



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών
— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΥΦΥΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Η ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ
ΕΥΕΛΙΞΙΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΗ
ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΝΗΣΙΩΝ»**

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Α. ΝΑΤΣΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:

**ΑΦΡΟΔΙΤΗ ΚΤΕΝΑ, ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΕΚΠΑ
ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΑΝΑΣΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΚΠΑ**

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2020



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών
— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΥΦΥΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Η ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ
ΕΥΕΛΙΞΙΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΗ
ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΝΗΣΙΩΝ»**

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Α. ΝΑΤΣΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:

**ΑΦΡΟΔΙΤΗ ΚΤΕΝΑ, ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΕΚΠΑ
ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΑΝΑΣΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΚΠΑ**

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2020

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τους επιβλέποντες καθηγητές κ. Αφροδίτη Κτενά και κ. Χρήστο Μανασή για την πολύτιμη καθοδήγηση και την αμέριστη στήριξή τους, τόσο κατά τη διάρκεια της επιλογής του θέματος, όσο και κατά τη διάρκεια της εκπόνησης. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος και τον Διδακτορικό φοιτητή κ. Δημήτρη Μελέ για την συνεισφορά του στην υλοποίηση του αλγόριθμου.

Αφιερώνω αυτήν την εργασία στην οικογένειά μου με αγάπη και ευγνωμοσύνη

Copyright © Αναστάσιος Νάτσης, 2020.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ολοένα αυξανόμενη διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι συνέπεια της αναγκαιότητας για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος στον τομέα των μεταφορών. Ωστόσο, αυτή η εισαγωγή των ηλεκτρικών οχημάτων, λόγω της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο για τη φόρτισή τους, θα μπορούσε να δημιουργήσει προβλήματα στην ομαλή λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου και ειδικά σε αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα όπως αυτά των μη διασυνδεδεμένων νησιών.

Η παραγωγή ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά γίνεται κατά κύριο λόγο από τοπικούς θερμικούς σταθμούς που λειτουργούν με καύσιμο πετρέλαιο ή/και μαζούτ καθώς και από σταθμούς ΑΠΕ (Αιολικά, Φωτοβολταϊκά). Οι διαταραχές του ηλεκτρικού συστήματος σε μια νησιωτική περιοχή έχουν μεγαλύτερο αντίκτυπο σε σχέση με το διασυνδεδεμένο σύστημα, με αποτέλεσμα να είναι πιο δύσκολη η εξισορρόπηση του δικτύου και να απαιτούνται περισσότερες εφεδρείες.

Τα ηλεκτρικά οχήματα, ως μονάδες αποθήκευσης θα μπορούσαν αφενός να λειτουργήσουν ως συνδετικός κρίκος μεταξύ δικτύου και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αφετέρου να συμβάλλουν στη μείωση της αιχμής ζήτησης και στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, ενισχύοντας παράλληλα και την αξιοπιστία του δικτύου.

Με βάση τα προαναφερθέντα, η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό την ανάλυση της επίδρασης ενός στόλου ηλεκτρικών οχημάτων στην ευελιξία του ηλεκτρικού δικτύου των μη διασυνδεδεμένων νησιών και συγκεκριμένα στο αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα της Μεγίστης.

Θα εξεταστούν τρεις στρατηγικές φόρτισης για διάφορα σενάρια διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων με και χωρίς την εισαγωγή ΑΠΕ στο ενεργειακό μίγμα, η μη ελεγχόμενη φόρτιση, η φόρτιση με τη χρήση διζωνικού τιμολογίου και η έξυπνη φόρτιση (smart charging). Η υλοποίηση της έξυπνης φόρτισης θα γίνει με την εφαρμογή ενός μαθηματικού μοντέλου το οποίο επιλύεται με τη χρησιμοποίηση γενετικών αλγόριθμων.

Συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας γίνεται μια εισαγωγή για την υφιστάμενη κατάσταση και την ανάγκη για ηλεκτροκίνηση. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται η τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων, ενώ στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο ρυθμιστικό πλαίσιο, τα μοντέλα ανάπτυξης υποδομών φόρτισης καθώς και στην οργάνωση της αγοράς υπηρεσιών της ηλεκτροκίνησης. Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας των μη διασυνδεδεμένων νησιών, ενώ στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται

αναφορά στα βασικά στοιχεία των γενετικών αλγορίθμων. Στο έκτο κεφάλαιο υπάρχει το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε καθώς και οι στρατηγικές φόρτισης. Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται η εισαγωγή ΑΠΕ στο ενεργειακό μίγμα του νησιού, ενώ στο τελευταίο κεφάλαιο υπάρχουν τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ηλεκτρικό Όχημα, δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μη διασυνδεδεμένων νησιών, στρατηγικές φόρτισης, έξυπνη φόρτιση, καμπύλη φορτίου, παραγόμενη ισχύς, ευελιξία δικτύου, αιχμή δικτύου, valley filling, γενετικοί αλγόριθμοι, αγορά ηλεκτροκίνησης, υποδομές φόρτισης, V2G (Vehicle to Grid)

ABSTRACT

The increasing penetration of electric vehicles is a consequence of the need to reduce the environmental footprint in the transport sector. However, the demand for electricity from the grid for charging electric vehicles could create problems in the operation of the grid and especially in autonomous electrical systems such as those of non-interconnected islands. Electricity in the non-interconnected islands is mainly generated by local thermal power plants that run on oil as well as by renewable energy stations (Wind, Photovoltaic). Power fluctuations in a non-interconnected island have a greater impact than those in the interconnected system, making it more difficult to balance the grid.

Electric vehicles could not only act as a link between the grid and renewable energy sources but also help to reduce peak demand and decrease the environmental footprint, while strengthening the reliability of the electricity grid. Based on the above, this thesis aims to analyze the effect of an electric vehicles fleet on the flexibility of the electricity grid of non-interconnected islands and specifically in the autonomous electrical system of Megisti.

Three charging strategies will be examined through various scenarios for electric vehicle and RES penetration; uncontrolled charging, charging using a dual-zone tariff and smart charging. The implementation of smart charging will be done by applying a mathematical model that is solved by using genetic algorithms.

In particular, the first chapter of this thesis introduces the current situation and the need for electromobility. In the second chapter the technology of electric vehicles is analyzed, while in the third chapter the regulatory framework, the development of charging infrastructure and the organization of the market of electromobility services are analyzed. In the fourth chapter the electricity grid of the non-interconnected islands is analyzed, while in the fifth chapter reference is made to the basic elements of the genetic algorithms. In the sixth and the seventh chapter there is the mathematical model used as well as the charging strategies implemented, with or without renewables. In the last chapter there are the conclusions of the present thesis.

KEYWORDS

Electric vehicle, non-interconnected islands electricity grid, charging strategies, smart charging, load curve, grid flexibility, grid peak, valley filling, genetic algorithms, electric vehicle market, charging infrastructure, V2G (Vehicle to Grid)

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ - ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ

AC	Alternating Current
BEV	Battery Electric Vehicle
CCS	Combined Charging System
DC	Direct Current
DoD	Depth of Discharge
DSO	Distributor System Operator
EREV	Extended Range Electric Vehicle
EV	Electric Vehicle
IEA	International Energy Agency
PHEV	Plug in Hybrid Electric Vehicle
SoC	State of Charge
V2G	Vehicle to Grid
ΑΓ	Ανεμογεννήτρια
ΑΗΣ	Ατμοηλεκτρικός Σταθμός
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΑΣΠ	Αυτόνομος Σταθμός Παραγωγής
ΔΕΔΔΗΕ	Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΔΠΝ	Διεύθυνση Περιφέρειας Νησιών
Η/Ο	Ηλεκτρικό Όχημα
ΚΤΕΟ	Κέντρο Τεχνικού Ελέγχου Οχημάτων
ΚΥΑ	Κοινή Υπουργική Απόφαση
ΜΔΝ	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
ΠΥΗ	Πάροχος Υπηρεσιών Ηλεκτροκίνησης
ΡΑΕ	Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
ΣΗΘΥΑ	Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης
ΤΣΠ	Τοπικός Σταθμός Παραγωγής
ΦΒ	Φωτοβολταϊκά
ΦΔΣ	Φορέας Διεκπεραίωσης Συναλλαγών
ΦΕΥΦΗΟ	Φορέας Εκμετάλλευσης Υποδομών Φόρτισης Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων
ΦΟΣΕΦΗΟ	Φορέας Σωρευτικής Εκπροσώπησης Φορτίου Ηλεκτρικών Οχημάτων

Πίνακας περιεχομένων

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ - ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	17
1.1 Η ανάγκη για την διάδοση και τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων	18
1.2 Ιστορική αναδρομή.....	18
1.3 Υφιστάμενη κατάσταση	20
1.3.1 Διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων	20
1.3.2 Υποδομές φόρτισης	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ	25
2.1 Τεχνολογικός διαχωρισμός ηλεκτρικών οχημάτων.....	26
2.2 Δομή ηλεκτρικού οχήματος	28
2.3 Μπαταρίες.....	30
2.3.1 Γενικά.....	30
2.3.2 Κυριότερες τεχνολογίες μπαταριών.....	31
2.3.3 Βασικά χαρακτηριστικά μπαταριών	32
2.4 Φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων	34
2.4.1 Σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων	34
2.4.2 Τεχνολογίες σταθμών φόρτισης.....	36
2.4.3 Μέθοδοι φόρτισης και επίπεδο φόρτισης	36
2.4.4 Ασύρματη φόρτιση	38
2.4.5 Εξαρτήματα διασύνδεσης	39
2.5 Τυποποίηση.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΑΓΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗΣ	44
3.1 Ρυθμιστικό πλαίσιο	45
3.1.1 Ισχύουσα νομοθεσία.....	45
3.1.2 Ορισμοί	49
3.2 Μοντέλα ανάπτυξης υποδομών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων	50
3.2.1 Γενικά.....	50
3.2.2 Ανάπτυξη δημόσιων και ιδιωτικών υποδομών επαναφόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων	52
3.3 Οργάνωση της αγοράς υπηρεσιών	53
3.3.1 Εμπλεκόμενοι φορείς.....	53
3.3.2 Προτεινόμενο βασικό μοντέλο λειτουργίας υποδομών φόρτισης και σχέσεων φορέων	54
3.4 Διαχείριση του φορτίου των Ηλεκτρικών Οχημάτων - Συμμετοχή στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.....	56

3.4.1 Γενικά.....	56
3.4.2 Επίδραση του φορτίου Ηλεκτρικών Οχημάτων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας	57
3.4.3 Στρατηγικές φόρτισης.....	57
3.4.4 V2G (Vehicle to Grid).....	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΔΙΚΤΥΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΝΗΣΙΩΝ - Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ	61
4.1 Μη διασυνδεδεμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας	62
4.2 Σειρά ένταξης σταθμών παραγωγής ενέργειας.....	64
4.3 Λειτουργία κι ένταξη θερμικών σταθμών.....	66
4.3.1 Γενικά.....	66
4.3.2 Τοπικός Σταθμός Παραγωγής (ΤΣΠ) Μεγίστης	66
4.4 Μεθοδολογία διεύθυνσης Φωτοβολταϊκών Σταθμών στα ΜΔΝ	68
4.4.1 Γενικά.....	68
4.4.2 Φωτοβολταϊκοί σταθμοί στη Μεγίστη.....	69
4.5 Ευελιξία δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.....	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ	72
5.1 Εισαγωγή	73
5.2 Βασικά στοιχεία γενετικών αλγορίθμων	74
5.3 Παράμετροι διαμόρφωσης των γενετικών αλγορίθμων	76
5.3.1 Μέγεθος πληθυσμού.....	76
5.3.2 Πιθανότητα μετάλλαξης.....	77
5.3.3 Πιθανότητα διασταύρωσης.....	77
5.4 Πλεονεκτήματα.....	77
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΜΠΥΛΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ.....	79
6.1 Εισαγωγή	80
6.2 Μαθηματικό μοντέλο	80
6.3 Περιγραφή αλγόριθμου	81
6.3.1 Υλοποίηση γενετικού αλγόριθμου.....	81
6.3.2 Λειτουργία γενετικού αλγόριθμου	83
6.4 Δεδομένα	84
6.4.1 Αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα Μεγίστης	84
6.3.2 Ηλεκτρικά Οχήματα και σταθμοί φόρτισης.....	86
6.3.3 Παράμετροι γενετικών αλγορίθμων.....	87
6.4 Υλοποίηση στρατηγικών φόρτισης	87

6.4.1 Μη ελεγχόμενη φόρτιση.....	88
6.4.2 Φόρτιση με τη χρήση διζωνικού τιμολογίου.....	89
6.4.3 Έξυπνη φόρτιση (smart charging)	91
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΑΠΕ ΣΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΜΙΓΜΑ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ	94
7.1 Εισαγωγή ΑΠΕ.....	95
7.1.1 Καμπύλη ισχύος Φωτοβολταϊκού σταθμού	95
7.1.2 Καμπύλη παραγόμενης ισχύος με την εισαγωγή ΑΠΕ (χωρίς Η/Ο)	97
7.1.3 Καμπύλη παραγόμενης ισχύος με την εισαγωγή ΑΠΕ (με Η/Ο)	99
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	108
8.1 Συμπεράσματα.....	109

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η ανάγκη για την διάδοση και τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων

Η ανάγκη για τη μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων, η κλιματική αλλαγή που βιώνει ο πλανήτης καθώς και η σταδιακή απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, οδηγούν στον μετασχηματισμό του τομέα των μεταφορών και στην υιοθέτηση μέσων μετακίνησης φιλικότερων προς το περιβάλλον. Σε αυτό το πλαίσιο, έχουν εισαχθεί στην αγορά και παράγονται πλέον μαζικά τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, τα οποία λόγω των μηδενικών εκπομπών αερίων ρύπων αποτελούν την βέλτιστη περιβαλλοντική λύση στον τομέα των μεταφορών, τουλάχιστον για την σημερινή εποχή. Ωστόσο το παρόν και το μέλλον της ηλεκτροκίνησης δεν φαντάζει εύκολο καθώς η ευρεία διάδοση και χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων απαιτεί αφενός τη πολιτική βούληση με την εισαγωγή ενός άρτιου θεσμικού πλαισίου και αφετέρου της θέσπισης των απαραίτητων κινήτρων (οικονομικά κίνητρα, φοροαπαλλαγές κλπ). Επιπρόσθετα, η μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση προϋποθέτει την ανάπτυξη όλων των απαραίτητων και συναφών υποδομών (πχ σταθμοί φόρτισης, αναβάθμιση δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας) καθώς και την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με στόχο την πλήρη αξιοποίηση της δυναμικής των ηλεκτρικών οχημάτων.

1.2 Ιστορική αναδρομή

Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα δεν είναι μία τεχνολογία που εμφανίστηκε τα τελευταία έτη, αλλά ξεκινά στα μέσα περίπου του 19^{ου} αιώνα με κοινή αφετηρία σε σχέση με τα τότε συμβατικά οχήματα. Εν συντομία παρουσιάζονται παρακάτω τα γεγονότα που συνέβαλλαν στην τεχνολογική εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων, όπως την ξέρουμε σήμερα.

Οι πρώτες προσπάθειες έγιναν από τον Σκωτσέζο Robert Anderson (1832-1839), τον Αμερικανό Thomas Davenport (1834) καθώς και τον Ούγγρο Anyos Jedlik (1828), των οποίων οι εφευρέσεις ήταν δοκιμαστικές και μη εφαρμόσιμες. Το 1859 ο Γάλλος φυσικός Gaston Plante ανακάλυψε τις μπαταρίες Μολύβδου-Οξέως που μπορούσαν να επαναφορτίζονται και κάπως έτσι άνοιξε ο δόμος για την ηλεκτροκίνηση.

Το 1890 ο William Morrison κατασκευάζει το πρώτο επιτυχημένο ηλεκτρικό αυτοκίνητο στις ΗΠΑ το οποίο μπορεί να ταξιδέψει για 13 ώρες με μια ταχύτητα 14mph (22,53 km/h). Το 1896 η εταιρία Electric Car Co. εισάγει στους δρόμους της Νέας Υόρκης τα πρώτα ηλεκτροκίνητα ταξί, ενώ το 1899 η εταιρεία Baker Motor Vehicle Company κατασκευάζει ένα όχημα με αυτονομία 161 χιλιομέτρων ανά φόρτιση και μέγιστη ταχύτητα τα 35,4 χιλιόμετρα την ώρα.



Εικόνα 1.1: Ηλεκτρικό Όχημα της εταιρείας Baker

(Πηγή: www.readcars.co)

Την ίδια περίπου χρονική περίοδο (1899) κατασκευάζεται στην Γαλλία το πρώτο αγωνιστικό ηλεκτρικό όχημα που ταξιδεύει με 108 χιλιόμετρα ανά ώρα.

Το 1900 τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν φτάσει να κατέχουν το ίδιο μερίδιο αγοράς με τους ανταγωνιστές τους. Την ίδια χρόνια ο Ferdinand Porsche κατασκευάζει το πρώτο υβριδικό ηλεκτρικό όχημα και φτάνει τα 56 χιλιόμετρα ανά ώρα. Όμως, το 1908 ο Henry Ford παρουσιάζει το Model T με κόστος αρκετά μικρότερο από αυτό των ηλεκτρικών οχημάτων. Οι μέθοδοι μαζικής παραγωγής που εφαρμόστηκαν στο εργαστήριο του Φορντ σηματοδότησαν την αρχή του τέλους της ηλεκτροκίνησης με την μαζική παραγωγή των ηλεκτροκίνητων οχημάτων να σταματά να είναι βιώσιμη γύρω στο 1920.

Από τότε μέχρι και τη δεκαετία του 1990 η αυτοκινητοβιομηχανία δεν έχει να επιδείξει κάτι ενδιαφέρον όσον αφορά την ηλεκτροκίνηση. Εκείνη την εποχή, οι μελέτες δείχνουν μεγάλα ποσοστά ατμοσφαιρικής ρύπανσης εξ' αιτίας της χρήσης συμβατικών οχημάτων. Για την αντιμετώπιση του βασικού αυτού προβλήματος ξεκίνησαν προσπάθειες με θέσπιση μέτρων τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο. Τότε αρχίζουν να παράγονται μαζικά μερικά υβριδικά αυτοκίνητα όπως το Prius από την Toyota (1997-2000). Στα μέσα της δεκαετίας του 2000, γίνεται μικρή παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων από διάφορες εταιρείες όπως η Tesla, ενώ σιγά σιγά οι χώρες άρχισαν να δίνουν κίνητρα για την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων. Ως

εκ τούτου σήμερα αρκετές από τις μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν εισάγει στο στόλο τους ηλεκτροκίνητα οχήματα, όπως η Nissan, η BMW, η VW, η Mitsubishi κλπ.



Εικόνα 1.2: Ηλεκτρικό Όχημα της εταιρείας Tesla

(Πηγή: www.tesla.com)

1.3 Υφιστάμενη κατάσταση

1.3.1 Διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων

Ο συνολικός αριθμός των επιβατικών ηλεκτρικών οχημάτων έφτασε τα 5.1 εκατομμύρια στο τέλος του 2018, σημειώνοντας αύξηση της τάξης του 63% σε σχέση με τη προηγούμενη χρονιά. Τα πρωτεία κατέχει η Κίνα με στόλο που φτάνει τα 2.3 εκατομμύρια ηλεκτρικά οχήματα (ποσοστό περί το 45% σε παγκόσμιο επίπεδο), ενώ ακολουθούν η Ευρώπη με 1.2 εκατομμύρια μονάδες (ποσοστό 24%) και οι ΗΠΑ με 1.1 εκατομμύρια μονάδες (ποσοστό 22%) [3].

Οι πωλήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων το 2018 έφτασαν σχεδόν τα 2 εκατομμύρια παγκοσμίως, παρουσιάζοντας αύξηση 68% σε σχέση με το 2017. Στην Κίνα πουλήθηκαν περίπου 1.1 εκατομμύρια ηλεκτρικά οχήματα το 2018, ενώ ακολουθεί η Ευρώπη με 385.000 και οι ΗΠΑ με 361.000. Στις ΗΠΑ, η αύξηση στις πωλήσεις το 2018 σε σχέση με τη προηγούμενη χρονιά ήταν της τάξης του 82%, στον Καναδά οι ταξινομήσεις των νέων ηλεκτροκίνητων οχημάτων το 2018 ανήλθαν σε 44.000, ενώ στην Ιαπωνία οι πωλήσεις μειώθηκαν κατά 8% το 2018 σε σχέση με τις αντίστοιχες του 2017. Μειώσεις στις πωλήσεις σημειώθηκαν και στην Ινδία, το Μεξικό και τη Νότια Αφρική [3].

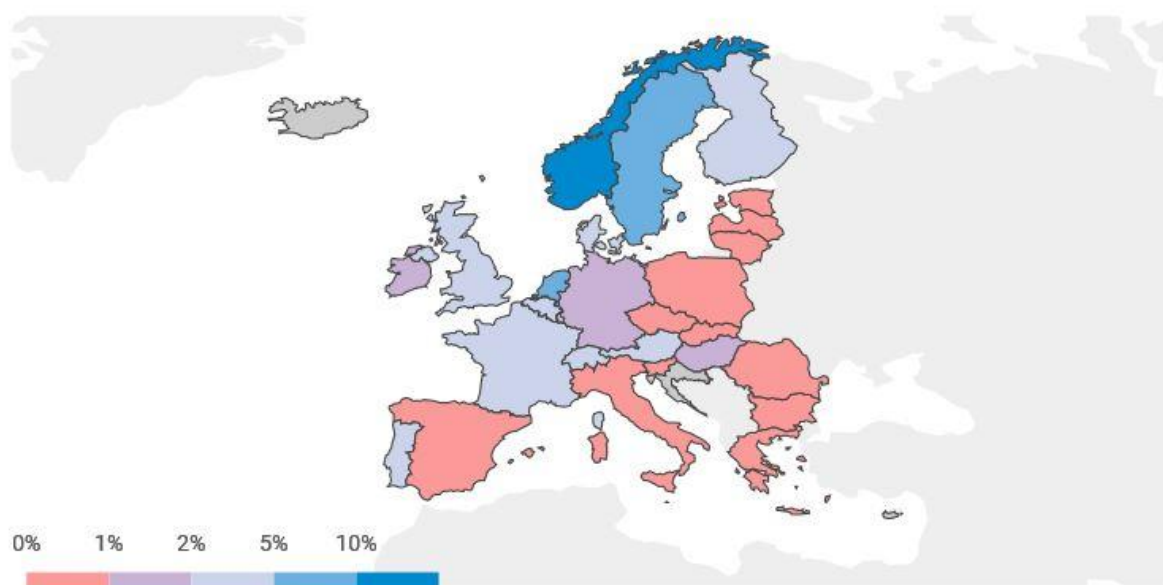
Η αύξηση στις πωλήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων στην Ευρώπη το 2018 σε σχέση με την προηγούμενη χρονιά ήταν 31%. Αξιοσημείωτο είναι ότι στην Ευρώπη βρίσκονται οι χώρες με

την μεγαλύτερη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων στις πωλήσεις, όπως η Νορβηγία (περί το 50%), η Ισλανδία (17.2%) και η Σουηδία (7.9%) [3].

Σύμφωνα με τα στοιχεία του Ευρωπαϊκού Συνδέσμου Κατασκευαστών Αυτοκινήτων (ACEA), η **Ελλάδα** βρίσκεται μέσα στις πέντε χώρες με το μικρότερο μερίδιο αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Πιο συγκεκριμένα στην Ελλάδα πουλήθηκαν 315 ηλεκτρικά οχήματα το 2018, ποσοστό μόλις 0.3% επί των συνολικών πωλήσεων επιβατικών οχημάτων. Οι άλλες τέσσερις χώρες είναι η Πολωνία με ποσοστό 0.2% (1.324 ηλεκτρικά οχήματα), η Σλοβακία με 0.3% (293 ηλεκτρικά οχήματα), η Τσεχία με 0,4% (981 ηλεκτρικά οχήματα) και η Λιθουανία με ποσοστό 0.4% και μόλις 143 ηλεκτρικά οχήματα. Στις πέντε μεγάλες αγορές των αυτοκινήτων στην ΕΕ τα ποσοστά διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων για το 2018 ήταν: 2.0% στη Γερμανία, 2.5% στο Ηνωμένο Βασίλειο, 2.1 % στη Γαλλία, 0.5% στην Ιταλία και μόλις 0.9% στην Ισπανία.

Οι νέες ταξινομήσεις ηλεκτρικών οχημάτων στην ΕΕ ανήλθαν μόλις στο 2.0% των συνολικών ταξινομήσεων το 2018, ενώ περίπου τα μισά κράτη μέλη έχουν μερίδιο αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων μικρότερο από 1%.

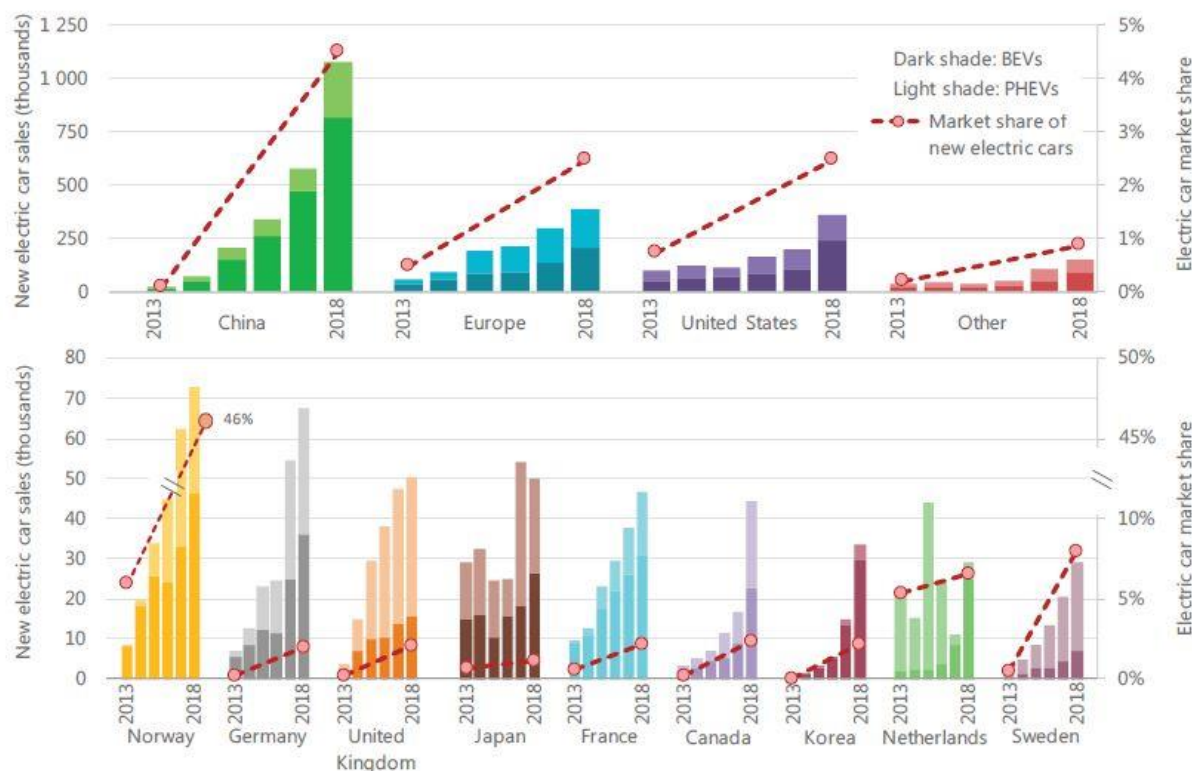
Στον παρακάτω χάρτη απεικονίζεται το μερίδιο αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων στην ΕΕ για το 2018.



Εικόνα 1.3: Μερίδιο αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων στην ΕΕ για το 2018

(Πηγή: ACEA)

Οι πωλήσεις και το μερίδιο αγοράς των Ηλεκτρικών Οχημάτων για τη περίοδο 2013 - 2018 στις χώρες με τη μεγαλύτερη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων και στην Ευρώπη απεικονίζονται στο παρακάτω γράφημα.



Εικόνα 1.4: Πωλήσεις και μερίδιο αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων τη περίοδο 2013 -2018 [3]

Σύμφωνα με το παραπάνω γράφημα η χώρα με τον μεγαλύτερο όγκο πωλήσεων Η/Ο την τελευταία εξαετία (για την οποία υπάρχουν διαθέσιμα συγκεντρωτικά στοιχεία) είναι η Κίνα ακολουθούμενη από την Ευρώπη και τις ΗΠΑ, ενώ η χώρα με το μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς είναι η Νορβηγία.

Στην Ευρώπη περιλαμβάνονται οι εξής χώρες: Αυστρία, Βέλγιο, Βουλγαρία, Κροατία, Κύπρος, Τσεχία, Δανία, Εσθονία, Φινλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Ελλάδα, Ουγγαρία, Ισλανδία, Ιρλανδία, Ιταλία, Λετονία, Λιχτενστάιν, Λιθουανία, Λουξεμβούργο, Μάλτα, Ολλανδία, Νορβηγία, Πολωνία, Πορτογαλία, Ρουμανία, Σλοβακία, Σλοβενία, Ισπανία, Σουηδία, Τουρκία, Ηνωμένο Βασίλειο και Ελβετία. Οι λοιπές χώρες (Other) περιλαμβάνουν τις: Αυστραλία, Βραζιλία, Χιλή, Ιαπωνία, Ινδία, Κορέα, Μαλαισία, Μεξικό, Νέα Ζηλανδία, Νότια Αφρική και Ταϊλάνδη.

1.3.2 Υποδομές φόρτισης

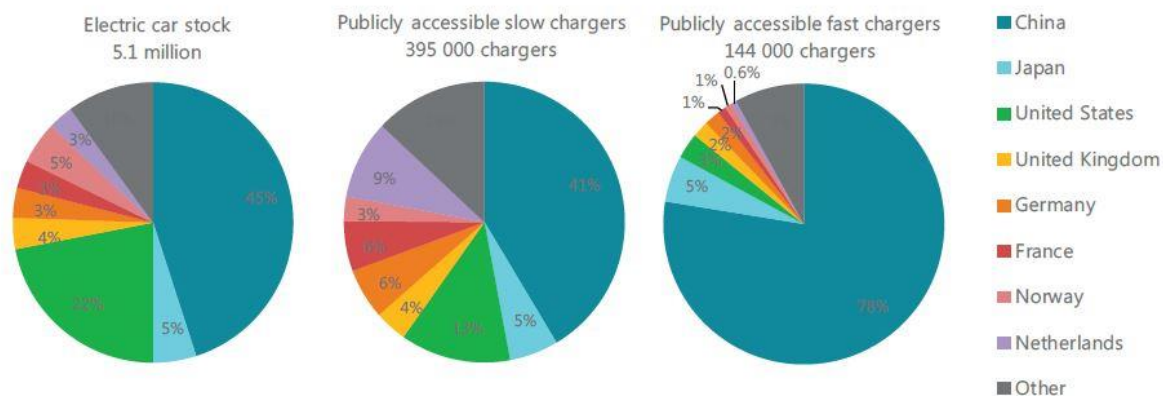
Οι σταθμοί φόρτισης υπολογίζονται στο τέλος του 2018 περί τα 5,2 εκατομμύρια, αυξανόμενοι κατά 44% σε σχέση με την προηγούμενη χρονιά (2017). Το 2018 εγκαταστάθηκαν 1,6 εκατομμύρια ιδιωτικοί σταθμοί φόρτισης παγκοσμίως, 395.000 σε δημοσίως προσβάσιμα σημεία αργής φόρτισης και 144.000 σε δημοσίως προσβάσιμα σημεία ταχείας φόρτισης.

Στο παρακάτω γράφημα απεικονίζεται ο αριθμός των σημείων φόρτισης ανά κατηγορία (ιδιωτικοί, προσβάσιμα, δημοσίως, σημεία αργής και ταχείας φόρτισης)



Εικόνα 1.5: Αριθμός σημείων φόρτισης ανά κατηγορία τη περίοδο 2013 -2018 [3]

Τα παραπάνω στοιχεία, όσον αφορά τα ιδιωτικά σημεία φόρτισης, βασίστηκαν στη παραδοχή του 1,1 σημείου φόρτισης ανά ηλεκτρικό όχημα για όλες τις χώρες, εκτός από τη Κίνα και την Ιαπωνία όπου βασίστηκαν στη παραδοχή του 1,5 ιδιωτικού σημείου φόρτισης ανά Η/Ο. Όσον αφορά τα δημοσίως προσβάσιμα σημεία φόρτισης υπήρχε αύξηση κατά 27% σε σχέση με το 2017, όμως ο ρυθμός ανάπτυξης νέων δημοσίως προσβάσιμων υποδομών βαίνει μειούμενος τα τελευταία χρόνια (30% 2017, 80% 2016) [3].



Εικόνα 1.6: Αριθμός Η/Ο και δημοσίως προσβάσιμα σημεία αργής και ταχείας φόρτισης ανά χώρα [3]

Στο παραπάνω γράφημα απεικονίζεται ο αριθμός των Η/Ο, τα δημοσίως προσβάσιμα σημεία αργής φόρτισης και τα αντίστοιχα σημεία ταχείας φόρτισης ανά χώρα σύμφωνα με το Global EV Outlook 2019 που δημοσίευσε η IEA.

Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία, η Κίνα έχει εγκατεστημένο το 41% των δημοσίως προσβάσιμων σημείων αργής φόρτισης και το 78% των αντίστοιχων σημείων ταχείας φόρτισης σε παγκόσμιο επίπεδο μέχρι το τέλος του 2018 και σε συνδυασμό με τον στόλο των Ηλεκτρικών Οχημάτων που διαθέτει (45% παγκοσμίως), την καθιστούν πρωτοπόρο στην ηλεκτροκίνηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

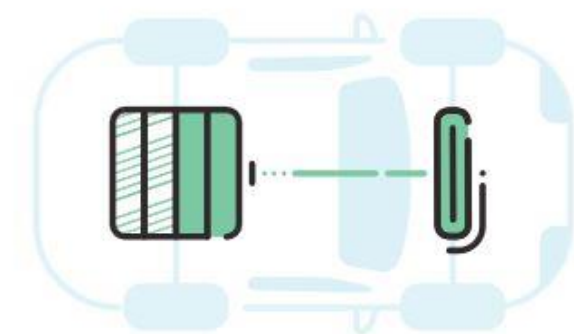
2.1 Τεχνολογικός διαχωρισμός ηλεκτρικών οχημάτων

Σύμφωνα με το κείμενο νομοθετικό πλαίσιο και για τους σκοπούς της παρούσης εργασίας, ως ηλεκτρικό ή ηλεκτροκίνητο όχημα (Η/Ο) ορίζεται το μηχανοκίνητο όχημα το οποίο είναι εξοπλισμένο με σύστημα μετάδοσης της κίνησης το οποίο περιέχει τουλάχιστον μία μη περιφερειακή ηλεκτρική μηχανή ως μετατροπέα ενέργειας με ηλεκτρικό επαναφορτιζόμενο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, το οποίο μπορεί να επαναφορτίζεται εξωτερικά.

Τα ηλεκτρικά οχήματα, σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, διαχωρίζονται στις παρακάτω κύριες κατηγορίες ανάλογα με την τεχνολογία τους:

BEV (Battery Electric Vehicle) - Αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα

Τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα κινούνται αποκλειστικά από ηλεκτροκινητήρα ο οποίος τροφοδοτείται από την ενέργεια της εγκατεστημένης μπαταρίας, η οποία μπορεί και επαναφορτίζεται μέσω της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο (ιδιωτικό ή δημόσιο σταθμό φόρτισης). Επιπρόσθετα, ανάλογα το όχημα, η μπαταρία δύναται να φορτίζει και κατά την πέδηση ή την επιβράδυνση του οχήματος (ανάκτηση ενέργειας κατά την διάρκεια του φρεναρίσματος η οποία ενισχύει την αυτονομία του ηλεκτρικού οχήματος). Η αυτονομία των BEV κυμαίνεται στα 150 - 200 χιλιόμετρα κατά μέσο όρο, ενώ πολλά από τα σημερινά αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα έχουν αυτονομία μεγαλύτερη των 250 χιλιομέτρων. Η κίνηση επιτυγχάνεται με μηδενικές εκπομπές αέριων ρύπων.

