



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Μελέτη Ανάπτυξης Σταθμών Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων στη
Νήσο Σίφνο

Συγγραφέας

Ζαννής Στυλιανός

ΑΜ: 48346339

Επιβλέπων:

Δρ. Γεώργιος Βόκας

Καθηγητής

Αθήνα, Μάρτιος 2022



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

Diploma Thesis

**Study on the Development of Electric Vehicle Charging Stations on
Sifnos Island**

Student
Zannis Stylianos
Registration Number: 48346339

Supervisor:
Dr. Georgios Vokas
Professor

Athens, March 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Μελέτη Ανάπτυξης Σταθμών Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων στη Νήσο Σίφνο

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΑΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Γεώργιος Βόκας	Καθηγητής	
2	Καμινάρης Σταύρος	Καθηγητής	
3	Πυρομάλης Δημήτριος	Επίκουρος Καθηγητής	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Ζαννής Στυλιανός του Γεωργίου, με αριθμό μητρώου 48346339 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

**Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι 30/09/2022 και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή*

Ο Δηλών

Ζαννής Στυλιανός

*** Γεώργιος Βόκας / Καθηγητής**

(Υπογραφή)



Είμαι ενημερωμένος και συναινώ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος του τμήματος Ηλεκτρολόγων & Ηλεκτρονικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Βόκα Γεώργιο, αφενός μεν για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον και επίκαιρο θέμα, αφετέρου δε για, την άριστη συνεργασία, την καθοδήγηση, την εμπιστοσύνη και την υπομονή που επέδειξε καθ' όλη τη πορεία εκπόνησής της.

Επίσης ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον κ. Αναστασιάδη Ανέστη ο οποίος με τις γνώσεις και τις πολύτιμες συμβουλές που μου παρείχε, συνέλαβε καθοριστικά στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το διδακτικό προσωπικό του τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών του Πα.Δ.Α. για τις γνώσεις που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια φοίτησής μου, καθώς και όλους όσους συνέβαλαν με οποιοδήποτε τρόπο στην εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες και την ευγνωμοσύνη μου προς την οικογένεια και τους φίλους μου, για την αγάπη τους, την αμέριστη στήριξη και συμπαράσταση που μου παρείχαν έμπρακτα κατά τη διάρκεια όλων αυτών των χρόνων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εποχή που διανύουμε, χαρακτηρίζεται από την κατασπατάληση των πολύτιμων φυσικών πόρων, την επιβάρυνση του πλανήτη με τη μόλυνση της ατμόσφαιρας και την καταστροφή του κλίματος, καθώς και την οικονομική αστάθεια. Προβλήματα που στο μεγαλύτερο βαθμό τους οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα και αποτελούν σοβαρούς κινδύνους για το μέλλον. Στους κρίσιμους αυτούς καιρούς, η μετάβαση του τομέα των μεταφορών προς την ηλεκτροκίνηση, μπορεί να αποτελέσει την αφετηρία ανάπτυξης μιας νέας βιώσιμης εποχής για την ανθρωπότητα και τον πλανήτη. Στην κατεύθυνση αυτή, η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στη μελέτη ανάπτυξης σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στο νησί της Σίφνου.

Στο 1^ο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στη συμβολή του τομέα των μεταφορών σε κοινωνικό, οικονομικό, ενεργειακό και περιβαλλοντικό επίπεδο. Αρχικά, επισημαίνεται η άρρηκτη σχέση του, με την ανάπτυξη της οικονομίας και της κοινωνικής ευημερίας. Εν συνεχεία, γίνεται ανάλυση στη συμμετοχή του τομέα στην ενεργειακή κατανάλωση. Επίσης, έμφαση δίνεται στην επίδραση των μεταφορών στην όξυνση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της κλιματικής αλλαγής, ενώ αναφορά γίνεται και στα μέτρα που λήφθηκαν για την αντιμετώπιση τους.

Στο 2^ο κεφάλαιο, γίνεται ενδελεχής αναφορά στην ιστορική εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων καθώς και στις κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται βάση των τεχνικών τους χαρακτηριστικών. Επιπροσθέτως, παρουσιάζονται τα ορισμένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της χρήσης τους.

Στο 3^ο κεφάλαιο, αναλύονται τα βασικότερα μέρη που συνθέτουν τη δομή των ηλεκτρικών οχημάτων, στα οποία κατατάσσεται η μονάδα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, ο ηλεκτρικός κινητήρας, ο ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος και το σύστημα μετάδοσης κίνησης.

Το 4^ο κεφάλαιο, εστιάζει στους σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων καθώς και στις τεχνολογίες σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο. Συγκεκριμένα, αναφορά γίνεται στα συστήματα αγωγίμης φόρτισης και στα συστήματα φόρτισης με επαγωγή. Επίσης, παρουσιάζονται πληροφορίες σχετικά με την οικιακή, αλλά και την κοινόχρηστη φόρτιση. Έπειτα ακολουθεί εκτενής ανάλυση διεθνών εφαρμοζόμενων πρότυπων, με ιδιαίτερη έμφαση σε εκείνο της International Electrotechnical Commission (IEC) και της Society of Automotive Engineers (SAE). Ακόμα, παρουσιάζεται η τεχνολογία Vehicle-to-Grid (V2G).

Το 5^ο κεφάλαιο επικεντρώνεται στην υπάρχουσα και στη μελλοντική κατάσταση της ηλεκτροκίνησης. Ειδικότερα, γίνεται αναφορά στην οργάνωση της αγοράς, στους νέους ρόλους των εμπλεκόμενων φορέων και στα νέα μοντέλα που αναπτύσσονται. Στη συνέχεια, αναλύεται η διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων και η ανάπτυξη σταθμών φόρτισης, ενώ παράλληλα παρουσιάζονται δεδομένα σε θέματα που σχετίζονται με την μελλοντική επίδραση της ηλεκτροκίνησης σε ενεργειακό, περιβαλλοντικό και οικονομικό επίπεδο.

Στο 6^ο κεφάλαιο, γίνεται ανάλυση της μελέτης για την ανάπτυξη σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στην νήσο Σίφνο. Στα πλαίσια της, παρουσιάζονται βασικές πληροφορίες σχετικά με το οδικό του δίκτυο, το στόλο οχημάτων και τα υφιστάμενα επίπεδα ηλεκτροκίνησης. Επίσης εκτενής αναφορά γίνεται σε ενεργειακά δεδομένα του τοπικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας. Βάση των χαρακτηριστικών αυτών πραγματοποιείται ανάπτυξη διαφόρων σεναρίων μέγιστης διείσδυσης σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων σε συγκεκριμένες περιοχές του νησιού.

Τέλος, στο 7^ο κεφάλαιο, γράφονται συνοπτικά τα κυριότερα συμπεράσματα της εργασίας καθώς και προτάσεις που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν στο μέλλον.

Λέξεις Κλειδιά :

Μεταφορές, Ενεργειακή Κατανάλωση, Περιβάλλον, Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Κλιματική Αλλαγή, Ηλεκτρικά Οχήματα, Η/Ο, Αποθήκευση Ενέργειας, Συσσωρευτές, Ηλεκτρικές Μηχανές, Σταθμοί Φόρτισης, Πρότυπο IEC, Πρότυπο SAE, Vehicle-to-Grid, V2G, Σίφνος, Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας, Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας, Ηλεκτρικό Δίκτυο

SUMMARY

Nowadays are characterized by the wastefulness of natural resources, the surcharge of the planet due to air pollution, climate change and the economic instability. These problems are the result of human intervention and they form significant threats for the future. At these crucial times, the transition of transportations into electromobility could mean the starting point of a new sustainable era for humankind and the planet. Under this scope, this thesis aims to study the development of electric vehicle charging stations on the island of Sifnos.

In the first chapter, reference is made to the contribution of the transport sector in social, economic, energy and environmental terms. First of all, its inextricable relationship with the development of the economy and social welfare is highlighted. The sector's participation in energy consumption is then analyzed. Emphasis is also placed on the impact of transport on the exacerbation of air pollution and climate change, while reference is also made to the measures taken to address them.

In the second chapter, a thorough reference is made to the historical development of electric vehicles as well as to the categories in which they are distinguished based on their technical characteristics. In addition, some of the main advantages and disadvantages of use are presented.

In the third chapter, the main parts that make up the structure of electric vehicles are analyzed, in which the electricity storage unit, the electric motor, the electronic power converter and the drivetrain are classified.

The fourth chapter focuses on electric vehicle charging stations as well as on the technologies of connection to the electrical network. In particular, reference is made to conductive and inductive charging systems. Information about home and shared (private or public) charging is also presented. Then follows an extensive analysis of internationally applied standards, with particular emphasis on that of the International Electrotechnical Commission (IEC) and the Society of Automotive Engineers (SAE). Vehicle-to-Grid (V2G) technology is also analyzed.

The fifth chapter focuses on the current and future state of electromobility. Particularly, reference is made to the organization of the market, the new roles of stakeholders and the new models that are being developed. Then, the introduction of electric vehicles and the development of charging stations are analyzed, while at the same time data are presented on issues related to the future impact of electromobility on an energy, environmental and economic level.

In the sixth chapter, the study on the development of electric vehicle charging stations on the island of Sifnos is analyzed. In its context, basic information on its road network, the fleet of vehicles and the existing levels of electrification is presented. Extensive reference is also made to energy data of the local Electricity System. Based on these characteristics, various scenarios of maximum infiltration of electric vehicle charging stations are developed in specific areas of the island.

Finally, in the seventh chapter, the main conclusions of the thesis are summarized as well as proposals that could be implemented in the future.

Key Words:

Transportation, Energy Consumption, Environment, Air pollution, Climate change, Electric vehicles, EV, Energy Storage, Batteries, Electric engines, Charging stations Protocol IEC, Protocol SAE, Vehicle-to-Grid, V2G, Sifnos, Electricity Production, Electricity Demand, Electrical Grid

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	I
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	II
SUMMARY	IV
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	VI
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	X
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	XI
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ	XVIII
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Ο ΤΟΜΕΑΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ	1
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Κοινωνική και Οικονομική Διάσταση των Μεταφορών	1
1.3 Ενεργειακή Διάσταση των Μεταφορών	3
1.3.1 Κατανάλωση ενέργειας στην Ευρώπη	4
1.3.2 Κατανάλωση Ενέργειας στην Ελλάδα	6
1.4 Περιβαλλοντική Διάσταση των Μεταφορών.....	8
1.4.1 Ατμοσφαιρική ρύπανση	8
1.4.2 Αντιμετώπιση της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης	15
1.4.3 Κλιματική Αλλαγή	26
1.4.4 Αντιμετώπιση της Κλιματικής Αλλαγής.....	30
1.5 Ηλεκτροκίνηση	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ	38
2.1.Εισαγωγή	38
2.2 Ιστορία των Ηλεκτρικών Οχημάτων	38
2.2.1 Πρώιμη Περίοδος.....	39
2.2.2 Τα Πρώτα Πρακτικά Ηλεκτρικά Οχήματα	40
2.2.3 Περίοδος 1890-1920 : Η Ακμή	41
2.2.4 Περίοδος 1920-1960 : Η Παρακμή.....	42
2.2.5 Περίοδος 1960–2000 : Αναβίωση Ενδιαφέροντος	44
2.2.6 Περίοδος 2000-2020 : Οι Τελευταίες Δεκαετίες	46
2.3 Κατηγορίες Ηλεκτρικών Οχημάτων	51
2.3.1 Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (Hybrid Electric Vehicles, HEVs)	52
2.3.2 Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (Plug-In) Hybrid Electric Vehicles, PHEVs)	55

2.3.3 Ηλεκτρικά Οχήματα Εκτεταμένης Εμβέλειας (Extended Range Electric Vehicles, E-REVs).....	56
2.3.4 Ηλεκτρικά Οχήματα Μπαταρίας (Battery Electric Vehicles, BEVs).....	57
2.3.5 Ηλεκτρικά Οχήματα Κυψελών Καυσίμου (Fuel-cell Electric Vehicle).....	58
2.3.6 Ηλιακά οχήματα (Solar Electric Vehicles, SEVs).....	59
2.4 Η Ευρωπαϊκή Ταξινόμηση Ηλεκτρικών Οχημάτων.....	60
2.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ηλεκτρικών Οχημάτων.....	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	64
3.1 Εφαρμοσμένη Τεχνολογία.....	64
3.2 Συσσωρευτές.....	64
3.2.1 Συσσωρευτές Μολύβδου-οξέος (Lead-Acid, Pb-PbO ₂).....	66
3.2.2 Συσσωρευτές Νικελίου-Καδμίου (Ni-Cd).....	70
3.2.3 Συσσωρευτές Νικελίου-υδριδίων Μετάλλων (NiMH).....	73
3.2.4 Συσσωρευτές Ιόντων Λιθίου (Li-Ion).....	74
3.2.5 Συσσωρευτές Μετάλλου-Αέρα.....	76
3.2.6 Συσσωρευτές Ροής Ψευδαργύρου-Βρωμίου (Zn/Br ₂).....	77
3.2.7 Συσσωρευτές Ροής Οξειδοαναγωγής Βαναδίου (Vanadium Redox Battery VRB).....	78
3.2.8 Συσσωρευτές Νατρίου-Θείου (NaS) Υψηλών Θερμοκρασιών.....	80
3.2.9 Σύγκριση Τύπων Επαναφορτιζόμενων Συσσωρευτών.....	81
3.3 Υπερπυκνωτές.....	85
3.4 Κυψέλες Καυσίμου.....	88
3.5 Ηλεκτρικές Μηχανές.....	92
3.5.1 Βασικά Μέρη Ηλεκτρικών Μηχανών.....	93
3.5.2 Ηλεκτρικός Κινητήρας.....	94
3.6 Ηλεκτρονικός Μετατροπέας Ισχύος.....	118
3.6.1 Μετατροπείς Σ.Ρ./Σ.Ρ (DC/DC converter).....	118
3.6.2 Μετατροπείς Σ.Ρ/Ε.Ρ (DC/AC converter).....	119
3.7 Σύστημα μετάδοσης κίνησης.....	123
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ, ΣΤΑΘΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	125
4.1.Εισαγωγή.....	125
4.2 Τρόποι και διατάξεις Φόρτισης Συσσωρευτών Ηλεκτρικών Οχημάτων.....	125
4.2.1 Αγωγή Φόρτιση.....	125
4.2.2 Επαγωγική Φόρτιση.....	127

4.2.3 Οικιακή Φόρτιση	129
4.2.4 Κοινόχρηστη Φόρτιση	130
4.3 Διεθνή Πρότυπα Σταθμών Φόρτισης.....	134
4.3.1 Πρότυπο IEC 61851.....	134
4.3.2 Πρότυπο SAE J1772.....	143
4.3.3 Πρότυπο IEC 62196.....	145
4.3.4 Πρότυπο SAE TIR J2954	153
4.4 Vehicle-to-Grid (V2G).....	155
4.4.1 Η αρχή λειτουργίας του V2G	155
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗΣ.....	158
5.1 Εμπλεκόμενοι Φορείς στον Τομέα της Ηλεκτροκίνησης και της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας	158
5.2 Μοντέλα Ανάπτυξης Υποδομών Επαναφόρτισης	160
5.3 Διείσδυση Ηλεκτρικών Οχημάτων	162
5.3.1 Διείσδυση Ηλεκτρικών Επιβατικών Οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση... ..	163
5.3.2 Διείσδυση Ηλεκτρικών Επιβατικών Οχημάτων στην Ελλάδα	167
5.3.3 Διείσδυση Ηλεκτρικών Ελαφρών Επαγγελματικών Οχημάτων στην Ευρώπη	170
5.3.4 Διείσδυση Ηλεκτρικών Ελαφρών Επαγγελματικών Οχημάτων στην Ελλάδα	174
5.4 Ανάπτυξη Σταθμών Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων.....	177
5.4.1 Ανάπτυξη Σταθμών Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ευρώπη.....	177
5.4.2 Ανάπτυξη Σταθμών Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ελλάδα	180
5.5 Προοπτικές Ηλεκτροδότησης στις Μεταφορές την Επόμενη Δεκαετία.....	182
5.6 Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας, Πετρελαίου και Εκπομπές Αερίου του Θερμοκηπίου.....	182
5.7 Μπαταρίες και Ηλεκτροδότηση των Οδικών Μεταφορών.....	184
5.8 Η Ενσωμάτωση Ηλεκτρικών Οχημάτων με Συστήματα Ισχύος	189
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΣΙΦΝΟ	191
6.1 Εισαγωγή	191
6.2 Βασικές Πληροφορίες.....	192
6.2.1 Οδικό Δίκτυο	192
6.2.2 Στόλος Οχημάτων	194
6.2.3 Υφιστάμενα Επίπεδα Ηλεκτροκίνησης	194
6.3 Ενεργειακά Δεδομένα	195

6.3.1 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	195
6.3.2 Ηλεκτρικό Δίκτυο	212
6.4 Μέγιστη Διείσδυση σταθμών φόρτισης με Κριτήριο τα Επιτρεπτά Όρια Διακύμανσης Τάσεως	216
6.4.1 Αρχική Κατάσταση Δικτύου.....	217
6.4.2 Σενάριο Α.....	220
6.4.3 Σενάριο Β.....	222
6.4.4 Σενάριο Γ	224
6.4.5 Σενάριο Δ.....	229
6.4.6 Σενάριο Ε.....	234
6.4.7 Σενάριο Ζ.....	239
6.4.8 Σενάριο Η.....	244
6.4.9 Σύγκριση Σεναρίων.....	249
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	251
7.1 Κυριότερα Συμπεράσματα.....	251
7.2 Εισηγήσεις για Περαιτέρω Έρευνα	260
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΑΝΑΦΟΡΕΣ / LINKS	262

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 4- 1: ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΙΣΧΥΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	139
ΠΙΝΑΚΑΣ 4- 2: ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΘΟΔΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΒΑΣΕΙ ΤΟΥ IEC 61851-1	139
ΠΙΝΑΚΑΣ 4- 3: ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ..	141
ΠΙΝΑΚΑΣ 4- 4: ΕΠΙΠΕΔΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ AC ΣΤΗ Β. ΑΜΕΡΙΚΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ SAE J1772 [139][140].....	143
ΠΙΝΑΚΑΣ 4- 5: ΕΠΙΠΕΔΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ DC ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΑΜΕΡΙΚΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ SAE J1772 [139]	144
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 1: ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΟΙΚΙΣΜΩΝ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΣΙΦΝΟ [164]	193
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 2: Η ΕΤΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΩΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΘΡΟΙΣΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2020 ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΙΦΝΟΥ	210
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 3: ΠΙΝΑΚΑΣ 6-0-1: ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ ΤΟΠΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΔΕΗ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΟΙΚΙΣΜΩΝ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΣΙΦΝΟ	213
<i>ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 4: ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΓΡΑΜΜΗΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ</i>	214
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 5: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΙΦΝΟΥ	215
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 6: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΙΦΝΟΥ	215
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 7: ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΑ ΣΤΑΘΜΟ	216
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 8: ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΑ ΣΤΑΘΜΟ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Α	220
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 9: ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΦΟΡΤΙΟ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΑΝΑ ΖΥΓΟ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Α	220
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 10: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΙΦΝΟΥ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Α	220
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 11: ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΑ ΣΤΑΘΜΟ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Β	222
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 12: ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΦΟΡΤΙΟ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΑΝΑ ΖΥΓΟ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Β	222
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 13: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΙΦΝΟΥ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Β	222
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 14: ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΑ ΣΤΑΘΜΟ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Γ	224
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 15: ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΦΟΡΤΙΟ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΑΝΑ ΖΥΓΟ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Γ	224
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 16: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΙΦΝΟΥ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Γ	224
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 17: ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΑ ΣΤΑΘΜΟ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Δ	229
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 18: ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΦΟΡΤΙΟ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΑΝΑ ΖΥΓΟ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Δ	229
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 19: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΙΦΝΟΥ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Δ	229
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 20: ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΑ ΣΤΑΘΜΟ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Ε	234
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 21: ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΦΟΡΤΙΟ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΑΝΑ ΖΥΓΟ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Ε	234
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 22: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΙΦΝΟΥ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Ε.....	234
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 23: ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΑ ΣΤΑΘΜΟ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Ζ.....	239
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 24: ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΦΟΡΤΙΟ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΑΝΑ ΖΥΓΟ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Ζ	239
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 25: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΙΦΝΟΥ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Ζ.....	239
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 26: ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΦΟΡΤΙΟ ΑΝΑ ΣΤΑΘΜΟ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Η.....	244
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 27: ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΦΟΡΤΙΟ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΑΝΑ ΖΥΓΟ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Η.....	244
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 28: ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΙΦΝΟΥ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Η	244
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - 29: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ.....	249

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1–1: ΕΠΙΒΑΤΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΑΕΠ ΣΤΗΝ Ε.Ε., 2007 – 2020 [3]	2
ΕΙΚΟΝΑ 1–2: ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΑΕΠ ΣΤΗΝ Ε.Ε., 2007 - 2020 [3]	2
ΕΙΚΟΝΑ 1–3: Η ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΣΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΜΕΛΗ ΤΟΥ Ι.Ε.Α., 1990-2016 [4]	3
ΕΙΚΟΝΑ 1–4: Η ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΑΝΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΤΟΜΕΑ, ΣΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΜΕΛΗ ΤΟΥ Ι.Ε.Α., 2015 [5]	4
ΕΙΚΟΝΑ 1–5: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ, ΣΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΜΕΛΗ ΤΟΥ Ι.Ε.Α, 2015 [5]	4
ΕΙΚΟΝΑ 1–6: Η ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΑΝΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΤΟΜΕΑ ΣΤΗΝ Ε.Ε., 2005-2017 [6]	5
ΕΙΚΟΝΑ 1–7: Η ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΣΤΗΝ Ε.Ε., 1990-2017 [7]	5
ΕΙΚΟΝΑ 1–8: Η ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΣΤΗΝ Ε.Ε., 1990-2017 [7]	6
ΕΙΚΟΝΑ 1–9: Η ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, Ι.Ε.Α 1990-2016 [9]	6
ΕΙΚΟΝΑ 1–10: Η ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΑΝΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΤΟΜΕΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, 2015 [5]	7
ΕΙΚΟΝΑ 1–11: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, 2015 [5]	7
ΕΙΚΟΝΑ 1–12: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, 2015 [5]	8
ΕΙΚΟΝΑ 1–13: Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΤΟΜΕΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΣΤΙΣ ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΤΗΝ Ε.Ε ΤΟ ΕΤΟΣ 2017 [15]	14
ΕΙΚΟΝΑ 1–14: ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΤΗΝ Ε.Ε (ΠΟΣΟΣΤΟ 1990=100) [45]	20
ΕΙΚΟΝΑ 1–15: ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO _x) ΑΝΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΤΟΜΕΑ ΣΤΗΝ Ε.Ε.-28 [46]	21
ΕΙΚΟΝΑ 1–16: ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO _x) ΑΝΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΤΟΜΕΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ [46]	21
ΕΙΚΟΝΑ 1–17: ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΜΗ ΜΕΘΑΝΙΟΥ (NMVOC) ΑΝΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΤΟΜΕΑ ΣΤΗΝ Ε.Ε.-28 [46]	22
ΕΙΚΟΝΑ 1–18: ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ ΜΗ ΜΕΘΑΝΙΟΥ (NMVOC) ΑΝΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΤΟΜΕΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ [46]	22
ΕΙΚΟΝΑ 1–19: ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΜΕ ΔΙΑΜΕΤΡΟ ΕΩΣ 2,5 ΜΜ (PM 2,5) ΑΝΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΤΟΜΕΑ ΣΤΗΝ Ε.Ε.-28 [46]	23
ΕΙΚΟΝΑ 1–20: ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΜΕ ΔΙΑΜΕΤΡΟ ΕΩΣ 2,5 ΜΜ (PM 2,5) ΑΝΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΤΟΜΕΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ. [46]	23
ΕΙΚΟΝΑ 1–21: ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ (SO ₂) ΑΝΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΤΟΜΕΑ ΣΤΗΝ Ε.Ε. ΤΩΝ 28[46]	24
ΕΙΚΟΝΑ 1–22: ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ (SO ₂) ΑΝΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΤΟΜΕΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ. [46]	24
ΕΙΚΟΝΑ 1–23: ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ (NH ₃) ΑΝΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΤΟΜΕΑ ΣΤΗΝ Ε.Ε.-28 [46]	25
ΕΙΚΟΝΑ 1–24: ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ (NH ₃) ΑΝΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΤΟΜΕΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ [46]	25
ΕΙΚΟΝΑ 1–25: ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΑΝΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΤΟΜΕΑ ΣΤΗΝ Ε.Ε., ΤΑ ΕΤΗ 1990 ΚΑΙ 2018 [53]	27
ΕΙΚΟΝΑ 1–26: ΜΕΡΙΔΙΟ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΣΤΗΝ	28
ΕΙΚΟΝΑ 1–27: ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΜΕΡΙΔΙΩΝ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΟΔΙΚΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ [54]	28
ΕΙΚΟΝΑ 1–28: ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΑΝΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΤΟΜΕΑ ΣΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΜΕΛΗ ΤΟΥ Ι.Ε.Α., 2015. [5]	29
ΕΙΚΟΝΑ 1–29: ΟΙ ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΣΤΗΝ Ε.Ε [76]	34

ΕΙΚΟΝΑ 1–30: ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO ₂ ΑΝΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΤΟΜΕΑ ΣΤΗΝ ΕΕ, 1990-2014 (ΠΟΣΟΣΤΟ 1990=100) [77]	34
ΕΙΚΟΝΑ 1–0–31: ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΣΤΗΝ Ε.Ε [55]	35
ΕΙΚΟΝΑ 2–1: Ο GUSTAVE TROUVE ΜΕ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΟ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑ [82].....	40
ΕΙΚΟΝΑ 2–2 : Ο THOMAS PARKER ΜΕ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑ [82].....	40
ΕΙΚΟΝΑ 2–3: Ο CAMILLE JENATZY ΜΕ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ JAMAIS CONTENTE [83]	41
ΕΙΚΟΝΑ 2–4: ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ BAKER ELECTRIC [84].....	42
ΕΙΚΟΝΑ 2–5: ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ HENNEY KILOWATT [82]	43
ΕΙΚΟΝΑ 2–6: Ο ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΟ LUNAR ROVING VEHICLE ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΟΛΗ ΑΠΟΛΛΩΝ 15 ΣΤΗ ΣΕΛΗΝΗ ΤΟ 1971 [85]	44
ΕΙΚΟΝΑ 2–7: ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ GENERAL MOTORS EV1 [82]	46
ΕΙΚΟΝΑ 2–8: ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ TESLA ROADSTER [88].....	46
ΕΙΚΟΝΑ 2–9: ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ MITSUBISHI I-MIEV [82].....	47
ΕΙΚΟΝΑ 2–10: ΤΟ ΑΜΙΓΩΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ NISSAN LEAF [82]	47
ΕΙΚΟΝΑ 2–11: ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ RENAULT FLUENCE Z.E [89]	48
ΕΙΚΟΝΑ 2–12: ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ TESLA MODEL S [90]	48
ΕΙΚΟΝΑ 2–13: ΔΩΡΕΑΝ ΧΩΡΟΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ ΣΤΟ ΌΣΛΟ ΤΗΣ ΝΟΡΒΗΓΙΑΣ [82].....	50
ΕΙΚΟΝΑ 2–14: ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ TESLA MODEL 3 [90]	50
ΕΙΚΟΝΑ 2–15: ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΔΙΑΤΑΞΗ [96].....	53
ΕΙΚΟΝΑ 2–16: ΣΕΙΡΙΑΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ [96].....	53
ΕΙΚΟΝΑ 2–17: ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΣΕΙΡΙΑΚΗΣ-ΠΑΡΑΛΛΗΛΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ [96]	54
ΕΙΚΟΝΑ 2–18: ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ (HEV) [93]	54
ΕΙΚΟΝΑ 2–19: ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ (PHEV) [97]	56
ΕΙΚΟΝΑ 2–20: ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ Η ΑΜΙΓΩΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ (BEV) [100]	57
ΕΙΚΟΝΑ 2–21: ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (FCEV) [103].....	59
ΕΙΚΟΝΑ 2–22: ΗΛΙΑΚΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ (SEV) [105]	59
ΕΙΚΟΝΑ 3–1: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΡΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	64
ΕΙΚΟΝΑ 3–2: ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΦΟΡΤΙΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΜΟΛΙΒΔΟΥ-ΟΞΕΟΣ [102]	67
ΕΙΚΟΝΑ 3–3: ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΜΟΛΙΒΔΟΥ-ΟΞΕΟΣ [102]	67
ΕΙΚΟΝΑ 3–4: ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΟΔΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΑΘΟΔΙΚΩΝ ΠΛΑΚΩΝ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΕΣ ΠΑΡΆΛΛΗΛΑ ΣΕ ΚΆΘΕ ΈΝΑ ΑΠΌ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΊΑ ΠΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΊΤΑΙ ΜΊΑ ΜΠΑΤΑΡΊΑ ΜΟΛΥΒΔΟΥ-ΟΞΕΟΣ [102].....	68
ΕΙΚΟΝΑ 3–5: ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΜΠΑΤΑΡΊΩΝ ΜΟΛΥΒΔΟΥ [102]	69
ΕΙΚΟΝΑ 3–6: ΑΝΤΙΔΡΆΣΕΙΣ ΕΚΦΌΡΤΙΣΗΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΝΙΚΕΛΊΟΥ-ΚΑΔΜΊΟΥ (NI-CD) [102]	71
ΕΙΚΟΝΑ 3–7: ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΜΝΗΜΗΣ ΣΤΟΥΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ ΝΙΚΕΛΙΟΥ-ΚΑΔΜΙΟΥ (NI-CD) [102]	72
ΕΙΚΟΝΑ 3–8: ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ ΝΙΚΕΛΊΟΥ-ΥΔΡΙΔΊΩΝ ΜΕΤΆΛΛΩΝ (NIMH) [102].....	73
ΕΙΚΟΝΑ 3–9: ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ ΝΙΚΕΛΊΟΥ-ΥΔΡΙΔΊΩΝ ΜΕΤΆΛΛΩΝ (NIMH) [110].....	73
ΕΙΚΟΝΑ 3–10 : ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΊΟΝΤΩΝ ΛΙΘΊΟΥ (LI-ION) [102] ..	74
ΕΙΚΟΝΑ 3–11: ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΊΟΝΤΩΝ ΛΙΘΊΟΥ (LI-ION) [102].....	74
ΕΙΚΟΝΑ 3–12: ΦΟΡΤΙΣΗ ΚΑΙ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΊΟΝΤΩΝ ΛΙΘΊΟΥ [102]	75
ΕΙΚΟΝΑ 3–13: ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΜΕΤΆΛΛΟΥ-ΑΕΡΑ [102].....	76
ΕΙΚΟΝΑ 3–14: ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ ΜΕΤΆΛΛΟΥ-ΑΕΡΑ [111].....	76
ΕΙΚΟΝΑ 3–15: ΜΠΑΤΑΡΊΑ ΡΌΗΣ ΨΕΥΔΑΡΓΎΡΟΥ-ΒΡΩΜΊΟΥ (Zn /BR ₂) ΜΕ ΤΡΊΑ ΚΕΛΊΆ ΣΥΝΔΕΔΕΜΈΝΑ ΣΕ ΣΕΊΡΆ [102]	77
ΕΙΚΟΝΑ 3–16: ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΨΕΥΔΑΡΓΎΡΟΥ-ΒΡΩΜΊΟΥ (Z/BR ₂) [102]	78
ΕΙΚΟΝΑ 3–17: ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΨΕΥΔΑΡΓΎΡΟΥ-ΒΡΩΜΊΟΥ (Z/BR ₂) [102].....	78
ΕΙΚΟΝΑ 3–18: ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΡΌΗΣ ΟΞΕΊΔΟΑΝΑΓΩΓΉΣ ΒΑΝΑΔΊΟΥ (VANADIUM REDOX BATTERY VRB) [102]	79
ΕΙΚΟΝΑ 3–19: ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ ΡΌΗΣ ΟΞΕΊΔΟΑΝΑΓΩΓΉΣ ΒΑΝΑΔΊΟΥ (VANADIUM REDOX BATTERY VRB) [102]	79
ΕΙΚΟΝΑ 3–20: ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ ΝΑΤΡΊΟΥ-ΘΕΊΟΥ (NAS) ΥΨΗΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΊΩΝ [102].....	80
ΕΙΚΟΝΑ 3–21: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΥΠΩΝ ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ [102]	81

ΕΙΚΟΝΑ 3–22: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΥΠΩΝ ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ [102]	82
ΕΙΚΟΝΑ 3–23: ΥΠΕΡΠΥΚΝΩΤΗΣ [112]	85
ΕΙΚΟΝΑ 3–24: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΠΕΡΠΥΚΝΩΤΩΝ ΚΑΙ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ [112]	87
ΕΙΚΟΝΑ 3–25: ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΥΨΕΛΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ [102].....	88
ΕΙΚΟΝΑ 3–26: ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΟΥΣ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΚΥΨΕΛΩΝ H ₂ [111].....	89
ΕΙΚΟΝΑ 3–27: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΥΠΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ (H ₂) [102]	89
ΕΙΚΟΝΑ 3–28: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ Φ/Β ΜΟΝΑΔΑ [102].....	91
ΕΙΚΟΝΑ 3–29: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ [102]	91
ΕΙΚΟΝΑ 3–30: ΣΥΝΔΕΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ-ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ [113].....	92
ΕΙΚΟΝΑ 3–31: ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ [113].....	92
ΕΙΚΟΝΑ 3–32 : ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ [113].....	93
ΕΙΚΟΝΑ 3–33: ΔΡΟΜΕΑΣ Η ΡΟΤΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΣΤΑΤΗΣ (ΔΕΞΙΑ) [116].....	95
ΕΙΚΟΝΑ 3–34: ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ (ΔΕΞΙΑ) [117]	96
ΕΙΚΟΝΑ 3–35: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΣΡ [113].....	98
ΕΙΚΟΝΑ 3–36: ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΣΡ ΞΕΝΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ [114].....	98
ΕΙΚΟΝΑ 3–37:ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΣΡ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ [114]	99
ΕΙΚΟΝΑ 3–38: ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΣΡ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ ΣΕΙΡΑΣ [114].....	100
ΕΙΚΟΝΑ 3–39: ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΣΡ ΣΥΝΘΕΤΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ (Α) ΒΡΑΧΕΙΑΣ ΣΥΝΔΕΣΕΩΣ ΚΑΙ (Β) ΜΑΚΡΑΣ ΣΥΝΔΕΣΕΩΣ [114]	101
ΕΙΚΟΝΑ 3–40: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΣΤΡΟΦΩΝ, ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ [106]	102
ΕΙΚΟΝΑ 3–41: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΡΟΠΗΣ, ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ [106].....	103
ΕΙΚΟΝΑ 3–42: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΡΟΠΗΣ, ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ [106]	103
ΕΙΚΟΝΑ 3–43: ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΕΦΟΔΙΑΣΜΕΝΑ ΜΕ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΡ [106]	104
ΕΙΚΟΝΑ 3–44: ΣΥΓΧΡΟΝΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΔΥΟ ΠΟΛΩΝ [114].....	105
ΕΙΚΟΝΑ 3–45: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΡΟΠΗΣ-ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ [106].....	106
ΕΙΚΟΝΑ 3–46: ΚΑΜΠΥΛΗ ΡΟΠΗΣ, ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΓΩΝΙΑΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ [106]	106
ΕΙΚΟΝΑ 3–47: ΚΑΜΠΥΛΗ V ΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ [106]	107
ΕΙΚΟΝΑ 3–48: ΣΥΓΧΡΟΝΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΧΩΡΙΣ ΨΗΚΤΡΕΣ [106]	108
ΕΙΚΟΝΑ 3–49: ΤΥΛΙΓΜΑΤΑ ΚΛΩΒΟΥ ΑΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ [114]	110
ΕΙΚΟΝΑ 3–50: ΔΡΟΜΕΑΣ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΕ ΔΑΚΤΥΛΙΔΙΑ [114]	110
ΕΙΚΟΝΑ 3–51: ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΚΑΙ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ [106].....	112
ΕΙΚΟΝΑ 3–52: ΤΑΣΗ ΕΞ ΕΠΑΓΩΓΗΣ ΗΜΙΤΟΝΟΕΙΔΟΥΣ ΜΟΡΦΗΣ [119]	113
ΕΙΚΟΝΑ 3–53: ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ BLDC [121]	114
ΕΙΚΟΝΑ 3–54: ΤΑΣΗ ΕΞ ΕΠΑΓΩΓΗΣ ΤΡΑΠΕΖΟΕΙΔΟΥΣ ΜΟΡΦΗΣ [119].....	115
ΕΙΚΟΝΑ 3–55: ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ HALL (Α) ΣΤΟ ΑΚΙΝΗΤΟ ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ ΤΟΥ ΔΡΟΜΕΑ, (Β) ΣΤΟ ΣΤΑΤΗ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ [119].....	116
ΕΙΚΟΝΑ 3–56: ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΕΣ ΜΕΓΕΘΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ BLDC [119]	117
ΕΙΚΟΝΑ 3–57: ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ Σ.Ρ/Σ.Ρ [113].....	118
ΕΙΚΟΝΑ 3–58: ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ (Α) ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ, (Β) ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΚΑΙ (Γ) ΑΝΥΨΩΣΗΣ -ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ [122]	119
ΕΙΚΟΝΑ 3–59: ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ Σ.Ρ/Ε.Ρ [113]	119
ΕΙΚΟΝΑ 3–60: ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ Σ.Ρ/Ε.Ρ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ ΚΑΙ Η ΚΥΜΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΤΗΣ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΗΣ ΤΑΣΗΣ ΕΞΟΔΟΥ [106]	120
ΕΙΚΟΝΑ 3–61: ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ Σ.Ρ/Ε.Ρ ΜΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΠΑΛΜΟΔΟΤΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ[106]	120
ΕΙΚΟΝΑ 3–62: ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ Σ.Ρ/Ε.Ρ ΕΞΙ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ ΚΑΙ Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΗΣ ΤΑΣΗΣ ΕΞΟΔΟΥ [106]	121
ΕΙΚΟΝΑ 3–63: ΚΥΚΛΩΜΑ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ Σ.Ρ/Ε.Ρ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΕ ΚΙΝΗΤΗΡΑ [106]...	121
ΕΙΚΟΝΑ 3–64: ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΕΡ/ΣΡ/ΕΡ ΓΙΑ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΕ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗ V/F [106]	122

ΕΙΚΟΝΑ 3–65: ΣΥΜΠΛΕΚΤΗΣ [123]	123
ΕΙΚΟΝΑ 3–66: ΚΙΒΩΤΙΟ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ [123]	124
ΕΙΚΟΝΑ 3–67: ΔΙΑΦΟΡΙΚΟ [123]	124
ΕΙΚΟΝΑ 3–68: ΗΜΙΑΞΟΝΙΟ [123]	124
ΕΙΚΟΝΑ 4–1: ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΑΓΩΓΙΜΗΣ ΦΏΡΤΙΣΗΣ [128]	126
ΕΙΚΟΝΑ 4–2: ΕΠΑΓΩΓΙΚΗ ΦΏΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ [130]	127
ΕΙΚΟΝΑ 4–3: ΕΠΑΓΩΓΙΚΗ ΦΏΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ [131]	128
ΕΙΚΟΝΑ 4–4: ΟΙΚΙΑΚΗ ΦΏΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ [132].....	129
ΕΙΚΟΝΑ 4–5: ΣΤΑΘΜΟΙ ΦΏΡΤΙΣΗΣ Η/Ο ΣΕ ΚΟΙΝΟΧΡΗΣΤΟ ΣΗΜΕΙΟ [125]	130
ΕΙΚΟΝΑ 4–6: ΦΏΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ ΣΕ ΧΏΡΟΥΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ [134]	131
ΕΙΚΟΝΑ 4–7: ΦΏΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ ΣΕ ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΚΕΝΤΡΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΗΜΑΤΑ [134]	132
ΕΙΚΟΝΑ 4–8: ΦΏΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ ΣΕ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ [134].....	132
ΕΙΚΟΝΑ 4–9: ΦΏΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ ΣΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΠΡΑΤΗΡΙΑ [134]	132
ΕΙΚΟΝΑ 4–10: ΦΏΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ ΣΕ ΣΤΑΘΜΟ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΦΏΡΤΙΣΗΣ[135].....	133
ΕΙΚΟΝΑ 4–11: ΦΏΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΜΈΣΨ ΜΟΔΕ 1 [136]	135
ΕΙΚΟΝΑ 4–12: ΦΏΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΜΈΣΨ ΜΟΔΕ 2 ΚΑΙ ΤΟ ΚΑΛΨΔΙΟ ΦΏΡΤΙΣΗΣ [136]	136
ΕΙΚΟΝΑ 4–13: ΦΏΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΜΈΣΨ ΜΟΔΕ 3 [96]	137
ΕΙΚΟΝΑ 4–14: ΦΏΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΜΈΣΨ ΜΟΔΕ 4 [96]	138
<i>ΕΙΚΟΝΑ 4–15: ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΙ ΧΡΟΝΟΙ ΦΏΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ [138]</i>	140
ΕΙΚΟΝΑ 4–16: ΤΥΠΟΣ Α ΚΑΛΨΔΙΟΥ ΦΏΡΤΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ [96]	142
ΕΙΚΟΝΑ 4–17: ΤΥΠΟΣ Β ΚΑΛΨΔΙΟΥ ΦΏΡΤΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ [96]	142
ΕΙΚΟΝΑ 4–18: ΤΥΠΟΣ Γ ΚΑΛΨΔΙΟΥ ΦΏΡΤΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ [96]	142
<i>ΕΙΚΟΝΑ 4–19: ΒΥΣΜΑ ΦΏΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ J1772 [139]</i>	143
ΕΙΚΟΝΑ 4–20: ΒΥΣΜΑ ΦΏΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ J1772 COMBO , ΣΥΜΦΨΝΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΨΤΥΠΟ ΣΑΕ J1772 [139]	144
ΕΙΚΟΝΑ 4–21: ΒΥΣΜΑ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΧΗ ΤΥΠΟΥ 1 [96].....	146
ΕΙΚΟΝΑ 4–22: ΒΥΣΜΑ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΧΗ ΤΥΠΟΥ 2 [96].....	147
ΕΙΚΟΝΑ 4–23: ΒΥΣΜΑ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΧΗ ΤΥΠΟΥ 3 [127].....	148
<i>ΕΙΚΟΝΑ 4–24: ΒΥΣΜΑ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΧΗ ΦΏΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ J1772 COMBO, ΣΥΜΦΨΝΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΨΤΥΠΟ ΣΑΕ J1772 [96]</i>	149
<i>ΕΙΚΟΝΑ 4–25: ΒΥΣΜΑ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΧΗ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΦΏΡΤΙΣΗΣ ΤΥΠΟΥ 2 [96]</i>	150
ΕΙΚΟΝΑ 4–26: ΛΟΓΟΤΥΠΟ CHADEMO [144]	151
ΕΙΚΟΝΑ 4–27: ΒΥΣΜΑ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΧΗ ΦΏΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ CHADEMO [96].....	152
ΕΙΚΟΝΑ 4–28: ΒΥΣΜΑ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΧΗ ΦΏΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ CHADEMO [140].....	152
ΕΙΚΟΝΑ 4–29: ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΦΏΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΜΈΣΨ ΤΟΥ ΠΡΨΤΥΠΟΥ ΣΑΕ TIR J2954 [146]	154
ΕΙΚΟΝΑ 4–30: ΛΕΙΤΨΥΡΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΑΕ J2954 ΠΡΨΤΥΠΟ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΦΏΡΤΙΣΗΣ [131]	154
ΕΙΚΟΝΑ 4–31: ΡΨΗ ΕΝΈΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΘΈΨΡΗΣΗ ΛΕΙΤΨΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ [148]	155
<i>ΕΙΚΟΝΑ 4–32: ΡΨΗ ΕΝΈΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ V2G ΛΕΙΤΨΥΡΓΙΑ [150]</i>	156
ΕΙΚΟΝΑ 4–33: ΠΕΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ V2G ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ [147]	157
ΕΙΚΟΝΑ 5–1: ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΑΠΨΘΕΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΙΣ ΧΨΡΕΣ ΜΕΛΗ ΤΟΥ ΙΕΑ, 2010– 2019 [154]	162
ΕΙΚΟΝΑ 5–2: ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ, 2008-2020 [155]	163
ΕΙΚΟΝΑ 5–3: ΚΟΡΥΦΑΙΕΣ 5 ΕΥΡΨΠΑΪΚΕΣ ΧΨΡΕΣ ΜΕ ΤΟΝ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ ΣΤΨΛΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ, 2008-2020 [155].....	163
ΕΙΚΟΝΑ 5–4: 10 ΚΟΡΥΦΑΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΣΤΨΛΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ, 2008-2020 [155].....	164

ΕΙΚΟΝΑ 5–5: ΑΡΙΘΜΟΣ ΝΕΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ, 2020 [155]	164
ΕΙΚΟΝΑ 5–6: ΚΟΡΥΦΑΙΕΣ 5 ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΧΩΡΕΣ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΝΕΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ, 2020 [155]	165
ΕΙΚΟΝΑ 5–7: 10 ΚΟΡΥΦΑΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΝΕΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ, 2020 [155]	165
ΕΙΚΟΝΑ 5–8: ΤΟ ΜΕΡΙΔΙΟ ΑΓΟΡΑΣ (ΣΕ%) ΤΩΝ ΠΡΟΣΦΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΕΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΕ, 2008-2020 [155]	166
ΕΙΚΟΝΑ 5–9: ΚΟΡΥΦΑΙΕΣ 5 ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΧΩΡΕΣ ΜΕ ΤΟΝ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ ΜΕΡΙΔΙΟ ΑΓΟΡΑΣ (ΣΕ%) ΤΩΝ ΠΡΟΣΦΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ ΤΟ 2020 [155].	166
ΕΙΚΟΝΑ 5–10: ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, 2008-2020 [156]	167
ΕΙΚΟΝΑ 5–11: ΚΟΡΥΦΑΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΣΤΟΛΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, 2008-2020 [156]	168
ΕΙΚΟΝΑ 5–12: ΑΡΙΘΜΟΣ ΝΕΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, 2020 [156]	168
ΕΙΚΟΝΑ 5–13: 10 ΚΟΡΥΦΑΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΝΕΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ, 2020 [156]	169
ΕΙΚΟΝΑ 5–14: ΤΟ ΜΕΡΙΔΙΟ ΑΓΟΡΑΣ (ΣΕ%) ΤΩΝ ΠΡΟΣΦΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΕΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, 2008-2020 [156]	169
ΕΙΚΟΝΑ 5–15: ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΛΑΦΡΩΝ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ, 2008-2020 [157]	170
ΕΙΚΟΝΑ 5–16: ΚΟΡΥΦΑΙΕΣ 5 ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΧΩΡΕΣ ΜΕ ΤΟΝ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ ΣΤΟΛΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΛΑΦΡΩΝ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ[157].....	170
ΕΙΚΟΝΑ 5–17: 10 ΚΟΡΥΦΑΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΣΤΟΛΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΛΑΦΡΩΝ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ, 2008-2020 [157].....	171
ΕΙΚΟΝΑ 5–18: ΑΡΙΘΜΟΣ ΝΕΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΛΑΦΡΩΝ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ, 2020 [157]	171
ΕΙΚΟΝΑ 5–19: ΚΟΡΥΦΑΙΕΣ 5 ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΧΩΡΕΣ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΝΕΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΛΑΦΡΩΝ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ, 2020 [157]	172
ΕΙΚΟΝΑ 5–20: 10 ΚΟΡΥΦΑΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΝΕΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΛΑΦΡΩΝ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ, 2020 [157]	172
ΕΙΚΟΝΑ 5–21: ΤΟ ΜΕΡΙΔΙΟ ΑΓΟΡΑΣ (ΣΕ%) ΤΩΝ ΠΡΟΣΦΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΛΑΦΡΩΝ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΤΑΞΙΝΟΜΗΘΗΚΑΝ ΑΝΑ ΕΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΕ, 2008-2020 [157]	173
ΕΙΚΟΝΑ 5–22: ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ(ΣΕ%) ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΛΑΦΡΩΝ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΣΤΟΛΟ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΕΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΕ, 2008-2020 [157]	173
ΕΙΚΟΝΑ 5–23: ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΛΑΦΡΩΝ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, 2008-2020 [158]	174
ΕΙΚΟΝΑ 5–24: ΚΟΡΥΦΑΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΣΤΟΛΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, 2008-2020 [158]	175
ΕΙΚΟΝΑ 5–25: ΑΡΙΘΜΟΣ ΝΕΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΛΑΦΡΩΝ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, 2020 [158]	175
ΕΙΚΟΝΑ 5–26: ΚΟΡΥΦΑΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΝΕΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ, 2020 [158]	176
ΕΙΚΟΝΑ 5–27: ΤΟ ΜΕΡΙΔΙΟ ΑΓΟΡΑΣ (ΣΕ%) ΤΩΝ ΠΡΟΣΦΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΛΑΦΡΩΝ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΕΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, 2008-2020 [158]	176
ΕΙΚΟΝΑ 5–28: ΙΔΙΩΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΑ ΠΡΟΣΒΑΣΙΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΤΕΣ ΑΝΑ ΧΩΡΑ, ΙΕΑ, 2019 [154]	177
ΕΙΚΟΝΑ 5–29: Ο ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΚΑΝΟΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΡΗΓΟΡΩΝ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΕ, 2008-2020 [159]	178
ΕΙΚΟΝΑ 5–30: ΟΙ 5 ΚΟΡΥΦΑΙΕΣ ΧΩΡΕΣ ΜΕ ΤΟΝ ΥΨΗΛΟΤΕΡΟ ΑΡΙΘΜΟ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ, 2008-2020 [159]	178
ΕΙΚΟΝΑ 5–31::Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ PLUG IN ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΣΗΜΕΙΟ ΔΗΜΟΣΙΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΦΟΡΤΙΣΗΣ. ΣΤΗΝ ΕΕ, 2008-2020 [159]	179

ΕΙΚΟΝΑ 5–32: Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΤΑΧΕΙΑΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ 100 ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥ ΣΤΗΝ ΕΕ, 2008-2020 [159].....	179
ΕΙΚΟΝΑ 5–33: Ο ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΚΑΝΟΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΡΗΓΟΡΩΝ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, 2008-2020 [160]	180
ΕΙΚΟΝΑ 5–34: Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΜΙΓΩΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΣΗΜΕΙΟ ΔΗΜΟΣΙΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΦΟΡΤΙΣΗΣ. ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, 2008-2020 [160]	181
ΕΙΚΟΝΑ 5–35: Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΤΑΧΕΙΑΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ 100 ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, 2008-2020 [160]	181
ΕΙΚΟΝΑ 5–36: ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΑΠΟΘΕΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΣΕΝΑΡΙΟ, 2019 ΚΑΙ 2030 [154]	182
ΕΙΚΟΝΑ 5–37: ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΣΤΟΛΟ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ, ΤΥΠΟ ΦΟΡΤΙΣΤΗ, ΧΩΡΑ / ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΛΑΔΙΟΥ, 2019 ΚΑΙ 2030 [154]	183
ΕΙΚΟΝΑ 5–38: ΚΑΘΑΡΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΦΕΥΧΘΕΙΣΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΣΤΟΛΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ, 2019 ΚΑΙ 2030 [154]	184
ΕΙΚΟΝΑ 5–39: ΕΤΗΣΙΑ ΖΗΤΗΣΗ ΚΟΒΑΛΤΙΟΥ ΚΑΙ ΛΙΘΙΟΥ ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ, 2019-2030 [154].....	185
ΕΙΚΟΝΑ 5–40: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΓΙΑ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΔΕΚΑ ΕΤΩΝ ΕΝΟΣ ΜΕΣΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ ΜΕΣΑΙΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΜΕ ΚΙΝΗΤΗΡΑ, 2018 [154]	187
ΕΙΚΟΝΑ 5–41: ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ ΓΙΑ ΕΠΑΝΑΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ Η ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ, 2019-30 [154].....	188
ΕΙΚΟΝΑ 5–42: ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΩΡΙΑΙΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΖΗΤΗΣΗ ΑΝΑ ΧΩΡΑ / ΠΕΡΙΟΧΗ, ΚΑΤΑ ΤΙΣ ΑΠΟΓΕΥΜΑΤΙΝΕΣ ΚΑΙ ΤΙΣ ΝΥΧΤΕΡΙΝΕΣ ΩΡΕΣ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ, 2030[154]	189
ΕΙΚΟΝΑ 5–43: ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ V2G ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ, 2030 [154]	190
ΕΙΚΟΝΑ 6–1: ΧΑΡΤΗΣ ΤΩΝ ΚΥΚΛΑΔΩΝ, ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΣΙΦΝΟΥ [162].	192
ΕΙΚΟΝΑ 6–2: ΟΔΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΣΙΦΝΟΥ [162].....	193
ΕΙΚΟΝΑ 6–3: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΩΡΙΑΙΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΕ (MW/DAY) ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2020 ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΙΦΝΟΥ.....	196
ΕΙΚΟΝΑ 6–4: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΜΕΙΓΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΙΦΝΟΥ ΣΤΙΣ 10/05/2020 ΜΕΤΑΞΥ 06.00 ΚΑΙ 07.00 Π.Μ.	197
ΕΙΚΟΝΑ 6–5: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΜΕΙΓΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΙΦΝΟΥ ΣΤΙΣ 12/08/2020 ΜΕΤΑΞΥ 20.00 ΚΑΙ 21.00 Μ.Μ.	197
ΕΙΚΟΝΑ 6–6: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΜΕΣΟΥ ΩΡΙΑΙΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΕ (MW/H) ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2020 ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΙΦΝΟΥ	198
ΕΙΚΟΝΑ 6–7: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΜΕΣΟΥ ΩΡΙΑΙΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΕ (MW/H) ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΜΗΝΕΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟ ΕΩΣ ΜΑΙΟ ΤΟΥ 2020 ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΙΦΝΟΥ	199
ΕΙΚΟΝΑ 6–8: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΜΕΣΟΥ ΩΡΙΑΙΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΕ (MW/H) ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΜΗΝΕΣ ΙΟΥΝΙΟ ΕΩΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟ ΤΟΥ 2020 ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΙΦΝΟΥ	200
ΕΙΚΟΝΑ 6–9: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΜΕΣΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΩΡΙΑΙΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΕ (MW/H) ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2020 ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΙΦΝΟΥ	201
ΕΙΚΟΝΑ 6–10: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ (MWH/DAY) ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2020 ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΙΦΝΟΥ	202
ΕΙΚΟΝΑ 6–11: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΩΡΙΑΙΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΕ (MW/H) ΣΤΙΣ 10/05/2020 ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΙΦΝΟΥ	203
ΕΙΚΟΝΑ 6–12: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΜΕΙΓΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΙΦΝΟΥ ΣΤΙΣ 10/05/2020	203
ΕΙΚΟΝΑ 6–13: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΩΡΙΑΙΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΕ (MW/H) ΣΤΙΣ 01/08/2020 ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΙΦΝΟΥ	204
ΕΙΚΟΝΑ 6–14: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΜΕΙΓΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΙΦΝΟΥ ΣΤΙΣ 01/08/2020	204
ΕΙΚΟΝΑ 6–15: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΩΡΙΑΙΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΕ (MW/H) ΣΤΙΣ 10/05/2020 ΚΑΙ ΣΤΙΣ 01/08/2020 ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΙΦΝΟΥ	205

ΕΙΚΟΝΑ 6–16: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ (ΜΩΗ/ΜΟΝΤΗ) ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2020 ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΙΦΝΟΥ.....	206
ΕΙΚΟΝΑ 6–17: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (ΜΩΗ/ΔΑΥ) ΓΙΑ ΤΟΝ ΜΑΪΟ ΤΟΥ 2020 ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΙΦΝΟΥ.....	207
ΕΙΚΟΝΑ 6–18: ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΜΕΙΓΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΙΦΝΟΥ ΤΟΝ ΜΑΪΟ ΤΟΥ 2020	207
ΕΙΚΟΝΑ 6–19: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (ΜΩΗ/ΔΑΥ) ΤΟΝ ΑΥΓΟΥΣΤΟ ΤΟΥ 2020 ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΙΦΝΟΥ.....	208
ΕΙΚΟΝΑ 6–20: ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΜΕΙΓΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΙΦΝΟΥ ΤΟΝ ΑΥΓΟΥΣΤΟ ΤΟΥ 2020	208
ΕΙΚΟΝΑ 6–21: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ (ΜΩΗ/ΔΑΥ) ΤΟΝ ΜΑΪΟ ΚΑΙ ΤΟΝ ΑΥΓΟΥΣΤΟ ΤΟΥ 2020 ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΙΦΝΟΥ	209
ΕΙΚΟΝΑ 6–22: ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΜΕΙΓΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΙΦΝΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2020	210
ΕΙΚΟΝΑ 6–23: ΧΑΡΤΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΣΙΦΝΟΥ	212
ΕΙΚΟΝΑ 6–24: ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ Μ.Τ ΣΙΦΝΟΥ.....	214
ΕΙΚΟΝΑ 6–25: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟΥΣ ΖΥΓΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	219
ΕΙΚΟΝΑ 6–26: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟΥΣ ΖΥΓΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Α	221
ΕΙΚΟΝΑ 6–27: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟΥΣ ΖΥΓΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Β	223
ΕΙΚΟΝΑ 6–28: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟΥΣ ΖΥΓΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Γ	228
ΕΙΚΟΝΑ 6–29: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟΥΣ ΖΥΓΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Δ	233
ΕΙΚΟΝΑ 6–30: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟΥΣ ΖΥΓΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Ε.....	238
ΕΙΚΟΝΑ 6–31: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟΥΣ ΖΥΓΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Ζ.....	243
ΕΙΚΟΝΑ 6–32: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟΥΣ ΖΥΓΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ Η	248

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ

ΑΕΠ	Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν	Gross Domestic Product
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	Renewable Energy Sources
ΔΔΔΗΕ	Διαχειριστής Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας	Distribution System Operator
ΔΟΕ	Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας	International Energy Agency
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση	European Union
ΕΚ	Ευρωπαϊκός Κανονισμός	European Regulation
ΕΟΚ	Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα	European Economic Community
ΕΟΠ	Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος	European Environmental Agency
ΕΟΧ	Ευρωπαϊκός Οικονομικός Χώρος	European Economic Area
ΕΡ	Εναλλασσόμενο Ρεύμα	Alternative Current
ΗΕΔ	Ηλεκτρεγερτική Δύναμη	Electromotive Force
Η/Ο	Ηλεκτρικό Όχημα - Ηλεκτρικά Οχήματα	Electric Vehicle – Electric Vehicles
ΗΕ	Ηλεκτρική Ενέργεια	Electric Energy
ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτίες Αμερικής	United States Of America
ΗΣ	Ηλεκτρικό Σύστημα	Electric System
ΜΕΔ	Μαγνητρεγερτική Δύναμη	Magnetomotive Force
Μ/Σ	Μεταχηματιστής	Transformer
ΟΗΕ	Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών	United Nation
ΠΑΑ	Ποιότητα Ατμοσφαιρικού Αέρα	Atmospheric Air Quality
ΠΥΗ	Πάροχος Υπηρεσιών Ηλεκτροκίνησης	electromobility Service Provider
ΣΗΕ	Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας	Electrical Energy System
ΣΡ	Συνεχές Ρεύμα	Direct Current
ΦΔΣ	Φορέας Διεκπεραίωσης / Εκκαθάρισης Συναλλαγών	Roaming Platform / Clearing House
ΦΕΥΦΗΟ	Φορέας Εκμετάλλευσης Υποδομών Φόρτισης –	Charge Point Operator
ACEA	European Automobile Manufacturers Association	Ένωση Ευρωπαίων Κατασκευαστών Αυτοκινήτων
ΑΡΥ	Auxiliary Power Unit	Βοηθητική Μονάδα Ισχύος

BEVs	Battery Electric Vehicles	Ηλεκτρικά Οχήματα Μπαταρίας
BLDC	Brushless Directive Current Electric Motor,	Ηλεκτρικός Κινητήρας Συνεχούς Ρεύματος χωρίς Ψήκτρες
C	Carbon	Άνθρακας
C ₆ H ₆	Benzol	Βενζόλιο
CAFE	Clean Air For Europe	Καθαρός Αέρας για την Ευρώπη
CCS	Combo Charging System	Συνδυασμένο Σύστημα Φόρτισης
CH ₄	Methane	Μεθάνιο
CHAdEMO	Charge De Move	
CLTRAP	Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution	Σύμβαση για τη Διασυνοριακή Ατμοσφαιρική Ρύπανση Μεγάλης Εμβέλειας
CO	Carbon Monoxide	Μονοξείδιο του Άνθρακα
CP	Control Pilot	Σηματοδοσία Επικοινωνίας
DC	Direct Current	Συνεχές Ρεύμα
DSO	Distribution System Operator	Διαχειριστής Δικτύου Διανομής
E-REVs	Extended Range Electric Vehicles	Ηλεκτρικά Οχήματα με Συσσωρευτές και Ηλεκτροπαραγωγική Μονάδα
EAFO	European Alternative Fuels Observatory	Ευρωπαϊκού Παρατηρητήριου Εναλλακτικών Καυσίμων
EGD	European Green Deal	Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme	Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Παρακολούθησης και Αξιολόγησης
EUDC	Extra Urban Driving Cycle	Κύκλος Οδήγησης Εκτός Πόλης
EV	Electric Vehicle	Ηλεκτρικό Όχημα
EVSE	Electric Vehicle Supply Equipment	Εξοπλισμού Τροφοδοσίας Ηλεκτρικού Οχήματος
FCEV _s	Fuel-Cell Electric Vehicle	Ηλεκτρικά Οχήματα Κυψελών Καυσίμου
fHEVs	Full Hybrid Electric Vehicles	Πλήρη Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα
FNC	Fiber Nickel Cadmium	Πλάκες με Ίνες Νικελίου
GHG	Greenhouse Gases	Εκπομπές Αερίων του Θερμοκηπίου
H ₂ SO ₃	Sulfurous Acid	Θειώδες Οξύ
H ₂ SO ₄	Sulfuric Acid	Θεικό Οξύ
HC	Hydrocarbon	Υδρογονάνθρακες
HNO ₃	Nitric Acid	Νιτρικό Οξύ
HP	Horsepower	Ίπποι
HVEs	Hybrid Electric Vehicles	Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα
IC-CPD	In-Cable Control and Protection Device	Συσκευή Ενσύρματου Ελέγχου Και Προστασίας
ICE	Internal Combustion Engine	Κινητήρα Εσωτερικής Καύσης

IEA	International Energy Association	Παγκόσμιου Οργανισμού Ενέργειας
IEC	International Electrotechnical Commission	Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος
ISO	International Organization for Standardization	Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης
JEVS	Japan Electric Vehicle Standard	Ιαπωνικό Πρότυπο για Ηλεκτρικά Οχήματα
L	Line	Γραμμή Τροφοδοσίας
Li-Ion	Lithium-Ion	Ιόντων-Λιθίου
LRV	Lunar Roving Vehicle	Σεληνιακό Όχημα
mHEVs	Mild Hybrid Electric Vehicles	Ήπια Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα
mph	Miles Per Hour	Μίλια Ανα Ώρα
MVEG	Motor Vehicle Emissions Group	Ομάδα για τις Εκπομπές των Οχημάτων με Κινητήρα
N	Neutral	Ουδέτερος Αγωγός
N ₂ O	Nitrous Oxide	Υποξείδιο του Αζώτου
NaS	Sodium Sulfur	Νατρίου Θείου
NECD	National Emission Ceilings Directive	Η Εθνική Οδηγία για τα Ανώτατα Όρια Εκπομπών
NEDC	New European Driving Cycle	Νέο Ευρωπαϊκό Κύκλο Οδήγησης
NH ₃	Ammonia	Αμμωνία
Ni-Cd	Nickel-Cadmium	Νικελίου-Καδμίου
Ni-Fe	Nickel-Iron	Νικελίου-Σιδήρου
Ni-MH	Nickel-Metal Hydride	Νικελίου-Υδριδίων Μετάλλων
Ni-Zn	Nickel-Zinc	Νικελίου-Ψευδαργύρου
NMVOCs	Non-Methane Volatile Organic Compound	Πτητικές Οργανικές Ενώσεις Χωρίς Μεθάνιο
NO	Nitric Oxide	Μονοξείδιο του Αζώτου
NO ₂	Nitrogen Dioxide	Διοξείδιο του Αζώτου
NO _x	Nitrous Oxide	Οξείδια του Αζώτου
O ₂	Oxygen	Οξυγόνο
O ₃	Ozone	Όζον
Pb	Lead	Μόλυβδος
Pb-PbO ₂	Lead-Acid	Μολύβδου-Οξέος
PE	Protective Earth	Γείωση Προστασίας
PH	Phase	Φάση
PHVEs	Plug-In Hybrid Electric Vehicles	Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα
PLC	Programmable Logic Controller	Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές
PM	Particulate Matter	Αιωρούμενα Σωματίδια

PM ₁₀	Particulate Matter with diameter less than or equal to 10 micrometers	Αιωρούμενα Σωματίδια Διαμέτρου ίση ή μικρότερη των 10 μικρομέτρων
PM _{2,5}	Particulate Matter with diameter less than or equal to 2,5 micrometers	Αιωρούμενα Σωματίδια Διαμέτρου ίση ή μικρότερη των 2,5 μικρομέτρων
PMSM	Permanent Magnet Synchronous Motor	Σύγχρονος Κινητήρας Μόνιμου Μαγνήτη
PP	Proximity Pilot	Διακόπτης Διασύνδεσης
PWM	Pulse-Width Modulation	Διαμόρφωση Πλάτους Παλμού
RCD	Residual Current Device	Προστατευτικής Διάταξης Ισοζυγισμού Έντασης
RDE	Real Driving Emissions	
RPM	Revolutions Per Minute	Στροφές Ανά Λεπτό
SAE	Society Of Automotive Engineers	Κοινότητα Μηχανικών Αυτοκινήτων
SEVs	Solar Electric Vehicles	Ηλιακά Οχήματα
sHEVs	Strong Hybrid Electric Vehicles	Ισχυρά Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα
SO ₂	Sulfur Dioxide	Διοξείδιο Του Θείου
SO ₃	Sulfur Trioxide	Τριοξείδιο Του Θείου
SPWM	Sinusoidal Pulse Width Modulation	Ημιτονοειδής Διαμόρφωση Πλάτους Παλμού
TERM	Transport and Environment Reporting Mechanism	Μηχανισμός Αναφοράς Μεταφορών και Περιβάλλοντος
TIR	Technical Information Report	Τεχνική Έκθεση
TPC	Transport White Paper	Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τις Μεταφορές
UDC	Urban Driving Cycle	Κύκλος Οδήγησης Εντός Πόλης
UNCED	United Nation Conference on Environment and Development	Διάσκεψης των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη
UNECE	United Nation Economic Commission for Europe	Οικονομικής Επιτροπής των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη
UNEP	United Nation Environment Programme	Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών
UNFCCC	United Nation Framework Convention on Climate Change	Σύμβασης-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Αλλαγή του Κλίματος
V2B	Vehicle to Building	Όχημα-προς-Κτίριο
V2G	Vehicle-To-Grid	Όχημα-προς-Δίκτυο
V2H	Vehicle-To-Home	Όχημα-προς-Σπίτι
V2X	Vehicle-To-Everything	Όχημα προς-Τα-Πάντα
VOC _s	Volatile Organic Compound	Πτητικές Οργανικές Ενώσεις

WLTP	Worldwide Harmonised Light-Duty Vehicle Test Procedure,	Παγκόσμια Εναρμονισμένη Διαδικασία Δοκιμών Ελαφρών Οχημάτων»
WMO	World Meteorological Organization	Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας
Zn/Br ₂	Zinc Bromide	Ψευδαργύρου-Βρωμίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ο ΤΟΜΕΑΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

1.1 Εισαγωγή

Η εξάντληση των φυσικών πόρων από την υπερεκμετάλευση τους, η επιβάρυνση του πλανήτη από την ατμοσφαιρική ρύπανση και την κλιματική αλλαγή, καθώς και η γενικότερη κοινωνικοοικονομική κρίση αποτελούν σημαντικότερα προβλήματα των σύγχρονων κοινωνιών τα οποία η ανθρωπότητα καλείται να λύσει. Τα αποτελέσματα τους, τα οποία γίνονται ολοένα και πιο αισθητά, είναι καταστροφικά και απειλούν άμεσα την ζωή στον πλανήτη. Φυσικά, τα ζητήματα αυτά συνδέονται σε μεγάλο βαθμό με τις ανθρώπινες πρακτικές και όπως είναι λογικό, ο τομέας των μεταφορών δεν αποτελεί εξαίρεση. Συγκεκριμένα, οι μεταφορές οι οποίες στο σύνολο τους χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα, έχουν τόσο άμεση, όσο και έμμεση συμμετοχή στην διαμόρφωση των παραπάνω καταστάσεων. Στο σημείο αυτό, μια από τις σημαντικότερες και πιο μεγαλεπήβολες ενέργειες σε παγκόσμιο επίπεδο, αποτελεί η μετάβαση του μεταφορικού τομέα προς την ηλεκτροκίνηση. Κύριο και αναπόσπαστο κομμάτι της στρατηγικής αυτής θεωρείται η χρήση οχημάτων χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών ρύπων. Τα ηλεκτρικά οχήματα θεωρούνται φιλικά προς το περιβάλλον και η χρήση τους έχει σημαντικές επιδράσεις σε περιβαλλοντικό, ενεργειακό, οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο.

1.2 Κοινωνική και Οικονομική Διάσταση των Μεταφορών

Η ιστορία των μεταφορών είναι συνυφασμένη με την ύπαρξη της ανθρώπινης ζωής. Η ανάγκη του ανθρώπου για μετακίνηση τόσο του ιδίου, όσο και των εκάστοτε αγαθών του, από ένα τόπο σε ένα άλλο, αποτέλεσε αφετηρία για αναζήτηση διαφόρων μέσων μεταφοράς. Ειδικότερα, το τελευταίο μισό του εικοστού αιώνα λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης της επιστήμης και της τεχνολογίας, η εξέλιξη του τομέα ήταν αλματώδης.

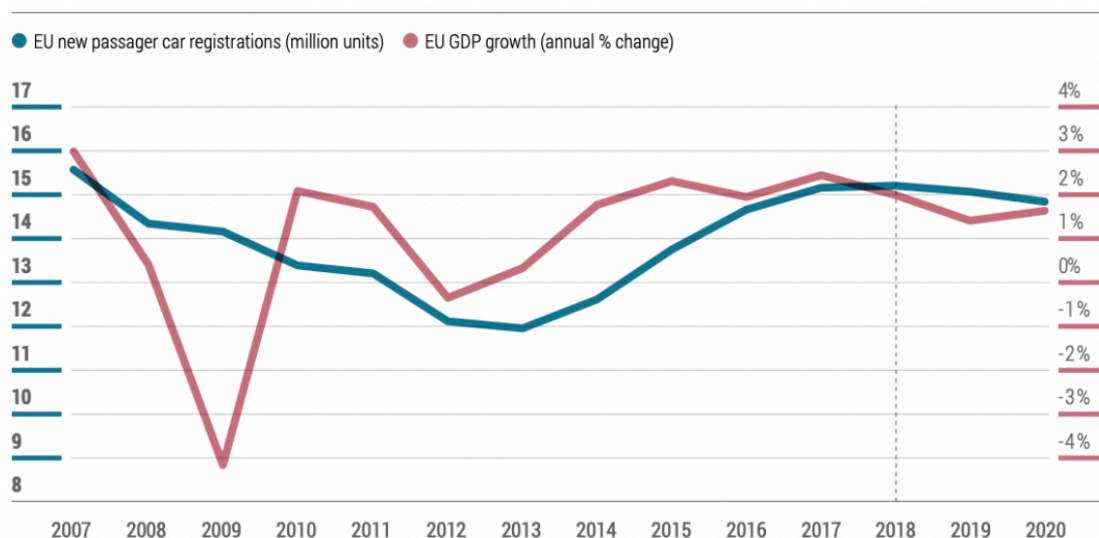
Ο τομέας των μεταφορών διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην κοινωνία και στην οικονομία. Είναι συνδεδεμένος με πολλές πτυχές της ανθρώπινης δραστηριότητας και έχει μεγάλο αντίκτυπο στην ανάπτυξη και την απασχόληση. Οι μεταφορές καλύπτουν ανάγκες για μετακινήσεις τόσο επιβατών, όσο και εμπορευμάτων. Επομένως, η ανάπτυξη σύγχρονων μεταφορικών δικτύων και μέσων αποτελεί παράγοντα ζωτικής σημασίας τόσο για το εμπόριο και τον τουρισμό, κλάδους άμεσα συσχετισμένους με την ανάπτυξη της οικονομίας, όσο και για την διευκόλυνση των μετακινήσεων και τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου μιας κοινωνίας. [1]

Αξιοσημείωτο είναι πως η εφοδιαστική, όπως η μεταφορά και η αποθήκευση, αντιπροσωπεύουν το 10-15% του κόστους ενός τελικού προϊόντος για τις ευρωπαϊκές εταιρείες. Παράλληλα, η ποιότητα των μεταφορικών υπηρεσιών επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα ζωής των ανθρώπων, ενδεικτικά αναφέρεται πως κατά μέσο όρο, το 13,2% του προϋπολογισμού κάθε νοικοκυριού δαπανάται για μεταφορά αγαθών και υπηρεσιών [2].

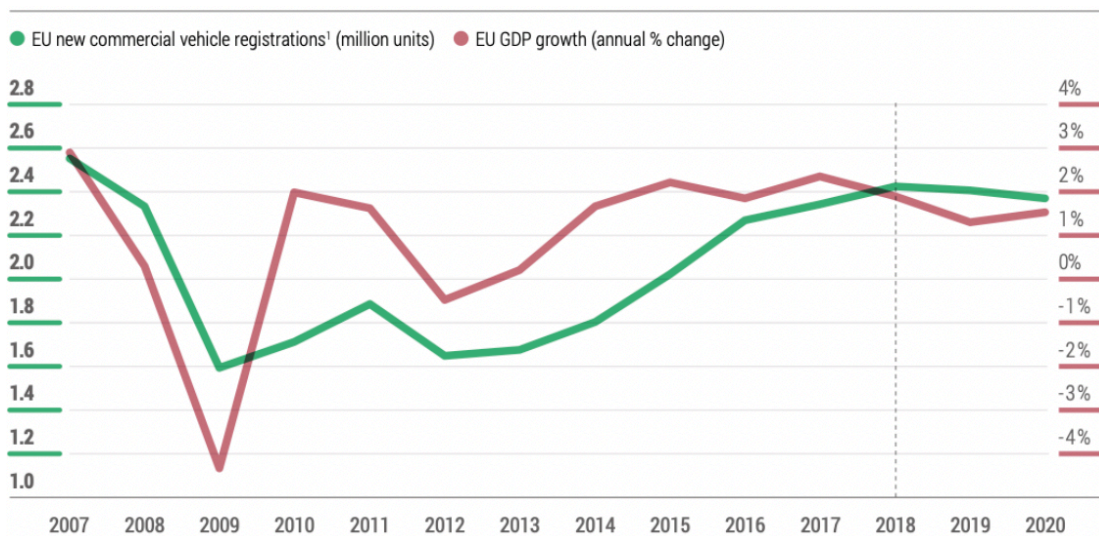
Οι μεταφορές σήμερα, είτε αυτές αφορούν ανθρώπους είτε φορτία, διακρίνονται σε τρεις ιδιαίτερες κατηγορίες, στις χερσαίες, στις θαλάσσιες και στις εναέριας. Με τις χερσαίες και ειδικότερα τις οδικές μεταφορές να καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό [1].

Ο κλάδοι που συνδέονται είτε άμεσα, είτε έμμεσα με την αυτοκινητοβιομηχανία αποτελούν βασικό πυλώνα για την ανάπτυξη της οικονομίας. Αναφορικά, στην Ευρωπαϊκή Ένωση παράγεται το 22,3% της παγκόσμιας παραγωγής αυτοκινήτων, παρέχοντας άμεσες και έμμεσες θέσεις εργασίας σε 13,8 εκατομμύρια Ευρωπαίους, αντιπροσωπεύοντας το 6,1% της συνολικής απασχόλησης στην Ε.Ε. [3].

Οι μεταφορές και η οικονομική ανάπτυξη αποτελούν έννοιες άρρηκτα συνδεδεμένες μεταξύ τους. Στις παρακάτω εικόνες, γίνεται φανερό η σχέση αλληλεπίδρασης μεταξύ του αριθμού των επιβατικών και επαγγελματικών οχημάτων και της ανάπτυξης του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος (Α.Ε.Π.) στην Ε.Ε.



Εικόνα 1-1: Επιβατικά αυτοκίνητα σε σχέση με το ΑΕΠ στην Ε.Ε., 2007 – 2020 [3]

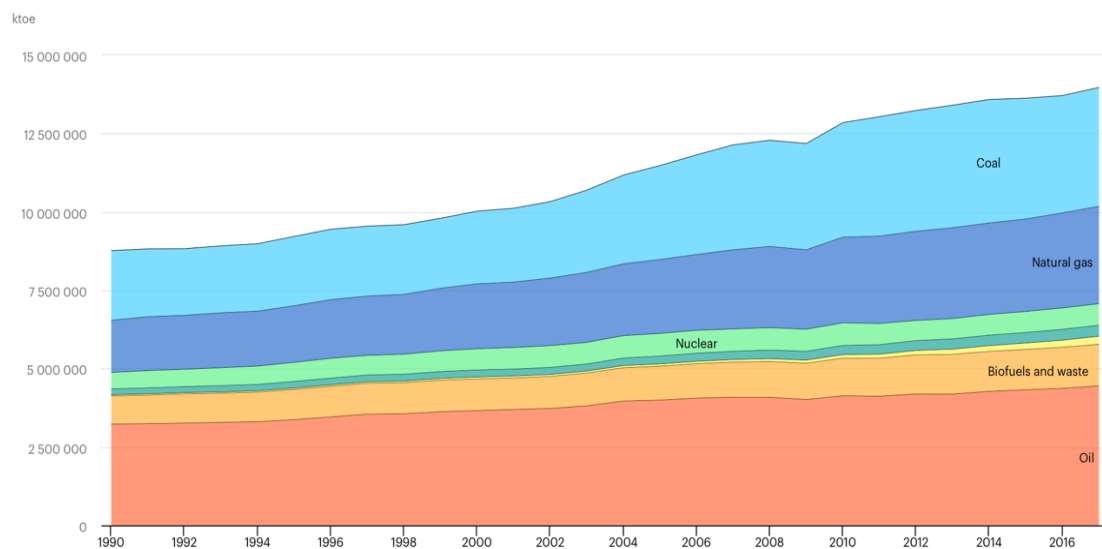


Εικόνα 1-2: Επαγγελματικά αυτοκίνητα σε σχέση με το ΑΕΠ στην Ε.Ε., 2007 - 2020 [3]

Οι μεταφορές, με το οικουμενικό ρόλο που έχουν, συμβάλλουν καθοριστική στην ανάπτυξη και την ευημερία των σύγχρονων κοινωνιών. Οι αυτοκινητοβιομηχανίες της Ευρώπης όντας προσηλωμένες στην αντιμετώπιση των προκλήσεων του αύριο, στοχεύουν στην ανάπτυξη αποδοτικότερων, εξυπνότερων, ασφαλέστερων και φιλικότερων προς το περιβάλλον οχημάτων. Υπό το πρίσμα αυτό, οι επενδύσεις σε έρευνα και ανάπτυξη καθίστανται αναγκαίες. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως στην Ευρωπαϊκή Ένωση ποσά της τάξεως των 57,4 δισεκατομμυρίων ευρώ δαπανώνται ετησίως, καθιστώντας τον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας τον κυρίαρχο επενδυτή στην καινοτομία, υπεύθυνος για το 28% των συνολικών δαπανών της Ευρωπαϊκής Ένωσης για έρευνα και ανάπτυξη. [3]

1.3 Ενεργειακή Διάσταση των Μεταφορών

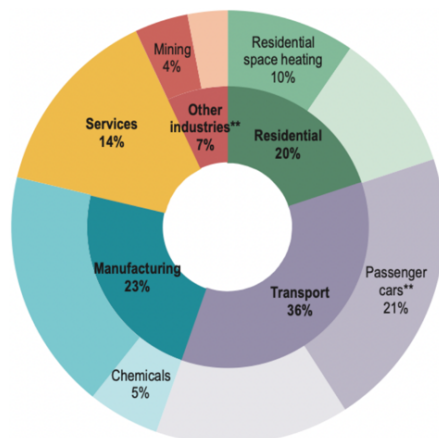
Σύμφωνα με στοιχεία από το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (International Energy Association, I.E.A.), σε γενικότερο επίπεδο, η κατανάλωση ενέργειας τις τελευταίες δεκαετίες, παρουσιάζει μια ανοδική πορεία. Στο ενεργειακό μείγμα, η κύρια πηγή ενέργειας παγκοσμίως αποτελεί το πετρέλαιο. Πίσω του εμφανίζεται ο άνθρακας και το φυσικό αέριο. Εν συνεχεία, γίνεται και χρήση άλλων πηγών ενέργειας όπως η πυρηνική και ανανεώσιμες όπως η ηλιακή, η αιολική κ.α. Ωστόσο, στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί πως η ραγδαία ανάπτυξη στον τομέα των μεταφορών και ειδικότερα στον κλάδο των οδικών μεταφορών, συνέλαβε καθοριστικά στην εξέλιξη των ενεργειακών καταναλώσεων και κατ' επέκταση στις τιμές κατανάλωσης του πετρελαίου και των παραγώγων του. Καύσιμα που τροφοδοτούν την πλειονότητα των οχημάτων.



Εικόνα 1–3: Η συνολική κατανάλωση διαφόρων πηγών ενέργειας, στις χώρες μέλη του I.E.A., 1990-2016 [4]

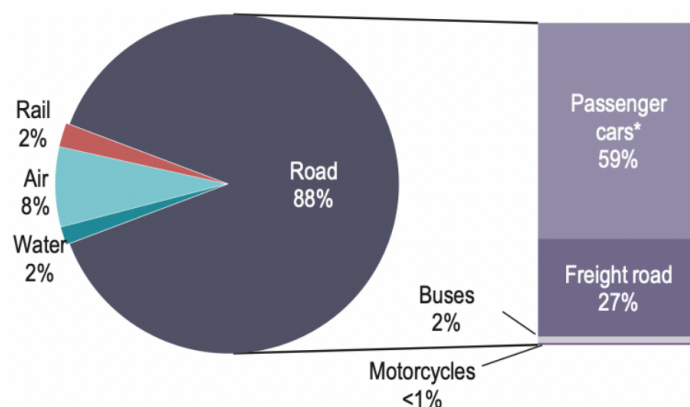
Τα δεδομένα από το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας φανερώνουν πως ο τομέας των μεταφορών κατέχει το υψηλότερο μερίδιο της τελικής κατανάλωσης ενέργειας. Συγκεκριμένα, για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών δεσμεύει το 36% της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως επιβατικά αυτοκίνητα χρησιμοποίησαν περισσότερη ενέργεια από ό, τι ολόκληρος ο οικιακός

τομέας. Εν συνεχεία οι τομέας της βιομηχανίας καλύπτει το 23%, τα νοικοκυριά το 20% και τέλος ο τομέας των υπηρεσιών το 14% [5]



Εικόνα 1-4: Η ενεργειακή κατανάλωση ανά οικονομικό τομέα, στις χώρες μέλη του I.E.A., 2015 [5]

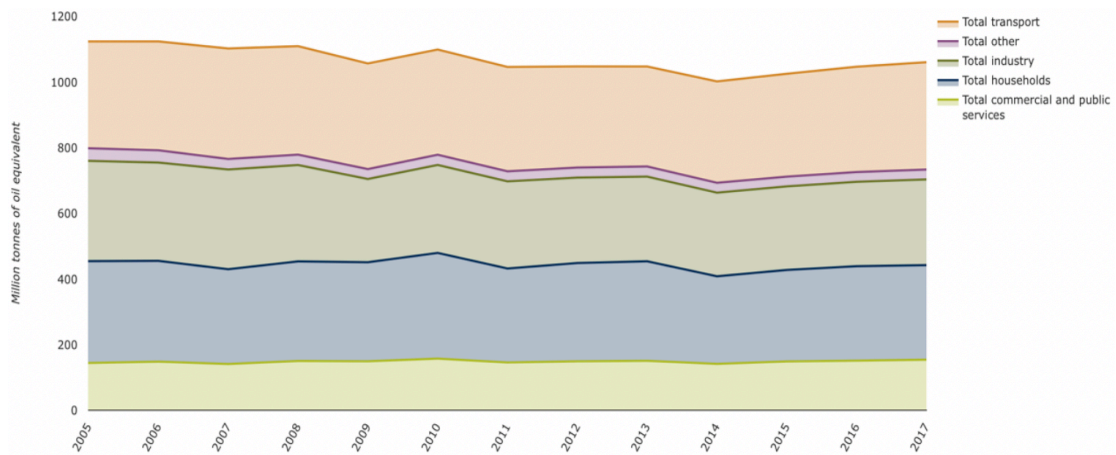
Στις χώρες-μέλη του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας, κατά μέσο όρο η κατανάλωση ενέργειας για τις μεταφορές κυριαρχείται από οδικά οχήματα σε ποσοστό 88%, με τα επιβατικά αυτοκίνητα και τους εμπορευματικά να αντιπροσωπεύουν περίπου το 86%. Τα εναέρια μέσα αντιπροσωπεύουν το 8%, ενώ τα θαλάσσια μέσα και οι σιδηροδρομικές μεταφορές αντιστοιχούν συνολικά περίπου στο 4% [5].



Εικόνα 1-5: Κατηγορίες μεταφορών & ποσοστό τους στην ενεργειακή κατανάλωση, στις χώρες μέλη του I.E.A., 2015 [5]

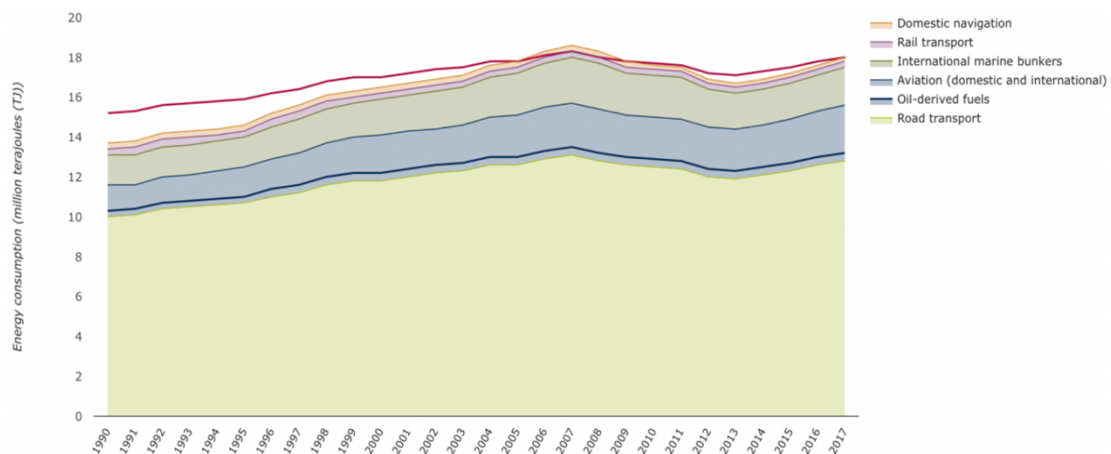
1.3.1 Κατανάλωση ενέργειας στην Ευρώπη

Τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης αποτελούν σημαντικούς καταναλωτές ενέργειας. Η ενέργεια καταναλώνεται από διάφορους τομείς της οικονομίας. Δεδομένα σχετικά με τις καταναλώσεις ενέργειας αναφέρονται ετησίως από την ΕΕ. Στην εικόνα 1-4 παρουσιάζονται οι τιμές αυτές, έτσι όπως εξελίχθηκαν κατά τη διάρκεια 12 χρόνων, στο διάστημα μεταξύ 2005 και 2017. Το 2017, ο τομέας των μεταφορών καταλάμβανε σχεδόν το ένα τρίτο (31%) της συνολικής τελικής κατανάλωσης ενέργειας της ΕΕ, ακολουθούμενος από τους τομείς των νοικοκυριών (27%), της βιομηχανίας (25%), των υπηρεσιών (15%). [6]



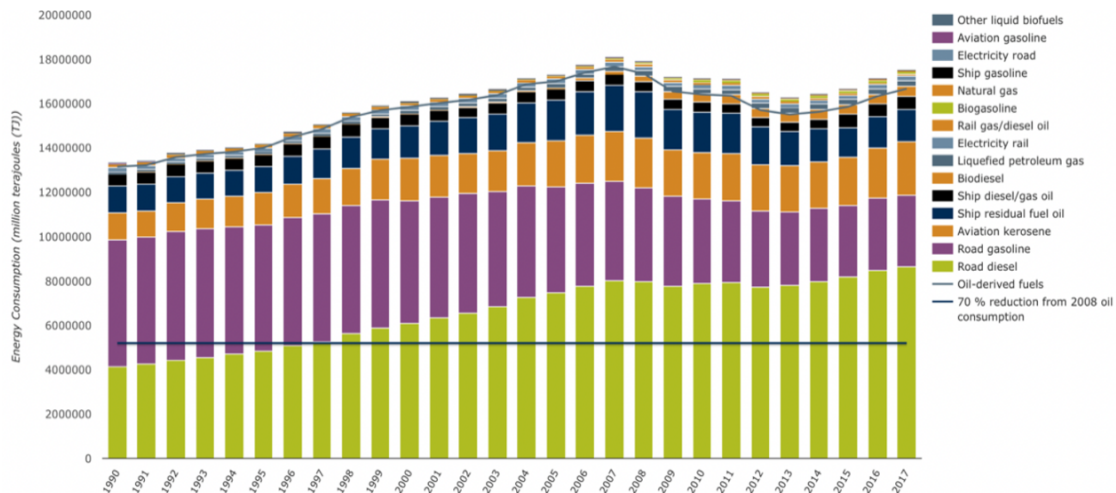
Εικόνα 1–6: Η ενεργειακή κατανάλωση ανά οικονομικό τομέα στην Ε.Ε., 2005-2017 [6]

Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές στον αυξήθηκε κατά 38% μεταξύ 1990 και 2017 (32% στην ΕΕ-28). Οι οδικές μεταφορές αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας στον τομέα των μεταφορών, αντιπροσωπεύοντας το 73% της συνολικής ζήτησης το 2017. Ωστόσο η οικονομική ύφεση του 2007 είχε άμεση επίδραση σε όλες τις κατηγορίες μεταφορών, προκαλώντας γενικευμένη μείωση στη ζήτηση τους. Αυτό αντικατοπτρίζεται από την πτωτική πορεία της ενεργειακής κατανάλωσης των αμέσως επόμενων ετών 2008 έως 2013, απ' όπου και ξεκινάει μια νέα περίοδος ανάκαμψης [7].



Εικόνα 1–7: Η ενεργειακή κατανάλωση στον τομέα των μεταφορών στην Ε.Ε., 1990-2017 [7]

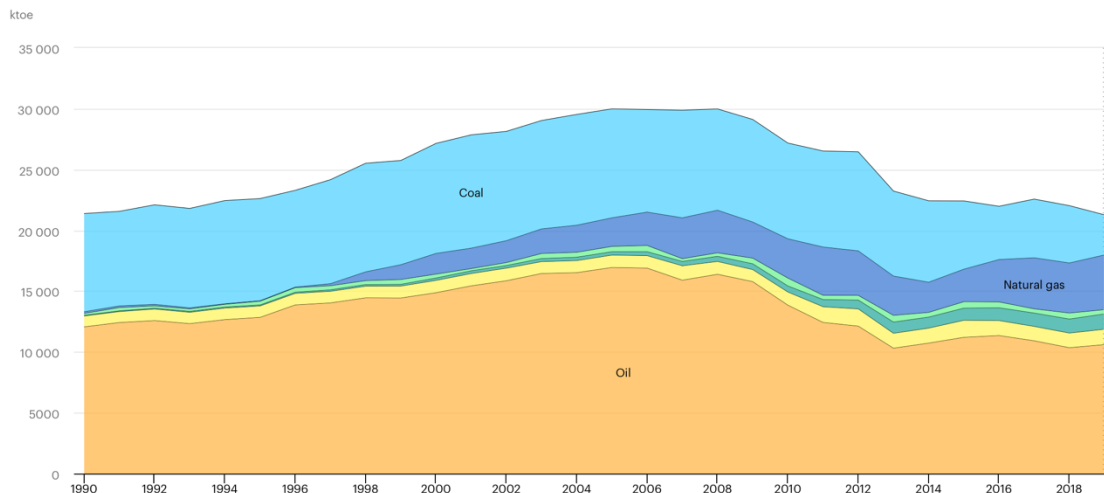
Τα θαλάσσια και οι εναέρια μέσα μεταφοράς, πλην ελαχίστων εξαιρέσεων, χρησιμοποιούν κοινή πηγή ενέργειας τα συμβατικά υγρά καύσιμα, τα οποία είναι προϊόντα διύλισης αργού πετρελαίου. Αντιθέτως, οι επίγειες μεταφορές, έχουν μια διαφοροποίηση ως προς την πηγή ενέργειας τους. Τα συμβατικά καύσιμα μπορεί να κατέχουν τη μερίδα του λέοντος, ωστόσο δεν αποτελούν τη μοναδική πηγή ενέργειας. Ειδικότερα τα τελευταία χρόνια, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας, ολοένα και περισσότερες εναλλακτικές πηγές ενέργειας διεισδύουν στο ενεργειακό μείγμα. Μία από αυτές είναι η ηλεκτρική ενέργεια και τα βιοκαύσιμα, όπως το βιοντίζελ, το βιοαέριο, τη βιοβενζίνη [7] [8].



Εικόνα 1–8: Η ενεργειακή κατανάλωση στον τομέα των μεταφορών στην Ε.Ε., 1990–2017 [7]

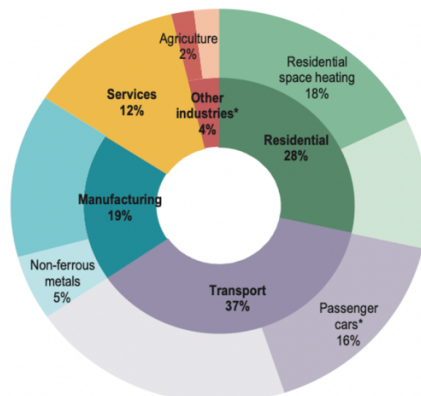
1.3.2 Κατανάλωση Ενέργειας στην Ελλάδα

Η Ελλάδα, αν και μικρό κράτος συμβάλει με το δικό της ποσοστό στην παγκόσμια καταναλωτή ενέργειας. Σύμφωνα με στοιχεία του Διεθνή Οργανισμού Ενέργειας (International Energy Association, I.E.A.) σε γενικότερο επίπεδο, το πετρέλαιο αντιπροσωπεύει πάνω από το 50% στην συνολική τελική ενεργειακή κατανάλωση, κυρίως λόγω της κυριαρχίας του στον τομέα των μεταφορών, αλλά και των μεγάλων ποσοστών του στον βιομηχανικό και οικιστικό τομέα. Ακολουθεί ο άνθρακας του οποίου η χρήση έχει μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Από την άλλη πλευρά, σημαντική αύξηση παρατηρείται στις τιμές του φυσικού αερίου, φαίνεται να κερδίζει ολοένα περισσότερο έδαφος. Τέλος, το ενεργειακό μείγμα συμπληρώνουν διάφορες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και εναλλακτικών καυσίμων τα οποία με την πάροδο του χρόνου και την εξέλιξη της τεχνολογίας, αυξάνουν σταδιακά τα ποσοστά τους [9].



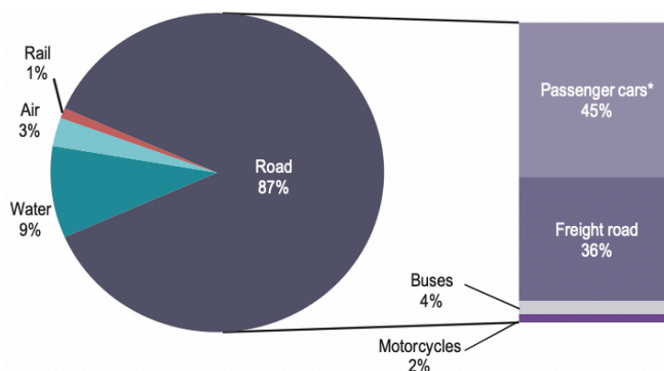
Εικόνα 1–9: Η συνολική κατανάλωση διαφόρων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα, I.E.A 1990–2016 [9]

Σύμφωνα με τα στοιχεία του Ι.Ε.Α. η ενέργεια καταναλώνεται από διάφορους τομείς της οικονομίας, με κυρίαρχο τον τομέα των μεταφορών (37%) της συνολικής τελικής κατανάλωσης. Σε μικρότερο επίπεδο ακολουθούν οι τομείς των οικιστικών κτιρίων (28%), της βιομηχανίας (19%), οι υπηρεσίες (12%) και τέλος της γεωργίας (2%) [5].



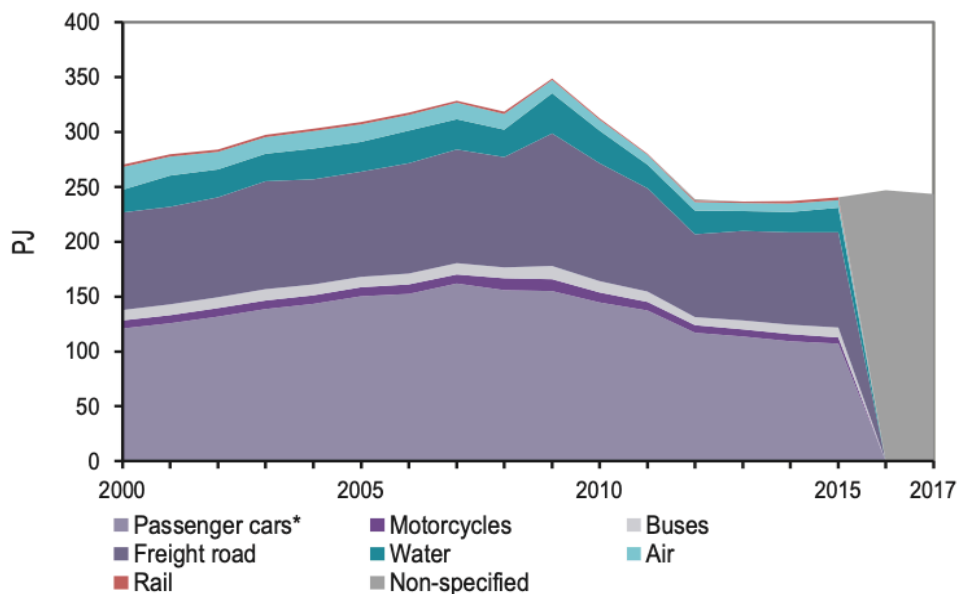
Εικόνα 1–10: Η ενεργειακή κατανάλωση ανά οικονομικό τομέα στην Ελλάδα, 2015 [5]

Στην ενεργειακή κατανάλωση των μεταφορών ο τομέας των χερσαίων μεταφορών καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μερίδιο (87%), με τα επιβατικά και τα εμπορευματικά αυτοκίνητα να αντιπροσωπεύουν περίπου το (81%) του συνολικού στόλου. Τα θαλάσσια μέσα κατέχουν ένα σημαντικό μερίδιο (9%). Τα εναέρια μέσα αντιπροσωπεύουν το (3%), ενώ οι σιδηροδρομικές μεταφορές αντιστοιχούν στο 1% [5].



Εικόνα 1–11: Κατηγορίες μεταφορών & ποσοστό τους στην ενεργειακή κατανάλωση στην Ελλάδα, 2015 [5]

Στην Ελλάδα, τις τελευταίες δεκαετίες, η ανάπτυξη στον τομέα των οδικών μεταφορών ήταν μεγάλη, συλλαμβάνοντας καθοριστικά στην εξέλιξη των ενεργειακών καταναλώσεων και κατ' επέκταση στις τιμές κατανάλωσης του πετρελαίου και των παραγώγων του, ως βασικών πηγών ενέργειας του μεταφορικού κλάδου. Από το γράφημα που ακολουθεί παρακάτω, παρατηρείται πως ο κλάδος των οδικών μεταφορών και ιδιαίτερα τα επιβατικά τα επαγγελματικά οχήματα αποτελούν τον κύριο ενεργειακό καταναλωτή. Επίσης αξίζει να αναφερθεί πως η οικονομική ύφεση που πρωτοεμφανίστηκε το 2007 και συνεχίστηκε τα μεταγενέστερα χρόνια είχε αρνητική επίδραση σε όλους τους οικονομικούς τομείς, προκαλώντας γενικευμένη μείωση στην τελική κατανάλωση ενέργειας [5].



Εικόνα 1–12: Κατηγορίες μεταφορών & ποσοστό τους στην ενεργειακή κατανάλωση στην Ελλάδα, 2015 [5]

1.4 Περιβαλλοντική Διάσταση των Μεταφορών

Η γενικευμένη αύξηση του όγκου των μεταφορών, με την συνοδευόμενη εκτεταμένη κατανάλωση συμβατικών καυσίμων, έχει οδηγήσει σε σημαντική επιβάρυνση του περιβάλλοντος, ιδίως όσον αφορά την ρύπανση της ατμόσφαιρας και τη μεταβολή του κλίματος. Στο σημείο αυτό, οι σημερινές προσπάθειες για την εξουδετέρωση των τάσεων αυτών έχουν επιτύχει κυρίως τη μείωση του ρυθμού αύξησης. Ως θετικό στοιχείο, οι τεχνολογικές βελτιώσεις των τελευταίων δεκαετιών, επέφεραν τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που οφείλεται στις οδικές μεταφορές, παρ' ότι αυξήθηκε ο όγκος της κυκλοφορίας. Όμως, απαιτούνται περαιτέρω βήματα για την επίλυση των πολυδιάστατων αυτών περιβαλλοντικών ζητημάτων, με την ηλεκτροκίνηση να αποτελεί μια αρκετά υποσχόμενη λύση, στον αγώνα για ένα βιώσιμο μέλλον.

1.4.1 Ατμοσφαιρική ρύπανση

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ένας ευρύς όρος, που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την ύπαρξη στην ατμόσφαιρα διαφόρων παραγόντων (χημικών, φυσικών, βιολογικών ή άλλων), που έχουν αρνητικές επιπτώσεις στους έμβιους οργανισμούς και το περιβάλλον. Οι παράγοντες αυτοί ονομάζονται γενικά ρύποι, αλλοιώνουν τα φυσικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας και έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Η ατμοσφαιρική ρύπανση επηρεάζει την ποιότητα ζωής των ανθρώπων σε παγκόσμιο επίπεδο, και επιπλέον θεωρείται υπεύθυνη για διάφορα αναπνευστικά και άλλα προβλήματα υγείας, καθώς και για τη μείωση του προσδόκιμου ζωής αλλά και για πρόωρους θανάτους. Ο καθορισμός ορίων ποιότητας αέρα (δηλαδή ανώτερων τιμών επιτρεπτών συγκεντρώσεων ρύπων και αριθμού των υπερβάσεων τους ανά έτος), έχει συμβάλει στη μείωση των αρνητικών επιδράσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με τη βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα.

Στη σύγχρονη εποχή, η ρύπανση αυτή κατά κύριο λόγο είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η ανθρωπογενής ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλείται κυρίως από τις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τη βιομηχανία, τις μεταφορές τα νοικοκυριά και τη γεωργία.

Από το τέλος του 19ου αιώνα, και ειδικά κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα, το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις ανεπτυγμένες χώρες χαρακτηριζόταν από υψηλές συγκεντρώσεις καπνού και διοξειδίου του θείου, που προέρχονταν από την καύση ορυκτών καυσίμων όπως το κάρβουνο.

Κατά τη διάρκεια του δεύτερου μισού του 20^{ου} αιώνα, οι εκπομπές από την κυκλοφορία οχημάτων εμφάνισαν αυξητικές τάσεις, επιβαρύνοντας την ποιότητα του αέρα, σε συνδυασμό με της εκπομπές ρύπων που προέρχονταν από το βιομηχανικό τομέα. Καθώς η πλειοψηφία του πληθυσμού της Ευρώπης διαμένει πλέον σε πόλεις και ο αριθμός των οχημάτων που κυκλοφορούν έχει αυξηθεί, η οδική κυκλοφορία διαδραματίζει σήμερα σημαντικό ρόλο στα προβλήματα ποιότητας αέρα.

Τα αυτοκίνητα εκπέμπουν διάφορους ρύπους στην ατμόσφαιρα, όπως μονοξειδίο του άνθρακα (CO), οξείδια του αζώτου (NO_x), οργανικές πτητικές ενώσεις (VOCs) και αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ). Επιπρόσθετα, η χημική αντίδραση των οξειδίων του αζώτου με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας (O₂) με ταυτόχρονη παρουσία πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) και μονοξειδίου του άνθρακα (CO), αλλά και με την επίδραση του ηλιακού φωτός, οδηγεί στην παραγωγή όζοντος (O₃), που χαρακτηρίζεται ως δευτερογενής ρύπος. Το όζον εμφανίζει συνήθως υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης μακριά από τα κέντρα των πόλεων, διότι εντός πόλεων “καταστρέφεται” με τη χημική του αντίδραση κυρίως με το μονοξειδίο του αζώτου (NO) [10] [11].

Πιο αναλυτικά, τα σημαντικότερα συστατικά των εκλυόμενων ατμοσφαιρικών ρύπων από τα οχήματα που χρησιμοποιούν κινητήρες εσωτερικής καύσεως, αποτελούν :

- **Το οξείδια του αζώτου (NO_x):** Ο όρος «νιτρικά οξείδια» ή «οξείδια του αζώτου» (NO_x) συνήθως χρησιμοποιείται για να περιγράψουμε δύο ρύπους: το νιτρικό οξείδιο ή μονοξειδίο του αζώτου (NO), το οποίο είναι ένα άχρωμο, άοσμο αέριο και το νιτρικό διοξείδιο ή διοξείδιο του αζώτου (NO₂), το οποίο είναι ένα κόκκινο-καφέ αέριο με έντονη μυρωδιά. Το μονοξειδίο του αζώτου αντιδρά με το οξυγόνο ή το όζον στην ατμόσφαιρα για να παράξει το διοξείδιο του αζώτου. Εισπνοή αυτών των δύο ουσιών στη μορφή καθαρών αερίων επιφέρει ακαριαίο θάνατο. Στην κατηγορία των οξειδίων του αζώτου περιλαμβάνονται τα NO₃ (νιτρικά τριοξείδια), N₂O (νιτρώδες οξείδιο), N₂O₄ (τετροξείδιο του διαζώτου) και N₂O₅ (πεντοξείδιο του διαζώτου). Το νιτρώδες οξείδιο είναι ένα αέριο θερμοκηπίου και επιπλέον καταστρέφει το στρώμα του όζοντος. Το N₂O₄ είναι πολύ ασταθές αέριο, το οποίο συνήθως παρουσιάζεται σε σημαντικές ποσότητες τη νύχτα (διαλύεται με την ηλιακή ακτινοβολία). Πηγές των οξειδίων του αζώτου αποτελούν οι διεργασίες καύσης με υψηλές θερμοκρασίες, όπως αυτές που λαμβάνουν χώρα σε μηχανές εσωτερικής καύσης. Το διοξείδιο του αζώτου αποτελεί συνήθως το 5-10% των συνολικών εκπομπών, με εξαίρεση τα πετρελαιοκίνητα οχήματα, στα οποία μπορεί να φτάσει το 70%. Η υπερβολική έκθεση στα οξείδια του αζώτου μπορεί

να προκαλέσει προβλήματα στο αίμα, το ήπαρ, τους πνεύμονες και τον σπλήνα. Σε συνδυασμό δε με το διοξείδιο του θείου μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της βλαπτικότητας για τον άνθρωπο, σε σχέση με τις επιπτώσεις των δύο ρύπων ξεχωριστά. Επίσης, τα οξείδια του αζώτου αντιδρούν με την αμμωνία, την υγρασία, και άλλες ενώσεις για να δημιουργήσουν το νιτρικό οξύ που πολλές φορές λαμβάνει τη μορφή σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Στις επιπτώσεις για την ανθρώπινη υγεία περιλαμβάνονται οι δυσκολίες στην αναπνοή και οι παθήσεις του αναπνευστικού συστήματος, οι βλάβες στον ιστό των πνευμόνων, και η μείωση του προσδόκιμου ζωής. Τα μικρά σωματίδια διαπερνούν τα ευαίσθητα μέρη των πνευμόνων και μπορούν να προκαλέσουν ή να επιδεινώσουν καρδιοαναπνευστικές ασθένειες, όπως το εμφύσημα και η βρογχίτιδα. Ακόμα, τα οξείδια του αζώτου αντιδρούν εύκολα με τις κοινές οργανικές χημικές ουσίες και το όζον, για να διαμορφώσουν ένα ευρύ σύνολο ουσιών που είναι τοξικές και μπορούν να προκαλέσουν βιολογικές μεταλλαγές. Τέλος, το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλεί αναπνευστικά προβλήματα, ιδιαίτερα σε άτομα που υποφέρουν από άσθμα και σε παιδιά [10] [11].

- **Τα οξείδια του θείου (SO_x):** Το πιο γνωστό από τα οξείδια του θείου είναι το διοξείδιο του θείου (SO_2). Πρόκειται για ένα άχρωμο αέριο με έντονη, αποπνικτική οσμή. Διαλύεται στο νερό για να παράξει όξινο διάλυμα (θειώδες οξύ). Η κυριότερη πηγή διοξειδίου του θείου είναι η καύση ορυκτών καυσίμων με περιεκτικότητα σε θείο. Το SO_2 δύναται να συνεισφέρει στην σωματιδιακή ρύπανση, δημιουργώντας δευτερογενή θειούχα σωματίδια στην ατμόσφαιρα. Μακροχρόνια έκθεση στο διοξείδιο του θείου μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα, να τροποποιήσει τον αμυντικό μηχανισμό των πνευμόνων και να επιδεινώσει τυχόν υπάρχουσες καρδιοαγγειακές παθήσεις. Άτομα ιδιαίτερα ευπαθή σε τέτοιες συνθήκες είναι αυτά που πάσχουν από καρδιοαγγειακές και χρόνιες πνευμονολογικές παθήσεις (όπως η βρογχίτιδα ή το εμφύσημα), τα άτομα που πάσχουν από άσθμα, καθώς και τα μικρά παιδιά και οι ηλικιωμένοι. Το SO_2 συνεισφέρει στην όξινη απόθεση (acid deposition), φαινόμενο που μπορεί να έχει σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις σε οικοσυστήματα (δάση, ποταμοί, λίμνες κλπ) [10] [11].
- **Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO):** Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι άχρωμο, άοσμο, δηλητηριώδες αέριο, ελάχιστα ελαφρύτερο από τον αέρα με τον οποίο συνιστά εκρηκτικά μίγματα. Δημιουργείται όταν καύσιμα που περιέχουν άνθρακα καίγονται σε συνθήκες με περιορισμένο οξυγόνο. Οι μηχανές εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούν βενζίνη είναι η κύρια πηγή μονοξειδίου του άνθρακα σε πόλεις. Εντούτοις, οι εκπομπές είναι πολύ χαμηλότερες από τα σύγχρονα οχήματα που διαθέτουν καταλυτικούς μετατροπείς. Οι συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα στις αστικές περιοχές συσχετίζονται πολύ με την πυκνότητα της κυκλοφορίας και με τις καιρικές συνθήκες. Οι συγκεντρώσεις μπορούν να ποικίλουν πολύ κατά τη διάρκεια της ημέρας, ως συνάρτηση των επιπέδων και της ταχύτητας κυκλοφορίας. Τα οχήματα παράγουν το περισσότερο μονοξείδιο άνθρακα όταν είναι σε ακινησία ή κατά την επιβράδυνση. Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα αέριο με «ύπουλα» χαρακτηριστικά ως προς τις επιπτώσεις που δύναται να έχει στην υγεία. Η υπερβολική έκθεση στο μονοξείδιο του άνθρακα (CO) μπορεί να έχει

επιπτώσεις στο αίμα, τον εγκέφαλο, την καρδιά. Συγκεκριμένα μειώνει την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο σε βασικούς ιστούς του οργανισμού, επιδρώντας κυρίως στο καρδιοαγγειακό και νευρικό σύστημα. Υψηλές συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα προκαλούν ζαλάδες, πονοκεφάλους και κόπωση. Υγιή άτομα εκτεθειμένα σε ψηλά επίπεδα, μπορεί να υποστούν προσωρινή μείωση της πνευματικής τους διαύγειας καθώς και της όρασης τους. Τέλος το αέριο αντιδρά με άλλους ρύπους με αποτέλεσμα τη δημιουργία όζοντος στο επίπεδο του εδάφους, το οποίο μπορεί να βλάψει την ανθρώπινη υγεία [10] [11].

- **Το όζον (O₃):** είναι ένα φυσικό συστατικό του ατμοσφαιρικού αέρα, αποτελείται από τρία άτομα οξυγόνου, και προκύπτει ως αποτέλεσμα χημικών μετασχηματισμών στην ατμόσφαιρα. Δεν εκπέμπεται άμεσα, και γι' αυτό ονομάζεται δευτερογενής ρύπος. Όταν βρίσκεται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας (στρατόσφαιρα), μας προστατεύει από την επικίνδυνη υπέρυθρη ακτινοβολία του Ήλιου. Όταν όμως βρίσκεται στο στρώμα της ατμόσφαιρας όπου ζούμε και δραστηριοποιούμαστε (δηλ. στην τροπόσφαιρα), το όζον είναι ένας σημαντικός ρύπος που επηρεάζει τη δημόσια υγεία και τα οικοσυστήματα. Το όζον σε επίπεδο εδάφους δημιουργείται ως αποτέλεσμα πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων μεταξύ πρόδρομων αερίων, όπως τα οξειδία του αζώτου και μη μεθανικών πτητικών οργανικών ενώσεων. Το μεθάνιο και το μονοξείδιο του άνθρακα επίσης παίζουν ρόλο στη δημιουργία του. Σχετικά με τις επιπτώσεις του, η έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις όζοντος έχει αποδειχθεί ότι προκαλεί σημαντική προσωρινή μείωση στην ικανότητα των πνευμόνων να λειτουργήσουν κανονικά, ακόμη και σε υγιείς ενήλικες. Τα μέτρια επίπεδα όζοντος μπορεί να ενοχλήσουν τα μάτια, τη μύτη, το λαιμό, και τους πνεύμονες. Σε υψηλές συγκεντρώσεις, το όζον μπορεί να ερεθίσει το αναπνευστικό σύστημα, προκαλώντας βήχα, αίσθημα ξηρότητας στο λαιμό και πόνο στο στήθος, φλεγμονή στους πνεύμονες και πιθανή επιδεκτικότητα σε μολύνσεις του αναπνευστικού. Τα παιδιά, ιδιαίτερα αυτά που υποφέρουν από άσθμα, τίθενται περισσότερο σε κίνδυνο. Υψηλά επίπεδα όζοντος μπορούν επίσης να προκαλέσουν δυσφορία, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με υψηλές θερμοκρασίες (φαινόμενο που συναντάται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού) [10] [11].
- **Αιωρούμενα σωματίδια (PM):** Όντας γνωστά και ως σωματιδιακή ρύπανση, αποτελούνται από ένα σύνθετο μίγμα στερεών αλλά και υγρών ουσιών και χημικών ενώσεων, που γενικά περιλαμβάνουν όξινα συστατικά (νιτρίδια και σουλφίδια), οργανικά συστατικά, μέταλλα, σκόνη και άμμο, αιθάλη (άνθρακα), ανόργανα άλατα όπως το αλάτι της θάλασσας και αεροαλλεργιογόνα (κόκκους γύρης και σπόρια μυκήτων). Σε αυτή την κατηγορία οι δύο κυριότεροι ρύποι, οι οποίοι εγείρουν σημαντική ανησυχία για την ανθρώπινη υγεία, είναι τα (A_{Σ10} που χαρακτηρίζονται ως εισπνεύσιμα σωματίδια και τα A_{Σ2.5} που χαρακτηρίζονται ως αναπνεύσιμα σωματίδια. Το σχήμα των A_Σ ποικίλλει μια και πολλές φορές αποτελούνται από συσσωματώσεις πολλών υλικών, και για το λόγο αυτό το μέγεθός τους χαρακτηρίζεται από την λεγόμενη αεροδυναμική διάμετρό τους, δηλαδή από τη διάμετρο μίας ισοδύναμης σφαίρας. Αρχικά, αυτά που έχουν διάμετρο μεταξύ 2.5 μm και 10μm (ονομάζονται συνήθως αδρά ή χονδρόκοκκα εισπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια). Έπειτα, εκείνα που έχουν διάμετρο κάτω των 2.5 μm (ονομάζονται συνήθως λεπτά ή λεπτόκοκκα

αναπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια). Περιλαμβάνουν όλα τα σωματίδια μικρότερης διαμέτρου, και περιληπτικά αναφέρονται ως ΑΣ_{2.5} και παραμένουν στην ατμόσφαιρα περισσότερο από τα ΑΣ₁₀. Τέλος, αυτά που έχουν διάμετρο μικρότερη από 1μm (ονομάζονται υπέρλεπτα). Τα Α.Σ. ανθρωπογενούς προέλευσης παράγονται κυρίως από διαδικασίες καύσης και συνδέονται άμεσα με εκπομπές από τον κλάδο των μεταφορών. Σωματίδια αιθάλης απελευθερώνονται στον αέρα από τις διαδικασίες καύσης που συναντώνται κατά τη χρήση καυσίμου άνθρακα, στις οδικές μεταφορές. Σωματίδια θεικού άλατος μπορούν να προκύψουν από την χρήση καυσίμων που περιέχουν το θείο, είτε άμεσα είτε από τις επόμενες χημικές αντιδράσεις του διοξειδίου του θείου με άλλα αερομεταφερόμενα είδη ρύπων. Αναφορικά με τις επιπτώσεις τους στην υγεία, τα Α.Σ. εναποτίθενται κυρίως στους πνεύμονες και με την πάροδο του χρόνου επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην υγεία. Η υπερβολική και μακροχρόνια έκθεση στα Α.Σ. συμβάλλει στη δημιουργία χρόνιων αναπνευστικών προβλημάτων σε ενήλικες και παιδιά, δύναται να επιδεινώσει καταστάσεις άσθματος, και μπορεί επίσης να αυξήσει τον κίνδυνο για αρρυθμίες, καρδιακή ανακοπή και πρόωρο θάνατο. Διάφορες μελέτες συνδέουν τα επίπεδα των Α.Σ. με τις αυξημένες εισαγωγές στα νοσοκομεία και ειδικά στο τμήμα πρώτων βοηθειών. Τα παιδιά, τα άτομα που πάσχουν από άσθμα ή έχουν καρδιολογικά προβλήματα και οι ηλικιωμένοι είναι οι ομάδες του πληθυσμού που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στην έκθεση σε ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις Α.Σ. στην ατμόσφαιρα. Όσο πιο μικρά είναι τα σωματίδια τόσο μεγαλύτερη η επικινδυνότητά τους (λόγω του βάθους διείσδυσης στο αναπνευστικό μας σύστημα), η οποία πάντως εξαρτάται και από τη σύστασή τους. Σημειώνεται χαρακτηριστικά ότι τα Α.Σ. που προέρχονται από την κυκλοφορία έχουν ενοχοποιηθεί για την αύξηση προβλημάτων αναπνοής σε παιδιά, ενώ σχετίζονται με τη συχνότητα εμφάνισης άσθματος [10] [11].

- **Τα Βαρέα Μέταλλα (HMs):** Ο όρος χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια ομάδα μετάλλων που η πυκνότητά τους είναι πάνω από 5 g/cm³, μπορούν να αποτελέσουν συστατικά Αιωρούμενων Σωματιδίων, και είναι δυνητικά τοξικά. Οι εκπομπές οχημάτων συγκαταλέγονται στις ανθρωπογενής πηγές, ιδιαίτερα με την περίπτωση του ο Μολύμβου (Pb), ο οποίος περιλαμβάνεται στην κατηγορία αυτή [10] [11].
- **Οι Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (PAHs):** Είναι οργανικές ενώσεις, οι οποίες αποτελούνται από δύο τουλάχιστον ενωμένους αρωματικούς δακτυλίους που περιέχουν αποκλειστικά άνθρακα και υδρογόνο. Είναι οικογένεια χημικών ουσιών με μεγάλο αριθμό μελών, που προέρχονται από φυσικές αλλά και ανθρώπινες δραστηριότητες (μηχανές εσωτερικής καύσης). Δεν διαλύονται στο νερό αλλά είναι διαλυτές σε λίπη και έλαια. Πρόκειται συνήθως για συστατικά που βρίσκονται στο οργανικό κλάσμα αιωρούμενων σωματιδίων, και συγκεντρώνουν το ενδιαφέρον των ειδικών εξαιτίας της καρκινογόνου και μεταλλαξιογόνου δράσης κάποιων από αυτά. Γνωστοί PAHs είναι τα: Βενζοπυρένιο, Φλουορανθένιο, Ναφθαλίνιο και Ανθρακένιο [10] [11].
- **Οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs):** είναι οργανικές ενώσεις που σε συνήθεις θερμοκρασίες βρίσκονται σε αέρια κατάσταση ή μεταβαίνουν εύκολα σε αυτή από την υγρή φάση που βρίσκονται αρχικά. Το Βενζόλιο είναι μια από

αυτές τις πτητικές οργανικές ενώσεις, ένα άχρωμο πολύ πτητικό υγρό με χαρακτηριστική μυρωδιά ("αρωματικός" χαρακτήρας). Ο μοριακός του τύπος είναι C_6H_6 , αποτελεί φυσικό συστατικό του αργού πετρελαίου (1-5%), ενώ είναι συστατικό της βενζίνης. Η ετήσια οριακή τιμή για το βενζόλιο είναι τα $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ από την 1/1/2010. Οι πηγές πτητικών οργανικών ενώσεων είναι οι όλες οι μηχανές που χρησιμοποιούν βενζίνη σαν καύσιμο. Το βενζόλιο απελευθερώνεται κατά τη διαδικασία ανεφοδιασμού του πρατηρίου αλλά και των εξυπηρετούμενων από αυτό οχημάτων με καύσιμα, συνήθως με μορφή ατμών. Τέλος, σαν αυτούσια ένωση μπορεί να προκαλέσει χρόνιες παθήσεις όπως καρκίνο, προβλήματα στο κεντρικό νευρικό σύστημα, βλάβες στη λειτουργία του ήπατος και των νεφρών, ανωμαλίες στην αναπαραγωγή και να οδηγήσει σε προβληματικές γεννήσεις. Σε περίπτωση υψηλών συγκεντρώσεων τα άτομα που επηρεάζονται προτρέπονται όπως περιορίσουν τις μετακινήσεις τους στους εξωτερικούς χώρους στον ελάχιστο δυνατό βαθμό και να συμβουλευτούν τον προσωπικό τους ιατρό [10] [11].

- **Οι πτητικές οργανικές ενώσεις χωρίς μεθάνιο (NMVOCs):** Αποτελούν μια πολύ μεγάλη ομάδα οργανικών ενώσεων, οι οποίες αν και διαφέρουν σημαντικά στη χημική τους σύνθεση, εμφανίζουν παρόμοια συμπεριφορά στην ατμόσφαιρα. Οι εκπομπή τους στην ατμόσφαιρα οφείλεται σε μεγάλο βαθμό σε διαδικασίες καύσης ορυκτών καυσίμων (βενζίνης). Τα NMVOC μπορούν άμεσα ή συμβάλλουν σε δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον. Αρχικά, μπορούν να αντιδράσουν με άλλους ατμοσφαιρικούς ρύπους σε εξωτερικούς χώρους παρουσία ηλιακού φωτός (μέσω υπεριώδους ακτινοβολίας) για την παραγωγή όζοντος στο επίπεδο του εδάφους. Το όζον ενέχει κινδύνους για την υγεία πυροδοτώντας φλεγμονές και άσθμα, αλλά προκαλεί επίσης οξειδωτική βλάβη σε βλάστηση όπως οι καλλιέργειες. Επίσης συνιστούν απειλή για την υγεία σε εσωτερικούς χώρους. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως στην κατηγορία αυτή το μεθάνιο αποκλείεται σε περιβάλλον ατμοσφαιρικής ρύπανσης επειδή δεν είναι επιβλαβές. Ωστόσο, η χαμηλή αντιδραστικότητά του και η μεγάλη διάρκεια ζωής στην ατμόσφαιρα το καθιστούν σημαντικό αέριο του θερμοκηπίου [12].

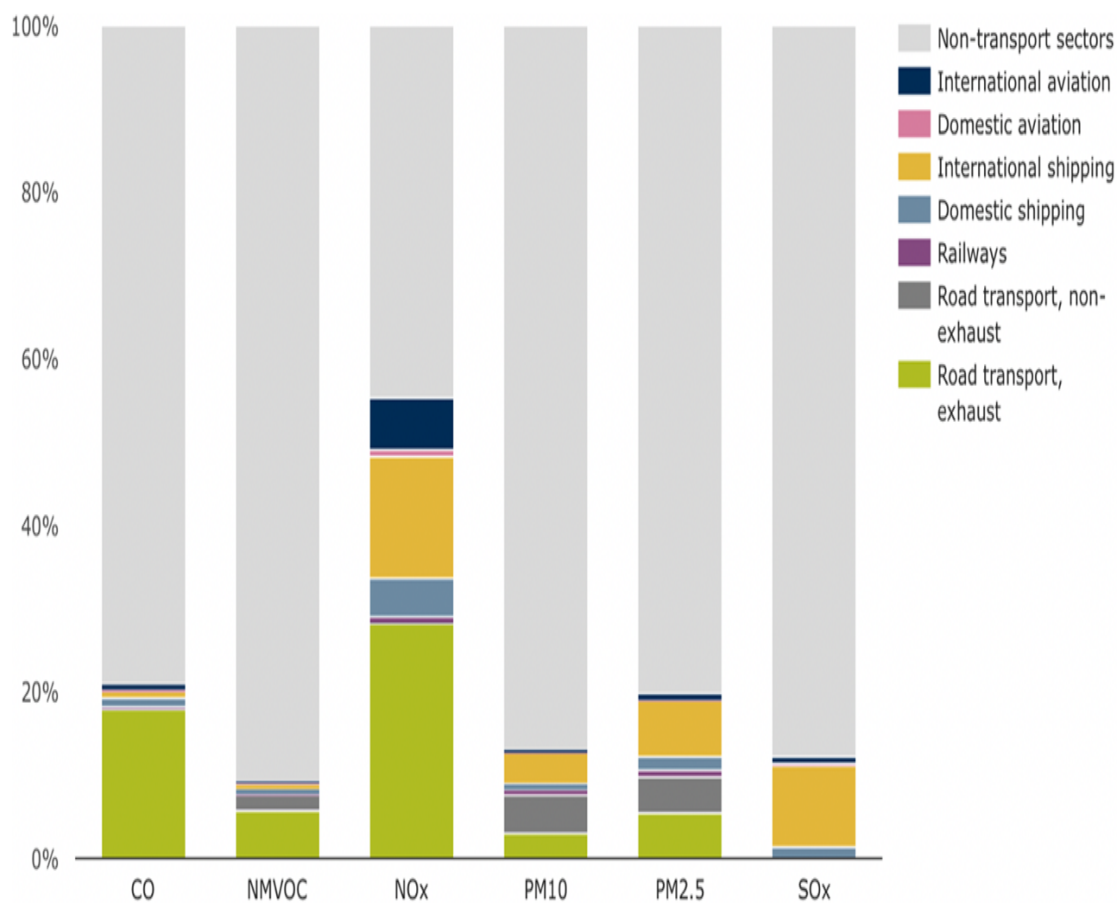
Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, στην Ευρώπη, η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί το σημαντικότερο περιβαλλοντικό κίνδυνο για την υγεία των πολιτών. Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM), το διοξείδιο του αζώτου (NO_2), το διοξείδιο του θείου (SO_2) και το τροποσφαιρικό όζον (O_3) αποτελούν τους πιο επιβλαβείς ρύπους. Ο αριθμός των πρόωρων θανάτους εξαιτίας υπέρμετρων συγκεντρώσεων ατμοσφαιρικών ρύπων να ανέρχονται περίπου στους 400.000 ετησίως. σημαντικές πηγές των οποίων αποτελούν οι οδικές μεταφορές. Ιδιαίτερα, εκτεθειμένοι είναι οι κάτοικοι αστικών περιοχών, όπου λόγω της μεγαλύτερης πληθυσμιακής συγκέντρωσης, η έκλυση ατμοσφαιρικών ρύπων είναι μεγαλύτερη, ενώ παράλληλα η διασπορά τους δυσκολότερη [13].

Η κακή ποιότητα του αέρα έχει επίσης σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις, καθώς αυξάνει το κόστος ιατρικής περίθαλψης, ενώ παράλληλα μειώνει την παραγωγικότητα των εργαζομένων. Κάτι που συνεπάγεται απώλειες ημερών εργασίας λόγω ασθένειας και υψηλότερο κόστος για τις υγειονομικές υπηρεσίες. Επίσης δημιουργεί

καταστροφές στο έδαφος, τις καλλιέργειες, τα δάση, τις λίμνες και τα ποτάμια, κάτι που επιφέρει τεράστια ζημιά σε κλάδους του πρωτογενούς τομέα, ο οποίος αποτελεί πηγή εισοδήματος για μεγάλο τμήμα του παγκόσμιου πληθυσμού [14].

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ο τομέας των μεταφορών ευθύνεται για 55% όλων των εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NOx), ενώ παράλληλα η συμβολή του στις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα φτάνει περίπου το 20%. Επίσης, η συνεισφορά του στις εκλύσεις αιωρούμενων σωματιδίων διαμέτρου έως 10μm (PM₁₀) ανέρχεται στο 15%, ενώ για τα διαμέτρου έως 2,5μm (PM_{2,5}) φτάνει το 20%. Επιπλέον, σχετικά με εκπομπές διοξειδίου του θείου, η συμμετοχή του τομέα εντοπίζεται σε ποσοστό 13%, η συντριπτική πλειοψηφία του οποίου χρεώνεται στον ναυτιλιακό κλάδο [15].

Όσον αφορά το μεγαλύτερο ρυπαντή του τομέα, οι οδικές μεταφορές, εξακολουθούν να αντιπροσωπεύουν σημαντικό ποσοστό εκπομπών όλων των κύριων ατμοσφαιρικών ρύπων, με εξαίρεση τα οξείδια του θείου (SOx). Ωστόσο εκλύσεις βλαβερών αερίων δημιουργούνται και από διαδικασίες ανεξάρτητες της καύσεως, όπως η φθορά των ελαστικών, η απόξεση δρόμου κλπ. Τέτοιες διαδικασίες συμβάλλουν στις εκπομπές τόσο πτητικών οργανικών ενώσεων εκτός μεθανίου (NMVOC) όσο και πρωτογενών αιωρούμενων σωματιδίων (PM), οι τιμές των οποίων, τα τελευταία χρόνια εμφανίζονται αυξητικές [15].



Εικόνα 1–13: Η συμβολή του τομέα των μεταφορών στις συνολικές εκπομπές των κύριων ατμοσφαιρικών ρύπων στην Ε.Ε το έτος 2017 [15]

1.4.2 Αντιμετώπιση της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Το ζήτημα της κακής ποιότητας του αέρα προβληματίζει έντονα τόσο τους πολίτες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όσο και τους υπεύθυνους για τη χάραξη πολιτικής, καθώς συνδέεται με την ανάπτυξη πληθώρας υγειονομικών και περιβαλλοντικών προβλημάτων, ενώ ταυτόχρονα συνεπάγεται σημαντικό κόστος για την οικονομία. Από τα τέλη της δεκαετίας του 1970, η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) ήταν η ανάπτυξη και η λήψη κατάλληλων μέτρων για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα σε ολόκληρη την ΕΕ. Οι πολιτικές της στοχεύουν στη μείωση της έκθεσης στην ατμοσφαιρική ρύπανση μειώνοντας τις εκπομπές και θέτοντας όρια και τιμές στόχους για την ποιότητα του αέρα [16].

Οι κυριότεροι υπαίτιοι της ατμοσφαιρικής ρύπανσης περιλαμβάνουν τομείς της παραγωγής ενέργειας, των βιομηχανιών, τον οικιακό τομέα, τις μεταφορές και τη γεωργία. [14]. Η δε συμβολή του μεταφορικού τομέα στη μείωση της ποιότητας του αέρα είναι ιδιαίτερα σημαντική. Οι οδικές μεταφορές, ειδικότερα, εξακολουθούν να αντιπροσωπεύουν σημαντικό ποσοστό εκπομπών όλων των κύριων ατμοσφαιρικών ρύπων. Για το λόγο αυτό, μια σειρά από πολιτικές δράσεις με στόχο την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που σχετίζεται με τις μεταφορές, αναλήφθηκαν από πολλά κράτη της Ευρώπης. Ο έλεγχος των εκπομπών από κινητές πηγές, η βελτίωση της ποιότητας των καυσίμων και η προώθηση και ενσωμάτωση των απαιτήσεων περιβαλλοντικής προστασίας στον τομέα των μεταφορών και της ενέργειας αποτελούν μέρος αυτών των στόχων [17].

Τα πρώτα όρια εκπομπών των οχημάτων τεθήκαν σε εφαρμογή το 1970. Συγκεκριμένα στις 20 Μαρτίου 1970 θεσμοθετήθηκε από την ΕΟΚ η οδηγία 70/220/ΕΟΚ για τον έλεγχο των εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και άκαυστων υδρογονανθράκων (HC), από των οχημάτων που χρησιμοποιούν κινητήρες επιβαλλόμενης ανάφλεξης (βενζινοκίνητα). Οδηγία αποτέλεσε ένα συνδυασμό των εθνικών νομοθεσιών σχετικά με τους κανονισμούς των εκπεμπόμενων ρύπων της Γερμανίας (Κανονισμοί αδειοδότησης οδικής κυκλοφορίας / Strassenverkehrs-Zulassungs-Ordnung', 1968) και της Γαλλίας ('συνθέσεως των αερίων της εξάτμισης που εκπέμπονται από τα οχήματα τα εφοδιασμένα με βενζινοκινητήρα / composition des gaz d'échappement émis par les véhicules alimentés par un moteur à essence, 1969). Υιοθετήθηκε από τα τότε 6 κράτη μέλη (Δυτική Γερμανία, Γαλλία, Ιταλία, Βέλγιο, Λουξεμβούργο και Ολλανδία). Το όνομα του κύκλου δοκιμών βάσει του οποίου λαμβάνονταν οι μετρήσεις λαμβάνονταν ήταν ECE ή ECE-15. Αρχικά, καθιερώθηκε για την προσομοίωση οδήγησης ενός επιβατικού αυτοκινήτου, σε συνθήκες πόλης. Οι κανονισμοί ορίζονταν για οχήματα που διέθεταν κινητήρα με επιβαλλόμενη ανάφλεξη, με ή χωρίς αμάξωμα, τουλάχιστον τέσσερις τροχούς, μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος τουλάχιστον 400 kg και μέγιστη ταχύτητα εκ κατασκευής ίση ή μεγαλύτερη των 50 km/h. Εξαιρέσεις υπήρχαν για οι γεωργικές μηχανές, καθώς και τα μηχανήματα δημοσίων έργων [18].

Τον Οκτώβριο του 1977 εισήχθη η οδηγία 77/102/ΕΟΚ με την οποία καθορίστηκαν περιορισμοί και στις εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x) [19]. Ακολούθως, με την Οδηγία 80/1268/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 1980 έγινε εισαγωγή της μέτρησης κατανάλωσης καυσίμου. [20]. Μερικά χρόνια αργότερα, το 1988 με την οδηγία 88/76/ΕΟΚ, καλύφθηκαν οι εκπομπές των οχημάτων κινητήρα ανάφλεξης με

συμπύεση (πετρελαιοκινητήρων) [21]. Παράλληλα, με την οδηγία 88/436/ΕΟΚ ορίστηκαν όρια για τα εκπεμπόμενα σωματίδια [22].

Στα επόμενα χρόνια, με την οδηγία 91/441/ΕΟΚ υιοθετήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση ένας επιπρόσθετος κύκλος δοκιμών, ο EUDC (Extra Urban Driving Cycle), ο οποίος περιελάμβανε διαδρομή σε συνθήκες μη αστικής οδήγησης, χαρακτηριζόμενη από μεσαίες έως υψηλές ταχύτητες. Η ανάγκη για ακριβέστερο προσδιορισμού των επιπέδων εκπομπής ρύπων, οδήγησε στη δημιουργία της σειράς δοκιμών (Motor Vehicle Emissions Group, MVEG-A), ο οποίος αποτελείται από τέσσερις επαναλαμβανόμενους κύκλους οδήγησης αστικής κυκλοφορίας (ECE-15) και έναν κύκλο οδήγησης εκτός πόλης (EUDC). Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιείται για την πιστοποίηση των εκπομπών καυσαερίων αυτοκινήτων και ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών οξειδίων του αζώτου [16] [23]. Το 1997, ενημερώθηκε ώστε να πραγματοποιούνται και μετρήσεις εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) [24]. Από το 2000, έγινε εισαγωγή του νέου ευρωπαϊκού κύκλου οδήγησης (NEDC), στον οποίο οι μετρήσεις λαμβάνονταν απευθείας κατά τη διαδικασία της εκκίνησης του κινητήρα [23] [25].

Οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων από τα οχήματα συμβάλλουν σημαντικά στα προβλήματα ποιότητας του αέρα στην Ευρώπη. Για το λόγο αυτό, η Ευρωπαϊκή Ένωση, θέσπισε ορισμένα πρότυπα, τα οποία θέτουν αυστηρούς περιορισμούς στις εκπομπές των ρύπων των οχημάτων που επρόκειτο να πωλούνται στην Ευρώπη [26]. Τα ευρωπαϊκά αυτά πρότυπα εκπομπών ονομάζονται Euro και καθορίζονται σε μια σειρά οδηγιών της Ευρωπαϊκής Ένωσης που προβάλλουν τη σταδιακή εισαγωγή ολοένα και πιο αυστηρών προτύπων [27]. Η κατηγοριοποίηση των οχημάτων με βάση τα πρότυπα 'Euro' άρχισε από το έτος 1992. Ωστόσο η αφετηρία θεσπίστηκε μέσω της οδηγίας 91/441/ΕΟΚ. Ακολούθως, με την οδηγία 93/59/ΕΟΚ θεσπίστηκαν κανονισμοί και για τα ελαφρά φορτηγά. [28] Η ΕΕ μέσω της θέσπισης νόμιμων ορίων εκπομπών (νόμιμα όρια Euro), ρυθμίζει τις τιμές ατμοσφαιρικών ρύπων, όπως του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), των ολικών υδρογονανθράκων (THC), υδρογονάνθρακων πλην μεθανίου (NMHC) και των οξειδίων του αζώτου (NO_x). Επίσης ελέγχει τις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων, εκφραζόμενη σε σωματίδια (PM) και αριθμό σωματιδίων (PN). Τα νέα μοντέλα οχημάτων κατά τη διάρκεια της διαδικασίας έγκρισης τύπου υποβάλλονται σε δοκιμές, προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι οι εκπομπές τους δεν υπερβαίνουν τα καθορισμένα νόμιμα όρια [16]. Ανάλογα με τα αποτελέσματα των δοκιμών, ο συμβολισμός της σειράς προτύπου στα επιβατικά (ελαφριά) αυτοκίνητα αναγράφεται με αραβικά αριθμητικά, ενώ στα επαγγελματικά (βαρέα) οχήματα οι αντίστοιχες σειρές προτύπων χρησιμοποιούν λατινικούς αριθμούς. [27].

