



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Μελέτη του Ηλεκτρικού Συστήματος της Αστυπάλαιας σε συνθήκες
αυξημένης διείσδυσης ΑΠΕ και Ηλεκτρικών Οχημάτων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνος Ελευθεράκης

Επιβλέπων καθηγητής: **Νικόλαος Χατζηαργυρίου**

Καθηγητής Ε. Μ. Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2022



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Μελέτη του Ηλεκτρικού Συστήματος της Αστυπάλαιας σε συνθήκες αυξημένης διείσδυσης ΑΠΕ και Ηλεκτρικών Οχημάτων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνος Ελευθεράκης

Επιβλέπων καθηγητής: **Νικόλαος Χατζηαργυρίου**

Καθηγητής Ε. Μ. Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 8η Μαρτίου 2022

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....

Νικόλαος Χατζηαργυρίου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Σταύρος Παπαθανασίου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Παύλος Γεωργιάκης
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2022

.....
Κωνσταντίνος Ελευθεράκης

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

Copyright © Κωνσταντίνος Ε. Ελευθεράκης, 2022
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας η διαρκής αύξηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και η ραγδαία ανάπτυξη των Ηλεκτρικών Οχημάτων δημιουργούν νέες προκλήσεις στη λειτουργία των ηλεκτρικών συστημάτων, οι οποίες είναι ακόμα μεγαλύτερες στα αυτόνομα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας, όπως στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (ΜΔΝ) της Ελλάδας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε το Ηλεκτρικό Σύστημα της Αστυπάλαιας λαμβάνοντας υπ' όψιν σενάρια υψηλής διείσδυσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και Ηλεκτρικών Οχημάτων (ΗΟ). Αρχικά εξετάζονται διάφορα σενάρια λειτουργίας του συστήματος χωρίς την ένταξη των Ηλεκτρικών Οχημάτων, με στόχο τον εντοπισμό βιώσιμων ορίων και βέλτιστων σεναρίων λειτουργίας του Συστήματος με κριτήρια την επίτευξη υψηλής διείσδυσης ΑΠΕ και των οικονομικών τους αποτελεσμάτων.

Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε το software 'energy planning', το οποίο εκτελεί προσομοιώσεις για τον προσδιορισμό και σχεδιασμό Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών στην Ελλάδα, λαμβάνοντας υπ' όψιν τους περιορισμούς του Κώδικα Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών και των μονάδων παραγωγής (συμβατικών και ανανεώσιμων πηγών). Ως ΑΠΕ χρησιμοποιείται Υβριδικός Σταθμός (ΥΒΣ) που αποτελείται από αιολικά πάρκα ή φωτοβολταϊκούς σταθμούς ή και από συνδυασμό των δύο. Το σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας του Υβριδικού Σταθμού αποτελείται από μπαταρίες.

Για να μελετηθούν οι πιθανές αλλαγές που θα επιφέρουν τα ηλεκτρικά οχήματα στο Ηλεκτρικό Σύστημα δημιουργήθηκε το προφίλ φόρτισης των οχημάτων λαμβάνοντας υπ' όψιν διάφορες παραμέτρους, όπως ο τύπος των οχημάτων, η ώρα άφιξης στο φορτιστή, η τοποθεσία όπου πραγματοποιείται η φόρτιση (σπίτι, εργασία, δημόσιος χώρος), κλπ. Ακολουθώντας εξετάζονται στο energy planning σενάρια με σύστημα αποθήκευσης ΑΠΕ, αλλά και απουσία μέσων αποθήκευσης, που λαμβάνουν υπ' όψιν τη φόρτιση των οχημάτων. Τα αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι ένα μεγάλο μέρος της ενέργειας της φόρτισης προέρχεται από τις συμβατικές μονάδες του νησιού. Στο πλαίσιο αυτό αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος έξυπνης φόρτισης σε προγραμματιστική γλώσσα Python, ο οποίος μετατοπίζει τη φόρτιση των οχημάτων σε ώρες που παρατηρείται έντονη αποκοπή ΑΠΕ. Η μέθοδος της έξυπνης φόρτισης επιτυγχάνει αύξηση της διείσδυσης ΑΠΕ στα σενάρια που παρατηρείται μεγάλη αποκοπή ΑΠΕ, αλλά και στα σενάρια ιδιαίτερα υψηλής διείσδυσης ΑΠΕ, όπως τα σενάρια με αυξημένη χωρητικότητα μπαταριών στον Υβριδικό Σταθμό.

Λέξεις κλειδιά: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (ΜΔΝ), Αστυπάλαια, Ηλεκτρικά Οχήματα, Έξυπνη Φόρτιση, Υβριδικός Σταθμός (ΥΒΣ)

Abstract

In the field of electricity, the continuous increase of Renewable Energy Sources and the rapid development of the Electric Vehicles create new challenges in the operation of Electrical Systems which are even greater in the Autonomous Electrical Systems, such as the Non-Interconnected Islands (NIIs) of Greece.

In the present dissertation, the Electrical System of Astypalea was studied, taking into consideration scenarios of high penetration of Renewable Energy Sources (RES) and Electric Vehicles (EV). Initially, various operating scenarios of the system without the integration of Electric Vehicles are examined, with the aim of identifying viable limits and optimal operating scenarios of the System with the criteria of high RES penetration and their financial results.

For this purpose, the software 'energy planning' was used, which performs simulations for the identification and design of Electricity Systems of Non-Interconnected Islands in Greece, taking into account the limitations of the Code of Non - Interconnected Islands and the limitations of the production units (conventional and renewable sources). As RES it is used a Hybrid Station (HPS) which consists of wind farms or photovoltaic stations or a combination of both. The electricity storage system of the Hybrid Station consists of batteries.

In order to study the possible changes that electric vehicles will bring to the Electrical System, the vehicle charging profile was created taking into account various parameters, such as the type of vehicles, the time of arrival at the charger, the location where charging takes place (home, workspace, public space etc). Then, scenarios are examined in the energy planning with and without energy storage system of RES, that take into account the charging of vehicles. The results prove that a large part of the energy of the vehicle charging comes from the conventional units of the island. In this context, a smart charging algorithm was developed in Python, which shifts the charging of vehicles to hours when there is a high RES Curtailment. The smart charging method achieves an increase in RES penetration in scenarios where there is a large cut-off of RES, but also in scenarios of particularly high RES penetration, such as the scenarios with increased battery capacity in the Hybrid Station.

Keywords: Renewable Energy Sources (RES) , Non-Interconnected Islands (NIIs), Astypalea, Electric Vehicles, Smart Charging, Hybrid Station (HPS)

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία συνεγράφη υπό την επίβλεψη του Καθηγητή του Ε.Μ.Π., κ. Νικόλαου Χατζηαργυρίου, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την ανάθεση της εργασίας και την γενναιόδωρη βοήθεια του στην αντιμετώπιση συγκεκριμένων δυσκολιών. Επίσης ευχαριστώ θερμά για την αμέριστη καθοδήγηση και βοήθεια που μου πρόσφεραν, σε όλη την διάρκεια της εκπόνησης της Διπλωματικής, τους Διδάκτορες κ. Ιωάννη Καρακίτσιο και κ. Άρη Δημέα. Επιπλέον, με την ευκαιρία αυτή, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για όλη τη συμπαράσταση που μου πρόσφεραν κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

| | | |
|-------------------|---|----|
| Κεφάλαιο 1 | Εισαγωγικά Στοιχεία | 1 |
| 1.1 | Εισαγωγή | 1 |
| 1.2 | Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας | 2 |
| 1.3 | Βασικά χαρακτηριστικά και κατηγοριοποίηση ΣΗΕ | 2 |
| 1.4 | Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας | 3 |
| 1.5 | Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας | 4 |
| 1.5.1 | Φωτοβολταϊκοί σταθμοί | 6 |
| 1.5.2 | Ανεμογεννήτριες | 7 |
| 1.5.3 | Υβριδικοί Σταθμοί Παραγωγής | 7 |
| Κεφάλαιο 2 | Ηλεκτρικά Συστήματα Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών | 9 |
| 2.1 | Βασικά χαρακτηριστικά των ΗΣ ΜΔΝ | 9 |
| 2.1.1 | ΜΔΝ στην Ελλάδα και βασικά χαρακτηριστικά των ΗΣ | 9 |
| 2.1.2 | Αστυπάλαια και χαρακτηριστικά του ΗΣ | 12 |
| 2.2 | Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά | 13 |
| 2.3 | Παραγωγή Ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ | 17 |
| 2.4 | Αποθήκευση Ενέργειας | 19 |
| 2.4.1 | Αντλησιοταμίευση | 20 |
| 2.4.2 | Συσσωρευτές | 21 |
| 2.5 | Η Αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα | 22 |
| 2.6 | Η Αγορά Ηλεκτρικής ενέργειας στα ΜΔΝ | 22 |
| 2.7 | Κυλιόμενος Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός | 24 |
| Κεφάλαιο 3 | Ηλεκτρικά οχήματα | 26 |
| 3.1 | Εισαγωγή | 26 |
| 3.2 | Τα είδη των Ηλεκτρικών Οχημάτων | 26 |
| 3.3 | Μέθοδοι φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στην Ευρώπη | 28 |
| 3.4 | Συσσωρευτές Ηλεκτρικών Οχημάτων | 28 |
| 3.5 | Αγορά ηλεκτρικών οχημάτων και υποδομές φόρτισης | 29 |
| 3.5.1 | Η Αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση | 29 |
| 3.5.2 | Ανάπτυξη υποδομών φόρτισης στην Ευρωπαϊκή Ένωση | 31 |
| 3.5.3 | Αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων στην Ελλάδα | 34 |

| | | |
|-------------------|--|-----------|
| 3.5.4 | Ανάπτυξη υποδομών φόρτισης στην Ελλάδα..... | 36 |
| 3.6. | Προκλήσεις της ηλεκτροκίνησης..... | 38 |
| 3.7 | Τεχνικές Φορτίσεων..... | 39 |
| 3.7.1 | Μη ελεγχόμενη φόρτιση..... | 39 |
| 3.7.2 | Ελεγχόμενη φόρτιση με χρήση πολυζωνικών τιμολογίων..... | 40 |
| 3.7.3 | Έξυπνη φόρτιση - Ελεγχόμενη φόρτιση (Valley filling/ Peak shaving)..... | 40 |
| 3.7.4 | Τεχνολογία Vehicle to Grid (V2G)..... | 42 |
| 3.7.5 | Έξυπνη Φόρτιση & V2G – Συνέργεια ΗΟ & ΑΠΕ..... | 43 |
| 3.8 | Φορτίσεις ΗΟ στα μη ΜΔΝ..... | 44 |
| 3.9 | Ηλεκτροκίνηση στην Αστυπάλαια..... | 45 |
| Κεφάλαιο 4 | Πρόγραμμα προσομοιώσεων Energy Planning | 47 |
| 4.1 | Εισαγωγή..... | 47 |
| 4.2 | Μοντέλα προσομοιώσεων..... | 47 |
| 4.2.1 | Μοντέλο Αιχμής/ Ζήτησης Φορτίου..... | 47 |
| 4.2.2 | Μοντέλο Ηλεκτρικού συστήματος..... | 48 |
| 4.2.2.1 | Συμβατικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας..... | 49 |
| 4.2.2.2 | Μονάδες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας..... | 49 |
| 4.2.2.3 | Γενικές παράμετροι..... | 50 |
| 4.2.3 | Διασύνδεση συστημάτων..... | 51 |
| 4.3 | Αποτελέσματα προσομοιώσεων..... | 52 |
| 4.4 | Διεπαφή χρήστη (User interface)..... | 53 |
| 4.5 | Περληπτική περιγραφή του αλγορίθμου..... | 58 |
| Κεφάλαιο 5 | Προσομοιώσεις και αποτελέσματα του energy planning χωρίς ηλεκτρικά οχήματα. | 60 |
| 5.1 | Δεδομένα εισόδου προσομοιώσεων..... | 60 |
| 5.1.1 | Χαρακτηριστικά ΗΣ..... | 60 |
| 5.1.1.1 | Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας..... | 60 |
| 5.1.1.2 | Παραγωγικό δυναμικό..... | 61 |
| 5.1.2 | Παράμετροι οικονομικών στοιχείων..... | 61 |
| 5.1.3 | Λοιπές παράμετροι..... | 64 |
| 5.2 | Εξεταζόμενα Σενάρια..... | 64 |

| | | |
|--|---|------------|
| 5.3 | Κριτήρια Αξιολόγησης Σεναρίων | 66 |
| 5.4 | Αποτελέσματα προσομοιώσεων..... | 66 |
| 5.5 | Επιλογή Αποδεκτών Σεναρίων..... | 73 |
| Κεφάλαιο 6 Προσομοιώσεις με την ένταξη ηλεκτρικών οχημάτων..... | | 75 |
| 6.1 | Χαρακτηριστικά του στόλου ηλεκτρικών οχημάτων της Αστυπάλαιας..... | 75 |
| 6.2 | Χαρακτηριστικά του προφίλ φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων..... | 78 |
| 6.3 | Φορτίο Ηλεκτρικού Συστήματος με την ένταξη των Ηλεκτρικών Οχημάτων | 84 |
| 6.4 | Έξυπνη φόρτιση..... | 92 |
| 6.4.1 | Χαρακτηριστικά έξυπνης φόρτισης..... | 92 |
| 6.4.2 | Τα προγραμματιστικά εργαλεία του αλγορίθμου | 93 |
| 6.4.3 | Περιγραφή και λειτουργία του αλγορίθμου έξυπνης φόρτισης | 93 |
| 6.5 | Εφαρμογή της τεχνικής έξυπνης φόρτισης που αναπτύχθηκε | 102 |
| 6.5.1 | Μελέτη σεναρίων χωρίς αποθηκευτικό σύστημα | 103 |
| 6.5.2 | Εφαρμογή της έξυπνης φόρτισης σε σενάρια με υβριδικούς σταθμούς | 110 |
| Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα και επεκτάσεις της εργασίας..... | | 115 |
| 7.1 | Συμπεράσματα | 115 |
| 7.2 | Επεκτάσεις της Εργασίας | 117 |
| Παράρτημα | | 118 |
| Κατάλογος Διαγραμμάτων..... | | 119 |
| 8.1 | Αναλυτική περιγραφή αλγορίθμου έξυπνης φόρτισης..... | 121 |
| 8.2 | Επιπλέον παραδείγματα για τη λειτουργία του αλγορίθμου έξυπνης φόρτισης.... | 127 |
| Βιβλιογραφία..... | | 135 |

Κατάλογος Πινάκων

| | | |
|---------------|---|----|
| Πίνακας 2.1: | Ηλεκτρικά Συστήματα στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά | 10 |
| Πίνακας 2.2: | ΜΠΚΠ, ΜΜΚ, Διείσδυση ΑΠΕ, συνολική εντασσόμενη ενέργεια ΑΠΕ και το θερμικών Μονάδων για το έτος 2020..... | 15 |
| Πίνακας 2.3: | Συγκεντρωτικά στοιχεία ΑΠΕ σε ΜΔΝ για το έτος 2020 (Πληροφοριακό δελτίο ΔΕΔΔΗΕ)..... | 18 |
| Πίνακας 5.1: | Χαρακτηριστικά ΗΣ Αστυπάλαιας..... | 60 |
| Πίνακας 5.2: | Δεδομένα ζήτησης ενέργειας και αιχμής φορτίου για το προσομοιούμενο σύστημα..... | 60 |
| Πίνακας 5.3: | Συμβατικές Θερμικές Μονάδες του ΗΣ της Αστυπάλαιας..... | 61 |
| Πίνακας 5.4: | Διαστασιολόγηση σεναρίων..... | 65 |
| Πίνακας 5.5: | Αναλυτικά χαρακτηριστικά σεναρίων..... | 66 |
| Πίνακας 5.6: | Αναλυτικά αποτελέσματα σεναρίων για το ΗΣ της Αστυπάλαιας..... | 68 |
| Πίνακας 5.7: | Αποτελέσματα βασικού σεναρίου και αποδεκτών σεναρίων χαμηλού κόστους..... | 69 |
| Πίνακας 5.8: | Βέλτιστα σεσάρια για το ΗΣ της Αστυπάλαιας | 74 |
| Πίνακας 6.1: | Χαρακτηριστικά κατανάλωσης ορισμένων ηλεκτρικών οχημάτων..... | 76 |
| Πίνακας 6.2: | Χαρακτηριστικά οδικού δικτύου Αστυπάλαιας | 76 |
| Πίνακας 6.3: | Χαρακτηριστικά 1 ^{ης} κατηγορίας ηλεκτρικών οχημάτων (Scooters)..... | 77 |
| Πίνακας 6.4: | Χαρακτηριστικά 2 ^{ης} κατηγορίας ηλεκτρικών οχημάτων (επιβατικά οχήματα μικρού μεγέθους) | 77 |
| Πίνακας 6.5: | Χαρακτηριστικά 3ης κατηγορίας ηλεκτρικών οχημάτων (επιβατικά οχήματα μεσαίου μεγέθους) | 77 |
| Πίνακας 6.6: | Χαρακτηριστικά 4ης κατηγορίας ηλεκτρικών οχημάτων (επιβατικά οχήματα μεγάλου μεγέθους) | 78 |
| Πίνακας 6.7: | Χαρακτηριστικά 5ης κατηγορίας ηλεκτρικών οχημάτων (mini-buses)..... | 78 |
| Πίνακας 6.8: | Χαρακτηριστικά 6 ^{ης} κατηγορίας ηλεκτρικών οχημάτων (Φορτηγά επαγγελματικής χρήσης)..... | 78 |
| Πίνακας 6.9: | Τρόπος φόρτισης ανά κατηγορία οχήματος..... | 79 |
| Πίνακας 6.10: | Παράμετροι των επιμέρους κανονικών κατανομών για το μοντέλο Gaussian Mixture των φορτίσεων σε δημόσιους σταθμούς..... | 81 |
| Πίνακας 6.11: | Παράμετροι κανονικών κατανομών των ωρών άφιξης ανά κατηγορία οχήματος..... | 82 |
| Πίνακας 6.12: | Παράμετροι των αφίξεων και αναχωρήσεων στους σταθμούς φόρτισης. .. | 92 |

| | |
|--|-----|
| Πίνακας 6.13: Διαστασιολόγηση εξεταζόμενων σεναρίων..... | 104 |
| Πίνακας 6.14: Σύγκριση αποτελεσμάτων σεναρίων μη ελεγχόμενης, έξυπνης φόρτισης και απουσία ηλεκτρικών οχημάτων..... | 104 |
| Πίνακας 6.15: Διαστασιολόγηση εξεταζόμενων σεναρίων με διπλάσιο αριθμό οχημάτων | 107 |
| Πίνακας 6.16: Σύγκριση ενεργειακών αποτελεσμάτων σεναρίων μη ελεγχόμενης, έξυπνης φόρτισης διπλάσιου αριθμού οχημάτων και απουσία ηλεκτρικών οχημάτων..... | 108 |
| Πίνακας 6.17: Οικονομικά αποτελέσματα εξεταζόμενων σεναρίων..... | 110 |
| Πίνακας 6.18: Σύνοψη σεναρίων υβριδικών σταθμών για προσομοιώσεις με Ηλεκτρικά Οχήματα..... | 111 |
| Πίνακας 6.19: Σύγκριση ενεργειακών αποτελεσμάτων σεναρίων ΥΒΣ μη ελεγχόμενης, έξυπνης φόρτισης και απουσία ηλεκτρικών οχημάτων..... | 111 |
| Πίνακας 6.20: Σύγκριση οικονομικών αποτελεσμάτων σεναρίων ΥΒΣ μη ελεγχόμενης, έξυπνης φόρτισης και απουσία ηλεκτρικών οχημάτων..... | 112 |

Κατάλογος Διαγραμμάτων

| | | |
|-----------------|--|----|
| Διάγραμμα 2.1 : | Ηλεκτροπαραγωγή στα ΜΔΝ 2018 – 2020 (Πληροφοριακό δελτίο ΔΕΔΔΗΕ)..... | 16 |
| Διάγραμμα 2.2 : | Κατανομή παραγωγής ΑΠΕ στα ΜΔΝ 2018 – 2020 (Πληροφοριακό δελτίο ΔΕΔΔΗΕ)..... | 19 |
| Διάγραμμα 3.1 | Κόστος συστοιχιών μπαταριών λιθίου παγκοσμίως την περίοδο 2011 έως 2030..... | 29 |
| Διάγραμμα 3.2: | Νέες ταξινομήσεων Επιβατικών Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση την περίοδο 2008 – 2021..... | 30 |
| Διάγραμμα 3.3: | Ποσοστό νέων ταξινομήσεων Επιβατικών Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση την περίοδο 2008 –2021 | 31 |
| Διάγραμμα 3.4: | Αριθμός δημοσίων σταθμών φόρτισης στην Ευρωπαϊκή Ένωση για την περίοδο 2008-2021..... | 32 |
| Διάγραμμα 3.5: | Αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων ανά δημόσιο σταθμό φόρτισης στην Ευρωπαϊκή Ένωση η για την περίοδο 2008–2021..... | 33 |
| Διάγραμμα 3.6: | Αριθμός σταθμών ταχείας φόρτισης ανά 100km αυτοκινητόδρομου στην Ευρωπαϊκή Ένωση για την περίοδο 2008 – 2021..... | 33 |
| Διάγραμμα 3.7: | Αριθμός νέων ταξινομήσεων Επιβατικών Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ελλάδα την περίοδο 2008 – 07.2021..... | 35 |
| Διάγραμμα 3.8: | Μερίδιο αγοράς νέων ταξινομήσεων Επιβατικών Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ελλάδα την περίοδο 2008 – 07.2021..... | 35 |
| Διάγραμμα 3.9: | Μερίδιο αγοράς νέων ταξινομήσεων Επιβατικών Ηλεκτρικών Οχημάτων ανά είδος καυσίμου στην Ελλάδα το 2020..... | 36 |
| Διάγραμμα 3.10: | Δημόσιοι σταθμοί φόρτισης στην Ελλάδα για την περίοδο 2008-2021 | 37 |
| Διάγραμμα 3.11: | Αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων ανά δημόσιο σταθμό φόρτισης στην Ελλάδα για την περίοδο 2008 – 07.2021..... | 37 |
| Διάγραμμα 3.12: | Μέσο Φορτίο Γερμανίας με χρήση μη ελεγχόμενης φόρτισης ΗΟ | 41 |
| Διάγραμμα 3.13: | Μέσο Φορτίο Γερμανίας με χρήση ελεγχόμενης φόρτισης ΗΟ..... | 41 |
| Διάγραμμα 4.1: | Διάγραμμα Ροής της Εφαρμογής Energy planning – διεπαφή χρήση..... | 53 |
| Διάγραμμα 5.1: | Καμπύλη διάρκειας φορτίου για το προσομοιούμενο σύστημα..... | 61 |
| Διάγραμμα 5.2: | Απορριπτόμενη ενέργεια ΥΒΣ (% της πρωτογενώς διαθέσιμης) συναρτήσει της ετήσιας διείσδυσης ΑΠΕ (% του φορτίου)..... | 69 |
| Διάγραμμα 5.3: | Μέσο κόστος παραγωγής ΗΣ (€/MWh) συναρτήσει της ετήσιας διείσδυσης του συνόλου ΑΠΕ (% του φορτίου)..... | 70 |
| Διάγραμμα 5.4: | Επιτυγχανόμενος ΕΒΑ (%) συναρτήσει της ετήσιας διείσδυσης συνόλου ΑΠΕ (% του φορτίου) για τιμή αποζημίωσης 233,54 MWh..... | 71 |
| Διάγραμμα 5.5: | ΣΚΕ (€/MWh) συναρτήσει της ετήσιας διείσδυσης συνόλου ΑΠΕ (% του φορτίου) για τιμή αποζημίωσης 233,54 €/ MWh..... | 71 |

| | | |
|------------------|--|----|
| Διάγραμμα 5.6: | Επιτυγχανόμενος EBA (%) συναρτήσει της ετήσιας διείσδυσης συνόλου ΑΠΕ (% του φορτίου) για τιμή αποζημίωσης 210,19 MWh..... | 72 |
| Διάγραμμα 5.7: | ΣΚΕ (€/MWh) συναρτήσει της ετήσιας διείσδυσης συνόλου ΑΠΕ (% του φορτίου) για τιμή αποζημίωσης 210,19 €/ MWh..... | 72 |
| Διάγραμμα 6.1: | Ώρες δημόσιας φόρτισης ως ποσοστό όλων των δημόσιων φορτίσεων σε μία ημέρα..... | 80 |
| Διάγραμμα 6.2: | Διάγραμμα ροής αλγορίθμου για την εκτίμηση της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας των ηλεκτρικών οχημάτων | 83 |
| Διάγραμμα 6.3: | Ωριαία ζήτηση των φορτίσεων ηλεκτρικών οχημάτων μίας ημέρας της 1 ^{ης} περιόδου του έτους ανά κατηγορία οχήματος..... | 84 |
| Διάγραμμα 6.4: | Ωριαία ζήτηση των φορτίσεων ηλεκτρικών οχημάτων μίας ημέρας της 1 ^{ης} περιόδου του έτους ανά επίπεδο φόρτισης..... | 84 |
| Διάγραμμα 6.5: | Ωριαία ζήτηση των φορτίσεων ηλεκτρικών οχημάτων μίας ημέρας της 2 ^{ης} περιόδου του έτους ανά κατηγορία οχήματος..... | 85 |
| Διάγραμμα 6.6: | Ωριαία ζήτηση των φορτίσεων ηλεκτρικών οχημάτων μίας ημέρας της 2 ^{ης} περιόδου του έτους ανά επίπεδο φόρτισης..... | 85 |
| Διάγραμμα 6.7 : | Ωριαία ζήτηση των φορτίσεων ηλεκτρικών οχημάτων μίας ημέρας της 3 ^{ης} περιόδου του έτους ανά κατηγορία οχήματος..... | 86 |
| Διάγραμμα 6.8: | Ωριαία ζήτηση των φορτίσεων ηλεκτρικών οχημάτων μίας ημέρας της 3 ^{ης} περιόδου του έτους ανά επίπεδο φόρτισης..... | 86 |
| Διάγραμμα 6.9: | Ωριαία ζήτηση των φορτίσεων της 2 ^{ης} κατηγορίας οχημάτων (μεσαία επιβατικά) μίας ημέρας της 1 ^{ης} περιόδου του έτους ανά επίπεδο φόρτισης..... | 87 |
| Διάγραμμα 6.10: | Ωριαία ζήτηση των φορτίσεων της 2 ^{ης} κατηγορίας οχημάτων (μεσαία επιβατικά) μίας ημέρας της 2 ^{ης} περιόδου του έτους ανά επίπεδο φόρτισης | 88 |
| Διάγραμμα 6.11: | Ωριαία ζήτηση των φορτίσεων της 2 ^{ης} κατηγορίας οχημάτων (μεσαία επιβατικά) μίας ημέρας της 3 ^{ης} περιόδου του έτους ανά επίπεδο φόρτισης | 88 |
| Διάγραμμα 6.12: | Ωριαία ζήτηση του συνολικού φορτίου με την ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων μίας τυχαίας ημέρας της 1 ^{ης} περιόδου του έτους | 89 |
| Διάγραμμα 6.13: | Ωριαία ζήτηση του συνολικού φορτίου με την ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων μίας τυχαίας ημέρας της 2 ^{ης} περιόδου του έτους | 90 |
| Διάγραμμα 6.14: | Ωριαία ζήτηση του συνολικού φορτίου με την ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων μίας τυχαίας ημέρας της 3 ^{ης} περιόδου του έτους | 90 |
| Διάγραμμα 6.15 : | Διάγραμμα ροής αλγορίθμου έξυπνης φόρτισης..... | 95 |
| Διάγραμμα 6.16: | Συνολικό φορτίο με μη ελεγχόμενη φόρτιση και έξυπνη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων στη διάρκεια μίας ημέρας..... | 96 |

| | |
|---|-----|
| Διάγραμμα 6.17: Φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων με ελεγχόμενη φόρτιση και έξυπνη φόρτιση, απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ μη ελεγχόμενης φόρτισης στη διάρκεια μίας ημέρας | 97 |
| Διάγραμμα 6.18: Παραγωγή Συμβατικών Μονάδων μόνο με δημόσιες φορτίσεις, με ελεγχόμενη φόρτιση και έξυπνη φόρτιση στη διάρκεια μίας ημέρας..... | 98 |
| Διάγραμμα 6.19: Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ στη διάρκεια μίας ημέρας με (α) μη ελεγχόμενη φόρτιση και (β) έξυπνη φόρτιση..... | 99 |
| Διάγραμμα 6.20: Συνολικό φορτίο με ελεγχόμενη φόρτιση και έξυπνη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων στη διάρκεια μίας ημέρας | 99 |
| Διάγραμμα 6.21: Φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων με ελεγχόμενη φόρτιση και έξυπνη φόρτιση μη ελεγχόμενης φόρτισης στη διάρκεια μίας ημέρας..... | 100 |
| Διάγραμμα 6.22: (α) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ συνολικού φορτίου με μη ελεγχόμενη φόρτιση στη διάρκεια μίας ημέρας, (β) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ συνολικού φορτίου με έξυπνη φόρτιση στη διάρκεια μίας ημέρας | 100 |
| Διάγραμμα 6.23: Παραγωγή Συμβατικών Μονάδων μόνο με δημόσιες φορτίσεις, με ελεγχόμενη φόρτιση και έξυπνη φόρτιση στη διάρκεια μίας ημέρας..... | 101 |
| Διάγραμμα 6.24: Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας προσομοιώσεων με έξυπνη φόρτιση . | 103 |
| Διάγραμμα 6.25: Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ των σεναρίων μη ελεγχόμενης, έξυπνης φόρτισης και απουσία ηλεκτρικών οχημάτων..... | 105 |
| Διάγραμμα 6.26: Ποσοστό φόρτισης Η.Ο. από ΑΠΕ των σεναρίων μη ελεγχόμενης, έξυπνης φόρτισης και απουσία ηλεκτρικών οχημάτων..... | 105 |
| Διάγραμμα 6.27: α) Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ (% της πρωτογενώς διαθέσιμης) των σεναρίων (B-I, B-III) και (Γ-I, Γ-III) β) Ποσοστό φόρτισης Η.Ο. από ΑΠΕ των σεναρίων (B-I, B-III) και (Γ-I, Γ-III)..... | 108 |
| Διάγραμμα 6.28: α) Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ των σεναρίων (B-II, B-IV) και (Γ-II, Γ-IV) β) Ποσοστό φόρτισης Η.Ο. από ΑΠΕ των σεναρίων (B-II, B-IV) και (Γ-II, Γ-IV) | 109 |
| Διάγραμμα 6.29: Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ των σεναρίων ΥΒΣ μη ελεγχόμενης, έξυπνης φόρτισης και απουσία ηλεκτρικών οχημάτων..... | 112 |
| Διάγραμμα 6.30: Ποσοστό φόρτισης Η.Ο. από ΑΠΕ των σεναρίων μη ελεγχόμενης, έξυπνης φόρτισης και απουσία ηλεκτρικών οχημάτων..... | 113 |

Κατάλογος Εικόνων

| | | |
|--------------|--|----|
| Εικόνα 2.1 : | Χρονοδιάγραμμα ΚΗΕΠ..... | 25 |
| Εικόνα 4.1: | Επιλογή ΗΣ..... | 54 |
| Εικόνα 4.2 : | Μενού επιλογής Μοντέλου Αιχμής/Ζήτησης και Μοντέλου ΗΣ..... | 54 |
| Εικόνα 4.3 : | Επιλογή μεθόδου και αποτελέσματα για μοντέλο αιχμής/ζήτησης..... | 55 |
| Εικόνα 4.4 : | Εισαγωγή χαρακτηριστικών ΑΠ..... | 56 |
| Εικόνα 4.5 : | Εισαγωγή χαρακτηριστικών ΥΒΣ..... | 56 |
| Εικόνα 4.6: | Εισαγωγή χαρακτηριστικών συμβατικών μονάδων..... | 57 |
| Εικόνα 4.7 : | Εισαγωγή γενικών χαρακτηριστικών..... | 57 |
| Εικόνα 4.8: | Σύζευξη των σεναρίων και εισαγωγή παραμέτρων εκτέλεσης σεναρίου..... | 58 |
| Εικόνα 6.1 : | Βασική λειτουργία αλγορίθμου έξυπνης φόρτισης..... | 93 |

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγικά Στοιχεία

1.1 Εισαγωγή

Η ηλεκτρική ενέργεια στις σύγχρονες κοινωνίες είναι ένα προφανές και αδιαπραγμάτευτο κοινωνικό αγαθό το οποίο πρέπει να πληροί προϋποθέσεις ποιότητας, επάρκειας και προσιτού κόστους για τον τελικό καταναλωτή.

Μία από τις δυσκολίες και τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει η Ελλάδα ως προς το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι η εδαφική μορφολογία της και ιδιαίτερα το νησιωτικό της τμήμα, το οποίο αποτελείται από ένα σύμπλεγμα χιλιάδων νησιών και μικρονησίδων, τα περισσότερα εκ των οποίων βρίσκονται απομακρυσμένα από το βασικό ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας και τα οποία είναι δύσκολο και πολύ δαπανηρό να διασυνδεθούν με αυτό. Χαρακτηριστικά στην Ελλάδα υπάρχουν περίπου 6.000 νησιά, νησίδες και βραχονησίδες εκ των οποίων τα 227 κατοικούνται και από αυτά, τα 79 έχουν πληθυσμό πάνω από 100 κατοίκους και μόνο 53 πάνω από 1.000. Σαράντα επτά από αυτά τα νησιά δεν είναι συνδεδεμένα με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό σύστημα, ονομάζονται Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (ΜΔΝ) και τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια από 29 αυτόνομα συστήματα που αποτελούνται κυρίως από συμβατικές θερμικές μονάδες.

Η σύγχρονη τάση για στροφή στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) η οποία, πέρα από περιβαλλοντική αναγκαιότητα είναι και επίσημη πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της Ελλάδας, δημιουργεί πολλές τεχνικές και διαχειριστικές προκλήσεις στα αυτόνομα συστήματα των ΜΔΝ, ιδιαίτερα στα μικρότερα. Η εγγενής στοχαστικότητα και αβεβαιότητα στην λειτουργία των ΑΠΕ που οφείλεται στους φυσικούς πόρους που χρησιμοποιούνται (αέρας, ηλιακή ακτινοβολία κλπ.) μειώνει την αξιοπιστία τους και καθιστά επιβεβλημένη την ανάπτυξη συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η σύγχρονη τεχνολογία διαθέτει πληθώρα τεχνικών επιλογών οι οποίες αναπτύσσονται και βελτιώνονται διαρκώς, μερικές εκ των οποίων εφαρμόζονται ήδη σε κάποια νησιά ή πρόκειται να υλοποιηθούν στο άμεσο μέλλον. Κάποια από αυτά τα νησιά είναι η Κύθνος, ο Άγιος Ευστράτιος η Ικαρία και σύντομα η Αστυπάλαια. Σε αυτά, αλλά και σε άλλα στο άμεσο μέλλον, εφαρμόζονται και θα υλοποιηθούν καινοτόμα έργα και τεχνολογίες που θα εξασφαλίζουν ηλεκτρική ενέργεια καλής ποιότητας σε επάρκεια, με μεγάλη διείσδυση των ΑΠΕ και στο χαμηλότερο δυνατό κόστος.

Εκτός από τις επενδύσεις σε εξοπλισμό, απαραίτητη είναι και η λειτουργία συστημάτων διαχείρισης, προγραμματισμού, κατανομής κλπ. Η μεγάλη πρόκληση είναι η εξεύρεση βιώσιμων λύσεων οι οποίες να συνδυάζουν υψηλή διείσδυση των ΑΠΕ, αξιοπιστία του συστήματος και χαμηλό κόστος. Μία από τις επερχόμενες προκλήσεις, ιδιαίτερα στα αυτόνομα συστήματα, είναι και η αύξηση της διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων (υβριδικά ή αμιγώς ηλεκτροκίνητα) η οποία θα επιβαρύνει σημαντικά τα τοπικά ηλεκτρικά συστήματα και θα δημιουργήσει την ανάγκη εφαρμογής έξυπνων συστημάτων διαχείρισης της φόρτισης.

1.2 Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ως Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) ορίζεται το σύνολο των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε εξυπηρετούμενες περιοχές κατανάλωσης [1]. Ένα Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελείται από τρία βασικά μέρη:

- **Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας:** Στην ενότητα αυτή περιλαμβάνεται κάθε μονάδα, η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια (όπως είναι τα συμβατικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι μονάδες ΑΠΕ κλπ.).
- **Μεταφορά Ηλεκτρικής Ενέργειας:** Σκοπός του Συστήματος Μεταφοράς είναι η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από τις μονάδες Παραγωγής προς τα σημεία κατανάλωσης (αστικά κέντρα, βιομηχανίες κ.α.). Αυτό επιτυγχάνεται με τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από ζυγούς παραγωγής σε υποσταθμούς διανομής μέσω ζυγών μετάδοσης που διασυνδέονται με γραμμές μεταφοράς. Στους υποσταθμούς αυτούς η τάση υποβιβάζεται μέσω μετασχηματιστών, ώστε να είναι κατάλληλη για διανομή για οικιακή, εμπορική και βιομηχανική κατανάλωση [2].

Τα βασικά στοιχεία του Συστήματος Μεταφοράς της Ελλάδας είναι:

- Εναέριες Γραμμές Μεταφοράς 400kV, 150kV και 66kV
- Υπόγειες και Υποβρύχιες Καλωδιακές Γραμμές 150kV και 400kV
- Υποσταθμοί 150/20kV
- Κέντρα Υπερψηλής Τάσης (ΚΥΤ) 400/150kV [3]
- **Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας :** Μετά τον υποβιβασμό της τάσης στους υποσταθμούς Υψηλής Τάσης, η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται μέσω γραμμών του Δικτύου Διανομής στους τελικούς καταναλωτές.

Ενδεικτικά για την Ελλάδα, όπως προκύπτει από τα στοιχεία του ΔΕΔΔΗΕ το Ελληνικό Δίκτυο Διανομής περιλαμβάνει:

- 112.622 χλμ. Δικτύου Μέσης Τάσης (Μ.Τ.).
- 127.564 χλμ. Δικτύου Χαμηλής Τάσης (Χ.Τ.).
- 163.431 Υποσταθμοί Μέσης Τάσης προς Χαμηλή Τάση (Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ).
- 241 Υποσταθμοί Υψηλής Τάσης προς Μέση Τάση (Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ) [4]

1.3 Βασικά χαρακτηριστικά και κατηγοριοποίηση ΣΗΕ

Τα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας μπορούν με βάση τη δομή λειτουργίας τους να κατηγοριοποιηθούν σε :

- Διασυνδεδεμένα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας
- Αυτόνομα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η διαφορά μεταξύ των δύο είναι πως τα αυτόνομα ΣΗΕ δεν συνδέονται με κάποιο ευρύτερο δίκτυο. Συνήθως το έργο διασύνδεσης κάποιων περιοχών με το ηπειρωτικό Σύστημα Ηλεκτρική Ενέργειας είναι δύσκολο και έχει υψηλό κόστος.

Τέτοιες περιπτώσεις αυτόνομων συστημάτων αποτελούν πολλά νησιά, καθώς και άλλες απομακρυσμένες δυσπρόσιτες περιοχές, οι οποίες δεν έχουν την δυνατότητα διασύνδεσης με ένα ευρύτερο ηλεκτρικό σύστημα. Αυτά τα συστήματα χρήζουν διαφορετικής μελέτης, καθώς δεν βρίσκονται σε ένα κοινό πλαίσιο συνεργασίας και αλληλοϋποστήριξης με άλλα συστήματα. Το ΣΗΕ που θα εξεταστεί στη συνέχεια της εργασίας αυτής είναι το ΣΗΕ της Αστυπάλαιας το οποίο είναι ένα αυτόνομο ΣΗΕ, καθώς η Αστυπάλαια είναι ένα Μη Διασυνδεδεμένο Νησί (ΜΔΝ).

