμής αγοράς των ηλεκτρικών αυτοκινήτων με την πάροδο του χρόνου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

5.1 Ηλεκτρικά οχήματα και ενεργειακός τομέας – μελλοντικές επιπτώσεις των εκπομπών ρύπων στην Ευρώπη

Η έκθεση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος για το 2016 τονίζει ότι απαιτείται μια θεμελιώδης αλλαγή στον τομέα των οδικών μεταφορών, εάν η Ευρώπη θέλει να επιτύχει τον στόχο της για μια μακροπρόθεσμη μετάβαση σε μια Ευρωπαϊκή οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα (European Environment Agency, 2016). Τα ηλεκτρικά οχήματα που φορτίζονται με ηλεκτρική ενέργεια μέσω ανανεώσιμων πηγών μπορούν να μειώσουν τις μελλοντικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και ατμοσφαιρικών ρύπων από τις οδικές μεταφορές. Σύμφωνα με την έκθεση αυτή, τα ηλεκτρικά οχήματα που κινούνται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στα σχέδια της ΕΕ, τόσο για την μετάβαση προς ένα σύστημα μεταφορών χωρίς άνθρακα, όσο και στην προσπάθεια επίτευξης του στόχου της να μειώσει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου κατά 80-95% έως το 2050.

Εκτιμάται ότι η αύξηση της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων θα οδηγήσει σε επιπλέον ζήτηση ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ-28). Ειδικότερα, εκτιμάται ότι η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από ηλεκτρικά οχήματα στην Ευρώπη θα αυξηθεί από, περίπου, 0,03 % το 2014 σε 9,5 % το 2050.

Η αύξηση της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων θα έχει ως αποτέλεσμα:

- Χαμηλότερες εκπομπές CO₂ και ατμοσφαιρικών ρύπων από τον ίδιο τον τομέα των οδικών μεταφορών
- Υψηλότερες εκπομπές από τη σχετική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Επίτευξη ενός συνολικού καθαρού οφέλους, όσον αφορά στις χαμηλότερες εκπομπές CO₂ και των ατμοσφαιρικών ρύπων, των οξειδίων του αζώτου (NO_x) και λοιπών σωματιδίων.

➤ Συνολική αύξηση του διοξειδίου του θείου (SO₂), εξαιτίας των εκπομπών από τον τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Η έκθεση εξέτασε τις επιπτώσεις στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Εάν το 80% όλων των αυτοκινήτων ήταν το 2050 ηλεκτρικά, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ πιθανότατα θα αυξανόταν κατά περίπου 10%. Εκτιμάται ότι το μεγαλύτερο μέρος της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας θα εξακολουθήσει να προέρχεται από τη βιομηχανία και τα ιδιωτικά νοικοκυριά. Θα πρέπει, επίσης, το ηλεκτρικό δίκτυο να εξελιχθεί παράλληλα με την υποδομή φόρτισης, αφού ολοένα και περισσότερα ηλεκτρικά αυτοκίνητα βγαίνουν στο δρόμο. Αυτή είναι μια πρόκληση, αλλά η ΕΕ κάνει ήδη το ίδιο για την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο.

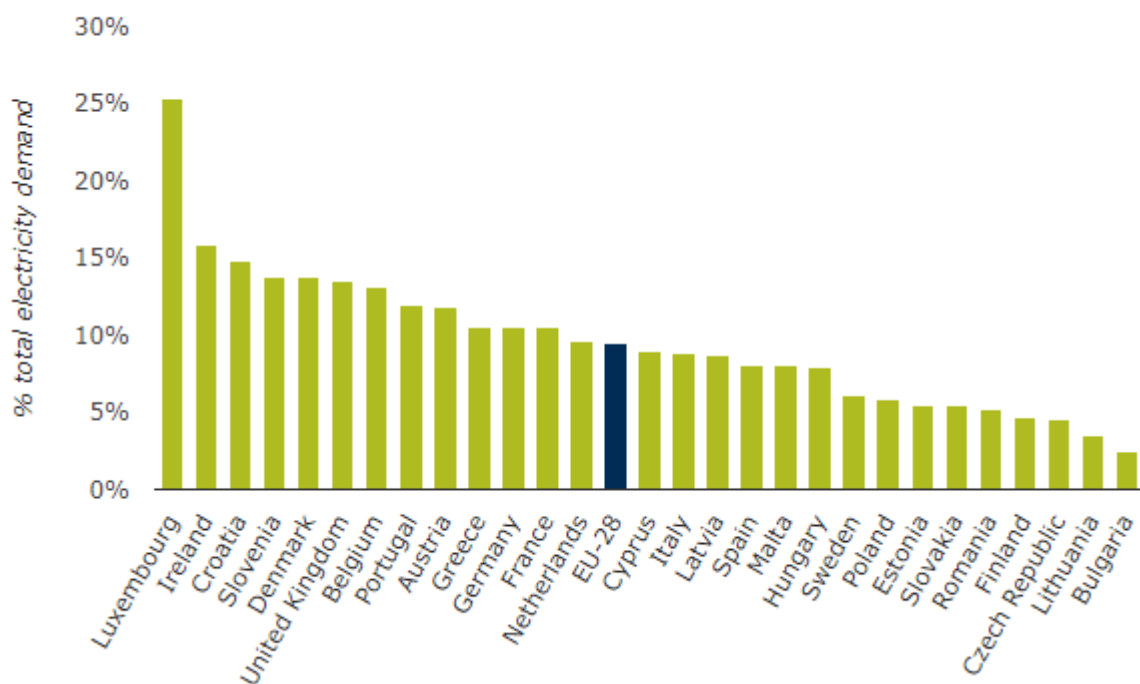
Αν και οι τεχνολογικές βελτιώσεις των ηλεκτρικών οχημάτων συνεχώς εντείνονται, ο τομέας των μεταφορών συμβάλλει περίπου στο ένα τέταρτο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην Ευρώπη, συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό στην κλιματική αλλαγή. Οι εκπομπές από τα συμβατικά οχήματα συμβάλλουν, επίσης, σε υψηλές συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων σε πολλές ευρωπαϊκές πόλεις, οι οποίες συχνά δεν πληρούν τα πρότυπα ποιότητας του αέρα, όπως αυτά ορίζονται από την ΕΕ και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ).

Θα απαιτηθεί πρόσθετη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση για την κάλυψη της επιπλέον ενεργειακής ζήτησης που προκύπτει από το μερίδιο 80% των ηλεκτρικών οχημάτων το 2050. Το μερίδιο της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη από τα ηλεκτρικά οχήματα αναμένεται να αυξηθεί από, περίπου, 0,03% το 2014 σε, περίπου, 4- 5% έως το 2030 και σε 9,5% έως το 2050.

Η πρόσθετη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας εξαιτίας των υψηλών ποσοστών ηλεκτρικών οχημάτων που αναμένονται για το μέλλον θα πρέπει να ικανοποιηθεί με πρόσθετη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, αυτή η πρόσθετη ενέργεια πρέπει να ενσωματωθεί στις υποδομές των ηλεκτρικών δικτύων σε όλη την Ευρώπη. Ως εκ τούτου, τα κρίσιμα ερωτήματα είναι πόση ηλεκτρική ενέργεια χρειάζεται, ποιος τύπος παραγωγής χρησιμοποιείται για την κάλυψη αυτής της πρόσθετης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και πώς διαχειρίζονται οι αιχμές φόρτισης;

Μέχρι το 2030, η πρόσθετη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από τα ηλεκτρικά οχήματα θα είναι περιορισμένη και δεν θα επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως, μακροπρόθεσμα, με τα υψηλά μερίδια αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων να αναλαμβάνονται το 2050, η απαιτούμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας θα έχει σημαντικότερο αντίκτυπο στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη.

Το μερίδιο της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται από ένα μερίδιο 80% των ηλεκτρικών οχημάτων το 2050 θα κυμαίνεται μεταξύ 3% και 25% της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στα κράτη μέλη της ΕΕ-28 (Εικόνα 3), ανάλογα με τον αριθμό των ηλεκτρικών οχημάτων που αναμένεται σε κάθε χώρα. Κατά μέσο όρο, για την ΕΕ-28, το ποσοστό της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται το 2050 είναι 9,5%, σε σύγκριση με το 1,3% που αναμένεται, σύμφωνα με την πρόβλεψη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Συνολικά, θα χρειαστεί μια πρόσθετη ηλεκτρική ισχύς 150 GW για τη φόρτιση ηλεκτρικών αυτοκινήτων.



Εικόνα 8. Απαιτούμενη ενέργεια ηλεκτρικών οχημάτων ως ποσοστό της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας το 2050 (Πηγή: <http://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Assessing-the-status-of-electrification-of-the-road-transport-passenger-vehicles.pdf>)

Το δυναμικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την τροφοδοσία ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να συμβάλει σε σημαντική απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές του μελλοντικού τομέα των οδικών μεταφορών και στη βελτίωση της αποδοτικότητας των πόρων. Έχει, επίσης, επιπλέον πλεονεκτήματα όσον αφορά στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ωστόσο, ο βαθμός στον οποίο μπορεί να επιτευχθεί κάτι τέτοιο ποικίλλει σημαντικά ανά χώρα, όσον αφορά στον τρόπο με τον οποίο μπορεί να καλυφθεί η ζήτηση για πρόσθετη ηλεκτρική ενέργεια για τα ηλεκτρικά οχήματα.

Η ενσωμάτωση της πρόσθετης ενεργειακής ζήτησης που προκαλείται από τα ηλεκτρικά οχήματα θέτει προκλήσεις για τη διαχείριση των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας σε τοπικό, σε εθνικό και σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

Τα υψηλά μερίδια ηλεκτρικών οχημάτων θα απαιτήσουν σημαντική πρόσθετη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία, ελλείψει συντονισμένων επενδύσεων, μπορεί να ασκήσει πίεση στις υποδομές ηλεκτρικής ενέργειας. Ακόμη και μεταξύ χωρών με παρόμοιο μερίδιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι στρατηγικές διαχείρισης για την προσαρμογή της φόρτισης μεγάλου αριθμού ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να είναι πολύ διαφορετικές, ανάλογα με τους τύπους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη συμβατική παραγωγή ενέργειας σε κάθε χώρα. Σε χώρες με μεγάλες διακυμάνσεις στον εφοδιασμό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ο συντονισμός της ενεργειακής ζήτησης από τα ηλεκτρικά οχήματα μπορεί να γίνει μια μεγάλη πρόκληση.

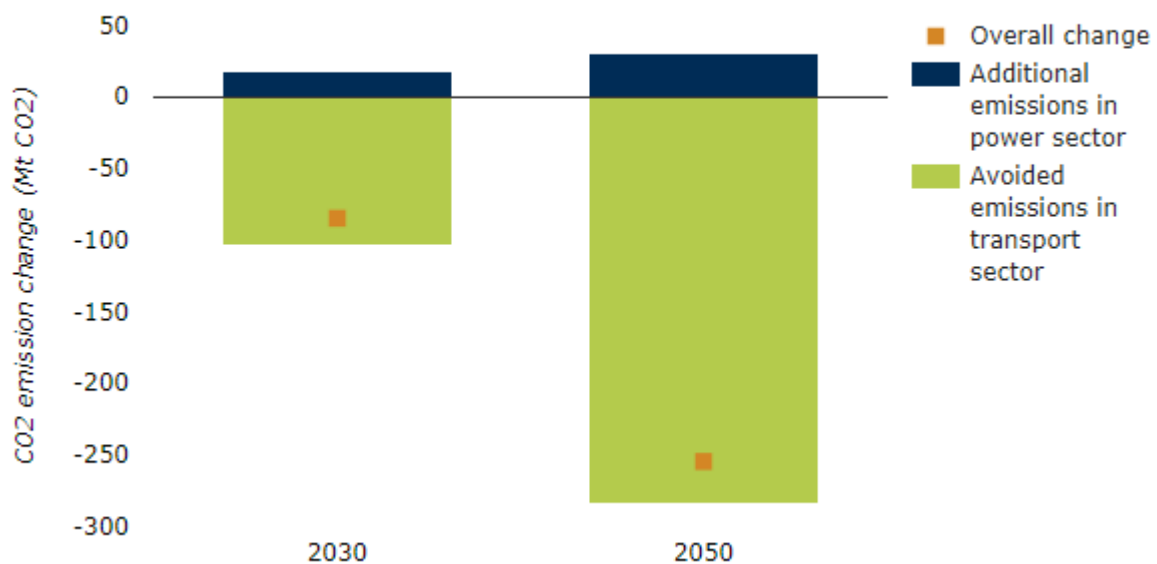
Είναι σαφές, για παράδειγμα, ότι οι χώρες με υψηλή ικανότητα παραγωγής ηλιακής ενέργειας, για τις οποίες η προτιμώμενη αιχμή φόρτισης θα συμβαίνει κατά τη διάρκεια της ημέρας, θα πρέπει να εφαρμόσουν διαφορετικές στρατηγικές διαχείρισης δικτύου και ενέργειας από χώρες που έχουν μόνο αιολική ή συνδυασμένη ηλιακή και αιολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σε περιοχές με αδύναμη δικτυακή υποδομή, ενδέχεται να απαιτείται πρόσθετη ενίσχυση του δικτύου ή εφαρμογή συγκεκριμένων προσεγγίσεων «έξυπνης χρέωσης» για να διασφαλιστεί μια αποτελεσματική και ευέλικτη υποδομή παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

5.2 Κλιματικές και Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Η αύξηση του αριθμού των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να μειώσει σημαντικά τις άμεσες εκπομπές CO₂ και τους ατμοσφαιρικούς ρύπους από τις οδικές μεταφορές. Ωστόσο, αυτές οι θετικές επιπτώσεις αντισταθμίζονται εν μέρει από τις πρόσθετες εκπομπές που προκαλούνται από την πρόσθετη ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται και τη συνεχιζόμενη χρήση ορυκτών καυσίμων στην προβολή του τομέα της ενέργειας το 2050.

Ένα μερίδιο 80% των ηλεκτρικών οχημάτων στον στόλο οδικών μεταφορών επιβατών το 2050 θα έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερες εκπομπές CO₂ και ατμοσφαιρικών ρύπων από τον ίδιο τον τομέα των οδικών μεταφορών. Ωστόσο, υψηλότερες εκπομπές θα προκύψουν από τη σχετική καύση ορυκτών καυσίμων στον τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, εάν δεν πραγματοποιηθούν μειώσεις στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σε άλλους τομείς, π.χ. με βελτιώσεις της ενεργειακής απόδοσης.

Συνολικά, οι αποφευχθείσες εκπομπές CO₂ στον τομέα των οδικών μεταφορών υπερτερούν των υψηλότερων εκπομπών από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στην ΕΕ-28, θα μπορούσε να επιτευχθεί καθαρή μείωση κατά 255 Mt CO₂ το 2050 (Εικόνα 4), ποσό που ισοδυναμεί με περίπου το 10% των συνολικών εκπομπών από όλους τους τομείς για το συγκεκριμένο έτος, σύμφωνα με την πρόβλεψη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Σε χώρες με υψηλά μερίδια σταθμών παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, η ζήτηση ηλεκτρικών οχημάτων θα μπορούσε, ωστόσο, να οδηγήσει σε υψηλότερες εκπομπές CO₂. Επομένως, το περιβαλλοντικό όφελος των ηλεκτρικών οχημάτων σε αυτές τις περιπτώσεις δεν θα πραγματοποιηθεί πλήρως.



Εικόνα 9. Προβλέψεις αλλαγών στις εκπομπές CO₂ στους τομείς της ενέργειας και των οδικών μεταφορών (Πηγή: <http://www.oeko.de/fileadmin/oeko/doc/Assessing-the-status-of-electrification-of-the-road-transport-passenger-vehicles.pdf>)

Για τους ατμοσφαιρικούς ρύπους, ένα μερίδιο 80% των ηλεκτρικών οχημάτων το 2050 θα μειώσει σημαντικά τις άμεσες εκπομπές καυσαερίων NO_x, PM (αιωρούμενα σωματίδια) και SO₂ από τις οδικές μεταφορές, για κάθε ρύπο περισσότερο από 80% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2010. Ωστόσο, όσον αφορά στο CO₂, η συνολική μείωση για NO_x και PM θα αντισταθμιστεί σε κάποιο βαθμό από πρόσθετες εκπομπές που οφείλονται στον τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας — κατά 1% για NO_x και 3% για PM 10 (σωματίδια με διάμετρο 10 μm ή λιγότερο). Η κατάσταση είναι διαφορετική για το SO₂. Οι, ήδη, σχετικά χαμηλές εκπομπές SO₂ που προέρχονται από τις οδικές μεταφορές, σε συνδυασμό με τη χρήση άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θα έχουν ως αποτέλεσμα πρόσθετες

εκπομπές SO₂, οι οποίες υπερβαίνουν τη μείωση που σημειώνεται στον τομέα των οδικών μεταφορών κατά 5%. Θα απαιτηθεί πρόσθετη μείωση των υψηλότερων εκπομπών SO₂.