Το 1992, σύμφωνα με το πρότυπο εκπομπών Euro I, ορίστηκε υποχρεωτική η χρήση καταλυτικών μετατροπών στα βενζινοκίνητα οχήματα. Στα χρόνια που ακολούθησαν, επικυρώθηκαν συμφωνίες για ολοένα και πιο αυστηρότερα πρότυπα, τόσο για βενζινοκίνητα, όσο και για τα ντίζελ επιβατικά, ελαφρά επαγγελματικά και βαρέα οχήματα [29]. Η χρήση των καταλυτικών μετατροπών έχει ως αποτέλεσμα σημαντικές μειώσεις των εκπομπών καυσαερίων μονοξειδίου του άνθρακα (CO), των οξειδίων του αζώτου (NO_x) και υδρογονανθράκων (HC) των κινητήρων επιβαλλόμενης ανάφλεξης με σπινθήρα, συμπεριλαμβανομένων και των αιωρούμενων σωματιδίων (PM) για τους κινητήρες ανάφλεξης με συμπύεση. Ουσιαστικά, το πορώδες στρώμα του καταλύτη

διευκόλυνε χημική μετατροπή των παραπάνω εκπεμπόμενων, βλαβερών αερίων των κινητήρων, μετατρέποντας τα κυρίως σε υδρατμούς (H_2O), διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και άζωτο (N_2) [30] [31].

Σημαντικές νομοθετικές μεταρρυθμίσεις ορίστηκαν μέσα στα επόμενα χρόνια οι οποίες αποσκοπούσαν σε καθαρότερα καύσιμα. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή μέσω του προγράμματος European Auto-Oil Programme άνοιξε το δρόμο για την υιοθέτηση μέτρων σχετικά με την ποιότητα των καυσίμων της βενζίνης και του πετρελαίου [32]. Η οδηγία 98/70/EK του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου της 13ης Οκτωβρίου 1998 καθόρισε την ποιότητα των καυσίμων βενζίνης και πετρελαίου ντίζελ που πρέπει να χρησιμοποιούνται στην Κοινότητα. Η ρύπανση της ατμόσφαιρας από το μόλυβδο που εκλύεται κατά την καύση μολυβδούχου βενζίνης αποτελεί κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον [33]. Παράλληλα, τόσο ο μόλυβδος, ο οποίος είναι αναγνωρισμένος και ως καταλυτικό δηλητήριο, όσο και τα υψηλά επίπεδα θείου στα καύσιμα μειώνουν σημαντικά την απόδοση των περισσότερων καταλυτών. [34] Για το λόγο αυτό, συντάχθηκε αυστηρός περιορισμός στην εμπορία των παραπάνω καυσίμων. Συγκεκριμένα, στα κράτη μέλη της ΕΕ τέθηκε σε ισχύ η απαγόρευση διάθεσης στην αγορά, εντός των εδαφών τους, μολυβδούχου βενζίνης και ντίζελ μη αποδεκτής ποιότητας από την 1η Ιανουαρίου 2000. Εν συνεχεία, για την εξασφάλιση της εμπορίας τους στην αγορά, η νέα αμόλυβδη βενζίνη και το ντίζελ υψηλότερης ποιότητας έπρεπε να πληρούν τις νέες, αυστηρότερες περιβαλλοντικές προδιαγραφές, βασικός παράγοντας των οποίων αποτελούσε η χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο [33].

Μια άλλη σημαντική ενέργεια για την προστασία του περιβάλλοντος πραγματοποιήθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1970. Στα πλαίσια της Οικονομικής Επιτροπής των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη (UNECE), υπεγράφη στη Γενεύη το 1979, η σύμβαση για τη διασυνοριακή ατμοσφαιρική ρύπανση μεγάλων αποστάσεων (Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, CLTRAP). Η συνθήκη αυτή αποτέλεσε το πρώτο διεθνές νομικό δεσμευτικό μέσο για την αντιμετώπιση προβλημάτων ατμοσφαιρικής ρύπανσης, εγκεκριμένη από 34 κυβερνήσεις και την Ευρωπαϊκή Κοινότητα. Τα μέλη της, ανέλαβαν δέσμευση για περιορισμό και βαθμιαία μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων, με σκοπό την καταπολέμηση της συνεπαγόμενης διαμεθοριακής ρύπανσης της ατμόσφαιρας, μέσα από την ανάπτυξη πολιτικής και επιστημονικής συνεργασίας. Σε ισχύ τέθηκε το 1983, ενώ στα χρόνια που ακολούθησαν επεκτάθηκε με οκτώ ειδικά πρωτόκολλα :

- το πρωτόκολλο του 1984, για τη μακροπρόθεσμη χρηματοδότηση του προγράμματος συνεργασίας για τη συνεχή παρακολούθηση και την αξιολόγηση της μεταφοράς των ατμοσφαιρικών ρύπων σε μεγάλη απόσταση στην Ευρώπη (EMEP)·
- το πρωτόκολλο του 1985 για τη μείωση των εκπομπών θείου ή της διαμεθοριακής ροής τους κατά τουλάχιστον 30%·
- το πρωτόκολλο του 1988 σχετικά με την καταπολέμηση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου ή της διαμεθοριακής μεταφοράς τους·
- το πρωτόκολλο του 1991 σχετικά με την καταπολέμηση των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων ή της διαμεθοριακής μεταφοράς τους·
- το πρωτόκολλο του 1994 για την περαιτέρω μείωση των εκπομπών του θείου·
- τα πρωτόκολλα του 1998 για τα βαρέα μέταλλα και τους έμμοιους οργανικούς ρύπους·

- το πρωτόκολλο του 1999 για τη μείωση της οξίνισης, του ευτροφισμού και του όζοντος σε επίπεδο εδάφους (γνωστό και ως πρωτόκολλο του Γκέτεμποργκ). [35] [36]

Τον Μάρτιο του 2001, η Επιτροπή εγκαινίασε το πρόγραμμα «Καθαρός Αέρας για την Ευρώπη» (CAFE) [37]. Λίγο αργότερα, στις 23 Οκτωβρίου του 2001, εγκρίθηκε η οδηγία σχετικά με τα ανώτατα όρια εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων. Στόχος της οδηγίας αποτέλεσε η ανάπτυξη μακροπρόθεσμων στρατηγικών και ολοκληρωμένων πολιτικών για τον περιορισμό των εκπομπών ρύπων που προκαλούν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία [38].

Υπό το πλαίσιο του προγράμματος Καθαρός αέρας για την Ευρώπη (Clean Air For Europe - CAFE) εγκρίθηκε στις 21 Σεπτεμβρίου του 2005, μετά από μακρά διαδικασία διαβουλεύσεων, η Θεματική στρατηγική για την ατμοσφαιρική ρύπανση. Η στρατηγική για την ατμοσφαιρική ρύπανση είναι μία από τις επτά θεματικές στρατηγικές που προβλέπονται στο έκτο πρόγραμμα δράσης για το περιβάλλον το οποίο εγκρίθηκε το 2002. Στόχος της αποτέλεσε η εισαγωγή νομοθετικών μεταρρυθμίσεων, η οριοθέτηση στόχων για την ατμοσφαιρική ρύπανση και παροχή στρατηγικών για την επίτευξη των στόχων με χρονικό ορίζοντα το 2020 [17].

Τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης αντιμετωπίζουν την ατμοσφαιρική ρύπανση μέσω του καθορισμού οριακών τιμών συγκέντρωσης ρύπων στην ατμόσφαιρα, αλλά και πρότυπων για τις πηγές εκπομπής τους [39]. Η εθνική οδηγία για τα ανώτατα όρια εκπομπών (NECD) και το πρωτόκολλο του Γκέτεμποργκ (1999) βάσει της σύμβασης για τη διασυνοριακή ατμοσφαιρική ρύπανση μεγάλης εμβέλειας (LRTAP) θέτουν ανώτατα όρια εκπομπών για τα οξείδια του αζώτου (NO_x), μη-πτητικές οργανικές ενώσεις μεθανίου (NMVOCs), τα αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου έως 2,5 μm (PM 2.5) και την αμμωνία (NH₃). [40]

Χαρακτηριστική επίσης είναι η οδηγία για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα (ΠΑΑ) του 2008, η οποία θεωρείται ο ακρογωνιαίος λίθος της πολιτικής της ΕΕ για τον καθαρό αέρα. Τα κράτη μέλη διενεργούν εκτιμήσεις της ποιότητας του αέρα καθιερώνοντας δίκτυα σταθμών που υλοποιούν μετρήσεις σε περιοχές με ρύπανση. Τα δεδομένα των μετρήσεων δημοσιοποιούνται στην Επιτροπή και στον ΕΟΠ σε ετήσια βάση. [39].

Σε συνέχεια των προηγούμενων στρατηγικών, στις 18 Δεκεμβρίου του 2013, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε το Πρόγραμμα «Καθαρός αέρας για την Ευρώπη». Αυτό το πρόγραμμα έχει στόχο την ουσιαστική μείωση της ρύπανσης του αέρα στην ΕΕ. Στη στρατηγική του εντάσσονται νομοθετικές προτάσεις για αυστηρότερα πρότυπα σχετικά με τις εκπομπές και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Παράλληλα συμβάλλει στην αντιμετώπιση της μαζικής μη συμμόρφωσης με τα πρότυπα ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα της ΕΕ και η διασφάλιση πλήρους συμμόρφωσης με την ισχύουσα νομοθεσία έως το 2020. Τέλος, το πρόγραμμα χαράσσει την πορεία για τη μείωση των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία και το περιβάλλον μέχρι το 2030. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται για την επίτευξη του μακροπρόθεσμου στόχου της μείωσης της πρόωρης θνησιμότητας που οφείλεται σε ΑΣ και Ο₃ κατά 52 % σε σχέση με το 2005 [13] [39] [41].

Μια νέα οδηγία για τα εθνικά ανώτατα όρια εκπομπών (NEC) (2016/2284 / ΕΕ) τέθηκε σε ισχύ στις 31 Δεκεμβρίου 2016. Αντικαθιστώντας την προηγούμενη νομοθεσία (οδηγία 2001/81 / ΕΚ), η νέα οδηγία NEC ορίζει δεσμεύσεις για μείωση των εκπομπών το 2020 και το 2030 για πέντε κύριους ατμοσφαιρικούς ρύπους, το διοξείδιο του θείου (SO₂), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), πτητικές οργανικές ενώσεις εκτός μεθανίου (NMVOCs), την αμμωνία (NH₃) και αιωρούμενα σωματίδια (PM_{2.5}). Αναλυτικότερα, μεταφέρονται για το 2020 οι δεσμεύσεις μείωσης που συμφωνήθηκαν στο πλαίσιο του αναθεωρημένου πρωτοκόλλου του Γκέτεμποργκ το 2012, τμήμα της σύμβασης για τη διασυνοριακή ατμοσφαιρική ρύπανση μεγάλης εμβέλειας (σύμβαση LRTAP). Παράλληλα, για το 2030 έχει τεθεί ο στόχος για τη μείωση των επιπτώσεων στην υγεία κατά το ήμισυ συγκριτικά με το 2005. [42]

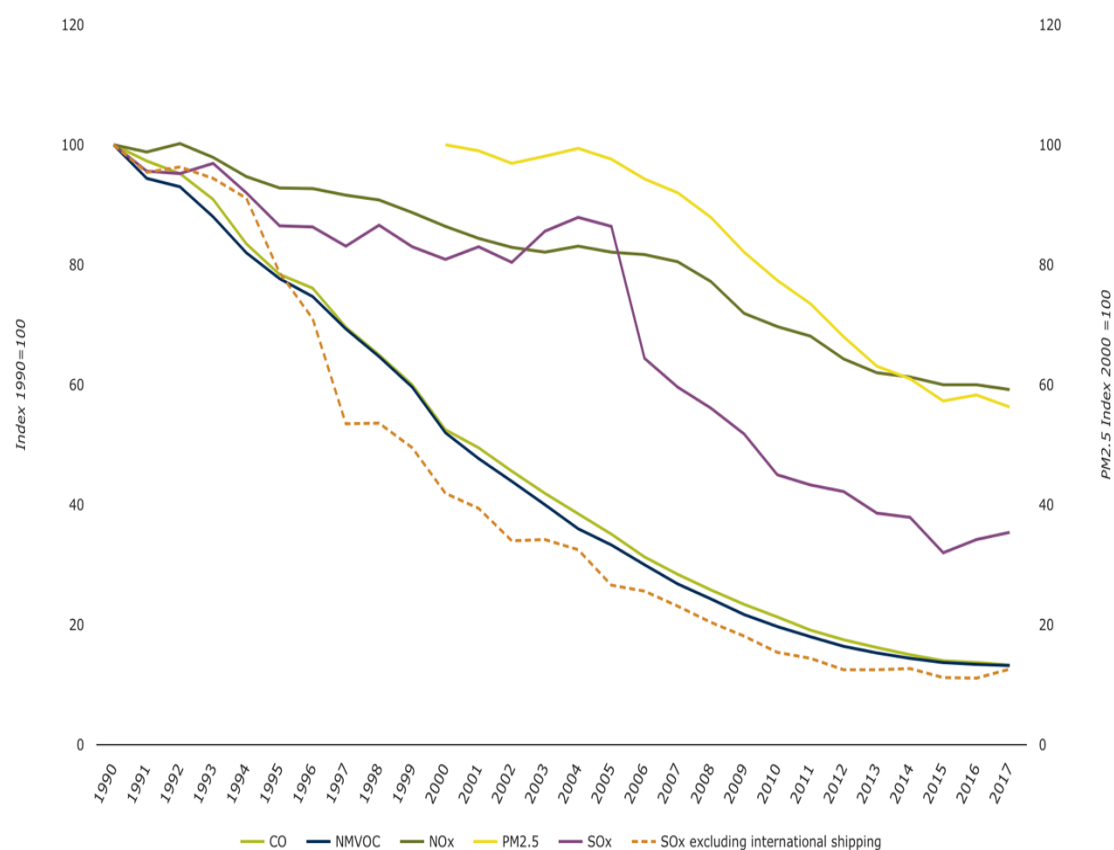
Στη 1 Ιουνίου του 2017, εγκρίθηκε ένας νέος κύκλος εργαστηριακών δοκιμών για τον προσδιορισμό των επιπέδων εκπομπής όλων των ατμοσφαιρικών ρύπων και των αερίων θερμοκηπίου, των καταναλώσεων καυσίμου, καθώς και της αυτονομίας των επιβατικών και των ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων. Το όνομα του «Παγκόσμια εναρμονισμένη διαδικασία δοκιμών ελαφρών οχημάτων» (Worldwide Harmonised Light-Duty Vehicle Test Procedure, WLTP). Ο νέος κύκλος δοκιμών διαδέχτηκε τον παρωχημένο πια «Νέο Ευρωπαϊκό Κύκλο Οδήγησης» (New European Driving Cycle, NEDC) ο οποίος χρησιμοποιούνταν από τη δεκαετία του 1990. Το νέο πρωτόκολλο σχεδιάστηκε για να είναι πιο αντιπροσωπευτικό των πραγματικών και σύγχρονων συνθηκών οδήγησης και έχει ως στόχο να παρέχει δεδομένα μεγαλύτερης ακρίβειας. Τον Σεπτέμβριο του 2017, οι δοκιμές αυτές ορίστηκαν υποχρεωτικές σε ολόκληρη την ΕΕ να εφαρμόζεται για τις εγκρίσεις νέων οχημάτων, ενώ από το Σεπτέμβρη του 2018 εφαρμόστηκε και για όλες τις ταξινομήσεις νέων οχημάτων εντός της ΕΕ. Επίσης από την 1η Ιανουαρίου του 2019 μέχρι το τέλος του 2020 οι τιμές κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών CO₂ των δοκιμών WLTP και NEDC έπρεπε να εμφανίζεται των νέων οχημάτων, ενώ παράλληλα οι τιμές που προήλθαν από τις δοκιμές, είχαν τη δυνατότητα να επηρεάσουν τη διαμόρφωση της φορολογικής πολιτικής των εκάστοτε εθνικών κυβερνήσεων. Επίσης καθιερώθηκε η δοκιμή (RDE). Πρόκειται για μια δοκιμή που εστιάζει επίσης στη μέτρηση εκπομπών. Ωστόσο σε αντίθεση με το NEDC και το WLTP, οι μετρήσεις δοκιμών RDE διεξάγονται σε πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας και όχι σε πίστα δοκιμών. Διενεργείται στο οδικό δίκτυο σε πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας και καλύπτει ένα ευρύ φάσμα συνθηκών οδήγησης. Η δοκιμή RDE δεν αντικαθιστά αλλά αποτελεί συμπλήρωμα του εργαστηριακού ελέγχου WLTP [16] [43].

Με την πάροδο των ετών, οι κατασκευαστές βελτίωσαν λειτουργικά συστήματα και τεχνικές που σχετίζονται με τη διαδικασία καύσης των κινητήρων, ενώ παράλληλα ανέπτυξαν πρόσθετες τεχνολογίες μετεπεξεργασίας καυσαερίων προκειμένου να συμμορφωθούν με τα πρότυπα εκπομπών ρύπων. Σε αυτές περιλαμβάνονται, διάφορες ηλεκτρονικές διατάξεις διαχείρισης της καύσης, φίλτρα σωματιδίων για κινητήρες ντίζελ, καταλυτικοί μετατροπείς κλπ. Η δημιουργία αποδοτικότερων, ασφαλέστερων και πιο φιλικών προς το περιβάλλον οχημάτων έχει επιφέρει σημαντική βελτίωση στο μεγάλο πρόβλημα της ρύπανσης της ατμόσφαιρας. [16] [44]

Γίνεται λοιπόν σαφές πως η ΕΕ εργάζεται για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα ελέγχοντας τις εκπομπές επιβλαβών ουσιών στην ατμόσφαιρα, βελτιώνοντας τη συνολική σχεδίαση και λειτουργία των οχημάτων, εμπλουτίζοντας την ποιότητα των

καυσίμων και ενσωματώνοντας τις απαιτήσεις προστασίας του περιβάλλοντος στους τομείς των μεταφορών και της ενέργειας.

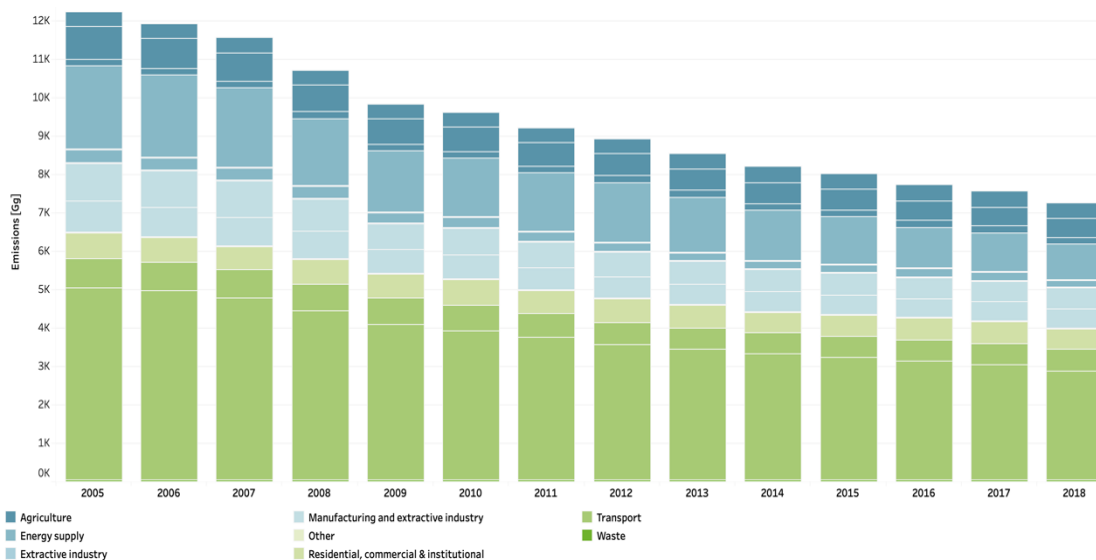
Δεδομένα σχετικά με τις εκπομπές των συγκεκριμένων ατμοσφαιρικών ρύπων, αναφέρονται ετησίως από τα κράτη μέλη στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Στην παρακάτω εικόνα 1-10 παρουσιάζονται οι εκπομπές των κύριων ατμοσφαιρικών ρύπων που προέχονται από τον κλάδο των μεταφορών στην Ε.Ε, έτσι όπως αυτές εξελίχθηκαν κατά τη διάρκεια των τελευταίων 27 χρόνων. Στην Ευρώπη, οι εκπομπές από όλους τους τύπους μεταφορών μειώθηκαν σημαντικά από το 1990, παρά τη γενική αύξηση της δραστηριότητας του μεταφορικού τομέα. Πιο αναλυτικά, σε ολόκληρο τον ΕΟΧ-33 (τα 28 κράτη μέλη της ΕΕ συν την Ισλανδία, το Λιχτενστάιν, τη Νορβηγία, την Ελβετία και την Τουρκία) μεταξύ 1990 και 2017, οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και των πτητικών οργανικών ενώσεων εκτός μεθανίου (NMVOCs) μειώθηκαν κατά 87%, ενώ παράλληλα τα οξειδία του θείου (SOx) μειώθηκαν κατά 66%. Επίσης, στο διάστημα μεταξύ 2000 και 2017, οι εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων μειώθηκαν κατά 44% για εκείνα με διάμετρο έως 2,5μm (PM_{2.5}). Επιπλέον, σημαντική ήταν και η μείωση των οξειδίων του αζώτου (NOx) οι εκπομπές των οποίων μειώθηκε κατά 40% συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990. [45]



Εικόνα 1-14: Εκπομπές των κύριων ατμοσφαιρικών ρύπων στην Ε.Ε (Ποσοστό 1990=100) [45]

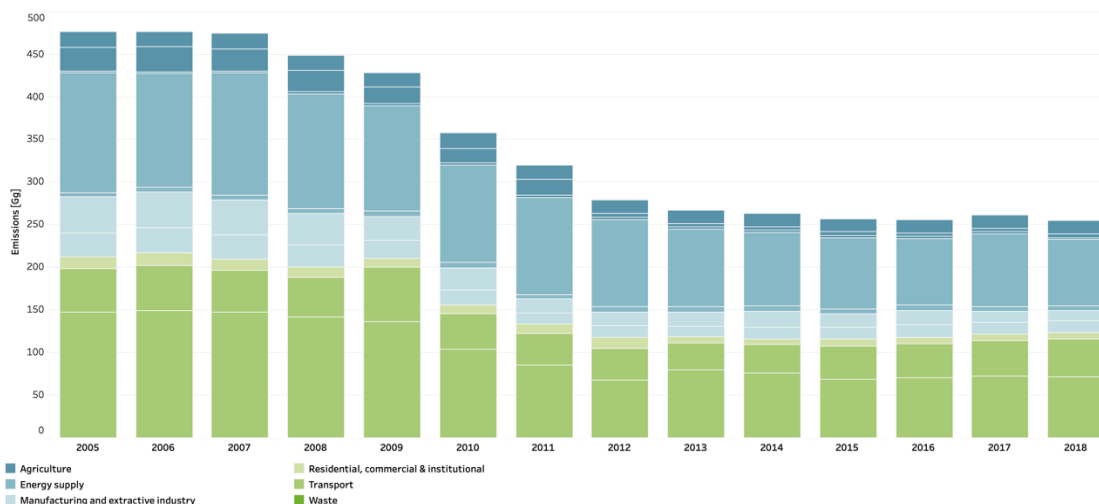
Μια πιο λεπτομερής εικόνα σχετικά με τις εξελικτικές πορείες των συνολικών εκπομπών για τους 5 κύριους ατμοσφαιρικούς ρύπους στην Ευρώπη και στην Ελλάδα, παρουσιάζεται στα γραφήματα που ακολουθούν. Εκεί φαίνεται χαρακτηριστικά, η συμμετοχή των διαφόρων τομέων οικονομικής δραστηριότητας στις εκάστοτε εκπομπές, όπου ιδιαίτερη αναφορά δίνεται στον τομέα των μεταφορών [46].

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση των 28, οι συνολικές εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NOx) μειώθηκαν κατά 40,65% από 12.253 Gg, το 2005, σε 7.272 Gg, το 2018. Στις εκπομπές αυτές, τη μεγαλύτερη συμμετοχή κατέχει ο τομέας των μεταφορών, με το ποσοστό του να μένει σταθερό από το 47.14%, το 2005, στο 46,83% το 2018. Οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NOx) που εκπέμπονται από τις μεταφορές παρουσιάζουν μια σταθερά πτωτική τάση της τάξεως του 41,04%, από 5.776,3 Gg, το 2005, σε 3.405,6 Gg το 2018 [46].



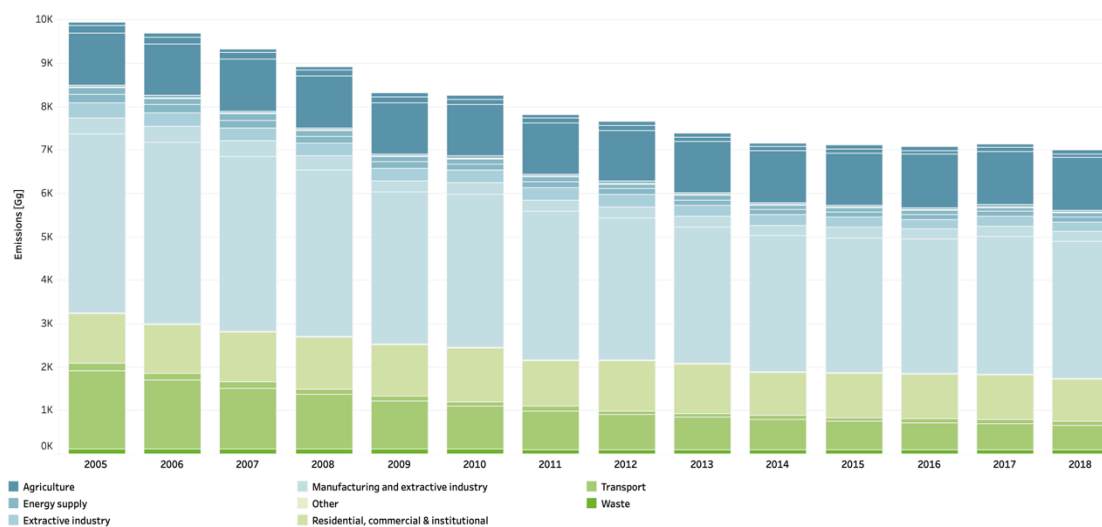
Εικόνα 1–15: Εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NOx) ανα οικονομικό τομέα στην E.E.-28 [46]

Στην Ελλάδα, οι συνολικές εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NOx) μειώθηκαν από 476,8 Gg, το 2005, σε 254,5 Gg, το 2018, πτώση της τάξεως του 46,62%, λίγο μεγαλύτερη απο την Ευρωπαϊκή. Ομοίως με την Ευρώπη, τη μεγαλύτερη συμμετοχή έχει ο τομέας των μεταφορών με το ποσοστό του να μεταβάλλεται από το 41.56%, το 2005, στο 45,67% το 2018, με τις εκπομπές του να μειώνονται κατά 42,67%, από 202,7 Gg, το 2005, σε 116,2 Gg το 2018. Τιμές οι οποίες από το 2013 εμφανίζονται ελαφρώς αυξητικές [46].



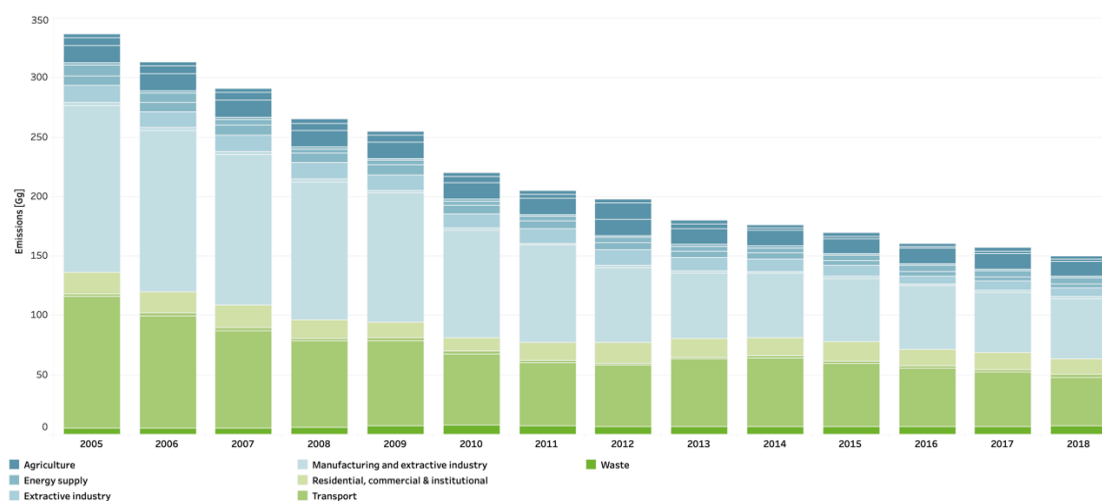
Εικόνα 1–16: Εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NOx) ανα οικονομικό τομέα στην Ελλάδα [46]

Οι συνολικές εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων μη μεθανίου (NMVOC) στην Ευρωπαϊκή Ένωση των 28, παρουσιάζουν μικρή μείωση (29,58%) από 9.952 Gg, το 2005, σε 7.008 Gg, το 2018. Το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής κατέχει ο τομέας της βιομηχανίας και των εξορύξεων. Ωστόσο, σημαντική είναι και η συμβολή του μεταφορικού τομέα, ο οποίος το 2005 ευθυνόταν για το 19,79% των συνολικών εκπομπών, με τις εκλύσεις του να φτάνουν τα 1969,5 Gg, το 2005. Τιμές που μειώθηκαν σημαντικά κατά 66,39% έως το 2018 σε 662 Gg, κάτι που μείωσε και το ποσοστό συμμετοχής του τομέα στο 9,45% [46].



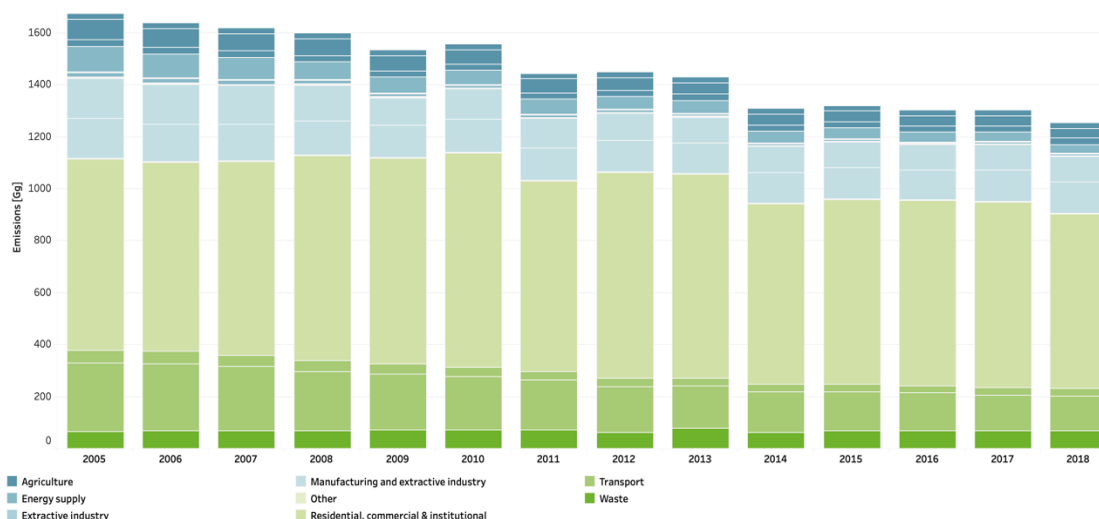
Εικόνα 1-17: Εκπομπές οργανικών ενώσεων μη μεθανίου (NMVOC) ανα οικονομικό τομέα στην Ε.Ε.-28 [46]

Οι συνολικές εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων μη μεθανίου (NMVOC) στην Ελλάδα, παρουσιάζουν μεγάλη μείωση (55,47%) από 337,1 Gg, το 2005, σε 150,1 Gg, το 2018, ξεπερνώντας σε μεγάλο βαθμό την αντίστοιχη της Ευρώπης. Το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής κατέχει ομοίως ο τομέας της βιομηχανίας και των εξορύξεων. Παράλληλα, η συνεισφορά του μεταφορικού τομέα το 2005 ανέρχονταν στο 33,48% των συνολικών εκπομπών, με τις εκλύσεις του να φτάνουν τα 112,9 Gg.. Τιμές που εν συνεχεία μειώθηκαν σημαντικά κατά 43,67% έως το 2018 σε 63,6 Gg, κάτι που άμβλυσε λίγο και το ποσοστό συμμετοχής του τομέα στο 28,82% [46].



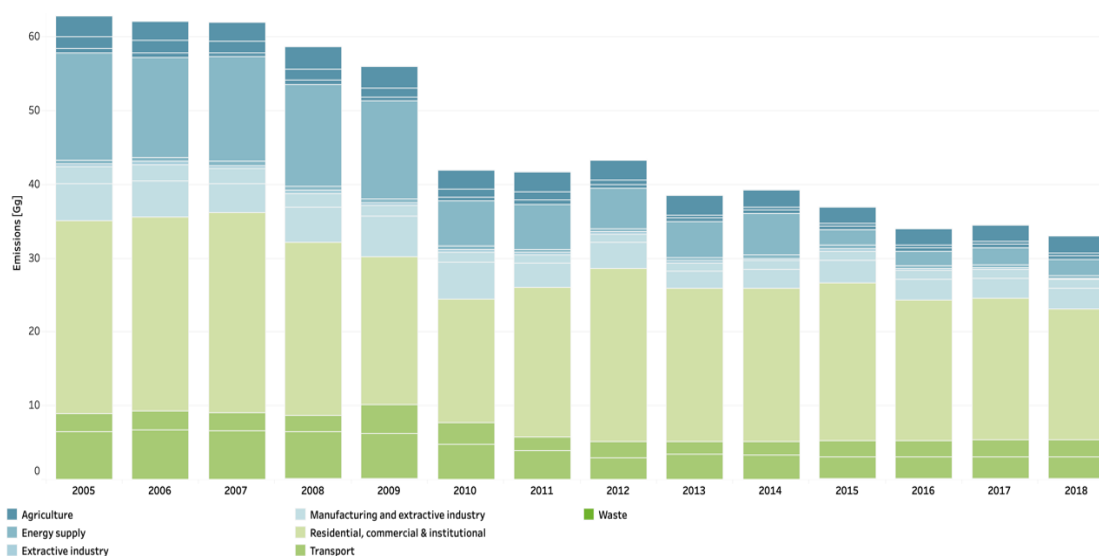
Εικόνα 1-18: Εκπομπές οργανικών ενώσεων μη μεθανίου (NMVOC) ανα οικονομικό τομέα στην Ελλάδα [46]

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση των 28, οι συνολικές εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων με διάμετρο έως 2,5 μm (PM 2,5) μειώθηκαν από 1675,4 Gg, το 2005, σε 1.253,5 Gg, το 2018. Τη μεγαλύτερη συμμετοχή έχει ο οικιστικός, εμπορικός και θεσμικός τομέας. Ταυτόχρονα, ο τομέας των μεταφορών το 2005 ευθυνόταν για το 18,77% των συνολικών εκπομπών, με τις εκλύσεις του αερίου να φτάνουν τα 314 Gg, το 2005. Τιμές που ωστόσο μειώθηκαν σημαντικά κατά 48,41%, σε 162 Gg το 2018, κάτι που μείωσε και το ποσοστό συμμετοχής του τομέα στο 12,93% [46].



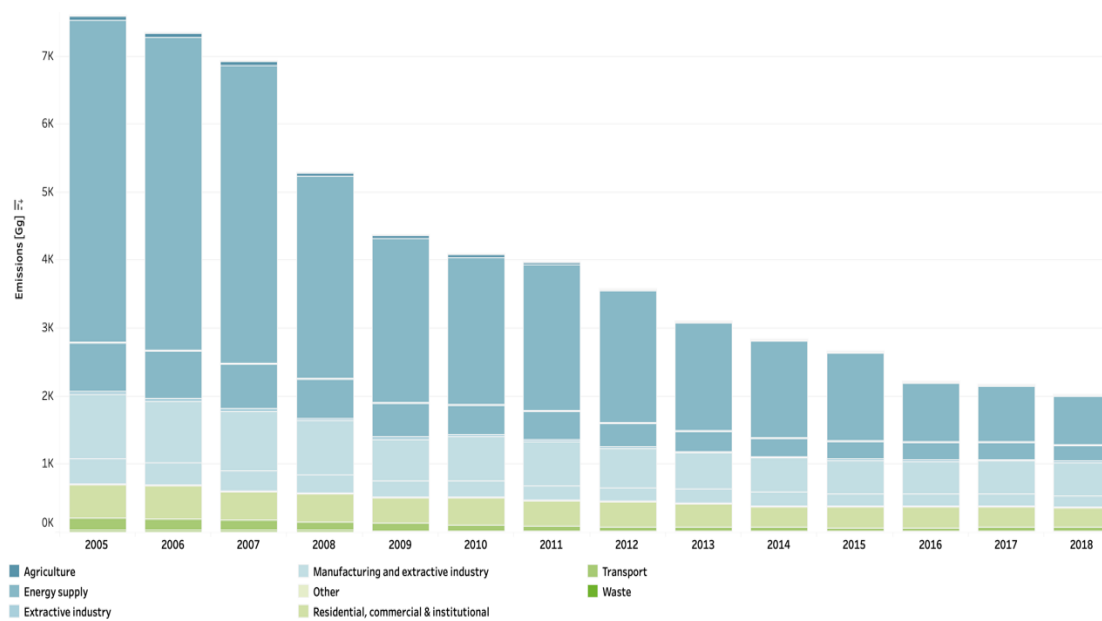
Εικόνα 1–19: Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων με διάμετρο έως 2,5 μm (PM 2,5) ανα οικονομικό τομέα στην Ε.Ε.-28 [46]

Στην Ελλάδα, οι συνολικές εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων με διάμετρο έως 2,5 μm (PM 2,5) μειώθηκαν από 62,90 Gg, το 2005, σε 32,97 Gg, το 2018. Τη μεγαλύτερη συμμετοχή έχει ο οικιστικός, εμπορικός και θεσμικός τομέας. Παράλληλα, ο τομέας των μεταφορών το 2005 ευθυνόταν για το 14,05% των συνολικών εκπομπών, με τις εκλύσεις του αερίου να φτάνουν τα 8,84 Gg, το 2005. Τιμές που ωστόσο μειώθηκαν κατά 39,48%, σε 5,35 Gg το 2018. Ωστόσο το ποσοστό συμμετοχής του τομέα να ανέβηκε στο 16,23%, λόγω των μεγαλύτερων μειώσεων που πέτυχαν άλλοι τομείς [46].



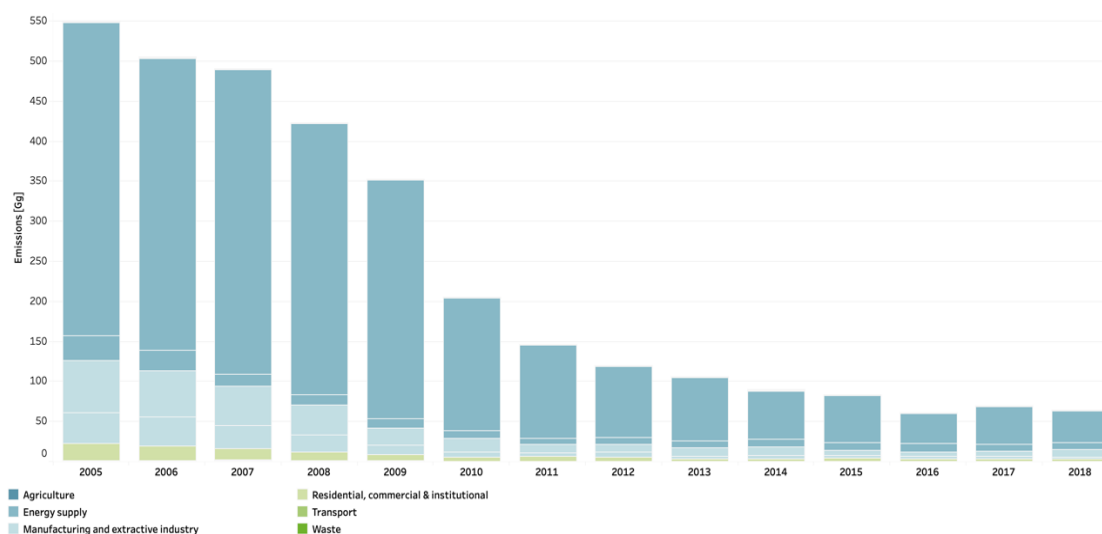
Εικόνα 1–20: Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων με διάμετρο έως 2,5 μm (PM 2,5) ανα οικονομικό τομέα στην Ελλάδα. [46]

Οι συνολικές εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO₂) στην Ευρωπαϊκή Ένωση των 28, παρουσιάζουν μεγάλη πτώση της τάξεως του 73,29%, από 7.604 Gg, το 2005, σε 2.031 Gg, το 2018. Το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής κατέχει ο τομέας του ενεργειακού εφοδιασμού. Η συμβολή του μεταφορικού τομέα είναι αρκετά μικρή με ποσοστό 2,67% το 2005 και 3,13%, το 2018. Παρόλα αυτά οι εκπομπές του αερίου παρουσίασαν σημαντική πτώση κατά 68,47% από 203 Gg σε 64 Gg, στο διάστημα μεταξύ 2005 και 2018 [46].



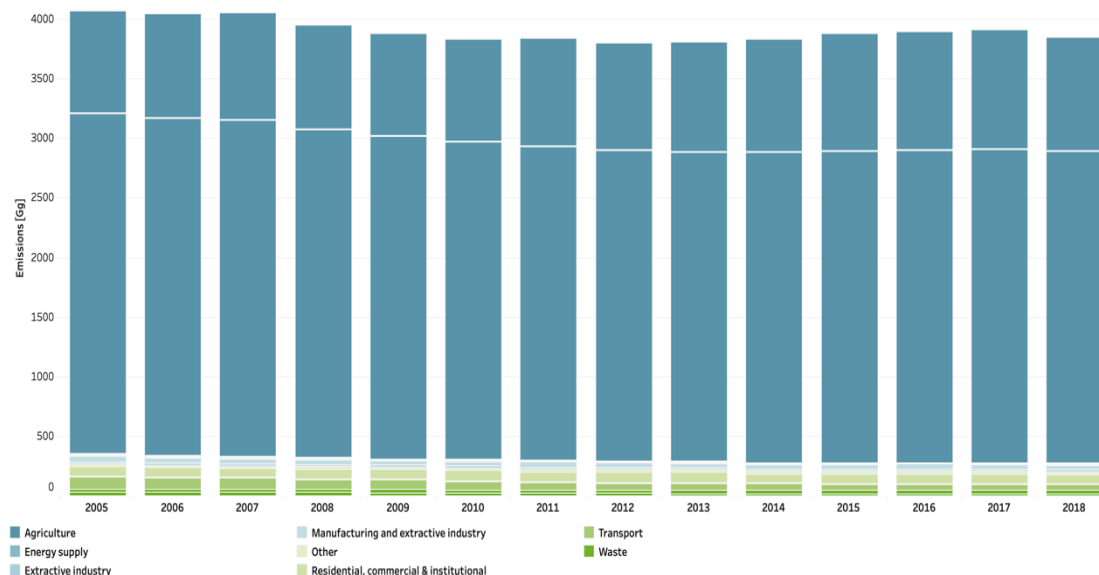
Εικόνα 1–21: Εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO₂) ανα οικονομικό τομέα στην Ε.Ε. των 28[46]

Οι συνολικές εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO₂) στην Ελλάδα, παρουσιάζουν μεγάλη πτώση της τάξεως του %, από 549,6 Gg, το 2005, σε 64,6 Gg, το 2018. Το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής κατέχει ο τομέας του ενεργειακού εφοδιασμού. Η συμβολή του μεταφορικού τομέα να είναι σχεδόν μηδαμινή. Οι εκπομπές του αερίου που, ελαττώθηκαν κατά 58,33%, από 1,2 Gg, το 2005, σε 0,5 Gg το 2018, τιμή αρκετά χαμηλή, σχεδόν μηδενική [46].



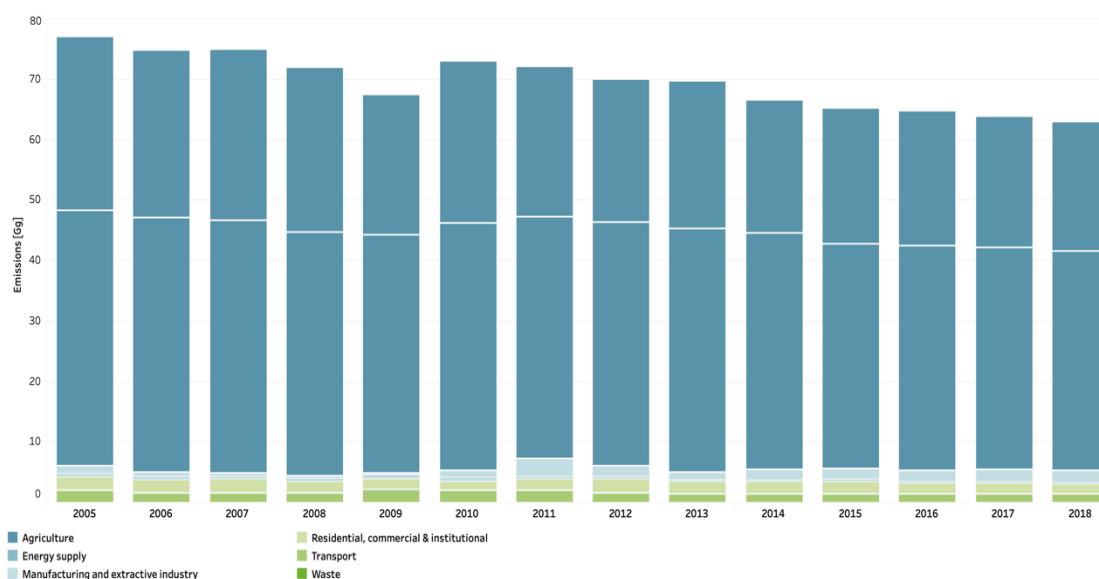
Εικόνα 1–22: Εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO₂) ανα οικονομικό τομέα στην Ελλάδα. [46]

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση των 28, οι συνολικές εκπομπές αμμωνίας (NH₃) μειώθηκαν μόλις κατά 5,44% στο χρονικό διάστημα μεταξύ 2005 και 2018, από 4.074,1 Gg σε 3.852,6 Gg, αντίστοιχα. Τη μεγαλύτερη συμμετοχή στις συνολικές εκπομπές κατέχει ο αγροτικός τομέας. Ο τομέας των μεταφορών ευθύνεται για ένα πολύ μικρό ποσοστό των συνολικών εκπομπών της τάξης του 2,71%, το 2005, ποσοστό που μειώθηκε σε 1,29%, το 2018. Ωστόσο, παρά την μικρή του συνεισφορά, οι εκπομπές αυτές έγιναν μικρότερες κατά 54,55% από 110 Gg, το 2005, σε 50 Gg το 2018 [46].



Εικόνα 1–23: Εκπομπές αμμωνίας (NH₃) ανα οικονομικό τομέα στην Ε.Ε.-28 [46]

Στην Ελλάδα, οι συνολικές εκπομπές αμμωνίας (NH₃) μειώθηκαν από 77,06 Gg, το 2005, σε 62,96 Gg, το 2018. Τη μεγαλύτερη συμμετοχή έχει ο αγροτικός τομέας. Όσον αφορά τον μεταφορικό τομέα, η συμβολή του στις συνολικές εκπομπές του αερίου, το 2005 ανερχόταν μόλις στο 2,63%, ποσοστό που μειώθηκε σε 2,24%, το 2018. Οι εκπομπές αυτές στο διάστημα 2005 έως 2018 παρουσιάζουν πτώση κατά 30,54%, από 2,03 Gg σε 1,41 Gg αντίστοιχα [46].



Εικόνα 1–24: Εκπομπές αμμωνίας (NH₃) ανα οικονομικό τομέα στην Ελλάδα [46]

Τα δεδομένα δείχνουν ότι η ποιότητα του αέρα στην Ευρώπη βελτιώνεται σταδιακά, χάρη στις παρελθούσες και τρέχουσες πολιτικές και στις τεχνολογικές εξελίξεις. Οι νομοθετικές ενέργειες της ΕΕ σε συνδυασμό με τα διαδοχικά πρότυπα εκπομπών Euro, την αλλαγή της βενζίνης σε αμόλυβδη, τη χρήση πετρελαίου ντίζελ υψηλότερης ποιότητας, καθώς και τη συνολική βελτίωση των κινητήρων εσωτερικής καύσης έχουν οδηγήσει σε πολύ σημαντικές μειώσεις εκπομπών σωματιδίων καυσαερίων. Ωστόσο, παρά τη σημαντική πρόοδο που έχει επιτευχθεί, οι υψηλές συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης εξακολουθούν να υπάρχουν κυρίως σε περιοχές όπου η χρήση των οχημάτων είναι αυξημένη. Δεδομένου του μεγάλου αριθμού των ρυπογόνων αυτοκινήτων που κυκλοφορούν, πιθανότητα θα χρειαστούν πολλά χρόνια για να βελτιωθεί η ποιότητα του αέρα στα αστικά κέντρα. Συνεπώς, η λήψη τοπικών και περιφερειακών σχεδίων διαχείρισης της ποιότητας του αέρα σε περιοχές όπου τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τις μεταφορές είναι υψηλά, κρίνονται αναγκαία. Τα σχέδια αυτά περιλαμβάνουν δημιουργία ζωνών χαμηλών εκπομπών και εφαρμογή τελών κυκλοφοριακής συμμόρφωσης.

Οι πολιτικές που στοχεύουν στην μείωση κατανάλωσης καυσίμου καθώς και στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, μπορούν επίσης να βοηθήσουν στον περαιτέρω περιορισμό των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων. Ωστόσο, σημαντικά οφέλη στην μείωση των εκπομπών μπορούν να προκύψουν από την χρήση υβριδικών και ηλεκτρικών οχημάτων, τα οποία είναι σαφέστατα πιο φιλικά προς το περιβάλλον.

1.4.3 Κλιματική Αλλαγή

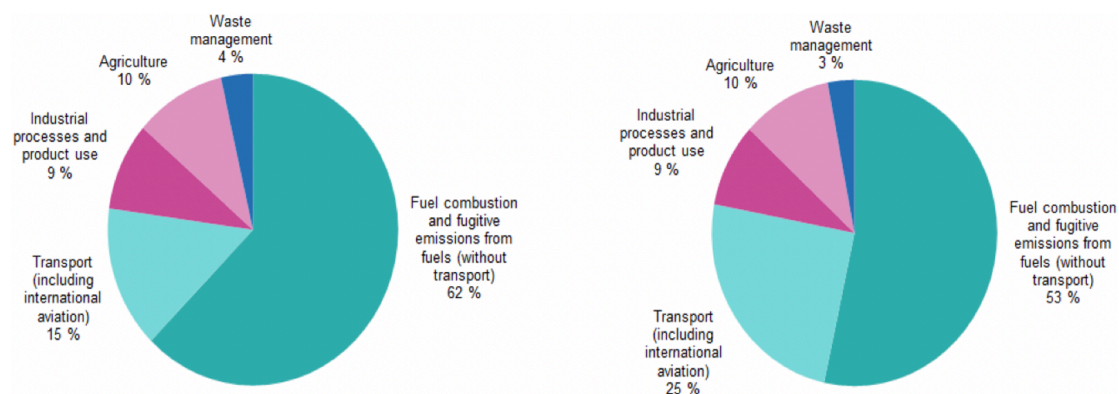
Ένα ακόμα πρόβλημα το οποίο καλείται να αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα, είναι η κλιματική αλλαγή, η οποία αποτελεί απειλή για την αιφόρο ανάπτυξη. Με τον όρο κλιματική αλλαγή γίνεται αναφορά στην παγκόσμια μεταβολή του κλίματος και ειδικότερα σε μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών οι οποίες εκτείνονται σε μεγάλα χρονικά διαστήματα. Οι κλιματικές αλλαγές οφείλονται σε φυσικές διαδικασίες (γεωλογικές μεταβολές), καθώς και σε ανθρώπινες δραστηριότητες οι οποίες επηρεάζουν το κλίμα [47]. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια παρατηρούνται εντονότερες και εκτενέστερες μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών, οι οποίες πιστώνονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα. Οι άνθρωποι μέσω των δράσεων τους προσθέτουν τεράστιες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, προκαλώντας αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου και υπερθέρμανση του πλανήτη [48].

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου αποτελεί ένα φυσική διαδικασία μέσω της οποίας πραγματοποιείται συγκράτηση θερμότητας στα επίπεδα γήινης ατμόσφαιρας, με αποτέλεσμα την άνοδο της μέσης θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης. [59] Στα αέρια του θερμοκηπίου (Greenhouse Gases, GHG), ενσωματώνονται τα αέρια που έχουν την ιδιότητα να απορροφούν μεγάλο μήκος κύματος (υπέρυθρη) ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης και την εκπέμπουν και πάλι πίσω, προς την επιφάνεια της, συμβάλλοντας έτσι στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα κυριότερα αέρια της ομάδας αυτής αποτελούν οι υδρατμοί (H₂O), το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄), το υποξείδιο του αζώτου (N₂O), το όζον (O₃) και ορισμένα φθοριούχα αέρια [50]. Συνεπώς, τα παραπάνω αέρια είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία υψηλότερων θερμοκρασιών στα χαμηλά στρώματα της ατμόσφαιρας και κατ'επέκταση στην επιφάνεια της γης. Χωρίς τη δράση τους, η θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας εκτιμάται πως θα ήταν στους -18 °C [49].

Η εκπομπή των αερίων αυτών οφείλεται τόσο σε φυσικές διεργασίες, όσο και σε ανθρώπινες δραστηριότητες. Το κυριότερο φυσικό αέριο θερμοκηπίου αποτελούν οι υδρατμοί (H₂O). Ωστόσο, τα τελευταία 250 χρόνια, από την αρχή της Βιομηχανικής Επανάστασης, το φαινόμενο έχει ενταθεί από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, οι οποίες συμβάλλουν καθοριστικά στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων και άλλων αερίων θερμοκηπίου. Η αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων αυτών στα επίπεδα της ατμόσφαιρας έχει σαν αποτέλεσμα την άνοδο της θερμοκρασίας του πλανήτη μέσω της δράσης του μηχανισμού του φαινομένου του θερμοκηπίου. Υπολογίζεται ότι μεταξύ 1750 και 2011, οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα αυξήθηκαν κατά 40%, το μεθάνιο κατά 150% και τα υποξείδια του αζώτου κατά 20%. Παράλληλα, στα τέλη της δεκαετίας του 1920, προστέθηκαν στο μείγμα τα ανθρωπογενή φθοριούχα αέρια όπως χλωροφθοράνθρακες. [51]

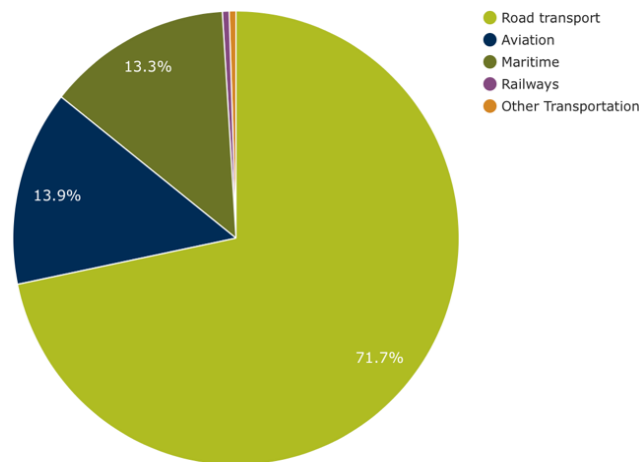
Στις μέρες μας, οι ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι κατά κύριο λόγο υποπροϊόν της καύσης ορυκτών καυσίμων σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, σε βιομηχανίες, στις μεταφορές και στα νοικοκυριά. Η γεωργία, η αποψίλωση δασικών εκτάσεων και η αποσύνθεση των αποβλήτων στους χώρους υγειονομικής ταφής αποτελούν τομείς που συνεισφέρουν στην αύξηση συγκεντρώσεων αερίου του θερμοκηπίου. [52]

Στην Ευρώπη, τις τελευταίες δεκαετίες, η επίδραση του τομέα των μεταφορών στην κλιματική γίνεται ολοένα και ισχυρότερη. Συγκεκριμένα, στην Ε.Ε. των 28, οι μεταφορές (συμπεριλαμβανομένων των εναερίων μεταφορών) αντιπροσώπευαν σχεδόν το ένα τέταρτο των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, έχοντας αυξήσει το μερίδιό τους από 15% του έτους 1990 σε 25% το 2018 [53]

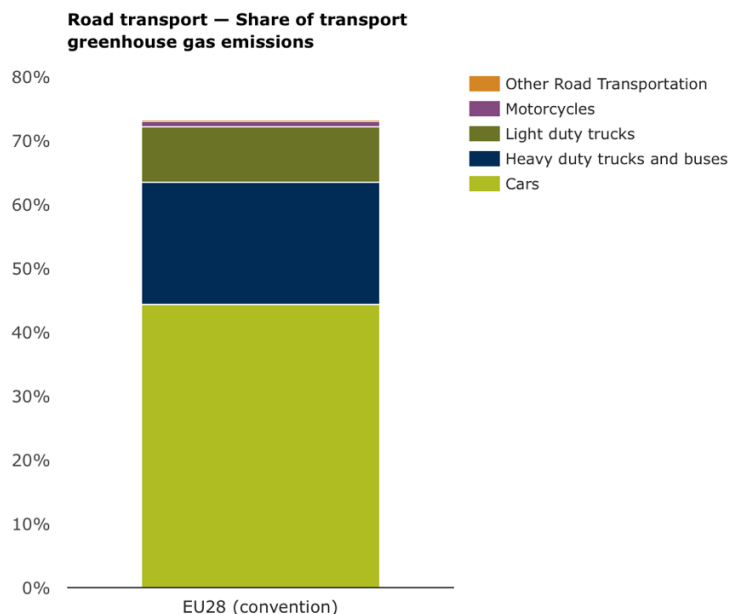


Εικόνα 1–25: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανα οικονομικό τομέα στην Ε.Ε., τα έτη 1990 και 2018 [53]

Τα οδικά μέσα αποτελούν τον κυρίαρχο ρυπαντή, με ποσοστό συμμετοχής που φτάνει σχεδόν το 72% του μεταφορικού τομέα. Από αυτές τις εκπομπές, το 44.5% οφειλόταν σε επιβατικά οχήματα, ενώ το 18.8% προήλθε από βαρέα οχήματα [54].



Εικόνα 1–26: Μερίδιο εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στον τομέα των μεταφορών στην Ε.Ε, ανά κατηγορία [54]

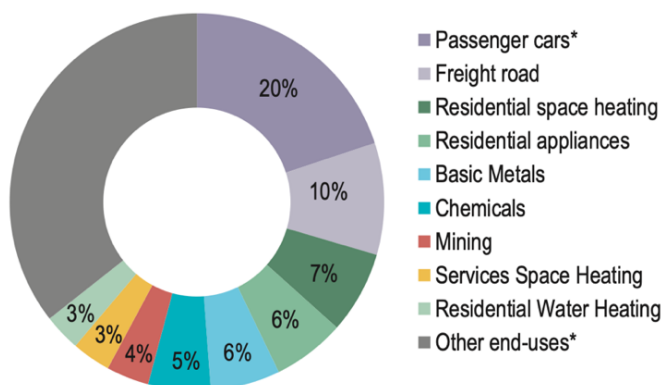


Εικόνα 1–27: Καταμερισμός μεριδίων εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου ανά κατηγορία οδικών μεταφορών [54]

Τα κυριότερα εκπεμπόμενα αέρια που συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή και προέρχονται από τον τομέα των μεταφορών, αποτελούν :

- Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) : Αέριο άχρωμο, άοσμο και άγευστο σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Το αέριο αυτό, εμφανίζεται σε φυσιολογικά στην γήινη ατμόσφαιρα, μέσω του κύκλου του άνθρακα. Ωστόσο η ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν συμβάλει σημαντικά στην αύξηση συγκέντρωσης του αερίου στο επίπεδο της ατμόσφαιρας, κάτι που έχει οδηγήσει σε σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και κατ' επέκταση στην κλιματική αλλαγή. Παράλληλα, ανησυχία προκαλεί το γεγονός πως το αέριο αυτό μπορεί να παραμείνει στην ατμόσφαιρα για 50 έως και 200 χρόνια, ανάλογα με τον τρόπο ανακύκλωσης και επιστροφής του στο έδαφος και τους ωκεανούς [55].

Από το σύνολο των αερίων, το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), συνιστά το βασικότερο συντελεστή για την ανάπτυξη του φαινομένου του θερμοκηπίου. Στις μέρες μας, το αέριο αντιπροσωπεύει περίπου το 80% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου [55]. Σύμφωνα με τον παγκόσμιο οργανισμό ενέργειας, ο τομέας των οδικών μεταφορών συμμετέχει περίπου κατά 30% στις συνολικές εκπομπές CO₂. [5]



Εικόνα 1–28: Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανα οικονομικό τομέα στις χώρες μέλη του Ι.Ε.Α., 2015. [5]

- Το υποξείδιο του αζώτου (N₂O) εκπέμπεται όταν καίγονται ορυκτά καύσιμα. Πρόκειται για αέριο με πολύ υψηλό δυναμικό θέρμανσης, τα μόρια του οποίου, απορροφούν θερμότητα 310 φορές πιο αποτελεσματικά από το διοξείδιο του άνθρακα. Από τις αρχές της βιομηχανικής επανάστασης, οι συγκεντρώσεις του αερίου στην ατμόσφαιρα έχουν αυξηθεί κατά περίπου 16%, ενώ παράλληλα η συμβολή στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου ανέρχεται στο 4 έως 6%. Η ποσότητες N₂O που εκπέμπονται από τα καύσιμα εξαρτάται από τον τύπο καυσίμων και την τεχνολογία καύσης, καθώς και τις συνθήκες στις οποίες πραγματοποιήθηκε. [55]

Παράλληλα, πολλές άλλες αέριες ή σωματιδιακές ενώσεις, γνωστές ως «παράγοντες κλιματικής επιδείνωσης», επηρεάζουν την ποσότητα της ηλιακής ενέργειας (συμπεριλαμβανομένης της θερμότητας) που συγκρατεί η Γη. Τα αέρια αυτά απορροφούν μεγάλο μήκος κύματος γήινη ακτινοβολία και επανεκπέμπουν θερμική ακτινοβολία προς όλες τις κατευθύνσεις. [14]

- Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν έναν ακόμη παράγοντα τόσο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, όσο και της κλιματικής αλλαγής. Τα σωματίδια αυτά, ανάλογα με τη μοριακή τους σύνθεση, μπορεί να έχουν ψυκτική ή θερμαντική επίδραση στο κλίμα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται η αιθάλη, ένα από τα συστατικά των λεπτών αιωρούμενων σωματιδίων, προϊόντων της ατελούς καύσης των καυσίμων. Αυτή έχει την ιδιότητα να απορροφά ηλιακή και υπέρυθη ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα να έχει θερμαντική επίδραση. [14]

Η υπερθέρμανση του πλανήτη και η μεταβολή του κλίματος του, εμφανίζουν ένα ευρύ φάσμα επιδράσεων και επιπτώσεων στο περιβάλλον και στους ζωντανούς οργανισμούς. Οι μεταβολές αυτές είναι υπεύθυνες για την τήξη των πάγων, η οποία

με τη σειρά της πυροδοτεί την άνοδο της στάθμης των θαλασσών, κάτι που επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις όπως πλημμύρες και διαβρώσεις σε πολλές παράκτιες περιοχές του κόσμου. Επιπλέον, εντονότερη είναι η εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων ανα περιοχές, οι οποίες πλήττονται από ισχυρές βροχοπτώσεις και καταιγίδες, ενώ άλλες δοκιμάζονται από μεγάλης έντασης καύσωνες και ξηρασίες. Επίσης, η υγεία των έμβιων όντων επιβαρύνεται από την ανάπτυξη σοβαρών αναπνευστικών προβλημάτων, ενώ παράλληλα πολλά είδη φυτών και ζώων αντιμετωπίζουν τον κίνδυνο της εξαφάνισης. Σε γενικότερο επίπεδο, προβλήματα εμφανίζονται και σε τομείς της οικονομίας όπως η γεωργία, η ενέργεια, ο τουρισμός κ.ά [56].

Ο περιορισμός των παραπάνω εκπομπών και των παραγόντων της κλιματικής επιδείνωσης, είναι θετικός τόσο για την ανθρώπινη υγεία όσο και για το κλίμα. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι και τα αέρια του θερμοκηπίου προέρχονται από τις ίδιες πηγές εκπομπών. Παράλληλα, η κλιματική αλλαγή μπορεί επίσης να επιδεινώσει τα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, μέσω των μεταβολών των τοπικών καιρικών συνθηκών. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως οι υψηλότερες θερμοκρασίες μπορούν να παρατείνουν τα χρονικά διαστήματα κατά τα οποία παρατηρούνται υψηλά επίπεδα όζοντος, αλλά και να αυξήσουν ακόμη περισσότερο τις μέγιστες τιμές συγκέντρωσης του. Συνεπώς, τα δύο αυτά προβλήματα συνδέονται μεταξύ τους και η αντιμετώπιση του ενός, συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στην επίλυση του άλλου [14].

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, με γνώμονα το σεβασμό προς το περιβάλλον αντιμετωπίζει την κλιματική αλλαγή μέσω φιλόδοξων πολιτικών και στενής συνεργασίας με άλλες χώρες του κόσμου. Παράλληλα, οι προσπάθειες για τη μείωση των εκπομπών, τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής περιλαμβάνουν και τον τομέα των μεταφορών.

1.4.4 Αντιμετώπιση της Κλιματικής Αλλαγής

Η διεθνής επιστημονική κοινότητα, έπειτα από διαστήματα μακροχρόνιων έρευνών, θεωρεί πως οι ανθρώπινες δραστηριότητες, μέσω των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Greenhouse Gases, GHG) που παράγουν, αποτελούν την κυρίαρχη αιτία της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη που παρατηρείται από τα μισά του 20^{ου} αιώνα [57].

Οι πρώτοι που άρχισαν να κρούουν τον κώδωνα του κινδύνου για την κλιματική μεταβολή που οφείλεται σε ανθρωπογενείς αιτίες ήταν οι επιστήμονες. Στοιχεία από τις δεκαετίες του 1960 και 1970 έδειχναν ότι οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα αυξάνονταν σημαντικά, γεγονός που οδήγησε τους κλιματολόγους αρχικά και στη συνέχεια και άλλους επιστήμονες να πιέσουν για δράση. Δυστυχώς, πήρε πολλά χρόνια στη διεθνή κοινότητα για να ανταποκριθεί στο αίτημα αυτό. [58]

Το 1972, μεταξύ 5^{ης} και 16^{ης} Ιουνίου πραγματοποιήθηκε στη Στοκχόλμη της Σουηδίας η Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον. Η διάσκεψη αυτή αποτέλεσε ορόσημο για την ανάπτυξη της διεθνούς περιβαλλοντικής πολιτικής μιας και στο επίκεντρο των συζητήσεων τέθηκαν για πρώτη φορά, διεθνή περιβαλλοντικά ζητήματα, ενώ παράλληλα αναπτύχθηκε και υιοθετήθηκε από τους συμμετέχοντες ένα

σχέδιο δράσης για την ορθή διαχείριση του περιβάλλοντος. Στα σημαντικότερα αποτελέσματα της διάσκεψης της Στοκχόλμης πιστώνεται επίσης η δημιουργία του προγράμματος των Ηνωμένων Εθνών για το περιβάλλον (UNEP) [59] [60].

Σε συνέχεια των δράσεων για την προστασία του περιβάλλοντος, στις 15 Σεπτεμβρίου του 1987 εγκρίθηκε το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ. Πρόκειται για μια συνθήκη παγκόσμιου βεληνεκούς για την προστασία της στιβάδας του όζοντος στη στρατόσφαιρα. Στα πλαίσια της καθιερώθηκε ένα σχέδιο δράσης διεθνούς συνεργασίας για την σταδιακή κατάργηση των ουσιών που συμβάλλουν στην εξασθένηση του αερίου. Με την πάροδο του χρόνου, η συνθήκη δέχτηκε αρκετές τροποποιήσεις υπό το φως νέων επιστημονικών, τεχνολογικών και οικονομικών εξελίξεων και συνεχίζει να τροποποιείται ακόμα και στις μέρες μας. Το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ έχει λάβει επικύρωση από όλες της χώρες του πλανήτη (συμπεριλαμβανομένων και των 197 κρατών μελών του ΟΗΕ) [61] [62].

Το 1988, δημιουργήθηκε από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας (WMO) και το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (UNEP) η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC). Ο σκοπός της επιτροπής είναι η παροχή επιστημονικά τεκμηριωμένων εκθέσεων, αξιολογήσεων και εκτιμήσεων, σε θέματα που αφορούν την κλιματική αλλαγή [63]. Το έργο της Διακυβερνητικής Επιτροπής αποτέλεσε εφελκυστήριο για τη δημιουργία της Σύμβασης-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του Κλίματος (UNFCCC). Η Σύμβαση εγκρίθηκε στις 9 Μαΐου του 1992 και ήταν έτοιμη προς υπογραφή στις 4 Ιουνίου του 1992 στην πόλη του Ρίο ντε Τζανέιρο στο πλαίσιο της Διάσκεψης των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (UNCED), γνωστό και ως Σύνοδο Κορυφής για Γη (Earth Summit) [64]. Η UNFCCC τέθηκε σε ισχύ στις 21 Μαρτίου του 1994, με βασικό σκοπό την πρόληψη και την αποφυγή της επικίνδυνης ανθρώπινης παρέμβασης στο κλιματικό σύστημα. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως δεδομένου των συνθηκών της εποχής και της έλλειψης επιστημονικών δεδομένων, η UNFCCC κατευθύνθηκε σύμφωνα με τη γραμμή του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ του 1987 [65].

Στα επόμενα χρόνια, ακολούθησε το πρωτόκολλο του Κιότο, μία από τις σημαντικότερες διεθνείς νομοθετικές πράξεις καταπολέμησης των κλιματικών μεταβολών. Περιελάβανε δεσμεύσεις που είχαν αναλάβει οι εκβιομηχανισμένες χώρες για τον περιορισμό των εκπομπών ορισμένων αερίων που συμβάλλουν στην όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Κεντρικός στόχος του ήταν η μείωση των συνολικών εκπομπών των ανεπτυγμένων χωρών τουλάχιστον κατά 5 % την περίοδο 2008-2012 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Το Πρωτόκολλο εγκρίθηκε στο Κιότο της Ιαπωνίας, στις 11 Δεκεμβρίου 1997 και τέθηκε σε ισχύ στις 16 Φεβρουαρίου 2005. [66]. Η Ευρωπαϊκή Ένωση και τα 15 κράτη μέλη της συμφωνίας κατάφεραν να επιτύχουν μια περεταίρω μείωση των εκπομπών της τάξης του 11,7% στην εγχώρια αγορά, ξεπερνώντας έτσι κατά πολύ τις δεσμεύσεις της συμβάσεως [67]. Μετά το πέρας της πρώτης περιόδου εφαρμογής του πρωτοκόλλου, μια δεύτερη περίοδος δέσμευσης χρονικής διάρκειας 8 χρόνων (2013-2020) συμφωνήθηκε στις 8 Δεκεμβρίου του 2012 στη Ντόχα του Κατάρ. Στο διάστημα αυτό, τα συμβαλλόμενα Μέρη δεσμεύτηκαν να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 18%. [68]

Το 2009, έπειτα από 2 χρόνια διαβουλεύσεων εγκρίθηκε από την ΕΕ η στρατηγική για την Ενέργεια και το κλίμα. Η πολιτική της για την καταπολέμηση των κλιματικών αλλαγών, έχει ως δύο κύριους άξονες, την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας με αύξηση της αποδοτικότητάς της και την ενίσχυση της συμμετοχής των ΑΠΕ στο ευρωπαϊκό ενεργειακό μίγμα. Για την περάτωση των παραπάνω δράσεων ορίστηκε έτος-προθεσμία το 2020. Πιο αναλυτικά, οι στόχοι τέθηκαν περιελάμβαναν :

1. τη μείωση κατά 20% στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990
2. τη διείσδυση κατά 20% των ΑΠΕ και των εναλλακτικών καυσίμων στην τελική κατανάλωση ενέργειας ως το 2020
3. τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 20%.
4. τη επίτευξη μεριδίου 10% ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στον τομέα των μεταφορών τους. [69] [ΕΥ Δ]

Πέντε χρόνια αργότερα, στις 23 Οκτωβρίου του 2014, εγκρίθηκε από τους ηγέτες της ΕΕ το πλαίσιο πολιτικής για το κλίμα και την ενέργεια για το 2030. Οι κυριότεροι στόχοι που καθορίστηκαν από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο περιλαμβάνουν :

- τη μείωση κατά 40% στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990
- την προέλευση από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας τουλάχιστον του 32% (από 27%) της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας του 2030
- τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 32,5% (από 27%). [70]

Στο διάστημα μεταξύ 30 Νοεμβρίου έως τις 12 Δεκεμβρίου 2015 πραγματοποιήθηκε η Διάσκεψη των Παρισίων για την κλιματική αλλαγή. Πρόκειται για την 21η σύνοδο της διάσκεψης των μερών (COP 21) της σύμβασης-πλασίου του ΟΗΕ για την κλιματική αλλαγή (UNFCCC) και την 11η σύνοδο της διάσκεψης των μερών του πρωτοκόλλου του Κιότο (CMP 11). Στις 12 Δεκεμβρίου 2015, στο Παρίσι, επιτεύχθηκε μια οικουμενική, νομικώς δεσμευτική συμφωνία για το κλίμα. [71]. Η συμφωνία περιλαμβάνει ένα σχέδιο δράσης για τη συγκράτηση της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη «αρκετά κάτω» από τους 2°C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα καθώς επίσης και τη συνέχιση των προσπαθειών για τον περιορισμό της στον 1,5°C. Επιπλέον οι κυβερνήσεις συμφώνησαν να συγκεντρώνονται κάθε 5 χρόνια για να αξιολογούν τη συλλογική πρόοδο προς τους μακροπρόθεσμους στόχους και να παρέχεται ενημέρωση για την ενίσχυση των εθνικά καθορισμένων συνεισφορών τους. Παράλληλα, δεσμεύτηκαν για δράσεις συνεργασίας και αμοιβαίας παροχής πληροφοριών, μέσα σε ένα ισχυρό πλαίσιο διαφάνειας και λογοδοσίας. [72]. Η συμφωνία των Παρισίων έμεινε ανοιχτή προς υπογραφή για ένα έτος, από τις 22 Απριλίου 2016. Τελικά επικυρώθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση στις 5 Οκτωβρίου 2016, ενώ σε ισχύ τέθηκε στις 4 Νοεμβρίου του 2016. [71] Στο πλαίσιο της Συμφωνίας του Παρισιού, τέθηκε από την Ε.Ε ο στόχος για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 40% έως το 2030 σε σχέση με το 1990. Η βασική νομοθεσία για την υλοποίηση του παραπάνω στόχου εγκρίθηκε στα τέλη του 2018. [72].

Η ΕΕ σκοπεύει στο να καταστεί μια καθαρή οικονομία μηδενικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου έως το 2050. Ο στόχος αυτός αποτελεί βασικό πυλώνα της Ευρωπαϊκής

Πράσινης Συμφωνίας και ευθυγραμμίζεται με τις δεσμεύσεις της Συμφωνίας του Παρισιού. [73]

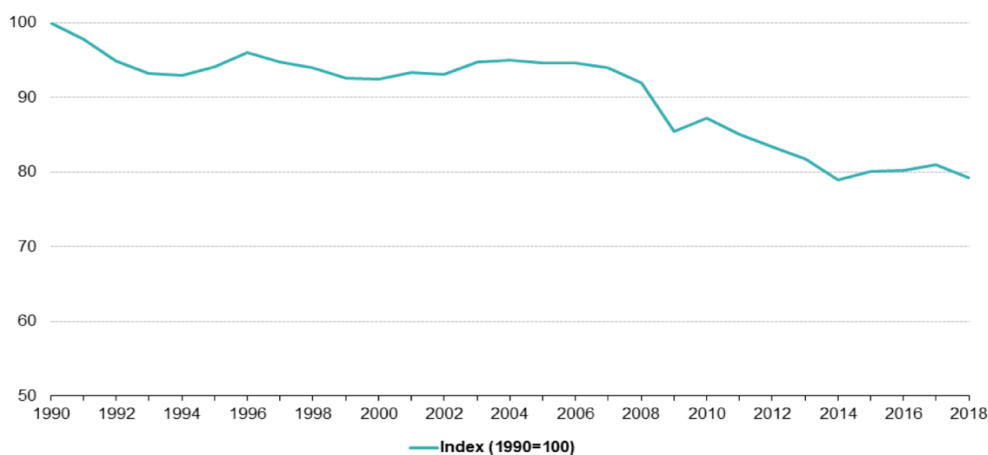
Όσον αφορά των τομέα των μεταφορών. Τα τελευταία χρόνια, η τεχνολογική πρόοδος έχει συμβάλλει στον ανασχηματισμό της συνολικής σχεδίασης και λειτουργίας των οχημάτων. Σημαντικές είναι επίσης οι βελτιώσεις στις επιδόσεις των κινητήρων και στη μείωση των εκπομπών του. Μια σειρά από νέων τεχνολογιών, όπως στροβιλο-υπερπλήρωση, παύση της λειτουργίας του κινητήρα κατά τα διαστήματα ακινησίας (start-stop), απενεργοποίηση των κυλίνδρων του κινητήρα, μεταβλητό χρονισμό βαλβίδων, μεταβλητό λόγο συμπίεσης και λειτουργία κύκλου Miller έχουν επιφέρει σημαντική βελτίωση στο μεγάλο πρόβλημα της έκλυσης αερίων του θερμοκηπίου.

Η ΕΕ μέσα από στενευμένες δράσεις της, έχει συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό των εκπομπών ρύπων των οχημάτων. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ο κανονισμός (ΕΚ) 443/2009 τις 23 Απριλίου του 2009, μέσω του οποίου θεσπίστηκαν υποχρεωτικά πρότυπα για τις εκπομπές CO₂ των καινούργιων επιβατικών αυτοκινήτων. [16] Συγκεκριμένα, ορίστηκε μείωση των μέσων εκπομπών των οχημάτων σε 130 g CO₂/km, με χρονικό ορίζοντα το έτος 2015. Ο στόχος αυτός επετεύχθη το έτος 2013. Στο διάστημα από το 2010 έως το 2016, οι μέσες εκπομπές παρουσίασαν πτωτική τάση κατά 22 g CO₂ / km. Αντιθέτως, τα έτη 2017 και 2018 επήλθε αύξηση των τιμών κατά 2,8 g CO₂ / km συνολικά. Η ανοδική αυτή τάση συνεχίστηκε και το έτος 2019 κατά 1,6 g CO₂ / km. Συνεπώς, οι μέσες εκπομπές ρύπων έφτασαν τα 122,4 g CO₂ / km, τιμή μικρότερη του πρωταρχικού στόχου των 130 g CO₂ / km. [74]. Εν συνεχεία, η Ευρώπη οδηγήθηκε στη θέσπιση ενός δεύτερου προτύπου απόδοσης εκπομπών CO₂. Ο νέος κανονισμός (ΕΕ) 2019/631 της 17^{ης} Απριλίου του 2019, καθορίζει τις απαιτήσεις επιδόσεων όσον αφορά τις εκπομπές CO₂ για καινούργια επιβατικά αυτοκίνητα και για καινούργια ελαφρά επαγγελματικά οχήματα. Από την 1^η Ιανουαρίου του 2020, ο μέσος στόχος εκπομπών των νέων επιβατικών οχημάτων ορίστηκε στα 95 g/km. Ενώ για τις μέσες εκπομπές των νέων ταξινομημένων ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων ορίστηκε στα 147 g/km. Επιπλέον από την 1^η Ιανουαρίου 2025, στα καινούργια επιβατικά αυτοκίνητα και στα καινούργια ελαφρά επαγγελματικά οχήματα, απαιτείται μείωση κατά 15% του στόχου για το 2021. Ακολούθως, από την 1^η Ιανουαρίου 2030, στα καινούργια επιβατικά αυτοκίνητα, απαιτείται μείωση κατά 37,5% του στόχου για το 2021, ενώ στα καινούργια ελαφρά επαγγελματικά, απαιτείται μείωση κατά 31% του στόχου για το 2021 [75].

Γίνεται λοιπόν σαφές πως η ΕΕ εργάζεται για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, ελέγχοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα και ενσωματώνοντας τις απαιτήσεις προστασίας του περιβάλλοντος στους τομείς των μεταφορών και της ενέργειας.

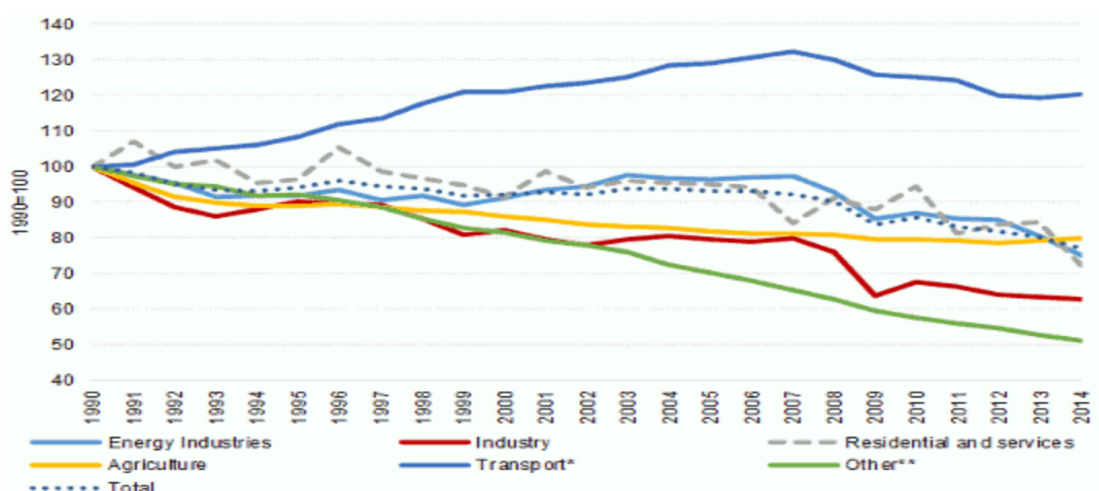
Δεδομένα σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, αναφέρονται ετησίως από τα κράτη μέλη στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Στην παρακάτω εικόνα 1-10 παρουσιάζονται οι εκπομπές αυτές, έτσι όπως αυτές εξελίχθηκαν σε βάθος 28 χρόνων. Σε γενικότερο επίπεδο, η εξελικτική τους πορεία εμφανίζει μια πτωτική τάση (εκτός από μια σχετική κορυφή το 1996, όταν ένας κρύος χειμώνας οδήγησε σε αύξηση των απαιτήσεων θέρμανσης). Από το 1999 έως το 2008 η εξέλιξη των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου εντός της ΕΕ-27 ακολούθησε μια σχετικά σταθερή πορεία, με μικρές διακυμάνσεις. Το 2009 παρατηρήθηκε μια απότομη πτώση των εκπομπών ως συνέπεια

της παγκόσμιας χρηματοπιστωτικής και οικονομικής κρίσης. Εν συνεχεία, οι εκπομπές σταδιακά μειώθηκαν, με εξαίρεση το 2010 και την περίοδο 2015-2017, όπου σημειώθηκαν μικρές άνοδοι. Το 2018, οι εκπομπές μειώθηκαν κατά 21% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990, θέτοντας την ΕΕ σε καλό δρόμο για να ξεπεράσει τον στόχο της για το 2020, δηλαδή μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% έως το 2020 και κατά 40% έως το 2030 σε σύγκριση με το 1990. [76]



Εικόνα 1–29: Οι συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στην Ε.Ε [76]

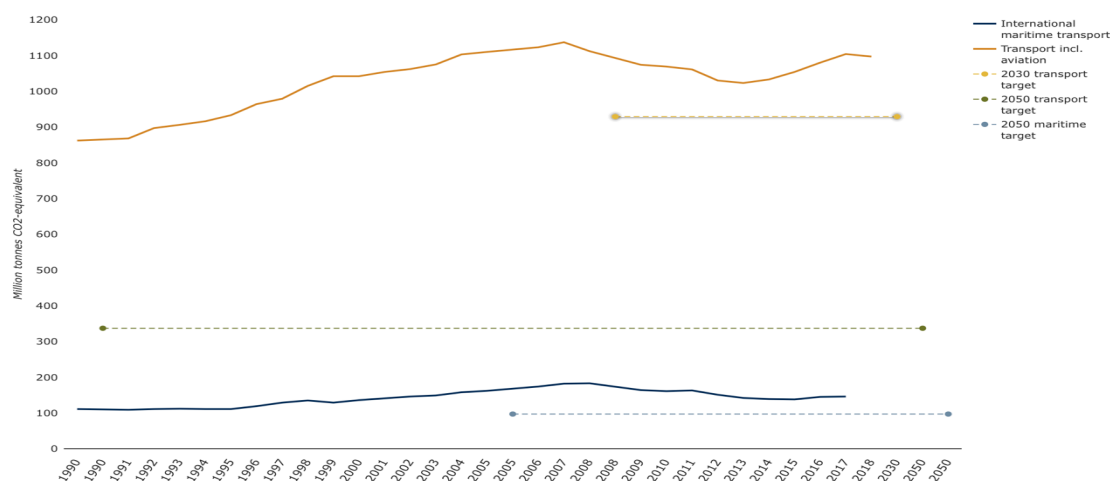
Ωστόσο, ο τομέας των μεταφορών αποτελεί ένα από τους πιο ρυπογόνους παράγοντες του περιβάλλοντος. Έχοντας ως βάση αναφοράς τα επίπεδα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου του 1990, οι εκπομπές του μεταφορικού τομέα συνεχίζουν να βρίσκονται σε ένα αρκετά υψηλό επίπεδο συγκριτικά με τις αντίστοιχες εκπομπές άλλων τομέων οικονομικής δραστηριότητας, όπως της ηλεκτροπαραγωγής, της βιομηχανίας, της γεωργίας κ.α. [77].



Εικόνα 1–30: Εκπομπές CO₂ ανά οικονομικό τομέα στην ΕΕ, 1990-2014 (Ποσοστό 1990=100) [77]

Στην ΕΕ των 28, οι μεταφορές, με συμμετοχή 27% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (22% εάν εξαιρούνται οι διεθνείς αεροπορικές και θαλάσσιες μεταφορές), αποτελούν το μοναδικό τομέα όπου οι εκπομπές συνεχίζουν να έχουν ανοδική πορεία. Στο παρακάτω σχήμα, παρουσιάζεται η πορεία των εκπομπών αερίων

θερμοκηπίου του μεταφορικού κλάδου στην ΕΕ. Οι συγκεντρώσεις των οποίων παρουσίασαν άνοδο συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990. Συγκεκριμένα, τα εναέρια μέσα σημείωσαν αύξηση της τάξης το 129%, οι εκπομπές από τα θαλάσσια μέσα αυξήθηκαν κατά 32%, ενώ οι οδικές μεταφορές παρουσίασαν άνοδο της τάξης 23%. Οι εκπομπές λόγω των μεταφορών το 2017 ήταν αυξημένες κατά 28% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 (ή 23% συμπεριλαμβανομένων των εναερίων χωρίς όμως να προσμετρώντας οι διεθνείς θαλάσσιες μεταφορές) [55].



Εικόνα 1-0-31: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στον τομέα των μεταφορών στην Ε.Ε [55]

Οι παραπάνω αυξητικές τιμές σχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με τις αυξήσεις του επιπέδου της οικονομικής δραστηριότητας, καθώς και από την αύξηση της ζήτησης για μεταφορές. Με μοναδική εξαίρεση το διάστημα 2008 και 2013, λόγω των χαμηλότερων επιπέδων οικονομικής δραστηριότητας. Γίνεται λοιπόν σαφές πως παρά την τεχνολογική εξέλιξη των οχημάτων, η αύξηση του αριθμού τους, η κακή διαχείριση της κυκλοφορίας τους εντός των αστικών κέντρων, καθώς και η αδυναμία του αποτελεσματικού ελέγχου της συντήρησής τους, αποτελούν τους κύριους παράγοντες αυτής της αυξητικής εξέλιξης των εκπομπών.

Η συμβολή των οδικών μεταφορών στην υπερθέρμανση του πλανήτη είναι μεγάλη και καθοριστική. Η μείωση των παραπάνω εκπομπών αποτελεί βασικό πυλώνα για την οικοδόμηση των σύγχρονων κοινωνιών και την ανάπτυξη ενός βιώσιμου μέλλοντος για την ανθρωπότητα. Για το λόγο αυτό, οι ενεργειακές πολιτικές της ΕΕ έχουν εστιάσει τις δράσεις τους στην ελάττωση των τιμών κατά δύο τρίτα έως το 2050, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Με τον τρόπο αυτό, θα επιτευχθεί ο μακροπρόθεσμος στόχος μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου 60%, όπως ορίζεται από τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τις μεταφορές (Transport White Paper, TWP) του 2011. [55]

Άλλες πολιτικές στον τομέα των μεταφορών που βασίζονται στις αρχές της αειφόρου ανάπτυξης και υποστηρίζουν την επίτευξη των παραπάνω στόχων, εποπτεύονται και από τον TERM (Transport and Environment Reporting Mechanism).

1.5 Ηλεκτροκίνηση

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας, η κλιματική αλλαγή, αλλά και η εξάντληση των ενεργειακών πόρων, συνιστούν σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα, των οποίων οι διαστάσεις επηρεάζουν αρνητικά αρκετούς τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Τα ζητήματα αυτά δεν απασχολούν μόνο τη διεθνή επιστημονική κοινότητα, αλλά την ανθρωπότητα στο σύνολο της. Οι μεταφορές με τη δράση τους διαδραματίζουν ένα σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη των ζητημάτων αυτών.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, εδώ και δεκαετίας εργάζεται συστηματικά για την προστασία του περιβάλλοντος. Παράλληλα, όντας προσηλωμένη στην αντιμετώπιση των προκλήσεων του αύριο, χαράζει πολιτικές, αναπτύσσει στρατηγικές και θέτει στόχους. Στην προσπάθεια για την αντιμετώπιση τόσο των πολυδιάστατων περιβαλλοντικών προβλημάτων, όσο και των προκλήσεων του μέλλοντος, ήρθε στο προσκήνιο η πρόταση για την ανάπτυξη της στρατηγικής κινητικότητας χαμηλών εκπομπών. Εγκεκριμένη τον Ιούλιο του 2016, στα πλαίσια της ενσωματώνεται ένα ευρύτερο σύνολο μέτρων για τη στήριξη της μετάβασης της Ευρώπης σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα, υποστηρίζοντας παράλληλα την δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, ανάπτυξη, επενδύσεις και καινοτομία. [77].

Κύρια στοιχεία της στρατηγικής αποτελούν :

- η αύξηση της αποτελεσματικότητας του συστήματος μεταφορών μέσω της χρήσης ψηφιακών τεχνολογιών
- η ανάπτυξη εναλλακτικών πηγών ενέργειας χαμηλών εκπομπών (βιοκαύσιμα, ηλεκτρική ενέργεια, υδρογόνο) και η μετάβαση προς την ηλεκτροκίνηση.
- η μετάβαση σε οχήματα χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών ρύπων. [77]

Ως συνέχεια των προηγούμενων δράσεων, το 2019, η ΕΕ παρουσίασε την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (European Green Deal, EGD). Πρόκειται για μια φιλόδοξη δέσμη μέτρων στα πλαίσια της οποίας, επιδιώκεται η ταχύτερη μείωση των εκπομπών που προέρχονται από τις μεταφορές σε ποσοστό 90 % έως το 2050. Επίσης εκτιμάται πως μέσω της ψηφιοποίησης, τόσο η αυτόνομη κινητικότητα, όσο και τα έξυπνα συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας θα καταστήσουν τις μεταφορές περισσότερο αποδοτικές και καθαρές. Ενώ παράλληλα, θα αναπτυχθούν έξυπνες εφαρμογές και λύσεις «κινητικότητας ως υπηρεσίας». [78]

Από τα παραπάνω, γίνεται αντιληπτή η επιτακτική ανάγκη για μαζική παραγωγή και προώθηση οχημάτων φιλικότερων προς το περιβάλλον. Τις τελευταίες δεκαετίες, οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί, οι τεχνολογικές καινοτομίες, καθώς και οι αλλαγές στο οικονομικό και στο ρυθμιστικό περιβάλλον οδήγησαν στην υποστήριξη πολιτικής ηλεκτρικών οχημάτων. Τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν σημαντική τεχνολογία για την αντιμετώπιση των παραπάνω προκλήσεων. Σε αντίθεση με τα συμβατικά οχήματα, τα ηλεκτρικά χρησιμοποιούν ηλεκτροκινητήρες, οι οποίοι είναι πιο αποδοτικοί από τους κινητήρες εσωτερικής καύσης, με αποτέλεσμα μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας της μπαταρίας καταλήγει να χρησιμοποιείται για την κίνηση του οχήματος. Ειδικά στην αστική οδήγηση, η σπάταλη ενέργεια εμφανίζεται μικρότερη. Επίσης, δεν παράγονται ατμοσφαιρικοί ρύποι από τις εκπομπές της εξάτμισης, όπως οξείδια του αζώτου και σωματίδια κ.α. Βέβαια εξακολουθούν να παράγονται σωματίδια από την πέδηση και

από τη φθορά των ελαστικών, αλλά συνολικά είναι λιγότερα σε σύγκριση με ένα βενζινοκίνητο ή πετρελαιοκίνητο όχημα. Επιπλέον, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να μειώσουν τα επίπεδα θορύβου, ειδικά σε χαμηλότερες ταχύτητες στις οποίες είναι λιγότερο θορυβώδη από τα συμβατικά αυτοκίνητα. Όσον αφορά την υγεία, το κύριο όφελος αφορά την ποιότητα του αέρα, υπό την προϋπόθεση φυσικά, πως η ηλεκτρική ενέργεια με την οποία τροφοδοτούνται να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ωστόσο, η μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση, είναι ένα σύνθετο ζήτημα, του οποίου η επίτευξη του εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως την ανάπτυξη αποδοτικότερων αποθηκευτικών μέσων, τη βελτίωση του χρόνου φόρτισης των συσσωρευτών των οχημάτων, την αύξηση της διάρκειας ζωής των οχημάτων, τη δημιουργία δικτύων υποδομών φόρτισης. Επίσης την ανάπτυξη άμεσων ή έμμεσων οικονομικών κίνητρων αγοράς Η/Ο (επιδότησεις, φορολογικές απαλλαγές κ.α.), την δημιουργία ευνοϊκότερων ρυθμίσεων χρήσης Η/Ο και ανάπτυξης υποδομών φόρτισης. Τέλος τη δημιουργία θεσμικού πλαισίου χρηματοδότησης ερευνητικών έργων και προγραμμάτων [79].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

2.1.Εισαγωγή

Οι ειδικές απαιτήσεις της ηλεκτροκίνησης, καθώς και η ευρεία καθιέρωση των κινητήρων εσωτερικής καύσης, αποτελούσαν ανασταλτικούς παράγοντες στην εξέλιξη του ηλεκτρικού οχήματος. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, λόγω των κλιμακούμενων περιβαλλοντικών προβλημάτων που συνδέονται με τη χρήση ορυκτών καυσίμων, παρατηρείται μια αναζωπύρωση του ενδιαφέροντος προς την ηλεκτροκίνηση. Συγκεκριμένα, στα πλαίσια μιας γενικότερης προσπάθειας απανθρακοποίησης του τομέα των μεταφορών και ανεύρεσης εναλλακτικών πηγών ενέργειας, τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη λύση.

Η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων πέραν των περιβαλλοντικών προτερημάτων τους, μιας και θεωρούνται οχήματα χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών ρύπων, έχει σημαντικές επιδράσεις σε ενεργειακό, οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο. Ωστόσο, η μαζική τους διείσδυση στους δρόμους των σύγχρονων κοινωνιών επιφέρει ταυτόχρονα απαιτήσεις και προκλήσεις για την αξιοπιστία του δικτύου και την παραγωγή τάσης ποιοτικών προδιαγραφών. Βέβαια, η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας και η σταδιακή ανάπτυξη έξυπνων ενεργειακών δικτύων, συμβάλλουν καθοριστικά στη μεγαλύτερη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή, στην προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας, τη διασφάλιση πολύτιμων φυσικών πόρων και στην αποκέντρωση των μονάδων παραγωγής με τη χρήση διασπαρμένης παραγωγής.

2.2 Ιστορία των Ηλεκτρικών Οχημάτων

Στις μέρες μας η ηλεκτροκίνηση βρίσκεται στο επίκεντρο των συζητήσεων και των ενεργειακών στρατηγικών για ένα βιώσιμο μέλλον, ωστόσο η εμφάνιση και η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων έχουν την αφετηρία τους πολύ πίσω στο χρόνο, πριν από περίπου ενάμιση αιώνα.

Τα ηλεκτρικά οχήματα ήταν δημοφιλή και στο παρελθόν, καθώς από τη πρώτη στιγμή είχαν ορισμένα αδιαμφισβήτητα πλεονεκτήματα έναντι των προκατόχων τους ατμοκίνητων και των ανταγωνιστικών αργότερα βενζινοκίνητων οχημάτων. Πιο αναλυτικά, κατά τη λειτουργία τους δεν εξέπεμπαν βλαβερούς αέριους ρύπους. Επίσης κατασκευαστικά, η σχεδίαση τους ήταν πολύ απλή, καθώς αποτελούνταν από μικρό αριθμό μηχανικών μερών. Παράλληλα η λειτουργία τους ήταν πολύ εύκολη και σίγουρα τεχνικά προβλήματα που αντιμετώπιζαν ήταν λιγότερα. Ωστόσο το κυριότερο μειονέκτημα τους αποτέλεσε η αδυναμία της τεχνολογίας για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες ποσότητες, διασφαλίζοντας παράλληλα μικρό βάρος εξοπλισμού. Εν ολίγης, οι μπαταρίες ήταν και συνεχίζουν να είναι ο κυριότερος λόγος που τα ηλεκτρικά οχήματα δεν αποτέλεσαν την κυρίαρχη επιλογή.

Το βασικό πρόβλημα του ηλεκτρισμού έγκειται στο γεγονός τόσο η παραγωγή του, όσο και η αποθήκευση του, αποτελούν διαδικασίες με υψηλές απώλειες και κόστη.

Αντίθετα, η καύση παραγώγων πετρελαιοειδών ήταν πάντοτε ένα βήμα μπροστά, καθώς το μόνο που χρειαζόταν ήταν να κουβαλήσεις μαζί σου το «υλικό» που θα σου παρήγαγε την ενέργεια. Τα καύσιμα αυτά ήταν αρκετά αποδοτικά, υπήρχαν διαθέσιμα σε μεγάλες ποσότητες και γενικά η διαχείριση τους ήταν εύκολη. Ωστόσο οι κινητήρες εσωτερικής καύσης είχαν και συνεχίζουν ακόμα και σήμερα να έχουν ένα πολύ μεγάλο μειονέκτημα. Μολύνουν την ατμόσφαιρα με τους βλαβερούς αέριους ρύπους, οι οποίοι εκπέμπονται κατά τη λειτουργία τους. Τα αέρια αυτά εκτός από τις δυσμενείς επιπτώσεις που έχουν στην ανθρώπινη υγεία, προκαλούν παράλληλα και μια σειρά από καταστρεπτικά φαινόμενα για το περιβάλλον [80].

Τα προβλήματα αυτά αρχικά έγιναν αντιληπτά από τους επιστήμονες οι οποίοι πίεσαν τους πολιτικούς ηγέτες για δράση. Η αντίδραση της διεθνούς κοινότητας δεν ήταν άμεση, ωστόσο θεσπίστηκαν ορισμένες ενέργειες για τον περιορισμό των φαινομένων, με τη χρήση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου να αποτελεί μια εναλλακτική λύση για τη αντιμετώπιση του προβλήματος. Ωστόσο η διάδοση των ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων πέραν κάποιον τεχνικών και οικονομικών προβλημάτων που αντιμετώπιζε, περιορίστηκε σημαντικά και από άλλους παράγοντες. Συγκεκριμένα, έχουν υπάρξει βάσιμες ενδείξεις ότι οι μεγάλες πετρελαϊκές εταιρίες είχαν, κατά καιρούς, υπονομεύσει τις προσπάθειες παραγωγής αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων, λόγω του φόβου ενδεχόμενης απεξάρτησης από το πετρέλαιο, κάτι που φυσικά θα έθιγε τα συμφέροντά τους [81]

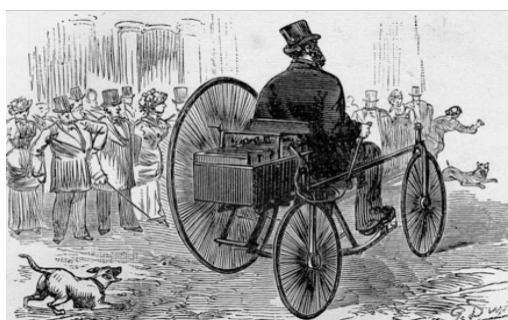
Με την πάροδο του χρόνου, η πρόοδος της επιστήμης και η τεχνολογική εξέλιξη, έφεραν στο φως εφευρέσεις που μπορούσαν να δώσουν λύση στα αιώνια προβλήματα των ηλεκτρικών οχημάτων. Παράλληλα η άμβλυνση των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων κατέστησε την ηλεκτροκίνηση ως επιτακτική ανάγκη για τη σωτηρία του πλανήτη.

2.2.1 Πρώιμη Περίοδος

Είναι δύσκολη η απόδοση της εφεύρεσης του ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε έναν εφευρέτη ή μία χώρα. Αντ' αυτού, μια σειρά από ανακαλύψεις και εξελίξεις στον τομέα της επιστήμης, ήταν αυτές που οδήγησαν σταδιακά στο πρώτο ηλεκτρικό όχημα. Πιο αναλυτικά, στις αρχές του 19^{ου} αιώνα, καινοτομες εφευρέσεις από την Ουγγαρία, τη Σκωτία, τις Κάτω Χώρες και τις Ηνωμένες Πολιτείες άρχισαν να εμφανίζονται. Συγκεκριμένα, το 1828, ο Ούγγρος Anyos Jedlik εφήυρε έναν πρώιμο τύπο ηλεκτρικού κινητήρα και δημιούργησε ένα μικρό μοντέλο αυτοκινήτου τροφοδοτούμενο από αυτόν. Μερικά χρόνια αργότερα, μεταξύ των ετών 1832 και του 1839, ο Σκωτσέζος Robert Anderson κατασκεύασε μια πρόχειρη ηλεκτροκίνητη άμαξα, που λειτουργούσε με μη-επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Επίσης, το 1834, ένας σιδηρουργός από το Βερμόντ των Ηνωμένων Πολιτειών, ο Thomas Davenport, δημιούργησε μια παρόμοια κατασκευή η οποία κινούταν πάνω σε μια μικρής διαδρομής, ηλεκτροδοτούμενη, κυκλική γραμμή. Ένα χρόνο αργότερα, το 1835, ο καθηγητής Sibrandus Stratingh του Γκρόνινγκεν, των Κάτω Χωρών και ο βοηθός του Christopher Becker από τη Γερμανία δημιούργησαν επίσης ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο μικρής κλίμακας, τροφοδοτούμενο και αυτό από μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Ωστόσο, παρά τις σημαντικές προσπάθειες που αναφέρθηκαν προτύτερα, ο πρώτος γνωστός ηλεκτρικός κινητήρας θεωρείται πως κατασκευάστηκε το 1837, στο Αμπερντίν της Σκωτίας από τον χημικό Robert Davidson [81] [82].

2.2.2 Τα Πρώτα Πρακτικά Ηλεκτρικά Οχήματα

Μόλις στο δεύτερο μισό του 19ου αιώνα οι Γάλλοι και Άγγλοι εφευρέτες ανέπτυξαν μερικά από τα πρώτα πρακτικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Σημαντικό γεγονός που συνέλαβε τα μέγιστα στην εξέλιξη αυτή αποτέλεσε η εφεύρεση της επαναφορτιζόμενης μπαταρίας μολύβδου-οξέος από τον Γάλλο φυσικό Gaston Planté, το 1859. Η δυνατότητα επαναφόρτισης, καθιστούσε τη μπαταρία αυτή ως ένα βιώσιμο μέσο για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας επι των οχημάτων. Η αντικατάσταση πλέον των συσσωρευτών μετά το πέρας της εκφόρτισης τους δεν ήταν πια αναγκαία, κάτι που επέφερε σημαντική μείωση στο κόστος λειτουργίας των ηλεκτρικών μέσων. Ωστόσο, για την ουσιαστική αξιοποίηση της τεχνολογίας χρειάστηκε να περάσουν 22 χρόνια. Στο σημείο αυτό, κομβικό ρόλο είχαν οι βελτιώσεις που πραγματοποιήθηκαν από τον Γάλλο επιστήμονα Camille Alphonse Faure, το 1881. Οι τροποποιήσεις του αύξησαν σημαντικά τη χωρητικότητα των μπαταριών κάτι που επέφερε και τη μετάβαση της παραγωγής τους στην βιομηχανική κλίμακα. Την ίδια χρονιά, ένας ακόμα Γάλλος εφευρέτης, ο Gustave Troune, βελτίωσε την αποδοτικότητα ενός μικρού ηλεκτρικού κινητήρα που αναπτύχθηκε από τη Siemens και χρησιμοποιώντας την πρόσφατα αναπτυχθείσα επαναφορτιζόμενη μπαταρία, τα τοποθέτησε σε ένα αγγλικό τρίκυκλο James Starley. Το όχημα του παρουσιάστηκε στην Διεθνή Έκθεση Ηλεκτρισμού στο Παρίσι, τον Νοέμβριο του 1881.



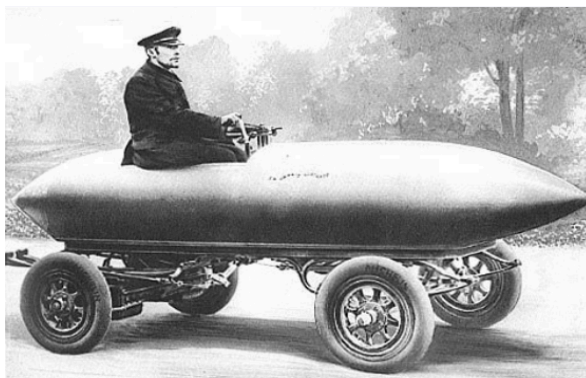
Εικόνα 2-1: Ο Gustave Troune με το ηλεκτροκίνητο του όχημα [82]

Στα χρόνια που ακολούθησαν, στην Ευρώπη κατασκευάστηκαν και άλλα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με κυριότερα εκείνα του Άγγλου εφευρέτη Thomas Parker (1984), του Γερμανού μηχανικού Andreas Flocken (1988). Στην άλλη πλευρά του Ατλαντικού, στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, ένα από τα πρώτα πρακτικά ηλεκτρικά οχήματα αναπτύχθηκε την περίοδο 1890 με 1891 από τον από τον William Morrison του Des Moines της Αϊόβα [81] [82]



Εικόνα 2-2 : Ο Thomas Parker με το ηλεκτρικό του όχημα [82]

Στο διάστημα αυτό, η πρόοδος στον τομέα των ηλεκτρικών οχημάτων είναι ραγδαία. Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών επιτρέπουν σημαντικές βελτιώσεις στη λειτουργία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Τρανή απόδειξη αποτελούν οι επιδόσεις του οχήματος La Jamais Contente του Βέλγου Camille Jenatzy. Σε δοκιμές που έγιναν στις 29 Απριλίου 1899, το ηλεκτροκίνητο όχημα με τον αεροδυναμικό σχεδιασμό σε μορφή τορπίλης, κατάφερε να ξεπεράσει το φράγμα των 100 km/h φτάνοντας την ταχύτητα των 105,88 km/h, αριθμός ρεκόρ για τα δεδομένα της εποχής. Ωστόσο, το όχημα του δεν είχε συνέχεια [81].



Εικόνα 2–3: Ο Camille Jenatzy με το ηλεκτρικό όχημα *Jamais Contente* [83]

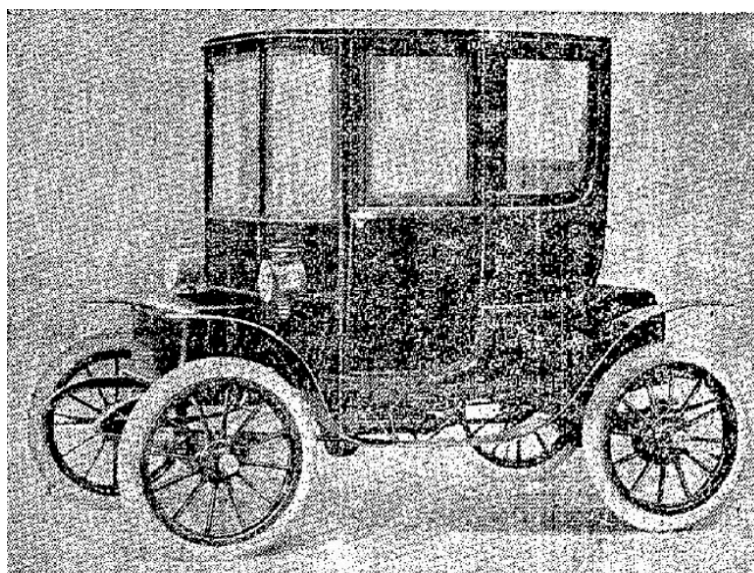
2.2.3 Περίοδος 1890-1920 : Η Ακμή

Στις Αρχές του 1900, τα ηλεκτρικά οχήματα πλεονεκτούσαν σε πολλά σημεία έναντι των ανταγωνιστικών βενζινοκίνητων και ατμοκίνητων οχημάτων. Συγκεκριμένα, δεν απαιτούσαν χειροκίνητη διαδικασία εκκίνησης, σε αντίθεση με τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα στα οποία η εκκίνηση του κινητήρα πραγματοποιούνταν μέσω της χρήσης μανιβέλας χειρός. Παράλληλα, στον τομέα αυτό υπερτερούσαν και έναντι των ατμοκίνητων οχημάτων τα οποία υπέφεραν από μεγάλους χρόνους εκκίνησης, καθώς για την προθέρμανση τους, στις περιπτώσεις που οι θερμοκρασίες ήταν πολύ χαμηλές χρειάζονταν έως και 45 λεπτά. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της οδήγησης των ηλεκτρικών οχημάτων δεν απαιτούνταν η αλλαγή ταχυτήτων, ενώ παράλληλα η λειτουργία τους χαρακτηρίζονταν από λιγότερες δονήσεις και θορύβους.

Η ευρεία αποδοχή των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην κοινωνία παρεμποδίστηκε σε αρχικό στάδιο λόγω της έλλειψης στοιχειωδών ηλεκτρικών υποδομών. Ωστόσο μέχρι το 1912, πολλές κατοικίες και κτήρια συνδέθηκαν με το υφιστάμενο ηλεκτρικό δίκτυο, επιτρέποντας έτσι την αύξηση της δημοτικότητας των οχημάτων αυτών. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής μέχρι τα τέλη του 19^{ου} αιώνα, ο αριθμός των ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων ανερχόταν στο 38%, ποσοστό υψηλότερο από το εκείνο των βενζινοκίνητων το οποίο έφτανε το 22% και ελάχιστα μικρότερο από τα δημοφιλέστερα τότε ατμοκίνητα, το μερίδιο των οποίων ήταν στο 40%. Μερικά χρόνια αργότερα, στις αρχές της δεκαετίας του 1910, οι πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων κορυφώθηκαν. Συγκεκριμένα το 1912 τα ηλεκτρικά οχήματα που κυκλοφορούν στους δρόμους των Ηνωμένων πολιτειών Αμερικής έφτασαν τα 33.842, καθιστώντας τις ΗΠΑ ως τη χώρα όπου η ηλεκτροκίνηση είχε κερδίσει τη μεγαλύτερη αποδοχή.

Τα περισσότερα ηλεκτρικά οχήματα της εποχής απευθύνονταν σε πελάτες υψηλών κοινωνικών τάξεων. Ο σχεδιασμός τους ήταν ογκώδης και μεγαλοπρεπής. Στο εσωτερικό τους, διέθεταν πολυτελείς χώρους κατασκευασμένους από ποιοτικά και ακριβά υλικά [82].

Στις Η.Π.Α. το Baker Electric αποδείχτηκε ιδιαίτερα αγαπητό σε οδηγούς του γυναικείου φύλου, λόγω της εύκολης λειτουργίας τους, αλλά και του προσεγμένου σχεδιασμού τους. Μάλιστα, αγοράστηκε από την εταιρεία του Thomas Edison, ο οποίος πίστευε πολύ στην ηλεκτροκίνηση και στο διάστημα αυτό είχε αναπτύξει ένα νέο τύπο μπαταρίας. Ο Edison σχεδίασε τις μπαταρίες νικελίου-σιδήρου (Ni-Fe) και τις χρησιμοποίησε σε ορισμένα ηλεκτρικά οχήματα της Baker. Το 1910 ήταν ο μεγαλύτερος κατασκευαστής ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων, όμως μόλις πέντε χρόνια αργότερα η παραγωγή έλαβε τέλος, γιατί κανείς πλέον δεν πίστευε στον ηλεκτρισμό [80] [84].



Εικόνα 2-4: Το ηλεκτρικό όχημα Baker Electric [84]

2.2.4 Περίοδος 1920-1960 : Η Παρακμή

Έπειτα από μια περίοδο ακμής για τα ηλεκτρικά οχήματα που σημειώθηκε στις αρχές του 20ού αιώνα, το ηλεκτρικό αυτοκίνητο άρχισε να χάνει τη θέση του στην αγορά. Συγκεκριμένα, από τη δεκαετία του 1920 και μετά, παρατηρήθηκε μια σταδιακή μεταστροφή προς τη χρήση βενζινοκίνητων οχημάτων.

Στις βασικότερες εξελίξεις που συνέβαλαν στην κατάσταση αυτή αποτελούν :

- Η ανάπτυξη και αναβάθμιση σε υποδομές των οδικών δικτύων βελτίωσε τους χρόνους ταξιδιού, δημιουργώντας την ανάγκη για οχήματα αυξημένης αυτονομίας, τα οποία θα επέτρεπαν μετακινήσεις μεγαλύτερης εμβελείας συγκριτικά με εκείνη που μπορούσαν να προσφέρουν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα της εποχής.

- Οι παγκόσμιας εμβέλειας ανακαλύψεις κοιτασμάτων πετρελαίου και μάλιστα μεγάλων αποθεμάτων, οδήγησαν στην ευρεία διαθεσιμότητα της βενζίνης, μειώνοντας σημαντικά το κόστος των καυσίμων για τη λειτουργία των βενζινοκίνητων οχημάτων.
- Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα περιορίστηκαν στην αστική χρήση, μιας και τα υπεραστικά δρομολόγια κρίθηκαν απαγορευτικά, λόγω της αργής ταχύτητάς τους (όχι περισσότερο από 24–32 km / h ή 15–20 mph), αλλά και των χαμηλών επιπέδων αυτονομίας τους (50–65 km ή 30–40 μίλια). Από την άλλη πλευρά, τα βενζινοκίνητα οχήματα μπορούσαν να κινούνται γρηγορότερα και να καλύπτουν μεγαλύτερες αποστάσεις.
- Η εφεύρεση του ηλεκτρικού εκκινήτη από τον Charles Kettering το 1912, διευκόλυνε καθοριστικά τη διαδικασία εκκίνησης των βενζινοκίνητων οχημάτων, εξαλείφοντας την ανάγκη χρήσης χειροκίνητης μανιβέλας εκκίνησης.
- Η έναρξη μαζικής παραγωγής βενζινοκίνητων οχημάτων από τον Henry Ford συνέβαλε σημαντικά στη μείωση των τιμών τους. Αντίθετα, η αξία των αντίστοιχων μοντέλων ηλεκτρικών αυτοκινήτων διατήρησε ανοδική πορεία.

Οι περισσότεροι κατασκευαστές ηλεκτρικών αυτοκινήτων σταμάτησαν την παραγωγή σε κάποιο σημείο τη δεκαετία του 1910, ενώ μέχρι τη δεκαετία του 1920, η ακμή των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είχε περάσει. Μια δεκαετία αργότερα, η βιομηχανία ηλεκτρικών οχημάτων είχε ουσιαστικά εξαφανιστεί. Χρόνια πέρασαν χωρίς κάποια σημαντική αναβίωση στη χρήση ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Αντιθέτως η έρευνα και η ανάπτυξη των αυτοκινητοβιομηχανιών στην τεχνολογία κινητήρων εσωτερικής καύσης προχώρησε με ταχύ ρυθμό.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1950, η Henney Coachworks και η National Union Electric Company, προχώρησαν στην παραγωγή ενός νέου ηλεκτρικού αυτοκινήτου, του Henney Kilowatt, με βάση τη γαλλική Renault Dauphine. Το αυτοκίνητο σχεδιάστηκε σε εκδόσεις των 36 και 72 βολτ. Τα μοντέλα των 72 volt είχαν τελική ταχύτητα που έφτανε τα 96 km / h (60 mph) και ήταν σε θέση να λειτουργήσουν για περίπου μία ώρα με μία μόνο φόρτιση. Ωστόσο παρά τις βελτιωμένες αποδόσεις του Kilowatt σε σχέση με τα προγενέστερα ηλεκτρικά οχήματα, η εμπορικότητα του κινήθηκε σε χαμηλά επίπεδα, λόγω της υψηλότερης τιμής του, συγκριτικά με τα αντίστοιχα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα της εποχής. Η παραγωγή του έληξε το 1961 [82].

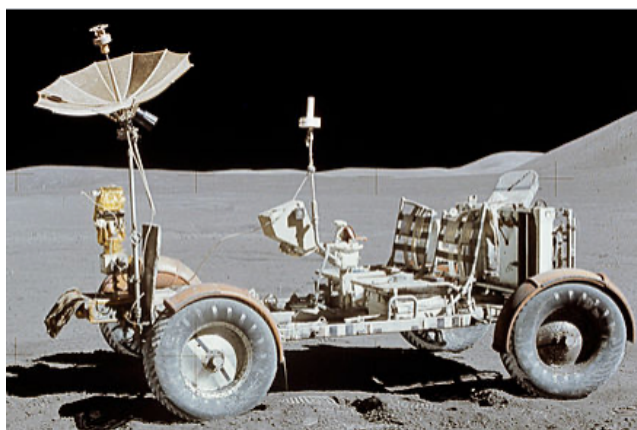


Εικόνα 2-5: Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο Henney Kilowatt [82]

2.2.5 Περίοδος 1960–2000 : Αναβίωση Ενδιαφέροντος

Για πολλές δεκαετίες, η κατάσταση στον τομέα της ηλεκτροκίνησης ήταν ζοφερή, με το ενδιαφέρον για την παραγωγή και τη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων να είναι μηδαμινό. Ωστόσο, μια νέα εποχή ξεκίνησε, όταν στις αρχές της δεκαετίας του 1960, ένα πέπλο αιθαλομίχλης κάλυψε τον ουρανό της Καλιφόρνιας. Τότε το ηλεκτρικό αυτοκίνητο αναδείχτηκε και πάλι σαν η μόνη εναλλακτική λύση, με πολλές εταιρίες να στρέφουν ξανά το βλέμμα τους προς την ανάπτυξη νέων μοντέλων ηλεκτρικών οχημάτων. Η General Motors φόρτωσε με μπαταρίες το Corvair, αλλά χωρίς κανένα εμπορικό μέλλον. Η National Union Electric Company έκανε το ίδιο με ένα Renault Dauphine ως Heney Kilowatt, αλλά με τα ίδια αποτελέσματα, αφού τελικά μόλις 47 αντίτυπα κατασκευάστηκαν. Καλύτερη τύχη είχε το CityCar που κατασκευάστηκε από την Sebring και που έβαλε στο δρόμο 2.300 μονάδες από αυτά τα μάλλον αστεία αυτοκινητάκια πόλης [80]

Παρόλα αυτά, ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης η συμβολή των ηλεκτρικών οχημάτων που χρησιμοποιήθηκαν σε διαστημικές αποστολές. Συγκεκριμένα, στις 31 Ιουλίου 1971, κατά τη διάρκεια της αποστολής Apollo 15, ένα ηλεκτρικό όχημα, το Lunar Roving Vehicle (LRV), έγινε το πρώτο επανδρωμένο όχημα που πάτησε στη Σελήνη. Το επονομαζόμενο "Lunar rover" ή "Moon buggy" κατασκευάστηκε από τη Boeing και τη General Motors. Αποτελούσε ένα τετρακίνητο rover, που για την πρόωση του χρησιμοποιούσε ένα κινητήρα DC με δυνατότητα τροφοδοσίας 0,25 ίππους (190 W) στις 10.000 σ.α.λ, τροφοδοτούμενο από ένα ζευγάρι μη επαναφορτιζόμενων μπαταριών υδροξειδίου του καλίου και ασβεστίου-ψευδαργύρου των 36 volt, με χωρητικότητα φόρτισης 121 Ah η καθεμία (συνολικά 242 Ah). Ο μηχανισμός του επέτρεπε λειτουργία σε εμβέλεια (92 km ή 57 miles) και είχε τη δυνατότητα ανάπτυξης τελικής ταχύτητας (13 km / h ή 8 mph). Εκτός από την αποστολή Apollo 15, το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε σε ακόμα δύο αποστολές του προγράμματος Apollo, 16 και 17 κατά τη διάρκεια του 1972. Τα τρία αυτά LRV παραμένουν ακόμα και σήμερα στην επιφάνεια της Σελήνης [82] [85].



Εικόνα 2-6: ο αμερικανικό Lunar Roving Vehicle κατά την αποστολή Απόλλων 15 στη Σελήνη το 1971 [85]

Οι ενεργειακές κρίσεις της δεκαετίας του 1970 και του 1980 αναζωπύρωσαν το ενδιαφέρον για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, τα οποία δεν επηρεάζονταν από τις διακυμάνσεις της αγοράς ενέργειας υδρογονανθράκων [91]. Παράλληλα, φαινόμενα ατμοσφαιρικής ρύπανσης άρχισαν να γίνονται αντιληπτά από τους επιστήμονες, η

σοβαρότητα των οποίων, οδήγησε στην αναζήτηση βιώσιμων ενεργειακών πρακτικών και στην ανάπτυξη μιας διεθνούς περιβαλλοντικής πολιτικής. Φυσικά, ο τομέας των μεταφορών και δη της αυτοκινητοβιομηχανίας δε θα μπορούσε να απέχει από αυτή την προσπάθεια. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ως οχήματα φιλικότερα προς το περιβάλλον σε σχέση με τα συμβατικά, αποτέλεσαν μια εναλλακτική λύση για την επίτευξη βιωσιμότητας στον τομέα των μεταφορών. Ορισμένες εταιρείες ανέλαβαν την κατασκευή τους, με τις πωλήσεις τους ωστόσο να κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα, λόγω του υψηλού κόστους και του περιορισμένου φάσματος. Τα περισσότερα από αυτά τα οχήματα πωλήθηκαν σε κυβερνητικές υπηρεσίες και εταιρείες ηλεκτρικού ρεύματος.

Το πέρασμα του νόμου για την έρευνα, την ανάπτυξη ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων του 1976 στις ΗΠΑ άνοιξε ένα δρόμο προς την ηλεκτροκίνηση, μέσα από την παροχή κυβερνητικών κινήτρων για την ανάπτυξη ηλεκτρικών οχημάτων. Στο Διάστημα αυτό πολλοί κατασκευαστές αυτοκινήτων ξεκίνησαν διαδικασίες ανάπτυξης και σχεδιασμού νέων μοντέλων. Η Electric Fuel Propulsion Corporation παρήγαγε το Electrosport (ένα μετατρεπόμενο AMC Hornet), το Mars I (ένα Renault Dauphine που μετατράπηκε) και το Mars II (από το Renault R-10). Η Jet Industries κυκλοφόρησε τα Electra-Van 600 (μετετραμμένα Subaru Sambar 600), το Electra-Van 750 (μετατρεπόμενα φορτηγά Mazda B2000 και Ford Courier), το Electrica (από τα Ford Escort και Mercury Lynx) και το Electrica 007 (από τα Dodge Αυτοκίνητα Omni 024 και Plymouth Horizon TC3). Η U.S. Electricar Corp, πούλησε το Lectric Leopard (ένα Renault 5). Άλλες εταιρίες αποτελούν η Electric Vehicle Associates με το Current Fare (ένα μετατρεπόμενο Ford Fairmont) και το Change of Pace (από το AMC Pacer) [82].

Στις αρχές του 1990, οργανισμός California Air Resources Board (CARB) ξεκίνησε μια προσπάθεια για την προώθηση της χρήσης αποδοτικότερων καύσιμων και οχημάτων χαμηλότερων εκπομπών, με απώτερο σκοπό τη σταδιακή μετάβαση σε οχήματα μηδενικών ρύπων. Η νέα νομοθεσία που πέρασε στην ιστορία ως η California Clean Air Act Amendment, απαιτούσε το 2% όλων των αυτοκινήτων που θα πουλιόνταν στη πολιτεία της Καλιφόρνια να έχουν μηδενικές εκπομπές έως το 1998, με το ποσοστό να αυξάνεται στο 5% έως το 2001 και στο 10% έως το 2003, σύμφωνα πάντα και με τη ζήτηση των καταναλωτών. Στην κατεύθυνση αυτή, οι εταιρίες ανέπτυξαν ηλεκτρικά μοντέλα συμπεριλαμβανομένων των Chrysler TEVan, Ford Ranger EV pickup truck, GM EV1, S10 EV pickup, Honda EV Plus hatchback, Nissan Altra EV miniwagon, και Toyota RAV4 EV[81] [82] [86].

Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στο EV1 της General Motors του 1996 το οποίο αποτέλεσε ένα από τα σημαντικότερα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα της εποχής. Το όχημα ήταν εφοδιασμένο με όλη την τεχνολογία που απαιτούνταν για ένα τέτοιο εγχείρημα. Σχεδιασμένο με αεροδυναμικό συντελεστή μόλις 0,19, κατασκευασμένο από αλουμινένιο πλαίσιο και μέρη από σύνθετα υλικά, εφοδιασμένο με ζάντες μαγνησίου, το EV1 αποτέλεσε ένα εξαιρετικό δείγμα σύγχρονου ηλεκτρικού αυτοκινήτου, έτοιμου να ανταγωνιστεί τα βενζινοκίνητα της εποχής. Παράλληλα η εξωτερική του φουτουριστική εμφάνιση το έκανε να φαντάζει ως αυτοκίνητο του μέλλοντος. Ωστόσο παρά το κόστος αγοράς του 33.995 δολαρίων, το EV1 είχε ένα βασικό πρόβλημα, το κόστος παραγωγής του ήταν εξαιρετικά υψηλό. Τελικά, στα τέλη του 2003, το πρόγραμμα του EV1 ακυρώθηκε επίσημα από την εταιρία, με τον ισχυρισμό ότι δεν μπορούσε να πουλήσει αρκετά αντίτυπα ώστε να υπάρξει κερδοφορία. Η GM άρχισε

την μαζική ανάκληση των αυτοκινήτων, παρά τις οξύτερες αντιδράσεις από το κοινό και από πολλές οικολογικές οργανώσεις, με πολλούς να πιστεύουν πως οι εξελίξεις αυτές ήταν αποτελέσματα των πιέσεων από τις μεγάλες πετρελαϊκές εταιρείες [87].



Εικόνα 2-7: Το ηλεκτρικό General Motors EV1 [82]

2.2.6 Περίοδος 2000-2020 : Οι Τελευταίες Δεκαετίες

Μια ακόμα σημαντική τεχνολογία που επέτρεψε την ανάπτυξη των σύγχρονων ηλεκτρικών οχημάτων αποτελούν οι μπαταρίες ιόντων λιθίου. Αν και είχαν εφευρεθεί από τη δεκαετία του 1980 από τους John Goodenough, Rachid Yazami και Akira Yoshino, εμπορευματοποιήθηκαν από τη Sony και την Asahi Kasei αρκετά χρόνια αργότερα, το 1991. Μέσα στα επόμενα χρόνια, η τεχνολογία των μπαταριών ιόντων λιθίου αναπτύχθηκε αρκετά και χρησιμοποιήθηκε ευρέως σε πολλούς κλάδους της βιομηχανίας. Στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας, η χρήση τους συνέβαλλε καθορίστηκα στην ανάπτυξη ηλεκτρικών οχημάτων ικανών για ταξίδια μεγάλων αποστάσεων.

Στην πρώτη δεκαετία του 2000, ιδιαίτερη αναφορά γίνεται για μια κατασκευαστική εταιρία ηλεκτρικών αυτοκινήτων της Καλιφόρνια, την Tesla Motors, η οποία άλλαξε ριζικά τα δεδομένα στον τομέα της ηλεκτροκίνησης. Η Tesla ξεκίνησε την ανάπτυξη ενός μοντέλου της, του Tesla Roadster, το 2004. Το όχημα κυκλοφόρησε στην αγορά το 2008, έπειτα από μια τετραετία ανάπτυξης και δοκιμών. Η σημαντικότητα του Roadster έγκειται στο γεγονός πως αποτέλεσε το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο μαζικής παραγωγής που χρησιμοποίησε συστοιχίες μπαταριών ιόντων λιθίου, ενώ παράλληλα ήταν και το πρώτο ηλεκτρικό όχημα που ταξίδεψε πάνω από 320 km (200 miles) με μια μόνο φόρτιση. Τέλος, περίπου 2.450 Roadsters πωλήθηκαν σε περισσότερες από 30 χώρες έως τον Δεκέμβριο του 2012, σηματοδοτώντας μια νέα εποχή στην ηλεκτροκίνηση.



Εικόνα 2-8: Το ηλεκτρικό Tesla Roadster [88]

Ένα άλλο μοντέλο ηλεκτρικού αυτοκινήτου, το Mitsubishi i-MiEV κυκλοφόρησε στην Ιαπωνική αγορά το 2009. Το i-MiEV εμφανίστηκε στην Ευρώπη τον Δεκέμβριο του 2010, σε ανανεωμένες έκδοσης ως Peugeot iOn και Citroën C-Zero. Η εμπορικότητα του μοντέλου ήταν αρκετά μεγάλη, σημειώνοντας υψηλές πωλήσεις για τα δεδομένα της ηλεκτροκίνησης. Τον Φεβρουάριο του 2011, το Mitsubishi i MiEV έγινε το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο που πούλησε περισσότερες από 10.000 μονάδες, ενώ μέχρι τον Δεκέμβριο του 2012, πωλήθηκαν ή εξάχθηκαν περίπου στις 27.200 κομμάτια παγκοσμίως [82].



Εικόνα 2-9: Το ηλεκτρικό Mitsubishi i-MiEV [82]

Το Nissan Leaf, που, αποτέλεσε το πρώτο σύγχρονο αμιγώς ηλεκτρικό, πεντάθυρο οικογενειακό αυτοκίνητο, μαζικής παραγωγής, με μηδενικές εκπομπές αέριων ρύπων, που κατασκευάστηκε από μια σημαντική εταιρία του κλάδου της αυτοκινητοβιομηχανίας. Το μοντέλο εισήχθη στην Ιαπωνία και τις Ηνωμένες Πολιτείες τον Δεκέμβριο του 2010, ενώ από τον Ιανουάριο του 2013, έγινε διαθέσιμο στην Αυστραλία, τον Καναδά και σε 17 ευρωπαϊκές χώρες. Οι παγκόσμιες πωλήσεις του μέχρι τον Φεβρουάριο του 2013 έφθασαν τα 50.000 μονάδες, ξεπερνώντας τις αντίστοιχες πωλήσεις του i MiEV και καθιστώντας το Nissan Leaf ως το ηλεκτρικό αυτοκίνητο με τις καλύτερες πωλήσεις όλων των εποχών.



Εικόνα 2-10: Το αμιγώς ηλεκτρικό Nissan Leaf [82]

Το Renault Fluence Z.E. ήταν το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο μαζικής παραγωγής με δυνατότητα εναλλαγής μπαταρίας και πωλήθηκε για το δίκτυο Better Place στο Ισραήλ και τη Δανία. Το δίκτυο αυτό αποτέλεσε την πρώτη σύγχρονη εμπορική ανάπτυξη του μοντέλου ανταλλαγής μπαταριών. Για την ανταλλαγή των μπαταριών απαιτούνταν χρονικό διάστημα πέντε λεπτών. Από τον Δεκέμβριο του 2012, στη Δανία υπήρχαν 17 πλήρως λειτουργικοί σταθμοί του τύπου αυτού, διαθέσιμοι για τους κατόχους ηλεκτρικών οχημάτων. Οι υποδομές αυτές επέτρεπαν στους οδηγούς επαρκή εμβέλεια οδήγησης και δυνατότητα μετακίνησης σε ολόκληρη τη χώρα, απαλλαγμένη από ζητήματα περιορισμένης αυτονομίας. Ωστόσο, η λειτουργία του εγχειρήματος δεν καρποφόρησε. Σε σύντομο χρονικό διάστημα η εταιρεία άρχισε να αντιμετωπίζει οικονομικές δυσκολίες, λόγω του υψηλού κόστους ανάπτυξης των υποδομών χρέωσης και ανταλλαγής. Το Μάιο του 2013, υπεβλήθη αίτηση για την πτώχευσης της.



Εικόνα 2-11: Το ηλεκτρικό Renault Fluence Z.E [89]

Στα επόμενα χρόνια η παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων ενισχύθηκε, με πολλούς κατασκευαστές να σχεδιάζουν και να κυκλοφορούν τα δικά τους μοντέλα. Στα κυριότερα εξ αυτών κατατάσσεται το Model S, που κυκλοφόρησε στις ΗΠΑ τον Ιούνιο του 2012, από την Tesla. Το όχημα κατατάχθηκε ως το κορυφαίο σε πωλήσεις plug-in ηλεκτρικό αυτοκίνητο στη Βόρεια Αμερική κατά το πρώτο τρίμηνο του 2013, με τον αριθμό των πωλήσεων να φτάνει τις 4.900. Έως το Σεπτέμβριο του 2013, οι παγκόσμιες πωλήσεις του ανήλθαν στις 18.200 μονάδες, ενώ περισσότερα από 1.000 αυτοκίνητα να παραδόθηκαν στις Ευρωπαϊκές αγορές και ιδιαίτερα στη Νορβηγική. Τον Δεκέμβριο του 2013, οι πωλήσεις του διεθνώς έφτασαν τα 25.000 αντίτυπα. Η επιτυχία του Model S ήταν τέτοια που έφτασε στο σημείο να αναγνωρισθεί διεθνώς ως το Παγκόσμιο Πράσινο Αυτοκίνητο της Χρονιάς για το 2013 [82] [90].



Εικόνα 2-12: Το ηλεκτρικό Tesla Model S [90]

Άλλα μοντέλα που κυκλοφόρησαν στην αγορά το 2012 και το 2013 συμπεριλαμβανομένων των BMW ActiveE, Coda, Honda Fit EV, Toyota RAV4 EV, Renault Zoe, Roewe E50, Mahindra e2o, Chevrolet Spark EV, Mercedes-Benz SLS AMG Electric Drive, Fiat 500e, Volkswagen e-Up, BMW i3 και Kandi EV.

Το 2014, τα εμπορικότερα ηλεκτρικά αυτοκίνητα που σημείωσαν τις μεγαλύτερες πωλήσεις παγκοσμίως ήταν τα Nissan Leaf με 61.507, τα Tesla Model S με 31.655, BMW i3 με 16.052 και το Renault Zoe με 11.323 πωλήσεις. Άλλα μοντέλα που κυκλοφόρησαν εκείνη τη χρονιά αποτέλεσαν τα BMW Brilliance Zinoro 1E, Chery eQ, Geely-Kandi Panda EV, Zotye Zhidou E20, Kia Soul EV, Volkswagen e-Golf, Mercedes-Benz B-Class Electric Drive και Venucia e30.

Μέχρι το Μάιο του 2015, οι παγκόσμιες πωλήσεις ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων και ελαφρών οχημάτων ξεπέρασαν τις 500.000. Από αυτές, η Nissan αντιπροσώπευε περίπου το 35%, η Tesla Motors το 15% και η Mitsubishi το 10%.

Μέχρι το τέλος του χρόνου, το Nissan Leaf ήταν το όχημα που συγκέντρωνε τις περισσότερες πωλήσεις παγκοσμίως με περισσότερες από 200.000 μονάδες να πωλούνται, το Leaf έγινε το κορυφαίο σε πωλήσεις ηλεκτρικό αυτοκίνητο στον κόσμο. Πίσω του ακολουθούσε το Tesla Model S, με παγκόσμιες παραδόσεις άνω των 100.000 μονάδων. Τη χρονιά αυτή, τα περισσότερα μοντέλα που κυκλοφόρησαν στις παγκόσμιες αγορές ήταν υβριδικά plug-in. Η μόνη νέα σειρά παραγωγής ηλεκτρικών αυτοκινήτων που κυκλοφόρησε ήταν τα BYD e5 και το Tesla Model X, μαζί με ορισμένες παραλλαγές της σειράς Tesla Model S.

Την επόμενη χρονιά, ένα ακόμα σημαντικό μοντέλο ηλεκτρικού αυτοκινήτου θα κάνει την εμφάνισή του, ο λόγος για το Tesla Model 3, που παρουσιάστηκε στις 31 Μαρτίου 2016. Παράλληλα, τον Ιούλιο του ίδιου έτους κυκλοφόρησε στη Νότια Κορέα Το Hyundai Ioniq Electric. Σημαντική χρονιά ήταν επίσης και για τη συμμαχία Renault-Nissan, η οποία μέχρι τον Αύγουστο του 2016 κατάφερε να πετύχει το πώλησης της τάξεως των 350.000 ηλεκτρικών οχημάτων σημειώνοντας παράλληλα το βιομηχανικό ρεκόρ των πωλήσεων 100.000 μονάδων στα πλαίσια ενός έτους. Τέλος, σε παγκόσμιο επίπεδο, έως το Σεπτέμβριο του 2016, οι συνολικές πωλήσεις καθαρών ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων και ελαφρών φορτηγών είχαν υπερβεί το 1 εκατομμύριο.

Στο σημείο αυτό, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση της Νορβηγίας, η οποία τον Δεκέμβριο του 2016, έγινε η πρώτη χώρα όπου το 5% όλων των ταξινομημένων επιβατικών αυτοκινήτων ήταν ηλεκτρικό. Το έτος αυτό, η σκανδιναβική χώρα πέτυχε ένα συνδυασμένο μερίδιο αγοράς της τάξεως του 40,2% των πωλήσεων νέων επιβατικών αυτοκινήτων, αποτελούμενο από 15,7% αμιγώς ηλεκτρικών αυτοκινήτων, 13,4% plug-in υβριδικών και 11,2% συμβατικών υβριδικών. Με την έναρξη του νέου έτους, τον Ιανουάριο του 2017, το συνδυασμένο μερίδιο αγοράς του μήνα έφτασε το 51,4 % ξεπερνώντας για πρώτη φορά τις συνδυασμένες πωλήσεις συμβατικών αυτοκινήτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης.