Τόσο τα Διασυνδεδεμένα όσο και τα Αυτόνομα ΣΗΕ πρέπει να είναι λειτουργικά και βιώσιμα. Ένα Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας πρέπει να παρέχει αδιάλειπτα ηλεκτρική ενέργεια με σωστές προδιαγραφές (τάση, συχνότητα χωρίς αρμονικές), να έχει κατάλληλη χωρητικότητα για τις χρήσεις που εξυπηρετεί, να μπορεί να αντέξει σημαντικές αλλαγές στη ζήτηση φορτίου ή σε αιχμές φορτίου χωρίς να υπάρχει κίνδυνος μερικής ή ολικής κατάρρευσης [5]. Ταυτόχρονα η σωστή λειτουργία του πρέπει να επιτυγχάνεται με το χαμηλότερο δυνατό κόστος και να ικανοποιεί εθνικές ενεργειακές στρατηγικές όπως η διείσδυση των ΑΠΕ ή η αλλαγή του μίγματος καυσίμων (πχ. απολιγνιτοποίηση). Επίσης είναι απαραίτητη η άμεση διαθεσιμότητα παραγωγής, καθώς είναι αδύνατη η δημιουργία σημαντικών αποθεμάτων ηλεκτρικής ενέργειας [6]. Σε αυτό το πλαίσιο προκύπτει και η ανάγκη σωστών προβλέψεων ζήτησης/αιχμής ιδιαίτερα όταν υπάρχει διείσδυση μη ελεγχόμενων μονάδων ΑΠΕ. Παράλληλα πρέπει η διακύμανση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας να παραμένει σχετικά σταθερή πέραν κάποιων μικρών αποκλίσεων. Όλα αυτά οδηγούν στην ανάγκη σωστού Ενεργειακού Προγραμματισμού.

1.4 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας και ειδικότερα ο τρόπος παραγωγής της αποτελεί αναμφίβολα ένα από τα βασικότερα ζητήματα στο τομέα της Ενέργειας. Ανάλογα με τη διαθεσιμότητα των ενεργειακών πόρων και την ενεργειακή πολιτική κάθε χώρας, οι πηγές ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό.

Κάθε μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα σύστημα που στην πραγματικότητα δεν παράγει αλλά μετασχηματίζει κάποια μορφή ενέργειας που υπάρχει στη φύση, χημική, δυναμική, κινητική, θερμική, γεωθερμική, ηλεκτρομαγνητική (συνήθως ηλιακή ακτινοβολία), πυρηνική, βιοχημική κλπ. σε ηλεκτρική. Η πλέον χρησιμοποιούμενη χημική ενέργεια είναι η ενέργεια που παράγεται από την καύση ορυκτών καυσίμων (φυσικού αερίου, μαζούτ, πετρελαίου (diesel), λιθάνθρακα, λιγνίτη κλπ.). Η χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί, μέχρι σήμερα, την πιο διαδεδομένη μέθοδο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας η οποία όμως, για λόγους περιβαλλοντικούς, μειώνεται παραχωρώντας τη θέση της στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Οι κυριότερες κατηγορίες σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι εξής:

Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί Παραγωγής (ΑΗΣ): Η καύση ορυκτών καυσίμων μετατρέπει την χημική ενέργεια των καυσίμων σε θερμική η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή θερμού ατμού ο οποίος διοχετεύεται σε ατμοστρόβιλο ο οποίος εν συνεχεία περιστρέφει γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί Παραγωγής (ΥΗΣ), όπου η δυναμική ενέργεια του νερού που βρίσκεται σε υψηλότερη στάθμη από τον ΥΗΣ μέσω υδροστροβίλου και συνδεδεμένης γεννήτριας μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια.

Πυρηνικοί Σταθμοί Παραγωγής (ΠΣ), όπου η παραγωγή θερμότητας για την κίνηση του ατμοστροβίλου παράγεται μέσω ελεγχόμενης πυρηνικής αντίδρασης σε πυρηνικό αντιδραστήρα.

Σταθμοί Παραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), όπου αξιοποιούνται ΑΠΕ για τη μετατροπή φυσικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια [2].

1.5 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ορίζονται οι μορφές ενέργειας οι οποίες υπάρχουν σε επάρκεια στη φύση και θεωρείται ότι θα υπάρχουν διαθέσιμες για πάντα.

Η οδηγία 2009/28/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, περιγράφει αναλυτικά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες είναι: η αιολική, η ηλιακή, η υδροηλεκτρική, η αεροθερμική, η γεωθερμική, η υδροθερμική και ενέργεια των ωκεανών, η ενέργεια από βιομάζα, από τα εκλυόμενα αέρια στους χώρους υγειονομικής ταφής, από αέρια μονάδων εξεργασίας λυμάτων και από βιοαέρια [7].

Καθώς η περιγραφή των ΑΠΕ δεν αποτελεί το βασικό μέρος της διπλωματικής εργασίας, δε θα αναλυθούν όλες οι μορφές τους. Συνοπτικά θα γίνει αναφορά στη συνέχεια στις ανεμογεννήτριες και τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς, καθώς οι δύο αυτές ΑΠΕ χρησιμοποιούνται στις προσομοιώσεις των επόμενων κεφαλαίων.

Τις τελευταίες δεκαετίες οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας γνωρίζουν τεράστια ανάπτυξη, καθώς η τεχνολογική τους εξέλιξη και η μείωση του κόστους τους, τις καθιστά αξιόπιστη απάντηση στη μεγάλη πρόκληση της κλιματικής αλλαγής μέσω της υποκατάστασης, σε μεγάλο βαθμό, των συμβατικών θερμοηλεκτρικών σταθμών, άρα στην μείωση των ρύπων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, στην απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα που δεν είναι ανεξάντλητα και τελικά στην εξασφάλιση ηλεκτρικής ενέργειας από «καθαρές» πηγές, όπως ο αέρας ή ο ήλιος, που θεωρούμε ανεξάντλητες.

Η εναλλακτική λύση της πυρηνικής ενέργειας, παρά την τεχνολογική πρόοδο που έχει επιτευχθεί, λόγω του τεράστιου περιβαλλοντικού κινδύνου που εμπερικλείει, δεν θεωρείται αποδεκτή από πλήθος ανεπτυγμένων χωρών. Βέβαια εκφράζονται απόψεις οι οποίες υποστηρίζουν ότι αν η ανθρωπότητα έχει στόχο να απεξαρτηθεί σύντομα από τα ορυκτά καύσιμα, αναπόφευκτα πρέπει να περάσει από μια πρώτη φάση επέκτασης της πυρηνικής ενέργειας μέχρι να ωριμάσει περεταίρω η τεχνολογία των ΑΠΕ [8]. Η αναφορά στην πυρηνική σύντηξη που είναι ασφαλής περιβαλλοντικά ξεφεύγει από τα όρια αυτής της εργασίας.

Ενώ ο άνθρωπος αξιοποιούσε εδώ και αιώνες, σε οικοτεχνική ή σε πολύ μικρή κλίμακα, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η αλματώδης εκβιομηχάνιση, το τεράστιο πλεονέκτημα κόστους και η διαχρονική αξιοπιστία των θερμοηλεκτρικών σταθμών παραγωγής, οδήγησε στην αλματώδη ανάπτυξη τους, μέχρι την εμφάνιση σοβαρών περιβαλλοντικών

κινδύνων όπως η ποιότητα της ατμόσφαιρας, το φαινόμενο του θερμοκηπίου και τελευταία η τεράστια απειλή της κλιματικής αλλαγής.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των ΑΠΕ είναι ότι υποκαθιστούν σε μεγάλο βαθμό τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς μειώνοντας σημαντικά την χρησιμοποίηση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ως αποτέλεσμα αυτού, η χρήση ΑΠΕ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας οδηγεί σε :

- Μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου
- Μείωση της ρύπανσης της ατμόσφαιρας
- Βελτίωση των οικονομικών των περισσότερων χωρών (του εμπορικού ισοζυγίου σε όσες χώρες εξαρτώνται από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα) και τη σταδιακή ενεργειακή ανεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα.
- Υποκατάσταση σημαντικών τεχνολογιών και δραστηριοτήτων του ανθρώπου μέσω της υποκατάστασης των μηχανών εσωτερικής καύσης από ηλεκτρικούς κινητήρες, όπως η σύγχρονη κατακλυσμιαία τάση προς την ηλεκτροκίνηση στον χώρο των αυτοκινήτων και γενικότερα των μέσων μεταφοράς.
- Πρόκληση και δυνατότητα για πολλές οικονομίες να αναπτύξουν δική τους τεχνογνωσία στην ανάπτυξη και αξιοποίηση των ΑΠΕ.
- Ανάπτυξη νέων επαγγελματιών, νέων θέσεων εργασίας, ανάπτυξη της σχετικής εκπαίδευσης, των διαδικασιών πιστοποίησης, προτύπων κλπ.
- Δυνατότητα αποκέντρωσης και διασποράς των σταθμών παραγωγής με επακόλουθο την ασφαλέστερη λειτουργία των δικτύων μεταφοράς.

Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν και κάποια βασικά μειονεκτήματα των ΑΠΕ, που οδηγούν σε προκλήσεις για την ανάπτυξή τους. Αναλυτικότερα μπορούμε να αναφέρουμε τα παρακάτω :

- Η διαλείπουσα λειτουργία τους ως αποτέλεσμα της εξάρτησης της λειτουργίας τους από τις κλιματολογικές συνθήκες (ήλιος, αέρας κλπ.)
- Το Υψηλό κόστος επένδυσης σε σύγκριση με άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας. Με την πάροδο του χρόνου και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, το κόστος αυτό μειώνεται αλλά η σύγκριση του με το κόστος επένδυσης θερμικών μονάδων ίδιας ισχύος δεν αναμένεται να γίνει συγκρίσιμη ούτε στο μακρινό μέλλον. Βέβαια είναι λάθος να συγκρίνουμε μόνο το κόστος της επένδυσης. Η οικονομική σύγκριση των συμβατικών μονάδων παραγωγής με τις ΑΠΕ πρέπει να περιλαμβάνει και το μεταβλητό κόστος (Variable Cost) όπου η υπεροχή των ΑΠΕ είναι συντριπτική. Το μειονέκτημα του αρχικού κόστους επένδυσης μπορεί να εξισορροπηθεί από το Κράτος μέσω πλαισίου στήριξης των επενδύσεων σε ΑΠΕ προκειμένου να επιτευχθούν οι περιβαλλοντικοί στόχοι που έχουν τεθεί είτε από το κράτος είτε από ευρύτερες πολιτικές δομές όπως πχ η Ευρωπαϊκή Ένωση.
- Η δυσκολία πρόβλεψης. Όπως αναφέρεται και προηγουμένως αυτό αποτελεί μια από τις σημαντικότερες προκλήσεις για την μείωση του εγγενούς μειονεκτήματος των ΑΠΕ λόγω της διαλείπουσας συμπεριφοράς των φυσικών φαινομένων,

- Η μη ελεγχόμενη διακύμανση της τάσης και της συχνότητας που είναι αποτέλεσμα της διακύμανσης των φυσικών πηγών όπως η ηλιακή ακτινοβολία ή η ταχύτητα του ανέμου.
- Οι αρμονικές συχνότητες, οι οποίες παράγονται από ηλεκτρικές συσκευές ισχύος ενσωματωμένες σε μια ΑΠΕ. Η διαταραχή βέβαια που δημιουργείται στο δίκτυο είναι σημαντική όταν είναι σημαντικό το ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ.

Ένα άλλο μειονέκτημα που υφίσταται σε πολλές χώρες, είναι η έλλειψη επαρκούς τεχνογνωσίας σε τοπικό επίπεδο. Αυτό είναι όμως μια πρόκληση η οποία εξομαλύνεται από την Αγορά, είναι όπως απαραίτητο να παρέμβει και το κράτος με κατάλληλα προγράμματα εκπαίδευσης, πιστοποίησης, προδιαγραφών, θεσμικού πλαισίου κλπ. [9], [10], [11].

1.5.1 Φωτοβολταϊκοί σταθμοί

Μία από τις πιο διαδεδομένες τεχνολογίες μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια είναι οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί. Τα Φωτοβολταϊκά συστήματα δεν παράγουν ατμοσφαιρικούς ρύπους ή αέρια θερμοκηπίου. Τα περισσότερα ηλιακά πάνελ έχουν λίγες περιβαλλοντικές επιπτώσεις πέρα από τη διαδικασία κατασκευής τους. Είναι εύκολα επεκτάσιμα και αξιόπιστα, εγκαθίστανται εύκολα, έχουν αθόρυβη λειτουργία, μεγάλη διάρκεια ζωής (γύρω στα 25 χρόνια) και ελάχιστη συντήρηση [12].

Οι Φ/Β σταθμοί αποτελούνται από μια διάταξη πλαισίων που περιέχουν φωτοβολταϊκές κυψέλες (PV cells). Τα πλαίσια αυτά στηρίζονται είτε σε σταθερές βάσεις κατάλληλου προσανατολισμού (30 μοίρες ως προς το οριζόντιο επίπεδο) είτε σε βάσεις που έχουν τη δυνατότητα να προσανατολίζονται ανάλογα με τη θέση του ήλιου (ηλιοστάτες (trackers)) για να μεγιστοποιούν την απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου το οποίο φέρουν (+25 έως +40% σε σχέση με τα πλαίσια σταθερού προσανατολισμού). Τα πιο διαδεδομένα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι κατάλληλες ηλεκτρονικές διατάξεις με βάση το πυρίτιο που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια που δέχονται σε ηλεκτρική αξιοποιώντας το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Ένας αριθμός φωτοβολταϊκών στοιχείων πλαισιώνεται από μεταλλικό πλαίσιο και δημιουργεί το φωτοβολταϊκό πάνελ (panel) που είναι η δομική μονάδα των φωτοβολταϊκών σταθμών. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται διοχετεύεται υπό τη μορφή συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος σε μια ηλεκτρονική διάταξη (αντιστροφέας, inverter) η οποία μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο σύμφωνα με τις απαιτήσεις του δικτύου διανομής [13].

Ο Βαθμός απόδοσης ενός συστήματος Φ/Β είναι το ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας η οποία μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Η απόδοση εξαρτάται από την τεχνολογία των στοιχείων που χρησιμοποιούμε, όπως τα μονοκρυσταλλικά, τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, τα φωτοβολταϊκά "λεπού υμενίου" (thin-film) κλπ. Ο βαθμός απόδοσης των εμπορικών Φ/Β ποικίλει από 15% έως 19%, με προοδευτική μείωση στη διάρκεια της ζωής τους. Νεότερες τεχνολογίες ηλιακών κυψελών που προς το παρόν περιορίζονται σε ειδικές εφαρμογές, όπως Φ/Β διατάξεις στο διάστημα ή Φ/Β στις επιφάνειες αυτοκινήτων έχουν βαθμούς απόδοσης 19% και 34% αντίστοιχα [14].

1.5.2 Ανεμογεννήτριες

Οι ανεμογεννήτριες αποτελούν, μαζί με τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τις πιο διαδεδομένες ΑΠΕ παγκοσμίως. Οι ανεμογεννήτριες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική.

Τα αιολικά πάρκα (ΑΠ) όπως και οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί (ΦΒ) αποτελούν μη «κατανεμόμενες» -μη ελεγχόμενες μονάδες παραγωγής. Σε αντίθεση με τις ελεγχόμενες μονάδες παραγωγής (πχ. θερμικές μονάδες) δεν υπόκεινται σε εντολές κατανομής και ελέγχου της ισχύος τους ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος [15]. Σημειώνεται πως σε ορισμένες ανεμογεννήτριες υπάρχει η δυνατότητα περιορισμένου ελέγχου της παραγωγής τους μέσω του ελέγχου της κλίσης των πτερυγίων τους, αλλά και πάλι δεν μπορούν να θεωρηθούν κατανεμόμενες μονάδες καθώς η παραγωγή τους εξαρτάται από τον άνεμο.

Πέρα από τις χερσαίες και τις παράκτιες Α/Γ που αποτελούν ίσως την πιο διαδεδομένη μορφή ΑΠΕ, νέα είδη Α/Γ γνωρίζουν ραγδαία ανάπτυξη όπως οι υπεράκτιες Α/Γ. Τα δύο βασικά είδη υπεράκτιων Α/Γ είναι

1. **Με υποβρύχιο πυλώνα** στερεωμένο στον πυθμένα της θάλασσας.
2. **Πλωτές** με πυλώνα στερεωμένο σε πλωτή βάση.

Το κύριο πλεονέκτημα των υπεράκτιων ανεμογεννητριών προέρχεται από το γεγονός ότι οι άνεμοι που πνέουν στα πελάγη είναι κατά κανόνα πιο ισχυροί και έχουν μικρότερη μεταβλητότητα από τους ανέμους που πνέουν στη στεριά. Η θάλασσα διαθέτει επίσης απέραντη έκταση για εγκατάσταση. Το βασικό τους μειονέκτημα είναι πως το κόστος επένδυσης των θαλάσσιων Α/Γ είναι 50% υψηλότερο από τις χερσαίες. Παρ' όλα αυτά η σημασία και το ενδιαφέρον των υπεράκτιων Α/Γ είναι μεγάλο. Χαρακτηριστικά, στην Ευρωπαϊκή Ένωση υπολογίζεται πως μέχρι το 2030 θα επενδυθούν 20 δισεκατομμύρια ευρώ σε αιολική ενέργεια, εκ των οποίων το 60% σε υπεράκτια αιολικά πάρκα [16].

1.5.3 Υβριδικοί Σταθμοί Παραγωγής

Σύμφωνα με τον Νόμο 3468/2006 ως Υβριδικοί ορίζονται οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν τουλάχιστον μια ΑΠΕ και διαθέτουν σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης ο ίδιος νόμος θέτει κάποια όρια για τη λειτουργία των υβριδικών σταθμών:

- Η μέγιστη ισχύς παραγωγής που προέρχεται από την/τις ΑΠΕ του σταθμού πρέπει να είναι μικρότερη του 120% της εγκατεστημένης ισχύος των συστημάτων αποθήκευσης του σταθμού.
- Η συνολική ενέργεια που απορροφάται από το Δίκτυο, σε ετήσια βάση, δεν υπερβαίνει το 30% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται για την πλήρωση του συστήματος αποθήκευσης του σταθμού αυτού.

Η ενέργεια που απορροφά ο σταθμός από το Δίκτυο ονομάζεται ενέργεια απορρόφησης και υπολογίζεται ως η διαφορά μεταξύ της ενέργειας που εισέρχεται στον υβριδικό σταθμό από το Δίκτυο και της ενέργειας που προσφέρεται απευθείας από τις ΑΠΕ του

υβριδικού σταθμό στο Δίκτυο. Για τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά η διαφορά αυτή υπολογίζεται σε ωριαία βάση.

Τα συνηθέστερα μέσα αποθήκευσης είναι είτε κατάλληλοι συσσωρευτές είτε, όπου υπάρχει η δυνατότητα, δεξαμενές νερού, συνήθως φυσικές, για χρήση εν συνεχεία από κάποιο υδροηλεκτρικό σύστημα παραγωγής.

Παρ' όλο που οι λύσεις αποθήκευσης είναι ακριβές, η δυνατότητα αποθήκευσης δίνει λύση στο πρόβλημα της αξιοπιστίας των ΑΠΕ λόγω της διαλείπουσας λειτουργίας τους, και της ελεγχιμότητας τους σε βαθμό που οι ΥΒΣ θεωρούνται οπωσδήποτε καταναεμόμενοι. Στην περίπτωση της αντλησιοταμείευσης νερού σε φυσικούς ταμειυτήρες υπάρχουν μεγάλα περιθώρια αποθήκευσης ενώ στην περίπτωση των συσσωρευτών τα περιθώρια αποθήκευσης είναι ακόμα περιορισμένα λόγω κόστους.

Η διαχείριση των ΥΒΣ γίνεται με έξυπνο τρόπο ώστε να προσφέρουν την αποθηκευμένη τους ενέργεια στις περιπτώσεις υψηλού φορτίου ή αιχμής και αντίθετα να απορροφούν ενέργεια από το ηλεκτρικό σύστημα στις περιόδους χαμηλής ζήτησης (στις κοιλάδες της καμπύλης του φορτίου) [17] [18].

Ηλεκτρικά Συστήματα Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών

2.1 Βασικά χαρακτηριστικά των ΗΣ ΜΔΝ

2.1.1 ΜΔΝ στην Ελλάδα και βασικά χαρακτηριστικά των ΗΣ

Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ) στην Ελλάδα υπάρχουν περίπου 6.000 νησιά, νησίδες και βραχονησίδες από τα οποία τα 227 είναι κατοικήσιμα και τα 79 έχουν πληθυσμό πάνω από 100 κατοίκους. Μόλις 53 από αυτά έχουν πληθυσμό άνω των 1.000 κατοίκων. Πολλά από τα νησιά αυτά είναι πολύ μακριά από την ηπειρωτική χώρα. Επομένως, πρέπει να ηλεκτροδοτηθούν από αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα και δίκτυα. Αυτά τα νησιά ορίζονται ως Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (ΜΔΝ) από την ελληνική νομοθεσία και τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) [19]. Η ευθύνη της διαχείρισης των Ηλεκτρικών Συστημάτων των ΜΔΝ ανήκει στον ΔΕΔΔΗΕ. Η διαχείριση περιλαμβάνει τα εξής:

- Διαχείριση της παραγωγής
- Λειτουργία των Ηλεκτρικών Συστημάτων
- Λειτουργία της αγοράς

Το πλαίσιο που διέπει τα παραπάνω είναι ο «Κώδικας Διαχείρισης Ηλεκτρικών Συστημάτων Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών», που εκδόθηκε σύμφωνα με το άρθρο 130 του ν. 4001/2011. Τα ΜΔΝ, σύμφωνα με τον Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ), έχουν τα εξής κύρια χαρακτηριστικά [20] :

- Διαφέρουν σημαντικά σε έκταση και πληθυσμό και, σε πολλές περιπτώσεις, δεν είναι εύκολα προσβάσιμα.
- Έχουν άφθονο δυναμικό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, βασικά αιολικής και ηλιακής.
- Δεν μπορούν να ανταλλάξουν ηλεκτρική ενέργεια με άλλα ηλεκτρικά συστήματα. Αυτό επηρεάζει αρνητικά την αξιοπιστία και την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού.
- Εφόσον δεν είναι διασυνδεδεμένα με άλλο ηλεκτρικό σύστημα υψηλής αδράνειας, είναι ευαίσθητα σε προβλήματα που αφορούν την σταθερότητα της τάσης και της συχνότητας, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις υψηλών ποσοστών συμμετοχής περιοδικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).

Τα νησιά που παραμένουν μη διασυνδεδεμένα (ΜΔΝ) ηλεκτροδοτούνται από τοπικούς σταθμούς παραγωγής οι οποίοι είναι συμβατικοί θερμοηλεκτρικοί σταθμοί που χρησιμοποιούν μαζούτ ή ντίζελ. Στους περισσότερους προτιμάται το ντίζελ ως πιο

εύχρηστο και πιο εύκολο στην προμήθεια του. Παράλληλα τροφοδοτούνται και από ΑΠΕ (κυρίως ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά πάρκα). Τον Μάρτιο του 2018 τα νησιά των Κυκλάδων Σύρος, Μύκονος, Πάρος και Νάξος διασυνδέθηκαν με το Ηπειρωτικό Σύστημα. Παρακάτω παρατίθεται η αναλυτική λίστα των ΜΔΝ στην Ελλάδα σύμφωνα με τα στοιχεία του ΔΕΔΔΗΕ :

| ΛΙΣΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΝΗΣΙΑ | | |
|--|------------------------------|---------------|
| α/α | Ηλεκτρικό Σύστημα ΜΔΝ | Νησί |
| 1 | ΑΓ.ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ | ΑΓ.ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ |
| 2 | ΑΓΑΘΟΝΗΣΙ | ΑΓΑΘΟΝΗΣΙ |
| 3 | ΑΜΟΡΓΟΣ | ΑΜΟΡΓΟΣ |
| 4 | ΑΝΑΦΗ | ΑΝΑΦΗ |
| 5 | ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΑ | ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΑ |
| 6 | ΑΡΚΙΟΙ | ΑΡΚΙΟΙ |
| | | ΜΑΡΑΘΙ |
| 7 | ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑ | ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑ |
| 8 | ΓΑΥΔΟΣ | ΓΑΥΔΟΣ |
| 9 | ΔΟΝΟΥΣΑ | ΔΟΝΟΥΣΑ |
| 10 | ΕΡΕΙΚΟΥΣΑ | 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 2.1 : Ηλεκτρικά Συστήματα στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά

Το σύνολο των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών (ΜΔΝ) αποτελείται από 29 αυτόνομα συστήματα του προηγούμενου πίνακα τα οποία ηλεκτροδοτούν συνολικά 50 νησιά. Κάποια αυτόνομα συστήματα συντίθενται από πλέγμα γειτονικών νησιών πχ. το αυτόνομο σύστημα της Κώ-Καλύμνου αποτελείται από 9 νησιά.

Σχετικά με την αιχμή ζήτησης των ΜΔΝ:

- 19 «μικρά» αυτόνομα συστήματα έχουν αιχμή ζήτησης έως 10 MW.
- 8 «μεσαίου μεγέθους» αυτόνομα συστήματα έχουν αιχμή ζήτησης από 10 MW έως 100 MW.
- 2 «μεγάλα» αυτόνομα συστήματα έχουν αιχμή ζήτησης άνω των 100 MW (η Κρήτη και η Ρόδος).

Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στα ΜΔΝ διαφέρει ανάλογα με το μέγεθος του συστήματος, από εκατοντάδες MWh στα μικρότερα, έως και αρκετές χιλιάδες GWh στην Κρήτη. Ειδικά για την Κρήτη βρίσκεται σε εξέλιξη ένα πρωτοποριακό έργο διασύνδεσης της Κρήτης με την ηπειρωτική Ελλάδα το οποίο προβλέπει την διασύνδεση μεταξύ Κρήτης και Πελοποννήσου και σε δεύτερη φάση τη διασύνδεση μεταξύ Κρήτης με την Αττική. Η διασύνδεση Κρήτης-Αττικής με την ονομασία «Μεγάλη Κρήτη», θα συμπληρώσει το έργο και θα εξασφαλίσει την ενεργειακή επάρκεια και ευστάθεια της Κρήτης. Το έργο για τη διασύνδεση Κρήτης-Αττικής έχει χρονοδιάγραμμα με ορίζοντα ολοκλήρωσης το 2023. Τα οφέλη που θα προκύψουν από αυτή την τεραστίου μεγέθους διασύνδεση θα είναι πολλαπλά για την Κρήτη και την Ελλάδα γενικότερα, όπως το χαμηλότερο κόστος παραγωγής, η αξιοπιστία του συστήματος και η αποφυγή των συχνών διακοπών κατά την τουριστική περίοδο, η μείωση εφεδρικών σταθμών, η βελτίωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η απελευθέρωση της δυνατότητας σημαντικής ανάπτυξης ΑΠΕ κλπ. [21].

Αν εξαιρέσουμε τα μεγάλα νησιά (Κρήτη, Ρόδο, Χίο και Λέσβο) τα υπόλοιπα 23 ΜΔΝ βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές στο Αιγαίο (μόνον οι Οθωνοί και η Ερεικούσα βρίσκονται στο Ιόνιο), έχουν μικρές καταναλώσεις με μεγάλες διακυμάνσεις με άνοδο του φορτίου στους καλοκαιρινούς μήνες λόγω τουρισμού. Η μεγάλες διακυμάνσεις έχουν σαν συνέπεια σημαντικά αυξημένο κόστος λειτουργίας.

Τα Ηλεκτρικά Συστήματα των ΜΔΝ χαρακτηρίζονται από

- Μεγάλες Εποχιακές Διακυμάνσεις Φορτίου
- Χαμηλό Συντελεστή Φορτίου ιδιαίτερα στους μήνες εκτός τουριστικής περιόδου

- Διατήρηση υψηλών ποσοστών εφεδρικών φορτίων (στρεφόμενη εφεδρεία)
- Υψηλό κόστος παραγωγής

2.1.2 Αστυπάλαια και χαρακτηριστικά του ΗΣ

Οι επιλογές της Εθνικής Ενεργειακής Πολιτικής αλλά και της Ευρωπαϊκής ενεργειακής στρατηγικής αφορούν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε όλους τους τομείς, την προώθηση της αυτονομίας με χρήση των ΑΠΕ και συστημάτων αποθήκευσης, την μετάβαση των νησιών σε καθαρές μορφές ενέργειας, την αναβάθμιση δικτύων μεταφοράς και διανομής, την ανάπτυξη κέντρων ελέγχου και «έξυπνων» ενεργειακών συστημάτων. Συγκεκριμένα ο στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι έως το έτος 2030 να επιτευχθεί 40% μείωση των αερίων ρύπων, 27% βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και αύξηση κατά 27% της παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ. Στόχος για το 2050 είναι η αύξηση αυτή να φτάσει το 50% [22]. Στο πλαίσιο αυτό, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει σε εφαρμογή μέτρα προσαρμογής για την ανάπτυξη ΑΠΕ σε νησιά. Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ενέκρινε το 2015 απόφαση περί Ειδικής Κατάστασης στα νησιά, καταρτίζοντας Σχέδιο Δράσης για τα νησιά της ΕΕ το οποίο θα αποτελεί μέρος ενός ευρύτερου στρατηγικού πλαισίου και θα εξασφαλίζει τους αντίστοιχους χρηματοπιστωτικούς πόρους.

Το 2017 υπεγράφη από 14 κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής συμφωνία για την ανάπτυξη «Καθαρών Νησιών». Το «Σύμφωνο των Νήσων» υπογραμμίζει την ευπάθεια των νησιών έναντι της κλιματικής αλλαγής, τονίζει την ανάγκη για ενεργειακή ασφάλεια και τη σημασία της μείωσης της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα και τις συμβατικές θερμικές μονάδες παραγωγής ενέργειας μέσω της αύξησης των πηγών καθαρής ενέργειας και της περαιτέρω βελτίωσης και αξιοποίησης των ΑΠΕ. Αυτό καθίσταται δυνατό υιοθετώντας σύγχρονες καινοτόμες τεχνολογίες, οι οποίες πέραν του περιβαλλοντικού οφέλους μειώνουν και το ενεργειακό κόστος.

Τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά της ελληνικής επικράτειας αποτελούν πολύ καλά παραδείγματα νησιών εφαρμογής του εγχειρήματος αυτού, καθώς αποτελούν ευαίσθητα οικοσυστήματα των οποίων είναι απαραίτητη η περιβαλλοντική προστασία. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η μείωση των θερμικών μονάδων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και κατά συνέπεια η υψηλή διεύθυνση των ΑΠΕ με τρόπο που να διασφαλίζει την ενεργειακή τους επάρκεια, με αυτοτελή τρόπο καθώς τα νησιά αυτά δεν είναι συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο της Ηπειρωτικής Ελλάδας [23].

Στο πλαίσιο της εξειδίκευσης και της υλοποίησης της Συμφωνίας για την ανάπτυξη των «Καθαρών Νησιών» κρίθηκε απαραίτητο για την Ελλάδα να αναπτύξει εξειδικευμένο πρόγραμμα δράσεων και κανονιστικών διατάξεων εναρμονισμένων με την Ευρωπαϊκή πολιτική των «Πράσινων Νησιών, συμπεριλαμβανομένης της υλοποίησης ειδικών πιλοτικών έργων (ΕΠΕ) σε ΜΔΝ με στόχο την υψηλή διεύθυνση ΑΠΕ.

Στις 14 Νοεμβρίου 2020 υπογράφηκε μεταξύ του ομίλου Volkswagen και της Ελληνικής κυβέρνησης συμφωνία, για τη μετατροπή της Αστυπάλαιας στο πρώτο έξυπνο, πράσινο και ενεργειακά αυτόνομο νησί της Μεσογείου στα πλαίσια του project «Smart &

Sustainable Island» με την δημιουργία ενός Ειδικού Πιλοτικού Έργου (ΕΠΕ) αποτελούμενου από ΑΠΕ και λειτουργία αποθήκευσης.

Αναμένεται επίσης μία σημαντική αύξηση των ηλεκτρικών οχημάτων στην Αστυπάλαια, με φιλοδοξία να μετατραπεί το νησί σε παγκόσμιο πρότυπο ηλεκτροκίνησης και ενεργειακής αυτονομίας βασιζόμενο σημαντικά στη παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ [24]. Στο πλαίσιο αυτό, τίθενται σημαντικά κίνητρα για την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων στο νησί (μέσω επιδοτήσεων). Η Volkswagen έχει ήδη παραδώσει έναν αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων στην Αστυπάλαια, ενώ έχουν ήδη εγκατασταθεί σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων οι οποίοι αναμένεται να αυξηθούν σημαντικά τα επόμενα χρόνια. Στο πλαίσιο αυτό, η διπλωματική αυτή θα μελετήσει την επίδραση των ηλεκτρικών οχημάτων στο ηλεκτρικό σύστημα της Αστυπάλαιας, ενώ παράλληλα θα εξετάσει τρόπους διαχείρισης της φόρτισης των οχημάτων ώστε να επιτύχει αύξηση της διείσδυσης ΑΠΕ και μείωση του κόστους παραγωγής.

2.2 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά

Σε όλο τον κόσμο, τα απομακρυσμένα νησιά αντιμετωπίζουν πρόβλημα ενεργειακού εφοδιασμού και η προσφορότερη λύση μέχρι τώρα είναι το πετρέλαιο [25]. Η μεγάλη απόσταση τους από τα διασυνδεδεμένα δίκτυα των ηπειρωτικών περιοχών αναγκαστικά οδηγεί σε αυτόνομα συστήματα με επακόλουθο προκλήσεις σε περίπτωση βλάβης του δικτύου ή σοβαρών ζημιών που ενδέχεται να συμβούν στον τοπικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής [26]. Η ενεργειακή ασφάλεια θα απαιτούσε όχι μόνο μείωση της ενεργειακής εξάρτησης από τα εισαγόμενα καύσιμα, αλλά και τη σύσταση ενός διαφοροποιημένου ενεργειακού μείγματος επιτρέποντας έτσι την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη συμβολή Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) σε μεγάλο ποσοστό. Από την άλλη πλευρά, η επίτευξη υψηλών ποσοστών συμμετοχής ΑΠΕ έχει υψηλό κόστος επένδυσης. Επίσης όσο μεγαλύτερη είναι η διείσδυση των ΑΠΕ σε τέτοια απομονωμένα δίκτυα, τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος που πρέπει να αντισταθμιστεί από τον τοπικό Διαχειριστή του Συστήματος είτε μέσω της αξιοποίησης επαρκών εφεδρειών είτε μέσω της επιβολής περικοπών στις ΑΠΕ [27]. Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, οι Διαχειριστές του ΜΔΝ εφαρμόζουν ορισμένους περιορισμούς στη διείσδυση των ΑΠΕ λαμβάνοντας υπ' όψιν τα τεχνικά ελάχιστα λειτουργίας (technical minima) των υπάρχουσών θερμικών μονάδων παραγωγής. Στις περισσότερες από αυτές τις απομονωμένες νησιωτικές περιοχές υπάρχουν ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη των ΑΠΕ [28]. Σε αυτό το πλαίσιο, εκφράζονται επιχειρήματα υπέρ της άποψης ότι ολοκληρωμένες, έξυπνες ενεργειακές λύσεις, που συνδυάζουν ΑΠΕ, αποθήκευση ενέργειας και διαχείριση της ζήτησης (Demand Side Management- DSM) και προηγμένη διαχείριση ενέργειας θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν την παραγωγή ενέργειας από πετρέλαιο με βιώσιμο και οικονομικό τρόπο [29].

Σχετικά με το κόστος, πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν ότι στα μικρότερα αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα, η παραγωγή ενέργειας από πετρέλαιο έχει πολύ υψηλό κόστος που μπορεί και να υπερβαίνει τα 1.000 €/MWh [30], οπότε οι ΑΠΕ συγκρίνονται κοστολογικά με τα υψηλά υφιστάμενα κόστη των συμβατικών σταθμών. Το συνολικό κόστος παραγωγής στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια υπερβαίνει τα 300 εκατομμύρια Ευρώ ετησίως (εξαιρουμένων των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας της Κρήτης και της Ρόδου) [30].

Επίσης πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν και η εξάρτηση από τη μεταβλητότητα της τιμής των εισαγόμενων ποσοτήτων πετρελαίου.

Η παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας στα ΜΔΝ καθορίζεται από κάποια βασικά χαρακτηριστικά:

- Είναι αναγκαία η εξασφάλιση επάρκειας με υψηλά ποσοστά στρεφόμενης εφεδρείας για να υπάρχει η δυνατότητα αντιμετώπισης έκτακτων συμβάντων που μπορούν να διαταράξουν το δίκτυο προκαλώντας προβλήματα τάσης, ποιότητας ισχύος κλπ. Στα μικρά συστήματα τα έκτακτα συμβάντα έχουν μεγαλύτερη επίδραση στο σύστημα [31].
- Τα ΜΔΝ χαρακτηρίζονται από χαμηλό Συντελεστή Φορτίου¹, καθώς παρουσιάζουν μεγάλες εποχιακές διακυμάνσεις λόγω της τουριστικής κίνησης που συνήθως είναι δυσανάλογα μεγάλη σε σχέση με το μόνιμο πληθυσμό. Τα ηλεκτρικά συστήματα επομένως είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να μπορούν να ανταπεξέλθουν στη ζήτηση των καλοκαιρινών μηνών. Το υπόλοιπο διάστημα οι σταθμοί παραγωγής υποαπασχολούνται με αποτέλεσμα οι μονάδες παραγωγής να καταγράφουν χαμηλό βαθμό απόδοσης [32].
- Στα ΜΔΝ λόγω της απουσίας διασύνδεσης με άλλο ηλεκτρικό σύστημα, οποιαδήποτε ζήτηση φορτίου πρέπει να καλυφθεί από την παραγωγική δυνατότητα του ιδίου του συστήματος το οποίο καλείται να ανταποκριθεί άμεσα στην οποιαδήποτε μεταβολή της ζήτησης.
- Εξ αιτίας του συγκεντρωτικού χαρακτήρα του συστήματος παραγωγής, η αξιοπιστία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι υψηλή λόγω πιθανών βλαβών του δικτύου διανομής.

