ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

ΜΕΡΜΗΓΚΑ ΚΥΡΙΑΚΗ

ΔΟΥΚΑΣ ΧΡΙΣΟΣΤΟΜΟΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2021

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

ΜΕΡΜΗΓΚΑ ΚΥΡΙΑΚΗ

ΔΟΥΚΑΣ ΧΡΙΣΟΣΤΟΜΟΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Εγκρίθηκε από την εξεταστική επιτροπή την 15η Ιουλίου 2021.

……. …… …….
Δούκας Χρυσόστομος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΙΟΥΛΙΟΣ 2021

.....

Κυριακή Γ. Μέρμηγκα

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Διπλωματούχος Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Τεχνο-οικονομικών Συστημάτων

Copyright © Κυριακή Γ. Μέρμηγκα, 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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 δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της συμπεριφοράς των οδηγών ως προς τις συνήθειες φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων τους. Αρχικά παρουσιάζεται η διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση γενικότερα, και στην Ελλάδα ειδικότερα και επεξηγούνται οι αναγκαίοι εισαγωγικοί όροι για την και τα ηλεκτρικά οχήματα. Επιπρόσθετα, εξηγείται και αιτιολογείται η αναγκαιότητα της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων ως τεχνολογικό βήμα προόδου, τόσο από οικονομικής πλευράς, όσο και ως κρίσιμη συνθήκη για το περιορισμό του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής, στην οποία οδηγείται ο πλανήτης. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα κατηγοριοποιούνται με βάση τον κινητήρα τους και το ποσοστό χρήσης της ηλεκτρικής μηχανής, ενώ γίνεται επεξήγηση των διαφορών μεταξύ των. Αποτυπώνονται τα σημεία φόρτισης γεωγραφικά και παρουσιάζονται οι στρατηγικές φόρτισης που ακολουθούν οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης με βάση τα σημεία αυτά. Έπειτα, παρουσιάζονται αναλυτικά τα είδη φορτίσεων, ο τύπος των φορτιστών και αριθμός τους εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης και γίνεται αποτίμηση αυτών των υποδομών. Στη συνέχεια, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη δημοσιευμένη επιστημονική βιβλιογραφία, με τα πειραματικά αποτελέσματα των ερευνών να αποτελούν μεγάλο μέρος της εργασίας, καθώς οι διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων αξιολογούνται ως προς τις επιπτώσεις τους στο σύστημα παραγωγής ενέργειας. Τέλος, επεξεργάζονται και αναλύονται, με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού R, πρωτογενή δεδομένα φορτίσεων από την Ουκρανία, και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης, εξάγονται συμπεράσματα και προτείνονται τρόποι και στρατηγικές για να μειωθούν οι επιπτώσεις των φορτίσεων των ηλεκτρικών οχημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο χωρίς να συνδέονται με μια στρατηγική φόρτισης.

Λέξεις κλειδιά

Ηλεκτρικό όχημα, φόρτιση, σημεία φόρτισης, συμπεριφορά οδηγών, ανάλυση δεδομένων, R, στρατηγική φόρτισης

Abstract

The goal of this thesis is to study the behavior of drivers in terms of charging habits of their electric vehicles. First of all, the penetration of electric vehicles in the European Union in general, and in Greece in particular, is presented, and the required definitions for electric vehicles are explained. Furthermore, the benefits of electric vehicles are explained, as a technological breakthrough both for economically reasons and as a critical condition for reducing the global climate change phenomenon. Electric cars are categorized based on their engine and the percentage use of the electric motor, also the differences between them are explained. The charging points are mapped geographically and the charging strategies followed by the countries of the European Union based on these points are presented. The type of chargers and their number within the European Union are presented in detail and these infrastructures are evaluated. Special emphasis is placed on the published scientific literature, with the experimental results of the research being a significant amount of the thesis, as the different charging strategies of electric vehicles are evaluated in terms of their impact on the power generation system. Finally, raw data coming from Ukraine are processed and analyzed, using the R programming language, the results of the analysis are presented, conclusions are exported, and ways and strategies are proposed to reduce the impact of electric vehicles charging on the main power network without being connected to a charging strategy.

Keywords

Electric vehicle, charging, charging points, driver behavior, data analysis, R, charging strategy

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Χρυσόστομο Δούκα, Καθηγητή της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π., για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση του θέματος της διπλωματικής εργασίας.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα, Χρήστο Στεφανάτο, για την πολύτιμη βοήθεια, την καθοδήγηση και τις συμβουλές προκειμένου να ολοκληρωθεί με επιτυχία η παρούσα διπλωματική εργασία.

Τέλος, ένα ιδιαίτερα μεγάλο ευχαριστώ, στο Γιάννη, το Γιώργο και τη Μαρία, για όλη την πορεία του μεταπτυχιακού προγράμματος.

Περιεχόμενα

Περίληψη 5
Λέξεις κλειδιά 5
Abstract 6
Keywords 6
Ευχαριστίες 8
Περιεχόμενα 10
Λίστα Πινάκων 12
Λίστα Σχημάτων 13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Ηλεκτρικά οχήματα 15
1.1 Κλιματική αλλαγή και ηλεκτρικά οχήματα 15
1.2 Ορισμός και κατηγορίες ηλεκτρικών οχημάτων 15
1.3 Πλεονεκτήματα ηλεκτρικών οχημάτων 16
1.4 Το μέλλον της ηλεκτροκίνησης στην Ευρώπη 17
1.5 Ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος και στρατηγική φόρτισης 18
1.6 Σημεία φόρτισης 18
1.7 Σχέδια ανάπτυξης σημείων φόρτισης 19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Αγορά ηλεκτρικών οχημάτων στην Ευρώπη 21
2.1 Εισαγωγή 21
2.2 Διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων στην Ευρώπη 21
2.3 Πολιτικές για την προώθηση χρήσης ΗΟ 22
2.4 Ετοιμότητα κρατών Ε.Ε για την ηλεκτροκίνηση 22
2.5 Τρέχων αριθμός ΗΟ στην Ευρώπη 24
2.6 Αναμενόμενος αριθμός ΗΟ στην Ευρώπη 24
2.7 Ανάπτυξη πανευρωπαϊκού δικτύου υποδομών φόρτισης ΗΟ 25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Δημόσιοι φορτιστές στην Ευρώπη 26
3.1 Εισαγωγή-Ορισμοί 26
3.2 Δημόσια σημεία φόρτισης 26
3.3 Αριθμός δημόσιων σημείων φόρτισης 27
3.4 Ηλεκτρικά αυτοκίνητα ανά δημόσιο σημείο φόρτισης 28
3.5 Κατανομή σημείων φόρτισης στην Ευρώπη 29
3.6 Τύποι φορτιστών 31
3.7 Γρήγορη και εξαιρετικά γρήγορη φόρτιση 32
3.8 Μια βελτιωμένη μέθοδος μέτρησης για την αποτίμηση της υποδομής δημόσιων φορτιστών 34

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων στην Ελλάδα 39
4.1 Διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων στην Ελλάδα 39
4.2 Κίνητρα χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων 40
4.3 Αριθμός δημόσιων σημείων φόρτισης στην Ελλάδα 40
4.4 Κατάσταση δημόσιων φορτιστών στην Ελλάδα 42
4.5 Δημόσιοι φορτιστές σε σχέση με αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων στην Ελλάδα 43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας και καταγραφή μοτίβων συμπεριφορών φόρτισης 46
5.1 Επίδραση φόρτισης ΗΟ στο ηλεκτρικό δίκτυο 46
5.2 Αντιμετώπιση του προβλήματος – Στρατηγικές φόρτισης 46
5.2.1 Στρατηγική άμεσης φόρτισης 47
5.2.2 Στρατηγική ώρας φόρτισης 47
5.2.3 Στρατηγική σε πραγματικό χρόνο 47
5.2.4 Μεικτή στρατηγική 48
5.3 Αναλυτική επισκόπηση των ερευνητικών εργασιών για τη μελέτη και ανάλυση μοτίβων φόρτισης 48
5.3.1 Kang και Recker 48
5.3.2 Sioshani and Denholm 53
5.3.3 Jianhui Wang et al - Jonathan Mullan et al 54
5.3.4 Weiller 62
5.3.5 Schey 64
5.3.6 Kim, Rahimi (2014) και Kim (2019) 67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 70
6.1 Εισαγωγή 70
6.2 Σύνολο δεδομένων 70
6.3 Αποτελέσματα ανάλυσης 72
6.3.1 Μέση διάρκεια φόρτισης ανά τοποθεσία 72
6.3.2 Μέση διάρκεια φόρτισης ανά ημέρα 72
6.3.3 Συνολική διάρκεια φόρτισης ανά ώρα άφιξης 73
6.3.4 Οδηγοί ΗΟ ανά ώρα 73
6.3.5 Συνολική ενέργεια φόρτισης ανά ώρα 74
6.3.6 Συνολική ενέργεια φόρτισης ανά μήνα 75
6.3.7 Μέση ενέργεια και μέση διάρκεια φόρτισης για Δε-Πα/Σα-Κυ 75
6.3.8 Οδηγοί ΗΟ για Δε-Πα/Σα-Κυ 76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 77
Βιβλιογραφία 79

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 2. 1 Ετοιμότητα κρατών ΕΕ για τα ΗΟ 23

Πίνακας 3. 1 Μελλοντική υποδομή δημόσιων φορτιστών στην Ε.Ε 37

Πίνακας 5. 1 Κόστη λειτουργίας την εβδομάδα μελέτης 55

Πίνακας 6. 1 Κολώνες dataset 71

Πίνακας 6. 2 Εγγραφές δεδομένων 71

Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 3. 1 Δημόσιοι φορτιστές και ηλεκτρικά οχήματα στην Ευρώπη 28

Σχήμα 3. 2 Συνολικός αριθμός δημοσίων σημείων φόρτισης 30

Σχήμα 3. 3 Κατανομή δημοσίων φορτιστών ανά ταχύτητα φόρτισης 32

Σχήμα 3. 4 Γρήγοροι CCS φορτιστές ανά 100 km 33

Σχήμα 3. 5 Γεωγραφικό δίκτυο γρήγορων/εξαιρετικά γρήγορων φορτιστών 33

Σχήμα 4. 1 Κατανομή οχημάτων βάσει καυσίμου σε Ευρώπη/Ελλάδα 39

Σχήμα 4. 2 Ηλεκτρικά αυτοκίνητα ανά δημόσιο σημείο φόρτισης 41

Σχήμα 4. 3 Γεωγραφικό δίκτυο φορτιστών στην Ελλάδα 42

Σχήμα 4. 4 Τύπος δημόσιων φορτιστών στην Ε.Ε 42

Σχήμα 4. 5 Μέτρο προσφοράς ανά χώρα στην Ε.Ε 43

Σχήμα 4. 6 Δείκτης επάρκειας δημόσιας φόρτισης στην Ευρώπη 44

Σχήμα 4. 7 Δημόσιοι φορτιστές 2020/2025/2030 45

Σχήμα 5. 1 Δραστηριότητες σε μία τυπική ημέρα 49

Σχήμα 5. 2 Χρονικά προφίλ κατανάλωσης 49

Σχήμα 5. 3 Σενάριο 1 - Ζήτηση φόρτισης 50

Σχήμα 5. 4 Σενάριο 2 - Ζήτηση φόρτισης 51

Σχήμα 5. 5 Σενάριο 3 - Ζήτηση φόρτισης 52

Σχήμα 5. 6 Σενάριο 4 - Ζήτηση φόρτισης 53

Σχήμα 5. 7 Εβδομαδιαίο κόστος λειτουργίας ανά σενάριο φόρτισης 55

Σχήμα 5. 8 Φόρτος δικτύου ανά σενάριο φόρτισης 56

Σχήμα 5. 9 α)Φορτίσεις ΗΟ (%ΗΟ) β) Πλήρης φόρτιση ΗΟ ημέρας (Σενάριο 1) 57

Σχήμα 5. 10 Φόρτος ηλεκτρικού δικτύου σε βάθος 10 ετών 57

Σχήμα 5. 11 Επίδραση στη διάρκεια φόρτωσης (Σενάριο 1) 58

Σχήμα 5. 12 Αλλαγή στη χρήση της υποδομής (Σενάριο 1) 58

Σχήμα 5. 13 α)Φορτίσεις ΗΟ (%ΗΟ) β) Πλήρης φόρτιση ΗΟ ημέρας (Σενάριο 2) 59

Σχήμα 5. 14 Επίδραση στη διάρκεια φόρτωσης (Σενάριο 2) 59

Σχήμα 5. 15 Αλλαγή στη χρήση της υποδομής (Σενάριο 2) 60

Σχήμα 5. 16 α)Φορτίσεις ΗΟ (%ΗΟ) β) Πλήρης φόρτιση ΗΟ ημέρας (Σενάριο 3)..... 61

Σχήμα 5. 17 Φόρτος ηλεκτρικού δικτύου σε βάθος 10 ετών (Σενάριο 3)..... 61

Σχήμα 5. 18 Επίδραση στη διάρκεια φόρτωσης (Σενάριο 3) 62

Σχήμα 5. 19 Αλλαγή στη χρήση της υποδομής (Σενάριο 3) 62

Σχήμα 5. 20 α) Μ.Ο φόρτου οχημάτων β) Φόρτος στο σπίτι..... 63

Σχήμα 5. 21 Καμπύλη διαθεσιμότητας φόρτισης για οικιακά EVSE του EV Project 64

Σχήμα 5. 22 Διαθεσιμότητα φόρτωσης ημέρας..... 65

Σχήμα 5. 23 Καμπύλη ζήτησης φόρτισης για οικιακά EVSE του EV Project..... 65

Σχήμα 5. 24 Διάγραμμα ζήτησης φόρτισης με καμπύλη ημέρας αιχμής 66

Σχήμα 5. 25 Ζήτηση φόρτισης ημέρας α) στο Nashville, β) στο San Francisco..... 66

Σχήμα 5. 26 Ζήτηση φόρτισης ημέρας (Σαβββατοκύριακο) α) στο Nashville, β) στο San Francisco 67

Σχήμα 6. 1 Μέση διάρκεια φόρτισης ανά τοποθεσία..... 72

Σχήμα 6. 2 Μέση διάρκεια φόρτισης ανά ημέρα..... 73

Σχήμα 6. 3 Συνολική διάρκεια φόρτισης ανά ώρα άφιξης..... 73

Σχήμα 6. 4 Οδηγοί ΗΟ ανά ώρα 74

Σχήμα 6. 5 Συνολική ενέργεια φόρτισης ανά ώρα 74

Σχήμα 6. 6 Συνολική ενέργεια φόρτισης ανά μήνα..... 75

Σχήμα 6. 7 α) Ενέργεια φόρτισης β)Διάρκεια φόρτισης 76

Σχήμα 6. 8 α)Οδηγοί ΗΟ για Δε-Πα/Σα-Κυ β)Οδηγοί ΗΟ ανά ημέρα..... 76

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Ηλεκτρικά οχήματα

1.1 Κλιματική αλλαγή και ηλεκτρικά οχήματα

Σύμφωνα με την μελέτη του Stern (Stern, 2006) εκτιμάται ότι οι ζημίες από την κλιματική αλλαγή μπορούν να φτάσουν μέχρι και το 20% του παγκόσμιου Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος εάν δεν ληφθούν μέτρα για τον περιορισμό των εκπομπών άνθρακα. Οι μεταφορές είναι ο ταχύτερα αυξανόμενος επιβαρυντικός κλάδος όσον αφορά τη συμμετοχή του στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, με τις οδικές συγκεκριμένα μεταφορές να συνεισφέρουν κατά 20% στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, μόνο στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Συνεπώς, οι μεταφορές έχουν έναν πολύ σημαντικό ρόλο να επιτελέσουν στην βελτίωση της ποιότητας του αέρα και του κλίματος.

Ένας πολύ απλός τρόπος για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, είναι η μετάβαση σε έναν στόλο οχημάτων χαμηλής εκπομπής ρύπων. Τέτοια οχήματα είναι τα ηλεκτρικά οχήματα (ΗΟ).

1.2 Ορισμός και κατηγορίες ηλεκτρικών οχημάτων

Σύμφωνα με την ΚΥΑ 42863/438/2019 - ΦΕΚ 2040/ Β/4-6-2019 ως «ηλεκτρικό ή ηλεκτροκίνητο όχημα (ΗΟ)» ορίζεται το: μηχανοκίνητο όχημα εξοπλισμένο με σύστημα μετάδοσης της κίνησης το οποίο περιέχει τουλάχιστον μία μη περιφερειακή (εξωτερική, βοηθητική) ηλεκτρική μηχανή ως μετατροπέα ενέργειας με ηλεκτρικό επαναφορτιζόμενο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, το οποίο μπορεί να επαναφορτίζεται εξωτερικά.

Επίσης ορίζονται τρεις κατηγορίες ηλεκτρικών οχημάτων:

α) «Αμιγώς ηλεκτρικό όχημα» (ΡΕV): όχημα εξοπλισμένο με σύστημα κίνησης το οποίο περιλαμβάνει αποκλειστικά ηλεκτροκινητήρες ως μετατροπείς ενέργειας προώθησης και αποκλειστικά επαναφορτιζόμενα συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας ως συστήματα αποθήκευσης ενέργειας προώθησης.

β) «Υβριδικό ηλεκτρικό όχημα εξωτερικής φόρτισης» (OVCHEV): υβριδικό ηλεκτρικό όχημα στο οποίο ένας από τους μετατροπείς ενέργειας προώθησης είναι ηλεκτροκινητήρας και μπορεί να φορτίζεται από εξωτερική πηγή, και

γ) «Υβριδικό όχημα κυψέλης καυσίμου» (FCHV): όχημα κυψέλης καυσίμου εξοπλισμένο με σύστημα μετάδοσης ισχύος το οποίο περιλαμβάνει τουλάχιστον ένα σύστημα αποθήκευσης καυσίμου και τουλάχιστον ένα επαναφορτιζόμενο σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας ως συστήματα αποθήκευσης ενέργειας προώθησης.

Σε αντίθεση με τα συμβατικά οχήματα που κάνουν χρήση μηχανών εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ), τα ΗΟ χρησιμοποιούν ηλεκτρικούς κινητήρες. Τα ΗΟ μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, σε αυτά που χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται σε επαναφορτιζόμενες συστοιχίες συσσωρευτών (κοινώς μπαταρίες, Battery Electric Vehicle, BEV) και τα υβριδικά, που χρησιμοποιούν και τα δύο (ηλεκτρικές μηχανές και ΜΕΚ). Σε αυτή τη μελέτη ενδιαφερόμαστε για τα επαναφορτιζόμενα από το δίκτυο υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα. (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV) και τα ηλεκτρικά οχήματα με συσσωρευτή (BEV).

1.3 Πλεονεκτήματα ηλεκτρικών οχημάτων

Τα ηλεκτρικά οχήματα προσφέρουν μια σειρά από πλεονεκτήματα στον τομέα του περιβάλλοντος, της υγείας και της κοινωνίας. Σύμφωνα με την μελέτη της IEA (International Energy Agency) αυτά είναι:

- Ενεργειακή αποτελεσματικότητα. Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι τρεις με πέντε φόρες πιο αποτελεσματικά από τα οχήματα που χρησιμοποιούν κινητήρες εσωτερικής καύσης.
- Ενεργειακή ασφάλεια. Η ηλεκτροκίνηση συνεισφέρει στην ενεργειακή ασφάλεια καθώς απεξαρτεί τον οδικό τομέα των μεταφορών από τα ορυκτά καύσιμα. Επίσης, μειώνει την εξάρτηση πολλών κρατών από εισαγωγές πετρελαίου. Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παραχθεί μέσα στα πλαίσια μιας χώρας χρησιμοποιώντας διάφορες πηγές και καύσιμα.
- Μείωση της μόλυνσης του αέρα. Η ηλεκτροκίνηση μπορεί να συνεισφέρει στη μείωση της μόλυνσης του αέρα ειδικά σε πυκνοκατοικημένες περιοχές εξαιτίας της μηδενικής εκπομπής αερίων.
- Λιγότερα αέρια του θερμοκηπίου. Η ηλεκτροκίνηση μπορεί να συμβάλει στην μείωση των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επιπλέον, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να διαδραματίσουν έναν διευρυμένο ρόλο μέσω της χρήσης τους, παρέχοντας ευελιξία στα συστήματα ηλεκτρικής

ενέργειας ενεργώντας σε συνεννόηση με την ενσωμάτωση διάφορων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

- Μείωση ηχητικής όχλησης. Τα ηλεκτρικά οχήματα δημιουργούν λιγότερο θόρυβο από τα οχήματα που χρησιμοποιούν κινητήρες εσωτερικής καύσης.
- Βιομηχανική ανάπτυξη. Τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν ένα δυνητικό παράγοντα για την μείωση του κόστους των μπαταριών, έναν παράγοντα κλειδί για την ανταγωνιστικότητα των βιομηχανιών.

Αυτά και άλλα πλεονεκτήματα των ΗΟ έχουν οδηγήσει σε ανάπτυξη και αυξημένη κατανόηση των προκλήσεων και των ευκαιριών όσον αφορά την ηλεκτροκίνηση κατά την τελευταία δεκαετία.

1.4 Το μέλλον της ηλεκτροκίνησης στην Ευρώπη

Ο αριθμός των ηλεκτρικών μοντέλων που διατίθενται στην ευρωπαϊκή αγορά αναμένεται να ξεπεράσει τα 200 το 2021, ενώ η ευρωπαϊκή παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά και να φτάσει τα τέσσερα εκατομμύρια οχήματα ετησίως έως το 2025.

Αυτή η ισχυρή αύξηση της ζήτησης για ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας (BEV) και επαναφορτιζόμενα από το δίκτυο υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEV) − με τις ταξινομήσεις να αυξάνονται ήδη κατά 216,9% και 331,0% αντίστοιχα − οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις κυβερνητικές ρυθμίσεις και τα κυβερνητικά κίνητρα για αγορά οχημάτων χαμηλών και μηδενικών εκπομπών. Πράγματι, στη Γερμανία για παράδειγμα, όπου τα κίνητρα για αγορά ΗΟ είναι από τα πιο γενναιόδωρα στην Ευρωπαϊκή Ένωση, οι εγγραφές BEV αυξήθηκαν κατά περισσότερο από 500% το τελευταίο τρίμηνο του 2020.

Για να συμβαδίσει με αυτό το ηλεκτρικό κύμα – εκτιμάται ότι θα κυκλοφορεί ένας αριθμός ΗΟ που θα κυμαίνεται από 33 εκατομμύρια ηλεκτρικά αυτοκίνητα με την τρέχουσα πολιτική της Ευρώπης, έως 44 εκατομμύρια, στο κλιματικά ουδέτερο σενάριο το 2030 – η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρέπει να δώσει προτεραιότητα στην ηλεκτρική φόρτιση και να συμβαδίσει με την αυξανόμενη ζήτηση για δημόσια και ιδιωτικά σημεία φόρτισης.

1.5 Ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος και στρατηγική φόρτισης

Αυτός ο εξηλεκτρισμός του τομέα των μεταφορών αναμένεται να επιφέρει σημαντικές αλλαγές, προκλήσεις αλλά και ευκαιρίες για το ηλεκτρικό σύστημα. Σύμφωνα με τις προβλέψεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (European Commission 2018) το 2050 αναμένεται να κυκλοφορούν στους δρόμους της Ευρώπης 190 εκατομμύρια ηλεκτρικά οχήματα. Αυτό πιστεύεται ότι θα οδηγήσει σε μια αύξηση της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικού ρεύματος κατά 10%. Το ηλεκτρικό δίκτυο μπορεί να υπερφορτωθεί εάν ένας μεγάλος αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων φορτίζεται στις ώρες αιχμής και όχι εκτός ωρών αιχμής που είναι μεταξύ μεσάνυχτα και νωρίς το πρωί (Andrew P. Robinson et al. 2012). Για αυτό εκτός από τον συνολικό αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων που αναμένεται να κυκλοφορούν στο μέλλον, σημαντικό ρόλο παίζει και η μελέτη της συμπεριφοράς των οδηγών ηλεκτρικών οχημάτων όσον αφορά τις συνήθειες τους στη φόρτιση των οχημάτων τους (πότε και για πόση ώρα φορτίζουν τα ηλεκτρικά τους οχήματα).

Η μελέτη της συμπεριφοράς των οδηγών ηλεκτρικών οχημάτων ως προς τις συνήθειες τους θα οδηγήσει στην εύρεση και εφαρμογή μιας κατάλληλης στρατηγικής φόρτισης καθώς εάν οι μπαταρίες ηλεκτρικών οχημάτων φορτίζονται χωρίς καμία στρατηγική, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της αναμενόμενης ενέργειας που δεν εξυπηρετείται από το σύστημα ισχύος ή την ανάγκη για επιπλέον δυνατότητα φορτίου αιχμής (peak load capacities). Ταυτόχρονα, μια βέλτιστη στρατηγική φόρτισης μπορεί να προσδώσει μια επιπλέον ευελιξία στο σύστημα ισχύος και έτσι να διευκολύνει την ενσωμάτωση διάφορων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και να μειώσει το κόστος παραγωγής. Αυτή τη δεκαετία η διαχείριση των διαφόρων μοτίβων φόρτισης (charging patterns) θα είναι μεγίστης σημασίας στην καθοδήγηση των κατόχων ΗΟ ώστε να φορτίζουν τα οχήματά τους τις ώρες χαμηλής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

1.6 Σημεία φόρτισης

Αλληλοσυνδεόμενα μεταξύ του αριθμού των ΗΟ, της συμπεριφοράς των οδηγών στη φόρτιση των ΗΟ και της στρατηγικής φόρτισης είναι και η ποσότητα, η ποιότητα και η κατανομή των σημείων φόρτισης. Υπάρχει μια σαφής προτίμηση για αργά (AC) δημόσια σημεία φόρτισης, αλλά το δίκτυο των γρήγορων και εξαιρετικά γρήγορων σημείων φόρτισης αναπτύσσεται ικανοποιητικά. Οι γρήγοροι φορτιστές βρίσκονται κυρίως στον αστικό διάδρομο που εκτείνεται από το νότιο Ηνωμένο Βασίλειο έως την Ολλανδία, μέσω της Γερμανικής Ρηνανίας, της Νότιας Γερμανίας και της Ελβετίας.

Παρ' όλα αυτά, στο μέλλον, περισσότερες υποδομές φόρτισης θα χρειαστούν προκειμένου να καλύψουν τις αυξανόμενες ανάγκες της αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων. Συνεπώς πολλά ακόμα χρειάζεται να γίνουν για να διασφαλιστεί η απρόσκοπτη και αξιόπιστη φόρτιση για τους οδηγούς ΗΟ.

Προσπάθειες γίνονται για μια γρήγορη και ομοιόμορφη πανευρωπαϊκή στρατηγική ανάπτυξης των δημόσιων σημείων φόρτισης σε συμφωνία με την ανάπτυξη της αγοράς. Η ανάπτυξη των σημείων φόρτισης είναι πολύ σημαντικό να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη σε όλη την Ευρώπη ώστε να έχουν όλοι οι Ευρωπαίοι την ίδια δυνατότητα για μια μετάβαση σε μηδενικής εκπομπής αυτοκίνηση.

1.7 Σχέδια ανάπτυξης σημείων φόρτισης

Η T&E (Transport & Environment, 2020) για να καθορίσει ένα αποτελεσματικό μελλοντικό πλαίσιο υποδομής σχεδίασε μια νέα μέθοδο, την οποία ονόμασε μέτρο δημόσιας προσφοράς φόρτισης, για τη μέτρηση της ανάπτυξης υποδομών στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, αντί απλά να μετράει ένα σημείο φόρτισης ως ένα, η T&E προτείνει τη στάθμιση των σημείων με βάση το πόση ενέργεια μπορούν να παρέχουν στον στόλο των ΗΟ και πόσο διαθέσιμα είναι στο κοινό.