Το Σεπτέμβριο του 2018, το νορβηγικό συνδυασμένο μερίδιο αγοράς όλων των νέων ταξινομήσεων ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων του μήνα έφτασε το 60,2%, αποτελούμενο από το 45,3% όλων των αμιγώς ηλεκτρικών αυτοκινήτων και το 14,9% των υβριδικών plug-in. Το γεγονός αυτό, κατέστησε τη Νορβηγία ως τη χώρα με το υψηλότερο στον κόσμο μηνιαίο μερίδιο αγοράς ηλεκτρικών επιβατικών οχημάτων παγκοσμίως. Επίσης, ένα ακόμα ρεκόρ ήρθε τον Οκτώβριο του 2018, όταν η Νορβηγία έγινε η πρώτη χώρα όπου 1 στα 10 εγγεγραμμένα επιβατικά αυτοκίνητα ήταν ηλεκτρικά. Τέλος, η χώρα έκλεισε το 2018 με μερίδιο αγοράς plug-in οχημάτων στο 49,1%, και το αντίστοιχο για τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα στο 31,2%.

Τα αποτελέσματα αυτά, μόνο τυχαία δεν θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν, μιας και αποτελούν προϊόντα συντονισμένων ενεργειών και μακροπρόθεσμων στρατηγικών για την ανάπτυξη κινητικότητας χαμηλών εκπομπών. Επι σειρά ετών, τα ηλεκτρικά οχήματα της νορβηγικής αγοράς έχουν λάβει αρκετά υψηλά ποσοστά επιδοτήσεων έως και 50% ενώ ταυτόχρονα έχουν οι κάτοχοι τους απολαμβάνουν μια σειρά από διάφορα προνόμια, όπως για παράδειγμα τη χρήση λωρίδων λεωφορείων ή την παροχή δωρεάν στάθμευσης σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους.



Εικόνα 2–13: Δωρεάν χώρος στάθμευσης για ηλεκτρικά αυτοκίνητα στο Όσλο της Νορβηγίας [82]

Σε παγκόσμιο επίπεδο, τον Δεκέμβριο του 2018, το απόθεμα ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων έφτασε τα 5,1 εκατομμύρια μονάδες, αποτελούμενο από 3,3 εκατομμύρια αμιγώς ηλεκτρικά αυτοκίνητα (65%) και 1,8 εκατομμύρια υβριδικά αυτοκίνητα (35%). Ωστόσο παρά την ταχεία ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης, η κατηγορία των plug-in ηλεκτρικών αυτοκινήτων αντιπροσώπευε μόλις το 1 στα 250 αυτοκίνητα που κυκλοφορούσαν στους δρόμους του κόσμου.

Μέχρι το 2019, το Nissan Leaf ήταν το εμπορικότερο ηλεκτρικό αυτοκίνητο στον κόσμο, με παγκόσμιες πωλήσεις 450.000 μονάδων. Κάτι που ωστόσο στις αρχές του 2020 άλλαξε, με το Tesla Model 3 να γίνεται το ηλεκτρικό αυτοκίνητο με τις μεγαλύτερες πωλήσεις στον κόσμο, με περισσότερα από 500.000 μοντέλα να έχουν πωληθεί μέχρι τον Μάρτιο του 2020. Παράλληλα στο διάστημα αυτό, η Tesla έγινε ο πρώτος κατασκευαστής στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας που παρήγαγε 1 εκατομμύριο ηλεκτρικά αυτοκίνητα.



Εικόνα 2–14: Το ηλεκτρικό Tesla Model 3 [90]

Έως το τέλος του 2020, οι συνδυασμένες πωλήσεις όλων των ηλεκτρικών επιβατικών και ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων από το 2010 έφτασαν το τις 10 εκατομμύρια μονάδες [82]. Ωστόσο πέρα από τους αριθμούς και τις πωλήσεις, τη μεγαλύτερη σημασία έγκειται στο γεγονός πως στις μέρες μας, κάθε κατασκευαστής που θέλει να συμβαδίσει με την εξέλιξη, σχεδιάζει και αναπτύσσει τη δική του ηλεκτρική πρόταση [80].

2.3 Κατηγορίες Ηλεκτρικών Οχημάτων

Τα ηλεκτρικά οχήματα που χρησιμοποιούνται για τις χερσαίες μεταφορές (οδικές), παρουσιάζουν ορισμένες διαφοροποιήσεις, οι οποίες εντοπίζονται κυρίως στις μεθόδους τροφοδοσίας τους, στη χρησιμοποιούμενη πηγή ενέργειας τους, στα δομικά τους μέρη, στις εφαρμοζόμενες τεχνολογίες και στις αρχές λειτουργίας τους. Παρόλα αυτά, ένα χαρακτηριστικό το οποίο παραμένει κοινό για όλους τις κατηγορίες ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί η ύπαρξη τουλάχιστον ενός ηλεκτρικού κινητήρα ο οποίος συμμετέχει στη διαδικασία της πρόωσης τους.

Κατά την αρχική ταξινόμηση των ηλεκτρικών οχημάτων, προκύπτουν δύο βασικές κατηγορίες :

- Τα ηλεκτρικά οχήματα των οποίων η τροφοδοσία τους με ηλεκτρικό ρεύμα γίνεται μέσω μόνιμης σύνδεσης εξωτερικών συστημάτων παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (ηλεκτρικό δίκτυο), ακόμα και κατά τα διαστήματα της κίνησης τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα οχήματα του ηλεκτρικού σιδηροδρόμου, τα τραμ και τα τρόλεϊ.
- Τα ηλεκτρικά οχήματα των οποίων η ηλεκτρική τροφοδοσία παρέχεται αυτόνομα μέσω της χρήσης συστημάτων που βρίσκονται εντός του οχήματος (συστοιχία συσσωρευτών). Στην κατηγορία αυτή ενσωματώνονται διάφοροι τύποι ποδηλάτων, οι μοτοσυκλετών, τα αυτοκινήτων, βαρέων οχημάτων κ.α. [91]

Τα οχήματα της δεύτερης κατηγορίας, τα οποία μπορούν να έχουν ορισμένα επίπεδα αυτονομίας, χωρίς να είναι απαραίτητη η μόνιμη σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο τροφοδοσίας, ταξινομούνται σε 6 βασικές κατηγορίες :

- Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (Hybrid Electric Vehicles, HVEs)
- Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (Plug-In Hybrid Electric Vehicles, PHVEs)
- Ηλεκτρικά οχήματα με Συσσωρευτές και Ηλεκτροπαραγωγική Μονάδα (Extended Range Electric Vehicles, E-REVs)
- Ηλεκτρικά Οχήματα Μπαταρίας (Battery Electric Vehicle, BEVs)
- Ηλεκτρικά Οχήματα Κυψελών Καυσίμου (Fuel-Cell Electric Vehicle, FCEVs)
- Ηλιακά Οχήματα (Solar Electric Vehicles, SEVs)

Στην Ελλάδα, με βάση τη νομοθεσία ΦΕΚ του 2019, ως ηλεκτροκίνητα οχήματα θεωρούνται εκείνα που είναι εξοπλισμένα με σύστημα μετάδοσης της κίνησης το οποίο περιέχει τουλάχιστον μία μη περιφερειακή (εξωτερική, βοηθητική) ηλεκτρική μηχανή ως μετατροπέα ενέργειας, με ηλεκτρικό επαναφορτιζόμενο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, το οποίο μπορεί να επαναφορτίζεται εξωτερικά. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οχήματα, όπως αυτοκίνητα, μοτοσυκλέτες, τρίκυκλα και ελαφρά τετράκυκλα οχήματα που εντάσσονται στις κατηγορίες των Αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων (BEV), των Υβριδικό ηλεκτρικό όχημα εξωτερικής φόρτισης (PHEV) και των Υβριδικών οχημάτων κυψέλης καυσίμου» (FCHV). Παρόλα αυτά, στις ενότητες που ακολουθούν γίνεται αναφορά σε όλες τις κατηγορίες που αναφέρθηκαν παραπάνω [92].

2.3.1 Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (Hybrid Electric Vehicles, HEVs)

Τα σημερινά υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV) τροφοδοτούνται από κινητήρα εσωτερικής καύσης σε συνδυασμό με έναν ή περισσότερους ηλεκτρικούς κινητήρες. Τα HEV συνδυάζουν τα οφέλη της υψηλής οικονομίας καυσίμου και των χαμηλών εκπομπών σωλήνων εξαγωγής με την ισχύ και το εύρος ενός συμβατικού οχήματος.

Η τροφοδοσία του θερμικού κινητήρα γίνεται καύση ορυκτών καυσίμων όπως η βενζίνη ή το πετρέλαιο ντίζελ, ενώ για την τροφοδοσία ενός ηλεκτροκινητήρα χρησιμοποιείται ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στη μπαταρία του οχήματος. Για την φόρτιση της χρησιμοποιείται ο κινητήρας εσωτερικής καύσης, αλλά και ένα σύστημα αναγεννητικής πέδησης, μέσω του οποίου κατά τη διάρκεια του φρεναρίσματος, ο ηλεκτρικός κινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια, χρησιμοποιώντας την ενέργεια για τη φόρτιση της μπαταρίας. Η μπαταρία μπορεί επίσης να τροφοδοτήσει φορτία βοηθητικού εξοπλισμού του οχήματος [93].

Τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα, διαθέτουν επίσης λειτουργία εκκίνησης-διακοπής (start-stop) μέσω της οποίας γίνεται διακοπή της λειτουργία του κινητήρα, όταν αυτός λειτουργεί στο ρελαντί και ακαριαία επανεκκίνηση του, όταν χρειάζεται να κινηθεί το όχημα. Με τον τρόπο αυτό πραγματοποιείται σημαντική εξοικονόμηση καυσίμου. Η χρήση του ηλεκτρικού κινητήρα, το μικρό μέγεθος του θερμικού κινητήρα, καθώς και οι λειτουργίες των διαφόρων τεχνολογιών που αναφέρθηκαν προηγουμένως, καθιστούν τα υβριδικά-ηλεκτρικά λιγότερο ρυπογόνα συγκριτικά με τα συμβατικά οχήματα [94].

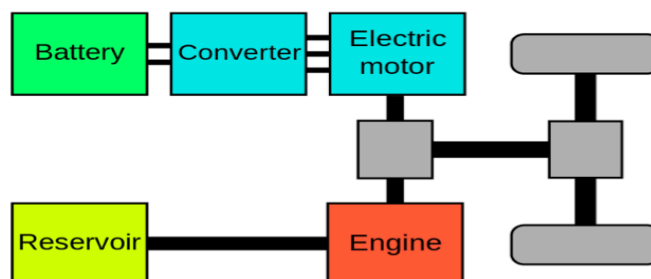
Τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα, ανάλογα με το βαθμό στον οποίο είναι η υβριδική τους λειτουργία μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις επιμέρους κατηγορίες :

- Τα ήπια υβριδικά (Mild Hybrid Electric Vehicles, mHEVs): Πρόκειται για τα οχήματα τα οποία δεν διαθέτουν ηλεκτρικό κινητήριο σύστημα κατάλληλο για την πρόωση τους. Τα οχήματα αυτά κινούνται από έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης ο οποίος ενισχύεται από έναν ηλεκτροκινητήρα (<20kW) για να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου και να προσφέρει βελτιωμένη ροπή [95]. Επίσης περιλαμβάνουν μόνο μερικά από τα χαρακτηριστικά που υπάρχουν στην υβριδική τεχνολογία και συνήθως επιτυγχάνουν περιορισμένη κατανάλωση καυσίμου. Συγκριτικά με τα πλήρως υβριδικά οχήματα, έχουν μικρότερες μπαταρίες και έναν μικρότερο, ασθενέστερο κινητήρα / γεννήτρια, κάτι όμως που επιτρέπει στους κατασκευαστές να μειώσουν το βάρος και το κόστος του οχήματος[94]. Το κόστος των οχημάτων αυτής της κατηγορίας είναι χαμηλότερο από το αντίστοιχο των πλήρως υβριδικών, αλλά παρέχουν μικρότερο όφελος οικονομίας καυσίμου [93]
- Τα πλήρη ή ισχυρά υβριδικά (Full / Strong Hybrid Electric Vehicles, fHEVs / sHEVs) : Πρόκειται για οχήματα τα οποία εκτός από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης διαθέτουν ισχυρό ηλεκτροκινητήρα και μπαταρία, τα οποία επιτρέπουν την αμιγώς ηλεκτρική πρόωση τους υπό συνθήκες χαμηλών ταχυτήτων (έως 50 km/h) και μικρών αποστάσεων (περίπου 3 km) [95] . Η διαφορά με την προηγούμενη κατηγορία έγκειται στο γεγονός πως τα πλήρως υβριδικά οχήματα διαθέτουν την απαραίτητη τεχνολογία για την παροχή πρόωσης του

οχήματος χρησιμοποιώντας εξολοκλήρου είτε τον κινητήρα εσωτερικής καύσης, είτε τον ηλεκτρικό κινητήρα, καθώς επίσης και το συνδυασμό των δύο. Επίσης περιλαμβάνουν όλα τα χαρακτηριστικά που υπάρχουν στην υβριδική τεχνολογία και επιτυγχάνουν χαμηλή καταναλώσεις [94]. Το κόστος των οχημάτων αυτής της κατηγορίας είναι υψηλότερο από το αντίστοιχο των ήπιων υβριδικών, αλλά αντισταθμίζεται λόγω της παροχής μεγαλύτερης ωφέλειας από την οικονομία καυσίμου [93].

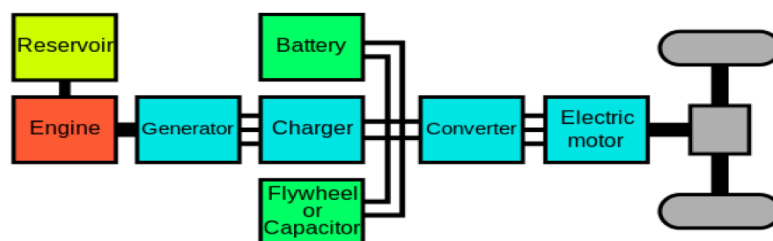
Επιπλέον, τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα, μπορούν να ταξινομηθούν σε 3 κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο παροχής ισχύος στο σύστημα μετάδοσης κίνησης τους. Συγκεκριμένα, υπάρχει η σειριακή διάταξη, η παράλληλη διάταξη και μια μορφή συνδυασμού αυτών των δύο. Να σημειωθεί επίσης πως η λειτουργία ανάκτησης ενέργειας από το φρενάρισμα θεωρείται δεδομένη σε όλες τις κατηγορίες. Οι διατάξεις αυτές παρουσιάζονται πιο αναλυτικά παρακάτω:

- Παράλληλης διάταξης : Τόσο ο κινητήρας εσωτερικής καύσης, όσο και ο ηλεκτρικός κινητήρας συνδέονται με το σύστημα μετάδοσης κίνησης. Οι κινητήρες μπορούν να λειτουργήσουν είτε ξεχωριστά, είτε σε συνδυασμό, παρέχοντας την απαιτούμενη ροπή για την κίνηση του οχήματος. Επίσης ο θερμικός κινητήρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την επαναφόρτιση των συσσωρευτών. Στο επίπεδο αυτό η μπαταρία των οχημάτων είναι μικρότερης χωρητικότητας, ενώ το μέγεθος και η ισχύς του θερμικού κινητήρα είναι μεγαλύτερο . [94] [96].



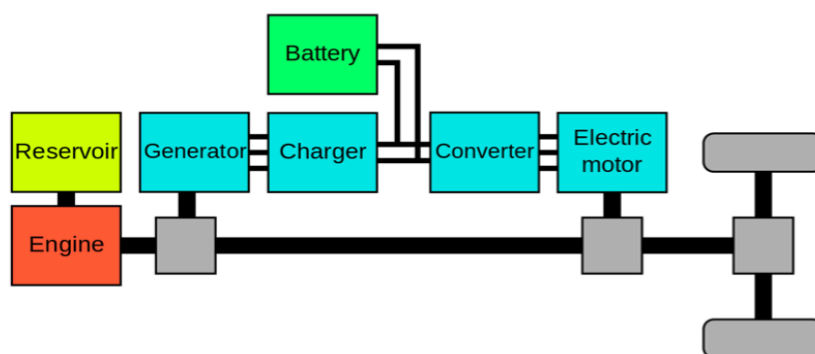
Εικόνα 2-15: Παράλληλη διάταξη [96]

- Σειριακή διάταξη : Ο ηλεκτροκινητήρας αναλαμβάνει εξολοκλήρου τον έλεγχο του συστήματος μετάδοσης κίνησης. Ο θερμικός κινητήρας κατά τη λειτουργία του φορτίζει μια γεννήτρια για την τροφοδοσία του ηλεκτρικού κινητήρα ή για την επαναφόρτιση των συσσωρευτών. Επιπλέον, τα μοντέλα που χρησιμοποιούν σειριακή διάταξη, είναι εξοπλισμένα με μπαταρία μεγάλης χωρητικότητας, ενώ το μέγεθος και η ισχύς του θερμικού κινητήρα είναι περιορισμένα. [94] [96]



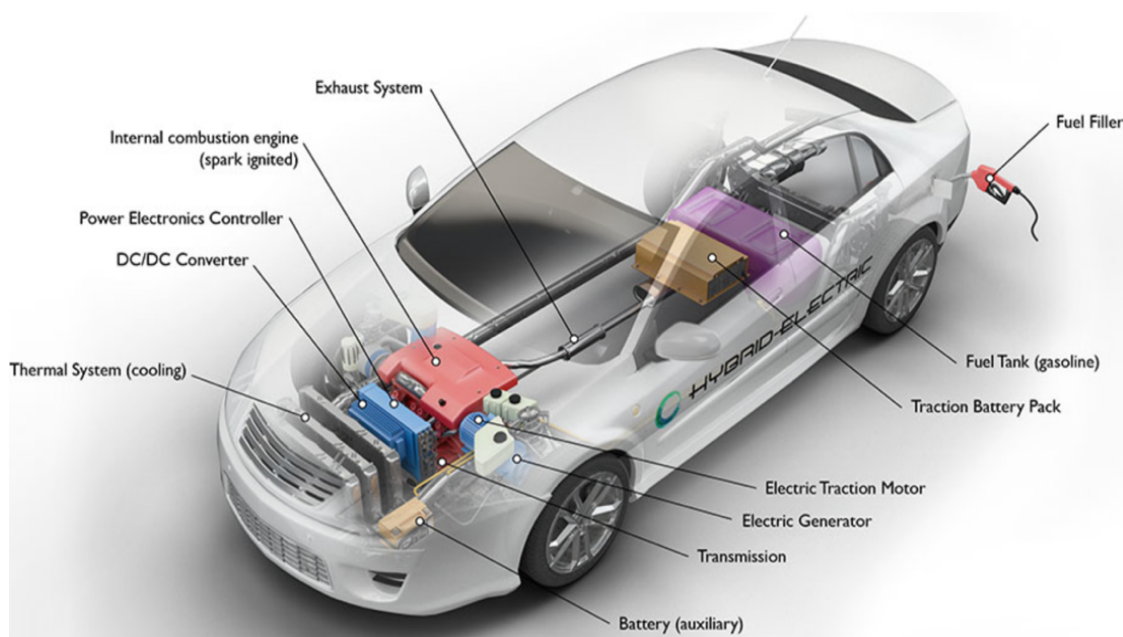
Εικόνα 2-16: Σειριακή διάταξη [96]

- Συνδυασμός παράλληλης και σειριακής διάταξης : Τα υβριδικά οχήματα στα οποία παρέχεται ο συνδυασμός των παραπάνω διατάξεων, με όλα τα πλεονεκτήματα που αυτό συνεπάγεται. Όπως γινόταν και στη διάταξη σειράς, ο θερμικός κινητήρας δύναται και να αναλάβει την τροφοδότηση του ηλεκτροκινητήρα ή την φόρτιση των μπαταριών. Ωστόσο όμοια με την παράλληλη διάταξη, μπορεί να κινήσει το όχημα είτε λειτουργώντας ξεχωριστά, είτε συνδυαστικά με τον ηλεκτροκινητήρα. Ως αποτέλεσμα των δυνατοτήτων αυτών, η συνολική απόδοση των οχημάτων αυτών είναι μεγαλύτερη, καθώς με τη χρήση σειριακής διάταξης τείνουν να είναι πιο αποτελεσματικά σε χαμηλότερες ταχύτητες, ενώ με τη χρήση της παράλληλης διάταξης τείνουν να είναι πιο αποτελεσματικά σε υψηλές ταχύτητες. Ωστόσο, λόγω της πολυπλοκότητας της κατασκευής, το κόστος των οχημάτων της κατηγορίας αυτής είναι αρκετά υψηλό. [94] [96].



Εικόνα 2-17: Συνδυασμός σειριακής-παράλληλης διάταξης [96]

Επί του παρόντος στην αγορά διατίθεται μεγάλη ποικιλία μοντέλων HEV. Το κόστος αγοράς των HEVs συχνά εμφανίζεται μεγαλύτερο από το αντίστοιχο κόστος αγοράς συμβατικών οχημάτων. Ωστόσο, ένα πολύ μεγάλο μερίδιο του μπορεί να ανακτηθεί μέσω της εξοικονόμησης καυσίμων, καθώς και μέσω διαφόρων πολιτικών, όπως κινήτρα αγοράς, φοροαπαλλαγές ή φοροελαφρύνσεων κ.α. [93]



Εικόνα 2-18: Υβριδικό Ηλεκτρικό όχημα (HEV) [93]

2.3.2 Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (Plug-In) Hybrid Electric Vehicles, PHVEs)

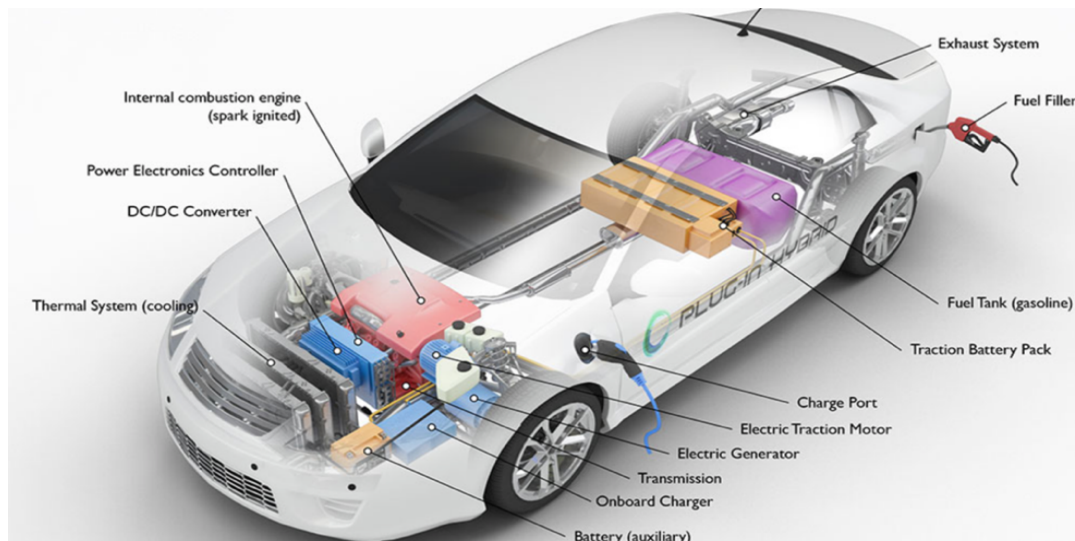
Τα plug-in υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEVs) αποτελούν την πιο εξελιγμένη μορφή της υβριδικής τεχνολογίας. Όπως και τα απλά υβριδικά χρησιμοποιούν για την κίνηση τους τόσο κινητήρα εσωτερικής καύσης και ηλεκτρικό κινητήρα. Ωστόσο, οι μπαταρίες που τροφοδοτούν τον ηλεκτρικό κινητήρα είναι μεγαλύτερου μεγέθους. Η αυτονομία τους κυμαίνεται περίπου από 10 έως 50 μίλα. Για την κίνηση τους, συνήθως λειτουργούν με ηλεκτρική ισχύ. Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης τροφοδοτεί το όχημα όταν η μπαταρία έχει σχεδόν εξαντληθεί, κατά τη διάρκεια γρήγορης επιτάχυνσης, ή όταν υπάρχουν φορτία βοηθητικού εξοπλισμού, θέρμανσης ή κλιματισμού. Ωστόσο, ορισμένα βαρέως τύπου PHEV λειτουργούν με τον ακριβώς αντίθετο τρόπο.

Τα οχήματα που ανήκουν στην κατηγορία αυτή (PHEVs), διαθέτουν όλες τις υφιστάμενες τεχνολογίες των απλών υβριδικών οχημάτων (HEVs). Οι μπαταρίες μπορούν να φορτιστούν μέσω συστημάτων αναγεννητικής πέδησης, αλλά και από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE). Ωστόσο, η μεγάλη διαφορά ανάμεσα στις δύο κατηγορίες έγκειται στο γεγονός πως στα PHEVs υπάρχει η δυνατότητα φόρτισης τους μέσα από την σύνδεση με εξωτερική πηγή τροφοδότησης. Τα οχήματα αυτά, μπορούν να επαναφορτιστούν εύκολα είτε μέσω απλής σύνδεσης στο οικιακό δίκτυο είτε μέσω φόρτισης σε κάποιο δημόσιο ή ιδιωτικό σταθμό φόρτισης. Η συχνή φόρτιση των μπαταριών με ηλεκτρικό ρεύμα, αυξάνει το χρόνο λειτουργίας του ηλεκτρικού κινητήριου συστήματος και μειώνει το αντίστοιχο χρόνο λειτουργίας του θερμικού κινητήρα. Με τον τρόπο αυτό, μειώνεται η χρήση καυσίμου, ενώ παράλληλα μικραίνει και το κόστος λειτουργίας. Τα PHEV μπορεί επίσης να παράγουν χαμηλότερα επίπεδα εκπομπών σε συνολικό επίπεδο, ειδικότερα στην περίπτωση που η ενέργεια με την οποία τροφοδοτούνται προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. [97]

Ακόμα, υπάρχει η δυνατότητα προσφοράς της αποθηκευμένης ενέργειας των συσσωρευτών τους προς το δίκτυο, κατά τις περιόδους αιχμής της ζήτησης φορτίου. Παράλληλα, η επαναφόρτιση τους μπορεί να πραγματοποιείται κατά τις νυχτερινές ώρες, όπου η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνεται σε χαμηλότερα επίπεδα. Οι πρακτικές αυτές συνεισφέρουν στην αποδοτικότερη λειτουργία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ παράλληλα προσφέρουν με άμεσο ή έμμεσο τρόπο πολλά οφέλη σε οικονομικό, ενεργειακό και περιβαλλοντικό επίπεδο [94]

Τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEVs) μπορούν να κατηγοριοποιηθούν αναλόγως τη διάταξη του συστήματος πρόωσης τους όπως ακριβώς συμβαίνει στην περίπτωση των απλών υβριδικών οχημάτων (HEVs). Η παράλληλη διάταξη συνδέει τον κινητήρα και τον ηλεκτρικό κινητήρα στους τροχούς μέσω μηχανικής ζεύξης, ενώ στη διάταξη σειράς τα οχήματα χρησιμοποιούν μόνο τον ηλεκτρικό κινητήρα για την οδήγηση των τροχών.

Παρόλο που το κόστος αγοράς των PHEVs είναι γενικά πιο υψηλό σε σχέση με τα παρόμοια συμβατικά και υβριδικά οχήματα, κάποιο κόστος μπορεί να ανακτηθεί μέσω της μεγαλύτερης εξοικονόμησης καυσίμων που παρέχουν, καθώς και μέσω των διαφόρων πολιτικών που εφαρμόζονται (κινήτρων αγοράς, φοροαπαλλαγών, φοροελαφρύνσεων κ.α.) [97].



Εικόνα 2–19: Υβριδικό Ηλεκτρικό όχημα (PHEV) [97]

2.3.3 Ηλεκτρικά Οχήματα Εκτεταμένης Εμβέλειας (Extended Range Electric Vehicles, E-REVs)

Τα ηλεκτρικά οχήματα εκτεταμένης εμβέλειας (extended-range electric vehicles, EREV ή, range-extended electric vehicles, REEV), ανήκουν στην κατηγορία των plug in υβριδικών με λειτουργία σειριακής διάταξης [94]. Ωστόσο αναφέρονται ξεχωριστά, μιας και αντιπροσωπεύουν το μεταβατικό στάδιο μεταξύ της υβριδικής και της πλήρως ηλεκτροκίνητης τεχνολογίας. Ουσιαστικά, πρόκειται για ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας στα οποία περιλαμβάνεται ένας μικρός βοηθητικός κινητήρας εσωτερικής καύσης, με αποκλειστικό σκοπό την επαναφόρτιση της μπαταρίας.

Η πρόωση του οχήματος οδηγείται αποκλειστικά από έναν ηλεκτρικό κινητήρα, ο οποίος τροφοδοτείται από μια συστοιχία μπαταριών υψηλής χωρητικότητας. Κατά τη λειτουργία του οχήματος, οι μπαταρίες αυτές μπορούν να φορτιστούν μέσω συστημάτων αναγεννητικής πέδησης, αλλά και από μια βοηθητική μονάδα ισχύος (auxiliary power unit, APU). Το APU είναι ένας μικρός κινητήρας εσωτερικής καύσης με μοναδικό σκοπό την επαναφόρτιση των μπαταριών του E-REV, στις περιπτώσεις όπου η χωρητικότητα τους εξαντληθεί πέραν ενός προκαθορισμένου ορίου. Φυσικά, όταν το όχημα δεν βρίσκεται σε κίνηση, υπάρχει η δυνατότητα εξωτερικής σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο. Ωστόσο, η πρόσθετη φόρτιση από την APU αφαιρεί την ανάγκη εύρεσης σταθμού φόρτισης, καθώς και την πολύωρη αναμονή σε αυτούς. Με τον τρόπο αυτό προσφέρεται ένα ευρύ φάσμα αυτονομίας και επεκτείνεται αποτελεσματικά η εμβέλεια οδήγησης, με τους οδηγούς να μπορούν να διανύουν μεγαλύτερες αποστάσεις.

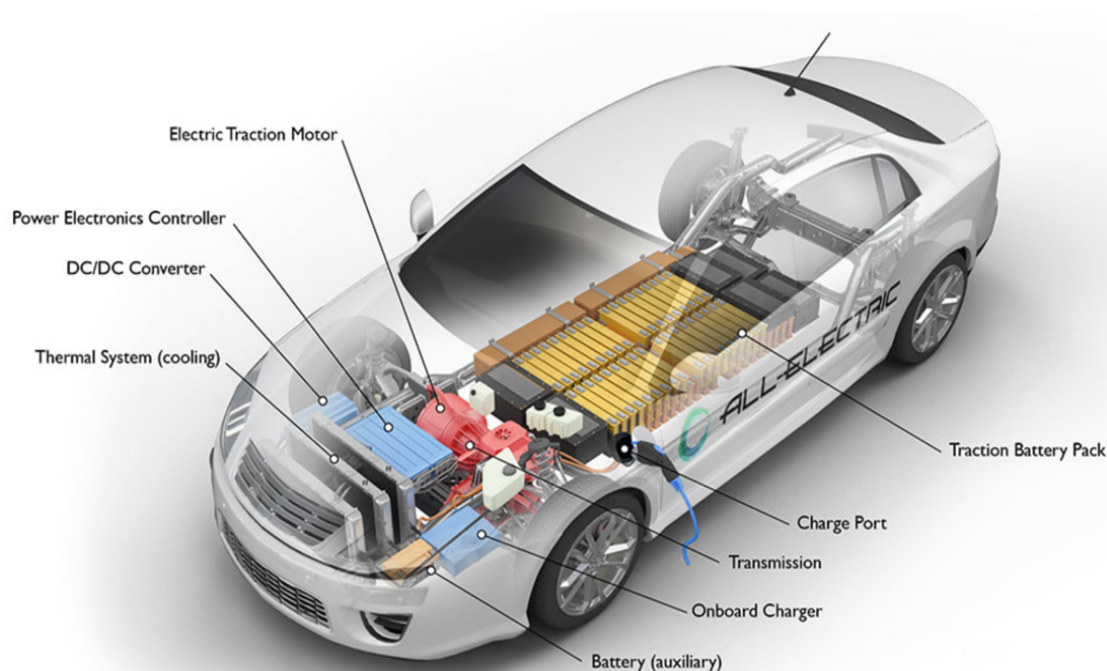
Η μονάδα APU δεν είναι συνδεδεμένη με το σύστημα μετάδοσης κίνησης του οχήματος. Κάτι που συμβάλλει σημαντικά στη μικρή κατανάλωσή ορυκτών καυσίμων, αφαιρώντας την εξάρτηση από το πετρέλαιο και περιορίζοντας έτσι τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Τέλος, η δυνατότητα σύνδεσης τους με το ηλεκτρικό δίκτυο, με τα πλεονεκτήματα με τα οποία συνοδεύεται, έρχεται να προστεθεί στα θετικά της χρήσης των οχημάτων αυτών. [98].

2.3.4 Ηλεκτρικά Οχήματα Μπαταρίας (Battery Electric Vehicles, BEVs)

Τα ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας (Battery Electric Vehicles, BEVs) αντλούν όλη τους την ηλεκτρική ισχύ εξολοκλήρου από τη συστοιχία των επαναφορτιζόμενων ηλεκτροχημικών μπαταριών τους. Οι μπαταρίες αποτελούν την κύρια πηγή ενέργειας των BEVs και χρησιμοποιούνται για την τροφοδότηση των ηλεκτρικών μηχανών. Ο ανεφοδιασμός των συσσωρευτών μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω σύνδεσης στο οικιακό δίκτυο, καθώς επίσης και σε δημόσιους ή ιδιωτικούς σταθμούς φόρτισης.

Τα οχήματα αυτά, διαφοροποιούνται από τα υβριδικά (Hybrid Electric Vehicles, HVEs), καθώς δεν χρησιμοποιούν καθόλου κινητήρες εσωτερικής καύσης ((Internal Combustion Engines, ICE) για την πρόωση τους. Συνεπώς, η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων και οι εκπομπές ρύπων είναι μηδενικές. Επιπλέον, συγκριτικά με τα συμβατικά οχήματα, τα BEVs υπερέχουν σε επίπεδα ενεργειακής απόδοσης των κινητήρων τους, διαθέτουν καινοτόμα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας (αναγεννητική πέδηση κ.ά.), λειτουργούν σχεδόν αθόρυβα, ενώ παράλληλα οι ανάγκες για συντήρηση και επισκευές είναι σημαντικά μειωμένες. Ωστόσο, περιορισμοί εντάσσονται στο ζήτημα της απόστασης που δύναται να κινηθούν, αφενός λόγω της αυτονομίας των μπαταριών τους, αφετέρου δε λόγω της έλλειψης υποδομών σταθμών φόρτισης. Επίσης, η διάρκεια ζωής των μπαταριών καθώς και το υψηλό κόστος αγοράς τους αποτελούν τους σημαντικότερους παράγοντες που εμποδίζουν την διείσδυση των οχημάτων αυτών στην αγορά.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως τα BEVs συχνά παρουσιάζονται και με την ονομασία των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων (pure electric vehicles), ενώ στην κατηγορία τους εντάσσονται οχήματα όπως ποδήλατα, μοτοσυκλέτες, αυτοκίνητα, λεωφορεία, φορτηγά κ.α. [99] [100] [101]



Εικόνα 2–20: Ηλεκτρικό όχημα μπαταρίας ή αμιγώς ηλεκτρικό όχημα (BEV) [100]

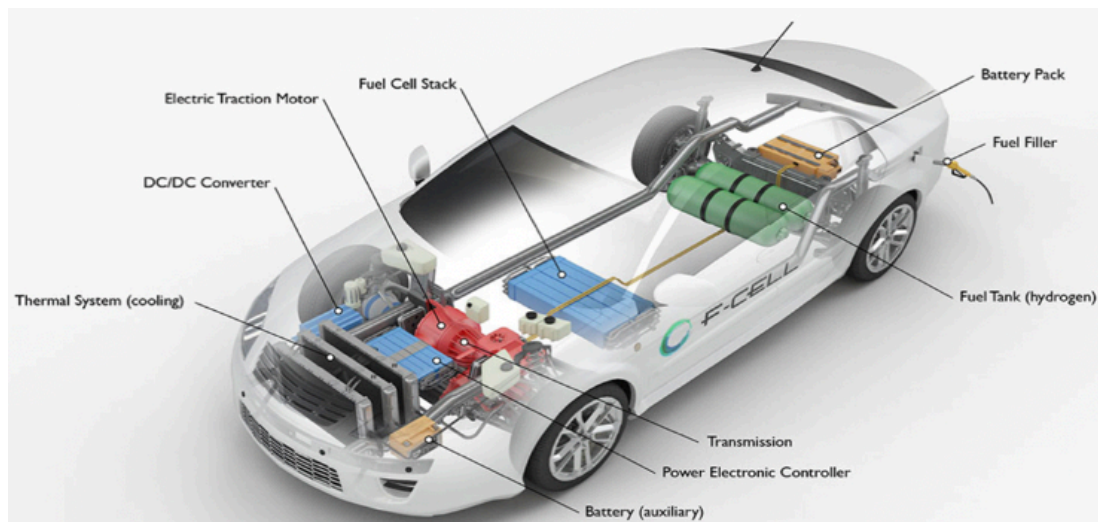
2.3.5 Ηλεκτρικά Οχήματα Κυψελών Καυσίμου (Fuel-cell Electric Vehicle)

Τα ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου (FCEVs) λειτουργούν αποκλειστικά με ηλεκτροκινητήρα, αλλά σε αντίθεση με τα ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας (BEV), ο ηλεκτρισμός παράγεται από κυψέλες καυσίμου υδρογόνου αντί μπαταριών. Οι κυψέλες υδρογόνου παράγουν ηλεκτρική ενέργεια συνδυάζοντας υδρογόνο με οξυγόνο. Όπως και τα BEVs, έτσι και τα FCEVs αποτελούν οχήματα μηδενικών εκπομπών ρύπων, μιας και κατά τη λειτουργία τους δεν παράγουν επιβλαβείς εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα [95].

Οι κυψέλες καυσίμου, όπως και οι μπαταρίες, αποτελούνται από μία άνοδο, μία κάθοδο και έναν ηλεκτρολύτη αλλά και καταλύτες στα ηλεκτρόδια για επιτάχυνση των δράσεων και αύξηση της απόδοσης [102]. Ο πιο κοινός τύπος κυψέλης καυσίμου για εφαρμογές σε οχήματα είναι η κυψέλη καυσίμου μεμβράνης πολυμερούς ηλεκτρολύτη “μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων” (Proton Exchange Membrane, PEM). Πρόκειται για μια μεμβράνη ηλεκτρολύτη που περικλείεται ανάμεσα σε ένα θετικό ηλεκτρόδιο (κάθοδο) και ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο (άνοδο). Το υδρογόνο εισάγεται στην άνοδο και το οξυγόνο (από τον αέρα) εισάγεται στην κάθοδο. Τα μόρια υδρογόνου διασπώνται σε πρωτόνια και ηλεκτρόνια λόγω ηλεκτροχημικής αντίδρασης στον καταλύτη κυψελών καυσίμου. Τα πρωτόνια στη συνέχεια ταξιδεύουν μέσω της μεμβράνης στην κάθοδο, ενώ τα ηλεκτρόνια οδηγούνται αναγκαστικά μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος σε φορτία που χρειάζονται τροφοδότηση (όπως ο ηλεκτρικός κινητήρας). Στη συνέχεια επιστρέφουν στην πλευρά της καθόδου όπου συνδυάζονται με τα πρωτόνια και τα μόρια του οξυγόνου για το σχηματισμό νερού.

Εκτός της κυψέλης καυσίμου, τα FCEVs διαθέτουν και μπαταρίες. Παρόλο που οι αυτοκινητοβιομηχανίες θα μπορούσαν να σχεδιάσουν ένα FCEV με δυνατότητες plug-in για φόρτιση της μπαταρίας, τα περισσότερα FCEV σήμερα χρησιμοποιούν την μπαταρία για να ανακτήσουν την ενέργεια φρεναρίσματος. Για το λόγο αυτό είναι εξοπλισμένα με σύστημα αναγεννητικής πέδησης, το οποίο συλλαμβάνει την ενέργεια που χάνεται κατά το φρενάρισμα και την αποθηκεύει στη μπαταρία. Η ενέργεια αυτή χρησιμοποιείται για την παροχή ισχύς στον κινητήρα κατά τη διαστήματα μικρής επιτάχυνσης. Επιπλέον κατά τη διάρκεια χαμηλών αναγκών ισχύος, η κυψέλη καυσίμου εισάγεται σε κατάσταση αδράνειας ή απενεργοποιείται, με την μπαταρία να αναλαμβάνει την τροφοδότηση των απαραίτητων φορτίων. Αξίζει να αναφερθεί πως η ποσότητα ενέργειας που δύναται να αποθηκεύεται επι του οχήματος καθορίζεται από το μέγεθος της δεξαμενής καυσίμου υδρογόνου. [103]

Συγκριτικά με τα συμβατικά οχήματα, η χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα. Αρχικά, χρησιμοποιείται στις κυψέλες καυσίμου για απευθείας παραγωγή ηλεκτρική ενέργεια με αρκετά υψηλές αποδόσεις, αφού δεν εμπλέκεται ενδιάμεσα μετατροπή της χημικής ενέργεια του υδρογόνου σε μηχανική, όπως συμβαίνει στις θερμικές μονάδες. Το ενεργειακό του περιεχόμενο του αερίου είναι τρεις φορές μεγαλύτερο από το αντίστοιχο της βενζίνης. Επίσης παρουσιάζει μηδενικές εκπομπές βλαβερών ουσιών, μιας και τα τη χρήση του παράγεται μόνο νερό. Ωστόσο υπάρχουν όμως ορισμένα προβλήματα, τα οποία περιορίζουν την ανάπτυξη των FCEVs. Συγκεκριμένα, εμφανίζονται ζητήματα που αφορούν την παραγωγή, την αποθήκευση και τη μεταφορά του αερίου, καθώς και σημαντικά θέματα ασφάλειας μιας και το υδρογόνο θεωρείται αρκετά εύφλεκτο [102]



Εικόνα 2-21: Ηλεκτρικό όχημα κυψελών καυσίμου (FCEV) [103]

2.3.6 Ηλιακά οχήματα (Solar Electric Vehicles, SEVs)

Τα ηλιακά ηλεκτρικά οχήματα (Solar Electric Vehicles, SEVs) χρησιμοποιούν για την πρόωση τους αποκλειστικά ηλεκτρικό κινητήρα. Τα οχήματα της κατηγορίας αυτής είναι εφοδιασμένα με ηλιακούς συλλέκτες οι οποίοι μετατρέπουν την λαμβανόμενη ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική. Η ενέργεια αυτή χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει το σύνολο ή μέρος της πρόωσης του οχήματος. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή ισχύος σε συστήματα επικοινωνιών, χειριστήρια ή άλλες βοηθητικές λειτουργίες.

Τα οχήματα της κατηγορίας αυτής είναι επίσης εφοδιασμένα με μπαταρία. Για την φόρτιση της χρησιμοποιείται η ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται τα φωτοβολταϊκά πάνελ που είναι εγκατεστημένα πάνω στο όχημα. Ωστόσο παρέχεται και η δυνατότητα σύνδεσης τους με το ηλεκτρικό δίκτυο. Με τον τρόπο αυτό αμβλύνονται τα επίπεδα αυτονομίας των οχημάτων επιτρέποντας στους οδηγούς να διανύσουν μεγαλύτερες αποστάσεις.

Τα ηλιακά ηλεκτρικά οχήματα δεν πωλούνται σήμερα ως πρακτικές συσκευές μεταφοράς, αλλά συμμετέχουν κυρίως σε ερευνητικά προγράμματα, επίδειξης και αγώνες. Το βασικό πρόβλημα τους αποτελεί, η μειωμένη απόδοση των φωτοβολταϊκών κυττάρων, η οποία δεν ξεπερνά το 5%. Ωστόσο η συνολική προσπάθεια κατασκευής ηλιακών οχημάτων συμβάλλει στην εξαγωγή πολύτιμων συμπερασμάτων για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια εισαγωγής τους στην αγορά, με ορισμένες εταιρίες να σχεδιάζουν μοντέλα για καθημερινή χρήση. [104] [105] [106]



Εικόνα 2-22: Ηλιακό Ηλεκτρικό όχημα (SEV) [105]

2.4 Η Ευρωπαϊκή Ταξινόμηση Ηλεκτρικών Οχημάτων

Ευρωπαϊκή ταξινόμηση για κατηγορία των ηλεκτρικών οχημάτων, έχει βασιστεί στα πρότυπα του ενοποιημένου ψηφίσματος για την κατασκευή οχημάτων (Consolidated Resolution on the Construction of Vehicles της Οικονομικής Επιτροπής) των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη (United Nations Economic Commission for Europe, UNECE). Στα πλαίσια των παραπάνω προτύπων, τα ηλεκτρικά οχήματα ταξινομούνται σε κατηγορίες, ανάλογα με την χρήση και τον αριθμό των τροχών τους.

Οι κύριες κατηγορίες οχημάτων είναι οι ακόλουθες :

- **Κατηγορία M** : Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται τα οχήματα που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά επιβατών. Η κλάση M χωρίζεται σε 3 επιμέρους υποκατηγορίες :
 - M1 : Τα οχήματα των οποίων ο αριθμός των θέσεων τους δεν υπερβαίνει τις οκτώ θέσεις εξαιρουμένου του καθίσματος του οδηγού. Τα οχήματα αυτά είναι επίσης γνωστά ως επιβατικά αυτοκίνητα.
 - M2 : Τα οχήματα με μέγιστη μάζα που δεν υπερβαίνει τους 5 τόνους.
 - M3 : Τα οχήματα με μέγιστη μάζα άνω των 5 τόνων.
- **Κατηγορία N** : Στην κατηγορία αυτή ενσωματώνονται οχήματα που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά εμπορευμάτων. Η κλάση N χωρίζεται σε 3 επιμέρους υποκατηγορίες :
 - N1: Τα οχήματα των οποίων η μέγιστη μάζα δεν υπερβαίνει τους 3,5 τόνους. Τα οχήματα αυτά είναι επίσης γνωστά ως ελαφριά επαγγελματικά οχήματα (LCV).
 - N2: Τα οχήματα με μέγιστη μάζα άνω των 3,5 τόνων αλλά όχι μεγαλύτερη από 12 τόνους.
 - N3: Τα οχήματα με μέγιστη μάζα άνω των 12 τόνων.
- **Κατηγορία L** : Στη κατηγορία αυτή ανήκουν όλα τα Μηχανοκίνητα οχήματα με λιγότερους από τέσσερις τροχούς (δίκυκλα και τρίκυκλα), καθώς επίσης και μερικά ελαφριά τετρακίνητα. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται για τα τελευταία, τα οποία ταξινομούνται σε 2 επιμέρους υποκατηγορίες :
 - L6: Τα τετράτροχα οχήματα των οποίων η μάζα χωρίς φορτίο δεν υπερβαίνει τα 350 kg, χωρίς να συγκαταλέγεται η μάζα των μπαταριών σε περίπτωση BEV, των οποίων η μέγιστη ταχύτητα δεν υπερβαίνει τα 45 km / h και των οποίων η ισχύς δεν υπερβαίνει τα 4 kW.
 - L7: Τα τετράτροχα οχήματα των οποίων η μάζα χωρίς φορτίο δεν υπερβαίνει τα 450 kg (650 kg για εκείνα που προορίζονται να μεταφέρουν εμπορεύματα), μη συμπεριλαμβανομένης της μάζας των μπαταριών στην περίπτωση BEV και των οποίων η ισχύς δεν υπερβαίνει τα 15 kW .
- **Κατηγορία T** : Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται γεωργικοί και δασικοί ελκυστήρες και τα ρυμουλκούμενά τους.

Τα οχήματα που ανήκουν στην κατηγορία M ή N ταξινομούνται επίσης ως Ελαφρά οχήματα (επιβατικά αυτοκίνητα και φορτηγά) και Βαρέα οχήματα (φορτηγά, λεωφορεία και πούλμαν) [107].

2.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ηλεκτρικών Οχημάτων

Η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων, έχει θετικές επιδράσεις σε πολλά και διαφορετικά επίπεδα, ωστόσο υπάρχουν και σημεία που χρίζουν βελτίωσης μιας και οι περιορισμοί που εισάγουν, αποτρέπουν την περαιτέρω ανάπτυξη του τομέα της ηλεκτροκίνησης.

Αναφορικά με τα προτερήματα τους :

- **Στον ενεργειακό τομέα :** Συμβάλλει στην απανθρακοποίηση και στη χρήση καθαρής ενέργειας, υπό την προϋπόθεση πως η απαραίτητη για την τροφοδοσία τους ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Με τον τρόπο αυτό περιορίζεται η εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και κατ' επέκταση η γενικότερη εξάντληση των ενεργειακών πόρων. Ταυτόχρονα, ενισχύεται η ενεργειακή ασφάλεια, μιας και μειώνεται η εξάρτηση από τις εισαγωγές πετρελαίου και δίνεται έμφαση στην ανάπτυξη της εγχώριας ή τοπικής ηλεκτροπαραγωγής. Ακόμα, δεδομένου ότι τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να συνδεθούν στο ηλεκτρικό δίκτυο, υπάρχει η δυνατότητα προσφοράς της αποθηκευμένης ενέργειας των συσσωρευτών τους προς το δίκτυο, κατά τις περιόδους αιχμής της ζήτησης φορτίου. Ο συνδυασμός της επαναφόρτισης τους τις νυχτερινές ώρες, όπου η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλή, συνεισφέρει στην περεταίρω εξομάλυνση της καμπύλης ζήτησης φορτίου και στην αποδοτικότερη λειτουργία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπροσθέτως, εισάγεται η προοπτική μιας κυκλικής οικονομίας, μιας και μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους, υπάρχει η δυνατότητα ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης των εξαρτημάτων τους.
- **Όσον αφορά το περιβάλλον και την δημόσια υγεία :** Σημαντικά οφέλη προκύπτουν τόσο για την ποιότητα του αέρα, όσο και για το κλίμα, μιας και κατά τη λειτουργία τους οι ηλεκτρικοί κινητήρες δεν εκλύουν βλαβερούς ατμοσφαιρικούς ρύπους. Αν και η παραγωγή σωματιδίων από την πέδηση και από τη φθορά των ελαστικών εξακολουθεί να υπάρχει, σε γενικό βαθμό η συνολική έκταση της είναι σημαντικά μικρότερη. Επιπλέον, τα ηλεκτρικά οχήματα μειώνουν σημαντικά τα επίπεδα θορύβου, συμβάλλοντας έτσι στην επίλυση προβλημάτων ηχορύπανσης.
- **Σε λειτουργικό επίπεδο :** Οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι από 3 έως 5 φορές πιο αποδοτικοί από τους κινητήρες εσωτερικής καύσης και έχουν δυνατότητα επίτευξης μεγαλύτερου εύρους ροπής. Επίσης παρέχεται η δυνατότητα επιτάχυνσης με σταθερή ροπή από το επίπεδο ακινησίας έως το μέγιστο όριο στροφών λειτουργίας. Επίσης, η οδήγηση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι ευκολότερη, καθώς δεν διαθέτουν συμπλέκτη και ταχύτητες, ενώ παράλληλα λόγω της απουσίας πολυάριθμων μηχανικών μερών, οδηγούν σε ελαχιστοποίηση της ανάγκης συντήρησης και επισκευής. Ακόμα, τα ηλεκτρικά όχημα διαθέτουν συστήματα αναγεννητικής πέδησης, μέσω του οποίου κατά τη διαδικασία της πέδησης η κινητική ενέργεια αξιοποιείται για τη φόρτιση των μπαταριών, κάτι που δεν συμβαίνει στην περίπτωση των συμβατικών οχημάτων, με την ενέργεια εκεί να «σπαταλάτε» υπό τη μορφή θερμότητας. Τέλος, η επαναφόρτιση τους είναι αρκετά εύκολη μιας και είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί ακόμη και με τη χρήση μιας κανονικής οικιακής πρίζας.

- **Σχετικά με τον οικονομικό τομέα :** Το κόστος φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων είναι μικρότερο, μιας και ο ηλεκτρισμός είναι σε μεγάλο βαθμό λιγότερο ακριβός από τη βενζίνη ή το πετρέλαιο κίνησης. Επίσης περισσότεροι η δυνατότητα οικιακής φόρτισης απο εγκατάσταση ΑΠΕ (ηλιακών συλλεκτών) μπορεί να μειώσει ακόμη περισσότερο την τιμή. Επιπροσθέτως, τα ηλεκτροκίνητα οχήματα δεν επηρεάζονται από τις διακυμάνσεις των τιμών της βενζίνης /πετρελαίου, ενώ παράλληλα μπορούν να σχεδιαστούν έτσι ώστε να αυτό-φορτίζονται κατά τις επιβραδύνσεις του οχήματος (regenerative braking), βελτιώνοντας έτσι τον δείκτη κατανάλωσης. Ακόμη, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν χαμηλό κόστος συντήρησης λόγω της απλότητας κατασκευής του ηλεκτροκινητήρα. Τέλος, σε ευρύτερο επίπεδο, η διείσδυση τους στην αγορά συνδέεται με την ανάπτυξη αγοραστικών κινήτρων, τη δημιουργία νέων φορολογικών συστημάτων, καθώς και με την ευρύτερη οικονομική ανάπτυξη.
- **Στο επίπεδο της κοινωνίας :** Η ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης θα δώσει ώθηση για δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, ενισχύοντας έτσι την απασχόληση και τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου.

Ωστόσο υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα τα οποία πρέπει να εξεταστούν :

- **Στον ενεργειακό τομέα :** Η κατανάλωση μεγαλύτερων ποσοτήτων ενέργειας απο την εισαγωγή ηλεκτρικών οχημάτων, δημιουργεί εμπόδια κάλυψης των καθημερινών ενεργειακών αναγκών στις περιοχές όπου τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζουν ελλείψεις ισχύος. Παράλληλα, η αυξημένη ενεργειακή ζήτηση, δύναται να επιφέρει αύξηση των εκπομπών αερίων ρύπων στις περιπτώσεις δικτύων που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρισμού και η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα.
- **Σε λειτουργικό επίπεδο :** Λόγω των χαμηλών επιπέδων αυτονομίας των οχημάτων, η εμβέλεια οδήγησης μεταξύ κάθε επαναφόρτισης των συσσωρευτών εμφανίζεται περιορισμένη. Αντιθέτως, ο χρόνος επαναφόρτισης των μπαταριών είναι μεγάλος. Επιπλέον, ανησυχία εισάγει και ο χρόνος ζωής της συστοιχίας μπαταριών, οι οποίες κατά μέσο όρο πρέπει να αλλάζονται κάθε 3 με 10 χρόνια. Επιπροσθέτως, αξίζει να επισημανθεί πως ένα πλεονέκτημα των ηλεκτρικών οχημάτων, η σιωπηλή τους λειτουργία, μπορεί να μετατραπεί σε μειονέκτημα, καθώς σε ορισμένες περιπτώσεις δύναται να οδηγήσει σε ατυχήματα.
- **Σε επίπεδο υποδομών :** Οι εγκαταστάσεις σταθμών ηλεκτρικής τροφοδότησης βρίσκονται ακόμη στα στάδια ανάπτυξης, με συνέπεια οι υποδομές σταθμών φόρτισης σε πολλές περιοχές να είναι ελάχιστες έως και μηδαμινές. Επίσης, λόγω της υφιστάμενης τεχνολογίας που διαθέτουν οι φορτιστές, ο χρόνος που απαιτείται για την πλήρη φόρτιση των συσσωρευτών είναι μεγάλης διάρκειας, κάτι που αναγκάζει τους οδηγούς σε πολύωρη αναμονή.
- **Σε οικονομικό επίπεδο :** Οι τιμές πωλήσεων των ηλεκτρικών οχημάτων παραμένουν σε υψηλά επίπεδα. Αυτό αφενός οφείλεται στο κόστος παραγωγής τους, αλλά και στις χαμηλές τιμές ζήτησης. Ομοίως, υψηλό παραμένει και το

κόστος των σταθμών ταχείας φόρτισης, όπως επίσης και το κόστος της συστοιχίας των μπαταριών.

Παρά το πλήθος και τη σοβαρότητα των προβλημάτων που αναφέρθηκαν, η πρόοδος της επιστήμης και η εξέλιξη της τεχνολογίας αποτελούν αέναους συμμάχους για την ηλεκτροκίνηση. Τα ζητήματα που περιορίζουν την ανάπτυξη της εξομαλύνονται σταδιακά. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως στο παρελθόν τα επίπεδα αυτονομίας κυμαίνονταν μεταξύ 60 και 100 χιλιομέτρων. Ωστόσο, με την πάροδο των καιρών, οι κατασκευαστές κατάφεραν επιτύχουν μεγαλύτερες τιμές που φτάνουν τα 100 έως 160 km στα αυτοκίνητα πόλης, καθώς και υψηλότερων επιπέδων της τάξεως των 250 έως 300 km ή και παραπάνω, σε οχήματα μεγάλης ισχύος. Παράλληλα, αναβάθμισης των συστημάτων φόρτισης θα μειώσουν το χρονικό διάστημα που απαιτείται για τη διαδικασία της τροφοδότησης των μπαταριών. Παράδειγμα αποτελεί το γεγονός πως τα νέα μοντέλα οχημάτων μπορούν να γεμίσουν τις μπαταρίες τους σε ποσοστό 80% σε λιγότερο από 1 ώρα. Επιπλέον, βελτιώσεις τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας θεωρούνται δεδομένες. Προβλεπόμενη κρίνεται επίσης και η εκτεταμένη ανάπτυξη δικτύων σταθμών ηλεκτρικής τροφοδότησης στην ευρεία επικράτεια. Τέλος, στο άμεσο μέλλον αναμένεται η πτώση του κόστους κατασκευής των μπαταριών και των συστημάτων φόρτισης, η οποία σε συνδυασμό με την ανάπτυξη πολιτικών και οικονομικών στρατηγικών για την ηλεκτροκίνηση, θα οδηγήσουν σε αύξηση της ζήτησης τους και πτώση της συνολικής τους αξίας.

Υπο το φως των παραπάνω γεγονότων, στο κοντινό μέλλον τα ηλεκτρικά οχήματα αναμένεται να έχουν κυρίαρχικό ρόλο στον τομέα των μεταφορών [81] [101] [108] [109].

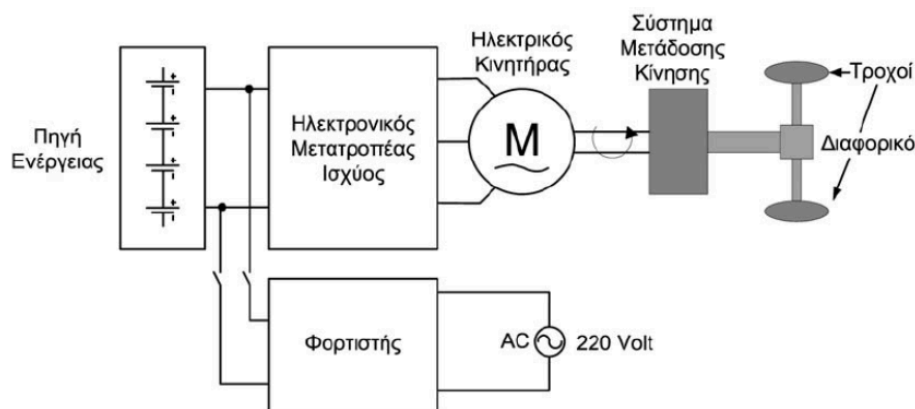
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

3.1 Εφαρμοσμένη Τεχνολογία

Τα ηλεκτρικά οχήματα παρουσιάζουν ορισμένες διαφοροποιήσεις στα συστήματα που χρησιμοποιούν για τη λειτουργία τους. Οι παραλλαγές αυτές μπορούν να εντοπιστούν στα δομικά τους μέρη. Παρόλα αυτά, το χαρακτηριστικό εκείνο που παραμένει κοινό για όλους τους τύπους ηλεκτρικών οχημάτων είναι η ύπαρξη τουλάχιστον ενός ηλεκτρικού κινητήρα για την κίνηση τους.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ένα χονδρικό διάγραμμα στο οποίο εμφανίζονται τα κυριότερα μέρη που συνθέτουν τη δομή ενός ηλεκτρικού οχήματος. Στα κυριότερα εξ αυτών κατατάσσονται η μονάδα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, ο ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος, ο ηλεκτρικός κινητήρας και το σύστημα μετάδοσης κίνησης.



Εικόνα 3-1: Διάγραμμα βασικών μερών ηλεκτρικού οχήματος

Στις υποενότητες που ακολουθούν γίνεται μια εκτενέστερη αναφορά στα σημαντικότερα μέρη της δομής των ηλεκτρικών οχημάτων.

3.2 Συσσωρευτές

Οι συσσωρευτές ή μπαταρίες είναι ηλεκτροχημικά συστήματα, αποθήκες ηλεκτρικής ενέργειας υπό τη μορφή χημικής ενέργειας. Η χημική ενέργεια που συσσωρεύεται μέσα τους μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια – συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα – όταν συνδεθούν με έναν ηλεκτρικό καταναλωτή, μέσω της πραγματοποίησης αυθορμήτων ηλεκτροχημικών αντιδράσεων οξείδωσης και ανάγωγης.

Η βασική μονάδα από την οποία αποτελούνται είναι το “γαλβανικό στοιχείο” ή απλά “στοιχείο” ή “κελί”, το οποίο αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια, σε επαφή με έναν ηλεκτρολύτη. Συνήθως μία μπαταρία αποτελείται από μία σειρά στοιχείων κατάλληλα συνδεδεμένων μεταξύ τους, ώστε να αποδίδουν την επιθυμητή τάση και το επιθυμητό ηλεκτρικό φορτίο.

Το 1800, ο Alessandro Volta, καθηγητής Φυσικής στο Κόμο, κατασκεύασε την πρώτη μπαταρία, το πρώτο «βολταϊκό στοιχείο». Αυτό αποτελείτο από διαδοχικούς δίσκους χαλκού και ψευδαργύρου, ο ένας πάνω στον άλλο, οι οποίοι χωρίζονταν μεταξύ τους από φύλλα χαρτιού εμποτισμένα με αλατόνερο (ηλεκτρολύτη). Με τα πρώτα στοιχεία που κατασκεύασε ο Volta δεν μπόρεσε να παράγει μεγάλες τάσεις και για αυτό πειραματίστηκε στη συνέχεια με συνδυασμούς άλλων μετάλλων, οπότε βρήκε ότι ο ψευδάργυρος και ο άργυρος έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα. Επίσης ανακάλυψε ότι η τάση αυξανόταν όταν περισσότερα βολταϊκά στοιχεία συνδέονταν σε σειρά, κατασκευάζοντας έτσι μία πρωτότυπη μπαταρία.

Κατά τον 19ο αιώνα οι μπαταρίες αποτελούσαν τη μοναδική πρακτική πηγή ενέργειας και γίνονταν έρευνες για την ανάπτυξη φθηνών και αποδοτικών συστημάτων. Από το 1880 περίπου, που άρχισαν να χρησιμοποιούνται ατμοκίνητες ηλεκτρικές γεννήτριες και εξαπλώθηκε η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας, περιορίστηκε η χρήση τους κυρίως σε εφαρμογές φορητών μικροσυσκευών ή στα αυτοκίνητα. Σήμερα, λόγω ευαισθητοποίησης της κοινωνίας σε σχέση με προβλήματα ρύπανσης από τις θερμοηλεκτρικές πηγές ενέργειας, εξάντλησης των φυσικών καυσίμων και υποστήριξης των μεταβαλλόμενων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, έστρεψαν το ενδιαφέρον ξανά στη χρησιμοποίηση και εξέλιξη των ηλεκτροχημικών στοιχείων.

Η έρευνα για την κατασκευή νέων μπαταριών με βελτιωμένα τεχνικά χαρακτηριστικά συνεχίζεται και σήμερα. Αναπτύχθηκαν και μελετώνται για πιθανές βελτιώσεις διάφοροι τύποι μπαταριών, με διαφορετικούς συνδυασμούς ηλεκτροδίων και ηλεκτρολυτών και με διαφορετικά λειτουργικά χαρακτηριστικά και αποδόσεις, που μπορούν να ανταποκριθούν στις διαφορετικές απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής περισσότερο ή λιγότερο ικανοποιητικά.

Ορισμένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά των συσσωρευτών αποτελούν τα ακόλουθα :

- **Ενεργειακή πυκνότητα (energy density):** Το ποσό της ενέργειας που μπορεί να αποδοθεί από μία μονάδα ενεργειακής αποθήκευσης ανά μονάδα μάζας ή όγκου της. Μετριέται συνήθως σε Wh/kg. Σε συνδυασμό με το φυσικό μέγεθος και το βάρος της διάταξης αποθήκευσης, η ενεργειακή πυκνότητα καθορίζει την ποσότητα της ενέργειας που μπορεί η διάταξη να αποθηκεύσει και να αποδώσει. Επιπλέον, το ποσό της ενέργειας ανά μονάδα όγκου αναφέρεται επίσης και ως *ειδική ενέργεια (specific energy)*.
- **Ενεργειακή απόδοση (energy efficiency):** Ο λόγος της ενέργειας που αποδίδεται προς την ενέργεια που αποθηκεύεται. Προφανώς, η αποθήκευση της ενέργειας και στη συνέχεια η επαναπόδοσή της στην κατανάλωση γίνεται με την παρεμβολή απωλειών, με αποτέλεσμα η ενέργεια που αποδίδεται να είναι μικρότερη από την ενέργεια που αποθηκεύεται. Τα συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης εμφανίζουν απώλειες φόρτισης, αυτόεκφόρτισης, καθώς και απώλειες λόγω απουσίας φορτίου. Ενεργειακές απώλειες παρατηρούνται επίσης και κατά τη μεταφορά της ενέργειας στον τόπο κατανάλωσης, αλλά και την μετατροπή του ηλεκτρικού ρεύματος (αναστροφείς, συστήματα ελέγχου) προκειμένου να μπορεί να εκμεταλλευτεί με ασφάλεια και αξιοπιστία από τα φορτία.

- **Χρόνος εκφόρτισης (discharge time):** Η μέγιστη διάρκεια για την εκφόρτιση ενός συστήματος αποθήκευσης με την μέγιστη ισχύ. Εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας του συστήματος και είναι μία χαρακτηριστική παράμετρος για την επάρκεια ενός συστήματος για συγκεκριμένες εφαρμογές.
- **Αυτο-εκφόρτιση (self-discharge):** Το ποσοστό της αποθηκευμένης αρχικά ενέργειας που χάνεται κατά τη διάρκεια μίας χρονικής περιόδου κατά την οποία το σύστημα αποθήκευσης παραμένει εκτός χρήσης. Εκφράζεται συνήθως σε ποσοστό % ανά ώρα ή σε ποσοστό % ανά ημέρα.
- **Διάρκεια ζωής (life-time):** Αναφέρεται στον αριθμό των φορών που η διάταξη μπορεί να αποδεσμεύσει την ποσότητα της ενέργειας για την οποία σχεδιάστηκε και εκφράζεται σαν ο μέγιστος αριθμός κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης. Όλα τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας υπόκεινται σε «κόπωση» ή φθορά από τη χρήση. Ο σχεδιασμός ενός συστήματος αποθήκευσης που εξετάζει την αντοχή της μονάδας από την άποψη των κύκλων, είναι πρωταρχικής σημασίας κατά την επιλογή του συστήματος. Εντούτοις, οι πραγματικές διαδικασίες κόπωσης είναι συχνά σύνθετες και η διάρκεια ζωής της μονάδας αποθήκευσης σε κύκλους δεν καθορίζεται πάντα με ακρίβεια.
- **Αυτονομία :** Αναφέρεται στο μέγιστο χρονικό διάστημα που το σύστημα μπορεί να απελευθερώνει συνεχώς την αποθηκευμένη ενέργεια. Η αυτονομία ενός συστήματος εξαρτάται από τον τύπο της αποθήκευσης και τον τύπο της εφαρμογής. Για μικρά συστήματα (μερικών kWh), σε μία απομονωμένη περιοχή που βασίζεται σε διαλείπουσα ανανεώσιμη ενέργεια, η αυτονομία είναι ένα κρίσιμο κριτήριο.
- **Κόστος :** Το κόστος σχετίζεται συνήθως με τις εφαρμογές για τις οποίες προορίζονται οι διατάξεις. Εξαρτάται δηλαδή από την εφαρμογή αν μία διάταξη είναι οικονομική ή όχι. Εκφράζεται συνήθως ως κόστος/kWh ή κόστος/kW. Μερικές διατάξεις μπορεί να εμφανίζουν υψηλό κόστος/kWh, αλλά σχετικά χαμηλότερο κόστος/kW, ενώ άλλες το αντίθετο.
- **Περιβαλλοντικές επιδράσεις (environmental impacts):** Αν και η παράμετρος αυτή δεν αποτελεί κριτήριο της απόδοσης των συσσωρευτών, η περιβαλλοντική «συμβατότητα» αποτελεί ισχυρή διαφήμιση για την προώθησή τους. Επομένως δεν πρέπει να αγνοούνται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που επιφέρει ένας τύπος συσσωρευτή [102]

3.2.1 Συσσωρευτές Μολύβδου-οξέος (Lead-Acid, Pb-PbO₂)

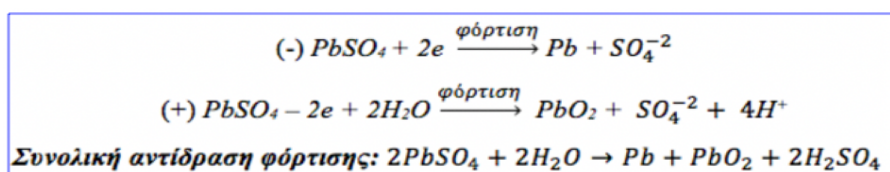
Σημαντικό σταθμό στην ιστορία των μπαταριών αποτελεί η εφεύρεση της μπαταρίας μολύβδου-οξέος, το 1859 από τον Γάλλο Φυσικό Gaston Planté, γιατί είναι στην ουσία η πρώτη πρακτικά επαναφορτιζόμενη μπαταρία.

Οι μπαταρίες αυτές με μικρές τροποποιήσεις χρησιμοποιούνται ευρύτατα μέχρι και σήμερα. Καλύπτουν μεγάλο εύρος εφαρμογών: από μπαταρίες SLI (Starting, Lighting, Ignition) για αυτοκίνητα, φορητά, υποβρυχία μέχρι UPS, από μπαταρίες ανύψωσης φορτίου για σταθεροποίηση του δικτύου μέχρι μπαταρίες έλξης (περονοφόρα ανυψωτικά οχήματα κ.ά.) καθώς και αυτόνομα συστήματα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Για κάθε εφαρμογή υπάρχει ιδιαίτερος και διαφορετικός σχεδιασμός.

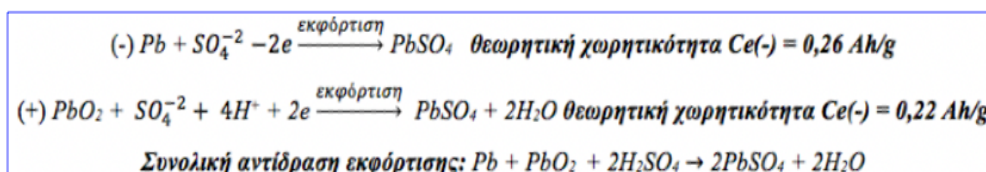
Στα κυριότερα πλεονεκτήματα τους κατατάσσεται το χαμηλό τους κόστος, η ευκολία κατασκευής τους και τα πολύ καλά λειτουργικά τους χαρακτηριστικά. Ωστόσο υπάρχουν και αρκετά μειονεκτήματα όπως η χαμηλή ενεργειακή τους πυκνότητα, λόγω του μεγάλου μοριακού βάρους του μολύβδου που χρησιμοποιείται στα ηλεκτρόδια καθώς επίσης και η τοξικότητα του υλικού. Ως εκ τούτου, απαιτείται η ανακύκλωσή του, η οποία όμως είναι οικονομικότερη από αλλά μέταλλα άλλων συστημάτων, λόγω του μικρού σημείου τήξης του μολύβδου (327,5οC).

Αναφορικά με δομή και τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις μπαταρίες αυτές, τα βασικότερα στοιχεία εξ αυτών αποτελούν :

- **Τα Ηλεκτρόδια** : αποτελούνται από την ενεργό μάζα και τη φέρουσα κατασκευή.
 - **Ενεργός μάζα** : συμμετέχει στις ηλεκτροχημικές αντιδράσεις και αποτελείται από την άνοδο και την κάθοδο.
 - Άνοδος: πάστα από σπογγώδη μόλυβδο μεγάλης επιφάνειας
 - Κάθοδος: πάστα από διοξείδιο του μολύβδου PbO₂
 - **Φέρουσα κατασκευή ή συλλέκτης ρεύματος**: συγκρατεί τις πάστες των ενεργών ουσιών, προσφέροντας την απαραίτητη μηχανική αντοχή στα ηλεκτρόδια και μεταφέρει το ρεύμα. Συνήθως έχει τη μορφή πλέγματος και κατασκευάζεται από κράματα μολύβδου με μικρές ποσότητες άλλων μετάλλων. Ο σχεδιασμός αυτός έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ενεργούς επιφάνειας των ηλεκτροδίων και βελτίωση των λειτουργικών χαρακτηριστικών του συστήματος. Άλλοι σχεδιασμοί είναι σφαιροειδή ή σπειροειδή ηλεκτρόδια.
- **Ηλεκτρολύτης**: διάλυμα θεικού οξέος, συγκέντρωσης περίπου 30%w/w, που αντιστοιχεί σε μέγιστες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας, χαμηλά σημεία πήξης και σχετικά μικρή διαβρωτικότητα. Παρασκευάζεται από υψηλής καθαρότητας θεικό οξύ και απιονισμένο νερό.
- **Διαχωριστές**: κατασκευασμένοι από μικροπορώδες πολυαιθυλένιο.
- **Δυναμικό ισορροπίας**: η τιμή του σε κατάσταση πλήρους φόρτισης είναι 2,1 V/κελί [102].

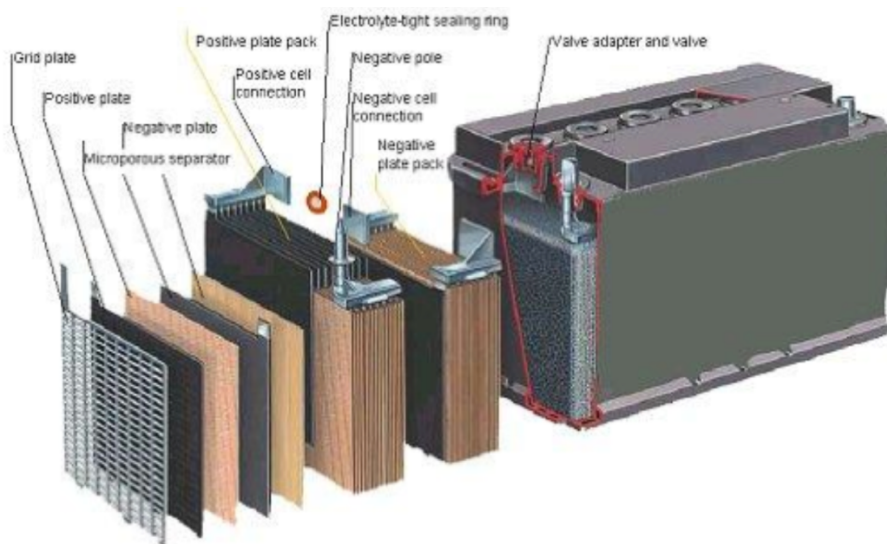


Εικόνα 3-2: Αντιδράσεις κατά την φόρτιση των συσσωρευτών μολύβδου-οξέος [102]



Εικόνα 3-3: Αντιδράσεις κατά την εκφόρτιση των συσσωρευτών μολύβδου-οξέος [102]

Για την κατασκευή μπαταριών μεγαλύτερης χωρητικότητας και τάσης από αυτές ενός κελιού, κατασκευάζονται συστοιχίες παράλληλα συνδεδεμένων ανοδικών και καθοδικών ηλεκτροδίων και συστοιχίες πολλών στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως για μια μπαταρία ονομαστικής τάσης 12 V απαιτείται η σύνδεση 6 στοιχείων σε σειρά.



Εικόνα 3–4: Συστοιχίες ανοδικών και καθοδικών πλακών συνδεδεμένες παράλληλα σε κάθε ένα από τα στοιχεία που αποτελείται μία μπαταρία μολύβδου-οξέος [102]

Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος ταξινομούνται σε 4 διαφορετικές κατηγορίες ανάλογα με της εφαρμογές τους.

- 1. Συσσωρευτές Εκκίνησης (Start- Lighting-Ignition, SLI) :** παρέχουν πολύ μεγάλα ρεύματα (400-600A) σε σύντομο χρονικό διάστημα για την εκκίνηση της μηχανής των αυτοκινήτων και στη συνέχεια ξαναφορτίζονται. Δεν αντέχουν σε βαθιές εκφορτίσεις και στην πράξη αποτυγχάνουν μετά από μερικούς κύκλους πλήρους εκφόρτισης. Η τυπική διάρκεια ζωής για DOD 20% είναι οι 500 κύκλοι.
- 2. Συσσωρευτές βαθιάς εκφόρτισης:** Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές με απαίτηση για βαθιές εκφορτίσεις μεγάλης διάρκειας, όπως σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Αποτελούνται από πιο μεγάλες και παχιές πλάκες, που τοποθετούνται σε μεγαλύτερα περιβλήματα, ώστε να υπάρχει μεγαλύτερος χώρος κάτω από αυτές για συσσώρευση της λάσπης των αποκολλούμενων ενεργών μαζών. Εκφορτίζονται μέχρι DOD 80% χωρίς να αποτυγχάνουν.
- 3. Συσσωρευτές μολύβδου βαθμίδας ρύθμισης (VRLA – Valve Regulated Lead Acid) :** Σφραγισμένοι συσσωρευτές μολύβδου. Διαθέτουν βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης στο εσωτερικό τους. Ο ηλεκτρολύτης είναι ακινητοποιημένος είτε με σχηματισμό πηκτής (gel) με προσθήκη οξειδίου του πυριτίου είτε με απορρόφησή του στον διαχωριστή. Έτσι περιορίζεται η πιθανότητα διαρροών και διευκολύνεται η χρήση τους σε διάφορες θέσεις, μειώνοντας την επιφάνεια που καταλαμβάνουν οι συστοιχίες. Σχεδιάστηκαν με σκοπό τον περιορισμό της παραγωγής και διαφυγής αερίων υδρογόνου και

οξυγόνου, που παράγονται από παράπλευρες αντιδράσεις κατά τη λειτουργία και από αυτοεκφόρτιση, αλλά κυρίως από αντιδράσεις υπερφόρτισης όταν το δυναμικό υπερβεί το δυναμικό έκλυσης των αερίων (περίπου 2,4 V ανά στοιχείο). Δεν απαιτείται συντήρηση του συσσωρευτή, σε αντίθεση με τους υγρού τύπου συσσωρευτές όπου απαιτείται η συστηματική αναπλήρωση νερού και ο καλός εξαερισμός. Μειονέκτημά τους σε σχέση με τους συμβατικούς είναι ότι παρουσιάζουν προβλήματα όταν λειτουργούν σε ακραίες συνθήκες και υψηλές θερμοκρασίες λόγω της μικρής ποσότητας ηλεκτρολύτη που διαθέτουν, ο οποίος δρα και σαν ψυκτικό μέσο, ενώ παράλληλα έχουν μικρότερο κύκλο ζωής.

- 4. Συσσωρευτές μολύβδου AGM (Absorbent Glass Micro-fibre) :**
Αναπτύχθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και αποτελούν την τελευταία λέξη της τεχνολογίας μπαταριών μολύβδου-οξέος. Χρησιμοποιούν διαχωριστές από μικροσκοπικές υαλοΐνες, οι οποίοι απορροφούν όλον τον ηλεκτρολύτη. Οι διαχωριστές τοποθετούνται σε επαφή με τα ηλεκτρόδια για ελαχιστοποίηση της εσωτερικής αντίστασης. Για καλύτερη συνάφεια η συστοιχία των ηλεκτροδίων / διαχωριστών συμπιέζεται με σφικτή εφαρμογή με το δοχείο του περιβλήματος. Η κατασκευή αυτή κάνει τις μπαταρίες του τύπου αυτού ανθεκτικές στις διαρροές και ανθεκτικότερες στις δονήσεις και στα χτυπήματα. Χάρη στην προηγμένη τεχνολογία τους είναι μικρότερες, ελαφρύτερες, αποδοτικότερες, με εξαιρετική ισχύ και με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Επίσης έχουν εξαιρετικά χαμηλή εσωτερική αντίσταση και ανταποκρίνονται σε απαιτητικές καταστάσεις, όπως η φόρτιση σε συνθήκες ακραίου ψύχους, όπου μπορεί να προκύψει μεγαλύτερη απαίτηση σε ενέργεια [102].

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> • Δεν απαιτείται η προσθήκη νερού • Δεν συμβαίνουν διαρροές οξέος • Ελαχιστοποίηση ατμών οξέος • Ευκολία μεταφοράς • Δεν απαιτείται ειδικός εξαερισμός • Η λειτουργία τους δεν επηρεάζεται από τον τρόπο τοποθέτησής τους • Οι συστοιχίες τους με τοποθέτηση η μία πάνω στην άλλη καταλαμβάνουν μικρότερη επιφάνεια • Δεν παρατηρείται διαστρωμάτωση του ηλεκτρολύτη, δηλαδή η συγκέντρωσή του είναι ίδια σε όλον τον όγκο του και είναι λιγότερο επιρρεπείς σε θειίκωση • Χρησιμοποιούν μικρότερες ποσότητες ηλεκτρολύτη και μολύβδου • Απαιτείται μικρότερη υπέρταση φόρτισης στη θερμοκρασία περιβάλλοντος • Οι AGM μπαταρίες μπορεί να εκφορτίζονται με μεγάλους ρυθμούς εκφόρτισης χωρητικότητας, μέχρι 5 φορές γρηγορότερα από τις συμβατικές 	<ul style="list-style-type: none"> • Μεγαλύτερο κόστος κατασκευής • Απαιτείται προσοχή κατά τη φόρτισή τους • Είναι ευαίσθητες σε υπερφορτίσεις (οι AGM έχουν μικρότερες ανοχές) • Η διαχείριση της θερμότητας είναι πιο κρίσιμη, ιδίως για τις AGM μπαταρίες • Παρατηρούνται σημαντικές αποκλίσεις στην τελική τιμή της τάσης φόρτισης • Απαιτείται αύξηση της υπέρτασης φόρτισης σε υψηλότερες θερμοκρασίες • Συχνά σε βαθιές εκφορτίσεις έχουν κατώτερη συμπεριφορά • Δεν είναι δυνατός ο έλεγχος της κατάστασης φόρτισης με μέτρηση της πυκνότητας • Μέγιστος χρόνος αποθήκευσης σε αναμονή 2 χρόνια • Δεν διατίθενται σε ξηρή φορτισμένη κατάσταση

Εικόνα 3–5: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κλειστού τύπου μπαταριών μολύβδου [102]

Συνολικά, μια σύνοψη των γενικότερων χαρακτηριστικών των μπαταριών αυτών αποτελεί :

- Ονομαστική τάση 2V, η μεγαλύτερη από όλα τα συστήματα με υδατικούς ηλεκτρολύτες, οπότε απαιτείται μικρότερος αριθμός στοιχείων για κατασκευή συστημάτων μεγαλύτερης ονομαστικής τάσης.
- Παρουσιάζουν καλή σταθερότητα τάσης κατά την εκφόρτιση.
- Χαρακτηρίζονται από υψηλούς βαθμούς απόδοσης (70-90%) και υψηλή αξιοπιστία. Ο ρυθμός αστοχίας τους είναι μικρότερος του 0,25%.
- Οι συνήθεις θερμοκρασίες λειτουργίας τους είναι από -40 °C έως 60°C, αν και σε πολύ χαμηλές και πολύ υψηλές θερμοκρασίες παρουσιάζουν μειωμένη απόδοση.
- Η ενεργειακή τους πυκνότητα είναι σχετικά χαμηλή, περίπου 70 Wh/L και 30-50 Wh/kg στους 20°C.
- Κατά την αποθήκευση, τα συστήματα SLI παρουσιάζουν αυτοεκφόρτιση που εξαρτάται από την τεχνική και τα υλικά κατασκευής τους. Στους 20 °C οι απώλειες κυμαίνονται από 2-3% / μήνα, για τους συσσωρευτές VRLA και μέχρι 20-30% για τους συμβατικούς τύπους Pb-Sb.
- Η χωρητικότητά τους εξαρτάται από το μέγεθός τους, καθορίζεται από τη μάζα των ενεργών υλικών στα ηλεκτρόδια και κυρίως από τα θετικά ηλεκτρόδια, στα οποία η πραγματική χωρητικότητα έχει χαμηλότερη τιμή από τη θεωρητική.
- Ο κύκλος ζωής τους είναι σχετικά μικρός και κυμαίνεται από 200-700 κύκλους φόρτισης/ εκφόρτισης για τα SLI συστήματα μέχρι και 1500 για τα συστήματα έλξης (κίνησης), ενώ επηρεάζεται αρνητικά από το βάθος εκφόρτισης και τη θερμοκρασία.
- Το συνιστώμενο βάθος εκφόρτισής τους είναι μικρό, γιατί μεγάλα βάθη εκφόρτισης έχουν αρνητικές έως καταστρεπτικές επιπτώσεις τα ηλεκτρόδια και μειώνουν τη διάρκεια ζωής τους.
- Κατασκευάζονται σε διάφορα σχήματα και διατάξεις, από μικρά στεγανά κελιά χωρητικότητας 1Ah μέχρι μεγάλα, χωρητικότητας μέχρι και 12000Ah.
- Ο ηλεκτρολύτης τους είναι έντονα διαβρωτικός και απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά τους χειρισμούς και συντήρηση των συστημάτων αυτών, όπως και κατάλληλη επιλογή υλικών για την κατασκευή τους που να μην προσβάλλονται από αυτόν [102].

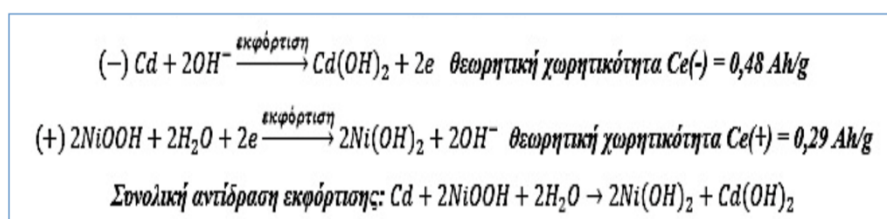
3.2.2 Συσσωρευτές Νικελίου-Καδμίου (Ni-Cd)

Το 1899 ο Σουηδός επιστήμονας Waldemar Jungner, εφηύρε την μπαταρία νικελίου-καδμίου, μία επαναφορτιζόμενη μπαταρία που αποτελείτο από ηλεκτρόδια νικελίου και καδμίου και ηλεκτρολύτη διάλυμα υδροξειδίου του καλίου. Ήταν η πρώτη μπαταρία που χρησιμοποιούσε αλκαλικό ηλεκτρολύτη και παρείχε δυναμικό 1,2V. Η χρήση ηλεκτρολυτών από αλκαλικά υδατικά διαλύματα, γίνεται λόγω της ηπίτερης δραστηρότητας που παρουσιάζουν προς τα υλικά των ηλεκτροδίων, σε σχέση με τους όξινους ηλεκτρολύτες. Πρωτοεμφανίστηκε στο εμπόριο στη Σουηδία το 1910 και έφτασε στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1946. Τα πρώτα μοντέλα της μπαταρίας ήταν ανθεκτικά, παρουσίαζαν σημαντικά καλύτερη απόδοση ενέργειας ανά μονάδα μάζας ή όγκου από τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος, αλλά ήταν πολύ πιο ακριβά, λόγω του υψηλού κόστους των πρώτων υλών τους, γεγονός που περιορίσε τη χρήση τους.

Έχουν αναπτυχθεί διάφορα συστήματα νικελίου-σιδήρου (Ni-Fe), νικελίου-καδμίου (Ni-Cd), νικελίου-ψευδαργύρου (Ni-Zn), νικελίου-υδριδίων μετάλλων (Ni-MH) κ.α. Οι πρώτοι: Ni-Cd και Ni-Fe γνωστοί και ως συσσωρευτές Edison. Οι συσσωρευτές Ni-Cd επικράτησαν των Ni-Fe και σήμερα κατασκευάζονται σε ποικιλία σχημάτων (πρισματικοί, κυλινδρικοί, κουμπιού) και μεγεθών, σφραγισμένοι ή εξαεριζόμενοι.

Αναφορικά με δομή και τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις μπαταρίες αυτές, τα βασικότερα στοιχεία εξ αυτών αποτελούν :

- **Ηλεκτρόδια:** Ενεργά υλικά
 - **Άνοδος:** υδροξείδιο του καδμίου $[Cd(OH)_2]$ που μετά από φόρτιση μετατρέπεται σε κάδμιο (Cd)
 - **Κάθοδος:** υδροξείδιο του νικελίου $[Ni(OH)_2]$ που μετά από φόρτιση μετατρέπεται σε υδροξείδιο του οξειδίου του νικελίου (NiOOH).
- **Ηλεκτρολύτης:** διάλυμα υπεροξειδίου του καλίου (KOH), συγκέντρωσης 6M (5,6%w/v) με μικρές ποσότητες υπεροξειδίου του λιθίου (LiOH) για βελτίωση του κύκλου ζωής και της λειτουργίας σε ψηλές θερμοκρασίες.
- **Βασική μονάδα:** (-) Cd/KOH/NiOOH (+)
- **Δυναμικό ισορροπίας:** σε κατάσταση πλήρους φόρτισης είναι 1,48 V/κελί



Εικόνα 3–6: Αντιδράσεις εκφόρτισης συσσωρευτών νικελίου-καδμίου (Ni-Cd) [102]

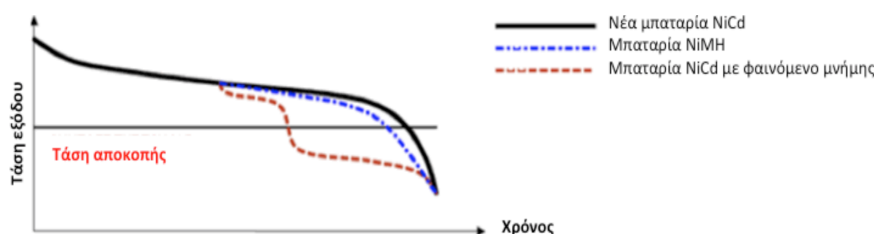
Όπως και στους συσσωρευτές μολύβδου οξέος έτσι και εδώ η χωρητικότητα των μπαταριών καθορίζεται από το θετικό ηλεκτρόδιο. Ακόμα, κατά τη φόρτιση γίνονται οι αντίστροφες αντιδράσεις καθώς και αντιδράσεις ηλεκτρόλυσης νερού, οπότε εκλύονται αέρια οξυγόνο και υδρογόνο. Σχτικά με το σχεδιασμό τους, κατασκευάζονται ανοικτού και κλειστού τύπου στοιχεία με περιορισμένη ποσότητα ηλεκτρολύτη, όπου τα αέρια που εκλύονται επανενώνονται στο εσωτερικό των κελιών.

Υπάρχουν 3 τύποι συσσωρευτών Ni-Cd που προκύπτουν βάσει του σχεδιασμού των ηλεκτροδίων τους :

1. Με ηλεκτρόδια λεπτών πλακών μεθήκες (pocket plate batteries)
2. Με ηλεκτρόδια από πλάκες πυροσυσσωματωμένου μετάλλου (sintered plate batteries)
3. Με ηλεκτρόδια από πλάκες με ίνες νικελίου (fiber nickel cadmium batteries – FNC)

Οι διαφορετικοί σχεδιασμοί των ηλεκτροδίων έχουν σαν στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής πυκνότητας, με αύξηση της ποσότητας ενεργού υλικού ανά μονάδα όγκου, αύξηση της ενεργούς επιφάνειας των ηλεκτροδίων, μείωση της εσωτερικής αντίστασης και βελτίωση της κινητικής και απόδοσης των αντιδράσεων.

Σημαντικό να αναφερθεί αποτελεί επίσης το γεγονός πως οι συσσωρευτές Ni-Cd παρουσιάζουν το φαινόμενο μνήμης (memory effect). Συγκεκριμένα, όταν ένα σύστημα φορτίζεται και εκφορτίζεται πολλές φορές μέχρι ένα συγκεκριμένο ποσοστό της ονομαστικής του χωρητικότητας, τείνει να το «θυμάται» και τελικά μπορεί να εκφορτίζεται αποτελεσματικά μόνο μέχρι το ποσοστό αυτό.



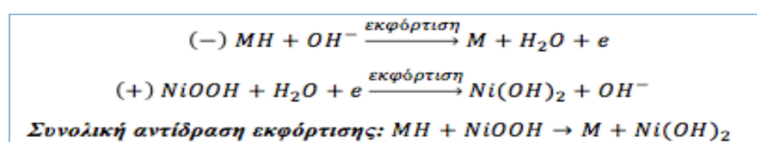
Εικόνα 3-7: Φαινόμενο μνήμης στους συσσωρευτές νικελίου-καδμίου (Ni-Cd) [102]

Συνολικά, μια σύνοψη των γενικότερων χαρακτηριστικών των μπαταριών αυτών αποτελεί :

- Ονομαστική τάση περίπου 1,2 V/κελί.
- Παρουσιάζουν σταθερότητα τάσης κατά την εκφόρτιση.
- Θερμοκρασίες λειτουργίας τους είναι από -50 °C έως 60 °C ανάλογα με τον τύπο του συστήματος. Για τις FNC μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών.
- Η ενεργειακή τους πυκνότητα ανά μονάδα μάζας στους 20 °C είναι περίπου αντίστοιχη με αυτή των συσσωρευτών μολύβδου, για τους εξαεριζόμενους λεπτών πλακών με θήκες είναι 20 Wh/kg, για τους εξαεριζόμενους πυροσυσσωματωμένων πλακών 30-40 Wh/kg, για τους σφραγισμένους 35 Wh/kg και για τους FNC 10-40 Wh/kg.
- Η ενεργειακή τους πυκνότητα ανά μονάδα όγκου είναι χαμηλή για τον τύπο λεπτών πλακών με θήκες (40 Wh/L), μεγαλύτερη για τον τύπο πυροσυσσωματωμένων πλακών 60-100 Wh/L ενώ για τον τύπο FNC χαμηλότερη (15-80 Wh/L).
- Η πυκνότητα ισχύος τους είναι ανάλογα με τον τύπο μέτρια, υψηλή ή πολύ υψηλή, με τον τύπο FNC να παρουσιάζει τις μεγαλύτερες αποδόσεις ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες.
- Αυτοεκφόρτιση στους 20°C της τάξης του 5-15% ανάλογα με τον τύπο του συστήματος και με μικρότερες απώλειες για το εξαεριζόμενο σύστημα λεπτών πλακών με θήκες, μικρότερη από τα συστήματα νικελίου-σιδήρου και μολύβδου.
- Ο κύκλος ζωής τους μπορεί να είναι πολύ μεγάλος (μέχρι 10.000 κύκλοι φόρτισης/εκφόρτισης για FNC και μέχρι 2000 κύκλοι για τους άλλους τύπους).
- Κατασκευάζονται σε διάφορους τύπους, πρισματικοί, κυλινδρικοί και τύπου κουμπιού, με χωρητικότητες που κυμαίνονται από λίγα Ah, για τους τύπου κουμπιού, μέχρι μεγάλα πρισματικά κελιά με 1440 Ah.
- Είναι ανθεκτικά σε ακραίες φυσικές και ηλεκτρικές συνθήκες.
- Περιέχουν κάδμιο, ένα τοξικό μέταλλο που απαιτεί ιδιαίτερους χειρισμούς.
- Ο ηλεκτρολύτης τους είναι διαβρωτικός και πρέπει να λαμβάνονται μέτρα προφύλαξης κατά τη συντήρηση των συστημάτων αυτών και τους χειρισμούς τους καθώς επίσης να επιλέγονται ανθεκτικά υλικά για την κατασκευή τους [102].

3.2.3 Συσσωρευτές Νικελίου-υδριδίων Μετάλλων (NiMH)

Τα στοιχεία NiMH είναι παρόμοια με τα στοιχεία Ni-Cd. Η άνοδος τους έχει το υδρογόνο σαν ενεργό υλικό, το οποίο προσροφάται σε ένα κράμα μετάλλων σχηματίζοντας υδρίδια (MH), ενώ η κάθοδος τους είναι ακριβώς ίδια με του στοιχείου Ni-Cd. Κατά τη φόρτιση και εκφόρτιση λαμβάνει χώρα αντιστρεπτή ρόφηση και εκρόφηση υδρογόνου στα ανοδικά ηλεκτρόδια. Έτσι το υλικό κατασκευής της ανόδου αποτελεί βασικό στοιχείο για τα συστήματα αυτά. Πρέπει να είναι σταθερό σε επαφή με τον ηλεκτρολύτη, να αποθηκεύει ικανή ποσότητα υδρογόνου ώστε το σύστημα να έχει μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα και χωρητικότητα, η ρόφηση του υδρογόνου να γίνεται αντιστρεπτά και να έχει αντοχή στις οξειδώσεις. Χρησιμοποιούνται δύο βασικοί τύποι κραμάτων στην άνοδο: κράματα τύπου AB₅ και κράματα τύπου AB₂, όπου Α και Β διαφορετικά μέταλλα. Τα κράματα της μορφής AB₅ έχουν κυριαρχήσει, λόγω του μικρότερου κόστους, της καλύτερης συμπεριφοράς σε εκφορτίσεις μεγάλου ρυθμού και για κατασκευαστικούς και τεχνικούς λόγους.



Εικόνα 3–8: Αντίδραση εκφόρτισης Συσσωρευτές νικελίου-υδριδίων μετάλλων (NiMH) [102]

Στα βασικά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών NiMH περιλαμβάνονται τα ακόλουθα:

- Δυναμικό ισορροπίας σε κατάσταση πλήρους φόρτισης είναι 1,4 V/κελί.
- Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, έτσι και εδώ η χωρητικότητα καθορίζεται από το θετικό ηλεκτρόδιο.
- Κατασκευάζονται σε διάφορους τύπους, πρισματικοί, κυλινδρικοί και τύπου κουμπιού.
- Η ενεργειακή τους πυκνότητα είναι υπερδιπλάσια των συσσωρευτών Pb και 40% μεγαλύτερη των NiCd, όμως το κόστος τους είναι μεγαλύτερο από τους NiCd, γεγονός που αντισταθμίζεται από το ότι δεν περιέχουν Cd που είναι τοξικό.
- Έχουν μικρότερη ενεργειακή πυκνότητα από τις μπαταρίες ιόντων λιθίου, οι οποίες ωστόσο έχουν και το διπλάσιο κόστος.
- Δεν εμφανίζουν το πρόβλημα του φαινομένου μνήμης στον βαθμό των NiCd.
- Μειονεκτήματά τους είναι ο σχετικά μεγάλος ρυθμός αυτοεκφόρτισης που παρουσιάζουν και ότι είναι λιγότερο ανθεκτικοί σε υπερφορτίσεις από τους NiCd [102].

Οι μπαταρίες NiMH χρησιμοποιήθηκαν συχνά σε ηλεκτρικά και υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα προηγούμενης γενιάς. Ωστόσο από το 2020 και μετά, έχουν αντικατασταθεί σχεδόν εξ ολοκλήρου με μπαταρίες λιθίου σε όλα τα ηλεκτρικά και plug-in υβριδικά οχήματα [110]



Εικόνα 3–9: Συσσωρευτές νικελίου-υδριδίων μετάλλων (NiMH) [110]

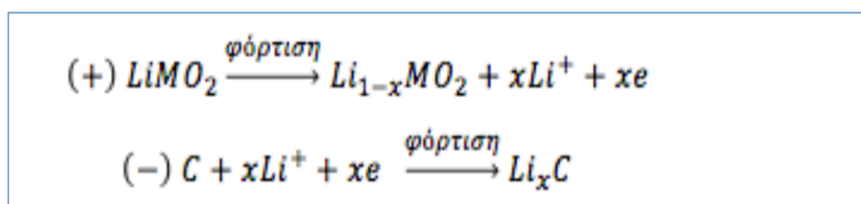
3.2.4 Συσσωρευτές Ιόντων Λιθίου (Li-Ion)

Οι συσσωρευτές ιόντων λιθίου είναι ένας από τους πιο δημοφιλείς τύπους επαναφορτιζόμενων μπαταριών για φορητά ηλεκτρονικά, έχουν όμως χρησιμοποιηθεί και σε στρατιωτικές εφαρμογές, σαν μπαταρίες ειδικών οχημάτων λόγω του μικρού τους βάρους και σε αεροναυπηγικές εφαρμογές, ενώ αναπτύσσεται και η χρήση τους σε εφαρμογές ενεργειακής αποθήκευσης στα πλαίσια συστημάτων αδιάκοπης παροχής ισχύος.

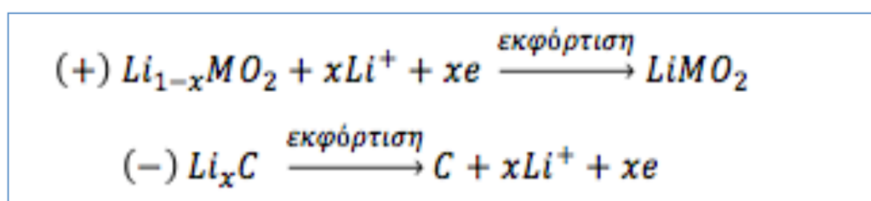
Το Li έχει τις πιο καλές ιδιότητες για υλικό ανοδικών ηλεκτροδίων. Όμως, λόγω της πολύ μεγάλης του δραστηριότητας όταν βρίσκεται σε μεταλλική κατάσταση, επικράτησε να χρησιμοποιείται σε ενώσεις του (ιόντα λιθίου), ώστε να μειωθεί η ενεργότητα και η έντονη δραστηριότητά του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ελαφρώς χαμηλότερες τιμές ενεργειακής πυκνότητας από τις μπαταρίες μεταλλικού λιθίου, αλλά μεγαλύτερη ασφάλεια και μεγαλύτερο κύκλο ζωής.

Αναφορικά με δομή και τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις μπαταρίες αυτές, τα βασικότερα στοιχεία εξ αυτών αποτελούν :

- **Ηλεκτρόδια:** Ενεργά υλικά:
 - **Άνοδος:** γραφίτης, ο οποίος μπορεί να σχηματίζει ενώσεις με ιόντα λιθίου του γενικού τύπου Li_xC .
 - **Κάθοδος:** σύνθετο οξείδιο λιθίου/μετάλλου (π.χ. $LiCoO_2$, $LiMn_2O_4$)
- **Ηλεκτρολύτης:** διάλυμα άλατος λιθίου σε οργανικούς διαλύτες υπό τη μορφή πηκτής ή μεμβράνες πολυμερούς ανταλλαγής ιόντων με άλατα λιθίου ή ανόργανα στερεά κεραμικά.
- **Ονομαστική τάση:** σε κατάσταση πλήρους φόρτισης είναι 3-4 V/κελί
- **Φόρτιση / εκφόρτιση:** μετακίνηση ιόντων λιθίου από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο.

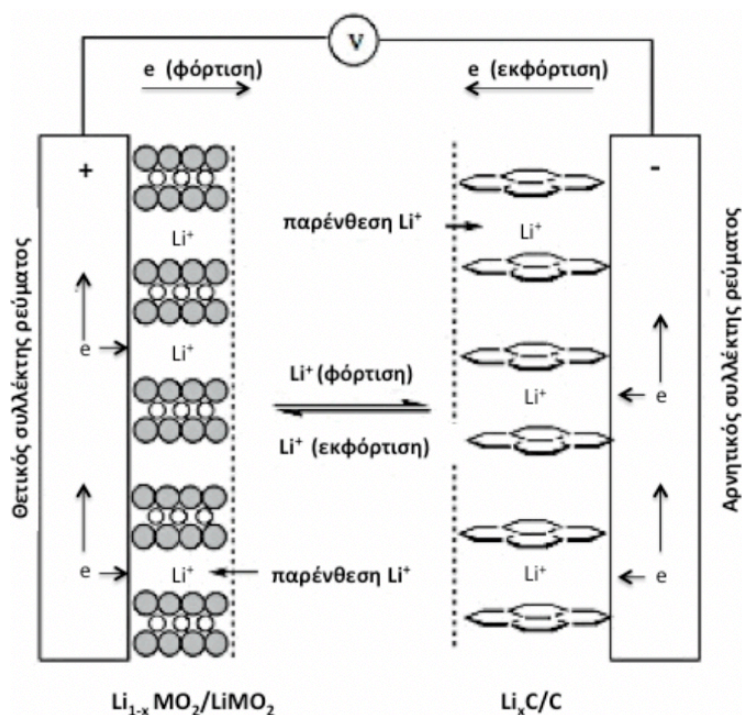


Εικόνα 3-10 : Αντιδράσεις κατά τη φόρτιση των συσσωρευτών ιόντων λιθίου (Li-Ion) [102]



Εικόνα 3-11: Αντιδράσεις κατά τη εκφόρτιση των συσσωρευτών ιόντων λιθίου (Li-Ion) [102]

Κατά τη φόρτιση ιόντα Li^+ μετακινούνται από τα θετικά στα αρνητικά ηλεκτρόδια, όπου παρεμβάλλονται μεταξύ των επιπέδων του γραφίτη. Το αντίστροφο συμβαίνει κατά την εκφόρτιση.



Εικόνα 3-12: Φόρτιση και εκφόρτιση συσσωρευτών ιόντων λιθίου [102]

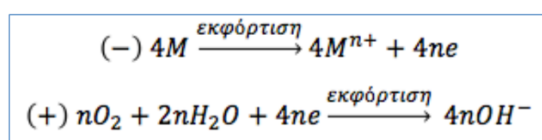
Στα βασικά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών ιόντων λιθίου περιλαμβάνονται τα ακόλουθα :

- Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι από τους δημοφιλέστερους τύπους μπαταριών ευρείας κατανάλωσης, με καλή ενεργειακή πυκνότητα, καμία επίδραση μνήμης, υψηλή τάση εξόδου (~3,7 V) και βραδεία απώλεια φορτίου όταν δε χρησιμοποιούνται.
- Τα χαρακτηριστικά τους εξαρτώνται πολύ από τα ενεργά υλικά των ηλεκτροδίων και από τον τύπο του ηλεκτρολύτη ενώ βελτιώνονται συνεχώς με αλλαγές των υλικών και της τεχνολογίας κατασκευής τους.
- Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου πολυμερούς επιτρέπουν τον σχεδιασμό ελαφρύτερων, ασφαλέστερων και πιο στιβαρών κελιών, πολύ μικρού πάχους. Έχουν όμως μεγαλύτερη εσωτερική αντίσταση, επομένως δεν μπορούν να προσφέρουν μεγάλες εντάσεις ρεύματος και ιδιαίτερα σε χαμηλές θερμοκρασίες. Επίσης έχουν μικρότερη ενεργειακή πυκνότητα και μειωμένο κύκλο ζωής.
- Οι εμπορικές μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι συνήθως υβριδικά συστήματα με ηλεκτρολύτη πηκτή/πολυμερές. Το πολυμερές εμποτίζεται με την πηκτή άλατος λιθίου και παίζει τον ρόλο του διαχωριστή και του ηλεκτρολύτη.
- Μειονέκτημά τους είναι ότι απαιτείται κύκλωμα προστασίας σε κάθε συστοιχία, που να περιορίζει την τάση κορυφής κατά τη φόρτιση και να εμποδίζει τη μεγάλη πτώση τάσης κατά την εκφόρτιση, ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής λειτουργία τους. Γεγονός που σε συνδυασμό με τα υλικά που χρησιμοποιούνται αυξάνει το κόστος τους [102].

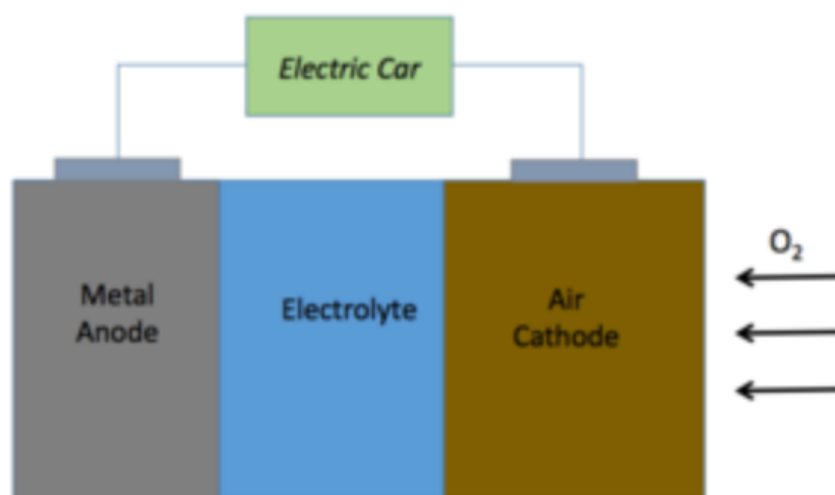
3.2.5 Συσσωρευτές Μετάλλου-Αέρα

Σε γενικότερο πλαίσιο οι συσσωρευτές μετάλλου-αέρα χρησιμοποιούν ανοδικά μεταλλικά ηλεκτρόδια. Έχουν μελετηθεί στοιχεία λιθίου (Li), ασβεστίου (Ca), μαγνησίου (Mg), αλουμινίου (Al), ψευδαργύρου (Zn) και σιδήρου (Fe), με τον Zn να παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, ως το πιο ηλεκτροθετικό μέταλλο με σταθερότητα σε υδατικούς αλκαλικούς ηλεκτρολύτες. Το καθοδικό τους ηλεκτρόδιο κατασκευάζεται από πλέγμα από ίνες άνθρακα, στο οποίο διοχετεύεται αέρας και η αντίδραση που γίνεται είναι η αντίδραση αναγωγής του οξυγόνου. Σαν ηλεκτρολύτες χρησιμοποιούνται συνήθως υδατικά αλκαλικά διαλύματα.

Η χωρητικότητά τους καθορίζεται από τη χωρητικότητα της ανόδου, αφού η καθοδική αντίδραση είναι συνεχής και αδιάλειπτη, όσο διαρκεί η τροφοδοσία του καθοδικού ηλεκτροδίου με αέρα.



Εικόνα 3-13: Αντιδράσεις κατά τη εκφόρτιση των συσσωρευτών μετάλλου-αέρα [102]



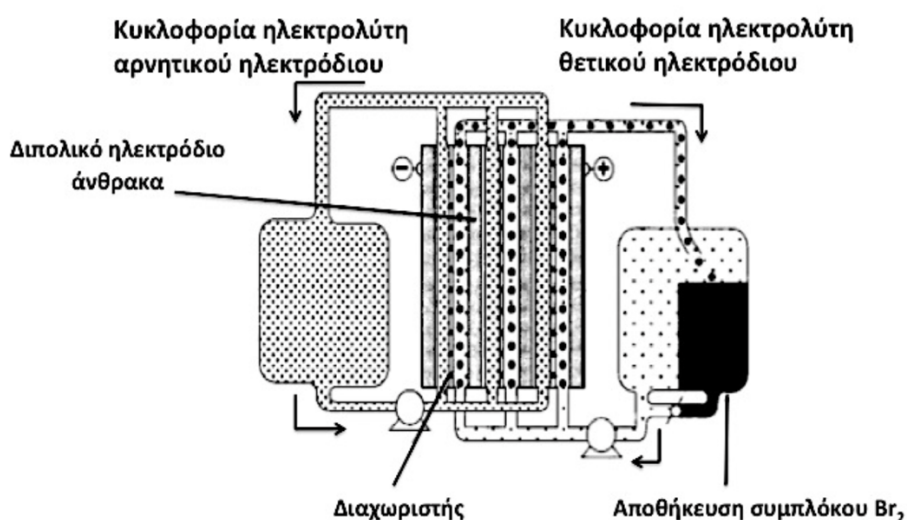
Εικόνα 3-14: Συσσωρευτές μετάλλου-αέρα [111]

Στα βασικά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών μετάλλου-αέρα περιλαμβάνονται τα ακόλουθα :

- Οι τάσεις τους κυμαίνονται από 1 V έως 2,7 V, ανάλογα με το ανοδικό μεταλλικό υλικό
- Οι ενεργειακές τους πυκνότητες είναι μεγάλες.
- Απαιτείται ρυθμιστής ροής αέρα
- Δεν έχουν περιβαλλοντικό αντίκτυπο
- Είναι χαμηλού κόστους
- Η χωρητικότητά τους είναι ανεξάρτητη του φορτίου και της θερμοκρασίας.
- Η επαναφόρτισή τους μπορεί να είναι μηχανική ή ηλεκτροχημική [102].

3.2.6 Συσσωρευτές Ροής Ψευδαργύρου-Βρωμίου (Zn/Br₂)

Στους συσσωρευτές ροής, οι ενεργές ουσίες, διαλυμένες σε διαλύματα ηλεκτρολυτών, αποθηκεύονται ξεχωριστά σε εξωτερικές δεξαμενές και τροφοδοτούνται στα κελιά μέσω εξωτερικών συστημάτων κυκλοφορίας. Έτσι είναι δυνατό να ρυθμιστούν ανεξάρτητα οι παράμετροι που καθορίζουν τη χωρητικότητα και την ισχύ. Η ισχύς είναι το γινόμενο του ρεύματος επί το δυναμικό και εξαρτάται από τον αριθμό των κελιών που συνδέονται σε σειρά. Από την άλλη πλευρά, η χωρητικότητα καθορίζεται από την ποσότητα του ηλεκτρολύτη και τη συγκέντρωση των ενεργών ουσιών σε αυτόν, άρα από το μέγεθος των δεξαμενών αποθήκευσης και τη συγκέντρωση των ενεργών ουσιών.



Εικόνα 3-15: Μπαταρία ροής ψευδαργύρου-βρωμίου (Zn /Br₂) με τρία κελιά συνδεδεμένα σε σειρά [102]

Στα βασικά πλεονεκτήματα των συσσωρευτών ροής κατατάσσονται τα ακόλουθα :

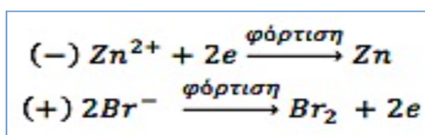
- Αποθηκεύουν μεγάλα ποσά ενέργειας.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής.
- Η αυτοεκφόρτισή τους είναι πολύ περιορισμένη λόγω της αποθήκευσης των ηλεκτρολυτών στις εξωτερικές δεξαμενές σε περιόδους αναμονής.
- Μπορεί να εκφορτίζονται σε μεγάλα βάθη εκφόρτισης χωρίς προβλήματα και βλάβες.
- Μπορεί να επαναφορτίζονται πάρα πολύ γρήγορα και άμεσα με αντικατάσταση του ηλεκτρολύτη αν δεν υπάρχει διαθέσιμη πηγή φόρτισης.
- Είναι ασφαλείς και έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν μη τοξικά υλικά.
- Δεν αποδίδουν επιβλαβείς ουσίες για το περιβάλλον.
- Έχουν χαμηλό κόστος συντήρησης.

Παρά τα πλεονεκτήματα που εμφανίζει αυτός ο τύπος συσσωρευτών, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα όπως :

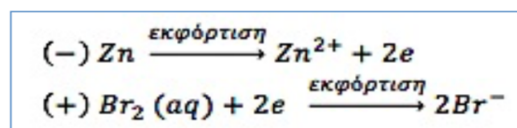
- Απαιτείται εξοπλισμός, όπως δεξαμενές, αντλίες και συστήματα ελέγχου για την κυκλοφορία των ηλεκτρολυτών. Έτσι χρησιμοποιούνται μόνο σε μεγάλης κλίμακας εφαρμογές, σε απομονωμένες περιοχές, όπου είναι απαραίτητες οι μεγάλες ποσότητες ενέργειας.
- Υψηλό κόστος εγκατάστασης και εξοπλισμού.

Αναφορικά με δομή και τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις μπαταρίες ροής ψευδαργύρου-βρωμίου (Z/Br₂), τα βασικότερα στοιχεία εξ αυτών αποτελούν :

- **Ηλεκτρόδια:** διπολικά ηλεκτρόδια γραφίτη
- **Ηλεκτρολύτης:** διάλυμα ZnBr₂
- **Βασική μονάδα:** (-) Z/ZnBr₂ /Br₂ (+)
- **Δυναμικό ισορροπίας:** 1,85 V/κελί **Ονομαστική τάση:** 1,5-1,6 V/κελί



Εικόνα 3–16: Αντιδράσεις κατά τη φόρτιση των συσσωρευτών ψευδαργύρου-βρωμίου (Z/Br₂) [102]



Εικόνα 3–17: Αντιδράσεις κατά τη εκφόρτιση των συσσωρευτών ψευδαργύρου-βρωμίου (Z/Br₂) [102]

Στα βασικά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών ψευδαργύρου-βρωμίου (Z/Br₂) περιλαμβάνονται τα ακόλουθα :

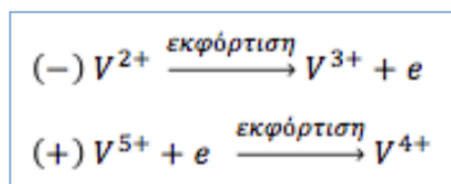
- Έχουν καλή ενεργειακή απόδοση και υψηλή ενεργειακή πυκνότητα.
- Μπορεί να φορτίζονται πολύ γρήγορα ενώ η πλήρης εκφόρτιση δεν προκαλεί βλάβες, αντιθέτως δρα βελτιωτικά.
- Λόγω της κυκλοφορίας των ηλεκτρολυτών είναι ευκολότερη η διαχείριση της θερμοκρασίας και εξασφαλίζεται ομοιομορφία τροφοδοσίας των αντιδρώντων.
- Λειτουργούν σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, με μικρή επίδραση της θερμοκρασίας στην ενεργειακή απόδοση.
- Κατασκευάζονται από υλικά χαμηλού κόστους και υπάρχει ευελιξία σχεδίασης του συνολικού συστήματος.
- Ανακυκλώνονται με συμβατικές τεχνικές και έχουν χαμηλό περιβαλλοντικό αντίκτυπο.
- Απαιτούν βοηθητικά συστήματα στην εγκατάσταση [102].

3.2.7 Συσσωρευτές Ροής Οξειδοαναγωγής Βαναδίου (Vanadium Redox Battery VRB)

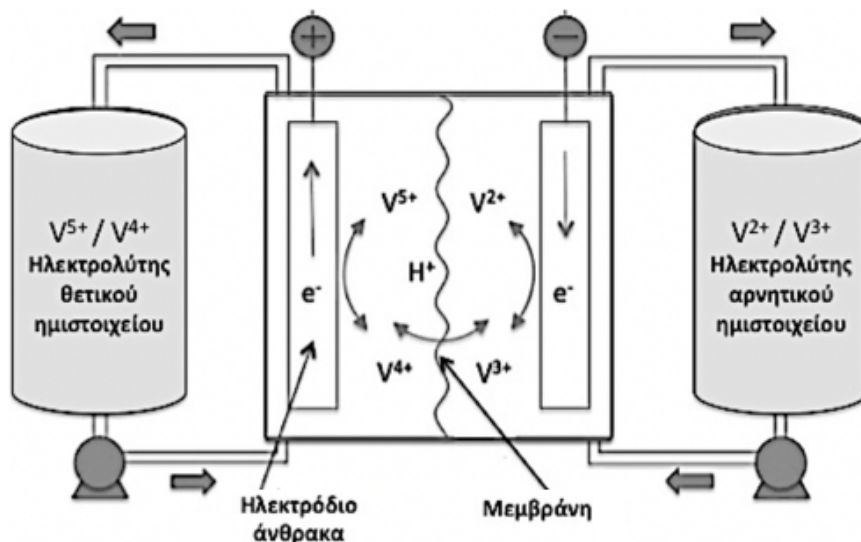
Η δομή και τα υλικά που χρησιμοποιούνται στους συσσωρευτές ροής οξειδοαναγωγής βαναδίου (Vanadium Redox Battery VRB) αποτελούν :

- Ηλεκτρόδια: αδρανή διπολικά ηλεκτρόδια γραφίτη
- Ηλεκτρολύτης: άνοδος: διάλυμα ιόντων V²⁺, κάθοδος: διάλυμα ιόντων V⁵⁺
- Βασική μονάδα: (-) V²⁺/V³⁺//V⁵⁺/V⁴⁺ (+)

- Δυναμικό ισορροπίας: 1,26 V/κελί



Εικόνα 3–18: Αντιδράσεις κατά την εκφόρτιση των συσσωρευτών ροής οξειδοαναγωγής βαναδίου (Vanadium Redox Battery VRB) [102]



Εικόνα 3–19: Συσσωρευτές ροής οξειδοαναγωγής βαναδίου (Vanadium Redox Battery VRB) [102]

Στα βασικά πλεονεκτήματα τους κατατάσσονται τα ακόλουθα :

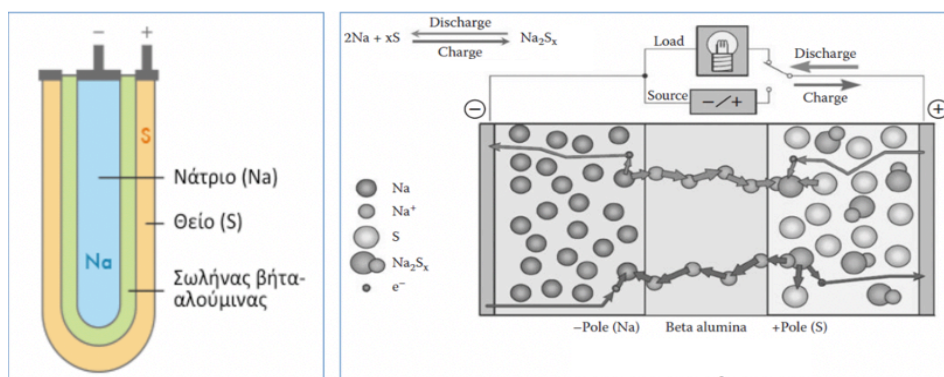
- Ανάλογα με το μέγεθος των δεξαμεμών μπορούν να προσφέρουν απεριόριστη ενέργεια.
- Μπορεί να παραμένουν αφόρτιστοι για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς αρνητικές επιπτώσεις.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (15000-20000 κύκλους).
- Η αυτοεκφόρτισή τους είναι περιορισμένη.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλα βάθη εκφόρτισης.
- Έχουν πολύ γρήγορη ανταπόκριση στις απαιτήσεις φορτίου. Στην πράξη η ταχύτητα απόκρισης περιορίζεται από τον ηλεκτρικό εξοπλισμό του συστήματος.

Ωστόσο παρουσιάζουν και ορισμένα μειονεκτήματα όπως :

- Έχουν σχετικά μικρή ενεργειακή πυκνότητα (περίπου 20Wh/kg), συγκριτικά με άλλα συστήματα, λόγω της μικρής διαλυτότητας των ενεργών ουσιών στους ηλεκτρολύτες. Ωστόσο με ρύθμιση της θερμοκρασίας και προσθήκη κατάλληλων ουσιών που βελτιώνουν τη διαλυτότητα έχουν επιτευχθεί καλύτερες αποδόσεις [102].

3.2.8 Συσσωρευτές Νατρίου-Θείου (NaS) Υψηλών Θερμοκρασιών

Οι συσσωρευτές νατρίου-θείου (NaS) κατασκευάζονται από από ηλεκτρόδια που στην άνοδο τους χρησιμοποιούν τηγμένο νάτριο, ενώ στην κάθοδο τηγμένο θείο. Ο Ηλεκτρολύτης αποτελείται από κεραμικό βήτα αλούμινας (Al_2O_3), που επιτρέπει μόνο στα θετικά ιόντα νατρίου να περάσουν μέσω αυτού αποτρέποντας την ανάμιξη των τηγμένων ενεργών ουσιών και την αυτοεκφόρτιση. Στη θερμοκρασία λειτουργίας τους $300\text{-}350^\circ\text{C}$, τα ενεργά υλικά διατηρούνται σε τηγμένη κατάσταση, ενώ παράλληλα εξασφαλίζεται επαρκής ιοντική αγωγιμότητα μέσω του ηλεκτρολύτη.



Εικόνα 3-20: Συσσωρευτές νατρίου-θείου (NaS) υψηλών θερμοκρασιών [102]

Κατά την εκφόρτιση, το νάτριο οξειδώνεται στην άνοδο και τα ιόντα Na^+ που προκύπτουν μετακινούνται μέσω του ηλεκτρολύτη προς το ηλεκτρόδιο τηγμένου θείου και σχηματίζουν πεντασουλφίδιο του νατρίου (Na_2S_5). Η τάση εκφόρτισης είναι περίπου 2 V και σταθερή μέχρι DOD 60%. Σε μεγαλύτερα βάθη εκφόρτισης μειώνεται η τάση και αλλάζει ο αριθμός των ατόμων θείου στο μόριο του πολυσουλφιδίου που σχηματίζεται (στα 1,78V σχηματίζεται Na_2S_3 ενώ στα 1,74V σχηματίζεται Na_2S_2), οπότε αυξάνεται η ηλεκτρική αντίσταση του θετικού ηλεκτροδίου και εμποδίζεται η παραπέρα εκφόρτιση. Φυσικά, κατά τη φόρτιση γίνονται οι αντίστροφες αντιδράσεις.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των συσσωρευτών NaS είναι :

- Έχουν μεγάλη πυκνότητα ενέργειας (755 Wh/kg) και ισχύ λόγω των υψηλών θερμοκρασιών λειτουργίας τους.
- Έχουν μεγάλες αποδόσεις (80- 90%).
- Μπορούν να παρέχουν ενέργεια για μεγάλα βάθη εκφόρτισης.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (περίπου 4500 κύκλοι φόρτισης/εκφόρτισης).
- Το φαινόμενο της αυτοεκφόρτισης περιορίζεται λόγω της χρήσης του στερεού ηλεκτρολύτη.
- Κατασκευάζονται από φθηνά και άφθονα υλικά.
- Έχουν γρήγορη απόκριση σε απαιτήσεις ενέργειας.

Τα μειονεκτήματα των συσσωρευτών NaS αποτελούν :

- Οι υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας απαιτούν θερμική διαχείριση του συστήματος και κατανάλωση ενέργειας. Χρησιμοποιούν στην πράξη το 10-14% της χωρητικότητάς τους ανά ημέρα για διατήρηση της θερμοκρασίας όταν δεν χρησιμοποιούνται.
- Θέμα ασφάλειας σε περίπτωση που έρθουν σε επαφή τα τηγμένα ενεργά υλικά, γιατί η αντίδραση μεταξύ τους είναι πολύ βίαιη και μπορεί να προκληθεί φωτιά [102].

3.2.9 Σύγκριση Τύπων Επαναφορτιζόμενων Συσσωρευτών

Στις συσκευές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και ειδικότερα στην περίπτωση των επαναφορτιζόμενων μπαταριών με αντιστρεπτές ηλεκτροδιακές αντιδράσεις, υπάρχουν ορισμένοι παράγοντες που εξασφαλίζουν την αποτελεσματικότητά τους. Οι κυριότεροι από αυτούς αποτελούν :

- Μεγάλη απόδοση ενέργειας και μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα
- Σταθερότητα υναμικού κατά τη λειτουργία τους
- Μεγάλος κύκλος ζωής, ώστε να είναι δυνατός μεγάλος αριθμός φορτίσεων και εκφορτίσεων
- Μικρός ρυθμός αυτοεκφόρτισης, δηλαδή η διάβρωση της ενεργού μάζας κατά τον χρόνο αναμονής να είναι μικρή.
- Μικρή εσωτερική αντίσταση ώστε να περιορίζεται η πτώση τάσης κατά τη λειτουργία τους
- Ευρεία περιοχή θερμοκρασιών λειτουργίας
- Απλή λειτουργία και συντήρηση
- Να είναι εύκολα ανακυκλώσιμοι και εάν είναι δυνατόν να μην χρησιμοποιούν τοξικά υλικά

Τα παραπάνω περιορίζουν τους δυνατούς συνδυασμούς ημιστοιχείων για παραγωγή επαναφορτιζόμενων συσσωρευτών. Πιο αναλυτικά, μια αναφορά των τεχνικών χαρακτηριστικών που εμφανίζουν οι διάφοροι τύποι επαναφορτιζόμενων συσσωρευτών παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Σύστημα	Δυναμικό ανοικτού κυκλώματος (V)	Δυναμικό κλειστού κυκλώματος * (V)	Θεωρητική χωρητικότητα ανά μονάδα μάζας ** (Ah/kg)	Θεωρητική ενεργειακή πυκνότητα** (Wh/kg)	Θερμοκρασία λειτουργίας (°C)	Κύκλοι ζωής†	Αυτοεκφόρτιση % ανά μήνα σε 20°C
Pb οξέος	2,1	1,98	120	252	-20 - 50	800	3
<u>Νικελίου</u>							
Νικελίου-καδμίου	1,35	1,20	181	244	-50 - 60	2000	10
Νικελίου-υδριδίουμετάλλου	1,40	1,20	178	240	-20 - 50	3000	30
<u>Ιόντων λιθίου</u>							
Li-C/LiCoO ₂	3 - 4	3 - 4	100	360	-20 - 60	400	-
Li-C/LiMn ₂ O ₄ (πολυμερής ηλεκτρολύτης)	3 - 4	3 - 4	105	400	-20 - 60	600	< 2,5
<u>Μετάλλου-αέρα</u>							
Zn-αέρα	1,6	1,1	825	1320	0 - 45	Μηχανική επαναφόρτιση	-
Al-αέρα	2,73	1,4	2980	8135	10 - 60		-
Fe-αέρα	1,3	1,0	960	1250	-20 - 45	300	15
Ψευδαργύρου-βρωμίου	1,83	1,6	238	429	10 - 50	1250	-
RedoxΒαναδίου	1,4	1,25	21	29	10 - 40	3000	5 - 10
Πολυσουλφιδίου-βρωμίδιου	1,5	1,2	27	41	10 - 50	2000	5 - 10
Νατρίου-θείου	2,08	2,0	375	755	300 - 350	4500	-

*για ρυθμό εκφόρτισης C/5, ** τιμές υπολογισμένες βάσει των αντιδράσεων και της μάζας των ενεργών ουσιών, † για εκφόρτιση ρυθμού C/5 μέχρι 80% της χωρητικότητας.

Εικόνα 3–21: Σύγκριση των διαφόρων τύπων επαναφορτιζόμενων συσσωρευτών [102]

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται ακόμα ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά για διάφορους τύπους επαναφορτιζόμενων συσσωρευτών, το πεδίο εφαρμογής τους, καθώς επίσης τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που αυτοί εμφανίζουν κατά τη λειτουργία τους.

Σύστημα	Ενεργειακή πυκνότητα (Wh/kg)*	Ενεργειακή πυκνότητα (Wh/L)*	Πυκνότητα Ισχύος (W/kg)**	Απόδοση %	Εφαρμογές	Πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα
Pb οξείος	35	80	200	70-95	Ηλεκτρικά/υβριδικά σχήματα, αποθήκευση ενέργειας, καταναλωτές	Εμπορικά διαθέσιμα, δεν απαιτούν ιδιαίτερη συντήρηση, έχουν μικρή ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα μάζας, απαιτείται ανακύκλωση του μολύβδου
<u>Νικελίου</u> Νικελίου-καδμίου	35	80	260	60-90	Ηλεκτρικά/υβριδικά σχήματα, αεροδιαστημική, αποθήκευση ενέργειας, καταναλωτές	Εμπορικά διαθέσιμα, χαμηλής ενέργειας και υψηλού κόστους, παρουσιάζουν φαινόμενο μνήμης, το κάδμιο είναι τοξικό, απαιτείται ανακύκλωση
Νικελίου-υδριδίου μετάλλου	65	220	850		Ηλεκτρικά/υβριδικά σχήματα, αεροδιαστημική, καταναλωτές	Μεγάλης ενεργειακής πυκνότητας ανά μονάδα όγκου, μεγάλης πυκνότητας ισχύος και υψηλού κόστους
Ιόντων λιθίου Li-C/LiCoO ₂	155	410	100	90 - 100	Καταναλωτές, ηλεκτρικά/υβριδικά σχήματα, αποθήκευση ενέργειας	Μεγάλης ενεργειακής πυκνότητας ανά μονάδα όγκου, υψηλού κόστους, απαιτείται ανακύκλωση υλικών
Li-C/LiMn ₂ O ₄ (πολυμερής ηλεκτρολύτης)	140	300	105			
<u>Μετάλλου-αέρα</u> Zn-αέρα	150	160	95	50	Βιομηχανικές εφαρμογές	Μέτριας ενεργειακής πυκνότητας, μικρής διάρκειας ζωής και μικρής πυκνότητας ισχύος, χαμηλού κόστους, μη επαναφορτιζόμενες ηλεκτρικά, μόνο μηχανικά
Ψευδαργύρου-βρωμίου	65	60	90	75	Αποθήκευση ενέργειας	Χαμηλού κόστους, χαμηλής πυκνότητας ενέργειας, μεγάλης χωρητικότητας για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας
Redox Βαναδίου	10	10	-	60-80	Αποθήκευση ενέργειας	Μεγάλης χωρητικότητας για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας
Πολυσουλφιδίου-βρωμίδιου	20	20	-	60-65	Αποθήκευση ενέργειας	Μεγάλης χωρητικότητας για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας
Νατρίου-θείου	170	345	250	90	Αποθήκευση ενέργειας	Μεγάλης πυκνότητας ενέργειας, λειτουργία σε υψηλές θερμοκρασίες

* για ρυθμό εκφόρτισης C/5, ** οι τιμές δίνονται για γρήγορη παλμική εκφόρτιση από πλήρη φόρτιση σε επίπεδο φόρτισης και δεν αντιστοιχούν στη μέγιστη ισχύ που μπορεί να αποδώσουν τα συστήματα με κατάλληλο σχεδιασμό για απόδοση υψηλής ισχύος.

Εικόνα 3–22: Σύγκριση των διαφόρων τύπων επαναφορτιζόμενων συσσωρευτών [102]

Πιο αναλυτικά, από τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν στους παραπάνω πίνακες προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- **Ενεργειακή απόδοση:**
 - Τα μεγαλύτερα ποσοστά παρουσιάζουν οι συσσωρευτές ιόντων λιθίου (90-100%), καθώς και οι νατρίου-θείου (90%, απαιτούν όμως λειτουργία σε υψηλές θερμοκρασίες).
 - Πίσω τους ακολουθούν οι μπαταρίες μολύβδου (70-95%), νικελίου (60-90%), ψευδαργύρου-βρωμίου (75%), redox βαναδίου (60-80%).
 - Στις χαμηλότερες τιμές κυμαίνονται οι συσσωρευτές πολυσουλφιδίου-βρωμίδιου (60-65%) και οι μετάλλου-αέρα (περίπου 50%, λόγω δυσκολίας επαναφόρτισής τους με ηλεκτρικό τρόπο).
- **Ενεργειακές πυκνότητες ανά μονάδα μάζας:**
 - Οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται στις μπαταρίες Νατρίου-Θείου (170Wh/kg) αλλά σε υψηλές θερμοκρασίες. Ακολουθούν οι Λιθίου και Μετάλλου-αέρα (περίπου 150Wh/kg).
 - Μέτριες τιμές παρουσιάζουν οι συσσωρευτές ψευδαργύρου-βρωμίου (65Wh/kg).
 - Στις χαμηλότερες τιμές κατατάσσονται οι μπαταρίες Νικελίου (35-65Wh/kg), Μολύβδου (35Wh/kg) και Redox βαναδίου (10Wh/kg).
- **Πυκνότητα Ισχύος:**
 - Οι μεγαλύτερες τιμές πιστώνονται στους συσσωρευτές Νικελίου-Υδριδίου μετάλλου (850 W/kg).
 - Στο μέσον κυμαίνονται οι μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου (260 W/kg) και μολύβδου οξέος (200 W/kg).
 - Σε χαμηλότερα επίπεδα κινούνται οι συσσωρευτές ιόντων λιθίου (100-105 W/kg), Μετάλλου αέρα (95 W/kg) και ψευδαργύρου-βρωμίου (90 W/kg).
- **Δυναμικό ανοιχτού και κλειστού κυκλώματος:**
 - Οι μεγαλύτερες τιμές καταγράφονται για τους συσσωρευτές ιόντων λιθίου (3-4V).
 - Μεσαίες τιμές σημειώνονται σε συσσωρευτές νατρίου-θείου (2,08V και 2,0V αντίστοιχα), καθώς και οι μολύβδου-οξέος (2,1 V και 1,98V).
 - Για τους υπόλοιπους τύπους συσσωρευτών η πλειονότητα των δυναμικών που εμφανίζεται είναι κάτω των 2V, με το μικρότερο να πιστώνεται στους συσσωρευτές σιδήρου-αέρα (1,3V και 1,0V αντίστοιχα).
- **Κύκλοι ζωής:**
 - Εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας, τα βάθη και τους ρυθμούς εκφόρτισης.
 - Τον μεγαλύτερο κύκλο ζωής παρουσιάζουν οι συσσωρευτές νατρίου-θείου (4.500 κύκλοι). Ακολουθούν οι redox-βαναδίου και υδριδίου-μετάλλου (3.000 κύκλοι).
 - Στο μέσον κατατάσσονται οι συσσωρευτές πολυσουλφιδίου-βρωμίου και νικελίου-καδμίου (2.000 κύκλοι), καθώς και οι ψευδαργύρου-βρωμίου (1.250 κύκλοι).

- Τους λιγότερους κύκλους εμφανίζουν τα συστήματα μολύβδου οξέος (800 κύκλοι), ιόντων λιθίου (400-600 κύκλοι) και μετάλλου-αέρα (300 κύκλοι, εκ των οποίων σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτείται μηχανική επαναφόρτιση).
- Αυτοεκφόρτιση:
 - Το μεγαλύτερο ποσοστό κατέχουν οι συσσωρευτές νικελίου-υδριδίου μετάλλου (30%).
 - Ακολουθούν οι μπαταρίες σιδήρου-αέρα (15%) και νικελίου-καδμίου (30%).
 - Το μικρότερο ποσοστό εμφανίζουν οι συσσωρευτές redox-βαναδίου (5-10%), πολισουλφιδίου-βρωμίου (5-10%), μολύβδου οξέος (3%) και τέλος οι ιόντων λιθίου (<2,5%).
- Εφαρμογές:
 - Οι συσσωρευτές Pb είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος, λόγω μικρού κόστους, αξιοπιστίας λειτουργίας, καλών αποδόσεων και διαθεσιμότητας. Είναι οι συνηθέστερα χησιμοποιούμενοι σε εφαρμογές Ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων, καθώς και σε εγκαταστάσεις Φ/Β συστημάτων.
 - Οι συσσωρευτές NiCd χρησιμοποιούνται σε ψυχρότερα κλίματα λόγω της καλύτερης συμπεριφοράς τους σε χαμηλές θερμοκρασίες, έχοντας εξίσου καλά χαρακτηριστικά με τους συσσωρευτές Pb σε εφαρμογές ΑΠΕ, ενώ σε αντίθεση με αυτούς μπορούν να εκφορτίζονται μέχρι μεγάλα βάθη εκφόρτισης χωρίς αρνητικές συνέπειες. Παρουσιάζουν όμως σχετικά γρήγορη μείωση της χωρητικότητάς τους, σχεδόν από τους πρώτους μήνες λειτουργίας τους, καθώς και έντονο φαινόμενο μνήμης, ενώ χρησιμοποιούν και πιο ακριβά υλικά για την κατασκευή τους, με το κάδμιο μάλιστα να είναι πολύ τοξικό. Για τους λόγους αυτούς χρησιμοποιούνται μόνο όταν απαιτείται υψηλή αξιοπιστία υπό αντίξοες κλιματικές συνθήκες.
 - Οι συσσωρευτές ιόντων λιθίου λόγω της υψηλής ενεργειακής τους πυκνότητας, αλλά και της υψηλής τάσης εξόδου που εμφανίζουν, χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε εφαρμογές Ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων, αλλά και ως αποθηκευτικά μέσα σε ηλεκτρονικές συσκευές. Ωστόσο, το κόστος ανακύκλωσης των υλικών τους είναι μεγάλο.
 - Η διάδοση των υπολοίπων συσσωρευτών σε εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας σε συνδυασμό με συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας είναι περιορισμένη, κυρίως λόγω της πιο πολύπλοκης τεχνολογίας τους, η οποία σε πολλές περιπτώσεις εξελίσσεται και αναπτύσσεται ακόμη, γεγονός που καθιστά και το κόστος τους σχετικά υψηλό.