Η διαφορά στις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων από τον τομέα των οδικών μεταφορών και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν μπορεί να συγκριθεί άμεσα ως προς τις αντίστοιχες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Η επίδρασή τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θέση, την ένταση και τον τύπο των πηγών εκπομπής. Οι εκπομπές από τις οδικές μεταφορές καταγράφονται στο επίπεδο του εδάφους και, γενικά, σε περιοχές όπου οι άνθρωποι ζουν και εργάζονται, όπως σε πόλεις και κωμοπόλεις, με αποτέλεσμα μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού να εκτίθεται σε αυτές. Αντίθετα, οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής βρίσκονται, γενικά, εκτός πόλεων, σε λιγότερο κατοικημένες περιοχές. Ως αποτέλεσμα αυτής της χαμηλότερης έκθεσης, μια ενδεχόμενη μετατόπιση των εκπομπών ρύπων από τον τομέα των οδικών μεταφορών στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να καταστεί επωφελής για την υγεία.

5.3 Πρωτοπóρες χώρες προώθησης και χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων

Πολλές ευρωπαϊκές χώρες είναι, στην πραγματικότητα, αρκετά ενεργές στην προώθηση της χρήσης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, όπως η Νορβηγία, η οποία έχει εφαρμόσει φιλόδοξες πολιτικές για να φτάσει σε υψηλότερο μερίδιο ηλεκτρικών αυτοκινήτων, έχοντας, επίσης, επενδύσει σε υποδομές φόρτισης. Η Ολλανδία, το Ηνωμένο Βασίλειο και η Γαλλία έχουν, επίσης, επενδύσει στην ηλεκτροκίνηση. Συνολικά, η Ευρωπαϊκή Ένωση αποτελεί έναν από τους μεγάλους παίκτες σε παγκόσμιο επίπεδο, μαζί με τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Κίνα. Όλοι επενδύουν πολλά στην ηλεκτρική κινητικότητα.

5.4 Σχεδιασμός για το μέλλον

Ένα μεγάλο μερίδιο ηλεκτρικών οχημάτων στους δρόμους της Ευρώπης στο μέλλον, θα έχει επιπτώσεις στην υποδομή παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ενσωμάτωση της πρόσθετης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας θέτει διάφορες προκλήσεις. Είναι σημαντικό οι τομείς των οδικών μεταφορών και της ενέργειας να συνδεθούν στενότερα και να ενσωματωθούν αποτελεσματικά οι πολιτικές και οι επενδυτικές αποφάσεις και στους δύο τομείς.

Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι μόνο ένας τρόπος, με τον οποίο η Ευρώπη μπορεί να κινηθεί προς μια οικονομία πιο αποδοτική ως προς τους πόρους και ως προς ένα σύστημα μεταφορών απελευθερωμένο από τον άνθρακα. Η αντικατάσταση συμβατικών αυτοκινήτων με ηλεκτρικά μπορεί να οδηγήσει στη μείωση των εκπομπών. Βέβαια, το πόσο βοηθά, εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την πηγή προέλευσης της ηλεκτρικής ενέργειας που αξιοποιείται για τη φόρτιση των οχημάτων: ανανεώσιμες πηγές, πυρηνική ενέργεια ή πηγές ορυκτών καυσίμων. Ωστόσο, η απλή αντικατάσταση των συμβατικών οχημάτων δεν θα λύσει άλλα προβλήματα που σχετίζονται με τις μεταφορές, όπως η αυξανόμενη κυκλοφοριακή συμφόρηση και η αύξηση της ζήτησης για οδικές υποδομές. Απαιτείται ένας συστηματικός μετασχηματισμός, συμπεριλαμβανομένης της περαιτέρω ανάπτυξης των ανανεώσιμων βιοκαυσίμων, της στροφής προς τις μη μηχανοκίνητες ή/και τις δημόσιες μεταφορές και την αλλαγή των τρόπων με τους οποίους χρησιμοποιούμε τα συστήματα μεταφορών μας. Αυτό θα βοηθήσει στην επίτευξη της δέσμευσης της ΕΕ για πιο αποδοτική χρήση πόρων.

5.5 Ενέργειες προώθησης της χρήσης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων από ΕΕ και Ευρωπαϊκή Επιτροπή

5.5.1 Τα ηλεκτρικά οχήματα στην Ε.Ε.

Η ΕΕ, ως σύνολο, δαπανά δισεκατομμύρια ευρώ σε σχετική έρευνα την τελευταία δεκαετία, εντείνοντας παράλληλα τις απαιτήσεις της για ταχεία επέκταση της υποδομής φόρτισης. Επενδύει, επίσης, μεγάλα ποσά στην προώθηση υποδομών εναλλακτικών καυσίμων, οι οποίες περιλαμβάνουν φορτιστές ηλεκτρικών οχημάτων, ιδίως στους κύριους ευρωπαϊκούς διαδρόμους διέλευσης.

Η ΕΕ πιέζει επίσης στον τομέα της ανάπτυξης παραγωγής μπαταριών στην Ευρώπη, επειδή οι μπαταρίες ηλεκτρικών αυτοκινήτων μέχρι τώρα παράγονται κατά κύριο λόγο στην Ιαπωνία, στην Κίνα και στη Νότια Κορέα. Και ακόμη, η ΕΕ θεσπίζει κοινούς κανόνες και πρότυπα για τα ηλεκτρικά οχήματα και την υποδομή φόρτισης, στην κατεύθυνση της διασφάλισης όλων των απαιτούμενων προϋποθέσεων ελεύθερης και χωρίς περιορισμούς κυκλοφορίας τους στην Ευρώπη.

Σε όλο τον κόσμο, οι κυβερνήσεις και οι αυτοκινητοβιομηχανίες προκρίνουν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ως βασική τεχνολογία στην προσπάθεια περιορισμού της χρήσης πετρελαίου και στην αντιμετώπιση του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής. Η General Motors έχει δηλώσει ότι σκοπεύει να σταματήσει την πώληση νέων βενζινοκίνητων οχημάτων και

ελαφρών φορτηγών έως το 2035, στρεφόμενη σε μοντέλα με μπαταρία. Η Volvo ανακοίνωσε ότι θα κινηθεί ακόμα πιο γρήγορα και θα παρουσιάσει μια πλήρως ηλεκτρική σειρά μέχρι το 2030.

Καθώς τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα και τα φορτηγά γίνονται mainstream, αναδύεται ένα επίμονο ερώτημα: Είναι, πράγματι, τόσο πράσινα όσο διαφημίζονται;

Ενώ οι ειδικοί συμφωνούν γενικά ότι τα plug-in οχήματα αποτελούν μια περισσότερο φιλική προς το κλίμα επιλογή από τα παραδοσιακά αυτοκίνητα, μπορούν να έχουν τις δικές τους περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες αποτελούν συνάρτηση του τρόπου φόρτισης και κατασκευής τους.

5.5.2 Η σημαντικότητα του τρόπου παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας

Τα περισσότερα ηλεκτρικά οχήματα που πωλούνται σήμερα, εμφανίζουν σημαντικά λιγότερες εκπομπές υπερθέρμανσης του πλανήτη από ό,τι τα περισσότερα οχήματα που τροφοδοτούνται με βενζίνη. Πάντως, πολλά εξαρτώνται από την ποσότητα του άνθρακα που καίγεται προκειμένου να παραχθούν οι μπαταρίες φόρτισής τους. Είναι προφανές ότι θα πρέπει να επιτευχθεί μεγαλύτερη πρόοδος στην κατεύθυνση της μείωσης των ρύπων άνθρακα που παράγονται κατά τη διαδικασία επίτευξης της διασφάλισης της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας για την κίνηση αυτών των αυτοκινήτων.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες τα ηλεκτρικά οχήματα αντλούν την ισχύ τους από το μέσο δίκτυο, το οποίο, συνήθως, προσφέρει ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από συνδυασμό καύσης ορυκτών καυσίμων και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Στην περίπτωση αυτή, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι, σχεδόν πάντα, περισσότερο οικολογικά από τα συμβατικά αυτοκίνητα. Και, παρόλο που τα ηλεκτρικά οχήματα εμφανίζονται να έχουν μεγαλύτερης έντασης εκπομπές καυσαερίων, λόγω της διαδικασίας κατασκευής των μπαταριών τους, οι ηλεκτροκινητήρες τους είναι πιο αποδοτικοί από τους παραδοσιακούς κινητήρες εσωτερικής καύσης που καίνε ορυκτά καύσιμα, με αποτέλεσμα το τελικό ισοζύγιο μικρότερης επιβάρυνσης του περιβάλλοντος να γέρνει υπέρ των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

5.6 Η άνοδος των ηλεκτρικών οχημάτων

5.6.1 Το ηλεκτρικό όχημα ως συμφέρουσα επιλογή

Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι, συνήθως, μια φιλικότερη προς το κλίμα επιλογή. Όμως, η αύξηση της παραγωγής τους οδηγεί στην μείωση της εξοικονόμησης εκπομπών, καθώς και άλλων ωφελειών για το περιβάλλον και την ασφάλειά του.

Είναι χαρακτηριστικό ότι ένα πλήρως ηλεκτρικό αυτοκίνητο Chevrolet Bolt αναμένεται να παράγει, κατά μέσο όρο, 189 γραμμάρια CO₂ για κάθε μίλι που διανύεται κατά τη διάρκεια της ζωής του. Αντίθετα, ένα νέο Toyota Camry με βενζίνη υπολογίζεται ότι παράγει 385 γραμμάρια CO₂ ανά μίλι. Ένα νέο φορτηγό Ford F-150, το οποίο έχει χαρακτηριστεί ως ακόμη λιγότερο αποδοτικό σε καύσιμα, παράγει 636 γραμμάρια CO₂ ανά μίλι. Όμως, αυτό είναι απλώς ένας μέσος όρος (Tabuchi & Plumer, 2021). Από την άλλη πλευρά, εάν το Bolt φορτιστεί σε ένα σταθμό φόρτισης, ο οποίος λαμβάνει ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από καύση άνθρακα, μπορεί να είναι λίγο χειρότερο για το κλίμα από ένα σύγχρονο υβριδικό αυτοκίνητο όπως το Toyota Prius, το οποίο λειτουργεί με βενζίνη, αλλά χρησιμοποιεί την ενέργεια μιας μπαταρίας για να αυξήσει την αυτονομία του σε χιλιόμετρα.

Σύμφωνα με τον καθηγητή Μηχανικής στο Πανεπιστήμιο Carnegie Mellon, Jeremy Michalek, ο άνθρακας τείνει να είναι ο κρίσιμος παράγοντας στην αξιολόγηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος εξαιτίας της λειτουργίας ενός οχήματος, με την έννοια ότι η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την κίνησή του είναι υπεύθυνη για την παραγωγή αυξημένων ποσοτήτων άνθρακα. Συγκεκριμένα, εφόσον η απαιτούμενη για την φόρτιση της μπαταρίας ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου παράγεται από εργοστάσια άνθρακα, τα οποία αναγκάζονται να αυξήσουν την παραγωγή τους λόγω αυτής της αυξανόμενης ζήτησης, το αποτέλεσμα είναι να καίγεται περισσότερος άνθρακας και, επομένως, τα οφέλη για το κλίμα να μην είναι τόσο μεγάλα. Αντίθετα, είναι πιθανή η αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Τα καλά νέα για τα ηλεκτρικά οχήματα είναι ότι οι περισσότερες χώρες πιέζουν στην κατεύθυνση της αύξησης της καθαρότητας των ηλεκτρικών τους δικτύων. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας έχουν αποσύρει εκατοντάδες εργοστάσια άνθρακα την τελευταία δεκαετία και έχουν στραφεί σε ένα μείγμα φυσικού αερίου, αιολικής και ηλιακής ενέργειας με χαμηλότερες εκπομπές. Ως αποτέλεσμα, οι ερευνητές ανακάλυψαν ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν γίνει, επίσης, πιο καθαρά, με ιδιαίτερα ευοίωνες προοπτικές (Hiload et al., 2020).

Σύμφωνα με την Jessika Trancik, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ενεργειακών Σπουδών στο MIT, ο λόγος που τα ηλεκτρικά οχήματα φαίνονται σαν μια ελκυστική λύση για το κλίμα, σχετίζεται άμεσα με την δυνατότητα της διαμόρφωσης των ηλεκτρικών δικτύων να παράγουν μηδενικούς ρύπους άνθρακα, γεγονός που θα οδηγήσει στην εντυπωσιακή μείωση των ρύπων από τα ηλεκτρικά οχήματα. Στην προσπάθεια αυτή, λαμβάνεται ως δεδομένο το γεγονός ότι τα υβριδικά αυτοκίνητα, τα οποία λειτουργούν με ηλεκτρικό ρεύμα και με βενζίνη, θα έχουν πάντα μια βασική γραμμή εκπομπών που δεν μπορεί να μειωθεί περαιτέρω.

5.6.2 Προβληματισμός για την χρήση των πρώτων υλών

Όπως σε πολλές άλλες μπαταρίες, οι κυψέλες ιόντων λιθίου που τροφοδοτούν τα περισσότερα ηλεκτρικά αυτοκίνητα στηρίζονται σε πρώτες ύλες - όπως το κοβάλτιο, το λίθιο και στοιχεία σπάνιων γαιών - οι οποίες έχουν συνδεθεί με σοβαρές περιβαλλοντικές ανησυχίες και προβληματισμούς για τα ανθρώπινα δικαιώματα, με το κοβάλτιο να αποτελεί τον κύριο λόγο ανησυχίας.

Η εξόρυξη κοβαλτίου παράγει επικίνδυνα απορρίμματα, τα οποία μπορούν να διαρρεύσουν στο περιβάλλον, με τις σχετικές μελέτες να έχουν καταγράψει υψηλή διαρροή κοβαλτίου και άλλων επιβλαβών μετάλλων στις παρακείμενες κοινότητες, με συνέπειες ιδιαίτερα επιβαρυντικές, ειδικά στην υγεία των παιδιών. Η εξαγωγή των μετάλλων από τα μεταλλεύματά τους απαιτεί επίσης τη διαδικασία της τήξης, η οποία μπορεί να εκπέμπει οξείδιο του θείου και άλλα υπεύθυνα για την ατμοσφαιρική ρύπανση αέρια. Ακόμη, δεν θα πρέπει να παραληφθεί το γεγονός ότι το 70% της παγκόσμιας προμήθειας κοβαλτίου εξορύσσεται στη Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό, με ένα σημαντικό ποσοστό από αυτό να εξορύσσεται σε μη ελεγχόμενα ορυχεία, στα οποία εργάτες - συμπεριλαμβανομένων πολλών παιδιών - εξορύσσουν το μέταλλο από τη γη, χρησιμοποιώντας μόνο εργαλεία χειρός, με μεγάλο κίνδυνο για την υγεία και την ασφάλειά τους, όπως προειδοποιούν οργανώσεις ανθρωπίνων δικαιωμάτων. Εστιάζοντας κατά κύριο λόγο στο κοβάλτιο, οι αυτοκινητοβιομηχανίες, όπως και άλλοι κατασκευαστές έχουν δεσμευτεί να εξαλείψουν το «τεχνικό» κοβάλτιο από τις αλυσίδες εφοδιασμού τους, έχοντας, επίσης, αναλάβει τη δέσμευση ότι θα αναπτύξουν μπαταρίες που μειώνουν ή καταργούν εντελώς το κοβάλτιο. Αλλά αυτή η τεχνολογία είναι ακόμα σε εξέλιξη και η επικράτηση αυτών των ορυχείων συνεχίζει να βρίσκεται στο προσκήνιο, με αποτέλεσμα αυτές οι δεσμεύσεις να μην είναι, προς το παρόν, ρεαλιστικές.

Ακόμη, έχει εκτιμηθεί ότι η ποσότητα του νερού που απαιτείται για την παραγωγή μπαταριών ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι περίπου 50% περισσότερη από την αντίστοιχη για την κατασκευή των παραδοσιακών κινητήρων εσωτερικής καύσης

5.6.3 Η ανακύκλωση θα μπορούσε να είναι καλύτερη

Καθώς οι προηγούμενες γενιές ηλεκτρικών οχημάτων αρχίζουν να φτάνουν στο τέλος της ζωής τους, η αποτροπή συσσώρευσης εξαντλημένων μπαταριών φαίνεται ως πρόκληση.

