



## **ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος,  
Πολυτεχνειούπολη, Χανιά 73100

### **«Έξυπνη στρατηγική φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων για την βελτιστοποίηση κόστους ενέργειας σε μικροδίκτυο»**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΤΗΣ  
ΜΑΡΑΓΚΟΥ ΑΝΤΩΝΙΑΣ**

#### **ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ :**

Καθηγήτρια Κολοκοτσά Διονυσία (επιβλέπουσα)

Καθηγητής Τσούτσος Θεοχάρης

Δρ Καμπέλης Νικόλαος

***ΧΑΝΙΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ, 2021***

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το 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 Πολυτεχνείου Κρήτης.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία συγκρίνονται δύο διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων με στόχο την μείωση του κόστους ενέργειας σε μικροδίκτυο διασυνδεδεμένο με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Η πρώτη στρατηγική είναι η απλή, άμεση φόρτιση που λαμβάνει χώρα χωρίς κάποιον έλεγχο ενώ η δεύτερη είναι η έξυπνη στρατηγική στην οποία τα οχήματα συνδέονται με το δίκτυο με στόχο την φόρτισή τους όταν το κόστος κατανάλωσης ενέργειας είναι μικρότερο. Η μελέτη περίπτωσης βασίζεται σε δεδομένα από την εγκατάσταση Leaf Community του ομίλου Loccioni στην Ιταλία για το έτος 2020 και αφορά στην φόρτιση 100 οχημάτων με τιμολόγηση Time Of Use. Η μοντελοποίηση και προσομοίωση γίνεται με χρήση του λογισμικού Homer Grid έκδοσης 1.8.7.

## **ABSTRACT**

This thesis compares two different charging strategies of electric vehicles in order to reduce cost of energy in a microgrid interconnected to the electricity grid. The first strategy is about dumb, firm charging that takes place without any charging control while the second one is the smart strategy in which vehicles are connected to the grid with the aim of charging when the cost of energy consumption is lower. The case study is based on data from the Leaf Community of the Loccioni group in Italy for the year 2020 and refers to the charging of 100 electric vehicles with Time Of Use tariff. Homer Grid version 1.8.7 is used for the modeling and simulation process.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με αφορμή την ολοκλήρωση των προπτυχιακών σπουδών μου στην σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς όλους όσους συντέλεσαν στην επίτευξη αυτού του στόχου.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την επιβλέπουσα καθηγήτρια Διονυσία Κολοκοτσά για την ευκαιρία να συνεργαστώ μαζί της σε ένα θέμα που βρήκα πολύ ενδιαφέρον από την αρχή. Η καθοδήγηση και τα σχόλια της φάνηκαν πολύ χρήσιμα για την εκπλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας και η ίδια αποτέλεσε πηγή έμπνευσης για εμένα.

Επίσης θα ήθελα να εκφράσω την αμέριστη ευγνωμοσύνη μου στον Δρ. Καμπέλη Νικόλαο για την πολύτιμη βοήθεια, καθοδήγηση και στήριξη που μου πρόσφερε καθ' όλη την διάρκεια της συνεργασίας μας. Η υπομονή του ήταν αξιοθαύμαστη όλον αυτόν τον καιρό και θα ήταν τιμή μου να συνεργαστούμε στο μέλλον.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Τσούτσο Θεοχάρη για την συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή και τον χρόνο που διέθεσε προκειμένου να μελετήσει την εργασία μου, αλλά και για τις συμβουλές του σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου .

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους που μου στάθηκαν όλον αυτόν τον καιρό.

Τέλος οφείλω το μεγαλύτερο ευχαριστώ στην οικογένεια μου για την στήριξη, την υπομονή και την αγάπη που μου δείχνουν όλα αυτά τα χρόνια και με ωθούν να γίνομαι καλύτερη.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

|  |    |
|--|----|
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....                                    | 7  |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....                                   | 7  |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....                                    | 8  |
| 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....   | 11 |
| 1.1 ΣΚΟΠΟΣ .....   | 12 |
| 1.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....                                       | 12 |
| 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ .....                | 13 |
| 2.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ.....                              | 13 |
| 2.1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....                               | 13 |
| 2.1.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO <sub>2</sub> ..... | 16 |
| 2.1.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....                  | 18 |
| 2.1.3.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ ΜΕ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΗ (BEV).....           | 18 |
| 2.1.3.2 ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ (HEV).....                | 18 |
| 2.1.3.3. PLUG-IN ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ (PHEV).....      | 18 |
| 2.1.3.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (FCEV).....       | 19 |
| 2.2 ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ.....                                       | 19 |
| 2.2.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ.....                    | 19 |
| 2.2.2 ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ.....                 | 19 |
| 2.2.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ .....                          | 20 |
| 2.2.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ .....                            | 21 |
| 2.3 ΦΟΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....                       | 21 |
| 2.3.1 ΕΙΔΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ .....                                  | 21 |
| 2.3.1.1 ΑΓΩΓΙΜΗ ΦΟΡΤΙΣΗ.....                               | 22 |
| 2.3.1.2 ΕΠΑΓΩΓΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ .....                            | 22 |
| 2.3.2 ΣΤΑΘΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΗΣ .....                               | 24 |
| 2.3.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ .....                            | 25 |
| 2.3.3.1 ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ .....                             | 25 |
| 2.3.3.2 ΓΡΗΓΟΡΗ ΦΟΡΤΙΣΗ.....                               | 26 |
| 2.3.3.3 ΤΑΧΕΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗ .....                               | 26 |
| 2.3.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΦΟΡΤΙΣΗΣ .....                               | 26 |
| 2.3.4.1 ΜΕΘΟΔΟΣ 1 .....                                    | 26 |
| 2.3.4.2 ΜΕΘΟΔΟΣ 2.....                                     | 27 |
| 2.3.4.3 ΜΕΘΟΔΟΣ 3.....                                     | 27 |
| 2.3.4.4 ΜΕΘΟΔΟΣ 4.....                                     | 28 |
| 2.3.5 ΑΚΡΟΣΥΝΔΕΣΜΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ .....             | 29 |
| 2.3.5.1 ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΕ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ.....                | 29 |

|  |    |
|--|----|
| 2.3.5.1.1 ΑΚΡΟΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΤΥΠΟΥ 1 .....                          | 29 |
| 2.3.5.1.2 ΑΚΡΟΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΤΥΠΟΥ 2 .....                          | 30 |
| 2.3.5.1.3 ΑΚΡΟΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΤΥΠΟΥ 3 .....                          | 30 |
| 2.3.5.2 ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΕ ΣΥΝΕΧΕΣ ΡΕΥΜΑ.....                          | 31 |
| 2.3.5.2.1 ΠΡΟΤΥΠΟ CHAdeMO.....                                 | 31 |
| 2.3.5.2.2 ΠΡΟΤΥΠΟ CCS (Combo) .....                            | 32 |
| 2.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ.....                                      | 32 |
| 2.4.1 ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ.....                                       | 34 |
| 2.4.2 ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ .....  | 35 |
| 2.5 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ .....        | 35 |
| 2.5.1 ΜΟΝΟΔΡΟΜΗ ΦΟΡΤΙΣΗ (V1G).....                             | 36 |
| 2.5.2 ΑΜΦΙΔΡΟΜΗ ΦΟΡΤΙΣΗ (V2G).....                             | 36 |
| 2.5.3 ΕΞΥΠΝΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΚΑΙ ΑΠΕ .....                             | 37 |
| 2.5.4 V2G ΚΑΙ PEAK SHAVING .....                               | 38 |
| 2.5.5 V2G ΚΑΙ VALLEY FILLING.....                              | 38 |
| 2.5.6 V2G ΣΥΣΤΗΜΑ ΧΩΡΙΣ ΤΗΝ ΥΠΑΡΞΗ AGGREGATOR .....            | 38 |
| 2.5.7 V2G ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΤΗΝ ΥΠΑΡΞΗ AGGREGATOR .....               | 39 |
| 2.5.8 V2G ΚΑΙ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ .....                                  | 39 |
| 2.5.9 V2G ΔΙΚΤΥΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ .....                             | 40 |
| 3. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ .....                                     | 44 |
| 4. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ .....                            | 46 |
| 5. ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....                                   | 49 |
| 5.1 ΚΑΘΑΡΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ.....                               | 49 |
| 5.2 ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....                         | 51 |
| 5.3 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....                     | 52 |
| 5.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ .....                   | 53 |
| 5.5 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ .....                                 | 57 |
| 6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....                              | 57 |
| 6.1 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΕΞΥΠΝΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ .....                          | 57 |
| 6.2 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΑΜΕΣΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ .....                           | 67 |
| 6.3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΑΜΕΣΗΣ ΚΑΙ ΕΞΥΠΝΗΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ . | 74 |
| 6.4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....                  | 80 |
| 6.5 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....                               | 80 |
| 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ.....                | 81 |
| 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....  | 82 |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

|  |    |
|--|----|
| Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά φόρτισης μονοφασικής σύνδεσης AC παροχής .....           | 24 |
| Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά φόρτισης τριφασικής σύνδεσης AC παροχής.....             | 25 |
| Πίνακας 3: Δεδομένα πιλοτικών κτηρίων στην Leaf Community.....                     | 46 |
| Πίνακας 4: Κατανομή πληθυσμού ηλεκτρικών οχημάτων για το μοντέλο προσομοίωσης..... | 53 |
| Πίνακας 5: Δεδομένα φόρτισης οχημάτων .....  | 57 |
| Πίνακας 6: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων σύμφωνα με το Homer Grid ..        | 80 |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

|   |    |
|---|----|
| Σχήμα 1: Ισχύς καθαρού ηλεκτρικού φορτίου, κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων και συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο στις 8 Ιανουαρίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης .....                            | 58 |
| Σχήμα 2: Ισχύς παραγόμενης ενέργειας, καταναλισκόμενης ενέργειας και της τελικής ενέργειας (καθαρό φορτίο) για τις 8 Ιανουαρίου .....   | 59 |
| Σχήμα 3: Ισχύς καθαρού φορτίου, κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων και συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο κατά το διάστημα 8-12 Ιανουαρίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης .....                        | 60 |
| Σχήμα 4: Ισχύς καθαρού ηλεκτρικού φορτίου, κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων και συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο στις 25 Ιουνίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης .....                              | 61 |
| Σχήμα 5: Ισχύς παραγόμενης ενέργειας, καταναλισκόμενης ενέργειας και της τελικής ενέργειας (καθαρό φορτίο) για τις 25 Ιουνίου .....   | 62 |
| Σχήμα 6: Ισχύς καθαρού ηλεκτρικού φορτίου, κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων και συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο κατά το διάστημα 25 -28 Ιουνίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης.....               | 63 |
| Σχήμα 7: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων, κατανάλωσης συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας και κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο στις 8 Ιανουαρίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης .....               | 64 |
| Σχήμα 8: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων, κατανάλωσης συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας και κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο κατά το διάστημα 8-12 Ιανουαρίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης..... | 65 |
| Σχήμα 9: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων, κατανάλωσης συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας και κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο στις 25 Ιουνίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης .....                 | 66 |
| Σχήμα 10: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων, κατανάλωσης συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας και κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο κατά το διάστημα 25-28 Ιουνίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης ..... | 67 |
| Σχήμα 11: Ισχύς καθαρού φορτίου, κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων και συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο στις 8 Ιανουαρίου για την στρατηγική άμεσης φόρτισης.....  | 68 |
| Σχήμα 12: Ισχύς καθαρού ηλεκτρικού φορτίου, κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων και συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο κατά το διάστημα 8-12 Ιανουαρίου για την στρατηγική άμεσης φόρτισης .....             | 69 |
| Σχήμα 13: Ισχύς καθαρού φορτίου, κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων και συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο στις 25 Ιουνίου για την στρατηγική άμεσης φόρτισης .....   | 70 |

|  |    |
|--|----|
| Σχήμα 14: Ισχύς καθαρού ηλεκτρικού φορτίου, κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων και συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο κατά το διάστημα 25-28 Ιουνίου για την στρατηγική άμεσης φόρτισης .....                      | 71 |
| Σχήμα 15: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων, κατανάλωσης συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας και κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο στις 8 Ιανουαρίου για την στρατηγική άμεσης φόρτισης.....                       | 71 |
| Σχήμα 16: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων, κατανάλωσης συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας και κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο κατά το διάστημα 8- 12 Ιανουαρίου για την στρατηγική άμεσης φόρτισης .....      | 72 |
| Σχήμα 17: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων, κατανάλωσης συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας και κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο στις 8 Ιανουαρίου για την στρατηγική άμεσης φόρτισης.....                       | 73 |
| Σχήμα 18: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων, κατανάλωσης συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας και κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο κατά το διάστημα 25- 28 Ιουνίου για την στρατηγική άμεσης φόρτισης.....         | 73 |
| Σχήμα 19: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων σε σχέση με τον χρόνο στις 8 Ιανουαρίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης και την στρατηγική άμεσης φόρτισης.....   | 74 |
| Σχήμα 20: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων σε σχέση με τον χρόνο κατά το διάστημα 8-12 Ιανουαρίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης και την στρατηγική άμεσης φόρτισης .....   | 75 |
| Σχήμα 21: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων σε σχέση με τον χρόνο στις 25 Ιουνίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης και την στρατηγική άμεσης φόρτισης .....  | 76 |
| Σχήμα 22: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων σε σχέση με τον χρόνο κατά το διάστημα 25-28 Ιουνίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης και την στρατηγική άμεσης φόρτισης .....   | 77 |
| Σχήμα 23: Ισχύς καθαρού φορτίου, κατανάλωσης λόγω έξυπνης φόρτισης, κατανάλωσης λόγω άμεσης φόρτισης και συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης για την έξυπνη και άμεση φόρτιση σε σχέση με το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για τις 8 Ιανουαρίου ..... | 78 |
| Σχήμα 24: Ισχύς καθαρού φορτίου, κατανάλωσης λόγω έξυπνης φόρτισης, κατανάλωσης λόγω άμεσης φόρτισης και συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης για την έξυπνη και άμεση φόρτιση σε σχέση με το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για τις 25 Ιουνίου.....    | 79 |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

|   |    |
|---|----|
| Εικόνα 1: (1895) ο Thomas Edison ποζάρει με το πρώτο του ηλεκτρικό αυτοκίνητο, το Edison Baker και μία από τις μπαταρίες του. [πηγή: General Photographic Agency/Getty Images].....   | 14 |
| Εικόνα 2: (1912) Γυναίκα χρησιμοποιεί έναν χειροκίνητο φορτιστή μπαταρίας για να φορτίσει το ηλεκτρικό της αυτοκίνητο Columbia Mark 68 Victoria. [πηγή: Schenectady Museum; Hall of Electrical History Foundation/CORBIS].....  | 14 |
| Εικόνα 3: Η εξέλιξη του παγκόσμιου ηλεκτρικού στόλου [πηγή: <a href="https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021">https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021</a> ] .....   | 15 |
| Εικόνα 4: Εκπομπές αέριων θερμοκηπίου ανά τομέα στην ΕΕ το δεύτερο μισό του 2019 [πηγή: <a href="https://www.acea.auto/files/ACEA_preliminary_CO2_baseline_heavy-duty_vehicles.pdf">https://www.acea.auto/files/ACEA_preliminary_CO2_baseline_heavy-duty_vehicles.pdf</a> ] ..... | 17 |



|  |    |
|--|----|
| Εικόνα 5: Κατηγορίες ηλεκτρικών οχημάτων [πηγή:<br><a href="https://www.tosynergeio.gr/autokinisi/yvridika-ilektrika-oximata/electric-vehicles-with-hydrogen-energy-batteries-or-batterieswhich-technology-is-better">https://www.tosynergeio.gr/autokinisi/yvridika-ilektrika-oximata/electric-vehicles-with-hydrogen-energy-batteries-or-batterieswhich-technology-is-better</a> ] | 19 |
| Εικόνα 6: Διάταξη μπαταρίας [πηγή:<br><a href="https://www.tosynergeio.gr/index.php?option=com_k2&amp;view=item&amp;id=839:batteries-dc">https://www.tosynergeio.gr/index.php?option=com_k2&amp;view=item&amp;id=839:batteries-dc</a> ]  | 20 |
| Εικόνα 7: Πορεία ηλεκτρονίων κατά την εκφόρτιση μπαταρίας  | 21 |
| Εικόνα 8: Πορεία ηλεκτρονίων κατά την φόρτιση μπαταρίας  | 21 |
| Εικόνα 9: Επαγωγική στατική φόρτιση [πηγή:<br><a href="https://www.caradvice.com.au/864313/wireless-electric-car-charging-lumen-freedom/">https://www.caradvice.com.au/864313/wireless-electric-car-charging-lumen-freedom/</a> ]  | 22 |
| Εικόνα 10: Σύστημα single- box 11 kW για ασύρματη φόρτιση [πηγή:<br><a href="https://www.caradvice.com.au/864313/wireless-electric-car-charging-lumen-freedom/">https://www.caradvice.com.au/864313/wireless-electric-car-charging-lumen-freedom/</a> ]  | 23 |
| Εικόνα 11: Smartroad Gotland [πηγή: <a href="https://insideevs.com/news/481997/electreon-completes-dynamic-wireless-charging-road-trucks/">https://insideevs.com/news/481997/electreon-completes-dynamic-wireless-charging-road-trucks/</a> ]  | 24 |
| Εικόνα 12: Πρίζα schuko Green' up Access βαρέως τύπου (Legrand) [πηγή:<br><a href="https://www.legrand.gr/">https://www.legrand.gr/</a> ]  | 25 |
| Εικόνα 13: 1η μέθοδος φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων [πηγή:<br><a href="http://www.hrvojepandzic.com/wp-content/uploads/2019/09/Lecture_4_EVs.pdf">http://www.hrvojepandzic.com/wp-content/uploads/2019/09/Lecture_4_EVs.pdf</a> ]   | 27 |
| Εικόνα 14: 2η μέθοδος φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων [πηγή:<br><a href="http://www.hrvojepandzic.com/wp-content/uploads/2019/09/Lecture_4_EVs.pdf">http://www.hrvojepandzic.com/wp-content/uploads/2019/09/Lecture_4_EVs.pdf</a> ]   | 27 |
| Εικόνα 15: 3η μέθοδος φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων με μόνιμα συνδεδεμένο καλώδιο [πηγή: <a href="http://www.hrvojepandzic.com/wp-content/uploads/2019/09/Lecture_4_EVs.pdf">http://www.hrvojepandzic.com/wp-content/uploads/2019/09/Lecture_4_EVs.pdf</a> ]  | 28 |
| Εικόνα 16: 3η μέθοδος φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων με αποσπώμενο καλώδιο [πηγή: <a href="http://www.hrvojepandzic.com/wp-content/uploads/2019/09/Lecture_4_EVs.pdf">http://www.hrvojepandzic.com/wp-content/uploads/2019/09/Lecture_4_EVs.pdf</a> ]  | 28 |
| Εικόνα 17: 4η μέθοδος φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων [πηγή:<br><a href="http://www.hrvojepandzic.com/wp-content/uploads/2019/09/Lecture_4_EVs.pdf">http://www.hrvojepandzic.com/wp-content/uploads/2019/09/Lecture_4_EVs.pdf</a> ]   | 29 |
| Εικόνα 18: Ακροσύνδεσμος Τύπου 1   | 30 |
| Εικόνα 19: Ακροσύνδεσμος Τύπου 2   | 30 |
| Εικόνα 20: Ακροσύνδεσμος Τύπου 3 [πηγή: <a href="https://www.evchargeking.com/en/t3-charging-cables-for-france">https://www.evchargeking.com/en/t3-charging-cables-for-france</a> ]  | 31 |
| Εικόνα 21: Ακροσύνδεσμος CHAdeMO [πηγή:<br><a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CHAdeMO_connector-side_oblique-alpha_PNr%C2%B00522b.png">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CHAdeMO_connector-side_oblique-alpha_PNr%C2%B00522b.png</a> ]   | 31 |
| Εικόνα 22: Σύγκριση μεταξύ των ακροσυνδέσμων Combo 2 και Τύπου 2 [πηγή:<br><a href="https://en.wikipedia.org/wiki/File:lec-type2-ccs-combo2-and-iec-type2-charging-connectors-side-by-side.jpg">https://en.wikipedia.org/wiki/File:lec-type2-ccs-combo2-and-iec-type2-charging-connectors-side-by-side.jpg</a> ]   | 32 |
| Εικόνα 23: Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και οι επιμέρους φάσεις [πηγή:<br><a href="https://slideplayer.gr/slide/2024285/">https://slideplayer.gr/slide/2024285/</a> ]   | 34 |
| Εικόνα 24: Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας από την παραγωγή στην κατανάλωση [πηγή: <a href="https://www.deddie.gr/el/deddie/to-diktuo-ilektrismou/">https://www.deddie.gr/el/deddie/to-diktuo-ilektrismou/</a> ]   | 34 |
| Εικόνα 25: V2G δίκτυα παγκοσμίως [πηγή: <a href="https://www.v2g-hub.com/insights/map#graphs">https://www.v2g-hub.com/insights/map#graphs</a> ]  | 40 |
| Εικόνα 26: Δίκτυο V2G, Mirafiori, Torino [πηγή: <a href="https://www.media.fcaemea.com/gr-el/corporate-communications/press/fca-e-mobility-v2g">https://www.media.fcaemea.com/gr-el/corporate-communications/press/fca-e-mobility-v2g</a> ]  | 41 |
| Εικόνα 27: Συνεργασία EON και Nissan για V2G δίκτυο [πηγή:<br><a href="http://www.topspeed.gr/2020/08/nissan-eon-v2g.html">http://www.topspeed.gr/2020/08/nissan-eon-v2g.html</a> ]  | 42 |

|  |    |
|--|----|
| Εικόνα 28: Η Nissan, η Enel και η Nuve δημιουργούν τον πρώτο ολοκληρωμένο εμπορικό κόμβο V2G στην Δανία [πηγή: <a href="https://insideevs.com/news/330896/nissan-and-enel-launches-worlds-first-commercial-v2g-hub-in-denmark/">https://insideevs.com/news/330896/nissan-and-enel-launches-worlds-first-commercial-v2g-hub-in-denmark/</a> ] ..... | 43 |
| Εικόνα 29: Leaf Community [πηγή: <a href="https://www.friendsfortheearth.com/leaf-community-the-first-eco-sustainable-community-in-italy-the-loccioni-company-created-it/">https://www.friendsfortheearth.com/leaf-community-the-first-eco-sustainable-community-in-italy-the-loccioni-company-created-it/</a> ] .....                             | 44 |
| Εικόνα 30: Ο χάρτης της Leaf Community [πηγή: <a href="https://dias.library.tuc.gr/view/85450">https://dias.library.tuc.gr/view/85450</a> ] .....  | 45 |
| Εικόνα 31: Leaf Lab .....  | 45 |
| Εικόνα 32: Σχηματική απεικόνιση προσομοίωσης στο Homer Grid .....  | 49 |
| Εικόνα 33: Ετήσιο προφίλ της ισχύος ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο όπως απεικονίζεται από το λογισμικό Homer Grid .....  | 50 |
| Εικόνα 34: Τιμολόγηση κόστους ενέργειας .....  | 51 |
| Εικόνα 35: Χρέωση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο όπως απεικονίζεται από το λογισμικό Homer Grid .....  | 51 |
| Εικόνα 36: Τα 10 δημοφιλέστερα σε πωλήσεις αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα στην Ιταλία 2020 [πηγή: <a href="http://www.opportunityenergy.org/?attachment_id=3250">http://www.opportunityenergy.org/?attachment_id=3250</a> ] .....  | 52 |
| Εικόνα 37: Renault Zoe ZE50 R110 [πηγή: <a href="https://ev-database.org/car/1164/Renault-Zoe-ZE50-R110">https://ev-database.org/car/1164/Renault-Zoe-ZE50-R110</a> ] .....  | 53 |
| Εικόνα 38: Χαρακτηριστικά μπαταρίας και φόρτισης Renault Zoe ZE50 R110 [πηγή: <a href="https://ev-database.org/car/1164/Renault-Zoe-ZE50-R110">https://ev-database.org/car/1164/Renault-Zoe-ZE50-R110</a> ] .....  | 53 |
| Εικόνα 39: Smart EQ fortwo coupe [πηγή: <a href="https://ev-database.org/car/1230/Smart-EQ-fortwo-coupe">https://ev-database.org/car/1230/Smart-EQ-fortwo-coupe</a> ] .....  | 54 |
| Εικόνα 40: Χαρακτηριστικά μπαταρίας και φόρτισης Smart EQ fortwo coupe με on-board φορτιστή 4.6 kW [πηγή: <a href="https://ev-database.org/car/1230/Smart-EQ-fortwo-coupe">https://ev-database.org/car/1230/Smart-EQ-fortwo-coupe</a> ] .....  | 54 |
| Εικόνα 41: Χαρακτηριστικά μπαταρίας και φόρτισης Smart EQ fortwo coupe με on-board φορτιστή 22 kW [πηγή: <a href="https://ev-database.org/car/1230/Smart-EQ-fortwo-coupe">https://ev-database.org/car/1230/Smart-EQ-fortwo-coupe</a> ] .....   | 54 |
| Εικόνα 42: Tesla model 3 Standard range Plus [πηγή: <a href="https://ev-database.org/car/1320/Tesla-Model-3-Standard-Range-Plus-LFP">https://ev-database.org/car/1320/Tesla-Model-3-Standard-Range-Plus-LFP</a> ] .....  | 55 |
| Εικόνα 43: Χαρακτηριστικά μπαταρίας και φόρτισης Tesla model 3 Standard range Plus [πηγή: <a href="https://ev-database.org/car/1320/Tesla-Model-3-Standard-Range-Plus-LFP">https://ev-database.org/car/1320/Tesla-Model-3-Standard-Range-Plus-LFP</a> ] .....  | 55 |
| Εικόνα 44: Volkswagen e-up! [πηγή: <a href="https://ev-database.org/car/1189/Volkswagen-e-Up">https://ev-database.org/car/1189/Volkswagen-e-Up</a> ] .....   | 55 |
| Εικόνα 45: Χαρακτηριστικά μπαταρίας και φόρτισης Volkswagen e-up! [πηγή: <a href="https://ev-database.org/car/1189/Volkswagen-e-Up">https://ev-database.org/car/1189/Volkswagen-e-Up</a> ] .....   | 56 |
| Εικόνα 46: Fiat 500e Hatchback 42 kWh [πηγή: <a href="https://ev-database.org/car/1285/Fiat-500e-Hatchback-42-kWh">https://ev-database.org/car/1285/Fiat-500e-Hatchback-42-kWh</a> ] .....   | 56 |
| Εικόνα 47: Χαρακτηριστικά μπαταρίας και φόρτισης Fiat 500e Hatchback 42 kWh [πηγή: <a href="https://ev-database.org/car/1285/Fiat-500e-Hatchback-42-kWh">https://ev-database.org/car/1285/Fiat-500e-Hatchback-42-kWh</a> ] .....   | 56 |

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί περιβαλλοντικό ζήτημα μείζονος σημασίας για την διεθνή κοινότητα. Ο τομέας των μεταφορών συγκεκριμένα ευθύνεται για ένα σημαντικό κομμάτι της παραγωγής εκπομπών αερίων θερμοκηπίου εξαιτίας της μεγάλης κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων. Γεγονός είναι ότι το 2018 οι παγκόσμιες εκπομπές CO<sub>2</sub> ανήλθαν στους 36.4 δισεκατομμύρια τόνους [1] εκ των οποίων το 22% προήλθε από τις μεταφορές [2]. Ειδικότερα στον τομέα των μεταφορών, η μεγαλύτερη παραγωγή εκπομπών CO<sub>2</sub> οφείλεται στις οδικές μεταφορές με ποσοστό που ξεπερνά το 68% [2]. Παράλληλα, η Ευρωπαϊκή Ένωση στοχεύει στην κλιματική ουδετερότητα έως το 2050, την επίτευξη δηλαδή μηδενικών καθαρών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [3]. Είναι λοιπόν σαφές ότι είναι απαραίτητη η στροφή προς έναν πιο βιώσιμο τρόπο μεταφορών και η ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης μπορεί να συμβάλει δραστικά στην απανθρακοποίηση τους.

Οι πωλήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων αυξάνονται με ταχείς ρυθμούς. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αύξηση κατά 41% στις νέες ταξινομήσεις ηλεκτρικών οχημάτων το 2020 συγκριτικά με το 2019 [4]. Η άνοδος όμως της ηλεκτρικής κινητικότητας αναμένεται να επηρεάσει την ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Υπολογίζεται ότι το 2050 με μερίδιο αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων της τάξης του 80% στην ΕΕ, το ποσοστό ηλεκτρικής κατανάλωσης για την φόρτιση των οχημάτων ενδέχεται να φτάσει το 9.5% συγκριτικά με το 0.03% που σημειώθηκε το 2014 [5]. Συνεπώς η ικανότητα του ηλεκτρικού δικτύου να καλύπτει τις ανάγκες των καταναλωτών θα αποτελέσει πρόκληση τα επόμενα χρόνια.

Την ίδια στιγμή όμως τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να προσφέρουν λύσεις για την καλύτερη διαχείριση της ενέργειας. Τα έξυπνα δίκτυα είναι ικανά να ενσωματώσουν τα ηλεκτρικά οχήματα εκμεταλλευόμενα την δυνατότητα για αμφίδρομη ροή ενέργειας μεταξύ καταναλωτών και παραγωγών (V2G). Επιπλέον με την αναβάθμιση των δικτύων είναι δυνατή και η μεγαλύτερη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που θα μπορούσε να συμβάλλει δραστικά στην απανθρακοποίηση της παραγωγής ενέργειας και την μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.

Εκτός από τις δυνατότητες που παρέχει η αμφίδρομη ροή ενέργειας, η έξυπνη στρατηγική φόρτισης (smart charging) μπορεί επίσης να συντελέσει στην εξισορρόπηση της καμπύλης ζήτησης ενέργειας. Η τιμολόγηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να διαμορφώνεται βάσει δυναμικών προγραμμάτων που στοχεύουν στην μείωση της ζήτησης κατά τις ώρες αιχμής. Δυναμική τιμολόγηση θεωρείται η δυνατότητα που δίνεται από τον πάροχο στον καταναλωτή να τιμολογείται διαφορετικά κατά την διάρκεια της ημέρας. Ένα παράδειγμα δυναμικής τιμολόγησης είναι το «Time Of Use» το οποίο βασίζεται στον χρόνο χρήσης ηλεκτρικού ρεύματος. Για το συγκεκριμένο είδος τιμολόγησης ορίζονται κάποια διαστήματα μέσα στην ημέρα, οι λεγόμενες ώρες αιχμής ζήτησης, κατά την διάρκεια των οποίων το κόστος κατανάλωσης ενέργειας είναι υψηλότερο ενώ εκτός αυτών αρκετά χαμηλότερο [6]. Έτσι ενθαρρύνονται οι καταναλωτές να μεταθέτουν την κατανάλωση ενέργειας εκτός των ωρών αιχμής ώστε να εξοικονομούν χρήματα.

Στην βάση των έξυπνων δικτύων αναπτύσσονται και τα μικροδίκτυα που χαρακτηρίζονται από ευελιξία και ενεργειακή ανθεκτικότητα και προωθούν την ιδέα ενός καθαρότερου και έξυπνότερου συστήματος. Πρόκειται για συστήματα που

περιλαμβάνουν τουλάχιστον μία κατανεμημένη παραγωγή ενέργειας, σύστημα αποθήκευσης ενέργειας και καλύπτουν τοπικά φορτία όντας διασυνδεδεμένα με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο ή και όχι.

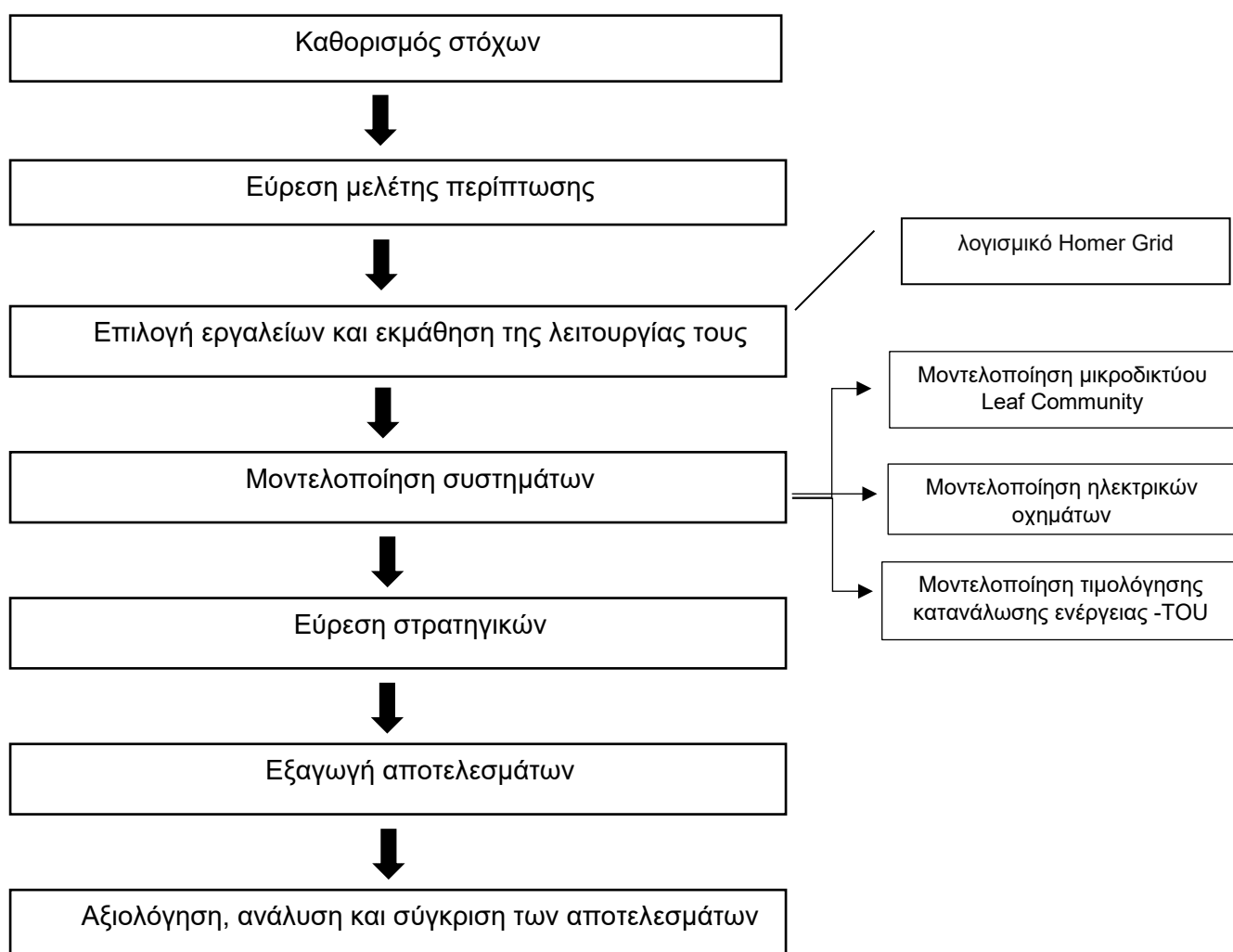
Στα πλαίσια των παραπάνω, δημιουργήθηκε η ανάγκη διερεύνησης του πιθανού οικονομικού οφέλους που θα προέκυπτε από την φόρτιση 100 οχημάτων με έξυπνη στρατηγική σε μικροδίκτυο με δυναμική τιμολόγηση ενέργειας ΤΟΥ.

## 1.1 ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η βελτιστοποίηση του κόστους ενέργειας για την φόρτιση οχημάτων σε μικροδίκτυο μέσω έξυπνης φόρτισης. Γίνεται σύγκριση δύο διαφορετικών στρατηγικών φόρτισης, η διαφορά των οποίων έγκειται στον έλεγχο ή μη της φόρτισης (έξυπνη φόρτιση και άμεση φόρτιση αντίστοιχα).

