



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΠΟΛΥΜΕΣΑ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ηλεκτρικά Οχήματα και Έξυπνα Δίκτυα : Ανοικτά
Προβλήματα και Ερευνητικές Κατευθύνσεις**

Αικατερίνη Νικολάου Συκά

Επιβλέπων: Ιωάννης Σταυρακάκης, Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2014

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ηλεκτρικά Οχήματα και Έξυπνα Δίκτυα : Ανοικτά Προβλήματα και Ερευνητικές Κατευθύνσεις

Αικατερίνη Ν. Συκά

A.M.:M1276

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Ιωάννης Σταυρακάκης, Καθηγητής

Ιανουάριος 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διπλωματική αυτή εργασία στόχο έχει την μελέτη ηλεκτρικών οχημάτων και ειδικότερα την σύνδεση τους με το έξυπνο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στα έξυπνα δίκτυα και μια αρχική προσέγγιση στα ηλεκτρικά οχήματα. Ορισμένα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο και να αναπτυχθεί μία αμφίδρομη «σχέση». Μπορούν επίσης να δρουν ξεχωριστά ή να οργανωθούν σε ομάδες. Επίσης παρουσιάζεται η διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στην σημερινή αγορά.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται η κυριότητα των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων, η φόρτιση αυτών και η προμήθεια της ηλεκτρικής ενέργειας. Η φόρτιση περιλαμβάνει επιμέρους ζητήματα που είναι ο τρόπος φόρτισης και πληρωμής και η κοστολόγηση της απαιτούμενης ενέργειας. Ακόμα ορίζεται ο τρόπος επικοινωνίας ανάμεσα στο όχημα και στο δίκτυο.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται το πρόβλημα εύρεσης της βέλτιστης τοποθεσίας των σταθμών φόρτισης ώστε να ελαχιστοποιείται το κόστος και προκύπτει μια αντικειμενική συνάρτηση που συνοδεύεται από περιορισμούς.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται το πρόβλημα εύρεσης της βέλτιστης τοποθεσίας των σταθμών ανταλλαγής ώστε να ελαχιστοποιείται το κόστος και προκύπτει μια αντικειμενική συνάρτηση που συνοδεύεται από περιορισμούς.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα μειονεκτήματα της ευρείας χρήσης των ηλεκτρικών οχημάτων.

Στο έκτο κεφάλαιο υπάρχουν τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη διπλωματική και αφορούν την χρήση των οχημάτων αλλά και τις ποικίλες στρατηγικές που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση των δυνατοτήτων τους στο έπακρο.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Ηλεκτρικά Οχήματα και Έξυπνα Δίκτυα

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: έξυπνο δίκτυο, επαναφορτιζόμενο ηλεκτρικό όχημα, φόρτιση, ανταλλαγή, μπαταρία

ABSTRACT

This thesis aims to study electric vehicles and especially their connection to the power grid.

The first chapter is an introduction to smart grids and an initial focus on electric vehicles. Some of them can be connected to the network and develop a two-way "relationship". They also act separately or arranged in groups in order to be maximized the profit. Also shows the penetration of electric vehicles on the market today.

In the second chapter are described the ownership of the batteries of electric vehicles, their charge and the supply of electricity. Charging includes different ways of charging and payment and the cost of the required energy. Moreover the communication between the vehicle and the network is analyzed.

In the third chapter the problem of the dimensioning of charging stations is described in order to minimize the cost, resulting in an objective function that is accompanied by restrictions.

In the fourth chapter the problem of dimensioning the exchange stations is analyzed in order to minimize the cost, resulting in an objective function that is accompanied by restrictions.

In the fifth chapter the drawbacks of the widespread use of electric vehicles are described.

The sixth chapter presents the conclusions drawn from this thesis related primarily to the use of vehicles and the various strategies used.

SUBJECT AREA: Electric Vehicles in Smart Grids

KEYWORDS: smart grid, plug-in electric vehicle, charging, switching, battery

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όσους συνέβαλαν με τον δικό τους τρόπο στην εκπόνηση και ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ιωάννη Σταυρακάκη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της διπλωματικής αυτής εργασίας και τις πολύτιμες συμβουλές του.

Επίσης θα ήθελα να εκφράσω ευχαριστίες στον κ. Καραλιόπουλο για την πολύτιμη συμβολή του και την βοήθεια που μου παρείχε κατά την διεξαγωγή της διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους μου για τη βοήθεια και την ηθική υποστήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου, καθώς και για την κατανόησή τους.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την οικογένειά μου για την υπομονή και την συμπαράσταση καθώς και την ηθική στήριξη στην ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας και κατ' επέκταση του μεταπτυχιακού κύκλου σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ	19
1.1. Έξυπνα Δίκτυα (Smart Grids)	19
1.2. Ηλεκτρικά Οχήματα	24
1.3. Οχήματα στο Δίκτυο.....	29
1.3.1. ΌχημαστοΔίκτυο (Vehicle-to-Grid)	29
1.3.2. Vehicle-to-Grid με aggregator	31
1.3.3. Vehicle-to-Grid χωρίς aggregator	33
1.4. Σημερινή Κατάσταση.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	35
2.1. Γενικά στοιχεία μπαταριών	35
2.2. Κυριότητα Μπαταριών.....	39
2.3. Προμήθεια Ηλεκτρικής Ενέργειας	41
2.4. Φόρτιση Οχημάτων.....	48
2.4.1. Τρόποι Φόρτισης	48
2.4.2. Τρόποι Πληρωμής.....	50
2.4.3. Κοστολόγηση Ενέργειας	51
2.5. Επικοινωνία Οχήματος – Δικτύου	54
2.6. Αξιολόγηση νέων στρατηγικών	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΣΤΑΘΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	59
3.1. Τοποθέτηση Προβλήματος.....	61
3.2. Μελλοντική Κατάσταση	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ.....	67
4.1. Τοποθέτηση Προβλήματος.....	68

4.2. Μελλοντική Κατάσταση	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο : Ο ΑΝΤΙΛΟΓΟΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	77
ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ	81
ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	83
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	85

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1 : Το τρίγωνο των προκλήσεων που πρέπει να αντιμετωπίσουν τα έξυπνα δίκτυα	20
Σχήμα 3 : Οι ημερήσιες λειτουργίες ανάμεσα στον διαχειριστή και τον aggregator	32
Σχήμα 4: Εξέλιξη μίας μπαταρίας ηλεκτρικού οχήματος 30 kWh	35
Σχήμα 5 : Χαρακτηριστικά φόρτισης επιπέδου 1	41
Σχήμα 6 : Χαρακτηριστικά φόρτισης 3ου επιπέδου	43
Σχήμα 7 : Αναμενόμενο προφίλ φόρτισης για μη ελεγχόμενο σενάριο	46
Σχήμα 8 : Αναμενόμενο προφίλ φόρτισης για φόρτιση off-peak	46
Σχήμα 9 : Αναμενόμενο προφίλ φόρτισης για εξομάλυνση off-peak φόρτιση	46
Σχήμα 10 : Φόρτιση οχήματος με επαγωγικό τρόπο	50
Σχήμα 11: Βηματική συνάρτηση προσφοράς του αγοραστή	53
Σχήμα 12 : Το καθημερινό όφελος ανάμεσα στον συμβατικό τρόπο χρέωσης και σε έναν αλγόριθμο ελέγχου	54
Σχήμα 13 :Ακολουθία μηνυμάτων.....	55
Σχήμα 14 : Ακόμη και αν το 2030 η τεχνολογία των οχημάτων και το δίκτυο έχουν βελτιωθεί οι National Academies κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ζημία της υγείας και του κλίματος από τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα εξακολουθούν να υπερβαίνουν τις αντίστοιχες ζημιές από τις συμβατικές επιλογές ανεφοδιασμού.....	75

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 : Η εξέλιξη του δικτύου σε έξυπνο σύμφωνα με την ΙΕΕΕ όπου περιλαμβάνεται διεσπαρμένη παραγωγή και επικοινωνία μεταξύ διαχειριστή και καταναλωτών	20
Εικόνα 2: Ηλιακό Όχημα	26
Εικόνα 3: Σειριακή υβριδική λειτουργία	27
Εικόνα 4: Παράλληλη υβριδική λειτουργία	27
Εικόνα 5: Υβριδική σειριακή/εν παράλληλω λειτουργία	28
Εικόνα 6 : Βασικά χαρακτηριστικά PHEV	28
Εικόνα 7 : Κάτοψη οχήματος FCEV	29
Εικόνα 8 : Οργάνωση μπαταρίας σε πακέτα	38
Εικόνα 9 : Απεικόνιση αργής φόρτισης.....	42
Εικόνα 11 : Γρήγορος φορτιστής	43
Εικόνα 12 : Σταθμοί Φόρτισης	44
Εικόνα 13 : Σταθμοί Ανταλλαγής	47
Εικόνα 14 : Φόρτιση με επαφή	49
Εικόνα 15 : Σταθμός ενσύρματος φόρτισης στη Γαλλία	49
Εικόνα 16 : Φόρτιση οχήματος μέσω επαφής στο Παρίσι	49
Εικόνα 17 : Εικόνα που συμβάλλει στον έλεγχο του συστήματος.....	56
Εικόνα 18: Η δομή της επικοινωνίας.....	60
Εικόνα 19 : Ορισμένες παράμετροι που ανταλλάσσονται ανάμεσα στο όχημα και το σημείο φόρτισης	61
Εικόνα 20: Οι κυβερνήσεις προσφέρουν διάφορα κίνητρα για να αγοράσουν οι πολίτες ηλεκτρικά οχήματα. Τα οικονομικά κίνητρα των χωρών της Δυτικής Ευρώπης, για παράδειγμα, περιλαμβάνουν άμεσες επιδοτήσεις για τις αγορές οχημάτων, καθώς και ορισμένες φορολογικές απαλλαγές. Ορισμένες από τις χώρες αυτές παρέχουν, επίσης, στους οδηγούς των ηλεκτρικών αυτοκινήτων δωρεάν parking και άλλα προνόμια.....	72

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 : Χαρακτηριστικά ορισμένων τύπων μπαταριών	35
Πίνακας 2 : Μέση κατανάλωση ισχύος των βοηθητικών φορτίων του οχήματος	36
Πίνακας 3 : Ορισμένα ηλεκτρικά οχήματα που κυκλοφορούν και τα βασικά χαρακτηριστικά τους	37
Πίνακας 4 : Βασικά στοιχεία φόρτισης ανάλογα με την παροχή	44
Πίνακας 5: Βασικά στοιχεία φορτιστών ανάλογα με την τοποθεσία τους	63
Πίνακας 6: Βασικά χαρακτηριστικά ηλεκτρικών οχημάτων	77
Πίνακας 7 : Διαφορές επαναφορτιζόμενων με αυτοκίνητα που ανταλλάσσουν τις μπαταρίες τους	78

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

1.1. Έξυπνα Δίκτυα (Smart Grids)

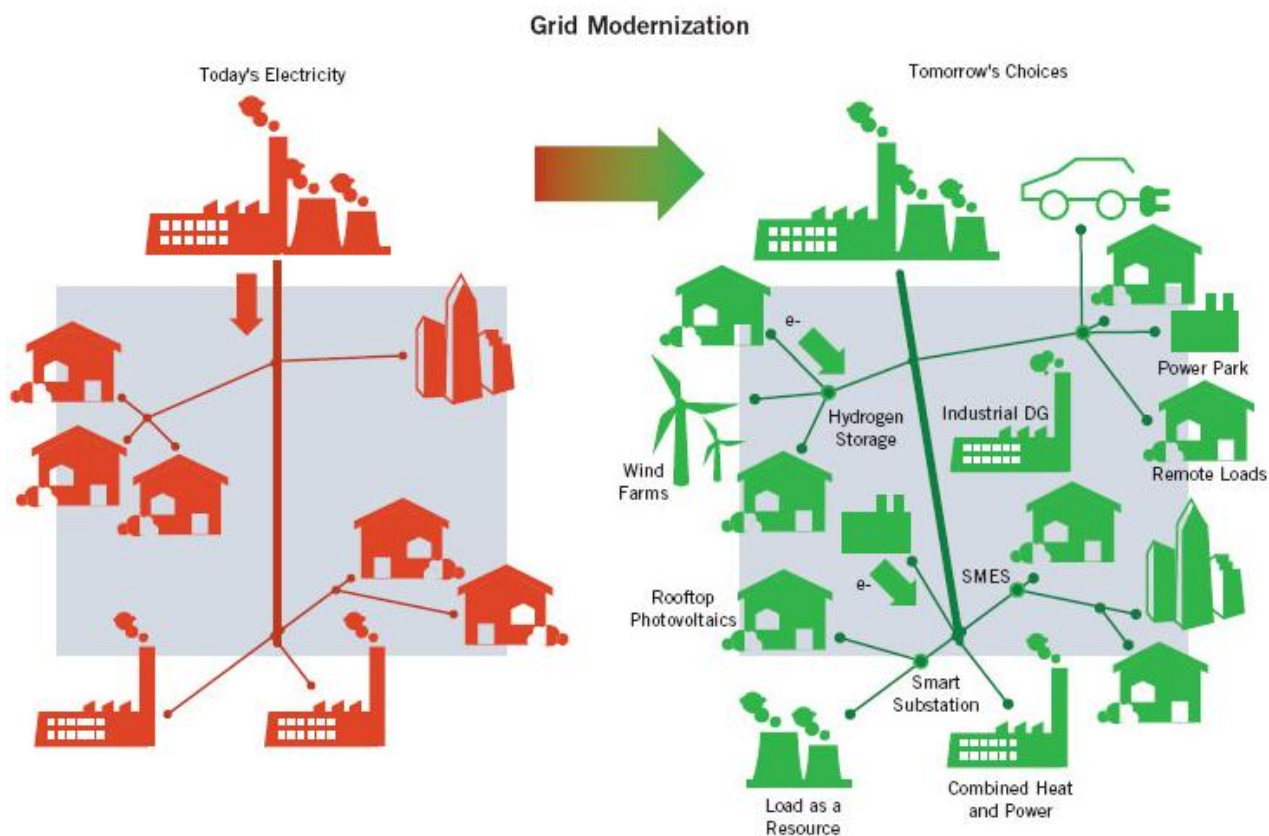
Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή της ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από μεγάλους κεντρικούς σταθμούς παραγωγής κυρίως μέσω της καύσης. Οι ουσίες που καίγονται είναι μη ανανεώσιμα και περιορισμένα ορυκτά καύσιμα όπως λιγνίτης, πετρέλαιο και κάρβουνο. Πηγές ηλιακής ενέργειας αποτελούν επίσης πυρηνικά εργοστάσια, υδροηλεκτρικά φράγματα, ηλιακά και αιολικά πάρκα. Η ενέργεια μετά την παραγωγή «οδηγείται» σε ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο μεταφοράς υψηλής τάσης, το οποίο περιλαμβάνει υποσταθμούς υψηλής και μέσης τάσης. Η μεταφερόμενη πάνω από μεγάλες αποστάσεις ισχύς μεταβιβάζεται, μέσω μετασχηματιστών διανομής, στα τελικά κυκλώματα για τη διανομή στους καταναλωτές.

Η αύξηση των ανθρώπινων αναγκών απαιτεί ολοένα και μεγαλύτερα ποσά αδιάλειπτης, χωρίς αυξομειώσεις ισχύος ενέργειας οπότε τα δίκτυα παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας επιβαρύνονται σημαντικά. Το καταπονημένο δίκτυο σε συνδυασμό με τις διακοπές ρεύματος, τις βυθίσεις τάσης και τις υπερφορτίσεις μειώνουν σημαντικά την ποιότητα ρεύματος και την αξιοπιστία του συστήματος. Απαραίτητη λοιπόν κρίνεται η ανεύρεση εναλλακτικών πηγών ενέργειας που μπορούν να στηρίξουν μια μακροπρόθεσμη ανάπτυξη της βιομηχανίας και να καλύψουν τις ανάγκες των καταναλωτών χωρίς περιβαλλοντικό κυρίως κόστος. Οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας που έχουν προσδιοριστεί περιλαμβάνουν την αιολική, την ηλιακή, την παλιρροιακή, τη γεωθερμική, την υδροηλεκτρική ενέργεια και τη βιομάζα. Εναλλακτική ονομασία τους είναι «πράσινη ενέργεια» γιατί δεν απελευθερώνουν διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα κατά τη διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να συμπληρώσουν ή ακόμα και να αντικαταστήσουν τα ορυκτά καύσιμα επειδή είναι ανεξάντλητες και φιλικές προς το περιβάλλον.

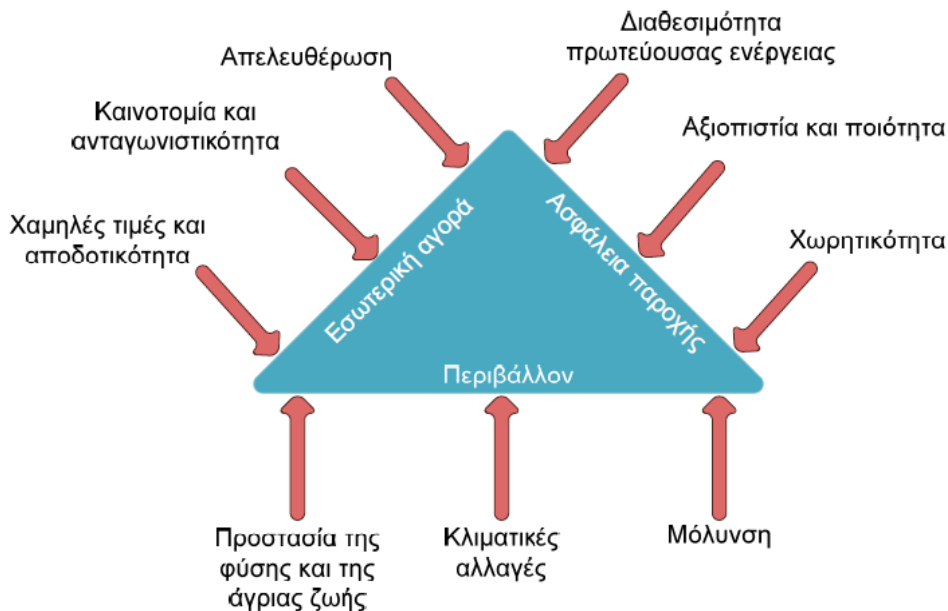
Η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας σε συνδυασμό με το αυξανόμενο ενδιαφέρον σε ενεργειακά θέματα καθώς και οι τεχνολογικές εξελίξεις επιβάλλουν την «ανανέωση» των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα, η αυξανόμενη ζήτηση και οι εξελίξεις στον τομέα της αποθήκευσης ενέργειας, της διαχείρισης του φορτίου και της επικοινωνίας καθιστούν επιτακτική ανάγκη την επένδυση για δημιουργία νέων δικτύων.

Στόχος της παγκόσμιας κοινότητας είναι τα δίκτυα ηλεκτρισμού να γίνουν «έξυπνα». Πρόκειται για ένα εκσυγχρονισμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που παρακολουθεί, προστατεύει και βελτιστοποιεί τη λειτουργία των διασυνδεδεμένων σε αυτό στοιχείων από άκρο σε άκρο. Η δημιουργία ενός τέτοιου δικτύου ενισχύει την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία του μέσω αυτομάτου ελέγχου, μετατροπών υψηλής ισχύος, σύγχρονης δομής επικοινωνιών, αισθητήρων/μετρητών και σύγχρονων τεχνικών διαχείρισης ενέργειας βασισμένων στη βελτιστοποίηση της ζήτησης, της διαθεσιμότητας της ενέργειας και του δικτύου κ.ά.. Το «Έξυπνο Δίκτυο» έχει αμφίδρομη ροή ηλεκτρικής ενέργειας και πληροφοριών για τη δημιουργία ενός αυτοματοποιημένου, ευρέως καταμεμημένου δικτύου διανομής ενέργειας. Η επικοινωνία γίνεται μέσω πρωτοκόλλου του Internet (IP). Εμπεριέχει την χρήση καταμεμημένων υπολογιστικών συστημάτων και επικοινωνιών, για τη μεταφορά πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο με σκοπό την εξισορρόπηση της παροχής και της ζήτησης ρεύματος και γενικότερα την βελτιστοποίηση της παραγωγής, της διανομής και της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς η δημιουργία ενός τέτοιου δικτύου επιτυγχάνει σημαντική εξοικονόμηση

καυσίμων, περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και προστασία του περιβάλλοντος.



Εικόνα 1 : Η εξέλιξη του δικτύου σε έξυπνο σύμφωνα με την ΙΕΕΕ όπου περιλαμβάνεται δεισπαρμένη παραγωγή και επικοινωνία μεταξύ διαχειριστή και καταναλωτών [10]



Σχήμα 1 : Το τρίγωνο των προκλήσεων που πρέπει να αντιμετωπίσουν τα έξυπνα δίκτυα [11]

Η αναβάθμιση του υπάρχοντος Ευρωπαϊκού δικτύου με εξυπνότερες τεχνολογίες είναι μία από τις βασικότερες προτεραιότητες ώστε να επιτευχθεί ο τριπλός στόχος που έχει

τεθεί ως το 2020. Αυτός περιλαμβάνει την μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 20%, την χρησιμοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή του 20% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 20% [42].

Το «Έξυπνο Δίκτυο» μπορεί να συμβάλει στην διακοπή παροχής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), στη ρύθμιση τάσης και συχνότητας και στα ζητήματα αποσταθεροποίησης που ανακύπτουν με τις κατανεμημένες ΑΠΕ. Αυτό επιτυγχάνεται με τον ψηφιακό έλεγχο, καθώς επίσης με ταυτόχρονη χρήση διακοπών και ρελέ που μπορούν να συγχρονίσουν την πηγή ώστε να μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο χωρίς διακοπές. Επιπλέον με τη χρήση έξυπνων συσκευών οι καταναλωτές έχουν την δυνατότητα να ελέγχουν το φορτίο τους και να εξοικονομούν ενέργεια. Οι προηγμένες επικοινωνιακές ικανότητες επιτρέπουν την άμεση ενημέρωση για την τιμολόγηση της ενέργειας, τα κίνητρα μείωσης της ζήτησης και τα σήματα άμεσης διακοπής φορτίων. Ωστόσο η στοχαστικότητα της παραγωγής και της ζήτησης δεν μπορεί να λυθεί με ένα έξυπνο δίκτυο από μόνο του, απαιτείται και η ορθή χρήση αποθηκευτικών μέσων της ηλεκτρικής ενέργειας.

Περιγραφή Έξυπνου Δικτύου

Ένα έξυπνο δίκτυο μεταφέρει ηλεκτρισμό από τους προμηθευτές στους καταναλωτές χρησιμοποιώντας αμφίδρομη ψηφιακή τεχνολογία ώστε να ελέγχονται οι οικιακές συσκευές των καταναλωτών, να εξοικονομείται ενέργεια, να μειώνεται το κόστος, να αυξάνεται η αξιοπιστία και η διαφάνεια του συστήματος. Μέσω αισθητήρων, ενεργοποιητών καθώς και κατανεμημένων υπολογιστών βελτιώνεται η απόδοση, η αξιοπιστία και η ασφάλεια τροφοδοσίας ηλεκτρικής ενέργειας στον καταναλωτή. Βοηθητικό ρόλο στο εκσυγχρονισμένο δίκτυο έχουν συστήματα πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών για τη Διαχείριση της Ζήτησης (DSM/DR-DemandSideManagement/DemandResponse), διάφορες υπηρεσίες on-line, έξυπνοι μετρητές, ηλεκτρονικά ισχύος και συσκευές αποθήκευσης ενέργειας.

Ένα έξυπνο δίκτυο περιλαμβάνει ένα έξυπνο σύστημα που ελέγχει τη ροή ενέργειας του συστήματος και ενσωματώνει τη χρήση υπεραγωγίων γραμμών μεταφοράς για μειωμένες απώλειες. Τα ηλεκτρονικά ισχύος επιτρέπουν τη λειτουργία των κινητήρων σε μεταβλητές στροφές ώστε να αυξάνεται η απόδοση και η ποιότητα παροχής ισχύος.

Κάθε μονάδα του δικτύου έχει δικό του ανεξάρτητο επεξεργαστή με στιβαρό λειτουργικό σύστημα, ικανό να δρα ως ανεξάρτητα, να επικοινωνεί και να συνεργάζεται με άλλους επεξεργαστές σχηματίζοντας μία μεγάλη κατανεμημένη υπολογιστική πλατφόρμα.

Για την επιτυχημένη μετάβαση στα έξυπνα δίκτυα είναι απαραίτητη η συνεργασία κυβερνήσεων, νομοθετών, καταναλωτών, παραγωγών, εμπόρων, εταιριών διανομής και μεταφοράς, κατασκευαστών ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και παρόχων υπηρεσιών πληροφορικής και επικοινωνιών.

Βασικά χαρακτηριστικά των έξυπνων δικτύων είναι [12] :

- **Αξιοπιστία και ευστάθεια**

Η αξιοπιστία είναι η ικανότητα του συστήματος και στοιχείων του να εκτελούν τις απαραίτητες λειτουργίες σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα και υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Σε συστήματα με υψηλή αξιοπιστία, σπάνια συμβαίνουν βλάβες και όταν συμβούν η επιδιόρθωση είναι άμεση. Επίσης παρουσιάζει την κατάσταση υψηλής συνοχής, επαναληψιμότητας και φερεγγυότητας που το έξυπνο δίκτυο θα διατηρήσει σύμφωνα με

αποτελεσματικές μετρήσεις και εκτιμήσεις. Ο όρος αξιοπιστία περιλαμβάνει και το χαρακτηριστικό της ανθεκτικότητας.

Η ευστάθειανός συστήματος καθορίζει την αξιοπιστία του. Σε ένα έξυπνο δίκτυο πρέπει να υπάρχει σταθερή τάση, περιορισμένη ζήτηση αιχμής, σταθερό ρεύμα, μικρή μεταβλητότητα φορτίου, κατανεμημένη ηλεκτροπαραγωγή (Distributed Generation - DG), αποθήκευση ενέργειας και αποκλεισμός διάφορων ανεπιθύμητων περιστατικών.

- **Μετρησιμότητα και Ελεγχιμότητα**

Ορισμένα γεγονότα, όπως οι βλάβες, πρέπει να προσμετρούνται ώστε να γίνεται αποτελεσματική ανάλυση, πρόβλεψη, διαχείριση και αντίδραση στις μεταβαλλόμενες καταστάσεις του δικτύου του συστήματος. Οι πληροφορίες που συλλέγει το δίκτυο πρέπει να είναι μετρήσιμες, διαχειρίσιμες και παρατηρήσιμες. Το έξυπνο δίκτυο μπορεί να παρακολουθεί σε πραγματικό χρόνο και να εντοπίζει και να διορθώνει λειτουργικές διαταραχές μέσω δυναμικών μετρήσεων

- **Ευελιξία και Κλιμάκωση**

Το έξυπνοδίκτυο έχει κλιμάκωση καθώς «κινείται» από μια κεντρική μονάδα σε πολλαπλά αποκεντρωμένα μικροδίκτυα (Microgrids - MGs). Τα μικροδίκτυα ενσωματώνουν την κατανεμημένη παραγωγή και αποθηκεύουν ενέργεια για να την παρέχουν σε περιόδους αιχμής. Αυτό γίνεται μέσω της νησιδοποίησης. Κάθε τοπικό δίκτυο μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα ως προς τηνικανότητα αυτοδιόρθωσης, το μοντέλο ποιότητας και αξιοπιστίας, τη Διαχείριση της Ζήτησης (Demand Side Management - DSM), τη διαχείριση προβλημάτων και τη διαχείριση ασφάλειας.

Το έξυπνο δίκτυο μπορεί να έχει διάφορες εναλλακτικές διαδρομές για τη ροή της ενέργειας και των δεδομένων. Επίσης «προσφέρει» ποικίλες επιλογές για να πραγματοποιείται ο έλεγχος αλλά και οποιαδήποτε άλλη λειτουργία του. Αυτό συμβαίνει λόγω της ευελιξίας, η οποία παρέχει στο δίκτυο :

- ✓ μελλοντική επέκταση με τη διείσδυση καινοτόμων και διαφορετικών τεχνολογιών παραγωγής,
- ✓ προσαρμοστικότητα στις διάφορες τοποθεσίες και κλίματα,
- ✓ ποικίλες στρατηγικές ελέγχου για το συντονισμό των αποκεντρωμένων συστημάτων ελέγχου ανάμεσα στους υποσταθμούς και τα κέντρα ελέγχου.

Τα ποικίλα υπάρχοντα πρότυπα που σχετίζονται με το δίκτυο, όπως ANSI, IEC, PLC, wireless M-Bus και ZigBee, μπορούν μέσω της ευελιξίας να είναι διαθέσιμα και αναβαθμίσιμα σε όλο τον κόσμο.

- **Διαθεσιμότητα**

Η διαθεσιμότητα της ενέργειας και των επικοινωνιών είναι σημαντικά για τη ζήτηση ενέργειας και πληροφοριών από τους καταναλωτές και βασίζεται στη διαθεσιμότητα των δεδομένων που ανταλλάσσονται στο δίκτυο. Ο βαθμός διαθεσιμότητας πόρων που απαιτείται, ειδικά όταν πρόκειται για θέματα που σχετίζονται με την καθυστέρηση (latency) ή την ασφάλεια, είναι υψηλός. Για παράδειγμα, στα συστήματα προστασίας και ελέγχου της γραμμής η καθυστέρηση χρειάζεται να είναι της τάξης των χιλιοστών του δευτερολέπτου, αλλά μια επίθεση άρνησης υπηρεσίας (Denial of Service - DoS) μπορεί να επιδεινώσει την επίδοση του δικτύου κάνοντας τους servers ή τις υπηρεσίες

προσωρινά μη διαθέσιμες. Ο πλεονασμός (redundancy) θα μπορούσε να είναι ένα μέτρο επίλυσης του προβλήματος. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητά του θα εξαρτηθεί από το πώς θα σχεδιαστεί το σύστημα για να αποφευχθεί παράλληλα το επακόλουθο κόστος της μεγάλης πολυπλοκότητας δικτύου, καθώς και θέμα της κλιμάκωσης.

- **Ανθεκτικότητα**

Η ανθεκτικότητα προσδιορίζει την αξιοπιστία του έξυπνου δικτύου σε διάφορα περιστατικά. Το δίκτυο πρέπει να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές με ασφάλεια και αξιοπιστία παρά τους οποιουδήποτε εσωτερικούς ή εξωτερικούς κινδύνους. Η ανθεκτικότητα, από την πλευρά της ασφάλειας, αντιπροσωπεύει την ικανότητα ανάκτησης και αποκατάστασης μετά από οποιαδήποτε διαταραχή ή δυσλειτουργία, μέσω μιας διαδικασίας γρήγορης απόκρισης. Δηλαδή το δίκτυο μπορεί να επαναπροσδιορίζεται δυναμικά ώστε να ανακάμπτει από διακοπές ρεύματος, φυσικές καταστροφές, κακόβουλες δραστηριότητες και βλάβες των στοιχείων του. Προληπτικά υπάρχουν σχέδια έκτακτης ανάγκης που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση των παραπάνω δυσμενών περιπτώσεων.

- **Δυνατότητα Συντήρησης**

Η δυνατότητα συντήρησης (μία σειρά εργασιών) αντιπροσωπεύει τη μακροβιότητα και την αξιοπιστία ενός συστήματος. Οι εργασίες που γίνονται έχουν σκοπό την επιθεώρηση, την αντιμετώπιση προβλημάτων και την αντικατάσταση. Το έξυπνο δίκτυο θα πρέπει να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο που να διευκολύνει τη συντήρηση, έτσι ώστε τα διάφορα στοιχεία ενέργειας και επικοινωνιών (π.χ. εγκαταστάσεις, εξοπλισμός, συστήματα, υποσυστήματα, ασφάλεια του δικτύου και διαχείριση) να επιδιορθώνονται γρήγορα και με τρόπο οικονομικά αποδοτικό. Παρομοίως, η υψηλή αποδοτικότητα εργατοώρας, καθώς και των εργαλείων και του εξοπλισμού αποτελεί σημαντικό παράγοντα για το σύστημα συντήρησης του δικτύου.

- **Βιωσιμότητα**

Η βιωσιμότητα του έξυπνου δικτύου, περιλαμβάνει την επάρκεια, την αποδοτικότητα και την φιλικότητα προς το περιβάλλον. Η αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να ικανοποιηθεί με την εφαρμογή εναλλακτικών ενεργειακών πόρων, την αύξηση εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της τεχνολογίας και τον μετριασμό της συμφόρησης δικτύου. Οι νέες τεχνολογίες θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από οικολογική «συμπεριφορά».