Εκτός από τον αριθμό των υποδομών φόρτισης, σημαντικό ρόλο παίζουν τόσο η ποιότητα αλλά και που και πως λειτουργούν οι υποδομές.

Ένα Ευρωπαϊκό σχέδιο θα πρέπει να περιλαμβάνει:

- Την πλήρη κάλυψη όλων των Ευρωπαϊκών αυτοκινητοδρόμων.
- Την επαναφόρτιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων με όσο το δυνατόν πιο απλό τρόπο και σε προσιτές τιμές, τουλάχιστον στο ίδιο επίπεδο με τους σταθμούς προμήθειας βενζίνης και πετρελαίου.
- Έξυπνα συστήματα φόρτισης, ούτως ώστε να είναι ευθυγραμμισμένα με την παραγωγή ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας.

Εμπορικά καταστήματα, χώροι αναψυχής και άθλησης καθώς και καταστήματα εμπορίας βενζίνης και πετρελαίου είναι ιδανικά σημεία για δημόσια σημεία φόρτισης. Επίσης, η προετοιμασία των κτηρίων, τόσο αστικών όσο και επαγγελματικών για δυνατότητα παροχής φόρτισης είναι πολύ σημαντική και δεν πρέπει να αγνοηθεί.

Ταυτόχρονα ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δοθεί στην ανάπτυξη των υποδομών (καλωδίωση και προετοιμασία κτιρίων) σε οικιακούς χώρους και κατοικίες.

Η μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση θα δημιουργήσει μια αγορά δισεκατομμυρίων ευρώ και πολλές ευκαιρίες για τη βιομηχανία στην κατασκευή, εγκατάσταση και συντήρηση των εξοπλισμών φόρτισης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Αγορά ηλεκτρικών οχημάτων στην Ευρώπη

2.1 Εισαγωγή

Η αγορά ηλεκτρικών οχημάτων (ΗΟ) αρχίζει να αλλάζει στην Ευρώπη εξαιτίας της αύξησης των πωλήσεων ΗΟ. Στο κεφάλαιο αυτό αναφερόμαστε στους στόχους που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση για την κλιματική ουδετερότητα μέχρι το 2050 και στους κανόνες στους οποίους πρέπει να συμμορφωθούν οι κατασκευαστές αυτοκινήτων σε σχέση με τις πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Παρουσιάζεται η τρέχουσα κατάσταση καθώς και εκτιμήσεις για το μέλλον.

2.2 Διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων στην Ευρώπη

Μέχρι πριν λίγα χρόνια η αγορά ΗΟ στην Ευρώπη ήταν σε πολύ πρώιμο στάδιο με πολύ λίγα ηλεκτρικά μοντέλα να προσφέρονται στην αγορά. Το κόστος των μπαταριών και των ΗΟ μειώνεται και οι υποδομές φόρτισης ΗΟ βελτιώνονται, γεγονός που υποστηρίζει την περίπτωση των ΗΟ σε όλους τους τρόπους μεταφοράς όπως λεωφορεία, ταξί και κοινόχρηστα οχήματα, ελαφρά επαγγελματικά οχήματα, δίκυκλα και βαρέα επαγγελματικά οχήματα με απαιτήσεις μικρής εμβέλειας. Το εύρος των μοντέλων από τα οποία μπορούν να επιλέξουν οι καταναλωτές έχει αυξηθεί και συνεχίζει σταθερά να επεκτείνεται καθώς οι κατασκευαστές ΗΟ ξεκίνησαν την εισαγωγή νέων ΗΟ και ανακοίνωσαν την ανάπτυξη αρκετών νέων μοντέλων στο εγγύς μέλλον.

Τα τελευταία χρόνια, μετά από μια αργή ανάπτυξη, τα ηλεκτρικά οχήματα κάνουν αισθητή την εμφάνισή τους στην Ευρώπη υποστηριζόμενα από κυβερνητικές πολιτικές και την τεχνολογική πρόοδο. Οι κυβερνήσεις όλων των χωρών λαμβάνουν μέτρα, όπως κίνητρα (φορολογικά και όχι μόνο) για την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων, νέα νομοθεσία, και άλλες πολιτικές για την προώθηση των ηλεκτρικών οχημάτων.

Με τα πρότυπα της ΕΕ για αυτοκίνητα και φορτηγά όσον αφορά τις εκπομπές CO_2 για το 2021-2025-2030, ένα κύμα μοντέλων ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται στην Ευρώπη. Αναμένεται η προσφορά ηλεκτρικών οχημάτων στην Ευρώπη να διπλασιαστεί, καθοδηγούμενη από τα πρότυπα εκπομπής CO_2 για τα έτη 2020/2021 τα οποία απαιτούν να φτάσει το μερίδιο πωλήσεων των ηλεκτρικών οχημάτων στο 5% το 2020 και έως και 10% το 2021. Η βιομηχανία των ηλεκτρικών οχημάτων, εκτιμάται ότι θα έχει μια αξιοσημείωτη επίδραση στην παγκόσμια αγορά αυτοκινήτου.

2.3 Πολιτικές για την προώθηση χρήσης ΗΟ

Η πρώτη από τις τρέχουσες πολιτικές, που περιλαμβάνει την μείωση των εκπομπών CO_2, που πρέπει να συμμορφωθούν οι κατασκευαστές οχημάτων, είναι τα πρότυπα εκπομπής CO_2 από τα αυτοκίνητα στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Σύμφωνα με αυτά τα πρότυπα, οι κατασκευαστές οχημάτων πρέπει να ευθυγραμμιστούν με το στόχο μείωσης εκπομπών CO_2 κατά 15% το 2025 και κατά 37,5% το 2030. Αυτό αναπόφευκτα θα οδηγήσει σε αύξηση των πωλήσεων ΗΟ.

Από την άλλη μεριά, σημαντικό ρόλο, ο οποίος αναγνωρίζεται από τους βασικούς παίκτες της αγοράς αυτοκινητοβιομηχανίας και ηλεκτρικής ενέργειας, παίζει η πρόωρη καλωδίωση όλων των νέων κτηρίων. Αυτοί οι φορείς της βιομηχανίας τόνισαν επίσης ότι πρέπει να τεθούν νέες απαιτήσεις για την εγκατάσταση σημείων φόρτισης για δημόσια και ιδιωτικά κτίρια και κατοικημένες περιοχές.

Παρ' όλα αυτά επειδή η ευρωπαϊκή αγορά ΗΟ καθοδηγείται κυρίως από τους κανονισμούς που επιβάλλει η Ευρωπαϊκή Ένωση, οι αυτοκινητοβιομηχανίες συγκρατούν τις πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων τα τελευταία δύο χρόνια και έχουν καταστείλει την ανάπτυξη της αγοράς ΗΟ. Εντούτοις, η τεχνολογική πρόοδος σε συνδυασμό με την ανάπτυξη της αγοράς, και η ανάπτυξη νέων κανονισμών έχουν επιφέρει αύξηση στην φιλοδοξία για επίτευξη συγκεκριμένων στόχων, όσον αφορά τις εκπομπές CO_2 των οχημάτων και έχουν με τη σειρά τους οδηγήσει σε νέες σημαντικές εξελίξεις στην αγορά της ηλεκτροκίνησης.

Διάφορες νέες ρυθμίσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης όπως η οδηγία για καθαρά οχήματα (Clean Vehicles Directive), η μακροπρόθεσμη στρατηγική της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (European Commission Long Term Strategy) και οι πρόσφατα εγκεκριμένοι κανονισμοί σχετικά με τα πρότυπα εκπομπών CO_2 για ελαφρά οχήματα και βαρέα επαγγελματικά οχήματα συνεισφέρουν στην ανάπτυξη της αγοράς της ηλεκτροκίνησης. Αυτή η ανάπτυξη της αγοράς θα αλλάξει γρήγορα το σύστημα μεταφορών της Ευρώπης και θα δημιουργήσει αυξανόμενες ανάγκες για δημόσιους και ιδιωτικούς φορτιστές ΗΟ.

2.4 Ετοιμότητα κρατών Ε.Ε για την ηλεκτροκίνηση

Η φιλοδοξία των διαφόρων κρατών μελών και οι στόχοι που θέτουν οι κυβερνήσεις για την ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης για το 2020 ποικίλει από κράτος σε κράτος. Σύμφωνα με μια ανάλυση του 2017, μόνο 10 στα 28 κράτη μέλη εστίασαν στην

ηλεκτροκίνηση ενώ άλλα κράτη μέλη όπως η Ιταλία και η Τσεχική Δημοκρατία έδωσαν προτεραιότητα στο φυσικό αέριο. Επίσης, πολλά εθνικά σχέδια έχουν χαμηλούς στόχους ανάπτυξης όλων των εναλλακτικών καυσίμων (π.χ. Ισπανία, Σλοβακία, Πολωνία) ή δεν διαθέτουν καθόλου τους απαιτούμενους δείκτες για την αξιολόγηση της πορείας τους. Αυτό το υψηλό επίπεδο ασυνέπειας θέτει σε κίνδυνο τη δυνατότητα μιας ευρωπαϊκής εναρμονισμένης και φιλόδοξης πολιτικής, καθώς και την κλιματική και βιομηχανική στρατηγική για την ηλεκτροκίνηση.

Ενώ όμως σε ορισμένες χώρες η μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο, σε αρκετές από τις μεγαλύτερες αγορές αυτοκινήτων στον κόσμο ο στόλος των ΗΟ επεκτείνεται με γρήγορους ρυθμούς.

Ένας περιεκτικός αναλυτικός δείκτης που μετράει την ετοιμότητα 22 κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την επανάσταση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι ο LeasePlan's EV Readiness Index 2020. Ο δείκτης βασίζεται σε τέσσερις παράγοντες: α) ωριμότητα της αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων, β) διαθεσιμότητα υποδομών φόρτισης, γ) κυβερνητικά κίνητρα και δ) εμπειρία της LeasePlan με ηλεκτρικά οχήματα σε κάθε χώρα.

Country	Total scoring	E-Vehicle maturity	Charging maturity	Government incentives	LeasePlan orders
Netherlands	34	11	8	7	8
Norway	34	12	9	6	7
United Kingdom	30	7	7	10	6
Ireland	29	8	5	9	7
Sweden	28	10	5	8	5
Austria	27	8	4	10	5
Luxembourg	26	9	6	5	6
Finland	24	8	6	6	4
Germany	24	8	5	7	4
Belgium	23	8	5	5	5
Portugal	23	7	4	7	5
Denmark	22	8	5	4	5
France	22	5	5	7	5
Hungary	22	5	4	8	5
Switzerland	21	9	6	2	4
Spain	20	5	5	6	4
Italy	17	5	5	4	3
Czech Republic	16	4	5	4	3
Greece	15	3	2	8	2
Romania	12	4	3	2	3
Poland	11	3	2	5	1
Slovakia	11	3	4	3	1

Πίνακας 2. 1 Ετοιμότητα κρατών ΕΕ για τα ΗΟ[1]

Το ποσοστό των ΗΟ επί των πρόσφατα ταξινομημένων οχημάτων στην Ευρώπη είναι 5,7%. Ο αριθμός των ΗΟ παρουσιάζει αύξηση περίπου 60% μεταξύ 2018 και 2019, με το Λουξεμβούργο (+ 154%), την Ιρλανδία (+ 127%) και την Ολλανδία (+ 120%) να

[1] Πηγή: LeasePlan - EV Readiness Index 2020

παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη αύξηση. Η Ολλανδία άλλωστε είναι, όπως προκύπτει από τον Πίνακα 2.1, η καλύτερα προετοιμασμένη χώρα για την επανάσταση που έρχεται και ακολουθούν η Νορβηγία και το Ηνωμένο Βασίλειο.

Για το Ηνωμένο Βασίλειο αξίζει να αναφερθεί επίσης, ότι η σημαντική βελτίωση της κατάταξής του στον Πίνακα ετοιμότητας (+5 θέσεις σε σύγκριση με την προηγούμενη χρονιά) οφείλεται στην ανάπτυξη των υποδομών φόρτισης, σε πιο ελκυστικά κυβερνητικά κίνητρα και στις υψηλές ταξινομήσεις ΗΟ.

Για τις χώρες που συμμετείχαν στην έρευνα της LeasePlan, έχουν σημειωθεί κατά το 2020 πάνω από 4.000 τοποθεσίες γρήγορης φόρτισης, δηλαδή αύξηση 73% στους δημόσιους σταθμούς φόρτισης σε ολόκληρη την Ευρώπη.

2.5 Τρέχων αριθμός ΗΟ στην Ευρώπη

Για το έτος 2020, σύμφωνα με την Ένωση Ευρωπαίων Κατασκευαστών Αυτοκίνητων (European Automobile Manufacturers Association), τα επαναφορτιζόμενα από το δίκτυο ηλεκτρικά οχήματα (BEV και PHEV) σημείωσαν αύξηση της ζήτησης, καταλαμβάνοντας το 10,5% όλων των νέων ταξινομήσεων αυτοκινήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση, σε σύγκριση με ένα μερίδιο αγοράς 3,0% το προηγούμενο έτος. Οι συνολικές πωλήσεις ΗΟ άγγιξαν τις 1.045.831 μονάδες σημειώνοντας αύξηση 169,7% σε σχέση με το 2019. Εάν παρατηρήσουμε τα πιο πρόσφατα δεδομένα, δηλαδή αυτά του τέταρτου τριμήνου του 2020 θα δούμε ότι η αύξηση αυτή είναι ανοδική καθώς οι ταξινομήσεις των ηλεκτρικά φορτισμένων οχημάτων (BEV και PHEV) στην ΕΕ αυξήθηκαν από 130.992 μονάδες το 2019 σε σχεδόν μισό εκατομμύριο (+ 262,8%), ξεπερνώντας για πρώτη φορά τα υβριδικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα.

2.6 Αναμενόμενος αριθμός ΗΟ στην Ευρώπη

Σύμφωνα με την μελέτη της (T&E, 2020) αναμένεται το μερίδιο αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων να αυξηθεί στο 19% το 2025 και στο 33% το 2030. Σύμφωνα με την ίδια μελέτη, ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων που θα κυκλοφορούν το 2020 στην Ευρώπη θα είναι 2,1 εκατομμύρια.

Η δεύτερη δέσμευση της Ευρωπαϊκής Ένωσης απορρέει από την Συμφωνία του Παρισιού, σύμφωνα με την οποία η Ευρωπαϊκή Ένωση πρέπει να έχει μηδενικές εκπομπές από οχήματα οδικών μεταφορών το 2050. Σύμφωνα με την T&E το τελευταίο συμβατικό αυτοκίνητο καύσης (περιλαμβανομένων των υβριδικών αυτοκινήτων)

πρέπει να πωληθεί το 2035 το αργότερο. Το μερίδιο αγοράς των οχημάτων μηδενικών εκπομπών στις νέες πωλήσεις αναμένεται να είναι στο 40% το 2030. Αυτό είναι σύμφωνο με το έγγραφο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής «Καθαρός Πλανήτης για Όλους, Clean Planet for All» το οποίο αναφέρεται στον τρόπο επίτευξης μιας κλιματικά ουδέτερης οικονομίας μέχρι το 2050 και είναι ακόμα πιο σύμφωνο με την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (European Green Deal) και τα πιθανά αυστηρότερα πρότυπα εκπομπών CO_2 τα οποία θα αναθεωρηθούν το 2021 σύμφωνα με την ανακοίνωση της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας από τον Δεκέμβριο του 2019.

Ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων που κυκλοφορούν σήμερα στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι 1,3 εκατομμύρια και αναμένεται να φτάσει τα 14 εκατομμύρια το 2025 και τα 44 εκατομμύρια το 2030. Κατά άλλες εκτιμήσεις ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων που θα κυκλοφορούν στους δρόμος της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι 13 εκατομμύρια το 2025 και 33 εκατομμύρια το 2030.

Σύμφωνα με την μελέτη της T&E και σύμφωνα και με τα δυο σενάρια της μελέτης (δηλ. αυτό που βασίζεται στην τρέχουσα πολιτική της ΕΕ και στο οποίο οι κατασκευαστές αυτοκινήτων πρέπει να συμβαδίσουν με τους στόχους της ΕΕ για μείωση εκπομπής CO_2 κατά 15% το 2025 και κατά 37,5% το 2030 και στο δεύτερο που βασίζεται στην Συμφωνία του Παρισιού και την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία και έχει αυστηρότερους στόχους) το μερίδιο αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων είναι 5% το 2020 και 10% το 2021 και η αναλογία BEV/PHEV είναι 60%/40% το 2020 και 2021 και 65%/35% το 2025 και 70%/30% το 2030.

2.7 Ανάπτυξη πανευρωπαϊκού δικτύου υποδομών φόρτισης ΗΟ

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρόκειται να προχωρήσει σε ένα σχέδιο για την ανάπτυξη ενός πανευρωπαϊκού δικτύου υποδομών φόρτισης ΗΟ που σκοπό θα έχουν να οδηγήσουν την Ευρώπη σε μια εποχή αυτοκίνησης μηδενικών εκπομπών. Τα πρώτα βήματα έχουν ήδη γίνει με την οδηγία για την υποδομή εναλλακτικών καυσίμων (AFID) που εκδόθηκε το 2014.

Εκτός από την AFID, η νέα Ευρωπαϊκή Επιτροπή προγραμματίζει την στρατηγική της (Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, European Green Deal) για την κλιματική αλλαγή. Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία περιλαμβάνει οδηγίες και μηχανισμούς χρηματοδότησης γενικά για το κλίμα αλλά και ειδικότερα για υποδομές φόρτισης προκειμένου να υποστηρίξει την προσπάθεια για απαλλαγή από τον άνθρακα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Δημόσιοι φορτιστές στην Ευρώπη

3.1 Εισαγωγή-Ορισμοί

Σύμφωνα με την ΚΥΑ 42863/438/2019 - ΦΕΚ 2040/ Β/4-6-2019 ως «σημείο επαναφόρτισης» ορίζεται η: διεπαφή ικανή να φορτίζει το συσσωρευτή ενός ηλεκτρικού οχήματος (ηλεκτροκίνητου) κάθε φορά ή να αντικαταστήσει τον συσσωρευτή ενός ηλεκτρικού οχήματος κάθε φορά.

Επίσης σύμφωνα με την ίδια Κοινή Υπουργική Απόφαση οι (ενσύρματοι) σταθμοί φόρτισης κατηγοριοποιούνται βάσει τριών κύριων χαρακτηριστικών:

α) Του επιπέδου φόρτισης (charging level), που αναφέρεται στο επίπεδο ισχύος του σταθμού φόρτισης ή του ρευματοδότη (charging outlet).

β) Της μεθόδου φόρτισης (charging mode), που αναφέρεται στον τρόπο διασύνδεσης του ηλεκτρικού οχήματος με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και το επίπεδο ασφάλειας, προστασίας και επικοινωνίας μεταξύ οχήματος και σημείου επαναφόρτισης.

γ) Του τύπου του σταθμού φόρτισης ή του ρευματολήπτη του οχήματος (type of a charging station or vehicle inlet), που περιγράφει το βύσμα (plug) και τον συνδετήρα (connector) που χρησιμοποιείται.

3.2 Δημόσια σημεία φόρτισης

Σύμφωνα με την ΚΥΑ 42863/438/2019 - ΦΕΚ 2040/ Β/4-6-2019 ονομάζουμε έναν φορτιστή δημόσιο ή «δημοσίως προσβάσιμο σημείο επαναφόρτισης ή ανεφοδιασμού» το: σημείο ηλεκτρικής επαναφόρτισης ή ανεφοδιασμού εναλλακτικού καυσίμου, προσβάσιμο, άνευ διακρίσεων, σε όλους τους χρήστες. Η άνευ διακρίσεων πρόσβαση μπορεί να περιλαμβάνει διάφορα μέσα για την ταυτοποίηση, τη χρήση και την πληρωμή.

Ενώ σύμφωνα με την μελέτη της T&E (Transport & Environment, 2020) ονομάζουμε έναν φορτιστή δημόσιο, αν αυτός προσφέρει χωρίς διακρίσεις πρόσβαση σε χρήστες (δηλαδή όλοι οι χρήστες αντιμετωπίζονται ισότιμα) και μπορεί να είναι κάτοχος το δημόσιο ή ιδιώτης.

Όλα τα δημοσίως προσβάσιμα σημεία επαναφόρτισης παρέχουν τη δυνατότητα επί τούτω (ad hoc) χρέωσης για τους χρήστες ηλεκτρικών οχημάτων, χωρίς την υποχρέωση σύναψης συμβολαίου με τον οικείο προμηθευτή ή διαχειριστή ηλεκτρικής ενέργειας.

Επίσης η T&E προτείνει ημι-δημόσιοι φορτιστές (που έχουν κάποιο είδος περιορισμών πρόσβασης όσον αφορά τη διαθεσιμότητα) και φορτιστές που αποτελούν μέρος ενός ιδιόκτητου δικτύου φόρτισης των κατασκευαστών αυτοκινήτων (π.χ. Tesla Supercharger) να μην υπολογίζονται ως δημόσια σημεία φόρτισης αλλά να μετρούνται ξεχωριστά εάν είναι ανοιχτά στο κοινό τουλάχιστον έναν ορισμένο αριθμό ωρών ανά ημέρα (π.χ. 10 ώρες).

3.3 Αριθμός δημόσιων σημείων φόρτισης

Μέχρι το 2019 αναμενόταν ότι θα υπάρχουν 185.000 δημόσιοι φορτιστές στην ΕΕ ή 7 ηλεκτρικά οχήματα (ΗΟ) ανά σημείο φόρτισης. Η πλειονότητα των σημείων φόρτισης είναι αργοί (AC) δημόσιοι φορτιστές (61% δημόσιοι φορτιστές) αλλά το δίκτυο των γρήγορων και εξαιρετικά γρηγορών σημείων φόρτισης αναπτύσσεται ικανοποιητικά με 9.000 CCS γρήγορους φορτιστές και 640 εξαιρετικά γρήγορους φορτιστές να υπάρχουν στην Ευρώπη. Ο στόχος είναι, σύμφωνα με την μελέτη της T&E (2020) να υπάρχουν 1,5 εκατομμύρια δημόσια σημεία φόρτισης μέχρι το 2025 και 3 εκατομμύρια μέχρι το 2030. Αυτό θα απαιτήσει μια επένδυση περίπου 1,5 δισεκατομμυρίων ευρώ το 2025 που αντιστοιχεί περίπου στο 3% των ετήσιων επενδύσεων σε υποδομές οδικών μεταφορών στην ΕΕ.

Όσον αφορά τον συνολικό αριθμό των δημόσιων σημείων φόρτισης αυτός ποικίλει ανάλογα το σενάριο και τον συνολικό αριθμό των ΗΟ που θα κυκλοφορούν στους δρόμους της ΕΕ. Για το πρώτο σενάριο, δηλαδή για μείωση εκπομπής CO_2 κατά 15% το 2025 και κατά 37,5% το 2030 βάσει της τρέχουσας πολιτικής της ΕΕ, τα απαιτούμενα δημόσια σημεία φόρτισης είναι 1,3 εκατομμύρια ενώ για το δεύτερο (Συμφωνία του Παρισιού - Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία) 1,2 εκατομμύρια το 2025. Στα δυο σενάρια προβλέπεται ένας αριθμός περίπου 11 ΗΟ ανά δημόσιο σημείο φόρτισης. Για το 2030, τα δημόσια σημεία φόρτισης που θα απαιτηθούν είναι 2,9 εκατομμύρια ή 2,2 εκατομμύρια, ανάλογα το σενάριο. Με άλλα λόγια, ο συνολικός αριθμός δημόσιων σημείων φόρτισης πρέπει να αυξηθεί κατά έναν παράγοντα 6 ή 7 έως το 2025 και κατά έναν παράγοντα 12 ή 16 έως το 2030 σε σύγκριση με το σημερινό επίπεδο.

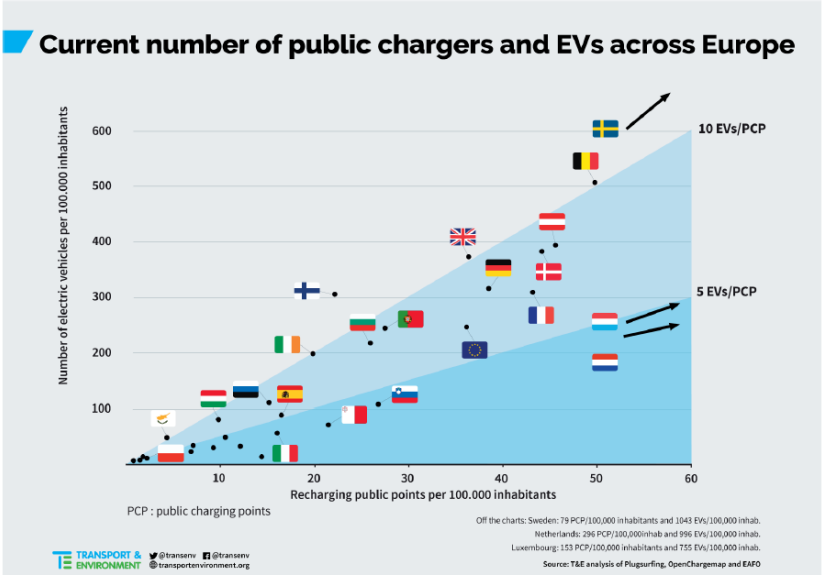
Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή συμβουλεύει τα κράτη-μέλη της να διατηρούν μια αναλογία 10 ΗΟ ανά δημόσιο σημείο φόρτισης για την επάρκεια του δημόσιου δικτύου φόρτισης. Αυτή τη στιγμή η αναλογία στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι, κατά μέσο όρο,

1 φορτιστής ανά 7 ΗΟ και οι περισσότερες χώρες έχουν αναλογία μικρότερη από 10 ΗΟ ανά φορτιστή, κάτι που δείχνει ότι υπάρχει σχετική υπέρ-προσφορά στα δημόσια σημεία φόρτισης. Εντούτοις ο αριθμός αυτός έχει αυξηθεί, κατά μέσο όρο, από 5 σε 7 τα τελευταία 2 χρόνια.

3.4 Ηλεκτρικά αυτοκίνητα ανά δημόσιο σημείο φόρτισης

Το Σχήμα 3.1, παρακάτω, δίνει μια επισκόπηση του τρέχοντος αριθμού ΗΟ που κυκλοφορούν στους δρόμους της ΕΕ και του διαθέσιμου αριθμού σημείων δημόσιας φόρτισης σε όλη την Ευρώπη (ομαλοποιημένα με βάση το συνολικό πληθυσμό). Τρία κράτη-μέλη (Ολλανδία, Νορβηγία και Λουξεμβούργο) δεν εμφανίζονται στο σχήμα, δεδομένου ότι έχουν πολύ μεγάλο αριθμό ΗΟ ανά κάτοικο. Παρατηρούμε από το διάγραμμα ότι οι χώρες βρίσκονται ανάμεσα σε 5 με 10 ΗΟ ανά ένα σημείο φόρτισης.

Επί του παρόντος, μόνο τέσσερα κράτη μέλη διαθέτουν περισσότερα από δέκα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ανά δημόσιο σημείο φόρτισης: Κύπρος, Φινλανδία, Ελλάδα, Σουηδία· ενώ στο Ηνωμένο Βασίλειο, το Βέλγιο και την Ιρλανδία είναι ακριβώς στα δέκα ΗΟ ανά ένα σημείο φόρτισης. Την καλύτερη επίδοση στην Ευρώπη με βάση αυτό το κριτήριο (ΗΟ ανά δημόσιο σημείο φόρτισης), την έχει η Ολλανδία, που είναι μια από τις πιο ώριμες αγορές ΗΟ (περίπου τέσσερα ΗΟ ανά φορτιστή).



