



**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

***«ΟΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ  
ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ  
ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΗΝ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗ ΖΩΓΡΑΦΟΥ»***

**Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή**

Κικίδη Ιερ. Ιωάννη

**Επιβλέπων**

Μπαλλής Αθανάσιος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Σχολή  
Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.



.....  
Ιωάννης Ιερ. Κικίδης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Δ.Π.Θ.

Copyright © Ιωάννης Ιερ. Κικίδης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

ὁ λύχνος τοῦ σώματός ἐστιν ὁ ὀφθαλμός·  
ὅταν οὖν ὁ ὀφθαλμός σου ἀπλοῦς ᾦ, καὶ ὅλον τὸ σῶμά σου φωτεινόν  
ἐστιν· ἐπὰν δὲ πονηρὸς ᾦ, καὶ τὸ σῶμά σου σκοτεινόν.

*Το λυχνάρι του σώματος είναι τα μάτια. Αν λοιπόν, τα μάτια σου είναι γερά, ὅλο σου το σώμα θα  
είναι φωτεινό· αν ὁμως είναι χαλασμένα, τότε και ὅλο το σώμα σου θα  
είναι σκοτεινό.*

Λουκ. ια', 34

*Αφιερώνεται στους γονείς μου,  
Ιερόθεο και Κατερίνα, και  
στον αδερφό μου Τάσο*

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:** «Οι προοπτικές δημιουργίας σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου»

**ΦΟΙΤΗΤΗΣ:** Ιωάννης Ιερ. Κικίδης

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:** Μπαλλής Αθανάσιος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

**ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ:** 2015-16

### Σύνοψη

Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα κερδίζουν σήμερα ολοένα και μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς αυτοκινήτων. Η προτίμηση αυτή των καταναλωτών οφείλεται εν πολλοίς στο χαμηλότερο λειτουργικό κόστος των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, στην καλή απόδοσή τους, αλλά και στον προβληματισμό που επικρατεί για την περιβαλλοντική μόλυνση και τις επιπτώσεις της. Για την περαιτέρω εξάπλωσή τους όμως, είναι βασικό τα ηλεκτρικά οχήματα να καταστούν περισσότερο ελκυστικά. Αυτό επαφίεται σε μεγάλο βαθμό στη μείωση του κόστους αγοράς, στη βελτίωση των τεχνικών χαρακτηριστικών και της αυτονομίας τους, αλλά και στην ύπαρξη των κατάλληλων υποδομών για τον ανεφοδιασμό τους. Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των προοπτικών δημιουργίας σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Αρχικά, γίνεται μία παρουσίαση των ηλεκτρικών οχημάτων σήμερα και των ενεργειακών απαιτήσεών τους. Αναπτύσσονται, ακόμα, οι βασικοί τύποι σταθμών φόρτισης με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Στη συνέχεια επιχειρείται μία σκιαγράφιση του προφίλ της πλειοψηφίας των οδηγών σε ό,τι αφορά τις μετακινήσεις τους και τις χιλιομετρικές αποστάσεις που διανύουν μέσα στην εβδομάδα. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα προηγούμενα, η εργασία προτείνει την αξιοποίηση των χώρων στάθμευσης της Πολυτεχνειούπολης για την τοποθέτηση σημείων φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Προτείνονται, μάλιστα, συγκεκριμένα μοντέλα φορτιστών ανάλογα με τις ανάγκες των χρηστών. Κριτήρια επιλογής αποτελούν, η εξυπηρέτηση όσο το δυνατόν περισσότερων αυτοκινήτων, η καταλληλότητα του χώρου για την εγκατάσταση των σταθμών και η επάρκεια του υπάρχοντος δικτύου παροχής ρεύματος. Τέλος, πραγματοποιείται μια πρώτη προσεγγιστική ανάλυση του κόστους ενός τέτοιου εγχειρήματος.

**Λέξεις κλειδιά:** Ατμοσφαιρική ρύπανση, μεταφορές, προστασία περιβάλλοντος, ηλεκτρικά οχήματα, συσσωρευτές, σταθμοί φόρτισης, Πολυτεχνειούπολη

## Περίληψη

Η μόλυνση του περιβάλλοντος και η συνεχής επιβάρυνσή του από την ανθρώπινη δραστηριότητα, είναι ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει ο άνθρωπος σήμερα. Ο αντίκτυπος της περιβαλλοντικής μόλυνσης είναι ήδη αισθητός και οι προβλέψεις για το μέλλον είναι δυσοίωνες. Η ανάγκη λοιπόν για μια συντονισμένη προσπάθεια αναχαίτισης των προβλημάτων αυτών είναι επιτακτική. Η παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρεί να μελετήσει τη δημιουργία σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων στα πλαίσια της παγκόσμιας τάσης για υιοθέτηση ενός περιβαλλοντικά φιλικότερου τρόπου διαβίωσης.

Ειδικότερα, στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο, αναφέρεται το μείζον πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και το ποσοστό που επιδρά ο τομέας των μεταφορών σε αυτό. Γίνεται ενδελεχής ανάλυση των ενεργειακών καταναλώσεων στην Ελλάδα, στην Ευρώπη και στον κόσμο, και τη στροφή που μπορούμε να πάρουμε προς φιλικότερες μεθόδους μετακίνησης. Τέτοιου είδους μέσα μεταφοράς, αποτελούν τα ηλεκτροκίνητα οχήματα. Πιο συγκεκριμένα, στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο, γίνεται μία σύντομη αναφορά στην ιστορική εξέλιξη τέτοιων οχημάτων και το πώς αυτά διακρίνονται σε υβριδικά ηλεκτρικά, ηλεκτρικά με ηλεκτροπαραγωγική μονάδα και συσσωρευτές, και αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα, με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο, γίνεται μία εκτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης των ηλεκτρικών οχημάτων σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα, που κινούνται με μηχανές εσωτερικής καύσης και στη συνέχεια αναλύονται τα διάφορα χαρακτηριστικά των οχημάτων αυτών. Αυτά είναι η μονάδα αποθήκευσης ενέργειας, όπως είναι οι ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές, οι υπερπυκνωτές και οι κυψέλες καυσίμου. Άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά είναι ο ηλεκτροκινητήρας, ο ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος και το σύστημα μετάδοσης κίνησης.

Εν συνεχεία, το 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναλύει τις υπάρχουσες τεχνολογίες των σταθμών φόρτισης και των μεθόδων σύνδεσης των ηλεκτρικών οχημάτων με αυτούς. Ειδικότερα, η φόρτιση μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με επαγωγή είτε μέσω καλωδίου, που είναι και ο πιο συνηθισμένος τρόπος. Η φόρτιση, διακρίνεται σε οικιακή και σε κοινόχρηστους χώρους, όπως είναι τα δημόσια parking. Όμως, οι μέθοδοι φόρτισης και τα βύσματα που χρησιμοποιούνται, υπαγορεύονται από κανονισμούς, που έχουν καθοριστεί από διεθνείς οργανώσεις, όπως η IEC, η SAE, η γερμανική VDE και στην Ελλάδα από την νομοθεσία ΦΕΚ 50/Β 2015, με σκοπό να εξασφαλιστεί η απρόσκοπτη και ασφαλής σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων με τους σταθμούς φόρτισης.

Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο, αναλύεται η μελέτη, που διεξήχθη με σκοπό να εξεταστούν οι διάφορες προοπτικές δημιουργίας σταθμών φόρτισης εντός της Πολυτεχνειούπολης της περιοχής Ζωγράφου. Παρουσιάζονται τα ποσοστά των οδηγών που χρησιμοποιούν ηλεκτρικά αυτοκίνητα στην Ευρώπη και στην Ελλάδα, τους λόγους για τους οποίους τα χρησιμοποιούν και την απόσταση που καλύπτουν με αυτά. Επίσης, επισημαίνεται το γεγονός, ότι η καθημερινή τους μετακίνηση είναι από και προς τον χώρο εργασίας, οπότε, για την Ελλάδα, και πιο συγκεκριμένα για την πυκνοκατοικημένη Αθήνα, τονίζεται η ανάγκη δημιουργίας σταθμών φόρτισης στα parking των χώρων εργασίας, εν προκειμένω και στην Πολυτεχνειούπολη.

Τέλος, περιγράφονται συνοπτικά κάποια στοιχεία, τα οποία δίνουν μία οικονομική εκτίμηση για την μελέτη και κατασκευή σταθμών φόρτισης.

Κλείνοντας, στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο, γράφονται συνοπτικά τα συμπεράσματα της μελέτης για την εγκατάσταση σταθμών φόρτισης στην Πολυτεχνειούπολη, τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια αυτής και κάποιες προτάσεις για το μέλλον.

***POST-GRADUATE THESIS:***      **«Installation perspectives of electric vehicle charging stations at NTUA»**

***STUDENT:***                              **Kikidis Ioannis**

***SUPERVISOR:***                        **Ballis Athanasios, Associate Professor, School of Civil Engineering, NTUA**

***ACADEMIC YEAR:***                    **2015-16**

## **Abstract**

Electric vehicles today are gaining an increasing market share from conventional vehicles. This preference of consumers is largely due to the lower operating costs of electric cars, their good performance, but also due to the growing concern about environmental pollution and its effects. To allow further expansion, however, electric vehicles need to become comparatively more attractive. This, to a great extent, depends on the reduction of purchase costs, the improvement of their technical characteristics and their autonomy, but also on the existence of an appropriate, publicly accessible charging infrastructure. The aim of this research is to study the perspectives of establishing an electric vehicle charging station in NTUA campus. At first, there is a presentation of electric vehicles today and of their energy requirements. Also, the different technologies that are used in electric recharging stations are analyzed and their advantages and disadvantages are stated. In addition, the study attempts to outline the customs of drivers, how often they use their cars, for what purpose and distance. Considering all of the above, this research proposes the use of the campus parking lots for installation of electrical vehicle charging points. Furthermore, specific charging station models are recommended based on the needs of the users. The charging stations are expected to serve as many cars as possible and their energy needs should be covered by the existing power supply. The parking spaces will be selected as to have enough space for the installation of the stations and an adequate number of cars that park in them every day. In the end, the study includes a rough evaluation of the cost of such a project.

**Key words:** Environmental problems, transportation, protection of the environment, electric vehicles, batteries, ev charging stations, NTUA campus



## Summary

Environmental pollution as the result of human activity is one of the greatest challenges that humans are faced with today. We are already suffering the effects of the ever growing environmental problems. Therefore the need for an immediate change in our way of living is imperative. This research attempts to study the establishment of an electrical vehicle charging point, as part of a global trend towards an environmentally friendlier lifestyle.

More specifically, in the first chapter the nature of the air pollution and the impact that transportation is having on it is discussed. The energy consumption in Europe and Greece is presented and the alternative of electric vehicles is introduced.

The second chapter includes a short historical review of electric vehicles. Moreover, the different types of electric vehicles are presented. These types are the plug-in hybrid electric vehicles (PHEV), the extended range vehicles (E-REV) and the battery electric vehicles (BEV).

The third chapter addresses the energy consumption of electric vehicles in comparison to cars with internal combustion engines. Also, the major parts of electric vehicles are presented, such as the batteries, the supercapacitors and the fuel cells. Other technical features are the electric motor, the electronic power converter and the drive system.

Thereafter, the fourth section discusses existing technologies of charging stations and the way that electric vehicles are connected to them. Specifically, charging can be performed either by induction or by cable, which is the most common way. Charging can take place either domestically or publically, for example in a parking lot. The charging methods and plugs used are dictated by regulations set by international organizations, such as the IEC, the SAE, German VDE and in Greece by Gov. Legislation 50B/2015, in order to ensure the smooth and safe connection of electric vehicles with charging stations.

The fifth chapter examines the perspectives of establishing an electric vehicle charging station within the NTUA campus. The chapter presents the percentages of drivers who use electric cars in Europe and in Greece, the places that electric cars are usually used for and the distance that they cover. Since, the electric vehicles in Greece are mainly used to commute to and from the workplace, locating electric vehicle charging station in workplaces and more specifically in the campus, is a sensible solution. Finally, the economic aspect of such a project is briefly analyzed.

The sixth chapter reports the conclusions of the study and the problems that were encountered during the research. Moreover, this final chapter contains possible suggestions for the future.

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της μεταπτυχιακής μου εργασίας αναπληρωτή καθηγητή του Ε.Μ.Π. κύριο Μπαλλή Αθανάσιο, για την ανάθεση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος για μελέτη. Μου έδωσε την ευκαιρία να εντρυφήσω βαθιά στις τεχνολογίες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και των σταθμών φόρτισής τους, καθώς αποτελούν το μέλλον των μετακινήσεων. Επίσης, τον ευχαριστώ για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, καθώς και για την καθοδήγηση και τις ανεκτίμητες συμβουλές που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τους καθηγητές, κύριο Διαλυνά Ευάγγελο και τον κύριο Κλαδά Αντώνιο, για την τιμή που μου έκαναν να συμμετάσχουν στην επιτροπή εξέτασης της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ τον υποψήφιο διδάκτορα, κύριο Καρφόπουλο Ευάγγελο, για τις πολύτιμες συμβουλές του στα θέματα που αφορούσαν πρότυπα και διαδικασίες, που απαιτούνται για το σχεδιασμό και την κατασκευή σταθμών φόρτισης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ακόμη και τον κύριο Ζησόπουλο Βασίλη της Τεχνικής Υπηρεσίας του Ε.Μ.Π., ο οποίος προθυμοποιήθηκε να με ξεναγήσει αυτοπροσώπως με επιτόπια αυτοψία στους υποσταθμούς μέσης τάσης της Πολυτεχνειούπολης και να μου δώσει τεχνικά στοιχεία αυτών. Μην παραβλέψω να ευχαριστήσω τον κύριο Ησαΐα Μπάμπη και τον κύριο Ψωμά Ηλία, για την ξενάγηση που μου παρείχαν σε σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω την κα Μπαλαφούτα Κωνσταντίνα, Υποτομεάρχη Διαχείρισης Χρηστών του ΤΑΠΣ/ΔΕΗ, και την κα Μπούρα Χριστίνα Τομεάρχη ΤΑΠΣ/ΔΕΗ, που επέδειξαν περισσή κατανόηση και θετική αντιμετώπιση για το θέμα αυτό, καθ' όλη τη διάρκειά του.

Δεν θα ήθελα να παραλείψω από τις ευχαριστίες όλους μου τους συμφοιτητές, ιδιαίτερα τον Δημήτρη Περονικολή, τον Αποστόλη Παπακωνσταντίνου, τον Βασίλη Θεοδωρόπουλο και τον Γιάννη Κοντοχριστόπουλο για τις όμορφες αλλά και δύσκολες στιγμές, που περάσαμε κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μας σπουδών.

Τέλος, ευχαριστώ τη Γεωργία, που είναι πάντα δίπλα μου τα τελευταία χρόνια και με υποστηρίζει σε όλες μου τις επιλογές και φυσικά την οικογένειά μου για τη αμέριστη στήριξη και συμπαράστασή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

*Γιάννης Ιερ. Κικίδης  
Σεπτέμβριος 2016*

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|   |    |
|---|----|
| ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....   | 11 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ.....   | 13 |
| 1.1 Οικονομική και Κοινωνική Διάσταση .....   | 13 |
| 1.2 Ενεργειακή Διάσταση.....  | 14 |
| 1.2.1 Ενεργειακή κατανάλωση στην Ευρώπη.....  | 16 |
| 1.2.2 Ενεργειακή Κατανάλωση στην Ελλάδα .....   | 16 |
| 1.2.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Μεταφορές .....   | 17 |
| 1.3 Περιβαλλοντική Διάσταση .....   | 17 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....  | 21 |
| 2.1 Εισαγωγή.....   | 21 |
| 2.2 Ιστορική Εξέλιξη Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων.....   | 21 |
| 2.2.1 Πρώιμη Περίοδος.....  | 21 |
| 2.2.2 Μεσαία περίοδος.....  | 25 |
| 2.2.3 Σημερινή Περίοδος .....   | 26 |
| 2.2.4 Η Ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα .....   | 27 |
| 2.3 Ταξινόμηση Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων.....   | 28 |
| 2.3.1 Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Οχήματα με Ηλεκτρική Ενέργεια από Εξωτερική Πηγή (PHEV, Plug-in Hybrid Electric Vehicles) ..... | 30 |
| 2.3.2 Ηλεκτρικά Οχήματα με Συσσωρευτές και Ηλεκτροπαραγωγική Μονάδα (E-REV, Extended Range Electric Vehicles) .....             | 31 |
| 2.3.3 Ηλεκτρικά Οχήματα με Ηλεκτροχημικούς Συσσωρευτές (BEV – Battery Electric Vehicles) .....                                  | 32 |
| 2.3.4 Κλάσεις Ηλεκτρικών Οχημάτων .....   | 33 |
| 2.3.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ηλεκτρικών οχημάτων.....  | 34 |
| 2.4 Ηλεκτρικά Οχήματα σήμερα .....  | 36 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ .....                                  | 40 |
| 3.1 Γενικές Αρχές .....   | 40 |
| 3.1.1 Αντιστάσεις στην κίνηση του οχήματος .....  | 41 |
| 3.1.2 Απώλειες ισχύος κατά την κίνηση του οχήματος .....  | 42 |
| 3.2 Ενεργειακή Κατανάλωση Συμβατικών Οχημάτων (ICV).....  | 43 |
| 3.3 Ενεργειακή Κατανάλωση Υβριδικών Οχημάτων (PHEV).....  | 44 |
| 3.4 Ενεργειακή Κατανάλωση Ηλεκτρικών Οχημάτων (BEV).....  | 45 |
| 3.5 Μονάδες μέτρησης κατανάλωσης νέων τεχνολογιών οχημάτων .....  | 47 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.6 Τεχνικά χαρακτηριστικά ηλεκτροκίνητων οχημάτων.....                                     | 47  |
| 3.6.1 Μονάδα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.....  | 49  |
| 3.6.2 Ηλεκτρικός Κινητήρας.....   | 61  |
| 3.6.3 Ηλεκτρονικός Μετατροπέας Ισχύος.....  | 64  |
| 3.6.4 Σύστημα Μετάδοσης Κίνησης.....  | 65  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> ΣΤΑΘΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ..... | 67  |
| 4.1 Φόρτιση με επαφή.....   | 67  |
| 4.2 Φόρτιση με επαγωγή.....   | 68  |
| 4.3 Φόρτιση μέσω οικιακού δικτύου.....  | 69  |
| 4.4 Φόρτιση μέσω κοινόχρηστων παροχών.....  | 70  |
| 4.5 Διεθνή Πρότυπα Σταθμών Φόρτισης.....  | 71  |
| 4.5.1 Πρότυπο IEC 61851-1: Μέθοδοι Φόρτισης.....  | 71  |
| 4.5.2 Πρότυπο SAE – J1772.....  | 78  |
| 4.5.3 Πρότυπο SAE TIR J2954.....  | 78  |
| 4.5.4 Πρότυπο IEC 62196.....  | 79  |
| 4.6 Υποδοχείς φόρτισης εμπορίου.....  | 80  |
| 4.6.1 Βύσμα J1772/2009 (Yazaki).....  | 81  |
| 4.6.2 Βύσμα Mennekes.....   | 83  |
| 4.6.3 Βύσμα SCAME.....  | 84  |
| 4.6.4 Βύσμα Walther.....  | 85  |
| 4.6.5 Βύσμα EDF.....  | 86  |
| 4.6.6 Βύσμα CHAdeMO.....  | 86  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup> ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗ ΖΩΓΡΑΦΟΥ ...                 | 89  |
| 5.1 Χρήση ηλεκτρικών αυτοκίνητων και αντίστοιχων σταθμών φόρτισης στην Ελλάδα.....          | 89  |
| 5.2 Αποστάσεις που διανύουν οι οδηγοί στην Ευρώπη και στην Ελλάδα.....                      | 91  |
| 5.3 Υπάρχουσα κατάσταση Πολυτεχνειούπολης Ε.Μ.Π. ....                                       | 92  |
| 5.3.1 Θέση Πολυτεχνειούπολης στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας.....                          | 93  |
| 5.3.2 Δίκτυο δρόμων κυκλοφορίας οχημάτων – Χώροι στάθμευσης.....                            | 93  |
| 5.3.3 Προσδιορισμός κριτηρίων χωροθέτησης σταθμών φόρτισης.....                             | 94  |
| 5.4 Χωροθέτηση σταθμών φόρτισης στην περιοχή της Πολυτεχνειούπολης.....                     | 97  |
| 5.5 Υπάρχοντα προβλήματα των χώρων στάθμευσης.....  | 103 |
| 5.6 Εκτίμηση κόστους εγκατάσταση σταθμών φόρτισης.....                                      | 104 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 <sup>ο</sup> ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....   | 107 |
| 6.1 Εισηγήσεις για περαιτέρω έρευνα.....  | 108 |
| 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....  | 110 |

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

## 1.1 Οικονομική και Κοινωνική Διάσταση

Ο εικοστός αιώνας ήταν περίοδος ραγδαίας οικονομικής ανάπτυξης, επιστημονικής προόδου και μεγάλων τεχνολογικών καινοτομιών. Στο τομέα των μεταφορών ειδικότερα, υπήρξε μεγάλη πρόοδος, η οποία συνεισέφερε σημαντικά στη βελτίωση της ποιότητας ζωής.

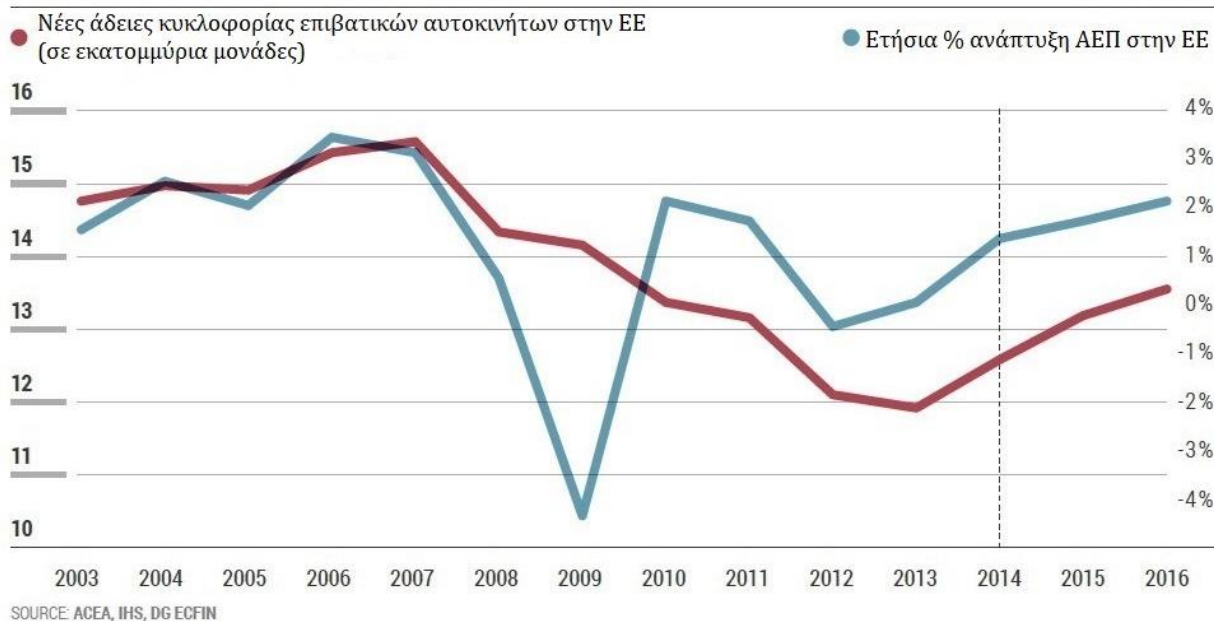
Ο τομέας των μεταφορών, ιδιαίτερα νευραλγικός αλλά και εξαιρετικά σημαντικός για την παγκόσμια οικονομία και ανάπτυξη, είναι άμεσα συνδεδεμένος με όλους τους κλάδους της ανθρώπινης δραστηριότητας. Οι μεταφορές καλούνται να ικανοποιήσουν ανάγκες αλλά και επιθυμίες για μετακίνηση επιβατών και εμπορευμάτων, ενώ η ύπαρξη ενός οργανωμένου δικτύου μεταφορών αποτελεί από μόνη της παράγοντα επιπρόσθετης ζήτησης μεταφορικού έργου, ανοίγοντας νέους ορίζοντες στο εμπόριο, τον τουρισμό και την ανάπτυξη της οικονομίας γενικότερα.

Το μεγαλύτερο μέρος των μεταφορών σήμερα πραγματοποιείται μέσω του οδικού δικτύου και τη χρήση επιβατικών αυτοκινήτων. Το αυτοκίνητο είναι ένα σημαντικό καταναλωτικό αγαθό με σύνθετη σημασία για τον σύγχρονο άνθρωπο. Ο κάτοχός του, μέσα από αυτό, εκφράζει την προσωπικότητά του, ενώ ταυτόχρονα ικανοποιεί τις επαγγελματικές, προσωπικές και ψυχαγωγικές του ανάγκες.

Παγκοσμίως κυκλοφορούν πάνω από 1.2 δισεκατομμύρια οχήματα, η συντριπτική πλειοψηφία των οποίων χρησιμοποιούν καύσιμο βενζίνη ή πετρέλαιο ντίζελ, [1].

Ο κλάδος της κατασκευής, της πώλησης και της συντήρησης του αυτοκινήτου έχει καταλυτικό ρόλο στην οικονομική ανάπτυξη. Χαρακτηριστικά αναφέρεται, ότι το 22.3% της παγκόσμιας παραγωγής αυτοκινήτων παράγεται στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Στην κοινωνική του διάσταση, ο τομέας παραγωγής οχημάτων προσφέρει εργασία σε 2.3 εκατομμύρια πολίτες ενώ άλλα 12.1 εκατομμύρια απασχολούνται σε συσχετιζόμενες θέσεις, [2].

Η οικονομική ανάπτυξη και οι μεταφορές συνδέονται αναπόσπαστα μεταξύ τους. Στην εικόνα 1.1, φαίνεται η αύξηση των επιβατικών οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.), σε συνάρτηση με την αύξηση του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος (Α.Ε.Π.).

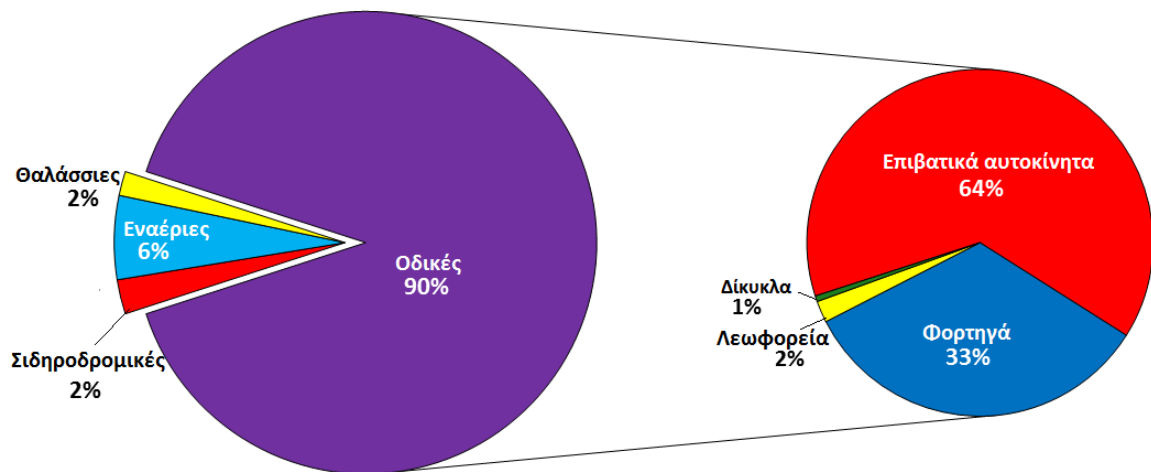


Εικόνα 1-1: Επιβατικά αυτοκίνητα σε σχέση με το ΑΕΠ στην Ε.Ε. [2]

Είναι σαφές λοιπόν ότι οι μεταφορές αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους τομείς λειτουργίας και ανάπτυξης των σύγχρονων κοινωνιών. Τα μεταφορικά συστήματα όχι μόνο καλούνται να ικανοποιήσουν τις διαρκώς αυξανόμενες απαιτήσεις μετακίνησης ανθρώπων και μεταφοράς αγαθών, αλλά μακροπρόθεσμα επηρεάζουν την ανάπτυξη και την οικονομική δραστηριότητα των κοινωνιών. Ωστόσο, παρά τη μεγάλη σημασία των μεταφορών στη λειτουργία των σύγχρονων κοινωνιών, τα προβλήματα, που επιφέρουν σε σχέση με την κατανάλωση ενέργειας και το περιβάλλον, είναι ιδιαίτερα έντονα.

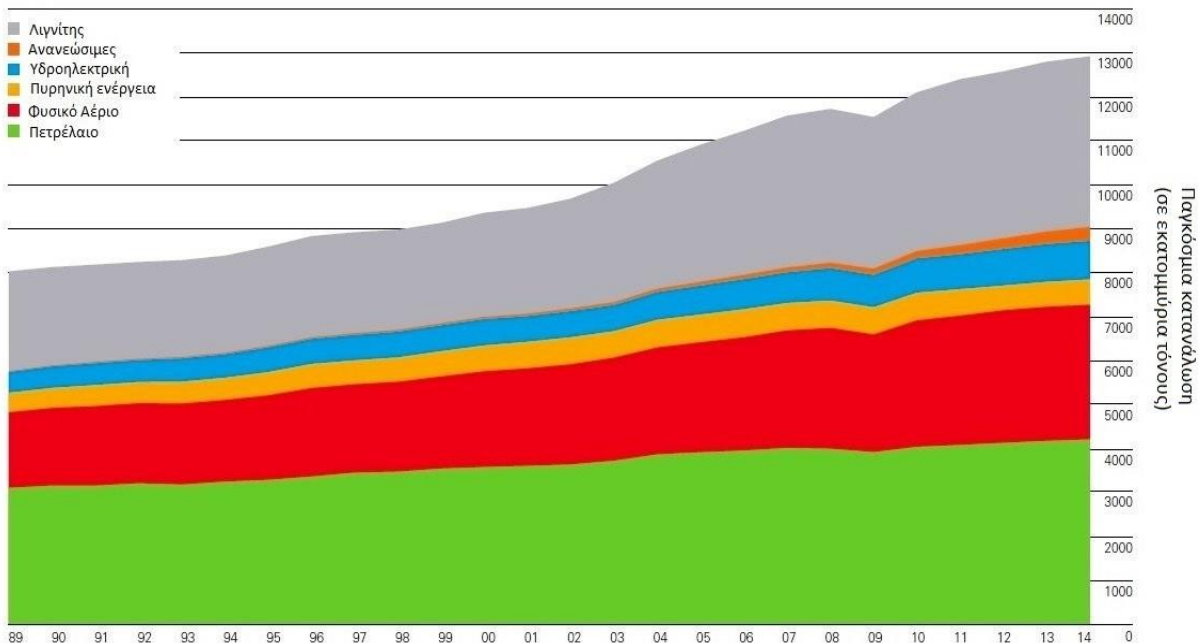
## 1.2 Ενεργειακή Διάσταση

Ο ευρύτερος τομέας των μεταφορών ευθύνεται σήμερα για την κατανάλωση περίπου του 20% της παγκόσμιας παραγόμενης ενέργειας και περίπου του 50% των διαθέσιμων υγρών καυσίμων, τα οποία είναι η κυρίαρχη πηγή ενέργειας, επιδεικνύοντας ταυτόχρονα αυξητικές τάσεις, [3]. Τις τελευταίες δεκαετίες ο στόλος των οχημάτων στις ανεπτυγμένες χώρες, που αποτελεί περίπου το 80% του συνολικού παγκόσμιου, διπλασιάστηκε, με αποτέλεσμα την τεράστια αύξηση των οδικών μεταφορών. Οι οδικές μεταφορές σήμερα κατέχουν μερίδιο 90% στην παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση του ευρύτερου τομέα μεταφορών, με τις επιβατικές μεταφορές να καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος, όπως φαίνεται στο διάγραμμα της εικόνας 1.2, το οποίο βασίζεται στους δείκτες ενεργειακής απόδοσης της βάσης δεδομένων του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας.



Εικόνα 1-2 Κατηγορίες μεταφορών & ποσοστό τους στην ενεργειακή κατανάλωση [4]

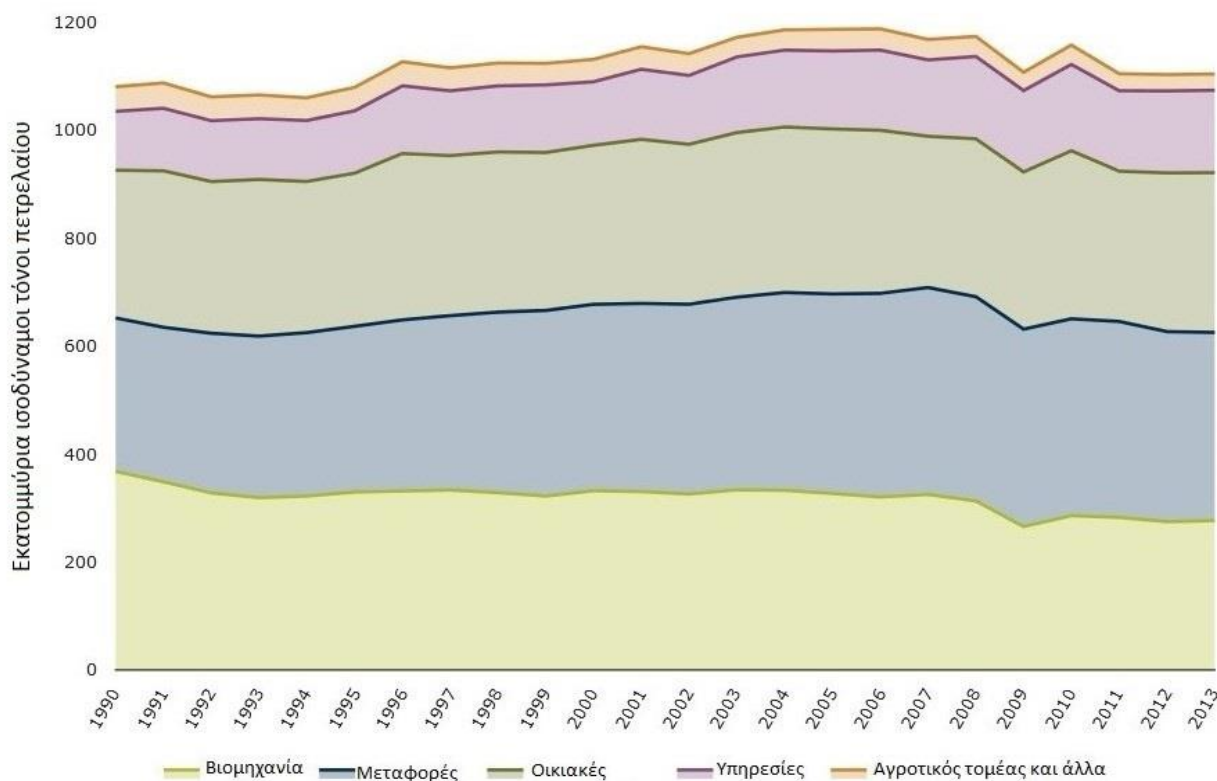
Η γιγάντωση του τομέα των οδικών μεταφορών οδήγησε σε υψηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις και κατ' επέκταση σε σημαντικές αυξήσεις στην παγκόσμια κατανάλωση του πετρελαίου και των παραγώγων του. Στην εικόνα 1.3 παρουσιάζεται η εξέλιξη της παγκόσμιας κατανάλωσης διάφορων πηγών ενέργειας, όπως λιγνίτης, φυσικό αέριο, πετρέλαιο, πυρηνική ενέργεια, υδροηλεκτρική ενέργεια και ανανεώσιμες, κατά τα έτη 1989-2014. Το έτος 2008 η τιμή του πετρελαίου έφτασε στην ιστορική μέγιστη, αντικατοπτρίζοντας την συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση. Η μικρή πτώση της κατανάλωσης στο διάστημα 2007-2008 αποδίδεται στην οικονομική ύφεση των ανεπτυγμένων χωρών. Παρόλα αυτά, το πετρέλαιο παραμένει παγκοσμίως η κύρια πηγή ενέργειας.



Εικόνα 1-3 Παγκόσμια κατανάλωση διάφορων πηγών ενέργειας [5]

### 1.2.1 Ενεργειακή κατανάλωση στην Ευρώπη

Η Ευρώπη αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους καταναλωτές ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο, με τον τομέα των μεταφορών να αποτελεί σημαντικό μέρος αυτής. Η εικόνα 1.4 παρουσιάζει την εξέλιξη της κατανομής της ενεργειακής κατανάλωσης στην Ε.Ε. ανά τομέα οικονομικής δραστηριότητας, με τις μεταφορές να συμμετέχουν κατά 31.5% στη συνολική κατανάλωση.



Εικόνα 1-4 Κατανομή Ενεργειακής Κατανάλωσης στην Ε.Ε. ανά τομέα [6]

### 1.2.2 Ενεργειακή Κατανάλωση στην Ελλάδα

Στον μέσο όρο της Ε.Ε. κινείται η Ελλάδα σε ό, τι αφορά τη διείσδυση των Α.Π.Ε. στην ενεργειακή κατανάλωση, σύμφωνα με τα στοιχεία της έκθεσης 2015 που έδωσε στη δημοσιότητα η Κομισιόν για την πρόοδο των κρατών – μελών στην ανάπτυξη των Α.Π.Ε., με ορίζοντα τον δεσμευτικό στόχο του 20% στην ενεργειακή κατανάλωση ως το 2020 και στο 10% στις μεταφορές.

Στην Ελλάδα, όπως και στις περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες, έχει παρατηρηθεί τεράστια αύξηση στις οδικές μεταφορές κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών. Είναι χαρακτηριστικό, ότι το 2008 ο στόλος των οχημάτων ήταν διπλάσιος σε σχέση με αυτόν του 1990, ενώ παράλληλα αυξήθηκε σημαντικά το μερίδιο των μεσαίου και μεγάλου μεγέθους επιβατικών οχημάτων (από 15% το 1990 σε 35% το 2008). Η κατάσταση εντείνεται, δεδομένου



ότι η αύξηση αυτή αναφέρεται κυρίως σε συμβατικά οχήματα εσωτερικής καύσης, που χρησιμοποιούν ως καύσιμο βενζίνη ή πετρέλαιο κίνησης.

Ως εκ τούτου, οι ενεργειακές απαιτήσεις του τομέα των μεταφορών στη χώρα μας το διάστημα 1990 – 2008, δείχνουν αύξηση 71%, καταλαμβάνοντας σήμερα μερίδιο σχεδόν 40% στο συνολικό ενεργειακό ισοζύγιο, μεγαλύτερο από κάθε άλλο τομέα. Το ποσοστό αυτό κατατάσσει την Ελλάδα στην 6η θέση κατανάλωσης ενέργειας για τις μεταφορές στην Ε.Ε., ενώ ο ευρωπαϊκός μέσος όρος είναι 32.3%. Αξίζει να σημειωθεί, ότι το 98% των μεταφορών στην Ελλάδα αφορά τις οδικές μεταφορές. Επιπρόσθετα, τονίζεται, ότι η Ελλάδα είναι μία μη ενεργειακά αυτόνομη χώρα, βασιζόμενη στην εισαγωγή καυσίμων κατά 72%, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για το υπόλοιπο σύνολο της Ε.Ε. κυμαίνεται στο 54%, [1].

### **1.2.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Μεταφορές**

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (αιολική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια, υδροηλεκτρική ενέργεια, ενέργεια από τους ωκεανούς, γεωθερμική ενέργεια, βιομάζα και βιοκαύσιμα) αποτελούν εναλλακτικές λύσεις αντί των ορυκτών καυσίμων και συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, στη διαφοροποίηση του ενεργειακού εφοδιασμού και στη μείωση της εξάρτησης από αναξιόπιστες και ασταθείς αγορές ορυκτών καυσίμων, ειδικότερα πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η Ε.Ε. κατέχει ηγετική θέση στις τεχνολογίες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Συγκεκριμένα, κατέχει το 40% των παγκόσμιων ευρεσιτεχνιών στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενώ το 2012 σχεδόν το ήμισυ (44%) του παγκόσμιου δυναμικού ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (εκτός της υδροηλεκτρικής) αντιστοιχούσε στην Ε.Ε.. Ο κλάδος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ε.Ε. απασχολεί περίπου 1.2 εκατομμύρια άτομα.

Αυτή τη στιγμή η Ε.Ε. έχει θέσει δύο στόχους για τα βιοκαύσιμα, και συγκεκριμένα το 10% των καυσίμων των μεταφορών να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έως το 2020 (σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/ΕΚ για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας) και να υποχρεωθούν οι φορείς παροχής καυσίμων να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τα καύσιμά τους κατά 6% έως το 2020 (οδηγία 2009/30/ΕΚ για την ποιότητα των καυσίμων), [7]. Η Ευρώπη μαζί με την Ελλάδα, μέχρι στιγμής, υπολείπονται ιδιαίτερος του στόχου για την κατανάλωση καθαρής ενέργειας στο τομέα των μεταφορών. Αυτή τη στιγμή η Ελλάδα καταναλώνει μόλις 1.1% Α.Π.Ε. στις μετακινήσεις.

## **1.3 Περιβαλλοντική Διάσταση**

Η έντονη αστικοποίηση και οικονομική ανάπτυξη των περασμένων δεκαετιών οδήγησε σε μια μεγάλη αύξηση της ζήτησης ιδιωτικών μέσων μεταφοράς και μεγαλύτερων οδικών δικτύων. Ως αποτέλεσμα, αυξήθηκε σημαντικά η κατανάλωση ενέργειας και ο τομέας των μεταφορών έγινε μία από τις κύριες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι οδικές μεταφορές ευθύνονται σήμερα για

περίπου 75% των εκπομπών υδρογονανθράκων (HC) και των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) και περίπου 65% των οξειδίων του αζώτου (NOx) στις αστικές περιοχές, [8].

Η κατάσταση είναι επιβαρυνμένη στην Ελλάδα και κυρίως στην Αθήνα, καθώς η αύξηση του στόλου αναφέρεται κυρίως σε οχήματα εσωτερικής καύσης, με καύσιμο βενζίνη ή πετρέλαιο κίνησης.

Τα τελευταία χρόνια οι αυτοκινητοβιομηχανίες, στρέφονται σε φιλικές προς το περιβάλλον τεχνολογίες και στην ανάπτυξη οχημάτων με αυξημένη αποτελεσματικότητα και μειωμένες ή μηδενικές εκπομπές προς το περιβάλλον. Ως αποτέλεσμα, νέες τεχνολογίες οχημάτων, που βασίζονται σε εναλλακτικά καύσιμα όπως υδρογόνο, βιοκαύσιμα, ηλεκτρισμό, αναπτύσσονται και χρησιμοποιούνται σε μια προσπάθεια περιορισμού των ενεργειακών και περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Η υψηλή εξάρτηση του τομέα μεταφορών από τη χρήση πετρελαίου και των παραγώγων του, μέσω της καύσης στους κινητήρες των οχημάτων, οδηγούν σε καταστροφικές συνέπειες για το περιβάλλον, προκαλώντας τόσο πρωτοβάθμια όσο και δευτεροβάθμια ρύπανση. Η πρωτοβάθμια ρύπανση προκαλείται από εκπομπές ρύπων κατευθείαν στην ατμόσφαιρα, ενώ η δευτεροβάθμια ρύπανση δημιουργείται από χημικές αντιδράσεις μεταξύ των ρύπων στην ατμόσφαιρα. Οι κυριότεροι ρύποι, που εκπέμπονται από τους κινητήρες εσωτερικής καύσης και οι οποίοι ενέχουν σημαντικούς κινδύνους τόσο για την υγεία του ανθρώπου, όσο και για το περιβάλλον, είναι:

- Οξείδια του αζώτου (NOx): Οι εν λόγω ρύποι μπορεί να προκαλέσουν ερεθισμό στους πνεύμονες και να αποδυναμώσουν την άμυνα του οργανισμού κατά των λοιμώξεων του αναπνευστικού, όπως την πνευμονία και τη γρίπη.
- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO): Αυτό το άοσμο, άχρωμο, δηλητηριώδες αέριο σχηματίζεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων, όπως η βενζίνη, και εκπέμπεται κυρίως από τα αυτοκίνητα και φορτηγά.
- Άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC): Αυτοί οι ρύποι αντιδρούν με τα οξείδια του αζώτου με την παρουσία ηλιακού φωτός για το σχηματισμό όζοντος, κύριο συστατικό του νέφους. Στο επίπεδο του εδάφους αυτό το αέριο ερεθίζει το αναπνευστικό σύστημα, προκαλώντας βήχα, πνιγμό και μειωμένη χωρητικότητα των πνευμόνων.
- Μικροσωματίδια – αιθάλη: Αυτά τα σωματίδια αιθάλης και μετάλλων δίνουν στο νέφος το σκούρο χρώμα του. Λεπτά σωματίδια, με διάμετρο μικρότερη από το ένα δέκατο της διαμέτρου μιας ανθρώπινης τρίχας, αποτελούν τη σοβαρότερη απειλή για την ανθρώπινη υγεία, καθώς μπορούν να διεισδύσουν βαθιά στους πνεύμονες.
- Διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>): Οι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τα μηχανοκίνητα οχήματα δημιουργούν αυτό το είδος ρύπου με την καύση καυσίμων που περιέχουν θείο, κυρίως το ντίζελ.
- Άλλες τοξικές ουσίες είναι το βενζόλιο, ο μόλυβδος (Pb) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), [9].

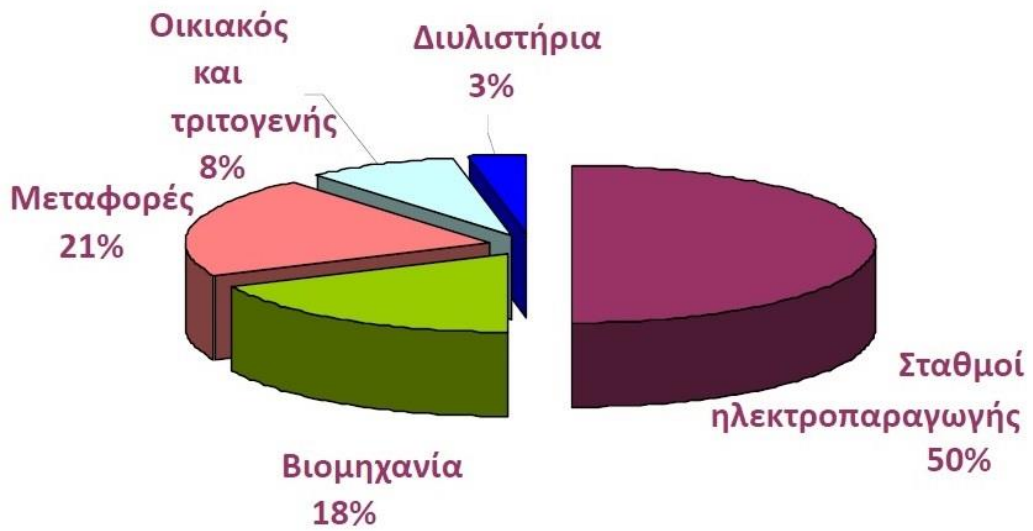
Δευτερεύουσες αλλά επίσης σημαντικές περιβαλλοντικές συνέπειες, που απορρέουν από τις οδικές μεταφορές σε αστικό ή υπεραστικό επίπεδο, είναι το όζον, ο θόρυβος, η κατάληψη γης για υποδομές μεταφορών και η διάθεση των οχημάτων, που αποσύρονται από την κυκλοφορία.

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) δεν είναι τοξικό και για αυτό δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως ρύπος με την κλασική έννοια του όρου. Σε μακροπρόθεσμη βάση όμως, πρέπει να ελέγχονται οι εκπομπές του, γιατί έχει σημαντική συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, που βαθμιαία μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση των θερμοκρασιών του πλανήτη, καθώς και σε κλιματικές αλλαγές με σοβαρές συνέπειες.