## 1.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την διεξαγωγή της παρούσας διπλωματικής εργασίας ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα:





## Εξαγωγή συμπερασμάτων

## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

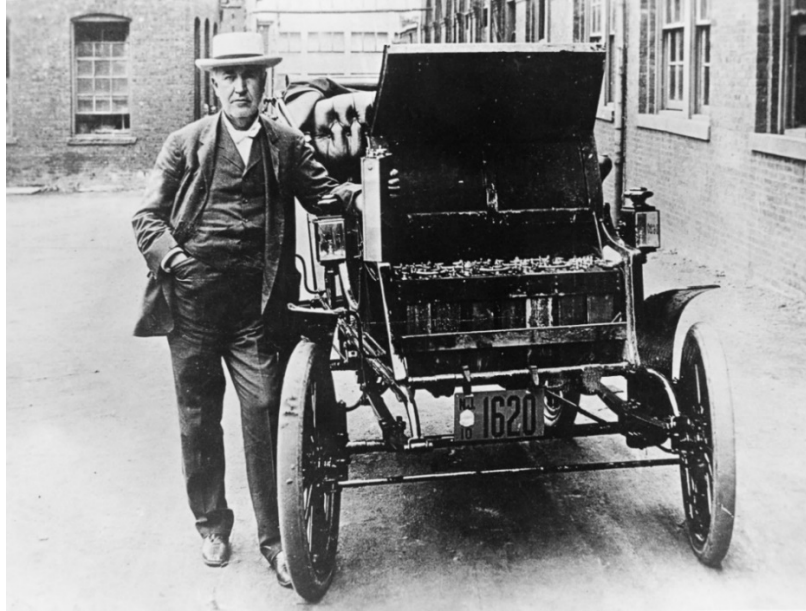
### 2.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ

Ηλεκτρικό αυτοκίνητο (EV) ονομάζεται αυτό το οποίο χρησιμοποιεί την ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται σε επαναφορτιζόμενες συστοιχίες συσσωρευτών (κοινώς μπαταρίες). Τα ηλεκτρικά οχήματα διαθέτουν ηλεκτροκινητήρες ως μέσο προώθησης σε αντίθεση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης των συμβατικών οχημάτων. Ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο που τροφοδοτείται από εσωτερική μπαταρία αναφέρεται ως αμιγώς ηλεκτροκίνητο όχημα (BEV, Battery Electric Vehicle) ενώ τα αυτοκίνητα που συνδυάζουν περισσότερες από μία τεχνολογίες όπως ηλεκτρικούς κινητήρες με μηχανές εσωτερικής καύσης ονομάζονται υβριδικά. Ο όρος "ηλεκτρικό αυτοκίνητο" συνήθως αναφέρεται στα αμιγώς ηλεκτροκίνητα οχήματα αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τα επαναφορτιζόμενα (plug-in) υβριδικά οχήματα (PHEV). Όσο και αν αυτό φαντάζει περίεργο, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα εμφανίστηκαν από τις πρώτες μέρες της αυτοκίνησης και έχουν υψηλότερο συντελεστή ενεργειακής απόδοσης από όλα τα αυτοκίνητα με κινητήρες εσωτερικής καύσης [7].

#### 2.1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η εφεύρεση ενός πρώιμου ηλεκτροκινητήρα επέτρεψε το 1828 στον Ούγγρο Άνγος Jedlik να κατασκευάσει ένα μικρό ηλεκτρικό αυτοκίνητο ενώ λίγα χρόνια μετά, μεταξύ του 1832 και 1839, ο σκωτσέζος Robert Anderson κατασκεύασε μια ηλεκτροκίνητη άμαξα που λειτουργούσε με μη-επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Το 1834 ο σιδηρουργός Thomas Davenport από το Βερμόντ δημιούργησε τον πρώτο αμερικανικό ηλεκτρικό κινητήρα που χρησιμοποιήθηκε σε μια μικρή ατμομηχανή ενώ το 1835 ο καθηγητής Sibrandus Stratingh από την Ολλανδία και ο βοηθός του Christopher Becker από την Γερμανία κατασκεύασαν και αυτοί ένα μικρό ηλεκτρικό αυτοκίνητο που λειτουργούσε με μη-επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες που απαιτούνταν για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα όχημα εφευρέθηκαν από τον Γάλλο φυσικό Gaston Plante το 1859, ήταν μπαταρίες μολύβδου οξέος (lead acid, L-A) και αποτελούν τον πιο παλιό τύπο επαναφορτιζόμενης μπαταρίας. Το 1881 ο Γάλλος εφευρέτης Gustave Trouné παρουσίασε στη Διεθνή Έκθεση Ηλεκτρισμού του Παρισιού το πρώτο όχημα (τρίκυκλο) που τροφοδοτείτο με ηλεκτρική ενέργεια. Το 1884 ο Thomas Parker που ήταν υπεύθυνος για την ηλεκτροδότηση του Λονδίνου κατασκεύασε το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο παραγωγής χρησιμοποιώντας τις δικές του ειδικά σχεδιασμένες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες υψηλής χωρητικότητας. Το 1888 κατασκευάστηκε το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο στην Γερμανία από τον μηχανικό Andrea Flocken ενώ το 1889, ο Thomas Edison δημιούργησε το δικό του ηλεκτρικό όχημα με αλκαλικές μπαταρίες. Έναν χρόνο μετά ο σκωτσέζος χημικός William Morrison κατασκεύασε το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο στις Ηνωμένες Πολιτείες το οποίο μπορούσε να ταξιδεύει επί 13 συνεχείς ώρες με ταχύτητα 14 μιλίων. Τα ηλεκτρικά οχήματα εστίαζαν περισσότερο για πρώτη

φορά στο γυναικείο κοινό καθώς προωθούνταν ως «καθαρότερα», ασφαλέστερα, ευκολότερα στη χρήση και πιο αξιόπιστα από ότι τα οχήματα συμβατικού καυσίμου. Είναι αξιοσημείωτο ότι στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ήταν ο πιο δημοφιλής τύπος αυτοκινήτου, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τα περίπου 33000 ηλεκτρικά αυτοκίνητα που καταγράφηκαν στην Αμερική.



Εικόνα 1: (1895) ο Thomas Edison ποζάρει με το πρώτο του ηλεκτρικό αυτοκίνητο, το Edison Baker και μία από τις μπαταρίες του. [πηγή: General Photographic Agency/Getty Images]



Εικόνα 2: (1912) Γυναίκα χρησιμοποιεί έναν χειροκίνητο φορτιστή μπαταρίας για να φορτίσει το ηλεκτρικό της αυτοκίνητο Columbia Mark 68 Victoria. [πηγή: Schenectady Museum; Hall of Electrical History Foundation/CORBIS]

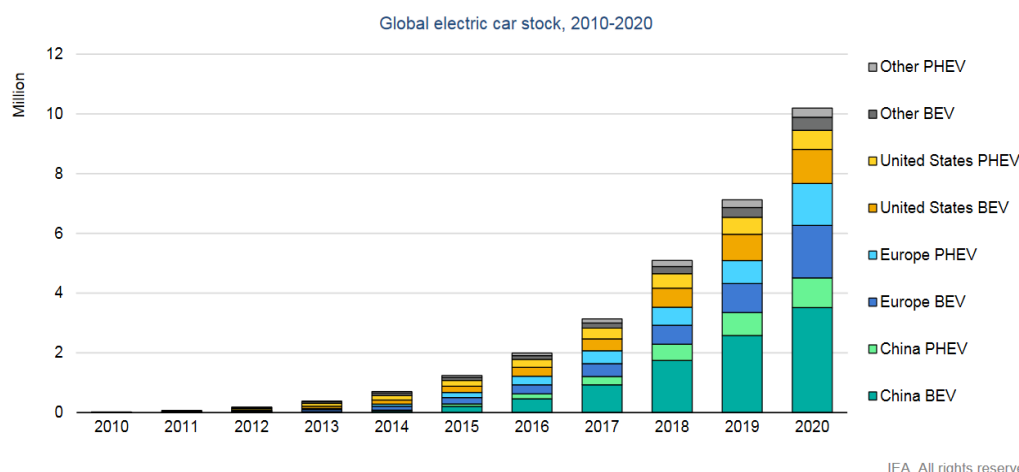
Η εξέλιξη των μηχανών εσωτερικής καύσης τον 20<sup>ο</sup> αιώνα, οι πιο γρήγοροι χρόνοι ανεφοδιασμού και το χαμηλότερο κόστος παραγωγής των συμβατικών αυτοκινήτων τα έκαναν πιο δημοφιλή. Μετά το 1920 η αρχική επιτυχία των ηλεκτρικών οχημάτων άρχισε να παρακμάζει. Η δημιουργία σύγχρονης γραμμής παραγωγής από τον Henry Ford και οι παγκόσμιες ανακαλύψεις μεγάλων κοιτασμάτων πετρελαίου οδήγησαν στην διαθεσιμότητα οικονομικά προσιτής βενζίνης καθιστώντας τα συμβατικά

αυτοκίνητα οικονομικότερα, ταχύτερα και ικανά να ταξιδέψουν σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Μέχρι το 1930 η ηλεκτρική βιομηχανία είχε σχεδόν εξαλειφθεί.

Στις αρχές του 1990, οργανισμός California Air Resources Board (CARB) άρχισε να απαιτεί για αυτοκίνητα με λιγότερους ρύπους, με στόχο αυτοκίνητα με μηδενικές εκπομπές όπως τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα εξαιτίας της ανησυχίας για ατμοσφαιρική ρύπανση. Συγκεκριμένα, η νομοθεσία που πέρασε στην ιστορία ως η California Clean Air Act Amendment, απαιτούσε το 2% όλων των αυτοκινήτων που θα πωλούνταν στην πολιτεία της Καλιφόρνια να έχουν μηδενικές εκπομπές. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα οι μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες Toyota, Ford, Honda και Chrysler να ασχοληθούν και πάλι με τα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα. Στις αρχές του 2000 αναπτύσσονται και τα υβριδικά οχήματα. Μετά το 2008 η Tesla παρουσιάζει με την σειρά της ηλεκτρικά οχήματα που συνδυάζουν οικονομία και επιδόσεις. Ακολούθησαν οι κατασκευαστές Mitsubishi, Nissan, Renault και BMW με τις δικές τους προτάσεις για ηλεκτροκίνητα οχήματα ενώ σήμερα σχεδόν όλοι οι κατασκευαστές ευρείας παραγωγής έχουν ήδη ανταποκριθεί στις ανάγκες της αγοράς λανσάροντας την δική τους ηλεκτρική πρόταση [7] [8].

Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Σύνδεσμο Κατασκευαστών Αυτοκινήτων (ACEA), το 2020 τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα αποτελούσαν το 11.9% των συνολικών πωλήσεων επιβατικών αυτοκινήτων σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση, ποσοστό που παρουσιάζει αύξηση σε σχέση με το 5.7% που καταγράφηκε το 2019 και το 2.1% το 2018. Τα ηλεκτρικά φορτιζόμενα οχήματα (BEV και PHEV) σημείωσαν παρόμοια αύξηση αντιπροσωπεύοντας το 10.5% των νέων ταξινομήσεων οχημάτων στην ΕΕ, σε σύγκριση με το μερίδιο αγοράς 3% που κατείχαν το 2019 [9].

Όσον αφορά στον παγκόσμιο στόλο, οι πωλήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων το 2020 ήταν περίπου 3 εκατομμύρια ανεβάζοντας τον συνολικό πληθυσμό των BEV και PHEV σε περισσότερα από 10 εκατομμύρια οχήματα, βάσει της Διεθνούς Οργάνωσης Ενέργειας. Οι νέες ταξινομήσεις αυξήθηκαν κατά 41% παρόλο που η πανδημία της Covid 19 οδήγησε σε μείωση 16% των παγκόσμιων πωλήσεων οχημάτων. Παρακάτω φαίνεται η εξέλιξη της παγκόσμιας αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων από το 2010 έως και το 2020 [4].



Εικόνα 3: Η εξέλιξη του παγκόσμιου ηλεκτρικού στόλου [πηγή: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>]

Σε έρευνα που διεξήχθη από την Διεθνή Οργάνωση Ενέργειας (IEA) και αφορούσε στην ηλεκτρική κινητικότητα μέχρι το 2030 εξετάστηκαν δύο πιθανά σενάρια. Το



πρώτο, the stated policies scenario, βασίζεται στις υπάρχουσες πολιτικές ενώ το δεύτερο, the sustainable development scenario, συμβαδίζει με τους κλιματικούς στόχους της συμφωνίας του Παρισιού. Στο σενάριο της αειφόρου ανάπτυξης ενσωματώνονται οι στόχοι της καμπάνιας EV30@30 η οποία επαναπροσδιορίζοντας την φιλοδοξία της Πρωτοβουλίας Ηλεκτρικών Οχημάτων (EVI) του Υπουργείου Καθαρής Ενέργειας (CEM) θέτει ως στόχο να επιτευχθεί μερίδιο τουλάχιστον 30% για πωλήσεις νέων ηλεκτρικών οχημάτων έως το 2030. Η συγκεκριμένη εκστρατεία τέθηκε σε ισχύ τον Ιούνιο του 2017 και συμμετέχουν οι εξής χώρες: Καναδάς, Κίνα, Φινλανδία, Γαλλία, Ινδία, Ιαπωνία, Μεξικό, Νορβηγία, Σουηδία, Ηνωμένο Βασίλειο και οι Κάτω χώρες [10].

Με βάση λοιπόν το δεύτερο σενάριο ο παγκόσμιος στόλος ηλεκτρικών οχημάτων, εξαιρώντας τα δίκυκλα και τρίκυκλα, αυξάνεται κατά 36% ετησίως αγγίζοντας τα 245 εκατομμύρια οχήματα έως το 2030. Με βάση το πρώτο και πιο συντηρητικό σενάριο ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων, εξαιρώντας και πάλι τα δίκυκλα και τρίκυκλα, σχεδόν φτάνει τα 140 εκατομμύρια [11].

Είναι φανερό ότι ακόμα και με τις πιο συντηρητικές προβλέψεις ο παγκόσμιος αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να αυξηθεί πολύ και γρήγορα σε σχέση με τα σημερινά δεδομένα. Η κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών των οχημάτων θα αποτελέσει πρόκληση τα επόμενα χρόνια και θα καθορίσει το αν θα επικρατήσουν τελικά στην αγορά.

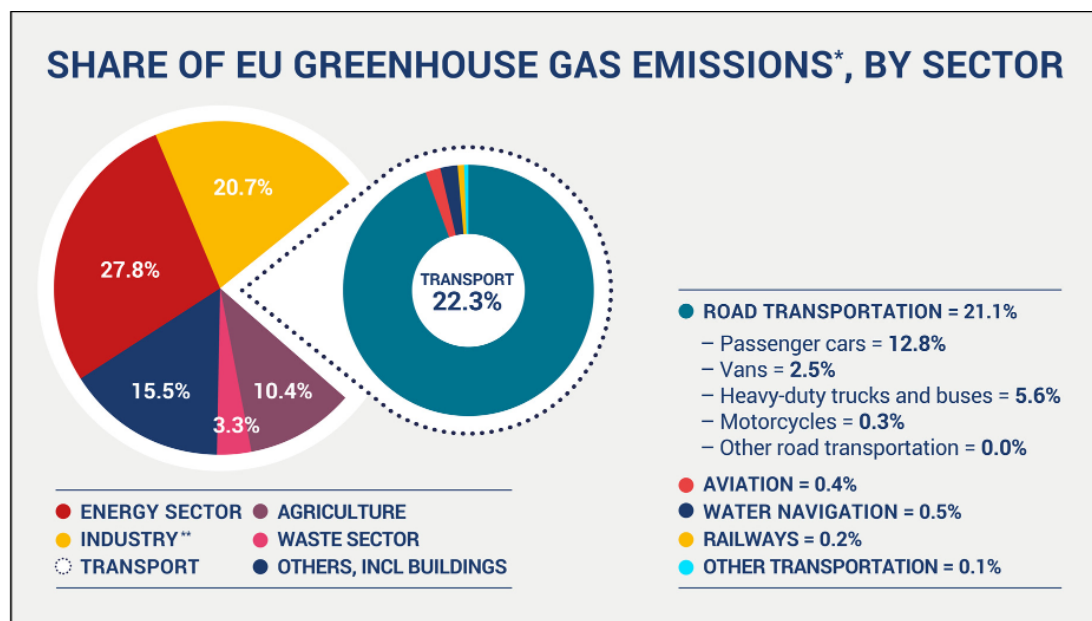
#### 2.1.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO<sub>2</sub>

Οι αυτοκινητοβιομηχανίες προσανατολίζονται πλέον προς την ηλεκτροκίνηση υποχρεωτικά και λόγω της κλιματικής αλλαγής. Η παγκόσμια συμφωνία για το περιβάλλον στο Παρίσι ώθησε την Ευρωπαϊκή Ένωση να ψηφίσει το 2018 υποχρεωτική μείωση των ρύπων του θερμοκηπίου κατά 40% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 έως το 2030, με αντίστοιχη προώθηση των ηλεκτροκίνητων οχημάτων. Πλέον πολλές χώρες έχουν θέσει στόχους ώστε να μειωθούν και τελικά να σταματήσουν οι πωλήσεις των βενζινοκίνητων οχημάτων. Σε αυτήν την φιλοσοφία, η χώρα μας έχει θέσει στόχο το 30% των αυτοκινήτων να είναι ηλεκτρικά έως το 2030. Με σκοπό την προώθηση της ηλεκτροκίνησης και την επίτευξη του παραπάνω στόχου δίνονται διάφορα κίνητρα στους πολίτες όπως επιδοτήσεις και φοροαπαλλαγές.

Στις 24 Ιουνίου 2021 εγκρίθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ο νόμος για το κλίμα ο οποίος μετατρέπει την πολιτική δέσμευση της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας για μια κλιματικά ουδέτερη ΕΕ έως το 2050 σε νομική υποχρέωση. Παράλληλα ο νέος νόμος της ΕΕ αυξάνει τον στόχο για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έως το 2030 από 40% σε τουλάχιστον 55% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Μετά το 2050, η ΕΕ θα επιδιώξει να πετύχει αρνητικό ισοζύγιο εκπομπών [3].

Σύμφωνα με δεδομένα από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (EEA), το δεύτερο μισό του 2019, ο τομέας των μεταφορών ήταν υπεύθυνος για την παραγωγή του 22.3 % των συνολικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στην ΕΕ εκ των οποίων οι οδικές μεταφορές αποτέλεσαν το μεγαλύτερο μερίδιο με ποσοστό 21.1% των συνολικών εκπομπών όπως φαίνεται και παρακάτω στην εικόνα 4.





\* All CO<sub>2</sub> equivalent

\*\* Industry = 'Manufacturing industries and construction' + 'Industrial processes and product use'

Source: European Environment Agency (EEA)

Εικόνα 4: Εκπομπές αέριων θερμοκηπίου ανά τομέα στην ΕΕ το δεύτερο μισό του 2019 [πηγή: [https://www.acea.auto/files/ACEA\\_preliminary\\_CO2\\_baseline\\_heavy-duty\\_vehicles.pdf](https://www.acea.auto/files/ACEA_preliminary_CO2_baseline_heavy-duty_vehicles.pdf)]

Ο συγκεκριμένος τομέας αποτελεί τον μοναδικό που δεν έχει σημειωθεί ιδιαίτερη μείωση των αέριων εκπομπών του θερμοκηπίου από το 1990. Γι' αυτό, το Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο συμφώνησαν το 2019 να τεθούν ακόμα υψηλότεροι στόχοι για τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> συγκεκριμένα από νέα αυτοκίνητα κατά 37.5% και από ημιφορτηγά κατά 31% έως το 2030, ενέργεια που ενισχύει την ηλεκτροκίνηση [12]. Μέχρι στιγμής οι συνολικές εκπομπές αέριων θερμοκηπίου στην ΕΕ μειώθηκαν κατά 24% μεταξύ 1990 και 2019, υπερβαίνοντας τον στόχο μείωσης που είχε τεθεί στο 20% από τα επίπεδα του 1990 έως το 2020 [13].

Τα ηλεκτρικά οχήματα δεν εκπέμπουν αέρια του θερμοκηπίου κατά την χρήση τους, όμως για να είναι πραγματικά φιλικά προς το περιβάλλον είναι σημαντικό να ελαχιστοποιηθούν οι εκπομπές που δημιουργούνται τόσο κατά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν όσο και κατά την κατασκευή των μπαταριών.

Έρευνα που διεξήχθη από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (ΕΕΑ) εξέτασε τα τρέχοντα στοιχεία σχετικά με τις επιπτώσεις των ηλεκτρικών οχημάτων στην αλλαγή του κλίματος, την ποιότητα του αέρα, τον θόρυβο και τα οικοσυστήματα, σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα. Κατά την διάρκεια ζωής του ένα ηλεκτρικό όχημα στην Ευρώπη εκπέμπει λιγότερα αέρια του θερμοκηπίου σε σχέση με ένα αντίστοιχο όχημα που χρησιμοποιεί βενζίνη ή πετρέλαιο. Κατά την φάση παραγωγής των ηλεκτρικών οχημάτων οι εκπομπές είναι συνήθως υψηλότερες, όμως αντισταθμίζονται από την φάση χρήσης με το πέρασμα του χρόνου. Η έκθεση επιβεβαιώνει ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου των ηλεκτρικών οχημάτων, με το τρέχον ενεργειακό μείγμα της ΕΕ και σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής των οχημάτων, είναι περίπου 17-30% χαμηλότερες από τις εκπομπές βενζινοκίνητων και ντίζελ οχημάτων. Ωστόσο, καθώς το ποσοστό άνθρακα του ενεργειακού μείγματος της ΕΕ προβλέπεται να μειωθεί, οι εκπομπές κύκλου ζωής ενός τυπικού ηλεκτρικού οχήματος θα μπορούσαν να

μειωθούν κατά τουλάχιστον 73% έως το 2050 επιφέροντας ακόμα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά οφέλη [14].

Το αποτέλεσμα της σύγκρισης είναι λιγότερο ευνοϊκό για τα ηλεκτρικά οχήματα όταν εξετάζονται οι τρέχουσες επιπτώσεις της παραγωγής τους στα οικοσυστήματα και η τοξικότητα των σχετικών υλικών. Αυτές οι επιπτώσεις οφείλονται κυρίως στην εξόρυξη και επεξεργασία χαλκού, νικελίου και άλλων απαραίτητων πρώτων υλών. Σύμφωνα με την έκθεση, αυτές οι επιπτώσεις θα μπορούσαν να ελαχιστοποιηθούν μέσω μιας προσέγγισης κυκλικής οικονομίας που διευκολύνει την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση - ειδικά των μπαταριών.

### 2.1.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα διακρίνονται στις εξής βασικές κατηγορίες:

#### 2.1.3.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ ΜΕ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΗ (BEV)

Η συγκεκριμένη κατηγορία αναφέρεται στα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα (Battery Electric Vehicle) των οποίων μοναδική πηγή ενέργειας αποτελούν οι μπαταρίες οι οποίες τροφοδοτούν τον ηλεκτροκινητήρα, για την φόρτιση των οποίων τα οχήματα συνδέονται με το δίκτυο. Επιπλέον οι συσσωρευτές φορτίζουν και κατά την πέδηση, η διαδικασία αυτή αναφέρεται ως αναγεννητική πέδηση, και πρακτικά όσο διαρκεί το φρενάρισμα μέρος της κινητικής ενέργειας μετατρέπεται σε ηλεκτρική μέσω της ηλεκτρικής μηχανής. Μέχρι πριν λίγα χρόνια τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα είχαν βοηθητικό ρόλο εξαιτίας της μικρής τους αυτονομίας. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας και την ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης οι μπαταρίες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων βελτιώνονται και διεκδικούν μεγάλη μερίδα της αγοράς. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αύξηση πυκνότητας ενέργειας στις μπαταρίες κάποιων μοντέλων ηλεκτρικών οχημάτων που είναι 20-100% υψηλότερη από αντίστοιχα μοντέλα του 2012, ενώ το κόστος μιας μπαταρίας έχει μειωθεί περισσότερο από 85% σε σχέση με το 2010 [15].

#### 2.1.3.2 ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ (HEV)

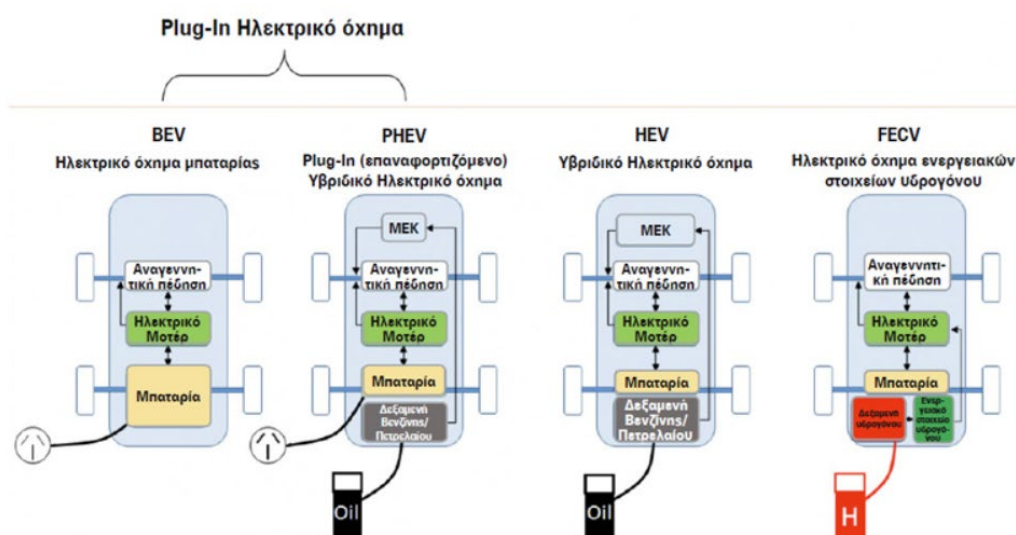
Τα υβριδικά οχήματα (Hybrid Electric Vehicle) συνδυάζουν ηλεκτροκινητήρα και μηχανή εσωτερικής καύσης. Αυτό τα καθιστά περισσότερο δημοφιλή σε σχέση με τα αμιγώς ηλεκτρικά καθώς χάρη στα συμβατικά καύσιμα λύνεται το πρόβλημα της αυτονομίας που δημιουργούν οι ηλεκτροκινητήρες. Οι συσσωρευτές μπορούν και σε αυτή την κατηγορία να φορτιστούν με την αναγεννητική πέδηση αλλά δεν υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο.

#### 2.1.3.3. PLUG-IN ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ (PHEV)

Τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά αυτοκίνητα με εξωτερική φόρτιση (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) αποτελούν την εξέλιξη της προηγούμενης κατηγορίας καθώς τα συγκεκριμένα οχήματα φορτίζονται και από εξωτερική πηγή όπως είναι το ηλεκτρικό δίκτυο. Μπορούν να καλύπτουν ικανές αποστάσεις σε επίπεδο αστικού ιστού ως αμιγώς ηλεκτρικά εξασφαλίζοντας έτσι στον οδηγό τα πλεονεκτήματα της ηλεκτροκίνησης χωρίς να ανησυχεί για την αυτονομία.

### 2.1.3.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (FCEV)

Τα οχήματα που ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία (Fuel Cell Electric Vehicle) χρησιμοποιούν κυψέλη καυσίμου και συγκεκριμένα αέριο υδρογόνο για την τροφοδότηση του ηλεκτρικού κινητήρα. Τα ενεργειακά στοιχεία κυψελών καυσίμου (fuel cells) αντικαθιστούν την μηχανή εσωτερικής καύσης των συμβατικών και υβριδικών οχημάτων. Το υδρογόνο αποθηκεύεται υπό πίεση σε ειδικές διατάξεις στο όχημα και στην συνέχεια συνδυαστικά με οξυγόνο από τον περιβάλλοντα αέρα παρέχονται στην κυψέλη καυσίμου όπου και υφίστανται ηλεκτροχημική αντίδραση. Η αντίδραση αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας και υδρατμών. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται αποθηκεύεται στην μπαταρία ή χρησιμοποιείται απευθείας για την τροφοδοσία του ηλεκτροκινητήρα ενώ οι υδρατμοί απελευθερώνονται με την μορφή αερίου μέσω ενός σωλήνα που βρίσκεται κάτω από το όχημα. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το υδρογόνο δεν είναι το καύσιμο δηλαδή η πηγή ενέργειας αλλά ο φορέας ή μέσο μεταφοράς ενέργειας. Και σε αυτήν την κατηγορία οχημάτων οι συσσωρευτές μπορούν να φορτιστούν μέσω της αναγεννητικής πέδησης [16].



Εικόνα 5: Κατηγορίες ηλεκτρικών οχημάτων [πηγή: <https://www.tosynergeio.gr/autokinisi/yvridika-ilektrika-oximata/electric-vehicles-with-hydrogen-energy-batteries-or-batterieswhich-technology-is-better>]

## 2.2 ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ

### 2.2.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

Η μπαταρία ή ηλεκτρικός συσσωρευτής είναι η συσκευή η οποία αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια αφού την μετατρέψει σε χημική ενέργεια και στην συνέχεια την αποδεσμεύει με την αρχική της μορφή [17].

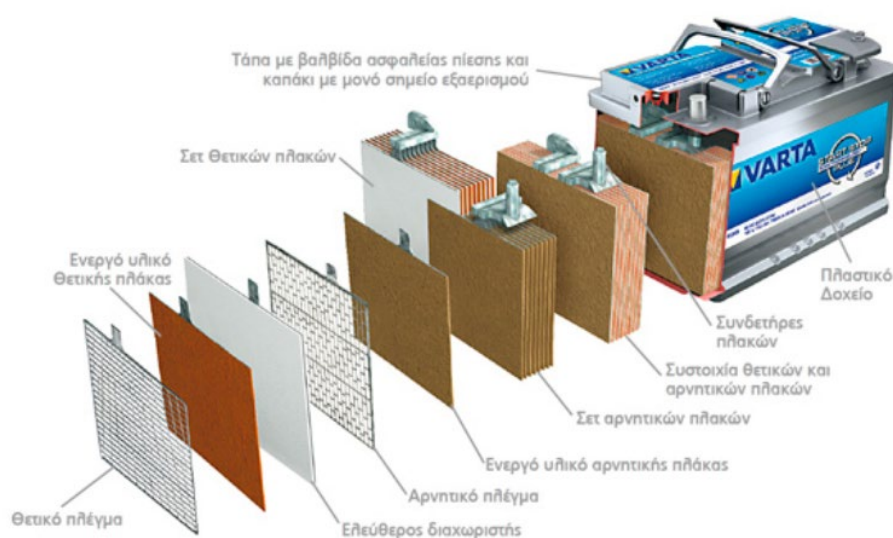
### 2.2.2 ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

Είναι χρήσιμο να αναφερθεί ότι σύμφωνα με τα διεθνή βιομηχανικά πρότυπα η έννοια «συσσωρευτής» ή «μπαταρία» διαφοροποιείται από το «στοιχείο», το οποίο αποτελεί την βασική ηλεκτροχημική μονάδα. Η μπαταρία αποτελείται από ένα σύνολο ηλεκτροχημικών στοιχείων τα οποία συνδέονται μεταξύ τους σύμφωνα με την

επιθυμητή χωρητικότητα. Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι η πιο απλή μπαταρία είναι ένα μοναδικό στοιχείο.

Το στοιχείο περιέχει τα παρακάτω [18]:

1. Το αρνητικό ηλεκτρόδιο (ή άνοδος στην εκφόρτιση) κατά το οποίο γίνεται οξείδωση της μπαταρίας δηλαδή αποβάλλει ηλεκτρόνια που ρέουν εκτός της μπαταρίας.
2. Το θετικό ηλεκτρόδιο (ή κάθοδος στην εκφόρτιση) κατά το οποίο γίνεται αναγωγή δηλαδή δέχεται ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα. Για επαναφορτιζόμενα στοιχεία ο όρος «κάθοδος» δείχνει το θετικό ηλεκτρόδιο στον κύκλο εκφόρτισης, ακόμα κι όταν οι συνδεδεμένες ηλεκτροχημικές αντιδράσεις αλλάζουν τη θέση τους κατά τη φόρτιση και την εκφόρτιση, αντίστοιχα.
3. Τις ενδιάμεσες διαχωριστικές πλάκες από πορώδες μονωτικό υλικό που διαχωρίζουν τις θετικές από τις αρνητικές πλάκες για την αποφυγή βραχυκυκλωμάτων.
4. Τον ηλεκτρολύτη ο οποίος δρα ως αγώγιμη οδός μεταφοράς των ηλεκτρονίων μεταξύ της ανόδου και της καθόδου. Ο ηλεκτρολύτης συνήθως αποτελείται από ένα υγρό, όπως νερό, μαζί με διαλυμένα άλατα, οξέα ή αλκάλια.

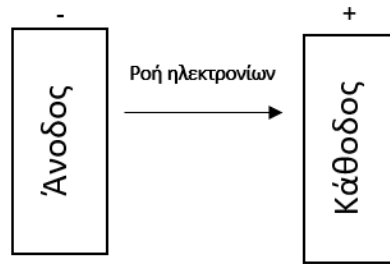


Εικόνα 6: Διάταξη μπαταρίας [πηγή:

[https://www.tosynergeio.gr/index.php?option=com\\_k2&view=item&id=839:batteries-dc\]](https://www.tosynergeio.gr/index.php?option=com_k2&view=item&id=839:batteries-dc)

### 2.2.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ

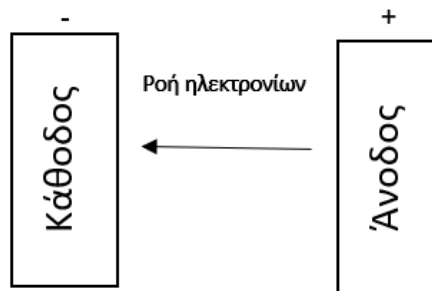
Κατά την εκφόρτιση της μπαταρίας, ηλεκτρόνια ρέουν από το αρνητικό ηλεκτρόδιο (άνοδος) το οποίο οξειδώνεται προς το θετικό (κάθοδος). Παρακάτω φαίνεται η διαδικασία σχηματικά.



Εικόνα 7: Πορεία ηλεκτρονίων κατά την εκφόρτιση μπαταρίας

#### 2.2.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Κατά την φόρτιση μιας επαναφορτιζόμενης μπαταρίας, τα ηλεκτρόνια ρέουν αντίθετα από ότι πριν. Δηλαδή το θετικό ηλεκτρόδιο (τώρα άνοδος) οξειδώνεται προς το αρνητικό ηλεκτρόδιο (τώρα κάθοδος) το οποίο και ανάγεται. Ως άνοδος ονομάζεται το ηλεκτρόδιο στο οποίο λαμβάνει χώρα η οξείδωση και ως κάθοδος αυτό στο οποίο γίνεται η αναγωγή για αυτό και έχουν «αλλάξει» ονομασία δηλαδή το θετικό ηλεκτρόδιο είναι η άνοδος και το αρνητικό η κάθοδος. Παρακάτω παρουσιάζεται σχηματικά η διαδικασία.



Εικόνα 8: Πορεία ηλεκτρονίων κατά την φόρτιση μπαταρίας

### 2.3 ΦΟΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Είναι γεγονός ότι η διαδικασία της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης σε παγκόσμιο επίπεδο καθώς είναι ένα από τα βασικότερα ζητήματα που απασχολούν κάποιον πριν προχωρήσει στην χρήση ενός ηλεκτρικού οχήματος.

#### 2.3.1 ΕΙΔΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Η ύπαρξη φυσικής επαφής ή όχι ανάμεσα στο όχημα που φορτίζεται και τον φορτιστή αποτελεί κριτήριο για τον διαχωρισμό δύο διαφορετικών κατηγοριών φόρτισης, την αγωγή και την επαγωγική φόρτιση.

#### 2.3.1.1 ΑΓΩΓΙΜΗ ΦΟΡΤΙΣΗ

Η αγώγιμη φόρτιση ή αλλιώς φόρτιση με επαφή λαμβάνει χώρα όταν υπάρχει φυσική σύνδεση μεταξύ του σταθμού φόρτισης και της μπαταρίας και αποτελεί τον συμβατικό τρόπο φόρτισης των περισσότερων ηλεκτρικών συσκευών. Για την επιτυχημένη ενσύρματη φόρτιση ενός οχήματος απαιτούνται ηλεκτροφόροι αγωγοί, καλώδια και βύσματα, που συνδέουν το όχημα με τον σταθμό.

#### 2.3.1.2 ΕΠΑΓΩΓΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ

Η επαγωγική φόρτιση ή αλλιώς ασύρματη φόρτιση επιτρέπει την μεταφορά ισχύος μεταξύ του σταθμού φόρτισης και του οχήματος μέσω ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Τα συστήματα επαγωγικής φόρτισης μεταφέρουν εναλλασσόμενη ισχύ δημιουργώντας μαγνητική σύζευξη μεταξύ μιας πρωτεύουσας σπείρας στην πλευρά της παροχής (φορτιστής) και μιας δευτερεύουσας σπείρας στην πλευρά της κατανάλωσης (όχημα), η ισχύς ρέει από το πρωτεύουσα στην δευτερεύουσα. Επειδή η μπαταρία του οχήματος λειτουργεί με σταθερή τάση και μπορεί να φορτίσει μόνο με σταθερό ρεύμα, το εναλλασσόμενο ρεύμα εξόδου της δευτερεύουσας σπείρας ανορθώνεται με κατάλληλη διάταξη πριν φτάσει στην μπαταρία.

Η επαγωγική φόρτιση χωρίζεται περαιτέρω σε στατική και δυναμική φόρτιση. Στην στατική φόρτιση το όχημα σταθμεύει πάνω σε έναν φορτιστή για να ξεκινήσει η διαδικασία ενώ στην δυναμική το όχημα φορτίζει καθώς κινείται στον δρόμο. Η δυναμική επαγωγική φόρτιση χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη ευκολία καθώς μπορεί να περιορίσει την ανάγκη για συχνές στάσεις για φόρτιση συμβάλλοντας στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που σχετίζονται με την ικανότητα των ηλεκτρικών οχημάτων να καλύπτουν μεγάλες αποστάσεις. Παράλληλα, η έλλειψη καλωδίων αυξάνει την ασφάλεια των χρηστών και την αισθητική των δημοσίων χώρων. Τέλος, η ικανότητα φόρτισης σε πολλά σημεία ακόμα και εν κινήσει ευνοεί την χρήση μπαταριών μικρότερης χωρητικότητας, οδηγώντας σε σημαντική μείωση του αρχικού κόστους του οχήματος [19].