Σχήμα 3. 1 Δημόσιοι φορτιστές και ηλεκτρικά οχήματα στην Ευρώπη[2]

[2] Πηγή: Transport & Environment – Recharge EU: How many charge points will Europe and its Member States need in the 2020s

Στο τέλος του 2017, η ΕΕ είχε 132.000 σημεία δημόσιας φόρτισης που αυξήθηκαν σε 175.000 έως το τέλος του 2019 (αύξηση 32% ή 42.000 σημεία δημόσιας φόρτισης), ενώ την ίδια στιγμή ο αριθμός των ΗΟ που κυκλοφορούν αυξήθηκε από 670.000 το Δεκέμβριο του 2017 σε 1,3 εκατομμύρια τον Νοέμβριο του 2019, δηλαδή αύξηση 89% σε δύο χρόνια. Η σταδιακή απορρόφηση της υπερπροσφοράς δημόσιων σημείων χρέωσης καταδεικνύει την αυξανόμενη ωριμότητα της ευρωπαϊκής αγοράς ΗΟ.

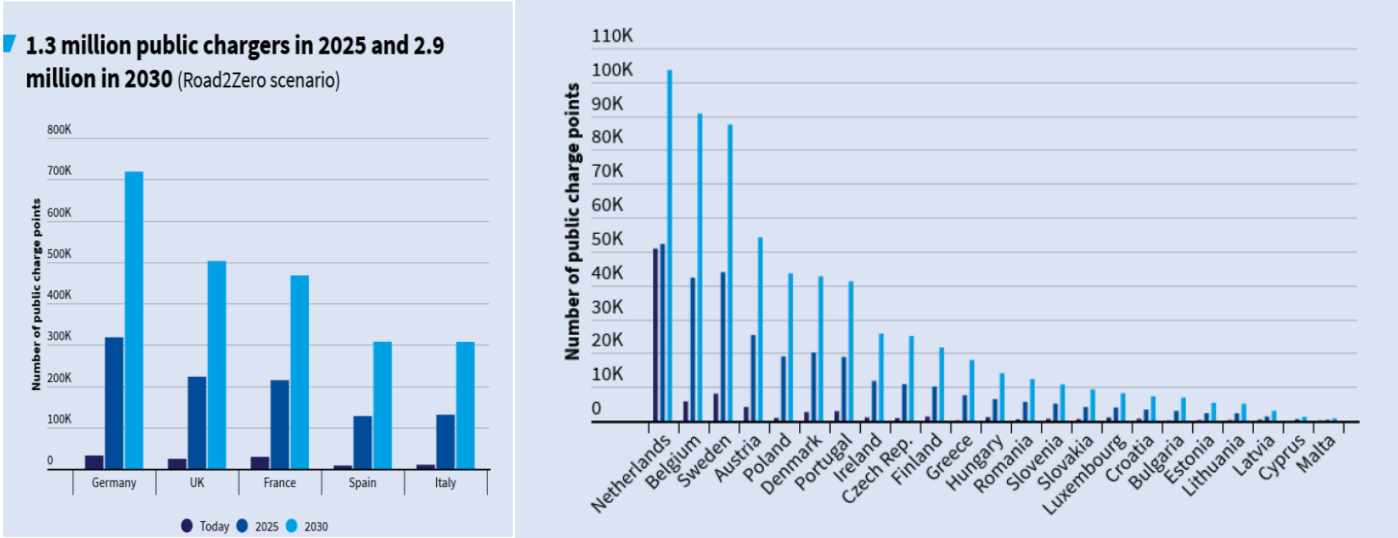
Καθώς η υπερπροσφορά δημόσιων σημείων φόρτισης απορροφάται γρήγορα, χωρίς ταχεία μέτρα για την επιτάχυνση της υποδομής των δημόσιων σημείων φόρτισης, η αναλογία δέκα ΗΟ προς ένα δημόσιο σημείο φόρτισης θα ξεπεραστεί. Εάν συνεχιστεί αυτή η τάση τότε θα υπάρχουν περίπου 200.000 σημεία δημόσιας φόρτισης στην ΕΕ, ενώ θα κυκλοφορούν τουλάχιστον 2,1 εκατομμύρια ΗΟ έως το 2020, το οποίο σημαίνει μια αναλογία 11 ΗΟ ανά δημόσιο σημείο φόρτισης.

Τα τελευταία δυο χρόνια οι κυβερνήσεις επιβράδυναν τον ρυθμό αύξησης των καινούργιων σημείων φόρτισης (δημιουργήθηκαν περί τα 42.000 σημεία δημόσιας φόρτισης) λόγω κυρίως της επιβράδυνσης των πωλήσεων ΗΟ από τους κατασκευαστές αυτοκινήτων. Εάν, εντούτοις τα κράτη-μέλη αυξήσουν τον ρυθμό ανάπτυξης των υποδομών για ΗΟ και επιτύχουν τους αρχικούς τους στόχους από τα εθνικά τους προγράμματα, τότε θα υπάρχουν περίπου 220.000 σημεία δημόσιας φόρτισης στην Ευρώπη έως το 2020 και η Ευρωπαϊκή αγορά θα έχει επιτύχει, κατά μέσο όρο, μια αναλογία της τάξης των 9,5 ηλεκτρικών οχημάτων ανά δημόσιο σημείο φόρτισης (Transport & Environment, 2020).

3.5 Κατανομή σημείων φόρτισης στην Ευρώπη

Όσον αφορά την κατανομή των σημείων φόρτισης στην Ευρώπη αναμένεται οι μεγαλύτερες χώρες να έχουν το μεγαλύτερο μερίδιο από τα μελλοντικά σημεία δημόσιας φόρτισης. Σύμφωνα με την μελέτη της T&E οι πέντε μεγαλύτερες αγορές αυτοκινήτων στην Ευρώπη (Γερμανία, Γαλλία, Ιταλία, Ηνωμένο Βασίλειο, Ισπανία) θα έχουν το 78% των σημείων φόρτισης της Ευρώπης μέχρι το 2025. Αυτό είναι αναμενόμενο γιατί αυτές οι χώρες αποτελούν και τις μεγαλύτερες αγορές αυτοκινήτων στην Ευρώπη και οι πωλήσεις ΗΟ έχουν μεγάλη θετική συσχέτιση με τις δημόσιες υποδομές φόρτισης και την αγορά αυτοκινήτων.

Ο συνολικός αριθμός δημόσιων σημείων φόρτισης που απαιτείται υπό το αισιόδοξο Road2Zero σενάριο (Συμφωνία του Παρισιού - Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία) φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3. 2 Συνολικός αριθμός δημοσίων σημείων φόρτισης[3]

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση αναμένεται να υπάρχουν, κατά μέσο όρο, 5,8 δημόσια σημεία φόρτισης ανά 1.000 κατοίκους σύμφωνα με το Road2Zero σενάριο το 2030. Το μεγαλύτερο μέρος της ΕΕ (όλα τα δυτικά και βόρεια κράτη μέλη συν τη Σλοβενία και την Εσθονία) θα χρειαστεί περισσότερους από τέσσερις δημόσιους φορτιστές ανά 1.000 κατοίκους. Το υπόλοιπο μέρος θα χρειαστεί λιγότερα από τρία σημεία δημόσιας φόρτισης ανά 1.000 κατοίκους. Για παράδειγμα, η Ρουμανία, η Μάλτα, η Βουλγαρία, η Κύπρος, η Πολωνία, η Ουγγαρία θα χρειαστούν κάτω από 1,5 δημόσιους φορτιστές ανά 1.000 κατοίκους. Από την άλλη πλευρά, μόνο η Γερμανία (8,7), η Σουηδία (8,6) και το Λουξεμβούργο (13,5) θα χρειαστούν πάνω από οκτώ σημεία δημόσιας φόρτισης ανά 1.000 κατοίκους. Το ποσό των δημόσιων σημείων φόρτισης ανά 1.000 κατοίκους διαφέρει από χώρα σε χώρα λόγω του σχετικού μεγέθους της αγοράς αυτοκινήτων σε κάθε χώρα (σε σύγκριση με τον συνολικό πληθυσμό της), καθώς και της πρόσβασης σε οικιακούς φορτιστές και της μέσης απόστασης που διανύουν οι κάτοικοί της με το αυτοκίνητο.

[3] Πηγή: Transport & Environment – Recharge EU: How many charge points will Europe and its Member States need in the 2020s

3.6 Τύποι φορτιστών

Σύμφωνα με την ΚΥΑ 42863/438/2019 - ΦΕΚ 2040/ Β/4-6-2019 διακρίνονται 2 σημεία επαναφόρτισης:

α) «σημείο επαναφόρτισης κανονικής ισχύος»: σημείο επαναφόρτισης ηλεκτρικού (ηλεκτροκίνητου) οχήματος, ηλεκτρικής ισχύος έως και 22 kW. Αποκλείονται από αυτήν την κατηγορία, τα σημεία επαναφόρτισης με ηλεκτρική ισχύ έως και 3,7 kW, τα οποία είναι εγκατεστημένα σε ιδιωτικές κατοικίες ή ο κύριος σκοπός τους δεν είναι να φορτίζουν ηλεκτρικά οχήματα και τα οποία δεν είναι δημοσίως προσβάσιμα,

β) «σημείο επαναφόρτισης υψηλής ισχύος»: σημείο επαναφόρτισης ηλεκτρικού (ηλεκτροκίνητου) οχήματος, ηλεκτρικής ισχύος μεγαλύτερης των 22 kW,

Αναφερόμαστε σε επίπεδο ισχύος (σε kW) ενός φορτιστή, το οποίο αντιπροσωπεύει πόσες kWh ενέργειας μπορούν να φορτιστούν σε ένα ηλεκτρικό όχημα σε μία ώρα.

Οι δημόσιοι φορτιστές μπορούν να διακριθούν ανάλογα την ισχύ τους σε: τριφασικούς φορτιστές AC (11 ή 22 kW), μονοφασικούς φορτιστές AC (3.7 ή 7.4 kW), γρήγορους φορτιστές (50 kW) και εξαιρετικά γρήγορους φορτιστές (άνω των 100kW).

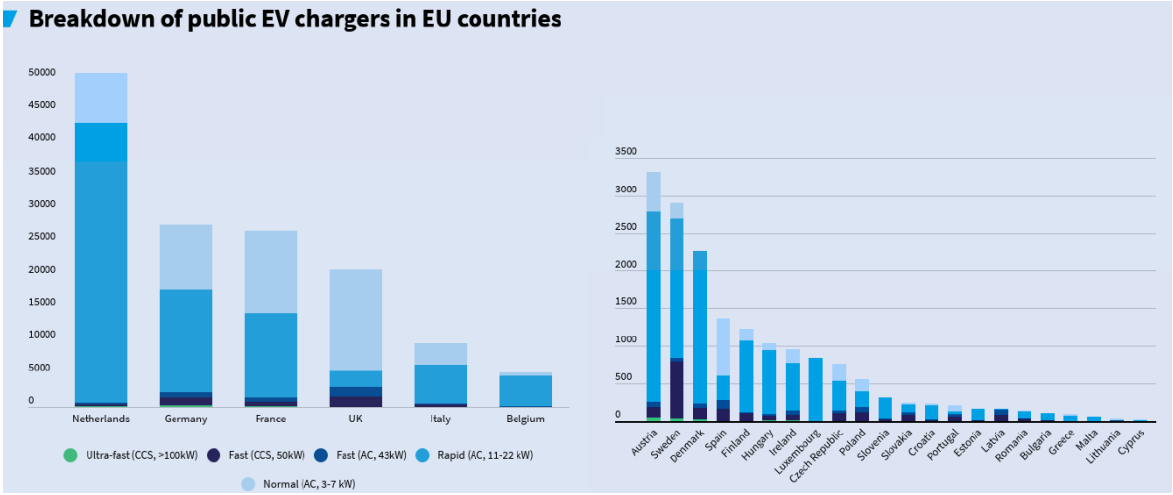
Με έναν φορτιστή τριφασικού εναλλασσόμενου ρεύματος (AC), η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται μέσω τριών καλωδίων που το καθένα φέρει μία φάση και ενός ουδέτερου. Ένας μονοφασικός φορτιστής συνδέεται μόνο σε ένα από τα τρία καλώδια (και η ταχύτητα φόρτισης είναι τρεις φορές χαμηλότερη). Ο ευρωπαϊκός τυπικός σύνδεσμος για φόρτιση AC είναι Τύπου 2.

Με φορτιστές DC παρέχεται υψηλή ισχύς με συνεχές υψηλό ρεύμα (125 A) και υψηλή τάση (μέθοδος ChAdeMO) και η ταχύτητα φόρτισης έχει τη δυνατότητα να αυξηθεί σημαντικά καθώς τροφοδοτείται απευθείας στην μπαταρία. Το ευρωπαϊκό πρότυπο για φόρτιση DC είναι το Συνδυασμένο Σύστημα Φόρτισης (Combined Charging System) Combo 2, συνήθως αναφέρεται ως CCS.

Σύμφωνα με τα ως τώρα δεδομένα οι τριφασικοί φορτιστές αποτελούν το 61% του συνόλου, οι μονοφασικοί το 33%, οι γρήγοροι φορτιστές το 4% και οι εξαιρετικά γρήγοροι το 0,5% της συνολικής προσφοράς. Αξίζει να σημειωθεί ότι από τους φορτιστές εναλλασσόμενου ρεύματος προτιμότεροι είναι οι τριφασικοί καθώς παρέχουν περισσότερη ενέργεια για ένα δεδομένο χρονικό διάστημα και δεν

επιβαρύνουν τόσο πολύ το δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τους μονοφασικούς.

Όσον αφορά την κατανομή των δημόσιων φορτιστών στην Ευρώπη, κάποιες χώρες όπως Νορβηγία, Σουηδία, Πολωνία, Πορτογαλία, Ρουμανία, Σλοβακία και Λετονία χρησιμοποιούν γρήγορους φορτιστές (πάνω από το 25% του συνολικού αριθμού φορτιστών). Από την άλλη πλευρά, άλλες χώρες βασίζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό σε γρήγορους φορτιστές 11-22 kW όπως το Βέλγιο, η Βουλγαρία, η Κροατία, η Δανία, η Εσθονία, η Ουγγαρία, η Ολλανδία και η Σλοβενία (πάνω από 85%). Τέλος, το Ηνωμένο Βασίλειο και η Ισπανία διαθέτουν την πλειοψηφία των κανονικών φορτιστών 3-7 kW.

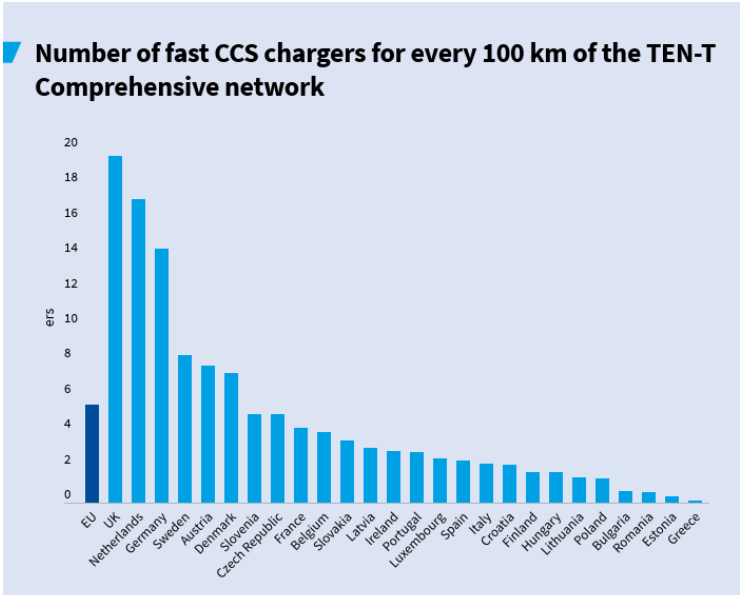


Σχήμα 3. 3 Κατανομή δημοσίων φορτιστών ανά ταχύτητα φόρτισης[4]

3.7 Γρήγορη και εξαιρετικά γρήγορη φόρτιση

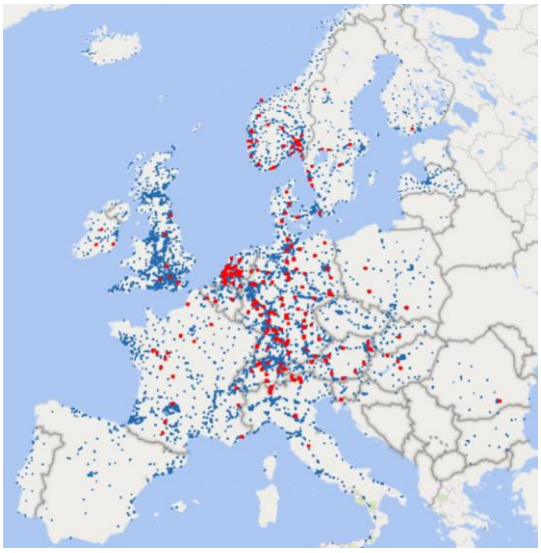
Υπολογίζεται ότι η Ευρώπη έχει περίπου 9.000 CCS γρήγορους φορτιστές και 640 εξαιρετικά γρήγορους φορτιστές (780 και 11.000 εάν συμπεριληφθούν η Νορβηγία και η Ελβετία). Ένας γρήγορος φορτιστής φορτίζει ένα ηλεκτρικό όχημα σε 30 με 40 λεπτά ενώ ένας εξαιρετικά γρήγορος φορτιστής σε 10 με 20 λεπτά ή λιγότερο.

[4] Πηγή: Transport & Environment – Recharge EU: How many charge points will Europe and its Member States need in the 2020s



Σχήμα 3. 4 Γρήγοροι CCS φορτιστές ανά 100 km[5]

Στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 3.5) αναπαρίσταται η γεωγραφική κάλυψη του δικτύου των CCS γρήγορων φορτιστών (μπλε χρώμα) και των εξαιρετικά γρήγορων φορτιστών (κόκκινο χρώμα). Βλέπουμε ότι υπάρχει σχετικά καλή κάλυψη γρήγορων φορτιστών σε όλα τα κράτη-μέλη με κάποια αραίωση να παρατηρείται στην Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη καθώς και στη Νότια (πηγή: T&E, 2020).



Σχήμα 3. 5 Γεωγραφικό δίκτυο γρήγορων/εξαιρετικά γρήγορων φορτιστών[6]

Το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ολλανδία, η Γερμανία, η Σουηδία, η Αυστρία και η Δανία, έχουν μια πολύ καλή κάλυψη (περισσότερα από επτά σημεία γρήγορης φόρτισης για

[5,6] Πηγή: Transport & Environment – Recharge EU: How many charge points will Europe and its Member States need in the 2020s

κάθε 100 χλμ) ενώ ορισμένες άλλες χώρες (Σλοβενία, Τσεχική Δημοκρατία, Γαλλία, Βέλγιο) έχουν αποδεκτή κάλυψη με τέσσερα έως επτά σημεία γρήγορης φόρτισης ανά 100 χλμ. κατά μέσο όρο. Αντίθετα η κάλυψη είναι σχετικά αραιή στην Νότια και Ανατολική Ευρώπη σε χώρες όπως η Ισπανία, η Ιταλία και η Πορτογαλία, καθώς και στις περισσότερες χώρες της Κεντρικής Ανατολικής Ευρώπης όπως η Πολωνία, η Ουγγαρία, η Ελλάδα, η Κροατία και η Λιθουανία.

Το μέτρο που χρησιμοποιείται εδώ για την εκτίμηση της μέσης κάλυψης είναι ο αριθμός των γρήγορων φορτιστών ανά απόσταση του ολοκληρωμένου δικτύου TEN-T (το οποίο έχει σχεδιαστεί για να καλύπτει όλα τα μέρη της ΕΕ).

Όπως φαίνεται και από την πυκνότητα των σημείων του παραπάνω χάρτη, οι γρήγοροι φορτιστές κατά μέσο όρο είναι πολύ περισσότεροι στο Ηνωμένο Βασίλειο (20 γρήγοροι φορτιστές για κάθε 100 χλμ. κατά μήκος του δικτύου TEN-T), στην Ολλανδία (17), στη Γερμανία (14), στη Σουηδία (8), στην Αυστρία (8) και στη Δανία (7).

Σχετικά με τους εξαιρετικά γρήγορους φορτιστές οι περισσότεροι είναι στην Γερμανία (269 σημεία φόρτισης) και ακολουθούν η Ολλανδία (98), η Γαλλία (88), η Νορβηγία (85), η Ελβετία (55) η Αυστρία (45), Σουηδία (31), Δανία (22) και το Βέλγιο (20). Η κατάσταση αναμένεται να βελτιωθεί στο μέλλον και οι εξαιρετικά γρήγοροι φορτιστές προβλέπεται να ξεπεράσουν τους 8.000 (T&E, 2020).

3.8 Μια βελτιωμένη μέθοδος μέτρησης για την αποτίμηση της υποδομής δημόσιων φορτιστών

Η τρέχουσα πρακτική είναι να μετρά όλα τα σημεία δημόσιας φόρτισης εξίσου ως ένα, παρόλο που υπάρχουν πολλές διαφορές από τον ένα φορτιστή στον άλλο ανάλογα με τη διαθεσιμότητα και τη μέγιστη ισχύ που παρέχεται, κάτι που έχει σημασία για τον στόλο των ηλεκτρικών οχημάτων (ΗΟ). Εντούτοις η καταμέτρηση όλων των φορτιστών εξίσου μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές ασυνέπειες στον τρόπο παρακολούθησης του δημόσιου δικτύου φόρτισης και στον τρόπο σύγκρισης των χωρών μεταξύ τους.

Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος η T&E (Recharge EU, 2020) προτείνει μια βελτιωμένη μέθοδο μέτρησης για την αποτίμηση της υποδομής δημόσιων φορτιστών.

Η συνολική προσφορά δημόσιων σημείων φόρτισης υπολογίζεται με το ακόλουθο σύστημα στάθμισης:

- 1 για μονοφασικό (3-7 kW) φορτιστή τύπου 2 (αργός φορτιστής)
- 2 για τριφασικό (11-22 kW) φορτιστή τύπου 2 (τυπικός φορτιστής)
- 4 για φορτιστή 43 kW τύπου 2 (γρήγορος AC φορτιστής)
- 5 για φορτιστή CCS Combo 50 kW (50-150 kW) (γρήγορος φορτιστής)
- 10 για φορτιστή CCS Combo 150 kW και άνω (εξαιρετικά γρήγορος φορτιστής).

Το μέτρο μέτρησης της συνολικής προσφοράς δημόσιων σημείων φόρτισης υπολογίζεται ως εξής:

$$
\begin{aligned}
Supply\ metric \\
&= \sum_{\alpha\rho\gamma o\varsigma\ \varphi o\rho\tau\iota\sigma\tau\acute{\eta}\varsigma,i} \frac{1}{\delta\iota\alpha\theta\varepsilon\sigma\iota\mu\acute{o}\tau\eta\tau\alpha_{\ i}} \\
&+ \sum_{\tau\upsilon\pi\iota\kappa\acute{o}\varsigma\ \varphi o\rho\tau\iota\sigma\tau\acute{\eta}\varsigma,i} \frac{2}{\delta\iota\alpha\theta\varepsilon\sigma\iota\mu\acute{o}\tau\eta\tau\alpha_{\ i}} \\
&+ \sum_{\gamma\rho\acute{\eta}\gamma o\rho o\varsigma\ AC\ \varphi o\rho\tau\iota\sigma\tau\acute{\eta}\varsigma,i} \frac{4}{\delta\iota\alpha\theta\varepsilon\sigma\iota\mu\acute{o}\tau\eta\tau\alpha_{\ i}} \\
&+ \sum_{\gamma\rho\acute{\eta}\gamma o\rho o\varsigma\ \varphi o\rho\tau\iota\sigma\tau\acute{\eta}\varsigma,i} \frac{5}{\delta\iota\alpha\theta\varepsilon\sigma\iota\mu\acute{o}\tau\eta\tau\alpha_{\ i}} \\
&+ \sum_{\varepsilon\xi\alpha\iota\rho\varepsilon\tau\iota\kappa\acute{\alpha}\ \gamma\rho\acute{\eta}\gamma o\rho o\varsigma\ \varphi o\rho\tau\iota\sigma\tau\acute{\eta}\varsigma,i} \frac{10}{\delta\iota\alpha\theta\varepsilon\sigma\iota\mu\acute{o}\tau\eta\tau\alpha_{\ i}}
\end{aligned}
$$

Όπου η διαθεσιμότητα$_i$ παίρνει την τιμή 1 εάν ο φορτιστής είναι διαθέσιμος 24/7 και δημόσιος ενώ την τιμή 2 εάν είναι ημί-δημόσιος. Άλλοι φορτιστές δεν καταμετρώνται.

Για τον καθορισμό ενός συγκεκριμένου στόχου του μέτρου που παρουσιάστηκε παραπάνω αξίζει να σημειωθεί ότι αυτός μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας διάφορους συνδυασμούς φορτιστών. Για παράδειγμα, μια χώρα μπορεί να έχει λιγότερους δημόσιους φορτιστές σε σχέση με μια άλλη, αλλά να παρουσιάζει το ίδιο μέτρο προσφοράς (supply metric) γιατί έχει περισσότερους γρήγορους ή εξαιρετικά γρήγορους φορτιστές ή/και μεγαλύτερο ποσοστό δημόσιων φορτιστών (σε αντίθεση με τους ημι-δημόσιους) από την άλλη.

Σημαντικό επίσης, είναι να παρακολουθηθεί η συσχέτιση των δημοσίων φορτιστών με τον αριθμό των ΗΟ που κυκλοφορούν στον δρόμο και πόση ενέργεια χρειάζονται για να φορτιστούν. Το μέτρο που έχει προταθεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή είναι ο λόγος των ηλεκτρικών αυτοκινήτων προς τα συνολικά δημόσια σημεία φόρτισης, με το 10 να είναι η προτεινόμενη τιμή, έχει σίγουρα περιορισμούς στην εφαρμογή του. Για παράδειγμα, υπάρχουν διαφορετικές ενεργειακές ανάγκες για διάφορους τύπους ηλεκτρικών οχημάτων όπως των BEVs (Battery Electric Vehicle) και PHEVs (Plug-in Hybrid Electric Vehicle). Κατά συνέπεια, η ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για τον στόλο των ΗΟ επηρεάζεται από τη διαφορετική κατανομή των BEVs έναντι των PHEVs καθώς τα BEVs χρειάζονται περισσότερη ενέργεια από τα PHEVs.

Για την αντιμετώπιση αυτού, η T&E προτείνει μια νέα μέθοδο για την αποτίμηση της επάρκειας της δημόσιας υποδομής φόρτισης. Ο δείκτης επάρκειας υπολογίζεται ως εξής:

$$\textit{Δείκτης επάρκειας} = \frac{\#BEV \times 2 \ + \ \#PHEV}{Supply\ metric}$$

Υψηλές τιμές του δείκτη επάρκειας δείχνουν χαμηλή προσφορά υποδομών φόρτισης για δεδομένο αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων.

Ένας άλλος δείκτης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της επάρκειας της παροχής του δημόσιου δικτύου φόρτισης είναι η αναλογία BEVs ανά γρήγορο φορτιστή. Ο δείκτης αυτός έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στη βιβλιογραφία. Είναι ένας απλός δείκτης που μπορεί να συμπληρώσει τον δείκτη επάρκειας που παρουσιάστηκε παραπάνω, εάν κάποιος επιθυμεί να διερευνήσει συγκεκριμένα την παροχή γρήγορων φορτιστών.