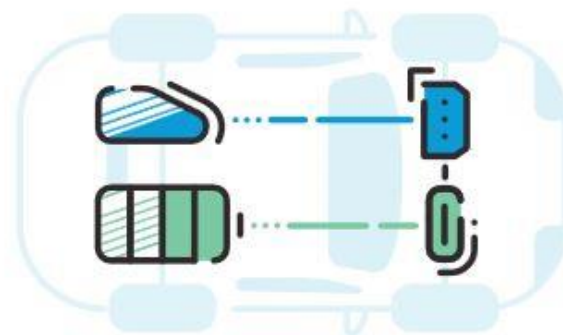


Εικόνα 2.1: Ενδεικτική απεικόνιση αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος (BEV- Battery Electric Vehicle)

(Πηγή: <https://www.oru.com/en/our-energy-future/technology-innovation/about-electric-vehicles/about-electric-vehicles>)

PHEV (Plug in Hybrid Electric Vehicles) - Plug in υβριδικά οχήματα

Τα Plug in υβριδικά οχήματα (PHEV - Plug in Hybrid Electric Vehicles) διαθέτουν έναν ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος τροφοδοτείται τόσο από μπαταρία όπου αποθηκεύεται η ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο όσο και από έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης. Στα Plug in υβριδικά οχήματα δύναται να υπάρχει η εν σειρά τοπολογία, όπου ο ηλεκτρικός κινητήρας δίνει κίνηση στους τροχούς και ο κινητήρας εσωτερικής καύσης χρησιμοποιείται για τη φόρτιση της μπαταρίας και η εν παραλλήλω τοπολογία όπου τόσο ο ηλεκτρικός κινητήρας όσο και η μηχανή εσωτερικής καύσης είναι συνδεδεμένοι στο σύστημα κίνησης. Επιπρόσθετα, ανάλογα το όχημα, η μπαταρία δύναται να φορτίζει και κατά την πέδηση ή την επιβράδυνση του οχήματος (ανάκτηση ενέργειας κατά την διάρκεια του φρεναρίσματος η οποία ενισχύει την αυτονομία του ηλεκτρικού οχήματος). Αξίζει να σημειωθεί ότι η ηλεκτρική αυτονομία των συγκεκριμένων οχημάτων είναι εξαιρετικά περιορισμένη (σε σχέση με τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα), ενώ οι εκπομπές αέριων ρύπων είναι αρκετά χαμηλές έως μηδενικές.



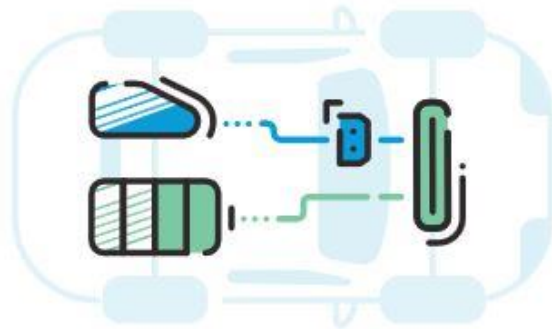
Εικόνα 2.2: Ενδεικτική απεικόνιση PHEV (Plug in Hybrid Electric Vehicle)

(Πηγή: <https://www.oru.com/en/our-energy-future/technology-innovation/about-electric-vehicles/about-electric-vehicles>)

EREV (Extended Range Electric Vehicles) - Ηλεκτρικά οχήματα με αυξημένη αυτονομία

Στην ίδια κατηγορία ανήκουν και τα ηλεκτρικά οχήματα με αυξημένη αυτονομία REEV ή EREV (Extended Range Electric Vehicles). Η κίνηση γίνεται αποκλειστικά από τον

ηλεκτροκινητήρα, ενώ ένας μικρός κινητήρας εσωτερικής καύσης χρησιμοποιείται μόνο για την κίνηση μιας ηλεκτρογεννήτριας η οποία φορτίζει τη μπαταρία του οχήματος.



Εικόνα 2.3: Ενδεικτική απεικόνιση EREV (Extended Range Electric Vehicle)

(Πηγή: <https://www.oru.com/en/our-energy-future/technology-innovation/about-electric-vehicles/about-electric-vehicles>)

2.2 Δομή ηλεκτρικού οχήματος

Σε γενικές γραμμές η δομή ενός ηλεκτρικού οχήματος διαφέρει από τη δομή ενός συμβατικού οχήματος με μηχανή εσωτερική καύσης. Τα βασικά μέρη παραμένουν τα ίδια (πλαίσιο, αμάξωμα, σύστημα διεύθυνσης, αναρτήσεις, φρένα), ενώ αυτό που αλλάζει είναι η δομή του συστήματος που κινεί το όχημα καθώς και η μορφή της απαιτούμενης ενέργειας.

Τα βασικά μέρη ενός ηλεκτρικού οχήματος αποτελούν:

- Ο ηλεκτροκινητήρας

Ο ηλεκτροκινητήρας είναι υπεύθυνος για την κίνηση του οχήματος, αφού μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική

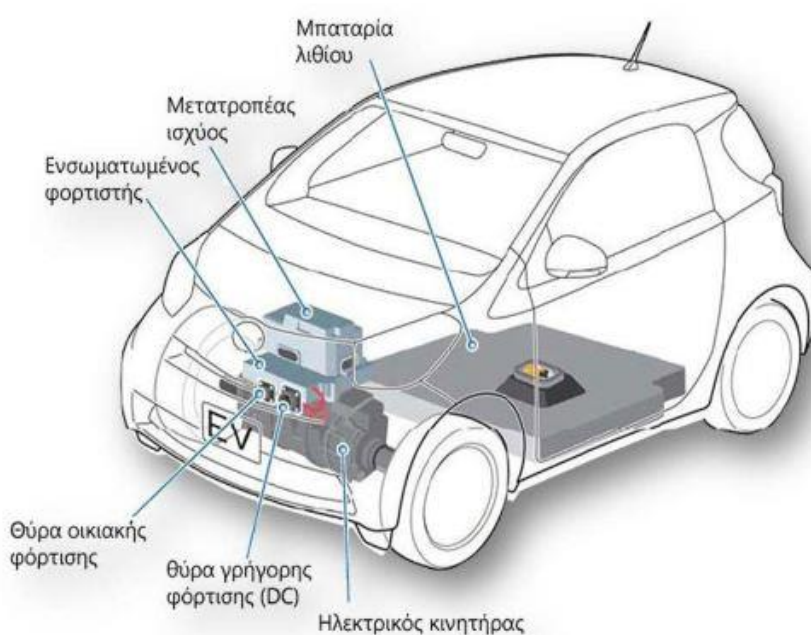
- Η μπαταρία

Η μπαταρία αποθηκεύει την ενέργεια από το δίκτυο, που χρειάζεται το όχημα για να κινηθεί

- Ο ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος (ελεγκτής)

Ο ελεγκτής ελέγχει και διαμορφώνει τη τάση σε κατάλληλα επίπεδα για την ομαλή τροφοδότηση του ηλεκτροκινητήρα

Η λειτουργία των ηλεκτρικών οχημάτων είναι μια σχετικά απλή διαδικασία. Πιο συγκεκριμένα, όταν το αυτοκίνητο ενεργοποιείται, το ρεύμα περνάει από τη μπαταρία. Ο ελεγκτής λαμβάνει ισχύ από τη μπαταρία και τροφοδοτεί τον ηλεκτροκινητήρα αφού πρώτα διαμορφώσει κατάλληλα την τάση. Παράλληλα, με βάση τις μετρήσεις από το ποτενσιόμετρο που είναι συνδεδεμένο στο πεντάλ επιτάχυνσης, ρυθμίζει το κατάλληλο ποσό ενέργειας που πρέπει να διοχετευθεί στον ηλεκτροκινητήρα. Ο ηλεκτροκινητήρας έπειτα, μετατρέπει την ενέργεια σε μηχανική για τη κίνηση του οχήματος. Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης τέλος, δίνει τη κίνηση στους τροχούς του αυτοκινήτου [27].



Εικόνα 2.4: Ενδεικτική σχηματική απεικόνιση δομής ηλεκτρικού οχήματος [28]

Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα

Σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα (με κινητήρες εσωτερικής καύσης), τα ηλεκτρικά οχήματα παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα, αλλά και σημαντικές αδυναμίες.

Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι φιλικά προς το περιβάλλον και την ατμόσφαιρα και προκαλούν ελάχιστο περιβαλλοντικό αποτύπωμα σε μακροχρόνια βάση. Επιπρόσθετα, είναι πιο αθόρυβα από τα συμβατικά οχήματα και συντελούν στην μείωση της ηχορύπανσης των μεγάλων πόλεων.

Είναι πιο οικονομικά στην μετακίνηση λόγω της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα καθώς και λόγω του γεγονότος ότι χρειάζονται λιγότερη συντήρηση στον κύκλο ζωής τους. Τα ηλεκτρικά οχήματα δεν έχουν πολλά από τα κινούμενα μέρη και τα εξαρτήματα των συμβατικών οχημάτων και ως εκ τούτου την ανάγκη για τακτικά διαστήματα συντήρησης, ενώ η φόρτιση κατά την πέδηση καθώς και η μηδενική ζήτηση ενέργειας σε στάση βελτιώνουν ακόμα περισσότερο την κατανάλωση.

Επιπρόσθετα, οι ηλεκτροκινητήρες είναι πιο ενεργειακά αποδοτικοί από τους κινητήρες εσωτερικής καύσης, οπότε μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας της μπαταρίας καταλήγει να χρησιμοποιείται για να κινεί το αυτοκίνητο, ενώ η οδήγηση είναι πιο εύκολη και άνετη λόγω της απουσίας μηχανικού κιβωτίου ταχυτήτων. Σε αντίθεση με τα συμβατικά οχήματα τα οποία αποδίδουν το μεγαλύτερο ποσοστό της ροπής τους όσο οι στροφές του κινητήρα ανεβαίνουν, ένα ηλεκτρικό αποδίδει τη μέγιστη ροπή του του άμεσα. Το γεγονός ότι όλο το απόθεμα ροπής είναι διαθέσιμο ανά πάσα στιγμή, σημαίνει ότι το αυτοκίνητο επιταχύνει ακαριαία με βέλτιστες επιδόσεις.

Στον αντίποδα, μπορούμε να επισημάνουμε ως τον κύριο αποτρεπτικό παράγοντα απόκτησης ενός ηλεκτρικού οχήματος το υψηλό κόστος. Σε αυτό το κόστος έρχεται να προστεθεί και η ανάγκη για την αλλαγή των μπαταριών, οι οποίες έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής.

Επίσης, η περιορισμένη αυτονομία, ο μεγάλος χρόνος φόρτισης καθώς και οι περιορισμένοι σταθμοί φόρτισης είναι μερικά από τα μειονεκτήματα και τα εμπόδια που πρέπει να ληφθούν υπόψιν και χρήζουν βελτίωσης.

2.3 Μπαταρίες

2.3.1 Γενικά

Οι συσσωρευτές ή αλλιώς μπαταρίες είναι ένα από τα βασικότερα στοιχεία ενός ηλεκτρικού οχήματος. Οι μπαταρίες αποτελούνται από πλήθος μικρότερων στοιχείων, τα λεγόμενα κελιά. Κάθε κελί αποτελείται από δύο στοιχεία, την άνοδο και την κάθοδο, που χωρίζονται μεταξύ τους με κάποιον ηλεκτρολύτη, ο οποίος διαφοροποιείται από εφαρμογή σε εφαρμογή. Όταν στην άνοδο και στην κάθοδο συνδεθεί ένα εξωτερικό κύκλωμα τότε υπάρχει ροή ηλεκτρονίων ανάμεσα στην άνοδο και στην κάθοδο του συσσωρευτή εξ' αιτίας ηλεκτροχημικής αντίδρασης που συμβαίνει μεταξύ των ηλεκτροδίων και του ηλεκτρολύτη που εκφράζεται στο εξωτερικό κύκλωμα ως ηλεκτρικό ρεύμα.

Στόχος είναι τα τελευταία χρόνια η παραγωγή μπαταριών με μικρότερο κόστος και βελτίωση των κυριότερων βασικών χαρακτηριστικών τους, όπως η διάρκεια ζωής και η χωρητικότητα τους.

2.3.2 Κυριότερες τεχνολογίες μπαταριών

Οι κυριότερες τεχνολογίες μπαταριών που είναι εμπορικά διαθέσιμες και χρησιμοποιούνται σήμερα για τη ν αποθήκευση ενέργειας στα ηλεκτρικά οχήματα παρουσιάζονται παρακάτω:

Ιόντων Λιθίου (Lithium-Ion)

Η κυρίαρχη τεχνολογία μπαταριών που εφαρμόζεται στα ηλεκτρικά οχήματα είναι αυτή των ιόντων Λιθίου (Lithium-Ion). Οι μπαταρίες των ιόντων Λιθίου χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον τη σημερινή εποχή στα ηλεκτρικά οχήματα λόγω της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας και της αυξημένης ισχύος ανά μονάδα μάζας (Η ειδική ενέργεια του συγκεκριμένου τύπου μπαταρίας μπορεί να ξεπερνάει τα 150 Wh/kg ανά περίπτωση). Είναι αξιόπιστες, απαιτούν μικρή συντήρηση ενώ έχουν αυξημένο κύκλο ζωής. Τα μειονεκτήματα των μπαταριών ιόντων Λιθίου έχουν να κάνουν κυρίως με τις υψηλές αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες οι οποίες επηρεάζουν την απόδοση, την δυνατότητα ανακύκλωσης καθώς και με ζητήματα ασφαλείας [23].

Νικελίου - υδριδίου μετάλλου (Ni-MH)

Οι μπαταρίες Νικελίου - υδριδίου μετάλλου (Ni-MH) είναι μια εναλλακτική τεχνολογία συσσωρευτών, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως στα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα. Τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας είναι η διάρκεια ζωής τους, η χωρητικότητά τους και η αποδοτική τους λειτουργία σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών [2]. Μερικά από τα μειονεκτήματά τους συνοψίζονται στο αυξημένο βάρος, το υψηλό κόστος, τη χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα σε σχέση με τις μπαταρίες των ιόντων Λιθίου καθώς και το γεγονός ότι πλέον η συγκεκριμένη τεχνολογία θεωρείται παρωχημένη. Η ειδική ενέργεια της συγκεκριμένης τεχνολογίας μπαταριών κυμαίνεται στα 70 Wh/kg.

Μολύβδου οξέος (Lead Acid)

Οι συσσωρευτές Μολύβδου οξέος (Lead Acid) αποτέλεσαν την κυρίαρχη τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας στα ηλεκτρικά οχήματα μέχρι τις αρχές του 2000 λόγω κυρίως του χαμηλού κόστους και της ωριμότητας της τεχνολογίας τους. Ωστόσο, η περιορισμένη χωρητικότητα, οι μεγάλες απαιτήσεις σε μάζα και όγκο καθώς και η μείωση της απόδοσης τους

(φθορά) στις μεγάλες εκφορτίσεις, στη πλήρη φόρτιση και στις ακραίες καιρικές συνθήκες καθιστούν δύσκολη πλέον την εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας στα ηλεκτρικά οχήματα.

Νικελίου Καδμίου (Ni-Cd)

Παλαιότερης εποχής και τεχνολογίας είναι και οι μπαταρίες Νικελίου Καδμίου (Ni-Cd), οι οποίες δεν βρίσκουν εφαρμογή στα αμιγώς ηλεκτρικά αυτοκίνητα λόγω του αυξημένου κόστους καθώς και των τεχνικών χαρακτηριστικών τους.

2.3.3 Βασικά χαρακτηριστικά μπαταριών

Οι βασικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν μια μπαταρία / συσσωρευτή παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω.

Κατάσταση φόρτισης (State of Charge)

Η κατάσταση ή στάθμη φόρτισης (SoC) είναι το ποσοστό (%) της τρέχουσας χωρητικότητας της μπαταρίας σε σχέση με τη μέγιστη.

Βάθος εκφόρτισης (Depth of Discharge)

Το βάθος εκφόρτισης (DoD) είναι το ποσοστό (%) της χωρητικότητας της μπαταρίας το οποίο έχει εκφορτιστεί κατά τη χρήση της. Μια άλλη παράμετρος είναι και η βαθιά εκφόρτιση (deep discharge), η οποία υποδηλώνει εκφόρτιση ενός συσσωρευτή σε ποσοστό μεγαλύτερο από 80%.

Χωρητικότητα (Capacity)

Είναι το ηλεκτρικό φορτίο που μπορεί να παρέχει μια μπαταρία και εκφράζεται σε Ah (το φορτίο που μεταφέρεται από ρεύμα έντασης 1 Ampere σε 1 ώρα (h)). Επιπρόσθετα, η χωρητικότητα μιας μπαταρίας μπορεί να εκφραστεί και σε μονάδες ενέργειας (Wh), ως αποθηκευμένη ενέργεια (η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σε μια μπαταρία εξαρτάται από τη τάση των ακροδεκτών και του αποθηκευμένου φορτίου).

Τάση ακροδεκτών (Terminal voltage) - Τάση ανοικτού κυκλώματος (Open circuit voltage)

Η τάση των ακροδεκτών είναι η τάση στα άκρα της μπαταρίας όταν εφαρμοστεί φορτίο, ενώ ονομάζουμε τάση ανοικτού κυκλώματος την τάση στα άκρα της μπαταρίας όταν δεν εφαρμόζεται φορτίο.

Εσωτερική αντίσταση (Internal resistance)

Η εσωτερική αντίσταση χαρακτηρίζει την ικανότητα της μπαταρίας να ανταποκριθεί σε συγκεκριμένο φορτίο. Εξαρτάται από τη στάθμη φόρτισης, είναι διαφορετική ανάλογα τη χρήση (φόρτιση, αποφόρτιση), ενώ όσο αυξάνεται μειώνεται η αποτελεσματικότητα της μπαταρίας.

Ειδική ενέργεια (Specific energy)

Η ειδική ενέργεια μιας μπαταρίας είναι η ενεργειακή χωρητικότητα ανά μονάδα μάζας της μπαταρίας (Wh/kg).

Ειδική ισχύς (Specific power)

Η ειδική ισχύς (W/kg) είναι η μέγιστη διαθέσιμη ισχύς που μπορεί να παραχθεί ανά μονάδα μάζας της μπαταρίας.

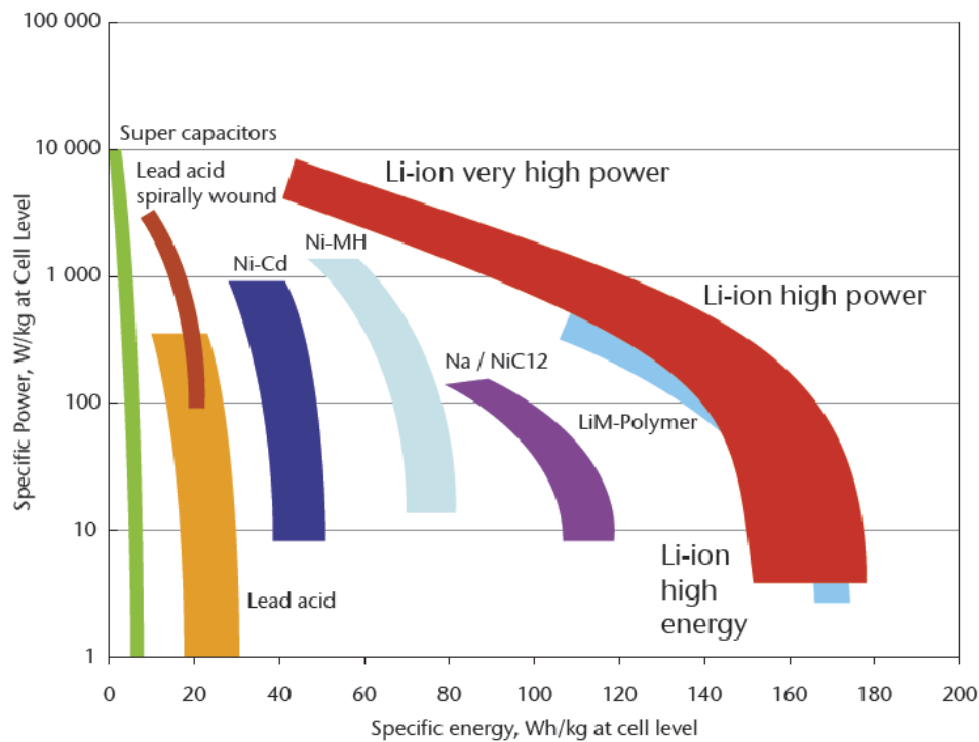
Ενεργειακή πυκνότητα (Energy density)

Η ενεργειακή πυκνότητα (Wh/L) είναι η αποθηκευμένη ενέργεια ανά μονάδα όγκου της μπαταρίας

Πυκνότητα ισχύος (Power density)

Η πυκνότητα ισχύος είναι η μέγιστη ισχύς που αποδίδει η μπαταρία ανά μονάδα όγκου και εκφράζεται σε W/L.

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η ειδική ενέργεια και η ειδική ισχύς διαφόρων τύπων μπαταριών.



Εικόνα 2.5: Ειδική ενέργεια (Wh/kg) και ειδική ισχύς (W/kg) διαφόρων τύπων μπαταριών [24]

2.4 Φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων

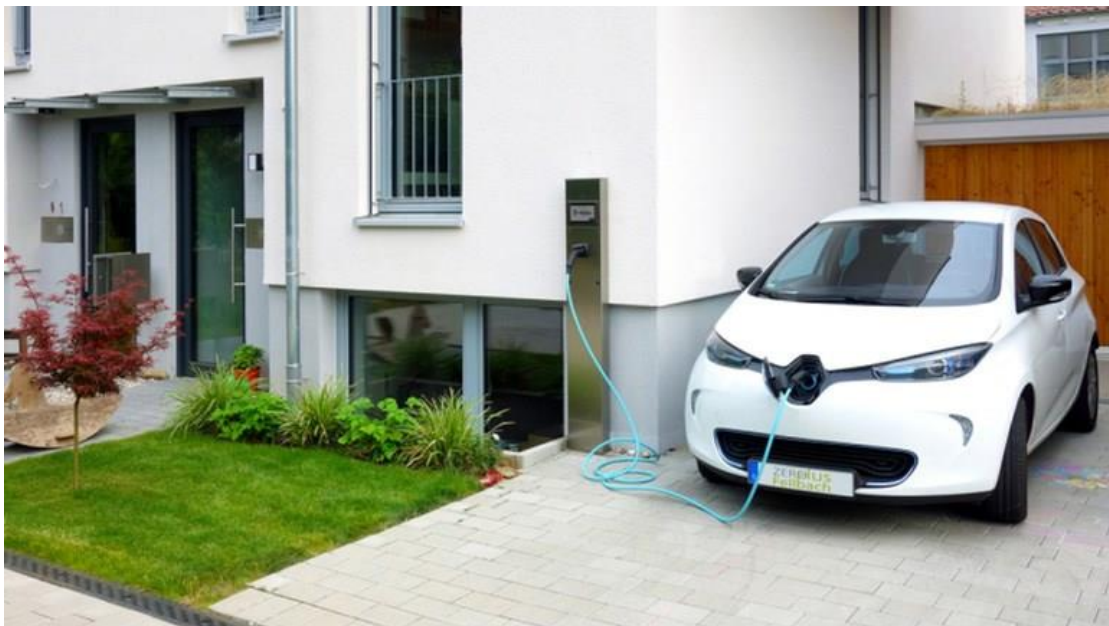
2.4.1 Σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

Οι σταθμοί φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων διακρίνονται σε ιδιωτικής και δημόσιας πρόσβασης. Οι σταθμοί με ιδιωτική πρόσβαση αφορούν ως επί το πλείστον κατοικίες ή ιδιωτικές επιχειρήσεις όπου η φόρτιση και η τιμολόγηση γίνεται μέσω της οικιακής παροχής ή αντίστοιχα της ηλεκτρικής παροχής της επιχείρησης.

Οι δημοσίως προσβάσιμοι σταθμοί φόρτισης αφορούν πρατήρια καυσίμων, κέντρα τεχνικού ελέγχου οχημάτων, λιμάνια και λοιπές υποδομές, δρόμους και αυτοκινητόδρομους, εμπορικές και λοιπές επιχειρήσεις, ενώ η ηλεκτρική ενέργεια διατίθεται έναντι κάποιου τιμήματος.



Εικόνα 2.6: Δημοσίως προσβάσιμος σταθμός φόρτισης σε πρατήριο καυσίμων



Εικόνα 2.7: Ιδιωτικός σταθμός φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος σε οικία

Αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το κομμάτι ότι η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων, ιδιαίτερα με την όλο και αυξανόμενη διείσδυσή τους στην αγορά, δύναται να επηρεάσει το ηλεκτρικό δίκτυο. Μία τέτοια περίπτωση είναι η αθρόα μη ελεγχόμενη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων, όπου ο καθένας μπορεί να φορτίσει το όχημά του οποιαδήποτε στιγμή χωρίς να υπάρχει έλεγχος ή κάποιο κίνητρο που θα ωθεί τους ιδιοκτήτες στη φόρτιση στις ώρες μη αιχμής. Σε αυτή τη περίπτωση ενδέχεται να υπάρξουν προβλήματα ευστάθειας στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Ως εκ τούτου και για να αποφευχθούν τέτοιου είδους προβλήματα, θα μπορούσε να υπάρχει πολλαπλή χρέωση ανάλογα με τη φόρτιση σε ώρες αιχμής ή μη, καθώς και η στρατηγική της έξυπνης φόρτισης (smart charging) όπου το φορτίο μετατοπίζεται σε ώρες μη αιχμής ή σε ώρες που η ζήτηση μπορεί να καλυφθεί από το πλεόνασμα των σταθμών ΑΠΕ.

2.4.2 Τεχνολογίες σταθμών φόρτισης

Οι ενσύρματοι σταθμοί φόρτισης κατηγοριοποιούνται, σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία (ΚΥΑ αρ. 42863/438/2019), βάσει τριών κύριων χαρακτηριστικών:

α) Του επιπέδου φόρτισης (charging level), που αναφέρεται στο επίπεδο ισχύος του σταθμού φόρτισης ή του ρευματοδότη (charging outlet).

β) Της μεθόδου φόρτισης (charging mode), που αναφέρεται στον τρόπο διασύνδεσης του ηλεκτρικού οχήματος με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και το επίπεδο ασφάλειας, προστασίας και επικοινωνίας μεταξύ οχήματος και σημείου επαναφόρτισης.

γ) Του τύπου του σταθμού φόρτισης ή του ρευματολήπτη του οχήματος (type of a charging station or vehicle inlet), που περιγράφει το βύσμα (plug) και τον συνδετήρα (connector) που χρησιμοποιείται.

2.4.3 Μέθοδοι φόρτισης και επίπεδο φόρτισης

Οι μέθοδοι φόρτισης καθώς και τα επίπεδα φόρτισης σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61851-1 παρουσιάζονται παρακάτω. Αξίζει να σημειωθεί πως οι μέθοδοι φόρτισης 1 και 2 χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον σε ιδιωτικά σημεία, ενώ οι μέθοδοι φόρτισης 3 και 4 σε δημόσιες υποδομές.

Charging Mode 1

- Αργή φόρτιση
- Μονοφασική/τριφασική παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος (σύνδεση στο δίκτυο μέσω ρευματοδότη)
- Μέγιστη ισχύς εξόδου 11 kW (σε ονομαστικό ρεύμα 16A)
- Δεν υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου και επικοινωνίας μεταξύ σημείου φόρτισης και Η/Ο
- Απαιτείται η παροχή καλωδίου γείωσης στο Η/Ο καθώς και εξωτερική προστασία από σφάλματα

- Δεν προτείνεται (συνήθως) η συγκεκριμένη μέθοδος λόγω θεμάτων ασφάλειας

Charging Mode 2

- Αργή φόρτιση
- Μονοφασική/τριφασική παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος (σύνδεση στο δίκτυο μέσω ρευματοδότη)
- Μέγιστη ισχύς εξόδου 22 kW (σε ονομαστικό ρεύμα 32A)
- Συσκευή προστασίας/επικοινωνίας στο καλώδιο
- Μη ελεγχόμενη μέθοδος φόρτισης

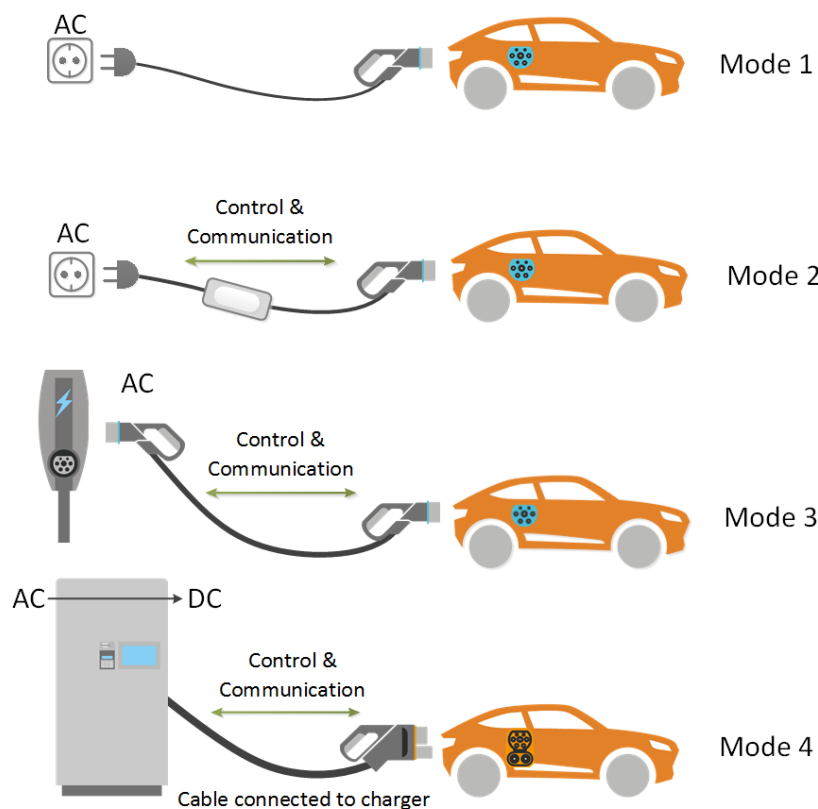
Charging Mode 3

- Κανονική φόρτιση
- Παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος (σύνδεση στο δίκτυο μέσω ειδικής υποδοχής)
- Μέγιστη ισχύς εξόδου 43,5 kW (σε ονομαστικό ρεύμα 63A)
- Συσκευή προστασίας/επικοινωνίας ενσωματωμένη στο σταθμό φόρτισης
- Επικοινωνία του σταθμού φόρτισης με το H/O, έλεγχος φόρτισης και προστασία

Charging Mode 4

- Ταχεία φόρτιση
- Παροχή συνεχούς ρεύματος (AC/DC μετατροπείας στο σταθμό φόρτισης)
- Μέγιστη ισχύς εξόδου 38 - 400 kW
- Συσκευή προστασίας/ελέγχου ενσωματωμένη στο σταθμό φόρτισης
- Επικοινωνία του σταθμού φόρτισης με το H/O, έλεγχος φόρτισης και προστασία

Οι μέθοδοι φόρτισης απεικονίζονται σχηματικά παρακάτω:

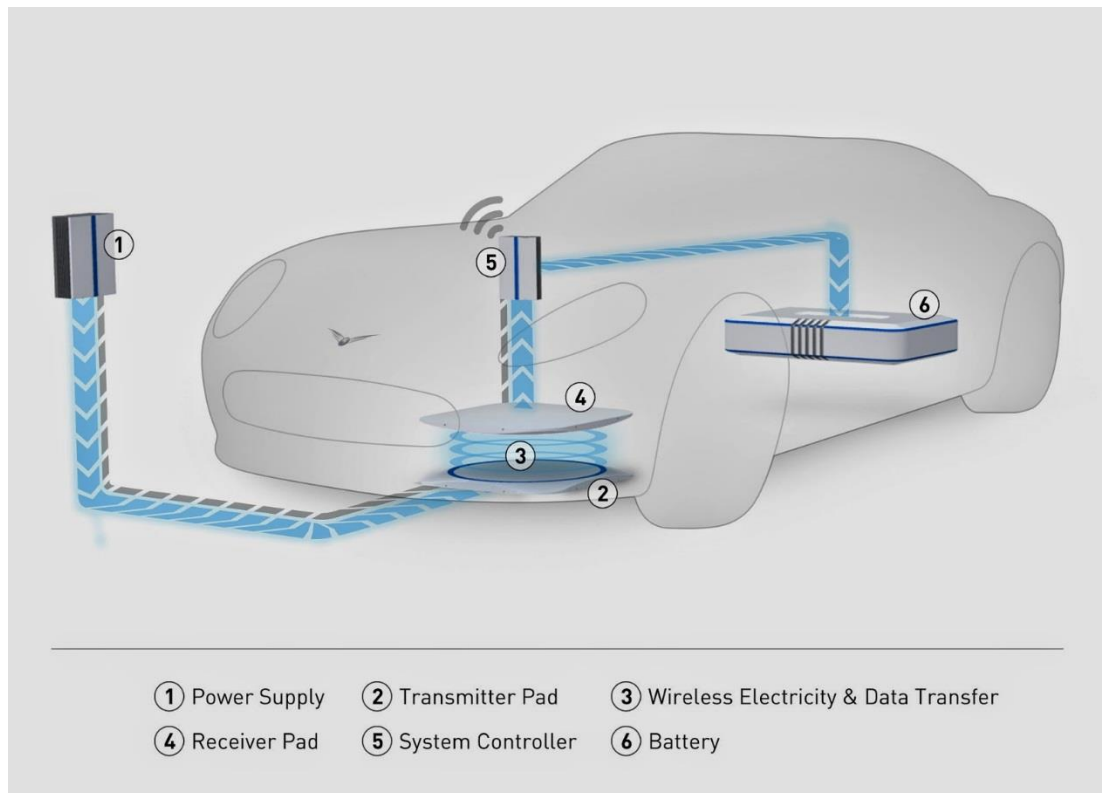


Εικόνα 2.8: Ενδεικτική σχηματική απεικόνιση μεθόδων φόρτισης [25]

2.4.4 Ασύρματη φόρτιση

Η τεχνολογία της ασύρματης φόρτισης στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι ακόμη υπό ανάπτυξη και διακρίνεται σε δύο κατηγορίες, τη στατική φόρτιση όπου το όχημα σταθμεύει πάνω από σημείο φόρτισης ούτως ώστε να ξεκινήσει η μεταφορά ενέργειας από τον σταθμό στο όχημα και τη δυναμική φόρτιση όπου το όχημα φορτίζεται καθώς κινείται στο δρόμο. Η επαγωγική (ασύρματη) φόρτιση στοχεύει στη μεταφορά ενέργειας από ένα πρωτεύον πηνίο (σταθμός στατικής/δυναμικής φόρτισης) σε ένα δευτερεύον πηνίο (ηλεκτρικό όχημα). Η τεχνολογία της ασύρματης φόρτισης στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι ακόμη υπό ανάπτυξη.

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται συνοπτικά η λειτουργία ενός συστήματος ασύρματης φόρτισης, όπου υπάρχουν διακριτά η παροχή ισχύος (1), ο πομπός (2) που τροφοδοτείται από την παροχή, ο δέκτης (4), η ασύρματη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας και δεδομένων (3), ο ελεγκτής του συστήματος (5) και η μπαταρία (6) του ηλεκτρικού οχήματος.