Τα περισσότερα από τα σημερινά ηλεκτρικά αυτοκίνητα χρησιμοποιούν μπαταρίες ιόντων λιθίου, οι οποίες έχουν την ικανότητα αποθήκευσης περισσότερης ενέργειας στον ίδιο χώρο συγκριτικά με τις παλαιότερου τύπου μπαταρίες, οι οποίες στηρίζονται στην τεχνολογία

μπαταριών μολύβδου-οξέος. Ωστόσο, ενώ το 99% των μπαταριών μολύβδου-οξέος ανακυκλώνονται, τα εκτιμώμενα ποσοστά ανακύκλωσης για μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι, περίπου, μόλις 5% (Jacoby, 2019).

Οι ειδικοί επισημαίνουν ότι οι χρησιμοποιημένες ηλεκτρικές μπαταρίες περιέχουν πολύτιμα μέταλλα και άλλα υλικά, τα οποία μπορούν να ανακτηθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν. Ανάλογα με τη διαδικασία που χρησιμοποιείται, η ανακύκλωση μπαταριών μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιεί μεγάλες ποσότητες νερού ή να εκπέμπει ατμοσφαιρικούς ρύπους.

«Το ποσοστό των μπαταριών λιθίου που ανακυκλώνονται είναι πολύ χαμηλό, αλλά με τον χρόνο και την καινοτομία, αυτό θα αυξηθεί», υποστηρίζει η Radenka Maric, καθηγήτρια στο Τμήμα Χημικής και Βιομοριακής Μηχανικής του Πανεπιστημίου του Κονέκτικατ (Edf, 2022).

Μια διαφορετική, ιδιαίτερα σημαντική προσέγγιση για την αντιμετώπιση των χρησιμοποιημένων μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων είναι η αξιοποίησή τους είτε στην αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας είτε σε άλλες εφαρμογές. Όπως υποστηρίζει ο Amol Phadke, ανώτερος επιστήμονας στη Σχολή Δημόσιας Πολιτικής Goldman στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια στο Μπέρκλεϋ, για τα αυτοκίνητα, όταν η μπαταρία πέσει κάτω από το 80% της χωρητικότητάς της, η εμβέλεια μειώνεται, αλλά αυτό δεν αποτελεί περιορισμό για την αξιοποίησή της στην σταθερή αποθήκευση.

Διάφορες αυτοκινητοβιομηχανίες, συμπεριλαμβανομένων της Nissan και της BMW, έχουν χρησιμοποιήσει πιλοτικά τη χρήση παλαιών μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο. Η General Motors ανακοίνωσε ότι σχεδίασε τις μπαταρίες της σχεδιάζοντας την αξιοποίησή τους σε μια δεύτερη φάση, όταν η απόδοσή τους πέσει κάτω από το 80%. Θα πρέπει όμως να ολοκληρωθούν οι έρευνες για την επαναχρησιμοποίηση των μπαταριών ιόντων λιθίου, προκειμένου να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα, γεγονός που απαιτεί εκτεταμένες δοκιμές και αναβαθμίσεις. Ωστόσο, ερευνητές του Ινστιτούτου της Μασαχουσέτης υποστηρίζουν ότι οι χρησιμοποιημένες μπαταρίες οχημάτων θα μπορούσαν να συνεχίσουν να αξιοποιούνται τουλάχιστον για μια ακόμη δεκαετία, ως εφεδρική αποθήκευση για την ηλιακή ενέργεια (Chandler, 2020).

Τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν καλύτερο οικολογικό αποτύπωμα από τα αυτοκίνητα που κινούνται με φυσικό αέριο, αλλά πολλοί Αμερικανοί εξακολουθούν να είναι απρόθυμοι να τα αγοράσουν (Penney, 2021). Ο κύριος λόγος είναι το μεγαλύτερο αρχικό κόστος. Όμως,

σύμφωνα με νεότερα στοιχεία, παρά την υψηλότερη τιμή τους, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μπορεί να εξοικονομήσουν χρήματα στους οδηγούς μακροπρόθεσμα. Για να καταλήξουν σε αυτό το συμπέρασμα, μια ομάδα ερευνητών στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης υπολόγισε τόσο τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα όσο και το πλήρες κόστος ζωής - συμπεριλαμβανομένης της τιμής αγοράς, της συντήρησης και των καυσίμων - για σχεδόν κάθε νέο μοντέλο αυτοκινήτου στην αγορά. Η ομάδα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ήταν περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον από τα αντίστοιχα που κινούνται με φυσικό αέριο, ενώ σε εκτίμηση για όλη τη διάρκεια ζωής τους, ήταν συχνά και φθηνότερα. Η Jessica Trancik, αναπληρώτρια καθηγήτρια ενεργειακών σπουδών στο MIT, η οποία ηγήθηκε της έρευνας, υποστηρίζει ότι τα δεδομένα θα βοηθήσουν τους ανθρώπους να καταλάβουν ότι αυτά τα προκαταβολικά κόστη κατανέμονται στη διάρκεια ζωής του αυτοκινήτου.

Οι επιστήμονες που έχουν ως αντικείμενό τους την κλιματική αλλαγή, υποστηρίζουν ότι η ηλεκτροκίνηση των οχημάτων αποτελεί έναν από τους πλέον αποδεκτούς τρόπους για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, τα οποία προκαλούν θέρμανση του πλανήτη. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, ο τομέας των μεταφορών είναι η μεγαλύτερη πηγή εκπομπών, οι περισσότερες από τις οποίες προέρχονται από αυτοκίνητα και φορτηγά (Popovich & Denise, 2019).

Για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, το χαμηλότερο κόστος συντήρησης και το χαμηλότερο κόστος φόρτισης σε σύγκριση με τις τιμές της βενζίνης, τείνουν να αντισταθμίζουν την υψηλότερη αρχική τιμή με την πάροδο του χρόνου. Επισημαίνεται ότι οι ηλεκτρικοί κινητήρες με μπαταρία έχουν λιγότερα κινούμενα μέρη που μπορούν να υποστούν βλάβη, σε σύγκριση με τους κινητήρες αερίου, ενώ δεν απαιτούν αλλαγή λαδιού. Τα ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιούν, επίσης, αναγεννητικό φρενάρισμα (αναγεννητική πέδηση) (Break Energy Recovery), το οποίο μειώνει τη φθορά (Edf, 2022).

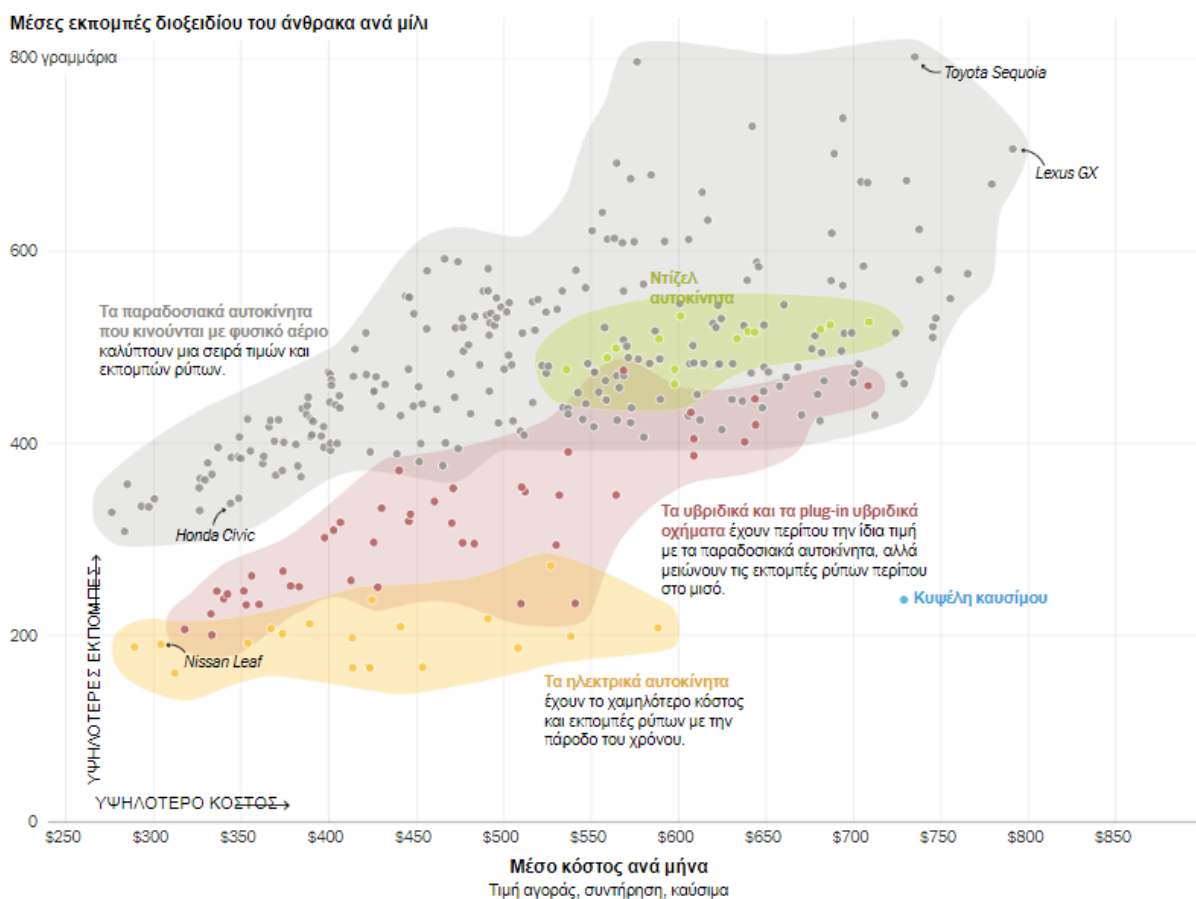
Τα αυτοκίνητα είναι, επίσης, περισσότερο οικολογικά με την πάροδο του χρόνου, παρά τη διαδικασία κατασκευής μπαταριών με μεγαλύτερη ένταση ρύπων. Οι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι οι εκπομπές παραγωγής ενός ηλεκτρικού οχήματος θα αντισταθμιστούν σε διάστημα από 6 έως 18 μήνες, ανάλογα με το πόσο καθαρό είναι το ενεργειακό δίκτυο όπου φορτίζεται το αυτοκίνητο (Edf, 2023b) .

Τα νέα δεδομένα έδειξαν ότι τα υβριδικά αυτοκίνητα, τα οποία λειτουργούν με συνδυασμό καυσίμου και ισχύος μπαταρίας και μερικές φορές μπορούν να συνδεθούν στην πρίζα, είχαν

μικτά αποτελέσματα τόσο για τις εκπομπές όσο και για το κόστος. Μερικά υβριδικά ήταν φθηνότερα και εξέπεμπαν λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα από τα κανονικά αυτοκίνητα, το οποίο ευθύνεται για τη θέρμανση του πλανήτη, ενώ άλλα αυτοκίνητα ήταν στο ίδιο εύρος εκπομπών και κόστους με τα οχήματα που για την κίνησή τους χρησιμοποιούν μόνο αέριο.

Τα παραδοσιακά αυτοκίνητα με καύση αερίου ήταν συνήθως η λιγότερο φιλική προς το κλίμα επιλογή, αν και το μακροπρόθεσμο κόστος και οι εκπομπές κάλυπταν ένα ευρύ φάσμα. Τα αυτοκίνητα compact είναι, συνήθως, φθηνότερα και πιο αποτελεσματικά, ενώ τα SUV με αέριο και τα πολυτελή σεντάν βρέθηκαν στο αντίθετο άκρο του φάσματος.

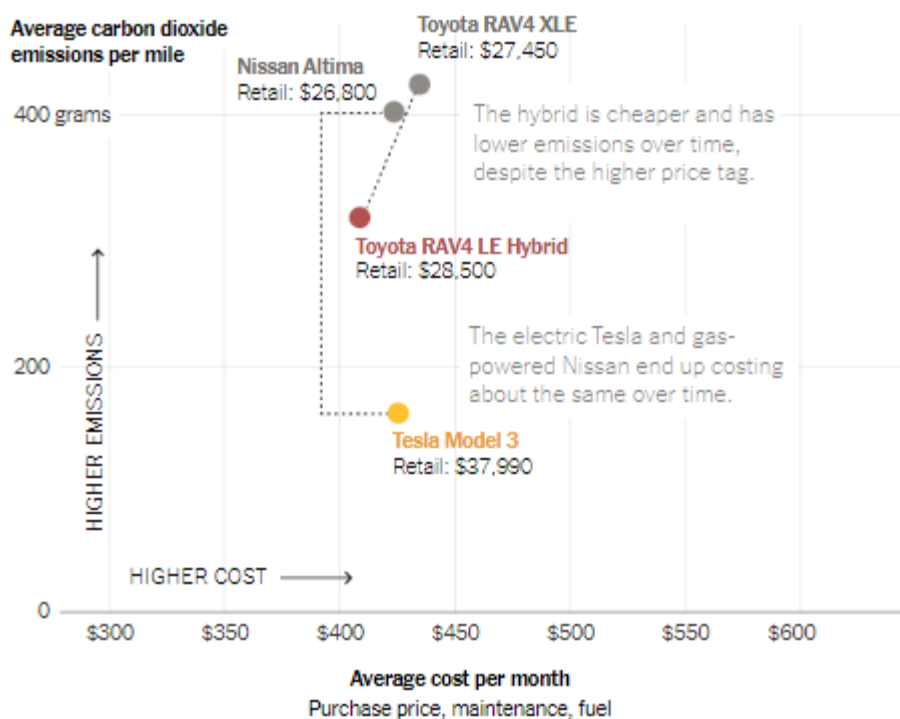
Οι έρευνες, ποσοτικοποιώντας το πραγματικό κόστος της απόφασης αγοράς αυτοκινήτου και συνεκτιμώντας τα οφέλη τόσο για το περιβάλλον, όσο και σε προσωπικό οικονομικό όφελος, υπογραμμίζουν την αποκόμιση κέρδους κατά τη διάρκεια ζωής των ηλεκτρικών αυτοκινήτων (Εικόνες 6 και 7) (Miotti et al., 2016).



Εικόνα 10. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και μέσο κόστος χρήσης αυτοκινήτου ανά μήνα (συμπεριλαμβανομένης της τιμής αγοράς, της συντήρησης και των καυσίμων) (Πηγή: <http://carboncounter.com>)

Ωστόσο, το αρχικό κόστος ενός ηλεκτρικού οχήματος εξακολουθεί να αποτελεί εμπόδιο για πολλούς επίδοξους ιδιοκτήτες.

Ο Chris Gearhart, διευθυντής του Κέντρου Ολοκληρωμένων Επιστημών Κινητικότητας στο Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, δήλωσε ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα γίνουν πιο ανταγωνιστικά στις τιμές τα επόμενα χρόνια, καθώς οι τιμές των μπαταριών πέφτουν. Ταυτόχρονα, οι νέες τεχνολογίες για τη μείωση των εκπομπών καυσαερίων κάνουν τα παραδοσιακά αυτοκίνητα πιο ακριβά.