Η μελέτη της T&E θέτει κάποια υψηλά όρια για το παραπάνω μέτρο μέτρησης της συνολικής προσφοράς δημόσιων σημείων φόρτισης για κάθε χώρα προκειμένου για την ομαλή μετάβαση στην εποχή των ΗΟ σύμφωνα και με τους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Χώρα	2019	2025	2030
Αυστρία	7,7	51,5	112,0
Βέλγιο	9,2	84,6	186,7
Βουλγαρία	0,3	5,8	14,1

Κροατία	1,3	6,7	14,9
Κύπρος	0,1	1,0	2,3
Τσεχική Δημοκρ.	1,6	21,8	51,7
Δανία	5,8	40,9	88,1
Εσθονία	0,4	4,5	10,9
Φινλανδία	2,7	20,1	44,4
Γαλλία	43,6	434,2	965,4
Γερμανία	57,7	640,3	1.480,9
Ελλάδα	0,1	15,2	36,0
Ουγγαρία	2,2	12,9	29,0
Ιρλανδία	2,0	23,8	53,1
Ιταλία	15,7	263,8	632,7
Λεττονία	1,0	2,5	6,0
Λιθουανία	0,5	4,4	10,3
Λουξεμβούργο	1,8	7,9	16,8
Μάλτα	0,2	0,5	1,3
Ολλανδία	68,7	103,8	211,8
Πολωνία	1,9	38,3	89,9
Πορτογαλία	6,1	37,9	84,8
Ρουμανία	0,9	11,2	25,4
Σλοβακία	1,3	8,1	19,0
Σλοβενία	1,3	10,2	22,2
Ισπανία	12,6	256,6	632,3
Σουηδία	18,0	86,4	178,5
Ηνωμένο Βασίλειο	34,4	445,2	1.032,6
ΕΕ28	299,1	2.640,2	6.053,9

Πίνακας 3. 1 Μελλοντική υποδομή δημόσιων φορτιστών στην Ε.Ε[7]

Σημαντικό όμως ρόλο παίζει όχι μόνο το ποσοτικό στοιχείο αλλά και το γεωγραφικό (που θα πρέπει να εγκατασταθούν οι φορτιστές) ώστε να διασφαλίζεται η αποτελεσματική κάλυψη με όσο το δυνατόν μικρότερο κόστος.

[7] Πηγή: Transport & Environment – Recharge EU: How many charge points will Europe and its Member States need in the 2020s

Σημαντικό ρόλο επίσης, εκτός από την ποσότητα, παίζει και η ποιότητα του δικτύου των φορτιστών. Παραδείγματος χάρη ο χαρακτηρισμός ενός σημείου φόρτισης ως δημόσιου γίνεται λαμβάνοντας υπόψη ποιοτικά χαρακτηριστικά όπως η διαθεσιμότητα του όλο το εικοσιτετράωρο, όλη την εβδομάδα, 24/7, οι τιμές που παρέχει (οι οποίες πρέπει να είναι δίκαιες και διαφανείς) και οι δυνατότητες ad-hoc πληρωμής κ.α. Φορτιστές που δεν λειτουργούν 24/7 ή έχουν περιορισμένη πρόσβαση πρέπει να λογίζονται ως ημι-δημόσιοι. Οι ιδιωτικοί φορτιστές, οι οποίοι έχουν συνήθως χαμηλότερη ισχύ και χρησιμοποιούνται για μεγαλύτερες περιόδους φόρτισης (όταν π.χ. το όχημα αφήνεται σταθμευμένο κατά τη διάρκεια της ημέρας ή της νύχτας), έχουν διαφορετικές εφαρμογές και απαιτήσεις από τα δημόσια σημεία φόρτισης. Άλλο ποιοτικό χαρακτηριστικό είναι η μονοφασική φόρτιση σε αντίθεση με την τριφασική. Η τριφασική φόρτιση είναι 3 φορές πιο γρήγορη με κόστος όχι παραπάνω από μερικές εκατοντάδες ευρώ.

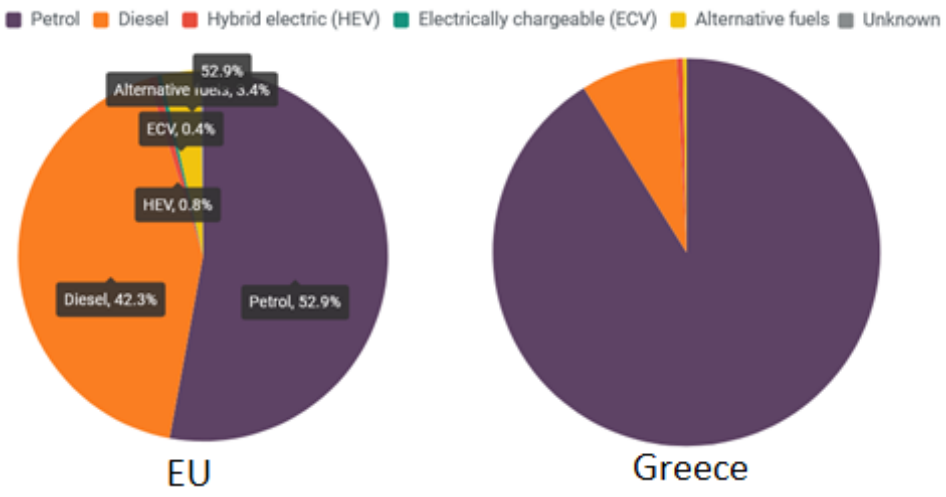
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων στην Ελλάδα

4.1 Διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων στην Ελλάδα

Η ηλεκτροκίνηση στη χώρα μας έχει μειωμένη ανάπτυξη σε σχέση με την υπόλοιπη Ευρώπη. Η κατάσταση η οποία έχει διαμορφωθεί οφείλεται σε ένα μεγάλο βαθμό της στην οικονομική κρίση που πλήττει τη χώρα την τελευταία δεκαετία, αλλά υπάρχουν κι άλλοι παράγοντες που δρουν είτε αυτόνομα είτε πολλαπλασιαστικά.

Τα τελευταία χρόνια βέβαια, η ελληνική αγορά ηλεκτρικών αυτοκινήτων, παρουσιάζει άνοδο. Η άνοδος αυτή οφείλεται στην είσοδο νέων αυτοκινήτων στην αγορά, αλλά και σε κρατικά προγράμματα επιδοτήσεων ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Αν και οι αριθμοί πωλήσεων παραμένουν χαμηλοί, ιδιαίτερα σε σύγκριση με αυτά των χωρών της Κεντρικής και Βόρειας Ευρώπης, δεν παύει να είναι ένα βήμα προς τη σωστή κατεύθυνση.

Σύμφωνα με το ACEA (European Automobile Manufacturers Association), για το έτος 2019 στην Ελλάδα μόλις το 0.8% της αγοράς αυτοκινήτου αφορά οχήματα ενναλακτικής ενέργειας (HEV, ECV και τα λοιπά). Αντίστοιχα στην Ευρωπαϊκή Ένωση, το ποσοστό αυτό ανέρχεται στο 4.6%, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4. 1 Κατανομή οχημάτων βάσει καυσίμου σε Ευρώπη/Ελλάδα[8]

[8] Πηγή: https://www.acea.auto/figure/passenger-car-fleet-by-fuel-type/

4.2 Κίνητρα χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων

Το νομικό πλαίσιο για την ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα είναι σε πρώιμο στάδιο. Στον νόμο υπ΄αριθμόν 4710/2020 ο οποίος δημοσιεύθηκε στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως (ΦΕΚ 142/Α/23-/-2020), ορίστηκαν οι γενικές διατάξεις και τα κίνητρα για την ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης. Σκοπός του σχεδίου είναι η επέκταση της χρήσης των ΗΟ, η ανάπτυξη των υποδομών επαναφόρτισης και η διαμόρφωση του ρυθμιστικού πλαισίου για την αγορά της ηλεκτροκίνησης.

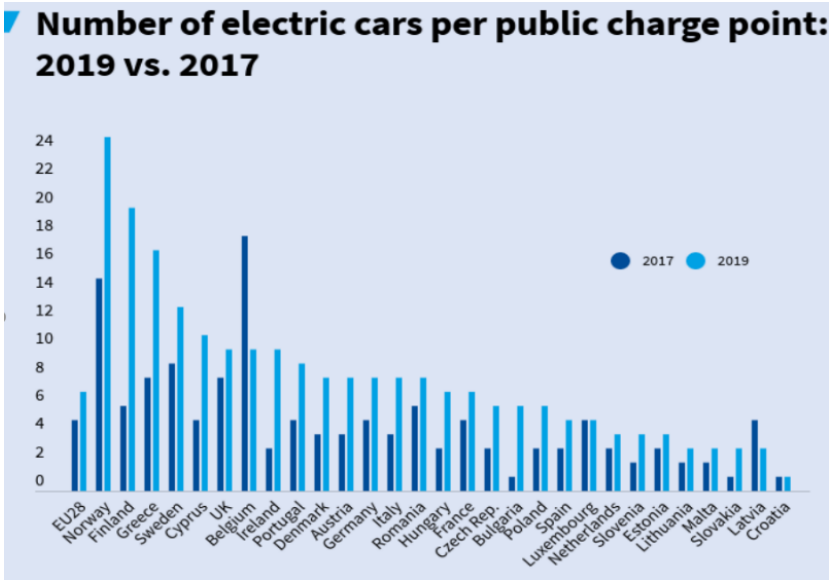
Η θέσπιση οικονομικών και φορολογικών κινήτρων για την αγορά, μίσθωση αλλά και χρήση ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι ο κύριος μοχλός ανάπτυξης που μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση των πωλήσεων ΗΟ στην Ελλάδα. Ο νόμος 4710/2020 κινείται σε αυτό το πλαίσιο, και κάποια από τα κίνητρα που περιγράφονται είναι:

- Η επιδότηση αγοράς ΗΟ.
- Η δημιουργία δωρεάν θέσεων στάθμευσης για ΗΟ μηδενικών ή χαμηλών ρύπων (50gr CO2/km).
- Η μείωση της γραφειοκρατίας και προτεραιότητα στην έκδοση αδειών μονάδων παραγωγής ΗΟ και ειδών σχετικών με ΗΟ.

Επιπλέον δίνονται φορολογικά κίνητρα στις επιχειρήσεις με έκπτωση από τα ακαθάριστα έσοδά τους. Συγκεκριμένα, για δαπάνες εγκατάστασης και λειτουργίας δημόσια προσβάσιμων σημείων φόρτισης ο συντελεστής φορολογικής απόσβεσης είναι 100% και για μέσα μεταφοράς μηδενικών ρύπων ατόμων ή εμπορευμάτων υπάρχει για τις επιχειρήσεις φορολογική απόσβεση 50%.

4.3 Αριθμός δημόσιων σημείων φόρτισης στην Ελλάδα

Σύμφωνα με την μελέτη της T&E (T&E, 2020), και όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2, στην Ελλάδα καταγράφηκαν περίπου 8 ηλεκτρικά οχήματα ανά δημόσιο σημείο φόρτισης το 2017 και περίπου 16 το 2019.

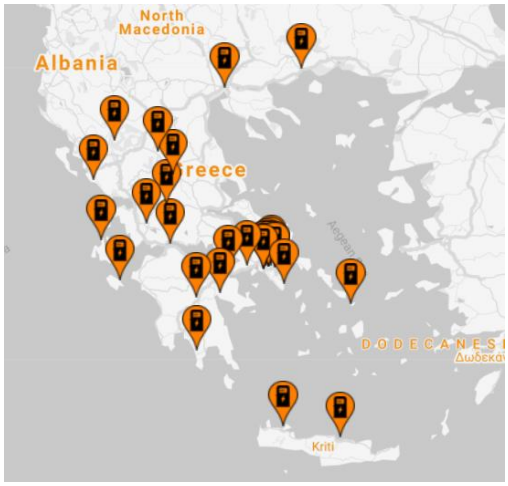


Σχήμα 4. 2 Ηλεκτρικά αυτοκίνητα ανά δημόσιο σημείο φόρτισης[9]

Στα πλαίσια της ανάπτυξης της ηλεκτροκίνησης στην Ελλάδα έχει δημιουργηθεί το ηλεκτρονικό Μητρώο Υποδομών και Φορέων Αγοράς Ηλεκτροκίνησης (ΜΥΦΑΗ). Οι φορείς της αγοράς ηλεκτροκίνησης υποχρεούνται κατά την έναρξη λειτουργίας τους να εγγράφονται στο μητρώο όπως και οι δημοσίως προσβάσιμες υποδομές φόρτισης από τους φορείς που τα διαχειρίζονται. Αντίστοιχα οι δήμοι θα πρέπει να εκπονήσουν σχέδιο για τον χωροταξικό και πολεοδομικό σχεδιασμό των υποδομών της ηλεκτροκίνησης και τη χωροθέτηση θέσεων στάθμευσης.

Στο Σχήμα 4.3 απεικονίζεται η γεωγραφική κάλυψη του δικτύου των φορτιστών στην Ελλάδα σήμερα. Η κάλυψη είναι πυκνή μόνο στην περιοχή της Αττικής, ενώ η Ελλάδα βρίσκεται στις χαμηλότερες θέσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης με 1 περίπου φορτιστή ΗΟ ανά 100 χιλιόμετρα.

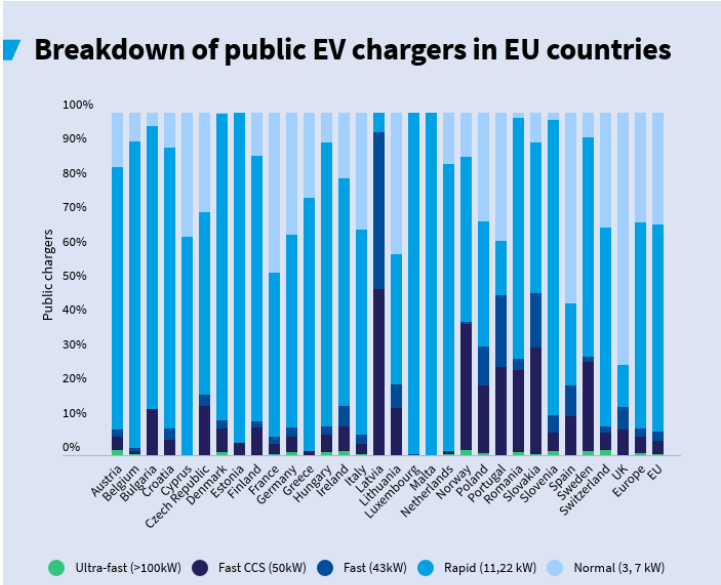
[9] Πηγή: Transport & Environment – Recharge EU: How many charge points will Europe and its Member States need in the 2020s



Σχήμα 4. 3 Γεωγραφικό δίκτυο φορτιστών στην Ελλάδα[10]

4.4 Κατάσταση δημόσιων φορτιστών στην Ελλάδα

Η κατανομή των δημόσιων σημείων φόρτισης στην Ελλάδα σε σύγκριση με τις υπόλοιπες χώρες της ΕΕ συνολικά συνοψίζεται στο Σχήμα 4.4. Παρατηρούμε ότι η πλειονότητα (περίπου 70%) των φορτιστών στην Ελλάδα είναι γρήγοροι φορτιστές των 11 με 22 kW.

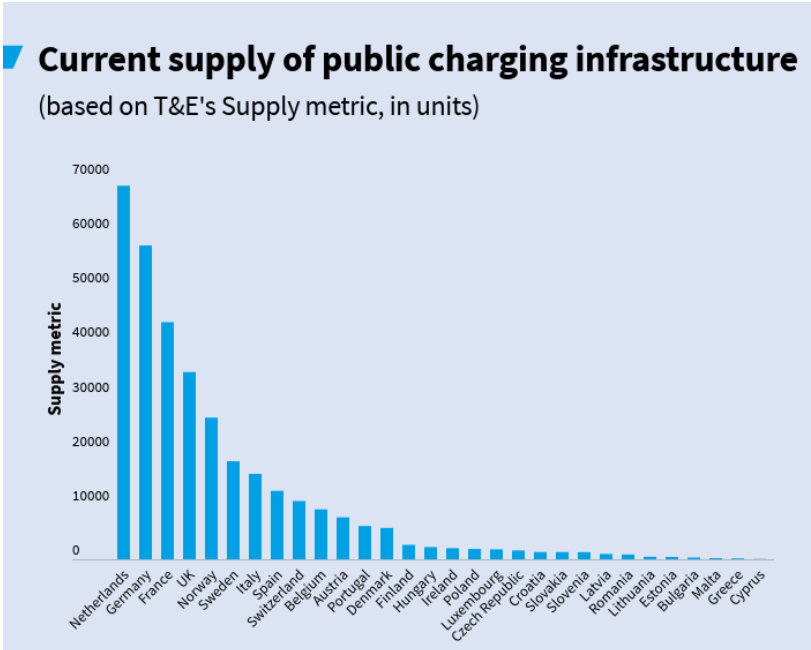


Σχήμα 4. 4 Τύπος δημόσιων φορτιστών στην Ε.Ε [11]

Σε απόλυτους αριθμούς και σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα της μελέτης της T&E βλέπουμε ότι η Ελλάδα υπολείπεται των υπολοίπων χωρών της ΕΕ σε απόλυτους αριθμούς δημόσιων φορτιστών και ηλεκτρικών οχημάτων.

[10] Πηγή: https://evloader.com/stations-map
[11] Πηγή: Transport & Environment – Recharge EU: How many charge points will Europe and its Member States need in the 2020s

Σε σχέση με το καινούργιο μέτρο προσφοράς (supply metric) που περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, προκύπτει ότι η Ελλάδα καταλαμβάνει την προτελευταία θέση βάσει των τιμών που αποδίδει το μέτρο προσφοράς για κάθε χώρα της ΕΕ και της Ελλάδας.

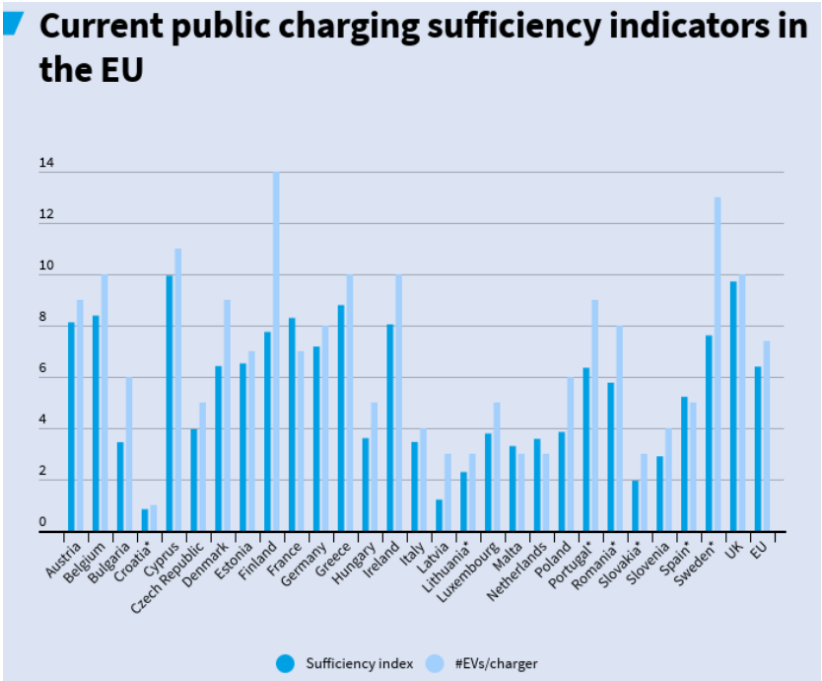


Σχήμα 4. 5 Μέτρο προσφοράς ανά χώρα στην Ε.Ε[12]

4.5 Δημόσιοι φορτιστές σε σχέση με αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων στην Ελλάδα

Ο λόγος των ηλεκτρικών οχημάτων ανά δημόσιο σημείο φόρτισης για την Ελλάδα είναι στο 10 βάσει του Σχήματος 4.6, ενώ ο δείκτης επάρκειας στο 9. Οι αριθμοί αυτοί κρίνονται ικανοποιητικοί παρότι είναι από τους υψηλότερους στην ΕΕ.

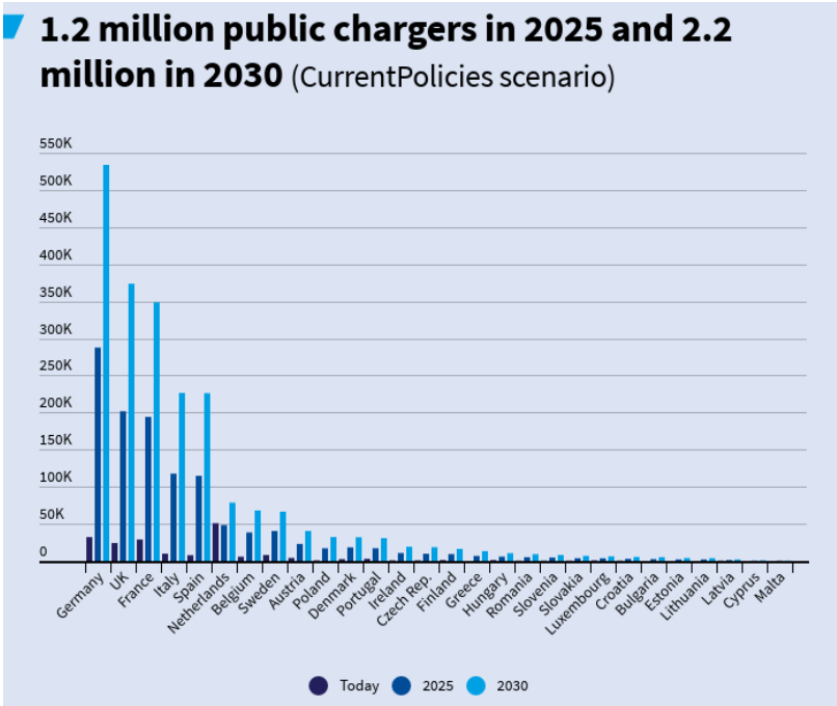
[12] Πηγή: Transport & Environment – Recharge EU: How many charge points will Europe and its Member States need in the 2020s



Σχήμα 4. 6 Δείκτης επάρκειας δημόσιας φόρτισης στην Ευρώπη[13]

Η πρόβλεψη της T&E υπό το τρέχον σενάριο ανάπτυξης της αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων στην ΕΕ φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 4.7). Πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με τα δεδομένα της T&E οι δημόσιοι φορτιστές στην Ελλάδα το 2020 αναμενόταν να είναι 730, ενώ το 2025 6.760 και το 2030 13.210 με την τρέχουσα πολιτική ανάπτυξης της αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων της ΕΕ. Ο αριθμός των ΗΟ αναμενόταν να είναι 6.000 το 2020, 80.000 το 2025 και 218.000 το 2030. Ο δείκτης προσφοράς, σύμφωνα με το τρέχον σενάριο αναμενόταν να είναι στο 2 το 2020, ενώ το 2025 και το 2030 αναμένεται να φτάσει το 14 και 27 αντίστοιχα.

[13] Πηγή: Transport & Environment – Recharge EU: How many charge points will Europe and its Member States need in the 2020s



Σχήμα 4. 7 Δημόσιοι φορτιστές 2020/2025/2030[14]

Αντιθέτως, σύμφωνα με το πιο απαιτητικό σενάριο (Road2Zero Σενάριο) αναμενόταν οι δημόσιοι φορτιστές στην Ελλάδα, το 2020, να είναι 1.000, ενώ υπό το ίδιο σενάριο, το 2025 8 χιλιάδες και το 2030 18 χιλιάδες. Ο αριθμός των ΗΟ αναμενόταν να είναι 6.000 το 2020, ενώ το 2025 να φτάσει τα 89.000 ηλεκτρικά οχήματα με την εξαιρετική ανάπτυξη που αναμένεται σύμφωνα με αυτό το σενάριο, και το 2030 τα 291.000. Ο δείκτης προσφοράς, σύμφωνα με αυτό το σενάριο αναμενόταν να είναι στο 2 το 2020, ενώ το 2025 και το 2030 αναμένεται να φτάσει το 15 και το 37 αντίστοιχα.

[14] Πηγή: Transport & Environment – Recharge EU: How many charge points will Europe and its Member States need in the 2020s

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας και καταγραφή μοτίβων συμπεριφορών φόρτισης

5.1 Επίδραση φόρτισης ΗΟ στο ηλεκτρικό δίκτυο

Η ταχεία ενσωμάτωση τόσο μεγάλου αριθμού ηλεκτρικών οχημάτων (ΗΟ) αναπόφευκτα θα προκαλέσει αβεβαιότητα και μεταβλητότητα στη λειτουργία του υπάρχοντος συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της ανάγκης για επαναφόρτιση των ΗΟ. Η σχετική πρόσθετη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (περίπου 356 TWh) θα αυξήσει τη συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ κατά 10% (European Commission, 2018).

Συνεπώς, η μελέτη της συμπεριφοράς φόρτισης των οδηγών ηλεκτρικών οχημάτων είναι πολύ σημαντική, καθώς εάν η φόρτιση αυτών των οχημάτων γίνεται σε ώρες αιχμής υπάρχει πιθανότητα υπερφόρτωσης των ηλεκτρικών δικτύων.

5.2 Αντιμετώπιση του προβλήματος – Στρατηγικές φόρτισης

Η μελέτη της συμπεριφοράς φόρτισης θα καθορίσει τις μέγιστες δυνατότητες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, την κατανομή της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος μέσα στη μέρα, την τιμολογιακή πολιτική κλπ. Μια βελτιστοποιημένη στρατηγική φόρτισης μπορεί να προσφέρει επιπλέον ευελιξία για το σύστημα παραγωγής ενέργειας και έτσι να διευκολύνει την ενσωμάτωση διάφορων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και να μειώσει το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας.

Διάφορες στρατηγικές φόρτισης των ΗΟ υπάρχουν για την βελτιστοποίηση του συστήματος παραγωγής ενέργειας. Για παράδειγμα, εάν η επαναφόρτιση πραγματοποιείται κατά τις περιόδους αιχμής, υπάρχει η δυνατότητα κατανομής της ζήτησης μέσα στην ημέρα με χρήση έξυπνων μετρητών (Smart meters), ώστε να μειωθεί η μέγιστη ανάγκη παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Το κίνητρο ώστε να λειτουργούσε η παραπάνω δυνατότητα θα ήταν η προσφορά φθηνότερης τιμής ηλεκτρικής ενέργειας σε ώρες εκτός αιχμής, ιδιαίτερα σε οδηγούς που επαναφορτίζουν τα ηλεκτρικά τους οχήματα σε ώρες αιχμής.

Οι στρατηγικές φόρτισης περιλαμβάνουν: α) την άμεση φόρτιση, β) την ώρα φόρτισης (Time of Use) και γ) την σε πραγματικό χρόνο φόρτιση, βασισμένη στην τιμή (real-time price-based charging).

Οι διάφορες στρατηγικές φόρτισης είναι στενά συνδεδεμένες και πρέπει να μελετώνται ταυτόχρονα με την μελέτη της συμπεριφοράς των οδηγών στην φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων τους.

5.2.1 Στρατηγική άμεσης φόρτισης

Η άμεση φόρτιση περιλαμβάνει την φόρτιση αμέσως μετά την άφιξη στον τόπο προορισμού του οδηγού του ΗΟ (είτε στην οικία του τις απογευματινές ώρες, είτε στην εργασία του τις πρωινές ώρες). Η μέγιστη ζήτηση, σύμφωνα με αυτή τη στρατηγική, αναμένεται να συμβαίνει το πρωί και νωρίς το απόγευμα λόγω και του ότι το σύστημα θα είναι επιβαρυμένο εξαιτίας της υψηλής ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια στις αστικές περιοχές εκείνες τις ώρες. Αυτό συνεπάγεται κινδύνους μη εξυπηρέτησης της ζήτησης και συμφόρηση στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Για την εξάλειψη της πιθανότητας τέτοιων κινδύνων θα πρέπει να υπάρξει αύξηση της ισχύος αιχμής ή της δυνατότητας αποθήκευσης, και μέτρα για την αντιμετώπισή της συμφόρησης.