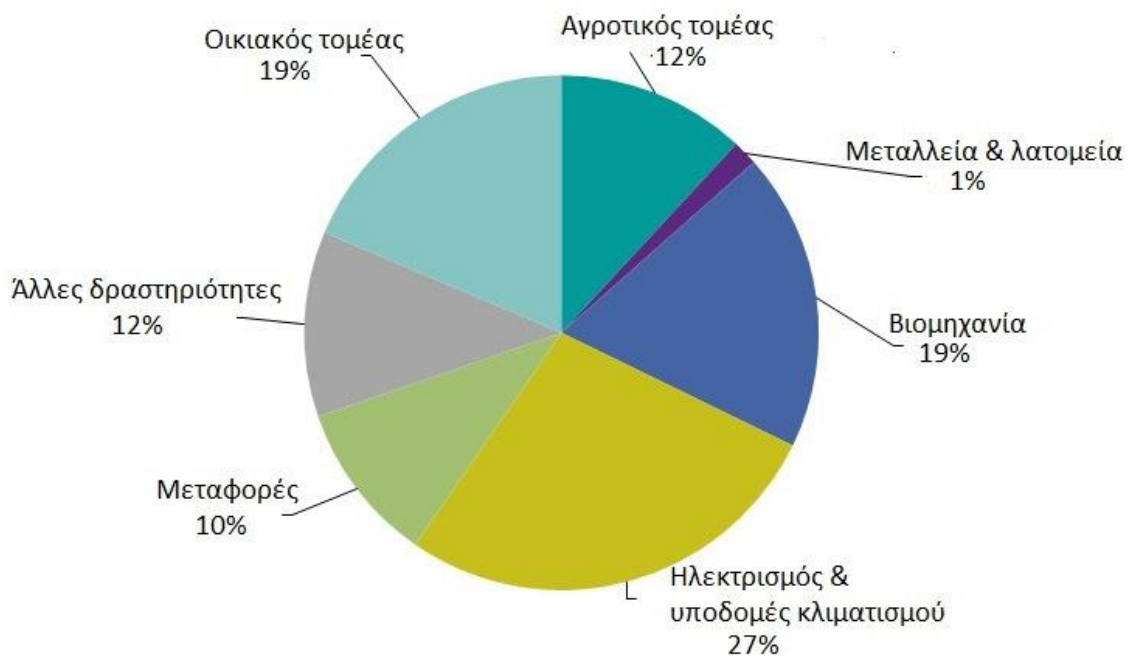
Ο τομέας των μεταφορών συμμετέχει κατά 25% στις συνολικές εκπομπές CO<sub>2</sub> (το ποσοστό αυτό φτάνει το 30% για τις ανεπτυγμένες χώρες), και ευθύνεται για το περίπου 6% των εκπομπών SO<sub>2</sub>, το 35% των υδρογονανθράκων, το 52% των NO<sub>x</sub> και περίπου το 60% του CO [10]. Σε συνδυασμό με τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής, οι μεταφορές αποτελούν πάνω από το 65% των παγκόσμιων εκπομπών CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα. Έτσι λοιπόν, η αναζήτηση επίλυσης των προβλημάτων αυτών, έφερε στο προσκήνιο την πρόταση για χρήση ηλεκτροκίνητων οχημάτων.

Τα οχήματα αυτά, είτε είναι αμιγώς ηλεκτρικά είτε υβριδικά, έχουν το βασικό πλεονέκτημα της μηδενικής ή πολύ χαμηλής εκπομπής βλαβερών ουσιών στην ατμόσφαιρα. Για τον λόγο αυτό, τα οχήματα αυτά έχουν επικρατήσει διεθνώς με τις ονομασίες ZEV (**Z**ero **E**mission **V**ehicles) ή LEV (**L**ow **E**mission **V**ehicles) [11], [12]. Η ιδιότητα αυτή τόσο των ηλεκτρικών όσο και των υβριδικών οχημάτων οφείλεται στη χρήση ηλεκτρικού κινητήρα. Ως γνωστόν ο ηλεκτρικός κινητήρας δεν εκπέμπει ρυπογόνες ουσίες, ενώ παράλληλα παρουσιάζει και ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα σε αντίθεση με τις Μ.Ε.Κ., όπως για παράδειγμα τη λιγότερο συχνή συντήρηση, τον εξαιρετικά υψηλότερο βαθμό απόδοσης, τη μεγαλύτερη πυκνότητα ισχύος, τη μεγάλη ροπή σε μεγάλο εύρος ταχυτήτων. Παρά τα όποια πλεονεκτήματα που μπορεί να εμφανίζει ο ηλεκτρικός κινητήρας, τα ηλεκτρικά οχήματα δεν είναι ακόμα σε θέση να ανταγωνιστούν τα συμβατικά οχήματα λόγω της ενεργειακής πηγής τους. Η αποθήκη ηλεκτρικής ενέργειας σε τέτοια οχήματα είναι οι συσσωρευτές, οι οποίοι παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα, όπως η χαμηλότερη, σε σχέση με τη βενζίνη, αναλογία αποθηκευμένης ενέργειας ως προς όγκο και βάρος. Επίσης ο χρόνος φόρτισης των συσσωρευτών είναι αρκετά μεγάλος [13], [14]. Η έρευνα λοιπόν εστιάζεται στην επίλυση τέτοιων προβλημάτων ώστε τα ηλεκτρικά οχήματα να καταστούν ικανά να λειτουργούν ανταγωνιστικά με τα συμβατικά οχήματα [15].

Στις εικόνες 1.5 και 1.6 παρουσιάζονται οι εκπομπές CO<sub>2</sub> και η κατανομή τους στους κλάδους οικονομικής δραστηριότητας για την Ελλάδα και την Ε.Ε., αντίστοιχα.



Εικόνα 1-5 Συνεισφορά τομέων δραστηριοτήτων στις εκπομπές CO<sub>2</sub> στην Ελλάδα [16]



Εικόνα 1-6 Συνεισφορά τομέων δραστηριοτήτων στις εκπομπές CO<sub>2</sub> στην Ε.Ε. [17]

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

## 2.1 Εισαγωγή

Η ανάπτυξη των συμβατικών οχημάτων μηχανών εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ.), ειδικά των αυτοκινήτων, αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα της σύγχρονης τεχνολογίας. Τα αυτοκίνητα συνέβαλλαν σημαντικά στην ανάπτυξη των σύγχρονων κοινωνιών ικανοποιώντας το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών μετακίνησης στην καθημερινότητα. Η ταχεία εξέλιξη της αυτοκινητοβιομηχανίας συνέβαλλε στην πρόοδο της κοινωνίας από πρωτόγονη σε μια ραγδαία αναπτυσσόμενη βιομηχανική κοινωνία. Η αυτοκινητοβιομηχανία, μαζί με τα τμήματα των υπόλοιπων βιομηχανιών που την υποστηρίζουν, αποτελεί σήμερα τον κορμό της σύγχρονης οικονομίας και απασχολεί το μεγαλύτερο κομμάτι του σύγχρονου παγκόσμιου εργατικού δυναμικού.

Ωστόσο, ο μεγάλος αριθμός αυτοκινήτων, που χρησιμοποιούνται σε ολόκληρο τον κόσμο, προκάλεσε και συνεχίζει να προκαλεί σοβαρά προβλήματα για το περιβάλλον και την ποιότητα ζωής δεσεκατομμυρίων ανθρώπων. Η ατμοσφαιρική ρύπανση, η θέρμανση του πλανήτη και η γρήγορη εξάντληση των αποθεμάτων πετρελαίου αποτελούν πλέον προβλήματα, που ενδιαφέρουν τους πάντες.

Τις τελευταίες δεκαετίες, η έρευνα και ανάπτυξη δραστηριοτήτων, που σχετίζονται με τις μεταφορές, εντοπίζονται στην ανάπτυξη τεχνολογιών υψηλής απόδοσης, καθαρότητας και ασφάλειας. Τα ηλεκτρικά οχήματα, τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα, τα οχήματα με κυψέλες καυσίμου καθώς και τα ηλιακά αυτοκίνητα έχουν προταθεί για να αντικαταστήσουν τα συμβατικά οχήματα στο άμεσο και πιο μακρινό μέλλον [18].

## 2.2 Ιστορική Εξέλιξη Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων

### 2.2.1 Πρώιμη Περίοδος

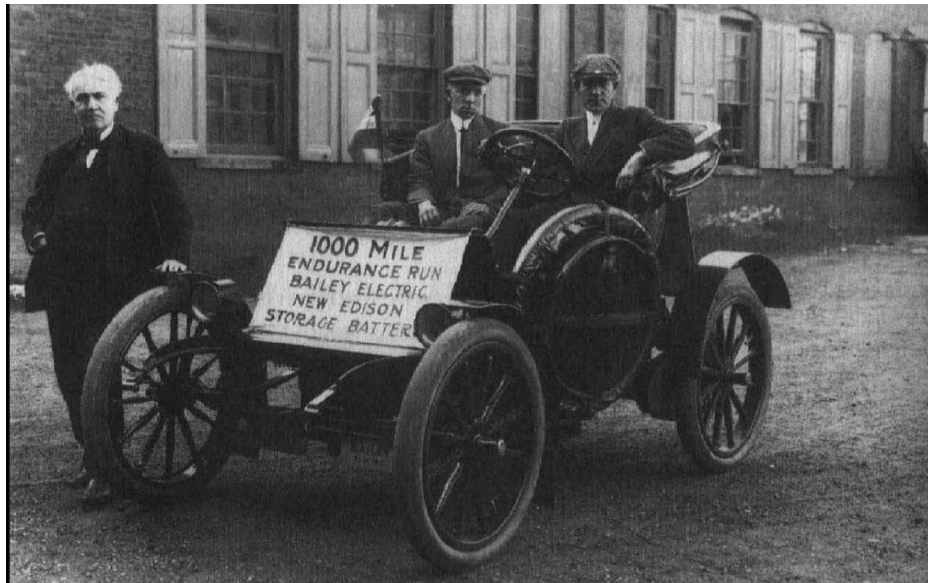
Αν και τα τελευταία χρόνια γίνεται ιδιαίτερος λόγος για τα ηλεκτρικά οχήματα και τη χρήση τους στη σημερινή εποχή, εν τούτοις η εμφάνισή τους τοποθετείται αρκετά πίσω στο χρόνο. Έτσι τα ηλεκτροκίνητα οχήματα έχουν μια μακρόχρονη ιστορία, που ξεκινά περίπου πριν από 170 χρόνια περίπου.

Πριν από το 1830, η έννοια της μεταφοράς συνδεόταν μόνο με την ισχύ του ατμού, επειδή οι νόμοι της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής και δύναμης δεν είχαν ακόμη ανακαλυφθεί και συνεπώς δεν υπήρχε η έννοια του ηλεκτροκινητήρα. Η ανακάλυψη των νόμων της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής το 1831 επέτρεψε τη δημιουργία ηλεκτρικών κινητήρων και γεννητριών που ήταν

απαραίτητα στοιχεία για την ανάπτυξη των «ηλεκτρικών μεταφορών». Μέσα σε αυτά τα χρόνια τα ηλεκτροκίνητα οχήματα πέρασαν από πολλά στάδια ακμής και αφάνειας μέχρι να φτάσουμε στη σημερινή εποχή, που το ενδιαφέρον γι' αυτά αναζωπυρώθηκε. Η εξέλιξη τους έγινε παράλληλα με την εξέλιξη δύο άλλων ανταγωνιστικών τύπων οχημάτων, τα ατμοκίνητα οχήματα και τα οχήματα με Μ.Ε.Κ. [19], [20].

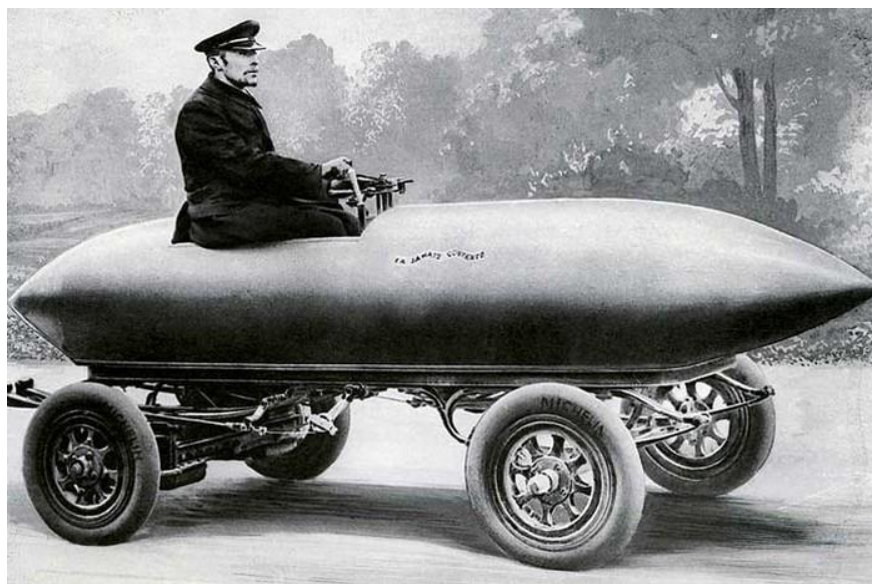
Οι πρώτες προσπάθειες για δημιουργία ενός μηχανοκίνητου οχήματος το οποίο να κινείται με ηλεκτρισμό χρονολογείται τη δεκαετία του 1830. Κάπου μεταξύ του 1832 και 1839, ο Σκωτσέζος Robert Anderson εφηύρε ένα αρκετά πρόχειρο αυτοκίνητο όχημα, που κινούνταν με ηλεκτρισμό. Την ίδια εποχή (1835), ο Ολλανδός καθηγητής Stratingh του Groningen έφτιαξε ένα μικρού μεγέθους όχημα. Αυτές οι πρώτες εφευρέσεις είχαν καθαρά δοκιμαστικό χαρακτήρα καθώς και οι ηλεκτρικοί κινητήρες, που υπήρχαν, ήταν πειραματικοί και μη εφαρμόσιμοι στην πράξη μέχρι το 1837, όπου ο Thomas Davenport κατασκεύασε τον κινητήρα του. Παρόλα αυτά αποτέλεσαν το έναυσμα για μία εις βάθος έρευνα πάνω στο αντικείμενο. Περισσότερο πρακτικά και επιτυχή οχήματα ήταν αυτά που φτιάχτηκαν από τον Αμερικανό Thomas Davenport (1834) και από τον Σκωτσέζο Robert Davidson περί το 1842. Το 1847 ο Moses Farmer από τη Μασαχουσέτη, κατασκεύασε ένα όχημα που τροφοδοτούνταν από 48 ηλεκτρικά στοιχεία και μπορούσε να μεταφέρει δύο άτομα. Την ίδια εποχή ο καθηγητής Charles Page έφτιαξε ένα όχημα με 100 συσσωρευτές και κινητήρα 16 ίππων που μετέφερε 12 άτομα με ταχύτητα μέχρι και 19 μίλια/ώρα. Το 1847 οι Lilly και Colton από το Pittsburg έφτιαξαν ένα ηλεκτρικό όχημα που τροφοδοτούνταν από τον κεντρικό σταθμό χάρη σε ηλεκτροφόρες ράγες.

Αν και τα προβλήματα των ηλεκτρικών κινητήρων είχαν πλέον ξεπεραστεί με τις σημαντικές βελτιώσεις που είχαν γίνει στην κατασκευή τους, εν τούτοις το σημαντικότερο πρόβλημα που εξακολουθούσε να υπάρχει ήταν οι συσσωρευτές. Συγκεκριμένα, εκτός από το χαμηλό λόγο ενέργειας προς όγκο και βάρος, ένα επιπρόσθετο σημαντικό μειονέκτημα ήταν η μη δυνατότητα επαναφόρτισης. Το πρόβλημα αυτό επιλύθηκε το 1859 με τους λεγόμενους «πρωτογενείς» συσσωρευτές, όταν ο Γάλλος Gaston Plante ανακάλυψε για πρώτη φορά το στοιχείο Μολύβδου – Οξέως (Pb-Acid), που έχει δυνατότητα επαναφόρτισης. Με τον τρόπο αυτό, έπαψε να είναι απαραίτητη η συνεχής αντικατάσταση των ηλεκτρικών στοιχείων μετά την εκφόρτισή τους. Βέβαια χρειάστηκαν 22 χρόνια από την ανακάλυψη του Plante, μέχρις ότου οι συσσωρευτές μολύβδου γίνουν ικανοί να χρησιμοποιηθούν στην πράξη. Αυτό συνέβη το 1881 χάρη στον Camille Faure. Την ίδια χρονιά (1881), ο Γάλλος Gustave Trouvé δημιούργησε ένα τρίκυκλο, που προωθούνταν από έναν DC κινητήρα ισχύος 0.1 HP με ηλεκτρική τροφοδοσία από συσσωρευτές μολύβδου – οξέως. Το 1884 ο Βρετανός Thomas Parker και στη συνέχεια οι Αμερικανοί N. S. Possons (1886), William Morrison (1890) και John Lambert (1891), κατασκεύασαν ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Στη συνέχεια έκαναν την εμφάνισή τους διάφοροι βελτιωμένοι τύποι συσσωρευτών, μεταξύ των οποίων ξεχώρισε το στοιχείο Έντισον (Edison cell), που ήταν ένας συσσωρευτής Νικελίου – Σιδήρου (Ni-Fe). Η κατασκευή του έγινε το 1910 και ήταν το πιο προηγμένο στοιχείο τεχνολογικά την εποχή εκείνη. Το στοιχείο αυτό χρησιμοποιήθηκε σε ένα όχημα που κατασκεύασε ο ίδιος ο Edison, το οποίο απεικονίζεται στην εικόνα 2.1 [20], [21].



*Εικόνα 2-1 Ο Thomas Edison με το ηλεκτροκίνητο όχημά του [22]*

Στη διάρκεια αυτών των δεκαετιών η ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων είναι αρκετά μεγάλη τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Αμερική. Οι τεχνικές επιδόσεις των ηλεκτροκίνητων οχημάτων ήταν την εποχή εκείνη αρκετά υψηλές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το όχημα του Βέλγου μηχανικού Camille Jenatzy, το οποίο πέτυχε σημαντικές επιδόσεις ταχύτητας κατά τη δεκαετία του 1890. Το όχημα αυτό, που φαίνεται στην εικόνα 2.2, κατάφερε στην τρίτη δοκιμή του να σπάσει το φράγμα των 100 km/h, αγγίζοντας την ταχύτητα των 105,8 km/h. Αυτή η ταχύτητα ήταν ένα εξωπραγματικό νούμερο για τα δεδομένα της εποχής εκείνης [20], [23].



*Εικόνα 2-2 Ο Camille Jenatzy πάνω στο όχημά του “La Jamais Contente” [24]*

Μέχρι τη δεκαετία του 1920 η ανάπτυξη της εμπορικότητας, που παρουσίασαν τα ηλεκτρικά οχήματα, ήταν αρκετά μεγάλη. Για παράδειγμα, το 1890, ο αριθμός των αυτοκινήτων, που πουλήθηκαν στην Αμερική, ήταν περίπου 4200, εκ των οποίων το 38% ήταν ηλεκτροκίνητα, το 22% βενζινοκίνητα και το 40% ατμοκίνητα. Το βασικό πλεονέκτημα των ηλεκτρικών οχημάτων

σε σχέση με τα βενζινοκίνητα και τα ατμοκίνητα ήταν ότι είχαν πολύ πιο εύκολη εκκίνηση, αφού αρκούσε το «κλείσιμο» ενός διακόπτη για να ξεκινήσει απευθείας. Αντίθετα, τα βενζινοκίνητα οχήματα απαιτούσαν χειροκίνητη εκκίνηση, ενώ τα ατμοκίνητα απαιτούσαν μια προθέρμανση που διαρκούσε περίπου 3 τέταρτα της ώρας. Συνεπώς τα ηλεκτρικά οχήματα είχαν ευρεία απήχηση στις υψηλά κοινωνικές τάξεις και αποτελούσαν οχήματα πολυτελείας. Στα 1900 οι ηλεκτρικές άμαξες Brougham και Victoria ήταν ο αγαπημένος τρόπος μετακίνησης της αριστοκρατίας της Νέας Υόρκης [19], [22]. Ανάμεσα στις διάφορες χρονολογίες ξεχωρίζει το έτος 1912, το οποίο στις Η.Π.Α. ήταν η πιο γόνιμη χρονιά των ηλεκτρικών οχημάτων, αφού 34000 ηλεκτρικά αυτοκίνητα βρίσκονταν σε κυκλοφορία. Οι επιδόσεις ταχύτητας, που κυμαίνονταν 32 έως 48 km/h, ήταν αρκετά ικανοποιητικές, αφού η κατάσταση των οδικών δικτύων και γενικότερα των πόλεων δεν επέτρεπαν μεγαλύτερες ταχύτητες. Επιπλέον το οδικό δίκτυο διασύνδεσης των πόλεων δεν ήταν κατάλληλο για υπεραστικές μετακινήσεις. Όντας λοιπόν περιορισμένα για αστική χρήση και μόνο, τα ηλεκτρικά οχήματα επικρατούσαν έναντι των άλλων τύπων μέχρι τη δεκαετία του 1920.

Η δεκαετία του 1920 σηματοδότησε στις Η.Π.Α. μια μεταστροφή στη χρήση των βενζινοκίνητων οχημάτων. Σε αυτό συντέλεσαν διάφοροι λόγοι με σπουδαιότερους τους ακόλουθους:

- Την εποχή εκείνη το υπεραστικό οδικό δίκτυο της Αμερικής είχε βελτιωθεί σημαντικά με άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση της ανάγκης για οχήματα μεγάλης αυτονομίας τα οποία θα παρείχαν τη δυνατότητα για υπεραστικές μετακινήσεις σε μεγάλες αποστάσεις.
- Η ανακάλυψη μεγάλων αποθεμάτων πετρελαίου στο Τέξας κατέστησε ιδιαίτερα χαμηλό το κόστος των καυσίμων για τους καταναλωτές.
- Η εφεύρεση του ηλεκτρικού εκκινητή (starter) από τον Charles Kettering το 1911, έδωσε τη δυνατότητα στα βενζινοκίνητα οχήματα για εύκολη εκκίνηση χωρίς χειροκίνητη παρέμβαση.
- Η μαζική παραγωγή των βενζινοκίνητων οχημάτων από τον Henry Ford που έκανε τα οχήματα αυτά διαθέσιμα σε αρκετά χαμηλές τιμές μεταξύ 500 και 1000\$. Σε αντίθεση οι τιμές των ηλεκτρικών οχημάτων συνεχώς αυξάνονταν.

Αυτή η μεταστροφή, όπου συνέβαινε στην Αμερική, μεταφέρθηκε και στην Ευρώπη, όπου το εκτεταμένο δίκτυο ασφαλτοστρωμένων δρόμων εκτός των μεγάλων πόλεων, ευνόησε την ανάπτυξη των ισχυρότερων και περισσότερο αυτόνομων βενζινοκίνητων οχημάτων. Άμεσο αποτέλεσμα ήταν η σταδιακή απόσυρση των ηλεκτρικών οχημάτων από τη χρήση τους. Αυτή η περίοδος παρακμής των ηλεκτρικών οχημάτων κράτησε για περίπου 60 χρόνια (από το 1930 έως το 1990). Στο διάστημα αυτό ελάχιστες προσπάθειες έγιναν στην έρευνα των ηλεκτρικών οχημάτων [15].

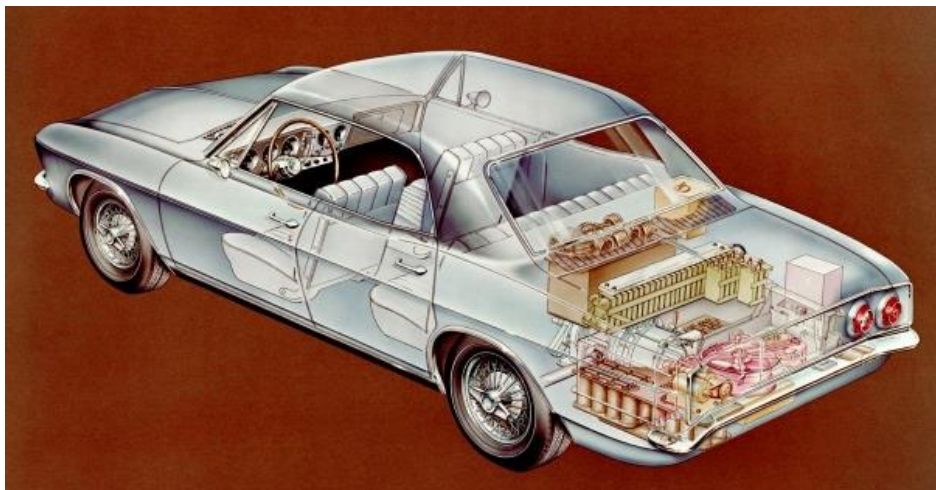




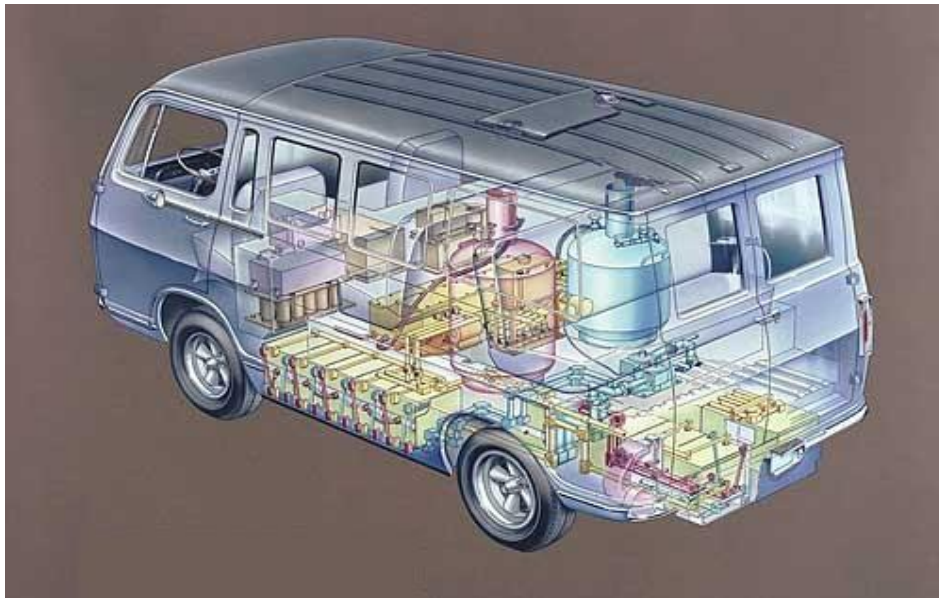
*Εικόνα 2-3 Ηλεκτρικό αυτοκίνητο της Columbia Victoria κατά τη φόρτιση της μπαταρίας του [25]*

### **2.2.2 Μεσαία περίοδος**

Αυτή η περίοδος σηματοδοτεί την παρακμή των ηλεκτροκίνητων οχημάτων και την καθολική επικράτηση των βενζινοκίνητων οχημάτων. Οι λόγοι για τους οποίους συνέβη αυτό αναφέρθηκαν νωρίτερα. Η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων έπαψε εντελώς μέχρι το 1960 όπου άρχισε και πάλι να αναζωπυρώνεται το ενδιαφέρον. Αυτό συνέβη διότι το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης άρχισε να γίνεται ορατό, ενώ παράλληλα έπρεπε να αναζητηθούν εναλλακτικές ενεργειακές λύσεις. Έτσι διάφορες εταιρίες όπως η General Motors, η Ford και η American Motors, ανέπτυξαν ηλεκτροκίνητα μοντέλα, όπως το Electrovair και το Electrován (εικόνες 2.4 και 2.5). Παράλληλα, στην Ευρώπη στην Ιαπωνία αλλά και στην Αυστραλία εταιρίες όπως η Fiat, η Mercedes, η VolksWagen, η Nissan και η Toyota δημιούργησαν παρόμοια μοντέλα [15].



*Εικόνα 2-4 Το ηλεκτροκίνητο αυτοκίνητο Electrovair της GM [26]*



Εικόνα 2-5 Το ηλεκτροκίνητο με κυψέλες υδρογόνου Electrovan της GM [27]

### 2.2.3 Σημερινή Περίοδος

Με το ενδιαφέρον για τη χρήση των ηλεκτροκίνητων οχημάτων να εντείνεται από τις κυβερνήσεις διαφόρων κρατών όλο και περισσότερες βιομηχανίες οχημάτων παρουσιάζουν τα μοντέλα τους μετά τη δεκαετία του 1980. Επισταμένες μελέτες που παρουσιάστηκαν τη δεκαετία του 1990 [28-33], δείχνουν μεγάλα ποσοστά ατμοσφαιρικής ρύπανσης εξ' αιτίας της χρήσης συμβατικών οχημάτων. Για την αντιμετώπιση του βασικού αυτού προβλήματος ξεκίνησαν προσπάθειες με θέσπιση μέτρων τόσο σε εθνικά επίπεδα όσο και σε διεθνή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η διεθνής σύσκεψη, η οποία έλαβε χώρα στο Rio de Janeiro της Βραζιλίας το 1992, στην οποία υπογράφηκε σύμβαση από 154 χώρες σχετική με τις κλιματικές αλλαγές [13], [29], [34].

Ανάμεσα στις δράσεις που έχουν πραγματοποιηθεί τα τελευταία χρόνια για την προώθηση και την έρευνα πάνω στα ηλεκτροκίνητα οχήματα, αξίζει να αναφερθεί η πολιτική, που έχει αποφασίσει να ακολουθήσει η Ε.Ε.. Συγκεκριμένα, η ευρωπαϊκή αυτοκινητοβιομηχανία, όπως και η αντίστοιχη των Η.Π.Α., βρίσκεται σε μια φάση αναδιάρθρωσης, που για πολλούς θα οδηγήσει σε μια αλλαγή ορόσημο προς «καθαρότερα» και «πιο πράσινα» αυτοκίνητα.

Ωστόσο, ένα σημαντικό εμπόδιο που καλείται να αντιμετωπίσει ο κλάδος της αυτοκινητοβιομηχανίας, είναι η τρέχουσα οικονομική κρίση, που αναγκάζει πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες να μειώσουν τις επενδύσεις τους στην έρευνα και τη τεχνολογία, γεγονός που τείνει να καθυστερήσει τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα.

Το Νοέμβριο του 2005, η Ε.Ε. σε μια προσπάθεια να υποστηρίξει τις αυτοκινητοβιομηχανίες, δέσμευσε 5 δις € στο σχέδιο οικονομικής ανάκαμψης για την «Πρωτοβουλία για Πράσινα Αυτοκίνητα» (European Green Cars Initiative – EGCI). Η εν λόγω Πρωτοβουλία έχει ως στόχο την συνδυασμένη χρηματοδότηση τουλάχιστον 5 δις € στο πλαίσιο ενός «έξυπνου μίγματος», που περιλαμβάνει την έρευνα και τη τεχνολογία, τις εθνικές επενδύσεις, χρηματοδότηση από την

Κομισιόν, στήριξη της Ευρωπαϊκής Τράπεζας Επενδύσεων και συνεργασίες δημόσιου και ιδιωτικού τομέα για τον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας.

Επίσης, η Πρωτοβουλία αυτή καλεί τα κράτη μέλη της Ε.Ε. να μειώσουν τους φόρους στα οχήματα, που έχουν χαμηλές εκπομπές άνθρακα, προκειμένου να ενθαρρύνουν τους καταναλωτές να αγοράσουν ηλεκτρικά αυτοκίνητα, ενώ είναι σαφής και στο κάλεσμά της για ηλεκτρικά και υβριδικά αυτοκίνητα, με έμφαση στα ακόλουθα πεδία:

- Μπαταρίες υψηλής ενεργειακής πυκνότητας
- Ηλεκτρικοί κινητήρες
- Έξυπνα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και οι διασυνδέσεις τους με τα οχήματα

Τον Μάρτιο του 2009, τα κράτη μέλη της Ε.Ε. συμφωνούν να μειώσουν την ενεργειακή κατανάλωση στις μεταφορές και να αυξήσουν την παραγωγή ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Μάλιστα, τον Ιανουάριο του 2013, η Κομισιόν σε μια προσπάθεια να προωθήσει τις «πράσινες μεταφορές» στην Ε.Ε., πρότεινε να υπάρχει ένας ελάχιστος αριθμός σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων σε κάθε κράτος μέλος μέχρι το 2020, και τουλάχιστον 10% αυτών να πρέπει να είναι προσβάσιμοι σε δημόσιους χώρους, και να καθιερωθεί ένα κοινό βύσμα, ώστε οι οδηγοί να μπορούν να επαναφορτίσουν τα οχήματά τους οπουδήποτε στην Ε.Ε.. Σημειώνεται, ότι για την Ελλάδα, η Κομισιόν πρότεινε την εγκατάσταση 13000 σημείων φόρτισης μέχρι το 2020, εκ των οποίων το 10% θα είναι σε δημόσιους χώρους, ενώ μπορεί να προβλεφθούν χώροι στάθμευσης και λωρίδες κυκλοφορίας για οχήματα με χαμηλές εκπομπές άνθρακα, [35], [36].

#### **2.2.4 Η Ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα**

Η εξέλιξη της ηλεκτροκίνησης στην Ελλάδα είναι άμεσα εξαρτώμενη από τις εισαγωγές ηλεκτροκίνητων οχημάτων αλλά και από ερευνητικές προσπάθειες σχετικά με τη μελέτη και την κατασκευή τους. Ως τέτοιες προσπάθειες μπορούν να καταγραφούν οι εξής:

- Κατασκευή του ηλεκτροκίνητου οχήματος ΡΙΟ E240 από το Εργαστήριο Δυναμικής και Θεωρίας Μηχανών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών. Το όχημα αυτό διαθέτει δύο κινητήρες συνεχούς ρεύματος, με ονομαστική ισχύ 3 kW ο καθένας, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι σε σειρά και τροφοδοτούνται από συσσωρευτές Μολύβδου – Οξέως, συνολικής τάσεως 48 V και βάρους 280 kg [37].
- Κατασκευή ηλεκτρικού οχήματος από το τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π., το οποίο κινείται με χρήση ενός τριφασικού ασύγχρονου κινητήρα βραχυκυκλωμένου κλωβού. Ο κινητήρας αυτός τροφοδοτείται από αντιστροφέα τάσης, ο οποίος ελέγχεται από μια μέθοδο διανυσματικού ελέγχου. Επίσης, το όχημα αυτό περιέχει σύστημα πέδησης με ανάκτηση ενέργειας. Ο φορτιστής των συσσωρευτών του συγκεκριμένου οχήματος είναι μια διάταξη μέγιστης ισχύος 3 kW που αποτελείται από μια διάταξη δύο βαθμίδων (μετατροπέα ανύψωσης τάσης σε σειρά με μετατροπέα πλήρους γέφυρας). Οι συσσωρευτές του οχήματος αυτού είναι Μολύβδου – Οξέως συνολικής τάσεως 312 V (26 συσσωρευτές των 12 V). Η χωρητικότητα αυτών είναι 40 Ah [38].
- Μετατροπή ενός βενζινοκίνητου οχήματος τύπου FIAT Fiorino στο ηλεκτροκίνητο όχημα «Electra», στα πλαίσια του προγράμματος «ECVET – Environmentally Clean

Electric Vehicle Technology», που χρηματοδοτήθηκε από το κοινοτικό πρόγραμμα STRIDE. Στο έργο αυτό συμμετείχαν το Εργαστήριο Ηλεκτρομηχανικής Μετατροπής Ενέργειας του Πανεπιστημίου Πατρών, το Τμήμα Μηχανολογικών Κατασκευών και Αυτομάτου Ελέγχου του Ε.Μ.Π., το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.) και οι εταιρείες TEOCAR, GERMANOS, PROTECH και YALOS. Το «Electra» διαθέτει έναν χωρίς ψήκτρες ηλεκτροκινητήρα συνεχούς ρεύματος (brushless DC motor) με μόνιμο μαγνήτη, ο οποίος τροφοδοτείται από έναν ηλεκτρονικό μετατροπέα συνεχούς τάσης σε τριφασική εναλλασσόμενη τάση. Η ισχύς του κινητήρα είναι 32 kW και η μέγιστη αναπτυσσόμενη ροπή του κινητήρα είναι 51 Nm για μόνιμη λειτουργία, με τους συσσωρευτές να είναι τύπου είναι Νικελίου – Καδμίου. Η τάση της συστοιχίας αυτής είναι 192 V, με χωρητικότητα 67 Ah, ενέργεια 12.8 kWh, και συνολικό βάρος 320 kg. Οι επιδόσεις του οχήματος αυτού είναι μέγιστη ταχύτητα 120 km/h και αυτονομία γύρω στα 100 km. Το συνολικό βάρος του οχήματος με φορτίο φτάνει τα 1500 kg, [39].

Σημαντική εξέλιξη για τη γενικότερη κατάσταση στην Ελλάδα αποτέλεσε τον Ιανουάριο του 1991 η ίδρυση του Ελληνικού Ινστιτούτου Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων (ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο), ενός επιστημονικού και κοινωνικού σωματείου που πρεσβεύει ότι ο εξηλεκτρισμός των διαφόρων οχημάτων είναι ο μόνος τρόπος για τη διάσωση του περιβάλλοντος από τα καταστροφικά αποτελέσματα που επιφέρει ο στηριζόμενος στους κινητήρες εσωτερικής καύσης τομέας των μεταφορών, λόγω του εκπεμπόμενων ποσοτήτων ρυπαντών και CO<sub>2</sub>.

Το Ινστιτούτο είναι πλήρες μέλος της Ευρωπαϊκής Ομοσπονδίας Ηλεκτροκίνητων και Υβριδικών Οχημάτων (AVERE) και κατά συνέπεια μέλος της Παγκόσμιας Ομοσπονδίας Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων (World Electric Vehicle Association – WEVA). Η Διεθνής Ομοσπονδία Αυτοκινήτου (FIA) αναγνωρίζει το Ινστιτούτο ως τον εθνικό φορέα ανάπτυξης του μηχανοκίνητου αθλητισμού στην Ελλάδα με ηλεκτρικά, υβριδικά και εναλλακτικών καυσίμων αυτοκίνητα. Ταυτόχρονα, το ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο. δρα σε απόλυτη συνεργασία με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.), το εθνικό συντονιστικό κέντρο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, την Ορθολογική Χρήση Ενέργειας (Ο.Χ.Ε.) και την Εξοικονόμηση Ενέργειας (Ε.Ξ.Ε.), το οποίο με τη σειρά του εποπτεύεται από το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.

Παρατηρείται λοιπόν πως η ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα μπορεί να στηριχθεί σε παγιωμένες πια οργανωτικές δομές, μέσα σε ένα συντονισμένο κοινωνικό και νομικό πλαίσιο, προβάλλοντας έτσι αισιόδοξα μηνύματα [37].

### 2.3 Ταξινόμηση Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων

Ως ένα γενικό ορισμό για τα ηλεκτροκίνητα οχήματα, θα χαρακτηρίζονταν τα οχήματα εκείνα, τα οποία χρησιμοποιούν για την κίνησή τους ένα τουλάχιστον ηλεκτροκινητήρα.

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, είναι συνήθως αυτοκίνητα, ελαφριά φορτηγά, ποδήλατα, δίκυκλα, μικρά οχήματα γκολφ, ανυψωτικά (forklifts) και παρόμοια. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ήταν

μεταξύ των αυτοκινήτων που εμφανίστηκαν από τις πρώτες μέρες της αυτοκίνησης και έχουν υψηλότερο συντελεστή ενεργειακής απόδοσης από όλα τα αυτοκίνητα με μηχανές εσωτερικής καύσης.

Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα (**Electric Vehicles – EV**) λοιπόν, ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

1. Οχήματα συνδεδεμένα με επίγειο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (Τρόλεϊ, Τραμ, Ηλεκτροκίνητα Σιδηροδρομικά Οχήματα)
2. Αυτόνομα Ηλεκτροκίνητα Οχήματα (διαθέτουν αποθήκη ηλεκτρικής ή και άλλης μορφής ενέργειας).

Τα αυτόνομα ηλεκτροκίνητα οχήματα ταξινομούνται συνήθως στις ακόλουθες κατηγορίες:

- α) Υβριδικά οχήματα (**HEV, Hybrid Electric Vehicles**)
- β) Επαναφορτιζόμενα υβριδικά οχήματα με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική πηγή (**PHEV, Plug-in Hybrid Electric Vehicles**)
- γ) Ηλεκτροκίνητα οχήματα με συσσωρευτές και ηλεκτροπαραγωγική μονάδα (**E-REV, Extended Range Electric Vehicles**)
- δ) Ηλεκτροκίνητα Οχήματα με κυψέλες καυσίμου (**FCEV – Fuel Cell Electric Vehicles**)
- ε) Ηλιακά οχήματα (**SEV – Solar Electric Vehicles**)
- στ) Οχήματα με ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές (**BEV – Battery Electric Vehicles**), με ηλεκτρικούς υπερπυκνωτές (supercapacitors) ή με συνδυασμό των παραπάνω συστημάτων αποθήκευσης. Τα οχήματα αυτά ονομάζονται συνήθως και ως αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα (pure electric vehicles).

Στην παρούσα εργασία, αναφέρονται εκείνες οι κατηγορίες ηλεκτροκίνητων οχημάτων, όπως ορίζονται από το ΦΕΚ 50B/2015, τα οποία επαναφορτίζονται από εξωτερική πηγή, δηλαδή εκείνα τα ηλεκτροκίνητα οχήματα (αυτοκίνητα και δίτροχα), που ανήκουν στις εξής τρεις κατηγορίες:

- Επαναφορτιζόμενα υβριδικά με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική πηγή (**PHEV, Plug-in Hybrid Electric Vehicles**),
- Ηλεκτροκίνητα με συσσωρευτές και ηλεκτροπαραγωγική μονάδα (**E-REV, Extended Range Electric Vehicles**),
- Ηλεκτροκίνητα με συσσωρευτές (**BEV – Battery Electric Vehicles**).



Εικόνα 2-6 Κατηγορίες επαναφορτιζόμενων ηλεκτροκίνητων οχημάτων [40]

### 2.3.1 Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Οχήματα με Ηλεκτρική Ενέργεια από Εξωτερική Πηγή (PHEV, Plug-in Hybrid Electric Vehicles)

Τα PHEV αποτελούν εξέλιξη της υβριδικής τεχνολογίας, στα οποία ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας, που χρησιμοποιείται για την κίνησή τους, παρέχεται από το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για τη φόρτιση των συσσωρευτών τους. Με τη χρήση αυτών των οχημάτων δημιουργείται ένα πολύ σημαντικό βήμα προς την κατεύθυνση της ηλεκτροκίνησης και επιτυγχάνεται η διεύρυνση του φάσματος των ενεργειακών πηγών, που χρησιμοποιούνται για τις οδικές μεταφορές. Ένα σημαντικό μέρος ή ακόμα και το σύνολο της συνήθους καθημερινής κίνησης αυτών των οχημάτων μπορεί να επιτευχθεί τοπικά με μηδενικές εκπομπές ρύπων CO<sub>2</sub>, διότι μπορούν να κινούνται σε σημαντικές αποστάσεις (από 20 έως 60 χιλιόμετρα) ως αμιγώς Ηλεκτροκίνητα Οχήματα με συσσωρευτές. Η λύση αυτή συνδυάζει με τον καλύτερο τρόπο τα οφέλη της ηλεκτροκίνησης για τις αστικές μετακινήσεις χωρίς την υπάρχουσα περιορισμένη απόσταση αυτονομίας των αμιγώς Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων με συσσωρευτές και χωρίς να απαιτούνται εκτεταμένες εγκαταστάσεις κοινόχρηστων δικτύων φόρτισης, διότι οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν τα συμβατικά πρατήρια καυσίμων για τον ανεφοδιασμό τους, όταν απαιτείται. Από τεχνολογικής πλευράς, τα οχήματα αυτά είναι όμοια με τα πλήρως υβριδικά οχήματα έτσι ώστε ο ηλεκτροκινητήρας τους να διαθέτει την απαιτούμενη ισχύ για τις αστικές μετακινήσεις. Επιπρόσθετα, πρέπει να είναι εφοδιασμένα με συσσωρευτές μεγάλης χωρητικότητας, στους οποίους θα αποθηκεύεται η ηλεκτρική ενέργεια που εγχέεται από το δίκτυο διανομής και αυτή που παράγεται από το υβριδικό σύστημα λειτουργίας τους. Για το σκοπό αυτό, θα πρέπει να διαθέτουν έναν ειδικό ακροδέκτη για τη σύνδεσή τους στο δίκτυο ηλεκτρικής παροχής και μία κατάλληλη συσκευή φόρτισης των συσσωρευτών τους (φορτιστής). Τα PHEV συνήθως διακρίνονται ανάλογα με την απόσταση αυτονομίας τους ως αμιγώς Ηλεκτροκίνητα Οχήματα και ανάλογα με τη χωρητικότητα των συσσωρευτών τους, [40].



Εικόνα 2-7 Το επαναφορτιζόμενο υβριδικό αυτοκίνητο Chevrolet Volt [41]

### 2.3.2 Ηλεκτρικά Οχήματα με Συσσωρευτές και Ηλεκτροπαραγωγική Μονάδα (E-REV, Extended Range Electric Vehicles)

Τα E-REV αποτελούν μία περαιτέρω εξέλιξη της τεχνολογίας και αντιπροσωπεύουν ουσιαστικά τη μετάβαση από τις υβριδικές λύσεις στην πλήρη ηλεκτροκίνηση ακόμα και για μεγάλα οχήματα τα οποία μπορούν να καλύψουν όλες τις ανάγκες των ιδιοκτητών τους για μετακινήσεις σε μεγάλες αποστάσεις. Η διαφορά τους από τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά οχήματα έγκειται στο ότι η μονάδα του θερμικού κινητήρα που διαθέτουν, δεν συνδέεται με τους κινητήριους τροχούς του οχήματος, επομένως, δε σχετίζεται καθόλου με την πρόωσή του. Το όχημα κινείται αποκλειστικά από τον ηλεκτροκινητήρα (ή τους ηλεκτροκινητήρες), που σημαίνει ότι η κίνησή του είναι πάντοτε ηλεκτρική, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τα ηλεκτρικά οχήματα. Η θερμική μονάδα αξιοποιείται αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την κίνηση μίας συνεζευγμένης ηλεκτρικής γεννήτριας. Η μοναδική σύνδεση, που υπάρχει μεταξύ αυτής της αυτόνομης ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας («Range Extender») και των άλλων συστημάτων του οχήματος, αποτελείται από ηλεκτρικούς αγωγούς έτσι ώστε να υπάρχει μεγάλη ελευθερία χωροθέτησης και δυνατότητα χρησιμοποίησης μικρών πολύστροφων θερμικών κινητήρων, οι οποίοι λειτουργούν σε σταθερό αριθμό στροφών και στη μέγιστη τιμή της απόδοσής τους. Επίσης, πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν ήδη αναπτύξει μικρές σε όγκο και βάρος τέτοιες ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες, που θα κινούνται από μικρούς στροβίλους ή περιστροφικές μηχανές τύπου Wankel.

Η λειτουργία τους είναι απλή, διότι λειτουργούν όπως και τα οχήματα με συσσωρευτές. Όταν η αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια των συσσωρευτών γίνει μικρότερη από μία οριακή τιμή, τίθεται αυτόματα σε λειτουργία η ηλεκτροπαραγωγική μονάδα, που χρησιμοποιεί συμβατικό ή εναλλακτικό καύσιμο (υγρό, αέριο) και η οποία τροφοδοτεί τον ηλεκτροκινητήρα ή/και φορτίζει

το συσσωρευτή, έτσι ώστε το όχημα να συνεχίζει απρόσκοπτα την κίνησή του. Η κατανομή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται αυτόματα και η ηλεκτροπαραγωγική μονάδα σταματά τη λειτουργία της όταν η στάθμη της αποθηκευμένης ενέργειας των συσσωρευτών γίνει μεγαλύτερη από μία αντίστοιχη οριακή τιμή. Σημειώνεται ότι η απόσταση αυτονομίας αυτών των οχημάτων είναι τουλάχιστον ίση με αυτή των συμβατικών οχημάτων.