- **Διαλειτουργικότητα**

Η διαλειτουργικότητα περιλαμβάνει τις έννοιες της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας της συνολικής επίδοσης του συστήματος. Η υποδομή του έξυπνου δικτύου προϋποθέτει την ύπαρξη κοινών και διαλειτουργικών προτύπων για τη διασύνδεση της ενέργειας και των επικοινωνιών. Αυτή η δυνατότητα απαιτείται κατά την ενσωμάτωση και σύγκλιση διαφόρων τεχνολογιών και πρωτοκόλλων επικοινωνιών, προκειμένου να γίνονται κατανοητά το ένα στο άλλο και να παρέχουν αδιάλειπτη μεταφορά ενέργειας και δεδομένων. Αδέξια αλληλεπίδραση και ενοποίηση μεταξύ των ποικιλόμορφων μερών θα επιβράδυνε

το χρόνο απόκρισης και θα επηρέαζε αρνητικά την αποδοτικότητα του συστήματος.

- **Ασφάλεια**

Η ασφάλεια απευθύνεται στις αστοχίες του συστήματος που οφείλονται σε ανθρώπινα αίτια, όπως εσκεμμένες επιθέσεις και μη εξουσιοδοτημένες τροποποιήσεις. Ένα ασφαλές δίκτυο παρέχει προστασία και άμυνες ενάντια σε παραβιάσεις της ασφάλειας μεταξύ προμηθευτών και καταναλωτών. Υπάρχουν στοιχειώδεις απαιτήσεις για το έξυπνο δίκτυο, όπως τα συστήματα Firewall, τα συστήματα ανίχνευσης και αποτροπής εισβολών (IDS/IPS), τα εικονικά ιδιωτικά δίκτυα (virtual private network - VPN), τα εικονικά τοπικά δίκτυα (virtual local area network-VLAN) και ο έλεγχος πρόσβασης.

- **Βελτιστοποίηση**

Η βελτιστοποίηση της λειτουργίας του έξυπνου δικτύου είναι επιτακτική ανάγκη που μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω καινοτόμων τεχνολογιών, έξυπνων συσκευών (Intelligent electronic devices - IEDs), ευφυούς διαχείρισης και αυτοματισμού, εξισορροπώντας ταυτόχρονα τις διάφορες μεταβλητές. Η βελτιστοποίηση του έξυπνου δικτύου επιτυγχάνεται όταν υπάρχει :

- ✓ αξιοπιστία στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας,
- ✓ ποιότητα παραγωγής και διανομής ενέργειας,
- ✓ αποδοτικότητα μετατροπής και χρήσης ενέργειας,
- ✓ διαθεσιμότητα για τη μεταφορά ενέργειας και δεδομένων,
- ✓ αποτελεσματικότητα και ακρίβεια των δεδομένων και των επικοινωνιών,
- ✓ χρονική απόκριση και διαχείριση σφαλμάτων,
- ✓ οικονομικό κέρδος.

Το έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο θεωρείται εκσυγχρονισμός του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου και αποτελεί σημείο σύγκλισης της πληροφορικής, των επικοινωνιών και των συστημάτων ισχύος.

1.2. Ηλεκτρικά Οχήματα

Οι μεταφορές είναι ένας κυρίαρχος τομέας της ανθρώπινης ζωής, στον οποίο χρησιμοποιείται η καύση και καταναλώνει το 38% της πρωτογενούς ενέργειας, σχεδόν όλη υπό μορφή ορυκτών καυσίμων. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση, το 33% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα προέρχεται από τις μεταφορές [44] καθώς στη γη κυκλοφορούν περισσότερα από 650 εκατομμύρια οχήματα, η πλειοψηφία των οποίων χρησιμοποιεί θερμικούς κινητήρες (καύση πετρελαίου ή βενζίνης). Η αυτοκινητοβιομηχανία, ανταποκρινόμενη στις ανάγκες των καιρών, στρέφεται σε φιλικότερα προς το περιβάλλον οχήματα, τα οποία κατά την λειτουργία τους αποβάλλουν πολύ μικρές ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου και για την κίνηση τους καταναλώνουν όσο το δυνατόν λιγότερη ενέργεια, χρησιμοποιούν δηλαδή «πράσινη» τεχνολογία. Ένας φιλόδοξος στόχος, που έχει τεθεί είναι η κατά 50% επικράτηση των ηλεκτρικών οχημάτων στις αγορές των ελαφρών οχημάτων μέχρι το 2050 [43]. Επίσης τα ηλεκτρικά οχήματα ικανοποιούν τις εκπομπές ρύπων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το 2020.

Ηλεκτρικά οχήματα (EV) ονομάζονται τα οχήματα που για την κίνηση τους χρησιμοποιούν ένα τουλάχιστον ηλεκτροκινητήρα και η απόδοσή τους ξεπερνά το 90%[13]. Ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες :

- Οχήματα συνδεδεμένα με επίγειο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (τρόλεϊ, τραμ, ηλεκτροκίνητα σιδηροδρομικά οχήματα, κ.α.)
- Αυτόνομα ηλεκτροκίνητα οχήματα (διαθέτουν αποθήκη ηλεκτρικής ή/και άλλης μορφής ενέργειας). Αυτά με τη σειρά τους ταξινομούνται σε τρεις υποκατηγορίες ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιούν [14]:

1) Ηλεκτρικά Οχήματα με Συσσωρευτές (Battery Electric Vehicles/BEVs)

Η τροφοδοσία τους γίνεται αποκλειστικά μέσω της αποθηκευμένης ενέργειας των ηλεκτροχημικών συσσωρευτών ή/και υπερπυκνωτών που με τη σειρά τους δίνουν ενέργεια στον ηλεκτροκινητήρα. Οι υπερπυκνωτές υπερέχουν έναντι των συσσωρευτών καθώς έχουν το προτέρημα παροχής σταθερής ηλεκτρικής ενέργειας κατά την εκφόρτιση τους. Οι συσσωρευτές φορτίζουν κατά τη σύνδεση του οχήματος με το δίκτυο ή με άλλη εξωτερική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής (π.χ. φωτοβολταϊκά) μέσω κατάλληλης πρίζας αλλά και εν κινήσει μέσω της αναγεννητικής πέδησης όπου ένα μέρος της κινητικής ενέργειας του οχήματος μετατρέπεται σε ηλεκτρική, μέσω της ηλεκτρικής μηχανής που για όσο χρόνο διαρκεί το φρενάρισμα λειτουργεί ως γεννήτρια, φορτίζοντας έτσι τους συσσωρευτές.

Αποτελούν απόλυτα οικολογικά οχήματα με μηδενικές εκπομπές αέριων ρύπων CO₂ και χρησιμοποιούνται ήδη σαν βοηθητικά οχήματα στα αεροδρόμια, σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, σε γήπεδα γκολφ κ.α. λόγω της μικρής σχετικά αυτονομίας που έχουν. Αυτά τα οχήματα προϋπήρξαν των συμβατικών αλλά δεν μπόρεσαν να επικρατήσουν λόγω των γνωστών μειονεκτημάτων της τεχνολογίας αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, οι συσσωρευτές είναι ακριβοί, έχουν σημαντικό βάρος και όγκο ενώ χρειάζονται αρκετό χρόνο επαναφόρτισης. Σε μοντέλα μικρού οχήματος πόλης τα BEVs έχουν τεράστια πλεονεκτήματα διότι είναι οικονομικά, αθόρυβα, δεν ρυπαίνουν τοπικά, είναι απλά στην κατασκευή τους, δεν απαιτούν συντήρηση και προσφέρουν απεξάρτηση από τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα στις μεταφορές. Η πρόοδος της τεχνολογίας των συσσωρευτών έχει προωθήσει την κυκλοφορία BEVs στην αγορά των ΙΧ. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι το NissanLeaf με 22.000 πωλήσεις παγκοσμίως μέχρι το Φεβρουάριο του 2012 και αυτονομία έως και 169 km σύμφωνα με τον κατασκευαστή, το Mitsubishi-MiEV, το TeslaRoadster κ.α. Η αυτονομία που διαθέτουν είναι 120-200 χιλιομέτρων οπότε μπορούν να καλύψουν καθημερινές ανάγκες με εξαίρεση τα ταξίδια μεγάλης απόστασης.

2) Ηλιακά Ηλεκτρικά Οχήματα (Solar Electric Vehicles/SEVs)

Διαθέτουν φωτοβολταϊκά στοιχεία μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική την οποία αποθηκεύουν σε ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές ώστε να είναι εφικτή η κίνηση τους ακόμα και όταν δεν υπάρχει ηλιοφάνεια. Μάλιστα όσο τα φωτοβολταϊκά συστήματα εξελίσσονται (αυξάνουν την απόδοσή τους, γίνονται εύκαμπτα και ελαφρύτερα) επωφελείται και η έρευνα στα ηλεκτρικά οχήματα, μιας και οδηγείται σε αυτοκίνητα με μεγαλύτερη αυτονομία [15]. Τα ηλιακά οχήματα δεν προσφέρονται για καθημερινή χρήση καθώς η λειτουργία τους εξαρτάται από τον αστάθμητο παράγοντα της ηλιοφάνειας. Επιπλέον υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί που θα πρέπει να ισχύουν για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία οι οποίοι είναι :

- ✓ η πυκνότητα ισχύος : Η ισχύ μίας ηλιακής συστοιχία περιορίζεται από το μέγεθος του οχήματος και τις διαστάσεις της περιοχής που μπορούν να εκτεθεί στο φως του ήλιου. Η μπαταρία θα ήταν μια καλή λύση καθώς θα συσσωρεύει ενέργεια όταν η ζήτηση θα ήταν χαμηλή που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί όταν δεν υπήρχε ηλιοφάνεια. Ωστόσο προσθέτει αρκετό βάρος και κόστος για το όχημα οπότε δεν προτιμάται.
- ✓ το κόστος : Αν και η ηλιακή ενέργεια είναι δωρεάν, η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών κυψελών είναι ακριβή.
- ✓ ο σχεδιασμός : Τα πανέλα έχουν συγκεκριμένο χρόνο ζωής που είναι περίπου 30 χρόνια. Επιπλέον μέχρι τώρα σχεδιάζονται για «σταθερές» εγκαταστάσεις οπότε ο βάρος τους είναι σημαντικό.

Τα ηλιακά αυτοκίνητα είναι συχνά εξοπλισμένα με μετρητές ή / και ασύρματη τηλεμετρία, για να παρακολουθείται προσεκτικά η κατανάλωση ενέργειας του αυτοκινήτου [16].



Εικόνα 2: Ηλιακό Όχημα [17]

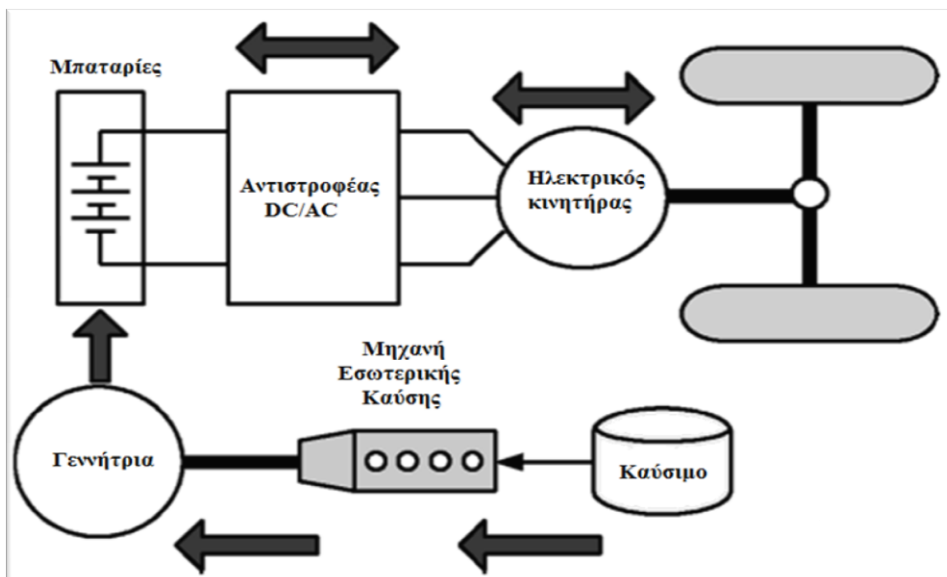
3) Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (HybridElectricVehicles/HEVs)

Η κίνηση τους γίνεται μέσω τουλάχιστον δύο εκ των ακόλουθων μορφών ενέργειας: ηλεκτρική, χημική (βενζίνη, diesel, φυσικό αέριο, υγραέριο, μεθάνιο, αιθανόλη, βιοκαύσιμα κ.λ.π.), μηχανική (αποθηκευμένη σε σφόνδυλο ή σε συσπειρωμένα ελατήρια), ρευστομηχανική (αποθηκευμένη σε συμπιεσμένο ρευστό), ηλιακή, αιολική, μυϊκή (ποδήλατα κ.λ.π.). Αυτός ο συνδυασμός επιτρέπει υψηλό επίπεδο αυτονομίας, επιλογή ποσοστού συνεισφοράς κάθε καυσίμου, επιλογή παράλληλης ή σειριακής χρήσης των κινητήρων και την ενδεχόμενη χρήση των θερμικών κινητήρων για την κίνηση ηλεκτρογεννήτριας (ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος). Οι συσσωρευτές είναι μικρής χωρητικότητας σε σχέση με εκείνους των BEVs, ενώ χρησιμοποιούν και την αναγεννητική πύληση. Οι εκπομπές CO₂ είναι λιγότερες σε σχέση με τα βενζινοκίνητα οχήματα και η τιμή τους είναι αρκετά ανταγωνιστική. Η λειτουργία των οχημάτων μπορεί να είναι υβριδική :

- ✓ σειριακή :

Πλεονεκτήματα: απλός σχεδιασμός, λειτουργία της μηχανής εσωτερικής καύσης στο βέλτιστο σημείο, δυνατότητα απενεργοποίησης της μηχανής εσωτερικής καύσης

Μειονεκτήματα: διαστασιολόγηση για τη μέγιστη ισχύ, απώλειες μετατροπής μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική, σχεδίαση κινητήρα για τη μέγιστη συνεχή ισχύ, υψηλό κόστος, μικρή αυτονομία [18]

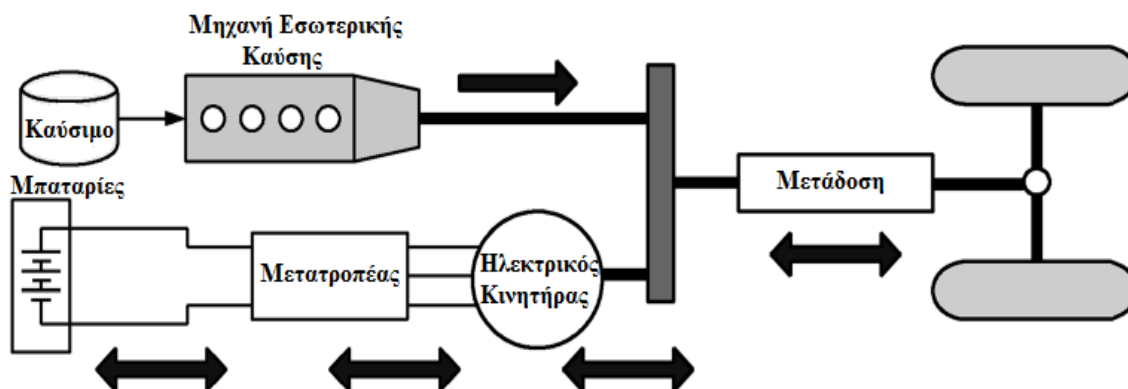


Εικόνα 3: Σειριακή υβριδική λειτουργία [18]

✓ παράλληλη :

Πλεονεκτήματα: μόνο δύο μηχανές, μικρή μπαταρία, άμεση πρόωση από μηχανή εσωτερικής καύσης, μηδαμινές απώλειες μετατροπής ενέργειας, οδήγηση σε αυτοκινητόδρομους

Μειονεκτήματα: πολυπλοκότητα ελέγχου, σύνθετη μηχανική διάταξη [18]

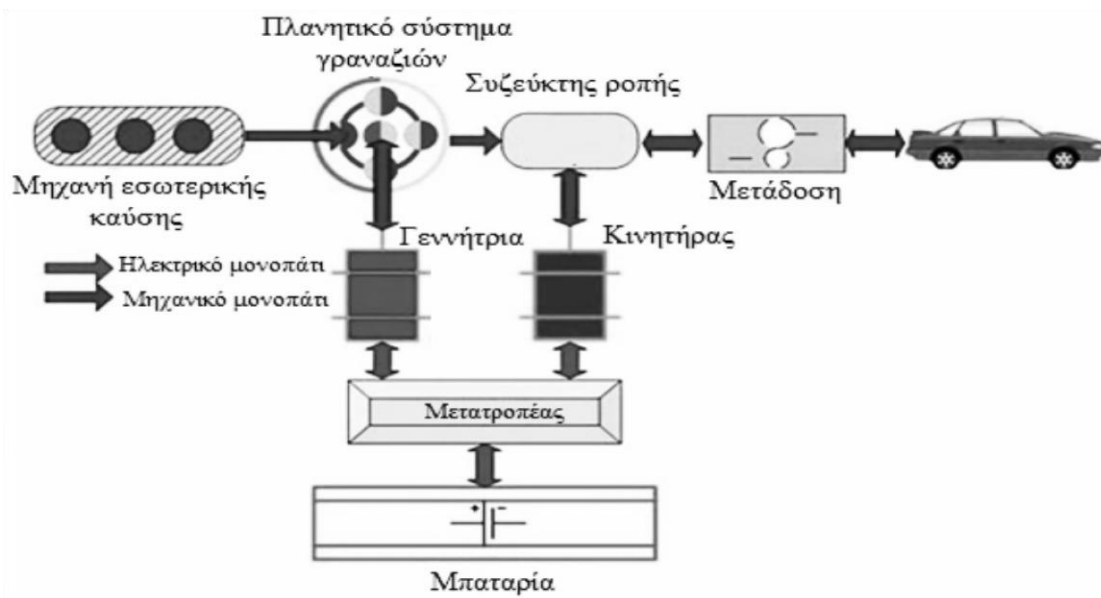


Εικόνα 4: Παράλληλη υβριδική λειτουργία [18]

✓ σειριακή-παράλληλη :

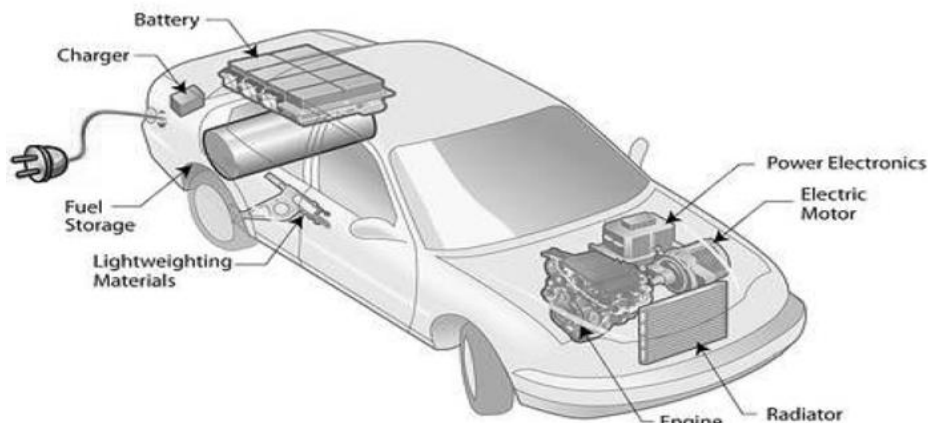
Πλεονεκτήματα: ομαλή λειτουργία της μηχανής εσωτερικής καύσης, ελάχιστες ενεργειακές μετατροπές, άμεση πρόωση από τη μηχανή εσωτερικής καύσης

Μειονεκτήματα: πολυπλοκότητα ελέγχου [18]



Εικόνα 5: Υβριδική σειριακή/εν παραλλήλω λειτουργία[18]

Εξελικτικό μοντέλο αυτών αποτελούν τα **επαναφορτιζόμενα υβριδικά οχήματα με ηλεκτρική ενέργεια (Plug-in Hybrid Electric Vehicles/PHEVs)**. Η απαιτούμενη ηλεκτρική τους ενέργεια που χρησιμοποιούν για την κίνηση τους παρέχεται από κάποια εξωτερική πηγή, που μπορεί να είναι το δίκτυο διανομής ή κάποια αυτόνομη μονάδα ηλεκτροπαραγωγής όπως τα φωτοβολταϊκά. Διαθέτουν επίσης συσσωρευτές μεγαλύτερης χωρητικότητας από τα HEVs για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας που είτε παράγεται από το όχημα (αναγεννητική πέδηση και ΜΕΚ) είτε παρέχεται από εξωτερική πηγή. Επιπλέον, έχουν ειδικό ακροδέκτη για την σύνδεση τους στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 6 : Βασικά χαρακτηριστικά PHEV [19]

4) Ηλεκτροκίνητα οχήματα με ενεργειακή συστοιχία (FuelCellElectricVehicles/FCEVs)

Χρησιμοποιούν ενεργειακές συστοιχίες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από υδρογόνο το οποίο ή είναι αποθηκευμένο σε κατάλληλο δοχείο ή παράγεται επί του οχήματος από νερό ή από ορυκτό καύσιμο (μέσω αναμορφωτή =reformer). Η ηλεκτροχημική σύνθεση υδρογόνου και οξυγόνου παράγει ηλεκτρική ενέργεια εκπέμποντας στο περιβάλλον μόνο υδρατμούς. Επίσης διαθέτουν συσσωρευτές ή/και υπερπυκνωτές για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας. Η τεχνολογία των οχημάτων αυτών έχει εφαρμοστεί μόνο πιλοτικά, ενώ στην παρούσα δεκαετία δεν προβλέπονται ευρύτερες εφαρμογές της για λόγους που σχετίζονται με το κόστος της, την ασύμφορη ενεργειακά παραγωγή υδρογόνου και τις δυσχέρειες μεταφοράς και διανομής του. Οι προοπτικές του οχήματος αυτού είναι μεγάλες καθώς διαθέτει υψηλή αυτονομία, μηδενική ρύπανση περιβάλλοντος και παράγει αθόρυβη και καθαρή ενέργεια. Τέλος μπορούν να αναβαθμιστούν σε PHEVs με την προσθήκη επιπλέον εξοπλισμού που θα τους επιτρέπει την σύνδεση με το δίκτυο.



Εικόνα 7 : Κάτοψη οχήματος FCEV [19]

1.3. Οχήματα στο Δίκτυο

1.3.1. ΌχημαστοΔίκτυο (Vehicle-to-Grid)

Κατά την Vehicle-to-Grid (V2G) διαδικασία μπορούν τα οχήματα να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο καθώς είναι σταθμευμένα όταν αυτό κρίνεται αναγκαίο. Δηλαδή μπορεί να εφαρμοστεί η διαδικασία αυτή και να καλύψει την αδυναμία του ηλεκτρικού δικτύου αποθήκευσης ενέργειας δίνοντας σε αυτό τα αποθέματα των οχημάτων τις ώρες αιχμής. Με αυτόν τον τρόπο συμβάλλουν στην ευστάθεια του δικτύου και προσφέροντας υπηρεσίες σε αυτό δημιουργούν έσοδα στους ιδιοκτήτων των οχημάτων. Σύμφωνα με μελέτες μόνο το 27% των οχημάτων βρίσκεται σε κίνηση κατά την διάρκεια των ωρών αιχμής ενώ το υπόλοιπο βρίσκεται σταθμευμένο και διαθέσιμο να συμμετάσχει στην V2G διαδικασία [20].

Η παροχή ενέργειας από το ηλεκτρικό όχημα προς το δίκτυο μπορεί να γίνει είτε με την αποφόρτιση του συσσωρευτή του οχήματος μέσω της ροής ισχύος (αμφίδρομη λειτουργία V2G) είτε με προσαρμογή του ρυθμού φόρτισης του συσσωρευτή κατά τη ροή ισχύος αποκλειστικά από το δίκτυο προς το όχημα (μονής κατεύθυνσης V2Gλειτουργία). Η τελευταία περίπτωση δεν είναι τόσο ενδιαφέρουσα και έχει περιορισμένες δυνατότητες σε σχέση με την αμφίδρομη καθώς δεν μπορεί να αποθηκεύσει ενέργεια την οποία στη συνέχεια θα διοχετεύσει προς το δίκτυο και οι διακινούμενες άρα και αμειβόμενες ποσότητες ισχύος είναι μικρότερες. Ωστόσο η μονόδρομη σχέση είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα. Αρχικά, οι υποδομές και τα οχήματα που κυκλοφορούν ή θα κυκλοφορήσουν στο άμεσο μέλλον δεν υποστηρίζουν αμφίδρομη παροχή ενέργειας. Επιπλέον κάποιοι ιδιοκτήτες μπορεί να μην επιθυμούν να παρέχουν την αποθηκευμένη ενέργεια του οχήματος λόγω φθοράς του συσσωρευτή. Για να πραγματοποιηθεί η αμφίδρομη ανταλλαγή ενέργειας ανάμεσα σε δίκτυο και όχημα πρέπει να υπάρχει και η απαραίτητη εμπειρία τόσο των αρμόδιων φορέων (αγορές, διαχειριστές δικτύου) όσο και των καταναλωτών. Ο έλεγχος από τον χειριστή πραγματοποιείται μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας, μέσω σύνδεσης Internet είτε μέσω Επικοινωνίας της Γραμμής Ισχύος (Power Line Communication – PLC). Η λειτουργία V2G δεν εφαρμόζεται (και ούτε προβλέπεται για την επόμενη δεκαετία να εφαρμοστεί) σε κανένα μέρος της γης, οπότε προς το παρόν όλα είναι σε θεωρητικό και ερευνητικό επίπεδο [20].

Τα ηλεκτρικά οχήματα τα οποία μπορούν να συμμετέχουν σε V2G λειτουργία είναι αυτά που διαθέτουν συσσωρευτή (BEVs), κυψέλες καυσίμου (FCEVs) και τα επαναφορτιζόμενα (PHEVs). Τα πρώτα μπορούν να φορτίζουν κατά τις ώρες που η ζήτηση είναι χαμηλή και να εκφορτίζουν όταν το δίκτυο το χρειάζεται, τα FCEVs μπορούν να λειτουργούν σαν γεννήτριες παράγοντας ενέργεια καταναλώνοντας υδρογόνο και τα PHEVs μπορούν να προσφέρουν ενέργεια και με τους δύο παραπάνω τρόπους. Σε κάθε περίπτωση πρέπει τα οχήματα να διαθέτουν κατάλληλο εξοπλισμό για σύνδεση με το δίκτυο που επιτρέπει αμφίδρομη ροή ενέργειας, να δέχονται σήμα ελέγχου από το δίκτυο, να είναι σε θέση να ανταποκριθούν σε πραγματικό χρόνο και να διαθέτουν ψηφιακό μετρητικό σύστημα [20].

Εκτός από αυτή την ιδέα που είναι και η πιο εξελιγμένη και θα εφαρμόζεται στο μέλλον υπάρχουν και κάποιες ακόμα οι οποίες είναι [20]:

✓ ΔίκτυοστοΌχημα (Grid-to-Vehicle (G2V))

Αυτού του είδους η ιδέα είναι η πιο απλή για την φόρτιση του οχήματος από το δίκτυο. Δεν απαιτείται επικοινωνία μεταξύ συστημάτων και η ροή ενέργειας γίνεται μόνο από το δίκτυο προς τα οχήματα. Σήμερα αυτή είναι η πιο συχνή (σχεδόν μοναδική) διαδικασία φόρτισης για τα ηλεκτρικά οχήματα.

✓ Όχημαστοσπίτι (Vehicle-to-Home (V2H))

Η βασική ιδέα είναι ίδια με την V2G όμως μπορεί να αποφευχθεί η υποδομή του δικτύου και τα προβλήματα της ταρίφας της ενέργειας εξαιτίας της αμφίδρομης ροής ενέργειας ανάμεσα στο όχημα και το σπίτι. Οπότε η ιδέα αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διαχείριση και την ρύθμιση της ζήτησης όλου του σπιτιού, ελέγχοντας την χρήση των φορτίων και της διαθέσιμης αποθηκευμένης ενέργειας στο όχημα. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιείται εκτός του δικτύου σε απομονωμένα ηλεκτρικά συστήματα και σε συνεργασία με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αυξάνει την αποτελεσματικότητά τους.

✓ ΌχημαστοΚτίριο (Vehicle-to-Building (V2B))

Μια ειδική έκδοση του V2G που συνιστάται στη χρήση αποθήκευσης ενέργειας στις μπαταρίες των οχημάτων σαν μία πηγή ενέργειας σε εμπορική κλίμακα (π.χ. σε εταιρίες και parking πολυκαταστημάτων).

1.3.2. Vehicle-to-Grid με aggregator

Οι aggregators αποτελούν νέες «οντότητες» στην αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας που δρουν σαν μεσολαβητές/μεσίτες ανάμεσα στους χρήστες και στους διαχειριστές του συστήματος. Κατέχουν την τεχνολογία που επιτρέπει την απόκριση ζήτησης και είναι υπεύθυνοι για την εγκατάσταση τηλεπικοινωνιακών συσκευών και συσκευών ελέγχου στο τελικό χρήστη. Η απόκριση της ζήτησης είναι η ικανότητα να διαχειριστεί η κατανάλωση των πελατών της ηλεκτρικής ενέργειας σε συνάρτηση με τις συνθήκες της προσφοράς, για παράδειγμα, οι πελάτες ηλεκτρικής ενέργειας να περιορίσουν την κατανάλωση τους σε κρίσιμες στιγμές [9].

Καθώς κάθε aggregator αντιπροσωπεύει σημαντικό ποσό της συνολικής ζήτησης στην αγορά, μπορεί να διαπραγματευτεί εκ μέρους των ιδιοκτητών (κατοικιών ή οχημάτων) με τους διαχειριστές του συστήματος πιο αποτελεσματικά. Ένας επιπλέον ρόλος τους είναι η μηνιαία πληρωμή των χρηστών ώστε να τους αναθέτουν τον απευθείας έλεγχο των φορτίων τους [9].

Το ρόλο του aggregator μπορεί να αναλάβει [9] :

- Ο διαχειριστής του συστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, αποκτώντας έτσι βελτιωμένη ευστάθεια και αξιοπιστία του δικτύου,
- Μια εταιρία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που δραστηριοποιείται ούτως ή άλλως στην αγοραπωλησία ενέργειας ή/και την προσφορά επικουρικών υπηρεσιών μεγαλώνοντας έτσι το εύρος των δραστηριοτήτων της,
- Μια κατασκευαστική εταιρία ηλεκτρικών οχημάτων που αποκτά έτσι συνεχή πελατειακή σχέση με τον αγοραστή του οχήματος,
- Ένας πάροχος κινητής τηλεφωνίας, που διαχειρίζεται το δίκτυο τηλεπικοινωνίας για τη μετάδοση της V2G πληροφορίας και αποκτά κέρδη μέσω της συναφής πολλών μικρών αυτοματοποιημένων συναλλαγών,
- Μια ξεχωριστή επιχείρηση, που θα ασχολείται αποκλειστικά με αυτόν τον τομέα,

Η χρηματική αποζημίωση που εισπράττει ο aggregator μοιράζεται στους ιδιοκτήτες των οχημάτων αναλόγως την συμμετοχή τους, κρατώντας ένα ποσοστό ως κέρδος των υπηρεσιών του.

