



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*«Ανάλυση μοντέλου ενεργειακής
διαχείρισης στόλου ηλεκτρικών οχημάτων
σύμφωνα με την ελαστικότητα που
προσφέρουν οι χρήστες ηλεκτρικών
οχημάτων»*

Της Μεταπτυχιακής Φοιτήτριας

Πάσχου Δροσιάς

Επιβλέπων

Χατζηαργυρίου Νικόλαος, Καθηγητής ΕΜΠ
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Ανάλυση μοντέλου ενεργειακής διαχείρισης στόλου ηλεκτρικών οχημάτων σύμφωνα με την ελαστικότητα που προσφέρουν οι χρήστες ηλεκτρικών οχημάτων»

Της Μεταπτυχιακής Φοιτήτριας

Πάσχου Δροσιάς

Επιβλέπων

Χατζηαργυρίου Νικόλαος, Καθηγητής ΕΜΠ
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2016

.....
Δροσιά Η. Πάσχου

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

Μεταπτυχιακή φοιτήτρια του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»

Copyright © Δροσιά Πάσχου, 2016.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:	«Ανάλυση μοντέλου ενεργειακής διαχείρισης στόλου ηλεκτρικών οχημάτων σύμφωνα με την ελαστικότητα που προσφέρουν οι χρήστες ηλεκτρικών οχημάτων»
ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ:	Πάσχου Δροσιά
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:	Χατζηαργυρίου Νικόλαος, Καθηγητής ΕΜΠ Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ:	2015-2016

Σύνοψη

Παράλληλα με τα οικονομικά και τα περιβαλλοντικά οφέλη που προσφέρουν τα ηλεκτρικά οχήματα (electric vehicles-EVs), η μαζική παραγωγή τους μπορεί να τροποποιήσει σημαντικά το προφίλ της ζήτησης των δικτύων διανομής. Το γεγονός αυτό μπορεί να προκαλέσει διάφορα θέματα όσον αφορά τη λειτουργία του δικτύου, όπως διακυμάνσεις της τάσης, υπερφορτίσεις του δικτύου. Προκειμένου να αποφευχθούν αυτά τα θέματα, είναι απαραίτητο να εφαρμοστεί ένα μοντέλο ενεργειακής διαχείρισης της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η ανάλυση ενός μοντέλου διαχείρισης που έχει ως σκοπό να ικανοποιήσει της ανάγκες φόρτισης των χρηστών των ηλεκτρικών οχημάτων χωρίς να παραβιάζονται ταυτόχρονα οι τεχνικοί περιορισμοί του δικτύου. Ο υπό ανάλυση αλγόριθμος εκμεταλλεύεται την ελαστικότητα που προσφέρουν οι χρήστες των ηλεκτρικών οχημάτων. Ένας χρήστης θεωρείται ότι προσφέρει ελαστικότητα όταν ο χρόνος όπου το όχημα παραμένει στο σταθμό φόρτισης είναι μεγαλύτερος από το χρόνο που χρειάζεται το όχημα ούτως ώστε να φορτίσει πλήρως. Έτσι η φόρτιση του αυτοκινήτου μεταφέρεται σε μεταγενέστερα χρονικά διαστήματα, όπου δεν υπάρχουν τεχνικοί περιορισμοί στο δίκτυο.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι η ανάλυση ενός συστήματος διαχείρισης φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων που παρέχει τη δυνατότητα συνεργασίας ενός στόλου ηλεκτρικών οχημάτων λαμβάνοντας υπόψη τις ενεργειακές ανάγκες των ηλεκτρικών οχημάτων και τους περιορισμούς που επιβάλλει ο διαχειριστής του δικτύου. Το σύστημα διαχείρισης εκμεταλλεύεται την ευελιξία που προσφέρουν οι χρήστες των ηλεκτρικών οχημάτων, όταν η απαιτούμενη διάρκεια για πλήρη φόρτιση είναι μικρότερη από τη διαθέσιμη περίοδο που το ηλεκτρικό όχημα μπορεί να παραμείνει στο σταθμό φόρτισης, έτσι ώστε όλα τα ηλεκτρικά οχήματα να είναι πλήρως φορτισμένα κατά τη διάρκεια αναχώρησης. Σε περιπτώσεις όπου το δίκτυο βρίσκεται σε ώρα αιχμής και η διαθεσιμότητα του δικτύου δεν επαρκεί για να

ικανοποιήσει τις ενεργειακές ανάγκες του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων, ένα ποσοστό των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων παραμένει αφόρτιστο. Το ποσοστό αυτό αποφασίζεται από το σύστημα διαχείρισης των ηλεκτρικών οχημάτων που αναλύεται σε αυτή τη διπλωματική σύμφωνα με διάφορα κριτήρια όπως η ελαστικότητα που προσφέρουν τα ηλεκτρικά οχήματα, το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας (state-of-charge), ο χρόνος που παραμένει το όχημα στο σταθμό χωρίς να φορτίζει.

Ο αλγόριθμος που αναλύεται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής έχει αναπτυχθεί σε περιβάλλον Matlab, όπου με δεδομένα τα στοιχεία ζήτησης του δικτύου υλοποιούνται κάποια σενάρια με βάση την ελαστικότητα που παρέχουν οι χρήστες των ηλεκτρικών οχημάτων.

Στο κεφάλαιο 1, γίνεται αναφορά στα ηλεκτρικά οχήματα και την είσοδό τους στην αγορά, παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι οχημάτων και τα είδη φόρτισής τους και παραθέτονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης και της διείσδυσής τους στην αγορά.

Στο κεφάλαιο 2, παρουσιάζεται μια εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας όπως είναι διαρθρωμένα (παραγωγή, μεταφορά και διανομή) και στη συνέχεια γίνεται μια αναφορά στην επίδραση που έχει η είσοδος των ηλεκτρικών οχημάτων στα δίκτυα διανομής. Παρουσιάζονται κάποια ενδεικτικά διαγράμματα και αναφέρονται κάποια συμπεράσματα όπως έχουν προκύψει από τη βιβλιογραφία.

Στο κεφάλαιο 3, παρουσιάζεται ο αλγόριθμος που μελετήθηκε και επεξηγείται το προτεινόμενο σύστημα διαχείρισης φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου, καθώς και τα κριτήρια με τα οποία το σύστημα διαχειρίζεται τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων. Τέλος, παρουσιάζονται τα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία καθορίζεται η προτεραιότητα των οχημάτων που θα φορτίσουν σε περιπτώσεις όπου παραβιάζονται οι τεχνικές απαιτήσεις του δικτύου.

Στο κεφάλαιο 4, παρουσιάζονται οι προσομοιώσεις που εκτελέστηκαν σύμφωνα με τρία σενάρια. Στο πρώτο σενάριο όλα τα ηλεκτρικά οχήματα προσφέρουν ελαστικότητα, στο δεύτερο σενάριο κανένα ηλεκτρικό όχημα δεν προσφέρει ελαστικότητα και στο τρίτο σενάριο οι χρήστες των ηλεκτρικών οχημάτων προσφέρουν ελαστικότητα από 10%-90%. Για κάθε σενάριο παρουσιάζονται τα γραφήματα που προέκυψαν: το πώς μεταβάλλεται η ζήτηση, το επίπεδο φόρτισης των οχημάτων όταν αποχωρούν από τους σταθμούς φόρτισης κλπ.

Τέλος, στο κεφάλαιο 5 συνοψίζονται τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν καθώς και μελλοντικές επεκτάσεις της παρούσας εργασίας.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

ηλεκτρικά οχήματα, φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων, μοντέλο ενεργειακής διαχείρισης, ελαστικότητα

POST-GRADUATE THESIS:	«Analysis of an EV management system exploiting the charging elasticity of EV users»
STUDENT:	Paschou Drosia
SUPERVISOR:	Hatziargyriou Nikos, Professor NTUA School of Electrical and Computer Engineering
ACADEMIC YEAR:	2015-2016

Abstract

Besides the economical and environmental benefits introduced by electric vehicles (EVs), the mass roll-out of EVs can significantly modify the demand profile of distribution networks. This may provoke several network operational issues, such as voltage excursions and grid equipment overloading depending on the grid characteristics. In order to avoid such issues, it is necessary to implement EV smart charging management. This thesis aims to analyse a centralized management scheme aiming to meet the energy charging requirements of EV users without violating network technical constraints. The energy management algorithm exploits the elasticity offered by EV users. A user of an EV is supposed to offer elasticity when the non-commuting period is longer than the requested time for a full charging. In that way this system manages to shift the EV charging demand from hours with network operational issues to subsequent ones.

Summary

The aim of this thesis is to analyse an EV management system considering EV users' energy needs and the grid constraints simultaneously. The energy management system, that analysed here, exploits the demand flexibility offered by EV users, when the required charging duration for full battery charging is shorter than the available parking period, such that all EVs are fully charged at the departure time. However, when the grid is facing operational issues during a period and the network capacity is not adequate to completely serve the charging energy requirement of the EVs, a percentage of the EV batteries remains uncharged. This percentage is decided by the EV management system introduced in this thesis based on the following criteria: the elasticity offered by the EVs, the battery's state-of-charge (SOC) and the time remained parked without being charged.

As part of this study, a suitable software was developed in MATLAB, where taking into account the network profile load, three scenarios are examined for evaluating the operation of the proposed EV management system.

Chapter 1 refers to electric vehicles and their entry to the market, the various vehicle types and their charging methods. The advantages and disadvantages of their usage and their market penetration are also listed.

Chapter 2, gives an introduction on how it is composed the electrical power systems (production, transmission and distribution). And then refers to the impact of charging plug-in electric vehicles on distribution network systems. Several characteristic graphs and conclusion which results from bibliography are also presented.

In chapter 3 an overview of the algorithm is presented and the operation of the analysed management system is explained. It is proposed the flowchart of the aforementioned algorithm. Furthermore, the plugged-in electric vehicles are classified into categories according to their offering elasticity or their battery SoC. Finally, chapter 3 refers to the criteria according to which EV will be charged when the grid is highly stressed.

Chapter 4 contains the results of the simulations performed according to three scenarios. In the first scenario all EVs offers charging elasticity. In the second scenario no EV offers elasticity and in the third scenario a number of simulations are executed considering different percentage of EV users offering elasticity (from 10% to 90%). Figures of the total demand derived of the energy management system and the battery SoC of the majority of the EVs leaving the stations are presented in this chapter.

Finally, chapter 5 summarizes the main conclusions drawn from this analysis.

KEYWORDS

electric vehicles, plug-in electric vehicles, EV management system, elasticity

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2015-2016 υπό την επίβλεψη του κ. Χατζηαργυρίου, καθηγητή του Ε.Μ.Π. της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, στον οποίο θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου για τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κ. Ευάγγελο Καρφόπουλο και κ. Ιωάννη Καρακίτσιο, υποψήφιους διδάκτορες του ΕΜΠ, για την άψογη συνεργασία που είχαμε καθ'όλη την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η αμέριστη και συνεχής βοήθεια τους καθώς και οι καίριες υποδείξεις και η υπομονετική καθοδήγησή τους με βοήθησαν να ολοκληρώσω την εργασία αυτή.

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για τη στήριξη και τη βοήθειά τους όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

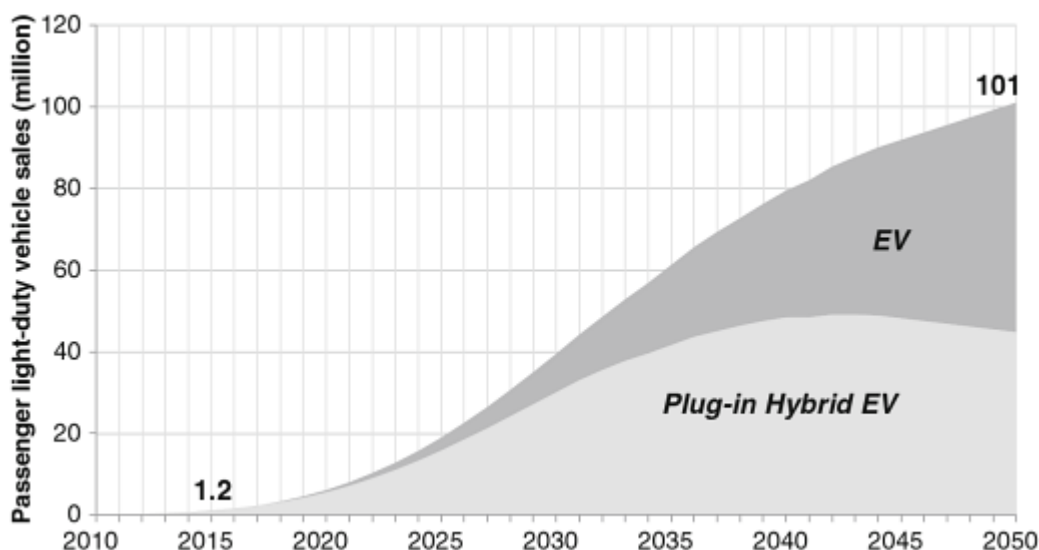
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	15
ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ.....	15
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	15
1.3 ΤΥΠΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	19
1.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	21
1.5 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	22
1.6 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	22
1.7 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΑΙ ΤΗ ΧΡΗΣΗ.....	25
1.8 ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ-ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ	26
1.8.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ	28
1.9 ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	31
1.10 ΣΤΑΘΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	33
1.11 ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	34
1.11.1 ΠΡΟΤΥΠΟ SAE (SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS).....	34
1.11.2 ΠΡΟΤΥΠΑ IEC (THE INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION)	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	40
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	40
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΗΕ	40
2.1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ	40
2.1.2 ΔΟΜΗ	40
2.1.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	41
2.1.4 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	43
2.1.5 ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	44
2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ.....	45
2.2.1 ΣΕΝΑΡΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	46
2.2.2 ΚΑΜΠΥΛΗ ΖΗΤΗΣΗΣ-ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ	54
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	54
3.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ-ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	60

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ.....	60
4.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	60
4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ.....	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο	67
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ.....	67
5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	67
5.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ.....	68
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	69

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παγκόσμια ανησυχία για ζητήματα που αφορούν το περιβάλλον, όπως η έντονη αύξηση των αέριων ρύπων του φαινομένου του θερμοκηπίου σε συνδυασμό με την έλλειψη των ορυκτών καυσίμων έδωσε ώθηση στην υιοθέτηση εναλλακτικών μέσων μεταφοράς φιλικότερων προς το περιβάλλον. Ιδανική λύση στο ζήτημα των μεταφορών αποτελούν τα ηλεκτρικά οχήματα. Επιπλέον, η τεχνολογική εξέλιξη στον τομέα των ηλεκτρονικών ισχύος και των μπαταριών προμηνύει ότι η βιομηχανία των ηλεκτρικών οχημάτων θα έχει μια αξιοσημείωτη επίδραση στην παγκόσμια αγορά αυτοκινήτου. Σύμφωνα με τις προβλέψεις του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας-International Energy Agency (IEA) οι πωλήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων θα ενισχυθούν από το 2020 και μπορεί να φτάσουν περισσότερες από 100 εκατομμύρια πωλήσεις το χρόνο παγκοσμίως μέχρι το 2050.



Σχήμα 1.1 Πωλήσεις οχημάτων μικρού μεικτού βάρους[16]

1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Κάποιοι πιθανόν να έχουν εσφαλμένα την εντύπωση ότι τα ηλεκτρικά οχήματα είναι ένα τεχνολογικό δημιούργημα των τελευταίων ετών. Στην πραγματικότητα τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν μια μακρόχρονη ιστορία που ξεκινά στα μέσα του 19^{ου} αιώνα, ταυτόχρονα περίπου με την εμφάνιση των συμβατικών οχημάτων. Μάλιστα υπάρχουν περιγραφές που αναφέρουν ότι το ηλεκτρικό όχημα ήταν τόσο δημοφιλές όσο και ο ανταγωνιστής του που κινείται με μηχανές εσωτερική καύσης. Παρακάτω παρουσιάζονται τα σημαντικότερα γεγονότα που οδήγησαν στην εξέλιξη του ηλεκτρικού οχήματος στην πάροδο του χρόνου.

- 1831: Ο Joseph Henry, Καθηγητής Μαθηματικών στο Albany NY, εφευρίσκει τον ηλεκτροκινητήρα στην προσπάθειά του να κατανοήσει τους ηλεκτρομαγνήτες.
- 1834: Ο αμερικανός Thomas Davenport ένας σιδηρουργός από το Vermont, εφευρίσκει το πρώτο ηλεκτρικό όχημα για εμπορική χρήση. Παρόλα αυτά, οι προσπάθειες του δεν είναι επικερδής λόγω της χρήσης αναξιόπιστων, πρωτόγονων και μη επαναφορτιζόμενων μπαταριών.
- Μεταξύ του 1832 και 1839: Ο Robert Anderson από την Σκωτία εφευρίσκει την πρώτη ηλεκτρική άμαξα.
- 1847: Ο Moses Farmer από τη Μασαχουσέτη των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, κατασκεύασε ένα όχημα που τροφοδοτούνταν από 48 ηλεκτρικά στοιχεία και μπορούσε να μεταφέρει δύο άτομα. Ενώ, την ίδια εποχή ο καθηγητής Charles Page παρουσιάζει ένα ηλεκτρικό όχημα το οποίο διαθέτει 100 συσσωρευτές, κινητήρα 16 ίππων και έχει την δυνατότητα να μετέφερε 12 άτομα με ταχύτητα μέχρι και 19 μίλια/ώρα.
- 1859: Ο Γάλλος φυσικός Gaston Plante καταφέρνει να αντιμετωπίσει τα προβλήματα των συσσωρευτών που είχαν οι προηγούμενες εφευρέσεις ανακαλύπτοντας για πρώτη φορά τις μπαταρίες Μολύβδου-Οξέως (Pb-Acid) που έχουν δυνατότητα επαναφόρτισης. Με τον τρόπο αυτό έπαψε να είναι απαραίτητη η συνεχής αντικατάσταση των ηλεκτρικών μπαταριών μετά την εκφόρτισή τους.
- 1889: Ο Thomas Edison κατασκευάζει ένα ηλεκτρικό όχημα χρησιμοποιώντας αλκαλικές μπαταρίες.



Σχήμα 1.2: Το ηλεκτρικό όχημα του Thomas Edison [3]

- 1890: Ο William Morrison κατασκευάζει το πρώτο επιτυχημένο ηλεκτρικό αυτοκίνητο στο Des Moines των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής το οποίο μπορεί να ταξιδέψει για 13 ώρες με μια ταχύτητα 14mph (22,53 km/h).
- 1896: Η εταιρία Electric Car Co. εισάγει στους δρόμους της Νέας Υόρκης τα πρώτα ηλεκτροκίνητα ταξί.
- 1897: Η Baker Motor Vehicle Company κατασκευάζει ένα όχημα με αυτονομία 161 χιλιομέτρων ανά φόρτιση και μέγιστη ταχύτητα τα 35,4 χιλιόμετρα την ώρα.

- 1899: Κατασκευάζεται στην Γαλλία το πρώτο αγωνιστικό ηλεκτρικό όχημα που ταξιδεύει με 108 χιλιόμετρα ανά ώρα, το οποίο ονομάζεται “La Jamais Contente”.
- 1900: Τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν φτάσει να κατέχουν το ίδιο μερίδιο αγοράς με τους ανταγωνιστές τους, τα οχήματα εσωτερικής καύσης και τα ατμοκίνητα. Μάλιστα, το ποσοστό τους στην Αμερική φτάνει στο 38%. Την ίδια χρονία ο Ferdinand Porsche κατασκευάζει το πρώτο υβριδικό ηλεκτρικό όχημα και φτάνει τα 56 χιλιόμετρα ανά ώρα.
- 1908: Ο Henry Ford παρουσιάζει το Model T με κόστος αρκετά μικρότερο από αυτό των ηλεκτρικών οχημάτων. Οι μέθοδοι μαζικής παραγωγής που εφαρμόστηκαν στο εργαστήριο του Φορντ σηματοδότησαν την αρχή του τέλους της ηλεκτροκίνησης.
- 1920: Η παραγωγή ηλεκτρικών αυτοκινήτων σταματά να είναι βιώσιμη, η τιμή πώλησής τους συνεχώς αυξάνεται και οι πωλήσεις ελαχιστοποιούνται. Χαρακτηριστικά η Detroit Electric Car Company από 1139 μονάδες το 1918 φτάνει να πουλά μόνο 191 το 1920. Από την άλλη πλευρά η μαζική παραγωγή των βενζινοκίνητων οχημάτων από τον Henry Ford έκανε τα οχήματα αυτά διαθέσιμα σε αρκετά χαμηλές τιμές μεταξύ 500\$ και 1000\$.
- 1920-1990: Τα βενζινοκίνητα οχήματα προτιμώνται λόγω των μεγαλύτερων αποστάσεων που μπορούν να διανύσουν, της μεγαλύτερης ιπποδύναμης και της χαμηλής τιμής της βενζίνης σε σχέση με τον ηλεκτρισμό. Μόνο η Μεγάλη Βρετανία διατηρεί ένα σχετικά μεγάλο αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων, χρησιμοποιώντας τα για τη διανομή γάλατος, ψωμιού και αλληλογραφίας.
- Δεκαετία 1970: Η ανησυχία για την αύξηση των τιμών του πετρελαίου, που κορυφώθηκε με την πετρελαϊκή κρίση του 1973, καθώς και το διαρκώς εντονότερο περιβαλλοντικό κίνημα οδηγούν σε αναζωπύρωση του ενδιαφέροντος για τα ηλεκτρικά οχήματα τόσο από την πλευρά των καταναλωτών όσο και από την πλευρά των παραγωγών.
- 1972: Ο Victor Wouk κατασκευάζει το πρώτο υβριδικό όχημα κανονικού μεγέθους.
- 1974: Το ηλεκτρικό όχημα CitiCar της αμερικάνικης εταιρίας Sebring-Vanguard με έδρα στην Φλόριντα των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, εμφανίζεται στο Συμπόσιο Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ουάσιγκτον. Έχει μέγιστη ταχύτητα περίπου 50km/h και μπορεί να διανύσει απόσταση 60km.



Σχήμα 1.3: Το ηλεκτρικό όχημα CitiCar [3]

- 1976: Το Κογκρέσο περνάει νόμο για την προώθηση της έρευνας σχετικής με τα ηλεκτρικά και τα υβριδικά οχήματα με σκοπό κυρίως τη βελτίωση των μπαταριών και των κινητήρων.
- 1988: Η General Motors χρηματοδοτεί ερευνητικές προσπάθειες για την ανάπτυξη ενός πρακτικού ηλεκτρικού οχήματος προς κατανάλωση και σε συνεργασία με την Aero Vironment της California κατασκευάζουν το EV1.
- 1990: Η California εκδίδει την εντολή ZEV (Zero Emission Vehicle), σύμφωνα με την οποία μέχρι το 1998, 2% των οχημάτων της πολιτείας και μέχρι το 2003, 10% των οχημάτων πρέπει να έχουν μηδενικές εκπομπές ρύπων. Στην πορεία ωστόσο ο νόμος αυτός γίνεται πιο ελαστικός.
- 1997-2000: Μερικές χιλιάδες ηλεκτρικά οχήματα παράγονται από καταξιωμένες αυτοκινητοβιομηχανίες όπως για παράδειγμα το Prius και το RAV4-EV (με μπαταρίες NiMH και αυτονομία 190 χιλιομέτρων και μέγιστη ταχύτητα τα 126 χιλιόμετρα ανά ώρα) της Toyota.
- 2002: Οι εταιρίες G.M και DaimlerChrysler μηνύουν το CARB (California Air Resources Board), ζητώντας την απόσυρση του νόμου για τα οχήματα μηδενικών εκπομπών που είχε περάσει το 1990. Ένα χρόνο αργότερα η G.M ανακοινώνει ότι μέχρι το τέλος του 2004 θα έχει αποσύρει το EV1 από την αγορά, εξαιτίας της αδυναμίας της να παρέχει ανταλλακτικά, γεγονός που προκαλεί μεγάλες αντιδράσεις.
- 2003: Το CARB υποκύπτει στις αυτοκινητοβιομηχανίες και ανακοινώνει ένα «εναλλακτικό σχέδιο», προωθώντας την τεχνολογία κυψελών καυσίμου. Αυτή την φορά οι κατασκευαστές έχουν το περιθώριο να προσαρμοστούν στο υπάρχον θεσμικό πλαίσιο μέχρι το 2018. Την ίδια χρονιά το μοντέλο tZero κατασκευασμένο από την εταιρία AC Propulsion κερδίζει το υψηλότερο βραβείο στον καταξιωμένο διαγωνισμό Michelin Challenge Bibendum έχοντας αυτονομία 300 μίλια, 0-100 χιλιόμετρα ανά ώρα σε 3.6 δευτερόλεπτα και τελική ταχύτητα τα 160 χιλιόμετρα ανά ώρα.



Σχήμα 1.4: Το ηλεκτρικό όχημα tZero [3]

- 2007: Μικρή παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων γίνεται από διάφορες εταιρίες όπως η Tesla Motors που παρουσιάζει το Tesla Roadster το οποίο θα πουληθεί ένα χρόνο αργότερα στην τιμή των \$98,950.
- 2008: Σε μερικές χώρες όπως το Ισραήλ, τη Δανία, τον Καναδά, την Ιαπωνία, την Αμερική και την Αυστραλία υιοθετούνται προγράμματα υποστήριξης των ηλεκτρικών οχημάτων ενώ η Βρετανική κυβέρνηση δίνει επιχορήγηση 200 λιρών σε κάθε πιθανό αγοραστή ηλεκτρικού οχήματος. Σημαντικό είναι ότι

ταυτόχρονα οι πωλήσεις βενζινοκίνητων οχημάτων φτάνουν στα χαμηλότερα επίπεδα της δεκαετίας.

- Σήμερα: Παρότι λίγα ηλεκτρικά οχήματα διατίθενται αυτή τη στιγμή στην αγορά, αρκετά νέα μοντέλα όπως το LEAF της Nissan, το VOLT της Chevrolet, το i MiEV της Mitsubishi, αναμένεται να κυκλοφορήσουν στο κοντινό μέλλον. Ωστόσο, τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν ακόμα αρκετό δρόμο να διανύσουν προκειμένου να αποτελέσουν μια συμφέρουσα επιλογή για πολλούς οδηγούς. Το υψηλό κόστος κατασκευής, ο περιορισμένος χρόνος ζωής της μπαταρίας, η περιορισμένη διανυόμενη απόσταση, καθώς και η κατασκευή σταθμών φόρτισης κι άλλων υποδομών που απαιτούνται, αποτελούν μερικές από τις προκλήσεις που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν ώστε να επιτευχθεί η επικράτηση των ηλεκτρικών οχημάτων. [4],[5]

1.3 ΤΥΠΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Τα ηλεκτρικά οχήματα ανάλογα με τις τεχνολογίες κίνησης που υιοθετούν χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

1. Ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας (Battery EVs)

Τα ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας αποθηκεύουν την ηλεκτροχημική ενέργεια στην μπαταρία. Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος(lead acid) αποτελούν αυτή τη στιγμή τη φθηνότερη επιλογή. Όμως οι μπαταρίες υδριδίου μετάλλων νικελίου(NiMH), ιόντος λιθίου(Li-ion) και λιθίου ιόντων πολυμερών αρχίζουν να γίνονται πιο ανταγωνιστικές χάρη στο μεγαλύτερο χρόνο ζωής, στο μικρότερο μέγεθος και στο ότι είναι πιο ελαφριές.