Φυσικά, πέραν των τεχνικών χαρακτηριστικών, των σημείων που υπερτερούν, αλλά και υστερούν οι διάφοροι τύποι μπαταριών, καθώς και των βασικότερων πεδίων όπου βρίσκουν εφαρμογή, είναι απαραίτητη επίσης η αναφορά σε δύο ακόμα πολύ σημαντικούς παράγοντες. Πιο αναλυτικά :

- Κόστος:
 - Οι μολύβδου παρουσιάζουν το χαμηλότερο κόστος ανά μονάδα ενέργειας, με τους λιθίου και του νικελίου να ακολουθούν.

- Οι συσσωρευτές ροής παρουσιάζουν αυξημένο κόστος λόγω των μεμβρανών που χρησιμοποιούν και των κυκλωμάτων αποθήκευσης και κυκλοφορίας των ενεργών ουσιών.
- Περιβαλλοντικό αντίκτυπο:
 - Οι μέταλλου-αέρα είναι οι πιο συμβατοί περιβαλλοντικά αφού δεν χρησιμοποιείται κάποιο ιδιαίτερα τοξικό υλικό στην κατασκευή τους. Αντίθετα στα αλάς συστήματα απαιτείται ανακύκλωση των υλικών που χρησιμοποιούν [102].

3.3 Υπερπυκνωτές

Οι υπερπυκνωτές ή supercapacitors (SC) είναι μέσα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ηλεκτρικών οχημάτων. Μάλιστα, υπο συνθήκες θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν τις μπαταρίες σε πολλές εμπορικές χρήσεις, λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν σε σχέση με αυτές.

Για τη σαφέστερη κατανόηση τους είναι απαραίτητη η γνώση ορισμένων βασικών του χαρακτηριστικών της δομής τους. Πιο αναλυτικά, ο πυκνωτής είναι ένα σύστημα δυο γειτονικών αγωγών, ανάμεσα στους οποίους παρεμβάλλεται ένα μονωτικό υλικό, το διηλεκτρικό του πυκνωτή. Οι δυο γειτονικοί αγωγοί αποτελούν τους οπλισμούς του. Ο πυκνωτής έχει την ιδιότητα να αποθηκεύει φορτίο (ηλεκτρική ενέργεια), οπότε όταν ένας πυκνωτής είναι φορτισμένος οι οπλισμοί του έχουν αντίθετα ηλεκτρικά φορτία με αποτέλεσμα μεταξύ των οπλισμών του να αναπτύσσεται διαφορά δυναμικού (τάση), η οποία μπορεί να αποδοθεί άμεσα σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα.

Οι υπερπυκνωτές λοιπόν είναι πυκνωτές, οι οποίοι όμως έχουν πολλαπλάσια χωρητικότητα (Farads) σε σχέση με τις απλούστερες διατάξεις. Η διαφορά στη χωρητικότητα είναι 1000-10000 φορές (τέσσερις τάξεις μεγέθους) πάνω απ' τους απλούς ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές. Ωστόσο, το βασικό τους μειονέκτημα είναι πως η μέγιστη τάση λειτουργίας που περιορίζεται στα 2,7 Volts ανά στοιχείο [112].



Εικόνα 3-23: Υπερπυκνωτής [112]

Από την δεκαετία του 1950 (General Electric), οι ερευνητές άρχισαν να πειραματίζονται με πυκνωτές και υπερπυκνωτές, κατασκευάζοντας διάφορες παραλλαγές. Οι επικρατέστερες παραλλαγές κατασκευής υπερπυκνωτών είναι τρεις και διαφέρουν στον τρόπο κατασκευής των ηλεκτροδίων και του διηλεκτρικού στρώματος ανάμεσα στα ηλεκτρόδια.

1. Υπερπυκνωτές διπλού στρώματος με ηλεκτρόδια από ενεργό άνθρακα ή γραφένιο ή νανοσωλήνες άνθρακα τοποθετημένα σε ηλεκτρολύτη
2. Ψευδοπυκνωτές με ηλεκτρόδια οξειδίων μετάλλου ή αγώγιμα πολυμερή πάνω σε φορέα ενεργού άνθρακα τοποθετημένα σε ηλεκτρολύτη
3. Υβριδικοί υπερπυκνωτές με ένα ηλεκτρόδιο από ενεργό άνθρακα και ένα ηλεκτρόδιο από οξείδια του μετάλλου τοποθετημένα σε ηλεκτρολύτη. Αυτή η παραλλαγή αποτελεί συνδυασμό των δυο προηγούμενων.

Σε έναν υπερπυκνωτή διπλού στρώματος οι οπλισμοί του αποτελούνται από μια πορώδη επιφάνεια με μεγάλη εσωτερική ενεργό επιφάνεια, ώστε να βοηθάει στην απορρόφηση ιόντων, παρέχοντας έτσι μεγάλη πυκνότητα φορτίων. Οι οπλισμοί βρίσκονται βυθισμένοι σε υγρό ηλεκτρολύτη, ο οποίος περιέχει ελεύθερα φορτία με τη μορφή ιόντων. Ανάμεσά τους παρεμβάλλεται μια πολύ λεπτή πορώδης διαπερατή μεμβράνη, η οποία εμποδίζει την επαφή των οπλισμών αφήνοντας όμως τα ιόντα να την διαπερνούν. Κατά τη φόρτισή του, τα ηλεκτρόδια φορτίζονται με αντίθετα φορτία, προκαλώντας ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο συγκρατεί στον πυκνωτή το συγκεντρωμένο φορτίο. Τα ηλεκτρόνια που είναι συγκεντρωμένα στο ένα ηλεκτρόδιο, έλκουν τα θετικά ιόντα του ηλεκτρολύτη και τα θετικά φορτία στο άλλο ηλεκτρόδιο έλκουν τα αρνητικά ιόντα του ηλεκτρολύτη. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ των ιόντων και της επιφάνειας του οπλισμού.

Το όνομα υπερπυκνωτής διπλού στρώματος προκύπτει από τα δυο στρώματα ιόντων σε κάθε οπλισμό. Το πρώτο στρώμα που είναι κοντά στον οπλισμό λειτουργεί σαν διηλεκτρικό και το δεύτερο συγκρατεί τα φορτία. Αυτό συμβαίνει και στους δυο οπλισμούς του υπερπυκνωτή με αποτέλεσμα να δημιουργούνται εντός του πυκνωτή δυο ξεχωριστοί πυκνωτές που η συνολική τους χωρητικότητα προκύπτει από τις δυο χωρητικότητες συνδεμένες σε σειρά.

Η τεράστια επιφάνεια που επιτυγχάνεται λόγω της πορώδους δομής των οπλισμών σε συνδυασμό με την εκμετάλλευση του φαινομένου του διπλού ηλεκτρικού στρώματος είναι που επιτρέπουν σε ένα υπερπυκνωτή διπλού στρώματος να έχει πολύ μεγάλη χωρητικότητα. Η κύρια διαφορά μεταξύ των υπερπυκνωτών διπλού στρώματος και των ψευδοπυκνωτών είναι οι οπλισμοί που στην πρώτη περίπτωση είναι κατασκευασμένοι από ενεργό άνθρακα και στη δεύτερη περίπτωση από οξείδια μετάλλων πάνω σε φορέα από ενεργό άνθρακα. Οι ψευδοπυκνωτές μπορούν να αποθηκεύσουν 80% περισσότερη ενέργεια από έναν ίδιων διαστάσεων υπερπυκνωτή διπλού στρώματος, λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητας των ηλεκτροδίων, τα οποία είναι κατασκευασμένα από οξείδια μετάλλων. Οι υβριδικοί υπερπυκνωτές αποτελούν συνδυασμό ψευδοπυκνωτών και υπερπυκνωτών διπλού στρώματος [112].

Οι υπερπυκνωτές είναι ο συνδυαστικός κρίκος μεταξύ των απλών πυκνωτών και των μπαταριών, καθώς παρουσιάζουν χαρακτηριστικά και ιδιότητες που μπορούν να τους καταστήσουν επάξιους αντικαταστάτες των μπαταριών. Πιο αναλυτικά στα κυριότερα πλεονεκτήματα των υπερπυκνωτών περιλαμβάνονται :

- Οι μεγάλες τιμές χωρητικότητας που φτάνουν μέχρι και τα 20000 Farads, οι οποίες μπορούν να αποδοθούν σχεδόν ακαριαία σε συστήματα άμεσης ζήτησης ενέργειας όπου απαιτείται άμεση τροφοδοσία.
- Η ικανότητα φόρτισης τους σε πολύ γρήγορα σε χρόνους από 1 δευτερόλεπτο έως 5 λεπτά.
- 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 30.000.
- Τα υψηλά ρεύματα εκφόρτισης
- Σταθερή απόδοση σε ακραίες θερμοκρασίες
- Μεγάλη διάρκεια ζωής 10 με 15 χρόνια

Έτσι δημιουργείται η αίσθηση ότι οι πυκνωτές αποτελούν μια πλήρως αξιόπιστη λύση για εφαρμογή στα ηλεκτρικά οχήματα. Ωστόσο, αυτό δεν συμβαίνει καθώς υπάρχουν και σοβαρά μειονεκτήματα όπως :

- Γραμμική πτώση τάσης κατά την αποφόρτιση
- Υψηλοί ρυθμοί αυτοεκφόρτισης
- Μικρή πυκνότητα ενέργειας (5 wh/kg)
- Μεγάλοι όγκοι και βάρος καθώς λόγω της χαμηλής τάσης του στοιχείου απαιτείται συνδεσμολογία πολλών πυκνωτών σε σειρά.
- Υψηλή τιμή κόστους ανά παρεχόμενο Watt

Παρακάτω, ακολουθεί μια αναλυτική σύγκριση των κυριότερων χαρακτηριστικών που διέπουν τα στοιχεία των υπερπυκνωτών και των μπαταριών ιόντων λιθίου (ως επικρατέστερη τεχνολογία στον τομέα των συσσωρευτών) [112].

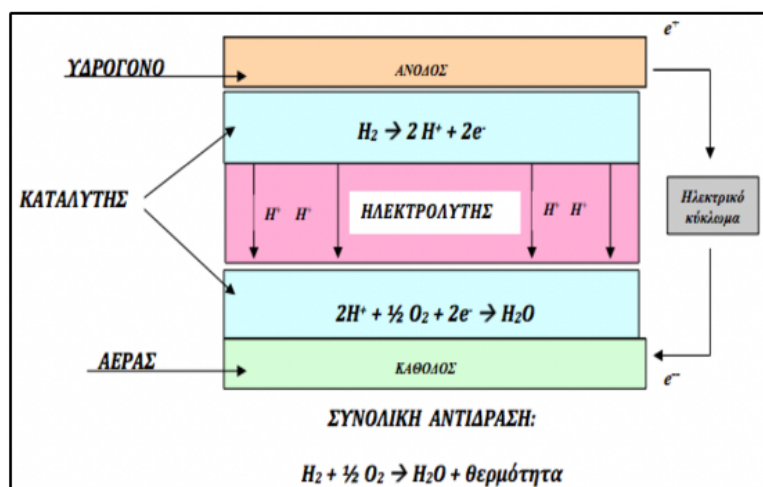
Λειτουργία	ΥπερΠυκνωτής	Μπαταρία Ιόντων Λιθίου
Χρόνος Φόρτισης	1sec – 5 min	10 – 60 mins
Κύκλοι Φόρτισης	1εκατομμύριο ή 30000 ώρες	500-1000 κύκλοι φόρτισης
Τάση Κυψέλης – Στοιχείου	2,3 – 2,7 Volts	3,6 – 3,7 Volts
Ενεργειακή Πυκνότητα (Wh/kg)	5-10	100-200
Πυκνότητα Ισχύος (W/kg)	Εως 10000	1000-3000
Κόστος αν Wh	17-20 ευρώ	0,5 – 1 ευρώ (μεγάλα συστήματα)
Διάρκεια Ζωής (σε οχήματα)	10-15 χρόνια	3-8 χρόνια
Θερμοκρασίες Φόρτισης	-40 ως 65° C	0 ως 45° C
Θερμοκρασίες Εκφόρτισης	-40 ως 65° C	-20 ως 60° C

Εικόνα 3–24: Σύγκριση Απόδοσης υπερπυκνωτών και μπαταριών ιόντων λιθίου [112]

Τέλος, το ελπιδοφόρο μέλλον των υπερπυκνωτών στον τομέα της ηλεκτροκίνησης έγκειται στον συνδυασμό των υπερπυκνωτών διπλού στρώματος (EDLCs) με υπάρχουσες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας. Ο συνδυασμός των δύο αυτών τεχνολογιών μπορεί να επιτευχθεί σε εφαρμογές ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων, καθώς και οχημάτων κυψελών καυσίμου. Συγκεκριμένα οι υπερπυκνωτές μπορούν τοποθετηθούν παράλληλα με τους συσσωρευτές, αναλαμβάνοντας τις εκκίνησης των κινητήρων, καθώς και τα μεταβατικά ρεύματα των επιταχύνσεων και των επιβραδύνσεων των οχημάτων. Με τον τρόπο αυτό, μπορεί να μειωθεί σημαντικά η καταπονήσεις των συσσωρευτών από τα μεγάλα ρεύματα με αποτέλεσμα την αύξηση της διάρκειας ζωής τους. [112].

3.4 Κυψέλες Καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου είναι ηλεκτροχημικές συσκευές που μετατρέπουν τη χημική ενέργεια ενός καυσίμου σε ηλεκτρική. Ονομάζονται έτσι γιατί η συνολική αντίδραση σε αυτές είναι αντίδραση καύσης του καυσίμου με το οξυγόνο. Αποτελούνται όπως και οι μπαταρίες από μία άνοδο, μία κάθοδο και έναν ηλεκτρολύτη αλλά και καταλύτες στα ηλεκτρόδια για επιτάχυνση των δράσεων και αύξηση της απόδοσης. Στις κυψέλες υδρογόνου το καύσιμο είναι το υδρογόνο που οξειδώνεται στην άνοδο ενώ στην κάθοδο ανάγεται το οξυγόνο και τελικά παράγεται νερό.



Εικόνα 3–25: Αρχή λειτουργία κυψέλης καυσίμου υδρογόνου [102]

Οι βασικές διαφορές μεταξύ των κυψελών καυσίμου και των μπαταριών μπορούν να καταγραφούν συνοπτικά στα ακόλουθα:

- Τα στοιχεία καυσίμου δεν εξαντλούνται και θεωρητικά μπορεί να λειτουργούν συνεχώς εφόσον τροφοδοτούνται με καύσιμο.
- Η χωρητικότητα των συμβατικών μπαταριών εξαρτάται από το μέγεθός τους, αφού τα αντιδρώντα βρίσκονται σαν ενεργές ουσίες στο εσωτερικό τους. Στα στοιχεία καυσίμου η χωρητικότητα εξαρτάται από το μέγεθος του αποθηκευτικού χώρου του καυσίμου και όχι από το μέγεθος των κυψελών που μπορεί να είναι πολύ μικρό.
- Η επαναφόρτιση των μπαταριών είναι χρονοβόρα, ενώ στις κυψέλες η αντίστοιχη διαδικασία αφορά την προσθήκη καυσίμου στον χώρο αποθήκευσης που γίνεται σε μικρούς χρόνους.

- Οι μπαταρίες είναι πιθανό να περιέχουν τοξικά υλικά.
- Ενεργειακά το H₂ σε υγρή μορφή έχει μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα μάζας σε σχέση με μία μπαταρία, για παράδειγμα περί τις 800 φορές μεγαλύτερη από μία μπαταρία NiCd.

Οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου διακρίνονται ανάλογα με το είδος του ηλεκτρολύτη που καθορίζει και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά τους, δηλαδή θερμοκρασία λειτουργίας, καταλύτη και ποιότητα χρησιμοποιούμενου καυσίμου.

Συγκεκριμένα οι τύποι στους οποίους μπορούν να ταξινομηθούν είναι οι ακόλουθοι :

- Κυψέλες μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (Proton Exchange Membrane Fuel Cell –PEM).
- Αλκαλικέςκυψέλεςκαυσίμου(AlkalineFuelCell, AFC).
- Κυψέλες καυσίμου Φωσφορικού Οξέος (Phosphoric Acid Fuel Cell-PAFC).
- Κυψέλες καυσίμου τηγμένων ανθρακικών αλάτων (Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC).
- Κυψέλεςκαυσίμουστερεώνοξειδίων(SolidOxideFuelCell, SOFC) [102].

Κυψέλη	Αντιδράσεις ανόδου	Αντιδράσεις καθόδου
Μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC)	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	$2H^+ + \frac{1}{2}O_2 + 2e^- \rightarrow H_2O$
Αλκαλικές (AFC)	$2H_2 + 4OH^- \rightarrow 4H_2O + 4e^-$	$O_2 + 4e^- + 2H_2O \rightarrow 4OH^-$
Φωσφορικού οξέος (PAFC)	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	$2H^+ + \frac{1}{2}O_2 + 2e^- \rightarrow H_2O$
Τηγμένων ανθρακικών αλάτων (MCFC)	$2H_2 + 2CO_3^{2-} \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O + 4e^-$	$O_2 + 2CO_2 + 4e^- \rightarrow 2CO_3^{2-}$
Στερεών οξειδίων (SOFC)	$2H_2 + 2O^{2-} \rightarrow 2H_2O + 4e^-$	$O_2 + 4e^- \rightarrow 2O^{2-}$

Εικόνα 3–26: Αντιδράσεις στους διαφόρους τύπους κυψελών H₂ [111]

Τύποι κυψελών Χαρακτηριστικά	Μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC)	Αλκαλικές (AFC)	Φωσφορικού οξέος (PAFC)	Τηγμένων ανθρακικών αλάτων (MCFC)	Στερεών οξειδίων (SOFC)
Ηλεκτρολύτης	Πολυμερής μεμβράνη	Υδατικό διάλυμα υδροξειδίου του καλίου	Φωσφορικό οξύ	Ανθρακικό αλάτι αλκαλίων	Κεραμικό οξείδιο
Θερμοκρασία λειτουργίας (°C)	60-80	60-150	150-220	600-700	600-1000
Φορέας ρεύματος	Ιόν υδρογόνου	Ιόν υδροξυλίου	Ιόν υδρογόνου	Ανθρακικό ιόν	Ιόν οξυγόνου
Καταλύτης	Πλατίνα	Πλατίνα	Πλατίνα	Νικέλιο	Τιτανικό ασβέστιο
Απόδοση (%)	40-50	70	40-60	>60	>60
Κυριότερες εφαρμογές	Μεταφορές, ηλεκτρο-παραγωγή, φορητές ηλεκτρονικές συσκευές	Διάστημα	Ηλεκτρο-παραγωγή και συμπαραγωγή σε κτιριακές εγκαταστάσεις	Κεντρικές μονάδες ηλεκτρο-παραγωγής, συμπαραγωγής	Κεντρικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, συμπαραγωγής

Εικόνα 3–27: Χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων κυψελών Υδρογόνου (H₂) [102]

Το πεδίο εφαρμογής των κυψελών υδρογόνου είναι μεγάλο. Τα συστήματα αυτά διαθέτουν πληθώρα εφαρμογών, όπως :

- Συμπαραγωγή ενέργειας (παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας)
- Αποκεντρωμένη παραγωγή ισχύος.
- Εφαρμογές μικρής ισχύος (φώτα απομακρυσμένων περιοχών, σταθμοί επικοινωνιών, μετεωρολογικοί σταθμοί).
- Μεταφορές (διαστημόπλοια, υποβρύχια, τραίνα, λεωφορεία, αυτοκίνητα)
- Φορητές συσκευές.

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό πως το υδρογόνο ως καύσιμο μπορεί να αποτελέσει λύση στο μείζον περιβαλλοντικό πρόβλημα, καθώς :

- Βρίσκεται σε αφθονία στη γη, κυρίως στο νερό αλλά και στους υδρογονάνθρακες.
- Μπορεί να παραχθεί με πολλές μεθόδους, από διαφορετικές πρώτες ύλες και σε οποιοδήποτε μέρος χρειαστεί (on site).
- Κατά την καύση του παράγεται μόνο νερό, σε αντίθεση με τα συμβατικά καύσιμα.
- Έχει τρεις φορές μεγαλύτερο ενεργειακό περιεχόμενο ανά μονάδα μάζας από το φυσικό αέριο και τη βενζίνη.
- Είναι λιγότερο τοξικό από τα άλλα καύσιμα.
- Χρησιμοποιείται σε κυψέλες καυσίμου για απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με υψηλές αποδόσεις, αφού δεν εμπλέκεται ενδιάμεσα μετατροπή της χημικής ενέργειας του υδρογόνου σε μηχανική, όπως συμβαίνει στις θερμικές μονάδες.

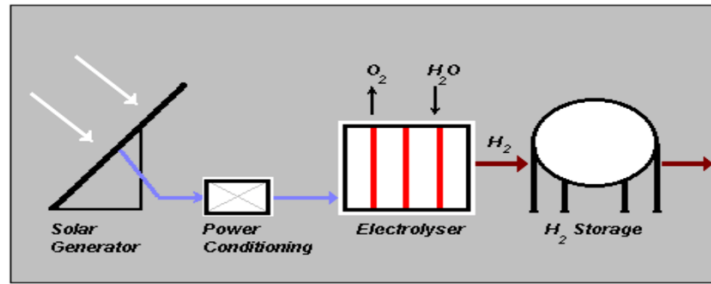
Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα ζητήματα που χρήζουν άμεσης αντιμετώπισης και σχετίζονται με διαδικασίες που συμβαίνουν κατά το στάδιο της παραγωγής του, της αποθήκευσης και τις μεταφορές του.

Πιο αναλυτικά, στον τομέα της παραγωγής οι κύριες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του υδρογόνου είναι:

- Η αναμόρφωση υδρογονανθράκων με ατμό
- Η αεριοποίηση άνθρακα (λιγνίτη, λιθάνθρακα)
- Η μερική οξείδωση βαρέων υδρογονανθράκων
- Η θερμική διάσπαση υδρογονανθράκων
- Η παραγωγή από σουλφίδια του υδρογόνου
- Η ηλεκτρόλυση του νερού

Για την παραγωγή του υδρογόνου από ορυκτά καύσιμα καταναλώνεται ενέργεια, η οποία συνοδεύεται από έκλυση αερίων του θερμοκηπίου. Το πρόβλημα της ρύπανσης υφίσταται και στην περίπτωση της ηλεκτρόλυσης του νερού, εφόσον η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για την ηλεκτρόλυση προέρχεται από ορυκτά καύσιμα.

Όταν όμως η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από ΑΠΕ κατά την παραγωγή του υδρογόνου δεν εκλύονται ρύποι. Υδρογόνο μπορεί να παραχθεί από νερό σε συνδυασμό με μονάδες ΑΠΕ, είτε ηλεκτρολυτικά είτε με θερμική διάσπασή του σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, με μηδενικές εκπομπές CO₂ [102].



Εικόνα 3–28: Παράδειγμα ηλεκτρολυτικής παραγωγής υδρογόνου με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β μονάδα [102]

Στον τομέα της αποθήκευσης και μεταφοράς του υδρογόνου, σε κανονικές συνθήκες είναι αέριο με θερμοκρασία υγροποίησής πολύ χαμηλή, οπότε παρουσιάζει τεχνικές δυσκολίες αποθήκευσης.

Πιο αναλυτικά, Λόγω της πολύ μικρής του πυκνότητας, έχει χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο ανά μονάδα όγκου, ενώ παράλληλα καταλαμβάνει μεγάλους όγκους για μικρές ποσότητες μάζας οπότε απαιτούνται μεγάλες δεξαμενές για αποθήκευσή του.

Για να μειωθεί ο όγκος του και να μπορέσει να αποθηκευτεί πρέπει :

- να συμπιεστεί σε μεγάλες πιέσεις, πράγμα που συνεπάγεται την απαίτηση δεξαμενών μεγάλης αντοχής από υλικά που δεν αντιδρούν εύκολα με το H_2 και δεν διαβρώνονται εύκολα στην ατμόσφαιρα.
- να υγροποιηθεί στους $-253\text{ }^\circ\text{C}$ σε κρυογονικές δεξαμενές, με υψηλές ωστόσο ενεργειακές απαιτήσεις και θερμικές απώλειες που οδηγούν σταδιακά σε αεριοποίησή του, ωστόσο λόγω του υψηλού κόστους εφαρμόζεται σε ειδικές εφαρμογές και για αποθήκευση μικρής διάρκειας.
- να αποθηκευτεί σε στερεές δομές με αντιστρεπτή δέσμευσή του σε μεταλλικά υδρίδια. Η μέθοδος αυτή είναι μεν πιο ασφαλής και λιγότερο ενεργοβόρα από τις προηγούμενες, ωστόσο οι ποσότητες H_2 που αποθηκεύονται ανά μονάδα μάζας υλικού είναι μικρές, ενώ παράλληλα απαιτούνται μεγάλοι όγκοι σε σχέση με τη βενζίνη για την ίδια αποδιδόμενη ενέργεια [102].

Μια σύντομη Σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών τεχνικών αποθήκευσης υδρογόνου παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα :

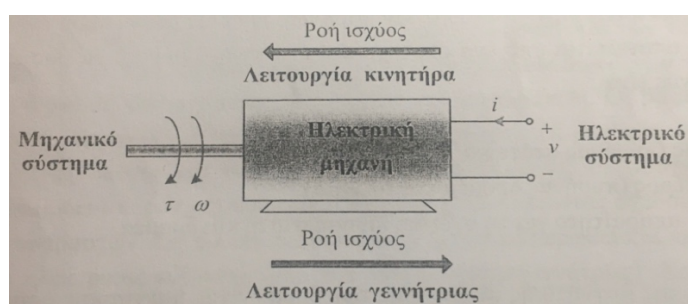
ΣΥΜΠΙΕΣΗ	ΥΓΡΟΠΟΙΗΣΗ	ΥΔΡΙΔΙΑ
<p>Η πιο διαδεδομένη μέθοδος αποθήκευσης.</p> <p>Τεχνικές δυσκολίες για συμπίεση του H_2 σε μεγάλες πιέσεις και απαιτήσεις ενέργειας.</p> <p>Θέματα ασφάλειας από ψαθυρότητα των υλικών κατασκευής των φιαλών από αντίδραση με το H_2.</p> <p>Ενεργειακή πυκνότητα: 530-750 Wh/L για πιέσεις 200-300 bar.</p>	<p>Μικρότεροι όγκοι αποθήκευσης.</p> <p>Μεγάλες απαιτήσεις ενέργειας και υψηλό κόστος για διατήρηση των απαιτούμενων χαμηλών θερμοκρασιών.</p> <p>Μεγάλες απώλειες που περιορίζουν τη διάρκεια αποθήκευσης.</p> <p>Ενεργειακή πυκνότητα: 2360 Wh/L.</p>	<p>Ασφαλής και αξιόπιστη μέθοδος αποθήκευσης.</p> <p>Μεγάλο βάρος.</p> <p>Απαίτηση διαχείρισης της εκλυόμενης θερμότητας από τον σχηματισμό των υδριδίων.</p> <p>Μικρές ποσότητες αποθηκευμένου H_2 ανά μονάδα μάζας υδριδίου.</p> <p>Ενεργειακή πυκνότητα: 3180 Wh/L.</p>

Εικόνα 3–29: Σύγκριση τεχνολογιών αποθήκευσης υδρογόνου [102]

3.5 Ηλεκτρικές Μηχανές

Μια συσκευή ηλεκτρομηχανικής μετατροπής της ενέργειας αποτελεί το συνδυαστικό κρίκο μεταξύ ενός ηλεκτρικού και ενός μηχανικού συστήματος. Με την κατάλληλη ζεύξη των δύο αυτών συστημάτων είναι δυνατή η μετατροπή της ενέργειας από τη μία μορφή στην άλλη.

Βασική συνιστώσα ενός συστήματος ηλεκτρομηχανικής μετατροπής αποτελεί η στρεφόμενη μηχανή, η οποία μπορεί να λειτουργεί είτε ως γεννήτρια, είτε ως κινητήρας. Στη πρώτη περίπτωση (γεννήτρια), το μηχανικό σύστημα μέσω της συσκευής παρέχει ενέργεια στο ηλεκτρικό σύστημα. Φυσικά, το ανάποδο συμβαίνει στη δεύτερη περίπτωση (κινητήρας), όπου η ροή ισχύος ακολουθεί την αντίθετη πορεία.

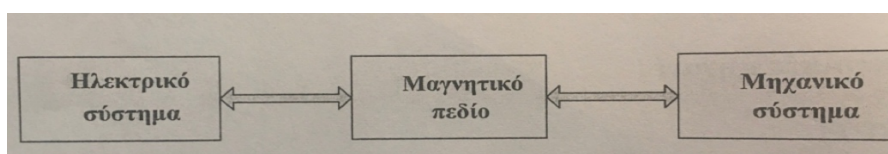


Εικόνα 3-30: Σύνδεση ηλεκτρικού-μηχανικού συστήματος [113]

Η παραπάνω διαδικασία θεωρείται αντιστρεπτή, αν και ένα μέρος από τη συνολική ενέργεια μετατρέπεται μη αντιστρεπτά σε θερμότητα. Ουσιαστικά, οποιοσδήποτε κινητήρας μπορεί να λειτουργεί ως γεννήτρια και οποιαδήποτε γεννήτρια μπορεί να παράγει ισχύ ως κινητήρας.

Οι βασικές αρχές λειτουργίας των ηλεκτρικών μηχανών είναι κοινές, παρά το ευρύ φάσμα τους. Συγκεκριμένα, σε όλες τις ηλεκτρικές μηχανές υπάρχει κίνηση αγωγών εντός μαγνητικού πεδίου και ανάπτυξη τάσεων (φαινόμενο γεννήτριας). Στην περίπτωση μάλιστα κλειστού κυκλώματος, όπου οι κινούμενοι αγωγοί διαρρέονται από ρεύμα, ακολουθεί ανάπτυξη μηχανικών δυνάμεων (φαινόμενο κινητήρα). Συνεπώς, γίνεται φανερό πως τα δύο αυτά φαινόμενα συνυπάρχουν ταυτόχρονα σε οποιαδήποτε λειτουργική κατάσταση της μηχανής.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται πως η διαδικασία της ηλεκτρομηχανικής μετατροπής της ενέργειας στηρίζεται σε φυσικά φαινόμενα, τα οποία σχετίζουν αφενός το μαγνητικό και το ηλεκτρικό πεδίο και αφετέρου την μηχανική δύναμη και την κίνηση. Φυσικά, η αλληλεπίδραση μεταξύ του ηλεκτρικού και του μηχανικού συστήματος υλοποιείται μέσω του μαγνητικού πεδίου στο διάκενο της μηχανής και καθίσταται δυνατή μόνο στην περίπτωση όπου η ενέργεια στο πεδίο ζεύξης επηρεάζεται από το σχηματισμό των μηχανικών στοιχείων [113].



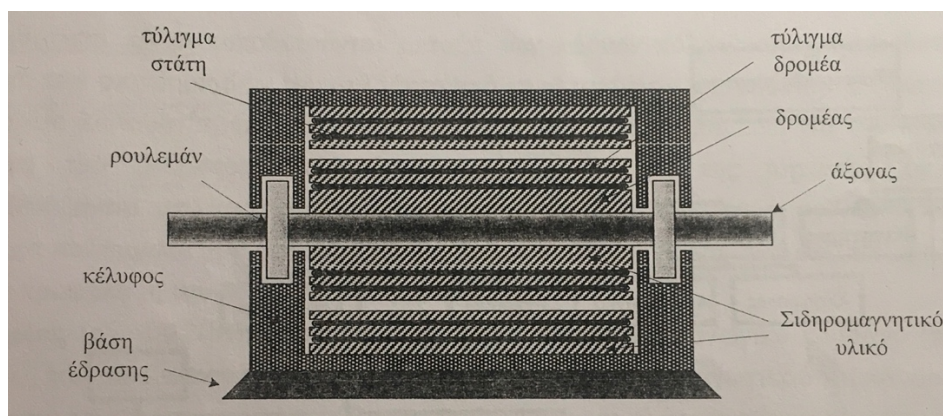
Εικόνα 3-31: Αλληλεπίδραση μεταξύ ηλεκτρικού και μηχανικού συστήματος [113]

3.5.1 Βασικά Μέρη Ηλεκτρικών Μηχανών

Κατά τη λειτουργία μιας μηχανής, η κίνηση αγωγών εντός μαγνητικού πεδίου φανερώνει την ύπαρξη ενός σταθερού και ενός κινητού μέρους. Πιο αναλυτικά, τα βασικά μέρη μιας ηλεκτρικής μηχανής αποτελούν τα εξής :

- Σταθερό μέρος (πυρήνας στάτη και τύλιγμα)
- Κινητό, στρεφόμενο μέρος (πυρήνας δρομέα και τύλιγμα)
- Διάκενο αέρα, απαραίτητο για τη σχετική κίνηση μεταξύ στάτη και δρομέα

Κατασκευαστικά, οι πυρήνες του στάτη και του δρομέα είναι από σιδηρομαγνητικά υλικά, συμπαγή ή υπό τη μορφή ελασμάτων, τα οποία ελαττώνουν την αντίσταση των δρόμων της μαγνητικής ροής. Επίσης ακολουθείται εφαρμογή μονωμένων ελασμάτων, ώστε να μειωθούν οι απώλειες δινορευμάτων. Οι εξωτερικές συνδέσεις των τυλιγμάτων του δρομέα γίνεται μέσω ψηκτρών ή δακτυλίων, ανάλογα με το είδος της μηχανής. Επιπλέον, σημειώνεται πως τα τυλίγματα του στάτη και του δρομέα, τα οποία είναι απαραίτητα για τη παραγωγή των μαγνητικών τους πεδίων, τοποθετούνται είτε συγκεντρωμένα, είτε διανεμημένα. Τέλος, για λειτουργικούς ρόλους, ο αριθμός των πόλων των τυλιγμάτων του στάτη είναι ίσος με τον αντίστοιχο αριθμό πόλων των τυλιγμάτων του δρομέα και το άθροισμα τους είναι πάντα άρτιο.



Εικόνα 3-32 : Στοιχειώδης Ηλεκτρική Μηχανή [113]

Αναφορικά με την κατηγοριοποίηση των ηλεκτρικών μηχανών, έχουν αναπτυχθεί και κυκλοφορούν στο εμπόριο αρκετοί τύποι. Ένας αρχικός τρόπος να ταξινομηθούν σε επιμέρους κατηγορίες είναι η διάκριση τους σε ηλεκτρικές μηχανές συνεχούς ρεύματος (Σ.Ρ.) και ηλεκτρικές μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος (Ε.Ρ.).

Οι μηχανές Σ.Ρ. προσφέρονται για έλεγχο της τάσης και της ροπής, αναλόγως με την κατάσταση λειτουργία τους (ως γεννήτριες ή κινητήρες). Ωστόσο η πρόοδος στον τομέα των ηλεκτρονικών ισχύος βελτίωσε σημαντικά τις δυνατότητες ελέγχου των μηχανών Ε.Ρ., με αποτέλεσμα τη σταδιακό περιορισμό της χρήσης μηχανών Σ.Ρ..

Οι μηχανές Ε.Ρ. μπορούν επίσης να λειτουργούν είτε ως γεννήτριες, είτε ως κινητήρες, ωστόσο διακρίνονται σε σύγχρονες και ασύγχρονες μηχανές (μηχανές επαγωγής). Οι πρώτες χρησιμοποιούνται επι το πλείστον ως γεννήτριες, ενώ οι τελευταίες, λόγω της στιβαρότητας της κατασκευής τους, εφαρμόζονται ευρύτατα ως κινητήρες, καλύπτοντας την πλειονότητα των βιομηχανικών εφαρμογών [113].

Ενδελεχής αναφορά για την περίπτωση του ηλεκτρικού κινητήρα ακολουθεί στις παρακάτω υποενότητες.

3.5.2 Ηλεκτρικός Κινητήρας

Ο ηλεκτρικός κινητήρας αποτελεί μια ηλεκτρική μηχανή, η οποία χρησιμοποιείται για την μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική. Κατά το φαινόμενο του κινητήρα, όταν ένας αγωγός βρίσκεται εντός μαγνητικού πεδίου και διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, τότε στον αγωγό αυτό ασκείται από το μαγνητικό πεδίο δύναμη που τείνει να τον κινήσει. Με την κατάλληλη κατασκευή των αγωγών, που στις περισσότερες μηχανές γίνεται κυκλική και με την τροφοδότηση τους με τα κατάλληλα ηλεκτρικά μεγέθη, δημιουργείται κίνηση περιστροφική, η οποία μπορεί να εκμεταλλευθεί για τους σκοπούς της εκάστοτε εφαρμογής. Συνεπώς, στηριζόμενη στο φαινόμενο αυτό, η αρχή λειτουργίας των περισσότερων ηλεκτροκινητήρων βασίζεται στην αλληλεπίδραση ανάμεσα σε δυο φορείς ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, του στάτη και του δρομέα. Το αποτέλεσμα αυτής της αλληλεπίδρασης είναι η δημιουργία δύναμης και στην συνέχεια ροπής πάνω στον άξονα του ηλεκτροκινητήρα.

Αναφορικά με την κατασκευαστική δομή των ηλεκτροκινητήρων, τα δύο κύρια μέρη της αποτελούν ο στάτης και ο δρομέας :

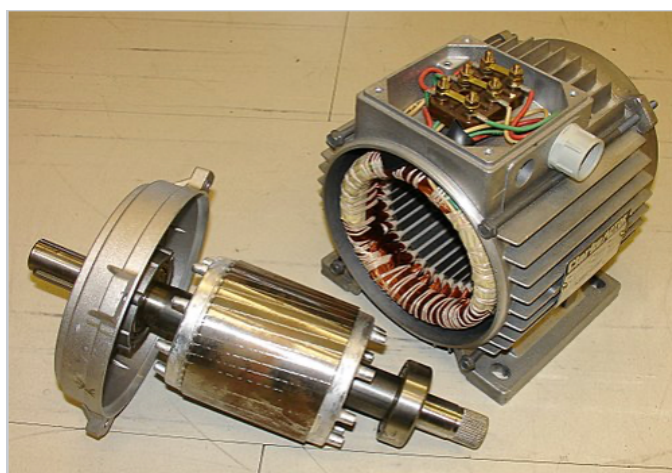
- Το μεν πρώτο, ο στάτης (stator), θεωρείται το σταθερό μέρος της μηχανής. Το εξωτερικό του μέρος αποτελείται από ένα σωληνωτό κυλινδρικό πλαίσιο, το οποίο, κατά κανόνα, στερεώνεται στο χώρο της τοποθέτησης του κινητήρα. Στο εσωτερικό μέρος του στάτη και σε κατάλληλα διαμορφωμένα αυλάκια παράλληλα με τον άξονα του, υπάρχουν ηλεκτρικοί αγωγοί, τα τυλίγματα ή περιελίξεις. Τα ειδικά τυλίγματα, είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία του μαγνητικού πεδίου του στάτη. Τα τυλίγματα αυτά καταλήγουν στο ακροκιβώτιο σύνδεσης στο εξωτερικό μέρος. Η εξωτερική επιφάνεια του στάτη φέρει συνήθως περύγια για την καλύτερη ψύξη μέσω της φυσικής κυκλοφορίας του αέρα.
- Ο δρομέας ή ρότορας (rotor), είναι το περιστροφικά κινούμενο μέρος του μηχανισμού, το οποίο βρίσκεται και λειτουργεί εντός του στάτη. Αποτελεί ένα κύλινδρο πάνω στον άξονα του κινητήρα, ο οποίος περιστρέφει τον άξονα, μέσω του οποίου παραδίδεται η μηχανική ισχύς. Στην εξωτερική του επιφάνεια φέρει κι αυτός ηλεκτροφόρους αγωγούς οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε πυκνές περιελίξεις (σπείρες). Οι φορτισμένοι αυτοί αγωγοί αλληλοεπιδρούν με το μαγνητικό πεδίο του στάτη, δημιουργώντας δυνάμεις που περιστρέφουν τον άξονα.
- Και ο στάτης και ο δρομέας είναι κατασκευασμένοι από σιδηρομαγνητικό υλικό, έτσι ώστε να παρέχουν κατάλληλο δρόμο για την μαγνητική ροή. Επίσης, για την μείωση των απωλειών από δινορρεύματα, οι πυρήνες τους, κατασκευάζονται από συμπιασμένα δυναμοελάσματα. Τα δυναμοελάσματα συμπιέζονται με την πρέσσα και τοποθετούνται σφιχτά στο περίβλημα της μηχανής. Επιπλέον, οι περιελίξεις του στάτη και του δρομέα, επειδή είναι φορείς τάσης και ρεύματος και οι πυρήνες του στάτη και του δρομέα, επειδή είναι φορείς της μαγνητικής ροής αποτελούν τα ενεργά μέρη του κινητήρα.
- Ο χώρος αέρα μεταξύ στάτη και δρομέα, ονομάζεται διάκενο. Το διάκενο αέρα σχεδιάζεται όσο το δυνατόν μικρότερο, καθώς ένα μεγάλο κενό παρουσιάζει

ισχυρή αρνητική επίδραση στην απόδοση του κινητήρα. Ωστόσο πολύ μικρά κενά μπορεί να δημιουργήσουν μηχανικά προβλήματα με την εμφάνιση υψηλών απωλειών και θορύβων. Η τάξη μεγέθους του διακένου είναι συνήθως κλάσματα του χιλιοστού. Μόνο σε πολύ μεγάλους κινητήρες μπορεί το διάκενο να είναι μερικά χιλιοστά [114] [115].

Τα απαραίτητα στοιχεία για κάθε ηλεκτροκινητήρα τα οποία και προσδιορίζουν αυτόν εμπορικά είναι τα εξής:

- Η απαιτούμενη τάση για την τροφοδοσία του σε βολτ (V)
- Το είδος της απαιτούμενης τάσης, συνεχής (DC) ή εναλλασσόμενη (AC)
- Ο αριθμός των φάσεων, μονοφασικό (1PH) ή τριφασικό (3PH) και η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο κ/δ (c/s) ή Χερτζ (Hertz), εφόσον πρόκειται για ηλεκτροκινητήρα AC.
- Η ισχύς του κινητήρα σε Βατ (W) ή ίππους (HP)
- Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον κινητήρα σε αμπέρ (A)
- Η αποκτώμενη ταχύτητα περιστροφής του άξονα του κινητήρα σε στροφές ανά λεπτό (rpm ή RPM).

Όλα τα παραπάνω στοιχεία αναγράφονται σε πινακίδα η οποία τοποθετείται στο εξωτερικό μέρος του ηλεκτροκινητήρα. Επίσης με ειδική σήμανση αναφέρεται ο αριθμός της έγκρισης του Υπουργείου Βιομηχανίας για εμπορική διάθεση, καθώς και άλλα σύμβολα πιστοποίησης ασφαλούς λειτουργίας [116].



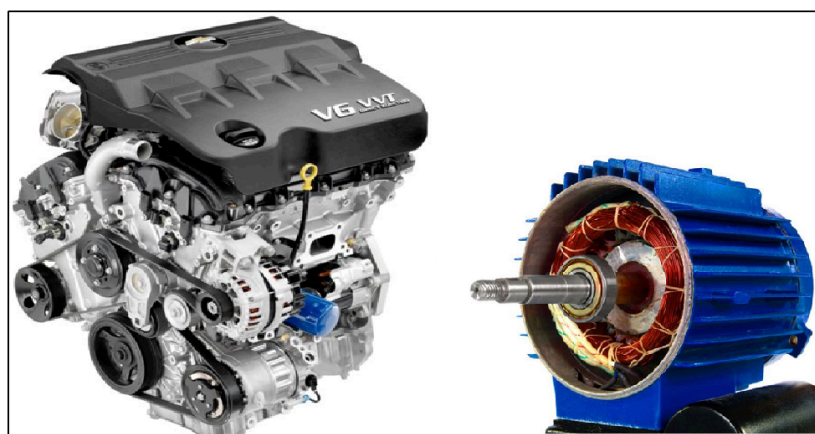
Εικόνα 3-33: Δρομέας ή ρότορας ηλεκτροκινητήρα (αριστερά) και στάτης (δεξιά) [116]

Μια ηλεκτρική γεννήτρια είναι μηχανικά πανομοιότυπη με έναν ηλεκτρικό κινητήρα Σ.Ρ., αλλά λειτουργεί με μια αντίστροφη ροή ισχύος, μετατρέποντας τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Κατά την λειτουργία κινητήρα η ηλεκτρική μηχανή απορροφά ηλεκτρική ενέργεια και παράγει μηχανικό έργο, ενώ κατά τη λειτουργία γεννήτριας συμβαίνει το αντίθετο. Η λειτουργία αυτή βρίσκει εφαρμογές στα ηλεκτρικά οχήματα μέσω του μηχανισμού αναγεννητικού φρεναρίσματος. Στην περίπτωση αυτή, οι ηλεκτρικοί κινητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντίστροφα ως γεννήτριες για την ανάκτηση θερμικής ενέργειας, η οποία διαφορετικά θα χανόταν στο περιβάλλον ως θερμότητα και τριβή [123].

Στον τομέα των μεταφορών και ειδικότερα των οδικών, όπως έχει αναφερθεί και πρωτύτερα, τα περισσότερα οχήματα χρησιμοποιούν απλούς κινητήρες εσωτερικής καύσης (ICE). Ωστόσο οι ηλεκτροκινητήρες :

- Είναι μικρότεροι και ελαφρύτεροι
- Παρέχουν περισσότερη ισχύ, άμεση και σταθερή ροπή σε μεγαλύτερο εύρος λειτουργίας, με περισσότερη απόκριση, υψηλότερη συνολική απόδοση, και χαμηλότερη παραγωγή θερμότητας.
- Είναι μηχανικά απλούστεροι και οικονομικότεροι στην κατασκευή και στη συντήρηση.

Παρά λοιπόν τη ξεκάθαρη υπεροχή των ηλεκτρικών κινητήρων, οι συμβατικοί κινητήρες εσωτερικής καύσης (ICE) κατέχουν τη μερίδα του λέοντος. Στο σημείο αυτό, ο μοναδικός αλλά και άκρως σημαντικός παράγοντας που εισάγει εμπόδια στην ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης, αποτέλεσε και συνεχίζει ακόμα και σήμερα να αποτελεί η αυτονομία των ηλεκτρικών οχημάτων. Συγκεκριμένα, το υψηλό κόστος των συσσωρευτών, η μεγάλη διάρκεια φόρτισης τους, αλλά και η έλλειψη επαρκών σημείων επαναφόρτισης αποτελούν ζητήματα προς επίλυση [116].



Εικόνα 3–34: Κινητήρας εσωτερικής καύσης (αριστερά) και ηλεκτρικός κινητήρας (δεξιά) [117]

Στα ηλεκτρικά οχήματα διαφορετικά είδη ηλεκτροκινητήρων μπορούν να λειτουργήσουν τόσο με την παροχή συνεχούς ρεύματος, όσο και με εναλλασσόμενο ρεύμα. Ωστόσο από τους κατασκευαστές υπάρχουν διαφορετικές απόψεις σχετικά με το καταλληλότερο είδος κινητήρα, με τις κυριότερους εφαρμοζόμενους τύπους να διαμορφώνονται σε τρεις κατηγορίες. Πιο αναλυτικά, στους χρησιμοποιούμενους τύπους κινητήρων ΣΡ περιλαμβάνονται κινητήρες ΣΡ με διέγερση εν σειρά, Κινητήρας ΣΡ με παράλληλη διέγερση, ξένη και σύνθετη διέγερση , καθώς και οι κινητήρες ΣΡ μόνιμου μαγνήτη. Αντίστοιχα, από τους κινητήρες ΕΡ με ημιτονοειδή τάση τροφοδοσίας στους χρησιμοποιούμενους τύπους κατατάσσονται οι σύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες χωρίς ψύκτρες, οι ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες βραχυκυκλωμένου κλωβού, οι ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες δακτυλιοφόρου δρομέα.. Τέλος, από τους κινητήρες που τροφοδοτούνται με τετραγωνικούς παλμούς οι χρησιμοποιούμενοι τύποι είναι οι κινητήρας τύπου Brushless DC.

3.5.2.1 Κινητήρας Συνεχούς Ρεύματος (DC Motors)

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος λειτουργούν με συνεχή τάση, η οποία τροφοδοτεί κατάλληλα τα τυλίγματα του στάτη του δρομέα. Αποτελούν την πρώτη μορφή κινητήρα που αναπτύχθηκε για εφαρμογές ηλεκτροκίνησης, κυρίως λόγω της αδυναμίας μετατροπής του συνεχούς ρεύματος των συσσωρευτών σε εναλλασσόμενο. Αν και σήμερα τα ηλεκτρονικά ισχύος επιτρέπουν τη μετατροπή αυτή, χρήση τους εξακολουθεί να υφίσταται, λόγω κάποιων ειδικών λειτουργικών χαρακτηριστικών που διαθέτουν. Συγκεκριμένα, χαρακτηρίζονται από εύκολη ρύθμιση της ταχύτητας τους, αλλά και σταθερή ροπή και ισχύ για μεγάλο εύρος ταχυτήτων. Ωστόσο, η ανάγκη τους για ψύξη και τακτική συντήρηση, λόγω του συλλέκτη που διαθέτουν είναι αυξημένη. Επίσης έχουν μεγάλο βάρος και όγκο, αυξημένο κόστος και μικρή απόδοση συγκριτικά με τους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος [106].

Αναφορικά με την κατασκευή και τη λειτουργία τους, αρχικά διακρίνεται ο στάτης, μια ακίνητη στιβαρή κατασκευή που έχει κυκλική μορφή. Ο στάτης αποτελείται από το ζύγωμα τους μαγνητικούς πόλους, τον ψηκτροφορέα με τις ψήκτρες, το κιβώτιο ακροδεκτών. Το ζύγωμα ως κύριο μέρος του στάτη αποτελεί τον κορμό της μηχανής, μέσω του οποίου ενώνονται μηχανικά και μαγνητικά οι πόλοι. Οι μαγνητικοί πόλοι αποτελούν την διέγερση της μηχανής, δηλαδή την πρωτεύουσα πηγή μαγνητικής ροής στο διάκενο. Οι βοηθητικοί πόλοι τοποθετούνται μεταξύ των κύριων πόλων και χρησιμεύουν για την αποφυγή σπινθηρισμών του συλλέκτη από τη μετακίνηση της ουδέτερης ζώνης, κατά την υπό φορτίο λειτουργία. Ο ψηκτροφορέας με τις ψήκτρες χρησιμεύει για την προσαγωγή και την απαγωγή του ρεύματος των τυλιγμάτων του δρομέα. Από την άλλη πλευρά, ο δρομέας αποτελεί το κινητό (περιστρεφόμενο) μέρος του κινητήρα και στα πλαίσια του συναντάται ο άξονας περιστροφής, το επαγωγικό τύμπανο τον συλλέκτη και ο ανεμιστήρας.

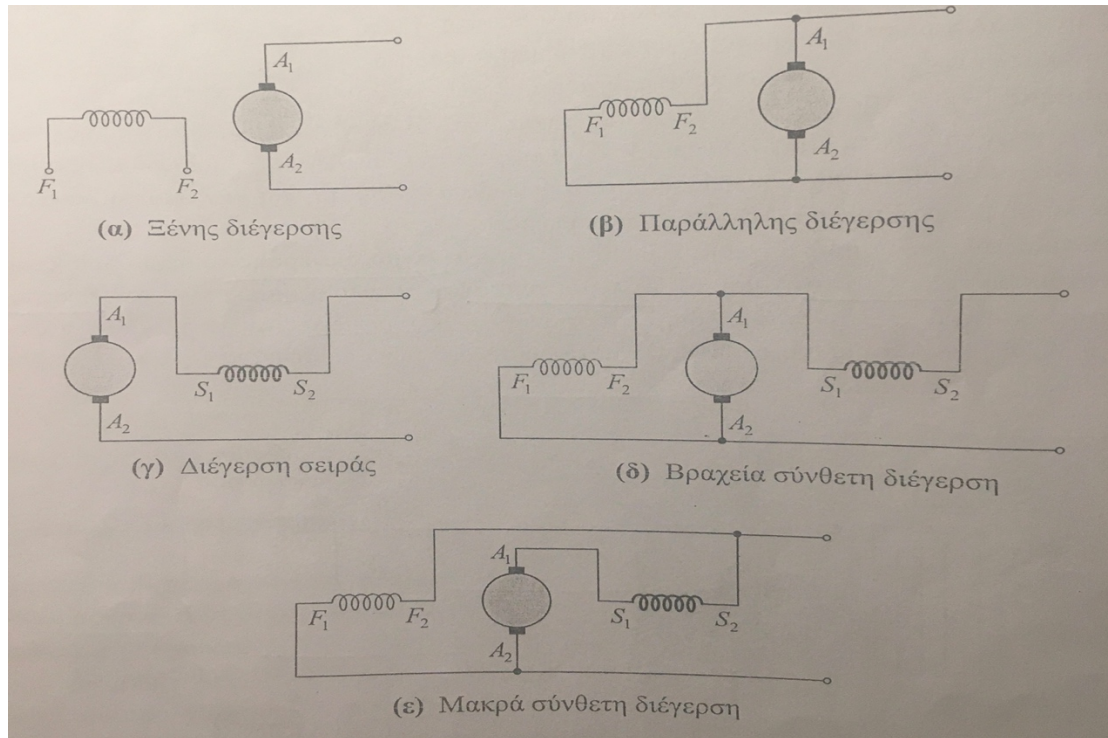
Τα βασικά τυλίγματα μιας μηχανής Σ.Ρ. είναι δύο, το τύλιγμα διέγερσης το οποίο βρίσκεται στο σταθερό μέρος (στάτη) και το τύλιγμα τυμπάνου το οποίο βρίσκεται στο περιστρεφόμενο μέρος (δρομέα ή ρότορα). Κατασκευαστικά, τα τυλίγματα του διέγερσης είναι συγκεντρωμένα, δηλαδή κάθε πόλος αποτελείται από μια ομάδα ελιγμάτων διασυνδεδεμένα σε σειρά, καταλήγουν σε δύο ακροδέκτες. Ο αριθμός των ελιγμάτων και η διατομή τους καθορίζεται από την ισχύ και κατ' επέκταση την εγκατεστημένη μαγνητική ροή στο διάκενο της μηχανής. Επίσης από τη γεωμετρία της μηχανής και από το είδος των σιδηρομαγνητικών υλικών.

Το τύλιγμα τυμπάνου, σε αντίθεση με το τύλιγμα διέγερσης είναι διανεμημένο. Αποτελείται από ομάδες ομοιόμορφα διανεμημένες και κατάλληλα συνδεδεμένες στις οδοντώσεις (αύλακες) περί τη επιφάνεια του διακένου. Τα άκρα των ομάδων αυτών καταλήγουν σε τομείς του συλλέκτη. Το τύλιγμα του τυμπάνου είναι τύλιγμα ισχύος και μετέχει ουσιαστικά στην ηλεκτρομηχανική μετατροπή της ενέργειας.

Σκοπός του στάτη πέραν της μηχανικής στήριξης που προσφέρει είναι να δημιουργήσει μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του κινητήρα. Εκεί ο ρότορας, διατρεχόμενος από ρεύμα και αλληλεπιδρώντας με το πεδίο του στάτη αποκτά κινητική ενέργεια. Γενικά ο έλεγχος των μηχανών συνεχούς ρεύματος είναι απλούστερος, και γίνεται με καθορισμό του παρεχόμενου ρεύματος [118].

Από τις διάφορες συνδεσμολογίες των τυλιγμάτων διέγερσης των κινητήρων ΣΡ, προκύπτουν διάφοροι τύποι, οι κυριότεροι από αυτούς αποτελούν τους ακόλουθους :

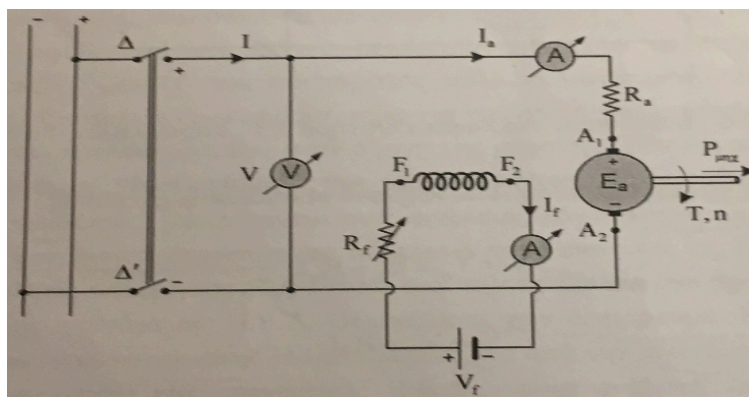
- Κινητήρας ΣΡ με ξένη διέγερση.
- Κινητήρας ΣΡ με παράλληλη διέγερση.
- Κινητήρας ΣΡ με διέγερση εν σειρά.
- Κινητήρας ΣΡ με σύνθετη (βραχεία ή μακρά) διέγερση.



Εικόνα 3-35: Κατηγορίες μηχανών ΣΡ [113]

3.5.2.1.1 Κινητήρας ΣΡ Ξένης και Παράλληλης Διέγερσης

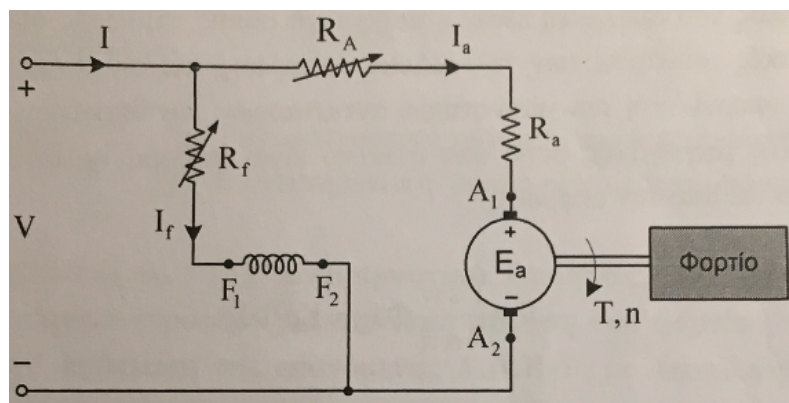
Στον κινητήρα συνεχούς ρεύματος ξένης διέγερσης, η διέγερση προέρχεται από μία ανεξάρτητη ξεχωριστή πηγή. Το ισοδύναμο κύκλωμα ξένης διέγερσης παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 3-36: ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα του κινητήρα ΣΡ ξένης διέγερσης [114]

Στον κινητήρα Παράλληλης διέγερσης, η διέγερση προέρχεται από την πηγή τροφοδοσίας του επαγωγικού τυμπάνου. Υπό τη θεώρηση ύπαρξης σταθερής τάσης τροφοδοσίας από το δίκτυο, η τάση στο τυλίγμα διέγερσης παραμένει σταθερή. Στην περίπτωση αυτή, η συμπεριφορά του κινητήρα ΣΡ Παράλληλης διέγερσης είναι απολύτως όμοια με την αντίστοιχη ενός κινητήρα ΣΡ ξένης διέγερσης. Συνεπώς η ανάλυση κινητήρα ΣΡ παράλληλης διέγερσης περιλαμβάνει την ανάλυση κινητήρα ΣΡ ξένης διέγερσης.

Το ισοδύναμο κύκλωμα παράλληλης διέγερσης παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 3-37: Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα του κινητήρα ΣΡ παράλληλης διέγερσης [114]

Κατά την εκκίνηση του κινητήρα, η ηλεκτρεγερτική δύναμη είναι μηδενική. Η απουσία Η.Ε.Δ. καθώς και η πολύ μικρή τιμή της αντίστασης τυμπάνου ($R_a < 5\Omega$) έχει σαν συνέπεια τη δημιουργία ενός πολύ υψηλού ρεύματος εκκίνησης, πολύ μεγαλύτερο από το αντίστοιχο ρεύμα κανονικής λειτουργίας. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού τοποθετείται μια βοηθητική αντίσταση εκκίνησης, μεγάλης τιμής ($R_{εκκ} \ll R_a$), σε σειρά με την αντίσταση τυμπάνου. Η εισαγωγή της επιπρόσθετης αυτής αντίστασης, συμβάλλει στην ελάττωση του ρεύματος εκκίνησης στα όρια φόρτισης της μηχανής. Η αντίσταση αυτή απομακρύνεται σταδιακά καθώς ο κινητήρας αρχίζει να επιταχύνεται, αυξάνοντας στροφές και αναπτύσσοντας Η.Ε.Δ.

Άξιο αναφοράς αποτελεί επίσης πως ο έλεγχος της ροπής και κατ'επέκταση των στροφών που μπορεί να πραγματοποιηθεί με τρεις τρόπους :

- Με τον έλεγχο της μαγνητικής ροής, μέσω του ρεύματος διέγερσης
- Με την μεταβολή του ρεύματος τυμπάνου
- Με το συνδυασμένο έλεγχο των δύο ρευμάτων

Προτιμότερος τρόπος ρύθμισης αποτελεί ο δεύτερος, καθώς τα συστήματα ελέγχου μέσω του τυλίγματος τυμπάνου, λόγω της μικρότερης αυτεπαγωγής τους είναι πολύ ταχύτερα συγκριτικά με τα αντίστοιχα, όπου ο έλεγχος γίνεται μέσω του του ρεύματος της κύριας διέγερσης.

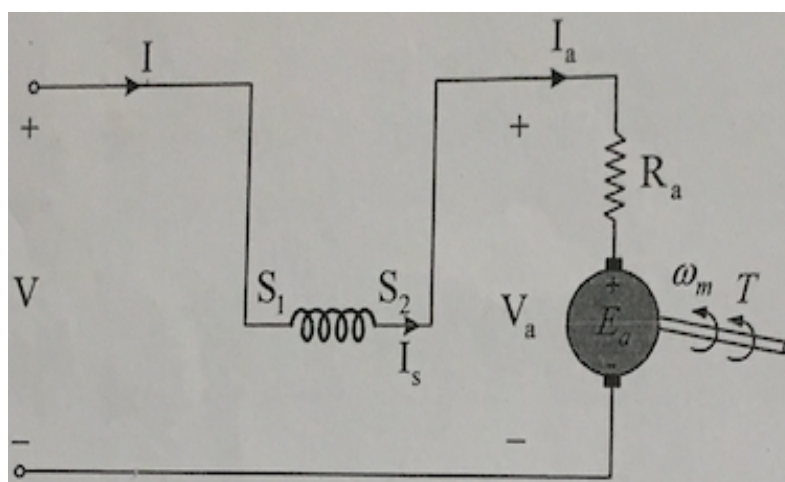
Ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης έχει ένα ακόμη ιδιαίτερο χαρακτηριστικό, που μπορεί να γίνει ιδιαίτερα επικίνδυνο. Εάν λειτουργεί με χαμηλό φορτίο ή εν κενώ και η τάση του δρομέα ελαττωθεί απότομα ή διακοπεί, τότε ο δρομέας επιταχύνεται διαρκώς με κίνδυνο να σπάσει ο κινητήρας από τις φυγόκεντρες δυνάμεις

που αναπτύσσονται. Για τον λόγο αυτό οι μεγάλοι κινητήρες συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης είναι εφοδιασμένοι με κατάλληλες διατάξεις προστασίας [114].

3.5.2.1.2 Κινητήρας ΣΡ Διέγερσης Σειράς

Στον κινητήρα ΣΡ διέγερσης σειράς το κύριο τύλιγμα διέγερσης συνδέεται σε σειρά με το επαγωγικό τύμπανο. Το ρεύμα τυμπάνου αποτελεί ταυτόχρονα και το ρεύμα διέγερσης του. Σε αντίθεση με το τύλιγμα παράλληλης διέγερσης, το τύλιγμα διέγερσης μιας και διαρρέεται από το ρεύμα τυμπάνου, προκειμένου να δοθεί η ίδια μαγνητεγερτική δύναμη απαιτείται πολύ μικρότερος αριθμός σπειρών και αγωγοί μεγαλύτερης διατομής.

Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα του κινητήρα ΣΡ διέγερσης σειράς φαίνεται παρακάτω :



Εικόνα 3-38: Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα του κινητήρα ΣΡ διέγερσης σειράς [114]

Στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος σειράς, τα τυλίγματα του δρομέα συνδέονται σε σειρά με τα αντίστοιχα του στάτη, με αποτέλεσμα να διαρρέονται από το υψηλό ρεύμα του πεδίου. Η χαρακτηριστική ροπής στροφών του κινητήρα αυτού είναι ασυνήθιστη, εμφανίζοντας ιδιαίτερα υψηλή ροπή εκκίνησης, η οποία πέφτει όσο αυξάνει η ταχύτητα περιστροφής. Επιπλέον, οι κινητήρες αυτοί μπορούν της να αναπτύξουν επικίνδυνες ροπές επιτάχυνσης σε χαμηλά φορτία, η απευθείας της ζεύξη της στο φορτίο, παρέχει την απαιτούμενη ροπή για πέδηση.

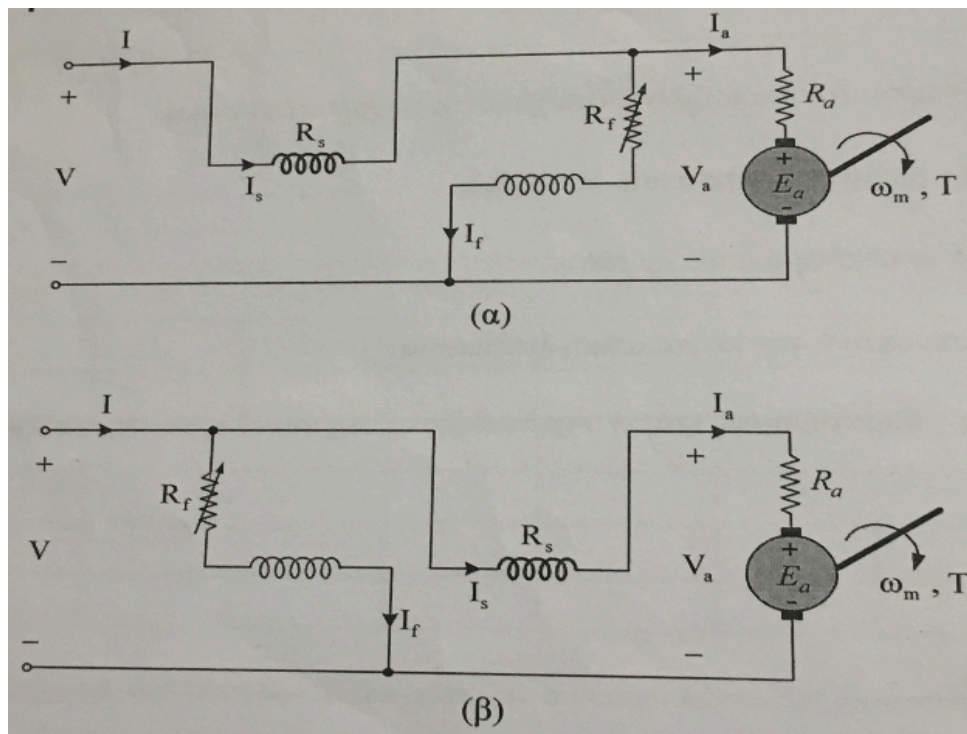
Οι κινητήρες ΣΡ διέγερσης σειράς χρησιμοποιούνται γενικά σε εφαρμογές ηλεκτρικής κίνησης (οχήματα μεταφοράς, σιδηρόδρομοι κ.α.), σε εργαλεία χειρός (δράπανα κλπ.), καθώς της σε ανελκυστήρες φορτίων, γερανούς και γενικότερα σε εφαρμογές που απαιτούνται υψηλές ροπές εκκίνησης.

Τέλος, είναι άξιο παρατήρησης πως κατά την εκκίνηση υπό φορτίο του κινητήρα σειράς, η απορρόφηση ρεύματος είναι μικρότερη από την αντίστοιχη της κινητήρα παράλληλης διέγερσης [114].

3.5.2.1.3 Κινητήρας Σύνθετης Διέγερσης

Οι κινητήρες σύνθετης διέγερσης συνθέτουν ένα συνδυασμό παράλληλης διέγερσης και διέγερσης σειράς. Συγκεκριμένα, διαθέτουν ταυτόχρονα και τα δύο τυλίγματα διέγερσης. Δηλαδή το τύλιγμα διέγερσης διακλάδωσης (παράλληλη διέγερση) και το τύλιγμα διέγερσης σειράς. Το γεγονός αυτό οδηγεί τον κινητήρα σύνθετης διέγερσης να στην πλεονεκτική θέση, που του επιτρέπει να συνδυάζει τα επιμέρους χαρακτηριστικά των δύο τεχνολογιών.

Στην κατηγορία αυτή διακρίνονται δύο διαφορετικές συνδεσμολογίες (Βραχείας και Μακράς σύνδεσης), ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης των τυλιγμάτων διακλάδωσης και σειράς ως της το τύλιγμα του τυμπάνου.



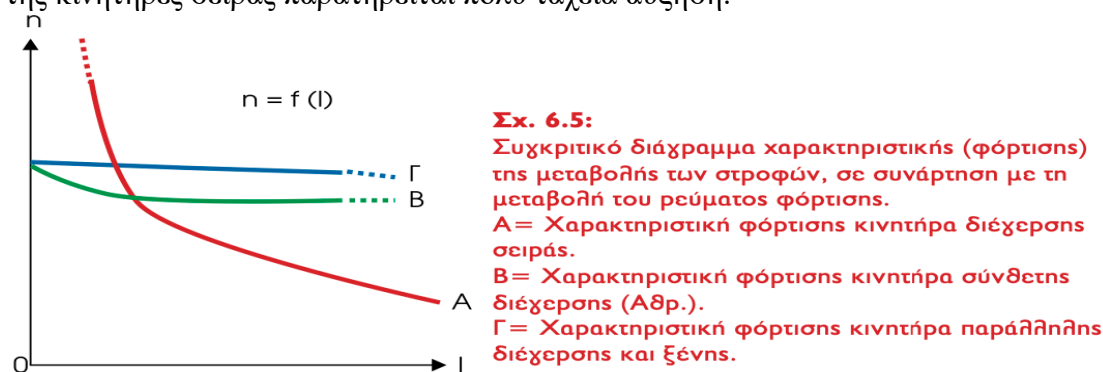
Εικόνα 3-39: Κινητήρας ΣΡ σύνθετης διέγερσης (α) Βραχείας συνδέσεως και (β) Μακράς συνδέσεως [114]

Ανάλογα με της συνδέσεις των επιμέρους τυλιγμάτων διέγερσης, τα μαγνητικά πεδία που δημιουργούν μπορούν να δρουν μεταξύ της αθροιστικά ή αφαιρετικά. Δηλαδή οι αντίστοιχες μαγνητηγεργητικές δυνάμεις των τυλιγμάτων να προστίθενται ή να αφαιρούνται. Ωστόσο έντονα προβλήματα εμφανίζονται στον κινητήρα σύνθετης διέγερσης διαφορικής σύνδεσης τόσο κατά την διαδικασία της εκκίνησης, όσο και κατά τη λειτουργία του. Για το λόγο αυτό οι κινητήρες αυτού του τύπου δεν χρησιμοποιούνται στην πράξη.

Αξίζει να αναφερθεί πως ο κινητήρας σύνθετης διέγερσης, λόγω της παρουσίας του τυλιγματος σειράς, σε μία ενδεχόμενη αύξηση του φορτίου, δέχεται περισσότερη ροή, κάτι που επιφέρει τη μείωση του αριθμού των στροφών σε τιμές μικρότερες από εκείνες της κινητήρα παράλληλης διέγερσης [114].

3.5.2.1.4 Σύγκριση Κινητήρων ΣΡ Διαφόρων Τύπων Τυλίγματος Διέγερσης

Από τη σύγκριση διαφόρων μεγεθών των κινητήρων ΣΡ προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την καταλληλότητα τους για χρήση τους. Πιο αναλυτικά, αναφορικά μεταβολή των στροφών, σε συνάρτηση με τη μεταβολή του ρεύματος φόρτισης παρατηρείται πως όταν το φορτίο του κινητήρα μειώνεται, η ταχύτητα του αυξάνεται. Της κινητήρες παράλληλης διέγερσης, η κλίση της συνάρτησης $n=f(I)$ είναι περίπου 8%. Αντίστοιχα, της κινητήρες σύνθετης διέγερσης είναι περίπου 15-20%, ενώ της κινητήρες σειράς παρατηρείται πολύ ταχεία αύξηση.



Εικόνα 3-40: Συγκριτικό διάγραμμα χαρακτηριστικών μεταβολής των στροφών, σε συνάρτηση με τη μεταβολή του ρεύματος φόρτισης [106]

Γνωρίζοντας τη σχέση μεταξύ ταχύτητας και φορτίου : $n = \frac{U - I_T R_T}{K \Phi}$, όπου :

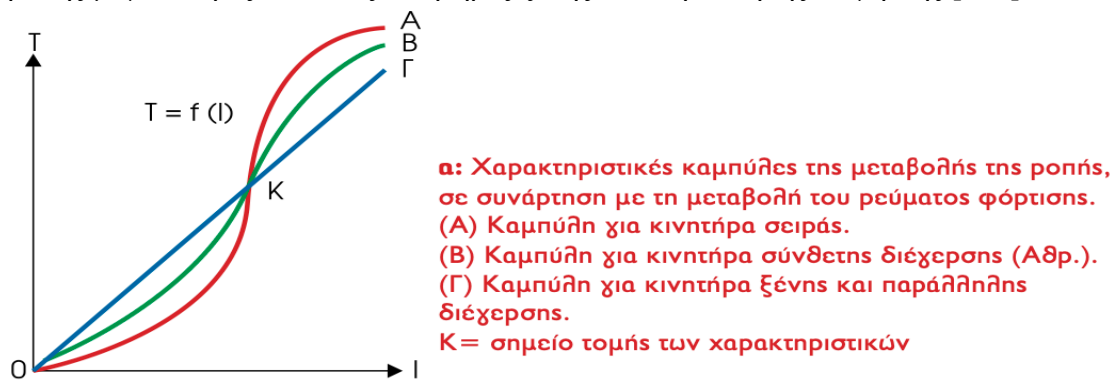
- n: ταχύτητα (στροφές/λεπτό)
- V: Τάση τροφοδοσίας (V)
- I_T : Ρεύμα Τυμπάνου (A)
- R_T : Αντίσταση Τυμπάνου (Ω)
- K: Σταθερά Κατασκευής Μηχανής
- Φ : Μαγνητική ροή (V*Sec)

Στους κινητήρες παράλληλης διέγερσης (μπλε χρώμα) η μείωση του φορτίου οδηγεί σε μια μικρή αύξηση των στροφών, η οποία ωστόσο φαίνεται να διατηρείται σταθερή. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός πως η μαγνητική ροή (Φ) εξαρτάται σε μικρό βαθμό από το ρεύμα τυμπάνου (I_T) και η πτώση τάσης ($I_T \cdot R_T$) στο τύμπανο δεν ξεπερνά το 5% της τάσης τροφοδότησης του κινητήρα. Αντίστοιχα και οι κινητήρες ξένης διέγερσης (μπλε χρώμα) κινούνται στα ίδια μήκη κύματος, μιας και το τύλιγμα διέγερσης έχει ανεξάρτητη τροφοδότηση, χωρίς να επηρεάζει τη μαγνητική ροή (Φ) και το ρεύμα τυμπάνου (I_T). Ωστόσο, της κινητήρες διέγερσης σειράς (κόκκινο), η μείωση του ρεύματος τυμπάνου συνεπάγεται της μείωσης της μαγνητικής ροής (Φ), μιας και το ρεύμα τυμπάνου αποτελεί και το ρεύμα διέγερσης ($\Phi = K' \cdot I_T$), με αποτέλεσμα την μεγάλη αύξηση των στροφών. Μάλιστα, κατά την αποφόρτιση ή σε λειτουργία με μικρό φορτίο, ο κινητήρας επιταχύνει απεριόριστα μέχρι την μηχανική καταστροφή του. Τέλος, στους κινητήρες σύνθετης αθροιστικής διέγερσης (πράσινο), τα αποτελέσματα των χαρακτηριστικών εμφανίζονται σε μια ενδιάμεση κατάσταση, δεδομένο πως διαθέτουν τόσο τύλιγμα σειράς, όσο και παράλληλο τύλιγμα. Επομένως, γίνεται αντιληπτό πως οι κινητήρες παράλληλης και ξένης διέγερσης είναι κατάλληλοι για εφαρμογές που απαιτούν ελάχιστη μεταβολή στροφών, σε αντίθεση με της κινητήρες σύνθετης (αθροιστικής) διέγερσης που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μεγάλου εύρους στροφών [106].

Ενδιαφέρον επίσης μέγεθος για τους κινητήρες αποτελεί και η ροπή στρέψης που αναπτύσσουν. Συγκεκριμένα, εξετάζεται τη μεταβολή της ροπής στρέψης σε συνάρτηση με τη μεταβολή του ρεύματος φόρτισης του κινητήρα, όπου κύρια σχέση αποτελεί : $T = K \cdot \Phi \cdot I_T$, όπου :

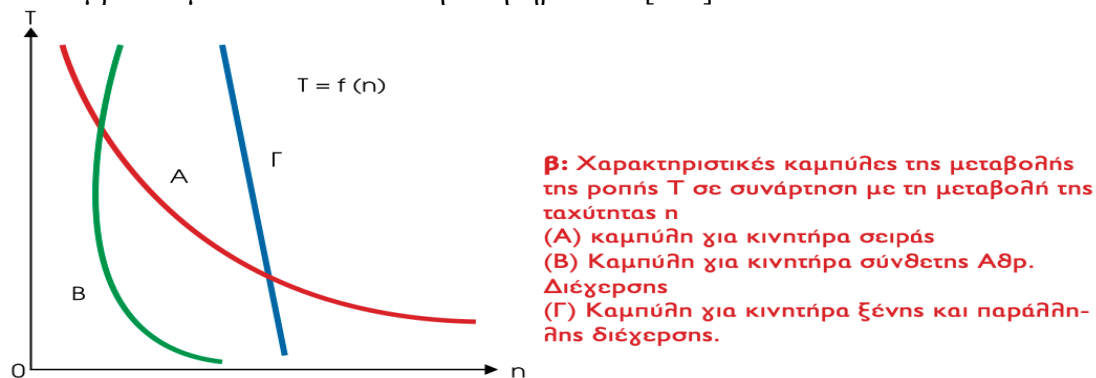
- T = Ροπή (Nm)
- K : Σταθερά Κατασκευής Μηχανής
- Φ : Μαγνητική ροή (V*Sec)
- I_T : Ρεύμα Τυμπάνου (A)

Συγκεκριμένα, στους κινητήρες ξένης και παράλληλης διέγερσης (μπλε χρώμα), υπό την προϋπόθεση πως η μαγνητική ροή (Φ) είναι σταθερή, η ροπή (T) μεταβάλλεται γραμμικά συναρτήσει της μεταβολής του ρεύματος τυμπάνου (I_T). Στους κινητήρες διέγερσης σειράς (κόκκινο χρώμα) με την αύξηση του φορτίου, εμφανίζεται απότομη αύξηση της ροπής, καθώς η τιμή της είναι ανάλογη του τετραγώνου του ρεύματος τυμπάνου ($T = K_1 \cdot K' \cdot \Phi \cdot I_T^2$). Τέλος, οι κινητήρες σύνθετης αθροιστικής διέγερσης (πράσινο χρώμα) παρουσιάζουν μια ενδιάμεση συμπεριφορά. Συνεπώς για φορτία πάνω από το σημείο K οι κινητήρες διέγερσης σειράς δίνουν τη μεγαλύτερη ροπή, οι με τους κινητήρες σύνθετης αθροιστικής διέγερσης να ακολουθούν δίνοντας ποσότητες ροπής μεγαλύτερες από τους κινητήρες ξένης και παράλληλης διέγερσης [106].



Εικόνα 3-41: Συγκριτικό διάγραμμα χαρακτηριστικών μεταβολής της ροπής, σε συνάρτηση με τη μεταβολή του ρεύματος φόρτισης [106]

Σημαντικό επίσης μέγεθος αποτελεί και η ροπή που μπορεί να αποδώσει ο κινητήρας συναρτήσει της ταχύτητας του. Συγκεκριμένα, από την εικόνα του παρακάτω γραφήματος γίνεται αντιληπτό πως οι κινητήρες διέγερσης σειράς, οι οποίοι μπορούν να αναπτύξουν μια ικανοποιητική ροπή σε ένα ευρύ φάσμα ταχυτήτων, κάτι το οποίο δεν συμβαίνει με τα υπόλοιπα είδη κινητήρων ΣΡ [106].



Εικόνα 3-42: Συγκριτικό διάγραμμα χαρακτηριστικών μεταβολής της ροπής, σε συνάρτηση με την μεταβολή της ταχύτητας [106]

3.5.2.1.5 Επιλογή Κινητήρα ΣΡ

Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι ένα από τα σημαντικότερα τμήματα ενός ηλεκτρικού οχήματος. Η επιλογή του είναι καθοριστικής σημασίας για την απόδοση του ηλεκτρικού συστήματος πρόωσης και συνεπώς θα πρέπει να ικανοποιεί ορισμένες βασικές απαιτήσεις όπως :

- Η μεγάλη ροπή εκκίνησης, απαραίτητη για την έναρξη κίνησης του οχήματος
- Δυνατότητα ανάπτυξης υψηλών τιμών επιτάχυνσης και ταχύτητας
- Καλή απόδοση και ευελιξία λειτουργίας σε μεγάλο φάσμα στροφών

Επομένως, κρίνοντας από τα δεδομένα που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες ενότητες, οι κινητήρες ΣΡ διέγερσης σειράς είναι εκείνοι οι οποίοι ικανοποιούν τις περισσότερες απαιτήσεις. Οι κινητήρες αυτοί, σε περιπτώσεις αυξημένου φορτίου (εκκινήσεις, ανοδικές κλίσεις) μειώνουν τις στροφές, μειώνεται η αντιηλεκτρεγερτική δύναμη, αυξάνεται η κατανάλωση ρεύματος και φυσικά η ροπή του κινητήρα, η οποία μεγαλώνει με ρυθμό τετραγωνικό επι του ρεύματος. Η μεγάλη αναπτυσσόμενη ροπή προσφέρει την κατάλληλη επιτάχυνση, ώστε το όχημα να μπορεί κινηθεί ακόμα και κάτω από δύσκολες συνθήκες, ενώ σε πολλές περιπτώσεις σύστημα μετάδοσης κίνησης (διαφορικό) δεν είναι απαραίτητη. Επίσης τονίζεται πως η ροπή τους μπορεί να αναπτυχθεί σε ένα ευρύ φάσμα ταχυτήτων. Από την άλλη πλευρά, οι κινητήρες ξένης και παράλληλης διέγερσης μπορούν να αναπτύξουν μια ικανοποιητική ροπή εκκίνησης, χωρίς την εμφάνιση προβλημάτων στη λειτουργία ελαττωμένου ή μηδενικού φορτίου, ωστόσο σε ένα περιορισμένο φάσμα ταχυτήτων. Τέλος ο κινητήρας αθροιστικής σύνθετης διέγερσης έχει ικανοποιητικά χαρακτηριστικά, αλλά η δυσκολία που έγκειται στον έλεγχο της λειτουργίας του και το αυξημένο κόστος κατασκευής αποτελούν ανασταλτικούς παράγοντες για τη χρήση τους.

Τα τελευταία χρόνια, χάριν της τεχνολογικής προόδου που σημειώθηκε στον τομέα των ηλεκτρονικών ισχύος, η μεταβολή τάσεων και ρευμάτων στους κινητήρες παράλληλης και ξένης διέγερσης καθίσταται πλέον εφικτή, επιτυγχάνοντας έτσι τη μετατόπιση των καμπυλών ροπής-στροφών σε επιθυμητά για τη λειτουργία τους επίπεδα. Αποτέλεσμα αυτού, η ολοένα και αυξανόμενη χρήση των κινητήρων αυτών στο χώρο της ηλεκτροκίνησης από διάφορους κατασκευαστές ηλεκτρικών οχημάτων [106].

Τύπος αυτοκινήτου	Τύπος κινητήρα
Fiat (X1/23)	ξένης διέγερσης
Fiat (900E/E2)	ξένης διέγερσης
Iveco (D-E2)	ξένης διέγερσης
Touota (EV-2)	ξένης διέγερσης
Peugeot (205 electrique)	ξένης διέγερσης
Renault (master electrique)	ξένης διέγερσης
Fiat (ECO - PIN)	σύνθετης διέγερσης
G.M. (512)	διέγερσης σειράς
Fiat (Pugato)	διέγερσης σειράς
Fiat (Panda Elletra)	διέγερσης σειράς
Volkswagen (Micro)	παράλληλης διέγερσης
Nissan (EV-4)	παράλληλης διέγερσης
Uniq Mobility (M-90)	παράλληλης διέγερσης

Εικόνα 3-43: Ηλεκτρικά Οχήματα εφοδιασμένα με κινητήρες ΣΡ [106]

3.5.2.2 Κινητήρας Εναλλασσόμενου Ρεύματος (AC Motors)

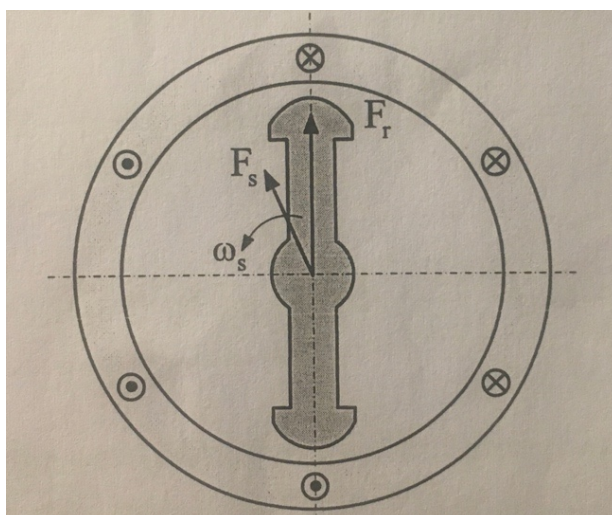
Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος έχουν το κοινό χαρακτηριστικό ότι τα τυλίγματα του στάτη τροφοδοτούνται με εναλλασσόμενη τάση, μονοφασική ή τριφασική. Διακρίνονται δυο βασικές κατηγορίες ηλεκτροκινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος :

- Στους σύγχρονους κινητήρες
- Στους ασύγχρονους κινητήρες.

3.5.2.2.1 Σύγχρονος Κινητήρας

Στους σύγχρονους κινητήρες ο στάτης αποτελείται από τρία τυλίγματα διατεταγμένα στο χώρο με γωνία 120 μοιρών μεταξύ τους. Το τύλιγμα του τυμπάνου (συνήθως ο στάτης) τροφοδοτείται από τριφασικό δίκτυο με εναλλασσόμενες τάσεις που έχουν διαφορά φάσης 120 μοιρών. Από την άλλη πλευρά, ο δρομέας αποτελείται από περιέλιξη που τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα μέσα από δύο δακτυλίδια και ψύκτρες. Το τύλιγμα διέγερσης (συνήθως ο δρομέας) τροφοδοτείται με συνεχή τάση, η οποία παράγει το μαγνητικό πεδίο (B_r). Όταν τα τρία τυλίγματα του στάτη διαρρέονται από σύστημα τριφασικών συμμετρικών ρευμάτων, κυκλικής συχνότητας, ω , δημιουργείται στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο με ταχύτητα τη σύγχρονη. Η ταχύτητα αυτή (n) καθορίζεται από τον αριθμό των πόλων (P) και τη συχνότητα των τάσεων του τυμπάνου (f), $n_s = (120 \cdot f) / P$ και μετράτε σε στροφές ανά λεπτό (rpm). Αντίστοιχα, η σύγχρονη γωνιακή ταχύτητα ορίζεται, $\omega_s = (2P) / \omega$ και μετράτε σε ακτίνια ανά δευτερόλεπτο (rad/sec) [106] [114].

Στο παρακάτω σχήμα δείχνεται ένας σύγχρονος κινητήρας δύο πόλων στο εσωτερικό του οποίου υφίστανται δύο πεδία τα οποία τείνουν να ευθυγραμμισθούν.



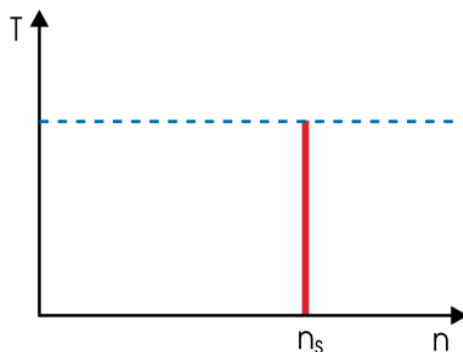
Εικόνα 3-44: Σύγχρονος κινητήρας δύο πόλων [114]

Κατά την εκκίνηση ο δρομέας, λόγω αδράνειας, δεν μπορεί να αποκτήσει αμέσως τη σύγχρονη ταχύτητα, δεν είναι όμως δυνατόν να λειτουργήσει με ταχύτητα μικρότερη από τη σύγχρονη και επομένως χρειάζεται εκκινητή.

Οι συνηθέστεροι εκκινητές είναι:

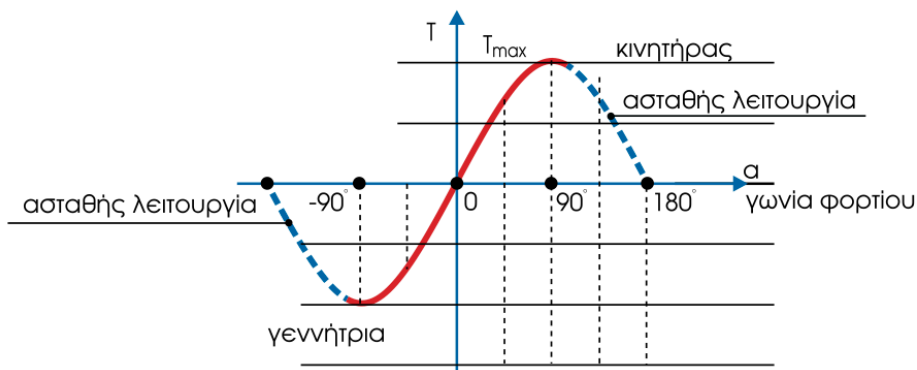
1. Μικρός κινητήρας Συνεχούς Ρεύματος, που περιστρέφει το δρομέα όπως η μίζα το στρόφαλο, μέχρι να φθάσει στη σύγχρονη ταχύτητα.
2. Ειδική κατασκευή τυλίγματος κλωβού στα πέδιλα του δρομέα (τύλιγμα απόσβεσης) που του δίνει τη δυνατότητα να ξεκινήσει σαν ασύγχρονος και αφού επιταχυνθεί να τροφοδοτηθεί με συνεχές ρεύμα και να λειτουργήσει σαν σύγχρονος.
3. Εκκίνηση με μείωση της συχνότητας τροφοδοσίας. Με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ισχύος μπορούμε να μεταβάλουμε τη συχνότητα τροφοδοσίας με ανορθωτές – αντιστροφείς και κυκλομετατροπείς. Κατά την εκκίνηση χρησιμοποιούμε τάση τροφοδότησης του στάτη πολύ μικρής συχνότητας. Έτσι το μαγνητικό πεδίο στρέφεται πολύ αργά και ο δρομέας μπορεί να το παρακολουθήσει.

Στην περίπτωση σύνδεσης του κινητήρα με ένα φορτίο, η ταχύτητα περιστροφής του μπορεί να είναι η σύγχρονη με την προϋπόθεση, τα μεγέθη των τάσεων τροφοδοσίας και της συχνότητας να παραμένουν σταθερά. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η ταχύτητα λειτουργίας του να είναι σταθερή από το σημείο λειτουργίας χωρίς φορτίο έως το σημείο μέγιστης ροπής. Η μέγιστη ροπή μπορεί να αυξηθεί είτε με αύξηση του ρεύματος διέγερσης, είτε με αύξηση της τάσης τροφοδοσίας [106].



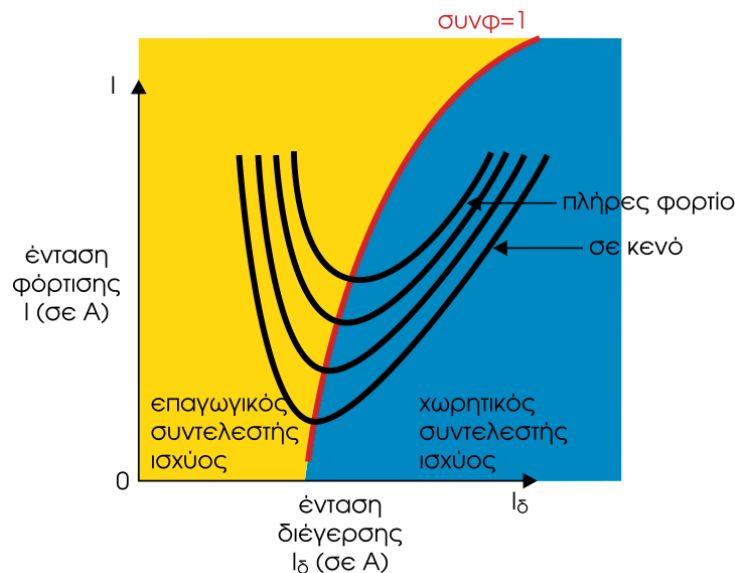
Εικόνα 3-45: Χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας σύγχρονου κινητήρα [106]

Για σταθερή τάση τροφοδοσίας και σταθερή διέγερση, οι απαιτήσεις σε ισχύ και ροπή κατά το υπό φορτίο λειτουργία της σύγχρονης μηχανής αναλαμβάνονται αποκλειστικά σύμφωνα με το ημίτονο της γωνίας φορτίου [115].



Εικόνα 3-46: Καμπύλη ροπής, ισχύος και γωνίας φορτίου σύγχρονης μηχανής [106]

Ένα επίσης κρίσιμο στοιχείο για τη σωστή λειτουργία των σύγχρονων κινητήρων αποτελεί η τιμή του συντελεστή ισχύος κατά τη λειτουργία του. Πιο αναλυτικά, στην εικόνα που ακολουθεί, περιγράφονται οι καμπύλες του ρεύματος φόρτισης του οπλισμού του κινητήρα συναρτήσει του ρεύματος διέγερσης, οι οποίες διαφοροποιούνται ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι φορτίου. Οι καμπύλες ονομάζονται V , λόγω του σχηματισμού που παίρνουν τη μορφή του γράμματος V . Επίσης υπάρχει και μία ακόμη καμπύλη, αυτή του μοναδιαίου συντελεστή, η οποία τέμνεται με άλλες καμπύλες (V), στο σημείο όπου η ένταση φόρτισης γίνεται ελάχιστη. Το σημείο τομής, αποτελεί την κανονική διέγερση, όπου ο κινητήρας καταναλώνει μόνο πραγματική ισχύ. Στις περιπτώσεις όπου η ένταση διέγερσης υπερβεί την κανονική της τιμή, τότε ο κινητήρας λειτουργεί στο δεξιό τμήμα της καμπύλης (μπλε χρώμα) σε κατάσταση υπερδιέγερσης με χωρητικό συντελεστή ισχύος, δίνοντας άεργο ισχύ στο δίκτυο. Αντιθέτως, αν η ένταση διέγερσης γίνει μικρότερη από την κανονική της τιμή, τότε ο κινητήρας λειτουργεί στο αριστερό τμήμα της καμπύλης (κίτρινο χρώμα) σε κατάσταση υποδιέγερσης με επαγωγικό συντελεστή ισχύος, καταναλώνοντας άεργο ισχύ στο δίκτυο. Επομένως, ρυθμίζοντας τα επίπεδα διέγερσης είναι δυνατή η επίτευξη συντελεστή ισχύος κοντά στη μονάδα, κάτι το οποίο βελτιστοποιεί σημαντικά το βαθμό απόδοσης του κινητήρα [106].



Εικόνα 3-47: Καμπύλη V σύγχρονου κινητήρα [106]

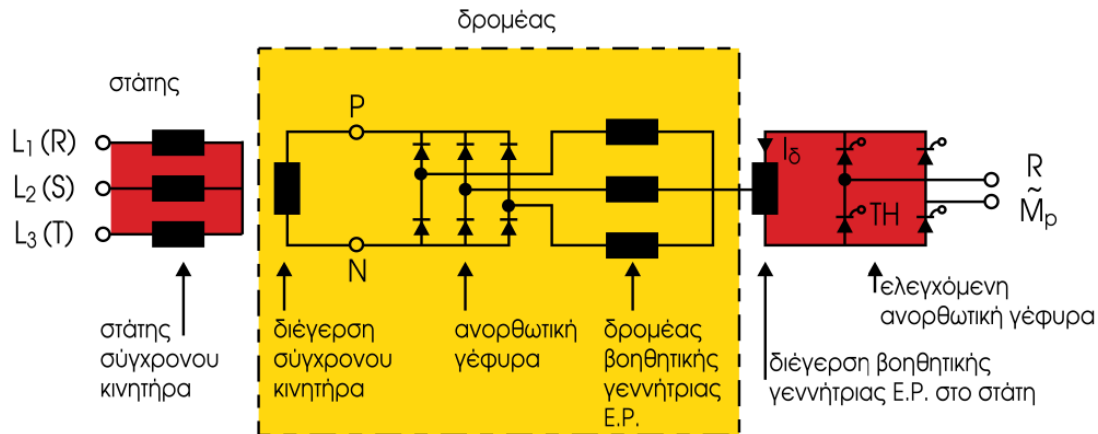
Συνεπώς, κάνοντας ένα γρήγορο απολογισμό, στα πλεονεκτήματα του σύγχρονου κινητήρα συγκαταλέγονται τα εξής :

- Μεγάλος βαθμός απόδοσης λόγω ελάχιστων απωλειών.
- Μεγάλη ροπή σε όλες τις περιοχές στροφών.
- Μικρό κόστος για συντήρηση.
- Πλήρης έλεγχος μέσω ρύθμισης με ηλεκτρονικά ισχύος.
- Λειτουργεί και ως γεννήτρια για πέδηση με φόρτιση των συσσωρευτών του αυτοκινήτου.

Ανασταλτικό παράγοντα και κύριο μειονεκτήματα του αποτελεί η υψηλή τιμή αγοράς του κινητήρα και του ηλεκτρονικού ρυθμιστή. Ωστόσο οι σύγχρονοι κινητήρες σε συνδυασμό με ηλεκτρονικούς ρυθμιστές κερδίζουν συνεχώς έδαφος στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας [106].

3.5.2.2.1 Σύγχρονος Τριφασικός Κινητήρας Χωρίς Ψήκτρεις (Brushless Motor)

Σημαντικό ζήτημα που προκύπτει κατά τη λειτουργία των σύγχρονων κινητήρων αποτελεί η μετάβαση του συνεχούς ρεύματος διέγερσης στα στρεφόμενα δακτυλίδια μέσω των ψηκτρών. Στην προσπάθεια για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος, δημιουργήθηκαν οι κινητήρες χωρίς ψήκτρεις (Brushless). Μάλιστα, η ανάπτυξη τους έλαβε μεγαλύτερες διαστάσεις, υποστηριζόμενη από τις τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των ηλεκτρονικών ισχύος, μέσω των οποίων επετεύχθη η ανόρθωση ρευμάτων μεγάλων εντάσεων.



Εικόνα 3-48: Σύγχρονος κινητήρας χωρίς ψήκτρεις [106]

Η μονοφασική εναλλασσόμενη τάση, ανορθώνεται μέσα από τη γέφυρα τεσσάρων διόδων ή καλύτερα μέσω τεσσάρων θυρίστορ για πλήρως ελεγχόμενη τάση. Στη συνέχεια τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα (I_δ) η διέγερση μιας βοηθητικής γεννήτριας. Αυτή με τη σειρά της τροφοδοτεί με εναλλασσόμενο ρεύμα που παράγεται στο δρομέα της, μια ανορθωτική γέφυρα έξι διόδων που βρίσκεται πάνω στο δρομέα. Τελικά, η γέφυρα αυτή τροφοδοτεί με συνεχές ρεύμα τη διέγερση του σύγχρονου κινητήρα η οποία βρίσκεται και αυτή πάνω στο δρομέα. Συνεπώς, με τον τρόπο αυτό, η διέγερση του σύγχρονου κινητήρα τροφοδοτείται με ηλεκτρομαγνητικό τρόπο, χωρίς τη χρήση δακτυλίων και ψηκτρών [106].

3.5.2.2.2 Ασύγχρονος Κινητήρας

Οι ασύγχρονοι κινητήρες πήραν την ονομασία τους από την ιδιότητά τους να περιστρέφονται με ταχύτητα λίγο διαφορετική από τη σύγχρονη ταχύτητα του πεδίου στο διάκενο. Οι ασύγχρονοι κινητήρες μπορεί να είναι, ανάλογα με την ονομαστική τους ισχύ, είτε τριφασικοί είτε μονοφασικοί [115].

Αναφορικά με τα κατασκευαστικά τους χαρακτηριστικά, ένας τριφασικός ασύγχρονος κινητήρας αποτελείται από δύο τυλίγματα εναλλασσόμενου ρεύματος, ένα στο στάτη και ένα στο δρομέα. Το τύλιγμα του στάτη είναι γνωστό και ως τύλιγμα τυμπάνου και αποτελείται από τρία όμοια διανεμημένα μονοφασικά τυλίγματα, μετατιθέμενα στο χώρο κατά 120 ηλεκτρικές μοίρες. Ο αριθμός των πόλων των τυλιγμάτων αυτών, για δεδομένη συχνότητα τροφοδοσίας, καθορίζει τις ονομαστικές στροφές του κινητήρα. Ανάλογα, δε, με τις τάσεις τροφοδοσίας, και τον τύπο του κινητήρα, τα τυλίγματα του

στάτη συνδέονται είτε σε αστέρα είτε σε τρίγωνο. Ως προς την κατασκευή του τυλίγματος του δρομέα, οι ασύγχρονοι κινητήρες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα ή τύπου κλωβού και τους κινητήρες τυλιγμένου δρομέα ή δακτυλιοφόροι [113].

Κατά την αρχή λειτουργίας των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων, όταν το τύλιγμα του στάτη τροφοδοτηθεί από ένα τριφασικό σύστημα τάσεων, δημιουργείται στο διάκενο της μηχανής ένα στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Η ταχύτητα περιστροφής και η γωνιακή συχνότητα του πεδίου είναι συναρτήσεως τόσο της συχνότητας της τάσης τροφοδοσίας, όσο και του αριθμού των πόλων του τυλίγματος του στάτη. Δηλαδή : $n_s = (120 \cdot f) / p$ και $\omega_s = (2\pi n_s) / 60$

όπου :

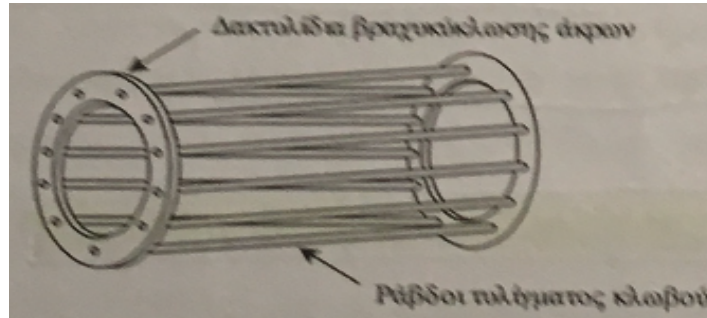
- n_s : σύγχρονη ταχύτητα (rpm)
- ω_s : σύγχρονη γωνιακή ταχύτητα (rad/sec)
- P: ο αριθμός των πόλων της μηχανής

Η συμπεριφορά του ασύγχρονου κινητήρα, όταν ο δρομέας είναι κινητοποιημένος ($n_r \neq 0$), είναι όμοια με εκείνη ενός μετασχημαστή (M/Σ), στο μαγνητικό πεδίο του οποίου περιλαμβάνεται και κάποιο διάκενο αέρος. Οι επαγόμενες τάσεις στην περίπτωση αυτή, έχουν την ίδια συχνότητα με την τάση τροφοδοσίας.

Στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας ο κινητήρας λειτουργεί σε ένα ορισμένο αριθμό στροφών $n_r = (n_r < n_s)$. Στην περίπτωση αυτή εμφανίζεται το φαινόμενο της ολίσθησης (s) κατά το οποίο ο λόγος της σχετικής ταχύτητας του δρομέα ως προς τη σύγχρονη ταχύτητα περιγράφεται από τη σχέση : $s = (n_s - n_r) / n_s$. Συνηθισμένες τιμές ολίσθησης για ονομαστική λειτουργία κινητήρων, κυμαίνεται μεταξύ 2% με 5%. Πρέπει επίσης να σημειωθεί πως η σύγχρονη ταχύτητα αποτελεί μια οριακή ταχύτητα για τον κινητήρα. Στην περίπτωση ισότητας των δύο μεγεθών, ο δρομέας δεν “βλέπει” καμία μεταβολή στη ροή, επομένως δεν επάγονται τάσεις, ρεύματα και ροπή, με αποτέλεσμα η συγκεκριμένη κατάσταση να μην αντιστοιχεί σε λειτουργία κινητήρα. Κάτω λοιπόν από την επίδραση της ροπής φορτίου, οι στροφές ελαττώνονται και η περιοχή λειτουργίας κυμαίνεται στα όρια, $0 < n_r < n_s$ [113].

3.5.2.2.1 Ασύγχρονος Τριφασικός Βραχυκυκλωμένου Δρομέα

Στους ασύγχρονους κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα (τύπου κλωβού), το τύλιγμα του δρομέα αποτελείται από χάλκινες ή αλουμιένιες μπάρες, τοποθετημένες κατά μήκος των αυλακώσεων, οι οποίες βραχυκυκλώνονται περιμετρικά στα άκρα. Το βραχυκυκλωμένο τύλιγμα τροφοδοτείται με εναλλασσόμενο ρεύμα έμμεσα από το στάτη λόγω επαγωγής, όπως συμβαίνει και στο δευτερεύον τύλιγμα στην περίπτωση των μετασχηματιστών. Για το λόγο αυτό οι ασύγχρονοι αυτοί κινητήρες ονομάζονται και κινητήρες επαγωγής. Επίσης, δεδομένου πως για τη λειτουργία των συγκεκριμένων κινητήρων είναι απαραίτητη η τροφοδότηση μόνο του ενός εκ των δύο τυλιγμάτων τους (και συγκεκριμένα του στάτη), οι ασύγχρονοι κινητήρες χαρακτηρίζονται και ως κινητήρες απλής τροφοδότησης. Ένα πλεονέκτημα του κινητήρα τύπου κλωβού, είναι πως ο ίδιος δρομέας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε ένα κινητήρα με μονοφασικό τύλιγμα στάτη, καθόσον ο αριθμός των επαγόμενων πόλων καθορίζεται από το τύλιγμα του στάτη. [113] [114].



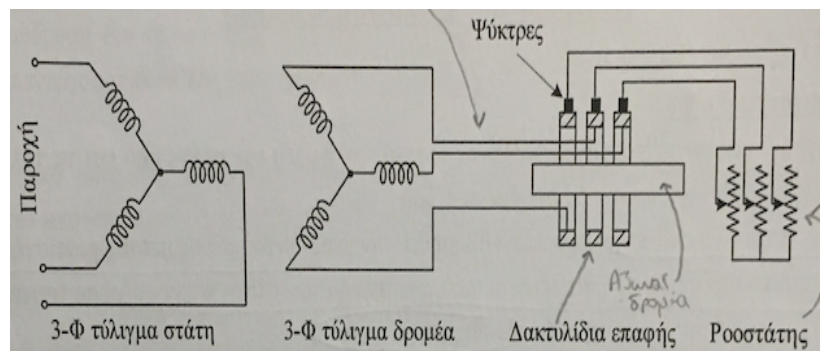
Εικόνα 3-49: Τυλίγματα κλωβού ασύγχρονης μηχανής [114]

Αναφορικά με τα πλεονεκτήματά τους, στα βασικότερα εξ αυτών περιλαμβάνεται η κατασκευή τους, η οποία είναι απλή και στιβαρή. Επίσης η λειτουργία τους χαρακτηρίζεται από απλό σύστημα εκκίνησης, υψηλές τιμές απόδοσης, καλό συντελεστή ισχύος, ελάχιστη συντήρηση και χαμηλό κόστος. Επιπλέον, ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στο γεγονός πως αναπτύσσουν αρκετά μεγάλη ροπή κατά τόσο κατά την εκκίνηση τους, όσο και κατά τη λειτουργία τους [106].

Οι ασύγχρονοι κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα όταν συνδυάζονται με ηλεκτρονικούς ρυθμιστές, μπορούν να αυξήσουν σημαντικά την απόδοσή τους, επιτυγχάνοντας τις επιθυμητές τιμές ροπής σε συγκεκριμένες ταχύτητες, καθώς και αυξήσεις της τάξεως του 150% της ονομαστικής κατά την εκκίνηση ή σε άλλα χρονικά διαστήματα. Ακόμα αναφέρεται πως τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν λειτουργίες αυτόματης προσαρμογής στο φορτίο, ομαλή και αθόρυβη περιστροφή, βελτιωμένη απόδοση και χαμηλό ρεύμα εκκίνησης. Τέτοιου είδους κινητήρες και ρυθμιστές κατασκευάζονται για μεγάλα επίπεδα ισχύος, επιτυγχάνοντας μικρό όγκο και βάρος σε σχέση με άλλες μηχανές. Το σύνολο αυτών των ιδιοτήτων καθιστούν τους ασύγχρονους κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα και ηλεκτρονικού ρυθμιστή κατάλληλο για εφαρμογές σε ηλεκτρικά οχήματα. [106].

3.5.2.2.2 Ασύγχρονος Τριφασικός Κινητήρας Δακτυλιοφόρου Δρομέα

Το κύριο χαρακτηριστικό των κινητήρων αυτών είναι ότι στο δρομέα υπάρχει κανονικό διανεμημένο τριφασικό τύλιγμα, ίδιου αριθμού πόλων με το τύλιγμα του τυμπάνου. Οι τρεις φάσεις του τυλίγματος συνδέονται συνήθως σε αστέρα, με τα τρία υπόλοιπα ελεύθερα άκρα να συνδέονται σε τρεις ορειχάλκινους δακτυλίους στον άξονα του δρομέα [113] [114].



Εικόνα 3-50: Δρομέας τριφασικού κινητήρα με δακτυλίδια [114]

Οι ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες δακτυλιοφόρου δρομέα πλεονεκτούν έναντι των κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα στα εξής :

- Μεγάλη ροπή εκκίνησης.
- Δυνατότητα ρύθμισης της ταχύτητας περιστροφής κατά την κανονική λειτουργία.
- Δυνατότητα ρύθμισης του ρεύματος εκκίνησης σε οποιαδήποτε περιοχή τιμών.

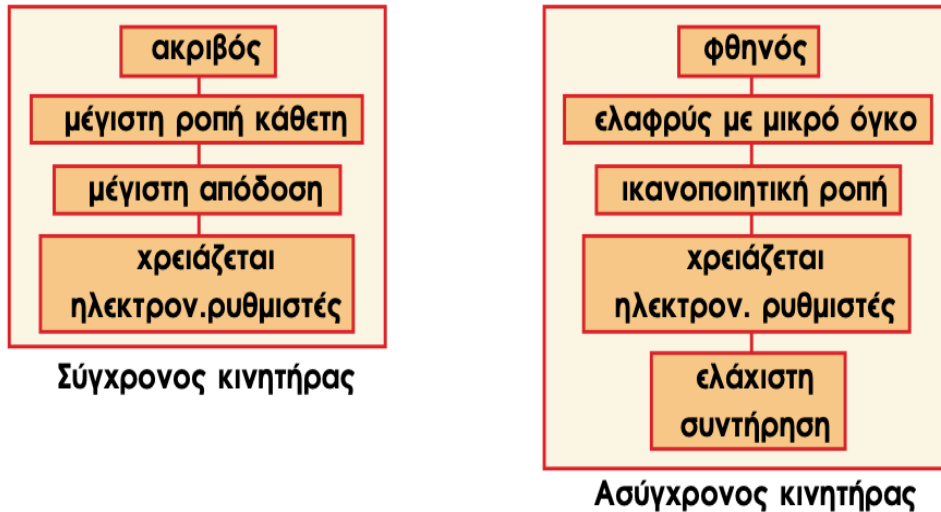
Το πεδίο εφαρμογής των κινητήρων αυτών είναι ευρύ, ωστόσο δε βρίσκει μεγάλη εφαρμογή στο πεδίο των ηλεκτρικών οχημάτων.

3.5.2.2.3 Σύγκριση Κινητήρων Εναλλασσόμενου Ρεύματος

Οι σύγχρονοι κινητήρες όπως φαίνεται στο σχήμα παρουσιάζουν σχεδόν κάθετη ροπή και ισχύ δηλαδή λειτουργεία πάντα κοντά στη μέγιστη ροπή και ισχύ. Επίσης παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη απόδοση από όλους τους κινητήρες με δυνατότητα ρύθμισης του συντελεστή ισχύος μέσα από ρύθμιση της διέγερσης. Μπορεί να δώσει μέγιστη ροπή ακόμα και σε ελάχιστη ταχύτητα. Ακόμα, λειτουργούν σαν γεννήτριες για ηλεκτρική πέδη και φόρτιση συσσωρευτή. Ωστόσο, το μειονέκτημα τους είναι το υψηλό κόστος κατασκευής και η συντήρηση που χρειάζεται λόγω δακτυλιδιών και ψηκτρών. Στους σύγχρονους κινητήρες χωρίς ψήκτρες έχει ξεπεραστεί το τελευταίο πρόβλημα και έχει βελτιωθεί η απόδοση. Με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ισχύος κατασκευάστηκαν ηλεκτρονικοί ρυθμιστές ταχύτητας που ξεπέρασαν τη βασική αδυναμία των σύγχρονων κινητήρων που ήταν η δυνατότητα του να κινείται μόνο με τη σύγχρονη ταχύτητα.

Οι ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες έχει απλή κατασκευή, το χαμηλότερο κόστος από όλους τους κινητήρες, χρειάζονται ελάχιστη συντήρηση, έχουν το μικρότερο βάρος και όγκο, ενώ παράλληλα δεν χρειάζονται τροποποιήσεις και ειδικό σχεδιασμό για αυτοκίνηση. Επίσης παρουσιάζουν τις λιγότερες βλάβες από όλους τους κινητήρες και μπορεί να λειτουργήσει και αυτός σαν γεννήτρια για ηλεκτρική πέδηση και φόρτιση συσσωρευτή. Έχουν μεγάλη ροπή εκκίνησης που δεν είναι όμως σταθερή με την αύξηση των στροφών. Με τους ηλεκτρονικούς ρυθμιστές είναι αρκετά ικανοποιητική η ροπή και η ισχύς για κίνηση ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Το κόστος των ηλεκτρικών ρυθμίσεων είναι ακόμα πολύ μεγάλο και φθάνει λίγο κάτω από το κόστος του συστήματος κίνησης.

Συνεπώς, η επιλογή των σύγχρονων ή ασύγχρονων κινητήρων είναι δύσκολη και έχει σχέση με τις προτεραιότητες που έχει ο κατασκευαστής. Στην παρακάτω εικόνα γίνεται μια ενδεικτική παρουσίαση των κυριότερων χαρακτηριστικών των δύο τύπων κινητήρα [106].



Εικόνα 3-51: Κυριότερα χαρακτηριστικά σύγχρονου και ασύγχρονου κινητήρα [106]

3.5.2.3 Κινητήρας Μόνιμου Μαγνήτη

Στις μέρες μας, η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας, ευνοεί την αντικατάσταση σε πολλές εφαρμογές των κλασικών κινητήρων συνεχούς ρεύματος, καθώς και των συμβατικών σύγχρονων και των ασύγχρονων επαγωγικών κινητήρων με μηχανές νέας τεχνολογίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, του νέου αυτού τύπου κινητήρων, είναι και οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη. [119]

Οι μόνιμοι μαγνήτες (MM) χρησιμοποιούνται ως εναλλακτική πηγή πεδίου διέγερσης στις ηλεκτρικές μηχανές. Οι μόνιμοι μαγνήτες χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ηλεκτρικών μηχανών προσφέροντας μειωμένες απώλειες, ενώ καταργούν την ανάγκη για παροχή ρεύματος στο δρομέα μέσω ψηκτρών ή δακτυλίων. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η μείωση των απωλειών και αυξημένη απόδοση του κινητήρα, μιας και δεν υπάρχουν απώλειες διεγέρσεως, απλοποίηση της κατασκευής και ευκολότερη συντήρηση. Ωστόσο ένα μειονέκτημα που συνδέεται με τη χρήση μόνιμων μαγνητών είναι η σταθερή τιμή της μαγνήτισης τους, με αποτέλεσμα την αδυναμία μεταβολής της διέγερσης, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που κρίνεται σκόπιμο να υπάρχει έλεγχος διέγερσης. Επιπροσθέτως, υπάρχει κίνδυνος απομαγνήτισης των μόνιμων μαγνητών λόγω επιβολής εξωτερικού πεδίου, πολύ υψηλής θερμοκρασίας ή έπειτα από έντονη μηχανική καταπόνηση. [119] [120].

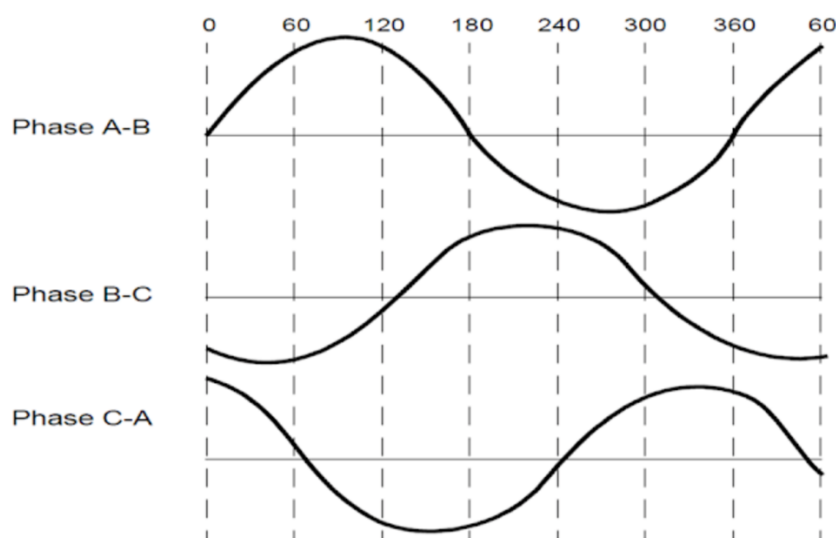
Οι σύγχρονες μηχανές μόνιμου μαγνήτη ανάλογα με την τεχνική ελέγχου και την μορφή της επαγόμενης τάσης στα τυλίγματα του στάτη, χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Ημιτονοειδείς σύγχρονες μηχανές μόνιμου μαγνήτη (sinusoidal permanent magnet synchronous machines)
- Μηχανές μόνιμου μαγνήτη τραπεζοειδούς ή τετραγωνικού παλμού (trapezoidal or square wave permanent magnet machines) [119].

3.5.2.3.1 Σύγχρονος κινητήρας μόνιμο μαγνήτη (PMSM)

Οι μηχανές αυτής της κατηγορίας προέκυψαν από την προσπάθεια κατασκευής μιας σύγχρονης μηχανής χωρίς το τύλιγμα διεγέρσεως. Αυτό έγινε δυνατό αντικαθιστώντας το τύλιγμα με μόνιμους μαγνήτες ημιτονοειδούς κατανομής μαγνητικού πεδίου. Στη διάταξη αυτή, χρησιμοποιούνται μόνιμοι μαγνήτες ενσωματωμένοι στο ρότορα του κινητήρα, για τη δημιουργία ενός σταθερού μαγνητικού πεδίου. Οι μαγνήτες νεοδυμίου είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι μαγνήτες σε αυτούς τους κινητήρες.

Οι μηχανές αυτές τροφοδοτούνται με τριφασική ημιτονοειδή τάση και λειτουργούν υπό την αρχή του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου. Σε λειτουργία σταθερών στροφών δεν απαιτείται γνώση της ακριβούς θέσης του, καθώς η μηχανή περιστρέφεται με τον σύγχρονο αριθμό στροφών. Όταν όμως έχουμε μεταβολή της συχνότητας περιστροφής, απαιτείται ακριβής εποπτεία της θέσης του δρομέα, ώστε οι τάσεις τροφοδοσίας που θα παραχθούν να συγχρονίζονται με την τάση εξ επαγωγής και κατ' επέκταση με την περιστροφή του δρομέα. Η οδήγηση αυτού του τύπου κινητήρων γίνεται συνήθως με τριφασικό αντιστροφέα.



Εικόνα 3-52: Τάση εξ επαγωγής ημιτονοειδούς μορφής [119]

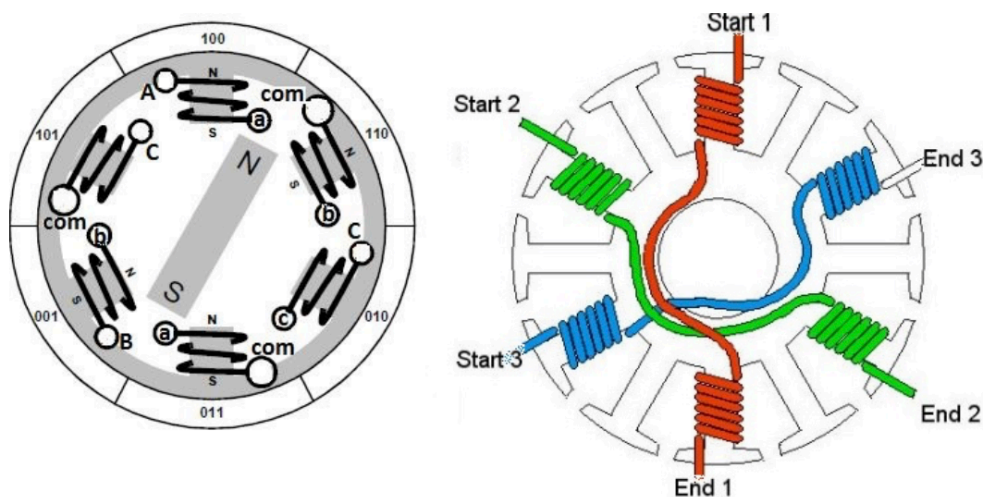
Οι σύγχρονοι κινητήρες μόνιμο μαγνήτη (Permanent Magnet Synchronous Machine, PMSM) χαρακτηρίζονται από ευκολία στον έλεγχο, απουσία ψηκτρών και των προβλημάτων που αυτές δημιουργούν, μεγάλο βαθμό απόδοσης, καθώς και η υψηλή πυκνότητα ισχύος. Πιο αναλυτικά, σε σχέση με τους κινητήρες κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα, οι κινητήρες PMSM παρουσιάζουν αυξημένες δυνατότητες εξοικονόμηση ενέργειας. Επιπλέον έχουν καλύτερη απόδοση σε σύγκριση με τους επαγωγικούς κινητήρες σε συνθήκες λειτουργίας μερικού φορτίου και εξαιρετικά υψηλή απόδοση σε ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας. Επίσης, έχουν σημαντικά υψηλότερη πυκνότητα ισχύος η οποία (για κινητήρες με κιβώτιο ταχυτήτων) εξασφαλίζει υψηλότερη απόδοση με μειωμένες ανάγκες σε χώρο και όγκο για την εγκατάσταση. Επίσης λόγω του σχεδιασμού τους, η ταχύτητα του κινητήρα δεν αλλάζει σε τυχόν μεταβολές του φορτίου ή σε ενδεχόμενο πτώσης τάσεως (τουλάχιστον για όσο διάστημα η συχνότητα του δικτύου παραμένει σταθερή). Αυτός ο σχεδιασμός, μειώνει τις απώλειες θερμότητας και αυξάνει την συνολική απόδοση του κινητήρα [119].

3.5.2.3.1 Κινητήρες ΣΡ Χωρίς Ψήκτρες (BLDC)

Στους ηλεκτρικούς κινητήρες DC με ψήκτρες για την αγωγή επαφή της τροφοδοσίας με το περιστρεφόμενο μέρος (το ρότορα) του κινητήρα χρησιμοποιούνται δύο ψήκτρες (brushes). Ωστόσο με την πάροδο του χρόνου φθείρονται και απαιτείται αντικατάσταση. Για το λόγο αυτό, τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκαν οι ηλεκτροκινητήρες ΣΡ χωρίς ψήκτρες (brushless DC electric motor, BLDC).

Τόσο οι κινητήρες BLDC, όσο και οι συμβατικοί κινητήρες DC, αποτελούνται από έναν στάτη με μόνιμους μαγνήτες ή ηλεκτρομαγνητικά πηνία και έναν ρότορα με περιελίξεις πηνίων που μπορούν να τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα στο εσωτερικό. Όταν ο κινητήρας τροφοδοτείται από συνεχές ρεύμα, θα δημιουργηθεί ένα μαγνητικό πεδίο μέσα στον στάτη, είτε προσελκύνοντας είτε απωθώντας τους μαγνήτες στον ρότορα. Αυτό προκαλεί την έναρξη περιστροφής του ρότορα.

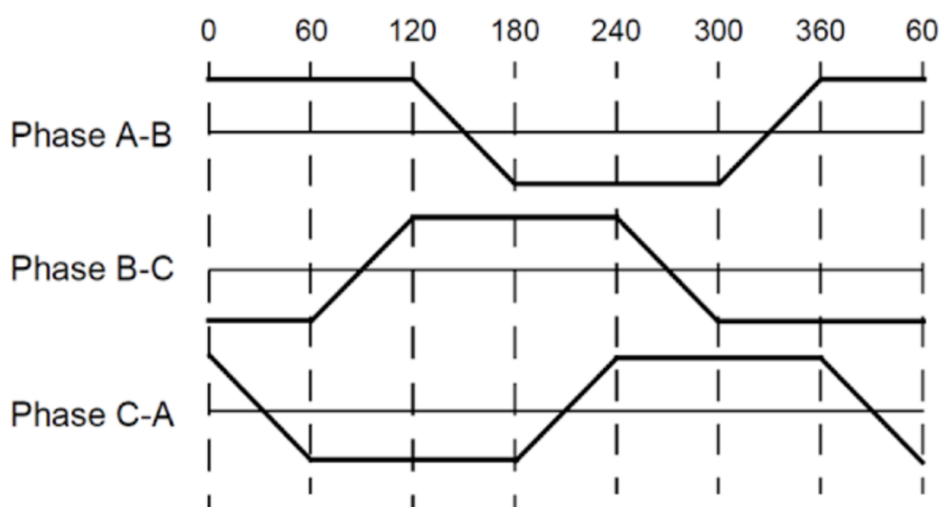
Η πιο εμφανής διαφορά μεταξύ των δύο τύπων κινητήρα αποτελεί το γεγονός πως οι κινητήρες BLDC χρησιμοποιούν αισθητήρες (συνήθως αισθητήρες Hall) για την παρακολούθηση της θέσης του ρότορα. Τα δύο από τα 6 συνολικά πηνία του κινητήρα ενεργοποιούνται κάθε φορά με ίσες και αντίθετες πολικότητες, το ένα ωθεί το ρότορα μακριά από αυτό, ενώ το άλλο τον τραβάει προς αυτό. Στη συνέχεια ενεργοποιούνται τα δύο επόμενα πηνία κ.ο.κ. Για ρύθμιση ταχύτητας και έλεγχο της κίνησης του ρότορα, απαιτείται η χρήση αισθητηρίου που θα ανιχνεύει τη θέση και τον προσανατολισμό του. Τα σήματα των αισθητήρων υποβάλλονται σε επεξεργασία από το ψηφιακό κύκλωμα, το οποίο ελέγχει με ακρίβεια τη σωστή στιγμή εναλλαγής της τροφοδοσίας των τυλιγμάτων, καθώς ο ρότορας περιστρέφεται [121]



Εικόνα 3-53: Εσωτερικής δομή και λειτουργία ηλεκτρικού κινητήρα BLDC [121]

Συγκεκριμένα στους κινητήρες ΣΡ χωρίς ψήκτρες (BLDC) η τροφοδοσία γίνεται με τετραγωνικούς παλμούς ρεύματος 120° ηλεκτρικών μοιρών συγχρονισμένους με την τάση εξ επαγωγής. Οι παλμοί ρεύματος είναι συγχρονισμένοι με τη τάση εξ επαγωγής, έτσι ώστε το σταθερό τμήμα της τάσης να συμπίπτει με τα διαστήματα όπου το φασικό ρεύμα διατηρεί σταθερή τιμή. Στις μηχανές αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούνται

αισθητήρες Hall, καθώς είναι απαραίτητη η γνώση της θέσης του δρομέα μόνο στα σημεία μετάβασης, δηλαδή κάθε 60ο ηλεκτρικές μοίρες. Η οδήγηση αυτού του τύπου κινητήρων γίνεται με χρήση τριφασικού αντιστροφέα. [119].



Εικόνα 3-54: Τάση εξ επαγωγής τραπεζοειδούς μορφής [119]

Στα πλεονεκτήματα των κινητήρων BLDC περιλαμβάνονται :

- Λόγω απουσίας ψηκτρών εμφανίζουν ελάχιστες μηχανικές φθορές και ελαχιστοποιείται η ανάγκη συντήρησης.
- Έχουν πολύ καλό βαθμό απόδοσης.
- Παρέχουν υψηλή αναλογία ισχύος προς βάρος
- Επιτυγχάνουν πολύ υψηλές ταχύτητες.
- Δεν προκαλείται θόρυβος και σπινθήρες από την τριβή με τους ανάλλακτες.

Ωστόσο υπάρχουν και αερισμένα μειονεκτήματα, όπως :

- Είναι ακριβοί
- Για τη λειτουργία τους απαιτείται ειδικό ψηφιακό κύκλωμα οδήγησης τους.

Οι κινητήρες του τύπου αυτού χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε εφαρμογές όπως ηλεκτρικά εργαλεία χειρός, αλλά και σε κινητές εφαρμογές όπως τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα κ.τ.λ. [121].

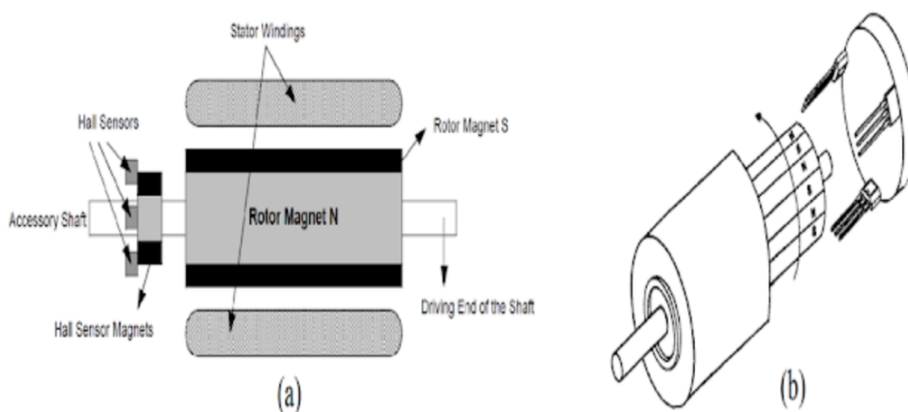
3.5.2.3.3 Αισθητήρες Hall – Φαινόμενο Hall

Στην περίπτωση ύπαρξης ρευματοφόρου αγωγού εντός μαγνητικού πεδίου, η επαγωγή του πεδίου ασκεί εγκάρσια δύναμη στον φορέας ρεύματος, ωθώντας τους στη μια πλευρά του αγωγού. Το παραπάνω φαινόμενο είναι γνωστό ως φαινόμενο Hall. Ο αισθητήρας Hall είναι ένας αισθητήρας μαγνητικού πεδίου. Η λειτουργία του στηρίζεται στην ανάπτυξη τάσης στους ακροδέκτες του, όταν εφαρμόζεται σε αυτόν μαγνητικό πεδίο και τροφοδοτείται από συνεχές ρεύμα.

Σε αντίθεση με ένα κινητήρα συνεχούς ρεύματος με ψήκτρες, η μετάβαση σε έναν κινητήρα ΣΡ χωρίς ψήκτρες (Brushless DC electric motor, BLDC) ελέγχεται ηλεκτρονικά. Για να περιστραφεί ο δρομέας του κινητήρα, πρέπει τα τυλίγματα του στάτη να τροφοδοτηθούν με μια συγκεκριμένη ακολουθία, ώστε να δημιουργηθεί στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό της μηχανής. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, είναι απαραίτητη η γνώση της ακριβούς θέσης του δρομέα για κάθε χρονική στιγμή. Αυτό γίνεται δυνατό με την τοποθέτηση των τριών αισθητήρων Hall.

Η λειτουργία των αισθητήρων Hall στηρίζεται στη δημιουργία ενός υψηλού ή χαμηλού σήματος, ανάλογα με την πολικότητα, κάθε φορά που ένας μαγνητικός πόλος περάσει δίπλα από τους. Με την ανάγνωση και αποκωδικοποίηση του συνδυασμού των τριών σημάτων των αισθητήρων Hall, καθορίζεται με ακρίβεια η επιλογή της κατάλληλης ακολουθίας για την ηλεκτρονική μετάβαση.

Οι αισθητήρες συνήθως τοποθετούνται στο στάτη της μηχανής μετατοπισμένοι σε διαστήματα των 60 ή 120 μοιρών. Μια διαφορετική διάταξη των αισθητήρων Hall αποτελεί η σύνδεση τους με επιπρόσθετους μαγνήτες μικρότερης κλίμακας που τοποθετούνται στον δρομέα της μηχανής. Οι μαγνήτες αυτοί, τοποθετούνται στο σημείο αυτό με σκοπό να έχουν ίδια πολικότητα με τους μόνιμους μαγνήτες του δρομέα, έτσι ώστε, όταν αυτός περιστρέφεται, οι αισθητήρες hall να δίνουν το κατάλληλο αποτέλεσμα [119].



Εικόνα 3-55: Αισθητήρες Hall (α) στο ακίνητο μέρος του άξονα του δρομέα, (β) στο στάτη του κινητήρα [119]

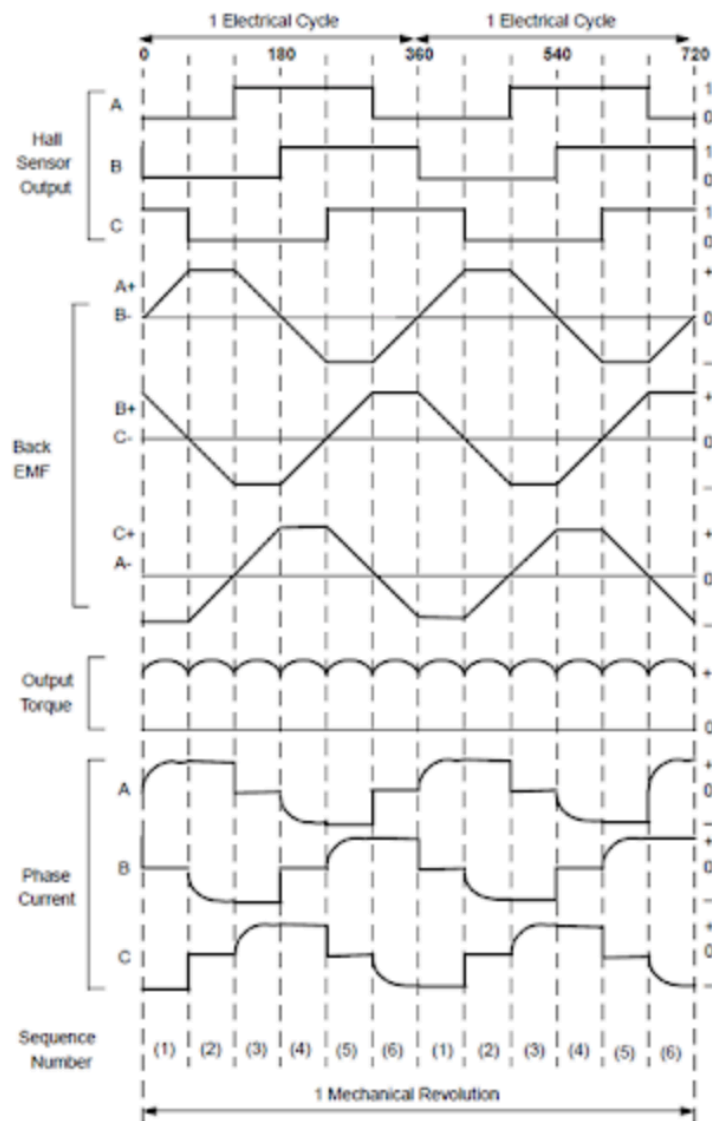
3.5.2.3.4 Ηλεκτρονική μεταγωγή – Οδήγηση του κινητήρα (BLDC)

Σε κάθε μετάβαση της τροφοδοσίας του στάτη απαιτείται να υπάρχει ένα τύλιγμα, από το οποίο εισέρχεται το ρεύμα, και ένα τύλιγμα, από το οποίο εξέρχεται. Κάθε τύλιγμα άγει συνεχόμενα για 120ο ηλεκτρικές μοίρες. Η ηλεκτρομαγνητική ροπή που εμφανίζεται στον άξονα της μηχανής παράγεται μέσω της αλληλεπίδρασης των πεδίων του στάτη και του δρομέα. Η ροπή αυτή μεγιστοποιείται, όταν τα διανύσματα των πεδίων αυτών είναι κάθετα μεταξύ τους και μειώνεται όσο αυτά τείνουν να γίνουν παράλληλα. Προκειμένου να διατηρείται αυτή η καθετότητα καθ' όλη τη διάρκεια της περιστροφής του δρομέα, το μαγνητικό πεδίο του στάτη πρέπει να περιστρέφεται μαζί με τον δρομέα. Για αυτό το λόγο υπάρχει μια συγκεκριμένη ακολουθία μεταβάσεων, ώστε το πεδίο του στάτη να μετακινείται στο διάκενο ανάλογα με την ηλεκτρική γωνία που έχει διανύσει ο δρομέας. Οι μεταβάσεις λαμβάνουν χώρα κάθε 60° ηλεκτρικής

περιστροφής και κάθε τύλιγμα άγει συνεχόμενα για 120° ηλεκτρικές μοίρες, στο πέρας των οποίων πραγματοποιείται μετάβαση του ρεύματος από την μία φάση στην επόμενη.