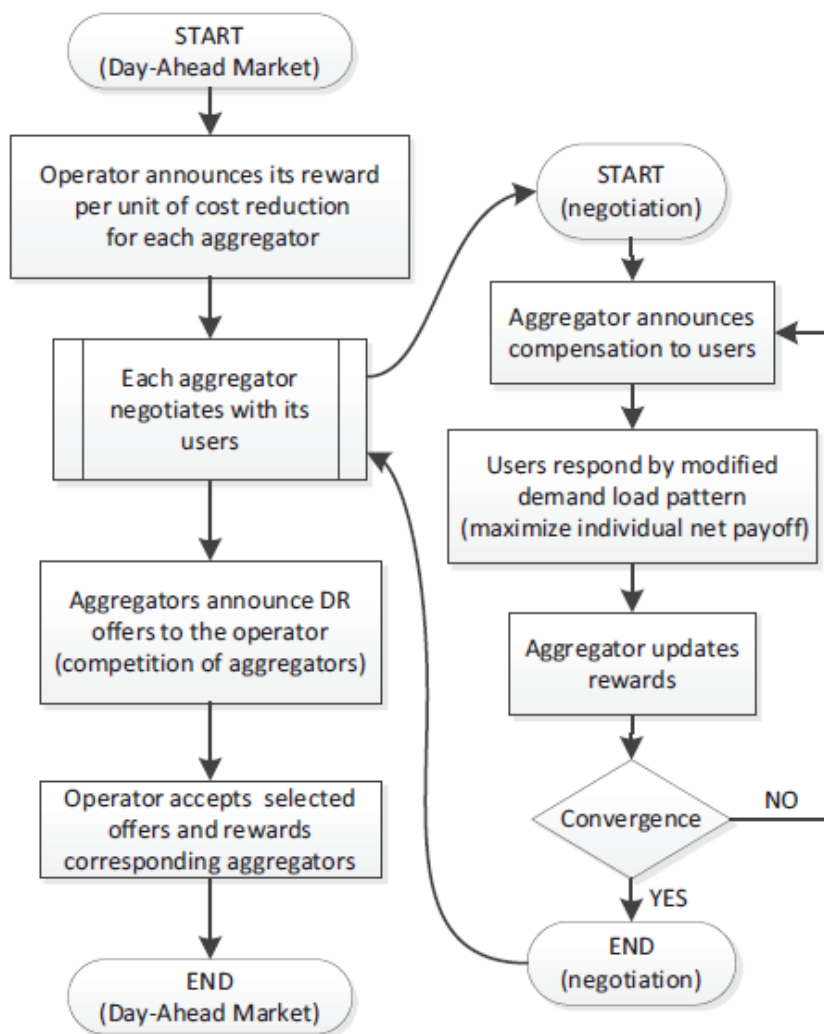
Το κίνητρο που δίνει ο aggregator στους οδηγούς να συνάψουν οικονομικό συμβόλαιο μαζί του είναι διπλό. Από τη μία μπορούν να φορτίζουν τα οχήματα τους με μια σταθερή και προσυμφωνημένη τιμή ενέργειας πολύ χαμηλότερη από την τιμή που θα χρεώνονταν αν αγόραζαν το ίδιο ποσό ενέργειας ως τελικοί καταναλωτές. Από την άλλη οι οδηγοί θα αποζημιώνονται για την επιπλέον φθορά των συσσωρευτών που προκαλείται από την V2G δραστηριότητα. Οι ιδιοκτήτες θα παραχωρούν όλα τα κέρδη από τη συμμετοχή των οχημάτων του στις διάφορες υπηρεσίες [9].

Το μοντέλο V2G με aggregator είναι το πιο πιθανό, δεδομένης της μέχρι στιγμής λειτουργίας των αγορών ενέργειας και επικουρικών υπηρεσιών, αλλά και των υπάρχουσών υποδομών επικοινωνίας. Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, άμεση σχέση με τις αγορές θα έχει ο aggregator και όχι ο κάτοχος του οχήματος. Υπογράφοντας διμερείς συμβάσεις με τους ιδιοκτήτες των οχημάτων, θα λαμβάνει υπό τον έλεγχο του ένα στόλο δημιουργώντας ένα αθροιστικό προφίλ μιας εικονικής μονάδας παραγωγής ενέργειας. Αυτό το συγκεντρωτικό προφίλ θα εξαρτάται από το πόσα οχήματα αναμένεται να είναι συνδεδεμένα και ικανά για V2G κάθε ώρα της ημέρας αλλά και από το τι περιορισμοί υπάρχουν όσον αφορά στη διαθέσιμη ισχύ και ενέργεια. Από την άλλη πλευρά, θα δέχεται τα σήματα-εντολές από το διαχειριστή του δικτύου και θα μεταβιβάζει αυτές τις εντολές στα οχήματα. Έτσι μπορεί να διαπραγματεύεται σε επίπεδο MW ή MWh στις αγορές [9].

Μια πιο ενδιαφέρουσα περίπτωση είναι όταν ο aggregator είναι και ιδιοκτήτης των μπαταριών των οχημάτων. Ο κάτοχος του ηλεκτρικού οχήματος δεν θα πληρώνεται τότε με βάση την ενέργεια που παρέχει αλλά θα του παρέχεται δωρεάν αντικατάσταση και φτηνή φόρτιση. Έτσι ο ιδιοκτήτης του οχήματος δεν υφίσταται το κόστος ανταλλαγής και συντήρησης των συσσωρευτών εξαιτίας της συχνής φόρτισης και εκφόρτισης.

Υπάρχουν 2 είδη aggregators: ζήτησης και παραγωγής. Ο πρώτος τύπος συλλέγει την απόκριση στη ζήτηση από τους διάφορους πελάτες, προσφέρει τη συνολική απόκριση σε διαφορετικούς παράγοντες της αγοράς. Επίσης μπορεί να περιλαμβάνει την παραγωγή στις εγκαταστάσεις του πελάτη (δηλαδή αξιοποίηση των πόρων αποθήκευσης ενέργειας για απόκριση ζήτησης). Ο δεύτερος τύπος των aggregators συλλέγει και χρησιμοποιεί διάσπαρτες γεννήτριες και τις προσφέρει στην αγορά. Αυτοί οι aggregators λέγονται και VirtualPowerPlant (VPP). Ένας συνδυασμός αυτών των δύο τύπων των aggregators υπάρχουν.

Η ανταλλαγή μηνυμάτων ανάμεσα στον διαχειριστή και τον aggregator φαίνεται στο σχήμα 3.



Σχήμα 2 : Οι ημερήσιες λειτουργίες ανάμεσα στον διαχειριστή και τον aggregator [9]

1.3.3. Vehicle-to-Grid χωρίς aggregator

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει aggregator το μοντέλο απλοποιείται και κάθε όχημα αποτελεί έναν ανεξάρτητο λογαριασμό με την τοπική εταιρία διανομής ενέργειας. Επιπλέον διαθέτει σύστημα ώστε να λαμβάνει κατευθείαν σήματα από τον διαχειριστή και να ανταποκρίνεται σε αυτά ταχύτατα. Τέλος έχει ενσωματωμένο μετρητή ώστε να καταγράφει το χρόνο και τη ροή ισχύος. Παρ' όλη την απλότητα του μοντέλου εμπεριέχει περιορισμούς που αποτρέπουν την εφαρμογή του σε μεγάλη κλίμακα. Μακροπρόθεσμα, ο διαχειριστής του δικτύου θα είναι υποχρεωμένος να επιβλέπει διαρκώς τη σύνδεση και την αποσύνδεση πολλών οχημάτων με ξεχωριστές απαιτήσεις, συμβάσεις και ανταμοιβές το καθένα.

Η βιωσιμότητα της V2G λειτουργίας εξαρτάται από τις ώρες που είναι παρκαρισμένο το όχημα στο σπίτι, από την αποδοτικότητα και το κόστος υποβάθμισης του συσσωρευτή αλλά και το πόσο μειωμένη θα είναι η τιμή της ενέργειας κατά το νυχτερινό δρομολόγιο σε σχέση με την τιμή κατά τη διάρκεια της ημέρας.

1.4. Σημερινή Κατάσταση

Τα ηλεκτρικά οχήματα δεν είναι ευρέως διαδεδομένα σήμερα καθώς υπάρχουν ορισμένα εμπόδια. Αρχικά το κόστος τους είναι ακόμα αρκετά υψηλό λόγω της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται. Επιπλέον, για την βελτίωση και την ανταγωνιστικότητα των οχημάτων σε σχέση με τα συμβατικά πρέπει να αναπτυχθούν καινοτόμες τεχνολογίες. Τα ηλεκτρικά οχήματα απαιτούν υποδομές, όπως το δίκτυο φόρτισης, η πραγματοποίηση του οποίου αποτελεί σημαντική επένδυση. Μερικές φορές η σύνδεση ενός οχήματος με το δίκτυο ισοδυναμεί με την προσθήκη 3 κατοικιών σε αυτό. Αν σε μια χώρα η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι διαδεδομένη π.χ. Καλιφόρνια τότε κρίνεται απαραίτητη η αναβάθμιση του δικτύου για την αποφυγή διακοπών ρεύματος. Τέλος, οι χρήστες των οχημάτων είναι διστακτικοί σε οτιδήποτε καινούργιο οπότε δεν είναι πρόθυμοι να αντικαταστήσουν το συμβατικό τους όχημα.

Παρά τις δυσκολίες που αναφέρθηκαν μέχρι τον Απρίλιο του 2011 είχαν κατασκευαστεί 106 μοντέλα ηλεκτρικών οχημάτων από 66 διαφορετικές εταιρίες. Κάποια από αυτά έχουν δοθεί σε παραγωγή (NissanLeaf, BYD, OpelAmpere, Renault, Citroen κλπ) ενώ άλλα είναι πρωτότυπα και σε δοκιμή.

Στην Ελλάδα συστάθηκε επιτροπή το Σεπτέμβριο του 2011 για την διερεύνηση τρόπων ανάπτυξης και διείσδυσης των ηλεκτροκίνητων οχημάτων στην Ελλάδα. Η επιτροπή, ανάμεσα σε άλλα, έκανε προτάσεις που αφορούν στα κίνητρα που πρέπει να δοθούν όπως [21] :

- ✓ Απαλλαγή από φόρο πολυτέλειας
- ✓ Επιδότηση 10% της τιμής πώλησης
- ✓ Χρηματοδότηση προγραμμάτων
- ✓ Σύσταση επιτροπής ηλεκτρικής κινητικότητας

Η εκτίμηση της ίδιας επιτροπής είναι ότι έως το 2020 η Ελλάδα θα έχει 69000 διπλά σημεία φόρτισης. Ενώ σύμφωνα με άλλες προβλέψεις ειδικών το πιο πιθανό σενάριο για την Ελλάδα είναι ότι τα ηλεκτρικά οχήματα θα είναι 34.000 το 2020 και 293.000 το 2030.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

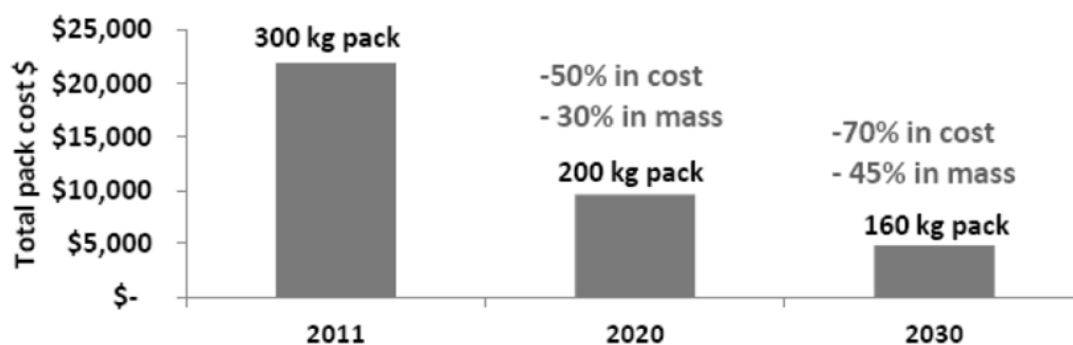
2.1. Γενικά στοιχεία μπαταριών

Σήμερα υπάρχουν πολλά είδη μπαταριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα ηλεκτρικά οχήματα ωστόσο κάθε είδος έχει μειονεκτήματα που επηρεάζουν την επίδοση του οχήματος. Οπότε συμβιβασμοί γίνονται συχνά ανάμεσα στο κόστος και την ποιότητα ώστε να υπάρχει ενεργειακή απόδοση υψηλή σχεδόν όλη την ώρα. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται το κόστος ανά Wh και η ειδική ενέργεια (Wh/kg) για διάφορους τύπους μπαταριών. Οι μπαταρίες οξέως μολύβδου είναι πρώτες στη λίστα. Οι αλκαλικές κυψέλες μπορούν να φορτίζονται κυριολεκτικά εκατοντάδες φορές χρησιμοποιώντας νέες τεχνολογίες. Επαναφορτιζόμενες μπαταρίες αλκαλικές, νικελίου-καδμίου και μετάλλουνικελίου-υδριδίου(nickel-metal-hydride (NiMH)) ανοίγουν νέες πιθανότητες για οικονομικές μπαταρίες [22].

Πίνακας 1 : Χαρακτηριστικά ορισμένων τύπων μπαταριών [41]

Cell chemistry	Specific Energy kWh/tonne	Specific Power kW/tonne	Charge-discharge efficiency	Cycle life
Lead acid (for reference)	35	40	90%	1000
Li-ion	110-190	1150		2000
NiMH	<80	200	91%	3000
NaS	90	90-150	85%	5200
Bi-polar Pb/SO ₄	50	500	91%	
Li-ion phosphate	95-155	1060		1000-5000
Li-ion titanate (nano)	74-83			15,000
Lithium sulphide	500			1000
Zinc-air	470	100	57%	
Zinc bromine	70	100		
Super capacitor	15	4000	98%	500,000

Το κόστος των μπαταριών ιόντων λιθίου πέφτει γρήγορα και χρησιμοποιείται αρκετά στα νέα ηλεκτρικά οχήματα όπως φαίνεται και στο σχήμα. Οι παραδοσιακές μπαταρίες ιόντων λιθίου μπορούν να επαναφορτίζονται μόνο ορισμένες εκατοντάδες φορές, το οποίο αντιστοιχεί σε λιγότερους από 20000 κύκλους ζωής. Οι υβριδικές όμως μπαταρίες ιόντων λιθίου παρέχουν περισσότερη ισχύ, μπορούν όμως να αποθηκεύσουν λιγότερη ενέργεια [30].



Σχήμα 3: Εξέλιξη μίας μπαταρίας ηλεκτρικού οχήματος 30 kWh[41]

Υπάρχει ένα είδος μπαταρίας που δεν εμφανίζεται στον παραπάνω πίνακα καθώς παρέχει περιορισμένο ρεύμα. Ωστόσο έχει πολύ υψηλό δείκτη αποθήκευσης ενέργειας ανά kg και η θερμοκρασία του είναι από -55 μέχρι +150°C. Αυτό το είδος είναι Lithium Thionyl Chloride. Χρησιμοποιείται σε εξαιρετικά κρίσιμες εφαρμογές και τα χαρακτηριστικά της είναι \$1.16 ανά Wh, 700 Wh/kg [30].

Ο κύριος ρόλος της μπαταρίας είναι η τροφοδότηση των τροχών. Υπάρχουν όμως και βοηθητικά φορτία σε ένα σύγχρονο αυτοκίνητο που η χρήση τους εξαρτάται από την παροχή ενέργειας από τις μπαταρίες. Αυτά τα φορτία μπορεί να σχετίζονται με την ασφάλεια π.χ. φώτα, κόρνα ή/και με την άνεση του χρήστη π.χ. ραδιόφωνο, κλιματιστικό. Τέτοιου είδους φορτία δεν είναι συνεχή π.χ. η χρήση του κλιματιστικού που εξαρτάται από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η κατανάλωση των πιο συχνών φορτίων ακολουθεί στον πίνακα 2 και φαίνεται ότι η συνολική ισχύς τους είναι περίπου 857 W [46].

Πίνακας 2 : Μέση κατανάλωση ισχύος των βοηθητικών φορτίων του οχήματος [46]

Ραδιόφωνο	52 W
Air Condition	489 W
Φώτα	316 W
Συνολική Ισχύς	857 W

Τα τελευταία μοντέλα ηλεκτρικών αυτοκινήτων διαθέτουν μπαταρίες ιόντων λιθίου ή πολυμερών λιθίου που έχουν μικρότερο βάρος και μέγεθος, ταχύτερη φόρτιση και μεγαλύτερη διάρκεια σε σχέση με τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος. Οι μπαταρίες πολυμερών λιθίου έχουν επιπλέον πλεονέκτημα σε σχέση με τις μπαταρίες ιόντων λιθίου όσον αφορά τον απαιτούμενο χρόνο πλήρους φόρτισης και το χρόνο ζωής της μπαταρίας ενώ είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον. Οι κατασκευαστές μπαταριών το 2011/2012 εισήγαγαν την πρώτη γενιά μπαταριών λιθίου για αυτοκίνητα. Ο χρόνος ζωής τους είναι περίπου 7 χρόνια ενώ μπορεί να γίνει και 10 χρόνια αν η χρήση είναι βέλτιστη. Επιπλέον ο χρόνος ζωής εξαρτάται από την θερμοκρασία της μπαταρίας, την κατάσταση φόρτισης, και το πρωτόκολλο φόρτισης. Η επίδοση μιας μπαταρίας αρχίζει να μειώνεται όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 86 βαθμούς Fahrenheit [47]. Κάτι τέτοιο επηρεάζει αρκετά τις περιοχές της Μέσης Ανατολής.

Το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που αποθηκεύεται στις μπαταρίες μετρείται σε AmpereHours ή σε Coulombs, με την συνολική ενέργεια να μετράται συχνά σε WattHours. Ο χρόνος φόρτισης εξαρτάται από την ικανότητα σύνδεσης δικτύου. Μία κανονική οικιακή πρίζα παρέχει είτε 1.5 kW (ΗΠΑ, Καναδάς, Ιαπωνία και άλλες χώρες με τάση 110 V) είτε 3 kW (σε χώρες με τάση 240 V). Πολλές ευρωπαϊκές χώρες έχουν τριφασικό σύστημα και συγχωνεύονται σε 16-25 A επιτρέποντας μία θεωρητική ικανότητα 11-17 kW. Ωστόσο αυτή η ικανότητα πρέπει να τροφοδοτήσει και άλλες ανάγκες. Ακόμα και αν η παροχή ενέργειας κατά τη φόρτιση αυξηθεί, οι περισσότερες μπαταρίες μπορεί να μην δέχονται φόρτιση πάνω από κάποιο συγκεκριμένο ποσοστό επειδή το υψηλό ποσοστό φόρτισης έχει αρνητικές επιπτώσεις στις δυνατότητες εκφόρτισης των μπαταριών.

Οι μπαταρίες μολύβδου οξέως είναι οι πιο διαθέσιμες και φτηνές που κυκλοφορούν και παρέχουν αυτονομία μέχρι 130 km ανά φόρτιση. Οι μπαταρίες NiMH έχουν υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από τις προηγούμενες και μπορούν να τροφοδοτήσουν το όχημα

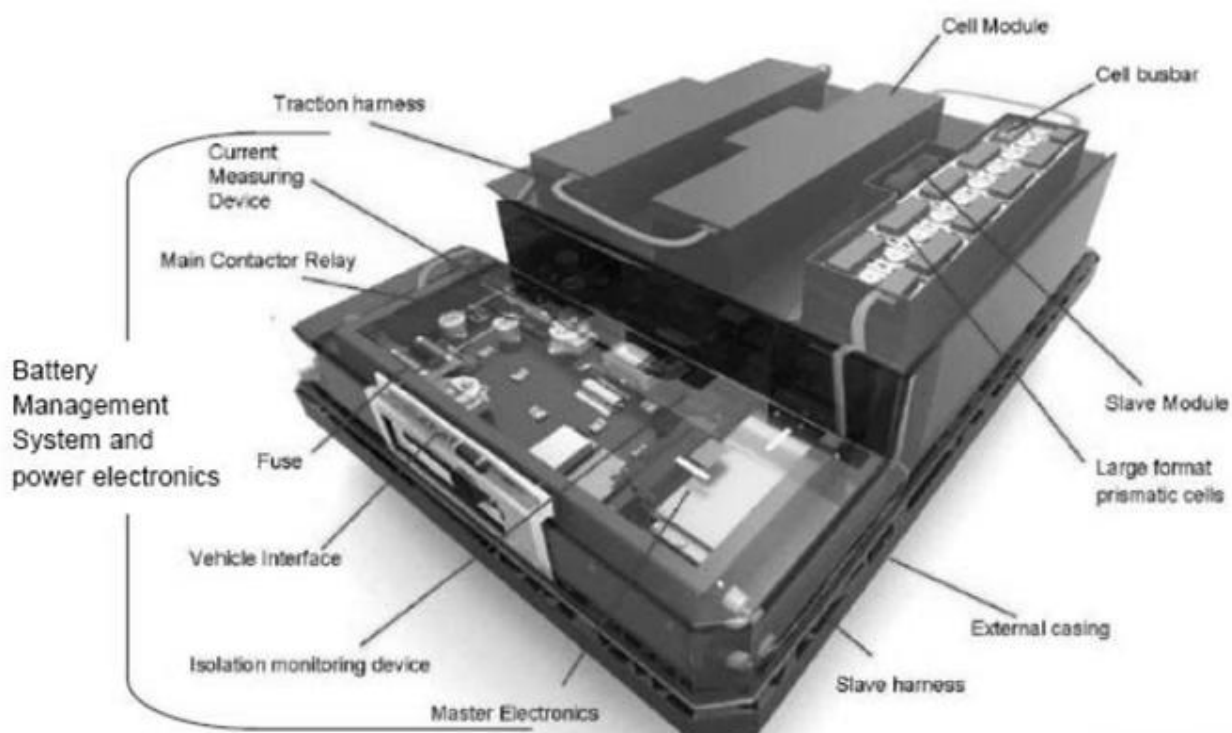
έως 200 km. Οι νέες μπαταρίες ιόντων λιθίου που διαθέτουν τα σύγχρονα ηλεκτρικά οχήματα παρέχουν αυτονομία μέχρι 320-480 km ανά φόρτιση [45].

Πίνακας 3 : Ορισμένα ηλεκτρικά οχήματα που κυκλοφορούν και τα βασικά χαρακτηριστικά τους [28]

Μάρκα	Μοντέλο	Χωρητικότητα [kWh]	Απόσταση[km]	Κατανάλωση [kWh/100km]	Κατηγορία οχήματος
Audi	e-Tron EV	42,2	248	17,1	Large
BMW	MINI-E	35	180	19,44	Small
Chrysler	Dodge Circuit EV	26	175	14,86	Large
Coda	Sedan-EV	33,8	180	18,78	Large
Daimler	SmartED	14	125	11,2	Small
Fiat	Panda	19,68	120	16,4	Small
Fiat	500	22	113	19,53	Small
Ford	Focus Ev	23	160	14,38	Mid-Size
Ford	Transit Connect	24	160	15	Mid-Size
Hyundai	i10 Ev	16	140	11,43	Small
Lighting	GTS	35	175	20	Large
Loremo EV	Loremo EV	10	150	6,67	Mid-Size
Lumeneo	Smera EV	10	150	6,67	Small
Mercedes	SLS eDrive	48	160	30	Large
MILES	ZX40S/ZX40ST	10	105	9.65	Small
Mitsubishi	i-MIEV	20	160	12,5	Small
NICE	Micro-Vett	10,5	80	13,05	Small
Nissan	Leaf	24	160	15	Mid-Size
Peugeot	iOn	20	140	14,29	Small
Phoenix	SUV/SUT	35	209	16,73	Mid-Size
Pininfarina	Bluecar	30	250	12	Small
Citroen	C-Zero	16	110	14,55	Small
Renault	Kangoo	15	160	9,38	Small
Renault	Zoe ZE	15	160	9,38	Small
Renault	Twingo Quickshift E	21,45	129	16,6	Small
Renault	Fluence	30	160	18,75	Mid-Size
REVA	NXR	14	160	8,75	Small
REVA	NRG	25	200	12,5	Small

Rud. Perf.	Spyder	16	125	12,8	Large
SUBARU	R1e	9	80	11,25	Small
SUBARU	Stella	9	80	11,25	Small
Tata Motors	Indica EV	25	200	12,5	Small
Tesla	Roadster/Model S	55	300	18,33	Large
BYD Auto	BYD e6	72	400	18	Large
Chery Automobile	S18 EV	15	135	11,11	Small
Heuliez	WILL EV	18	300	6	Small

Βασικό χαρακτηριστικό των μπαταριών είναι η χωρητικότητα του και μετράται σε kWh και μπορεί να πάρει τιμές από 3 kWh μέχρι 40 kWh ή και περισσότερο κάποιες πολύ μεγάλες. Τα ηλεκτρικά επαναφορτιζόμενα οχήματα έχουν μικρότερα racks, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4, επειδή μπορούν να έχουν περισσότερες από μία πηγές ενέργειας όπως ένας κινητήρας εσωτερικής καύσης [41].



Εικόνα 8 : Οργάνωση μπαταρίας σε πακέτα [41]

Το μέγεθος που υποδεικνύει αν μια μπαταρία χρειάζεται φόρτιση είναι η στάθμη/κατάσταση φόρτισης. Η κατάσταση της φόρτισης υποδεικνύει την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στην μπαταρία. Αν είναι 100% τότε είναι πλήρως φορτισμένη ενώ 0% πλήρως αφορτιστή. Μερικά συστήματα είναι ευαίσθητα και πρέπει η κατάσταση φόρτισης να είναι εντός ορίων ώστε να μην καταστρέφονται. Με σκοπό να μείνει η

μπαταρία σε καλή κατάσταση και να μην κινδυνεύουν οι επιβάτες του ηλεκτρικού οχήματος οι κατασκευαστές θέτουν το άνω όριο περίπου 95% και το κάτω 20%[41].

Η μπαταρία ενός ηλεκτρικού οχήματος οργανώνεται σε πακέτα τα οποία μπορούν να συρρικνωθούν κατά 20 έως 30 τοις εκατό και να γίνουν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα πιο προσιτά, με την χρήση νέων αισθητήρων που έχουν αναπτυχθεί για την παρακολούθηση των κυττάρων σε ένα πακέτο, σύμφωνα με την U.S. Government's Advanced Research Projects Agency for Energy (ARPA-E). Οι αισθητήρες θα μπορούν να ελέγχουν τι συμβαίνει μέσα σε κάθε ένα από τα εκατοντάδες κύτταρα που απαρτίζουν μία μπαταρία ενός ηλεκτρικού οχήματος, επιτρέποντας της να αποθηκεύει με ασφάλεια περισσότερη ενέργεια. Ήδη υπάρχει πρόγραμμα που είναι σε εξέλιξη εδώ και περίπου ένα χρόνο και επιδιώκει να αναπτύξει την απαραίτητη τεχνολογία. Ωστόσο, η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για τις μπαταρίες μπορεί να διαρκέσει μια δεκαετία ή και περισσότερο οπότε είναι πιο εύκολο να αυξηθούν οι δυνατότητες των υφιστάμενων[10].

Οι κατασκευαστές των μπαταριών δεν επιτρέπουν την πλήρη φόρτιση τους για αποφυγή των υψηλών επιπέδων τάσης που μπορούν να υποβαθμίσουν τα υλικά τις μπαταρίας ή σε ορισμένες περιπτώσεις να προκαλέσουν πυρκαγιές. Επιπλέον αποφεύγονται υπερθερμάνσεις ή άλλες καταστάσεις που μπορούν να μειώσουν την απόδοση της μπαταρίας. Προσπαθούν δηλαδή να τηρούν κάποιες βασικές αρχές γιατί δεν ξέρουν ακριβώς τι συμβαίνει μέσα σε κάθε κύτταρο (τη θερμοκρασία, τη χημική σύνθεση, τις μηχανικές καταπονήσεις, τις τάσεις σε κάθε ηλεκτρόδιο).

2.2. Κυριότητα Μπαταριών

Τα ηλεκτρικά επαναφορτιζόμενα αυτοκίνητα αποτελούν θέμα έρευνας των ημερών μας από διάφορους τομείς όπως εταιρίες πετρελαιοειδών, αυτοκινητοβιομηχανίες, κατασκευαστές μπαταριών, προμηθευτές ενέργειας, χειριστές δικτύου, εταιρίες μίσθωσης, κυβερνήσεις ή ιδιοκτήτες χώρων στάθμευσης. Όλοι έχουν να αντιμετωπίσουν ωστόσο τις ίδιες προκλήσεις μία εκ των οποίων είναι η κυριότητα της μπαταρίας.

Η αρχική προσέγγιση είναι η τιμή της μπαταρίας να εμπεριέχεται σε αυτήν του οχήματος και είναι αποδεκτή από τους ιδιοκτήτες αλλά απαιτεί σημαντική αρχική επένδυση για αυτούς. Οπότε νέες στρατηγικές για αντιστάθμιση του αρχικού κόστους των μπαταριών και του τεχνολογικού ρίσκου πουλώντας την μπαταρία ξεχωριστά αντιπροσωπεύουν το σημείο καμπής της μαζικής αγοράς των ηλεκτρικών επαναφορτιζόμενων οχημάτων. Ακολουθούν οι διαφορετικές στρατηγικές που υπάρχουν για την κυριότητα της μπαταρίας [1].

1. Οι μπαταρίες ανήκουν στους ιδιοκτήτες των οχημάτων. Η πιο συντηρητική στρατηγική που αφορά την ιδιοκτησία των μπαταριών είναι να πωλούνται με τα οχήματα στους πελάτες με μία ανταλλαγή έτσι αποφεύγεται επιπλέον ταλαιπωρία για τον ιδιοκτήτη. Την τακτική αυτή υιοθετούν όλες σχεδόν οι εταιρείες παρ' όλο που ορισμένες προσπάθησαν να ξεχωρίσουν τις δύο πωλήσεις τελικά δεν τα κατάφεραν. Αξίζει να σημειωθεί ότι το κόστος αγοράς οχήματος με ενσωματωμένα και την μπαταρία είναι αρκετά υψηλό. Ένα επιπλέον κόστος εκτός από την αρχική αγορά της μπαταρίας είναι η ανταλλαγή της όταν χαλάσει.
2. Οι μπαταρίες ανήκουν στις αυτοκινητοβιομηχανίες ή σε τρίτους. Όταν η μπαταρία πωλείται ξεχωριστά τότε οι αυτοκινητοβιομηχανία προσφέρει ανταγωνιστική τιμή για το ηλεκτρικό επαναφορτιζόμενο όχημα. Στην περίπτωση αυτή δεν είναι υπεύθυνος ο χρήστης για την επιδιόρθωση προβλημάτων ή για την προμήθεια βελτιωμένων μπαταριών όταν προτείνονται νέες τεχνολογίες. Σε σύγκριση με το

προηγούμενο μοντέλο αυτή η στρατηγική απαιτεί την εφαρμογή πληροφοριακών συστημάτων, υποδομών και διατήρηση της μισθωμένης συνδρομής, της τιμολόγησης, της παροχής μπαταρίας, της εξυπηρέτησης πελατών, της ανακύκλωσης κ.τ.λ.. Δευτερεύουσες αγορές και ομαδοποίηση των επιπλέον υπηρεσιών όπως ασφάλεια και κινητή πρόσβαση στο διαδίκτυο μπορούν να βοηθήσουν αυξάνοντας το εισόδημα και επιτρέποντας στις εταιρίες εκμίσθωσης να προσφέρουν χαμηλότερες μηνιαίες πληρωμές. Όταν η απόδοση της μπαταρίας μειώνεται, οι αυτοκινητοβιομηχανίες και οι τρίτες εταιρίες μπορούν να διοχετεύσουν τις μπαταρίες σε δευτερεύουσες αγορές. Για παράδειγμα μπορούν να τοποθετηθούν ως backup για υπολογιστές, ιατρικό εξοπλισμό ή για αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας και την διοχέτευση της στο δίκτυο σε περίπτωση αιχμής. Εναλλακτικά μπορούν να ανακυκλωθούν και ορισμένα στοιχεία τους να χρησιμοποιηθούν για να κατασκευαστούν νέες μπαταρίες. Η ενοικίαση σε συνδυασμό με την πώληση των μπαταριών σε δευτερεύουσες αγορές έχει γίνει από την GM το 2007 για το Volt. Προς την ίδια κατεύθυνση κινείται και η Nissan που προσπαθεί να ανακυκλώσει τις μπαταρίες χρησιμοποιώντας αυτές ως συσκευές αποθήκευσης.