Στον παρακάτω Πίνακα (2.2.) παρουσιάζονται κάποια βασικά στοιχεία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των Ηλεκτρικών συστημάτων των ΜΔΝ, τα οποία υπολογίστηκαν από τις μηνιαίες εκκαθαρίσεις του ΔΕΔΔΗΕ:

¹ Ως συντελεστής φορτίου ορίζεται ο λόγος του μέσου φορτίου ως προς την αιχμή του φορτίου.

| ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΔΝ | ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ (MWh) | ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΕ (MWh) | ΠΟΣΟΣΤΟ (%) ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΑΠΕ | ΜΠΚΠ (€/MWh) | ΜΜΚ (€/MWh) |
|-----------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|--------------|
| ΑΓ.ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ | 1.104,07 | 0,00 | 0,00 | 579,71 | 244,97 |
| ΑΓΑΘΟΝΗΣΙ | 827,51 | 0,00 | 0,00 | 888,32 | 330,19 |
| ΑΜΟΡΓΟΣ | 9.351,17 | 474,53 | 4,83 | 389,88 | 212,72 |
| ΑΝΑΦΗ | 1.207,73 | 0,00 | 0,00 | 562,09 | 244,39 |
| ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΑ | 307,69 | 0,00 | 0,00 | 1.412,26 | 290,28 |
| ΑΡΚΙΟΙ | 398,92 | 0,00 | 0,00 | 1.160,35 | 362,1 |
| ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑ | 6.183,54 | 595,50 | 8,79 | 466,97 | 232,02 |
| ΓΑΥΔΟΣ | 485,94 | 0,00 | 0,00 | 828,38 | 289,66 |
| ΔΟΝΟΥΣΑ | 953,86 | 0,67 | 0,07 | 912,39 | 256,97 |
| ΕΡΕΙΚΟΥΣΣΑ | 817,13 | 0,00 | 0,00 | 853,94 | 265,71 |
| ΘΗΡΑ | 146.046,40 | 980,82 | 0,67 | 185,73 | 122,65 |
| ΙΚΑΡΙΑ | 20.937,15 | 6.336,09 | 23,24 | 405,15 | 209,86 |
| ΚΑΡΠΑΘΟΣ | 27.228,07 | 4.901,80 | 15,26 | 241,74 | 125,04 |
| ΚΡΗΤΗ | 2.134.453,00 | 676.909,80 | 24,08 | 197,08 | 160,72 |
| ΚΥΘΝΟΣ | 9.656,83 | 401,93 | 4 | 363,44 | 212,94 |
| ΚΩΣ | 265.029,10 | 51.000,91 | 16,14 | 147,53 | 103,37 |
| ΛΕΣΒΟΣ | 238.094,40 | 52.133,07 | 17,97 | 158,57 | 112,62 |
| ΛΗΜΝΟΣ | 49.743,82 | 8.855,59 | 15,12 | 210,29 | 125,03 |
| ΜΕΓΙΣΤΗ | 3.582,24 | 0 | 0 | 488,69 | 238,4 |
| ΜΗΛΟΣ | 39.562,21 | 7.490,34 | 15,92 | 164,76 | 108,4 |
| ΟΘΩΝΟΙ | 577,89 | 0 | 0 | 1.216,92 | 303,48 |
| ΠΑΤΜΟΣ | 14.915,72 | 2.890,19 | 16,24 | 372,47 | 238,06 |
| ΡΟΔΟΣ | 537.093,40 | 102.265,60 | 16,00 | 226,52 | 117,55 |
| ΣΑΜΟΣ | 97.160,21 | 29.702,08 | 23,42 | 199,88 | 109,45 |
| ΣΕΡΙΦΟΣ | 8.375,32 | 216,45 | 2,52 | 416,80 | 218,11 |
| ΣΙΦΝΟΣ | 14.960,17 | 2.728,43 | 15,43 | 419,91 | 229,93 |
| ΣΚΥΡΟΣ | 14.862,09 | 502,02 | 3,27 | 378,14 | 210,76 |
| ΣΥΜΗ | 11.951,22 | 253,72 | 2,08 | 372,15 | 212,97 |
| ΧΙΟΣ | 100,70 | 175.855,70 | 27.337,86 | 148,67 | 100,7 |

Πίνακας 2.2: ΜΠΚΠ, ΜΜΚ, Διείσδυση ΑΠΕ, συνολική εντασσόμενη ενέργεια ΑΠΕ και Θερμικών Μονάδων για το έτος 2020

Πέρα από τη δεδομένη μεγάλη διαφορά της συνολικά εντασσόμενης ενέργειας μεταξύ των παραπάνω ΗΣ, στον πίνακα παρατηρείται επίσης ότι η συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή των ΜΔΝ παρουσιάζει μεγάλο εύρος με συμμετοχή στα μεγάλα νησιά από περίπου 13% έως 24% ενώ στα πιο μικρά νησιά είναι πολύ μικρή, 0% έως 5% και 8,79 % στο ΗΣ της Αστυπάλαιας. Εξαιρέση αποτελούν η Σίφνος και η Ικαρία με ποσοστά 16% και 23% αντίστοιχα. Αξιοσημείωτο είναι πως 9 από τα 29 Ηλεκτρικά Συστήματα δεν τροφοδοτούνται από καμία μονάδα ΑΠΕ.

Το Μέσο Μεταβλητό Κόστος (ΜΜΚ) και το Μέσο Πλήρες Κόστος (ΜΠΚΠ) αποτελούν βασικά στοιχεία κόστους των Ηλεκτρικών Συστημάτων των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών. Το Μεταβλητό Κόστος είναι το κόστος των παραγωγικών συντελεστών που μεταβάλλεται ανάλογα με το επίπεδο της παραγωγής (όπως πχ. η ποσότητα καυσίμου

που καταναλώνεται), ενώ το Πλήρες Κόστος είναι το συνολικό κόστος μίας συμβατικής μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Το Μέσο Μεταβλητό Κόστος Παραγωγής και το Μέσο Πλήρες Κόστος Παραγωγής κάθε Συστήματος ΜΔΝ για κάθε Περίοδο Κατανομής υπολογίζονται από τον Διαχειριστή του Συστήματος με τους παρακάτω τύπους [26]:

$$\bullet \quad MMK_t = \frac{\sum_{x=1}^n Q_{E, x, t} * MK_{x, t}}{Q_{E, t}}$$

$$\bullet \quad ΜΠΚΠ_t = \frac{\sum_{x=1}^n Q_{E, x, t} * ΠΚΠ_{x, t}}{Q_{E, t}}$$

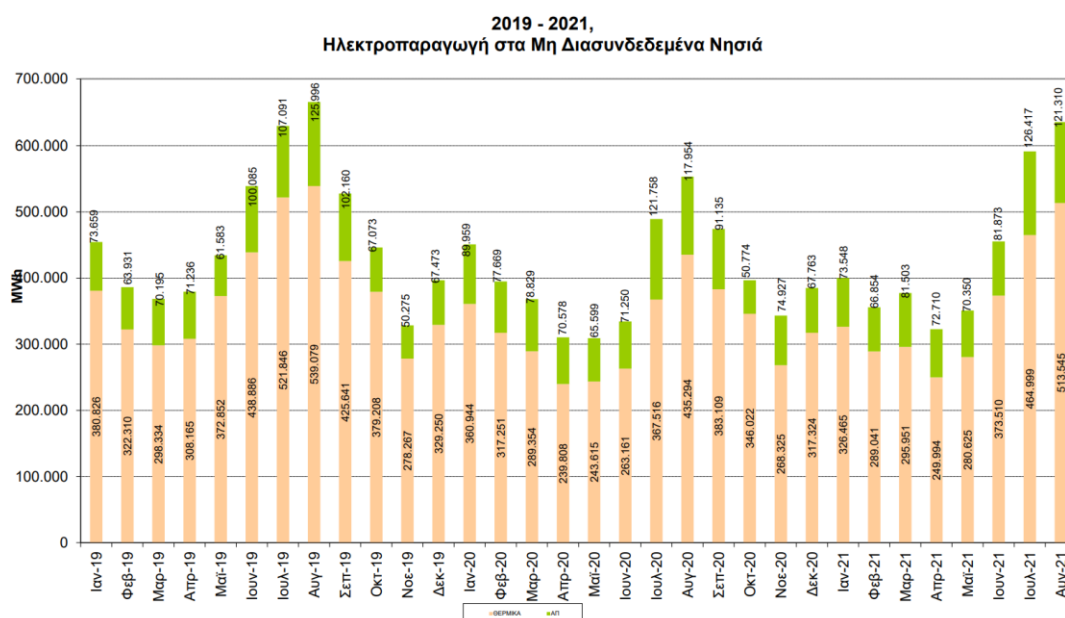
Όπου:

$Q_{E, x, t}$: η εντασσόμενη Ενέργεια της Συμβατικής Μονάδας x ($x = 1, 2, \dots, n$) στο Ηλεκτρικό Σύστημα την Περίοδο κατανομής t .

$Q_{E, t}$: το άθροισμα της εντασσόμενης Ενέργειας όλων των Συμβατικών Μονάδων στο Ηλεκτρικό Σύστημα την Περίοδο κατανομής t .

$MK_{x, t}$: το μεταβλητό κόστος παραγωγής της Συμβατικής Μονάδας x ($x = 1, 2, \dots, n$) την Περίοδο κατανομής t , για το σημείο λειτουργίας της Μονάδας που αντιστοιχεί σε ισχύ παραγωγής ίση με τη μέση ισχύ για την έγχυση της ενέργειας $Q_{E, x, t}$.

Στο παρακάτω διάγραμμα (2.1) απεικονίζεται η διακύμανση της παραγωγής των ΜΔΝ ανά μήνα κατά την τριετία 2019-2021:



Διάγραμμα 2.1 : Ηλεκτροπαραγωγή στα ΜΔΝ 2018 – 2021 (Πληροφοριακό δελτίο ΔΕΔΔΗΕ)

Το διάγραμμα επιβεβαιώνει την εποχικότητα των νησιών. Η ζήτηση την τουριστική περίοδο (τους καλοκαιρινούς μήνες) είναι σημαντικά αυξημένη σε σχέση με τον υπόλοιπο χρόνο. Επίσης παρατηρείται χαμηλή διείσδυση ΑΠΕ, όπως αναμενόταν σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πίνακα 2.2. Παρά το γεγονός ότι οι κλιματολογικές συνθήκες ευνοούν την ανάπτυξη ΑΠΕ, η διείσδυση των ΑΠΕ δεν είναι σημαντική. Με

στοιχεία του ΔΕΔΔΗΕ του 08.2021 το μέσο ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στα ΜΔΝ στο 2021 είναι 19,11% αυξημένο από το μέσο ποσοστό του 2021 (01-12) το οποίο ήταν 17,60%. Αναλυτικότερη παρουσίαση των δεδομένων αυτών γίνεται στην επόμενη ενότητα.

2.3 Παραγωγή Ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ

Παρά το πολύ υψηλής ποιότητας αιολικό δυναμικό που υπάρχει σε πολλά από τα ΜΔΝ καθώς και το εξαιρετικό ηλιακό δυναμικό που υπάρχει σε ολόκληρη την περιοχή του Αιγαίου, η πρόοδος που καταγράφηκε στον τομέα της παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ δεν ήταν αυτή που αναμενόταν. Σύμφωνα με πρόσφατα επίσημα στοιχεία του ΔΕΔΔΗΕ, τα μερίδια ΑΠΕ εμφανίζονται περίπου στάσιμα ή με αργή ανάπτυξη. Η εγκατεστημένη ισχύς των ανεμογεννητριών έχει φτάσει τα ~310MW, συμπεριλαμβανομένων σχεδόν 100 αιολικών πάρκων που διανέμονται κυρίως στα πιο μεγάλα και μεσαίας κλίμακας νησιά του Αιγαίου, ενώ η ενέργεια από Φωτοβολταϊκά είναι της τάξης των 130 MW, και πάλι συγκεντρωμένη στα νησιά μεγαλύτερης κλίμακας [30].

Η χαμηλή διείσδυση των ΑΠΕ είναι αποτέλεσμα των περιορισμών που θέτουν για τις ΑΠΕ τα υφιστάμενα τοπικά δίκτυα αποθαρρύνοντας τη δημιουργία νέων εγκαταστάσεων ΑΠΕ, λόγω των αυξημένων περικοπών που αναμένονται. Οι αυξημένες περικοπές για τα υπάρχοντα αιολικά πάρκα είναι ήδη πραγματικότητα σε κορεσμένα νησιωτικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, όπως αυτό της Κω και της Καλύμνου, όπου τα τοπικά αιολικά πάρκα με εγκατεστημένη ισχύ περίπου 15 MW αντιμετωπίζουν περικοπές που φτάνουν ακόμη και το 30% της αντίστοιχης ετήσιας απόδοσης αιολικής ενέργειας [27]. Ως αποτέλεσμα, το υπάρχον δίκτυο και οι περιορισμοί των θερμικών μονάδων επηρεάζουν αρνητικά τον συντελεστή χρησιμοποίησης (capacity factor)² των αιολικών εγκαταστάσεων, αφού δεν επιτρέπουν την μέγιστη εκμετάλλευση των διαθέσιμων πόρων αιολικής ενέργειας της περιοχής. Για την αντιμετώπιση του ζητήματος και την εξασφάλιση αυξημένων επιπέδων ασφάλειας του εφοδιασμού, η ανάπτυξη έξυπνων ενεργειακών λύσεων και η δημιουργία ΥΒΣ με χρήση συσσωρευτών φαίνεται να είναι η καλύτερη εναλλακτική λύση για τις πιο μικρές και πιο απομακρυσμένες νησιωτικές περιοχές του Αιγαίου Πελάγους. Από την άλλη πλευρά, τα σχέδια διασύνδεσης παρέχουν μια άλλη εφικτή εναλλακτική λύση, κυρίως για τα νησιά μεγαλύτερης κλίμακας και τα συγκροτήματα που βρίσκονται κοντά στην ηπειρωτική Ελλάδα, ενώ για τα υπόλοιπα νησιά μεσαίας κλίμακας, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί αποθήκη ενέργειας μεγαλύτερης κλίμακας για την υποστήριξη αυξημένων ποσοστών ΑΠΕ [33]. Στο πλαίσιο αυτό, πιλοτικά έργα που αναπτύσσουν προηγμένες, ολοκληρωμένες λύσεις που χρησιμοποιούν την αποθήκευση ενέργειας και ευφυείς πτυχές διαχείρισης (Demand Side Management και πρόβλεψη) μπορούν να έχουν πρωτεύοντα ρόλο στην αλλαγή της υφιστάμενης κατάστασης. Ήδη υπάρχουν πρωτοβουλίες για τέτοια έργα, όπως το πρωτοποριακό project TILOS Horizon 2020 που υλοποιείται στο νησί της Τήλου, το οποίο ανήκει στο κορεσμένο -από άποψη εγκαταστάσεων ΑΠΕ- ηλεκτρικό σύστημα Κω και Καλύμνου, το οποίο αποδεικνύει πώς η αποθήκευση ενέργειας με μπαταρίες μεγάλης κλίμακας θα μπορούσε να συνδυαστεί βέλτιστα με την τοπική παραγωγή ηλεκτρικής

² Ως συντελεστής φορτίου ορίζεται ο λόγος της πραγματικής ενέργειας που παράγει ετήσια προς τη θεωρητική μέγιστη ενέργεια που θα μπορούσε να παράγει αν λειτουργούσε όλες τις ώρες υπό ονομαστική ισχύ

ενέργειας από ΑΠΕ και τη διαχείριση της ζήτησης (Δτζ). Έργο ακόμα μεγαλύτερου βεληνεκούς θα αποτελέσει και το ΕΠΕ της Ασυπάλαιας.

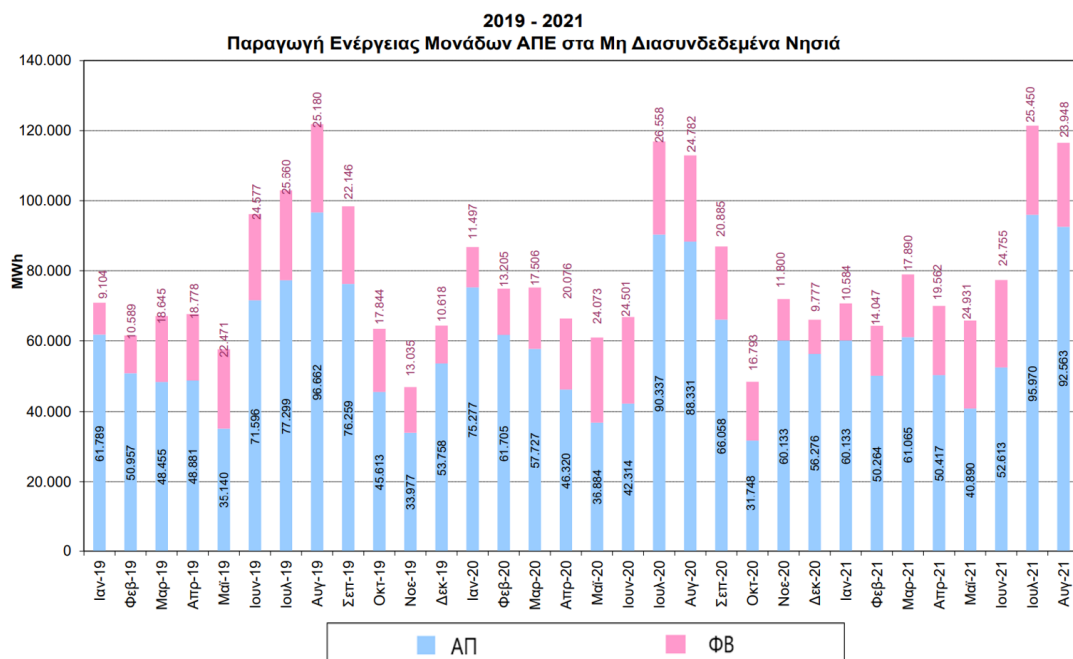
Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζονται τα συνολικά στοιχεία των Μονάδων ΑΠΕ των ΜΔΝ για το έτος 2021, η ανάλυση της εγκατεστημένης ισχύος και της Ενέργειας ανά κατηγορία ΑΠΕ:

| ΠΙΝΑΚΑΣ 4 Συγκεντρωτικά Στοιχεία Μονάδων ΑΠΕ στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά Αύγουστος 2021 | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|-------------------|---------------|-------------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|---------------|----------------|---------------|-------------------|
| ΜΗΝΑΣ | ΑΙΟΛΙΚΑ | | ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ* | | ΒΙΟΑΕΡΙΟ | | ΥΒΡΙΔΙΚΟΣ | | ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ | | ΣΥΝΟΛΟ | |
| | ΙΣΧΥΣ (MW) | ΕΝΕΡΓΕΙΑ (MWh) | ΙΣΧΥΣ (MW) | ΕΝΕΡΓΕΙΑ (MWh) | ΙΣΧΥΣ (MW) | ΕΝΕΡΓΕΙΑ (MWh) | ΙΣΧΥΣ (MW) | ΕΝΕΡΓΕΙΑ (MWh) | ΙΣΧΥΣ (MW) | ΕΝΕΡΓΕΙΑ (MWh) | ΙΣΧΥΣ (MW) | ΕΝΕΡΓΕΙΑ (MWh) |
| Ιανουάριος | 309,75 | 60.132,59 | 129,75 | 10.584,38 | 1,00 | 400,72 | 2,95 | 541,56 | 0,30 | 0,00 | 443,75 | 71.659,25 |
| Φεβρουάριος | 309,75 | 50.264,19 | 129,75 | 14.046,77 | 1,00 | 319,16 | 2,95 | 849,83 | 0,30 | 0,00 | 443,75 | 65.479,95 |
| Μάρτιος | 309,75 | 61.064,98 | 129,75 | 17.890,29 | 1,00 | 445,30 | 2,95 | 615,48 | 0,30 | 0,00 | 443,75 | 80.016,05 |
| Απρίλιος | 309,75 | 50.417,28 | 129,75 | 19.561,73 | 1,00 | 448,66 | 2,95 | 395,47 | 0,30 | 0,00 | 443,75 | 70.823,14 |
| Μάιος | 309,75 | 40.889,85 | 129,75 | 24.931,37 | 1,00 | 398,60 | 2,95 | 159,04 | 0,30 | 0,00 | 443,75 | 66.378,85 |
| Ιούνιος | 309,75 | 52.613,06 | 129,75 | 24.754,56 | 1,00 | 392,34 | 2,95 | 171,99 | 0,30 | 0,00 | 443,75 | 77.931,95 |
| Ιούλιος | 309,75 | 95.970,10 | 129,75 | 25.449,84 | 1,00 | 396,84 | 2,95 | 267,35 | 0,30 | 0,00 | 443,75 | 122.084,13 |
| Αύγουστος | 309,15 | 92.563,25 | 129,75 | 23.948,06 | 1,00 | 390,04 | 2,95 | 252,52 | 0,30 | 0,00 | 443,15 | 117.153,87 |
| Σεπτέμβριος | | | | | | | | | | | | |
| Οκτώβριος | | | | | | | | | | | | |
| Νοέμβριος | | | | | | | | | | | | |
| Δεκέμβριος | | | | | | | | | | | | |
| Σύνολο | 309,15 | 503.915,30 | 129,75 | 161.167,00 | 1,00 | 3.191,66 | 2,95 | 3.253,24 | 0,30 | 0,00 | 443,75 | 671.527,19 |

* Στα Φ/Β δεν συμπεριλαμβάνεται η εγκατεστημένη ισχύς και ενέργεια των Φ/Β Ειδικού Προγράμματος και των Net Metering

Πίνακας 2.3 : Συγκεντρωτικά στοιχεία ΑΠΕ σε ΜΔΝ για το έτος 2021 (Πληροφοριακό δελτίο ΔΕΔΔΗΕ).

Παρατηρείται πως σχεδόν όλο το ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ προέρχεται από τους αιολικούς και φωτοβολταϊκούς σταθμούς. Αυτό μπορεί να φανεί αναλυτικότερα από το παρακάτω διάγραμμα, που απεικονίζει την κατανομή της παραγωγής ΑΠ και ΦΒ όπως διαμορφώθηκε τα τελευταία τρία χρόνια 2019-2021.



Διάγραμμα 2.2 : Κατανομή παραγωγής ΑΠΕ στα ΜΔΝ 2019 – 2021 (Πληροφοριακό δελτίο ΔΕΔΔΗΕ)

Μια ενδιαφέρουσα παρατήρηση που προκύπτει από το παραπάνω διάγραμμα είναι ότι και οι ΑΠΕ αυξάνουν σημαντικά την παραγωγή τους κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Η δυνατότητα αυτή οφείλεται αρχικά στην αυξημένη ζήτηση του φορτίου, επιτρέποντας μεγαλύτερη διείσδυση ΑΠΕ καθώς και στην αυξημένη ηλιοφάνεια του καλοκαιριού και τους δυνατούς ανέμους στο Αιγαίο και κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Όπως είναι λογικό τους χειμερινούς μήνες η ποσοστιαία παραγωγή των ΑΠ ως προς τη συνολική παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας είναι αρκετά υψηλότερη σε σχέση με τα ΦΒ, κυρίως λόγω της μειωμένης ηλιοφάνειας.

2.4 Αποθήκευση Ενέργειας.

Η εγγενής αδυναμία των ΑΠΕ να διασφαλίσουν αδιάλειπτη παραγωγή εξισορροπείται με δύο τρόπους:

1. Εφεδρείες ισχύος άμεσου ελέγχου πχ. συμβατικοί θερμοηλεκτρικοί σταθμοί σε κατάσταση stand-by ή σε επίπεδο ελάχιστης ασφαλούς λειτουργίας (τεχνικό ελάχιστο) .
2. Συστήματα Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Τα συστήματα αποθήκευσης λειτουργούν ως εξής:

- Προσφέρουν ενέργεια στο ηλεκτρικό δίκτυο σε περιπτώσεις που η παραγόμενη ενέργεια δεν επαρκεί.
- Απορροφούν και αποθηκεύουν ενέργεια όταν υπάρχει πλεονάζουσα ενέργεια η οποία αν δεν αποθηκευτεί αναγκαστικά θα απορριφθεί ή και στην περίπτωση όπου η ζήτηση είναι σε χαμηλά επίπεδα και η αποθήκευση ενέργειας δεν δημιουργεί πρόβλημα.

Όλες αυτές οι λειτουργίες πραγματοποιούνται με οργανωμένο τρόπο και ελέγχονται από τον Διαχειριστή του εκάστοτε ηλεκτρικού συστήματος.

Οι Υβριδικοί σταθμοί που συνδυάζουν τουλάχιστον μια μονάδα παραγωγής ΑΠΕ και μια μονάδα αποθήκευσης αποτελούν την πιο υποσχόμενη λύση για την υψηλή διείσδυση ΑΠΕ στα ΜΔΝ. Τα πιο συνηθισμένα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε Υβριδικούς σταθμούς είναι τα ακόλουθα:

2.4.1 Αντλησιοταμίευση

Στα συστήματα αντλησιοταμίευσης χρησιμοποιείται ενέργεια που παράγεται από κάποια ΑΠΕ για να μεταφερθεί ποσότητα νερού μέσω αντλίας σε κάποιο ταμιευτήρα σε υψηλότερο επίπεδο ώστε η ποσότητα αυτή να μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί από κάποιο υδροηλεκτρικό σύστημα στο χώρο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Συνήθως υπάρχουν δύο κατηγορίες ταμιευτήρων για την υποδοχή και την παραμονή του νερού, οι φυσικοί και οι τεχνητοί. Το μέγεθος των ταμιευτήρων ποικίλει.

Βασικά πλεονεκτήματα:

- Δυνατότητα άμεσης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με απόλυτα ελεγχόμενο τρόπο.
- Χρήση πλεονάζουσας ενέργειας για την άντληση του νερού
- Αξιοπιστία του ηλεκτρικού συστήματος και ιδανική ένταξη των ΑΠΕ στο σύστημα παραγωγής
- Υψηλή απόδοση ενέργειας
- Μεγάλη διάρκεια ζωής

Μειονεκτήματα

- Μεγάλο κόστος επένδυσης για την κατασκευή του υδροηλεκτρικού σταθμού.
- Δυσκολία ανεύρεσης εδάφους κατάλληλης μορφολογίας για την διαμόρφωση των ταμιευτήρων.

Συνήθως η αντλησιοταμίευση λειτουργεί συμπληρωματικά σε ένα υδροηλεκτρικό σταθμό που χρησιμοποιεί την υψομετρική διαφορά που δημιουργείται από την κατασκευή ενός φράγματος που διακόπτει και ανυψώνει τη στάθμη ενός ποταμού ή ισχυρού χειμάρρου. Ένα παράδειγμα ΥΒΣ με αντλησιοταμίευση είναι ο ΥΒΣ που έχει εγκατασταθεί στην Ικαρία.

2.4.2. Συσσωρευτές

Οι συσσωρευτές αποτελούν μια εύκολη αλλά ακριβή λύση. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνολογίες συσσωρευτών αλλά συνήθως χρησιμοποιούνται συσσωρευτές Νικελίου-Καδμίου (Ni-Cd), Νικελίου-Ψευδαργύρου (Ni-Zn) ή κλασσικές μπαταρίες έλξης στατικού τύπου (stationary) μολύβδου - θειϊκού οξέος (Lead-Acid).

Γενικά οι συσσωρευτές οι οποίοι είναι κατάλληλοι για αυτόν τον σκοπό πρέπει να έχουν τα εξής βασικά χαρακτηριστικά:

- Υψηλή ταχύτητα φόρτισης/εκφόρτισης.
- Χαμηλή ταχύτητα αυτοεκφόρτισης.
- Αντοχή στον χρόνο (υψηλός αριθμός κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης).

Οι συστοιχίες μπαταριών μπορούν να αναπτυχθούν σταδιακά, καταλαμβάνουν σχετικά περιορισμένο χώρο και αποτελούν μια σχετικά εύκολη αλλά δαπανηρή λύση. Το σύστημα μπαταριών για να μπορέσει να εγχύσει ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο χρειάζεται αντιστροφείς (Inverters) και Σύστημα Ελέγχου.

Σε μεγάλα συστήματα χρησιμοποιούνται συσσωρευτές ροής. Στους συσσωρευτές ροής χρησιμοποιούνται μεγάλες δεξαμενές όπου φυλάσσονται δύο κατάλληλοι ηλεκτρολύτες οι οποίοι έρχονται σε επαφή μεταξύ τους μέσω κατάλληλης ξηρής ηλεκτροχημικής στιβάδας. Ο πιο διαδεδομένος τύπος είναι ο συνδυασμός ψευδαργύρου-Βρωμίου (Zn-Br). Οι συσσωρευτές ροής παρουσιάζουν πλεονεκτήματα σε σχέση με τους κλασσικούς συσσωρευτές αλλά αποτελούν τεχνολογία σε εξέλιξη.

Υπάρχουν κι άλλες μέθοδοι αποθήκευσης που απλά αναφέρονται παρακάτω, γιατί η ανάλυση τους δε θεωρείται σκόπιμη στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

- Κυψέλες Υδρογόνου.
- Αποθήκευση συμπιεσμένου αέρα (compressed air energy storage).
- Αποθήκευση θερμότητας (thermal energy storage).
- Κυψέλες καυσίμου (fuel cells).
- Σφόνδυλοι (flywheels).
- Πυκνωτές/Υπερπυκνωτές (capacitors/supercapacitors.)
- Αποθήκευση σε μαγνητικό πεδίο (superconducting magnetic energy storage) [34].

2.5 Η Αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα

Στην Ελλάδα η Αγορά ηλεκτρικής ενέργειας είναι θεσμοθετημένα ανοικτή και πλήρως ανταγωνιστική, τόσο σε επίπεδο παραγωγής όσο και σε επίπεδο εμπορίας, χονδρικής και λιανικής. Η μεταφορά ενέργειας μέχρι το δίκτυο διανομής καθώς και το δίκτυο διανομής ανήκουν και λειτουργούν από ανεξάρτητους φορείς οι οποίοι είναι νομικά πρόσωπα και λειτουργούν υπό την εποπτεία και των έλεγχο ανεξάρτητης ρυθμιστικής αρχής. Η εξέλιξη αυτή είναι αποτέλεσμα της εναρμόνισης της Ελλάδας στις κατευθυντήριες γραμμές της Ευρωπαϊκής Ένωσης για ένα Θεσμικό Πλαίσιο-Μοντέλο (Target Model) για την απελευθέρωση της Αγοράς Ενέργειας (κατά βάση της ηλεκτρικής ενέργειας και του Φυσικού Αερίου) και την δημιουργία μιας ενιαίας Αγοράς Ηλεκτρισμού (Internal Electricity Market) με στόχο την αύξηση της ανταγωνιστικότητας στην Ευρωπαϊκή Αγορά Ενέργειας, την ελεύθερη μεταφορά ενέργειας εντός των ορίων της Ευρωπαϊκής ένωσης, τη μείωση του κόστους και τελικό στόχο το όφελος του τελικού καταναλωτή ο οποίος θα μπορεί να προμηθεύεται ηλεκτρικό ρεύμα καλής ποιότητας στις χαμηλότερες δυνατές τιμές.

Στο πλαίσιο αυτό δημιουργήθηκαν οι παρακάτω φορείς διαχείρισης:

Ο **ΑΔΜΗΕ Α.Ε.** (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) είναι το νομικό πρόσωπο το οποίο ασκεί τον ρόλο του Διαχειριστή του Συστήματος Μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας για όλη την Ελλάδα εκτός από τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά που για λόγους απλούστευσης ανήκουν στην αρμοδιότητα του ΔΕΔΔΗΕ.

Ο **ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε.** (Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας) Ο σκοπός του ΔΕΔΔΗΕ είναι η Διαχείριση του Ελληνικού Δικτύου Διανομής. Ένα από τα επί πλέον καθήκοντα του ΔΕΔΔΗΕ είναι ο ρόλος του Διαχειριστή των ΜΔΝ όπου διαχειρίζεται και όλες τις πηγές παραγωγής, συμβατικές, ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ. [29]

Ο **ΔΑΠΠΕΠ** (πρώην ΛΑΓΗΕ) είναι ο Φορέας Διαχείρισης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και εγκαταστάσεων Συμπααραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ) στο Διασυνδεδεμένο Ηλεκτρικό σύστημα (με τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά να ανήκουν στην αρμοδιότητα του ΔΕΔΔΗΕ).

Ταυτόχρονα από το 2020 λειτουργεί πλήρως η **Ενεργειακή Χρηματοπιστωτική Αγορά** η οποία είναι μία πλήρης, ώριμη χρηματοπιστωτική αγορά ενέργειας που διαθέτει όλα τα εργαλεία για τις αγοροπωλησίες ηλεκτρικής ενέργειας. Η Αγορά Ενέργειας εποπτεύεται από τη ΡΑΕ (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας) η οποία είναι η ανεξάρτητη ρυθμιστική αρχή, με στόχο την εποπτεία (παρακολούθηση και έλεγχο) της Ελληνικής αγοράς ενέργειας και τη λήψη μέτρων για την απελευθέρωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου.

2.6 Η Αγορά Ηλεκτρικής ενέργειας στα ΜΔΝ

Η Αγορά των ΜΔΝ, όπως έχει αναφερθεί, ποικίλει σε μέγεθος με μεγαλύτερη αγορά την Κρήτη και την Ρόδο. Αν εξαιρέσουμε γενικότερα τα μεγάλα νησιά (Κρήτη, Ρόδο, Λέσβο, Χίο και Σάμο), τα Ηλεκτρικά Συστήματα που απομένουν είναι μικρά και με παλαιές εγκαταστάσεις οι οποίες είναι συμβατικές θερμοηλεκτρικές μονάδες σχεδιασμένες για

να καλύπτουν επαρκώς τις παρατηρούμενες αιχμές της ζήτησης κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Η διαμορφωμένη αυτή κατάσταση και η υφιστάμενη στρατηγική ανάπτυξης των ΑΠΕ δεν δημιουργεί επενδυτικό ενδιαφέρον για την ανάπτυξη συμβατικών μονάδων και πρακτικά εξαφανίζει το ενδιαφέρον των επενδυτών για εγκατάσταση ανταγωνιστικών μονάδων συμβατικού τύπου.

Η Αμοιβή των συμβατικών μονάδων αποτελείται από τρία μέρη [35]:

- Αμοιβή για την έγχυση ενέργειας στο Σύστημα με βάση το μεταβλητό κόστος και το Κόστος εκκίνησης της Μονάδας.
- Αμοιβή για την διαθεσιμότητα Ισχύος.
- Αμοιβή για την Παροχή Επικουρικών Υπηρεσιών.

Η Αμοιβή των Υβριδικών Σταθμών και Σταθμούς ΑΠΕ/ΣΗΘΥΑ επίσης ακολουθεί την δομή των Συμβατικών Σταθμών τηρώντας τους όρους των Συμβάσεων Πώλησης. Αντίστοιχα αποτελείται από [35] :

- Αμοιβή για την έγχυση ενέργειας στο Σύστημα ΜΔΝ.
- Αμοιβή για τη Διαθεσιμότητα Ισχύος.
- Αμοιβή για Επικουρικές Υπηρεσίες των κατανεμόμενων ΑΠΕ.

Ο πιο ελκυστικός επενδυτικός «χώρος» που διαμορφώνεται είναι για ΑΠΕ (κυρίως υβριδικούς σταθμούς για μεγαλύτερη διείσδυση ΑΠΕ) , με επενδύσεις που εντάσσονται σε ρυθμισμένες αμοιβές (εγγυημένη αποζημίωση) που προσδιορίζονται από μακροπρόθεσμες συμβάσεις. Προς το παρόν εφαρμόζονται πολιτικές εγγυημένης τιμής και κατά προτεραιότητα απορρόφησης της παραγωγής των ΑΠΕ έναντι των συμβατικών μονάδων. Επίσης δεν εφαρμόζονται ανταγωνιστικές πρακτικές μεταξύ ΑΠΕ διαφορετικών τεχνολογιών και διαφορετικής γενιάς που έχουν διαφορετικό κόστος, δηλαδή δεν προτιμώνται οι πιο οικονομικές ΑΠΕ οι οποίες θα εξοστράκιζαν τις παλαιότερες επενδύσεις ως λιγότερο αποδοτικές[35]. Ένα σημείο διαφοροποίησης επίσης στην αμοιβή των ΑΠΕ μεταξύ Διασυνδεδεμένου Δικτύου και ΜΔΝ είναι ότι στα Συστήματα ΜΔΝ η ενέργεια που περικόπτεται δεν αποζημιώνεται, διότι επιβάλλεται για λόγους ομαλής λειτουργίας του δικτύου. Βέβαια η Αμοιβή των ΑΠΕ στα ΜΔΝ είναι συχνά υψηλότερη από τις αντίστοιχες του μεγάλου Διασυνδεδεμένου Δικτύου [36].

Η χρηματιστηριακή Αγορά Ενέργειας δεν λειτουργεί στα ΜΔΝ και ο Διαχειριστής ΜΔΝ είναι ο ΔΕΔΔΗΕ ο οποίος ασκεί τη διαχείριση των Αυτόνομων Συστημάτων εφαρμόζοντας τον Κώδικα ΜΔΝ της ΡΑΕ. Ο Κώδικας ΜΔΝ της ΡΑΕ καθορίζει τη λειτουργία των συστημάτων ΜΔΝ παρέχοντας αναλυτικούς κανόνες για την εύρυθμη λειτουργία των συστημάτων και ο Διαχειριστής καλείται να τους τηρήσει . Οι διαδικασίες περιγράφονται αναλυτικά στον Κώδικα ΜΔΝ κυρίως στα κεφάλαια που αφορούν στον Κυλιόμενο Ημερήσιο Ενεργειακό Προγραμματισμό (ΚΗΕΠ).

2.7 Κυλιόμενος Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός

Ο ενεργειακός προγραμματισμός στα ΜΔΝ πραγματοποιείται σε κυλιόμενη ημερήσια βάση και περιλαμβάνει τον καθορισμό των Κατανεμόμενων Μονάδων που θα συμμετέχουν στην παραγωγή της κάθε ώρας της ημέρας καθώς και την ποσότητα ενέργειας που θα παράξει η κάθε μία μονάδα στο προγραμματιζόμενο 24ωρο. Στόχος του ΚΗΕΠ είναι η διασφάλιση της ημερήσιας ζήτησης του ΜΔΝ τηρώντας το πλαίσιο λειτουργίας και ασφάλειας του ΗΣ, όπως έχει καθοριστεί για κάθε ΗΣ. Για την επίτευξη μεγαλύτερης ανάλυσης, ο ημερήσιος προγραμματισμός είναι στην ουσία 12ώρος γιατί διαιρείται σε δυο χρονικές ζώνες, τη πρώτη ζώνη (00:00-12:00) (Α΄ Περίοδος) και τη δεύτερη ζώνη (12:00-00:00) (Β΄ Περίοδος). Ο ημερήσιος προγραμματισμός για μια συγκεκριμένη ημέρα πραγματοποιείται κατά την προηγούμενη ημέρα σύμφωνα με την εξής χρονική ακολουθία:

Μέχρι τις 18:00 της προηγούμενης ημέρας κατατίθενται:

- οι Δηλώσεις Φορτίου από τους Προμηθευτές (ως εκπροσώπων των καταναλωτών) και όλων όσοι καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια (αυτοπρομηθευόμενοι πελάτες, παραγωγοί κάθε τύπου που καταναλώνουν ενέργεια από το δίκτυο)
- οι Δηλώσεις Παραγωγής των Κατανεμόμενων Μονάδων.
- οι Δηλώσεις Παραγωγής των Μονάδων ΑΠΕ/ΣΗΘΥΑ.
- Προβλέψεις παραγωγής των Μη Κατανεμόμενων μονάδων ΑΠΕ.