Εικόνα 9: Επαγωγική στατική φόρτιση [πηγή: <https://www.caradvice.com.au/864313/wireless-electric-car-charging-lumen-freedom/>]



Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η ασύρματη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων δεν αποτελεί σενάριο επιστημονικής φαντασίας αλλά υπαρκτή τεχνολογία, ικανή να συνεισφέρει στην εξάπλωση της ηλεκτροκίνησης. Πρωτοπόρο στον κλάδο της ασύρματης φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί η WiTricity η οποία παρέχει πατενταρισμένη τεχνολογία και πνευματική ιδιοκτησία σε αυτοκινητοβιομηχανίες και κατασκευαστές συστημάτων ασύρματης φόρτισης.

Εμπορικό παράδειγμα αποτελεί το σύστημα single-box 11 kW της εταιρείας Lumen Freedom το οποίο είναι και το μοναδικό στο είδος του παγκοσμίως. Το συγκεκριμένο σύστημα είναι ικανό να φορτίσει μια μπαταρία 60 kWh σε περίπου 5 ώρες όμως στο μέλλον η ασύρματη τεχνολογία θα είναι ικανή για ταχυφόρτιση 50 kW αλλά ακόμα και αμφίδρομη ροή V2G, όπως αναφέρει ο Rod Wilson, Γενικός Διευθυντής της Lumen Freedom στο CarAdvice. Η εταιρεία Lumen Freedom αποτελεί την πρώτη και μοναδική εταιρεία στον κόσμο μέχρι στιγμής που έχει πιστοποιηθεί σύμφωνα με το πρότυπο ασφαλείας 2750 του Underwriter Laboratory (UL), τον βιομηχανικό φορέα που εγκρίνει τη δημόσια χρήση ασύρματων συσκευών φόρτισης για αυτοκίνητα. Ακόμα διαθέτει άδεια από την Witricity για την ανάπτυξη και εμπορευματοποίηση ασύρματης φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων [20].



Εικόνα 10: Σύστημα single- box 11 kW για ασύρματη φόρτιση [πηγή: <https://www.caradvice.com.au/864313/wireless-electric-car-charging-lumen-freedom/>]

Παράλληλα διεκπεραιώνονται σε όλο τον κόσμο πιλοτικά προγράμματα επαγωγικής φόρτισης. Παράδειγμα αποτελεί το Όσλο το οποίο αποσκοπεί μέχρι το 2030 να έχει εξηλεκτρίσει ολόκληρο τον στόλο των ταξί του. Προκειμένου να αποφευχθεί ο συνωστισμός στους σταθμούς φόρτισης θα τοποθετηθούν επαγωγικοί φορτιστές σε διάφορα κομβικά σημεία όπως σε ουρές σταθμών, αεροδρομίων και πιάτσες, εξοικονομώντας πολύτιμο χρόνο για τους οδηγούς.

Στο ίδιο μήκος κύματος κινείται και το εξάμηνο δοκιμαστικό που θα λάβει χώρα στο Nottingham με δέκα ηλεκτρικά ταξί εξοπλισμένα κατάλληλα ώστε να φορτίζονται ασύρματα στους πέντε επαγωγικούς φορτιστές που θα τοποθετηθούν έξω από τον σιδηροδρομικό σταθμό της πόλης [21].

Τέλος, μια ακόμα εντυπωσιακή κατασκευή αποτελεί η λεγόμενη Smartroad Gotland, που ολοκληρώθηκε στο Gotland της Σουηδίας. Πρόκειται για έναν δρόμο- ασύρματο φορτιστή με μήκος 1.6 χιλιόμετρα στον οποίο πραγματοποιήθηκαν δοκιμές δυναμικής φόρτισης με ηλεκτρικό φορτηγό. Η εγκατάσταση πραγματοποιήθηκε από την ισραηλινή εταιρεία ElectReon και είναι η πρώτη που προορίζεται για ηλεκτρικά

φορτηγά εθνικών μεταφορών και υπεραστικά λεωφορεία. Οι πρώτες δοκιμές αφορούσαν σε ένα ηλεκτρικό τμήμα του δρόμου μήκους 200 μέτρων με φορτηγό 40 τόνων κινούμενο με ταχύτητες έως και 60 km/h. Σύμφωνα με την εταιρεία κατά τις δοκιμές επετεύχθη μέσος ρυθμός μεταφοράς ηλεκτρικής ισχύος 70 kW από το δρόμο προς τους δέκτες και την μπαταρία του φορτηγού. Τους επόμενους μήνες αναμένεται να δοκιμαστεί όλο το μήκος του αυτοκινητόδρομου και στις δύο κατευθύνσεις καθώς και το ηλεκτρικό λεωφορείο. Οι δοκιμές αυτές είναι μόνο η αρχή καθώς η Σουηδική Διοίκηση Οδοποιίας (Trafikverket) σχεδιάζει την κατασκευή «ασύρματου ηλεκτρικού δρόμου» μήκους 30 χιλιομέτρων [22] [23].



Εικόνα 11: Smartroad Gotland [πηγή: <https://insideevs.com/news/481997/electreon-completes-dynamic-wireless-charging-road-trucks/>]

### 2.3.2 ΣΤΑΘΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Οι ενσύρματοι σταθμοί φόρτισης κατηγοριοποιούνται ως προς το επίπεδο της παρεχόμενης ισχύος. Οι σταθμοί μπορεί να παρέχουν είτε AC παροχή (με μονοφασική ή τριφασική σύνδεση) είτε DC παροχή. Ο χρόνος φόρτισης και η παρεχόμενη ισχύς διαμορφώνουν 3 επίπεδα φόρτισης όπως φαίνεται και παρακάτω [24][25][26][27].

- Μονοφασική AC παροχή:

Πρόκειται για παροχές αντίστοιχες των κατοικιών για την ηλεκτροδότηση οικιακών συσκευών. Η μονοφασική φόρτιση από παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά φόρτισης μονοφασικής σύνδεσης AC παροχής

| Επίπεδο φόρτισης | Τάση  | Ένταση ρεύματος | Ισχύς  | Διάρκεια φόρτισης* |
|------------------|-------|-----------------|--------|--------------------|
| Level 1          | 120 V | 10 A            | 2.3 kW | 19.5 h             |
| Level 2          | 230 V | 16 A            | 3.7 kW | 12 h               |
| Level 2          | 230 V | 32 A            | 7.4 kW | 6 h                |

\*Οι παραπάνω χρόνοι είναι ενδεικτικοί για όχημα με μπαταρία χωρητικότητας 45 kWh και εσωτερικό φορτιστή 22 kW. Γενικά ο χρόνος φόρτισης ενός οχήματος εξαρτάται



από την παρεχόμενη ισχύ, το μέγεθος μπαταρίας, την ταχύτητα του εσωτερικού φορτιστή αλλά και το καλώδιο φόρτισης.

- Τριφασική AC παροχή:

Δίνεται η δυνατότητα μεταφοράς μεγαλύτερης ισχύος χωρίς την απαίτηση μεγάλης έντασης ρεύματος ή τάσης. Η τριφασική φόρτιση από παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά φόρτισης τριφασικής σύνδεσης AC παροχής

| Επίπεδο φόρτισης | Τάση  | Ένταση ρεύματος | Ισχύς | Διάρκεια φόρτισης* |
|------------------|-------|-----------------|-------|--------------------|
| Level 2          | 400 V | 16 A            | 11 kW | 4 h                |
| Level 2          | 400 V | 32 A            | 22 kW | 2 h                |

\*Οι παραπάνω χρόνοι είναι ενδεικτικοί για όχημα με μπαταρία 45 kWh και εσωτερικό φορτιστή 22 kW.

- DC παροχή:

Η φόρτιση με παροχή συνεχούς ρεύματος δίνει την δυνατότητα μεταφοράς πολύ υψηλής ισχύος σε μικρό χρονικό διάστημα. Αυτό συμβαίνει γιατί η μετατροπή από το εναλλασσόμενο ρεύμα που παρέχει το δίκτυο σε συνεχές ρεύμα που αποθηκεύεται στις συστοιχίες των οχημάτων λαμβάνει χώρα εκτός οχήματος.

Οι ταχυφορτιστές συνήθως παρέχουν ισχύ 50 kW με τάση που αγγίζει τα 450 V και ένταση ρεύματος 100 A. Υπάρχουν όμως και οι φορτιστές που μπορούν να παρέχουν ισχύ 100, 120, 150 έως και 350 kW. Η φόρτιση αυτή είναι γνωστή ως ταχεία φόρτιση και διαμορφώνει το Level 3.

### 2.3.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

#### 2.3.3.1 ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ

Η κανονική ή «αργή» φόρτιση όπως λέγεται διαφορετικά αναφέρεται στην οικιακή φόρτιση από απλή πρίζα τύπου schuko. Το ρεύμα που παρέχεται είναι εναλλασσόμενο και συνήθως η σύνδεση είναι μονοφασική [25] [26].



Εικόνα 12: Πρίζα schuko Green' up Access βαρέως τύπου (Legrand) [πηγή: <https://www.legrand.gr/>]

#### 2.3.3.2 ΓΡΗΓΟΡΗ ΦΟΡΤΙΣΗ

Οι σταθμοί γρήγορης ή ημιταχείας φόρτισης όπως αποκαλούνται συχνά, βρίσκονται σε ιδιωτικούς ή κοινόχρηστους χώρους όπως πεζοδρόμια, χώρους στάθμευσης και super markets και παρέχουν εναλλασσόμενο ρεύμα με ισχύ από 3.7 έως 22 kW. Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62196-2 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, οι δημόσιοι σταθμοί φόρτισης σε όλη την Ε.Ε. πρέπει να διαθέτουν πρίζες Τύπου 2 [26].

#### 2.3.3.3 ΤΑΧΕΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗ

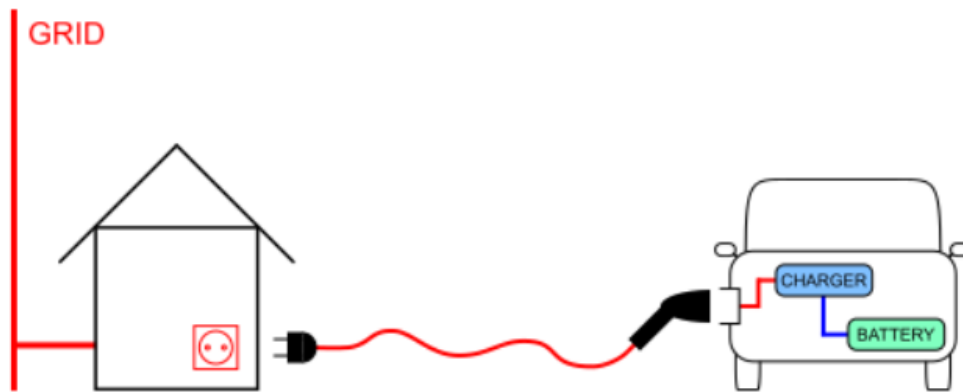
Η ταχεία φόρτιση επιτυγχάνεται μέσω συσκευών που παρέχουν συνεχές ρεύμα έντασης 50 έως και 350 kW ή εναλλασσόμενο ρεύμα ισχύος 44 kW. Για την συγκεκριμένη φόρτιση είναι απαραίτητο το όχημα να είναι ικανό να φορτίζει με αυτόν τον τρόπο, δυνατότητα που δεν διαθέτουν όλα τα οχήματα. Οι σταθμοί ταχυφόρτισης συνεχούς ρεύματος διαθέτουν ενσωματωμένο το καλώδιο φόρτισης με το κατάλληλο βύσμα. Υπάρχουν δύο βασικά πρότυπα βύσματος ταχυφόρτισης με συνεχές ρεύμα τα οποία αναλύονται στην συνέχεια [25] [26].

#### 2.3.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο IEC 61851-1 «Electric Vehicle Conductive Charging System», η ενσύρματη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων διακρίνεται σε τέσσερις κατηγορίες οι οποίες ονομάζονται μέθοδοι φόρτισης (modes) και αναλύονται παρακάτω [28].

##### 2.3.4.1 ΜΕΘΟΔΟΣ 1

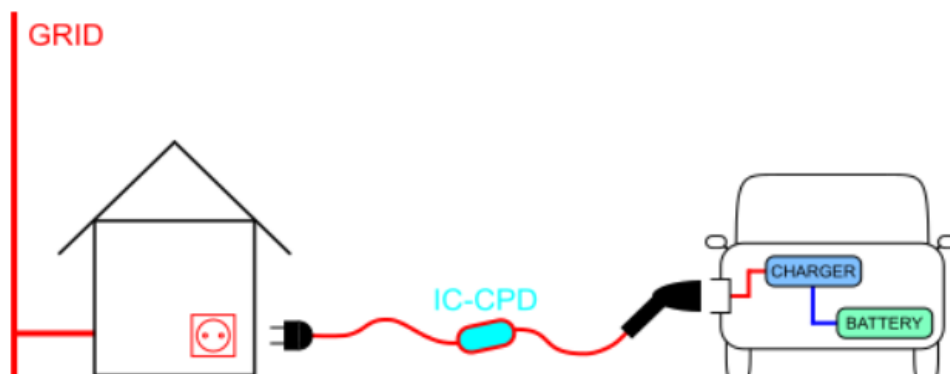
Στην συγκεκριμένη μέθοδο το όχημα συνδέεται στο ηλεκτρικό δίκτυο μέσω κοινών ρευματοδοτών (schuko) και του παρέχεται εναλλασσόμενο ρεύμα. Η μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση ρεύματος ορίζεται στα 16 A και η σύνδεση είναι είτε μονοφασική με μέγιστη τάση τα 250 V είτε τριφασική με μέγιστη τάση τα 480 V. Πρόκειται για την πιο απλή μέθοδο φόρτισης που λαμβάνει χώρα μέσω απλών καλωδίων τα οποία συνήθως παρέχονται μαζί με το όχημα. Είναι απαραίτητη η παρουσία προστατευτικών διατάξεων και συστήματος γείωσης, επειδή όμως η παρουσία τους δεν είναι πάντα δεδομένη, η συγκεκριμένη μέθοδος δεν ενδείκνυται και σε αρκετές χώρες απαγορεύεται.



Εικόνα 13: 1η μέθοδος φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων [πηγή: [http://www.hrvojepandzic.com/wp-content/uploads/2019/09/Lecture\\_4\\_EVs.pdf](http://www.hrvojepandzic.com/wp-content/uploads/2019/09/Lecture_4_EVs.pdf)]

#### 2.3.4.2 ΜΕΘΟΔΟΣ 2

Και σε αυτήν την μέθοδο χρησιμοποιούνται κοινοί ρευματοδότες για την σύνδεση του οχήματος με το ηλεκτρικό δίκτυο σε παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος. Η σύνδεση είναι και πάλι είτε μονοφασική (μέγιστη τάση 250 V) είτε τριφασική (μέγιστη τάση 480 V) με μέγιστη ένταση ρεύματος 32 A. Η βασική διαφορά με την προηγούμενη μέθοδο έγκειται στην ύπαρξη συστήματος γείωσης και προστατευτικής συσκευής ελέγχου της φόρτισης εντός του καλωδίου οπότε και επιτυγχάνεται μεγαλύτερη προστασία. Η συγκεκριμένη μέθοδος φόρτισης θεωρείται αργή και προτιμάται κυρίως για οικιακή χρήση.

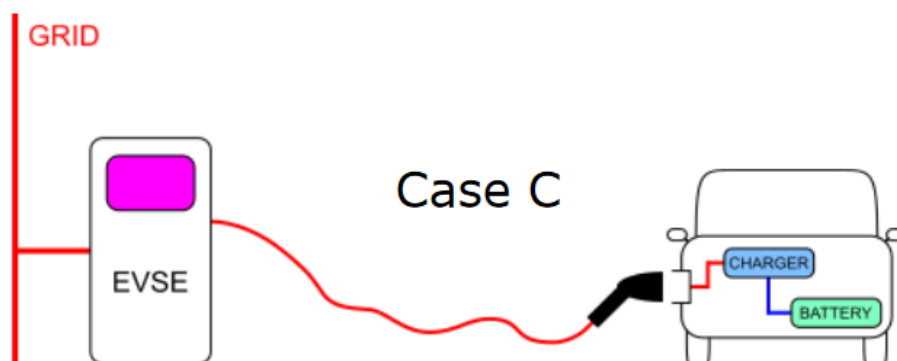


Εικόνα 14: 2η μέθοδος φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων [πηγή: [http://www.hrvojepandzic.com/wp-content/uploads/2019/09/Lecture\\_4\\_EVs.pdf](http://www.hrvojepandzic.com/wp-content/uploads/2019/09/Lecture_4_EVs.pdf)]

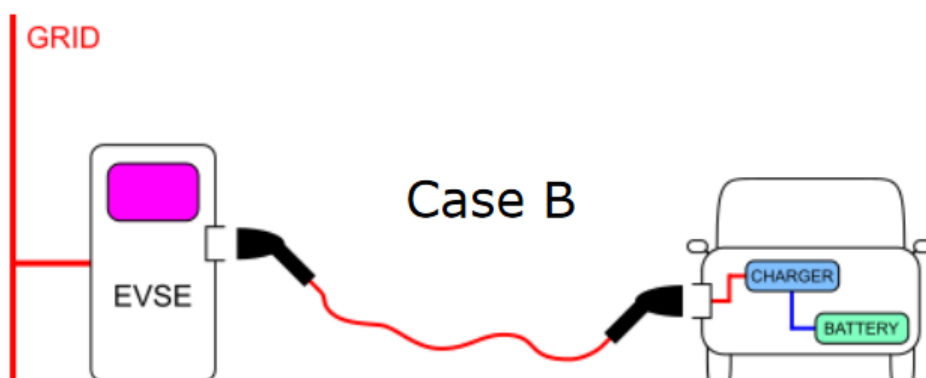
#### 2.3.4.3 ΜΕΘΟΔΟΣ 3

Σε αυτήν την μέθοδο υπάρχει συσκευή παροχής εναλλασσόμενου ρεύματος μόνιμα συνδεδεμένη με το δίκτυο, στην οποία το όχημα συνδέεται μέσω ειδικών καλωδίων φόρτισης. Η συσκευή παροχής ρεύματος διαθέτει σύστημα ελέγχου και ασφάλειας, όπως σύστημα γείωσης, για τυχόν διαρροές ρεύματος και διαχείρισης της φόρτισης καθώς και αγωγό σημάτων επικοινωνίας. Το καλώδιο φόρτισης μπορεί να είναι είτε μόνιμα συνδεδεμένο με τον σταθμό φόρτισης (εικόνα 15) είτε όχι (εικόνα 16). Η σύνδεση είναι και πάλι είτε μονοφασική (με μέγιστη τάση 250 V) είτε τριφασική (μέγιστη

τάση 480 V) με μέγιστη ένταση ρεύματος 32 A. Η συγκεκριμένη μέθοδος ενδείκνυται για ιδιωτική αλλά και δημόσια χρήση.



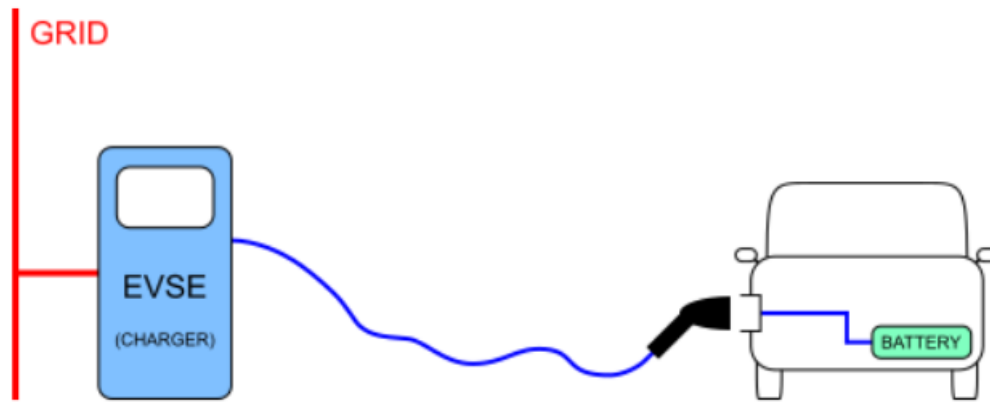
Εικόνα 15: 3η μέθοδος φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων με μόνιμα συνδεδεμένο καλώδιο [πηγή: [http://www.hrvojepandzic.com/wp-content/uploads/2019/09/Lecture\\_4\\_EVs.pdf](http://www.hrvojepandzic.com/wp-content/uploads/2019/09/Lecture_4_EVs.pdf)]



Εικόνα 16: 3η μέθοδος φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων με αποσπώμενο καλώδιο [πηγή: [http://www.hrvojepandzic.com/wp-content/uploads/2019/09/Lecture\\_4\\_EVs.pdf](http://www.hrvojepandzic.com/wp-content/uploads/2019/09/Lecture_4_EVs.pdf)]

#### 2.3.4.4 ΜΕΘΟΔΟΣ 4

Η πρώτη βασική διαφορά αυτής της μεθόδου σε σχέση με τις προηγούμενες έγκειται στο γεγονός ότι ο μετατροπέας βρίσκεται εξωτερικά του οχήματος (off-board charger) και συγκεκριμένα στην συσκευή φόρτισης. Το όχημα δεν συνδέεται άμεσα με το δίκτυο αλλά έμμεσα μέσω του σταθμού φόρτισης ο οποίος είναι μόνιμα συνδεδεμένος με το δίκτυο και μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα του δικτύου σε συνεχές. Το συνεχές ρεύμα τροφοδοτεί απευθείας την μπαταρία του οχήματος παρακάμπτοντας τον εσωτερικό μετατροπέα, μέσω του καλωδίου φόρτισης που βρίσκεται μόνιμα συνδεδεμένο στον σταθμό. Ο εξωτερικός φορτιστής διαθέτει σύστημα ελέγχου και προστασίας το οποίο πρέπει να πληροί αυστηρά χαρακτηριστικά ασφαλείας καθώς τα επίπεδα ισχύος της παρούσας μεθόδου είναι αρκετά υψηλά. Η τάση σε αυτήν την μέθοδο μπορεί να φτάσει τα 600 V με μέγιστη ένταση ρεύματος τα 400 A.



Εικόνα 17: 4η μέθοδος φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων [πηγή: [http://www.hrvojepandzic.com/wp-content/uploads/2019/09/Lecture\\_4\\_EVs.pdf](http://www.hrvojepandzic.com/wp-content/uploads/2019/09/Lecture_4_EVs.pdf)]

### 2.3.5 ΑΚΡΟΣΥΝΔΕΣΜΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Με στόχο την εξάπλωση της ηλεκτροκίνησης και την ευκολότερη χρήση ενός ηλεκτρικού οχήματος, έχει κριθεί απαραίτητη η δημιουργία κάποιων προτύπων τα οποία θα υιοθετούνται καθολικά. Το σύστημα φόρτισης και τα επιμέρους στοιχεία αυτού (ακροσύνδεσμοι, υποδοχές) αποτελούν ένα κομμάτι στο οποίο είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει τυποποίηση έτσι ώστε τα ηλεκτρικά οχήματα να είναι συμβατά με όλα τα συστήματα φόρτισης διευκολύνοντας τους οδηγούς και ελαττώνοντας το κόστος κατασκευής και χρήσης.

#### 2.3.5.1 ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΕ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ

Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο IEC 62196-2 [29], το οποίο συμπληρώνει το IEC 62196-1, καθορίζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά και οι απαιτήσεις των ρευματοδοτών, των υποδοχέων των οχημάτων καθώς και των βυσμάτων που χρησιμοποιούνται κατά την διάρκεια των αγωγίμων φορτίσεων εναλλασσόμενου ρεύματος των μεθόδων 1,2 και 3, όπως αυτές περιγράφονται στο πρότυπο IEC 61851-1 .

##### 2.3.5.1.1 ΑΚΡΟΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΤΥΠΟΥ 1

Αντιστοιχεί στο πρότυπο SAE J1772 και χρησιμοποιείται κυρίως στην βόρεια Αμερική και Ασία. Ο συγκεκριμένος τύπος υποστηρίζει αγωγή μονοφασική φόρτιση εναλλασσόμενου ρεύματος με ισχύ μέχρι 240 V και ένταση ρεύματος 32 A. Διαθέτει 5 ακροδέκτες, την γραμμή τροφοδοσίας, το ουδέτερο ή την δεύτερη γραμμή τροφοδοσίας, την γείωση, τον αισθητήρα κίνησης και τον πιλότο ελέγχου (γραμμή επικοινωνίας) [30].



Εικόνα 18: Ακροσύνδεσμος Τύπου 1

#### 2.3.5.1.2 ΑΚΡΟΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΤΥΠΟΥ 2

Βασίζεται στο γερμανικό πρότυπο VDE-AR-E 2623-2-2 και ονομάζεται αλλιώς και Mennekes λόγω της εταιρείας που το σχεδίασε ενώ χρησιμοποιείται κυρίως στην Ευρώπη αλλά και στην νότια Αμερική. Υποστηρίζει αγωγή μονοφασική φόρτιση εναλλασσόμενου ρεύματος μέχρι 240 V με ένταση ρεύματος έως και 70 A και τριφασική φόρτιση εναλλασσόμενου ρεύματος μέχρι 480 V με ένταση ρεύματος έως και 63 A. Διαθέτει 7 ακροδέκτες, την πρώτη, δεύτερη και τρίτη γραμμή τροφοδοσίας, το ουδέτερο, την γείωση, τον αισθητήρα κίνησης και τον πιλότο ελέγχου (γραμμή επικοινωνίας) [31].

Το 2013 ο ακροσύνδεσμος τύπου 2 όπως αναφέρεται στο πρότυπο EN 62196-2 επιλέχθηκε ως επίσημος ακροσύνδεσμος εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης για αυτό και απαιτείται τα σημεία επαναφόρτισης με εναλλασσόμενο ρεύμα να είναι εξοπλισμένα με αυτού του τύπου ακροσυνδέσμους [32] [33].



Εικόνα 19: Ακροσύνδεσμος Τύπου 2

#### 2.3.5.1.3 ΑΚΡΟΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΤΥΠΟΥ 3

Πρόκειται για ακροσύνδεσμο όμοιο του Τύπου 2 που σχεδίασε η ένωση Ev Plug Alliance μέλη της οποίας είναι οι εταιρείες Scame, Schneider Electric, Legrand και άλλες για αυτό και συναντάται και ως ακροσύνδεσμος Scame. Διαθέτει 7 ακροδέκτες όπως ο ακροσύνδεσμος Τύπου 2 και η διαφορά τους έγκειται στην ύπαρξη προστατευτικών κλείστρων ασφαλείας [29].



Εικόνα 20: Ακροσύνδεσμος Τύπου 3 [πηγή: <https://www.evchargeking.com/en/t3-charging-cables-for-france>]

#### 2.3.5.2 ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΕ ΣΥΝΕΧΕΣ ΡΕΥΜΑ

Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο IEC 62196-3, το οποίο συμπληρώνει το IEC 62196-1, καθορίζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των βυσμάτων καθώς και των υποδοχέων των οχημάτων που χρησιμοποιούνται για την φόρτιση μέσω συνεχούς ρεύματος της μεθόδου 4, όπως περιγράφεται στο πρότυπο IEC 61851-1 και στο IEC 61851-23 [29].

##### 2.3.5.2.1 ΠΡΟΤΥΠΟ CHAdeMO

Το συγκεκριμένο βύσμα σχεδιάστηκε από την ομώνυμη ιαπωνική εταιρεία και πήρε το όνομά του από την φράση «charge and move» που υποδεικνύει την ταχύτητα φόρτισης που προσφέρει. Έχει υιοθετηθεί από τις Nissan, Citroen, Mitsubishi, Kia, Subaru και Peugeot και λειτουργεί χρησιμοποιώντας διαφορετική υποδοχή στο όχημα από αυτήν που χρησιμοποιείται για τη φόρτιση με εναλλασσόμενο ρεύμα. Η ονομαστική τάση του συστήματος φτάνει τα 500 V DC [34].



Εικόνα 21: Ακροσύνδεσμος CHAdeMO [πηγή: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CHAdeMO\\_connector-side\\_oblique-alpha\\_PNr%C2%B00522b.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CHAdeMO_connector-side_oblique-alpha_PNr%C2%B00522b.png)]



#### 2.3.5.2.2 ΠΡΟΤΥΠΟ CCS (Combo)

Το σύστημα CSS ή αλλιώς «Combined Charging System» περιλαμβάνει τους ακροσυνδέσμους Combo 1 και Combo 2 που χρησιμοποιούνται για επίπεδα ισχύος έως 80 και 350 kW αντίστοιχα. Πρακτικά αποτελούν επέκταση των συνδέσμων Τύπου 1 και 2 για γρήγορη φόρτιση υψηλής ισχύος συνεχούς ρεύματος και χρησιμοποιούν την ίδια υποδοχή στο όχημα με αυτήν που χρησιμοποιείται και για τη φόρτιση με εναλλασσόμενο ρεύμα. Με το σύστημα συνδυασμένης φόρτισης είναι δυνατή η φόρτιση του οχήματος με εναλλασσόμενο αλλά και συνεχές ρεύμα με μία μόνο κοινή υποδοχή τύπου Combo. Η ονομαστική τάση του συστήματος φτάνει τα 500 V DC για τον ακροσύνδεσμο Combo 1 και 1000 V DC για τον ακροσύνδεσμο Combo 2. Το σύστημα CSS έχει υιοθετηθεί από τις εταιρείες Volkswagen, Jaguar, Tesla, BMW, Ford, Audi, Porsche Taycan, Chevrolet, FCA, Hyundai και Mercedes [35].

Το 2013 η Ευρωπαϊκή Ένωση απαίτησε οι σταθμοί επαναφόρτισης συνεχούς ρεύματος να διαθέτουν σύστημα φόρτισης Combo 2 όπως αναφέρεται στο πρότυπο EN 62196-3 [33].

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 22 η διαφορά του Combo 2 και του ακροσυνδέσμου Τύπου 2 έγκειται στην ύπαρξη δύο ακροδεκτών που παρέχουν συνεχές ρεύμα και την απουσία των τριών ακροδεκτών που παρέχουν τις φάσεις καθώς και του ουδέτερου. Και οι δύο ακροσύνδεσμοι εφαρμόζουν στην ίδια υποδοχή τύπου Combo.



Εικόνα 22: Σύγκριση μεταξύ των ακροσυνδέσμων Combo 2 και Τύπου 2 [πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Iec-type2-ccs-combo2-and-iec-type2-charging-connectors-side-by-side.jpg>]

## 2.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Ηλεκτρικό δίκτυο είναι ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από τους παραγωγούς στους καταναλωτές. Συνίσταται από τρία επιμέρους τμήματα, την παραγωγή, την μεταφορά και την διανομή. Στην πρώτη φάση η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται σε εργοστάσια με χρήση ορυκτών καυσίμων όπως ο άνθρακας και το φυσικό αέριο ή με βιομάζα, είτε με αξιοποίηση ανανεώσιμων



πηγών ενέργειας όπως ο αέρας, το νερό ή ο ήλιος, είτε και με πυρηνικά καύσιμα. Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με γραμμές υψηλής τάσης από τα εργοστάσια στα κέντρα ζήτησης. Τέλος μετασχηματιστές υποβιβάζουν την τάση της ενέργειας που φτάνει στους υποσταθμούς και μέσω γραμμών χαμηλότερης τάσης διανέμεται στα οικιακά δίκτυα [36][37].

Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι το σύστημα των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιοχές ζήτησης. Βασικές προϋποθέσεις καλής λειτουργίας ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι να παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τις μικρότερες οικολογικές επιπτώσεις, με σταθερή τάση και συχνότητα και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης. Το υψηλό κόστος αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας την καθιστά απαγορευτική με αποτέλεσμα να πρέπει να παράγεται την στιγμή που χρειάζεται να καταναλωθεί. Για αυτό είναι σημαντικό η ζήτηση και η προσφορά να βρίσκονται ανά πάσα στιγμή σε ισορροπία. Η εξυπηρέτηση των αναγκών των καταναλωτών σε ηλεκτρική ενέργεια προϋποθέτει τις επιμέρους φάσεις της παραγωγής, της μεταφοράς και της διανομής που αναλύονται παρακάτω.

Παραδοσιακά ο όρος δίκτυο αναφέρεται σε ένα ηλεκτρικό σύστημα που δύναται να υποστηρίξει κάποιες ή όλες τις παρακάτω λειτουργίες [36]:

- Το σύστημα παραγωγής

Περιλαμβάνει τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Η σύγχρονη βιομηχανία βασίζεται στην μετατροπή της θερμικής ενέργειας των ορυκτών καυσίμων και της μηχανικής των υδάτινων ροών και υδατοπτώσεων σε ηλεκτρική ενέργεια. Ανάλογα με την πηγή πρωτογενούς ενέργειας οι μονάδες παραγωγής ενέργειας διακρίνονται σε υδροηλεκτρικούς, ατμοηλεκτρικούς, θερμικούς και πυρηνικούς σταθμούς. Εκτός από τους σταθμούς που αναφέρθηκαν, στο σύστημα παραγωγής ανήκουν και οι μετασχηματιστές που ανυψώνουν την τάση προτού ξεκινήσει η διαδικασία μεταφοράς.

- Το σύστημα μεταφοράς

Σε αυτό συνδέονται οι σταθμοί παραγωγής και τα σημεία υψηλής κατανάλωσης και έτσι οι μεγάλοι καταναλωτές μπορούν να εξυπηρετηθούν άμεσα. Το σύστημα λειτουργεί στην μέγιστη δυνατή τάση προκειμένου να μειωθούν οι απώλειες. Αποτελείται από τις γραμμές υψηλής και υπερυψηλής τάσης καθώς και τους υποσταθμούς και διασυνδέει τους σταθμούς παραγωγής μεταξύ τους αλλά και με γειτονικά δίκτυα.

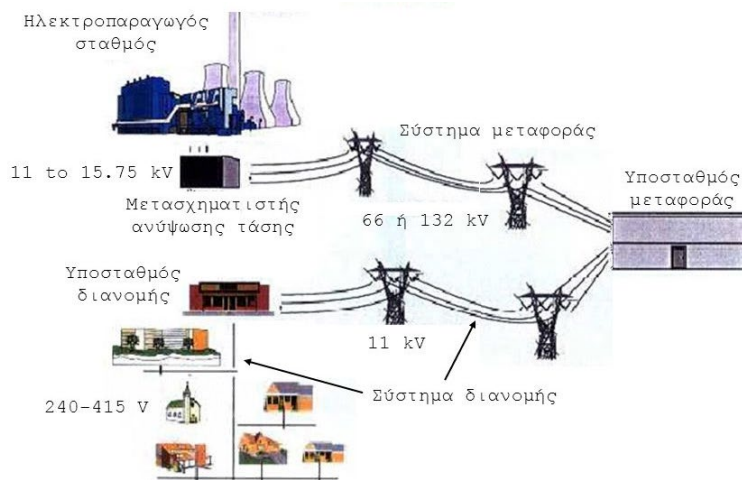
- Το σύστημα διανομής

Περιλαμβάνει τις γραμμές μέσης και χαμηλής τάσης καθώς και τους υποσταθμούς που διανέμουν την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές μεσαίου μεγέθους και στους οικιακούς καταναλωτές. Μέσω των μετασχηματιστών, η μέση τάση υποβιβάζεται σε χαμηλή.

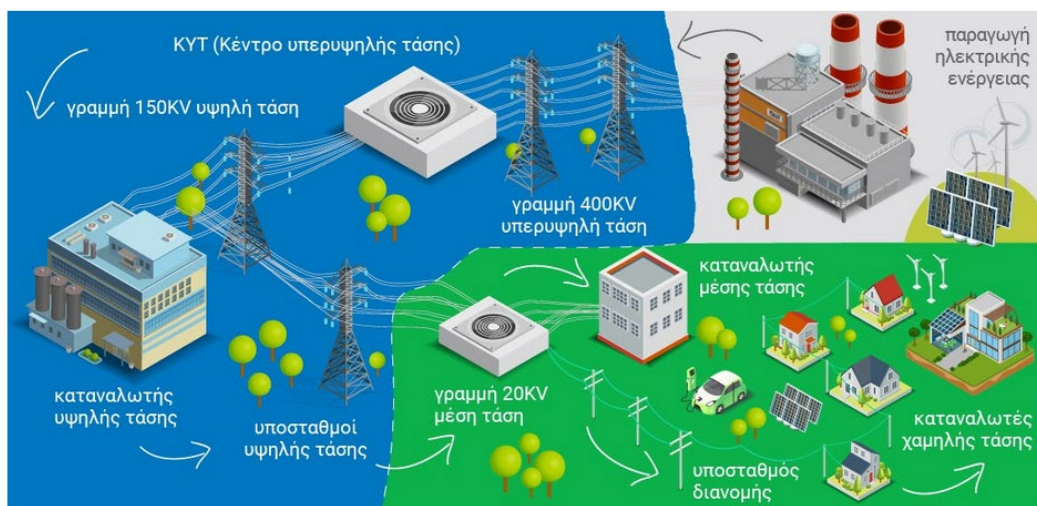
- Τον έλεγχο του συστήματος

Ο έλεγχος όλων των παραπάνω αποτελεί βασική προϋπόθεση για την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος. Τα κέντρα κατανομής φορτίου (ΚΚΦ) είναι κεντρικά σημεία που συλλέγουν πληροφορίες για τα επιμέρους συστήματα και συντονίζουν

την λειτουργία τους. Ένα σύνολο από ΚΚΦ ονομάζεται σύστημα ελέγχου ενέργειας (ΣΕΕ) και λειτουργεί με στόχο την ασφάλεια του συστήματος. Η μετάδοση μετρήσεων από τους υποσταθμούς στα ΚΚΦ και αντίστροφα γίνεται με την βοήθεια τηλεπικοινωνιακού δικτύου.