Εικόνα 2-8 Το Audi A1 e-tron, με κινητήρα Wankel ως Range Extender [42]

### 2.3.3 Ηλεκτρικά Οχήματα με Ηλεκτροχημικούς Συσσωρευτές (BEV – Battery Electric Vehicles)

Ως ηλεκτρικά αυτοκίνητα (BEV – **B**attery **E**lectric **V**ehicles), χαρακτηρίζονται λοιπόν τα αυτοκίνητα, τα οποία για να κινηθούν, χρησιμοποιούν αποκλειστικά την ηλεκτρική ενέργεια, που αποθηκεύεται σε επαναφορτιζόμενους ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές, ή/και σε υπερπυκνωτές, επιτυγχάνοντας μετακινήσεις με τοπικά μηδενικές εκπομπές αερίων ρύπων CO<sub>2</sub>. Οι υπερπυκνωτές έχουν το προτέρημα έναντι των συσσωρευτών, της σταθερής παροχής ηλεκτρικής ενέργειας κατά την εκφόρτισή τους. Τέλος, να σημειωθεί ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα χρησιμοποιούν ηλεκτρικούς κινητήρες αντί των συμβατικών μηχανών εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ.) [43].

Τα αυτοκίνητα με τις μπαταρίες, που δεν χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης, καλούνται συχνά ως «Ηλεκτρικά Οχήματα με φόρτιση από το δίκτυο», και είναι καθαρά ηλεκτρικά αυτοκίνητα, ενώ δεν καταναλώνουν καύσιμα.

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ήταν μεταξύ των αυτοκινήτων που εμφανίστηκαν από τις πρώτες μέρες της αυτοκίνησης και έχουν υψηλότερο συντελεστή ενεργειακής απόδοσης από όλα τα αυτοκίνητα με μηχανές εσωτερικής καύσης. Είναι ωστόσο γνωστό, ότι η μεγαλύτερη αδυναμία των ηλεκτρικών οχημάτων είναι το σύστημα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μεγάλες απαιτήσεις αυτονομίας των οχημάτων και κατά συνέπεια η ανάγκη ακριβούς επιτήρησης της



κατάστασης φόρτισης (State Of Charge – SOC) των μπαταριών σε συνδυασμό με την αναμενόμενη διάρκεια ζωής τους, είναι τα βασικά μειονεκτήματα τα οποία δυσχεραίνουν την είσοδο και εξάπλωση τους στην αγορά.

### 2.3.4 Κλάσεις Ηλεκτρικών Οχημάτων

Σύμφωνα με το Ενοποιημένο Ψήφισμα για την Κατασκευή Οχημάτων (Consolidated Resolution on the Construction of Vehicles), που έχει θεσπιστεί από την Οικονομική Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη (United Nations Economic Commission for Europe – UNECE), τα ηλεκτρικά οχήματα, ανάλογα με τη χρήση τους και τον αριθμό των τροχών τους, διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες, γνωστές και ως κλάσεις οχημάτων [44]:

- Κλάση L: Στην κατηγορία αυτή, ανήκουν τα οχήματα που διαθέτουν λιγότερο από τέσσερις τροχούς, όπως δίκυκλα και τρίκυκλα. Κατ' εξαίρεση, ανήκουν και εκείνα με τέσσερις τροχούς (υποκατηγορία L7e), τα οποία έχουν μέγιστο καθαρό βάρος τα 450 kg (ή 650 kg στην περίπτωση μεταφοράς αγαθών), χωρίς όμως να συμπεριλαμβάνεται το βάρος των μπαταριών, και με ισχύ κινητήρα, που δεν ξεπερνά τα 15 kW.



*Εικόνα 2-9 Το ηλεκτροκίνητο City Move κλάσης L7e, από την Tropical AEBE [45].*

- Κλάση M: Εδώ ανήκουν τα οχήματα, που διαθέτουν τουλάχιστον τέσσερις τροχούς, για την μεταφορά επιβατών. Στην υποκατηγορία M1 ανήκουν τα οχήματα μέχρι 8 θέσεις επιβατών, πέραν της θέσης του οδηγού (κλασικά επιβατικά οχήματα), στην υποκατηγορία M2 ανήκουν τα οχήματα με πάνω από 8 θέσεις και μέχρι 5 τόνους (λεωφορεία) και στην υποκατηγορία M3 ανήκουν τα λεωφορεία με πάνω από 8 θέσεις και άνω των 5 τόνων.



*Εικόνα 2-10 Το ηλεκτροκίνητο όχημα BMW i3, κλάσης M1 [46]*

- Κλάση N: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν πάλι τα οχήματα με τουλάχιστον τέσσερις τροχούς, αλλά για την μεταφορά αγαθών. Διακρίνονται επιμέρους σε αυτά με βάρος φορτίου μέχρι 3.5 τόνους (υποκατηγορία N1), σε αυτά με βάρος φορτίου 3.5 έως 12 τόνους (υποκατηγορία N2) και σε εκείνα με άνω των 12 τόνων (υποκατηγορία N3).



*Εικόνα 2-11 Ηλεκτροκίνητο φορτηγό όχημα κλάσης N, από την Smith Electric [47]*

### **2.3.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ηλεκτρικών οχημάτων**

Σε σύγκριση λοιπόν με τα αυτοκίνητα που διαθέτουν μηχανές εσωτερικής καύσης, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα παρουσιάζουν πολλά εμφανή σημεία υπεροχής, αλλά και σημαντικούς περιορισμούς. Ως πλεονεκτήματα αναφέρονται τα εξής:

1. Δεν παράγουν κανενός είδους ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
2. Συμβάλουν στην μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο, ιδίως όταν η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται, προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές (Α.Π.Ε.).
3. Η παραγωγή και χρήση ενέργειας μέσω Α.Π.Ε. σε τοπικό επίπεδο συμβάλλει στην απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και τις σχετικές δαπάνες.
4. Είναι πιο αθόρυβα από τα αυτοκίνητα με μηχανές εσωτερικής καύσης, συμβάλλοντας έτσι στην μείωση της ηχορύπανσης των πόλεων.
5. Επιτυγχάνουν σχεδόν σταθερή ροπή από την ακινησία έως το μέγιστο όριο στροφών λειτουργίας.
6. Οι κινητήρες των ηλεκτρικών οχημάτων είναι περίπου 3 με 4 φορές περισσότερο αποδοτικοί από αυτούς των συμβατικών ( $n_{\text{ηλεκτροκινητήρα}} \approx 90\%$ ), καθώς έχουν την ευχέρεια να λειτουργούν σε πιο υψηλές στροφές ( $\approx 20.000$  rpm) από τους συμβατικούς κινητήρες και παρέχουν υψηλή ροπή κατά την εκκίνηση.
7. Δεν υπάρχει ο κίνδυνος έκρηξης σε περίπτωση ατυχήματος.
8. Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί μεγάλη πρόοδος στις υποδομές σταθμών επαναφόρτισης. Μέσω της ταχείας φόρτισης, ο οδηγός μπορεί να κάνει ένα σύντομο διάλειμμα και να φορτίσει το ηλεκτρικό όχημά του, ενώ με την κανονική φόρτιση, χρειάζονται περίπου 5-8 ώρες, ανάλογα με τον τύπο και το μοντέλο του ηλεκτρικού οχήματος.
9. Έχουν τη δυνατότητα μεταφοράς ενέργειας προς το δίκτυο (Vehicle to Grid – V2G). Τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία θα μπορούν να φορτίζουν κατά τη διάρκεια της χαμηλής ζήτησης ισχύος και να εκφορτίζουν τις χρονικές περιόδους, που η ζήτηση είναι υψηλή. Η διάρθρωση των ενεργειακών συστημάτων είναι τέτοια, που θα πρέπει κάθε χρονική στιγμή να ισχύει το ισοζύγιο ισχύος ανάμεσα στην παραγωγή και το φορτίο. Έτσι εξασφαλίζεται η σταθερότητα των τιμών τάσης και συχνότητας, που καθορίζουν την ποιότητα προσφερόμενης ισχύος. Με τα ηλεκτρικά οχήματα θα συγκεντρώνεται ένα σημαντικό ποσό ισχύος προς εφεδρεία για τις αιφνίδιες αιχμές του συστήματος.
10. Έχουν χαμηλότερο κόστος σε βάθος χρόνου, καθώς δεν επηρεάζονται από την αύξηση της τιμής της βενζίνης, αλλά και λόγω του χαμηλότερου κόστους συντήρησης. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα χρειάζονται πολύ λιγότερο συντήρηση, καθώς:
  - Δεν απαιτούν τις τακτικές αλλαγές λαδιών.
  - Δεν διαθέτουν σύστημα εξαγωγής καυσαερίων και διάταξη εξάτμισης, ούτε σιγαστήρα (σιλανσιέ) προ της εξάτμισης, ούτε καταλύτη ή φίλτρο καπνού.
  - Δεν απαιτούν αντικατάσταση ή έστω συντήρηση σε μηχανικά μέρη, όπως σύστημα ανάφλεξης, πιστόνια, βαλβίδες ή εκκεντροφόρους, διότι δεν υπάρχουν τέτοια εξαρτήματα στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, ενώ οι μηχανές εσωτερικής καύσης έχουν πάνω από 100 κινούμενα μέρη.
  - Δεν καταναλώνουν ενέργεια σε στάσεις και μπορούν να σχεδιαστούν έτσι ώστε να αυτοφορτίζονται κατά τις επιβραδύνσεις του οχήματος (αναγεννητική πέδηση – regenerative braking), βελτιώνοντας έτσι τον δείκτη κατανάλωσης.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα, τα οποία αξίζει να αναφερθούν:

1. Υψηλές δαπάνες κατασκευής, με αποτέλεσμα την υψηλή τιμή πώλησης. Τα χαμηλά ποσοστά διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων μέχρι σήμερα, άρα και η χαμηλή ζήτηση, είναι λογικό να διατηρούν τα επίπεδα της αγοράς σε υψηλά επίπεδα.
2. Περιορισμένη απόσταση ταξιδιού μεταξύ κάθε επαναφόρτισης της μπαταρίας. Στο παρελθόν κάθε 60 km χρειάζονταν επαναφόρτιση. Ωστόσο, τα πιο σύγχρονα μοντέλα επιτυγχάνουν αυτονομίες, που ξεκινούν από 100 έως 160 km στα αυτοκίνητα πόλης και φτάνουν στα 250 έως 300 km ή και παραπάνω, σε αυτοκίνητα μεγάλης ισχύος.
3. Μεγάλος χρόνος επαναφόρτισης, συνήθως 5 – 8 ώρες για πλήρη επαναφόρτιση, από οικιακό φορτιστή. Ωστόσο, αρκετά σύγχρονα μοντέλα μπορούν να φορτιστούν κατά 80% σε χρόνο λιγότερο της μίας ώρας.
4. Χαμηλότερη, σε σχέση με τη βενζίνη, αναλογία αποθηκευμένης ενέργειας ως προς όγκο και βάρος.
5. Περιορισμένη διάρκεια ζωής μπαταριών, συνήθως 3 – 5 χρόνια [48].

Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο έχει ήδη εισέλθει στον τρίτο αιώνα της ζωής του ως ένα εμπορικά διαθέσιμο προϊόν και ως εκ τούτου έχει μεγάλη επιτυχία, ξεπερνώντας πολλές άλλες τεχνολογικού τομέα ιδέες. Παρόλα αυτά, τα ηλεκτρικά οχήματα δεν έχουν λάβει ακόμα την τεράστια επιτυχία των οχημάτων μηχανών εσωτερικής καύσης, τα οποία μπορούν να καλύψουν πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις και είναι ευκολότερο να ανεφοδιαστούν με καύσιμα. Τα τελευταία χρόνια όμως, εκφράζεται μια γενικότερη ανησυχία σχετικά με το περιβάλλον, όσων αφορά τις εκπομπές καυσαερίων. Σε συνδυασμό, λοιπόν, με τις νέες εξελίξεις στο τομέα των συσσωρευτών και των κυψελών καυσίμου, αλλάζουν σιγά σιγά οι ισορροπίες υπέρ των ηλεκτρικών οχημάτων [30].

## 2.4 Ηλεκτρικά Οχήματα σήμερα

Σήμερα, έχουν ήδη κατασκευαστεί πολλά ηλεκτρικά οχήματα, όπως αεροπλάνα, λεωφορεία, αυτοκίνητα καθώς επίσης δίκυκλα και τρίκυκλα, ειδικά σχεδιασμένα για χρήση εντός πόλης. Όσον αφορά τα ηλεκτροκίνητα αεροπλάνα, η Airbus έχει να επιδείξει το πειραματικό E-Fan, το οποίο διαθέτει δύο ηλεκτροκινητήρες, των 30 kW ο καθένας, τροφοδοτούμενοι από δύο συστοιχίες μπαταριών. Αναπτύσσει μέγιστη ταχύτητα 200 km/h και η διάρκεια πτήσης του είναι μόλις 1 ώρα. Μετά το 2017, αναμένεται να παρουσιαστούν νέες, υβριδικές εκδόσεις του E-Fan, οι οποίες θα διαθέτουν μια μικρή τουρμπίνα για τη φόρτιση των μπαταριών, αυξάνοντας τη διάρκεια πτήσης στις 3.5 ώρες [49].



*Εικόνα 2-12 Το ηλεκτροκίνητο αεροπλάνο E-Fan της Airbus [50]*

Στην κατηγορία των ηλεκτρικών λεωφορείων, ξεχωρίζει το αστικό λεωφορείο, Proterra, το οποίο κινείται μόνο με ηλεκτρική ενέργεια και σε μια πρόσφατη δοκιμή, κατάφερε να διανύσει 415 περίπου χιλιόμετρα μόνο με μία φόρτιση. Επίσης, η ABB παρουσίασε ένα νέο υπερσύγχρονο ηλεκτρικό λεωφορείο, του οποίου οι μπαταρίες μπορούν να φορτιστούν εντός 15 δευτερολέπτων, όσο διαρκεί περίπου κάθε στάση, την ώρα που αποβιβάζονται και επιβιβάζονται οι επιβάτες, βασισμένο σε ένα νέου τύπου μηχανισμό ταχύτατης φόρτισης από την ABB. Το λεωφορείο αυτό, μπορεί να μεταφέρει 135 επιβάτες. Η μερική φόρτιση γίνεται με τη χρήση ενός βραχίονα, ο οποίος κινείται με λέιζερ. Για την ολική φόρτιση, απαιτούνται τρία με τέσσερα λεπτά. Η ολική φόρτιση πραγματοποιείται όταν το όχημα φτάσει στο τέρμα του και πριν ξεκινήσει το νέο του δρομολόγιο με την όλη διαδικασία να μην απαιτούνται καλώδια.



*Εικόνα 2-13 Το πρωτότυπο αστικό ηλεκτρικό λεωφορείο Proterra [51]*



*Εικόνα 2-14 Ηλεκτρικό λεωφορείο από την ABB [52]*

Η αυτοκινητοβιομηχανία επίσης, έχει να επιδείξει σήμερα αξιοπρόσεκτα μοντέλα επιβατικών αυτοκινήτων. Μπορούμε να αναφέρουμε την Tesla Motors, με τα μοντέλα της Tesla Roadster, Tesla Model S και τα μελλοντικά μοντέλα, όπως το Tesla Model X (το SUV της εταιρίας) και το Tesla Model III για το 2017.



*Εικόνα 2-15 Το μοντέλο X της Tesla Motors [53]*

Στην κατηγορία των μοτοσυκλετών, έχουν εμφανιστεί διάφορα μοντέλα. Ενδεικτικά να αναφέρουμε το ηλεκτροκίνητο τρίκυκλο i-Road της Toyota, που διαθέτει δύο ηλεκτροκινητήρες ισχύος 2 kW ο καθένας, οι οποίοι έχουν τοποθετηθεί στους εμπρόσθιους τροχούς και τροφοδοτούνται από μία συστοιχία μπαταριών ιόντων λιθίου, με την τελευταία να προσφέρει

μια αυτονομία που αγγίζει τα 50 περίπου km και η επαναφόρτισή του μπορεί να πραγματοποιηθεί από μία οικιακή πρίζα. Επίσης, στην Ουγγαρία κατασκευάστηκε το Moneo, ένα αναδιπλούμενο ηλεκτρικό scooter με βάρος μόλις 25 κιλά και αυτονομία 35 km.



*Εικόνα 2-16 Το ηλεκτροκίνητο i-Road της Toyota [54]*

Τέλος, υπάρχουν και μικρότερου μεγέθους οχήματα, όπως τα ηλεκτρικά ποδήλατα (e-bikes), αλλά και άλλου τύπου ηλεκτρικά δίτροχα και μονότροχα, όπως το Segway και το Monowheel, τα οποία διαθέτουν έναν μικρό ηλεκτρικό κινητήρα, της τάξης του 1 kW για μικρές μετακινήσεις στην πόλη, αναπτύσσοντας ταχύτητες μέχρι 20 km/h.



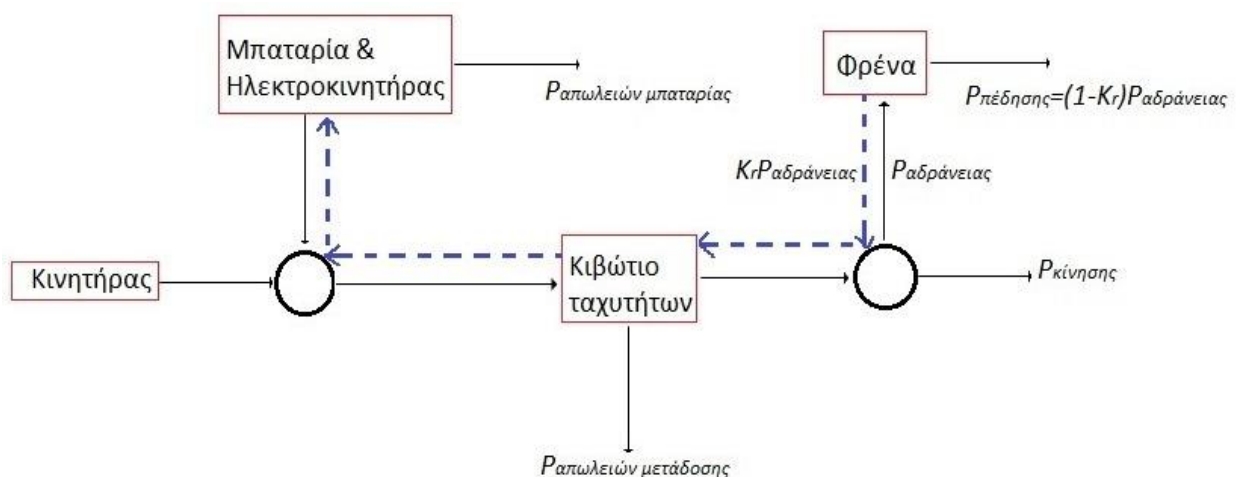
*Εικόνα 2-17 Τα ηλεκτρικά Segway και Monowheel [55], [56]*

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

## 3.1 Γενικές Αρχές

Για την εκτίμηση της απαιτούμενης ισχύος σε ένα όχημα, υπολογίζεται η ισχύς, που χρειάζεται για την ολοκλήρωση μιας προκαθορισμένης διαδρομής (κύκλος οδήγησης), καθώς και οι απώλειες σε όλα τα στάδια εσωτερικής μετάδοσης κίνησης. Αρχικά, παρατίθεται η γενική περίπτωση (ισχύει για όλες τις εξεταζόμενες αρχιτεκτονικές του συστήματος μετάδοσης) και στη συνέχεια γίνεται αναφορά στις εξισώσεις για κάθε μία ξεχωριστά.

Το διάγραμμα της εικόνας 3.1 παρουσιάζει τη γενική δομή του συστήματος μετάδοσης ισχύος σε ένα όχημα (ανεξαρτήτου τεχνολογίας). Τα συμβατικά οχήματα κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICV), τα υβριδικά (HEV), καθώς και τα οχήματα κυψελών καυσίμου (FCEV) ενσωματώνουν μία μηχανή καύσης, η οποία παρέχει την απαραίτητη ενέργεια για την ολοκλήρωση μιας διαδρομής. Η μηχανή είναι ικανή να παρέχει ροές ισχύος προς μία κατεύθυνση, χωρίς δυνατότητα αποθήκευσης. Τα οχήματα υβριδικής τεχνολογίας ενσωματώνουν επίσης ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος παρέχει την επιπλέον ισχύ, που απαιτείται. Αντίθετα, τα ηλεκτρικά οχήματα (BEV) βασίζονται μόνο στον ηλεκτροκινητήρα. Το σύστημα ηλεκτροκινητήρα – μπαταρίας προσφέρει τη δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας χρησιμοποιώντας γεννήτρια για τη φόρτιση της μπαταρίας. Η φόρτιση πραγματοποιείται, είτε χρησιμοποιώντας σύστημα ανάκτησης ενέργειας κατά την πέδηση, είτε απορροφώντας περίσσειμα ενέργειας από την μηχανή, όταν εκείνη παράγει περισσότερη από αυτή που χρειάζεται για την κίνηση του οχήματος.



Εικόνα 3-1 Μετάδοση ισχύος σε ένα όχημα

Η μέση ισχύς, που χρειάζεται να προσδοθεί από την μηχανή ή/και τον ηλεκτροκινητήρα, υπολογίζεται ως εξής:



$$P_{\text{απαιτούμενη}} = P_{\text{κίνησης}} + P_{\text{πέδησης}} + P_{\text{απωλειών μετάδοσης}} + P_{\text{απωλειών μπαταρίας}} + P_{\text{βοηθητική}} \quad (3.1)$$

όπου  $P_{\text{βοηθητική}}$  είναι η απαιτούμενη ισχύς για την υπερνίκηση δυνάμεων αντίστασης στην κίνηση του οχήματος,  $P_{\text{πέδησης}}$  οι απώλειες ισχύος κατά την πέδηση,  $P_{\text{απωλειών μετάδοσης}}$  είναι οι συνολικές απώλειες του συστήματος μετάδοσης κίνησης,  $P_{\text{απωλειών μπαταρίας}}$  οι απώλειες κατά τη διάρκεια της ανάκτησης ενέργειας στον ηλεκτροκινητήρα και  $P_{\text{βοηθητική}}$  είναι η ισχύς, που απαιτείται για την λειτουργία βοηθητικών συστημάτων του οχήματος, όπως κλιματισμός και ραδιόφωνο. Θεωρείται ότι  $P_{\text{βοηθητική}} = 1000W$  για όλα τα οχήματα. Οι αναλυτικές εξισώσεις για τον κάθε όρο παρουσιάζονται στη συνέχεια.

### 3.1.1 Αντιστάσεις στην κίνηση του οχήματος

Ο όρος  $P_{\text{κίνησης}}$  αναλύεται ως εξής:

$$P_{\text{κίνησης}} = P_{\text{αεροδυναμικής}} + P_{\text{κύλισης}} + P_{\text{επιτάχυνσης}} + P_{\text{κλίσης}} \quad (3.2)$$

$$\text{ή } P_{\text{κίνησης}} = \frac{1}{2} \rho C_D A v^3 + C_{RR} m_{\text{συνολική}} g v + k_m m_{\text{συνολική}} a v + m_{\text{συνολική}} g Z v \quad (3.3)$$

όπου  $v$  η ταχύτητα του οχήματος ( $m/s$ ),  $a$  η επιτάχυνση του οχήματος ( $m/s^2$ ),  $\rho$  η πυκνότητα του αέρα ( $\approx 1.2 kg/m^3$ ),  $C_{RR}$  ο συντελεστής τριβής κύλισης (θεωρείται σταθερός  $\approx 0.01$ ),  $m_{\text{συνολική}}$  η μάζα του οχήματος ( $kg$ ),  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $9.81 m/s^2$ ),  $Z$  η επί % κλίση του δρόμου και  $k_m$  ο συντελεστής που αφορά την περιστροφική αδράνεια του συστήματος μετάδοσης και θεωρείται ίσος με 1.1.

Οι δύο πρώτοι όροι της εξίσωσης 3.3 αναπαριστούν τις απώλειες ισχύος λόγω αντίστασης τριβής και αεροδυναμικής σχήματος, ενώ οι δύο επόμενοι τις απώλειες λόγω επιτάχυνσης του οχήματος και κίνησης σε κεκλιμένο επίπεδο. Όμως, για λόγους απλούστευσης, μπορεί να θεωρηθεί ως παραδοχή, ότι το ταξίδι ενός οχήματος ορίζεται, συμπεριλαμβανομένης και της μετάβασης επιστροφής, στο σημείο εκκίνησης. Σύμφωνα με την παραδοχή αυτή, οι όροι  $P_{\text{επιτάχυνσης}}$  και  $P_{\text{κλίσης}}$  θεωρούνται ίσοι με μηδέν. Ορίζοντας ως  $T$  τη συνολική διάρκεια του ταξιδιού, η μαθηματική παραδοχή γράφεται μαθηματικά ως εξής:

$$\int_0^T k_m m_{\text{συνολική}} a v dt = 0 \quad (3.4)$$

$$\text{και } \int_0^T m_{\text{συνολική}} g Z v dt = 0 \quad (3.5)$$

Όταν το όχημα επιστρέφει στο σημείο εκκίνησης, η συνολική μεταβολή της ταχύτητας και της κλίσης είναι μηδέν. Συνεπώς, η έκφραση για την  $P_{\text{κίνησης}}$  απλοποιείται ως εξής:

$$P_{κίνησης} = \frac{1}{2} \rho C_D A v_{rnc}^3 + C_{RR} m_{συνολική} g v_{μέση} \quad (3.6)$$

όπου  $v_{μέση}$  η μέση ταχύτητα του οχήματος, η οποία ορίζεται ως:

$$v_{μέση} = \frac{1}{T} \int_0^T v dt \quad (3.7)$$

και  $v_{rnc}$  η μέση κυβική ταχύτητα, η οποία ορίζεται ως:

$$v_{rnc} = \sqrt[3]{\frac{1}{T} \int_0^T v^3 dt} \quad (3.8)$$

Οι παράμετρος αυτές εξαρτώνται από το είδος της διαδρομής.

### 3.1.2 Απώλειες ισχύος κατά την κίνηση του οχήματος

Οι αναλυτικές εκφράσεις για τους υπόλοιπους όρους της εξίσωσης (3.1) είναι οι ακόλουθες:

$$P_{πέδησης} = (1 - k_r) P_{αδράνειας} \quad (3.9)$$

$$P_{απωλειών \ μπαταρίας} = \frac{(1 - n_{μπαταρίας})(1 + k_r)}{2} P_{αδράνειας} \quad (3.10)$$

$$P_{απωλειών \ μετάδοσης} = \frac{1 - n_{μετάδοσης}}{n_{μετάδοσης}} (P_{κίνησης} + P_{αδράνειας}) + (1 - n_{μετάδοσης}) k_r P_{αδράνειας} \quad (3.11)$$

όπου  $k_r$  ο συντελεστής ανάκτησης ενέργειας κατά την πέδηση (στην ιδανική περίπτωση όπου  $k_r = 1$ , σημαίνει ότι όλη η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο όχημα και χρησιμοποιείται στο όχημα, ανακτάται) και  $n_{μπαταρίας}$ ,  $n_{μετάδοσης}$  οι βαθμοί απόδοσης της μπαταρίας και της μετάδοσης κίνησης αντίστοιχα.

Ο όρος  $P_{αδράνειας}$  είναι ο μέσος ρυθμός αποθήκευσης κινητικής ενέργειας, έτσι ώστε το όχημα να επιταχύνει από μια αρχική ταχύτητα σε μια τελική σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Η  $P_{αδράνειας}$  ορίζεται ως:

$$P_{αδράνειας} = k_m m_{tot} a v_{avg} \quad (3.12)$$

Ο όρος  $a$  ονομάζεται χαρακτηριστική επιτάχυνση και εκφράζει τον ρυθμό με τον οποίο μεταβάλλεται η ταχύτητα του οχήματος κατά τη διάρκεια της διαδρομής του, χωρίς όμως να προσφέρει πληροφορίες σχετικά με το εύρος των ταχυτήτων με τις οποίες κινείται το όχημα. Η μικρότερη δυνατή τιμή για τη χαρακτηριστική επιτάχυνση είναι το μηδέν και αντιστοιχεί σε σταθερή ταχύτητα οδήγησης. Ορίζεται ως:

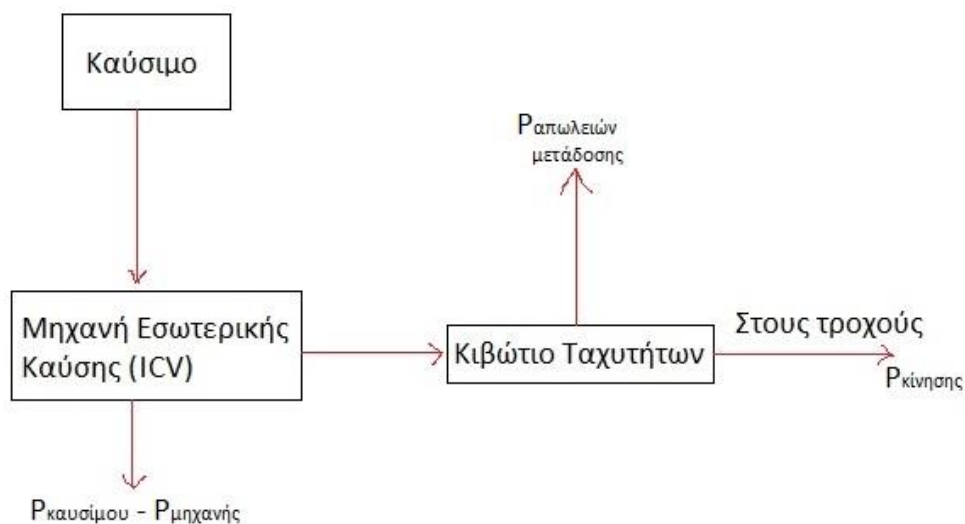
$$a = \frac{1}{2} \frac{\sum (v_{τελική}^2 - v_{αρχική}^2)}{v_{μέση} T} \quad (3.13)$$

Είναι προφανές, ότι για οχήματα με μηχανές εσωτερικής καύσης (ICV) και κυψελών καυσίμου (FCEV), που δε διαθέτουν σύστημα ανάκτησης ενέργειας κατά την πέδηση, αλλά ούτε και μπαταρία, τα μεγέθη  $P_{απωλειών\ μπαταρίας}$  και  $k_r$  ισούνται με μηδέν.

Σημειώνεται, ότι οι εξισώσεις 3.9, 3.10, 3.11 είναι οι γενικές εκφράσεις για τις απώλειες του συστήματος μετάδοσης, μπαταρίας, και πέδησης και παίρνουν διαφορετικές μορφές, αφού η δομή του διαφέρει ανάλογα με την εξεταζόμενη τεχνολογία.

### 3.2 Ενεργειακή Κατανάλωση Συμβατικών Οχημάτων (ICV)

Τα συμβατικά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης δε διαθέτουν ηλεκτροκινητήρα, ή μπαταρία και δεν έχουν εγκατεστημένη τεχνολογία ανάκτησης ενέργειας κατά την πέδηση. Το σύστημα μετάδοσης ισχύος παρουσιάζεται στην εικόνα 3.2.



Εικόνα 3-2 Ροή ισχύος σε οχήματα με μηχανή εσωτερικής καύσης

Λόγω της ύπαρξης μόνο του κιβωτίου ταχυτήτων στο σύστημα μετάδοσης οχημάτων εσωτερικής καύσης ( $n_{μετάδοσης} = n_{κιβωτίου}$ ) και επειδή  $k_r = 0$  (δεν ανακτάται ενέργεια κατά την πέδηση), η εξίσωση 3.11 για τις συνολικές απώλειες του συστήματος μετάδοσης γίνεται:

$$P_{\text{απωλειών μεταδόσης}} = \frac{1 - n_{\text{κιβωτίου}}}{n_{\text{κιβωτίου}}} (P_{\text{κίνησης}} + P_{\text{αδράνειας}}) \quad (3.14)$$

Επίσης  $P_{\text{πέδησης}} = P_{\text{αδράνειας}}$  και λόγω της απουσίας ηλεκτροκινητήρα και μπαταρίας, έχουμε  $P_{\text{απωλειών μπαταρίας}} = 0$ . Συνεπώς η έκφραση για την μέση απαιτούμενη ισχύ της μηχανής εσωτερικής καύσης ( $P_{\text{μηχανής}}$ ) προκύπτει από τον συνδυασμό των εξισώσεων 3.1 και 3.14:

$$P_{\text{μηχανής}} = P_{\text{κίνησης}} + P_{\text{αδράνειας}} + P_{\text{απωλειών μεταδόσης}} + P_{\text{βοηθητική}} \quad (3.15)$$

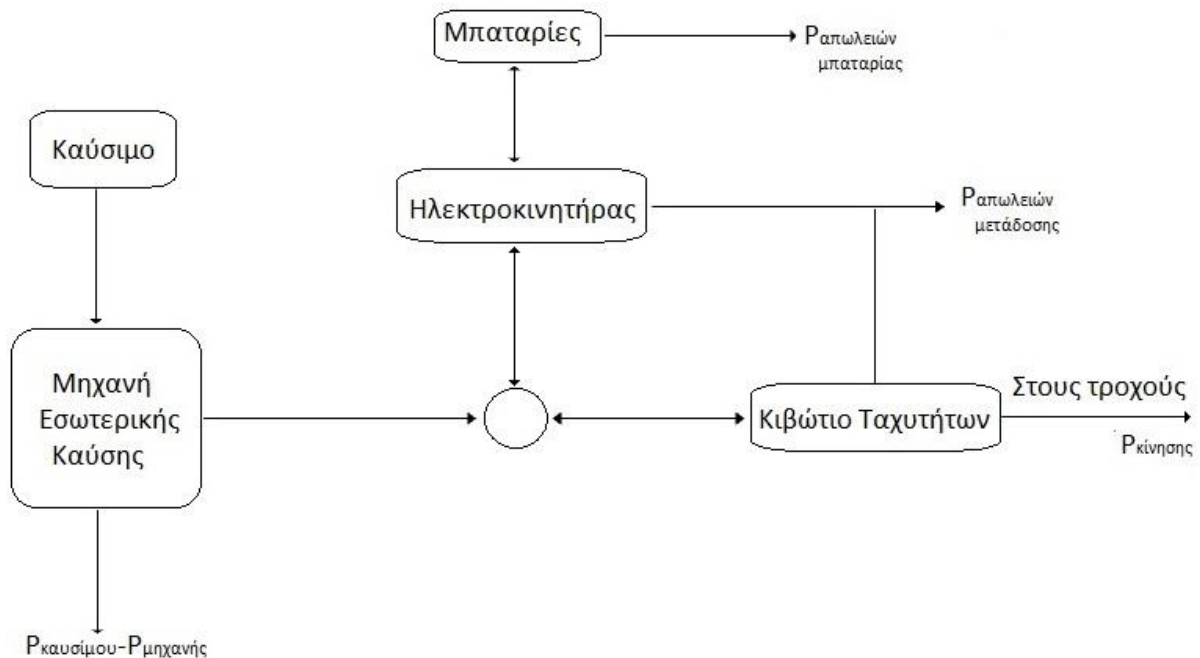
Ο μέσος ρυθμός ενεργειακής κατανάλωσης καυσίμου ( $P_{\text{καυσίμου}}$ ) υπολογίζεται ως εξής:

$$P_{\text{καυσίμου}} = \frac{1}{n_{\text{μηχανής}}} P_{\text{μηχανής}} \quad (3.16)$$

όπου  $n_{\text{μηχανής}}$  ο μέσος βαθμός απόδοσης της μηχανής εσωτερικής καύσης.

### 3.3 Ενεργειακή Κατανάλωση Υβριδικών Οχημάτων (PHEV)

Το διάγραμμα ροής ισχύος σε υβριδικά οχήματα παράλληλης διάταξης ηλεκτροκινητήρα – βενζινοκινητήρα, παρουσιάζεται στην εικόνα 3.3.



Εικόνα 3-3 Ροή ισχύος σε υβριδικά οχήματα

Στη συγκεκριμένη διάταξη υβριδικού οχήματος, η μηχανή εσωτερικής καύσης, συνδέεται άμεσα με το κιβώτιο ταχυτήτων, ενώ ο ηλεκτροκινητήρας διαχειρίζεται ροές ισχύος μόνο από και προς

τη μπαταρία. Συνεπώς ο ηλεκτροκινητήρας προσδίδει βοηθητική ισχύ σε αυτή που παρέχεται από τη μηχανή εσωτερικής καύσης.

Λόγω της συνδυασμένης παροχής ισχύος από τον ηλεκτροκινητήρα και τη μηχανή εσωτερικής καύσης προς το κιβώτιο ταχυτήτων, η έκφραση για τις μέσες απώλειες ισχύος στο σύστημα μετάδοσης κίνησης γίνεται:

$$P_{\text{απωλειών μετάδοσης}} = \frac{1-n_{\text{κιβ}}}{n_{\text{κιβ}}} (P_{\text{κίνησης}} + P_{\text{αδράνειας}}) + B \frac{1-n_{\eta\lambda}}{n_{\eta\lambda}} \frac{P_{\text{αδράνειας}}}{n_{\text{κιβ}}} + (1-n_{\text{κιβ}}n_{\eta\lambda})k_r P_{\text{αδράνειας}} \quad (3.17)$$

Όπου  $n_{\eta\lambda}$  ο βαθμός απόδοσης του ηλεκτροκινητήρα,  $n_{\text{κιβ}}$  ο βαθμός απόδοσης του κιβωτίου ταχυτήτων και  $B$  είναι ο βαθμός υβριδισμού του οχήματος, ο οποίος εκφράζει το λόγο της μέγιστης ισχύος του ηλεκτροκινητήρα προς τη συνολική μέγιστη. Ορίζεται ως:

$$B = \frac{P_{\text{μέγιστη ηλεκτροκινητήρα}}}{P_{\text{μέγιστη ηλεκτροκινητήρα}} + P_{\text{μέγιστη εσωτερικής καύσης}}} \quad (3.18)$$

Ο δεύτερος όρος της εξίσωσης 3.17 δηλώνει ότι κάποιο μέρος της ισχύος που απαιτείται για την επιτάχυνση του οχήματος ( $P_{\text{αδράνειας}}$ ) παρέχεται από το σύστημα ηλεκτροκινητήρα/μπαταρίας (το υπόλοιπο παρέχεται από τη μηχανή). Για τον ίδιο λόγο η έκφραση για τις μέσες απώλειες ισχύος στην μπαταρία γίνεται:

$$P_{\text{απωλειών μπαταρίας}} = \frac{(1-n_{\text{μπαταρίας}})(B+k_r)}{2} P_{\text{αδράνειας}} \quad (3.19)$$

Οπότε, η έκφραση για τη μέση απαιτούμενη ισχύ της μηχανής εσωτερικής καύσης είναι:

$$P_{\text{μηχανής}} = P_{\text{κίνησης}} + P_{\text{πέδησης}} + P_{\text{απωλειών μετάδοσης}} + P_{\text{απωλειών μπαταρίας}} + P_{\text{βοηθητική}} \quad (3.20)$$

Επίσης, ο μέσος ρυθμός κατανάλωσης καυσίμου, υπολογίζεται ως εξής:

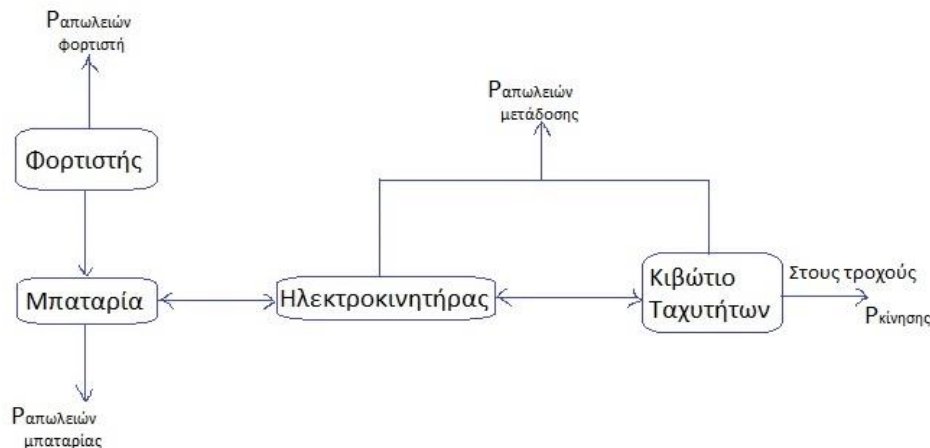
$$P_{\text{καυσίμου}} = \frac{1}{n_{\text{μηχανής}}} P_{\text{μηχανής}} \quad (3.21)$$

όπου  $n_{\text{μηχανής}}$  ο βαθμός απόδοσης της μηχανής εσωτερικής καύσης.

### 3.4 Ενεργειακή Κατανάλωση Ηλεκτρικών Οχημάτων (BEV)

Το σύστημα μετάδοσης στα ηλεκτρικά οχήματα (BEV) αποτελείται από τον φορτιστή, ο οποίος παρέχει την απαραίτητη ισχύ για την ολοκλήρωση της διαδρομής στη μπαταρία, η οποία με τη σειρά της μεταδίδει στον ηλεκτροκινητήρα. Στη συνέχεια, η ισχύς προσδίδεται στο κιβώτιο ταχυτήτων (συνήθως μίας ταχύτητας), που μέσω συστήματος γραναζιών μεταφέρεται στους

τροχούς, έτσι ώστε να επιτευχθεί η κίνηση του οχήματος. Η μπαταρία είναι ικανή, τόσο για την μετάδοση ισχύος στα υπόλοιπα μέρη, όσο και για την απορρόφηση από αυτά, όταν υπάρχει πλεόνασμα, ή μέσω του συστήματος ανάκτησης κατά την πέδηση. Στην εικόνα 3.4 παρουσιάζεται η δομή μετάδοσης ισχύος στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, μαζί με τις απώλειες που προκύπτουν σε κάθε στάδιο.



Εικόνα 3-4 Μετάδοση ισχύος σε ηλεκτρικά οχήματα

Λόγω της ύπαρξης του κιβωτίου ταχύτητας αλλά και του ηλεκτροκινητήρα στο σύστημα μετάδοσης κίνησης των ηλεκτρικών οχημάτων, ο βαθμός απόδοσης του συστήματος ( $n_{\text{μετάδοσης}}$ ), εξαρτάται από το βαθμό απόδοσης του κιβωτίου ταχυτήτων ( $n_{\text{κιβωτίου}}$ ) και το βαθμό απόδοσης του ηλεκτροκινητήρα ( $n_{\eta\lambda}$ ). Έτσι, θα είναι:

$$n_{\text{μετάδοσης}} = n_{\text{κιβωτίου}} \cdot n_{\eta\lambda} \quad (3.22)$$

Σύμφωνα με την παραπάνω έκφραση η εξίσωση 3.11 για τις συνολικές απώλειες του συστήματος μετάδοσης κίνησης γίνεται:

$$P_{\text{απωλειών μετάδοσης}} = \frac{1 - n_{\text{κιβ}} \cdot n_{\eta\lambda}}{n_{\text{κιβ}} \cdot n_{\eta\lambda}} (P_{\text{κίνησης}} + P_{\text{αδράνειας}}) + (1 - n_{\text{κιβ}} \cdot n_{\eta\lambda}) k_r P_{\text{αδράνειας}} \quad (3.23)$$

Οι απώλειες της μπαταρίας υπολογίζονται από την εξίσωση 3.10. Συνεπώς η έκφραση για την μέση απαιτούμενη ισχύ της μπαταρίας ( $P_{\text{μπαταρίας}}$ ) είναι:

$$P_{\text{μπαταρίας}} = P_{\text{κίνησης}} + P_{\text{πέδησης}} + P_{\text{απωλειών μετάδοσης}} + P_{\text{απωλειών μπαταρίας}} + P_{\text{βοηθητική}} \quad (3.24)$$

Ο μέσος ρυθμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ( $P_{\text{καταναλισκόμενη}}$ ) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_{\text{καταναλισκόμενη}} = \frac{1}{n_{\text{φορτιστή}} \cdot n_{\text{μπαταρίας}}} P_{\text{μπαταρίας}} \quad (3.25)$$

όπου  $n_{\text{φορτιστή}}$  ο βαθμός απόδοσης του φορτιστή και  $n_{\text{μπαταρίας}}$  ο βαθμός απόδοσης της μπαταρίας.

### 3.5 Μονάδες μέτρησης κατανάλωσης νέων τεχνολογιών οχημάτων

Οι εκφράσεις 3.16, 3.21 και 3.25 χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της μέσης απαιτούμενης ισχύος του οχήματος για τις εξεταζόμενες τεχνολογίες οχημάτων. Η μέση ενεργειακή κατανάλωση σε  $Wh/km$  ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος με τη μέση ταχύτητα του οχήματος:

$$E_{καταναλισκόμενη} = \frac{P_{καυσίμου}}{v_{μέση}} \quad \text{ή} \quad E_{καταναλισκόμενη} = \frac{P_{καταναλισκόμενη}}{v_{μέση}} \quad (3.26)$$

Όμως, η μονάδα  $Wh/km$  δεν χρησιμοποιείται συχνά για την έκφραση της ενεργειακής κατανάλωσης ενός οχήματος, αφού δεν δίνει καμία πληροφορία για το καταναλισκόμενο καύσιμο. Στα συμβατικά οχήματα εσωτερικής καύσης, η μετατροπή γίνεται εύκολα, στην ευρέως χρησιμοποιούμενη μονάδα κατανάλωσης,  $L_{βενζίνης}/km$ , εάν θεωρήσουμε, ότι το ενεργειακό περιεχόμενο της βενζίνης είναι:

$$CV_{gasoline} = 9.167 \cdot 10^3 Wh/L \quad (3.27)$$

Προφανώς, η συγκεκριμένη μονάδα δεν έχει νόημα για τα ηλεκτροκίνητα οχήματα, καθώς δεν χρησιμοποιούν ως καύσιμο τη βενζίνη [57]. Για τα ηλεκτροκίνητα οχήματα, χρησιμοποιείται ως μονάδα μέτρησης,  $kWh/100 km$ , καθώς ως «καύσιμο» σε αυτά είναι η ηλεκτρική ενέργεια.

Πίνακας 3.1 Κατανάλωση ενέργειας για διάφορους τύπους ηλεκτρικών αυτοκινήτων [58]

| Αυτοκίνητο                 | Χωρητικότητα Μπαταρίας | Αυτονομία | Κατανάλωση Ενέργειας (kWh/100 km) |
|----------------------------|------------------------|-----------|-----------------------------------|
| <b>BMW i3 (2016)</b>       | 33 kWh                 | 300 km    | 11                                |
| <b>Nissan Leaf</b>         | 30 kWh                 | 200 km    | 15                                |
| <b>Tesla Model S</b>       | 80 kWh                 | 384 km    | 20.8                              |
| <b>Smart Fortwo ED</b>     | 21 kWh                 | 135 km    | 15.5                              |
| <b>Mitsubishi iMiEV</b>    | 20 kWh                 | 148 km    | 13.5                              |
| <b>Ford Focus Electric</b> | 23 kWh                 | 162 km    | 14.2                              |
| <b>Volkswagen e-Golf</b>   | 24.2 kWh               | 190 km    | 12.7                              |

### 3.6 Τεχνικά χαρακτηριστικά ηλεκτροκίνητων οχημάτων

Από τεχνικής άποψης τα ηλεκτρικά οχήματα απαντώνται σε διάφορες παραλλαγές, είτε όσον αφορά την πηγή της ηλεκτρικής ενέργειας είτε όσον αφορά τον τρόπο, που παράγεται η κίνηση. Συνεπώς θα μπορούσαμε να κατατάξουμε τα ηλεκτρικά οχήματα σε διάφορες κατηγορίες,

ανάλογα με τα κριτήρια που θέτουμε. Όμως, όλα έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό, που είναι η ύπαρξη ενός τουλάχιστον ηλεκτρικού κινητήρα για την προώθηση του οχήματος. Σε σχέση με τις εκπομπές ρύπων, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο, υπάρχουν ουσιαστικά δύο μεγάλες κατηγορίες ηλεκτροκίνητων οχημάτων: τα οχήματα μηδενικών ρύπων στα οποία ανήκουν τα καθαρά ηλεκτροκίνητα οχήματα και τα οχήματα χαμηλών ρύπων στα οποία ανήκουν τα υβριδικά οχήματα.