3. Οι μπαταρίες ανήκουν σε εταιρίες κοινής ωφέλειας. Στην περίπτωση αυτή δημιουργείται μία νέα πηγή πωλήσεως ενέργειας και μία μέθοδος που μπορεί να βοηθήσει τον έλεγχο του δικτύου, ιδιαίτερα όταν τα οχήματα ενσωματώνονται στο δίκτυο. Με τις παλιές μπαταρίες οι οποίες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν πλέον στα οχήματα μπορούν οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να δημιουργήσουν μία μεγάλης κλίμακας καταμεμημένη χωρητικότητα αποθήκευσης και να αποθηκεύεται εκεί η περίσσεια. Στην στρατηγική αυτή, η προσαρμοστικότητα στις νέες τεχνολογίες είναι αρκετά υψηλή, όπως επίσης η διείσδυση της τεχνολογίας και η ευκολία εγκατάστασης σε σχέση με οποιαδήποτε προηγούμενη στρατηγική. Ωστόσο αν το όχημα δεν συνδεθεί στο δίκτυο για αρκετό χρονικό διάστημα τότε η απόδοση της επένδυσης δεν είναι ιδιαίτερα καλή. Το μειονέκτημα της τακτικής αυτής είναι ότι για να υπάρχει δυνατότητα «μετακίνησης πληρωμής» π.χ. υποστήριξη φόρτισης οπουδήποτε και πληρωμή μέσω του οικιακού λογαριασμού, όλες οι κοινής ωφέλειας εταιρίες πρέπει να συμμετέχουν σε ένα κοινό πρόγραμμα που περιλαμβάνει μία βάση των υπηρεσιών και των πελατών.
4. Οι μπαταρίες ανήκουν σε μη κερδοσκοπικούς οργανισμούς. Ένας ειδικός μη κερδοσκοπικός οργανισμός μπορεί να κατέχει, να διαχειρίζεται και να μισθώνει μπαταρίες και ως εκ τούτου να λαμβάνει όλους τους κινδύνους και τα βάρη που συνεπάγεται η επένδυση αυτή. Οι οργανισμοί μπορούν να έχουν κεφάλαια και χορηγήσεις από κυβερνήσεις και εταιρίες όπως κοινής ωφέλειας και αυτοκινητοβιομηχανίες συμβάλλοντας στην προώθηση των επαναφορτιζόμενων οχημάτων. Μία εναλλακτική στρατηγική θα ήταν η δημιουργία ενός διεθνή μη κερδοσκοπικού οργανισμού που θα κατέχει, θα διαχειρίζεται και θα νοικιάζει όλες τις μπαταρίες. Ο οργανισμός θα έχει επίσης διοικητικές ευθύνες. Ωστόσο κάτι τέτοιο είναι ακόμα δύσκολο να γίνει γιατί δεν υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες (συνεργασίες μεταξύ κατασκευαστών μπαταριών, υποδομές κ.ά.). Για να λυθούν δυσκολίες ενός τέτοιου οργανισμού μπορούν οι κυβερνήσεις να παρέχουν οικονομικό όφελος ώστε να γίνει ευρεία η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων και να ενισχύσουν οικονομικά τον συγκεκριμένο οργανισμό. Όμως αν η τιμή της μπαταρίας πέφτει όσο γρήγορα αναμένεται, τότε η ύπαρξη ενός τέτοιου οργανισμού δεν μπορεί να υπάρχει σε βάθος χρόνου.

2.3. Προμήθεια Ηλεκτρικής Ενέργειας

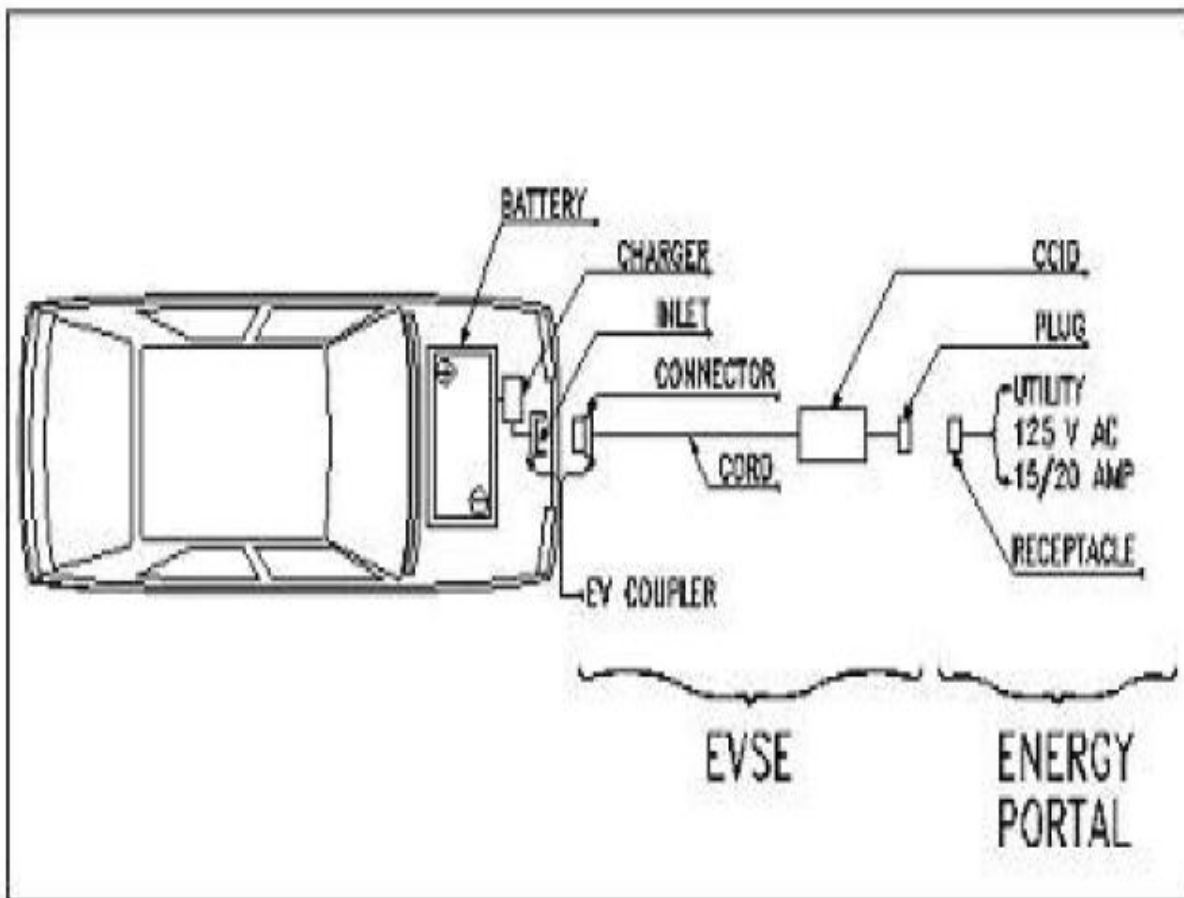
Για να είναι ευρεία η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων πρέπει να υπάρχει η κατάλληλη υποδομή φόρτισης σε κατάλληλες θέσεις όπως σπίτια, γραφεία, δρόμους και δημόσιους χώρους. Η φόρτιση μπορεί να γίνει είτε συνδέοντας το όχημα στο δίκτυο είτε αντικαθιστώντας την εξαντλημένη μπαταρία με μία φορτισμένη. Ακολουθούν δύο διαφορετικές στρατηγικές που περιγράφουν τα παραπάνω.

1. Φόρτιση μπαταρίας

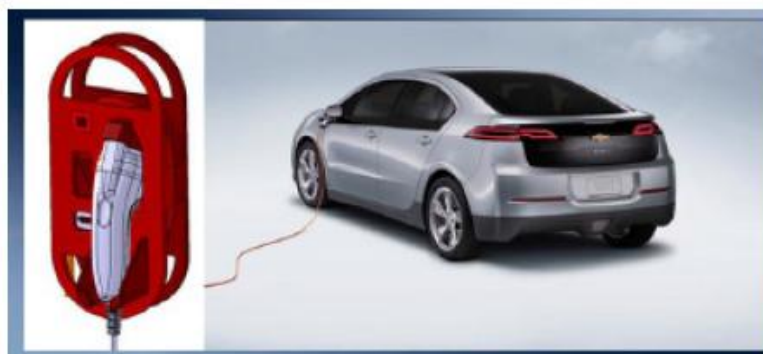
Η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων διακρίνεται ανάλογα με το επίπεδο ισχύος φόρτισης σε κατηγορίες. Υπάρχουν τρία διαφορετικά επίπεδα φόρτισης και καθένα έχει ξεχωριστές απαιτήσεις και συστήματα ασφαλείας [1],[2],[31],[35].

- **Αργή μονοφασική AC φόρτιση (level 1)**

Τα χαρακτηριστικά είναι 120 VAC, 12 A, 1.4 kW και 16 A, 1.9 kW για το αμερικανικό πρότυπο ενώ οι άλλες χώρες έχουν τάση 230V. Η φόρτιση διαρκεί αρκετές ώρες (8-12 για πλήρη φόρτιση). Πρόκειται για απλό τρόπο φόρτισης για τους χρήστες. Παρέχει χαμηλά επίπεδα ισχύος σε σχέση με τη χωρητικότητα της μπαταρίας. Επιπλέον χρησιμοποιούνται ποσά ενέργειας συχνών ηλεκτρικών συσκευών όπως ο φούρνος μικροκυμάτων. Η φόρτιση αυτή ενδείκνυται για οχήματα που αναπτύσσουν χαμηλές ταχύτητες και η εγκατάσταση είναι φτηνή. Αποτελεί κλάδο του κυκλώματος το οποίο διαθέτει το μικρότερο επίπεδο τάσης που μπορεί να βρεθεί σε εμπορικό κτίριο ή κατοικίες. Επειδή η φόρτιση μπορεί να διαρκέσει αρκετές ώρες αυτό το επίπεδο ενδείκνυται για οικιακό φορτιστή.



Σχήμα 4 : Χαρακτηριστικά φόρτισης επιπέδου 1 [2]



Εικόνα9 : Απεικόνισηαργήςφόρτισης [2]

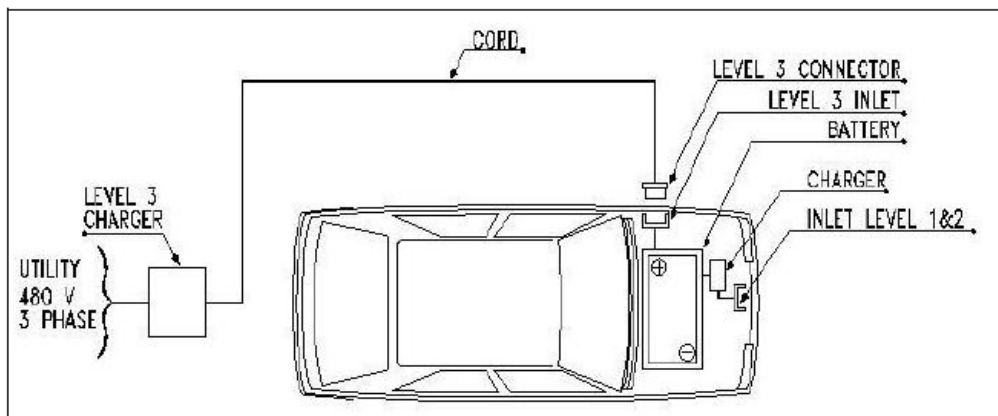
- **Μονοφασική φόρτιση με κανονική πρίζα αλλά με ειδικό εξοπλισμό ρύθμισης προστασίας (level 2):** Τα χαρακτηριστικά είναι 208/240VAC, μέχρι 80 A για 19.2 kW μέγιστη. Χρησιμοποιούνται ποσά ενέργειας ίδια με μεγάλες οικιακές συσκευές όπως air-condition και πλυντήριο ρούχων. Η πλήρης φόρτιση μπορεί να διαρκέσει 2-4 ώρες. Επίσης αυτό το είδος φόρτισης προβλέπεται ότι θα χρησιμοποιείται περισσότερο στο μέλλον και ειδικότερα στα σπίτια αν και είναι δύσκολο να φτάσει ρεύμα μέχρι 80A στα σπίτιαμε τις συνήθεις παροχές. Το κόστος εγκατάστασης τέτοιου είδους φόρτισης κυμαίνεται από 500 έως 2000\$.



Εικόνα10 : Απεικόνισηφόρτισηςδεύτερουεπίπεδου [2]

- **Τριφασική AC φόρτιση**
Απαιτείται πρόσβαση σε τριφασική παροχή ισχύος και μπορεί να αποδώσει υψηλότερα επίπεδα ισχύος σε σχέση με τη μονοφασική φόρτιση. Τα χαρακτηριστικά της φόρτισης είναι 240 VAC μονοφασική ή τριφασική και ρεύμα 100A. Το κόστος είναι υψηλό για οικιακούς φορτιστές. Ο χρόνος φόρτισης είναι πολύ μικρότερος σε σχέση με τα δύο προηγούμενα επίπεδα.
- **DC φόρτιση**
Αυτή η μέθοδος φόρτισης μπορεί να παρέχει υψηλά επίπεδα φόρτισης σε δημόσιες τοποθεσίες. Τα χαρακτηριστικά της φόρτισης είναι 300-500 VDC και πολύ μεγάλα ρεύματα 125-250A. Μία μπαταρία που φορτίζεται με αυτόν τον τρόπο φτάνει στο 80% της φόρτισης στα 30 λεπτά περίπου. Τέλος το κόστος εγκατάστασης είναι \$10.000 ή περισσότερο.

Το level 3 αποτελούν η τριφασική ACφόρτιση και η DCφόρτιση και επιτυγχάνεται σε υψηλή ισχύ, γρήγορη φόρτιση. Προς το παρόν στην Ευρώπη δεν έχουν προσδιοριστεί επίσημα τα διαφορετικά επίπεδα φόρτισης.



Σχήμα 5 : Χαρακτηριστικά φόρτισης 3ου επιπέδου [2]



Εικόνα 10 :Γρήγορος φορτιστής [2]

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα που πωλούνται σήμερα χρειάζονται για να φορτιστούν δύο έως πέντε φορές περισσότερη ενέργεια σε σχέση με τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα που βγήκαν στην αγορά μόλις πριν από δύο χρόνια. Αλλά η χρέωση δεν είναι ομοίως ακριβότερη καθώς εξαρτάται από το σημείο και τον τρόπο φόρτισης. Δηλαδή, όταν η φόρτιση γίνεται με 110 Volt δεν δημιουργείται πρόβλημα υπερφόρτισης στο δίκτυο. Επίσης δημόσιοι γρήγοροι φορτιστές δεν επηρεάζουν το δίκτυο πολύ επειδή αποτελούν μέρος των εμπορικών δικτύων που έχουν μετασχηματιστές και άλλο ειδικό εξοπλισμό για να μπορούν να τροφοδοτούν μεγάλα φορτία. Το πρόβλημα προκύπτει όταν οι ιδιοκτήτες των αυτοκινήτων τοποθετούν οικιακούς φορτιστές. Αυτοί αποτελούν μια σημαντική πρόσθετη επιβάρυνση, δεδομένου ότι ένα τυπικό κύκλωμα μίας γειτονιάς έχει μόνο πέντε έως 10 σπίτια. Σε τέτοιες περιπτώσεις οι διαχειριστές του δικτύου μπορούν να παρακολουθούν την ζήτηση μέσω έξυπνων μετρητών και να εντοπίζουν τις γειτονιές

που χρειάζονται αναβάθμιση. Το κόστος των αναβαθμίσεων όμως επιβαρύνει όλους του καταναλωτές και όχι μόνο τους ιδιοκτήτες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Σήμερα η φόρτιση γίνεται με τα πρώτα 2 επίπεδα οπότε απαιτούνται αρκετές ώρες φόρτισης καθώς το όχημα συνδέεται σε μία συμβατική πρίζα στο γκαράζ ή σε δημόσιο σταθμό φόρτισης. Γενικά όμως η φόρτιση ενός οχήματος μπορεί να διαρκέσει από 8 ώρες έως 20 λεπτά. Για παράδειγμα στην Γαλλία οι EDF και Toyota εγκατέστησαν σταθμός φόρτισης επιπέδου 2 στους δρόμους και στους χώρους στάθμευσης. Ωστόσο πρόσφατα η Coulomb Technologies ανακοίνωσε ότι στο μέλλον οι σταθμοί φόρτισης θα είναι επιπέδου 3 και η φόρτιση θα ολοκληρώνεται σε μια ώρα. Η αποδοχή μιας τέτοιας στρατηγικής από τους χρήστες είναι υψηλή αν αναλογιστούμε την εύκολη πρόσβαση σε μία κλιμακωτή, έξυπνη υποδομή χρέωσης που παρέχει τη δυνατότητα φόρτισης στο σπίτι και σε δημόσιους χώρους. Αυτού του είδους φόρτιση απευθύνεται κυρίως σε οχήματα που είναι ακινητοποιημένα όλη τη νύχτα σε ένα ιδιωτικό χώρο ή κατά τη διάρκεια των εργάσιμων ημερών σε ένα κοινόχρηστο χώρο στάθμευσης. Η διαθεσιμότητα της γρήγορης DC φόρτισης (φόρτιση επιπέδου 3) είναι πολλά υποσχόμενη αλλά δεν υπάρχει παγκόσμιο πρότυπο για τις υποδοχές. Οι γρήγοροι φορτιστές είναι αποδοτικοί όμως απαιτούν ειδικό (αποκλειστικό) λογισμικό διαχείρισης μπαταριών ώστε να γίνει γρήγορα η φόρτιση. Από τον Δεκέμβριο του 2012 υπάρχουν 50000 αργοί σταθμοί φόρτισης και 2000 γρήγοροι στις Η.Π.Α, την Ευρώπη, την Ιαπωνία και την Κίνα.

Πίνακας 4 : Βασικά στοιχεία φόρτισης ανάλογα με την παροχή [23]

Χρόνος Φόρτισης	Παροχή Ισχύος	Τάση	Μέγιστο Ρεύμα
6 - 8 hours	Single Phase -3,3 kW	230 VAC	16 A
2 - 3 hours	Three Phase - 10 kW	400 VAC	16 A
3 - 4 hours	Single Phase -7 kW	230 VAC	32
1 - 2 hours	Three Phase - 24 kW	400 VAC	32 A
20 - 30 minutes	Three Phase - 43 kW	400 VAC	63 A
20 - 30 minutes	Direct Current - 50 kW	400 - 500 VDC	100 - 125 A

Οι σταθμοί φόρτισης είναι δαπανηροί και η εγκατάσταση και συντήρηση τους είναι πολύπλοκη. Οπότε η ευκολία εγκατάστασης και συντήρησης είναι χαμηλή. Όμως οι λειτουργίες είναι ασφαλείς και αξιόπιστες.



Εικόνα 11 : Σταθμοί Φόρτισης [3]

Η αποδοτικότητα ενός φορτιστή και ο χρόνος φόρτισης εξαρτάται από τη μέθοδο φόρτισης. Η απόδοση ενός γρήγορου φορτιστή είναι 87% ενώ ενός αργού 92%.

Ο τελικός χρήστης του δικτύου των φορτιστών θέλει οι φορτιστές να πληρούν κάποιες βασικές προδιαγραφές, οι οποίες είναι [3]:

- ✓ Να λειτουργούν πλήρως εναρμονισμένοι με κανόνες ασφαλείας (φώτα, ηλεκτροπληξία, κλπ)
- ✓ Να είναι σωστά κατανεμημένοι στον χώρο
- ✓ Να είναι διαλειτουργικοί (χρήση κοινών πρωτοκόλλων, ασφαλείς συναλλαγές)
- ✓ Να είναι έξυπνοι (δυνατότητα προγραμματισμένης φόρτισης όταν η κοστολόγηση της ενέργειας είναι χαμηλή)

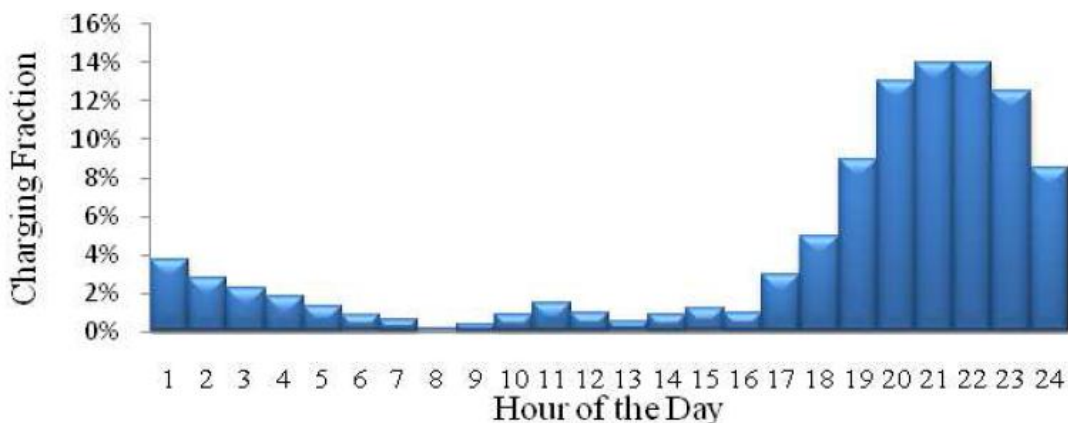
Με σκοπό να διασφαλιστούν τα κοινά πρότυπα φόρτισης οχημάτων η Society of Automotive Engineers (SAE) έχει αναπτύξει πρότυπα για την μεταφορά ενέργειας και ένα κοινό καλώδιο. Αυτά τα πρότυπα θα εξασφαλίσουν ότι όλα τα ηλεκτρικά επαναφορτιζόμενα οχήματα έχουν κοινό καλώδιο φόρτισης έτσι ώστε κάθε όχημα να φορτίζει σε οποιονδήποτε σταθμό.

Το σύστημα φόρτισης μπαταριών περιλαμβάνει δύο είδη φορτιστών τους οικιακούς και τους δημόσιους. Οι δημόσιοι φορτιστές είναι η βέλτιστη λύση και χρησιμοποιούν ενέργεια από διάφορες πηγές όπως ήλιος και άνεμος και μπορεί να υπάρξει σε διάφορα μέρη. Οι οικιακοί φορτιστές σχεδιάζονται για να παρέχουν μικρή ισχύ με αποτελεσματικό τρόπο καθώς η φόρτιση μπορεί να διαρκεί πολλές ώρες μιας και τα οχήματα τις περισσότερες ώρες της μέρας είναι παρκαρισμένα στα σπίτια. Τα οφέλη από αυτούς τους δύο τύπους φορτιστών είναι η άνεση των χρηστών και η ελευθερία τους να φορτίσουν τα οχήματα όταν θέλουν σύμφωνα με την καλύτερη τιμή της ενέργειας. Το κύριο μειονέκτημα είναι ότι κάθε φόρτιση είναι ανεξάρτητη και το όριο της υπερφόρτισης μπορεί εύκολα να ξεπεραστεί.

Βασικό ερώτημα της επιστημονικής κοινότητας είναι αν πρέπει να δημιουργηθούν πρώτα οι σταθμοί φόρτισης ή να γίνει πρώτα η εξάπλωση των ηλεκτρικών οχημάτων. Ωστόσο η ιστορία έχει αποδείξει ότι πρέπει πρώτα να δημιουργούνται οι υποδομές έτσι στην Εσθονία εγκαθιστούν 200 DC φορτιστές (ταχείας φόρτισης) για το σύνολο του εθνικού οδικού δικτύου στην χώρα (ένας φορτιστής ανά 50 km).

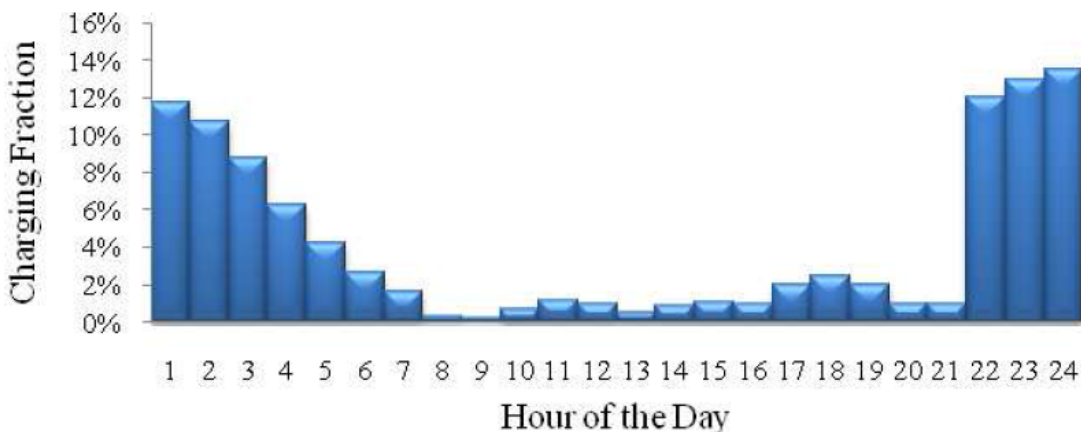
Η φόρτιση των μπαταριών μπορεί να γίνει με δύο τρόπους : ελεγχόμενη ή μη [2]. Στην **ελεγχόμενη φόρτιση** οι μπαταρίες φορτίζονται ή εκφορτίζονται σύμφωνα με την ικανότητα και τις ανάγκες του δικτύου αλλά και τις προτιμήσεις του χρήστη. Για έλεγχο σε πραγματικό χρόνο πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν κάποιοι παράμετροι όπως η τιμή της ενέργειας (πώλησης ή αγοράς), το επίπεδο φόρτισης (State of Charge-SoC) και η κατάσταση «υγείας» (State of Health-SoH) που σχετίζεται με την υποβάθμιση των μπαταριών κατά την διάρκεια ζωής τους. Έχουν προταθεί διάφοροι αλγόριθμοι ελεγχόμενης φόρτισης που στηρίζονται στην συνεργασία των οχημάτων με το δίκτυο διανομής.

Στην **μη ελεγχόμενη φόρτιση** δεν υπάρχει ουσιαστικά κανένας έλεγχος πέρα από ορισμένες φορές που μπορεί να καθοριστεί η στιγμή της έναρξης της φόρτισης, δηλαδή ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να φορτιστεί το όχημα του με μία καθυστέρηση. Η φόρτιση σταματάει μόλις φορτιστεί η μπαταρία πλήρως για κανονική φόρτιση ή φτάσει το 80% της στάθμης φόρτισης για γρήγορη φόρτιση. Αν όλα τα οχήματα φορτίζονται ταυτόχρονα αυξάνεται η ζήτηση και το φορτίο αιχμής που προκύπτει προκαλεί προβλήματα υπερφόρτισης του δικτύου. Ωστόσο, αυτός ο τρόπος φόρτισης είναι πιο διαδεδομένος σήμερα.



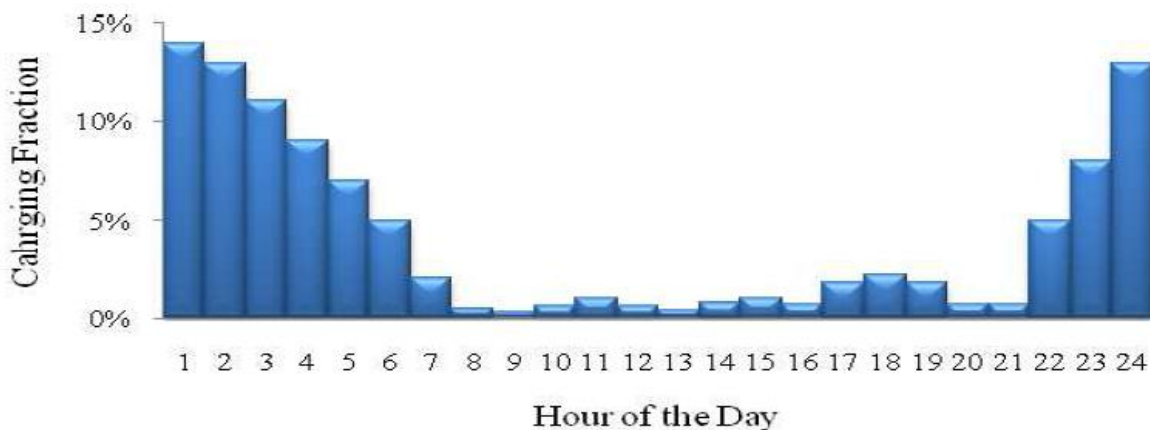
Σχήμα 6 : Αναμενόμενο προφίλ φόρτισης για μη ελεγχόμενο σενάριο [2]

Φόρτιση Off-peak : σχεδόν όλες οι φορτίσεις συμβαίνουν στις οικίες κατά τις νυχτερινές ώρες. Δεδομένου ότι τις ώρες αυτές το φορτίο είναι χαμηλό γίνεται προσπάθεια βελτιστοποίησης της χρήσης της χαμηλής τιμής της ενέργειας .



Σχήμα 7 : Αναμενόμενο προφίλ φόρτισης για φόρτιση off-peak [2]

Με αυτήν την στρατηγική μπορεί να υπάρξει «εξομάλυνση» του φορτίου αιχμής όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Οπότε με τον τρόπο αυτό θα υπάρχει εξοικονόμηση χρημάτων από την πλευρά των χρηστών και καλύτερη επίδοση του δικτύου.



Σχήμα 8 : Αναμενόμενο προφίλ φόρτισης για εξομάλυνση off-peak φόρτιση [2]

2. Ανταλλαγή μπαταρίας

Με αυτό τον τρόπο δεν υπάρχει καθυστέρηση φόρτισης, αυξάνεται η εμπειρία του χρήστη και επιτρέπονται μεγάλα ταξίδια με το ηλεκτρικό όχημα. Το πρόβλημα στην περίπτωση αυτή είναι η συμφωνία των κατασκευαστών οχημάτων με τους κατασκευαστές μπαταριών ώστε να σχεδιάζονται μπαταρίες που θα επιτρέπουν την αυτόματη ανταλλαγή τους. Αυτό θα ωφελούσε τους χρήστες των οχημάτων και θα τους έδινε την ευκαιρία να αναβαθμίζουν τα οχήματα τους δοκιμάζοντας μπαταρίες νέας τεχνολογίας. Επίσης, η αξιοπιστία της στρατηγικής αυτής είναι περίπου 25% καθώς η ανταλλαγή βασίζεται σε περίπλοκα ρομποτικά συστήματα. Η έλλειψη της προσαρμοστικότητας είναι το κύριο μειονέκτημα της στρατηγικής αυτής καθώς η πρόοδος της τεχνολογίας των μπαταριών απαιτεί αναβαθμίσεις όλων των ρομποτικών συστημάτων. Η ασφάλεια όμως είναι αυξημένη σε σχέση με την προηγούμενη στρατηγική καθώς όλες οι λειτουργίες είναι αυτοματοποιημένες. Εκτός από τα τεχνολογικά εμπόδια, η αποθήκευση των μπαταριών που ανταλλάσσονται φαίνεται ανέφικτη. Κάθε χειριστής δικτύου που αναλαμβάνει την ανταλλαγή μπαταριών θα έχει πρόβλημα με τις αποθεματικές μπαταρίες καθώς απαιτείται χώρος αποθήκευσης και επαναφόρτισης των μπαταριών τηρώντας ταυτόχρονα τα μέτρα ασφαλείας. Το κόστος μίας τέτοιας επένδυσης είναι υψηλό όπως και το ρίσκο και η απόδοση της είναι χαμηλή. Ωστόσο θα επιτρέψει τη χρήση ελαφρύτερων μπαταριών διότι δεν θα πρέπει να παρέχουν πολλά χιλιόμετρα χρήσης. Μια τέτοια επιχειρηματική κίνηση ταιριάζει καλύτερα σε μικρές πόλεις όπου υπάρχει έντονο εθνικό ενδιαφέρον στον τομέα της ενέργειας. Η εφαρμογή σε μεγαλύτερη κλίμακα αποτελεί πρόκληση. Καθώς τα συστήματα ανταλλαγής μπαταριών είναι σε πρώιμο στάδιο, η ωριμότητα της τεχνολογίας, η διείσδυση της, η ευκολία εγκατάστασης και συντήρησης δεν έχουν ικανοποιητικά ποσοστά. Η ανταλλαγή μπαταριών δεν μπορεί να υπάρξει χωρίς μίσθωση μπαταριών. Μόνο αν οι μπαταρίες δεν ανήκουν στους ιδιοκτήτες, προτίθενται να ανταλλάξουν τις μπαταρίες τους με μία άλλη της οποίας ο «προσδόκιμος χρόνος ζωής» της δεν είναι εγγυημένο ότι θα είναι μεγαλύτερος από της προηγούμενης. Επιπλέον οι καταναλωτές δεν ασχολούνται πλέον με το κόστος της μπαταρίας, το κύκλο ζωής της, την τεχνολογία της, την συντήρηση και με θέματα που αφορούν την ασφάλεια της [1].

Σύμφωνα με εφαρμογή της μεθόδου αυτής τον Μάιο του 2009 η ανταλλαγή μπαταρίας διαρκεί λιγότερο από 2 λεπτά. Στο Τόκιο έχει άνοιξε δοκιμαστικός σταθμός ανταλλαγής. Το επιχειρηματικό μοντέλο στοχεύει στη χρήση του ηλεκτρικού οχήματος για αρκετά μίλια καθώς θα υπάρχουν σταθμοί φόρτισης και ανταλλαγής οπότε δεν θα χρησιμοποιούνται πλέον μόνο για σύντομες διαδρομές. Οι σταθμοί ανταλλαγής πρέπει να βρίσκονται σε μέρη που είναι προσβάσιμα στους οδηγούς και μπορούν να συνδεθούν με το δίκτυο χωρίς επέκταση χωρητικότητας [3].