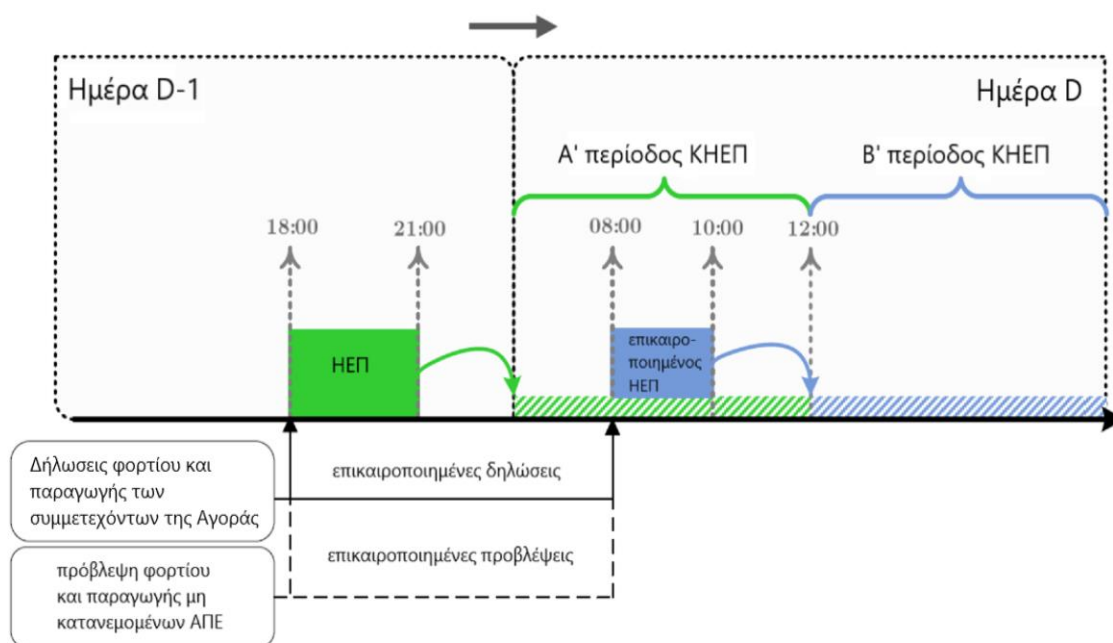
Οι παραπάνω δηλώσεις είναι αναλυτικές δηλώσεις για την Ημέρα Προγραμματισμού ανά ώρα (MWh/ώρα) και είναι υποχρεωτικές.

Μέχρι τις 21:00 κατατίθεται το Ημερήσιο Πρόγραμμα παραγωγής της επόμενης ημέρας από τον Διαχειριστή ΜΔΝ. Για τη κατάρτιση του Ημερήσιου Προγράμματος παραγωγής ο Διαχειριστής του ΜΔΝ υποβάλλει και επεξεργάζεται μια σειρά Δηλώσεων :

- Δήλωση προσφερόμενης ενέργειας ανά ώρα (MWh/ώρα από κατανεμόμενες μονάδες.
- Δήλωση προσφερόμενης ενέργειας ανά ώρα (MWh/ώρα από τις μη κατανεμόμενες Μονάδες ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ.
- Δήλωση Συνολικού Φορτίου ανά ώρα (MWh/ώρα) που θα διατεθεί από το Δίκτυο του ΜΔΝ.

Κατά την Ημέρα Προγραμματισμού μπορεί να γίνει αναθεώρηση της Β΄ Περιόδου. Συγκεκριμένα μέχρι τις 08:00 κατατίθενται επικαιροποιημένες Δηλώσεις Παραγωγής και προβλέψεις Φορτίου για την Β΄ Περίοδο, ενώ μέχρι τις 10:00 κατατίθεται το επικαιροποιημένο πρόγραμμα παραγωγής της Β΄ Περιόδου από τον Διαχειριστή.

Το χρονοδιάγραμμα του ΚΗΕΠ παρουσιάζεται συνοπτικά στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 2.1 : Χρονοδιάγραμμα ΚΗΕΠ

Για να επιτευχθεί ένας βασικός στόχος του Ημερήσιου Προγραμματισμού που είναι η καθημερινή ένταξη και παραγωγή των κατανεμομένων μονάδων για την ασφαλή κάλυψη της ζήτησης κάθε συστήματος ΜΔΝ με την τήρηση των λειτουργικών κανόνων κάθε Συστήματος πρέπει να υπάρχει μια ασφαλής πρόβλεψη του φορτίου (ΠΦ) που θα απορροφηθεί συνολικά από το δίκτυο ανά ώρα. Για την επίτευξη αξιόπιστης πρόβλεψης φορτίου πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν πολλά στοιχεία όπως οι παραπάνω Δηλώσεις Φορτίου, ιστορικά στοιχεία, προγνώσεις καιρικών συνθηκών και της επίδρασης τους στην ζήτηση. Η Πρόβλεψη Φορτίου γίνεται από τον Διαχειριστή του ΜΔΝ έχοντας επεξεργαστεί τις πληροφορίες που αναφέρθηκαν.

Παράλληλα, ο Διαχειριστής πρέπει να προβλέψει σωστά την Παραγωγή, έχοντας λάβει τις Δηλώσεις κάθε παραγωγού Κατανεμόμενης Μονάδας ΑΠΕ (ηλιοθερμικοί σταθμοί, σταθμοί βιομάζας/βιοαερίου, ΥΒΣ) και υπολογίζοντας πλήθος στοιχείων που μπορούν να δημιουργήσουν απόκλιση από την προβλεπόμενη παραγωγή όπως και επί πλέον στοιχεία κατάστασης μηχανών, βλάβες, καιρικές συνθήκες που επηρεάζουν την παραγωγή ικανότητα των ΑΠΕ κλπ.

Αναγκαίος είναι επίσης και ο συνυπολογισμός των περιορισμών που τίθενται στους σταθμούς ΑΠΕ και ΥΒΣ για την ορθή λειτουργία του ΗΣ, όπως είναι η τήρηση των απαιτούμενων εφεδρειών και η ικανοποίηση του ενεργειακού ισοζυγίου, τα τεχνικά ελάχιστα των θερμικών μονάδων και οι ελάχιστοι χρόνοι λειτουργίας.

Ηλεκτρικά οχήματα

3.1 Εισαγωγή

Η ηλεκτροκίνηση των οχημάτων όλων των κατηγοριών αποτελεί μια ισχυρή και επιταχυνόμενη τάση διεθνώς. Σε παγκόσμιο επίπεδο, τα κράτη αναλαμβάνουν πρωτοβουλίες που ευνοούν την ανάπτυξη των σχετικών τεχνολογιών και διαμορφώνουν κανονιστικό πλαίσιο για την υποκατάσταση των συμβατικών κινητήρων εσωτερικής καύσης από ηλεκτροκίνητες σε όλες τις κατηγορίες της αυτοκίνησης. Αυτή η μετάβαση επιφέρει σοβαρές αλλαγές στη ζωή των καταναλωτών, στην οργάνωση του αστικού ιστού, στην επιχειρηματικότητα και φυσικά στα ηλεκτρικά συστήματα καθώς αυξάνεται η παραγωγή και ταυτόχρονα η συμμετοχή των ΑΠΕ και τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής καλούνται να υποδεχθούν και να διαχειριστούν ένα μεγάλο όγκο πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος με όλες τις τεχνικές δυσκολίες και προκλήσεις που επιφέρει αυτή η τεράστια αλλαγή.

Πλεονεκτήματα των Ηλεκτρικών Οχημάτων:

- Απλούστερη κατασκευή από μηχανολογική άποψη λόγω απουσίας του πολύπλοκου κινητήρα εσωτερικής καύσης.
- Χαμηλό λειτουργικό κόστος (χαμηλότερο κόστος «καυσίμου» και συντήρησης)
- Καλές επιδόσεις ως προς την επιτάχυνση λόγω μεγαλύτερης ροπής και ως προς την ισχύ.
- Έλλειψη καυσαερίων.
- Έλλειψη θορύβου.
- Μικρό οικολογικό αποτύπωμα στο βαθμό που η ενέργεια που χρησιμοποιείται προέρχεται από ΑΠΕ.

Μειονεκτήματα Ηλεκτρικών Οχημάτων:

- Υψηλή τιμή (κυρίως λόγω της μπαταρίας).
- Διάρκεια μπαταρίας / υψηλό κόστος αντικατάστασης.
- Περιορισμένη αυτονομία.
- Επιβάρυνση των ηλεκτρικών συστημάτων (παραγωγή, δίκτυα μεταφοράς και διανομής).
- Ανάγκη για ανάπτυξη δημοσίων και ιδιωτικών δικτύων φόρτισης.

3.2 Τα είδη των Ηλεκτρικών Οχημάτων

Υπάρχει ποικιλία ηλεκτρικών οχημάτων (ΗΟ) με βάση τον τύπο του κινητήρα τους που εκφράζει μια εξελικτική πορεία σταδιακής διεύθυνσης της ηλεκτρικής ενέργειας για την κίνηση των οχημάτων. Αναλυτικά τα ΗΟ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως ακολούθως:

- **Υβριδικά (Hybrid Electric Vehicles - HEV):**

Αποτελούν εξέλιξη των συμβατικών αυτοκινήτων. Είναι βασικά συμβατικά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης, ο οποίος είναι η βασική πηγή κίνησης, και μικρό ηλεκτροκινητήρα ο οποίος φορτίζεται από ηλεκτρογεννήτρια συνδεδεμένη μηχανικά με τον κινητήρα όπως στα συμβατικά οχήματα. Ο ηλεκτροκινητήρας δρα συνδυαστικά με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης αυξάνοντας τις επιδόσεις του οχήματος (ροπή και ιπποδύναμη) με αποτέλεσμα βελτιωμένες επιδόσεις του οχήματος με σημαντικά μειωμένη κατανάλωση καυσίμου. Η καινοτομία έγκειται στην ανάκτηση ηλεκτρικής ενέργειας από την πέδηση και στον ομαλό συγχρονισμό του ηλεκτροκινητήρα με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης.

- **Φορτιζόμενα Υβριδικά (Plug-in Hybrid Electric Vehicles -PHEV)**

Πρόκειται για υβριδικά οχήματα με ενισχυμένο ηλεκτρικό κινητήρα ο οποίος μπορεί να κινήσει το όχημα αυτόνομα, με μια μικρή σχετικά αυτονομία και ο οποίος φορτίζεται μέσω ρευματοδότη από το ηλεκτρικό δίκτυο. Συνδυαστικά οι δύο κινητήρες εξασφαλίζουν αυξημένη απόδοση και είναι μια μικτή λύση (υβριδική) κινητήρα εσωτερικής καύσης και ηλεκτροκινητήρα.

- **Πλήρως Ηλεκτρικά (Battery Electric Vehicles – BEV)**

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οχήματα που κινούνται μόνο με ηλεκτρική ενέργεια. Διαθέτουν μόνο ηλεκτροκινητήρα και ανάλογο συσσωρευτή, μπορούν να χαρακτηρισθούν «καθαρά» γιατί δεν εκπέμπουν καυσαέρια και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα τους εξαρτάται από τον τρόπο που παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιούν. Ο στόχος είναι να χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ. Έχουν πολύ χαμηλό κόστος λειτουργίας σε σχέση με τους συμβατικούς κινητήρες εσωτερικής καύσης, καθώς το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος είναι πολύ χαμηλότερο από αυτό των υγρών καυσίμων. Βέβαια πρέπει να σημειωθεί ότι το κόστος της βενζίνης και του ντίζελ κίνησης,σε επίπεδο τελικού καταναλωτή, επηρεάζονται από φόρους οι οποίοι στην περίπτωση αυτών των ορυκτών καυσίμων είναι ιδιαίτερα υψηλοί.

- **Ηλεκτρικά οχήματα με κυψέλη καυσίμου (Fuel Cells Electric Vehicles- FCEV):**

Πρόκειται για αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα τα οποία χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια η οποία παράγεται από κυψέλες καυσίμου, με πιο διαδεδομένο τύπο τις κυψέλες υδρογόνου. Αν και αυτά τα είδη οχημάτων θεωρείται πως έχουν μηδενικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα διότι εκπέμπουν μόνο υδρατμούς πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν ο τρόπος με τον οποίο παράγεται το υδρογόνο που χρησιμοποιούν στις κυψέλες τους.

«Πράσινο» θεωρείται μόνο το υδρογόνο το οποίο παράγεται μέσω ηλεκτρόλυσης ενώ η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από ΑΠΕ. Σήμερα παγκοσμίως το μεγαλύτερο μέρος του χρησιμοποιημένου υδρογόνου παράγεται μέσω μιας ενεργοβόρου διεργασίας από φυσικό αέριο (μεθάνιο) [37].

- **Ηλεκτρικά Οχήματα με συσσωρευτή και αυτοπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Extended Range Electric Vehicles – ER-EV):**

Πρόκειται για ηλεκτρικά οχήματα που επί πλέον διαθέτουν κινητήρα εσωτερικής καύσης ο οποίος δεν χρησιμοποιείται για την κίνηση του οχήματος παρά μόνο για την φόρτιση της μπαταρίας του ηλεκτροκινητήρα. Η τεχνολογία αυτή είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη σε βαριά οχήματα όπως ηλεκτρικά τρένα που κινούνται σε μικτή διαδρομή (ηλεκτροδοτούμενη γραμμή και μη).

3.3 Μέθοδοι φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων στην Ευρώπη

Λόγω των διαφόρων μορφών φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων αλλά και λόγω της έλλειψης κοινών προδιαγραφών υπάρχει πολυτυπία συνδέσμων (ρευματοδοτών /ρευματοληπτών) [38].

Η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να γίνει είτε με εναλλασσόμενο είτε με συνεχές ρεύμα. Με βάση τα ευρωπαϊκά πρότυπα (IEC 61851) οι υφιστάμενοι τρόποι φόρτισης είναι οι εξής[39]:

Mode 1: Επιλέγεται κυρίως για οικιακή φόρτιση. Είναι μη ελεγχόμενη μέθοδος φόρτισης μέσω απλής πρίζας Σούκο. Χρησιμοποιείται μονοφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) χαμηλής έντασης έως 16 A και δεν υπάρχει επικοινωνία με το όχημα.

Mode 2: Πρόκειται για μη ελεγχόμενη φόρτιση μεγαλύτερης ισχύος για ισχύ έως 22 kW μέσω τριφασικής παροχής. Υπάρχει επικοινωνία με το όχημα για την ρύθμιση της έντασης του ρεύματος.

Mode 3: Ελεγχόμενη φόρτιση με εναλλασσόμενο ρεύμα που επιτυγχάνει ισχύ φόρτισης έως 44kW (3Φ, 63 A). Υπάρχει επικοινωνία με το όχημα για ρύθμιση της έντασης και τη διάγνωση σφαλμάτων. Η μέθοδος αυτή συνήθως χρησιμοποιείται συνήθως στους δημόσιους σταθμούς φόρτισης.

Mode 4: Υπερταχεία φόρτιση με συνεχές ρεύμα (DC) που επιτυγχάνει ισχύ 50-170 kW. Απαιτείται φορτιστής ειδικών προδιαγραφών για την διαχείριση τόσο υψηλής τάσης ο οποίος περιλαμβάνει και σύστημα μετατροπής του εναλλασσόμενου ρεύματος του Δικτύου σε Συνεχές (AC/DC). Η ισχύς των φορτιστών αυτών μεγαλώνει συνεχώς.

3.4 Συσσωρευτές Ηλεκτρικών Οχημάτων

Οι συσσωρευτές αποτελούν το κρίσιμο μέρος των ηλεκτρικών οχημάτων λόγω του υψηλού κόστους, του καταλαμβανόμενου χώρου, του βάρους και της περιορισμένης διάρκειας ζωής. Όλα τα παραπάνω αποτελούν προκλήσεις για εξέλιξη και αντικείμενο τεράστιων επενδύσεων σε έρευνα και ανάπτυξη κατά τις τελευταίες δεκαετίες με συνεχώς καταγραφόμενη πρόοδο [40]. Το κόστος του συσσωρευτή το οποίο εξαρτάται κυρίως από το κόστος των κρίσιμων υλικών, των οικονομιών κλίμακας και της έρευνας και ανάπτυξης μειώνεται σταθερά τα τελευταία χρόνια. Οι εκτιμήσεις για τους συσσωρευτές ιόντων λιθίου, που είναι η επικρατούσα τεχνολογία, είναι ότι η μείωση του κόστους θα συνεχιστεί μολονότι υπάρχει ο σοβαρός παράγων αβεβαιότητας της τιμής

του λιθίου, κυρίως λόγω της αύξησης της μαζικής παραγωγής των ηλεκτρικών οχημάτων. Οι τιμές των μπαταριών ιόντων λιθίου που ήταν το 2011 917 \$/kWh, το 2020 μειωθήκαν κατά 85% και κόστιζαν το 2020 μόλις 137 \$/kWh. Σύμφωνα με τις τελευταίες προβλέψεις από την ερευνητική εταιρεία BloombergNEF (BNEF), η τιμή των μπαταριών των ΗΟ θα πέσει στα 101 \$/kWh το 2023, ενώ στα 58 \$/kWh το 2030. [41] [42] (Διάγραμμα 3.1). Το μειωμένο κόστος των μπαταριών αποτελεί έναν από τους κύριους λόγους που τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν παρουσιάσει ραγδαία ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, καθώς είχαν μέχρι πρόσφατα απαγορευτικά υψηλό κόστος για μεγάλη μερίδα των πολιτών. Χαρακτηριστικά στο 2016 η μπαταρία ενός ηλεκτρικού οχήματος αποτελούσε το 49% του κόστους του συνολικού οχήματος, ενώ στο 2020 το 37%. Το 2030 το ποσοστό προβλέπεται να πέσει στο 19% [42].



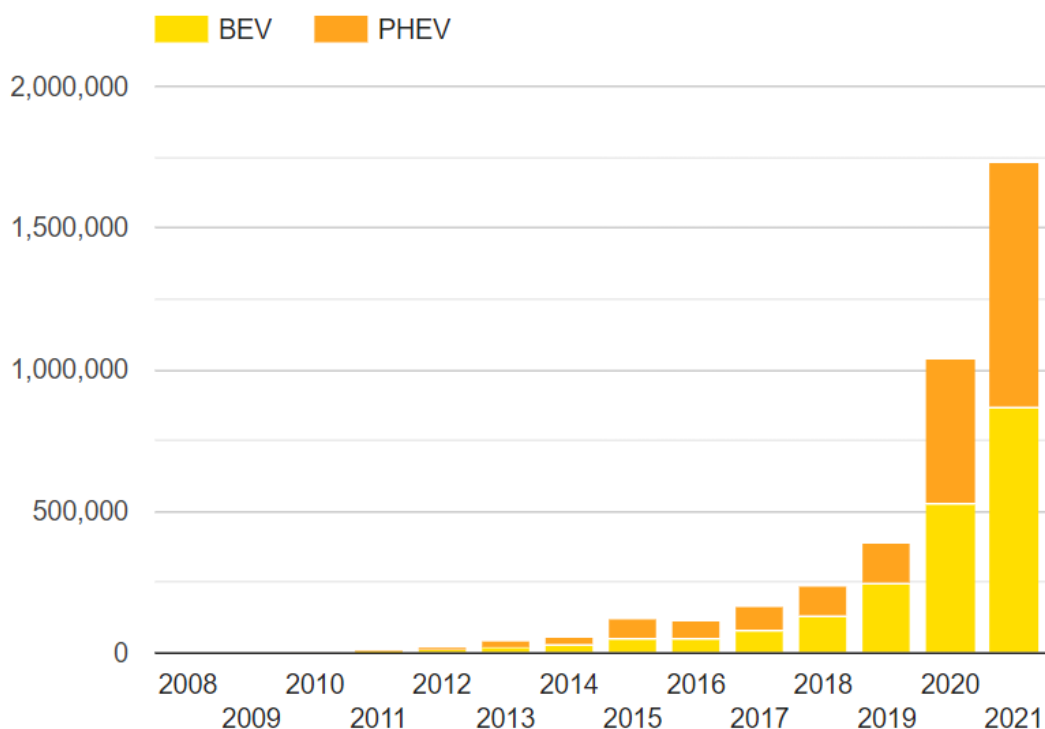
Διάγραμμα 3.1: Κόστος συστοιχιών μπαταριών λιθίου παγκοσμίως την περίοδο 2011 έως 2030 [42].

3.5 Αγορά ηλεκτρικών οχημάτων και υποδομές φόρτισης

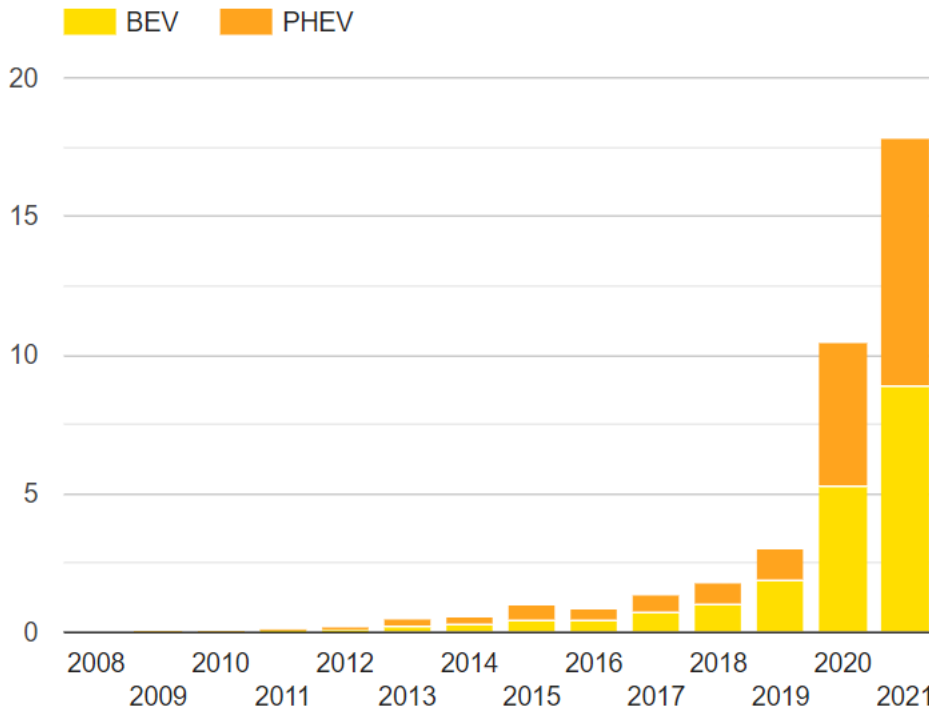
3.5.1 Η Αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Η Αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων, παρά τις επιφυλάξεις που εκφράζονται από μεγάλη μερίδα καταναλωτών (υψηλή τιμή, αυτονομία, υποδομές φόρτισης, διάρκεια μπαταρίας) παρουσιάζει εντυπωσιακούς ρυθμούς ανάπτυξης σε παγκόσμιο επίπεδο. Στην Ευρώπη, η Ευρωπαϊκή Ένωση αλλά και άλλα κράτη εκτός Ε.Ε. έχουν θεσπίσει φιλόδοξους περιβαλλοντικούς στόχους στην αυτοκίνηση τους οποίους υλοποιούν μέσω ελκυστικών κινήτρων προς τους τελικούς καταναλωτές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, οι

νέες ταξινομήσεις ηλεκτρικών επιβατικών οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση να έχουν αλματώδη αύξηση, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 3.2. Η συνολική αγορά των επιβατικών αυτοκινήτων το 2021 διατηρήθηκε στα επίπεδα του 2020, παρουσιάζοντας όμως πτώση σε σχέση με το 2019 κατά 23%. Παρόλο που η αγορά επιβατικών αυτοκινήτων στην Ευρώπη το 2021 (9.730.000 οχήματα) σε σχέση με το 2020 (9.960.000 οχήματα) μειώθηκε κατά 2%, οι νέες ταξινομήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων αντιπροσωπεύουν μερίδιο 17,8% της αγοράς νέων επιβατικών αυτοκινήτων, ενώ το 2021 παρατηρήθηκε αύξηση +66,5% (Διάγραμμα 3.2 - 3.3). Οι ταξινομήσεις του 2021 που παρουσιάζονται στα διαγράμματα είναι συγκεντρωτικά από Ιανουάριο μέχρι και τον Δεκέμβριο. Στο 2020 καταγράφηκε μια μικρή υπεροχή των αμιγώς ηλεκτρικών έναντι των plug-in υβριδικών (527.040 έναντι 514,167) ενώ στο 2021 οι κατηγορίες PHEV και τα BEV παρουσιάζουν ουσιαστικά τον ίδιο αριθμό ταξινομήσεων (867.749 έναντι 864.219 αντίστοιχα). Διαχρονικά φαίνεται ότι τα υβριδικά (PHEV) διατηρούν ισχυρή θέση πιθανότατα επειδή προσφέρουν στους αγοραστές τους μεγαλύτερη αίσθηση ασφάλειας ως προς την αυτονομία.



Διάγραμμα 3.2: Νέες ταξινομήσεων Επιβατικών Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση την περίοδο 2008 – 2021 [43]



Διάγραμμα 3.3: Ποσοστό νέων ταξινομήσεων Επιβατικών Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση την περίοδο 2008 – 2021 [43].

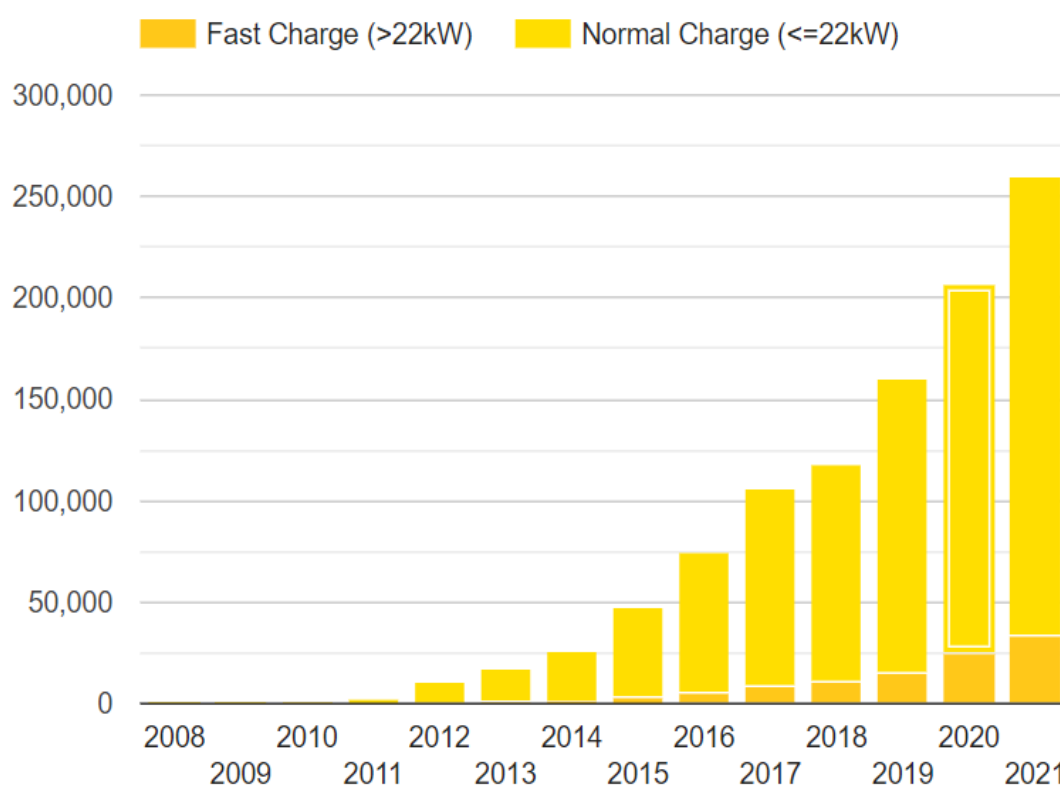
Παρά την εντυπωσιακή αύξηση τους, τα ηλεκτρικά οχήματα στην Ευρωπαϊκή Ένωση στο τέλος του 2021 αντιπροσωπεύουν μερίδιο μόλις 1,61% (PHEV:0,77% και BEV: 0,84%) επί του συνολικού υφιστάμενου στόλου των επιβατικών αυτοκινήτων. Η κατανομή των μεριδίων αγοράς ανά χώρα είναι πολύ ανομοιογενής και όπως προκύπτει από την ανάλυση των Ευρωπαϊκών ταξινομήσεων, η δυνατότητα του τελικού καταναλωτή να αγοράσει ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο είναι ανάλογη με το εισόδημα του. Ένας δείκτης σχετιζόμενος με το μερίδιο αγοράς των ΗΟ είναι το κατά κεφαλήν ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (ΑΕΠ) της κάθε χώρας. Γενικά χώρες με κατά κεφαλήν ακαθάριστο εγχώριο προϊόν μικρότερο από 17.000€, έχουν μερίδιο αγοράς νέων ταξινομήσεων ΗΟ μικρότερο από 5%. Σε αυτές της χώρες περιλαμβάνονται κυρίως οι χώρες της Ανατολικής Ευρώπης. Αντίθετα μερίδιο αγοράς άνω του 15% μπορεί να βρεθεί μόνο σε χώρες με κατά κεφαλήν ΑΕΠ μεγαλύτερο των 40.000€. Συγκεκριμένα, οι Σκανδιναβικές χώρες (Δανία: 35,2% (BEV 13,2%), Φιλανδία: 30,7% (BEV 10,25), Σουηδία: 44,9% (BEV 18,9%), Ισλανδία: 71,8% (BEV 32,7%) και η Νορβηγία: 86,1 % (BEV 62,3%) εμφανίζουν τα κορυφαία μερίδια αγοράς πωλήσεων ΗΟ (PHEV και BEV), το οποίο οφείλεται κατά κύριο λόγο στο υψηλό κατά κεφαλήν ΑΕΠ τους [43][44].

3.5.2 Ανάπτυξη υποδομών φόρτισης στην Ευρωπαϊκή Ένωση

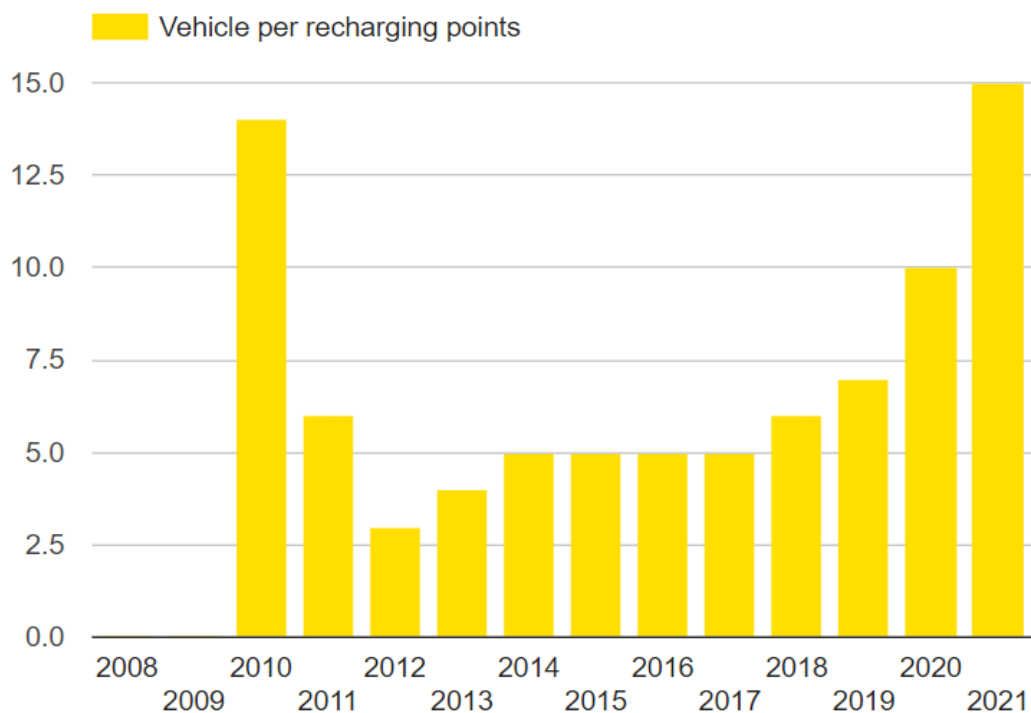
Η ραγδαία ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων απαιτεί και τον ανάλογο ρυθμό ανάπτυξης των υποδομών φόρτισης. Σε παγκόσμιο επίπεδο το 2021 τα δημόσια σημεία

φόρτισης ανήλθαν στα 1,5 εκατομμύρια σημειώνοντας ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 45% [76].

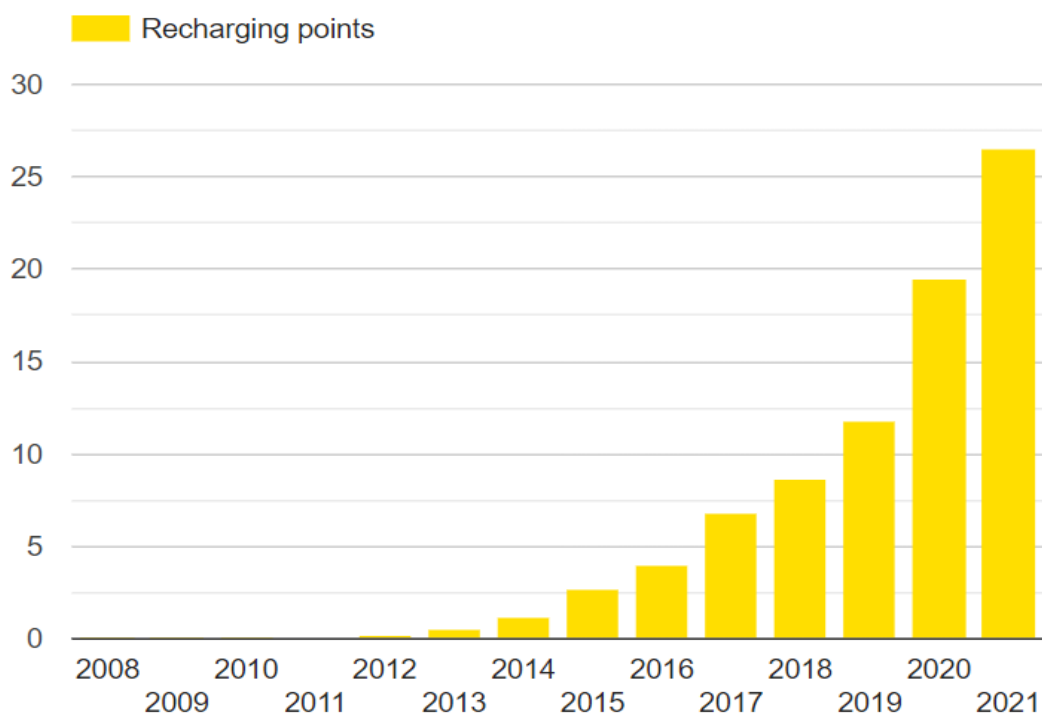
Στην Ευρωπαϊκή Ένωση το αντίστοιχο νούμερο είναι περίπου 259.884 δημόσιοι σταθμοί, μία αύξηση 25,8% σε σχέση με το 2020 [43]. Στα παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 3.4) απεικονίζεται η εξέλιξη των δημόσιων σταθμών φόρτισης στην Ευρωπαϊκή Ένωση όπου παρατηρείται συνεχής αύξηση ανα έτος, με τον Δεκέμβριο του 2021 να αριθμεί 259.884 δημόσιους φορτιστές, 33.956 από τους οποίους έχουν ισχύ μεγαλύτερη των 22kW. Οι σταθμοί γρήγορης φόρτισης παρουσιάζουν υψηλότερο ρυθμό ανάπτυξης συγκριτικά με τους υπολοίπους σταθμούς φόρτισης. Αυτό μπορεί να φανεί και από τον αριθμό των σταθμών ταχείας φόρτισης ανά 100km αυτοκινητόδρομου (Διάγραμμα 3.6), 27 σταθμοί ανά 100km το Δεκέμβριο του 2021 έναντι 20 στο 2020. Παράλληλα αυξήθηκε και ο αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων ανά δημόσιο σημείο φόρτισης όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 3.5 από 10 το 2020 σε 15 το 2021.



Διάγραμμα 3.4: Αριθμός δημοσίων σταθμών φόρτισης στην Ευρωπαϊκή Ένωση για την περίοδο 2008 – 2021[43]



Διάγραμμα 3.5: Αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων ανά δημόσιο σταθμό φόρτισης στην Ευρωπαϊκή Ένωση για την περίοδο 2008 – 2021 [43]

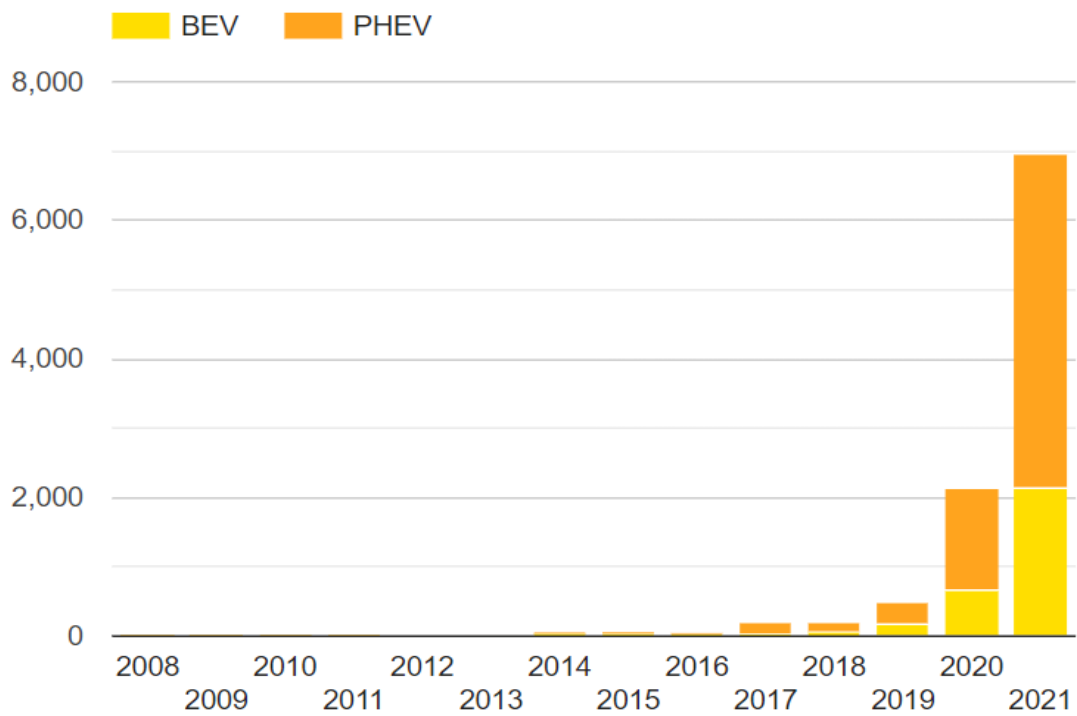


Διάγραμμα 3.6: Αριθμός σταθμών ταχείας φόρτισης ανά 100km αυτοκινητόδρομου στην Ευρωπαϊκή Ένωση για την περίοδο 2008 – 2021 [43]

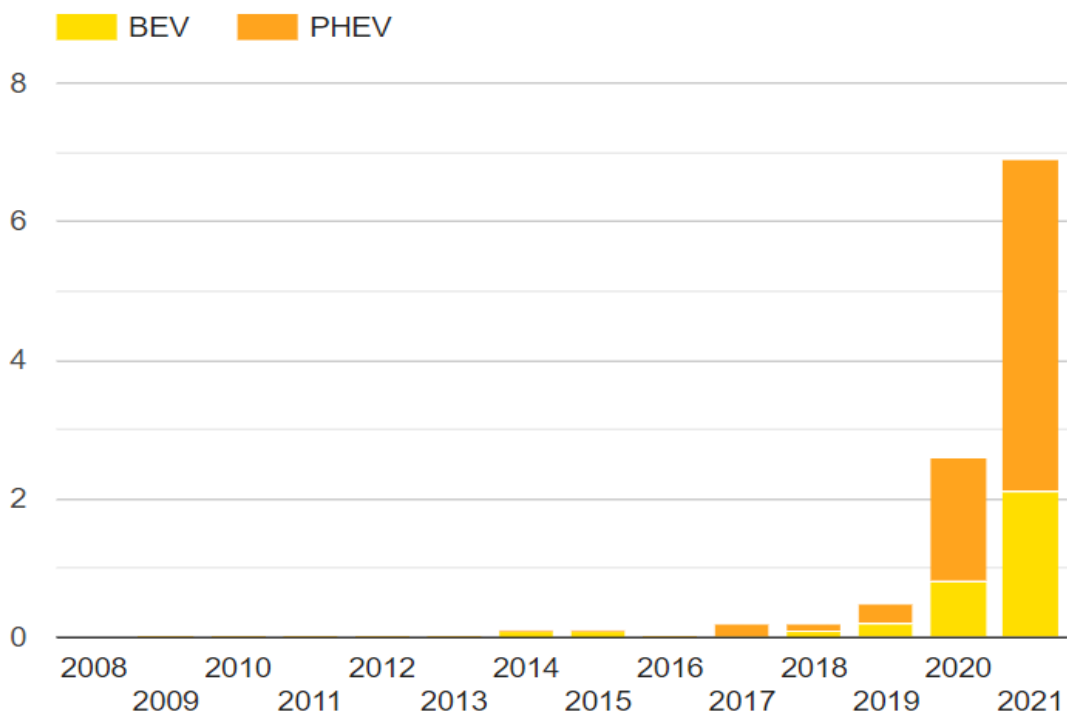
Κατ' αναλογία της κατανομής των ηλεκτρικών οχημάτων, υπάρχει μεγάλη ανισοκατανομή και στις υποδομές φόρτισης μεταξύ των χωρών της Ευρώπης. Το 50,4% όλων των σταθμών φόρτισης στην Ευρώπη βρίσκονται σε τρεις μόνο χώρες (στοιχεία Δεκεμβρίου 2021). Η Ολλανδία έχει 82.615 φορτιστές, η Γαλλία 32.287 και η Γερμανία 50.083. Το ποσοστό αυτό μεγαλώνει ακόμα παραπάνω αν ληφθούν υπ' όψη μόνο οι χώρες της ΕΕ (63,5%). Το σύνολο της επιφάνειας των τριών αυτών χωρών είναι περίπου το 23% της συνολικής επιφάνειας της Ε.Ε. [45], [43]. Σε αντιδιαστολή με τα παραπάνω, η Ρουμανία που έχει έκταση έξι φορές μεγαλύτερη από την Ολλανδία έχει μόνο 747 φορτιστές (μερίδιο 0.3% της Ευρωπαϊκής Ένωσης). Όπως και στην κατανομή των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, η διείσδυση των φορτιστών συσχετίζεται με το κατά κεφαλήν ακαθάριστο προϊόν κάθε χώρας [46].