Σχήμα 1.5: Ηλεκτρικό όχημα μπαταρίας[17]

2. Ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου(Fuel cell EVs)

Τα ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου αποθηκεύουν ενέργεια με τη μορφή υδρογόνου (H₂), η οποία τροφοδοτεί μια κυψέλη καυσίμου μαζί με ατμοσφαιρικό οξυγόνο, παράγοντας ηλεκτρισμό με παραπροϊόντα θερμότητα και νερό. Διάφοροι τρόποι για την αποθήκευση ή την παραγωγή υδρογόνου πάνω στο ίδιο το όχημα μελετώνται, στους οποίους περιλαμβάνεται η συμπίεση του αερίου H₂, η δέσμευσή του σε μέταλλα, καθώς και η παραγωγή επί του οχήματος από φυσικό αέριο, μεθανόλη, βενζίνη ή άλλο καύσιμο. Σήμερα, ένας αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων κυψελών καυσίμου κυκλοφορεί στους δρόμους παγκοσμίως. Ωστόσο, η απαιτούμενη υποδομή για τη διανομή του H₂, η επί του οχήματος αποθήκευσή του H₂ και οι απώλειες μετατροπής αποτελούν σημαντικά προβλήματα που αφήνουν ανοιχτό το ερώτημα κατά πόσο τα ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου θα αποτελέσουν μια πρακτική και συμφέρουσα λύση στο μέλλον.

3. Υβριδικά οχήματα (Hybrid EVs)

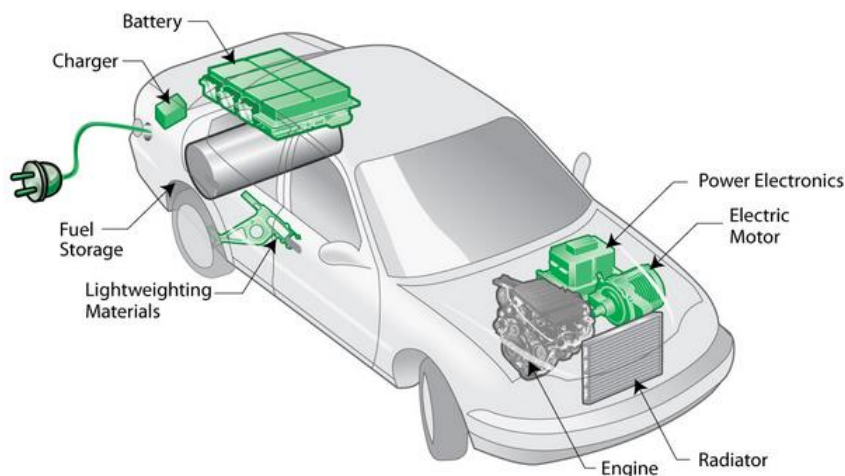
Τα σύγχρονα υβριδικά οχήματα χρησιμοποιούν και ηλεκτροκινητήρα και μηχανή εσωτερικής καύσης για την κίνηση τους. Κάθε υβριδικό όχημα είναι με τρόπο τέτοιο σχεδιασμένο ώστε να φορτίζει τις μπαταρίες του μέσω του «αναπαραγωγικού φρεναρίσματος», δηλαδή χρησιμοποιώντας τη θερμότητα που αναπτύσσεται κατά το φρενάρισμα για τη φόρτιση της μπαταρίας. Την ενέργεια αυτή τη χρησιμοποιεί στη συνέχεια για τη λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα χωρίς να χρειάζεται να συνδεθεί στο δίκτυο.

Ένα υβριδικό όχημα «παράλληλης» λειτουργίας χρησιμοποιεί τον ηλεκτροκινητήρα ή τη μηχανή εσωτερικής καύσης για την κίνηση του οχήματος. Ένα υβριδικό «σειριακής» λειτουργίας χρησιμοποιεί τον ηλεκτροκινητήρα για να παράγει την επιπλέον ενέργεια στη μηχανή εσωτερικής καύσης όταν τη χρειάζεται, για παράδειγμα κατά την εκκίνηση ή την επιτάχυνση. Όλα έχουν τη δυνατότητα να πετύχουν μεγαλύτερη οικονομία καυσίμων σε σχέση με τα συμβατικά βενζινοκίνητα οχήματα. Η αγορά υβριδικών οχημάτων μεγαλώνει συνεχώς, με όλο και περισσότερα μοντέλα να διατίθενται στους καταναλωτές.

4. Ηλεκτρικά οχήματα με δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο (Plug-in EVs)

Με τον όρο 'Plug-in EVs' εννοούμε τα ηλεκτρικά οχήματα που έχουν τη δυνατότητα να συνδέονται στο δίκτυο και να ανταλλάσσουν ηλεκτρική ενέργεια με αυτό. Κάθε ένας από τους τύπους οχημάτων που προαναφέρθηκαν μπορεί με την προσθήκη του κατάλληλου εξοπλισμού να αποκτήσει αυτή τη δυνατότητα. Συγκεκριμένα, τα ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας έχουν από κατασκευής τους τον εξοπλισμό που απαιτείται για σύνδεση στο δίκτυο καθώς έτσι φορτίζουν τις μπαταρίες τους (ή τις εκφορτίζουν σε περίπτωση που το δίκτυο έχει ανάγκη την αποθηκευμένη σε αυτές ενέργεια). Τα υβριδικά οχήματα με δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο έχουν μεγαλύτερη μπαταρία από τα απλά υβριδικά και χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο, ενέργειας από το «αναπαραγωγικό φρενάρισμα» καθώς και ενέργειας από μηχανή εσωτερικής καύσης ή κυψέλη καυσίμου για να κινηθούν. Στην ουσία, φορτίζουν όσο είναι

σταθμευμένα κι έτσι για μικρές διαδρομές δε χρειάζεται να χρησιμοποιήσουν καθόλου καύσιμο.[19]



Σχήμα 1.6: Plug-in hybrid ηλεκτρικό όχημα[18]

1.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των ηλεκτρικών οχημάτων είναι τα εξής:

- Είναι φιλικά προς το περιβάλλον: δεν εκπέμπουν ρύπους και επομένως δεν συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ωστόσο σε περίπτωση που η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη φόρτισή τους προέρχεται για παράδειγμα από την καύση ορυκτών καυσίμων, τότε εκπέμπονται ρύποι κατά την παραγωγή ηλεκτρισμού που τροφοδοτεί τα οχήματα αυτά. Επομένως, ιδανικά, θα πρέπει ο ηλεκτρισμός να προέρχεται από πυρηνική, υδροηλεκτρική, ηλιακή ή αιολική ενέργεια.
- Είναι ενεργειακά αποδοτικότερα: Οι ηλεκτροκινητήρες μετατρέπουν το 75% της χημικής ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στις μπαταρίες για την κίνηση των τροχών, ενώ αντίθετα οι μηχανές εσωτερικής καύσης μετατρέπουν μόνο το 20% της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στη βενζίνη.
- Μειώνουν την ενεργειακή εξάρτηση καθώς ο ηλεκτρισμός είναι μια εγχώρια πηγή ενέργειας.
- Οι ηλεκτροκινητήρες παρέχουν αθόρυβη, ομαλή λειτουργία και καλύτερη επιτάχυνση κι απαιτούν λιγότερη συντήρηση σε σχέση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης.
- Μεταφορά ενέργειας προς το δίκτυο (V2G): Τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία θα μπορούν να φορτίζουν κατά τη διάρκεια της χαμηλής ζήτησης ισχύος και να εκφορτίζουν τις χρονικές περιόδους που η ζήτηση είναι υψηλή. Η διάρθρωση των ενεργειακών συστημάτων είναι τέτοια, που θα πρέπει κάθε χρονική στιγμή να ισχύει το ισοζύγιο ισχύος ανάμεσα στην παραγωγή και το φορτίο. Έτσι εξασφαλίζεται η σταθερότητα των τιμών τάσης και συχνότητας που καθορίζουν

την ποιότητα προσφερόμενης ισχύος. Με τα ηλεκτρικά οχήματα θα συγκεντρώνεται ένα σημαντικό ποσό ισχύος προς εφεδρεία για τις αιφνίδιες αιχμές του συστήματος.

1.5 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Ωστόσο για την καθιέρωση των ηλεκτρικών οχημάτων χρειάζεται περαιτέρω έρευνα ώστε να αντιμετωπιστούν σημαντικά προβλήματα που σχετίζονται κυρίως με την τεχνολογία των συσσωρευτών:

- Μέγιστη διανυόμενη απόσταση: Στο παρελθόν κάθε 60 χιλιόμετρα χρειάζονταν επαναφόρτιση. Ωστόσο, τα πιο σύγχρονα μοντέλα επιτυγχάνουν αυτονομία που ξεκινάει από 100 έως 120 χιλιόμετρα στα αυτοκίνητα πόλης και φτάνει τα 250-300 χιλιόμετρα σε αυτοκίνητα μεγάλης ισχύος.
- Διάρκεια ζωής μπαταριών: Η διάρκεια ζωής μπαταριών είναι συνήθως 3 - 4 χρόνια ή περίπου 1500 κύκλοι λειτουργίας (300-400 κύκλοι λειτουργίας ανά έτος).
- Μεγάλος χρόνος επαναφόρτισης: Πλήρης επαναφόρτιση της συστοιχίας μπαταριών μπορεί να διαρκέσει από 4 έως 8 ώρες για μια τυπική φόρτιση. Αυτό σε συνδυασμό με τον περιορισμό στη διανυόμενη απόσταση καθιστά το ηλεκτρικό όχημα απαγορευτικό για μεγάλες αποστάσεις ή ταξίδια. Λύση σε αυτό το πρόβλημα φαίνεται να αποτελούν οι σταθμοί ταχείας φόρτισης που τοποθετούνται κατά μήκος των αυτοκινητόδρομων.
- Όγκος μπαταριών: Οι συστοιχίες των συσσωρευτών έχουν μεγάλο βάρος και καταλαμβάνουν σημαντικό χώρο στο όχημα. Σε αυτές πρέπει να προστεθεί και ο χώρος που καταλαμβάνουν τα διάφορα συστήματα ασφαλείας για την προστασία έναντι πυρκαγιάς λόγω υπερθέρμανσης ή βραχυκυκλώματος των μπαταριών.
- Υψηλό κόστος: Το κόστος κατασκευής των ηλεκτρικών οχημάτων είναι αρκετά υψηλό λόγω του εξοπλισμού τους και κυρίως των συσσωρευτών. Λόγω της μικρής διείσδυσης τους στην αγορά, είναι φυσιολογικό το κόστος πώλησής τους να παραμένει σε υψηλά επίπεδα προς το παρόν.

1.6 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Οι σταθμοί φόρτισης ανάλογα με τρόπο σύνδεσης των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

I. Αγώγιμη φόρτιση

Η αγώγιμη φόρτιση (φόρτιση με επαφή) απαιτεί την φυσική σύνδεση μεταξύ της μπαταρίας και του σταθμού φόρτισης, όπως γίνεται και με τις περισσότερες ηλεκτρικές συσκευές. Χρειάζονται, δηλαδή, καλώδια και βύσματα για τη σύνδεση του ηλεκτρικού οχήματος με το σταθμό φόρτισης. Τη μέθοδο αυτή ακολουθούν οι περισσότεροι φορτιστές που είναι ενσωματωμένοι στο όχημα, καθώς και συστήματα που έχουν τα κυκλώματα φόρτισης και ελέγχου πάνω στο όχημα. Κάποια βασικά μειονεκτήματα της φόρτισης αυτής είναι τα παρακάτω. Η μη αυτοματοποιημένη διαδικασία που ακολουθείται στην συμβατική φόρτιση, κατά την οποία ο άνθρωπος

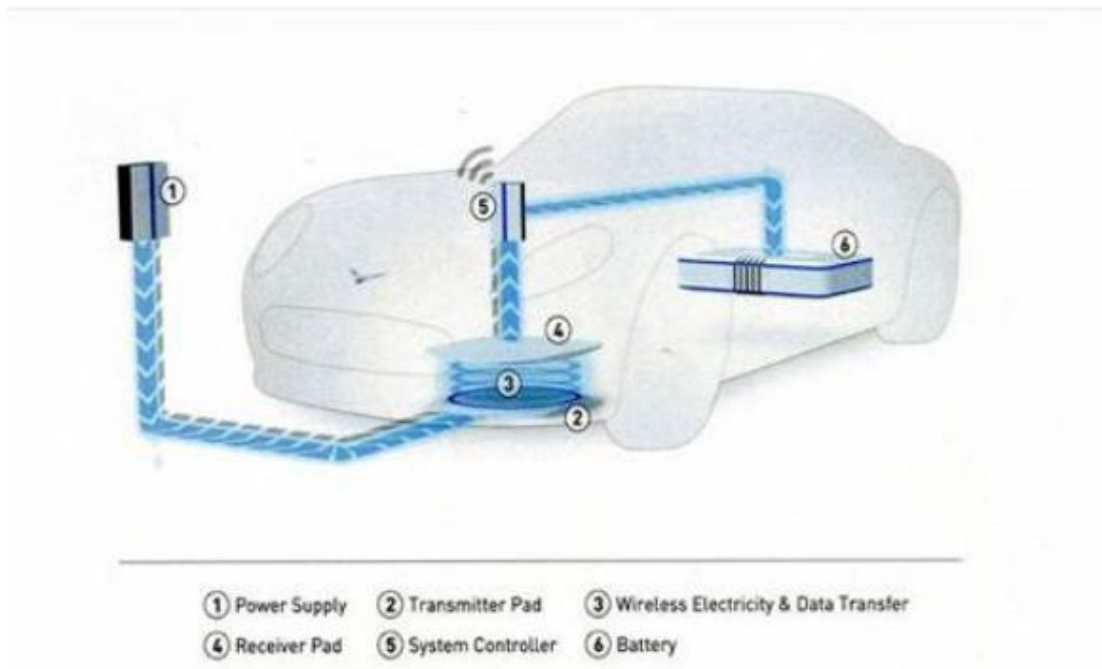
πρέπει να συνδέσει και να αποσυνδέσει το όχημα, αφήνει μεγάλα περιθώρια λάθους και ελλοχεύει ο κίνδυνος της ηλεκτροπληξίας, ιδίως σε υγρά περιβάλλοντα (υγρασία, βροχή). Ακόμα το μακρύ καλώδιο μπορεί να αποτελέσει αιτία ατυχήματος ή και τροφή για τυχόν τρωκτικά της περιοχής. Στην περίπτωση αυτή η αντικατάσταση επιβάλλεται αυξάνοντας το λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης. Τέλος, σε περιοχές που ο πάγος και το χιόνι είναι συνηθισμένο φαινόμενο, το βύσμα φόρτισης μπορεί να παγώσει πάνω στο όχημα κατά την διάρκεια μιας φόρτισης π.χ. 30 λεπτών σε έναν εξωτερικό σταθμό φόρτισης.



Σχήμα 1.7: Σταθμός φόρτισης με επαφή [3]

II. Επαγωγική φόρτιση

Η επαγωγική φόρτιση, γνωστή και ως «ασύρματη φόρτιση», χρησιμοποιεί ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο για τη μεταφορά της ενέργειας μεταξύ του οχήματος και του σταθμού φόρτισης. Πιο συγκεκριμένα, τα συστήματα επαγωγικής φόρτισης μεταφέρουν εναλλασσόμενη ισχύ δημιουργώντας μαγνητική σύζευξη μεταξύ ενός πρωτεύοντος τυλίγματος στην μεριά της τροφοδοσίας και ενός δευτερεύοντος τυλίγματος στην μεριά του οχήματος. Επιπλέον, αφού η μπαταρία του οχήματος έχει DC τάση και μπορεί να φορτίσει μόνο με συνεχές ρεύμα, το εναλλασσόμενο ρεύμα εξόδου του δευτερεύοντος τυλίγματος ανορθώνεται πριν καταλήξει στην μπαταρία. Οι επαγωγικοί φορτιστές έχουν τα περισσότερα κυκλώματα φόρτισης και ελέγχου εκτός του οχήματος, και επικοινωνούν με αυτό μέσω υπέρυθρων ή ραδιοσυχνοτήτων. Η επαγωγική φόρτιση προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με την συμβατική φόρτιση καθώς η φόρτιση μπορεί να γίνει απλά και μόνο σταθμεύοντας το όχημα πάνω στο σημείο φόρτισης. Εξελίξεις στην τεχνολογία των υλικών, στα ηλεκτρονικά ισχύος και στους μικροελεγκτές έχουν προσφέρει σημαντική βοήθεια στην ανάπτυξη αυτού του τρόπου φόρτισης.



Σχήμα 1.8: Σταθμός επαγωγικής φόρτισης [3]

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα βασικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δύο τεχνολογιών φόρτισης.

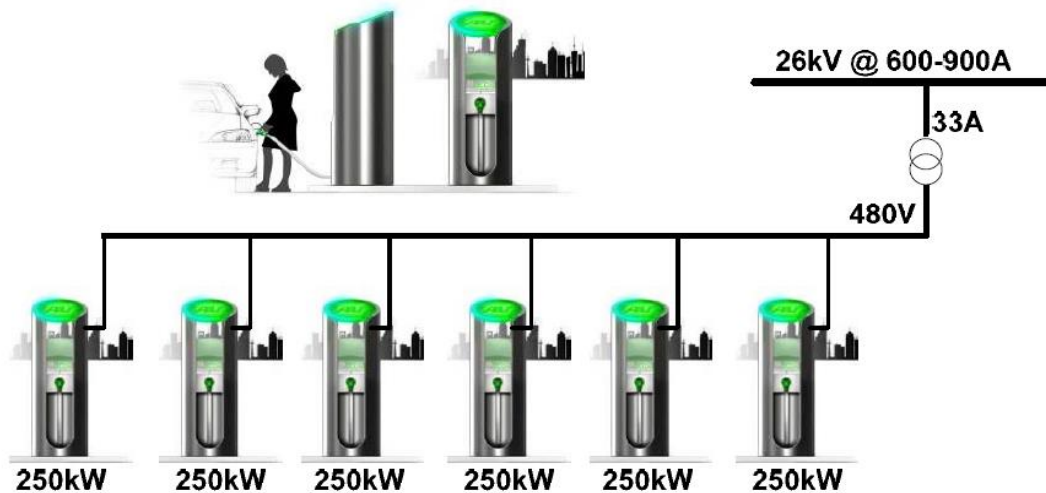
	<i>Επαγωγική φόρτιση</i>	<i>Αγώγιμη Φόρτιση</i>
ΚΟΣΤΟΣ	ακριβότερη	φθηνότερη
ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ	πολύπλοκη	πιο απλή
ΑΣΦΑΛΕΙΑ	ασφαλής/καλύτερη μόνωση	αρκετά ασφαλής λόγω μεθόδων ανίχνευσης σφάλματος
ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ	λιγότερο αποδοτική	πιο αποδοτική

Σχήμα 1.9: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα επαγωγικής και αγώγιμης φόρτισης

Οι σταθμοί φόρτισης αγώγιμης φόρτισης χωρίζονται σε περαιτέρω υποκατηγορίες ανάλογα με το επίπεδο της ισχύος της φόρτισης. Υπάρχουν σταθμοί φόρτισης που παρέχουν AC σύνδεση (μονοφασική ή τριφασική) αλλά και σταθμοί φόρτισης με DC σύνδεση. Ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για να φορτιστούν οι μπαταρίες, είναι πολύ σημαντικός. Για αυτό το λόγο συνηθίζεται ανάλογα με το χρόνο και την παρεχόμενη ισχύ να αναφερόμαστε σε φόρτιση επιπέδου 1,2 και 3.

- **Μονοφασική AC παροχή(Επίπεδο 1):** Αντίστοιχες παροχές υπάρχουν και στις οικιακές κατοικίες για την ηλεκτροδότηση καθημερινών συσκευών. Η φόρτιση από μονοφασική παροχή έχει τα εξής χαρακτηριστικά:
 - 230V/16A ~ 3 kW , Διάρκεια φόρτισης: 6-8 ώρες
 - 230V/32A ~ 7 kW , Διάρκεια φόρτισης: 4-6 ώρες

- **Τριφασική AC παροχή(Επίπεδο 2):** Παρέχει τη δυνατότητα μεταφοράς μεγάλης ποσότητας ισχύος χωρίς να απαιτούνται μεγάλες τάσεις ή ρεύματα. Η φόρτιση από τριφασική παροχή έχει τα εξής χαρακτηριστικά:
 - 400V/16A ~ 11 kW , Διάρκεια φόρτισης: 2-4 ώρες
 - 400V/32A ~ 22 kW , Διάρκεια φόρτισης: 1-2 ώρες
- **DC παροχή(Επίπεδο 3):** Το επίπεδο φόρτισης αυτό είναι γνωστό και ως «ταχεία φόρτιση»(fast charging). Για να επιτευχθεί πολύ μικρός χρόνος φόρτισης (15-30 λεπτά) οι σταθμοί φόρτισης αυτού του επιπέδου παρέχουν ισχύ (μεγαλύτερη από 40kW) σε πολύ υψηλές DC τάσεις (έως 500 V_{dc}) και πολύ υψηλά ρεύματα (έως 125A), σύμφωνα με τη μέθοδο ChAdeMO. Οι σταθμοί φόρτισης με φορτιστές τύπου ChAdeMO συνήθως εγκαθίστανται κατά μήκος οδικών αξόνων ή σε άλλα σημεία στα οποία η ανάγκη φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων πρέπει να ικανοποιηθεί στο συντομότερο χρονικό διάστημα. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται 6 σταθμοί ταχείας φόρτισης που ο καθένας έχει μέγεθος 250kW.[20]



Σχήμα 1.10: Σταθμοί ταχείας φόρτισης 250 kW[20]

1.7 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΑΙ ΤΗ ΧΡΗΣΗ

Η κατηγοριοποίηση των ηλεκτρικών οχημάτων γίνεται επίσης με βάση το μέγεθος, αλλά και τη χρήση τους στις παρακάτω κατηγορίες [26]:

- **L7e** : Πολύ μικρά αυτοκίνητα μέγιστου καθαρού βάρους 550kg, (χωρίς να υπολογίζεται το βάρος του καυσίμου ή των συσσωρευτών), και μέγιστης ισχύος 15 kW ανεξαρτήτως του κινητήρα.
- **M1** : Επιβατικά οχήματα με έως 8 θέσεις επιπλέον από τον οδηγό.
- **N1** : Επαγγελματικά οχήματα με μέγιστο βάρος φορτίου τα 3.500 kg.
- **N2** : Επαγγελματικά οχήματα με βάρος φορτίου μεταξύ 3.500 kg και 12.000 kg.

1.8 ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ- ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ

Στα ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα ως πηγές ενέργειας ορίζονται οι συσκευές, που αποθηκεύουν ενέργεια, παρέχουν ενέργεια (εκφορτίζονται, discharge) και δέχονται ενέργεια από εξωτερική πηγή (φορτίζονται, charge). Έχουν προταθεί διαφόρων τύπων συσκευές αποθήκευσης ενέργειας για τα ηλεκτρικά και τα υβριδικά οχήματα. Οι πιο σημαντικές είναι οι **ηλεκτροχημικοί μετατροπείς** (συσσωρευτές ή μπαταρίες).

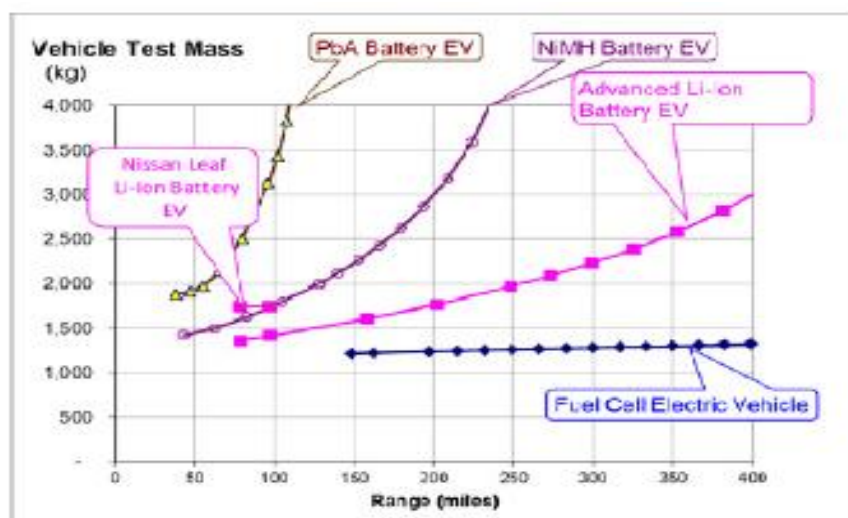
Τα τελευταία χρόνια διεξάγεται παγκοσμίως εντατική επιστημονική έρευνα και επενδύονται σημαντικά κεφάλαια για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών διαφόρων γνωστών τύπων συσσωρευτών, αλλά και για την επινοήση νέων τύπων συσσωρευτών, με τελικό στόχο την ευρεία παραγωγή μικρότερου κόστους συσσωρευτών, με μεγαλύτερες δυνατότητες συσσώρευσης ενέργειας κατά μονάδα όγκου και βάρους, με μεγάλη απόδοση σε ισχύ και τέλος με μεγάλη διάρκεια ζωής [21].

Στο κλασσικό ηλεκτρικό όχημα η μπαταρία είναι η μόνη πηγή ενέργειας και το συστατικό με το μεγαλύτερο κόστος, βάρος και όγκο. Στα υβριδικά οχήματα είναι επίσης βασικό συστατικό, το οποίο συνεχώς λαμβάνει και παρέχει ηλεκτρική ενέργεια [22].

Μια μπαταρία αποτελείται από δύο ή περισσότερα **ηλεκτρικά στοιχεία**, συνδεδεμένα σε σειρά, που μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε DC ηλεκτρική ενέργεια. Τα στοιχεία αυτά τοποθετούνται σε μια κατάλληλη θήκη για να δημιουργήσουν μια **μονάδα μπαταρίας**. Οι μονάδες συνδυάζονται παράλληλα ή σε σειρά, έτσι ώστε να παρέχεται η κατάλληλη τάση, ένταση και ενέργεια στο ηλεκτρονικό σύστημα ισχύος και αποτελούν την μπαταρία.

Το βάρος και ο όγκος της συστοιχίας των συσσωρευτών, που θα εξασφαλίζει τις επιθυμητές επιδόσεις του οχήματος και την αναγκαία αυτονομία του, αποτελούν πολύ σημαντικούς παράγοντες. Στην κατασκευή οποιουδήποτε οχήματος τόσο ο όγκος όσο και η μάζα αποτελούν παράγοντες, που ελέγχονται αυστηρά, και επιδιώκεται η βέλτιστη αξιοποίησή τους.

Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε για πέντε επιβατικά BEV's οχήματα τη μάζα τους ως συνάρτηση με την αυτονομία τους, για τρεις διαφορετικές τεχνολογίες συσσωρευτών, (η μια κατηγορία είναι οι κυψέλες καυσίμου).