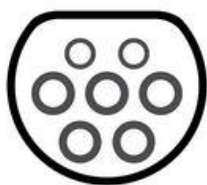


Εικόνα 2.9: Λειτουργική απεικόνιση ασύρματης φόρτισης [26]

2.4.5 Εξαρτήματα διασύνδεσης

Τα αποδεκτά εξαρτήματα διασύνδεσης (ρευματοδότες, βύσματα, ακροδέκτες) καθορίζονται με βάση το πρότυπο EN/IEC 62196 «Plugs socket-outlets, vehicle couplers and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles» και το σχετικό νομοθετικό πλαίσιο.

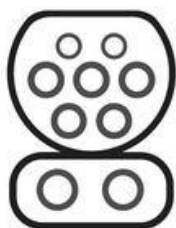
Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά την Ευρώπη, ο αποδεκτός ακροδέκτης φόρτισης των μπαταριών του ηλεκτρικού οχήματος, με τις μεθόδους 1, 2 και 3 (charging modes 1, 2 and 3) είναι ο λεγόμενος “type 2” ή “Menekkes” και καθορίζεται από το πρότυπο EN/IEC 62196-2.



(Ακροδέκτης type 2 ή Menekkes | 1Φ /3Φ AC φόρτιση)

Αντίστοιχα ο αποδεκτός ακροδέκτης φόρτισης των μπαταριών με τη μέθοδο 4 (charging mode 4) είναι “CCS2” (Combined Charging Systems) και καθορίζεται από το πρότυπο EN/IEC

62196-3. Εκτός από τη φόρτιση με συνεχές ρεύμα, δύναται να υποστηρίξει και τη φόρτιση με εναλλασσόμενο ρεύμα.



(Ακροδέκτης CCS2 | DC/AC φόρτιση)

Επιπλέον, σύμφωνα με την ΚΥΑ 42863/438/2019, είναι δυνατή και η παράλληλη διάθεση ακροδέκτη για τη φόρτιση με τη μέθοδο 4, όπως καθορίζεται στο πρωτόκολλο CHAdeMO και όποιο άλλο πρωτόκολλο καλύπτεται από διεθνές ή ευρωπαϊκό πρότυπο.



(Ακροδέκτης CHAdeMO | DC φόρτιση)

2.5 Τυποποίηση

Οι προδιαγραφές και τα πρότυπα είναι απαραίτητα για την επιτάχυνση της ηλεκτροκίνησης καθώς και για τη λειτουργία της αγοράς. Διασφαλίζουν την ποιότητα και την ασφάλεια των χρηστών, ενώ μέσω της διαλειτουργικότητας που επιτυγχάνουν κάνουν πιο ελκυστικό τον τομέα της ηλεκτροκίνησης.

Τα κυριότερα Ευρωπαϊκά πρότυπα που έχουν εφαρμογή κατά περίπτωση είναι τα ακόλουθα:

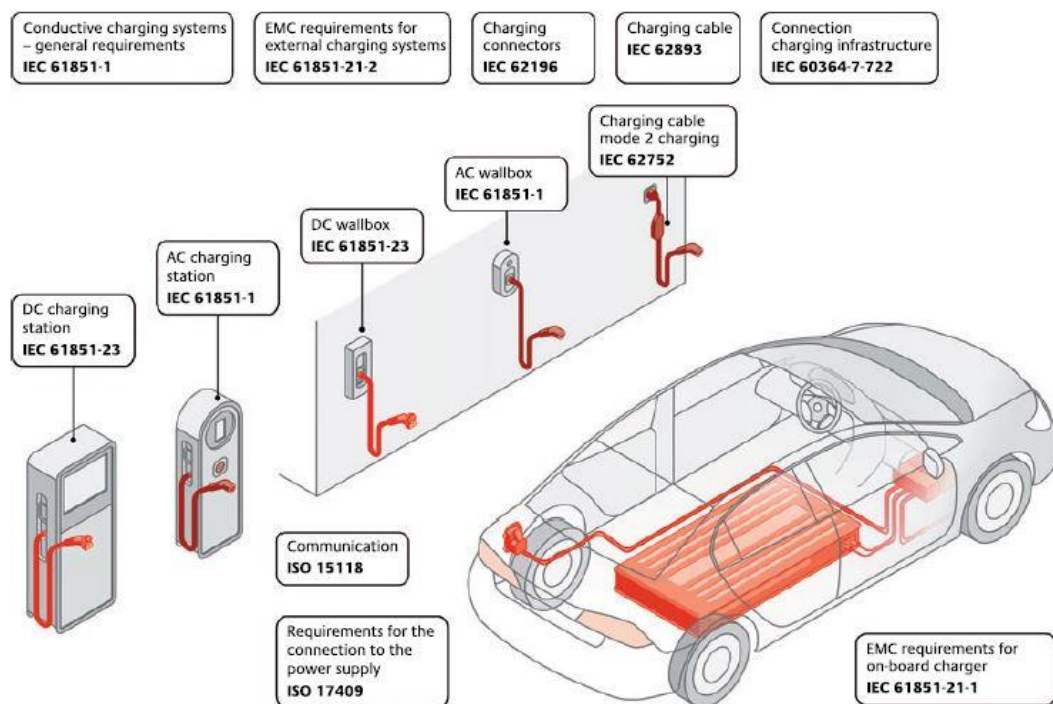
EN/IEC 61851-1: Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements.

EN/IEC 62196-1: Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets -Conductive charging of electric vehicles - Part 1: General requirements.

EN/IEC 62196-2: Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets -Conductive charging of electric vehicles - Part 2: Dimensional compatibility and interchangeability requirements for a.c. pin and contact-tube accessories.

EN/IEC 62196-3: Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles - Part 3: Dimensional compatibility and interchangeability requirements for d.c. and a.c./d.c. pin and contact-tube vehicle couplers.

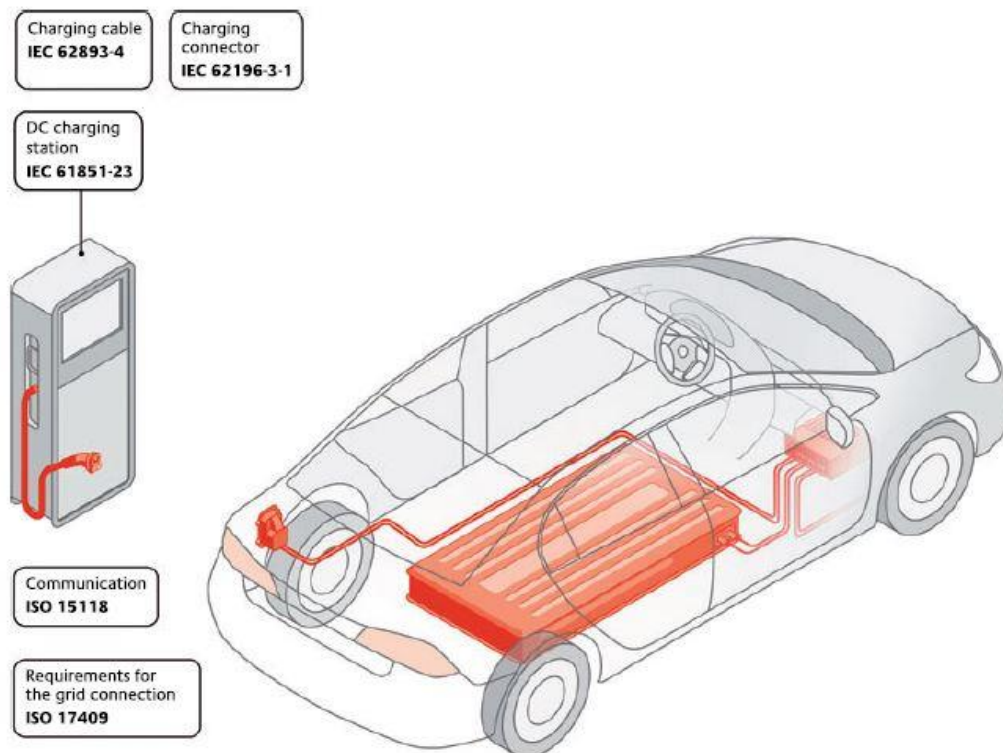
Η παρακάτω απεικόνιση δίνει μια σύνοψη των προτύπων που λαμβάνουν χώρα αναφορικά με την ενσύρματη φόρτιση ενός ηλεκτρικού οχήματος, τόσο με εναλλασσόμενο όσο και με συνεχές ρεύμα.



Εικόνα 2.10: Φόρτιση κανονικής ισχύος (εναλλασσόμενη ή συνεχής)

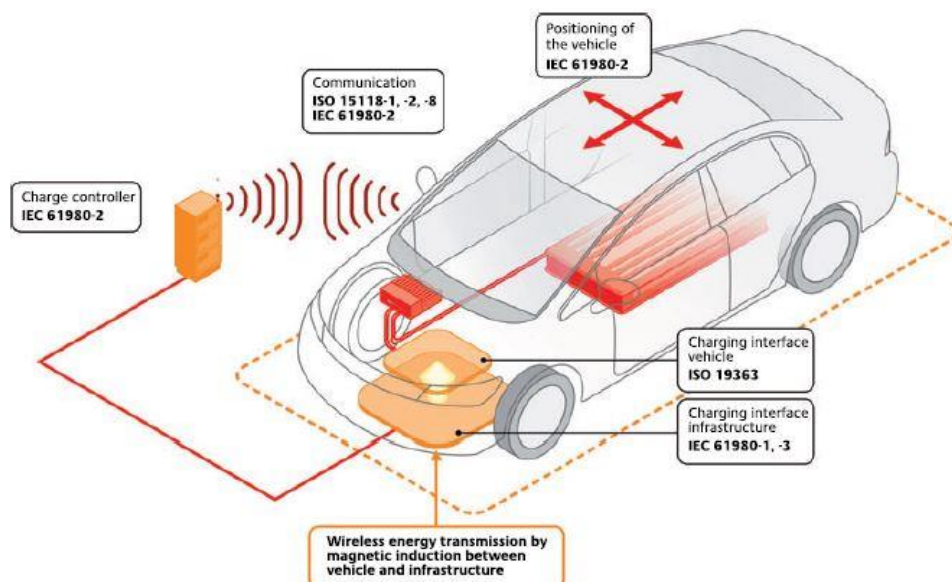
(Πηγή: The German Standardization Roadmap - Electric Mobility 2020)

Τα πρότυπα που ισχύουν για τη διαδικασία της ενσύρματης φόρτισης υψηλής ισχύος καθώς και της ασύρματης φόρτισης παρουσιάζονται αντίστοιχα στην παρακάτω απεικόνιση.



Εικόνα 2.11: Φόρτιση υψηλής ισχύος

(Πηγή: The German Standardization Roadmap - Electric Mobility 2020)



Εικόνα 2.12: Ασύρματη φόρτιση

Αξίζει να αναφέρουμε ότι μερικά από τα πρότυπα χρήζουν αναθεώρησης ή ακόμη και συγγραφή από την αρχή.

Συνοπτικά μερικά από τα εκκρεμή ζητήματα τεχνικής τυποποίησης παρουσιάζονται παρακάτω [30]:

- Δεν υπάρχει ακόμη τυποποίηση ή απαίτηση πιστοποίησης για τις προδιαγραφές συσκευών που εγκαθίστανται σε ιδιωτικούς χώρους
- Χρειάζεται ο εκσυγχρονισμός του ΕΛΟΤ HD 384 με ενσωμάτωση σχετικών διεθνών προτύπων (π.χ. IEC EN 60364-7-722 «Requirements for special installations or locations. Supply of electric vehicles») και η εισαγωγή συγκεκριμένων προδιαγραφών για τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις τροφοδότησης φορτιστών Η/Ο όλων των τύπων και κατηγοριών
- Είναι επιβεβλημένη η διαχείριση ισχύος σε χώρους φόρτισης πολλών οχημάτων, συσχέτιση με ηλεκτρικές εγκαταστάσεις και ικανότητα παροχής δικτύου
- Ρύθμιση θεμάτων τυποποίησης παροχών και μέτρησης για σταθμούς σε δημόσιους χώρους αναφορικά με τη σύνδεση στο δίκτυο
- Εκπροσώπηση συσκευών φόρτισης από προμηθευτή ανεξάρτητο του χώρου εγκατάστασης: Καθιέρωση προδιαγραφών για ενδιάμεσους μετρητές και διαδικασιών εκκαθάρισης
- Σταδιακή καθιέρωση τυποποίησης εξοπλισμού και προδιαγραφών εγκατάστασης ασύρματης φόρτισης

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΑΓΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗΣ

3.1 Ρυθμιστικό πλαίσιο

3.1.1 Ισχύουσα νομοθεσία

Με το νόμο 4233/2014 εισήχθη η δυνατότητα εγκατάστασης σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στα Πρατήρια παροχής Καυσίμων και Ενέργειας, στους στεγασμένους και υπαίθριους σταθμούς αυτοκινήτων, στα συνεργεία συντήρησης και επισκευών αυτοκινήτων και μοτοσυκλετών καθώς και στα δημόσια ή ιδιωτικά Κ.Τ.Ε.Ο, ενώ με την ΚΥΑ 71287/6443/2015 καθορίστηκαν οι όροι, οι προϋποθέσεις και οι τεχνικές προδιαγραφές των συσκευών φόρτισης των ηλεκτροκίνητων οχημάτων για την εγκατάσταση αυτών στους παραπάνω σταθμούς εξυπηρέτησης.

Με την τροποποίηση του νόμου 4001/2011 (λειτουργία των ενεργειακών αγορών ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου), σύμφωνα με το άρθρο 53 του νόμου 4277/2014, ορίστηκε ο Φορέας Εκμετάλλευσης Υποδομών Φόρτισης Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων (ΦΕΥΦΟ) ως το φυσικό ή νομικό πρόσωπο που δραστηριοποιείται στην εκμετάλλευση υποδομών φόρτισης για τις οποίες προμηθεύεται ηλεκτρική ενέργεια με σκοπό τη παροχή υπηρεσιών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Σύμφωνα με το ανωτέρω άρθρο, οι ΦΕΥΦΟ εξαιρούνται από την υποχρέωση λήψης άδειας προμήθειας ή εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας.

Στη συνέχεια, με τον νόμο 4439/2016 ενσωματώθηκε η οδηγία 2014/94 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής στην ελληνική νομοθεσία. Η οδηγία 2014/94 θεσπίζει ένα κοινό πλαίσιο μέτρων για την ανάπτυξη υποδομών εναλλακτικών καυσίμων στην Ευρωπαϊκή Ένωση και ορίζει, μεταξύ άλλων, τις απαιτούμενες ελάχιστες προδιαγραφές για τη δημιουργία υποδομών εναλλακτικών καυσίμων, συμπεριλαμβανομένων των σημείων επαναφόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, οι οποίες θα εφαρμοστούν από τα κράτη μέλη μέσω των εθνικών πλαισίων πολιτικής. Επίσης ορίζει και τις κοινές τεχνικές προδιαγραφές για την εν λόγω επαναφόρτιση καθώς και προδιαγραφές ως προς τις πληροφορίες προς τους χρήστες. Με λίγα λόγια θέτει το πλαίσιο για την ανάπτυξη και την διαχείριση υποδομών επαναφόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων ούτως ώστε να διασφαλίζεται ανοικτή πρόσβαση στους ενδιαφερόμενους με όρους που να ευνοούν την αγορά.

Μερικές από τις κύριες κατευθύνσεις της εν λόγω οδηγίας είναι:

- Η διασφάλιση ενός ικανού αριθμού δημόσιων σημείων επαναφόρτισης με απώτερο σκοπό τα ηλεκτρικά οχήματα να μπορούν να κυκλοφορούν τουλάχιστον σε αστικές,

προαστιακές και άλλες πυκνοκατοικημένες περιοχές. Αυτός ο αριθμός δημόσιων σημείων επαναφόρτισης δύναται να τροποποιηθεί με βάση τις εξελίξεις στην αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων, διασφαλίζοντας τοιούτοτρόπως την εισαγωγή επιπλέον προσβάσιμων δημόσιων σημείων επαναφόρτισης.

- Η μέριμνα ούτως ώστε οι διαχειριστές δημοσίως προσβάσιμων σημείων επαναφόρτισης μπορούν να αγοράζουν ηλεκτρική ενέργεια από οποιονδήποτε προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας που δραστηριοποιείται στην Ευρωπαϊκή Ένωση, με την επιφύλαξη συμφωνίας του προμηθευτή. Επίσης, να έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν υπηρεσίες επαναφόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στους πελάτες βάσει συμβολαίου, μεταξύ άλλων και εξ ονόματος και για λογαριασμό άλλων παρόχων υπηρεσιών.
- Η δυνατότητα σε όλα τα δημόσια σημεία επαναφόρτισης να υπάρχει χρέωση επί τούτω για τους χρήστες ηλεκτρικών οχημάτων χωρίς την ανάγκη σύναψης συμβολαίου με προμηθευτή ή διαχειριστή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η μέριμνα για τη διαφάνεια στις χρεώσεις από τους διαχειριστές των δημοσίως προσβάσιμων σημείων επαναφόρτισης.
- Η απρόσκοπτη συνεργασία των διαχειριστών συστημάτων διανομής με τους εγκαταστάτες ή τους διαχειριστές των δημοσίων σημείων επαναφόρτισης.

Με την ΚΥΑ 77226_3824_2017 καθορίστηκαν και εξειδικεύτηκαν οι απαιτούμενες λεπτομέρειες εφαρμογής καθώς και οι τεχνικές προδιαγραφές του Εθνικού Πλαισίου Πολιτικής για την ανάπτυξη της αγοράς υποδομών εναλλακτικών καυσίμων στον τομέα των μεταφορών και για την υλοποίηση των σχετικών υποδομών. Πιο συγκεκριμένα, έγινε αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης στον τομέα των μεταφορών, τέθηκαν οι σκοποί και οι στόχοι για τα επόμενα χρόνια καθώς και τα απαραίτητα μέτρα προς αυτή τη κατεύθυνση. Επιπρόσθετα, εξετάστηκαν τα μέτρα για τη στήριξη της δημιουργίας δημόσιων και ιδιωτικών υποδομών εναλλακτικών καυσίμων.

Λαμβάνοντας υπόψη την υφιστάμενη κατάσταση στην Ελλάδα, όσον αφορά την ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης, δηλαδή το σενάριο των 3.500 Ηλεκτρικών Οχημάτων (μέχρι το έτος 2020, καθώς επίσης και το γεγονός ότι το αρχικό κόστος απόκτησης ηλεκτρικών οχημάτων είναι ακόμα ιδιαίτερα υψηλό, εκτιμάται ότι ο αριθμός των σημείων επαναφόρτισης Η/Ο (δημόσια

και ιδιωτικά), μέχρι το 2020 δεν θα υπερβεί τα 2.000. Οι εκτιμήσεις αντίστοιχα για τα έτη 2025 και 2030 είναι 8.000 Η/Ο και 12.000 σημεία επαναφόρτισης και 15.000 Η/Ο και 25.000 σημεία.

Επιπρόσθετα η λήψη των μέτρων για την διευκόλυνση της ανάπτυξης των υποδομών προβλέπει:

- Την ολοκλήρωση θεσμικού πλαισίου για τη δημιουργία υποδομών φόρτισης
- Την ολοκλήρωση θεσμικού πλαισίου για τη λειτουργία ΦΕΥΦΗΟ
- Την εγκατάσταση σημείων φόρτισης σε νέα και ανακαινιζόμενα κτίρια
- Τα άμεσα ή έμμεσα οικονομικά κίνητρα (πχ επιδότηση, φορολογικές απαλλαγές)
- Τις ευνοϊκές ρυθμίσεις για στάθμευση των Η/Ο ή τη χρήση λωρίδων κυκλοφορίας
- Τη δημιουργία θεσμικού πλαισίου χρηματοδότησης ερευνητικών έργων και προγραμμάτων

Με τη τροποποίηση του νόμου 4067/2012 η οποία εισήχθη στο άρθρο 17 του νόμου 4513/2018, επιτράπη η εγκατάσταση σταθμών φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε δημόσιους κοινόχρηστους χώρους.

Σύμφωνα με την Υπουργική Απόφαση 42863/438 η οποία τέθηκε εν ισχύ τον Ιούνιο του 2019, καθορίζονται οι όροι, οι προϋποθέσεις και οι τεχνικές προδιαγραφές για την εγκατάσταση σημείων επαναφόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων στις εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης οχημάτων, σε δημοσίως προσβάσιμα σημεία επαναφόρτισης κατά μήκος του αστικού, υπεραστικού και εθνικού οδικού δικτύου καθώς και σε χώρους στάθμευσης δημόσιων και ιδιωτικών κτιρίων. Στην παραπάνω Υπουργική Απόφαση καθορίζονται, μεταξύ άλλων, η αδειοδοτική διαδικασία με τα απαραίτητα δικαιολογητικά και εγκρίσεις, οι τεχνικές προδιαγραφές καθώς και οι χωροταξικοί περιορισμοί της θέσης εγκατάστασης των συσκευών φόρτισης συσσωρευτών ηλεκτροκίνητων οχημάτων.

Περαιτέρω ενίσχυση του θεσμικού πλαισίου που διέπει την ηλεκτροκίνηση, έφερε ο νόμος 4643/2019 (Απελευθέρωση αγοράς ενέργειας, εκσυγχρονισμός της ΔΕΗ, ιδιωτικοποίηση της ΔΕΠΑ και στήριξη των Α.Π.Ε. και λοιπές διατάξεις) με το άρθρο 27 το οποίο φέρει τροποποιήσεις στον νόμο 4001/2011.

Πιο συγκεκριμένα, εκτός από τις έννοιες του ηλεκτρικού οχήματος, του σημείου επαναφόρτισης και του δημοσίως προσβάσιμου σημείου επαναφόρτισης, όπως αυτές ορίζονται

στο νόμο 4439/2016, εισάγονται επιπρόσθετα και νέοι όροι όπως αυτοί των υπηρεσιών επαναφόρτισης Η/Ο, των υπηρεσιών ηλεκτροκίνησης, του χρήστη Η/Ο, του ιδιοκτήτη των υποδομών φόρτισης, του παρόχου υπηρεσιών ηλεκτροκίνησης (ΠΥΗ), του φορέα διεκπεραίωσης συναλλαγών (ΦΔΣ) καθώς και του φορέα σωρευτικής εκπροσώπησης (aggregator) φορτίου Η/Ο - ΦΟΣΕΦΗΟ.

Ειδικότερα και σύμφωνα με το συγκεκριμένο νόμο, οι υπηρεσίες ηλεκτροκίνησης ορίζονται ως το σύνολο υπηρεσιών προς χρήστες Η/Ο, σχετιζόμενων με την επαναφόρτιση και την τιμολόγηση αυτής, τη βέλτιστη εξυπηρέτηση των χρηστών, ενδεικτικώς εύρεση διαθέσιμων σημείων φόρτισης και πλοήγηση, κράτηση θέσεων, αλλά και εν γένει υπηρεσίες, όπως διαχείριση στόλου Η/Ο οχημάτων και της διάθεσής τους προς χρήστες Η/Ο. Ως Πάροχος Υπηρεσιών ηλεκτροκίνησης (ΠΥΗ) ορίζεται η ατομική επιχείρηση ή το νομικό πρόσωπο εγγεγραμμένο στο Γ.Ε.ΜΗ. το οποίο παρέχει υπηρεσίες ηλεκτροκίνησης στους συμβεβλημένους χρήστες. Ο Φορέας Διεκπεραίωσης Συναλλαγών (ΦΔΣ) είναι η ατομική επιχείρηση ή το νομικό πρόσωπο εγγεγραμμένο στο Γ.Ε.ΜΗ, το οποίο έχει σκοπό την ανάπτυξη και λειτουργία πληροφοριακών υποδομών προς διευκόλυνση ανταλλαγής στοιχείων και διεκπεραίωσης οικονομικών συναλλαγών μεταξύ Φορέων Εκμετάλλευσης Υποδομών Φόρτισης Η/Ο (ΦΕΥΦΗΟ) και ΠΥΗ, με στόχο την επίτευξη της διαλειτουργικότητας των υποδομών φόρτισης. Τέλος ο Φορέας Σωρευτικής Εκπροσώπησης (aggregator) Φορτίου Η/Ο (ΦΟΣΕΦΗΟ) είναι το νομικό πρόσωπο, το οποίο αναλαμβάνει τη σωρευτική εκπροσώπηση του φορτίου συνδεδεμένων με το Δίκτυο Η/Ο για συμμετοχή στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και την παροχή υπηρεσιών προς τους Διαχειριστές Δικτύου και Συστήματος.

Επιπρόσθετα, ο νόμος 4643/2019 θέτει τους κανόνες που θα πρέπει να ακολουθήσουν οι φορείς και τα ενδιαφερόμενα μέρη για την οργάνωση της αγοράς της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφεται το πλαίσιο λειτουργίας των ΦΕΥΦΗΟ και των ΦΟΣΕΦΗΟ, καθορίζονται οι σχέσεις μεταξύ ΦΕΥΦΗΟ, ΠΥΗ, ΦΔΣ, ΦΟΣΕΦΗΟ, οι υποχρεώσεις αυτών έναντι των χρηστών ηλεκτρικών οχημάτων οι υποχρεώσεις γνωστοποίησης στοιχείων και τα δεδομένα που τηρούνται στο Μητρώο Υποδομών και Αγοράς Ηλεκτροκίνησης στο Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, καθώς και κάθε άλλο ζήτημα σχετικό με τη λειτουργία και τις υποχρεώσεις των ΠΥΗ, των ΦΟΣΕΦΗΟ, των ΦΔΣ και της αγοράς υπηρεσιών ηλεκτροκίνησης γενικότερα, ενώ αφαιρείται από τους Διαχειριστές Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας τη δυνατότητα να έχουν στην ιδιοκτησία τους, να

αναπτύσσουν, να διαχειρίζονται ή να λειτουργούν σημεία φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα εκτός αυτών που προορίζονται για ίδια χρήση.

3.1.2 Ορισμοί

Οι ορισμοί στην ηλεκτροκίνηση, όπως εισάγονται και αναφέρονται στο ελληνικό νομοθετικό πλαίσιο, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά παρακάτω.

Ηλεκτρικό όχημα (Η/Ο): Μηχανοκίνητο όχημα εξοπλισμένο 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.

Σημείο επαναφόρτισης: Διεπαφή ικανή να φορτίσει ένα ηλεκτρικό όχημα. Επίσης αναφέρεται και ως «υποδομή επαναφόρτισης» ή «σταθμός φόρτισης».

Σημείο επαναφόρτισης κανονικής ισχύος: σημείο επαναφόρτισης που επιτρέπει τη μεταφορά ηλεκτρισμού σε ηλεκτρικό όχημα ισχύος έως και 22 kW, αποκλεισμένων των μηχανημάτων με ισχύ έως και 3,7 kW, τα οποία είναι εγκατεστημένα σε ιδιωτικές κατοικίες ή ο κύριος σκοπός τους δεν είναι να φορτίζουν ηλεκτρικά οχήματα και τα οποία δεν είναι δημοσίως προσβάσιμα.

Σημείο επαναφόρτισης υψηλής ισχύος: Σημείο επαναφόρτισης που επιτρέπει τη μεταφορά ηλεκτρισμού σε ηλεκτρικό όχημα ισχύος μεγαλύτερης των 22 kW.

Δημοσίως προσβάσιμο σημείο επαναφόρτισης: Σημείο επαναφόρτισης που παρέχει υπηρεσίες επαναφόρτισης Η/Ο με άνευ διακρίσεων πρόσβαση σε όλους τους χρήστες. Η άνευ διακρίσεων πρόσβαση μπορεί να περιλαμβάνει διάφορα μέσα για την ταυτοποίηση, τη χρήση και την πληρωμή.

Υπηρεσίες επαναφόρτισης Η/Ο: Σύνολο υπηρεσιών, περιλαμβανομένης της επαναφόρτισης καθ' εαυτής και άμεσα σχετιζόμενων ή συνοδευτικών με αυτή υπηρεσιών και χαρακτηριστικών προστιθέμενης αξίας (ταχύτητα επαναφόρτισης, ευκολία χρήσης και χρέωσης, ευχέρεια προσβασιμότητας, υπηρεσίες στάθμευσης κλπ.).

Υπηρεσίες Ηλεκτροκίνησης: Σύνολο υπηρεσιών προς χρήστες Η/Ο, σχετιζόμενων με την επαναφόρτιση και την τιμολόγηση αυτής, τη βέλτιστη εξυπηρέτηση των χρηστών, ενδεικτικώς εύρεση διαθέσιμων σημείων φόρτισης και πλοήγηση, κράτηση θέσεων, αλλά και εν γένει υπηρεσίες, όπως διαχείριση στόλου Η/Ο οχημάτων και της διάθεσής τους προς χρήστες Η/Ο.

Χρήστης Η/Ο: Φυσικό ή νομικό πρόσωπο που έχει στην κυριότητα ή κατοχή του Η/Ο και λαμβάνει υπηρεσίες ηλεκτροκίνησης.

Ιδιοκτήτης υποδομών επαναφόρτισης: φυσικό ή νομικό πρόσωπο, το οποίο διαθέτει την κυριότητα σημείων επαναφόρτισης Η/Ο.

Φορέας Εκμετάλλευσης Υποδομών Επαναφόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων (ΦΕΥΦΗΟ): Φυσικό ή νομικό πρόσωπο που δραστηριοποιείται στην εκμετάλλευση υποδομών φόρτισης, για τις οποίες προμηθεύεται Ηλεκτρική Ενέργεια με σκοπό την παροχή υπηρεσιών φόρτισης Η/Ο.

Πάροχος Υπηρεσιών Ηλεκτροκίνησης (ΠΥΗ): Ατομική επιχείρηση ή νομικό πρόσωπο εγγεγραμμένο στο Γ.Ε.ΜΗ. με σκοπό την παροχή υπηρεσιών ηλεκτροκίνησης σε συμβεβλημένους χρήστες.

Φορέας Διεκπεραίωσης Συναλλαγών (ΦΔΣ): Ατομική επιχείρηση ή νομικό πρόσωπο εγγεγραμμένο στο Γ.Ε.ΜΗ, με σκοπό την ανάπτυξη και λειτουργία πληροφοριακών υποδομών προς διευκόλυνση ανταλλαγής στοιχείων και διεκπεραίωσης οικονομικών συναλλαγών μεταξύ Φορέων Εκμετάλλευσης Υποδομών Φόρτισης Η/Ο (ΦΕΥΦΗΟ) και ΠΥΗ, με στόχο την επίτευξη της διαλειτουργικότητας των υποδομών φόρτισης.

Φορέας Σωρευτικής Εκπροσώπησης (aggregator) Φορτίου Η/Ο - ΦΟΣΕΦΗΟ: Νομικό πρόσωπο, το οποίο αναλαμβάνει τη σωρευτική εκπροσώπηση του φορτίου συνδεδεμένων με το Δίκτυο Η/Ο για συμμετοχή στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και την παροχή υπηρεσιών προς τους Διαχειριστές Δικτύου και Συστήματος.

3.2 Μοντέλα ανάπτυξης υποδομών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

3.2.1 Γενικά

Τα μοντέλα ανάπτυξης υποδομών φόρτισης Η/Ο διακρίνονται σε γενικές γραμμές στις εξής κατηγορίες:

Μοντέλο ανεξάρτητης αγοράς

Η ιδιοκτησία και η ανάπτυξη υποδομών φόρτισης, η εκμετάλλευση σταθμών, οι υπηρεσίες ηλεκτροκίνησης γίνονται μέσω ελεύθερης και ανταγωνιστικής αγοράς από ιδιωτικούς φορείς. Είναι πλέον το κυρίαρχο μοντέλο σε ευρωπαϊκό επίπεδο - έχει υιοθετηθεί από Γαλλία, Γερμανία, Ηνωμένο Βασίλειο, Σουηδία, Ιταλία.

Μοντέλο διαγωνισμού και παραχώρησης

Ο σχεδιασμός ανάπτυξης του δικτύου ηλεκτροκίνησης είναι κεντρικός, ενώ η ιδιοκτησία υποδομών φόρτισης, η εκμετάλλευση σταθμών και οι υπηρεσίες ηλεκτροκίνησης γίνονται από ιδιωτικούς φορείς. Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει υιοθετηθεί σε συγκεκριμένες πόλεις (πχ Βερολίνο, Άμστερνταμ, Ρότερνταμ), ενώ είναι το κεντρικό μοντέλο της Νορβηγίας.

Μοντέλο DSO

Το μοντέλο DSO προβλέπει την ιδιοκτησία και την ανάπτυξη υποδομών φόρτισης από τον Διαχειριστή του Δικτύου, την εκμετάλλευση των σταθμών φόρτισης από τον Διαχειριστή του Δικτύου ή ιδιωτικούς φορείς, ενώ οι υπηρεσίες ηλεκτροκίνησης παρέχονται από ιδιωτικούς φορείς. Το συγκεκριμένο μοντέλο δεν εφαρμόζεται εν γένει από τις ευρωπαϊκές χώρες, η Ιρλανδία και το Λουξεμβούργο το υποστηρίζουν ενώ στην Ελλάδα, σύμφωνα με τον Ν. 4643/2019, αυτό απαγορεύεται.

Συνδυαστικό Μοντέλο

Το μοντέλο που δύναται να συνδυάζει στοιχεία των παραπάνω μοντέλων.

Η ελεύθερη ανάπτυξη των υποδομών επαναφόρτισης εικάζεται ότι θα ωφελήσει τον ανταγωνισμό και θα επιφέρει βέλτιστες λύσεις όσον αφορά τη σχέση κόστους και λειτουργικότητας των υποδομών. Επίσης, η ανάπτυξη των υποδομών θα είναι ευέλικτη, προσαρμοσμένη σε εξελισσόμενες ανάγκες, ενώ θα υποστηρίζεται η υψηλή διείσδυση. Εντούτοις, υπάρχει ο κίνδυνος της άνισης κατανομής του δικτύου φόρτισης [4] και των συνεπειών που αυτή μπορεί να έχει για τη λειτουργία του Δικτύου Διανομής.

Από την άλλη μεριά ένας κεντρικός σχεδιασμός των υποδομών φόρτισης θα επιφέρει την οργανωμένη ανάπτυξη του δικτύου φόρτισης και τη διευκόλυνση της αρχικής εγκατάστασης υποδομών, ενώ επιπρόσθετα η επιλογή λύσεων θα είναι αρχικά χαμηλού κόστους για τον τελικό χρήστη. Τα αρνητικά αφορούν στις δυσκολίες του κεντρικού σχεδιασμού όπως οι αυξημένες ανάγκες υποστήριξης σχεδιασμού, η δεσμευτική ανάπτυξη υποδομών, η μειωμένη ευελιξία προσαρμογής σε εξελισσόμενες ανάγκες, η έλλειψη ανταγωνισμού, οι καθυστερήσεις λόγω ανάγκης για διενέργεια διαγωνισμών. [4]

3.2.2 Ανάπτυξη δημόσιων και ιδιωτικών υποδομών επαναφόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας με την γνωμοδότηση 7/2019 «*Σχετικά με τους όρους και τη λειτουργία των Φορέων Εκμετάλλευσης υποδομών επαναφόρτισης Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων, σύμφωνα με την παράγραφο 2 του άρθρου 134 του ν. 4001/2011 όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 53 παρ. 3 του ν. 4277/2014, καθώς και τις διατάξεις του ν. 4493/2016*», έκρινε ότι η ανάπτυξη των δημοσίως προσβάσιμων υποδομών επαναφόρτισης Η/Ο ενδείκνυται καταρχάς να πραγματοποιηθεί μέσω του ανταγωνιστικού μοντέλου αγοράς, το οποίο συνιστάται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και έχει επικρατήσει διεθνώς.

Ειδικότερα, σε ό,τι αφορά υποδομές που αναπτύσσονται σε δημόσιους χώρους, συνιστάται η εφαρμογή του για εύλογο χρονικό διάστημα (δύο με τρία έτη), στο πέρας του οποίου θα αξιολογηθεί η επιτευχθείσα ανάπτυξη υποδομών επαναφόρτισης δημόσιας πρόσβασης, σε σχέση με την εξέλιξη του στόλου Η/Ο στη χώρα, τους τότε ισχύοντες στόχους και τις ανάγκες για αποτελεσματική υποστήριξη της περαιτέρω διείσδυσης της ηλεκτροκίνησης.