3.5.3 Αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων στην Ελλάδα

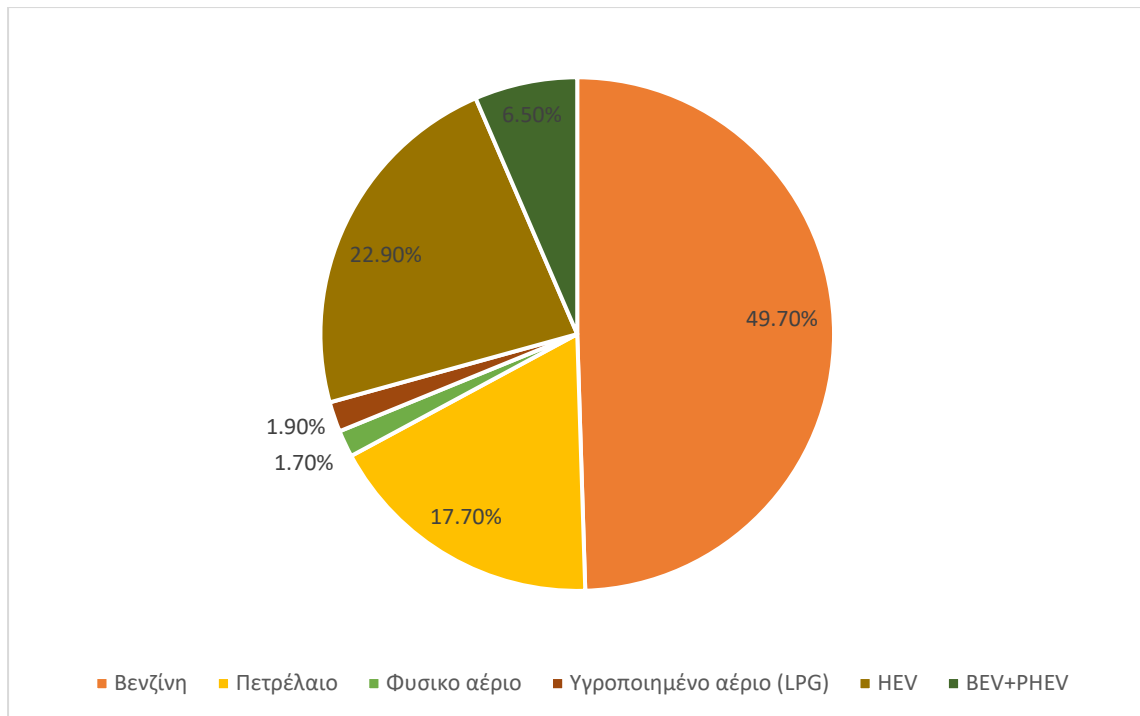
Η Ελλάδα κατατάσσεται χαμηλά στην κατάταξη διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων στην Ευρώπη διότι πρακτικά οι πρώτες μαζικές ταξινομήσεις ξεκίνησαν μετά την ανακοίνωση της δράσης «Κινούμαι Ηλεκτρικά» τον Αύγουστο του 2020. Το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ) στις 07.08.2020 εγκαινίασε τη Δράση «Κινούμαι Ηλεκτρικά» με στόχο την αύξηση της διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων στην Ελληνική αγορά μέσω οικονομικών κινήτρων (ΦΕΚ Β 584/24.02.2020 και ΦΕΚ β 1451/16.04.2020). Ο προϋπολογισμός της συνολικής επιδότησης για τα έτη 2020-2021 ανέρχεται στα 100 εκατομμύρια Ευρώ, ενώ οι επιδοτήσεις για κάθε όχημα μπορούν να φτάσουν έως και τις 6.000€. Από την έναρξη της δράσης, η εξέλιξη των πωλήσεων ακολουθεί πολύ υψηλούς ρυθμούς. Μέχρι το 2019 το μερίδιο αγοράς των νέων ταξινομήσεων των ηλεκτρικών οχημάτων βρισκόταν κάτω από το 0.5%. Το 2020 σημειώθηκαν 2.137 πωλήσεις ΗΟ οι οποίες αντιπροσωπεύουν τετραπλάσια αύξηση σε σχέση με το 2019 (Διάγραμμα 3.8). Το 2021 έκλεισε με 6.971 νέες (αύξηση 326%). Όπως προκύπτει από τα στοιχεία του Συνδέσμου Εισαγωγέων & Εμπόρων Αυτοκινήτων (ΣΕΕΑ) οι ταξινομήσεις ΗΟ (BEV και PHEV) μετά την εφαρμογή της Δράσης «Κινούμαι Ηλεκτρικά» εμφανίζουν άνοδο +600%. [47] Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται ότι τα υβριδικά καταγράφουν υπερδιπλάσιες πωλήσεις σε σχέση με τα καθαρά ηλεκτρικά (2021 PHEV: 4.823 BEV:2.148) (Διαγράμματα 3.7, 3.8 και 3.9). Όπως φαίνεται υπάρχει μια σαφής προτίμηση των Ελλήνων οδηγών στα PHEVs σε αντίθεση με τα ευρωπαϊκά δεδομένα, όπου PHEV και BEV έχουν ίδιες περίπου πωλήσεις. Παρ' όλη την μεγάλη αύξηση των νέων ταξινομήσεων των ΗΟ, το μερίδιο αγοράς των νέων ταξινομήσεων ΗΟ (6,9%) είναι αρκετά μικρότερο του μεριδίου των οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης (Διάγραμμα 3.9), όπου οι πωλήσεις των βενζινοκίνητων οχημάτων αγγίζουν το 50%. Παρ' όλα αυτά η ανάπτυξη μεριδίου ταξινομήσεων είναι εντυπωσιακή (από μερίδιο 2,6% το 2020, το 2021 έκλεισε με 6,9%, αύξηση +265%). Ο συνολικός στόλος των επιβατικών το 2021 σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο Εναλλακτικών Καυσίμων (European Alternative Fuels Observatory, EAFO) ήταν περίπου 5,2 εκατομμύρια οχήματα(5.164.183). Τα ΗΟ συγκέντρωσαν μερίδιο επί του συνολικού στόλου των επιβατικών μόλις 0,19 % που είναι λογικό δεδομένου ότι η ανάπτυξη των πωλήσεων των ΗΟ ξεκίνησε πρακτικά στο τέλος του 2020.



Διάγραμμα 3.7: Αριθμός νέων ταξινομήσεων Επιβατικών Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ελλάδα την περίοδο 2008 – 2021 [43]



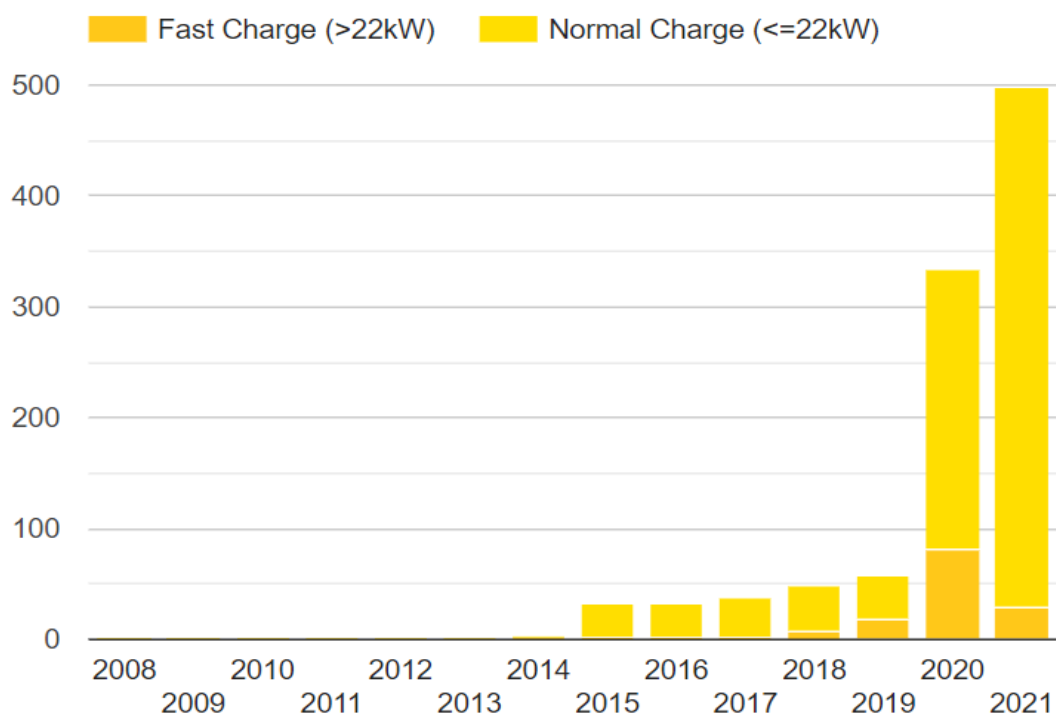
Διάγραμμα 3.8: Μερίδιο αγοράς νέων ταξινομήσεων Επιβατικών Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Ελλάδα την περίοδο 2008 – 2021 [43]



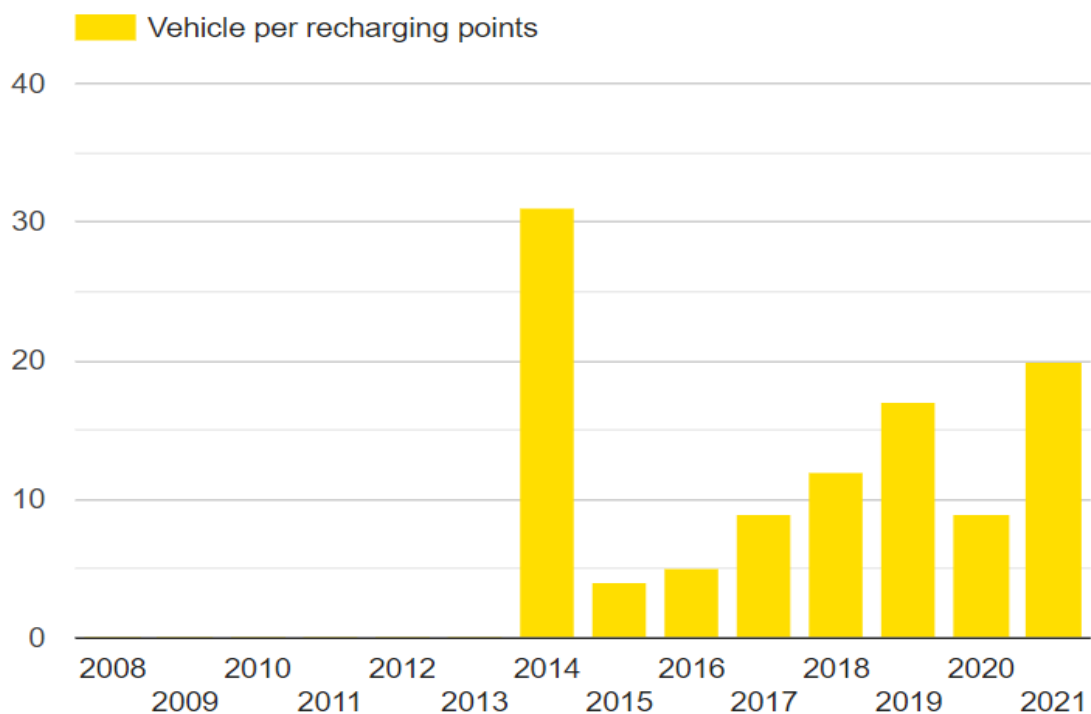
Διάγραμμα 3.9: Μερίδιο αγοράς νέων ταξινομήσεων Επιβατικών Ηλεκτρικών Οχημάτων ανά είδος καυσίμου στην Ελλάδα το 2021 (Ιανουάριος-Νοέμβριος 2021 [47])

3.5.4 Ανάπτυξη υποδομών φόρτισης στην Ελλάδα

Η ανάπτυξη υποδομών φόρτισης στην Ελλάδα υστερεί σε σχέση με τις πιο εύρωστες οικονομικά χώρες της Ευρώπης όπως εξ άλλου και η διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων, παρ' όλα αυτά ακολουθώντας την αύξηση των πωλήσεων των Ηλεκτρικών Οχημάτων ο αριθμός των δημόσιων φορτιστών στην Ελλάδα το 2021 πενταπλασιάστηκε σε σχέση με το 2019. Το Δεκέμβριο του 2021 η Ελλάδα αριθμούσε συνολικά 498 δημόσιους φορτιστές, από τους οποίους οι 29 είναι γρήγοροι φορτιστές. Ενώ παρατηρείται αύξηση των συνολικών σταθμών φόρτισης το 2021, μειώθηκαν οι σταθμοί γρήγορης φόρτισης (Διάγραμμα 3.10). Η αύξηση των δημόσιων εγκαταστάσεων φόρτισης το 2021 δεν κατάφερε να ακολουθήσει την αύξηση των οχημάτων και η αναλογία του 2021 είναι 20 οχήματα ανα φορτιστή, σχετικά χαμηλή σε σχέση με αυτή που συνιστάται σήμερα από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, δηλαδή ενός δημόσιου φορτιστή ανά 15 EVs (Διάγραμμα 3.11) [48]. Τέλος αναμένεται έως το 2025 να εγκατασταθούν πάνω από 10.000 δημόσιοι σταθμοί φόρτισης σε όλη την Ελλάδα, σύμφωνα με την ΔΕΗ η οποία παράλληλα λανσάρει τη δημιουργία δικτύου φορτιστών ηλεκτρικών οχημάτων με την επωνυμία Deibluue [49].



Διάγραμμα 3.10: Δημόσιοι σταθμοί φόρτισης στην Ελλάδα για την περίοδο 2008 – 2021 [43]



Διάγραμμα 3.11: Αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων ανά δημόσιο σταθμό φόρτισης στην Ελλάδα για την περίοδο 2008 – 2021 [43]

3.6 Προκλήσεις της ηλεκτροκίνησης

Η ταχεία διείσδυση της ηλεκτροκίνησης επιδρά σε πολλούς τομείς της οικονομικής και κοινωνικής ζωής δημιουργώντας πολλές προκλήσεις, ευκαιρίες και απειλές στο νέο περιβάλλον που διαμορφώνεται. Οι συμμετέχοντες σε αυτή τη μετάβαση είναι πολλοί και με πολλαπλές αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους. Συνοπτικά μπορούμε να αναφέρουμε τους κατασκευαστές (οχημάτων, συσσωρευτών, φορτιστών), τους παραγωγούς και τους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας, τους διαχειριστές (δικτύων, συστημάτων φόρτισης), τις ρυθμιστικές αρχές, τους φορείς λήψης αποφάσεων και τους τελικούς καταναλωτές που αποτελούν τον τελευταίο κρίκο σ' αυτή την πολύπλοκη εφοδιαστική αλυσίδα. Η κύρια πρόκληση είναι η συμβολή της ηλεκτροκίνησης στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Αυτός άλλωστε είναι εκφρασμένος στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης και πολλών κυβερνήσεων παγκοσμίως. Ο στόχος αυτός θα επιτευχθεί κατά ένα μεγάλο μέρος εφ' όσον τα ηλεκτρικά οχήματα υποκαταστήσουν σε μεγάλο βαθμό τα συμβατικά με κινητήρα εσωτερικής καύσης και, παράλληλα, εφ' όσον η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την ηλεκτροκίνηση παράγεται κυρίως από ΑΠΕ. Το θέμα της φόρτισης των οχημάτων δημιουργεί τη μεγάλη πρόκληση της ανάπτυξης κατάλληλων και επαρκών υποδομών φόρτισης, ικανών να υποστηρίξουν την αυξανόμενη ζήτηση. Οι υποδομές φόρτισης, οι οποίες αναπτύσσονται παράλληλα με την ηλεκτροκίνηση αποτελούν πρόκληση τόσο από την άποψη της ανάπτυξης τεχνικών λύσεων (φόρτιση μεγάλης ισχύος, επαγωγική και δυναμική φόρτιση) όσο και από άποψη εξεύρεσης κατάλληλων χώρων που στις πιο πολλές περιπτώσεις οδηγεί σε παρεμβάσεις μεγάλης κλίμακας, ιδιαίτερα σε περιοχές μεγάλης πυκνότητας πληθυσμού (ανάγκη για αστικές αναπλάσεις). Οι υποδομές φόρτισης πρέπει να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των ιδιοκτητών και των χρηστών ηλεκτρικών οχημάτων, συνθήκη που είναι δυσκολότερα υλοποιήσιμη σε μητροπολιτικές περιοχές όπου πληθώρα κατοίκων δεν έχει πρόσβαση σε ιδιωτικό χώρο στάθμευσης. Επομένως απαιτείται η κατασκευή εκτεταμένου δικτύου δημόσιων φορτιστών σε χώρους όπως οι αυτοκινητόδρομοι, οι χώροι στάθμευσης, οι χώροι λιανικής πώλησης, (πχ. σουπερμάρκετ, εμπορικά κέντρα), οι χώρους διασκέδασης και γενικότερα οι χώροι παραμονής των τελικών καταναλωτών.

Σε επίπεδο έρευνας και ανάπτυξης των ηλεκτρικών οχημάτων υπάρχουν διαρκώς οι τεχνολογικές και παραγωγικές προκλήσεις. Σημαντική θέση κατέχει η ανάπτυξη των συσσωρευτών, τόσο από άποψη τεχνολογική όσο και από άποψη κόστους. Οι συσσωρευτές αποτελούν κρίσιμο μέρος των ηλεκτρικών οχημάτων διότι διαδραματίζουν αποφασιστικό ρόλο στο κόστος, στις επιδόσεις και στην αυτονομία των ηλεκτρικών οχημάτων. Παράλληλα, σημαντικό τμήμα των τεχνολογικών προκλήσεων στην έρευνα και ανάπτυξη των φορτιστών είναι η εμπορικά βιώσιμη ανάπτυξη εναλλακτικών μεθόδων φόρτισης, όπως οι τεχνολογίες ασύρματης ή δυναμικής φόρτισης. Προς το παρόν οι φορτίσεις των ηλεκτρικών οχημάτων δεν επηρεάζουν σημαντικά τα ηλεκτρικά δίκτυα, γιατί τα ΗΟ αποτελούν ένα πολύ μικρό ποσοστό του συνολικού στόλου των κυκλοφορούντων οχημάτων, αλλά επεκτείνονται με πολύ ταχείς ρυθμούς. Το 2010 σε παγκόσμιο επίπεδο κυκλοφορούσαν 17.000 οχήματα. Σε 10 χρόνια, το 2020 είχαν αυξηθεί στα 7,2 εκατομμύρια [50]. Η ανάπτυξη ενός ιδιαίτερα μεγάλου αριθμού ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να επιφέρει σημαντική αύξηση τόσο της ενέργειας που απαιτείται για τη φόρτιση όσο και της ισχύος. Το πρόβλημα, ωστόσο είναι κυρίως η

ισχύς που απαιτείται για τη φόρτιση και όχι τόσο η ενέργεια. Σε πολλές περιπτώσεις μάλιστα θα γεννηθεί η ανάγκη για υπερταχεία φόρτιση ανεβάζοντας την ισχύ των φορτιστών έως και στα 250-400 kW. Ήδη κάποιοι κατασκευαστές παράγουν αυτοκίνητα με δυνατότητα υπερταχείας φόρτισης (Tesla Model 3 250 kW, Porsche 350 kW) [51], [52]. Ακόμα και οι οικιακοί φορτιστές με εύρος ισχύος 3,2 kW – 22 kW, αθροιζόμενοι στο σύνολο τους μπορούν να δημιουργήσουν μεγάλη απαίτηση διαθέσιμης ισχύος που με τη σειρά της προκαλεί σημαντικά προβλήματα στο Δίκτυο, κυρίως λόγω υπερφόρτισης μετασχηματιστών ή γραμμών μεταφοράς. Παράλληλα, η υψηλή διείσδυση Ηλεκτρικών Οχημάτων μπορεί να προκαλέσει μέσω των φορτίσεων επιπτώσεις στην επάρκεια ηλεκτρικής ενέργειας, τη γήρανση των μετασχηματιστών και την ποιότητα ισχύος του συστήματος διανομής. Εκτιμάται ότι η φόρτιση ΗΟ κατά τις ώρες υψηλής ζήτησης μπορεί να αυξήσει την αιχμή του φορτίου και να απαιτήσει επέκταση της χωρητικότητας του. Η ανάπτυξη των ΗΟ σε μεγάλη κλίμακα θα μπορούσε να μειώσει την επάρκεια εφοδιασμού του συστήματος και, ως εκ τούτου, να απαιτήσει την κατασκευή πρόσθετων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Επιπλέον, η αυξημένη ζήτηση φορτίου για ΗΟ μπορεί να υπερφορτώσει υποσταθμούς και μετασχηματιστές, επιδεινώνοντας έτσι τη ζωή των μετασχηματιστών. Τέλος, η φόρτιση ΗΟ μπορεί να οδηγήσει σε διάφορα ζητήματα ποιότητας ενέργειας, όπως πτώσεις τάσης, ανισορροπίες ισχύος και ανεπιθύμητες αρμονικές τάσης/ρεύματος. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η αξιοπιστία της παραγωγής αποτελεί σοβαρό πρόβλημα [53].

Πέρα από τους ιδιώτες οδηγούς, η ηλεκτροκίνηση αφορά και στα επαγγελματικά οχήματα μεταφοράς επιβατών, αλλά και οχήματα μεταφοράς εμπορευμάτων (μικρά επαγγελματικά οχήματα έως και φορτηγά βαρέος τύπου όπως φορτηγά μεγάλου φορτίου, οχήματα μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων κλπ.). Αυτή η κατηγορία αποτελεί επίσης μια πρόκληση τόσο από άποψη ανάπτυξης προϊόντος όσο και από άποψη υποδομών. Ταυτόχρονα, η φόρτιση τους μπορεί να προκαλέσει μεγάλες επιπρόσθετες απαιτήσεις ισχύος συγκεκριμένες ώρες της ημέρας (π.χ. άφιξη λεωφορείων συγκεκριμένη χρονική στιγμή σε έναν τερματικό σταθμό). Επομένως, απαιτείται μία γενικευμένη προσέγγιση από πλευράς συστήματος για την αντιμετώπιση των παραπάνω προκλήσεων. Οι φορτίσεις των οχημάτων πρέπει να αποτελούν ένα ενεργό συστατικό του δικτύου και να ενσωματωθούν τεχνικές φόρτισης που καλύπτουν τόσο τις ανάγκες των χρηστών Ηλεκτρικών Οχημάτων, αλλά και συμβαδίζουν με τις δυνατότητες του δικτύου. Ένα πιο επίπεδο και ελεγχόμενο προφίλ φόρτισης θα μπορούσε να λύσει πολλά προβλήματα που προκαλούνται από την μαζική ανεξέλεγκτη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων. Ακολούθως αναλύονται κάποιες βασικές τεχνικές φορτίσεων (ελεγχόμενων και μη).

3.7 Τεχνικές Φορτίσεων

3.7.1 Μη ελεγχόμενη φόρτιση

Στη μη ελεγχόμενη φόρτιση το όχημα ξεκινά να φορτίζει μόλις συνδεθεί με το φορτιστή. Η απορροφώμενη ενέργεια εξαρτάται από την ισχύ του φορτιστή, τις τεχνικές προδιαγραφές του οχήματος, την κατάσταση της μπαταρίας καθώς και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η μπαταρία απορροφά το μέγιστο ποσό ενέργειας που μπορεί μέχρι

την πλήρη της φόρτιση. Ο χρόνος φόρτισης εξαρτάται από την ισχύ του φορτιστή και την ενέργεια που μπορεί να απορροφήσει η μπαταρία μέχρι να διακοπεί η φόρτιση.

3.7.2 Ελεγχόμενη φόρτιση με χρήση πολυζωνικών τιμολογίων

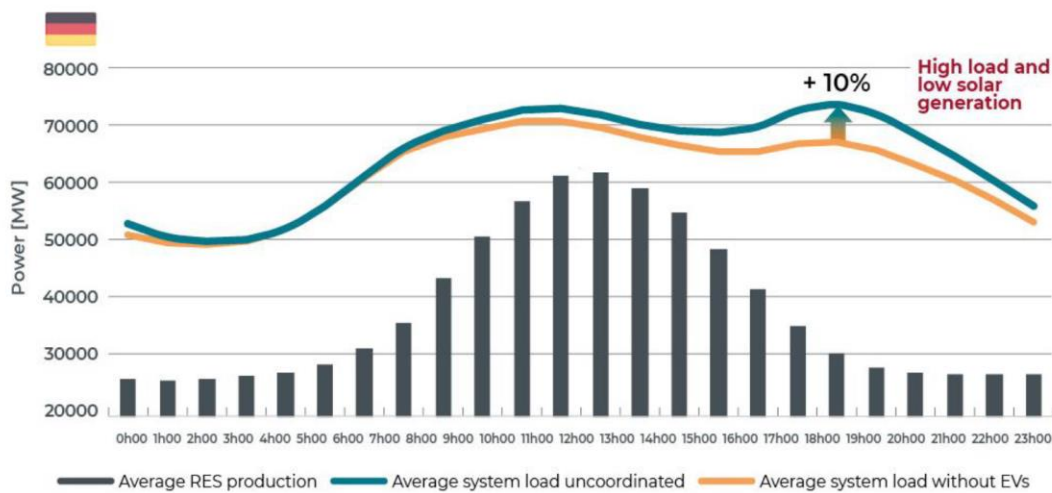
Η αρνητική επίδραση των φορτίσεων των ηλεκτρικών οχημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο μπορεί να μετριαστεί αν εφαρμοστούν πολιτικές οικονομικών κινήτρων ώστε οι φορτίσεις να πραγματοποιούνται σε χρονικά διαστήματα κατά τα οποία η ζήτηση είναι χαμηλή. Η εφαρμογή οικονομικών κινήτρων μέσω πολυζωνικών τιμολογιακών χρεώσεων αποτελεί μια έμμεσα ελεγχόμενη διαδικασία, κατά την οποία υπάρχουν διαφορετικές τιμολογήσεις για τη φόρτιση των οχημάτων ανάλογα τη ζήτηση του φορτίου. Οι ώρες της ημέρας χωρίζονται σε διαφορετικές χρονικές ζώνες (blocks), όπως ώρες εκτός αιχμής, κατά την αιχμή ή ημιαιχμή. Αυτές οι ζώνες μπορεί να διαφέρουν επίσης με βάση την ημέρα της εβδομάδας (πχ. εργάσιμη ημέρα έναντι Σαββατοκύριακου) ή την περίοδο του έτους (πχ. καλοκαίρι αντί για χειμώνα). Μπορεί να υπάρξει επίσης και ένα διάστημα «υπερ-εκτός αιχμής» (super off peak) το οποίο συνήθως αναφέρεται στις βραδινές ώρες μετά τα μεσάνυχτα έως το πρωί, όπου το φορτίο είναι ιδιαίτερα χαμηλό, όπως εφαρμόζεται στην περιοχή του San Diego, που είναι υπεύθυνη για την διανομή ηλεκτρικής ενέργειας η εταιρία San Diego Gas & Electric (SDGE) [54]. Στην μελέτη των Kim JD et al. αναλύεται το ενεργειακό προφίλ των κατόχων ηλεκτρικών οχημάτων της περιοχής και η σημασία του προσεκτικού σχεδιασμού των ζωνών (και τιμών) τιμολόγησης και παρατίθενται διαφορετικά μοντέλα και τα αποτελέσματά τους. Ένας επιπλέον παράγοντας που μπορεί να συμβάλει στην σωστή λειτουργία αυτού του μοντέλου φόρτισης είναι η χρήση εφαρμογών λογισμικού (apps) από τους κατόχους των ηλεκτρικών οχημάτων. Εκμεταλλευόμενοι τις τιμές των ζωνών πολύ χαμηλού φορτίου, οι οδηγοί μπορούν να έχουν την δυνατότητα να ελέγχουν εύκολα πότε θα ξεκινήσει η φόρτιση και να ρυθμίζουν την διάρκεια της. Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν πως οι κάτοχοι των ηλεκτρικών οχημάτων άλλαξαν σε μεγάλο βαθμό τις προηγούμενες συνήθειες τους μετατοπίζοντας την κατανάλωση από τις ώρες αιχμής σε ώρες χαμηλής κατανάλωσης.

3.7.3 Έξυπνη φόρτιση - Ελεγχόμενη φόρτιση (Valley filling/ Peak shaving)

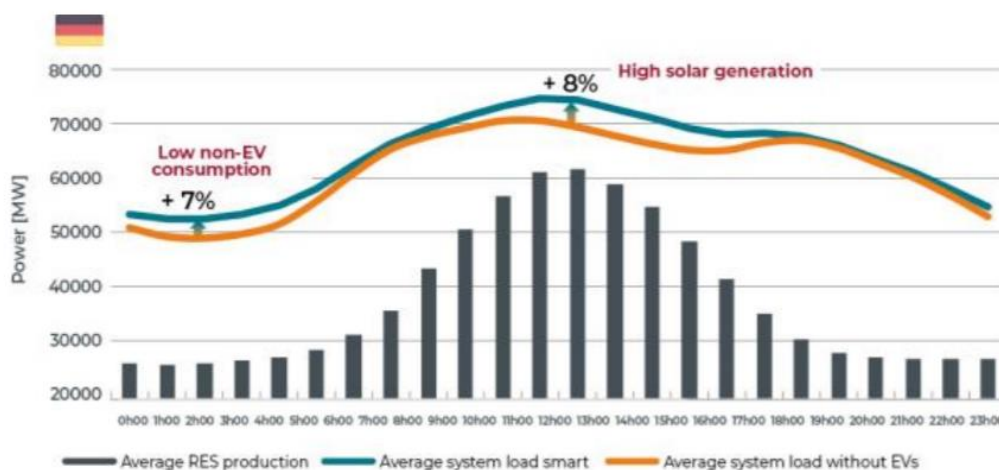
Η ελεγχόμενη φόρτιση (valley filling/ peak shaving) είναι ένα είδος έξυπνης φόρτισης, όπου η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων επιδιώκεται να βοηθήσει το ηλεκτρικό σύστημα επιδρώντας στην καμπύλη φορτίου, «γεμίζοντας» τις κοιλάδες της καμπύλης φορτίου (valley filling) και «μειώνοντας» τις κορυφές (peak shaving) του καθαρού φορτίου σε σχέση με την μη ελεγχόμενη φόρτιση [55]. Η έξυπνη φόρτιση απαιτεί παρακολούθηση της ζήτησης σε πραγματικό χρόνο άρα απαιτούνται κατάλληλοι συγχρονισμένοι φορτιστές οι οποίοι εξασφαλίζουν την επικοινωνία μεταξύ του δικτύου και οχημάτων. Αυτή τη στιγμή το 80% των φορτίσεων πραγματοποιείται σε οικιακό περιβάλλον. Η τεχνική Valley filling/ Peak shaving είναι ιδιαίτερα ωφέλιμη στις οικιακές φορτίσεις καθώς τα οχήματα στο σπίτι μπορούν να είναι παρκαρισμένα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Καθώς η ηλεκτροκίνηση αυξάνεται, θα αυξηθεί η φόρτιση εκτός κατοικίας. Η δυσκολία που υπάρχει με την έξυπνη φόρτιση σε δημόσιους χώρους είναι ο μικρός χρόνος παραμονής στους σταθμούς φόρτισης. Σε δημόσιους φορτιστές

εγκατεστημένους σε χώρους όπου ο πελάτης παραμένει για περιορισμένο χρόνο, η βέλτιστη κατανομή της ισχύος της φόρτισης αποτελεί πρόβλημα βελτιστοποίησης για το οποίο χρησιμοποιούνται κατάλληλοι αλγόριθμοι και μαθηματικά μοντέλα για την επιλογή της έναρξης της φόρτισης όσο και την αποδιδόμενη ισχύ [56].

Η έξυπνη φόρτιση είναι αναγκαία για την εξομάλυνση της καμπύλης φορτίου, την αποφυγή αυξημένων αιχμών, καθώς και για την αυξημένη διείσδυση ΑΠΕ. Οι φορτίσεις των οχημάτων μπορούν να μετακινούνται κατάλληλα όχι μόνο μειώνοντας τις αιχμές του φορτίου, αλλά και επιλέγοντας χρονικά διαστήματα όπου υπάρχει αυξημένη παραγωγική ικανότητα ΑΠΕ αξιοποιώντας την απορριπτόμενη ενέργεια. Ακολουθως παρατίθενται το Μέσο Ηλεκτρικό Φορτίο στη Γερμανία με τη χρήση μη ελεγχόμενης (πάνω διάγραμμα) και έξυπνης φόρτισης (κάτω διάγραμμα) από στοιχεία του ομίλου Eia Group, μίας από τις μεγαλύτερες εταιρίες για την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη [57].



Διάγραμμα 3.12: Μέσο Φορτίο Γερμανίας με χρήση μη ελεγχόμενης φόρτισης ΗΟ [57].



Διάγραμμα 3.13: Μέσο Φορτίο Γερμανίας με χρήση ελεγχόμενης φόρτισης ΗΟ [57].

Όπως φαίνεται, στην περίπτωση της ελεγχόμενης φόρτισης έχουμε τροποποίηση της καμπύλης του μέσου φορτίου που περιλαμβάνει και τα ηλεκτρικά οχήματα. Η μη ελεγχόμενη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων αύξησε την ισχύ του φορτίου έως και 10% σε περίοδο με χαμηλή διείσδυση ΦΒ δημιουργώντας έτσι μια νέα υψηλότερη αιχμή. Με την ελεγχόμενη φόρτιση μεταθέτουμε τις φορτίσεις μειώνοντας την νέα δημιουργημένη αιχμή (peak shaving) σε χρονικά σημεία που υπάρχει χαμηλή ζήτηση και αυξημένη διείσδυση ΑΠΕ. Τις ώρες 00:00 με 07:00 (χαμηλή ζήτηση) παρατηρείται αύξηση του φορτίου κατά 7% (valley filling). Αντίστοιχη αύξηση του φορτίου (8%) συμβαίνει τις ώρες 11:00 -15:00 που υπάρχει μεγάλη παραγωγική ικανότητα από ΦΒ σταθμούς.

3.7.4 Τεχνολογία Vehicle to Grid (V2G)

Η συνολική αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια στις μπαταρίες των ΗΟ είναι πολύ μεγάλη και θεωρητικά είναι διαθέσιμη τις περισσότερες ώρες της ημέρας, διότι τα αυτοκίνητα βρίσκονται παρκαρισμένα στο 90% του εικοσιτετράωρου [52]. Η εκμετάλλευση της αποθηκευμένης αυτής ενέργειας αποτελεί ένα πολλά υποσχόμενο υποκατάστατο των ακριβών μονάδων μπαταριών του ηλεκτρικού συστήματος. Η υλοποίηση αυτής της τεχνικής πρόκλησης μπορεί να πραγματοποιηθεί με τις φορτίσεις τύπου V2G.

Ως φόρτιση V2G (Vehicle to Grid) χαρακτηρίζουμε τη μέθοδο φόρτισης κατά την οποία ένα ηλεκτρικό όχημα, μέσω ενός κατάλληλου σταθμού φόρτισης, μπορεί να φορτίζεται αλλά και να εκφορτίζεται παρέχοντας ενέργεια στο δίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο η ενέργεια από τις μπαταρίες των ΗΟ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εφεδρεία για τη σταθεροποίηση του δικτύου. Γενικά η ιδανική συνθήκη είναι τα ΗΟ να φορτίζονται από την πλεονάζουσα ενέργεια του δικτύου και να δίνουν μέρος της αποθηκευμένης τους ενέργειας στις ώρες αιχμής. Μέσω ειδικά διαμορφωμένων «έξυπνων» φορτιστών οι οποίοι επικοινωνούν με το δίκτυο, υπάρχει η δυνατότητα να διοχετευτεί μέρος της αποθηκευμένης ηλεκτρικής ενέργειας των οχημάτων στο Ηλεκτρικό δίκτυο. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι ιδανικές για αυτή τη διαδικασία γιατί η απόκριση τους είναι πολύ γρήγορη και πλεονεκτούν έναντι άλλων εφεδρικών μέσων όπως πχ. οι αεριοστρόβιλοι που έχουν βραδύτερη απόκριση σε βραχείες χρονικές περιόδους εντός των οποίων πρέπει να καλυφθεί η αιχμή της ζήτησης [58].

Ο κίνδυνος διαταραχών στο δίκτυο μπορεί να μειωθεί με μια μέθοδο ελεγχόμενης φόρτισης όπου ο χρήστης του ηλεκτρικού οχήματος έχει την δυνατότητα να επικοινωνεί μέσω κατάλληλης τεχνολογίας με το Κέντρο Διαχείρισης Δικτύου και να αποδέχεται ή να απορρίπτει προτάσεις για φόρτιση ή εκφόρτιση του οχήματος του σε συγκεκριμένες ώρες. Για να εξασφαλισθεί αυτή η μορφή συμμετοχής από την πλευρά του οδηγού του ΗΟ, θα πρέπει να εφαρμόζεται πολιτική οικονομικών κινήτρων δηλ. να φορτίζει φθηνά και να προσφέρει ενέργεια σε υψηλότερες τιμές λαμβανομένου υπ' όψιν ότι μέσω του V2G πραγματοποιούνται συνολικά περισσότεροι κύκλοι φόρτισης άρα μειώνεται η διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Έχει διαπιστωθεί ότι από την διαδικασία V2G προκύπτει συνολικό καθαρό κέρδος αν αθροιστούν τα διάφορα κόστη στην εφοδιαστική αλυσίδα (παραγωγή, μεταφορά, τελικός καταναλωτής) [59]. Ένα τέτοιο μοντέλο διαχείρισης του δικτύου παρουσιάζει σε σχεδιαστικό επίπεδο μια σειρά πλεονεκτημάτων. Είναι

ολοκληρωμένο, δυναμικό και ελεγχόμενο, προσφέρει ελευθερία επιλογών στον τελικό καταναλωτή και ταυτόχρονα αριστοποιεί την λειτουργία του δικτύου. Τα μειονεκτήματα του είναι ότι είναι πολύπλοκο και προϋποθέτει καινοτόμες τεχνικές εφαρμογές (μοντέλα αριστοποίησης, εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης, ολοκληρωμένη δικτύωση οχημάτων, ειδικά διαμορφωμένους φορτιστές, ανάγκη ύπαρξης Διαχειριστή Δικτύου κ.α.) όπως και πλήθος καινοτόμων διαδικασιών (νομικές, εμπορικές, λογιστικές κλπ.) [60].