Εικόνα 23: Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και οι επιμέρους φάσεις [πηγή: <https://slideplayer.gr/slide/2024285/>]



- ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΕΣ
- ΑΔΜΗΕ
- ΔΕΔΔΗΕ

Εικόνα 24: Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας από την παραγωγή στην κατανάλωση [πηγή: <https://www.deddie.gr/el/deddie/to-diktuo-ilektrismou/>]

#### 2.4.1 ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ

Το ενεργειακό τοπίο στην χώρα μας αλλά και σε όλο τον κόσμο αλλάζει με ταχείς ρυθμούς. Η αγορά ενέργειας καλείται να ανταποκριθεί σε αυστηρότερες περιβαλλοντικές προδιαγραφές με στόχο την καλύτερη αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Για την διείσδυση όμως των ηλεκτρικών οχημάτων και την μεγαλύτερη ενσωμάτωση των ΑΠΕ, είναι

απαραίτητη η αναβάθμιση και εξέλιξη του υπάρχοντος δικτύου προκειμένου να είναι πιο ευέλικτο και αποτελεσματικό.

Έξυπνο θεωρείται το δίκτυο το οποίο μπορεί να εξυπηρετεί με ασφαλή και οικονομικό τρόπο όλους τους χρήστες που είναι συνδεδεμένοι σε αυτό, τους παραγωγούς και καταναλωτές, με στόχο την αποδοτική χρήση της ενέργειας με αξιοποίηση συστημάτων πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών. Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός ευφυούς δικτύου περιλαμβάνουν αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ παραγωγών και καταναλωτών, διεσπαρμένη παραγωγή και αποθήκευση, ψηφιοποίηση της ενέργειας, ενεργή συμμετοχή των καταναλωτών και υποστήριξη της ηλεκτροκίνησης. Σε ένα έξυπνο σύστημα είναι βασικό να εξασφαλίζεται η αξιοπιστία και η ασφάλεια κατά την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του παραγωγού και του καταναλωτή.

Τα παραδοσιακά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργούν μεταφέροντας ηλεκτρική ενέργεια από κάποιους μεγάλους παραγωγούς (κεντρικές γεννήτριες) σε έναν μεγάλο αριθμό πελατών/χρηστών. Αντίθετα σε ένα έξυπνο δίκτυο η ενέργεια ρέει αμφίδρομα. Τα ψηφιακά συστήματα μέτρησης και παρακολούθησης λειτουργίας μπορούν να βοηθήσουν στην διαχείριση της ζήτησης και την δημιουργία ενός αξιόπιστου δικτύου. Έτσι επιτυγχάνεται η επίλυση πολλών ζητημάτων που αφορούν στην διαδικασία μεταφοράς, διανομής αλλά και κατανάλωσης. Απώτερος σκοπός είναι η δημιουργία ενός συστήματος που χαρακτηρίζεται από ευελιξία, ασφάλεια, αντοχή, αξιοπιστία, αποτελεσματικότητα και αειφορία.

#### 2.4.2 ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ

Στα πλαίσια των έξυπνων δικτύων έχει αναπτυχθεί και η φιλοσοφία των μικροδικτύων (microgrids) τα οποία σαν ορολογία χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν δίκτυα με κατανεμημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που καλύπτουν τοπικές ενεργειακές ανάγκες.

Κατανεμημένη παραγωγή ενέργειας είναι η παραγωγή ενέργειας που βρίσκεται κοντά σε κάποιο τοπικό φορτίο για την καλύτερη και πιο αξιόπιστη διαχείρισή του αλλά και γιατί με αυτόν τον τρόπο δεν είναι απαραίτητη η επέκταση του κεντρικού δικτύου. Κατανεμημένες πηγές ενέργειας μπορούν να θεωρηθούν οι ανεμογεννήτριες, τα φωτοβολταϊκά, τα μικρά υδροηλεκτρικά και οι μονάδες βιομάζας.

Τα μικροδίκτυα περιλαμβάνουν συστήματα διανομής χαμηλής τάσης με κατανεμημένες πηγές ενέργειας, συσκευές αποθήκευσης και ηλεκτρικά φορτία. Τα μικροδίκτυα είναι αυτόνομα ενεργειακά συστήματα που μπορούν να λειτουργούν είτε διασυνδεδεμένα με το κεντρικό δίκτυο ενέργειας είτε αυτόνομα. Υπό κανονικές συνθήκες βρίσκονται σε σύνδεση όμως σε περίπτωση διαταραχής μπορούν να στραφούν στην απομονωμένη λειτουργία [38]. Για την βελτίωση της απόδοσής τους και την επίτευξη σταθερότητας, είναι σημαντικό τα μικροδίκτυα να ενσωματώνουν συστήματα ελέγχου. Η φύση τους τα καθιστά ιδανικά για απομακρυσμένες περιοχές εκτός δικτύου ή βιομηχανικές εγκαταστάσεις καθώς παρέχουν ηλεκτρικό ρεύμα οικονομικά και βιώσιμα.

#### 2.5 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Σύμφωνα με στοιχεία του ΕΙΑ για το 2020, το 68% της εξαγωγής πετρελαίου στις ΗΠΑ καταναλώθηκε στον τομέα των μεταφορών [39]. Τα ηλεκτρικά οχήματα όμως μπορούν να συμβάλλουν δραστικά στην μείωση ανάγκης για εξαγωγή και χρήση ορυκτών

καυσίμων. Για την καλύτερη ενσωμάτωσή τους έχουν αναπτυχθεί διαφορετικές τεχνολογίες φόρτισης όπως η μονόδρομη (unidirectional V2G ή V1G) και η αμφίδρομη λειτουργία (bidirectional V2G).

#### 2.5.1 ΜΟΝΟΔΡΟΜΗ ΦΟΡΤΙΣΗ (V1G)

Η V1G αναφέρεται σε μονόδρομη ελεγχόμενη φόρτιση γνωστή αλλιώς και σαν «έξυπνη» φόρτιση (smart charging). Ουσιαστικά πρόκειται για την ικανότητα των οχημάτων να προσαρμόζουν τον ρυθμό και χρόνο φόρτισης βάσει των σημάτων ελέγχου από το δίκτυο. Αυτό μπορεί να επιδράσει θετικά στην διαχείριση φόρτου του δικτύου και στην μείωση του κόστους φόρτισης εάν το χρονοδιάγραμμα των τιμών βασίζεται στην ώρα χρήσης (Time Of Use). Πρακτικά, η φόρτιση αποφεύγεται τις ώρες υψηλής ζήτησης και επιλέγονται ώρες της μέρας που είτε η παραγωγή είναι μεγάλη (πιθανόν μια μέρα με έντονη ηλιοφάνεια ή δυνατό άνεμο) είτε η ζήτηση είναι μικρή (όπως οι βραδινές ώρες). Η έξυπνη φόρτιση επιτρέπει στον κάτοχο του σταθμού φόρτισης να παρακολουθεί, να διαχειρίζεται και να περιορίζει τη χρήση των συσκευών από απόσταση για την βελτιστοποίηση του κόστους ενέργειας [40] [41]. Σύμφωνα με σενάριο που βασίστηκε στο πορτογαλικό σύστημα παραγωγής ενέργειας και την φόρτιση 375 οχημάτων σε μια κατοικημένη περιοχή προέκυψε ότι με απλή φόρτιση χωρίς έλεγχο είναι δυνατή η ενσωμάτωση ηλεκτρικών οχημάτων μεριδίου 11% χωρίς την αναβάθμιση του υπάρχοντος δικτύου. Στην περίπτωση όμως της έξυπνης διαχείρισης του 50% του στόλου των οχημάτων το ποσοστό ενσωμάτωσης των οχημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο χωρίς την αναβάθμιση αυτού ανέρχεται στο 61% [42].

#### 2.5.2 ΑΜΦΙΔΡΟΜΗ ΦΟΡΤΙΣΗ (V2G)

Η V2G αναφέρεται σε αμφίδρομη ροή ενέργειας μεταξύ της μπαταρίας του ηλεκτρικού οχήματος και του σταθμού φόρτισης και θα μπορούσε να θεωρηθεί ως εξέλιξη του smart charging. Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει την ροή ενέργειας από το όχημα στο δίκτυο και συναντάται στην αγγλική ορολογία σαν «vehicle to grid» ή «V2G». Πρακτικά αυτή η αλληλεπίδραση των ηλεκτρικών οχημάτων με το δίκτυο, δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί η ενέργεια που υπάρχει αποθηκευμένη στην μπαταρία των οχημάτων. Μέσω αυτής της ανταλλαγής μπορεί να γίνει εκμετάλλευση των μπαταριών όταν δεν χρησιμοποιούνται για οδήγηση και λαμβάνοντας υπόψιν ότι τα οχήματα παραμένουν σταθμευμένα το ογδόντα με ενενήντα τοις εκατό της μέρας είναι σαφές ότι η συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να φανεί αποτελεσματική. Με φόρτιση και εκφόρτιση την κατάλληλη στιγμή τα ηλεκτρικά οχήματα αντιμετωπίζονται σαν μια εν δυνάμει αποθήκη ενέργειας και αποτελούν ευκαιρία για την ενίσχυση της αποθήκευσης ενέργειας που είναι απαραίτητη αλλά και μέχρι πρότινος καθόλου οικονομικά συμφέρουσα. Με την σύνδεσή τους στο δίκτυο, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να αξιοποιηθούν για την κάλυψη ζήτησης ενέργειας τις ώρες αιχμής, είτε για να παρέχουν χωρητικότητα εφεδρικής ισχύος. Για παράδειγμα, όταν η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την ζήτηση η τιμή αυτής είναι αρκετά χαμηλή οπότε είναι οικονομικά συμφέρον για τον ιδιοκτήτη του οχήματος να φορτίσει και αντίστοιχα κατά την διάρκεια μεγάλης ζήτησης μπορεί να αποφορτίσει προκειμένου να τροφοδοτήσει το δίκτυο με την απαραίτητη ενέργεια [43] [44].

Το σύστημα V2G μπορεί να εφαρμοστεί σε οχήματα που έχουν την δυνατότητα σύνδεσης με το δίκτυο. Αυτά είναι τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας και τα plug-in υβριδικά είτε χρησιμοποιούν μηχανή εσωτερικής καύσης είτε κυψέλες καυσίμου. Τα BEVs μπορούν να φορτίζουν και να εκφορτίζουν όπως αναφέρθηκε παραπάνω κατά

τις ώρες χαμηλής και υψηλής ζήτησης αντίστοιχα, τα FCEVs μπορούν να παράγουν ενέργεια καταναλώνοντας το υδρογόνο ή το καύσιμο που διαθέτουν και τα PHEVs μπορούν να προσφέρουν ενέργεια και με τους δύο αυτούς τρόπους.

Η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι ιδιαίτερα ευπροσάρμοστη, χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ονομασία V2X που της έχει δοθεί και πρακτικά σημαίνει από το όχημα σε οτιδήποτε. Αυτό περιλαμβάνει συνδέσεις όπως V2B (όχημα σε κτήριο), V2H (όχημα σε σπίτι) και V2V (από ένα όχημα σε άλλο). Αυτές οι δυνατότητες φάνηκαν πολύ χρήσιμες στην Ιαπωνία μετά τον σεισμό του 2011, όταν στάλθηκαν ηλεκτρικά οχήματα στην περιοχή της Φουκουσίμα για να παρέχουν ρεύμα στους κατοίκους προκειμένου να θερμάνουν τα σπίτια τους και να φορτίσουν τις ηλεκτρικές τους συσκευές μετά το τσουνάμι [45].

Για την καλή λειτουργία ενός δικτύου V2G και προκειμένου να είναι πετυχημένο, είναι απαραίτητο τα οχήματα να διαθέτουν καλή σύνδεση με το δίκτυο, να μπορούν να δέχονται σήματα ελέγχου από το δίκτυο και να ανταποκρίνονται άμεσα και να διαθέτουν ψηφιακό μετρητή. Γενικά χρειάζεται αξιόπιστη και ασφαλής υποδομή και δικτύωση, η οποία επιτρέπει αμφίδρομη ανταλλαγή μηνυμάτων και δεδομένων μεταξύ των οχημάτων και των κέντρων ελέγχου, λειτουργίας και παρακολούθησης.

Σε αυτό το σημείο είναι χρήσιμο να αναφερθεί ότι η τεχνολογία V2G δεν είναι καινούρια καθώς πρώτη φορά αναφέρεται στην βιβλιογραφία το 2001 από τον Willet Kempton που δημοσίευσε το «Vehicle-to-grid power: battery, hybrid, and fuel cell vehicles as resources for distributed electric power in California». Για αρκετά χρόνια ήταν σχετικά άγνωστη όμως με την ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης φαίνεται να έρχεται ξανά στο προσκήνιο.

### 2.5.3 ΕΞΥΠΝΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΚΑΙ ΑΠΕ

Ο τομέας της ενέργειας στρέφεται προς ένα πιο πράσινο και φιλικό προς το περιβάλλον μέλλον. Τα ορυκτά καύσιμα μπορούν να θεωρηθούν αποθηκευμένη μορφή ενέργειας καθώς για να απελευθερωθεί ενέργεια πρέπει να καούν. Αντίθετα η ενέργεια που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές που συμμετέχουν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να καταναλώνονται την στιγμή που παράγονται ή να αποθηκεύονται κάπου αλλού για μελλοντική χρήση. Επιπλέον, ενώ οι συμβατικοί τρόποι παραγωγής ενέργειας είναι πιο σταθεροί, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας επηρεάζονται εύκολα από τις καιρικές συνθήκες οδηγώντας σε λιγότερο προβλέψιμη παραγωγή ενέργειας. Ταυτόχρονα όμως η παραγωγή από τέτοια συστήματα, αξιοποίησης για παράδειγμα της ηλιακής και αιολικής ενέργειας, αυξάνεται με το πέρασμα του χρόνου και αναμένεται να αυξηθεί ακόμα περισσότερο. Ως αποτέλεσμα, η διαλείπουσα φύση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, και κυρίως της αιολικής ενέργειας, καθιστά το σύστημα πιο ασταθές, απαιτώντας νέους τρόπους για την εξισορρόπηση του ηλεκτρικού δικτύου και την αποθήκευση της ενέργειας. Επιπρόσθετα, η αναμενόμενη αύξηση των ηλεκτρικών οχημάτων θα οδηγήσει σε μεγαλύτερη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και θα προσθέσει ένα επιπλέον φορτίο στο ήδη επιβαρυσμένο δίκτυο επηρεάζοντας σημαντικά την χωρητικότητά του.

Στην πραγματικότητα όμως, όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό ενσωμάτωσης ΑΠΕ στο μίγμα παραγωγής τόσο μεγαλύτερα θα είναι και τα περιβαλλοντικά οφέλη από την χρήση ηλεκτρικών οχημάτων. Καθώς το μίγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μεταβάλλεται μέσα στην ημέρα, η φόρτιση σε περιόδους υψηλής παραγωγής από ΑΠΕ



μέσω μιας έξυπνης στρατηγικής φόρτισης θα οδηγούσε σε μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> σε σχέση με μια απλή φόρτιση χωρίς έλεγχο [46]. Αυτό συμβαίνει διότι η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ αποφέρει πολύ μικρότερες εκπομπές αέριων ρύπων. Την ίδια στιγμή τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να αποτελέσουν την λύση στο πρόβλημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας καθώς αποτελούν την μεγαλύτερη και οικονομικότερη αποθήκη ενέργειας και χάρη στην τεχνολογία V2G μπορούν να αντιμετωπιστούν σαν μια κινητή πηγή ενέργειας. Χάρη σε αυτήν την αλληλεπίδραση μεταξύ οχημάτων και δικτύου, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που χαρακτηρίζονται από υψηλή μεταβλητότητα μπορούν να διεισδύσουν ακόμα περισσότερο στο δίκτυο, χωρίς να επηρεάζεται η ισορροπία και αξιοπιστία του. Η τεχνολογία V2G μπορεί να συμβάλλει στην γρήγορη εξάπλωση της ηλεκτροκίνησης και την μείωση των συνολικών εκπομπών CO<sub>2</sub>. Με αυτόν τον τρόπο τα οφέλη είναι και οικονομικά και περιβαλλοντικά.

#### 2.5.4 V2G ΚΑΙ PEAK SHAVING

Η ημερήσια διακύμανση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας οδηγεί στην ανάγκη για παραγωγή ενέργειας από ειδικούς εφεδρικούς σταθμούς ή αλλιώς σταθμούς αιχμής. Οι σταθμοί αυτοί χρησιμοποιούνται για να εξισορροπούν την απότομη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και για αυτό λειτουργούν συνήθως σε κατάσταση αναμονής και ενεργοποιούνται σε περιόδους αιχμής. Εξαιτίας της φύσης τους προσφέρουν ενέργεια σε υψηλή τιμή, γεγονός που οδηγεί τους διαχειριστές του δικτύου να προσπαθούν να μειώνουν τις περιόδους αιχμής. Το λεγόμενο «peak shaving» υποδηλώνει αυτήν ακριβώς την προσπάθεια εξομάλυνσης της καμπύλης του φορτίου. Για να γίνει αυτό είναι απαραίτητο οι καταναλωτές να μειώσουν την ζήτηση ενέργειας στις περιόδους εντός αιχμής. Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα μέσω της σύνδεσης V2G μπορούν να καλύψουν το φορτίο υποβοηθώντας ή και αντικαθιστώντας τους εφεδρικούς σταθμούς.

#### 2.5.5 V2G ΚΑΙ VALLEY FILLING

Αντίστοιχη ενέργεια για την ομαλοποίηση της καμπύλης ζήτησης αποτελεί το λεγόμενο «valley filling». Αν ένας μεγάλος αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων επιλέξει να φορτιστεί σε ώρες που η ζήτηση ενέργειας είναι χαμηλή μπορεί να συνεισφέρει στην εξομάλυνση των διακυμάνσεων της ζήτησης. Σε γενικές γραμμές σκοπός είναι η επίτευξη ενός όσο το δυνατόν σταθερότερου φορτίου χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις. Η συγκεκριμένη στρατηγική μπορεί να εφαρμοσθεί τόσο μέσω σύνδεσης V2G όσο και μέσω έξυπνης φόρτισης.

#### 2.5.6 V2G ΣΥΣΤΗΜΑ ΧΩΡΙΣ ΤΗΝ ΥΠΑΡΞΗ AGGREGATOR

Πρόκειται για ένα απλό σύστημα ανταλλαγής ενέργειας μεταξύ ενός οχήματος και του δικτύου. Κάθε όχημα αποτελεί έναν ανεξάρτητο λογαριασμό με την τοπική εταιρία διανομής ενέργειας. Απαραίτητο είναι το όχημα να διαθέτει δυνατότητα τηλεμετρίας για να λαμβάνει σήματα από τον διαχειριστή του συστήματος μεταφοράς ενέργειας (TSO) και να ανταποκρίνεται σε αυτά άμεσα. Τα σήματα αυτά δίνουν πληροφορίες για την θέση, την σύνδεση ή όχι με το δίκτυο και την εκτιμώμενη ισχύ που μπορεί να προσφέρει το όχημα. Η επιχειρηματική αξιοποίηση ενός V2G συστήματος προϋποθέτει την ύπαρξη μοναδικού αριθμού ή αναγνωριστικού για το κάθε όχημα και αντίστοιχα για κάθε σταθμό φόρτισης και έναν ενσωματωμένο μετρητή στα οχήματα ώστε να καταγράφεται ο χρόνος και η ροή ισχύος.

Η λειτουργία V2H που αναφέρθηκε νωρίτερα μπορεί να θεωρηθεί παραλλαγή ενός συστήματος χωρίς aggregator. Το όχημα δεν επιστρέφει ενέργεια στο δίκτυο αλλά τροφοδοτεί το σπίτι παίζοντας τον ρόλο μιας οικιακής γεννήτριας.

#### 2.5.7 V2G ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΤΗΝ ΥΠΑΡΞΗ AGGREGATOR

Η λειτουργία του συγκεκριμένου συστήματος περιλαμβάνει την ύπαρξη κάποιου «συναθροιστή», του οποίου αρμοδιότητα είναι να επικοινωνεί και συναλλάσσεται με το δίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο ο εκάστοτε aggregator παίζει τον ρόλο του μεσάζοντα μεταξύ του ιδιοκτήτη του οχήματος και του διαχειριστή του δικτύου. Ο aggregator χρειάζεται να συγκεντρώνει πληροφορίες για τα προφίλ των οχημάτων που έχει υπό τον έλεγχό του και να δημιουργεί ένα αθροιστικό προφίλ μιας εικονικής μονάδας παραγωγής ενέργειας. Το προφίλ αυτό σχετίζεται με τον αριθμό των διαθέσιμων και ικανών για V2G σύνδεση οχημάτων για κάθε ώρα της μέρας. Ακόμα θα πρέπει να μπορεί να δέχεται σήματα από τον διαχειριστή του συστήματος μεταφοράς ενέργειας και να προωθεί τις εντολές του στα οχήματα με τον πιο συμφέρον τρόπο βάσει του αθροιστικού προφίλ που έχει δημιουργήσει. Με αυτόν τον τρόπο ο aggregator έχει την δυνατότητα να κάνει προσφορές της τάξης MW ή MWh στις διάφορες αγορές σε αντίθεση με το προηγούμενο σύστημα.

Τον ρόλο ενός aggregator θα μπορούσαν να αναλάβουν οι παρακάτω ([47], σελ. 19-20):

- Ο διαχειριστής του συστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, που είναι ήδη στην επιχείρηση ηλεκτρικής ενέργειας και θα αποκτήσει αξιοπιστία στο δίκτυό του.
- Ένας πάροχος κινητής τηλεφωνίας που διαχειρίζεται το δίκτυο τηλεπικοινωνιών πάνω στο οποίο στηρίζεται η μετάδοση των σημάτων V2G και κερδίζει από τις πολλές μικρές αυτοματοποιημένες συναλλαγές.
- Μια αυτόνομη επιχείρηση που ειδικεύεται στις αγορές ενέργειας και ασχολείται αποκλειστικά με αυτό.
- Μια εταιρεία κατασκευής ηλεκτρικών οχημάτων που θα προσφέρει με αυτόν τον τρόπο ελκυστικότερα προϊόντα και θα ανεβάσει τις πωλήσεις της.

#### 2.5.8 V2G ΚΑΙ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

Η τυχόν υποβάθμιση της μπαταρίας των ηλεκτρικών οχημάτων εξαιτίας των συνεχόμενων εκφορτίσεων ίσως αποτελέσει ανασταλτικό παράγοντα της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Μέχρι στιγμής δεν υπάρχει ξεκάθαρη απάντηση καθώς κάποιοι υποστηρίζουν ότι η αρνητική επίδραση στην μπαταρία καθιστά την τεχνολογία V2G μη βιώσιμη ενώ υπάρχουν και έρευνες που δείχνουν ότι είναι πιθανό ακόμα και να συνεισφέρει στην μακροζωία της μπαταρίας η εκφόρτιση, αν γίνεται με σταθερό και ελεγχόμενο ρυθμό. Η χωρητικότητα της μπαταρίας είναι αρκετά πολύπλοκη και σε γενικές γραμμές σχετίζεται με τον ρυθμό φόρτισης και εκφόρτισης, το βάθος εκφόρτισης, την ηλικία, θερμοκρασία αλλά και την χημεία της μπαταρίας. Οι περισσότερες έρευνες δείχνουν ότι με χαμηλά ποσοστά εκφόρτισης η υποβάθμιση της μπαταρίας είναι αρκετά μικρή.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή δύο πρόσφατες μελέτες [48] αποκάλυψαν διαφορετικά αποτελέσματα που αφορούσαν στην τεχνολογία V2G. Στο πρώτο σενάριο εξετάστηκε η ανταλλαγή ενέργειας με το δίκτυο σε μπαταρία ιόντων λιθίου με στόχο

### 2.5.9 V2G ΔΙΚΤΥΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

A world map showing the distribution of COVID-19 cases by country. The map uses a color scale from blue (low cases) to red (high cases). Numbers are placed inside colored circles over each country to indicate the number of cases. The map shows a high concentration of cases in North America, Europe, and East Asia, with lower numbers in South America, Africa, and Australia.

| Country      | Cases |
|--------------|-------|
| USA          | 9     |
| Mexico       | 2     |
| Brazil       | 8     |
| Canada       | 2     |
| UK           | 43    |
| France       | 2     |
| Germany      | 9     |
| Italy        | 2     |
| Spain        | 2     |
| China        | 6     |
| India        | 2     |
| Japan        | 2     |
| South Korea  | 2     |
| Iran         | 2     |
| South Africa | 2     |
| Australia    | 2     |
| New Zealand  | 2     |

Μια συνεργασία που στόχο έχει την προώθηση της ηλεκτροκίνησης μέσω της σύνδεσης V2G αποτελεί αυτή της Nissan με την EDF από το 2019 έως και σήμερα. Η παρούσα συμφωνία μεταξύ αυτών ισχύει για την Ιταλία, το Ηνωμένο Βασίλειο, το Βέλγιο και την Γαλλία. Η EDF είναι υπεύθυνη για τις λύσεις φόρτισης V2G και τις συναφείς υπηρεσίες ενώ η Nissan για τα ηλεκτροκίνητα οχήματα που έχουν την δυνατότητα σύνδεσης με το δίκτυο και αμφίδρομης ροής ενέργειας [49].

40



Παρακάτω αναφέρονται αναλυτικά κάποια V2G δίκτυα στην Ευρώπη.

#### Ιταλία

Το μεγαλύτερο δίκτυο φόρτισης V2G στον κόσμο εγκαινιάστηκε τον Σεπτέμβριο του 2020 στο βιομηχανικό συγκρότημα Mirafiori της FCA (Fiat Chrysler Automobiles) στο Τορίνο. Το συγκεκριμένο δίκτυο αποτελεί συνεργασία μεταξύ των FCA, του τεχνικού συνεργάτη ENGIE Eps και της Terna. Η πρώτη φάση κατασκευής του δικτύου περιλάμβανε την τοποθέτηση 32 σταθμών V2G με δυνατότητα διασύνδεσης έως και 64 οχημάτων. Στόχος είναι μέχρι το τέλος του 2021 το δίκτυο να έχει επεκταθεί τόσο ώστε να υπάρχει δυνατότητα διασύνδεσης έως και 700 ηλεκτρικών οχημάτων. Το δίκτυο θα λαμβάνει ενέργεια και από το ισχύος 15 MW ηλιακό πάρκο των 150.000 m<sup>2</sup> που επίσης κατασκευάζεται στο Mirafiori και θα συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 5.000 τόνους. Με την ολοκλήρωση του, το δίκτυο V2G στο Mirafiori, θα έχει την δυνατότητα παροχής 25 MW, που θα το καθιστά τη μεγαλύτερη αντίστοιχη εγκατάσταση στον κόσμο. Χαρακτηριστικό είναι ότι θα έχει τη δυνατότητα να βελτιστοποιεί τη ροή ενέργειας που αντιστοιχεί στην κατανάλωση που έχουν 8.500 σπίτια. Η έρευνα στοχεύει στην ανάλυση της οικονομικής βιωσιμότητας του προγράμματος [51].



Εικόνα 26: Δίκτυο V2G, Mirafiori, Torino [πηγή: <https://www.media.fcaemea.com/gr-el/corporate-communications/press/fca-e-mobility-v2g>]

#### Ηνωμένο βασίλειο

Η Nissan συνεργάζεται από το 2018 με την εταιρεία ηλεκτρικής ενέργειας E.ON και την Virta με στόχο την προώθηση των δικτύων V2G, στο πλαίσιο μιας δοκιμής για να δείξουν πώς τα ηλεκτρικά οχήματα θα μπορούσαν να συμβάλλουν ενεργά στην στήριξη του δικτύου ηλεκτροδότησης στην Βρετανία και να παρέχουν μια κερδοφόρα και βιώσιμη λύση για εταιρικούς στόλους οχημάτων. Μέχρι στιγμής έχουν εγκατασταθεί επιτυχώς 20 φορτιστές στο Ευρωπαϊκό Τεχνικό Κέντρο της Nissan στο Cranfield και το δίκτυο αποτελεί από τα μεγαλύτερα του είδους, στο πλαίσιο των δοκιμών που συγχρηματοδοτούνται από την Innovate UK [52]. Σκοπός είναι η προσπάθεια να διευρυνθεί το έργο και να εγκατασταθούν φορτιστές για οργανισμούς σε ολόκληρο το Ηνωμένο Βασίλειο. Εκτός από την E.ON και την Nissan, η κοινοπραξία για το εγχείρημα του V2G (γνωστή ως e4Future[53]) περιλαμβάνει το Πανεπιστήμιο του

Newcastle, το Imperial College London, την Northern Powergrid, την UK Power Networks και την National Grid ESO. Η πλατφόρμα V2G που χρησιμοποιείται στη δοκιμή χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό του υπάρχοντος λογισμικού Virtual Power Plant της E.ON, καθώς και μιας ψηφιακής πλατφόρμας φόρτισης που παρέχεται από την Virta, συνεργάτη ηλεκτρικής κινητικότητας της E.ON. Μια πρόσφατη μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η V2G σύνδεση ηλεκτρικών οχημάτων με το δίκτυο θα μπορούσε να μειώσει 270 εκατομμύρια λίρες ετησίως από το κόστος λειτουργίας του συστήματος ισχύος μόνο στο Ηνωμένο Βασίλειο έως το 2030 [54].



Εικόνα 27: Συνεργασία EON και Nissan για V2G δίκτυο [πηγή: <http://www.topspeed.gr/2020/08/nissan-eon-v2g.html>]

## Δανία

Ήδη από το 2016 οι κάτοχοι ηλεκτρικών οχημάτων στην Δανία κερδίζουν χρήματα χάρη στην τεχνολογία V2G. Η Nissan μαζί με την Enel, την δεύτερη μεγαλύτερη εταιρεία ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο, συνεργάζονται σε δοκιμές V2G προκειμένου να ενσωματώσουν περισσότερο τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο. Αυτή η συνεργασία αποτελεί το πρώτο πλήρως εμπορικό δίκτυο V2G. Υπολογίζεται ότι οι κάτοχοι ηλεκτρικών αυτοκινήτων κερδίζουν περισσότερα από 1530 δολάρια το χρόνο, ποσό μεγαλύτερο από ότι ξοδεύουν για ηλεκτρική ενέργεια φόρτισης του αυτοκινήτου, με αποτέλεσμα να κινούνται δωρεάν το χρόνο έχοντας και κέρδος [55]. Στην χώρα έχουν ήδη ολοκληρωθεί προγράμματα που σχετίζονται με την V2G τεχνολογία όπως το Edison, το Nikola και το Parker. Διάφοροι συνεργάτες των προγραμμάτων έχουν υπάρξει η Nissan, το πανεπιστήμιο DTU και η Nunne, κορυφαία εταιρεία πράσινης τεχνολογίας που παρέχει υπηρεσίες φόρτισης και πρωτοπόρος στα προγράμματα V2G.

Είναι χρήσιμο να αναφερθεί ότι η Δανία βασίζεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε πολύ μεγάλα ποσοστά. Συγκεκριμένα σημείωσε ρεκόρ καθώς το 2019 [56], το 47% του ηλεκτρισμού που καταναλώθηκε στην χώρα καλύφθηκε από την παραγωγή αιολικής ενέργειας. Επίσης στην Δανία ανήκει και το νησί Samsøe [57] το οποίο έχει 100% ενεργειακή αυτάρκεια χάρη στην αιολική και ηλιακή ενέργεια αλλά και την

βιομάζα. Από το 2007 το νησί έχει αποκτήσει ουδέτερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα και στόχος είναι να ανεξαρτητοποιηθεί τελείως από τα ορυκτά καύσιμα έως το 2030.



Εικόνα 28: Η Nissan, η Enel και η Nunne δημιουργούν τον πρώτο ολοκληρωμένο εμπορικό κόμβο V2G στην Δανία [πηγή: <https://insideevs.com/news/330896/nissan-and-enel-launches-worlds-first-commercial-v2g-hub-in-denmark/>]



### 3. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

Το σενάριο που μελετάται βασίζεται στις εγκαταστάσεις της Leaf Community. Η Leaf Community (εικόνα 29) αποτελεί την πρώτη οικολογικά βιώσιμη κοινότητα στην Ιταλία και βρίσκεται στις όχθες του ποταμού Esino, στο Angeli di Rosora, στην επαρχία της Ανκόνα. Πρόκειται για ένα έργο που ξεκίνησε το 2008 από τον Όμιλο Loccioni, κορυφαία εταιρεία σε αυτόματα συστήματα μέτρησης και ελέγχου ποιότητας βιομηχανικών διεργασιών. Η Leaf Community είναι ένα έξυπνο μικροδίκτυο με αυτονομία της τάξης του 60%, μέσα στην οποία το σχολείο τροφοδοτείται με ηλιακή ενέργεια, οι μετακινήσεις γίνονται με ηλεκτρικά οχήματα και τα κτήρια τροφοδοτούνται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Όπως αναφέρουν χαρακτηριστικά και οι ίδιοι «πρόκειται για ένα ανοιχτό εργαστήριο αειφορίας».



Εικόνα 29: Leaf Community [πηγή: <https://www.friendsfortheearth.com/leaf-community-the-first-eco-sustainable-community-in-italy-the-loccioni-company-created-it/>]

Η συγκεκριμένη περιοχή επιλέχθηκε γιατί αποτελεί ένα ολοκληρωμένο μικροδίκτυο που μπορεί να μελετηθεί. Περιλαμβάνει διαφορετικά είδη κτηρίων καθώς και σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Παράλληλα υπάρχει εύκολη πρόσβαση σε δεδομένα που είναι απαραίτητα για την δημιουργία του μοντέλου προσομοίωσης.

Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται εύκρατο μεσογειακό με ζεστά, ξηρά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες. Οι θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ 5 και 35 °C.

Η κοινότητα Leaf (εικόνα 30) αποτελείται από 4 βιομηχανικά κτήρια (L3- AEA, L4- Leaf Lab, L5-Kite Lab, L6), ένα κτήριο γραφείων (L2-Summa) και ένα κτήριο επαγγελματικών συναντήσεων (Leaf Farm). Όλα τα βιομηχανικά κτήρια καθώς και το κτήριο γραφείων έχουν εγκατεστημένα στις στέγες τους φωτοβολταϊκά συνολικής ισχύος 629.2 kWp ενώ υπάρχει κι ένας ηλιοστάτης διπλού άξονα ισχύος 18 kWp. Ακόμα υπάρχουν γεωθερμικές αντλίες, ένας μικρο-υδροηλεκτρικός σταθμός ισχύος 48 kWp, μπαταρία χωρητικότητας 224 kWh και δεξαμενή θερμικής αποθήκευσης 523.25 kWh/K [58].



Εικόνα 30: Ο χάρτης της Leaf Community [πηγή: <https://dias.library.tuc.gr/view/85450>]

Το Leaf Lab- L4 (εικόνα 31) αποτελεί πρωτότυπο βιομηχανικής μονάδας ενεργειακής απόδοσης A+ και στεγάζει χώρους παραγωγής. Πρόκειται για ένα κτήριο ορθογώνιου σχήματος με επιφάνεια 6,000 m<sup>2</sup> το οποίο θεωρείται σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (NZEB). Είναι ένα κτήριο αρκετά ανθεκτικό στις εξωτερικές καιρικές συνθήκες χάρη στην μόνωση που έχει ενώ παράλληλα διαθέτει αυτοματισμούς για τον έλεγχο των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης, αερισμού και φωτισμού.



Εικόνα 31: Leaf Lab

Το εξωτερικό κέλυφος του κτηρίου αποτελείται από τοίχους υψηλής μόνωσης με U-value 0.226 W/m<sup>2</sup>K και παράθυρα με διπλά τζάμια με U-value 1.793-3.194 W/m<sup>2</sup>K. Το HVAC σύστημα που είναι εγκατεστημένο αποτελείται από αντλίες θερμότητας με συντελεστή COP θέρμανσης 4.8 και EER ψύξης 6.2-7. Η δεξαμενή νερού 400 m<sup>3</sup> λειτουργεί σαν σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας και συνδέεται με το σύστημα HVAC του κτηρίου για την βελτίωση της απόδοσής του. Παράλληλα, αισθητήρες φωτισμού ελέγχουν τον τεχνητό φωτισμό στο εσωτερικό του κτηρίου και ενεργοποιούν λαμπτήρες LED όταν η στάθμη του φυσικού φωτισμού πέφτει κάτω από 500 lx. Επιπλέον λειτουργούν συστήματα αυτόματης σκίασης επιτρέποντας επάρκεια φυσικού φωτός για οπτική άνεση και συμβάλλοντας ταυτόχρονα στην μείωση κατανάλωσης ενέργειας για τεχνητό φωτισμό. Τέλος, όπως φαίνεται και στην εικόνα 31, στην στέγη του Leaf Lab υπάρχουν εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά πάνελ ισχύος 236.5 kWp [58].