Εικόνα 11. Σύγκριση αυτοκινήτων ως προς τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και το μηνιαίο κόστος χρήσης (συμπεριλαμβανομένης της τιμής αγοράς, της συντήρησης και των καυσίμων) (Πηγή: <http://carboncounter.com>)

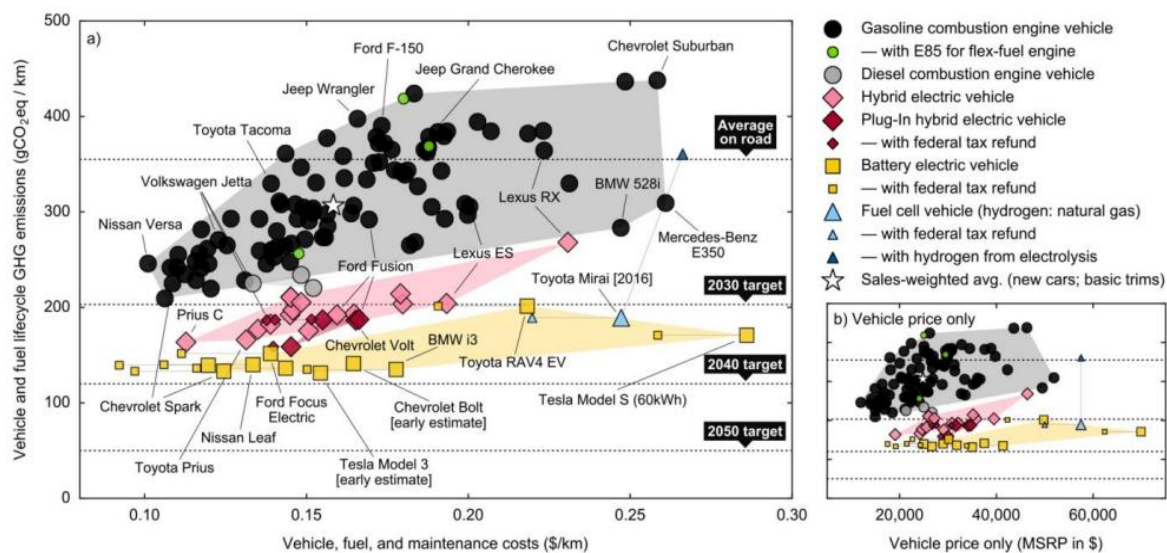
5.6.3 Νέα δεδομένα

Αν και η μέση ένταση άνθρακα των οχημάτων που πωλήθηκαν το 2014 υπερβαίνει τον κλιματικό στόχο για το 2030 κατά περισσότερο από 50%, ερευνητές έχουν διαπιστώσει ότι τα περισσότερα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα και ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία που

διατίθενται σήμερα, πληρούν αυτόν τον στόχο. Μέχρι το 2050, μόνο τα ηλεκτρικά οχήματα που τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια σχεδόν εντελώς χωρίς άνθρακα, αναμένεται να επιτύχουν τους στόχους της κλιματικής πολιτικής (Miotti et al., 2016).

Αν και το κόστος δεν είναι η μόνη επιρροή στις αγοραστικές αποφάσεις των καταναλωτών, τα οχήματα χαμηλών εκπομπών άνθρακα θα επιτύχουν κυρίαρχο μερίδιο αγοράς μόνον εάν είναι προσιτά στην πλειονότητα του πληθυσμού των οδηγών (Ozaki & Sevastyanova, 2011).

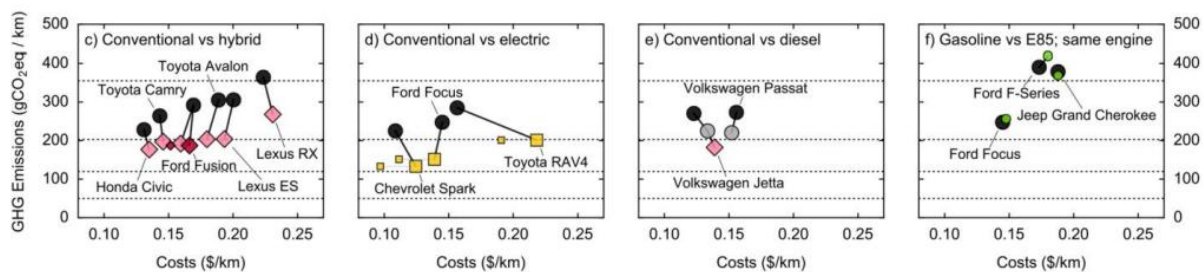
Πίνακας 1. (α) Πίνακας μικτού κόστους - εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. (β) Πίνακας καθαρού κόστους αυτοκινήτου - εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (Πηγή: Miotti et al., 2016)



Στον παραπάνω Πίνακα [Πίνακας 1 (α)] δίνεται η σχέση κόστους-εκπομπής άνθρακα για ελαφρά οχήματα, με υποτιθέμενη διάρκεια ζωής τα 14 έτη, μέση ετήσια κάλυψη τα 12.100 μίλια, και με ποσοστό έκπτωσης αγοράς 8%. Τα δεδομένα του εν λόγω πίνακα αφορούν στο 2014. Στον Πίνακα αυτόν φαίνεται ότι τα πλέον δημοφιλή οχήματα είναι αυτά με κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICEV), συμπεριλαμβανομένης της τυπικής καύσης (βενζίνη), ντίζελ, καθώς και καύσης καλαμποκιού-αιθανόλης (E85), ακολουθούμενα από τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEVs) (τα αυτοκίνητα αυτά είναι εξοπλισμένα με κινητήρα ΜΕΚ, αλλά διαθέτουν και μια μεγαλύτερης χωρητικότητας μπαταρία, καθώς και έναν ισχυρότερο κινητήρα, προκειμένου, με αυτόν τον τρόπο να προσφέρεται περισσότερη υποβοήθηση στον κινητήρα και να δίνεται η δυνατότητα στο αυτοκίνητο να καλύπτει τμήματα μικρών αποστάσεων με χαμηλή ταχύτητα, αξιοποιώντας μόνο τον ηλεκτροκινητήρα, αφού το όχημα μπορεί να χρησιμοποιεί και την μπαταρία και τον κινητήρα εσωτερικής καύσης), τα plug-in υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEV) (οχήματα, τα οποία συνδυάζουν όλες τις λειτουργίες πλήρους υβριδικής τεχνολογίας, με το επιπλέον πλεονέκτημα ότι έχουν τη δυνατότητα της φόρτισής τους από μια εξωτερική παροχή ηλεκτρικού ρεύματος) και τα ηλεκτρικά οχήματα

με μπαταρία (BEV), καθώς και ένα από τα πρώτα πλήρως εμπορικά οχήματα κυψελών καυσίμου (FCV). Για τα περισσότερα μοντέλα, αναλύεται η πιο προσιτή επένδυση. Για μοντέλα που προσφέρονται με διαφορετικές τεχνολογίες μετάδοσης κίνησης, οι επενδύσεις προσαρμόζονται, ώστε να ταιριάζουν με τα δεδομένα των χαρακτηριστικών του. Οι σκιασμένες περιοχές είναι μια οπτική προσέγγιση του χώρου που καλύπτουν αυτά τα μοντέλα. Το FCV έχει διαμορφωθεί για υδρογόνο που παράγεται είτε με ηλεκτρόλυση είτε με αναμόρφωση μεθανίου με ατμό. Οι οριζόντιες διακεκομμένες γραμμές υποδεικνύουν τους στόχους εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου το 2030, το 2040 και το 2050 που προορίζονται να συνάδουν με τη διατήρηση της υπερθέρμανσης του πλανήτη κάτω από τους 2 °C. Ο πίνακας (b) δείχνει το ίδιο με τον Πίνακα a, αλλά μόνο για τις τιμές αγοράς αυτών των οχημάτων.

Πίνακας 2. Σύγκριση τεχνολογιών μετάδοσης κίνησης - εκπομπών αερίων θερμοκηπίου ως προς το κόστος αγοράς οχήματος (Πηγή: Miotti et al., 2016)



Στον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 2) δίνεται η σύγκριση διαφορετικών τεχνολογιών μετάδοσης κίνησης που χρησιμοποιούνται στα ίδια μοντέλα αυτοκινήτων (οι «συμβατικοί» κινητήρες περιλαμβάνουν βενζινοκινητήρες και κινητήρες καύσης ντίζελ).

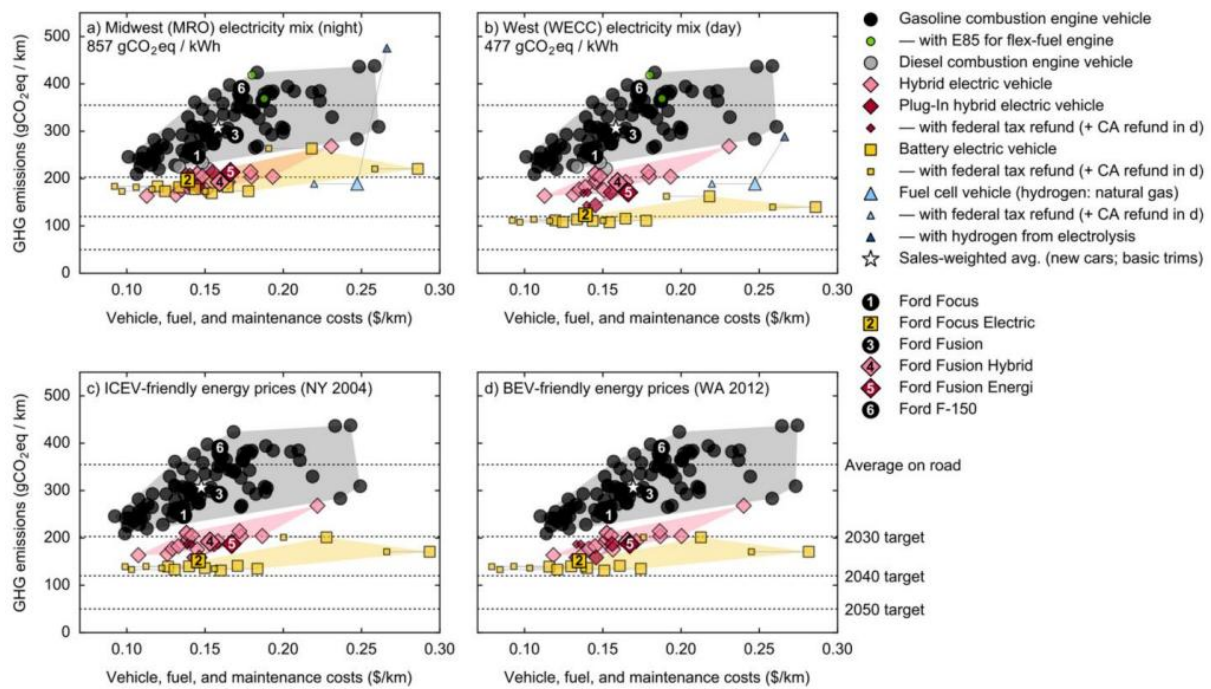
Έχει διαπιστωθεί ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και το κόστος ποικίλλουν σημαντικά μεταξύ των δημοφιλών μοντέλων οχημάτων, τόσο εντός όσο και μεταξύ των τεχνολογιών κινητήρων, με τις χαμηλότερες εκπομπές να αντιστοιχούν γενικά σε χαμηλότερο κόστος. Οι εναλλακτικές τεχνολογίες συστημάτων μετάδοσης κίνησης (υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα HEVs, plug-in υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα PHEVs και ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία BEVs) παρουσιάζουν συστηματικά χαμηλότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου κύκλου ζωής από τα αυτοκίνητα κινητήρων εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) (ICEV), αλλά δεν κοστίζουν απαραίτητα περισσότερο στον καταναλωτή (Εικόνα 1a).

Σε αντίθεση με την αντιστάθμιση μεταξύ κόστους και εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που αναφέρθηκαν για την ηλεκτρική ενέργεια, όπου οι ηλεκτρικές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας είναι οι καταναλωτές τεχνολογιών και καυσίμων μετατροπής ενέργειας, δεν υπάρχει τέτοιος συμβιβασμός για τους καταναλωτές οχημάτων. Μεταξύ των εναλλακτικών

τεχνολογιών και καυσίμων κινητήρων, τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία (BEV) προσφέρουν τις χαμηλότερες εκπομπές ρύπων, ακολουθούμενα από τα plug-in υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEV) και υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV), και μετά οι κινητήρες ντίζελ και τα οχήματα κυψελών καυσίμου (FCV). Τα οχήματα που τροφοδοτούνται με ντίζελ είναι μεταξύ των αυτοκινήτων MEK (ICEV) με τις χαμηλότερες εκπομπές στο σύνολο που εξετάζεται εδώ, ενώ εκείνα που χρησιμοποιούν E85 (ενέργεια καύσης καλαμποκιού-αιθανόλης) δεν μειώνουν τις εκπομπές σε σχέση με τη βενζίνη (Πίνακας 2f).

Η περιφερειακή μεταβλητότητα του μείγματος ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή ο τρόπος παραγωγής της προσφερόμενης – και – για την φόρτιση των μπαταριών των ηλεκτρικών αυτοκινήτων ηλεκτρικής ενέργειας, έχει σημαντικό αντίκτυπο στο δυναμικό μείωσης των εκπομπών των ηλεκτρικών οχημάτων με μπαταρία (BEV) και των plug-in υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων (PHEV) (Πίνακας 3a,b). Σύμφωνα με σχετικό υπολογισμό των περιφερειακών συντελεστών οριακής εκπομπής ηλεκτρικής ενέργειας, διαπιστώνεται ότι σε συνθήκες ηλεκτρικής ενέργειας σχετικά χαμηλής έντασης άνθρακα (αναφέρεται σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση όχι υψηλών ποσοτήτων άνθρακα), οι εκπομπές άνθρακα εμφανίζουν μείωση κατά, περίπου, 50% από τα σημερινά ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία BEV, σε σύγκριση με τα ICEV και κατά περίπου 25% σε σύγκριση με τα ηλεκτρικά υβριδικά οχήματα (HEV) (Siler – Evans et al., 2012). Σε περιοχές με υψηλές εντάσεις άνθρακα ηλεκτρικής ενέργειας (αναφέρεται σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση υψηλών ποσοτήτων άνθρακα), τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία BEV δεν υπερτερούν των plug-in υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων (P)HEVs και εκπέμπουν μόνο περίπου 25% λιγότερο από τα αντίστοιχα οχήματα MEK (ICEV).

Πίνακας 3. Πίνακας μικτού κόστους αυτοκινήτου - εκπομπών αερίων θερμοκηπίου για τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις πηγής ενέργειας (Πηγή: Miotti et al., 2016)



Στον Πίνακα 3 παρουσιάζεται η σχέση εκπομπών άνθρακα ελαφρών οχημάτων και μικτού κόστους αυτών για τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις: (α) ένα μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλότερης έντασης άνθρακα, χρησιμοποιώντας την ένταση εκπομπών ηλεκτρικής ενέργειας της Midwest κατά τη νυχτερινή φόρτιση, (β) ένα μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας υψηλότερης έντασης άνθρακα, χρησιμοποιώντας την ένταση εκπομπών ηλεκτρικής ενέργειας της Δύσης κατά τη διάρκεια της ημερήσιας φόρτισης (επισημαίνεται ότι η περιοχή έχει μεγαλύτερο αντίκτυπο στην ένταση εκπομπών της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την ώρα της ημέρας φόρτισης), (γ) ένα σενάριο τιμών ενέργειας φιλικών προς τα αυτοκίνητα MEK (ICEV), χρησιμοποιώντας μέσες τιμές προσαρμοσμένες στον πληθωρισμό, από την Πολιτεία της Νέας Υόρκης το 2004 και (δ) ένα σενάριο τιμών ενέργειας φιλικό προς το BEV, χρησιμοποιώντας μέσες τιμές προσαρμοσμένες στον πληθωρισμό από την Πολιτεία της Ουάσιγκτον το 2012.

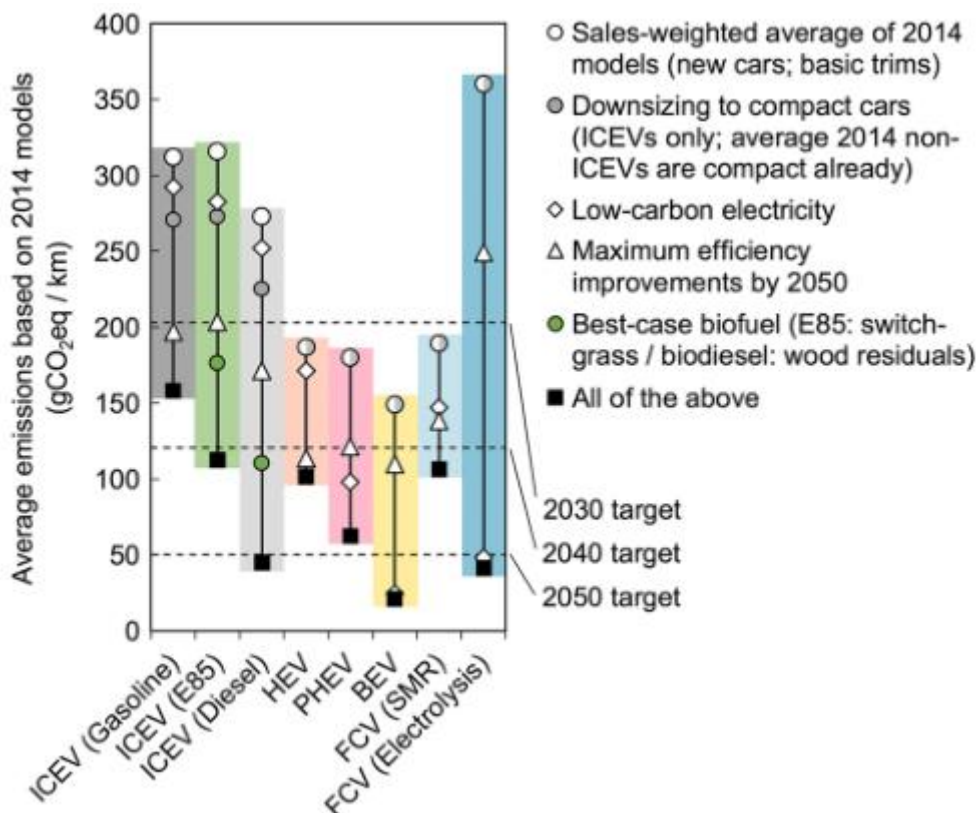
Είναι ενδιαφέρον να επισημανθεί ότι ορισμένες μελέτες υποδεικνύουν ότι οι καταναλωτές δεν λαμβάνουν πλήρως υπόψη το κόστος των καυσίμων όταν λαμβάνουν αποφάσεις για την αγορά οχήματος (Greene, 2010).