Εικόνα 12 : Σταθμοί Ανταλλαγής [3], [14]

2.4. Φόρτιση Οχημάτων

Στην διαδικασία φόρτισης ενός ηλεκτρικού οχήματος εμπλέκονται κάποιοι άνθρωποι. Αυτοί είναι [4] :

- Ο **ιδιοκτήτης του οχήματος** είναι υπεύθυνος για την έγκαιρη φόρτιση αλλά και για την πληρωμή (με ποικίλους τρόπους) της ενέργειας που θα καταναλώσει διαθέτοντας στο σπίτι του οικιακό φορτιστή οχήματος καθώς και στο τόπο εργασίας του.
- Σε ένα δημόσιο μέρος εκτός από το αντίτιμο της φόρτισης πρέπει να υπάρχει και μία **ταυτότητα παροχέα**. Αυτή θα λειτουργεί σαν κέντρο πληροφόρησης για το σύνολο της πληρωμής. Οι σταθμοί φόρτισης πρέπει να βρίσκονται όπου υπάρχει χώρος στάθμευσης στο δρόμο, αεροδρόμια κτλ.. Τα υφιστάμενα πρατήρια υγρών καυσίμων μπορούν επίσης μετατραπούν ή να εισάγουν πρίζες φόρτισης. Οι σταθμοί μπορούν να προστεθούν σε άλλες δημόσιες υποδομές που έχουν παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, όπως τηλεφωνικοί θάλαμοι και έξυπνα παρκόμετρα. Σε ημι-δημόσια μέρη όπως ένα parking ξενοδοχείου, εμπορικά κέντρα, εστιατόρια, καφετέριες, στα περίπτερα. Εκτός από το αντίτιμο παρκαρίσματος θα πρέπει να υπάρχει και η πληρωμή για την φόρτιση του οχήματος.
- Οι **διαχειριστές του δικτύου** ενέργειας πρέπει να «συμμετέχουν» στην διαδικασία φόρτισης με έμμεσο τρόπο. Ειδικότερα, ο διαχειριστής του συστήματος μεταφοράς που αναζητά τον συνολικό έλεγχο του φορτίου ώστε να υποστηρίζει τις βοηθητικές υπηρεσίες και ο διαχειριστής του συστήματος διανομής που αναζητά τον έλεγχο του φορτίου σε μία συγκεκριμένη περιοχή του ολικού δικτύου ώστε να εγγυάται την καλή ποιότητα.

2.4.1. Τρόποι Φόρτισης

Η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να γίνει με επαφή ή με επαγωγή [29].

Η φόρτιση με επαφή απαιτεί εξαρτήματα (καλώδια και βύσματα) για την διασύνδεση του οχήματος με το σταθμό φόρτισης. Αυτός ο τρόπος χρησιμοποιείται όταν οι φορτιστές είναι ενσωματωμένοι στο ηλεκτρικό όχημα. Η μέθοδος αυτή δεν έχει τελειοποιηθεί οπότε εμφανίζει αρκετά μειονεκτήματα. Για την φόρτιση των οχημάτων ακολουθείται η μη αυτοματοποιημένη διαδικασία που ακολουθείται σε οποιαδήποτε άλλη συσκευή χρειάζεται τροφοδότηση μέσω ρεύματος. Οπότε ο χρήστης του οχήματος είναι υπεύθυνος για την σύνδεση και αποσύνδεση του οχήματος από το δίκτυο κάτι που 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. Η αντικατάσταση του εξοπλισμού αυξάνει 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.

Στην φόρτιση του οχήματος με επαγωγικό τρόπο η μεταφορά ενέργειας από το σταθμό προς το όχημα γίνεται χωρίς αγώγιμη ζεύξη, μέσω ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Ειδικότερα, τα συστήματα επαγωγικής φόρτισης μεταφέρουν εναλλασσόμενη ισχύ δημιουργώντας ένα μαγνητικό κύκλωμα μεταξύ ενός πρωτεύοντος τυλίγματος στην μεριά της τροφοδοσίας και ενός δευτερεύοντος τυλίγματος στην μεριά του οχήματος. Έτσι η ισχύς ρέει από το πρωτεύον στο δευτερεύον όπως συμβαίνει και σε ένα μετασχηματιστή με δύο τυλίγματα. Ακόμη, αφού ο συσσωρευτής έχει DC τάση και μπορεί να φορτιστεί μόνο με DC ρεύμα οπότε το AC ρεύμα εξόδου του δευτερεύοντος

τυλίγματος ανορθώνεται με την κατάλληλη διάταξη πριν φτάσει σε αυτόν. Οι επαγωγικοί φορτιστές έχουν τα περισσότερα κυκλώματα φόρτισης και ελέγχου εκτός του οχήματος και επικοινωνούν με αυτό μέσω υπερύθρων ή ραδιοσυχνοτήτων. Η επαγωγική φόρτιση προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τη συμβατική φόρτιση καθώς 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.



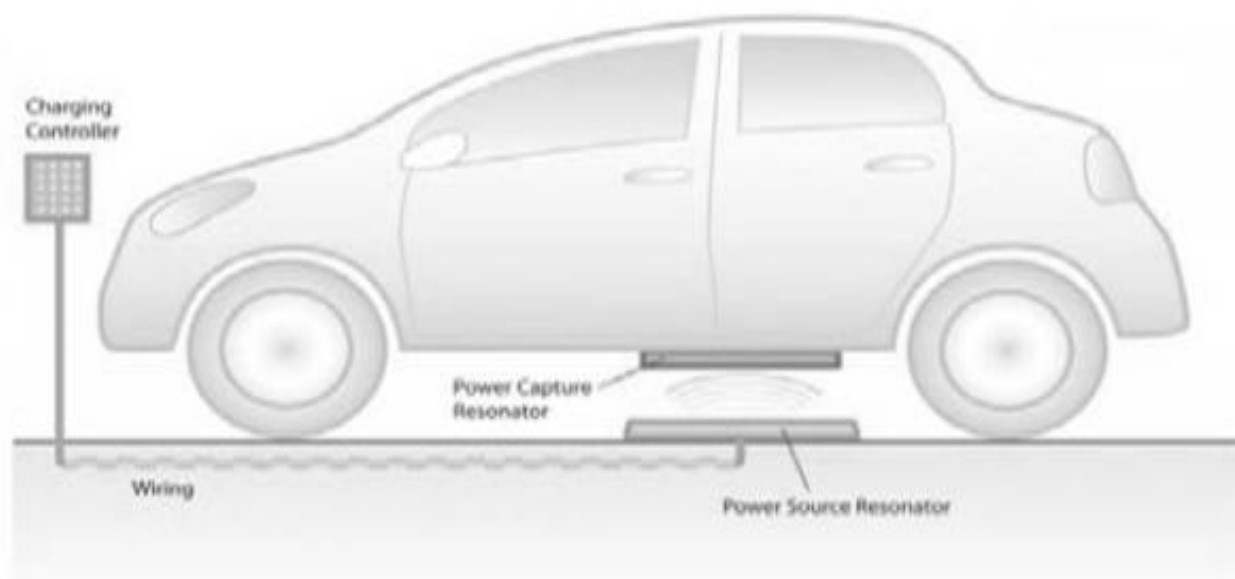
Εικόνα 13 : Φόρτιση με επαφή [29]



Εικόνα 14 : Σταθμός ενσύρματος φόρτισης στη Γαλλία [29]



Εικόνα 15 : Φόρτιση οχήματος μέσω επαφής στο Παρίσι [29]



Σχήμα 9 : Φόρτιση οχήματος με επαγωγικό τρόπο [29]

Συγκριτικά το κόστος της δεύτερης μεθόδου είναι αρκετά αυξημένο όπως και η πολυπλοκότητα. Από θέμα ασφάλειας η φόρτιση με επαφή διαθέτει συστήματα ανίχνευσης λαθών όμως η φόρτιση με επαγωγή υπέχει λόγω της ηλεκτρικής απομόνωσης του οχήματος από την τροφοδοσία. Τέλος συγκρίνοντας τις δύο μεθόδους από πλευράς ενεργειακής απόδοσης πιο αποδοτική είναι η φόρτιση με επαφή.

Στις Η.Π.Α. μελετήθηκε ένα πραγματικό ηλεκτρικό όχημα σε σχέση με την φόρτιση του και προέκυψαν τα εξής δεδομένα χρήσης:

- ✓ Διάρκεια χρήσης οχήματος 3 χρόνια (2009-2011)
- ✓ Χιλιόμετρα που διανύθηκαν στο διάστημα αυτό 112.000
- ✓ Συνολικός αριθμός φορτίσεων 1.330
- ✓ Μέσος όρος ημερήσιων χιλιομέτρων 124
- ✓ Μέσος όρος φορτίσεων 1,47/ημέρα

2.4.2. Τρόποι Πληρωμής

Η φόρτιση μπορεί να είναι δωρεάν σε κάποιες περιπτώσεις όπως για παράδειγμα σε ένα εμπορικό σταθμό για να προσελκύσουν πελάτες. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι πληρωμής της φόρτισης του ηλεκτρικού οχήματος ακόμα και όταν αυτή συμβαίνει μακριά από την οικία του ιδιοκτήτη [1].

1. Στο σημείο φόρτισης

Η λιανική πώληση της ενέργειας αντιπροσωπεύεται από ένα απλό, κλειστό μοντέλο που ακολουθεί το ισχύον μοντέλο λιανικής πώλησης της βενζίνης. Η πληρωμή γίνεται εκεί που φορτίζεται, για παράδειγμα σε χώρους στάθμευσης ή σε δρόμους, με χρήματα, πιστωτικές κάρτες, προπληρωμένες κάρτες κ.α.. Οι περισσότεροι σταθμοί φόρτισης ακολουθούν αυτό το μοντέλο. Αυτή η στρατηγική έχει το πλεονέκτημα να επιτρέπει τις πολλαπλές επιλογές πληρωμής. Η εταιρία που σχετίζεται με την λειτουργία των σταθμών θα τιμολογούν τον πελάτη και μετά θα πρέπει να πληρώνει στις εταιρίες κοινής ωφέλειας. Για να γίνει κάτι τέτοιο όμως πρέπει να υπάρχουν κοινά πρότυπα και

συνεργασίες ανάμεσα στις εταιρίες κοινής ωφέλειας λιανικής πώλησης και στους διαχειριστές διανομής της ενέργειας. Το συγκεκριμένο μοντέλο πληρωμής δεν είναι καινούργιο και η τεχνολογική ωριμότητα και διείσδυση είναι αρκετά υψηλές.

2. Περιαγωγή (Roaming)

Ένα εναλλακτικό ανοικτό μοντέλο είναι η «περιαγωγή» ανάμεσα στους εμπόρους λιανικής πώλησης ενέργειας. Παρέχει την δυνατότητα στον πελάτη να φορτίζει το όχημα του οπουδήποτε και στο τέλος μίας συγκεκριμένης περιόδου να λαμβάνει έναν λογαριασμό. Η πληρωμή είναι εικονική και μπορεί να χρεώνεται αυτόματα σε έναν υπάρχων λογαριασμό ή σε έναν ειδικά διαμορφωμένο λογαριασμό περιαγωγής. Ο τομέας αυτός βασίζεται στην επιτυχία των χρηματοπιστωτικών συστημάτων και των τηλεπικοινωνιών. Η εμπειρία του χρήστη δεν είναι μέγιστη στην στρατηγική αυτή καθώς η εξυπηρέτηση αυτών εκτός των συνόρων της χώρας που ανήκουν θα είναι πολύπλοκη. Επιπλέον, η δυνατότητα περιαγωγής μπορεί να παρέχεται μόνο σε εθνικό επίπεδο αν όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς συνεργάζονται τόσο μεταξύ τους όσο και με την κυβέρνηση. Η συγκεκριμένη στρατηγική απαιτεί σημαντικές επενδύσεις και η ανταπόδοση της δεν είναι δεδομένη ειδικά αν η περιαγωγή συνυπάρχει με ένα απλό μοντέλο πληρωμής. Η προσαρμοστικότητα της στρατηγικής είναι μέτρια καθώς είναι περίπλοκο να συνδυαστεί η περιαγωγή με τα ηλεκτρικά οχήματα που συνδέονται στο δίκτυο.

2.4.3. Κοστολόγηση Ενέργειας

Η ανεξέλεγκτη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων οποιαδήποτε ώρα της ημέρας μπορεί να προκαλέσει φαινόμενα υπερφόρτισης στο δίκτυο κυρίως κατά την διάρκεια των ωρών που ήδη είναι αυξημένη η κατανάλωση ή κατά την διάρκεια των απογευματινών ωρών όπου η φόρτιση θα είναι μαζική. Έτσι μπορούν να προκληθούν βλάβες στον εξοπλισμό του δικτύου ή διακοπή λειτουργίας οπότε πρέπει να βρεθεί ένας τρόπος ελέγχου του φορτίου του δικτύου. Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να λειτουργήσουν σαν παραγωγοί και σαν καταναλωτές [5]. Χρειάζεται όμως ένας αλγόριθμος ελέγχου που θα καθορίζει εάν πρέπει να φορτιστεί ένα όχημα, να παρέχει την αποθηκευμένη ενέργεια στο δίκτυο ή να παρέχει ρύθμιση συχνότητας στο δίκτυο. Το πρόβλημα ελέγχου εμπεριέχει και την τιμή η οποία αλλάζει δυναμικά κάθε ώρα. Στο μέλλον θα αυξηθεί το φορτίο καθώς θα ενσωματωθούν στο δίκτυο ηλεκτρικά οχήματα που θα προκαλέσουν προβλήματα. Αυτά μπορούν να αντιμετωπιστούν με την διεσπαρμένη και συντονισμένη φόρτιση αυτών.

Κάθε ηλεκτρικό όχημα του δικτύου βρίσκεται σε διαφορετική κατάσταση (επίπεδο φόρτισης, χωρητικότητα μπαταριών, έναρξη φόρτισης) οπότε χρειάζεται ένας έξυπνος αλγόριθμος ελέγχου που να ελέγχει τα ηλεκτρικά οχήματα κάθε ώρα ώστε να είναι μέγιστο το κέρδος αυτών χωρίς να ξεφεύγουν από τους περιορισμούς (π.χ. επιθυμητή στάθμη φόρτισης που πρέπει να φτάσουν) [6].

Πρωταρχικός στόχος των οχημάτων που είναι παρκαρισμένα είναι η φόρτιση αυτών. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας για τα ηλεκτρικά οχήματα παρέχεται η δυνατότητα πώλησης της αποθηκευμένης ηλεκτρικής ενέργειας και ρύθμιση συχνότητας παρέχοντας επιπλέον εισόδημα στους ιδιοκτήτες [6].

Ένας τρόπος ελεγχόμενης φόρτισης είναι η **αναλογική δίκαιη τιμολόγηση** (proportionally fair pricing-PFP) δηλαδή ο χρήστης δηλώνει πόσο προτίθεται να πληρώσει για την φόρτιση και στη συνέχεια η διαθέσιμη ροή ενέργειας μοιράζεται αναλογικά με το ποσό αυτό. Αυτό οδηγεί στη σύγκλιση σε μία κατάσταση μεγιστοποίησης της χρησιμότητας του δικτύου. Με άλλα λόγια, σε ένα ιδανικό περιβάλλον, η πρόταση της PFP μπορεί να αποκεντρώσει την παγκόσμια βέλτιστη κατανομή των πόρων. Ένα άλλο αποτέλεσμα της χρήσης PFP είναι ότι το ποσοστό

ελέγχου που βασίζεται σε προσθετική αύξηση και πολλαπλασιαστική μείωση επιτυγχάνει αναλογική δικαιοσύνη. Έχει αποδειχτεί ότι ο αποκεντρωμένος μηχανισμός ελέγχου συμφόρησης είναι σταθερός ακόμα και υπό τυχαίες τοπολογίες δικτύου και καθυστερήσεις ανατροφοδότησης [7].

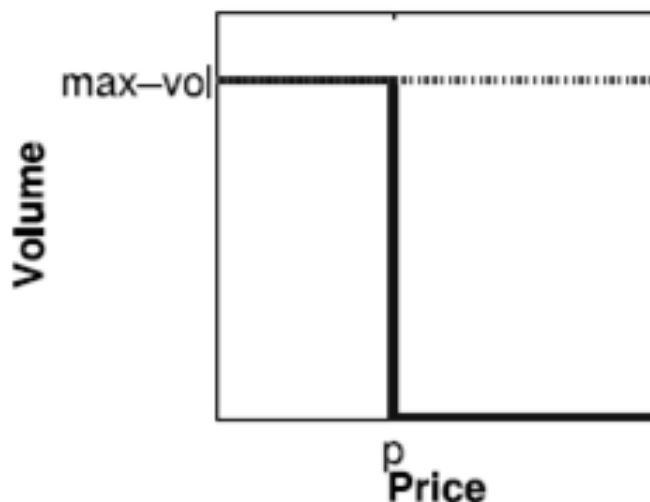
Εναλλακτικά, η οργάνωση της αγοράς μπορεί να γίνει με μία **δημοπρασία «single shot multi-unit»** [8]. Σε αυτή την δημοπρασία, οι αγοραστής υποβάλλουν την μέγιστη τιμή που προτίθενται να πληρώσουν και οι πωλητές υποβάλλουν τις προσφορές τους για το εμπόρευμα που είναι μεγαλύτερη από μία συγκεκριμένη τιμή. Αυτή η τιμή εξισορροπεί την ζήτηση με την προσφορά. Κάθε αγοραστής διατίθεται να καταναλώσει την ποσότητα των αγαθών που προτίθεται να πωλήσει για την τιμή εκκαθάρισης. Όταν η αγορά βασίζεται σε αυτή την συντονισμένη λογική, το δίκτυο μεταφοράς χαμηλής τάσης οργανώνεται και αυτό με τον ίδιο τρόπο και το εμπόρευμα που αγοράζεται και πωλείται είναι η ηλεκτρική ενέργεια. Οι ιδιοκτήτες των κατοικιών αντιπροσωπεύουν τους αγοραστής και ένας μετασχηματιστής τον πωλητή της αγοράς. Υποθέτουμε μόνο έναν πωλητή στην αγορά, δηλαδή υπάρχει μόνο ένας μετασχηματιστής στο δίκτυο διανομής και επωφελούμαστε από αυτό καθώς μπορεί να ελέγχει τον όγκο του αντικειμένου διαπραγματεύσεως της αγοράς. Για τον καθορισμό της τιμής εκκαθάρισης οι προσφορές αθροίζονται με δεδομένο ότι οι προσφορές που γίνονται από τους αγοραστής είναι αρνητικές ποσότητες.

Οι διαπραγματεύσεις γίνονται μέσω μεσολαβητών και από τις δύο πλευρές. Οι μεσολαβητές των αγοραστών δηλώνουν την μέγιστη τιμή που προτίθενται να πληρώσουν για την ενέργεια που θα καταναλώσουν τα επόμενα 5 λεπτά και ο μεσολαβητής του μετασχηματιστή δίνει προσφορές για την ποσότητα της ενέργειας που θέλει να δώσει. Σε κάθε γύρο προσφοράς, ο μεσολαβητής της αγοράς στέλνει ένα σήμα στον μεσολαβητή του μετασχηματιστή και στους μεσολαβητές των νοικοκυριών. Όταν όλες οι προσφορές έχουν ληφθεί, υπάρχει ένας μεσολαβητής αγοράς που συγκεντρώνει τις συναρτήσεις προσφορών και προσδιορίζει την τιμή αγοράς. Η συνάρτηση προσφορών υποδεικνύει τι όγκο ένας αγοραστής ή ένας προμηθευτής προτίθεται να αγοράσει και με ποια τιμή. Οι περιορισμοί της συνάρτησης αυτής είναι ο μέγιστος όγκος που ένας αγοραστής ή ένα πωλητής θέλει ή μπορεί να αγοράσει.

Αυτή η στρατηγική υπάρχει ήδη ωστόσο θα ενταχθούν κάποιοι περιορισμοί. Πρώτον, οι αγοραστής πρέπει να αγοράσουν ένα συγκεκριμένο όγκο μετά από ένα συγκεκριμένο γύρο διαπραγματεύσεων. Για παράδειγμα πρέπει οπωσδήποτε να αγοραστεί ενέργεια κάποια στιγμή της ημέρας ώστε τα ηλεκτρικά οχήματα να φορτιστούν και να είναι έτοιμα για χρήση το επόμενο πρωί. Αυτή η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας είναι γνωστή μόνο στον αγοραστή. Δεύτερον, ο όγκος της ενέργειας που μπορεί να διαπραγματευτεί σε ένα μόνο γύρο είναι περιορισμένος. Για παράδειγμα, η σύνδεση του δικτύου με τα νοικοκυριά έχει περιορισμένη ισχύ. Αυτό εισάγει την ανάγκη των αγοραστών να συμμετέχουν σε πολλούς γύρους δημοπρασιών για να καλύψουν όλες τους τις ανάγκες.

Ο πωλητής κυριαρχεί στην αγορά οπότε είναι αυτός που θα επιβάλει την μέγιστη δυνατή τιμή στο αγαθό. Για την τόνωση της αγοράς και την διατήρηση του όγκου των συναλλαγών στην πάροδο του χρόνου, ο πωλητής μπορεί να χρησιμοποιήσει μία συνάρτηση προσφοράς που περιλαμβάνει ένα όριο. Το πλάτος αυτού του ορίου δίνει το εύρος τιμών με το οποίο προτίθεται ο πωλητής να προμηθεύσει τα αγαθά του στην αγορά. Όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος τιμών τόσο η τιμή εκκαθάρισης είναι εντός αυτού.

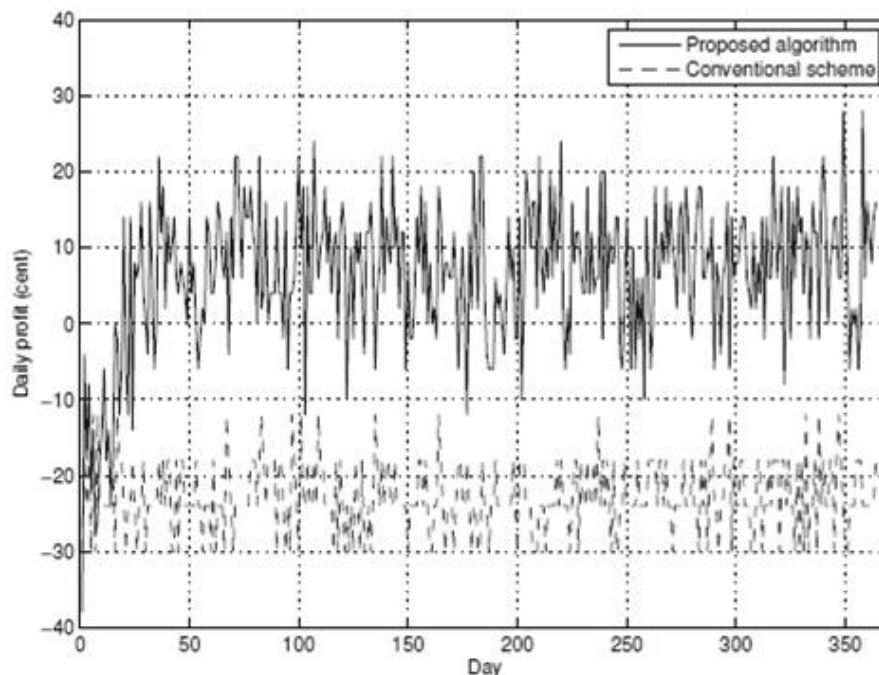
Η συμπεριφορά του αγοραστή σε έναν γύρο εξαρτάται από το ποσό του αγαθού που θέλει να αγοράσει στο συγκεκριμένο γύρο. Όταν ο αγοραστής χρειάζεται ένα δεδομένο όγκο, θα υποβάλλει τις συναρτήσεις προσφοράς με μορφή βηματικής συνάρτησης. Εξαρτώμενος από τη ζήτηση και τη στρατηγική προσφοράς, ένας αγοραστής μπορεί να προσαρμόσει την τιμή μίας βηματικής συνάρτησης.



Σχήμα 10: Βηματική συνάρτηση προσφοράς του αγοραστή [8]

Ένας άλλος τρόπος που προτείνεται είναι η **τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο**[10] που προσφέρει αξιοπιστία και αποτελεσματικότητα στο δίκτυο προσαρμόζοντας τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με τις πραγματικές συνθήκες ζήτησης και παροχής. Οι τιμές είναι υψηλές τις ώρες αιχμής και μεταβάλλονται τις υπόλοιπες ώρες της ημέρας. Η κοστολόγηση σε πραγματικό χρόνο ισχύει ήδη σε μερικά μέρη όπως στο Chicago. Μπορεί να γίνεται λίγο πριν ξεκινήσει κάθε ώρα και οι καταναλωτές μπορούν να ενημερώνονται για την κοστολόγηση και να προσαρμόζουν τα φορτία τους. Αυτός ο τρόπος κοστολόγησης εμπεριέχει προκλήσεις για τους καταναλωτές που δεν έχουν να αντιμετωπίσουν μόνο την απόφαση σχετικά με τα φορτία που θα τροφοδοτούν αλλά και την αβεβαιότητα σχετικά με τις μελλοντικές τιμές. Έχουν γίνει διάφορες μελέτες ώστε να αποφευχθεί η αβεβαιότητα της μελλοντικής τιμής που καταλήγουν σε αλγόριθμους. Έστω ότι η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μία αλυσίδα Markov με άγνωστες παραμέτρους και προκύπτει ένα πρόβλημα ως μία διαδικασία λήψης αποφάσεων Markov (MDP). Ο αλγόριθμος στοχεύει στη μεγιστοποίηση του κέρδους των ιδιοκτητών ηλεκτρικών οχημάτων κατά την διάρκεια που είναι παρκαρισμένα. Προτείνεται ένας αλγόριθμος ελέγχου που «μαθαίνει» από παλιά δεδομένα και αυτόματα προσαρμόζεται στις άγνωστες πληροφορίες τιμολόγησης και παίρνει βέλτιστες ωριαίες αποφάσεις ελέγχου.

Χρησιμοποιώντας την πληροφορία της τιμής ο αλγόριθμος ελέγχου «τρέχει» για όλα τα ηλεκτρικά οχήματα που θα είναι σταθμευμένα για την επόμενη ώρα ώστε να βρεθεί αν θα φορτιστεί η μπαταρία για το επόμενο ταξίδι, αν θα τροφοδοτήσει το δίκτυο πουλώντας την αποθηκευμένη ενέργεια ή αν θα παρέχει υπηρεσίες ρύθμισης συχνότητας. Συλλέγοντας τις πληροφορίες (συνολικό ποσό ενέργειας που θα πωληθεί, συνολικό ποσό που θα ζητηθεί, συνολική χωρητικότητα για ρύθμιση συχνότητας) για όλα τα οχήματα ο aggregator τις στέλνει στον πάροχο. Οι παραπάνω τηλεπικοινωνιακές πληροφορίες ανταλλάσσονται στην αρχή κάθε ώρας. Ένας αλγόριθμος ελέγχου ενεργοποιείται στη συνέχεια από τον πάροχο για διαχείριση της ενέργειας. Συγκρίνοντας ένα συμβατικό τρόπο τιμολόγησης ενέργειας και έναν αλγόριθμο όπως αυτός περιγράφηκε προηγουμένως προκύπτουν οι καμπύλες του σχήματος 12.



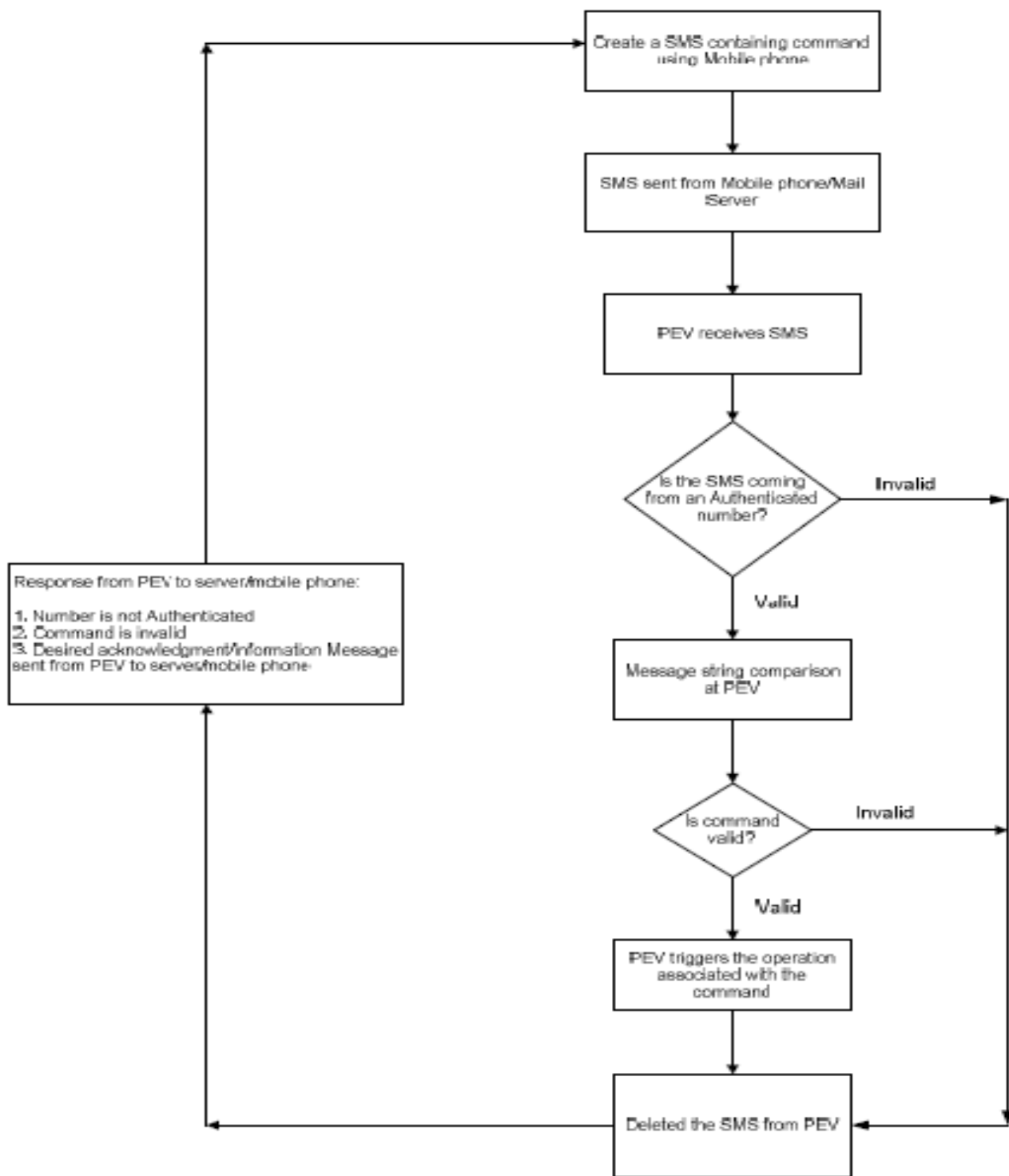
Σχήμα 11 : Το καθημερινό όφελος ανάμεσα στον συμβατικό τρόπο χρέωσης και σε έναν αλγόριθμο ελέγχου [24]

Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχουν εμφανή πλεονεκτήματα στο συμβατικό σύστημα στην αρχή. Ο αλγόριθμος που προτείνεται καθώς μαθαίνει από καταστάσεις που έχουν γίνει και προσαρμόζεται στις αλλαγές της τιμής, αυξάνει το ημερήσιο όφελος οπότε υπερτερεί σε σχέση με το συμβατικό σύστημα. Το θετικό όφελος του προτεινόμενου αλγόριθμου ελέγχου είναι αξιοσημείωτο γιατί δείχνει ότι η σύνδεση των οχημάτων με το δίκτυο μπορεί να ωφελήσει τους ιδιοκτήτες μέσω των λειτουργιών ελέγχου.

2.5. Επικοινωνία Οχήματος – Δικτύου

Αρχικά στέλνεται ένα μήνυμα από τον χρήστη του κινητού τηλεφώνου που περιλαμβάνει την εντολή χρήσης του συγκεκριμένου τηλεφώνου. Το μήνυμα προωθείται στον server του κινητού τηλεφώνου μέσω του παρόχου του χρήστη. Το μήνυμα μετά στέλνεται στο όχημα το οποίο πιστοποιεί ότι ο χρήστης είναι έγκυρος μέσω του αριθμού του τηλεφώνου. Αν το μήνυμα προέρχεται από αναξιόπιστο χρήστη διαγράφεται. Στην πρώτη περίπτωση, το μήνυμα «εξετάζεται» για να βρεθεί ο κωδικός ασφαλείας. Αν το μήνυμα προέρχεται από αναξιόπιστο χρήστη τότε διαγράφεται. Όταν αναφέρεται σε μη έγκυρο ηλεκτρικό όχημα ή περιέχει αναξιόπιστη εντολή στέλνεται στον αποστολέα. Όταν το περιεχόμενο του είναι έγκυρο ξεκινάει η λειτουργία της εντολής που περιγράφεται στο μήνυμα. Το αρχικό μήνυμα διαγράφεται και οι κατάσταση των λειτουργιών που εκτελούνται στέλνονται στον αποστολέα.