5.2.2 Στρατηγική ώρας φόρτισης

Η στρατηγική της ώρας φόρτισης περιλαμβάνει κίνητρα, ώστε να κατανέμεται η ζήτηση για φόρτιση σε περιόδους χαμηλού φορτίου μέσω κατάλληλης τιμολογιακής πολιτικής. Αυτό επιτρέπει την αποφυγή περαιτέρω αύξησης της απογευματινής αιχμής που παρατηρείται στις αστικές περιοχές σε σύγκριση ειδικά με την άμεση φόρτιση. Αυτή η στρατηγική μειώνει σημαντικά τον κίνδυνο μη εξυπηρέτησης της ζήτησης. Επιπλέον, μειώνει σημαντικά τη δαπανηρή μέγιστη δυνατότητα ισχύος το οποίο οδηγεί στη μείωση του οριακού κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας περίπου κατά 14% (European Commission, 2018).

5.2.3 Στρατηγική σε πραγματικό χρόνο

Βασισμένη στην τιμή φόρτισης (όπου οι πελάτες μπορούν να βελτιστοποιήσουν τη συμπεριφορά τους, όσον αφορά την χρέωσής τους, σε ωριαία ανάλυση βάσει των τιμών σε πραγματικό χρόνο), η στρατηγική συντελεί σε περεταίρω μείωση του οριακού κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας περίπου κατά 27% σε σχέση με την στρατηγική της ώρας φόρτισης. Αυτή η στρατηγική μειώνει επιπλέον τη χρήση ακριβών δυνατοτήτων φορτίου αιχμής (peak load capacities). Επιπλέον αυτών των πλεονεκτημάτων στο σύστημα παραγωγής ενέργειας, επωφελούνται επίσης οι κάτοχοι ΗΟ, καθώς έχει παρατηρηθεί μείωση στις δαπάνες τους για αγορά ηλεκτρικής

ενέργειας (περίπου 13% σε σχέση με την στρατηγική της άμεσης φόρτισης στην Ιταλία).

5.2.4 Μεικτή στρατηγική

Τέλος υπάρχει και ένα μεικτό σενάριο, υποθέτοντας ότι δεν θα προσαρμόσουν όλοι οι ιδιοκτήτες ΗΟ τη συμπεριφορά φόρτισης σε τιμές πραγματικού χρόνου, αλλά μόνο το 50% από αυτούς. Αυτό το σενάριο φέρνει οφέλη μεταξύ της στρατηγικής της ώρας φόρτισης και της στρατηγική της σε πραγματικό χρόνο, βασισμένη στην τιμή, φόρτισης.

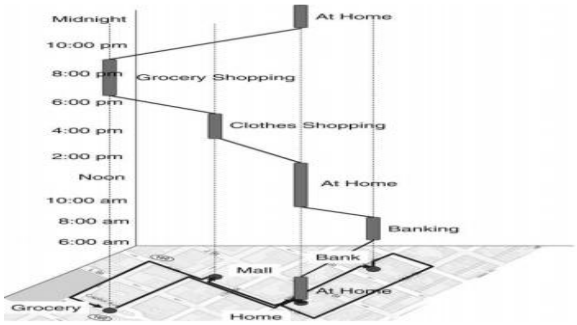
5.3 Αναλυτική επισκόπηση των ερευνητικών εργασιών για τη μελέτη και ανάλυση μοτίβων φόρτισης

Πολλοί ερευνητές έχουν καθορίσει θεωρητικά προφίλ φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Μια καλή ενότητα με επισκόπηση της βιβλιογραφίας στη συμπεριφορά φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων παρουσιάζεται στην πρόσφατη εργασία του Kim, (Kim, 2019). Όπως σημειώνει ο Kim, πολλές μελέτες διατυπώνουν διάφορα σενάρια φόρτισης χωρίς πραγματικά δεδομένα φόρτισης ΗΟ, αλλά αντίθετα, τα σενάρια βασίζονται σε δεδομένα που αποκτώνται από τη χρήση των οχημάτων αυτών και όχι μόνο (δηλ. συμβατικών οχημάτων μηχανών εσωτερικής καύσης).

5.3.1 Kang και Recker

Οι Kang και Recker (2009) επικεντρώνουν την ανάλυσή τους στα επαναφορτιζόμενα από το δίκτυο υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (Plug-in Hybrid Electric Vehicles, PHEVs). Τα μεγαλύτερα εμπόδια για τη διείσδυση των PHEVs στην αγορά είναι η περιορισμένη εμβέλεια οδήγησης υπό ηλεκτρική ενέργεια και το κόστος. Παρ' όλα αυτά, οι τεχνολογικές εξελίξεις και οι αυξανόμενες τιμές των καυσίμων προμηνύουν ότι τα PHEVs θα αναδυθούν ως οικονομικά ανταγωνιστικά μακροπρόθεσμα (Simpson, 2006).

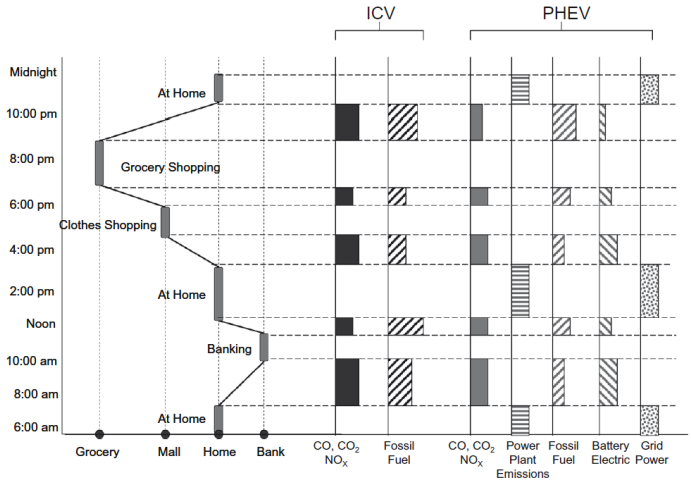
Σύμφωνα με την μελέτη, οι εκπομπές αερίων και η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια των κατόχων PHEVs εξαρτώνται από τους χωρικούς-χρονικούς δεσμούς μεταξύ των δραστηριοτήτων που εκτελούν άτομα και νοικοκυριά ως μέρος των καθημερινών τους προγραμμάτων. Το Σχήμα 5.1 τοποθετεί τις δραστηριότητες των ατόμων και νοικοκυριών μέσα στην ημέρα και παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την κατανομή και διαχείριση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από τους κατόχους PHEVs.



Σχήμα 5. 1 Δραστηριότητες σε μία τυπική ημέρα[15]

Οι Kang και Recker διαφέρουν στη μεθοδολογία από παλαιότερες μελέτες εκπομπών ρύπων και χρήσης ενέργειας των PHEVs. Η έρευνα τους γίνεται σε πραγματικά δεδομένα και δραστηριότητες που πραγματοποιούνται από νοικοκυριά, με τις ταξιδιωτικές αποφάσεις (travelling) να λαμβάνονται από τους ίδιους. Οι αναφερόμενες διαδρομές των οχημάτων προσομοιώνονται χρησιμοποιώντας μικροσκοπική προσέγγιση, τόσο με τα καταγεγραμμένα τους οχήματα όσο και με τα PHEVs που τα αντικαθιστούν, ώστε να εκτιμήσουν πιθανή μείωση εκπομπών ρύπων και κατανάλωση καυσίμου.

Η μέθοδός των Kang και Recker είναι αρκετά απλή. Το ερώτημα που τίθεται σε αυτή είναι, «Ποια είναι τα όρια σε ενεργειακές ανάγκες της διείσδυσης των PHEVs στην αγορά, δεδομένου ότι οι δραστηριότητες και οι ταξιδιωτικές συνήθειες σε ένα νοικοκυριό παραμένουν σχετικά αμετάβλητες;»



Σχήμα 5. 2 Χρονικά προφίλ κατανάλωσης[16]

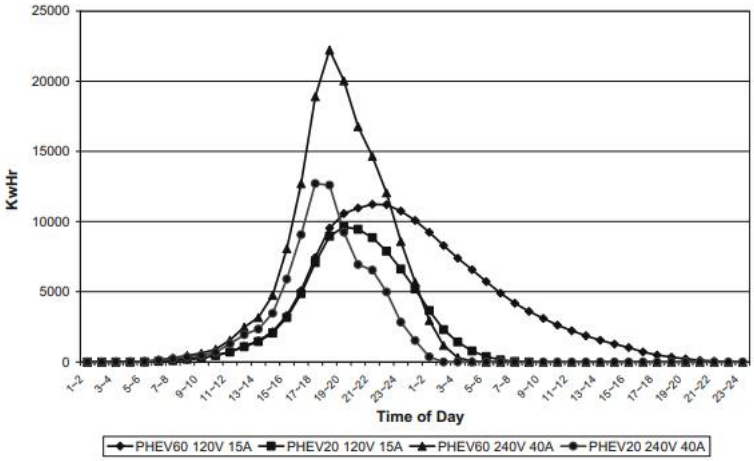
[15,16] Kang, J.E. and Recker, W.W. (2009) 'An activity-based assessment of the potential impacts of plug-in hybrid electric vehicles on energy and emissions using 1-day travel data', Transportation Research Part D: Transport and Environment

Τα δεδομένα της έρευνας προέρχονται από το Travel Diary, 2000-2001 California Statewide Household Travel Survey. Το Travel Diary περιέχει τις καθημερινές ταξιδιωτικές δραστηριότητες των ατόμων και των νοικοκυριών, καθώς και το σκοπό αυτών, μαζί με τα πλήρη δεδομένα της τοποθεσίας τους, για 17.172 ταξίδια των μελών του κάθε νοικοκυριού στην περιοχή της Καλιφόρνιας.

Βασιζόμενοι σε τέτοια δεδομένα, οι Kang και Recker (2009) πρότειναν τέσσερα θεωρητικά σενάρια επαναφόρτισης.

5.3.1.1 Σενάριο 1 – Φόρτιση στον τελικό προορισμό

Το πρώτο είναι η φόρτιση στο τέλος της ημερήσιας χρήσης, δηλαδή στον τελευταίο προορισμό του οχήματος που συνήθως είναι η οικία του οδηγού (End of travel day). Αυτό το προφίλ υποθέτει ότι η επαναφόρτιση του ΗΟ γίνεται αμέσως μόλις τελειώσει η ημερήσια χρήση του. Δημιουργείται έτσι υψηλή ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος κατά τις απογευματινές και βραδινές ώρες με την κορύφωση να πραγματοποιείται μεταξύ 7 και 10 μ.μ.



Σχήμα 5. 3 Σενάριο 1 - Ζήτηση φόρτισης[17]

Η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται γρήγορα, ξεκινώντας αργά το απόγευμα με αιχμή στις 7 έως 8 μ.μ. για PHEV20 (αυτονομία 32 km) και 9 έως 10 μ.μ. για PHEV60 (αυτονομία 96 km) (Σχήμα 5.3).

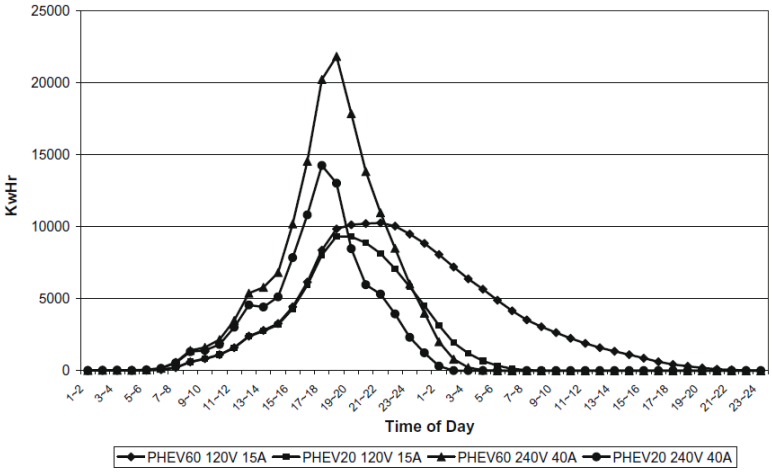
Η αναβάθμιση της υποδομής φόρτισης σε μεμονωμένες οικίες μειώνει σημαντικά τους χρόνους φόρτισης. Με αναβαθμίσεις που παρέχουν ταχύτερη φόρτιση, πολύ λιγότερα

[17] Kang, J.E. and Recker, W.W. (2009) 'An activity-based assessment of the potential impacts of plug-in hybrid electric vehicles on energy and emissions using 1-day travel data', Transportation Research Part D: Transport and Environment

οχήματα πρέπει να φορτίζονται μέχρι την επόμενη μέρα. Ενώ η διαφορά στο χρόνο φόρτισης μεταξύ PHEV20 και PHEV60s μειώνεται με τις αναβαθμίσεις, η κορυφή αυξάνεται, φτάνοντας πάνω από 20.000 kWh.

5.3.1.2 Σενάριο 2 – Φόρτιση στον ιδιωτικό χώρο στάθμευσης

Ένα παρόμοιο προφίλ είναι η ανεξέλεγκτη επαναφόρτιση στην οικία του κάθε οδηγού. Σε αυτή την περίπτωση η φόρτιση γίνεται κάθε φορά που ο οδηγός του ηλεκτρικού οχήματος φθάνει στην οικία του, δηλαδή οι οδηγοί φορτίζουν τακτικά το όχημα τους στον ιδιωτικό χώρο στάθμευσης. Όμοια με το πρώτο σενάριο, το προφίλ δημιουργεί υψηλή ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος κατά τις απογευματινές ώρες.



Σχήμα 5. 4 Σενάριο 2 - Ζήτηση φόρτισης[18]

Ως συμπέρασμα από το Σχήμα 5.4, η διασπορά της ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια υπάρχει σε προηγούμενες ώρες από ό, τι στο πρώτο σενάριο. Επίσης, παρατηρείται ότι οι δύο κορυφές PHEV20 και PHEV60 μειώνονται ελαφρά. Ο αριθμός των οχημάτων που φορτίζονται μετά τις 9 π.μ. της επόμενης ημέρας επίσης μειώνεται καθώς η ζήτηση ανακατανέμεται σε κάποιο βαθμό λόγω της μετάθεσης της στην προηγούμενη φόρτιση στο σπίτι.

Ακόμη και με τους γρηγορότερους χρόνους φόρτισης που επιτυγχάνονται με αναβαθμίσεις στο δίκτυο, αυτή η παραδοχή συμπεριφοράς δεν οδηγεί σε σημαντική ανακατανομή της ζήτησης. Και πάλι, η αναβαθμισμένη χωρητικότητα του δικτύου οδηγεί σε υψηλότερες κορυφές από ό, τι με τα βασικά κυκλώματα. Παρ' όλα αυτά,

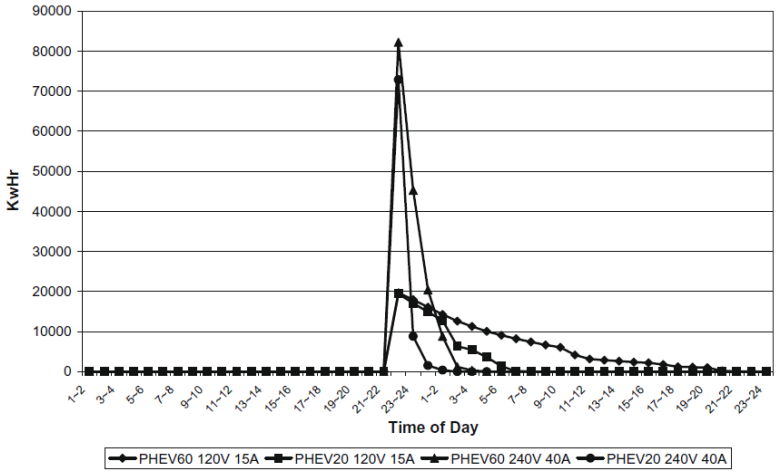
[18] Kang, J.E. and Recker, W.W. (2009) 'An activity-based assessment of the potential impacts of plug-in hybrid electric vehicles on energy and emissions using 1-day travel data', Transportation Research Part D: Transport and Environment

συνολικά, αυτή η αλλαγή συμπεριφοράς δεν διαφέρει σημαντικά από εκείνη που παρατηρείται στο πρώτο σενάριο.

5.3.1.3 Σενάριο 3 – Ελεγχόμενη επαναφόρτιση

Το τρίτο σενάριο που εξετάζεται, είναι αυτό της «ελεγχόμενης» επαναφόρτισης που περιορίζει τους οδηγούς να φορτίζουν τα ηλεκτρικά τους οχήματα μετά τις 10 μ.μ. μέχρι το πρωί της επόμενης ημέρας. Αυτή η στρατηγική μετατοπίζει τη ζήτηση για επαναφόρτιση στις ώρες μη αιχμής.

Παρατηρείται ότι αν και η φόρτιση είναι εκτός αιχμής για τις περισσότερες περιπτώσεις, η μετατόπιση της ζήτησης όσον αφορά τα ηλεκτρικά οχήματα PHEV60 σε μεταγενέστερες ώρες προκαλεί φόρτιση περισσότερων οχημάτων κατά την επόμενη ημέρα. Για τα αναβαθμισμένα κυκλώματα, που αντιστοιχούν στα PHEV60 240V 40A και PHEV20 240V 40A και φαίνονται στο διάγραμμα (Σχήμα 5.5), οι κορυφές αυξάνονται και φτάνουν τις 80.000 kWh.



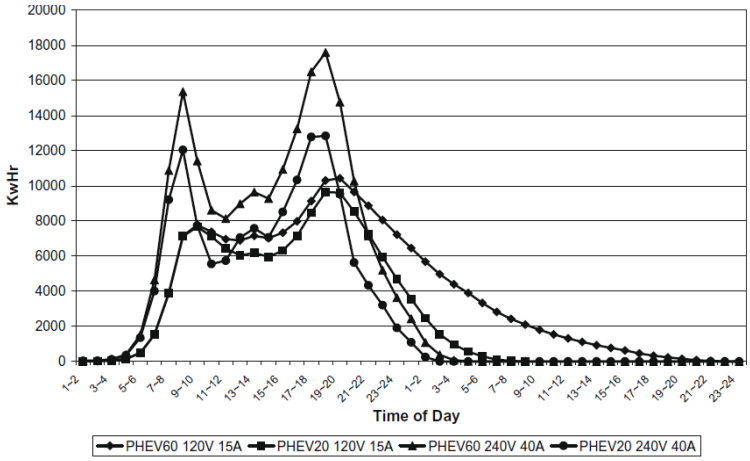
Σχήμα 5. 5 Σενάριο 3 - Ζήτηση φόρτισης[19]

5.3.1.4 Σενάριο 4 – Φόρτιση σε δημόσιο χώρο στάθμευσης

Τέταρτο και τελευταίο σενάριο σύμφωνα με τους Kang και Recker (2009) είναι αυτό κατά το οποίο η φόρτιση γίνεται όποτε τα οχήματα είναι σταθμευμένα σε δημόσιο χώρο. Σε αυτό το σενάριο, η επαναφόρτιση πραγματοποιήθηκε σε περιόδους αιχμής μέσα στη ημέρα.

[19] Kang, J.E. and Recker, W.W. (2009) 'An activity-based assessment of the potential impacts of plug-in hybrid electric vehicles on energy and emissions using 1-day travel data', Transportation Research Part D: Transport and Environment

Το προφίλ φόρτισης έχει δύο κορυφές (Σχήμα 5.6), που ακολουθούν τις δυο κορυφές στην κυκλοφορία των οχημάτων - πρωινές και βραδινές μετακινήσεις (travelling) που σχετίζονται με την εργασία των οδηγών. Όπως αναμενόταν, αυτές οι κορυφές δεν είναι τόσο έντονες σε σύγκριση με τα άλλα σενάρια, με τη ζήτηση να διαχέεται μέσα στην ημέρα.



Σχήμα 5. 6 Σενάριο 4 - Ζήτηση φόρτισης[20]

Ωστόσο, σε αυτό το σενάριο, οι χρόνοι φόρτισης ομαδοποιούνται κατά τη διάρκεια της ημέρας όταν η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλότερη. Στην περίπτωση των PHEV60, ένας μικρότερος αριθμός οχημάτων απαιτεί φόρτιση το επόμενο πρωί λόγω της διαθεσιμότητας ενωρίτερης φόρτισης κατά τη διάρκεια της προηγούμενης ημέρας. Για τα αναβαθμισμένα κυκλώματα, που αντιστοιχούν στα PHEV60 240V 40A και PHEV20 240V 40A η διαφορά στον χρόνο φόρτισης μεταξύ PHEV20 και PHEV60 μειώνεται, ενώ οι κορυφές είναι υψηλότερες από ό,τι στη βασική περίπτωση.

5.3.2 Sioshani and Denholm

Το ίδιο έτος, οι Sioshani and Denholm (2009) εξέτασαν την περίπτωση φόρτισης «οπουδήποτε, οποτεδήποτε», όπου η φόρτιση πραγματοποιείται κάθε φορά που τα οχήματα είναι σταθμευμένα, με βάση τα δεδομένα της ταξιδιωτικής έρευνας της μητροπολιτικής περιοχής του Saint Luis (Σεντ Λούις).

Οι Sioshani and Denholm χρησιμοποιούν ένα μοντέλο συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, για να αξιολογήσουν παραγωγή ενέργειας από γεννήτριες που μπορούν προσαρμόσουν την ισχύ τους σύμφωνα με την διαφορετική ζήτηση που προκύπτει από

[20] Kang, J.E. and Recker, W.W. (2009) 'An activity-based assessment of the potential impacts of plug-in hybrid electric vehicles on energy and emissions using 1-day travel data', Transportation Research Part D: Transport and Environment

την ανάπτυξη PHEV στο δίκτυο του Τέξας. Εφαρμόζουν εκτιμήσεις - σταθερές και μη παραμετρικές- για να προκύψουν οι μεταβολές στις εκπομπές παραγωγής ενέργειας. Η απόδοση της γεννήτριας μπορεί να αυξηθεί και να μειωθούν οι καθαρές εκπομπές N0x, αν υπάρξει ευελιξία στον χρόνο φόρτισης των ΗΟ.

Η έρευνα τονίζει ιδιαίτερα τα οφέλη των PHEVs στο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τα οποία βασίζονται σε δύο V2G (Vehicle to Grid - προσέγγιση όπου επιτρέπει την εκφόρτιση του ΗΟ προς το δίκτυο) υπηρεσίες: α) αποθήκευση ενέργειας, β) επικουρικές υπηρεσίες.

Ως συσκευές αποθήκευσης ενέργειας, οι μπαταρίες των PHEV ενδέχεται να φορτίζονται όταν το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλό και να αποφορτίζονται όταν είναι υψηλό, μειώνοντας τη χρήση χαμηλής απόδοσης, και υψηλής εκπομπής αερίων παραγωγής ενέργειας.

Οι επικουρικές υπηρεσίες αναφέρονται στην επιπλέον χωρητικότητα ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να προμηθεύουν οι διαχειριστές συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας προκειμένου να εξισορροπούν την προσφορά και τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο.

5.3.3 Jianhui Wang et al - Jonathan Mullan et al

Παρόμοια σενάρια έχουν καθορίσει και οι Wang et al. (2011) και Mullan et al. (2011), όπου ένας συνδυασμός ελεγχόμενης και μη-ελεγχόμενης επαναφόρτισης λαμβάνει χώρα. Σύμφωνα με αυτές τις δυο μελέτες εάν οι οδηγοί ΗΟ αφεθούν ελεύθεροι να επαναφορτίζουν τα οχήματά τους χωρίς περιορισμούς, τότε η φόρτιση θα πραγματοποιείται τις ώρες αιχμής και ότι ο μόνος τρόπος για τη μετατόπιση της ζήτησης σε ώρες μη αιχμής είναι να δοθούν τιμολογιακά κίνητρα.

5.3.3.1 Jianhui Wang et al

Οι Wang et al. (2011) εξετάζουν τέσσερα σενάρια φόρτισης PHEV, ως εξής:

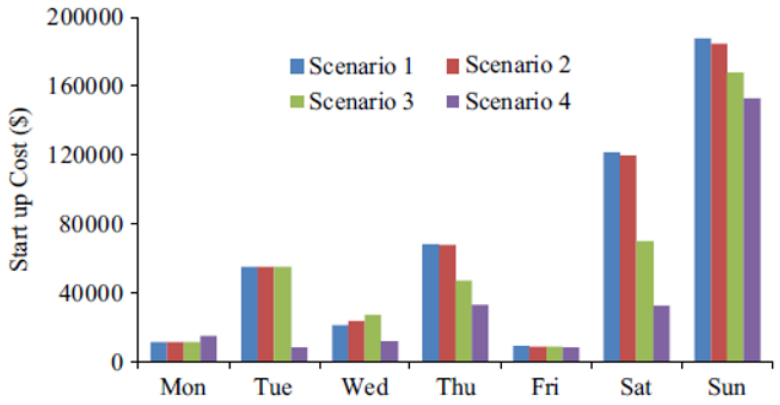
- Σενάριο 1, χωρίς περιορισμούς φόρτισης: Η φόρτιση πραγματοποιείται αμέσως μετά την άφιξη του οχήματος στην οικία μετά την τελευταία διαδρομή.
- Σενάριο 2, με περιορισμούς φόρτιση: Η φόρτιση ξεκινάει τρεις ώρες μετά την άφιξη του οχήματος στην οικία μετά την τελευταία διαδρομή, λαμβάνοντας έτσι υπ’ όψιν την πιθανότητα η φόρτιση να καθυστερήσει για διάφορους λόγους (π.χ. προετοιμασία του γεύματος).

- Σενάριο 3, έξυπνη φόρτιση: Η φόρτιση πραγματοποιείται κατά τις ώρες μη αιχμής της ζήτησης από το σύστημα παραγωγής ενέργειας.
- Σενάριο 4, έξυπνη φόρτιση με DR: Η φόρτιση γίνεται κατά τις ώρες μη αιχμής όπως στο σενάριο 3 αλλά με την εφαρμογή προγραμμάτων Demand Response (DR). Δύο DR προγράμματα αξιολογούνται: (1) προγράμματα αξιοπιστίας και (2) προγράμματα τιμής. Τα προγράμματα DR που βασίζονται στην αξιοπιστία επιτρέπουν στους διαχειριστές συστημάτων να ελέγχουν άμεσα τις απαιτήσεις των πελατών DR μέσω της επικοινωνίας και συσκευών ελέγχου. Ενώ τα προγράμματα DR που βασίζονται στην τιμή, επικοινωνούν μια τιμή στους καταναλωτές ούτως ώστε εθελοντικά να προσαρμόσουν την συμπεριφορά τους στην κατανάλωση ενέργειας.

Τα αποτελέσματα της μελέτης, που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1, δείχνουν ότι το Σενάριο 1 έχει το μεγαλύτερο λειτουργικό κόστος, ενώ το μικρότερο λειτουργικό κόστος παρατηρείται υπό το Σενάριο 4. Ο φόρτος και το κόστος παραγωγής της ενέργειας για τα Σενάρια 3 και 4 φαίνονται στο Σχήμα 5.7 και 5.8 αντίστοιχα.