Σχήμα 1.11: Μάζα οχημάτων σε σχέση με την αυτονομία τους για διαφορετικές τεχνολογίες συσσωρευτών.[23]

Το μέγεθος και το βάρος των διαφόρων τύπων συσσωρευτών μπορεί να μετρηθεί και να συγκριθεί με τη χρήση των παρακάτω τυποποιημένων μεγεθών:

Ογκομετρική Πυκνότητα Ισχύος (Volumetric Power Density) (W/l)

Ογκομετρική Πυκνότητα Ενέργειας (Volumetric Energy Density) (Wh/l)

Βαρυμετρική Πυκνότητα Ενέργειας (Gravimetric Energy Density) (Wh/kg)

Βαρυμετρική Πυκνότητα Ενέργειας (Gravimetric Power Density) (W/kg)

Οι μετρήσεις των παραπάνω μεγεθών, προκειμένου να έχουν συγκριτική αξία, εκτελούνται σε προκαθορισμένο περιβάλλον και με προκαθορισμένο τρόπο. Για παράδειγμα, η μέτρηση της ογκομετρικής και βαρυμετρικής πυκνότητας ενέργειας συνήθως γίνεται σε βάθος εκφόρτισης (DOD) 80% και σε ρυθμό εκφόρτισης C/3, (δηλαδή σε διάρκεια τριών ωρών).

Ο προσδιορισμός της αναμενόμενης διάρκειας ζωής γίνεται θεωρητικά από τον αριθμό κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης σε βάθος (DOD) 80% , μετά τη συμπλήρωση του οποίου η χωρητικότητα των στοιχείων θα μειωθεί κατά ποσοστό 20% επί της αρχικής τιμής της. Η απομένουσα χωρητικότητα των στοιχείων, που θα ανέρχεται στο υπόλοιπο 80% επί της αρχικής τιμής της, θα επαρκεί για τη συνέχιση της λειτουργίας του συστήματος για τις περισσότερες εφαρμογές. Επομένως, το γεγονός ότι το τέλος της θεωρητικής διάρκειας ζωής έχει ήδη επέλθει, στην πράξη μικρές μόνο επιπτώσεις θα επιφέρει, και ο συσσωρευτής θα συνεχίσει να προσφέρει τις υπηρεσίες του για μια ή και περισσότερες ακόμα τέτοιες θεωρητικές διάρκειες ζωής, πριν τεθεί οριστικά εκτός λειτουργίας. Ένας κύκλος με βάθος εκφόρτισης 80% ισοδυναμεί στην πράξη με δύο κύκλους εκφόρτισης 40% ή με δέκα κύκλους με βάθος εκφόρτισης 8%.

Επίσης, το κόστος αγοράς σε συνδυασμό με τη διάρκεια ζωής των συσσωρευτών αποτελεί ένα άλλο πολύ βασικό ζήτημα για την αξιολόγησή τους.

Οι πιο σημαντικοί τύποι μπαταριών, που σχετίζονται με τα ηλεκτρικά οχήματα, είναι:

- Μολύβδου οξέος (lead acid).
- Νικελίου σιδήρου (nickel iron).
- Νικελίου καδμίου (nickel cadmium).
- Νικελίου μετάλλου υβριδίου (nickel metal hydride).
- Λιθίου πολυμερούς (lithium polymer).
- Ιόντων λιθίου (lithium ion).
- Θειούχου νατρίου (sodium sulphur).

Η μπαταρία σε ένα ηλεκτρικό όχημα εξυπηρετεί διαφορετικό σκοπό από την μπαταρία του συμβατικού οχήματος, της οποίας ο πρωταρχικός σκοπός είναι να παρέχει μεγάλο ηλεκτρικό ρεύμα για ένα σύντομο χρονικό διάστημα προς τον εκκινητή (μίζα). Στα ηλεκτροκίνητα οχήματα οι μπαταρίες παρέχουν συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα προς τον/τους ηλεκτροκινητήρα/ες για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα και ως εκ τούτου πρέπει να είναι πολύ ισχυρότερες από κάθε άποψη. Επίσης, οι μπαταρίες των ηλεκτροκίνητων οχημάτων πρέπει να έχουν τη δυνατότητα

συχνής πλήρους εκφόρτισης ή πλήρους φόρτισης, απαίτηση, που ονομάζεται βαθιά εκφόρτιση (deep cycling), και μία μπαταρία με αυτό το χαρακτηριστικό ονομάζεται **μπαταρία βαθιάς εκφόρτισης**. Οι μπαταρίες αυτές έχουν μικρότερη στιγμιαία ισχύ από μία μπαταρία εκκίνησης, αλλά μπορούν να προσδώσουν ηλεκτρική ενέργεια για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα καθώς και να υποστούν περισσότερες βαθιές εκφορτίσεις.

1.8.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

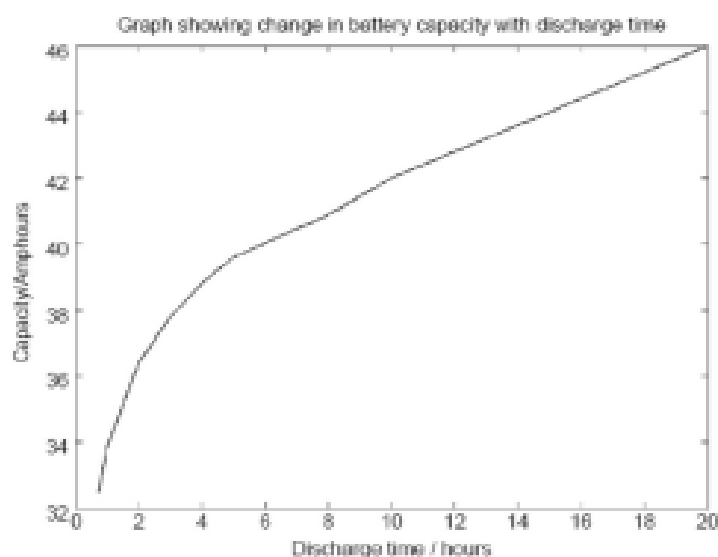
Τάσεις στοιχείων μπαταρίας

Η μπαταρία, όπως έχει αναφερθεί, απαρτίζεται από στοιχεία. Η ονομαστική τάση της μπαταρίας είναι η τάση, που προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της ονομαστικής τάσης ενός στοιχείου με τον αριθμό των στοιχείων, που απαρτίζουν την μπαταρία. Η ονομαστική τάση ενός στοιχείου έχει οριστεί στα 2 V.

Χωρητικότητα μπαταρίας

Η μονάδα μέτρησης της χωρητικότητας είναι το Coulomb ($1C=1\text{Ampere} \times 1\text{sec}$), αλλά επειδή η μονάδα αυτή είναι ακατάλληλα μικρή, αντ' αυτού χρησιμοποιείται το Ah ($1\text{Ah} = 3600\text{C}$), φορτίο, που μεταφέρεται από ρεύμα έντασης 1 A σε μια ώρα.

Αν η χωρητικότητα μιας μπαταρίας είναι για παράδειγμα 10 Ah μπορεί να παρέχει ρεύμα έντασης 1A για 10h ή 2A για 5h ή στη θεωρία 10A για 1h. Στην πράξη, ενώ μια μπαταρία μπορεί να είναι σε θέση να παρέχει ρεύμα έντασης 1A για 10h, εάν απορροφώνται από αυτήν 10A θα διαρκέσει λιγότερο από μία ώρα. Η χωρητικότητα των μεγάλων μπαταριών, που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα, αναφέρεται συνήθως σε εκφόρτιση 5 ωρών. Στο παρακάτω σχήμα παρατηρούμε πώς επηρεάζεται η χωρητικότητα αν η εκφόρτιση της μπαταρίας είναι αργή ή γρήγορη. Το διάγραμμα αναφέρεται σε μια μπαταρία με ονομαστική τιμή 100Ah.



Σχήμα 1.12: Χωρητικότητα μπαταρίας ανάλογα με την ταχύτητα εκφόρτισης.

Ρυθμός εκφόρτισης (discharge rate)

Ο ρυθμός εκφόρτισης είναι το ηλεκτρικό ρεύμα, με το οποίο εκφορτίζεται μια μπαταρία και εκφράζεται ως ρυθμός Q/h, όπου Q(Ah) η χωρητικότητα της μπαταρίας και h ο χρόνος εκφόρτισης σε ώρες.

Κατάσταση φόρτισης (State of Charge)

Η κατάσταση φόρτισης (SoC) είναι η ποσότητα φορτίου, που απομένει μετά την εκφόρτιση από την πλήρη φόρτιση. Η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας μπορεί πολύ εύκολα να υπολογιστεί από ένα απλό κύκλωμα μπαταρίας με φορτίο. Το ηλεκτρικό ρεύμα ορίζεται ως ο ρυθμός μεταβολής των ηλεκτρικών φορτίων διαμέσου μίας διατομής $i(t) = \frac{dq}{dt}$. Η στιγμιαία θεωρητική κατάσταση φορτίου SoC(t) είναι η ποσότητα του ισοδύναμου θετικού φορτίου στο θετικό ηλεκτρόδιο. Αν η κατάσταση φορτίου είναι ίση με τη χωρητικότητα Q, τη χρονική στιγμή t_0 , έναρξης της εκφόρτισης, τότε $SoC(t_0) = Q$. Για ένα στοιχειώδες χρονικό διάστημα dt, ισχύει $d(SoC) = -dq = -i(t)dt$. Ολοκληρώνοντας από την αρχική τιμή t_0 μέχρι τη χρονική στιγμή t η στιγμιαία κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας δίνεται από τη σχέση:

$$SoC(t) = Q_r - \int_0^t i(t)dt \quad (1.1)$$

Κατάσταση εκφόρτισης (State of Discharge)

Η κατάσταση εκφόρτισης (SoD) είναι ένα μέτρο του φορτίου, που απομακρύνεται από την μπαταρία.

$$SoD(t) = \int_0^t i(t)dt = Q_r - SoC(t) \quad (1.2)$$

Βάθος εκφόρτισης (Depth of Discharge)

Το βάθος εκφόρτισης (DoD) είναι το ποσοστό χωρητικότητας της μπαταρίας, το οποίο έχει εκφορτιστεί κατά τη χρήση της. Το βάθος εκφόρτισης δίνεται από τη σχέση:

$$DoD(t) = \frac{Q_r - SoC(t)}{Q_r} * 100\% = \frac{\int_0^t i(t)dt}{Q_r} * 100\% \quad (1.3)$$

Εκφόρτιση μιας μπαταρίας σε ποσοστό μεγαλύτερο από 80% της χωρητικότητας ονομάζεται βαθιά εκφόρτιση - (deep discharge).

Ειδική ενέργεια (Specific Energy)

Η ειδική ενέργεια μιας μπαταρίας είναι η ενεργειακή χωρητικότητα ανά μονάδα βάρους της μπαταρίας (Wh/kg). Η θεωρητική ειδική ενέργεια είναι η μέγιστη ενέργεια, που μπορεί να παραχθεί ανά μονάδα μάζας του ενεργού υλικού. Οι πρακτικές τιμές όμως της ειδικής ενέργειας είναι αρκετά χαμηλότερες από τα θεωρητικά μέγιστα. Αυτό συμβαίνει, διότι εκτός από τους διάφορους περιορισμούς, που τείνουν να μειώσουν την τάση του στοιχείου και εμποδίζουν την πλήρη χρήση

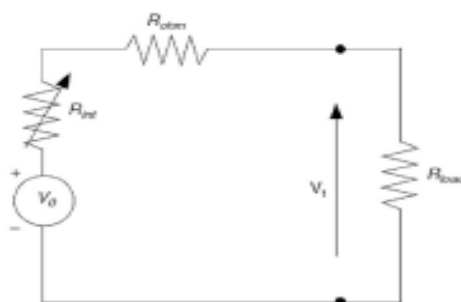
του ενεργού υλικού, οι κατασκευαστικές ανάγκες της μπαταρίας προσθέτουν στο βάρος της χωρίς όμως να προσφέρουν τίποτα στην παραγόμενη ενέργεια.

Ειδική ισχύς (Specific Power)

Η ειδική ισχύς μιας μπαταρίας ορίζεται ως η μέγιστη ισχύς ανά μονάδα βάρους της μπαταρίας, που μπορεί να παραχθεί σε ένα μικρό χρονικό διάστημα και εξαρτάται κυρίως από την εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας. Με βάση το κυκλωματικό μοντέλο μπαταρίας του παρακάτω σχήματος, η μέγιστη ισχύς, που μπορεί να προσδώσει η μπαταρία στο φορτίο είναι:

$$P_{peak} = \frac{V_0^2}{4 * (R_{ohm} + R_{int})} \quad (1.4)$$

όπου R_{ohm} είναι η ωμική αντίσταση του αγωγού και R_{int} είναι η εσωτερική αντίσταση, που προκαλείται από χημική αντίδραση.



Σχήμα 1.13: Κυκλωματικό μοντέλο μπαταρίας

Ενεργειακή απόδοση

Οι απώλειες ενέργειας και ισχύος κατά την εκφόρτιση ή τη φόρτιση εμφανίζονται με τη μορφή απώλειας τάσης. Έτσι, η απόδοση της μπαταρίας κατά τη φόρτιση ή την εκφόρτιση μπορεί να οριστεί ως ο λόγος της τάσης λειτουργίας του κελιού προς τη θερμοδυναμική τάση, δηλαδή:

εκφόρτιση:

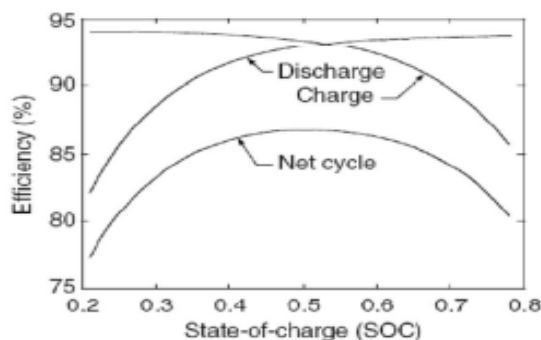
$$n = \frac{V}{V_0} \quad (1.5)$$

φόρτιση:

$$n = \frac{V_0}{V} \quad (1.6)$$

Η τάση των πόλων ως συνάρτηση του ρεύματος και της ενέργειας, που αποθηκεύεται στην μπαταρία, ή της κατάστασης φόρτισης είναι χαμηλότερη στην εκφόρτιση και υψηλότερη στην φόρτιση από το ηλεκτρικό δυναμικό, που αναπτύσσεται από μια χημική αντίδραση. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η απόδοση της μπαταρίας μολύβδου οξέος κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης και της

φόρτισης ως συνάρτηση της κατάστασης φόρτισης (SoC). Όπως παρατηρούμε στο παρακάτω διάγραμμα, η απόδοση του συνολικού κύκλου της μπαταρίας (Efficiency) παρουσιάζει μέγιστο στη μέση της περιοχής της κατάστασης φόρτισης. Επομένως, η μονάδα ελέγχου λειτουργίας της μπαταρίας ενός υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος θα πρέπει να ελέγχει την κατάσταση φόρτισής της, ώστε να βρίσκεται στο μέσο του εύρους τιμών του SoC, έτσι ώστε να βελτιώνει την απόδοση λειτουργίας και να περιορίζει την αύξηση της θερμοκρασίας, που προκαλείται από τις απώλειες ενέργειας. Υψηλή θερμοκρασία θα μπορούσε να προκαλέσει φθορές στην μπαταρία.



Σχήμα 1.14: Ενεργειακή απόδοση ως συνάρτηση της κατάστασης φόρτισης

1.9 ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Όσον αφορά την επίδραση που θα έχει η διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η πολιτική φόρτισης που θα επιλεγεί από τους χρήστες. Οι στρατηγικές φόρτισης χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- Μη ελεγχόμενη φόρτιση (Dumb charging): Αποτελεί τη μη σχεδιασμένη σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι οι ιδιοκτήτες των ηλεκτρικών οχημάτων είναι ελεύθεροι να φορτίσουν τα οχήματα τους οποιαδήποτε στιγμή χωρίς κανένα είδος ελέγχου ή χωρίς να τους δοθεί κάποιο κίνητρο να φορτίσουν τα οχήματα τους σε ώρα χαμηλής ζήτησης. Η φόρτιση ξεκινά αυτόματα τη στιγμή που το αυτοκίνητο θα συνδεθεί στο δίκτυο μέχρι να φορτιστεί πλήρως ή ο ιδιοκτήτης να διακόψει τη φόρτιση. Σε περίπτωση που πολλοί χρήστες επιλέξουν αυτόν τον τρόπο φόρτισης ενδέχεται να υπάρξουν προβλήματα στο δίκτυο όπως πτώσεις τάσεις ή υπερφορτώσεις γραμμών.
- Φόρτιση πολλαπλής χρέωσης (Multiple Tariff charging): Στην περίπτωση αυτή, όπως και στην προηγούμενη, ο χρήστης είναι ελεύθερος να φορτίσει το όχημά του οποιαδήποτε στιγμή. Στην περίπτωση αυτή όμως η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι σταθερή όλη τη μέρα αλλά τις ώρες με χαμηλή ζήτηση ενέργειας το κόστος είναι μειωμένο.
- Εξυπνη φόρτιση (Smart charging): Σε αυτό το σενάριο, το φορτίο μετακινείται από τις περιόδους αιχμής στις περιόδους μη αιχμής. Αυτή η στρατηγική φόρτισης τοποθετεί τη ζήτηση ισχύος εκ μέρους των οχημάτων σε ώρες που η ζήτηση είναι χαμηλή. Τυπικά, η κινητικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων κατά

τη διάρκεια των ωρών μη αιχμής είναι περιορισμένη και αυτό επιτρέπει την αποτελεσματική διαχείριση της φόρτισης. [16]

- Από το όχημα στο δίκτυο (Vehicle-to-Grid V2G): Τα ηλεκτρικά οχήματα δεν αποτελούν απλά μια τεχνολογική εξέλιξη στο τομέα των μεταφορών και της αυτοκινητοβιομηχανίας αλλά και μια πρόκληση για τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Γενικά, ο ρόλος των ηλεκτρικών οχημάτων όσον αφορά το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι διπλός. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη φόρτιση τους από το δίκτυο συμπεριφέρονται ως φορτία, αυξάνοντας την ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Από την στιγμή όμως που διαθέτουν μπαταρίες και τη δυνατότητα σύνδεσης τους με το δίκτυο μπορούν να λειτουργήσουν κι ως μονάδες αποθήκευσης, προσφέροντας ενέργεια στο δίκτυο όταν αυτό τη χρειάζεται. Επίσης, στην διεθνή βιβλιογραφία έχει αρχίσει και κυριαρχεί ο αγγλικός όρος «prosumer» ο οποίος προκύπτει από τις αγγλικές λέξεις producer και consumer, είναι δηλαδή φορείς του συστήματος που άλλοτε συμπεριφέρονται ως καταναλωτές και άλλοτε ως παραγωγοί. [6]

Η βασική ιδέα του V2G είναι, πως εφόσον τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα περιέχουν μπαταρίες που χρειάζονται ενέργεια για να φορτίσουν, αντιστοίχως θα μπορούσαν κάτω υπό κάποιες προϋποθέσεις να προσφέρουν και ενέργεια στο δίκτυο όταν αυτό είναι επιβαρυνμένο, π.χ. απογευματινές ώρες για τα νοικοκυριά ή μεσημεριανές ώρες στο ωράριο εργασίας, και να φορτίζονται σε ώρες μη αιχμής, πχ το βράδυ. Εδώ να διευκρινίσουμε πως θα μιλήσουμε κυρίως για ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας, καθώς μόνον αυτά έχουν ικανοποιητική χωρητικότητα ώστε να είναι σε θέση να προσφέρουν ενέργεια στο δίκτυο. Εν αντιθέσει τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα, που όπως προαναφέραμε έχουν συνήθως μικρές μπαταρίες με μικρή χωρητικότητα, δεν είναι σε θέση να προσφέρουν ένα ικανοποιητικό ποσό ενέργειας στο δίκτυο. [7]

Για να πραγματοποιηθεί μία εγκατάσταση που θα εκμεταλλεύεται τα πλεονεκτήματα του V2G χρειάζονται κάποιες ειδικές διατάξεις που θα εξασφαλίζουν ότι η ανταλλαγή ισχύος μεταξύ ηλεκτρικών οχημάτων και δικτύου θα είναι ορισμένη από προϋποθέσεις και ελεγχόμενη κάθε στιγμή. Συγκεκριμένα, όλα τα ηλεκτρικά οχήματα διαθέτουν ηλεκτρονικά ισχύος που μετατρέπουν την εναλλασσόμενη τάση του δικτύου σε συνεχή για τη φόρτιση της μπαταρίας του οχήματος τα οποία με κατάλληλες τροποποιήσεις μπορούν να λειτουργήσουν και αντίστροφα μετατρέποντας την συνεχή τάση από τον συσσωρευτή του οχήματος στην εναλλασσόμενη τάση του δικτύου και στην συχνότητα του δικτύου (50hz για την Ελλάδα). Τα ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας μπορούν να φορτίσουν κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης του φορτίου και να εκφορτίσουν όταν το δίκτυο χρειάζεται ηλεκτρική ενέργεια. Με τον τρόπο αυτό τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν ένα ελεγχόμενο φορτίο που μπορούν να συμβάλλουν στην εξομάλυνση της καμπύλης της ζήτησης, δηλαδή στην προσέγγιση της ιδανικής καμπύλης. Επίσης, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τα ηλεκτρικά οχήματα προς αποθήκευση ενέργειας που προέρχεται από τα εγκατεστημένα συστήματα ανανεώσιμων πηγών (φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες). Έτσι παρουσιάζεται η αναγκαιότητα επικοινωνίας του διαχειριστή του δικτύου με τα ηλεκτρικά οχήματα όταν αυτά θα είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο. Σε αυτό το σημείο έρχεται ο ρόλος του Aggregator. Το πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί με την λειτουργία των ηλεκτρικών οχημάτων ως πάροχοι ενέργειας είναι όπως προαναφέραμε πως η χωρητικότητα των μπαταριών τους είναι μικρή και επομένως ικανοποιητική ισχύς μπορεί να προκύψει μόνο από συνδυασμό ενός

ικανοποιητικού αριθμού οχημάτων. Το πρόβλημα της οργάνωσης αυτών των οχημάτων μπορεί να επιλυθεί μέσω του Aggregator και την αντίστοιχη οργάνωση του προγράμματος V2G. [8]

Όπως προαναφέρθηκε ο στόλος ηλεκτρικών οχημάτων θα βρίσκεται υπό την επίβλεψη ενός διαχειριστή, ο οποίος θα αποτελεί το διαμεσολαβητή μεταξύ του στόλου και του κεντρικού διαχειριστή του ενεργειακού συστήματος. Ο διαμεσολαβητής (aggregator) θα επικοινωνεί με τον κεντρικό διαχειριστή μέσω κατάλληλων σημάτων, τα οποία στη συνέχεια θα διαβιβάζονται σε κάθε όχημα ξεχωριστά. Μάλιστα η αυτοκινητοβιομηχανία έχει μεριμνήσει ώστε το σύστημα επικοινωνίας να αποτελεί βασικό κομμάτι σε κάθε όχημα. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι το τμήμα αυτό ονομάζεται 'telematics' και η βασική λειτουργία που προσφέρει έχει να κάνει με τη δήλωση του οχήματος σε ηλεκτρονική βάση δεδομένων με τη χρήση μοναδικής ηλεκτρονικής ταυτότητας (π.χ. αριθμός διαδικτυακού πρωτοκόλλου, IP), το οποίο θα εξυπηρετεί στην καταγραφή της συνολικής ανταλλαγής ενέργειας μεταξύ οχήματος και κεντρικού δικτύου, που θα αποσκοπεί στην ακριβή χρέωση σε κάθε λογαριασμό. Παράλληλα μέσω του 'telematics' θα γίνεται δυνατός ο εντοπισμός θέσης του ηλεκτρικού οχήματος μέσω του Παγκόσμιου Συστήματος Θεσιθεσίας (GPS) ή ακόμη και του υπάρχοντος συστήματος κινητής τηλεφωνίας. Οι δύο παραπάνω λειτουργίες του on-board συστήματος ηλεκτρικών αυτοκινήτων (μέτρηση συναλλασσόμενης ενέργειας, εντοπισμός θέσης) είναι απαραίτητες για τη συμμετοχή τους στα διάφορα μοντέλα αγορών V2G, καθώς ανά πάσα στιγμή ο aggregator θα πρέπει να γνωρίζει τη θέση, τη διαθεσιμότητα και τη στάθμη φόρτισης όλων των οχημάτων που βρίσκονται στο στόλο που διαχειρίζεται. [9]

1.10 ΣΤΑΘΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Η μαζική κυκλοφορία των ηλεκτρικών οχημάτων θα φέρει στο προσκήνιο νέες προκλήσεις οι οποίες θα πρέπει να αντιμετωπισθούν. Μία από αυτές είναι ο χώρος φόρτισης των νέων ηλεκτρικών οχημάτων. Ανάλογα με τον τρόπο χρήσης των αμαξιών (χρόνος λειτουργίας διαθέσιμη αυτονομία κλπ), την τεχνολογία των μπαταριών τους και τον διαθέσιμο χρόνο για τη φόρτιση των μπαταριών δημιουργούνται σταθμοί φόρτισης, οι οποίοι θα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

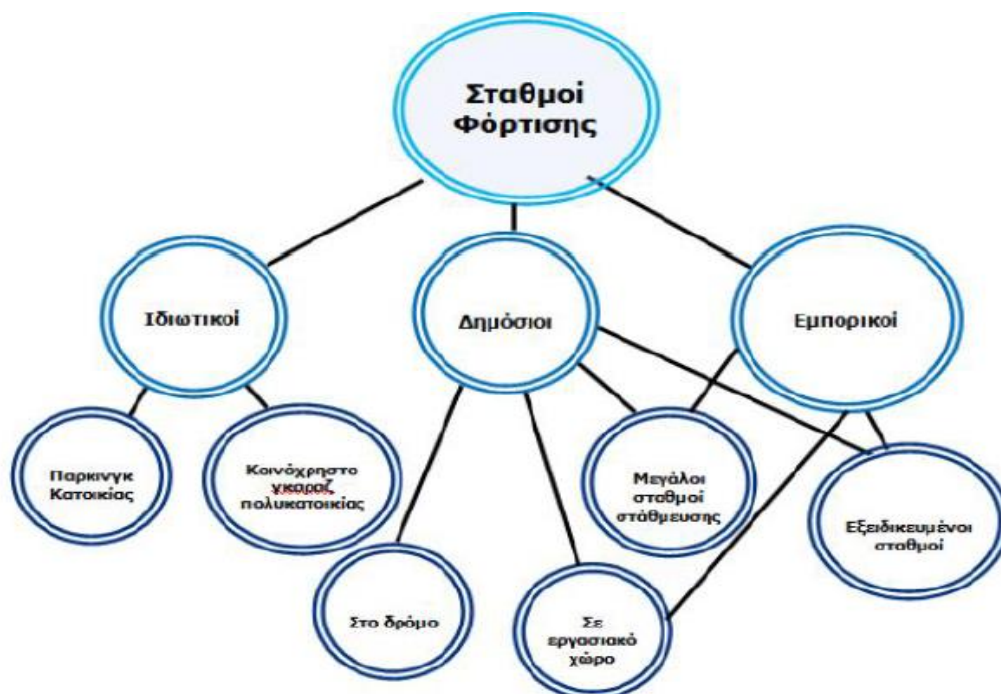
- **Ιδιωτικοί με ιδιωτική πρόσβαση (π.χ. προσωπικά γκαράζ).** Η φόρτιση γίνεται από μονοφασική παροχή και συνήθως τις νυχτερινές ώρες, με αποτέλεσμα να ισχύει χαμηλότερο τιμολόγιο κατανάλωσης. Η φόρτιση διαρκεί περίπου 6-8 ώρες και το μέγιστο ρεύμα φόρτισης δεν ξεπερνάει τα 15 A. Δίνεται, ακόμη, η δυνατότητα στους καταναλωτές να κλείνουν συμφωνίες με το κεντρικό δίκτυο ακόμα και για V2G (vehicle to grid) λειτουργία, με αποτέλεσμα να πουλάνε ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο. Τέλος, οι απαιτήσεις σε εξοπλισμό είναι ελάχιστες.