Το Summa-L2 στεγάζει γραφεία και αποθήκες και έχει επιφάνεια 1,037 m<sup>2</sup>. Το Kite Lab-L5 έχει έκταση 3,514 m<sup>2</sup> και χρησιμοποιείται και αυτό σαν χώρος γραφείων και εργαστηρίων. Τέλος το AEA-L3 με επιφάνεια 3,952 m<sup>2</sup> στεγάζει γραφεία, εργαστήρια και χώρους παραγωγής. Και τα τρία αυτά κτήρια έχουν εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά πάνελ στις οροφές, όπως έχει αναφερθεί παραπάνω

Στον πίνακα 3 αναγράφονται τα βασικά στοιχεία των εγκατεστημένων συστημάτων των κτηρίων Summa-L2, AEA-L3, Leaf Lab-L4 και Kite Lab-L5 [59], [60].

*Πίνακας 3: Δεδομένα πιλοτικών κτηρίων στην Leaf Community*

| Pilot Case Studies | Sky Windows | Automatic Shading | Illuminance/ Presence Light Controls | LED | Ground Water Heat Pumps | biPV | Thermal Storage | Electrical Storage |
|--------------------|-------------|-------------------|--------------------------------------|-----|-------------------------|------|-----------------|--------------------|
| Summa-L2           |             |                   | •                                    | •   | •                       | •    |                 | •                  |
| AEA- L3            | •           | •                 | •                                    | •   | •                       | •    |                 | •                  |
| Kite Lab-L5        | •           |                   | •                                    | •   | •                       | •    |                 | •                  |
| Leaf Lab-L4        | •           | •                 | •                                    | •   | •                       | •    | •               | •                  |

#### 4. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ

Για την δημιουργία του μοντέλου προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό HOMER GRID (έκδοσης 1.8.7) το οποίο αποτελεί εργαλείο οικονομικής ανάλυσης και βελτιστοποίησης συστημάτων και μικροδικτύων. Το λογισμικό HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) αναπτύχθηκε από την National Renewable Energy Laboratory (NREL) και αποτελεί μια παγκόσμια κοινότητα πρωτοπόρων επαγγελματιών στον τομέα της ανανεώσιμης και καταναεμημένης ενέργειας.

Το συγκεκριμένο λογισμικό δίνει την δυνατότητα σύγκρισης πολλών διαφορετικών σεναρίων με σκοπό την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών δαπανών. Παράλληλα επιτρέπει την μοντελοποίηση συστημάτων που περιλαμβάνουν καταναεμημένη παραγωγή ενέργειας και σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, λειτουργίες ιδιαίτερα χρήσιμες για το παρόν μοντέλο προσομοίωσης. Επιπλέον υποστηρίζει την δημιουργία σύνθετων τιμολογίων χρέωσης κοινής ωφέλειας για διαφορετικά είδη τιμολόγησης (π.χ. ToU). Τέλος επιτρέπεται η σύγκριση μεταξύ διαφορετικών στρατηγικών φόρτισης οχημάτων με στόχο την εύρεση αυτού με το χαμηλότερο κόστος. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά συντέλεσαν στην επιλογή του λογισμικού Homer Grid για την δημιουργία του μοντέλου προσομοίωσης. Τα δεδομένα εισόδου αναλύονται στο κεφάλαιο 5.

Για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του λογισμικού ορίζονται οι παρακάτω έννοιες.

- **Net Present Cost (NPC):** Αποτελεί την καθαρή παρούσα αξία του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για την παρούσα αξία όλων των δαπανών εγκατάστασης και λειτουργίας που επιβαρύνουν το σύστημα κατά την διάρκεια ζωής του μείον την παρούσα αξία όλων των εσόδων που προκύπτουν κατά

την διάρκεια ζωής του. Τα έξοδα περιλαμβάνουν το κόστος κεφαλαίου, κόστος αντικατάστασης, λειτουργίας και διατήρησης, κόστος καυσίμου, κόστος αγοραστικής ισχύος από το δίκτυο αλλά και τυχόν κυρώσεις για τις εκπομπές αερίων. Τα έσοδα περιλαμβάνουν την υπολειμματική αξία και έσοδα από πωλήσεις ενέργειας στο δίκτυο. Το HOMER υπολογίζει το συνολικό NPC αθροίζοντας τις συνολικές προεξοφλημένες ταμειακές ροές σε κάθε έτος της διάρκειας ζωής του έργου. Σύμφωνα με το Homer Grid το σενάριο με την μικρότερη δυνατή καθαρή παρούσα αξία αποτελεί και την βέλτιστη λύση του συστήματος [61].

- **Levelized Cost Of Energy (COE):** Το κόστος ενέργειας ορίζεται ως το μέσο κόστος ανά kWh χρήσιμης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το σύστημα [62]. Για τον υπολογισμό του COE το HOMER διαιρεί το ετήσιο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (το συνολικό ετήσιο κόστος μείον το κόστος εξυπηρέτησης του θερμικού φορτίου) με το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο που εξυπηρετείται, χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$COE = \frac{C_{ann,tot} - C_{boiler} \cdot H_{served}}{E_{served}} \text{ (εξίσωση 1)}$$

Όπου :

- $C_{ann,tot}$  = το συνολικό ετήσιο κόστος είναι η ετήσια αξία της καθαρής παρούσας αξίας και υπολογίζεται όπως φαίνεται στην εξίσωση (2.1), (\$/ y)
- $C_{boiler}$  = το οριακό κόστος του λέβητα είναι το οριακό κόστος της θερμικής ενέργειας από τον λέβητα (\$/kWh)
- $H_{served}$  = το θερμικό φορτίο που εξυπηρετείται είναι η συνολική ποσότητα θερμικής ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε για την κάλυψη του θερμικού φορτίου κατά τη διάρκεια του έτους (kWh/y)
- $E_{served}$  = το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο που εξυπηρετείται είναι η συνολική ποσότητα ενέργειας που προορίστηκε για την εξυπηρέτηση των πρωτογενών και αναβαλλόμενων φορτίων κατά τη διάρκεια του έτους, συν την ποσότητα ενέργειας που πωλήθηκε στο δίκτυο και υπολογίζεται όπως φαίνεται στην εξίσωση (2.2), (kWh/y)

Στο σενάριο που αναλύεται δεν υπάρχει θερμικό φορτίο για αυτό και ο δεύτερος όρος του αριθμητή μηδενίζεται με αποτέλεσμα η εξίσωση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του κόστους ενέργειας να είναι η εξής:

$$COE = \frac{C_{ann,tot}}{E_{served}} \text{ (εξίσωση 2)}$$

Όπου :

$$C_{ann,tot} = CRF(i, R_{proj}) \cdot C_{NPC,tot} \text{ (εξίσωση 2.1)}$$

$$E_{served} = E_{served,ACprim} + E_{served,DCprim} + E_{served,def} + E_{grid,sales} \text{ (εξίσωση 2.2)}$$

Η εξίσωση (2.1) προκύπτει από:

- $C_{NPC,tot}$  = η συνολική καθαρή παρούσα αξία (\$)



- CRF= ο συντελεστής ανάκτησης κεφαλαίου χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της παρούσας αξίας μιας προσόδου (μια σειρά από ίσες ετήσιες ταμειακές ροές) και υπολογίζεται όπως περιγράφεται στην εξίσωση (2.3)
- $i$ = το πραγματικό προεξοφλητικό επιτόκιο ή επιτόκιο χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό μεταξύ του ετήσιου κόστους και του εφάπαξ κόστους και υπολογίζεται όπως περιγράφεται στην εξίσωση (2.4), (%)
- $R_{proj}$ = η διάρκεια ζωής του έργου είναι το χρονικό διάστημα κατά το οποίο προκύπτει το κόστος του συστήματος ( $y$ )

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \text{ (εξίσωση 2.3)}$$

Όπου:

- $N$ = αριθμός ετών
- $i$ = το πραγματικό προεξοφλητικό επιτόκιο ή επιτόκιο χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό μεταξύ του ετήσιου κόστους και του εφάπαξ κόστους και υπολογίζεται όπως περιγράφεται στην εξίσωση (2.4), (%)

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \text{ (εξίσωση 2.4)}$$

Όπου:

- $i'$ = ονομαστικό προεξοφλητικό επιτόκιο
- $f$ = αναμενόμενο ποσοστό πληθωρισμού

Η εξίσωση (2.2) προκύπτει από:

- $E_{served, AC_{prim}}$  = το αρχικό φορτίο AC που εξυπηρετείται είναι το συνολικό ποσό ενέργειας που καταναλώθηκε για την εξυπηρέτηση του πρωτεύοντος φορτίου AC κατά τη διάρκεια του έτους, (kWh/y)
- $E_{served, DC_{prim}}$  = το αρχικό φορτίο DC που εξυπηρετείται είναι το συνολικό ποσό ενέργειας που καταναλώθηκε για την εξυπηρέτηση του πρωτεύοντος φορτίου DC κατά τη διάρκεια του έτους, (kWh/y)
- $E_{grid, sales}$  = η ενέργεια που πωλείται στο δίκτυο, (kWh/y)

➤ **Operating cost:** Πρόκειται για το ετήσιο κόστος λειτουργίας της εγκατάστασης, δηλαδή την ετήσια αξία όλων των δαπανών και εσόδων εκτός του αρχικού κόστους κεφαλαίου [63]. Για τον υπολογισμό του operating cost το HOMER χρησιμοποιεί την ακόλουθη εξίσωση:

$$C_{operating} = C_{ann, tot} - C_{ann, cap} \text{ (εξίσωση 3)}$$

Όπου:

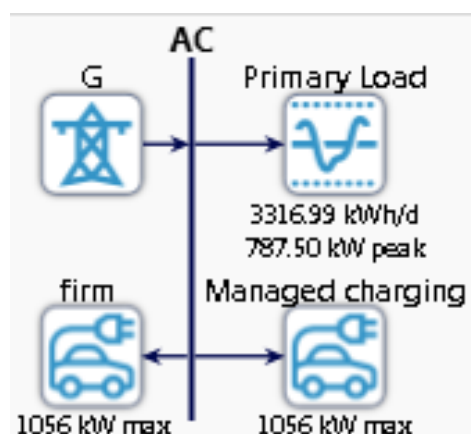
- $C_{ann, tot}$ = το συνολικό ετήσιο κόστος είναι η ετήσια αξία της καθαρής παρούσας αξίας και υπολογίζεται όπως φαίνεται στην εξίσωση (2.1), (\$/y)

- $C_{ann,cap}$  = το συνολικό ετήσιο κόστος κεφαλαίου ισούται με το συνολικό αρχικό κόστος κεφαλαίου πολλαπλασιασμένο επί τον συντελεστή ανάκτησης κεφαλαίου ο οποίος υπολογίζεται όπως φαίνεται στην εξίσωση (2.3), (\$/y)

## 5. ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται το μοντέλο προσομοίωσης όπως διαμορφώθηκε μέσω του λογισμικού Homer Grid. Στόχος είναι η σύγκριση δύο διαφορετικών στρατηγικών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, έξυπνης και άμεσης, για την βελτιστοποίηση του κόστους ενέργειας.

Τα δεδομένα εισόδου του λογισμικού αναλύονται παρακάτω και περιλαμβάνουν δεδομένα ηλεκτρικής κατανάλωσης, τα μοντέλα των ηλεκτρικών οχημάτων και τις διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης καθώς και το είδος τιμολόγησης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Στην εικόνα 32 φαίνεται η σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου στην οποία περιλαμβάνονται το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο που καλύπτεται στο μικροδίκτυο, οι δύο διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης μαζί με τα χαρακτηριστικά ισχύος καθώς και η σύνδεση με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 32: Σχηματική απεικόνιση προσομοίωσης στο Homer Grid

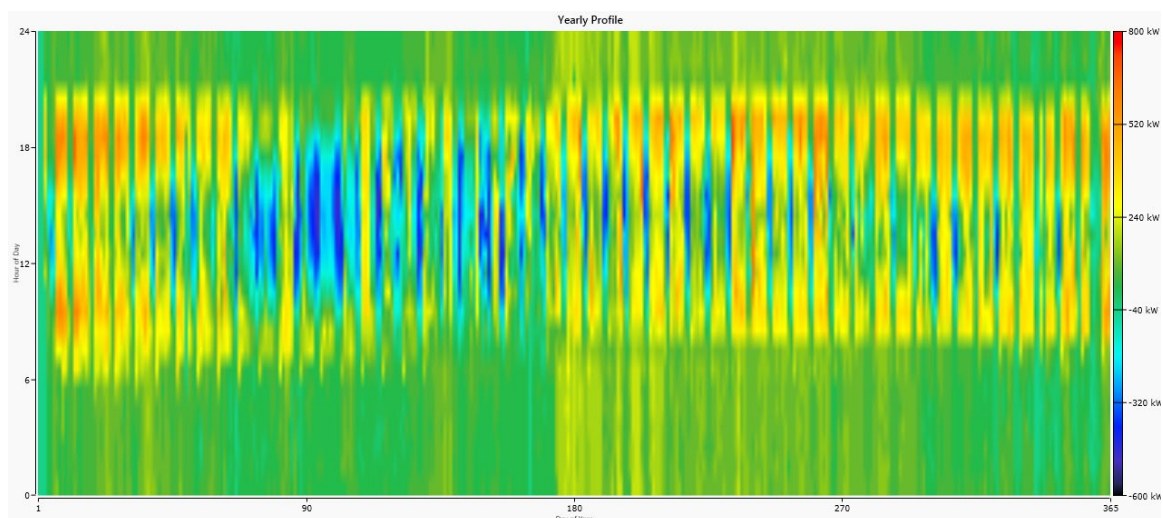
### 5.1 ΚΑΘΑΡΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ

Το μοντέλο προσομοίωσης δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας δεδομένα του έτους 2020. Οι ωριαίες τιμές παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ καθώς και κατανάλωσης από το δίκτυο μετρούνται από εγκατεστημένους μετρητές στο Leaf Community και δίνονται σε μορφή excel. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η κοινότητα λειτουργεί με την μέθοδο του net metering. Αυτό σημαίνει ότι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και η παραγωγή από ΑΠΕ συμψηφίζονται και η διαφορά των δύο οδηγεί στην τελική εισροή ενέργειας από το δίκτυο προς την εγκατάσταση όπως αναλύεται παρακάτω.

- Στην περίπτωση που η κατανάλωση ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή αυτής, η τιμή του καθαρού ηλεκτρικού φορτίου που πρέπει να καλυφθεί ορίζεται ως η διαφορά των δύο και λαμβάνει θετικό πρόσημο.
- Σε αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από την κατανάλωση, το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο για εκείνο το χρονικό διάστημα λαμβάνει αρνητική τιμή υποδηλώνοντας την εκροή ενέργειας από την εγκατάσταση προς το ηλεκτρικό δίκτυο.
- Τέλος, στην περίπτωση που η κατανάλωση ενέργειας ισούται με την παραγωγή αυτής, το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο λαμβάνει μηδενική τιμή και πρακτικά σημαίνει ότι δεν υπάρχει κατανάλωση από το δίκτυο καθώς η εγκατάσταση αυτοεξυπηρετείται.

Στην εικόνα 33 φαίνεται το ετήσιο προφίλ της ισχύος της ηλεκτρικής ενέργειας όπως δίνεται από το λογισμικό. Οι περιοχές με τα πιο θερμά χρώματα (κίτρινο, πορτοκαλί και κόκκινο) αναφέρονται σε υψηλά επίπεδα ισχύος κατανάλωσης ενέργειας ενώ οι περιοχές με τα πιο ψυχρά χρώματα (γαλάζιο και μπλε) σχετίζονται με αρνητικές τιμές ισχύος, δηλαδή χρονικά διαστήματα που η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την κατανάλωση αυτής. Το μεγαλύτερο μέρος του γραφήματος καλύπτεται από πράσινο χρώμα και τα επίπεδα ισχύος βρίσκονται σε χαμηλές τιμές από -40 kW έως 240 kW, καθώς υπάρχει μικρή ή και μηδενική κατανάλωση εκείνες τις ώρες.

Όπως αναμένεται η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται μετά τις 7:00 περίπου και φθίνει γύρω στις 20:00. Ενδιάμεσα, κατά τις μεσημεριανές ώρες, η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα για αυτό και οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται από γαλάζιο, μπλε ή πράσινο χρώμα ανάλογα την εποχή του χρόνου. Τέλος οι μέγιστες τιμές ισχύος σημειώνονται τις απογευματινές ώρες μετά το πέρας της παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ μεταξύ 18:00 και 19:00. Γενικά φαίνεται ότι το διάστημα με την μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας κυμαίνεται από τον Μάρτιο έως τον Ιούνιο ενώ αντίθετα οι μήνες Δεκέμβριος και Ιανουάριος σημειώνουν την μικρότερη παραγωγή ενέργειας.



Εικόνα 33: Ετήσιο προφίλ της ισχύος ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο όπως απεικονίζεται από το λογισμικό Homer Grid

## 5.2 ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η τιμολόγηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας έχει βασιστεί σε δεδομένα της Enel Energia, πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας του Leaf Community και διαμορφώνεται ως εξής:

- **Consumption charge:**

Η χρέωση για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από την μέρα και την ώρα που συμβαίνει (Time Of Use) και όπως φαίνεται παρακάτω, είναι υψηλότερη κατά την διάρκεια των ωρών αιχμής.

1. Χρέωση ενέργειας εκτός ωρών αιχμής (Off peak energy charge)

κόστος: 0.0525 €/kWh

2. Χρέωση ενέργειας εντός ωρών αιχμής (Peak energy charge)

κόστος: 0.0675 €/kWh

### Καθημερινές

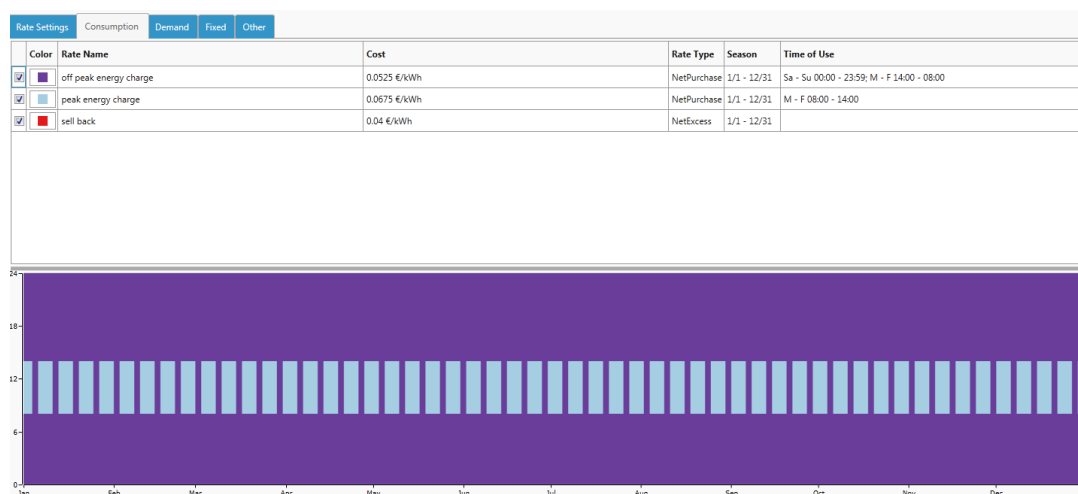


### Σαββατοκύριακα



Εικόνα 34: Τιμολόγηση κόστους ενέργειας

Στην εικόνα 34 παρουσιάζεται η μεταβολή του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας ανά ημέρα σε χρονικό διάστημα ενός έτους όπως δίνεται από το λογισμικό. Με μωβ χρώμα παρουσιάζονται οι περίοδοι εκτός αιχμής και με γαλάζιο οι ώρες αιχμής. Τέλος με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η τιμή της ενέργειας που πωλείται από την εγκατάσταση προς το δίκτυο και ισχύει για όλες τις ώρες και ημέρες του έτους για αυτό και καλύπτεται από τα παραπάνω χρώματα και δεν είναι ευδιάκριτη.



Εικόνα 35: Χρέωση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο όπως απεικονίζεται από το λογισμικό Homer Grid

- **Demand charge:**

Πρόκειται για το κόστος της μέγιστης μηνιαίας ισχύος.

Κόστος: 4 €/kW

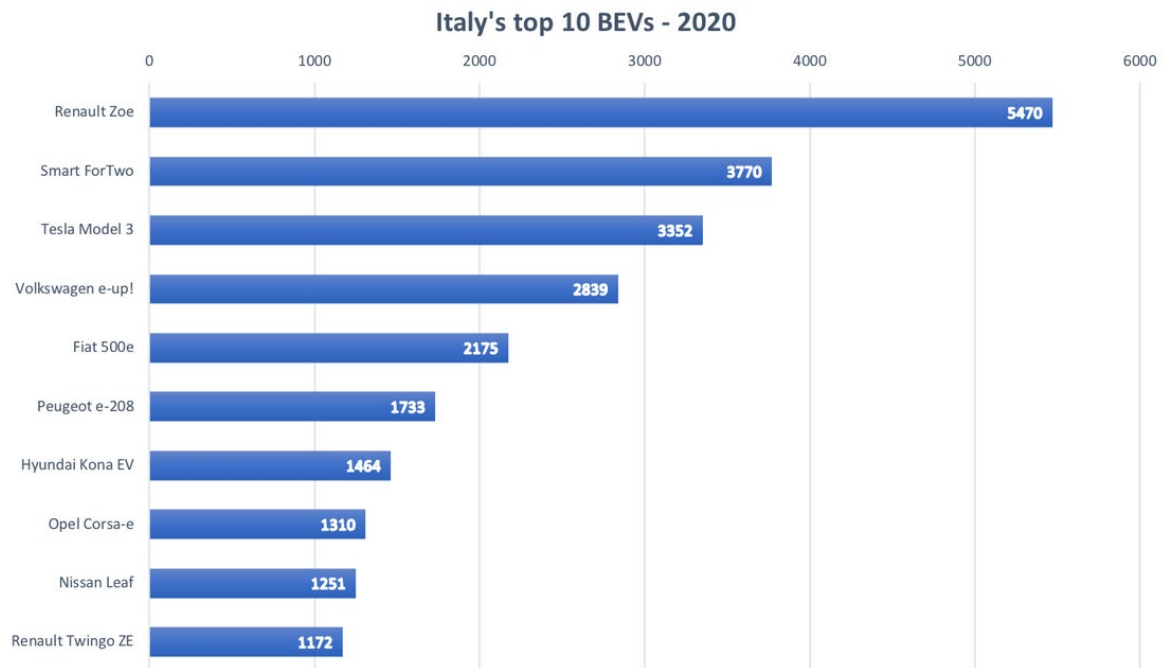
- **Fixed charge:**

Πρόκειται για μηνιαία σταθερή χρέωση.

Κόστος: 75.04 €/month

### 5.3 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Σύμφωνα με τον UNRAE, την Εθνική Ένωση Αντιπροσώπων Ξένων Αυτοκινήτων της Ιταλίας που παρέχει στατιστικά και αξιολογήσεις για τις οδικές μεταφορές, τα δέκα πιο δημοφιλή σε πωλήσεις ηλεκτρικά οχήματα του 2020 φαίνονται στο γράφημα που ακολουθεί και προέκυψαν μετά την πώληση 32538 [64] αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων.



Data: UNRAE

Chart: [www.opportunityenergy.org](http://www.opportunityenergy.org)

Εικόνα 36: Τα 10 δημοφιλέστερα σε πωλήσεις αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα στην Ιταλία 2020 [πηγή: [http://www.opportunityenergy.org/?attachment\\_id=3250](http://www.opportunityenergy.org/?attachment_id=3250)]

Για το παρόν μοντέλο προσομοίωσης επιλέχθηκαν τα 5 πιο δημοφιλή ηλεκτρικά οχήματα από τα παραπάνω με την αντίστοιχη αναγωγή ώστε να καλύπτουν το 100% του πληθυσμού όπως αναγράφεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4: Κατανομή πληθυσμού ηλεκτρικών οχημάτων για το μοντέλο προσομοίωσης

| Μοντέλο αυτοκινήτου | Αριθμός οχημάτων |
|---------------------|------------------|
| Renault Zoe         | 31               |
| Smart fortwo        | 21               |
| Tesla model 3       | 19               |
| Volkswagen e-up     | 16               |
| Fiat 500 e          | 13               |

#### 5.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Στην συνέχεια παρατίθενται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των οχημάτων που επιλέχθηκαν για το μοντέλο προσομοίωσης όπως αναγράφονται στην βάση δεδομένων ηλεκτρικών οχημάτων [65].

##### Renault Zoe



Εικόνα 37: Renault Zoe ZE50 R110 [πηγή: <https://ev-database.org/car/1164/Renault-Zoe-ZE50-R110>]

##### Battery and Charging

|                         |                |                              |                |
|-------------------------|----------------|------------------------------|----------------|
| Battery Capacity *      | 54.7 kWh       | Battery Useable              | 52.0 kWh       |
| Europe                  |                |                              |                |
| Charge Port             | Type 2         | Fastcharge Port              | CCS            |
| Port Location           | Front - Middle | FC Port Location             | Front - Middle |
| Charge Power            | 22 kW AC       | Fastcharge Power (max)       | 46 kW DC       |
| Charge Time (0->315 km) | 3 hours        | Fastcharge Time (32->252 km) | 56 min         |
| Charge Speed            | 110 km/h       | Fastcharge Speed             | 230 km/h       |

Εικόνα 38: Χαρακτηριστικά μπαταρίας και φόρτισης Renault Zoe ZE50 R110 [πηγή: <https://ev-database.org/car/1164/Renault-Zoe-ZE50-R110>]

## Smart EQ fortwo



Εικόνα 39: Smart EQ fortwo coupe [πηγή: <https://ev-database.org/car/1230/Smart-EQ-fortwo-coupe> ]

### Battery and Charging

|                         |                   |                        |          |
|-------------------------|-------------------|------------------------|----------|
| Battery Capacity        | 17.6 kWh          | Battery Useable*       | 16.7 kWh |
| Europe                  |                   |                        |          |
| Charge Port             | Type 2            | Fastcharge Port        | -        |
| Port Location           | Right Side - Rear | FC Port Location       | -        |
| Charge Power            | 4.6 kW AC         | Fastcharge Power (max) | -        |
| Charge Time (0->100 km) | 4h30m             | Fastcharge Time        | -        |
| Charge Speed            | 23 km/h           | Fastcharge Speed       | -        |

Εικόνα 40: Χαρακτηριστικά μπαταρίας και φόρτισης Smart EQ fortwo coupe με on-board φορτιστή 4.6 kW [πηγή: <https://ev-database.org/car/1230/Smart-EQ-fortwo-coupe> ]

Έχει επιλεγθεί το μοντέλο με τον προαιρετικό φορτιστή (on-board charger) ισχύος 22 kW, οπότε ο χρόνος φόρτισης διαμορφώνεται όπως φαίνεται παρακάτω.

|                     |              |         |        |          |
|---------------------|--------------|---------|--------|----------|
| 3-phase 32A (22 kW) | 400V / 3x32A | 22 kW † | 55 min | 100 km/h |
|---------------------|--------------|---------|--------|----------|

Εικόνα 41: Χαρακτηριστικά μπαταρίας και φόρτισης Smart EQ fortwo coupe με on-board φορτιστή 22 kW [πηγή: <https://ev-database.org/car/1230/Smart-EQ-fortwo-coupe> ]



## Tesla model 3



Εικόνα 42: Tesla model 3 Standard range Plus [πηγή: <https://ev-database.org/car/1320/Tesla-Model-3-Standard-Range-Plus-LFP> ]

### Battery and Charging

|                         |                  |                              |                  |
|-------------------------|------------------|------------------------------|------------------|
| Battery Capacity *      | 55.0 kWh         | Battery Useable*             | 50.0 kWh         |
| Europe                  |                  |                              |                  |
| Charge Port             | Type 2           | Fastcharge Port              | CCS              |
| Port Location           | Left Side - Rear | FC Port Location             | Left Side - Rear |
| Charge Power            | 11 kW AC         | Fastcharge Power (max)       | 160 kW DC        |
| Charge Time (0->335 km) | 5h30m            | Fastcharge Time (34->268 km) | 29 min           |
| Charge Speed            | 63 km/h          | Fastcharge Speed             | 480 km/h         |

Εικόνα 43: Χαρακτηριστικά μπαταρίας και φόρτισης Tesla model 3 Standard range Plus [πηγή: <https://ev-database.org/car/1320/Tesla-Model-3-Standard-Range-Plus-LFP> ]

## Volkswagen e-up!



Εικόνα 44: Volkswagen e-up! [πηγή: <https://ev-database.org/car/1189/Volkswagen-e-Up> ]

#### Battery and Charging

|                         |                   |                              |                   |
|-------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|
| Battery Capacity        | 36.8 kWh          | Battery Useable              | 32.3 kWh          |
| Europe                  |                   |                              |                   |
| Charge Port             | Type 2            | Fastcharge Port              | CCS               |
| Port Location           | Right Side - Rear | FC Port Location             | Right Side - Rear |
| Charge Power            | 7.2 kW AC         | Fastcharge Power (max)       | 40 kW DC          |
| Charge Time (0->205 km) | 5h30m             | Fastcharge Time (21->164 km) | 48 min            |
| Charge Speed            | 39 km/h           | Fastcharge Speed             | 170 km/h          |

Εικόνα 45: Χαρακτηριστικά μπαταρίας και φόρτισης Volkswagen e-up! [πηγή: <https://ev-database.org/car/1189/Volkswagen-e-Up>]

#### Fiat 500 e



Εικόνα 46: Fiat 500e Hatchback 42 kWh [πηγή: <https://ev-database.org/car/1285/Fiat-500e-Hatchback-42-kWh>]

#### Battery and Charging

|                         |                   |                              |                   |
|-------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|
| Battery Capacity        | 42.0 kWh          | Battery Useable*             | 37.3 kWh          |
| Europe                  |                   |                              |                   |
| Charge Port             | Type 2            | Fastcharge Port              | CCS               |
| Port Location           | Right Side - Rear | FC Port Location             | Right Side - Rear |
| Charge Power            | 11 kW AC          | Fastcharge Power (max)       | 85 kW DC          |
| Charge Time (0->220 km) | 4 hours           | Fastcharge Time (22->176 km) | 25 min            |
| Charge Speed            | 55 km/h           | Fastcharge Speed             | 370 km/h          |

Εικόνα 47: Χαρακτηριστικά μπαταρίας και φόρτισης Fiat 500e Hatchback 42 kWh [πηγή: <https://ev-database.org/car/1285/Fiat-500e-Hatchback-42-kWh>]

Προκειμένου το σενάριο μελέτης να προσομοιάζει μια ρεαλιστική κατάσταση έχει γίνει η παραδοχή ότι τα οχήματα είναι ήδη κατά 25% φορτισμένα. Στους πίνακες που ακολουθούν εμφανίζονται τόσο τα πραγματικά δεδομένα που αφορούν στα οχήματα όσο και οι κατά 25% μειωμένες τιμές που επιλέχθηκαν για το παρόν σενάριο.

Πίνακας 5: Δεδομένα φόρτισης οχημάτων

| Μοντέλο αυτοκινήτου | Μέγιστη ισχύς φόρτισης ανά όχημα (kw) | Πραγματικές τιμές                             |                              | Δεδομένα μοντέλου                             |                              |
|---------------------|---------------------------------------|---|------------------------------|---|------------------------------|
|                     |                                       | Απαιτούμενη ενέργεια φόρτισης ανά όχημα (kwh) | Μέση διάρκεια φόρτισης (min) | Απαιτούμενη ενέργεια φόρτισης ανά όχημα (kwh) | Μέση διάρκεια φόρτισης (min) |
| Renault Zoe         | 22                                    | 52  | 180                          | 39  | 106                          |
| Smart fortwo        | 22                                    | 16.7  | 55                           | 12.5  | 34                           |
| Tesla model 3       | 11                                    | 50  | 330                          | 37.5  | 205                          |
| Volkswagen e-up     | 7.2                                   | 32.3  | 330                          | 24.3  | 203                          |
| Fiat 500 e          | 11                                    | 37.3  | 240                          | 28  | 153                          |

## 5.5 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Στόχος του μοντέλου είναι να εξεταστούν δύο διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης ώστε να βρεθεί η πιο οικονομικά συμφέρουσα. Η πρώτη στρατηγική αναφέρεται στην απευθείας φόρτιση των οχημάτων μόλις αυτά συνδεθούν με έναν φορτιστή (dumb charging). Ουσιαστικά πρόκειται για ένα ηλεκτρικό φορτίο που πρέπει να καλυφθεί άμεσα. Στην δεύτερη περίπτωση εξετάζεται μια έξυπνη στρατηγική φόρτισης (smart charging) στην υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης του οχήματος με τον φορτιστή για κάποιες ώρες με στόχο την φόρτιση αυτού όταν η τιμή του ρεύματος είναι χαμηλότερη. Σε αυτήν την στρατηγική το φορτίο χαρακτηρίζεται «deferrable» δηλαδή έχει την ικανότητα να αναβληθεί για ένα χρονικό διάστημα. Στο παρόν σενάριο ο χρόνος διασύνδεσης των οχημάτων για την έξυπνη φόρτιση ορίστηκε 3.5 ώρες.

Για την επιτυχημένη σύγκριση μεταξύ των δύο στρατηγικών φόρτισης οι υπόλοιπες παράμετροι παραμένουν ίδιες.

- Αριθμός οχημάτων: 100 οχήματα τις εργάσιμες ημέρες και 0 τα Σαββατοκύριακα
- Αριθμός φορτιστών: 48

## 6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Με την ολοκλήρωση του σεναρίου προκύπτουν κάποια αποτελέσματα τα οποία παρατίθενται και αναλύονται παρακάτω.

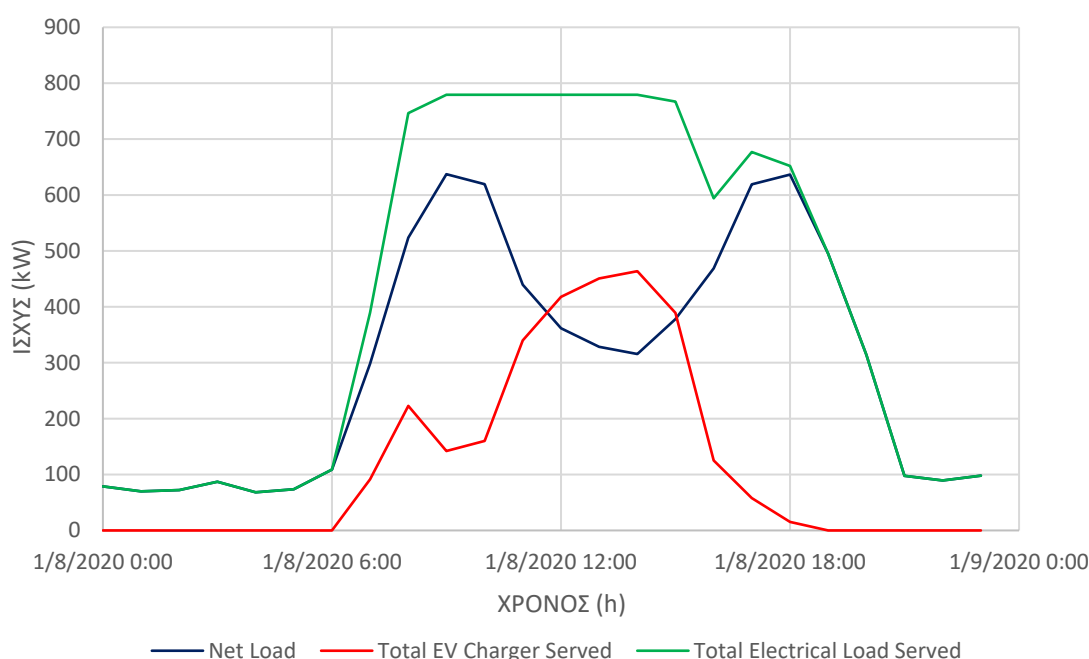
### 6.1 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΕΞΥΠΝΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζεται η συνολική ηλεκτρική κατανάλωση, το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο καθώς και η κατανάλωση που προκύπτει από την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων σε σχέση με τον χρόνο. Το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο, όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο 5.1, προκύπτει από την διαφορά της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο και της παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ.