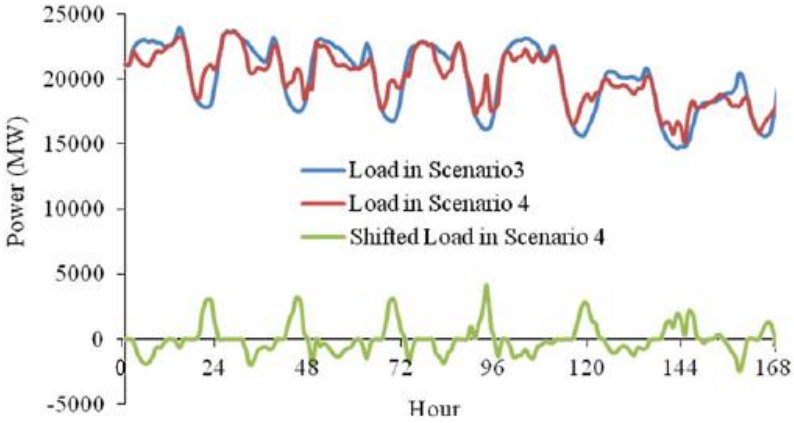
Σενάριο	**Μοτίβο φόρτισης**	**Κόστος (mil $)**
1	Μη περιορισμένη φόρτιση	4,06
2	Περιορισμένη φόρτιση	4,00
3	Έξυπνη φόρτιση	3,77
4	Έξυπνη φόρτιση με DR (Demand Response)	3,54

Πίνακας 5. 1 Κόστη λειτουργίας την εβδομάδα μελέτης



Σχήμα 5. 7 Εβδομαδιαίο κόστος λειτουργίας ανά σενάριο φόρτισης[21]

[21] Wang, J., Liu, C., Ton, D., Zhou, Y., Kim, J. and Vyas, A. (2011) 'Impact of plug-in hybrid electric vehicles on power systems with demand response and wind power'



Σχήμα 5. 8 Φόρτος δικτύου ανά σενάριο φόρτισης[22]

5.3.3.2 Jonathan Mullan et al

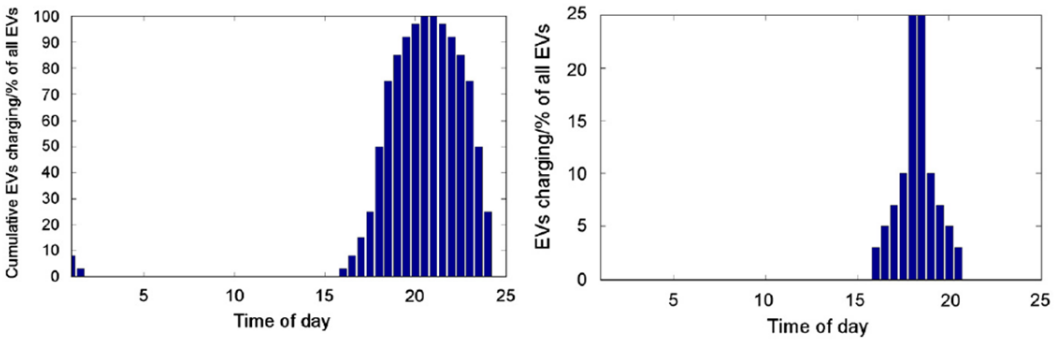
Η μελέτη των Mullan et al. (2011) ερευνά τον αντίκτυπο που θα έχει η ευρεία χρήση ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Δυτική Αυστραλία, τους περιορισμούς στην ικανότητα του συστήματος να προμηθεύσει με ενέργεια των στόλο των ΗΟ για φόρτιση. Σκοπός της μελέτης τους είναι να ελέγξουν την αντοχή τους συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας λαμβάνοντας υπ' όψιν το χειρότερο δυνατό σενάριο, αυτό δηλαδή κατά το οποίο όλα τα καινούργια αυτοκίνητα που αναμένεται να πωληθούν στην περιοχή θα είναι ΗΟ και αναλύουν τις επιλογές που υπάρχουν για τη διαχείριση και αντιμετώπιση του σεναρίου.

Στις προσομοιώσεις τους μελετούν τρία διαφορετικά σενάρια:

- Σενάριο 1: Φόρτιση μόνο της απογευματινές ώρες (16:00–23:00)
- Σενάριο 2: Φόρτιση μόνο κατά τη διάρκεια της νύχτας (22:00–07:30)
- Σενάριο 3: Διαχειριζόμενη νυχτερινή φόρτιση χρησιμοποιώντας έξυπνους μετρητές.

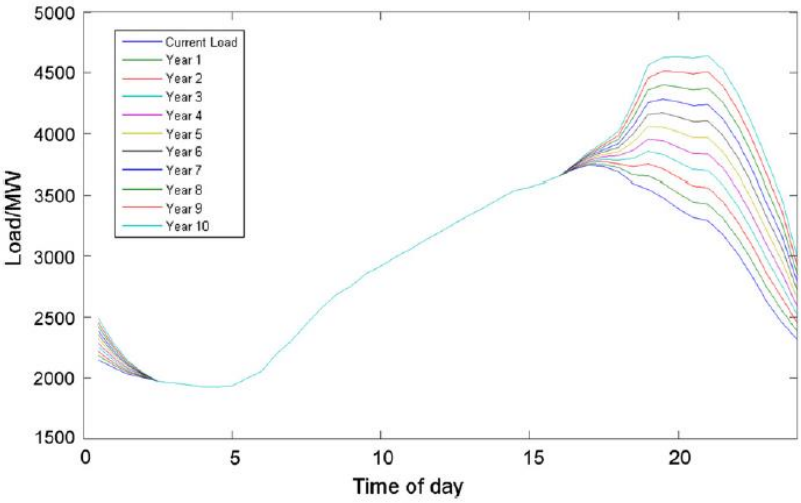
Όσον αφορά το Σενάριο 1 χρησιμοποιείται η κατανομή του Σχήματος 5.9α κατανομή για την εκκίνηση των φορτίσεων των ΗΟ κάθε ημίωρο ως ποσοστό επί του συνόλου των ΗΟ. Σύμφωνα με αυτή την κατανομή και υπό την υπόθεση ότι η πλήρης φόρτιση διαρκεί 4 ώρες η πλήρης φόρτιση των ΗΟ κατανέμεται μέσα στη μέρα όπως φαίνεται Σχήμα 5.9β.

[22] Wang, J., Liu, C., Ton, D., Zhou, Y., Kim, J. and Vyas, A. (2011) 'Impact of plug-in hybrid electric vehicles on power systems with demand response and wind power'



Σχήμα 5. 9 α)Φορτίσεις ΗΟ (%ΗΟ) β) Πλήρης φόρτιση ΗΟ ημέρας (Σενάριο 1)[23]

Ο αντίκτυπος στον φόρτο του Συστήματος υπό αυτό το Σενάριο για 10 χρόνια, υποθέτοντας ότι κάθε χρόνο 90.000 ΗΟ εισέρχονται στους δρόμους διακρίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 5.10).



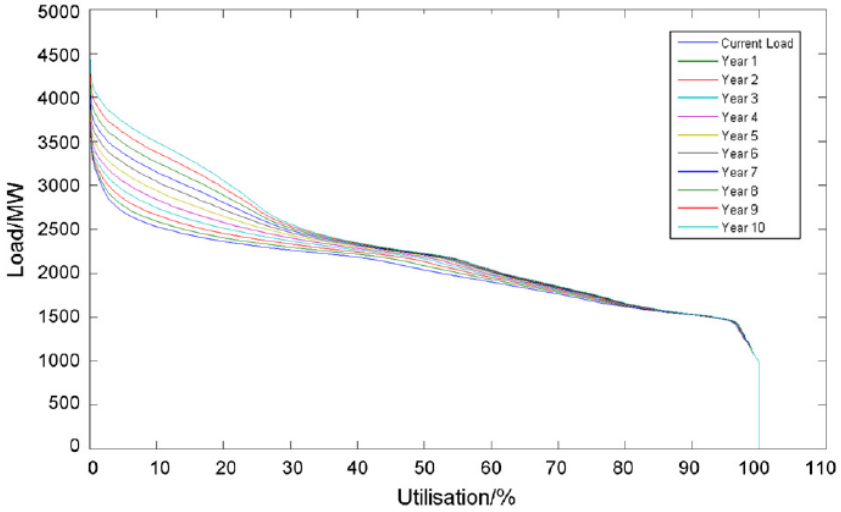
Σχήμα 5. 10 Φόρτος ηλεκτρικού δικτύου σε βάθος 10 ετών[24]

Η κατώτατη καμπύλη αναπαριστά τον τρέχοντα φόρτο του Συστήματος. Η προσομοίωση δείχνει ότι η μέγιστη πίεση στην δυνατότητα ικανοποίησης της ζήτησης από το Σύστημα πραγματοποιείται όταν περίπου 180.000 ΗΟ εισέρχονται στην κυκλοφορία, δηλαδή δύο χρόνια από την αρχή της μελέτης (κόκκινη γραμμή).

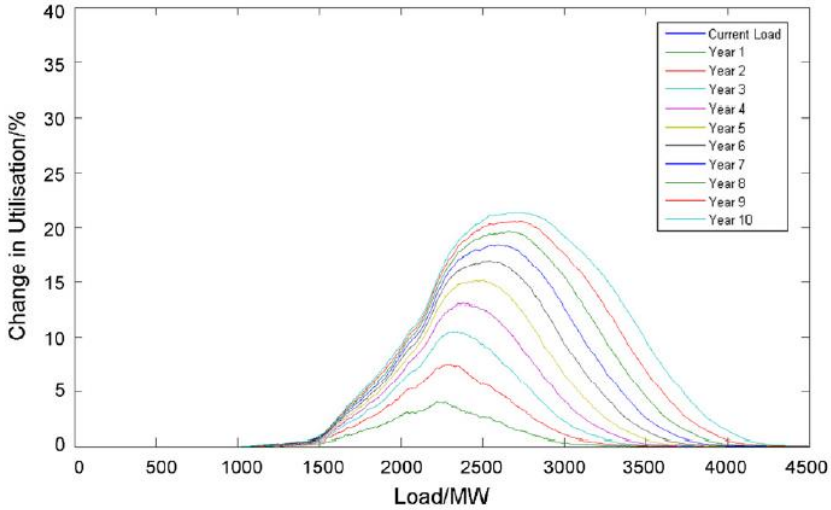
Η χρήση της ισχύος (capacity) του συστήματος υπό το Σενάριο 1 (Σχήμα 5.11 και 5.12) δείχνει ότι καθώς ο αριθμός των ΗΟ αυξάνεται, η χρήση της παραγωγικής δυνατότητας

[23,24] Mullan, J., Harries, D., Bräunl, T. and Whitely, S. (2011) 'Modelling the impacts of electric vehicle recharging on the Western Australian electricity supply system', Energy Policy

και η χρήση της δυνατότητας διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνουν ραγδαία.



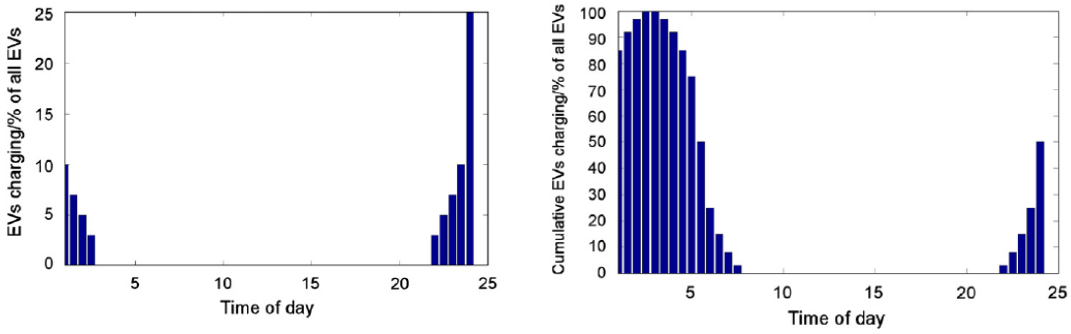
Σχήμα 5. 11 Επίδραση στη διάρκεια φόρτωσης (Σενάριο 1)[25]



Σχήμα 5. 12 Αλλαγή στη χρήση της υποδομής (Σενάριο 1)[26]

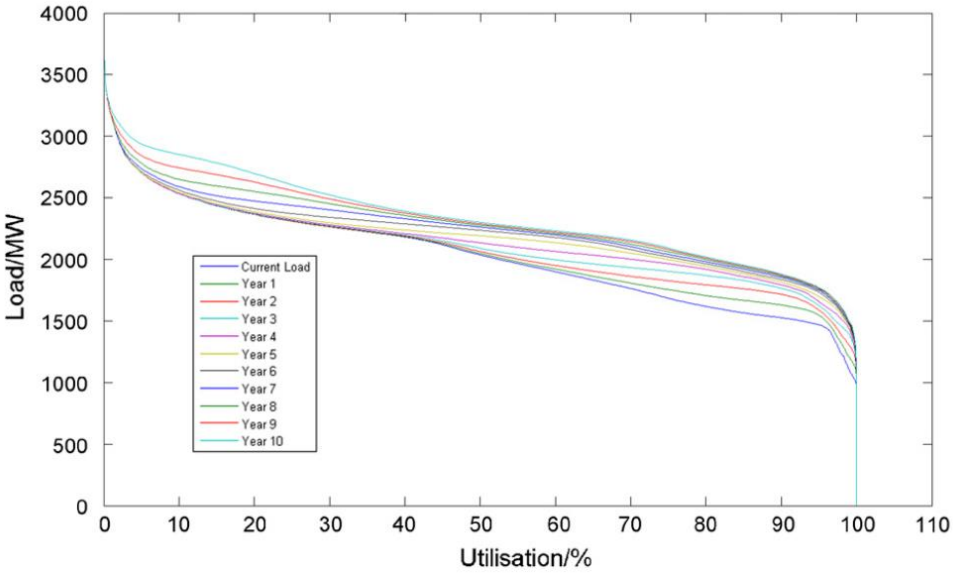
Σύμφωνα με το Σενάριο 2, η κατανομή της έναρξης της διαδικασίας φόρτισης κάθε ημίωρο ως ποσοστό επί του συνόλου των ΗΟ φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 5.13α) και η ολοκλήρωση της φόρτισης των ΗΟ κατανέμεται μέσα στη μέρα (Σχήμα 5.13β).

[25,26] Mullan, J., Harries, D., Bräunl, T. and Whitely, S. (2011) 'Modelling the impacts of electric vehicle recharging on the Western Australian electricity supply system', Energy Policy



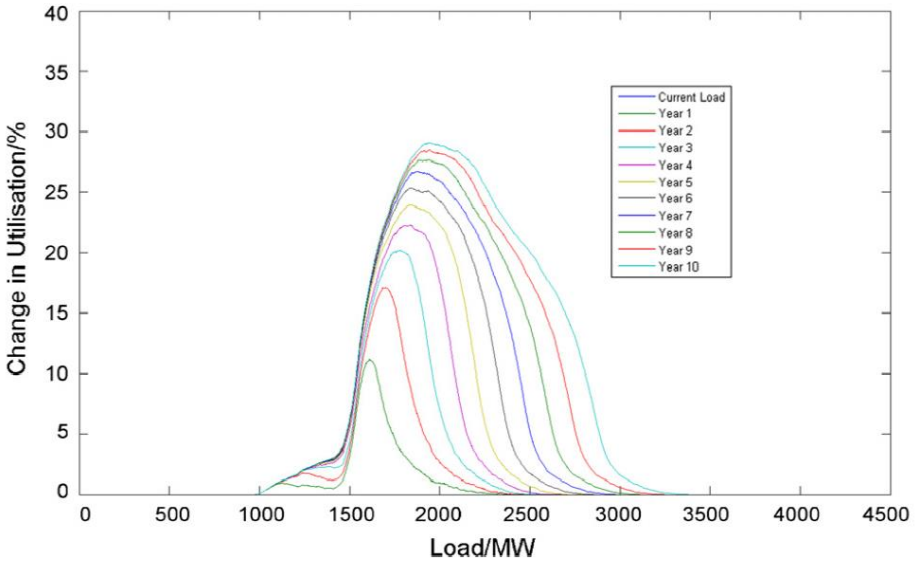
Σχήμα 5. 13 α)Φορτίσεις ΗΟ (%ΗΟ) β) Πλήρης φόρτιση ΗΟ ημέρας (Σενάριο 2)[27]

Ο αντίκτυπος στον φόρτο του Συστήματος υπό αυτό το σενάριο για 10 χρόνια (υποθέτοντας ότι κάθε χρόνο 90.000 ΗΟ εισέρχονται στους δρόμους) φαίνονται στο Σχήμα 5.14 και 5.15.



Σχήμα 5. 14 Επίδραση στη διάρκεια φόρτωσης (Σενάριο 2)[28]

[27,28] Mullan, J., Harries, D., Bräunl, T. and Whitely, S. (2011) 'Modelling the impacts of electric vehicle recharging on the Western Australian electricity supply system', Energy Policy



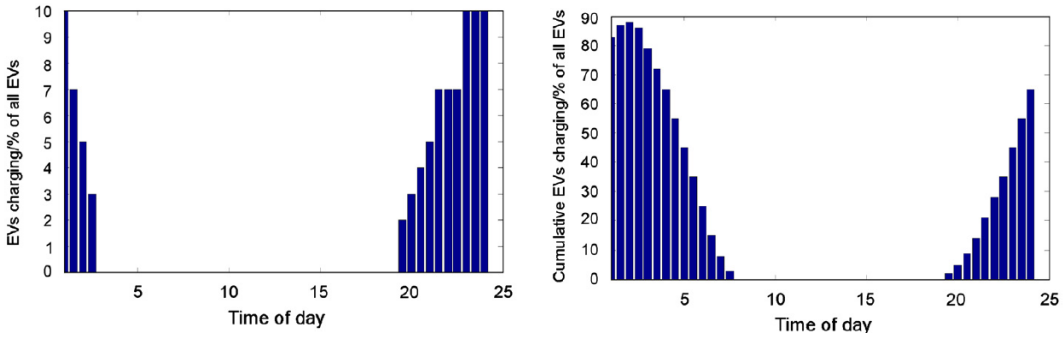
Σχήμα 5. 15 Αλλαγή στη χρήση της υποδομής (Σενάριο 2)[29]

Από τα Σχήματα 5.14 και 5.15 παρατηρείται ότι ακόμα και όταν ένας μικρός αριθμός ΗΟ φορτίζονται αυτό το διάστημα έχει σημαντικό αντίκτυπο στην νυχτερινή ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος και αυξάνουν την χρήση βασικής ισχύος παραγωγικής δυνατότητας του συστήματος (base-load generating capacity). Το σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι η βασική ισχύς (base-load) παράγεται χρησιμοποιώντας χαμηλού κόστους και υψηλής αποτελεσματικότητας θερμικής μονάδας παραγωγής.

Αυτή η προσέγγιση μπορεί να οδηγήσει σε ξαφνικές αυξήσεις της ζήτησης στο λεπτό/ημίωρο/ώρα καθώς οι ιδιοκτήτες των οχημάτων θα αρχίσουν να φορτίζουν τα οχήματά τους σε ένα συγκεκριμένο σημείο το βράδυ. Αυτό το φαινόμενο θα μπορούσε να ενισχυθεί περαιτέρω εάν καθοριστεί ένα ποσοστό για εκτός αιχμής/χαμηλού κόστους φόρτιση.

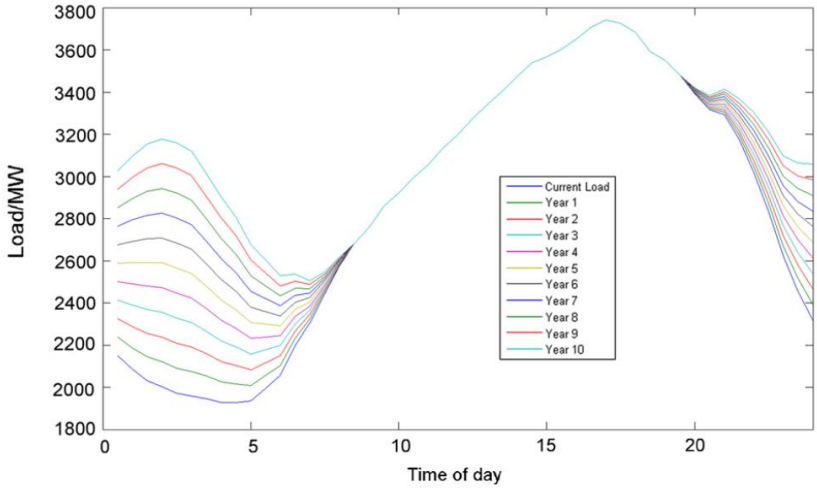
Σύμφωνα με Σενάριο 3, η επαναφόρτιση γίνεται από απόσταση από τον χειριστή του δικτύου, μέσω ενός έξυπνου μετρητή, για να διασφαλιστεί ότι λιγότερο από το 90% των ΗΟ επαναφορτίζονται ταυτόχρονα και για να διαμορφωθεί η ζήτηση λόγω επαναφόρτισης ΗΟ με σκοπό την μεγιστοποίηση των πλεονεκτημάτων φόρτισης εκτός αιχμής. Τα αντίστοιχα σχήματα όπως παρουσιαστήκαν για τα προηγούμενα 2 σενάρια φαίνονται παρακάτω (Σχήμα 5.16).

[29] Mullan, J., Harries, D., Bräunl, T. and Whitely, S. (2011) 'Modelling the impacts of electric vehicle recharging on the Western Australian electricity supply system', Energy Policy



Σχήμα 5. 16 α)Φορτίσεις ΗΟ (%ΗΟ) β) Πλήρης φόρτιση ΗΟ ημέρας (Σενάριο 3)[30]

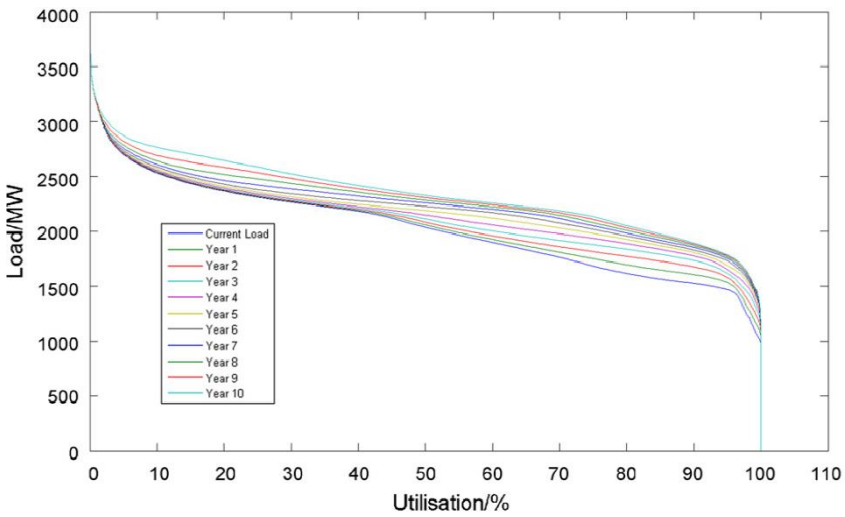
Ο αντίκτυπος που θα είχε αυτό το διαχειριζόμενο νυχτερινό καθεστώς φόρτισης στο φορτίο αιχμής φαίνεται στο Σχήμα 5.17. Η προσομοίωση δείχνει ότι σε αυτό το Σενάριο επαναφόρτισης, η νυχτερινή κορυφή παραμένει χαμηλότερη από ό, τι στο Σενάριο 2 και πολύ κάτω από το μέγιστο.



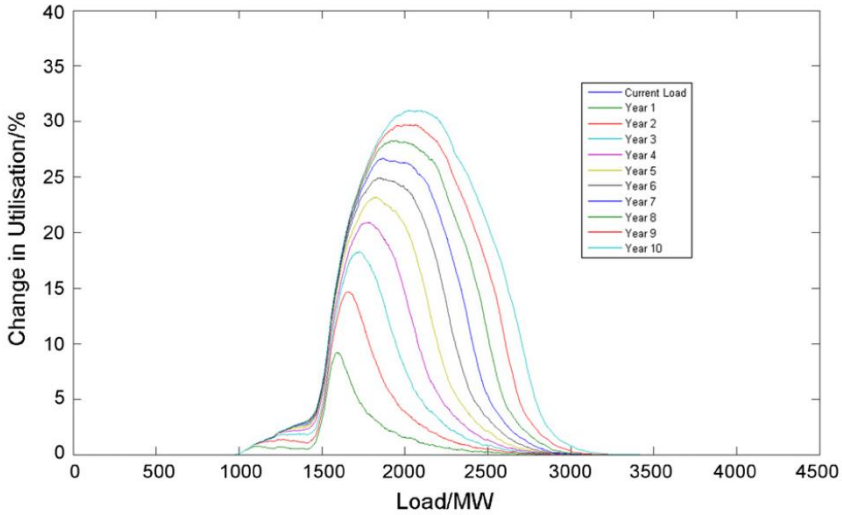
Σχήμα 5. 17 Φόρτος ηλεκτρικού δικτύου σε βάθος 10 ετών (Σενάριο 3)[31]

Οι καμπύλες χρησιμοποίησης της παραγωγικής δυνατότητας του συστήματος (Σχήμα 5.18 και 5.19) δείχνουν ότι, όπως με το Σενάριο 2, η επαναφόρτιση του οχήματος υπό αυτό το σενάριο αρχίζει να αυξάνει τη νυχτερινή ζήτηση και ότι η χρήση του συστήματος αυξάνεται ανάλογα με τον αριθμό των οχημάτων.

[30,31] Mullan, J., Harries, D., Bräunl, T. and Whitely, S. (2011) 'Modelling the impacts of electric vehicle recharging on the Western Australian electricity supply system', Energy Policy



Σχήμα 5. 18 Επίδραση στη διάρκεια φόρτωσης (Σενάριο 3)[32]



Σχήμα 5. 19 Αλλαγή στη χρήση της υποδομής (Σενάριο 3)[33]

5.3.4 Weiller

Σε μια άλλη μελέτη, ο Weiller (Weiller, 2011) ισχυρίζεται ότι η απουσία κατάλληλης δημόσιας υποδομής επαναφόρτισης θα ασκούσε πίεση 25−30% στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις απογευματινές ώρες, καθώς η φόρτιση σε μια τέτοια περίπτωση θα πραγματοποιούνταν στις οικίες των κατόχων ΗΟ τις απογευματινές ώρες. Έτσι, ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την συμπεριφορά φόρτισης των ΗΟ είναι οι τοποθεσίες στις οποίες οι οδηγοί έχουν τη δυνατότητα να φορτίζουν τα οχήματά τους.

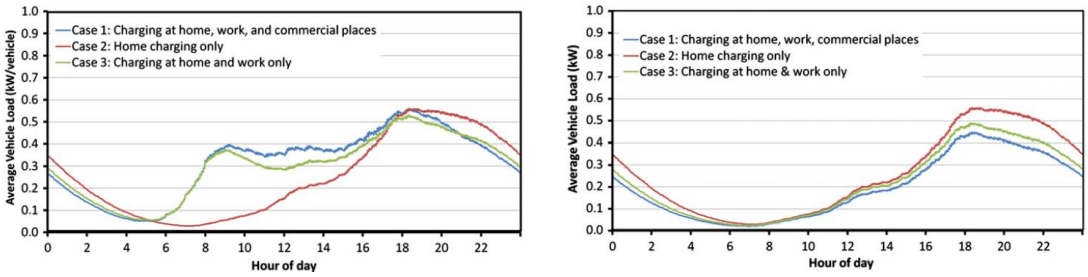
Πιο συγκεκριμένα, ο Weiller C. (2011) στη μελέτη του διερευνά τις επιπτώσεις των διαφορετικών συμπεριφορών φόρτισης των PHEV στις Ηνωμένες Πολιτείες στα

[32,33] Mullan, J., Harries, D., Bräunl, T. and Whitely, S. (2011) 'Modelling the impacts of electric vehicle recharging on the Western Australian electricity supply system', Energy Policy

προφίλ ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και στη χρήση ενέργειας, όσον αφορά την ώρα της ημέρας και την τοποθεσία (στο σπίτι, στο χώρο εργασίας ή στους δημόσιους χώρους). Το μοντέλο που εφαρμόζει έχει ρυθμιστεί για να ελέγξει το αποτέλεσμα διαφορετικών συμπεριφορών φόρτισης.