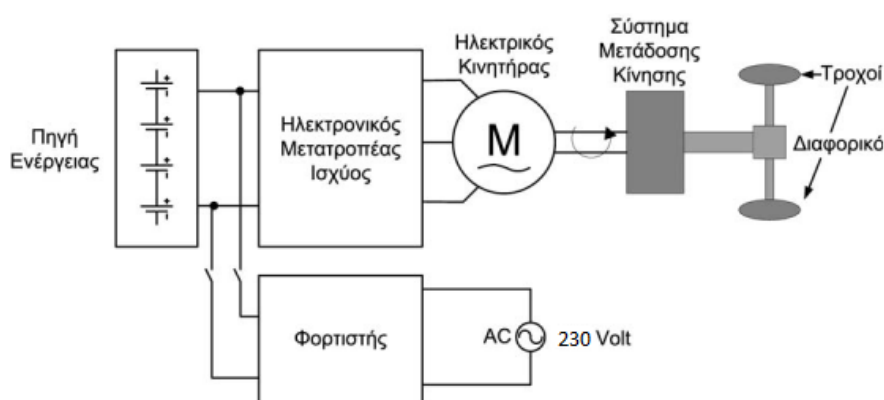
Το κύριο στοιχείο που διαφοροποιεί τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα από τα υβριδικά είναι η απουσία βενζινοκινητήρα. Η ενέργεια του οχήματος προέρχεται από καθαρά ηλεκτρική πηγή και η κίνηση του οχήματος βασίζεται αποκλειστικά σε έναν ή περισσότερους ηλεκτρικούς κινητήρες. Στην εικόνα 3.5 δίνεται ένα χονδρικό διάγραμμα των τμημάτων, που συνήθως αποτελούν ένα ηλεκτρικό όχημα, τα οποία είναι [12]:

1. Μονάδα αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας: Είναι το τμήμα που τροφοδοτεί με ενέργεια το υπόλοιπο σύστημα. Το τμήμα αυτό λειτουργεί είτε ως πηγή είτε ως αποθήκη ηλεκτρικής ενέργειας είτε ως συνδυασμός και των δύο. Για την αποθήκευση ενέργειας χρησιμοποιούνται συνήθως κυψέλες καυσίμου, ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές ή/και υπερπυκνωτές, ενώ η φόρτισή τους γίνεται με ηλεκτρονικούς μετατροπείς (inverters) εναλλασσόμενης τάσης – συνεχούς τάσης.

2. Ηλεκτρικός Κινητήρας: Ο κινητήρας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική για την κίνηση του οχήματος.

3. Ηλεκτρονικός Μετατροπέας Ισχύος: Το τμήμα αυτό είναι υπεύθυνο για την κατάλληλη μετατροπή της τάσεως της πηγής, ώστε να τροφοδοτήσει τον κινητήρα. Επιπλέον ελέγχει και τη λειτουργία του οχήματος ελέγχοντας ουσιαστικά την ταχύτητα και τη ροπή του κινητήρα.

4. Σύστημα Μετάδοσης Κίνησης: Το μηχανολογικό αυτό τμήμα του οχήματος μεταδίδει την κίνηση στους τροχούς προσαρμόζοντας κατάλληλα τη ροπή και την ταχύτητα.



Εικόνα 3-5 Χονδρικό διάγραμμα μερών ηλεκτρικού οχήματος [15]

Αξίζει εδώ να αναφερθεί ότι ορισμένα τμήματα μπορεί να διαφοροποιούνται ή ακόμα και να μην υπάρχουν. Για παράδειγμα τμήματα ή όλο το σύστημα μετάδοσης κίνησης μπορεί να μην υπάρχει. Επιπλέον το όχημα μπορεί να έχει περισσότερους από έναν κινητήρα και μετατροπέα. Στις επόμενες παραγράφους δίνονται ορισμένα στοιχεία για τα διάφορα τμήματα των ηλεκτρικών οχημάτων.



### 3.6.1 Μονάδα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Η ανάπτυξη των μπαταριών άρχισε με την κατασκευή της βολταϊκής στήλης από τον Alessandro Volta, ο οποίος ανέπτυξε το πρώτο ηλεκτροχημικό κελί το 1792 και το 1800 εισήγαγε την πρώτη μπαταρία (ένας σωρός από πολλά κελιά σε σειρά). Η μπαταρία αποτελεί την πιο διαδεδομένη πηγή ενέργειας για πάρα πολλές οικιακές και βιομηχανικές εφαρμογές.

Η μπαταρία είναι ένας συνδυασμός από ένα ή περισσότερα ηλεκτροχημικά στοιχεία, που χρησιμοποιούνται για να μετατρέψουν την αποθηκευμένη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική. Αυτό επιτυγχάνεται με την ύπαρξη δύο διαφορετικών στοιχείων που αντιδρούν μέσα σε έναν ηλεκτρολύτη. Τα στοιχεία αυτά, η άνοδος και η κάθοδος ανταλλάσσουν ηλεκτρόνια, τα οποία κινούμενα δίνουν το απαιτούμενο ηλεκτρικό ρεύμα. Κάθε συσσωρευτής έχει κάποια χαρακτηριστικά, με τα οποία μπορεί να περιγραφεί ο τρόπος λειτουργίας του. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι η ενεργειακή του πυκνότητα ανά μονάδα βάρους ( $Wh/kg$ ) ή ανά μονάδα όγκου ( $Wh/L$ ), η πυκνότητα ισχύος ( $W/kg$ ), ο αριθμός των κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης που μπορεί να κάνει μέχρι να αχρηστευτεί, ο ρυθμός φόρτισης και εκφόρτισης, η μέγιστη επιτρεπόμενη εκφόρτιση και άλλα. Πιο συγκεκριμένα:

- Πυκνότητα ισχύος ( $W/kg$ ): Είναι η ροή της ισχύος ανά μονάδα μάζας ή του βάρους της μπαταρίας. Υποδηλώνει και την μέγιστη ισχύ, που μπορεί να προσφέρει ένας συσσωρευτής και βάση αυτού εξαρτώνται οι επιδόσεις ενός οχήματος (επιτάχυνση, τελική ταχύτητα)
- Ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα βάρους ( $Wh/kg$ ): Εκφράζει την ποσότητα ενέργειας, που μπορεί να αποθηκευτεί ανά μονάδα μάζας (ή βάρους της μπαταρίας).
- Ενεργειακή πυκνότητα όγκου ( $Wh/m^3$ ): Είναι το συνολικό φορτίο που μπορεί να αποθηκεύσει μία μπαταρία ανά μονάδα όγκου της. Ισχύει για συγκεκριμένη περίοδο φόρτισης/εκφόρτισης και καθορίζει το μέγεθός της (όσο μεγαλύτερη η ενεργειακή πυκνότητα της μπαταρίας, τόσο μικρότερος ο όγκος της).
- Ποσότητα ενέργειας: Όπως και στα κινητά τηλέφωνα, μετριέται σε αμπερώρια ( $Ah$ ). Μια μπαταρία με χωρητικότητα 10 Ah υποδηλώνει πως παρέχει 1 Amp συνεχούς ρεύματος για 10 ώρες λειτουργίας, ή 10 Amp για 1 ώρα λειτουργίας.
- Βαθμός απόδοσης: Η μετατροπή ενέργειας από ηλεκτρική σε χημική έχει απόδοση της τάξης του 80%. Η μετατροπή της χημικής ενέργειας του πετρελαίου σε μηχανική δεν ξεπερνά το 20%.

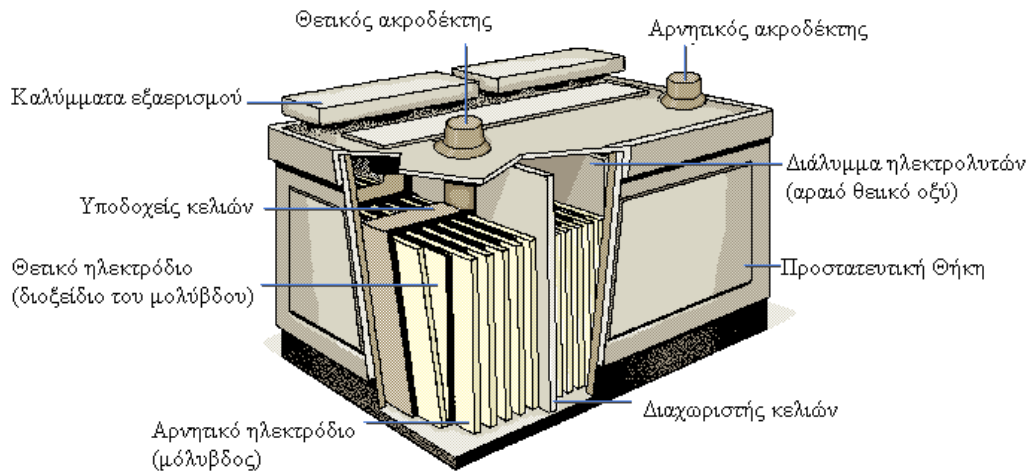
Η χρήση συσσωρευτών είναι πολύ διαδεδομένη σε πολλών ειδών εφαρμογές και στα ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα, χωρίς ιδιαίτερη εξέλιξη εδώ και πολλά χρόνια των χαρακτηριστικών τους. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, η αυξανόμενη ζήτηση αποθήκευσης ενέργειας έχει ωθήσει στην εξέλιξη τους και στη δημιουργία νέων ειδών. Μια συστοιχία συσσωρευτών, που προορίζεται για ένα ηλεκτρικό όχημα, θα πρέπει να συνδυάζει υψηλές επιδόσεις και μεγάλη αξιοπιστία. Το πρώτο χαρακτηριστικό περιλαμβάνει την αυτονομία και την παραγόμενη ισχύ του οχήματος, ενώ το δεύτερο προϋποθέτει μεγάλη διάρκεια ζωής, μικρές απαιτήσεις συντήρησης και υψηλό βαθμό ασφάλειας. Για να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι, το σύστημα μπαταριών πρέπει να συνδυάζει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά [59] – [61]:

- υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος εξόδου,
- μεγάλη διάρκεια ζωής,
- υψηλή απόδοση φόρτισης – εκφόρτισης,
- μεγάλο εύρος λειτουργίας μεταξύ χαμηλών και υψηλών θερμοκρασιών,
- πολύ χαμηλό ρυθμό αυτοεκφόρτισης,
- καλή χαρακτηριστική φορτίου,
- καλά χαρακτηριστικά θερμοκρασίας αποθήκευσης,
- χαμηλή εσωτερική αντίσταση,
- απουσία φαινομένων «μνήμης» (επίδρασης των προηγούμενων φορτίσεων – εκφορτίσεων στην απόδοση της μπαταρίας),
- γρήγορη φόρτιση,
- υψηλό βαθμό απόδοσης,
- μεγάλη αξιοπιστία,
- χαμηλό κόστος,
- δυνατότητα ανακύκλωσης.

Παρακάτω γίνεται αναφορά στα κυριότερα είδη μπαταριών που χρησιμοποιούνται στην ηλεκτρική αυτοκινητοβιομηχανία, καθώς και ένας συγκεντρωτικός πίνακας με τα βασικά χαρακτηριστικά κάθε τύπου.

### **3.6.1.1 Συσσωρευτές Μολύβδου – Οξέος (Lead-Acid, Pb-PbO<sub>2</sub>)**

Οι «κλασικοί» συσσωρευτές Μολύβδου – Οξέος με ηλεκτρολύτη σε στερεά μορφή gel, μέχρι και τις αρχές της δεκαετίας του '90, ήταν η πρώτη επιλογή των διάφορων ηλεκτρικών προσπαθειών, κυρίως λόγω του χαμηλού κόστους τους. Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι των συσσωρευτών Μολύβδου – Οξέος: μπαταρίες εκκίνησης και μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης. Οι μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης χρησιμοποιούνται από τα ηλεκτρικά οχήματα. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό για τις μπαταρίες Μολύβδου – Οξέος είναι ότι δεν πρέπει να αποφορτιστούν κάτω από το 50% της χωρητικότητάς τους, καθώς μειώνεται η διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Επιπλέον, χαρακτηρίζονται από μεγάλη αξιοπιστία και σχετικά χαμηλή αυτοεκφόρτιση. Από την άλλη μεριά, όμως, έχουν μεγάλο βάρος, οπότε επιβαρύνουν το όχημα με αρκετά επιπλέον κιλά (αποτελούν 25 – 50% της τελικής μάζας του οχήματος). Κατά συνέπεια, έχουν σημαντικά χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα 30 – 40 Wh/kg. Επίσης, μειώνεται σημαντικά η διάρκεια ζωής τους σε περιπτώσεις ταχείας φόρτισης και σχεδόν πλήρους εκφόρτισης, που απαιτείται κατά τη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων. Στην περίπτωση, μάλιστα, που έχουμε να κάνουμε με μπαταρίες ανοιχτού τύπου και υγρό ηλεκτρολύτη, απαιτείται και ο ανεφοδιασμός τους με αποσταγμένο νερό, διότι εξατμίζεται κατά τη διάρκεια του φυσιολογικού κύκλου φόρτισης. Η φόρτιση και η λειτουργία των μπαταριών συνήθως έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή υδρογόνου, οξυγόνου και θείου, που είναι αναμενόμενες και αβλαβείς, εάν εξαερίζονται σωστά, [62], [63].



Εικόνα 3-6 Συσσωρευτής Μολύβδου – Οξέος [64]

### 3.6.1.2 Συσσωρευτές Νικελίου – Καδμίου (Ni-Cd)

Οι μπαταρίες Νικελίου – Καδμίου (Ni-Cd) έχουν περίπου 1.3 φορές μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα από αυτές του Μολύβδου – Οξέος, δηλαδή περίπου 45 – 80 Wh/kg. Επίσης:

- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, που μπορεί να ξεπεράσει τα 20 χρόνια
- Δεν επηρεάζονται τόσο πολύ από τις μεταβολές της θερμοκρασίας (λειτουργούν από τους  $-25^{\circ}\text{C}$  στους  $+45^{\circ}\text{C}$ )
- Μπορούν να φορτιστούν σε μικρό χρονικό διάστημα (ταχεία φόρτιση)
- Μπορούν να ανακτήσουν τη χωρητικότητά τους, αν αφεθούν αφόρτιστες για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Παρουσιάζουν αντοχή σε μηχανικές και ηλεκτρικές καταπονήσεις

Στα μειονεκτήματα των συσσωρευτών αυτού του τύπου είναι το αυξημένο κόστος, αλλά και το πρόβλημα περισυλλογής του καδμίου, μετά το τέλος της ζωής των συσσωρευτών, καθώς πρόκειται για υλικό που μολύνει το περιβάλλον.



Εικόνα 3-7 Μπαταρίες Νικελίου – Καδμίου (Ni-Cd) [65]

### 3.6.1.3 Συσσωρευτές Νικελίου – Μετάλλου Υδριδίου (Ni-MH)

Οι συσσωρευτές Νικελίου – Μετάλλου Υδριδίου (Ni-MH) έχουν ακόμα μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα (1.7 φορές μεγαλύτερη από εκείνη των μπαταριών Μολύβδου – Οξέος), δηλαδή περίπου 70 Wh/kg (140 Wh/L). Μια μπαταρία Ni-MH χρησιμοποιεί ως αρνητικό ηλεκτρόδιο ένα κράμα, που έχει την ικανότητα να απορροφά το υδρογόνο. Το μέταλλο (M) στο αρνητικό ηλεκτρόδιο είναι μια διμεταλλική ένωση, που περιέχει νικέλιο, ενώ ως ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται υδροξείδιο του καλίου (KOH). Η τάση κατά τη φόρτιση είναι 1.4 – 1.6 V ανά στοιχείο, ενώ κατά την εκφόρτιση η τάση είναι 1.25 V. Οι μπαταρίες Ni-MH έχουν το μειονέκτημα ότι η απόδοσή τους επηρεάζεται αρνητικά στις υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες, από την άλλη όμως χαρακτηρίζονται από μεγάλη διάρκεια ζωής (πάνω από 160000 km), ενώ το κόστος τους είναι μεν υψηλό, αλλά αισθητά χαμηλότερο από εκείνο των μπαταριών λιθίου. Επιπλέον, να σημειωθεί ότι τα υλικά κατασκευής των συσσωρευτών αυτών δεν είναι τοξικά για το περιβάλλον, η εσωτερική τους αντίσταση είναι χαμηλή, ενώ έχουν επιδείξει επίσης αξιοσημείωτη αξιοπιστία και αντοχή στα υβριδικά αυτοκίνητα όπου τοποθετήθηκαν, έχοντας στην πράξη επικρατήσει στον τομέα της οικολογικής αυτοκίνησης. Μπαταρίες αυτού του τύπου συναντάμε στα υβριδικά Toyota και Honda, οι συνολικές πωλήσεις των οποίων έχουν προ πολλού σπάσει το φράγμα των 2 εκατομμυρίων αυτοκινήτων, [63].

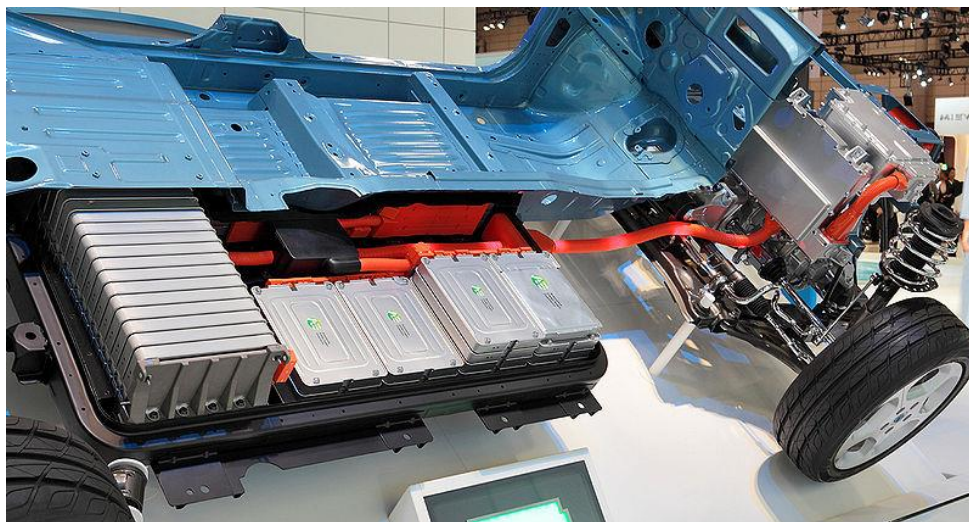


Εικόνα 3-8 Μπαταρίες Νικελίου – Μετάλλου Υδριδίου (Ni-MH) του μοντέλου Toyota Prius [66]

### 3.6.1.4 Συσσωρευτές Ιόντων – Λιθίου (Li-Ion)

Οι πλέον υποσχόμενες για το μέλλον μπαταρίες είναι σήμερα οι ιόντων λιθίου (Li-Ion), γνωστές από πολλές εφαρμογές εκτός αυτοκίνησης. Η ενεργειακή τους πυκνότητα είναι τουλάχιστον 3 φορές μεγαλύτερη (της τάξης των 200 Wh/kg), σε σχέση πάντα με τις μπαταρίες Μολύβδου – Οξέος, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, μεγάλη πυκνότητα ισχύος και η αυτοεκφόρτιση διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα. Στα μειονεκτήματά τους συγκαταλέγεται η τοξικότητα του υλικού της καθόδου, η τάση να εκρήγνυνται, όταν βρίσκονται σε υψηλές θερμοκρασίες ή όταν φορτιστούν μη φυσιολογικά και ο σύντομος κύκλος ζωής τους (εκατοντάδες μέχρι μερικές χιλιάδες κύκλους φόρτισης). Με βάση το υλικό κατασκευής της ανόδου, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου χωρίζονται σε τέσσερις μεγάλες ομάδες: λιθίου – οξειδίου κοβαλτίου (LiCoO<sub>2</sub>), λιθίου – οξειδίου μαγγανίου, τριών στοιχείων (LiNiMnCo ή NMC ή NCM) και λιθίου – φωσφορικού σιδήρου (LiFePO<sub>4</sub>). Το οξείδιο του κοβαλτίου είναι το επικρατέστερο αυτήν τη στιγμή υλικό κατασκευής της ανόδου σε μπαταρίες, που συναντάμε σε καταναλωτικά προϊόντα. Υπερέχει σε ενεργειακή πυκνότητα,

αλλά δεν τα καταφέρνει τόσο καλά στον τομέα της θερμικής ευστάθειας (ο κίνδυνος εμφάνισης πυρκαγιάς είναι υπαρκτός), ενώ και ο κύκλος ζωής του είναι σχετικά μέτριος. Οι μπαταρίες λιθίου – οξειδίου μαγγανίου επιδεικνύουν μεγαλύτερη θερμική σταθερότητα, αλλά η απόδοσή τους πέφτει με την άνοδο της θερμοκρασίας και δεν θεωρούνται οι καλύτερες για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας. Οι μπαταρίες τριών στοιχείων έχουν μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα, αλλά η απόδοσή τους πέφτει στις πολύ υψηλές και στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Οι μπαταρίες λιθίου – φωσφορικού σιδήρου έχουν σχετικά μικρή ενεργειακή πυκνότητα (90 – 110 Wh/kg), αλλά υπερέχουν στον τομέα της ασφάλειας, κοστίζουν λιγότερο, ενώ διαθέτουν και ιδιαίτερα μεγάλο κύκλο ζωής (άνω των 2000 κύκλων, με πάνω από 10 χρόνια ζωής).



*Εικόνα 3-9 Όψη της συστοιχίας συσσωρευτών λιθίου – ιόντων από το Nissan Leaf [67]*

### **3.6.1.5 Συσσωρευτές Χλωριδίου – Μεταλλικού Νατρίου (Sodium Metal Chloride – «Zebra»)**

Οι μπαταρίες Χλωριδίου – Μεταλλικού Νατρίου ( $\text{NaNiCl}_2$ ), γνωστές και ως «Zebra», αποτελούν μία αναπτυσσόμενη τεχνολογία, η οποία κάνει ακόμη τα πρώτα της βήματα στην αγορά. Πρόκειται για μπαταρία υψηλών θερμοκρασιών (έως και  $+270^\circ\text{C}$ ), με υψηλή ενεργειακή πυκνότητα (5 φορές μεγαλύτερη από τις Μολύβδου – Οξέος), η οποία σε αντίθεση με την παρόμοια σε χημική σύνθεση μπαταρία θειϊκού νατρίου, μπορεί να λειτουργήσει και σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η χαμηλή θερμοκρασία έχει πολύ χαμηλή επίδραση στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας «Zebra», η οποία είναι ίση με 1000 κύκλους λειτουργίας. Σε 120 Wh/kg, η ειδική ενέργεια αυτού του τύπου μπαταρίας είναι τετραπλάσια από αυτή των μπαταριών Μολύβδου – Οξέος. Η χρήση μπαταρίας «Zebra» σε πραγματικές συνθήκες έχει δώσει εύρος λειτουργίας 75 μιλίων και αναμένεται να φτάσει τους 1250 κύκλους εκφόρτισης σε βάθος εκφόρτισης 80%, [68].



Εικόνα 3-10 Συσσωρευτής τύπου Zebra ( $\text{NaNiCl}_2$ ) [69]

### 3.6.1.6 Συσσωρευτές Νικελίου – Ψευδαργύρου (Nickel Zinc, NiZn)

Οι μπαταρίες τύπου Νικελίου – Ψευδαργύρου αναπτύσσονται κυρίως στη Γαλλία και τις ΗΠΑ. Το βασικό πρόβλημα το οποίο καλείται να αντιμετωπίσει η έρευνα στο πεδίο των μπαταριών αυτών είναι η ανάπτυξη δένδριτών στα ηλεκτρόδια ψευδαργύρου. Η εμπειρία χρήσης στοιχείων 12 V αυτού του τύπου έχει δώσει διάρκεια ζωής έως και 500 κύκλους με πλήρη εκφόρτιση και 10000 κύκλους με μικρότερο βάθος εκφόρτισης. Το βάρος τους είναι περίπου το μισό των αντίστοιχων μπαταριών Μολύβδου – Οξέος. Ωστόσο, οι μπαταρίες αυτές είναι ακόμη σε στάδιο ανάπτυξης και η παραγωγή τους γίνεται σε μικρή κλίμακα.

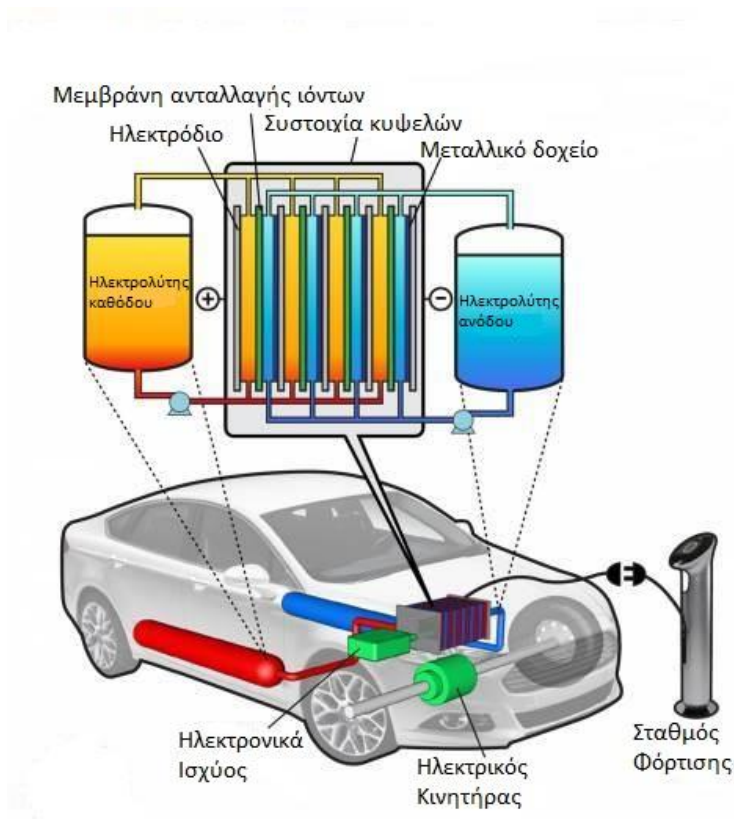


Εικόνα 3-11 Συσσωρευτής τύπου Νικελίου – Ψευδαργύρου [70]

### 3.6.1.7 Συσσωρευτές Βρομιδίου – Ψευδαργύρου (Zinc Bromine)

Η μπαταρία Βρομιδίου – Ψευδαργύρου, η οποία κατασκευάζεται στην Αυστραλία, αποτελεί επίσης μία ανερχόμενη τεχνολογία, καθώς συνδυάζει διάφορα ευνοϊκά χαρακτηριστικά, όπως διπλάσια πυκνότητα ενέργειας και χαμηλότερο κόστος, από την μπαταρία Μολύβδου – Οξέος, μεγάλη διάρκεια ζωής, έως και 2500 κύκλους λειτουργίας και δυνατότητα ανακύκλωσης. Τα χαρακτηριστικά αυτά την καθιστούν κατάλληλη για χρήση σε ηλεκτρικά οχήματα. Παρουσιάζει

ωστόσο χαμηλή πυκνότητα ισχύος και υψηλή σύνθετη αντίσταση, για αυτό και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οχήματα υψηλής απόδοσης, όπου η μέγιστη ισχύς κατά την επιτάχυνση και επιβράδυνση μπορεί να είναι πολλαπλάσια της μέσης ισχύος και πρέπει να πληρούνται ταυτόχρονα οι προϋποθέσεις υψηλής πυκνότητας ενέργειας και ισχύος.



Εικόνα 3-12 Παράδειγμα χρήσης μπαταρίας βρομιδίου – ψευδαργύρου σε ηλεκτρικό όχημα [71]

### 3.6.1.8 Συσσωρευτές Οξειδοαναγωγής Ηλεκτρολύτη Βαναδίου (Vanadium Redox Battery – VRB)

Οι συσσωρευτές VRB, ανήκουν σε μια ευρύτερη κατηγορία μπαταριών νέας γενιάς, υψηλής ενεργειακής αποθήκευσης, τύπου Redox Flow Battery (RFB). Πρόκειται για ειδικού τύπου μπαταρίες, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα πλήρους και ταχείας φόρτισης – εκφόρτισης, όπου εκτός από τις σημαντικές ανταλλαγές ενεργού ισχύος μπορούν, σε συνδυασμό με τους μετατροπείς ηλεκτρονικών ισχύος που χρησιμοποιούνται, να εξασφαλίσουν μεγάλες δυνατότητες παραγωγής – απορρόφησης άεργου ισχύος ανάλογα με τις ανάγκες του δικτύου στο οποίο τοποθετούνται. Από τα μέχρι στιγμής ανεπτυγμένα στοιχεία RFB, το σύστημα VRB παρουσιάζει τα καλύτερα χαρακτηριστικά, με υψηλές αποδόσεις άνω των 80% σε μεγάλες εγκαταστάσεις και μεγάλη διάρκεια ζωής. Επίσης, οι μπαταρίες VRB παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα λόγω της χρήσης του ίδιου διαλύματος στα δοχεία θετικού και αρνητικού πόλου, γεγονός το οποίο αποτρέπει τα προβλήματα ανάμιξης των αντίστοιχων ηλεκτρολυτών λόγω μακρόχρονης χρήσης. Αυτό σημαίνει ότι, θεωρητικά, οι ηλεκτρολύτες δεν έχουν όριο διάρκειας ζωής, με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση των προβλημάτων διαχείρισης τοξικών αποβλήτων.

Η ειδική διαμόρφωση των μπαταριών βαναδίου τους προσδίδει σημαντικά πλεονεκτήματα χρήσης σε συστήματα ηλεκτροκίνησης:

- Γρήγορη επαναφόρτιση με αντικατάσταση του υγρού των ηλεκτρολυτών, η οποία επιτρέπει την αδιάλειπτη λειτουργία συστημάτων ηλεκτροκίνησης, σε αντίθεση με τα υφιστάμενα συστήματα μπαταριών,
- Επαναφόρτιση του υγρού των ηλεκτρολυτών με χρήση ενέργειας που παρέχεται από ανανεώσιμες πηγές ή ενέργεια που παρέχεται από το δίκτυο κατά τις ώρες μη αιχμής, επιτρέποντας έτσι τη βέλτιστη αξιοποίηση των ενεργειακών αποθεμάτων,
- Μεγαλύτερη απλότητα κατασκευής, ασφάλεια και απόδοση σε σχέση με τις κυψέλες καυσίμου,
- Συμβολή στην περαιτέρω ανάπτυξη και εξάπλωση των συστημάτων ηλεκτροκίνησης, με τα αντίστοιχα οφέλη στο περιβάλλον και την εξοικονόμηση ενέργειας.

Οι μπαταρίες RFB είναι ο μοναδικός τύπος μπαταρίας που επιτρέπει τόσο τη σταδιακή ηλεκτρική επαναφόρτιση όσο και την άμεση επαναφόρτιση μέσω επανεφοδιασμού του ηλεκτρολύτη βαναδίου. Οι χρησιμοποιημένοι ηλεκτρολύτες μπορούν να επαναφορτιστούν με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας σε ώρες μη αιχμής. Έτσι, ελαχιστοποιείται έμμεσα η ανάγκη δημιουργίας νέων σταθμών παραγωγής για την κάλυψη της αύξησης φορτίου που προκαλείται από τα ηλεκτρικά οχήματα.

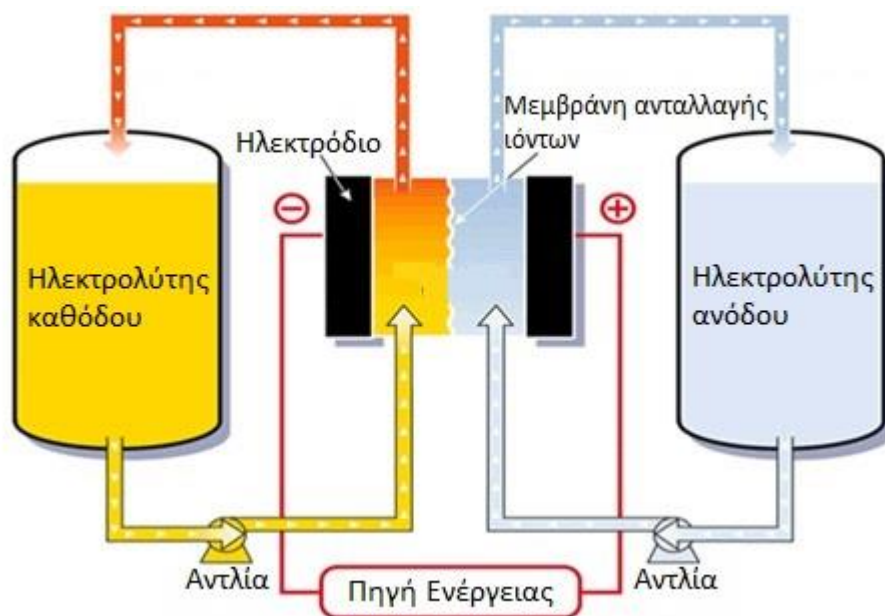
Οι μπαταρίες βαναδίου παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις μπαταρίες Μολύβδου – Οξέος:

- Μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς διαρκή επιτήρηση μειώνοντας έτσι τα κόστη συντήρησης (0.001\$/kWh),
- Δεν παρουσιάζουν υποβάθμιση μετά από συνεχόμενες φορτίσεις/εκφορτίσεις σε μεγάλο βάθος φόρτισης/εκφόρτισης, καθώς μπορούν να φορτιστούν/εκφορτιστούν περισσότερες από 130000 φορές χωρίς μείωση της απόδοσης του συστήματος,
- Έχουν απόδοση 70 – 78%,
- Χαρακτηρίζονται από λόγο φόρτισης/εκφόρτισης 1:1, ο οποίος είναι ίσος με κλάσμα του χρόνου ο οποίος απαιτείται από άλλα συστήματα μπαταριών και
- Παρουσιάζουν μικρότερη συγκέντρωση οξέος.

Ωστόσο, το βασικό μειονέκτημα της μπαταρίας VRB για εφαρμογές ηλεκτρικών οχημάτων είναι η σχετικά χαμηλή πυκνότητα ενέργειας σε σύγκριση με τις μπαταρίες Νικελίου – Μετάλλου Υδριδίου και ιόντων λιθίου. Η πυκνότητα ενέργειας της μπαταρίας RFB σχετίζεται με τη συγκέντρωση ιόντων οξειδοαναγωγής στο διάλυμα, με τιμές συνήθως 25 Wh/kg, με βάση τη μέγιστη πυκνότητα συγκέντρωσης ιόντων για μεγάλο εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας. Επιπλέον, διερευνάται η ανάπτυξη μπαταρίας με στερεό ηλεκτρολύτη βαναδίου (gel). Οι μπαταρίες αυτές παρουσιάζουν δυνατότητα εφαρμογής σε υβριδικά οχήματα με απαιτούμενη αυτονομία 15 – 20 λεπτών [72].



Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη τις τεχνολογικές εξελίξεις των συσσωρευτών βαναδίου, διαφαίνεται ότι θα αποτελέσουν ένα ελκυστικό ανταγωνιστή των άλλων τύπων συσσωρευτών και των κυψελών καυσίμου στις εφαρμογές των συστημάτων κίνησης των ηλεκτρικών οχημάτων.



Εικόνα 3-13 Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας συσσωρευτών VRB [73]

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τα κυριότερα χαρακτηριστικά των μπαταριών ανά κατηγορία.

Πίνακας 3-2 Χαρακτηριστικά συχνά χρησιμοποιούμενων μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων

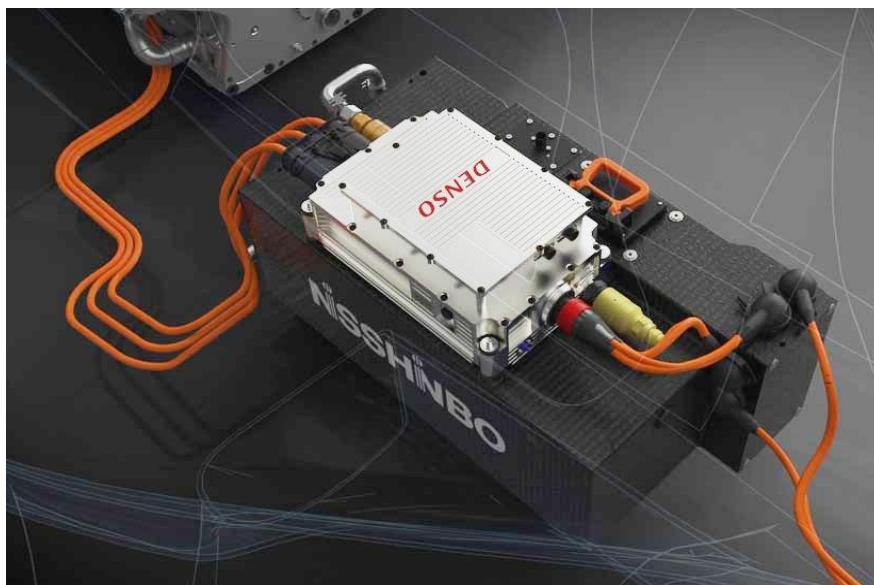
| Τύπος Μπαταρίας | Πυκνότητα Ενέργειας (Wh/kg) | Ισχύς/Βάρος (W/kg) | Κόστος Ενέργειας (Wh/\$) | Βάθος Εκφόρτισης (%) | Τάση Κυττάρου (V) |
|-----------------|-----------------------------|--------------------|--------------------------|----------------------|-------------------|
| Lead-Acid       | 33 – 42                     | 180                | 7 – 18                   | 50 – 95              | 2                 |
| NiCd            | 40 – 60                     | 150                | 5 – 10                   | 70 – 90              | 1.2               |
| NiMH            | 30 – 80                     | 250 – 1000         | 2.75                     | 60 – 70              | 1.2               |
| Li-Ion          | 100 – 265                   | 250 – 340          | 2.5                      | 80 – 90              | 3.7               |
| “Zebra”         | 90                          | 150                | 4.54                     | 97                   | 2.58              |
| NiZn            | 100                         | > 3000             | 2 – 3                    | 80                   | 1.65              |
| ZnBr            | 34.4 – 54                   | 20 – 40            | 2.5                      | 100                  | 1.8               |
| VRB             | 25 – 50                     | 31.3 – 125         | 6.67                     | 75 – 85              | 1.15 – 1.55       |

### 3.6.1.9 Υπερπυκνωτές

Οι υπερπυκνωτές (supercapacitors/ultracapacitors) χρησιμοποιούνται σε πολλά ηλεκτρικά οχήματα. Οι πυκνωτές, γενικά, είναι ηλεκτρικές συσκευές, οι οποίες χρησιμοποιούνται, για να αποθηκεύουν και να ελευθερώνουν ηλεκτρική ενέργεια. Την αποθηκεύουν μέσα σε ένα

ηλεκτροστατικό πεδίο ανάμεσα σε ένα ζευγάρι ηλεκτρόδια. Ο πυκνωτής έχει το πλεονέκτημα να ελευθερώνει όλη του την ενέργεια σε μια στιγμή, σε αντίθεση με την μπαταρία που ελευθερώνει σιγά σιγά την ενέργεια της. Επίσης έχει την ικανότητα να φορτίζεται και να αποφορτίζεται πολύ γρήγορα. Οι πυκνωτές δεν αντιμετωπίζουν πρόβλημα πτώσης της απόδοσης τους ανάλογα με τον αριθμό κύκλων φόρτισης/εκφόρτισής τους, ακόμα και αν οι κύκλοι πλήρους φόρτισης, πλήρους εκφόρτισης ξεπεράσουν τους 100.000. Είναι ικανοί να αποδώσουν ρεύματα μεγέθους σημαντικά πολλαπλάσιου από εκείνου που θα έκανε μια μπαταρία να εκραγεί. Σε αυτά προστίθεται και ο ελάχιστος χρόνος, που απαιτείται για την φόρτιση τους, άρα και η αυξημένη δυνατότητα τους να αποθηκεύσουν μεγάλα ποσά ενέργειας καθώς και η σημαντική μειωμένη εσωτερική τους αντίσταση. Έτσι δημιουργείται η αίσθηση ότι οι πυκνωτές αποτελούν μια πλήρως αξιόπιστη λύση για τα ηλεκτρικά οχήματα. Ωστόσο, αυτό δεν συμβαίνει καθώς υπάρχουν και σοβαρά μειονεκτήματα. Κυριότερα είναι η μεγάλη μεταβολή της τάσης κατά την εκφόρτιση και ο μεγάλος όγκος που απαιτείται να έχουν. Η λύση έχει βρεθεί με τους υπερπυκνωτές, μια τεχνολογία ελάχιστων δεκαετιών, η οποία βασίζεται μεταξύ άλλων, στην ανάπτυξη ενεργού επιφάνειας, σε ολόκληρη την μάζα των ηλεκτροδίων και όχι μόνο στην εξωτερική τους επιφάνεια. Με αυτόν τον τρόπο, έγινε εφικτή η μείωση του συνολικού τους όγκου, σε ένα μόνο κλάσμα αυτού, των συμβατικών πυκνωτών και ο εντυπωσιακός πολλαπλασιασμός της ενέργειας, που μπορεί να αποθηκευθεί ανά μονάδα βάρους. Αυτή τη στιγμή, η πιο εξελιγμένη γενιά υπερπυκνωτών για αυτοκίνητα έχει σχεδόν διπλάσιο λόγο ισχύος εξόδου προς βάρος, από αυτόν των συσσωρευτών Νικελίου – Μετάλλου Υδριδίου, ενώ διατηρεί τα πλεονεκτήματα των πυκνωτών, όσον αφορά την διάρκεια ζωής (αριθμός κύκλων ολικής φόρτισης/εκφόρτισης) και κυρίως την σημαντικά υψηλότερη ταχύτητα φόρτισης σε σύγκριση με τις συμβατικές μπαταρίες ιόντων ή υδριδίων [62].

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί, ότι οι υπερπυκνωτές μπορούν ακόμα να τοποθετηθούν παράλληλα με τους συσσωρευτές και να αναλαμβάνουν τα μεταβατικά ρεύματα των επιταχύνσεων και των επιβραδύνσεων του οχήματος. Με τον τρόπο αυτό οι συσσωρευτές καταπονούνται ελάχιστα από μεγάλα ρεύματα με αποτέλεσμα να αυξάνεται η διάρκεια ζωής τους [9].

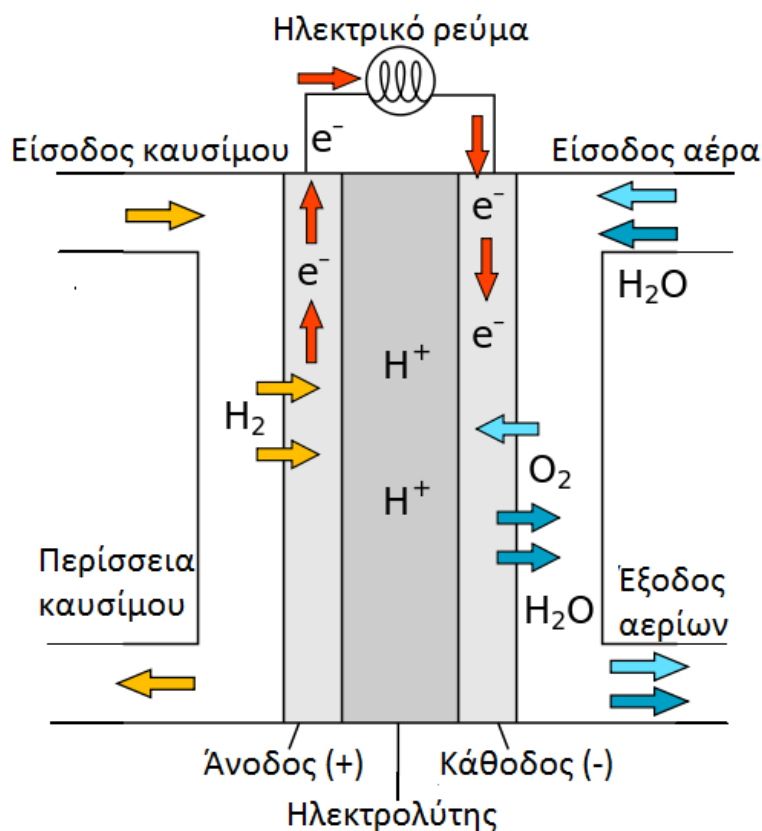


Εικόνα 3-14 Υπερπυκνωτής στο υβριδικό αγωνιστικό όχημα της Toyota TS040 [74]

### 3.6.1.10 Κυψέλες καυσίμου

Η τελευταία δεκαετία χαρακτηρίζεται από αλματώδη ανάπτυξη της ερευνητικής δραστηριότητας στο πεδίο των κυψελών καυσίμου, δημιουργώντας έτσι τις προϋποθέσεις για υιοθέτησή τους στα συστήματα ηλεκτροκίνησης. Η βασική αρχή λειτουργίας των κυψελών καυσίμου είναι γνωστή εδώ και 150 χρόνια, ωστόσο, μια ποικιλία τεχνικών και οικονομικών προβλημάτων τις είχαν κρατήσει στο περιθώριο των τεχνολογικών εφαρμογών.

Η διαφορά των κυψελών καυσίμου με τις μπαταρίες μπορεί να συνοψιστεί ως εξής: οι μπαταρίες αποθηκεύουν ενέργεια, ενώ οι κυψέλες καυσίμου μετατρέπουν απευθείας τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε ηλεκτρική μέσω ηλεκτροχημικής αντίδρασης. Μια κυψέλη καυσίμου υδρογόνου διαθέτει δύο ηλεκτρόδια, μία άνοδο και μία κάθοδο, που χωρίζονται από μια μεμβράνη. Το οξυγόνο περνά πάνω από το ένα ηλεκτρόδιο και το υδρογόνο από το άλλο. Το υδρογόνο αντιδρά με έναν καταλύτη στην άνοδο (+) που μετατρέπει το αέριο υδρογόνο σε αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια ( $e^-$ ) και θετικά φορτισμένα ιόντα ( $H^+$ ). Τα ηλεκτρόνια ρέοντας από την κυψέλη αποτελούν ένα ρεύμα που χρησιμοποιείται ως ηλεκτρική ενέργεια. Τα ιόντα του υδρογόνου τώρα κινούνται μέσω της ηλεκτρολυτικής μεμβράνης προς την κάθοδο (-), όπου ενώνονται με το οξυγόνο και τα ηλεκτρόνια, για να παράξουν νερό ( $H_2O$ ). Η ίδια η κυψέλη δεν εκφορτίζεται ούτε εξαντλείται η ενέργειά της, όπως συμβαίνει με τις μπαταρίες. Σε ένα ηλεκτρικό όχημα με κυψέλη καυσίμου, η αποθήκευση γίνεται στη δεξαμενή καυσίμου, όπως στα συμβατικά οχήματα.



Εικόνα 3-15 Αρχή λειτουργίας κυψέλης καυσίμου [75]

Η αποθήκευση του υδρογόνου εγείρει διάφορα ζητήματα. Παρότι το υδρογόνο έχει υψηλή πυκνότητα ενέργειας (περίπου ίση με 150 MJ/kg) είναι τόσο ελαφρύ, που ένα λίτρο, πεπιεσμένο σε 35 MPa (περίπου 350 ατμόσφαιρες) ζυγίζει μόλις 31 γραμμάρια και αποδίδει μόνο 4.4 MJ. Αντίθετα, η βενζίνη έχει χαμηλότερη πυκνότητα ενέργειας (περίπου ίση με 50 MJ/kg), αλλά ένα λίτρο της είναι ισοδύναμο με 30 MJ. Ομολογουμένως, οι κυψέλες καυσίμου και οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι πιο αποδοτικοί από τις μηχανές εσωτερικής καύσης, ωστόσο, για να παρασχεθεί σε ένα ηλεκτρικό όχημα εύρος απόδοσης 500 km απαιτούνται 6 kg υδρογόνου. Συμπιεσμένο στα 35 MPa, το υδρογόνο θα καταλάβει 200 λίτρα, ενώ με την προσθήκη των σωληνώσεων, βαλβίδων και συστημάτων ρύθμισης και συμπίεσης, ο απαιτούμενος χώρος αποθήκευσης είναι διπλάσιος [76].