Σε περίπτωση που το ανταγωνιστικό μοντέλο δε φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα, τότε προτείνεται η διενέργεια ανοικτών διαγωνισμών για την παραχώρηση του δικαιώματος ανάπτυξης και εκμετάλλευσης υποδομών, με βασικό κριτήριο το κόστος των παρεχόμενων υπηρεσιών και υπό προδιαγραφές χρόνου ανάπτυξης και λειτουργικής διαθεσιμότητας των υποδομών.

Όπου μέσω των ανωτέρω μεθόδων δεν επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο ανάπτυξης δημοσίως προσβάσιμων υποδομών επαναφόρτισης (πλήθος και γεωγραφική κατανομή σημείων επαναφόρτισης, χρόνος υλοποίησης και κόστος υπηρεσιών), η ανάπτυξη και διαχείριση σημείων επαναφόρτισης Η/Ο είναι δυνατό να ανατεθεί στον Διαχειριστή του Δικτύου. Στην περίπτωση αυτή, το ενδιαφέρον της αγοράς θα πρέπει να επαναβεβαιώνεται περιοδικά και να διασφαλίζεται η ομαλή μελλοντική μετάβαση στο μοντέλο ανταγωνιστικής αγοράς όταν οι συνθήκες ωριμάσουν.

(Εδώ αξίζει να αναφερθεί ότι σύμφωνα με τον μεταγενέστερο νόμο 4643 του 2019 «*Απελευθέρωση αγοράς ενέργειας, εκσυγχρονισμός της ΔΕΗ, ιδιωτικοποίηση της ΔΕΠΑ και στήριξη των Α.Π.Ε. και λοιπές διατάξεις*», άρθρο 134B «*για την οργάνωση της αγοράς φόρτισης ηλεκτροκίνητων οχημάτων*», δεν επιτρέπεται στους Διαχειριστές Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας να έχουν στην ιδιοκτησία τους, να αναπτύσσουν, να διαχειρίζονται ή να λειτουργούν σημεία φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα, εξαιρουμένων των περιπτώσεων στις οποίες οι

Διαχειριστές Δικτύων Διανομής έχουν στην ιδιοκτησία τους ιδιωτικά σημεία φόρτισης αποκλειστικά για δική τους χρήση),

Τέλος, προκειμένου περί υποδομών επαναφόρτισης σε ιδιωτικούς χώρους, δημοσίως προσβάσιμους ή μη, η ανάπτυξη των υποδομών αυτών θα πραγματοποιείται με πρωτοβουλία των ιδιοκτητών και σύμφωνα με το ανταγωνιστικό μοντέλο αγοράς.

3.3 Οργάνωση της αγοράς υπηρεσιών

3.3.1 Εμπλεκόμενοι φορείς

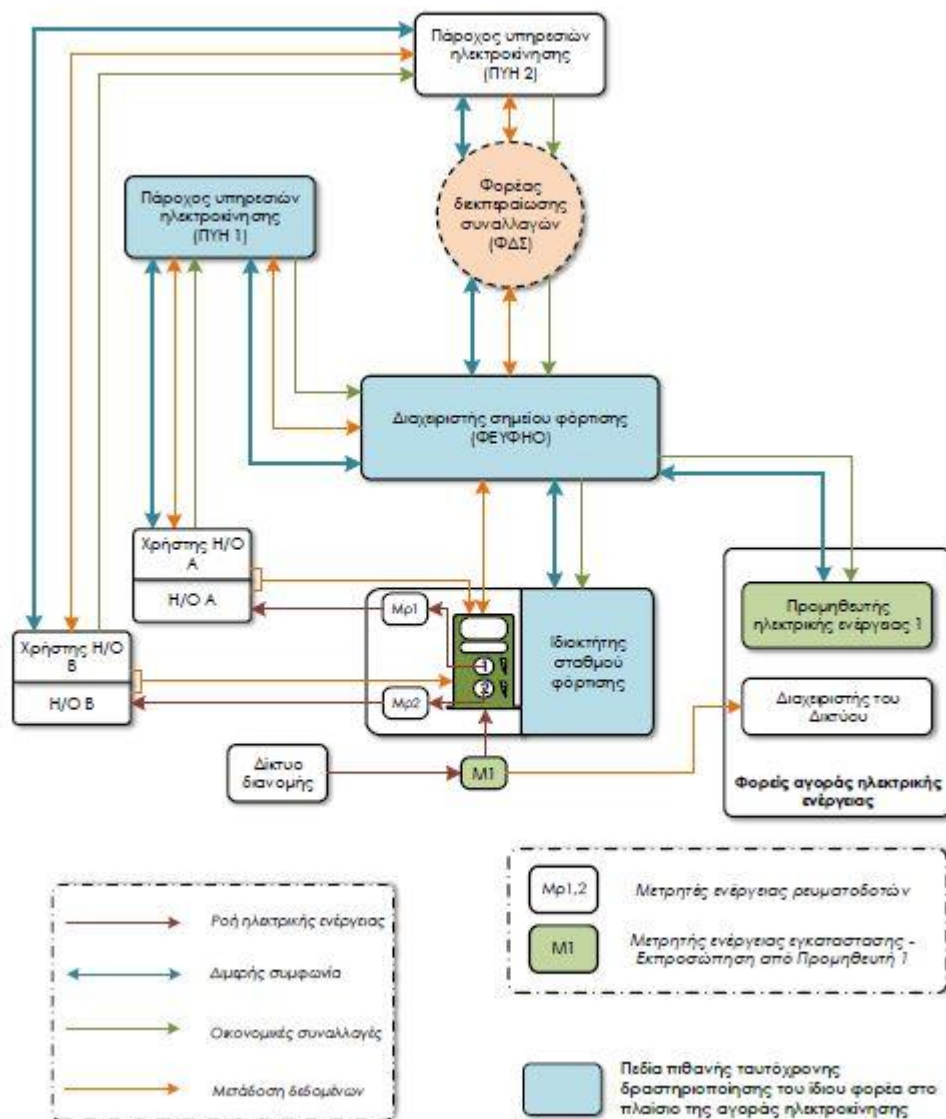
Η ΡΑΕ με την γνωμοδότηση υπ' αριθμόν 7/2019, συνιστά την υιοθέτηση του ανταγωνιστικού μοντέλου λειτουργίας της αγοράς ηλεκτροκίνησης, σύμφωνα με το οποίο η ανάπτυξη και διαχείριση δημοσίως προσβάσιμων υποδομών επαναφόρτισης Η/Ο, καθώς και η παροχή σχετικών και άλλων υπηρεσιών στο πεδίο της ηλεκτροκίνησης, αποτελούν ανταγωνιστικές δραστηριότητες, οι οποίες μπορούν να αναλαμβάνονται από οποιοδήποτε ενδιαφερόμενο πρόσωπο ή φορέα.

Επιπρόσθετα, προσδιορίστηκαν οι φορείς οι οποίοι εμπλέκονται στην ανάπτυξη και λειτουργία δημοσίως προσβάσιμων υποδομών επαναφόρτισης Η/Ο και των κύριων ρόλων και δραστηριοτήτων τους.

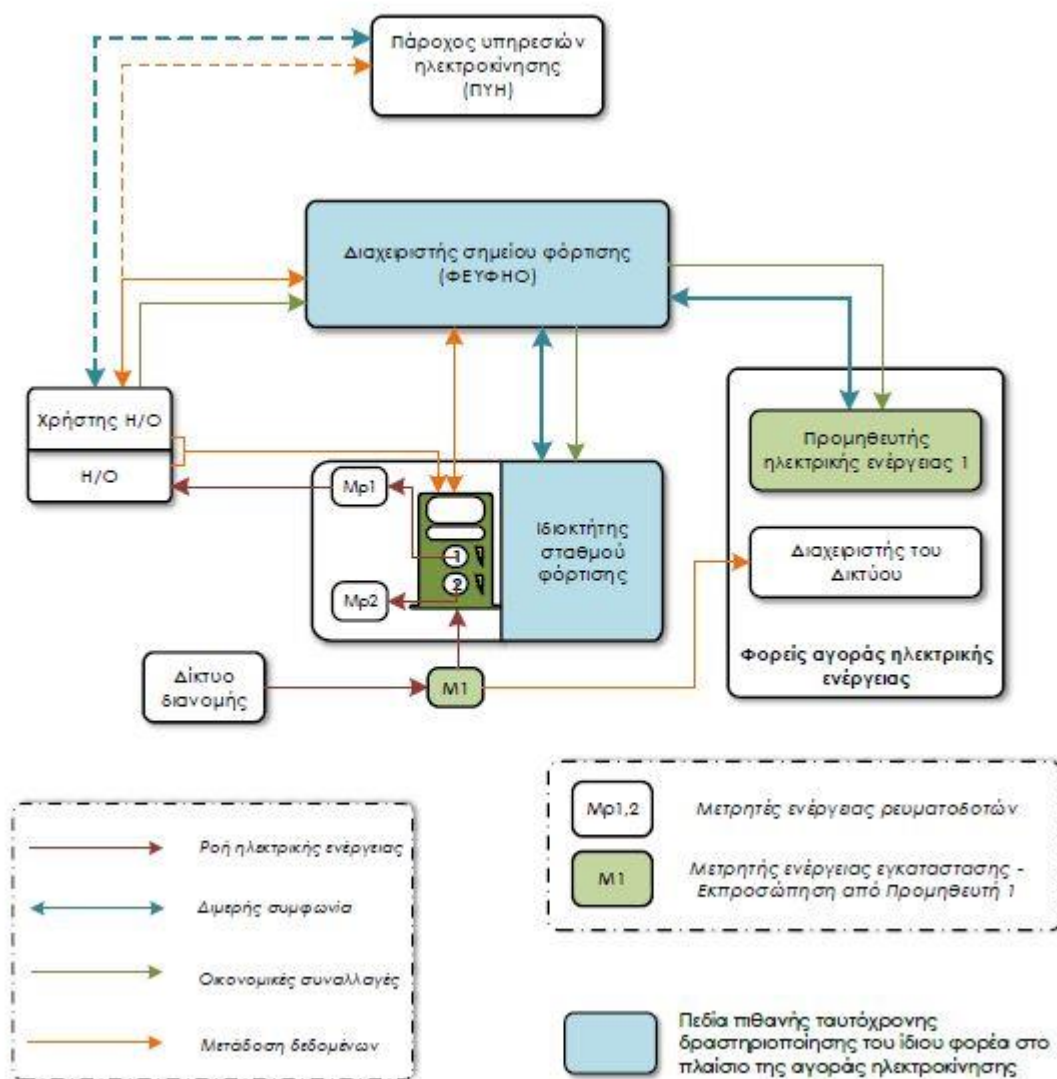
Φορείς ηλεκτροκίνησης	Φορείς αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας
Ιδιοκτήτης υποδομών επαναφόρτισης	Προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας
- Κυριότητα υποδομών επαναφόρτισης - Ανάπτυξη υποδομών επαναφόρτισης (σε συνεργασία με ΦΕΥΦΟ) - Σύμβαση με ΦΕΥΦΟ για ανάθεση διαχείρισης σταθμών	Προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας στον ΦΕΥΦΟ
Διαχειριστής σημείου επαναφόρτισης – ΦΕΥΦΟ (CPO)	Διαχειριστής Δικτύου
- Ανάπτυξη υποδομών επαναφόρτισης σε συνεργασία με κύριο - Λειτουργία (διαχείριση) υποδομών επαναφόρτισης - Σύνδεση με Δίκτυο (τελικός πελάτης) - Επιλογή προμηθευτή ΗΕ για το σταθμό επαναφόρτισης - Παροχή υπηρεσιών επαναφόρτισης, ad hoc και για λογαριασμό ΠΥΗ	- Διασύνδεση σταθμών επαναφόρτισης στο Δίκτυο - Μέτρηση κατανάλωσης ενέργειας σταθμών - Μελλοντικά: Προμήθεια υπηρεσιών διαχείρισης φορτίου Η/Ο για ανάγκες Δικτύου, ενδεχομένως άμεση διαχείριση σε έκτακτες καταστάσεις
Πάροχος υπηρεσιών ηλεκτροκίνησης – ΠΥΗ (EMSP)	Διαχειριστής Συστήματος / Λειτουργός Αγοράς
- Τιμολόγηση χρηστών Η/Ο - Λοιπές υπηρεσίες (mobile apps, πλοήγηση, κράτηση θέσης κλπ.)	Προμήθεια υπηρεσιών απόκρισης ζήτησης, ευελιξίας και επικουρικών υπηρεσιών για ανάγκες Συστήματος
Φορέας εκκαθάρισης συναλλαγών ηλεκτροκίνησης – Πλατφόρμα ηλεκτρονικής διασύνδεσης (e-roaming & clearing house)	Aggregator
- Εξασφάλιση διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφόρων CPOs και EMSPs - Διαχείριση συναλλαγών μεταξύ φορέων της αγοράς	Εκπροσώπηση φορτίου Η/Ο για παροχή πάσης φύσεως υπηρεσιών προς το Δίκτυο, το Σύστημα και την Αγορά ΗΕ (διακοψιμότητα, ευελιξία, επικουρικές υπηρεσίες)

Εικόνα 3.1: Εμπλεκόμενοι φορείς στην ανάπτυξη και λειτουργία δημοσίως προσβάσιμων υποδομών επαναφόρτισης Η/Ο [4]

3.3.2 Προτεινόμενο βασικό μοντέλο λειτουργίας υποδομών φόρτισης και σχέσεων φορέων



Εικόνα 3.2: Μοντέλο λειτουργίας της αγοράς υπηρεσιών επαναφόρτισης για χρήστες Η/Ο που διαθέτουν συμβόλαιο με Παρόχους Υπηρεσιών Ηλεκτροκίνησης



Εικόνα 3.3: Μοντέλο λειτουργίας της αγοράς υπηρεσιών επαναφόρτισης για χρήστες Η/Ο μέσω επί τούτο φόρτισης

3.4 Διαχείριση του φορτίου των Ηλεκτρικών Οχημάτων - Συμμετοχή στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας

3.4.1 Γενικά

Με βάση την αυξανόμενη διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στις μεταφορές καθώς και την δυνατότητα της αμφίδρομης ροής ενέργειας και επικοινωνίας με το ηλεκτρικό δίκτυο, τίθεται το ερώτημα αν ο στόλος των ηλεκτρικών οχημάτων θα μπορούσε δυνητικά να συμμετάσχει στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και σε ποιες υπηρεσίες θα μπορούσε να ανταποκριθεί.

Τα ηλεκτρικά οχήματα δε θα μπορούσαν αφενός να καλύψουν την ισχύ βάσης σε ανταγωνιστικές τιμές και αφετέρου δεν έχουν την ικανότητα παραγωγής του απαιτούμενου φορτίου για την κάλυψη της βασικής ζήτησης. Ως εκ τούτου, ο γρήγορος χρόνος απόκρισης και το χαμηλό κόστος αναμονής δεν μπορούν να αντισταθμίσουν τα βασικά μειονεκτήματα που είναι η περιορισμένη δυνατότητα αποθήκευσης και ο μικρός κύκλος ζωής του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού για να μπορέσουν να εισαχθούν ως μονάδες βάσης.

Στον αντίποδα των παραπάνω, ένας στόλος ηλεκτρικών οχημάτων θα μπορούσε να καλύψει με επιτυχία τη ζήτηση αιχμής του δικτύου λόγω της γρήγορης απόκρισης καθώς και του μικρού κεφαλαιακού κόστους σε σύγκριση με άλλες εναλλακτικές.

Τέλος, τα ηλεκτρικά οχήματα θα μπορούσαν να προσφέρουν επικουρικές υπηρεσίες και υπηρεσίες στρεφόμενης εφεδρείας. Ο λόγος ύπαρξης των επικουρικών υπηρεσιών και της στρεφόμενης εφεδρείας είναι η αδιάλειπτη και αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Οι συγκεκριμένες υπηρεσίες θα μπορούσαν να εφαρμοστούν ως η διαθέσιμη ισχύς η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το σύστημα όταν είναι επιτακτική ανάγκη και μπορούν να περιλαμβάνουν πχ τη ρύθμιση της τάσης, τον έλεγχο της συχνότητας, το λειτουργικό περιθώριο κλπ. Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να παρέχουν υπηρεσίες στρεφόμενης εφεδρείας με το να παραμένουν συνδεδεμένα στο δίκτυο, χωρίς ουσιαστικά να παράγουν ενέργεια και να αποφορτίζουν τις μπαταρίες τους.

Τα ηλεκτρικά οχήματα φαντάζουν ως μια ιδανική λύση για αυτού του είδους τις υπηρεσίες λόγω της άμεσης απόκρισης και της δυνατότητας παραγωγής ενέργειας σε σύντομο χρονικό διάστημα. [29]

3.4.2 Επίδραση του φορτίου Ηλεκτρικών Οχημάτων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας

Η μεγάλη διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη λειτουργία του δικτύου διανομής και κατ' επέκταση του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η απαιτούμενη ενέργεια που χρειάζεται ένα ηλεκτρικό όχημα για να φορτίσει καθορίζεται εν γένει από την καθημερινή χιλιομετρική απόσταση που διανύει καθώς και από την οδηγική συμπεριφορά του χρήστη.

Η επίδραση της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στη καμπύλη ισχύος του δικτύου καθορίζεται από τις παρακάτω παραμέτρους [5].

- Επίπεδο διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων
- Τύπος και κατηγορία ηλεκτρικών οχημάτων
- Χωρητικότητα μπαταρίας και απώλειες φόρτισης
- Τεχνολογίες σταθμών φόρτισης και ισχύς φόρτισης
- Διαθεσιμότητα φόρτισης
- Στρατηγική φόρτισης
- Διανυθείσα καθημερινή χιλιομετρική απόσταση
- Χρόνος σύνδεσης των οχημάτων στους σταθμούς φόρτισης

3.4.3 Στρατηγικές φόρτισης

Η στρατηγική φόρτισης είναι μία από τις παραμέτρους η οποία παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της καμπύλης ισχύος του δικτύου.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία μπορούμε να διαχωρίσουμε τις στρατηγικές φόρτισης στις παρακάτω κατηγορίες [5].

Μη ελεγχόμενη φόρτιση (dump charging)

Η μη ελεγχόμενη φόρτιση είναι πραγματοποιείται με βάση τις ανάγκες του χρήστη και λαμβάνει χώρα από την επιστροφή του οχήματος στη βάση του μέχρι το επόμενο πρωί που θα χρειαστεί ο χρήστης το όχημα. Συνήθως αναφέρεται στην οικιακή φόρτιση όπου απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα για τη διαδικασία φόρτισης (χαμηλό επίπεδο φόρτισης, σταθμός φόρτισης μικρής ισχύος).

Φόρτιση με τη χρήση διζωνικού/πολυζωνικού τιμολογίου

Αυτή η μέθοδος έχει ως σκοπό της μετατόπισης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία απαιτείται για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων, από τις ώρες αιχμής σε ώρες χαμηλής κατανάλωσης μέσω της υιοθέτησης διαφορετικών τιμών αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε μια χρονική ζώνη στη διάρκεια της ημέρας.

Ελεγχόμενη φόρτιση - Έξυπνη φόρτιση (Smart charging)

Η στρατηγική αυτή επιτυγχάνεται με τη φόρτιση των οχημάτων τις ώρες μη αιχμής ούτως ώστε να ελαχιστοποιηθεί η καμπύλη φορτίου. Οι ώρες μη αιχμής συνήθως συμπίπτουν με τις ώρες ακινησίας των οχημάτων (βραδινές και πρώτες πρωινές ώρες).

Η έξυπνη διαχείριση της φόρτισης του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να συνεισφέρει:

- Στην αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ
- Στην ενίσχυση της ασφάλειας του δικτύου/συστήματος
- Στην αύξηση της ελαστικότητας της ζήτησης στο δίκτυο/σύστημα

3.4.4 V2G (Vehicle to Grid)

Είναι η λειτουργία η οποία επιτρέπει την παροχή υπηρεσιών προς το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, αξιοποιώντας τις δυνατότητες διαχείρισης της ζήτησης συνδεδεμένων με το Δίκτυο Η/Ο, περιλαμβανομένης της αμφίδρομης ροής ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ Η/Ο και Δικτύου. Τα ηλεκτρικά οχήματα καθώς εκτός του ότι φορτίζουν τις ώρες μη αιχμής, μπορούν επιπρόσθετα να επιστρέψουν ενέργεια στο δίκτυο της ώρες αιχμής, εξομαλύνοντας την καμπύλη ισχύος, εξασφαλίζοντας την ομαλή λειτουργία του δικτύου.

Πιο συγκεκριμένα:

Τα ηλεκτρικά οχήματα συμπεριφέρονται ως μονάδες αποθήκευσης ενέργειας, λόγω των μπαταριών που διαθέτουν και της δυνατότητας σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο. Κατά τη διάρκεια των μετακινήσεων τους εκφορτίζονται οι μπαταρίες τους, ενώ κατά τη στάθμευσή τους μπορούν να φορτίσουν τις μπαταρίες τους σε σταθμό φόρτισης (αμφίδρομη ροή ισχύος).

Ο όρος V2G (Vehicle to Grid) αναφέρεται στη διαδικασία μεταφοράς ενέργειας από τη μπαταρία του ηλεκτρικού οχήματος στο δίκτυο κατά τη διάρκεια της στάθμευσής του.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, τα ηλεκτρικά οχήματα θα μπορούσαν να φορτίζουν όταν η ζήτηση

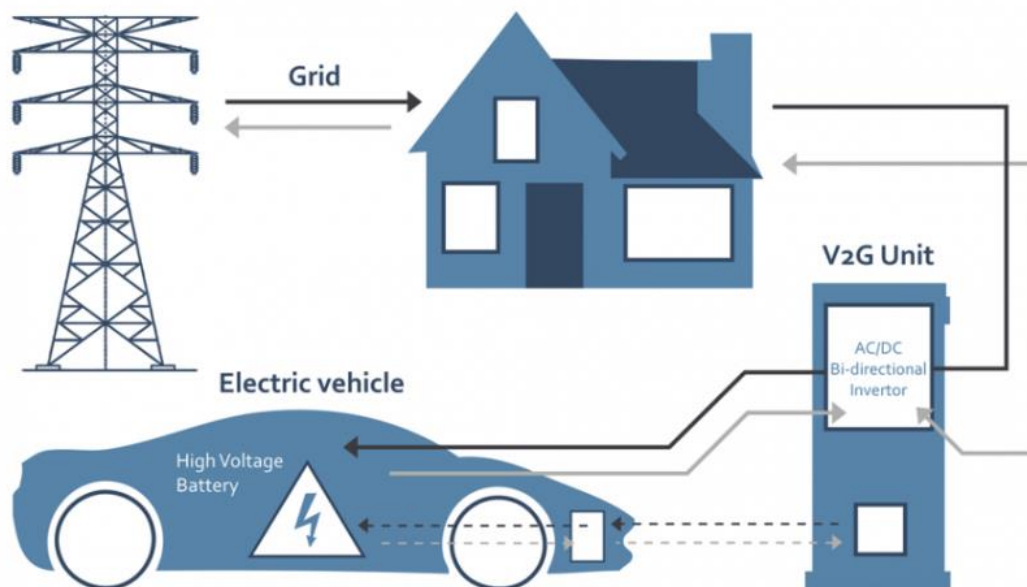
αιχμής θα είναι χαμηλή και να εκφορτίζουν το χρονικό διάστημα όπου η ζήτηση θα είναι υψηλή, βοηθώντας με αυτό το τρόπο την ευστάθεια του ηλεκτρικού δικτύου. Με τον τρόπο αυτό τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν ένα ελεγχόμενο φορτίο που μπορούν να συμβάλλουν στην εξομάλυνση της καμπύλης ισχύος.

Ως εκ τούτου θα πρέπει να διασφαλίζεται ότι η ανταλλαγή ισχύος μεταξύ ηλεκτρικών οχημάτων και δικτύου θα γίνεται κάτω από προϋποθέσεις και θα είναι ελεγχόμενη ανά πάσα στιγμή. Τα ηλεκτρικά οχήματα διαθέτουν ηλεκτρονικά ισχύος που μετατρέπουν την εναλλασσόμενη τάση του δικτύου σε συνεχή για τη φόρτιση της μπαταρίας. Με τις κατάλληλες τροποποιήσεις θα μπορούν να λειτουργήσουν και αντίστροφα μετατρέποντας την συνεχή τάση από τη μπαταρία σε εναλλασσόμενη, καθώς και στη σταθεροποίηση της συχνότητας στην ονομαστική τιμή του ηλεκτρικού δικτύου.

Ως εκ τούτου, οι υπηρεσίες που θα μπορούσε να προσφέρει ένας στόλος ηλεκτρικών οχημάτων είναι η εφεδρική ισχύς για την ικανοποίηση των αιχμών ζήτησης, η ρύθμιση της συχνότητας του δικτύου καθώς και η εν δυνάμει αποθήκευση ενέργειας που θα προέρχεται από μη ελεγχόμενους σταθμούς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [29].

Επιπρόσθετα, για να υλοποιηθεί η αμφίδρομη διασύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων και του δικτύου είναι απαραίτητη η επικοινωνία μεταξύ του διαχειριστή του δικτύου με τα ηλεκτρικά οχήματα όταν αυτά θα είναι διασυνδεδεμένα με το δίκτυο. Ο στόλος των ηλεκτρικών οχημάτων θα βρίσκεται υπό την επίβλεψη ενός φορέα σωρευτικής εκπροσώπησης (aggregator), ο οποίος θα διαμεσολαβεί μεταξύ του διαχειριστή του δικτύου και του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων.

Ο διαμεσολαβητής (aggregator) θα επικοινωνεί με τον κεντρικό διαχειριστή μέσω κατάλληλων σημάτων, τα οποία στη συνέχεια θα διαβιβάζονται σε κάθε όχημα ξεχωριστά μέσω τηλεματικών δεδομένων όπου θα καταγράφεται η ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ οχήματος και ηλεκτρικού δικτύου. Ως εκ τούτου ο φορέας σωρευτικής εκπροσώπησης του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων θα μπορεί να γνωρίζει την ακριβή θέση καθώς και το επίπεδο φόρτισης όλων των οχημάτων που διαχειρίζεται [29].



Εικόνα 3.4: Εφαρμογή V2G τεχνολογίας (Πηγή: www.fleetpoint.org)

Η δυνατότητα ελεγχόμενης φόρτισης/εκφόρτισης μπορεί να συνεισφέρει στη παροχή επικουρικών υπηρεσιών, στον έλεγχο της τάσης, στη διαχείριση συμφορήσεων καθώς και στη μείωση διακυμάνσεων της οριακής τιμής του συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΔΙΚΤΥΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΝΗΣΙΩΝ - Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ

4.1 Μη διασυνδεδεμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας

Ως απομονωμένο ή μη διασυνδεδεμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας θεωρούμε το σύστημα εκείνο το οποίο καλύπτει τις ανάγκες σε ενέργεια μιας απομονωμένης γεωγραφικά περιοχής (συνήθως πρόκειται για νησιά και περιοχές με μικρή πληθυσμιακή κατανομή), χωρίς να είναι διασυνδεδεμένο με το ηπειρωτικό ή κάποιο άλλο κύριο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα περισσότερα νησιά στην Ελλάδα ηλεκτροδοτούνται από αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τοπικούς θερμικούς σταθμούς παραγωγής, οι οποίοι λειτουργούν κατά κύριο λόγο με καύσιμο πετρέλαιο, και τους σταθμούς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Φωτοβολταϊκά και Αιολικά πάρκα ως επί το πλείστον). Τα νησιά αυτά δεν έχουν διασυνδεθεί μέχρι σήμερα με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό σύστημα λόγω τεχνικών, τεχνολογικών και οικονομικών δυσκολιών ανά περίπτωση.

Η λίστα των ηλεκτρικών συστημάτων στα μη διασυνδεδεμένα νησιά (ΜΔΝ) παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα:

ΛΙΣΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΝΗΣΙΑ		
Α/Α	ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΔΝ	ΝΗΣΙ
1	ΑΓ.ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ	ΑΓ.ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ
2	ΑΓΑΘΟΝΗΣΙ	ΑΓΑΘΟΝΗΣΙ
3	ΑΜΟΡΓΟΣ	ΑΜΟΡΓΟΣ
4	ΑΝΑΦΗ	ΑΝΑΦΗ
5	ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΑ	ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΑ
6	ΑΡΚΙΟΙ	ΑΡΚΙΟΙ
		ΜΑΡΑΘΙ
7	ΑΣΤΥΠΑΛΛΑΙΑ	ΑΣΤΥΠΑΛΛΑΙΑ
8	ΓΑΥΔΟΣ	ΓΑΥΔΟΣ
9	ΔΟΝΟΥΣΑ	ΔΟΝΟΥΣΑ
10	ΕΡΕΙΚΟΥΣΣΑ	ΕΡΕΙΚΟΥΣΣΑ
11	ΘΗΡΑ	ΘΗΡΑ
		ΘΗΡΑΣΙΑ
12	ΙΚΑΡΙΑ	ΙΚΑΡΙΑ
13	ΚΑΡΠΑΘΟΣ	ΚΑΡΠΑΘΟΣ
		ΚΑΣΟΣ
14	ΚΡΗΤΗ	ΚΡΗΤΗ
15	ΚΥΘΝΟΣ	ΚΥΘΝΟΣ
16	ΚΩΣ - ΚΑΛΥΜΝΟΣ	ΚΩΣ
		ΨΕΡΙΜΟΣ
		ΓΥΑΛΙ
		ΚΑΛΥΜΝΟΣ

		ΛΕΡΟΣ
		ΛΕΙΨΟΙ
		ΤΕΛΕΝΔΟΣ
		ΝΙΣΥΡΟΣ
		ΤΗΛΟΣ
17	ΛΕΣΒΟΣ	ΛΕΣΒΟΣ
		ΜΕΓΑΛΟΝΗΣΙ
18	ΛΗΜΝΟΣ	ΛΗΜΝΟΣ
19	ΜΕΓΙΣΤΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ
20	ΜΗΛΟΣ	ΜΗΛΟΣ
		ΚΙΜΩΛΟΣ
21	ΟΘΩΝΟΙ	ΟΘΩΝΟΙ
22	ΠΑΤΜΟΣ	ΠΑΤΜΟΣ
23	ΡΟΔΟΣ	ΡΟΔΟΣ
		ΧΑΛΚΗ
24	ΣΑΜΟΣ	ΣΑΜΟΣ
		ΦΟΥΡΝΟΙ
		ΘΥΜΑΙΝΑ
25	ΣΕΡΙΦΟΣ	ΣΕΡΙΦΟΣ
26	ΣΙΦΝΟΣ	ΣΙΦΝΟΣ
27	ΣΚΥΡΟΣ	ΣΚΥΡΟΣ
28	ΣΥΜΗ	ΣΥΜΗ
29	ΧΙΟΣ	ΧΙΟΣ
		ΟΙΝΟΥΣΣΕΣ
		ΨΑΡΑ

Πίνακας 4.1: Λίστα ηλεκτρικών συστημάτων στα μη διασυνδεδεμένα νησιά

[Πηγή: Ιστοσελίδα ΔΕΔΔΗΕ]

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, όλα τα μη διασυνδεδεμένα νησιά ανήκουν σε 29 ηλεκτρικά συστήματα. Κάθε ηλεκτρικό σύστημα τροφοδοτείται από έναν ή περισσότερους θερμικούς σταθμούς παραγωγής και αποτελείται από ένα ή περισσότερα διασυνδεδεμένα, μεταξύ τους με υποβρύχια καλώδια, νησιά.

Ανάλογα με το ηλεκτρικό σύστημα η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από:

- Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς (ΑΗΣ)
- Αυτόνομους Σταθμούς Παραγωγής (ΑΣΠ)
- Τοπικούς Σταθμούς Παραγωγής (ΤΣΠ)
- Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

(Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί υπάρχουν στην Κρήτη (3) και στη Ρόδο (1), όπου υπάρχει και η μεγαλύτερη αιχμή ζήτησης σε σχέση με τα υπόλοιπα αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα).

Τα αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα, σε σχέση με τα διασυνδεδεμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, παρουσιάζουν αυξημένο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ επηρεάζονται περισσότερο από τις διαταραχές του φορτίου με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος για black-out και απόρριψη φορτίου [7]. Δεν υπάρχει η δυνατότητα ανταλλαγής ενέργειας με άλλα ηλεκτρικά συστήματα με αντίκτυπο στην αξιοπιστία και την ασφάλεια της λειτουργίας τους, ενώ η έλλειψη διασύνδεσης με κάποιο άλλο σύστημα με μεγάλη αδράνεια επιφέρει προβλήματα ευστάθειας.

Σε αυτό έρχεται να προστεθεί και η μεγάλη διείσδυση των σταθμών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, λόγω του υψηλού αιολικού και ηλιακού δυναμικού που εμφανίζεται στα ΜΔΝ, η οποία αποτελεί πρόκληση για την ευστάθεια του δικτύου.

4.2 Σειρά ένταξης σταθμών παραγωγής ενέργειας

Με βάση τους τεχνικούς περιορισμούς και την ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής καθορίζεται ο τρόπος ένταξης, κατά σειρά προτεραιότητας, όλων των μονάδων παραγωγής (ελεγχόμενοι και μη ελεγχόμενοι σταθμοί) σε ένα αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα. Επιπρόσθετα, σύμφωνα τον Κώδικα ΜΔΝ και με το άρθρο 10 του νόμο 3468/2006 (Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης και λοιπές διατάξεις), προκύπτει η σειρά ένταξης των μονάδων παραγωγής σε ένα ηλεκτρικό σύστημα ΜΔΝ που απεικονίζεται στον πίνακα 3.2.

Σειρά ένταξης	Σταθμοί Παραγωγής
1	Θερμικές μονάδες που λειτουργούν ως μονάδες βάσης (Ατμοστρόβιλοι, Μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου, κλπ)
2	Πλήρως ελεγχόμενες μονάδες Υβριδικών Σταθμών που αξιοποιούν την αποθηκευμένη ενέργεια του Σταθμού (πχ Αντλησιοταμίευση - Υδροστρόβιλοι)
3	Μονάδες ΑΠΕ Υβριδικών Σταθμών, εφόσον συμμετέχουν στην παροχή εγγυημένης ισχύος του Σταθμού ή εφόσον χρησιμοποιούνται για αποθήκευση ενέργειας
4	Σταθμοί ΑΠΕ (ΦΒ και Αιολικοί Σταθμοί ως επί το πλείστον)
5	Πλεόνασμα της παραγωγής από Σταθμό Σ.Η.Θ.Υ.Α.

6	Μονάδες ελεγχόμενης παραγωγής με χαμηλό βαθμό απόδοσης και μεγαλύτερο ειδικό κόστος παραγωγής (πχ αεριοστρόβιλοι)
---	---

Πίνακας 4.2: Σειρά ένταξης σταθμών παραγωγής ενέργειας

Η χρήση μιας θερμικής μονάδας ως μονάδα βάσης συνεπάγεται την κατά προτεραιότητα ένταξή της στη παραγωγή ενέργειας. Οι μονάδες βάσης λειτουργούν αδιαλείπτως, ακόμα και σε περιόδους χαμηλής ζήτησης αυτές θα λειτουργούν στα τεχνικά ελάχιστα τους. Ως μονάδες βάσης μπορούν να χαρακτηριστούν και οι εγκαταστάσεις με υδροστρόβιλους και να υποκαταστήσουν τους θερμικούς σταθμούς στην παραγωγή πάνω από τα τεχνικά ελάχιστα των τελευταίων.

Στην σειρά ένταξης ακολουθούν οι μονάδες ΑΠΕ των Υβριδικών Σταθμών, οι οποίες συμμετέχουν στην παροχή εγγυημένης ισχύος του Σταθμού ή χρησιμοποιούνται για αποθήκευση ενέργειας. Όσον αφορά τους μη ελεγχόμενους σταθμούς ΑΠΕ, αυτοί εντάσσονται σύμφωνα με ένα μέγιστο ποσοστό ως προς τη ζήτηση ισχύος, το οποίο δεν παραβιάζει την ελάχιστη φόρτιση των υποχρεωτικά ενταγμένων συμβατικών σταθμών με γνώμονα την ασφάλεια και την ευστάθεια του συστήματος.