Στο πρώτο σενάριο, οι ιδιοκτήτες ΗΟ φορτίζουν το όχημά τους στο σπίτι τους. Το δεύτερο σενάριο εξετάζει το φορτίο φόρτισης (charge load) όταν τα ΗΟ φορτίζονται στο σπίτι και στην εργασία των ιδιοκτητών τους. Σε ένα τρίτο σενάριο, οι οδηγοί των ΗΟ μπορούν να φορτίζουν τα οχήματά τους είτε στο σπίτι, ή στη δουλειά ή στα εμπορικά κέντρα και τα εστιατόρια.

Στο Σχήμα 5.20α και 5.20β βλέπουμε την κατανομή του φόρτου του Συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για τα τρία σενάρια.



Σχήμα 5. 20 α) Μ.Ο φόρτου οχημάτων β) Φόρτος στο σπίτι[34]

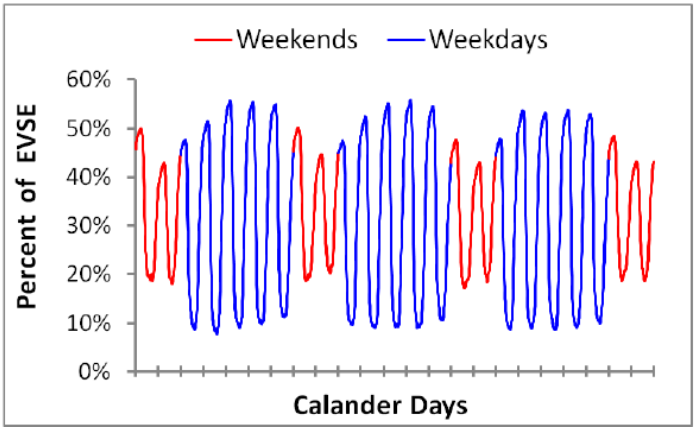
Κατά τις ώρες αιχμής, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, όταν οι ιδιοκτήτες ΗΟ φορτίζουν μόνο όταν βρίσκονται στην οικία τους είναι 24-29,4% υψηλότερη (449 έναντι 560 W) από όταν μπορούν να φορτίσουν οπουδήποτε και 4,7-9,3% υψηλότερη (449 έναντι 491 W) από όταν η φόρτιση είναι δυνατή μόνο στην εργασία (εκτός από το σπίτι τους).

Σε μια ακόμα μελέτη, οι Bruce et al., (2012) έδειξαν ότι εάν το μεγαλύτερο μέρος της επαναφόρτισης ολοκληρωθεί στις οικίες των κατόχων ΗΟ, τότε μπορεί να μετατοπιστεί σε ώρες μη-υψηλής ζήτησης εάν δοθούν κίνητρα στους οδηγούς να φορτίζουν σε ώρες μη αιχμής.

[34] Claire Weiller 'Plug-in hybrid electric vehicle impacts on hourly electricity demand in the United States

5.3.5 Schey

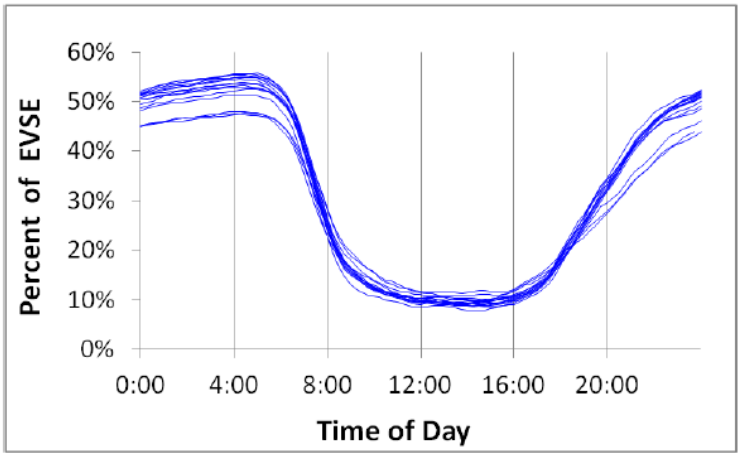
Οι Schey et al., (2012) παρατήρησαν ότι στην πόλη του Nashville (Νάσβιλ) των ΗΠΑ, όπου οι οδηγοί ΗΟ δεν είχαν κίνητρα να φορτίζουν σε ώρες μη αιχμής, η υψηλότερη ζήτηση για φόρτιση στην οικία παρουσιάστηκε στις 08:00 μ.μ. Αντίθετα, στην πόλη του San Francisco (Σαν Φρανσίσκο), όπου οι οδηγοί έχουν πρόσβαση σε έξυπνους μετρητές και φθηνή χρήση ηλεκτρικού ρεύματος σε ώρες μη-αιχμής, η κορυφή της ζήτησης για την φόρτιση στην οικία καταγράφηκε στη 01:00 π.μ. Στο Σχήμα 5.21 φαίνεται η προσφορά (ως ποσοστό) των διαθέσιμων σταθμών φόρτισης που χρησιμοποιούνται από τους οδηγούς ΗΟ.



Σχήμα 5. 21 Καμπύλη διαθεσιμότητας φόρτισης για οικιακά EVSE του EV Project[35]

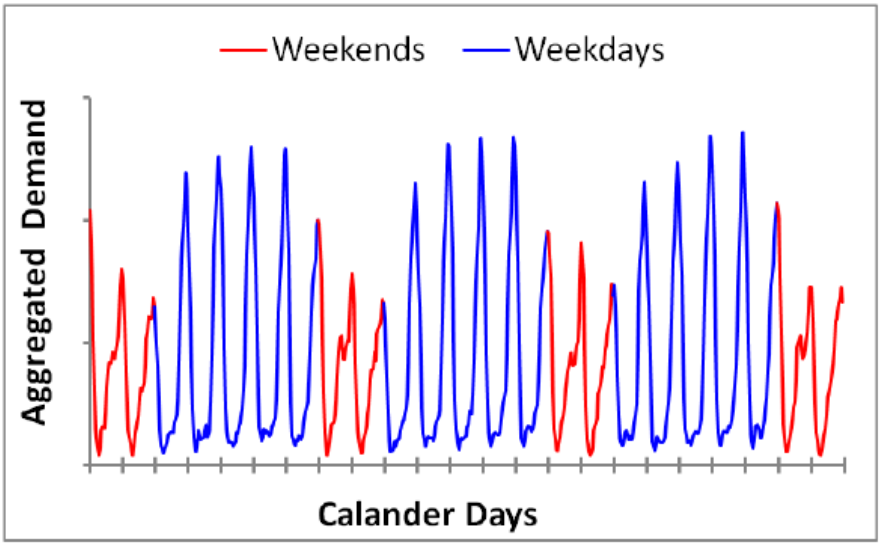
Η καμπύλη διαθεσιμότητας φόρτισης παρατηρούμε ότι είναι μια περιοδική καμπύλη με καθημερινά και εβδομαδιαία μοτίβα. Οι ημερήσιες κορυφές και οι κοιλότητες της καμπύλης αντιστοιχούν στις νυχτερινές ώρες και την ημέρα, αντίστοιχα. Τα Σαββατοκύριακα παρουσιάζουν το ίδιο μοτίβο με τις καθημερινές με τη διαφορά ότι οι ημέρες του Σαββατοκύριακου τείνουν να έχουν χαμηλότερες κορυφές και υψηλότερες κοιλότητες από τις καθημερινές. Σε επίπεδο ημέρας σε μια 24ωρη βάση, το Σχήμα 5.22 δείχνει τη χρήση των διαθέσιμων σταθμών φόρτισης τις καθημερινές.

[35] Stephen Schey 1,Don Scoffield 2 andJohn Smart 2,* A First Look at the Impact of Electric Vehicle Charging on the Electric Grid in The EV Project. *World Electr. Veh. J*



Σχήμα 5. 22 Διαθεσιμότητα φόρτωσης ημέρας[36]

Το Σχήμα 5.23 δείχνει την καμπύλη ζήτησης φόρτισης σε διάστημα 3 εβδομάδων για τη μελετώμενη περιοχή.

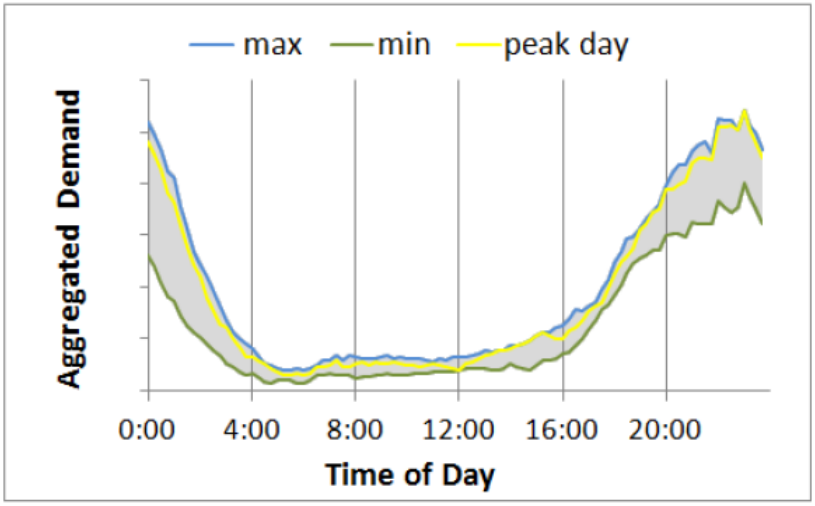


Σχήμα 5. 23 Καμπύλη ζήτησης φόρτισης για οικιακά EVSE του EV Project[37]

Βλέπουμε, ότι η καμπύλη ζήτησης φόρτισης είναι μια περιοδική καμπύλη, με καθημερινά και εβδομαδιαία μοτίβα παρόμοια με την καμπύλη διαθεσιμότητας φόρτισης. Οι ημερήσιες κορυφές και οι καμπύλες της καμπύλης ζήτησης φόρτισης αντιστοιχούν στη νύχτα και την ημέρα, αντίστοιχα. Η ζήτηση τη νύχτα είναι υψηλή, ενώ η ζήτηση κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι κοντά στο μηδέν. Τα Σαββατοκύριακα

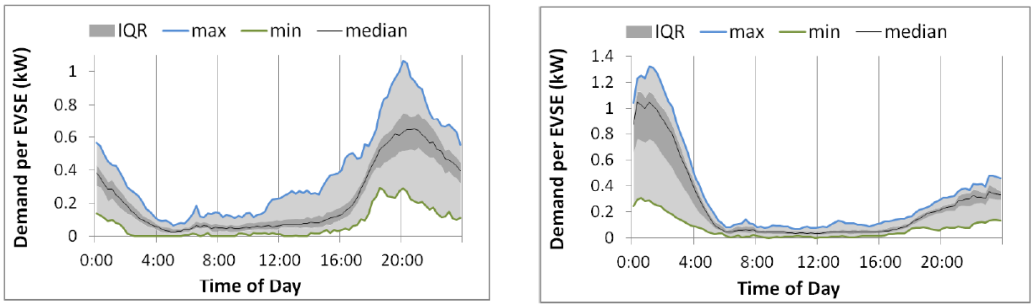
[36,37] Stephen Schey 1,Don Scoffield 2 andJohn Smart 2,* A First Look at the Impact of Electric Vehicle Charging on the Electric Grid in The EV Project. *World Electr. Veh. J*

παρουσιάζουν το ίδιο μοτίβο με τις καθημερινές. Το παρακάτω σχήμα (Σχήμα 5.24) δείχνει την ζήτηση σε 24ωρη βάση.



Σχήμα 5. 24 Διάγραμμα ζήτησης φόρτισης με καμπύλη ημέρας αιχμής[38]

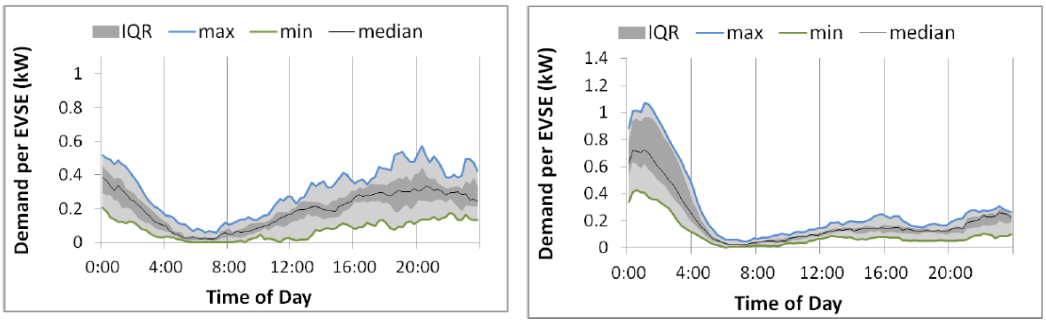
Το Σχήμα 5.25α και 5.25β δείχνουν τη ζήτηση μια τυπική ημέρα για τις περιοχές του Nashville (Νάσβιλ) και του San Francisco (Σαν Φρανσίσκο) αντίστοιχά.



Σχήμα 5. 25 Ζήτηση φόρτισης ημέρας α) στο Nashville, β) στο San Francisco[39]

[38,39] Stephen Schey 1,Don Scoffield 2 andJohn Smart 2,* A First Look at the Impact of Electric Vehicle Charging on the Electric Grid in The EV Project. *World Electr. Veh. J*

Οι ίδιες καμπύλες για το Σαββατοκύριακο φαίνονται στα Σχήματα 5.26α και 5.26β.



Σχήμα 5. 26 Ζήτηση φόρτισης ημέρας (Σαβββατοκύριακο) α) στο Nashville, β) στο San Francisco[40]

Στο Νάσβιλ, η αύξηση της καμπύλης ζήτησης της εβδομάδας παρατηρείται από τις 04:00 έως τις 08:00 μ.μ. Σε αυτήν την περιοχή, οι περισσότεροι χρήστες δεν προγραμματίζουν ώστε τα οχήματά τους να ξεκινήσουν τη φόρτιση σε συγκεκριμένη ώρα αλλά, τα οχήματα αρχίζουν να αντλούν ρεύμα από το δίκτυο αμέσως μετά τη σύνδεσή τους. Επειδή οι οδηγοί ΗΟ επιλέγουν να συνδέσουν τα οχήματά τους σε διαφορετικές ώρες όλο το βράδυ, η ζήτηση φόρτισης αυξάνεται σταδιακά. Αυτή η ποικιλία στη φόρτιση οδηγεί σε σχετικά χαμηλή ζήτηση αιχμής και ομαλές αλλαγές στη ζήτηση.

Στο Σαν Φρανσίσκο παρατηρείται μεγάλη αύξηση της ζήτησης περί τα μεσάνυχτα. Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα αυτή η συμπεριφορά οφείλεται στο ότι οι οδηγοί έχουν πρόσβαση σε έξυπνους μετρητές και φθηνή χρήση ηλεκτρικού ρεύματος σε ώρες μη-αιχμής, από τις 00:00 μέχρι τις 07:00 π.μ.

5.3.6 Kim, Rahimi (2014) και Kim (2019)

Οι Kim και Rahimi (2014) μελέτησαν τη δυνητική επίδραση που θα έχει η υιοθέτηση των ΗΟ στην ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και στην εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου. Η επίδραση των ΗΟ στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου εξαρτάται κατά πολύ από το καθημερινό μοτίβο ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας που προκύπτει από την φόρτιση των ΗΟ.

Μελετούν διάφορα σενάρια φόρτισης, πολλά από τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί από άλλους ερευνητές στο παρελθόν και έχουν αναλυθεί παραπάνω όπως το σενάριο φόρτισης κατά τις ώρες μη αιχμής (νυχτερινές ώρες). Το επόμενο σενάριο φόρτισης

[40] Stephen Schey 1,Don Scoffield 2 andJohn Smart 2,* A First Look at the Impact of Electric Vehicle Charging on the Electric Grid in The EV Project. *World Electr. Veh. J*

που αναλύουν είναι, όπως το ονομάζουν, «ελεγχόμενης κορυφής», όπου η φόρτιση πραγματοποιείται κυρίως την ημέρα. Και στις δύο περιπτώσεις το φορτίο ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται από τα ηλεκτρικά οχήματα κρατείται σταθερό, ώστε να διατηρηθεί η αύξηση της ζήτησης σε σχέση με την κανονική ζήτηση για ενέργεια στο ελάχιστο επίπεδο. Επίσης διάφορα άλλα σενάρια αναλύονται που προκύπτουν από την έρευνα της οδηγικής συμπεριφοράς των οδηγών και υποθέτουν ότι την ίδια συμπεριφορά και συνήθειες θα έχουν και οι οδηγοί ΗΟ.

Σε μια πρόσφατη εργασία, ο Kim, (Kim, 2019) χρησιμοποιεί πραγματικά δεδομένα επιπέδου μετρητή ενέργειας από την περιοχή του Σαν Ντιέγκο για να αναλύσει τα προφίλ ενεργειακού φορτίου των αστικών πελατών υπό το δείκτη ώρας χρήσης (TOU) με και χωρίς απαιτήσεις φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.

Σύμφωνα με μια μελέτη της Επιτροπής Ενέργειας της Καλιφόρνιας (CEC), η κορυφή της αναμενόμενης ζήτησης ηλεκτρικής φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στην πολιτεία είναι σχεδόν 1 GW στις 07:40 μ.μ. της καθημερινές ενώ η αναμενόμενη κορυφή τα σαββατοκύριακα είναι σχεδόν 800 MW στις 06:50 μ.μ. Τα αποτελέσματα αυτά φανερώνουν ότι με την επιβάρυνση της φόρτισης των ΗΟ θα αυξηθεί η κορυφή της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας επιδεινώνοντας την ήδη υπάρχουσα κατάσταση.

Στην ίδια μελέτη ο Kim αναλύει διαφορετικές περιπτώσεις χρέωσης της ηλεκτρικής ενέργειας στα νοικοκυριά. Γενικά η ώρα αιχμής, κατά μέσο όρο για όλες τις περιπτώσεις, είναι τις απογευματινές ώρες μεταξύ 04:00 μ.μ. και 08:00 μ.μ. Όσον αφορά τη φόρτιση των ΗΟ, παρατηρείται και μια δεύτερη κορυφή στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Η πρώτη κορυφή ενεργειακής ζήτησης εμφανίζεται όπως αναμενόταν τις βραδινές ώρες (μεταξύ 5 και 8 μ.μ.). Μια δεύτερη μέγιστη ζήτηση ενέργειας εμφανίζεται τα μεσάνυχτα. Αυτό σημαίνει ότι οι κάτοχοι ηλεκτρικών οχημάτων ανταποκρίνονται στα οικονομικά κίνητρα της εταιρείας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας για φόρτιση σε ώρες μη αιχμής, όπως είναι τα μεσάνυχτα.

Αυτό το εύρημα παρέχει αντιφατικά στοιχεία για την προβλεπόμενη ζήτηση φόρτισης αστικών ΗΟ σε σχέση με τη μελέτη της CEC. Ένας από τους βασικούς παράγοντες που μπορούν να αποδοθούν στο εύρημα αυτό είναι το γεγονός ότι οι περισσότεροι κάτοχοι ηλεκτρικών οχημάτων μπορούν να χρησιμοποιήσουν εφαρμογές smartphone ("apps") για να ελέγχουν εύκολα την έναρξη της φόρτισης. Τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι η ζήτηση για ενέργεια φόρτισης αστικών ηλεκτρικών οχημάτων θα δημιουργήσει μια

νέα κορυφή παρά θα επιδεινώσει την υπάρχουσα κορυφή της ζήτησης κατά τις βραδινές ώρες (περίπου 6-8 μ.μ.). Αυτό βεβαίως δείχνει και την αξία της παροχής κινήτρων μέσω της τιμολογιακής πολιτικής για φθηνότερη ενέργεια σε ώρες μη αιχμής για την φόρτιση των ΗΟ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Ανάλυση δεδομένων

6.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, έγινε ανάλυση δεδομένων, προκειμένου να προκύψουν αποτελέσματα σχετικά με τη συμπεριφορά των κατόχων ΗΟ σε σχέση με τη φόρτιση των οχημάτων τους. Πιο αναλυτικά, έγινε προσπάθεια συσχέτισης των φορτίσεων με την ώρα άφιξης, με την τοποθεσία αλλά και με την ημέρα της φόρτισης.

Η ανάλυση των δεδομένων έγινε με τη χρήση της γλώσσας R (version 4.0.3) και του λογισμικού Rstudio (version 1.3.1093).

6.2 Σύνολο δεδομένων

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση φορτίσεων ΗΟ πηγάζουν από την Ουκρανία, στην οποία υπάρχουν συνολικά 45000 ΗΟ και 8500 δημόσιοι φορτιστές. Πιο συγκεκριμένα, τα περισσότερα δεδομένα προέρχονται από δημόσιους φορτιστές της πόλης Lviv, της μεγαλύτερης πόλης της Δυτικής Ουκρανίας με πληθυσμό 720.000 κατοίκους. Τα μέρη όπου φιλοξενούν τους σταθμούς φόρτισης είναι επιχειρήσεις, όπως ξενοδοχεία, αντιπροσωπίες αυτοκινήτων, εμπορικά καταστήματα, εστιατόρια. Όσον αφορά των χρονικό διάστημα των δεδομένων που αναλύθηκαν, αφορά πρόσφατα δεδομένα, του δεύτερου εξαμήνου του 2020.

Το σύνολο δεδομένων (dataset) περιέχει εγγραφές με την κάθε μια να περιέχει τις εξής πληροφορίες του Πίνακα 6.1.

sessionID	Α/Α φόρτισης
charge_box_id	Αναγνωριστικό σταθμού φόρτισης
connector_id	Αναγνωριστικό φορτιστή
id_tag	Περιγραφή σταθμού φόρτισης
start_timestamp	Ώρα έναρξης φόρτισης
start_value	Αθροιστικός μετρητής ενέργειας φορτιστή σε W/h (κατά την έναρξη του session)
stop_timestamp	Ώρα τερματισμού φόρτισης
stop_value	Αθροιστικός μετρητής ενέργειας φορτιστή σε W/h (κατά το τέλος του session)
stop_reason	Αιτία διακοπής φόρτισης

location_id	Αναγνωριστικό τοποθεσίας

Πίνακας 6. 1 Κολώνες dataset

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 6.2) αποτυπώνονται ενδεικτικά οι πρώτες 19 εγγραφές προτού το dataset υποστεί οποιαδήποτε επεξεργασία ή ανάλυση.

	sessionID	charge_box_id	connector_id	id_tag	start_timestamp	start_value	stop_timestamp	stop_value	stop_reason	location_id
1	4633	t54_hu1_0820_003	3	tag_003_2	2020-11-12T12:44:02.000Z	3669798	2020-11-12T12:58:52.000Z	3670994		370377
2	4631	19028824	1	predefinedTokenId	2020-11-12T12:01:25.742Z	3787009	2020-11-12T12:01:30.554Z	3787009	DeAuthorized	370377
3	4630	19926067	1	Lumier	2020-11-12T11:39:55.987Z	2857299	2020-11-12T12:36:03.782Z	2863492	EVDisconnected	370377
4	4629	t54_hu1_0820_002	3	tag_002_2	2020-11-12T11:09:23.000Z	2694321	2020-11-12T11:39:12.000Z	2700103		370377
5	4628	t54_hu1_0820_003	1	tag_003_1	2020-11-12T10:55:59.000Z	855793	2020-11-12T11:56:01.000Z	865834		370377
6	4627	t54_hu1_0820_003	1	tag_003_1	2020-11-12T10:11:54.000Z	853908	2020-11-12T10:45:59.000Z	855792		370377
7	4626	17111799	1	LeopolisHotelLviv1	2020-11-12T09:56:37.222Z	6635296	2020-11-12T11:41:44.325Z	6658601	Remote	370377
8	4625	t54_hu1_0820_003	1	tag_003_1	2020-11-12T09:43:15.000Z	852486	2020-11-12T10:09:23.000Z	853906		370377
9	4624	19028825	1	HotelBukovina	2020-11-12T09:39:04.410Z	19106121	2020-11-12T10:57:03.334Z	19112307	Remote	370377
10	4623	19926067	1	Lumier	2020-11-12T08:51:51.226Z	2811973	2020-11-12T11:15:56.134Z	2857299	EVDisconnected	370377
11	4622	17968671	2	futura2	2020-11-12T08:23:44.152Z	5143960	2020-11-12T12:08:58.986Z	5156697	Remote	370377
12	4621	19028825	1	HotelBukovina	2020-11-12T07:15:02.996Z	19094402	2020-11-12T07:48:55.051Z	19106121	EVDisconnected	370377
13	4620	17968671	4	futura4	2020-11-12T06:24:27.848Z	17002723	2020-11-12T06:54:39.205Z	17012324	Remote	370377
14	4619	EVB-P20031536	1	EvBoxTest	2020-11-12T03:58:50.000Z	198848	2020-11-12T05:32:47.000Z	198881	Remote	370377
15	4618	19028825	1	HotelBukovina	2020-11-12T01:09:49.150Z	19080792	2020-11-12T02:24:51.660Z	19094402	Remote	370377
16	4617	EVB-P20031536	1	EvBoxTest	2020-11-12T00:57:53.000Z	191166	2020-11-12T03:57:52.000Z	198848	Remote	370377
17	4616	19926070	1	promprylad1	2020-11-11T23:53:46.485Z	2346125	2020-11-12T00:49:26.251Z	2360149	Remote	370377
18	4615	EVB-P20031536	1	EvBoxTest	2020-11-11T21:52:16.000Z	180845	2020-11-12T00:52:23.000Z	191165	Remote	370377
19	4614	17968681	1	vash_dim1	2020-11-11T21:18:47.865Z	26806253	2020-11-11T22:04:01.044Z	26822098	Remote	370377

Showing 1 to 100 of 4,471 entries

Previous 1 2 3 4 5 … 45 Next

Πίνακας 6. 2 Εγγραφές δεδομένων

Για την επεξεργασία των δεδομένων χρειάστηκε να δημιουργηθούν επιπλέον κολώνες που βοήθησαν στην ανάλυση των πληροφοριών. Συγκεκριμένα, οι κολώνες που σχετίζονται με την ώρα έναρξης και λήξης της φόρτισης μετατράπηκαν σε συμβατό για την R τύπο ημερομηνίας/ώρας και διαιρέθηκαν σε έτος, μήνα, ημέρα, ώρα και αν ήταν σαββατοκύριακο ή όχι.

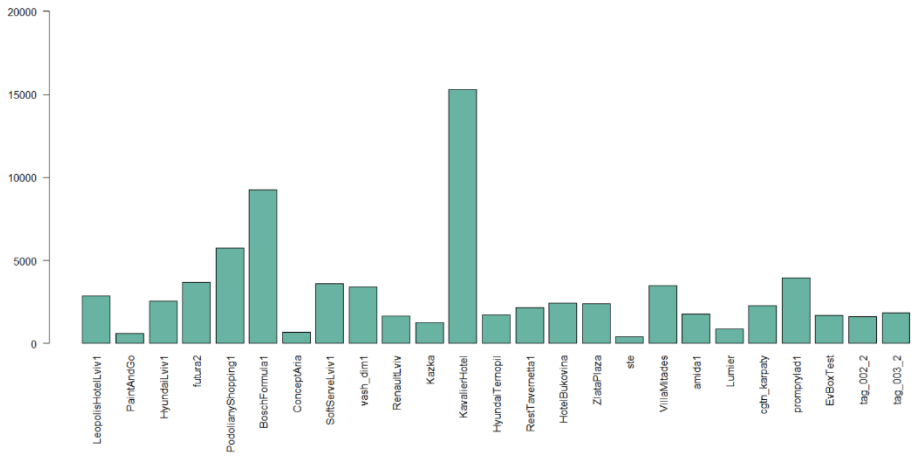
Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν οι πληροφορίες διάρκειας φόρτισης (σε δευτερόλεπτα), ως αφαίρεσης την ώρας έναρξης από την ώρα λήξης, αλλά και την ισχύ φόρτισης του HO, ως τη διαφοράς στην ισχύ του σταθμού, πριν και μετά τη συγκεκριμένη φόρτιση. Ως αποδεκτές τιμές διάρκειας φόρτισης, θεωρήθηκαν εκείνες που δεν ξεπερνούσαν τις 16 ώρες. Οι υπόλοιπες εγγραφές διαγράφησαν ως μη έγκυρες.