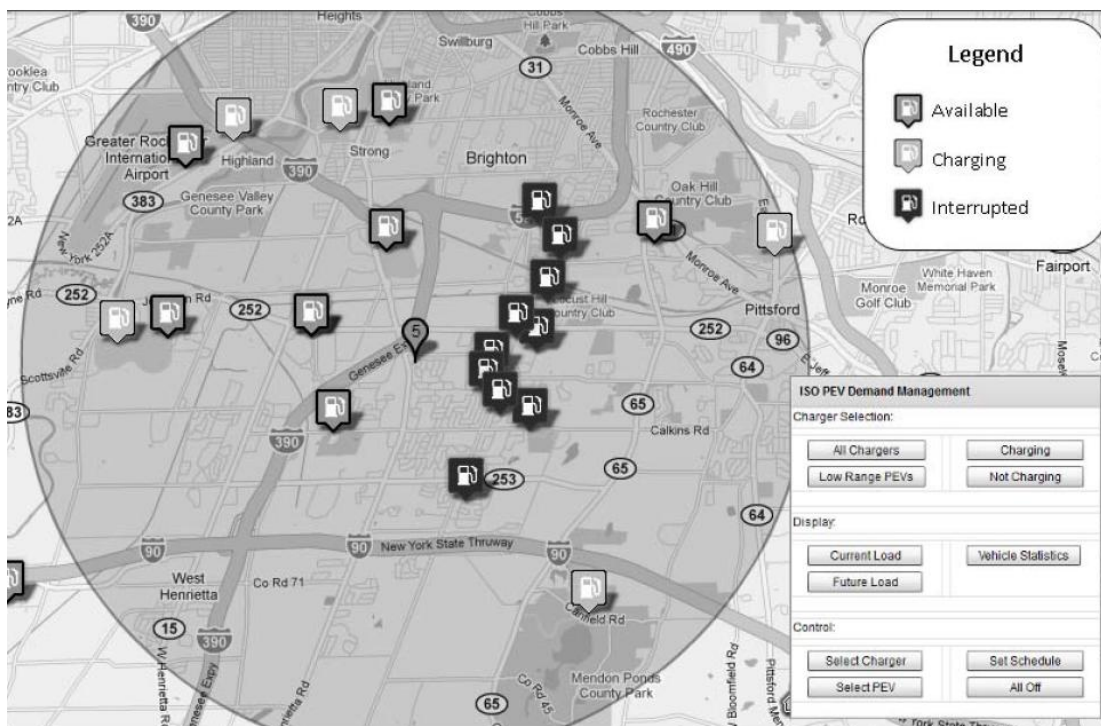
Η ακολουθία των μηνυμάτων που στέλνονται περιγράφονται στο σχήμα 13.



Σχήμα 12 :Ακολουθία μηνυμάτων [25]

Μία αξιόλογη πλατφόρμα επικοινωνίας είναι η εξής : Ο εξοπλισμός αποτελείται από ένα modem Telit GM862 QuadBand GSM με ενσωματωμένο GPS. Το modem παρέχει διεργασίες Python που επιτρέπει να γραφτούν εφαρμογές και να τρέχουν αυτές στο modem. Επιπλέον μέσω αυτού ελέγχονται απευθείας όλες οι δραστηριότητες του modem όπως αποστολή/λήψη μηνύματος. Μέσω των εντολών που υπάρχουν σε ένα μήνυμα γίνεται έλεγχος της φόρτισης. Επίσης, μέσω του modem λαμβάνονται πληροφορίες για την ακριβή τοποθεσία, την κατάσταση φόρτισης και το επίπεδο της μπαταρίας. Αυτή η ενημέρωση μπορεί να γίνει μέσω ανταλλαγής μηνυμάτων. Με ανταλλαγή μηνυμάτων μπορεί να γίνει πλήρης έλεγχος και παρακολούθηση ενός

ηλεκτρικού οχήματος. Μέσω του GPS και του GSM μπορεί ο ιδιοκτήτης ενός ηλεκτρικού οχήματος να ενημερωθεί γραφικά και γραπτά σχετικά με τα διαθέσιμα μέρη φόρτισης, την διαθεσιμότητά τους και τα χαρακτηριστικά τους [25].



Εικόνα 16 :Εικόνα που συμβάλλει στον έλεγχο του συστήματος [25]

2.6. Αξιολόγηση νέων στρατηγικών

Κατά καιρούς παρουσιάζονται και εφαρμόζονται διάφορες τακτικές σε σχέση με τα ηλεκτρικά οχήματα ώστε να βρεθεί η πιο ικανοποιητική από όλες τις πλευρές. Πρέπει λοιπόν να υπάρχει ένα πλαίσιο αξιολόγησης της επιτυχίας των διάφορων στρατηγικών για τα ηλεκτρικά οχήματα. Το πλαίσιο θα πρέπει να περιλαμβάνει όλα τα στάδια δηλαδή 1) τον σχεδιασμό, 2) την εφαρμογή και την ανάπτυξη και 3) την εξέλιξη της στρατηγικής. Κάθε διάσταση αποτελείται από ανεξάρτητα κριτήρια επιτυχίας [1].

a) Σχεδιασμός

Τα κριτήρια επιτυχίας για το σχεδιασμό σχετίζονται με τις επιχειρηματικές στρατηγικές και τη διαχείριση της τεχνολογίας.

Απόδοση της επένδυσης (Return on Investment-Rol) : Μέτρο των νομισματικών οφελών που προκύπτουν από την στρατηγική για ορισμένη χρονική περίοδο σε αντάλλαγμα για ένα συγκεκριμένο επενδυτικό και λειτουργικό κόστος.

Επιχείρηση πυρήνα (Core Business-CB) : Μέτρο του κατά πόσο η στρατηγική επικεντρώνεται στην επάρκεια και τις δραστηριότητες του βιομηχανικού πυρήνα.

Ανεξαρτησία της εταιρίας (Independence Business-BI) : Μέτρο της ανεξαρτησίας της στρατηγικής από εξωτερικές συνεργασίες.

Κυβερνητική ανεξαρτησία (Government Independence-GI) : Μέτρο της ανεξαρτησίας της στρατηγικής από κυβερνητικές πολιτικές και νομοθεσίες.

Πρότυπο ανεξαρτησίας (Standard Independence-SI) : Μέτρο της ανεξαρτησίας της στρατηγικής από εθνικά ή διεθνή πρότυπα.

Κλιμακωτή προσέγγιση (Scalable Approach-SA) : Μέτρο της κλιμάκωσης της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται για την στρατηγική.

«Ωριμότητα» της τεχνολογίας (Technology Maturity-TM) : Μέτρο της διαθεσιμότητας και της ωριμότητας της τεχνολογίας από την άποψη των απαιτήσεων της πληροφορικής και των υποδομών του δικτύου.

Διείσδυση της τεχνολογίας (Technology Penetration-TP) : Μέτρο της ταχύτητας ή του επιπέδου διείσδυσης της τεχνολογίας από την άποψη των απαιτήσεων της πληροφορικής και των υποδομών του δικτύου.

b) Εφαρμογή και Ανάπτυξη

Η επιτυχία του σταδίου αυτού βασίζεται στην λειτουργία του συστήματος, την τεχνολογία και την υιοθέτηση του χρήστη.

Ευκολία εγκατάστασης (Ease of installation-EI) : Μέτρο της δυσκολίας της εγκατάστασης και της ενσωμάτωσης του συστήματος στο υπάρχον περιβάλλον.

Ευκολία συντήρησης και επισκευής (Ease of Maintenance and Repair-EMR) : Μέτρο της δυσκολίας συντήρησης, αναβάθμισης και επισκευής του εγκατεστημένου συστήματος (πόσο είναι εύκολη η εγκατάσταση και η ενσωμάτωση του συστήματος στο υπάρχον περιβάλλον).

Αξιοπιστία (Reliability-R) : Μέτρο των κινδύνων της τεχνολογίας καθώς το σύστημα λειτουργεί σε μέγιστη απόδοση όλο το χρόνο.

Ασφάλεια (Safety-S) : Μέτρο της έκθεσης πελατών και εργατών σε επικίνδυνες καταστάσεις.

Ταχύτητα λειτουργίας (Speed of operation-SO) : Μέτρο της διαθεσιμότητας και της αποτελεσματικότητας της εγκατεστημένης τεχνολογίας.

Αποδοχή από το χρήστη (User acceptance-UA) : Μέτρο της αποδοχής από το χρήστη από την άποψη των πλεονεκτημάτων που προσφέρει το σύστημα σε σχέση με άλλα διαθέσιμα (περιβαλλοντική επίδραση, εύρος υπηρεσιών κ.α.) και την συνοχή του συστήματος με άλλες κοινωνικές πρακτικές και κανόνες μεταξύ των πελατών.

Εμπειρία του χρήστη (User Experience-UE) : Μέτρο του πως αισθάνεται ο χρήστης σχετικά με την χρήση του συστήματος από την άποψη της ευκολίας της χρήσης, της εκμάθησης και των ευκαιριών να δοκιμάσει καινοτομίες.

c) Εξέλιξη

Τα κριτήρια επιτυχίας αυτού του σταδίου σχετίζονται με την επιτυχία της στρατηγικής σε βάθος χρόνου.

Αντοχή (Durability-D) : Μέτρο της ικανότητας της στρατηγικής να συνεχίσει να είναι χρήσιμο μετά από ένα μεγάλο χρονικό διάστημα.

Προσαρμοστικότητα (Adaptability-A) : Μέτρο της ικανότητας της στρατηγικής να τροποποιηθεί μετά την εγκατάσταση για να ανταποκριθεί στις μεταβαλλόμενες ανάγκες, όπως να διορθώσει λάθη, να βελτιώσει τις επιδόσεις ή να προσαρμοστεί σε ένα τροποποιημένο περιβάλλον.

Κάθε στρατηγική έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά οπότε μπορούν εύκολα να συγκριθούν. Επίσης επιτρέπεται η βελτίωση της στρατηγικής του σχεδιασμού αναγνωρίζοντας τα κενά που εμφανίζονται. Τέλος η επίδραση της στρατηγικής στην επιχείρηση από την άποψη της επιτυχίας ή της αποτυχίας μπορεί εύκολα να αναγνωρισθεί.

Ορισμένα κριτήρια μπορεί να μην είναι εφαρμόσιμα για όλες τις στρατηγικές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΣΤΑΘΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Τα ηλεκτρικά οχήματα θεωρούνται μία από τις σημαντικότερες καθαρές τεχνολογίες μείωσης του CO₂. Όμως υπάρχουν και κάποια προβλήματα που πρέπει να λυθούν όπως ο χρόνος ζωής των μπαταριών, η μείωση του κόστους των μπαταριών, οι υποδομές φόρτισης, η γρήγορη και ευρεία εφαρμογή των υποδομών αυτών κ.ά.. Η φόρτιση των μπαταριών θα γίνεται με σύνδεση της μπαταρίας με τον φορτιστή και θα διαρκεί περισσότερο από την τροφοδοσία με βενζίνη ακόμα και αν έχουμε τους γρηγορότερους φορτιστές.

Απαραίτητη υποδομή για την εξάπλωση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι η δημιουργία σταθμών φόρτισης. Εκεί θα υπάρχει δυνατότητα φόρτισης των οχημάτων ποικιλοτρόπως (επιλογή ταχύτητας φόρτισης, παροχής τάσης και ρεύματος).

Καθώς ηλεκτρικά οχήματα εισέρχονται στην αγορά, υπάρχει μία αυξανόμενη ζήτηση για σταθμούς φόρτισης. Οι σταθμοί αυτοί μειώνουν το άγχος των χρηστών (πιθανό και πραγματικό) οπότε αυξάνεται η χρήση οχημάτων. Σύμφωνα με έρευνες το συνολικό κόστος ενός συστήματος μεταφοράς που βασίζεται σε ηλεκτρικά οχήματα μπορεί να μειωθεί παρέχοντας σταθμούς φόρτισης αντί για μεγάλες μπαταρίες. Υπολογίστηκε ότι το κόστος αύξησης της ηλεκτρικής αυτονομίας του οχήματος από 10 μίλια σε 40 είναι \$8,268 ενώ το κόστος εγκατάστασης ενός εμπορικού σταθμού φόρτισης επιπέδου 2 είναι \$1,852.

Τα υφιστάμενα πρατήρια υγρών καυσίμων μπορούν να γίνουν ή μπορούν να περιλαμβάνουν σταθμούς φόρτισης. Στην Ιαπωνία κάποιες τοπικές κυβερνήσεις υλοποίησαν την εφαρμογή αυτή για τα ηλεκτρικά οχήματα. Στα συγκεκριμένα projects, κάποια εστιατόρια και μαγαζιά παρέχουν επιτοίχιες πρίζες για την φόρτιση των οχημάτων των πελατών τους. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι κατά την φόρτιση του οχήματος μπορεί ο χρήστης να ψωνίσει ή να φάει στα συγκεκριμένα μαγαζιά. Βέβαια ο χρόνος φόρτισης είναι αρκετά μεγάλος αν θέλουμε η φόρτιση να γίνει σε ικανοποιητικό επίπεδο.

Οι σταθμοί φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα δεν απαιτούν πολύ μεγάλες επενδύσεις για υποδομές στις ανεπτυγμένες χώρες. Οι απαιτούμενοι σταθμοί μπορούν να αξιοποιήσουν το υφιστάμενο ηλεκτρικό δίκτυο και τις οικίες των ιδιοκτητών για την επαναφόρτιση. Όταν η χρήση των οχημάτων γίνεται για μικρές καθημερινές αποστάσεις μπορεί η φόρτιση να γίνεται οικιακά. Ωστόσο, για μετακινήσεις μεταξύ πόλεων απαιτείται ένα δίκτυο δημόσιων σταθμών φόρτισης ή κάποια άλλη μέθοδο για να επεκταθεί το φάσμα των ηλεκτρικών οχημάτων πέρα από την κανονική καθημερινή μετακίνηση. Μία πρόκληση σε μια τέτοια υποδομή είναι το επίπεδο της ζήτησης : ένας απομονωμένος σταθμός κατά μήκος ενός πολυσύχναστου αυτοκινητόδρομο μπορεί να χρησιμοποιείται από εκατοντάδες πελάτες ανά ώρα αν κάθε διερχόμενο ηλεκτρικό όχημα πρέπει να σταματήσει εκεί για να ολοκληρώσει το ταξίδι.

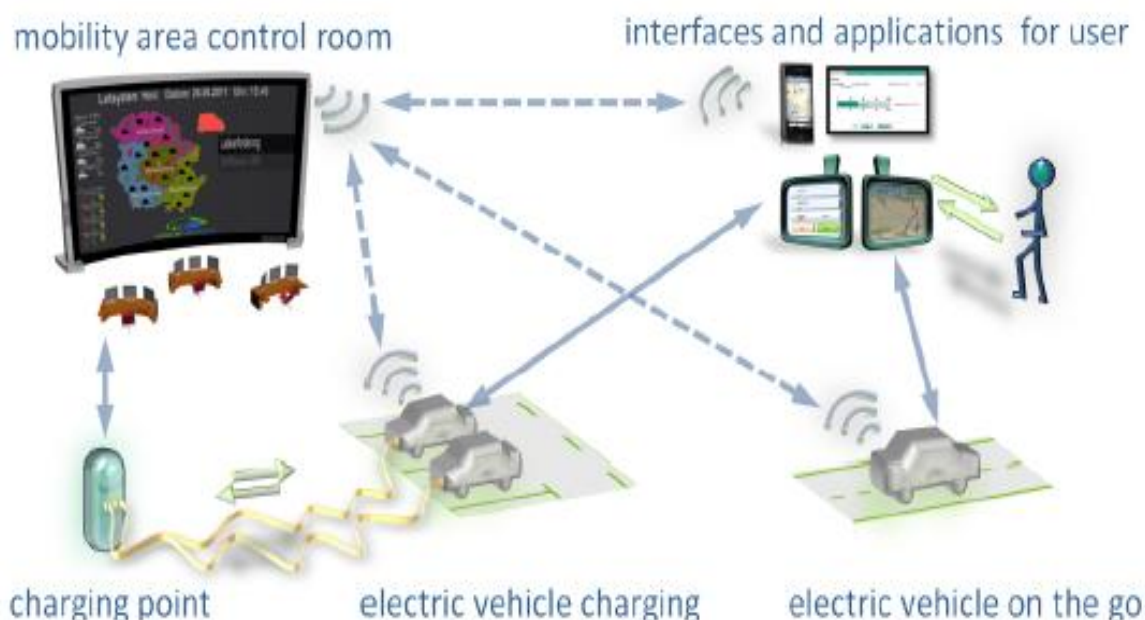
Οι σταθμοί φόρτισης στις αναπτυγμένες χώρες δεν χρειάζονται μεγάλες τροποποιήσεις στις υπάρχουσες υποδομές και οι επενδύσεις είναι μικρότερες από την παροχή ενός νέου εναλλακτικού καυσίμου για ένα νέο δίκτυο. Οι σταθμοί μπορούν να αξιοποιήσουν το υφιστάμενο ηλεκτρικό δίκτυο για την επαναφόρτιση των οχημάτων. Για τοπικές μετακινήσεις (μικρότερες από 80χλμ) δεν απαιτείται επαναφόρτιση. Ωστόσο για μετακινήσεις μεταξύ μακρινών πόλεων απαιτείται ένα δίκτυο δημόσιων σταθμών φόρτισης ή κάποια άλλη μέθοδο για να επεκταθεί το φάσμα των ηλεκτρικών οχημάτων πέρα από την κανονική καθημερινή μετακίνηση. Πρόκληση αποτελεί το επίπεδο της ζήτησης που μπορεί να διαφέρει από σταθμό σε σταθμό και δεν μπορεί να προβλεφτεί.

Για παράδειγμα, έναν απομονωμένο σταθμό κατά μήκος ενός πολυσύχναστου αυτοκινητόδρομου μπορεί να «επισκεφτούν» εκατοντάδες πελάτες ανά ώρα.

Η ταχύτητα φόρτισης ακόμα και των πιο γρήγορων φορτιστών δεν είναι αποτελεσματική. Έτσι οι χρήστες θα πρέπει να χρησιμοποιούν οικιακούς φορτιστές (επιτοίχιες πρίζες) για να συμπληρώσουν την ανεπάρκεια των γρήγορων φορτιστών.

Μέχρι τον Δεκέμβριο του 2012 περίπου 50000 δημόσια σημεία αργής φόρτισης και 2000 γρήγορης είχαν εγκατασταθεί στις Η.Π.Α., στην Ευρώπη, στην Ιαπωνία και την Κίνα.

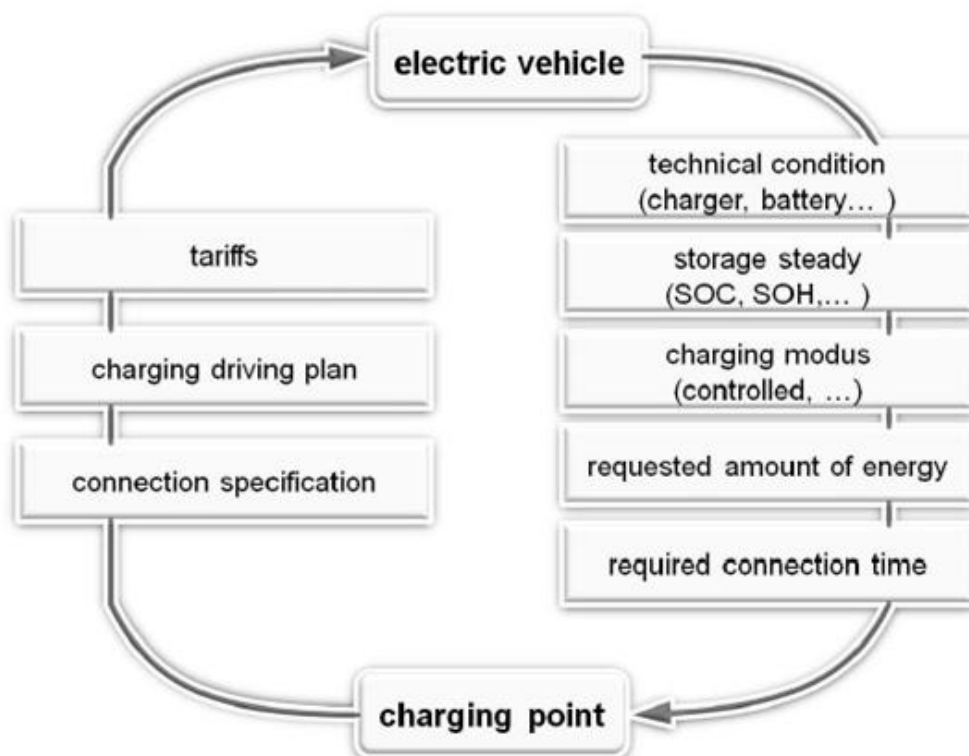
Η ηλεκτροκίνηση των οχημάτων έχει δημιουργήσει αρκετές προκλήσεις σε διάφορους τομείς που απαιτούν λύσεις. Εκτός από την κατασκευή του οχήματος, τις μπαταρίες και τα ηλεκτρονικά και η επικοινωνία παίζει σπουδαίο ρόλο. Απαιτείται λοιπόν έρευνα σε σχέση με την προήγηση του οχήματος προς συγκεκριμένους σταθμούς φόρτισης, την εποπτεία των ενεργειακών αναγκών και τον έλεγχο φόρτισης του οχήματος. Επιπλέον, απαιτούνται ειδικά πρωτόκολλα επικοινωνίας. Η επικοινωνία αποτελείται από τον έλεγχο που πραγματοποιείται από το χειριστή του δικτύου, το σημείο φόρτισης, το ηλεκτρικό όχημα και το χρήστη του οχήματος.



Εικόνα 17: Η δομή της επικοινωνίας [40]

Ο χειριστής του δικτύου επιτηρεί τις ανάγκες ενέργειας που προκαλούνται από τα σταθμευμένα οχήματα και προβλέπει τις μελλοντικές ανάγκες. Επίσης δίνει οδηγίες στα οχήματα για τους διαθέσιμους σταθμούς φόρτισης και ελέγχει την κατανάλωση της ενέργειας καθώς φορτίζονται. Όλα τα δεδομένα που συλλέγονται αποθηκεύονται σε μία βάση δεδομένων και είναι διαθέσιμα στα κινητά τηλέφωνα, στα GPS, στους φορείς διαχείρισης της ενεργειακής ζήτησης και στους οδηγούς.

Τα δεδομένα που ανταλλάσσονται περιλαμβάνουν τεχνικές παραμέτρους σχετικά με το σημείο φόρτισης και το ηλεκτρικό όχημα. Εκτός από τις σταθερές παραμέτρους (π.χ. χαρακτηριστικά μπαταρίας) υπάρχουν και μεταβλητές όπως η κατάσταση φόρτισης, το μέγιστο ρεύμα φόρτισης κ.ά..



Εικόνα 18 : Ορισμένες παράμετροι που ανταλλάσσονται ανάμεσα στο όχημα και το σημείο φόρτισης [40]

Η ισχύς που τροφοδοτεί το όχημα εξαρτάται από τα όρια της μπαταρίας, το φορτιστή, το σημείο φόρτισης και τη χρονική διάρκεια που θα είναι συνδεδεμένο το όχημα με το δίκτυο.

Η τοποθέτηση των σταθμών φόρτισης πρέπει να επιλέγεται προσεκτικά ώστε να είναι εύκολη η πρόσβαση στους χρήστες και να μπορούν να συνδεθούν με το δίκτυο χωρίς επέκταση χωρητικότητας. Οι τοποθεσίες πρέπει να επιλέγονται αποτελεσματικά με βάση έναν ειδικό τύπο βέλτιστου μοντέλου με μεταβλητές την πυκνότητα της τοποθεσίας, την χωρητικότητα και την περιοχή κάλυψης οπουδήποτε είδους εγκατάστασης. Πρέπει ακόμα να συνυπολογιστούν πόσοι οδηγοί υπάρχουν στην περιοχή, που μένουν οι ιδιοκτήτες των ηλεκτρικών οχημάτων και που θέλουν να περνούν οι ιδιοκτήτες το χρόνο φόρτισης. Με αυτά τα δεδομένα μπορεί να προσδιοριστεί η αναμενόμενη ζήτηση και η βέλτιστη τοποθέτηση των σταθμών. Τελικά θα δημιουργηθεί ένα λογισμικό υποστήριξης αποφάσεων όπου θα υπάρχουν περιορισμοί υποδομής, γεωγραφικοί και επένδυσης [40].

3.1. Τοποθέτηση Προβλήματος

Για να προσδιοριστεί ο τόπος όπου οι σταθμοί φόρτισης EV θα πρέπει να βρίσκονται, πρέπει προηγουμένως να αντιμετωπιστούν ορισμένα ζητήματα προσφοράς και ζήτησης. Επιπλέον πρέπει να προσδιοριστούν τα όρια χωρητικότητας κάθε σταθμού ώστε αποφευχθεί η υπερβολική επιβάρυνση για το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Πρέπει να βρεθεί μία αντικειμενική συνάρτηση κόστους, η οποία θα πρέπει να ελαχιστοποιείται. Επίσης πρέπει να βρεθούν περιορισμοί οι οποίοι δεν θα παραβιάζονται και θα αφορούν τις μεταβλητές της αντικειμενικής συνάρτησης.

Η **συνάρτηση κόστους**, την οποία θέλουμε να ελαχιστοποιήσουμε ,είναι :

$$z = C_{total} = C_{1i} + C_{2i} + C_{3i} + C_{4i} + C_{5i} \quad (1).$$

Η μεταβλητή C_{1i} αντιπροσωπεύει το κόστος εγκατάστασης ενός σταθμού φόρτισης και δίνεται από τη σχέση $C_{1i} = \sum_{i=1}^N C \frac{k(1+k)^m}{(1+k)^m - 1}$ (2), όπου C το αρχικό κόστος επένδυσης του σταθμού φόρτισης i , k το ποσοστό απόδοσης της επένδυσης, m η περίοδος απόσβεσης και N ο συνολικός αριθμός των σταθμών φόρτισης.

Η μεταβλητή C_{2i} αντιπροσωπεύει το κόστος συντήρησης ενός σταθμού φόρτισης και υπολογίζεται ως ένα ποσοστό της αρχικής επένδυσης. Έστω η αυτός ο παράγοντας οπότε $C_{2i} = \eta C_{1i}$ (3). Στο κόστος αυτό περιλαμβάνονται οι βελτιώσεις στον εξοπλισμό, οι αντικατάσταση και επισκευή εξαρτημάτων, οι μισθοί των εργαζομένων και το κόστος αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η μεταβλητή C_{3i} αντιπροσωπεύει το κόστος των απωλειών μεταφοράς της ενέργειας και δίνεται από τη σχέση $C_{3i} = e \times P_{loss} \times 365 + s \times P_{ch} \times 365 \times e$ (4), όπου e η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας ανά kWh, P_{loss} η ισχύς των απωλειών από το δίκτυο διανομής μέχρι τον σταθμό φόρτισης που προκύπτουν από τη σχέση $P_{loss} = \sum_{i=1}^N |I|^2 R_i$ (5), s είναι ο αριθμός των φορτιστών, P_{ch} η ισχύς των απωλειών του φορτιστή και της γραμμής από το σταθμό φόρτισης μέχρι το φορτιστή. Οι απώλειες είναι ημερήσιες γι' αυτό υπάρχει και ο σταθερός όρος 365 ώστε να γίνεται η αναγωγή στο ετήσιο κόστος.

Η μεταβλητή C_{4i} αντιπροσωπεύει το κόστος φόρτισης των οχημάτων και δίνεται από τη σχέση $C_{4i} = \sum_{j=1}^{N_{EV}} e \times C_{jEV} \times n \times 365$ (6) όπου C_{jEV} η χωρητικότητα του ηλεκτρικού οχήματος, n ο αριθμός των φορτίσεων ανά ημέρα και N_{EV} ο συνολικός αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων που κυκλοφορούν στην ευρύτερη περιοχή.

Η μεταβλητή C_{5i} αντιπροσωπεύει το κόστος μεταφοράς από οποιοδήποτε σημείο στον πλησιέστερο σταθμό φόρτισης και δίνεται από τη σχέση $C_{5i} = a \times \sum_{i=1}^N \sum_{p \in P_i} d_{ip} \times L \times g_{ip} \times n \times 365$ (7), d_{ip} η απόσταση ανάμεσα στο σταθμό φόρτισης i και στο όχημα που βρίσκεται στο σημείο p , L ένας συντελεστής απωλειών, g_{ip} διάφοροι παράμετροι που σχετίζονται με το αν ένα όχημα από το σημείο p θα πάει στο σταθμό φόρτισης i για φόρτιση, P_i το συνολικό οδικό δίκτυο και a είναι ένας συντελεστής που ενσωματώνει διάφορες παραμέτρους όπως την τραχύτητα του δρόμου, την κίνηση και άλλα.

Κάθε αντικειμενική συνάρτηση έχει και κάποιους περιορισμούς για την παραπάνω είναι οι εξής :

- Περιορισμοί για τον αριθμό των ταυτόχρονων σταθμών φόρτισης για κάθε αυτοκίνητο

$$\sum_{i=1}^N g_{ip} = 1 \quad (8)$$

Η εξίσωση (8) σημαίνει ότι κάθε όχημα πηγαίνει για να φορτιστεί σε ένα και μόνο σταθμό φόρτισης.

$$\sum_{j=1}^{N_{EV}} x_j = 1 \quad (9)$$

Ο περιορισμός (9) αναφέρεται σε μια δυαδική μεταβλητή x_j που είναι 1 αν το αυτοκίνητο j φορτίζεται και 0 στην αντίθετη περίπτωση.

$$\sum_{j=1}^{N_{EV}} x_j \leq Q_i \quad (10)$$

Ο περιορισμός της σχέσης (10) περιγράφει ότι τα οχήματα που μπορούν να φορτιστούν σε ένα συγκεκριμένο σταθμό ταυτόχρονα πρέπει να έχουν λιγότερη χωρητικότητα από αυτήν του σταθμού.

- Περιορισμοί ασφαλείας δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας

$$V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max}, i \in N_{BUS} \quad (9)$$

$$S_i \leq S_{imax}, i \in N_s \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^N P_{Ci} \leq P_C^{max} \quad (11),$$

όπου V_i είναι η τάση στον κόμβο i , V_i^{min} και V_i^{max} είναι η ελάχιστη και μέγιστη τάση αντίστοιχα του κόμβου i , N_{BUS} είναι ο αριθμός των ζυγών του συστήματος διανομής, S_i είναι το φορτίο κάθε γραμμής του δικτύου διανομής, S_{imax} είναι το μέγιστο φορτίο που μπορεί να «αντέξει» η γραμμή, N_s είναι ο αριθμός του τμήματος του δικτύου διανομής, P_{Ci} είναι η ισχύς φόρτισης του σταθμού φόρτισης και P_C^{max} είναι η μέγιστη ισχύς φόρτισης που δέχεται το δίκτυο διανομής.

Ο χρήστης δεν ξέρει που ακριβώς βρίσκονται οι σταθμοί φόρτισης γι' αυτό το λόγο πρέπει να αποφασίσει ο ίδιος πόσο θα φορτίσει την μπαταρία. Αν πρέπει να φορτιστεί η μπαταρία αρκετά τότε θα υπάρχει χρόνος αναμονής καθώς ο χρόνος φόρτισης είναι μεγαλύτερος από αυτόν που χρειάζεται για τις αγορές. Από την άλλη μεριά αν δεν φορτιστεί αρκετά μπορεί να ακινητοποιηθεί πριν τελειώσει η επόμενη διαδρομή.

Η πολιτική που εφαρμόζεται είναι η εξής :

- Για να αποφευχθεί η διαρκής φόρτιση, ο οδηγός σταματάει στο πρώτο σταθμό φόρτισης μετά από t_r λεπτά από την τελευταία φόρτιση.
- Όταν αποχωρεί το όχημα από το σταθμό φόρτισης πρέπει να μπορεί να καλύψει d_a km .
- Αν $d_0 < d_a$ τότε πρέπει να φορτιστεί το όχημα.

Ενδεικτικά κάποια αριθμητικά στοιχεία θα συμβάλλουν στην κατανόηση του οφέλους της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων :

- Η απαιτούμενη ενέργεια για την πλήρη φόρτιση της μπαταρίας είναι περίπου 9,66 kWh. Επίσης η αυτονομία του οχήματος είναι 80 km οπότε κάθε 80km πρέπει να φορτίζεται.
- Η τιμή του καυσίμου είναι 1,65/lt ενώ η τιμή του ρεύματος 0,20/ kWh.
- Το κόστος φόρτισης είναι 0,77€ (για ημερήσια φόρτιση) και 0,28€ (για νυχτερινή φόρτιση).
- Ένα αυτοκίνητο με μέση κατανάλωση 6lt/χλμ κοστίζει 7,92€ για να διανύσει 80 χλμ.
- Η εγκατάσταση σταθμού φόρτισης στην Ελλάδα κοστίζει περίπου 5500€.
- Τα σημερινά ηλεκτρικά οχήματα καταναλώνουν περίπου 150 Wh/χλμ. Αν μία μέση απόσταση ανά μέρα είναι 50 χλμ τότε διανύει 18.250 χλμ/χρόνο. Για αυτή την υπολογισμένη κατανάλωση, τα ηλεκτρικά οχήματα πρέπει να παράγουν 2,75 MWh/ χρόνο.