Τελευταίες στη σειρά ένταξης είναι οι ελεγχόμενες μονάδες με μεγάλο ειδικό κόστος παραγωγής, όπως οι αεριοστρόβιλοι, οι οποίες χρησιμοποιούνται, ως επί το πλείστον, σαν μονάδες αιχμής λόγω των τεχνικών χαρακτηριστικών τους (γρήγορη εκκίνηση και απόκριση στις μεταβολές του φορτίου).

Στο σύνολο των αυτόνομων ηλεκτρικών συστημάτων των ΜΔΝ, μικρού και μεσαίου μεγέθους, οι εγκατεστημένες μονάδες είναι ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη πετρελαίου, τα οποία καταναλώνουν ντίζελ ή μαζούτ και λειτουργούν ως μονάδες βάσης και αιχμής. Τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη πετρελαίου παρουσιάζουν ευελιξία στη ρύθμιση ισχύος, ταχεία απόκριση στις μεταβολές του φορτίου, ενώ εκκινούν γρήγορα. Η εγκατάστασή τους είναι εύκολη και οικονομική, ενώ αν υπάρχουν αυξημένες ανάγκες στη ζήτηση φορτίου ενός νησιωτικού συστήματος, τότε υπάρχει η επιλογή της εγκατάστασης επιπλέον μονάδων για την κάλυψη των αναγκών.

Στρεφόμενη εφεδρεία

Η σειρά ένταξης των μονάδων παραγωγής δύναται να μεταβληθεί λόγω της ανάγκης για τη διατήρηση της στρεφόμενης εφεδρείας. Η στρεφόμενη εφεδρεία έρχεται να καλύψει το κενό

που θα δημιουργηθεί στο φορτίο από μια μονάδα, η οποία θα βγει εκτός συστήματος για διάφορους λόγους, μέσω των υπόλοιπων ενταγμένων μονάδων. Η εφεδρεία διαμοιράζεται σε περισσότερες μονάδες με βάση τους κανόνες του Κώδικα των ΜΔΝ, τις αρχές της οικονομικής λειτουργίας καθώς και τις ιδιαιτερότητες του κάθε αυτόνομου ηλεκτρικού συστήματος. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες εφεδρείας (πρωτεύουσας ρύθμισης, δευτερεύουσας ρύθμισης, τριτεύουσας ρύθμισης στρεφόμενη και μη), ανάλογα με τον χρόνο απόκριση του συστήματος για την κάλυψη των αναγκών που δημιουργούνται.

4.3 Λειτουργία κι ένταξη θερμικών σταθμών

4.3.1 Γενικά

Η λειτουργία των θερμικών σταθμών (ελεγχόμενη παραγωγή) σε ένα αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα μπορεί να μοντελοποιηθεί με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μονάδων που τους απαρτίζουν (πχ ισχύς, τύπος και ειδική κατανάλωση καυσίμου, τεχνικά ελάχιστα, σειρά ένταξης).

Πιο συγκεκριμένα, τα βήματα που ακολουθούνται για τη προσέγγιση της λειτουργίας είναι:

- Ο καθορισμός της σειράς ένταξης των μονάδων των θερμικών σταθμών βάσει της ευστάθειας και της ασφάλειας του συστήματος, την ικανοποίηση της ζήτησης σε ηλεκτρική ισχύ καθώς και της ελαχιστοποίησης του κόστους παραγωγής.
- Ο προσδιορισμός των σημείων λειτουργίας του θερμικού σταθμού βάσει των τεχνικών ελάχιστων, της σειράς ένταξης και των ειδικών καταναλώσεων των επί μέρους μονάδων τους. Το τεχνικό ελάχιστο μιας 'εν λειτουργίας μονάδας' μπορεί να εκφραστεί μέσω ενός κατάλληλου συντελεστή επί της ονομαστικής ή της μέγιστης ισχύος και ο οποίος εξαρτάται από την τεχνολογία, το καύσιμο, την κατάσταση και την ηλικία της μονάδας.
- Η επιλογή του προγράμματος συντήρησης των μονάδων.

4.3.2 Τοπικός Σταθμός Παραγωγής (ΤΣΠ) Μεγίστης

Στην Μεγίστη υπάρχει ο Τοπικός Σταθμός Ηλεκτροπαραγωγής, ο οποίος καλύπτει τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια του νησιού. Σύμφωνα με στοιχεία που μας παρείχε η Διεύθυνση Περιφέρειας Νησιών (ΔΠΝ) του Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ο ΤΣΠ της Μεγίστης

αποτελείται από πέντε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής οι οποίες χρησιμοποιούν ως καύσιμο diesel.

Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των εν λόγω μονάδων καθώς και η σειρά ένταξης.

Α/Α	Τύπος Μονάδας	Μέγιστη Δυναμικότητα (MW)	Τεχνικό Ελάχιστο (MW)	Καύσιμο	Σειρά Ένταξης	Ειδική κατανάλωση (kg/MWh)			Κατανάλωση εκκίνησης (kg)		
						50%	75%	100%	Ψυχ.	Ενδ.	Θερ.
3	CUMMINS VTA 28G5	0,4	0,225	DIESEL	1	230	219	219	-	-	-
1	HYUNDAI KD8AX	0,18	0,11	DIESEL	3A	262	251	254	-	-	-
5	HYUNDAI KD8AX	0,18	0,11	DIESEL	3B	262	251	254	-	-	-
6	DOOSAN P158LE-2	0,22	0,125	DIESEL	2A	260	240	230	-	-	-
7	DOOSAN P158LE-2	0,22	0,125	DIESEL	2B	260	240	230	-	-	-
4	VOLVO PENTA TAD 1345GE	0,25	0,1	DIESEL	4	291	280	282	-	-	-
	ΣΥΝΟΛΟ	1,45									

Πίνακας 4.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά θερμικών μονάδων του ΤΣΠ Μεγίστης

(Πηγή: ΔΠΝ ΔΕΔΔΗΕ)

Επιπρόσθετα, η ετήσια κατανάλωση diesel για τα τελευταία πέντε έτη (όπου υπάρχουν τα διαθέσιμα στοιχεία), απεικονίζεται στον παρακάτω πίνακα.

Έτος	Κατανάλωση Diesel (klt)
2014	956,54
2015	984,36
2016	1025,77
2017	1066,51
2018	1117,38

Πίνακας 4.4: Κατανάλωση καυσίμου των θερμικών μονάδων του ΤΣΠ Μεγίστης 2014 -

2018

(Πηγή: ΔΠΝ ΔΕΔΔΗΕ)

Τέλος, η εκτίμηση για την συνολική ζήτηση ενέργειας καθώς και για την αιχμή ζήτησης για την επόμενη πενταετία απεικονίζεται στον παρακάτω πίνακα.

Έτος	Συνολική Ζήτηση Ενέργειας (MWh)	Αιχμή Ζήτησης (MW)
2020	3.833,42	1,56
2021	3.883,25	1,57
2022	3.941,50	1,58
2023	3.988,80	1,59
2024	4.044,64	1,61

Πίνακας 4.5: Εκτίμηση της αιχμής και της συνολικής ζήτησης ενέργειας 2020 - 2024

(Πηγή: ΔΠΝ ΔΕΔΔΗΕ)

4.4 Μεθοδολογία διείσδυσης Φωτοβολταϊκών Σταθμών στα ΜΔΝ

4.4.1 Γενικά

Δεδομένων των ιδιαιτέρων χαρακτηριστικών των Φωτοβολταϊκών Σταθμών (αριθμός και μέγεθος σταθμών, χωρική διασπορά, κλπ.), η λειτουργία τους καθίσταται δύσκολα ελέγξιμη και για τον λόγο αυτό ενδείκνυται η εξαίρεση των σταθμών αυτών από τον έλεγχο της λειτουργίας τους και την επιβολή περιορισμών στην παραγωγή τους από τον αρμόδιο διαχειριστή.

Ωστόσο, η λειτουργία ενός αυτόνομου ηλεκτρικού συστήματος ενός μη διασυνδεδεμένου νησιού, η οποία δε λαμβάνει υπόψη τη λειτουργία των Φωτοβολταϊκών Σταθμών, ενέχει τον κίνδυνο της πολύ υψηλής ωριαίας διείσδυσης σταθμών ΑΠΕ και ενδέχεται να δημιουργήσει προβλήματα στην ασφάλεια του εν λόγω συστήματος. Αυτό θα μπορούσε να συμβεί είτε λόγω παραβίασης των τεχνικών ελαχίστων των μονάδων ελεγχόμενης παραγωγής, είτε αδυναμίας αντιστάθμισης της έντονης διακύμανσης ή και απότομης απώλειας της παραγόμενης ισχύος από τις μονάδες ΑΠΕ.

Ως εκ τούτου, είναι ανάγκη να ελεγχθεί η ανώτατη διείσδυση σταθμών ΑΠΕ σε συνάρτηση με τη σύνθεση και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μονάδων ελεγχόμενης παραγωγής (θερμικοί σταθμοί) καθώς και της ζήτησης.

Με βάση τα παραπάνω και τις υπ' αριθμόν 85/2007 και 96/2007 αποφάσεις, η ΡΑΕ προχώρησε στη θέσπιση περιθωρίων ισχύος για την εγκατάσταση νέων ΦΒ Σταθμών για κάθε αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα ΜΔΝ. Πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς ΦΒ Σταθμών, που

δύναται να αναπτυχθεί σε μη διασυνδεδεμένα νησιωτικά δίκτυα, ήταν ως ποσοστό 15% της μέσης ωριαίας ισχύος της ζήτησης σε νησιά με αιολική παραγωγή και 35% της μέσης ωριαίας ισχύος της ζήτησης σε νησιά χωρίς σημαντική αιολική παραγωγή.

Σε συνέχεια των παραπάνω αποφάσεων και με τις υπ' αριθμόν 702/2008 και 703/2008 αποφάσεων, η ΡΑΕ προέβη σε τροποποίηση των περιθωρίων ισχύος αυξάνοντας τα όρια από 15% σε 28,5% και από 35% σε 45% αντίστοιχα.

Η ΡΑΕ, προκειμένου να αξιοποιηθεί στο μέγιστο βαθμό το ανεκμετάλλευτο δυναμικό ΑΠΕ των μη διασυνδεδεμένων νησιών, επανακαθόρισε τα συνολικά περιθώρια ανάπτυξης μη ελεγχόμενων σταθμών ΑΠΕ ανά αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα των ΜΔΝ με την απόφαση 616/2016. Όσον αφορά τα περιθώρια διείσδυσης των ΦΒ Σταθμών, κρίθηκε εύλογη η υιοθέτηση ποσοστού διείσδυσης το οποίο δεν παραβιάζει την ελάχιστη φόρτιση των υποχρεωτικά ενταγμένων συμβατικών σταθμών με γνώμονα την ασφάλεια του συστήματος.

4.4.2 Φωτοβολταϊκοί σταθμοί στη Μεγίστη

Στη Μεγίστη μέχρι σήμερα δεν υπάρχει κάποιος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Με τις υπ' αριθμόν 85/2007 και 96/2007 αποφάσεις της ΡΑΕ θεσπίστηκε περιθώριο ισχύος 105 kW για την εγκατάσταση ΦΒ σταθμών και 1,5 kW για την εγκατάσταση μικρών ανεμογεννητριών. Στη συνέχεια, οι υπ' αριθμόν 702/2008, 703/2008 και 2237/2010 αποφάσεις της ΡΑΕ τροποποίησαν το περιθώριο ισχύος για την ανάπτυξη ΦΒ σταθμού στα 135 kW και για την ανάπτυξη μικρών ανεμογεννητριών στα 1,66 kW. Τέλος, η απόφαση της ΡΑΕ 616/2016 με την οποία επανακαθορίστηκαν τα περιθώρια ισχύος των ΑΠΕ στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, αύξησε το συνολικό περιθώριο ισχύος των μη ελεγχόμενων σταθμών ΑΠΕ στα 155 kW, επιμερισμένο στα 139,5 kW για τα φωτοβολταϊκά και στα 15,5 kW για τις μικρές ΑΓ.

4.5 Ευελιξία δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας

Η ευελιξία ενός δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας είναι η ικανότητά του να προσαρμόζεται στις προβλέψιμες και στις απρόβλεπτες μεταβολές της ζήτησης και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με γνώμονα την αξιοπιστία. Η ικανότητα ενός δικτύου ή ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας να αντιμετωπίσει τη μεταβλητότητα εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τις διαθέσιμες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, την ικανότητα προσαρμογής της ζήτησης καθώς και τη δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας [37].

Οι διαθέσιμες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, οι οποίες έχουν τα κατάλληλα εκείνα χαρακτηριστικά με τα οποία μπορούν να καλύψουν τις απαιτήσεις (αυξομειώσεις) φορτίου σε ένα επιθυμητό χρονικό διάστημα, δύναται να παρέχουν υπηρεσίες ευελιξίας. Επιπρόσθετα, η προσαρμογή της ζήτησης και τα συστήματα αποθήκευσης μπορούν να αντιμετωπίσουν τη μεταβλητότητα με τη μετάθεση του φορτίου σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο την ευελιξία του συστήματος [37].

Παλαιότερα, η σχεδίαση ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας δεν περιλάμβανε την ευελιξία ως απαραίτητο χαρακτηριστικό λόγω των προβλέψιμων μεταβολών της ζήτησης φορτίου, των ελάχιστων αιχμών καθώς και τη μικρή διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο μίγμα ηλεκτροπαραγωγής. Σήμερα, η ολοένα αυξανόμενη διείσδυση της ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, με την μεταβλητότητα και την αβεβαιότητα φορτίου που την διακρίνει, καθιστά επιβεβλημένη την ανάγκη για την εισαγωγή των κατάλληλων εκείνων χαρακτηριστικών και πόρων στο σύστημα ούτως ώστε να αυξηθεί η ευελιξία του.

Ένας τρόπος περαιτέρω αύξησης της ευελιξίας είναι η ενσωμάτωση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να συμβάλλουν καθοριστικά στην βελτίωση της ευστάθειας, την αύξηση της αξιοπιστίας και της ευελιξίας. Τα συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας, όπως οι συστοιχίες μπαταριών, μπορούν άμεσα να απορροφήσουν ή να αποδώσουν ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο, συμβάλλοντας στη διατήρηση της ευστάθειας και στην αδιάλειπτη παροχή ισχύος. Στον αντίποδα, τα συστήματα αποθήκευσης μεγάλης κλίμακας, όπως η αντλησιοταμίευση, δίνουν τη δυνατότητα παρέμβασης στις καμπύλες φορτίου ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η συνεισφορά των συστημάτων αποθήκευσης στην αξιοποίηση της ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ [38]. Με την ευρεία χρήση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας μπορεί να γίνει η αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας των ΑΠΕ τα χρονικά διαστήματα όπου το φορτίο είναι χαμηλό και αποδίδοντάς την ελεγχόμενα στις ώρες αιχμής, συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στην ευελιξία του δικτύου/συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπρόσθετα, ο συνδυασμός μέσων αποθήκευσης ενέργειας με ΑΠΕ δύναται να εξομαλύνει τις διακυμάνσεις της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτός ο συνδυασμός έχει καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά εξόδου με αποτέλεσμα τη περαιτέρω διείσδυση των ΑΠΕ στο ενεργειακό μίγμα καθώς και την εξάλειψη των κινδύνων αξιόπιστης λειτουργίας του δικτύου.

Ως εκ τούτου, με τη μετατροπή της ζήτησης σε ευέλικτη επιτυγχάνεται η διατήρηση της ευστάθειας του συστήματος χωρίς να υπάρχει ανάγκη εφεδρείας και χωρίς να απαιτείται ενίσχυση του εξοπλισμού των δικτύων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

5.1 Εισαγωγή

Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι έκαναν την πρώτη τους εμφάνιση τη δεκαετία του 1950, όταν χρησιμοποιήθηκαν υπολογιστικά συστήματα για την προσομοίωση της βιολογικής εξέλιξης. Εντούτοις, η συστηματική τους ανάπτυξη έγινε στη δεκαετία του 1970 από τον John Holland και τους συνεργάτες του στο πανεπιστήμιο του Michigan. Η βασική ιδέα πίσω από τους Γενετικούς Αλγορίθμους ήταν η μελέτη του φαινομένου της προσαρμογής (βιολογική εξέλιξη) καθώς και η ενσωμάτωσή των σχετικών μηχανισμών στα υπολογιστικά συστήματα.

Με βάση τη θεωρία της εξέλιξης, οι οργανισμοί πολλαπλασιάζονται μέσω της αναπαραγωγής, ενώ πεθαίνουν αυτοί που δεν μπορούν να επιβιώσουν. Οι απόγονοι (παιδιά) παρουσιάζουν μικρές αλλαγές από τους προγόνους τους (γονείς), ενώ υπερισχύουν αυτοί με τα καλύτερα χαρακτηριστικά. Η εξέλιξη περιλαμβάνει εκτός από την αναπαραγωγή και τη μετάλλαξη (mutation), η οποία επιφέρει την αλλαγή σε κάποιο γενετικό χαρακτηριστικό, είτε προς τη βέλτιστη κατεύθυνση, είτε προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι γενικές τεχνικές βελτιστοποίησης που βασίζονται στους μηχανισμούς της γενετικής και της εξέλιξης που παρατηρείται σε φυσικά συστήματα και πληθυσμούς έμβιων όντων [31]. Η εξέλιξη των μελών του πληθυσμού βασίζεται στην αρχή της επιβίωσης του καταλληλότερου - ισχυρότερου και του ανασυνδυασμού του γενετικού υλικού μέσα στον πληθυσμό. Πιο συγκεκριμένα, οι γενετικοί αλγόριθμοι κωδικοποιούν μια πιθανή λύση σε ένα συγκεκριμένο πρόβλημα σε μια δομή χρωμοσώματος και εφαρμόζουν τους τελεστές γενετικής διασταύρωσης (crossover) και μετάλλαξης σε αυτή την δομή. Αυτό σημαίνει ότι οι πιθανές λύσεις ανταγωνίζονται η μια με την άλλη με τέτοιο τρόπο ώστε τα χρωμοσώματα που αντιπροσωπεύουν τις βέλτιστες λύσεις στο δεδομένο πρόβλημα να έχουν περισσότερες πιθανότητες για αναπαραγωγή [32]. Ως εκ τούτου, οι Γενετικοί Αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον σε προβλήματα βελτιστοποίησης.

Παρακάτω παρουσιάζεται συνοπτικά η αντιστοίχιση του βιολογικού προτύπου με τους Γενετικούς Αλγορίθμους [34].

Βιολογικό Πρότυπο	Γενετικοί Αλγόριθμοι
Γονίδιο	Παράμετρος (Μεταβλητή)
Χρωμόσωμα	Υποψήφια λύση (Συμβολοσειρά)

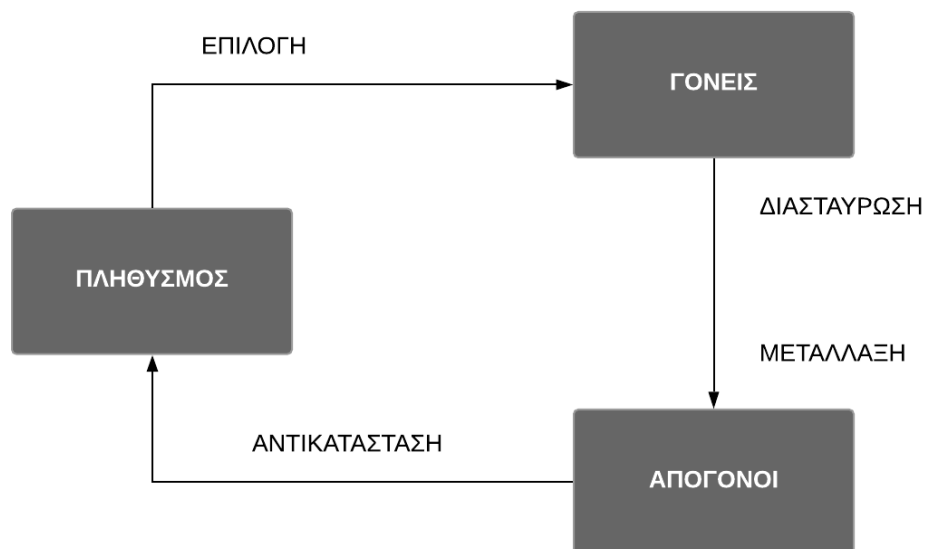
Πληθυσμός	Σύνολο υποψήφιων λύσεων
Πιθανότητα επιβίωσης	Συνάρτηση βελτιστοποίησης
Μετάλλαξη	Τυχαία αναζήτηση λύσεων
Διασταύρωση	Σύνθεση λύσεων
Γενιά	Ανακύκλωση

Πίνακας 5.1: Αντιστοίχιση του βιολογικού προτύπου με τον Γενετικό Αλγόριθμο

5.2 Βασικά στοιχεία γενετικών αλγορίθμων

Οι γενετικοί αλγόριθμοι αποτελούνται, κατά βάση, από πέντε τμήματα:

- Τη δημιουργία ενός αρχικού πληθυσμού
- Την αναπαράσταση των πιθανών λύσεων
- Την αντικειμενική συνάρτηση αξιολόγησης (συνάρτηση καταλληλότητας)
- Τους γενετικούς τελεστές
- Τη διαδικασία αναπαραγωγής

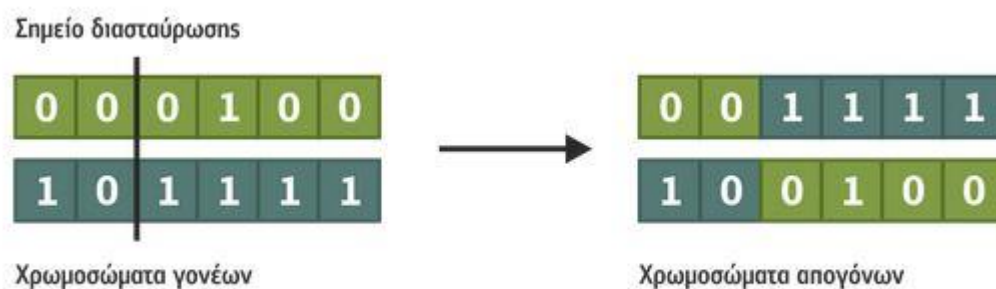


Εικόνα 5.1: Ο Εξελικτικός κύκλος των Γενετικών Αλγορίθμων

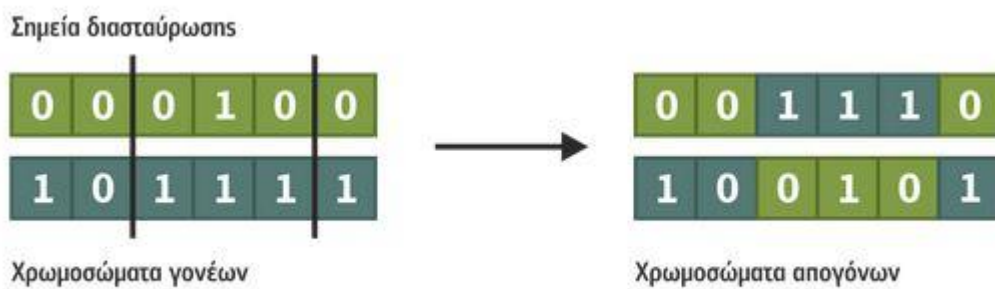
Στους γενετικούς αλγόριθμους, κάθε υποψήφια λύση αναπαρίσταται με τη μορφή μιας συμβολοσειράς (συνήθως δυαδικής), η οποία αναφέρεται και ως χρωμόσωμα ένεκα της βιολογίας, ενώ τα επί μέρους τμήματά της που κωδικοποιούν κάποιο χαρακτηριστικό ονομάζονται γονίδια. Το σύνολο των υποψήφιων λύσεων αποτελεί τον πληθυσμό. Κάθε μέλος του πληθυσμού αποκωδικοποιείται σε μία υποψήφια λύση του προβλήματος όπου ανατίθεται μια τιμή καταλληλότητας με τη βοήθεια μιας συνάρτησης ποιότητας (συνάρτηση καταλληλότητας) [31]. Στη συνέχεια, επιλέγονται ανά δύο μέλη του πληθυσμού (γονείς) για να αναπαραχθούν και να σχηματίσουν απογόνους (παιδιά).

Η επιλογή των γονιών γίνεται με βάση τις πιθανότητες, ούτως ώστε η κάθε λύση να είναι ανάλογη της καταλληλότητάς της. Αυτό εγγυάται ότι οι λύσεις υψηλής ποιότητας θα επιλεγούν πολλές φορές και θα αποτελέσουν τους γονείς για πολλές νέες λύσεις, ενώ οι λύσεις χαμηλής ποιότητας θα συνεισφέρουν λιγότερο στο νέο πληθυσμό, με την πιθανότητα να μην επιλεγούν για αναπαραγωγή.

Στη συνέχεια, τα χρωμοσώματά των γονιών ανασυνδυάζονται για τη παραγωγή των παιδιών με τη χρήση τελεστών που προσομοιώνουν αντίστοιχους γενετικούς μηχανισμούς. Οι βασικοί γενετικοί τελεστές που χρησιμοποιούνται είναι η διασταύρωση και η μετάλλαξη. Η διασταύρωση συνδυάζει τα στοιχεία των χρωμοσωμάτων των γονέων για να δημιουργήσει νέους απογόνους που κληρονομούν χαρακτηριστικά των δύο γονέων. Επιπρόσθετα, η διασταύρωση αν και αποτελεί το βασικό μηχανισμό αναζήτησης νέων λύσεων δεν είναι ωστόσο σε θέση να παράγει πληροφορία που δεν υπάρχει ήδη μέσα στον πληθυσμό [31].



Εικόνα 5.2: Διασταύρωση ενός σημείου [36]



Εικόνα 5.3: Διασταύρωση δύο σημείων [36]

Από την άλλη μεριά, η μετάλλαξη είναι σε θέση να αλλάζει τα γονίδια ενός συγκεκριμένου χρωμοσώματος, ενώ εξυπηρετεί την εισαγωγή νέων πιθανών λύσεων [33].



Εικόνα 5.4: Μετάλλαξη ενός σημείου [36]

Τέλος, οι νέες λύσεις που θα παραχθούν, αποτελούν τη νέα γενιά η οποία αντικαθιστά τους γονείς. Με αυτόν τον τρόπο και ύστερα από πολλές γενιές και ανάλογα με τη δυσκολία του προβλήματος, ο πληθυσμός συγκλίνει στη βέλτιστη λύση.

5.3 Παράμετροι διαμόρφωσης των γενετικών αλγόριθμων

Οι πιο σημαντικές παράμετροι της διαμόρφωσης των γενετικών αλγορίθμων είναι το μέγεθος του πληθυσμού, η πιθανότητα διασταύρωσης και η πιθανότητα μετάλλαξης.

5.3.1 Μέγεθος πληθυσμού

Το μέγεθος του πληθυσμού υποδεικνύει τον αριθμό των χρωμοσωμάτων στον πληθυσμό σε μια γενιά. Ένας μικρός αριθμός χρωμοσωμάτων έχει μικρότερες πιθανότητες διασταύρωσης, χάνει την ποικιλομορφία του και έχει πρόωρη σύγκλιση, ενώ στην αντίθετη περίπτωση ένας μεγάλο μέγεθος πληθυσμού μπορεί να συντηρήσει την ποικιλομορφία και να επιτύχει καλύτερη αναζήτηση.

5.3.2 Πιθανότητα μετάλλαξης

Η πιθανότητα μετάλλαξης αποτυπώνει τη πιθανότητα να συμβεί η μετάλλαξη. Μέσω της μετάλλαξης ο πληθυσμός ενσωματώνει νέα πληροφορία, ενώ περιορίζεται η δυνατότητα του πληθυσμού να εμποτιστεί με παρόμοια χρωμοσώματα. Η μεγάλη πιθανότητα μετάλλαξης δύναται να αυξήσει την ποικιλομορφία του πληθυσμού αλλά μπορεί και να οδηγήσει στην καταστροφή καλών υποψήφιων λύσεων [31].

5.3.3 Πιθανότητα διασταύρωσης

Η πιθανότητα διασταύρωσης αποτυπώνει τη συχνότητα με την οποία γίνεται διασταύρωση στον πληθυσμό. Η διασταύρωση γίνεται με την ελπίδα πως τα νέα χρωμοσώματα θα έχουν τα καλά χαρακτηριστικά από τα παλιά χρωμοσώματα, ενώ καλό είναι ένα μέρος του πληθυσμού να επιβιώνει και στην επόμενη γενιά.

Άλλες παράμετροι που συμβάλλουν στη διαμόρφωση των γενετικών αλγορίθμων είναι ο αριθμός των χρωμοσωμάτων καθώς και ο αριθμός των γενιών.

5.4 Πλεονεκτήματα

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα από τη χρήση των γενετικών αλγορίθμων στην επίλυση προβλημάτων παρουσιάζονται παρακάτω [35]:

- Γρήγορη, αξιόπιστη και αποδοτική επίλυση δύσκολων και σύνθετων προβλημάτων. Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι δύναται να αντιμετωπίσουν καλύτερα προβλήματα που έχουν πολλές δύσκολα προσδιορισμένες λύσεις και συναρτήσεις που παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις.
- Μπορούν να εφαρμοστούν σε αρκετά περισσότερα πεδία σε σχέση με τις υπάρχουσες μεθόδους λόγω της ελευθερίας επιλογής των κριτηρίων που καθορίζουν την επιλογή μέσα στο τεχνικό περιβάλλον.
- Είναι εύκολα επεκτάσιμοι και εξελίξιμοι, ενώ μπορούν να συνεργαστούν με τα υπάρχοντα μοντέλα, συστήματα και κώδικες καθώς χρησιμοποιούν μόνο πληροφορίες της διαδικασίας ή της συνάρτησης βελτιστοποίησης, χωρίς να ενδιαφέρει ο ρόλος της στο σύστημα ή η όλη δομή του συστήματος
- Απαιτείται μόνο η γνώση της αντικειμενικής συνάρτησης και όχι πρόσθετες πληροφορίες για τη βελτιστοποίηση. Αυτό σημαίνει ότι οι Γενετικοί Αλγόριθμοι δεν

απαιτούν περιορισμούς στις συναρτήσεις που επεξεργάζονται σε αντίθεση με άλλες μεθόδους όπου απαιτείται η ύπαρξη περιορισμών

- Υπάρχει η δυνατότητα της συμμετοχής τους σε υβριδικά σχήματα μαζί με διαφορετικές μεθόδους για μερικές κατηγορίες προβλημάτων που αυτό επιβάλλεται
- Με τη μέθοδο των Γενετικών Αλγορίθμων μπορεί να πραγματοποιείται ταυτόχρονα εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης και εκμετάλλευση της ήδη επεξεργασμένης πληροφορίας. Με το τυχαίο ψάξιμο γίνεται καλή εξερεύνηση του χώρου, αλλά δε γίνεται καλή εκμετάλλευση της πληροφορίας, ενώ στην αντίθετη περίπτωση γίνεται καλή εκμετάλλευση της πληροφορίας αλλά όχι καλή εξερεύνηση του χώρου. Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι επιτυγχάνουν το βέλτιστο συνδυασμό εξερεύνησης και εκμετάλλευσης
- Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι μπορούν να δεχτούν παράλληλη υλοποίηση, χαρακτηριστικό που αυξάνει ακόμη περισσότερο την απόδοσή τους, ενώ συναντάται σπανίως σε άλλες ανταγωνιστικές μεθόδους

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΜΠΥΛΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ

6.1 Εισαγωγή

Στη συγκεκριμένη ενότητα θα μελετηθεί το πως επηρεάζεται το αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα της Μεγίστης από την διείσδυση ενός στόλου ηλεκτρικών οχημάτων υπό το πρίσμα διαφορετικών στρατηγικών φόρτισης.

Οι υπό εξέταση στρατηγικές φόρτισης είναι η μη ελεγχόμενη φόρτιση, η ελεγχόμενη φόρτιση με διζωνικό τιμολόγιο και η έξυπνη φόρτιση. Η υλοποίηση των στρατηγικών θα γίνει σε δύο ημέρες, σε μια τυχαία καλοκαιρινή ημέρα και σε μια τυχαία ημέρα του χειμώνα, σύμφωνα με τα ωριαία φορτία της νήσου Μεγίστης για το έτος 2018 που μας έχει παραχωρήσει η Διεύθυνση Διαχείρισης Νήσων του ΔΕΔΔΗΕ.

6.2 Μαθηματικό μοντέλο

Το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για να αποτυπωθεί η επίδραση της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο μη διασυνδεδεμένων νησιών και δη της Μεγίστης παρουσιάζεται παρακάτω.

Η επίλυση του προβλήματος έγινε με τη χρήση γενετικών αλγόριθμων σε περιβάλλον Python.

Αντικειμενική συνάρτηση:

$$\sum_{t=1}^T (\sum_{i=1}^N Pch_{i,t}^{EV} + D(t) - P(t)^{PV} - \mu)^2 \quad (6-1)$$

Περιορισμοί:

$$\sum_{t=1}^T Pch_{i,t}^{EV} \Delta t - (1 - SOC_{in,i}) \frac{C_{bat}}{n_{eff}} = 0 \quad (6-2)$$

$$SOC(t+1)_i = SOC(t)_i + Pch_{i,t}^{EV} \Delta t \frac{n_{eff}}{C_{bat}} \quad (6-3)$$

$$Pch_{i,t}^{EV} - P_{cst} \leq 0 \quad (6-4)$$

$$Pch_{i,t}^{EV} \geq 0 \quad (6-5)$$

$$0 \leq \text{SOC}(t)_i \leq 1 \quad (6-6)$$

για κάθε:

$i = 1 \dots N$ (N = ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων)

$t = 1 \dots T$ (T = το υπό εξέταση χρονικό διάστημα σε ωριαία βάση)

, όπου:

$Pch_{i,t}^{EV}$ = Η ισχύς φόρτισης του κάθε ηλεκτρικού οχήματος τη χρονική στιγμή t

$D(t)$ = Η ζήτηση του δικτύου σε κάθε χρονική στιγμή t

$P(t)^{PV}$ = Η παραγόμενη ισχύς του ΦΒ

μ = Η τιμή αναφοράς για την ελαχιστοποίηση της διακύμανσης

$\text{SOC}_{in,i} = (1 - \frac{d_i}{R_i})100\%$, $\text{SOC}_{in,i}$ = Το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας του εκάστοτε ηλεκτρικού οχήματος τη χρονική στιγμή που αυτό συνδέεται στο δίκτυο για φόρτιση

d_i = Τα διανυθέντα χιλιόμετρα του εκάστοτε ηλεκτρικού αυτοκινήτου πριν συνδεθεί στο δίκτυο για φόρτιση

R_i = Ο μέγιστος αριθμός χιλιομέτρων που μπορεί να διανύσει το εκάστοτε ηλεκτρικό όχημα σύμφωνα με την αυτονομία της μπαταρίας του

C_{bat} = Η ονομαστική χωρητικότητα της μπαταρίας

n_{eff} = Η απόδοση κατά τη φόρτιση

P_{cst} = Η ονομαστική ισχύς του σταθμού φόρτισης

6.3 Περιγραφή αλγόριθμου

6.3.1 Υλοποίηση γενετικού αλγόριθμου

Σε αυτή την ενότητα θα γίνει μια εκτενής περιγραφή του κώδικα του γενετικού αλγόριθμου ο οποίος υλοποιήθηκε για να μελετηθεί η προοπτική της έξυπνης φόρτισης (smart charging) στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Έχοντας την αντικειμενική εξίσωση καθώς και τους περιορισμούς της, το κομμάτι που έπρεπε να υλοποιηθεί ήταν αυτό του αλγορίθμου ο οποίος θα έβρισκε έξυπνα και γρήγορα τις τιμές για την έξυπνη φόρτιση. Για τον ρόλο αυτόν επιλέχθηκε ο γενετικός

αλγόριθμος και παρόλο που το πρόβλημα θα μπορούσε να λυθεί και με γραμμικούς αλγορίθμους, ο γενετικός θεωρήθηκε ως ο πιο ιδανικός για τον λόγο ότι αν στην αντικειμενική εισαχθούν επιπλέον μεταβλητές και το πρόβλημα πάψει να είναι γραμμικό αυτό δεν θα επηρεάσει την συμπεριφορά του γενετικού.