Αυτό επαναλαμβάνεται έξι φορές προκειμένου να ολοκληρωθεί ένας ηλεκτρικός κύκλος. Κάθε αλλαγή της τιμής ενός εκ των σημάτων Hall πρέπει να μεταφράζεται σε αλλαγή των φάσεων αγωγής από τον τριφασικό αντιστροφέα, με τρόπο που να διατηρείται η ορθή διαδοχή διέγερσης. Όσο αφορά την μηχανική περιστροφή του δρομέα, ο αριθμός των ζευγών πόλων του κινητήρα καθορίζει πόσες φορές μεγαλύτερη είναι η ηλεκτρική γωνία/ταχύτητα από τη μηχανική. Για την υλοποίηση του ελέγχου απαιτείται η γνώση της θέσης του δρομέα σε διακριτές θέσεις 60 μοιρών, καθώς ανά 60 ηλεκτρικές μοίρες περιστροφής, ένας από τους αισθητήρες Hall δίνει σήμα.

Η ακριβής σχέση μεταξύ ηλεκτρικής γωνίας και σημάτων Hall του προηγούμενου παραδείγματος αποτυπώνεται στην εικόνα. Επίσης, παρουσιάζονται οι κυματομορφές των πολικών τάσεων εξ επαγωγής, του ρεύματος κάθε φάσης και της ροπής [119].



Εικόνα 3-56: Κυματομορφές μεγεθών λειτουργίας κινητήρα BLDC [119]

3.6 Ηλεκτρονικός Μετατροπέας Ισχύος

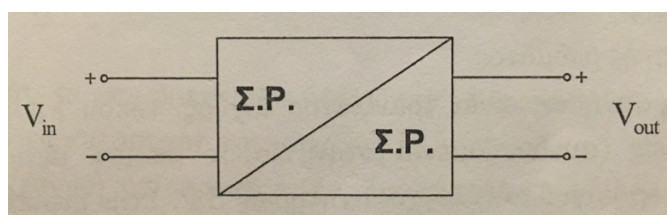
Ηλεκτρονικά ισχύος είναι τα ηλεκτρονικά συστήματα τα οποία διαχειρίζονται την ηλεκτρική ισχύ και μετατρέπουν την τάση, την ένταση και την κυματομορφή του ρεύματος κατά τρόπο, ώστε να μπορέσει να αξιοποιηθεί από ένα άλλο συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Τα ηλεκτρονικά συστήματα ισχύος μπορούν να κάνουν τις παρακάτω μετατροπές:

- Μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης σταθερού μέτρου και συχνότητας, σε συνεχή τάση, σταθερή ή ρυθμιζόμενη, μέσω μετατροπέων EP-ΣΡ (AC-DC converters) ή ανορθωτικών διατάξεων (Rectifiers).
- Μετατροπή του εναλλασσόμενης τάσης σταθερού μεγέθους και συχνότητας σε εναλλασσόμενη ρυθμιζόμενης τιμής και σταθερής συχνότητας (ίση με τη συχνότητα εισόδου), μέσω Ρυθμιστών EP-EP ή Μετασχηματιστές (Cycloconverters).
- Μετατροπή της συνεχούς τάσης, σταθερής τιμής, σε συνεχή τάση ρυθμιζόμενης τιμής, μέσω Μετατροπέων ΣΡ-ΣΡ (DC-DC converters).
- Μετατροπή του συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη, μέσω Μετατροπέων ΣΡ-EP (DC-AC converters) ή αντιστροφείς (inverters).

Σε εφαρμογές ηλεκτρικών οχημάτων οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς παρεμβάλλεται μεταξύ της πηγής ισχύος και του κινητήρα. Οι διατάξεις αυτές λαμβάνουν και την ισχύ εισόδου και την μετασχηματίζουν σε τάση και ρεύμα εξόδου κατάλληλης μορφή και πλάτους. Το είδος του μετατροπέα που απαιτείται για κάθε εφαρμογή εξαρτάται από το είδος της πηγής ισχύος και τον τύπο του κινητήρα. Με δεδομένο πως η πηγή ισχύος των ηλεκτρικών οχημάτων είναι οι συσσωρευτές, οι οποίοι λειτουργούν με συνεχή τάση, η επιλογή του ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος καθορίζεται αποκλειστικά από τον τύπο του ηλεκτροκινητήρα που θα χρησιμοποιηθεί. Συνεπώς, στην περίπτωση χρήσης κινητήρων συνεχούς ρεύματος, εφαρμόζονται μετατροπείς DC-DC, ενώ σε περίπτωση χρήσης κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος χρησιμοποιούνται αντίστοιχα μετατροπείς DC-AC. Παράλληλα οι διατάξεις αντιστροφέα DC-AC μπορούν επίσης να οδηγούν και κινητήρες που χρησιμοποιούν τετραγωνικούς παλμούς (κινητήρας τύπου Brushless).

3.6.1 Μετατροπείς Σ.Ρ./Σ.Ρ (DC/DC converter)

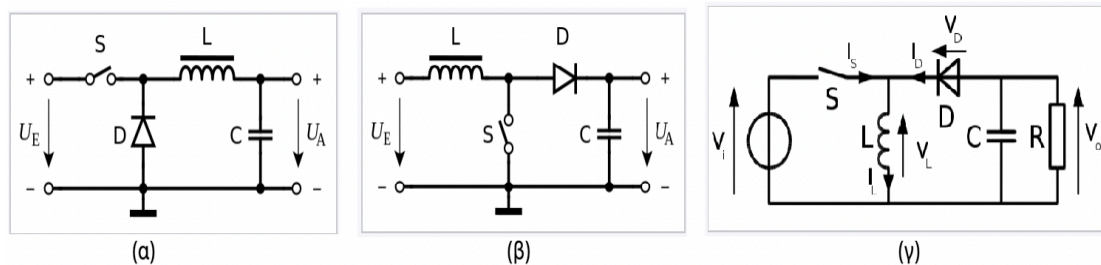
Οι μετατροπείς Σ.Ρ./Σ.Ρ. (DC/DC converter) αποτελούν ηλεκτρονικές διατάξεις οι οποίες μετασχηματίζουν το συνεχή τάση εισόδου (σταθερής τιμής) που έχουν στην είσοδο τους, σε συνεχή τάση εξόδου διαφορετικού πλάτους (ρυθμιζόμενης τιμής).



Εικόνα 3-57: Μετατροπέας Σ.Ρ./Σ.Ρ [113]

Η λειτουργία τους είναι ανάλογη με εκείνη του αυτομετασχηματιστή, αλλά για συνεχές ρεύμα. Μπορούν να λειτουργούν με τρεις διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με το μέγεθος της τάσης στην έξοδο τους:

- Ως μετατροπείς υποβιβασμού συνεχούς τάσης (Step down DC/DC Converter) ή εν σειρά ψαλιδιστές (Buck DC/DC Converter), στους οποίους η τάση εξόδου είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με την τάση εισόδου.
- Ως μετατροπείς ανύψωσης συνεχούς τάσης (Step up DC/DC Converter) ή εν παραλλήλω ψαλιδιστές (Boost DC/DC Converter), στους οποίους η τάση εξόδου είναι μεγαλύτερη ή τουλάχιστον ίση με την τάση εισόδου.
- Ως μετατροπείς υποβιβασμού-ανύψωσης τάσης (Step down-up DC/DC Converter) ή εν σειρά-εν παραλλήλω ψαλιδιστές (Buck-Boost DC/DC Converter), στους οποίους η τάση εξόδου μπορεί να είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη από την τάση εισόδου.

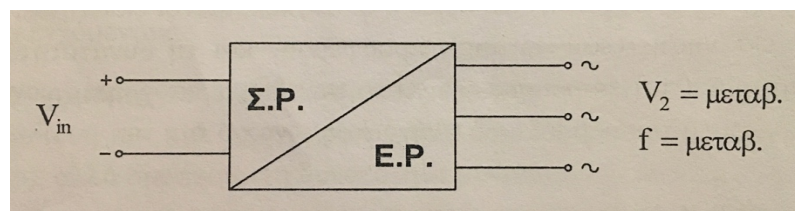


Εικόνα 3-58: Ηλεκτρονικά κυκλώματα Μετατροπέων (α) υποβιβασμού, (β) ανύψωσης και (γ) ανύψωσης-υποβιβασμού [122]

Ως διακοπτικά στοιχεία χρησιμοποιούνται τρανζίστορ ισχύος, τύπου MOSFET και IGBT, ωστόσο για μικρές εφαρμογές ισχύος είναι κατάλληλα και τα GTO. Τα θυρίστορ δεν βρίσκουν εφαρμογή, καθώς η λειτουργία τους απαιτεί επιπλέον κυκλώματα για την υλοποίηση της εξαναγκασμένης μεταγωγής τους (σβέση). Όσον αφορά τη διαδικασία εντολοδότης του διακοπτικού στοιχείου, υπάρχουν δύο τεχνικές. Η πρώτη στηρίζεται στη διαμόρφωση του εύρους του παλμού, ενώ η δεύτερη στη διαμόρφωση της συχνότητας. Η πρώτη μέθοδος είναι προτιμότερη για φορτία κίνησης. Τέλος, οι μετατροπείς Σ.Ρ/Σ.Ρ, ανάλογα με τα τεταρτημόρια λειτουργίας τους, διακρίνονται σε πέντε κατηγορίες (κλάσεις A,B,C,D και E) [113].

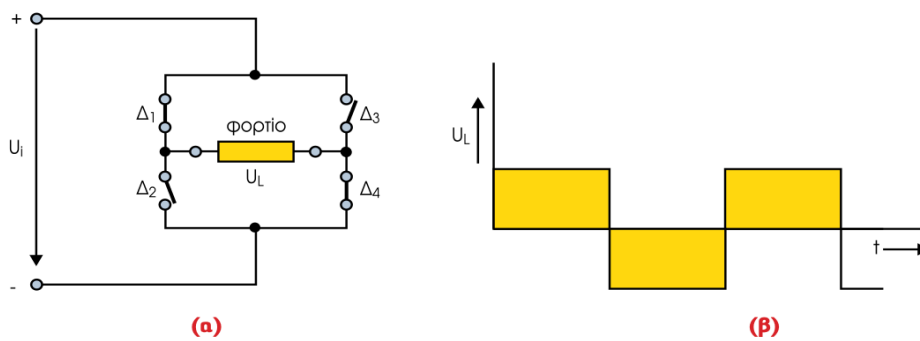
3.6.2 Μετατροπείς Σ.Ρ/Ε.Ρ (DC/AC converter)

Ο μετατροπέας Σ.Ρ/Ε.Ρ (DC/AC converter) ή Αντιστροφέας (Inverter) είναι μια ηλεκτρονική διάταξη η οποία μετατρέπει τη συνεχή ηλεκτρική τάση εισόδου (σταθερού μεγέθους) σε εναλλασσόμενη τάση εξόδου, μεταβαλλόμενου τιμής και συχνότητας.



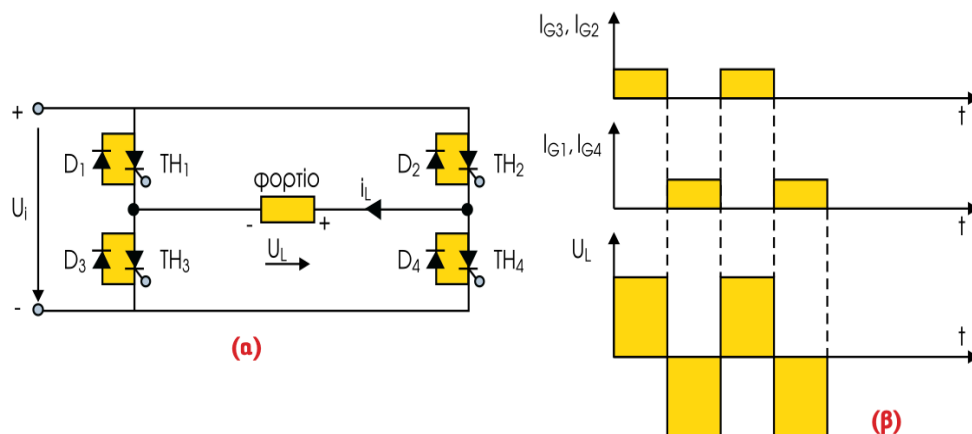
Εικόνα 3-59: Μετατροπέας Σ.Ρ/Ε.Ρ [113]

Οι μετατροπείς αυτοί μπορεί να είναι μονοφασικοί ή τριφασικοί. Αναφορικά με την πρώτη κατηγορία, η αρχή λειτουργίας του μονοφασικού αντιστροφέα εξηγείται εύκολα μέσα από τη χρήση ενός κυκλώματος τεσσάρων διακοπών. Εκεί, στην περίπτωση που το ζεύγος διακοπών $\Delta 1$ και $\Delta 2$ είναι κλειστό και το αντίστοιχο ζεύγος $\Delta 3$ και $\Delta 4$ είναι ανοιχτό, τότε σχηματίζεται μια τετραγωνική κυματομορφή. Τόσο το κύκλωμα, όσο και η αντίστοιχη κυματομορφή της τάσης εξόδου παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα [106].



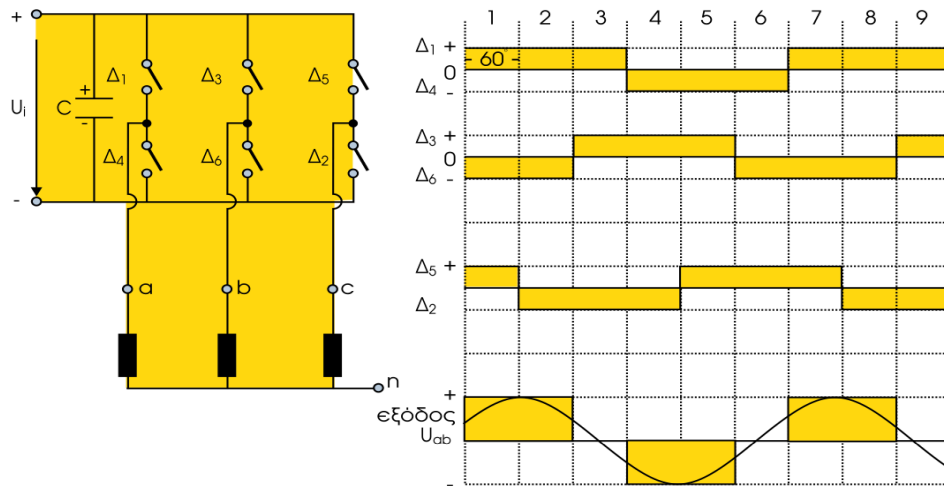
Εικόνα 3-60: Ισοδύναμο κύκλωμα μονοφασικού μετατροπέα Σ.Ρ/Ε.Ρ τεσσάρων διακοπών και η κυματομορφή της αναπτυσσόμενης τάσης εξόδου [106]

Στην πράξη, οι απλοί διακόπτες αντικαθίστανται από τα θυρίστορ, ηλεκτρονικούς διακόπτες ελεγχόμενα από τα ρεύματα πύλης I_G . Στο κύκλωμα αυτό, στην πρώτη ημιπερίοδο, αν δοθεί παλμός έναυσης I_{G2} , I_{G3} , τότε άγουν τα θυρίστορ TH_2 και TH_3 , με την τάση στο φορτίο να διαμορφώνεται όπως στην παρακάτω εικόνα. Στη δεύτερη ημιπερίοδο η διαδικασία επαναλαμβάνεται αντιστοίχως για τα θυρίστορ TH_1 και TH_4 . Σημειώνεται πως για την αγωγή του θυρίστορ, το ρεύμα που το διαρρέει θα πρέπει να έχει το ίδιο πρόσημο με την εφαρμοζόμενη τάση. Αυτό σημαίνει πως ο αντιστροφές για να δώσει ενεργό ισχύ, η τάση και το ρεύμα πρέπει να βρίσκονται σε φάση, κάτι που εισάγει προβληματισμούς στην περίπτωση τροφοδότησης ενός μη ωμικού στοιχείου. Χαρακτηριστικά αναφέρεται η περίπτωση των κινητήρων οι οποίοι αποτελούν φορτία με έντονο επαγωγικό μέρος. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος, απέναντι από κάθε θυρίστορ τοποθετείται μια αντιπαράλληλη δίοδος. Έτσι καθίσταται δυνατή η δημιουργία άεργου ισχύος για την τροφοδότηση των επαγωγικών φορτίων, αλλά και η ανάστροφη λειτουργία κατά την πέδηση του κινητήρα. Τέλος τονίζεται πως εκτός από απλά θυρίστορ, οι σύγχρονοι ηλεκτρονικοί διακόπτες μπορεί να είναι ειδικά θυρίστορ, τρανζίστορ GTO, BT3, MOSFET, IGBT κ.α [106].



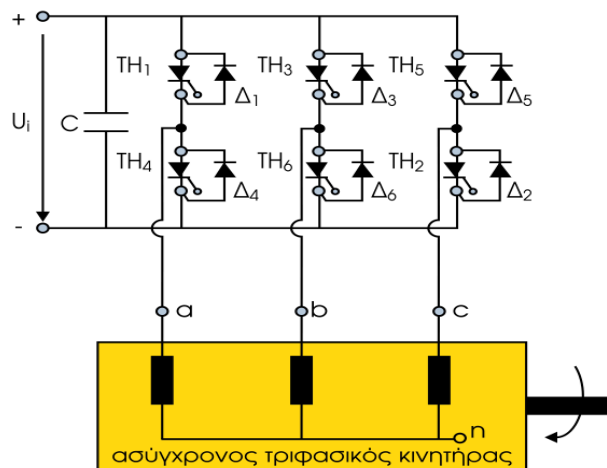
Εικόνα 3-61: Κύκλωμα μονοφασικού μετατροπέα Σ.Ρ/Ε.Ρ με συναρτήσεις παλμοδότησεων και αποκρίσεων [106]

Όσον αφορά τους τριφασικούς αντιστροφείς, στο ισοδύναμο κύκλωμα τους εμπεριέχονται έξι βασικοί διακόπτες, συγκροτημένοι σε τρεις ομάδες με 120 μοίρες διαφορά γωνίας έναυσης μεταξύ τους. Επίσης, κάθε ομάδα αποτελείται από δύο διακόπτες με διαφορά φάσης οδήγησης 180 μοιρών. Με το κατάλληλο άνοιγμα και κλείσιμο των διακοπών επιτυγχάνεται η διαμόρφωση της επιθυμητής τάσης εξόδου. Ωστόσο η πολική τάση που παρέχεται στην έξοδο είναι τετραγωνικής μορφής και περιέχει πλήθος αρμονικών. Για την αποφυγή των αρμονικών και τη διαμόρφωση της τάσης σε ημιτονοειδή μορφή χρησιμοποιείται μια τεχνική, η διαμόρφωση εύρους παλμών (Pulse Width Modulation, PWM). Έτσι επιτυγχάνεται η ελάττωση της συνολικής αρμονικής παραμόρφωσης και η διαμόρφωση μιας κυματομορφής συμβατής και αποδεκτής από τις διάφορες ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές [106].



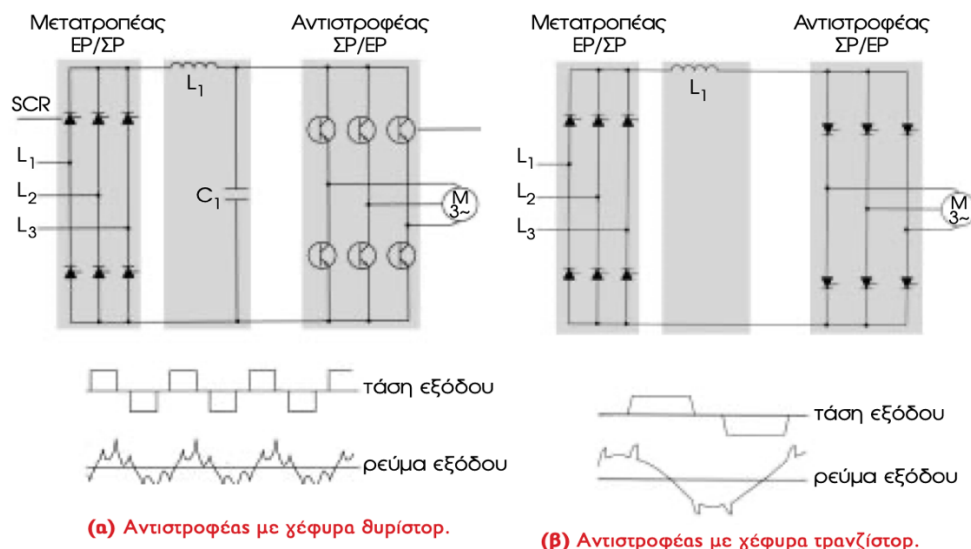
Εικόνα 3-62: Ισοδύναμο κύκλωμα τριφασικού μετατροπέα Σ.P/E.P έξι διακοπών και η ανάλυση της αναπτυσσόμενης τάσης εξόδου [106]

Σε ένα πραγματικό κύκλωμα αντιστροφέα, οι έξι απλοί διακόπτες αντικαθίστανται από έξι θυρίστορ και έξι αντιπαράλληλα συνδεδεμένες σε αυτά διόδους. Με την κατάλληλη παλμοδότηση των θυρίστορ, η συνεχής τάση εισόδου μετατρέπεται σε τριφασική εναλλασσόμενη, ενώ μέσω τεχνικών εύρους παλμών μπορεί να προσεγγίσει την ημιτονοειδή μορφή. Για τη σταθεροποίηση της τάσης εισόδου χρησιμοποιείται ηλεκτρολυτικός πυκνωτής C. Τέλος, σημειώνεται πως η συχνότητα εξόδου στις διατάξεις αυτές κυμαίνεται από 2Hz μέχρι μερικά δεκάδες Hz.



Εικόνα 3-63: Κύκλωμα τριφασικού μετατροπέα Σ.P/E.P συνδεδεμένο σε κινητήρα [106]

Για την πληρότητα λειτουργίας του τριφασικού αντιστροφέα, όταν διατίθενται εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) και όχι συνεχές (DC), παρατίθενται οι παρακάτω διατάξεις στις οποίες υπάρχουν δύο στάδια μετατροπής (Μετατροπέας ΕΡ/ΣΡ και αντιστροφέας ΣΡ/ΕΡ).



Εικόνα 3-64: Σύστημα μετατροπής ΕΡ/ΣΡ/ΕΡ για τροφοδότηση τριφασικού κινητήρα με μεταβαλλόμενη V/f [106]

Συμπερασματικά, από τα όσα αναφέρθηκαν γίνεται αντιληπτό πως τα α διακοπτικά στοιχεία, μπορεί να είναι ειδικά θυρίστορ και τρανζίστορ ισχύος, τύπου MOSFET ή IGBT. Οι συγκεκριμένοι μετατροπέες (συνδυαζόμενοι στην είσοδο με ένα μετατροπέα Σ.Ρ/Ε.Ρ), χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο κινητήρων Ε.Ρ. Στην περίπτωση αυτή, για την πλήρη εκμετάλλευση των μαγνητικών χαρακτηριστικών του κινητήρα γίνεται ρύθμιση του λόγου τάσεως και συχνότητας (V/f). Ουσιαστικά, η ρύθμιση της τιμής και της συχνότητας της τάσης εξόδου γίνεται με τρόπο, που να ώστε ο λόγος τάσης/συχνότητας να παραμένει σταθερός και ίσος περίπου με τον λόγο των αντίστοιχων ονομαστικών τιμών. Με την μέθοδο αυτή, επιτυγχάνεται η λειτουργία του κινητήρα με σταθερή ονομαστική μαγνητική ροή και κατ' επέκταση βέλτιστη ροπή, ανεξαρτήτως της συχνότητας λειτουργίας. Ωστόσο, στα ηλεκτρικά οχήματα η μέθοδος αυτή παρουσιάζει προβλήματα παρακολούθησης. Συγκεκριμένα, για μην οδηγείται ο κινητήρας σε κορεσμό ή αντίθετα, σε ασθενή μαγνητική ροή, χρειάζεται κλειστός βρόχος ελέγχου. Πληροφορίες σχετικά με την τιμή της μαγνητικής ροής, της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα, της ροπής, της αναπτυσσόμενης τάσης και ρεύματος στο στάτη, τις επεξεργάζεται ειδικός μικροεπεξεργαστής, ο οποίος επεμβαίνει στους παλμούς έναυσης των θυρίστορ. Έτσι η μέθοδος ελέγχου V/f , μπορεί να αντικατασταθεί από τη μέθοδο διανυσματικού ελέγχου, η οποία σε καταστάσεις στατικών αλλά και μεταβατικών συνθηκών λειτουργίας, εμφανίζεται ταχύτερη και αποτελεσματικότερη. Συγκεκριμένα, ο έλεγχος της ροπής του κινητήρα πραγματοποιείται δια του ελέγχου του ρεύματος του στάτη, το οποίο μέσω ειδικού μετασχηματισμού χωρίζεται σε δύο συνιστώσες. Με χρήση διαφόρων τεχνικών, γίνεται έλεγχος της εκάστοτε συνιστώσας, με τον κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος να παρουσιάζει συμπεριφορά κινητήρα συνεχούς ρεύματος ξένης διέγερσης. Τέλος, αναφέρεται πως μέσω της συγκεκριμένης μεθόδου, επιτυγχάνεται αύξηση της η ροπή εκκίνησης του κινητήρα μέχρι 80%, ταχύτητα ελέγχου και εξοικονόμηση ενέργειας [106] [113].

3.7 Σύστημα μετάδοσης κίνησης

Σε γενικό επίπεδο για να κινηθεί ένα όχημα θα πρέπει η ισχύς του κινητήρα να μεταφερθεί στους κινητήριους τροχούς. Τη μεταφορά αυτή αναλαμβάνει το σύστημα μετάδοσης κίνησης. Τα κύρια μέρη του είναι τα ακόλουθα :

- Ο συμπλέκτης
- Το κιβώτιο ταχυτήτων
- Ο άξονας μετάδοσης κίνησης
- Το διαφορικό
- Τα ημιαξόνια

Το βασικό μέρος της μετάδοσης και το πιο γνωστό εξάρτημα της είναι ο συμπλέκτης ή αλλιώς αμπραγιάζ. Ο ρόλος του είναι να απομονώσει τον κινητήρα από το κιβώτιο ταχυτήτων, κατά την διαδικασία εναλλαγής ταχυτήτων. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζονται οι ομαλές αλλαγές και η σύνδεση του κινητήρα με τα υπόλοιπα μέρη του συστήματος μετάδοσης. Υπάρχουν αρκετά είδη συμπλέκτη, ο πιο συνηθισμένος είναι ο ξηρός συμπλέκτης, που τον συναντάμε στα περισσότερα αυτοκίνητα με χειροκίνητο κιβώτιο ταχυτήτων, ενώ από την άλλη τα αυτόματα κιβώτια δουλεύουν με υδραυλικό.



Εικόνα 3-65: Συμπλέκτης [123]

Το κιβώτιο ταχυτήτων είναι ένα σύστημα το οποίο επιτρέπει την αλλαγή σχέσης της μετάδοσης του κινητήρα στους τροχούς και τοποθετείται κοντά στον κινητήρα. Τα κιβώτια ταχυτήτων (σασμάν) ονομάζονται έτσι γιατί ουσιαστικά μοιάζουν με «κουτιά που περιέχουν γρανάζια» (εξού και ο αγγλικός ορισμός «gearbox»). Σκοπός τους είναι να μεταφέρουν την ισχύ από τον συμπλέκτη στο διαφορικό και από εκεί στους τροχούς. Η σχέση μετάδοσης είναι μεταβλητή και γίνεται με εμπλοκή γραναζιών διαφορετικής διαμέτρου ή με διαφορετικό αριθμό οδοντώσεων ώστε οι στροφές του κινητήρα να διατηρούνται κοντά στην ωφέλιμη περιοχή. Ανάλογα με τη σχέση του κιβωτίου ταχυτήτων, αυξάνονται ή μειώνονται οι στροφές του κινητήρα και ανάλογα αυξάνεται ή μειώνεται η ταχύτητα του αυτοκινήτου. Τα πιο διαδεδομένα συστήματα μετάδοσης είναι το μηχανικό και το αυτόματο. Τα τελευταία χρόνια έχουν εξελιχθεί νέα ημιαυτόματα συστήματα μετάδοσης όπως το σειριακό, χωρίς συμπλέκτη και το συνεχώς μεταβαλλόμενων σχέσεων (CVT). Παράλληλα το κιβώτιο που γνωρίζει, τελευταία, μεγάλη άνθιση είναι το διπλού συμπλέκτη.



Εικόνα 3–66: Κιβώτιο ταχυτήτων [123]

Το διαφορικό είναι ο μηχανισμός που αναλαμβάνει την περιστροφή των τροχών. Η λειτουργία και η θέση του διαφοροποιούνται ανάλογα με το αν το αυτοκίνητο έχει κίνηση εμπρός, πίσω ή και στους τέσσερις τροχούς. Επιτρέπει διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες και αντίστοιχη κατανομή της ροπής στρέψης ανάλογα με το συντελεστή πρόσφυσης στους κινητήριους τροχούς. Οι υφιστάμενοι τύποι διαφορικών είναι δύο, ανοιχτό και μπλοκέ.



Εικόνα 3–67: Διαφορικό [123]

Το ημιαξόνιο αποτελεί ένα αρθρωτό περιστρεφόμενο άξονα ο οποίος μεταφέρει τη ροπή από το διαφορικό στους κινητήριους τροχούς. Ημιαξόνια υπάρχουν στον εμπρός ή στον πίσω άξονα, ανάλογα ανάλογα από πού μεταδίδεται η κίνηση [123] [124].



Εικόνα 3–68: Ημιαξόνιο [123]

Αναφορικά με το σύστημα μετάδοσης κίνησης για τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα (BEVs), για την κίνηση του οχήματος ο ηλεκτροκινητήρας δύναται να συνάδετα με τον άξονα μετάδοσης κίνησης, είτε με απευθείας σύνδεση με τον άξονα του κινητήριου τροχού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ, ΣΤΑΘΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

4.1.Εισαγωγή

Η γενικότερη πρόοδος των επιστημών και δη η εξέλιξη της τεχνολογίας των αυτοκινήτων και των μπαταριών, έχουν καθοριστική συνεισφορά στην διείσδυση των ηλεκτροκίνησης και στην ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά, αλλάζοντας ριζικά τα δεδομένα στον τομέα των οδικών μεταφορών.

Η επιτακτική ανάγκη για την αντιμετώπιση των μεγάλων περιβαλλοντικών και οικονομικών προκλήσεων, έχουν δημιουργήσει νέα δεδομένα τόσο στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας όσο και στην καθημερινότητα των απλών πολιτών. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, ως οχήματα μηδενικών εκπομπών ρύπων αποτελούν ένα σημαντικό σύμμαχο στην προσπάθεια αυτή.

Τα ηλεκτρικά οχήματα, προκειμένου να κινηθούν, έχουν την απαίτηση της ολικής ή μερικής φόρτισης των συσσωρευτών τους. Με την ηλεκτρική ενέργεια ως εναλλακτικό καύσιμο να κερδίζει συνεχώς έδαφος, τα δίκτυα ανεφοδιασμού των οχημάτων αυτών γίνονται ολοένα και περισσότερα. Παράλληλα, το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας εξασφαλίζει την ευρύτερη δυνατή διαθεσιμότητα για εγκατάσταση και λειτουργία υποδομών φόρτισης, παρέχοντας εύκολη την πρόσβαση για όλους τους οδηγούς, ενώ οι καινοτόμες τεχνολογίες καθιστούν πλέον τη φόρτιση των ηλεκτροκίνητων οχημάτων, ως μια εξαιρετικά απλή και γρήγορη διαδικασία [125].

4.2 Τρόποι και διατάξεις Φόρτισης Συσσωρευτών Ηλεκτρικών Οχημάτων

Κατά τη διαδικασία της επαναφόρτισης, η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από την πηγή προς τα οχήματα μπορεί να υλοποιηθεί είτε μέσω συστημάτων αγωγίμης φόρτισης, είτε μέσω συστημάτων φόρτισης με επαγωγή. Επιπλέον τα οχήματα θα μπορούν να φορτίζουν τους συσσωρευτές τους χρησιμοποιώντας τόσο το οικιακό δίκτυο, όσο και κοινόχρηστες παροχές.

4.2.1 Αγωγή Φόρτιση

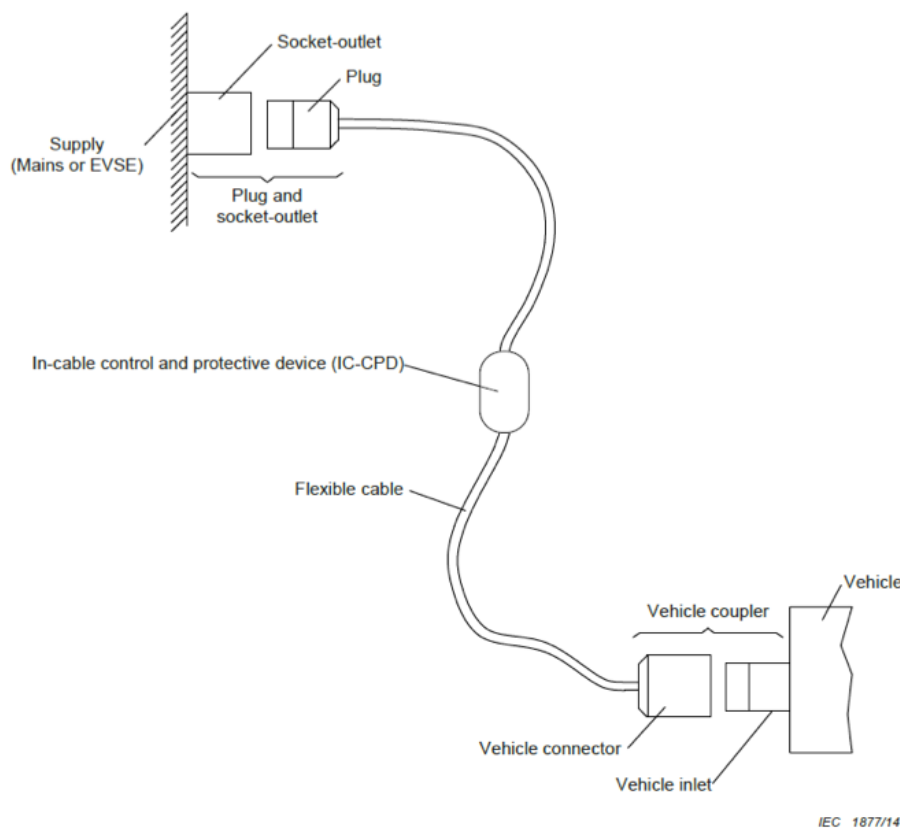
Στη μέθοδο αυτή, η φόρτιση των Η/Ο πραγματοποιείται αγωγή μέσω της χρήσης καλωδίων φόρτισης, που συνδέουν τους σταθμούς φόρτισης με τα ηλεκτρικά οχήματα.

Ο απαιτούμενος για τη φόρτιση εξοπλισμός αποτελείται από τα εξής βασικά μέρη :

1. **Παροχή (supply):** Μπορεί να είναι τμήμα της ηλεκτρικής εγκατάστασης (ή μια οικιακή πρίζα) ή κάποιος σταθμός φόρτισης. Ο σταθμός φόρτισης αποτελεί το μηχανισμό, μέσω του οποίου επιτυγχάνεται η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας για

την επαναφόρτιση της μπαταρίας του ηλεκτρικού οχήματος. Η συσκευή τοποθετείται στο έδαφος ή επιτοίχια, μέσω ειδικά διαμορφωμένων βάσεων και συνδέεται με το υφιστάμενο ηλεκτρικό δίκτυο. Επίσης στο εξωτερικό της, υπάρχει ρευματοδότης (socket-outlet), σχεδιασμένος κατάλληλα για την αγωγή σύνδεση με βύσμα (plug) του καλωδίου φόρτισης.

2. **Καλώδιο φόρτισης (Flexible cable) :** Πρόκειται για ένα εύκαμπτο εξάρτημα, μέσω του οποίου επιτυγχάνεται η σύνδεση μεταξύ συσκευής φόρτισης και ηλεκτρικού οχήματος. Το καλώδιο αυτό δύναται να είναι μόνιμα συνδεδεμένο σε μία εκ των δύο πλευρών, αλλά και αποσπώμενο. Στις δύο του άκρες είναι εφοδιασμένο με ειδικά διαμορφωμένο βύσμα (Plug) για τη σύνδεση με το σταθμό φόρτισης και ακροσύνδεσμο (vehicle connector) για τη σύνδεση το ηλεκτρικό όχημα. [126] [127].
3. **Υποδοχή οχήματος (vehicle inlet):** Θύρα ενσωματωμένη στο ηλεκτρικό όχημα, στην οποία συνδέεται ο ακροσύνδεσμος (vehicle connector) του καλωδίου φόρτισης.



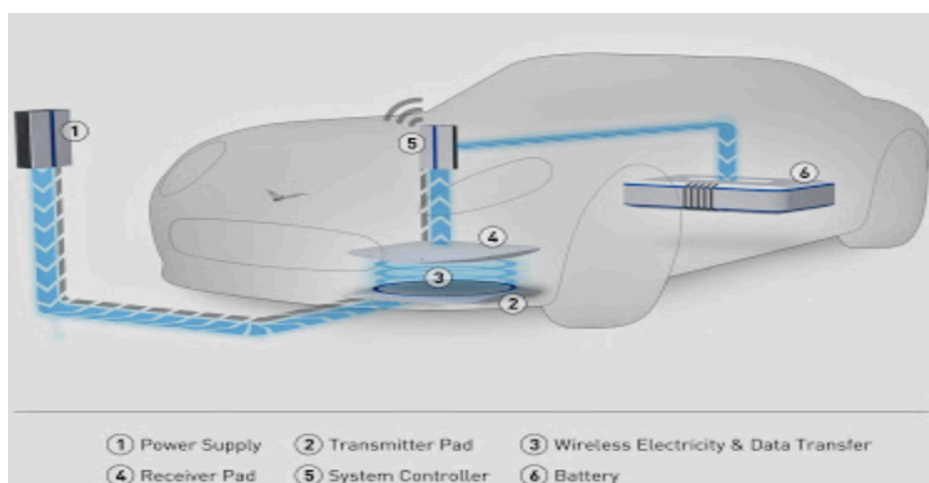
Εικόνα 4-1: Εξοπλισμός αγωγίμης φόρτισης [128]

Η φόρτιση των Η/Ο με τη χρήση καλωδίων, αποτελεί μια μη αυτοματοποιημένη διαδικασία, μιας και για την επίτευξη της απαιτείται η χειροκίνητη σύνδεση και αποσύνδεση του οχήματος από το σταθμό φόρτισης. Επίσης, προκύπτουν ζητήματα ασφαλείας τόσο για την ανθρώπινη υγεία, όσο και για τον εξοπλισμό, καθώς κατά την ζεύξη των αγωγίμων επαφών υπάρχει ο κίνδυνος πρόκλησης σφαλμάτων. Ακόμα, η ύπαρξη εκτεθειμένων στο περιβάλλον μερών, μειώνει τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού, δημιουργώντας ταυτόχρονα επιπρόσθετα κόστη για την επισκευή ή και την αντικατάστασή τους.

4.2.2 Επαγωγική Φόρτιση

Η επαγωγική φόρτιση, επίσης γνωστή ως ασύρματη φόρτιση, αποτελεί έναν τύπο ασύρματης μεταφοράς ισχύος, κατά τον οποίο η ηλεκτρομαγνητική επαγωγή χρησιμοποιείται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από το σταθμό προς το όχημα.

Η ενέργεια μεταφέρεται μέσω επαγωγικής ζεύξης. Ένα εναλλασσόμενο ρεύμα διοχετεύεται μέσω ενός επαγωγικού πηνίου στο σταθμό φόρτισης (το πρωτεύον ή το πηνίο μετάδοσης). Κάθε κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο. Το μαγνητικό πεδίο κυμαίνεται σε ισχύ καθώς το ρεύμα εναλλασσόμενου ρεύματος αλλάζει συνεχώς το πλάτος. Το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργεί μια ηλεκτροκινητική δύναμη, η οποία δημιουργεί ένα εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα δεύτερο πηνίο επαγωγής (το πηνίο λήψης ή το δευτερεύον πηνίο) που βρίσκεται στο όχημα. Στη συνέχεια, μέσω ανορθωτικών διατάξεων το ρεύμα μετατρέπεται σε συνεχές και χρησιμοποιείται για τη φόρτιση της μπαταρίας ή την παροχή ισχύος [129].



Εικόνα 4-2: Επαγωγική φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος [130]

Η μεταφορά ισχύος παραγωγής χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1894 όταν οι Μ. Χούτιν και Μ. Λε-Μπλανκ οι οποίοι πρότειναν μια συσκευή και μέθοδο για την τροφοδοσία ενός ηλεκτρικού οχήματος. Ωστόσο, την εποχή εκείνη η τεχνολογία αυτή δεν αναπτύχθηκε περαιτέρω μιας και οι κινητήρες καύσης αποδείχθηκαν πιο δημοφιλείς [129].

Στις μέρες μας, με την σταδιακή εισαγωγή της ηλεκτροκίνησης, ολοένα και περισσότερες εταιρίες, όπως η HELLA στρέφονται στην ανάπτυξη και την παραγωγή καινοτόμων συστημάτων επαγωγικής φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Επίσης πολύ οργανισμοί έχουν ιδρυθεί με σκοπό την ανάπτυξη πρότυπων για την επαγωγική φόρτιση. Χαρακτηριστικά αναφέρεται το αναδυόμενο πρότυπο SAE J2954, καθώς επίσης και το ISO 15118 για επικοινωνία οχήματος με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Συγκριτικά με τα συστήματα φόρτισης με αγωγή ζεύξης, τα συστήματα επαγωγικής ασύρματης φόρτισης μπορούν να θεωρηθούν ασφαλέστερα, μιας και παρέχεται ηλεκτρική απομόνωση μεταξύ του οχήματος και της πηγής τροφοδοσίας. Επίσης, ο κίνδυνος εμφανίσεως ηλεκτρικών βλαβών, όπως βραχυκύκλωμα λόγω αστοχίας

μόνωσης, περιορίζεται σημαντικά. Ακόμα, τα συστήματα ασύρματης φόρτισης χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη ανθεκτικότητα, μιας και σε αντίθεση με τα συστήματα φόρτισης με επαφή, δεν υπάρχει ανάγκη συνεχούς σύνδεσης και αποσύνδεσης της συσκευής, το οποίο προκαλεί φθορά στην υποδοχή της συσκευής και στο καλώδιο σύνδεσης. Επιπλέον δεν υπάρχει λόγος χρήσης καλωδίων φόρτισης μιας και η ενέργεια μεταφέρεται ασύρματα. Τα επαγωγικά συστήματα φόρτισης μπορούν να λειτουργούν αυτόματα χωρίς να χρειάζεται τα οι οδηγοί να προβούν σε ενέργειες για τη σύνδεση και την αποσύνδεση. Τέλος, η επαγωγική φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων σε υψηλά επίπεδα ισχύος επιτρέπει την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων όταν αυτά βρίσκονται σε κίνηση (επίσης γνωστή ως δυναμική φόρτιση) [129].

Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, η επαγωγική φόρτιση έχει και ορισμένα μειονεκτήματα που περιορίζουν την ανάπτυξη και τη χρήση της. Ένα από αυτά είναι το κόστος το οποίο είναι αρκετά υψηλό, αλλά και η πολυπλοκότητα κατασκευής των συστημάτων φόρτισης. Επίσης, λόγω της χαμηλότερης απόδοσης, οι συσκευές χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να φορτιστούν. Επιπλέον, η επαγωγική φόρτιση δεν είναι τόσο αποτελεσματική όσο η άμεση φόρτιση, μιας και παρατηρούνται φαινόμενα μεγαλύτερης παραγωγής θερμότητας, η συνεχής έκθεση στην οποία μπορεί να προκαλέσει ζημιά στην μπαταρία. Επίσης προβλήματα μπορούν να προκύψουν από την χρήση υψηλής συχνότητας ασύρματη φόρτιση στα ευαίσθητα ηλεκτρονικά συστήματα των οχημάτων. Τέλος, σημαντικό ζήτημα προκύπτει με τα συμβατά πρότυπα, μιας και δεν είναι όλα τα οχήματα συμβατά με διαφορετικούς επαγωγικούς φορτιστές [129].



Εικόνα 4-3: Επαγωγική φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος [131]

Η υψηλής ισχύος ασύρματη φόρτιση η οποία θα μπορεί να ανταγωνιστεί την τρέχουσα εφαρμογή ταχυφόρτισης με καλώδιο σύνδεσης οχήματος-υποδομής αποτελεί επίσης μια μελλοντική δυνατότητα. Ωστόσο, μέχρι και σήμερα δεν υπάρχει κάποιο διεθνές πρότυπο λειτουργίας. Παρόλα αυτά η τεχνολογία αυτή δοκιμάζεται μέσα από πιλοτικές εφαρμογές. Επίσης δοκιμές γίνονται και σε μια άλλη τεχνολογία ασύρματης φόρτισης ή οποία έχει δυναμικό χαρακτήρα με την έννοια ότι τα ηλεκτρικά οχήματα δεν θα σταθμεύουν πάνω από τον πομπό ενέργειας αλλά θα διέρχονται εν κινήσει πάνω από διαδοχικά τοποθετημένους στο έδαφος τέτοιους πομπούς. Μια τέτοια εφαρμογή άρχισε να δοκιμάζεται από το τέλος του 2019 στη Σουηδία [131].

4.2.3 Οικιακή Φόρτιση

Στην κατηγορία αυτή, τα ηλεκτρικά οχήματα φορτίζονται σε ιδιωτικούς χώρους στάθμευσης ιδιωτικής πρόσβασης, εντός των πλαισίων κατοικίας των οδηγών. Οι επαναφορτίσεις πραγματοποιούνται με το όχημα σταθμευμένο και συνήθως τις νυχτερινές ώρες, αξιοποιώντας τις χαμηλές τιμές χρέωσης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας [132].

Η φόρτιση του οχήματος υλοποιείται μέσω της χρήσης ειδικού καλωδίου φόρτισης, που συνήθως συμπεριλαμβάνεται στον εξοπλισμό του οχήματος και συνοδεύεται από συσκευή ελέγχου και προστασίας για την παροχή επικοινωνίας με το όχημα (Mode 2). Ωστόσο, σε περίπτωση ανάγκης και η φόρτιση μπορεί να επιτευχθεί και μέσω μιας απλής πρίζας, η οποία όμως θα πρέπει να διαθέτει ορισμένες ελάχιστες προδιαγραφές (π.χ. ξεχωριστή γραμμή με δική της ασφάλεια στον πίνακα χαμηλής τάσης). Στην περίπτωση της χρήσης μιας οικιακής πρίζας τύπου σούκο, μονοφασικής παροχής, για την πλήρη επαναφόρτιση μιας άδειας μπαταρίας μπορεί να χρειαστούν από 9 έως 11 ώρες ή και περισσότερες αναλόγως τον τύπο του οχήματος και της χωρητικότητας των συσσωρευτών του. Για μεγαλύτερες ταχύτητες φόρτισης και μεγαλύτερη ασφάλεια είναι προτιμότερη η εγκατάσταση και η χρήση μιας ειδικής συσκευής φόρτισης με ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου και προστασίας (Mode 3). Συγκεκριμένα, μέσω της συσκευής αυτής, αναλόγως τη διαθέσιμη ισχύ (16A ή 32A), καθώς και το μοντέλο του οχήματος, είναι δυνατό να επαναφορτιστούν πλήρως οι μπαταρίες ενός Η/Ο από 30% έως 70% ταχύτερα συγκριτικά με τη χρήση μιας απλής πρίζας [125].



Εικόνα 4-4: Οικιακή φόρτιση ηλεκτρικού αυτοκινήτου [132]

Για την ασφάλεια των χρηστών, οι οικιακοί σταθμοί φόρτισης θα πρέπει να είναι κατασκευασμένοι με τις αυστηρότερες ποιοτικές προδιαγραφές. Επίσης θα πρέπει να συμμορφώνονται στις απαιτήσεις των διεθνών πρωτοκόλλων, ενώ παράλληλα να διαθέτουν πιστοποίηση καταλληλότητας για τα αντίστοιχα μοντέλα ηλεκτρικών οχημάτων της αγοράς. Από την άλλη πλευρά, είναι σημαντικό οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις των κτηρίων, όπου σχεδιάζεται να λειτουργήσουν τα συστήματα φόρτισης, να επιτρέπουν την ομαλή παροχή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ισχύος σε συσχέτιση με τα υφιστάμενα φορτία τους (π.χ., κουζίνα, θερμοσίφωνα, κλιματιστικά κλπ). Φυσικά, σε περίπτωση που διαπιστωθεί το αντίθετο, θα πρέπει να ακολουθηθούν όλες οι απαραίτητες διαδικασίες αναβάθμισης του εξοπλισμού (προσαρμογές στην καλωδίωση και στα ηλεκτρολογικά υλικά προστασίας κ.α.), ώστε η συνολική εγκατάσταση να λειτουργεί αποδοτικά και με ασφάλεια. Τέλος, είναι απαραίτητη η σύνδεση και ο έλεγχος για τη σωστή λειτουργία του εξοπλισμού, προκειμένου η φόρτιση του οχήματος να μην δημιουργήσει κάποιο πρόβλημα στις ασφάλειες και στα κυκλώματα της εγκατάστασης [132] [133].

4.2.4 Κοινόχρηστη Φόρτιση

Στην κατηγορία αυτή, τα ηλεκτρικά οχήματα φορτίζονται σε δημόσιες υποδομές φόρτισης, αλλά και σε ιδιωτικές υποδομές που ανήκουν σε τρίτους. Κοινό χαρακτηριστικό των σταθμών αυτών αποτελεί η δημόσια προσβασιμότητα, η οποία αποτελεί σανίδα σωτηρίας για την μερίδα των πολιτών που δεν διαθέτουν κάποιο οικιακό χώρο στάθμευσης και κατ' επέκταση φόρτισης του οχήματός τους.

Στους χώρους αυτούς, αναπτύσσονται διάφοροι τύποι σταθμών φόρτισης, ανάλογα με τις συνθήκες φόρτισης (αργή, ημιταχεία, ταχεία φόρτιση) και τις ανάγκες των πελατών. Οι συσκευές ημιταχείας φόρτισης παρέχουν εναλλασσόμενο ρεύμα με ισχύ από 3,7 kW έως 22 kW. Σύμφωνα με την Οδηγία 2014/94 ΕΕ, που ενσωματώθηκε και στο Ελληνικό δίκαιο με το Ν.4439/2016, ορίζεται ως κοινό Ευρωπαϊκό σταντάρ ρευματοδέκτη το πρότυπο πρίζας EN62196-2 Τύπου 2 για όλους τους δημόσια προσβάσιμους σταθμούς φόρτισης στις χώρες της ΕΕ.

Οι οδηγοί μπορούν να φορτίσουν τα οχήματά τους παρκάροντας τα στις ειδικά διαμορφωμένες θέσεις των σταθμών φόρτισης και πληρώνοντας το αντίστοιχο αντίτιμο. Στις περισσότερες περιπτώσεις κοινόχρηστων φορτιστών ο ανεφοδιασμός γίνεται με καλώδιο σύνδεσης, που διαθέτει το ίδιο το όχημα για να συνδέεται με κοινόχρηστους φορτιστές. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, η διάρκεια για την ολοκλήρωση μιας πλήρους επαναφόρτισης άδειας μπαταρίας στους σταθμούς αυτούς κυμαίνεται από 1 έως 5 ώρες, αναλόγως πάντα του τύπου του αυτοκινήτου, αλλά και της έντασης ρεύματος του φορτιστή [125].



Εικόνα 4-5: Σταθμοί φόρτισης Η/Ο σε κοινόχρηστο σημείο [125]

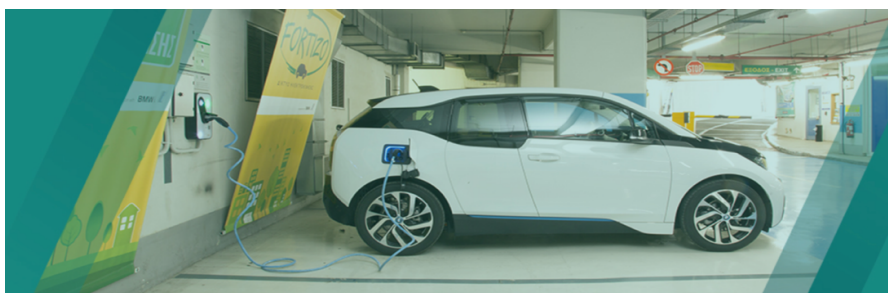
Στην κατηγορία αυτή βρίσκουν εφαρμογή και σταθμοί ταχυφόρτισης, οι οποίοι μπορούν να παρέχουν είτε συνεχές ρεύμα (DC) έντασης από 50 kw έως 150 kw, είτε και εναλλασσόμενο (AC) με ισχύ έως 44 kw για οχήματα που διαθέτουν ενσωματωμένο ταχυφορτιστή. Μια επαναφόρτιση της τάξεως του 85% - 90% της μπαταρίας διαρκεί από 25' με 45' αναλόγως τον τύπο του οχήματος, τη χωρητικότητα των μπαταριών του και την εξωτερική θερμοκρασία. Προϋπόθεση για την επίτευξη ταχυφόρτισης είναι η υποστήριξη της αντίστοιχης δυνατότητας από το ίδιο το όχημα. Επίσης, αναφορικά με τις περιπτώσεις των ταχυφορτιστών συνεχούς ρεύματος, το καλώδιο με το αντίστοιχο βύσμα αποτελούν εξοπλισμό του σταθμού ταχυφόρτισης και είναι μόνιμα συνδεδεμένα με αυτόν. Σχετικά με τα πρότυπα που ορίζονται, ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στα πρότυπα CCS (Combo) και CHAdeMO. Το πρώτο, χρησιμοποιεί τον ίδιο ρευματοδέκτη που χρησιμοποιείται και για τη φόρτιση με εναλλασσόμενο ρεύμα, ενώ το δεύτερο χρησιμοποιεί διαφορετικό ρευματοδέκτη. Βέβαια, στα πλαίσια της ΕΕ, προβλέπεται οι σταθμοί ταχυφόρτισης να είναι εφοδιασμένοι με βύσμα που ορίζεται από το πρότυπο CCS, επιτρέποντας ωστόσο και την ύπαρξη βύσματος CHAdeMO ή της ταχυφόρτισης με εναλλασσόμενο ρεύμα [125].

4.2.4.1 Φόρτιση σε Επιχειρήσεις

Στην κατηγορία αυτή, τα ηλεκτρικά οχήματα φορτίζονται σε ιδιωτικούς χώρους στάθμευσης επιχειρήσεων, με δημόσια πρόσβαση για τους πολίτες. Στις επιχειρήσεις περιλαμβάνονται σταθμοί οχημάτων, εμπορικά κέντρα και καταστήματα, ξενοδοχεία, καθώς επίσης και ενεργειακά πρατήρια. Η ανάπτυξη των σταθμών φόρτισης στα πλαίσια λειτουργίας τους, εκτιμάται ότι θα συμβάλλει στην εξυπηρέτηση των επαγγελματικών οχημάτων που εντάσσονται στο δυναμικό τους, όσο και στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των πελατών τους.

Στους χώρους αυτούς, σύγχρονες υποδομές επαναφόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων, παρέχουν υπηρεσίες ποιοτικής και άνετης φόρτισης καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, ανεξάρτητα από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες. Επιπλέον, προσφέρονται υπηρεσίες φόρτισης υποστηριζόμενες από αυτοματοποιημένους και απλούς στη χρήση μηχανισμούς διαχείρισης και χρέωσης. Τόσο οι διαθέσιμοι τύποι σταθμών φόρτισης (κανονικής φόρτισης ή ταχυφόρτισης) όσο και οι μέθοδοι χρέωσης (ανα κιλοβατώρα, χρονοχρέωση, ανα επαναφόρτιση, συνδιαστικά ή και δωρεάν) δύναται να ποικίλουν ανάλογα με την πολιτική της επιχείρησης, τις συνθήκες φόρτισης και τις απαιτήσεις των πελατών. Τέλος, με τη χρήση των ψηφιακών μέσων καθίσταται δυνατή η προβολή των επιχειρήσεων σε εξειδικευμένους χάρτες ηλεκτροκίνησης, συστήματα πλοήγησης και ομάδες χρηστών ηλεκτρικών αυτοκινήτων, ενώ παράλληλα δίνεται η δυνατότητα στους ενδιαφερόμενους να ενημερώνονται για τις υποστηριζόμενες υπηρεσίες και τη διαθεσιμότητα τους.

Πιο αναλυτικά, αναφορικά, στην πρώτη κατηγορία επιχειρήσεων, η ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης και η σταδιακή ενσωμάτωση ηλεκτρικών οχημάτων στους δρόμους των σύγχρονων κοινωνιών έχει επιφέρει μια σημαντική αλλαγή στους σταθμούς οχημάτων, οι οποίοι πλέον εκτός από απλοί χώροι στάθμευσης, αποτελούν και σημεία ανεφοδιασμού για τα επαναφορτιζόμενα ηλεκτροκίνητα οχήματα. Οι επιχειρήσεις parking προσφέρουν τις υπηρεσίες επαναφόρτισης σε όλους τους χρήστες ηλεκτρικών οχημάτων, οι οποίοι δύναται να είναι είτε μόνιμοι πελάτες τους, είτε διερχόμενοι που αναζητούν μια ευκαιριακή στάθμευση. [134].



Εικόνα 4-6: Φόρτιση ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε χώρους στάθμευσης και σταθμούς οχημάτων [134]

Ομοίως, η εγκατάσταση και η λειτουργία σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων σε χώρους στάθμευσης εμπορικών κέντρων, αλλά και εμπορικών καταστημάτων εκτιμάται ότι συμβάλλει στην δημιουργία μιας καινοτόμου και φιλικής προς το περιβάλλον ταυτότητα των επιχειρήσεων. Με τον τρόπο αυτό, δίνεται ένα επιπλέον κίνητρο στους πελάτες να επισκεφτούν τους χώρους αυτούς [134].



Εικόνα 4-7: Φόρτιση ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε εμπορικά κέντρα και καταστήματα [134]

Όσον αφορά τις ξενοδοχειακές μονάδες, είναι γνωστό πως με την πάροδο του χρόνου, η ανάπτυξη του τουρισμού και ιδιαίτερα του οδικού τουρισμού αποκτά ολοένα και μεγαλύτερες διαστάσεις. Στο σημείο αυτό, η εγκατάσταση και λειτουργία σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων εντός των ξενοδοχειακών μονάδων, συμβάλλει σημαντικά στην προσέλκυση περισσότερων επισκεπτών, κατόχων Η/Ο.



Εικόνα 4-8: Φόρτιση ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε ξενοδοχειακές μονάδες [134]

Τέλος, η μετάβαση του τομέα των μεταφορών προς την ηλεκτροκίνηση, δημιουργεί νέες ευκαιρίες, αλλά και απαιτήσεις για τα πρατήρια εκείνα, που στοχεύουν στην εξυπηρέτηση κατόχων ηλεκτρικών οχημάτων. Στους χώρους αυτούς, λόγω του περιορισμένου χρόνου αναμονής των πελατών, αναμένεται η παροχή υπηρεσιών ταχυφόρτισης. Οι συγκεκριμένες υποδομές, είναι εφοδιασμένες με εξοπλισμό που επιτρέπει την φόρτιση των μπαταριών σε υψηλή ισχύ (από 45 kW έως 150 kW). Η εφαρμογή των συστημάτων ταχυφόρτισης δίνει στις επιχειρήσεις ενεργειακών πρατηρίων τη δυνατότητα προσφοράς υπηρεσιών επαναφόρτισης υψηλής προστιθέμενης αξίας, απευθυνόμενη στην κατηγορία των οδηγών που επιθυμεί μια ολιγόλεπτη στάση για επαναφόρτιση του οχήματος τους, ώστε να μπορέσουν εν συνεχεία να ολοκληρώσουν την υπόλοιπη διαδρομή τους [134].



Εικόνα 4-9: Φόρτιση ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε ενεργειακά πρατήρια [134]

4.2.4.2 Δημόσια Φόρτιση

Στην κατηγορία αυτή τα ηλεκτρικά οχήματα φορτίζονται σε δημόσιες υποδομές φόρτισης, η προσβασιμότητα των οποίων είναι διαθέσιμη για όλους τους πολίτες. Οι σταθμοί αυτοί συναντώνται σε κοινόχρηστα σημεία, όπως σε πεζοδρόμια, οργανωμένους χώρους στάθμευσης, λιμάνια κα. Η ανάπτυξη δημοσίων υποδομών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, έχει κύρια συνεισφορά στην προώθηση της βιώσιμης κινητικότητας και στη χρήση εναλλακτικών καυσίμων στον τομέα των οδικών μεταφορών [135].



Εικόνα 4-10: Φόρτιση ηλεκτρικού αυτοκινήτου σε σταθμό δημόσιας φόρτισης[135]

Η τοποθεσία εγκατάστασης και λειτουργίας των δημοσίων σταθμών φόρτισης ορίζεται σε κατάλληλα διαμορφωμένα σημεία, όπου εξασφαλίζονται ορισμένα κριτήρια, όπως:

- Έλεγχος και αποφυγή λειτουργίας του σταθμού φόρτισης εντός επικίνδυνων τοποθεσιών, εξαιρουμένων των ενεργειακών πρατηρίων τα οποία οφείλουν να φέρουν αυστηρότερες πιστοποιήσεις ασφαλείας.
- Τα επίπεδα κυκλοφορίας, με το μέγεθος της εγκατάστασης να βασίζεται στον αναμενόμενο αριθμό χρηστών προς εξυπηρέτηση.
- Ο χρόνος παραμονής στο σταθμό.
- Η ομαλή κυκλοφορία των οχημάτων εντός του χώρου, καθώς τα σταθμευμένα οχήματα που φορτίζονται δεν θα πρέπει να εμποδίζουν την κίνηση των υπολοίπων οχημάτων.
- Μη παρεμπόδιση κυκλοφορίας των πεζών.
- Η λειτουργικότητα και η προσβασιμότητα του χώρου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ειδικότερα κατά τη χειμερινή περίοδο.
- Ορατότητα του σταθμού φόρτισης μέσω σημάνσεων (σηματοδότες, πινακίδες, διαγραμμίσεις κλπ) για την ενθάρρυνση της χρήσης του από τους οδηγούς.
- Προσβασιμότητα για τους χρήστες μειωμένης κινητικότητας.
- Προστασία από συγκρούσεις και βανδαλισμούς.
- Σκοπιμότητα των απαιτούμενων εργασιών εκσκαφής, πριν της έναρξης των οποίων, θα πρέπει να γίνει έρευνα για την ύπαρξη διερχόμενων καλωδίων.
- Εγγύτητα του πίνακα διανομής

Στους χώρους αυτούς θα μπορούσαν να τοποθετηθούν διάφοροι τύποι συστημάτων φόρτισης, ανάλογα με τις ανάγκες των οδηγών. Η παροχή φόρτισης, δύναται να προσφέρεται με τη μορφή χρέωσης (ανα κιλοβατώρα, χρονοχρέωση, ανα επαναφόρτιση, συνδιαστικά), αλλά και δωρεάν μέσω κάποιου επιχειρηματικής στρατηγικής του Δήμου. Μάλιστα, η παροχή δωρεάν υπηρεσιών επαναφόρτισης για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα θα συνιστούσε μια πολύ καλή πρακτική για την προσέγγιση περισσότερων ανθρώπων με σκοπό την πληροφόρηση και την ευαισθητοποίησή τους.

4.3 Διεθνή Πρότυπα Σταθμών Φόρτισης

Είναι γεγονός πως τις τελευταίες δεκαετίες, η ανθρωπότητα έχει καταβάλλει σημαντική προσπάθεια για την εξάλειψη του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του μεταφορικού τομέα. Μάλιστα τα τελευταία χρόνια, η εξέλιξη του τομέα της ηλεκτροκίνησης και η διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων σημειώθηκαν διάσπαρτα σε ολόκληρο σχεδόν τον τεχνολογικά προηγμένο κόσμο. Ωστόσο, στο αρχικό της στάδιο, η πρόοδος αυτή αναπτύχθηκε χωρίς την ύπαρξη ενιαίων κατευθυντήριων γραμμών. Οι διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν, τα διάφορα συστήματα φόρτισης, καθώς επίσης και τα εξαρτήματα τους διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους, ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες και την ισχύουσα διαθεσιμότητα. Συνεπώς, κρίθηκε επιτακτική ανάγκη η δημιουργία και η καθιέρωση προτύπων τα οποία θα συμβάλλουν στην προώθηση της της μαζική παραγωγή των ηλεκτρικών οχημάτων σε ευρεία κλίμακα.

Ένα από τα αρχικά ζητήματα που θεωρήθηκε απαραίτητο αποτέλεσε η ανάπτυξη τυποποίησης στα συστήματα φόρτισης και στα εξαρτήματα που θα έπρεπε να χρησιμοποιούνται (υποδοχές, καλώδια, φορτιστές κ.λπ.), ώστε να εξασφαλίζεται η συμβατότητα μεταξύ των τεχνολογιών σταθμού φόρτισης και των ηλεκτρικών οχημάτων. Οι τυποποιήσεις αυτές είχαν μεγάλη σημασία, μιας και επέτρεπαν στις εταιρίες να μειώσουν το συνολικό κόστος παραγωγής των προϊόντων τους, λόγω της μαζικότητας της, ενώ παράλληλα οι υποδομές των σταθμών φόρτισης μπορούσαν να αναπτυχθούν με ομοιογένεια, χαμηλότερο κόστος και υψηλότερη λειτουργικότητα.

Στις μέρες μας, έχει αναπτυχθεί μια σειρά από διάφορα πρότυπα. Ορισμένα από αυτά χρήζουν οικουμενικής αποδοχής, μιας και έχουν ενσωματωθεί στα νομοθετικά πλαίσια πολλών χωρών. Πιο αναλυτικά, αναφορικά με το πεδίο εφαρμογής τους, στην Ευρώπη εφαρμόζονται κυρίως τα πρότυπα της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής (International Electrotechnical Commission, IEC), κυριότερες εκδόσεις των οποίων αποτελούν οι IEC 61851 και IEC 62196. Από την άλλη πλευρά, στις Η.Π.Α. ακολουθείται το πρότυπο του Ομίλου Μηχανικών Αυτοκινήτων (Society of Automobile Engineers, SAE). Στην Ιαπωνία συναντάται το Ιαπωνικό Πρότυπο Ηλεκτρικών Οχημάτων (Japan Electric Vehicle Standard, JEVS), ενώ στην Κίνα τα εθνικά πρότυπα GB/T 2034. Στο κείμενο που ακολουθεί γίνεται ιδιαίτερη αναφορά σε μερικές από τις κυριότερες εκδόσεις προτύπων της IEC και τις SAE [126].

4.3.1 Πρότυπο IEC 61851

Το πρότυπο IEC 61851 της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής (International Electrotechnical Commission) καλύπτει το σύνολο των συστημάτων φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων μέσω αγωγίμης επαφής. Εντός του εμπεριέχονται προδιαγραφές εξαρτημάτων για τάσεις εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) έως 690 V και για τάσεις συνεχούς ρεύματος (DC) έως 1000 V.

Το πρότυπο παρουσιάζεται με γενικό τίτλο «Σύστημα φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων δια αγωγίμης επαφής» και χωρίζεται σε Μέρη. Ορισμένα από τα κυριότερα Μέρη του αποτελούν τα εξής :

- **Μέρος 1** : Γενικές Απαιτήσεις

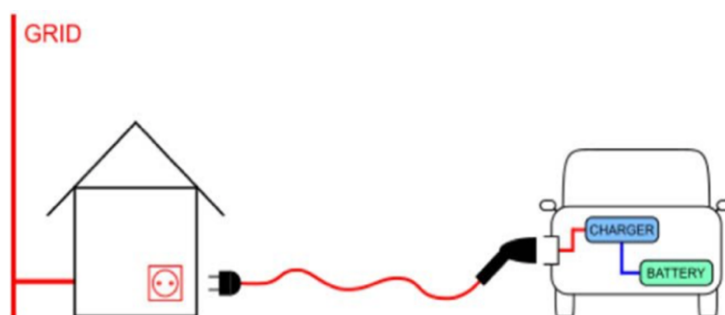
- **Μέρος 21** : Απαιτήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων προκειμένου να συνδεθούν με παροχή εναλλασσόμενου ή συνεχούς ρεύματος
- **Μέρος 22** : Σταθμός φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος με χρήση εναλλασσόμενου ρεύματος
- **Μέρος 23** : Σταθμός φόρτισης ηλεκτρικού αυτοκινήτου με χρήση συνεχούς ρεύματος.

4.3.1.1 Πρότυπο IEC 61851 -1 : Μέθοδοι Φόρτισης

Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στο Μέρος 1 (των Γενικών Απαιτήσεων), στα πλαίσια του οποίου περιλαμβάνονται ορολογίες και προδιάγραφες των διαφόρων τρόπων φόρτισης καθώς επίσης και των εφαρμογών αγωγίμης σύνδεσης. Σύμφωνα λοιπόν με τη Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC) και το πρότυπο της IEC 61851-1, ορίζονται τέσσερις διαφορετικούς μεθόδους φόρτισης (modes) συσσωρευτών ηλεκτροκίνητων οχημάτων.

4.3.1.1.1. Μέθοδος 1 (Mode 1 Charging)

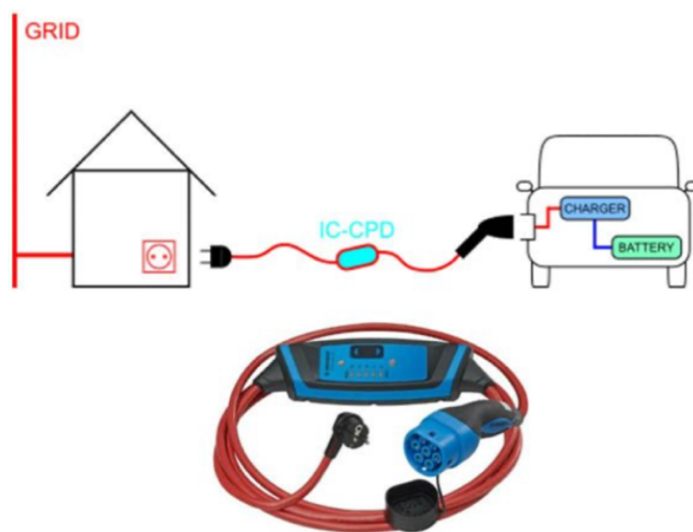
Η 1^η λειτουργία (Mode 1) αναφέρεται στην φόρτιση ενός ηλεκτρικού οχήματος μέσω της αγωγίμης σύνδεσης του με ηλεκτρική παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος (AC). Η διαδικασία υλοποιείται μέσω της χρήσης εύκαμπτου καλωδίου, το οποίο συνδέεται σε ανεξάρτητους ρευματοδότες οικιακού τύπου (μονοφασικού ή τριφασικού), εξοπλισμένους με καλή γείωση, που πληρούν όλες τις απαραίτητες προδιαγραφές ασφαλείας και προστασίας. Επιπλέον, η μέγιστη τιμή της έντασης ρεύματος ανα φάση ορίζεται στα 16 A, κάτι που συνεπάγεται την παροχή μέγιστης ισχύος φόρτισης στα 3,7 kW για μονοφασική σύνδεση και 11 kW για τριφασική σύνδεση, με αξιοποίηση των αγωγών των φάσεων, του ουδέτερου και της γείωσης προστασίας. Η λειτουργία 1 αποτελεί την απλούστερη δυνατό τρόπο φόρτισης και δεν υποστηρίζει καμία επικοινωνία μεταξύ του οχήματος και του σημείου φόρτισης. Στον υφιστάμενο τρόπο φόρτισης, καθίσταται υποχρεωτική η ύπαρξη προστατευτικής διάταξης ισοζυγισμού έντασης RCD (Residual Current Device) προς την πλευρά της ηλεκτρικής παροχής. Στις περιπτώσεις όπου η εγκατάσταση της διάταξης αυτής δεν εξασφαλίζεται από την ισχύουσα νομοθεσία μιας χώρας, τότε ο τρόπος φόρτισης 1 δεν συνιστάται προς εφαρμογή [126] [127] [136].



Εικόνα 4-11: Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος μέσω Mode 1 [136]

4.3.1.1.2 Μέθοδος 2 (Mode 2 Charging)

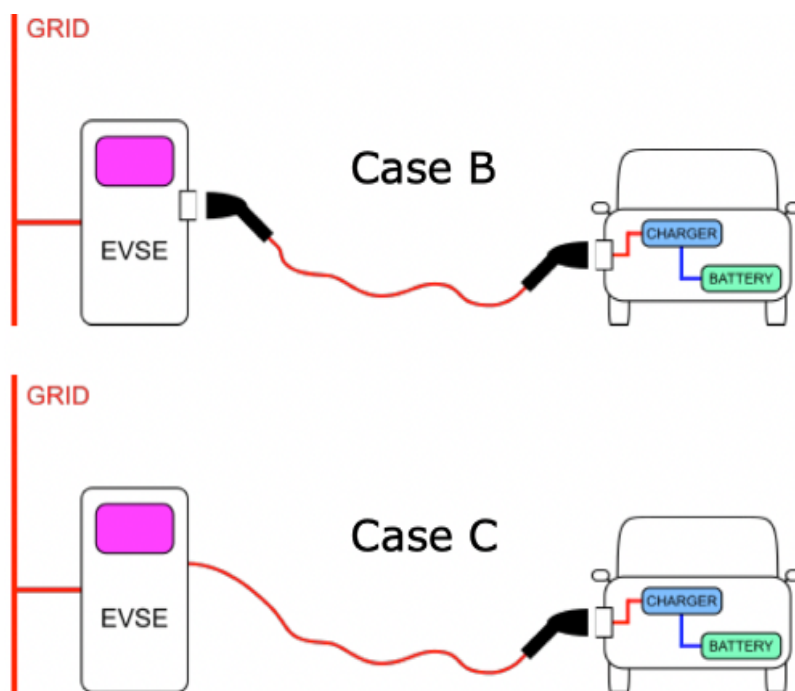
Η 2^η λειτουργία (Mode 2) αναφέρεται στην φόρτιση ενός ηλεκτρικού οχήματος μέσω της αγωγής σύνδεσης του με ηλεκτρική παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος (AC). Όμοια με τον 1^ο τρόπο, η διαδικασία πραγματοποιείται μέσω της χρήσης εύκαμπτου καλωδίου, το οποίο συνδέεται σε ανεξάρτητους ρευματοδότες οικιακού τύπου (μονοφασικού ή τριφασικού), εξοπλισμένους με καλή γείωση, που πληρούν όλες τις απαραίτητες προδιαγραφές ασφαλείας και προστασίας. Ωστόσο σε πολλές οικιακές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις ηλεκτρική ενέργεια δεν παρέχεται πάντα σύμφωνα με τις τιμές που ορίζουν τα διεθνή πρότυπα. Ο ηλεκτρικός εξοπλισμός που είναι εγκατεστημένος και έχει σχεδιαστεί για οικιακές εφαρμογές ενδέχεται να μην είναι σε θέση να ανεχθεί συνεχή ροή ρεύματος στη μέγιστη ονομαστική του τιμή. Για το λόγο αυτό, οι οικιακές φορτίσεις ηλεκτρικών οχημάτων οι οποίες διαρκούν μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς λειτουργίες ελέγχου και ασφάλειας δύναται να αυξήσουν τον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας. Για την επίλυση των ζητημάτων αυτών, αναπτύχθηκε ένας νέος τρόπος φόρτισης, η λειτουργία 2 (mode 2), στην οποία χρησιμοποιείται ένας ειδικό τύπος καλωδίου φόρτισης, εξοπλισμένος με συσκευή ελέγχου και προστασίας (IC-CPD). Η συσκευή αυτή βρίσκεται σε κάποιο ενδιάμεσο σημείο του καλωδίου. Στη λειτουργία αυτή, η μέγιστη τιμή της έντασης ρεύματος ανα φάση ορίζεται στα 32 A, κάτι που συνεπάγεται την παροχή μέγιστης ισχύος φόρτισης στα 7,4 kW για μονοφασική σύνδεση και 22 kW για τριφασική σύνδεση, με αξιοποίηση των αγωγών των φάσεων, του ουδετέρου και της γείωσης προστασίας. Ωστόσο, στο καλώδιο σύνδεσης υπάρχουν 2 επιπλέον αγωγοί επικοινωνίας, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την παροχή πληροφοριών μέσω της μεταβίβασης σημάτων μεταξύ του ηλεκτρικού οχήματος και της συσκευής ελέγχου της φόρτισης. Συγκεκριμένα, μπορούν να ανιχνεύσουν και να παρακολουθήσουν τη σύνδεση γείωσης, ενώ παράλληλα διαθέτουν λειτουργίες ασφάλειας για την παροχή προστασίας από φαινόμενα υπερέντασης και υπερθέρμανσης. Τέλος, το EVSE είναι σε θέση να πραγματοποιεί λειτουργικές εναλλαγές, καθώς ανιχνεύει σύνδεση με του οχήματος και αναλύει τη ζήτηση ισχύος φόρτισης. [126] [127] [136].



Εικόνα 4–12: Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος μέσω Mode 2 και το καλώδιο φόρτισης [136]

4.3.1.1.3 Μέθοδος 3 (Mode 3 Charging)

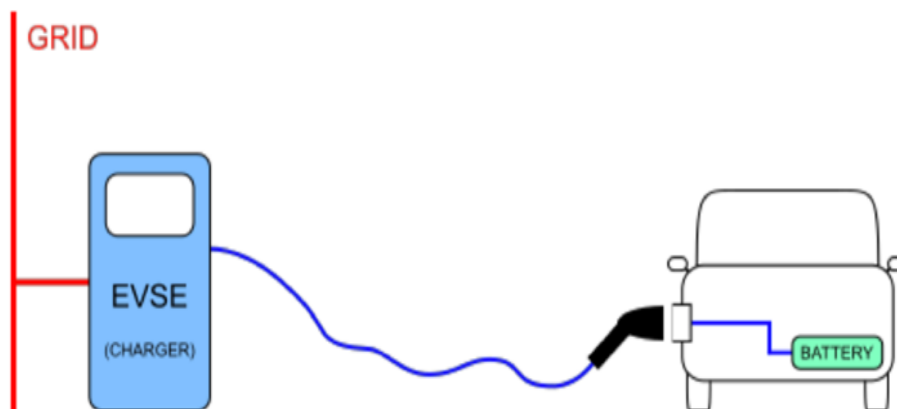
Η 3^η λειτουργία (Mode 3) αναφέρεται και αυτή στην φόρτιση ενός ηλεκτρικού οχήματος μέσω της αγωγίμης σύνδεσης του με ηλεκτρική παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος (AC). Στο επίπεδο αυτό, χρησιμοποιείται ένας ειδικός σταθμός φόρτισης πρωτοκόλλου EVSE (Electric Vehicle Supply Equipment) σε συνδυασμό με τον ενσωματωμένο φορτιστή του ηλεκτρικού οχήματος. Το εναλλασσόμενο ρεύμα από το σταθμό φόρτισης εφαρμόζεται στα ενσωματωμένα κυκλώματα για τη φόρτιση της μπαταρίας. Η διαδικασία πραγματοποιείται με τη χρήση εύκαμπτου καλωδίου, το οποίο συνδέεται σε σύστημα φόρτισης, κατάλληλων προδιαγραφών ασφαλείας, προστασίας, ελέγχου και εποπτείας της λειτουργίας. Στην κατηγορία αυτή, υπάρχει η δυνατότητα τροφοδότησης, με μέγιστη ένταση ρεύματος ανά φάση τα 63A, μεγιστοποιώντας τα επίπεδα ισχύος εξόδου στα 14,5 kW για τις μονοφασικές συνδέσεις και 43,5 kW για τις αντίστοιχες τριφασικές. Ωστόσο, οι περισσότερες συσκευές φόρτισης παρέχουν τη δυνατότητα φόρτισης σε χαμηλότερες τιμές των 16 A και των 32 A. Το καλώδιο φόρτισης καταλήγει σε μονοφασικούς ή τριφασικούς ακροδέκτες σύνδεσης με το όχημα, οι οποίοι πληρούν ειδικές προδιαγραφές. Επίσης, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, υπάρχει η δυνατότητα παροχής πληροφοριών της φόρτισης, μέσω των δυο αγωγών επικοινωνίας, που βρίσκονται ενσωματωμένοι στο καλώδιο σύνδεσης. Τέλος, ο συγκεκριμένος τρόπος φόρτισης, είναι κατάλληλος τόσο για οικιακή όσο και εμπορική χρήση. Μάλιστα, στην Ελλάδα, σύμφωνα με τη νομοθεσία ΦΕΚ 50B του 2015, η μέθοδος 3 (Mode 3 AC Charging) χαρακτηρίζεται ως αποδεκτή για τη φόρτιση των συσσωρευτών ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων οι οποίες μπορούν να λειτουργήσουν στις υφιστάμενες ή υπό αδειοδότηση εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης οχημάτων (σταθμοί φόρτισης), όπως αυτές καθορίζονται από το πρότυπο IEC 61851-1 «Electric Vehicle Conductive Charging System». [125] [126] [127] [137].



Εικόνα 4-13: Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος μέσω Mode 3 [96]

4.3.1.1.4 Μέθοδος 4 (Mode 4 Charging)

Η 4^η λειτουργία (Mode 4) αναφέρεται στην φόρτιση ενός ηλεκτρικού οχήματος μέσω της αγώγιμης σύνδεσης του με ηλεκτρική παροχή συνεχούς ρεύματος (DC). Η διαδικασία πραγματοποιείται με τη χρήση εύκαμπτου καλωδίου, το οποίο είναι μόνιμα συνδεδεμένο στο σύστημα φόρτισης, κατάλληλων προδιαγραφών ασφαλείας, προστασίας, ελέγχου και εποπτείας της λειτουργίας. Στο σύστημα αυτό, το εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) του δικτύου μετατρέπεται μέσω κατάλληλων κυκλωμάτων ηλεκτρονικών ισχύος σε συνεχές ρεύμα (DC). Η μετατροπή αυτή γίνεται δια μέσου της συσκευής φόρτισης η οποία δεν είναι τοποθετημένη επί του οχήματος αλλά βρίσκεται εκτός αυτού. Το συνεχές ρεύμα παραδίδεται απευθείας στην μπαταρία του οχήματος, παρακάμπτοντας τον ενσωματωμένο του φορτιστή. Στο επίπεδο αυτό, τα επιτρεπτά όρια τάσης λειτουργίας κυμαίνονται έως τα 600 V και μέγιστη τιμή έντασης ρεύματος τα 400 A, με τα επίπεδα ισχύος να ξεκινούν από τα 50 kW και να φτάνουν έως και τα 240 KW. Το καλώδιο φόρτισης καταλήγει σε ειδικών προδιαγραφών ακροδέκτες σύνδεσης με το όχημα, ενώ παράλληλα εξασφαλίζεται και η παροχή πληροφοριών φόρτισης. Τέλος, ο συγκεκριμένος τρόπος φόρτισης, ενδείκνυται για εμπορική χρήση σε κατάλληλα διαμορφωμένες εγκαταστάσεις σταθμών φόρτισης. Μάλιστα, στην Ελλάδα, σύμφωνα με τη νομοθεσία ΦΕΚ 50B του 2015, η μέθοδος 4 (Mode 4 DC Charging) χαρακτηρίζεται ως αποδεκτή για τη φόρτιση των συσσωρευτών ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων οι οποίες μπορούν να λειτουργήσουν στις υφιστάμενες ή υπό αδειοδότηση εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης οχημάτων (σταθμοί φόρτισης), όπως αυτές καθορίζονται από το πρότυπο IEC 61851-1 «Electric Vehicle Conductive Charging System». [125] [126] [127] [136].



Εικόνα 4-14: Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος μέσω Mode 4 [96]

4.3.1.1.4 Ισχύς Φόρτισης

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

- η τάση λειτουργίας (V)
- η ένταση λειτουργίας (A)
- ο αριθμός των φάσεων, στην περίπτωση AC δικτύου ηλεκτροδότησης

Πίνακας 4- 1: Πίνακας υπολογισμού ισχύος φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

Είδος Δικτύου	Σύνδεση	Ισχύς Φόρτισης
AC Μονοφασικό		$P_{\text{φόρτισης}} = V_{\phi} * I$
AC Τριφασικό	Αστέρας (Y)	$P_{\text{φόρτισης}} = 3 * V_{\phi} * I$
	Τρίγωνο (Δ)	$P_{\text{φόρτισης}} = \sqrt{3} * V_{\pi} * I$
DC		$P_{\text{φόρτισης}} = V * I$

Πίνακας 4- 2: Συνοπτικός πίνακας μεθόδων φόρτισης βάσει του IEC 61851-1

Μέθοδος Φόρτισης	Τάση	Μέγιστη Ένταση Ρεύματος	Μέγιστη Ισχύς Φόρτισης
Mode 1	230 V (AC 1Φ)	16 A	3,7 kW
	400 V (AC 3Φ)	16 A	11 kW
Mode 2	230 V (AC 1Φ)	32 A	7,4 kW
	400 V (AC 3Φ)	32 A	22 kW
Mode 3	230 V (AC 1Φ)	63 A	14,5 kW
	400 V (AC 3Φ)	63 A	43,5 kW
Mode 4	400 - 600 V (DC)	400 A	240 kW

4.3.1.1.5 Χρόνος Φόρτισης

Ο χρόνος φόρτισης ($t_{\text{φόρτισης}}$) [h] για ένα ηλεκτρικό όχημα, υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση, με την προϋπόθεση πως είναι γνωστά:

- η χωρητικότητα του συσσωρευτή του ηλεκτρικού οχήματος (KWh)
- η ισχύς φόρτισης του χρησιμοποιούμενου σταθμού φόρτισης του ηλεκτρικού οχήματος (kW).

$$P_{\text{φόρτισης}} = \frac{E_{\text{Συσσωρευτή}} \text{ (kWh)}}{P_{\text{φόρτισης}} \text{ (kW)}}$$

Εικόνα:

Φυσικά, οι παραπάνω σχέση είναι αρκετά απλοποιημένη και μπορεί να διαφοροποιείται σε μεγάλο βαθμό, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του οχήματος, της εγκατάστασης των σταθμών φόρτισης καθώς και της συνθήκες περιβάλλοντος όπου πραγματοποιείται η φόρτιση. Συνεπώς για τον ακριβή υπολογισμό των χρονικών διαστημάτων υλοποίησης της διαδικασίας, θα πρέπει εκτός από το μέγεθος των συσσωρευτών των ηλεκτρικών οχημάτων και της ισχύος των σταθμών φόρτισης, να ληφθούν υπόψιν και άλλοι παράγοντες, οι κυριότεροι εκ των οποίων είναι :

- Η Στάθμη Φόρτισης (State Of Charge –SOC): η οποία εκφράζει τη διαθέσιμη χωρητικότητα μιας μπαταρίας σαν ποσοστό της ονομαστικής χωρητικότητάς της. Στο σημείο αυτό σημειώνεται πως για τη διασφάλιση της βέλτιστης λειτουργίας των συσσωρευτών σε μακροπρόθεσμο επίπεδο, οι κατασκευαστές των οχημάτων εγκαθιστούν συστήματα που αποτρέψουν την εξάντληση των μπαταριών κάτω από 20 % ή τη φόρτιση πάνω από ορισμένα όρια, συνήθως πάνω από 80%. Η διαδικασία της φόρτισης υλοποιείται συνήθως από ένα σταθερό ρεύμα φόρτισης, μέχρις ότου η τάση φθάσει την τιμή της τάσης

φόρτισης, και στη συνέχεια επιβολή σταθερής τάσης φόρτισης, επιτρέποντας στο ρεύμα φόρτισης να μειωθεί μέχρι να πάρει πολύ μικρές τιμές. Αυτό σημαίνει ότι η φόρτιση από 80 % έως 100 % μπορεί να διαρκέσει περισσότερο από την αρχική φόρτιση [102] [138].

- Ο εσωτερικός φορτιστής της (on-board charger), ο οποίος προσδιορίζει την μέγιστη ταχύτητα φόρτισης που υποστηρίζεται από το όχημα. Αυτό πρακτικά συνεπάγεται πως ορισμένα οχήματα μπορούν να λάβουν μεγαλύτερη ποσότητα ισχύος από άλλα, μειώνοντας έτσι σημαντικά τα χρονικά διαστήματα που απαιτούνται για την φόρτιση των συσσωρευτών. Συνεπώς η συμβατότητα μεταξύ σταθμού φόρτισης και εσωτερικού φορτιστή ηλεκτρικού οχήματος αποτελεί παράγοντα κλειδί για την υποστήριξη γρήγορων επαναφορτίσεων [138].
- Η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης των σταθμών φόρτισης, που καθορίζει τα επιτρεπτά όρια ισχύος για τη λειτουργία των σταθμών. Όπως είναι λογικό, υπάρχουν διαφορετικά επίπεδα φόρτισης και γενικά, όσο υψηλότερο είναι το επίπεδο, τόσο πιο γρήγορα μπορεί να φορτίσει ένα όχημα [138].
- Τέλος, οι περιβαλλοντικές συνθήκες διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στο πόσο γρήγορα μπορεί να φορτιστεί ένα όχημα. Οι μπαταρίες λειτουργούν πιο αποτελεσματικά όταν οι θερμοκρασίες είναι μεταξύ 20–25 °C. Εάν οι θερμοκρασίες είναι πολύ χαμηλές ή πολύ υψηλές, μπορεί να χρειαστεί λίγο περισσότερος χρόνος για φόρτιση. Αυτό συμβαίνει επειδή το σύστημα διαχείρισης μπαταρίας μειώνει την ισχύ για την προστασία της [138].

Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένοι ενδεικτικοί χρόνοι φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, για στάθμη φόρτισης (SoC) από 20 % έως 80 % :

Type of EV	Small EV	Medium EV	Large EV	Light Commercial
Average Battery Size (right)	25 kWh	50 kWh	75 kWh	100 kWh
Power Output (Below)				
2.3 kW	10h30m	24h30m	32h45m	43h30m
7.4 kW	3h45m	7h45m	10h00m	13h30m
11 kW	2h00m	5h15m	6h45m	9h00m
22 kW	1h00m	3h00m	4h30m	6h00m
50 kW	36 min	53 min	1h20m	1h48m
120 kW	11 min	22 min	33 min	44 min
150 kW	10 min	18 min	27 min	36 min
240 kW	6 min	12 min	17 min	22 min

Εικόνα 4–15: ενδεικτικοί χρόνοι φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων [138]

4.3.1.1.6 Σύγκριση των Μεθόδων Φόρτισης

Συνοπτικά λοιπόν, με γνώμονα τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω γίνεται αντιληπτό πως στις παραπάνω μεθόδους φόρτισης δεν συγκαταλέγεται κάποια μέθοδος ασύρματης φόρτισης (inductive charging) ηλεκτρικών οχημάτων. Το παρόν πρότυπο αφορά αποκλειστικά την ενσύρματη / αγωγίμη φόρτιση (conductive charging). Οι μέθοδοι αγωγίμης φόρτισης που παρουσιάστηκαν προηγουμένως παρουσιάζουν ορισμένες διαφοροποιήσεις, οι οποίες εντοπίζονται κυρίως στο χρησιμοποιούμενο σύστημα τροφοδοσίας, στις εφαρμοζόμενες τεχνολογίες, στα επίπεδα ισχύος τους, στο χρόνο φόρτισης και στη είδος χρήσης τους.

Στον παρακάτω Πίνακα γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των κυριότερων χαρακτηριστικών των τεσσάρων μεθόδων φόρτισης :

Πίνακας 4- 3: Συνοπτική ανασκόπηση κύριων χαρακτηριστικών των μεθόδων φόρτισης

Μέθοδος Φόρτισης	Τάση	Μέγιστη Ένταση Ρεύματος	Μέγιστη Ισχύς Φόρτισης	Σύστημα Προστασίας & Ελέγχου	Χρόνος Φόρτισης	Είδος Χρήσης
Mode 1	230 V (1Φ)	16 A	3,7 kW	Όχι	Αργή	Οικιακή
	400 V (3Φ)	16 A	11 kW	Όχι		
Mode 2	230 V (1Φ)	32 A	7,4 kW	Ναι	Αργή	Οικιακή
	400 V (3Φ)	32 A	22 kW	Ναι	Κανονική	
Mode 3	230 V (1Φ)	63 A	14,5 kW	Ναι	Κανονική	Οικιακή, Εμπορική
	400 V (3Φ)	63 A	43,5 kW	Ναι	Κανονική & Ταχεία	
Mode 4	400-600 V	400 A	50-240 kW	Ναι	Ταχεία	Εμπορική

4.3.1.2 Πρότυπο IEC 61851 -1 : Τύποι Καλωδίων Φόρτισης

Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων μπορούν να ταξινομηθούν σε διαφορετικές κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης τους στις υποδοχές των ηλεκτρικών οχημάτων και των σταθμών φόρτισης. Οι τύποι των καλωδίων αυτών παρουσιάζονται παρακάτω :

- **Περίπτωση Α:** Καλώδιο διασύνδεσης μεταξύ ηλεκτρικού οχήματος και ηλεκτρικού δικτύου. Στο καλώδιο αυτό η μία του άκρη είναι εφοδιασμένη με κατάλληλο βύσμα για τη διασύνδεσή του με την ηλεκτρική παροχή, ενώ η άλλη του άκρη είναι μόνιμως συνδεδεμένη με το ηλεκτρικό αυτοκίνητο. Να σημειωθεί πως η χρήση καλωδίων του τύπου αυτού δεν εφαρμόζεται πλέον. [126] [127].



Εικόνα 4-16: Τύπος Α καλωδίου φόρτισης για τη σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων με το ηλεκτρικό δίκτυο [96]

- **Περίπτωση Β:** Καλώδιο διασύνδεσης μεταξύ ηλεκτρικού οχήματος και ηλεκτρικού δικτύου. Στο καλώδιο αυτό η μία του άκρη είναι εφοδιασμένη με κατάλληλο βύσμα ειδικών προδιαγραφών για την υποδοχή του ηλεκτρικού οχήματος, ενώ η άλλη του άκρη διαθέτει επίσης ειδικό βύσμα, κατάλληλο για τη διασύνδεσή του με την ηλεκτρική παροχή [126] [127].



Εικόνα 4-17: Τύπος Β καλωδίου φόρτισης για τη σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων με το ηλεκτρικό δίκτυο [96]

- **Περίπτωση Γ:** Καλώδιο διασύνδεσης μεταξύ ηλεκτρικού οχήματος και ηλεκτρικού δικτύου. Στο καλώδιο αυτό η μία του άκρη φέρει βύσμα ειδικής μορφής για την υποδοχή του οχήματος, ενώ η άλλη του άκρη είναι μόνιμα συνδεδεμένη με τη συσκευή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, της οποίας αποτελεί προέκταση. [126] [127].



Εικόνα 4-18: Τύπος Γ καλωδίου φόρτισης για τη σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων με το ηλεκτρικό δίκτυο [96]

4.3.2 Πρότυπο SAE J1772

Το SAE J1772 αποτελεί ένα πρότυπο για τις φορτίσεις ηλεκτρικών οχημάτων. Εντός του εμπεριέχονται προδιαγραφές για τις φυσικές, ηλεκτρικές και του πρωτοκόλλου επικοινωνίας απαιτήσεις για τις υποδοχές των ηλεκτρικών οχημάτων όσο και για τα αντίστοιχα βύσματα αγωγίμης επαφής που είναι απαραίτητα για τη φόρτιση. Το πρότυπο SAE J1772 ορίζει τέσσερα επίπεδα φόρτισης: AC επιπέδου 1, AC επιπέδου 2, DC επιπέδου 1 και DC επιπέδου 2 και βρίσκει εφαρμογή κυρίως στη Βόρεια Αμερική [139].

Αναφορικά με τις φορτίσεις με χρήση εναλλασσόμενου ρεύματος, η φόρτιση επιπέδου 1 δεν απαιτεί ειδικό σταθμό φόρτισης. Πραγματοποιείται με τη χρήση ενός εύκαμπτου καλωδίου φόρτισης, το οποίο συνδέεται σε μια τυπική οικιακή πρίζα 120 V. Παράλληλα, η φόρτιση επιπέδου 2 απαιτεί έναν σταθερό σταθμό φόρτισης που παρέχεται από ένα ειδικό κύκλωμα διακλάδωσης 208 V ή 240 V [140].

Παρακάτω παρουσιάζονται οι προδιαγραφές των συσκευών AC επιπέδου 1 και 2 :

Πίνακας 4- 4: Επίπεδα φόρτισης AC στη Β. Αμερική σύμφωνα με το πρότυπο SAE J1772 [139][140]

Μέθοδος Φόρτισης	Τάση	Μέγιστη Ένταση Ρεύματος	Μέγιστη Ισχύς Φόρτισης
AC Επιπέδου 1	120 V	12 A	1,44 kW
AC Επιπέδου 1	120 V	16 A	1,92 kW
AC Επιπέδου 2	208 – 240 V	32 A	7,68 kW
AC Επιπέδου 2	208 – 240 V	80 A	19,20 kW

Ο σχεδιασμός του βύσματος και της υποδοχής που χρησιμοποιούνται στο πρότυπο SAE J1772 για την φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων με εναλλασσόμενο ρεύμα, βασίζεται σε 5 επαφές, με σύστημα ασφάλισης. Συγκεκριμένα υπάρχουν οι αγωγοί της φάσεως, του ουδέτερου αγωγού καθώς και της γείωσης. Επίσης υπάρχουν και 2 μικρότερες επαφές η ανίχνευση εγγύτητας και ο έλεγχος πιλότου. Η πρώτη εξασφαλίζει την αποτροπή κίνησης του αυτοκινήτου όταν αυτό είναι συνδεδεμένο στο φορτιστή, ενώ η δεύτερη χρησιμοποιείται για τον συντονισμό του επιπέδου φόρτισης μεταξύ του αυτοκινήτου και του φορτιστή, αλλά και για την παροχή επιπρόσθετων πληροφοριών [139].



Εικόνα 4-19: Βύσμα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων J1772 [139]

Κατά την εισαγωγή του βύσματος στην υποδοχή του ηλεκτρικού οχήματος (EV), η σύνδεση ανιχνεύεται από το σταθμό φόρτισης, ο οποίος μεταδίδει το μέγιστο ρεύμα του στο EV. Το EV ανταποκρίνεται στέλνοντας σήμα που δείχνει ότι είναι έτοιμο για φόρτιση. Μετά το πέρας της χειραγώγιάς αυτής, αρχίζει η φόρτιση, την οποία διαχειρίζεται ο ενσωματωμένος στο όχημα φορτιστής [140].

Όσον αφορά την φόρτιση με συνεχές ρεύμα (DC), η ουσιαστικότερη διαφορά της σε σχέση με την εναλλασσόμενη φόρτιση (AC) έγκειται στο γεγονός πως χρησιμοποιείται φορτιστής ενσωματωμένος στο σταθμό φόρτισης αντί για φορτιστή οχήματος, ενώ παράλληλα παρέχεται υψηλότερη ισχύ φόρτισης. Επίσης δεδομένου ότι η ισχύ παρέχεται απευθείας στην μπαταρία του οχήματος, ο σταθμός πρέπει να μπορεί να προσαρμόζει την τάση φόρτισης και το ρεύμα στα χαρακτηριστικά του οχήματος [140].

Στην κατηγορία αυτή υποστηρίζονται δύο επίπεδα φόρτισης DC που χρησιμοποιούν εξωτερικό φορτιστή. Η φόρτιση DC επιπέδου 1 στα 200-450 V DC και 80 A, η οποία παρέχει μέγιστο 36 kW, ενώ η DC επιπέδου 2 στα 200-450 V DC και μέχρι 200 A που παρέχει μέγιστη ισχύ 90 kW. Επίσης αναφορά γίνεται και για ένα ακόμα επίπεδο φόρτισης το οποίο έχει τη δυνατότητα να φορτίζει 200-600 V DC σε μέγιστη ισχύ 400 A (240 kW), το οποίο ωστόσο δεν έχει ακόμα προσδιοριστεί [139].

Παρακάτω παρουσιάζονται οι προδιαγραφές των συσκευών DC επιπέδου 1, 2 και 3 :

Πίνακας 4- 5: Επίπεδα φόρτισης DC στη Βόρεια Αμερική σύμφωνα με το πρότυπο SAE J1772 [139]

Μέθοδος Φόρτισης	Τάση	Μέγιστη Ένταση Ρεύματος	Μέγιστη Ισχύς Φόρτισης
DC Επιπέδου 1	200 - 450 V	80 A	36 kW
DC Επιπέδου 2	200 - 450 V	200 A	90 kW
DC Επιπέδου 3	200 - 600 V	400 A	240 kW

Αναφορικά με το βύσμα που χρησιμοποιείται για την φόρτιση με συνεχές ρεύμα (DC), η επιτροπή SAE J1772 πρότεινε ένα βύσμα DC βασισμένο στο σχήμα σύνδεσης SAE J1772-2009 AC. Το βύσμα Combo, αποτελεί ένα βύσμα συνδυασμένης φόρτισης, χρησιμοποιεί επαφές από τον τυπικό ζεύκτη J1772 (AC), καθώς και δύο επιπλέον επαφές για την τροφοδοσία του DC ρεύματος.



Εικόνα 4-20: Βύσμα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων J1772 Combo , σύμφωνα με το πρότυπο SAE J1772 [139]

Κατά την εισαγωγή του βύσματος Combo στην υποδοχή του ηλεκτρικού οχήματος (EV), η σύνδεση ανιχνεύεται από το σταθμό φόρτισης. Στη συνέχεια ο σταθμός στέλνει σήμα στο συνδεδεμένο όχημα, ότι το κύκλωμα φόρτισης DC έχει δημιουργηθεί πάνω από τους πείρους υψηλής ισχύος. Το EV απαντάει στέλνοντας δεδομένα για το επίπεδο φόρτισης και την τάση της μπαταρίας, καθώς και το ρεύμα που μπορεί να δεχθεί η μπαταρία του. Έπειτα από την «χειραγία» αυτή, αρχίζει η διαδικασία της φόρτισης, την οποία διαχειρίζεται ο εξωτερικός φορτιστής με βάση τα δεδομένα που κοινοποιούνται από το όχημα [140].

4.3.3 Πρότυπο IEC 62196

Το πρότυπο IEC 62196 της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής (International Electrotechnical Commission, IEC) ορίζει απαιτήσεις για τα φια, τους ρευματοδότες, τις υποδοχές των ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς και των βυσμάτων τους για τις αγωγίμες συνδέσεις φόρτισης του προτύπου IEC 61851.

Το πρότυπο παρουσιάζεται με γενικό τίτλο «Βύσματα, Ρευματοδότες, Βύσματα και υποδοχές των ηλεκτρικών αυτοκινήτων για αγωγήμη διασύνδεση» και χωρίζεται σε Μέρη. Στα κυριότερα Μέρη συγκαταλέγονται τα εξής :

- **Μέρος 1** : Γενικές Απαιτήσεις
- **Μέρος 2** : Απαιτήσεις διαστασιολογικής συμβατότητας των ακροδεκτών, των υποδοχών και των εξαρτημάτων για εναλλασσόμενο ρεύμα
- **Μέρος 3** : Απαιτήσεις διαστασιολογικής συμβατότητας των ακροδεκτών, των υποδοχών και των εξαρτημάτων για συνεχές ρεύμα

Το IEC 62196, Μέρος 1, καλύπτει εξαρτήματα αγωγίμης σύνδεσης καταλληλά για λειτουργία σε συγκεκριμένα επίπεδα τάσεως και ρεύματος :

- Για εναλλασσόμενα ηλεκτρικά συστήματα, τάσης έως 690 V και έντασης ρεύματος έως 50 A.
- Για συνεχή ηλεκτρικά συστήματα, τάσης 1500 V και έντασης ρεύματος έως 400 A.

Επίσης καλύπτει υποδοχές και βύσματα προς την πλευρά του ηλεκτρικού οχήματος, καθώς επίσης και ρευματοδότες και ρευματολήπτες προς την πλευρά της ηλεκτρικής παροχής.

4.3.3.1 Πρότυπο IEC 62196-2 : Συστήματα Φόρτισης AC

Το IEC 62196, Μέρος 2 περιέχει προδιαγραφές και διαστασιολογίσεις για βύσματα και υποδοχές που λειτουργούν στο εναλλασσόμενο ρεύμα. Συγκεκριμένα ορίζονται 3 διαφορετικοί τύποι :

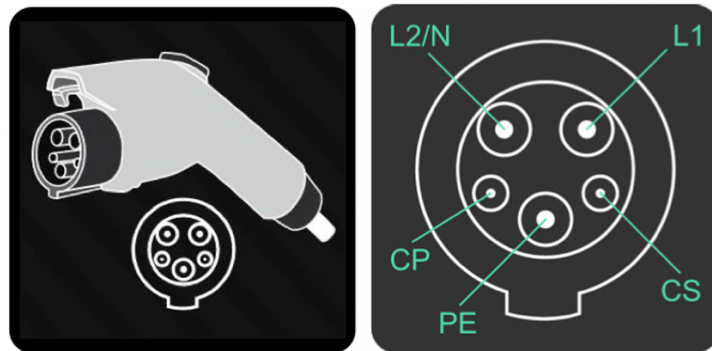
4.3.3.1.1 Τύπος 1

Τα βύσματα και οι υποδοχές του επιπέδου αυτού αντιστοιχούν στο πρότυπο SAE J1772 και χρησιμοποιούνται προς την πλευρά του αυτοκινήτου για αγωγήμη φόρτιση εναλλασσόμενου ρεύματος, μονοφασικής σύνδεσης. Τα επιτρεπτά όρια τάσης φτάνουν μέχρι τα 250 V, ενώ η μέγιστη ένταση ρεύματος τα 32 A. Σημειώνεται ωστόσο πως το πρότυπο επιτρέπει τη χρήση των εξαρτημάτων Τύπου 1 για εντάσεις έως 80 A για τις ΗΠΑ.

Η σχεδίαση τους βασίζεται σε 5 επαφές διαβαθμιζόμενου μεγέθους (3 μεγάλες και 2 μικρότερες), οι λειτουργίες των οποίων είναι οι εξής :

- ο Επαφή 1 : Γραμμή τροφοδοσίας (Line1, L1)
- ο Επαφή 2 : Άλλη γραμμή τροφοδοσίας (Line2, L2) ή Ουδέτερος αγωγός (Neutral, N)
- ο Επαφή 3 : Γείωση προστασίας (Protective Earth, PE)
- ο Επαφή 4 : Σηματοδοσία επικοινωνίας (Control Pilot , CP)
- ο Επαφή 5 : Διακόπτης διασύνδεσης (Proximity Pilot, PP) ή Control Switch, CS)

Οι δύο από τις τρεις επαφές μεγαλύτερης διαμέτρου εντοπίζονται στο πάνω μέρος του βύσματος. Αυτές αποτελούν οι αγωγοί φάσεως (L1) και ουδετέρου αγωγού (L2/N). Η Τρίτη επαφή, η γείωση προστασίας (PE) βρίσκεται κεντρικά στο κάτω μέρος. Αναφορικά με τους αγωγούς μικρότερης διαμέτρου, η πρώτη επαφή (CP) είναι τοποθετημένη στο κάτω αριστερό μέρος του ζεύκτη και επωμίζεται με αρμοδιότητες που σχετίζονται με τον τομέα της επικοινωνίας μεταξύ του οχήματος και του συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, η δεύτερη επαφή (CS) εδρεύει κάτω δεξιά και είναι υπεύθυνη για την ανίχνευση σήματος διασύνδεσης του οχήματος με εξωτερική πηγή τροφοδοσίας, με σκοπό την ακινητοποίησή του για όσο χρόνο υφίσταται η σύνδεση αυτή. [126] [141].



Εικόνα 4–21: Βύσμα και υποδοχή τύπου 1 [96]

4.3.3.1.2 Τύπος 2

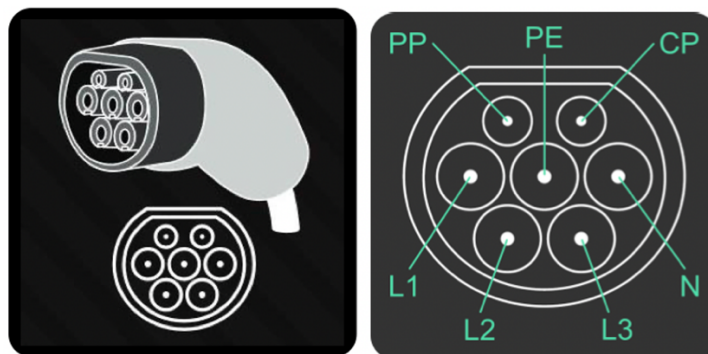
Το σύστημα σύνδεσης τύπου 2 αναπτύχθηκε από μια συνεργασία Γερμανικών εταιρειών κατασκευαστών αυτοκινήτων (Daimler), ηλεκτρικής ενέργειας (RWE), κατασκευαστών ηλεκτρικών εξαρτημάτων (Mennekes) κ.λπ. Αρχικά, εφαρμόστηκε στη Γερμανία και σε γρήγορο χρονικό διάστημα έγινε αποδεκτό από πολλούς Ευρωπαϊκούς κατασκευαστές ηλεκτρικών οχημάτων.

Τα βύσματα και οι υποδοχές του επιπέδου αυτού χρησιμοποιούνται τόσο προς την πλευρά του αυτοκινήτου όσο και προς την πλευρά της ηλεκτρικής παροχής για αγωγή μη φόρτιση εναλλασσόμενου ρεύματος μονοφασικής σύνδεσης, επιπέδων τάσεως έως 250 V και εντάσεων ρεύματος 20 A, 32 A, 63 A και 70 A. Επίσης, η φόρτιση είναι εφικτή και για τριφασικές συνδέσεις, με επίπεδα τάσης 380 – 480 V και εντάσεων ρεύματος 20 A, 32 A και 63 A.

Η σχεδίαση των εξαρτημάτων του τύπου 2, βασίζεται σε 7 επαφές διαβαθμιζόμενου μεγέθους (5 μεγάλες και 2 μικρότερες), οι λειτουργίες των οποίων παρουσιάζονται παρακάτω :

1. Επαφή 1 : Γραμμή τροφοδοσίας (Line1, L1)
1. Επαφή 2 : Δεύτερη γραμμή τροφοδοσίας (Line2, L2)
1. Επαφή 3 : Τρίτη γραμμή τροφοδοσίας (Line3, L3)
1. Επαφή 4 : Ουδέτερος αγωγός (Neutral, N)
1. Επαφή 5 : Γείωση προστασίας (Protective Earth, PE)
1. Επαφή 6 : Σηματοδοσία επικοινωνίας (Control Pilot , CP)
1. Επαφή 7 : Διακόπτης διασύνδεσης (Proximity Pilot – PP)

Πιο αναλυτικά, το βύσμα διαθέτει ένα στρογγυλό περίβλημα, στο οποίο η πάνω πλευρά είναι ευθυγραμμισμένη, ώστε να διευκολύνει το σωστό προσανατολισμό. Η επάνω σειρά αποτελείται από δύο μικρές επαφές για σηματοδότηση. Η πρώτη επαφή (PP) χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση διασύνδεσης με εξωτερική πηγή τροφοδοσίας και την ακινητοποίηση του οχήματος για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (σύμφωνα με το IEC 61851-1 Παράρτημα Β). Η δεύτερη επαφή (CP) αναλαμβάνει τις λειτουργίες ελέγχου και επικοινωνίας μεταξύ του οχήματος και του συστήματος παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας (σύμφωνα στο IEC 61851-1 Παράρτημα Α). Η μεσαία σειρά περιέχει τρεις επαφές, ο κεντρικός πείρος χρησιμοποιείται για γείωση προστασίας (PE), ο δεξιάς για τον ουδέτερο (N), ενώ οι υπόλοιποι εξυπηρετούν την τροφοδοσία εναλλασσόμενου ρεύματος [126] [142].



Εικόνα 4-22: Βύσμα και υποδοχή τύπου 2 [96]

Ωστόσο, το γεγονός πως δεν διέθεταν ειδικά κλείστρα προστασίας, λειτούργησε ανασταλτικά για την ευρεία αποδοχή της χρήσης τους. Το γεγονός αυτό αποτέλεσε και το βασικότερο λόγο για την ανάπτυξη του Τύπου 3, ο οποίος όμως στη συνέχεια εγκαταλείφθηκε [127]. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια στην Ευρωπαϊκή Ένωση, οι κανονισμοί απαιτούν από όλους τους δημόσιους προσβάσιμους σταθμούς ημιταχείας φόρτισης AC να είναι εξοπλισμένοι με πρίζες τύπου 2 κατά το πρότυπο IEC62196 και να φορτίζουν με ισχύ φόρτισης από 3,7kw έως 22kw. [136] [143].

4.3.3.1.3 Τύπος 3

Ο τύπος υποστηρίχθηκε σημαντικά από τη συμμαχία «EV Plug Alliance» η οποία ιδρύθηκε το 2010 από ηλεκτρικές εταιρείες Schneider Electric, Legrand και Scame. Εν συνεχεία πραγματοποιήθηκαν προσαρτήσεις και άλλων εταιριών όπως των Gimélec ,Gewiss, Marechal Electric, Radiall, Vimar, Weidmüller France & Yazaki Europe [126].

Τα βύσματα και οι υποδοχές του επιπέδου αυτού χρησιμοποιούνται προς την πλευρά του αυτοκινήτου αλλά και προς την πλευρά της ηλεκτρικής παροχής για αγωγή φόρτιση εναλλασσόμενου ρεύματος. Στα μονοφασικά ηλεκτρικά κυκλώματα τα επίπεδα τάσης ορίζονται μέχρι τα 250 V με εντάσεις ρεύματος 16 A και 32 A. Αντιστοίχως, οι τιμές για τα τριφασικά κυκλώματα φτάνουν 380 – 480 V με εντάσεις ρεύματος μέχρι 32 A [126].

Οι υποδοχές του τύπου 3, κυκλοφορούν εξοπλισμένες με σύστημα κλείστρου προστασίας για την αποφυγή επαφής με τα ηλεκτροφόρα μέρη. Επίσης η απουσία ύπαρξης εμφανών προεξεχόντων μερών, εγγυάται την παροχή βέλτιστου επιπέδου ασφάλειας, καθώς περιορίζονται οι κίνδυνοι που μπορεί να προέκυπταν από περιστατικά :

- αποτυχίας του συστήματος (π.χ. καταστροφή καλωδίου)
- εσφαλμένου χειρισμού από τον χρήστη (π.χ. άγγιγμα υποδοχής)
- λανθασμένης χρήσης (π.χ. σύνδεση βύσματος σε λάθος υποδοχή) [127]

Τα βύσματα Scame χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Ο πρώτος, ο τύπος 3A είναι κατάλληλος για μονοφασικές φορτίσεις, ενώ ο δεύτερος, ο τύπος 3C χρησιμοποιείται για τριφασικές φορτίσεις [143].

Η σχεδιαστική τους μορφή παρουσιάζει διάφορες εκδοχές, με ορισμένα μοντέλα να διαθέτουν 5 ή 7 επαφές :

- Επαφή 1 : Πρώτη γραμμή τροφοδοσίας (Line1, L1)
- Επαφή 2 : Δεύτερη γραμμή τροφοδοσίας (Line2, L2) (Προαιρετική)
- Επαφή 3 : Τρίτη γραμμή τροφοδοσίας (Line3, L3) (Προαιρετική)
- Επαφή 4 : Ουδέτερος αγωγός (Neutral, N)
- Επαφή 5 : Γείωση προστασίας (Protective Earth, PE)
- Επαφή 6 : Σηματοδοσία επικοινωνίας (Control Pilot , CP) μεταξύ του οχήματος και του συστήματος παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Επαφή 7 : Διακόπτης διασύνδεσης (Proximity Pilot – PP), μέσω του οποίου επαληθεύεται η σύνδεση του οχήματος με την πηγή της ηλεκτρικής παροχής και γίνεται η ακινητοποίηση του οχήματος για το χρονικό διάστημα που υφίσταται η σύνδεση. [126]



Εικόνα 4–23: Βύσμα και υποδοχή τύπου 3 [127]

Η συμμαχία συνεδρίασε για τελευταία φορά τον Ιούνιο του 2013 σε ακρόαση της ΕΕ, ενώ το 2014 ανακοίνωσε τον τερματισμό της λειτουργίας της. Ως εκ τούτου, η παραγωγή συνδέσμων Τύπου 3 εγκαταλείφθηκε τελικά.

4.3.3.2 Πρότυπο IEC 62196-3 : Συστήματα φόρτισης DC

Το τρίτο μέρος του IEC 62196, περιλαμβάνει απαιτήσεις διαστασιολογικής συμβατότητας των ακροδεκτών, των υποδοχών και των εξαρτημάτων για συνεχές ρεύμα [127]. Συγκεκριμένα, το πρότυπο IEC 62196-3 επεκτείνει το παλαιότερο IEC 62196-1 και περιγράφει συγκεκριμένα σχέδια που προορίζονται να χρησιμοποιηθούν για την παροχή φόρτισης DC ηλεκτρικών οχημάτων στη λειτουργία 4, όπως περιγράφεται από τα IEC 61851-1 και IEC 61851-23 [142].

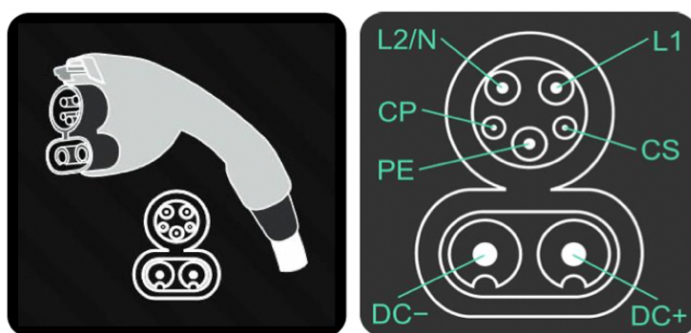
Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται διαφορετικοί κατασκευαστές οι κυριότεροι των οποίων αποτελούν η CHAdeMO και τα συστήματα συνδυασμένης φόρτισης (Combo Charging System, CCS).

4.3.3.2.1 Συστήματα Combo Charging System (CCS)

Στην κατηγορία αυτή διακρίνονται δύο τύποι συστημάτων φόρτισης :

- **Τα βύσματα CCS1 ή Combo1:** Αποτελούν μια αναβαθμισμένη εκδοχή των ακροδεκτών τύπου 1, επεκτείνοντας τη χρήση και τη λειτουργία τους σε συστήματα συνεχούς γρήγορης φόρτισης.

Για την φόρτιση με συνεχές ρεύμα (DC), η SAE ανέπτυξε ένα συνδυασμένο σύστημα φόρτισης (Combo Charging System, CCS). Ουσιαστικά, πρόκειται για μια παραλλαγή του βύσματος J1772-2009, εξοπλισμένο με δύο πρόσθετους πείρους για παροχή συνεχούς ρεύματος (DC) μέγιστης τιμής 200 A στα επίπεδα τάσης 200 – 450V, εξασφαλίζοντας μέγιστη παροχή ισχύος φόρτισης της τάξεως των 90 kW [139] [140]

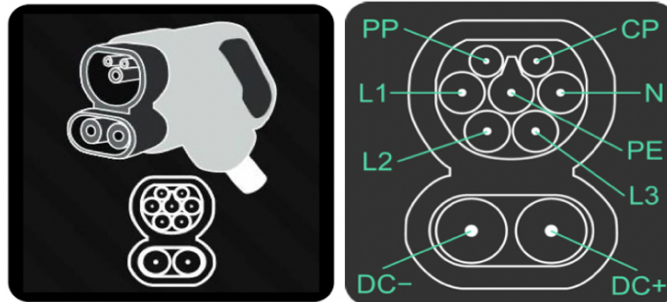


Εικόνα 4-24: Βύσμα και υποδοχή φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων J1772 Combo, σύμφωνα με το πρότυπο SAE J1772 [96]

Τα εξαρτήματα αυτά προορίζεται να χρησιμοποιηθούν σε σταθμούς φόρτισης DC στους οποίους εφαρμόζεται το συνδυασμένο σύστημα φόρτισης τύπου 1 (Combo Charging System, CCS). Οι σταθμοί αυτοί εφαρμόζουν το Σύστημα C σύμφωνα με το IEC 61851-23 και πρωτόκολλο επικοινωνίας τύπου PLC σύμφωνα με το IEC 61851-24 και το ISO 15118-3. Η χρήση του λαμβάνει χώρα κυρίως στις ΗΠΑ, όπου η ίδια τεχνική λύση περιγράφεται από το πρότυπο SAE J1772 [142].

- **Τα βύσματα CCS2 ή Combo2** : Αποτελούν την εξελικτική μορφή των ακροδεκτών τύπου 2, επεκτείνοντας τη χρήση και τη λειτουργία τους σε συστήματα συνεχούς γρήγορης φόρτισης.

Για την φόρτιση με συνεχές ρεύμα (DC), αναπτύχθηκε ένα συνδυασμένο σύστημα φόρτισης (Combo Charging System, CCS). Ουσιαστικά, πρόκειται για μια παραλλαγή του βύσματος J1772-2009, εξοπλισμένο με δύο πρόσθετους πείρους για παροχή συνεχούς ρεύματος (DC) μέγιστης τιμής 200 A στα επίπεδα τάσης 200-450V, εξασφαλίζοντας μέγιστη παροχή ισχύος φόρτισης στα 90 kW [139] [140].



Εικόνα 4–25: Βύσμα και υποδοχή συνδυασμένου συστήματος φόρτισης τύπου 2 [96]

Τα εξαρτήματα αυτά προορίζεται να χρησιμοποιηθούν σε σταθμούς φόρτισης DC στους οποίους εφαρμόζεται το συνδυασμένο σύστημα φόρτισης τύπου 2 (Combo Charging System, CCS). Οι σταθμοί αυτοί εφαρμόζουν το Σύστημα C σύμφωνα με το IEC 61851-23 και την επικοινωνία PLC σύμφωνα με το IEC 61851-24 και ISO 15118-3. Επίσης, είναι αξιοσημείωτο πως οι ευρωπαϊκοί κανονισμοί απαιτούν από όλους τους δημόσιους σταθμούς φόρτισης DC να είναι εξοπλισμένοι με βύσματα και οι υποδοχές CCS2 [142].

4.3.3.2 Σύστημα CHAdeMO

Το CHAdeMO (συντομογραφία του "CHArge de MOve") αποτελεί την εμπορική επωνυμία μιας μεθόδου γρήγορης φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας. Το σύστημα αναπτύχθηκε από την CHAdeMO Association στην Ιαπωνία. Ο όμιλος συγκροτήθηκε από σημαντικούς κατασκευαστές και από επιχειρηματίες του χώρου της αυτοκινητοβιομηχανίας. Σε αυτούς συγκαταλέγονται η Tokyo Electric Power Company (TEPCO), η Nissan, η Mitsubishi και η Fuji Heavy Industries (Subaru Corporation). Η Toyota προσχώρησε αργότερα ως πέμπτο εκτελεστικό μέλος της, ακολουθούμενη από την Hitachi, τη Honda και την Panasonic.

Η ανάπτυξη CHAdeMO ξεκίνησε το 2005 με στόχο την δημιουργία μιας δημόσιας υποδομής γρήγορων φορτιστών που επιτρέπει στους ανθρώπους να οδηγούν EV χωρίς να ανησυχούν για το εύρος της μπαταρίας τους. Το πρότυπο το οποίο αναπτύχθηκε από κοινού από όλα τα μέλη του οργανισμού "CHAdeMO Association" σχεδιάστηκε βασιζόμενο στο ιαπωνικό πρότυπο JEVS G105-1993 του ινστιτούτου JARI (Japan Automobile Research Institute) και δημοσιεύθηκε για πρώτη φορά στην Ιαπωνία στις 15 Μαρτίου 2010. Επίσης από το 2014, το πρότυπο CHAdeMO έχει συμπεριληφθεί στα πρότυπα IEC61851-23 (για σύστημα φόρτισης), 61851-24 (για επικοινωνία) και στο πρότυπο IEC 62196, ως διαμόρφωση AA (για σύνδεση) [126] [144].



Εικόνα 4-26: Λογότυπο CHAdeMO [144]

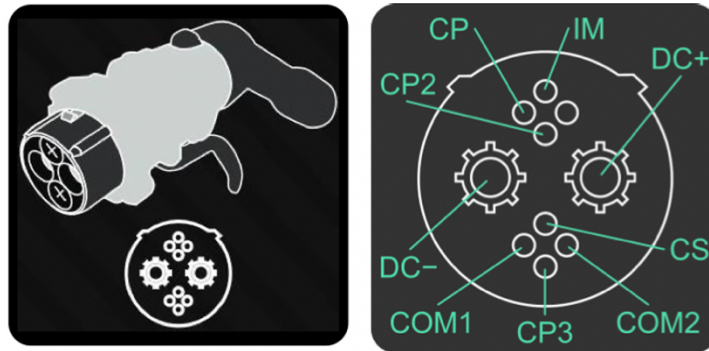
Στο σύστημα CHAdeMO οι συσκευές δεν αποτελούν τερματικά ηλεκτρικής παροχής στα οποία συνδέεται οι συσκευές φόρτισης των οχημάτων. Αντιθέτως, αποτελούν συσκευές φόρτισης μεγάλης ισχύος, οι οποίες λειτουργούν αυτόνομα, εκτός οχήματος, οι οποίες παρέχουν συνεχές ρεύμα υψηλής έντασης απευθείας στη μπαταρία, παρακάμπτοντας την εσωτερικά εγκατεστημένη επι του οχήματος συσκευή φόρτισης. Φυσικά, για την υλοποίηση της παραπάνω διαδικασίας, τα Η/Ο θα πρέπει να είναι εφοδιασμένα με την συγκεκριμένη υποδοχή και το κατάλληλο ηλεκτρικό κύκλωμα [133].

Η φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να επιτευχθεί με μέγιστη ισχύ τα 62,5 kW (500 V, 125 A), ενώ μέσω μιας αναθεωρημένης προδιαγραφής CHAdeMO 2.0 οι τιμές ισχύος φόρτισης φτάνουν τα 400 kW (1000 V, 400 A) [144].

Αξιοσημείωτο αποτελεί το γεγονός πως ακόμα και με την τυπική ισχύ των 50 kW το σύστημα “CHAdeMO” είναι σε θέση να παρέχει φόρτιση της τάξης του 80% σε ένα μεσαίου μεγέθους EV και σε χρονικό διάστημα μόλις 30 λεπτών. Ενώ παράλληλα, μια σύνδεση των 5 λεπτών, μπορεί να τροφοδοτήσει τους συσσωρευτές με ηλεκτρική ενέργεια, επαρκή για την κάλυψη 30 με 40 χιλιομέτρων. Η επέκταση αυτή, θεωρείται αρκετή προκειμένου να καταστεί εφικτή η μετάβαση σε κάποιο άλλο σημείο ανεφοδιασμού. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται σημαντική επέκταση της εμβέλειας οδήγησης, κάτι που κάνει τους οδηγούς των ηλεκτρικών οχημάτων να απαλλάσσονται από το άγχος μιας πιθανής ακινησίας από εξάντληση της αποθηκευμένης στους συσσωρευτές ηλεκτρικής ενέργειας. [126]

Το CHAdeMO παρέχει τη δυνατότητα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων χαμηλής εμβέλειας (120 χιλιομέτρων ή 75 μιλίων) σε λιγότερο από μισή ώρα [144]

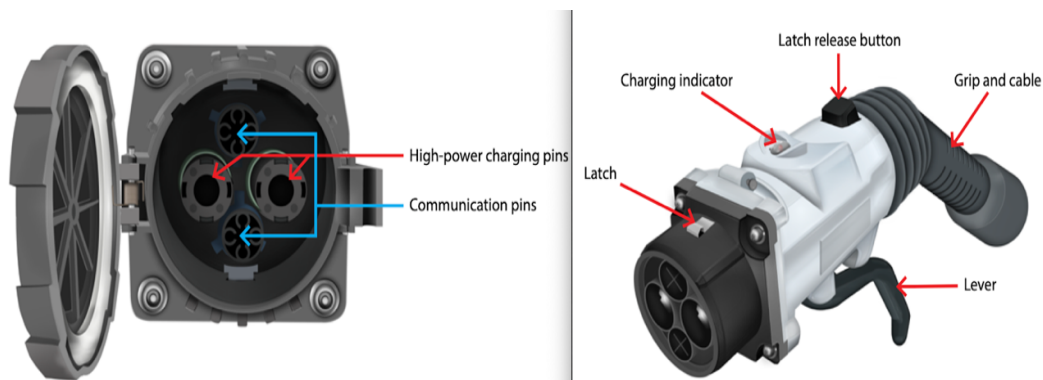
Όσον αφορά τη σχεδίαση του CHAdeMO, το βύσμα διαθέτει ένα στρογγυλό περίβλημα εντός του οποίου υπάρχουν 4 επαφές, διαβαθμιζόμενου μεγέθους (2 μεγάλες και 2 μικρότερες). Στον κατακόρυφο άξονα, επάνω και κάτω υπάρχουν δύο μικρές επαφές για σηματοδότηση λειτουργειών επικοινωνίας. Στον οριζόντιο άξονα, εντοπίζονται 2 μεγαλύτερες επαφές οι οποίες χρησιμοποιούνται για την τροφοδότηση του οχήματος με συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα.



Εικόνα 4–27: Βύσμα και υποδοχή φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων CHAdeMO [96]

Το βύσμα CHAdeMO για τη διασφάλιση της ορθής λειτουργίας κατά τη διαδικασία της φόρτισης, είναι εξοπλισμένο με μηχανισμό μανδάλωσης, ο οποίος έχει σχεδιαστεί για να αποτρέπει την αυθόρμητη ή ακούσια αποσύνδεση του βύσματος. Επίσης, στο επάνω μέρος υπάρχει ειδική λυχνία η οποία παρέχει ένδειξη όταν το όχημα βρίσκεται σε κατάσταση φόρτισης, καθώς και ειδικό κουμπί που χρησιμοποιείται για την απομανδάλωση του ζεύκτη μετά την περάτωση της διαδικασίας [140].

Στον τομέα της επικοινωνίας γίνεται χρήση του πρωτόκολλο διαύλου CAN (CAN bus). Συγκεκριμένα, στο σύστημα φορτιστής CHAdeMO χρησιμοποιείται ένας ελεγκτής ο οποίος μέσω διαύλου CAN, λαμβάνει εντολές από το Η/Ο. Ανάλογα με τις πληροφορίες λήψης, ο φορτιστής έχει τη δυνατότητα ρύθμισης του ρεύματος φόρτισης. Συνεπώς μέσω του μηχανισμού αυτού, επιτυγχάνεται ο συνεχής έλεγχος και η αυτόματη ρύθμιση της φόρτισης. Επίσης εξασφαλίζεται η ταχεία και ασφαλής φόρτιση σε συνάρτηση με την κατάσταση λειτουργίας του συσσωρευτή και το περιβάλλον χρήσης του, ενώ παράλληλα προλαμβάνονται ενδεχόμενες βλάβες στο συσσωρευτή από φαινόμενα υπερθέρμανσης ή άλλα αίτια [133].



Εικόνα 4–28: Βύσμα και υποδοχή φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων CHAdeMO [140]

Το δίκτυο CHAdeMO, αν και αναπτύχθηκε στην Ιαπωνία, η χρήση του είναι ευρεία σε παγκόσμιο επίπεδο. Μάλιστα, το 2018, ο συνολικός αριθμός των διαθέσιμων σημεία φόρτισης στην Ευρώπη ξεπέρασε αυτόν της Ιαπωνίας. Επίσης από τον Απρίλιο του 2019, υπήρχαν περίπου 25.300 σημεία παγκοσμίως, με τα περισσότερα, 9.200 να βρίσκονται στην Ευρώπη, 7.600 στην Ιαπωνία, 3.200 στη Βόρεια Αμερική και περισσότερα από 5.300 σε άλλα σημεία του κόσμου [144].

4.3.4 Πρότυπο SAE TIR J2954

Το SAE TIR J2954 (Technical Information Report, TIR) αποτελεί μια βιομηχανική οδηγία για προδιαγραφών, μέσω της οποίας καθορίζονται τα αποδεκτά κριτήρια για ζητήματα λειτουργικότητας, ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας, επιδόσεων, ασφάλειας και δοκιμών για την παροχή ασύρματης φόρτισης ελαφριών ηλεκτρικών οχημάτων [145].

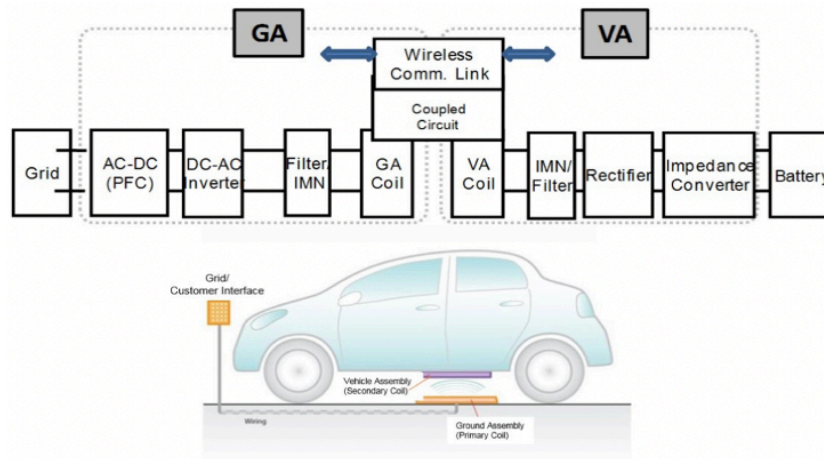
Το πρώτο της έγγραφο SAE TIR J2954 δημοσιεύτηκε στις 31 Μαΐου 2016 με τίτλο «Wireless Power Transfer for Light-Duty Plug-In / Electric Vehicles and Alignment Methodology», ωστόσο οι προσπάθειες της SAE International είχαν ξεκινήσει από το 2010.

Το SAE J2954 απευθύνεται στη μονοκατευθυντική φόρτιση, από την πλευρά του δικτύου προς την πλευρά του οχήματος, χωρίς να εξετάζει την αντίθετη περίπτωση της αμφίδρομης μεταφορά ενέργειας. Η προδιαγραφή υποστηρίζει οικιακή (ιδιωτική) φόρτιση και δημόσια ασύρματη φόρτιση. Τα διάφορα επίπεδα φόρτισης βασίζονται στα επίπεδα που ορίζονται για τα επίπεδα αγωγίμης φόρτισης SAE J1772, με ορισμένες παραλλαγές. Συγκεκριμένα, Το πρωτόκολλο SAE TIR J2954 απαιτεί τη χρήση κοινής συχνότητας λειτουργίας των 85 kHz της κλίμακας (81,39 - 90 kHz) και ορίζει τέσσερα επίπεδα ισχύος στα 3.7kW, 7.7kW, 11kW, 22kW.

Η ασύρματη μεταφορά ισχύος με επαγωγική φόρτιση επιτρέπει στα ηλεκτρικά οχήματα να φορτίζονται εύκολα, με αυτόματο και ανεμπόδιο τρόπο, χωρίς την παραμικρή αλληλεπίδραση με το χειριστή. Ουσιαστικά, η μεταφορά ενέργειας μέσω επαγωγής πραγματοποιείται όταν τα δύο πηνία (του οχήματος και του εδάφους-σταθμού) ευθυγραμμιστούν σε έναν ελάχιστο βαθμό (με σωστή στάθμευση σε ένα σημείο). [146]. Η διαδικασία στηρίζεται στη δημιουργία ασύρματης ζεύξης μέσω ενός ηλεκτρομαγνητικού πεδίου συγχρονισμού ενός πομπού ενέργειας ο οποίος είναι συνδεδεμένος με την πηγή της ηλεκτρικής ενέργειας και συνήθως τοποθετείται στο έδαφος και ενός δέκτη που βρίσκεται στο κάτω μέρος του αυτοκινήτου.

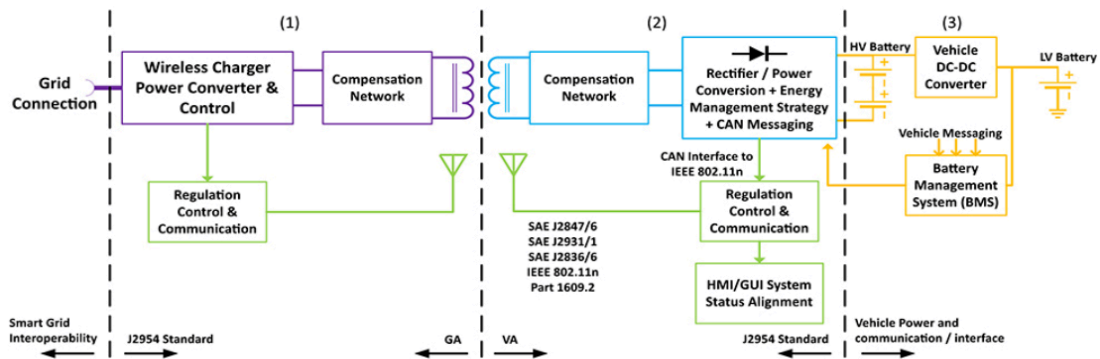
Η ασύρματη ανταλλαγή κωδικών σημάτων μεταξύ του αυτοκινήτου και του πομπού ρυθμίζει τόσο την έναρξη και την παύση της φόρτισης όσο και τις παραμέτρους της κατά τη διάρκειά της.

Η φόρτιση του ηλεκτρικού οχήματος είναι τόσο απλή όσο και το παρκάρισμά του. Το πρωτόκολλο ασύρματης φόρτισης SAE J2954 παρέχει αυτή την ελευθερία καλύπτοντας όλες τις ανάγκες αυτοματισμού και ασφάλειας που απαιτούνται. Ο πελάτης μπορεί να φορτίσει το όχημα απλώς σταθμεύοντάς το σε ένα χώρο στάθμευσης SAE J2954 WPT [141]. Δεδομένου πως η διαδικασία αυτή θα πρέπει να είναι απόλυτα ασφαλής για όλους τους ανθρώπους, τα όρια ηλεκτρομαγνητικού πεδίου (EMF) που δημοσιεύθηκαν στο TIR J2954 έχουν εναρμονιστεί συνδυάζοντας τα όρια της Αμερικανικής Ένωσης Ιατρικών Οργάνων (AAMI) με τιμές της Διεθνούς Επιτροπής για την Προστασία της Μη Ιονίζουσας Ακτινοβολίας (ICNIRP) [146].



Εικόνα 4–29: Ασύρματη φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος μέσω του προτύπου SAE TIR J2954 [146]

Χαρακτηριστικό των προηγμένων τεχνολογικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται στο SAE J2954, αποτελεί το γεγονός πως η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να μεταδοθεί ακόμα και με διάκενο αέρος 25 εκατοστών μεταξύ πομπού και δέκτη και μάλιστα με υψηλές αποδόσεις, όχι μικρότερες του 94%. Επίσης, σε μελλοντικό στάδιο, με επιπρόσθετες επεκτάσεις, το πρότυπο θα είναι σε θέση να καλύπτει και τις περιπτώσεις ασύρματης φόρτισης των μελλοντικώς αυτοκινούμενων ηλεκτρικών οχημάτων τα οποία θα αυτοφορτίζονται χωρίς την παραμικρή παρέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα.



Εικόνα 4–30: Λειτουργικό Διάγραμμα SAE J2954 πρότυπο ασύρματης φόρτισης [131]

Εν κατακλείδι, το SAE J2954 αποτελεί σημείο αναφοράς για αυτή την τεχνολογία. Συστήματα ασύρματης φόρτισης έχουν δοκιμαστεί πολλάκις τα τελευταία χρόνια από πληθώρα κατασκευαστών, ωστόσο χωρίς να έχουν πλαισιωθεί γύρω από συγκεκριμένες προδιαγραφές και το κυριότερο μόνο για μικρές ισχύεις μετάδοσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Μέχρι και σήμερα, η υψηλής ισχύος ασύρματη φόρτιση δεν καλύπτεται από κάποιο διεθνές πρότυπο. Η τεχνολογία της, εστιαζόμενη σε πιλοτικές εφαρμογές δεν έχει αναπτυχθεί επαρκώς σε στάδιο που να μπορεί να ανταγωνιστεί την τρέχουσα τεχνολογία ταχυφόρτισης με καλώδιο σύνδεσης οχήματος-υποδομής [131].