5.6.4 Αξιολόγηση των Οχημάτων ως προς τους κλιματικούς στόχους

Αρκετά από τα σημερινά διαθέσιμα οχήματα πληρούν τον στόχο μέσης έντασης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για το 2030, αν και κανένα δεν πληροί τους πιο αυστηρούς στόχους

του 2040 και του 2050 (Πίνακας 1a). Αυτά τα οχήματα που πληρούν τον στόχο του 2030 περιλαμβάνουν πολλά HEV, PHEV και BEV, καθώς και το Toyota Mirai FCV, όταν λειτουργούν με υδρογόνο από SMR (Steam Methane Reforming - Αναμόρφωση Ατμού Μεθανίου) (Πίνακας 1a). Κανένα από τα οχήματα MEK (ICEV) δεν πληροί τον στόχο του 2030, αν και μερικά πλησιάζουν πολύ. Η επίτευξη του στόχου του 2030 θα απαιτούσε, επομένως, οι επιλογές των καταναλωτικών συστημάτων μετάδοσης κίνησης να αλλάξουν πολύ πριν από το 2030 (πιθανότατα έως το 2025 ή νωρίτερα) δεδομένου του χρόνου που απαιτείται για να αντικατοπτρίσει ο λειτουργικός στόλος τη μέση ένταση άνθρακα των νέων οχημάτων. Εναλλακτικά, σημαντικές βελτιώσεις στην απόδοση των αυτοκινήτων MEK (ICEV) και σημαντική μείωση του μεγέθους τους θα μπορούσαν να επιτρέψουν στα ICEV με βενζίνη να πέσουν κάτω από τον στόχο του 2030, όχι όμως και από τους στόχους για το 2040 και το 2050 (Πίνακας 4).

Πίνακας 4. Μέσος όρος εκπομπών αερίων θερμοκηπίου ανά είδος ενέργειας κίνησης οχημάτων με δεδομένα βάσης 2014 (Πηγή: Miotti et al., 2016)



Στον Πίνακα 4 αποτυπώνονται οι μέσες εντάσεις εκπομπών αερίων θερμοκηπίου για κάθε τύπο τεχνολογίας συστήματος μετάδοσης κίνησης ως απόκριση στις απαιτήσεις ικανοποίησης των στόχων για την μείωση των ρύπων. Οι βελτιώσεις απόδοσης περιλαμβάνουν μείωση βάρους 15% και μειωμένη κατανάλωση καυσίμου κατά 40% (ICEV), 45% (HEV και PHEV

σε λειτουργία διατήρησης φόρτισης), 30% (BEV και PHEV σε λειτουργία εξάντλησης φόρτισης) και 35% (FCV).

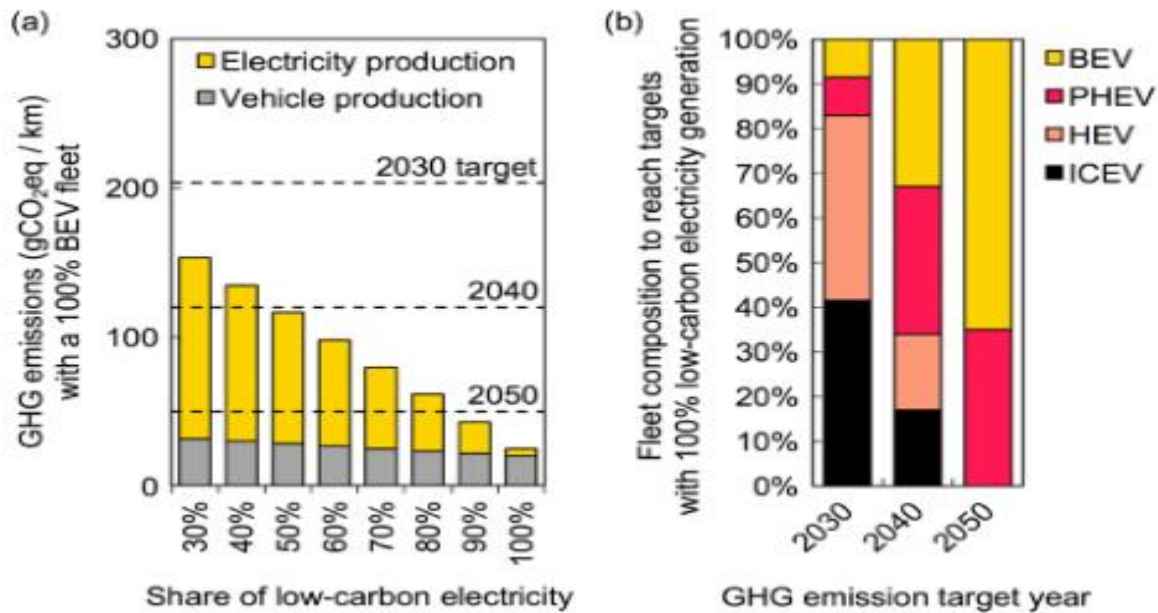
Σύμφωνα με τον Πίνακα 4, οι μειώσεις εκπομπών λόγω των εκτιμώμενων δυνατοτήτων βελτίωσης των οικονομιών καυσίμου είναι υψηλότερες για τα οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICEV και HEV) παρά για τα ηλεκτρικά οχήματα (PHEV, BEV και FCV). Ωστόσο, ακόμα κι αν επιτευχθούν αυτές οι βελτιώσεις στην οικονομία καυσίμου, καθώς και άλλες αλλαγές που μειώνουν τις εκπομπές ρύπων, τα μη υβριδικά αυτοκίνητα MEK (ICEV) που κινούνται με βενζίνη δεν θα μπορέσουν ποτέ να πέσουν κάτω από την ένταση εκπομπών των σημερινών BEV (που φορτίζονται με ηλεκτρική ενέργεια με την τρέχουσα μέση ένταση εκπομπών GHG των ΗΠΑ).

Μερικά από τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς στην καλύτερη περίπτωση υπόσχονται μεγαλύτερες μειώσεις εκπομπών για τα αυτοκίνητα MEK (ICEV). Το μέσο αυτοκίνητο ICEV του 2014, εξοπλισμένο με κινητήρα εσωτερικής καύσης με ικανότητα χρήσης καυσίμου E85 από καλαμπόκι – αιθανόλη), θα φτάσει τον στόχο του 2040. Το ίδιο μέσο αυτοκίνητο, εξοπλισμένο με κινητήρα ντίζελ και με βιοντίζελ από υπολείμματα ξύλου, θα το ξεπερνούσε. Η μεγαλύτερη εξοικονόμηση εκπομπών, ωστόσο, αναμένεται από την απαλλαγή από τον άνθρακα του μίγματος παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και μόνο οι τεχνολογίες που μπορούν να ωφεληθούν περισσότερο από αυτό είναι σε θέση να φτάσουν τον στόχο έντασης εκπομπών GHG του 2050 (Εικόνα 4). Οι χαμηλότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου επιτυγχάνονται από τα ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας (BEV).

Στην προσπάθεια εξέτασης των επιπτώσεων της ηλεκτροδότησης των μεταφορών και της ταυτόχρονης απαλλαγής από τον άνθρακα της ηλεκτρικής ενέργειας, ενδιαφέρον παρουσιάζει η εξέταση ενός πιθανού σεναρίου για την επίτευξη των στόχων του 2040 και του 2050. Ο Πίνακας 5α απεικονίζει τη μέση ένταση εκπομπής ενός υποθετικού στόλου αυτοκινήτων LDV (Light Duty Vehicle – Ελαφρύ Επαγγελματικό Όχημα) που αποτελείται εξ ολοκλήρου από ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας (BEV), με βάση τον σταθμισμένο μέσο όρο των πωλήσεων των μοντέλων BEV του 2014. Σύμφωνα με αυτό το σενάριο, δεν θα ήταν απαραίτητες βελτιώσεις στην ένταση άνθρακα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την επίτευξη του στόχου του 2030, επειδή ο μέσος όρος BEV του 2014 υπερβαίνει αυτόν τον στόχο, με το τρέχον μέσο μίγμα ηλεκτρικής ενέργειας των ΗΠΑ. Στην πραγματικότητα, όπως δείχνει ο Πίνακας 3α (παραπάνω), ακόμη και σε περιοχές των ΗΠΑ με πολύ υψηλές εντάσεις άνθρακα σε ηλεκτρική ενέργεια, πολλά BEV και (P)HEV πληρούν τον στόχο του 2030 (Aurore, IL, 2013). Ωστόσο, οι μεταγενέστεροι στόχοι απαιτούν μειώσεις. Για να επιτευχθεί ο στόχος του 2040, το μερίδιο των τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χαμηλές

εκπομπές άνθρακα θα πρέπει να φτάσει περίπου το 50%, ενώ για να επιτευχθεί ο στόχος του 2050, θα ήταν απαραίτητο μερίδιο άνω του 80%.

Πίνακας 5. Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ως συνάρτηση του μεριδίου ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλών εκπομπών άνθρακα (Πηγή: Miotti et al., 2016)



Πίνακας 5. (a) Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (Greenhouse Gasses – GHG) ως συνάρτηση του μεριδίου ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλών εκπομπών άνθρακα, εάν ολόκληρος ο στόλος ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων αποτελείται από το μέσο μοντέλο BEV του 2014 (βλ. Πίνακα 4). Το μερίδιο χαμηλών εκπομπών άνθρακα κυμαίνεται από 30% (κοντά στο τρέχον μερίδιο 32%) έως 100%.

(b) Παραδείγματα επιμερισμού τεχνολογίας συστημάτων μετάδοσης κίνησης που πληρούν τους στόχους εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, εάν η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από 100% πηγές χαμηλών εκπομπών άνθρακα, χρησιμοποιώντας τις μέσες εκπομπές των μοντέλων του 2014 (βλ. Πίνακα 4).

Είναι ενδιαφέρον ότι αυτοί οι στόχοι μείωσης των εκπομπών για την ηλεκτρική ενέργεια είναι λιγότερο αυστηροί από ό,τι θα ήταν για τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας κατά την εφαρμογή παρόμοιας προσέγγισης με αυτήν που χρησιμοποιείται εδώ (Trancik & Cross – Call, 2013). Αυτό, οφείλεται εν μέρει στο ότι τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν υψηλότερη απόδοση μετατροπής από πρωτογενή ενέργεια σε ενέργεια κίνησης στο αυτοκίνητο από τις κυρίαρχες τεχνολογίες οχημάτων που χρησιμοποιούνται σήμερα. Το συμπέρασμα είναι ότι εάν ο τομέας τελικής χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας εκπληρώσει τους στόχους του, η απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές θα ήταν υπεραρκετή για την επίτευξη των στόχων μεταφοράς LDV στο πλαίσιο της πλήρους ηλεκτροδότησης των μεταφορών.

Ένα άλλο σενάριο που ανταποκρίνεται στον στόχο του 2050 είναι η μερική ηλεκτροδότηση των μεταφορών, σε συνδυασμό με την πλήρη απαλλαγή από τον άνθρακα ως πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στον Πίνακα 5b (παραπάνω), παρατίθεται ο συνδυασμός τεχνολογίας

του συστήματος μετάδοσης κίνησης που απαιτείται για την επίτευξη ενός στόχου, εάν η ηλεκτρική ενέργεια επρόκειτο να παραχθεί μόνο με χρήση τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Ο στόχος του 2030 θα μπορούσε να επιτευχθεί με έναν στόλο οχημάτων που θα αποτελείται σχεδόν εξ ολοκλήρου από ΜΕΚ (ICEV) και ηλεκτρικά υβριδικά οχήματα (HEV), ακόμη και αν δεν υποτεθεί ότι θα υπάρξει βελτίωση στην απόδοση. Ωστόσο, για να επιτευχθεί ο στόχος του 2040, θα χρειαζόταν σημαντικό μερίδιο plug-in υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων (PHEV) και ηλεκτρικών οχημάτων με μπαταρία (BEV). Ο στόχος του 2050 είναι πιθανό να απαιτήσει έναν στόλο σχεδόν χωρίς οχήματα ΜΕΚ (ICEV) που θα αποτελείται σχεδόν εξ ολοκλήρου από BEV και PHEV.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η επίτευξη του κλιματικού στόχου για το 2030 απαιτεί πολύ πριν από το 2030, η ένταξη των εκπομπών του μέσου νέου αυτοκινήτου να είναι τόσο χαμηλή, όσο αυτή των σημερινών μέσων ηλεκτρικών υβριδικών οχημάτων (HEV) και plug-in υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων PHEV. Στη συνέχεια, οι επαρκείς μειώσεις των εκπομπών των οχημάτων πιθανότατα θα απαιτήσουν τόσο την ηλεκτροδότηση του στόλου των οχημάτων, όσο και μια μεγάλη και ταχεία απαλλαγή του τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνθρακα: 40% έως το 2040 και 80% έως το 2050. Αυτό το εύρημα επιβεβαιώνει προηγούμενα προτεινόμενα σενάρια μετριασμού του κλίματος σε πολιτειακή (Williams et al., 2015), εθνική (Williams et al., 2014) και παγκόσμια κλίμακα (Sachs et al., 2014). Ωστόσο, εξετάζοντας τις τεχνολογικές επιλογές από την οπτική γωνία των καταναλωτών, ως βασικών υπεύθυνων λήψης αποφάσεων σε οποιαδήποτε μελλοντική μετάβαση σε χαμηλές εκπομπές άνθρακα, αναδύεται η ανάγκη της περαιτέρω ανίχνευσης της τεχνολογικής ανάπτυξης και των τρόπων πολιτικής που μπορεί να επιτύχουν αυτούς τους στόχους.

Ένας αμιγώς ηλεκτρικός στόλος θα αύξανε την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας το 2050 στις ΗΠΑ κατά περίπου 1315 TWh ετησίως ή, περίπου, 28%, εάν όλα τα αυτοκίνητα αντικατασταθούν, για παράδειγμα, από το σημερινό Ford Focus Electric. Αυτός ο αριθμός θα αυξανόταν στο 73% εάν όλα τα αυτοκίνητα αντικατασταθούν από ένα Toyota Mirai FCV (με απόδοση ηλεκτρόλυσης, συμπίεσης και αποθήκευσης 62%). Κατά συνέπεια, θα είναι σημαντικό για δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις ενοποίησης της υποδομής, όπως είναι οι σταθμοί φόρτισης, οι απαιτήσεις στο σύστημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (Hackbarth & Madlener, 2013; Traut et al., 2012; Richardson, 2013), η παρακολούθηση των επιλογών αξιοποίησης των υλικών (Wadia et al., 2011), η αποφυγή μετατόπισης περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων (Michalek et al, 2011; Denholm et al., 2015) και ο εντοπισμός εναλλακτικών ροών εσόδων οδικής υποδομής, σε σχέση με τους σημερινούς φόρους ανά λίτρο υγρών καυσίμων, όπως η βενζίνη και το ντίζελ (Jenn et al., 2015). Μία από τις πιο σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις μπορεί να είναι η αύξηση της γκάμας των πλέον προσιτών ηλεκτρικών οχημάτων μπαταρίας (BEV), αν και πρόσφατη έρευνα έχει δείξει ότι οι τυπικές καθημερινές ενεργειακές ανάγκες μεταφοράς των περισσότερων οδηγών στις ΗΠΑ θα καλυφθούν από το σχετικά χαμηλού κόστους ηλεκτρικά οχήματα διαθέσιμα στην αγορά σήμερα.