3.7.5 Έξυπνη Φόρτιση & V2G – Συνέργεια ΗΟ & ΑΠΕ

Η συνέργεια ΗΟ και ΑΠΕ είναι απαραίτητη για τη σωστή λειτουργία των ηλεκτρικών συστημάτων γιατί μέσω αυτής μπορεί να επιτευχθεί αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ και ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιδράσεων των φορτίσεων των ΗΟ στο δίκτυο. Η παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα εξακολουθεί να είναι η βασική μορφή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο. Επομένως, η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων μέσω του δικτύου καθιστά δύσκολη τη μείωση της εξάρτησης από τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα, εκτός εάν η παρεχόμενη ενέργεια για την κίνηση των ηλεκτρικών οχημάτων προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [61].

Ωστόσο, λόγω πολλών παραγόντων που επηρεάζουν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων, είναι δύσκολο να προβλεφθεί με ακρίβεια η παραγωγή και το φορτίο ταυτόχρονα. Επίσης η καμπύλη φορτίου των φορτίσεων δε συμβαδίζει πάντα με την καμπύλη παραγωγής των ΑΠΕ. Επομένως είναι αναγκαία η υιοθέτηση μαθηματικών μοντέλων και αλγόριθμων βελτιστοποίησης για σωστές προβλέψεις, καθώς και τεχνικών ελεγχόμενης φόρτισης. Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να διαδραματίσουν ρόλο αμφίδρομης παροχής ενέργειας μέσω τεχνολογιών V2G. Η χρήση τους ως αποθήκευση ενέργειας μπαταρίας αποτελεί ιδιαίτερα χρήσιμη δυνατότητα σε συστήματα με μεγάλη διείσδυση ΑΠΕ, όπου απαιτείται η εξισορρόπηση μεταξύ ζήτησης και παραγωγής λόγω της διαλείπουσας παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές. Η τεχνολογία V2G συνεισφέρει κατ' αυτόν τον τρόπο στην αποδοτικότερη ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε ένα δίκτυο διανομής, μειώνοντας τις διακυμάνσεις ισχύος [62]. Μέσω κατάλληλων στρατηγικών έξυπνης φόρτισης και V2G μειώνονται οι διακυμάνσεις της τάσης και κατ' επέκταση αυξάνεται η ικανότητα των γραμμών για υποδοχή περισσότερων ΑΠΕ με αποτέλεσμα τη σταθεροποίηση του δικτύου και τη μείωση των απωλειών [63]. Στη μελέτη των Rui Feng Shi et al. προέκυψε το συμπέρασμα ότι η συνέργεια ηλεκτρικών οχημάτων-ΑΠΕ συνεισφέρει στην αύξηση του μέγιστου αριθμού ηλεκτρικών οχημάτων τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα δίκτυο διανομής χωρίς παραβίαση των τεχνικών περιορισμών του δικτύου, υιοθετώντας πάντα κατάλληλες στρατηγικές φόρτισης. Με ανεξέλεγκτη φόρτιση παρατηρείται αντίστροφη σχέση ανάμεσα στην ικανότητα της γραμμής να υποδεχθεί νέες συνδέσεις ΑΠΕ με το ποσοστό διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων [64].

3.8 Φορτίσεις ΗΟ στα ΜΔΝ

Η ανεξέλεγκτη φόρτιση των ΗΟ μπορεί να αυξήσει την αιχμή του φορτίου και να έχει αρνητικό αντίκτυπο στη σταθερότητα και την αξιοπιστία του δικτύου, ειδικά στην περίπτωση των ΜΔΝ, τα οποία είναι πιο ευπαθή σε διαταραχές του φορτίου, ειδικά στην τουριστική περίοδο όπου η αιχμή είναι πολύ υψηλότερη από τον υπόλοιπο χρόνο [65]. Τα δίκτυα διανομής αυτών των νησιών βασίζονται σε αυτόνομους θερμικούς σταθμούς, οι οποίοι συμπληρώνονται προοδευτικά από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κυρίως φωτοβολταϊκά και πάγκα ανεμογεννητριών. Η μετάβαση στα «πράσινα» νησιά απαιτεί να καλύπτεται η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας κυρίως από ΑΠΕ και οι μετακινήσεις να βασίζονται κυρίως σε ηλεκτρικά οχήματα. Αυτό σημαίνει ότι το ηλεκτρικό σύστημα του νησιού πρέπει να ανταποκρίνεται στην πρόσθετη ενέργεια που απαιτείται από το στόλο των ηλεκτρικών οχημάτων και οι τυχόν στρατηγικές και πολιτικές διαχείρισης της ζήτησης πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την ισχύ φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, την κατανομή των σταθμών, τα προφίλ κινητικότητας κλπ. [66]. Για να επιτευχθεί αυτό, απαιτείται έξυπνη φόρτιση ΗΟ προσαρμόσιμη τόσο στη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου όσο και στις προτιμήσεις των χρηστών ΗΟ. Από την άλλη πλευρά, τα ηλεκτρικά οχήματα, λειτουργώντας ως ελεγχόμενος και κατανεμημένος χώρος αποθήκευσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσφέρουν υπηρεσίες Vehicle to Grid (V2G) και να συμβάλουν ενεργά στη διαχείριση της ζήτησης.

Στην εργασία των Mele, E. et al. [67] μελετήθηκε η επίδραση της διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων στη ζήτηση ενός ΜΔΝ που τροφοδοτείται από έναν αυτόνομο θερμικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής και την ευελιξία που προσφέρουν διαφορετικά μοντέλα φορτίσεων. Επίσης οι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται και για την περίπτωση που οι συμβατικές μονάδες συμπληρώνονται από φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Οι διαφορετικές στρατηγικές φόρτισης περιλαμβάνουν ελεγχόμενη φόρτιση μετατόπισης φορτίου (valley filling) και φόρτιση V2G. Επίσης ελέγχονται σενάρια όπου οι φορτίσεις επιτρέπονται μόνο συγκεκριμένες ώρες της ημέρας.

Για την περίπτωση της μηδενικής ΦΒ παραγωγής, η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων χωρίς έλεγχο αυξάνει την ισχύ που πρέπει να παρέχεται από το συμβατικό σταθμό παραγωγής του νησιού. Ωστόσο, η εφαρμογή έξυπνης φόρτισης εξομαλύνει την καμπύλη φορτίου (έως και κατά 28%) μειώνοντας την νέα αιχμή και αντισταθμίζει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της αυξημένης παραγωγής από το συμβατικό σταθμό παραγωγής. Με τη χρήση V2G η εξομάλυνση γίνεται σε μικρότερο επίπεδο (έως και 19%). Επίσης οι προσομοιώσεις έδειξαν πως τα χρονικά όρια δεν οδηγούν σε καλύτερες υπηρεσίες valley filling.

Η παρουσία φωτοβολταϊκής εγκατάστασης επιτρέπει την ένταξη μεγαλύτερου στόλου ηλεκτρικών οχημάτων με σχετικά καλή ποιότητα υπηρεσιών, καθώς η επί πλέον ενέργεια που απαιτείται για τη φόρτιση ηλεκτρικού ρεύματος παρέχεται από τη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Η λειτουργία των ΦΒ μειώνει επίσης σημαντικά την ισχύ των θερμικών μονάδων κατά τη διάρκεια της ημέρας και επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία στη διαμόρφωση της καμπύλης φορτίου. Η ενέργεια που παράγεται από τις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις επιτρέπει τη φόρτιση EV να πραγματοποιείται στο μεγαλύτερο μέρος της ημέρας, γεγονός που επιτρέπει επίσης μεγαλύτερη ευελιξία στις υπηρεσίες V2G.

Όσόσο είναι αναγκαία η εφαρμογή κατάλληλου χρονοδιαγράμματος χρησιμοποιώντας ωριαίες προβλέψεις φορτίου και παραγωγής ΦΒ για την βέλτιστη διαχείριση των φορτίσεων V2G. Η έρευνα καταλήγει στο συμπέρασμα πως είναι απαραίτητη η χρήση έξυπνης φόρτισης για τη βιώσιμη λειτουργία του Ηλεκτρικού Δικτύου ενός Μη Διασυνδεδεμένου Νησιού, καθώς και η χρήση τεχνολογιών V2G υπό προϋποθέσεις, όπως η ύπαρξη μονάδων ΑΠΕ και τα υψηλά επίπεδα διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων για τη χρήση τους ως ευέλικτα φορτία και μονάδες αποθήκευσης.

Στην παρούσα εργασία μελετάται επίσης η χρήση έξυπνης φόρτισης σε ένα ΜΔΝ, αλλά διαφέρει σε μεγάλο βαθμό από την παραπάνω μελέτη, καθώς εξετάζεται η περίπτωση ενός πράσινου νησιού με πολύ μεγάλη διείσδυση ΑΠΕ εν αντιθέσει με το Ηλεκτρικό Σύστημα του ΜΔΝ στην εργασία των Mele, E. et al. [67] το οποίο βασίζεται κυρίως στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω θερμικού σταθμού.

3.9 Ηλεκτροκίνηση στην Αστυπάλαια

Η Αστυπάλαια σύντομα θα γίνει το πρώτο Έξυπνο και Βιώσιμο Νησί με ενεργειακή αυτονομία στη Μεσόγειο. Μέχρι το 2030, το νησί θα πετύχει τον στόχο της κινητικότητας με μηδενικές εκπομπές. Το έργο (project) της Ελληνικής Δημοκρατίας και του Ομίλου Volkswagen φιλοδοξεί να δημιουργήσει ένα εντελώς νέο σύστημα μεταφορών με υπηρεσίες ψηφιακής κινητικότητας, συμπεριλαμβανομένης μιας υπηρεσίας διαμοιραζόμενων -αποκλειστικά ηλεκτρικών – οχημάτων που θα λειτουργεί όλο τον χρόνο, σχεδιασμένης για τον πλήρη εκσυγχρονισμό των υφιστάμενων περιορισμένων τοπικών δρομολογίων λεωφορείων. Σε συνεργασία με τους τοπικούς φορείς, η Volkswagen θα μεταμορφώσει μέρος του παραδοσιακού δικτύου ενοικίασης αυτοκινήτων σε μια υπηρεσία διαμοιραζόμενων οχημάτων που θα προσφέρει ηλεκτρικά σκούτερ, ηλεκτρικά ποδήλατα και ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Τα συμβατικά επαγγελματικά και ελαφρά επαγγελματικά οχήματα στο νησί θα αντικατασταθούν. Συνολικά, περίπου 1000 ηλεκτρικά οχήματα θα υποκαταστήσουν περίπου 1500 οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Ταυτόχρονα, θα υλοποιηθεί η υποδομή για επαρκή σημεία φόρτισης. Η Αστυπάλαια διαθέτει σημαντικό ανεκμετάλλευτο δυναμικό «πράσινης» ενέργειας, με αποτέλεσμα να είναι η ιδανική επιλογή για το συγκεκριμένο έργο. Οι ΑΠΕ θα καλύψουν την πρόσθετη ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια που θα προκύψει ως αποτέλεσμα της εισαγωγής της ηλεκτρικής κινητικότητας, το οποίο παρουσιάζεται και στο κεφάλαιο 6 μέσα από ειδικές προσομοιώσεις.

Στο πλαίσιο του project “ Smart & Sustainable Island” η Ελληνική Δημοκρατία και ο Όμιλος Volkswagen έχουν δεσμευτεί για την τήρηση της Συμφωνίας του Παρισιού (ΟΗΕ) και την επίτευξη του στόχου της ουδετερότητας ως προς το CO₂. Κατά συνέπεια, η Ελληνική Δημοκρατία θα στηρίξει τοπικά προγράμματα και συνεργασίες, αξιοποιώντας τις εξελίξεις στους τομείς πράσινης ενέργειας, ηλεκτρικών οχημάτων, κινητικότητας κατά παραγγελία και τεχνολογιών κινητικότητας αιχμής [68].

Το πρόγραμμα «Smart & Sustainable Island” προβλέπει:

- Τη δωρεά ηλεκτρικών οχημάτων στον δήμο και στις δημόσιες υπηρεσίες σε αντικατάσταση των συμβατικών που σήμερα διαθέτουν.
- Τη θέσπιση ειδικών επιδοτήσεων για την αντικατάσταση με ηλεκτρικά, όλων των οχημάτων κάθε μορφής (ποδήλατα, scooters, αυτοκίνητα, βαν, ταξί κλπ.) και την εγκατάσταση φορτιστών ιδιωτικής και δημόσιας χρήσης.
- Τη δημιουργία αστικού τύπου μετακίνησης «on demand» με στόλο από μίνι λεωφορεία τύπου van (mini – buses), χρησιμοποιώντας εφαρμογή μέσω κινητού ή σταθερού τηλεφώνου.
- Τη δημιουργία υπηρεσίας «διαμοιρασμού οχημάτων» αποκλειστικά με ηλεκτρικά αυτοκίνητα, τα οποία θα μπορεί να παραλάβει και να χρησιμοποιήσει κάθε κάτοικος και επισκέπτης, για όσο χρόνο θέλει (με εναλλαγή των χρηστών), πληρώνοντας μόνο για την ώρα χρήσης του οχήματος.
- Την εγκατάσταση και λειτουργία Υβριδικού Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας, η οποία θα συμβάλει δραστικά στη μείωση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τον υπάρχοντα θερμικό σταθμό, τροφοδοτώντας παράλληλα τα ηλεκτρικά οχήματα που θα κυκλοφορούν στο νησί με πράσινη ενέργεια.
- Έργα αναβάθμισης και ψηφιοποίησης του ηλεκτρικού δικτύου του νησιού, καθώς και έργα εγκατάστασης δικτύου δημόσια προσβάσιμων φορτιστών.

Πρόγραμμα προσομοιώσεων Energy Planning

4.1 Εισαγωγή

Το Πρόγραμμα **Energy Planning** είναι μια εφαρμογή που αναπτύχθηκε από το Εργαστήριο Ενεργειακών Συστημάτων του Τομέα Ενέργειας της ΣΗΜΜΥ του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Αποτελεί εργαλείο εκτέλεσης προσομοιώσεων με στόχο τη λήψη αποφάσεων σχετικά με το σχεδιασμό και προγραμματισμό (planning) Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας μη διασυνδεδεμένων νησιών (ΜΔΝ) σε μεσοπρόθεσμο ορίζοντα.

Δύο βασικές παράμετροι των προσομοιώσεων είναι η πρόβλεψη της ζήτησης και αιχμής του φορτίου, η οποία καλύπτεται από Ηλεκτρικά Συστήματα τα οποία ορίζονται από τον χρήστη του Προγράμματος. Τα Ηλεκτρικά Συστήματα εκτός από την υφιστάμενη κατάσταση περιλαμβάνουν διάφορα σενάρια χρησιμοποίησης συμβατικών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και τις βασικές παραμέτρους λειτουργίας τους, τεχνικοοικονομικές και άλλες.

Πέρα από τις παραμέτρους που ορίζονται από το χρήστη, στην εφαρμογή είναι περασμένα τα ήδη υπάρχοντα στοιχεία των Ηλεκτρικών συστημάτων των νησιών.

Το σύνολο των στοιχείων αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων και η επεξεργασία διαφόρων σεναρίων παράγει τις ανάλογες αναφορές (αναλυτικές αναφορές είναι δυνατό να δοθούν έως και σε επίπεδο ώρας σε βάθος 7ετίας).

Οι τύποι των μελετών που διεξάγονται μέσω της εφαρμογής είναι τρεις:

1. Ενεργειακός προγραμματισμός με ορίζοντα επταετίας για την αξιολόγηση ένταξης νέων συμβατικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
2. Αξιολόγηση της ικανότητας μονάδων παραγωγής ΑΠΕ να συνδεθούν σε ένα ΗΣ ΜΔΝ.
3. Μελέτη Διασύνδεσης, επιλεγμένου Μη Διασυνδεδεμένου Νησιού είτε με την ηπειρωτική χώρα είτε με άλλο κοντινό ΜΔΝ.

4.2 Μοντέλα προσομοιώσεων

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως για τον υπολογισμό μιας προσομοίωσης ο χρήστης πρέπει να καθορίσει ένα μοντέλο Ζήτησης/ Αιχμής φορτίου καθώς και ένα μοντέλο Ηλεκτρικού Συστήματος.

4.2.1 Μοντέλο Αιχμής/ Ζήτησης Φορτίου

Οι εκτιμώμενες τιμές της ζήτησης και της αιχμής για τον υπό μελέτη ορίζοντα 7 ετών βασίζονται σε ιστορικά δεδομένα και σε παραμέτρους καθορισμένες από τον χρήστη.

Ο χρήστης του Συστήματος έχει στη διάθεση του επτά στατιστικές προσεγγίσεις για να διαμορφώσει την εκτίμηση της ζήτησης. Ακολουθώντας παρουσιάζονται ο υπολογισμός της αιχμής και της ζήτησης για κάθε μέθοδο.

1. Απλή Γραμμική Παρεμβολή

- Ζήτηση: γραμμική παρεμβολή των ιστορικών δεδομένων.
- Αιχμή: βάσει της εκτιμώμενης ζήτησης και του ΣΦ (Συντελεστή Φορτίου).

2. Τροποποιημένη Γραμμική Παρεμβολή

- Ζήτηση: Έτος $n+1$: το ετήσιο ποσοστό αύξησης ζήτησης εφαρμόζεται στη ζήτηση του έτους n . Έτος $n+7$: βάσει της Μεθόδου 1. Έτη $n+2$ έως και $n+6$: γραμμική παρεμβολή επί των ετών n , $n+1$, $n+7$.
- Αιχμή: βάσει της εκτιμώμενης ζήτησης και του ΣΦ.

3. Τροποποιημένη Γραμμική Παρεμβολή και προσαύξηση Αιχμής I

- Ζήτηση: βάσει της Μεθόδου 2.
- Αιχμή: βάσει της εκτιμώμενης ζήτησης του ΣΦ και του ετήσιου ρυθμού αύξησης της αιχμής.

4. Τροποποιημένη Γραμμική Παρεμβολή και προσαύξηση Αιχμής II

- Ζήτηση: Έτος $n+7$ βάσει της Μεθόδου 1. Έτη $n+1$ έως $n+6$: γραμμική παρεμβολή επί των ετών n και $n+7$.
- Αιχμή: βάσει της εκτιμώμενης ζήτησης του ΣΦ και του ετήσιου ρυθμού αύξησης της αιχμής.

5. Επιλογή Απολογιστικών Ετών

- Ζήτηση : βάσει τη Μεθόδου 1 με χρήση απολογιστικών ετών που έχουν επιλεγεί από τον χρήστη.
- Αιχμή: βάσει της εκτιμώμενης ζήτησης και του ΣΦ.

6. Απαλοιφή Μέγιστου/Ελάχιστου

- Ζήτηση: βάσει της Μεθόδου 2 απαλείφοντας τη μέγιστη και ελάχιστη ζήτηση των απολογιστικών ετών.
- Αιχμή: βάσει της εκτιμώμενης ζήτησης, του ΣΦ και του ετήσιου ρυθμού αύξησης της αιχμής.

7. Εισαγωγή Ποσοστών Αύξησης Ζήτησης & Αιχμής

- Ζήτηση: βάσει της ζήτησης του προηγούμενου έτους και του ετήσιου ρυθμού αύξησης.
- Αιχμή: βάσει της αιχμής του προηγούμενου έτους και του ετήσιου ρυθμού αύξησης.

4.2.2 Μοντέλο Ηλεκτρικού Συστήματος

Ως Ηλεκτρικό Σύστημα ορίζεται το σύνολο των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (production units) οι οποίες συμμετέχουν στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο υπό εξέταση ηλεκτρικό σύστημα. Ο χρήστης μπορεί επίσης να ορίσει όλα τα τεχνικά, οικονομικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των μονάδων που συνθέτουν το ΗΣ. Οι μονάδες παραγωγής περιλαμβάνουν συμβατικές θερμικές μονάδες καθώς και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως αιολικά πάρκα, ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά,

ηλιοθερμικούς σταθμούς (CSP), Υβριδικούς Σταθμούς και Σταθμούς βιομάζας-βιοαερίου. Ακολουθώς περιγράφονται διάφοροι τύποι μονάδων παραγωγής και τα χαρακτηριστικά τους.

4.2.2.1 Συμβατικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Στο Σύστημα εισάγονται οι υφιστάμενες συμβατικές μονάδες με τα βασικά τους χαρακτηριστικά, τις βασικές παραμέτρους λειτουργίας και συντήρησης καθώς και το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα ανάλογα με τον τύπο του καυσίμου που χρησιμοποιούν (εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κλπ.). Επίσης προσδιορίζεται αν η συμβατική μονάδα πρέπει να βρίσκεται σε διαρκή λειτουργία καθ' όλο το έτος ανεξάρτητα από το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που θα προσφέρει. Αυτή είναι συνήθης συνθήκη λόγω της αβεβαιότητας ως προς την δυνατότητα παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και γενικά για τη διασφάλιση της σωστής λειτουργίας του ΗΣ.

4.2.2.2 Μονάδες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Αιολικά πάρκα

Παρά το υψηλό αιολικό δυναμικό στις περισσότερες περιοχές τις Ελλάδας, υπάρχει αβεβαιότητα ως προς την εξασφάλιση της παραγόμενης ενέργειας κατά την διάρκεια μιας χρονικής περιόδου. Γι' αυτό το λόγο εισάγεται ποσοστό της εγγυημένης παραγωγής, το οποίο υποδηλώνει το μέρος της αιολικής παραγωγής που θεωρείται εγγυημένο, δηλαδή αξιόπιστο. Επίσης είναι απαραίτητο να εισαχθεί από τον χρήστη η συνολική ισχύς των ανεμογεννητριών που συγκροτούν το αιολικό πάρκο. Στο πλαίσιο αυτό, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα εισαγωγής της καμπύλης ωριαίας παραγωγής του αιολικού πάρκου.

Μικρές ανεμογεννήτριες

Και στην περίπτωση των μικρών ανεμογεννητριών αντιμετωπίζονται παράγοντες αβεβαιότητας στην πρόβλεψη της απόδοσης. Εφαρμόζεται παρόμοια μεθοδολογία όπως και στα αιολικά πάρκα.

Φωτοβολταϊκά Πάρκα

Και εδώ υπεισέρχεται παράγων αβεβαιότητας ως προς την διαθέσιμη ηλιοφάνεια και χρησιμοποιείται η ίδια μεθοδολογία όπως και στην περίπτωση των αιολικών συστημάτων. Επίσης τα φωτοβολταϊκά πάρκα διαχωρίζονται σε πάρκα χωρίς ηλιοστάτες (trackers) και πάρκα με ηλιοστάτες.

Υβριδικοί Σταθμοί (Hybrid Power Stations)

Για να ορισθεί ως υβριδικός κάποιος σταθμός πρέπει να χρησιμοποιεί τουλάχιστον μια τεχνολογία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, (πχ. ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά κλπ.) και οπωσδήποτε ένα σύστημα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας για μελλοντική

χρήση, συνήθως μέσω αντλησιοταμίευσης ή μέσω μπαταριών. Οι υβριδικοί σταθμοί έχουν το προφανές πλεονέκτημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας αλλά σε περιορισμένα όρια και με υπολογίσιμο κόστος.

Για τον προσδιορισμό της σύνθεσής ενός Υβριδικού Σταθμού είναι απαραίτητο, πέρα από την εγγυημένη ισχύ του ΥΒΣ, των ΑΠΕ και των ελεγχόμενων μονάδων, να ορισθούν τα τεχνικά ελάχιστα των ελεγχόμενων μονάδων και η πρωτεύουσα εφεδρεία. Παράλληλα πρέπει να ορισθούν και τα χαρακτηριστικά του συστήματος αποθήκευσης όπως είναι η ισχύς και απόδοση των φορτιστών και χωρητικότητα των μπαταριών ή αντίστοιχα του ταμιευτήρα.

Ηλιοθερμικοί Σταθμοί χωρίς σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Οι σταθμοί αυτοί, χρησιμοποιώντας συστήματα καθρεπτών, εστιάζουν την ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται σε κατάλληλο σημείο ώστε να θερμαίνουν ένα μέσο μεταφοράς θερμότητας το οποίο χρησιμοποιείται μέσω κατάλληλων εναλλακτών θερμότητας για την παραγωγή ατμού, ο οποίος με τη σειρά του τροφοδοτεί ατμοστρόβιλο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο energy planning πρέπει να ορισθεί η εγκατεστημένη ισχύς της ελεγχόμενης μονάδας και το τεχνικό της ελάχιστο, η πρωτεύουσα εφεδρεία και η ισχύς λέβητα του βοηθητικού καυσίμου.

Σταθμοί Βιομάζας - Βιοαερίου

Στο πρόγραμμα προβλέπονται δύο τύποι σταθμών βιομάζας - βιοαερίου, οι κατανεμόμενοι και μη κατανεμόμενοι. Και στις δύο περιπτώσεις, η παραγωγή είναι σταθερή για ολόκληρο το έτος (ίση με την εγκατεστημένη ισχύ κάθε τύπου ΣΒΒ) και μειώνεται χρησιμοποιώντας έναν κατάλληλο συντελεστή που υποδηλώνει το ποσοστό της διαθέσιμης ισχύος καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Για τους μη κατανεμόμενους σταθμούς ορίζεται επίσης το ποσοστό εγγυημένης παραγωγής. Για τους κατανεμόμενους ΣΒΒ ορίζονται δύο επιπλέον παράμετροι: το τεχνικό ελάχιστο (% της εγκατεστημένης ισχύος) και η εφεδρεία (% της εγκατεστημένης ισχύος).

4.2.2.3 Γενικές παράμετροι

Για την ολοκλήρωση του μοντέλου του ΗΣ είναι απαραίτητο να ορισθούν και κάποιες άλλες βασικές παράμετροι για την λειτουργία του συστήματος, οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

- Συμβατικές μονάδες παραγωγής:

Πέρα από τα κόστη των καυσίμων και των δικαιωμάτων εκπομπών CO_2 πρέπει να καθορισθεί ο αριθμός των must run μονάδων, δηλαδή ο ελάχιστος αριθμός δεσμευμένων μονάδων κατά της λειτουργία του συστήματος. Η φόρτιση των δεσμευμένων συμβατικών μονάδων μπορεί να γίνει είτε αναλογικά είτε με βάση οικονομικά κριτήρια. Στην περίπτωση της αναλογικής φόρτισης η παραγωγή των μονάδων κατανέμεται

ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ τους, ενώ στην εφαρμογή οικονομικής φόρτισης η πλέον οικονομική συμβατική μονάδα λειτουργεί στην μέγιστη παραγωγική της ικανότητα, ενώ οι λιγότερο οικονομικές στην ελάχιστη επιτρεπόμενη ισχύ τους και τουλάχιστον μια μονάδα λειτουργεί σε ένα ενδιάμεσο επίπεδο ώστε να διασφαλίζεται η ζήτηση.

- Παράμετροι ΑΠΕ :

Επιλέγεται το μέγιστο ποσοστό διείσδυσης του συνόλου των ΑΠΕ ανά ώρα καθώς και ο συντελεστής δυναμικού περιορισμού διείσδυσης ΑΠ c_d με την μέθοδο υπολογισμού του. Ο συντελεστής c_d περιορίζει την εγχυόμενη ισχύ των ανεμογεννητριών στο ΗΣ σύστημα για τη διασφάλιση του. Ο δυναμικός περιορισμός των ΑΠ υπολογίζεται με διαφορετικούς τρόπους ανάλογα την επιλογή του χρήστη, ως το γινόμενο του συντελεστή επί του φορτίου ή το γινόμενο του συντελεστή επί των ενταγμένων συμβατικών μονάδων και των κατανεμόμενων ΑΠΕ, είτε ως το άθροισμα των πρωτεύουσών εφεδρειών και κατανεμόμενων ΑΠΕ.

- Στρεφόμενη εφεδρεία :

Το Αυτόνομο Σύστημα, μη έχοντας την δυνατότητα να αντλήσει ηλεκτρική ενέργεια από άλλο δίκτυο, πρέπει να λειτουργεί έχοντας διασφαλίσει αποθέματα ενέργειας για να καλυφθούν σφάλματα της πρόβλεψης παραγωγής των ΑΠΕ, αλλά και άλλα γεγονότα που δεν είναι προγραμματισμένα όπως βλάβες ή αναγκαστικές διακοπές λειτουργίας των μονάδων παραγωγής, αιφνίδια αύξηση της ζήτησης, κλπ.

Για να καλυφθεί το ενδεχόμενο έλλειψης, υπολογίζεται το απαραίτητο αποθεματικό ισχύος με 3 διάφορες μεθόδους ή συνδυασμό τους:

- Κανόνας N-1: Ως η μέγιστη ικανότητα παραγωγής των δεσμευμένων συμβατικών μονάδων.
- Επί του φορτίου: Ως το προεπιλεγμένο ποσοστό της υπολογιζόμενης ζήτησης ανά ώρα.
- Επί των ΑΠΕ: Ως το σύνολο της μη εγγυημένης παραγωγής όλων των συμμετεχουσών ΑΠΕ.

- Παράμετροι ΥΒΣ :

Επίσης πρέπει να καθοριστούν κάποιοι κατάλληλοι συντελεστές για τον υπολογισμό των σφαλμάτων πρόβλεψης της παραγωγής ΑΠΕ ενός ΥΒΣ για την 1η και 2η Περίοδο ΚΗΕΠ.

4.2.3. Διασύνδεση συστημάτων

Αν επιλεγεί η δυνατότητα Διασύνδεσης είναι αναγκαίο να επιλεγούν από τον χρήστη τα ΗΣ που θα διασυνδεθούν, καθώς και ένα μοντέλο αιχμής ζήτησης, όπως παρουσιάστηκε στις προηγούμενες ενότητες. Ένα ΗΣ σε ένα ΜΔΝ μπορεί να συνδεθεί είτε με την Ηπειρωτική

Ελλάδα είτε με άλλα ΜΔΝ. Επίσης, ανά διασύνδεση πρέπει να οριστούν: το έτος εφαρμογής, η ικανότητα μετάδοσης, το μήκος των γραμμών μεταφοράς.

4.3 Αποτελέσματα προσομοιώσεων

Η εφαρμογή Energy Planning πραγματοποιεί προσομοιώσεις σε μεσοπρόσθεσμο χρονικό ορίζοντα 7 ετών με ανάλυση ανά ώρα. Οι αναλύσεις αυτές είναι εκτυπώσιμες αλλά λόγω του όγκου της παρεχόμενης πληροφορίας και την ευκολία στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων έχουν προβλεφθεί διάφορες συγκεντρωτικές αναφορές (reports) που περιλαμβάνουν κάποια βασικά αποτελέσματα για το σύνολο του χρονικού διαστήματος της προσομοίωσης, τα οποία είναι:

- **Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας**
 - Η Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά τύπο ΑΠΕ.
 - Η μη εντασσόμενη ενέργεια ανά τύπο ΑΠΕ (% της δηλωμένης).
 - Η ετήσια διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (% του φορτίου).
 - Η μέγιστη στιγμιαία διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.
 - Η απορριπτόμενη ενέργεια των ΑΠΕ (% της πρωτογενώς διαθέσιμης).

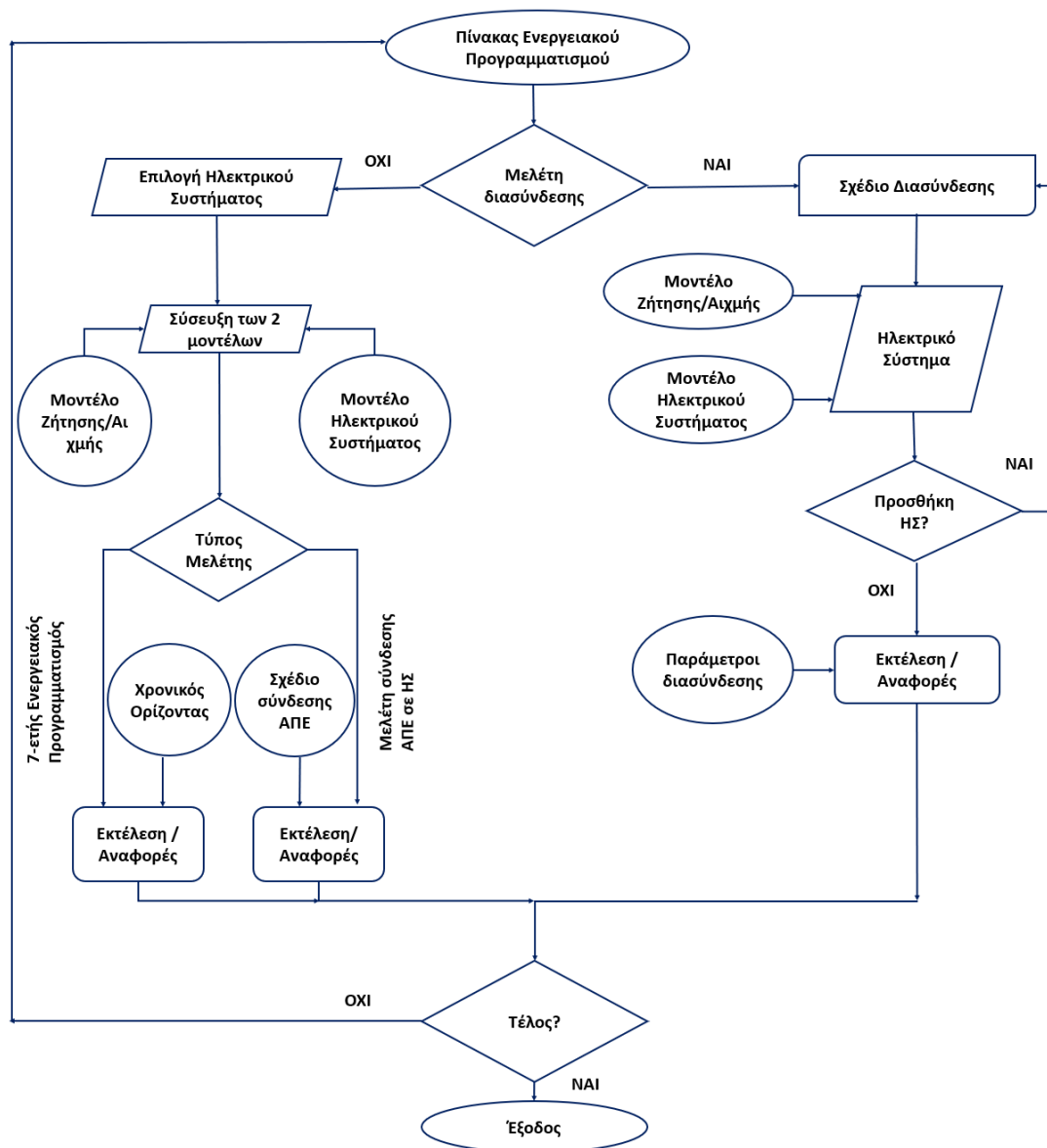
- **Συμβατικές μονάδες παραγωγής**
 - Παραγωγή.
 - Κατανάλωση καυσίμου.
 - Εκπομπές CO₂.
 - Ώρες λειτουργίας.
 - Αριθμός εναύσεων .

- **Δεδομένα κόστους:**
 - Κόστος καυσίμου.
 - Κόστος αγοράς εκπομπών CO₂.
 - Επιπλέον κόστος λειτουργίας και κόστος συντήρησης.
 - Κόστος παραγωγής ανά τύπο ΑΠΕ.
 - Συνολικό κόστος παραγωγής ΑΠΕ.
 - Συνολικό κόστος παράγωγής.
 - Μέσο μεταβλητό κόστος των συμβατικών μονάδων παράγωγής.
 - Μέσο κόστος του Ηλεκτρικού Συστήματος.

Πέρα από τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής των ωριαίων αναφορών για κάθε έτος εντός του ορίζοντα προσομοίωσης σε μορφή .csv. Στις αναφορές αυτές παρατίθενται οι ωριαίες τιμές όλων των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται στον αλγόριθμο της προσομοίωσης, όπως η δηλωμένη τιμή παραγωγής στον ΥΒΣ και η απορριπτόμενη ενέργεια για κάθε ώρα λειτουργίας.

4.4 Διεπαφή χρήστη (User interface)

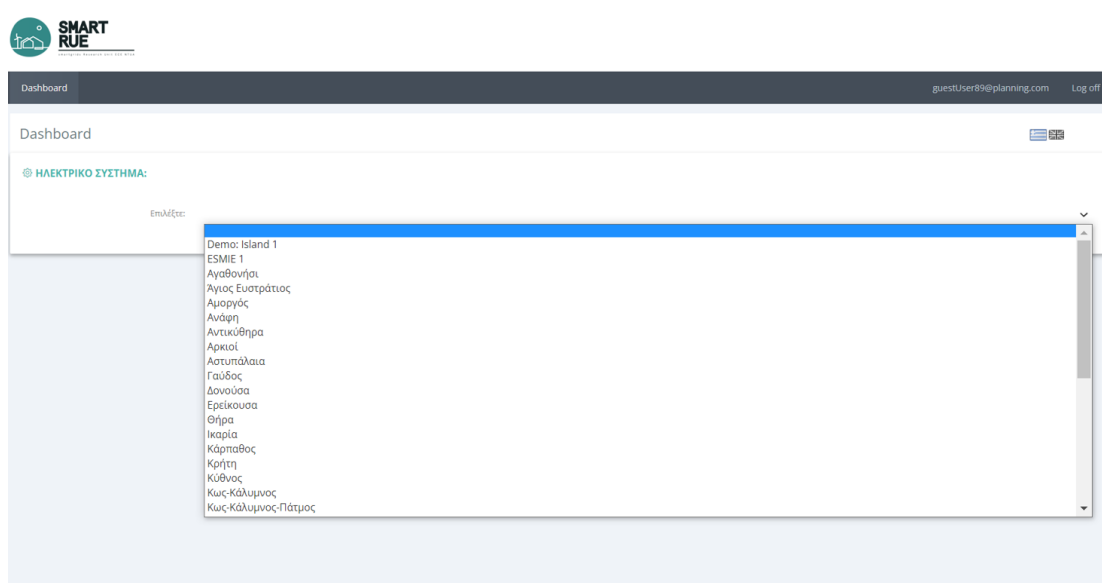
Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η χρήση της εφαρμογής για την πραγματοποίηση των βασικών λειτουργιών της. Αρχικά παρουσιάζεται ένα διάγραμμα ροής για την καλύτερη κατανόηση της εφαρμογής.