Η υλοποίηση του γενετικού επίσης δεν επηρεάστηκε από τις κλάσεις που υλοποιούν την επιλογή των γονέων, το crossover και το mutation τρέχουν όπως θα έτρεχαν και σε έναν οποιοδήποτε γενετικό αλγόριθμο. Αυτό που αλλάζει σε αυτήν την συνθήκη είναι κυρίως οι τρόποι που ενσωματώνονται οι υπό μελέτη μεταβλητές στο σύστημα μας.

Για να γίνει πιο κατανοητό ας σκεφτούμε το εξής πρόβλημα:

Έστω ότι ο αριθμός των αυτοκινήτων που θέλουμε να φορτίσουμε είναι 250 και η χρονική περίοδος στην οποία μπορεί η έξυπνη φόρτιση να επιτευχθεί είναι το χρονικό διάστημα φόρτισης από τις 23.00 - 07.00 για μια καλοκαιρινή ημέρα και 02.00 - 07.00 για μια χειμωνιάτικη. Αυτό σημαίνει ότι αφού θέλουμε να βρούμε τιμές φόρτισης για 250 αυτοκίνητα στο διάστημα πχ 23:00 - 07:00 (8 ώρες) πρέπει να έχουμε στο μυαλό μας ότι τα δεδομένα που πρέπει να εισαχθούν και είναι υπό διερεύνηση είναι:

$$250 * 8 = 2000 \text{ Δεδομένα}$$

Αυτό σημαίνει ότι αν δίνουμε στον γενετικό από την αρχή όλες τις τιμές, μετά το πέρας των επαναλήψεων θα έπρεπε να μας δώσει 2000 τιμές βάσει των οποίων θα έπρεπε να υλοποιήσουμε την έξυπνη φόρτιση. Αυτό δεν θα μπορούσε να επιτευχθεί καθώς ο υπολογιστικός χρόνος που θα χρειαζόνταν για να παραχθούν τα αποτελέσματα αυτά αλλά και να είναι σωστές οι τιμές θα ήταν μη πεπερασμένος. Για αυτόν τον λόγο η υλοποίηση έγινε με τη χρήση δυο επαναλήψεων. Η πρώτη αφορούσε το κάθε H/O $i=1,2,3, \dots, N$ και η άλλη κάθε ώρα της ημέρας που θα έτρεχε ο αλγόριθμος για να υλοποιήσει την έξυπνη φόρτιση.

Ουσιαστικά αυτό που καταφέραμε με αυτές τις δυο επαναλήψεις είναι το εξής, αντί να περιμένουμε να μας υπολογίσει για όλα τα 250 αυτοκίνητα και όλες τις ώρες τις ημέρας την φόρτιση που έπρεπε να πραγματοποιηθεί, υπολογίζει για κάθε αυτοκίνητο την κάθε ώρα της ημέρας και όταν το κομμάτι της επανάληψής των ωρών τελειώνει πάει στο επόμενο αυτοκίνητο στο οποίο κάνει την ίδια διαδικασία. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται για όλα τα αυτοκίνητα στο 1/3 του χρόνου που θα πραγματοποιούνταν η επίλυση αν μας υπολόγιζε για όλα τα αυτοκίνητα όλες τις ώρες φόρτισης.

Με τις επαναλήψεις αυτές επιτυγχάνουμε τρία πολύ σημαντικά στοιχεία στην επίλυση:

1. Κάθε φορά που επιλέγεται η βέλτιστη τιμή φόρτισης για ένα αυτοκίνητο την συγκεκριμένη ώρα ενημερώνεται και το επίπεδο φόρτισης (SOC) της μπαταρίας πράγμα που σημαίνει ότι την επόμενη ώρα η φόρτιση που θα χρειαστεί να γίνει θα γίνει στο σωστό επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας.
2. Κάθε φορά που ολοκληρώνεται η φόρτιση στο πεδίο των επιτρεπτών ωρών φόρτισης για την έξυπνη φόρτιση, ενημερώνεται η καμπύλη φορτίου έτσι ώστε όταν πάει να γίνει η πρόγνωση για το αυτοκίνητο να γίνει με βάση την ενημερωμένη καμπύλη φορτίου και όχι την αρχική.
3. Με βάση τα δύο παραπάνω σημεία επιτυγχάνουμε επίσης ότι ο αλγόριθμος θα φορτίζει τα οχήματα μόνο στο επιτρεπτό διάστημα ωρών και πως αν ο αριθμός των αυτοκινήτων είναι πολύ μεγάλος ή το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας σε πολλά οχήματα τείνει στο 0, τότε θα επιλέξει να αφήσει ελάχιστα από αυτά με ατελής φόρτιση πάρα να περάσει το επιτρεπτό όριο φόρτισης στην καμπύλη φορτίου και να μην καλύψει τον υπάρχον περιορισμό. Γίνεται λοιπόν κατανοητό πως με την παραπάνω υλοποίηση επιτυγχάνεται η βέλτιστη λειτουργία και την αντικειμενικής και των περιορισμών που υπάρχουν σε αυτήν.

6.3.2 Λειτουργία γενετικού αλγόριθμου

Παρακάτω παρατίθεται η επεξήγηση της λειτουργίας του γενετικού αλγόριθμου που υλοποιήθηκε σε μορφή ψευδοκώδικα:

Genetic Algorithm Pseudocode for EVs Valley Filling Algorithm

❑ **For i in range (Vehicles):**

❑ **For j in range (Hours):**

- 1) **Set G , P , p_c , p_m and k (if tournament selection is chosen)**
- 2) **Create population P randomly of string size l**
- 3) **$g = 1$ and $p=1$**
- 4) **Select 2 parents through the selection method**
- 5) **Crossover the parent's genes to get children at p_c**

- 6) Mutate children at p_m
- 7) Repeat steps 4 to 6 $N/2$ times ($n = n+1$)
- 8) Get a new generation of mutated children
- 9) $m = m + 1$
- 10) Repeat steps 4 to 9 M times
- 11) Choose the best fitness value from last generation or keep track of best chromosome in each generation for final answer

☐ Update the SOC of the vehicle (i) for Hour(j)

☐ $j = j + 1$

☐ Update the load curve after vehicle (i) is completed

☐ $i = i+1$

6.4 Δεδομένα

6.4.1 Αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα Μεγίστης

Σύμφωνα με τα στοιχεία που μας παραχώρησε ο ΔΕΔΔΗΕ (ΔΔΝ) για το αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα της Μεγίστης, τα ωριαία φορτία για 2 τυχαίες ημέρες (καλοκαίρι, χειμώνας) παρουσιάζονται παρακάτω.

- Ημερήσια καμπύλη φορτίου (καλοκαίρι)

Ωρα	Φορτίο (MW)	Ωρα	Φορτίο (MW)
01:00	0,68	13:00	0,84
02:00	0,64	14:00	0,86
03:00	0,60	15:00	0,88
04:00	0,59	16:00	0,89
05:00	0,56	17:00	0,87

06:00	0,55	18:00	0,84
07:00	0,56	19:00	0,84
08:00	0,59	20:00	0,85
09:00	0,66	21:00	0,86
10:00	0,73	22:00	0,82
11:00	0,77	23:00	0,79
12:00	0,80	24:00	0,78

Πίνακας 6.1: Ημερήσιο φορτίο Μεγίστης (καλοκαίρι)



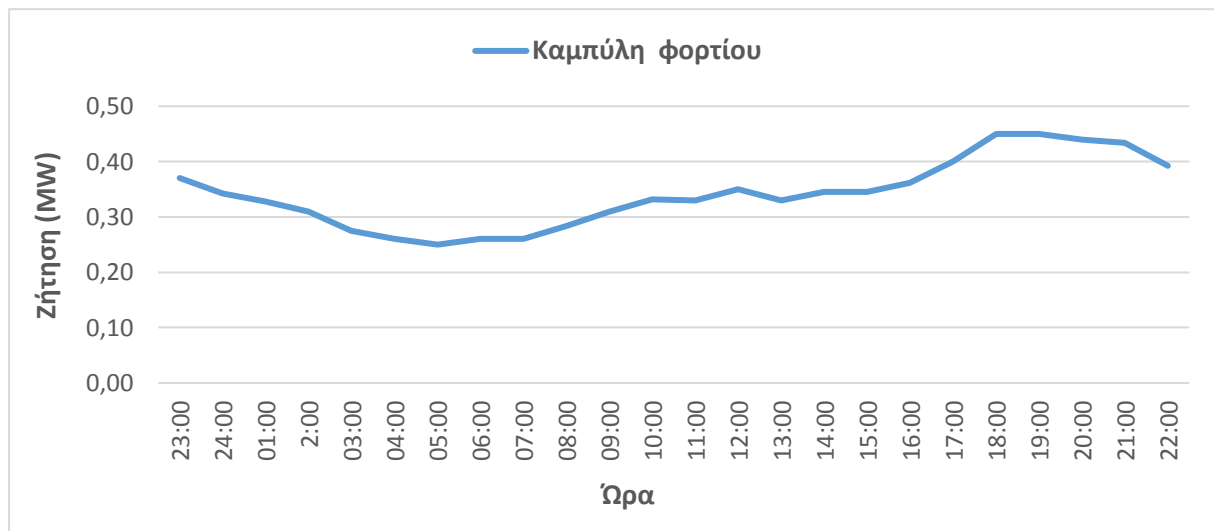
Διάγραμμα 6.2: Ημερήσια καμπύλη φορτίου Μεγίστης (καλοκαίρι)

- Ημερήσια καμπύλη φορτίου (χειμώνας)

Ώρα	Φορτίο (MW)	Ώρα	Φορτίο (MW)
01:00	0,33	13:00	0,33
02:00	0,31	14:00	0,35

03:00	0,28	15:00	0,35
04:00	0,26	16:00	0,36
05:00	0,25	17:00	0,40
06:00	0,26	18:00	0,45
07:00	0,26	19:00	0,45
08:00	0,28	20:00	0,44
09:00	0,31	21:00	0,43
10:00	0,33	22:00	0,39
11:00	0,33	23:00	0,37
12:00	0,35	24:00	0,34

Πίνακας 6.3: Ημερήσιο φορτίο Μεγίστης (χειμώνας)



Διάγραμμα 6.4: Ημερήσια καμπύλη φορτίου Μεγίστης (χειμώνας)

6.3.2 Ηλεκτρικά Οχήματα και σταθμοί φόρτισης

Θεωρήσαμε 3 σενάρια διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων με στόλο των 50, 100 και 150 Η/Ο αντίστοιχα για όλες τις στρατηγικές φόρτισης. Τα ημερήσια διανυθέντα χιλιόμετρα του κάθε [86]

οχήματος, πριν αυτό συνδεθεί στο δίκτυο για φόρτιση, προέκυψαν από την εφαρμογή γεννήτριας ψευδοτυχαίων αριθμών (εύρος 0 - 80 χιλιόμετρα), ενώ βάσει της προηγούμενης παραμέτρου υπολογίστηκε αυτόματα το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας του εκάστοτε ηλεκτρικού οχήματος τη χρονική στιγμή που αυτό συνδέεται στο δίκτυο για φόρτιση.

Επίσης, θεωρήσαμε ότι όλα τα ηλεκτρικά οχήματα καθώς και οι υποδομές φόρτισης έχουν κοινά τεχνικά χαρακτηριστικά, όπως αυτά παρουσιάζονται παρακάτω:

$P_{cst} = 3,7 \text{ kW}$ (Ονομαστική ισχύς του σταθμού φόρτισης)

$C_{bat} = 17,6 \text{ kWh}$ (Ονομαστική χωρητικότητα της μπαταρίας)

$R_i = 105 \text{ km}$ (Αυτονομία μπαταρίας H/O)

$n_{eff} = 0,85$ (Απόδοση φόρτισης)

6.3.3 Παράμετροι γενετικών αλγόριθμων

Οι παράμετροι των γενετικών αλγόριθμων που χρησιμοποιήθηκαν για τη λύση του προβλήματος παρουσιάζονται παρακάτω:

Αριθμός χρωμοσωμάτων: 5

Πιθανότητα διασταύρωσης: 1

Πιθανότητα μετάλλαξης: 0,35

Μέγεθος πληθυσμού: 40

Γενιές: 10

6.4 Υλοποίηση στρατηγικών φόρτισης

Σε αυτή την ενότητα θα μελετήσουμε την επίδραση της κάθε στρατηγικής φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στην υπάρχουσα καμπύλη φορτίου της νήσου Μεγίστης. Οι στρατηγικές φόρτισης, οι οποίες θα εξεταστούν είναι η μη ελεγχόμενη φόρτιση (dump charging), η ελεγχόμενη φόρτιση με διζωνικό τιμολόγιο (dual tariff) καθώς η έξυπνη φόρτιση (smart charging).

Η υλοποίηση των στρατηγικών θα γίνει σε δύο τυχαίες ημέρες, μια ημέρα του καλοκαιριού και μία ημέρα του χειμώνα. Τα δεδομένα φορτίου, όπως έχει προαναφερθεί, έχουν παραχωρηθεί από τη Διεύθυνση Διαχείρισης Νήσων του ΔΕΔΔΗΕ.

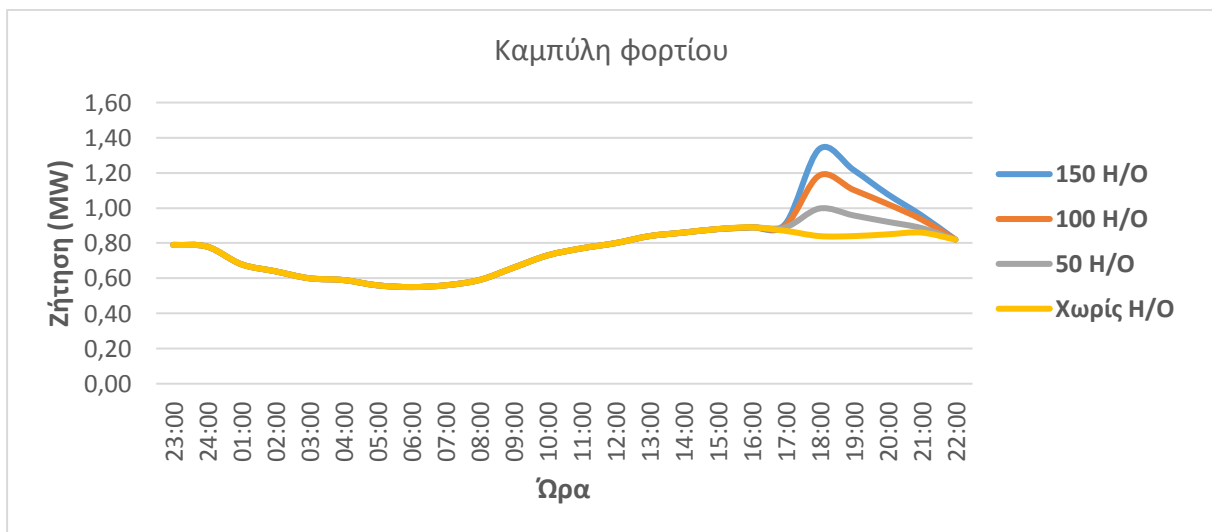
Θεωρούμε 3 σενάρια διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων, ο στόλος των οποίων θα αποτελείται αρχικά από 50 οχήματα, στη συνέχεια από 100 οχήματα και τέλος από 150 οχήματα.

Τα διανυθέντα χιλιόμετρα του κάθε οχήματος, βάσει των οποίων υπολογίζεται το αρχικό επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας του κάθε οχήματος την ώρα που ξεκινάει η φόρτισή του, υπολογίζονται τυχαία.

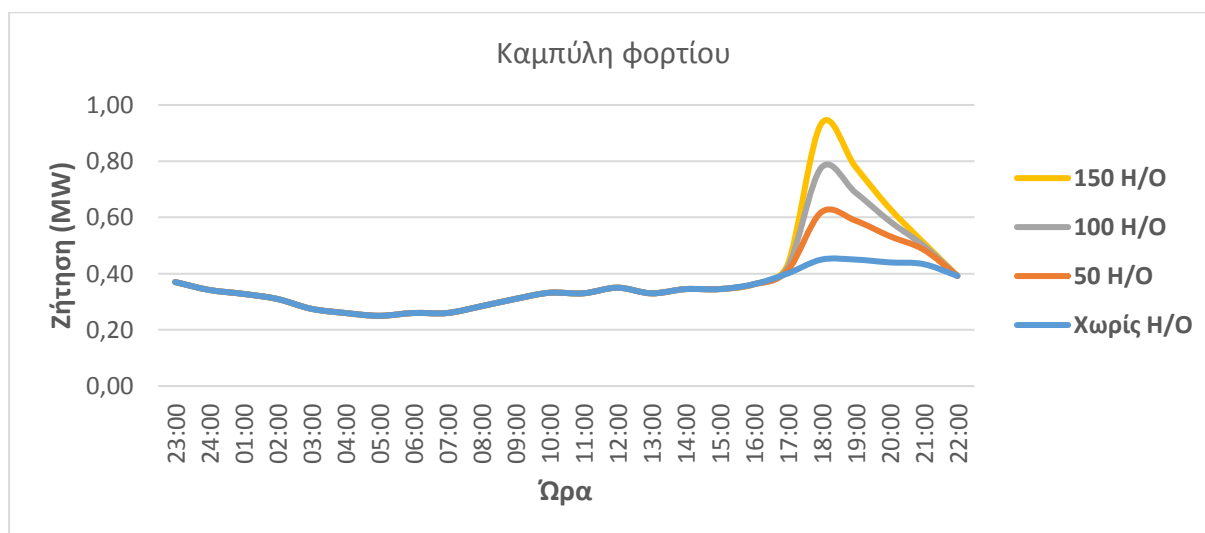
6.4.1 Μη ελεγχόμενη φόρτιση

Στην μη ελεγχόμενη φόρτιση, τα ηλεκτρικά οχήματα φορτίζονται με βάση τις ανάγκες του χρήστη και της καθημερινότητάς του χωρίς κάποιο συγκεκριμένο μοτίβο. Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εργασίας θεωρούμε ότι η μη ελεγχόμενη φόρτιση λαμβάνει χώρα από την επιστροφή του οχήματος στη βάση του (το απόγευμα συνήθως) μέχρι το επόμενο πρωί που θα χρειαστεί ο χρήστης το όχημα.

Ακολουθούν οι καμπύλες φορτίου της συγκεκριμένης στρατηγικής:



Διάγραμμα 6.5: Ημερήσια καμπύλη φορτίου Μεγίστης (καλοκαίρι) για στόλο 50, 10 και 150 H/O για μη ελεγχόμενη φόρτιση



Διάγραμμα 6.6: Ημερήσια καμπύλη φορτίου Μεγίστης (χειμώνας) για στόλο H/O 50, 100, και 150 H/O για μη ελεγχόμενη φόρτιση

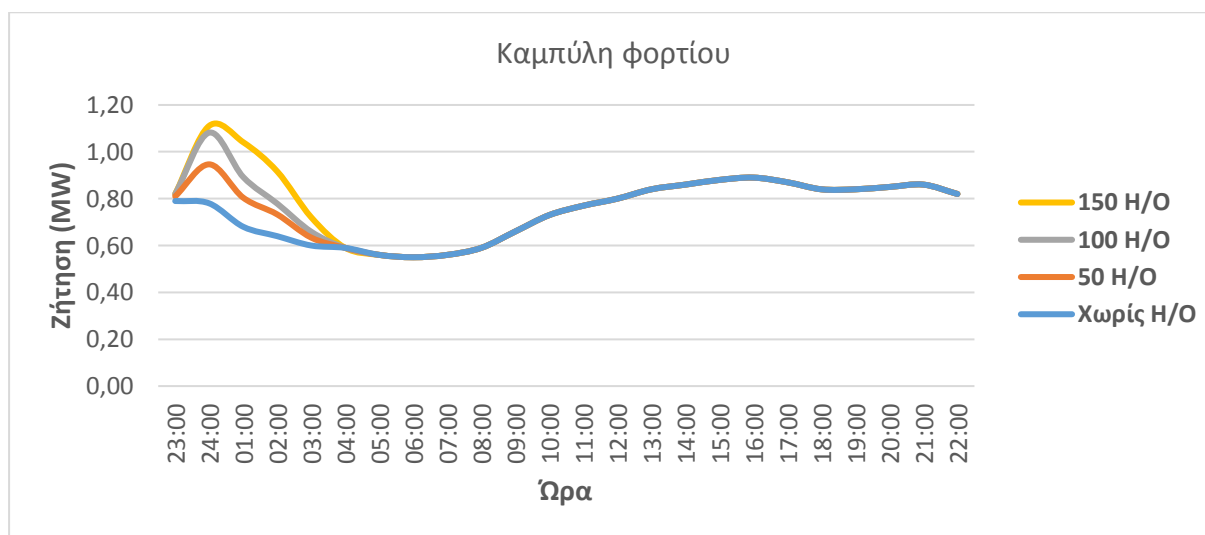
Παρατηρούμε ότι η αιχμή της ζήτησης με την εισαγωγή των ηλεκτρικών οχημάτων είναι γύρω στις 19.00 όπου περιμένουμε ότι θα έχουν επιστρέψει οι χρήστες και θα φορτίζουν τα οχήματά τους. Επίσης, μπορούμε να δούμε ότι η επίδραση της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στη καμπύλη του φορτίου είναι εντονότερη το χειμώνα, όπου η ζήτηση είναι μικρότερη σε σχέση με το καλοκαίρι. Εν κατακλείδι, μπορούμε να πούμε ότι αυτή τη στρατηγική φόρτισης επιβαρύνει τη καμπύλη φορτίου καθώς η αιχμή της συμπίπτει με τη κορυφή της αρχικής ζήτησης.

6.4.2 Φόρτιση με τη χρήση διζωνικού τιμολογίου

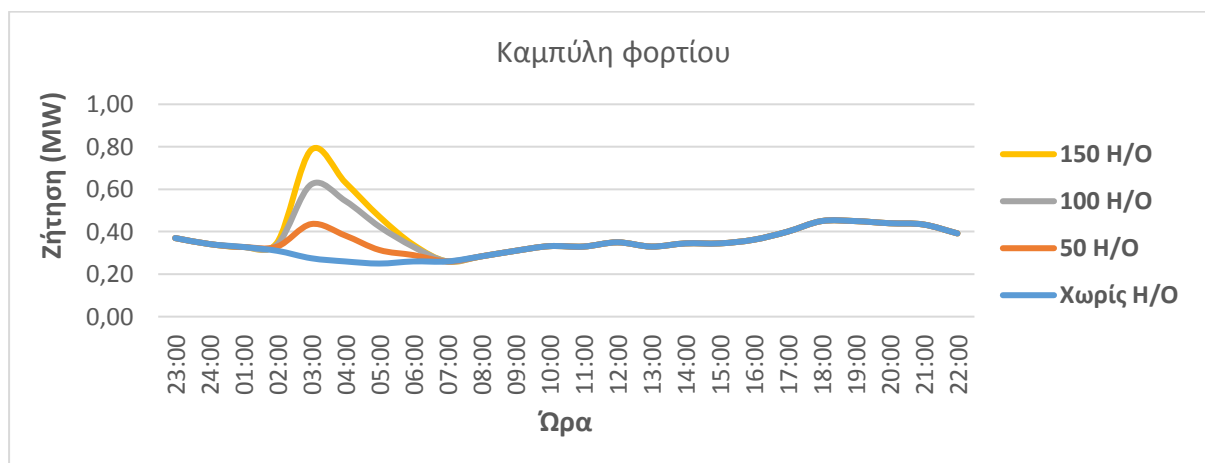
Στην συγκεκριμένη τακτική, η φόρτιση γίνεται τη χρονική στιγμή όπου η χρέωση της ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλότερη. Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εργασίας λαμβάνουμε υπόψιν το ωράριο νυχτερινού τιμολογίου που καθορίζεται από τον ΔΕΔΔΗΕ. Για την καλοκαιρινή περίοδο (1/5-31/10) το ωράριο νυχτερινού τιμολογίου είναι 23.00 με 07.00 και για τη χειμερινή περίοδο (1/11-30/4) το ωράριο είναι τμηματικό 02.00-08.00 και 15.30-17.30.

Ως εκ τούτου θεωρούμε ότι για την καλοκαιρινή περίοδο τα ηλεκτρικά οχήματα θα φορτίζουν από τις 23.00 και για τη χειμερινή περίοδο από τις 02.00.

Ακολουθούν οι καμπύλες φορτίου της συγκεκριμένης στρατηγικής:



Διάγραμμα 6.7: Ημερήσια καμπύλη φορτίου Μεγίστης (καλοκαίρι) για στόλο H/O 50, 100, και 150 H/O για φόρτιση με τη χρήση διζωνικού τιμολογίου



Διάγραμμα 6.8: Ημερήσια καμπύλη φορτίου Μεγίστης (χειμώνας) για στόλο H/O 50, 100, και 150 H/O για φόρτιση με τη χρήση διζωνικού τιμολογίου

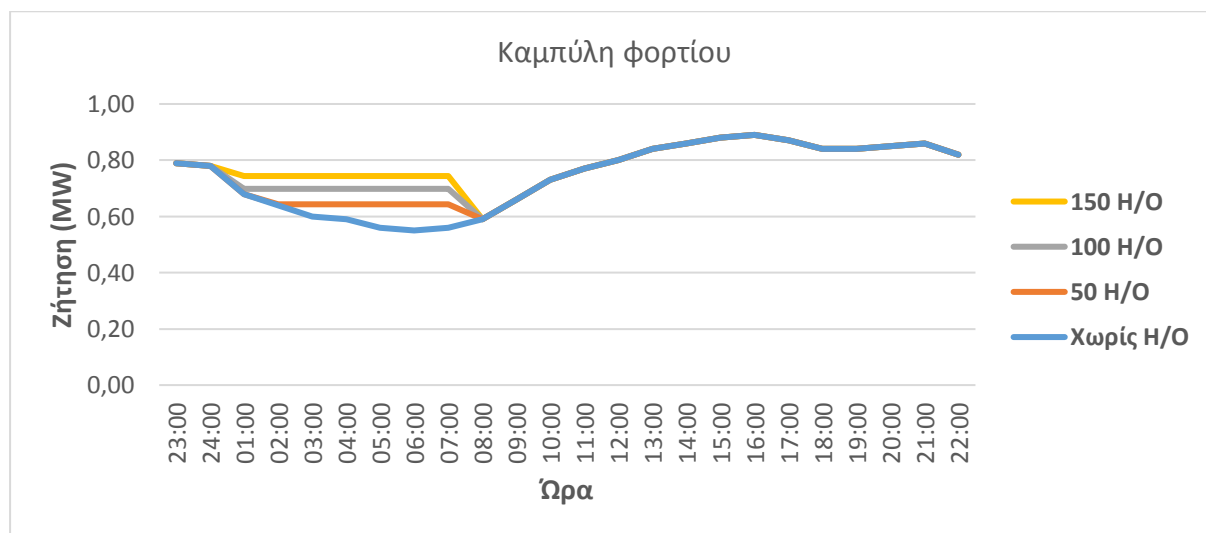
Παρατηρούμε ότι η συγκεκριμένη στρατηγική και για μικρό αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων δεν επιβαρύνει ιδιαίτερα τη καμπύλη φορτίου, τόσο το καλοκαίρι όσο και το χειμώνα. Επιπρόσθετα, η επίδραση της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο είναι εντονότερη την περίοδο του χειμώνα όπου και η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια είναι μικρότερη από το καλοκαίρι. Εντούτοις όμως, η φόρτιση των οχημάτων και στις 2 περιόδους του έτους δημιουργεί αιχμή στη καμπύλη φορτίου, η οποία γίνεται εντονότερη με την αύξηση του αριθμού των ηλεκτρικών οχημάτων.

6.4.3 Έξυπνη φόρτιση (smart charging)

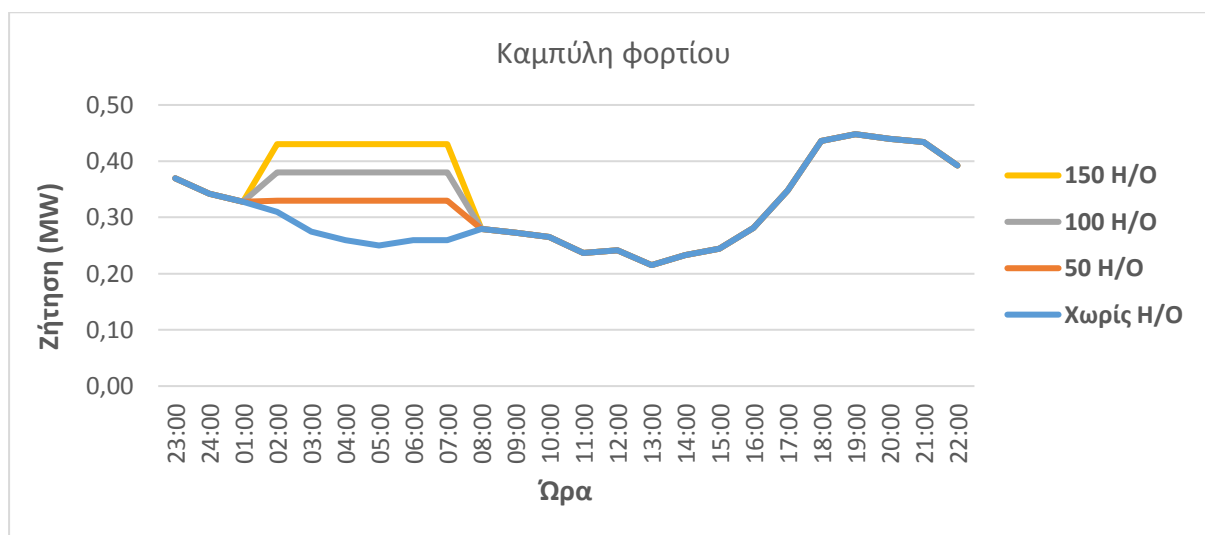
Στη συγκεκριμένη στρατηγική θεωρούμε ότι όλη η διαθέσιμη πληροφορία των ηλεκτρικών οχημάτων έχει μεταβιβασθεί σε έναν φορέα εκπροσώπησης (aggregator), ο οποίος διαχειρίζεται το φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων με σκοπό την παροχή πάσης φύσεως υπηρεσιών προς το δίκτυο. Ως εκ τούτου, καθορίζεται το επίπεδο φόρτισης των διασυνδεδεμένων ηλεκτρικών οχημάτων ανά πάσα χρονική στιγμή με σκοπό την ελαχιστοποίησής της διακύμανσης του φορτίου. Αυτή η στρατηγική ταιριάζει περισσότερο σε ένα νησί, όπου ο φορέας εκπροσώπησης δύναται να διαχειρίζεται το φορτίο ενός στόλου ενοικιαζόμενων Η/Ο για τις ανάγκες των τουριστών-επισκεπτών, αλλά ταυτόχρονα και τις ανάγκες της καθημερινότητας των κατοίκων του νησιού.

Η συγκεκριμένη στρατηγική, σε αντιδιαστολή με τις 2 προηγούμενες, υλοποιείται μέσω του μαθηματικού μοντέλου της παραγράφου 6.2. Θεωρούμε ότι το χρονικό διάστημα φόρτισης συμπίπτει με τις ώρες μειωμένου τιμολογίου, δηλαδή 23.00 - 07.00 για την καλοκαιρινή ημέρα και 02.00 - 07.00 για την χειμωνιάτικη ημέρα.

Ακολουθούν οι καμπύλες φορτίου της συγκεκριμένης στρατηγικής:



Διάγραμμα 6.9: Ημερήσια καμπύλη φορτίου Μεγίστης (καλοκαίρι) για στόλο Η/Ο 50, 100, και 150 Η/Ο με έξυπνη φόρτιση

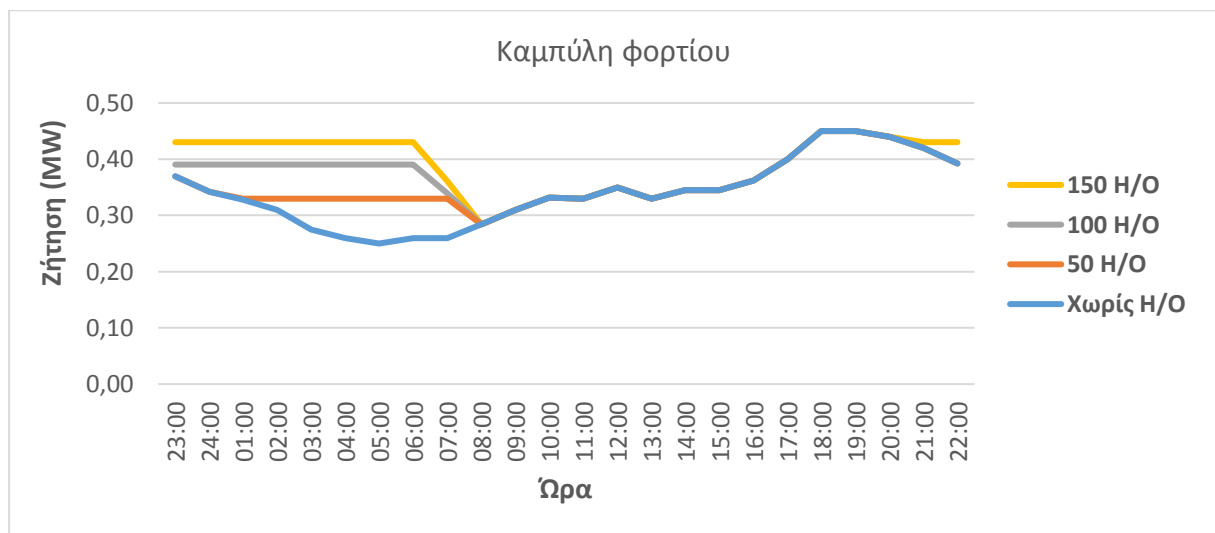


Διάγραμμα 6.10: Ημερήσια καμπύλη φορτίου Μεγίστης (χειμώνας) για στόλο H/O 50, 100, και 150 H/O με έξυπνη φόρτιση

Παρατηρούμε ότι η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων την καλοκαιρινή ημέρα δεν επιβαρύνει επιπλέον την καμπύλη φορτίου, αλλά τείνει να την σταθεροποιήσει (ευθυγραμμίσει). Αυτό ισχύει και για τα τρία σενάρια διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων (50, 100, 150).

Την ημέρα του χειμώνα παρατηρούμε ότι η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων επιφέρει στιγμιαία αιχμή στο δίκτυο για τη διείσδυση στόλου 100 και 150 H/O αντίστοιχα, η οποία στη συνέχεια ομαλοποιείται. Αυτό συμβαίνει λόγω του γεγονότος ότι η ζήτηση το χειμώνα στη Μεγίστη είναι μικρότερη σε σχέση με το καλοκαίρι. Επίσης, παρατηρούμε ότι ένας στόλος 50 H/O δεν επιβαρύνει την καμπύλη φορτίου, αλλά τείνει να την σταθεροποιήσει.

Επίσης, στο παρακάτω γράφημα μπορούμε να δούμε την επίδραση της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στην τυχαία ημέρα του χειμώνα για φόρτιση από τις 22.00 έως τις 07.00. Αυτό γίνεται για να δούμε ότι αν αλλάξουμε το ωράριο φόρτισης, επικεντρωθούμε περισσότερο στην κοιλάδα (valley) που προκαλεί η μειωμένη ζήτηση στη Μεγίστη από τις βραδινές ώρες μέχρι το πρωί, τότε έχουμε καλύτερα αποτελέσματα από το να επικεντρωθούμε στο ωράριο με το μειωμένο τιμολόγιο (διάγραμμα 6.10).