Εταιρείες, με μεγάλη τεχνογνωσία σε μπαταρίες Νικελίου – Μετάλλου Υδριδίου, έχουν χρησιμοποιήσει τη γνώση στα υδρίδια μετάλλου για την ανάπτυξη κραμάτων μετάλλου, που μπορούν να αποθηκεύσουν 7% του βάρους τους σε υδρογόνο και σε χαμηλή πίεση των 200 kPa. Με αυτήν την τεχνολογία μπορούν να αποθηκευτούν 6 kg υδρογόνου σε 120 λίτρα, δηλαδή σε περίπου διπλάσιο μέγεθος δεξαμενής από αυτό που χρησιμοποιείται σε συμβατικά οχήματα μέσου μεγέθους.

Ωστόσο, το βάρος αποθήκευσης παραμένει σημαντικό πρόβλημα, ενώ η παραγωγή υδρογόνου είναι ένα ακόμη ζήτημα προς επίλυση, καθώς δεν υπάρχουν αντίστοιχες υποδομές ή προοπτικές εγκατάστασής τους.

Μία εναλλακτική λύση για την αποθήκευση υδρογόνου είναι η συνεχής παροχή του, μέσω παραγωγής από πιο εύχρηστα υλικά. Διάφορες αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν στραφεί στη δημιουργία συνεπτυγμένων χημικών συστημάτων για την παραγωγή υδρογόνου από κοινά καύσιμα. Η εναλλακτική αυτή εξαλείφει τα προβλήματα υποδομής, δημιουργεί όμως προβλήματα πολυπλοκότητας και κινδύνους ρύπανσης παρόμοιους με αυτούς των συμβατικών οχημάτων. Τέλος, η ασφάλεια του υδρογόνου σε σχέση με τη βενζίνη κατά τη μετακίνηση των οχημάτων παραμένει ακόμη ένα ανοιχτό ζήτημα [68].



Εικόνα 3-16 Το Audi A7 Sportback h-tron Quattro, με κυψέλες καυσίμου και plug-in φόρτιση [77]

### 3.6.2 Ηλεκτρικός Κινητήρας

Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι ένας μηχανισμός, που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Γενικά, αποτελείται από δύο μέρη, ένα σταθερό και ένα κινητό μέρος. Το σταθερό μέρος ονομάζεται στάτης (stator), έχει την μορφή κυλίνδρου και περιβάλλει το κινητό μέρος, το οποίο ονομάζεται δρομέας ή ρότορας (rotor) και με την κατάλληλη στήριξη, μπορεί και περιστρέφεται εντός του σταθερού. Για να περιστραφεί ο δρομέας, πρέπει να διοχετευτεί ρεύμα στα τυλίγματά του, συνήθως μέσω των ψηκτρών (brushes), και να βρεθεί μέσα σε μαγνητικό πεδίο. Αυτό το μαγνητικό πεδίο το δημιουργούν ειδικά τυλίγματα, που είναι στερεωμένα στο στάτη, πάνω σε ειδικά διαμορφωμένες κατασκευές (πόλους). Τα τυλίγματα αυτά τροφοδοτούνται με ρεύμα και μετατρέπουν τους πόλους σε ηλεκτρομαγνήτες, εντός του μαγνητικού πεδίου των οποίων, βρίσκεται ο δρομέας. Τα τυλίγματα του δρομέα στους περισσότερους ηλεκτροκινητήρες είναι σχεδόν τα ίδια και αυτά που διαφέρουν είναι του στάτη. Το περίβλημα του κάθε κινητήρα είναι καλυμμένο με ψύκτρες, όπως επίσης φέρει κι έναν ανεμιστήρα στο πίσω μέρος του, για να αποβάλλεται η θερμότητα. Όλοι οι κινητήρες έχουν στερεωμένο στο περίβλημά τους ένα καρτελάκι με όλες τις πληροφορίες που αφορούν τον κινητήρα καθώς και ένα κουτί μέσα στο οποίο βρίσκονται οι ηλεκτρικές συνδεσμολογίες τροφοδότησής του [63].

Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι ίσως το πλέον σημαντικό τμήμα ενός ηλεκτρικού οχήματος. Η επιλογή του είναι καθοριστικής σημασίας για την απόδοση του ηλεκτρικού συστήματος πρόωσης και συνεπώς θα πρέπει να βασίζεται σε αυστηρά κριτήρια, που περιλαμβάνουν:

- ✓ Υψηλή απόδοση
- ✓ Υψηλή ροπή σε μικρές ταχύτητες
- ✓ Παροχή σταθερής ισχύος σε ευρεία περιοχή λειτουργίας
- ✓ Μεγάλη διάρκεια ζωής
- ✓ Χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης.

Στα σύγχρονα ηλεκτρικά οχήματα συναντάται μεγάλη ποικιλία ηλεκτρικών κινητήρων.

Οι πιο διαδεδομένες επιλογές όμως είναι:

- Κινητήρας συνεχούς ρεύματος (DC Motor)
- Κινητήρας επαγωγής (Induction Motor – IM) ή διαφορετικά ασύγχρονος εναλλασσόμενος κινητήρας
- Σύγχρονος κινητήρας μονίμων μαγνητών (Permanent Magnet Synchronous Machine – PMSM)
- Κινητήρας μαγνητικής αντίδρασης (Switched Reluctance Motor – SRM)

#### 1) Κινητήρας συνεχούς ρεύματος (DC Motor)

Ένας τύπος κινητήρα που έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε ηλεκτροκίνητα οχήματα είναι ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος. Η τεχνολογική ωριμότητα και ο απλός έλεγχός του υπερσχύουν σε κάποιες εφαρμογές έναντι της απαίτησης για συντήρηση και αντικατάσταση των ψηκτρών. Ωστόσο η αξιοπιστία των κινητήρων στα ηλεκτρικά οχήματα καθώς και η ανάγκη για εξάλειψη της ανάγκης για συντήρηση είναι πρωτεύουσας σημασίας. Τεχνολογικές εξελίξεις έχουν θέσει τους κινητήρες χωρίς σύστημα συλλέκτη και ψήκτρες, επειδή έχουν μεγαλύτερη αξιοπιστία και χαμηλότερο λειτουργικό κόστος.

#### 2) Κινητήρας επαγωγής (Induction Motor – IM)

Ο κινητήρας επαγωγής είναι ένας τύπος κινητήρα με ευρεία εφαρμογή στα ηλεκτροκίνητα οχήματα, κυρίως λόγω του μικρού του κόστους, του εύκολου ελέγχου και της υψηλής αξιοπιστίας. Για την οδήγησή του χρησιμοποιείται διάταξη αντιστροφεία με δυνατότητα μεταβολής της συχνότητας, ώστε να γίνεται έλεγχος της ταχύτητας περιστροφής.

#### 3) Σύγχρονος κινητήρας μόνιμων μαγνητών (Permanent Magnet Synchronous Machine – PMSM)

Μια επιπλέον εναλλακτική λύση, που αναπτύσσεται όλο και περισσότερο, είναι ο σύγχρονος κινητήρας με μόνιμους μαγνήτες στο δρομέα. Με την αντικατάσταση του τυλίγματος πεδίου από μόνιμους μαγνήτες, επιτυγχάνεται μείωση των απωλειών χαλκού, με την απουσία των ψηκτρών να αυξάνει την αξιοπιστία (brushless motor). Οι κινητήρες αυτοί τροφοδοτούνται από ημιτονοειδή τάση, έχουν χαμηλό κόστος κατασκευής, υψηλή απόδοση και χαρακτηρίζονται από μεγάλη πυκνότητα ισχύος.

#### 4) Κινητήρας μαγνητικής αντίδρασης (Switched Reluctance Motor – SRM)

Ένας άλλος τύπος μηχανής είναι οι σύγχρονοι κινητήρες μαγνητικής αντίδρασης, οι οποίοι δε διαθέτουν ούτε τύλιγμα διέγερσης ούτε μόνιμους μαγνήτες στο δρομέα, αλλά εκμεταλλεύονται αποκλειστικά τη ροπή εκτυπότητας. Αυτός ο τύπος μηχανής έχει το πλεονέκτημα της απλότητας κατασκευής και του μικρού κόστους, δεν έχει όμως την ικανότητα παροχής μεγάλης ισχύος εξόδου, [78].

Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των πιο διαδεδομένων κινητήρων για εφαρμογές ηλεκτροκίνησης.

Πίνακας 3-3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κινητήρων για ηλεκτρικά οχήματα [79]

| Κινητήρας συνεχούς ρεύματος (DC Motor) | Κινητήρας επαγωγής (IM)                        | Σύγχρονος κινητήρας μόνιμων μαγνητών (PMSM) | Κινητήρας μαγνητικής αντίδρασης (SRM) |
|--|--|---|---------------------------------------|
| ✓ Απλός έλεγχος                        | ✓ Απλή κατασκευή                               | ✓ Υψηλή απόδοση                             | ✓ Απλή κατασκευή                      |
| ✓ Μικρό μέγεθος                        | ✓ Χαμηλό κόστος κατασκευής                     | ✓ Μεγάλη πυκνότητα ισχύος                   | ✓ Χαμηλό κόστος κατασκευής            |
| ✓ Ευρύ φάσμα ταχυτήτων                 | ✓ Αξιόπιστη λειτουργία σε επικίνδυνες συνθήκες | ✓ Υψηλή αξιοπιστία                          | ✓ Ευρεία περιοχή μέγιστης ισχύος      |
| x Μικρή πυκνότητα ισχύος               | x Απαιτητικός έλεγχος                          | x Υψηλό κόστος κατασκευής                   | x Απαιτητικός έλεγχος και σχεδιασμός  |
| x Υψηλό κόστος συντήρησης              | x Μη γραμμικότητες στο δυναμικό του μοντέλο    | x Θερμοκρασιακά ευαίσθητος και εύθραυστος   | x Κυμάτωση ροπής                      |
| x Χαμηλή απόδοση                       |  |   | x Ακουστικός θόρυβος                  |



Εικόνα 3-17 Σύγχρονος κινητήρας μόνιμων μαγνητών του Volvo XC90 T8 [80]

### 3.6.3 Ηλεκτρονικός Μετατροπέας Ισχύος

Ο ηλεκτρονικός μετατροπέας είναι το τμήμα εκείνο του συστήματος, που παίρνει τη συνεχή τάση των συσσωρευτών και τη μετατρέπει σε κατάλληλη μορφή για την τροφοδότηση του κινητήρα. Επιπλέον, μια πολύ σημαντική διεργασία που πραγματοποιεί, είναι ο έλεγχος της ροπής και των στροφών του κινητήρα. Η επιλογή του μετατροπέα, που θα χρησιμοποιηθεί σε ένα ηλεκτρικό όχημα, εξαρτάται καθαρά από τον ηλεκτρικό κινητήρα που εφαρμόζεται. Έτσι, με βάση τους κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος (Σ.Ρ.) ή Εναλλασσόμενου Ρεύματος (Ε.Ρ.), που χρησιμοποιούνται, αντίστοιχα έχουμε μετατροπείς Συνεχούς Τάσης – Συνεχούς Τάσης τύπου chopper, και μετατροπείς Συνεχούς Τάσης – Εναλλασσόμενης Τάσης τύπου αντιστροφέα (inverter). Οι μετατροπείς αντιστροφέα μπορούν να οδηγούν κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, που απαιτούν είτε ημιτονοειδή τάση (ασύγχρονοι και σύγχρονοι κινητήρες) είτε τετραγωνικούς παλμούς (κινητήρες τύπου brushless και κινητήρες τύπου switched reluctance). Για κάθε μια κατηγορία μετατροπέων έχουμε τα ακόλουθα:

#### 1) Μετατροπείς Συνεχούς Τάσης – Συνεχούς Τάσης τύπου chopper

Υπάρχουν δύο τύποι μετατροπέων chopper. Ο ένας χρησιμοποιεί ως διακοπτικό στοιχείο το thyristor, ενώ περιέχει και βοηθητικό κύκλωμα για τη σβέση του. Το βασικό του πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα ελέγχου μεγάλης ισχύος, όμως λόγω του κυκλώματος σβέσης έχει μεγαλύτερη πολυπλοκότητα. Επιπλέον, η συχνότητα λειτουργίας του διακοπτικού στοιχείου είναι σχετικά μικρή με αποτέλεσμα η εξομάλυνση του ρεύματος να απαιτεί σχετικά μεγάλη επαγωγή εξομάλυνσης. Τέλος, ένα επιπλέον πλεονέκτημα είναι το μεγαλύτερο εύρος ρύθμισης του λόγου κατάτμησης, που συνεπάγεται μεγαλύτερο εύρος ρύθμισης της τάσεως εξόδου [12, 78].

#### 2) Μετατροπείς Συνεχούς Τάσης – Εναλλασσόμενης Τάσης τύπου αντιστροφέα με Διαμόρφωση Εύρους Παλμών (Pulse Width Modulation – PWM)

Οι μετατροπείς αυτού του τύπου χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες ανάλογα με το αν τροφοδοτούνται από πηγή τάσης ή ρεύματος. Ένα πολύ σημαντικό κριτήριο αποτελεί η καταλληλότητα της μεθόδου για εφαρμογές πραγματικού χρόνου και εφαρμογές βασιζόμενες σε μικροελεγκτές και ψηφιακούς επεξεργαστές σήματος (Digital Signal Processors – DSPs). Η πολυπλοκότητα του όλου συστήματος απαιτεί τη χρήση ενός μικροϋπολογιστικού συστήματος (μικροεπεξεργαστές, μικροελεγκτές, DSPs) με τη βοήθεια του οποίου μπορούν να επιτευχθούν περίπλοκες τεχνικές παλμοδότησης αλλά και ελέγχου, όπως Διανυσματικός Έλεγχος (Vector Control), Προσαρμοστικός Έλεγχος (Model Referencing Adaptive Control) και Ασαφής Έλεγχος (Fuzzy Control).

#### 3) Μετατροπείς Συνεχούς Τάσης – Εναλλασσόμενης Τάσης τύπου αντιστροφέα συντονισμού (Resonant Inverter)

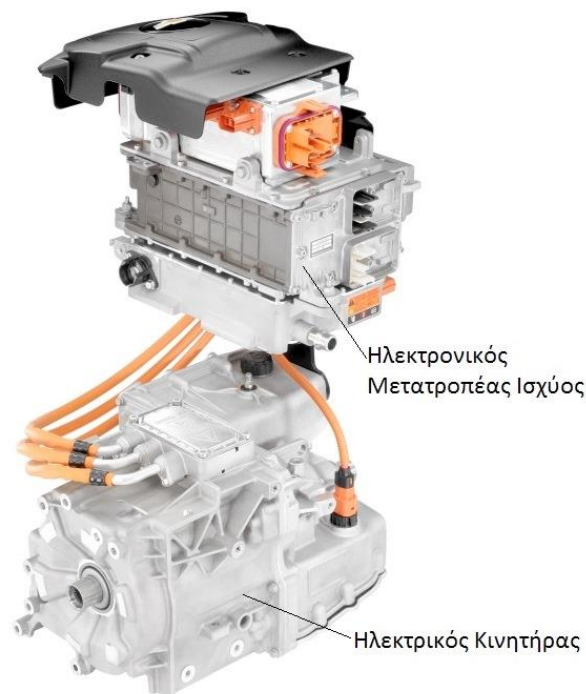
Στους αντιστροφείς συντονισμού γίνεται προσθήκη ενός κυκλώματος ταλάντωσης, ούτως ώστε να επιτευχθούν οι ελάχιστες δυνατές απώλειες του μετατροπέα. Ανάλογα με την τοποθέτηση του κυκλώματος συντονισμού διακρίνουμε τους αντιστροφείς με κύκλωμα συντονισμού εν σειρά και με παράλληλο κύκλωμα συντονισμού. Το κύκλωμα συντονισμού λειτουργεί με τέτοιο τρόπο, ώστε η μετάβαση στην κατάσταση αγωγής του στοιχείου να γίνεται είτε υπό μηδενική τάση



(Zero Voltage Switching – ZVS) είτε υπό μηδενικό ρεύμα (Zero Current Switching – ZCS). Με τον τρόπο αυτό οι απώλειες επάνω στα στοιχεία μειώνονται δραστικά αφού οι διακοπτικές απώλειες μηδενίζονται. Εκτός από το βασικό αυτό πλεονέκτημα έχουμε τα ακόλουθα:

- Μικρότερες ψυκτικές απαιτήσεις καθώς οι θερμικές απώλειες είναι ελάχιστες.
- Μεγάλη πυκνότητα ισχύος.
- Μικρότερες ηλεκτρομαγνητικές παρενοχλήσεις λόγω της μορφής των τάσεων και των ρευμάτων.
- Ελάχιστος ακουστικός θόρυβος και
- Αυξημένη αξιοπιστία.

Παρά όμως τα πολλά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν έχουν και δύο σημαντικά μειονεκτήματα τα οποία εμποδίζουν τη διάδοσή τους. Το κόστος της συσκευής είναι αυξημένο λόγω του κυκλώματος συντονισμού, ενώ ο έλεγχος μιας τέτοιας διάταξης είναι ιδιαίτερα δύσκολος [12].



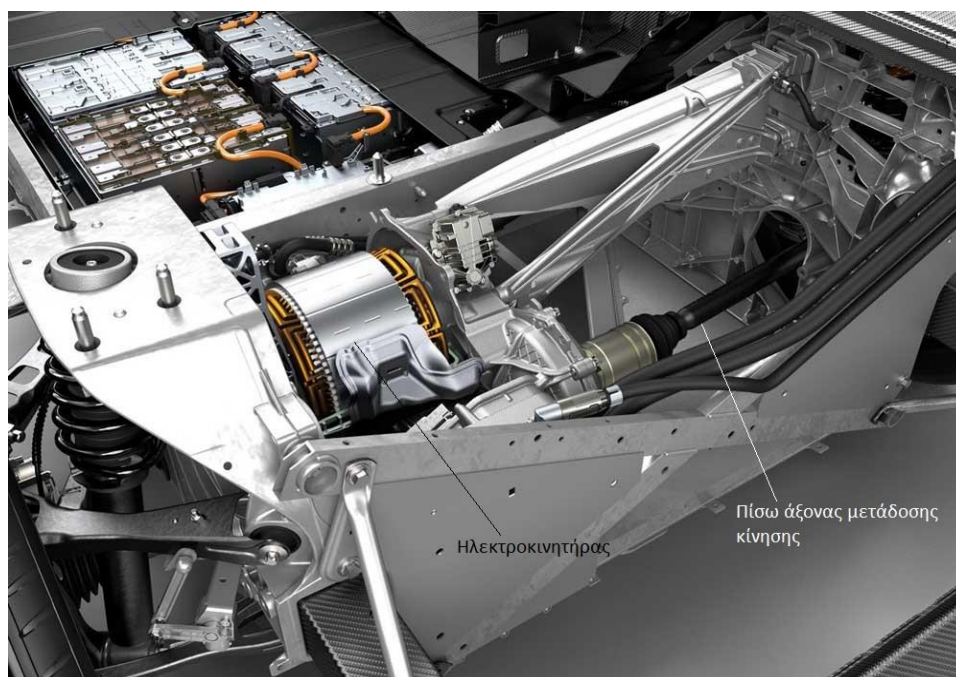
*Εικόνα 3-18 Ηλεκτρικός Κινητήρας του Chevrolet Spark EV, που ρυθμίζεται από τον inverter του [81]*

### **3.6.4 Σύστημα Μετάδοσης Κίνησης**

Γενικά, σύστημα μετάδοσης κίνησης ενός αυτοκινήτου, ακόμη και υβριδικού, το οποίο διαθέτει μηχανή εσωτερικής καύσης και μηχανικά μέρη, εξασφαλίζει τη μετάδοση της κίνησης από την μηχανή στους κινητήριους τροχούς. Η διαμόρφωσή του εξαρτάται από τη θέση, στην οποία τοποθετείται η μηχανή, καθώς και από το ποιοι θα είναι οι κινητήριοι τροχοί. Τα κυριότερα μέρη του, λοιπόν, είναι ο συμπλέκτης, το κιβώτιο ταχυτήτων, ο άξονας μετάδοσης της κίνησης, το διαφορικό, τα ημιαξόνια και οι άξονες των τροχών.

Αναλυτικότερα, ο συμπλέκτης δημιουργεί τη σύμπλεξη και την αποσύμπλεξη της μηχανής με το υπόλοιπο σύστημα μετάδοσης της κίνησης. Τοποθετείται στο σφόνδυλο της μηχανής και βρίσκεται μεταξύ του σφονδύλου και του κιβωτίου ταχυτήτων. Πρέπει να έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει τη ροπή της μηχανής στο υπόλοιπο σύστημα μετάδοσης της κίνησης. Το κιβώτιο ταχυτήτων αποτελείται από διάφορους συνδυασμούς οδοντωτών τροχών και επιτρέπει στον οδηγό του αυτοκινήτου την αλλαγή σχέσης ή και φοράς μετάδοσης της κίνησης από τη μηχανή στους τροχούς. Ο άξονας μετάδοσης της κίνησης είναι ένας αρκετά ισχυρός μεταλλικός σωλήνας, που έχει ως σκοπό να μεταδίδει την κίνηση από το κιβώτιο ταχυτήτων στον κινητήριο άξονα. Η θέση των δύο αυτών μερών δεν είναι σταθερή, ούτε ως προς την απόσταση που υπάρχει ανάμεσά τους, ούτε ως προς τη γωνία που σχηματίζεται μεταξύ τους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το κιβώτιο ταχυτήτων είναι στερεωμένο στο αμάξωμα του αυτοκινήτου, ενώ ο άξονας μεταβάλλει τη θέση του, ανάλογα με τη συμπεριφορά του συστήματος ανάρτησης. Ο σκοπός του διαφορικού με τη σειρά του είναι διπλός, αφενός επιτρέπει στους κινητήριους τροχούς να έχουν διαφορετική ταχύτητα, όταν στρίβουν και αφετέρου διανέμει ίση ροπή σε κάθε κινητήριο τροχό. Τέλος, οι άξονες των τροχών είναι επιμήκεις και ολόσωμοι. Τοποθετούνται κάθετα προς το μήκος του αυτοκινήτου και φέρουν στα άκρα τους τροχούς. Συνδέονται με το πλαίσιο – αμάξωμα, μέσω ελατηρίων και άλλων εξαρτημάτων του συστήματος ανάρτησης, [37].

Όσον αφορά όμως το σύστημα μετάδοσης κίνησης για τα αμιγώς ηλεκτροκινούμενα οχήματα (BEV), τα οποία, όπως έχει προαναφερθεί, διαθέτουν έναν ή περισσότερους ηλεκτρικούς κινητήρες και μπαταρία, αυτό διαμορφώνεται με διάφορες τεχνολογίες. Είτε με σύνδεση του δρομέα του ηλεκτροκινητήρα με τον άξονα μετάδοσης κίνησης, είτε με απευθείας σύνδεση του δρομέα με τον άξονα του κινητήριου τροχού (in-wheel motor). Επίσης, το κιβώτιο ταχυτήτων, μπορεί να είναι αυτόματο, μίας σχέσης, με επιλογή διακοπών εκκίνησης «Start/Stop», πορείας «D», νεκράς «N» και όπισθεν «R».



Εικόνα 3-19 Σύνδεση ηλεκτροκινητήρα στον πίσω άξονα σε εγκάρσια τοποθέτηση στο [46]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> ΣΤΑΘΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Για τη διείσδυση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην αγορά και την ένταξή τους στην καθημερινότητα των σύγχρονων πόλεων απαιτείται η κατασκευή των κατάλληλων υποδομών που απαιτεί η τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων.

Πράγματι, η μαζική κυκλοφορία των ηλεκτρικών οχημάτων θα φέρει στο προσκήνιο νέες προκλήσεις, οι οποίες θα πρέπει να αντιμετωπισθούν. Μία από αυτές αφορά τον τρόπο φόρτισης των νέων ηλεκτρικών οχημάτων με την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας (εξ' επαφής ή εξ' επαγωγής), ενώ μία άλλη παράμετρος σχετίζεται με τον χώρο φόρτισης (μέσω οικιακού δικτύου είτε μέσω κοινόχρηστων παροχών).

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναλυθούν οι τρόποι φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και οι σχετικές τεχνολογικές παράμετροι, από το σταθμό φόρτισης έως το σημείο σύνδεσης με το ηλεκτρικό όχημα.

### 4.1 Φόρτιση με επαφή

Η φόρτιση με επαφή απαιτεί τη χρήση συγκεκριμένων καλωδίων και βυσμάτων για τη διασύνδεση του οχήματος με το σταθμό φόρτισης. Την μέθοδο αυτή ακολουθούν οι περισσότεροι on-board (ενσωματωμένοι στο όχημα) φορτιστές ή συστήματα, που έχουν τα κυκλώματα φόρτισης και ελέγχου πάνω στο όχημα. Βέβαια, η μέθοδος αυτή έχει κάποια μειονεκτήματα, όπως η μη αυτοματοποιημένη διαδικασία που ακολουθείται, κατά την οποία ο άνθρωπος πρέπει να συνδέσει και να αποσυνδέσει το όχημα, πράγμα το οποίο αφήνει μεγάλα περιθώρια λάθους και ελλοχεύει ο κίνδυνος της ηλεκτροπληξίας, ιδίως σε υγρά περιβάλλοντα (υγρασία, βροχή). Επίσης, το μακρύ καλώδιο μπορεί να αποτελέσει αιτία ατυχήματος ή και τροφή για τυχόν τρωκτικά της περιοχής. Στην περίπτωση αυτή η αντικατάσταση επιβάλλεται αυξάνοντας το λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης. Τέλος, σε περιοχές όπου ο πάγος και το χιόνι είναι συνηθισμένο φαινόμενο, το βύσμα φόρτισης μπορεί να παγώσει πάνω στο όχημα κατά την διάρκεια φόρτισης σε έναν εξωτερικό σταθμό.

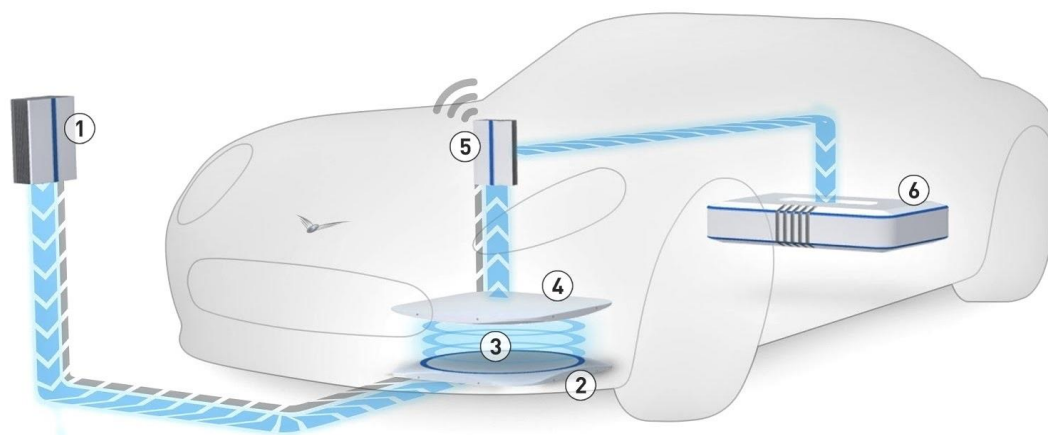


Εικόνα 4-1 Φόρτιση του ηλεκτρικού Tesla Model S μέσω καλωδίωσης [82]

## 4.2 Φόρτιση με επαγωγή

Στη φόρτιση με επαγωγή η μεταφορά ενέργειας από το σταθμό προς το όχημα δε γίνεται με αγωγίμη ζεύξη, αλλά μέσω ηλεκτρομαγνητικών πεδίων [83]. Πιο συγκεκριμένα, τα συστήματα επαγωγικής φόρτισης μεταφέρουν εναλλασσόμενη ισχύ δημιουργώντας ένα μαγνητικό κύκλωμα μεταξύ ενός πρωτεύοντος τυλίγματος στην πλευρά της τροφοδοσίας και ενός δευτερεύοντος τυλίγματος στην πλευρά του οχήματος. Έτσι, η ισχύς ρέει από το πρωτεύον στο δευτερεύον, όπως ακριβώς και σε ένα μετασχηματιστή δύο τυλιγμάτων. Επιπλέον, εφόσον ο συσσωρευτής έχει DC τάση και μπορεί να φορτιστεί μόνο με DC ρεύμα, το AC ρεύμα εξόδου του δευτερεύοντος τυλίγματος ανορθώνεται με την κατάλληλη διάταξη πριν φτάσει σε αυτόν. Οι επαγωγικοί φορτιστές συνήθως έχουν τα περισσότερα κυκλώματα φόρτισης και ελέγχου εκτός του οχήματος, και επικοινωνούν με αυτό μέσω υπέρυθρων ή ραδιοσυχνοτήτων. Η επαγωγική φόρτιση προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με την συμβατική φόρτιση καθώς η φόρτιση μπορεί να γίνει απλά και μόνο σταθμεύοντας το όχημα πάνω από το σημείο φόρτισης.

Πολλές εταιρίες έχουν αναπτύξει διάφορα συστήματα επαγωγικής φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων, όπως η γερμανική HELLA Electronics S.A. και η Evatran LLC, αλλά και η HEVO Power, η οποία συνεργάζεται με το New York University στο πλαίσιο ενός πιλοτικού προγράμματος για την μετατροπή των καπακιών υπονόμου σε ασύρματους σταθμούς φόρτισης για ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Ο εξοπλισμός θα είναι ανθεκτικός και ενσωματωμένος στα καπάκια και θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τμήμα της υποδομής σε δρόμους, πάρκινγκ, γκαράζ, λεωφόρους και άλλες ζώνες υψηλής κυκλοφορίας οχημάτων [84].



- |   |                           |   |
|---|---------------------------|---|
| ① Πηγή Ενέργειας                          | ② Πρωτεύον Πηνίο Εκπομπής | ③ Ασύρματη μεταφορά ενέργειας & δεδομένων |
| ④ Δευτερεύον Πηνίο ενσωματωμένο στο όχημα | ⑤ Σύστημα Ελέγχου         | ⑥ Μπαταρίες Οχήματος                      |

Εικόνα 4-2 Φόρτιση ηλεκτρικού αυτοκινήτου με επαγωγή [85]

Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1990 και τα δύο είδη φορτιστών ήταν διαδεδομένα, σταδιακά όμως η απλότητα και το χαμηλό κόστος βοήθησαν τους συμβατικούς φορτιστές να

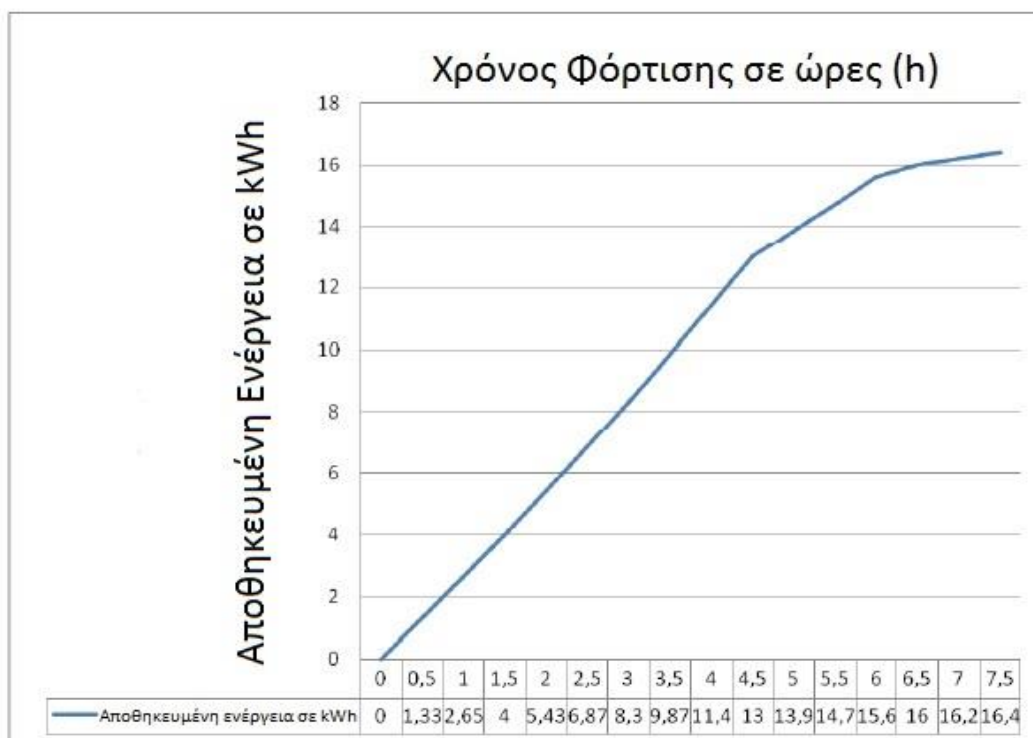
επικρατήσουν και υιοθετήθηκαν από τους περισσότερους κατασκευαστές. Έκτοτε η τεχνολογία των συμβατικών φορτιστών συνέχισε να εξελίσσεται και να ωριμάζει κάνοντας απίθανο για τους επαγωγικούς φορτιστές να μπορέσουν να τους συναγωνιστούν. Σήμερα η πλειοψηφία των φορτιστών που χρησιμοποιούνται και έχουν ελπίδες επιβίωσης και εξέλιξης είναι οι συμβατικοί με επαφή.

Πίνακας 4.1 Συγκριτικός πίνακας μεταξύ των δύο μεθόδων φόρτισης [86]

|                                 | <b>Φόρτιση με επαφή</b>                            | <b>Φόρτιση με επαγωγή</b>  |
|---------------------------------|--|--|
| <b>Κόστος</b>                   | Πιο οικονομική                                     | Πιο ακριβή   |
| <b>Περιπλοκότητα</b>            | Απλούστερη   | Αρκετά σύνθετη   |
| <b>Ασφάλεια</b>                 | Αρκετά καλή λόγω των τεχνικών ανίχνευσης σφαλμάτων | Καλύτερη λόγω της ηλεκτρικής απομόνωσης του οχήματος με την τροφοδοσία |
| <b>Ενεργειακή Αποδοτικότητα</b> | Πιο αποδοτική                                      | Όχι τόσο αποδοτική   |
| <b>Εφαρμογή Χρήσης</b>          | Αποτελεί την κατεύθυνση της αγοράς                 | Μη ώριμη τεχνολογία  |

### 4.3 Φόρτιση μέσω οικιακού δικτύου

Σε αυτού του είδους τη φόρτιση, έχουμε τους ιδιωτικούς χώρους με ιδιωτική πρόσβαση, όπως για παράδειγμα τα προσωπικά γκαράζ. Η διαδικασία φόρτισης έχει ορισμένα σημαντικά χαρακτηριστικά όπως για παράδειγμα το ότι γίνεται από μονοφασική παροχή και συνήθως νυχτερινές ώρες. Οι δυνατότητες του απλού οικιακού δικτύου μπορούν να προσδιοριστούν, αν ληφθεί υπόψη ότι η τάση του δικτύου είναι 230 V, ενώ οι γραμμές παροχών έχουν μέγιστη ένταση 16 A ή 32 A, ανάλογα με τις χρησιμοποιούμενες κάθε φορά ασφάλειες. Επομένως, η δυνατότητα παρεχόμενης ισχύος κυμαίνεται από 3.6 kW έως 7.3 kW. Για επίπεδο φόρτισης (state-of-charge) συσσωρευτών στο 80%, η απαιτούμενη διάρκεια φόρτισης είναι 4 – 7.5 h για την πρώτη περίπτωση και 2 – 3.75 h για τη δεύτερη. Από το ακόλουθο διάγραμμα, το οποίο περιγράφει σχετικές μετρήσεις φόρτισης σε συσσωρευτή ονομαστικής χωρητικότητας 20 kWh μέσω του οικιακού δικτύου, μπορεί να παρατηρηθεί, πως, ενώ αρχικά η φόρτιση γίνεται με σταθερό ρυθμό, αυτός μειώνεται με την πάροδο του χρόνου και ειδικότερα προς το τέλος της φόρτισης, γεγονός που κάνει τους προαναφερόμενους χρόνους ακόμα μεγαλύτερους. Επομένως, ο τελικός χρόνος είναι κατά 35% αυξημένος σε σχέση με τα θεωρητικά επίπεδα, δηλαδή 5.4 – 10.13 h και 2.7 – 5.07 h αντίστοιχα.



Εικόνα 4-3 Φόρτιση συσσωρευτή Li-ion ονομαστικής χωρητικότητας 20 kWh μέσω οικιακού δικτύου [37]

Συμπερασματικά λοιπόν, η φόρτιση ενός ηλεκτροκίνητου οχήματος για περίπου 8 ώρες, κατά τη διάρκεια της νύχτας ειδικότερα εξαιτίας του φθηνότερου νυχτερινού τιμολογίου, μπορεί να είναι μια λύση, αφού θα εξασφαλίσει αυτονομία για περίπου 100 km στην περίπτωση ενός μικρού μεγέθους αυτοκινήτου. Επομένως, σε αυτή την περίπτωση ο σταθμός φόρτισης μπορεί να είναι η οικία του ιδιοκτήτη ή ο χώρος εργασίας του.

#### 4.4 Φόρτιση μέσω κοινόχρηστων παροχών

Σε αυτού του είδους τη φόρτιση, διακρίνονται δύο επιμέρους κατηγορίες κοινόχρηστης φόρτισης:

- Ιδιωτικοί χώροι στάθμευσης με δημόσια πρόσβαση, όπως για παράδειγμα, μεγάλα πάρκινγκ εμπορικών καταστημάτων και εργασιακοί χώροι. Εδώ τα ηλεκτρικά οχήματα θα μπορούν να φορτίζουν τις ώρες που παραμένουν παρκαρισμένα, πληρώνοντας το ανάλογο αντίτιμο. Ανάλογα με τη φύση του χώρου και τις απαιτήσεις του πελάτη, θα δημιουργηθούν σταθμοί όλων των επιπέδων (αργή, γρήγορη φόρτιση).
- Δημόσιοι χώροι με δημόσια πρόσβαση, όπως δημόσιοι δρόμοι. Πολλοί ιδιοκτήτες αυτοκινήτων, ιδίως στις πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές δεν έχουν πρόσβαση σε ιδιωτικά πάρκινγκ. Η δημιουργία σταθμών φόρτισης στις λωρίδες παρκαρίσματος των δρόμων αποτελεί έναν έξυπνο και συνάμα αποτελεσματικό τρόπο αντιμετώπισης τέτοιων προβλημάτων. Η πληρωμή σε περίπτωση χρησιμοποίησης κάποιου σταθμού φόρτισης

μπορεί να γίνει είτε εκ των προτέρων ή με ένα συνολικό λογαριασμό στο τέλος μιας προσυμφωνημένης χρονικής περιόδου.

Η χρήση κοινόχρηστων παροχών μπορεί να αποτελέσει μια ιδιαίτερα πρακτική λύση, υποκαθιστώντας ουσιαστικά τα βενζινάδικα, που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην περίπτωση της συμβατικής κίνησης. Αν υφίσταται δηλαδή ανάλογη γεωγραφική διασπορά με αυτή των πρατηρίων καυσίμων, η αυτονομία του ηλεκτροκίνητου οχήματος δε θα αποτελεί τροχοπέδη για την απρόσκοπτη ικανοποίηση των καθημερινών απαιτήσεων του ιδιοκτήτη ενός ηλεκτροκίνητου οχήματος.

Το σύνολο αυτών των σταθμών (σε ένα επόμενο στάδιο ανάπτυξης και εφαρμογής της συγκεκριμένης τεχνολογίας), θα πρέπει να ελέγχεται από μια κεντρική μονάδα ελέγχου, μέσω ειδικού λογισμικού ασύρματης δικτύωσης, έτσι ώστε να προλαμβάνονται τυχόν αυξημένες απαιτήσεις ή δυσλειτουργίες της διαδικασίας.

## 4.5 Διεθνή Πρότυπα Σταθμών Φόρτισης

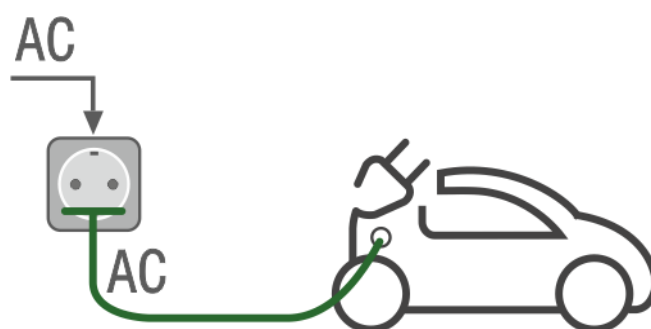
Καθώς η τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων εξελίσσεται σε παγκόσμιο επίπεδο, κρίνεται απαραίτητο να υπάρξει μία ομοιομορφία και τυποποίηση στα συστήματα φόρτισης και στα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται κατά την φόρτιση. Η ομοιομορφία αυτή θα βοηθήσει στην διευκόλυνση των ιδιοκτητών ηλεκτρικών οχημάτων και μετέπειτα θα προωθήσει την μαζική παραγωγή των ηλεκτρικών οχημάτων. Για τον λόγο αυτό, στις μέρες μας έχουν δημιουργηθεί κάποια διεθνή πρότυπα, τα οποία πλέον υιοθετούνται. Επομένως, οι υποδομές των σταθμών φόρτισης πρέπει να είναι συμβατές με τα διεθνή αυτά πρότυπα, ώστε να διασφαλίζεται η συμβατότητα μεταξύ τεχνολογιών σταθμού φόρτισης και ηλεκτρικών οχημάτων με στόχο την καλύτερη λειτουργικότητα, μεγαλύτερη ασφάλεια και μείωση του κόστους παραγωγής. Στην Ευρώπη υιοθετούνται κυρίως τα πρότυπα IEC 61851-1 και IEC 62196-1/IEC 62196-2, της «Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής» (IEC – International Electrotechnical Commission), ενώ στις ΗΠΑ ακολουθούνται τα πρότυπα της SAE (Society of Automobile Engineers) και στην Ιαπωνία τα πρότυπα JEVS (Japan Electric Vehicle Standard).

### 4.5.1 Πρότυπο IEC 61851-1: Μέθοδοι Φόρτισης

Βασικό στοιχείο της προδιαγραφής των σταθμών φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων είναι η κατηγορία (Mode) φόρτισης που παρέχουν, η επιλογή της οποίας βασίζεται σε οικονομοτεχνικές παραμέτρους, όπως το κόστος εγκατάστασης, οι απαιτούμενες υποδομές σύνδεσης στο δίκτυο και η παρεχόμενη λειτουργική ευελιξία, όπως για παράδειγμα ο προκύπτων χρόνος φόρτισης για κάθε τεχνολογία. Επιπλέον, η φόρτιση των συσσωρευτών μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με AC είτε με DC ρεύμα. Τα επίπεδα ισχύος φόρτισης, σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61851-1, είναι τέσσερα και παρουσιάζονται παρακάτω [86]:

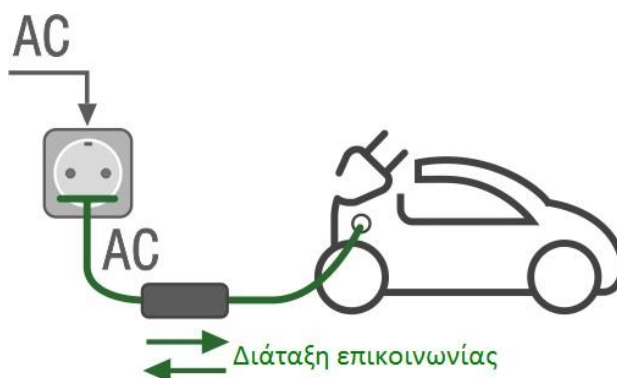
- **Μέθοδος 1 (Mode 1):** Το πρώτο επίπεδο αναφέρεται στη φόρτιση με εναλλασσόμενο ρεύμα AC, η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί με την χρήση των συνηθισμένων οικιακών

βυσμάτων (τύπου schuko) και εύκαμπτων καλωδίων, παρέχοντας ισχύ της τάξης 3.7 kW – 11 kW, η οποία είναι σχετικά χαμηλή σε σύγκριση με την χωρητικότητα της μπαταρίας. Παρέχει μέχρι 250V σε μονοφασική σύνδεση, ή 480V σε τριφασική (η χρήση τριών φάσεων αντί μίας, επιτρέπει την μεταφορά περισσότερης ισχύος χωρίς την αύξηση της τάσης ή του ρεύματος), με μέγιστη ένταση ρεύματος 16 A ανά φάση, σε ανεξάρτητη ηλεκτρική γραμμή με καλή γείωση μέσω κλασσικού ρευματοδότη (μονοφασικού ή τριφασικού) κατάλληλων προδιαγραφών ασφαλείας και προστασίας. Ο τρόπος αυτός απαιτεί την παρουσία μιας προστατευτικής διάταξης ισοζυγισμού RCD (**R**esidual **C**urrent **D**evice) προς την πλευρά της παροχής. Όταν η παρουσία μιας τέτοιας διάταξης δεν εξασφαλίζεται από την ισχύουσα σε κάθε χώρα νομοθεσία, αυτός ο τρόπος δεν συνιστάται, οπότε το *Mode 1* φόρτισης, δεν εφαρμόζεται. Για να προσπελαστεί αυτό το πρόβλημα, δημιουργήθηκε το *Mode 2*.



Εικόνα 4-4 Φόρτιση ηλεκτρικού αυτοκινήτου μέσω *Mode 1* [87]

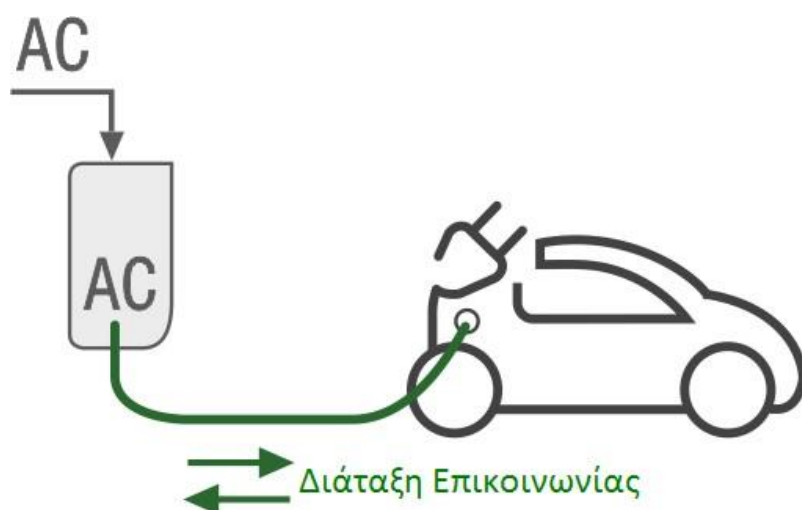
- **Μέθοδος 2 (Mode 2):** Το επίπεδο αυτό περιλαμβάνει πάλι AC φόρτιση, η οποία όμως πραγματοποιείται μέσω ειδικών εγκαταστάσεων (EVSE – **E**lectric **V**ehicle **S**upply **E**quipment), τα ρεύματα των οποίων είναι πολύ υψηλότερα σε σχέση με τα οικιακά. Στο επίπεδο αυτό παρέχονται μέχρι 32 A ανά φάση, δίνοντας ισχύ της τάξης 3.7 kW – 22 kW, σε ανεξάρτητη ηλεκτρική γραμμή με καλή γείωση μέσω κλασσικού ρευματοδότη (μονοφασικού ή τριφασικού) κατάλληλων προδιαγραφών ασφαλείας και προστασίας από ρεύματα διαρροής, υπερεντάσεις και υπερθερμάνσεις. Το εύκαμπτο καλώδιο φόρτισης διαθέτει επίσης ειδική συσκευή προστασίας. Υπάρχει δυνατότητα παροχής πληροφοριών της φόρτισης μέσω δύο πρόσθετων αγωγών επικοινωνίας ενσωματωμένων στο καλώδιο σύνδεσης.