Επίσης, έχει γίνει η παραδοχή για τα διαγράμματα 24ώρου ότι μια φόρτιση ανήκει στην ώρα κατά την οποία ξεκίνησε.

6.3 Αποτελέσματα ανάλυσης

6.3.1 Μέση διάρκεια φόρτισης ανά τοποθεσία

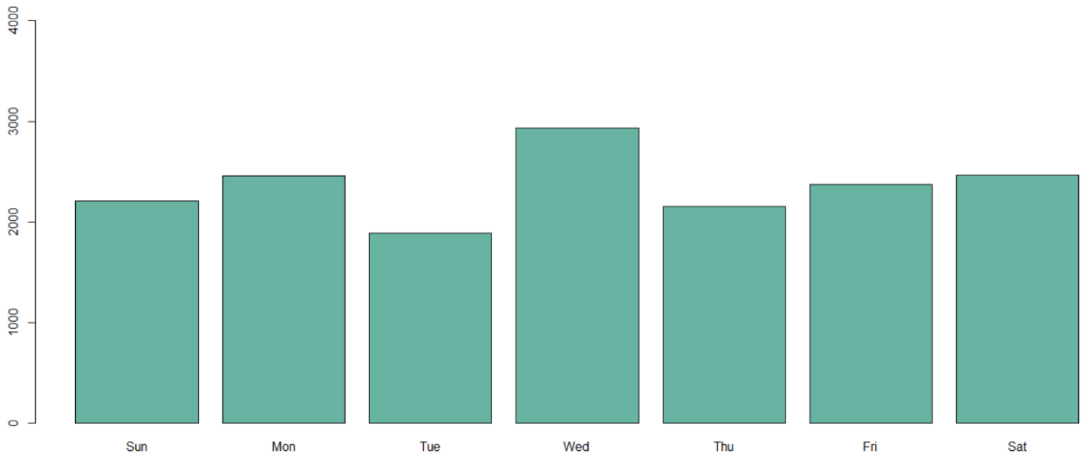
Στο Σχήμα 6.1 παρατηρούμε τις 25 διαφορετικές τοποθεσίες που υπήρχαν στο σύνολο των δεδομένων, και πόσα δευτερόλεπτα διήρκησε η φόρτιση κατά μέσο όρο σε κάθε μια από αυτές για το σύνολο των δεδομένων. Η μεγαλύτερη μέση διάρκεια φόρτισης είναι σε ένα ξενοδοχείο (KavalierHotel) για 255 λεπτά, ακολουθεί ο σταθμός BoschFormula1, και τρίτο είναι ένα εμπορικό κέντρο (PodolianyShopping1) με μέση διάρκεια 95 λεπτά. Παρατηρούμε λοιπόν μεγάλο χρόνο παραμονής για φόρτιση σε ξενοδοχεία, καθώς έχουν συγκριτικά μεγάλες διάρκειες φόρτισης και τα υπόλοιπα VillaMitades, HotelBukovina, LeapolisHotel. Από την άλλη για τα υπόλοιπα εμπορικά κέντρα/καταστήματα δεν παρατηρούμε τόσο μεγάλο μέσο χρόνο παραμονής, με ένα κατάστημα παιχνιδιών και ένα κατάστημα μηχανών να κατέχουν από τις τελευταίες θέσεις για την παραμονή για φόρτιση ΗΟ, διάρκειας περίπου 11-20 λεπτά.



Σχήμα 6. 1 Μέση διάρκεια φόρτισης ανά τοποθεσία

6.3.2 Μέση διάρκεια φόρτισης ανά ημέρα

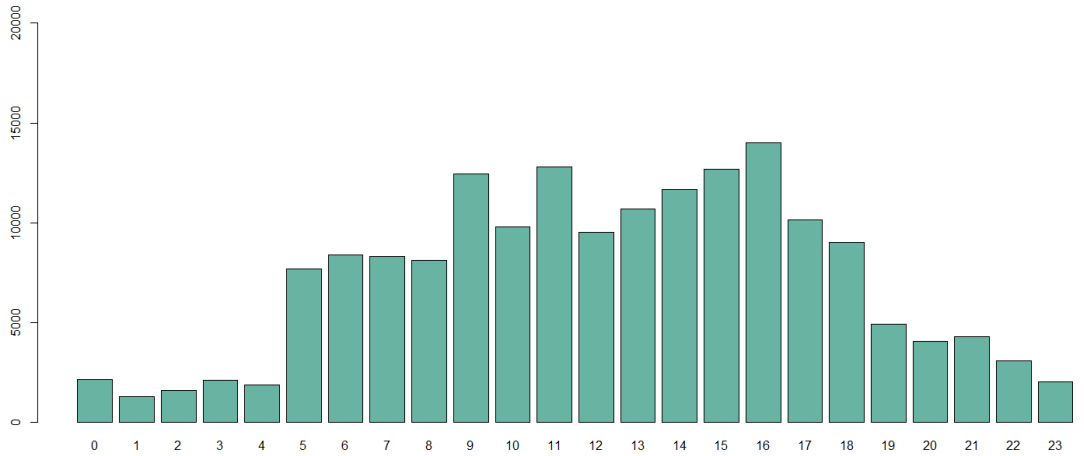
Το Σχήμα 6.2 περιλαμβάνει τη μέση διάρκεια φόρτισης για κάθε ημέρα της εβδομάδας, σε δευτερόλεπτα. Δεν παρατηρούνται αξιοσημείωτες διαφορές είτε στις μεγάλες τιμές μέσης διάρκειας φορτίσεων είτε στις μικρότερες. Συγκεκριμένα, την ημέρα Τετάρτη εμφανίζονται οι φορτίσεις που διαρκούν κατά μέσο όρο 49 λεπτά, και την Τρίτη 31 λεπτά (η μικρότερη διάρκεια).



Σχήμα 6. 2 Μέση διάρκεια φόρτισης ανά ημέρα

6.3.3 Συνολική διάρκεια φόρτισης ανά ώρα άφιξης

Σχετικά με τις ώρες αιχμής, από τα δεδομένα που αναλύθηκαν και το Σχήμα 6.3 είναι εμφανές ότι υπάρχει υψηλή ζήτηση για φόρτιση των ΗΟ την ημέρα (5 π.μ. έως 6 μ.μ.), ενώ τις βραδινές ώρες η ζήτηση διαρκώς μειώνεται. Οι μεγαλύτερες κορυφές για τη συνολική διάρκεια φόρτισης βάσει της ώρας που ξεκινά η φόρτιση παρουσιάζονται τις ώρες 9 π.μ., 11 π.μ., 4 μ.μ. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν σχετικά με τις ώρες αιχμής συμφωνούν σε μεγάλο βαθμό με εκείνα που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια, ως βιβλιογραφικά στοιχεία.

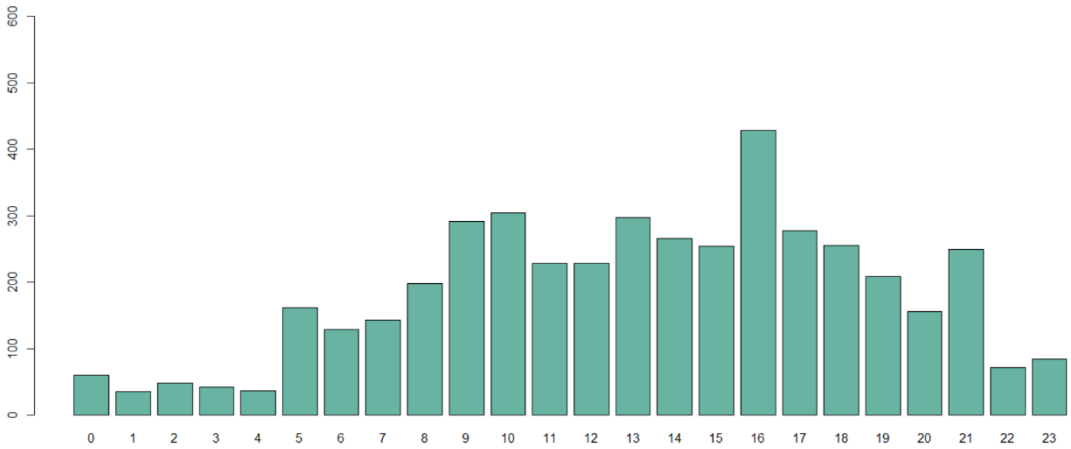


Σχήμα 6. 3 Συνολική διάρκεια φόρτισης ανά ώρα άφιξης

6.3.4 Οδηγοί ΗΟ ανά ώρα

Στο Σχήμα 6.4 διακρίνονται οι συνολικές μοναδικές φορτίσεις (sessions) ή πόσοι οδηγοί φορτίζουν κατά τη διάρκεια μιας ώρας στα πλαίσια ενός 24ώρου. Υπάρχει λιγοστός αριθμός οδηγών που επιλέγουν να φορτίσουν το αυτοκίνητό τους κατά τις βραδινές ώρες έως και τις πρώτες πρωινές ώρες (10 μ.μ. έως 5 π.μ.). Στο διάστημα αυτό

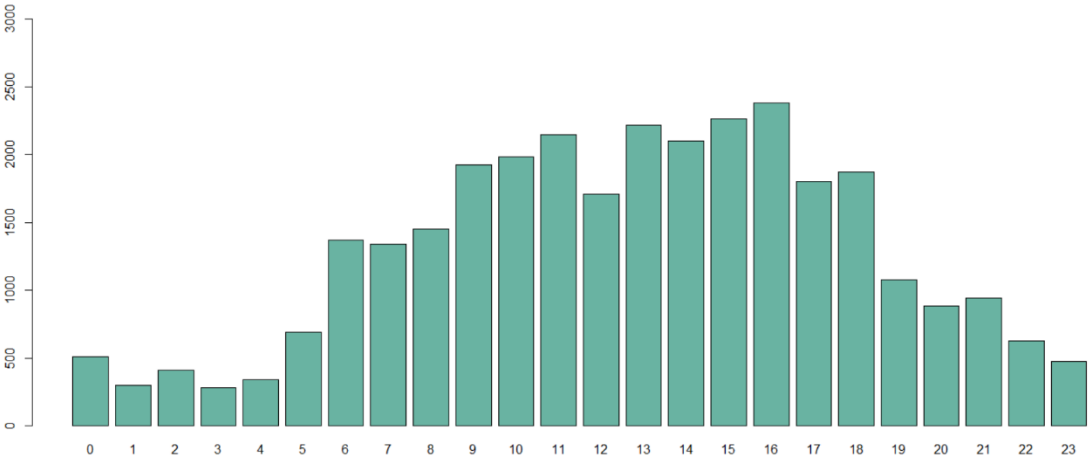
παρατηρούμε συνολικά μόλις 379 φορτίσεις, αρκετά λιγότερες απ΄ όσες πραγματοποιούνται στις 4 μ.μ. το απόγευμα (429) στο διάστημα μόλις μίας ώρας. Το διάστημα 9 π.μ. με 9 μ.μ. είναι η χρονική περίοδος που επιλέγουν οι οδηγοί να φορτίσουν τα οχήματά τους, με τη μέγιστη συρροή να γίνεται στις 4 μ.μ.



Σχήμα 6. 4 Οδηγοί ΗΟ ανά ώρα

6.3.5 Συνολική ενέργεια φόρτισης ανά ώρα

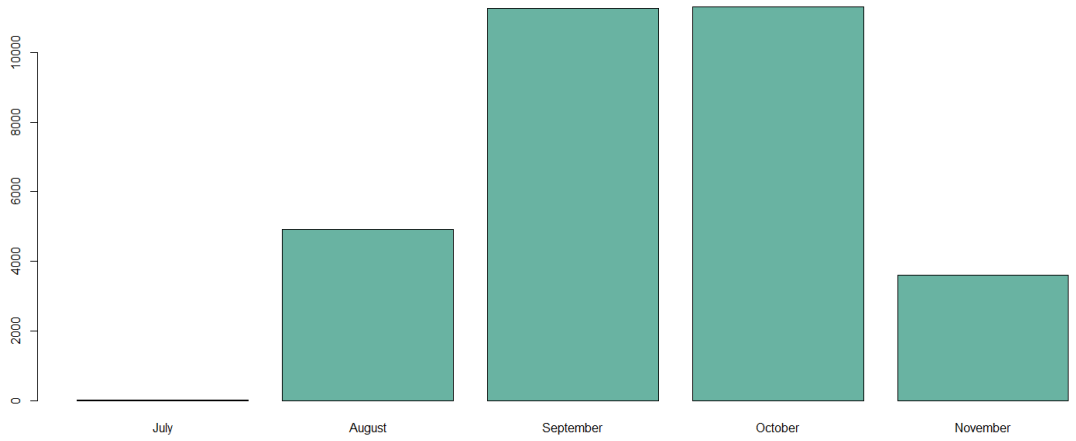
Συγκρίνοντας με το Σχήμα 6.4, το Σχήμα 6.5 παρουσιάζει την αναμενόμενη ομοιότητα ως προς τα αποτελέσματα. Αυτό επειδή, η χαμηλή βραδινή ζήτηση έχει επιφέρει ουσιαστικά και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας από το σύστημα. Παρατηρείται ότι κατά τις εργάσιμες ώρες στις οποίες κινείται η αγορά, ο φόρτος στο σύστημα είναι μεγαλύτερος αφού τα δεδομένα αφορούν στην πλειοψηφία καταστήματα και εταιρείες.



Σχήμα 6. 5 Συνολική ενέργεια φόρτισης ανά ώρα

6.3.6 Συνολική ενέργεια φόρτισης ανά μήνα

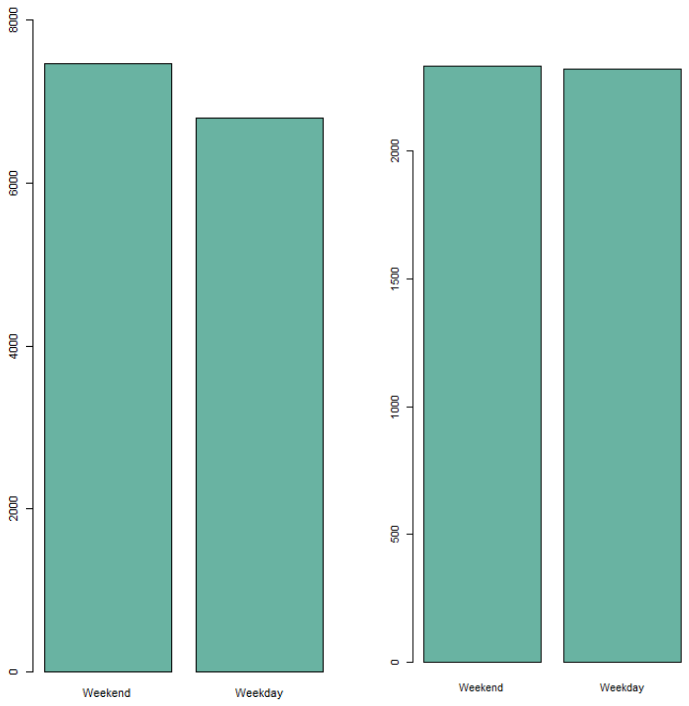
Τα δεδομένα τα οποία αναλύθηκαν, συμπεριελάμβαναν φορτίσεις από την 31η Ιουλίου έως το πρώτο μισό του Νοεμβρίου (Σχήμα 6.6). Τα αποτελέσματα για τους πλήρεις μήνες του Αυγούστου, του Σεπτεμβρίου και του Οκτωβρίου αποτυπώνουν διπλάσια ζήτηση κατά τους φθινοπωρινούς μήνες. Η συμπεριφορά των οδηγών εξηγείται από την πηγή των δεδομένων (καταστήματα, εταιρείες, ξενοδοχεία) και λόγω θερινών αδειών και διακοπών.



Σχήμα 6. 6 Συνολική ενέργεια φόρτισης ανά μήνα

6.3.7 Μέση ενέργεια και μέση διάρκεια φόρτισης για Δε-Πα/Σα-Κυ

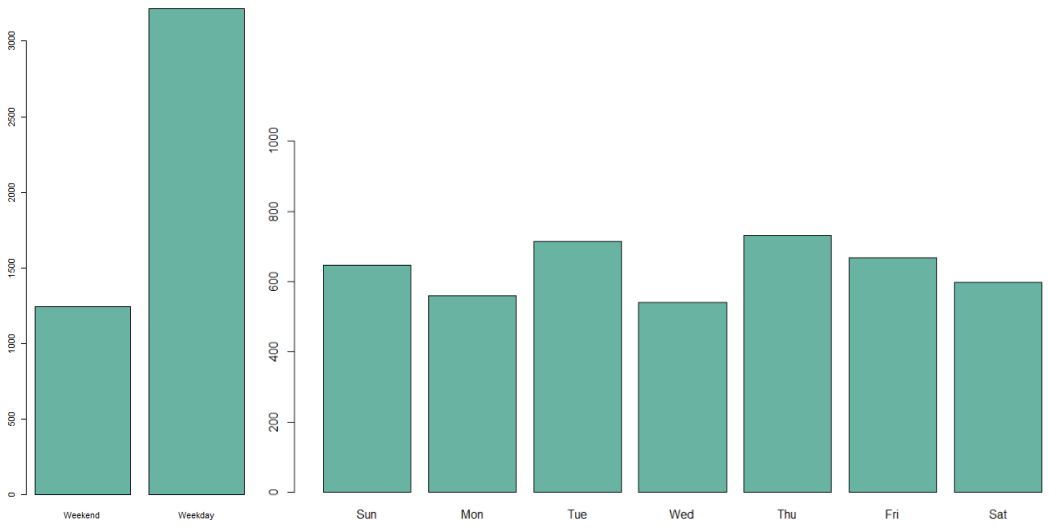
Η ανάλυση των δεδομένων έδειξε ότι ο φόρτος του δικτύου, τόσο ως προς την ενέργεια όσο και ως προς τη διάρκεια, είναι περίπου ίδιος τις καθημερινές και τα Σαββατοκύριακα, παρόλο που θα αναμέναμε να είναι υψηλότερος τις καθημερινές ημέρες, καθώς δεν πρόκειται για οικιακούς φορτιστές αλλά για δημόσιους. Οι δύο περιπτώσεις αποτυπώνονται στο Σχήμα 6.7α και 6.7β αντίστοιχα.



Σχήμα 6. 7 α) Ενέργεια φόρτισης β)Διάρκεια φόρτισης

6.3.8 Οδηγοί ΗΟ για Δε-Πα/Σα-Κυ

Ο αριθμός φορτίσεων ανάμεσα στις εφτά ημέρες της εβδομάδας είναι σταθμισμένος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.8β και για το λόγο αυτό παρατηρούμε μεγάλη διαφορά στην προτίμηση των οδηγών να πραγματοποιούν φορτίσεις στις 5 εργάσιμες ημέρες της εβδομάδας έναντι των δύο ημερών του σαββατοκύριακου (Σχήμα 6.8α).



Σχήμα 6. 8 α)Οδηγοί ΗΟ για Δε-Πα/Σα-Κυ β)Οδηγοί ΗΟ ανά ημέρα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 Συμπεράσματα

Από την διαθέσιμη βιβλιογραφία και τα αποτελέσματα των υπόλοιπων μελετών, το κύριο συμπέρασμα που καταλήγουμε είναι ότι αν και η ανάπτυξη και επέκταση της ηλεκτροκίνησης θα πρέπει να είναι το επόμενο τεχνολογικό βήμα και κατεύθυνση των κρατών, αυτό χρειάζεται προγραμματισμό και καλά σχεδιασμένες κινήσεις.

Παρατηρήσαμε ότι οι υποδομές ακόμα και σε προηγμένες χώρες που ηγούνται της ηλεκτροκίνησης, δεν είναι ικανές να αντέξουν το βάρος μιας έκρηξης πωλήσεων ΗΟ. Η αναβάθμιση των υποδομών στα συστήματα ενέργειας είναι η προφανής λύση αλλά από μόνη της δεν είναι αρκετή. Η πολιτική των επιδοτήσεων και των προνομίων στους κατόχους ΗΟ, θα πρέπει να επεκταθεί και στα μετέπειτα στάδια της κατοχής ενός ΗΟ. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι θα πρέπει να υπάρχει μία ή και περισσότερες στρατηγικές φόρτισης, με τις οποίες η ηλεκτρική υποδομή της εκάστοτε χώρας ή πόλης θα μπορέσει να ανταπεξέλθει στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Μία τέτοια στρατηγική θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν την αντοχή του συστήματος αλλά και την αποδοτικότητα του. Για να γίνει αυτό εφικτό είναι απαραίτητο να δοθούν προνομιακές τιμές στις ώρες που υπάρχει διαθεσιμότητα ισχύος από το σύστημα. Επιπρόσθετα είναι απαραίτητο να ληφθούν στρατηγικές αποφάσεις σχετικά με τα σημεία τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την αναβάθμιση και επέκταση των υποδομών και των φορτιστών. Σημαντικό ρόλο στα παραπάνω αποφάσεις παίζουν τόσο οι γεωγραφικές θέσεις και οι χιλιομετρικές αποστάσεις όσο και το είδος ενδιαφέροντος των σημείων φόρτισης.

Στην περίπτωση της Ουκρανίας που εξετάστηκε, από τα αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι δεν υπάρχει κάποια στρατηγική φόρτισης ή αν υπάρχει τότε αυτή δεν είναι αποδοτική. Κατά τις βραδινές ώρες το σύστημα φαίνεται να υπολειτουργεί καθώς η κατανάλωση ισχύος κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Αντίθετα τις ώρες αιχμής η κατανάλωση βρίσκεται στα υψηλότερα επίπεδα. Με αυτά τα δεδομένα, μια ραγδαία αύξηση των ΗΟ το πιθανότερο είναι να έφτανε το ηλεκτρικό σύστημα στα άκρα ή ακόμα και στην κατάρρευση. Η επιδότηση με χαμηλότερες τιμές ηλεκτρικού ρεύματος τις βραδινές ώρες θα μετρίαζε την πίεση στο σύστημα τις ώρες αιχμής, καθώς θα υπήρχε μικρότερη ανάγκη για φόρτιση εκείνες τις ώρες αν αυτή είχε πραγματοποιηθεί το βράδυ της προηγούμενης ημέρας.

Ένα ακόμα συμπέρασμα το οποίο εξάγουμε από τα δεδομένα της Ουκρανίας που μελετήθηκαν, αφορά το που οι οδηγοί επιλέγουν να φορτίσουν τα οχήματά τους. Το

μεγαλύτερο ποσοστό των φορτίσεων λαμβάνει χώρα σε εργασιακούς χώρους ή σε πολυκαταστήματα. Θα αποτελούσε καλή ιδέα οι εργοδότες αλλά και οι επιχειρηματίες των πόλεων να επενδύσουν στη δημιουργία ενός νέου σταθμού φόρτισης ΗΟ ως παροχή για τους εργαζομένους και τους πελάτες τους αντιστοίχως. Η δημιουργία των συγκεκριμένων σταθμών θα μπορούσε να έχει μερική ή ολική χρηματοδότηση.

Η ανάλυση των δεδομένων και η μελέτη του δικτύου ηλεκτρικών φορτίσεων αλλά και της συμπεριφοράς των οδηγών, θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ανάπτυξη αλγορίθμων για την πρόβλεψη της διαθεσιμότητας, της ζήτησης ενέργειας και του αριθμού των επισκεπτών συναρτήσει της θέσης και της ισχύος του σταθμού, των δημογραφικών χαρακτηριστικών του δήμου εντός του οποίου έχει εγκατασταθεί ο σταθμός και μεταβλητών εποχικότητας.

Μία σωστή στρατηγική φόρτισης με τη σειρά της θα μπορούσε να οδηγήσει σε:

- Ελαχιστοποίηση του κινδύνου κατάρρευσης του ηλεκτρικού συστήματος.
- Υψηλή απόδοση του ηλεκτρικού συστήματος
- Διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας των ΗΟ
- Αύξηση των πωλήσεων των ΗΟ.
- Ισορροπημένο σχεδιασμό του δικτύου φορτιστών

Τα ηλεκτρικά οχήματα (ΗΟ) αποτελούν τεχνολογία αιχμής για την μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές και μια πολλά υποσχόμενη επιλογή για την διαφοροποίηση των πηγών ενέργειας και την μείωση των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Μελλοντικές κινήσεις για επικράτηση των ηλεκτροκινητήρων αποτελούν:

- Αναβάθμιση υποδομών
- Δυνατότητα μετατροπής των συμβατικών αυτοκινήτων σε ηλεκτροκίνητα.
- Κίνητρα για αγορά ΗΟ
- Δημιουργία επαρκούς δικτύου φορτιστών
- Δημιουργία προτύπου για συμβατότητα φορτιστών με όλες τις μάρκες αυτοκινήτων.
- Ενημέρωση πολιτών για τα οφέλη της ηλεκτροκίνησης.

Βιβλιογραφία

Bruce, I., Butcher, N. and Fell, C. (2012) 'Lessons and Insights from Experience of Electric Vehicles in the Community', Electric Vehicle Symposium 26. Los Angeles, CA.

Kang, J.E. and Recker, W.W. (2009) 'An activity-based assessment of the potential impacts of plug-in hybrid electric vehicles on energy and emissions using 1-day travel data', Transportation Research Part D: Transport and Environment, 14(8), pp. 541-556.

Kiviluoma, J. and Meibom, P. (2011) 'Methodology for modelling plug-in electric vehicles in the power system and cost estimates for a system with either smart or dumb electric vehicles', Energy, 36(3), pp. 1758-1767.

Mullan, J., Harries, D., Bräunl, T. and Whitely, S. (2011) 'Modelling the impacts of electric vehicle recharging on the Western Australian electricity supply system', Energy Policy, 39(7), pp. 4349-4359.

Simpson, A., 2006 Cost-benefit Analysis of Plug-in Hybrid Electric Vehicle Technology, National Renewable Energy Laboratory, Golden.

Stern, N. (2006) *Stern Review on the Economics of Climate Change*

Wang, J., Liu, C., Ton, D., Zhou, Y., Kim, J. and Vyas, A. (2011) 'Impact of plug-in hybrid electric vehicles on power systems with demand response and wind power', Energy Policy, 39(7), pp. 4016-4021.

Weiller, C. (2011) 'Plug-in hybrid electric vehicle impacts on hourly electricity demand in the United States', Energy Policy, 39(6), pp. 3766-3778.

Marco Giacomo Flamminia,c,∗, Giuseppe Pretticoa, Andreea Juleab, Gianluca Fullia,

Andrea Mazzac, Gianfranco Chiccoc Statistical characterisation of the real transaction data gathered from electric vehicle charging stations Electric Power Systems Research 166 (2019) 136–150

Kim Insights into residential EV charging behavior using energy meter data, Energy Policy 129 (2019) 610–618

Sioshansi R. and Paul Denholm P.,2009. Emissions Impacts and Benefits of Plug-In Hybrid Electric Vehicles and Vehicle-to-Grid Services. Environmental Science & Technology.

Kim, J., Rahimi, M., 2014. Future energy loads for a large-scale adoption of electric vehicles in the city of Los Angeles: impacts on greenhouse gas (GHG) emissions. Energy Policy 73, 620–630.

Stephen Schey 1,Don Scoffield 2 andJohn Smart 2,* A First Look at the Impact of Electric Vehicle Charging on the Electric Grid in The EV Project. *World Electr. Veh. J.* 2012, *5*(3), 667-678.