- **Ιδιωτικοί με δημόσια πρόσβαση (π.χ. μεγάλα παρκινγκ εμπορικών καταστημάτων, εργασιακός χώρος).** Σε αυτή την περίπτωση τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να φορτίζουν τις ώρες που παραμένουν παρκαρισμένα πληρώνοντας το ανάλογο αντίτιμο. Στους ιδιωτικούς χώρους με δημόσια πρόσβαση θα πρέπει να υπάρχουν όλων των επιπέδων 1-3 σταθμοί φόρτισης.

- **Δημόσιοι με δημόσια πρόσβαση (π.χ. δημόσιοι δρόμοι).** Οι σταθμοί αυτοί φόρτισης είναι απαραίτητοι για τους ιδιοκτήτες αυτοκινήτων οι οποίοι δεν μπορούν

να έχουν πρόσβαση σε ιδιωτικά πάρκινγκ, ιδίως οι κάτοικοι πυκνοκατοικημένων περιοχών. Οι απαιτήσεις τέτοιων σταθμών είναι επιπέδου 1 και 2.

Στην σχήμα (1.13) παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των σταθμών φόρτισης ανάλογα με την τοποθεσία εγκατάστασης [1].



Σχήμα 1.15: Κατηγοριοποίηση σταθμών φόρτισης ανάλογα με τη τοποθεσία εγκατάστασης [1]

1.11 ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Είναι γνωστό ότι η εξέλιξη των οχημάτων έχει σημειωθεί διάσπαρτα σε ολόκληρο σχεδόν τον τεχνολογικά προηγμένο κόσμο, χωρίς ενιαίες κατευθυντήριες γραμμές. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να χρησιμοποιηθούν διατάξεις, συστήματα και εξαρτήματα πολυποίκιλα ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες και την ισχύουσα διαθεσιμότητα. Έτσι, κρίνεται πλέον απαραίτητο να υπάρχουν μια σειρά από ορισμένα πρότυπα, τα οποία θα υιοθετούνται από όλες τις χώρες και τα οποία θα συντελούν στην διευκόλυνση της ευρείας διάθεσης των ηλεκτρικών οχημάτων στην παγκόσμια αγορά.

Το πρώτο πράγμα που διαπιστώθηκε ότι απαιτεί τυποποίηση είναι τα συστήματα φόρτισης και τα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της φόρτισης, όπως υποδοχές, καλώδια κ.τ.λ. Με αυτό τον τρόπο οι κατασκευαστές σε όλο τον κόσμο θα μπορούν να μειώσουν το συνολικό κόστος παραγωγής λόγω της μαζικότητάς της και επιπλέον οι υποδομές των σταθμών φόρτισης θα έχουν μια ομοιογένεια, άρα και χαμηλότερο κόστος και υψηλότερη λειτουργικότητα. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά από τα προαναφερθέντα πρότυπα:

1.11.1 ΠΡΟΤΥΠΟ SAE (SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS)

Το συνιστώμενο πρότυπο «SAE J1772 – Σύνδεσμος για τη φόρτιση ηλεκτρικών και επαναφορτιζόμενων υβριδικών αυτοκινήτων», όπως αυτό

αναφέρεται, δημοσιοποιήθηκε τον Ιανουάριο του 2010. Περιλαμβάνει προδιαγραφές για τις επί των οχημάτων υποδοχές αλλά και για τα αντίστοιχα βύσματα αγωγίμης επαφής για τη φόρτιση των ηλεκτρικών και των επαναφορτιζόμενων υβριδικών αυτοκινήτων με εναλλασσόμενο ρεύμα. Προδιαγραφές για την αντίστοιχη λειτουργία αλλά με χρήση συνεχούς ρεύματος βρίσκονται ακόμα σε επεξεργασία από την αντίστοιχη ομάδα έργου της SAE. Οι προδιαγραφές υποδοχής και βύσματος που περιλαμβάνει το πρότυπο SAE J1772 είναι κατάλληλες για δύο επίπεδα φόρτισης με αγωγή επαφή και είναι τα εξής: [25]

- 1) Εναλλασσόμενου ρεύματος – Επίπεδο 1: Μονοφασική σύνδεση στα 120 V AC και 12A/16A.
- 2) Εναλλασσόμενου ρεύματος – Επίπεδο 2: Μονοφασική σύνδεση στα 208-240 V AC και μέχρι 80 A.

Η σχεδίαση της υποδοχής και του βύσματος είναι πέντε ακροδεκτών με σύστημα ασφάλισης προς αποφυγή αθέλητης απομάκρυνσης του βύσματος και διακοπής της φόρτισης.

Οι λειτουργίες των πέντε ακροδεκτών προσδιορίζονται ως εξής:

- Επαφή 1: η μία γραμμή τροφοδοσίας L1
- Επαφή 2: η άλλη γραμμή τροφοδοσίας L2 ή ο ουδέτερος N
- Επαφή 3: Γείωση (Ground)
- Επαφή 4: Σηματοδοσία επικοινωνίας μεταξύ του οχήματος και του συστήματος παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Επαφή 5: Διακόπτης διασύνδεσης. Επιβεβαίωση της σύνδεσης του οχήματος με την πηγή της ηλεκτρικής παροχής με σκοπό την ακινητοποίησή του για όσο χρόνο υφίσταται αυτή η σύνδεση.

Το πρότυπο αυτό επίσης περιλαμβάνει τις απαιτήσεις του συστήματος επικοινωνίας δεδομένων, της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας, της αντοχής και αξιοπιστίας, της εσωρετικής αντίστασης και των περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών της υποδοχής και του βύσματος. Σημειώνεται, επίσης, ότι το πρότυπο SAE J1772 καλύπτει μόνο την επί του οχήματος υποδοχή και το αντίστοιχο βύσμα και δεν ασχολείται με τις υποδοχές και τα βύσματα προς την πλευρά της ηλεκτρικής παροχής. Οι λόγοι που συμβαίνει αυτό είναι αφενός γιατί για τις φορτίσεις εναλλασσόμενου ρεύματος επιπέδου 1 συνήθως χρησιμοποιούνται οι οικιακού τύπου ρευματοδότες και βύσματα τα οποία διαφέρουν από τόπο σε τόπο και αφετέρου γιατί στις ΗΠΑ συνήθως το καλώδιο που χρησιμοποιείται για τη φόρτιση εναλλασσόμενου ρεύματος επιπέδου 2 αποτελεί μόνιμη προέκταση της συσκευής φόρτισης και δεν συνδέεται με αυτή μέσω υποδοχής και βύσματος.



Σχήμα 1.16: Βύσμα και υποδοχή τύπου SAE J1772

1.11.2 ΠΡΟΤΥΠΑ IEC (THE INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION)

a) IEC 61851

Καλύπτει το σύνολο του συστήματος φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων με αγώγιμη επαφή. Περιλαμβάνει προδιαγραφές εξαρτημάτων για τυποποιημένες τάσεις εναλλασσομένου ρεύματος μέχρι και 690 V και για τάσεις συνεχούς ρεύματος μέχρι τα 1000 V. Το πρότυπο κυκλοφορεί σε Μέρη υπό τον γενικό τίτλο «Σύστημα φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων δια αγώγιμης επαφής». Τα κύρια Μέρη του είναι: [21]

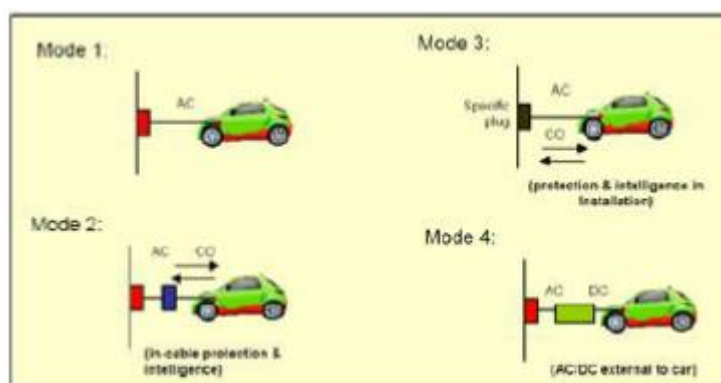
- Μέρος 1 – Γενικές απαιτήσεις
- Μέρος 21 – Απαιτήσεις των ηλεκτρικών αυτοκινήτων προκειμένου να συνδεθούν με παροχή εναλλασσομένου ή συνεχούς ρεύματος
- Μέρος 22 - Σταθμός φόρτισης ηλεκτρικού αυτοκινήτου με εναλλασσόμενο ρεύμα
- Μέρος 23 - Σταθμός φόρτισης ηλεκτρικού αυτοκινήτου με συνεχές ρεύμα

Το Μέρος 1 περιλαμβάνει ορολογία και προδιαγραφές των διαφόρων τρόπων φόρτισης όπως και των εφαρμογών αγώγιμης σύνδεσης. Τα στοιχεία αυτά αναφέρονται παρακάτω:

- **1^{ος} τρόπος φόρτισης** – Αγώγιμη σύνδεση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε παροχή εναλλασσομένου ρεύματος με χρήση συνήθους οικιακού τύπου ρευματοδότη προς την πλευρά της ηλεκτρικής παροχής για ένταση ρεύματος μέχρι 16 A, μονοφασικής ή τριφασικής σύνδεσης και με αξιοποίηση των αγωγών των φάσεων, του ουδέτερου και της γείωσης προστασίας. Αυτός ο τρόπος φόρτισης απαιτεί την παρουσία προστατευτικής διάταξης ισοζυγισμού έντασης RCD (Residual Current Device) προς την πλευρά της παροχής. Όταν

η παρουσία μιας τέτοιας διάταξης δεν εξασφαλίζεται από την ισχύουσα σε κάθε χώρα νομοθεσία, τότε δεν συνιστάται αυτός ο τρόπος φόρτισης.

- **2^{ος} τρόπος φόρτισης** - Αγωγή σύνδεση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε παροχή εναλλασσομένου ρεύματος με χρήση συνήθους οικιακού τύπου ρευματοδότη προς την πλευρά της ηλεκτρικής παροχής μονοφασικής ή τριφασικής σύνδεσης και με αξιοποίηση των αγωγών των φάσεων, του ουδέτερου και της γείωσης προστασίας, μαζί όμως με αγωγό μεταβίβασης σημάτων επικοινωνίας από το ηλεκτρικό αυτοκίνητο προς τη συσκευή ελέγχου της φόρτισης, η οποία βρίσκεται σε κάποιο ενδιάμεσο σημείο του καλωδίου φόρτισης.
- **3^{ος} τρόπος φόρτισης** – Απ'ευθείας αγωγή σύνδεση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε παροχή εναλλασσομένου ρεύματος με αξιοποίηση ειδικής μόνιμης ηλεκτρικής παροχής εφοδιασμένης με μονάδα εποπτείας και διαχείρισης της φόρτισης, επί της οποίας και συνδέεται ο αγωγός σημάτων επικοινωνίας.
- **4^{ος} τρόπος φόρτισης** – Έμμεση αγωγή σύνδεση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου με το δίκτυο ηλεκτρικής παροχής διαμέσου συσκευής φορτιστή, ο οποίος δεν είναι τοποθετημένος επί του αυτοκινήτου αλλά βρίσκεται εκτός αυτού και είναι μόνιμα συνδεδεμένος με το δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας εναλλασσομένου ρεύματος.



Σχήμα 1.17: Οι 4 τρόποι φόρτισης για το πρότυπο IEC 61851

Επιπλέον, έχουν και διάφορους τύπους καλωδίων φόρτισης στο πρότυπο IEC 61851. Πρόκειται για τα εξής:

- ✓ Περίπτωση Α: Καλώδιο σύνδεσης με την παροχή εναλλασσομένου ρεύματος το οποίο στη μία άκρη του είναι εφοδιασμένο με κατάλληλο βύσμα για τη διασύνδεσή του με την ηλεκτρική παροχή ενώ η άλλη του άκρη είναι μόνιμα συνδεδεμένη με το ηλεκτρικό αυτοκίνητο.
- ✓ Περίπτωση Β: Καλώδιο σύνδεσης με την παροχή εναλλασσομένου ρεύματος το οποίο στη μία άκρη του είναι εφοδιασμένο με κατάλληλο βύσμα για την υποδοχή του ηλεκτρικού αυτοκινήτου, ενώ στην άλλη είναι εφοδιασμένο με βύσμα κατάλληλο για τη διασύνδεσή του με την ηλεκτρική παροχή.
- ✓ Περίπτωση Γ: Διαδύνδεση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου με την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας εναλλασσομένου ρεύματος με τη χρήση καλωδίου το οποίο στη μια άκρη φέρει βύσμα κατάλληλο για την υποδοχή του αυτοκινήτου ενώ η άλλη του άκρη είναι μόνιμα συνδεδεμένη και αποτελεί προέκταση της συσκευής παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

b) IEC 62196

Το πρότυπο αυτό περιλαμβάνει τις ειδικότερες απαιτήσεις για τα φις, τους ρευματοδότες, τις υποδοχές των αυτοκινήτων και τα αντίστοιχα βύσματα τους για τις αγωγίμες συνδέσεις φόρτισης του προτύπου IEC 61851. Αντίστοιχα με το πρότυπο IEC 61851, δημοσιεύεται και αυτό σε Μέρη, υπό τον γενικό τίτλο «Βύσματα, ρευματοδότες, Βύσματα και υποδοχές των ηλεκτρικών αυτοκινήτων για αγωγήμη διασύνδεση». Τα κύρια Μέρη αυτού του προτύπου είναι:

- Μέρος 1 – Γενικές απαιτήσεις
- Μέρος 2 – Απαιτήσεις διαστασιολογικής συμβατότητας για τους ακροδέκτες και τις υποδοχές τους, και των εξαρτημάτων για εναλλασσόμενο ρεύμα
- Μέρος 3 - Απαιτήσεις διαστασιολογικής συμβατότητας για τους ακροδέκτες και τις υποδοχές τους, και των εξαρτημάτων για συνεχές ρεύμα

Το πρότυπο IEC 62196 καλύπτει υποδοχές και βύσματα προς την πλευρά του ηλεκτρικού αυτοκινήτου αλλά και ρευματοδότες και ρευματολήπτες προς την πλευρά της ηλεκτρικής παροχής.

Οι τύποι των βυσμάτων και των υποδοχών επί των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι τρεις και παρουσιάζονται στη συνέχεια:

1) Τύπος 1

Αντιστοιχεί στο πρότυπο SAE J1771. Διαθέτει 5 ακροδέκτες και χρησιμοποιείται προς την πλευρά του αυτοκινήτου για αγωγήμη φόρτιση εναλλασσομένου ρεύματος μονοφασική μέχρι 250 V με ένταση μέχρι 32 A. Οι λειτουργίες των πέντε ακροδεκτών προσδιορίζονται ως εξής:

- Επαφή 1: η μία γραμμή τροφοδοσίας L1
- Επαφή 2: η άλλη γραμμή τροφοδοσίας L2 ή ο ουδέτερος N
- Επαφή 3: Γείωση (Ground)
- Επαφή 4: Σηματοδοσία επικοινωνίας μεταξύ του οχήματος και του συστήματος παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας
- Επαφή 5: Διακόπτης διασύνδεσης. Επιβεβαίωση της σύνδεσης του οχήματος με την πηγή της ηλεκτρικής παροχής με σκοπό την ακινητοποίησή του για όσο χρόνο υφίσταται αυτή η σύνδεση

2) Τύπος 2

Αυτός ο τύπος διαθέτει 7 ακροδέκτες και χρησιμοποιείται τόσο προς την πλευρά του αυτοκινήτου όσο και προς την πλευρά της ηλεκτρικής παροχής για αγωγήμη φόρτιση εναλλασσομένου ρεύματος μονοφασική μέχρι 250 V με εντάσεις ρεύματος 20, 32, 63, ή 70 A, όπως και για τριφασική 380-480 V με εντάσεις ρεύματος 20, 32 ή 63 A. Οι λειτουργίες των επτά ακροδεκτών προσδιορίζονται ως εξής:

- Επαφή 1: η πρώτη γραμμή τροφοδοσίας L1
- Επαφή 2: η δεύτερη γραμμή τροφοδοσίας L2
- Επαφή 3: η τρίτη γραμμή τροφοδοσίας L3
- Επαφή 4: ο ουδέτερος N
- Επαφή 5: Γείωση

- Επαφή 6: Σηματοδοσία επικοινωνίας μεταξύ του οχήματος και του συστήματος παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας
- Επαφή 7: Διακόπτης διασύνδεσης. Επιβεβαίωση της σύνδεσης του οχήματος με την πηγή της ηλεκτρικής παροχής με σκοπό την ακινητοποίησή του για όσο χρόνο υφίσταται αυτή η σύνδεση

Ο Τύπος 2 αναπτύχθηκε από μια συνεργασία Γερμανικών εταιρειών κατασκευαστών αυτοκινήτων, ηλεκτρικής ενέργειας, κατασκευαστών ηλεκτρικών εξαστημάτων κ.λπ. Βρήκε σημαντική ανταπόκριση στα προγράμματα εξέλιξης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στη Γερμανία και έγινε επίσης αποδεκτός από πολλούς άλλους Ευρωπαίους κατασκευαστές ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Ο κύριος λόγος για τον οποίο δεν κατέστη ακόμα γενικώς αποδεκτό πρότυπο για ολόκληρη την Ευρώπη και για χρήση τόσο προς την πλευρά του αυτοκινήτου όσο και προς την πλευρά της ηλεκτρικής παροχής είναι το ότι σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες οι εθνικές νομοθεσίες απαιτούν οι ρευματοδότες να είναι εφοδιασμένοι με κλείστρα προστασίας. Η IEC βρίσκεται ακόμα στο στάδιο της διαπίστωσης του αριθμού αυτών των χωρών προκειμένου να εκτιμηθεί το μέγεθος αυτού του προβλήματος.

3) Τύπος 3

Διαθέτει 4, 5 ή 7 ακροδέκτες εφοδιασμένους με σύστημα κλείστρου προστασίας για την εποφυγή επαφής με υπό τάση μέρη. Χρησιμοποιείται τόσο προς την πλευρά του αυτοκινήτου όσο και προς την πλευρά της ηλεκτρικής παροχής για την αγωγή φόρτιση εναλλασσομένου ρεύματος μονοφασική 250 V με εντάσεις ρεύματος 16 ή 32 A, όπως και για τριφασική με 380-480 V και με εντάσεις ρεύματος μέχρι 32 A. Οι λειτουργίες των επτά ακροδεκτών προσδιορίζονται ως εξής:

- Επαφή 1: η πρώτη γραμμή τροφοδοσίας L1
- Επαφή 2: η δεύτερη γραμμή τροφοδοσίας L2
- Επαφή 3: η τρίτη γραμμή τροφοδοσίας L3
- Επαφή 4: ο ουδέτερος N
- Επαφή 5: Γείωση
- Επαφή 6: Σηματοδοσία επικοινωνίας μεταξύ του οχήματος και του συστήματος παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας
- Επαφή 7: Διακόπτης διασύνδεσης. Επιβεβαίωση της σύνδεσης του οχήματος με την πηγή της ηλεκτρικής παροχής με σκοπό την ακινητοποίησή του για όσο χρόνο υφίσταται αυτή η σύνδεση

Ο Τύπος 3 αναπτύχθηκε ειδικώς για να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα της υποχρεωτικής ύπαρξης κλειστών ασφαλείας στα εξαρτήματα τόσο προς την πλευρά του αυτοκινήτου όσο και προς την πλευρά της ηλεκτρικής παροχής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΗΕ

2.1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) είναι το σύστημα των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε εξυπηρετούμενες περιοχές κατανάλωσης [6]. Για την ομαλή λειτουργία του το ΣΗΕ πρέπει να ικανοποιεί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- A) πρέπει να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση
- B) δεδομένης της συνεχούς χρονικής μεταβολής της ζήτησης ενεργού και αέργου ισχύος, το σύστημα πρέπει να μπορεί να ικανοποιεί συνεχώς αυτή τη μεταβαλλόμενη ζήτηση
- Γ) η παρεχόμενη ενέργεια πρέπει να ικανοποιεί ορισμένους όρους ποιότητας, εξασφαλίζοντας σταθερή συχνότητα, σταθερή τάση και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης.
- Δ) η ενέργεια πρέπει να παρέχεται με τα ελάχιστα οικονομικά και οικολογικά κόστη.

2.1.2 ΔΟΜΗ

Η τροφοδότηση των καταναλωτών με ηλεκτρική ενέργεια προϋποθέτει τρεις ξεχωριστές λειτουργίες του ΣΗΕ : την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή. Η ηλεκτρική ενέργεια από το σημείο που θα παραχθεί ως το σημείο που θα καταναλωθεί βρίσκεται σε μια συνεχή ροή και επειδή η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευθεί, πρέπει να παράγεται τη στιγμή ακριβώς που χρειάζεται η κατανάλωσή της. Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται στους σταθμούς παραγωγής. Η σύγχρονη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας έχει θεμελιωθεί σε μια σειρά εφευρέσεων και τεχνικών εξελίξεων στη μετατροπή της θερμικής ενέργειας των ορυκτών καυσίμων και της μηχανικής ενέργειας των υδάτινων ροών και των υδατοπτώσεων σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες ποσότητες από τα εργοστάσια παραγωγής προς τις περιοχές κατανάλωσης γίνεται με τις γραμμές υψηλής και υπερυψηλής τάσης, οι οποίες μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια σε κεντρικά σημεία του δικτύου, τους υποσταθμούς, από όπου ξεκινούν τα δίκτυα διανομής μέσης τάσης που διανέμουν την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές δια μέσου των υποσταθμών διανομής και των γραμμών χαμηλής τάσης.

Από την άποψη της έκτασης τα ΣΗΕ μπορούν να διακριθούν σε «εθνικά συστήματα», «περιφερειακά συστήματα» και «ιδιωτικά συστήματα», εφόσον καλύπτουν αντίστοιχα το σύνολο μιας χώρας, μια γεωγραφικής περιοχής ή τις ανάγκες ενός μεμονωμένου ιδιωτικού συγκροτήματος.

Η δομή του συστήματος έχει πρωτεύουσα σημασία για τη γεωγραφική διαθεσιμότητα της ηλεκτρικής ενέργειας. Η δομή και η σύνθεση του ΣΗΕ εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από το μέγεθός του.

Οι εγκαταστάσεις παραγωγής και μεταφοράς είναι συνήθως οικονομικά εξαρτημένες μεταξύ τους και γι' αυτό ο τεχνικός και οικονομικός σχεδιασμός των σταθμών παραγωγής, των κύριων γραμμών μεταφοράς και των κεντρικών υποσταθμών πρέπει να είναι ενιαίος, με στόχο την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών της κατανάλωσης με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τη μεγαλύτερη δυνατή αξιοπιστία τροφοδότησης. Η διανομή είναι συνήθως μια διαφορετική λειτουργία που σχεδιάζεται και αναπτύσσεται χωριστά και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής και των καταναλωτών τους οποίους εξυπηρετεί.

Η δομή του συστήματος επηρεάζεται σημαντικά από το μέγεθος της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, τη χρονική της μεταβολή κατά τη διάρκεια του 24ώρου και από τη χωροταξική της κατανομή.

Αν και το μέγεθος των ΣΗΕ διαφέρει, υπάρχουν μεταξύ τους κοινά χαρακτηριστικά. Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται είναι τριφασικά εναλλασσόμενου ρεύματος, συχνότητας 50 ή 60 Hz. Χρησιμοποιούνται όμως σε ειδικές περιπτώσεις και συστήματα συνεχούς ρεύματος για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Η τάση λειτουργίας παραμένει σταθερή. Οι γραμμές μεταφοράς και οι γραμμές διανομής μέσης τάσης έχουν τρεις αγωγούς φάσεων, ενώ οι γραμμές διανομής χαμηλής τάσης διαθέτουν επίσης και τον ουδέτερο αγωγό.

Στα τριφασικά συστήματα η ροή της ενέργειας είναι συνεχής και κάνει τη λειτουργία τους πολύ πιο ομαλή και αποδοτική απ' ό,τι θα ήταν αν η ροή ήταν παλλόμενη, όπως συμβαίνει στα μονοφασικά συστήματα.

Οι πελάτες που είναι συνδεδεμένοι στα δίκτυα υψηλής και μέσης τάσης είναι στην πλειονότητά τους βιομηχανικοί καταναλωτές, ενώ στα δίκτυα χαμηλής τάσης συνδέονται πελάτες οικιακής χρήσης και ένα μεγάλο μέρος των πελατών εμπορικής χρήσης.

Η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας καθορίζει την ποσότητα των καυσίμων που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία των σταθμών παραγωγής, ενώ η μορφή της καμπύλης ζήτησης περιγράφει χρονικά την απασχόληση των εγκαταστάσεων παραγωγής, μεταφοράς και διανομής από τους καταναλωτές.

Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της ζήτησης διαμορφώνουν το κόστος λειτουργίας μιας επιχείρησης ηλεκτρισμού. Το κόστος προοδευτικά αυξάνει από την παραγωγή προς τη διανομή γιατί μεσολαβούν πρόσθετες εγκαταστάσεις. Το κόστος καταβάλλεται από τους καταναλωτές σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της ζήτησής τους και με τα τιμολόγια που έχουν θεσπιστεί.

2.1.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται μετατροπή μιας μορφής πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρική. Σήμερα χρησιμοποιείται κυρίως η μετατροπή μιας μορφής ενέργειας πρώτα σε μηχανική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική μέσω των γεννητριών. Το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται στον καταναλωτή προέρχεται κυρίως από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς με την καύση ορυκτών

καυσίμων (άνθρακας, λιγνίτης, πετρέλαιο, φυσικό αέριο), από υδροηλεκτρικούς σταθμούς με τη ροή ή την πτώση των υδάτων, από πυρηνικούς σταθμούς με την πυρηνική σχάση και από σταθμούς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως είναι ο άνεμος, τα θαλάσσια κύματα, η ηλιακή ενέργεια, η γεωθερμία, η βιομάζα κ.α.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση ορυκτών καυσίμων, τη γεωθερμία και τη βιομάζα πραγματοποιείται στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς με τη χρησιμοποίηση ατμοηλεκτρικών και νηξελοηλεκτρικών σταθμών (εμβολοφόρες νηξελογεννήτριες και αεριοστρόβιλοι). Οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί χρησιμοποιούν τον ατμό ως μέσον για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας μέσω αμμοστρόβιλων, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική μέσω των γεννητριών. Οι πυρηνικοί σταθμοί είναι και αυτοί ατμοηλεκτρικοί σταθμοί που όμως ο λέβητας έχει αντικατασταθεί από τον πυρηνικό αντιδραστήρα. Αντίθετα, οι νηξελοηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας.