Εικόνα 4-5 Φόρτιση ηλεκτρικού αυτοκινήτου μέσω *Mode 2* [87]

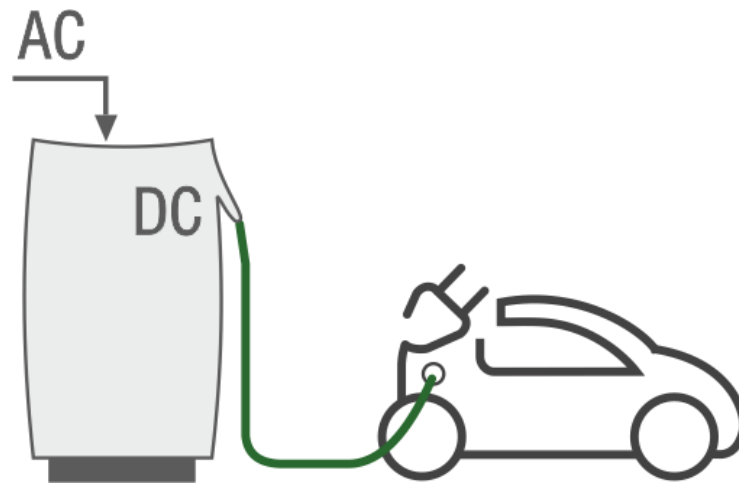


- Μέθοδος 3 (Mode 3):** Το επίπεδο αυτό περιλαμβάνει οποιαδήποτε φόρτιση μέσω της οποίας μπορεί να επιτευχθεί γρήγορη φόρτιση, υψηλής ισχύος, παρέχοντας τριφασικό ρεύμα, πολύ υψηλότερο από ότι στο *Mode 2*. Εδώ παρέχεται το μέγιστο 63 A ανά φάση, δίνοντας ισχύ έως 14.5 kW για μονοφασική σύνδεση και μέχρι 44 kW για τριφασική σύνδεση. Πάλι εδώ η σύνδεση γίνεται σε ανεξάρτητη ηλεκτρική γραμμή με καλή γείωση με το καλώδιο παροχής να καταλήγει σε ειδικό σύστημα EVSE κατάλληλων προδιαγραφών ασφαλείας, προστασίας και ελέγχου λειτουργίας. Το εύκαμπτο καλώδιο φόρτισης είναι μόνιμα συνδεδεμένο στο σύστημα φόρτισης και καταλήγει σε ειδικών προδιαγραφών ακροδέκτες σύνδεσης (μονοφασικούς ή τριφασικούς) με το όχημα. Υπάρχει δυνατότητα παροχής πληροφοριών της φόρτισης μέσω δύο πρόσθετων αγωγών επικοινωνίας ενσωματωμένων στο καλώδιο σύνδεσης. Ενδείκνυται για οικιακή, και επαγγελματική χρήση, όπως για παράδειγμα κτίρια γραφείων και ξενοδοχεία. Το εν λόγω επίπεδο φόρτισης, είναι το συνηθέστερο που συναντάται σε οικιακούς και δημόσιους σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων.



Εικόνα 4-6 Φόρτιση ηλεκτρικού αυτοκινήτου μέσω *Mode 3* [87]

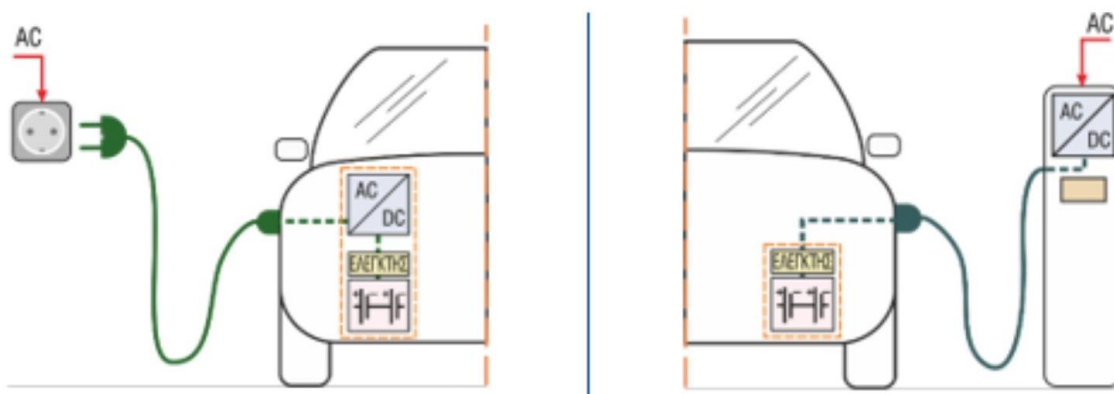
- Μέθοδος 4 (Mode 4):** Στο επίπεδο αυτό φόρτισης, το AC του δικτύου μετατρέπεται σε DC, με τάσεις των 400V – 600V, δίνοντας μέχρι 400 A DC και παρέχοντας ισχύ της τάξης των 50 kW – 160 kW. Χρησιμοποιεί ως εξαιρετικά γρήγορη φόρτιση, παρακάμπτοντας το φορτιστή του ηλεκτρικού οχήματος, τροφοδοτώντας απευθείας με συνεχές ρεύμα την μπαταρία, σε ανεξάρτητη ηλεκτρική γραμμή με καλή γείωση με το καλώδιο παροχής να καταλήγει σε ειδικό σύστημα φόρτισης κατάλληλων προδιαγραφών ασφαλείας, προστασίας και ελέγχου λειτουργίας. Το εύκαμπτο καλώδιο φόρτισης είναι μόνιμα συνδεδεμένο στο σύστημα φόρτισης και καταλήγει σε ειδικών προδιαγραφών ακροδέκτες σύνδεσης. Υπάρχει δυνατότητα παροχής πληροφοριών της φόρτισης από το ίδιο το σύστημα. Ενδείκνυται για επαγγελματική χρήση, κυρίως σε σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.



Εικόνα 4-7 Φόρτιση ηλεκτρικού αυτοκινήτου μέσω Mode 4 [87]

Με βάση τη νομοθεσία ΦΕΚ 50B/2015, η Μέθοδος 3 (Mode 3) και η Μέθοδος 4 (Mode 4), όπως αυτές καθορίζονται από το πρότυπο IEC 61851-1 «Electric Vehicle Conductive Charging System», είναι εκείνες που καθίστανται ως αποδεκτές για τη φόρτιση των συσσωρευτών ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων, που δύνανται να εγκατασταθούν στις υφιστάμενες ή υπό αδειοδότηση εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης οχημάτων (σταθμοί φόρτισης). Ταυτόχρονα, ορίζονται και οι τεχνικές προδιαγραφές συσκευών φόρτισης συσσωρευτών ηλεκτροκίνητων οχημάτων, που πρέπει να πληρούνται για τους συγκεκριμένους σταθμούς.

Τέλος, είναι προφανές, πως τα ηλεκτρικά οχήματα, που η φόρτιση των συσσωρευτών τους, πραγματοποιείται με εναλλασσόμενο ρεύμα, δηλαδή, ανήκει στη Μέθοδο 1 (Mode 1), στη Μέθοδο 2 (Mode 2) και στη Μέθοδο 3 (Mode 3), διαθέτουν στο όχημα τον δικό τους εξοπλισμό φόρτισης. Αντίθετα, στην περίπτωση που η φόρτιση των συσσωρευτών του ηλεκτρικού οχήματος πραγματοποιείται με συνεχές ρεύμα, δηλαδή ανήκει στη Μέθοδο 4 (Mode 4), ο εξοπλισμός φόρτισης βρίσκεται στον εξοπλισμό του σταθμού φόρτισης, όπως διακρίνεται στην εικόνα 4.6.



Εικόνα 4-8 Οι δύο περιπτώσεις φόρτισης κατά Mode 1, Mode 2 Mode 3 (αριστερά) και Mode 4 (δεξιά) [87]

#### 4.5.1.1 Ισχύς Φόρτισης

Ο υπολογισμός της ισχύος φόρτισης των σταθμών ηλεκτρικών οχημάτων πραγματοποιείται από τους παρακάτω τύπους, με την προϋπόθεση πως είναι γνωστά:

- ο αριθμός των φάσεων του χρησιμοποιούμενου δικτύου ηλεκτροδότησης
- η τάση λειτουργίας [V]
- η ένταση λειτουργίας [A]

Πίνακας 4.2 Πίνακας υπολογισμού ισχύος φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

| Είδος δικτύου | Σύνδεση     | Υπολογισμός ισχύος φόρτισης    |
|---------------|-------------|--------------------------------|
| Μονοφασικό    |             | $P = U \cdot I$                |
| Τριφασικό     | Αστέρας (Y) | $P = 3 \cdot U \cdot I$        |
|               | Τρίγωνο (Δ) | $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$ |

Πίνακας 4.3 Συνοπτικός πίνακας των 4 μεθόδων φόρτισης βάσει του IEC 61851-1

| Τρόπος Φόρτισης | Μέγιστη Τάση (V)   | Μέγιστο Ρεύμα (A) | Επίπεδο Ισχύος (kW) |
|-----------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| Μέθοδος 1 (AC)  | 250 (1φ), 480 (3φ) | 16                | 3.7 – 11            |
| Μέθοδος 2 (AC)  | 250 (1φ), 480 (3φ) | 32                | 3.7 – 22            |
| Μέθοδος 3 (AC)  | 250 (1φ), 480 (3φ) | 63                | 14.5 – 44           |
| Μέθοδος 4 (DC)  | 400 – 600          | 400               | 50 – 160            |

#### 4.5.1.2 Χρόνος φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Η χωρητικότητα της μπαταρίας ενός πλήρως φορτισμένου ηλεκτρικού αυτοκινήτου (BEV) είναι περίπου 20 kWh, παρέχοντας αυτονομία περίπου για 160 χιλιόμετρα. Τα υβριδικά οχήματα (PHEV) έχουν χωρητικότητα περίπου 3 έως 5 kWh, παρέχοντας αυτονομία περίπου 20 έως 40 χιλιόμετρα. Επομένως, λόγω της περιορισμένης αυτονομίας, θα πρέπει ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο να φορτίζει τουλάχιστον μία φορά την ημέρα, ανάλογα βέβαια και με τις ανάγκες ενός οδηγού τέτοιου οχήματος. Οπότε, εξυπηρετεί συνήθως, να φορτίζουν οι οδηγοί τα ηλεκτρικά τους οχήματα κάθε βράδυ, ξεκινώντας την κάθε ημέρα πλήρως φορτισμένα.

Για μία φόρτιση μέχρι τα 7.4 kW, οι κατασκευαστές αυτοκινήτων έχουν δημιουργήσει έναν φορτιστή μπαταρίας εντός του αυτοκινήτου. Στη περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείται ένα καλώδιο

φόρτισης για να συνδεθεί με το ηλεκτρικό δίκτυο για την παροχή 230 V AC. Εάν είναι επιθυμητή ταχύτερη φόρτιση, όπως για παράδειγμα 22 kW, ή ακόμα 43 kW και άνω, οι κατασκευαστές επέλεξαν δύο λύσεις:

- Ενσωματωμένος φορτιστής στο όχημα, με σκοπό να δίνει 3 – 43 kW στα 230 V μονοφασικό ή 400 V τριφασικό.
- Εξωτερικός φορτιστής, ο οποίος μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές και φορτίζει το όχημα στα 50 kW ή ακόμα περισσότερο στα 120 – 135 kW.

Ο χρόνος φόρτισης  $t_{φόρτισης}$  (h) για ένα ηλεκτρικό όχημα, υπολογίζεται από την σχέση

$$t_{φόρτισης} = \frac{E_{\text{συσσωρευτή}}}{P_{φόρτισης}}, \text{ με την προϋπόθεση πως είναι γνωστά τόσο η χωρητικότητα του}$$

συσσωρευτή  $E_{φόρτισης}$  του ηλεκτρικού οχήματος (kWh), όσο και η ισχύς φόρτισης  $P_{φόρτισης}$  του χρησιμοποιούμενου σταθμού φόρτισης του ηλεκτρικού οχήματος (kW).

Ο χρόνος της διάρκειας φόρτισης των συσσωρευτών των ηλεκτρικών οχημάτων κατά Mode 1, 2, 3 και 4 σε σχέση με την απαιτούμενη ισχύ του συστήματος φόρτισης, καθώς και με το ρεύμα ηλεκτροδότησης, έχει τους αντίστοιχους χαρακτηρισμούς που περιγράφονται – διεξοδικά – στον πίνακα 4.4.

*Πίνακας 4.4 Ενδεικτικοί χρόνοι φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, για κάλυψη απόστασης 100 km [88]*

| Χρόνος φόρτισης      | Ισχύς | Τάση             | Μέγιστο ρεύμα |
|----------------------|-------|------------------|---------------|
| <b>6 – 8 ώρες</b>    | 3.7   | 230 V (1Φ)       | 16 A          |
| <b>3 – 4 ώρες</b>    | 7.4   | 230 V (1Φ)       | 32 A          |
| <b>2 – 3 ώρες</b>    | 11    | 400 V (3Φ)       | 16 A          |
| <b>1 – 2 ώρες</b>    | 22    | 400 V (3Φ)       | 32 A          |
| <b>20 – 30 λεπτά</b> | 43    | 400 V (3Φ)       | 63 A          |
| <b>20 – 30 λεπτά</b> | 50    | 400 – 500 V (DC) | 100 – 125 A   |
| <b>10 λεπτά</b>      | 120   | 300 – 500 V (DC) | 300 – 350 A   |

Πίνακας 4.5 Τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά ηλεκτρικών αυτοκινήτων

| Αυτοκίνητο                 | Χωρητικότητα Μπαταρίας | Αυτονομία | Χρόνος Φόρτισης                                 |
|----------------------------|------------------------|-----------|---|
| <b>BMW i3 (2016)</b>       | 33 kWh                 | 300 km    | 8h στα 230VAC (2.3kW)<br>~3h στα 230 VAC (11kW) |
| <b>Nissan Leaf</b>         | 30 kWh                 | 200 km    | 8h στα 230VAC, 15A<br>4h στα 230VAC, 30A        |
| <b>Tesla Model S</b>       | 90 kWh                 | 509 km    | 9h (10kW)<br>30 min στο 80% (120kW)             |
| <b>Smart Fortwo ED</b>     | 17.6 kWh               | 145 km    | 3.5h στα 230VAC, 15A                            |
| <b>Mitsubishi iMiEV</b>    | 16 kWh                 | 128 km    | 7h στα 230VAC 15A                               |
| <b>Chevy Volt (PHEV)</b>   | 16 kWh                 | 64 km     | 4h στα 230VAC, 15A                              |
| <b>Toyota Prius (PHEV)</b> | 4.4 kWh                | 18 km     | 1.5h στα 230VAC 15A                             |

#### 4.5.1.3 Τρόποι σύνδεσης ηλεκτρικών οχημάτων (Case A, B, και C)

Η σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να διεξαχθεί σε έναν ή περισσότερους από τους τρεις παρακάτω διαφορετικούς τρόπους:

- **Case "A"**, κατά την οποία η σύνδεση – που σήμερα δεν εφαρμόζεται – μεταξύ του ηλεκτρικού οχήματος (EV) στο δίκτυο παροχής εναλλασσομένου ρεύματος (E.P.), πραγματοποιείται με τη χρησιμοποίηση καλωδίου παροχής μόνιμα συνδεδεμένο με το ηλεκτρικό όχημα που καταλήγει σε ρευματοδότη για τη σύνδεση με το δίκτυο (E.P.).
- **Case "B"**, κατά την οποία η σύνδεση μεταξύ του ηλεκτρικού οχήματος (EV) στο δίκτυο παροχής εναλλασσομένου ρεύματος (E.P.) πραγματοποιείται με τη χρησιμοποίηση ενός αποσπώμενου καλωδίου παροχής με βύσμα ειδικής μορφής ρευματολήπτη για τη σύνδεση στο όχημα και βύσμα ρευματολήπτη για τη σύνδεση με το δίκτυο παροχής εναλλασσομένου ρεύματος (E.P.).
- **Case "C"**, κατά την οποία η σύνδεση μεταξύ του ηλεκτρικού οχήματος (EV) στο δίκτυο παροχής εναλλασσομένου ρεύματος (E.P.) πραγματοποιείται με τη χρησιμοποίηση καλωδίου παροχής μόνιμα συνδεδεμένο με το δίκτυο παροχής εναλλασσομένου ρεύματος (E.P.), το οποίο καταλήγει σε βύσμα ειδικής μορφής ρευματολήπτη για τη σύνδεση με το όχημα.



Εικόνα 4-9 Τρόποι σύνδεσης ηλεκτρικών οχημάτων (Case A, B και C)[87]

#### 4.5.2 Πρότυπο SAE – J1772

Το συνιστώμενο πρότυπο SAE – J1772 της Society of Automotive Engineers, όπως αυτό αναθεωρήθηκε, δημοσιεύθηκε τον Φεβρουάριο του 2016. Περιλαμβάνει προδιαγραφές για τις φυσικές, ηλεκτρικές και του πρωτόκολλου επικοινωνίας απαιτήσεις των υποδοχέων πάνω στα οχήματα αλλά και για τα αντίστοιχα βύσματα αγωγίμης επαφής, για τη φόρτιση των ηλεκτρικών και επαναφορτιζόμενων υβριδικών οχημάτων με εναλλασσόμενο (AC) και συνεχές ρεύμα (DC). Οι προδιαγραφές υποδοχής και βύσματος, που περιλαμβάνει το πρότυπο SAE – J1772, είναι κατάλληλες για πέντε επίπεδα φόρτισης με αγωγή επαφή, τα οποία προσδιορίζονται παρακάτω:

Πίνακας 4.6 Τα πέντε επίπεδα φόρτισης του προτύπου SAE – J1772 [89]

| Τρόπος Φόρτισης  | Τάση        | Μέγιστη Ένταση Ρεύματος | Μέγιστη Ισχύς φόρτισης |
|------------------|-------------|-------------------------|------------------------|
| AC Επίπεδο 1     | 120 V       | 12 A                    | 1.4 kW                 |
|                  |             | 16 A                    | 1.92 kW                |
| AC Επίπεδο 2     | 208 – 240 V | 32 A                    | 7.68 kW                |
|                  |             | 80 A                    | 19.20 kW               |
| DC Επίπεδο 1     | 200 – 450 V | 80 A                    | 36 kW                  |
| DC Επίπεδο 2     | 200 – 450 V | 200 A                   | 90 kW                  |
| (*) DC Επίπεδο 3 | 200 – 600 V | 400 A                   | 240 kW                 |

(\*) Αναμένεται να βγει στην αγορά

#### 4.5.3 Πρότυπο SAE TIR J2954

Το πρότυπο SAE TIR J2954 καθορίζει τις προδιαγραφές και τα κριτήρια που θα πρέπει να πληρούνται, όπως η λειτουργικότητα, η ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα, η αποτελεσματικότητα και η ασφάλεια, για την ασύρματη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων. Η τρέχουσα έκδοση του προτύπου, αναφέρεται μόνο στην φόρτιση οχημάτων από το δίκτυο προς τα οχήματα, κι όχι το αντίστροφο. Η αμφίδρομη μεταφορά ενέργειας μπορεί να αξιολογηθεί σε κάποια μελλοντική ανανεωμένη έκδοση του προτύπου.

Το πρότυπο, για την μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ορίζει μία ζώνη συχνοτήτων κοντά 85 kHz (81.39 – 90 kHz) για όλα τα ελαφριού τύπου ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Όσον αφορά τα επίπεδα φόρτισης του J2954, αυτά βασίζονται στα επίπεδα που καθορίζονται από το SAE J1772, με κάποιες παραλλαγές. Τα επίπεδα είναι: 3.7 kW, 7.4 kW, 11 kW και 22

kW. Μελλοντικές αναθεωρήσεις όμως, μπορεί να περιλαμβάνουν ακόμη υψηλότερα επίπεδα ισχύος.

Ένα πρότυπο για την ασύρματη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας, με βάση αυτά τα επίπεδα φόρτισης, θα επιτρέψει την επιλογή του συντελεστή φόρτισης με βάση τις απαιτήσεις των οχημάτων, επιτρέποντας έτσι την καλύτερη απόδοση του οχήματος, και την ευκολία χρήσης του πελάτη. Η προδιαγραφές υποστηρίζουν ιδιωτική και δημόσια ασύρματη φόρτιση [90], [91].

#### 4.5.4 Πρότυπο IEC 62196

Ειδικές απαιτήσεις για τους ρευματοδότες, τις υποδοχές των αυτοκινήτων και τα αντίστοιχα βύσματα τους για τις αγωγίμες συνδέσεις φόρτισης του προτύπου IEC 61851 οδήγησαν στην δημιουργία του προτύπου IEC 62196. Το πρότυπο αυτό δημοσιεύεται υπό τον γενικό τίτλο «Βύσματα, Ρευματοδότες και Υποδοχές Ηλεκτρικών Οχημάτων Για Αγωγή Διασύνδεση», που προορίζονται για χρήση σε αγωγή συστήματα φόρτισης και ενσωματώνουν μέσα ελέγχου, ονομαστικής τάσης λειτουργίας που δεν υπερβαίνει τα:

- 690 V AC (50-60 Hz), με ένταση ρεύματος έως 250 A και
- 600 V DC, σε ονομαστικό ρεύμα που δεν υπερβαίνει τα 400 A.

Στο πρότυπο αυτό, ανήκουν οι εξής τέσσερις τύποι βυσμάτων και υποδοχών [92]:

- **Τύπος 1:** Στον τύπο αυτόν, έχουμε βύσματα και υποδοχές για μονοφασική σύνδεση εναλλασσόμενου ρεύματος, μέχρι 250 V και 32 A. Εδώ ανήκει το βύσμα SAE J1772/2009 ή Yazaki. Εφαρμόζεται κυρίως στην Ιαπωνία και στη Βόρεια Αμερική.
- **Τύπος 2:** Εδώ έχουμε βύσματα και υποδοχές, χωρίς κλείστρα, και χρησιμοποιείται τόσο προς την πλευρά του αυτοκινήτου όσο και προς την πλευρά της ηλεκτρικής παροχής για αγωγή φόρτιση μονοφασικής σύνδεσης εναλλασσόμενου ρεύματος, μέχρι 250 V και εντάσεις ρεύματος 20 A, 32 A, 63 A ή 70 A, όπως και για τριφασική σύνδεση 380 – 480 V με εντάσεις ρεύματος 20 A, 32 A ή 63 A. Εδώ ανήκει το βύσμα VDE-AR-E 2623-2-2.
- **Τύπος 3:** Στον τύπο αυτόν, ανήκουν βύσματα και υποδοχές, εφοδιασμένα με σύστημα κλείστρου προστασίας για την αποφυγή επαφής με υπό τάση μέρη, και χρησιμοποιείται τόσο προς την πλευρά του αυτοκινήτου όσο και προς την πλευρά της ηλεκτρικής παροχής για αγωγή φόρτιση μονοφασικής σύνδεσης εναλλασσόμενου ρεύματος, μέχρι 250 V και εντάσεις ρεύματος 20 A ή 32 A, όπως και για τριφασική σύνδεση 380 – 480 V με εντάσεις ρεύματος μέχρι 32 A.
- **Τύπος 4:** Εδώ, ανήκουν τα βύσματα και υποδοχές που έχουν σχεδιαστεί για ταχεία φόρτιση με συνεχούς τάσης 500 V και ρεύματος 125 A. Σχεδιάστηκαν αρχικά για φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων στην Ιαπωνία, οπότε αυτός ο τύπος καθορίστηκε από το Ιαπωνικό Πρότυπο Ηλεκτρικών Οχημάτων (Japan Electric Vehicle Standard – JEVS) με όνομα G105-1993 ή εμπορικά ως CHAdeMO (CHArge de MOve) [93].

Στις περισσότερες των περιπτώσεων τα καλώδια για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων κατά *Mode 2* και *Mode 3*, διαθέτουν και δύο επιπρόσθετους αγωγούς (CP). Οι αγωγοί αυτοί που

θεωρούνται ως ζεύγος έχουν διατομή της τάξης του  $0.50 \text{ mm}^2$ . Μέσω – δε – αυτών επιτρέπεται η μετάδοση δεδομένων και κατά συνέπεια η επικοινωνία μεταξύ του για φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος και του σταθμού ανεφοδιασμού του. Έτσι, η διαδικασία της φόρτισης αρχίζει εάν και εφόσον διαπιστωθεί από το σύστημα πως:

- ✓ υπάρχει σωστή σύνδεση του οχήματος,
- ✓ υπάρχει η γείωση του οχήματος και
- ✓ υπάρχει ένδειξη για την μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ από τον φορτιστή.

Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης χρησιμοποιείται η φόρτιση των συσσωρευτών των ηλεκτρικών οχημάτων – κυρίως σε χώρους οικιών, αλλά και σε χώρους κτιρίων – με εναλλασσόμενο ρεύμα, δηλαδή, ανήκει στην κατηγορία *Mode 2* ή *Mode 3*, ανάλογα με το εύρος της ισχύος της εγκατάστασης ηλεκτροδότησής της, που κυμαίνεται από 3.7 kW μέχρι και 22 kW.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρόσφατα αποφάσισε ότι το πρότυπο του συστήματος σύζευξης μεταξύ δικτύου ηλεκτροδότησης και ηλεκτρικού οχήματος, IEC 62196-2 *Τύπου 2* θα είναι το κοινό standard για τους φορτιστές στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Συγκεκριμένα, ο *Τύπος 2* αναπτύχθηκε από μια συνεργασία Γερμανικών κατασκευαστών αυτοκινήτων (Daimler, BMW), ηλεκτρικής ενέργειας (RWE, Vattenfall) και κατασκευαστών ηλεκτρονικών εξαρτημάτων (Mennekes). Βρήκε σημαντική ανταπόκριση στα προγράμματα εξέλιξης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στη Γερμανία, και έγινε επίσης αποδεκτός από πολλούς άλλους Ευρωπαίους κατασκευαστές ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Ο κύριος λόγος που δεν κατέστη ακόμα γενικώς αποδεκτό πρότυπο για όλη την Ευρώπη είναι ότι σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες η νομοθεσία επιβάλλει την χρήση προστατευτικών κλειστρών στους ρευματοδότες. Η IEC βρίσκεται ακόμα στο στάδιο της διαπίστωσης του αριθμού των χωρών αυτών για να εκτιμηθεί το μέγεθος του προβλήματος.

Για τη σύνδεση *Mode 3* υπάρχει και ο τύπος ακροδεκτών, με υποδοχές που χαρακτηρίζονται ως *Type 3*. Ο *Τύπος 3* αναπτύχθηκε ειδικώς για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της υποχρεωτικής ύπαρξης προστατευτικών κλειστρών στα εξαρτήματα τόσο ως προς την πλευρά του οχήματος όσο και ως προς την πλευρά της ηλεκτρικής παροχής. Η υποδοχή αυτή, εγγυάται βέλτιστα επίπεδα ασφάλειας, γιατί δε διαθέτει εμφανή προεξέχοντα μέρη. Έτσι περιορίζονται οι κίνδυνοι που μπορεί να προέρχονται από:

- αποτυχία του συστήματος, όπως για παράδειγμα καταστροφή καλωδίου,
- λάθος χειρισμό από τον χρήστη (άγγιγμα υποδοχής),
- λανθασμένη χρήση (σύνδεση βύσματος σε λάθος υποδοχή).

## 4.6 Υποδοχείς φόρτισης εμπορίου

Οι ιδιοκτήτες των ηλεκτρικών οχημάτων επιθυμούν το καλώδιο φόρτισης και η υποδοχή να είναι συμβατή με όλους τους σταθμούς φόρτισης ανεξάρτητα από την τεχνολογία αυτών ή τον κατασκευαστή τους. Έτσι θα μπορούν να φορτίζουν σε διαφορετικά σημεία, όπως επίσης ένα



καλώδιο θα μπορεί να συνδεθεί σε διαφορετικά μοντέλα οχημάτων. Μέχρι σήμερα, όμως, δεν υπάρχει κάποια προτυποποίηση για τις καλωδιώσεις σύνδεσης των ηλεκτρικών οχημάτων με τους σταθμούς φόρτισης. Ωστόσο, υπάρχουν κάποιοι υποδοχείς φόρτισης, πολλά υποσχόμενοι, που είναι πιο πιθανό να κερδίσουν ευρεία υποστήριξη με βάση το ευρωπαϊκό πρότυπο, όπως αυτά καθορίζονται από τα πρότυπα IEC 62196-1 και IEC 62196-2 για AC φόρτιση. Αυτά τα βύσματα περιγράφονται παρακάτω.

#### 4.6.1 Βύσμα J1772/2009 (Yazaki)

Το βύσμα Yazaki, από την εταιρεία Yazaki που το κυκλοφόρησε πρώτη, είναι σχεδιασμένο για μονοφασικά ηλεκτρικά συστήματα, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται στη Βόρεια Αμερική και την Ιαπωνία, και χαρακτηρίζεται ως βύσμα *Τύπου 1* (IEC Type 1). Το πρότυπο SAE ορίζει τιμές για το βύσμα J1772/2009, 120 V, με 12 A ή 16 A έως 240 V, με 32 A ή 80 A. Το δε πρότυπο IEC 62196 ορίζει τιμές έως 250 V στα 32 A ή 80 A, μόνο για τις Η.Π.Α..

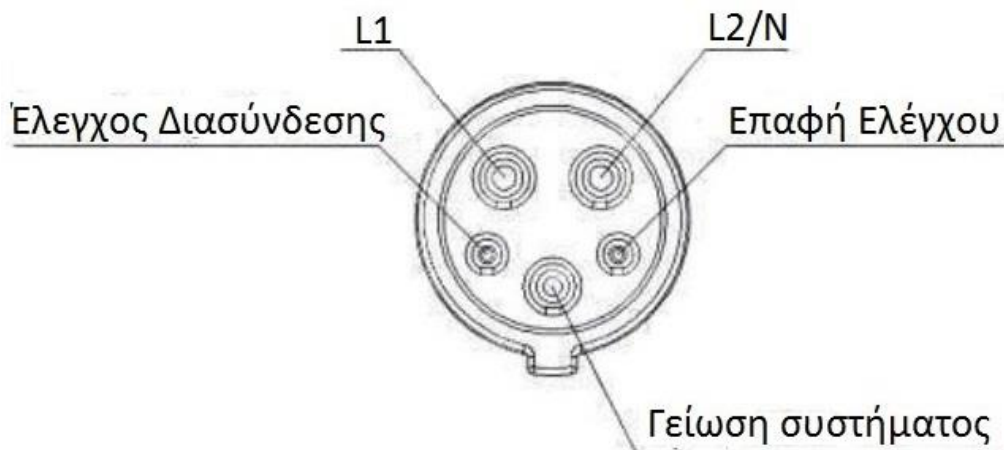


*Εικόνα 4-10 Ρευματοδότης και ρευματολήπτης, σύμφωνα με το πρότυπο SAE – J1772, για AC φόρτιση [94]*

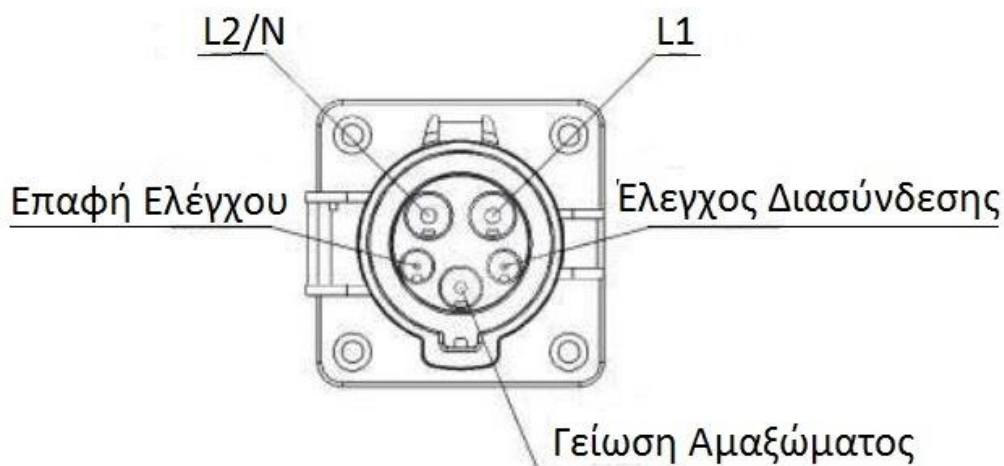
Η σχεδίαση του βύσματος και της υποδοχής Yazaki, είναι πέντε ακροδεκτών με σύστημα ασφάλισης προς αποφυγή αθέλητης απομάκρυνσης του βύσματος και διακοπής της φόρτισης. Οι λειτουργίες των πέντε ακροδεκτών προσδιορίζονται ως εξής:

- Επαφή 1: Γραμμή τροφοδοσίας L1
- Επαφή 2: Ουδέτερος N
- Επαφή 3: Γείωση (Ground)
- Επαφή 4: Έλεγχος και επικοινωνία (CP – **C**ontrol **P**ilot). Επιβεβαιώνει την ορθή λειτουργία όλων των συστημάτων στην αρχή, κατά τη διάρκεια, και στο πέρας της φόρτισης.
- Επαφή 5: Έλεγχος Διασύνδεσης (PD – **P**roximity **D**etection). Επιβεβαίωση παρουσίας του βύσματος φόρτισης ώστε να ακινητοποιηθεί το όχημα για όση ώρα φορτίζει.

### Σχεδιάγραμμα βύσματος/ρευματοδότη



### Σχεδιάγραμμα υποδοχής/ρευματολήπτη



Εικόνα 4-11 Σχεδιάγραμμα βύσματος & υποδοχής, σύμφωνα με το πρότυπο SAE – J1772 [95]

Η επιτροπή της SAE, που είναι υπεύθυνη για το J1772, πρότεινε το 2012, το SAE J1772 Combo Charging System (CCS). Πρόκειται για μία DC υποδοχή με βάση το σχήμα του βύσματος SAE J1772 AC. Αυτό έχει επιπλέον δύο επαφές, μία για σύνδεση μέσω DC και μία γείωσης, στο σημείο κάτω από τις πέντε επαφές, χρησιμοποιώντας το ίδιο πρωτόκολλο επικοινωνίας, για γρήγορη DC φόρτιση, με ισχύ 90 kW και τάση 200 – 450V. Να σημειώσουμε, ότι το *Mode 4* της DC φόρτισης, ορίζεται από το πρότυπο IEC 62196-3, που ορίζει γενικά την DC φόρτιση.



Εικόνα 4-12 Ρευματολήπτης και ρευματοδότης του J1772 Combo Charging System (CCS) [96]

#### 4.6.2 Βύσμα Mennekes

Το βύσμα αυτό, με κωδικό όνομα VDE-AR-E 2623-2-2, από την VDA, δηλαδή τη Γερμανική Ένωση Αυτοκινητοβιομηχανίας, συμμορφώνεται πλήρως με τις προδιαγραφές των προτύπων IEC 61851 και 62196, και χαρακτηρίζεται ως βύσμα Τύπου 2 (IEC Type 2), με πέντε ακροδέκτες, αλλά χωρίς προστατευτικά κλείστρα [96].

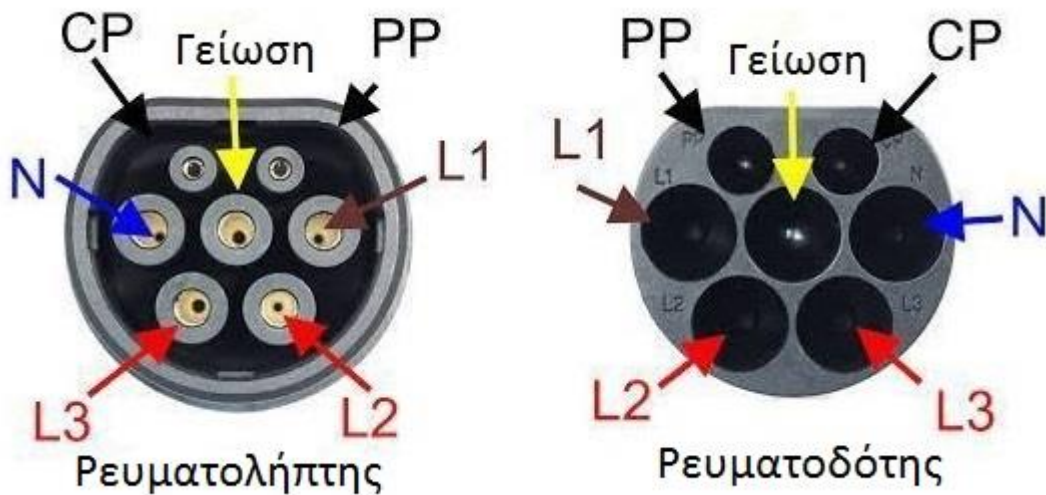
Πίνακας 4.7 Χαρακτηριστικά των AC/DC επιπέδων φόρτισης, σύμφωνα με την German Initiative Charging Interface

|                          | AC Level 1,2 & 3 | DC Χαμηλό | DC Μεσαίο | DC Υψηλό |
|--------------------------|------------------|-----------|-----------|----------|
| <b>Μέγιστη Τάση (V)</b>  | 500              | 500       | 500       | ≥600     |
| <b>Μέγιστο Ρεύμα (A)</b> | 3x63, 1x70       | 70        | 140       | 250      |

Οι λειτουργίες των πέντε ακροδεκτών προσδιορίζονται ως εξής :

- Επαφή 1: Γραμμές τροφοδοσίας L1
- Επαφή 2: Ουδέτερος N
- Επαφή 3: Γείωση (Ground)
- Επαφή 4: Έλεγχος και επικοινωνία (Control Pilot – CP)
- Επαφή 5: Έλεγχος διασύνδεσης (Proximity Pilot – PP)

Σε περίπτωση τριφασικής AC φόρτισης, τότε θα έχει δύο επιπλέον επαφές, για τις γραμμές L2 και L3, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.13.



Εικόνα 4-13 Ρευματολήπτης και ρευματοδότης Τύπου 2 (Mennekes), με τους 7 ακροδέκτες [97]

Παρατηρείται λοιπόν, ότι το βύσμα Yazaki (Type 1) εφαρμόζεται κυρίως στις Η.Π.Α. ενώ το βύσμα Mennekes (Type 2), στην Ευρώπη, οπότε το Combo Charging System (CCS) είναι διαφορετικό για τις δύο αυτές γεωγραφικές περιοχές. Οι διαφορές που εμφανίζονται μεταξύ των δύο αυτών βυσμάτων, παρουσιάζονται στην εικόνα 4.14.



Εικόνα 4-14 Το Combo Charging System στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α. [98]

#### 4.6.3 Βύσμα SCAME

Το βύσμα SCAME και η υποδοχή του, προέκυψαν από την σύμπραξη των εταιριών Scame, Schneider – Electric και Legrand, και συμμορφώνονται πλήρως με τις προδιαγραφές ασφαλείας του βύσματος Τύπου 3 της IEC (IEC Type 3) περί προστατευτικών κλειστρών [86]. Επιτρέπει διάφορα επίπεδα ισχύος φόρτισης, με μέγιστο τα 27.7 kW σε τριφασική φόρτιση, παρέχοντας ρεύμα 32 A. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό αυτού του βύσματος είναι η παρουσία ενός

αυτόματου προστατευτικού κλείστρου, ως προληπτικό μέτρο για οποιαδήποτε τυχαία επαφή μεταξύ του χρήστη και των ηλεκτροφόρων καλωδίων στα βύσματα ή τις εισόδους και υποδοχές.



Εικόνα 4-15 Βύσμα SCAME, με τα προστατευτικά κλείστρα [99]

#### 4.6.4 Βύσμα Walther

Η γερμανική εταιρία Walther παράγει βύσματα ηλεκτρικών οχημάτων με προδιαγραφές παρόμοιες με αυτές της εταιρίας Mennekes. Τα βύσματα Walther υποστηρίζουν μονοφασική φόρτιση, τάσεως 230V και τριφασική φόρτιση τάσεως 400V, με εντάσεις ρεύματος αι τα αντίστοιχα επίπεδα ισχύος, όπως φαίνονται στον πίνακα 10.

Πίνακας 4.8 Τα έξι επίπεδα ισχύος που υποστηρίζουν τα βύσματα Walther [86]

| Επίπεδα Τάσεων | Εντάσεις Ρεύματος | Επίπεδα Ισχύος |
|----------------|-------------------|----------------|
| 230 V (1Φ)     | 16 A              | 3.7 kW         |
|                | 32 A              | 7.4 kW         |
|                | 63 A              | 14.5 kW        |
| 400 V (3Φ)     | 16 A              | 11 kW          |
|                | 32 A              | 22 kW          |
|                | 63 A              | 43 kW          |

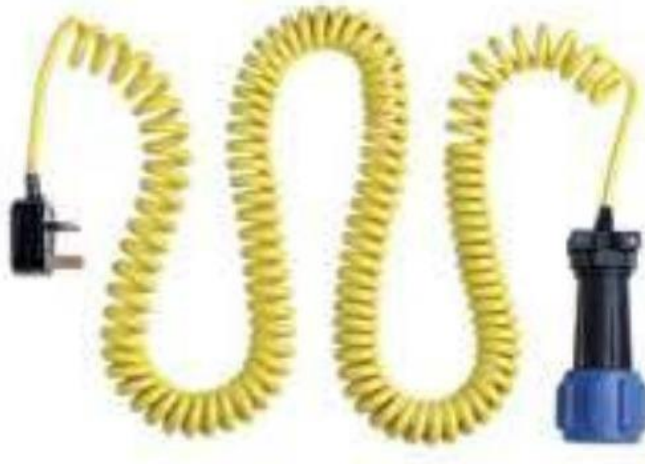
Η διαφορά τους με τα βύσματα Mennekes είναι ότι έχουν το πλεονέκτημα να υποστηρίζουν και την οικιακή φόρτιση. Υπάρχουν δύο διαθέσιμα είδη υποδοχέων Walther: ένα καλώδιο με δύο πανομοιότυπα βύσματα στα δύο άκρα του (όπως το βύσμα Mennekes), το οποίο υποστηρίζει την απευθείας σύνδεση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου με το σημείο φόρτισης κι ένα καλώδιο σχεδιασμένο για οικιακή χρήση, όπου στο τέλος του καλωδίου το βύσμα είναι έτσι σχεδιασμένο, ώστε να ταιριάζει σε έναν κοινό μονοφασικό ρευματοδότη (schuko).



*Εικόνα 4-16 Παράδειγμα των 2 διαφορετικών καλωδίων βύσματος Walther [100]*

#### **4.6.5 Βύσμα EDF**

Η εταιρία παροχής ηλεκτρισμού EDF, υποστηρίζει ένα βιομηχανικό βύσμα τριών ακροδεκτών, για μονοφασική AC παροχή σε ισχείς 3.6 kW (230V/16A) και 15 kW (230V/63A). Δεν υποστηρίζεται ο έλεγχος του οχήματος, ούτε και η επικοινωνία με αυτό. Το βύσμα κατασκευάζεται από την Elektromotive Company.



*Εικόνα 4-17 Το βύσμα EDF από την Electromotive Company [86]*

#### **4.6.6 Βύσμα CHAdeMO**

Το βύσμα αυτό, γνωστό με το εμπορικό όνομα, CHAdeMO (συντομογραφία από τη φράση “CHArge de MOve”), πρόκειται για βύσμα Τύπου 4 (IEC Type 4), το οποίο χρησιμοποιείται για τη γρήγορη φόρτιση ηλεκτρικών αυτοκινήτων παρέχοντας έως και 500 V DC στα 125 A.

Ανταγωνίζεται το βύσμα Combo Charging System του SAE J1772/2009. Με μια τυπική ισχύ 50 kW, ο φορτιστής τύπου CHAdeMO μπορεί να φορτίσει κατά 80% τους συσσωρευτές ενός μεσαίου μεγέθους ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε 30 λεπτά. Μπορεί επίσης με μια φόρτιση 5 λεπτών, σχεδόν ίδια με την στάση ανεφοδιασμού ενός συμβατικού αυτοκινήτου, να προσδώσει στους συσσωρευτές ηλεκτρική ενέργεια επαρκή για τα επόμενα 30 – 40 km προκειμένου να καταστεί δυνατή η μετάβαση στο μόνιμο σημείο ανεφοδιασμού, για την κανονική φόρτιση. Οπότε, ο πρόβλημα της αυτονομίας σχεδόν εξαλείφεται, καθώς τώρα ο κίνδυνος της ακινησίας από πιθανή εξάντληση της αποθηκευμένης ενέργειας στους συσσωρευτές γίνεται ελάχιστος.

Πολλοί Ευρωπαίοι κατασκευαστές ηλεκτρικών συστημάτων, παράγουν ήδη συστήματα ταχείας φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, τα οποία παρέχουν AC ρεύμα μεγάλης ισχύος για την εξυπηρέτηση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων που διαθέτουν ενσωματωμένο φορτιστή ταχείας φόρτισης, και παράλληλα σχεδιάζουν εξωτερικό φορτιστή προδιαγραφών CHAdeMO, ο οποίος παρέχει συνεχές ρεύμα, για την εξυπηρέτηση των αυτοκινήτων, που είναι εξοπλισμένα με υποδοχή και σύστημα ελέγχου φόρτισης αυτών των προδιαγραφών.

Το σύστημα φόρτισης CHAdeMO καθώς κατασκευάστηκε στην Ιαπωνία είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο εκεί, αριθμώντας 801 σταθμούς φόρτισης, ενώ στην Ευρώπη έχουν αρχίσει ήδη να εγκαθίστανται σε εθνικό επίπεδο, στην Πορτογαλία, στην Ιρλανδία, και σε επίπεδο πόλης ή περιοχής, στο Βέλγιο, στην Ολλανδία, στην βορειοανατολική Αγγλία, αριθμώντας 157 σταθμούς φόρτισης [62].



*Εικόνα 4-18 Το βύσμα CHAdeMO [101]*

Πίνακας 4.9 Βύσματα για φόρτιση με τα χαρακτηριστικά τους [86]

| Όνομα βύσματος          | Υποστήριξη τριφασικής φόρτισης | Υποστήριξη DC φόρτισης | Υποστήριξη σημάτων ελέγχου | Επίπεδα ισχύος εξόδου         |
|-------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| SAE J1772               | ✘                              | ✘                      | ✓                          | 1.9, 19 kW                    |
| Mennekes                | ✓                              | ✘                      | ✓                          | 3, 10, 20, 30, 43 kW          |
| Walther                 | ✓                              | ✘                      | ✓                          | 3.7, 7.4, 11, 14.5, 22, 43 kW |
| EDF                     | ✘                              | ✘                      | ✘                          | 3.6, 15 kW                    |
| Scame-Schneider-Legrand | ✓                              | ✘                      | ✓                          | 4, 8, 27.7 kW                 |
| CHAdeMO                 | ✘                              | ✓                      | ✓                          | 50 kW                         |

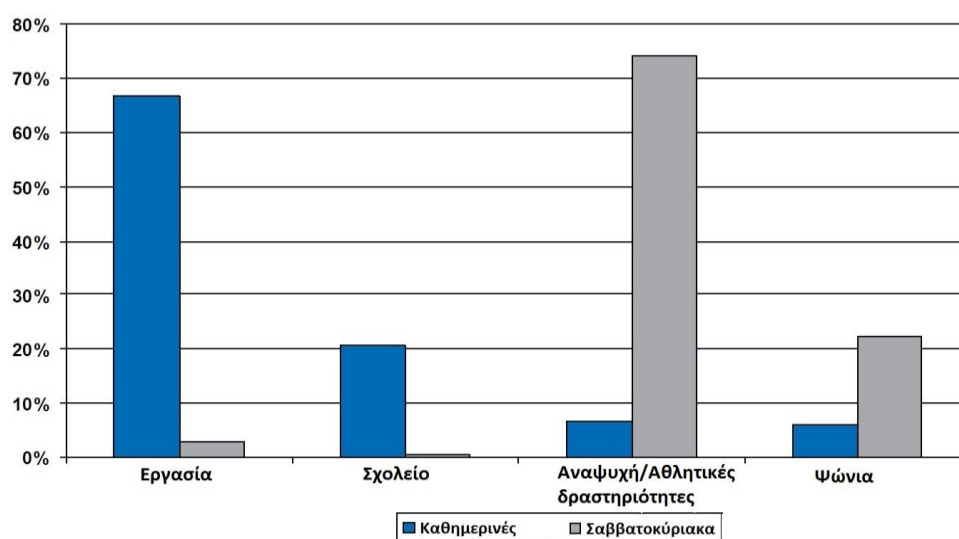


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗ ΖΩΓΡΑΦΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό, θα αναπτυχθούν τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την προοπτική δημιουργίας σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων στην Πολυτεχνειούπολη του Ε.Μ.Π., στην περιοχή Ζωγράφου. Αρχικά, θα αναφερθεί η κατάσταση στην Ευρώπη και στην Ελλάδα, για τους λόγους που χρησιμοποιείται το αυτοκίνητο στην πόλη κατά τη διάρκεια μιας εβδομάδας, τόσο τις εργάσιμες ημέρες, όσο και τα Σαββατοκύριακα.