Διάγραμμα 4.1: Διάγραμμα Ροής της Εφαρμογής Energy planning – διεπαφή χρήστη

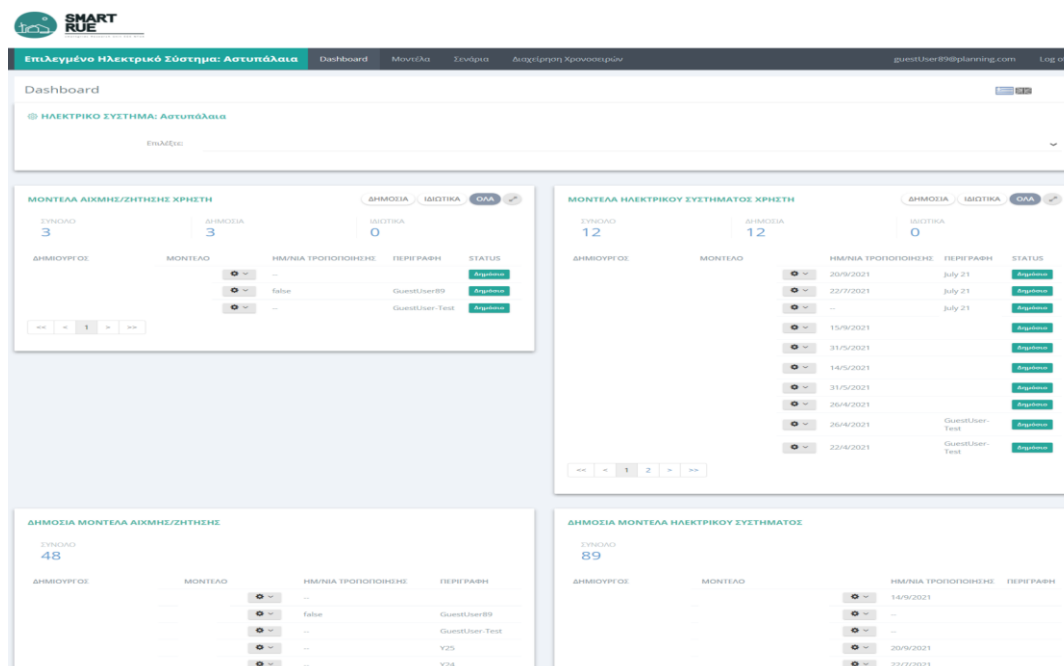
Αρχική οθόνη

Αφού ο χρήστης συνδεθεί με τους κωδικούς πρόσβασης του, επιλέγει το ηλεκτρικό σύστημα που θέλει να μελετήσει.



Εικόνα 4.1: Επιλογή ΗΣ

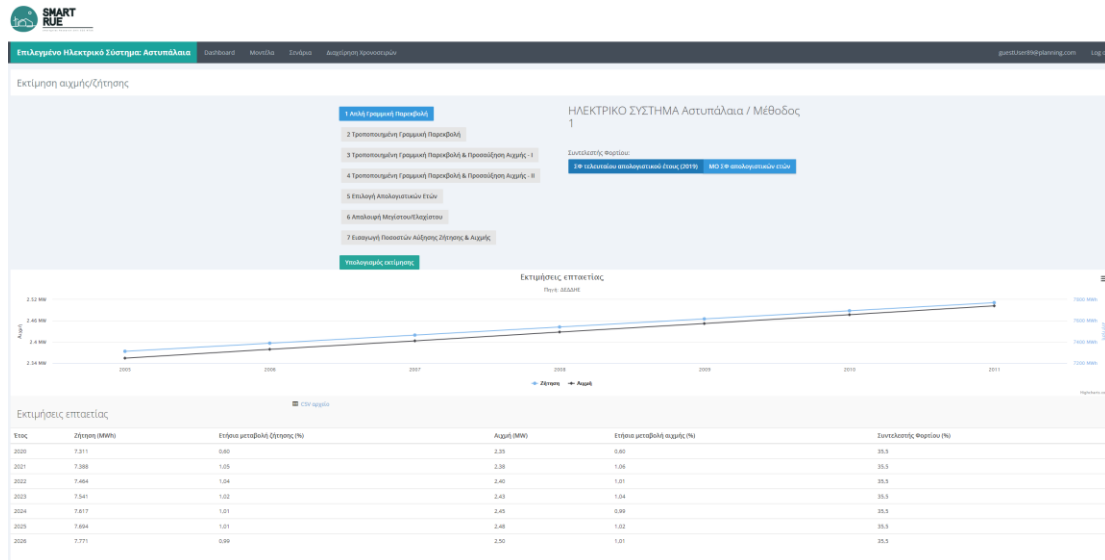
Στη συνέχεια εμφανίζεται το κύριο μενού του ΗΣ, όπου φαίνονται τα μοντέλα της Αιχμής/Ζήτησης και μοντέλα Ηλεκτρικού Συστήματος που έχουν δημιουργηθεί προηγουμένως τόσο από τον ίδιο χρήστη όσο και μοντέλα που είναι δημόσια και ορατά/επεξεργάσιμα από όλους τους χρήστες. Στο ίδιο μενού ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ένα μοντέλο για να το επεξεργαστεί ή να δημιουργήσει ένα νέο.



Εικόνα 4.2 : Μενού επιλογής Μοντέλου Αιχμής/Ζήτησης και Μοντέλου ΗΣ

Μοντέλο Ζήτησης / Αιχμής

Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέξει ανάμεσα σε επτά διαθέσιμες μεθόδους εκτίμησης της ζήτησης καθώς και επιπρόσθετες παραμέτρους, όπως η αιχμή και η ζήτηση του φορτίου όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα

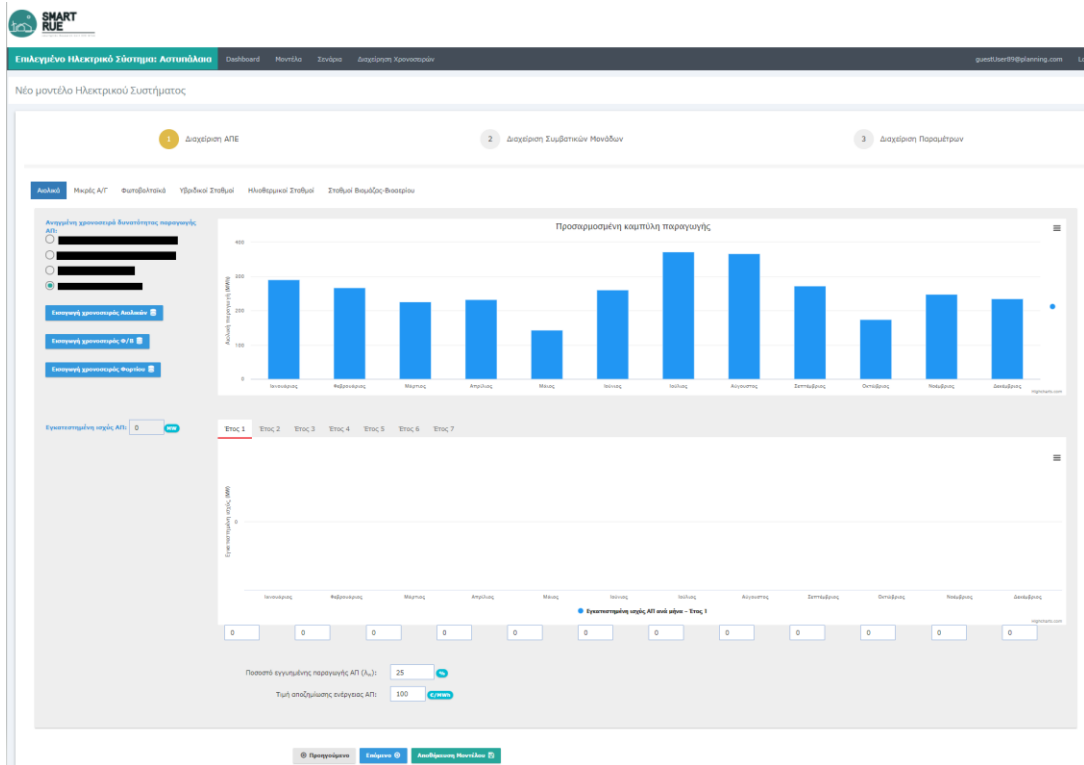


Εικόνα 4.3 : Επιλογή μεθόδου και αποτελέσματα για μοντέλο αιχμής/ζήτησης

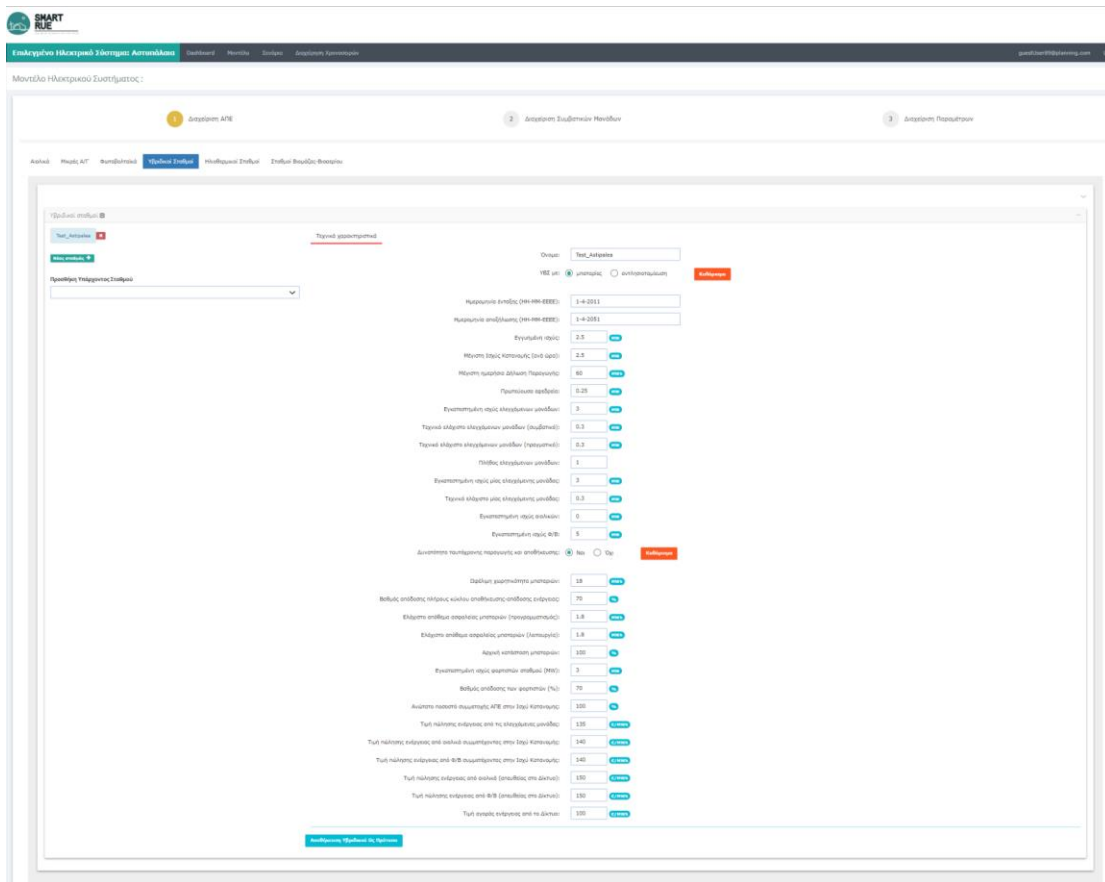
Μοντέλο Ηλεκτρικού Συστήματος

Το μοντέλο του Ηλεκτρικού συστήματος αποτελείται από 3 κύρια τμήματα, τη Διαχείριση ΑΠΕ, τη Διαχείριση Συμβατικών Μονάδων και τη Διαχείριση Παραμέτρων.

Στη Διαχείριση των ΑΠΕ ο χρήστης ορίζει τις παραμέτρους όλων των χαρακτηριστικών των ΑΠΕ που επιθυμεί, όπως είχε αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα. Παρακάτω παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά που πρέπει να επιλεγθούν στα αιολικά πάρκα και στους Υβριδικούς σταθμούς. Στα υπόλοιπα ΑΠΕ η επιλογή των χαρακτηριστικών είναι ανάλογη.

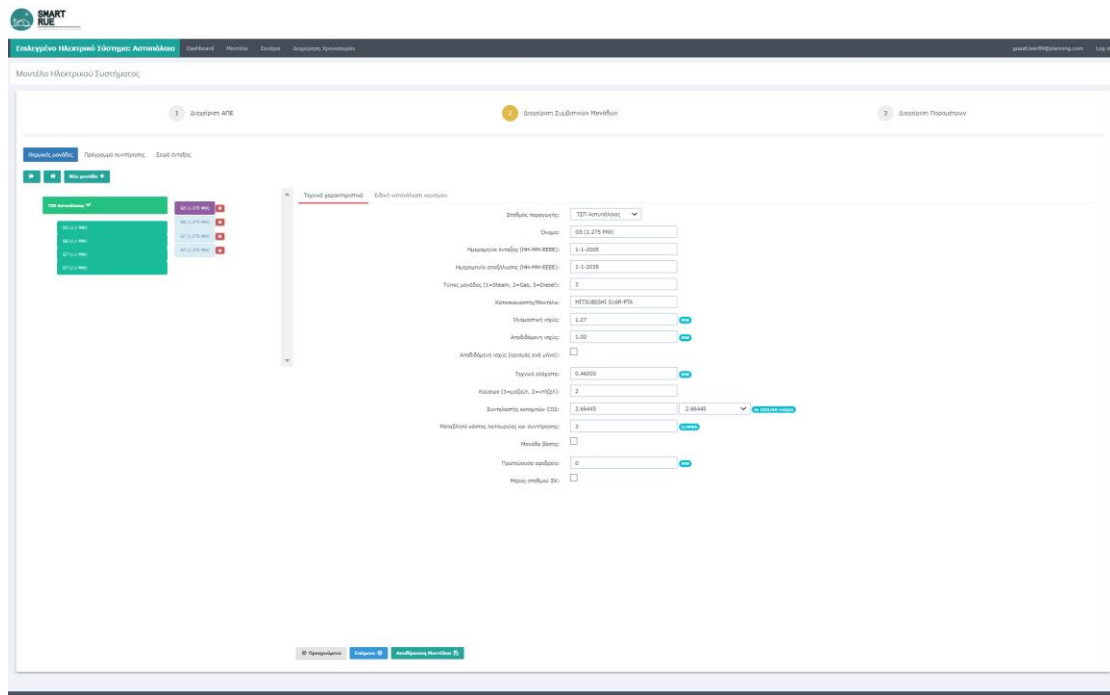


Εικόνα 4.4 : Εισαγωγή χαρακτηριστικών ΑΠ



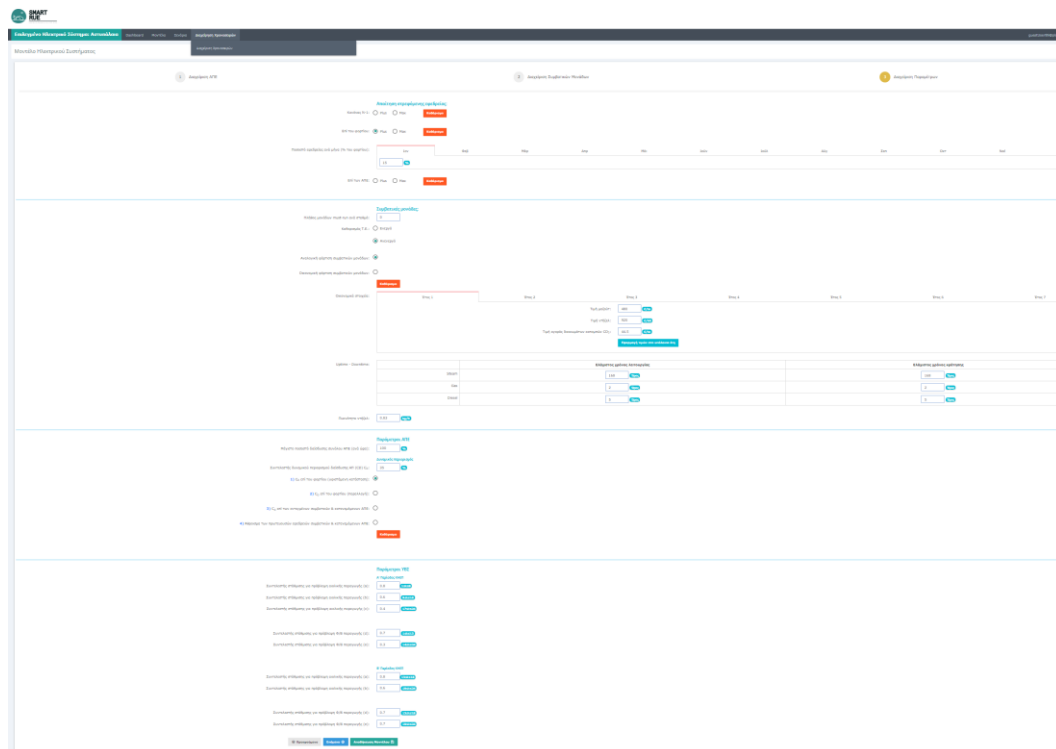
Εικόνα 4.5: Εισαγωγή χαρακτηριστικών ΥΒΣ

Η εισαγωγή δεδομένων των συμβατικών μονάδων παραγωγής γίνεται ανά μονάδα και υπάρχει η δυνατότητα προσθήκης ή αφαίρεσης συγκεκριμένων μονάδων. Εισάγονται όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά, όπως φαίνεται ακολούθως:



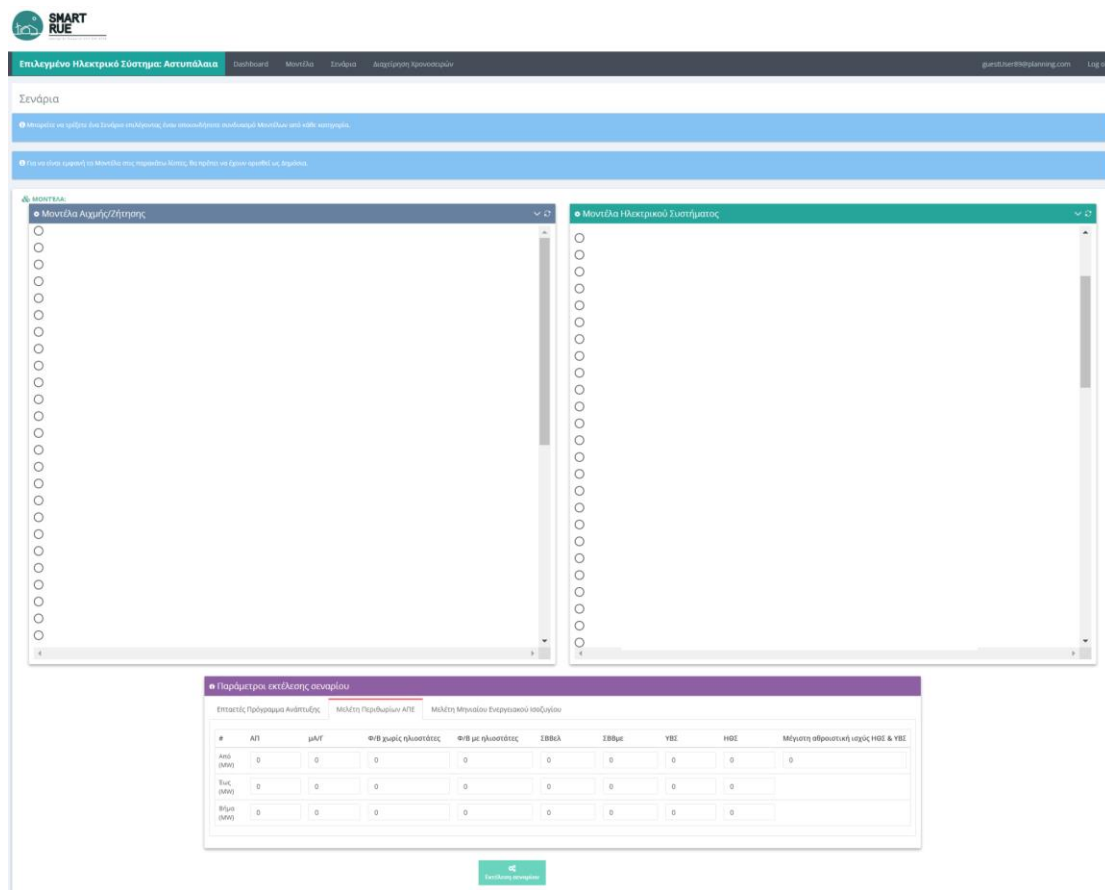
Εικόνα 4.6: Εισαγωγή χαρακτηριστικών συμβατικών μονάδων

Τέλος, πρέπει να ορισθούν τα γενικά χαρακτηριστικά του Ηλεκτρικού Συστήματος:



Εικόνα 4.7: Εισαγωγή γενικών χαρακτηριστικών

Αφού οριστικοποιηθεί η παραμετροποίηση των μοντέλων, τόσο της Αιχμής/Ζήτησης, όσο και του Ηλεκτρικού συστήματος, ο χρήστης επιλέγει ένα ολοκληρωμένο σενάριο από κάθε μοντέλο και τον τρόπο εκτέλεσης των σεναρίων ορίζοντας τις κατάλληλες παραμέτρους. Αφού εκτελεσθεί ο αλγόριθμος των προσομοιώσεων ο χρήστης λαμβάνει τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα σε μια νέα σελίδα στον browser ή μπορεί να κατεβάσει τα ωριαία αποτελέσματα σε ένα αρχείο .csv.



Εικόνα 4.8: Σύζευξη των σεναρίων και εισαγωγή παραμέτρων εκτέλεσης σεναρίου

4.5 Περιληπτική περιγραφή του αλγορίθμου

Ο αλγόριθμος του Energy planning προσομοιώνει τη λειτουργία προπαραμετροποιημένων μοντέλων υπολογίζοντας σε ωριαία βάση, εντός του χρονικού ορίζοντα που έχει τεθεί, την εντασσόμενη ενέργεια και τη δέσμευση των συμβατικών σταθμών καθώς και τη λειτουργία των ΑΠΕ ικανοποιώντας τους περιορισμούς για τη διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας του Ηλεκτρικού Συστήματος. Επί πλέον στοχεύει στη μεγιστοποίηση των ΑΠΕ και την ελαχιστοποίηση της παραγωγής των συμβατικών μονάδων.

Στην πρώτη φάση ξεκινούν οι υπολογισμοί ανά ημέρα για όλο τον χρονικό ορίζοντα των προσομοιώσεων. Υπολογίζεται η διαθέσιμη παραγωγή ανά τεχνολογία ΑΠΕ. Εν συνεχεία υπολογίζονται η Δήλωση Ενέργειας και η Δήλωση της Ενεργειακής Απορρόφησης του ΥΒΣ και κατανέμονται στις ώρες που υπάρχει διείδυση ΑΠΕ.

Ακολουθούν οι υπολογισμοί ανά ώρα. Η διείσδυση των ΑΠΕ δεν πρέπει να υπερβαίνει το όριο που έχει τεθεί. Σε περίπτωση υπέρβασης του ορίου, η πλεονάζουσα εντασσόμενη ενέργεια από ΑΠΕ απορρίπτεται. Εν συνεχεία εξετάζεται αν υπάρχει Έλλειμμα Ενέργειας. Σε αυτή την περίπτωση το υπολειπόμενο φορτίο υπερβαίνει την συνολική ικανότητα παραγωγής των συμβατικών μονάδων, όταν δουλεύουν στο μέγιστο της δυναμικότητάς τους. Ταυτόχρονα δεν τηρείται το όριο της εφεδρείας που έχει επιλεγεί από το χρήστη. Καταγράφονται οι τιμές του ελλείμματος, του φορτίου που δεν εξυπηρετείται και το ποσό της εφεδρείας που δεν τηρείται για κάθε ώρα.

Η στρεφόμενη εφεδρεία που πρέπει να τηρηθεί για την διασφάλιση της σωστής λειτουργίας του συστήματος λόγω αναγκαστικών διακοπών ή βλαβών υπολογίζεται με 3 διαφορετικούς τρόπους ή έναν συνδυασμό αυτών:

- Ως ποσοστό της υπολογιζόμενης ζήτησης ανά ώρα.
- Ως τη μέγιστη ικανότητα παραγωγής μίας συμβατικής μονάδας.
- Και ως την συνολική μη εγγυημένη παραγωγή των ΑΠΕ.

Στην περίπτωση που υπάρχει επάρκεια συμβατικών μονάδων δημιουργείται λίστα προτεραιοποίησης ένταξης των μονάδων. Κατά τη λειτουργία πραγματικού χρόνου του υβριδικού σταθμού δεσμεύονται οι θερμικές μονάδες παραγωγής. Το ποσοστό εξυπηρέτησης του φορτίου από αυτές τις μονάδες είναι ανάλογο με τη δυνατή εγχυόμενη ενέργεια του ΥΒΣ, πάντα εξετάζοντας τα όρια μέγιστου ποσοστού διείσδυσης του συνόλου των ΑΠΕ. Ταυτόχρονα τηρείται το πλήθος των must run συμβατικών μονάδων, τα τεχνικά ελάχιστα λειτουργίας τους καθώς και ο επιλεγμένος τρόπος φόρτισής τους (αναλογικός ή οικονομικός).

Σε περίπτωση που η παραγωγή των ΑΠΕ είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη με βάση τον ωριαίο προγραμματισμό, τότε ενεργοποιείται ένα σύστημα περιορισμού της παράγωγής των ΑΠΕ ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ και τα τεχνικά τους ελάχιστα.

Τέλος, έχοντας καθοριστεί η παραγωγή των συμβατικών μονάδων και των ΑΠΕ με βάση τη ζήτηση του φορτίου, καθώς και η συνολική απορριπτόμενη ενέργεια, υπολογίζονται η νέα κατάσταση αποθήκευσης του υβριδικού σταθμού, καθώς και τα διάφορα κόστη λειτουργίας του συστήματος, όπως το κόστος λειτουργίας των ΑΠΕ, το κόστος της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών CO_2 .

Δίνεται επίσης η δυνατότητα να ληφθεί υπ' όψιν η διασύνδεση συστημάτων. Για την διασύνδεση των ηλεκτρικών συστημάτων χρησιμοποιείται η μαθηματική θεωρία γράφων για να καθοριστεί αν ένα ΗΣ συνδέεται με ένα άλλο. Ο αλγόριθμος συνεχίζει με την επίλυση του προβλήματος ένταξης μονάδων και την οικονομική κατανομή φορτίου κάθε στοιχείου του γράφου. Για τις ροές φορτίου στις γραμμές διασύνδεσης χρησιμοποιούνται εξισώσεις ροής DC. Οι μονάδες παραγωγής του ΗΣ επαναπρογραμματίζονται σε περίπτωση υπέρβασης των ορίων των αντίστοιχων γραμμών μεταφοράς.

Κεφάλαιο 5

Προσομοιώσεις και αποτελέσματα του energy planning χωρίς ηλεκτρικά οχήματα.

5.1. Δεδομένα εισόδου προσομοιώσεων

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρατίθενται οι ενεργειακές προσομοιώσεις που έγιναν με τη βοήθεια του energy planning, που αφορούν σε ωριαία ανάλυση μόνιμης κατάστασης της Αστυπάλαιας. Αναλύονται τα διαφορετικά σενάρια που υλοποιήθηκαν και τα δεδομένα εισόδου του προγράμματος.

5.1.1. Χαρακτηριστικά ΗΣ

Το υφιστάμενο Ηλεκτρικό Σύστημα της Αστυπάλαιας τροφοδοτείται σήμερα από τον Τοπικό Σταθμό Παραγωγής, ο οποίος έχει μέγιστη ισχύ 4,0 MW. Επίσης το ΗΣ τροφοδοτείται από 4 Φωτοβολταϊκούς Σταθμούς, συνολικής ισχύος 0,319 MW.

Στον παρακάτω Πίνακα παρουσιάζονται κάποια βασικά στοιχεία για το φορτίο του ΗΣ της Αστυπάλαιας βάσει των στοιχείων του ΔΕΔΔΗΕ:

| Μέσο ετήσιο Φορτίο 2019 (MW) | Αιχμή 2019 (MW) | Συντελεστής Φορτίου 2019 (%) | Μέση Αιχμή 2015-2019 (MW) | Εκτιμώμενη Αιχμή 2024 (MW) |
|------------------------------|-----------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 0,83 | 2,34 | 35,5 | 2,28 | 2,73 |

Πίνακας 5.1 Χαρακτηριστικά ΗΣ Αστυπάλαιας

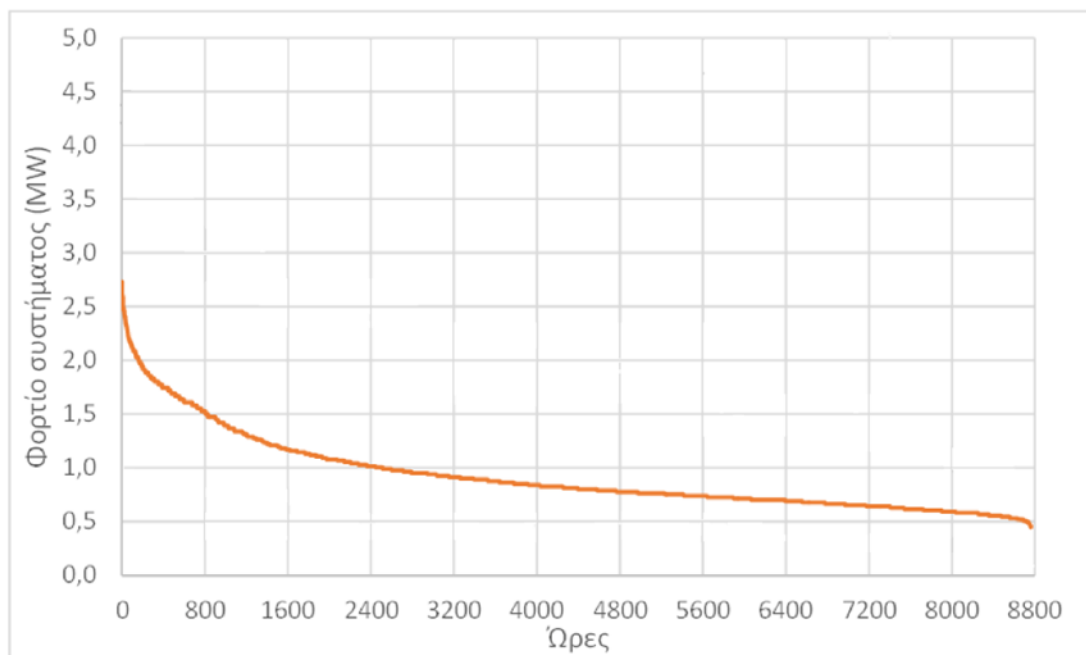
5.1.1.1. Ζήτηση Ηλεκτρικής Ενέργειας

Για τις προσομοιώσεις λαμβάνεται ως έτος αναφοράς το 2024. Σύμφωνα με το Πρόγραμμα Ανάπτυξης του ΔΕΔΔΗΕ για την επταετία 2017-2024 παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα το βασικό σενάριο της Αστυπάλαιας καθώς και η καμπύλη διάρκειας φορτίου για το 2024.

| Μέγεθος | Τιμή |
|-------------------------|-------------------|
| Αιχμή φορτίου (MW) | 2,73 |
| Ζήτηση ενέργειας (MWh) | 8.128 |
| Συντελεστής Φορτίου (%) | 34,0 ³ |

Πίνακας 5.2: Δεδομένα ζήτησης ενέργειας και αιχμής φορτίου για το προσομοιούμενο σύστημα

³ Ως συντελεστής φορτίου ορίζεται ο λόγος του μέσου φορτίου ως προς την αιχμή του φορτίου. Στην προκειμένη περίπτωση υπολογίζεται ως ο λόγος της ζήτησης ενέργειας προς το γινόμενο της αιχμής φορτίου επί των ωρών του χρόνου (8760 ώρες).



Διάγραμμα 5.1. Καμπύλη διάρκειας φορτίου για το προσομοιούμενο σύστημα

5.1.1.2 Παραγωγικό δυναμικό

Στην Αστυπάλαια αυτή τη στιγμή λειτουργούν 4 μονάδες εσωτερικής καύσης (ντιζελογεννήτριες) για ηλεκτροπαραγωγή. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των γεννητριών, τα οποία χρησιμοποιούνται και στις προσομοιώσεις.

| ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ | ΜΟΝΤΕΛΟ | ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (MW) | ΑΠΟΔΙΔΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW) |
|------------|---------------------|-----------------------|------------------------|
| G5 | MITSUBISHI S16R-PTA | 1,275 | 1,0 |
| G6 | MITSUBISHI S16R-PTA | 1,275 | 1,0 |
| G7 | MITSUBISHI S16R-PTA | 1,275 | 1,0 |
| G8 | MITSUBISHI S16R-PTA | 1,275 | 1,0 |

Πίνακας 5.3. Συμβατικές Θερμικές Μονάδες του ΗΣ της Αστυπάλαιας

5.1.2 Παράμετροι οικονομικών στοιχείων

Οι οικονομικοί δείκτες, οι οποίοι κρίνεται απαραίτητο να υπολογιστούν είναι ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (Internal Rate of Return) και το Σταθμισμένο Κόστος Ενέργειας (Levelized Cost of Energy).

Ο **Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (EBA)** είναι ένας οικονομικός δείκτης που υπολογίζει την απόδοση μιας μακροχρόνιας επένδυσης. Συγκεκριμένα, Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο εξισώνει την παρούσα αξία όλων των καθαρών ταμειακών ρών μετά από φόρους που προέχονται από την επένδυση με το αρχικό κόστος της επένδυσης. Όσο πιο μεγάλο είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο τόσο πιο μεγάλη είναι η απόδοση της επένδυσης. Μπορεί να ερμηνευτεί και αντίστροφα και σαν το «μέσο επιτόκιο» που μας δίνει η επένδυση. Είναι με άλλα λόγια η απόδοση της επένδυσης για όσο χρόνο η επένδυση είναι ενεργή, εκφρασμένη σε ποσοστό. Επειδή κάθε μακροχρόνια επένδυση μπορεί να έχει διαφορετικές χρηματοροές ανά έτος (θετικές ενδεχομένως και αρνητικές) για να υπολογίσουμε τον EBA της επένδυσης υπολογίζουμε τις μελλοντικές καθарές χρηματοροές (μετά από φόρους) κάθε έτους της επένδυσης και μετά βρίσκουμε ποιο είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο εφαρμοζόμενο στον υπολογισμό της παρούσας αξίας όλων των μελλοντικών χρηματοροών εξισώνει το σύνολο της παρούσας αξίας όλων των χρηματοροών με την παρούσα αξία της επένδυσης.

Το **Σταθμισμένο Κόστος Ενέργειας (ΣΚΕ)** είναι ένα μέτρο του μέσου καθαρού τρέχοντος κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για μια μονάδα παραγωγής καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της. Πρακτικά εκφράζει τη μέση τιμή με την οποία πρέπει να αποζημιώνεται η παραγωγή του σταθμού, ώστε να αποσβένεται το αρχικό κόστος επένδυσης και το σύνολο των λειτουργικών εξόδων. Επιλέγεται ο συγκεκριμένος δείκτης κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς η προσομοίωση γίνεται σε ένα ΜΔΝ, που αποτελεί μια ρυθμιζόμενη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας με καθορισμένες τιμές.

Για τον υπολογισμό του IRR και του LCOE είναι απαραίτητο το προεξοφλητικό επιτόκιο για την προεξόφληση κόστους και οφέλους, καθώς και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας να είναι σταθερά και να μην μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του υπό εξέταση έργου. Για τον υπολογισμό του εσωτερικού βαθμού απόδοσης και του Σταθμισμένου Κόστος Ενέργειας χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τύποι:

Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR)

$$\sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} = 0$$

CF_t = η πρόσθετη ετήσια ταμειακή ροή (η ταμειακή ροή μπορεί να πάρει θετική ή αρνητική τιμή) και υπολογίζεται ως εξής :

CF_0 = το αρχικό κόστος επένδυσης.

και

$$CF_t = R_t - OM_t - DP_t - TR * (E_t - OM_t - I_t - D_t).$$

Όπου:

- R_t = έσοδα το έτος t, υπολογιζόμενα ως η εντασσόμενη ενέργεια επί την τιμή αποζημίωσης
- OM_t = κόστος λειτουργίας και κόστος συντήρησης το έτος t

- DP_t = αποπληρωμή κεφαλαίου δανείου και πληρωμές τόκων κατά τη διάρκεια του έτους t .
- TR = φορολογικός συντελεστής
- D_t = απόσβεση το έτος t .
- I_t = πληρωμές τόκων για το φορτίο κατά τη διάρκεια του έτους t

Σταθμισμένο Κόστος Ενέργειας

$$LCOE = \frac{\frac{\sum_{t=0}^n I_t + O_t}{(1+r)^t}}{\frac{\sum_{t=0}^n S_{t=0} (1-d)^t}{(1+t)^t}}$$

Όπου :

- S_t : παραγόμενη ενέργεια το έτος t
- d : συντελεστής υποβάθμισης της παραγόμενης ενέργειας
- r : επιτόκιο προεξόφλησης
- $(1 + r)^t$: συντελεστής προεξόφλησης κατά το έτος t
- I_t : συνολικό κόστος κατασκευής έργου κατά το έτος t
- O_t : κόστος λειτουργίας και συντήρησης το έτος t
- $t=0,1,2,\dots,20$ τα έτη λειτουργίας του έργου

Οι προσομοιώσεις έγιναν με βάση τα ακόλουθα οικονομικά στοιχεία:

- συνολικό κόστος κατασκευής έργου
 - Ανεμογεννητριών (ΑΓ) : 1.000 €/kW - 1.500 €/kW
 - Φωτοβολταϊκών (ΦΒ) : 500 €/kW - 700 €/kW
 - Μπαταριών : 200€/kWh - 500€/kWh
 - Αντιστροφένων : 150 €/kW - 300 €/kW
 - SCADA και Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας: 50.000 €- 150.000 €
- Αντικατάσταση της μπαταρίας στο έτος 10
- Κόστος λειτουργίας και συντήρησης : 2,5% της επένδυσης
- Συντελεστής φορολόγησης : 22%
- Δάνειο :
 - 75% της επένδυσης
 - ονομαστικό επιτόκιο δανεισμού : 8%
 - διάρκεια αποπληρωμής δανείου : 10 έτη
- Διάρκεια ζωής επένδυσης : 20 έτη
- Επιτόκιο προεξόφλησης : Το επιτόκιο προεξόφλησης θεωρείται ίσο με 8%, το οποίο είναι επαρκές έργα σε ΜΔΝ όπως αυτό.

Σημειώνεται ότι για κάθε σενάριο της προσομοίωσης υπολογίζεται ο EBA και το ΣΚΕ για τα δύο ακραία σενάρια τιμών ανηγμένου κόστους επένδυσης: σενάριο χαμηλού κόστους και σενάριο υψηλού κόστους.

Ως τιμή αποζημίωσης της παραγόμενης ενέργειας των ΑΠΕ εξετάζονται 2 τιμές. Η πρώτη τιμή που εξετάζεται είναι το μέσο μεταβλητό κόστος (ΜΜΚ) των ετών 2015 έως 2019, που προκύπτει ως η μεσοσταθμική τιμή των μηνιαίων τιμών για τα παραπάνω έτη. Αυτά τα δεδομένα παρατίθενται στις αποφάσεις 1254/2019 και 200/2020 της ΡΑΕ. Η δεύτερη τιμή που λαμβάνεται για τις προσομοιώσεις είναι η προηγούμενη τιμή μειωμένη κατά 10%.