Επίσης θερμική παραγωγή πραγματοποιείται σε σταθμούς συνδυασμένου κύκλου όπου έχουμε συνδυασμό λειτουργίας αεριοστρόβιλου και αμμοστρόβιλου και τα θερμικά απόβλητα (καυσαέρια) του αεριοστρόβιλου χρησιμοποιούνται στο ατμοηλεκτρικό μέρος του σταθμού.

Η θερμική παραγωγή χαρακτηρίζεται ως ένας έμμεσος τρόπος παραγωγής, γιατί προηγούνται δύο στάδια μετατροπών (πχ από χημική σε θερμική με την καύση των ορυκτών καυσίμων και από θερμική σε μηχανική με τον αμμοστρόβιλο). Μέθοδοι παραγωγής όπου παρακάμπτεται το στάδιο μετατροπής σε μηχανική ενέργεια χαρακτηρίζονται ως άμεσοι. Τέτοιοι είναι οι θερμοηλεκτρικές γεννήτριες, οι θερμοιονικές γεννήτριες, οι μαγνητοϋδροδυναμικές γεννήτριες και οι κυψέλες καυσίμων.

Στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς η κινητική και η δυναμική ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε ηλεκτρική μέσω των υδροστρόβιλων και των γεννητριών. Διακρίνονται σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς φυσικής ροής και ρυθμιζόμενης ροής, όπου είναι απαραίτητη η δημιουργία τεχνητών λιμνών. Στους αντλητικούς σταθμούς οι υδροστρόβιλοι έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν ως αντλίες και οι γεννήτριες ως κινητήρες προκειμένου να αξιοποιούν χαμηλού κόστους ηλεκτρική ενέργεια κατά τις ώρες χαμηλού φορτίου, για να αποταμιεύσουν νερό που θα χρησιμοποιηθεί σε ώρες αιχμής για την παραγωγή ενέργειας με υψηλό εναλλακτικό κόστος παραγωγής από άλλες πηγές. Ως μικρά υδροηλεκτρικά έργα χαρακτηρίζονται οι σταθμοί με εγκατεστημένη ισχύ μέχρι 10 MW ενώ ως υδροηλεκτρικά έργα πολλαπλού σκοπού οι σταθμοί οι οποίοι παράλληλα καλύπτουν και άλλες χρήσεις όπως άρδευση, ύδρευση, κ.ά. [14].

Όσον αφορά τις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, οι πιο διαδεδομένες μορφές στα σημερινά ΣΗΕ είναι τα αιολικά πάρκα και οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί. Τα αιολικά πάρκα αποτελούνται από συστοιχίες ανεμογεννητριών που συνδέονται σε κάποιον ζυγό του δικτύου. Οι ανεμογεννήτριες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανικό έργο μέσω ενός ανεμοκινητήρα και στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω των γεννητριών. Τα αιολικά πάρκα εγκαθίστανται σε δίκτυα που περιλαμβάνουν σταθμούς με υψηλό λειτουργικό κόστος και σε θέσεις με υψηλό αιολικό δυναμικό.

Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική με τη βοήθεια των ηλιακών κυψελών. Η αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Στόχος της εξέλιξης της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών είναι η μείωση του κόστους κατασκευής των ηλιακών κυψελών, η αύξηση της διάρκειας ζωής και η αύξηση του βαθμού απόδοσης ο οποίος σήμερα φτάνει το 15%. Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί εγκαθίστανται συνήθως για την τροφοδότηση απομονωμένων καταναλώσεων.

2.1.4 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από την έξοδο των σταθμών παραγωγής μέχρι τους υποσταθμούς που τροφοδοτούν τα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης απ' όπου ξεκινούν τα δίκτυα διανομής. Επίσης τροφοδοτούν τους μεγάλους καταναλωτές υψηλής τάσης (που κατασκευάζουν δικό τους υποσταθμό υποβιβασμού υψηλής σε μέση τάση και δικά τους εσωτερικά δίκτυα μέσης και χαμηλής τάσης) και είναι κυρίως μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις με εγκατεστημένη ισχύ πάνω από 10 MW.

Το σύστημα μεταφοράς περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών υψηλής τάσης, τους υποσταθμούς ζεύξης των δικτύων αυτών και τους υποσταθμούς μετασχηματισμού μεταξύ των διαφόρων επιπέδων τάσεων που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο μεταφοράς. Το σύστημα μεταφοράς θα πρέπει να παρέχει σταθερή (ή σχεδόν σταθερή) τάση και οι τάσεις των τριών φάσεων να βρίσκονται σε ισορροπία. Το κύμα της τάσης θα πρέπει να έχει ημιτονοειδή μορφή και η συχνότητα να είναι σταθερή. Η αποδοτικότητα θα πρέπει να πλησιάζει την τιμή η οποία συνεπάγεται ελάχιστο ετήσιο κόστος μεταφοράς. Η επίδραση του συστήματος μεταφοράς στις εγκαταστάσεις άλλων κοινωφελών επιχειρήσεων (πχ τηλεφωνικών ή ραδιοφωνικών) θα πρέπει να περιορίζεται μεταξύ παραδεκτών ορίων.

Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με υψηλή τάση, διότι αυτό συνεπάγεται μικρότερες ηλεκτρικές απώλειες και συνεπώς οικονομικότερη λειτουργία. Χρησιμοποιούνται διάφορες τάσεις μεταφοράς ανάλογα με την απόσταση και την ποσότητα της ισχύος που πρέπει να μεταφερθεί. Η μορφή των δικτύων μεταφοράς μπορεί να είναι διαμήκης ή κυκλική, ανάλογα με τη σχετική θέση των σταθμών παραγωγής ως προς τα κέντρα κατανάλωσης. Η διάταξη των δικτύων μεταφοράς είναι κατά κανόνα βροχοειδής σε αντίθεση με την ακτινική δομή των δικτύων διανομής.

Η ισχύς η οποία μπορεί να μεταφερθεί από μια γραμμή μεταφοράς είναι ανάλογη του τετραγώνου της τάσης γι' αυτό χρησιμοποιούνται υπερυψηλές τάσεις για την επίτευξη μεγάλων ισχύων μεταφοράς. Επιπλέον οι μειωμένες απώλειες τις οποίες απώλειες τις οποίες συνεπάγεται η μεταφορά με υπερυψηλές τάσεις καθιστούν οικονομικότερη τη λειτουργία με τις τάσεις αυτές.

Το κόστος μεταφοράς αποτελεί τη συνισταμένη του κόστους εγκατάστασης, του κόστους απωλειών και του κόστους συντήρησης της γραμμής. Κριτήριο για την επιλογή μιας τάσης μεταφοράς είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους. Αυτό σημαίνει ότι η εξοικονόμηση κόστους λειτουργίας από μια περαιτέρω αύξηση της τάσης που

επιλέγεται αντισταθμίζεται από τις αναγκαίες επιπρόσθετες επενδύσεις στη γραμμή και στο λοιπό εξοπλισμό. Το κόστος του εξοπλισμού αυξάνει τόσο γρήγορα στις υψηλές τάσεις ώστε να υπάρχει κάποια μέγιστη τιμή τάσης πάνω από την οποία γίνεται αντισυμβατική η μεταφορά.

Τα υλικά που γενικά χρησιμοποιούνται στους αγωγούς των γραμμών μεταφοράς είναι ο χαλκός και το αλουμίνιο. Οι κύριες απαιτήσεις για τα αγωγίμα υλικά είναι η υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, η υψηλή μηχανική αντοχή, το μικρό ειδικό βάρος, η χαμηλή οξειδωση στον αέρα και η ευχέρεια σύνδεσης των αγωγών.

Η απαιτούμενη διατομή ενός αγωγού καθορίζεται από το ρεύμα που τον διαρρέει, αφού η ωμική αντίσταση της γραμμής μεταφοράς είναι αντιστρόφως ανάλογη της διατομής του αγωγού. Ο αγωγός της γραμμής μεταφοράς θερμαίνεται από τις ωμικές απώλειες και η θερμότητα αυτή ακτινοβολείται στον αέρα, αναπτύσσοντας μια θερμοκρασία ισορροπίας στον αγωγό. Σε υψηλές θερμοκρασίες η μηχανική αντοχή του αγωγού μειώνεται και έτσι η θερμοκρασία ισορροπίας του δεν πρέπει να υπερβαίνει ένα ορισμένο όριο, συνήθως τους 100 °C. Το αντίστοιχο ρεύμα αποτελεί το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο φόρτισης του αγωγού και ονομάζεται ικανότητα μεταφοράς ρεύματος του αγωγού.

Οι αγωγοί υψηλής τάσης των εναέριων γραμμών μεταφοράς αναρτώνται από τους πυλώνες της γραμμής δια μέσου σειράς μονωτήρων. Η αύξηση της μόνωσης για υψηλότερες τάσεις μεταφοράς αντιμετωπίζεται με την προσθήκη περισσότερων δίσκων στους αλυσσοειδείς μονωτήρες. Η μόνωση μεταξύ αγωγών, όπως και μεταξύ αγωγών και γης, στις εναέριες γραμμές αποτελείται από τον αέρα που υπάρχει μεταξύ τους.

2.1.5 ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η διανομή ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες λειτουργίας και ελέγχου που απαιτούνται ώστε η ηλεκτρική ενέργεια να διανεμηθεί στους καταναλωτές. Τα δίκτυα διανομής περιλαμβάνουν τις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των οποίων αυτή φτάνει ως τους καταναλωτές και τους υποσταθμούς υποβιβασμού της τάσης, οι οποίοι τις συνδέουν με το σύστημα μεταφοράς. Τα δίκτυα διανομής φτάνουν μέχρι το μετρητή της παρεχόμενης στον καταναλωτή ενέργειας. Μετά το μετρητή αρχίζει η εσωτερική ηλεκτρική εγκατάσταση, που περιλαμβάνει το εσωτερικό δίκτυο διανομής και τις συσκευές κατανάλωσης.

Η διάκριση μεταξύ των δικτύων μεταφοράς και διανομής διαφέρει από χώρα σε χώρα. Η συνεχής αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και η παράλληλη τεχνολογική εξέλιξη των υλικών οδήγησαν στη χρησιμοποίηση όλο και υψηλότερων τάσεων για τη διανομή, με αποτέλεσμα δίκτυα που παλαιότερα έπαιζαν το ρόλο μεταφοράς να χαρακτηρίζονται τώρα ως δίκτυα υπομεταφοράς και να αποτελούν μέρος της διανομής.

Στα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας η αξία των εγκαταστάσεων διανομής κυμαίνεται γύρω στο 30% του συνόλου των εγκαταστάσεων, ενώ ακόμα μεγαλύτερη είναι η ποσοστιαία συμμετοχή στις δαπάνες εκμετάλλευσης. Ένα άλλο χαρακτηριστικό της διανομής είναι το πλήθος των στοιχείων που την αποτελούν. Επιπλέον, οι απώλειες ενέργειας στο επίπεδο της διανομής είναι περίπου διπλάσιες απ' ότι στο επίπεδο της μεταφοράς [15].

Η κατασκευαστική διαμόρφωση των δικτύων διανομής συνδέεται άμεσα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά δόμησης των πόλεων και γενικότερα του τρόπου χωροταξικής διαμόρφωσης κάθε χώρας. Αυτό διαπιστώνεται και από το γεγονός ότι τα δίκτυα διανομής κάθε χώρας έχουν κατά γενικό κανόνα τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, σε αντίθεση με τα δίκτυα μεταφοράς που είναι διεθνώς όμοια. Τα δίκτυα διανομής διακρίνονται σε δίκτυα υψηλής, μέσης και χαμηλής τάσης. Ανάλογα με την κατασκευαστική τους διαμόρφωση τα δίκτυα διανομής διακρίνονται σε εναέρια και υπόγεια. Τα εναέρια είναι λιγότερο δαπανηρά και σε αυτά η αποκατάσταση των βλαβών είναι ταχύτερη σε σχέση με τα υπόγεια. Ωστόσο στις πυκνοκατοικημένες περιοχές των πόλεων τα δίκτυα διανομής κατασκευάζονται συνήθως υπόγεια, διότι δεν υπάρχει ο απαιτούμενος χώρος, ώστε να τηρούνται οι αποστάσεις ασφαλείας από τα κτίρια, αλλά και για λόγους αισθητικής.

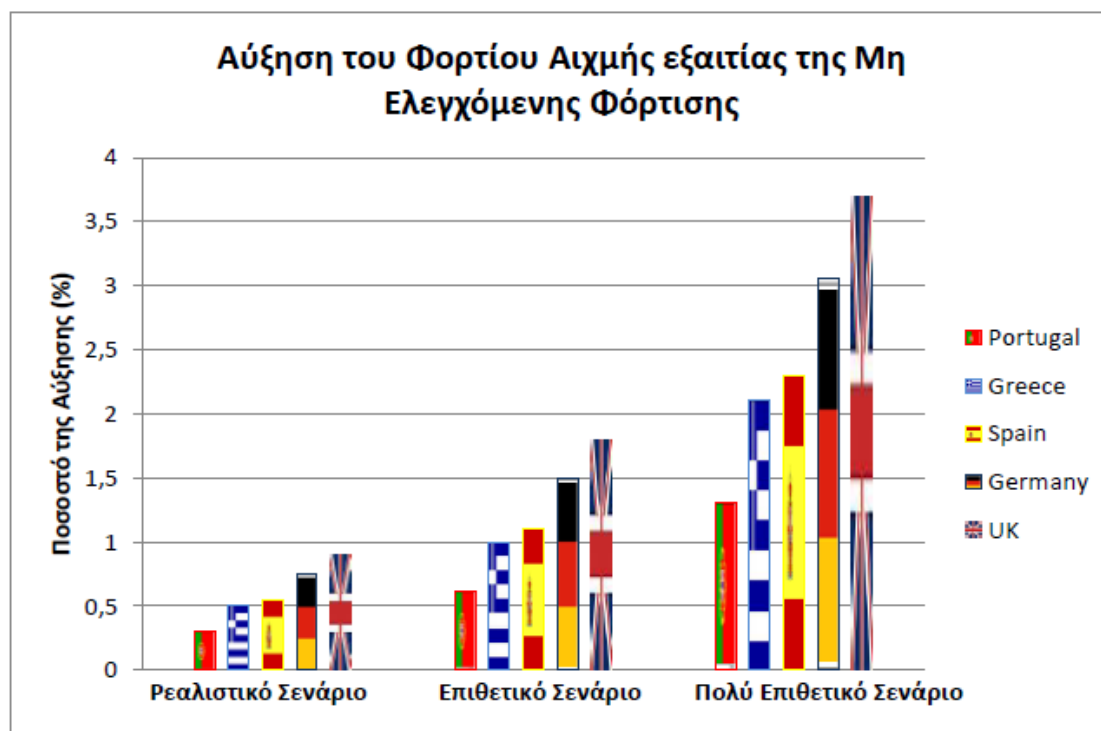
2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Η μαζική διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο είναι πολύ πιθανό να προκαλέσει αλλαγές στις συνθήκες λειτουργίας του δικτύου διανομής στο μέλλον. Το εύρος των επιπτώσεων των ηλεκτρικών οχημάτων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το επίπεδο διείσδυσης των οχημάτων στο δίκτυο, η συμπεριφορά των ιδιοκτητών και πολλούς άλλους. Ωστόσο, μία από τις κυριότερες παραμέτρους είναι η στρατηγική φόρτισης των οχημάτων. Η εφαρμογή μη ελεγχόμενων στρατηγικών φόρτισης μπορεί να έχει ποικίλες αρνητικές επιπτώσεις, ενώ αντίθετα η εφαρμογή ελεγχόμενων πολιτικών φόρτισης μπορεί να ωφελήσει το δίκτυο.

Όπως προαναφέρθηκε, η μη ελεγχόμενη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί τη μη σχεδιασμένη σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο, η οποία τυπικά λαμβάνει χώρα μετά το τελευταίο ταξίδι της ημέρας ή όταν ένα σημείο φόρτισης είναι διαθέσιμο. Εκτεταμένες μελέτες και προσομοιώσεις υποδεικνύουν ότι η μη ελεγχόμενη φόρτιση αποτελεί τον πιο προβληματικό τρόπο φόρτισης, καθώς προκαλεί σημαντική αύξηση στο φορτίο αιχμής, με αρνητικές συνέπειες σε ότι αφορά το προφίλ της τάσης, τις απώλειες αλλά και τις υπερφορτίσεις διαφόρων κλάδων του δικτύου. Όσο μεγαλώνει η διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων, τόσο μεγαλύτερες είναι οι αλλαγές που παρατηρούνται στο προφίλ της τάσης, ενώ όταν παράλληλα εφαρμόζεται η μη ελεγχόμενη φόρτιση, οι αλλαγές γίνονται ακόμα πιο εμφανείς. Μέχρι το 2020 δεν αναμένεται να παρουσιαστούν ιδιαίτερα προβλήματα στο δίκτυο, ανεξάρτητα από την πολιτική φόρτισης που θα κυριαρχήσει. Αντιθέτως, από το 2030 θα εμφανιστούν αρκετά σοβαρά προβλήματα, όσον αφορά τεχνικά θέματα του δικτύου, ιδιαίτερα αν κυριαρχήσει η μη ελεγχόμενη φόρτιση, ενώ με την εφαρμογή έξυπνων πολιτικών φόρτισης (smart charging) αυτά τα ζητήματα θα μπορούσαν να λυθούν ολοκληρωτικά.

Στο Διάγραμμα 2.1 παρουσιάζονται οι συνέπειες της μη ελεγχόμενης φόρτισης στο διάγραμμα της ζήτησης του συστήματος, για πέντε διαφορετικές ευρωπαϊκές χώρες και για τρία διαφορετικά σενάρια διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο. Το συγκεκριμένο διάγραμμα αντιστοιχεί σε μία τυπική χειμωνιάτικη μέρα έτσι ώστε να ληφθεί υπόψη το χειρότερο σενάριο, όσον αφορά το φορτίο αιχμής του δικτύου. Επίσης έχει υποθεθεί ότι οι ιδιοκτήτες των οχημάτων

φορτίζουν τα οχήματά τους όταν γυρνάνε στο σπίτι, μετά το τελευταίο ταξίδι της ημέρας.



Διάγραμμα 2.1: Η αύξηση στη ζήτηση αιχμής του συστήματος εξαιτίας της μη ελεγχόμενης φόρτισης

Οι παραπάνω αυξήσεις θα μπορούσαν να περιοριστούν με την ανάπτυξη υποδομών φόρτισης στους χώρους εργασίας, καθώς ένα μέρος των απαιτήσεων των ηλεκτρικών οχημάτων θα μπορούσε να ικανοποιηθεί κατά τη διάρκεια των πρωινών ωρών, όταν η ζήτηση είναι ακόμα χαμηλή. Επίσης, είναι φανερό ότι διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης, όπως μια υβριδική πολιτική φόρτισης η οποία συνδυάζει τη μη ελεγχόμενη φόρτιση και τη φόρτιση πολλαπλής χρέωσης (dual tariff charging), ή η έξυπνη φόρτιση θα προκαλούσαν σημαντικά λιγότερα προβλήματα στο δίκτυο. [10]

2.2.1 ΣΕΝΑΡΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Στην ενότητα αυτή θα περιγράψουμε την επίδραση που έχει στο δίκτυο διανομής ο τρόπος φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων κατά τη θερινή και τη χειμερινή περίοδο, όπως μελετήθηκαν στη βιβλιογραφία. Οι τρεις διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης, που ακολουθούνται για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο είναι οι παρακάτω [27]:

Μη ελεγχόμενη φόρτιση (Dump Charging)

Κατά τη μη ελεγχόμενη φόρτιση δεν γίνεται κάποιος έλεγχος κόστους προκειμένου να καθοριστεί ο τρόπος φόρτισης. Η φόρτιση των οχημάτων εξαρτάται από την ώρα άφιξης του οχήματος. Επομένως, η φόρτιση των οχημάτων συμπίπτει σε αυτό το σενάριο με την αύξηση κατανάλωσης του συστήματος, με αποτέλεσμα να

έχουμε ακόμα μεγαλύτερη ζήτηση τις ώρες αιχμής του συστήματος. Αυτό, όπως είναι αναμενόμενο, μπορεί να καταπονήσει ιδιαίτερα τα στοιχεία του δικτύου και ειδικά τους μετασχηματιστές, προκαλώντας μεγάλη άνοδο της θερμοκρασίας λειτουργίας τους. Το σενάριο της μη ελεγχόμενης φόρτισης περιορίζει αρκετά τη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο, αφού μειώνει τη χωρητική ικανότητα του συστήματος.

Ελεγχόμενη φόρτιση με διζωνικό τιμολόγιο (Dual Tariff)

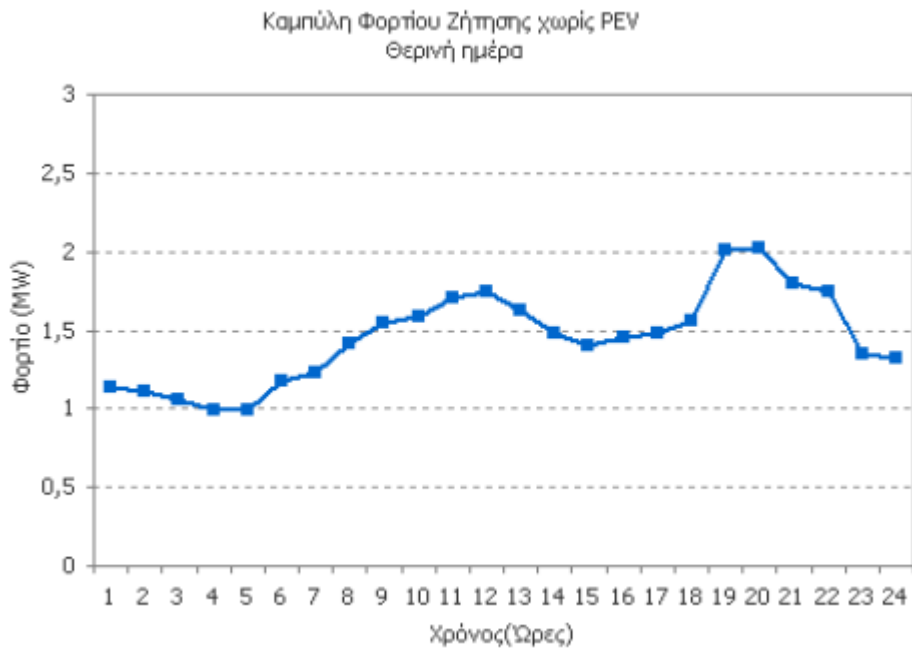
Με τη μέθοδο αυτή τα οχήματα και πάλι επιστρέφοντας στο σπίτι συνδέονται στο δίκτυο. Σε αντίθεση με την προηγούμενη μέθοδο πραγματοποιείται έλεγχος για την επίτευξη του χαμηλότερου κόστους. Αυτός είναι ο ρόλος του **Κεντρικού Ελεγκτή**, ο οποίος μετατοπίζει τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων σε ώρες, κατά τις οποίες μπορούν να φορτισθούν με το ελάχιστο ενεργειακό κόστος. Με αυτόν τον τρόπο βέβαια υπάρχει ο κίνδυνος να συσσωρευθεί μεγάλο φορτίο τις ώρες με το χαμηλότερο κόστος ενέργειας και να δημιουργηθεί μια αιχμή στις ώρες, που υπάρχει χαμηλή ζήτηση. Η αιχμή αυτή μπορεί ακόμα και να ξεπερνάει την αιχμή του συστήματος και να φτάσει σε μη αποδεκτά επίπεδα, ανάλογα πάντα με τον αριθμό των οχημάτων, που συνδέονται. Επομένως, παρά τον έλεγχο της φόρτισης και τη μείωση του κόστους της καταναλισκόμενης ενέργειας, που μπορεί να επιτευχθεί, δεν αποφεύγουμε πλήρως τα μειονεκτήματα της προηγούμενης μεθόδου ως προς τα προβλήματα, τις γραμμές, τους ζυγούς, και τα στοιχεία του δικτύου.

Ελεγχόμενη φόρτιση με ελαχιστοποίηση κόστους και ταυτόχρονη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του δικτύου (“Valley Filling”)

Η μέθοδος αυτή τοποθετεί τα οχήματα στις κοιλάδες της καμπύλης ζήτησης έτσι ώστε η μειωμένη ζήτηση να αυξηθεί ομοιόμορφα. Έτσι, εξομαλύνεται η καμπύλη φορτίου και δεν σημειώνονται σωρεύσεις φορτίου για μικρό χρονικό διάστημα, κάτι που έχει πολλά οφέλη για το σύστημα. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τη θέσπιση του κατώτατου δυνατού ορίου, κάτω από το οποίο τα οχήματα του στόλου δεν φορτίζονται πλήρως. Με αυτό το σενάριο φόρτισης επιδιώκουμε όχι μόνο την ελαχιστοποίηση του κόστους, αλλά και τη φόρτιση των οχημάτων με τον βέλτιστο για το δίκτυο τρόπο και τη μεγιστοποίηση της χωρητικότητας του συστήματος σε ηλεκτρικά οχήματα.

2.2.2 ΚΑΜΠΥΛΗ ΖΗΤΗΣΗΣ-ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ

Η καμπύλη ζήτησης ενός συστήματος για τη διάρκεια ενός 24 ώρου θεωρούμε ότι είναι η παρακάτω για μία θερινή ημέρα (σχήμα 2.1). Η αιχμή της καμπύλης ζήτησης εμφανίζεται στις 7:00 μ.μ., κάτι αναμενόμενο, αφού αναφερόμαστε σε οικιακό φορτίο. Επίσης, εμφανίζεται μια μικρότερη αιχμή στη 1:00 μ.μ..



Σχήμα 2.1: Αρχικό φορτίο ζήτησης χωρίς PEV's – θερινή ημέρα [27]

Επίσης, στο ακόλουθο διάγραμμα φαίνεται η καμπύλη ζήτησης του συστήματος για τη διάρκεια ενός 24 ώρου για μία χειμερινή ημέρα (σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2: Αρχικό φορτίο ζήτησης χωρίς PEV's – χειμερινή ημέρα[27]

Κατά τη χειμερινή ημέρα, η αιχμή του συστήματος παρουσιάζεται στις 2 μ.μ., ενώ υψηλές τιμές του φορτίου παρουσιάζονται και κατά τις απογευματινές ώρες κατά τις 6 μ.μ..

Θεωρούμε στόλο $N=150$ ηλεκτρικών οχημάτων, τα οποία συνδέονται στο δίκτυο για φόρτιση. Ο στόλος αυτός αποτελείται από τις 4 διαφορετικές τάξεις οχημάτων κατά τα εξής ποσοστά :

- Οχήματα τύπου L7e κατά 1%,
- Οχήματα τύπου M1 κατά 88%,
- Οχήματα τύπου N2 κατά 10% και
- Οχήματα τύπου N2 κατά 1%.