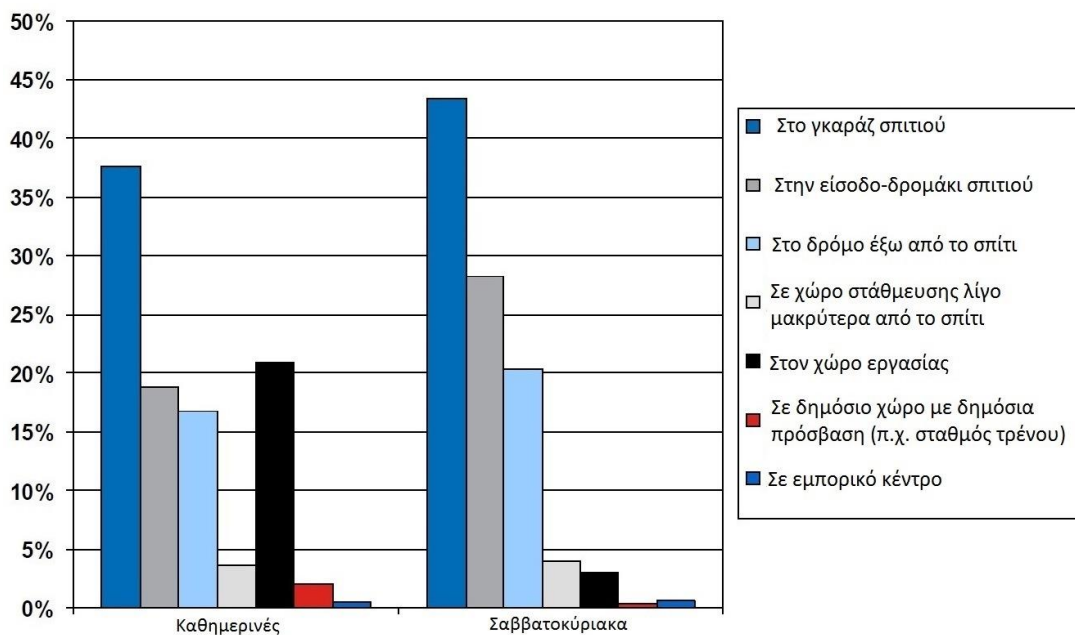
### 5.1 Χρήση ηλεκτρικών αυτοκινήτων και αντίστοιχων σταθμών φόρτισης στην Ελλάδα

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε, από την «Τυποποιημένη Διεθνή Ταξινόμηση των Επαγγελμάτων» (ISCO – International Standard Classification of Occupations), διαπιστώθηκε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του δείγματος είχε στην κατοχή του αυτοκίνητα μικρών και μεσαίων κατηγοριών, ενώ ο βασικός σκοπός χρήσης του αυτοκινήτου κατά τη διάρκεια της εβδομάδας, για την πλειοψηφία των ερωτηθέντων, ήταν η μετακίνηση από και προς το χώρο εργασίας. Στην Ελλάδα, οι ημερήσιες αστικές μετακινήσεις με επιβατικά οχήματα ανέρχονται σε 10 εκατομμύρια, ενώ το 45% αυτών αφορούν τη μετάβαση από τη κατοικία στο χώρο εργασίας και αντίστροφα, ενώ μόλις το 41% όχι μόνο των επιβατικών, αλλά των συνολικών μετακινήσεων εντός πόλης, γίνεται με τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς, [1]. Επιπλέον, υπολογίζεται ότι σήμερα στη χώρα μας είναι εγκατεστημένοι περίπου 45 φορτιστές ηλεκτρικών αυτοκινήτων και κυκλοφορούν περίπου 160 ηλεκτρικά οχήματα, αριθμός ο οποίος αναμένεται να φτάσει, μέχρι τέλος του 2016, τα 200, [102]. Αν η Ελλάδα ακολουθήσει τον μέσο ρυθμό ανάπτυξης της αγοράς ηλεκτροκίνητων οχημάτων της Ευρώπης, όπως αυτός προβλέπεται τόσο από τα όργανα της Ε.Ε. όσο και από εταιρείες έρευνας της αγοράς, εκτιμάται ότι το 2020 θα κυκλοφορούν περίπου 40000 ηλεκτροκίνητα οχήματα και το 2035 θα κυκλοφορούν περίπου 280000, [103].

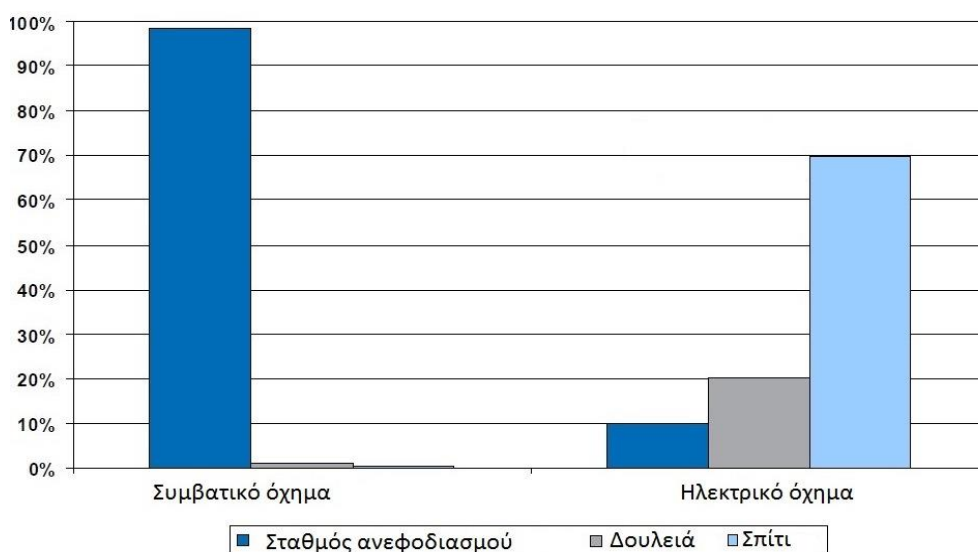


Εικόνα 5-1 Ποσοστό χρήσης ΙΧ στην Ευρώπη σε σχέση με τον λόγο μετακίνησης [86]

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η φόρτιση ενός ηλεκτρικού οχήματος είναι συνήθως πολύωρη. Ως εκ τούτου, κρίνεται σκόπιμη η αξιοποίηση του χρόνου κατά τον οποίο το αυτοκίνητο παραμένει ακινητοποιημένο μέσα στη μέρα. Σύμφωνα με την εικόνα 5.2, τις καθημερινές, η στάθμευση για μεγάλα χρονικά διαστήματα λαμβάνει χώρα κατά κύριο λόγο στο γκαράζ του σπιτιού, ενώ τη δεύτερη θέση με ποσοστό 22% καταλαμβάνει η στάθμευση στο χώρο εργασίας, δεδομένου ότι οι εργάσιμες ώρες ανέρχονται κατά μέσο όρο στις 8. Με την είσοδο λοιπόν των ηλεκτρικών οχημάτων στην καθημερινότητα, προκύπτει μια πλήρως διαφορετική εικόνα ως προς τους τόπους ανεφοδιασμού των αυτοκινήτων, όπως αυτή διαμορφώνεται σήμερα. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.3, τα συμβατικά οχήματα ανεφοδιάζονται ως επί το πλείστον σε πρατήρια καυσίμων, ενώ τα ηλεκτρικά οχήματα παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευελιξία στους τόπους φόρτισης.



Εικόνα 5-2 Σημεία φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων τις καθημερινές & τα Σαββατοκύριακα [86]



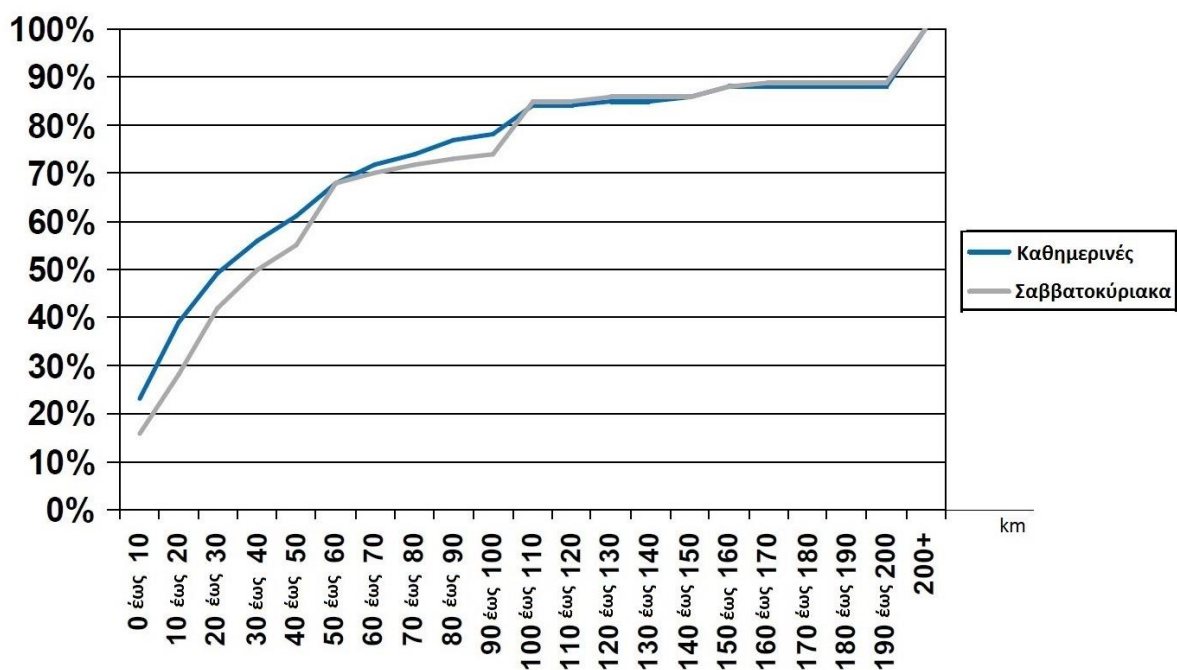
Εικόνα 5-3 Ποσοστά εναλλακτικών σημείων ανεφοδιασμού συμβατικών και ηλεκτρικών οχημάτων [86]

Κάθε χώρος στάθμευσης λοιπόν μπορεί να αποτελέσει έναν δυνητικό χώρο φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Η Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου αποτελεί χώρο εργασίας και τόπο προσέλευσης για ένα μεγάλο ποσοστό ανθρώπων καθημερινά. Το διδακτικό προσωπικό, οι πάσης φύσεως εργαζόμενοι αλλά και οι φοιτητές θα μπορούσαν να επωφεληθούν από την εγκατάσταση σταθμών φόρτισης στους χώρους στάθμευσης της Πολυτεχνειούπολης.

## 5.2 Αποστάσεις που διανύουν οι οδηγοί στην Ευρώπη και στην Ελλάδα

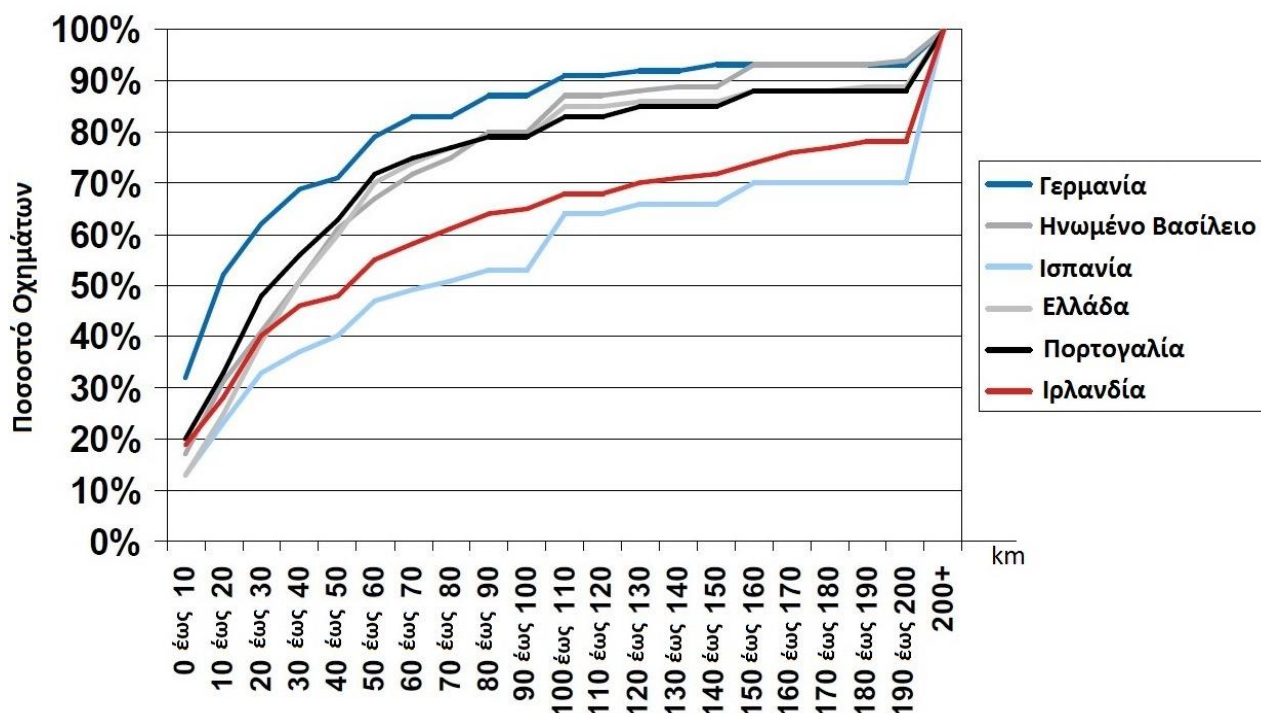
Σημαντικό ρόλο στην αυτονομία των ηλεκτρικών οχημάτων κατέχει η απόσταση που διανύουν καθημερινά κατά μέσο όρο οι οδηγοί τους. Η απόσταση αυτή καθορίζει το βαθμό εξάντλησης των συσσωρευτών και συνεπώς την μέγιστη χιλιομετρική διαφορά που θα πρέπει να έχουν οι σταθμοί φόρτισης μεταξύ τους. Στα πλαίσια του ερευνητικού έργου «MERGE», επιχειρήθηκε με τη χρήση ερωτηματολογίων να προσδιοριστεί η μέση απόσταση που ταξιδεύουν ανά ημέρα οι οδηγοί τόσο μία τυπική εργάσιμη ημέρα της εβδομάδας όσο και μία τυπική ημέρα του Σαββατοκύριακου. Τα ακόλουθα αποτελέσματα συνοψίζουν τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν για το προφίλ των οδηγών, σε διάφορες χώρες, σε σχέση με τις αποστάσεις που διανύουν.

Η εικόνα 5.4 παρουσιάζει με τη μορφή ποσοστών, τις αποστάσεις που καλύπτουν κατά μέσο όρο τα οχήματα στην Ε.Ε. τις καθημερινές και τα σαββατοκύριακα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι τις εργάσιμες μέρες, το 50% των οδηγών διανύουν έως και 30 km, ενώ περισσότερα από 110 km ημερησίως καλύπτει σχεδόν το 85% των οχημάτων με το ποσοστό να μην διαφοροποιείται κατά πολύ για τις αποστάσεις από εκεί και πάνω. Τα σαββατοκύριακα, ο αριθμός των αυτοκινήτων που διανύουν μέχρι 110 km είναι ελαφρώς μικρότερος, ενώ για μεγαλύτερες αποστάσεις, τα ποσοστά συμπίπτουν με αυτά των εργάσιμων ημερών.



Εικόνα 5-4 Απόσταση που καλύπτουν κατά μέσο όρο τα οχήματα γενικά στην Ε.Ε. [86]

Η εικόνα 5.5 δείχνει τη διακύμανση των αποστάσεων που διανύουν οι οδηγοί ανά εργάσιμη ημέρα σε 6 χώρες μέλη της Ε.Ε.. Όπως φαίνεται, στην Ελλάδα το 83% με 91% των οδηγών, καλύπτουν τουλάχιστον 110 km ημερησίως σε μία τυπική καθημερινή ημέρα. Το ποσοστό αυτό υποδεικνύει, ότι οι οδηγοί ηλεκτρικών οχημάτων θα πρέπει να φορτίσουν τα αυτοκίνητά τους τουλάχιστον μία φορά μέσα στην ημέρα. Εάν η οικιακή φόρτιση δεν είναι εφικτή λόγω έλλειψης υποδομών, κάτι τέτοιο θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί στο χώρο εργασίας.



Εικόνα 5-5 Απόσταση που καλύπτουν τα οχήματα σε διάφορες χώρες της Ε.Ε. [86]

### 5.3 Υπάρχουσα κατάσταση Πολυτεχνειούπολης Ε.Μ.Π.

Το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Ε.Μ.Π.) είναι το παλαιότερο εκπαιδευτικό ίδρυμα της Ελλάδας στο τομέα της τεχνολογίας, συνεισφέροντας στην επιστημονική, τεχνική και οικονομική ανάπτυξη της χώρας από την ίδρυση του το 1836.

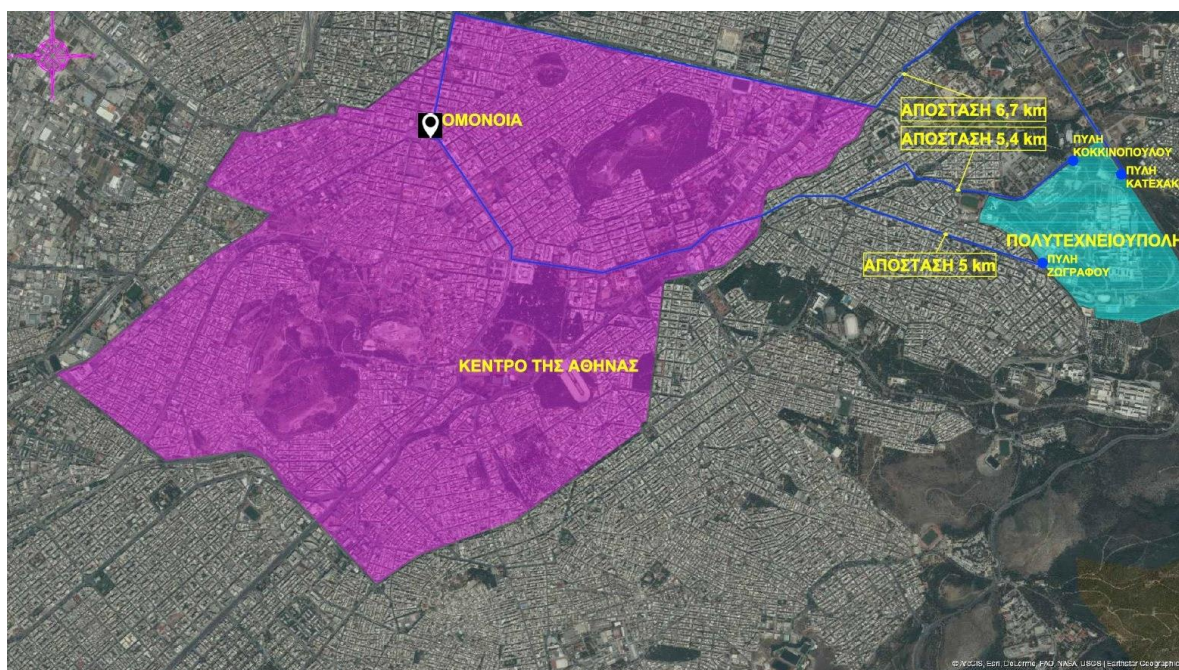
Σήμερα, οι εγκαταστάσεις του, συνολικής έκτασης 298050 m<sup>2</sup>, βρίσκονται κυρίως στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου (260950 m<sup>2</sup>), ενώ στο ιστορικό συγκρότημα της οδού Πατησίων φιλοξενείται η Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών (37100 m<sup>2</sup>). Τα μέλη της Πολυτεχνικής κοινότητας, για το ακαδημαϊκό έτος 2014 – 2015, ανέρχονται στα 29461, εκ των οποίων 5547 αποτελεί προσωπικό και τα υπόλοιπα 23914 είναι προπτυχιακοί, μεταπτυχιακοί φοιτητές και υποψήφιοι διδάκτορες, [104].

### 5.3.1 Θέση Πολυτεχνειούπολης στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας

Η κίνηση στους δρόμους της Αθήνας χαρακτηρίζεται από σημαντικές καθυστερήσεις και χαμηλές ταχύτητες, μεγάλη χρονική διάρκεια ταξιδιών, υψηλές καταναλώσεις και εκπομπές ρύπων. Η κατάσταση επιβαρύνεται από το γεγονός, ότι σημαντικό ποσοστό του οδικού δικτύου είναι είτε πολύ στενό είτε με απότομη κλίση. Έχει εκτιμηθεί, ότι η συνολική μέση ημερήσια ταχύτητα στις κύριες αστικές περιοχές είναι περίπου 23 km/h, ενώ στα απομονωμένα προάστια 35 km/h και στις ημιαγροτικές περιοχές 52 km/h. Οι ταχύτητες κατά τη διάρκεια ωρών αιχμής στις κεντρικές περιοχές είναι αρκετά χαμηλότερες, σε μερικές περιπτώσεις κάτω από 10 km/h, [105].

Η Πολυτεχνειούπολη, βρίσκεται στα ανατολικά του λεκανοπεδίου της Αττικής, στους πρόποδες του Υμηττού. Διαθέτει τρεις εισόδους πρόσβασης σε αυτήν, τις πύλες «Κατεχάκη» και «Κοκκινοπούλου», οι οποίες βρίσκονται στις ομώνυμες λεωφόρους, και την πύλη «Ζωγράφου» στην πλευρά της οδού Ηρώων Πολυτεχνείου. Οπότε, η απόσταση της Πολυτεχνειούπολης από το κέντρο της Αθήνας (Ομόνοια) ποικίλει, ανάλογα με τη διαδρομή που ακολουθείται:

- Από την πύλη Κατεχάκη μέσω της λεωφόρου Αλεξάνδρας είναι 6.7 km
- Από την πύλη Κοκκινοπούλου μέσω της λεωφόρου Βασιλίσσης Σοφίας είναι 5.4 km
- Από την πύλη Ζωγράφου μέσω της λεωφόρου Βασιλίσσης Σοφίας είναι 5 km



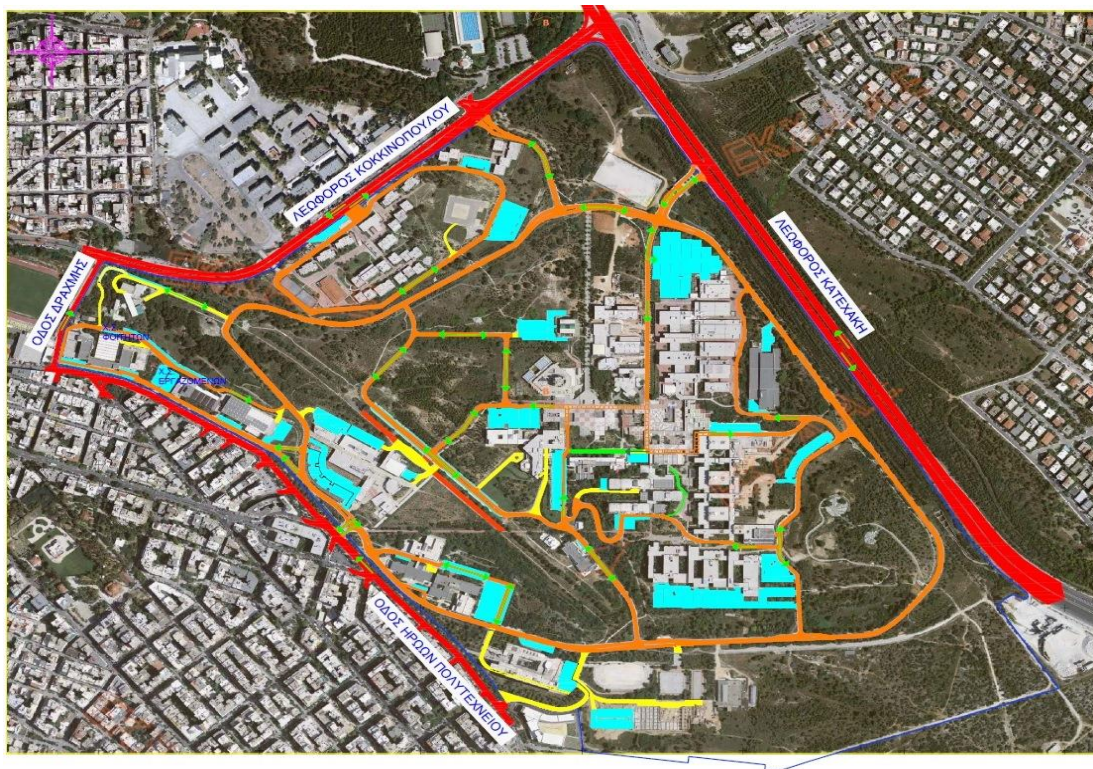
Εικόνα 5-6 Αποστάσεις Πολυτεχνειούπολης από το κέντρο της Αθήνας [106]

### 5.3.2 Δίκτυο δρόμων κυκλοφορίας οχημάτων – Χώροι στάθμευσης

Το οδικό δίκτυο της Πολυτεχνειούπολης, οι κατευθύνσεις των δρόμων και οι χώροι στάθμευσης, αποδίδονται στο χάρτη της εικόνας 5.7. Οι τρεις δρόμοι από τις πύλες συνδέονται με έναν περιμετρικό δακτύλιο διπλής κατεύθυνσης, όπως και οι περισσότεροι δρόμοι. Ο σχεδιασμός του

δακτυλίου αυτού στοχεύει στην μείωση των οχημάτων στο κέντρο της Πολυτεχνειούπολης, προσφέροντας περιμετρική πρόσβαση στις διάφορες εγκαταστάσεις. Από αυτόν τον δακτύλιο εκτείνονται δρόμοι προς το κέντρο της Πολυτεχνειούπολης ή και προς διάφορες άλλες κατευθύνσεις.

Σύμφωνα με την μελέτη που εκπονήθηκε από τοπογράφο μηχανικό για την κυκλοφορία στο campus του Ε.Μ.Π, [106], οι χώροι στάθμευσης στην Πολυτεχνειούπολη βρίσκονται γύρω από τις διάφορες πανεπιστημιακές εγκαταστάσεις, κυρίως στην πίσω πλευρά των κτιρίων. Αριθμούν 2272 θέσεις σε αναλογία ατόμων/θέσεων 1:9 ή 1:6, αν εξαιρεθούν οι μη ενεργοί φοιτητές, δηλαδή αυτοί που η διάρκεια φοίτησης τους ξεπερνά την κανονική διάρκεια σπουδών, προσαυξημένη κατά δύο έτη. Οι περισσότεροι χώροι είναι ανοιχτοί, ενώ στεγασμένες θέσεις υπάρχουν στο υπόγειο τμήμα, δίπλα στο κτίριο διοίκησης, χωρητικότητας 159 θέσεων και στη σχολή Πολιτικών Μηχανικών, χωρητικότητας 100 θέσεων (εικόνα 5.7). Αξίζει να σημειωθεί, πως ως χώροι στάθμευσης θεωρήθηκαν και όποιοι βρίσκονται στην άκρη του δρόμου, αρκεί να έχουν πινακίδα σήμανσης ή και σήμανση στο οδόστρωμα.



Εικόνα 5-7 Δίκτυο δρόμων & χώρων στάθμευσης (γαλάζιο χρώμα) [106]

### 5.3.3 Προσδιορισμός κριτηρίων χωροθέτησης σταθμών φόρτισης

Σύμφωνα με την ίδια μελέτη, η χωρητικότητα όλων των θέσεων στάθμευσης στους κατάλληλα διαμορφωμένους χώρους (parking) της Πολυτεχνειούπολης παρουσιάζονται στην εικόνα 5.8. Επειδή κάθε σταθμός φόρτισης έχει σημαντικό κόστος, προτείνεται, οι φορτιστές να εγκατασταθούν στα parking που εξυπηρετούν τα περισσότερα οχήματα, δηλαδή αυτά με πάνω από 100 θέσεις.



Εικόνα 5-8 Χωρητικότητα θέσεων στάθμευσης στην Πολυτεχνειούπολη Ε.Μ.Π. [106]



Εικόνα 5-9 Ποσοστό πληρότητας χώρων στάθμευσης [106]

Η μέτρηση των σταθμευμένων οχημάτων κατά την ώρα αιχμής, δηλαδή στο διάστημα 12:00 με 13:00, σε συνδυασμό με τη χωρητικότητα των parking, οδηγούν στον υπολογισμό του ποσοστού πληρότητάς τους κατά την ώρα αυτή (Εικόνα 5.9). Στην εικόνα αυτή σημειώνονται επιπρόσθετα και τα τμήματα των δρόμων στα οποία σταθμεύουν αυτοκίνητα καθώς και ο αριθμός των αυτοκινήτων αυτών. Διαπιστώθηκε, πως κάποια οχήματα σταθμεύουν σε αδιαμόρφωτους χώρους στην ανατολική πλευρά της σχολής Χημικών Μηχανικών και άλλα σε πεζόδρομους ή πλατείες. Τελικά, η συνολική πληρότητα των χώρων στάθμευσης ήταν μόλις 69% (μετρήθηκαν 1392 οχήματα), όμως, αν προστεθούν και τα σταθμευμένα οχήματα εκτός των parking (μετρήθηκαν 427 οχήματα), η πληρότητα φτάνει το 89%. Με βάση όλα τα παραπάνω δεδομένα στοιχειοθετείται ο πίνακας 5.1.



Πίνακας 5.1 Οι 9 μεγαλύτεροι χώροι στάθμευσης Πολυτεχνειούπολης

| A/A | Χώροι Στάθμευσης                   | Αριθμός θέσεων στάθμευσης | Ποσοστό πληρότητας |
|-----|------------------------------------|---------------------------|--------------------|
| 1   | Μηχανολόγοι Μηχανικοί              | 302                       | 76%                |
| 2   | Μεταλλειολόγοι (Παλιά κτίρια ΗΜΜΥ) | 300                       | 86%                |
| 3   | Τοπογράφοι Μηχανικοί               | 168                       | 42%                |
| 4   | Κτίριο Διοίκησης                   | 116                       | 100%               |
| 5   | Κτίριο Διοίκησης (Υπόγειο)         | 159                       | 100%               |
| 6   | Πολιτικοί Μηχανικοί (Βόρειο)       | 100                       | 25%                |
| 7   | Πολιτικοί Μηχανικοί (Νότιο)        | 116                       | 66%                |
| 8   | Πολιτικοί Μηχανικοί (Υπόγειο)      | 100                       | 63%                |
| 9   | Χώροι Άθλησης – Γυμναστήριο        | 85                        | –                  |

Σημειώνεται, ότι το parking των χώρων άθλησης αν και διαθέτει λιγότερες από 100 θέσεις για τη στάθμευση αυτοκινήτων, θα μπορούσε να αποτελέσει υποψήφιο χώρο εγκατάστασης σταθμού φόρτισης λόγω της μεγάλης επισκεψιμότητάς του καθόλη τη διάρκεια της ημέρας. Για το εν λόγω parking δεν είναι δυνατό να υπολογιστούν ποσοστά πληρότητας, λόγω της μεταβλητής παρουσίας οχημάτων σε αυτό. Όλες οι τοποθεσίες είναι απαραίτητο να διαθέτουν επαρκή χώρο για την τοποθέτηση του απαραίτητου εξοπλισμού των φορτιστών. Κάτι τέτοιο ισχύει για τα parking της Πολυτεχνειούπολης, όπως διαπιστώθηκε κατόπιν αυτοψίας των χώρων αυτών. Επισημαίνεται, τέλος, ότι οι τρεις πρώτοι χώροι στάθμευσης καθώς και οι χωροι άθλησης εξυπηρετούνται από διαφορετικούς υποσταθμούς ο καθένας, ενώ τα τρία parking των Πολιτικών Μηχανικών (βόρειο, νότιο και υπόγειο) από τον ίδιο υποσταθμό. Ομοίως από έναν κοινό υποσταθμό εξυπηρετούνται και τα δύο parking του κτιρίου Διοίκησης (υπαίθριο και υπόγειο).

#### 5.4 Χωροθέτηση σταθμών φόρτισης στην περιοχή της Πολυτεχνειούπολης

Η Πολυτεχνειούπολη, είναι ένας χώρος ανοικτός για το κοινό, με ελεγχόμενη πρόσβαση, 24 ώρες το εικοσιτετράωρο, 7 ημέρες την εβδομάδα. Οι σταθμοί φόρτισης που θα εγκατασταθούν, θα εξυπηρετούν τους εργαζόμενους, τους καθηγητές (διδασκτικό, ερευνητικό προσωπικό), τους φοιτητές και τους επισκέπτες. Σε κάθε περίπτωση, ο χρόνος στάθμευσης δεν αναμένεται να είναι

λιγότερος από 5 ώρες και περισσότερος από 9 ώρες, καθώς τόσο είναι κατά μέσο όρο, το χρονικό διάστημα παραμονής του προσωπικού.

Οι σταθμοί φόρτισης, που θα επιλεγθούν, θα πρέπει:

1. Να έχουν εγκατεστημένη ισχύ μέχρι 60 kW, λόγω της υπολειπόμενης διαθέσιμης επάρκειας των υποσταθμών (Υ/Σ) μέσης προς χαμηλή τάση.
2. Να πληρούν το ΦΕΚ 50/B 2015, δηλαδή να παρέχουν φόρτιση με *Mode 3* (AC) και *Mode 4* (DC), ώστε να εξασφαλίζονται όλες οι απαραίτητες διατάξεις προστασίας ηλεκτρικού δικτύου και οχήματος και επικοινωνίας μεταξύ τους.
3. Να διαθέτουν πολλαπλούς ρευματοδότες, ώστε να παρέχουν ταυτόχρονα ενέργεια σε πολλά ηλεκτρικά οχήματα, κάτι το οποίο εξυπηρετεί από άποψη εξοικονόμησης χώρου εγκατάστασης και κατ' επέκταση πόρων.

Για την επιλογή και την εγκατάσταση των σταθμών φόρτισης, αποτελεί κριτήριο η ικανότητα του υπάρχοντος δικτύου να υποστηρίξει τα νέα φορτία. Σύμφωνα με την Τεχνική Υπηρεσία, ο κάθε υποσταθμός (Υ/Σ) μέσης τάσης προς χαμηλή τάση (20 kV/400 V), διαθέτει την απαραίτητη περίσσεια, από την πλευρά της χαμηλής, να δεχτεί νέα φορτία το πολύ μέχρι 60 kW. Μάλιστα, ύστερα από αυτοψία που διενεργήθηκε στους υπάρχοντες υποσταθμούς, αυτοί βρίσκονται σε πολύ κοντινή απόσταση από τον κάθε εξεταζόμενο χώρο φόρτισης. Αυτό αποτελεί θετικό στοιχείο, καθώς δεν απαιτούνται πολυδάπανα έργα ηλεκτρολογικής εγκατάστασης, ούτε χρειάζεται να ληφθούν κατάλληλα μέτρα για φαινόμενα πτώσης τάσης, λόγω του μήκους των νέων γραμμών που θα κατασκευαστούν. Ο υπολογισμός του συνολικού φορτίου της κάθε εγκατάστασης, εξαρτάται από τον αριθμό των σταθμών, άρα και των σημείων φόρτισης που θα επιλεγθούν, και από τις απαιτήσεις ισχύος του κάθε σταθμού.

Από τις τέσσερις μεθόδους (Modes 1, 2, 3 και 4) τροφοδότησης ηλεκτρικών οχημάτων, όπως αυτές αναφέρονται στην παράγραφο 4.5.1, η απλή και άμεση σύνδεση του αυτοκινήτου με το ηλεκτρικό δίκτυο ενός κτιρίου μέσω απλού ρευματοδότη τύπου schuko, (*Mode 1*) απορρίπτεται, ως επικίνδυνη, καθώς ενέχει τον κίνδυνο βραχυκυκλώματος και ζημιών στο αυτοκίνητο και στο κτίριο. Ακόμα απορρίπτεται και η φόρτιση με τη χρήση ειδικού καλωδίου, που αποτελεί εξάρτημα κάθε αυτοκινήτου (*Mode 2*), καθώς συστήνεται από τους κατασκευαστές ηλεκτρικών αυτοκινήτων μόνο ως λύση ανάγκης. Οι πλέον ενδεδειγμένες μέθοδοι φόρτισης είναι μέσω ειδικού φορτιστή, που ενσωματώνει όλες τις διατάξεις προστασίας, δηλαδή το *Mode 3* και το *Mode 4* για DC ταχεία και υπερταχεία φόρτιση αντίστοιχα, όπως υπαγορεύεται και από το ΦΕΚ 50B/2015.

Σήμερα, υπάρχουν πολλές εταιρίες πώλησης σταθμών φόρτισης με μια ευρεία ποικιλία προϊόντων, ανάλογα με τις ανάγκες του καταναλωτή. Η εταιρεία Circontrol παρέχει τις περισσότερες επιλογές ως προς το εύρος ισχύος για σταθμούς φόρτισης που ανήκουν στο *Mode 3*. Επιπλέον, οι φορτιστές της περιλαμβάνουν προηγμένες δυνατότητες επικοινωνίας για την παρακολούθηση και την εξ αποστάσεως ρύθμιση της φόρτισης του ηλεκτρικού οχήματος καθώς και RFID συσκευή ανάγνωσης. Συγκεκριμένα, για τα υπόγεια parking, συστήνεται το μοντέλο CCL-WBC Smart, το οποίο τοποθετείται επάνω σε τοίχο, με έναν ρευματοδότη και

εγκατεστημένη ισχύ  $P=3.6 \text{ kW}$ . Αντίθετα, για τους υπαίθριους χώρους στάθμευσης, ενδείκνυται το μοντέλο CCL-PM3. Αυτό είναι κατάλληλο για εξωτερικούς χώρους, καθώς τοποθετείται σε όρθια βάση στήριξης επάνω σε πεζοδρόμια και διαθέτει δύο ρευματοδότες, παρέχοντας  $7.3 \text{ kW}$  κανονικής φόρτισης ο καθένας σε δύο ηλεκτρικά οχήματα ταυτόχρονα, με εγκατεστημένη ισχύ ανά σταθμό,  $P=14.4 \text{ kW}$ . Επίσης, για πιο γρήγορη φόρτιση, επιλέγεται το μοντέλο CCL-PT3, ίδιου σχεδιασμού με το προηγούμενο, μόνο που παρέχει τριφασική ημιταχεία φόρτιση, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ  $P=42 \text{ kW}$ .

| Smart Wallbox Series - CCL-WBC SMART |  |
|--------------------------------------|--|
| <b>Type</b>                          | CCL-WBC SMART  |
| Code                                 | 490075   |
| Number of sockets                    | 1  |
| <b>Input</b>                         |  |
| AC power supply                      | 1P + N   |
| AC Voltage                           | 230V AC +/- 10%  |
| Nominal input current**              | 16 A   |
| Nominal input power                  | 3,6 kW   |
| Required power supply capacity       | 3,68 kVA   |
| Frequency                            | 50 / 60 Hz   |
| <b>Output</b>                        |  |
| Rated output power                   | 3,6 kW   |
| Rated output current*                | 16 A<br>230 V AC 1P + N                                      |
| <b>Charge system</b>                 |  |
| Socket A                             | Mode 3 (IEC 61851)<br>Type 1 (UNE EN 62196-2) tethered cable |
| Socket B                             | -  |



*Εικόνα 5-10 Ο προτεινόμενος φορτιστής τοίχου CCL-WBC Smart [107]*

### Charging Post Smart Series -CCL-PM3

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| Type                           | <b>CCL-PM3</b>  |
| Code                           | 490081  |
| Number of sockets              | 2   |
| <b>Input</b>                   |   |
| AC power supply                | 1P + N + PE   |
| AC Voltage                     | 230V AC +/- 10%   |
| Nominal input current*         | 64 A  |
| Nominal input power            | 14,4 kW   |
| Required power supply capacity | 14,5 kVA  |
| Frequency                      | 50 / 60 Hz  |
| <b>Output</b>                  |   |
| Maximum output power           | 7,3 kW (Socket A)<br>7,3 kW (Socket B)                    |
| Maximum output current         | 32 A (Socket A)<br>32 A (Socket B)                        |
| AC output voltage              | 230 V AC 1P + N   |
| <b>Charge system</b>           |   |
| Socket A                       | Mode 3 (IEC 61851)<br>Type 2 (UNE EN 62196-2) lock system |
| Socket B                       | Mode 3 (IEC 61851)<br>Type 2 (UNE EN 62196-2) lock system |



Εικόνα 5-11 Ο προτεινόμενος σταθμός φόρτισης CCL-PM3 για τους υπαίθριους χώρους [108]

### Charging Post Smart Series -CCL-PT3

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| Type                           | <b>CCL-PT3</b>  |
| Code                           | 490083  |
| Number of sockets              | 2   |
| <b>Input</b>                   |   |
| AC power supply                | 3P + N + PE   |
| AC Voltage                     | 400V AC +/- 10%   |
| Nominal input current*         | 64 A  |
| Nominal input power            | 42 kW   |
| Required power supply capacity | 44,2 kVA  |
| Frequency                      | 50 / 60 Hz  |
| <b>Output</b>                  |   |
| Maximum output power           | 21 kW (Socket A) / 21 kW (Socket B)                       |
| Maximum output current*        | 32 A (Socket A) / 32 A (Socket B)                         |
| AC output voltage              | 400 V AC 3P + N   |
| <b>Charge system</b>           |   |
| Socket A                       | Mode 3 (IEC 61851)<br>Type 2 (UNE EN 62196-2) lock system |
| Socket B                       | Mode 3 (IEC 61851)<br>Type 2 (UNE EN 62196-2) lock system |



Εικόνα 5-12 Ο προτεινόμενος σταθμός ημιταχείας φόρτισης CCL-PT3 [108]

Πίνακας 5.2 Συγκεντρωτικός πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των προτεινόμενων φορτιστών των χώρων στάθμευσης

| Είδος φορτιστή       | Εγκατεστημένη ισχύς | Τάση       | Ρεύμα | Πλήθος ρευματοδοτών |
|----------------------|---------------------|------------|-------|---------------------|
| <b>CCL-WBS Smart</b> | 3.6 kW              | 230 V (1Φ) | 16 A  | 1                   |
| <b>CCL-PM3</b>       | 14.4 kW (2·7.3 kW)  | 230 V (1Φ) | 32 A  | 2                   |
| <b>CCL-PT3</b>       | 42 kW (2·21 kW)     | 400 V (3Φ) | 32 A  | 2                   |

Επομένως, η διανομή των σταθμών φόρτισης στους χώρους στάθμευσης του πίνακα 5.1, πραγματοποιείται ως εξής:

- Για τα υπαίθρια parking των Μηχανολόγων Μηχανικών, των Μεταλλειολόγων (παλιά κτίρια ΗΜΜΥ) και των Τοπογράφων Μηχανικών, λόγω του μεγάλου αριθμού θέσεων τους, προτείνεται η τοποθέτηση τεσσάρων σημείων φόρτισης του μοντέλου CCL-PM3. Επομένως, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ

$$P = 4 \cdot 14.4 \text{ kW} = 57.6 \text{ kW} < 60 \text{ kW}$$

θα μπορούν να φορτίζουν ταυτόχρονα μέχρι και 8 ηλεκτρικά οχήματα.

- Οι χώροι στάθμευσης των Πολιτικών Μηχανικών, παρότι έχουν μεγάλο αριθμό θέσεων, έχουν μικρό ποσοστό πληρότητας. Έτσι, προτείνεται η εγκατάσταση ενός CCL-PM3 στο Βόρειο parking, δύο CCL-PM3 στο Νότιο και τεσσάρων CCL-WBS Smart στο υπόγειο parking. Εδώ, η συνολική εγκατεστημένη ισχύ, θα είναι:

$$P = 3 \cdot 14.4 \text{ kW} + 4 \cdot 3.6 \text{ kW} = 57.6 \text{ kW} < 60 \text{ kW}$$

- Τα δύο parking του κτιρίου Διοίκησης, το υπαίθριο και το υπόγειο, τροφοδοτούνται από έναν υποσταθμό, οπότε συστήνεται η εγκατάσταση τριών σημείων φόρτισης μοντέλου CCL-PM3 στο υπαίθριο και τεσσάρων CCL-WBS Smart στο υπόγειο, δηλαδή η εγκατεστημένη ισχύς θα είναι:

$$P = 3 \cdot 14.4 \text{ kW} + 4 \cdot 3.6 \text{ kW} = 57.6 \text{ kW} < 60 \text{ kW}$$

- Για τις θέσεις στάθμευσης των χώρων άθλησης και του γυμναστηρίου, επειδή ο κόσμος που αθλείται, μένει μία έως το πολύ τρεις ώρες, συστήνεται η τοποθέτηση μοντέλου γρηγορότερης φόρτισης, για το μικρό αυτό χρονικό διάστημα. Για τον λόγο αυτόν, επιλέγεται ένα σημείο φόρτισης μοντέλου CCL-PT3 και ένα μοντέλου CCL-PM3, με εγκατεστημένη ισχύ:

$$P = 42 \text{ kW} + 14.4 \text{ kW} = 56.4 \text{ kW} < 60 \text{ kW}$$

Πίνακας 5.3 Συγκεντρωτικός πίνακας με τα σημεία φόρτισης ανά χώρο parking

| Χώροι<br>Στάθμευσης                      | Μοντέλα<br>φορτιστών                       | Αριθμός<br>Σημείων<br>Φόρτισης | Αριθμός<br>ρευματοδοτών<br>ανά φορτιστή | Εγκατε-<br>στημένη<br>Ισχύς | Περίσσεια<br>Ισχύος<br>Υ/Σ | Μέγιστος<br>αριθμός<br>ρευματο-<br>δοτών |
|--|--|--------------------------------|---|-----------------------------|----------------------------|--|
| Μηχανολόγοι<br>Μηχανικοί                 | CCL-PM3<br>(14.4 kW)                       | 4                              | 2                                       | 57.6 kW                     | 60 kW                      | 8  |
| Μεταλλειολόγοι<br>(Παλιά κτίρια<br>ΗΜΜΥ) | CCL-PM3<br>(14.4 kW)                       | 4                              | 2                                       | 57.6 kW                     | 60 kW                      | 8  |
| Τοπογράφοι<br>Μηχανικοί                  | CCL-PM3<br>(14.4 kW)                       | 4                              | 2                                       | 57.6 kW                     | 60 kW                      | 8  |
| Πολιτικοί<br>Μηχανικοί<br>(Βόρειο)       | CCL-PM3<br>(14.4 kW)                       | 1                              | 2                                       | 57.6 kW                     | 60 kW                      | 2  |
| Πολιτικοί<br>Μηχανικοί<br>(Νότιο)        | CCL-PM3<br>(14.4 kW)                       | 2                              | 2                                       |                             |                            | 4  |
| Πολιτικοί<br>Μηχανικοί<br>(υπόγειο)      | CCL-WBC<br>Smart<br>(3.6 kW)               | 4                              | 1                                       |                             |                            | 4  |
| Κτίριο<br>Διοίκησης<br>(υπαίθριο)        | CCL-PM3<br>(14.4 kW)                       | 3                              | 2                                       | 57.6 kW                     | 60 kW                      | 6  |
| Κτίριο<br>Διοίκησης<br>(υπόγειο)         | CCL-WBC<br>Smart<br>(3.6 kW)               | 4                              | 1                                       |                             |                            | 4  |
| Χώροι<br>Αθλησης –<br>Γυμναστήριο        | CCL-PT3<br>(42 kW)<br>CCL-PM3<br>(14.4 kW) | 2                              | 2                                       | 56.4 kW                     | 60 kW                      | 4  |
|  | <b>Σύνολο:</b>                             | <b>28</b>                      |   | <b>344.4<br/>kW</b>         |                            | <b>48</b>                                |

Από τον παραπάνω πίνακα, προκύπτει ότι σε μεγάλης χωρητικότητας parking, όπως αυτό των Μηχανολόγων Μηχανικών (δίπλα στο Κτίριο Ο), συστήνεται να τοποθετηθούν μόλις τέσσερα σημεία φόρτισης, φορτίζοντας ταυτόχρονα μέχρι οκτώ ηλεκτρικά οχήματα. Δηλαδή, πολύ μικρός αριθμός αναλογικά με τη χωρητικότητα του parking. Ένας αποτελεσματικός τρόπος εξυπηρέτησης περισσότερων χρηστών αλλά και μείωσης του κόστους εγκατάστασης είναι η εφαρμογή ενός συστήματος διαχείρισης, που επιτρέπει την εκ περιτροπής φόρτιση των οχημάτων. Με το σύστημα αυτό, αντί για πολλές ξεχωριστές γραμμές τροφοδοσίας των σταθμών φόρτισης, γίνεται χρήση μιας κοινής γραμμής, μειώνοντας έτσι το κόστος. Η γραμμή

αυτή καταλήγει σε έναν ελεγκτή (EVMC – Electric Vehicle Master Controller), ο οποίος διαχωρίζει το ρεύμα στους σταθμούς φόρτισης και είναι υπεύθυνος για την επίβλεψη της διαδικασίας. Κάθε σταθμός φόρτισης τροφοδοτείται για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και στη συνέχεια εισέρχεται σε κατάσταση αναμονής, καθώς τροφοδοτείται ο επόμενος σε σειρά σταθμός. Η επιλογή του σταθμού, που θα είναι ενεργός κάθε χρονική στιγμή, γίνεται με τη χρήση ενός round-robin αλγορίθμου, ενώ πριν την έναρξη της τροφοδοσίας ο ελεγκτής ελέγχει την πληρότητα των μπαταριών. Εάν η φόρτιση είναι πλήρης, τότε η φόρτιση ξεκινά στον επόμενο σταθμό. Με τον τρόπο αυτό, η μέγιστη ισχύς που απαιτείται συνολικά από το δίκτυο μειώνεται, δίνοντας την δυνατότητα εγκατάστασης περισσότερων σταθμών, ενώ απαλλάσσει τους χρήστες από την επίβλεψη της φόρτισης, [109].