Για την αντιμετώπιση της πρόκλησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στον τομέα των ιδιωτικών μεταφορών, η συμπεριφορά των καταναλωτών θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό των κυβερνητικών πολιτικών. Οι πολιτικές που έχουν σχεδιαστεί για να ωθήσουν τους αγοραστές αυτοκινήτων προς τεχνολογίες κινητήρων που εξοικονομούν άνθρακα, καθώς και σε μεγέθη και κατηγορίες οχημάτων θα είναι, πιθανότατα, σημαντικές. Επιπλέον, οι στρατηγικές για τη μείωση της ζήτησης ταξιδιών μπορούν να διαδραματίσουν κρίσιμο ρόλο και μπορεί να περιλαμβάνουν αποθαρρυντικά αποτελέσματα ανάκαμψης (Chitnis et al., 2014), όπως και η εφαρμογή τιμολόγησης οδικής μετακίνησης (διόδια, κλπ) (Anas & Lindsey 2011), η ανατροφοδότηση συστημάτων διαχείρισης κυκλοφορίας (Frey et al., 2001), καθώς και η διασφάλιση ότι οποιαδήποτε ενδεχόμενη διάδοση αυτόνομων οχημάτων βοηθάει στη μείωση, αντί στην αύξηση των χιλιομέτρων που διανύθηκαν (Greenblatt & Saxena, 2015).

Ωστόσο, ακόμη και με τις πιο ευεργετικές αλλαγές συμπεριφοράς, πιθανότατα θα απαιτηθεί μια θεμελιώδης μετάβαση από τα οχήματα MEK (ICEV) για την επίτευξη των μελλοντικών στόχων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG). Συνολικά, συμπεραίνεται ότι υπάρχουν ήδη κίνητρα κόστους σε πολλά πλαίσια, ώστε οι καταναλωτές να ξεκινήσουν αυτή τη μετάβαση. Η περαιτέρω μείωση του κόστους και, ειδικότερα, του κόστους κατασκευής των ηλεκτρικών οχημάτων μπαταρίας (BEV), καθώς και άλλων τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών άνθρακα (για παράδειγμα, με τη μάθηση μέσω της πράξης, της έρευνας και ανάπτυξης και των οικονομιών κλίμακας) (Nagy et al., 2013; Bettencourt et al., 2013), η παροχή ευνοϊκής χρηματοδότησης και η πληρέστερη ενημέρωση των καταναλωτών για τα οφέλη του κόστους κύκλου ζωής από πιο αποτελεσματικές τεχνολογίες, πιθανότατα θα είναι σημαντικά μέτρα στην κατεύθυνση επίτευξης της μείωσης των αερίων θερμοκηπίου και της μόλυνσης του περιβάλλοντος. Δεδομένης της, άνευ προηγουμένου, ταχύτητας και κλίμακας των ταυτόχρονων μετασχηματισμών που απαιτούνται στην ενέργεια και στις μεταφορές, η κοινή υποστήριξη της κυβερνητικής ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής, η καινοτομία στον τομέα της παραγωγής και η συνειδητή λήψη αποφάσεων από τους καταναλωτές θα είναι καίριας σημασίας.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Αντίκτυπος των πολιτικών στην υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων

Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων θα επικεντρωθούν στις αγορές με πολιτικές φιλικές προς τα EV στις αποφάσεις τους από την πλευρά της προσφοράς. Καθώς οι στόχοι εκπομπών CO₂ της ΕΕ ισχύουν για τις μέσες εκπομπές του στόλου της ΕΕ των πρόσφατα ταξινομημένων οχημάτων κάθε κατασκευαστή, αυτές οι εθνικές και τοπικές πολιτικές EV θα επηρεάσουν τη διανομή των Evs που απαιτούνται για την επίτευξη του στόχου στα επιμέρους κράτη – μέλη. Αρκεί οι στόχοι να μπορούν να επιτευχθούν με συνδυασμό Evs και οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICEV), ενώ οι εθνικές και τοπικές πολιτικές ενδέχεται να έχουν μικρότερη επίδραση στον συνολικό αριθμό των EVs στην ΕΕ (KU Leuven, 2020).

Προοπτικές και πιθανά σημεία συμφόρησης

Η ηλεκτροδότηση του αποθέματος οχημάτων είναι ο παράγοντας που αναμένεται να εξελιχθεί περισσότερο τις επόμενες δεκαετίες, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τις οδικές μεταφορές. Η απορρόφηση του Evs προβλέπεται να αυξηθεί σημαντικά υπό την επίδραση των προτύπων CO₂ για αυτοκίνητα, φορτηγά και HDV, που υποστηρίζεται από την ανάπτυξη της υποδομής επαναφόρτισης.

Στο σενάριο αναφοράς ΕΕ 2020 (EC, 2021e), η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προβλέπει ότι το μερίδιο των EV στο απόθεμα των ελαφρών οχημάτων (συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρικών οχημάτων με μπαταρία, των οχημάτων με κυψέλες καυσίμου και των υβριδικών plug-in) θα φτάσει το 16% έως το 2030 και το 53% έως το 2050. Η ηλεκτροδότηση των HDV προβλέπεται να παραμείνει περιορισμένη, φτάνοντας μόνο το 4% περίπου του αποθέματος οχημάτων έως το 2050, με τις τρέχουσες πολιτικές. Μεταξύ των λεωφορείων και των πούλμαν, η απορρόφηση ηλεκτρικών λεωφορείων αναμένεται να επιταχυνθεί, λόγω της εφαρμογής της οδηγίας για τα καθαρά οχήματα και των ανησυχιών για την ποιότητα του αέρα σε πολλές πόλεις, με αποτέλεσμα την απαγόρευση των λεωφορείων με κινητήρα εσωτερικής καύσης.

Τα σενάρια που αναλύθηκαν από την Επιτροπή (EC, 2020b) περιγράφουν εξελίξεις με διαφορετικούς τύπους πρόσθετων πολιτικών. Σε αυτά τα σενάρια πολιτικής, το μερίδιο των Evs στο απόθεμα αυτοκινήτων θα αυξηθεί σε 20% το 2030 και σε 88-99% το 2050.

Για τα φορτηγά, προβλέπεται παρόμοια εξέλιξη στα σενάρια πολιτικής, με επιτάχυνση του μεριδίου των οχημάτων χαμηλών και μηδενικών εκπομπών μετά το 2030, φθάνοντας το 87-97% το 2050. Τα λεωφορεία προβλέπεται επίσης να έχουν σχεδόν εντελώς μηδενικές εκπομπές έως το 2050 στα σενάρια πολιτικής. Μόνο τα βαρέα οχήματα δεν θα έχουν κυρίαρχο μερίδιο οχημάτων μηδενικών ή χαμηλών εκπομπών έως το 2050. Περίπου το ένα τέταρτο των φορτηγών το 2050 θα είναι οχήματα κυψελών καυσίμου και περίπου 14-20% προβλέπεται να είναι BEV. Τα υπόλοιπα HGV θα είναι υβριδικά ή ICEV, τα οποία θα απαιτούσαν καύσιμα χαμηλών και μηδενικών εκπομπών άνθρακα για την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας.

Μια πρόσφατη ανάλυση (Bloomberg New Energy Finance, 2021; Transport & Environment, 2021a) αναμένει ότι τα ηλεκτρικά φορτηγά και τα αυτοκίνητα θα επιτύχουν ισοτιμία τιμών με ισοδύναμα ICEV μεταξύ 2025 και 2027, γεγονός που σημαίνει ότι θα έχουν το ίδιο αρχικό κόστος με τα ισοδύναμα ICEV. Η πτώση των τιμών των μπαταριών και η μετάβαση σε αποκλειστικές πλατφόρμες παραγωγής BEV θα ήταν οι κύριοι μοχλοί της μείωσης του κόστους. Εκτός από τις πολιτικές και τις καινοτομίες στην Ευρώπη, η ανάπτυξη των παγκόσμιων αγορών μπαταριών οχημάτων και αυτοκινήτων θα συμβάλει στην επέκταση της παραγωγικής ικανότητας και στην επίτευξη οικονομιών κλίμακας, με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους (IEA, 2020). Υπάρχει, ωστόσο, αβεβαιότητα σχετικά με το εάν οι μειώσεις του κόστους θα αντικατοπτρίζονται γρήγορα στις τιμές λιανικής ή θα υπάρξει χρονική καθυστέρηση, που θα σημαίνει ότι η ισοτιμία των τιμών θα επιτευχθεί αργότερα. Ακόμη και με τέτοια ισοτιμία τιμών, υπάρχει ο κίνδυνος το Evs να μην είναι προσιτό για όλους τους καταναλωτές (EC, 2021e). Στη δέσμη Fit for 55, η Επιτροπή προτείνει ένα νέο Ταμείο Κοινωνικού Κλίματος για την επίτευξη μιας, κοινωνικά, δίκαιης μετάβασης (EC, 2021b).

Για να επιτευχθεί μια μεγάλη ώθηση για το Evs, πρέπει να ξεπεραστούν αρκετά σημεία συμφόρησης. Το πρώτο είναι η παροχή υποδομής φόρτισης. Η προτεινόμενη αναθεώρηση του κανονισμού για την υποδομή εναλλακτικών καυσίμων θεωρείται βασικό μέσο για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος (EC, 2021h). Εκτός από τις πολιτικές και τα μέτρα που λαμβάνονται σε επίπεδο ΕΕ, εθνικό και τοπικό, η καινοτομία μπορεί να λύσει αυτό το πρόβλημα. Οι καινοτόμες λύσεις περιλαμβάνουν εναλλαγή μπαταριών, σταθμούς ασύρματης φόρτισης που βασίζονται σε επαγωγή ή κινητά σημεία επαναφόρτισης που παρέχουν κατ'

απαίτηση φορητές υπηρεσίες επαναφόρτισης για την επίλυση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης (JRC και DG Mobility and Transport, 2020).

Ένα δεύτερο σημείο συμφόρησης είναι η ανησυχία ότι η (αιχμή) ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για την επαναφόρτιση του Evs θα μπορούσε να ασκήσει πίεση στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και να απαιτήσει δαπανηρή ενίσχυση του δικτύου, σε σχέση με το εάν οι μειώσεις του κόστους θα αντικατοπτρίζονται γρήγορα στις τιμές λιανικής ή θα υπάρξει χρονική καθυστέρηση, που θα σήμαινε ότι η ισοτιμία των τιμών θα επιτευχθεί αργότερα. Ακόμη και με τέτοια ισοτιμία τιμών, υπάρχει ο κίνδυνος το Evs να μην είναι προσιτό για όλους τους καταναλωτές (EC, 2021h). Στη δέσμη Fit for 55, η Επιτροπή προτείνει ένα νέο Ταμείο Κοινωνικού Κλίματος για την επίτευξη μιας κοινωνικά δίκαιης μετάβασης (EC, 2021b). Η ηλεκτροδότηση του αποθέματος οχημάτων είναι ο παράγοντας που αναμένεται να εξελιχθεί περισσότερο τις επόμενες δεκαετίες, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τις οδικές μεταφορές. Η απορρόφηση του Evs προβλέπεται να αυξηθεί σημαντικά υπό την επίδραση των προτύπων CO₂ για αυτοκίνητα, φορτηγά και HDV, που υποστηρίζεται από την ανάπτυξη της υποδομής επαναφόρτισης. Η μοντελοποίηση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, π.χ. με το εργαλείο METIS (Klettke et al., 2018), έχει δείξει ότι η αυξανόμενη διείσδυση του Evs θα μπορούσε να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. η συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας θα αυξηθεί κατά 10%, σενάριο στο οποίο το 34% της ενεργειακής ζήτησης για αυτοκίνητα θα ήταν για ηλεκτρική ενέργεια). Σε συνδυασμό με ασυντόνιστη φόρτιση, αυτό θα οδηγούσε σε υψηλή ζήτηση αιχμής, π.χ. τις πρωινές και νωρίς το βράδυ, γεγονός που συνεπάγεται υψηλές τιμές, καθώς και τον κίνδυνο να είναι ανεπαρκής η παροχή ενέργειας..

Στο πλαίσιο αυτό, αναπτύσσονται καινοτόμες λύσεις για τον μετριασμό των παραπάνω αρνητικών παραγόντων, με τη μορφή έξυπνων δικτύων και έξυπνων μετρητών. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει στις μπαταρίες EV να λειτουργούν ως εύκαμπτα φορτία και ως αποκεντρωμένοι πόροι αποθήκευσης. Η διαχείριση από την πλευρά της ζήτησης και η τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο μπορούν να παρέχουν κίνητρα για τη χρέωση του Evs όταν η ζήτηση είναι χαμηλή ή υπάρχει μεγάλη προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Με την αμφίδρομη φόρτιση, το Evs θα μπορούσε να προσφέρει ακόμη μεγαλύτερη ευελιξία στο σύστημα, τροφοδοτώντας την ισχύ πίσω στο δίκτυο (η διαδικασία αυτή καλείται όχημα σε δίκτυο) ή στο σπίτι (όχημα σε κτήριο).

Το 2020, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε μια στρατηγική της ΕΕ για την ολοκλήρωση του ενεργειακού συστήματος (EC, 2020c) για τη βελτιστοποίηση του ενεργειακού συστήματος μέσω καλύτερων δεσμών μεταξύ των διαφόρων φορέων ενέργειας και των τομέων τελικής

χρήσης. Αυτή η στρατηγική αναμένει ότι έως το 2050, η Evs θα μπορούσε να παρέχει έως και το 20% της ευελιξίας που απαιτείται καθημερινά, γεγονός που, με τη σειρά του, θα μείωνε την ανάγκη για δαπανηρές επενδύσεις για την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου. Σε τοπικό επίπεδο, ωστόσο, η πλήρης ηλεκτροδότηση των αυτοκινήτων θα απαιτήσει αναβαθμίσεις στην τοπική υποδομή δικτύου.

Η, μεγάλης κλίμακας, παραγωγή μπαταριών που απαιτείται είναι ένα τρίτο εμπόδιο: θα υπάρχουν επαρκείς πρώτες ύλες για τις μπαταρίες που απαιτούνται για την ηλεκτροκίνηση; Υπάρχουν κίνδυνοι εφοδιασμού που σχετίζονται με τη γεωπολιτική σταθερότητα στις χώρες παραγωγής (π.χ. εξόρυξη κοβαλτίου στη Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό). Ένας άλλος κίνδυνος είναι ότι ασταθείς αγορές με ισχυρές κορυφές τιμών ενδέχεται να επηρεάσουν τη σταθερότητα των επιχειρήσεων και τις μακροπρόθεσμες επενδύσεις σε δυναμικό εξόρυξης και διύλισης. Αυτό μπορεί να έχει επιπτώσεις στην προμήθεια νικελίου, κοβαλτίου και, σε μικρότερο βαθμό, γραφίτη και λιθίου. Ένας τρίτος κίνδυνος σχετίζεται με τη συγκέντρωση της ικανότητας διύλισης στην Κίνα και την έλλειψη δυναμικότητας στην Ευρώπη (JRC and DG Mobility and Transport, 2020). Παρά τους κινδύνους αυτούς, αναμένεται ότι η προμήθεια πρώτων υλών που απαιτούνται για την παραγωγή μπαταριών θα αυξηθεί, καθώς υπάρχουν πολλά νέα έργα εξόρυξης και διύλισης στα σκαριά. Εκτός από τους κινδύνους που συνδέονται με τη διαθεσιμότητα των απαιτούμενων πρώτων υλών, πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε να διασφαλίζεται ότι οι μπαταρίες είναι κοινωνικά και περιβαλλοντικά βιώσιμες από την άποψη του κύκλου ζωής. Η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση μπορεί να έχουν σημαντική μετριαστική επίδραση στις μελλοντικές ανάγκες υλικών. Μια πρόσφατη μελέτη της Transport & Environment (2021b) εκτιμά ότι μέχρι το 2035, το ένα πέμπτο του λιθίου και του νικελίου και το 65% του κοβαλτίου που απαιτείται θα μπορούσε να προέρχεται από την ανακύκλωση. Ένας νέος κανονισμός της ΕΕ για τις μπαταρίες έχει προταθεί για να διασφαλιστεί ότι οι μπαταρίες που διατίθενται στην αγορά της ΕΕ είναι βιώσιμες και ασφαλείς καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους (EC, 2021a).

Ατενίζοντας το μέλλον

Με το τρέχον πλαίσιο πολιτικής, προβλέπεται ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τις οδικές μεταφορές στην ΕΕ θα μειωθούν κατά 35% έως το 2050 (σε σύγκριση με το 1990). Η μείωση θα οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην αυξημένη απόδοση των οχημάτων, συμπεριλαμβανομένης της στρόφης προς τα ηλεκτρικά οχήματα. Η ζήτηση για τις μεταφορές

προβλέπεται να αυξηθεί και η στροφή των μεταφορών θα έχει περιορισμένη επίδραση στις εκπομπές.