Τα ανωτέρω ποσοστά συμβολίζουν την ποσοστιαία κατανομή των οχημάτων ανάλογα με την τάξη, στην οποία ανήκουν.

Ο μέσος όρος των καταναλώσεων των διαφόρων τάξεων EV's συμβολίζεται με τη μεταβλητή **AverCo**. Οι τιμές, που παίρνει η μεταβλητή αυτή στην συγκεκριμένη εφαρμογή, είναι οι παρακάτω:

- 0,13 kWh/km για οχήματα της τάξης L7e,
- 0.016 kWh/km για οχήματα της τάξης M1,
- 0.24 kWh/km για οχήματα της τάξης N1 και
- 0,8 kWh/km για οχήματα της τάξης N2.

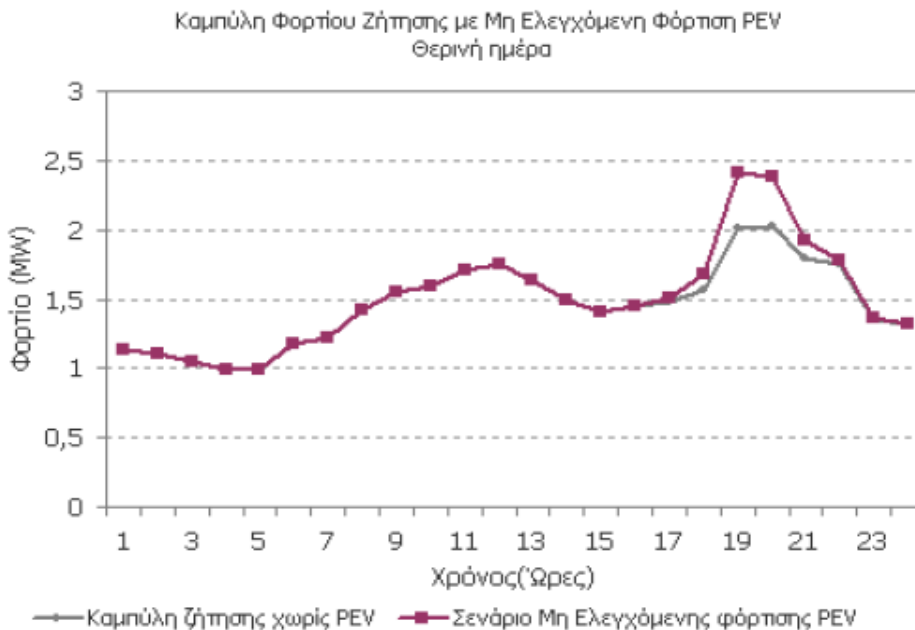
Για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης ανά όχημα (**Consumption**), πολλαπλασιάζεται η μεταβλητή **AverCo** της τάξης, στην οποία ανήκει το όχημα, επί τη μέση ημερήσια διανυόμενη απόσταση του κάθε οχήματος **km** (**Travel Distance**). Η μεταβλητή της μέσης ημερήσιας διανυόμενης απόστασης ακολουθεί κανονική κατανομή (normal distribution), ($km \sim N(35km, 10)$), με μέση τιμή $\mu=42$ km και διασπορά $\sigma^2 = 10$. Θεωρούμε, ότι η μέση ημερήσια διανυόμενη απόσταση ακολουθεί κατανομή με τα ίδια χαρακτηριστικά για όλες τις τάξεις EV's κατά τη διάρκεια των ημερών, που εξετάζονται. Η σχέση υπολογισμού της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης ανά όχημα γίνεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$Consumption (kWh) = AverCon \left(\frac{kWh}{km} \right) \times km(km) \quad (2.1)$$

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν δύο συγκεκριμένα γεγονότα σχετικά με την οδηγική συμπεριφορά των οδηγών των οχημάτων. Αυτά είναι ο χρόνος άφιξης και ο χρόνος αναχώρισης ενός οχήματος. Το χρονικό διάστημα, μέσα στο οποίο μπορεί να προσέλθει ένα όχημα προς φόρτιση, ονομάζεται **Arrival Period** και το χρονικό διάστημα, μέσα στο οποίο θεωρείται ότι ένα όχημα μπορεί να διακόψει τη φόρτισή του και να αναχωρήσει, ονομάζεται **Departure Period**. Η πιθανότητα ένα όχημα να συνδεθεί προς φόρτιση κατά το time slot a απεικονίζεται στον πίνακα **P_a**. Η προσέλευση των οχημάτων ακολουθεί κανονική κατανομή ($Arrival \sim N(20:00, 1)$), με κεντρική τιμή $\mu=20:00$ και διασπορά $\sigma^2 = 1$. Η πιθανότητα ένα όχημα να αναχωρήσει κατά το time slot d απεικονίζεται στον πίνακα **P_d**. Η αναχώριση των οχημάτων ακολουθεί επίσης κανονική κατανομή ($Departure \sim N(7:00, 1)$), με κεντρική τιμή $\mu=7:00$ και διασπορά $\sigma^2 = 1$.

ΘΕΡΙΝΗ ΗΜΕΡΑ

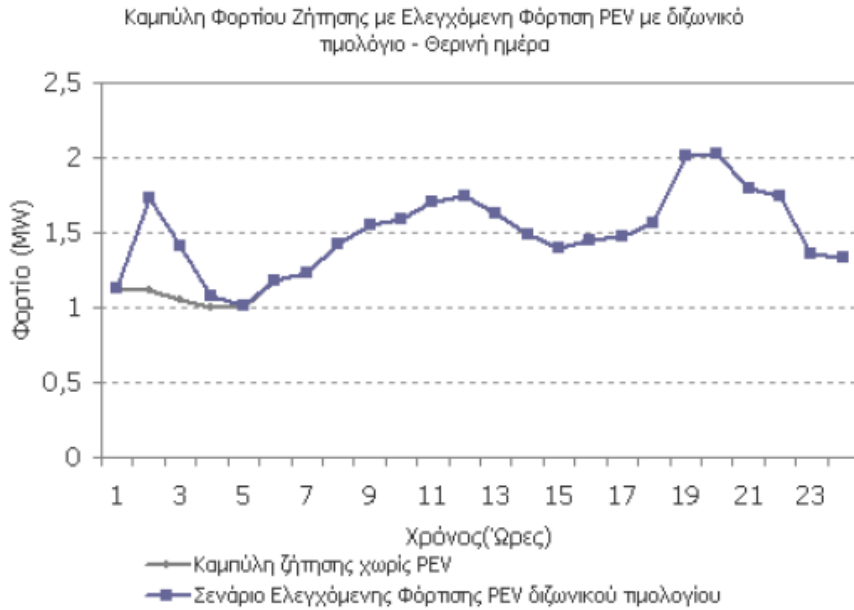
Αρχικά εξετάζουμε το σενάριο της μη ελεγχόμενης φόρτισης των PEV's στο δίκτυο. Τα αποτελέσματα είναι η παρακάτω καμπύλη ζήτησης.



Σχήμα 2.3: Φορτίο ζήτησης, όπως διαμορφώνεται με το σενάριο της μη ελεγχόμενης φόρτισης των PEV's – Θερινή ημέρα[27]

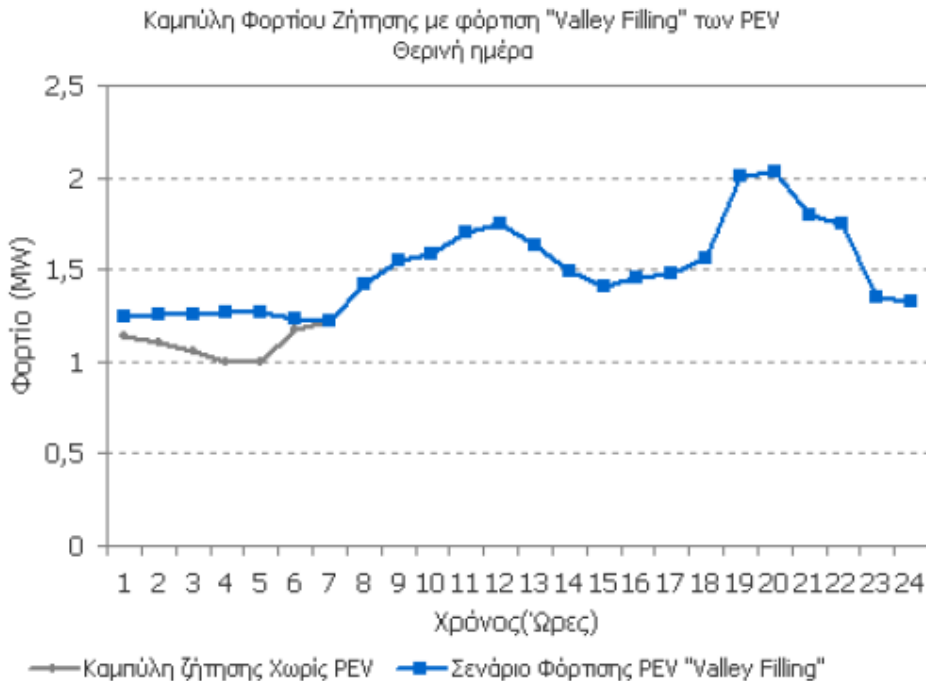
Όπως ήταν αναμενόμενο, αυτό, που βλέπουμε στην καμπύλη ζήτησης, με τον τρόπο, που αυτή διαμορφώνεται μετά τη μη ελεγχόμενη σύνδεση στο δίκτυο των ηλεκτρικών οχημάτων, είναι η ακόμα μεγαλύτερη ζήτηση την ώρα αιχμής του συστήματος.

Εν συνεχεία, εξετάζεται ο τρόπος, με τον οποίο θα μεταβληθεί η καμπύλη ζήτησης, όταν ο στόλος των ηλεκτρικών οχημάτων θα συνδεθεί κατά το σενάριο της ελεγχόμενης φόρτισης με διζωνικό τιμολόγιο. Η καμπύλη φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Τις ώρες με το χαμηλότερο κόστος, (που είναι οι ώρες με τη χαμηλότερη ζήτηση), παρουσιάζεται μία νέα αιχμή ζήτησης, λόγω της μαζικής σύνδεσης των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο. Η αιχμή, που εμφανίζεται, δεν υπερβαίνει την αιχμή του συστήματος ώστε να είναι απαραίτητο να γίνει από το διαχειριστή του συστήματος διανομής περιορισμός της αιχμής φόρτισης. Το ύψος της αιχμής φόρτισης, όπως έχει ήδη αναφερθεί, εξαρτάται από το πλήθος των οχημάτων, που απαρτίζουν το στόλο.



Σχήμα 2.4: Φορτίο ζήτησης, όπως διαμορφώνεται με το σενάριο της ελεγχόμενης φόρτισης των PEV's διζωνικού τιμολογίου – Θερινή ημέρα[27]

Το τελευταίο σενάριο φόρτισης, είναι αυτό, κατά το οποίο γίνεται ταυτόχρονος έλεγχος για την ελαχιστοποίηση του κόστους και για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του συστήματος. Κατά το σενάριο αυτό τα ηλεκτρικά οχήματα συνδέονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να γεμίζουν οι κοιλάδες της καμπύλης ζήτησης και με αυτόν τον τρόπο η καμπύλη να γίνεται πιο ομοιόμορφη (“Valley Filling”). Στην παρακάτω καμπύλη βλέπουμε το αποτέλεσμα της φόρτισης αυτής.

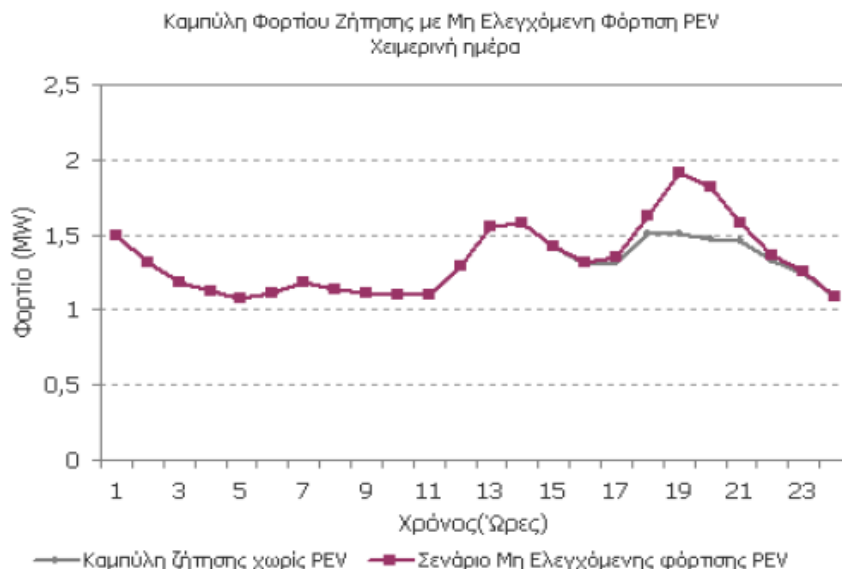


Σχήμα 2.5: Φορτίο ζήτησης, όπως διαμορφώνεται με το σενάριο της ελεγχόμενης φόρτισης των PEV's ελαχίστου κόστους και ταυτόχρονης βελτιστοποίησης της λειτουργίας του συστήματος– Θερινή ημέρα[27]

ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΗΜΕΡΑ

Εν συνεχεία εφαρμόζουμε την καμπύλη φορτίου μίας χειμερινής ημέρας. Η καμπύλη ζήτησης παριστάνεται στο σχήμα 2.2.

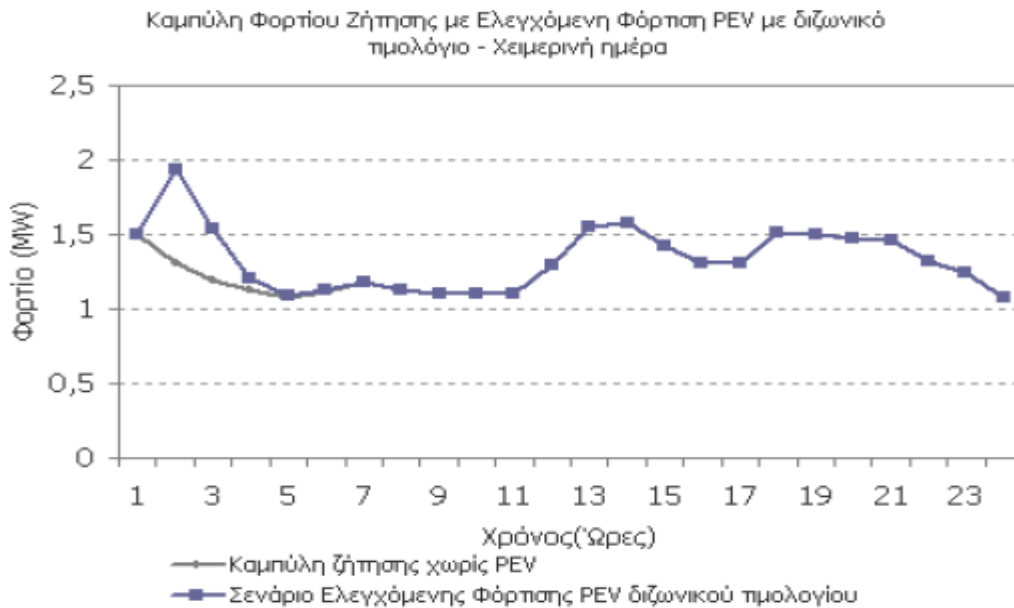
Πρώτα εξετάζεται το σενάριο της μη ελεγχόμενης φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Στο παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 2.6) βλέπουμε πώς διαμορφώνεται η καμπύλη ζήτησης του συστήματος, μετά από τη σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων με τον ανωτέρω τρόπο:



Σχήμα 2.6: Φορτίο ζήτησης, όπως διαμορφώνεται με το σενάριο της μη ελεγχόμενης φόρτισης των PEV's – Χειμερινή ημέρα[27]

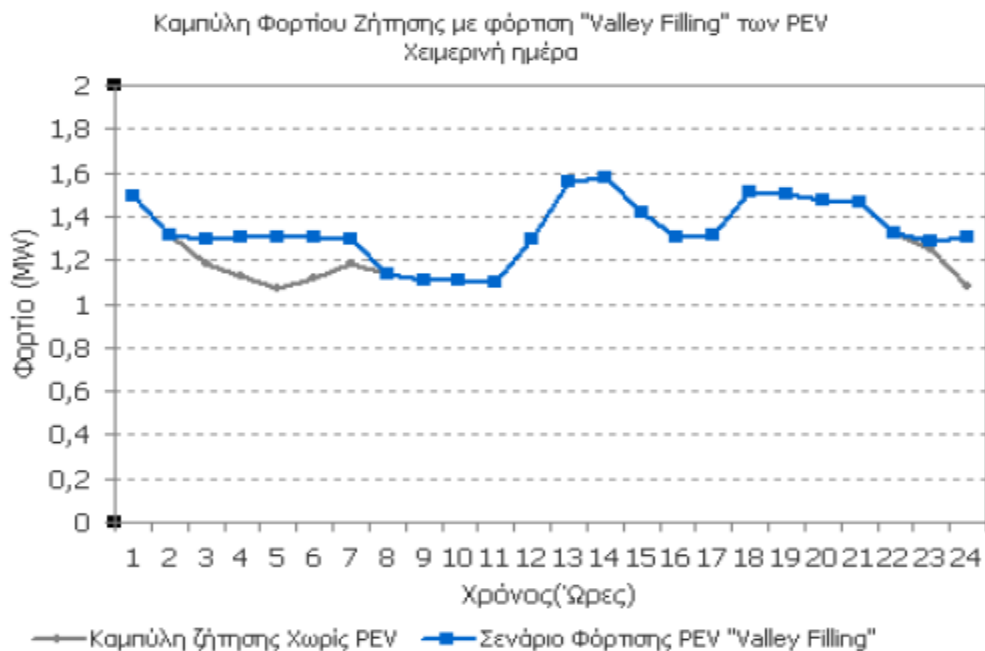
Όπως έχει διαπιστωθεί και για τη θερινή ημέρα, που εξετάστηκε στην προηγούμενη ενότητα, η φόρτιση των PEV πραγματοποιείται κατά το χρονικό διάστημα, που εμφανίζεται η απογευματινή αιχμή του συστήματος. Επομένως, κατά τη συγκεκριμένη ημέρα τα οχήματα δεν συνδέονται κατά την αιχμή του συστήματος, (που εμφανίζεται κατά τις μεσημβρινές ώρες), αλλά κατά τη δεύτερη σε μέγεθος αιχμή, (κατά τις απογευματινές ώρες).

Εν συνεχεία, εξετάζεται το σενάριο ελεγχόμενης φόρτισης με διζωνικό τιμολόγιο. Εξετάζοντας την καμπύλη του σχήματος 2.7 διαπιστώνουμε, ότι ενώ τα PEV's συνδέονται με όμοιο τρόπο όπως και κατά τη θερινή ημέρα, η σύνδεση κατά τη χειμερινή ημέρα προκαλεί διαφορετικές επιπτώσεις στη μορφή της καμπύλης ζήτησης. Η νέα αιχμή, που δημιουργείται από τη σύνδεση των οχημάτων στο δίκτυο, ξεπερνάει την αιχμή του συστήματος. Αυτό οφείλεται στο πλήθος των οχημάτων και στο αρχικό ύψος του φορτίου. Επομένως, η αιχμή ζήτησης εμφανίζεται πλέον κατά τις 2 π.μ.



Σχήμα 2.7: Φορτίο ζήτησης, όπως διαμορφώνεται με το σενάριο της ελεγχόμενης φόρτισης των PEV's με διζωνικό τιμολόγιο – Χειμερινή ημέρα[27]

Τέλος, εξετάζεται η επίδραση, που επιφέρει η φόρτιση την ηλεκτρικών οχημάτων, σύμφωνα με το σενάριο ελαχιστοποίησης κόστους και ταυτόχρονης βελτιστοποίησης της λειτουργίας του συστήματος. Όπως διακρίνουμε στο σχήμα 2.8, το φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων συνδέεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, που έχουμε το χαμηλότερο φορτίο ζήτησης. Δεν παρατηρείται σε αυτήν την περίπτωση κάποια διαφορετική επίδραση σε σχέση με τη θερινή ημέρα.



Σχήμα 2.8: Φορτίο ζήτησης, όπως διαμορφώνεται με το σενάριο της ελεγχόμενης φόρτισης των PEV's ελαχίστου κόστους και ταυτόχρονης βελτιστοποίησης της λειτουργίας του συστήματος– Χειμερινή ημέρα[27]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αυξημένο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη και παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων (EV) και των plug in ηλεκτρικών οχημάτων (Plug in EV) θα διαδραματίσει μεγάλες αλλαγές στο προφίλ του δικτύου των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας και θα επηρεάσει τον τρόπο σύμφωνα με τον οποίο λειτουργούν τα δίκτυα διανομής, όπως είδαμε και στο δεύτερο κεφάλαιο. Πιο συγκεκριμένα, η διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στα δίκτυα διανομής σύμφωνα με το σενάριο της μη ελεγχόμενης φόρτισης (dump charging) μπορεί να δημιουργήσει διακοπές στην τάση τροφοδοσίας (κυρίως σε δίκτυα αγροτικών περιοχών) καθώς επίσης και υπερφόρτιση του δικτύου (κυρίως σε δίκτυα αστικών περιοχών). Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η επιπλέον ζήτηση φορτίου από τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων θα απαιτούσε την αναμόρφωση των υπαρχόντων υποδομών των δικτύων διανομής, σύμφωνα με την πρόβλεψη για τη μαζική διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων, αποσκοπώντας την ασφαλή και σταθερή λειτουργία του δικτύου. Εκμεταλλευόμενοι όμως την ελαστικότητα που προσφέρουν τα ηλεκτρικά οχήματα κατά τα διαστήματα τα οποία δεν κυκλοφορούν (non-commuting period), τέτοιες πρόωρες επενδύσεις που αφορούν το δίκτυο μπορούν να αναβληθούν ή να ακυρωθούν.

Επομένως, έχει γεννηθεί η ανάγκη για την ανάπτυξη και την εφαρμογή ενός μηχανισμού συνεργασίας ηλεκτρικών οχημάτων που θα έχει ως σκοπό να ικανοποιήσει ταυτόχρονα τις ενεργειακές ανάγκες φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων και τους περιορισμούς λειτουργίας του δικτύου. Υπάρχουν διάφορες στρατηγικές διαχείρισης της ζήτησης ηλεκτρικών οχημάτων που έχουν παρουσιαστεί στη βιβλιογραφία, όπως ελαχιστοποίηση ενεργειακού κόστους, σύστημα αποφυγής αιχμών (peak shaving), αντιστάθμιση αέργου ισχύος κτλ.

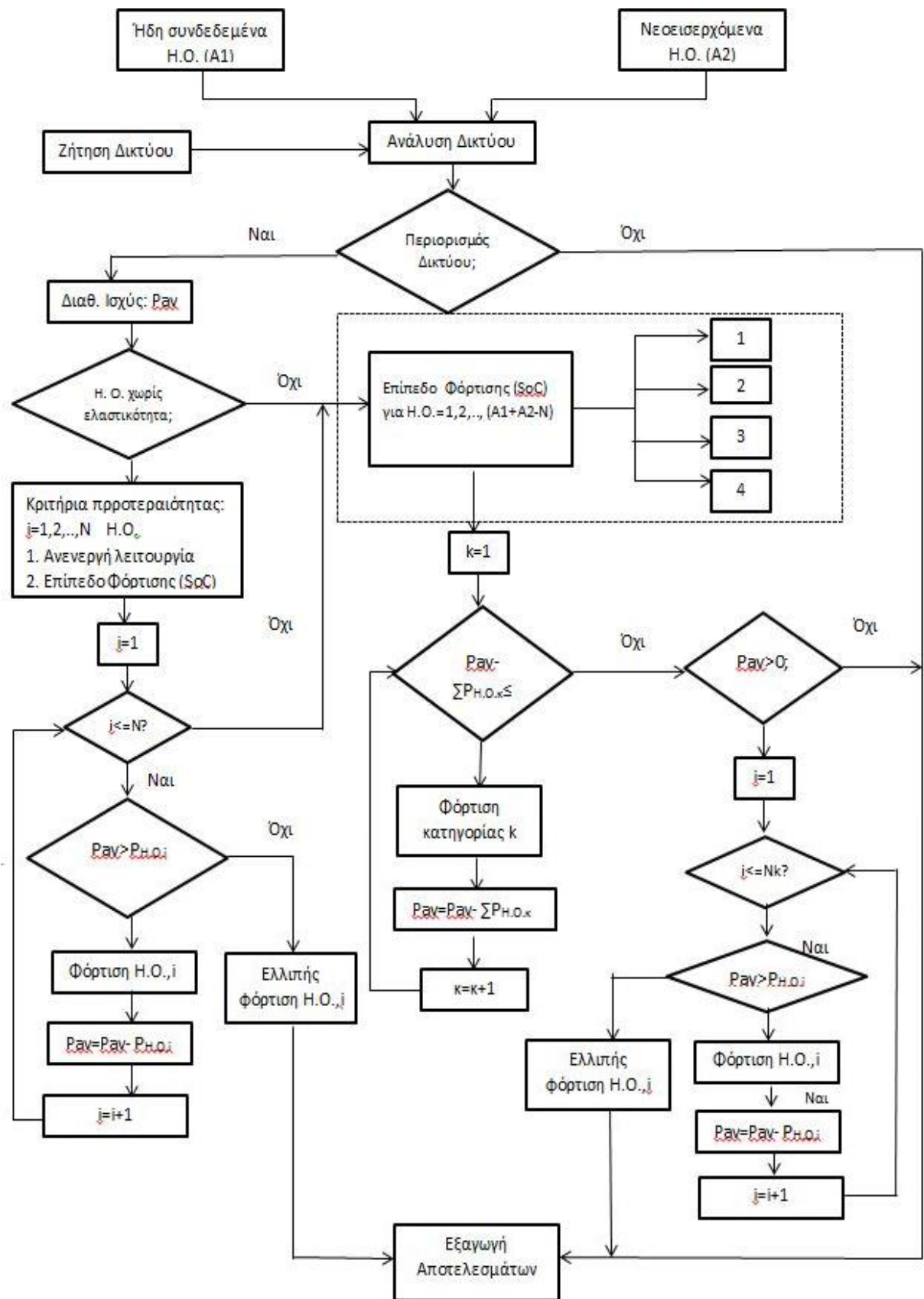
Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι να μελετήσει ένα σύστημα διαχείρισης ηλεκτρικών οχημάτων που παρέχει τη δυνατότητα συνεργασίας ενός στόλου ηλεκτρικών οχημάτων λαμβάνοντας υπόψη τις ενεργειακές ανάγκες των ηλεκτρικών οχημάτων και τους περιορισμούς που επιβάλλει ο διαχειριστής του δικτύου. Η μέγιστη ενέργεια που μπορεί να εξυπηρετηθεί από τις υπάρχουσες υποδομές του δικτύου ορίζονται από το διαχειριστή του συστήματος για κάθε χρονικό διάστημα π.χ. 1 ώρα ή 15 λεπτά (time interval). Η εκάστοτε ζήτηση φόρτισης από τον στόλο των ηλεκτρικών οχημάτων δεν πρέπει να ξεπερνά αυτή τη μέγιστη ενέργεια που ορίζεται από το διαχειριστή του συστήματος. Αν δεν υπάρχει παραβίαση αυτής της μέγιστης τιμής, τα ηλεκτρικά οχήματα φορτίζονται στο μέγιστο βαθμό φόρτισης. Σε διαφορετική περίπτωση το επιπλέον φορτίο μπορεί να μεταφερθεί σε επόμενο χρονικό διάστημα (time interval). Η προτεινόμενη μεθοδολογία στοχεύει να κατανέμει αποτελεσματικά την επιπλέον αυτή ζήτηση στα επόμενα χρονικά διαστήματα λαμβάνοντας υπόψιν τις ενεργειακές ανάγκες κίνησης των ηλεκτρικών οχημάτων (π.χ. επίπεδο φόρτισης – state-of-charge[soc]), τους περιορισμούς των χρηστών των ηλεκτρικών οχημάτων (ώρα άφιξης και αναχώρησης), καθώς επίσης και την επιπλέον ενέργεια που απαιτείται από το δίκτυο. Το σύστημα διαχείρισης που