Οι ημερομηνίες που απεικονίζονται στα παρακάτω γραφήματα αφορούν σε τυχαίες ημέρες (8 Ιανουαρίου και 25 Ιουνίου). Οι ημερομηνίες αυτές επιλέχθηκαν προκειμένου τα αποτελέσματα να είναι περισσότερο αντιπροσωπευτικά για το σύνολο του έτους και

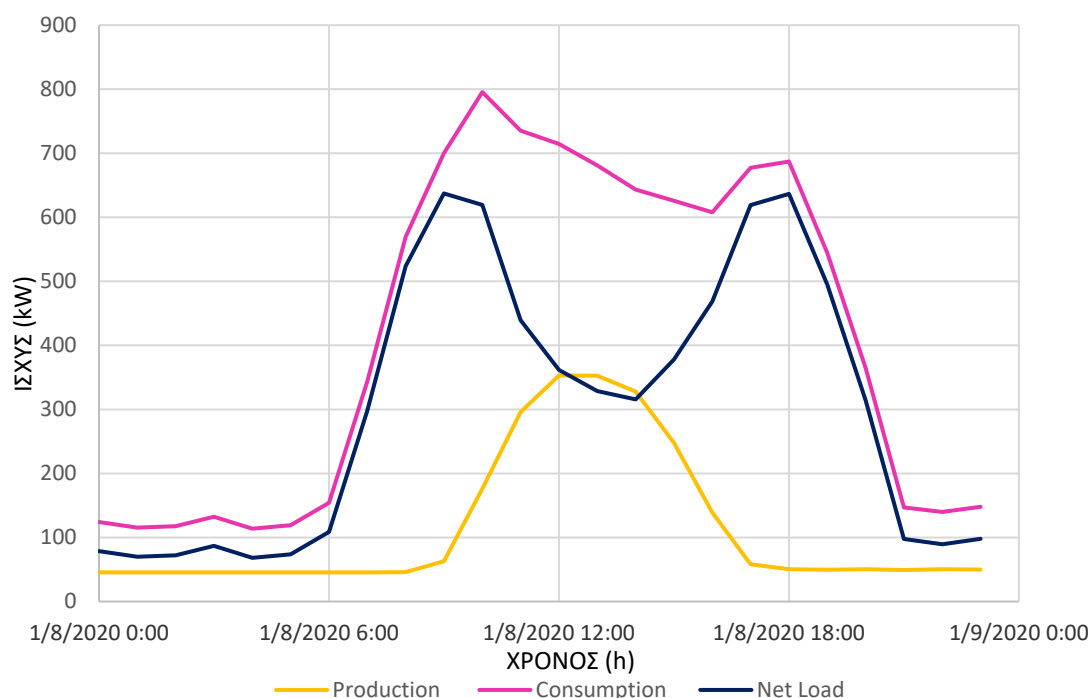
να μην επηρεάζονται από εποχικότητα. Οι διαφορετικές χρονικές περίοδοι κατά την διάρκεια του έτους σχετίζονται με διαφορές στις ηλεκτρικές καταναλώσεις για την κάλυψη ψυκτικών και θερμικών φορτίων καθώς και διαφορές στην παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ.

Στο πρώτο γράφημα το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο (Net Load) εμφανίζεται με μπλε χρώμα. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η κατανάλωση που προκύπτει από την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων και με πράσινο φαίνεται το άθροισμα αυτών, δηλαδή το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο που καλύπτεται.



Σχήμα 1: Ισχύς καθαρού ηλεκτρικού φορτίου, κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων και συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο στις 8 Ιανουαρίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης

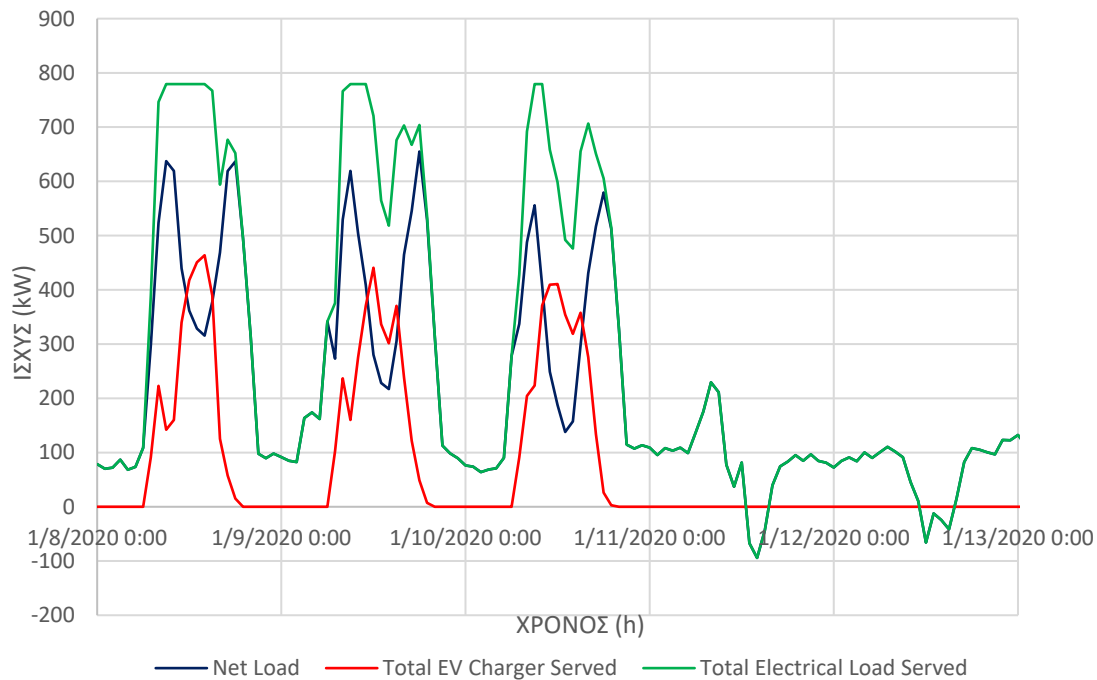
Στο σχήμα 1 φαίνεται η εξέλιξη των ηλεκτρικών καταναλώσεων κατά την διάρκεια μιας εργάσιμης ημέρας. Με βάση το γράφημα γίνεται αντιληπτό ότι κατά τις πρώτες εργάσιμες ώρες (περίπου 6:00 με 9:00 το πρωί) υπάρχει αύξηση των επιμέρους καταναλώσεων και κατ' επέκταση της συνολικής. Αντίστοιχα το απόγευμα όλες οι ηλεκτρικές καταναλώσεις μειώνονται. Ενδιάμεσα και κατά την διάρκεια των εργάσιμων ωρών, η κατανάλωση για την φόρτιση των οχημάτων (κόκκινη γραμμή) σε γενικές γραμμές παρουσιάζει αντίθετη πορεία από αυτήν του καθαρού ηλεκτρικού φορτίου (μπλε γραμμή). Αναλυτικότερα, η φόρτιση των οχημάτων αυξάνεται και παρουσιάζει την μέγιστη τιμή όταν το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο μειώνεται. Αντίστοιχα εμφανίζει ελάχιστα όταν το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο λαμβάνει μεγάλες τιμές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα μέγιστα των τιμών της κατανάλωσης λόγω φόρτισης να μην συμπίπτουν με τα μέγιστα των τιμών που παρουσιάζει το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο. Έτσι αποφεύγεται η ταυτοχρόνιση των δύο φορτίων και η ισχύς της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης δεν ξεπερνά τα 780 kW.



Σχήμα 2: Ισχύς παραγόμενης ενέργειας, καταναλισκόμενης ενέργειας και της τελικής ενέργειας (καθαρό φορτίο) για τις 8 Ιανουαρίου

Το σχήμα 2 παρουσιάζεται για να γίνει κατανοητός ο λόγος που το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο στο γράφημα 1 έχει αυτήν την μορφή. Το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο που απεικονίζεται με μπλε χρώμα προέρχεται από τον συμψηφισμό της ενέργειας που παράγεται από την εγκατάσταση από ΑΠΕ (κίτρινο χρώμα) και της ενέργειας που καταναλώνεται από την εγκατάσταση (ροζ χρώμα). Από τις 6:00 και μέχρι τις 9:00 το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο αυξάνεται καθώς ξεκινούν διάφορες δραστηριότητες στην εγκατάσταση. Μετά τις 9:00 όμως, όπως φαίνεται και από την κίτρινη γραμμή, ξεκινάει η παραγωγή ενέργειας οπότε το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο μειώνεται σημαντικά. Μετά τις 14:00 που η παραγωγή ενέργειας αρχίζει να φθίνει, το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο αυξάνεται και πάλι με αποτέλεσμα την δημιουργία μιας «κοιλιάδας».

Η στρατηγική φόρτισης δεν επηρεάζει το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο για αυτό και η μορφή του δεν μεταβάλλεται στο σχήμα 11 που αφορά σε στρατηγική άμεσης φόρτισης.

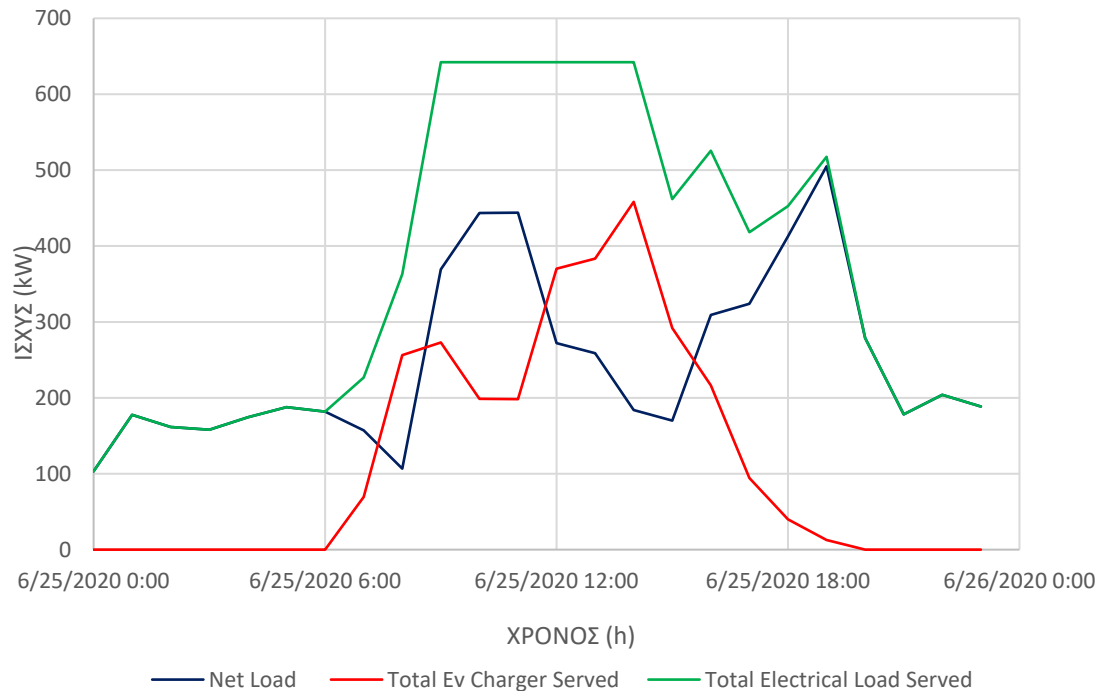


Σχήμα 3: Ισχύς καθαρού φορτίου, κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων και συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο κατά το διάστημα 8-12 Ιανουαρίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης

Και σε αυτήν την απεικόνιση φαίνεται ότι η μείωση του ενός φορτίου (καθαρό ηλεκτρικό φορτίο ή φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων) σχετίζεται με την αύξηση του άλλου κατά την διάρκεια των εργάσιμων ωρών. Η συνολική κατανάλωση (πράσινη γραμμή) ακολουθεί την πορεία των επιμέρους καταναλώσεων, δηλαδή αυξάνεται κάθε φορά που αυξάνεται ένα από τα δύο φορτία και αντίστοιχα μειώνεται κάθε φορά που μειώνεται κάποιο από τα δύο όπως αναμένεται.

Όσον αφορά στις ημερομηνίες 11 και 12 Ιανουαρίου που αντιστοιχούν σε σαββατοκύριακο, η κατανάλωση ενέργειας για την φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων (κόκκινη γραμμή) ισούται με μηδέν καθώς δεν λαμβάνει χώρα φόρτιση οχημάτων. Ως εκτούτου η συνολική κατανάλωση ενέργειας (πράσινη γραμμή) ισούται με το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο (μπλε γραμμή) και βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα ενώ υπάρχουν διαστήματα που λαμβάνει αρνητικό πρόσημο. Αυτό συμβαίνει γιατί κάποιες ώρες η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ υπερέχει της κατανάλωσης και η εγκατάσταση τροφοδοτεί με ενέργεια το δίκτυο.

Κατά την διάρκεια των καθημερινών, τα ελάχιστα των τιμών εμφανίζονται τις βραδινές ώρες που η δραστηριότητα στην εγκατάσταση είναι πολύ περιορισμένη ενώ η συνολική κατανάλωση λαμβάνει τις μέγιστες τιμές κατά τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες, μεταξύ των 9:00 και 14:00.

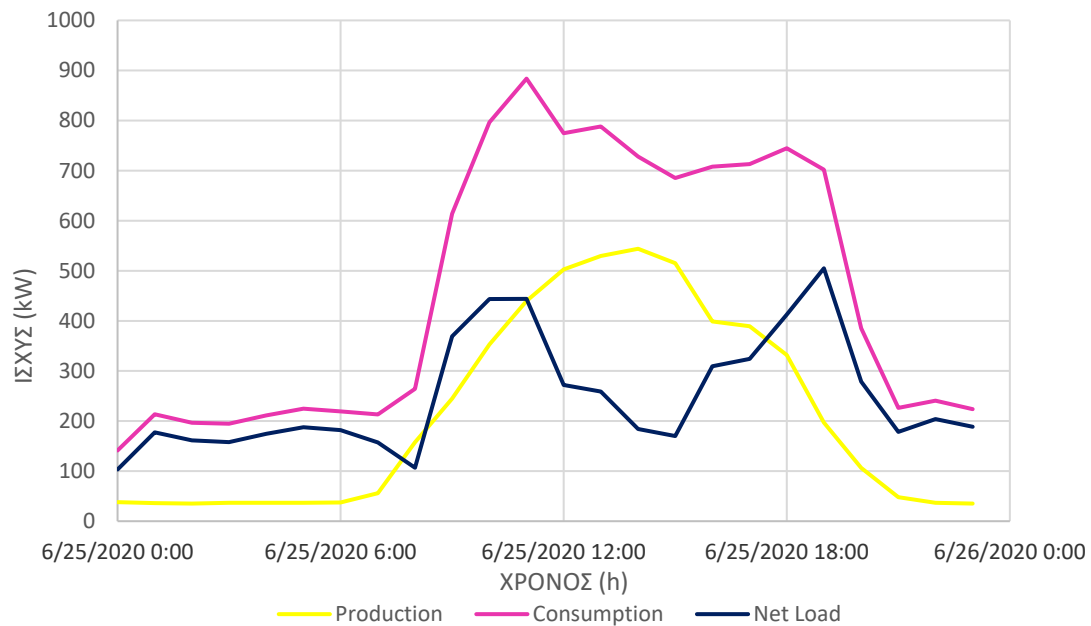


Σχήμα 4: Ισχύς καθαρού ηλεκτρικού φορτίου, κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων και συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο στις 25 Ιουνίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης

Στο σχήμα 4 φαίνεται η εξέλιξη των ηλεκτρικών καταναλώσεων κατά την διάρκεια μιας καλοκαιρινής εργάσιμης ημέρας. Όπως και στα προηγούμενα διάγραμμα γίνεται αντιληπτό ότι κατά τις πρώτες εργάσιμες ώρες (περίπου 6:00 με 9:00 το πρωί) υπάρχει αύξηση των επιμέρους καταναλώσεων ενώ τις απογευματινές ώρες οι ηλεκτρικές καταναλώσεις μειώνονται. Συγκριτικά με το σχήμα 1 η συνολική ηλεκτρική κατανάλωση στις 25 Ιουνίου βρίσκεται σε χαμηλότερα επίπεδα λόγω των χαμηλότερων τιμών που λαμβάνει το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο.

Μεταξύ 9:00 και 11:00 το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο σημειώνει μεγάλες τιμές ισχύος ενώ η κατανάλωση λόγω φόρτισης των οχημάτων λαμβάνει μικρές τιμές. Στην συνέχεια (μεταξύ 11:00 και 14:00) το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο μειώνεται και η φόρτιση των οχημάτων αρχίζει να αυξάνεται μέχρι την μέγιστη τιμή (14:00). Από τις 14:00 και μετά η φόρτιση των οχημάτων φθίνει ενώ το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο αρχίζει να αυξάνεται έως τις 19:00 που σημειώνεται η μέγιστη τιμή του. Συνοπτικά φαίνεται ότι όταν το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο λαμβάνει μεγάλες τιμές ισχύος η κατανάλωση λόγω φόρτισης των οχημάτων βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η ταυτοχρόνιση των φορτίων, όπως και στο γράφημα 1, και η ισχύς της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης δεν ξεπερνά τα 643 kW.

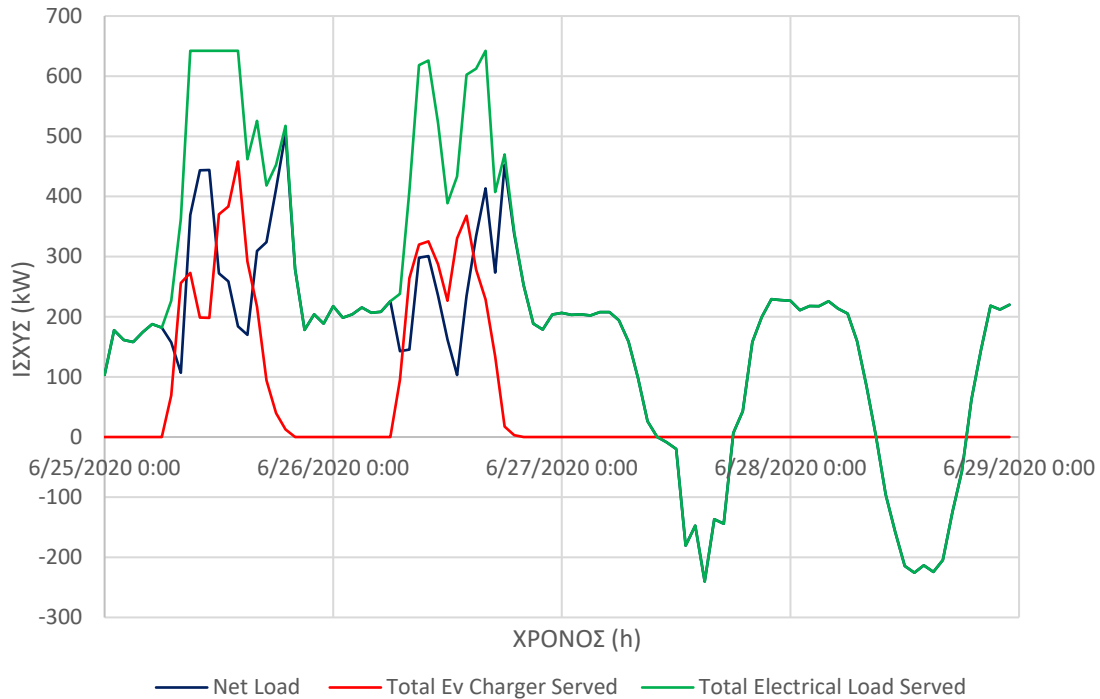




Σχήμα 5: Ισχύς παραγόμενης ενέργειας, καταναλισκόμενης ενέργειας και της τελικής ενέργειας (καθαρό φορτίο) για τις 25 Ιουνίου

Το σχήμα 5 απεικονίζει τον τρόπο με τον οποίο έχει προκύψει το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο στις 25 Ιουνίου. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται από τις 7:00 έως τις 11:00 που σημειώνεται και η μέγιστη τιμή. Όπως φαίνεται όμως και από το γράφημα, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την εγκατάσταση από ΑΠΕ ξεκινά από τις 6:00 και κορυφώνεται στις 14:00 με αποτέλεσμα το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο να εμφανίζει μια κοιλάδα μεταξύ 11:00 και 19:00. Συγκριτικά με το σχήμα 2, η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ ξεκινά πολύ νωρίτερα, διαρκεί περισσότερες ώρες και φτάνει σε υψηλότερα επίπεδα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο να βρίσκεται σε μικρότερα επίπεδα ισχύος στις 25 Ιουνίου συγκριτικά με τις 8 Ιανουαρίου παρόλο που η αρχική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη στο σχήμα 5 (σχεδόν 100 kW διαφορά στην μέγιστη ισχύ).

Τέλος όπως έχει αναφερθεί και στο σχήμα 2, η στρατηγική φόρτισης δεν επηρεάζει το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο για αυτό και η μορφή του δεν μεταβάλλεται στο γράφημα που αφορά στην στρατηγική άμεσης φόρτισης.



Σχήμα 6: Ισχύς καθαρού ηλεκτρικού φορτίου, κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων και συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο κατά το διάστημα 25-28 Ιουνίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης

Παραπάνω φαίνεται το αντίστοιχο γράφημα για τους καλοκαιρινούς μήνες αυτήν την φορά, συγκεκριμένα το διάστημα μεταξύ 25 και 28 Ιουνίου. Στο γράφημα διακρίνονται εργάσιμες ημέρες καθώς και ένα σαββατοκύριακο (27 και 28 Ιουνίου). Και σε αυτήν την απεικόνιση η συνολική ηλεκτρική κατανάλωση αυξάνεται τις πρωινές ώρες και μειώνεται τις μεσημεριανές και απογευματινές ώρες των εργάσιμων ημερών. Σε γενικές γραμμές κατά την διάρκεια της ημέρας η φόρτιση των οχημάτων αυξάνεται όταν το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο μειώνεται ή βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα.

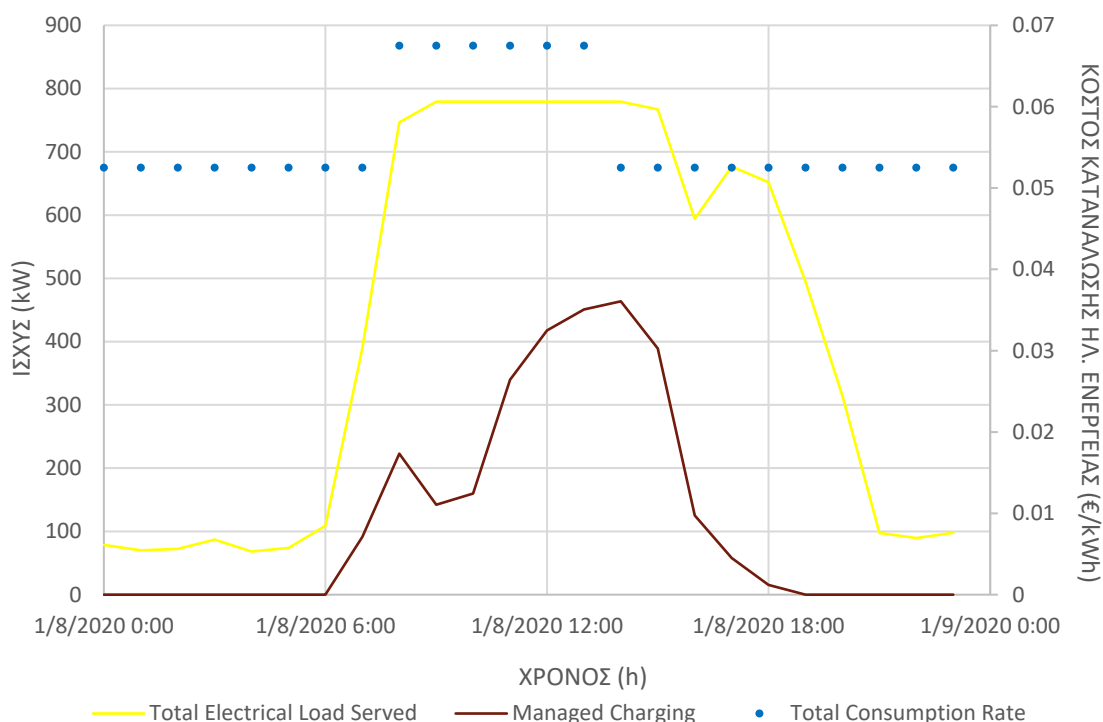
Τέλος, κατά την διάρκεια του σαββατοκύριακου η φόρτιση των οχημάτων ισούται με μηδέν όπως αναμένεται ενώ υπάρχουν διαστήματα που η συνολική κατανάλωση λαμβάνει αρνητικές τιμές. Η παραγόμενη από ΑΠΕ ισχύς φτάνει τα 240 kW στις 27 Ιουνίου, τιμή πολύ μεγαλύτερη από τα 94 kW που παρήχθησαν στις 11 Ιανουαρίου (γράφημα 3).

Στα παρακάτω διαγράμματα συσχετίζεται η συνολική ηλεκτρική κατανάλωση με το κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (σε €/kWh), την στρατηγική έξυπνης φόρτισης και τον χρόνο.

Σύμφωνα με την στρατηγική έξυπνης φόρτισης αναμένεται τα οχήματα να φορτίζονται όταν η τιμή της kWh είναι χαμηλότερη.

Η συνολική ηλεκτρική κατανάλωση υπολογίζεται όπως στα προηγούμενα διαγράμματα και απεικονίζεται με κίτρινο χρώμα. Το κόστος για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας προκύπτει από την τιμολόγηση κόστους ενέργειας που αναλύεται παραπάνω και στο γράφημα αναπαριστάται με γαλάζιες τελείες (total consumption

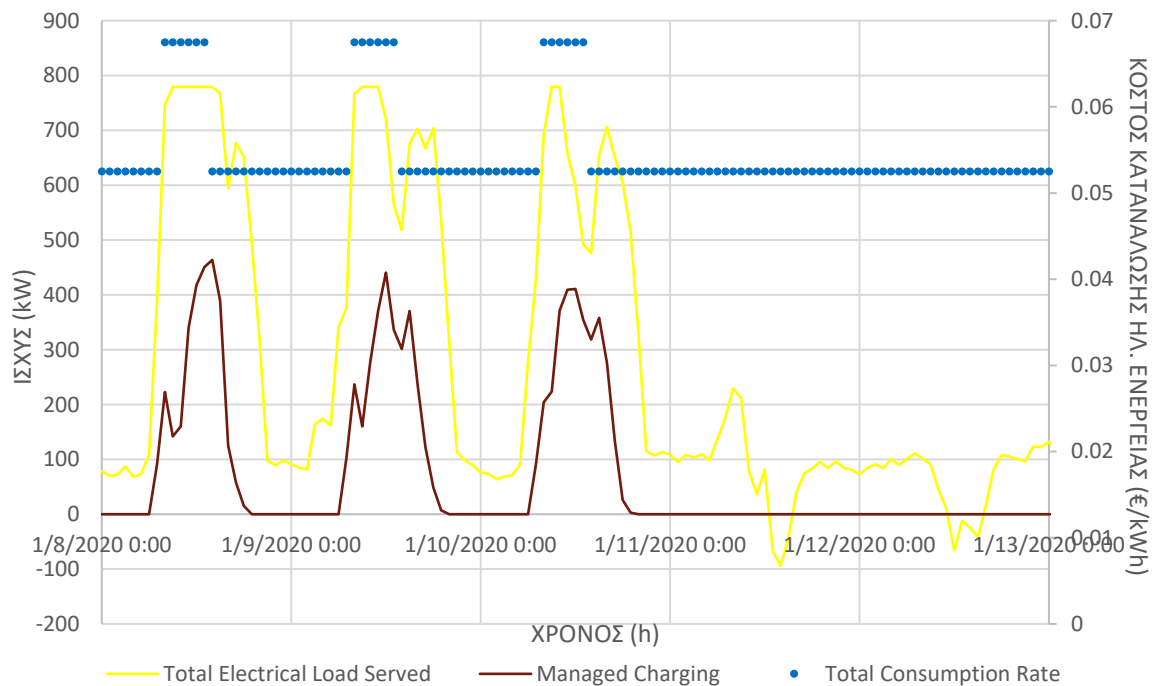
rate). Τέλος με καφέ χρώμα εμφανίζεται το φορτίο που προκύπτει από την φόρτιση των οχημάτων όταν ακολουθείται στρατηγική έξυπνης φόρτισης.



Σχήμα 7: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων, κατανάλωσης συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας και κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο στις 8 Ιανουαρίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης

Με βάση το ωράριο των εργαζομένων έχει επιλεγεί το χρονικό διάστημα μεταξύ 7:00 και 15:00 για την διασύνδεση των οχημάτων και την έναρξη φόρτισης αυτών. Σε συνδυασμό με την τιμολόγηση που διαμορφώνει το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας προκύπτει το παραπάνω γράφημα. Πιο αναλυτικά φαίνεται ότι από τις 7:00 μέχρι τις 8:00 η φόρτιση αυξάνεται ενώ αμέσως μετά τις 8:00 παρουσιάζει μικρή μείωση εξαιτίας του υψηλότερου κόστους κατανάλωσης ενέργειας. Καθώς όμως το χρονικό διάστημα διασύνδεσης των οχημάτων είναι συγκεκριμένο η φόρτιση αυξάνεται και πάλι παρόλο που το κόστος τάρiffας είναι υψηλό.

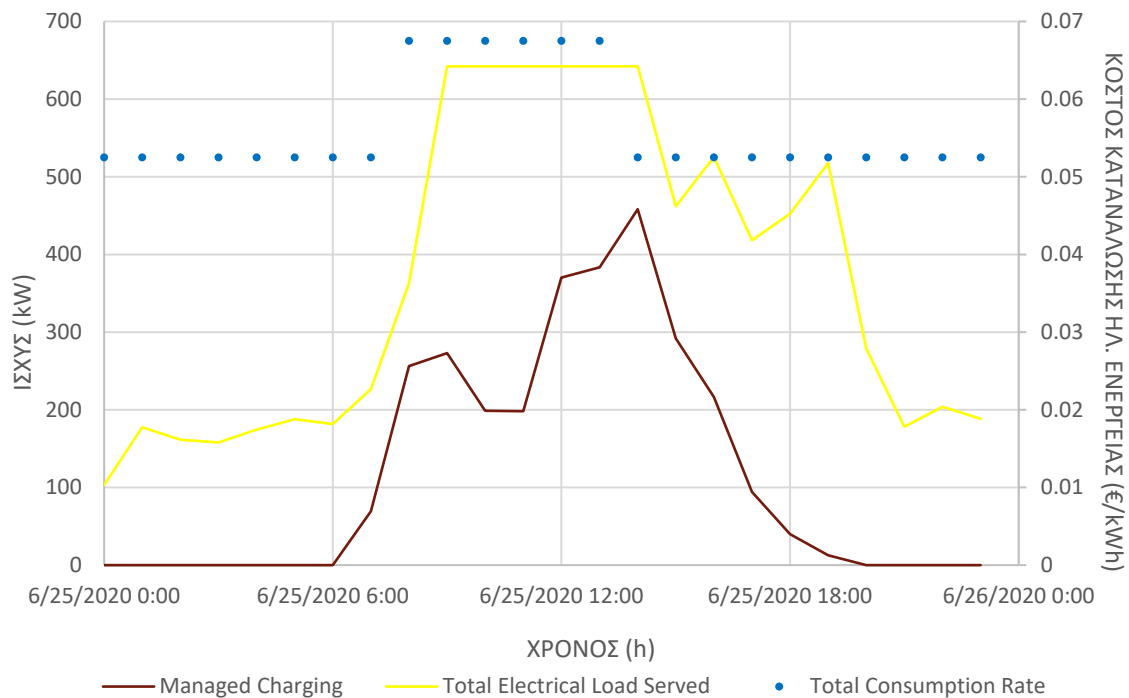
Το σχήμα 7 απεικονίζει εργάσιμη μέρα και για αυτό είναι αυτής της μορφής με βάση την τιμολόγηση που έχει επιλεγεί. Αντίθετα ένα σαββατοκύριακο θα είχε διαφορετική εικόνα, η οποία και παρουσιάζεται παρακάτω.



Σχήμα 8: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων, κατανάλωσης συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας και κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο κατά το διάστημα 8-12 Ιανουαρίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης

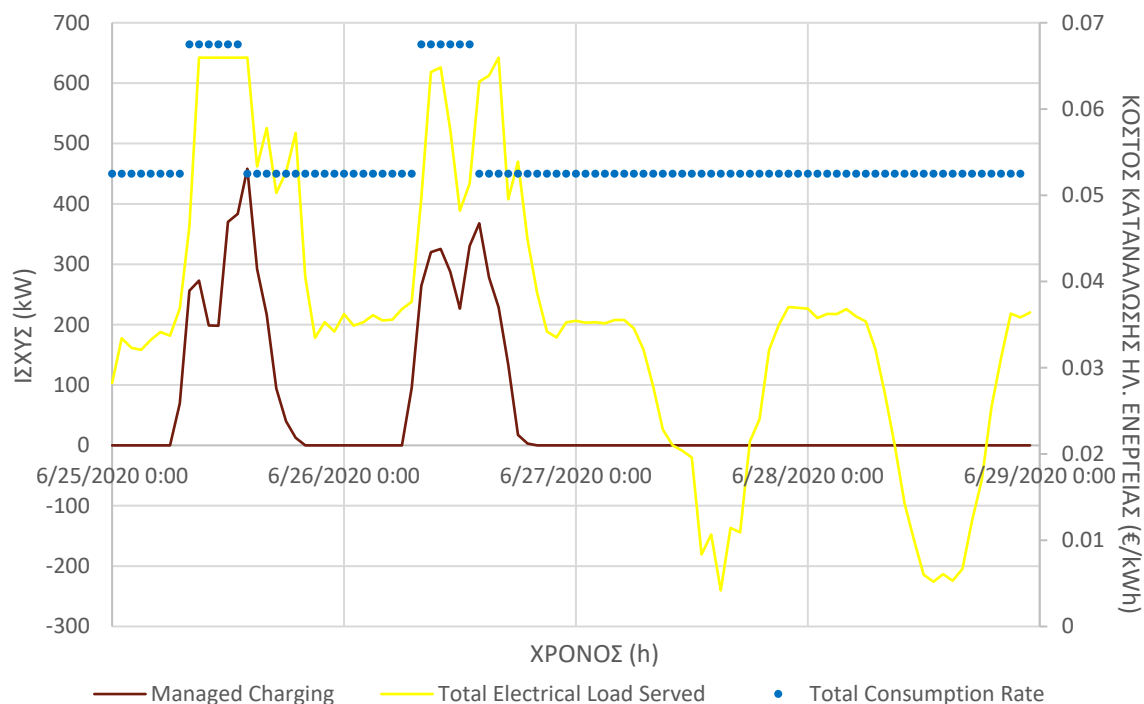
Όπως γίνεται αντιληπτό η διαφορά μεταξύ εργάσιμων και μη ημερών είναι μεγάλη. Στη συγκεκριμένη απεικόνιση φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλεται η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας τόσο μέσα στην διάρκεια της ημέρας αλλά και κατά την διάρκεια της εβδομάδας. Συγκεκριμένα τα σαββατοκύριακα δεν υπάρχει διακύμανση καθώς το κόστος ενέργειας είναι πάντα το ίδιο σε αντίθεση με τις εργάσιμες ημέρες που λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές μεταξύ 8:00 με 14:00.

Η κατανάλωση λόγω φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων (καφέ γραμμή) φαίνεται να παρουσιάζει κάποια επιμέρους ελάχιστα κατά την διάρκεια της ακριβότερης χρέωσης ενέργειας που στοχεύουν στην μείωση του κόστους φόρτισης, όπως αναμένεται να συμβαίνει σε μια έξυπνη στρατηγική φόρτισης. Παρόλα αυτά είναι φανερό ότι δεν είναι δυνατή η πλήρης αποφυγή φόρτισης μεταξύ 8:00 και 14:00 εξαιτίας του περιορισμού στο διάστημα διασύνδεσης των οχημάτων με το δίκτυο.



Σχήμα 9: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων, κατανάλωσης συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας και κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο στις 25 Ιουνίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης

Αντίστοιχα με το σχήμα 7, παρουσιάζεται η εξέλιξη της φόρτισης σε σχέση με την τιμολόγηση ενέργειας στην έξυπνη στρατηγική φόρτισης για τις 25 Ιουνίου. Όπως και στα προηγούμενα γραφήματα, κατά την διάρκεια της ακριβότερης χρέωσης ενέργειας, εμφανίζεται μείωση της φόρτισης χωρίς όμως αυτή να αποφεύγεται πλήρως. Η μέγιστη ισχύς φόρτισης εμφανίζεται στις 14:00 όπως και στο σχήμα 7, όταν δηλαδή το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας επιστρέφει στα χαμηλότερα επίπεδα χρέωσης.



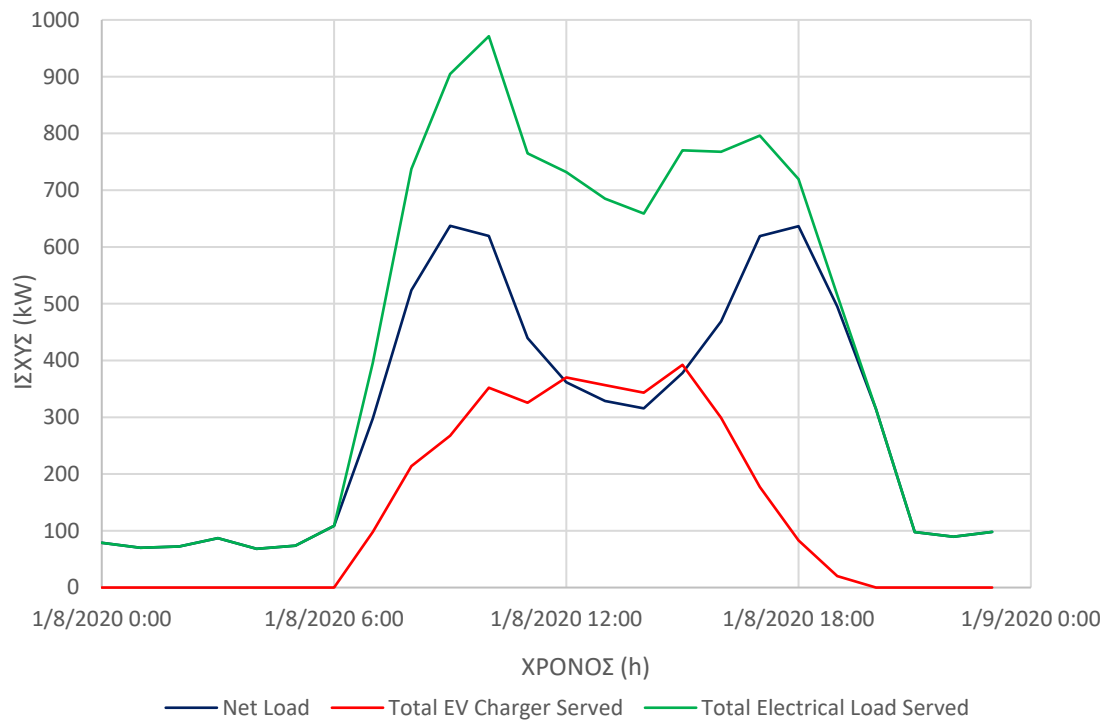
Σχήμα 10: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων, κατανάλωσης συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας και κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο κατά το διάστημα 25-28 Ιουνίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης

Με βάση την τιμολόγηση που έχει επιλεγεί το κόστος ενέργειας μεταβάλλεται μέσα στην ημέρα και όχι μέσα στον χρόνο (από εποχή σε εποχή). Αυτό επιβεβαιώνεται και από το παραπάνω σχήμα που αντικατοπτρίζει το διάστημα μεταξύ 25 και 28 Ιουνίου. Η τιμολόγηση του κόστους κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας δεν επηρεάζεται από εποχικότητα και δεν μεταβάλλεται κατά την διάρκεια του έτους.