Διάγραμμα 6.11: Ημερήσια καμπύλη φορτίου Μεγίστης (χειμώνας) για στόλο H/O 50, 100, και 150 H/O με έξυπνη φόρτιση και επέκταση ωραρίου φόρτισης H/O σύμφωνα με βάση την αρχική ζήτηση του δικτύου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΑΠΕ ΣΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΜΙΓΜΑ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ

7.1 Εισαγωγή ΑΠΕ

Στη συγκεκριμένη ενότητα θα μελετηθεί το πως επηρεάζεται το αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα της Μεγίστης, και δη η παραγωγή ισχύος από τις θερμικές μονάδες, με την εισαγωγή ΑΠΕ σταθμού στο ενεργειακό μίγμα του νησιού και την διείσδυση ενός στόλου ηλεκτρικών οχημάτων υπό το πρίσμα διαφορετικών στρατηγικών φόρτισης.

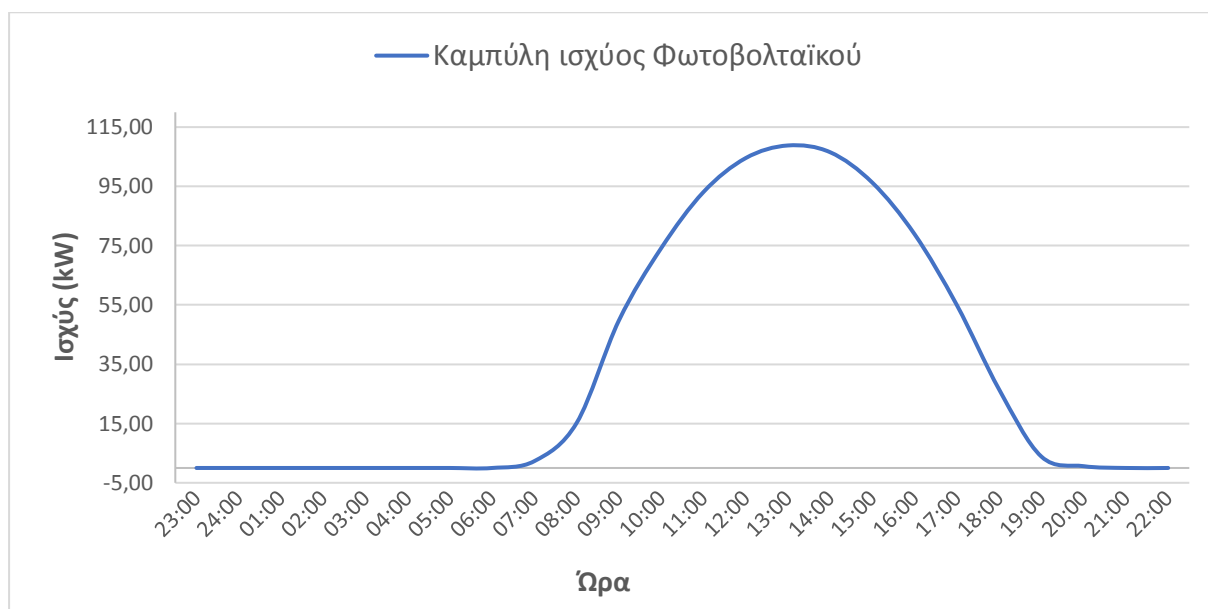
7.1.1 Καμπύλη ισχύος Φωτοβολταϊκού σταθμού

Στη Μεγίστη μέχρι σήμερα δεν υπάρχει κάποιος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Η ΡΑΕ με την απόφαση 616/2016 επανακαθόρισε το περιθώριο ισχύος για τα φωτοβολταϊκά στη Μεγίστη στα 139,5 kW και στα 15,5 kW για τις μικρές ανεμογεννήτριες. Ως εκ τούτου, λόγω της μικρής ισχύος για τις μικρές ΑΓ και της στοχαστικής παραγωγής αυτών, επιλέξαμε στη παρούσα εργασία η παραγόμενη ισχύς από ΑΠΕ να βασίζεται μόνο σε Φωτοβολταϊκά.

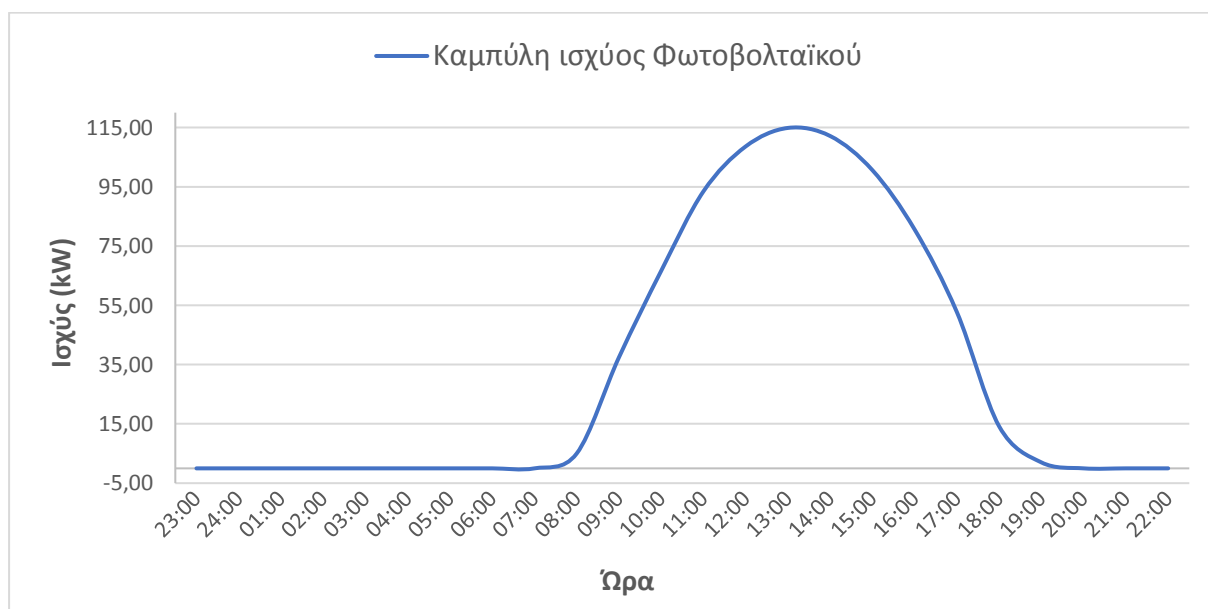
Για τους σκοπούς της παρούσης εργασίας και για τη συγκεκριμένη ενότητα κάνουμε τη παραδοχή ότι η παραγωγή των θερμικών μονάδων παρακολουθεί τη ζήτηση ισχύος και την υπερκαλύπτει κατά 4%.

Παρακάτω απεικονίζεται η καμπύλη ισχύος ενός φωτοβολταϊκού σταθμού με μέγιστη ονομαστική ισχύ 139,5 kW και 279 kW (2x139,5 kW) αντίστοιχα, για 2 τυχαίες ημέρες (καλοκαίρι, χειμώνας).

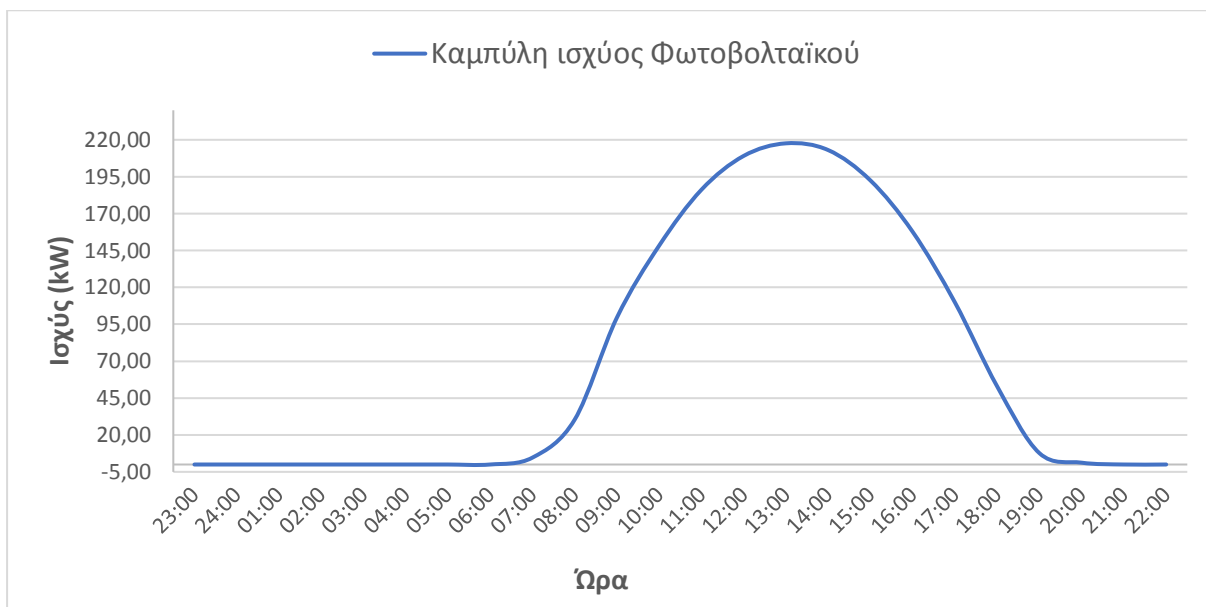
(Τα δεδομένα για τη Μεγίστη που απεικονίζονται στα παρακάτω διαγράμματα είναι από το δωρεάν εργαλείο PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής)



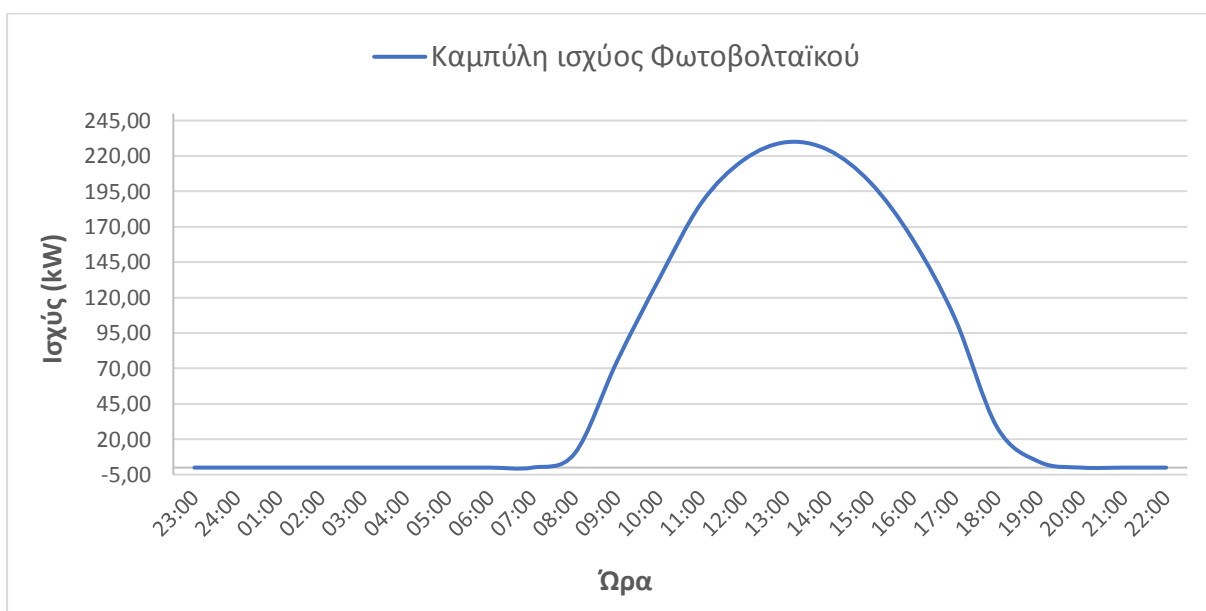
Διάγραμμα 7.1: Παραγόμενη ωριαία ισχύς από φωτοβολταϊκά 139,5 kW (καλοκαίρι)



Διάγραμμα 7.2: Παραγόμενη ωριαία ισχύς από φωτοβολταϊκά 139,5 kW (χειμώνας)



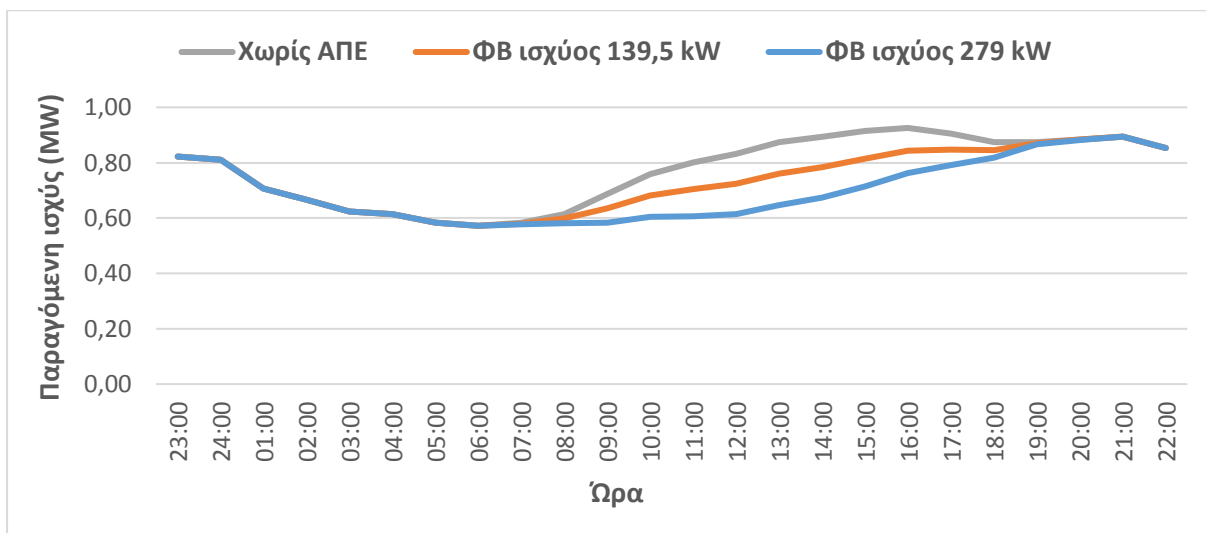
Διάγραμμα 7.3: Παραγόμενη ωριαία ισχύς από φωτοβολταϊκά 279 kW (καλοκαίρι)



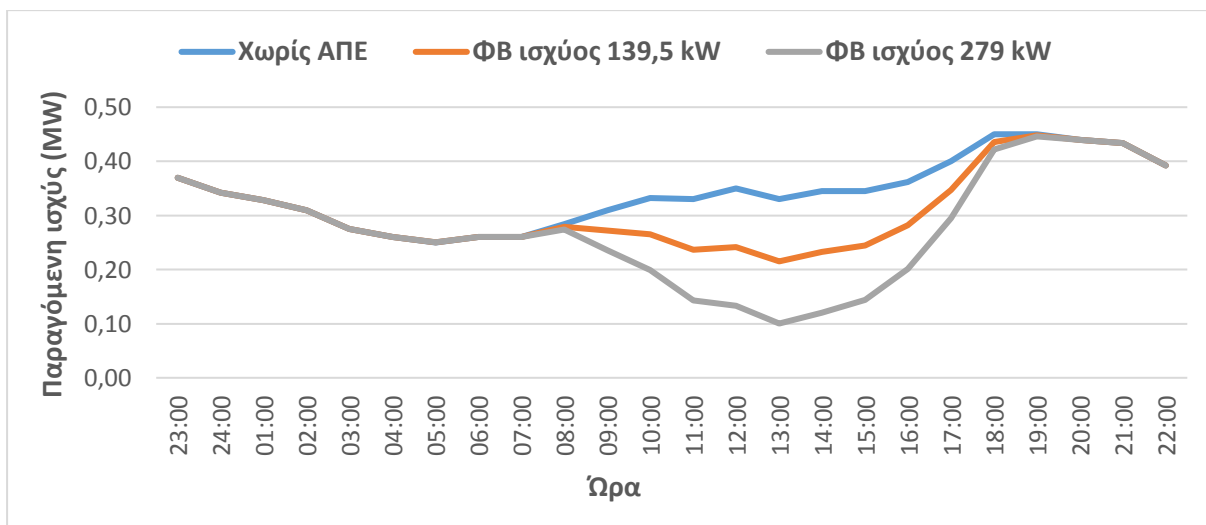
Διάγραμμα 7.4: Παραγόμενη ωριαία ισχύς από φωτοβολταϊκά 279 kW (χειμώνας)

7.1.2 Καμπύλη παραγόμενης ισχύος με την εισαγωγή ΑΠΕ (χωρίς Η/Ο)

Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζεται η παραγόμενη ισχύς από τις θερμικές μονάδες στο αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα της Μεγίστης με και χωρίς την εισαγωγή ΑΠΕ για τις δύο τυχαίες ημέρες του έτους (καλοκαίρι, χειμώνα) και χωρίς την επιπρόσθετη ζήτηση από την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων.



Διάγραμμα 7.5: Ημερήσια παραγόμενη ισχύς από τις θερμικές μονάδες (καλοκαίρι) με και χωρίς την εισαγωγή ΑΠΕ (χωρίς Η/Ο)



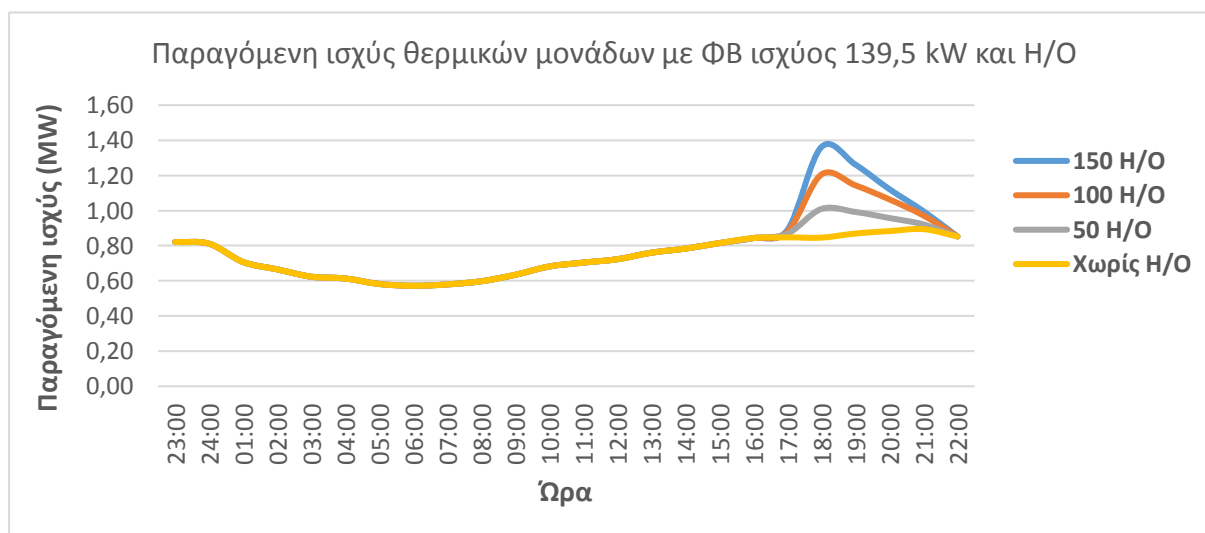
Διάγραμμα 7.6: Ημερήσια παραγόμενη ισχύς από τις θερμικές μονάδες (χειμώνας) με και χωρίς την εισαγωγή ΑΠΕ (χωρίς Η/Ο)

Παρατηρούμε ότι με την εισαγωγή της ισχύος από το φωτοβολταϊκό σταθμό στο ενεργειακό μίγμα της Μεγίστης, μειώνεται σημαντικά η παραγωγή ισχύος από τις θερμικές μονάδες. Επίσης παρατηρούμε ότι με τον διπλασιασμό της ισχύος από τα ΦΒ, τόσο πιο κοίλη γίνεται η καμπύλη τις ώρες της έντονης ηλιοφάνειας, ιδιαίτερα την τυχαία ημέρα του χειμώνα. Αυτό συνεπάγεται αισθητά μικρότερη παραγωγή ενέργειας από τις θερμικές μονάδες.

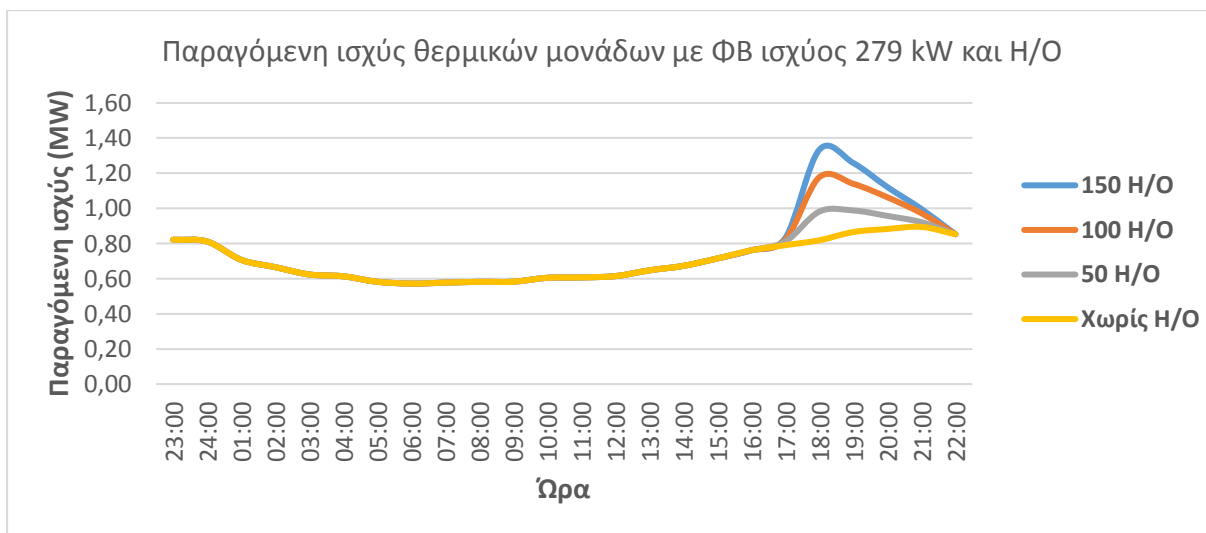
7.1.3 Καμπύλη παραγόμενης ισχύος με την εισαγωγή ΑΠΕ (με Η/Ο)

Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζεται η παραγόμενη ισχύς από τις θερμικές μονάδες στο αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα της Μεγίστης με την εισαγωγή ΑΠΕ για τις δύο τυχαίες ημέρες του έτους (καλοκαίρι, χειμώνα) και με την προσθήκη του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων για κάθε στρατηγική φόρτισης. Η ισχύς που απαιτείται για τη φόρτιση του στόλου των Η/Ο προστίθεται στη ζήτηση. Για να δούμε την επίδραση των ΑΠΕ στην καμπύλη παραγόμενης ισχύος θεωρούμε ότι η ισχύς που απαιτείται για τη φόρτιση των Η/Ο καλύπτεται από τις θερμικές μονάδες. Στα παρακάτω γραφήματα, απεικονίζεται η ισχύς που πρέπει να παρέχουν οι θερμικές μονάδες ώστε να υπερκαλύπτεται κατά 4% η συνολική ζήτηση που περιλαμβάνει και την φόρτιση στόλου Η/Ο.

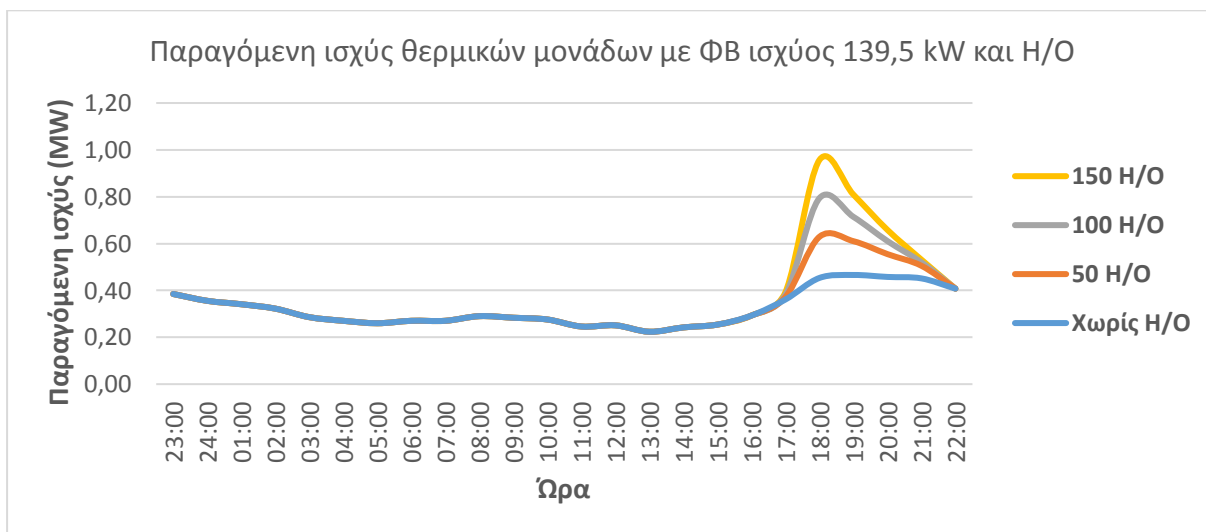
7.1.3.1 Μη ελεγχόμενη φόρτιση



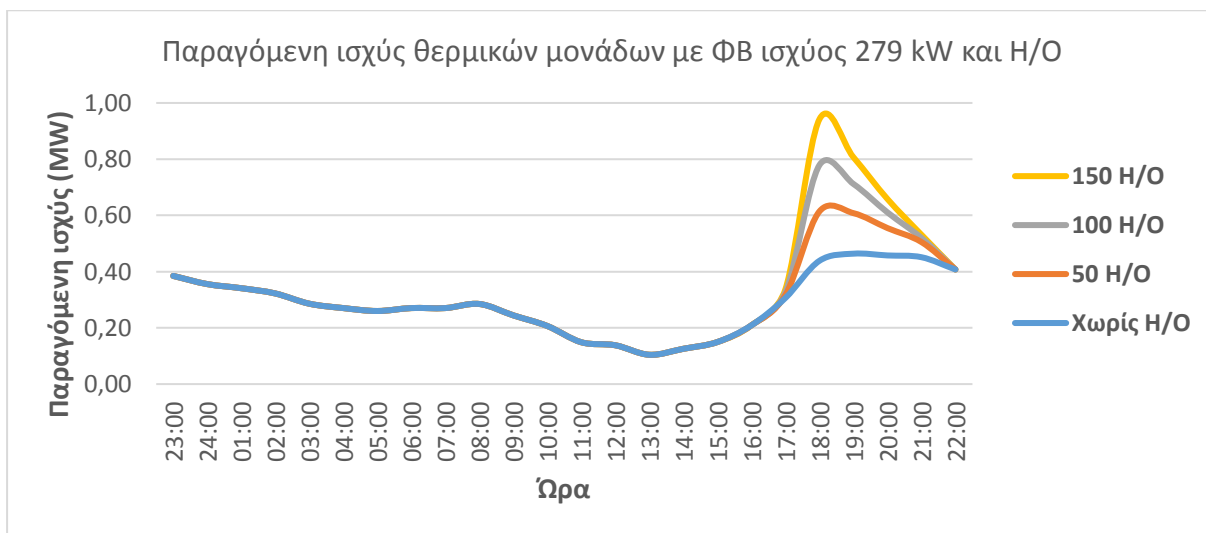
Διάγραμμα 7.7: Ημερήσια καμπύλη παραγόμενης ισχύος από τις θερμικές μονάδες (καλοκαίρι) για διαφορετικά μεγέθη στόλου Η/Ο και ΦΒ ισχύος 139,5 kW για μη ελεγχόμενη φόρτιση



Διάγραμμα 7.8: Ημερήσια καμπύλη παραγόμενης ισχύος από τις θερμικές μονάδες (καλοκαίρι) για διαφορετικά μεγέθη στόλου Η/Ο και ΦΒ ισχύος 279 kW για μη ελεγχόμενη φόρτιση



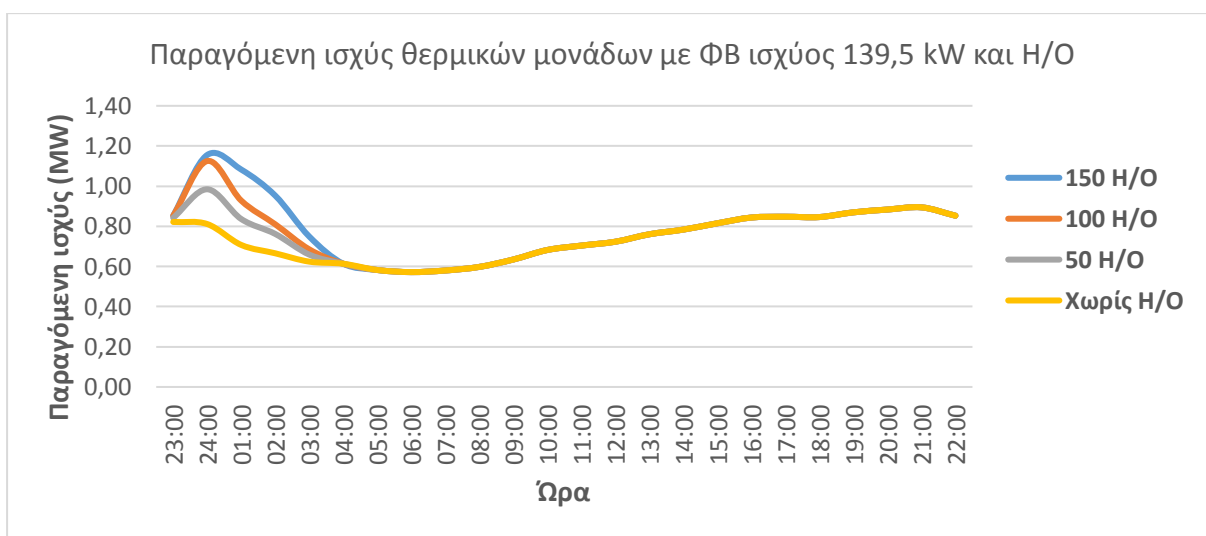
Διάγραμμα 7.9: Ημερήσια καμπύλη παραγόμενης ισχύος από τις θερμικές μονάδες (χειμώνας) για διαφορετικά μεγέθη στόλου Η/Ο και ΦΒ ισχύος 139,5 kW για μη ελεγχόμενη φόρτιση



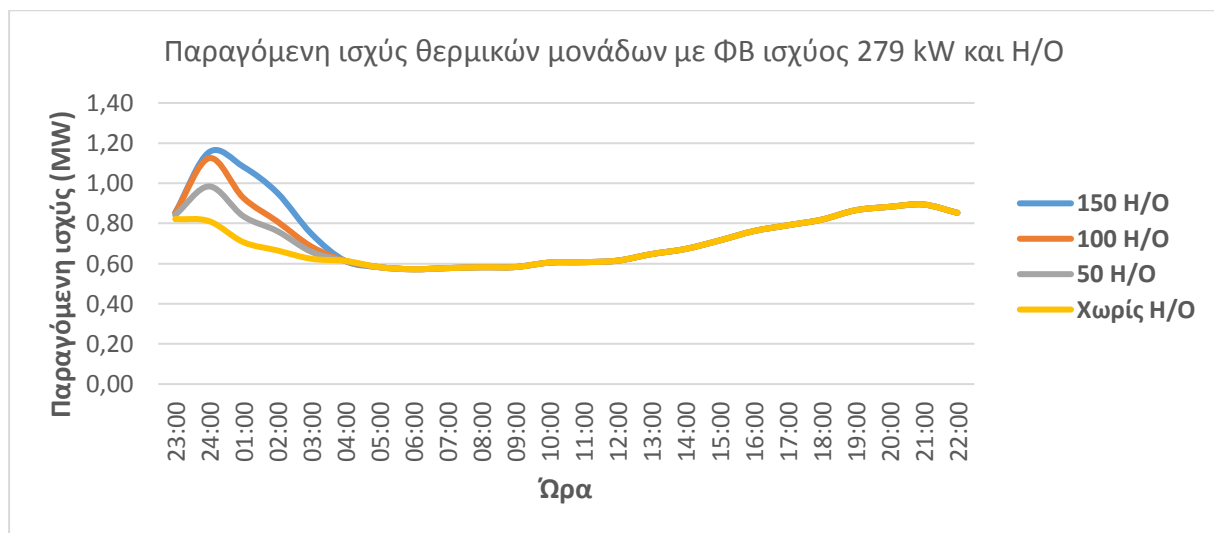
Διάγραμμα 7.10: Ημερήσια καμπύλη παραγόμενης ισχύος από τις θερμικές μονάδες (χειμώνας) για διαφορετικά μεγέθη στόλου Η/Ο και ΦΒ ισχύος 279 kW για μη ελεγχόμενη φόρτιση

Η αιχμή της παραγόμενης ισχύος των θερμικών μειώνεται σημαντικά τις ώρες έντονης ηλιοφάνειας όπου παράγουν τα ΦΒ. Επίσης, για να καλυφθεί το φορτίο των Η/Ο η παραγόμενη ισχύς των θερμικών μονάδων πρέπει να αυξηθεί δημιουργώντας έτσι αιχμή στην καμπύλη.