προτείνεται εκμεταλλεύεται την ευελιξία που προσφέρουν οι χρήστες των ηλεκτρικών οχημάτων, όταν η απαιτούμενη διάρκεια για μέγιστη φόρτιση είναι μικρότερη από τη διαθέσιμη περίοδο που το ηλεκτρικό όχημα μπορεί να παραμείνει στο σταθμό φόρτισης, έτσι ώστε όλα τα ηλεκτρικά οχήματα να είναι πλήρως φορτισμένα κατά τη διάρκεια αναχώρησης. Σε περιπτώσεις όπου το δίκτυο βρίσκεται σε ώρα αιχμής και η διαθεσιμότητα του δικτύου δεν επαρκεί για να ικανοποιήσει τις ενεργειακές ανάγκες του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων, ένα ποσοστό των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων παραμένει αφόρτιστο. Το ποσοστό αυτό αποφασίζεται από το σύστημα διαχείρισης των ηλεκτρικών οχημάτων που αναλύεται σε αυτή τη διπλωματική σύμφωνα με τα ακόλουθα κριτήρια [28]:

- Η ελαστικότητα που προσφέρουν τα ηλεκτρικά οχήματα
- Το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας (state-of-charge)
- Ο χρόνος που παραμένει το όχημα στο σταθμό χωρίς να φορτίζει

3.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ–ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Στον αλγόριθμο που μελετάται στη διπλωματική αυτή εξετάζουμε έναν Μετασχηματιστή Μεσης/Χαμηλής Τάσης (MV/LV) που τροφοδοτεί εμπορικά (non-EV) φορτία και ένα δίκτυο που περιέχει υποδομές φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής του προτεινόμενου αλγορίθμου:



Σχήμα 3.1: Διάγραμμα ροής του συστήματος διαχείρισης φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων [28] Αρχικά,

μια ανάλυση του υπό εξέταση δικτύου λαμβάνοντας υπόψη τη ζήτηση ισχύος από τα υπόλοιπα φορτία (εκτός των ηλεκτρικών οχημάτων) είναι απαραίτητη ούτως ώστε να οριστεί η μέγιστη διαθέσιμη ισχύς φόρτισης για τα ηλεκτρικά οχήματα (P_{av}) σε κάθε χρονικό διάστημα. Αν αυτή η διαθέσιμη ισχύς δεν παραβιάζεται, τότε όλα τα ηλεκτρικά οχήματα φορτίζονται στο μέγιστη δυνατή τιμή φόρτισης που καθορίζεται από την ονομαστική ισχύ του σταθμού φόρτισης και τους περιορισμούς λειτουργίας των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων. Στην περίπτωση που η ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων δεν μπορεί να τροφοδοτηθεί πλήρως σε ένα χρονικό διάστημα λόγω περιορισμών του δικτύου, ένα μέρος της ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων μεταφέρεται σε επόμενο χρονικό διάστημα αποφεύγοντας θέματα συμφόρησης του δικτύου. Ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων που παραμένει ανενεργός (χωρίς να φορτίζει), κατά τη διάρκεια αυτών των χρονικών διαστημάτων που παρουσιάζεται ιδιαίτερα μεγάλη ζήτηση στο δίκτυο, καθορίζεται από το σύστημα διαχείρισης ηλεκτρικών οχημάτων βασιζόμενος στα ακόλουθα κριτήρια [28]:

1. Μέγιστη ζήτηση φόρτισης που μπορεί να τροφοδοτήσει το δίκτυο
2. Περίοδος που το ηλεκτρικό όχημα παραμένει στο σταθμό (non commuting period)
3. Το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας του ηλεκτρικού οχήματος προτού συνδεθεί με το δίκτυο
4. Ο αριθμός των χρονικών διαστημάτων όπου το όχημα είναι αναγκασμένο να παραμείνει ανενεργό (χωρίς να φορτίζει) παρόλο που είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο λόγω περιορισμών του δικτύου

Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος τα ηλεκτρικά οχήματα που εισέρχονται στο δίκτυο χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: η πρώτη κατηγορία (A1) περιλαμβάνει τα ηλεκτρικά οχήματα που ήταν συνδεδεμένα στο δίκτυο σε προηγούμενο χρονικό διάστημα, ενώ η δεύτερη κατηγορία (A2) περιλαμβάνει τα ηλεκτρικά οχήματα που μόλις έχουν φτάσει σε ένα σταθμό φόρτισης. Ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων που μπορούν να φορτιστούν στο τρέχον χρονικό διάστημα καθορίζεται από τη διαθέσιμη ισχύ φόρτισης για τα ηλεκτρικά οχήματα (P_{av}). Στην περίπτωση που η ζήτηση ενέργειας των ηλεκτρικών οχημάτων που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο (κατηγορίες A1 και A2) μπορεί να εξυπηρετηθεί από το δίκτυο, τότε φορτίζονται όλα τα ηλεκτρικά οχήματα με τη μέγιστη ισχύ που ορίζεται από τους σταθμούς φόρτισης. Σε διαφορετική περίπτωση τα ηλεκτρικά οχήματα που είναι συνδεδεμένα στους σταθμούς χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: εκείνα που προσφέρουν ελαστικότητα και εκείνα που δεν προσφέρουν.

Η ελαστικότητα (E) που προσφέρεται από το δίκτυο για κάθε ηλεκτρικό όχημα ορίζεται ως εξής:

$$E = (T_{departure} - T) - (T_{full}) \quad (3.1)$$

Όπου T είναι το χρονικό διάστημα που εξετάζουμε, $T_{departure}$ είναι ο χρόνος που το όχημα αναμένεται να αποχωρήσει από το σταθμό και T_{full} ορίζεται ως ο αριθμός των χρονικών διαστημάτων που απαιτούνται για την πλήρη φόρτιση του ηλεκτρικού οχήματος. Για να υπολογίσουμε την παράμετρο T_{full} πρέπει να λάβουμε υπόψη την ενέργεια E_{full} που

χρειάζεται το ηλεκτρικό όχημα ώστε να φορτιστεί πλήρως η οποία υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$E_{full} = (1 - SoC) * C \quad (3.2)$$

Όπου C είναι η χωρητικότητα της μπαταρίας του ηλεκτρικού οχήματος ορισμένη σε kWh και SoC είναι το επίπεδο φόρτισης (State of Charge) του ηλεκτρικού οχήματος το χρονικό διάστημα που εξετάζεται. Επομένως ο αριθμός των χρονικών διαστημάτων που απαιτούνται ώστε ένα όχημα να φορτιστεί πλήρως υπολογίζεται ως εξής:

$$T_{full} = \frac{E_{full}}{P} \quad (3.3)$$

Όπου P είναι η ονομαστική ισχύς του σταθμού φόρτισης.

Τα ηλεκτρικά οχήματα χωρίς ελαστικότητα αποκτούν προτεραιότητα έναντι σε εκείνα που προσφέρουν ελαστικότητα. Τα ηλεκτρικά οχήματα που δεν προσφέρουν ελαστικότητα τοποθετούνται σε λίστα προτεραιότητας λαμβάνοντας υπόψη τα ακόλουθα κριτήρια: τον αριθμό των χρονικών διαστημάτων που το ηλεκτρικό όχημα παρέμεινε ανενεργό (χωρίς να φορτίζει) κατά τη διάρκεια που είναι συνδεδεμένο στο σταθμό και το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας του ηλεκτρικού οχήματος (SoC). Τα οχήματα που παρέμειναν ανενεργά (χωρίς να φορτίζουν) το μεγαλύτερο αριθμό χρονικών διαστημάτων και με το χαμηλότερο SoC αποκτούν τη μέγιστη προτεραιότητα.

Υποθέτοντας ότι όλα τα ηλεκτρικά οχήματα που δεν προσφέρουν ελαστικότητα φορτίζουν, η αντίστοιχη διαθέσιμη ισχύς ($P_{av'}$) για τα οχήματα που προσφέρουν ελαστικότητα καθορίζεται ως ακολούθως:

$$P_{av'} = P_{av} - \sum_{i=1}^N P_{EV,i} \quad (3.4)$$

Όπου $P_{EV,i}$ αποτελεί την ισχύ που απαιτείται για να φορτίσει το i-οστό ηλεκτρικό όχημα που δεν προσφέρει ελαστικότητα. Όσον αφορά τα ηλεκτρικά οχήματα που προσφέρουν ελαστικότητα, διακρίνονται σε 4 κατηγορίες σύμφωνα με το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας τους (SoC). Οι κατηγορίες απεικονίζονται στον πίνακα (3.1), θεωρώντας ότι όσο χαμηλότερο είναι το επίπεδο φόρτισης μιας μπαταρίας ενός ηλεκτρικού οχήματος τόσο μεγαλύτερη προτεραιότητα φόρτισης αποκτά. Η πρώτη κατηγορία αποτελεί την Υψηλή Προτεραιότητα και αφορά τα Ηλεκτρικά Οχήματα που έχουν πολύ χαμηλό επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας, χαμηλότερο από 30%. Τα ηλεκτρικά οχήματα όπου το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας τους είναι πολύ υψηλό, της τάξης πάνω του 90%, αποτελούν την τελευταία κατηγορία με Χαμηλή Προτεραιότητα. Τα υπόλοιπα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν την Μέση Προτεραιότητα. Αυτή η κατηγορία χωρίζεται περαιτέρω σε δύο υποκατηγορίες: την Υψηλή - Μέση Προτεραιότητα, στην οποία ανήκουν ηλεκτρικά οχήματα με επίπεδο φόρτισης 30%-70% και τέλος την Χαμηλή - Μέση Προτεραιότητα, στην οποία ανήκουν οχήματα με SoC στο διάστημα 70%-90%. Όλες οι προαναφερθείσες κατηγορίες απεικονίζονται στον Πίνακα (3.1).

Επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας (SoC)	Προτεραιότητα
0%-30%	Υψηλή Προτεραιότητα
30%-70%	Μέση Υψηλή Προτεραιότητα
70%-90%	Μέση-Χαμηλή Προτεραιότητα
90%-100%	Χαμηλή Προτεραιότητα

Πίνακας 3.1: Κατηγοριοποίηση οχημάτων σύμφωνα με το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας τους (SoC)

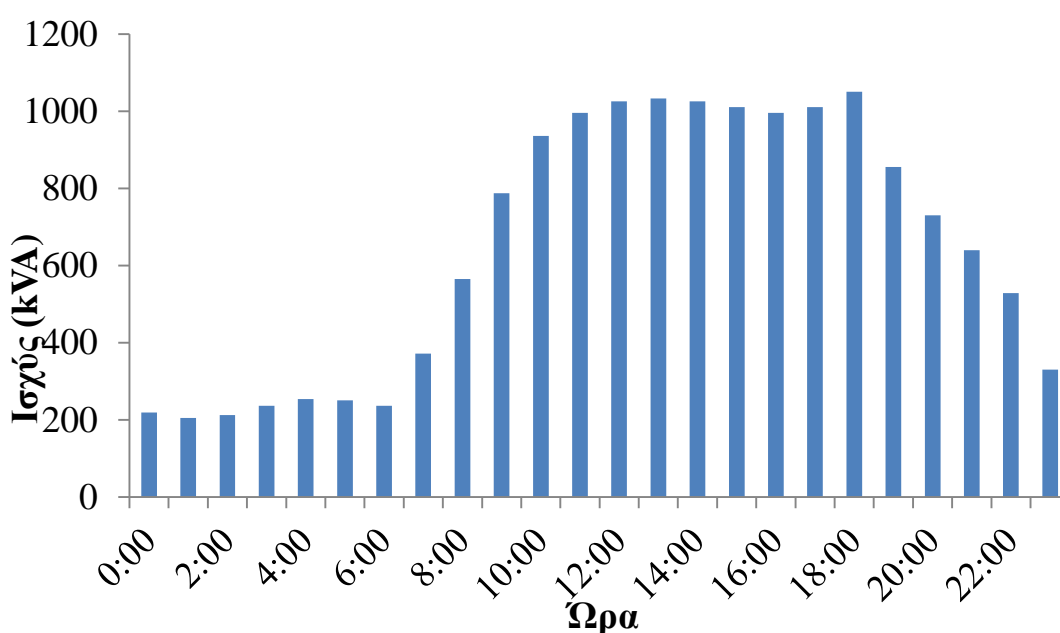
Για κάθε μία από τις κατηγορίες του Πίνακα (3.1), η διαθέσιμη ισχύ από το δίκτυο (Pav') συγκρίνεται με την ισχύ που απαιτείται για τη φόρτιση όλων των ηλεκτρικών οχημάτων που ανήκουν στην υπό εξέταση κατηγορία. Εάν η ισχύς που απαιτείται για τη φόρτιση όλης της κατηγορίας είναι μεγαλύτερη από την διαθέσιμη ισχύ που προσφέρει το δίκτυο, τότε ένα ποσοστό οχημάτων που ανήκουν στην κατηγορία δε θα φορτιστεί. Επιπροσθέτως, τα ηλεκτρικά οχήματα με χαμηλότερη προτεραιότητα από την κατηγορία που εξετάζεται (εάν υπάρχουν), δε θα φορτιστούν επίσης. Τα ηλεκτρικά οχήματα που πρόκειται να φορτιστούν θα αποκτήσουν προτεραιότητα σύμφωνα με τα ακόλουθα κριτήρια:

- 1. Ελαστικότητα φόρτισης:** Δημιουργείται μία λίστα των οχημάτων σε φθίνουσα σειρά, σύμφωνα με την προσφερόμενη ελαστικότητα. Μία top-down προσέγγιση υιοθετείται ούτως ώστε να φορτίσουν πρώτα τα οχήματα με τη μικρότερη ελαστικότητα.
- 2. Χρόνος αδρανούς λειτουργίας:** ο αριθμός των χρονικών διαστημάτων όπου ένα αφόρτιστο, συνδεδεμένο στο δίκτυο ηλεκτρικό όχημα δε φορτίζει.
- 3. Χρόνος μη μετακίνησης:** ο αριθμός των χρονικών διαστημάτων όπου ένα όχημα έχει παραμείνει συνδεδεμένο στο δίκτυο (αυτό το κριτήριο αφορά οχήματα τα οποία έχουν παραμείνει παρκαρισμένα στο σταθμό, λαμβάνοντας ή όχι ενέργεια).
- 4. Επίπεδο φόρτισης μπαταρίας (SoC):** το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας του ηλεκτρικού οχήματος εκφράζεται ως το ποσοστό των kWh που έχει η μπαταρία τη στιγμή που εξετάζεται προς τη συνολική χωρητικότητα της μπαταρίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ

4.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Για το πρόβλημα που θα εξεταστεί στην παρούσα διπλωματική θεωρούμε ένα Μετασχηματιστή Μέσης/Χαμηλής Τάσης με ονομαστική ισχύ 1250kVA ο οποίος τροφοδοτεί εμπορικό φορτίο. Το εμπορικό φορτίο που τροφοδοτείται από το Μετασχηματιστή παρουσιάζει αιχμή περίπου 1,1MW στις 18:00 και αρκετά μεγάλη ζήτηση κατά τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες, όπως απεικονίζεται στο διάγραμμα 4.1.



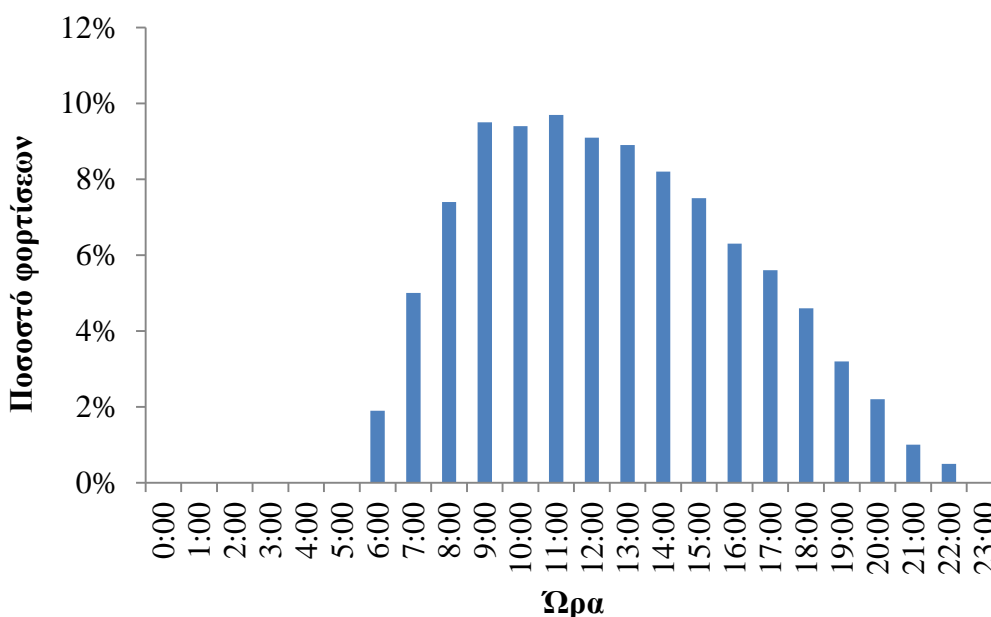
Διάγραμμα 4.1: Καμπύλη εμπορικού φορτίου για τον εξεταζόμενο μετασχηματιστή

Η ζήτηση του δικτύου αποτελείται από τη ζήτηση του εμπορικού (εκτός του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων) φορτίου ($P_{load,t}$) και τη ζήτηση από το δίκτυο φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Το συνολικό φορτίο δεν θα πρέπει να ξεπερνά την ονομαστική ισχύ του μετασχηματιστή ($P_{nom}=1250kVA$). Επομένως, η διαθέσιμη μεταφερόμενη ισχύς για την τροφοδότηση της ζήτησης από τα ηλεκτρικά οχήματα ($P_{av,t}$) ισούται με:

$$P_{av,t} = P_{nom} - P_{load,t} \quad (4.1)$$

Για το πρόβλημα που εξετάζουμε θεωρούμε ότι το δίκτυο φόρτισης αποτελείται από σταθμούς φόρτισης οι οποίοι έχουν ονομαστική ισχύ 7.2kW και απόδοση 90%. Το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας των οχημάτων (SoC) τα οποία εισέρχονται στο δίκτυο για φόρτιση καθορίζεται τυχαία από την ομοιόμορφη κατανομή (uniform distribution) μεταξύ 20% και 40%. Η μπαταρία των ηλεκτρικών οχημάτων θεωρούμε ότι έχει χωρητικότητα 24kWh. Επιπλέον, λάβαμε υπόψη μας ότι κατά τη διάρκεια του

24ώρου λαμβάνουν χώρα 180 φορτίσεις. Το διάγραμμα (4.2) απεικονίζει το ποσοστό των φορτίσεων που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της κάθε ώρας της ημέρας. Από το διάγραμμα είναι φανερό ότι η πλειονότητα των φορτίσεων πραγματοποιείται μεταξύ 09:00 και 19:00. [2]



Διάγραμμα 4.2: Αριθμός φορτίσεων κατά τη διάρκεια της ημέρας [2]

Κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εξετάστηκαν τρία σενάρια για την εκτίμηση της λειτουργίας του προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης ηλεκτρικών οχημάτων:

- **Σενάριο Α:** Όλα τα ηλεκτρικά οχήματα προσφέρουν ελαστικότητα. Σε αυτό το σενάριο ο χρόνος που παραμένει το όχημα στο σταθμό φόρτισης θεωρείται μεγαλύτερος από το χρόνο που απαιτείται για μια πλήρη φόρτιση της μπαταρίας του EV. Η ώρα αναχώρησης για κάθε όχημα υπολογίζεται από μια κανονική κατανομή με μέση τιμή 4 ώρες και τυπική απόκλιση 1.5 ώρες.
- **Σενάριο Β:** Κανένα ηλεκτρικό όχημα δεν προσφέρει ελαστικότητα. Σε αυτό το σενάριο, οι χρήστες των ηλεκτρικών οχημάτων δεν είναι διατεθειμένοι να προσφέρουν ελαστικότητα. Επομένως, ο χρόνος παραμονής στο σταθμό είναι ίσος με το χρόνο που χρειάζεται για να φορτίσει πλήρως το ηλεκτρικό όχημα.
- **Σενάριο Γ:** Ανάλυση ευαισθησίας αναφορικά με την προσφορά ελαστικότητας. Προκειμένου να εξετάσουμε πόσο επιδρά η ελαστικότητα στο επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας (SoC) κατά την ώρα αναχώρησης του οχήματος, πραγματοποιήθηκε ένας αριθμός προσομοιώσεων λαμβάνοντας υπόψη ένα διαφορετικό ποσοστό χρηστών ηλεκτρικών οχημάτων που προσφέρουν ελαστικότητα (από 10% έως 90%). Η μέθοδος Monte Carlo εφαρμόστηκε στο εν λόγω σενάριο προκειμένου να καθοριστεί το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας (SoC) για κάθε ποσοστό ελαστικότητας.

Κάθε ένα από τα προαναφερθέντα σενάρια συγκρίνεται με τη χωρίς έλεγχο φόρτιση των οχημάτων θεωρώντας ότι τα ηλεκτρικά οχήματα αρχίζουν να φορτίζουν από τη στιγμή που συνδέονται στο δίκτυο ανεξάρτητα από τους τεχνικούς περιορισμούς του δικτύου. Τα σενάρια που μελετήθηκαν στην παρούσα διπλωματική συνοψίζονται στον Πίνακα (4.1).

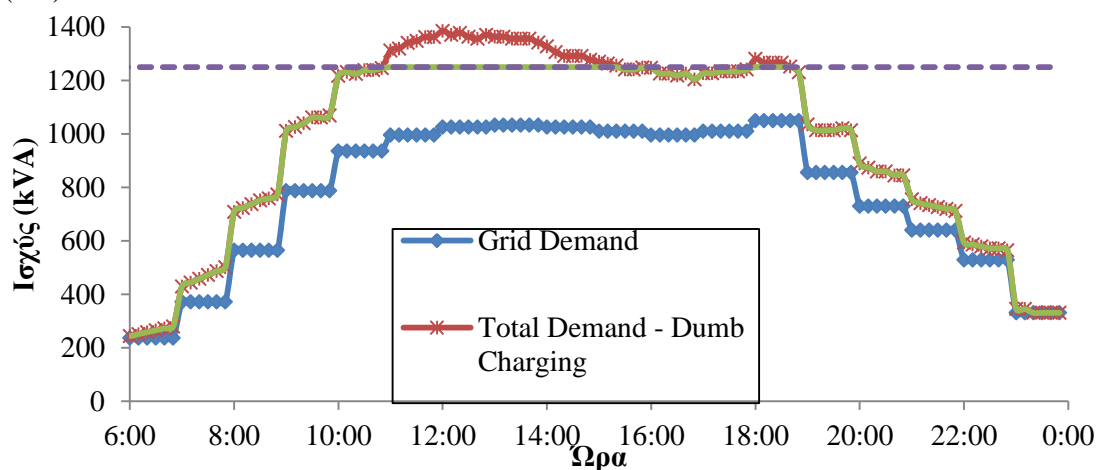
Ώρα αναχώρησης					
Σενάριο	Αριθμός φορτίσεων	Μέση Τιμή (ώρες)	Τυπική Απόκλιση (ώρες)	Ποσοστό ελαστικότητας που προσφέρουν οι χρήστες ηλ. οχημάτων (%)	Αρχικό επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας (SoC)
Σενάριο A	180	4	1.5	0%	20%-40%
Σενάριο B	180	Ίση με το χρόνο για πλήρη φόρτιση του οχήματος		100%	20%-40%
Σενάριο Γ	180	4	1.5	10%-90%	20%-40%

Πίνακας 4.1: Περιγραφή σεναρίων συστήματος διαχείρισης ηλεκτρικών οχημάτων

4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

Σενάριο A

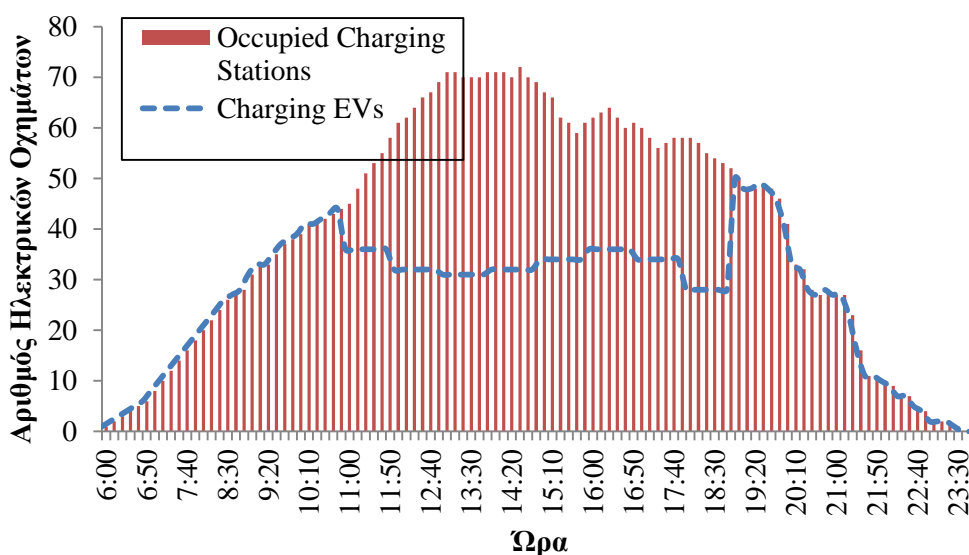
Η ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων στο σενάριο A παρουσιάζεται στο διάγραμμα (4.3)



Διάγραμμα 4.3: Ζήτηση συνολικού φορτίου για το σενάριο A

Στο διάγραμμα (4.3) η ευθεία γραμμή συμβολίζει το όριο της ισχύος την οποία μπορεί να τροφοδοτήσει ο μετασχηματιστής στο φορτίο κατά τη διάρκεια του 24-ώρου. Κατά τη διάρκεια των πρώτων πρωινών ωρών, η ζήτηση τόσο των ηλεκτρικών οχημάτων όσο και του υπόλοιπου εμπορικού φορτίου είναι χαμηλή. Ως

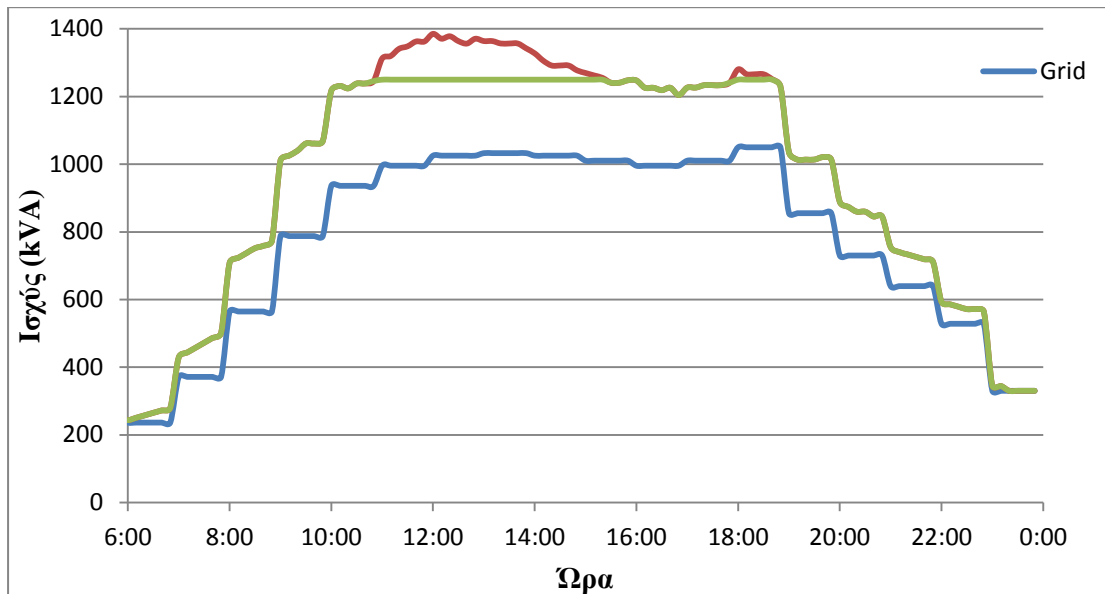
εκ τούτου, η ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων για φόρτιση μπορεί να ικανοποιηθεί πλήρως κατά τη διάρκεια αυτών των ωρών. Μετά τις 10:40 όμως, η συνολική ζήτηση και των ηλεκτρικών οχημάτων και του εμπορικού φορτίου αρχίζει να αυξάνεται σημαντικά. Καθώς ο μετασχηματιστής δεν μπορεί από τη στιγμή αυτή και μετά να ικανοποιήσει πλήρως τις ανάγκες των ηλεκτρικών οχημάτων, η εφαρμογή ενός ενεργειακού συστήματος διαχείρισης χρειάζεται για να μετατοπιστεί η επιπλέον ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων που δεν μπορεί να τροφοδοτήσει ο μετασχηματιστής σε μεταγενέστερα χρονικά διαστήματα. Στο διάγραμμα (4.3) το γραμμοσκιασμένο κομμάτι υποδεικνύει τη μετατόπιση του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων. Επομένως, κατά τη διάρκεια των χρονικών διαστημάτων που έχουμε αυτούς τους τεχνικούς περιορισμούς, ένα ποσοστό ηλεκτρικών οχημάτων που είναι ήδη συνδεδεμένα στο δίκτυο θα διακόψουν τη φόρτιση της μπαταρίας τους σύμφωνα με τα κριτήρια που έχουν διατυπωθεί στο κεφάλαιο 3. Σύμφωνα με την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, ο αριθμός των σταθμών φόρτισης που είναι κατειλημμένοι σε σύγκριση με τον αριθμό των σταθμών φόρτισης όπου κάποιο όχημα φορτίζει απεικονίζονται στο διάγραμμα (4.4).