Η ενεργειακή απόδοση θα είναι βασικός παράγοντας για τη μείωση των εκπομπών. Θα πρέπει, βέβαια, να εξασφαλιστεί ότι οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (GHG) από τις οδικές μεταφορές θα μειωθούν σημαντικά, όπως και οι άλλες επιπτώσεις. Η ενεργειακή απόδοση των οχημάτων προβλέπεται να αυξηθεί, με γνώμονα τα πρότυπα απόδοσης των οχημάτων. Αυτό προβλέπεται να οδηγήσει σε μείωση της χρήσης ενέργειας στις οδικές μεταφορές κατά 15% έως το 2030 και κατά 33% έως το 2050, σε σύγκριση με το 2005. Η υψηλότερη ενεργειακή απόδοση επιτυγχάνεται με βελτιώσεις στα οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICEV), καθώς. Επίσης, και από την ηλεκτροκίνηση των οχημάτων, η οποία αναμένεται να αναπτυχθεί ταχύτερα την επόμενη δεκαετία.

Η ηλεκτροδότηση θα έχει αυξανόμενη επίδραση. Με τις υπάρχουσες πολιτικές, το μερίδιο της ηλεκτρικής ενέργειας στις οδικές μεταφορές προβλέπεται να φθάσει στο 2,7% το 2030 και στο 11,5% το 2050. Όσον αφορά στο απόθεμα οχημάτων, το σενάριο προβλέπει ότι το ηλεκτρικό όχημα (EV), το οποίο κατανέμεται στο απόθεμα ελαφρών οχημάτων, θα έφτανε στο 16% έως το 2030 και στο 53% έως το 2050. Η ηλεκτροκίνηση των βαρέων επαγγελματικών οχημάτων αναμένεται να παραμείνει περιορισμένη, φτάνοντας μόνο στο 4% περίπου του αποθέματος οχημάτων το 2050.

Τα βιοκαύσιμα προβλέπεται να έχουν περιορισμένο αντίκτυπο. Το σενάριο αναφοράς EE 2020 προβλέπει ότι τα βιοκαύσιμα και το βιομεθάνιο θα αποτελούν το 6,8% όλων των καυσίμων μεταφορών (εξαιρουμένου του υδρογόνου και της ηλεκτρικής ενέργειας) το 2030 και το 2050 (EC, 2021e) (8).

Μαζί αυτοί οι αντισταθμιστικοί παράγοντες αναμένεται να οδηγήσουν σε μείωση των εκπομπών CO₂ έως το 2050, παρά την αύξηση της ζήτησης στις μεταφορές.

Το μέλλον των βιώσιμων οδικών μεταφορών

Η προβλεπόμενη ηλεκτροδότηση του αποθέματος οδικών οχημάτων, μαζί με τον αυξανόμενο ρόλο των ανανεώσιμων καυσίμων και της ηλεκτρικής ενέργειας αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη μελλοντική απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές των οδικών μεταφορών. Η χρήση στρατηγικών «βελτίωσης» έχει ορισμένα συν-πλεονεκτήματα για άλλες περιβαλλοντικές πτυχές εκτός από την απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές, αλλά παραμένουν ως προβληματισμός ορισμένες σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Επομένως, ενώ η αναμενόμενη μετάβαση σε EV και σε πιο

αποτελεσματικά ICEV θα μειώσει σημαντικά τις εκπομπές CO₂ των οδικών μεταφορών, δεν θα έχει την ίδια επίδραση σε άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι κύριες περιβαλλοντικές εξωτερικές επιδράσεις που σχετίζονται με τις οδικές μεταφορές περιλαμβάνουν την ατμοσφαιρική ρύπανση, τον θόρυβο, την κυκλοφοριακή συμφόρηση, την απορρόφηση γης και την απώλεια βιοποικιλότητας, καθώς και της χρήσης πόρων. Για την ατμοσφαιρική ρύπανση και τον θόρυβο, η ηλεκτροδότηση παρέχει μια μερική λύση. Οι εκπομπές καυσαερίων ατμοσφαιρικών ρύπων θα μειωθούν σημαντικά με τον αναμενόμενο εξηλεκτρισμό του αποθέματος οχημάτων της ΕΕ τις επόμενες δεκαετίες. Τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία (BEV) και τα ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου (FCEV) εξαλείφουν όλες τις εκπομπές καυσαερίων και τα plug-in υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEV) εξαλείφουν τις εκπομπές κατά τη φάση της ηλεκτρικής οδήγησης. Ωστόσο, οι εκπομπές μη καυσαερίων παραμένουν ένα ζήτημα. Η φθορά των ελαστικών, των φρένων και του οδοστρώματος προκαλούν εκπομπές σωματιδίων (PM) που είναι επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία και αποτελούν σημαντική πηγή βαρέων μετάλλων και μικροπλαστικών στο περιβάλλον. Αυτές οι εκπομπές PM χωρίς καυσαέρια αυξάνονται σταθερά στο ίδιο επίπεδο με την αυξανόμενη ζήτηση των μεταφορών και έχουν ήδη ξεπεράσει σε σημασία τις εκπομπές PM καυσαερίων (Timmers & Achten, 2016).

Η οδική κυκλοφορία είναι η πιο σημαντική πηγή ηχορύπανσης (EOX, 2019γ). Η ηχορύπανση επηρεάζει την ποιότητα ζωής και μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά προβλήματα υγείας. Η προβλεπόμενη αύξηση του όγκου των οδικών μεταφορών θα μπορούσε, επομένως, να αυξήσει τις επιπτώσεις της ηχορύπανσης. Τα πιο αποτελεσματικά ICEV δεν αντιμετωπίζουν αυτό το ζήτημα.

Αν και σε χαμηλές ταχύτητες τα EV είναι σχεδόν αθόρυβα, σε ταχύτητες πάνω από 25 km/h παράγουν θόρυβο μέσω της αλληλεπίδρασης ελαστικού/δρόμου (Umweltbundesamt, 2013). Μέχρι το 2050, το αυξημένο μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων θα μπορούσε να οδηγήσει σε περιορισμένη μείωση του θορύβου από την οδική κυκλοφορία (EC, 2020b).

Άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σχετίζονται με την υποδομή οδικών μεταφορών. Η γη που δεσμεύεται για δρόμους και χώρους στάθμευσης οδηγεί σε κατακερματισμό των οικοσυστημάτων και απώλεια βιοποικιλότητας. Θέτει, επίσης, υπό πίεση την ποιότητα ζωής στις αστικές περιοχές. Για την ατμοσφαιρική ρύπανση και τον θόρυβο, η ηλεκτροδότηση παρέχει μια μερική λύση. Οι εκπομπές καυσαερίων ατμοσφαιρικών ρύπων θα μειωθούν σημαντικά με τον αναμενόμενο εξηλεκτρισμό του αποθέματος οχημάτων της ΕΕ τις επόμενες δεκαετίες. Τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία (BEV) και τα ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου (FCEV) εξαλείφουν όλες τις εκπομπές καυσαερίων, ενώ τα plug-in υβριδικά

ηλεκτρικά οχήματα (PHEV) εξαλείφουν τις εκπομπές κατά τη φάση της ηλεκτρικής οδήγησης. Ωστόσο, οι εκπομπές μη καυσαερίων παραμένουν ένα ζήτημα. Η φθορά των ελαστικών, των φρένων και του οδοστρώματος προκαλούν εκπομπές σωματιδίων (PM) που είναι επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία και αποτελούν σημαντική πηγή βαρέων μετάλλων και μικροπλαστικών στο περιβάλλον. Αυτές οι εκπομπές PM χωρίς καυσαέρια αυξάνονται σταθερά στο ίδιο επίπεδο με την αυξανόμενη ζήτηση των μεταφορών και έχουν ήδη ξεπεράσει σε σημασία τις εκπομπές PM καυσαερίων. Το ήμισυ της ευρωπαϊκής γης στο κέντρο της πόλης είναι αφιερωμένο σε δρόμους και χώρους στάθμευσης (Ίδρυμα Ellen MacArthur, 2019). Αυτό μειώνει τις ευκαιρίες για τις πόλεις να γίνουν πιο ανθεκτικές στην κλιματική αλλαγή, περιορίζοντας τον διαθέσιμο χώρο για περισσότερες περιοχές πρασίνου και μπλε δίκτυα. Οι επιπτώσεις που σχετίζονται με την απορρόφηση γης και την απώλεια βιοποικιλότητας δεν αναμένεται να ωφεληθούν από την ηλεκτροκίνηση και τη βελτιωμένη απόδοση των οχημάτων, καθώς απαιτούν την ίδια οδική υποδομή, καθώς και χώρους στάθμευσης.

Όσον αφορά στην κυκλοφοριακή συμφόρηση, η εστίαση μόνο στις στρατηγικές «βελτίωσης» δεν θα οδηγήσει σε βελτίωση. Τόσο στο Σενάριο Αναφοράς EE 2020 με τις υπάρχουσες πολιτικές όσο και στα σενάρια πολιτικής που αναπτύχθηκαν από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (EC, 2021e), ο όγκος των οδικών μεταφορών και το σχετικό κόστος συμφόρησης αναμένεται να αυξηθούν. Αυτό το πρόβλημα δεν μετριάζεται από τα EV [ή με πιο αποτελεσματικά αυτοκίνητα MEK (ICEV)] και, ανάλογα με τον αντίκτυπο της ηλεκτροκίνησης στο κόστος οδήγησης, θα μπορούσε ακόμη και να επιδεινωθεί από αυτά.

Τέλος, υπάρχουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με τον κύκλο ζωής των οχημάτων, από την εξόρυξη, τη διύλιση και την κατασκευή μέχρι τη διάθεση απορριμμάτων. Οι μελέτες ανάλυσης κύκλου ζωής δείχνουν ότι τα BEV έχουν μικρότερο αντίκτυπο στο κλίμα από τα ICEV και ότι αυτό το πλεονέκτημα αυξάνεται με το μερίδιο της ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (Del Pero et al., 2018; EEA, 2018; IEA, 2019a; Bieker, 2021). Ωστόσο, δεν μπορεί να θεωρηθεί δεδομένο ότι τα BEV αποδίδουν καλύτερα από τα ICEV για όλες τις μη κλιματικές επιπτώσεις (EEA, 2018). Για παράδειγμα, η μελέτη ανάλυσης κύκλου ζωής από τους Del Pero et al. (2018) έδειξε ότι τα ελαφρά οχήματα είναι υπεύθυνα για, περίπου, το 10% της συνολικής χρήσης ενέργειας και των εκπομπών στην ατμόσφαιρα. Κατά συνέπεια, η ανάγκη για υψηλότερη απόδοση καυσίμου/ενέργειας τόσο στα συμβατικά όσο και στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχει καταστεί επιτακτική και οι προσπάθειες σε βιομηχανικούς και ερευνητικούς φορείς έχουν προτείνει μια σειρά καινοτόμων λύσεων με μεγάλες δυνατότητες. Η συγκεκριμένη μελέτη παρουσιάζει μια

συγκριτική αξιολόγηση του κύκλου ζωής του κινητήρα εσωτερικής καύσης. Το ICE επισημαίνει ότι οι επιπτώσεις όπως η εξάντληση των πόρων, η οξίνιση, τα επικίνδυνα για τον άνθρωπο επίπεδα τοξικότητας ή η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να είναι υψηλότερες για τα BEV από τα ICEV, κυρίως λόγω των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συμβαίνουν κατά την κατασκευή του οχήματος. Οι επιπτώσεις μπορούν να μετριαστούν, καθώς η απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές και άλλες περιβαλλοντικές πολιτικές επηρεάζουν επίσης τις διαδικασίες παραγωγής, ενθαρρύνοντας πιο φιλικές προς το περιβάλλον πρακτικές.

Και δεν θα πρέπει να αγνοηθούν οι, ιδιαίτερα ευοίωνες προοπτικές που κομίζει η τεχνολογία V2G, η οποία, προτείνοντας την αμφίδρομη ηλεκτρική φόρτιση, υπόσχεται να προσφέρει σημαντικές λύσεις στον τομέα της οικολογικής και οικονομικής διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Αντί Επιλόγου

Το μέλλον της αποφόρτισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης φαίνεται να είναι συνυφασμένο με αυτό της ηλεκτροκίνησης των οχημάτων. Ισχύει όμως και το αντίθετο, αφού το μέλλον των ηλεκτρικών οχημάτων φαίνεται πως συναρτάται σε υψηλό βαθμό από την προσπάθεια ελάττωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Τα δεδομένα της παρούσας εργασίας συντείνουν στο συμπέρασμα ότι μένουν να γίνουν σημαντικά, ακόμη, βήματα, στην κατεύθυνση της ισχυροποίησης των επιχειρημάτων ότι η ηλεκτροκίνηση των οχημάτων αποτελεί μονόδρομο στην προσπάθεια μείωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων. Βήματα, τόσο προς την κατεύθυνση της παραγωγής «οικολογικά αβλαβούς» ηλεκτρικής ενέργειας, που είναι απαραίτητη για την κίνησή τους, όσο και προς την κατεύθυνση της κατασκευής και, εν συνεχεία, οικολογικής διαχείρισης των μπαταριών αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Και, ακόμη, στην προσπάθεια αποθήκευσης της πλεονάζουσας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία θα πρέπει να είναι διαθέσιμη προς αξιοποίησή της στην κίνηση των ηλεκτρικών οχημάτων. Πρόκειται για τρεις παράγοντες κομβικής σημασίας στην προσπάθεια καθιέρωσης των ηλεκτρικών οχημάτων ως την πλέον οικολογική πρόταση κίνησης ατόμων και εμπορευμάτων. Η τεχνογνωσία για την προσέγγιση αυτών των στόχων φαίνεται πως είναι διαθέσιμη. Μένει να διασφαλιστεί η βούληση για την υλοποίησή τους. Σε κάθε περίπτωση, η αναγκαιότητα αποφόρτισης του περιβάλλοντος από τους ανεπιθύμητους ατμοσφαιρικούς ρύπους δεν επιτρέπει κωλυσιεργία σε κανένα επίπεδο. Αντίθετα επιβάλλει εγρήγορση στον ύψιστο βαθμό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AAA. Your Driving Costs: How Much Are You Really Paying to Drive?; AAA: Aurora, IL, (2013). <https://exchange.aaa.com/wp-content/uploads/2013/04/Your-Driving-Costs-2013.pdf>
- Anas, A., & Lindsey, R. (2011). Reducing Urban Road Transportation Externalities: Road Pricing in Theory and in Practice. *Review of Environmental Economics and Policy*. <https://doi.org/10.1093/reep/req019>
- Basma, H., et al., (2021). Battery electric tractor-trailers in the European Union: a vehicle technology analysis, Working Paper No 2021-29, International Council on Clean Transportation (<https://theicct.org/sites/default/files/publications/eu-tractor-trailers-analysis-aug21-2.pdf>) accessed 17 Nov. 2022.
- Battery University. (2022). BU – 1003: Electric Vehicle (EV), <https://batteryuniversity.com/article/bu-1003-electric-vehicle-ev>
- Bettencourt, LMA, Trancik, JE & Kaur, J. (2013) Determinants of the Pace of Global Innovation in Energy Technologies. *PLoS ONE* 8(10): e67864. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067864>
- Bieker, G. (2021). A global comparison of life-cycle greenhouse gas emissions of combustion engine and electric passenger cars, White Paper, ICCT.
- Bloomberg New Energy Finance. (2021). Hitting the EV inflection point. Electric vehicle price parity and phasing out combustion vehicle sales in Europe, Report for Transport & Environment, Bloomberg Finance LP (<https://www.transportenvironment.org/publications/hitting-ev-inflection-point>) accessed 18 Oct. 2022.
- Carroll, S. G. (2021). 'Electric truck technology close to challenging diesel: study', www.euractiv.com (<https://www.euractiv.com/section/transport/news/electric-truck-technology-close-to-challenging-diesel-study/>) accessed 29 Dec. 2022.
- Chandler, D. L. (2020). Solar energy farms could offer second life for electric vehicle batteries, *MIT News Office*, <https://news.mit.edu/2020/solar-energy-farms-electric-vehicle-batteries-life-0522>
- Chitnis, M., Sorrell, S., Druckman, A., Firth, S. K., & Jackson, T. (2014). Who rebounds most? Estimating direct and indirect rebound effects for different UK socioeconomic groups. *Ecological Economics*, 106, 12-32. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.07.003>
- Dalkmann, H. and Brannigan, C. (2007) Transport and Climate Change. Module 5e: Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-Makers in Developing Cities. Deutsche Gesellschaft Fuer Technische Zusammenarbeit (GTZ), Eschborn, [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkozje\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1112771](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkozje))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1112771)
- de Vet, M., et al. (2021). Impacts of the COVID-19 pandemic on EU industries. Study requested by the European Parliament's committee on Industry, Research and Energy (ITRE), European Parliament's Committee on Agriculture and Rural Development, Luxembourg

[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/662903/IPOL_STU\(2021\)662903_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/662903/IPOL_STU(2021)662903_EN.pdf) accessed 29 Nov. 2022.