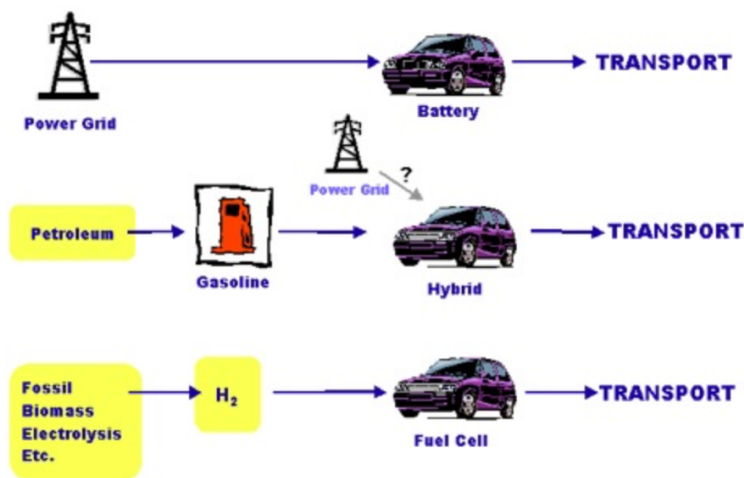
4.4 Vehicle-to-Grid (V2G)

Με τον αριθμό των ηλεκτρικών οχημάτων στους παγκόσμιους δρόμους να προβλέπεται να αυξηθεί ραγδαία στο κοντινό μέλλον, τα ενεργειακά οικοσυστήματα εξελίσσονται. Η ενέργεια γίνεται πιο έξυπνη, διασυνδεδεμένη και τα EVs καθίστανται ενεργό μέρος του δικτύου. Στο σημείο αυτό η τεχνολογία V2G αποτελεί βασικό στοιχείο στις στρατηγικές για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Η τεχνολογία καθιστά την ολοκλήρωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας πιο αποτελεσματική, μετριάζοντας τα σημεία συμφόρησης του δικτύου και ελαχιστοποιώντας την αστάθεια του. Η τεχνολογία έχει επίσης δυναμικό μετασχηματισμό για τις αγορές ενέργειας. Επιπλέον αξιοποιεί τις επενδύσεις της κοινωνίας στην ηλεκτρονική κινητικότητα για να κάνει την ενέργεια πιο ευέλικτη, ενώ παράλληλα δημιουργεί νέα επιχειρηματικά μοντέλα και πρόσθετες ευκαιρίες εσόδων [147].

4.4.1 Η αρχή λειτουργίας του V2G

Κατά τη συμβατική θεώρηση η φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων ακολουθεί συνήθως μια μονόδρομη ροή ενέργειας με κατεύθυνση από το δίκτυο προς το όχημα "Grid-to-Vehicle". Η ισχύς που είναι αποθηκευμένη στη συστοιχία των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων χρησιμοποιείται αποκλειστικά για τη λειτουργία τους [147].

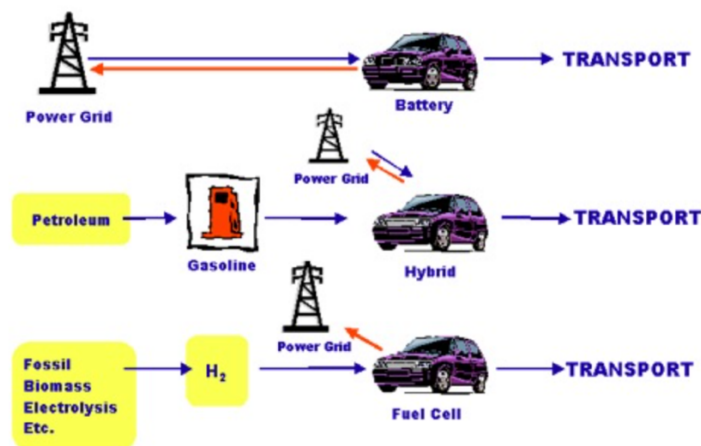
Σε αυτό το σενάριο, οι συσσωρευτές εκφορτίζονται κατά τη διάρκεια των μετακινήσεων, ανάλογα με τις ανάγκες και την οδηγική συμπεριφορά του χρήστη. Εν συνεχεία ακολουθεί το στάδιο της επαναφόρτισης τους, μέσω κατάλληλης σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται κατά διάρκεια της στάθμευσης τους, ενώ μπορεί να τροποποιηθεί ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη και την τιμολογιακή πολιτική που εφαρμόζεται. Ωστόσο, λόγω της παθητικής συμπεριφοράς των ηλεκτρικών οχημάτων, μια ευρείας κλιμακας ενσωμάτωση τους θα μπορούσε να αποτελέσει πρόβλημα σε ένα συμβατικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, μιας και για την καλυψη του φορτίου, θα έπρεπε να απαιτηθεί επιπλέον παραγωγή, άρα και αυξημένες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου.



Εικόνα 4–31: Ροή Ενέργειας κατά τη Συμβατική Θεώρηση Λειτουργίας των Ηλεκτρικών Οχημάτων [148]

Κατά τη διαδικασία “Vehicle-to-grid” (V2G), επιτυγχάνεται η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από την πλευρά των οχημάτων προς την πλευρά του ηλεκτρικού δικτύου. Ο όρος V2G σημαίνει “Όχημα προς Δίκτυο” και ως ιδέα περιγράφει ένα σύστημα στο οποίο τα ηλεκτρικά οχήματα, όπως τα οχήματα μπαταρίας (BEVs), υβρίδια plug-in (PHEVs) ή τα ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου υδρογόνου (FCEVs), επικοινωνούν με το ηλεκτρικό δίκτυο για την παροχή ισχύος προς αυτό [149].

Στην παρακάτω εικόνα με κόκκινα βέλη παρουσιάζεται η ηλεκτρική ροή από τα οχήματα προς το δίκτυο.



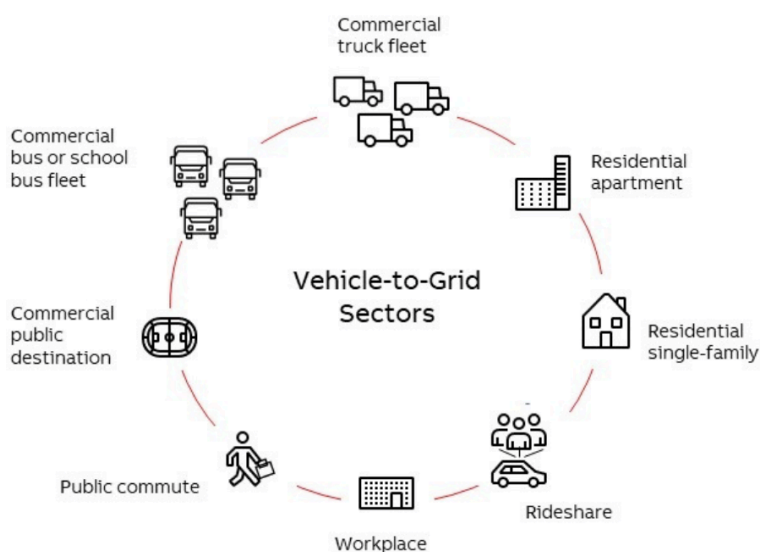
Εικόνα 4–32: Ροή Ενέργειας κατά τη V2G Λειτουργία [150]

Κατά την V2G διαδικασία, η παροχή υπηρεσιών για το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους, είτε με την κατάλληλη διαμόρφωση του ρυθμού φόρτισης του συσσωρευτή κατά τη ροή ισχύος από το δίκτυο προς το όχημα, είτε με την με την αποφόρτιση του συσσωρευτή του οχήματος με ροή ισχύος από το όχημα προς το δίκτυο.

Στην πρώτη περίπτωση η ροή ενέργειας είναι μονοκατευθυντική. Η λειτουργία της συνεπάγεται τη μεταβολή του χρόνου ή του ρυθμού με τον οποίο φορτίζεται ένα ηλεκτρικό όχημα προκειμένου να παρέχει βοηθητικές υπηρεσίες στο δίκτυο. Στα πλαίσια της περιλαμβάνονται εφαρμογές όπως οχήματα χρονισμού για φόρτιση στη μέση της ημέρας για απορρόφηση της υπερβολικής ηλιακής παραγωγής, καθώς και μεταβολή του ρυθμού φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων για παροχή υπηρεσιών απόκρισης συχνότητας ή υπηρεσιών εξισορρόπησης φορτίου.

Στην δεύτερη περίπτωση, η ροή ενέργειας είναι αμφίδρομη, επιτρέποντας την αποθηκευμένη ενέργεια των συσσωρευτών των ηλεκτρικών οχημάτων να ρεύσει προς το δίκτυο. Σε αυτό το σενάριο λειτουργίας, τα οχήματα φορτίζουν τη νύχτα όταν η ζήτηση είναι χαμηλή, ενώ η παροχή ισχύος προς το δίκτυο υλοποιείται στις περιόδους όπου η ζήτηση είναι υψηλή, επιτυγχάνοντας έτσι εξισορρόπηση φορτίων στο δίκτυο και μετριασμό των σημείων συμφόρησης του δικτύου. Επίσης, ένας στόλος από EVs μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως εφεδρικά τροφοδοτικά του δικτύου, για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης (κατά τη διάρκεια περιόδων διακοπής ρεύματος κ.λ.π). Παράλληλα υποστηρίζεται η ομαλή ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, επιτρέποντας στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να

εξαρτώνται λιγότερο από τις μονάδες παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα. Φυσικά, για την παροχή των υπηρεσιών αυτών, οι ιδιοκτήτες των EV έχουν τη δυνατότητα να λάβουν χρηματικά οφέλη με βάση την ποσότητα ισχύος που επιστρέφεται στο δίκτυο, μειώνοντας έτσι το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας τους. Με τον τρόπο αυτό ανοίγει νέες ευκαιρίες τόσο για την εμπορία, όσο και για την έξυπνη διαχείριση της ενέργειας. Τέλος, είναι αξιοσημείωτο πως οι διαστάσεις της τεχνολογίας αυτής περιλαμβάνει διαφορετικές κατηγορίες, ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής της. Χαρακτηριστικά αναφέρονται οι εκδόσεις “Οχημα προς-τα-Πάντα” (V2X), “όχημα-προς-σπίτι” (V2H) καθώς και “Οχημα-προς-Κτίριο” (V2B). Μάλιστα στις δύο τελευταίες περιπτώσεις, μέσω της χρήσης του V2G οι στιγμιαίες αυξήσεις της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ενός κτηρίου, μπορούν να εξισορροπηθούν με τη βοήθεια ηλεκτρικών αυτοκινήτων χωρίς να χρειάζεται να καταναλωθεί επιπλέον ενέργεια από το δίκτυο. [147] [149].



Εικόνα 4–33: Πεδία εφαρμογής της V2G τεχνολογίας [147]

Ωστόσο, παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα που προσφέρει η αμφίδρομη ροή ενέργειας τόσο για το δίκτυο όσο και για τους ιδιοκτήτες των οχημάτων, σε πρακτικό επίπεδο η επιλογή ενσωμάτωσης των EVs ως ελεγχόμενα φορτία στο ηλεκτρικό δίκτυο, θεωρείται ως η καταλληλότερη επιλογή. Συγκεκριμένα, λόγω τεχνικών ζητημάτων που υπάρχουν επί του παρόντος κατά την αμφίδρομη V2G λειτουργία, όπως η απαίτηση σε εξειδικευμένο εξοπλισμό (ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος), η ύπαρξη υψηλών απωλειών και η περιορισμένη απόδοση μετ’ επιστροφής, καθώς και η υποβάθμιση του κύκλου ζωής της μπαταρίας, λόγω της συχνής φόρτισης και εκφόρτισης της. Επιπλέον, σε πολλές περιπτώσεις τα έσοδα από την εφαρμογή της V2G τεχνολογίας σε πιλοτικά προγράμματα ήταν χαμηλότερα από το κόστος διαχείρισης του έργου, υποδεικνύοντας ότι η τεχνολογία αυτή έχει σημαντικά περιθώρια περαιτέρω ανάπτυξης προτού η εφαρμογή της στην πράξη να είναι οικονομικά εφικτή. Επομένως, η εφαρμογή της μονής κατεύθυνσης V2G λειτουργίας αναμένεται να αξιοποιηθεί πρώτη, ως ένα μεταβατικό στάδιο εξοικείωσης τόσο των ιδιοκτητών των ηλεκτρικών οχημάτων, όσο και των υπολοίπων εμπλεκόμενων φορέων (των διαχειριστών του δικτύου, των χειριστών του στόλου οχημάτων, των ιδιοκτητών κατοικιών και κτηριακών συγκροτημάτων), έως ότου η τεχνολογία αμφίδρομης V2G λειτουργίας να είναι ώριμη και ικανή για χρήση σε ευρεία κλίμακα [149].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗΣ

5.1 Εμπλεκόμενοι Φορείς στον Τομέα της Ηλεκτροκίνησης και της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η Οργάνωση της αγοράς ηλεκτροκίνησης στηρίζεται σε πολλούς και διαφορετικούς φορείς. Ο κάθε ένας από τους εμπλεκόμενους φορείς έχει συγκεκριμένες ευθύνες, αρμοδιότητες και πεδίο δράσεις, ωστόσο για την επιτυχή λειτουργία του συστήματος απαιτείται αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφορετικών ομάδων και συνεργασία σε συνολικό επίπεδο.

Οι εμπλεκόμενοι φορείς στον τομέα της ηλεκτροκίνησης αποτελούν οι εξής :

- **Ιδιοκτήτης του Οχήματος:** Πρόκειται για φυσικό ή νομικό πρόσωπο που έχει στην κυριότητα ή κατοχή του Η/Ο και λαμβάνει υπηρεσίες ηλεκτροκίνησης.
- **Ιδιοκτήτης Υποδομών επαναφόρτισης :** Αποτελεί φυσικό ή νομικό πρόσωπο, το οποίο έχει στην κυριότητα του Σημείο ή Σημεία Επαναφόρτισης Η/Ο.
- **Ο Φορέας εκμετάλλευσης υποδομών φόρτισης – ΦΕΥΦΗΟ (CPO):** Ο Φορέας εκμετάλλευσης υποδομών φόρτισης Η/Ο (Φ.Ε.Υ.Φ.Η.Ο.) μπορεί να είναι οποιαδήποτε ατομική επιχείρηση ή νομικό πρόσωπο, με σκοπό την εκμετάλλευση υποδομών φόρτισης. Ο Φ.Ε.Υ.Φ.Η.Ο. παρέχει υπηρεσίες επαναφόρτισης σε χρήστες Η/Ο και είναι υπεύθυνος για την άρτια τεχνική συντήρηση των υποδομών φόρτισης, τη διασφάλιση της διαθεσιμότητας και της ασφαλούς λειτουργίας των σημείων επαναφόρτισης, την εποπτεία και τον έλεγχο αυτών. Επίσης ο ΦΕΥΦΗΟ μπορεί να είναι κύριος ή κάτοχος της Υποδομής Φόρτισης και υποχρεούται να συνάπτει σύμβαση σύνδεσης με τον Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής και σύμβαση προμήθειας με έναν ή περισσότερους προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας με τους οποίους συμβάλλεται ως τελικός καταναλωτής. Επιπλέον, οι Φ.Ε.Υ.Φ.Η.Ο. υποχρεούνται να λειτουργούν ηλεκτρονικές πλατφόρμες για την εποπτεία και τον έλεγχο των υποδομών επαναφόρτισης και πληροφοριακά συστήματα διαχείρισης των συλλεγόμενων πληροφοριών. Τέλος, ο ΦΕΥΦΗΟ παρέχει υπηρεσίες φόρτισης επί τούτω (ad hoc) με άμεση εξόφληση στους χρήστες Η/Ο ή και συμβαλλόμενος, είτε απευθείας με χρήστη Η/Ο, είτε με Παρόχους Υπηρεσιών Ηλεκτροκίνησης (ΠΥΗ), μέσω Φορέων Διεκπεραίωσης Συναλλαγών (ΦΔΣ).
- **Πάροχος Υπηρεσιών Ηλεκτροκίνησης – ΠΥΗ (EMSP):** Ο Πάροχος υπηρεσιών ηλεκτροκίνησης (Π.Υ.Η.) διατηρεί συμβατική σχέση τόσο με συνεργαζόμενους Φ.Ε.Υ.Φ.Η.Ο. και Φ.Δ.Σ. όσο και με χρήστες Η/Ο, βάσει της οποίας καθορίζονται ο τρόπος τιμολόγησης των υπηρεσιών επαναφόρτισης, οι

τιμές χρέωσης και οι μέθοδοι ταυτοποίησης και πληρωμής. Επιπλέον, ο Π.Υ.Η. δύναται να παρέχει πρόσθετες υπηρεσίες σχετιζόμενες με την επαναφόρτιση, όπως εύρεση διαθέσιμων σημείων επαναφόρτισης, πλοήγηση και κράτηση θέσεων, με στόχο τη βέλτιστη εξυπηρέτηση των χρηστών Η/Ο.

- **Φορέας διεκπεραίωσης / εκκαθάρισης συναλλαγών (e-roaming platform/clearing house):** Ο Φορέας διεκπεραίωσης συναλλαγών (Φ.Δ.Σ.) διευκολύνει την ανταλλαγή στοιχείων και τη διεκπεραίωση οικονομικών συναλλαγών μεταξύ φορέων της αγοράς. Για τον σκοπό αυτό αναπτύσσει και λειτουργεί ηλεκτρονική πλατφόρμα για την ανταλλαγή δεδομένων, σε πραγματικό χρόνο ή βάσει προγραμματισμού μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων, που απαιτούνται για την υποστήριξη της απρόσκοπτης παροχής υπηρεσιών από υποδομές οποιουδήποτε Φ.Ε.Υ.Φ.Η.Ο., για λογαριασμό οποιουδήποτε Π.Υ.Η., σε συμβεβλημένους με τον τελευταίο χρήστες Η/Ο (περιαγωγή υπηρεσιών επαναφόρτισης). Τα δεδομένα δύναται να αφορούν στην ταυτοποίηση χρηστών Η/Ο, στα στοιχεία χρέωσης και κόστους ανά πράξη επαναφόρτισης, καθώς και στα στοιχεία των εμπλεκόμενων σε κάθε πράξη φόρτισης μερών (Φ.Ε.Υ.Φ.Η.Ο. και Π.Υ.Η.) [151] [152] [153].

Οι εμπλεκόμενοι φορείς στον τομέα της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν :

- **Προμηθευτής Ηλεκτρικής Ενέργειας:** Μέσω του προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται η προμήθεια της απαραίτητης ποσότητας και ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας στον ΦΕΥΦΗΟ
- **Διαχειριστής Δικτύου:** Ο Διαχειριστής του Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, ΔΔΔΗΕ (Distribution System Operator, DSO) συνεργάζεται κατά τρόπο που δεν εισάγει διακρίσεις με κάθε επιχείρηση, η οποία έχει στην ιδιοκτησία της, αναπτύσσει, λειτουργεί ή διαχειρίζεται σημεία επαναφόρτισης για Η/Ο, όσον αφορά, μεταξύ άλλων, τη σύνδεση με το δίκτυο διανομής. Επίσης, στα πλαίσια της λειτουργίας του είναι δυνατό να υποστηριχθεί μέτρηση κατανάλωσης ενέργειας των σταθμών, ενώ σε μελλοντικό στάδιο η προμήθεια υπηρεσιών διαχείρισης φορτίου Η/Ο για ανάγκες Δικτύου, ενδεχομένως και άμεση διαχείριση σε περιπτώσεις εκτάκτων καταστάσεων.
- **Διαχειριστής Συστήματος:** Πρόκειται για το φορέα, ο οποίος αναλαμβάνει την προμήθεια υπηρεσιών απόκρισης ζήτησης, ευελιξίας και επικουρικών υπηρεσιών για τις ανάγκες του Συστήματος.
- **Φορέας Σωρευτικής Εκπροσώπησης Φορτίου ΗΟ (Aggregator):** Νομικό πρόσωπο, το οποίο αναλαμβάνει τη σωρευτική εκπροσώπηση του φορτίου Η/Ο στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, με την αξιοποίηση των δυνατοτήτων διαχείρισης του φορτίου των Η/Ο μέσω συστημάτων απομακρυσμένης εποπτείας και ελέγχου των Υποδομών Φόρτισης. Επίσης ενεργούν για την παροχή υπηρεσιών προς τους Διαχειριστές Δικτύου και Συστήματος. Οι Φ.Ο.Σ.Ε.Φ.Η.Ο. δύναται να συμβάλλονται με φορείς της αγοράς ηλεκτροκίνησης (Π.Υ.Η. και Φ.Ε.Υ.Φ.Η.Ο.), ή και απευθείας με χρήστες Η/Ο ή ιδιοκτήτες μη δημοσίως προσβάσιμων υποδομών φόρτισης, ώστε να διασφαλίσουν τη δυνατότητα διαχείρισης του φορτίου των συνδεδεμένων στο

Δίκτυο Η/Ο, το οποίο εκπροσωπούν. Ως Φ.Ο.Σ.Ε.Φ.Η.Ο. μπορεί να δραστηριοποιούνται φορείς της αγοράς ηλεκτροκίνησης, οι οποίοι διαθέτουν δυνατότητα ελέγχου του φορτίου των Η/Ο συμβεβλημένων χρηστών, συμμετέχοντες στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, όπως προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας, με εξασφαλισμένη δυνατότητα ελέγχου του φορτίου των Η/Ο συμβεβλημένων χρηστών που εκπροσωπούν, καθώς και τρίτα πρόσωπα που ικανοποιούν τις τιθέμενες προϋποθέσεις.». **Τέλος**, δεν αποκλείεται το ίδιο πρόσωπο να δραστηριοποιείται συγχρόνως ως ιδιοκτήτης υποδομών φόρτισης, Φ.Ε.Υ.Φ.Η.Ο., Π.Υ.Η., Φ.Δ.Σ. και Φ.Ο.Σ.Ε.Φ.Η.Ο. [151] [152] [153].

5.2 Μοντέλα Ανάπτυξης Υποδομών Επαναφόρτισης

Τα πιθανά σενάρια ανάπτυξης και λειτουργίας των υποδομών επαναφόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στηρίζονται σε συγκεκριμένα μοντέλα. Στα υφιστάμενα μοντέλα που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως κατατάσσονται τα ακόλουθα :

- **Μοντέλο ανεξάρτητης αγοράς:** Η ιδιοκτησία και η ανάπτυξη υποδομών φόρτισης, η εκμετάλλευση των σταθμών, καθώς και οι υπηρεσίες ηλεκτροκίνησης πιστώνεται σε ιδιωτικούς φορείς, μέσω της ελεύθερης και ανταγωνιστικής αγοράς.
- **DSO model :** Η ιδιοκτησία και η ανάπτυξη υποδομών φόρτισης επωμίζεται στον Διαχειριστή του Δικτύου. Η εκμετάλλευση των σταθμών γίνεται από το Διαχειριστή του Δικτύου ή και από ιδιωτικοί φορείς. Τις υπηρεσίες ηλεκτροκίνησης λαμβάνουν οι ιδιωτικοί φορείς.
- **Μοντέλο διαγωνισμού και παραχώρησης :** Ο σχεδιασμός ανάπτυξης του δικτύου ηλεκτροκίνησης είναι κεντρικός. Η ιδιοκτησία των υποδομών φόρτισης ανήκει σε ιδιωτικούς φορείς (κατ' εξαίρεση και δημόσιους). Την εκμετάλλευση των σταθμών και τις υπηρεσίες ηλεκτροκίνησης έχουν οι ιδιωτικοί φορείς.
- **Υβριδικά μοντέλα:** Συνδυασμός στοιχείων περισσότερων του ενός μοντέλων

Κάνοντας μια εκτενέστερη αναφορά στα μοντέλα ανάπτυξης, διακρίνονται δύο κατηγορίες :

- **Ελεύθερη ανάπτυξη :**
 - Προώθηση ανταγωνισμού και βελτιστοποίηση λύσεων από πλευράς κόστους και λειτουργικότητας υποδομών
 - Ευέλικτη ανάπτυξη υποδομών, προσαρμογή σε εξελισσόμενες ανάγκες, υποστήριξη υψηλής διείσδυσης Η/Ο
 - Κίνδυνος άνιση κατανομής του δικτύου φόρτισης

- **Κεντρικός σχεδιασμός :**

- Οργανωμένη ανάπτυξη δικτύου φόρτισης
- Διευκόλυνση αρχικής εγκατάστασης υποδομών στο πρώιμο στάδιο ανάπτυξης της αγοράς (μοντέλο DSO)
- Επιλογή λύσεων αρχικά χαμηλού κόστους για τελικό χρήστη
- Αυξημένες ανάγκες υποστήριξης σχεδιασμού, δεσμευτική ανάπτυξη υποδομών, μειωμένη ευελιξία προσαρμογής σε εξελισσόμενες ανάγκες, έλλειψη ανταγωνισμού, κίνδυνος υποβέλτιστων λύσεων, καθυστερήσεις λόγω ανάγκης για διενέργεια διαγωνισμών

Αναφορικά με τις εφαρμογές των εκάστοτε μοντέλων ανάπτυξης υποδομών φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα, τα σημαντικότερα από αυτά που έχουν λάβει εφαρμογή στα πλαίσια της Ευρώπης αποτελούν :

1. Μοντέλο ανεξάρτητης αγοράς

Αποτελεί το πλέον το κυρίαρχο μοντέλο ανάπτυξης. Στις κυριότερες ευρωπαϊκές χώρες που έχει αξιοποιηθεί περιλαμβάνονται :

- Γερμανία, Γαλλία, Ολλανδία, Σουηδία, Ηνωμένο Βασίλειο, Ιταλία κ.α.
- Αξιοσημείωτο είναι επίσης και το παράδειγμα της Πολωνίας όπου εκεί αποτελεί κύριο υιοθετημένο μοντέλο, ωστόσο σε περιπτώσεις μη επίτευξης στόχων επιτρέπεται στον DSO η ανάπτυξη σημείων φόρτισης Η/Ο, διαχειριστής τους για ένα έτος κάποιος προμηθευτής ΗΕ.

2. Μοντέλο διαγωνισμού και παραχώρησης

Το μοντέλο αυτό έχει λάβει υιοθέτηση σε μεμονωμένες πόλεις :

- Άμστερνταμ, Χάγη, Ρότερνταμ, Ουτρέχτη, Βερολίνο. Αναφέρεται πως στη διεξαγωγή δημόσιων διαγωνισμών συμπεριλαμβάνονται η ανάπτυξη και η λειτουργία σταθμών φόρτισης.
- Στη Νορβηγία από το 2009 δίνονται κρατικές επιχορηγήσεις για ανάπτυξη σημείων φόρτισης, ενώ από το 2011 διεξάγονται δημόσιοι διαγωνισμοί για εγκατάσταση ταχυφοριστών κατά μήκος του οδικού δικτύου.

3. Μοντέλο DSO

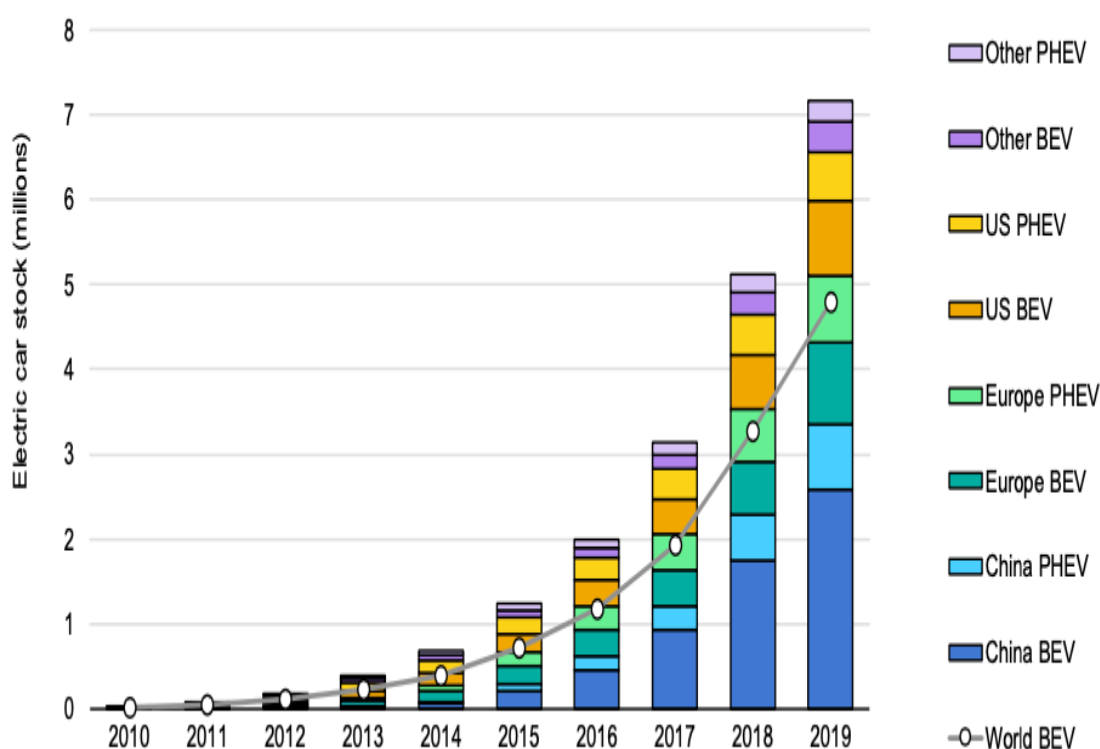
Το συγκεκριμένο μοντέλο υιοθετήθηκε από λίγες χώρες, σε πρώιμο στάδιο και πιλοτικά :

- Στην Ιρλανδία, μέσω θυγατρικής του DSO. Σε αρχικό στάδιο με την παροχή δωρεάν υπηρεσιών. Ωστόσο υπήρχαν προδιαγραφές για μελλοντική μετάβαση σε αγορά κατόπιν εμφάνισης ενδιαφέροντος τρίτων.
- Στην Ιταλία, όπου έγινε πιλοτική υιοθέτηση μοντέλου περί το 2010, οι οποία ωστόσο πλέον έχει εγκαταλειφθεί.
- Στο Λουξεμβούργο όπου υπήρχε κεντρικός ρόλος DSO σε ανάπτυξη και διαχείριση υποδομών [153].

5.3 Διείσδυση Ηλεκτρικών Οχημάτων

Ο παγκόσμιος στόλος ηλεκτρικών οχημάτων επεκτάθηκε σημαντικά την τελευταία δεκαετία. Τόσο οι τεχνολογικές εξελίξεις στην ηλεκτροκίνηση των διαφόρων μέσων (δίκυκλων, τρίκυκλων, λεωφορείων και φορτηγών), όσο και η ανάπτυξη προοδευτικών πολιτικών έχουν συνδράμει καθοριστικά στην αύξηση της συμμετοχής των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά και κατ' επέκταση την περαιτέρω διείσδυση τους στην κοινωνία.

Σύμφωνα με στοιχεία του Παγκόσμιου Οργανισμού Ενέργειας (International Energy Association, IEA), το έτος 2019, ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων που πωλήθηκαν σε διεθνές επίπεδο, ξεπέρασε τα 2,1 εκατομμύρια, αυξάνοντας το απόθεμα τους στα 7,2 εκατομμύρια συνολικά.



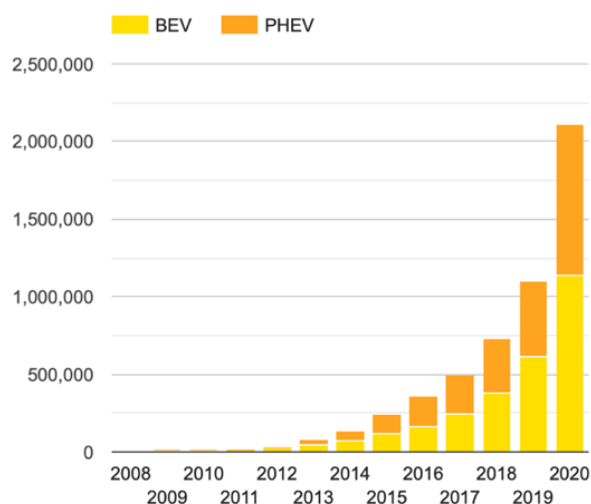
Εικόνα 5-1: Παγκόσμιο απόθεμα ηλεκτρικών αυτοκινήτων στις χώρες μέλη του IEA, 2010-2019 [154]

Η αλματώδης αύξηση των πωλήσεων, συνέβη κυρίως κατά το δεύτερο μισό της δεκαετίας, στην περίοδο 2014-19. Στο διάστημα αυτό, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, αυξήθηκαν με ετήσιο μέσο όρο 60%. Μέχρι το έτος 2019, ο αριθμός τους ανήλθε στα 7,2 εκατομμύρια. Τα παραπάνω νούμερα είναι ιδιαίτερος ενθαρρυντικά, δεδομένου ότι το έτος 2010, ο ηλεκτροκίνητος στόλος αριθμούσε μόλις 17.000 αυτοκίνητα.

Στις μέρες μας, η Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας ηγείται διεθνώς στον τομέα της ηλεκτροκίνησης, κατέχοντας σχεδόν τα μισά απόθεμα ηλεκτρικών οχημάτων (47%). Επιπλέον, θετικό αποτελεί το γεγονός πως σε εννέα χώρες ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων υπερέβαινε τις 100.000, ενώ παράλληλα σε τουλάχιστον 20 χώρες τα μερίδια αγοράς ξεπέρασαν την τάξη του 1% [154].

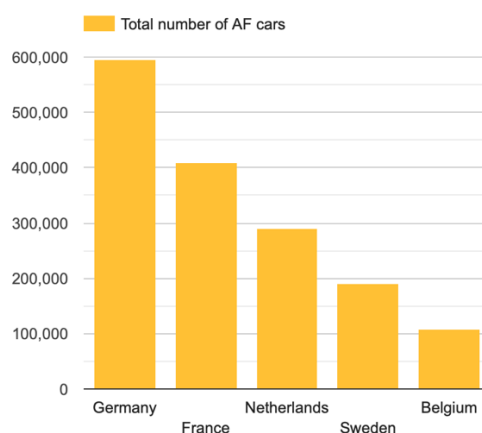
5.3.1 Διείσδυση Ηλεκτρικών Επιβατικών Οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Από τα στοιχεία του Ευρωπαϊκού Παρατηρητήριου Εναλλακτικών Καυσίμων (European Alternative Fuels Observatory – EAF0), λαμβάνονται πληροφορίες σχετικά συνολικό αριθμό ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων που κυκλοφορούν στους δρόμους της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σύμφωνα με τα στοιχεία EAF0, ο αριθμός αυτός παρουσιάζει ανοδική πορεία, η οποία εμφανίζεται σχεδόν εκθετική. Μάλιστα, το έτος 2020 ο αριθμός αυτός ανήλθε στις 2.093.206 μονάδες, με τα BEVs να φτάνουν τα 1.125.485, ποσότητα μεγαλύτερη από εκείνη των PHEVs, που σημείωσαν 967.721 κομμάτια. Επίσης, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως οι τιμές του έτους 2020 εμφανίζονται σχεδόν διπλάσιες από τις αντίστοιχες του προηγούμενου έτους, το 2019.



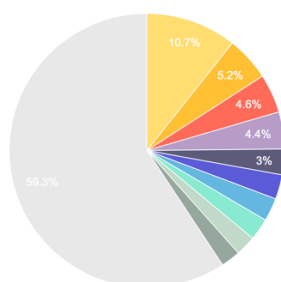
Εικόνα 5–2: Συνολικός αριθμός ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων στην ΕΕ, 2008-2020 [155]

Σε εθνικό επίπεδο, μεγαλύτερος αριθμός ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων συγκεντρώνεται στις χώρες της κεντρικής και βόρειας Ευρώπης. Τα πρωτεία κατέχει η Γερμανία με 595.176 οχήματα, ακολουθεί η Γαλλία με 409.310, η Ολλανδία με 272.895, η Σουηδία με 190.680 και τέλος το Βέλγιο με 108.691 μονάδες. Επίσης εντύπωση προκαλεί το γεγονός πως οι 5 αυτές χώρες κατέχουν το 75,33% του συνολικού ηλεκτρικού ευρωπαϊκού στόλου επιβατικών οχημάτων.



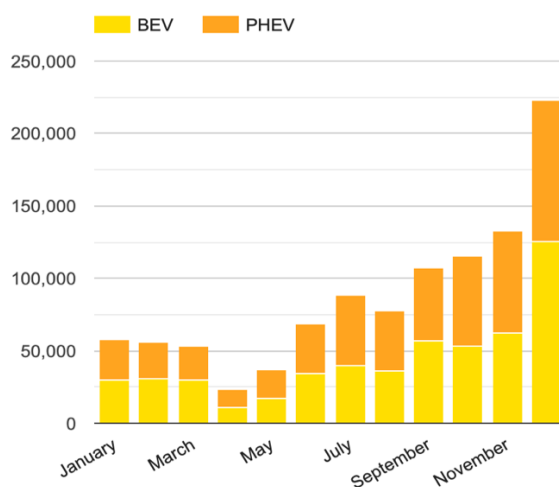
Εικόνα 5–3: Κορυφαίες 5 Ευρωπαϊκές χώρες με τον μεγαλύτερο στόλο ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων στην ΕΕ, 2008-2020 [155]

Αναφορικά με τα 10 κορυφαία μοντέλα ηλεκτρικών επιβατικών οχημάτων που απαρτίζουν τον Ευρωπαϊκό στόλο, το Renault Zoe είναι το όχημα με τη μεγαλύτερη παρουσία, αριθμώντας 235.231 οχήματα που αντιστοιχούν σε ποσοστό 10.7% επι του συνολικού στόλου οχημάτων. Πίσω του την δεκάδα συμπληρώνουν τα tesla model 3 με 115.341 οχήματα (5,2%), το Mitsubishi Outlander PHEV με 101.216 οχήματα (4,6%), το Nissan Leaf με 96.455 οχήματα (4,4%), το BMW i3 με 66.942 οχήματα (3%), το Volkswagen e-Golf με 63.755 οχήματα (2,9%), το Volkswagen Passat PHEV με 60.407 οχήματα (2,7%), το Hyundai Kona BEV με 57.290 οχήματα (2,6%), το Smart Fortwo EV με 52.469 (2,4%) και το Tesla model S με 50.474 οχήματα (2,3%). Τέλος, τα υπόλοιπα 1.308.946 οχήματα, τα οποία κατέχουν και το μεγαλύτερο ποσοστό (59,3%), αποτελούνται από πληθώρα άλλων μοντέλων.



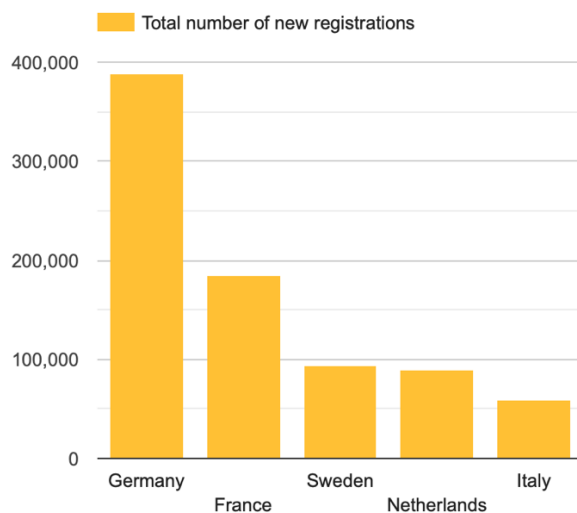
Εικόνα 5-4: 10 Κορυφαία μοντέλα του συνολικού στόλου ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων στην ΕΕ, 2008-2020 [155]

Εστιάζοντας περισσότερο στο έτος 2020, αντλούνται πληροφορίες για τις μηνιαίες πωλήσεις ηλεκτρικών επιβατικών οχημάτων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του έτους. Συγκεκριμένα, στην Ευρωπαϊκή Ένωση τα νέα ταξινομημένα ηλεκτρικά επιβατικά από τις αρχές Ιανουάριου έως το τέλος Μαρτίου, παρουσίασαν αρχικά μια σταθερά πορεία λίγο πάνω από τις 50.000 μονάδες. Έπειτα τον Μάιο ο αριθμός μειώθηκε απότομα, σχεδόν κατά το ήμισυ, στις 24.671 μονάδες. Ωστόσο από τον Ιούνιο, ξεκίνησε μια ανοδική πορεία η οποία εκτίναξε τον αριθμό από τις 36.983 μονάδες στις 222.915 του Δεκεμβρίου, όπου και σημειώνεται η μεγαλύτερη τιμή. Μάλιστα το μήνα Δεκέμβριο, ο αριθμός των BEVs ανήλθε στο 125.732, τιμή λίγο μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των PHEVs, που σημείωσαν 97.183 μονάδες.



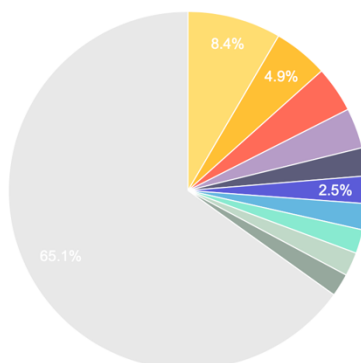
Εικόνα 5-5: Αριθμός νέων ταξινομήσεων ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων στην ΕΕ, 2020 [155]

Σε κρατικό επίπεδο, το 2020, ο μεγαλύτερος αριθμός νέων ταξινομημένων ηλεκτρικών επιβατικών οχημάτων εντοπίζεται στη Γερμανία, με 388.283 μονάδες. Ακολουθούν οι Γαλλία με 184.881, η Σουηδία με 93.483, η Ολλανδία 88.948 και τέλος η Ιταλία με 59.710 μονάδες.



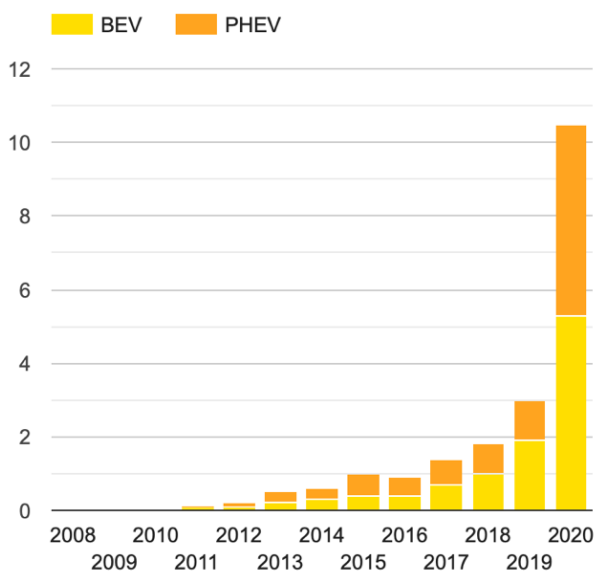
Εικόνα 5–6: Κορυφαίες 5 Ευρωπαϊκές χώρες με τον Αριθμός νέων ταξινομήσεων ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων στην ΕΕ, 2020 [155]

Στα κορυφαία 10 μοντέλα νέων ταξινομημένων ηλεκτρικών επιβατικών οχημάτων για το 2020, το Renault Zoe είναι το όχημα με τη μεγαλύτερη παρουσία, αριθμώντας 87.686 οχήματα που αντιστοιχούν σε ποσοστό 8,4% επι του συνόλου. Πίσω του την δεκάδα συμπληρώνουν τα tesla model 3 με 51.455 οχήματα (4,9%), Volkswagen ID.3 EV με 43.220 (4,2%), το Hyundai Kona BEV με 37.922 οχήματα (3,6%), Peugeot e-208 EV με 26.382 οχήματα (2,5%), το Volkswagen e-Golf με 25.882 οχήματα (2,5%), Volkswagen Passat PHEV με 24.597 οχήματα (2,4%), το Volvo XC40 PHEV με 22,385 οχήματα (2,1%), το Mercedes A250e με 22.276 οχήματα (2,1%) και το Kia Niro EV με 21.516 οχήματα (2,1%). Τέλος, τα υπόλοιπα 677.890 οχήματα, τα οποία κατέχουν και το μεγαλύτερο ποσοστό (65,1%), αποτελούνται από πληθώρα άλλων μοντέλων.



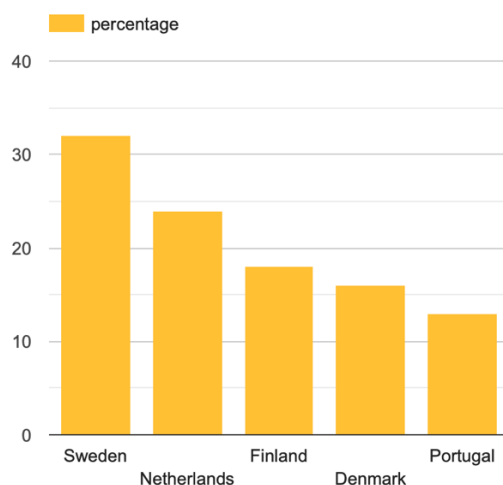
Εικόνα 5–7: 10 Κορυφαία μοντέλα νέων ταξινομημένων ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων στην ΕΕ, 2020 [155]

Σημαντικές επίσης πληροφορίες λαμβάνονται και για τις τιμές μεριδίου αγοράς των πρόσφατα ταξινομημένων ηλεκτρικών επιβατικών οχημάτων σε σχέση με τα συνολικά επιβατικά οχήματα που ταξινομήθηκαν στα πλαίσια ενός έτους. Πιο αναλυτικά, στην Ευρωπαϊκή Ένωση οι μετρήσεις μεριδίου αγοράς των ηλεκτρικών επιβατικών από το 2008 έως και το 2020 παρουσιάζουν μια σταθερά ανοδική τάση. Ωστόσο αυτό που εγείρει περισσότερο το ενδιαφέρον αποτελεί η ιδιαίτερα ανοδική πορεία που επετεύχθη το έτος 2020. Συγκεκριμένα, τη χρονιά αυτή το ποσοστό εκτινάχθηκε από το 3% στο 10,5%, με τα τελικά ποσοστά των BEVs και PHEVs να είναι μοιρασμένα αντίστοιχα στο 5,3% και 5,2% επί του συνόλου.



Εικόνα 5-8: Το μερίδιο αγοράς (σε%) των πρόσφατα ταξινομημένων ηλεκτρικών επιβατικών οχημάτων ανά έτος στην ΕΕ, 2008-2020 [155]

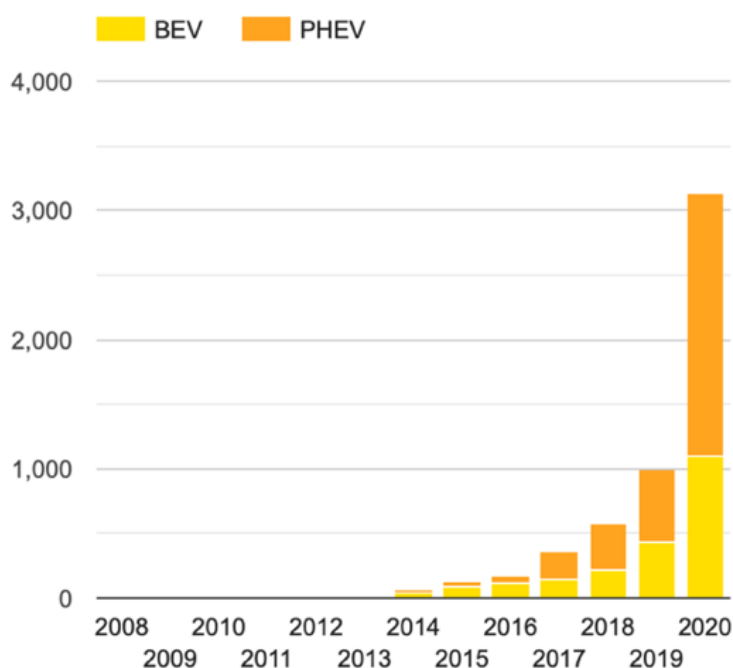
Σε επίπεδο κρατών, το μεγαλύτερο ποσοστό μεριδίου αγοράς ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων συγκεντρώνεται στις χώρες της κεντρικής και βόρειας Ευρώπης. Τα πρωτεία κατέχει η Σουηδία με ποσοστό 32% , ακολουθεί η Ολλανδία με 24,8%, η Φινλανδία με 18,1%, η Δανία με 16,4% και τέλος η Πορτογαλία με 13,5%.



Εικόνα 5-9: Κορυφαίες 5 Ευρωπαϊκές χώρες με τον μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς (σε%) των πρόσφατα ταξινομημένων ηλεκτρικών επιβατικών οχημάτων στην ΕΕ το 2020 [155].

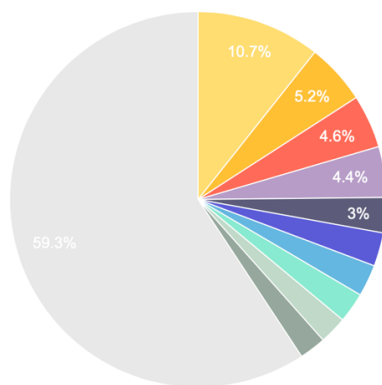
5.3.2 Διείσδυση Ηλεκτρικών Επιβατικών Οχημάτων στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, σύμφωνα με τα στοιχεία EAFO ο συνολικός αριθμό ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων που κυκλοφορούν στους ελληνικούς δρόμους ξεκίνησε να γίνεται αισθητός το 2014, αρκετά χρόνια αργότερα συγκριτικά με τα δεδομένα της ΕΕ. Επιπλέον, ο συνολικός αριθμός τους κυμαίνεται σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα, ωστόσο παρουσιάζει μια σταθερά ανοδική πορεία από το 2008, η οποία μάλιστα αυξήθηκε σημαντικά το έτος 2020. Συγκεκριμένα, το έτος αυτό, ο αριθμός έφτασε τις 3.135 μονάδες, τιμή τριπλάσια από την αντίστοιχη της προηγούμενης χρονιάς. Σε αντίθεση βέβαια με τις συνολικές τιμές των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ο αριθμός των BEVs που σημειώθηκε, ανερχόταν σε 1.104 οχήματα, τιμή σημαντικά μικρότερη από εκείνη των PHEVs, τα οποία ανήλθαν στις 2.031 μονάδες.



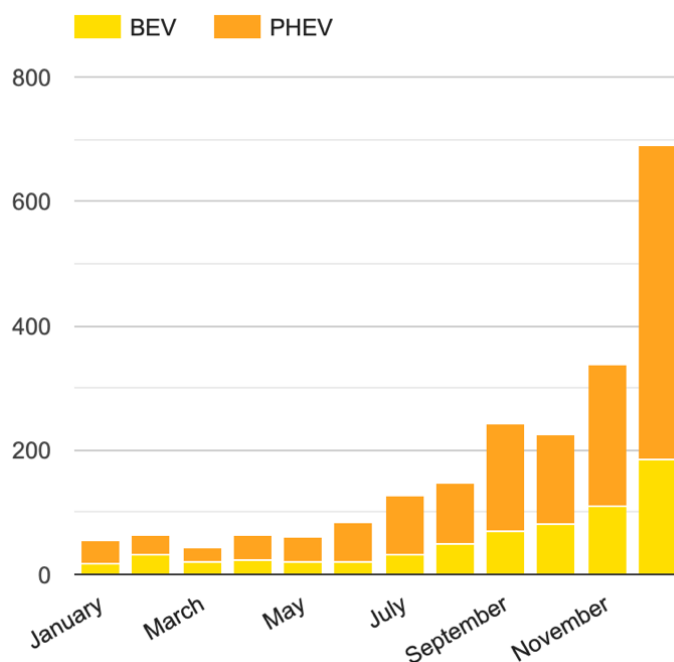
Εικόνα 5–10: Συνολικός αριθμός ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων στην Ελλάδα, 2008-2020 [156]

Στα 10 κορυφαία μοντέλα ηλεκτρικών επιβατικών οχημάτων που απαρτίζουν τον Ελληνικό στόλο, το Volvo XC40 PHEV είναι το όχημα με τη μεγαλύτερη παρουσία, αριθμώντας 254 οχήματα που αντιστοιχούν σε ποσοστό 8% επι του συνολικού στόλου οχημάτων. Πίσω του την δεκάδα συμπληρώνουν, το BMW i3 με 250 οχήματα (7,9%), το Volvo XC60 PHEV με 215 οχήματα (6,8%), το BMW X1 25e με 138 οχήματα (4,4%), το Peugeot e-208 EV με 118 οχήματα (3,7%), το Mercedes GLA250e με 117 οχήματα (3,7%), το Volkswagen ID.3 EV με 115 οχήματα (3,6%), το BMW 3-Series PHEV με 113 οχήματα (3,6%), το Mini Countryman PHEV με 115 οχήματα (3,3%) και το Nissan Leaf με 87 οχήματα (2,7%). Τέλος, τα υπόλοιπα 1.659 οχήματα, τα οποία κατέχουν και το μεγαλύτερο ποσοστό (52,3%), αποτελούνται από πλήθος άλλων διαφορετικών μοντέλων.



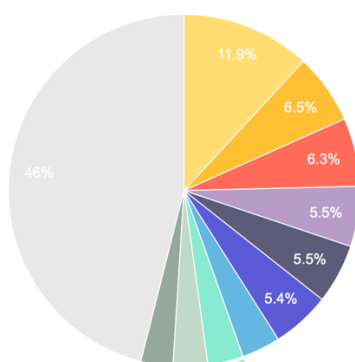
Εικόνα 5-11: Κορυφαία μοντέλα του συνολικού στόλου ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων στην Ελλάδα, 2008-2020 [156]

Εστιάζοντας στο έτος 2020, αντλούνται πληροφορίες για τις πιο πρόσφατες μηνιαίες πωλήσεις ηλεκτρικών επιβατικών οχημάτων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του έτους. Συγκεκριμένα, στην Ελλάδα τα νέα ταξινομημένα ηλεκτρικά επιβατικά από τις αρχές Ιανουαρίου έως το τέλος Μαΐου, παρουσίασαν αρχικά μια σταθερά πορεία λίγο πάνω από τις 60 μονάδες. Από τον Ιούνιο και μετά ο αριθμός άρχισε να αυξάνεται, ενώ τον Ιούλιο κατάφερε για πρώτη φορά να ξεπεράσει τις 100 μονάδες. Το Σεπτέμβριο οι τιμές ξεπέρασαν το φράγμα των 200 μονάδων, φτάνοντας το Δεκέμβριο στην υψηλότερη τιμή των 690 μονάδων. Μάλιστα αξιοσημείωτο αποτελεί το γεγονός πως, το μήνα Δεκέμβριο, ο αριθμός των BEVs ανήλθε στις 184 μονάδες, τιμή αρκετά μικρότερη από την αντίστοιχη των PHEVs, που σημείωσαν 506 μονάδες. Στο σημείο αυτό, σημειώνεται πως τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε αντίθεση με τα στοιχεία της ΕΕ, όπου οι τιμές των BEVs ήταν υψηλότερες από αυτές των PHEVs.



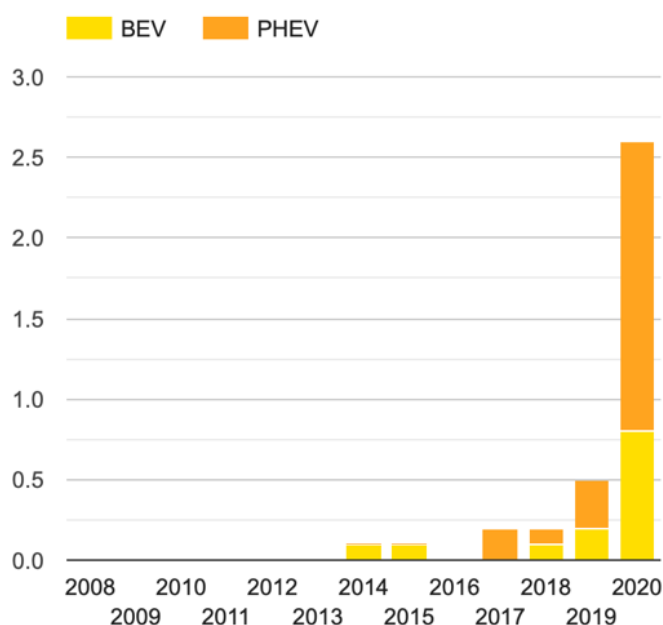
Εικόνα 5-12: Αριθμός νέων ταξινομήσεων ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων στην Ελλάδα, 2020 [156]

Το 2020, στα σημαντικότερα 10 μοντέλα νέων ταξινομημένων ηλεκτρικών επιβατικών οχημάτων, βρέθηκε το Volvo XC40 PHEV, το όχημα με τη μεγαλύτερη παρουσία, αριθμώντας 254 οχήματα που αντιστοιχούν σε ποσοστό 11,9% επί του συνόλου. Πίσω του την δεκάδα συμπληρώνουν το BMW X1 25e με 138 οχήματα (6,5%), το Volvo XC60 PHEV με 134 οχήματα (6,3%), το Peugeot e-208 EV με 118 οχήματα (5,5%), Mercedes GLA250e με 117 οχήματα (5,5%), το Volkswagen ID.3 EV με 115 οχήματα (5,4%), το BMW 3-Series PHEV με 76 οχήματα (3,6%), Mercedes GLC300e/de με 70 οχήματα (3,3%), BMW i3 με 68 οχήματα (3,2%), το Mini Countryman PHEV με 63 οχήματα (2,9%).



Εικόνα 5–13: 10 Κορυφαία μοντέλα νέων ταξινομημένων ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων στην ΕΕ, 2020 [156]

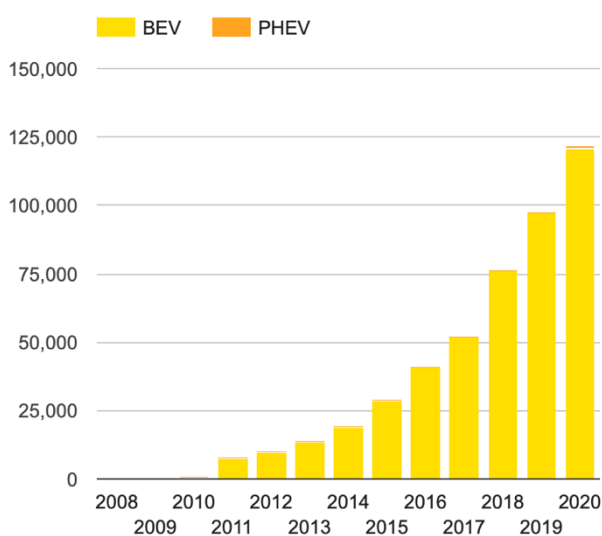
Σε συνολικότερο επίπεδο, το μερίδιο αγοράς των ηλεκτρικών επιβατικών οχημάτων σε σχέση με τα συνολικά επιβατικά οχήματα, εμφανίζει επίσης μια σταθερή πορεία, η οποία ωστόσο χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα χαμηλές τιμές, συγκριτικά με τα δεδομένα της Ευρώπης. Παρόλα αυτά τα δύο τελευταία χρόνια σημειώθηκε σημαντική αύξηση. Ιδιαίτερα το έτος 2020, το ποσοστό εκτινάχθηκε από το 0,5% στο 2,6%, με τα ποσοστά των BEVs και PHEVs να καταλαμβάνουν αντίστοιχα 0,8% και 1,8% επί του συνόλου.



Εικόνα 5–14: Το μερίδιο αγοράς (σε%) των πρόσφατα ταξινομημένων ηλεκτρικών επιβατικών οχημάτων ανά έτος στην Ελλάδα, 2008-2020 [156]

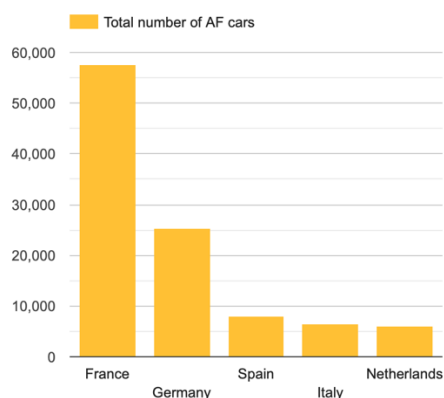
5.3.3 Διείσδυση Ηλεκτρικών Ελαφρών Επαγγελματικών Οχημάτων στην Ευρώπη

Σύμφωνα με στοιχεία του Ευρωπαϊκού Παρατηρητήριου Εναλλακτικών Καυσίμων (European Alternative Fuels Observatory – EAFO), δεδομένα προκύπτουν σχετικά με τον αριθμό των ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων (Light Commercial Vehicles, LCVs). Συγκεκριμένα, ο συνολικός αριθμός του στόλου που κυκλοφορεί στους δρόμους της Ευρωπαϊκής Ένωσης από έτος σε έτος παρουσιάζει μια σταθερά ανοδική πορεία, εκθετικής μορφής. Μάλιστα, το έτος 2020 ο αριθμός αυτός ανήλθε στις 121.765 μονάδες, με τα BEVs να κατέχουν τη μερίδα του λέοντος με 120.711 κομμάτια, ποσότητα σημαντικά μεγαλύτερη από εκείνη των PHEVs, που ανέρχονταν μόλις σε 1.054, γεγονός που μαρτυρά την ύπαρξη μεγάλης διαφοράς μεταξύ των δύο κατηγοριών στο συγκεκριμένο τύπο οχημάτων.



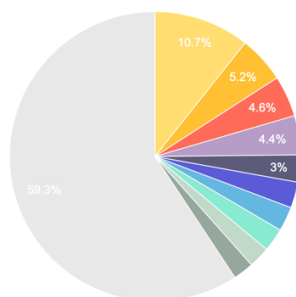
Εικόνα 5–15: Συνολικός αριθμός ηλεκτρικών ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων στην ΕΕ, 2008-2020 [157]

Σε εθνικό επίπεδο, μεγαλύτερος αριθμός ηλεκτρικών LCVs συγκεντρώνεται στις χώρες τις κεντρικής και νότιας Ευρώπης. Τα πρωτεία κατέχει η Γαλλία με 57.525 οχήματα, ακολουθεί η Γερμανία με 25.271, η Ισπανία με 7.945, η Ιταλία με 6.413 και τέλος η Ολλανδία με 5.983 μονάδες. Επίσης εντύπωση προκαλεί το γεγονός πως οι 5 αυτές χώρες κατέχουν το 85,44% του συνολικού ευρωπαϊκού στόλου ηλεκτρικών LCVs.



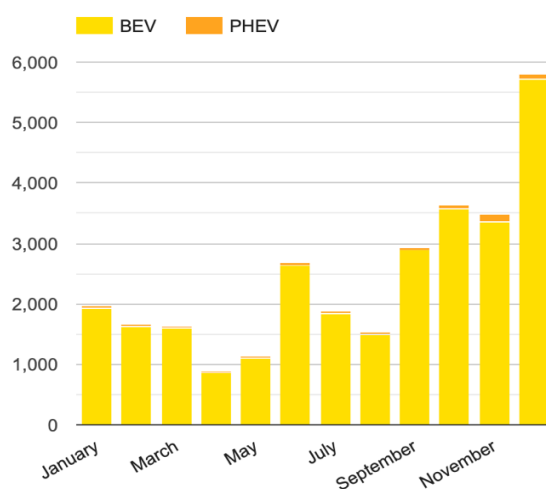
Εικόνα 5–16: Κορυφαίες 5 Ευρωπαϊκές χώρες με τον μεγαλύτερο στόλο ηλεκτρικών ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων [157]

Από το σύνολο του Ευρωπαϊκού στόλου, στην κορυφή των 10 σημαντικότερων μοντέλων ηλεκτρικών ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων που τον απαρτίζουν, βρίσκεται το Renault Kangoo ZE, αριθμώντας 49.366 οχήματα που αντιστοιχούν σε ποσοστό 39,5% επι του συνολικού στόλου οχημάτων. Πίσω του την δεκάδα συμπληρώνουν τα StrretScooter Work με 17.610 οχήματα (14,1%), το Nissan e-NV200 με 16.355 οχήματα (13,1%), το Renault Zoe Van με 5.674 οχήματα (4,5%), το Goupil G3 με 4.305 οχήματα (3,4%), το Peugeot Partner EV με 4.170 οχήματα (3,3%), το Citroen Berligo EV με 3.782 οχήματα (3%), το Goupil G4 με 2.595 οχήματα 2,1% και το Mercedes eVito Van με 2.254 οχήματα (1,8%). Τέλος, τα υπόλοιπα 16.383 οχήματα, τα οποία κατέχουν ποσοστό (13,1%), αποτελούνται από πληθώρα άλλων μοντέλων.



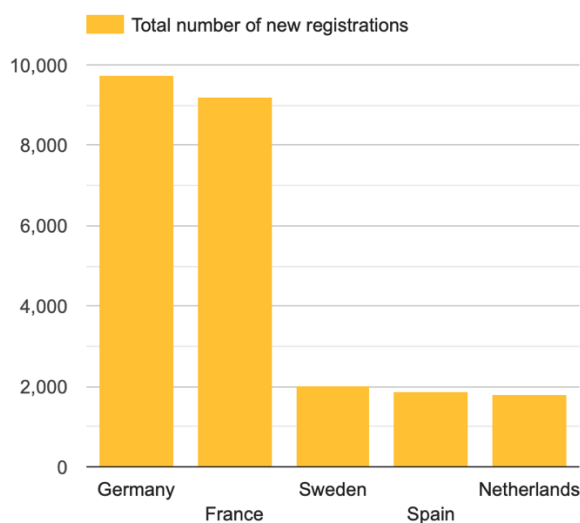
Εικόνα 5-17: 10 Κορυφαία μοντέλα του συνολικού στόλου ηλεκτρικών ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων στην ΕΕ, 2008-2020 [157]

Δίνοντας μεγαλύτερη προσοχή στο έτος 2020, αντλούνται σημαντικές πληροφορίες για τις μηνιαίες πωλήσεις ηλεκτρικών ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του έτους. Συγκεκριμένα, στην Ευρωπαϊκή Ένωση τα νέα ταξινομημένα ηλεκτρικά LCVs στις αρχές Ιανουαρίου ανέρχονταν περίπου στις 2.000 μονάδες. Στη συνέχεια ακολούθησαν 3 μήνες όπου τα νούμερα ήταν πτωτικά. Τον Ιούνιο, ο αριθμός ανέβηκε στις 2.642 μονάδες, αλλά γρήγορα ξαναέπεσε κάτω από το όριο των 2.000. Ωστόσο, από το Σεπτέμβρη και μετά, οι τιμές πήραν αυξητική τάση ξεπερνώντας τις 3.000 μονάδες και φτάνοντας τελικά το Δεκέμβρη τις 5.803 μονάδες. Μάλιστα το μήνα Δεκέμβριο, ο αριθμός των BEVs ανήλθε στο 5.715 μονάδες, τιμή εξαιρετικά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των PHEVs, που σημείωσαν μόλις 88.



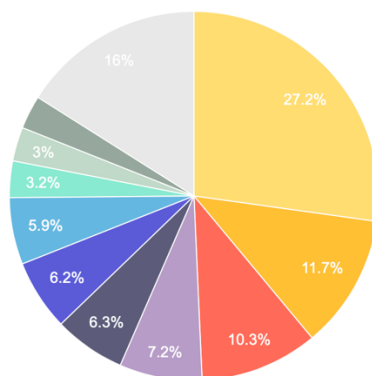
Εικόνα 5-18: Αριθμός νέων ταξινομήσεων ηλεκτρικών ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων στην ΕΕ, 2020 [157]

Σε κρατικό επίπεδο, το 2020, ο μεγαλύτερος αριθμός νέων ταξινομημένων ηλεκτρικών LCVs εντοπίζεται στη Γερμανία, με 9.752 μονάδες. Ακολουθούν οι Γαλλία με 9.213, η Σουηδία με 2.024, η Ισπανία με 1.886 και τέλος η Ολλανδία με 1.808 μονάδες.



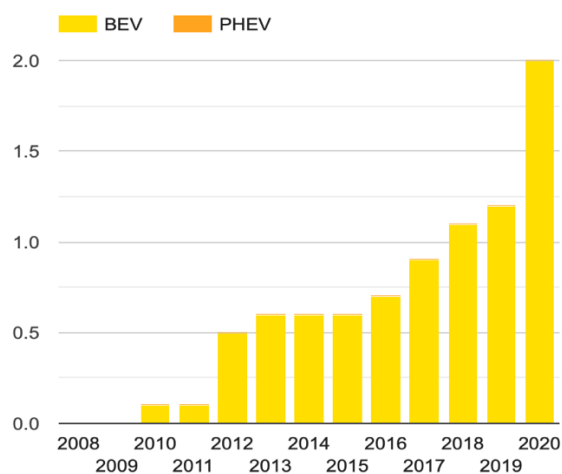
Εικόνα 5–19: Κορυφαίες 5 Ευρωπαϊκές χώρες με τον Αριθμός νέων ταξινομήσεων ηλεκτρικών ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων στην ΕΕ, 2020 [157]

Αναφορικά με τα κορυφαία 10 μοντέλα νέων ταξινομημένων ηλεκτρικών επιβατικών οχημάτων για το 2020, το Renault Kangoo ZE είναι το όχημα με τη μεγαλύτερη παρουσία, αριθμώντας 7.943 οχήματα που αντιστοιχούν σε ποσοστό 27,2% επι του συνόλου. Πίσω του την δεκάδα συμπληρώνουν τα StrretScooter Work με 3.430 οχήματα (11,7%), το Nissan e-NV200 με 3.021 οχήματα (10,3%), το Mercedes eSprinter με 2.113 οχήματα (7,2%), το Mercedes eVito Van με 1.830 οχήματα (6,3%), το Mercedes EQV EV με 1.811 οχήματα (6,2%), το Renault Zoe Van με 1.809 οχήματα (5,9%), το Volkswagen e-Crafter με 935 οχήματα (3,2%), το e-Caddy EV με 868 οχήματα (3%) και το Goupil G4 με 857 οχήματα 2,9% και. Τέλος, τα υπόλοιπα 4.683 οχήματα, τα οποία κατέχουν ποσοστό (16%), αποτελούνται από πληθώρα άλλων μοντέλων.



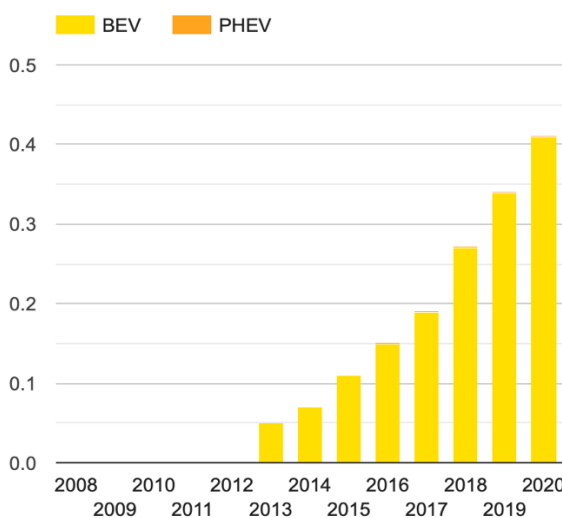
Εικόνα 5–20: 10 Κορυφαία μοντέλα νέων ταξινομημένων ηλεκτρικών ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων στην ΕΕ, 2020 [157]

Αξιοσημείωτες είναι επίσης και οι πληροφορίες που λαμβάνονται από τις τιμές των μεριδίων αγοράς των πρόσφατα ταξινομημένων ηλεκτρικών ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων σε σχέση με τα συνολικά ελαφρά επαγγελματικά οχήματα που ταξινομήθηκαν στα πλαίσια ενός έτους. Πιο αναλυτικά, στην Ευρωπαϊκή Ένωση οι μετρήσεις μεριδίου αγοράς των ηλεκτρικών LCVs από το 2008 έως και το 2020 παρουσιάζουν μια ανοδική τάση. Ωστόσο αυτό που εγείρει περισσότερο το ενδιαφέρον αποτελεί η ιδιαίτερα ανοδική πορεία που επετεύχθη από το έτος 2016 και έπειτα, με την κορύφωση να λαμβάνει χώρα το έτος 2020. Συγκεκριμένα, μετά από 8 χρόνια το ποσοστό κατάφερε να ξεπεράσει το 1%, ανεβαίνοντας τελικά στο 2% το 2020. Επίσης, είναι σημαντικό να αναφερθεί πως τα ποσοστά των BEVs υπερिशύουν ολοκληρωτικά των αντίστοιχων PHEVs.



Εικόνα 5-21: Το μερίδιο αγοράς (σε%) των πρόσφατα ταξινομημένων ηλεκτρικών ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων που ταξινομήθηκαν ανά έτος στην ΕΕ, 2008-2020 [157]

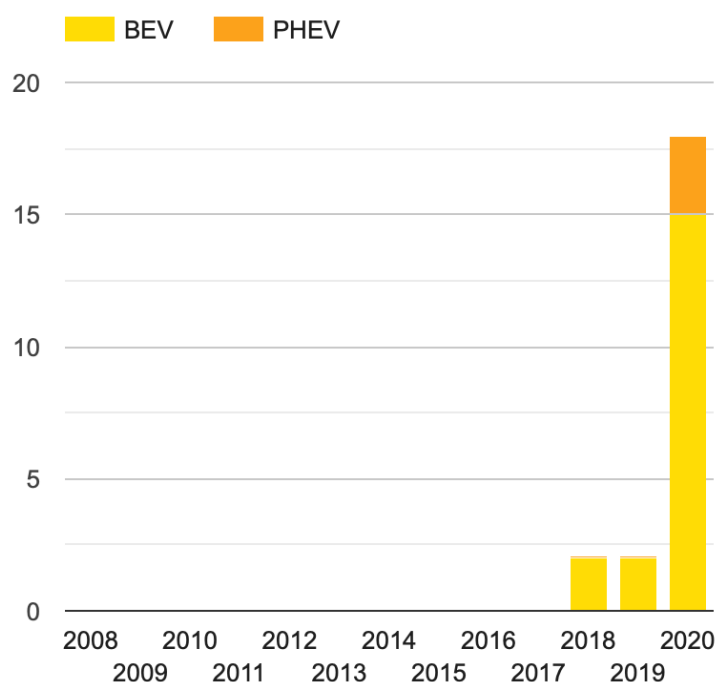
Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει το ποσοστό (σε%) των ηλεκτρικών ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων σε σχέση με το συνολικό στόλο οχημάτων συμπεριλαμβανομένων και των οχημάτων με κινητήρες εσωτερικής καύσης. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μια γραμμική άνοδος με το ποσοστό ξεκινάει από το 0,05%, το 2013 και φτάνει τελικά στο 0,41%, το 2020.



Εικόνα 5-22: Το ποσοστό(σε%) των ηλεκτρικών ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων στο συνολικό στόλο οχημάτων ανά έτος στην ΕΕ, 2008-2020 [157]

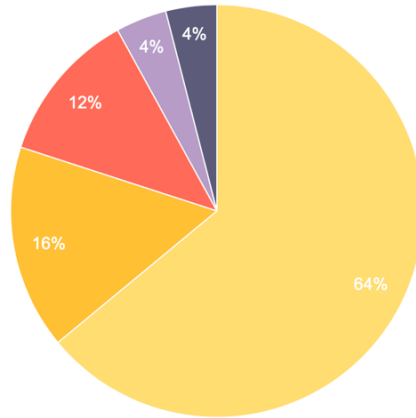
5.3.4 Διείσδυση Ηλεκτρικών Ελαφρών Επαγγελματικών Οχημάτων στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, σύμφωνα με τα στοιχεία EAF0 ο συνολικός αριθμός ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων (Light Commercial Vehicles, LCVs) στους ελληνικούς δρόμους ξεκίνησε να γίνεται αισθητός μόλις το 2018, αρκετά χρόνια αργότερα συγκριτικά με τα δεδομένα της Ευρώπης. Επιπλέον, ο συνολικός αριθμός τους κυμαίνεται σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα, ωστόσο το 2020 παρουσίασε μια σημαντική άνοδο. Συγκεκριμένα, το έτος αυτό, ο αριθμός έφτασε τις 18 μονάδες, τιμή σχεδόν δεκαπλάσια από των προηγούμενων χρόνων. Όπως ισχύει στην Ευρώπη έτσι και εδώ, ο αριθμός των BEVs ανερχόταν σε 15 οχήματα, τιμή σημαντικά μεγαλύτερη από εκείνη των PHEVs, τα οποία ανήλθαν στις 3 μονάδες, γεγονός που φανερώνει το μεγάλο χάσμα που υπάρχει μεταξύ των δύο κατηγοριών.



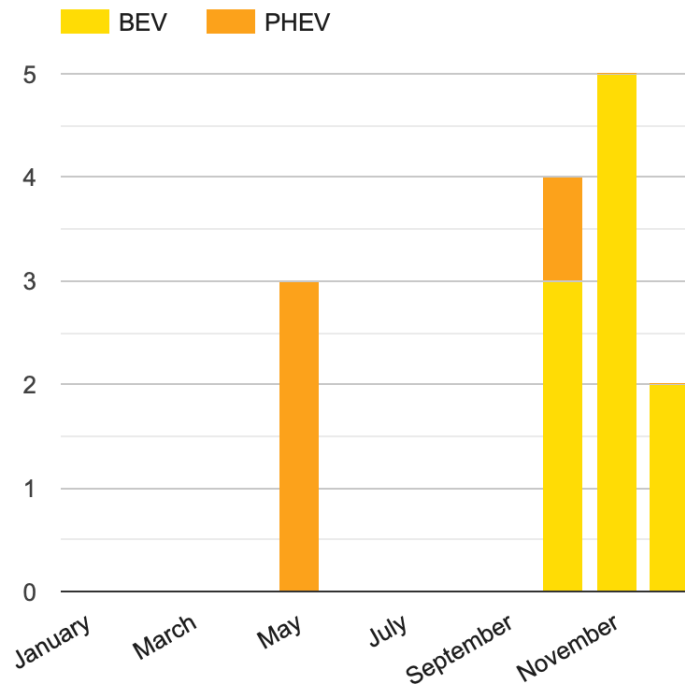
Εικόνα 5-23: Συνολικός αριθμός ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων στην Ελλάδα, 2008-2020 [158]

Όσον αφορά τα κορυφαία μοντέλα ηλεκτρικών ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων που απαρτίζουν τον Ελληνικό στόλο στο σύνολο του, το Nissan e-NV200 είναι το όχημα με τη μεγαλύτερη παρουσία, αριθμώντας 16 οχήματα που αντιστοιχούν σε ποσοστό 64% επι του συνολικού στόλου οχημάτων. Πίσω του ακολουθούν, το Peugeot Partner EV με 4 οχήματα (16%), το Mitsubishi Outlander PHEV Van με 3 οχήματα (12%), το Mercedes EQV EV με 1 όχημα (4%) και τέλος το Ford Tourneo Custom PHEV με 1 όχημα (4%).



Εικόνα 5–24: Κορυφαία μοντέλα του συνολικού στόλου ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων στην Ελλάδα, 2008-2020 [158]

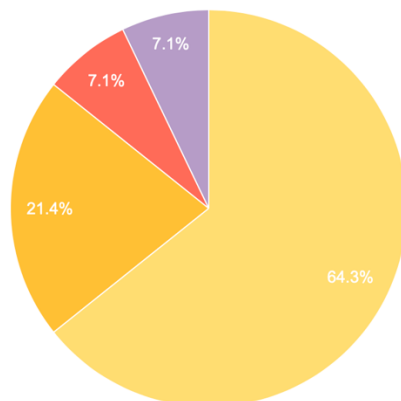
Εμβαθύνοντας περισσότερο στο έτος 2020, εξετάζονται οι πιο πρόσφατες μηνιαίες πωλήσεις ηλεκτρικών επιβατικών οχημάτων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του έτους. Συγκεκριμένα, στην Ελλάδα τα 3 πρώτα νέα ταξινομημένα ηλεκτρικά LCVs κάνουν την εμφάνισή τους το μήνα Μάιο. Στους επόμενους μήνες δε θα σημειωθεί κάποια νέα ταξινόμηση. Έπειτα, το μήνα Οκτώβριο θα σημειωθούν 4 νέες ταξινομήσεις, θα ακολουθήσουν άλλες 5 το Νοέμβριο και ο χρόνος θα κλείσει με άλλες 2 το μήνα Δεκέμβριο.



Εικόνα 5–25: Αριθμός νέων ταξινομήσεων ηλεκτρικών ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων στην Ελλάδα, 2020 [158]

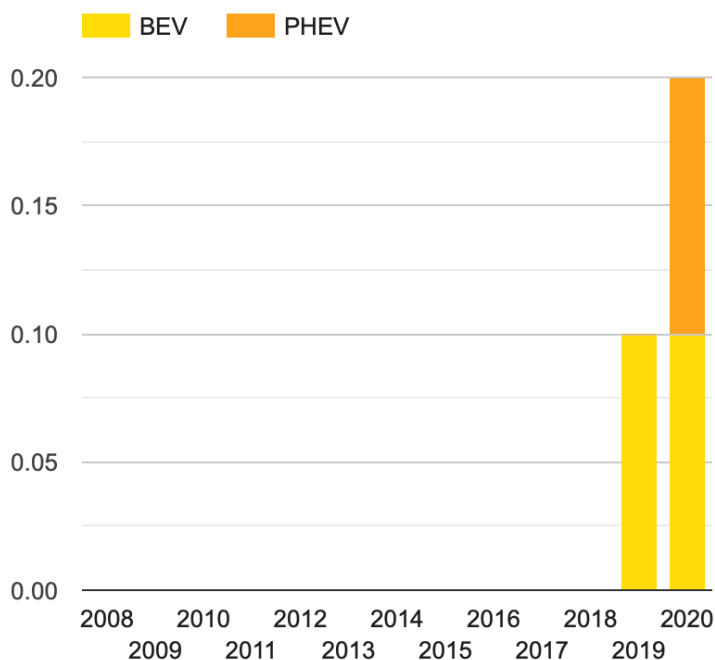
Το 2020, το κορυφαίο μοντέλο στην κατηγορία των νέων ταξινομημένων ηλεκτρικών ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων ήταν το Nissan e-NV200, το όχημα με τη

μεγαλύτερη παρουσία, αριθμώντας 9 οχήματα που αντιστοιχούν σε ποσοστό 64,3% επι του συνολικού στόλου οχημάτων. Πίσω του ακολούθησαν, το Mitsubishi Outlander PHEV Van με 3 οχήματα (21,4%), το Mercedes EQV EV με 1 όχημα (7,1%) και τέλος το Ford Tourneo Custom PHEV με 1 όχημα (7,1%).



Εικόνα 5–26: Κορυφαία μοντέλα νέων ταξινομημένων ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων στην ΕΕ, 2020 [158]

Σημαντικά είναι επίσης και τα δεδομένα που λαμβάνονται από τις τιμές των μεριδίων αγοράς των πρόσφατα ταξινομημένων ηλεκτρικών ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων (Light Commercial Vehicles, LCVs) σε σχέση με τα συνολικά ελαφρά επαγγελματικά οχήματα που ταξινομήθηκαν στα πλαίσια ενός έτους. Πιο αναλυτικά, στην Ελλάδα από το 2008 έως και το 2018 δεν υπάρχουν μετρήσεις, μιας και ο αριθμός τους στο διάστημα αυτό ήταν μηδενικός. Ένα χρόνο αργότερα, το 2019, οι μετρήσεις μεριδίου αγοράς των ηλεκτρικών LCVs εμφανίζονται με μία σχετικά χαμηλή τιμή (0,10), η οποία τον επόμενο χρόνο διπλασιάζεται (0,20).

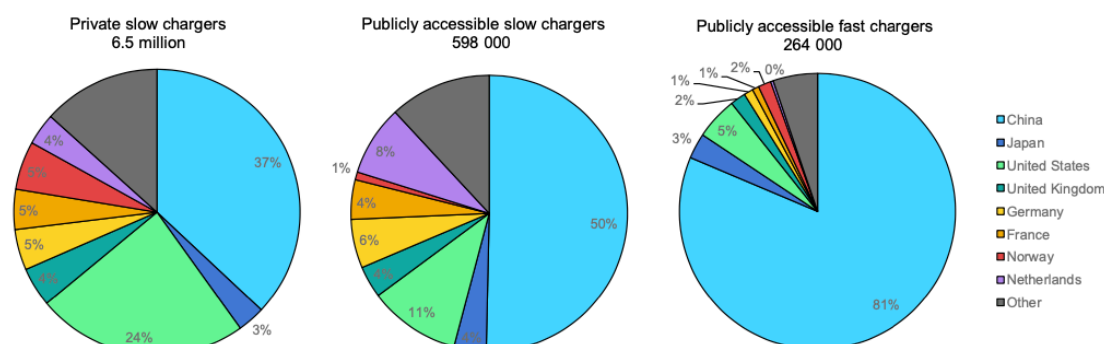


Εικόνα 5–27: Το μερίδιο αγοράς (σε%) των πρόσφατα ταξινομημένων ηλεκτρικών ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων ανά έτος στην Ελλάδα, 2008-2020 [158]

5.4 Ανάπτυξη Σταθμών Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων

Οι υποδομές για δημιουργία εγκαταστάσεων σταθμών τροφοδοσίας ηλεκτρικών οχημάτων συνεχίζουν να αναπτύσσονται. Σύμφωνα με στοιχεία του Παγκόσμιου Οργανισμού Ενέργειας (International Energy Association, IEA), το έτος 2019, ο αριθμός των φορτιστών έφτασε τους 7,3 εκατομμύρια παγκοσμίως. Από το συνολικό αριθμό, ένα πολύ μεγάλο μερίδιο της τάξης του 88% (6,5 εκατομμύρια), πιστωνόταν στους ιδιωτικούς φορτιστές, οι οποίοι βρίσκονται εγκατεστημένοι σε κατοικίες και χώρους εργασίας. Από την άλλη πλευρά, ο αριθμός των δημοσίων φορτιστών ανερχόταν μόλις στο 12% επί του συνόλου, η πλειοψηφία των οποίων ήταν αργής φόρτισης (598 χιλιάδες), έναντι γρήγορης (264.000).

Η υπεροχή αυτή των ιδιωτικών φορτιστών έναντι των δημοσίων πιθανόν οφείλεται λόγω της απλούστερης και ευκολότερης διαδικασίας ανεφοδιασμού, του μικρότερου κόστους, αλλά και των ευνοϊκότερων πολιτικών αγοράς εγκατάστασης και λειτουργίας.



Εικόνα 5–28: Ιδιωτικοί και δημόσια προσβάσιμοι φορτιστές ανά χώρα, IEA, 2019 [154]

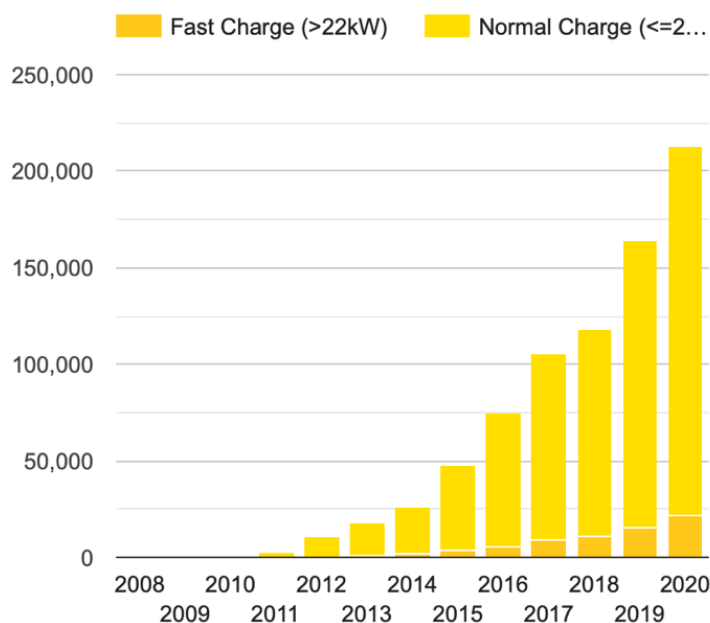
Σε παγκόσμιο επίπεδο, ο αριθμός των συνολικών δημοσίων φορτιστών που είναι προσβάσιμοι στο κοινό (αργών και γρήγορων), αυξήθηκε κατά 60% το 2019 συγκριτικά με το προηγούμενο έτος.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, ο αριθμός των προσβάσιμων στο κοινό γρήγορων φορτιστών κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα. Το 2019, μετρήθηκαν μόλις 264 χιλιάδες εκ των οποίων τη μερίδα του λέοντος (81%) κατείχε η Κίνα. Η χώρα αυτή που κατέχει πρωταγωνιστικό ρόλο στην κυκλοφορία φορτιστών προσβάσιμων για το ευρύ κοινό και ιδιαίτερα των γρήγορων φορτιστών, οι οποίοι ανταποκρίνονται καλύτερα στις ανάγκες των κατοίκων των πυκνοκατοικημένων πόλεων της [154].

5.4.1 Ανάπτυξη Σταθμών Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ευρώπη

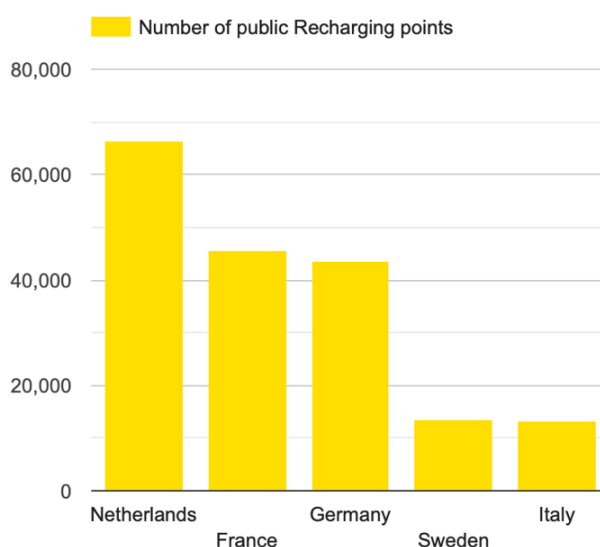
Σύμφωνα με στοιχεία του Ευρωπαϊκού Παρατηρητήριου Εναλλακτικών Καυσίμων (European Alternative Fuels Observatory – EAF0), ο συνολικός αριθμός των κανονικών και γρήγορων δημοσίων σημείων φόρτισης που εξυπηρετούν την επαναφόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων που κυκλοφορούν στους δρόμους των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης παρουσιάζει μια σταθερά ανοδική πορεία, με ιδιαίτερη ανάπτυξη την τελευταία πενταετία. Ειδικότερα, το έτος 2020 ο συνολικός αυτός αριθμός ανήλθε στις 224.538 μονάδες, με τους κανονικούς σταθμούς φόρτισης

($\leq 22\text{kW}$) να φτάνουν τους 199.250, ποσότητα εξαιρετικά μεγαλύτερη από εκείνη των σταθμών που προσφέρουν ταχεία φόρτιση ($>22\text{kW}$), οι οποίοι ανέρχονταν σε 25.288 μονάδες.



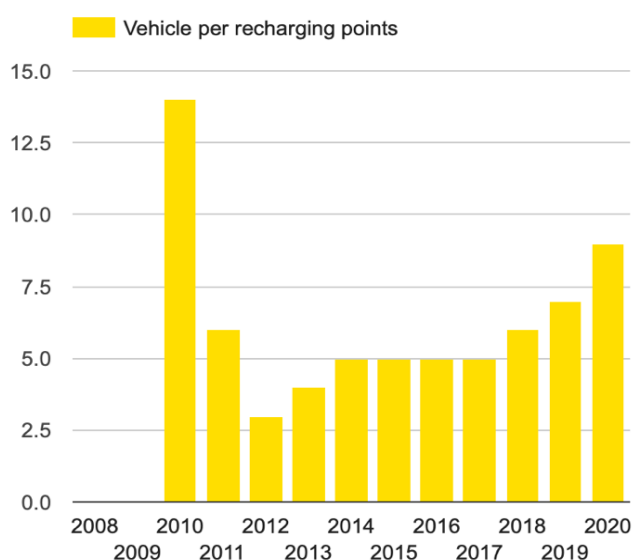
Εικόνα 5–29: Ο συνολικός αριθμός των κανονικών και γρήγορων δημόσιων σημείων φόρτισης στην ΕΕ, 2008-2020 [159]

Ο μεγαλύτερος αριθμός των κανονικών και γρήγορων δημόσιων σημείων φόρτισης στην ΕΕ συγκεντρώνεται στις χώρες τις κεντρικής και βόρειας Ευρώπης. Τα πρωτεία κατέχει η Ολλανδία με 66.461 σταθμούς, ακολουθεί η Γαλλία 45.707 με, η Γερμανία με 43.633, η Σουηδία 13.564 με και τέλος το Ιταλία με 13.214 μονάδες. Επίσης εντύπωση προκαλεί το γεγονός πως οι 5 αυτές χώρες κατέχουν το 81,31% του συνολικού ηλεκτρικού ευρωπαϊκού στόλου επιβατικών οχημάτων.



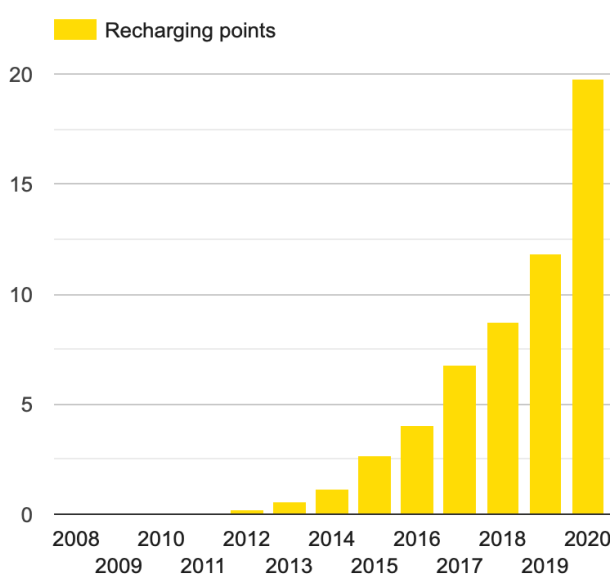
Εικόνα 5–30: Οι 5 κορυφαίες χώρες με τον υψηλότερο αριθμό δημόσιων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στην ΕΕ, 2008-2020 [159]

Αξιοσημείωτες πληροφορίες λαμβάνονται επίσης σχετικά με τον αριθμό των plug in ηλεκτρικών οχημάτων που αντιστοιχούν σε ένα σημείο δημόσιου σταθμού φόρτισης. Πιο αναλυτικά, το 2010 ο αριθμός αυτός ανέρχονταν σε 14 οχήματα ανα σημείο. Στα επόμενα χρόνια, λόγω της σταδιακής ανάπτυξης των αναγκαίων υποδομών φόρτισης, ο αριθμός αυτός αρχικά μειώθηκε σε 6 και έπειτα σταθεροποιήθηκε σε 5. Ωστόσο τα τελευταία τρία χρόνια, ο αριθμός παρουσίασε σταδιακή αύξηση από τα 6 στα 9 οχήματα ανά σημείο επαναφόρτισης, υποδηλώνοντας την ολοένα και αυξανόμενη χρήση ηλεκτρικών αυτοκινήτων στους Ευρωπαϊκούς δρόμους.



Εικόνα 5–31: Ο αριθμός των plug in ηλεκτρικών οχημάτων ανά σημείο δημόσιου σταθμού φόρτισης στην ΕΕ, 2008-2020 [159]

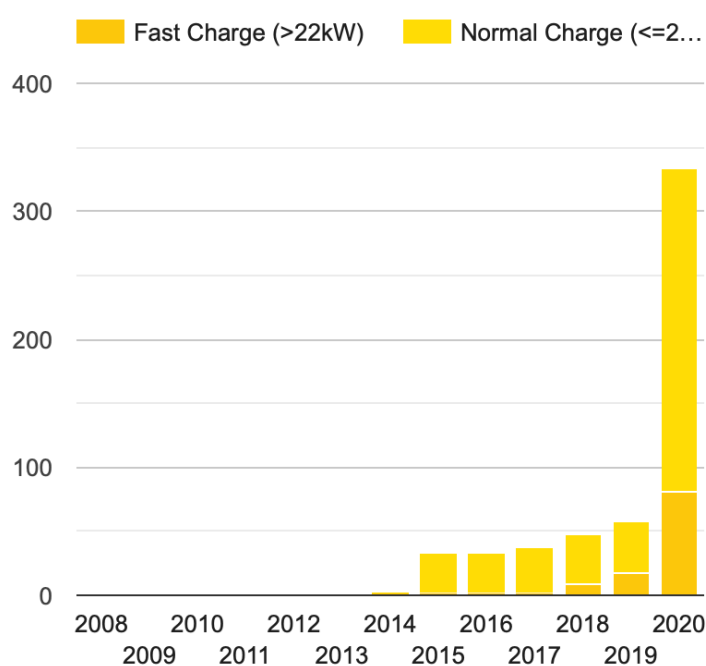
Ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης και ο αριθμός των σταθμών ταχείας φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων που αναλογούν ανα 100 χιλιόμετρα αυτοκινητόδρομου. Συγκεκριμένα στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ο συνολικός αριθμός παρουσιάζει ανοδική τάση, ο οποίος το 2020 έφτασε τα 20 σημεία ανα 100 χιλιόμετρα.



Εικόνα 5–32: Ο αριθμός των σταθμών ταχείας φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων ανά 100 χιλιόμετρα αυτοκινητόδρομου στην ΕΕ, 2008-2020 [159]

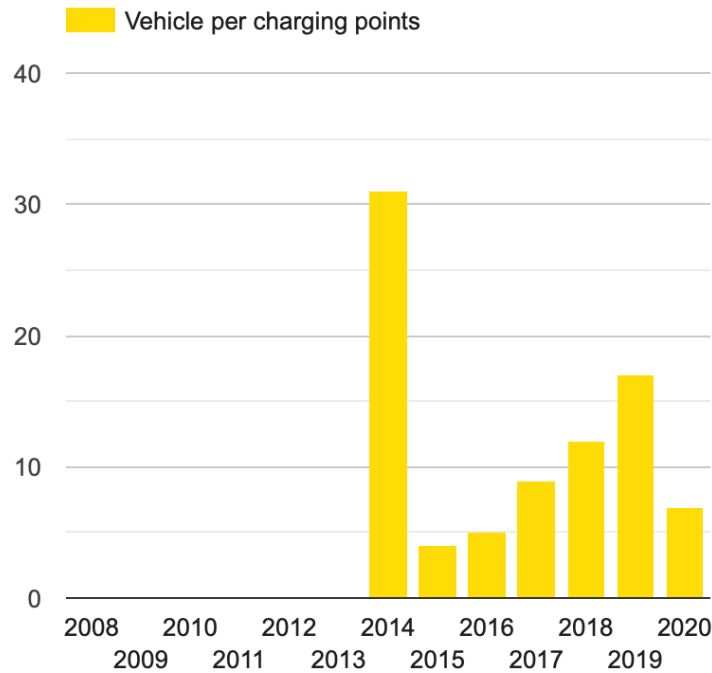
5.4.2 Ανάπτυξη Σταθμών Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ελλάδα

Στον Ελλαδικό χώρο, τα δημόσια σημεία κανονικής και γρήγορης φόρτισης ξεκίνησαν να εφαρμόζονται στην πράξη το 2014, λίγα χρόνια αργότερα συγκριτικά με τα δεδομένα της Ευρώπης. Επιπλέον, ο συνολικός αριθμός τους κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα, ωστόσο παρουσιάζει μια σταθερά ανοδική πορεία από το 2014, η οποία μάλιστα αυξήθηκε σημαντικότερα το έτος 2020. Συγκεκριμένα, το έτος αυτό, ο αριθμός έφτασε τις 334 μονάδες, τιμή περίπου εξαπλάσια από την αντίστοιχη της προηγούμενης χρονιάς. Από τις 334 μονάδες, οι 253 αφορούν συστήματα κανονικής φόρτισης ($\leq 22\text{kW}$), ενώ οι υπόλοιπες 81 περιπτώσεις αφορούν συστήματα γρήγορης φόρτισης ($> 22\text{kW}$). Γίνεται λοιπόν αντιληπτό πως ο αριθμός των κανονικών σταθμών φόρτισης Η/Ο, όπως και στην συνολική Ευρώπη έτσι και στην Ελλάδα, εμφανίζεται μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο αριθμό των εγκατεστημένων γρήγορων φορτιστών.



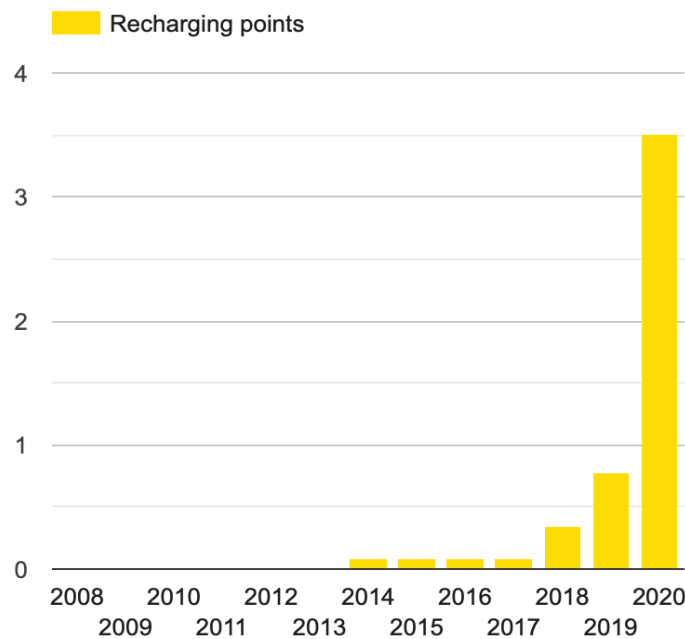
Εικόνα 5-33: Ο συνολικός αριθμός των κανονικών και γρήγορων δημόσιων σημείων φόρτισης στην Ελλάδα, 2008-2020 [160]

Ο αριθμός των plug in ηλεκτρικών οχημάτων που αντιστοιχούν σε ένα σημείο δημόσιου σταθμού φόρτισης, όπως συνέβη αρχικά στην Ευρώπη, έτσι και εδώ παρουσιάστηκε αρκετά υψηλός. Αν και 4 χρόνια αργότερα, το 2014, σε 1 σημείο δημόσιας φόρτισης Η/Ο αναλογούσαν 31 ηλεκτρικά των plug in οχήματα. Την επόμενη χρονιά, λόγω της απότομης ανάπτυξης υποδομών φόρτισης, ο αριθμός αυτός παρουσίασε εξαιρετική μείωση σε μόλις 4 οχήματα ανα σταθμό. Τιμή αρκετά θετική, η οποία ωστόσο οφειλόταν σε μεγάλο βαθμό στον μικρό αριθμό ταξινομημένων ηλεκτρικών οχημάτων. Στα χρόνια που ακολούθησαν, η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων έγινε μεγαλύτερη, αλλά η ανάπτυξη των υποδομών φόρτισης έμεινε σχεδόν στάσιμη. Για το λόγο αυτό η αναλογία των ηλεκτρικών των plug in οχημάτων προς τα σημεία δημόσιας επαναφόρτισης αυξήθηκε και πάλι. Τέλος, το έτος 2020, παρά την σημαντική ανάπτυξη στη χρήση Η/Ο, η δημιουργία νέων υποδομών δημόσιας φόρτισης σημείωσε ρεκόρ. Αυτό επέφερε τη μείωση της αναλογίας των οχημάτων ανα δημόσιο σταθμό φόρτισης σε 9, όσο και το ποσοστό που ισχύει στο σύνολο της ΕΕ.



Εικόνα 5-34.: Ο αριθμός αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων ανά σημείο δημόσιου σταθμού φόρτισης, στην Ελλάδα, 2008-2020 [160]

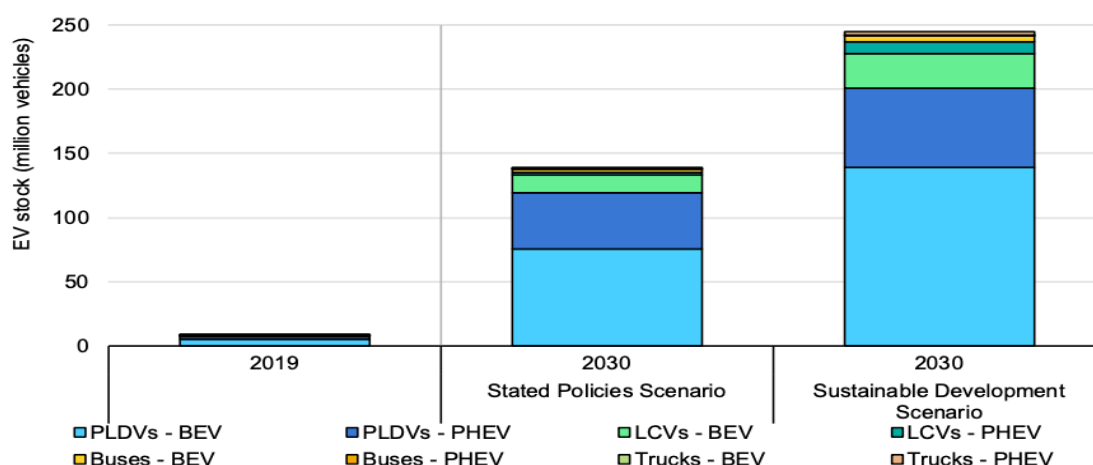
Τέλος, αναφορά γίνεται στον αριθμό των σταθμών ταχείας φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων που αναλογούν ανά 100 χιλιόμετρα αυτοκινητόδρομου. Στην Ελλάδα, ο αριθμός αυτός αν και σταθερός για μία πενταετία, τον τελευταίο χρόνο πενταπλασιάστηκε, με πλέον 4 σημεία ταχείας φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων να αναλογούν σε κάθε 100 χιλιόμετρα αυτοκινητόδρομου. Τιμή αρκετά ενθαρρυντική, αν υπολογισθεί πως κατά μέσο όρο η χωρητικότητα των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων μπαταρίας (BEVs) κυμαίνεται στην περιοχή των 50-70 kWh, με την κατανάλωση τους να ανέρχεται σε 10-20 kWh/100 km, ο μέσος όρος εύρους οδήγησης υπερβαίνει κατά πολύ τα 100 km.



Εικόνα 5-35: Ο αριθμός των σταθμών ταχείας φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων ανά 100 χιλιόμετρα αυτοκινητόδρομου στην Ελλάδα, 2008-2020 [160]

5.5 Προοπτικές Ηλεκτροδότησης στις Μεταφορές την Επόμενη Δεκαετία

Οι προοπτικές που αναπτύσσονται σχετικά με την ηλεκτρική κινητικότητα με χρονικό ορίζοντα το έτος 2030 παρουσιάζονται μέσα από δύο σενάρια του ΙΕΑ, το σενάριο δηλωμένων πολιτικών και το σενάριο της αειφόρου ανάπτυξης. Πιο αναλυτικά, το σενάριο δηλωμένων πολιτικών, στο οποίο ενσωματώνονται οι υπάρχουσες κυβερνητικές πολιτικές και το σενάριο αειφόρου ανάπτυξης, είναι πλήρως συμβατό με τους κλιματικούς στόχους της συμφωνίας του Παρισιού. Στο σενάριο αυτό, το παγκόσμιο απόθεμα ηλεκτρικών οχημάτων (εξαιρουμένων των δίκυκλων / τρίκυκλων) φτάνει σχεδόν τα 140 εκατομμύρια οχήματα, τιμή που αναλογεί στο 7% του παγκόσμιου στόλου οχημάτων. Από την άλλη πλευρά, το δεύτερο σενάριο, της αειφόρου ανάπτυξης, ενσωματώνει τους στόχους της καμπάνιας EV30 @ 30 στο οποίο αναμένεται συλλογή μεριδίου αγοράς της τάξης του 30% για ηλεκτρικά οχήματα (εκτός από τα δίκυκλα) έως το 2030. Στο σενάριο αυτό, τα ηλεκτρικά οχήματα διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων για τη μείωση της τοπικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Συγκεκριμένα εκτιμάται πως το παγκόσμιο απόθεμα ηλεκτρικών οχημάτων (εξαιρουμένων των δίκυκλων / τρίκυκλων) αυξάνεται κατά 36% ετησίως, φτάνοντας τα 245 εκατομμύρια οχήματα το 2030, τιμή 30 φορές μεγαλύτερη από το σημερινό επίπεδο [154].



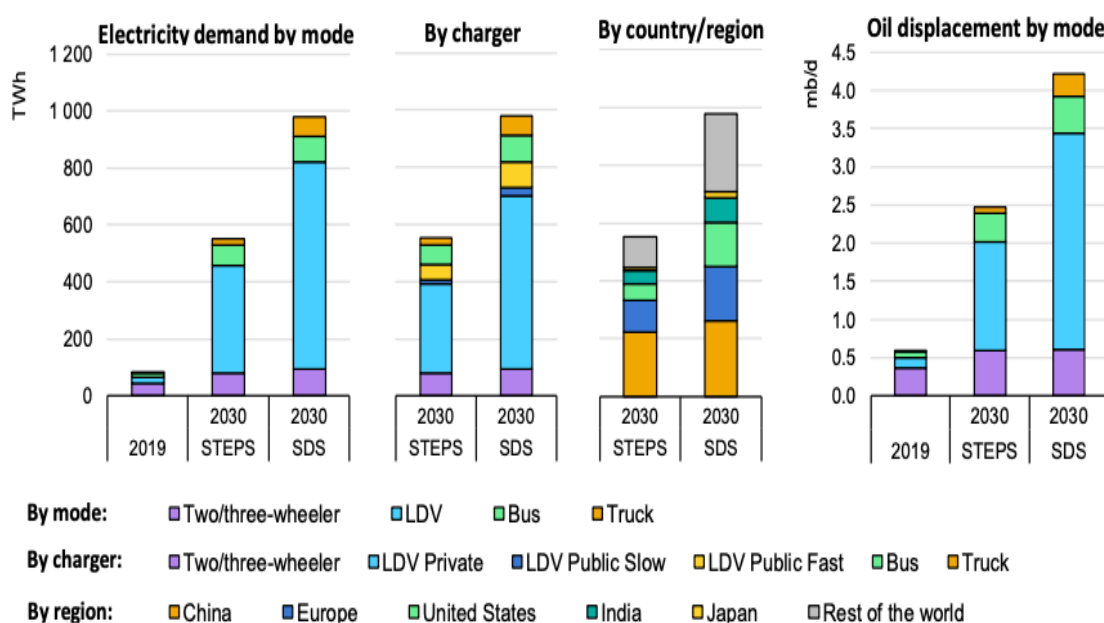
Εικόνα 5–36: Παγκόσμιο απόθεμα ηλεκτρικών οχημάτων ανά σενάριο, 2019 και 2030 [154]

5.6 Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας, Πετρελαίου και Εκπομπές Αερίου του Θερμοκηπίου.

Το 2019, η παγκόσμια ζήτηση της ηλεκτρικής Ενέργειας από ηλεκτρικά οχήματα, ανερχόταν σε 80 TWh. Σύμφωνα με το Σενάριο Δηλωμένων Πολιτικών, μέχρι το 2030 η ζήτηση αυτή αναμένεται να φτάσει τις 550 TWh, τιμή έξι φορές μεγαλύτερη από τα επίπεδα του 2019. Παράλληλα, το μερίδιο της ζήτησης λόγω ηλεκτρικών οχημάτων στη συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε εθνικό / περιφερειακό επίπεδο αυξάνεται στο 4% στην Ευρώπη. Αντιστοίχως, στο σενάριο αειφόρου ανάπτυξης, η ζήτηση υπολογίζεται πως θα αυξηθεί σχεδόν έντεκα φορές σε σχέση με το 2019, φτάνοντας περίπου τις 1.000 TWh, ενώ το μερίδιο της συνολικής ζήτησης κυμαίνεται στο 6% στην Ευρώπη. Τονίζεται επίσης πως και στα δύο σενάρια, η ζήτηση ηλεκτρικής

ενέργειας σε αργούς φορτιστές αντιπροσωπεύει την πλειονότητα της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας ηλεκτρικών οχημάτων (κυρίως λόγω της συνεχιζόμενης κυριαρχίας της ιδιωτικής φόρτισης). Οι υποδομές γρήγορης φόρτισης αναπτύσσονται σταδιακά για να ανταποκριθεί στην αύξηση των σχετικών μεριδίων ηλεκτρικών οχημάτων με υψηλότερη χωρητικότητα μπαταρίας και απαιτήσεις ισχύος, π.χ. λεωφορεία και φορτηγά.

Αναφορικά με τη ζήτηση του πετρελαίου, το 2019, τα ηλεκτρικά οχήματα συνέβαλαν στην αποφυγή ημερήσιας κατανάλωσης περίπου 0,6 εκατομμυρίων βαρελιών προϊόντων πετρελαίου (βενζίνης και ντίζελ). Στο σενάριο δηλωμένων πολιτικών, ο στόλος των ηλεκτρικών οχημάτων αντικαθιστά περίπου 2,5 εκατομμύρια βαρέλια προϊόντων πετρελαίου ανά ημέρα, ενώ στο σενάριο αιεφόρου ανάπτυξης, η αντίστοιχη ποσότητα εκτιμάται στα 4,2 εκατομμύρια βαρέλια [154].

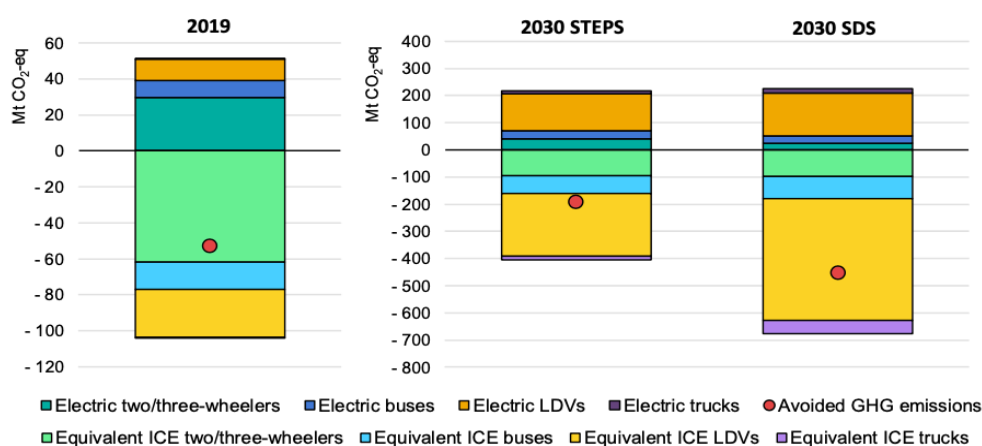


Εικόνα 5–37: Απαιτήση ηλεκτρικής ενέργειας από το στόλο των ηλεκτρικών οχημάτων ανά λειτουργία, τύπο φορτιστή, χώρα / περιοχή και μετατόπιση λαδιού, 2019 και 2030 [154]

Σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, το 2019, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τον εφοδιασμό του παγκόσμιου στόλου ηλεκτρικών οχημάτων εξέπεμψε 51 Mt CO₂-eq, περίπου το ήμισυ της ποσότητας που θα είχε εκλυθεί στην ατμόσφαιρα από έναν αντίστοιχο στόλο συμβατικών οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης, 104 Mt CO₂-eq. Ποσότητα που αντιστοιχεί σε 53 Mt CO₂-eq αποφευκτών εκπομπών. Ωστόσο, για να είναι παραγωγική η συνεισφορά των ηλεκτρικών οχημάτων στη βιώσιμη ανάπτυξη και στη χρήση καθαρής ενέργειας, είναι αναγκαίο να μειωθεί η ένταση του CO₂ στον τομέα της παραγωγή ενέργειας [154].

Στο σημείο αυτό σημειώνεται πως η παραγωγή ενέργειας στην ΕΕ κατανέμεται σε μια σειρά διαφορετικών πηγών ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ήταν η επικρατέστερη πηγή το 2018 με ποσοστό (34%). Η πυρηνική ενέργεια (31%) ήταν η δεύτερη μεγαλύτερη πηγή, ακολουθούμενη από στερεά καύσιμα (22%), φυσικό αέριο (9 %) και αργό πετρέλαιο (4%) [161].

Οι μελλοντικές εκπομπές του στόλου ηλεκτρικών οχημάτων προβλέπεται να είναι σημαντικά χαμηλότερες από αυτές των κινητήρων εσωτερικής καύσης το 2030. Μάλιστα, οι καθαρές μειώσεις εκπομπών είναι πιο σημαντικές στο Σενάριο Αειφόρου Ανάπτυξης, στο οποίο η υψηλότερη εγκατάσταση ηλεκτρικών οχημάτων συνδυάζεται με την ταχύτερη απανθρακοποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, σύμφωνα με τους στόχους της Συμφωνίας του Παρισιού. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με το σενάριο δηλωμένων πολιτικών, τα ηλεκτρικά οχήματα μειώνουν τις εκπομπές κατά σχεδόν το ήμισυ σε σχέση με έναν ισοδύναμο στόλο οχημάτων κινητήρα εσωτερικής καύσης, ενώ στο σενάριο βιώσιμης ανάπτυξης, οι μειώσεις εκπομπών υπολογίζονται στα δύο τρίτα. [154].



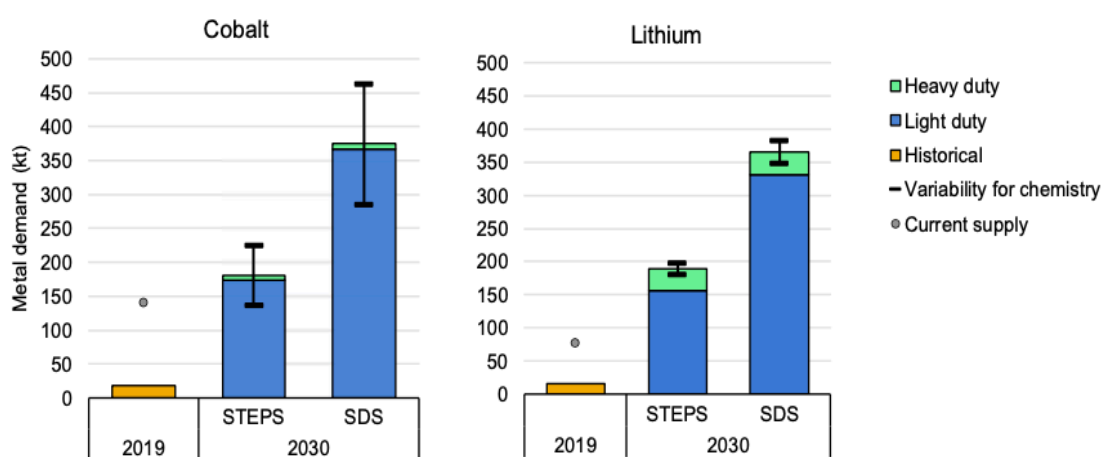
Εικόνα 5–38: Καθαρές και αποφευχθείσες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τον παγκόσμιο στόλο ηλεκτρικών οχημάτων, 2019 και 2030 [154]

5.7 Μπαταρίες και Ηλεκτροδότηση των Οδικών Μεταφορών

Η χωρητικότητα των μπαταριών αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα για τη λειτουργία των ηλεκτρικών οχημάτων και η αύξηση της θα βοηθούσε σημαντικά στην αποτελεσματικότερη χρήση τους. Το μέσο μέγεθος της μπαταρίας μεταξύ των ηλεκτρικών ελαφρών οχημάτων συνεχίζει μια ανοδική τάση. Το 2018, ήταν 37 kWh, ενώ το 2019 ανέβηκε στις 44 kWh. Στις περισσότερες χώρες, η χωρητικότητα των μπαταριών στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μπαταρίας κυμαίνεται στην περιοχή των 50-70 kWh. Η παραπάνω αυξητική πορεία μπορεί να αποδοθεί στην εισαγωγή μοντέλων ηλεκτρικών οχημάτων μπαταρίας (BEVs) μεγαλύτερων τιμών αυτονομίας, καθώς και στην επέκταση του μεριδίου τους έναντι των υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων (HEVs, PHEVs). Μελλοντικά στοιχεία δείχνουν πως, έως το 2030, το μέσο εύρος χωρητικότητας των ηλεκτρικών οχημάτων θα βρίσκεται στις 70-80 kWh, κάτι που θα αμβλύνει το μέσο όρο εύρους οδήγησης τους στα 350-400 km.

Στις μέρες μας, η παγκόσμια χωρητικότητα μπαταρίας ηλεκτρικών οχημάτων αναλογεί σε 170 GWh ετησίως. Στο σενάριο δηλωμένων πολιτικών, η τιμή αυτή αυξάνεται σε 1,5 TWh ετησίως έως το 2030. Αντίστοιχα στο σενάριο αειφόρου ανάπτυξης, ο αριθμός που αναμένεται αντιστοιχεί σε 3TWh, με τις λειτουργίες εκτός εκτός των οχημάτων να αντιπροσωπεύουν μόνο το 11% της συνολικής ζήτησης μπαταρίας το 2030, η θέση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην αγορά μπαταριών κατά την επόμενη δεκαετία αναμένεται να είναι κεντρική [154].

Η ζήτηση για υλικά που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικές μπαταρίες οχημάτων θα εξαρτηθεί κυρίως από την εξέλιξη των υφιστάμενων χημικών μπαταριών και συγκεκριμένα από την αλλαγή χημικών μπαταριών, το οξείδιο του αργιλίου κοβαλτίου νικελίου (NCA), το οξείδιο του κοβαλτίου του μαγγανίου νικελίου (NMC) και το φωσφορικό σίδηρο λιθίου (LFP) των κάθόδων για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-ion) που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως η εκτιμώμενη ζήτηση υλικών για τις μπαταρίες HO που πωλήθηκαν το 2019 ήταν περίπου 19 kt για κοβάλτιο, 17 kt για λίθιο, 22 kt για μαγγάνιο και 65 kt για νικέλιο. Ωστόσο η αύξηση των πωλήσεων των ηλεκτρικών οχημάτων, αναμένεται να οδηγήσει σε αύξηση της ζήτησης των υλικών αυτών. Έως το 2030, στο σενάριο δηλωμένων πολιτικών εκτιμάται η επέκταση της ζήτησης κοβαλτίου σε περίπου 180 kt/έτος, λίθιο σε 185 kt/έτος, μαγγάνιο στα 177 kt/έτος και κατηγορία νικελίου στα 925 kt/έτος. Αντίστοιχες προβλέψεις σύμφωνα με το Σενάριο Βιώσιμης Ανάπτυξης, εκτιμούν πως η επερχόμενη ζήτηση των παραπάνω υλικών θα φτάσει τις διπλάσιες τιμές [154].



Εικόνα 5–39: Ετήσια ζήτηση κοβαλτίου και λιθίου για ηλεκτρικές μπαταρίες οχημάτων, 2019-2030 [154]

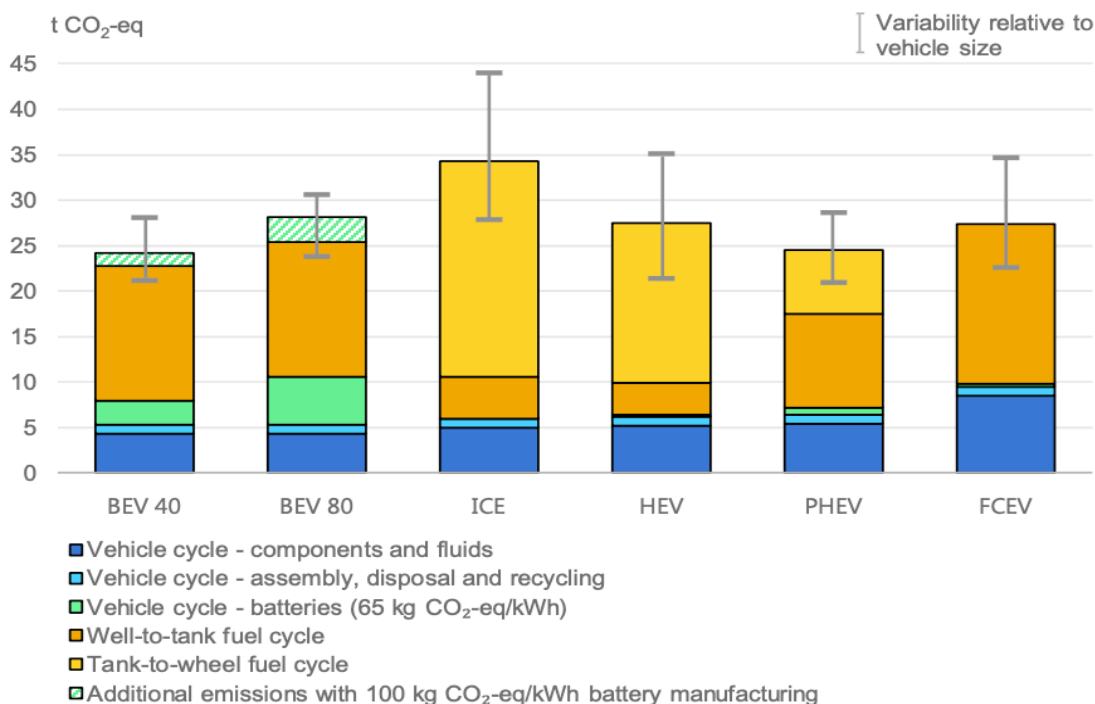
Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας για την εξέλιξη της ηλεκτροκίνησης αποτελεί το κόστος των μπαταριών. Οι εκθέσεις του κλάδου δείχνουν ότι οι τιμές τους ακολουθούν μια πτωτική πορεία. Συγκεκριμένα, οι σταθμισμένες τιμές των πακέτων μπαταριών το 2010 ήταν κατά μέσο όρο 1.100 USD/kWh (930 €/ kWh), τιμή που μειώθηκε σημαντικά με την πάροδο του χρόνου σε 156 USD/kWh (132 €/ kWh) το 2019.

Η πιο κοινή χημεία καθόδου που χρησιμοποιείται σε ηλεκτρικές μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι NMC. Η ενεργειακή πυκνότητα κυττάρων με κάθοδοι NMC αυξάνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε νικέλιο, κάτι που οδηγεί στην εκτίμηση πως η πυκνότητα τους θα συνεχιστεί σε ανοδική τάση. Παράλληλα, η τεχνολογία Li-ion έχει σημειώσει τεράστια πρόοδο την τελευταία δεκαετία όσον αφορά την ενεργειακή πυκνότητα. Ωστόσο το κόστος και η διάρκεια ζωής του κύκλου, παραμένει περιθώριο βελτίωσης. Στο σημείο αυτό, διεξάγεται έρευνα για τη βελτίωση και των τριών βασικών συνιστωσών των κυττάρων μπαταριών ιόντων λιθίου: κάθοδοι, άνοδοι και ηλεκτρολύτες. Επιπλέον, οι πρόσφατες εξελίξεις στο σχεδιασμό της μπαταρίας και στη θερμική διαχείριση στοχεύουν κυρίως στη μείωση του κόστους της συσκευασίας και των εξαρτημάτων της μονάδας [154].

Η επόμενη γενιά τεχνολογίας μπαταριών ιόντων λιθίου, που πρόκειται να εισέλθει στην αγορά τα επόμενα πέντε έως δέκα χρόνια, είναι πιθανό να έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε νικέλιο και να χρησιμοποιεί είτε NCA (με λιγότερο από 10% νικέλιο) είτε κάθοδο NMC 811. Οι βραχυπρόθεσμες εξελίξεις θα επιτρέψουν την ενεργειακή πυκνότητα σε επίπεδο κυψέλης έως 325 Wh / kg και η ενεργειακή πυκνότητα σε επίπεδο πακέτου θα μπορούσε να φτάσει τα 275 Wh / kg. Αυτές οι τιμές πλησιάζουν τα ανώτερα όρια της τεχνολογίας Li-ion. Ωστόσο, ορισμένα ηλεκτρικά οχήματα ενδέχεται να μην είναι απαραίτητα σχεδιασμένα για την υψηλότερη δυνατή ενεργειακή πυκνότητα. Αυτό μπορεί να ισχύει για αστικά λεωφορεία ή οχήματα παράδοσης όπου οι ογκομετρικοί περιορισμοί είναι λιγότερο αυστηροί ή για ηλεκτρικά οχήματα χαμηλού επιπέδου όπου η προσιτή τιμή είναι πιο σημαντική από τις μεγάλες διαδρομές. Για αυτές τις εφαρμογές, η κάθοδος LFP θα μπορούσε να είναι κατάλληλη.

Για την επόμενη δεκαετία, η μπαταρία ιόντων λιθίου είναι πιθανό να κυριαρχήσει στην αγορά ηλεκτρικών οχημάτων. Για την περίοδο μετά το 2030, μια σειρά από πιθανές τεχνολογίες ενδέχεται να είναι σε θέση να υπερβούν τα όρια πέρα από τα όρια απόδοσης που επιβάλλονται από την τεχνολογία μπαταριών ιόντων λιθίου. Αυτά περιλαμβάνουν τη μπαταρία λιθίου-στερεάς κατάστασης μετάλλου, το θείο λιθίου, το ιόν νατρίου ή ακόμα και τον αέρα λιθίου, τα οποία θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύουν βελτίωση από το ιόν λιθίου σε δείκτες όπως το κόστος, η πυκνότητα, η διάρκεια ζωής του κύκλου και τα οφέλη από ευρύτερα διαθέσιμα υλικά από τις τεχνολογίες Li-ion. Ωστόσο, καμία τεχνολογία δεν αποκομίζει όλα αυτά τα οφέλη ταυτόχρονα. Επιπλέον, ακόμη και όταν η απόδοση αποδειχθεί στο εργαστήριο, η ανάπτυξη και η αύξηση αυτών των νέων τεχνολογιών θα απαιτήσει χρόνο και θα ανταγωνιστεί την καθιερωμένη τεχνολογία ιόντων λιθίου.

Βέβαια, στο σημείο αυτό, θα πρέπει να διασφαλιστεί πως τα ηλεκτρικά οχήματα συνεχίζουν να συμβάλλουν στους στόχους βιωσιμότητας. Συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψη τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στον κύκλο ζωής των οχημάτων, προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα για τη ρύπανση που επιφέρουν οι διαθέσιμες τεχνολογίες στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Πιο αναλυτικά, οι τιμές αυτές διαφοροποιούνται ανάλογα τη κατηγορία των οχημάτων. Τα ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας, τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα και τα ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου παρουσιάζουν χαμηλότερες εκπομπές από εκείνες ενός μέσου συμβατικού οχήματος εφοδιασμένο με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Στα συμβατικά οχήματα, το μεγαλύτερο ποσοστό στις εκλύσεις διοξειδίου του άνθρακα έγκειται κατά τη φάση χρήσης του οχήματος και συγκεκριμένα κατά τη διαδικασία καύσης για την παραγωγή της κίνησης. Στα ηλεκτρικά οχήματα, οι αντίστοιχες εκπομπές που παράγονται από τους ηλεκτροκινητήρες κατά την κίνηση του οχήματος είναι μηδενικές. Ωστόσο, σημαντικές τιμές εκπομπών (έως και το 1/3) ενσωματώνονται σε μια σειρά από διεργασίες που συνδέονται με την μπαταρία τους. Έτσι δικαιολογείται και το γεγονός πως η αύξηση της εμβέλειας ενός ηλεκτρικού οχήματος μπαταρίας μειώνει τα σχετικά οφέλη, αυξάνοντας τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στον κύκλο ζωής του οχήματος. Παρόλα αυτά, δεδομένου πως η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος αποσβένεται και εξυπηρετεί τόσο τις εγκαταστάσεις παραγωγής μπαταριών όσο και τη φόρτιση, τα οφέλη των χαμηλότερων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κύκλου ζωής των ηλεκτρικών αυτοκινήτων ενισχύονται σε σχέση με άλλους κινητήρες [154].

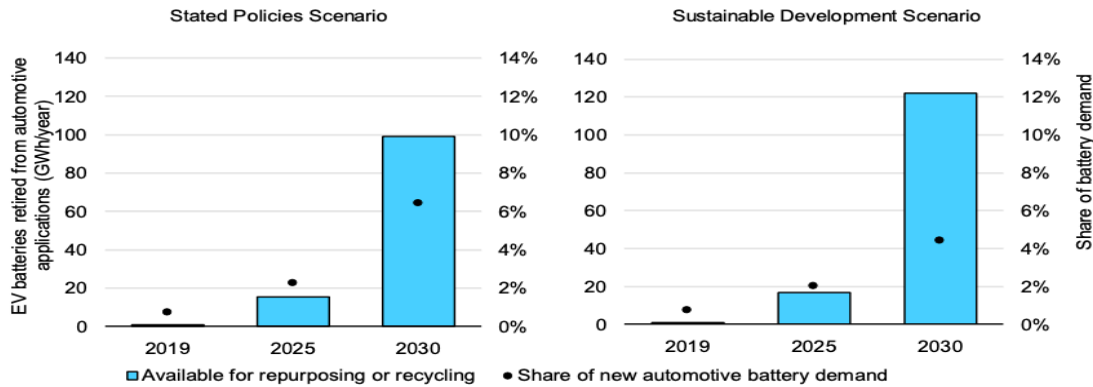


Εικόνα 5–40: Συγκριτικές εκπομπές κύκλου ζωής αερίων θερμοκηπίου για διάρκεια ζωής δέκα ετών ενός μέσου αυτοκινήτου μεσαίου μεγέθους με κινητήρα, 2018 [154]

Στα ηλεκτρικά οχήματα, η μπαταρία είναι υπεύθυνη για έως και το ένα τρίτο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου του κύκλου ζωής τους. Οι κύριοι τομείς δράσης για τη μείωση των εκπομπών στην παραγωγή μπαταριών και των επιπτώσεων του κύκλου ζωής τους αποτελούν τα εξής :

- Η αύξηση της ενεργειακής πυκνότητας των μπαταριών.
- Η αναβάθμιση των εγκαταστάσεων παραγωγής και η αύξηση της απόδοσης.
- Η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και χρήση πηγών ενέργειας χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε διαδικασίες εξόρυξης και διύλισης πρώτων υλών, ειδικά για αλουμίνιο, και στη σύνθεση ενεργών υλικών όπως νικέλιο, κοβάλτιο και γραφίτης.
- Η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και χρήση πηγών ενέργειας χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην κατασκευή κυψελών και στη συναρμολόγηση πακέτων.
- Εξασφάλιση κατάλληλης διαχείρισης μπαταριών στο τέλος του κύκλου ζωής τους.

Η διαχείριση των αποκρυπτόμενων μπαταριών έπειτα από την χρήση τους, αποτελεί μείζον περιβαλλοντικό ζήτημα. Σύμφωνα με στοιχεία των δύο σεναρίων, έως το 2030 εκτιμάται ότι θα αποσυρθούν 100-120 GWh ηλεκτρικών μπαταριών οχημάτων. Όγκος περίπου ισοδύναμος με την τρέχουσα ετήσια παραγωγή μπαταριών. Είναι αντιληπτό, πως χωρίς αποτελεσματικά μέτρα για διαχείριση τέτοιων ποσοτήτων, οι επιπτώσεις στο περιβάλλον θα είναι ολέθριες. Συνεπώς, ο μοναδικός δρόμος για ένα βιώσιμο μέλλον αποτελεί η ανάπτυξη ενεργειών όπως η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση των μπαταριών αυτών, με τη βοήθεια πολιτικών που συμβάλλουν στην κατεύθυνση αυτών των αγορών [154].



Εικόνα 5-41: Διαθέσιμη χωρητικότητα μπαταρίας αυτοκινήτου για επαναποθέτηση ή ανακύκλωση, 2019-30 [154]

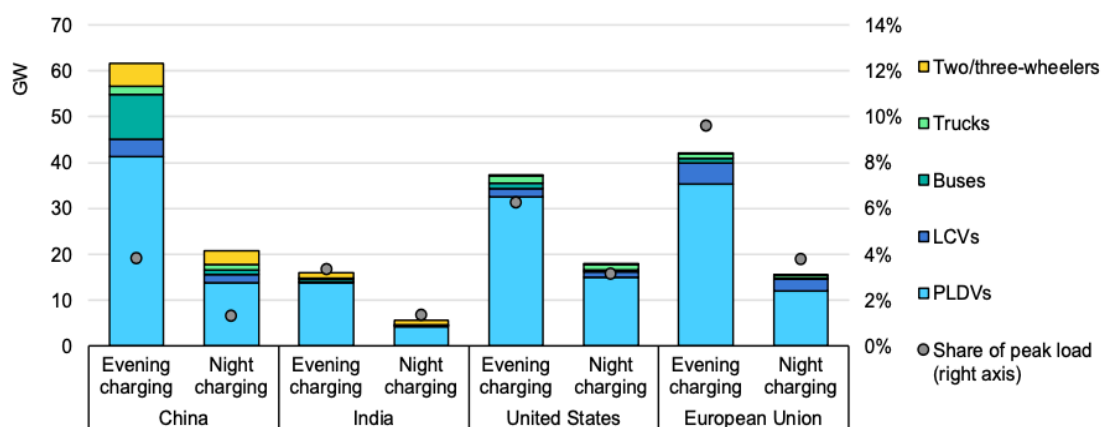
Η διάρκεια ζωής των μπαταριών που δεν είναι πλέον κατάλληλες για εφαρμογές αυτοκινήτων μπορεί να επεκταθεί μέσα από την επαναχρησιμοποίηση τους σε εφαρμογές αποθήκευσης για υπηρεσίες φορέων εκμετάλλευσης ηλεκτρικών δικτύων, αλλά ηλεκτρικών βοηθημάτων και εμπορικών ή οικιακών πελατών. Μέσα από αυτές τις πρακτικές, η παράταση της ωφέλιμης ζωής των μπαταριών αυτοκινήτων μπορεί να συμβάλει στον εκτοπισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, των εκπομπών και του κόστους κατασκευής νέων μπαταριών για την παροχή των ίδιων υπηρεσιών. Ωστόσο, μέχρι σήμερα υπάρχει λίγη εμπειρία από αυτήν την αναδυόμενη αγορά. Οι προκλήσεις της κατηγορίας εξαρτώνται κυρίως από τον ανταγωνισμό με το μειωμένο κόστος της κατασκευής νέων μπαταριών [154].

Στις περιπτώσεις όπου η επαναχρησιμοποίηση των μπαταριών δεν μπορεί να επιτευχθεί, η ανάπτυξη μιας αποτελεσματικής βιομηχανίας ανακύκλωσης κρίνεται αναγκαία. Τα οφέλη από την ανάκτηση των υλικών αυτών είναι πολλά. Αρχικά, Με την ανάκτηση κρίσιμων υλικών, ένα ισχυρό σύστημα ανακύκλωσης θα μείωνε τη ζήτηση για πρώτες ύλες. Έπειτα, θα περιορίζε τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και τις αρνητικές τοπικές επιπτώσεις από τις διαδικασίες εξόρυξης και τη διύλισης, ενώ σε ευρύτερο επίπεδο η εγχώρια ανακύκλωση θα επέτρεπε στις χώρες να μειώσουν την εξάρτησή τους από εισαγωγές κρίσιμων υλικών. Ωστόσο, σημειώνεται πως τρέχουσες εγκαταστάσεις ανακύκλωσης που χρησιμοποιούν βασικές τεχνολογίες όπως η πυρομεταλλουργία και η υδρομεταλλουργία, ενδέχεται να προσθέσουν ένα περιορισμένο αποτύπωμα αερίων θερμοκηπίου σε μια μπαταρία ηλεκτρικού οχήματος (περίπου 10%), σε σύγκριση με μια μπαταρία που κατασκευάζεται από πρωτογενείς πρώτες ύλες. Επομένως, πρόσθετα μέτρα ενεργειακής απόδοσης και εισροή ανανεώσιμης ενέργειας θα είναι απαραίτητα για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στον συγκεκριμένο τομέα. Μέχρι στιγμής, η οικονομική βιωσιμότητα και τα κίνητρα της αγοράς για ανακύκλωση έχουν περιοριστεί λόγω των γενικά χαμηλών τιμών των πρώτων υλών και των μικρών όγκων χρησιμοποιημένων ηλεκτρικών μπαταριών. Όμως, καθώς η αυξανόμενη αγορά ηλεκτρικών οχημάτων ασκεί περαιτέρω πίεση στους πρωτογενείς πόρους, οι τιμές των πρώτων υλών θα μπορούσαν να αυξηθούν ή / και οι τιμές μπορεί να γίνουν πιο ασταθείς. Έτσι, τα υλικά που ανακτώνται μέσω της ανακύκλωσης δύναται να γίνουν πιο ανταγωνιστικά. Η οικονομική και στρατηγική αξία των βασικών εισροών, όπως το λίθιο και το κοβάλτιο, μπορεί να ενθαρρύνει την ανακύκλωση μακροπρόθεσμα και να κατευθύνει τις πολιτικές ανακύκλωσης [154].