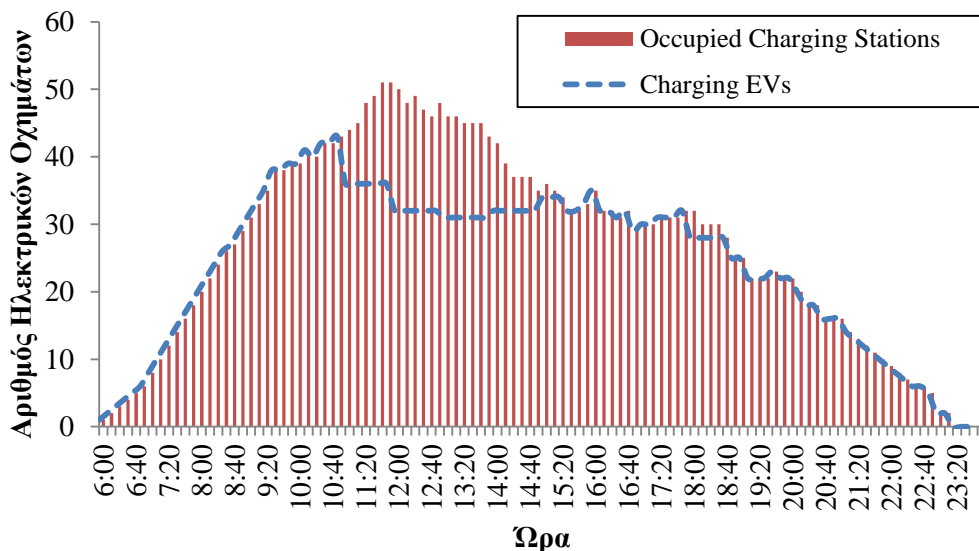
Διάγραμμα 4.4: Κατειλημμένοι σταθμοί φόρτισης και ηλεκτρικά οχήματα που φορτίζουν στο σενάριο A

Σενάριο B

Στο σενάριο B, τα ηλεκτρικά οχήματα δεν προσφέρουν καθόλου ελαστικότητα, επομένως δεν υπάρχει η δυνατότητα για μετατόπιση φορτίου σε επόμενο χρονικό διάστημα. Σε αυτή την περίπτωση, ένα μέρος της ζήτησης των ηλεκτρικών οχημάτων που δεν μπορεί να ικανοποιηθεί από τον μετασχηματιστή του δικτύου θα πρέπει να αποκοπεί προκειμένου να διατηρηθεί η σταθερότητα του δικτύου. Η ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων στο σενάριο B παρουσιάζεται στο διάγραμμα (4.5). Σύμφωνα με την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, ο αριθμός των σταθμών φόρτισης που είναι κατειλημμένοι σε σύγκριση με τον αριθμό των σταθμών φόρτισης όπου κάποιο όχημα φορτίζει απεικονίζονται στο διάγραμμα (4.6).



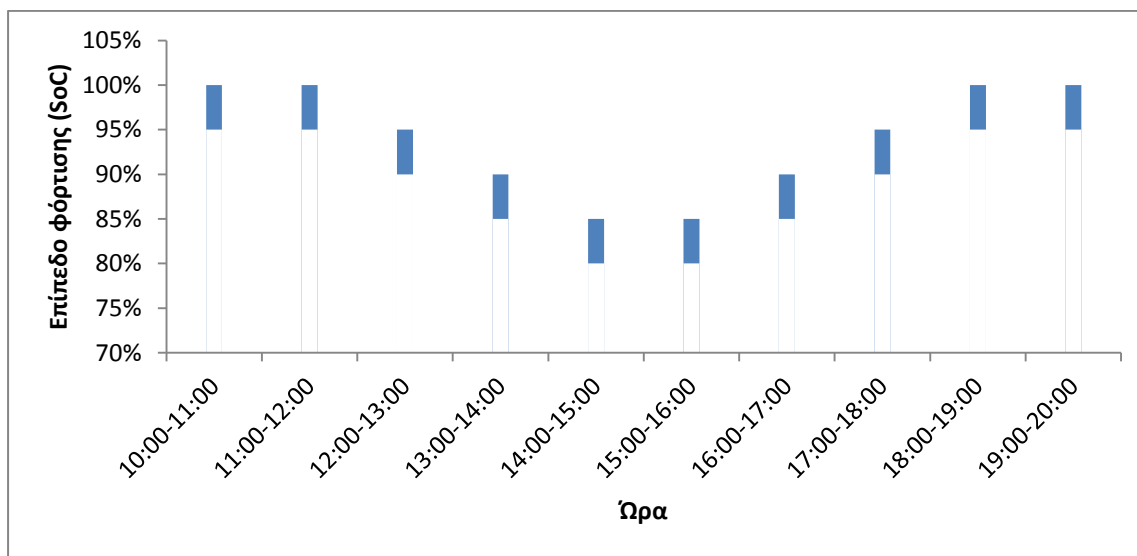
Διάγραμμα 4.5: Ζήτηση συνολικού φορτίου για το σενάριο B



Διάγραμμα 4.6: Κατειλημμένοι σταθμοί φόρτισης και ηλεκτρικά οχήματα που φορτίζουν στο σενάριο B

Στο σενάριο B, η έλλειψη ελαστικότητας από την πλευρά των χρηστών των ηλεκτρικών οχημάτων, έχει ως αποτέλεσμα το 64% των φορτίσεων των ηλεκτρικών οχημάτων να μην ολοκληρώνονται. Εξαιτίας του στοχαστικού χαρακτήρα της συμπεριφοράς των οχημάτων, εφαρμόστηκε η μέθοδος Monte Carlo προκειμένου να εξετάσουμε το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας (SoC) των οχημάτων όταν εγκαταλείπουν το σταθμό φόρτισης. Το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας κατά την ώρα αναχώρησης αυτών των ηλεκτρικών οχημάτων εξαρτάται από τους περιορισμούς και τις ανάγκες όλου του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο κατά την περίοδο που εξετάζουμε. Το διάγραμμα (4.7) απεικονίζει το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας (SoC) των οχημάτων όταν εγκαταλείπουν το σταθμό φόρτισης κατά τη διάρκεια του 24-ώρου. Καθώς ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο αυξάνεται κατά τις ώρες αιχμής, η μη

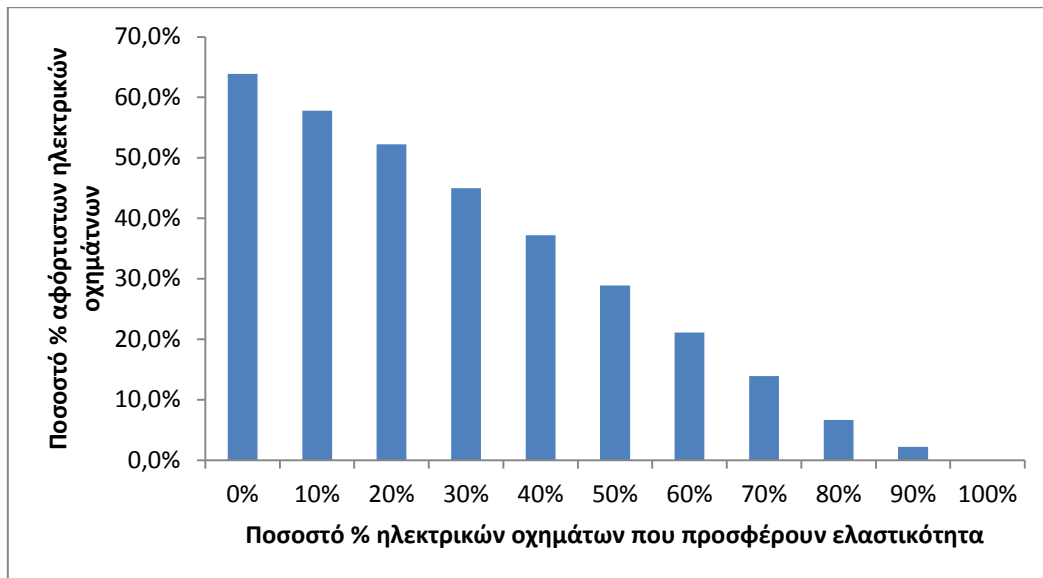
προσφορά ελαστικότητας από τη μεριά των χρηστών οδηγεί σε χαμηλότερο επίπεδο φόρτισης των μπαταριών τους κατά τις ώρες που στο δίκτυο υπάρχει αρκετή συμφόρηση. Όπως φαίνεται και από το παρακάτω διάγραμμα, τα οχήματα που αποχωρούν από το σταθμό μεταξύ 14:00 και 16:00 παρουσιάζουν το χαμηλότερο επίπεδο φόρτισης (80%-85%). Τα αποτελέσματα στο διάγραμμα 4.7, λοιπόν, αποδεικνύουν ότι για τις ώρες αιχμής που παρουσιάζεται η μεγαλύτερη ζήτηση, το σύστημα διαχείρισης κατανέμει «ισότιμα» την διαθέσιμη ισχύ μεταξύ των αφόρτιστων ηλεκτρικών οχημάτων διατηρώντας μια ισορροπία στα επίπεδα φόρτισης των μπαταριών κατά την ώρα αναχώρησης.



Διάγραμμα 4.7: Επίπεδο φόρτισης (SoC) των μπαταριών των αφόρτιστων ηλεκτρικών οχημάτων κατά την αποχώρηση από τους σταθμούς

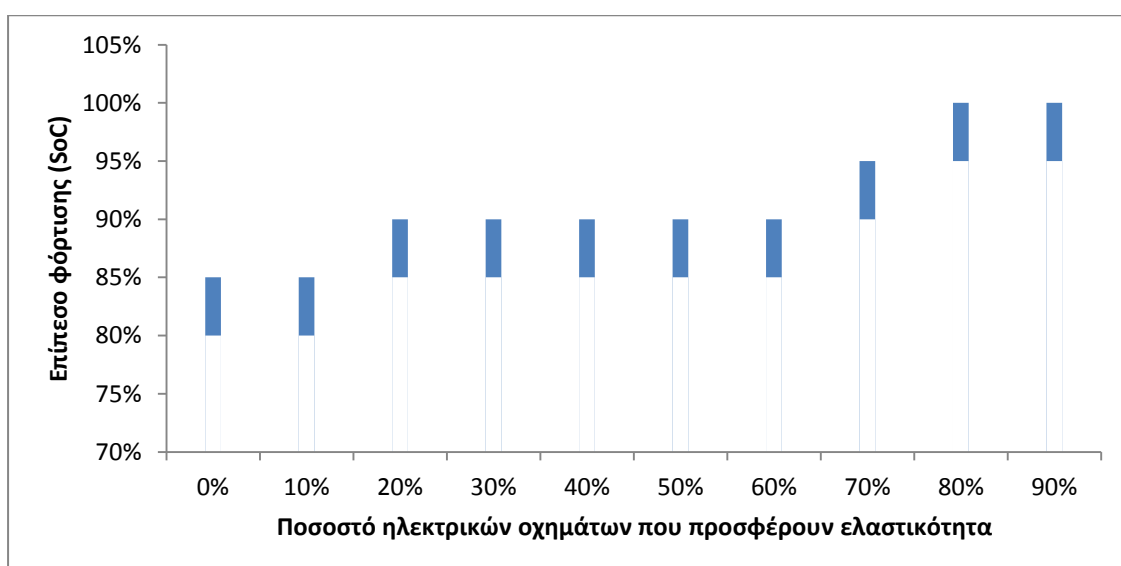
Σενάριο Γ

Στο σενάριο Γ, πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις σύμφωνα με τις οποίες οι χρήστες των ηλεκτρικών οχημάτων προσφέρουν διαφορετικά ποσοστά ελαστικότητας (10%-90%). Ο αριθμός των οχημάτων που αποχωρούν από το σταθμό χωρίς να είναι πλήρως φορτισμένα ως ποσοστό των οχημάτων που συνολικά συνδέονται στο δίκτυο σε συνάρτηση με την ελαστικότητα που προσφέρουν απεικονίζεται στο διάγραμμα 4.8. Από το διάγραμμα αυτό, προκύπτει το συμπέρασμα ότι όσο αυξάνεται η ελαστικότητα που προσφέρουν τα ηλεκτρικά οχήματα τόσο μειώνεται ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων που εγκαταλείπουν το σταθμό αφόρτιστα.



Διάγραμμα 4.8: Ποσοστό των ηλεκτρικών οχημάτων που εγκαταλείπουν το σταθμό αφόρτιστα συναρτήσει της ελαστικότητας που προσφέρουν

Τέλος, στο διάγραμμα 4.9 παρουσιάζεται το επίπεδο φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων (SoC) κατά την αναχώρησή τους από το σταθμό σε συνάρτηση με την ελαστικότητα που προσφέρουν. Όσο το ποσοστό των ηλεκτρικών οχημάτων που προσφέρουν ελαστικότητα μειώνεται, τόσο τα αφόρτιστα ηλεκτρικά οχήματα παρουσιάζουν χαμηλότερο επίπεδο φόρτισης (SoC) κατά τη στιγμή της αναχώρησης από το σταθμό. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς η συμπεριφορά οποιασδήποτε προσέγγισης διαχείρισης φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων είναι έντονα εξαρτώμενη από την προσφορά ελαστικότητας των ηλεκτρικών οχημάτων. Όταν τα οχήματα προσφέρουν μεγάλο ποσοστό ελαστικότητας, τότε το σύστημα διαχείρισης της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων εξασφαλίζει πως σχεδόν όλα τα ηλεκτρικά οχήματα θα είναι πλήρως φορτισμένα όταν φύγουν από το σταθμό.



Διάγραμμα 4.9: SoC της πλειονότητας των ηλεκτρικών οχημάτων που αναχωρούν από τους σταθμούς όχι πλήρως φορτισμένα, σύμφωνα με το σενάριο Γ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το Σύστημα Ενεργειακής Διαχείρισης που αναλύθηκε στην παρούσα διπλωματική μπορεί να κατανείμει αποτελεσματικά την επιπλέον ζήτηση του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων κατά τη διάρκεια του 24ώρου αναφορικά με τις ενεργειακές ανάγκες των ηλεκτρικών οχημάτων (π.χ. επίπεδο φόρτισης – state-of-charge[soc]), τους περιορισμούς των χρηστών των ηλεκτρικών οχημάτων (ώρα άφιξης και αναχώρησης), καθώς επίσης και την επιπλέον ενέργεια που απαιτείται από το δίκτυο. Το σύστημα διαχείρισης εκμεταλλεύεται την ευελιξία που προσφέρουν οι χρήστες των ηλεκτρικών οχημάτων, όταν η απαιτούμενη διάρκεια για μέγιστη φόρτιση είναι μικρότερη από τη διαθέσιμη περίοδο που το ηλεκτρικό όχημα μπορεί να παραμείνει στο σταθμό φόρτισης, έτσι ώστε όλα τα ηλεκτρικά οχήματα να είναι πλήρως φορτισμένα κατά τη διάρκεια αναχώρησης. Σε περιπτώσεις όπου το δίκτυο βρίσκεται σε ώρα αιχμής και η διαθεσιμότητα του δικτύου δεν επαρκεί για να ικανοποιήσει τις ενεργειακές ανάγκες του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων, ένα ποσοστό των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων παραμένει αφόρτιστο. Το ποσοστό αυτό αποφασίζεται από το σύστημα διαχείρισης των ηλεκτρικών οχημάτων σύμφωνα με τα κριτήρια που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3.

Το Σύστημα Ενεργειακής Διαχείρισης, λοιπόν, μπορεί να κατανείμει αποτελεσματικά τη διαθέσιμη ενέργεια μεταξύ των σταθμών φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Στην περίπτωση που όλοι οι χρήστες των ηλεκτρικών οχημάτων προσφέρουν ελαστικότητα, το υπό ανάλυση σύστημα διαχείρισης εκμεταλλεύεται στο έπακρο αυτή την ελαστικότητα ζήτησης επιτρέποντας την πλήρη φόρτιση των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων χωρίς να προκαλέσουν κανένα θέμα στην λειτουργία του δικτύου διανομής. Στο χειρότερο σενάριο (Σενάριο Β), όπου κανένα ηλεκτρικό όχημα δεν προσφέρει ελαστικότητα, τα ηλεκτρικά οχήματα αποχωρούν από τους σταθμούς φόρτισης χωρίς να είναι πλήρως φορτισμένα και το χαμηλότερο επίπεδο φόρτισης (SoC) κατά την αναχώρηση των ηλεκτρικών οχημάτων, παρατηρείται κατά τις ώρες αιχμής. Ακόμα και σε αυτή την περίπτωση όμως, το σύστημα διαχείρισης έχει ως στόχο να ισορροπήσει την στάθμη φόρτισης κατά την αναχώρηση των οχημάτων διατηρώντας μια μέση τιμή του επιπέδου της φόρτισης. Η ελαστικότητα που προσφέρουν οι χρήστες των ηλεκτρικών οχημάτων επηρεάζει άμεσα τα αποτελέσματα του συστήματος διαχείρισης. Τέλος, στο Σενάριο Γ παρουσιάστηκε μία μέθοδος όπου το ποσοστό των οχημάτων που προσφέρουν ευελιξία δεν είναι σταθερό και κυμαίνεται από 10%-90%. Όπως είναι αναμενόμενο, όσο αυξάνεται η ελαστικότητα που προσφέρουν τα ηλεκτρικά οχήματα τόσο μειώνεται ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων που εγκαταλείπουν το σταθμό αφόρτιστα.

Συμπερασματικά, το σύστημα διαχείρισης ενέργειας που μελετήθηκε για μια μελέτη που εκμεταλλεύεται το χρόνο που τα ηλεκτρικά οχήματα παραμένουν παρκαρισμένα στο σταθμό φόρτισης και δε θα μετακινούνται ο'θως ή άλλως από τους χρήστες τους. Έτσι, χωρίς να πραγματοποιηθεί καμία αλλαγή στα υπάρχοντα δίκτυα διανομής ούτε στις τεχνολογίες φόρτισης των οχημάτων, απλά και μόνο εφαρμόζοντας το συγκεκριμένο σύστημα διαχείρισης του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων, μπορούμε με μία πρώτη προσέγγιση να ελαχιστοποιήσουμε τα τεχνικά προβλήματα που αντιμετωπίζει το δίκτυο τις ώρες αιχμής σε συνδυασμό με τη μέγιστη δυνατή ικανοποίηση των χρηστών των ηλεκτρικών οχημάτων. Επιπλέον, σε περίπτωση που ορισμένα αυτοκίνητα δεν προσφέρουν ελαστικότητα ως προς τη φόρτισή τους, το προτεινόμενο σύστημα διαχείρισης κατανέμει «ισότιμα» την διαθέσιμη ισχύ μεταξύ των αφόρτιστων ηλεκτρικών οχημάτων διατηρώντας μια ισορροπία στα επίπεδα φόρτισης των μπαταριών κατά την ώρα αναχώρησης από το σταθμό.

5.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

Το σύστημα διαχείρισης που αναλύθηκε στην παρούσα διπλωματική έχει εφαρμοστεί σε ένα μετασχηματιστή ΜΤ/ΧΤ. Σαν μελλοντική εργασία θα μπορούσε ο εν λόγω αλγόριθμος να χρησιμοποιηθεί σε ευρύτερες εφαρμογές που σχετίζονται με τη λειτουργία των δικτύων διανομής αποσκοπώντας στην απρόσκοπτη λειτουργία του δικτύου, όπου θα αποφεύγεται η συμφόρηση και οι διακοπές στην τάση τροφοδοσίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] http://www.aegean-energy.gr/gr/academy2013/pdf/AEA_electric_cars.pdf
- [2] American Recovery and Reinvestment Act of 2009, “Evaluating Electric Vehicle Charging Impacts and Customer Charging Behaviors – Experiences from Six Smart Grid Investment Grant Projects” December 2014
- [3] Wikipedia, The free encyclopedia <http://en.wikipedia.org>
- [4] http://www.aegean-energy.gr/gr/academy2013/pdf/AEA_electric_cars.pdf
- [5] Vancouver Electric Vehicle Association, www.veva.bc.ca
- [6] Duong Tung Nguyen and Long Bao Le, Senior Member, IEEE “Optimal Bidding Strategy for Microgrids Considering Renewable Energy and Building Thermal Dynamics” IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 5, No. 4, July 2014
- [7] Κ. Τσατσάκης, «Μελέτη μικροδικτύου με αυξημένη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων», μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σεπτέμβριος 2010.
- [8] Kempton W., Tomic J., “Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue”, University of Delaware, Newark, USA, 8 December 2004
- [9] C. Guille, G. Gross, “A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) Implementation”, Energy Policy, Volume 37, Issue 11, December 2009
- [10] MERGE Deliverable D. 3.2 (PartII), Task 3.2, “Evaluation of the impact that a progressive deployment of EV will provoke on electricity demand, steady state operation, market issue, generation schedules and on the volume of carbon emissions”, Φεβρ. 2012, [Online]: http://www.evmerge.eu/images/stories/uploads/MERGE_WP3_Del_D3.2_Task3.2_Part_II.pdf
- [11] http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf
- [12] <http://www.teslamotors.com/>
- [13] http://batteryuniversity.com/learn/article/battery_definitions
- [14] Κ. Βουρνάς and Γ. Κονταξής, Εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. ΕΜΠ, 2001.
- [15] Hadi Saadat, Power system analysis, PSA Publishing, 2004
- [16] Garcia-Valle, Rodrigo, Peças Lopes, João A., “Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks”, Chapter 3, Springer, 2012
- [17] http://www.electricdrive.org/index.php?ht=d/Articles/cat_id/5602/pid/9676
- [18] [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plug-in_hybrid_electric_vehicle_\(PHEV\)_diagram.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plug-in_hybrid_electric_vehicle_(PHEV)_diagram.jpg)
- [19] “Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue”, W.Kempton, J.Tomic, University of Delaware, December 2004
- [20] “Fast Charging vs. Slow Charging: Pros and cons for the New Age of Electric Vehicles,” Charles Botsford, Adam Szczepanek, Stavanger, Norway, 2009
- [21] Τα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα και ο ανεφοδιασμός τους με Ηλεκτρική Ενέργεια ,ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο-Σεπτέμβριος 2011. Available at : http://www.heliev.gr/filesd/refuel_ev.pdf
- [22] M. Ehsani, Y. Gao, S. Gay, A. Emadi, “Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design (Power Electronics and Applications Series).
- [23] Battery Electric Vehicles, Available at : <http://cleancaroptions.com/index.html>
- [24] MERGE (Mobile Energy Resources in Grids of Electricity), “Specifications for EV- Grid interfacing, communication and smart metering technologies, including traffic patterns and human behavior descriptions” 24 August 2010.

- [25] Διονύσιος Νέγκας, ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ – ‘Τα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα και ο ανεφοδιασμός τους με Ηλεκτρική Ενέργεια’
- [26] S.Bending, M.Ferdowsi, S.Channon, K.Strunz, Project “MERGE”, Deliverable 1.1 “Specification for an Enabling Smart Technology”, 3/8/2010, Available at :
http://www.ev-merge.eu/images/stories/uploads/MERGE_WP1_D1.1.pdf
- [27] “Ανάπτυξη δυναμικού θερμικού μοντέλου μετασχηματιστή διανομής για την ανάλυση της επίδρασης της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στη διάρκεια ζωής τους”, Αικατερίνη - Ελένη Δραγάση, 2013
- [28] “AN EV MANAGEMENT SYSTEM EXPLOITING THE CHARGING ELASTICITY OF EV USERS”, Ioannis Karakitsios, Evangelos Karfopoulos, Nikos Hatziargyriou, 2015