3.2. Μελλοντική Κατάσταση

Τα χαρακτηριστικά μελλοντικών τοποθεσιών των φορτιστών παρουσιάζονται στον πίνακα 5.

Πίνακας 5: Βασικά στοιχεία φορτιστών ανάλογα με την τοποθεσία τους

Φορτιστές σε	Απλό με βασική εγκατάσταση
---------------------	----------------------------

Οικιακό Garage	Επίπεδο φόρτισης 2
	Η φόρτιση γίνεται κυρίως τις βραδινές ώρες
	Αποφεύγεται η μη επιθυμητή πρόσβαση
Φορτιστές σε Αυτοκινητόδρομους	Αυξημένη κίνηση
	Απαιτείται μεγαλύτερη αντοχή σε καιρικές συνθήκες
Φορτιστές σε Parking αυτοκινητόδρομων	Δεν ανήκει πάντα σε κάποιον ιδιώτη
	Θα είναι εξασφαλισμένος ο χώρος όποτε χρειάζεται

Η Ε.Ε. πρόσφατα παρουσίασε σχέδιο για την ενίσχυση των υποδομών ηλεκτρικού ανεφοδιασμού για την Ελλάδα όπου προτάθηκε εγκατάσταση 13000 σημείων φόρτισης μέχρι το 2020. Ωστόσο θα πρέπει να ολοκληρωθεί πρώτα η αδειοδότηση κι έπειτα η εγκατάσταση των πρώτων σημείων κοινόχρηστης φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Επιπλέον, οι πολύπλοκες γραφειοκρατικές διαδικασίες, καθώς και η έλλειψη γενικού κρατικού σχεδιασμού στην Ελλάδα για την προώθηση της ηλεκτροκίνησης επιβραδύνουν τις όποιες επενδύσεις στον τομέα αυτό. Είναι μάλιστα αναγκαίο να συνυπολογιστεί, ότι οι επενδύσεις στην ηλεκτροκίνηση δεν επιβαρύνουν καθόλου τον δημόσιο προϋπολογισμό, καθώς πρόκειται για ιδιωτικές πρωτοβουλίες και μάλιστα υψηλού ρίσκου απόδοσης. Παράλληλα θα πρέπει να επανεξετασθεί ο «φόρος πολυτελείας» στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα γιατί επιφέρει ακόμα μία δυσκολία στην ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης. Μετά την ολοκλήρωση των διαδικασιών, θα εγκατασταθούν στο Δήμο Αθηναίων οι πρώτοι πιλοτικοί σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων εντός του πράσινου δακτυλίου. Θα ακολουθήσουν έπειτα και άλλοι δήμοι στην Ελλάδα, προκειμένου να λειτουργήσει ένα βασικό δίκτυο. Τα κοινόχρηστα σημεία φόρτισης, στα οποία οι πρώτοι χρήστες ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα μπορούν να ανεφοδιάζουν τα οχήματά τους, θα διαθέτουν ακόμα και ταχυφορτιστές, οι οποίοι φορτίζουν εντός 15-20 λεπτών.

Αξιόλογη είναι και η συνεργασία ανάμεσα στα ηλιακά panels και τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Υπάρχουν εταιρίες που σχεδιάζουν να εγκαταστήσουν ηλιακά panels στα νεότερα υβριδικά οχήματα. Επειδή είναι δύσκολο να παρέχουν όμως τα ηλιακά panels όλη την απαιτούμενη ενέργεια για την κίνηση του οχήματος ακόμα είναι σε πειραματικό και εξελικτικό στάδιο. Επίσης τα panels κατασκευάζονται από πυρίτιο οπότε είναι αρκετά ακριβά για τις αυτοκινητοβιομηχανίες ώστε να τα χρησιμοποιήσουν σαν μια βιώσιμη πηγή. Ωστόσο υπάρχουν εταιρίες όπως η Toyota που χρησιμοποιούν ηλιακή οροφή από panels. Η συνεχής τεχνολογική ανάπτυξη θα παρέχει καλύτερες συνθήκες σε βάθος χρόνου που θα κινηθούν προς την συγκεκριμένη προοπτική. Η συγκεκριμένη οροφή είναι ικανή να τροφοδοτήσει τουλάχιστον το air condition.

Τέλος καθώς δείχνουν τα στοιχεία, οι πωλήσεις στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα αυξάνονται παγκοσμίως, σε ένα πλαίσιο οικονομικότερης κατανάλωσης και μάλιστα με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ

Ένα από τα μεγαλύτερα μειονεκτήματα των ηλεκτροκίνητων οχημάτων είναι η μικρή αυτονομία που παρέχουν σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού προτάθηκαν οι σταθμοί ανταλλαγής μπαταριών. Πρόκειται για μεγάλες «τράπεζες» μπαταριών όπου οι οδηγοί μπορούν εύκολα να αντικαταστήσουν τις μπαταρίες των επαναφορτιζόμενων οχημάτων τους με άλλες πλήρως φορτισμένες. Οι μπαταρίες που βρίσκονται εκεί φορτίζονται είτε τις ώρες που το συνολικό φορτίο του δικτύου είναι χαμηλό είτε όταν παράγεται περίσσεια ενέργεια από τους ανανεώσιμους σταθμούς. Επίσης οι σταθμοί ανταλλαγής μπορούν να εκφορτίζουν τις μπαταρίες όταν η ζήτηση είναι μεγάλη και η παραγωγή μικρή. Η χρήση των μπαταριών με αυτό το σκοπό αυξάνει την ανεξαρτησία του δικτύου και μπορεί να αντιμετωπίσει τις πιθανές προκλήσεις.

Οι σταθμοί ανταλλαγής διαθέτουν ένα σύστημα που αφαιρεί την εξαντλημένη μπαταρία του οχήματος και την αντικατάσταση αυτής με μια πλήρως φορτισμένη. Πρόκειται για μία σύντομη και αυτοματοποιημένη διαδικασία που ο οδηγός δεν συμμετέχει. Αξίζει να αναφερθεί ότι η αντικατάσταση είναι πιο γρήγορη ακόμα και από τον ανεφοδιασμό του οχήματος με καύσιμα. Με τη δυνατότητα ανταλλαγής μπαταριών δεν θα υπάρχει ο χρόνος αναμονής φόρτισης. Ενδεικτικά οι οδηγοί θα έχουν τη δυνατότητα να πληρώσουν περίπου \$50 κάθε φορά που φτάνουν στους σταθμούς για την άμεση ανταλλαγή. Το κόστος κάθε σταθμού ανταλλαγής είναι περίπου \$500.000 για την κατασκευή[32]. Με τη δυνατότητα να ανταλλάξουν εύκολα μπαταρίες τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν ξεπεράσει ένα τεράστιο πλεονέκτημα έναντι των καυσίμων που χρησιμοποιούν τα οχήματα για να κινούνται για μακροχρόνια ταξίδια. Ωστόσο το μεγαλύτερο εμπόδιο είναι το αυξημένο κόστος. [37]

Στους σταθμούς ανταλλαγής οι εξαντλημένες μπαταρίες ανταλλάσσονται με πλήρως φορτισμένες. Προς το παρόν οι υπάρχοντες σταθμοί ανταλλαγής είναι δοκιμαστικοί. Οι σταθμοί αυτοί πρέπει να έχουν το απαραίτητο λογισμικό ώστε να υπολογίζουν την ζήτηση που θα έχουν και να προκύπτει ο απαιτούμενος αριθμός μπαταριών.

Η διαχείριση της φόρτισης μπαταριών βασίζεται :

- Στον αριθμό των φορτιστών που είναι εγκατεστημένοι στο σταθμό ανταλλαγής
- Στον αριθμό των μπαταριών που υπάρχουν στο σταθμό ανταλλαγής. Αυτός ο αριθμός είναι μία μεταβλητή καθώς για κάθε πλήρως φορτισμένη μπαταρία που τοποθετείται σε ένα όχημα μία εξαντλημένη προστίθεται στο σταθμό ανταλλαγής.

Οι μπαταρίες σε ένα σταθμό ανταλλαγής μπορεί να είναι 3 διαφορετικών καταστάσεων :

- a) Φορτισμένη : είναι πλήρως φορτισμένη και έτοιμη για χρήση
- b) Υπό φόρτιση : είναι συνδεδεμένη με τον φορτιστή
- c) Εξαντλημένες : παραμένει στην κατάσταση αυτή μέχρι να συνδεθεί με έναν φορτιστή

Η πολιτική που ακολουθείται στους σταθμούς ανταλλαγής είναι να φορτίζονται οι εξαντλημένες μπαταρίες όσο πιο σύντομα γίνεται ώστε να μεγιστοποιείται ο αριθμός των διαθέσιμων μπαταριών προς χρήση οποιαδήποτε στιγμή.

Υπάρχουν διαθέσιμα λογισμικά όπου σαν είσοδο ο χρήστης βάζει :

- a) Τον αριθμό των μπαταριών που ανταλλάσσονται κάθε ώρα
- b) Τη χρονική στιγμή που τα οχήματα που φτάνουν στο σταθμό μέσα σε μία ώρα (τυχαία μεταβλητή)

- c) Τα βασικά χαρακτηριστικά των μπαταριών που είναι η χωρητικότητα [kWh] και η απόδοση
- d) Τα βασικά χαρακτηριστικά των φορτιστών που είναι η ισχύς σε kW και η απόδοση
- e) Ο χρόνος ανταλλαγής των μπαταριών
- f) Την στάθμη φόρτισης των εξαντλημένων μπαταριών (τυχαίος αριθμός)

Και στην έξοδο προκύπτει το άνω και κάτω όριο των μπαταριών και φορτιστών.

4.1. Τοποθέτηση Προβλήματος

Πρέπει να βρεθεί μία αντικειμενική συνάρτηση κόστους, η οποία θα πρέπει να ελαχιστοποιείται. Επίσης πρέπει να βρεθούν περιορισμοί οι οποίοι δεν θα παραβιάζονται και θα αφορούν τις μεταβλητές της αντικειμενικής συνάρτησης.

Η **συνάρτηση κόστους**, που πρέπει να ελαχιστοποιηθεί, είναι :

$$z = C_{total} = C_{1i} + C_{2i} + C_{3i} + C_{4i} \quad (1).$$

Η μεταβλητή C_{1i} αντιπροσωπεύει το κόστος εγκατάστασης ενός σταθμού ανταλλαγής και δίνεται από τη σχέση $C_{1i} = \sum_{i=1}^N C \frac{k(1+k)^m}{(1+k)^m - 1}$ (2), όπου C το αρχικό κόστος επένδυσης του σταθμού ανταλλαγής i , k το ποσοστό απόδοσης της επένδυσης, m η περίοδος απόσβεσης και N ο συνολικός αριθμός των σταθμών ανταλλαγής.

Η μεταβλητή C_{2i} αντιπροσωπεύει το κόστος συντήρησης ενός σταθμού ανταλλαγής και υπολογίζεται ως ένα ποσοστό της αρχικής επένδυσης. Έστω η αυτός ο παράγοντας οπότε $C_{2i} = \eta C_{1i}$ (3). Στο κόστος αυτό περιλαμβάνονται οι βελτιώσεις στον εξοπλισμό, οι αντικατάσταση και επισκευή εξαρτημάτων, οι μισθοί των εργαζομένων και το κόστος αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας. Συμπεριλαμβάνεται και το κόστος αποθήκευσης των μπαταριών που είναι το γινόμενο των μπαταριών όλων των σταθμών με το κόστος αποθήκευσης καθεμίας.

Η μεταβλητή C_{3i} αντιπροσωπεύει το κόστος ανταλλαγής για τους χρήστες των οχημάτων και δίνεται από τη σχέση $C_{3i} = \sum_{j=1}^{N_{EV}} e \times n \times 365$ (6) όπου n ο αριθμός των ανταλλαγών ανά ημέρα, e το συνολικό κόστος επιβάρυνσης του χρήστη και N_{EV} ο συνολικός αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων που κυκλοφορούν στην ευρύτερη περιοχή.

Η μεταβλητή C_{4i} αντιπροσωπεύει το κόστος μεταφοράς από οποιοδήποτε σημείο στον πλησιέστερο σταθμό ανταλλαγής και δίνεται από τη σχέση $C_{4i} = a \times \sum_{i=1}^N \sum_{p \in P_i} d_{ip} \times L \times g_{ip} \times n \times 365$ (7), d_{ip} η απόσταση ανάμεσα στο σταθμό ανταλλαγής i και στο όχημα που βρίσκεται στο σημείο p , L ένας συντελεστής απωλειών, g_{ip} διάφοροι παράμετροι που σχετίζονται με το αν ένα όχημα από το σημείο p θα πάει στο σταθμό ανταλλαγής i για φόρτιση, P_i το συνολικό οδικό δίκτυο και a είναι ένας συντελεστής που ενσωματώνει διάφορες παραμέτρους όπως την τραχύτητα του δρόμου, την κίνηση και άλλα.

Κάθε αντικειμενική συνάρτηση έχει και κάποιους περιορισμούς για την παραπάνω είναι οι εξής :

- $s_i + x_i \leq b_i$, οι συνολικές μπαταρίες κάθε σταθμού μπορούν να ικανοποιήσουν την ζήτηση από τα οχήματα x_i ή τις ανάγκες του δικτύου s_i
- Οι μπαταρίες που είναι έτοιμες για χρήση καθώς και οι υπόλοιπες σε ένα σταθμό ανταλλαγής πρέπει να ικανοποιούν τη συνολική ζήτηση
- Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται από τα ηλεκτρικά οχήματα πρέπει να είναι λιγότερες από τις διαθέσιμες ενός σταθμού φόρτισης

- Πρέπει να υπάρχει ισορροπία στην χωρητικότητα του δικτύου, να τηρείται το ισοζύγιο ισχύος σε κάθε κόμβο και η χωρητικότητα σε κάθε γραμμή.

4.2. Μελλοντική Κατάσταση

Οι σταθμοί ανταλλαγής εξωτερικά μοιάζουν με πλυντήρια αυτοκινήτων, περιέχουν όμως πολύπλοκη ρομποτική και συστήματα ευθυγράμμισης στο εσωτερικό. Η ιδέα για την ανταλλαγή μπαταρίας προήλθε από το γεγονός ότι ο χρόνος φόρτισης του αυτοκινήτου είναι μεγάλος και την αδυναμία των ηλεκτρικών οχημάτων να ολοκληρώσουν μακρινά ταξίδια. Αν και η τεχνολογία αυτή θα μπορούσε να έχει βιώσιμες εφαρμογές για μικρότερα οχήματα, όπως ηλεκτρικά ποδήλατα και μηχανάκια, δυστυχώς, το επιχειρηματικό μοντέλο αποτυγχάνει στην εφαρμογή σε ηλεκτρικά οχήματα. Υπάρχουν τουλάχιστον τέσσερις βασικοί λόγοι για τους οποίους συμβαίνει αυτό.

Πρώτον, το καθαρό κόστος κεφαλαίου για την εγκατάσταση των υποδομών για ανταλλαγή μπαταριών είναι απίστευτα υψηλό. Εκτός αυτού, μεγάλα ποσά δαπανώνται στο πραγματικό κόστος της έκτασης που θα κατασκευαστεί ο σταθμός και στα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης των πολύπλοκων ρομποτικών συστημάτων, τα οποία υποβάλλονται σε σημαντική φθορά. Για τα μικρότερα οχήματα, όπως ηλεκτρικά ποδήλατα και μοτοποδήλατα η ανταλλαγή μπαταριών είναι βιώσιμη επένδυση καθώς ο χρήστης μπορεί να ανταλλάξει μια μπαταρία με μη αυτόματο τρόπο.

Δεύτερον, οι περισσότερες διαδρομές της καθημερινότητας είναι μικρές και εντός του εύρους που μπορεί να αντέξει μια μπαταρία με μία φόρτιση. Σύμφωνα με μελέτη της Αμερικής το 60 % των μετακινήσεων εργασίας είναι 10 μίλια ή και λιγότερο, το 9 % των ταξιδιών εργασίας είναι πάνω από 30 μίλια και η μέση απόσταση μέχρι την εργασία είναι 13,9. Οπότε μεγάλα ταξίδια στην καθημερινότητα αποτελούν εξαίρεση και όχι τον κανόνα. Δεδομένου ότι η χρήση των σταθμών ανταλλαγής δεν είναι συχνή και το κόστος τους είναι υψηλό δεν είναι συμφέρουσα επένδυση.

Τρίτον, υπάρχουν διάφοροι περιορισμοί στο σχεδιασμό και τη λειτουργικότητα των μπαταριών για να μπορούν να τις ανταλλάσσουν. Αρχικά πρέπει όλα τα οχήματα να διαθέτουν ίδιο σασί ώστε να ταιριάζει οποιαδήποτε μπαταρία ενσωματώνεται. Επιπλέον θα πρέπει οι μπαταρίες να τοποθετούνται στο κάτω μέρος του οχήματος ώστε να είναι εύκολη η ανταλλαγή. Όμως αυτό σημαίνει ότι χρειάζονται πολύπλοκοι μηχανισμοί εμπλοκής που καταλαμβάνουν πολύτιμο όγκο (που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για μεγαλύτερη μπαταρία) και ότι η μπαταρία εκτίθεται σε σκληρές εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως υγρασία.

Τέλος οι μπαταρίες είναι το πιο ακριβό στοιχείο του ηλεκτρικού οχήματος και οι σταθμοί ανταλλαγής πρέπει να έχουν αποθεματικές για να μπορούν να ικανοποιούν την ζήτηση που θα έχουν. Αυτό οδηγεί αναπόφευκτα σε μια δραστική αύξηση του συνολικού κόστους του συστήματος, λόγω του υψηλού κόστους κεφαλαίου που απαιτείται.

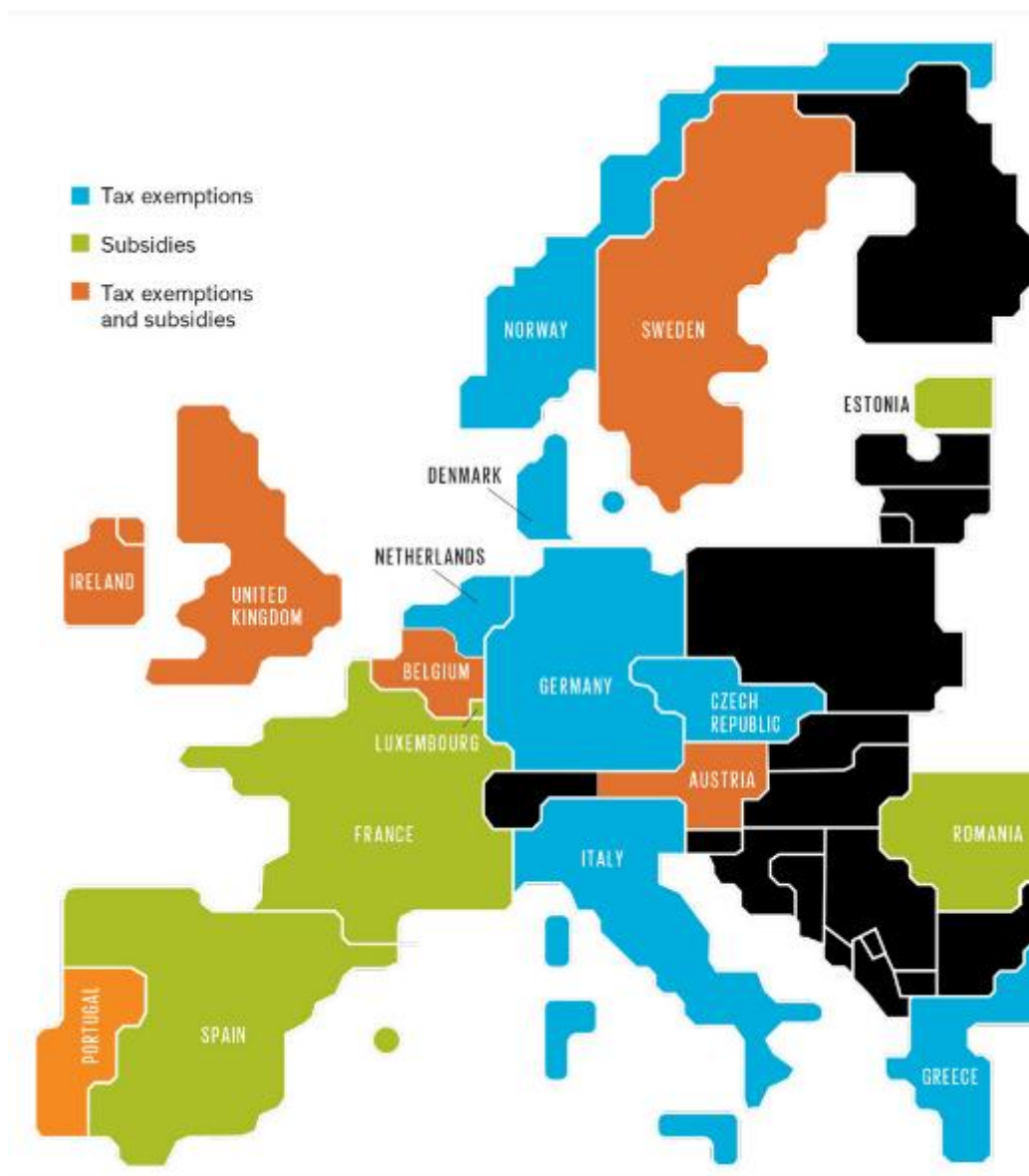
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: Ο ΑΝΤΙΛΟΓΟΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα βρίσκονται στο επίκεντρο του σχεδιασμού για «πράσινες» μεταφορές, καθώς δεν παράγουν καυσαέρια και η ρύπανση του αέρα που προκαλούν περιορίζεται σε τοπικό επίπεδο. Ωστόσο, οι επικριτές των ηλεκτρικών αυτοκινήτων αναφέρουν ότι τα οχήματα αυτά είναι τόσο «πράσινα» όσο η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιούν. Δηλαδή, όταν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα χρησιμοποιούν ρεύμα που παράγεται από την καύση ορυκτών καυσίμων, απελευθερώνουν αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Όμως οι εκπομπές αυτές είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες των αυτοκινήτων που διαθέτουν μηχανές εσωτερικής καύσης. Πρόσφατη έρευνα του Διεθνούς Συμβουλίου Καθαρών Μεταφορών (ICCT) προέβλεψε ότι μέχρι το 2015 το ηλεκτρικό Nissan Leaf θα εκλύει 20 γραμμάρια και 114 γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα (γρ./χλμ) στην Γαλλία (στηρίζεται στην πυρηνική ενέργεια) και στο Ηνωμένο Βασίλειο (στηρίζεται σε ρυπογόνες μονάδες) αντίστοιχα. Διαφορετική μελέτη έδειξε ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ενός ηλεκτρικού οχήματος που τροφοδοτείται με ενέργεια προερχόμενη από καύση άνθρακα είναι περίπου 130γρ./χλμ. Αυτό είναι και το ανώτατο όριο της ΕΕ για τα αυτοκίνητα με μηχανή εσωτερικής καύσης από το 2015. Ωστόσο, υπολογίζεται ότι στις ΗΠΑ και την Κίνα οι εκπομπές ρύπων από ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο φτάνουν ακόμα και τα 136 γρ./χλμ και 182 γρ./χλμ αντίστοιχα. Με βάση τα στατιστικά στοιχεία αυτά αποδεικνύεται ότι υπάρχουν ορισμένα βραχυπρόθεσμα οφέλη που προκύπτουν από την χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων, ωστόσο μακροπρόθεσμα δεν αποδεικνύεται και τόσο επιτυχημένη τεχνολογία [50]. Το πρώτο στάδιο της «πράσινης» ανάπτυξης είναι η απομάκρυνση του άνθρακα από το ευρωπαϊκό ηλεκτρικό δίκτυο.

Υπάρχουν ενστάσεις σχετικά με το αν τα ηλεκτρικά οχήματα είναι πράσινα καθώς καθένας το βλέπει από την δική του σκοπιά. Δεκάδες επιστημονικές ομάδες και οργανώσεις έχουν βγάλει συμπεράσματα σχετικά με την φιλικότητα προς το περιβάλλον των ηλεκτρικών οχημάτων. Οι περισσότερες απόψεις είναι θετικές και υποστηρικτικές στην χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων. Για παράδειγμα η ομάδα της Royal Society of Chemistry υποστήριξε ότι αν υπάρξει ευρεία χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων θα μειωθούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά μόλις 2% στην Βρετανία.

Επίσης, μια αμερικανική μελέτη ενός U.S. Congressional Budget Office διαπίστωσε ότι οι επιδοτήσεις για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα οδηγήσουν σε μικρή ή καθόλου μείωση της συνολικής κατανάλωσης βενζίνης και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Άλλες οργανώσεις είναι πιο υποστηρικτικές όπως η Union of Concerned Scientists που στην μελέτη με τίτλο «State of Charge», σημειώνεται ότι η φόρτιση ηλεκτρικών αυτοκινήτων παράγει λιγότερο CO₂ σε σχέση με τα πιο αποδοτικά οχήματα βενζίνης. Ωστόσο το θέμα είναι ότι οι απόψεις δίστανται γιατί δεν αφορά το θέμα «καθαρά» την επιστήμη αλλά περιλαμβάνει και άλλες παραμέτρους που μελετώνται κάθε φορά και διαμορφώνουν τα αποτελέσματα των ερευνών. Τα ηλεκτρικά οχήματα δε έχουν ευρεία εφαρμογή οπότε πολλές μελέτες γίνονται για αυτά και λαμβάνουν χρηματοδότηση από τη βιομηχανία αυτοκινήτων. Για παράδειγμα, το Plug-in Hybrid and Electric Vehicle Research Center στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας Davis, το οποίο αυτοχαρακτηρίζεται ως «κομβικό σημείο συνεργασίας και έρευνας σχετικά με επαναφορτιζόμενα υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα για την Πολιτεία της Καλιφόρνια» αναφέρει στην ιστοσελίδα του συνεργασίες με μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες όπως BMW, Chrysler-Fiat και Nissan, οι οποίες κατασκευάζουν ή θα κατασκευάσουν ηλεκτρικά και υβριδικά μοντέλα. Το Stanford's Global Climate & Energy Project δημοσιεύει έρευνες για τα ηλεκτρικά οχήματα και έχει λάβει περισσότερα

από 113.000.000 δολάρια από τέσσερις εταιρείες: ExxonMobil, General Electric, Schlumberger και Toyota. Επίσης πανεπιστήμια όπως MIT, Delaware και Michigan και άλλα πολλά σχολεία δέχονται εταιρικές χορηγίες για έρευνες που διεξάγουν σε σχέση με το ηλεκτρικό όχημα. Μια εταιρική χορηγία δεν υποδηλώνει την παραποίηση των αποτελεσμάτων της έρευνας ωστόσο δημιουργεί καχυποψίες και ερωτηματικά. Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να γίνει «διαμόρφωση» της έρευνας με πιο «έμμεσους» τρόπους. Για παράδειγμα μέσω χορηγιών οι αυτοκινητοβιομηχανίες μπορούν να εγκρίνουν τις έρευνες που θα γίνουν και ποιες από αυτές θα προβληθούν στα μέσα ενημέρωσης. Επιπλέον έχουν την δυνατότητα να διαμορφώσουν τις ερωτήσεις της έρευνας με τέτοιο τρόπο ώστε να ωφεληθεί η βιομηχανία τους. Επιπλέον ένα κέντρο έρευνας που είναι ανεξάρτητο από αυτοκινητοβιομηχανίες είναι λιγότερο πιθανό να λάβει χρηματοδότηση σε σχέση με ένα άλλο που ασχολείται με τους σταθμούς φόρτισης για παράδειγμα [48].



Εικόνα 19: Οι κυβερνήσεις προσφέρουν διάφορα κίνητρα για να αγοράσουν οι πολίτες ηλεκτρικά οχήματα. Τα οικονομικά κίνητρα των χωρών της Δυτικής Ευρώπης, για παράδειγμα, περιλαμβάνουν άμεσες επιδοτήσεις για τις αγορές οχημάτων, καθώς και ορισμένες φορολογικές απαλλαγές. Ορισμένες από τις χώρες αυτές παρέχουν, επίσης, στους οδηγούς των ηλεκτρικών αυτοκινήτων δωρεάν parking και άλλα προνόμια.[48]

Πολλοί από τους ερευνητές που διεξάγουν έρευνες για τα ηλεκτρικά οχήματα είναι ένθερμοι υποστηρικτές της τεχνολογίας. Μία σχετική έκθεση έγινε από το Indiana University's School of Environmental Affairs και συντονίστηκε από έναν πρώην αντιπρόεδρο της Ford. Αποτελείται από ένα σύνολο σημείων δημοσίων σχέσεων και διαφημιστικών συστάσεων για την βιομηχανία του ηλεκτρικού. Ακόμα και η Union of Concerned Scientists σε έκθεση για το ηλεκτρικό αυτοκίνητο ανέπτυξε μία φανταστική ιδεατή πλευρά των εταιριών Ford, General Motors και Nissan, των οποίων τα προϊόντα αξιολογεί. Συμπερασματικά δύσκολα θα βρεθούν ερευνητές που μελετούν τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων με σοβαρότητα και αμεροληψία άρα οι πραγματικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι αδιευκρίνιστες.

Ένα άλλο εμπόδιο για την αξιολόγηση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι η δυσκολία σύγκρισης των επιλογών ανεφοδιασμού των οχημάτων. Αν και είναι απλό να βρεθεί το ποσό της ενέργειας που απαιτείται για τη φόρτιση της μπαταρίας του οχήματος δεν είναι εύκολο να συγκριθεί μια μπαταρία που έχει φορτιστεί με ηλεκτρική ενέργεια προερχόμενη από σταθμό ηλεκτροπαραγωγής με καύση με μία που έχει φορτιστεί με πυρηνική ενέργεια. Στην πρώτη περίπτωση απαιτείται καύση ορυκτών πόρων που παράγει CO₂. Στην δεύτερη περίπτωση η πυρηνική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί και εμπεριέχει η χρήση της πολλούς κινδύνους. Δεν υπάρχει σαφής τρόπος για να συγκρίνουμε αυτές τις επιπτώσεις. Εστιάζοντας μόνο στα αέρια του θερμοκηπίου, η πρώτη περίπτωση αποδεικνύεται καλύτερη.

Οι κατασκευαστές και οι υπηρεσίες μάρκετινγκ εκμεταλλεύονται το γεγονός ότι κάθε πηγή ενέργειας έχει διαφορετικές «παρενέργειες» και έτσι δημιουργούνται νέοι όροι της συζήτησης που ταιριάζουν καλύτερα στις ανάγκες τους. Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο μπορεί να φορτιστεί από την ενέργεια που προκύπτει από ανανεώσιμες πηγές, όπως η ηλιακή ενέργεια. Όμως για ευρεία χρήση ηλεκτρικών οχημάτων απαιτείται η κατασκευή τεράστιων φωτοβολταϊκών πάρκων και κατ' επέκταση θα υπάρξουν αναπόφευκτα ανεπιθύμητες επιπτώσεις. Αυτό θα συμβεί γιατί τα ηλιακά κύτταρα περιέχουν βαρέα μέταλλα και κατά την κατασκευή τους απελευθερώνονται αέρια του θερμοκηπίου, όπως το εξαφθοριούχο θείο που έχει 23000 φορές μεγαλύτερη πιθανότητα υπερθέρμανσης του πλανήτη, σύμφωνα με την Intergovernmental Panel on Climate Change. Επιπλέον, τα ορυκτά καύσιμα καίγονται στην εξόρυξη των πρώτων υλών που απαιτούνται για την κατασκευή ηλιακών κυττάρων και ανεμογεννητριών. Ομοίως και για τη συναρμολόγηση και τη συντήρηση. Οπότε υπάρχουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις ακόμα και αν η τροφοδοσία των ηλεκτρικών οχημάτων γίνεται από ενέργεια παραγόμενη από ανανεώσιμες πηγές.

Επιπρόσθετα, οι περισσότερες μελέτες που αφορούν το ηλεκτρικό αυτοκίνητο επικεντρώνονται στην φόρτιση του. Αυτό είναι ένα σημαντικό κομμάτι όμως σε μια πιο αυστηρή ανάλυση θα πρέπει να εξεταστούν και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του οχήματος, από την κατασκευή μέχρι την απόσυρση του.