5.8 Η Ενσωμάτωση Ηλεκτρικών Οχημάτων με Συστήματα Ισχύος

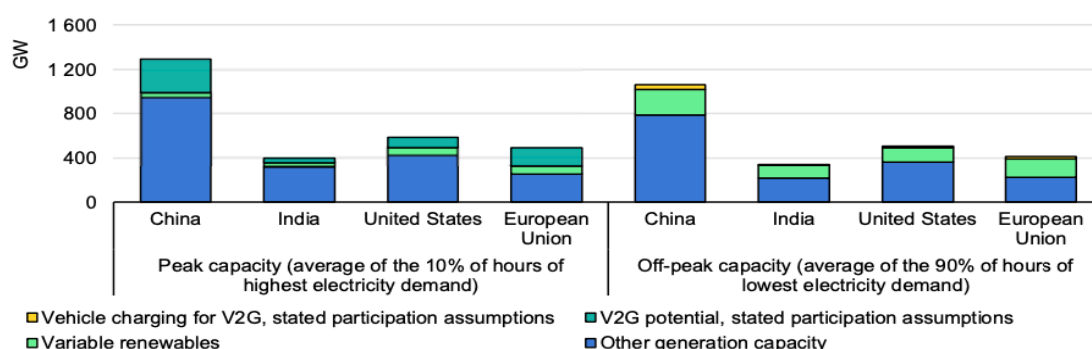
Στο κοντινό μέλλον η εξισορρόπηση της ζήτησης και της προσφοράς ηλεκτρικής ενέργειας θα γίνει μια αυξανόμενη πρόκληση για να εξασφαλιστεί η ομαλή ενσωμάτωση της παραγωγής ενέργειας με βάση τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την ηλεκτροδότηση πολλαπλών τομέων τελικής χρήσης. Η απορρόφηση ηλεκτρικών οχημάτων στο Σενάριο Αειφόρου Ανάπτυξης, στο οποίο τα ηλεκτρικά οχήματα αντιπροσωπεύουν περίπου το 4% της παγκόσμιας ετήσιας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας έως το 2030 (από 0,3% σήμερα), έχει επιπτώσεις και ευκαιρίες για συστήματα ισχύος. Κατά την επόμενη δεκαετία, η διαχείριση προτύπων φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων θα είναι καθοριστικής σημασίας για την ενθάρρυνση της φόρτισης σε περιόδους χαμηλής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, ή σε στιγμές υψηλής παραγωγής με βάση τις ανανεώσιμες πηγές.

Με 250 εκατομμύρια ηλεκτρικά οχήματα στο δρόμο έως το 2030 στο Σενάριο Αειφόρου Ανάπτυξης, το μερίδιο της φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στη μέση απογευματινή ζήτηση αιχμής θα μπορούσε να αυξηθεί στο 4-10% στις κύριες αγορές ηλεκτρικών οχημάτων (Κίνα, Ευρωπαϊκή Ένωση και Ηνωμένες Πολιτείες). Ωστόσο, μια σειρά από μέτρα και στρατηγικές θα μπορούν να αξιοποιηθούν για να μειωθεί η φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων κατά τη μέγιστη ζήτηση του συστήματος, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για περεταίρω αναβαθμίσεις των υποδομών στον τομέα της παραγωγής, της μεταφοράς και της διανομής. Χαρακτηριστικά αναφέρονται οι φορτίσεις κατά τις νυχτερινές ώρες, όπου η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι μειωμένη. Αυτές θα μπορούσαν να υλοποιηθούν μέσω απλού προγραμματισμού τελικών χρηστών ή της ανάπτυξης νυχτερινών τιμολογίων, μειώνοντας σημαντικά το κόστος της διαδικασίας για τους κατόχους ΗΟ. Παράλληλα, η ελεγχόμενη φόρτιση σε απόκριση σε σήματα τιμών σε πραγματικό χρόνο από επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας (VIG) θα μπορούσε να εκμεταλλευτεί περαιτέρω τις συνεργίες με μεταβλητή παραγωγή ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας και να επεκτείνει το φάσμα των υπηρεσιών που προσφέρουν τα ηλεκτρικά οχήματα στο δίκτυο. Η αλλαγή πρακτικών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων για την αποφυγή ωρών αιχμής θα μπορούσε να μειώσει τη συμβολή τους στην αιχμή της ζήτησης φορτίου έως και κατά το ήμισυ και μάλιστα σε λιγότερο από 4% έως το 2030 στο σενάριο αειφόρου ανάπτυξης [154].



Εικόνα 5-42: Συνεισφορά ηλεκτρικών οχημάτων στην ωριαία μέγιστη ζήτηση ανά χώρα / περιοχή, κατά τις απογευματινές και τις νυχτερινές ώρες στο σενάριο αειφόρου ανάπτυξης, 2030[154]

Με την πρόοδο της επιστήμης και την εξέλιξη της τεχνολογίας, έχουν αναπτυχθεί συστήματα τα οποία επιτρέπουν την παροχή της αποθηκευμένης ενέργειας των συσσωρευτών των ηλεκτρικών οχημάτων προς το δίκτυο. Η διαδικασία αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω τεχνολογικών συστημάτων Vehicle to grid (V2G) και η σημασία της είναι ιδιαίτερα καθοριστική στην προσπάθεια για τον περιορισμό του δυνητικά αρνητικού αντίκτυπου της φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στα συστήματα ισχύος. Μάλιστα, σύμφωνα με το Σενάριο Αειφόρου Ανάπτυξης 2030, οι 16.000 GWh ενέργειας αναμένεται να αποθηκευτούν σε ηλεκτρικές μπαταρίες οχημάτων παγκοσμίως, θα μπορούσαν ενεργά να παρέχουν ενέργεια στο δίκτυο στο κατάλληλες στιγμές μέσω λύσεων οχήματος σε δίκτυο (V2G). Το δυναμικό V2G εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα των οχημάτων για συμμετοχή σε τέτοιες υπηρεσίες σε κατάλληλες χρονικές στιγμές, την αποδοχή των καταναλωτών και την ικανότητα των συμμετεχόντων να παράγουν έσοδα, καθώς και άλλους τεχνικούς περιορισμούς που σχετίζονται με τα ποσοστά εκφόρτισης της μπαταρίας ή τις επιπτώσεις στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, εκτιμάται ότι ένα ποσοστό της τάξεως του 5% της συνολικής χωρητικότητας μπαταρίας του ηλεκτρικού οχήματος θα μπορούσε να διατεθεί για εφαρμογές οχήματος σε δίκτυο κατά τις ώρες αιχμής. Το ποσοστό αυτό μεταφράζεται σε παραγωγή 600 GW ευέλικτης χωρητικότητας έως το 2030 παγκοσμίως σε όλη την Κίνα, τις Ηνωμένες Πολιτείες, την Ευρωπαϊκή Ένωση και την Ινδία, συμβάλλοντας στην αντιστάθμιση της χαμηλότερης παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ηλεκτρικής ενέργειας που παρατηρείται κατά τις αιχμές [154].



Εικόνα 5-43: Δυνατότητα V2G και μεταβλητή ανανεώσιμη χωρητικότητα σε σχέση με τις συνολικές απαιτήσεις παραγωγής χωρητικότητας στο σενάριο αειφόρου ανάπτυξης, 2030 [154]

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί πως το ξεκλείδωμα του πλήρους δυναμικού ευελιξίας των ηλεκτρικών οχημάτων μέσω δυναμικής ελεγχόμενης φόρτισης (V1G) και υπηρεσιών οχήματος-πλέγματος (V2G) για να αποκομίσει συνέργειες με μεταβλητή παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και να μειώσει τις ανάγκες χωρητικότητας της ηλεκτροπαραγωγής θα απαιτούσε την προσαρμογή των κανονιστικών πλαισίων και των αγορών. Επί του παρόντος, η ευέλικτη ενσωμάτωση ηλεκτρικών οχημάτων δεν βρίσκεται σε καλό δρόμο για συστήματα ισχύος για την κάλυψη των καταναλωμένων φορτίων που αντιπροσωπεύουν οι μπαταρίες ηλεκτρικών οχημάτων με συντονισμένο τρόπο και σε μεγάλη κλίμακα. Συγκεκριμένοι ενδιαφερόμενοι, όπως οι αθροιστές (aggregators), μαζί με επιχειρηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούν νέα κανονιστικά πλαίσια για να ανταμείψουν τους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων για την παροχή υπηρεσιών ευελιξίας, είναι απολύτως απαραίτητα ώστε οι μπαταρίες ηλεκτρικών οχημάτων να συμβάλουν στη σταθερότητα του συστήματος ισχύος σε σημαντική κλίμακα [154].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΣΙΦΝΟ

6.1 Εισαγωγή

Η εξέλιξη της τεχνολογίας των αυτοκινήτων και των μπαταριών έχει καταστήσει πλέον την ηλεκτροκίνηση μια απτή πραγματικότητα, η οποία αλλάζει ριζικά τα δεδομένα της αυτοκίνησης. Η αντιμετώπιση των μεγάλων περιβαλλοντικών και οικονομικών προκλήσεων, που συνδέονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση, την κλιματική αλλαγή και την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα δημιουργεί νέες συνθήκες για την αυτοκινητοβιομηχανία, αλλά και για την καθημερινότητα των ανθρώπων.

Στο πλαίσιο των παραπάνω ενεργειών για την αντιμετώπιση των σημαντικών αυτών ζητημάτων που μαστίζουν τις σύγχρονες κοινωνίες, αναμένεται η σταδιακή μετάβαση στην κινητικότητα χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Ήδη στα μεγάλα αστικά κέντρα, ενέργειες προς αυτή την κατεύθυνση έχουν αρχίσει να εφαρμόζονται και πολύ σύντομα αναμένεται να υλοποιηθούν και σε μικρά νησιά, όπως τη Σίφνο. Κύριο στοιχείο στην κατεύθυνση αυτή αποτελεί ο εξηλεκτρισμός των οδικών μεταφορών, μέσω της αντικατάστασης των συμβατικών οχημάτων με αντίστοιχα ηλεκτροκίνητα, καθώς και της ανάπτυξης σταθμών φόρτισης, απαραίτητων για την τροφοδότηση τους. Τα Η/Ο αποτελούν σύμμαχο στον αγώνα για την μείωση των εκπομπών CO₂ του νησιού, καθώς σε αντίθεση με τα συμβατικά, παρουσιάζουν ελάχιστες ή μηδενικές εκπομπές ρύπων.

Η ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης στη Σίφνο, επηρεάζει θετικά την προώθηση των απαιτήσεων περιβαλλοντικής προστασίας και μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Επίσης αποτελεί σημαντική συνιστώσα για την ενεργειακή μετάβαση όπως αποτυπώνεται στην Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (European Green Deal), όπου τίθεται ο στόχος για μία κλιματικά ουδέτερη Ευρώπη, με την ανάληψη δράσεων σε διάφορους τομείς μεταξύ των οποίων και η ανάπτυξη και προώθηση καθαρότερων και οικονομικότερων μορφών μεταφοράς. Επιπλέον, τονίζεται πως η μετάβαση στην κινητικότητα χαμηλών εκπομπών αποτυπώνεται ως στόχος και στο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ). Η εφαρμογή και υιοθέτηση δράσεων στην κατεύθυνση της αειφορίας, θέτει τα θεμέλια για την απανθρακοποίηση του νησιού, ενώ παράλληλα μακροπρόθεσμα είναι ικανή να επιφέρει επενδύσεις και νέες θέσεις εργασίας, βελτιώνοντας συνολικά την ποιότητα ζωής κατοίκων και επισκεπτών.

Στην παρούσα ενότητα, θα αναλυθούν τα βήματα που ακολουθηθήκαν στη μελέτη ανάπτυξης σταθμών φόρτισης ηλεκτροκινήτων οχημάτων για το νησί της Σίφνου. Αρχικά, γίνεται αναφορά σε βασικές για το νησί πληροφορίες, σχετικά με το οδικό του δίκτυο, το στόλο οχημάτων και τα υφιστάμενα επίπεδα ηλεκτροκίνησης που επικρατούν. Έπειτα γίνεται εκτενής αναφορά στα ενεργειακά του δεδομένα και στο υπάρχον Ηλεκτρικό Δίκτυο. Τέλος, με γνώμονα τα συγκεκριμένα στοιχεία πραγματοποιείται ανάπτυξη σεναρίων μέγιστης διείσδυσης σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων σε συγκεκριμένες περιοχές του νησιού, με κριτήριο τα επιτρεπτά όρια διακύμανσης της τάσεως.

6.2 Βασικές Πληροφορίες

Η Σίφνος ανήκει στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Δυτικών Κυκλάδων του Αιγαίου Πελάγους και βρίσκεται στο κέντρο του τριγώνου που ορίζεται από τα νησιά Σέριφο, Κίμωλο και Αντίπαρο. Το νησί έχει σχήμα τριγωνικό και απέχει από τον Πειραιά 75 ναυτικά μίλια. Καταλαμβάνει 74 τετραγωνικά χιλιόμετρα, με τις ακτές της να καλύπτουν μήκος περίπου 70 χλμ. Διοικητικά, η Σίφνος ανήκει στο Νομό Κυκλάδων, πρωτεύουσα του οποίου είναι η Ερμούπολη της Σύρου. Οι κύριοι οικονομικοί τομείς του νησιού είναι ο τουρισμός, η κεραμική, οι κατασκευές, η γεωργία, η κτηνοτροφία, η αλιεία και η μελισσοκομία [162].



Εικόνα 6-1: Χάρτης των Κυκλάδων, συμπεριλαμβανομένου και της νήσου Σίφνου [162]

6.2.1 Οδικό Δίκτυο

Η Σίφνος διαθέτει αρκετά καλό οδικό δίκτυο με τους περισσότερους δρόμους του νησιού να είναι ασφαλτοστρωμένοι και ασφαλείς. Το κεντρικό οδικό δίκτυο του νησιού ξεκινά από το λιμάνι των Καμαρών και οδηγεί τον επισκέπτη στην πρωτεύουσα του νησιού, την Απολλωνία. Από εκεί, ξεκινούν όλες οι κεντρικές οδικές αρτηρίες προς όλα τα χωριά. Οι αποστάσεις μεταξύ των οικισμών είναι μικρές, κάτι που καθιστά τις μετακινήσεις εύκολες και γρήγορες. Τονίζεται δε πως μέσα σε περίπου 40 λεπτά, μπορεί κάποιος να μετακινηθεί από το βορειότερο οικισμό του νησιού (Χερρόνησος) προς τους νοτιότερους (Πλατύς Γιαλός, Χρυσοπηγή, Φάρος, Βαθύ) [163].

Οι χιλιομετρικές αποστάσεις μεταξύ των κυριότερων οικισμών του νησιού παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6 - 1: Χιλιομετρικές αποστάσεις μεταξύ των κυριότερων οικισμών στη νήσο Σίφνο [164]

Περιοχή		Απόσταση
Απο	Προς	
Καμάρες	Απολλωνία	5 χλμ.
Απολλωνία	Αρτεμωνας	1,3 Χλμ.
Απολλωνία	Χερρόνησος	15,5 Χλμ.
Απολλωνία	Κ. Πετάλι	1,3 Χλμ.
Απολλωνία	Κάστρο	3 Χλμ.
Απολλωνία	Κατεβατή	1,2 Χλμ.
Απολλωνία	Εξάμπελα	1,6 Χλμ.
Απολλωνία	Βαθύ	10 Χλμ.
Απολλωνία	Φάρος	7 Χλμ.
Απολλωνία	Χρυσοπηγή	8 Χλμ.
Απολλωνία	Πλατύς Γιαλός	10 Χλμ.



Εικόνα 6-2: Οδικός χάρτης Σίφνου [162]

Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω στοιχεία και γνωρίζοντας πως κατά μέσο όρο η αυτονομία ενός μέσου αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος κυμαίνεται κοντά στα 100 έως 160 km, εκ των τα πιο εξελιγμένα επιτυγχάνουν και υψηλότερες επιδόσεις της τάξεως των 250 έως 300 km, γίνεται κατανοητό πως η Σίφνος αποτελεί ένα μικρό νησί με σχετικά μικρό οδικό δίκτυο, το οποίο υπερκαλύπτεται από την αυτονομία κίνησης των ηλεκτρικών οχημάτων. Το γεγονός αυτό, προσφέρει στους οδηγούς μεγάλη εμβέλεια οδήγησης, περιορίζοντας την ανάγκη για συχνή επαναφόρτιση των συσσωρευτών τους.

6.2.2 Στόλος Οχημάτων

Παρά το γεγονός πως στις περισσότερες περιπτώσεις οι αποστάσεις μεταξύ των κεντρικότερων οικισμών είναι σχετικά μικρές, η μετακίνηση στο νησί προϋποθέτει την ύπαρξη μεταφορικού μέσου. Στο πλαίσιο αυτό, αναφέρεται πως ο συνολικός αριθμός των οχημάτων που κυκλοφορούν στους δρόμους του νησιού σε μόνιμο επίπεδο (συμπεριλαμβανομένων δικύκλων, τρικύκλων, επιβατηγών, επαγγελματικών αλλά και βαρέων τύπου οχημάτων) είναι περίπου ανάλογος του πληθυσμού που κατοικεί στο νησί, ο οποίος με βάση τα στοιχεία της τελευταίας απογραφής του 2011 ανέρχεται στους 2.625 κάτοικους. Η συντριπτική πλειονότητα τους είναι συμβατικού τύπου, δηλαδή οχήματα που χρησιμοποιούν κινητήρες εσωτερικής καύσης (βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα) με ελάχιστες εξαιρέσεις ορισμένων υβριδικών PHEVs. Φυσικά, ο μηχανοκίνητος στόλος αυξάνεται σημαντικά κατά την τουριστική περίοδο του καλοκαιριού, και ειδικότερα κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, όπου η προσέλευση επισκεπτών γίνεται μεγαλύτερη.

6.2.3 Υφιστάμενα Επίπεδα Ηλεκτροκίνησης

Σε γενικότερο επίπεδο, ο υφιστάμενος αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων που κυκλοφορούν στους δρόμους του νησιού σε μόνιμο επίπεδο είναι σχεδόν μηδενικός, εξαιρουμένων ορισμένων μεμονωμένων περιπτώσεων ύπαρξης ηλεκτρικών ποδηλάτων, μοτοποδηλάτων και υβριδικών οχημάτων. Επίσης, έλλειψη παρουσιάζεται και στις υποδομές σταθμών φόρτισης, απαραίτητες για την επαναφόρτιση των οχημάτων, τόσο σε οικιακό επίπεδο, όσο και σε κοινόχρηστο, δημόσιο ή ιδιωτικό. Φυσικά, μικρή εξαίρεση παρατηρείται σε μεμονωμένες περιπτώσεις ξενοδοχειακών μονάδων, όπου υπάρχουν εγκατεστημένα συστήματα φόρτισης προς εξυπηρέτηση των πελατών-κατόχων ηλεκτρικών οχημάτων.

Στο σημείο αυτό, ο Δήμος του νησιού, φαίνεται να αναλαμβάνει πρώτος τα ηνία για την ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης. Συγκεκριμένα, στα πλαίσια των προσπάθειών για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματός του νησιού καθώς και της μετάβασης στην κινητικότητα χαμηλών εκπομπών άνθρακα, έχουν προγραμματιστεί ενέργειες εξηλεκτρισμού μέρους του δημοτικού στόλου, μέσα από την προμήθεια 5 ηλεκτρικών οχημάτων προς αντικατάσταση των συμβατικών (βενζινοκίνητων και πετρελαιοκίνητων), καθώς και την εγκατάσταση 2 σταθμών φόρτισης (2X11kW και 2X22kW), απαραίτητων για την τροφοδότηση τους. Τα οχήματα αυτά, θα χρησιμοποιούνται καθημερινά για την εξυπηρέτηση διαφόρων αναγκών και αρμοδιοτήτων των υπηρεσιών του δήμου. Οι σταθμοί φόρτισης, θα τοποθετηθούν σε δημοτικούς χώρους που πληρούν όλες τις όλα τα απαραίτητα κριτήρια για την ασφαλή εγκατάσταση και τη λειτουργία τους. Επίσης, τονίζεται πως η λειτουργία τους, δεν θα παράγει έσοδα για τον Δήμο, καθώς δεν προβλέπεται οποιαδήποτε παροχή υπηρεσιών έναντι πληρωμής, ενώ παράλληλα δεν προβλέπεται επιβολή τέλους εκμετάλλευσης στους χρήστες του έργου.

Βέβαια, σε γενικές γραμμές πέραν των ενεργειών του Δήμου δεν έχουν αναληφθεί αντίστοιχου μεγέθους συλλογικές ή ιδιωτικές πρωτοβουλίες για την ανάπτυξη υποδομών ηλεκτροκίνησης στο νησί.

6.3 Ενεργειακά Δεδομένα

Με πληθυσμό περίπου 2.600 κατοίκους, που υπερβαίνει τους τετραπλασιασμούς το καλοκαίρι, το νησί ωθείται προς τη δημιουργικότητα και την καινοτομία προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες και τις επιθυμίες των κατοίκων και των επισκεπτών του. Η Σίφνος δεν συνδέεται με την ηπειρωτική χώρα ούτε με άλλα γειτονικά νησιά. Όπως και για τα περισσότερα νησιά, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας χαρακτηρίζεται από μεγάλες εποχιακές διακυμάνσεις. Η αιχμή εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της κύριας τουριστικής περιόδου τον Ιούλιο και τον Αύγουστο.

Η ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στη Σίφνο είναι περίπου 17,5 GWh. Επί του παρόντος, η ισχύς στο νησί παράγεται κυρίως από ένα εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας ντίζελ, συνολικής ισχύος 9 MW, που ανήκει στην εθνική δημόσια εταιρεία ηλεκτρισμού (ΔΕΗ). Το 2018 η συνολική ζήτηση καυσίμων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ξεπέρασε τα 4 εκατομμύρια λίτρα καυσίμου και μάλιστα χωρίς να περιλαμβάνει το απαραίτητο καύσιμο για θέρμανση και τα καύσιμα για τη λειτουργία των οχημάτων και των σκαφών αναψυχής. Επίσης, λόγω της απαραίτητης μεταφοράς του καυσίμου στο νησί, το κόστος ηλεκτρισμού είναι υψηλότερο από ό, τι στην ηπειρωτική χώρα. Προκειμένου να διατηρήσει τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας προσιτές για τους νησιώτες, η ελληνική κυβέρνηση θέσπισε έναν μηχανισμό που επιδοτεί αποτελεσματικά τα νησιά μέσω φόρων που καταβάλλουν οι καταναλωτές στην ηπειρωτική χώρα. Ενώ είναι επωφελής για τους νησιώτες, αυτή η υποστήριξη έχει υψηλό συνολικό κόστος για τον κρατικό μηχανισμό.

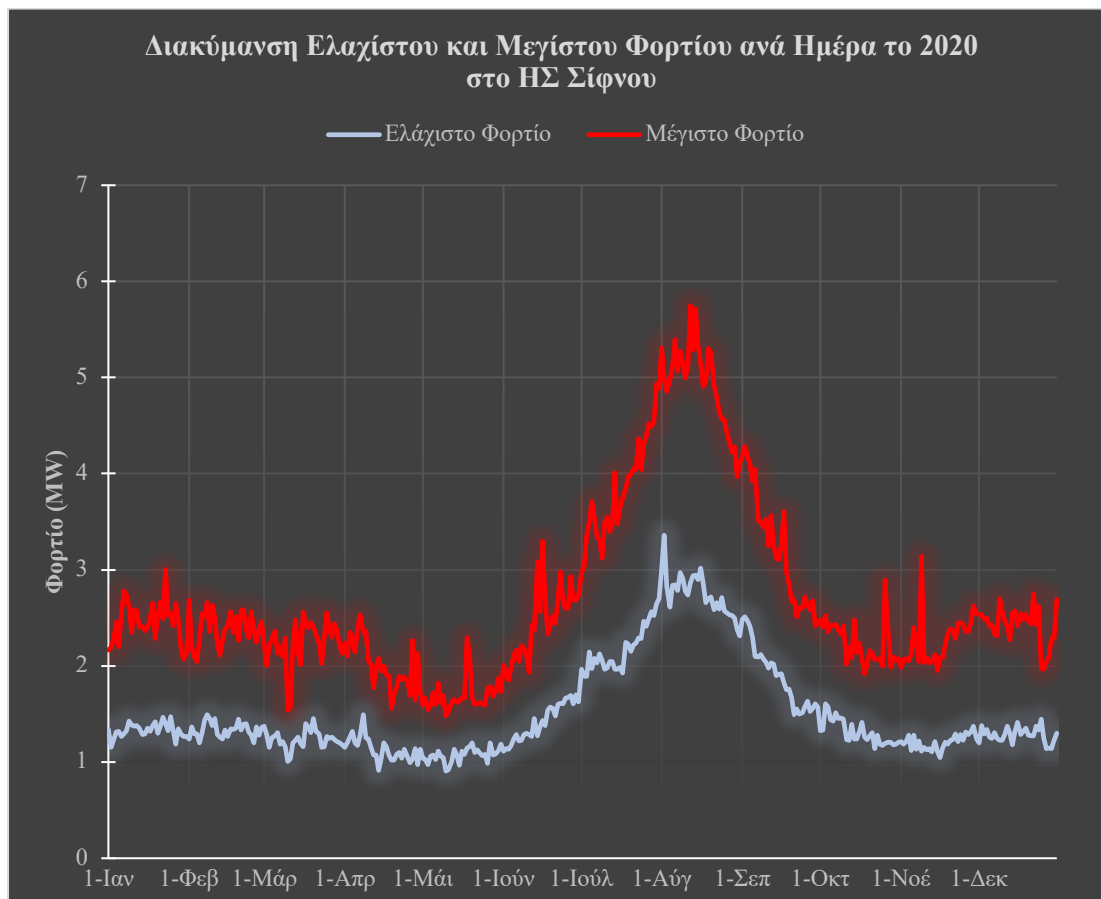
Σε μια προσπάθεια μείωσης του συνολικού κόστους για τον ενεργειακό εφοδιασμό του νησιού και κατ' επέκταση της ίδιας της χώρας, στις αρχές του 2019, η ΔΕΗ εγκατέστησε 2 ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 1,26 MW στο νησί. Αυτό έγινε με την υποστήριξη της τοπικής κοινότητας, χάρη στις προσπάθειες της πρωτοβουλίας ενέργειας της τοπικής κοινότητας για την αντιμετώπιση των ανησυχιών των κατοίκων σχετικά με τις ανεμογεννήτριες. Επιπλέον, η Σίφνος μετρά περίπου 335 kW φωτοβολταϊκών γεννητριών που διανέμονται σε 25 οικιστικές και δύο μικρές εμπορικές εγκαταστάσεις [165].

6.3.1 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Μια πιο λεπτομερής εικόνα σχετικά με τα επίπεδα της ηλεκτροπαραγωγής στη Σίφνο, προκύπτει από την ανάλυση σημαντικών στοιχείων που αντλούνται από μετρήσεις του Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ). Τα στοιχεία αυτά αφορούν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του Ηλεκτρικού Συστήματος του νησιού κατά το έτος 2020 και περιλαμβάνουν δεδομένα τόσο για τη θερμική, όσο και για την αιολική παραγωγή. Μάλιστα, ιδιαίτερη αναφορά δίνεται στις οριακές μέγιστες και ελάχιστες τιμές παραγωγής που σημειώθηκαν είτε ωριαία, είτε ευρύτερα σε ημερήσιο, μηνιαίο και ετήσιο συνολικά επίπεδο. Η καταγραφή αυτών των μεγεθών, αλλά και η διαγραμματική τους απεικόνιση βοηθούν στην κατανόηση των συνθηκών λειτουργίας του τοπικού ηλεκτρικού δικτύου, ενώ ταυτόχρονα αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για τη μελέτη ενός ευρύτερου σχεδίου ανάπτυξης υποδομών ηλεκτροκίνησης στο νησί.

6.3.1.1 Ωριαία Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Σε ωριαίο επίπεδο χρήσιμα συμπεράσματα αντλούνται από τις τιμές φορτίου που σημειώθηκαν στο ηλεκτρικό σύστημα Σίφνου κατά τη διάρκεια του έτους 2020. Παρακάτω στην εικόνα 6-2 παρουσιάζεται αναλυτικά η εξέλιξη της μέγιστης και της ελάχιστης ζήτησης ισχύος (φορτίου) ανά εικοσιτετράωρο.

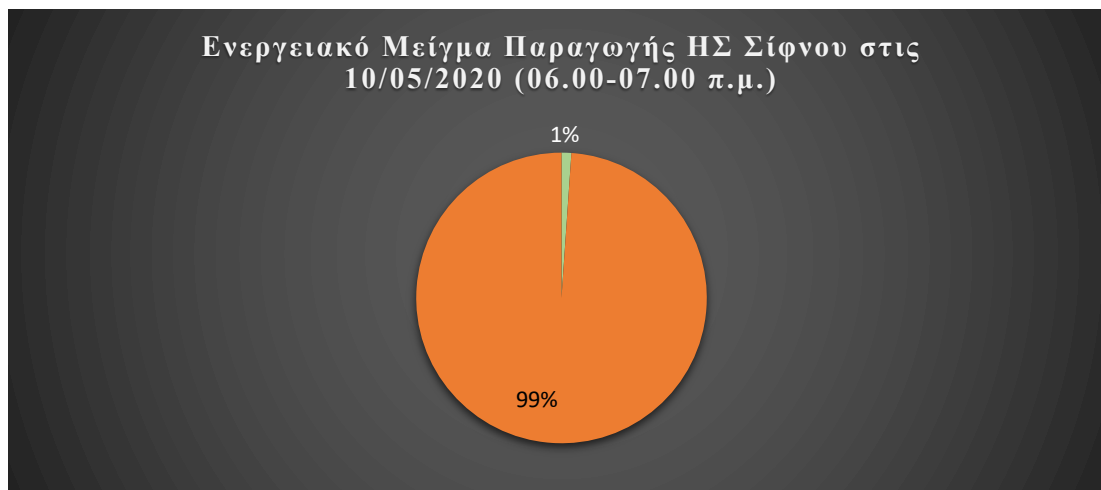


Εικόνα 6-3: Διακύμανση μεγίστου και ελαχίστου ωριαίου φορτίου σε (MW/day) για το έτος 2020 στο ηλεκτρικό σύστημα Σίφνου

Αρχικά, με μια γρήγορη παρατήρηση των καμπυλών, γίνεται αντιληπτό πως η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και κατ' επέκταση η παραγωγή της στη Σίφνο παρουσιάζει έντονη εποχική διακύμανση. Συγκεκριμένα η ελάχιστη ωριαία ζήτηση φορτίου σχεδόν επί 9 μήνες το χρόνο δεν ξεπερνά τα 2 MW, με εξαίρεση τους καλοκαιρινούς μήνες του Ιουλίου, του Αυγούστου και ορισμένες ημέρες του Σεπτεμβρίου, όπου οι τιμές κυμαίνονται στην κλίμακα μεταξύ 2 MW και 3MW.

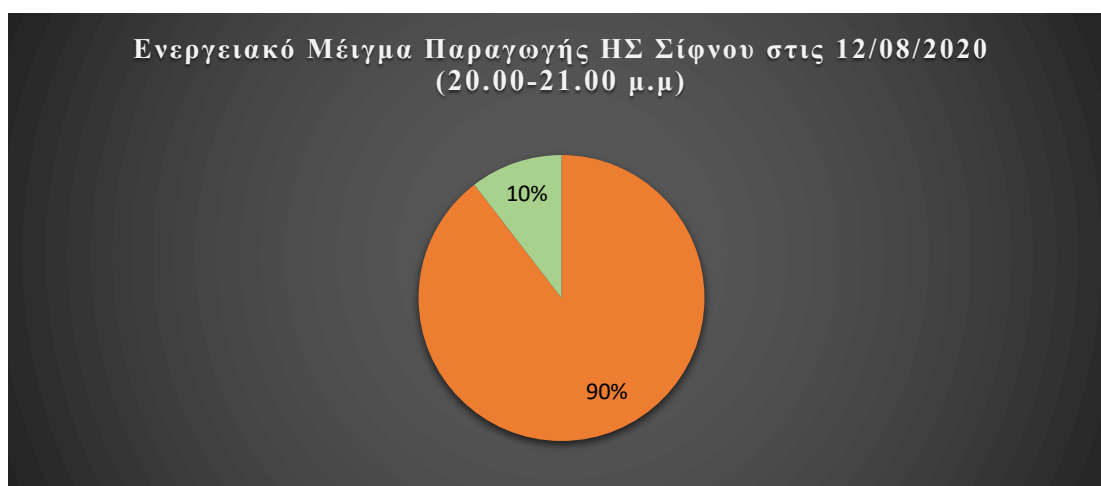
Από την άλλη πλευρά, η μέγιστη ζήτηση φορτίου επί 8 μήνες το χρόνο δεν ξεπερνά τα 3 MW, εξαίρεση αποτελούν οι καλοκαιρινοί μήνες του Ιουνίου, του Ιουλίου, του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου, καθώς και ορισμένες μεμονωμένες ημέρες του Ιανουαρίου και του Νοεμβρίου. Επίσης, σημειώνεται πως τον Ιούνιο και το Σεπτέμβριο η ενεργειακή ζήτηση είναι μικρότερη των 4 MW. Τον Ιούλιο οι μέγιστη τιμή φορτίου αγγίζει τα 5 MW, ενώ η αντίστοιχη του Αυγούστου φτάνει κοντά στα 6 MW, αποτελώντας τη μεγαλύτερη τιμή του έτους.

Πιο αναλυτικά, από την μελέτη των μετρήσεων προκύπτει πως στο Ηλεκτρικό Σύστημα Σίφνου για το έτος 2020 η μικρότερη ωριαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάστηκε το Μάιο στις 10/05/2020 από τις 06.00 έως τις 07.00 το πρωί, με τιμή 0,907 MW. Μάλιστα, για την κάλυψη του συνολικού φορτίου χρησιμοποιήθηκε θερμική μονάδα η οποία πρόσφερε 0,897 MW (ποσοστό 98,9 % του συνολικού ενεργειακού μείγματος), καθώς και οι πρόσφατα εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες οι οποίες συμμετείχαν με ισχύ μόλις 0,01 MW (1,1%).



Εικόνα 6-4: Ενεργειακό μείγμα παραγωγής ηλεκτρικού συστήματος Σίφνου στις 10/05/2020 μεταξύ 06.00 και 07.00 π.μ

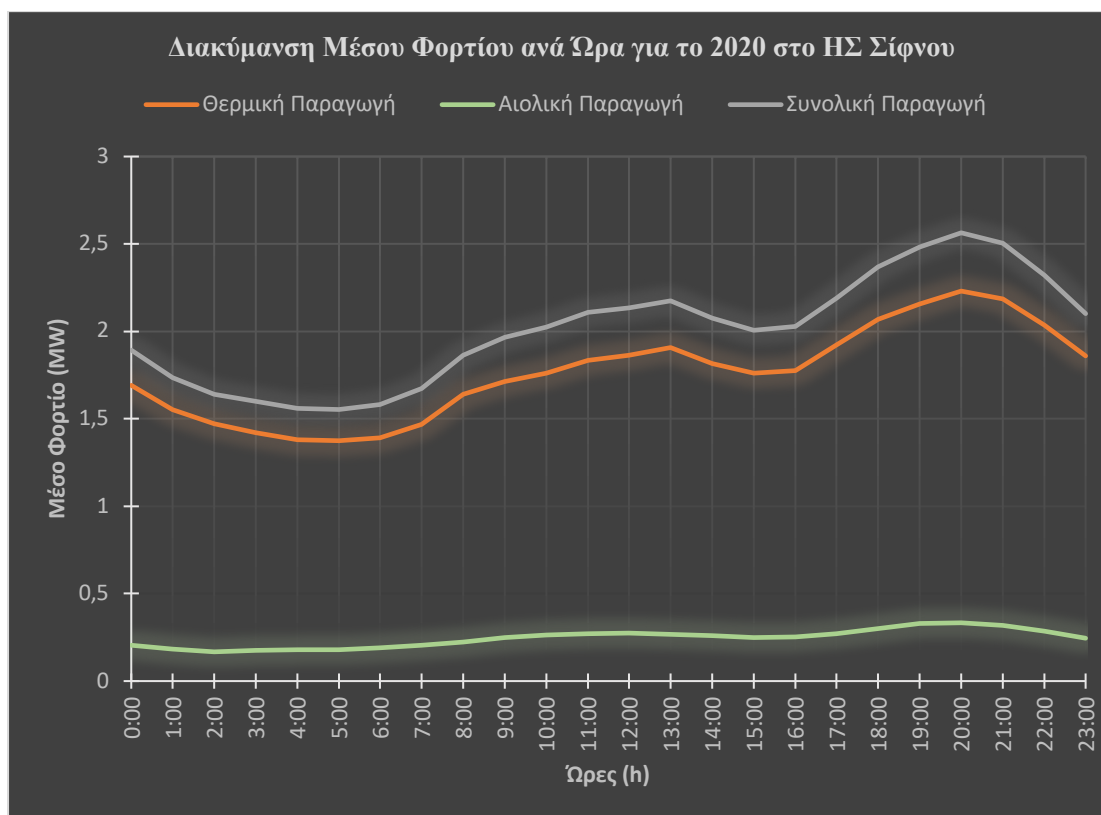
Αντίστοιχα η μέγιστη ωριαία παραγωγή σημειώθηκε το μήνα Αύγουστο στις 12/08/2020 μεταξύ 20.00 και 21.00 το βράδυ, με τιμή 5,747 MW. Εκεί για την απόδοση της ενέργειας χρειάστηκε να λειτουργήσουν οι θερμικές μονάδες του εργοστασίου ισχύος 5,147 MW (89,56 %), αλλά και οι ανεμογεννήτριες με ισχύ 0,6 MW (10,44%).



Εικόνα 6-5: Ενεργειακό μείγμα παραγωγής ηλεκτρικού συστήματος Σίφνου στις 12/08/2020 μεταξύ 20.00 και 21.00 μ.μ.

Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να τονιστεί πως η συμβολή των ΑΠΕ (αιολικής ενέργειας) στο ενεργειακό μείγμα της ηλεκτροπαραγωγής, ακόμα και στο μικρό αυτό επίπεδο, αποτελεί μια σημαντική συμπληρωματική πηγή ενέργειας για τη αποδοτικότερη και οικονομικότερη λειτουργία του ΗΣ του νησιού.

Ωστόσο, πέραν των μεγίστων και των ελαχίστων ωριαίων τιμών φορτίου, ένα ακόμα στοιχείο που βοηθά στην καλύτερη κατανόηση των ενεργειακών απαιτήσεων του νησιού αποτελεί η διακύμανση του μέσου φορτίου ανά ώρα.

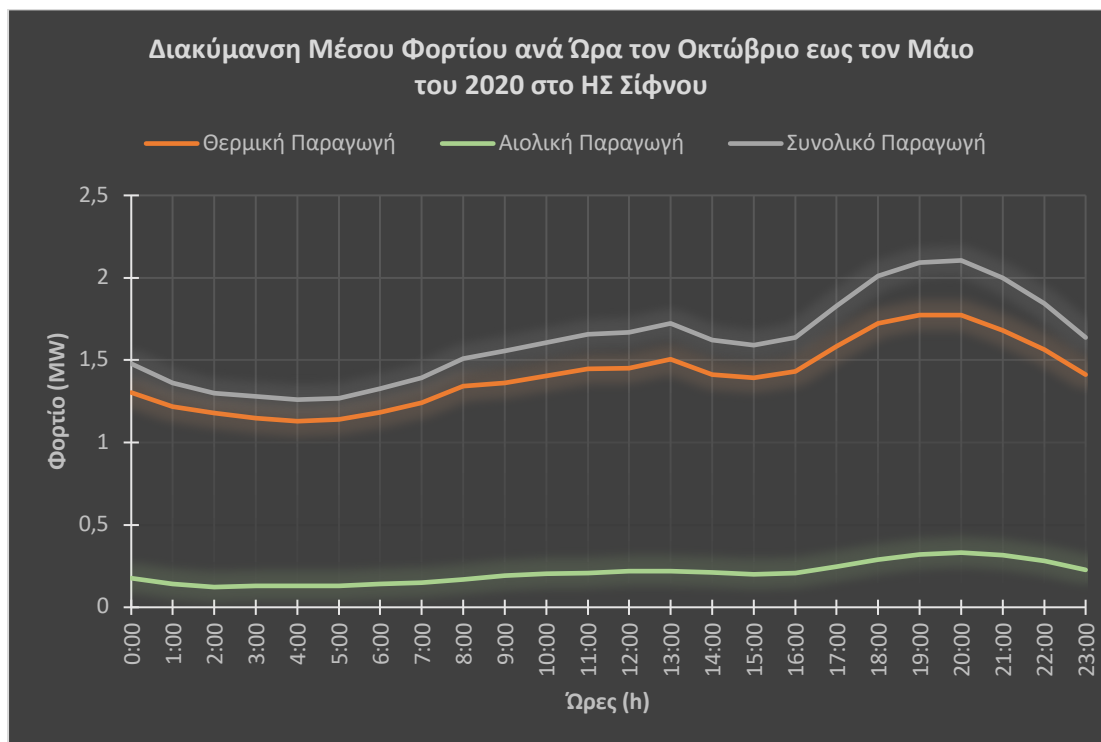


Εικόνα 6–6: Διακύμανση μέσου ωριαίου φορτίου σε (MW/h) για το έτος 2020 στο ηλεκτρικό σύστημα Σίφνου

Από το γράφημα φαίνεται πως το μέσο συνολικό φορτίο κυμαίνεται στην κλίμακα των 1,55 MW με 2,56 MW. Πιο αναλυτικά από τις 0.00 έως τις 5.00, το μέσο ωριαίο φορτίο παίρνει τις μικρότερες τιμές του, από 1,893 MW έως 1,553 MW, διαγράφοντας μια διαρκώς πτωτική πορεία. Αντιθέτως, στα αμέσως επόμενα διαστήματα, οι τιμές εμφανίζουν μια συνεχόμενη αύξηση η οποία λαμβάνει την μέγιστη τιμή της στις 12.00 με 2,174 MW. Λίγες ώρες αργότερα, μέχρι τις 15.00 οι τιμές μειώνονται ελαφρώς στα 2,008 MW. Από εκεί και έπειτα, το μέσο ωριαίο φορτίο του δικτύου αυξάνεται σημαντικά, όπου στις 20.00 μεγιστοποιείται στα 2,564 MW. Τέλος, στις βραδινές ώρες που ακολουθούν η μέση τιμή ωριαίου φορτίου ξεκινάει και πάλι μια διαρκώς καθοδική πορεία έως τις 23.00 με τιμή 2,103 MW.

Σε γενικότερο επίπεδο, η μέση αιολική παραγωγή κυμαίνεται στην κλίμακα των 0,16 MW με 0,33 MW. Μάλιστα, κατά τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες, και συγκεκριμένα από τις 10.00 έως 14.00, κατά το διάστημα δηλαδή που παρουσιάζεται η πρώτη αιχμή ζήτησης φορτίου, σημειώνονται υψηλές τιμές της τάξης των 0,26 MW με 0,27 MW. Οι τιμές αυτές μεγιστοποιούνται στην κλίμακα των 0,30 MW με 0,33 MW, κατά τις απογευματινές και βραδινές ώρες, από τις 18.00 έως 21.00, όπου και παρουσιάζεται η δεύτερη και μεγαλύτερη αιχμή ζήτησης φορτίου. Η προσφερόμενη ενέργεια από τις ανεμογεννήτριες είναι μεγάλης σημασίας, μιας και βοηθάει στην κάλυψη του φορτίου, μειώνοντας έως ένα βαθμό την ανάγκη για περεταίρω χρήση των θερμικών μονάδων.

Δεδομένου των μεγάλων εποχιακών διακυμάνσεων που παρουσιάζονται στην ενεργειακή ζήτηση, για την καλύτερη αναπαράσταση και κατανόηση των ενεργειακών δεδομένων, η γραφική απεικόνιση του μέσου ωριαίου φορτίου γίνεται για δύο περιόδους. Συγκεκριμένα, η πρώτη περίοδος αφορά 8 μήνες, από τον Οκτώβριο έως τον Μάιο, όπου η κατανάλωση ενέργειας κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα, ενώ η δεύτερη περίοδος περιλαμβάνει 4 τουριστικούς μήνες, από τον Ιούνιο έως το Σεπτέμβριο, όπου ζήτηση γίνεται υψηλότερη.

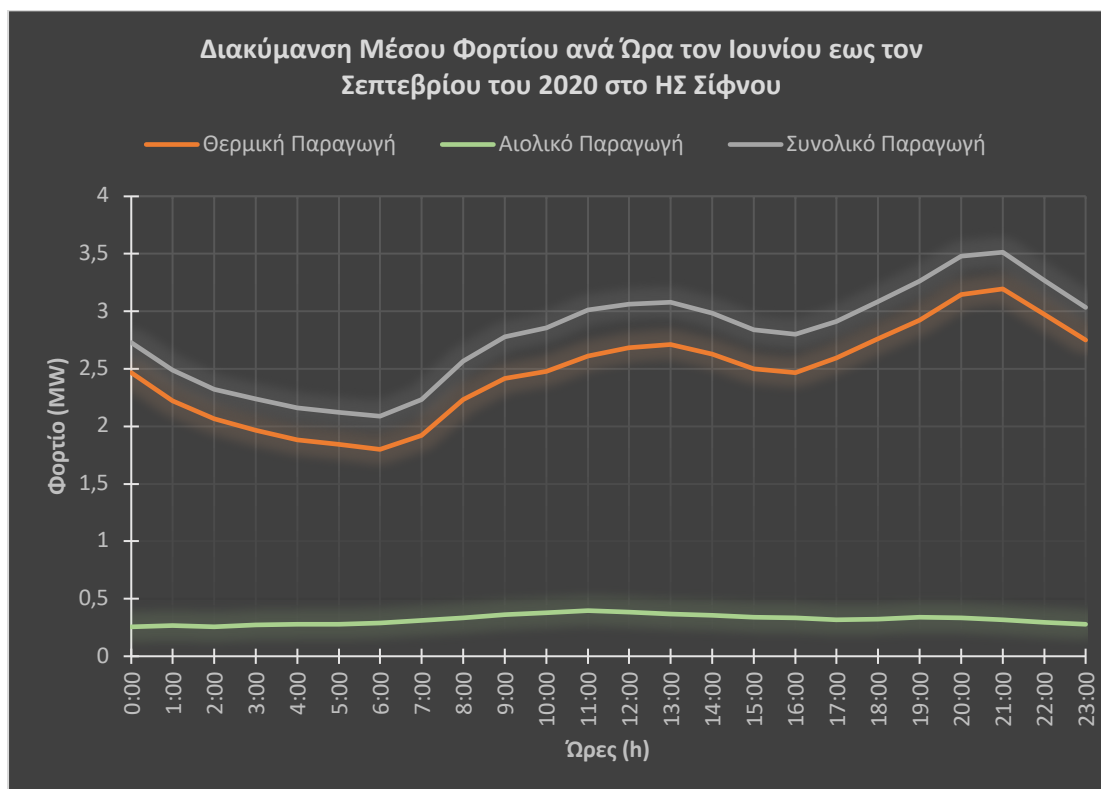


Εικόνα 6–7: Διακύμανση μέσου ωριαίου φορτίου σε (MW/h) για τους μήνες Οκτώβριο έως Μάιο του 2020 στο ηλεκτρικό σύστημα Σίφνου

Από την εικόνα του πρώτου γραφήματος γίνεται αντιληπτή η διακύμανση που παρουσιάζεται το φορτίο κατά τη διάρκεια της ημέρας, η οποία γίνεται ιδιαίτερα εμφανής κατά τις απογευματινές και βραδινές ώρες. Πιο αναλυτικά, το μέσο συνολικό φορτίο κυμαίνεται στην κλίμακα των 1,26 MW με 2,11 MW. Συγκεκριμένα, αναφέρεται πως από τις 0.00 έως τις 4.00, το μέσο ωριαίο συνολικό φορτίο παίρνει τις μικρότερες τιμές του από 1,477 MW έως 1,260 MW. Από τις 4.00 και μετά, οι τιμές αυξάνονται έως και τη 13.00 στα 1,722 MW. Λίγες ώρες αργότερα, μέχρι τις 15.00 οι τιμές μειώνονται ελαφρώς 1,592 MW, ενώ από εκεί και έπειτα, το φορτίο γίνεται σημαντικά μεγαλύτερο. Στις 20.00 λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του, στα 2,105 MW. Τέλος, στις βραδινές ώρες που απομένουν έως τις 23.00 η μέση τιμή ωριαίου φορτίου ξεκινάει και πάλι μια διαρκώς καθοδική πορεία στα 1,639 MW.

Σε γενικότερο επίπεδο, η μέση αιολική παραγωγή κυμαίνεται στην κλίμακα των 0,12 MW με 0,33 MW. Μάλιστα, ιδιαίτερα θετικό στοιχείο για το δίκτυο, αποτελεί το γεγονός πως η μέση αιολική παραγωγή σημειώνει τις μεγαλύτερες τιμές τις 0,32 MW με 0,33 MW, κατά τις απογευματινές με βραδινές ώρες, από τις 19.00 έως τις 21.00, κατά το διάστημα που παρουσιάζεται η μεγαλύτερη αιχμή ζήτησης φορτίου της ημέρας. Η συνεισφορά της είναι αρκετά σημαντική, για την καλύτερη λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος του νησιού.

Αντίστοιχα, δεδομένα για τις τιμές μέσου ωριαίου φορτίου παρουσιάζονται στο παρακάτω γράφημα για τους μήνες από τον Ιούνιο έως το Σεπτέμβριο.

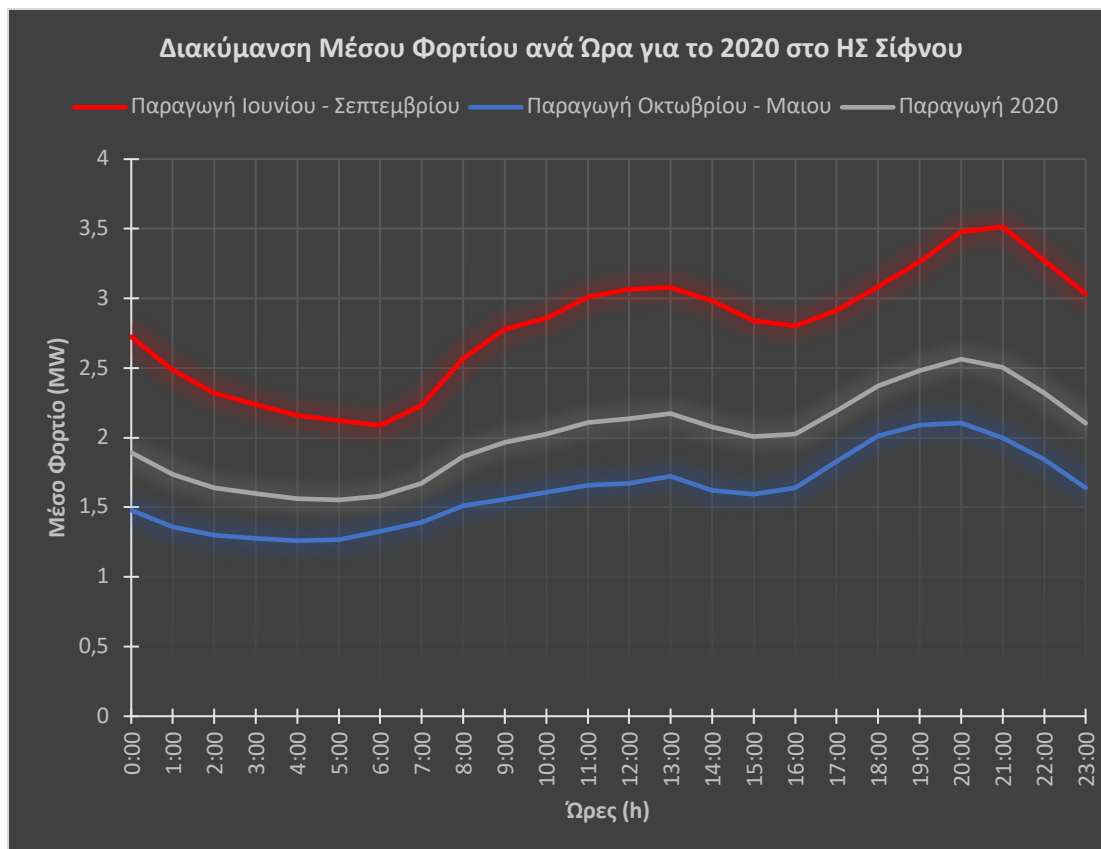


Εικόνα 6–8: Διακύμανση μέσου ωριαίου φορτίου σε (MW/h) για τους μήνες Ιούνιο έως Σεπτέμβριο του 2020 στο ηλεκτρικό σύστημα Σίφνου

Όπως και στην προηγούμενη περίοδο (Οκτωβρίου – Μαΐου), έτσι και σε αυτή, το μέσο φορτίο εμφανίζει διακυμάνσεις εντός της ημέρας, ωστόσο κατά τους καλοκαιρινούς μήνες οι διακυμάνσεις αυτές είναι σημαντικά εντονότερες, ενώ ιδιαίτερη αύξηση εμφανίζεται και κατά τις μεσημεριανές ώρες. Πιο αναλυτικά, το μέσο συνολικό φορτίο κυμαίνεται στην κλίμακα των 2,09 MW με 3,51 MW. Συγκεκριμένα από τις 0.00 έως τις 6.00, το μέσο ωριαίο φορτίο παίρνει τις μικρότερες τιμές του από 2,726 MW έως 2,088 MW, διαγράφοντας μια διαρκώς πτωτική πορεία. Αντιθέτως, στα αμέσως επόμενα διαστήματα, οι τιμές εμφανίζουν μια συνεχόμενη αύξηση η οποία λαμβάνει την μέγιστη τιμή της στη 13.00 με 3,077 MW. Λίγες ώρες αργότερα, μέχρι τις 16.00 οι τιμές μειώνονται ελαφρώς, στα 2,802 MW. Από εκεί και έπειτα, το μέσο ωριαίο φορτίο του ηλεκτρικού συστήματος του νησιού γίνεται σημαντικά μεγαλύτερο, όπου στις 21.00 μεγιστοποιείται στα 3,514 MW. Τέλος, στις βραδινές ώρες που απομένουν έως τις 23.00, η μέση τιμή ωριαίου φορτίου των 3,032 MW ξεκινάει και πάλι μια διαρκώς καθοδική πορεία.

Σε γενικότερο επίπεδο, η μέση αιολική παραγωγή κυμαίνεται στην κλίμακα των 0,25 MW με 0,39 MW. Αξιοσημείωτο αποτελεί το γεγονός πως υψηλές τιμές παραγωγής σημειώνονται καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, με έμφαση στις πρωινές και μεσημεριανές ώρες από τις 10.00 μέχρι τη 13.00 όπου εμφανίζεται η αιχμή της στην κλίμακα των 0,38 MW με 0,39 MW. Η διαρκής αυτή συνεισφορά βοηθάει στην κάλυψη της ιδιαίτερα υψηλής ενεργειακής ζήτησης.

Παρακάτω, ακολουθεί μια διαγραμματική απεικόνιση του μέσου συνολικού φορτίου του δικτύου για το έτος 2020, καθώς και η διαφοροποίηση του κατά το διάστημα των δύο περιόδων (με και χωρίς τουριστική περίοδο), με τις τιμές ηλεκτροπαραγωγής τους ανά ώρα.

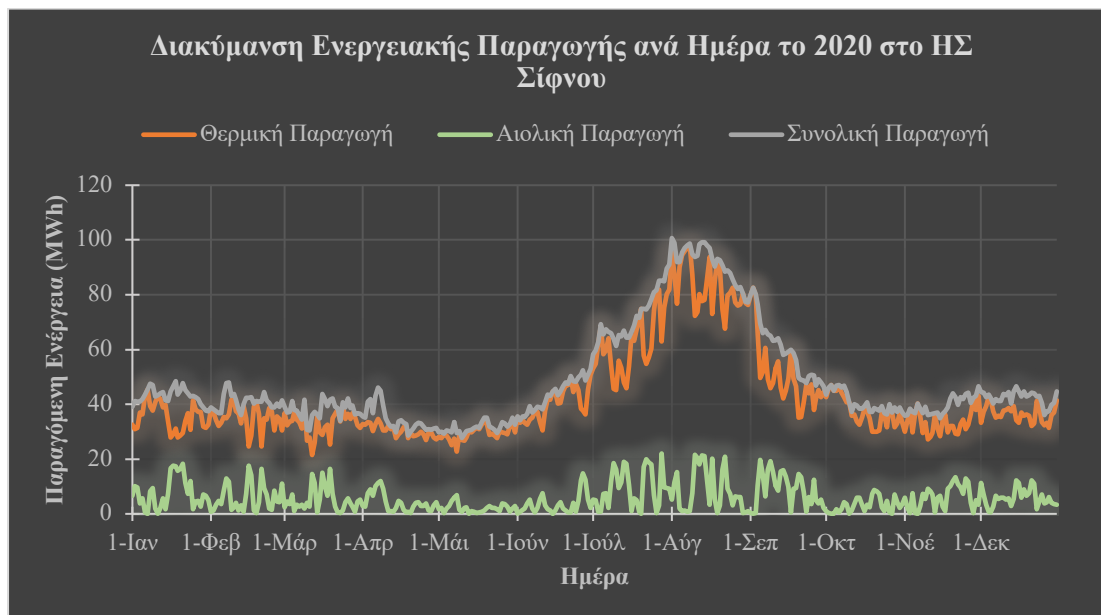


Εικόνα 6–9: Διακύμανση μέσου συνολικού ωριαίου φορτίου σε (MW/h) για το έτος 2020 στο ηλεκτρικό σύστημα Σίφνου

Από την εικόνα του παραπάνω γραφήματος γίνεται αισθητή η εποχιακή διακύμανση που εμφανίζεται στο μέσο ωριαίο συνολικό φορτίο του ηλεκτρικού συστήματος της Σίφνου. Μάλιστα, όπως φαίνεται από το γράφημα, για τις δύο συγκεκριμένες περιπτώσεις οι ενεργειακές απαιτήσεις μιας μέσης ημέρας της περιόδου Οκτωβρίου έως Μαΐου, εμφανίζονται σχεδόν διπλάσιες από τις αντίστοιχες μιας μέσης ημέρας της περιόδου Ιουνίου έως Σεπτεμβρίου. Ωστόσο, ένα κοινό στοιχείο που παρατηρείται και στα δύο γραφήματα αποτελεί η διακύμανση που παρουσιάζεται στο φορτίο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως από τις πρώτες πρωινές ώρες, η ζήτηση ενέργειας και κατ' επέκταση και η ανάλογη παραγωγή παίρνουν τις μικρότερες τους τιμές, διαγράφοντας μια διαρκώς πτωτική πορεία. Αντιθέτως, στα αμέσως επόμενα διαστήματα και ειδικότερα τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες η τιμή του μέσου ωριαίου φορτίου γίνεται ακόμα μεγαλύτερη. Η αιχμή στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται συνεχώς έως και τις 20.00 με 21.00 όπου λαμβάνει τη μέγιστη ημερήσια τιμή της. Τέλος, γίνεται αντιληπτό πως η καμπύλη του μέσου συνολικού φορτίου όλου του έτους δεν εμφανίζεται συμμετρικά στο μέσον των δύο καμπυλών, αλλά χαμηλότερα, πιο κοντά στην καμπύλη της περιόδου Οκτωβρίου – Μαΐου. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός πως οι τιμές από τις οποίες διαμορφώνεται, προκύπτουν από τις ωριαίες μετρήσεις 8 μηνών, συγκριτικά με την περίοδο Ιουνίου – Σεπτεμβρίου, όπου οι τιμές προκύπτουν από ωριαίες μετρήσεις 4 μηνών.

6.3.1.2 Ημερήσια Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Σε ημερήσιο επίπεδο σημαντικά στοιχεία προκύπτουν από την ανάλυση των τιμών ημερήσιας ενεργειακής παραγωγής. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται αναλυτικά η διακύμανση της, όπως ακριβώς σημειώθηκε κατά τη διάρκεια του έτους 2020 στο ηλεκτρικό σύστημα Σίφνου.

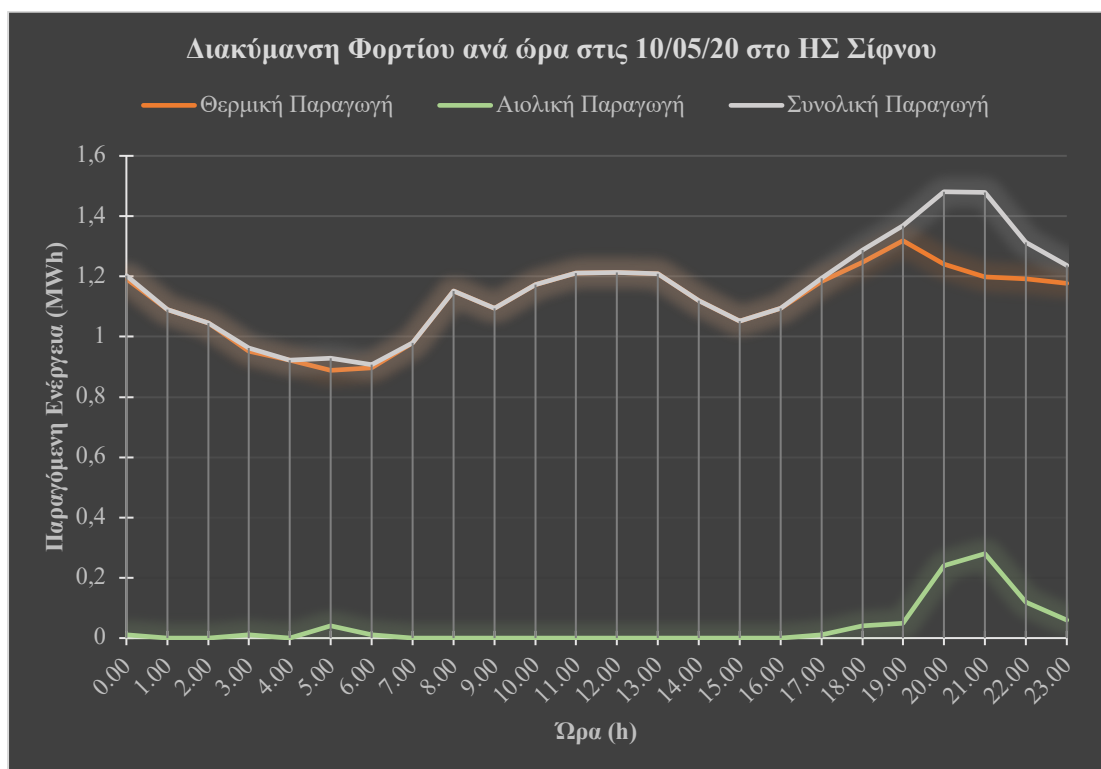


Εικόνα 6–10: Διακύμανση ημερήσιας ενεργειακής παραγωγής σε (MWh/day) για το έτος 2020 στο ηλεκτρικό σύστημα Σίφνου

Αρχικά, από την εικόνα φαίνεται αναλυτικά η συνολική ημερήσια παραγωγή ενέργειας, η οποία προκύπτει αφ' ενός από τις θερμικές μονάδες του εργοστασίου της ΔΕΗ και αφ' ετέρου από τις ανεμογεννήτριες που είναι εγκατεστημένες στο νησί για την κάλυψη της ζήτησης / κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Εκεί, από τις καμπύλες του γραφήματος γίνεται σαφές πως η ημερήσια παραγωγή ενέργειας διαφοροποιείται σημαντικά κατά τη διάρκεια του χρόνου. Συγκεκριμένα η ημερήσια παραγωγή επί 8 μήνες το χρόνο δεν ξεπερνά τις 50 MWh, με εξαίρεση τις ημέρες του Ιουνίου, του Ιουλίου, του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου. Μάλιστα, τον Ιούνιο η ενεργειακή παραγωγή διπλασιάζεται από τις 35 MWh στις 60 MWh. Ένα μήνα αργότερα, τον Ιούλιο η τιμές ξεκινούν από τις 60 MWh, ενώ στα τέλη του μήνα φτάνουν να ξεπεράσουν τις 80 MWh. Τον Αύγουστο σημειώνονται οι υψηλότερες τιμές με την παραγωγή να φτάνει μέγιστη τιμή κοντά στις 100 MWh. Το Σεπτέμβριο η ημερήσια ενεργειακή παραγωγή ξεκινάει από τις 80 MWh και καταλήγει σχεδόν στο ήμισυ, περίπου στις 45 MWh, ενώ στους μήνες που ακολουθούν οι τιμές ημερήσιας ενεργειακής παραγωγής κυμαίνονται κάτω από το επίπεδο των 50 MWh.

Σημαντικό στοιχείο αποτελεί επίσης πως για την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης, η παραγωγή στηρίζεται κατά κύριο λόγο στην θερμική παραγωγή των ντιζελογεννητριών του τοπικού εργοστασίου της ΔΕΗ. Ωστόσο, μικρή αλλά εξαιρετικά σημαντική συνεισφορά για την αποσυμφόρηση του συστήματος, έχει η αιολική παραγωγή. Μάλιστα, ιδιαίτερα υψηλή ήταν η λειτουργία των ανεμογεννητριών κατά της ημέρες του Ιουλίου, του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου, όπου σε ορισμένες περιπτώσεις ημερήσια ενεργειακή τους προσφορά έφτασε να ξεπεράσει το φράγμα των 20 MWh.

Εμβαθύνοντας λίγο περισσότερο, σε ημερήσιο επίπεδο στο ΗΣ Σίφνου η μικρότερη παραγωγή ενέργειας ανήλθε σε 27,711 MWh, εμφανίστηκε το μήνα Μάιο στις 10/05/2020, με τη θερμική παραγωγή να ανέρχεται σε 26,841 MWh (96,86% συμμετοχή στο ενεργειακό μείγμα) και τη αιολική παραγωγή σε μόλις 0,87 MWh (3,14%).



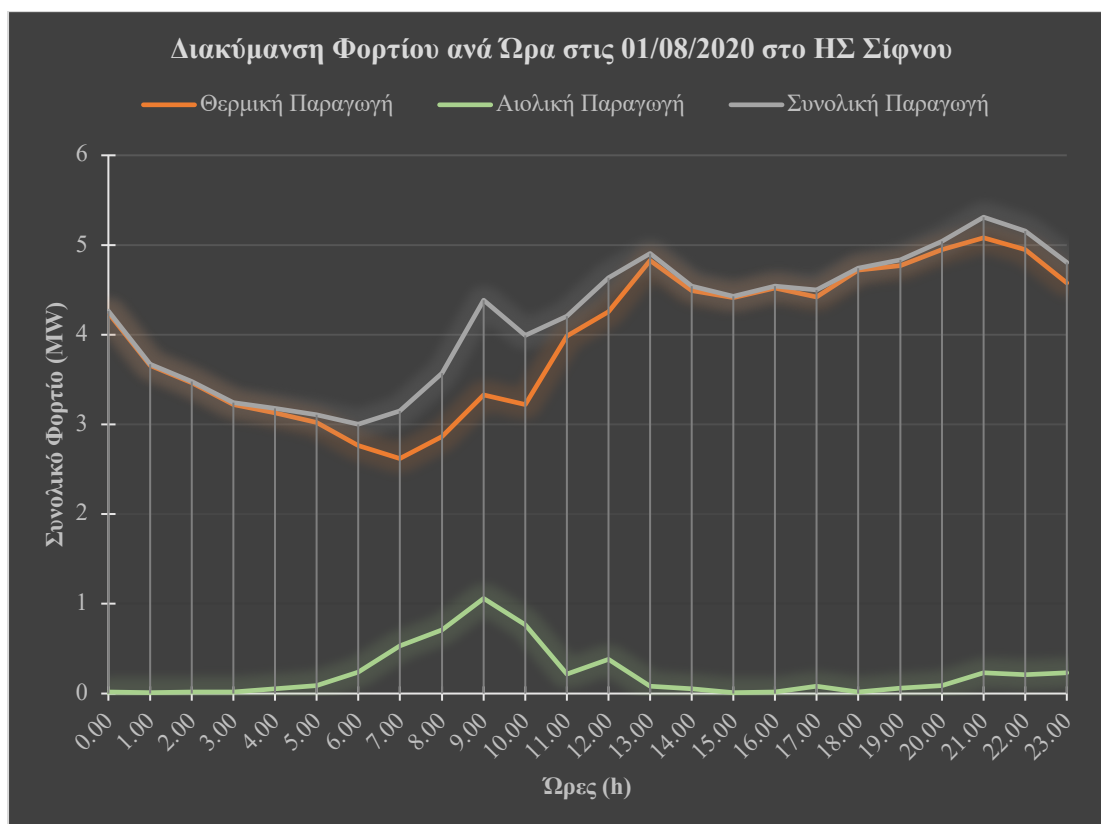
Εικόνα 6–11: Διακύμανση ωριαίου φορτίου σε (MWh/h) στις 10/05/2020 στο ηλεκτρικό σύστημα Σίφνου



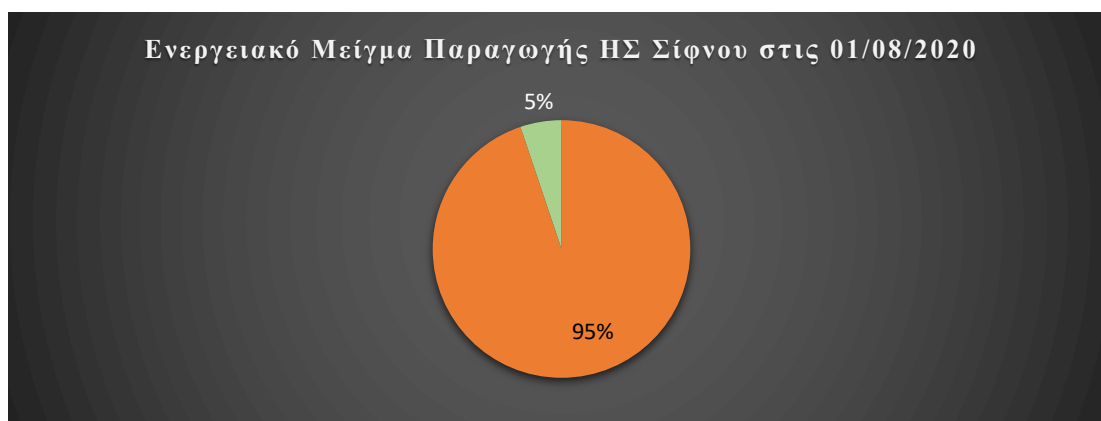
Εικόνα 6–12: Ενεργειακό μείγμα παραγωγής ηλεκτρικού συστήματος Σίφνου στις 10/05/2020

Αναλύοντας τις παραπάνω εικόνες, παρατηρείται πως η 10^η Μαΐου του 2020 ήταν μια ημέρα με μικρή ενεργειακής ζήτηση και κατ' επέκταση ηλεκτροπαραγωγής. Μάλιστα, η αιολική παραγωγή της ημέρας ήταν εξαιρετικά μικρή, με την παραγόμενη συνολικά ηλεκτρική ενέργεια να προέρχεται σχεδόν αποκλειστικά από τις θερμικές μονάδες του εργοστασίου. Ωστόσο, μικρή εξαίρεση αποτελεί το διάστημα μεταξύ 19.00 με 22.00, όπου η προσφερόμενη ισχύς από τις ανεμογεννήτριες ήταν αρκετή, ώστε να μειωθεί έστω και λίγο η λειτουργία των ντιζελογεννητριών και μάλιστα κατά την περίοδο αιχμής της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

Αντιθέτως, η μεγαλύτερη ημερήσια ενεργειακή παραγωγή ήταν 100,698 MWh, δόθηκε το μήνα Αύγουστο στις 01/08/2020, με τη θερμική παραγωγή να προσφέρει 95,497 MWh (94,84%) και την αιολική να δίνει 5,2 MWh (στο 5,16%).



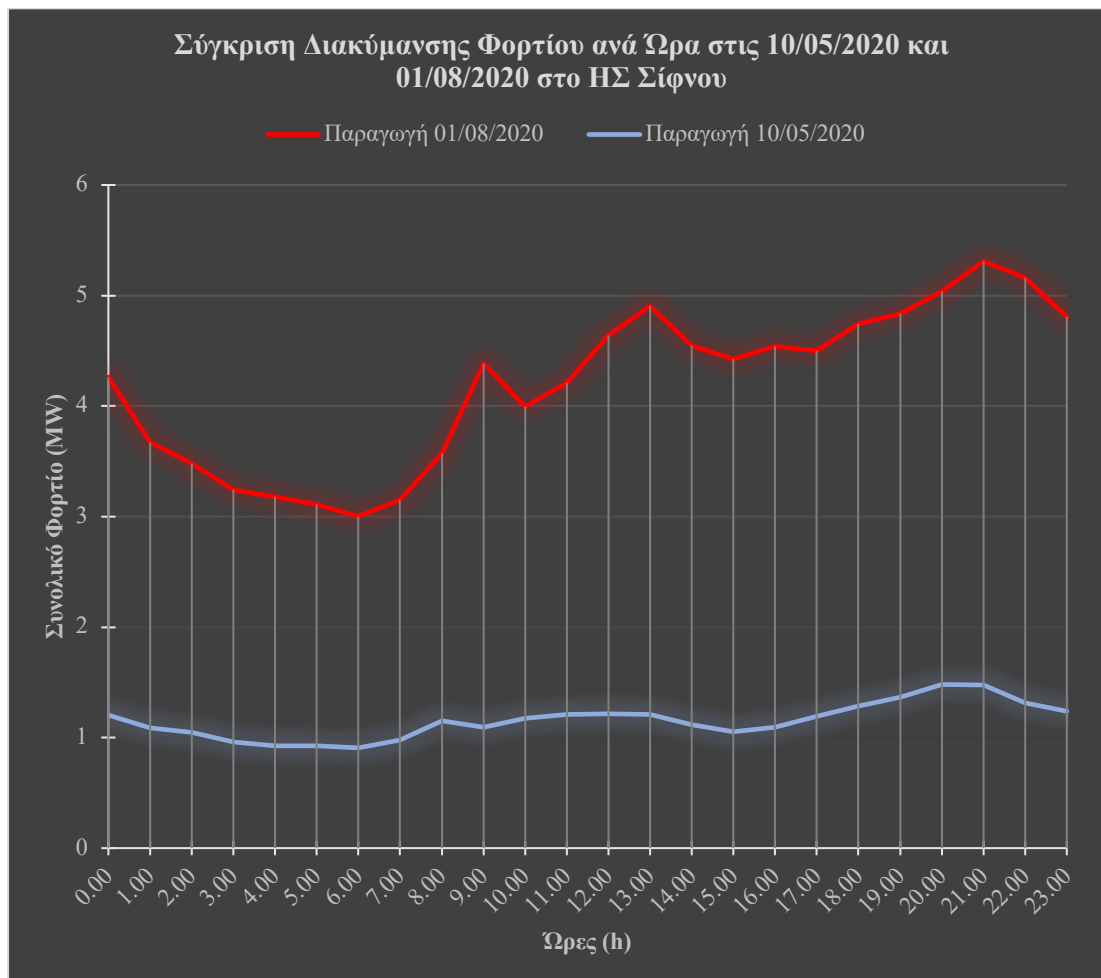
Εικόνα 6-13: Διακύμανση ωριαίου φορτίου σε (MW/h) στις 01/08/2020 στο ηλεκτρικό σύστημα Σίφνου



Εικόνα 6-14: Ενεργειακό μείγμα παραγωγής ηλεκτρικού συστήματος Σίφνου στις 01/08/2020

Απο τα γραφήματα, γίνεται αντιληπτό πως η 1^η Αυγούστου του 2020 ήταν μια ημέρα υψηλής ενεργειακής ζήτησης την οποία το ΗΣ του νησιού κάλυψε κυρίως μέσω της χρήσης των θερμικών μονάδων. Τονίζεται δε πως η αιολική παραγωγή της ημέρας ήταν σχετικά μικρή, με εξαίρεση στο διάστημα μεταξύ 07.00 με 10.00, όπου η προσφερόμενη ισχύ της αντιστάθμισε σημαντικό μέρος της θερμικής και μάλιστα στο χρονικό διάστημα που διαμορφώνεται η πρώτη αιχμή ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας της ημέρας, κατά τις πρωινές ώρες.

Παρακάτω, ακολουθεί μια διαγραμματική απεικόνιση των δύο αυτών ημερών με τις τιμές ηλεκτροπαραγωγής τους ανα ώρα.

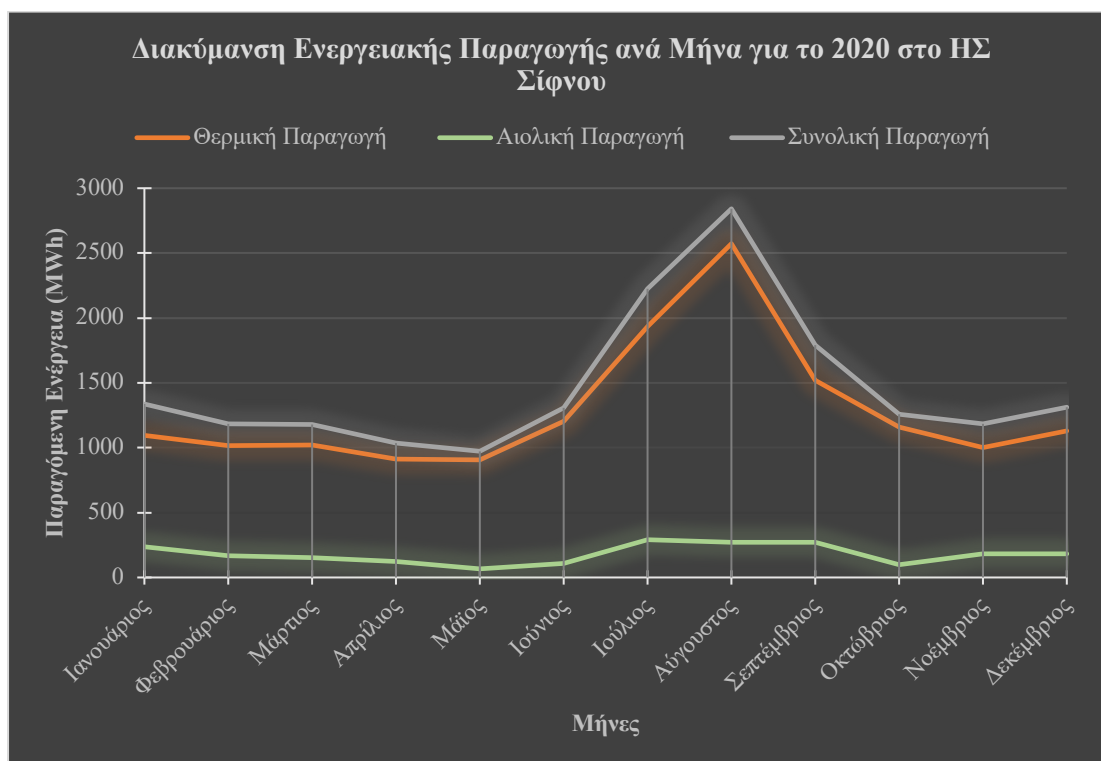


Εικόνα 6-15: Διακύμανση ωριαίου φορτίου σε (MW/h) στις 10/05/2020 και στις 01/08/2020 στο ηλεκτρικού συστήματος Σίφνου

Πιο αναλυτικά, από την εικόνα του παραπάνω γραφήματος γίνεται αισθητή η διαφορά στην απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζεται να παράγει το ηλεκτρικό σύστημα της Σίφνου, για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των καταναλωτών του σε ημερήσιο επίπεδο. Μάλιστα, όπως φαίνεται από το γράφημα, για τις δύο συγκεκριμένες, ακραίες ημέρες, οι συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις της 1^{ης} Αυγούστου ήταν περίπου οι τριπλάσιες από τις αντίστοιχες της 10^{ης} Μαΐου. Μάλιστα, κατά τις ώρες αιχμής ζήτησης φορτίου, οι τιμές σχεδόν τετραπλασιάστηκαν. Ωστόσο, ένα κοινό στοιχείο που παρατηρείται και στα δύο γραφήματα αποτελεί η διακύμανση που παρουσιάζεται στο φορτίο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως από τις πρώτες πρωινές ώρες έως τις 6.00, η ζήτηση ενέργειας και κατ' επέκταση και η ανάλογη παραγωγή παίρνουν τις μικρότερες τους τιμές, διαγράφοντας μια διαρκώς πτωτική πορεία. Αντιθέτως, στα αμέσως επόμενα διαστήματα και ειδικότερα τις πρωινές μεταξύ 8.00 και 10.00 και τις μεσημεριανές από τις 12.00 έως και τις 14.00 η ενεργειακή παραγωγή γίνεται ακόμα μεγαλύτερη. Η αιχμή στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται συνεχώς έως και τις 20.00 με 21.00 όπου λαμβάνει τη μέγιστη ημερήσια τιμή της. Τέλος, στις επόμενες ώρες το συνολικό φορτίο ξεκινάει την καθοδική του πορεία.

6.3.1.3 Μηνιαία Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Σε μηνιαίο επίπεδο ωφέλιμες πληροφορίες απορρέουν από τις τιμές μηνιαίας ενεργειακής παραγωγής. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται αναλυτικά η διακύμανση της, όπως ακριβώς σημειώθηκε κατά τη διάρκεια του έτους 2020 στο ηλεκτρικό σύστημα Σίφνου.

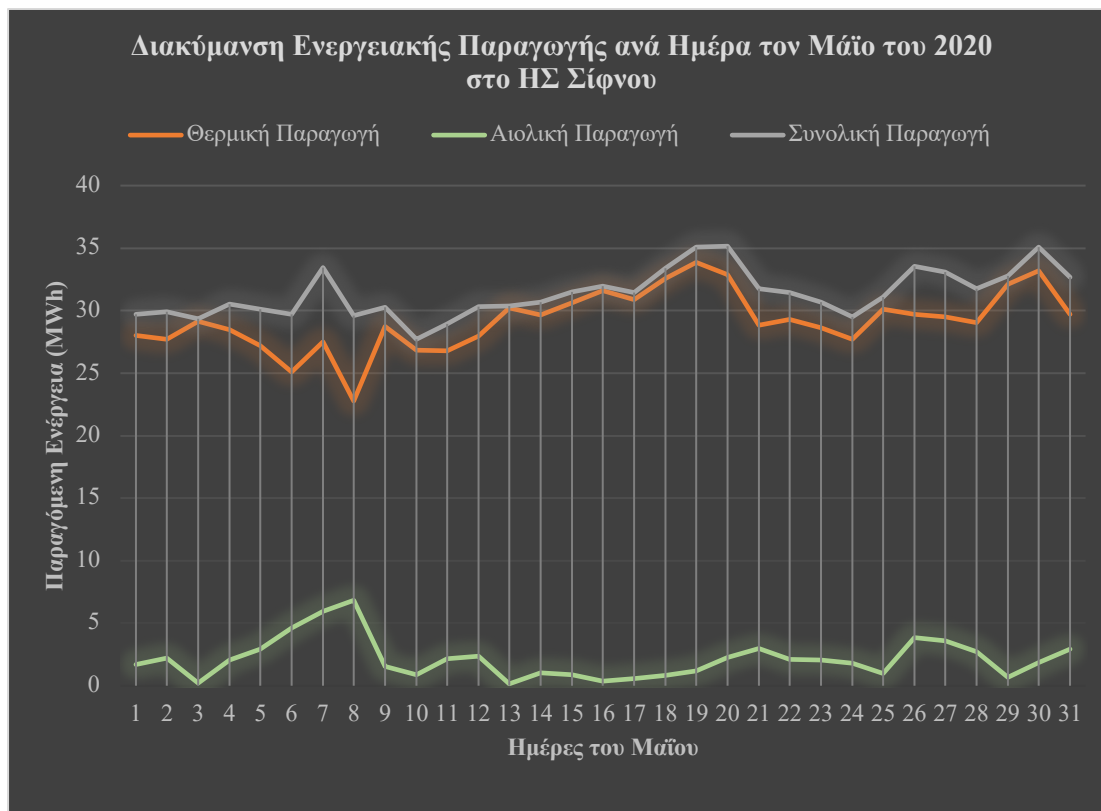


Εικόνα 6-16: Διακύμανση μηνιαίας ενεργειακής παραγωγής σε (MWh/month) για το έτος 2020 στο ηλεκτρικό σύστημα Σίφνου

Αρχικά, όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, έτσι και εδώ γίνεται φανερή η έντονη εποχική μεταβολή των τιμών μηνιαίας ηλεκτροπαραγωγής στη Σίφνο. Συγκεκριμένα, η μηνιαία παραγωγή επί 9 μήνες το χρόνο δεν ξεπερνά τις 1.500 MWh, με εξαίρεση τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο. Η αιχμή της μηνιαίας ενεργειακής παραγωγής εμφανίζεται τον Αύγουστο κοντά στις 3.000 MWh. Το Σεπτέμβριο η παραγωγή που σημειώνεται εξακολουθεί να είναι μεγάλη, ωστόσο με το πέρασμα των ημερών και τη λήξη της τουριστικής περιόδου, η τιμή της γίνεται ολοένα και μικρότερη. Από εκεί και έπειτα, από τον Οκτώβριο έως και τον Μάιο, οι ενεργειακές παραγωγές κινούνται σταθερά σε χαμηλότερα επίπεδα (1.100 έως 1.350 MWh).

Αξιοσημείωτο αποτελεί επίσης το γεγονός πως κατά τους μήνες υψηλής ενεργειακής ζήτησης (Ιούλιος, Αύγουστος, Σεπτέμβριος) το ηλεκτρικό σύστημα του νησιού προκειμένου να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες των καταναλωτών του, θέτει σε λειτουργία τις περισσότερες από τις θερμικές του μονάδες, ενώ παράλληλα εκμεταλλεύεται στο έπακρο και τις ανεμογεννήτριες του. Μάλιστα, η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από υψηλό αιολικό δυναμικό, κάτι που συνεισφέρει στη επίτευξη υψηλότερων τιμών αιολικής παραγωγής, η οποία ξεπέρασε τις 250 MWh και πλησιάζοντας τις 300 MWh.

Αναλυτικότερα, σε μηνιαίο επίπεδο, η μικρότερη παραγωγή ενέργειας εμφανίστηκε το μήνα Μάιο με τιμή 972,680 MWh ή 0,973 GWh. Εκεί, η παραγωγή ενέργειας από τη χρήση των θερμικών μονάδων έφτασε τις 906,338 MWh ή 0,906 GWh (93,18%) και η αντίστοιχη αιολική παραγωγή προσέφερε 66,341 MWh ή 0,066 GWh (6,82%).



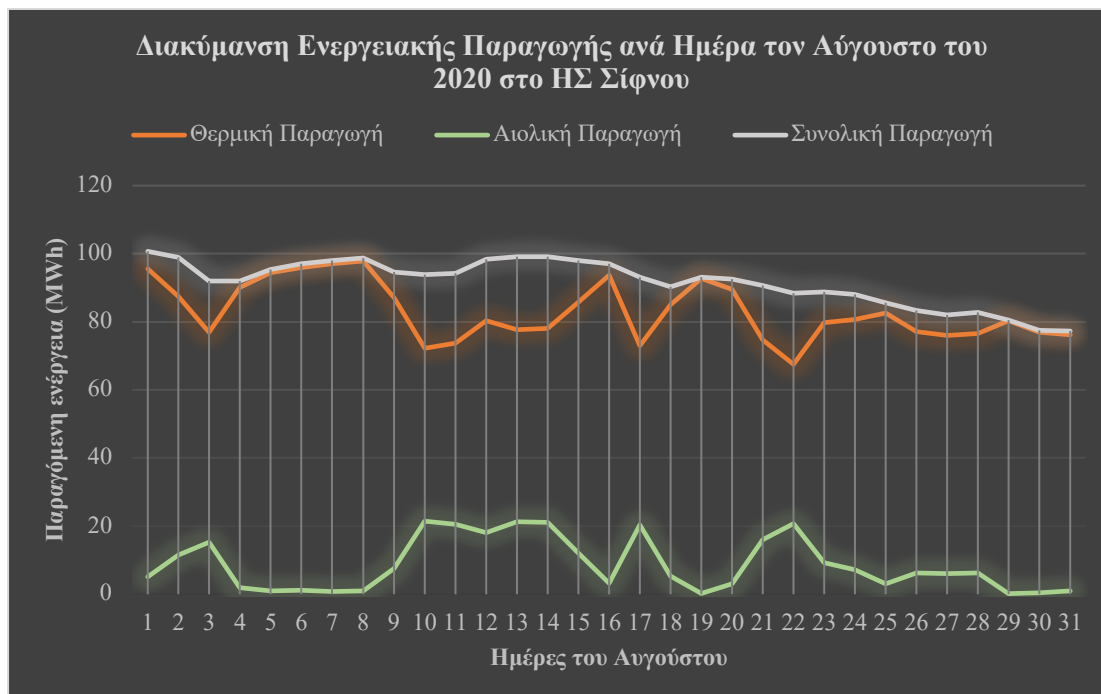
Εικόνα 6–17: Διακύμανση ημερήσιας ενεργειακής παραγωγής (MWh/day) για τον Μάιο του 2020 στο Ηλεκτρικό Σύστημα Σίφνου



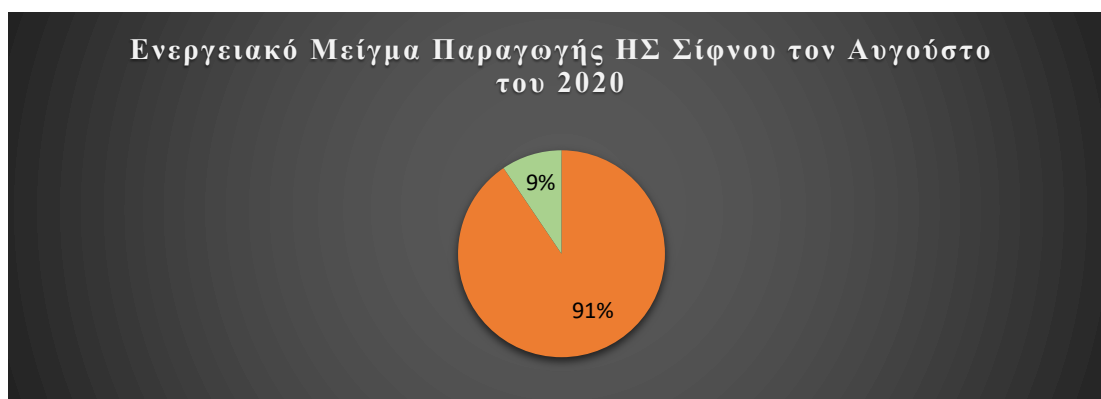
Εικόνα 6–18: Το ενεργειακό μείγμα παραγωγής ηλεκτρικού συστήματος Σίφνου τον Μάιο του 2020

Από την εικόνα των γραφημάτων, καθίσταται φανερό πως ο Μάιος ήταν ένας μήνας χαμηλής ενεργειακής παραγωγής, η οποία στη συντριπτική της πλειονότητα δόθηκε από τις θερμικές μονάδες. Η συνεισφορά των ανεμογεννητριών στην ηλεκτροπαραγωγή ήταν σχετικά μικρή και σταθερή στο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, με εξαίρεση ορισμένες εξάρσεις που σημειώθηκαν κατά το πρώτο δεκαήμερο και προς το τέλος του μήνα. Τότε η προσφερόμενη από τις ανεμογεννήτριες ισχύς, ήταν αρκετή ώστε να αντικαταστήσει μέρος της θερμικής ισχύος των μονάδων του εργοστασίου.

Από την άλλη πλευρά, η μεγαλύτερη μηνιαία παραγωγή δόθηκε το μήνα Αύγουστο με συνολική τιμή 2841,429 MWh ή 2,841 GWh (90,54%). Από το σύνολο η θερμικές μονάδες προσέφεραν τις 2572,507 MWh ή 2,573 MWh, ενώ οι εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες είχαν έδωσαν 268,922 MWh ή 0,269 GWh (9,46%).



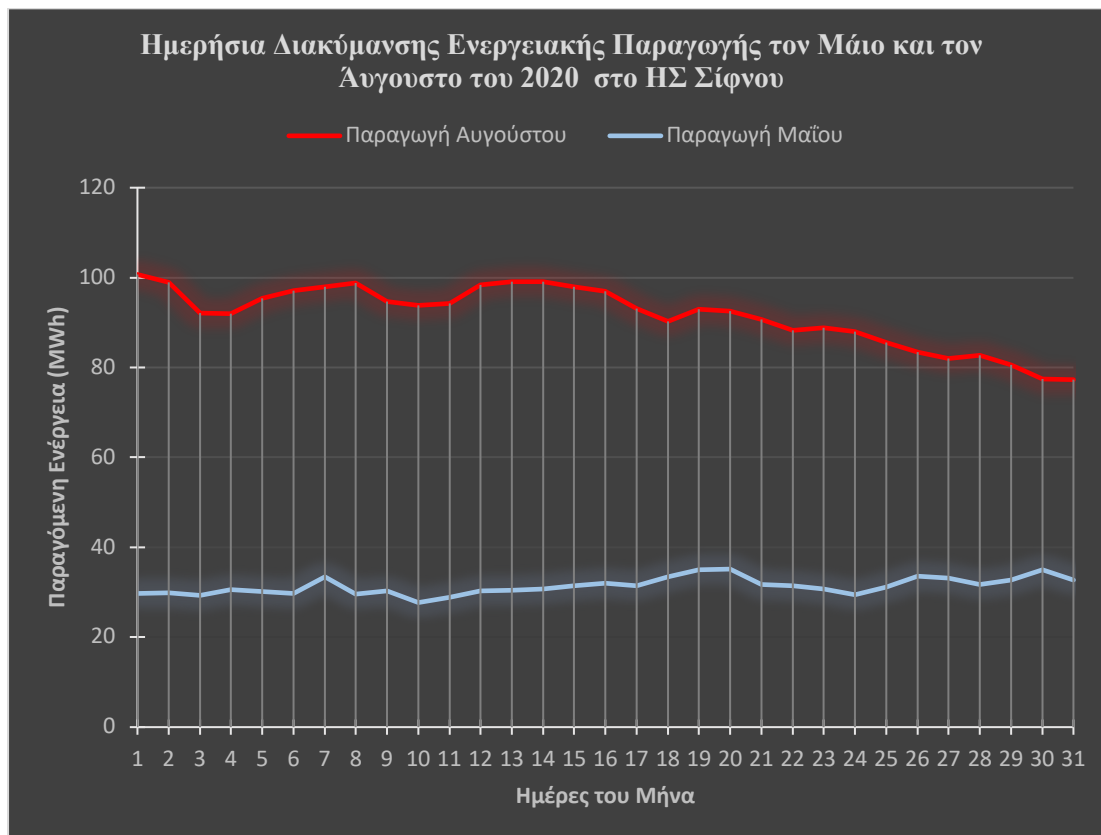
Εικόνα 6–19: Διακύμανση ημερήσιας ενεργειακής παραγωγής (MWh/day) τον Αύγουστο του 2020 στο Ηλεκτρικό Σύστημα Σίφνου



Εικόνα 6–20: Το ενεργειακό μείγμα παραγωγής ηλεκτρικού συστήματος Σίφνου τον Αύγουστο του 2020

Μελετώντας τα γραφήματα, γίνεται σαφές πως ο Αύγουστος ήταν ένας μήνας υψηλής ενεργειακής παραγωγής, για την οποία εργάστηκε σε σημαντικό βαθμό η πλειονότητα των θερμικών μονάδων του τοπικού εργοστασίου, αλλά και οι πρόσφατα εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες. Μάλιστα, σε αρκετές περιπτώσεις και ειδικότερα στις ημέρες στα μέσα του μήνα, η αιολική παραγωγή σημείωσε συμμετοχή σε ποσοστό 20% του ενεργειακού μείγματος ηλεκτροπαραγωγής, μειώνοντας τα επίπεδα ισχύος των ντιζελογεννητριών και συμβάλλοντας στην γενικότερη αποσυμφόρηση του ηλεκτρικού συστήματος του νησιού.

Παρακάτω, ακολουθεί μια διαγραμματική απεικόνιση των δύο αυτών μηνών με τις τιμές ηλεκτροπαραγωγής τους ανα ημέρα.



Εικόνα 6–21: Διακύμανση ημερήσιας ενεργειακής παραγωγής σε (MWh/day) τον Μάιο και τον Αύγουστο του 2020 στο ηλεκτρικό σύστημα Σίφνου

Προχωρώντας σε μια πιο λεπτομερή ανάλυση του παραπάνω γραφήματος γίνεται αντιληπτή η διαφορά που εμφανίζεται στη μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού. Συγκεκριμένα, με κόκκινο χρώμα, αναπαρίσταται η διακύμανση της μέγιστης μηνιαίας παραγωγής για το έτος 2020, ενώ αντίστοιχα με το γαλάζιο της μικρότερης. Εκεί, όπως φαίνεται από το γράφημα, οι συνολικές ενεργειακές παραγωγές του Αυγούστου ήταν περίπου οι τριπλάσιες από τις αντίστοιχες του Μαΐου. Μάλιστα, κατά το πρώτο δεκαπενθήμερο των δύο μηνών η διαφορά ήταν μεγάλη. Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός πως, τον Μάιο το συνολικό φορτίο που καλείται να καλύψει το ΗΣ Σίφνου είναι σχετικά μικρό, καθώς σε αντίθεση με άλλους μήνες του έτους, λόγω των ιδιαίτερα καλών καιρικών συνθηκών που επικρατούν, οι απαιτήσεις των φορτίων θέρμανσης και ψύξης απουσιάζουν, ενώ παράλληλα πολλές από τις τουριστικές επιχειρήσεις του νησιού δεν έχουν κάνει ακόμα το άνοιγμα τους. Αντιθέτως, τον Αύγουστο, οι τιμές είναι αρκετά υψηλές μιας και ο τουρισμός βρίσκεται στο απόγειο του, οι ανάγκες ηλεκτροδότησης των επιχειρήσεων είναι μεγάλες, ενώ και οι υψηλές θερμοκρασίες αυξάνουν τις ανάγκες για ψύξη των χώρων, επιβαρύνοντας περισσότερο το σύστημα. Φυσικά, το χάσμα ανάμεσα στους δύο μήνες φαίνεται να βελτιώνεται προς το τέλος τους, με τις μεν τιμές του Μαΐου να αυξάνονται προοικονομώντας την έναρξη της τουριστικής περιόδου και τις δε τιμές του Αυγούστου να ακολουθούν μια πτωτική πορεία προοικονομώντας την επερχόμενη λήξη της.

6.3.1.4 Ετήσια Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Σε ετήσιο επίπεδο, από την μελέτη των μετρήσεων προκύπτουν ενδιαφέροντα συμπεράσματα για την συνολική εικόνα του ηλεκτρικού συστήματος του νησιού. Παρακάτω, από τον πίνακα φαίνεται αναλυτικά η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αφ' ενός από το εργοστάσιο της ΔΕΗ (θερμική παραγωγή) και αφ' ετέρου από τις εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες (αιολική παραγωγή), τόσο σε μηνιαίο, όσο και σε ετήσιο συνολικά επίπεδο.

Πίνακας 6 - 2: Η ετήσια ενεργειακή παραγωγή ως αποτέλεσμα αθροίσματος των μηνιαίων παραγωγών για το έτος 2020 στο ηλεκτρικό σύστημα Σίφνου

Μήνας	Θερμική Παραγωγή (MWh)	Αιολική Παραγωγή (MWh)	Συνολική Παραγωγή (MWh)	Μερίδιο Θερμικής Παραγωγής (%)	Μερίδιο παραγωγής ΑΠΕ (%)
Ιανουάριος	1.097,344	237,260	1.334,604	82,22	17,78
Φεβρουάριος	1.016,844	168,749	1.185,593	85,77	14,23
Μάρτιος	1.022,697	155,076	1.177,774	86,83	13,17
Απρίλιος	912,401	122,092	1.034,493	88,20	11,80
Μάιος	906,338	66,342	972,680	93,18	6,82
Ιούνιος	1.201,720	106,039	1.307,759	91,89	8,11
Ιούλιος	1.931,694	290,953	2.222,647	86,91	13,09
Αύγουστος	2.572,507	268,922	2.841,429	90,54	9,46
Σεπτέμβριος	1.521,593	270,777	1.792,370	84,89	15,11
Οκτώβριος	1.160,788	97,170	1.257,958	92,28	7,72
Νοέμβριος	1.000,459	182,828	1.183,287	84,55	15,45
Δεκέμβριος	1.130,903	182,595	1.313,498	86,10	13,90
Σύνολο	15.475,290	2.148,802	17.624,092	87,78	12,22

Συγκεκριμένα, για το έτος 2020, η συνολική τιμή της παραγωγής ανήλθε στις 17.624,092 MWh ή 17,624 GWh. Από το σύνολο της παραγόμενης ενέργειας, η θερμικές μονάδες προσέφεραν τις 15.475,290 MWh ή 15,475 GWh (87,78%), ενώ οι εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες έδωσαν 2.148,802 MWh ή 2,149 GWh (12,22%).



Εικόνα 6–22: Το ενεργειακό μείγμα παραγωγής ηλεκτρικού συστήματος Σίφνου για το έτος 2020

Αρχικά, από την ανάλυση των τιμών του πίνακα, καθίσταται αντιληπτό πως η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και κατ' επέκταση η παραγωγή της στη Σίφνο χαρακτηρίζεται από μεγάλες εποχιακές διακυμάνσεις. Συγκεκριμένα, επί οκτώ μήνες το χρόνο, από τον Οκτώβριο έως τον Μάιο, η κατανάλωση ενέργειας κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα. Υψηλή ζήτηση σημειώνεται μόλις για τους 4 μήνες, από τον Ιούνιο έως το Σεπτέμβριο, με την αιχμή να εμφανίζεται κατά κύριο λόγο τον Ιούλιο και τον Αύγουστο.

Οι υψηλές τιμές ηλεκτροπαραγωγής που σημειώνονται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, δικαιολογούνται από το γεγονός πως κατά το διάστημα αυτό το νησί βρίσκεται εντός της τουριστικής περιόδου. Τότε, ο αριθμός των κατοίκων του νησιού, αλλά και τον επισκεπτών του αυξάνεται σημαντικά, κάτι που σε συνδυασμό με την έναρξη λειτουργίας πολλών τουριστικών επιχειρήσεων, έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Αντιθέτως, οι χαμηλότερες τιμές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που σημειώνονται από το μήνα Οκτώβριο έως και το μήνα Μάιο, είναι ανάλογες της ενεργειακής ζήτησης των καταναλωτών του νησιού, οι οποίοι μετά από τη λήξη της τουριστικής περιόδου είναι αισθητά λιγότεροι.

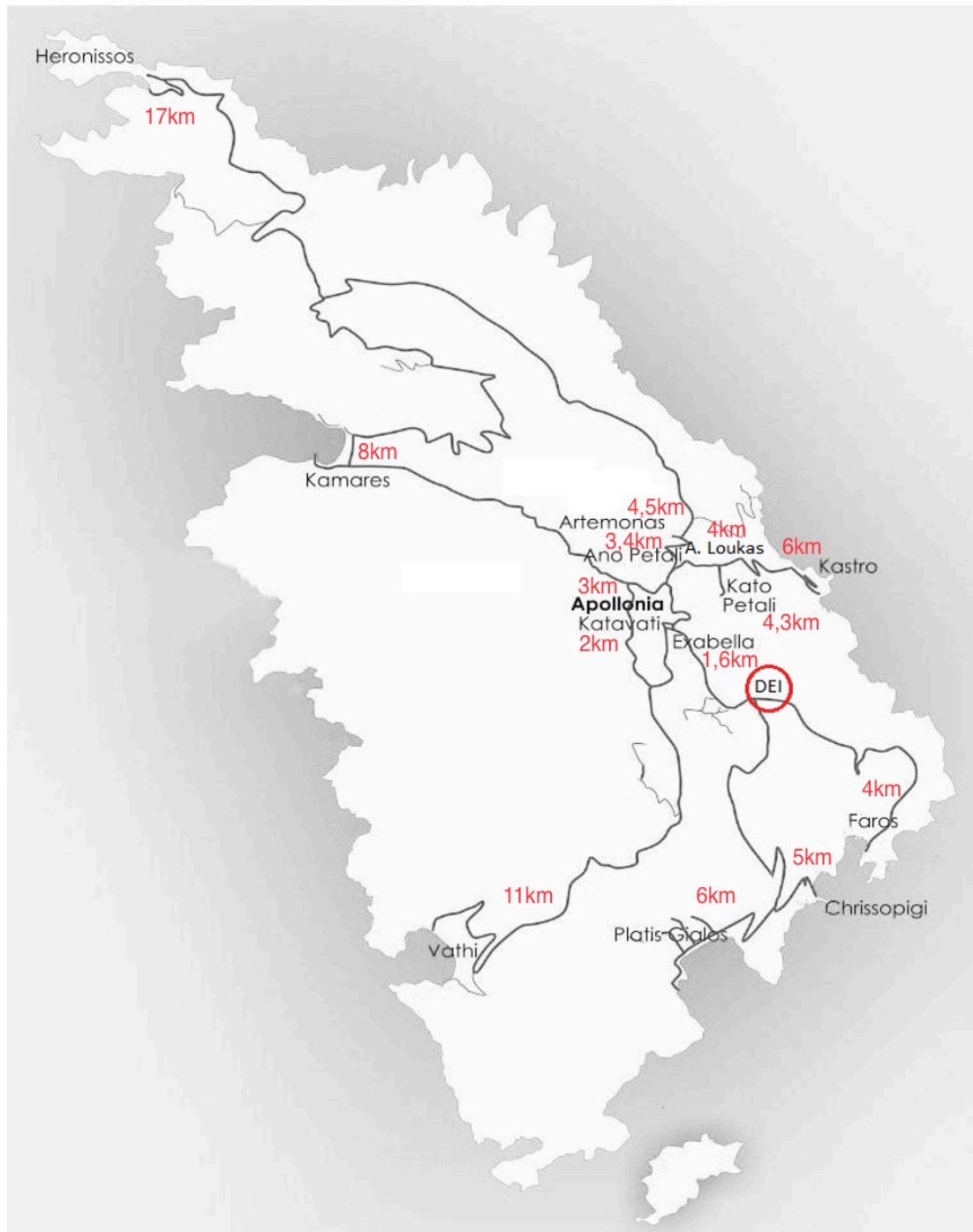
Φυσικά, για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των καταναλωτών, το ηλεκτρικό σύστημα του νησιού όντας μη διασυνδεδεμένο με την ηπειρωτική χώρα, αλλά ούτε και με άλλα γειτονικά νησιά, στηρίζεται κατά κύριο λόγο στην παραγωγή από τις θερμικές μονάδες του τοπικού εργοστασίου, ενώ παράλληλα ένα μικρό ποσό ενέργειας καλύπτεται από τις εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες του.

Η θερμική παραγωγή βασίζεται στη λειτουργία ντιζελογεννητριών οι οποίες για τη λειτουργία τους χρειάζονται συνεχή τροφοδότηση με καύσιμα καθόλη τη διάρκεια του χρόνου. Το πετρέλαιο, εφόσον είναι διαθέσιμο και οικονομικά προσιτό έχει το χάρισμα να αποθηκεύεται σε αναλογικά μικρές δεξαμενές, απόλυτα διαθέσιμο για χρήση ανάλογα με τη ενεργειακή ζήτηση του δικτύου. Όμως στο σύνολο της η διαδικασία αυτή για την παραγωγή ενέργειας, εκτός από εξαιρετικά δαπανηρή είναι και μη βιώσιμη, καθώς πέραν της υπερεκμετάλλευσης πολύτιμων φυσικών πόρων, τα καυσαέρια που εκλύονται συμβάλλουν στην μόλυνση της ατμόσφαιρας και την επιβάρυνση του κλίματος του πλανήτη.

Από την άλλη πλευρά, η αιολική παραγωγή, σε ένα βαθμό μπορεί να αντισταθμίσει μέρος της θερμικής, μειώνοντας τα επίπεδα λειτουργίας των ντιζελογεννητριών. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται σημαντική αποσυμφόρηση του ηλεκτρικού συστήματος του νησιού, το οποίο λειτουργεί αποδοτικότερα και οικονομικότερα, με μικρότερο κόστος για τον ενεργειακό του εφοδιασμό. Επίσης, συμβολή υπάρχει και στη μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων, με όλα τα καλά που αυτό συνεπάγεται για την ποιότητα του αέρα, το κλίμα, το περιβάλλον και την δημόσια υγεία των κατοίκων. Ωστόσο, σε γενικότερο επίπεδο άνεμος δεν είναι πάντοτε σταθερός και διαθέσιμες προς εκμετάλλευση και αυτή είναι η ουσιαστική ιδιομορφία για την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η αιολική παραγωγή δεν μπορεί να είναι απόλυτα συγχρονισμένη με την καμπύλη ζήτησης του ηλεκτρικού φορτίου, πόσο μάλλον με μια καμπύλη ζήτησης όπως αυτή της Σίφνου με την έντονη εποχικότητα που εμφανίζει. Συνεπώς, από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό πως υπάρχει ανάγκη για την εύρεση αποδοτικών μεθόδων αποθήκευσης και ευφυέστερης διαχείρισης της ενέργειας, ώστε να υπάρχει διαθεσιμότητα κατά τα διαστήματα υψηλής ενεργειακής ζήτησης.

6.3.2 Ηλεκτρικό Δίκτυο

Η διαδικασία φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, αλλά και οι διαθέσιμες τεχνολογίες έχουν πρωταρχική σημασία για τη διάδοση και την ανεμπόδιστη χρήση τους. Ωστόσο για την ορθή ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης στο νησί, απαιτείται σχεδιασμός βασισμένος στις επικρατούσες συνθήκες του τοπικού ηλεκτρικού δικτύου. Σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα καλύπτει σχεδόν κάθε περιοχή του νησιού, ακολουθώντας τους οδικούς του άξονες.



Εικόνα 6–23: Χάρτης Δικτύου Διανομής Σίφνου

Οι χιλιομετρικές αποστάσεις μεταξύ του τοπικού εργοστασίου της ΔΕΗ και των κυριότερων οικισμών του νησιού παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6 - 3: Πίνακας 6-0-1: Χιλιομετρικές αποστάσεις μεταξύ του τοπικού σταθμού ΔΕΗ και των κυριότερων οικισμών στη νήσο Σίφνο

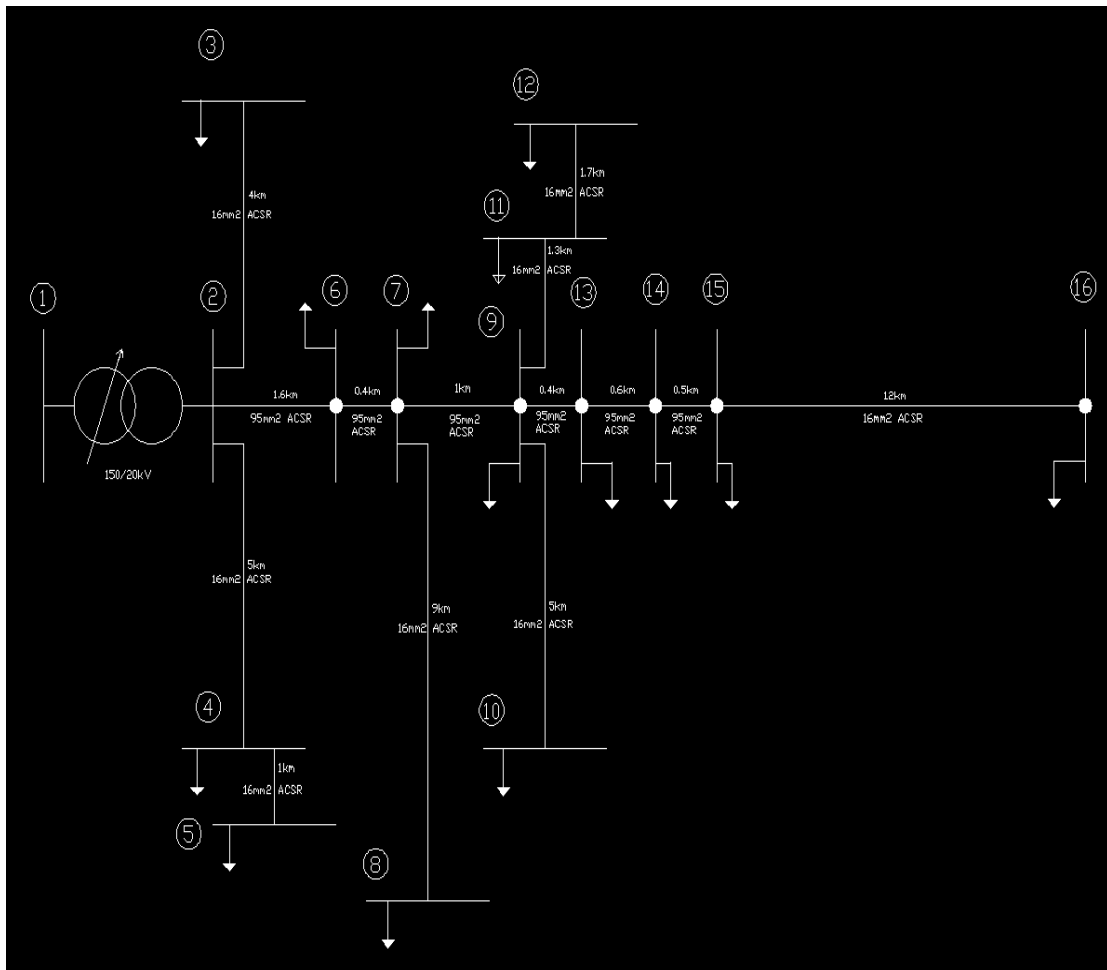
Περιοχή		Απόσταση (km)
Απο	Προς	
Σταθμός ΔΕΗ	Φάρος	4
Σταθμός ΔΕΗ	Χρυσοπηγή	5
Σταθμός ΔΕΗ	Πλατύς Γιαλός	6
Σταθμός ΔΕΗ	Εξάμπελα	1,6
Σταθμός ΔΕΗ	Κατεβατή	2
Σταθμός ΔΕΗ	Βαθύ	11
Σταθμός ΔΕΗ	Απολλωνία	3
Σταθμός ΔΕΗ	Καμάρες	8
Σταθμός ΔΕΗ	Κάτω Πετάλι	4,3
Σταθμός ΔΕΗ	Κάστρο	6
Σταθμός ΔΕΗ	Άνω Πετάλι	3,4
Σταθμός ΔΕΗ	Άγιος Λουκάς	4
Σταθμός ΔΕΗ	Αρτεμωνας	4,5
Σταθμός ΔΕΗ	Χερρόνησος	17

Αναφορικά το δίκτυο, έπειτα από αναζήτηση πληροφοριών , τα που στοιχεία βρήκαμε ήταν ασαφή, με αναφορά σε παλαιές γραμμές ASCR 35mm² και 16mm². Δοθέντος ότι:

- τα επόμενα χρόνια θα υπάρξει διασύνδεση του νησιού,
- οι μονάδες της ΔΕΗ είτε θα αποσυρθούν είτε θα παραμείνουν σε ψυχρή εφεδρεία
- αναμένεται η μεγάλη διείσδυση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στα νησιά να αποτελεί καθημερινότητα μετά από κάποια χρόνια

Προχωρήσαμε σε μια αναβάθμιση του ηλεκτρικού δικτύου του νησιού έτσι ώστε να προσεγγίζει το ηλεκτρικό δίκτυο της επόμενης δεκαετίας. Συγκεκριμένα, αναβαθμίσαμε τις κύριες γραμμές των 35mm² σε ASCR 95mm², και προχωρήσαμε σε διασύνδεση με το ανάντη δίκτυο. Είναι φανερό ότι τα όποια προβλήματα που θα παρουσιαστούν στη μελέτη του αναβαθμισμένου δικτύου που αναμένεται να δεχθεί μεγάλο αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων θα είναι εντονότερα στο υπάρχον πεπαλαιωμένο δίκτυο.

Με βάση τα ανωτέρω υλοποιήθηκε το μονογραμμικό διάγραμμα του νησιού, με το εξεταζόμενο Δίκτυο Διανομής Μέσης Τάσης να παρουσιάζεται παρακάτω:



Εικόνα 6-24: Εξεταζόμενο Δίκτυο Διανομής Μ.Τ Σίφνου

Στην εν λόγω μελέτη θα εξετασθεί η μέγιστη διείσδυση σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στο Δίκτυο του νησιού με κριτήριο τα όρια διακύμανσης στους ζυγούς του συστήματος να είναι εντός των προκαθορισμένων τιμών. Επίσης θα μελετηθούν οι τρόποι αντιμετώπισης φαινομένων πτώσης τάσης στις Γραμμές Διανομής Μ.Τ.

Τα στοιχεία της Γραμμής Διανομής Μ.Τ. παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα .

Πίνακας 6 - 4: Πίνακας στοιχείων γραμμής διανομής

ΓΡΑΜΜΗ ΔΙΑΝΟΜΗΣ Μ.Τ.	
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ σε kV	20
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΓΡΑΜΜΗΣ, F	0,4
ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΤ. ΦΟΡΤΙΟ σε A	300
ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΕΤ. ΦΟΡΤΙΟ σε A	35

Η Γραμμή Διανομής Μ.Τ. αποτελείται από 16 ζυγούς, όπου ο Ζυγός Αναφοράς ή Ταλάντωσης (Slack Bus) αντιστοιχεί στο ζυγό που φέρει τον αριθμό 1. Οι υπόλοιποι ζυγοί είναι Ζυγοί Φορτίου (PQ) και φέρουν τον αριθμό 0. Από τις συνολικές ζητήσεις του νησιού και με βάση τις πληθυσμιακές κατανομές των οικισμών προχωρήσαμε στην κατανομή του φορτίου ζήτησης, υποθέτοντας έναν συντελεστή ισχύος 0,9. Πιο αναλυτικά:

Πίνακας 6 - 5: Βασικά στοιχεία ηλεκτρικού Δικτύου Σίφνου

Περιοχή	Bus	Bus (code)	V (pu)	Angle (pu)	S (MVA)	cosφ	P (MW)	Q (MVAR)
ΔΕΗ	1	1	1	0	0	0,9	0	0
Μ/Σ	2	0	1	0	0	0,9	0	0
Φάρος	3	0	1	0	0,303	0,9	0,246	0,119
Χρυσοπηγή	4	0	1	0	0,061	0,9	0,055	0,026
Πλ. Γιαλός	5	0	1	0	0,789	0,9	0,710	0,344
Εξάμπελα	6	0	1	0	0,273	0,9	0,246	0,119
Κατεβατή	7	0	1	0	0,243	0,9	0,218	0,106
Βαθύ	8	0	1	0	0,455	0,9	0,328	0,159
Απολλωνία	9	0	1	0	0,910	0,9	0,928	0,449
Καμάρες	10	0	1	0	1,153	0,9	0,928	0,449
Κ. Πετάλι	11	0	1	0	0,091	0,9	0,109	0,053
Κάστρο	12	0	1	0	0,303	0,9	0,273	0,132
Α. Πετάλι	13	0	1	0	0,182	0,9	0,164	0,079
Αγ. Λούκας	14	0	1	0	0,182	0,9	0,164	0,079
Αρτεμιονας	15	0	1	0	0,910	0,9	0,928	0,449
Χερρόνησος	16	0	1	0	0,212	0,9	0,164	0,079

Συνολικά το μέγιστο ωριαίο φορτίο ζήτησης του δικτύου στα 5,460 MW.

Πίνακας 6 - 6: Βασικά στοιχεία ηλεκτρικού Δικτύου Σίφνου

Περιοχή	Bus (nl)	Bus (nr)	R (pu)	X (pu)	½ B (pu)	1for lines > 1 or < 1 tr. tap	Cable cross section	Bus Distance (km)
ΔΕΗ-Μ/Σ	1	2	0,10000	0,30000	0	1	95ACSR	0
Μ/Σ-Φαρος	2	3	1,26800	0,42200	0	1	16ACSR	4
Μ/Σ-Χρυσοπηγή	2	4	1,58500	0,52750	0	1	16ACSR	5
Χρυσ-Πλ.Γιαλός	4	5	0,31700	0,10550	0	1	16ACSR	1
Μ/Σ-Εξάμπελα	2	6	0,08600	0,13360	0	1	95ACSR	1,6
Εξάμπελ-Καταβατή	6	7	0,02150	0,03340	0	1	95ACSR	0,4
Καταβατή-Βαθύ	7	8	2,85300	0,94950	0	1	16ACSR	9
Καταβατή-Απολλ.	7	9	0,05375	0,08350	0	1	95ACSR	1
Απολλ.-Καμάρες	9	10	1,58500	0,52750	0	1	16ACSR	5
Απολλ. - Κ. Πετάλι	9	11	0,41210	0,13715	0	1	16ACSR	1,3
Κ. Πετάλι-Κάστρο	11	12	0,53890	0,17935	0	1	16ACSR	1,7
Απολλ. - Α.Πετάλι	9	13	0,02150	0,03340	0	1	95ACSR	0,4
Α.Πετάλι-Α. Λουκ.	13	14	0,03225	0,05010	0	1	95ACSR	0,6
Α. Λουκάς-Αρτεμ.	14	15	0,02688	0,04175	0	1	95ACSR	0,5
Αρτεμ-Χερρόνησος	15	16	3,96250	1,31875	0	1	16ACSR	12,5

6.4 Μέγιστη Διείσδυση σταθμών φόρτισης με Κριτήριο τα Επιτρεπτά Όρια Διακύμανσης Τάσεως

Η εξέταση της μέγιστης διείσδυσης σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων γίνεται με κριτήριο τα επιτρεπτά όρια διακύμανσης της τάσεως.

Στο εξεταζόμενο Δίκτυο Μ.Τ. χαρακτηρίζεται από τις ακόλουθες τάσεις:

1. Την ονομαστική Τάση του Δικτύου, U_n
2. Τη μέγιστη Τάση U_{max} και την ελάχιστη Τάση U_{min} .
3. Τη μέση τιμή τάσεως, U_m , η οποία υπολογίζεται: $0,5*(U_{max}+ U_{min})$.

Στους κανονισμούς καλής λειτουργίας του Δικτύου απαιτείται η ταυτόχρονη ισχύ της παρακάτω συνθήκης:

- Η μέση τιμή της τάσεως U_m , σε όλα τα σημεία του δικτύου, δεν πρέπει να αποκλίνει από την ονομαστική τάση του δικτύου πέραν του $\pm 5\%$
 Δηλαδή: $0,95U_n \leq U_m \leq 1,05U_n$
 Για 20kV: $19U_n \leq U_m \leq 21,05U_n$

Προκειμένου να τηρηθούν οι «απαιτήσεις τάσεως», διατίθενται τα εξής μέτρα:

- I. Τοποθέτηση πυκνωτή αντιστάθμισης σε σημεία του δικτύου
- II. Χρήση ενδιάμεσων λήψεων στο Μ/Σ Ισχύος
- III. Παροχή ισχύος από σύστημα αποθήκευσης ενέργειας σε σημεία του δικτύου
- IV. Αντικατάσταση γραμμών δικτύου

Η μελέτη επικεντρώνεται στην καλοκαιρινή περίοδο και συγκεκριμένα την ώρα του μέγιστου ωριαίου φορτίου ζήτησης. Σε αρχικό στάδιο εξετάζεται η περίπτωση της αρχικής κατάστασης του Δικτύου, χωρίς την επιβολή επιπρόσθετων φορτίων από τους σταθμούς φόρτισης. Στα επόμενα στάδια μελετάται η κατάσταση που διαμορφώνεται στους ζυγούς κατά την σταδιακή διείσδυση σταθμών. Οι προς ανάπτυξη σταθμοί τοποθετούνται ισόποσα σε τέσσερις ζυγούς του δικτύου στις περιοχές όπου χαρακτηρίζονται από υψηλή επισκεψιμότητα καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Πιο αναλυτικά, στην περιοχή του Πλατύ Γιαλού (ζυγός 5), της Απολλωνίας (ζυγός 9), των Καμαρών (ζυγός 10) και του Αρτεμώνα (ζυγός 15). Εκεί, πραγματοποιούνται διάφορες περιπτώσεις φορτίσεων σε κάθε ένα από τους ζυγούς, όπου βρίσκονται εγκατεστημένοι σταθμοί. Τα αναπτυσσόμενα σενάρια στηρίζονται στην δυσμενέστερη περίπτωση, κατά την οποία απαιτείται η ταυτόχρονη φόρτιση ενός στόλου οχημάτων. Οι χρόνοι που απαιτούνται για τις φορτίσεις των οχημάτων προκύπτουν βάση μιας μέσης χωρητικότητας συσσωρευτών 50 kWh, ενώ οι εφαρμοζόμενοι σταθμοί είναι της τάξης των 22kW, 50 KW και 150kW.

Πίνακας 6 - 7: Μέγιστο επιπρόσθετο ωριαίο φορτίο ανά σταθμό

Σταθμός Φόρτισης	Χρόνος Φόρτισης Συσσωρευτών Οχήματος 20-80%	Πλήρωση Φόρτισης Συσσωρευτών Οχήματος εντός 1 Ώρας	Ενέργεια Κατανάλωσης Οχήματος	Μέγιστος Αριθμός Φορτίσεων εντός 1 Ώρας	Μέγιστη Ενέργεια Κατανάλωσης Οχημάτων εντός 1 Ώρας
22 kW	3 Ώρες	20% (20-40%)	10 kWh	1	10 kWh
50 kW	1 Ώρα	60% (20-80%)	30 kWh	1	30 kWh
150 kW	20 λεπτά	60% (20-80%)	30 kWh	3	90 kWh

Η προσομοίωση του δικτύου υλοποιήθηκε σε πρόγραμμα Matlab. Τα βασικά αποτελέσματα της μελέτης σε περιβάλλον Matlab δίνονται για την καλύτερη κατανόηση των ζητημάτων που μελετούμε. Με βάση λοιπόν τα όσα παρουσιάστηκαν και δεδομένου ότι το δίκτυο βρίσκεται σε μια νησιωτική περιοχή, εφαρμόζοντας τη μέθοδο Newton-Raphson, εξάγονται τα εκάστοτε αποτελέσματα για την τάση των ζυγών του δικτύου.

6.4.1 Αρχική Κατάσταση Δικτύου

Κατά την επεξεργασία των μετρήσεων προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Line Flow and Losses

--Line--		Power at bus & line flow			--Line loss--		Transformer
from	to	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar	tap
1	2	5.57915	2.83275	6.25711	0.03915	0.11745	
2	1	5.57915	2.83275	6.25711	0.03915	0.11745	
2	1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
2	3	-5.54000	-2.71530	6.16964	0.03915	0.11745	
2	3	0.24698	0.11933	0.27430	0.00098	0.00033	
2	4	0.77929	0.37476	0.86472	0.01219	0.00406	
2	6	4.51373	2.22122	5.03066	0.02239	0.03478	
3	2	-0.24600	-0.11900	0.27327	0.00098	0.00033	
3	2	-0.24600	-0.11900	0.27327	0.00098	0.00033	
4	2	-0.05500	-0.02600	0.06084	0.01219	0.00406	
4	2	-0.76710	-0.37070	0.85198	0.01219	0.00406	
4	5	0.71210	0.34470	0.79114	0.00210	0.00070	
5	4	-0.71000	-0.34400	0.78895	0.00210	0.00070	
5	4	-0.71000	-0.34400	0.78895	0.00210	0.00070	
6	2	-0.24600	-0.11900	0.27327	0.02239	0.03478	
6	2	-4.49134	-2.18644	4.99526	0.02239	0.03478	
6	7	4.24534	2.06744	4.72199	0.00500	0.00777	
7	6	-0.21800	-0.10600	0.24240	0.00500	0.00777	
7	6	-4.24034	-2.05967	4.71410	0.00500	0.00777	
7	8	0.33206	0.16035	0.36875	0.00406	0.00135	
7	9	3.69028	1.79332	4.10295	0.00947	0.01471	
8	7	-0.32800	-0.15900	0.36451	0.00406	0.00135	
8	7	-0.32800	-0.15900	0.36451	0.00406	0.00135	

Bus No.	Voltage Mag.	Voltage Degree	Load MW	Load Mvar	Generation MW	Generation Mvar	Injected Mvar
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	5.579152	2.832754	0.000000
2	0.986021	-0.808003	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.982334	-0.780153	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.971491	-0.698596	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.968793	-0.677811	0.710000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.979083	-1.052529	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.977446	-1.110809	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.966197	-1.024544	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.973887	-1.238259	0.928000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.956022	-1.101554	0.928000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.972004	-1.223825	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.970244	-1.210355	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.973337	-1.258034	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.972606	-1.284304	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.972077	-1.303360	0.928000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.964257	-1.244213	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
Total			5.461000	2.642000	5.579152	2.832754	0.000000

Από τις τιμές των αποτελεσμάτων γίνεται αντιληπτό πως δεδομένου των αποδεκτών ορίων διακύμανσης της τάσης στο $\pm 5\%$ της ονομαστικής τιμής, θεωρείται πως το δίκτυο βρίσκεται σε κατάσταση εύρυθμης λειτουργίας. Βέβαια, παρατηρείται ότι η τάση στο ζυγό 10 (γαλάζιο χρώμα), στην περιοχή Καμάρες, βρίσκεται σε κρίσιμο σημείο, κοντά στα όρια των μη επιτρεπτών τιμών. Ωστόσο, δεδομένου του κριτηρίου, δεν κρίνεται απαραίτητη η εφαρμογή μέτρων για την αντιμετώπιση της πτώσης τάσης. Η διαγραμματική απεικόνιση των αποτελεσμάτων που μελετήθηκαν είναι η εξής:



Εικόνα 6–25: Διακυμάνσεις τάσεων στους ζυγούς κατά την αρχική κατάσταση του δικτύου

6.4.2 Σενάριο Α

Στο σενάριο αυτό μελετάται η ανάπτυξη 40 σταθμών κανονικής φόρτισης της τάξης των 22kW, ισόποσα μοιρασμένους ανά 10 σε κάθε ένα από τους ζυγούς 5,9,10,15. Για κάθε ένα από τους σταθμούς αυτούς ισχύουν τα εξής στοιχεία:

Πίνακας 6 - 8: Μέγιστο επιπρόσθετο ωριαίο φορτίο ανά σταθμό στο σενάριο Α

Σταθμός Φόρτισης	Χρόνος Φόρτισης Οχήματος 20-80%	Πλήρωση Φόρτισης Οχήματος σε 1 Ωρα	Ενέργεια Κατανάλωσης Οχήματος	Μέγιστος Αριθμός Φορτίσεων σε 1 Ωρα	Μέγιστη Ενέργεια Κατανάλωσης Οχημάτων σε 1 Ωρα
22 kW	3 Ωρες	20% (20-40%)	10 kWh	1	10 kWh

Επομένως, στο διάστημα 20.00-21.00 μ.μ. σε κάθε ένα από τους ζυγούς των συγκεκριμένων περιοχών αναπτύσσονται 10 σταθμοί προς εξυπηρέτηση 10 οχημάτων, με το επιπρόσθετο ωριαίο φορτίο να φτάνει τις 100 kWh ή 0,1 MWh.

Πίνακας 6 - 9: Μέγιστο επιπρόσθετο ωριαίο φορτίο σταθμών φόρτισης ανά ζυγό στο σενάριο Α

Περιοχή	Ζυγός	Σταθμοί Φόρτισης (kW)	Οχήματα	Επιπρόσθετα Φορτία (kWh)	Επιπρόσθετα Φορτία (MWh)
Πλ. Γιαλός	5	10X22	10	(10X10) = 100	0,1
Απολλωνία	9	10X22	10	(10X10) = 100	0,1
Καμάρες	10	10X22	10	(10X10) = 100	0,1
Αρτεμώνας	15	10X22	10	(10X10) = 100	0,1

Συνολικά λοιπόν, στους 40 αναπτυσσόμενους σταθμούς υποστηρίζεται φόρτιση 40 οχημάτων, με την αύξηση στο φορτίο ζήτησης τις 400 kWh ή 0,4 MWh. Συνεπώς, τα ωριαία φορτία στους ζυγούς του Δικτύου διαμορφώνονται ως εξής:

Πίνακας 6 - 10: Βασικά στοιχεία ηλεκτρικού Δικτύου Σίφνου κατά το σενάριο Α

Bus	Bus (code)	V (pu)	Angle (pu)	cosφ	P (MW)	Q (MVAR)
1	1	1	0	0,9	0	0
2	0	1	0	0,9	0	0
3	0	1	0	0,9	0,246	0,119
4	0	1	0	0,9	0,055	0,026
5	0	1	0	0,9	0,810	0,344
6	0	1	0	0,9	0,246	0,119
7	0	1	0	0,9	0,218	0,106
8	0	1	0	0,9	0,328	0,159
9	0	1	0	0,9	1,028	0,449
10	0	1	0	0,9	1,028	0,449
11	0	1	0	0,9	0,109	0,053
12	0	1	0	0,9	0,273	0,132
13	0	1	0	0,9	0,164	0,079
14	0	1	0	0,9	0,164	0,079
15	0	1	0	0,9	1,028	0,449
16	0	1	0	0,9	0,164	0,079

Έτσι το μέγιστο ωριαίο φορτίο ζήτησης του δικτύου μεταβαίνει στα 5,860 MW. Με βάση λοιπόν τα στοιχεία των γραμμών κατά την αρχική κατάσταση του δικτύου και τις νέες τιμές φορτίων στους ζυγούς του, οι πτώσεις τάσης διαμορφώνονται ως εξής:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	Load MW	Load Mvar	Generation MW	Generation Mvar	Injected Mvar
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	5.995790	2.857375	0.000000
2	0.985548	-0.879631	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.981860	-0.851755	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.969342	-0.801567	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.966309	-0.787135	0.810000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.978328	-1.148501	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.976622	-1.212939	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.965363	-1.126527	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.972889	-1.355873	1.028000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.953311	-1.251226	1.028000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.971004	-1.341409	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.969242	-1.327911	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.972316	-1.377712	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.971552	-1.407077	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.970994	-1.428711	1.028000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.963165	-1.369430	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
Total			5.861000	2.642000	5.995790	2.857375	0.000000

Δεδομένου των αποδεκτών ορίων διακύμανσης τάσης στο $\pm 5\%$ της ονομαστικής, θεωρείται πως το δίκτυο βρίσκεται σε κατάσταση εύρυθμης λειτουργίας. Ανησυχία προκαλεί η τάση στο ζυγό 10 (γαλάζιο χρώμα), στην περιοχή Καμάρες, ωστόσο δεν κρίνεται ακόμα υποχρεωτική η εφαρμογή μέτρων για την βελτίωση της. Η διαγραμματική απεικόνιση των αποτελεσμάτων που μελετήθηκαν είναι η εξής:



Εικόνα 6–26: Διακυμάνσεις τάσεων στους ζυγούς κατά το σενάριο Α

6.4.3 Σενάριο Β

Στο σενάριο αυτό μελετάται η ανάπτυξη 80 σταθμών κανονικής φόρτισης της τάξης των 22kW, ισόποσα μοιρασμένους ανά 20 σε κάθε ένα από τους ζυγούς 5,9,10,15. Για κάθε ένα από τους σταθμούς αυτούς ισχύουν τα εξής στοιχεία:

Πίνακας 6 - 11: Μέγιστο επιπρόσθετο ωριαίο φορτίο ανά σταθμό στο σενάριο Β

Σταθμός Φόρτισης	Χρόνος Φόρτισης Οχήματος 20-80%	Πλήρωση Φόρτισης Οχήματος σε 1 Ωρα	Ενέργεια Κατανάλωσης Οχήματος	Μέγιστος Αριθμός Φορτίσεων σε 1 Ωρα	Μέγιστη Ενέργεια Κατανάλωσης Οχημάτων σε 1 Ωρα
22 kW	3 Ωρες	20% (20-40%)	10 kWh	1	10 kWh

Επομένως, στο διάστημα 20.00-21.00 μ.μ. σε κάθε ένα από τους ζυγούς των συγκεκριμένων περιοχών αναπτύσσονται 20 σταθμοί προς εξυπηρέτηση 20 οχημάτων, με το επιπρόσθετο ωριαίο φορτίο να φτάνει τις 200 kWh ή 0,2 MWh.

Πίνακας 6 - 12: Μέγιστο επιπρόσθετο ωριαίο φορτίο σταθμών φόρτισης ανά ζυγό στο σενάριο Β

Περιοχή	Ζυγός	Σταθμοί Φόρτισης (kW)	Οχήματα	Επιπρόσθετα Φορτία (kWh)	Επιπρόσθετα Φορτία (MWh)
Πλ. Γιαλός	5	20X22	20	(20X10) = 200	0,2
Απολλωνία	9	20X22	20	(20X10) = 200	0,2
Καμάρες	10	20X22	20	(20X10) = 200	0,2
Αρτεμώνας	15	20X22	20	(20X10) = 200	0,2

Συνολικά λοιπόν, στους 80 αναπτυσσόμενους σταθμούς υποστηρίζεται φόρτιση 40 οχημάτων, με την αύξηση στο φορτίο ζήτησης τις 800 kWh ή 0,8 MWh. Συνεπώς, τα ωριαία φορτία στους ζυγούς του Δικτύου διαμορφώνονται ως εξής:

Πίνακας 6 - 13: Βασικά στοιχεία ηλεκτρικού Δικτύου Σίφνου στο σενάριο Β

Bus	Bus (code)	V (pu)	Angle (pu)	cosφ	P (MW)	Q (MVAR)
1	1	1	0	0,9	0	0
2	0	1	0	0,9	0	0
3	0	1	0	0,9	0,246	0,119
4	0	1	0	0,9	0,055	0,026
5	0	1	0	0,9	0,910	0,344
6	0	1	0	0,9	0,246	0,119
7	0	1	0	0,9	0,218	0,106
8	0	1	0	0,9	0,328	0,159
9	0	1	0	0,9	1,128	0,449
10	0	1	0	0,9	1,128	0,449
11	0	1	0	0,9	0,109	0,053
12	0	1	0	0,9	0,273	0,132
13	0	1	0	0,9	0,164	0,079
14	0	1	0	0,9	0,164	0,079
15	0	1	0	0,9	1,128	0,449
16	0	1	0	0,9	0,164	0,079

Έτσι το μέγιστο ωριαίο φορτίο ζήτησης του δικτύου μεταβαίνει στα 6,260 MW. Με βάση λοιπόν τα στοιχεία των γραμμών κατά την αρχική κατάσταση του δικτύου και τις νέες τιμές φορτίων στους ζυγούς του, οι πτώσης τάσης διαμορφώνονται ως εξής:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	Load MW	Load Mvar	Generation MW	Generation Mvar	Injected Mvar
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	6.414005	2.883974	0.000000
2	0.985070	-0.951496	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.981380	-0.923592	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.967179	-0.904941	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.963809	-0.896925	0.910000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.977566	-1.244798	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.975789	-1.315422	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.964521	-1.228860	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.971883	-1.473915	1.128000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.950582	-1.401574	1.128000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.969996	-1.459422	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.968232	-1.445895	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.971286	-1.497827	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.970488	-1.530301	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.969902	-1.554525	1.128000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.962064	-1.495109	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
Total			6.261000	2.642000	6.414005	2.883974	0.000000

Δεδομένου των αποδεκτών ορίων διακύμανσης τάσης στο $\pm 5\%$ της ονομαστικής, θεωρείται πως το δίκτυο βρίσκεται οριακά σε κατάσταση εύρυθμης λειτουργίας. Ανησυχία προκαλεί η τάση στο ζυγό 10, (γαλάζιο χρώμα), στην περιοχή Καμάρες, ωστόσο δεδομένου πως είναι οριακά εντός των αποδεκτών τιμών, δεν πραγματοποιείται εφαρμογή μέτρων βελτίωσης της. Η διαγραμματική απεικόνιση των αποτελεσμάτων που μελετήθηκαν είναι η εξής:



Εικόνα 6–27: Διακυμάνσεις τάσεων στους ζυγούς κατά το σενάριο B

6.4.4 Σενάριο Γ

Στο σενάριο αυτό μελετάται η ανάπτυξη 40 σταθμών ταχείας φόρτισης της τάξης των 50kW, ισόποσα μοιρασμένους ανά 10 σε κάθε ένα από τους ζυγούς 5,9,10,15. Για κάθε ένα από τους σταθμούς αυτούς ισχύουν τα εξής στοιχεία:

Πίνακας 6 - 14: Μέγιστο επιπρόσθετο ωριαίο φορτίο ανά σταθμό στο σενάριο Γ

Σταθμός Φόρτισης	Χρόνος Φόρτισης Οχήματος 20-80%	Πλήρωση Φόρτισης Οχήματος σε 1 Ωρα	Ενέργεια Κατανάλωσης Οχήματος	Μέγιστος Αριθμός Φορτίσεων σε 1 Ωρα	Μέγιστη Ενέργεια Κατανάλωσης Οχημάτων σε 1 Ωρα
50 kW	1 Ωρα	60% (20-80%)	30 kWh	1	30 kWh

Επομένως, στο διάστημα 20.00-21.00 μ.μ. σε κάθε ένα από τους ζυγούς των συγκεκριμένων περιοχών αναπτύσσονται 10 σταθμοί προς εξυπηρέτηση 10 οχημάτων, με το επιπρόσθετο ωριαίο φορτίο να φτάνει τις 300 kWh ή 0,3 MWh.