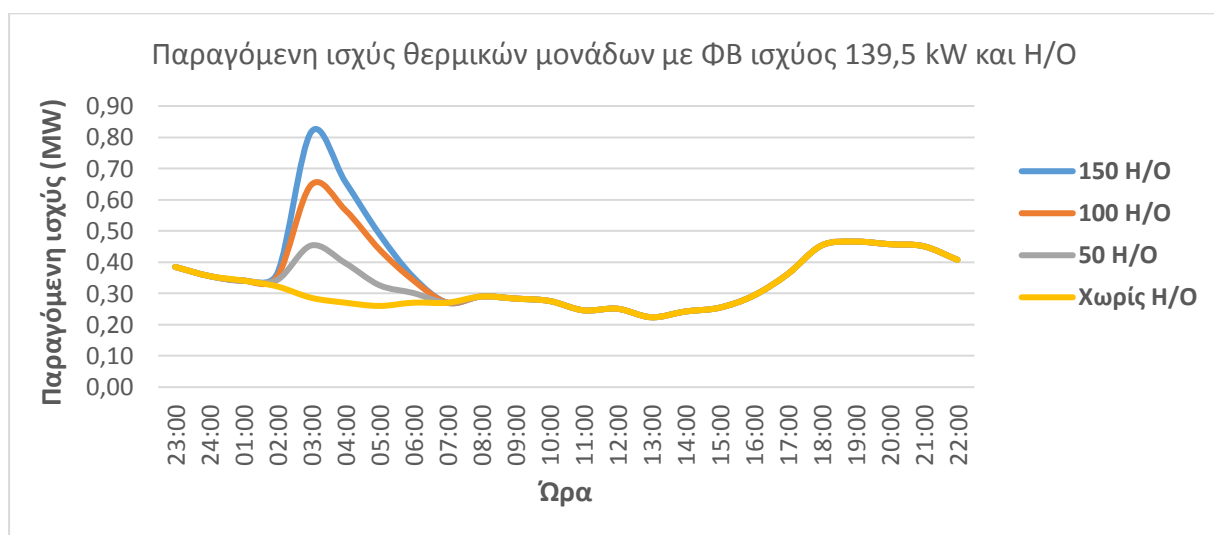
7.1.3.2 Φόρτιση με τη χρήση διζωνικού τιμολογίου



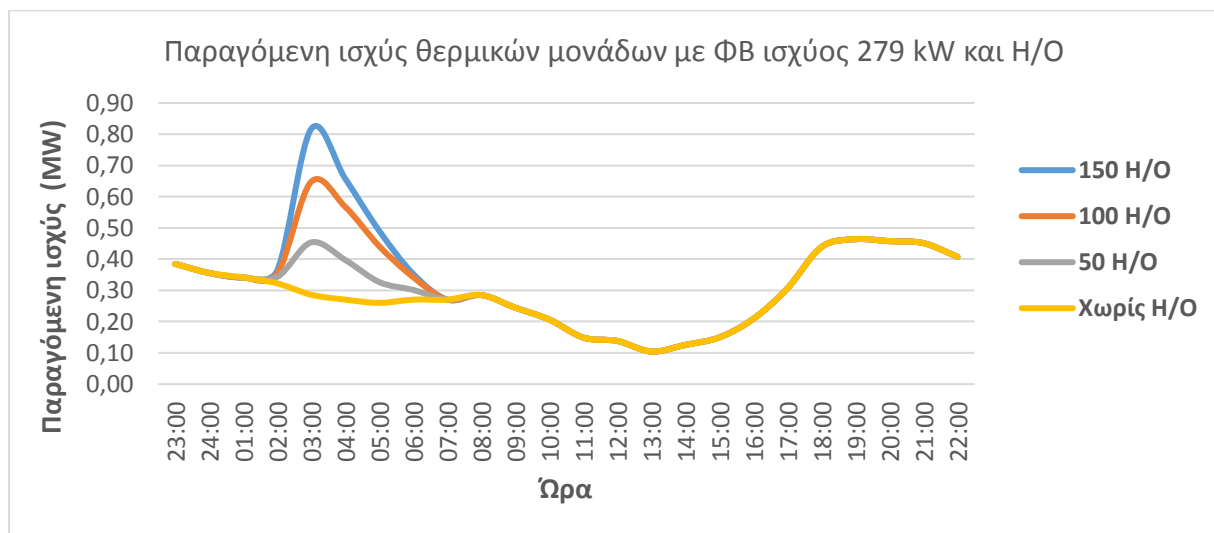
Διάγραμμα 7.11: Ημερήσια καμπύλη παραγόμενης ισχύος από τις θερμικές μονάδες (καλοκαίρι) για διαφορετικά μεγέθη στόλου Η/Ο και ΦΒ ισχύος 139,5 kW για φόρτιση με χρήση διζωνικού τιμολογίου



Διάγραμμα 7.12: Ημερήσια καμπύλη παραγόμενης ισχύος από τις θερμικές μονάδες (καλοκαίρι) για διαφορετικά μεγέθη στόλου Η/Ο και ΦΒ ισχύος 279 kW για φόρτιση με χρήση διζωνικού τιμολογίου



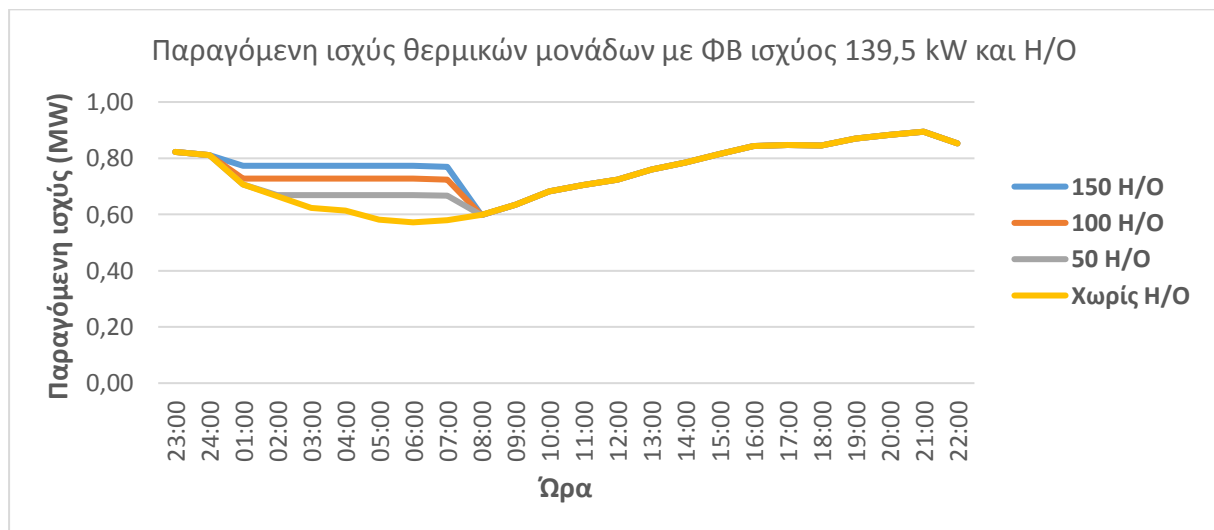
Διάγραμμα 7.13: Ημερήσια καμπύλη παραγόμενης ισχύος από τις θερμικές μονάδες (χειμώνας) για διαφορετικά μεγέθη στόλου Η/Ο και ΦΒ ισχύος 139,5 kW για φόρτιση με χρήση διζωνικού τιμολογίου



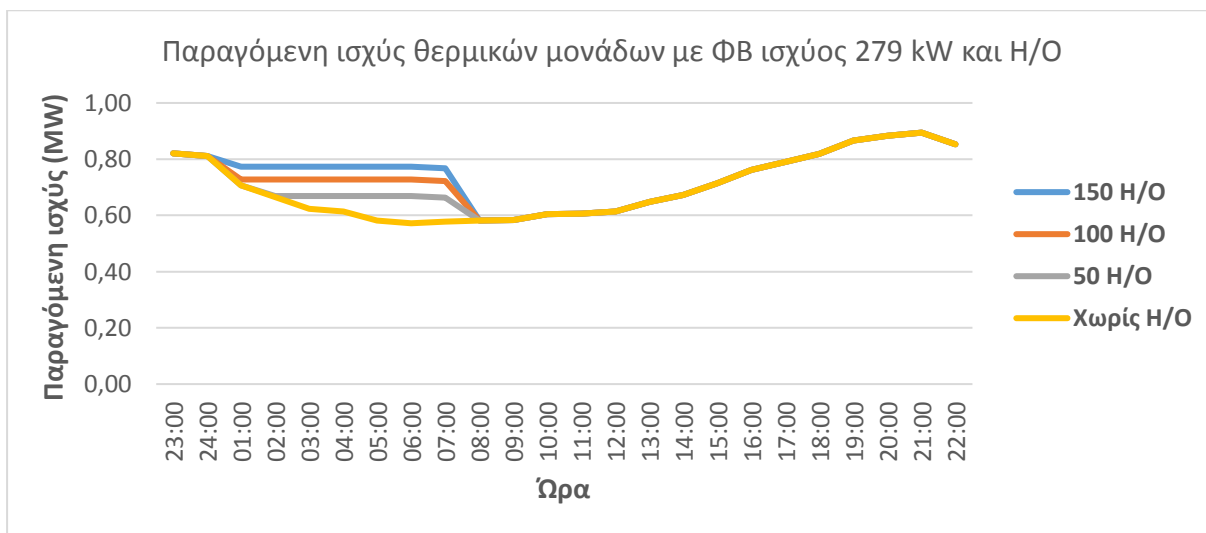
Διάγραμμα 7.14: Ημερήσια καμπύλη παραγόμενης ισχύος από τις θερμικές μονάδες (χειμώνας) για διαφορετικά μεγέθη στόλου Η/Ο και ΦΒ ισχύος 279 kW για φόρτιση με χρήση διζωνικού τιμολογίου

Παρατηρούμε ότι η παραγόμενη ισχύς των θερμικών μειώνεται τις ώρες έντονης ηλιοφάνειας όπου παράγουν τα ΦΒ. Επίσης, για να καλυφθεί το φορτίο των Η/Ο που φορτίζουν σε ώρες που δεν υπάρχει ηλιοφάνεια, η παραγόμενη ισχύς των θερμικών πρέπει να αυξηθεί, ενώ η αιχμή στην καμπύλη μετατοπίζεται στις πρώτες πρωινές ώρες λόγω χαμηλότερης χρέωσης.

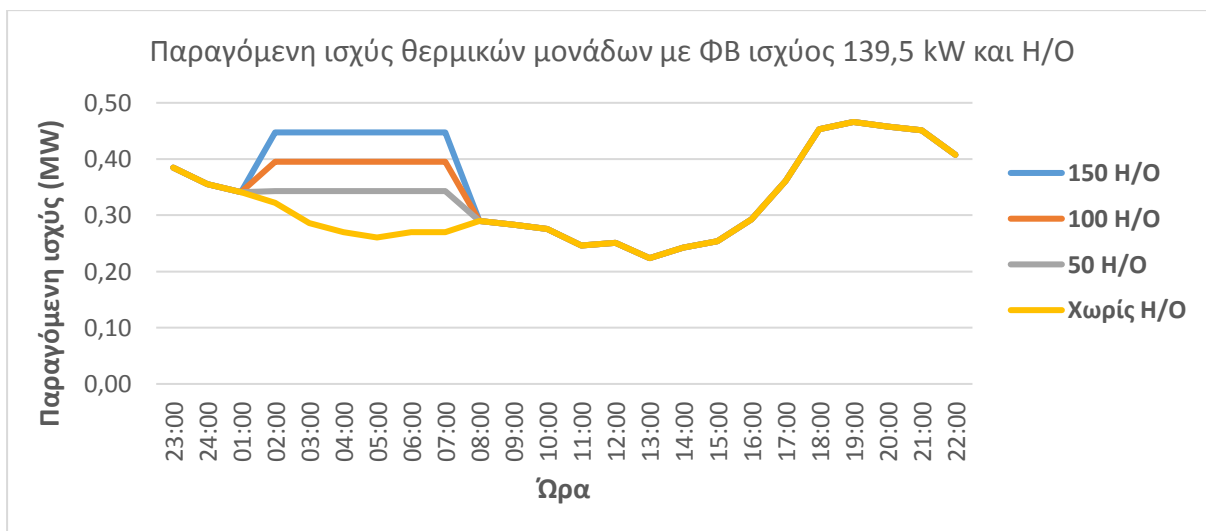
7.1.3.3 Έξυπνη φόρτιση (smart charging)



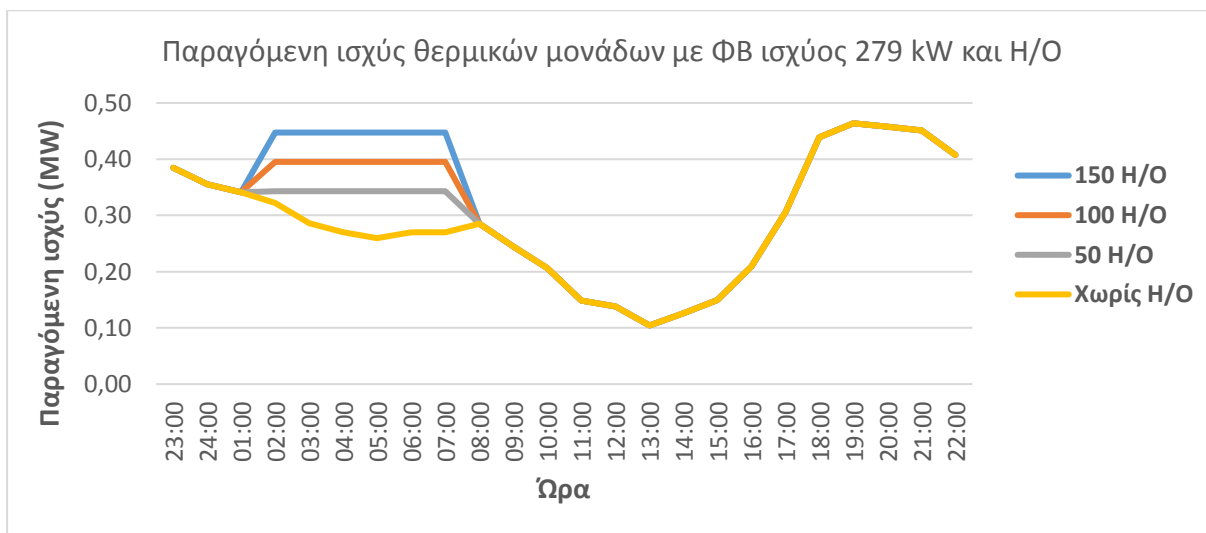
Διάγραμμα 7.15: Ημερήσια καμπύλη παραγόμενης ισχύος από τις θερμικές μονάδες (καλοκαίρι) για διαφορετικά μεγέθη στόλου Η/Ο και ΦΒ ισχύος 139,5 kW με έξυπνη φόρτιση



Διάγραμμα 7.16: Ημερήσια καμπύλη παραγόμενης ισχύος από τις θερμικές μονάδες (καλοκαίρι) για διαφορετικά μεγέθη στόλου Η/Ο και ΦΒ ισχύος 279 kW με έξυπνη φόρτιση



Διάγραμμα 7.17: Ημερήσια καμπύλη παραγόμενης ισχύος από τις θερμικές μονάδες (χειμώνας) για διαφορετικά μεγέθη στόλου Η/Ο και ΦΒ ισχύος 139,5 kW με έξυπνη φόρτιση

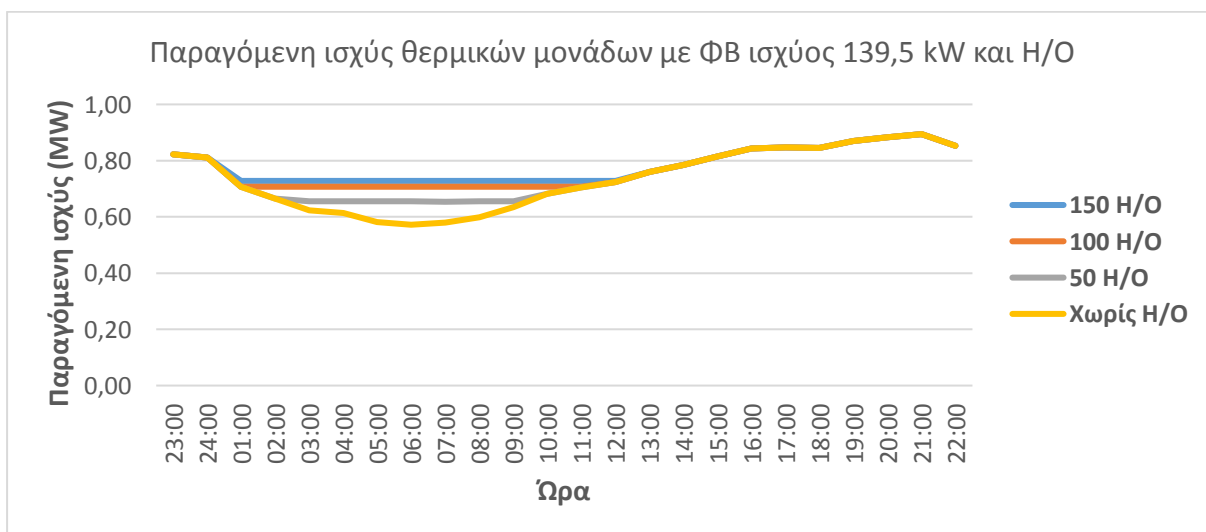


Διάγραμμα 7.18: Ημερήσια καμπύλη παραγόμενης ισχύος από τις θερμικές μονάδες (χειμώνας) για διαφορετικά μεγέθη στόλου Η/Ο και ΦΒ ισχύος 279 kW με έξυπνη φόρτιση

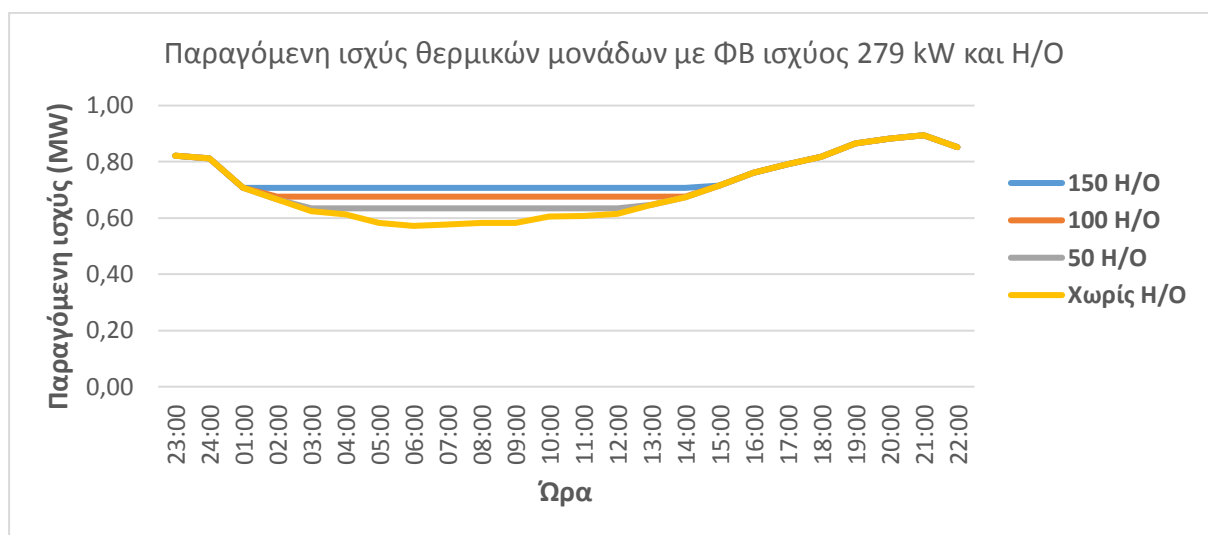
Με τη συγκεκριμένη στρατηγική διευκολύνεται η αυξημένη διείσδυση Η/Ο, ενώ δε δημιουργούνται ιδιαίτερες αιχμές στη παραγωγή ισχύος από τις θερμικές μονάδες. Επίσης, παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει κάποια συνέργεια μεταξύ Η/Ο και ΦΒ αφού οι ώρες έντονης ηλιοφάνειας δε συμπίπτουν με το ωράριο φόρτισης των Η/Ο.

7.1.3.4 Έξυπνη φόρτιση (smart charging) με εκτεταμένο ωράριο

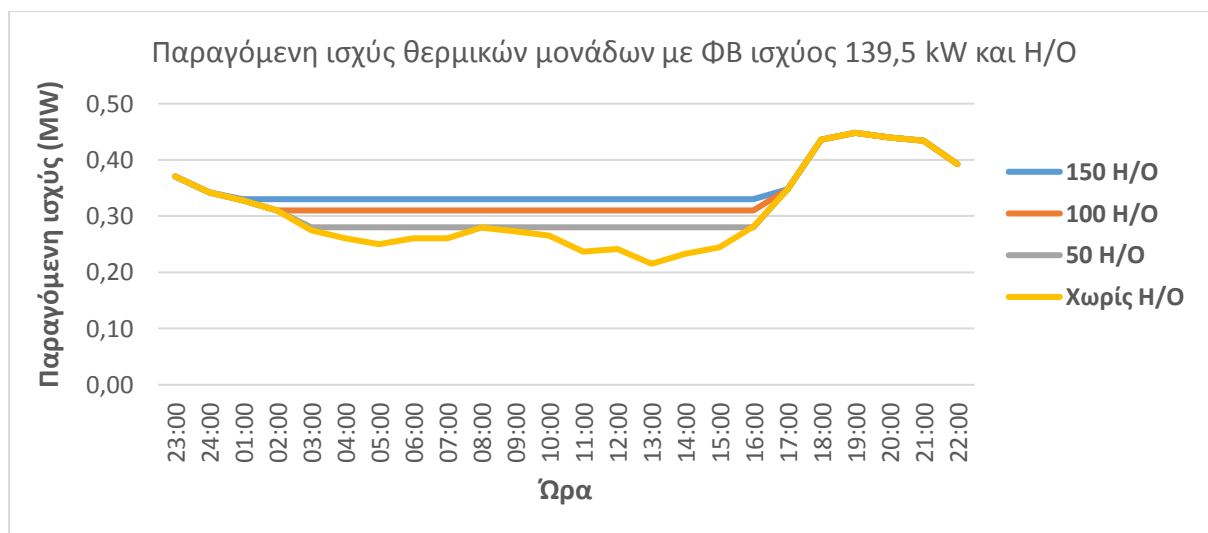
Για να μπορέσουμε να πάρουμε τα μέγιστα οφέλη από την εισαγωγή ΑΠΕ, επεκτείναμε το ωράριο φόρτισης των Η/Ο ούτως ώστε να συμπίπτει και με τις ώρες έντονης ηλιοφάνειας, δηλαδή από τις 23.00 μέχρι τις 17.00.



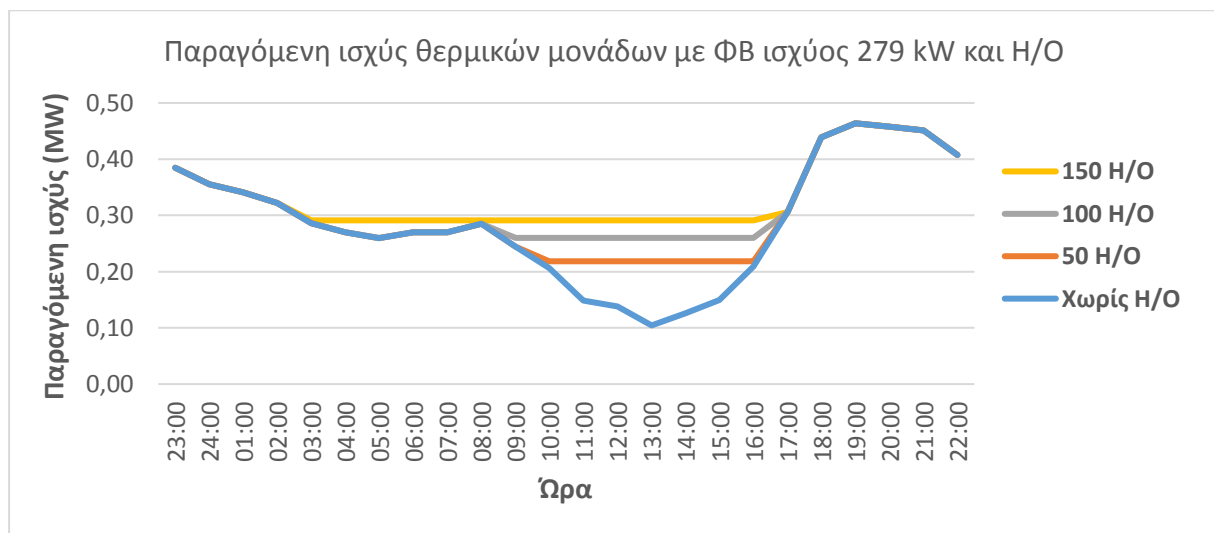
Διάγραμμα 7.19: Ημερήσια καμπύλη παραγόμενης ισχύος από τις θερμικές μονάδες (καλοκαίρι) διαφορετικά μεγέθη στόλου Η/Ο και ΦΒ ισχύος 139,5 kW με έξυπνη φόρτιση και εκτεταμένο ωράριο



Διάγραμμα 7.20: Ημερήσια καμπύλη παραγόμενης ισχύος από τις θερμικές μονάδες (καλοκαίρι) για διαφορετικά μεγέθη στόλου Η/Ο και ΦΒ ισχύος 279 kW με έξυπνη φόρτιση και εκτεταμένο ωράριο



Διάγραμμα 7.21: Ημερήσια καμπύλη παραγόμενης ισχύος από τις θερμικές μονάδες (χειμώνας) για διαφορετικά μεγέθη στόλου Η/Ο και ΦΒ ισχύος 139,5 kW με έξυπνη φόρτιση και εκτεταμένο ωράριο



Διάγραμμα 7.22: Ημερήσια καμπύλη παραγόμενης ισχύος από τις θερμικές μονάδες (χειμώνας) για διαφορετικά μεγέθη στόλου Η/Ο και ΦΒ ισχύος 279 kW με έξυπνη φόρτιση και εκτεταμένο ωράριο

Με τη συγκεκριμένη στρατηγική διευκολύνεται τόσο η αυξημένη διείσδυση Η/Ο όσο και η μεγαλύτερη διείσδυση ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και για τις δύο περιόδους του έτους. Δε δημιουργούνται ιδιαίτερες αιχμές στη παραγωγή ισχύος από τις θερμικές μονάδες, ενώ η αυξημένη εισαγωγή ΑΠΕ μειώνει την παραγωγή των θερμικών μονάδων του νησιού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

8.1 Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να εξεταστεί η συνεισφορά των ηλεκτρικών οχημάτων στην ευελιξία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας μη διασυνδεδεμένων νησιών.

Αρχικά έγινε αναφορά στην ανάγκη για την διάδοση και χρήση ηλεκτρικών οχημάτων καθώς και στην υφιστάμενη κατάσταση. Στη συνέχεια αναλύθηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών οχημάτων και των υποδομών φόρτισης, ενώ έγινε περιγραφή της νομοθεσίας, των μοντέλων ανάπτυξης υποδομών φόρτισης καθώς και της οργάνωσης της αγοράς της ηλεκτροκίνησης. Ακολούθως, έγινε ανάλυση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας των μη διασυνδεδεμένων νησιών με αναφορά στον ΤΣΠ της Μεγίστης. Ακολούθησαν τα βασικά στοιχεία των γενετικών αλγορίθμων και το μαθηματικό μοντέλο με τα αντίστοιχα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της παρούσας εργασίας.

Κατά την υλοποίηση των στρατηγικών της μη ελεγχόμενης φόρτισης και της φόρτισης με τη χρήση διζωνικού τιμολογίου, τόσο την τυχαία ημέρα του καλοκαιριού, όσο και την αντίστοιχη του χειμώνα, παρατηρούμε ότι επιβαρύνεται ιδιαίτερα η καμπύλη φορτίου. Πιο συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερη είναι η διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων τόσο μεγαλύτερη αιχμή δημιουργείται, γεγονός που είναι έντονο την τυχαία ημέρα του χειμώνα λόγω της μικρότερης ζήτησης.

Σε αντιδιαστολή με τις 2 παραπάνω στρατηγικές φόρτισης, όπου η φόρτιση είναι άναρχη και γίνεται σύμφωνα με τις ανάγκες του χρήστη, η έξυπνη φόρτιση δεν επιβαρύνει επιπλέον την καμπύλη φορτίου, αλλά τείνει να την ευθυγραμμίσει αφού ικανοποιείται η ζήτηση για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων τις ώρες που υπάρχει η κοιλάδα (valley). Η αυξημένη διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων το χειμώνα μπορεί να επιφέρει στιγμιαίες αιχμές στο ηλεκτρικό δίκτυο λόγω της μειωμένης ζήτησης σε σχέση με το καλοκαίρι.

Αναφορικά με την εισαγωγή ισχύος από ΦΒ σταθμό στο ενεργειακό μίγμα του νησιού και την παραγωγή ισχύος από τις θερμικές μονάδες, παρατηρούμε ότι στη μη ελεγχόμενη φόρτιση και τη φόρτιση με τη χρήση διζωνικού τιμολογίου δεν υπάρχει συνέργεια μεταξύ ΑΠΕ και Η/Ο. Αυτό συμβαίνει λόγω του γεγονότος ότι οι ώρες φόρτισης των Η/Ο δεν συνάδουν με τις ώρες ηλιοφάνειας, όπου παράγουν τα ΦΒ. Αυτό δεν συμβαίνει στη στρατηγική της έξυπνης φόρτισης με ένα πιο ευέλικτο (διευρυμένο) ωράριο, όπου διευκολύνεται τόσο η αυξημένη διείσδυση Η/Ο όσο και η μεγαλύτερη διείσδυση ΦΒ και για τις δύο περιόδους του έτους.

Επιπρόσθετα, η αυξημένη προσφορά ενέργειας από ΑΠΕ, μειώνει τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις συμβατικές μονάδες ανάλογα με τα όρια ασφαλούς απορρόφησης των ΑΠΕ που έχει θέσει ο διαχειριστής του Δικτύου με τα ανάλογα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη.

Εν κατακλείδι, μπορούμε να πούμε ότι η στρατηγική της έξυπνης φόρτισης συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση της διακύμανσης της ζήτησης σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας καθώς το επιπρόσθετο φορτίο που απαιτείται για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων κατανέμεται καλύτερα και ομοιόμορφα. Επιπρόσθετα, με την εισαγωγή ισχύος από Φωτοβολταϊκά και ένα πιο ευέλικτο ωράριο φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων από τον διαχειριστή του φορτίου αυτών, διευκολύνεται τόσο η αυξημένη διείσδυση Η/Ο όσο και η μεγαλύτερη εισαγωγή ΑΠΕ στο ενεργειακό μίγμα του νησιού. Ως εκ τούτου, με την ευελιξία που δύναται να προσφέρει η στρατηγική της έξυπνης φόρτισης, πολλαπλασιάζονται τα οφέλη τόσο για τον Διαχειριστή του δικτύου, όσο και για τους χρήστες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] IRENA (2019). Innovation Outlook. Smart charging for electric vehicles. International Renewable Energy Agency. Abu Dhabi.
- [2] Καρφόπουλος Ε. (2017). Συμβολή στη διαχείριση των ηλεκτρικών οχημάτων για την αποδοτικότερη ενσωμάτωσή τους στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Διδακτορική διατριβή. ΕΜΠ.
- [3] IEA (2019). Global EV outlook 2019. Scaling up the transition to electric mobility. Paris, www.iea.org/publications/reports/globalevoutlook2019/.
- [4] Παπαθανασίου Σ., Σχινά Ο. (2019). Προτάσεις για τη λειτουργία της αγοράς ηλεκτροκίνησης στην Ελλάδα (PAE).
https://energypress.gr/sites/default/files/media/rae_emp_paroyiasi.pdf
- [5] Χατζηαργυρίου Ν. (2016). Επιπτώσεις της ηλεκτροκίνησης των οδικών μεταφορών στα δίκτυα ηλεκτροδότησης. Ημερίδα Επιτροπής ενέργειας Ακαδημίας Αθηνών.
- [6] Taibi, E., Fernández, C. (2017). The impact of electric vehicles deployment on production cost in a Caribbean Island country. IRENA Innovation and Technology Center (IITC), Bonn.
- [7] Ramírez Díaz, A. et al. (2015). Impact of electric vehicles as distributed energy storage in isolated systems: The case of Tenerife. Sustainability, Vol. 7(11):15152-15178.
- [8] Camus, C., Farias, T., 2012. The electric vehicles as a mean to reduce CO2 emissions and energy cost in isolated regions. The Sgo Miguel (Azores) case study. Energy Policy, Vol. 43: 153-165.
- [9] Pascale-Louise Blyth, S., 2011. Electric cars on the 100% renewable energy island of SamsØ. Master's thesis. Aalborg University. Master's thesis. Aalborg University. https://projekter.aau.dk/projekter/files/52872570/SEPM4_2011_8.pdf.
- [10] Chen, L., Wu, Z. (2018). Study on effects of EV charging to global load characteristics via charging aggregators. Energy Procedia, Vol. 145: 175-180.
- [11] Creara (2017). The electric vehicle - A major contributor to EU energy & climate policy objectives. Creara, Madrid.

- [12] de Brey, B., 2017. Smart solar charging: Bi-directional AC charging (V2G) in the Netherlands. *Journal of Energy and Power Engineering*. *Journal of Energy and Power Engineering*, Vol. 11: 483-490.
- [13] Delta-ee (2018). The intersection between EVs and electricity - opportunities and threats. Delta Energy & Environment, Edinburgh.
- [14] Lévy, P.Z., Drossinos, Y., Thiel, C. (2017). The effect of fiscal incentives on market penetration of electric vehicles: A pairwise comparison of total cost of ownership. *Energy Policy*, Vol. 105: 524-533.
- [15] Noel, L. et al. (2019). *Vehicle-to-Grid - A Sociotechnical Transition Beyond Electric Mobility*. Springer Nature Switzerland AG.
- [16] McKenzie, K. et al. (2016). Electrified transportation as a power grid resource. *IEEE Transportation Electrification Conference and Expo*, Dearborn, Michigan. www.hnei.hawaii.edu/sites/www.hnei.hawaii.edu/files/2016%20ITEC%20IEEE%20Electrified%20Transportation.pdf.
- [17] Pasaoglu, G. et al. (2013). Projections for Electric Vehicle Load Profiles in Europe Based on Travel Survey Data. European Commission Joint Research Centre, Petten. https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/reports/Projections_for_Electric_Vehicle_Load_Profiles_in_Europe_Based_on_Travel_Survey_Data.pdf
- [18] Rao, R. et al. (2015). Optimizing electric vehicle users' charging behaviour in battery swapping mode. *Applied Energy*, Vol. 155: 547-559.
- [19] St. John, J. (2015). How EV chargers and energy storage can make good grid partners. Greentech Media. www.greentechmedia.com/articles/read/how-ev-chargersand-energy-storage-can-make-good-grid-partners.
- [20] Plan GridEV (2016b). Distribution grid planning and operational principles for electric vehicle mass rollout while enabling integration of renewable distributed energy resources.
- [21] Κατσαπρακάκης Δ. (2015). Σύνθεση Ενεργειακών Συστημάτων. Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα. ISBN: 978-960-603-338-4.
- [22] PAE (2018, έκδοση 2^η). Κώδικας Διαχείρισης Ηλεκτρικών Συστημάτων μη Διασυνδεδεμένων Νησιών. <https://www.deddie.gr/Documents2/MDN/RITHMISTIKO>

PLAISIO/Κώδικας ΜΔΝ-Έκδοση 2η -4ος 2018.pdf.

[23] C Iclodean et al 2017 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.252 012058

[24] S. Ziemann¹, A. Grunwald¹, L. Schebek², D.B. Müller³, M. Weil (2013). The future of mobility and its critical raw materials. Rev. Metall. , Volume 110, Number 1, 2013, Social Value of Material, Pages 47 - 54.

[25] <https://ocw.tudelft.nl/course-readings/2-3-2-lecture-notes-ac-and-dc-charging/>

[26] <http://www.electric-vehiclenews.com/2014/04/hella-developing-wireless-charging.html>

[27] Μέτσιου Α. (2018). Ηλεκτρικά αυτοκίνητα, λειτουργία-υιοθέτηση και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Διπλωματική εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

[28] Νομικός Σ., Janocha Piotr I.. (2014). Ανάλυση δομής και λειτουργίας ηλεκτρικού οχήματος. Πτυχιακή εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

[29] Βελιτσικάκης Κ., Καπαρός - Τσάφος Δ. (2010). V2G - Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα στην αγορά ενέργειας. Διπλωματική εργασία. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

[30] Παπαθανασίου Σ. (2019). Θεσμικό πλαίσιο που διέπει την αγορά επαναφόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στην Ελλάδα. Παρουσίαση. 84^η ΔΕΘ - Ενεργειακές Εκδηλώσεις ΡΑΕ.

[31] Γεωργιάκης Π. Σ. Α. (2004). Εφαρμογή Γενετικών Αλγορίθμων στην Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας. Τεχν. Χρον. Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, ΙΙΙ, τεύχ. 1-2 2004, Tech. Chron. Sci. J. TCG, ΙΙΙ, No 1-2.

[32] Σάτσιου Ά. (2005). Γενετικοί Αλγόριθμοι στην Ανάπτυξη Μηχανών Διανυσμάτων Υποστήριξης: Μεθοδολογία και Εφαρμογές στη Διαχείριση Πιστωτικού Κινδύνου. Μεταπτυχιακή εργασία. Πολυτεχνείο Κρήτης.

[33] Καβαλλιεράτου Ε. Υπολογιστική Νοημοσύνη. Τμήμα Μηχανικών, Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

[34] Ντούνης Α. Υπολογιστική Νοημοσύνη. Εκπαιδευτικές διαλέξεις. Τμήμα Μηχανικών Αυτοματισμού. Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών. Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Τ.Τ.

[35] Γεωργόπουλος Ε., Λυκοθανάσης Σ (1999). Εισαγωγή στους Γενετικούς Αλγορίθμους. Εργαστήριο Αναγνώρισης Προτύπων. Πολυτεχνική Σχολή. Πανεπιστήμιο Πατρών.

- [36] Γεωργούλη Κ. (2015). Τεχνητή Νοημοσύνη - Μια Εισαγωγική Προσέγγιση. Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα. Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [37] Κάπρος Π. (2018). Υπηρεσίες ευελιξίας για το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. <https://energypress.gr/news/ypiresies-eyelixias-gia-systima-ilektrikis-energeias>
- [38] Καρακούσης Α. (2015). Μετάβαση στο Ευφύες Ηλεκτρικό Δίκτυο και Ανάπτυξη του Ευφυούς Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας. Διπλωματική Εργασία. Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.