Όπως αναμένεται, μεταξύ του διαστήματος 8:00 και 14:00 παρουσιάζεται μείωση της φόρτισης των οχημάτων, χωρίς αυτή να αποφεύγεται πλήρως.

## 6.2 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΑΜΕΣΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Στα παρακάτω γραφήματα απεικονίζεται η συνολική ηλεκτρική κατανάλωση, το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο καθώς και η κατανάλωση που προκύπτει από την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων σε σχέση με τον χρόνο για την στρατηγική άμεσης φόρτισης. Οι ημερομηνίες που έχουν επιλεγεί για τα παρακάτω διαγράμματα ταυτίζονται με αυτές που επιλέχθηκαν για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης ώστε αυτά να είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους.

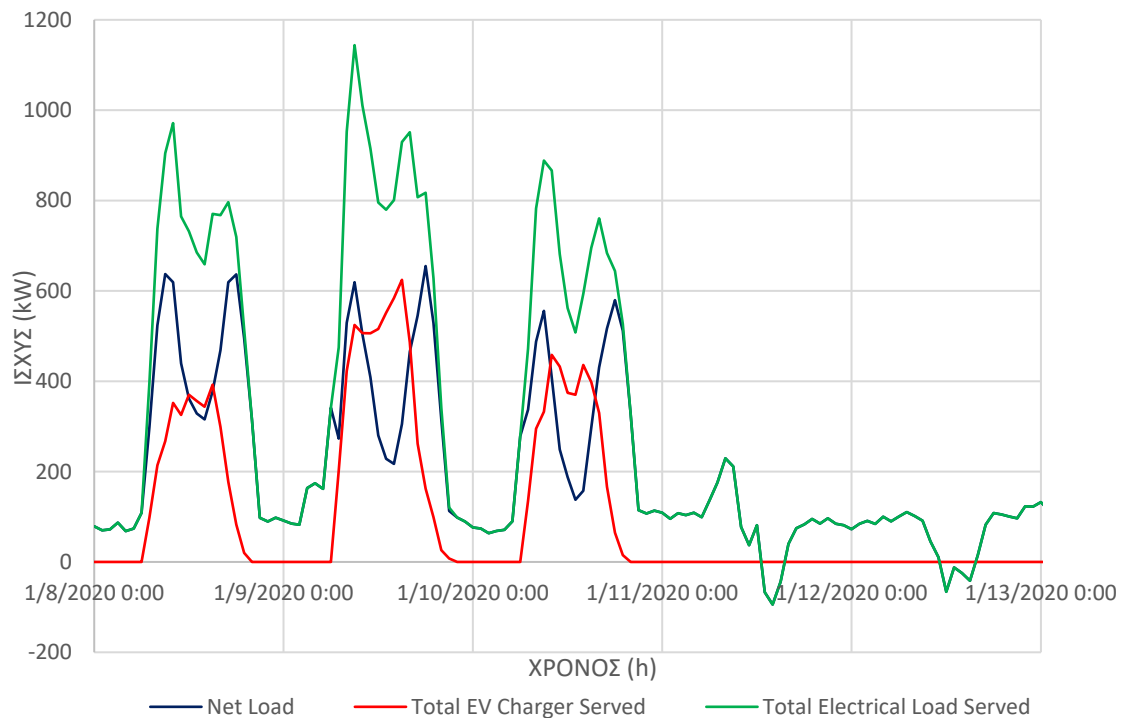


Σχήμα 11: Ισχύς καθαρού φορτίου, κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων και συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο στις 8 Ιανουαρίου για την στρατηγική άμεσης φόρτισης

Το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο (μπλε γραμμή) παραμένει σταθερό σε σχέση με το σχήμα 1 που απεικονίζει αντίστοιχα δεδομένα για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης όπως αναλύθηκε και στο σχήμα 2. Αυτό που παρουσιάζει διαφορά συγκριτικά με το σχήμα 1 είναι η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων η οποία τώρα συμβαίνει άμεσα, μόλις τα οχήματα φτάσουν στον σταθμό φόρτισης. Η συγκεκριμένη αντιμετώπιση έχει σαν αποτέλεσμα να «συσσωρεύεται» το φορτίο των οχημάτων τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες αυξάνοντας και την συνολική κατανάλωση.

Ενδεικτικά στις 8 Ιανουαρίου η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς με την στρατηγική έξυπνης φόρτισης ήταν σχεδόν 780 kW ενώ με την άμεση φόρτιση ξεπέρασε τα 970 kW. Όπως αναλύεται και παρακάτω αυτό έχει μεγάλο οικονομικό αντίκτυπο στην εγκατάσταση.

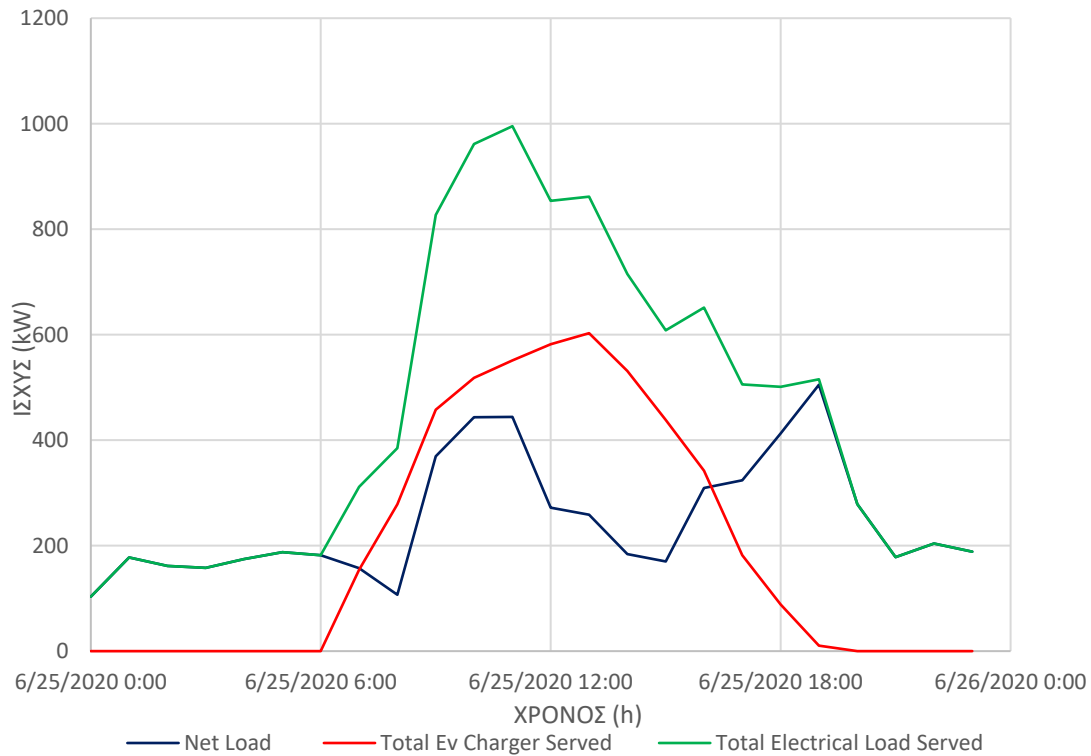




Σχήμα 12: Ισχύς καθαρού ηλεκτρικού φορτίου, κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων και συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο κατά το διάστημα 8-12 Ιανουαρίου για την στρατηγική άμεσης φόρτισης

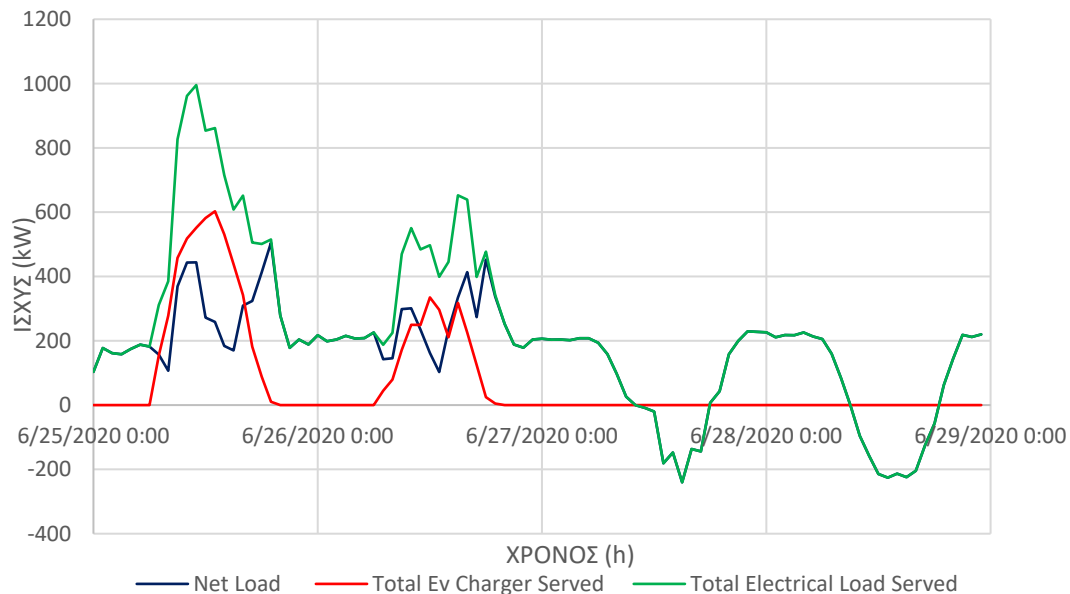
Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζεται η πορεία των καταναλώσεων από τις 8 έως τις 12 Ιανουαρίου. Επειδή η φόρτιση των οχημάτων λαμβάνει χώρα αμέσως μόλις αυτά συνδεθούν, τις πρωινές ώρες συσσωρεύεται αρκετά μεγάλο φορτίο όπως φάνηκε και στο γράφημα 11. Συγκριτικά με το σχήμα 3 είναι φανερό ότι η διαφορά μεταξύ των δύο στρατηγικών είναι τεράστια (περισσότερο από 360 kW) όσον αφορά στην μέγιστη ισχύ συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης.

Τέλος, τα σαββατοκύριακα η φόρτιση των οχημάτων είναι μηδενική όπως έχει καθορισθεί κατά την μοντελοποίηση.



Σχήμα 13: Ισχύς καθαρού φορτίου, κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων και συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο στις 25 Ιουνίου για την στρατηγική άμεσης φόρτισης

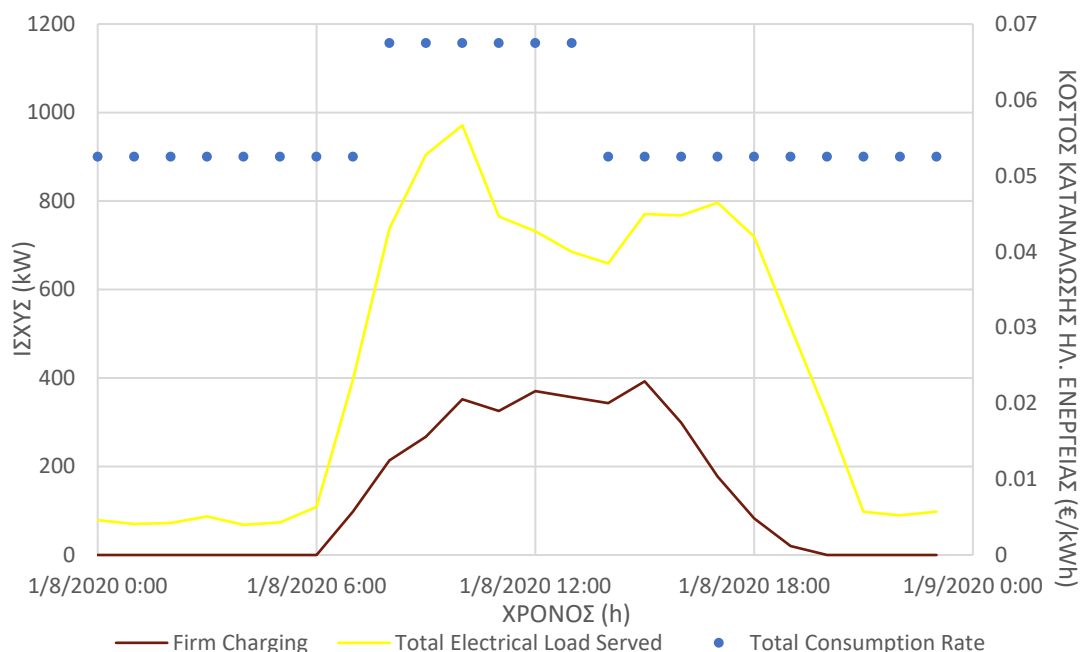
Στο παρόν σχήμα απεικονίζεται η φόρτιση των οχημάτων σε σχέση με το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο και την συνολική ηλεκτρική κατανάλωση για μια εργάσιμη καλοκαιρινή ημέρα. Η φόρτιση των οχημάτων λαμβάνει χώρα χωρίς κάποιον έλεγχο με αποτέλεσμα πολύ υψηλά επίπεδα κατανάλωσης ενέργειας τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες. Συνδυαστικά με την υψηλή κατανάλωση ενέργειας για την κάλυψη του καθαρού ηλεκτρικού φορτίου προκύπτει συσσώρευση των δύο επιμέρους ηλεκτρικών καταναλώσεων με αποτέλεσμα η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς να φτάνει τα 995 kW. Και πάλι η διαφορά με την στρατηγική έξυπνης φόρτισης είναι εμφανής αφού όπως φαίνεται και στο σχήμα 4 η μέγιστη ισχύς της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης δεν ξεπερνά τα 642 kW οδηγώντας σε διαφορά της τάξης των 350 kW που επιφέρει πολύ σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις.



Σχήμα 14: Ισχύς καθαρού ηλεκτρικού φορτίου, κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων και συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο κατά το διάστημα 25-28 Ιουνίου για την στρατηγική άμεσης φόρτισης

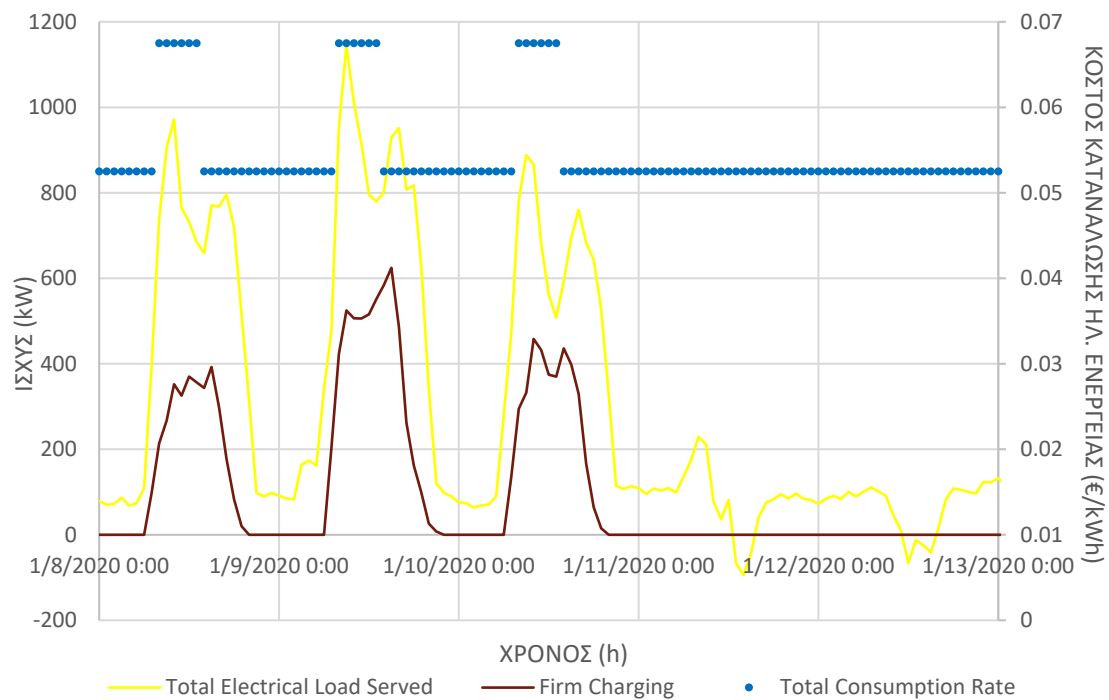
Το σχήμα 14 είναι το αντίστοιχο για την καλοκαιρινή περίοδο (25-28 Ιουνίου). Όπως και στα προηγούμενα διαγράμματα η φόρτιση λαμβάνει χώρα ανεξάρτητα από την πορεία του αρχικού φορτίου για αυτό και η συνολική ηλεκτρική κατανάλωση στην στρατηγική άμεσης φόρτισης βρίσκεται γενικά σε υψηλότερα επίπεδα σε σχέση με την στρατηγική έξυπνης φόρτισης.

Στα παρακάτω γραφήματα απεικονίζονται η συνολική ηλεκτρική κατανάλωση (κίτρινο χρώμα), το κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (γαλάζιο χρώμα) και η στρατηγική άμεσης φόρτισης (καφέ χρώμα) σε σχέση με τον χρόνο.



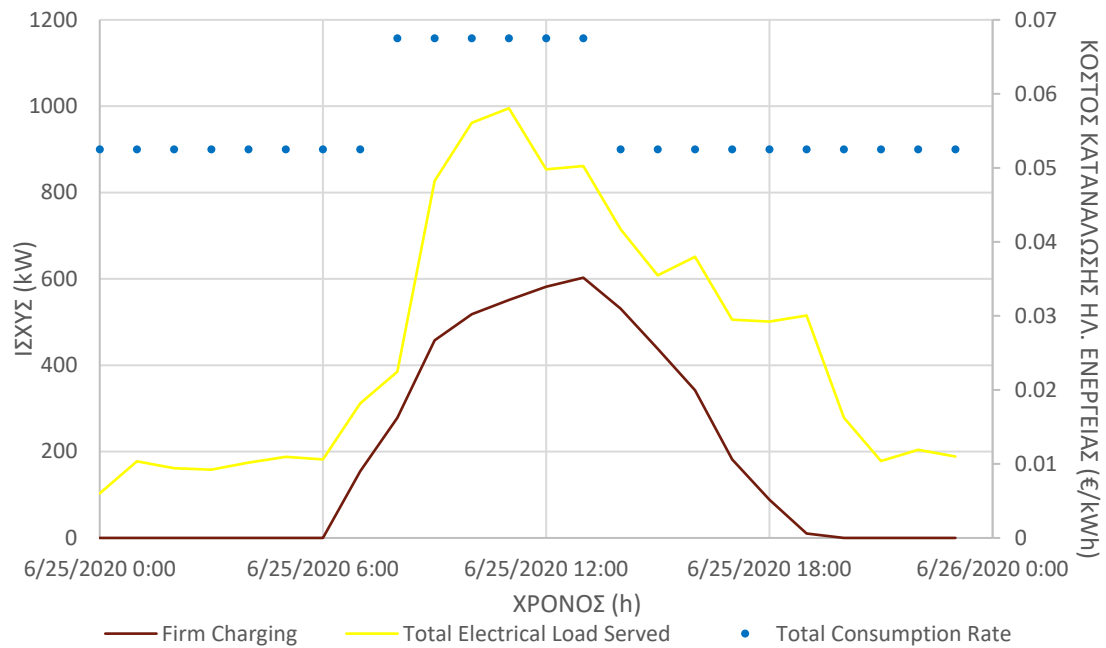
Σχήμα 15: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων, κατανάλωσης συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας και κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο στις 8 Ιανουαρίου για την στρατηγική άμεσης φόρτισης

Όπως φαίνεται στο σχήμα 15 η φόρτιση των οχημάτων δεν σχετίζεται με το κόστος ενέργειας που καθορίζεται από τις εκάστοτε ταρίφες. Η στρατηγική άμεσης φόρτισης όπως ήταν αναμενόμενο δεν εκμεταλλεύεται με κάποιον τρόπο τις οικονομικότερες χρονικές «ζώνες» με αποτέλεσμα τα οχήματα να φορτίζουν οποιαδήποτε στιγμή συνδεθούν με τον φορτιστή ασχέτως από το κόστος της kWh. Συγκεκριμένα από τις 8:00 έως τις 14:00 η φόρτιση παρουσιάζει ανοδική τάση χωρίς κάποια αξιοσημείωτη διακύμανση παρόλο που το κόστος ενέργειας είναι υψηλό.



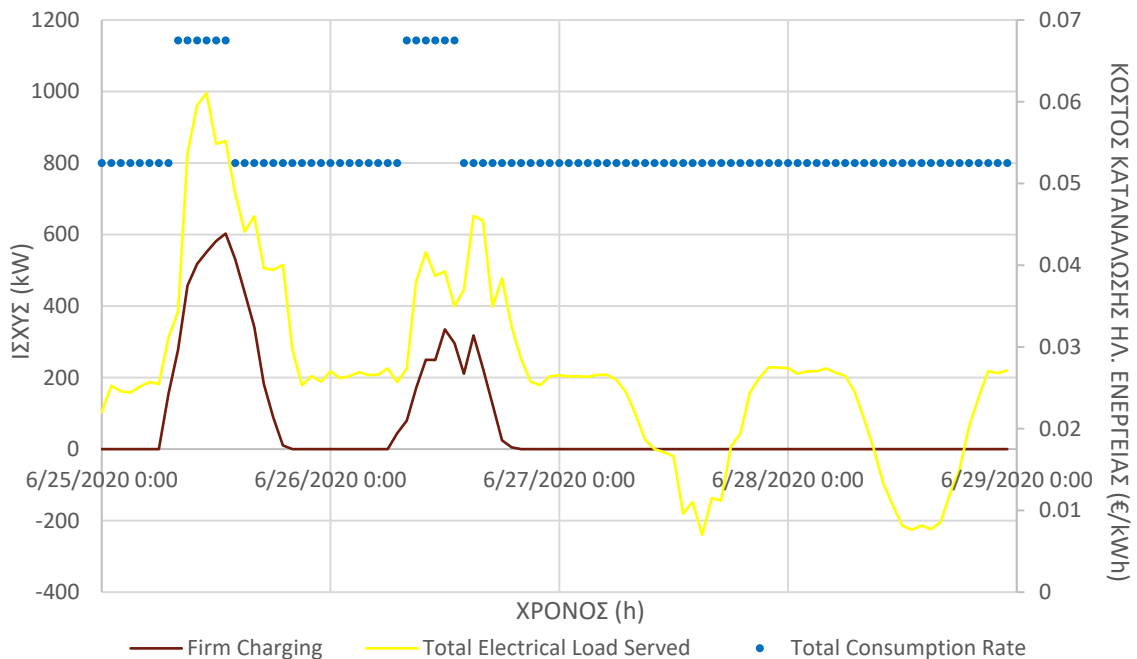
Σχήμα 16: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων, κατανάλωσης συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας και κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο κατά το διάστημα 8- 12 Ιανουαρίου για την στρατηγική άμεσης φόρτισης

Το παραπάνω σχήμα αφορά στο διάστημα 8 έως 12 Ιανουαρίου και απεικονίζει την ανεξάρτητη πορεία της άμεσης φόρτισης και του κόστους κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας όπως έχει περιγραφεί και στα προηγούμενα διαγράμματα. Με την άμεση στρατηγική ο μέσος όρος της συνολικής ισχύος για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα βρίσκεται κοντά στα 1000 kW ενώ για το αντίστοιχο χρονικό διάστημα με την στρατηγική της έξυπνης φόρτισης ήταν κοντά στα 780 kW.



Σχήμα 17: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων, κατανάλωσης συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας και κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο στις 8 Ιανουαρίου για την στρατηγική άμεσης φόρτισης

Στο σχήμα 17 εμφανίζεται η συνολική ηλεκτρική κατανάλωση και η φόρτιση των οχημάτων σε σχέση με το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια της 25<sup>ης</sup> Ιουνίου. Όπως αναμένεται η φόρτιση των οχημάτων δεν επηρεάζεται από τις «ακριβότερες ζώνες» τιμολόγησης και συνεχίζει την ανοδική της πορεία μέχρι τις 13:00 χωρίς να εμφανίζει κάποια τοπική μείωση.

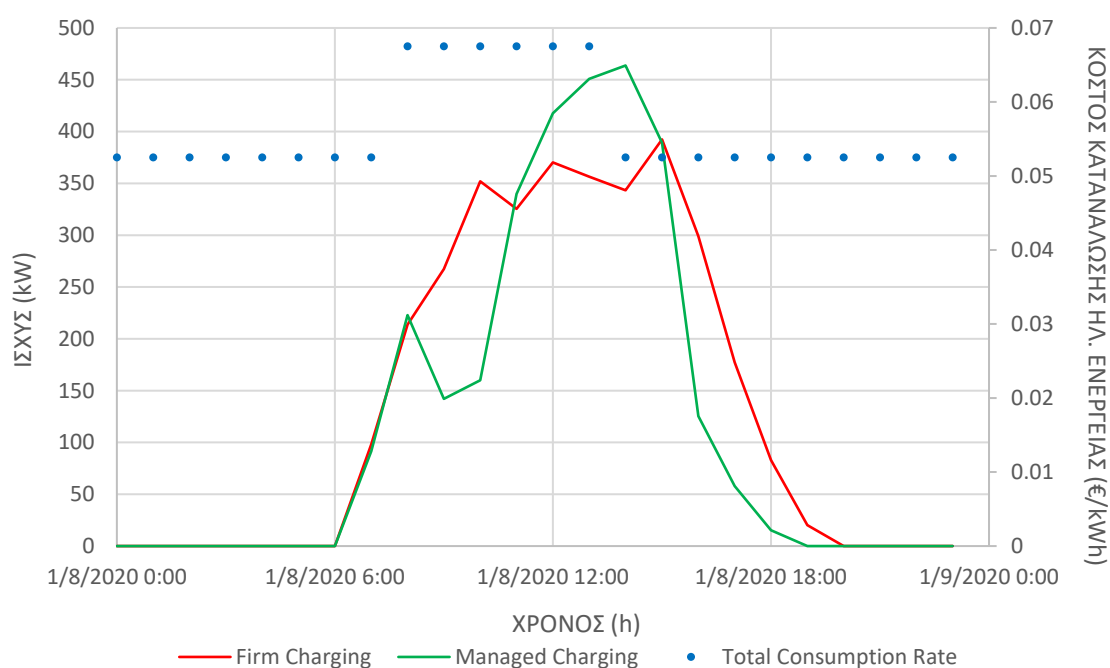


Σχήμα 18: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων, κατανάλωσης συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας και κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τον χρόνο κατά το διάστημα 25- 28 Ιουνίου για την στρατηγική άμεσης φόρτισης

Το παραπάνω σχήμα είναι το αντίστοιχο για το διάστημα 25 έως 28 Ιουνίου και όπως αναμένεται παρουσιάζει την άμεση φόρτιση των οχημάτων να μην σχετίζεται με το κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

### 6.3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΑΜΕΣΗΣ ΚΑΙ ΕΞΥΠΝΗΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Τα παρακάτω διαγράμματα συγκρίνουν την άμεση και την έξυπνη φόρτιση σε σχέση με το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να είναι πιο κατανοητές οι διαφορές μεταξύ των δύο στρατηγικών. Οι ημερομηνίες που έχουν επιλεγεί είναι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν και για τα προηγούμενα διαγράμματα. Όπως και παραπάνω τα γραφήματα απεικονίζουν μία εργάσιμη ημέρα, μια εβδομάδα τον χειμώνα και μια το καλοκαίρι.



Σχήμα 19: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων σε σχέση με τον χρόνο στις 8 Ιανουαρίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης και την στρατηγική άμεσης φόρτισης

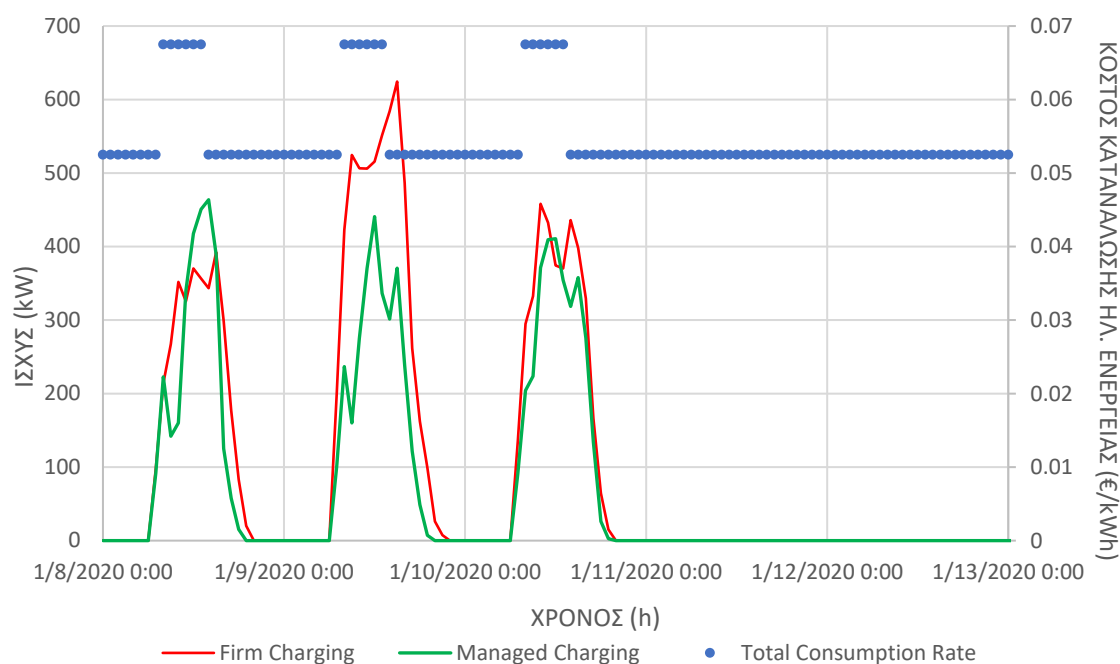
Στο παραπάνω σχήμα η διαφορά μεταξύ των δύο στρατηγικών είναι εμφανής. Η κόκκινη γραμμή που αναφέρεται στην άμεση στρατηγική συνεχίζει την ανοδική της πορεία και μετά τις 8:00 παρόλο που το κόστος ενέργειας είναι υψηλότερο. Αντίθετα, η πράσινη γραμμή που αντιπροσωπεύει την έξυπνη στρατηγική φόρτισης παρουσιάζει μείωση αμέσως μετά τις 8:00. Με αυτόν τον τρόπο ένα μέρος της φόρτισης αποφεύγεται τις ώρες αιχμής και μετατίθεται αργότερα. Η φόρτιση των οχημάτων δεν είναι δυνατόν να μεταφερθεί εντελώς εκτός του διαστήματος 8:00-14:00 γιατί έτσι έχει καθοριστεί κατά την μοντελοποίηση. (Το ωράριο εργασίας των εργαζομένων υπολογίζεται μέχρι τις 19:00 οπότε η φόρτιση δεν μπορεί να συνεχιστεί περαιτέρω.)

Η διαφορά κόστους ενέργειας που προκύπτει μεταξύ των δύο στρατηγικών ανέρχεται στα 24.5 €. Με την στρατηγική έξυπνης φόρτισης, το κόστος φόρτισης των οχημάτων



για τις 8 Ιανουαρίου 2020 ανέρχεται στα 177 € ενώ με την στρατηγική άμεσης φόρτισης στα 201.5 €.

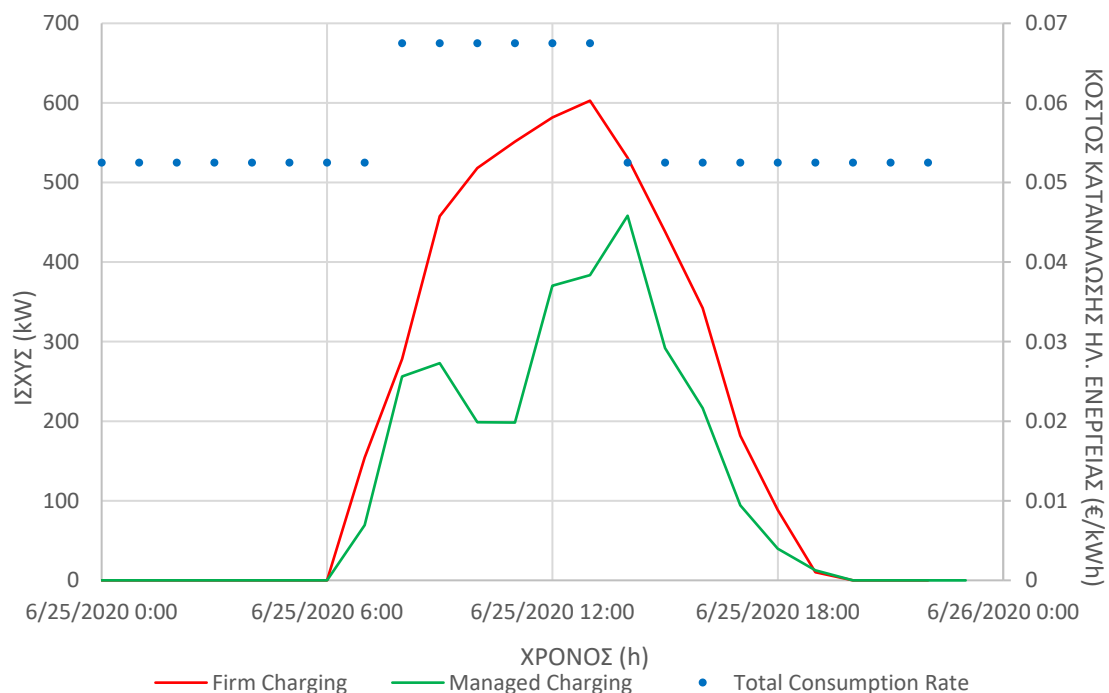
Αν και στο παρόν σχήμα, φαίνεται ότι η ισχύς στην στρατηγική έξυπνης φόρτισης βρίσκεται σε υψηλότερα επίπεδα συγκριτικά με την στρατηγική άμεσης φόρτισης είναι πολύ σημαντικό να εξεταστεί η μέγιστη συνολική ισχύς που προκύπτει μετά την κάλυψη και του καθαρού ηλεκτρικού φορτίου καθώς η τιμολόγηση της μέγιστης ισχύος γίνεται για την συνολική και όχι την επιμέρους μέγιστη ισχύ, όπως φαίνεται και στο σχήμα 23.



Σχήμα 20: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων σε σχέση με τον χρόνο κατά το διάστημα 8-12 Ιανουαρίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης και την στρατηγική άμεσης φόρτισης

Το παραπάνω σχήμα αντικατοπτρίζει τις διαφορές της άμεσης από την έξυπνη στρατηγική φόρτισης για το διάστημα μεταξύ 8 και 13 Ιανουαρίου. Βασική διαφορά παραμένει το γεγονός ότι η έξυπνη φόρτιση παρουσιάζει μείωση της κατανάλωσης αμέσως μετά τις 8:00 σε αντίθεση με την άμεση φόρτιση που δεν επηρεάζεται από την τιμή της ενέργειας.