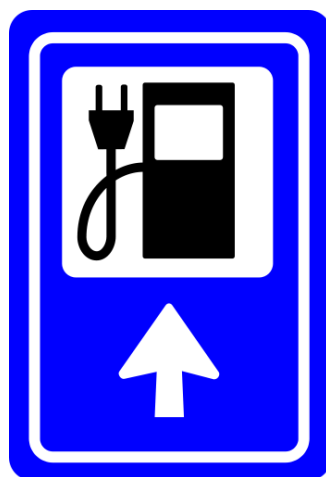


Εικόνα 5-13 Φόρτιση με τη χρήση ελεγκτή (controller)[109]

Τέλος, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ταχυφορτιστής, ισχύος 50 kW, καθώς δύναται να καλύψει την ισχύ του ένας οποιοσδήποτε υποσταθμός, αλλά και να υπάρχει παράλληλα με άλλους, εάν λειτουργεί με το προαναφερόμενο σύστημα EVMC. Οι ταχυφορτιστές όμως, επειδή μετατρέπουν το AC σε DC, απαιτούν πρόσθετο εξοπλισμό, οπότε κοστίζουν ακριβά, και μία τέτοια επένδυση, σε περίπτωση βλάβης ενέχει πολλούς κινδύνους, όπως προβλήματα βέλτιστης λειτουργίας για φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων.

## 5.5 Υπάρχοντα προβλήματα των χώρων στάθμευσης

Κατά την μελέτη των χώρων στάθμευσης της Πολυτεχνειούπολης εντοπίστηκαν και ορισμένα χαρακτηριστικά που είναι δυνατόν να δημιουργήσουν προβλήματα στην εγκατάσταση ενός σταθμού φόρτισης στους χώρους αυτούς. Για παράδειγμα, η σκίαση των περισσότερων υπαίθριων χώρων στάθμευσης της Πολυτεχνειούπολης είναι περιορισμένη. Η έλλειψη επαρκούς σκίασης σε αυτούς τους χώρους προτρέπει τους ιδιοκτήτες των οχημάτων να αναζητούν άλλες θέσεις στάθμευσης, όπως στην άκρη του δρόμου, όπου τα παρακείμενα δέντρα προσφέρουν την απαραίτητη κάλυψη από τον ήλιο. Σε τέτοια σημεία όμως είναι δύσκολη η τοποθέτηση σταθμών φόρτισης. Επίσης, η έλλειψη σήμανσης είναι δυνατό να λειτουργήσει ως τροχοπέδη για την προώθηση της λειτουργίας ενός σταθμού φόρτισης. Οι χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων σε ξένα πανεπιστήμια, διαθέτουν κατακόρυφη σήμανση (πινακίδες) ή και οριζόντια (διαγράμμιση οδοστρώματος). Αυτό δεν ισχύει σε όλους τους χώρους στάθμευσης της Πολυτεχνειούπολης. Κρίνεται λοιπόν ωφέλιμη η τοποθέτηση κατάλληλων σηματοδοτών (πινακίδες), τόσο για απλές θέσεις στάθμευσης όσο και για φόρτιση ηλεκτρικών αυτοκινήτων.



*Εικόνα 5-14 Παράδειγμα σήμανσης σταθμού φόρτισης (Ε.Ε.) [88]*

## **5.6 Εκτίμηση κόστους εγκατάσταση σταθμών φόρτισης**

Τα ηλεκτρικά οχήματα φαίνεται πως, όσο περνούν τα χρόνια και η τεχνολογική εξέλιξη μεγαλώνει, αποκτούν σιγά σιγά ένα κοινό, που επιθυμεί να συμβάλει στην προστασία του περιβάλλοντος και παράλληλα να εξοικονομήσει χρήματα. Οι περισσότεροι οδηγοί προτιμούν να φορτίσουν τα οχήματά τους στο σπίτι τους. Αρκετοί όμως λαμβάνουν υπόψη τους την πρόσβαση σε ένα πανελλαδικό δίκτυο σταθμών φόρτισης, πριν καν εξετάσουν την αγορά ενός ηλεκτρικού οχήματος. Αλλά το υψηλό κόστος του εξοπλισμού και των εγκαταστάσεων ενός σταθμού φόρτισης, εμποδίζουν την ανάπτυξη ενός τέτοιου δικτύου. Ως εκ τούτου, απαιτούνται οικονομικά αποδοτικές λύσεις, για να διασφαλιστεί μία μελλοντική επένδυση σε σταθμούς φόρτισης.

Το κόστος λοιπόν, ενός σταθμού φόρτισης, μπορεί τυπικά να χωριστεί στις εξής κατηγορίες:

1. Κόστος αγοράς του σταθμού φόρτισης, καθώς και άλλων λοιπών υλικών
2. Κόστος του ηλεκτρολόγου εγκαταστάτη και άλλων εργασιών
3. Οι εργατοώρες του ηλεκτρολόγου που δαπανά για προετοιμασία, πριν έρθει στον χώρο εγκατάστασης
4. Το κόστος της αδειοδότησης.

Σε γενικές γραμμές, οι φορτιστές, που εγκαθίστανται σε δημόσιους χώρους ή σε χώρους με δημόσια πρόσβαση, όπως αυτοί που μπορεί να τοποθετηθούν στην Πολυτεχνειούπολη, είναι ακριβότεροι από τους οικιακούς. Μάλιστα, το κόστος ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο της εγκατάστασης, δηλαδή αν πρόκειται για φορτιστές που είναι όρθιοι σε βάση στήριξης ή που τοποθετούνται απλά επάνω σε τοίχο. Το κόστος εξαρτάται ακόμα από το πλήθος των φορτιστών, καθώς επίσης και από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των σταθμών, όπως για παράδειγμα την εγκατεστημένη ισχύ τους. Όρθιοι φορτιστές, με έναν ρευματοδότη, μπορεί να κοστίζουν ακόμα



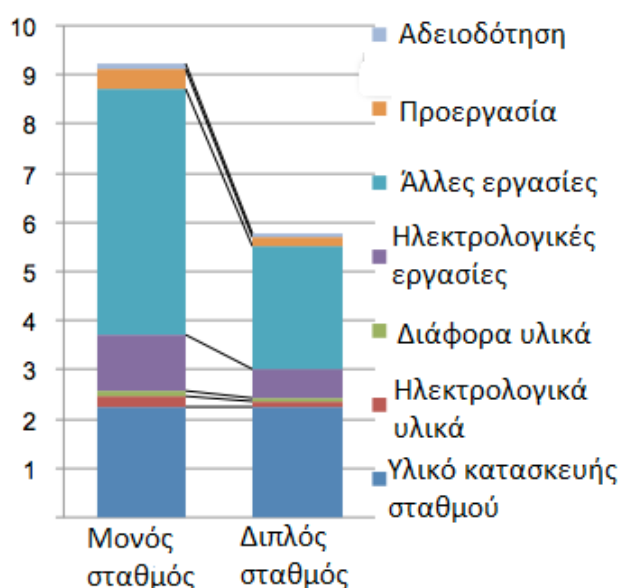
και 2300 €, ενώ το ποσό αυτό ανεβαίνει εάν διαθέτουν επιπλέον χαρακτηριστικά, όπως LCD οθόνες, ή οθόνες επαφής, συστήματα επικοινωνίας και παρακολούθησης δεδομένων.

Επιπλέον, σε αντίθεση με τους οικιακούς φορτιστές, όπου ο ίδιος ο φορτιστής αποτελεί το κυρίαρχο κόστος, το 60 – 80% του συνολικού κόστους στους δημόσιους σταθμούς φόρτισης, αποτελεί το κόστος εγκατάστασης. Μάλιστα, η απόσταση του πίνακα ασφαλειών από τον σταθμό, που συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 15 και 30 μέτρα, είναι συχνά ο πιο σημαντικός παράγοντας για τον προσδιορισμό του κόστους εγκατάστασης.

Από τα διάφορα είδη φορτιστών, οικονομικότεροι είναι εκείνοι που εγκαθίστανται σε κλειστά parking, με το κόστος τους να ανέρχεται περίπου στα 600 €. Το πλεονέκτημά τους είναι ότι τα καλώδια του ρεύματος μπορούν να τοποθετηθούν μέσα στους τοίχους, όπως συμβαίνει με τις εσωτερικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Αντίθετα, οι σταθμοί φόρτισης που εγκαθίστανται σε εξωτερικούς χώρους στάθμευσης, επάνω στο κράσπεδο πεζοδρομίου, τείνουν να είναι πολύ πιο ακριβοί, επειδή συχνά απαιτούνται δαπανηρές εργασίες (70 € – 270 € ανά μέτρο), όπως το άνοιγμα ορυγμάτων στο έδαφος για να περάσουν τα ηλεκτροφόρα καλώδια από τον πίνακα στον σταθμό φόρτισης.

Η εγκατάσταση σταθμών με πολλούς ρευματοδότες ενσωματωμένους, όπως το μοντέλο CCL-PM3 που προτάθηκε, μειώνει κατά πολύ το κόστος ανά φορτιστή. Στην περίπτωση αυτή, το κόστος περιορίζεται κυρίως γιατί ανοίγεται στο έδαφος ένα ενιαίο όρυγμα για την εγκατάσταση όλων των καλωδίων του συνόλου των παρακαείμενων σταθμών. Ο πίνακας ασφαλειών και τα καλώδια που τροφοδοτούν τέτοιους σταθμούς κοστίζουν πιο ακριβά, λόγω μεγαλύτερων διατομών καλωδίων και μεγέθους ασφαλειών. Το επιπλέον αυτό κόστος όμως εξοικονομείται από την ανάγκη τοποθέτησης λιγότερων φορτιστών.

Κόστος σε χιλιάδες δολάρια



Εικόνα 5-15 Κόστος δημόσιων σταθμών φόρτισης [110]

Τέλος, αν συμπεριληφθεί και το κόστος συντήρησης από μία τέτοια επένδυση, τότε ένα γενικό συμπέρασμα επί των οικονομικών, συνοψίζεται στα παρακάτω:

- Το κόστος εξοπλισμού κυμαίνεται γύρω στα 600 € για σταθμούς οικιακής φόρτισης και 800 € – 5000 € για τους σταθμούς κοινόχρηστων χώρων.

Συγκεκριμένα, στον πίνακα παρουσιάζεται το κόστος αγοράς των σταθμών φόρτισης από την εταιρία Circontrol, όπως αυτοί προτάθηκαν στην ενότητα 5.4 για το πλήθος των φορτιστών που επιλέχθηκαν στον πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.4 Τελικό κόστος αγοράς σταθμών φόρτισης

| Είδος φορτιστή       | Κόστος ανά φορτιστή | Πλήθος φορτιστών | Τελικό κόστος  |
|----------------------|---------------------|------------------|----------------|
| <b>CCL-WBS Smart</b> | 1135 €              | 8                | 9080 €         |
| <b>CCL-PM3</b>       | 4498 €              | 19               | 85462 €        |
| <b>CCL-PT3</b>       | 4870 €              | 1                | 4870 €         |
| <b>Σύνολο:</b>       |                     |                  | <b>99412 €</b> |

- Το κόστος εγκατάστασης, το οποίο εξαρτάται από την τοποθεσία και από το ήδη υπάρχον δίκτυο, είναι του εύρους των 2000 € και 10000 €. Υπολογίζεται, η εγκατάσταση των οικιακών φορτιστών να κοστίζει γύρω στα 2000 € και των κοινόχρηστων χώρων 5000 €, δηλαδή συνολικά γύρω στα 50000 €. Άρα, στα 3125 € ανά θέση στάθμευσης.

Επομένως, το συνολικό κόστος αγοράς και κόστος εγκατάστασης των σταθμών ανέρχεται, γύρω στα 150000 €. Εάν υποθεθεί ότι οι φορτιστές παρέχουν ισχύ 12 ώρες την ημέρα, από τις 08:00 έως τις 20:00, για 5 μέρες την εβδομάδα, τότε, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ στα 344 kW, τα ηλεκτρικά οχήματα, θα καταναλώναν

$$E = 344 \text{ kW} \cdot 52 \text{ weeks} = 344 \text{ kW} \cdot 52 \cdot 5 \cdot 12 \text{ h} = 1073280 \text{ kWh/έτος}$$

Με ισχύουσα τιμή 0.17 €/kWh, τα έσοδα από την καταναλισκόμενη αυτή ενέργεια θα είναι:

$$\text{Έσοδα} = 0.17 \text{ €/kWh} \cdot 1073280 \text{ kWh} = 182457.6 \text{ €/έτος}.$$

Τα παραπάνω έσοδα, είναι και από τις 48 θέσεις στάθμευσης. Επομένως, για κάθε θέση στάθμευσης, προκύπτουν έσοδα 3801.2 € το χρόνο.

- Το κόστος συντήρησης, καθορίζεται ανάλογα με την τιμολογιακή πολιτική. Αλλά ένα σύνηθες ποσό είναι γύρω στα 300 € το χρόνο συνολικά για όλους τους σταθμούς της Πολυτεχνειούπολης.
- Συνήθως, η πραγματική διάρκεια ζωής των σταθμών φόρτισης είναι τα 10 χρόνια. Για φορολογικούς λόγους όμως, μπορεί να γίνει απόσβεση μέσα σε 7 χρόνια, [111].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας η παρούσα διπλωματική εργασία για τις προοπτικές δημιουργίας σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, κατέληξε στα εξής συμπεράσματα:

1. Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα, με άμεσο αντίκτυπο στην υγεία αλλά και στην καθημερινότητα του ανθρώπου, με τον τομέα των μεταφορών να συμμετέχει κατά 25% στις συνολικές εκπομπές CO<sub>2</sub>. Είναι λοιπόν, επιτακτική η ανάγκη εξυγίανσης του τομέα μεταφορών και η στροφή σε οχήματα φιλικότερα προς το περιβάλλον.
2. Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα, δηλαδή τα οχήματα που χρησιμοποιούν για την κίνησή τους ένα τουλάχιστον ηλεκτροκινητήρα, έχουν προταθεί για να αντικαταστήσουν τα συμβατικά οχήματα στο μέλλον. Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα που φορτίζουν σε σταθμούς φόρτισης, διακρίνονται σε:
  - Υβριδικά ηλεκτρικά (PHEV, Plug-in Hybrid Electric Vehicles)
  - Ηλεκτρικά με ενσωματωμένη ηλεκτροπαραγωγική μονάδα (E-REV, Extended Range Electric Vehicles) και
  - Αμιγώς ηλεκτρικά (BEV – Battery Electric Vehicles)
3. Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι πιο αθόρυβα, οι κινητήρες τους διαθέτουν εξαιρετικά υψηλό βαθμό απόδοσης, ενώ τέλος, έχουν χαμηλότερο κόστος σε βάθος χρόνου. Αντίθετα, δεν έχουν διαδοθεί τόσο πολύ γιατί χαρακτηρίζονται από μεγάλο κόστος κατασκευής και αγοράς, από την περιορισμένη αυτονομία των συσσωρευτών τους, από την περιορισμένη διάρκεια ζωής των μπαταριών τους και από τον μεγάλο χρόνο επαναφόρτισής τους. Έτσι, στην προώθηση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι δυνατό να συμβάλει η ύπαρξη ενός εκτεταμένου δικτύου σταθμών φόρτισης.
4. Η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων, μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε ασύρματα είτε ενσύρματα, στο σπίτι ή σε κοινόχρηστους χώρους. Οι τέσσερις μέθοδοι φόρτισης (Modes) κατά το πρότυπο IEC 61851-1, είναι η οικιακή φόρτιση (*Mode 1*), παρέχοντας ισχύ 3.7 kW – 11 kW, με διάρκεια φόρτισης 7 – 12 ώρες, η ημιταχεία φόρτιση (*Mode 2*), δίνοντας ισχύ 3.7 kW – 22 kW, με διάρκεια περίπου 3 – 8 ώρες, η ταχεία φόρτιση (*Mode 3*), δίνοντας ισχύ έως 14.5 kW για μονοφασική σύνδεση και μέχρι 44 kW για τριφασική σύνδεση και διάρκεια φόρτισης 1 – 4 ώρες, και τέλος η υπερταχεία φόρτιση (*Mode 4*), με DC, δίνοντας ισχύ της τάξης των 50 kW – 160 kW και διάρκεια φόρτισης 20 – 30 λεπτά.
5. Από τους διάφορους χώρους στάθμευσης της Πολυτεχνειούπολης, επειδή κάθε σταθμός φόρτισης έχει σημαντικό κόστος, προτείνεται, οι φορτιστές να εγκατασταθούν στα parking που εξυπηρετούν τα περισσότερα οχήματα, δηλαδή αυτά με πάνω από 100 θέσεις.
6. Οι σταθμοί φόρτισης, επιλέχθηκαν έτσι ώστε να καλύπτουν τα παρακάτω κριτήρια:

- Εγκατεστημένη ισχύ μέχρι 60 kW, λόγω της υπολειπόμενης διαθέσιμης επάρκειας των υποσταθμών (Υ/Σ) μέσης προς χαμηλή τάση.
  - Εναρμόνιση με το ΦΕΚ 50/Β 2015, ώστε να εξασφαλίζονται όλες οι απαραίτητες διατάξεις προστασίας ηλεκτρικού δικτύου και οχήματος και επικοινωνίας μεταξύ τους.
  - Ύπαρξη πολλαπλών ρευματοδοτών, ώστε να παρέχουν ταυτόχρονα ενέργεια σε πολλά ηλεκτρικά οχήματα.
7. Για τους υπόγειους χώρους στάθμευσης, συστήνεται σταθμός φόρτισης ισχύος  $P = 3.6$  kW, για τους υπαίθριους  $P = 14.4$  kW και για τους χώρους άθλησης  $P = 42$  kW.
  8. Με βάση τα παραπάνω και με τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν από την Τεχνική Υπηρεσία του Ε.Μ.Π καθώς και από προηγούμενη διπλωματική εργασία για την κυκλοφορία στην Πολυτεχνειούπολη, προκύπτει ότι θα τοποθετηθούν 28 συνολικά φορτιστές, εκ των οποίων οι 8 θα είναι μικρής ισχύος (3.6 kW), οι 19 θα είναι κανονικής ισχύος (14.4 kW) κι ένας ημιταχείας φόρτισης (42 kW), όπως αναλύονται στον συγκεντρωτικό πίνακα 5.3. Οι παραπάνω σταθμοί φόρτισης θα μπορούν να εξυπηρετούν μέχρι και 48 οχήματα. Ένας αποτελεσματικός τρόπος εξυπηρέτησης περισσότερων χρηστών αλλά και μείωσης του κόστους εγκατάστασης είναι η εφαρμογή ενός συστήματος διαχείρισης, που επιτρέπει την εκ περιτροπής φόρτιση των οχημάτων.
  9. Το κόστος αγοράς όλων των σταθμών φόρτισης που προτείνονται, είναι γύρω στα 100000 €, με συνολικό κόστος εγκατάστασης γύρω στα 50000 €. Για τις 48 θέσεις φόρτισης, το κόστος αυτό είναι γύρω στα 3000 € ανά θέση στάθμευσης, με έσοδα 3800 € το χρόνο και κόστος συντήρησης ανέρχεται στα 300 € το χρόνο.

## 6.1 Εισηγήσεις για περαιτέρω έρευνα

Η παρούσα εργασία θα μπορούσε να αποτελέσει μελέτη για περαιτέρω έρευνα στον τρόπο φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην Πολυτεχνειούπολη. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι το parking των παλιών κτιρίων των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, διαθέτει στέγαστρα με φωτοβολταϊκά πάνελ εγκατεστημένα σε αυτά. Τα φωτοβολταϊκά αυτά θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν μελλοντικά για την παροχή ενέργειας στους σταθμούς φόρτισης, καθιστώντας τους πλήρως αυτόνομους από το ηλεκτρικό δίκτυο. Ομοίως, θα μπορούσαν να εγκατασταθούν τέτοιοι σταθμοί και σε άλλα μεγάλα parking, όπως ο υπαίθριος χώρος στάθμευσης των Μηχανολόγων Μηχανικών.

Ακόμα, προτείνεται να μελετηθεί από άλλη εργασία, ο σχεδιασμός και η εγκατάσταση επιπλέον σταθμών υπερταχείας φόρτισης, ισχύος 50 kW, όπου αυτό είναι σκόπιμο. Για παράδειγμα, το parking του κτιρίου Διοίκησης αποτελεί ιδανική επιλογή για την εγκατάσταση ενός τέτοιου σημείου φόρτισης καθώς εκεί σταθμεύουν συχνά επισκέπτες για σύντομο χρονικό διάστημα. Κάτι τέτοιο όμως, θα απαιτούσε την επαύξηση ισχύος από τον κοντινό υποσταθμό. Τέλος, συστήνεται να μελετηθεί η προοπτική εγκατάστασης ταχυφορτιστών στο κράσπεδο των

πεζοδρομίων της Πολυτεχνειούπολης, που βρίσκονται κατά μήκος του δρόμου, όπου διέρχονται τα αστικά λεωφορεία. Οι φορτιστές αυτοί θα μπορούσαν να φορτίσουν αστικά ηλεκτρικά λεωφορεία που συνδέουν την Πολυτεχνειούπολη με τον κοντινό σταθμό του μετρό «Κατεχάκη», ώστε να φορτίζουν ενόσω διέρχονται μέσα από αυτήν. Μάλιστα, στην προκειμένη περίπτωση, θα μπορούσε να εξεταστεί από άλλη διατριβή, η τοποθέτηση σημείων ασύρματης φόρτισης, ούτως ώστε ο ανεφοδιασμός να γίνεται πολύ πιο γρήγορα, εύκολα και ομαλά.

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ειούρας, Χρήστος, Διπλωματική Εργασία, “Περιβαλλοντική και ενεργειακή αξιολόγηση νέων τεχνολογιών οχημάτων στο λεκανοπέδιο Αττικής”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Αθήνα, Ιούνιος 2011
- [2] The Automobile Industry Pocket Guide [2015-2016], by European Automobile Manufacturers’ Association (ACEA), available at: <http://www.acea.be/press-releases/article/new-automobile-industry-pocket-guide-launched>
- [3] Annual Energy Review 2011, by U.S. Energy Information Administration, available at: <http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/pdf/aer.pdf>
- [4] «Το μεγαλύτερο μερίδιο της κατανάλωσης ενέργειας προέρχεται από τις μεταφορές», Άρθρο, διαθέσιμο στο: <http://www.reporter.gr/Eidhseis/Epicheirhseis/energy/251293-To-megalytero-meridio-ths-katanalwshs-energeias-proerchetai-ago-tis-metafores>
- [5] BP Statistical Review of World Energy, June 2015, available at: <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf>
- [6] Final energy consumption by sector and fuel, by European Environment Agency, October 2015, available at: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/final-energy-consumption-by-sector-9/assessment>
- [7] Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, Θεματολογικά Δελτία για την Ευρωπαϊκή Ένωση, διαθέσιμο στο: [http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/el/displayFtu.html?ftuId=FTU\\_5.7.4.html](http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/el/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.7.4.html)
- [8] Tzirakis, E., Pitsas, K., Zannikos, F., and S. Stournas, (2006) “*Vehicle Emissions and Driving Cycles: Comparison of the Athens Driving Cycle (ADC) with ECE – 15 and European Driving Cycle*”, National Technical University of Athens, School of Chemical Engineering, Laboratory of Fuel Technology and Lubricants, Global NEST Journal, Vol 8, No 3, pp 282 – 290, Athens, Greece
- [9] Θανόπουλος, Γ., Αντώνιος, Διπλωματική Εργασία, «*Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα και Συστήματα Τροφοδοσίας τους*» Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικών – Βιομηχανικών Διατάξεων & Συστημάτων Αποφάσεων, Αθήνα, Ιούνιος 2015
- [10] Γούλας, Γ., «*Εξοικονόμηση ενέργειας στις μεταφορές*», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας ΙΙ, Αθήνα, 2005
- [11] Giussani, M., Durelli, E., Bobbio, A. and G. Mantovani, “*Low Emission Urban Hybrid Vehicle*”, A.V.E.R.E. EDS summary report, December 1992, contract P-033

- [12] Chan, C. C. and K. T. Chau, “*An Overview of Power Electronics in Electric Vehicles*”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, February 1997, Vol. 44, no 1, pp. 3 – 13
- [13] Safacas, A. N. and E. C. Tatakis, “*Electric Vehicles – Current Activities and Perspectives*”, PEMC’96 Conference, Budapest (Hungary), September 2-4, 1996, Vol. 2, pp. 2/110 – 2/117
- [14] Μανιάς, Σ., Κλαδάς, Α. και Σ. Ξέπαπας, “*Επιλογή των Ηλεκτρικών Στοιχείων για το Ηλεκτρικό Υβριδικό Αυτοκίνητο*”, Τεχνολογία και βιομηχανικές εφαρμογές των ηλεκτρονικών ισχύος, Τ.Ε.Ε., Αθήνα, 28 – 29 Σεπτεμβρίου, 2000
- [15] Ρίκος, Ι. Ευάγγελος, Διδακτορική Διατριβή, “*Μέθοδοι Εξοικονόμησης Ενέργειας σε Ηλεκτροκίνητα Οχήματα*”, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πάτρα, 2005
- [16] Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων ΕΜΠ, “*Θερμική Παραγωγή Ενέργειας σε Α.Η.Σ. Ι & Εργαστήριο*”, διαθέσιμο στο:  
[http://www.lsbtp.mech.ntua.gr/el/thermal\\_energy\\_conversion\\_i](http://www.lsbtp.mech.ntua.gr/el/thermal_energy_conversion_i)
- [17] Greenhouse gas emissions by industries and households, available at:  
[http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Greenhouse\\_gas\\_emissions\\_by\\_industries\\_and\\_households](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Greenhouse_gas_emissions_by_industries_and_households)
- [18] Κοσμάνης, Θεόδωρος, “*Εισαγωγή στα Ηλεκτροκίνητα Οχήματα*”, Κεφάλαιο 1ο, Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης, Τμήμα Οχημάτων
- [19] Naunin, D., “*Electric Vehicles*”, International Symposium on Industrial Electronics ‘96, ISIE ’96, pp. 11 – 24, Warsaw, 1996
- [20] Μαρτίνος, Ν., Τατάκης, Ε., Κωτσοβόλης, Δ., Κωστάκης, Γ., Μανιάς, Σ., και Δ. Μερτίνος, “*Τεχνολογία Δυνατότητες και Προοπτικές του Ηλεκτροκίνητου Οχήματος*”, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Τεχνική Έκθεση, Αθήνα, Απρίλιος 1993
- [21] McNicol, B. D. and D. A. J. Rand, “*Power Sources for Electric Vehicles*”, Studies in Electrical and Electronic Engineering, Elsevier Science Publishing Company, New York, 1981
- [22] «*Thomas Edison with Bailey Electric*», available at: [http://formtrends.com/do-electric-cars-need-a-new-design-language/thomas-edison\\_bailey-electric/](http://formtrends.com/do-electric-cars-need-a-new-design-language/thomas-edison_bailey-electric/)
- [23] Shacket, S. R., “*The Complete Book of Electric Vehicles*”, Domus Books, New York, 1981
- [24] Strohl, Daniel, Article, «*Four-Links – Pinto Air Freight Crosley resto under way, Camille Jenatzy, Kellison brochure, Pete Hagenbuch*», January 2012, available at:  
<http://blog.hemmings.com/index.php/2012/01/14/four-links-pinto-air-freight-crosley-resto-underway-camille-jenatzy-kellison-brochure-pete-hagenbuch/>
- [25] «*Electric Cars 100 years ago*», available at:  
<https://atakelt.wordpress.com/2012/06/16/electric-cars-100-years-ago/>

- [26] Glon, Ronan, Article, «*A look at the 1966 Chevrolet Electrovair II concept*», January 2014, available at: <http://ranwhenparked.net/2014/01/07/a-look-at-the-1966-chevrolet-electrovair-ii-concept-video/>
- [27] “1966 GM Electrovair”, Article, available at: <http://www.hydrogencarsnow.com/index.php/gm-electrovair/>
- [28] Larminie, J. and J. Lowry, “*Electric Vehicle Technology Explained*”, John Wiley & Sons Ltd, England, 2003
- [29] Papayannakis, P. and L. Zervos: “*Limits of Emissions and Choices of Development*”, Monthly Technical Review, Vol. 51, pp. 34 – 38, April, 1996
- [30] LDK – Consultants Engineers and Planners, “*Energy Saving and Environmental Benefits Through the Use of Hybrid Vehicles in Urban Transport*”, Study, THERMIE Programme Action T89, OPET for the European Commission, Directorate – General for Energy, Athens, May 1995
- [31] Quadflieg, H., Brosthaus, J., Weber, S. and R. Kober, “*Electric Vehicles – Chance for Environment and Quality of Life?*”, Study, THERMIE Programme Action, TÜV Rheinland – OPET for the European Commission, Communities Directorate – General for Energy, Köln, 1993
- [32] Harrop, G., “*The Future of the Electric Vehicle. A Variable Market?*”, An FT Management Report published and distributed by Pearson Professional Ltd., London, 1995
- [33] Adcock, P., Grange, N. and P. McKusker, “*How Beneficial are the EV’s to the Environment?*”, Electric and Hybrid Vehicle Technology ’95, The International Review of Electric and Hybrid Vehicle Design and Development, published by UK & International Press, pp. 232 – 257, UK, 1995
- [34] J. Douglas, “*Global Climate Research: Informing the Decision Process*”, IEEE Power Engineering Review, pp. 3 – 8, March, 1996
- [35] «*Ηλεκτρικά αυτοκίνητα: Οικονομικές πράσινες μεταφορές*», Άρθρο, διαθέσιμο στο: <http://www.euractiv.gr/thematikoi-fakeloi/ilektrika-aytokinita-o-dromos-pros-tis-prasines-metafores/>
- [36] Άρθρο, «*Ηλεκτρικά αυτοκίνητα: 13.000 σταθμοί φόρτισης στην Ελλάδα ως το 2020 – Τα σχέδια της Κομισιόν*», διαθέσιμο στο: <http://greencarfuel.gr/?p=861>
- [37] Νικολακόπουλος, Δ., Νικόλαος, Διπλωματική Εργασία, «*Ανασκόπηση Τεχνολογίας Σύνδεσης Οχημάτων στο Ηλεκτρικό Δίκτυο (Vehicle to Grid – V2G)*», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Αθήνα, Ιούνιος 2012
- [38] Μανιάς, Σ., «*Ανώτερα Κεφάλαια Ηλεκτρονικών Ισχύος*», Εκδόσεις Παπασωτηρίου – Ε.Π.Ι.Σ.Ε.Υ./Ε.Μ.Π., Αθήνα 1997



- [39] Tatakis, E., Safacas, A., Spentzas, C. N., Korakas, C., Korakas, A. and A. Viaginis, «*Development of a high – performance electric vehicle*», Electromotion, Vol. 2, No. 4, 1995, pp. 98 – 102.
- [40] Διαλυνάς, Ε., Νέγκας, Δ., Τσελέπης, Ε., Παπαγεωργίου, Χ., Κωστάκης, Γ., Αντωνόπουλος, Δ. και Κ. Υφαντίδης, «*Διερεύνηση Τρόπων Ανάπτυξης και Διεξόδου των Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων στην Ελλάδα*», Γενική Γραμματεία Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής, Αθήνα, Ιανουάριος 2012
- [41] Μαρινόπουλος, Ι., Νίκος, Άρθρο, «*Αναβάθμιση για το Chevrolet Volt*», Ιανουάριος 2015, διαθέσιμο στο: <http://www.caroto.gr/2015/01/12/αναβάθμιση-για-to-chevrolet-volt/>
- [42] “*Audi A1 e-tron : 2010*”, Article, [http://cartype.com/pages/4626/audi\\_a1\\_e-tron\\_2010](http://cartype.com/pages/4626/audi_a1_e-tron_2010)
- [43] Σπέντζας, Ν. Κωνσταντίνος, “*Ηλεκτροκίνητα Οχήματα στην Ελλάδα: Δυνατότητες και Προοπτικές*”, Ελληνικό Ινστιτούτο Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων (ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο.), EnergyRes, 2009
- [44] Consolidated Resolution on the Construction of Vehicles, available at: <http://www.unecce.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29resolutions/ECE-TRANS-WP29-78-r2e.pdf>
- [45] Ηλεκτροκίνητο όχημα, κλάσης L7e, από την Tropical A.E.B.E., διαθέσιμο στο: <http://www.tropical.gr/products/electric-fuel-cell-vehicles/city-cars.html>
- [46] Μαρινόπουλος, Ι., Νίκος, Άρθρο, «*Πλήρη αποκάλυψη για το BMW i3 [mpd+vid]*», Ιούλιος 2013, διαθέσιμο στο: <http://www.caroto.gr/2013/07/29/8393/>
- [47] “*More Smith Electric Vehicle News*”, Article, March 2009, available at: <http://www.smallvehicleresource.com/blog/2009/03/09/more-smith-electric-news/>
- [48] «*Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο*», Άρθρο στην βικιπαίδεια, διαθέσιμο στον σύνδεσμο: [http://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρικό\\_αυτοκίνητο](http://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρικό_αυτοκίνητο)
- [49] «*Ηλεκτρικό Αεροπλάνο σχεδιάζει να φέρει στην αγορά η Airbus*», Άρθρο, Μάιος 2014, διαθέσιμο: <http://news.in.gr/science-technology/article/?aid=1231316168>
- [50] Szondy, David, «*E-Fan electric aircraft makes first public flight*», Article, April 30<sup>th</sup>, 2014, available at: <http://www.gizmag.com/e-fan-airbus-electric-plane/31823/>
- [51] Ayre, James, «*Proterra Catalyst Electric Buses Headed To Stockton & Porterville, California*», Article, July 24<sup>th</sup>, 2015, available at: <http://cleantechnica.com/2015/07/24/proterra-catalyst-electric-buses-headed-stockton-porterville-california/>
- [52] “*ABB ‘flash charges’ electric bus in 15 s*”, Article, July 1<sup>st</sup>, 2013, available at: <http://articles.sae.org/12293/>
- [53] <https://www.teslamotors.com/modelx>

- [54] [http://www.toyota-global.com/showroom/toyota\\_design/concept\\_cars/gallery\\_i-road.html](http://www.toyota-global.com/showroom/toyota_design/concept_cars/gallery_i-road.html)
- [55] <http://www.rivervalleyadventure.com/segways/segway-x2>
- [56] <http://socialcompare.com/en/review/monowheel-2ko1yyud>
- [57] Plotkin, S., Santini, D., Vyas, A., Anderson, J., Wang, M., He, J. & D. Barathan (2001) «*Hybrid Electric Vehicle Technology Assessment: Methodology, Analytical Issues and Interim Results*», Argonne National Laboratory
- [58] Περιβολαράκης, Παναγιώτης, «*Τι ηλεκτρικό αυτοκίνητο μπορώ να αγοράσω;*», Άρθρο, διαθέσιμο στο: <http://www.caroto.gr/2014/05/08/τι-ηλεκτρικό-αυτοκίνητο-μπορώ-να-αγορ/>
- [59] Affani, A., Bellini, A., Franceschini, G., Guglielmi, P. and C. Tassoni, “*Battery Choice and Management for New-Generation Electric Vehicles*”, IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 52, No. 5, Oct. 2005, pp. 1343-9
- [60] T. J. Miller, “*Lithium-ion battery automotive applications and requirements*”, in Proc. 17th Annual Battery Conf. Applications and Advances, 2002, pp. 113–118
- [61] Nishi, Y., Katayama, K., Shigetomi, J., and H. Horie, “*The development of lithium-ion secondary battery systems for EV and HEV*”, in Proc. 13th Annual Battery Conf. Applications and Advances, 1998, pp. 31–36
- [62] Συρρή, Ι., Αγγελική Λυδία Αντωνία, Διπλωματική Εργασία, «*Μελέτη Επίδρασης της Διείσδυσης των Ηλεκτρικών Οχημάτων στο Σύστημα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας*», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Αθήνα, Ιούλιος 2012
- [63] Μπελόκας, Β., Απόστολος, Διπλωματική Εργασία, «*Ανάλυση της Ενσωμάτωσης των Διασυνδεδεμένων Οχημάτων ως Διεσπαρμένων Μονάδων Αποθήκευσης στα Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας των Κυρίων με Χρήση του Λογισμικού Gams*», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Αθήνα, Μάρτιος 2011
- [64] Παπαδόπουλος, Ε., Νικόλαος, Διπλωματική Εργασία, «*Σχεδιασμός Ηλιακού Αυτοκινήτου: Μπαταρίες*», Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τομέας Ενεργειακών Συστημάτων, Ξάνθη, Ιούλιος 2011
- [65] Greenmax Battery, available at: <http://greenmaxbatteryindia.weebly.com/ni-cd-battery.html>
- [66] Article in wikipedia, available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel-metal\\_hydride\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel-metal_hydride_battery)
- [67] Article in wikipedia, available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery)
- [68] Τσίλη, Μ., Κλαδάς, Α. και Μ. Σκυλλά – Καζάκου, «*Πλεονεκτήματα Καινοτομικών Συσσωρευτών Ηλεκτρικής Ενέργειας Ηλεκτρολύτη Βαναδίου και Προοπτικές Εφαρμογής στα Συστήματα Ηλεκτροκίνησης*», Ηλεκτροκίνητα μέσα μεταφοράς στην Ελλάδα – Υφιστάμενη κατάσταση & προοπτικές, Τ.Ε.Ε., Αθήνα, 12 – 13 Ιανουαρίου, 2006

- [69] Development the Duration of Charging System Powered by 240V A.C. for Electric Car Battery, available at: <http://razalifyp.blogspot.gr/2012/03/week-8.html>
- [70] Peugeot evaluating PowerGenix NiZn batteries for stop-start, available at: <http://johndayautomotivelectronics.com/psa-peugeot-citroen-evaluating-powergenix-nizn-batteries-for-stop-start/>
- [71] Energy Without Carbon, Flow batteries, available at: <http://www.energy-without-carbon.org/FlowBatteries>
- [72] Skyllas – Kazacos, M., «*Gelled Electrolyte Vanadium Battery*», Provisional Patent Application, PCT /AU01/00923, 27 July, 2001
- [73] Battery Selection, available at: <http://www.bobharle.com/battery.htm>
- [74] Μαρινόπουλος, Ι., Νίκος, «*Toyota TS040, καλπάζει με 1.000 άλογα για Le Mans*», 2014, διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://www.caroto.gr/2014/03/27/toyota-ts040-καλπάζει-με-1-000-άλογα-για-le-mans/>
- [75] Article in wikipedia, available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel\\_cell](https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell)
- [76] Riezenman, M., “*Fuel Cells for the Long Haul, Batteries for the spurts*”, IEEE Spectrum, pp. 95–97, Jan. 2001
- [77] Κατωπόδης, Μιχάλης, «*Αποκαλυπτήρια για το Audi A7 Sportback h-tron quattro concept*», 2014, available at: <http://www.caroto.gr/2014/11/19/αυλαία-για-το-audi-a7-sportback-h-tron-quattro-concept/>
- [78] Θεοδώρου, Ευφροσύνη, Διπλωματική Εργασία, «*Σχεδίαση και πειραματική επιβεβαίωση κινητήρα μονίμων μαγνητών για εφαρμογή ηλεκτροκίνησης*», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Αθήνα, Ιούνιος 2011
- [79] Αποστολόπουλος, Δ., Νικόλαος, Διπλωματική Εργασία, «*Έλεγχος κινητήρα μονίμων μαγνητών για εφαρμογές ηλεκτρικών οχημάτων*», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Αθήνα, Νοέμβριος 2012
- [80] Evans, T., Brett, Article, “*Volvo XC90 T8 Plug-in Hybrid to Get Four Hundred Horsepower*”, December, 2014, available at: <http://www.trucktrend.com/news/1412-volvo-xc90-t8-plug-in-hybrid-to-get-four-hundred-horsepower/>
- [81] Chevrolet Spark EV, 2015, photo available at: <http://www.inhdwallpaper.com/chevrolet-spark-2015-wallpapers/5>
- [82] “*Top 5 fastest charging electric cars (May '14)*”, Article, May, 2014, <http://ecomento.com/2014/05/14/top-five-fastest-charging-electric-cars-may-14/>

- [83] Hunter Hanzhuo Wu, Aaron Gilchrist, Ky Sealy, Paul Israelsen, Jeff Muhs, “A Review on Inductive Charging for Electric Vehicles”, IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC), pp 143-147, 2011
- [84] «Φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων από καπάκια υπονόμων», Άρθρο, διαθέσιμο στο: <http://www.naftemporiki.gr/story/719508>
- [85] “HELLA Developing Wireless Charging Systems For Electric Vehicles”, Article, April, 2014, available at: <http://www.electric-vehiclenews.com/2014/04/hella-developing-wireless-charging.html>
- [86] Bending, S., Ferdowsi, M., Channon, S and K. Strunz, Project “MERGE”, Deliverable 1.1 « [MERGE] Specifications for EV-Grid Interfacing, Communication & Smart Metering Technologies, Including Traffic Patterns and Human Behaviour Descriptions», August, 2010
- [87] Τουλόγλου, Στέφανος, «Φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων, μια νέα απαίτηση στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις», Άρθρο, διαθέσιμο στο: [http://stefouloglou.blogspot.gr/2016/02/blog-post\\_4.html](http://stefouloglou.blogspot.gr/2016/02/blog-post_4.html)
- [88] Article in wikipedia, available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Charging\\_station](https://en.wikipedia.org/wiki/Charging_station)
- [89] Article in wikipedia, available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/SAE\\_J1772](https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_J1772)
- [90] «Wireless Power Transfer for Light-Duty Plug-In/Electric Vehicles and Alignment Methodology», Article, available at: <http://standards.sae.org/wip/j2954/>
- [91] Αϊβαζόγλου, Αλέξανδρος, «J2954. Η SAE θεσπίζει το πρότυπο στην ασύρματη φόρτιση», Άρθρο, 27 Μαΐου 2016, διαθέσιμο στο: <http://www.autoblog.gr/2016/05/27/j2954-h-sae-thespizei-to-protypo-sthn-asyrmath-fortish/>
- [92] «A step forward for global EV roll-out», Article, IEC International Standard for EV charging, News release – 2011 Number 4, available at: <http://www.iec.ch/newslog/2011/nr0411.htm>
- [93] Article in wikipedia, available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/CHAdeMO>
- [94] Madsen, Henrik Hastrup, «Charge card provides an overview of publicly available charging infrastructure in Denmark between operators and hotels, supermarkets and the like, which offers charging electric cars», Article, October 1<sup>st</sup>, 2015, available at: <http://www.danskelbilalliance.dk/Viden%20om%20elbiler/Ladekortet.aspx>
- [95] Available at: <http://www.electriccarpartscompany.com>
- [96] Tuttle, Dave, «Plug-In-Hybrid Electric Vehicle DC Fast Charging: The Future Just Got More Interesting», Article, available at: <http://tec.ieee.org/newsletter/january-february-2015/plug-in-hybrid-electric-vehicle-dc-fast-charging-the-future-just-got-more-interesting>

- [97] Article in wikipedia, available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/IEC\\_62196](https://en.wikipedia.org/wiki/IEC_62196)
- [98] «EVs get boost from new SAE standard for dc fast charging», Article in SAE, available at: <http://articles.sae.org/11484/>
- [99] Padin, M., «Standard europeo per la ricarica», Article, April 3<sup>rd</sup>, 2011, available at: <http://www.electricmotornews.com/news-ed-eventi/tecnica/standard-europeo-per-la-ricarica>
- [100] Available at: <http://www.waltherelectric.com>
- [101] «CHAdEMO - Electric Vehicle Chargers. Q&A from our 'Learn about EV' series», Article available at: <http://solvingev.com/charger-type/chademo>
- [102] Αγερίδης, Γιώργος, «Η ηλεκτροκίνηση στην Ελλάδα και οι προοπτικές», Άρθρο, διαθέσιμο στο: <http://heliev.gr/η-ηλεκτροκίνηση-στην-ελλάδα-και-οι-προ/>
- [103] Φουρναράκης, Εμμανουήλ, «Ο Ρόλος του ΔΕΔΔΗΕ στο ρυθμιστικό πλαίσιο των ηλεκτρικών οχημάτων», Διεθνές Συνέδριο για την Ηλεκτροκίνηση: “Το Πρόγραμμα Green eMotion”, Σεπτέμβριος, 2014
- [104] «Το Ε.Μ.Π. σε αριθμούς», Περιοδικό Προμηθείας, Τεύχος 1<sup>ο</sup>, Ιούλιος – Αύγουστος 2016
- [105] Arampatzis G., Kiranoudis C. T., Scaloubacas P., and Assimacopoulos D., «A GIS-based decision support system for planning urban transportation policies, Journal of Operational Research», 2004
- [106] Τριανταφύλλου, Βασιλική, Διπλωματική Εργασία, «Οργάνωση κυκλοφορίας σε πανεπιστημιακά campus. Η περίπτωση της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα, Δεκέμβριος 2015
- [107] <http://circularlife.com/en/products/wallbox/WallBox-Smart/models>
- [108] <http://circularlife.com/en/products/charging-posts/Smart-Post/models>
- [109] Electric Vehicle Charging Solutions, The EV Master Controller, available at: <http://www.cyberswitching.com/evcharging.php>
- [110] Agenbroad, Josh and Ben Holland, «Pulling Back the Veil on EV Charging Station Costs», Article at Rocky Mountain Institute, April 29<sup>th</sup>, 2014, Available at: [http://blog.rmi.org/blog\\_2014\\_04\\_29\\_pulling\\_back\\_the\\_veil\\_on\\_ev\\_charging\\_station\\_costs](http://blog.rmi.org/blog_2014_04_29_pulling_back_the_veil_on_ev_charging_station_costs)
- [111] Chang, D., Erstad, D., Lin, E., Rice, F. A., Gon, T. C., Angel, A., Chao and Jason Snyder, «Financial Viability Of Non-Residential Electric Vehicle Charging Stations», UCLA, August 2012