- Denholm, Paul, Kuss, Michael, & Margolis, Robert M. (2015). *o-Benefits of Large Scale Plug-In Hybrid Electric Vehicle and Solar PV Deployment*. United States. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.10.007>
- EAFO. (2021a). 'Alternative fuels (electricity), charging infra stats', European Alternative Fuels Observatory (<https://www.eafo.eu/alternative-fuels/electricity/charging-infra-stats>) accessed 18 Dec. 2022.
- EAFO. (2021b). 'Vehicles and fleet, passenger cars', European Alternative Fuels Observatory (<https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/transport-mode/road/european-union-eu27/vehicles-and-fleet>) accessed 18 Nov. 2022.
- Eberhard, J., et al. (2000). 'Chapter 6, Energy end-use efficiency', in: World energy assessment: Energy and the challenge of sustainability, United Nations Development Programme, New York, NY.
- EC. (2020b). Commission Staff Working Document accompanying the document Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions 'Sustainable and Smart Mobility Strategy — putting European transport on track for the future' (SWD(2020) 331 final).
- EC. (2020c). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions 'Powering a climate-neutral economy: an EU strategy for energy system integration' (COM(2020) 299 final).
- EC, 2021a, 'Batteries and accumulators' (https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/batteries-and-accumulators_en) accessed 16 Dec. 2022.
- EC. (2021b). 'Delivering the European Green Deal' (https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en) accessed 18 Oct. 2022.
- EC. (2021c). EU Reference Scenario 2020 — Energy, transport and GHG emissions: trends to 2050, Publications Office of the European Union, Luxembourg (<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/96c2ca82-e85e-11eb-93a8-01aa75ed71a1/language/en/format-PDF/source-219903975>) accessed 10 Feb. 2023.
- EC. (2021d). Impact assessment accompanying the proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the deployment of alternative fuels infrastructure, and repealing Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council (SWD(2021) 631 final).
- EC. (2021e). Impact assessment Part 1 accompanying the document Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council amending Regulation (EU) 2019/631 as regards strengthening the CO₂ emission performance standards for new passenger cars and new light commercial vehicles in line with the Union's increased climate ambition [SWD (2021) 613 final].
- EC. (2021f). Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the application of Directive 2014/94/EU on the deployment of alternative fuels infrastructure (SWD(2021) 49 final) (COM(2021) 103 final).

-
- ECA. (2021). Infrastructure for charging electric vehicles: more charging stations but uneven deployment makes travel across the EU complicated, Special Report No 05/2021, European Court of Auditors, Luxembourg (<https://www.eca.europa.eu/en/Pages/DocItem.aspx?did=58260>) accessed 20 Nov. 2023.
- eDF. (2022). All about electric car batteries, <https://www.edfenergy.com/electric-cars/batteries>
- eDF. (2023a). How do electric cars work? <https://www.edfenergy.com/energywise/how-do-electric-cars-work>
- eDF. (2023b). Benefits of electric cars on the environment, <https://www.edfenergy.com/energywise/electric-cars-and-environment#:~:text=Are%20electric%20cars%20better%20for,This%20reduces%20air%20pollution%20considerably>
- EEA. (2010). Towards a resource efficient transport system — TERM 2009, EEA Report No 2/2010, European Environment Agency (<http://www.eea.europa.eu/publications/towards-a-resource-efficient-transport-system>) accessed 13 Dec. 2022
- EEA. (2018). Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives — TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report, EEA Report No 13/2018, European Environment Agency (<https://www.eea.europa.eu/publications/transport-and-environment-report-2021>) accessed 9 Jan. 2013.
- EEA. (2020b). Monitoring CO₂ emissions from passenger cars and vans in 2018, EEA Report No 2/2020, European Environment Agency (<https://www.eea.europa.eu/publications/co2-emissions-of-new-heavy>) accessed 13 Feb. 2023.
- EEA. (2021a). 'Approximated estimates for greenhouse gas emissions', European Environment Agency (<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/approximated-estimates-for-greenhouse-gas-emissions-5>) accessed 25 Jan. 2023
- EEA. (2021b). 'CO₂ performance of new passenger cars in Europe', European Environment Agency (<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/average-co2-emissions-from-motor-vehicles-1/assessment>) accessed 18 Jan. 2023.
- EEA. (2021c). 'Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe', European Environment Agency (<https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emission-intensity-of-1>) accessed 24 Jan. 2023.
- EU Science Hub. Renewable Energy – Recast to 2030 (RED II). European Commission, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/welcome-jec-website/reference-regulatory-framework/renewable-energy-recast-2030-red-ii_en
- EU. (2009). Regulation (EU) No 443/2009 of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 setting emission performance standards for new passenger cars as part of the Community's integrated approach to reduce CO₂ emissions from light-duty vehicles (OJ L 140, 5.6.2009, pp.1-15).
- EU. (2011). Regulation (EU) No 510/2011 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2011 setting emission performance standards for new light commercial

-
- vehicles as part of the Union's integrated approach to reduce CO₂ emissions from light-duty vehicles (OJ L 145, 31.5.2011, pp. 1-18).
- EU. (2015). Directive (EU) 2015/1513 of the European Parliament and of the Council of 9 September 2015 amending Directive 98/70/EC relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable resources (OJ L 239, 15.9.2015, pp. 1-29).
- EU. (2018a). Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency (OJ L 156, 19.6.2018, pp. 75-91).
- European Environment Agency. (2016). Electric vehicles and the energy sector – impacts on Europe’s future emissions. Office of the European Union.
- European Environment Agency. (2022). Decarbonising road transport – the role of vehicles, fuels and transport demand. Transport and environment report 2021. Office of the European Union.
- European Environment Agency. (2022). *Transport and environment report 2021 Decarbonising road transport — the role of vehicles, fuels and transport demand*, Publications Office of the European Union
- European Environment Agency. (2023). Τάσεις και προβλέψεις: περιορισμένη αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ στο πλαίσιο της ανάκαμψης μετά την πανδημία και της ενεργειακής κρίσης, <https://www.eea.europa.eu/el/highlights/taseis-kai-problepseis-periorismeni-ayksisi>
- Frey, H.C., Roupail, N.M., Unal, A., & Colyar, J.D. (2001). EMISSIONS REDUCTION THROUGH BETTER TRAFFIC MANAGEMENT: AN EMPIRICAL EVALUATION BASED UPON ON-ROAD MEASUREMENTS.
- Greene, D. (2010). *How Consumers Value Fuel Economy: A Literature Review*. Environmental Protection Agency - EPA: Washington, D.C.
- Hackbarth, A., & Madlener, R. (2013). Consumer Preferences for Alternative Fuel Vehicles: A Discrete Choice Analysis. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 25, 5-17, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.07.002>
- Hall, D. & Lutsey, N. (2018). *Effects of battery manufacturing on electric vehicle life – cycle greenhouse gas emissions*. The International Council on Clean Transportation (ICCT), https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf
- Holland, Stephen P., Erin T. Mansur, Nicholas Z. Muller & Andrew J. Yates. (2020). Decompositions and Policy Consequences of an Extraordinary Decline in Air Pollution from Electricity Generation. *American Economic Journal: Economic Policy*, 12(4):244-74.
- IEA. (2019a). Global EV outlook 2019, Technology report, International Energy Agency, Paris.
- IEA. (2020). Electric vehicles, Tracking report, International Energy Agency, Paris (<https://www.iea.org/reports/electric-vehicles>) accessed 21 Dec. 2022.
- IPCC. (2021). 'Summary for policymakers', in: Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the

-
- Intergovernmental Panel on Climate Change (Masson-Delmotte, V., et al., eds), Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Jacoby, M. (2019). Lithium-ion battery recycling. Research increases as spent batteries start piling up. *Chemical & Engineering News*, 97(28), 28-35, <https://cen.acs.org/materials/energy-storage/time-serious-recycling-lithium/97/i28>
- Jeffery B. Greenblatt & Samveg Saxena, 2015. "[Autonomous taxis could greatly reduce greenhouse-gas emissions of US light-duty vehicles](#)," *Nature Climate Change*, Nature, vol. 5(9), pages 860-863, September, DOI: 10.1038/nclimate2685
- Jenn, Alan & Azevedo, Inês Lima & Fischbeck, Paul, 2015. "[How will we fund our roads? A case of decreasing revenue from electric vehicles](#)," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Elsevier, vol. 74(C), pages 136-147, DOI: 10.1016/j.tra.2015.02.004.
- JRC and DG Mobility and Transport. (2020). State of the art on alternative fuels: transport systems in the European Union — update 2020, European Commission, Brussels (https://erticonetwork.com/wp-content/uploads/2020/06/KL0420116ENN.en_.pdf) accessed 15 Jan. 2023.
- JRC and DG Mobility and Transport. (2020). State of the art on alternative fuels: transport systems in the European Union — update 2020, European Commission, Brussels (https://erticonetwork.com/wp-content/uploads/2020/06/KL0420116ENN.en_.pdf) accessed 25 Jan. 2023.
- Klettke, A., et al. (2018). Effect of electromobility on the power system and the integration of RES. Study for the European Commission, Directorate-General for Energy, Contract No ENER/C2/2014-639, Report No S13, European Commission, Brussels, Belgium (<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/0d44e933-6d4d-11e9-9f05-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-96288622>) accessed 23 Feb. 2023.
- KU Leuven. (2020). 'Een duurzame energievoorziening voor België [A sustainable energy supply for Belgium]' (<https://www.kuleuven.be/metaforum/dossiers/overzichtspagina/symposium-ee-duurzameenergievoorziening>) accessed 28 Dec. 2022
- Lin, Y., & Linn, J. (2023). Environmental Regulation and Product Attributes: The Case of European Passenger Vehicle Greenhouse Gas Emissions Standards. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*. <https://doi.org/10.1086/720903>
- Littlejohn, C. and Proost, S. (2019). What role for electric vehicles in the decarbonization of the car transport sector in Europe?, Working Paper, CESifo Network (<https://www.cesifo.org/en/publications/2019/working-paper/what-role-electric-vehicles-decarbonization-car-transport-sector>) accessed 12 Jan. 2023
- Mayor of London. (2023). Pollution and air Quality, <https://www.london.gov.uk/programmes-strategies/environment-and-climate-change/pollution-and-air-quality>
- Michalek, J. J., Chester, M., Jaramillo, P., Samaras, C., Shiau, C., & Lave, L. B. (2011). Valuation of plug-in vehicle life-cycle air emissions and oil displacement benefits. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(40), 16554-16558. <https://doi.org/10.1073/pnas.1104473108>

-
- Miotti, M., Supran, G. J., Kim, E. J. & Trancik, J. E. (2016). Personal Vehicles Evacuated against Climate Change Mitigation Targets. *Environment Scientific Technology*, 50 (20), 10795-10804, <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00177>
- Nagy, B., Farmer, J.D., Bui, Q.M. & Trancik, J.E. (2013). Statistical Basis for Predicting Technological Progress. *PLoS ONE* 8(2): e52669. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052669>
- Nykvist, B., & Olsson, O. (2021). The feasibility of heavy battery electric trucks. *Joule*, 5(4), 901-913. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2021.03.007>
- Ozaki, R. & Sevastyanova, K. (2011). Going Hybrid: An Analysis of Consumer Purchase Motivations. *Energy Policy*, 39, 2217-2227, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.04.024>
- Penney, V. (2021). Electric cars are better for the planet – and often your budget, too, New York Times, <https://www.nytimes.com/interactive/2021/01/15/climate/electric-car-cost.html>
- Pero, F. D., Delogu, M., & Pierini, M. (2018). Life Cycle Assessment in the automotive sector: A comparative case study of Internal Combustion Engine (ICE) and electric car. *Procedia Structural Integrity*, 12, 521-537. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.11.066>
- Popovich, N. & Denise, L. (2019). The Most Detailed Map of Auto Emissions in America. The New York Times, Oct. 10. 2019 <https://www.nytimes.com/interactive/2019/10/10/climate/driving-emissions-map.html>
- Renault Group. (2019). What's the deal with V2G, or vehicle-to-grid? (<https://www.renaultgroup.com/en/news-on-air/news/whats-the-deal-with-v2g-or-vehicle-to-grid/#:~:text=That's%20the%20idea%20behind%20V2G,availability%20of%20renewable%20energy%20sources>) accessed 13 Jan. 2023
- Reynaert, M. (2021). Abatement Strategies and the Cost of Environmental Regulation: Emission Standards on the European Car Market. *The Review of Economic Studies*, 88(1), 454-488. <https://doi.org/10.1093/restud/rdaa058>
- Richardson, David B. (2013). "[Electric vehicles and the electric grid: A review of modeling approaches, Impacts, and renewable energy integration](#)," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, vol. 19(C), pages 247-254, DOI: 10.1016/j.rser.2012.11.042
- Sachs, J., Tubiana, L., Guerin, E., Waisman, H., Mas, C., Colombier, M. & Schmidt-Traub, G. (2014). Pathways to Deep Decarbonization; SDSN/IDDRI: New York.
- Siler-Evans, K., Azevedo, I. L., & Morgan, M. G. (2012). Marginal emissions factors for the U.S. electricity system. *Environmental science & technology*, 46(9), 4742–4748. <https://doi.org/10.1021/es300145v>
- Tabuchi, H. & Plumer, Br. (2021). How Green Are Electric Vehicles; The New York Times, <https://www.nytimes.com/2021/03/02/climate/electric-vehicles-environment.html>
- Timmers, V. R., & Achten, P. A. (2016). Non-exhaust PM emissions from electric vehicles. *Atmospheric Environment*, 134, 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.017>

-
- Trancik, J. E., & Cross-Call, D. (2013). Energy technologies evaluated against climate targets using a cost and carbon trade-off curve. *Environmental science & technology*, 47(12), 6673–6680. <https://doi.org/10.1021/es304922v>
- Transport & Environment. (2021b). From dirty oil to clean batteries. Batteries vs. oil: a systemic comparison of material requirements, Brussels (https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2021_02_Battery_raw_materials_report_final.pdf) accessed 29 Dec. 2022.
- Traut, E., Hendrickson, Chr., Klampf, E., Liu, Y. & Michalek, J. J. (2012). "**Optimal design and allocation of electrified vehicles and dedicated charging infrastructure for minimum life cycle greenhouse gas emissions and cost**," *Energy Policy*, Elsevier, vol. 51(C), pages 524-534, DOI: 10.1016/j.enpol.2012.08.061
- Umweltbundesamt. (2013). Kurzfristig kaum Lärminderung durch Elektroautos, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Germany (https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/position_kurzfristig_kaum_laerminderung_im_verkehr.pdf) accessed 6 Feb. 2023.
- UN. (2021a). 'Key findings', United Nations Climate Action (<https://www.un.org/en/climatechange/science/key-findings>) accessed 13 Dec. 2022.
- Unterstaller, A. (2018). Electric vehicles: a smart choice for the environment, *EEA Newsletter*, <https://europeanenvironmentagencyeea.createsend1.com/t/ViewEmail/d/BBA298FD4C10F8DC2540EF23F30FEDED>
- Wadia, C., Albertus, P., & Srinivasan, V. (2011). Resource constraints on the battery energy storage potential for grid and transportation applications. *Journal of Power Sources*, 196, 1593-1598.
- Wappelhorst, S. (2021a). On the electrification path: Europe's progress towards clean transportation, Consulting report, European Alternative Fuels Observatory (<https://theicct.org/publications/electrification-path-europe-mar2021>) accessed 26 Oct. 2022.
- Williams, J. H., DeBenedictis, A., Ghanadan, R., Mahone, A., Moore, J., Morrow, III, W. R., Price, S., & Torn, M. S. (2015). The technology path to deep greenhouse gas emissions cuts by 2050: The pivotal role of electricity. United States. <https://doi.org/10.1126/science.1208365>
- Williams, J. H., Haley, B., Kahrl, F., Moore, J., Jones, A. D., Torn, M. S. & McJeon, H. (2014). Pathways to Deep Decarbonization in the United States; E3: San Francisco, CA.