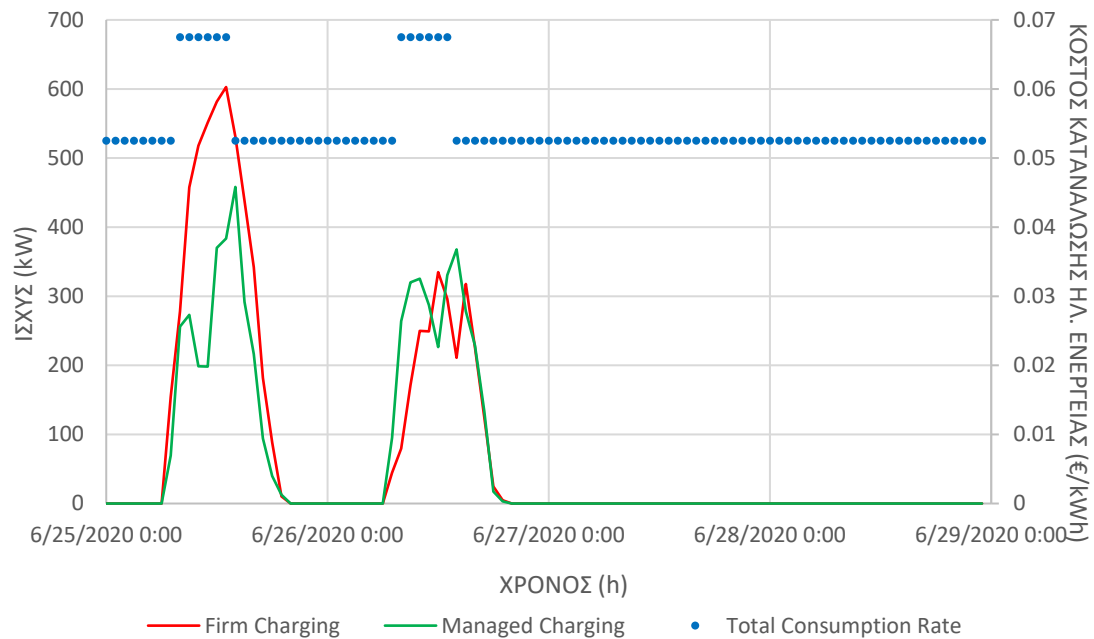
Για το χρονικό διάστημα που απεικονίζεται στο γράφημα 20, η διαφορά του κόστους για την φόρτιση των οχημάτων ανέρχεται στα 322.6 €. Συγκεκριμένα με την στρατηγική έξυπνης φόρτισης το κόστος φόρτισης αγγίζει τα 734.6 € ενώ με την άμεση φόρτιση το κόστος φτάνει τα 1057.2 €.



Σχήμα 21: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων σε σχέση με τον χρόνο στις 25 Ιουνίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης και την στρατηγική άμεσης φόρτισης

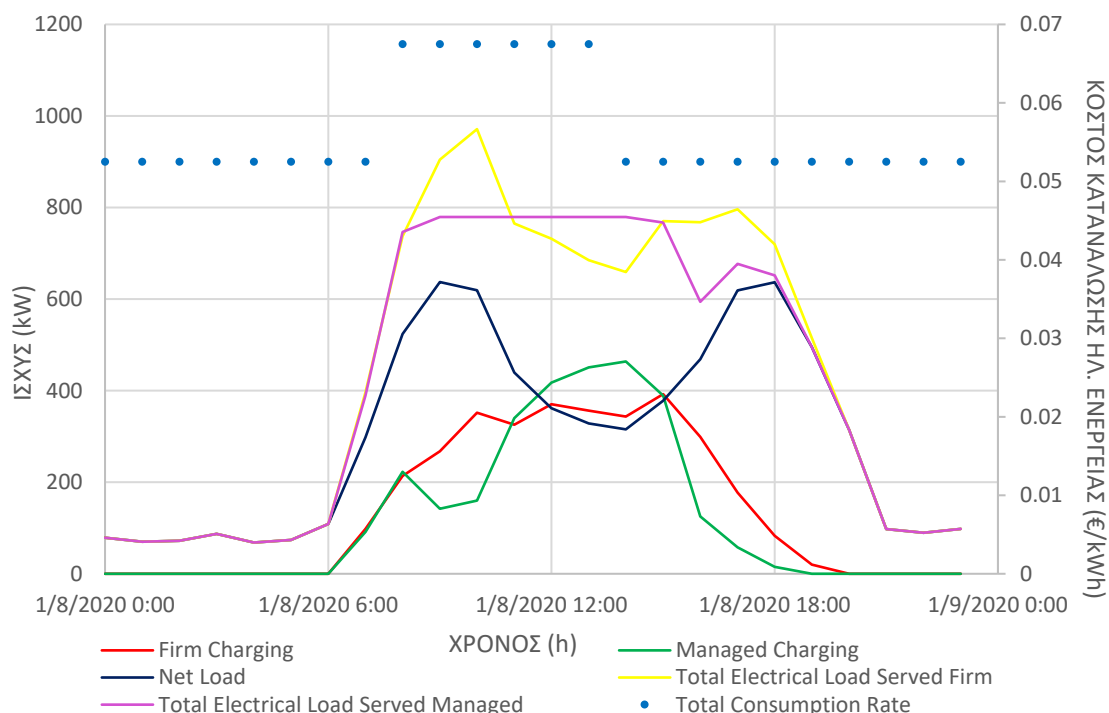
Στο παραπάνω σχήμα απεικονίζεται ξεκάθαρα η διαφορά μεταξύ των δύο στρατηγικών για τις 25 Ιουνίου 2020. Και σε αυτήν την περίπτωση η στρατηγική άμεσης φόρτισης συνεχίζει την ανοδική της πορεία και μετά τις 8:00 παρόλο που το κόστος ενέργειας είναι υψηλότερο. Αντίθετα, η έξυπνη στρατηγική φόρτισης παρουσιάζει μείωση μετά τις 9:00.

Όπως έχει αναφερθεί η φόρτιση των οχημάτων δεν είναι δυνατόν να μεταφερθεί εντελώς εκτός του διαστήματος 8:00-14:00. Παρόλα αυτά, υπάρχει διαφορά κόστους ενέργειας μεταξύ των δύο στρατηγικών. Συγκεκριμένα με την στρατηγική έξυπνης φόρτισης, το κόστος φόρτισης των οχημάτων ανέρχεται στα 175.5 € ενώ με την στρατηγική άμεσης φόρτισης στα 293.5 €, επιφέροντας εξοικονόμηση 118 € για την συγκεκριμένη ημέρα.



Σχήμα 22: Ισχύς κατανάλωσης λόγω φόρτισης οχημάτων σε σχέση με τον χρόνο κατά το διάστημα 25-28 Ιουνίου για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης και την στρατηγική άμεσης φόρτισης

Το παρόν σχήμα αφορά στο διάστημα 25 έως 28 Ιουνίου και όπως αναμένεται η φόρτιση των οχημάτων κατά την διάρκεια της έξυπνης στρατηγικής τείνει να μειώνεται εντός της ακριβότερης χρονικής ζώνης. Όπως έχει αναλυθεί και παραπάνω δεν είναι δυνατή η εξολοκλήρου αποφυγή φόρτισης εντός του διαστήματος 8:00-14:00. Ακόμα και υπό αυτές τις συνθήκες όμως με την στρατηγική έξυπνης φόρτισης επιτυγχάνεται εξοικονόμηση 19.2% σε σχέση με την απλή φόρτιση. Αναλυτικότερα, το κόστος ενέργειας για την φόρτιση των οχημάτων το διάστημα που απεικονίζει το παρόν γράφημα είναι 436.8 € για την στρατηγική άμεσης φόρτισης και 352.9 € για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης.

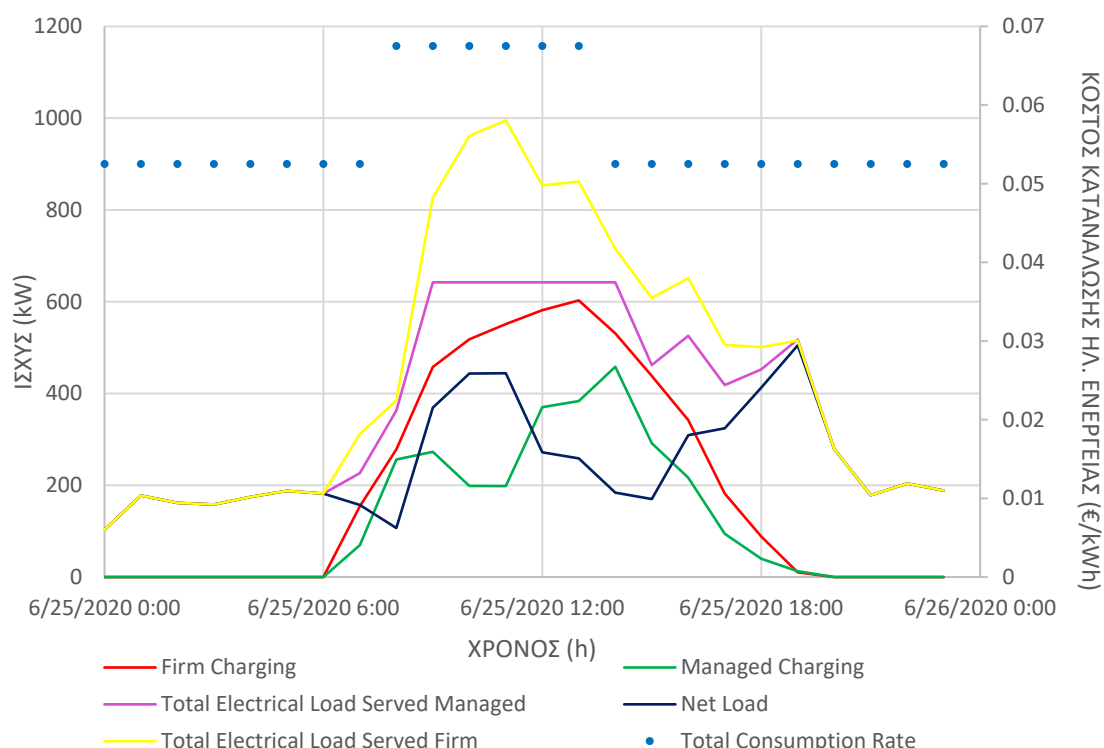


Σχήμα 23: Ισχύς καθαρού φορτίου, κατανάλωσης λόγω έξυπνης φόρτισης, κατανάλωσης λόγω άμεσης φόρτισης και συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης για την έξυπνη και άμεση φόρτιση σε σχέση με το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για τις 8 Ιανουαρίου

Το σχήμα 23 συσχετίζει τις επιμέρους καταναλώσεις της έξυπνης και άμεσης φόρτισης οχημάτων καθώς και του καθαρού ηλεκτρικού φορτίου και τις συνολικές ηλεκτρικές καταναλώσεις με το κόστος κατανάλωσης ενέργειας. Η διαφορά σε σχέση με το σχήμα 19 που γίνεται σύγκριση μεταξύ των δύο στρατηγικών είναι ότι στο παρόν διάγραμμα είναι εμφανής η τελική κατανάλωση ενέργειας μετά και την προσθήκη του καθαρού φορτίου. Στο παρόν γράφημα η στρατηγική έξυπνης φόρτισης απεικονίζεται με πράσινο χρώμα ενώ η στρατηγική άμεσης φόρτισης με κόκκινο χρώμα και το καθαρό φορτίο με μπλε χρώμα. Η συνολική ηλεκτρική κατανάλωση για την στρατηγική άμεσης φόρτισης παρουσιάζεται με κίτρινο χρώμα, η συνολική ηλεκτρική κατανάλωση για την στρατηγική έξυπνης φόρτισης με μωβ χρώμα και τέλος το κόστος κατανάλωσης ενέργειας με γαλάζιες τελείες.

Αυτό που προκαλεί εντύπωση είναι ότι παρόλο που υπάρχει διάστημα κατά το οποίο τα επίπεδα ισχύος με την έξυπνη στρατηγική φόρτισης των οχημάτων βρίσκονται σε υψηλότερα επίπεδα, τελικά η ισχύς της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας βρίσκεται σε πιο χαμηλά επίπεδα συγκριτικά με την μέγιστη συνολική ισχύ της στρατηγικής άμεσης φόρτισης. Αυτό συμβαίνει διότι τις πρωινές ώρες που το αρχικό φορτίο αυξάνεται, η κατανάλωση ενέργειας για την άμεση φόρτιση των οχημάτων αυξάνεται επίσης οδηγώντας σε απότομη αύξηση της ισχύος της συνολικής κατανάλωσης (971.3 kW μέγιστη τιμή ισχύος). Αντίθετα, με την στρατηγική έξυπνης φόρτισης η κατανάλωση λόγω φόρτισης των οχημάτων μετακινείται δεξιότερα, εξαιτίας του κόστους της ταρίφας όπως έχει αναλυθεί παραπάνω, με αποτέλεσμα οι μέγιστες τιμές ισχύος λόγω φόρτισης να συμπίπτουν με τις ελάχιστες τιμές του αρχικού φορτίου τις μεσημεριανές ώρες. Αποτέλεσμα αυτού είναι η ισχύς της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας να παρουσιάζει μικρότερες διακυμάνσεις και να βρίσκεται γενικά σε πιο χαμηλά επίπεδα (779.3 kW μέγιστη τιμή ισχύος). Η διαφορά ζήτησης ισχύος μεταξύ

των δύο στρατηγικών είναι πολύ μεγάλη (192 kW) και έχει οικονομική επίπτωση στην εγκατάσταση.



Σχήμα 24: Ισχύς καθαρού φορτίου, κατανάλωσης λόγω έξυπνης φόρτισης, κατανάλωσης λόγω άμεσης φόρτισης και συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης για την έξυπνη και άμεση φόρτιση σε σχέση με το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για τις 25 Ιουνίου

Στο σχήμα 24 συγκρίνεται η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της άμεσης και έξυπνης στρατηγικής, το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο και οι δύο στρατηγικές φόρτισης με το κόστος κατανάλωσης για τις 24 Ιουνίου.

Όπως φαίνεται από την κίτρινη γραμμή, η ισχύς της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης με την στρατηγική άμεσης φόρτισης για την συγκεκριμένα ημέρα έφτασε τα 995.2 kW ενώ με την στρατηγική έξυπνης φόρτισης η μέγιστη ισχύς της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης δεν ξεπέρασε τα 642.2 kW. Η διαφορά των 350 kW έχει μεγάλο οικονομικό αντίκτυπο στην εγκατάσταση καθώς εκτός της κατανάλωσης ενέργειας κοστολογείται και η μέγιστη μηνιαία ισχύς όπως αναλύεται στο 3.3.2.

Μεταξύ 10:00 και 11:00 που το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο λαμβάνει υψηλές τιμές, η άμεση φόρτιση βρίσκεται σε υψηλότερα επίπεδα από την έξυπνη φόρτιση γεγονός που οδηγεί σε ταυτοχρόνιση των επιμέρους καταναλώσεων και μεγαλύτερη τιμή της μέγιστης ισχύς. Η έξυπνη φόρτιση βρίσκεται στα υψηλότερα επίπεδα της ημέρας μεταξύ 13:00 και 14:00 (με αποκορύφωμα τις 14:00), χρονικό διάστημα κατά το οποίο το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο παρουσιάζει μια μείωση και τείνει προς τις χαμηλότερες τιμές της «κοιλιάς» που δημιουργείται μέσα στην ημέρα. Έτσι επιτυγχάνεται σταθεροποίηση της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης και διατήρηση της συνολικής ισχύος σε χαμηλότερες τιμές συγκριτικά με την στρατηγική άμεσης φόρτισης.

## 6.4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω στο συγκεκριμένο μοντέλο συγκρίνονται δύο διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης, η έξυπνη (managed) και η άμεση (firm). Ο αριθμός των ημερήσιων συνεδριών έχει καθορισθεί στις 100 και ο χρόνος διασύνδεσης για την έξυπνη φόρτιση 3.5 ώρες.

Παρακάτω εμφανίζεται ο πίνακας με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που προέκυψαν από το λογισμικό Homer Grid για τις δυνατές προσομοιώσεις.

Πίνακας 6: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων σύμφωνα με το Homer Grid

| Στρατηγική φόρτισης | NPC (€)   | LCOE (€/kWh) | OP. COST (€) |
|---------------------|-----------|--------------|--------------|
| έξυπνη              | 1,900,589 | 0.06953      | 133,545.4    |
| άμεση               | 2,101,121 | 0.07590      | 147,018.9    |

## 6.5 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που περιγράφηκαν παραπάνω εμφανίζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 6. Βασικές παράμετροι για την επιλογή του βέλτιστου σεναρίου αποτελούν το ανηγμένο κόστος ενέργειας (LCOE), η καθαρή παρούσα αξία (NPC) και το λειτουργικό κόστος (OP. COST). Σύμφωνα με το Homer η προσομοίωση με την μικρότερη καθαρή παρούσα αξία αποτελεί και την λύση του συστήματος.

Όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα η έξυπνη φόρτιση κατά κύριο λόγο λαμβάνει χώρα όταν το κόστος κατανάλωσης ενέργειας βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα σε αντίθεση με την στρατηγική άμεσης φόρτισης που δεν επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες.

Η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την φόρτιση των οχημάτων με την στρατηγική άμεσης φόρτισης ανήλθε στις 792,877 kWh βάσει των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από το λογισμικό. Αντίστοιχα η φόρτιση μέσω της έξυπνης στρατηγικής υπολογίστηκε ότι χρειάστηκε 766,605 kWh στην διάρκεια του έτους. Η απόκλιση αυτή οφείλεται στον τρόπο λειτουργίας του Homer Grid για τις δύο διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης και την τυχαιοποίηση των υπολογισμών με τους οποίους προκύπτουν τα αποτελέσματα. Η διαφορά μεταξύ των ετήσιων καταναλισκόμενων kWh είναι μικρότερη του 3.3% και θεωρείται αποδεκτή.

Το μέγεθος που αντικατοπτρίζει την διαφορά μεταξύ των δύο στρατηγικών και επιδιώχθηκε να μειωθεί είναι το κόστος ενέργειας που υπολογίζεται ανά kWh. Όπως φαίνεται και στον πίνακα 6 το κόστος ενέργειας με την άμεση φόρτιση υπολογίζεται 0.0759 €/kWh ενώ με την έξυπνη φόρτιση 0.06953 €/kWh επιφέροντας εξοικονόμηση 8.4%. Η διαφορά αυτή επηρεάζει το κόστος λειτουργίας της εγκατάστασης καθώς με την έξυπνη στρατηγική προκύπτει διαφορά 13,473.5 € ετησίως σε σχέση με την άμεση στρατηγική. Το μεγαλύτερο μέρος των χρημάτων που εξοικονομούνται προκύπτει από το κόστος μέγιστης ισχύος (demand charge). Όπως φαίνεται και στα διαγράμματα 23 και 24 με την άμεση στρατηγική αυξάνεται απότομα η ζήτηση ισχύος τις πρωινές ώρες καθώς συμπίπτει η φόρτιση των οχημάτων με το καθαρό ηλεκτρικό φορτίο, γεγονός που οδηγεί σε υψηλότερη τιμολόγηση. Αντίθετα η έξυπνη φόρτιση παρόλο που τοπικά μπορεί να σημειώνει υψηλότερες τιμές ισχύος συνδυαστικά με το καθαρό ηλεκτρικό



φορτίο πετυχαίνει εξισορρόπηση της ζήτησης και μικρότερες διακυμάνσεις στην καμπύλη φορτίου.

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκαν δύο διαφορετικά σενάρια για την φόρτιση 100 ηλεκτρικών οχημάτων. Το μοντέλο προσομοίωσης βασίζεται στις εγκαταστάσεις του Leaf Community και στόχος είναι η φόρτιση με όσο το δυνατόν μικρότερο κόστος ενέργειας. Και στις δύο προσομοιώσεις οι υπόλοιπες παράμετροι όπως καθαρό ηλεκτρικό φορτίο, αριθμός φορτιστών και τύπος οχημάτων είναι ίδιες. Η μόνη διαφορά μεταξύ των δύο στρατηγικών βρίσκεται στον χρόνο διασύνδεσης των οχημάτων με το δίκτυο. Στην περίπτωση της άμεσης στρατηγικής τα οχήματα φορτίζουν μόλις συνδεθούν με το δίκτυο ενώ στην στρατηγική έξυπνης φόρτισης μένουν διασυνδεδεμένα με αυτό για 3.5 ώρες. Περιοριστικό παράγοντα για τον χρόνο διασύνδεσης των οχημάτων αποτέλεσε το ωράριο των εργαζομένων το οποίο έχει καθορισθεί μέχρι τις 19:00. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να φορτίζουν αναγκαστικά κάποια οχήματα και κατά την διάρκεια του υψηλότερου κόστους κατανάλωσης ενέργειας.

Ανάμεσα στις δύο προσομοιώσεις η βέλτιστη θεωρείται αυτή της έξυπνης στρατηγικής φόρτισης. Το σενάριο αυτό θεωρείται η καλύτερη επιλογή καθώς αποφέρει το μικρότερο κόστος ενέργειας, το χαμηλότερο κόστος σε όρους παρούσας αξίας αλλά και το μικρότερο ετήσιο κόστος λειτουργίας. Με την έξυπνη στρατηγική φόρτισης επιτυγχάνεται καλύτερη διαχείριση του φορτίου των οχημάτων γεγονός που αποφέρει εξοικονόμηση χρημάτων. Η αποτελεσματικότητα της έξυπνης φόρτισης έγκειται στην ικανότητα «μετατόπισης» του φορτίου από χρονικά διαστήματα που το κόστος ενέργειας είναι υψηλό σε διαστήματα που η τιμή της ενέργειας είναι χαμηλότερη. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται το λεγόμενο «valley filling» ή «γέμισμα της κοιλάδας» που οδηγεί σε εξισορρόπηση της καμπύλης ζήτησης.

Προτείνεται για μελλοντική έρευνα η αξιολόγηση και ποσοτικοποίηση του περιβαλλοντικού οφέλους και ειδικότερα όσον αφορά στην μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> μέσω της στρατηγικής έξυπνης φόρτισης των οχημάτων. Επιπλέον προτείνεται η αξιολόγηση των δυνατοτήτων V2G στο μικροδίκτυο, τεχνολογία που δεν υποστήριζε η συγκεκριμένη έκδοση λογισμικού και η σύγκριση με V1G ή και άμεση φόρτιση. Τέλος προτείνεται για διερεύνηση σενάριο με διαφορετική τιμολόγηση ενέργειας (Time of Use, Real Time Pricing).

## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] “CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions - Our World in Data,” 2020. [https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions?source=post\\_page-----47fa6c394991-----](https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions?source=post_page-----47fa6c394991-----) (accessed Aug. 05, 2021).
- [2] “Cars, planes, trains: where do CO<sub>2</sub> emissions from transport come from? - Our World in Data,” 2020. <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport> (accessed Aug. 05, 2021).
- [3] “Νόμος για το κλίμα: έγκριση της συμφωνίας για κλιματικά ουδέτερη ΕΕ ως το 2050 | Επικαιρότητα | Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο.” <https://www.europarl.europa.eu/news/el/press-room/20210621IPR06627/nomos-gia-to-klima-egkrisi-tis-sumfonias-gia-klimatika-oudeteri-ee-os-to-2050> (accessed Jul. 05, 2021).
- [4] I. Energy Agency, “Global EV Outlook 2021 Accelerating ambitions despite the pandemic,” 2021. [Online]. Available: [www.iea.org/t&c/](http://www.iea.org/t&c/).
- [5] EEA, “Electric vehicles and the energy sector-impacts on Europe’s future emissions Main messages,” *EEA Brief.*, pp. 1–5, 2016, [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/themes/transport/electric-vehicles/electric-vehicles-and-energy>.
- [6] Κατεργιαννάκης Ανδρέας, “Δυναμική τιμολόγηση και μελέτη περίπτωσης / προσομοίωσης της ωριαίας ανάλυσης καταναλώσεων και τιμών ενέργειας σε δίκτυο διαμέρισμα ,” ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ , 2013.
- [7] “Ηλεκτρικό αυτοκίνητο - Βικιπαίδεια.” [https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρικό\\_αυτοκίνητο](https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρικό_αυτοκίνητο) (accessed Nov. 05, 2020).
- [8] “History of Electric Cars - EVHERO.” <https://evhero.co.uk/history-of-electric-car/> (accessed Nov. 05, 2020).
- [9] “Fuel types of new cars: electric 10.5%, hybrid 11.9%, petrol 47.5% market share full-year 2020 | ACEA - European Automobile Manufacturers’ Association.” <https://www.acea.auto/fuel-pc/fuel-types-of-new-cars-electric-10-5-hybrid-11-9-petrol-47-5-market-share-full-year-2020/> (accessed May 02, 2021).
- [10] CEM, “EV30@30 campaign | Clean Energy Ministerial |EV30@30 campaign | Advancing Clean Energy Together,” CEM, 2019. <http://www.cleanenergyministerial.org/campaign-clean-energy-ministerial/ev3030-campaign>.
- [11] IEA, “Global EV Outlook 2020: Entering the decade of electric drive?,” *Glob. EV Outlook 2020*, p. 276, 2020.
- [12] “Πρότυπα εκπομπών CO<sub>2</sub> για αυτοκίνητα: Το ΕΚ εγκρίνει αυστηρότερα όρια | Επικαιρότητα | Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο.” <https://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/society/20180920STO14027/protupa-ekpompon-co2-gia-autokineta-to-ek-egkrinei-austirotera-oria> (accessed Jul. 05, 2021).
- [13] “Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ έπεσαν το 2019 στο χαμηλότερο επίπεδο των τριών τελευταίων δεκαετιών | Greece,” *Ευρωπαϊκή Επιτροπή*, 2020. [https://ec.europa.eu/greece/news/20201130\\_1\\_el](https://ec.europa.eu/greece/news/20201130_1_el) (accessed Aug. 05, 2021).

- [14] European Environment Agency., “Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives : TERM 2018 : Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report,” 2018.
- [15] F. Richter, “• Chart: Can Falling Battery Prices Power EV Breakthrough? | Statista,” *statista*. <https://www.statista.com/chart/7713/electric-car-battery-prices/> (accessed Jul. 05, 2021).
- [16] “A simple explanation of how a hydrogen car works- Easy Electric Life,” 2021. <https://easyelectriclife.groupe.renault.com/en/outlook/markets/how-hydrogen-powered-car-works-simply-explained/> (accessed Jul. 16, 2021).
- [17] “Μπαταρία - Βικιπαίδεια.” <https://el.wikipedia.org/wiki/Μπαταρία> (accessed Nov. 19, 2020).
- [18] “Μπαταρίες: Λειτουργία και αποθήκευση μπαταριών (Μέρος 2ο).” [https://www.tosynergeio.gr/index.php?option=com\\_k2&view=item&id=839:batteries-dc](https://www.tosynergeio.gr/index.php?option=com_k2&view=item&id=839:batteries-dc) (accessed Nov. 19, 2020).
- [19] “Wireless electric car charging explained: How it works and why it’s the future | CarAdvice.” <https://www.caradvice.com.au/869679/wireless-electric-car-charging/> (accessed Jul. 19, 2021).
- [20] “The Australian company leading the world in wireless electric car charging | CarAdvice.” <https://www.caradvice.com.au/864313/wireless-electric-car-charging-lumen-freedom/> (accessed Jul. 19, 2021).
- [21] “Wireless taxi charging to be trialled at Nottingham station - BBC News,” *BBC*. <https://www.bbc.com/news/uk-england-nottinghamshire-51140689> (accessed Nov. 05, 2020).
- [22] M. Kane, “ElectReon Completes Dynamic Wireless Charging Road For Trucks,” *insideevs*. <https://insideevs.com/news/481997/electreon-completes-dynamic-wireless-charging-road-trucks/> (accessed Jan. 30, 2021).
- [23] “Home | Smartroad Gotland,” *smartroadgotland*. <https://www.smartroadgotland.com/> (accessed Jan. 30, 2021).
- [24] “Understanding the Different EV Charging Levels | EnelX.” <https://evcharging.enelx.com/resources/blog/550-different-ev-charging-levels> (accessed Jul. 19, 2021).
- [25] “Μερικές πληροφορίες για τη φόρτιση του ηλεκτρικού σας αυτοκινήτου – ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο.” <https://www.heliev.gr/μερικες-πληροφοριες-για-τη-φορτιση-το/> (accessed Jul. 19, 2021).
- [26] “Φόρτιση ηλεκτρικών αυτοκινήτων | Fortisis.” <https://www.fortisis.eu/information/ev-charging/> (accessed Jul. 19, 2021).
- [27] “Electric Vehicle Charging Guide | ChargeHub.” <https://chargehub.com/en/electric-car-charging-guide.html#charginglevels> (accessed Jul. 19, 2021).
- [28] “The Four EV Charging Modes in the IEC 61851 Standard - Technical Articles.” <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/four-ev-charging-modes-iec61851-standard/> (accessed Jul. 19, 2021).
- [29] “IEC 62196 - Wikipedia.” [https://en.wikipedia.org/wiki/IEC\\_62196](https://en.wikipedia.org/wiki/IEC_62196) (accessed Jul. 19, 2021).
- [30] “SAE J1772 - Wikipedia.” [https://en.wikipedia.org/wiki/SAE\\_J1772](https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_J1772) (accessed Jul. 19, 2021).
- [31] “Type 2 connector - Wikipedia.”

- [https://en.wikipedia.org/wiki/Type\\_2\\_connector](https://en.wikipedia.org/wiki/Type_2_connector) (accessed Jul. 19, 2021).
- [32] “MENNEKES - My power connection: Type 2 charging plug proposed as the common standard for Europe.” [http://www.mennek.es/index.php?id=latest0&tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=929&cHash=01b41da3b646a7f3e257cbbce0cc5d3f](http://www.mennek.es/index.php?id=latest0&tx_ttnews[tt_news]=929&cHash=01b41da3b646a7f3e257cbbce0cc5d3f) (accessed Jul. 19, 2021).
- [33] European Commission, “Directive 2014/94/EU - Deployment of alternative fuels infrastructure,” *Off. J. Eur. Union*, vol. L307, no. October, p. 20, 2014.
- [34] “CHAdemo - Wikipedia.” <https://en.wikipedia.org/wiki/CHAdemo> (accessed Jul. 19, 2021).
- [35] “Combined Charging System - Wikipedia.” [https://en.wikipedia.org/wiki/Combined\\_Charging\\_System](https://en.wikipedia.org/wiki/Combined_Charging_System) (accessed Jul. 19, 2021).
- [36] Π. Μελαχροινούδης, “ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | Enhanced Reader,” Ε.Μ.Π, 2015.
- [37] S. M. Kaplan, “Electric power transmission: Background and policy issues,” *Smart Grid Electr. Power Transm.*, pp. 47–85, 2011.
- [38] N. Hatziargyriou *et al.*, “Microgrids - Large scale integration of microgeneration to low voltage grids,” *41st Int. Conf. Large High Volt. Electr. Syst. 2006, CIGRE 2006*, 2006.
- [39] EIA, “U.S. energy facts explained - consumption and production - U.S. Energy Information Administration (EIA).” Accessed: Jul. 01, 2021. [Online]. Available: <https://www.eia.gov/energyexplained/us-energy-facts/>.
- [40] “What is the difference between smart charging, V1G, V2B, and V2G? - NUVVE Corp.” <https://nuvve.com/faq-items/what-is-the-difference-between-smart-charging-v1g-v2b-and-v2g/> (accessed Jul. 20, 2021).
- [41] “Smart Charging of Electric Vehicles: the ultimate guide ⚡.” <https://www.virta.global/smart-charging> (accessed Jul. 20, 2021).
- [42] J. A. Peças Lopes, F. J. Soares, P. M. Almeida, and M. Moreira Da Silva, “Smart charging strategies for electric vehicles: Enhancing grid performance and maximizing the use of variable renewable energy resources,” *24th Int. Batter. Hybrid Fuel Cell Electr. Veh. Symp. Exhib. 2009, EVS 24*, vol. 4, no. January, pp. 2680–2690, 2009.
- [43] P. Pani, A. R. Athreya, A. Panday, H. O. Bansal, and H. P. Agrawal, “Integration of the vehicle-to-grid technology,” *Int. Conf. Energy Econ. Environ. - 1st IEEE Uttar Pradesh Sect. Conf. UPCON-ICEEE 2015*, no. September, 2015, doi: 10.1109/EnergyEconomics.2015.7235108.
- [44] “V2G Hub | V2G Around the world: V2G Hub | V2G Around the world,” *v2g-hub*. <https://www.v2g-hub.com/insights/> (accessed Jul. 05, 2021).
- [45] “Vehicle-to-grid - Wikipedia.” <https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle-to-grid#Japan> (accessed Jul. 20, 2021).
- [46] I. T. Vadium, R. Das, Y. Wang, G. Putrus, and R. Kotter, “Electric vehicle Carbon footprint reduction via intelligent charging strategies,” *Proc. 2019 8th Int. Conf. Mod. Power Syst. MPS 2019*, no. April, 2019, doi: 10.1109/MPS.2019.8759783.
- [47] W. Kempton, J. Tomic, T. Tomic, S. Letendre, and A. Brooks, “Vehicle-to-Grid Power: Battery, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles as Resources for Distributed Electric Power in California ‘Feasibility of Electric Drive Vehicles as

- Distributed Power Generation Assets in California'), and Los Angeles Department of Water an," 2001, Accessed: Jul. 05, 2021. [Online]. Available: [www.udel.edu/V2G](http://www.udel.edu/V2G).
- [48] "Understanding degradation of battery life-time is key to successful vehicle-to-grid systems," *Eur. commisiion*, doi: 10.1016/j.e.
  - [49] "Nissan partnership to accelerate delivery of EV | EDF," *edfenergy*. <https://www.edfenergy.com/media-centre/news-releases/nissan-and-edf-group-accelerate-delivery-electric-mobility-together> (accessed Jul. 05, 2021).
  - [50] H. Lardier, "Video: In Utrecht, carsharing is being powered by solar energy - Easy Electric Life," *groupe renault*. <https://easyelectriclife.groupe.renault.com/en/day-to-day/shared-mobility/video-in-utrecht-carsharing-is-being-powered-by-solar-energy/> (accessed Nov. 05, 2020).
  - [51] "FCA e-Mobility: Εγκαίνια για το μεγαλύτερο δίκτυο V2G στον κόσμο | Corporate communications | Stellantis." <https://www.media.stellantis.com/gr-el/corporate-communications/press/fca-e-mobility-v2g> (accessed Jul. 05, 2021).
  - [52] "Parking up to power business: E.ON and Nissan announce major V2G project milestone," *nissan news*. <https://uk.nissannews.com/en-GB/releases/release-24e04f6ba8d469de0a7c8c77ad013745-parking-up-to-power-business-eon-and-nissan-announce-major-v2g-project-milestone> (accessed Nov. 05, 2020).
  - [53] "e4Future: V2G Hub | V2G Around the world," *v2g-hub*. <https://www.v2g-hub.com/projects/e4future/> (accessed Jul. 05, 2021).
  - [54] "Virta enables Nissan V2G integration with E.ON," *virta*. <https://www.virta.global/news/virta-enables-nissan-v2g-integration-with-e.on> (accessed Nov. 05, 2020).
  - [55] J. Shankleman, "Parked Electric Cars Earn \$1,530 From Europe's Power Grids - Bloomberg," *bloomberg*. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-08-11/parked-electric-cars-earn-1-530-feeding-power-grids-in-europe> (accessed Nov. 05, 2020).
  - [56] J. Gronholt-Pedersen, "Denmark sources record 47% of power from wind in 2019 | Reuters," *reuters*. <https://www.reuters.com/article/us-climate-change-denmark-windpower-idUSKBN1Z10KE> (accessed Nov. 10, 2020).
  - [57] "20 Years as Denmark's Renewable Energy Island | VisitSamsoe.dk," *visitsamsoe*. <https://www.visitsamsoe.dk/en/inspiration/20-years-denmarks-renewable-energy-island/> (accessed Nov. 10, 2020).
  - [58] N. Kampelis, "Cost of energy optimisation for the operation of microgrids based on Demand Response techniques Cost of energy optimisation for the operation of microgrids based on Demand Response techniques Nikolaos Kampelis School of Environmental Engineering Technical," Technical University of Crete, 2020.
  - [59] N. Kampelis, E. Tsekeri, D. Kolokotsa, K. Kalaitzakis, D. Isidori, and C. Cristalli, "Development of Demand Response Energy Management Optimization at Building and District Levels Using Genetic Algorithm and Artificial Neural Network Modelling Power Predictions," *Energies* 2018, Vol. 11, Page 3012, vol. 11, no. 11, p. 3012, Nov. 2018, doi: 10.3390/EN11113012.
  - [60] N. Kampelis, E. Tsekeri, D. Kolokotsa, K. Kalaitzakis, D. Isidori, and C. Cristalli, "Marie Skłodowska-Curie Actions (MSCA) Research and Innovation Staff Exchange (RISE) Day-ahead demand management at microgrid level

using Artificial Neural Network predictions and Genetic Algorithm optimisation.”

- [61] “Total Net Present CostUL Logo,” *homer energy*.  
[https://www.homerenergy.com/products/grid/docs/latest/total\\_net\\_present\\_cost.html](https://www.homerenergy.com/products/grid/docs/latest/total_net_present_cost.html) (accessed Jul. 05, 2021).
- [62] “Levelized Cost of EnergyUL Logo,” *homer energy*.  
[https://www.homerenergy.com/products/grid/docs/latest/levelized\\_cost\\_of\\_energy.html](https://www.homerenergy.com/products/grid/docs/latest/levelized_cost_of_energy.html) (accessed Jul. 05, 2021).
- [63] “Operating CostUL Logo,” *homer energy*.  
[https://www.homerenergy.com/products/grid/docs/latest/operating\\_cost.html](https://www.homerenergy.com/products/grid/docs/latest/operating_cost.html) (accessed Jul. 05, 2021).
- [64] “• Italy: battery electric car registrations 2015-2020 | Statista,” *statista*.  
<https://www.statista.com/statistics/736809/electric-cars-registered-in-italy/> (accessed Apr. 05, 2021).
- [65] “Compare electric vehicles - EV Database,” *ev database*. <https://ev-database.org/#sort:path~type~order=.rank~number~desc%7Crange-slider-range:prev~next=0~1200%7Crange-slider-acceleration:prev~next=2~23%7Crange-slider-topspeed:prev~next=110~450%7Crange-slider-battery:prev~next=10~200%7Crange-slider-eff:prev~next> (accessed Apr. 05, 2021).