Μια μελέτη προσπάθησε να δώσει μια πλήρη εικόνα. Δημοσιεύθηκε από τις National Academies το 2010 και εποπτεύθηκε από δύο δωδεκάδες κορυφαίων επιστημόνων των Ηνωμένων Πολιτειών. Αυτή είναι ίσως η πιο ολοκληρωμένη υπόψη σχετικά με τις επιπτώσεις των ηλεκτρικών αυτοκινήτων μέχρι σήμερα. Τα πορίσματά της είναι απογοητευτικά. Αξίζει να σημειωθεί ότι η έρευνα αυτή ανατέθηκε από το Κογκρέσο των ΗΠΑ οπότε ήταν ανεξάρτητη από εταιρικά συμφέροντα. Όπως συμβαίνει με προηγούμενες μελέτες, η Επιτροπή διαπίστωσε ότι η λειτουργία ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου ήταν λιγότερο επιβλαβής από ένα βενζινοκίνητο. Ωστόσο το θέμα είναι ότι τόσο στο συμβατικό βενζινοκίνητο αυτοκίνητο όσο και στο ηλεκτρικό ή υβριδικό όχημα, οι περισσότερες από τις επιπτώσεις προέρχονται από άλλα στάδια και όχι τόσο από την

οδήγηση του οχήματος. Μέρος των επιπτώσεων προκύπτει από την κατασκευή. Επειδή οι μπαταρίες είναι βαριές (σε ορισμένες περιπτώσεις αντιπροσωπεύουν το ένα τρίτο του βάρους του οχήματος πχ στο Tesla Roadster), οι κατασκευαστές εργάζονται για να ελαφρύνει το υπόλοιπο όχημα. Οπότε τα ηλεκτρικά εξαρτήματα των αυτοκινήτων περιέχουν πολλά ελαφριά υλικά όπως συνθετικά άνθρακα και αλουμίνιου. Επιπλέον, οι μαγνήτες των κινητήρων ορισμένων ηλεκτρικών οχημάτων περιέχουν σπάνια ορυκτά μέταλλα. Ο όρος «σπάνια» δεν αναφέρεται στην δυσκολία να βρεθεί αλλά στο ότι είναι «διασκορπισμένα» αραιά σε όλο τον κόσμο, καθιστώντας την εξαγωγή τους αντιοικονομική στα περισσότερα μέρη. Σε μια μελέτη που κυκλοφόρησε τον περασμένο χρόνο, μια ομάδα ερευνητών του MIT υπολογίζεται ότι η παγκόσμια εξόρυξη δύο τέτοιων μετάλλων, νεοδύμιο και δυσπρόσιο, θα πρέπει να αυξηθεί 700% και 2600% αντίστοιχα, για τα επόμενα 25 χρόνια για να συμβαδίσει με διάφορα πράσινα και τεχνολογικά σχέδια. Η κατάσταση περιπλέκεται από το γεγονός ότι η Κίνα, ο μεγαλύτερος παραγωγός στον κόσμο των σπάνιων μετάλλων, έχει προσπαθήσει να περιορίσει τις εξαγωγές της. Υπάρχουν κάποιοι «αντικαταστάτες» των μετάλλων αυτών αλλά θα πρέπει να υπάρξουν συμβιβασμοί στην απόδοση ή στο κόστος [48].

Σύμφωνα με μελέτη του MIT τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις μπαταρίες δεν είναι λιγότερο βλαβερά για το περιβάλλον. Ενώσεις όπως το λίθιο, ο χαλκός και το νικέλιο θα πρέπει να εξορυχτούν από τη γη και να υποβληθούν σε επεξεργασία καταναλώνοντας ενέργεια και απελευθερώνοντας τοξικά απόβλητα. Σε περιοχές με «χαλαρή» νομοθεσία η εξόρυξη ορυκτών μπορεί να αποτελεί κίνδυνο όχι μόνο για τους άμεσα εργαζόμενους αλλά και για τον υπόλοιπο πληθυσμό καθώς μπορεί να εκτεθεί σε τοξικές ουσίες μέσω του αέρα και των υπόγειων υδάτων [48].

Στο τέλος της «ωφέλιμης» ζωής τους οι μπαταρίες μπορούν επίσης να αποτελέσουν πρόβλημα. Αν η ανακύκλωση αυτών δεν γίνει σωστά απελευθερώνουν τοξικές χημικές ουσίες. Τέτοιοι παράγοντες είναι δύσκολο να μετρηθούν και γι' αυτό δεν αποτελούν αντικείμενο μελέτης για τις επιπτώσεις του ηλεκτρικού αυτοκινήτου [48].

Οι National Academies δεν αγνοούν τις δυσκολίες να μετρηθούν αυτές οι παράμετροι. Οπότε συνυπολόγισαν τις επιπτώσεις της κατασκευής του οχήματος, της εξαγωγής καυσίμων, της διύλισης, τις εκπομπές και άλλους παράγοντες και κατέληξε ότι η ζωή των οχημάτων και οι περιβαλλοντικές ζημιές (εκτός από μακροπρόθεσμες κλιματικές επιπτώσεις) είναι στην πραγματικότητα μεγαλύτερες από εκείνες των βενζινοκίνητων αυτοκινήτων [48].

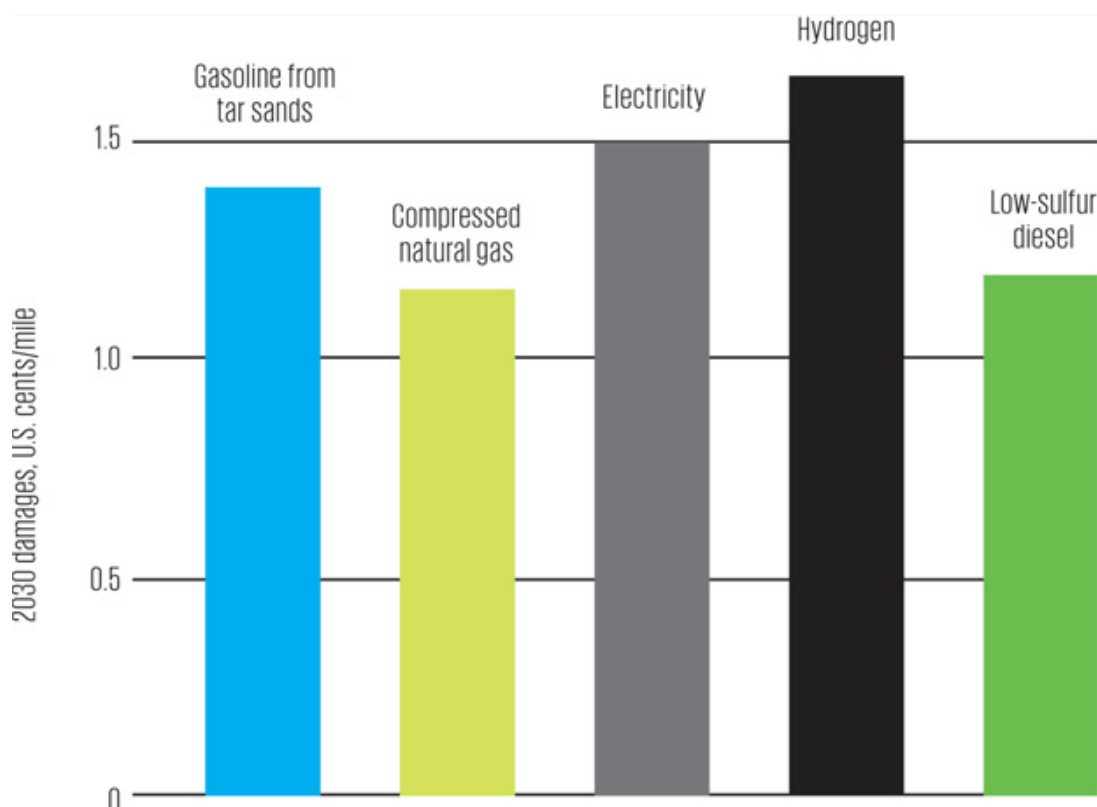
Οι ερευνητές, όπως και πολλοί άλλοι οι οποίοι έχουν εξετάσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου των ηλεκτρικών οχημάτων και την επιρροή τους στις κλιματικές αλλαγές, διαπίστωσαν ότι τα ηλεκτρικά οχήματα γενικά παράγουν οριακά λιγότερες εκπομπές από τα βενζινοκίνητα ή τα πετρελαιοκίνητα [48].

Η μελέτη των National Academies ξεχώρισε για την πληρότητα της, αλλά δεν είναι η μόνη που κάνει τέτοιες εκτιμήσεις. Μια νορβηγική μελέτη συνέκρινε τις επιπτώσεις στον κύκλο ζωής των ηλεκτρικών οχημάτων. Οι ερευνητές έλαβαν υπ' όψιν ότι την όξινη βροχή, τα αερομεταφερόμενα σωματίδια, τη ρύπανση των υδάτων, το νέφος, την τοξικότητα για τον άνθρωπο και την εξάντληση των ορυκτών καυσίμων και ορυκτών πόρων. Προέκυψε λοιπόν ότι τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν ίδιες ή χειρότερες επιδόσεις σε σχέση με τα σύγχρονα οχήματα που διαθέτουν κινητήρες εσωτερικής καύσης, παρά τις σχεδόν μηδενικές άμεσες εκπομπές κατά τη λειτουργία τους [48].

Ερευνητές από το University of Tennessee μελέτησαν πέντε τύπους οχημάτων σε 34 κινεζικές πόλεις και κατέληξαν σε παρόμοιο συμπέρασμα. Επικεντρώθηκαν στις επιπτώσεις στην υγεία από τις εκπομπές και τα αιωρούμενα σωματίδια, όπως αερομεταφερόμενα οξέα, οργανικές χημικές ουσίες, μέταλλα και τα σωματίδια σκόνης. Για ένα συμβατικό όχημα, αυτές είναι χειρότερες στις αστικές περιοχές ενώ υπερτερούν

έναντι των ηλεκτρικών οχημάτων στις αραιοκατοικημένες περιοχές. Οι συνολικές αρνητικές συνέπειες στην υγεία των κατοίκων από την χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων στην Κίνα ξεπέρασαν εκείνες των συμβατικών οχημάτων [48].

Η ελπίδα είναι ότι η τεχνολογία του ηλεκτρικού αυτοκινήτου και των ηλεκτρικών δικτύων θα βελτιωθούμε την πάροδο του χρόνου. Η τεχνολογία των σύγχρονων ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι ακόμα αρκετά πρώιμη, γι' αυτό υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης. Ωστόσο οι μπαταρίες, τα ηλιακά κύτταρα και άλλες καθαρές ενεργειακές τεχνολογίες δεν πρόκειται να ακολουθήσουν τον νόμο του Moore (εκθετική ανάπτυξη). Μάλλον, θα βιώσουν ασυμπτωτική ανάπτυξη προς κάποιο απόλυτο όριο απόδοσης. Οι ερευνητές των National Academies σε μελέτη που έκαναν προβλέποντας τις εξελίξεις της τεχνολογίας και τις βελτιώσεις στις ΗΠΑ σχετικά με το ηλεκτρικό δίκτυο μέχρι το 2030, δεν βρήκαν κανένα όφελος για την οδήγηση ενός ηλεκτρικού οχήματος. Αν αυτές οι εκτιμήσεις είναι σωστές τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα επιδεινώσουν τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον. Αλλά ακόμα και αν οι ερευνητές έκαναν λανθασμένες εκτιμήσεις υπάρχει μία πιο θεμελιώδες ψευδαίσθηση [48].



Σχήμα 13 : Ακόμη και αν το 2030 η τεχνολογία των οχημάτων και το δίκτυο έχουν βελτιωθεί οι National Academies κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ζημία της υγείας και του κλίματος από τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα εξακολουθούν να υπερβαίνουν τις αντίστοιχες ζημιές από τις συμβατικές επιλογές ανεφοδιασμού.[48]

Όλες οι προαναφερθείσες μελέτες συγκρίνουν τα ηλεκτρικά οχήματα με το πετρελαιοκίνητα. Δεν υπάρχει καμία αμφιβολία ότι τα βενζινοκίνητα και τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα είναι ακριβά και βρώμικα.

Με μια πιο προσεκτική εξέταση, η μετάβαση από τα βενζινοκίνητα και τα πετρελαιοκίνητα στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μοιάζει να είναι περισσότερο σαν μετατόπιση από τη μια μάρκα τσιγάρων σε μία άλλη. Οπότε θα πρέπει να μην παρασυρθούμε υψηλής τεχνολογίας αυταπάτες και να στραφούμε προς τακτικές για αντιμετώπιση των

περιβαλλοντικών προβλημάτων όπως η μείωση του νέφους με την κατασκευή ποδηλατοδρόμων για παράδειγμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ


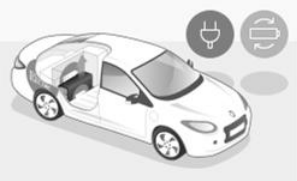

Τα ηλεκτρικά οχήματα δεν έχουν ευρεία χρήση ακόμα οπότε πολλά σενάρια που σχετίζονται με αυτά είναι υπό δοκιμή. Από τις μέχρι τώρα στρατηγικές που έχουν προταθεί και βάση τις υπάρχουσες συνθήκες **η βέλτιστη στρατηγική είναι οι μπαταρίες να ανήκουν στους ιδιοκτήτες, με πληρωμή στο σημείο φόρτισης και συνδυασμό ανταλλαγής και φόρτισης μπαταριών.**[1]

Για να είναι επιτυχημένες οι στρατηγικές πρέπει να διαθέτουν κάποια βασικά «χαρακτηριστικά»:

1. Απλότητα στον σχεδιασμό , στην χρήση, στην εγκατάσταση και την αναβάθμιση.
2. Προσαρμοστικότητα ανάλογα με τον γεωγραφικό τόπο που εφαρμόζονται και αυτό εξαρτάται από τοπικούς κανονισμούς, πρότυπα οδήγησης, κλιμακωτή και οικονομική ανάπτυξη της πόλης.
3. Εγκατάσταση συνεργασιών από τα πρώιμα στάδια καθώς η βιομηχανίες έχουν έντονο ανταγωνισμό.
4. Προσαρμογή στις καινοτόμες ευκαιρίες και απειλές. Ο σχεδιασμός θα πρέπει να εμπεριέχει προσαρμοστικότητα και να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις ώστε να δημιουργηθεί μακροπρόθεσμη βιώσιμη ανάπτυξη, επίτευξη ανάπτυξης, αντιμετώπισης μελλοντικών προκλήσεων και εκμετάλλευση νέων ευκαιριών.

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες ηλεκτρικών οχημάτων και κάθε μία έχει ορισμένα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Αυτά τα στοιχεία συνοψίζονται στον πίνακα 6 για τις τρεις επικρατέστερες κατηγορίες.

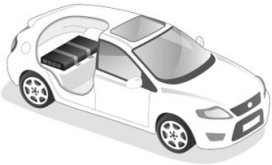
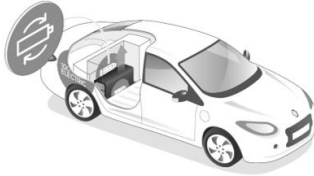
Πίνακας 6: Βασικά χαρακτηριστικά ηλεκτρικών οχημάτων [14]

Ηλεκτρικό Όχημα με ενσωματωμένη μπαταρία	Ηλεκτρικό Όχημα με «εναλλασσόμενη» μπαταρία	Επαναφορτιζόμενο Ηλεκτρικό Όχημα
		
Ακριβό λόγω της μπαταρίας	Μικρό κόστος	Ακριβό εξαιτίας της χρήσης καυσίμου και ηλεκτρισμού
Μικρές εκπομπές αερίων	Μικρές εκπομπές αερίων	Αυξημένες εκπομπές λόγω χρήσης καυσίμου
Περιορισμένο εύρος εξαρτώμενο από το μέγεθος της μπαταρίας και το είδος οδήγησης	Κατάλληλο για μακρινές διαδρομές καθώς η μπαταρία μπορεί να ανταλλαχτεί σε έναν σταθμό	Μεγάλο εύρος λόγω της μηχανής εσωτερικής καύσης
Βασίζεται στον ηλεκτρισμό που είναι	Βασίζεται στον ηλεκτρισμό που είναι	Μεγαλύτερη απόδοση σε σχέση με τα

φτηνότερος από το καύσιμο και μικρότερο κόστος συντήρησης	φτηνότερος από το καύσιμο και μικρότερο κόστος συντήρησης	συμβατικά οχήματα
Το κόστος αφορά το όχημα και την αντικατάσταση της μπαταρίας	Το κόστος αφορά το όχημα	Το κόστος αφορά το όχημα και την αντικατάσταση της μπαταρίας

Τα ηλεκτρικά οχήματα διαθέτουν μπαταρίες οι οποίες μπορούν είτε να επαναφορτίζονται σε σταθμούς φόρτισης είτε να ανταλλάσσονται σε σταθμούς ανταλλαγής. Τα πλεονεκτήματα της και μειονεκτήματα κάθε στρατηγικής παρουσιάζονται στον πίνακα 7.

Πίνακας 7 : Διαφορές επαναφορτιζόμενων με αυτοκίνητα που ανταλλάσσουν τις μπαταρίες τους
[14]

<p>Επαναφορτιζόμενα Οχήματα</p> 	<p>Οχήματα με ανταλλαγή μπαταριών</p> 
<p>Περιορισμένο εύρος καθώς με κάθε φόρτιση μπορούν να διανύσουν 100-150 χλμ. Ορισμένα έχουν μεγαλύτερη αυτονομία αλλά είναι ακριβή η αγορά τους και η φόρτιση τους διαρκεί αρκετές ώρες</p>	<p>Απεριόριστο εύρος καθώς μπορούν να διανύσουν πολλά χιλιόμετρα ανταλλάσσοντας τις μπαταρίες τους μία διαδικασία που διαρκεί πολύ λίγο</p>
<p>Υψηλό κόστος αγοράς της μπαταρίας</p>	<p>Το κόστος αγοράς της μπαταρίας δεν είναι υψηλό</p>
<p>Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου χάνουν σύντομα την ικανότητα αποθήκευσης οπότε πρέπει να αντικατασταθούν σε 8 περίπου χρόνια</p>	<p>Η μπαταρία που θα αντικαταστήσει την υπάρχουσα μπορεί να είναι τελευταίας τεχνολογίας χωρίς όμως το κόστος να είναι υψηλό</p>

Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα είναι ως επί τω πλείστων ιόντων λιθίου και το 95% αυτών είναι ανακυκλώσιμες. Οι μπαταρίες έχουν διάφορα στάδια, ώστε να μεγιστοποιείται η χρησιμότητά τους μέχρι να πάνε για ανακύκλωση, τα οποία είναι κυρίως τα εξής :

- ✓ Σε πρώτο στάδιο χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα και μπορούν να επαναφορτιστούν έως και 2.000 φορές, το οποίο μεταφράζεται σε περίπου 300.000 χιλιομέτρων σε μέσο όρο.
- ✓ Σε δεύτερο στάδιο χρησιμοποιούνται για οχήματα που διανύουν μικρότερες αποστάσεις.

- ✓ Στο τελευταίο στάδιο συγκεντρώνονται συστοιχίες και χρησιμοποιούνται για αποθήκευση μεγάλης ποσότητας ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Ορισμένα κράτη προκειμένου να δαλεάσουν τους πολίτες του προσφέρουν επιπλέον φορολογικά κίνητρα ώστε να αγοράζουν ηλεκτρικά οχήματα καθώς και οικονομική ενίσχυση όπως στη Βιρτζίνια όπου οι κάτοικοι μπορούν να λάβουν συνολική πίστωση μέχρι και \$15000 για την αγορά ηλεκτρικών αυτοκινήτων και μέχρι \$10000 για την δημιουργία ενός προσωπικού σταθμού φόρτισης. Υπάρχουν και άλλα προνόμια όπως για παράδειγμα καταστήματα που προσφέρουν VIP parking για τα ηλεκτρικά οχήματα και μερικές φορές η φόρτιση είναι δωρεάν. Δυστυχώς όμως αυτά τα προνόμια δεν μπορούν να ξεπεράσουν την πραγματικότητα και οι τιμές των ηλεκτρικών αυτοκινήτων εξακολουθούν να είναι πολύ υψηλές. Εκτός αυτού του μειονεκτήματος υπάρχουν και αρκετές ενστάσεις σχετικά με τον οικολογικό τους χαρακτήρα.

Η μπαταρίες των οχημάτων μπορούν είτε να φορτίζονται είτε να ανταλλάσσονται με νέες πλήρως φορτισμένες ωστόσο η δεύτερη στρατηγική είναι ακόμα σε πειραματικό στάδιο καθώς είναι πιο δαπανηρή. Το κόστος της αλλαγής μπαταρίας περιλαμβάνει τρεις παραμέτρους : 1) το καθαρό κόστος της ενέργειας που παρέχεται, 2) το κόστος χρήσης της μπαταρίας και 3) το κόστος των υπηρεσιών.

Τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν μία πολλά υποσχόμενη τεχνολογία εμπεριέχουν όμως αρκετά μειονεκτήματα. Αρχικά, τα ηλεκτρικά οχήματα είναι φιλικά προς το περιβάλλον για την εξέλιξη τους όμως κατασκευάζονται καθημερινά πολλές μπαταρίες κυρίως αλλά και άλλα στοιχεία. Η κατασκευή αυτών εκλύει ρύπους στο περιβάλλον οπότε από τη μία κατασκευάζονται ηλεκτρικά οχήματα για εξοικονόμηση καυσίμων και από την άλλη η τελειοποίηση τους απελευθερώνει στο περιβάλλον υψηλό αριθμό ρύπων. Υπάρχει δηλαδή μία «στενή» σχέση μεταξύ των πρώτων υλών για την κατασκευή των νέων οχημάτων (όπως το λίθιο για τις μπαταρίες) και τα αποτελέσματά τους στην προστασία του περιβάλλοντος και στην εξοικονόμηση. Επιπλέον, το συμβατικό όχημα χρειάζεται πιο πολλά χρήματα σε σχέση με το υβριδικό και το ηλεκτρικό, για να καλύψει την ίδια απόσταση. Στην ουσία όμως, η «εικόνα» είναι διαφορετική. Η χρήση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων προκαλεί έμμεσα εκπομπές διοξειδίου από τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Τέλος, το κόστος αγοράς ενός ηλεκτρικού οχήματος είναι αρκετά υψηλό.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Ξενόγλωσσος όρος	Ελληνικός Όρος
Vehicle-to-Grid	Όχημα στο δίκτυο
nickel-metal-hydride	νικελίου-υδριδίου-μετάλλου
DSM/DR-Demand Side Management / Demand Response	Διαχείριση της Ζήτησης
Smart Grids	Έξυπνα Δίκτυα
Distributed Generation	Κατανεμημένη Ηλεκτροπαραγωγή
Microgrids	Μικροδίκτυα
Latency	Καθυστέρηση
Denial of Service	Επίθεση Άρνησης Υπηρεσίας
Redundancy	Πλεονασμός
virtual private network	Εικονικά Ιδιωτικά Δίκτυα
virtual local area network	Εικονικά Τοπικά Δίκτυα
Battery Electric Vehicles	Ηλεκτρικά Οχήματα με Συσσωρευτές
Solar Electric Vehicles	Ηλιακά Ηλεκτρικά Οχήματα
Hybrid Electric Vehicles	Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα
Plug-in Hybrid Electric Vehicles	Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Οχήματα με Ηλεκτρική Ενέργεια
Fuel Cell Electric Vehicles	Ηλεκτροκίνητα οχήματα με ενεργειακή συστοιχία
Power Line Communication	Επικοινωνία της Γραμμής Ισχύος
Grid-to-Vehicle	Δίκτυο στο Όχημα
Vehicle-to-Home	Όχημα στο σπίτι
Vehicle-to-Building	Όχημα στο Κτίριο
State of Charge	Επίπεδο Φόρτισης
State of Health	Κατάσταση «υγείας»
Roaming	Περιοδική
proportionally fair pricing	Αναλογική Δίκαιη Τιμολόγηση
Return on Investment	Απόδοση της Επένδυσης
Core Business	Επιχείρηση πυρήνα
Independence Business	Ανεξαρτησία της εταιρίας
Government Independence	Κυβερνητική ανεξαρτησία
Standard Independence	Πρότυπο ανεξαρτησίας
Scalable Approach	Κλιμακωτή προσέγγιση
Technology Maturity	«Ωριμότητα» της τεχνολογίας

Technology Penetration	Διείσδυση της τεχνολογίας
Ease of installation	Ευκολία εγκατάστασης
Ease of Maintenance and Repair	Ευκολία συντήρησης και επισκευής
Reliability	Αξιοπιστία
Safety	Ασφάλεια
Speed of operation	Ταχύτητα λειτουργίας
User acceptance	Αποδοχή από το χρήστη
User Experience	Εμπειρία του χρήστη
Durability	Αντοχή
Adaptability	Προσαρμοστικότητα

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
VPN	virtual private network
VLAN	virtual local area network
EV	Ηλεκτρικά οχήματα
BEVs	Battery Electric Vehicles
SEVs	Solar Electric Vehicles
HEVs	Hybrid Electric Vehicles
PHEVs	Plug-in Hybrid Electric Vehicles
ΜΕΚ	Μηχανές Εσωτερικής Καύσης
FCEVs	Fuel Cell Electric Vehicles
V2G	Vehicle-to-Grid
PLC	Power Line Communication
G2V	Grid-to-Vehicle
V2H	Vehicle-to-Home
V2B	Vehicle-to-Building
NiMH	nickel-metal-hydride
SoC	State of Charge
SoH	State of Health
RoI	Return on Investment
CB	Core Business
BI	Independence Business
GI	Government Independence
SI	Standard Independence
SA	Scalable Approach
TM	Technology Maturity
TP	Technology Penetration
EI	Ease of installation
EMR	Ease of Maintenance and Repair
R	Reliability
S	Safety
SO	Speed of operation
UA	User acceptance
UE	User Experience

D	Durability
A	Adaptability
ICCT	Διεθνές Συμβούλιο Καθαρών Μεταφορών

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Assessment Framework of Plug-in Electric Vehicles Strategies Aline Senart, Scott Kurth and Gaëlle Le Roux
- [2] Electric Vehicles - Modelling and Simulations Edited by Dr. Seref Soyly
- [3] Locating PHEV Exchange Stations in V2G Feng Pan, Russell Bent, Alan Berscheid, David Izraelevitz]
- [4] Interconnections and Communications of Electric Vehicles and Smart Grids Sebastian Kabisch, Anton Schmitt,,Martin Winter, Jorg Heuer
- [5] Robust Broadcast-Communication Control of Electric Vehicle Charging Konstantin Turitsyn, Nikolai Sinitsyn, Scott Backhaus, Michael Chertkov
- [6] Real-Time Vehicle-to-Grid Control Algorithm under Price Uncertainty Wenbo Shi and Vincent W.S. Wong
- [7] Distributed Charging of PHEVs in a Smart Grid Zhong Fan Toshiba Research Europe Limited, Telecommunications Research Laboratory
- [8] Market-Based Coordinated Charging of Electric Vehicles on the Low-Voltage Distribution Grid Mattijs Ghijsen, Reinhilde D'hulst
- [9] The Role of Aggregators in Smart Grid Demand Response Markets Lazaros Gkatzikis, Iordanis Koutsopoulos, and Theodoros Salonidis,
- [10] <http://powerelectronics.com/site-files/powerelectronics.com/files/archive/powerelectronics.com/images/feat2-1009-smartgrid-sys-fig01.jpg>
- [11] Διπλωματική εργασία «Σχεδίαση και ανάπτυξη ασφαλούς πρωτοκόλλου διαχείρισης και ελέγχου συσκευών για μεγάλης κλίμακας BPL δίκτυα», Αρτέμης Χ. Βουλκίδης
- [12] Διπλωματική εργασία «Σύγχρονες Τεχνολογίες Πρόσβασης και διαδικτύου σε έξυπνα δίκτυα», Ευφροσύνη Θ. Ζώτου
- [13] <http://www.highoctane.gr/sbj.aspx?sbj=3242&comp=ford>
- [14] Βέλτιστος προγραμματισμός της V2G λειτουργίας των ηλεκτρικών οχημάτων για την παροχή ενέργειας και επικουρικών υπηρεσιών στο δίκτυο», Ευάγγελος Τσιγγούνης
- [15] Ηλεκτρικά Οχήματα στην Ελλάδα: Δυνατότητες και Προοπτικές, Καθηγητής DrScTech. Κωνσταντίνος Ν. ΣΠΕΝΤΖΑΣ, Διευθυντής του Εργαστηρίου Οχημάτων Ε.Μ.Π.,
- [16] <http://medgreece.gr/2009/ηλιακό-αυτοκίνητο-με-επιδόσεις-βενζι>
- [17] http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_vehicle
- [18] <http://www.elecnetsolar.gr/sta-fotovoltaika-tomellon-ths-metakinishs/>
- [19] Διπλωματική εργασία «Προβλεπτικός Έλεγχος βάσει μοντέλου εφαρμοσμένος σε υβριδικό ηλεκτρικό όχημα μικτής συνδεσμολογίας», Λουκία Χρυσούλα
- [20] Διπλωματική εργασία «Βέλτιστος προγραμματισμός της V2G λειτουργίας των ηλεκτρικών οχημάτων για την παροχή ενέργειας και επικουρικών υπηρεσιών στο δίκτυο», Ευάγγελος Τσιγγούνης
- [21] <http://www.intechopen.com/download/get/type/pdfs/id/38159>
- [22] http://library.tee.gr/digital/m2598/m2598_maris.pdf
- [23] http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle_battery
- [24] http://en.wikipedia.org/wiki/Charging_station
- [25] Real-Time Vehicle-to-Grid Control Algorithm under Price Uncertainty Wenbo Shi and Vincent W.S. Wong
- [26] Smart Grid Charger for Electric Vehicles Using Existing Cellular Networks and SMS Text Messages Clark Hochgraf, Rahul Tripathi, Spencer Herzberg
- [27] Modeling Best Locations for Electric Vehicle Charging Stations RITA Office of Research, Development, and Technology
- [28] Integration of Electric Vehicles in the Electric Utility Systems Cristina Camus, Jorge Esteves and Tiago Farias Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Superior Técnico Portugal
- [29] Electric Vehicles in an Urban Context: Environmental Benefits and Techno-Economic Barriers Adolfo Perujo, Christian Thiel and Françoise Nemry
- [30] Διπλωματική εργασία «Μελέτη της επίδρασης της διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας» Αγγελική-Λυδία Αντωνία Ι. Συρρή
- [31] Energy Efficiency of Electric Vehicles , Zoran Stevic and Ilija Radovanovic
- [32] Recommended Electric Vehicle Charging Infrastructure Deployment Guidelines for the Greater Houston Area
- [33] <http://www.policymic.com/articles/50229/tesla-battery-exchange-the-game-changing-auto-innovation-that-will-make-electric-cars-a-thing>
- [34] Electric Vehicles - Modelling and Simulations Edited by Dr. Seref Soyly
- [35] <http://www.econews.gr/2012/09/20/ilektrika-aftokinita-erevna-icct/>

- [36] Διπλωματική εργασία «Ανάπτυξη δυναμικού θερμικού μοντέλου μετασχηματιστή διανομής για την ανάλυση της επίδρασης της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στη διάρκεια ζωής τους», Αικατερίνη-Ελένη Δραγάση
- [37] Electric Vehicle Battery Swapping Stations, Calculating Batteries and Chargers to Satisfy Demand, INAKI GRAU UNDA, PANAGIOTIS PAPADOPOULOS, SPYROS SKARVELIS-KAZAKOS, LIANA CIPCIGAN, NICK JENKINS
- [38] <http://www.technologyreview.com/news/518791/sensors-could-make-electric-car-batteries-smaller-and-cheaper/>
- [39] <http://www.technologyreview.com/news/518066/could-electric-cars-threaten-the-grid/>
- [40] Models and Boundaries of Data Exchange between Electric-Vehicle and Charging-Point. Example of a Practical Realisation. C. Wenge, P. Komarnicki, Zbigniew A. Styczynski
- [41] Green Emotion –GEM The Economics of Electrical Vehicles David Newbery
EPRG and Imperial College London
- [42] <http://www.b2green.gr/main.php?plD=17&nID=8989&lang=el>
- [43] <http://www.econews.gr/2011/10/31/ilektrokinisi-ypeka-maniatis/>
- [44] <http://www.crete-region.gr/training/el/Πληροφόρηση/ΔελτίαΤύπου/tabid/2982/ctl/Details/mid/587/ItemID/1165/Default.aspx>
- [45] http://transportlearning.net/competence/docs/Cleaner_Fuels_and_vehicles_gr.pdf
- [46] Electrical Vehicle Design and Modeling Erik Schaltz
- [47] <http://www.sciencedaily.com/releases/2013/04/130410103921.htm>
- [48] <http://spectrum.ieee.org/energy/renewables/unclean-at-any-speed>
- [49] http://energja.gr/article.asp?art_id=35010
- [50] http://spectrum.ieee.org/static/evs-and-the-environment-the-discussion-continues/?utm_source=techalert&utm_medium=email&utm_campaign=080113