Πίνακας 6 - 15: Μέγιστο επιπρόσθετο ωριαίο φορτίο σταθμών φόρτισης ανά ζυγό στο σενάριο Γ

Περιοχή	Ζυγός	Σταθμοί Φόρτισης (kW)	Οχήματα	Επιπρόσθετα Φορτία (kWh)	Επιπρόσθετα Φορτία (MWh)
Πλ. Γιαλός	5	10X50	10	(10X30) = 300	0,3
Απολλωνία	9	10X50	10	(10X30) = 300	0,3
Καμάρες	10	10X50	10	(10X30) = 300	0,3
Αρτεμώνας	15	10X50	10	(10X30) = 300	0,3

Συνολικά λοιπόν, στους 40 αναπτυσσόμενους σταθμούς υποστηρίζεται φόρτιση 40 οχημάτων, με την αύξηση στο φορτίο ζήτησης του δικτύου τις 1.200 kWh ή 1,2 MWh. Συνεπώς, τα ωριαία φορτία στους ζυγούς του Δικτύου διαμορφώνονται ως εξής:

Πίνακας 6 - 16: Βασικά στοιχεία ηλεκτρικού Δικτύου Σίφνου κατά το σενάριο Γ

Bus	Bus (code)	V (pu)	Angle (pu)	cosφ	P (MW)	Q (MVAR)
1	1	1	0	0,9	0	0
2	0	1	0	0,9	0	0
3	0	1	0	0,9	0,246	0,119
4	0	1	0	0,9	0,055	0,026
5	0	1	0	0,9	1,010	0,344
6	0	1	0	0,9	0,246	0,119
7	0	1	0	0,9	0,218	0,106
8	0	1	0	0,9	0,328	0,159
9	0	1	0	0,9	1,228	0,449
10	0	1	0	0,9	1,228	0,449
11	0	1	0	0,9	0,109	0,053
12	0	1	0	0,9	0,273	0,132
13	0	1	0	0,9	0,164	0,079
14	0	1	0	0,9	0,164	0,079
15	0	1	0	0,9	1,228	0,449
16	0	1	0	0,9	0,164	0,079

Έτσι το μέγιστο ωριαίο φορτίο ζήτησης του δικτύου μεταβαίνει στα 6,660 MW. Με βάση λοιπόν τα στοιχεία των γραμμών κατά την αρχική κατάσταση του δικτύου και τις νέες τιμές φορτίων στους ζυγούς του, οι πτώσης τάσης διαμορφώνονται ως εξής:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load----- MW	Mvar	---Generation--- MW	Mvar	Injected Mvar
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	6.833820	2.912577	0.000000
2	0.984586	-1.023601	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.980893	-0.995670	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.964999	-1.008728	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.961291	-1.007189	1.010000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.976796	-1.341427	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.974948	-1.418264	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.963670	-1.331551	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.970867	-1.592394	1.228000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.947833	-1.552611	1.228000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.968978	-1.577870	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.967212	-1.564316	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.970248	-1.618389	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.969415	-1.653985	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.968800	-1.680810	1.228000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.960953	-1.621259	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
Total			6.661000	2.642000	6.833820	2.912577	0.000000

Δεδομένου ότι τα αποδεκτά όρια διακύμανσης της τάσης θα πρέπει να κυμαίνονται εντός του $\pm 5\%$ της ονομαστικής τιμής, γίνεται αντιληπτό πως το δίκτυο δε βρίσκεται κατάσταση εύρυθμης λειτουργίας. Συγκεκριμένα παρατηρείται ότι η τάση στο ζυγό 10 (κίτρινο χρώμα) στην περιοχή Καμάρες, βρίσκεται εκτός των επιτρεπτών ορίων. Λαμβάνοντας υπόψιν τη συγκεκριμένη κατάσταση, για την καλύτερη λειτουργία του δικτύου, ακολουθεί η εφαρμογή 4 μεθόδων για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

6.4.5.1 Σενάριο Γ με προσθήκη Πυκνωτών Αντιστάθμισης

Στην περίπτωση αυτή για την αντιμετώπιση του προβλήματος πτώσης τάσης που εμφανίζεται στους ζυγούς, θα μπορούσε να εφαρμοστεί τοπικά στο ζυγό 10 συστοιχία πυκνωτών αντιστάθμισης, μεγέθους τουλάχιστον 200 kvar ή 0,2 Mvar. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load----- MW	Mvar	---Generation--- MW	Mvar	Injected Mvar
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	6.828445	2.705673	0.000000
2	0.985215	-1.034043	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.981525	-1.006148	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.965642	-1.019190	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.961936	-1.017653	1.010000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.977711	-1.361437	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000

7	0.975934	-1.440666	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.964668	-1.354130	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.972031	-1.620801	1.228000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.950161	-1.777818	1.228000	0.449000	0.000000	0.000000	0.200000
11	0.970145	-1.606312	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.968381	-1.592790	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.971413	-1.646733	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.970581	-1.682245	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.969967	-1.709005	1.228000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.962130	-1.649598	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
Total		6.661000	2.642000	6.828445	2.705673	0.200000	

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρείται πως η βελτίωση που επιτεύχθηκε στην πτώση τάσης στο ζυγό 10 του δικτύου, είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.

6.4.5.2 Σενάριο Γ με Χρήση Ενδιάμεσων Λήψεων Μ/Σ Ισχύος

Στην περίπτωση αυτή για την αντιμετώπιση του προβλήματος πτώσης τάσης που εμφανίζεται στους ζυγούς, θα μπορούσε να εφαρμοστεί εφόσον και είναι δυνατό, η υπό φορτίο αλλαγή των ενδιάμεσων λήψεων στο Μ/Σ Ισχύος, σε λόγο 0,99 προς 1. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load----- MW	Mvar	---Generation--- MW	Mvar	Injected Mvar
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	6.830095	2.906775	0.000000
2	0.994858	-1.002592	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.991205	-0.975237	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.975484	-0.988031	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.971816	-0.986525	1.010000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.987154	-1.313786	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.985326	-1.389004	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.974169	-1.304129	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.981288	-1.559442	1.228000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.958511	-1.520520	1.228000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.979420	-1.545226	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.977673	-1.531959	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.980676	-1.584886	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.979852	-1.619729	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.979244	-1.645984	1.228000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.971482	-1.587706	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
Total		6.661000	2.642000	6.830095	2.906775	0.000000	

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρείται πως η βελτίωση που επιτεύχθηκε στην πτώση τάσης στο ζυγό 10 του δικτύου, είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.

6.4.5.3 Σενάριο Γ με Ενίσχυση από Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας

Στην περίπτωση αυτή η πτώση τάσης που εμφανίζεται στους ζυγούς, θα μπορούσε να λυθεί με την παροχή ισχύος τουλάχιστον 150 kW ή 0,15 MW προς το δίκτυο μέσω ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας στο ζυγό 10, με τα εξής αποτελέσματα:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	6.672551	2.899466	0.000000
2	0.984778	-0.996011	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.981086	-0.968091	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.965196	-0.981144	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.961488	-0.979605	1.010000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.977136	-1.301340	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.975325	-1.375010	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.964051	-1.288365	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.971334	-1.541166	1.228000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.950873	-1.452445	1.228000	0.449000	0.150000	0.000000	0.000000
11	0.969446	-1.526656	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.967681	-1.513114	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.970715	-1.567135	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.969883	-1.602698	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.969269	-1.629497	1.228000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.961425	-1.570003	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
Total			6.661000	2.642000	6.822551	2.899466	0.000000

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρείται πως η βελτίωση που επιτεύχθηκε στην πτώση τάσης στο ζυγό 10 του δικτύου, είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.

6.4.5.4 Σενάριο Γ με Αντικατάσταση Γραμμών

Στην περίπτωση αυτή, για την αντιμετώπιση της πτώσης τάσης στους ζυγούς, θα μπορούσε να εφαρμοστεί αντικατάσταση των αγωγών 16ACSR της γραμμής 9-10 με αγωγό 95 ACSR. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

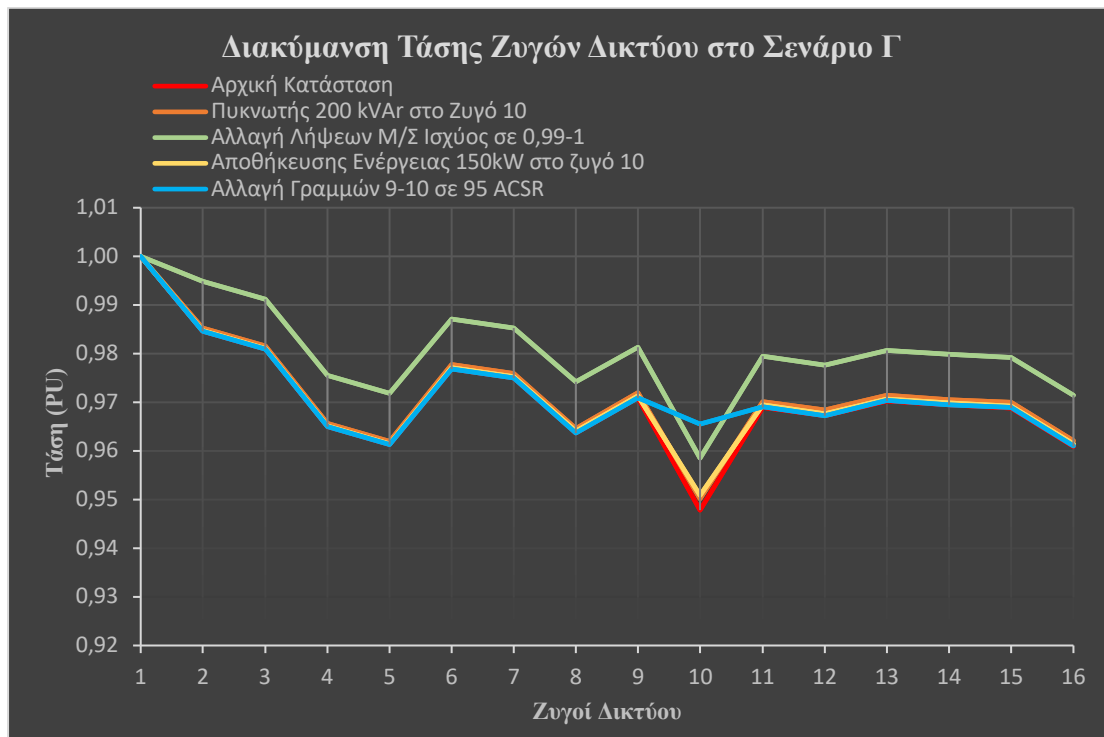
Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	6.807738	2.908330	0.000000
2	0.984623	-1.019255	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.980931	-0.991326	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.965038	-1.004384	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.961330	-1.002844	1.010000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.976860	-1.335162	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.975019	-1.411512	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.963742	-1.324812	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.970954	-1.584417	1.228000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000

10	0.965586	-1.823993	1.228000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.969065	-1.569895	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.967300	-1.556343	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.970335	-1.610406	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.969502	-1.645996	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.968888	-1.672816	1.228000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.961041	-1.613276	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
Total			6.661000	2.642000	6.807738	2.908330	0.000000

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρείται πως η βελτίωση που επιτεύχθηκε στην πτώση τάσης στο ζυγό 10 του δικτύου, είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.

6.4.5.5 Σύγκριση Αποτελεσμάτων Σεναρίου Γ

Μια διαγραμματική απεικόνιση των αποτελεσμάτων που μελετήθηκαν κατά το σενάριο Δ ακολουθεί παρακάτω:



Εικόνα 6–28: Διακυμάνσεις τάσεων στους ζυγούς κατά το σενάριο Γ

Η μέθοδος αλλαγής λήψεων στο Μ/Σ Ισχύος, εφόσον είναι εφικτή, αποτελεί την βέλτιστη λύση, καθώς προκύπτει σημαντική βελτίωση των τάσεων στο σύνολο των ζυγών του δικτύου. Επίσης η τοποθέτηση πυκνωτών αντιστάθμευσης, αποτελεί μια καλή πρακτική, δεδομένου της συνολικής τους ευεργετικής τους δράσης, η οποία ωστόσο είναι μικρότερης τιμής. Ακόμα, η παροχή ισχύος από σύστημα αποθήκευσης ενέργειας αποτελεί μια καλή επιλογή, όμως δίνει λύση κυρίως στην περιοχή όπου εφαρμόζεται με μικρή επίδραση στα υπόλοιπα σημεία. Τέλος, στα επίπεδα αυτά η αναβάθμιση των γραμμών του δικτύου παρότι δίνει μια οριστική λύση στο πρόβλημα, συνιστάται προς εφαρμογή σε δυσμενέστερες καταστάσεις, όπου τα υπόλοιπα μέτρα αντιμετώπισης έχουν εξαντληθεί.

6.4.5 Σενάριο Δ

Στο σενάριο αυτό μελετάται η ανάπτυξη 40 σταθμών κανονικής φόρτισης της τάξης των 22 kW και 40 σταθμών ταχείας φόρτισης των 50kW, ισόποσα μοιρασμένους ανά 10 σε κάθε ένα από τους ζυγούς 5,9,10,15. Για κάθε ένα από τους σταθμούς ισχύει:

Πίνακας 6 - 17: Μέγιστο επιπρόσθετο ωριαίο φορτίο ανά σταθμό στο σενάριο Δ

Σταθμός Φόρτισης	Χρόνος Φόρτισης Οχήματος 20-80%	Πλήρωση Φόρτισης Οχήματος σε 1 Ωρα	Ενέργεια Κατανάλωσης Οχήματος	Μέγιστος Αριθμός Φορτίσεων σε 1 Ωρα	Μέγιστη Ενέργεια Κατανάλωσης Οχημάτων σε 1 Ωρα
22 kW	3 Ωρες	20% (20-40%)	10 kWh	1	10 kWh
50 kW	1 Ωρα	60% (20-80%)	30 kWh	1	30 kWh

Επομένως, στο διάστημα 20.00-21.00 μ.μ. σε κάθε ένα από τους ζυγούς των συγκεκριμένων περιοχών αναπτύσσονται 20 σταθμοί προς εξυπηρέτηση 20 οχημάτων, με το επιπρόσθετο ωριαίο φορτίο να φτάνει κατά το μέγιστο τις 400 kWh ή 0,4 MWh.

Πίνακας 6 - 18: Μέγιστο επιπρόσθετο ωριαίο φορτίο σταθμών φόρτισης ανά ζυγό στο σενάριο Δ

Περιοχή	Ζυγός	Σταθμοί Φόρτισης (kW)	Οχήματα	Επιπρόσθετα Φορτία (kWh)	Επιπρόσθετα Φορτία (MWh)
Π.Γιαλός	5	10X22+10X50	20	(10X10+10X30) =400	0,4
Απολλων.	9	10X22+10X50	20	(10X10+10X30) =400	0,4
Καμάρες	10	10X22+10X50	20	(10X10+10X30) =400	0,4
Αρτεμών.	15	10X22+10X50	20	(10X10+10X30) =400	0,4

Συνολικά λοιπόν, στους 80 αναπτυσσόμενους σταθμούς υποστηρίζεται φόρτιση 80 οχημάτων, με την αύξηση στο φορτίο ζήτησης του δικτύου τις 1.600 kWh ή 1,6 MWh. Συνεπώς, τα ωριαία φορτία στους ζυγούς του Δικτύου διαμορφώνονται ως εξής:

Πίνακας 6 - 19: Βασικά στοιχεία ηλεκτρικού Δικτύου Σίφνου στο σενάριο Δ

Bus	Bus (code)	V (pu)	Angle (pu)	cosφ	P (MW)	Q (MVAR)
1	1	1	0	0,9	0	0
2	0	1	0	0,9	0	0
3	0	1	0	0,9	0,246	0,119
4	0	1	0	0,9	0,055	0,026
5	0	1	0	0,9	1,110	0,344
6	0	1	0	0,9	0,246	0,119
7	0	1	0	0,9	0,218	0,106
8	0	1	0	0,9	0,328	0,159
9	0	1	0	0,9	1,328	0,449
10	0	1	0	0,9	1,328	0,449
11	0	1	0	0,9	0,109	0,053
12	0	1	0	0,9	0,273	0,132
13	0	1	0	0,9	0,164	0,079
14	0	1	0	0,9	0,164	0,079
15	0	1	0	0,9	1,328	0,449
16	0	1	0	0,9	0,164	0,079

Έτσι το μέγιστο ωριαίο φορτίο ζήτησης του δικτύου μεταβαίνει στα 7,060 MW. Με βάση λοιπόν τα στοιχεία των γραμμών κατά την αρχική κατάσταση του δικτύου και τις νέες τιμές φορτίων στους ζυγούς του, οι πτώσης τάσης διαμορφώνονται ως εξής:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	Load MW	Load Mvar	Generation MW	Generation Mvar	Injected Mvar
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	7.255259	2.943209	0.000000
2	0.984095	-1.095950	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.980401	-1.067992	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.962804	-1.112935	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.958756	-1.117936	1.110000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.976018	-1.438393	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.974099	-1.521472	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.962811	-1.434606	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.969842	-1.711319	1.328000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.945063	-1.704352	1.328000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.967951	-1.696764	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.966183	-1.683180	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.969200	-1.739405	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.968333	-1.778138	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.967690	-1.807577	1.328000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.959833	-1.747887	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
Total			7.061000	2.642000	7.255259	2.943209	0.000000

Δεδομένου ότι τα αποδεκτά όρια διακύμανσης της τάσης θα πρέπει να κυμαίνονται εντός του $\pm 5\%$ της ονομαστικής τιμής, γίνεται αντιληπτό πως το δίκτυο δε βρίσκεται σε κατάσταση εύρυθμης λειτουργίας. Συγκεκριμένα παρατηρείται ότι η τάση στο ζυγό 10 (κίτρινο χρώμα) στην περιοχή Καμάρες, βρίσκεται εκτός των επιτρεπτών ορίων. Λαμβάνοντας υπόψιν τη συγκεκριμένη κατάσταση, για την καλύτερη λειτουργία του δικτύου, ακολουθεί η εφαρμογή 4 μεθόδων για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

6.4.5.1 Σενάριο Δ με προσθήκη Πυκνωτών Αντιστάθμισης

Στην περίπτωση αυτή για την αντιμετώπιση του προβλήματος πτώσης τάσης που εμφανίζεται στους ζυγούς, θα μπορούσε να εφαρμοστεί τοπικά στο ζυγό 10 συστοιχία πυκνωτών αντιστάθμισης, μεγέθους τουλάχιστον 450 kvar ή 0,45 Mvar. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	7.245394	2.478978	0.000000
2	0.985506	-1.119655	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.981817	-1.091777	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.964247	-1.136590	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.960204	-1.141576	1.110000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.978068	-1.483649	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.976309	-1.572110	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.965047	-1.485641	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000

9	0.972452	-1.775459	1.328000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.950279	-2.210780	1.328000	0.449000	0.000000	0.000000	0.450000
11	0.970566	-1.760983	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.968803	-1.747472	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.971811	-1.803394	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.970946	-1.841920	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.970305	-1.871199	1.328000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.962470	-1.811834	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000

Total 7.061000 2.642000 7.245394 2.478978 0.450000

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρείται πως η βελτίωση που επιτεύχθηκε στην πτώση τάσης στο ζυγό 10 του δικτύου, είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.

6.4.5.2 Σενάριο Δ με Χρήση Ενδιάμεσων Λήψεων Μ/Σ Ισχύος

Στην περίπτωση αυτή για την αντιμετώπιση του προβλήματος πτώσης τάσης που εμφανίζεται στους ζυγούς, θα μπορούσε να εφαρμοστεί εφόσον και είναι δυνατό, η υπό φορτίο αλλαγή των ενδιάμεσων λήψεων στο Μ/Σ Ισχύος, σε λόγο 0,99 προς 1. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	Load MW	Load Mvar	Generation MW	Generation Mvar	Injected Mvar
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	7.251052	2.936725	0.000000
2	0.994375	-1.073422	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.990719	-1.046040	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.973316	-1.090049	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.969311	-1.094942	1.110000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.986386	-1.408706	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.984488	-1.490030	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.973322	-1.405008	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.980277	-1.675840	1.328000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.955776	-1.669025	1.328000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.978406	-1.661594	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.976657	-1.648300	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.979642	-1.703331	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.978784	-1.741241	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.978148	-1.770054	1.328000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.970377	-1.711644	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000

Total 7.061000 2.642000 7.251052 2.936725 0.000000

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρείται πως η βελτίωση που επιτεύχθηκε στην πτώση τάσης στο ζυγό 10 του δικτύου, είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.

6.4.5.3 Σενάριο Δ με Ενίσχυση από Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας

Στην περίπτωση αυτή η πτώση τάσης που εμφανίζεται στους ζυγούς, θα μπορούσε να λυθεί με την παροχή ισχύος τουλάχιστον 250 kW ή 0,25 MW προς το δίκτυο μέσω ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας στο ζυγό 10, με τα εξής αποτελέσματα:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	6.985495	2.920137	0.000000
2	0.984419	-1.049821	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.980727	-1.021881	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.963136	-1.066795	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.959089	-1.071792	1.110000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.976590	-1.371360	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.974733	-1.449138	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.963452	-1.362386	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.970627	-1.625631	1.328000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.950151	-1.536778	1.328000	0.449000	0.250000	0.000000	0.000000
11	0.968738	-1.611100	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.966971	-1.597538	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.969986	-1.653671	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.969119	-1.692342	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.968477	-1.721733	1.328000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.960627	-1.662141	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000

Total 7.061000 2.642000 7.235495 2.920137 0.000000

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρείται πως η βελτίωση που επιτεύχθηκε στην πτώση τάσης στο ζυγό 10 του δικτύου, είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.

6.4.5.4 Σενάριο Δ με Αντικατάσταση Γραμμών

Στην περίπτωση αυτή, για την αντιμετώπιση της πτώσης τάσης στους ζυγούς, θα μπορούσε να εφαρμοστεί αντικατάσταση των αγωγών 16ACSR της γραμμής 9-10 με αγωγό 95 ACSR. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	7.225022	2.938136	0.000000
2	0.984139	-1.090915	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.980445	-1.062959	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.962849	-1.107898	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.958801	-1.112899	1.110000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.976093	-1.431133	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.974182	-1.513647	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.962895	-1.426796	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.969944	-1.702070	1.328000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.964288	-1.967794	1.328000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000

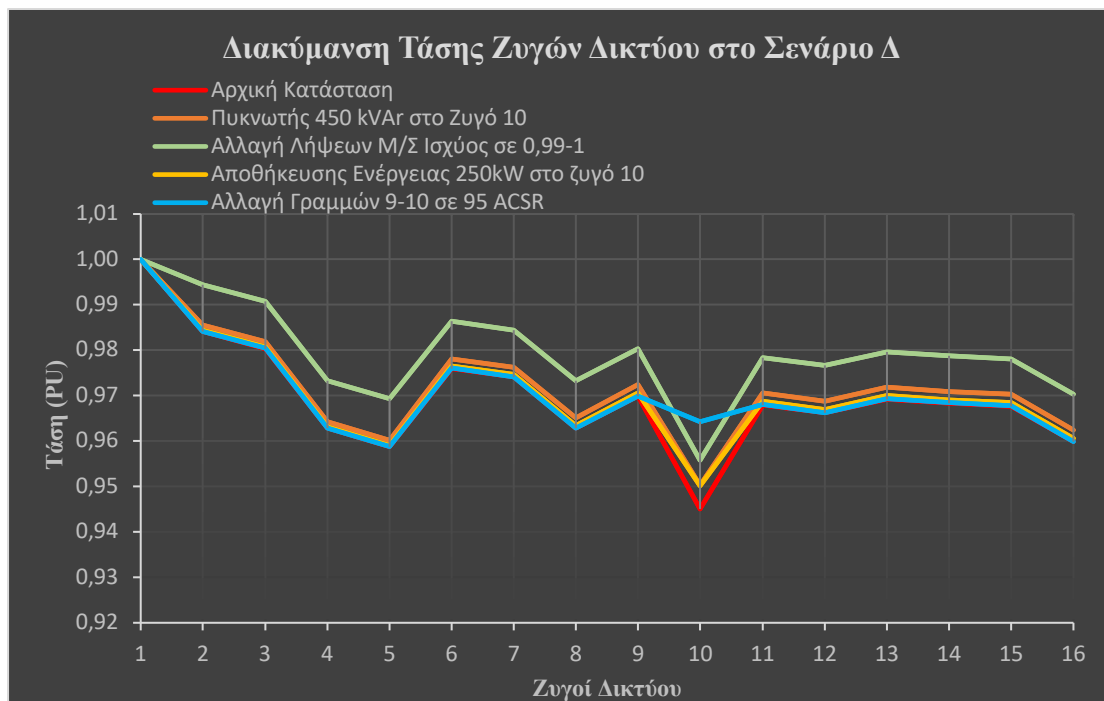
11	0.968053	-1.687518	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.966285	-1.673937	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.969302	-1.730149	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.968434	-1.768875	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.967792	-1.798307	1.328000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.959936	-1.738630	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000

Total 7.061000 2.642000 7.225022 2.938136 0.000000

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρείται πως η βελτίωση που επιτεύχθηκε στην πτώση τάσης στο ζυγό 10 του δικτύου, είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.

6.4.5.5 Σύγκριση Αποτελεσμάτων Σεναρίου Δ

Μια διαγραμματική απεικόνιση των αποτελεσμάτων που μελετήθηκαν κατά το σενάριο Δ ακολουθεί παρακάτω:



Εικόνα 6–29: Διακυμάνσεις τάσεων στους ζυγούς κατά το σενάριο Δ

Η μέθοδος αλλαγής λήψεων στο Μ/Σ Ισχύος, εφόσον είναι εφικτή, αποτελεί την βέλτιστη λύση, καθώς προκύπτει σημαντική βελτίωση των τάσεων στο σύνολο των ζυγών του δικτύου. Επίσης η τοποθέτηση πυκνωτών αντιστάθμευσης, αποτελεί μια καλή πρακτική, δεδομένου της συνολικής τους ευεργετικής τους δράσης, η οποία ωστόσο είναι μικρότερης τιμής. Ακόμα, η παροχή ισχύος από σύστημα αποθήκευσης ενέργειας αποτελεί μια καλή επιλογή, όμως δίνει λύση κυρίως στην περιοχή όπου εφαρμόζεται με μικρή επίδραση στα υπόλοιπα σημεία. Τέλος, στα επίπεδα αυτά η αναβάθμιση των γραμμών του δικτύου παρότι δίνει μια οριστική λύση στο πρόβλημα, συνιστάται προς εφαρμογή σε δυσμενέστερες καταστάσεις, όπου τα υπόλοιπα μέτρα αντιμετώπισης έχουν εξαντληθεί.

6.4.6 Σενάριο E

Στο σενάριο αυτό μελετάται η ανάπτυξη 20 σταθμών ταχείας φόρτισης της τάξης των 150 kW, ισόποσα μοιρασμένους ανά 5 σε κάθε ένα από τους ζυγούς 5,9,10,15. Για κάθε ένα από τους σταθμούς αυτούς ισχύουν τα εξής στοιχεία:

Πίνακας 6 - 20: Μέγιστο επιπρόσθετο ωριαίο φορτίο ανά σταθμό στο σενάριο E

Σταθμός Φόρτισης	Χρόνος Φόρτισης Οχήματος 20-80%	Πλήρωση Φόρτισης Οχήματος σε 1 Ωρα	Ενέργεια Κατανάλωσης Οχήματος	Μέγιστος Αριθμός Φορτίσεων σε 1 Ωρα	Μέγιστη Ενέργεια Κατανάλωσης Οχημάτων σε 1 Ωρα
150 kW	20 λεπτά	60% (20-80%)	30 kWh	3	90 kWh

Επομένως, στο διάστημα 20.00-21.00 μ.μ. σε κάθε ένα από τους ζυγούς των συγκεκριμένων αναπτύσσονται 5 σταθμοί προς εξυπηρέτηση 15 οχημάτων, με το ωριαίο φορτίο να φτάνει τις 450 kWh ή 0,45 MWh.

Πίνακας 6 - 21: Μέγιστο επιπρόσθετο ωριαίο φορτίο σταθμών φόρτισης ανά ζυγό στο σενάριο E

Περιοχή	Ζυγός	Σταθμοί Φόρτισης (kW)	Οχήματα	Επιπρόσθετα Φορτία (kWh)	Επιπρόσθετα Φορτία (MWh)
Πλ. Γιαλός	5	5X150	15	(5X90) = 450	0,45
Απολλωνία	9	5X150	15	(5X90) = 450	0,45
Καμάρες	10	5X150	15	(5X90) = 450	0,45
Αρτεμώνας	15	5X150	15	(5X90) = 450	0,45

Συνολικά λοιπόν, στους 20 αναπτυσσόμενους σταθμούς υποστηρίζεται φόρτιση 60 οχημάτων, με την αύξηση στο φορτίο ζήτησης του δικτύου τις 1.800 kWh ή 1,8 MWh. Συνεπώς, τα ωριαία φορτία στους ζυγούς του Δικτύου διαμορφώνονται ως εξής:

Πίνακας 6 - 22: Βασικά στοιχεία ηλεκτρικού Δικτύου Σίφνου στο σενάριο E

Bus	Bus (code)	V (pu)	Angle (pu)	cosφ	P (MW)	Q (MVAR)
1	1	1	0	0,9	0	0
2	0	1	0	0,9	0	0
3	0	1	0	0,9	0,246	0,119
4	0	1	0	0,9	0,055	0,026
5	0	1	0	0,9	1,160	0,344
6	0	1	0	0,9	0,246	0,119
7	0	1	0	0,9	0,218	0,106
8	0	1	0	0,9	0,328	0,159
9	0	1	0	0,9	1,378	0,449
10	0	1	0	0,9	1,378	0,449
11	0	1	0	0,9	0,109	0,053
12	0	1	0	0,9	0,273	0,132
13	0	1	0	0,9	0,164	0,079
14	0	1	0	0,9	0,164	0,079
15	0	1	0	0,9	1,378	0,449
16	0	1	0	0,9	0,164	0,079

Έτσι το μέγιστο ωριαίο φορτίο ζήτησης του δικτύου μεταβαίνει στα 7,260 MW. Με βάση λοιπόν τα στοιχεία των γραμμών κατά την αρχική κατάσταση του δικτύου και τις νέες τιμές φορτίων στους ζυγούς του, οι πτώσης τάσης διαμορφώνονται ως εξής:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load----- MW	Mvar	---Generation--- MW	Mvar	Injected Mvar
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	7.466595	2.959294	0.000000
2	0.983848	-1.132219	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.980153	-1.104246	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.961701	-1.165199	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.957481	-1.173494	1.160000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.975626	-1.487005	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.973672	-1.573216	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.962378	-1.486273	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.969326	-1.770951	1.378000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.943671	-1.780490	1.378000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.967434	-1.756380	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.965665	-1.742782	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.968672	-1.800086	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.967788	-1.840393	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.967131	-1.871143	1.378000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.959270	-1.811384	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
Total			7.261000	2.642000	7.466595	2.959294	0.000000

Δεδομένου ότι τα αποδεκτά όρια διακύμανσης της τάσης θα πρέπει να κυμαίνονται εντός του $\pm 5\%$ της ονομαστικής τιμής, γίνεται αντιληπτό πως το δίκτυο δε βρίσκεται σε κατάσταση εύρυθμης λειτουργίας. Συγκεκριμένα παρατηρείται ότι η τάση στο ζυγό 10 (κίτρινο χρώμα) στην περιοχή Καμάρες, βρίσκεται εκτός των επιτρεπτών ορίων. Λαμβάνοντας υπόψιν τη συγκεκριμένη κατάσταση, για την καλύτερη λειτουργία του δικτύου, ακολουθεί η εφαρμογή 4 μεθόδων για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

6.4.6.1 Σενάριο Ε με προσθήκη Πυκνωτών Αντιστάθμισης

Στην περίπτωση αυτή για την αντιμετώπιση του προβλήματος πτώσης τάσης που εμφανίζεται στους ζυγούς, θα μπορούσε να εφαρμοστεί τοπικά στο ζυγό 10 συστοιχία πυκνωτών αντιστάθμισης, μεγέθους τουλάχιστον 550 kvar ή 0,55 Mvar. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load----- MW	Mvar	---Generation--- MW	Mvar	Injected Mvar
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	7.455604	2.392510	0.000000
2	0.985569	-1.161280	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.981881	-1.133405	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.963463	-1.194142	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.959251	-1.202407	1.160000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.978127	-1.542411	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000

7	0.976368	-1.635197	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.965107	-1.548738	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.972511	-1.849424	1.378000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.950037	-2.399481	1.378000	0.449000	0.000000	0.000000	0.550000
11	0.970625	-1.834949	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.968863	-1.821440	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.971860	-1.878368	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.970978	-1.918412	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.970323	-1.948959	1.378000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.962488	-1.889596	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000

Total 7.261000 2.642000 7.455604 2.392510 0.550000

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρείται πως η βελτίωση που επιτεύχθηκε στην πτώση τάσης στο ζυγό 10 του δικτύου, είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.

6.4.6.2 Σενάριο Ε με Χρήση Ενδιάμεσων Λήψεων Μ/Σ Ισχύος

Στην περίπτωση αυτή για την αντιμετώπιση του προβλήματος πτώσης τάσης που εμφανίζεται στους ζυγούς, θα μπορούσε να εφαρμοστεί εφόσον και είναι δυνατό, η υπό φορτίο αλλαγή των ενδιάμεσων λήψεων στο Μ/Σ Ισχύος, σε λόγο 0,99 προς 1. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	Load MW	Load Mvar	Generation MW	Generation Mvar	Injected Mvar
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	7.462132	2.952451	0.000000
2	0.994131	-1.108925	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.990475	-1.081530	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.972226	-1.141211	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.968052	-1.149327	1.160000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.986000	-1.456288	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.984066	-1.540675	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.972895	-1.455580	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.979768	-1.734201	1.378000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.954401	-1.743533	1.378000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.977896	-1.719940	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.976147	-1.706632	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.979121	-1.762718	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.978246	-1.802168	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.977596	-1.832263	1.378000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.969821	-1.773787	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000

Total 7.261000 2.642000 7.462132 2.952451 0.000000

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρείται πως η βελτίωση που επιτεύχθηκε στην πτώση τάσης στο ζυγό 10 του δικτύου, είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.

6.4.6.3 Σενάριο Ε με Ενίσχυση από Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας

Στην περίπτωση αυτή η πτώση τάσης που εμφανίζεται στους ζυγούς, θα μπορούσε να λυθεί με την παροχή ισχύος τουλάχιστον 350 kW ή 0,35 MW προς το δίκτυο μέσω ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας στο ζυγό 10, με τα εξής αποτελέσματα:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	7.088642	2.926395	0.000000
2	0.984303	-1.067597	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.980610	-1.039650	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.962167	-1.100546	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.957949	-1.108833	1.160000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.976429	-1.393092	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.974561	-1.471872	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.963278	-1.385089	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.970428	-1.650887	1.378000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.950798	-1.545698	1.378000	0.449000	0.350000	0.000000	0.000000
11	0.968538	-1.636350	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.966771	-1.622783	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.969775	-1.679956	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.968891	-1.720172	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.968235	-1.750852	1.378000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.960383	-1.691230	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
Total			7.261000	2.642000	7.438642	2.926395	0.000000

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρείται πως η βελτίωση που επιτεύχθηκε στην πτώση τάσης στο ζυγό 10 του δικτύου, είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.

6.4.6.4 Σενάριο Ε με Αντικατάσταση Γραμμών

Στην περίπτωση αυτή, για την αντιμετώπιση της πτώσης τάσης στους ζυγούς, θα μπορούσε να εφαρμοστεί αντικατάσταση των αγωγών 16ACSR της γραμμής 9-10 με αγωγό 95 ACSR. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

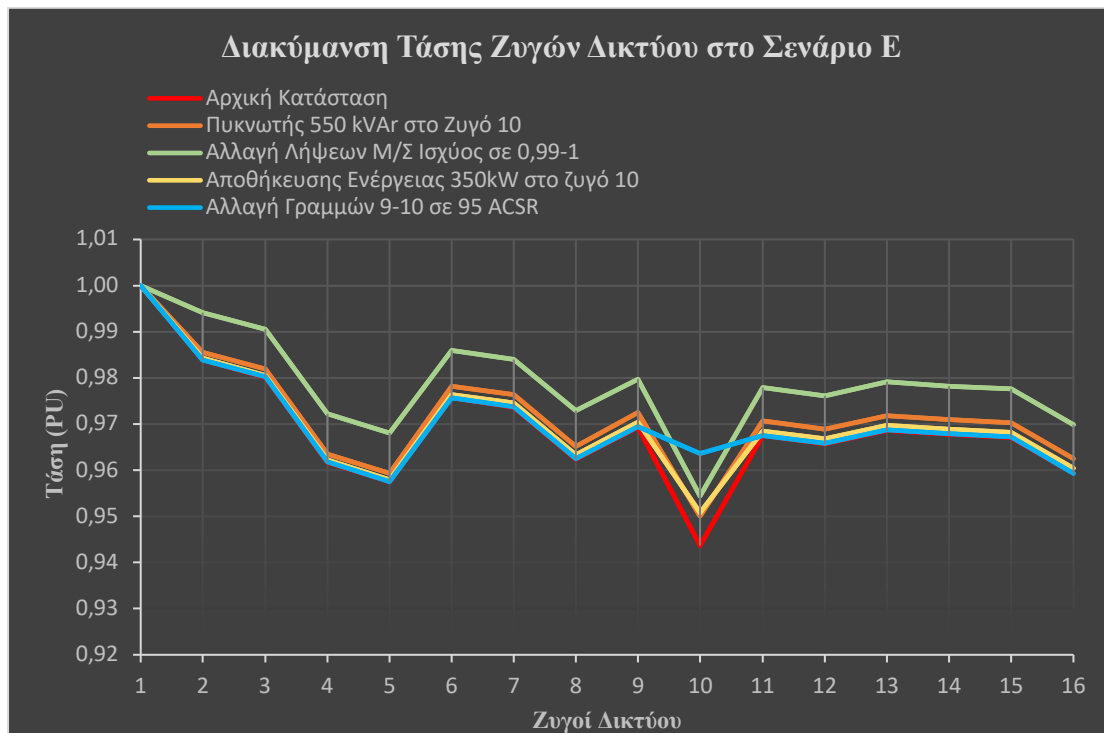
Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	7.434138	2.953768	0.000000
2	0.983895	-1.126815	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.980200	-1.098845	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.961749	-1.159792	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.957530	-1.168086	1.160000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.975707	-1.479213	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.973761	-1.564817	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.962468	-1.477889	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.969436	-1.761022	1.378000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000

10	0.963636	-2.039869	1.378000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.967544	-1.746455	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.965775	-1.732860	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.968782	-1.790150	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.967898	-1.830449	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.967240	-1.861192	1.378000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.959380	-1.801446	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
Total		7.261000	2.642000	7.434138	2.953768	0.000000	

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρείται πως η βελτίωση που επιτεύχθηκε στην πτώση τάσης στο ζυγό 10 του δικτύου, είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.

6.4.6.5 Σύγκριση Αποτελεσμάτων Σεναρίου E

Μια διαγραμματική απεικόνιση των αποτελεσμάτων που μελετήθηκαν κατά το σενάριο E ακολουθεί παρακάτω:



Εικόνα 6-30: Διακυμάνσεις τάσεων στους ζυγούς κατά το σενάριο E

Η μέθοδος αλλαγής λήψεων στο Μ/Σ Ισχύος, εφόσον είναι εφικτή, αποτελεί την βέλτιστη λύση, καθώς προκύπτει σημαντική βελτίωση των τάσεων στο σύνολο των ζυγών του δικτύου. Επίσης η τοποθέτηση πυκνωτών αντιστάθμευσης, αποτελεί μια καλή πρακτική, δεδομένου της συνολικής τους ευεργετικής τους δράσης, η οποία ωστόσο είναι μικρότερης τιμής. Ακόμα, η παροχή ισχύος από σύστημα αποθήκευσης ενέργειας αποτελεί μια καλή επιλογή, όμως δίνει λύση κυρίως στην περιοχή όπου εφαρμόζεται, με μικρή επίδραση στα υπόλοιπα σημεία. Τέλος, στα επίπεδα αυτά η αναβάθμιση των γραμμών του δικτύου παρότι δίνει μια οριστική λύση στο πρόβλημα, συνιστάται προς εφαρμογή σε δυσμενέστερες καταστάσεις, όπου τα υπόλοιπα μέτρα αντιμετώπισης έχουν εξαντληθεί.

6.4.7 Σενάριο Z

Στο σενάριο αυτό μελετάται η ανάπτυξη 40 σταθμών κανονικής φόρτισης της τάξης των 22 kW και 20 σταθμών ταχείας φόρτισης των 150kW, ισόποσα μοιρασμένους σε κάθε ένα από τους ζυγούς 5,9,10,15. Για κάθε ένα από τους σταθμούς ισχύουν τα εξής:

Πίνακας 6 - 23: Μέγιστο επιπρόσθετο ωριαίο φορτίο ανά σταθμό στο σενάριο Z

Σταθμός Φόρτισης	Χρόνος Φόρτισης Οχήματος 20-80%	Πλήρωση Φόρτισης Οχήματος σε 1 Ωρα	Ενέργεια Κατανάλωσης Οχήματος	Μέγιστος Αριθμός Φορτίσεων σε 1 Ωρα	Μέγιστη Ενέργεια Κατανάλωσης Οχημάτων σε 1 Ωρα
22 kW	3 Ωρες	20% (20-40%)	10 kWh	1	10 kWh
150 kW	20 λεπτά	60% (20-80%)	30 kWh	3	90 kWh

Επομένως, στο διάστημα 20.00-21.00 μ.μ. σε κάθε ένα από τους ζυγούς των συγκεκριμένων περιοχών αναπτύσσονται 15 σταθμοί προς εξυπηρέτηση 25 οχημάτων, με το επιπρόσθετο ωριαίο φορτίο να φτάνει τις 550 kWh ή 0,55 MWh.

Πίνακας 6 - 24: Μέγιστο επιπρόσθετο ωριαίο φορτίο σταθμών φόρτισης ανά ζυγό στο σενάριο Z

Περιοχή	Ζυγός	Σταθμοί Φόρτισης (kW)	Οχήματα	Επιπρόσθετα Φορτία (kWh)	Επιπρόσθετα Φορτία (MWh)
Πλ. Γιαλός	5	10X22+5X150	25	(10X10+5X90) =550	0,55
Απολλωνία	9	10X22+5X150	25	(10X10+5X90) =550	0,55
Καμάρες	10	10X22+5X150	25	(10X10+5X90) =550	0,55
Αρτεμώνας	15	10X22+5X150	25	(10X10+5X90) =550	0,55

Συνολικά λοιπόν, στους 60 αναπτυσσόμενους σταθμούς υποστηρίζεται φόρτιση 100 οχημάτων, με την αύξηση στο φορτίο ζήτησης του δικτύου τις 2.200 kWh ή 2,2 MWh. Συνεπώς, τα ωριαία φορτία στους ζυγούς του Δικτύου διαμορφώνονται ως εξής:

Πίνακας 6 - 25: Βασικά στοιχεία ηλεκτρικού Δικτύου Σίφνου στο σενάριο Z

Bus	Bus (code)	V (pu)	Angle (pu)	cosφ	P (MW)	Q (MVAR)
1	1	1	0	0,9	0	0
2	0	1	0	0,9	0	0
3	0	1	0	0,9	0,246	0,119
4	0	1	0	0,9	0,055	0,026
5	0	1	0	0,9	1,260	0,344
6	0	1	0	0,9	0,246	0,119
7	0	1	0	0,9	0,218	0,106
8	0	1	0	0,9	0,328	0,159
9	0	1	0	0,9	1,478	0,449
10	0	1	0	0,9	1,478	0,449
11	0	1	0	0,9	0,109	0,053
12	0	1	0	0,9	0,273	0,132
13	0	1	0	0,9	0,164	0,079
14	0	1	0	0,9	0,164	0,079
15	0	1	0	0,9	1,478	0,449
16	0	1	0	0,9	0,164	0,079

Έτσι το μέγιστο ωριαίο φορτίο ζήτησης του δικτύου μεταβαίνει στα 7,660 MW. Με βάση λοιπόν τα στοιχεία των γραμμών κατά την αρχική κατάσταση του δικτύου και τις νέες τιμές φορτίων στους ζυγούς του, οι πτώσης τάσης διαμορφώνονται ως εξής:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	7.890515	2.993020	0.000000
2	0.983348	-1.204944	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.979651	-1.176943	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.959481	-1.270051	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.954918	-1.284985	1.260000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.974836	-1.584491	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.972810	-1.676987	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.961507	-1.589888	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.968287	-1.890559	1.478000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.940871	-1.933312	1.478000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.966393	-1.875957	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.964623	-1.862330	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.967611	-1.921800	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.966691	-1.965267	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.966006	-1.998649	1.478000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.958135	-1.938749	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
Total			7.661000	2.642000	7.890515	2.993020	0.000000

Δεδομένου ότι τα αποδεκτά όρια διακύμανσης της τάσης θα πρέπει να κυμαίνονται εντός του $\pm 5\%$ της ονομαστικής τιμής, γίνεται αντιληπτό πως το δίκτυο δε βρίσκεται σε κατάσταση εύρυθμης λειτουργίας. Συγκεκριμένα παρατηρείται ότι η τάση στο ζυγό 10 (κίτρινο χρώμα) στην περιοχή Καμάρες, βρίσκεται εκτός των επιτρεπτών ορίων. Επίσης μικρή ανησυχία προκαλεί η τάση στο ζυγό 5, στην περιοχή του Πλατύ Γιαλού, η οποία ωστόσο δεν κρίνεται απαραίτητη προς βελτίωση. Λαμβάνοντας υπόψιν τη συγκεκριμένη κατάσταση, για την καλύτερη λειτουργία του δικτύου, ακολουθεί η εφαρμογή 4 μεθόδων για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

6.4.7.1 Σενάριο Z με προσθήκη Πυκνωτών Αντιστάθμισης

Στην περίπτωση αυτή για την αντιμετώπιση του προβλήματος πτώσης τάσης που εμφανίζεται στους ζυγούς, θα μπορούσε να εφαρμοστεί τοπικά στο ζυγό 10 συστοιχία πυκνωτών αντιστάθμισης, μεγέθους τουλάχιστον 800 kvar ή 0,8 Mvar. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	7.878478	2.170925	0.000000
2	0.985842	-1.247586	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.982155	-1.219726	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.962040	-1.312355	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000

5	0.957489	-1.327210	1.260000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.978460	-1.665496	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.976717	-1.767557	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.965459	-1.681161	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.972902	-2.005105	1.478000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.950092	-2.833243	1.478000	0.449000	0.000000	0.000000	0.800000
11	0.971017	-1.990642	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.969255	-1.977144	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.972229	-2.036050	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.971314	-2.079104	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.970631	-2.112169	1.478000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.962799	-2.052843	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
Total			7.661000	2.642000	7.878478	2.170925	0.800000

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρείται πως η βελτίωση που επιτεύχθηκε στην πτώση τάσης στο ζυγό 10 του δικτύου, είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.

6.4.7.2 Σενάριο Z με Χρήση Ενδιάμεσων Λήψεων Μ/Σ Ισχύος

Στην περίπτωση αυτή για την αντιμετώπιση του προβλήματος πτώσης τάσης που εμφανίζεται στους ζυγούς, θα μπορούσε να εφαρμοστεί εφόσον και είναι δυνατό, η υπό φορτίο αλλαγή των ενδιάμεσων λήψεων στο Μ/Σ Ισχύος, σε λόγο 0,99 προς 1. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	Load MW	Load Mvar	Generation MW	Generation Mvar	Injected Mvar
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	7.885510	2.985419	0.000000
2	0.993638	-1.180114	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.989980	-1.152692	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.970034	-1.243845	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.965521	-1.258455	1.260000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.985221	-1.551703	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.983217	-1.642238	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.972035	-1.556994	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.978743	-1.851252	1.478000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.951637	-1.893070	1.478000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.976869	-1.836961	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.975118	-1.823625	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.978074	-1.881828	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.977164	-1.924368	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.976486	-1.957038	1.478000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.968701	-1.898427	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
Total			7.661000	2.642000	7.885510	2.985419	0.000000

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρείται πως η βελτίωση που επιτεύχθηκε στην πτώση τάσης στο ζυγό 10 του δικτύου, είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.

6.4.7.3 Σενάριο Z με Ενίσχυση από Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας

Στην περίπτωση αυτή η πτώση τάσης στους ζυγούς, θα μπορούσε να λυθεί με την παροχή ισχύος τουλάχιστον 450 kW ή 0,45 MW προς το δίκτυο μέσω ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας στο ζυγό 10, με τα εξής αποτελέσματα:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	7.402781	2.948489	0.000000
2	0.983940	-1.121591	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.980246	-1.093624	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.960089	-1.186617	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.955529	-1.201533	1.260000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.975878	-1.463337	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.973963	-1.546237	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.962673	-1.459347	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.969715	-1.735627	1.478000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.950071	-1.630279	1.478000	0.449000	0.450000	0.000000	0.000000
11	0.967824	-1.721068	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.966056	-1.707481	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.969039	-1.766776	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.968122	-1.810114	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.967437	-1.843397	1.478000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.959578	-1.783676	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
Total			7.661000	2.642000	7.852781	2.948489	0.000000

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρείται πως η βελτίωση που επιτεύχθηκε στην πτώση τάσης στο ζυγό 10 του δικτύου, είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.

6.4.7.4 Σενάριο Z με Αντικατάσταση Γραμμών

Στην περίπτωση αυτή, για την αντιμετώπιση της πτώσης τάσης στους ζυγούς, θα μπορούσε να εφαρμοστεί αντικατάσταση των αγωγών 16ACSR της γραμμής 9-10 με αγωγό 95 ACSR, με τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	7.853326	2.986503	0.000000
2	0.983402	-1.198756	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.979706	-1.170757	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.959537	-1.263855	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.954975	-1.278788	1.260000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.974929	-1.575565	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.972913	-1.667365	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.961610	-1.580284	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000

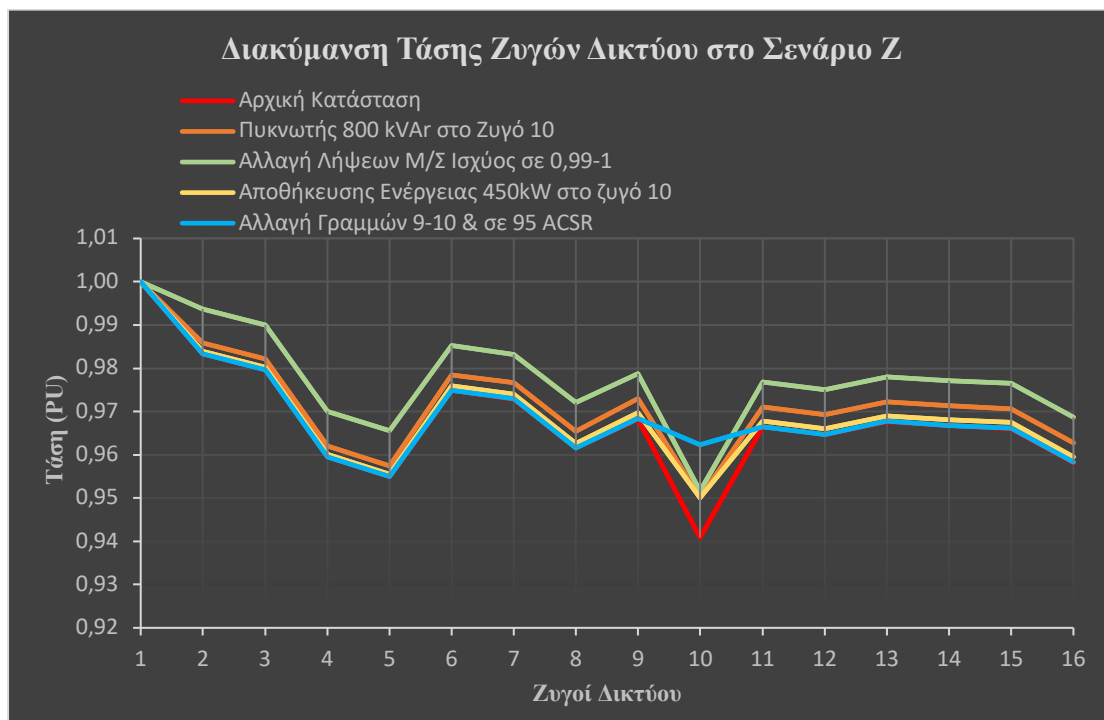
9	0.968413	-1.879182	1.478000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.962324	-2.184373	1.478000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.966520	-1.864584	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.964749	-1.850960	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.967737	-1.910415	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.966818	-1.953870	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.966132	-1.987244	1.478000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.958263	-1.927360	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000

Total 7.661000 2.642000 7.853326 2.986503 0.000000

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρείται πως η βελτίωση που επιτεύχθηκε στην πτώση τάσης στο ζυγό 10 του δικτύου, είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.

6.4.7.5 Σύγκριση Αποτελεσμάτων Σεναρίου Z

Μια διαγραμματική απεικόνιση των αποτελεσμάτων που μελετήθηκαν κατά το σενάριο Z ακολουθεί παρακάτω:



Εικόνα 6-31: Διακυμάνσεις τάσεων στους ζυγούς κατά το σενάριο Z

Η μέθοδος αλλαγής λήψεων στο Μ/Σ Ισχύος, εφόσον είναι εφικτή, αποτελεί την βέλτιστη λύση, καθώς προκύπτει σημαντική βελτίωση των τάσεων στο σύνολο των ζυγών του δικτύου. Η τοποθέτηση πυκνωτών αντιστάθμευσης, αποτελεί μια καλή πρακτική, δεδομένου της συνολικής τους ενεργητικής τους δράσης, όμως στα επίπεδα αυτά το μέγεθος που απαιτείται είναι μεγάλο. Αντίστοιχα και η παροχή ισχύος από σύστημα αποθήκευσης ενέργειας αποτελεί και αυτή μια καλή επιλογή, ωστόσο εκτός του ότι η επίδραση της είναι κυρίως τοπική, τα ποσά ισχύος που απαιτούνται είναι αρκετά υψηλά. Τέλος, δεδομένου της δυσμενούς κατάστασης, η αναβάθμιση των γραμμών του δικτύου, ίσως αποτελεί μια ασφαλέστερη επιλογή προς εφαρμογή.

6.4.8 Σενάριο Η

Στο σενάριο αυτό μελετάται η ανάπτυξη 40 σταθμών φόρτισης των 22 kW, 40 ταχυφορτιστών των 50kW και 20 των 150kW, μοιρασμένους ισόποσα τους ζυγούς 5,9,10,15. Για κάθε ένα από τους σταθμούς αυτούς ισχύουν τα στοιχεία του Πίνακα .

Πίνακας 6 - 26: Μέγιστο επιπρόσθετο ωριαίο φορτίο ανά σταθμό στο σενάριο Η

Σταθμός Φόρτισης	Χρόνος Φόρτισης Οχήματος 20-80%	Πλήρωση Φόρτισης Οχήματος σε 1 Ώρα	Ενέργεια Κατανάλωσης Οχήματος	Μέγιστος Αριθμός Φορτίσεων σε 1 Ώρα	Μέγιστη Ενέργεια Κατανάλωσης Οχημάτων σε 1 Ώρα
22 kW	3 Ώρες	20% (20-40%)	10 kWh	1	10 kWh
50 kW	1 Ώρα	60% (20-80%)	30 kWh	1	30 kWh
150 kW	20 λεπτά	60% (20-80%)	30 kWh	3	90 kWh

Επομένως, στο διάστημα 20.00-21.00 μ.μ. σε κάθε ένα από τους ζυγούς των συγκεκριμένων περιοχών αναπτύσσονται συνολικά 25 σταθμοί προς εξυπηρέτηση έως και 35 οχημάτων, με το ωριαίο φορτίο να φτάνει τις 850 kWh ή 0,85 MWh.

Πίνακας 6 - 27: Μέγιστο επιπρόσθετο ωριαίο φορτίο σταθμών φόρτισης ανα ζυγό στο σενάριο Η

Περιοχή	Ζυγός	Σταθμοί Φόρτισης (kW)	Οχ.	Επιπρόσθετα Φορτία (kWh)	Επιπρ. Φορτία (MWh)
Π.Γιαλ	5	10X22+10X50+5X150	35	(10X10+10X30+ 5X90) =850	0,85
Απολλ.	9	10X22+10X50+5X150	35	(10X10+10X30+ 5X90) = 850	0,85
Καμάρ	10	10X22+10X50+5X150	35	(10X10+10X30+ 5X90) = 850	0,85
Αρτεμ	15	10X22+10X50+5X150	35	(10X10+10X30+ 5X90) = 850	0,85

Συνολικά λοιπόν στους 100 σταθμούς υποστηρίζεται φόρτιση έως και 140 οχημάτων, με την ωριαία αύξηση στο φορτίο ζήτησης του δικτύου τις 3.400 kWh ή 3,4 MWh. Συνεπώς, τα ωριαία φορτία στους ζυγούς του Δικτύου διαμορφώνονται ως εξής:

Πίνακας 6 - 28: Βασικά στοιχεία ηλεκτρικού Δικτύου Σίφνου στο σενάριο Η

Bus	Bus (code)	V (pu)	Angle (pu)	cosφ	P (MW)	Q (MVAR)
1	1	1	0	0,9	0	0
2	0	1	0	0,9	0	0
3	0	1	0	0,9	0,246	0,119
4	0	1	0	0,9	0,055	0,026
5	0	1	0	0,9	1,560	0,344
6	0	1	0	0,9	0,246	0,119
7	0	1	0	0,9	0,218	0,106
8	0	1	0	0,9	0,328	0,159
9	0	1	0	0,9	1,778	0,449
10	0	1	0	0,9	1,778	0,449
11	0	1	0	0,9	0,109	0,053
12	0	1	0	0,9	0,273	0,132
13	0	1	0	0,9	0,164	0,079
14	0	1	0	0,9	0,164	0,079
15	0	1	0	0,9	1,778	0,449
16	0	1	0	0,9	0,164	0,079

Έτσι το μέγιστο ωριαίο φορτίο ζήτησης του δικτύου μεταβαίνει στα 8,860 MW. Με βάση λοιπόν τα στοιχεία των γραμμών κατά την αρχική κατάσταση του δικτύου και τις νέες τιμές φορτίων στους ζυγούς του, οι πτώσης τάσης διαμορφώνονται ως εξής:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	9.172499	3.106898	0.000000
2	0.981810	-1.424683	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.978108	-1.396593	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.952723	-1.587287	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.947118	-1.622548	1.560000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.972417	-1.879105	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.970173	-1.990636	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.958838	-1.903057	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.965113	-2.252227	1.778000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.932344	-2.396279	1.778000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.963213	-2.237529	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.961437	-2.223811	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.964367	-2.289845	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.963344	-2.342879	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.962571	-2.384236	1.778000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.954673	-2.323905	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
Total			8.861000	2.642000	9.172499	3.106898	0.000000

Δεδομένου ότι τα αποδεκτά όρια διακύμανσης της τάσης στο $\pm 5\%$ της ονομαστικής, φαίνεται πως το δίκτυο δε βρίσκεται σε κατάσταση εύρυθμης λειτουργίας. Συγκεκριμένα η τάση στους ζυγούς 5 και 10, των περιοχών Πλατύ Γιαλού και Καμαρών (κίτρινο χρώμα), βρίσκονται εκτός των επιτρεπτών ορίων. Λαμβάνοντας υπόψιν τη συγκεκριμένη κατάσταση, για την καλύτερη λειτουργία του δικτύου, ακολουθεί η εφαρμογή 4 μεθόδων για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

6.4.8.1 Σενάριο Η με προσθήκη Πυκνωτών Αντιστάθμισης

Στην περίπτωση αυτή για την αντιμετώπιση του προβλήματος πτώσης τάσης που εμφανίζεται στους ζυγούς, θα μπορούσε να εφαρμοστεί τοπικά στο ζυγό 10 συστοιχία πυκνωτών αντιστάθμισης, υψηλού μεγέθους τουλάχιστον 1.600 kvar ή 1,6 Mvar, με τα εξής αποτελέσματα:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load-----		---Generation---		Injected Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	9.173713	1.477706	0.000000
2	0.986737	-1.512411	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.983053	-1.484603	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.957806	-1.673345	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.952231	-1.708231	1.560000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.979569	-2.043906	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000

7	0.977885	-2.174596	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.966642	-2.088409	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.974225	-2.484103	1.778000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.950531	-4.193414	1.778000	0.449000	0.000000	0.000000	1.600000
11	0.972343	-2.469679	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.970583	-2.456218	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.973486	-2.521019	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.972472	-2.573062	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.971707	-2.613645	1.778000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.963884	-2.554453	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000

Total 8.861000 2.642000 9.173713 1.477706 1.600000

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρείται πως η βελτίωση που επιτεύχθηκε στην πτώση τάσης στο ζυγό 5 και 10 του δικτύου, είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.

6.4.8.2 Σενάριο Η με Χρήση Ενδιάμεσων Λήψεων_M/Σ Ισχύος

Στην περίπτωση αυτή για την αντιμετώπιση της πτώσης τάσης που εμφανίζεται στους ζυγούς, θα μπορούσε να εφαρμοστεί, η υπό φορτίο αλλαγή των ενδιάμεσων λήψεων στο Μ/Σ Ισχύος, σε λόγο 0,98 προς 1, με τα εξής αποτελέσματα:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	-----Load----- MW	Mvar	---Generation--- MW	Mvar	Injected Mvar
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	9.158810	3.086652	0.000000
2	1.002643	-1.366003	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.999018	-1.339072	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.974204	-1.521717	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.968725	-1.555432	1.560000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.993459	-1.801372	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.991265	-1.908170	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.980177	-1.824321	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.986317	-2.158579	1.778000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.954301	-2.296291	1.778000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.984458	-2.144507	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.982720	-2.131376	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.985587	-2.194595	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.984586	-2.245366	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.983830	-2.284955	1.778000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.976105	-2.227224	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000

Total 8.861000 2.642000 9.158810 3.086652 0.000000

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρείται πως η βελτίωση που επιτεύχθηκε στην πτώση τάσης στο ζυγό 5 και 10 του δικτύου, είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.

6.4.8.3 Σενάριο Η με Ενίσχυση από Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας

Στην περίπτωση αυτή η πτώση τάσης που εμφανίζεται κυρίως στους ζυγούς, θα μπορούσε να λυθεί με την παροχή ισχύος 900 kW ή 0,9 MW μέσω ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας στο ζυγό 10. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα::

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	Load MW	Load Mvar	Generation MW	Generation Mvar	Injected Mvar
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	8.189229	3.006232	0.000000
2	0.983029	-1.256809	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.979331	-1.228790	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.953980	-1.418998	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.948383	-1.454166	1.560000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.974547	-1.634981	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.972528	-1.727123	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.961221	-1.639973	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.968024	-1.939790	1.778000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.950894	-1.785099	1.778000	0.449000	0.900000	0.000000	0.000000
11	0.966129	-1.925181	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.964358	-1.911546	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.967279	-1.977182	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.966259	-2.029897	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.965489	-2.071004	1.778000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.957615	-2.011040	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
Total			8.861000	2.642000	9.089229	3.006232	0.000000

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρείται πως η βελτίωση που επιτεύχθηκε στην πτώση τάσης στο ζυγό 5 και 10 του δικτύου, είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.

6.4.8.4 Σενάριο Η με Αντικατάσταση Γραμμών

Εδώ, για την αντιμετώπιση της πτώσης τάσης στους ζυγούς, θα μπορούσε να εφαρμοστεί αντικατάσταση των αγωγών 16ACSR της γραμμής 2-4 και 9-10 με αγωγό 95 ACSR. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

Bus No.	Voltage Mag.	Angle Degree	Load MW	Load Mvar	Generation MW	Generation Mvar	Injected Mvar
1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	9.076802	3.090117	0.000000
2	0.981950	-1.408704	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.978248	-1.380622	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.975865	-1.754091	0.055000	0.026000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.970395	-1.787690	1.560000	0.344000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.972613	-1.859108	0.246000	0.119000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.970383	-1.969615	0.218000	0.106000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.959051	-1.882075	0.328000	0.159000	0.000000	0.000000	0.000000

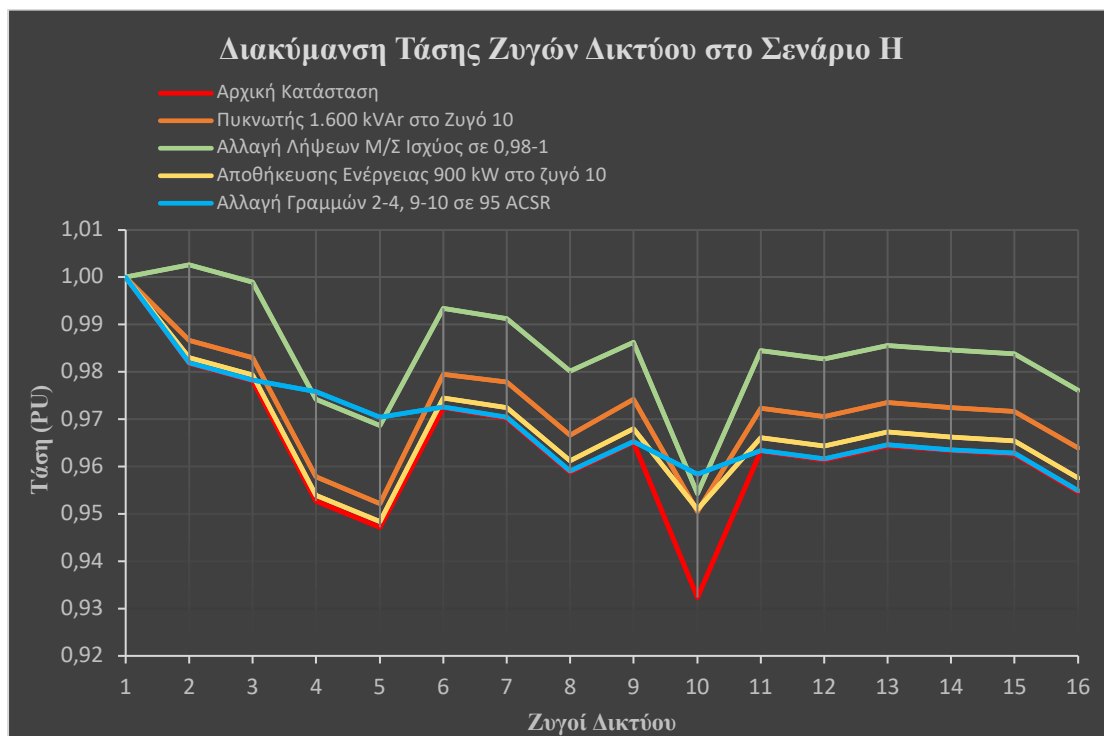
9	0.965358	-2.228622	1.778000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.958394	-2.613601	1.778000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.963458	-2.213932	0.109000	0.053000	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.961682	-2.200221	0.273000	0.132000	0.000000	0.000000	0.000000
13	0.964612	-2.266221	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.963589	-2.319228	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.962817	-2.360564	1.778000	0.449000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.954920	-2.300264	0.164000	0.079000	0.000000	0.000000	0.000000

Total 8.861000 2.642000 9.076802 3.090117 0.000000

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρείται πως η βελτίωση που επιτεύχθηκε στην πτώση τάσης στο ζυγό 5 και 10 του δικτύου, είναι εντός των επιτρεπτών ορίων.

6.4.8.5 Σύγκριση Αποτελεσμάτων Σεναρίου Η

Μια διαγραμματική απεικόνιση των αποτελεσμάτων που μελετήθηκαν κατά το σενάριο Η ακολουθεί παρακάτω:



Εικόνα 6–32: Διακυμάνσεις τάσεων στους ζυγούς κατά το σενάριο Η

Η μέθοδος αλλαγής λήψεων στο Μ/Σ Ισχύος, εφόσον είναι εφικτή, αποτελεί την βέλτιστη λύση, καθώς προκύπτει σημαντική βελτίωση των τάσεων στο σύνολο των ζυγών του δικτύου. Η τοποθέτηση πυκνωτών αντιστάθμευσης, αποτελεί μια καλή πρακτική, δεδομένου της συνολικής τους ευεργετικής τους δράσης, όμως στα επίπεδα αυτά το μέγεθος που απαιτείται είναι μεγάλο. Αντίστοιχα και η παροχή ισχύος από σύστημα αποθήκευσης ενέργειας αποτελεί και αυτή μια καλή επιλογή, ωστόσο εκτός του ότι η επίδραση της είναι κυρίως τοπική, τα ποσά ισχύος που απαιτούνται είναι αρκετά υψηλά. Τέλος, δεδομένου της δυσμενούς κατάστασης, η αναβάθμιση των γραμμών του δικτύου, ίσως αποτελεί μια ασφαλέστερη επιλογή προς εφαρμογή.

6.4.9 Σύγκριση Σεναρίων

Μια συνολική απεικόνιση των κυριότερων στοιχείων από όλα τα σενάρια που αναπτύχθηκαν παρουσιάζεται στον παρακάτω Πίνακα. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται αναλυτικά, ο τύπος και αριθμός των σταθμών φόρτισης ανά ζυγό και συνολικά στο δίκτυο. Επίσης ο μέγιστος ωριαίος αριθμός οχημάτων προς εξυπηρέτηση ανά ζυγό και συνολικά. Εκεί με το γράμμα (Μ) επισημαίνεται η μερική φόρτιση των συσσωρευτών των οχημάτων, ενώ με το γράμμα (ΙΙ) οι αντίστοιχες πλήρεις. Τέλος, αναφέρονται οι μέθοδοι για την αντιμετώπιση των φαινομένων πτώσεων τάσεις στους ζυγούς.

Πίνακας 6 - 29: Ανασκόπηση Εξεταζόμενων Σεναρίων

Π.	Σταθ. 22kW	Σταθ. 50kW	Σταθ. 150k W	Οχήματα	Πυκνωτ. Αντισταθ. (kVAr)	Λήψη Μ/Σ	Απ.Ενέργειας (kW)	Γραμ. 95ACS R
Αρχ	-	-	-	-	-	-	-	-
A	Z5: 10 Z9: 10 Z10: 10 Z15:10 Σ:40	-	-	Z5: 10 (Μ) Z9: 10 (Μ) Z10: 10 (Μ) Z15:10 (Μ) Σ:40(Μ)	-	-	-	-
B	Z5: 20 Z9: 20 Z10: 20 Z15:20 Σ:80	-	-	Z5: 20 (Μ) Z9: 20 (Μ) Z10: 20 (Μ) Z15:20 (Μ) Σ:80(Μ)	-	-	-	-
Γ	-	Z5: 10 Z9: 10 Z10: 10 Z15:10 Σ:40	-	Z5: 10 (Μ) Z9: 10 (Μ) Z10: 10 (Μ) Z15:10 (Μ) Σ:40(ΙΙ)	Z10: 200	0,99-1	Z10: 150	9-10
Δ	Z5: 10 Z9: 10 Z10: 10 Z15:10 Σ:40	Z5: 10 Z9: 10 Z10: 10 Z15:10 Σ:40	-	Z5: 10(Μ)/10(ΙΙ) Z9: 10(Μ)/10(ΙΙ) Z10: 10(Μ)/10(ΙΙ) Z15: 10(Μ)/10(ΙΙ) Σ:40(Μ)/40(ΙΙ)	Z10: 450	0,99-1	Z10: 250	9-10
E	-	-	Z5: 5 Z9: 5 Z10: 5 Z15:5 Σ:20	Z5: 15 (ΙΙ) Z9: 15 (ΙΙ) Z10: 15 (ΙΙ) Z15:15 (ΙΙ) Σ:60(ΙΙ)	Z10: 550	0,99-1	Z10: 350	9-10
Z	Z5: 10 Z9: 10 Z10: 10 Z15:10 Σ:40	-	Z5: 5 Z9: 5 Z10: 5 Z15:5 Σ:20	Z5: 10(Μ)/15(ΙΙ) Z9: 10(Μ)/15(ΙΙ) Z10: 10(Μ)/15(ΙΙ) Z15: 10(Μ)/15(ΙΙ) Σ:40(Μ)/60(ΙΙ)	Z10: 800	0,99-1	Z10: 450	9-10
H	Z5: 10 Z9: 10 Z10: 10 Z15:10 Σ:40	Z5: 10 Z9: 10 Z10: 10 Z15:10 Σ:40	Z5: 5 Z9: 5 Z10: 5 Z15:5 Σ:20	Z5: 10(Μ)/25(ΙΙ) Z9: 10(Μ)/25(ΙΙ) Z10: 10(Μ)/25(ΙΙ) Z15: 10(Μ)/25(ΙΙ) Σ:40(Μ)/100(ΙΙ)	Z10: 1.600	0,98-1	Z10: 900	2-4 9-10

Αξίζει να σημειωθεί πως τα μέτρα που λαμβάνονται για την αντιμετώπιση των φαινομένων πτώσης τάσης στους ζυγούς του δικτύου, είναι στην ελάχιστη τιμή τους ώστε το δίκτυο στο σύνολο του να είναι οριακά λειτουργικό. Προφανώς, η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το μέγεθος του προβλήματος.

Σε γενικότερο επίπεδο, παρότι οι φορτίσεις των οχημάτων λαμβάνουν χώρα κατά το διάστημα μέγιστης ζήτησης φορτίου και μάλιστα ταυτόχρονα, το δίκτυο φαίνεται να είναι αρκετά ισχυρό. Τα προβλήματα που εμφανίζονται από το σενάριο Γ και έπειτα, αφορούν κυρίως το ζυγό 10 των Καμαρών, κάτι που είναι λογικό μιας και αυτός ο ζυγός τροφοδεύεται από γραμμές των 16 ACSR. Ομοίως το ίδιο ισχύει και για τον ζυγό 5 στον Πλατύ Γιαλό, ο οποίος εμφανίζει πρόβλημα κατά το σενάριο Η.

Η μέθοδος όπου γίνεται χρήση των ενδιάμεσων λήψεων στο Μ/Σ Ισχύος, εφόσον και είναι δυνατή, αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή προς εφαρμογή σε κάθε σενάριο (Σενάρια Γ, Δ, Ε, Ζ, Η). Εκεί με την αλλαγή του λόγου μετασχηματισμού παρατηρείται μια σημαντική και ευρεία βελτίωση των τάσεων σε όλους τους ζυγούς του δικτύου. Ωστόσο τονίζεται πως ακραίες μεταβολές του λόγου μετασχηματισμού μπορούν να οδηγήσουν σε υψηλή καταπόνηση των τυλιγμάτων του δευτερεύοντος του Μ/Σ.

Η μέθοδος προσθήκης πυκνωτών αντιστάθμισης αποτελεί μια καλή επιλογή στις περιπτώσεις όπου η πτώση τάσης είναι μικρή και σχετικά μικρή (Σενάρια Γ,Δ,Ε). Εκεί, μπορούν να τοποθετηθούν τοπικά στις γραμμές του δικτύου συστοιχίες πυκνωτών, των οποίων η δράση είναι ευρεία, επηρεάζοντας την τάση σε όλους τους ζυγούς. Ωστόσο σε σύγκριση με τη 1^η μέθοδο, η βελτίωση είναι μικρότερης τιμής.

Η μέθοδος παροχής ισχύος από συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, ομοίως με τη 2^η μέθοδο, συνιστά μια αποδοτική πρακτική στις περιπτώσεις όπου τα φορτία ζήτησης και κατ' επέκταση η πτώση τάσης δεν είναι πολύ υψηλές (Σενάρια Γ,Δ,Ε). Ωστόσο, η μέθοδος αυτή σε αντίθεση με της 2 προηγούμενες παρουσιάζει τοπική δράση στο πεδίο εφαρμογής της, με την επίδραση της σε άλλα σημεία του δικτύου να είναι μικρή.

Η μέθοδος αντικατάστασης των γραμμών με αγωγούς μεγαλύτερης διατομής, αποτελεί το τελευταίο διορθωτικό μέτρο για την αντιμετώπιση των φαινομένων. Η εφαρμογή της, ενδείκνυται σε περιπτώσεις όπου η πτώση τάσης είναι ιδιαίτερα υψηλής τιμής (Σενάρια Ζ, Η). Η δράση της μεθόδου εμφανίζει ριζική βελτίωση στο σημείο εφαρμογής της, χωρίς όμως μεγάλη επίδραση στους υπολοίπους ζυγούς του δικτύου.

Σε ιδιαίτερα δύσκολες περιπτώσεις, όπου ένα μέτρο από μόνο του δεν επαρκεί ή χρειάζεται αρκετά μεγάλες τιμές για να αποδώσει μπορεί να εφαρμοστεί και κάποια συνδυαστική λύση με χρήση διαφορετικών μεθόδων.

Εν κατακλείδι, γίνεται αντιληπτό, πως δεδομένου των ακραίων συνθηκών βάση των οποίων μελετώνται τα αναπτυσσόμενα σενάρια, στο νησί της Σίφνου μπορούν να δημιουργηθούν εγκαταστάσεις σταθμών φόρτισης. Οι συνθήκες όπου εξετάζονται αφορούν την ταυτόχρονη φόρτιση οχημάτων σε κάθε παροχή σταθμού φόρτισης και μάλιστα κατά την περίοδο μέγιστης ωριαίας ζήτησης φορτίου. Σε φυσιολογικές συνθήκες κάτι τέτοιο είναι αρκετά δύσκολο έως απίθανο να συμβεί. Ωστόσο, βάση των σεναρίων που μελετήθηκαν, το δίκτυο του νησιού με ορισμένα διορθωτικά μέτρα μπορεί να υποστηρίξει τις φορτίσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1 Κυριότερα Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας η παρούσα διπλωματική εργασία για τη μελέτη ανάπτυξης σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων στη Νήσο Σίφνο, κατέληξε σε ορισμένα συμπεράσματα, τα κυριότερα εκ των οποίων είναι τα εξής:

- Η γενικευμένη αύξηση του όγκου των οδικών μεταφορών, με την συνοδευόμενη εκτεταμένη κατανάλωση συμβατικών καυσίμων (πετρελαίου και βενζίνης) από τα οχήματα που χρησιμοποιούν κινητήρες εσωτερικής καύσεως, έχει οδηγήσει σε σημαντική επιβάρυνση του περιβάλλοντος, ιδίως όσον αφορά την υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων, την ρύπανση της ατμόσφαιρας και τη μεταβολή του κλίματος.
- Αναφορικά με την κατανάλωση ενέργειας, τα δεδομένα από το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (International Energy Association, I.E.A.) για το 2015 φανερώνουν πως ο τομέας των μεταφορών κατέχει το υψηλότερο μερίδιο της τελικής κατανάλωσης ενέργειας, δεσμεύοντας το 36%. Το μεγαλύτερο ποσοστό καταναλισκόμενης ενέργειας του κλάδου των μεταφορών καταλαμβάνεται από οδικά οχήματα σε ποσοστό 88%. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο η ετήσια κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές αυξήθηκε κατά 38% μεταξύ 1990 και 2007 (32% στην ΕΕ-28). Το 2017, ο τομέας των μεταφορών καταλάμβανε σχεδόν το ένα τρίτο, δηλαδή το 31% της συνολικής τελικής κατανάλωσης ενέργειας της ΕΕ, με τις οδικές μεταφορές να αντιπροσωπεύουν το 73% της συνολικής ζήτησης. Αντίστοιχα, στην Ελλάδα οι μεταφορές κατέχουν το 37% της ενεργειακής κατανάλωσης, εκ της οποίας το 87% αφορά τον κλάδο των οδικών μεταφορών.
- Αναφορικά με την μόλυνση τις ατμόσφαιρας, στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ο τομέας των μεταφορών ευθύνεται για 55% όλων των εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NOx), ενώ παράλληλα η συμβολή του στις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα φτάνει περίπου το 20%. Επίσης, η συνεισφορά του στις εκλύσεις αιωρούμενων σωματιδίων διαμέτρου έως 10μm (PM₁₀) ανέρχεται στο 15%, ενώ για τα διαμέτρου έως 2,5μm (PM_{2,5}) φτάνει το 20%. Επιπλέον, σχετικά με εκπομπές διοξειδίου του θείου, η συμμετοχή του τομέα εντοπίζεται σε ποσοστό 13%. Όσον αφορά το μεγαλύτερο ρυπαντή του τομέα, οι οδικές μεταφορές, εξακολουθούν να αντιπροσωπεύουν σημαντικό ποσοστό εκπομπών όλων των κύριων ατμοσφαιρικών ρύπων, με εξαίρεση τα οξείδια του θείου (SOx). Ωστόσο εκλύσεις βλαβερών αερίων δημιουργούνται και από διαδικασίες ανεξάρτητες της καύσεως, όπως η φθορά των ελαστικών, η απόξεση δρόμου κλπ. Τέτοιες διαδικασίες συμβάλλουν στις εκπομπές τόσο πτητικών οργανικών ενώσεων εκτός μεθανίου (NMVOC) όσο και πρωτογενών αιωρούμενων σωματιδίων (PM), οι τιμές των οποίων, τα τελευταία χρόνια εμφανίζονται αυξητικές.

Τα τελευταία χρόνια, χάρη στις παρελθούσες και τρέχουσες πολιτικές, αλλά και τις τεχνολογικές εξελίξεις, η ποιότητα του αέρα στην Ευρώπη βελτιώνεται σταδιακά. Οι νομοθετικές ενέργειες της ΕΕ σε συνδυασμό με τα διαδοχικά πρότυπα εκπομπών Euro, την αλλαγή της βενζίνης σε αμόλυβδη, τη χρήση πετρελαίου ντίζελ υψηλότερης ποιότητας, καθώς και τη συνολική βελτίωση των κινητήρων εσωτερικής καύσης έχουν οδηγήσει σε πολύ σημαντικές μειώσεις εκπομπών καυσαερίων που οφείλεται στις οδικές μεταφορές, παρ' ότι αυξήθηκε ο όγκος της κυκλοφορίας τους. Ωστόσο, παρά τη σημαντική πρόοδο που έχει επιτευχθεί, οι υψηλές συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης εξακολουθούν να υπάρχουν κυρίως σε περιοχές όπου η χρήση των οχημάτων είναι αυξημένη.

- Όσον αφορά την κλιματική αλλαγή, στην Ε.Ε. των 28, οι μεταφορές αντιπροσώπευαν σχεδόν το 1/4 των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, έχοντας αυξήσει το μερίδιό τους από 15% του έτους 1990 σε 25% το 2018. Μάλιστα, ο κλάδος των οδικών μέσων αποτελεί τον κυρίαρχο ρυπαντή, με ποσοστό συμμετοχής που φτάνει σχεδόν το 72% του μεταφορικού τομέα. Από αυτές τις εκπομπές, το 44.5% οφειλόταν σε επιβατικά οχήματα, ενώ το 18.8% προήλθε από βαρέα οχήματα. Από το σύνολο των αερίων, το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), συνιστά το βασικότερο συντελεστή για την ανάπτυξη του φαινομένου του θερμοκηπίου. Στις μέρες μας, το αέριο αντιπροσωπεύει περίπου το 80% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Στο σημείο αυτό, σύμφωνα με τον παγκόσμιο οργανισμό ενέργειας, ο τομέας των οδικών μεταφορών συμμετέχει περίπου κατά 30% στις συνολικές εκπομπές CO₂.

Στο σημείο αυτό, τις τελευταίες δεκαετίες ενέργειες σε ευρωπαϊκό αλλά και διεθνές επίπεδο έχουν πραγματοποιηθεί με στόχο την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Στα πλαίσια τους περιλαμβάνονται έλεγχοι εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα και ενσωματώσεις απαιτήσεων προστασίας του περιβάλλοντος στους τομείς των μεταφορών και της ενέργειας κ.α. Σε γενικότερο επίπεδο, η υιοθέτηση των μέτρων ήταν αποτελεσματική με την εξελικτική πορεία των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου να εμφανίζει μια πτωτική τάση. Το 2018, οι εκπομπές μειώθηκαν κατά 21% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990, θέτοντας την ΕΕ σε καλό δρόμο για να ξεπεράσει τον στόχο της για το 2020, δηλαδή μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% έως το 2020 και κατά 40% έως το 2030 σε σύγκριση με το 1990. Ωστόσο, τα αποτελέσματα δεν είναι το ίδιο θετικά για τον τομέα των μεταφορών, ο οποίος εξακολουθεί να αποτελεί ένα από τους πιο ρυπογόνους παράγοντες του περιβάλλοντος. Έχοντας ως βάση αναφοράς τα επίπεδα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου του 1990, οι εκπομπές του μεταφορικού τομέα είναι οι μόνες που συνεχίζουν να βρίσκονται σε ένα αρκετά υψηλό επίπεδο συγκριτικά με τις αντίστοιχες εκπομπές άλλων τομέων οικονομικής δραστηριότητας, όπως της ηλεκτροπαραγωγής, της βιομηχανίας, κ.α.. Μάλιστα, οι συγκεντρώσεις τους παρουσίασαν άνοδο συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990. Συγκεκριμένα, οι οδικές μεταφορές παρουσίασαν άνοδο της τάξης 23%. Οι παραπάνω αυξητικές τιμές σχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με τις αυξήσεις του επιπέδου της οικονομικής δραστηριότητας, καθώς και από την αύξηση της ζήτησης για μεταφορές.

- Τα τελευταία χρόνια, λόγω των κλιμακούμενων περιβαλλοντικών προβλημάτων που συνδέονται με τη χρήση ορυκτών καυσίμων, παρατηρείται μια αναζωπύρωση του ενδιαφέροντος προς την ηλεκτροκίνηση. Συγκεκριμένα, στα πλαίσια μιας γενικότερης προσπάθειας ανθρακοποίησης του τομέα των μεταφορών και ανεύρεσης εναλλακτικών πηγών ενέργειας, τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη λύση.
- Στην Ελλάδα, ως ηλεκτροκίνητα οχήματα θεωρούνται εκείνα που είναι εξοπλισμένα με σύστημα μετάδοσης της κίνησης το οποίο περιέχει τουλάχιστον μία μη περιφερειακή (εξωτερική, βοηθητική) ηλεκτρική μηχανή για την κίνηση τους. Επίσης είναι εξοπλισμένα με ηλεκτρικό επαναφορτιζόμενο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, το οποίο μπορεί να επαναφορτίζεται εξωτερικά. Στην κατηγορία αυτή, περιλαμβάνονται αυτοκίνητα, μοτοσυκλέτες, τρίκυκλα, ελαφρά τετράκυκλα οχήματα που εντάσσονται στις κατηγορίες:
 - Αμιγώς ηλεκτρικό όχημα (BEV),
 - Υβριδικό ηλεκτρικό όχημα εξωτερικής φόρτισης (PHEV)
 - Όχημα κυψέλης καυσίμου (FCHV).
- Τα ηλεκτρικά οχήματα θεωρούνται οχήματα χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών ρύπων, μιας και κατά τη λειτουργία τους δεν εκλύονται βλαβεροί ατμοσφαιρικοί ρύποι. Αν και η παραγωγή σωματιδίων από την πέδηση και από τη φθορά των ελαστικών εξακολουθεί να υπάρχει, σε γενικό βαθμό η συνολική έκταση της είναι σημαντικά μικρότερη. Επίσης, σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα, τα ηλεκτρικά είναι αθόρυβα. Οι ηλεκτροκινητήρες που διαθέτουν είναι πιο αποδοτικοί και έχουν δυνατότητα επίτευξης μεγαλύτερου εύρους ροπής. Η οδήγηση τους είναι ευκολότερη, καθώς δεν διαθέτουν συμπλέκτη και ταχύτητες, ενώ παράλληλα η απουσία πολυάριθμων μηχανικών μερών, οδηγεί σε ελαχιστοποίηση της ανάγκης συντήρησης και επισκευής. Ακόμα, τα ηλεκτρικά όχημα διαθέτουν συστήματα αναγεννητικής πέδησης, μέσω του οποίου η κινητική ενέργεια αξιοποιείται για τη φόρτιση των μπαταριών. Τέλος τα ορισμένα από τα οχήματα έχουν τη δυνατότητα παροχής βοηθητικών υπηρεσιών προς το Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας, μέσω της προσφοράς της αποθηκευμένης ενέργειας των συσσωρευτών τους. Ωστόσο, φρένο στη διάδοση των ηλεκτρικών οχημάτων συνιστά κυρίως το σχετικά υψηλό κόστος κατασκευής και αγοράς τους, η περιορισμένη αυτονομία των συσσωρευτών τους, η περιορισμένη διάρκεια ζωής των μπαταριών τους και ο μεγάλος χρόνος για την επαναφόρτισή τους.
- Κατά τη διαδικασία της επαναφόρτισης των συσσωρευτών των ηλεκτρικών οχημάτων, η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από την πηγή προς τα οχήματα μπορεί να υλοποιηθεί είτε μέσω συστημάτων αγωγίμης φόρτισης, είτε μέσω συστημάτων φόρτισης με επαγωγή. Επιπλέον τα οχήματα μπορούν να φορτίζουν τους συσσωρευτές τους χρησιμοποιώντας τόσο το οικιακό δίκτυο, όσο και κοινόχρηστες (ιδιωτικές και δημόσιες) παροχές.

- Οι μέθοδοι φόρτισης (Modes) κατά το πρότυπο IEC 61851-1 διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες, οι τρεις πρώτες αφορούν φορτίσεις με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), ενώ η τελευταία φορά φορτίσεις με συνεχές ρεύμα (DC). Πιο αναλυτικά, δεδομένου μιας μέσης χωρητικότητας συσσωρευτών 50 kWh:
 - Η Mode 1 κατά την οποία παρέχεται ισχύ της τάξεως των 3.7 kW – 11 kW, με τη φόρτιση να διαρκεί 5–15 ώρες. Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται από έλλειψη επικοινωνίας και διατάξεων ασφαλείας μεταξύ του οχήματος και του σημείου φόρτισης ως εκ τούτου δεν συνιστάται προς εφαρμογή.
 - Η Mode 2 με ισχύ 3.7 kW – 22 kW και διάρκεια φόρτισης 3–15 ωρών. Η μέθοδος αυτή είναι εξοπλισμένη με συσκευή ελέγχου και προστασίας μεταξύ του οχήματος και του σημείου φόρτισης.
 - Η Mode 3 με ισχύ 3,7 – 43,5 kW και διάρκεια φόρτισης 1,5–15 ώρες, επίσης εξοπλισμένη με διατάξεις ελέγχου και προστασίας.
 - Τέλος, η Mode 4, για φορτίσεις με συνεχές ρεύμα DC, δίνοντας ισχύ της τάξης των 50 kW – 240 kW, για ταχείες και ασφαλείς επαναφόρτισης διάρκειας 15 λεπτών - 1 ώρα.

Στο σημείο αυτό τονίζεται πως ως αποδεκτές μέθοδοι για τη φόρτιση των συσσωρευτών ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων οι οποίες μπορούν να λειτουργήσουν στις υφιστάμενες ή υπό αδειοδότηση εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης οχημάτων ορίζονται οι μέθοδοι 3 και 4.

- Ήδη στα μεγάλα αστικά κέντρα, η ηλεκτροκίνηση αποτελεί πραγματικότητα, ενώ πολύ σύντομα ηλεκτρικά οχήματα και σταθμοί φόρτισης αναμένεται να κάνουν την εμφάνισή τους και στις μικρότερες κοινωνίες, όπως αυτή της Σίφνου. Εκεί τα ηλεκτρικά οχήματα, αναμένεται να τροφοδοτούνται με την απαραίτητη για αυτά ηλεκτρική ενέργεια από σταθμούς φόρτισης, οι οποίοι θα λαμβάνουν με τη σειρά τους την απαιτούμενη ισχύ από το τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Η μαζική διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων στους δρόμους του νησιού επιφέρει ταυτόχρονα απαιτήσεις και προκλήσεις για την αξιοπιστία του δικτύου και την παραγωγή τάσης ποιοτικών προδιαγραφών.
- Ο σχεδιασμός για την ανάπτυξη σταθμών φόρτισης στη νήσο Σίφνο, πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη την εικόνα του υφιστάμενου Ηλεκτρικού Συστήματος του νησιού. Σύμφωνα λοιπόν με τα ενεργειακά δεδομένα, το νησί δεν είναι διασυνδεδεμένο με το ηπειρωτικό δίκτυο και η παραγωγή ενέργειας στηρίζεται σε ένα τοπικό εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας ντιζελ της ΔΕΗ. Εκεί βρίσκονται εγκατεστημένες θερμικές μονάδες (ντιζελογεννήτριες) συνολικής ισχύος 9 MW. Η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο συνολικό ενεργειακό μείγμα παραμένει ακόμα σε χαμηλό επίπεδο της τάξης του 12%, με μόλις 2 εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 1,26 MW και 335 kW φωτοβολταϊκών γεννητριών.
- Από στοιχεία του Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) σχετικά με τα επίπεδα ηλεκτροπαραγωγής του νησιού κατά το έτος 2020, καθίσταται αντιληπτό πως η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και κατ' επέκταση η παραγωγή της στη Σίφνο χαρακτηρίζεται από μεγάλες εποχιακές διακυμάνσεις. Συγκεκριμένα, επί οκτώ μήνες το χρόνο, από τον Οκτώβριο έως τον Μάιο, η κατανάλωση ενέργειας κυμαίνεται σε χαμηλά

επίπεδα. Υψηλή ζήτηση σημειώνεται μόλις για τους 4 μήνες, από τον Ιούνιο έως το Σεπτέμβριο, με την αιχμή να εμφανίζεται κατά κύριο λόγο τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Σχετικά με τα επίπεδα ωριαίας παραγωγής, οι τιμές κυμαίνονται στην κλίμακα του 1 MW έως 6MW. Σε ημερήσιο επίπεδο οι τιμές διαμορφώνονται μεταξύ 25 MWh και 100 MWh. Αντιστοίχως σε μηνιαίο επίπεδο οι τιμές ηλεκτροπαραγωγής σημειώνονται στο φάσμα των 970 MWh με 2.840 MWh, ενώ συνολικά σε ετήσιο επίπεδο φτάνουν τις 17.625 MWh.

- Για να μπορεί να σχεδιαστεί ένα κατάλληλο για τα δεδομένα της Σίφνου σενάριο ανάπτυξης σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, είναι πολύ χρήσιμο το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να καλύπτει τη μέγιστη ζήτηση ισχύος ανά πάσα στιγμή. Επομένως, τα αναπτυσσόμενα σενάρια εξετάζονται βασισμένα στο δυσμενέστερο σενάριο για το δίκτυο, δηλαδή την ώρα εμφάνισης του μέγιστου ωριαίου φορτίου ζήτησης.
- Σε αρχικό στάδιο εξετάζεται η περίπτωση της αρχικής κατάστασης του Δικτύου, χωρίς την επιβολή επιπρόσθετων φορτίων από τους σταθμούς φόρτισης. Στα επόμενα στάδια μελετάται η κατάσταση που διαμορφώνεται στους ζυγούς κατά την σταδιακή διείσδυση σταθμών. Οι προς ανάπτυξη σταθμοί τοποθετούνται ισόποσα σε τέσσερις ζυγούς του δικτύου στις περιοχές όπου χαρακτηρίζονται από υψηλή επισκευσιμότητα καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Πιο αναλυτικά, στην περιοχή του Πλατύ Γιαλού (ζυγός 5), της Απολλωνίας (ζυγός 9), των Καμαρών (ζυγός 10) και του Αρτεμώνα (ζυγός 15). Εκεί, πραγματοποιούνται διάφορες περιπτώσεις φορτίσεων σε κάθε ένα από τους ζυγούς, όπου βρίσκονται εγκατεστημένοι σταθμοί. Τα αναπτυσσόμενα σενάρια στηρίζονται στην δυσμενέστερη περίπτωση, κατά την οποία απαιτείται η ταυτόχρονη φόρτιση ενός στόλου οχημάτων. Οι χρόνοι που απαιτούνται για τις φορτίσεις των οχημάτων προκύπτουν βάση μιας μέσης χωρητικότητας συσσωρευτών 50 kWh, ενώ οι εφαρμοζόμενοι σταθμοί είναι της τάξης των 22kW, 50 KW και 150kW. Στο επίπεδο των 22 kW ένα τέτοιο όχημα φορτίζει τη μπαταρία του από το 20-80% (30kWh) μέσα σε 3 ώρες, κάτι που στο ωριαίο επίπεδο που μελετάται αντιστοιχεί σε 10kWh. Ομοίως σε ένα σταθμό των 50 kWh η φόρτιση από το 20-80% αναμένεται σε περίπου 1 ώρα, επιβαρύνοντας το δίκτυο με 30 kWh. Τέλος σε ένα ταχυφορτιστή των 150 kW, η φόρτιση από το 20-80% διαρκεί 20 λεπτά, με το όχημα να καταναλώνει 30kWh. Συνεπώς στα πλαίσια 1 ώρας, σε ένα τέτοιο σταθμό μπορεί να υλοποιηθεί φόρτιση 3 οχημάτων με την καταναλισκόμενη ενέργεια να φτάνει τις 90 kWh.
- Η εξέταση της μέγιστης διείσδυσης σταθμών φόρτισης γίνεται με κριτήριο τα επιτρεπτά όρια διακύμανσης της τάσεως. Εκεί, η μέση τιμή της τάσεως, σε όλα τα σημεία του δικτύου, δεν πρέπει να αποκλίνει από την ονομαστική τάση του δικτύου πέραν του $\pm 5\%$. Στις περιπτώσεις όπου εντοπίζεται το αντίθετο εφαρμόζονται τα εξής μέτρα:
 - Τοποθέτηση πυκνωτή αντιστάθμισης σε σημεία του δικτύου
 - Χρήση ενδιάμεσων λήψεων στο Μ/Σ Ισχύος
 - Παροχή ισχύος από σύστημα αποθήκευσης ενέργειας σε σημεία του δικτύου
 - Αντικατάσταση γραμμών δικτύου

- Σε αρχικό στάδιο εξετάζεται η περίπτωση της αρχικής κατάστασης του Δικτύου, χωρίς την επιβολή επιπρόσθετων φορτίων από τους σταθμούς φόρτισης. Εκεί, παρατηρείται πως το δίκτυο βρίσκεται κατάσταση εύρυθμης λειτουργίας, με όλες του τις τάσεις να βρίσκονται στην κλίμακα των επιτρεπτών τιμών. Επομένως, δεν κρίνεται απαραίτητη η εφαρμογή μέτρων για την βελτίωση τους.
- Στο σενάριο Α εξετάζεται η ανάπτυξη 40 σταθμών κανονικής φόρτισης 22kW, ισόποσα μοιρασμένους ανά 10 σε κάθε ένα από τους ζυγούς 5,9,10,15. Συνολικά λοιπόν στους 40 αναπτυσσόμενους σταθμούς υποστηρίζεται μερική φόρτιση (+20% SoC) 40 οχημάτων, με την αύξηση στο φορτίο ζήτησης να φτάνει τις 400 kWh ή 0,4 MWh. Εκεί παρατηρείται και πάλι πως το δίκτυο βρίσκεται κατάσταση εύρυθμης λειτουργίας, με όλες του τις τάσεις να βρίσκονται στην κλίμακα των επιτρεπτών τιμών. Ως εκ τούτου, δεν λαμβάνεται κάποιο μέτρο βελτίωση τους.
- Στο σενάριο Β εξετάζεται η ανάπτυξη 80 σταθμών κανονικής φόρτισης 22kW, ισόποσα μοιρασμένους ανά 20 σε κάθε ένα από τους ζυγούς 5,9,10,15. Συνολικά λοιπόν στους 80 αναπτυσσόμενους σταθμούς υποστηρίζεται μερική φόρτιση (+20% SoC) 80 οχημάτων, με την αύξηση στο φορτίο ζήτησης να φτάνει τις 800 kWh ή 0,8 MWh. Εκεί φαίνεται ξανά πως το δίκτυο βρίσκεται κατάσταση εύρυθμης λειτουργίας, με όλες του τις τάσεις να βρίσκονται στο φάσμα των επιτρεπτών τιμών. Συνεπώς, δεν λαμβάνεται κάποιο μέτρο διόρθωσης τους.
- Στο σενάριο Γ εξετάζεται η ανάπτυξη 40 σταθμών ταχείας φόρτισης 50kW, ισόποσα μοιρασμένους ανά 10 σε κάθε ένα από τους ζυγούς 5,9,10,15. Συνολικά λοιπόν στους 40 αναπτυσσόμενους σταθμούς υποστηρίζεται πλήρη φόρτιση (+60% SoC) 40 οχημάτων, με την αύξηση στο φορτίο ζήτησης να φτάνει τις 1.200 kWh ή 1,2 MWh. Εκεί φαίνεται πως ο ζυγός 10 αντιμετωπίζει πρόβλημα πτώσης τάσης. Η κατάσταση του δικτύου επανέρχεται σε εύρυθμη λειτουργία με την υλοποίηση μιας εκ των ακόλουθων μεθόδων:
 - Τοποθέτηση πυκνωτή αντιστάθμισης 200 kvar στο ζυγό 10
 - Χρήση ενδιάμεσων λήψεων στο Μ/Σ Ισχύος, σε λόγο 0,99 προς 1
 - Παροχή ισχύος 150 kW από σύστημα αποθήκευσης ενέργειας στο ζυγό 10
 - Αναβάθμιση γραμμών 9-10 με αγωγούς 95 ACSR
- Στο σενάριο Δ εξετάζεται η ανάπτυξη 40 σταθμών κανονικής φόρτισης 22kW και 40 ταχείας φόρτισης 50kW, ισόποσα μοιρασμένους σε κάθε ένα από τους ζυγούς 5,9,10,15. Συνολικά λοιπόν στους 80 αναπτυσσόμενους σταθμούς υποστηρίζεται μερική φόρτιση (+20% SoC) 40 οχημάτων και πλήρης φόρτιση (+60% SoC) 40 οχημάτων, με την συνολική αύξηση στο φορτίο ζήτησης να φτάνει τις 1.600 kWh ή 1,6 MWh. Εκεί φαίνεται πως ο ζυγός 10 αντιμετωπίζει πρόβλημα πτώσης τάσης. Η κατάσταση του δικτύου επανέρχεται σε εύρυθμη λειτουργία με την υλοποίηση των ακόλουθων μεθόδων:
 - Τοποθέτηση πυκνωτή αντιστάθμισης 450 kvar στο ζυγό 10
 - Χρήση ενδιάμεσων λήψεων στο Μ/Σ Ισχύος, σε λόγο 0,99 προς 1
 - Παροχή ισχύος 250 kW από σύστημα αποθήκευσης ενέργειας στο ζυγό 10
 - Αναβάθμιση γραμμών 9-10 με αγωγούς 95 ACSR

- Στο σενάριο Ε εξετάζεται η ανάπτυξη 20 σταθμών ταχείας φόρτισης 150kW, ισόποσα μοιρασμένους ανά 5 σε κάθε ένα από τους ζυγούς 5,9,10,15. Συνολικά λοιπόν στους 20 αναπτυσσόμενους σταθμούς υποστηρίζεται πλήρης φόρτιση (+60% SoC) 60 οχημάτων, με την συνολική αύξηση στο φορτίο ζήτησης να φτάνει τις 1.800 kWh ή 1,8 MWh. Εκεί φαίνεται πως ο ζυγός 10 αντιμετωπίζει πρόβλημα πτώσης τάσης. Η κατάσταση του δικτύου επανέρχεται σε εύρυθμη λειτουργία με την υλοποίηση μιας εκ των ακόλουθων μεθόδων:
 - Τοποθέτηση πυκνωτή αντιστάθμισης 550 kvar στο ζυγό 10
 - Χρήση ενδιάμεσων λήψεων στο Μ/Σ Ισχύος, σε λόγο 0,99 προς 1
 - Παροχή ισχύος 350 kW από σύστημα αποθήκευσης ενέργειας στο ζυγό 10
 - Αναβάθμιση γραμμών 9-10 με αγωγούς 95 ACSR
- Στο σενάριο Ζ εξετάζεται η ανάπτυξη 40 σταθμών κανονικής φόρτισης 22kW και 20 ταχείας φόρτισης 150kW, ισόποσα μοιρασμένους σε κάθε ένα από τους ζυγούς 5,9,10,15. Συνολικά λοιπόν στους 60 αναπτυσσόμενους σταθμούς υποστηρίζεται μερική φόρτιση (+20% SoC) 40 οχημάτων και πλήρης φόρτιση (+60% SoC) 60 οχημάτων, με την συνολική αύξηση στο φορτίο ζήτησης να φτάνει τις 2.200 kWh ή 2,2 MWh. Εκεί φαίνεται πως ο ζυγός 10 αντιμετωπίζει πρόβλημα πτώσης τάσης. Η κατάσταση του δικτύου επανέρχεται σε εύρυθμη λειτουργία με την υλοποίηση μιας εκ των μεθόδων:
 - Τοποθέτηση πυκνωτή αντιστάθμισης 800 kvar στο ζυγό 10
 - Χρήση ενδιάμεσων λήψεων στο Μ/Σ Ισχύος, σε λόγο 0,99 προς 1
 - Παροχή ισχύος 450 kW από σύστημα αποθήκευσης ενέργειας στο ζυγό 10
 - Αναβάθμιση γραμμών 9-10 με αγωγούς 95 ACSR
- Στο σενάριο Η εξετάζεται η ανάπτυξη 40 σταθμών κανονικής φόρτισης 22kW, 40 ταχείας φόρτισης 50kW και 20 ταχείας φόρτισης 150kW, ισόποσα μοιρασμένους σε κάθε ένα από τους ζυγούς 5,9,10,15. Συνολικά λοιπόν στους 100 αναπτυσσόμενους σταθμούς υποστηρίζεται μερική φόρτιση (+20% SoC) 40 οχημάτων και πλήρης φόρτιση (+60% SoC) 100 οχημάτων, με την συνολική αύξηση στο φορτίο ζήτησης να φτάνει τις 3.400 kWh ή 3,4 MWh. Εκεί φαίνεται πως οι ζυγοί 5 και 10 αντιμετωπίζουν πρόβλημα πτώσης τάσης. Η κατάσταση του δικτύου επανέρχεται σε εύρυθμη λειτουργία με την υλοποίηση μιας εκ των μεθόδων:
 - Τοποθέτηση πυκνωτή αντιστάθμισης 1.600 kvar στο ζυγό 10
 - Χρήση ενδιάμεσων λήψεων στο Μ/Σ Ισχύος, σε λόγο 0,98 προς 1
 - Παροχή ισχύος 900 kW από σύστημα αποθήκευσης ενέργειας στο ζυγό 10
 - Αναβάθμιση γραμμών 2-4 και 9-10 με αγωγούς 95 ACSR
- Τα μέτρα που λαμβάνονται για την αντιμετώπιση των φαινομένων πτώσης τάσης στους ζυγούς του δικτύου, είναι στην ελάχιστη τιμή τους ώστε το δίκτυο στο σύνολο του να είναι οριακά λειτουργικό. Προφανώς, η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το μέγεθος του προβλήματος.
 - Σε γενικότερο επίπεδο, παρότι οι φορτίσεις των οχημάτων λαμβάνουν χώρα κατά το διάστημα μέγιστης ζήτησης φορτίου και μάλιστα ταυτόχρονα, το δίκτυο φαίνεται να είναι αρκετά ισχυρό. Τα προβλήματα που εμφανίζονται από το σενάριο Γ και έπειτα, αφορούν κυρίως το ζυγό 10 των Καμαρών, κάτι που είναι λογικό μιας και αυτός ο ζυγός

τροφοδεύεται από γραμμές των 16 ACSR. Ομοίως το ίδιο ισχύει και για τον ζυγό 5 στον Πλατύ Γιαλό, ο οποίος εμφανίζει πρόβλημα κατά το σενάριο Η.

- Η χρήση ενδιάμεσων λήψεων στο Μ/Σ Ισχύος, εφόσον και είναι δυνατή, αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή προς εφαρμογή σε κάθε σενάριο (Σενάρια Γ, Δ, Ε, Ζ, Η). Εκεί με την αλλαγή του λόγου μετασχηματισμού παρατηρείται μια σημαντική και ευρεία βελτίωση των τάσεων σε όλους τους ζυγούς του δικτύου. Ωστόσο θα πρέπει να τονιστεί πως ακραίες μεταβολές του λόγου μετασχηματισμού μπορούν να οδηγήσουν σε υψηλή καταπόνηση των τυλιγμάτων του δευτερεύοντος του Μ/Σ.
 - Η προσθήκη πυκνωτών αντιστάθμισης αποτελεί μια καλή επιλογή στις περιπτώσεις όπου η πτώση τάσης είναι μικρή και σχετικά μικρή (Σενάρια Γ,Δ,Ε). Εκεί, μπορούν να τοποθετηθούν τοπικά στις γραμμές του δικτύου συστοιχίες πυκνωτών, των οποίων η δράση είναι ευρεία, επηρεάζοντας την τάση σε όλους τους ζυγούς. Ωστόσο σε σύγκριση με τη 1^{ης} μέθοδο, η βελτίωση είναι μικρότερης τιμής.
 - Η παροχή ισχύος από συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, ομοίως με τη 2^η μέθοδο, συνιστά μια αποδοτική πρακτική στις περιπτώσεις όπου τα φορτία ζήτησης και κατ' επέκταση η πτώση τάσης δεν είναι πολύ υψηλές (Σενάρια Γ,Δ,Ε). Ωστόσο, η μέθοδος αυτή σε αντίθεση με της δύο προηγούμενες παρουσιάζει τοπική δράση στο πεδίο εφαρμογής της, με την επίδραση της σε άλλα σημεία του δικτύου να είναι μικρή.
 - Η αντικατάσταση των γραμμών του δικτύου με αγωγούς μεγαλύτερης διατομής, αποτελεί το τελευταίο διορθωτικό μέτρο για την αντιμετώπιση των φαινομένων. Η εφαρμογή του, ενδείκνυται σε περιπτώσεις όπου η πτώση τάσης είναι ιδιαίτερα υψηλής τιμής (Σενάρια Ζ, Η). Η δράση της μεθόδου εμφανίζει ριζική βελτίωση στο σημείο εφαρμογής της, χωρίς όμως μεγάλη επίδραση στους υπολοίπους ζυγούς του δικτύου.
 - Σε ιδιαίτερα δύσκολες περιπτώσεις, όπου ένα μέτρο από μόνο του δεν επαρκεί ή χρειάζεται αρκετά μεγάλες τιμές για να αποδώσει μπορεί να εφαρμοστεί και κάποια συνδυαστική λύση με χρήση διαφορετικών μεθόδων.
- Γίνεται αντιληπτό, πως δεδομένου των ακραίων συνθηκών βάση των οποίων μελετώνται τα αναπτυσσόμενα σενάρια, στο νησί μπορούν να δημιουργηθούν εγκαταστάσεις σταθμών φόρτισης. Οι συνθήκες όπου εξετάζονται αφορούν την ταυτόχρονη φόρτιση οχημάτων σε κάθε παροχή σταθμού φόρτισης και μάλιστα κατά την περίοδο μέγιστης ωριαίας ζήτησης φορτίου. Σε φυσιολογικές συνθήκες κάτι τέτοιο είναι αρκετά δύσκολο έως απίθανο να συμβεί. Ωστόσο, βάση των σεναρίων που μελετήθηκαν, το δίκτυο του νησιού με ορισμένα διορθωτικά μέτρα μπορεί να υποστηρίξει τις φορτίσεις.
 - Σε περιβαλλοντικό επίπεδο η ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης στο νησί αναμένεται να έχει μια σειρά από θετικές επιπτώσεις οι κυριότερες των οποίων αποτελούν:
 - Μείωση κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων
 - Μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων

- Περιορισμός της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- Αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής
- Περιορισμός της ηχορύπανσης
- Βελτίωση των συνθηκών του διαβίωσης και προστασία της δημόσιας υγείας

Από της ηλεκτροκίνησης στο νησί τη προκύπτουν σημαντικά οφέλη τόσο για την ποιότητα του αέρα, όσο και για το κλίμα, μιας και τα νέα φιλικά προς το περιβάλλον μέσα, θα κινούνται χωρίς να εκπέμπουν βλαβερούς ατμοσφαιρικούς ρύπους. Μάλιστα, τονίζεται πως η ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης, επηρεάζει θετικά την προώθηση των απαιτήσεων περιβαλλοντικής προστασίας και μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Επίσης αποτελεί σημαντική συνιστώσα για την ενεργειακή μετάβαση όπως αποτυπώνεται στην Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (European Green Deal), όπου τίθεται ο στόχος για μία κλιματικά ουδέτερη Ευρώπη, με την ανάληψη δράσεων σε διάφορους τομείς μεταξύ των οποίων και η ανάπτυξη και προώθηση καθαρότερων και οικονομικότερων μορφών μεταφοράς. Επιπλέον, τονίζεται πως η μετάβαση στην κινητικότητα χαμηλών εκπομπών αποτυπώνεται ως στόχος και στο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ). Συνεπώς, βάσει των παραπάνω η αναμενόμενη στο κοντινό μέλλον, χρήση οικολογικών οχημάτων είναι απαραίτητη, διότι ένα όχημα κινούμενο με ηλεκτρική ενέργεια, με τις μηδενικές εκπομπές που εκπέμπει κατά την κίνησή του, είναι κατά συνέπεια είναι 100% μη ρυπογόνο, με αποτέλεσμα να συμβάλλει τα μέγιστα στην προσπάθεια για την προστασία του περιβάλλοντος.

Άξιο αναφοράς αποτελεί φυσικά και το γεγονός πως τα συγκεκριμένα οχήματα κατά τη λειτουργία τους είναι πιο αθόρυβα από τα αυτοκίνητα εσωτερικής καύσης. Αυτό με τη σειρά του οδηγεί σε σημαντική μείωση των επιπέδων θορύβου στο περιβάλλον, συμβάλλοντας έτσι στην επίλυση προβλημάτων ηχορύπανσης των σύγχρονων κοινωνιών. Επίσης, οι συνολικές ενέργειες για τη μείωση των εκπομπών που προέρχονται από τον τομέα των οδικών μεταφορών, συμβάλλουν καθοριστικά στην προστασία της δημόσιας υγείας και τη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης στα πλαίσια της τοπικής κοινωνίας. Επιπλέον, η χρήση του ηλεκτρισμού έναντι των συμβατικών καυσίμων, περιορίζεται σημαντικά η εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και κατ' επέκταση η γενικότερη εξάντληση των ενεργειακών πόρων.

Ωστόσο, δεν θα πρέπει να αμελείται το γεγονός πως για να μπορέσει η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων να συμβάλλει στην απανθρακοποίηση των μεταφορών, θα πρέπει η απαραίτητη για την τροφοδοσία τους ηλεκτρική ενέργεια να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό πως καθώς αυξάνεται η κυκλοφορία των ηλεκτρικών οχημάτων και αναπτύσσονται νέες υποδομές φόρτισης, έτσι και το ηλεκτρικό δίκτυο οφείλει να εξελιχθεί και να προσαρμοστεί στις ανάγκες και τις απαιτήσεις της κοινωνίας. Φυσικά, κάτι τέτοιο συνιστά μια ριζική αλλαγή όλου του μοντέλου λειτουργίας ενός συμβατικού ΣΗΕ, κάτι που αποτελεί πρόκληση όχι μόνο για τη Σίφνο, αλλά για ολόκληρη τη χώρα και τον πλανήτη γενικότερα.

- Σε κοινωνικό επίπεδο η ανάπτυξη σταθμών φόρτισης στη Σίφνο, συνιστά έργο που απευθύνεται στο σύνολο της κοινωνίας χωρίς καμία διάκριση. Η γενικότερη ανάπτυξη σύγχρονων υποδομών φόρτισης θεωρείται πως θα αυξήσει την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών προς τους μόνιμους κατοίκους και τους επισκέπτες του νησιού.

Τονίζεται επίσης πως η δημιουργία κοινόχρηστων (ιδιωτικών ή δημοσίων) υποδομών φόρτισης αποτελεί σανίδα σωτηρίας για την μερίδα των κατοίκων, οι οποίοι δεν διαθέτουν κάποιο ιδιωτικό χώρο για τη στάθμευση και κατ' επέκταση φόρτιση του οχήματός τους.

Η υλοποίηση έργων στην κατεύθυνση της αειφορίας και της βιωσιμότητας, θα λειτουργήσει ως προπομπός ανάπτυξης της ηλεκτροκίνησης. Μέσα από την επικοινωνία του στους κατοίκους και τους επισκέπτες του νησιού θα συμβάλει στην προώθηση της ηλεκτροκίνησης και της βιώσιμης κινητικότητας σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Τέλος, η εφαρμογή και υιοθέτηση τέτοιων δράσεων, θέτει τα θεμέλια για την απανθρακοποίηση του νησιού, ενώ παράλληλα μακροπρόθεσμα είναι ικανή να επιφέρει νέες θέσεις εργασίας, ανάπτυξη, καινοτομία και επενδύσεις, βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής των ανθρώπων.

7.2 Εισηγήσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Η παρούσα διπλωματική εργασία πέραν της δημιουργίας σταθμών φόρτισης σε περιοχές του νησιού, συνιστά μελέτη για περαιτέρω έρευνα στις χρησιμοποιούμενες διατάξεις των σταθμών, καθώς επίσης και στα πλαίσια εξέλιξης του τοπικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Αναφορικά με τα συστήματα φόρτισης και τη λειτουργία τους, προτείνονται διάφορες διατάξεις προς εφαρμογή. Χαρακτηριστικά αναφέρεται η ανάπτυξη σταθμών φόρτισης σε συνδυασμό με εγκαταστάσεις στεγάστρων με φωτοβολταϊκά πάνελ και χρήση υπηρεσιών net metering. Στο μοντέλο αυτό, η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική με τη βοήθεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Από εκεί, σε περίπτωση που υπάρξει ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για τη φόρτιση οχήματος, γίνεται διοχέτευση της προς το συνδεδεμένο στο σταθμό όχημα. Σε αντίθετη περίπτωση, η ηλεκτρική ενέργεια οδηγείται πίσω στο δίκτυο. Εκεί με τη μέθοδο ενεργειακού συμψηφισμού, είναι δυνατόν να επιτευχθεί εξοικονόμηση χρημάτων στους ιδιοκτήτες των σταθμών, υπο την προϋπόθεση της ορθής διαστασιολόγησης της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

Μελλοντικά επίσης, θα μπορούσε να εξεταστεί η τοποθέτηση συστημάτων ασύρματης φόρτισης σε επιλεγμένα σημεία, ούτως ώστε ο ανεφοδιασμός των οχημάτων να γίνεται με τρόπο πολύ πιο εύκολο και γρήγορο. Συγκεκριμένα, η ασύρματη μεταφορά ισχύος με επαγωγική φόρτιση θα επέτρεπε στα ηλεκτρικά οχήματα να φορτίζονται με αυτόματο και ανεμπόδιστο τρόπο, χωρίς την παραμικρή αλληλεπίδραση με το χειριστή. Ωστόσο, λαμβάνοντας σοβαρά υπόψιν το υψηλό κόστος της συγκεκριμένης τεχνολογίας, προτείνεται η τοποθέτηση τους να γίνει σε σημεία που χαρακτηρίζονται από ισχυρή κυκλοφορία οχημάτων καθόλη τη διάρκεια του έτους. Τέτοια κομβικά σημεία περιλαμβάνουν δημόσιους αλλά και ιδιωτικούς χώρους στάθμευσης.

Ακόμα, συστήνεται και η εξέταση λειτουργίας σταθμών με τη μέθοδο V2G, επιτυγχάνοντας έτσι την αμφίδρομη ροή ενέργειας μεταξύ ηλεκτρικών οχημάτων και ηλεκτρικού δικτύου. Συγκεκριμένα, με την επερχόμενη αύξηση του αριθμού των ηλεκτρικών οχημάτων στους δρόμους του νησιού, τα ενεργειακά οικοσυστήματα αναμένεται να αλλάξουν ριζικά, η ενέργεια να γίνει πιο έξυπνη, διασυνδεδεμένη και τα EVs να γίνουν ενεργό μέρος του δικτύου. Εκεί τα ηλεκτρικά οχήματα δύναται να συνδεθούν στο ηλεκτρικό δίκτυο, διοχετεύοντας του την αποθηκευμένη ενέργεια των συσσωρευτών τους. Η διαδικασία αυτή αναμένεται να υλοποιείται ειδικότερα κατά τις περιόδους αιχμής της ζήτησης φορτίου, επιτυγχάνοντας έτσι την παροχή βοηθητικών υπηρεσιών στο δίκτυο, όπως υπηρεσίες εξισορρόπησης φορτίου και μετρίασμό των σημείων συμφόρησης του. Παράλληλα, μέσω της V2G τεχνολογίας, αναμένεται και η ομαλή ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, επιτρέποντας στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να εξαρτώνται λιγότερο από τις συμβατικές μονάδες παραγωγής. Φυσικά, οι ιδιοκτήτες των EVs θα παρέχουν τις υπηρεσίες τους έναντι οικονομικών οφελών, ανάλογα πάντα με την ποσότητα ισχύος που επιστρέφεται στο δίκτυο. Με τον τρόπο αυτό θεωρείται βέβαιο πως θα δημιουργηθούν νέες ευκαιρίες τόσο για την εμπορία, όσο και για την έξυπνη διαχείριση της ενέργειας. Επιπλέον, είναι αξιοσημείωτο πως μέσω των τεχνολογιών “όχημα-προς-σπίτι” (Vehicle to Home, V2H) καθώς και “Όχημα-προς-Κτίριο” (Vehicle to Building, V2B) οι στιγμιαίες αυξήσεις της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ενός κτηρίου, θα μπορούσαν να εξισορροπηθούν με τη βοήθεια ηλεκτρικών αυτοκινήτων, χωρίς να χρειάζεται να καταναλωθεί επιπλέον ενέργεια από το δίκτυο.

Ωστόσο, θα πρέπει να γίνει αντιληπτό πως η ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης στο νησί δεν θα είχε κανένα νόημα, αν η παραγόμενη για την τροφοδότηση τους ενέργεια, προέρχεται στο μεγαλύτερο βαθμό της από θερμικές μονάδες. Είναι δεδομένο πως για να χαρακτηριστεί ευεργετική η μετάβαση των οδικών μεταφορών προς την ηλεκτροκίνηση, είναι απαραίτητο να συνοδεύεται και από την αντίστοιχη εξέλιξη των ηλεκτρικών δικτύων. Συγκεκριμένα, το υφιστάμενο ενεργειακό δίκτυο του νησιού, όσο και τα κοντινά του, με τα οποία μελλοντικά θα συνδέεται οφείλουν να επανασχεδιαστούν με τρόπο που να μπορεί να εξυπηρετήσει τις επερχόμενες μεγαλύτερες ενεργειακές ανάγκες και απαιτήσεις της κοινωνίας. Η ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να παράγεται με καθαρές και βιώσιμες μεθόδους, φιλικές προς το περιβάλλον, ενώ η διαχείριση της θα πρέπει να γίνεται με τρόπο έξυπνο και αποδοτικό. Σε ευρύτερο επίπεδο, κάτι τέτοιο συνεπάγεται του περιορισμού της γενικότερης εξάντλησης των ενεργειακών πόρων, ενώ βελτιώνεται σημαντικά η ποιότητα του αέρα, με ότι αυτό σημαίνει για το περιβάλλον, το κλίμα και τον άνθρωπο.

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό πως με εφελτήριο την ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης στο νησί, μπορούν να συνοδευτούν και δράσεις σε ενεργειακό επίπεδο. Οι παραπάνω προτάσεις αξιοποιούν τις επενδύσεις της κοινωνίας στις καθαρές μορφές ενέργειας και στην ηλεκτρική κινητικότητα, ενώ παράλληλα δημιουργούν νέα επιχειρηματικά μοντέλα και πρόσθετες ευκαιρίες εσόδων. Για την Ελλάδα, οι προτεινόμενες ενέργειες στο νησί Σίφνου είναι σίγουρα μια καλή αρχή για τη μείωση του περιβαλλοντικού της αποτυπώματος και την ανάπτυξη της βιώσιμης κινητικότητας. Ενέργειες σαν αυτές, με κατεύθυνση την αειφορία αποτελούν παράδειγμα προς εφαρμογή και για άλλες περιοχές τόσο εντός, όσο και εκτός συνόρων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΑΝΑΦΟΡΕΣ / LINKS

- [1] <https://el.wikipedia.org/wiki/Μεταφορές>
- [2] <https://ec.europa.eu/jrc/en/research-topic/transport-sector-economic-analysis>
- [3] https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_Pocket_Guide_2019-2020.pdf
- [4] [https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20energy%20supply%20\(TES\)%20by%20source](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20energy%20supply%20(TES)%20by%20source)
- [5] https://webstore.iea.org/download/direct/2707?filename=energy_efficiency_indicators_2019_highlights_%28pdf%29.pdf
- [6] <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/final-energy-consumption-by-sector-10/assessment>
- [7] <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-final-energy-consumption-by-mode/assessment-10>
- [8] <http://www.ypeka.gr/el-gr/Ενέργεια/Εξοικονόμηση/Μεταφορές>
- [9] <https://www.iea.org/countries/greece#overview>
- [10] <https://www.airquality.dli.mlsi.gov.cy/el/air-pollution>
- [11] <https://www.airquality.dli.mlsi.gov.cy/el/health-effects>
- [12] <https://www.gov.uk/government/statistics/emissions-of-air-pollutants/emissions-of-air-pollutants-in-the-uk-non-methane-volatile-organic-compounds-nmvocs>
- [13] <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/air-quality-23-2018/el/>
- [14] <https://www.eea.europa.eu/el/articles/o-katharoteros-aeras-paroysiazei-ofeli>
- [15] <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-air-pollutants-8/transport-emissions-of-air-pollutants-8>
- [16] https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/BRP_Vehicle_emissions/BRP_Vehicle_emissions_EL.pdf

- [17] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:128159>
- [18] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX:31970L0220&from=EN>
- [19] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX%3A31977L0102>
- [20] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX:31980L1268&from=en>
- [21] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/ALL/?uri=CELEX:31988L0076>
- [22] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/ALL/?uri=CELEX:31988L0436>
- [23] https://www.globalfueleconomy.org/transport/gfei/autotool/approaches/information/test_cycles.asp
- [24] <https://el.wikipedia.org/wiki/WLTP>
- [25] https://dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php
- [26] <https://www.acea.be/industry-topics/tag/category/euro-standards>
- [27] <https://ec.europa.eu/environment/air/sources/road.htm>
- [28] https://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards
- [29] <https://www.transportpolicy.net/standard/eu-light-duty-emissions/>
- [30] <https://www.caroto.gr/2009/09/03/εκπομπές-ρύπων-euro-emissions/>
- [31] <https://www.explainthatstuff.com/catalyticconverters.html>
- [32] https://ec.europa.eu/environment/archives/autooil/pdf/auto-oil_en.pdf
- [33] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX:31998L0070&from=EN>
- [34] [https://el.wikipedia.org/wiki/Καταλυτικός_μετατροπέας \[06/10/20\]](https://el.wikipedia.org/wiki/Καταλυτικός_μετατροπέας [06/10/20])

- [35] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:128162>
- [36] http://www.unece.org/fileadmin//DAM/env/lrtap/lrtap_h1.htm
- [37] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32007R0715&from=LV>
- [38] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001L0081&from=DE>
- [39] <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/air-quality-23-2018/el/#para18>
- [40] <https://www.eea.europa.eu/el/simata-eop-2010/simata-2013/arthra/o-atmosfairikos-aeras-tis-eyropis-simera>
- [41] <https://www.consilium.europa.eu/el/policies/clean-air/>
- [42] <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-9175-2020-INIT/el/pdf>
- [43] <https://www.volkswagen.gr/el/wltp1.html>
- [44] <https://www.acea.be/industry-topics/tag/category/euro-standards>
- [45] <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-air-pollutants-8/transport-emissions-of-air-pollutants-8>
- [46] <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/necd-directive-data-viewer-3>
- [47] https://el.wikipedia.org/wiki/Κλιματική_αλλαγή
- [48] https://ec.europa.eu/clima/change/causes_el
- [49] https://el.wikipedia.org/wiki/Φαινόμενο_του_θερμοκηπίου
- [50] <https://www.britannica.com/science/greenhouse-gas>
- [51] <https://www.nrdc.org/stories/greenhouse-effect-101>
- [52] <https://www.eea.europa.eu/el/themes/climate/intro>

- [53] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_statistics_-_an_overview#Final_energy_consumption
- [54] <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-greenhouse-gases/transport-emissions-of-greenhouse-gases-12>
- [55] <https://www.district-energy.gr/environment/climate-change/ghg/αέρια-του-θερμοκηπίου/#toggle-id-2>
- [56] https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_el
- [57] https://ec.europa.eu/clima/change/causes_el
- [58] <https://www.foreignaffairs.gr/articles/68939/apo-poy-tha-ksekinisei-i-meiosi-ton-ekpompon-aerion-toy-thermoki/ta-oikonomika-tis-klimatikis-allagis?page=show>
- [59] <https://www.un.org/en/conferences/environment/stockholm1972>
- [60] <https://sustainabledevelopment.un.org/milestones/humanenvironment>
- [61] https://en.wikipedia.org/wiki/Montreal_Protocol
- [62] <https://www.unenvironment.org/ozonaction/who-we-are/about-montreal-protocol>
- [63] <https://www.ipcc.ch>
- [64] https://en.wikipedia.org/wiki/United_Nations_Framework_Convention_on_Climate_Change
- [65] <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-convention/what-is-the-united-nations-framework-convention-on-climate-change>
- [66] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=LEGISSUM%3A128060>
- [67] https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/progress/kyoto_1_en
- [68] https://unfccc.int/kyoto_protocol
- [69] https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en
- [70] https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en

- [71] <https://www.consilium.europa.eu/el/policies/climate-change/paris-agreement/>
- [72] https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_en
- [73] https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en
- [74] <https://www.eea.europa.eu/highlights/average-co2-emissions-from-new-cars-vans-2019>
- [75] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019R0631&from=EN>
- [76] <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/pdfscache/1180.pdf>
- [77] https://ec.europa.eu/clima/policies/transport_en
- [78] https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_19_6726
- [79] <https://www.eea.europa.eu/el/articles/ilektrika-ochimata-mia-eksypni-epilogi>
- [80] https://www.gocar.gr/gofwd/specials/12534,H_istoria_toy_hlektrikoy_aytokin_htoy.html
- [81] https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρικό_αυτοκίνητο
- [82] https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_electric_vehicle
- [83] https://en.wikipedia.org/wiki/La_Jamais_Contente
- [84] https://en.wikipedia.org/wiki/Baker_Motor_Vehicle
- [85] https://en.wikipedia.org/wiki/Lunar_Roving_Vehicle
- [86] https://en.wikipedia.org/wiki/General_Motors_EV1
- [87] https://el.wikipedia.org/wiki/General_Motors_EV1
- [88] [https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_Roadster_\(first_generation\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_Roadster_(first_generation))
- [89] https://en.wikipedia.org/wiki/Renault_Fluence_Z.E.
- [90] https://el.wikipedia.org/wiki/Tesla_Model_S
- [91] <https://docplayer.gr/5355096-Ilektrokinita-ohimata-stin-ellada-dynatotites-kai-prooptikes.html>

- [92] https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2019-10/2040b_2019.1560862529787.pdf
- [93] https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_basics_hev.html
- [94] https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_electric_vehicle
- [95] <https://www.opel.gr/simply-electric/overview/get-started-bev-phev-e-rev.html>
- [96] http://www.hrvojepandzic.com/wp-content/uploads/2019/09/Lecture_4_EVs.pdf
- [97] https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_basics_phev.html
- [98] <https://www.samsara.com/guides/what-are-extended-range-electric-vehicles>
- [99] https://en.wikipedia.org/wiki/Battery_electric_vehicle
- [100] <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>
- [101] https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle
- [102] Σημειώσεις μαθήματος «Αποθήκευση Ενέργειας», Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών
- [103] https://afdc.energy.gov/vehicles/fuel_cell.html
- [104] https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_vehicle
- [105] https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_car
- [106] <https://www.heliev.gr/wp-content/uploads/2020/02/Σύγχρονη-Τεχνολογία-Ηλεκτρικό-Αυτοκίνητο.pdf>
- [107] <https://www.eafo.eu/vehicles-and-fleet/overview>
- [108] <https://www.eea.europa.eu/el/articles/ilektrika-ochimata-mia-eksypni-epilogi>
- [109] <https://www.conserve-energy-future.com/advantages-and-disadvantages-of-electric-cars.php>
- [110] https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel-metal_hydrate_battery
- [111] <http://large.stanford.edu/courses/2016/ph240/abate1>
- [112] <http://www.viotiki-ora.gr/viotiki/2020/12/14/υπερπυκνωτες-super-capacitors-sc/>

- [113] Σημειώσεις μαθήματος «Ηλεκτρική Κίνηση», Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών
- [114] Σημειώσεις μαθήματος «Ηλεκτρικές Μηχανές I & II», Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών
- [115] Σημειώσεις στις Ηλεκτρικές Μηχανές II, ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας, Τμήματος Ηλεκτρολογίας
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjFgrmxgobwAhVI8LsIHZgJAqoQFjAAegQIBRAD&url=https%3A%2F%2Fclass.teiwm.gr%2Fmodules%2Fdocument%2Ffile.php%2FBSMM111%2F%25CE%2598%25CE%2595%25CE%25A9%25CE%25A1%25CE%2599%25CE%2591%2F%25CE%25A0%25CE%25B1%25CF%2581%25CE%25B1%25CE%25B4%25CF%258C%25CF%2583%25CE%25B5%25CE%25B9%25CF%2582%2F%25CE%25A3%25CE%25B7%25CE%25BC%25CE%25B5%25CE%25B9%25CF%2589%25CF%2583%25CE%25B5%25CE%25B9%25CF%2582_%25CE%259C%25CE%25B7%25CF%2587%25CE%25B1%25CE%25BD%25CE%25AD%25CF%2582_%25CE%2599%25CE%2599_%25CE%25BC%25CE%25BF%25CE%25BD%25CE%25BF.doc&usg=AOvVaw3cm5HL_iwbrMTeRuKCoo7Y
- [116] https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρικός_κινητήρας
- [117] <https://energypost.eu/15743-2/>
- [118] http://oceanis.lib.teipir.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/2166/hlg_201400929_a.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- [119] https://oaedhlectrologoi.blogspot.com/2017/03/blog-post_9.html
- [120] <https://illustrationprize.com/el/551-permanent-magnet-dc-motor.html>
- [121] https://www.tokalo.gr/BLDC_motors.html
- [122] https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρονικά_ισχύος
- [123] <https://www.autofit.gr/upiresies/sustima-metadosis/>
- [124] https://www.autotriti.gr/autoaccessories/news/data/antallaktika/All-about-Systhma-Metadoshs_187160.asp
- [125] <http://www.fortizo.gr/fortisi-syskevwn>
- [126] <https://www.heliev.gr/wp-content/uploads/2017/11/Ανεφοδιασμός-EV.pdf>
- [127] https://stefouloglou.blogspot.com/2016/02/blog-post_4.html
- [128] <https://www.pucsl.gov.lk/wp-content/uploads/2019/01/Guideline-EV.pdf>

- [129] https://en.wikipedia.org/wiki/Inductive_charging
- [130] <http://www.electric-vehiclenews.com/2014/04/hella-developing-wireless-charging.html>
- [131] <https://www.heliev.gr/ασύρματη-φόρτιση-ηλεκτρικών-αυτοκιν/>
- [132] <https://www.fortisis.eu/ev-charging-solutions/for-home-charging/>
- [133] <http://www.opengov.gr/minenv/?p=3512>
- [134] <https://www.fortisis.eu/ev-charging-solutions/for-business/>
- [135] <https://www.fortisis.eu/ev-charging-solutions/for-public-charging/>
- [136] <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/four-ev-charging-modes-iec61851-standard/>
- [137] http://www.saei.org/edicion14/archivos/saei_2014_plenaria_Dede.pdf
- [138] <https://blog.evbox.com/ev-charging-times>
- [139] https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_J1772
- [140] <https://www.hydroquebec.com/data/electrification-transport/pdf/technical-guide.pdf>
- [141] <http://gr.besen-group.com/info/iec-62196-standard-27427583.html>
- [142] https://en.wikipedia.org/wiki/IEC_62196
- [143] https://en.wikipedia.org/wiki/Type_2_connector
- [144] <https://en.wikipedia.org/wiki/CHAdeMO>
- [145] https://www.sae.org/standards/content/j2954_202010/
- [146] <https://www.standardsuniversity.org/e-magazine/june-2016/sae-publishes-tir-j2954-wireless-power-transfer-evphev/>
- [147] <https://new.abb.com/ev-charging/abb-s-vehicle-to-grid-technology>
- [148] <http://www1.udel.edu/V2G/conventionalview.html>
- [149] https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle-to-grid#Unidirectional_V2G_or_V1G
- [150] <http://www1.udel.edu/V2G/V2Gconcept.html>

- [151] <http://www.opengov.gr/minenv/?p=10446>
- [152] <http://www.opengov.gr/minenv/?p=10074>
- [153] http://www.rae.gr/site/file/categories_new/about_rae/factsheets/2018/maj/170119_2?p=file&i=0
https://energypress.gr/sites/default/files/media/rae_emp_paroyiasi.pdf
- [154] <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020> [11/10/20] IEA, Global EV Outlook, 2020
- [155] <https://www.eafo.eu/vehicles-and-fleet/m1>
- [156] <https://www.eafo.eu/vehicles-and-fleet/m1#>
- [157] <https://www.eafo.eu/vehicles-and-fleet/n1>
- [158] <https://www.eafo.eu/vehicles-and-fleet/n1#>
- [159] <https://www.eafo.eu/alternative-fuels/electricity/charging-infra-stats#>
- [160] <https://www.eafo.eu/alternative-fuels/electricity/charging-infra-stats#>
- [161] <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy/bloc-2b.html>
- [162] <https://e-sifnos.com/sifnos-information/geography-location.php>
- [163] <https://greece.terrabook.com/el/sifnos/chapter/metakiniseis/>
- [164] <http://sifnos-greece.com/plan-trip-to-sifnos/sifnos-taxi.php>
- [165] <https://www.euislands.eu/island/sifnos>