Συγκεκριμένα οι 2 τιμές αποζημίωσης είναι:

- 233,54€/MWh
- 210,19€/MWh

5.1.3 Λοιπές παράμετροι

Για τις ανάγκες των προσομοιώσεων είναι απαραίτητο να οριστούν οι παρακάτω παράμετροι:

- Το ποσοστό εγγυημένης παραγωγής ΑΠ (λ_w) λαμβάνεται ίσο με 80%. Η πρόβλεψη της παραγωγής των ΑΠ χαρακτηρίζεται από μία εγγενή αβεβαιότητα κυρίως λόγω των καιρικών φαινομένων, καθώς και πιθανών βλαβών. Η παράμετρος λ_w υποδηλώνει το μέρος της αιολικής παραγωγής που θεωρείται εγγυημένο, δηλαδή αξιόπιστο.
- Η πρωτεύουσα εφεδρεία του ΥΒΣ υπολογίζεται ως το ποσοστό 10% της εγγυημένης ισχύος του σταθμού, ενώ η στρεφόμενη εφεδρεία λαμβάνεται ίση με το 15% του φορτίου της τρέχουσας ώρας.
- Ο υβριδικός σταθμός έχει δυνατότητα ταυτόχρονης παραγωγής και αποθήκευσης. Το σύστημα αποθήκευσης του υβριδικού σταθμού αποτελείται από συστοιχίες μπαταριών λιθίου με αποδοτικότητα πλήρους κύκλου φόρτισης-εκφόρτισης 70% και ελάχιστο απόθεμα ασφαλείας μπαταριών ίσο προς το 10% της χωρητικότητάς τους.
- Ο δυναμικός περιορισμός c_d των ανεμογεννητριών υπολογίζεται ως ποσοστό 35% επί του φορτίου και προσδιορίζει τη μέγιστη ισχύ των ανεμογεννητριών που μπορεί να εγχυθεί στο Ηλεκτρικό Σύστημα, προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφαλής και σταθερή λειτουργία του.
- Τέλος, θεωρούμε αναλογική τη φόρτιση των θερμικών μονάδων, δηλαδή το φορτίο κατανέμεται στις δεσμευμένες συμβατικές μονάδες ανάλογα με τη διαθέσιμη χωρητικότητά τους, ενώ παράλληλα επιλέγουμε 0 must run θερμικές μονάδες. Αυτό μεταφράζεται σε δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προερχόμενη εξ ολοκλήρου από τις διαθέσιμες ΑΠΕ.

5.2 Εξεταζόμενα σενάρια

Στις προσομοιώσεις εξετάζονται σενάρια διαφόρων συνδυασμών τεχνολογιών παραγωγής από ΑΠΕ (ΑΓ, ΦΒ ή συνδυασμός των δύο). Παράλληλα, ελέγχονται

διαφορετικές διαστάσεις της εγγυημένης ισχύος του υβριδικού σταθμού, της εγκατεστημένης ισχύος της ελεγχόμενης μονάδας καθώς επίσης της χωρητικότητας του συστήματος αποθήκευσης.

Συνοπτικά, τα χαρακτηριστικά των σεναρίων παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

| Μέγεθος | Τιμή |
|---|--------------------------|
| Εγγυημένη ισχύς ΥΒΣ | 1,5–2,5MW με βήμα 0,5MW |
| Εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ: | |
| Μόνο ΦΒ | 2–5 MW με βήμα 1MW |
| Μόνο ΑΓ | 2–4 MW με βήμα 1MW |
| Συνδυασμός ΑΓ και ΦΒ | ΑΓ: 2 ή 3MW, ΦΒ: 1 ή 2MW |
| Ονομαστική ισχύς ελεγχόμενης μονάδας (MW) | 1,8–3,0 MW με βήμα 0,6MW |
| Χωρητικότητα συστήματος αποθήκευσης (h) | 4 ή 6 |
| Πλήθος σεναρίων | 50 |

Πίνακας 5.4: Διαστασιολόγηση σεναρίων

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά όλων των σεναρίων σύνθεσης :

| Α/Α Σεναρίου | Εγκατεστημένη ισχύς | | | Εγγυημένη ισχύς (MW) | Χωρητικότητα συστήματος αποθήκευσης (h) | Χωρητικότητα συστήματος αποθήκευσης (MWh) |
|-----------------|---------------------|----|------------------------|-------------------------|---|--|
| | ΑΓ | ΦΒ | Ελεγχόμενης μονάδας | | | |
| 1 | 0 | 2 | 1,8 | 1,5 | 4 | 7,2 |
| 2 | 0 | 3 | 1,8 | 1,5 | 4 | 7,2 |
| 3 | 0 | 2 | 2,4 | 2,0 | 4 | 9,6 |
| 4 | 0 | 3 | 2,4 | 2,0 | 4 | 9,6 |
| 5 | 0 | 4 | 2,4 | 2,0 | 4 | 9,6 |
| 6 | 0 | 5 | 2,4 | 2,0 | 4 | 9,6 |
| 7 | 0 | 2 | 2,4 | 2,0 | 6 | 14,4 |
| 8 | 0 | 3 | 2,4 | 2,0 | 6 | 14,4 |
| 9 | 0 | 4 | 2,4 | 2,0 | 6 | 14,4 |
| 10 | 0 | 5 | 2,4 | 2,0 | 6 | 14,4 |
| 11 | 0 | 2 | 3,0 | 2,5 | 4 | 12 |
| 12 | 0 | 3 | 3,0 | 2,5 | 4 | 12 |
| 13 | 0 | 4 | 3,0 | 2,5 | 4 | 12 |
| 14 | 0 | 5 | 3,0 | 2,5 | 4 | 12 |
| 15 | 0 | 2 | 3,0 | 2,5 | 6 | 18 |
| 16 | 0 | 3 | 3,0 | 2,5 | 6 | 18 |
| 17 | 0 | 4 | 3,0 | 2,5 | 6 | 18 |
| 18 | 0 | 5 | 3,0 | 2,5 | 6 | 18 |
| 19 | 2 | 0 | 1,8 | 1,5 | 4 | 7,2 |
| 20 | 3 | 0 | 1,8 | 1,5 | 4 | 7,2 |
| 21 | 2 | 0 | 2,4 | 2,0 | 4 | 9,6 |
| 22 | 3 | 0 | 2,4 | 2,0 | 4 | 9,6 |
| 23 | 4 | 0 | 2,4 | 2,0 | 4 | 9,6 |
| 24 | 2 | 0 | 2,4 | 2,0 | 6 | 14,4 |
| 25 | 3 | 0 | 2,4 | 2,0 | 6 | 14,4 |
| 26 | 4 | 0 | 2,4 | 2,0 | 6 | 14,4 |
| 27 | 2 | 0 | 3,0 | 2,5 | 4 | 12 |
| 28 | 3 | 0 | 3,0 | 2,5 | 4 | 12 |

| Α/Α Σεναρίου | Εγκατεστημένη ισχύς | | | Εγγυημένη ισχύς (MW) | Χωρητικότητα συστήματος αποθήκευσης (h) | Χωρητικότητα συστήματος αποθήκευσης (MWh) |
|-----------------|---------------------|----|------------------------|-------------------------|---|--|
| | ΑΓ | ΦΒ | Ελεγχόμενης μονάδας | | | |
| 29 | 4 | 0 | 3,0 | 2,5 | 4 | 12 |
| 30 | 2 | 0 | 3,0 | 2,5 | 6 | 18 |
| 31 | 3 | 0 | 3,0 | 2,5 | 6 | 18 |
| 32 | 4 | 0 | 3,0 | 2,5 | 6 | 18 |
| 33 | 2 | 1 | 1,8 | 1,5 | 4 | 7,2 |
| 34 | 3 | 1 | 1,8 | 1,5 | 4 | 7,2 |
| 35 | 2 | 1 | 2,4 | 2,0 | 4 | 9,6 |
| 36 | 3 | 1 | 2,4 | 2,0 | 4 | 9,6 |
| 37 | 2 | 1 | 3,0 | 2,5 | 4 | 12 |
| 38 | 3 | 1 | 3,0 | 2,5 | 4 | 12 |
| 39 | 2 | 1 | 2,4 | 2,0 | 6 | 14,4 |
| 40 | 3 | 1 | 2,4 | 2,0 | 6 | 14,4 |
| 41 | 2 | 1 | 3,0 | 2,5 | 6 | 18 |
| 42 | 3 | 1 | 3,0 | 2,5 | 6 | 18 |
| 43 | 2 | 2 | 2,4 | 2,0 | 4 | 9,6 |
| 44 | 3 | 2 | 2,4 | 2,0 | 4 | 9,6 |
| 45 | 2 | 2 | 3,0 | 2,5 | 4 | 12 |
| 46 | 3 | 2 | 3,0 | 2,5 | 4 | 12 |
| 47 | 2 | 2 | 2,4 | 2,0 | 6 | 14,4 |
| 48 | 3 | 2 | 2,4 | 2,0 | 6 | 14,4 |
| 49 | 2 | 2 | 3,0 | 2,5 | 6 | 18 |
| 50 | 3 | 2 | 3,0 | 2,5 | 6 | 18 |

Πίνακας 5.5: Αναλυτικά χαρακτηριστικά σεναρίων

5.3 Κριτήρια Αξιολόγησης Σεναρίων

Για την αξιολόγηση των παραπάνω σεναρίων είναι αναγκαίο να εξεταστεί το κάθε σενάριο ως προς την ενεργειακή διεύθυνση ΑΠΕ, τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης καθώς και το μέσο κόστος παραγωγής του ηλεκτρικού συστήματος. Εξετάζοντας τα παραπάνω μεγέθη διασφαλίζεται η οικονομικότητα της λειτουργίας του σταθμού, η βιωσιμότητα της επένδυσης καθώς και η ανεξαρτητοποίηση του νησιού από τις θερμικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα για να κριθεί ένα σενάριο έγκυρο είναι απαραίτητο:

- Η διεύθυνση ΑΠΕ σε ετήσια βάση να είναι πάνω από 60%.
- Ο ΕΒΑ της επένδυσης πάνω από 8%.
- Το μέσο κόστος παραγωγής του ηλεκτρικού συστήματος παρουσία του ΥΒΣ να είναι μικρότερο από το μέσο κόστος του ΗΣ απουσία ΥΒΣ.

5.4 Αποτελέσματα προσομοιώσεων

Για την καλύτερη ανάλυση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων συγκρίνονται τα σενάρια που παρουσιάστηκαν προηγουμένως. Στην παρούσα κατάσταση της

Αστυπάλαιας (βασικό σενάριο) δεν υπάρχει αποθηκευτικός χώρος και τα μοναδικά ΑΠΕ που τροφοδοτούν το ηλεκτρικό σύστημα είναι 4 Φωτοβολταϊκοί Σταθμοί, συνολικής ισχύος 0,319 MW.

Ο Πίνακας που ακολουθεί ενσωματώνει τα αναλυτικά αποτελέσματα των σεναρίων.

Περίληπτικοί ορισμοί:

- **Ετήσια διείσδυση ΑΠΕ (% του φορτίου)** : υπολογίζεται ως ο λόγος της τελικά εντασσόμενης ενέργειας σταθμών ΑΠΕ σε ετήσια βάση προς το συνολικό φορτίο του έτους.
- **Εντασσόμενη ενέργεια ΥΒΣ (MWh)** : η τελικά εγχυόμενη στο ΗΣ ενέργεια του ΥΒΣ από τις μονάδες ΑΠΕ και το σύστημα αποθήκευσης.
- **Απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ (% της πρωτογενώς διαθέσιμης)** : υπολογίζεται ως ο λόγος της μη εντασσόμενης ενέργειας του ΥΒΣ προς τη συνολικά διαθέσιμη ενέργεια ΑΠΕ του ΥΒΣ σε ετήσια βάση.
- **Μέσο κόστος παραγωγής ΗΣ (€/MWh)** : υπολογίζεται ως ο λόγος του συνολικού κόστους παραγωγής του ΗΣ (συμβατικών και ΑΠΕ) προς το συνολικό φορτίο του έτους.
- **ΕΒΑ (%)** : ο ΕΒΑ της επένδυσης για τα δύο σενάρια κόστους.
- **ΣΚΕ (€/MWh)** : το ΣΚΕ της επένδυσης για τα δύο σενάρια κόστους.
- **Αξιολόγηση σεναρίου**: το αποτέλεσμα της αξιολόγησης του κάθε σεναρίου βάσει των κριτηρίων αξιολόγησης.

| Α/Α Σενα- ρίου | Εντα- σόμενη ενέργεια ΥΒΣ (MWh) | Ετήσια διείσ- δυση ΑΠΕ (% του φορτί- ου) | Απορ- ριπτ. Ενέρ- για ΑΠΕ (% της πρωτο- γενώς διαθέ- σιμης) | Μέσο Κόστος Παραγω- γής ΗΣ (€/MWh) | 233,54€/MWh | | | | 210,19 MWh | | | | Αξιολόγηση σεναρίου |
|----------------------|---|--|---|--|----------------------------|----------------|---------------------------|----------------|----------------------------|----------------|---------------------------|----------------|------------------------|
| | | | | | σενάριο χαμηλού κόστους | | σενάριο υψηλού κόστους | | σενάριο χαμηλού κόστους | | σενάριο υψηλού κόστους | | |
| | | | | | ΕΒΑ (%) | ΣΚΕ (€/MWh) | ΕΒΑ (%) | ΣΚΕ (€/MWh) | ΕΒΑ (%) | ΣΚΕ (€/MWh) | ΕΒΑ (%) | ΣΚΕ (€/MWh) | |
| 1 | 2.500 | 37,27 | 10,29 | 271,87 | 12,47 | 185,5 | 1,92 | 377,07 | 10,7 | 184,76 | 0,64 | 376,33 | μη αποδεκτό |
| 2 | 3.269 | 46,73 | 21,15 | 265,7 | 14,3 | 167,56 | 3,95 | 323,64 | 12,43 | 166,81 | 2,61 | 322,9 | μη αποδεκτό |
| 3 | 2637 | 38,96 | 4,59 | 271,17 | 10,21 | 211,61 | -0,14 | 443,65 | 8,57 | 210,87 | -1,37 | 442,86 | μη αποδεκτό |
| 4 | 3536 | 50 | 14,21 | 263,56 | 12,81 | 181,83 | 2,40 | 363,71 | 11,03 | 181,09 | 1,11 | 362,96 | μη αποδεκτό |
| 5 | 4094 | 56,87 | 25,4 | 258,21 | 13,24 | 177,19 | 3,23 | 341,91 | 11,44 | 176,45 | 1,93 | 341,17 | μη αποδεκτό |
| 6 | 4526 | 62,19 | 33,97 | 252,3 | 13,1 | 178,28 | 3,56 | 334,22 | 11,32 | 177,53 | 2,25 | 333,46 | αποδεκτό |
| 7 | 2761 | 40,48 | 0,07 | 270,75 | 7 | 259,78 | -3,19 | 567,36 | 5,5 | 259,04 | -4,4 | 566,62 | μη αποδεκτό |
| 8 | 3939 | 54,95 | 3,95 | 260,97 | 10,82 | 204,19 | 0,27 | 427,73 | 9,14 | 203,45 | -0,98 | 426,99 | μη αποδεκτό |
| 9 | 4753 | 64,98 | 12,86 | 253,23 | 12,34 | 186,96 | 1,84 | 378,83 | 10,58 | 186,22 | 0,56 | 378,06 | αποδεκτό |
| 10 | 5252 | 71,11 | 22,92 | 248,06 | 12,51 | 184,8 | 2,37 | 364,39 | 10,75 | 184,06 | 1,08 | 363,65 | αποδεκτό |
| 11 | 2698 | 39,7 | 1,9 | 271,12 | 8,1 | 241,56 | -2,02 | 517,53 | 6,57 | 240,82 | -3,22 | 516,79 | μη αποδεκτό |
| 12 | 3725 | 52,33 | 9,17 | 262,47 | 11,32 | 198,02 | 0,97 | 406,31 | 9,63 | 197,28 | -0,28 | 405,57 | μη αποδεκτό |
| 13 | 4382 | 60,41 | 19,8 | 255,45 | 12,27 | 187,31 | 2,14 | 371,51 | 10,52 | 186,57 | 0,86 | 370,77 | αποδεκτό |
| 14 | 4835 | 65,98 | 29,29 | 249,83 | 12,3 | 186,65 | 2,57 | 360,07 | 10,56 | 185,91 | 1,29 | 359,33 | αποδεκτό |
| 15 | 2749 | 40,32 | 0,13 | 271,04 | 4,49 | 309,21 | -5,48 | 688,04 | 3,1 | 308,47 | -6,68 | 687,29 | μη αποδεκτό |
| 16 | 4019 | 55,95 | 1,87 | 259,96 | 8,65 | 233,31 | -1,66 | 500,24 | 7,08 | 232,57 | -2,88 | 499,5 | μη αποδεκτό |
| 17 | 4949 | 67,38 | 9,17 | 251,15 | 10,61 | 206,69 | 0,23 | 429,77 | 8,95 | 205,95 | -1,02 | 429,02 | αποδεκτό |
| 18 | 5496 | 74,12 | 19,2 | 244,97 | 11,06 | 201,1 | 0,92 | 407,68 | 9,38 | 200,35 | -0,33 | 406,94 | αποδεκτό |
| 19 | 3871 | 54,13 | 33,22 | 261,3 | 14,79 | 162,88 | 4,52 | 310,87 | 12,9 | 162,14 | 3,19 | 310,13 | μη αποδεκτό |
| 20 | 4679 | 64,07 | 47,23 | 252,38 | 13,96 | 169,5 | 4,66 | 308,66 | 12,14 | 168,75 | 3,34 | 307,92 | αποδεκτό |
| 21 | 4174 | 57,86 | 26,97 | 258,19 | 13,59 | 173,94 | 3,20 | 343,10 | 11,77 | 173,19 | 1,9 | 342,26 | μη αποδεκτό |
| 22 | 5092 | 69,15 | 41,92 | 249,16 | 13,45 | 174,66 | 3,81 | 328,62 | 11,65 | 173,92 | 2,51 | 327,89 | αποδεκτό |
| 23 | 5695 | 76,57 | 37,36 | 243,56 | 12,42 | 184,45 | 3,58 | 335,85 | 10,7 | 183,71 | 2,3 | 335,11 | αποδεκτό |
| 24 | 4645 | 63,66 | 17,79 | 253,83 | 11,94 | 191,13 | 1,36 | 394,18 | 10,21 | 190,39 | 0,09 | 393,44 | αποδεκτό |
| 25 | 5577 | 75,12 | 35,83 | 244,08 | 12,13 | 188,5 | 2,17 | 371,66 | 10,4 | 187,76 | 0,91 | 370,92 | αποδεκτό |
| 26 | 6086 | 81,38 | 48,15 | 238,81 | 11,16 | 199,08 | 1,97 | 379,78 | 9,5 | 198,34 | 0,73 | 379,04 | αποδεκτό |
| 27 | 4323 | 59,69 | 23,5 | 255,9 | 12,04 | 189,76 | 1,75 | 383,74 | 10,31 | 189,02 | 0,49 | 382,99 | μη αποδεκτό |
| 28 | 5280 | 71,46 | 39,35 | 246,65 | 12,3 | 186,37 | 2,62 | 360,21 | 10,57 | 185,63 | 1,35 | 359,26 | αποδεκτό |
| 29 | 5829 | 78,23 | 50,4 | 240,68 | 11,37 | 196,37 | 2,43 | 367,09 | 9,7 | 195,63 | 1,19 | 366,35 | αποδεκτό |
| 30 | 4733 | 64,73 | 15,33 | 252,83 | 9,89 | 215,78 | -0,46 | 455,66 | 8,27 | 215,03 | -1,69 | 454,92 | αποδεκτό |
| 31 | 5754 | 77,29 | 33,28 | 241,84 | 10,63 | 206,01 | 0,71 | 416,94 | 8,98 | 205,27 | -0,53 | 416,2 | αποδεκτό |
| 32 | 6210 | 82,91 | 46,74 | 236,43 | 9,78 | 216,64 | 0,56 | 424,69 | 8,2 | 215,91 | -0,65 | 423,95 | αποδεκτό |
| 33 | 4535 | 62,3 | 38,88 | 255,7 | 15,43 | 157,38 | 5,45 | 290,60 | 13,5 | 156,64 | 4,08 | 289,86 | αποδεκτό |
| 34 | 5261 | 71,23 | 49,69 | 247,95 | 14,28 | 166,45 | 5,22 | 296,16 | 12,44 | 165,71 | 3,89 | 295,43 | αποδεκτό |
| 35 | 4965 | 67,85 | 31,81 | 251,16 | 14,77 | 163,17 | 4,48 | 311,61 | 12,87 | 162,43 | 3,14 | 310,87 | αποδεκτό |
| 36 | 5714 | 76,8 | 44,94 | 243,96 | 13,91 | 170,16 | 4,47 | 312,84 | 9,83 | 193,97 | 3,15 | 312 | αποδεκτό |
| 37 | 5154 | 69,91 | 28,54 | 248,62 | 13,42 | 175,55 | 3,15 | 344,32 | 11,6 | 174,81 | 1,85 | 343,58 | αποδεκτό |
| 38 | 5831 | 78,25 | 43,51 | 240,98 | 12,62 | 182,88 | 3,16 | 345,49 | 10,87 | 182,14 | 1,16 | 366,14 | αποδεκτό |
| 39 | 5484 | 73,97 | 24,22 | 245,91 | 13,27 | 177,28 | 2,72 | 355,00 | 11,46 | 176,56 | 1,42 | 354,25 | αποδεκτό |
| 40 | 6194 | 82,72 | 40 | 238,77 | 12,63 | 183,1 | 2,84 | 353,07 | 10,87 | 182,36 | 1,56 | 352,33 | αποδεκτό |
| 41 | 5614 | 75,57 | 21,8 | 243,77 | 11,41 | 197,02 | 1,02 | 404,84 | 9,71 | 196,28 | -0,23 | 404,1 | αποδεκτό |
| 42 | 6305 | 84,08 | 38,57 | 236,14 | 11,02 | 201,08 | 1,29 | 398,53 | 9,36 | 200,34 | 0,05 | 397,79 | αποδεκτό |
| 43 | 5462 | 73,7 | 37,92 | 245,91 | 14,72 | 163,33 | 4,83 | 304,01 | 12,83 | 162,59 | 3,49 | 303,25 | αποδεκτό |
| 44 | 6037 | 80,78 | 49,48 | 239,87 | 13,43 | 174,42 | 4,41 | 314,65 | 11,64 | 173,68 | 3,1 | 313,91 | αποδεκτό |
| 45 | 5715 | 76,81 | 34,66 | 242,64 | 13,69 | 172,75 | 3,71 | 330,43 | 11,86 | 172 | 2,4 | 329,69 | αποδεκτό |
| 46 | 6233 | 83,19 | 47,53 | 236,66 | 12,48 | 184,13 | 3,34 | 341,26 | 10,86 | 183,39 | 2,06 | 340,52 | αποδεκτό |
| 47 | 6050 | 80,93 | 31 | 239,97 | 13,55 | 174,34 | 3,28 | 340,59 | 11,73 | 173,6 | 1,97 | 339,85 | αποδεκτό |
| 48 | 6562 | 87,23 | 44,82 | 234,68 | 12,41 | 185,18 | 2,33 | 368,50 | 10,67 | 184,44 | 1,69 | 349,65 | Αποδεκτό |
| 49 | 6216 | 82,98 | 28,62 | 237,02 | 11,91 | 191,25 | 1,71 | 383,99 | 10,18 | 190,51 | 0,45 | 383,25 | Αποδεκτό |
| 50 | 6685 | 88,74 | 43,54 | 231,9 | 10,95 | 201,78 | 1,50 | 392,70 | 9,3 | 201,04 | 0,26 | 391,96 | αποδεκτό |

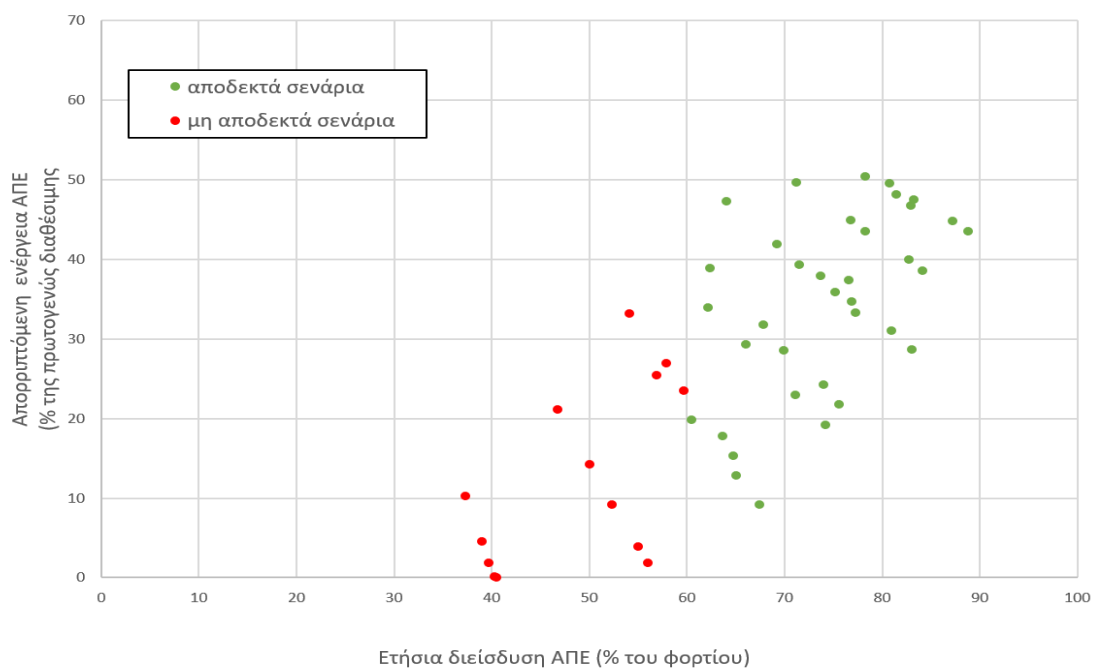
Πίνακας 5.6: Αναλυτικά αποτελέσματα σεναρίων για το ΗΣ της Αστυπάλαιας.

Στον Πίνακα 5.6 παρατίθενται συνοπτικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του βασικού σεναρίου και του εύρους τιμών για τα αποδεκτά σεσάρια με την παρουσία ΥΒΣ Βάσει των κριτηρίων που έχουν τεθεί, για το σεσάριο χαμηλού κόστους είναι αποδεκτά 36 σεσάρια και για τις 2 διαφορετικές τιμές αποζημίωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Σημειώνεται ότι για το σεσάριο υψηλού κόστους κανένα σεσάριο δεν είναι βιώσιμο, καθώς ο μέγιστος εσωτερικός βαθμός απόδοσης των σεναρίων είναι 5,45 %.

| | Βασικό σεσάριο | Αποδεκτά σεσάρια | |
|--|----------------|------------------|-----------------|
| | | 233,54€/MWh | 210,19 MWh |
| Ετήσια διείσδυση ΑΠΕ (% του φορτίου) | 6,49 | 60,41 - 88,74 | 60,41 - 88,74 |
| Παραγωγή ΑΠΕ (MWh) | 528 | 4910 - 7213 | 4910 - 7213 |
| Παραγωγή συμβατικών μονάδων (MWh) | 7.600 | 915 - 3218 | 915 - 3218 |
| Πλήθος συμβατικών μονάδων σε χρήση | 4 | 4 | 4 |
| Εντασσόμενη ενέργεια ΥΒΣ (MWh) | — | 4.382 - 6.685 | 4.382 - 6.685 |
| Απορριπτόμενη ενέργεια ΥΒΣ (% της πρωτογενώς διαθέσιμης) | — | 9,17 - 50,4 | 9,17 - 50,4 |
| Μέσο κόστος παραγωγής ΗΣ (€/MWh) | 329,12 | 231,9 - 255,7 | 231,9 - 255,7 |
| EBA (%) | — | 9,78 - 14,79 | 8,2 - 12,9 |
| ΣΚΕ (€/MWh) | — | 290,6 - 455,66 | 289,86 - 454,92 |

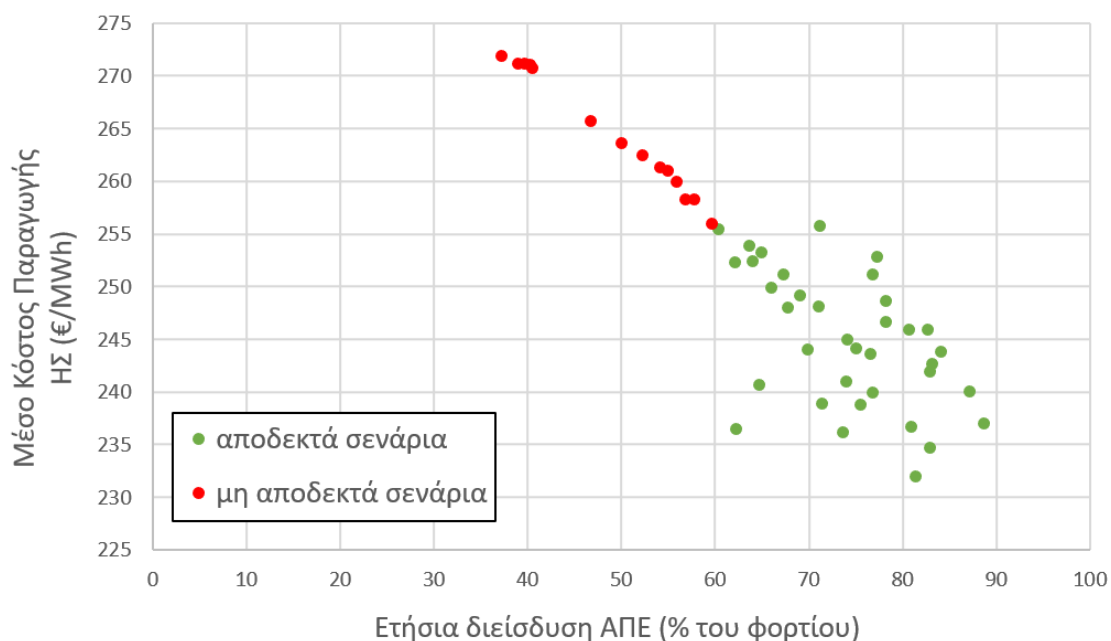
Πίνακας 5.7: Αποτελέσματα βασικού σεναρίου και αποδεκτών σεναρίων χαμηλού κόστους

Στο Διάγραμμα ακολούθως παρουσιάζεται το ποσοστό της απορριπτόμενης ενέργειας των ΑΠΕ συναρτήσει της ετήσιας διείσδυσης ΑΠΕ ως ποσοστό του φορτίου του συστήματος. Η μεγάλη παραγωγική ικανότητα ΑΠΕ (μεγάλη ισχύς ΑΠΕ) συνεπάγεται κατά βάση υψηλότερη διείσδυση ΑΠΕ αλλά και υψηλότερα ποσοστά μη αξιοποιήσιμης ενέργειας λόγω της ανάγκης διασφάλισης της ασφαλούς λειτουργίας του Ηλεκτρικού Σταθμού. Παράλληλα σεσάρια με μικρή χωρητικότητα αποθήκευσης σε σχέση με την παραγωγική τους ικανότητα παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά απορριπτόμενης ενέργειας.



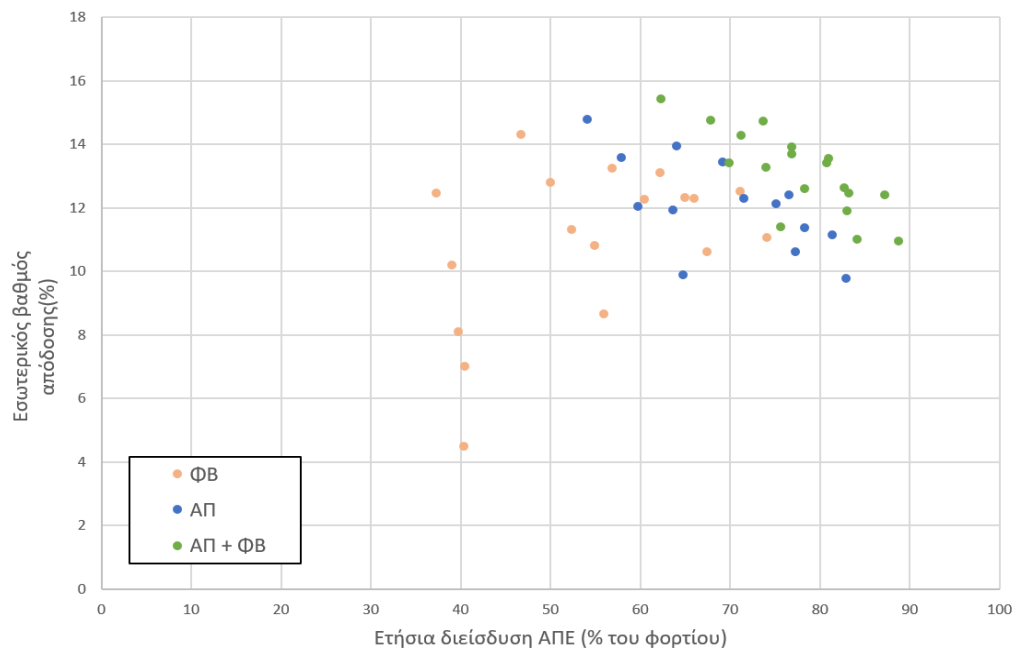
Διάγραμμα 5.2. Απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ (% της πρωτογενώς διαθέσιμης) συναρτήσει της ετήσιας διείσδυσης ΑΠΕ (% του φορτίου)

Όπως φαίνεται από τον προηγούμενο πίνακα το μέσο κόστος παραγωγής του ΗΣ της Αστυπάλαιας παρουσία ΥΒΣ είναι για όλα τα σενάρια χαμηλότερο του αντίστοιχου μέσου κόστους παραγωγής του σεναρίου απουσία ΥΒΣ. Κάτι που είναι λογικό, καθώς η παραγόμενη ενέργεια από συμβατικές μονάδες είναι γενικά ακριβότερη από την ενέργεια που προέρχεται από ΑΠΕ κυρίως λόγω του κόστους καυσίμου. Αυτό επαληθεύεται και από το διάγραμμα 5.3. Στο σενάριο δε με την μέγιστη διείσδυση ΑΠΕ το μέσο κόστος παραγωγής είναι μειωμένο κατά 29,5% σε σύγκριση με το σενάριο χωρίς τον ΥΒΣ.



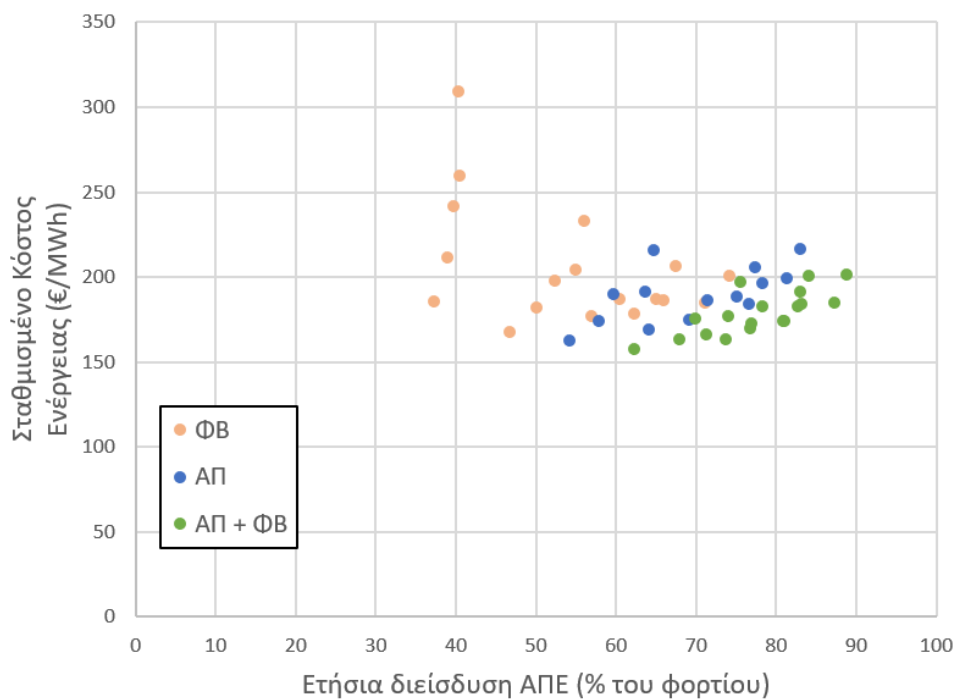
Διάγραμμα 5.3: Μέσο κόστος παραγωγής ΗΣ (€/MWh) συναρτήσει της ετήσιας διείσδυσης συνόλου ΑΠΕ (% του φορτίου)

Στα ακόλουθα διαγράμματα παρατίθενται αναλυτικά τα οικονομικά αποτελέσματα των προσομοιώσεων με βάση τη σύνθεση των ΑΠΕ με τιμή αποζημίωσης της ηλεκτρικής ενέργειας 233,54 €/MWh. Όπως είναι προφανές σενάρια με χαμηλή διείσδυση ΑΠΕ δεν είναι αποδοτικά και κατ' επέκταση δεν είναι βιώσιμα. Τα πιο αποδοτικά σενάρια σύμφωνα με το Διάγραμμα 5.4 συνδυάζουν και τις 2 τεχνολογίες ΑΠΕ, ενώ ακολουθούν τα σενάρια μόνο με ανεμογεννήτριες. Αντίθετα, σταθμοί μόνο με ΦΒ έχουν μειωμένο βαθμό απόδοσης, καθώς και ετήσια διείσδυση ΑΠΕ.



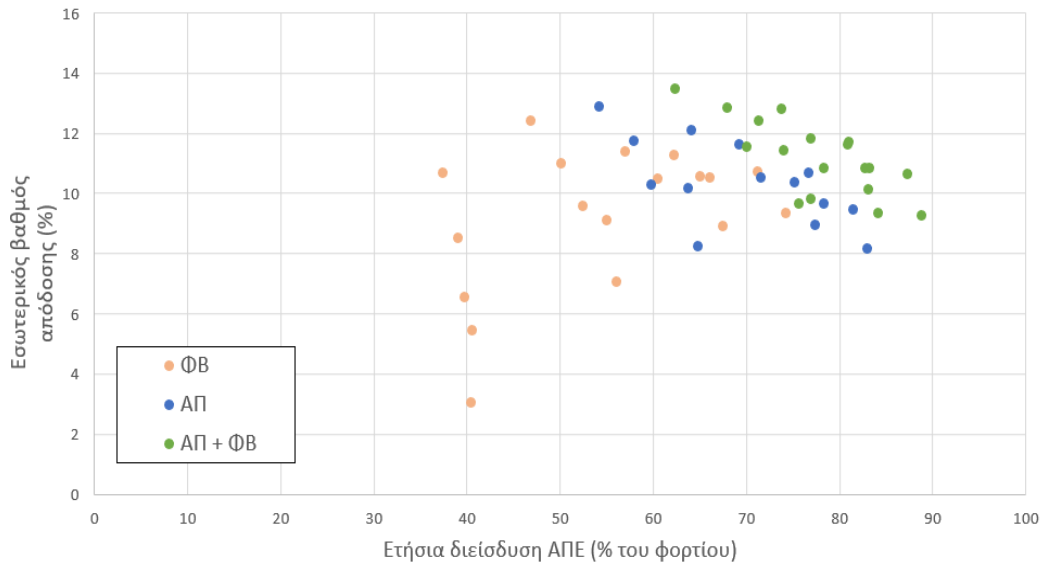
Διάγραμμα 5.4: Επιτυγχανόμενος EBA (%) συναρτήσει της ετήσιας διείσδυσης συνόλου ΑΠΕ (% του φορτίου) για τιμή αποζημίωσης 233,54 MWh

Αναφορικά με το Σταθμισμένο Κόστος Ενέργειας οι τιμές των αποτελεσμάτων έχουν μικρότερη διακύμανση σε σχέση με τον EBA. Παρ’ όλα αυτά και εδώ (Διάγραμμα 5.4) φαίνεται πως τα χαμηλότερα επίπεδα ΣΚΕ παρατηρούνται σε σενάρια με ΑΠ ή συνδυασμό ΦΒ και ΑΠ (150 – 220 €/ MWh). Αυτό είναι λογικό, καθώς οι σχέσεις του EBA και του ΣΚΕ είναι αντιστρόφως ανάλογες.

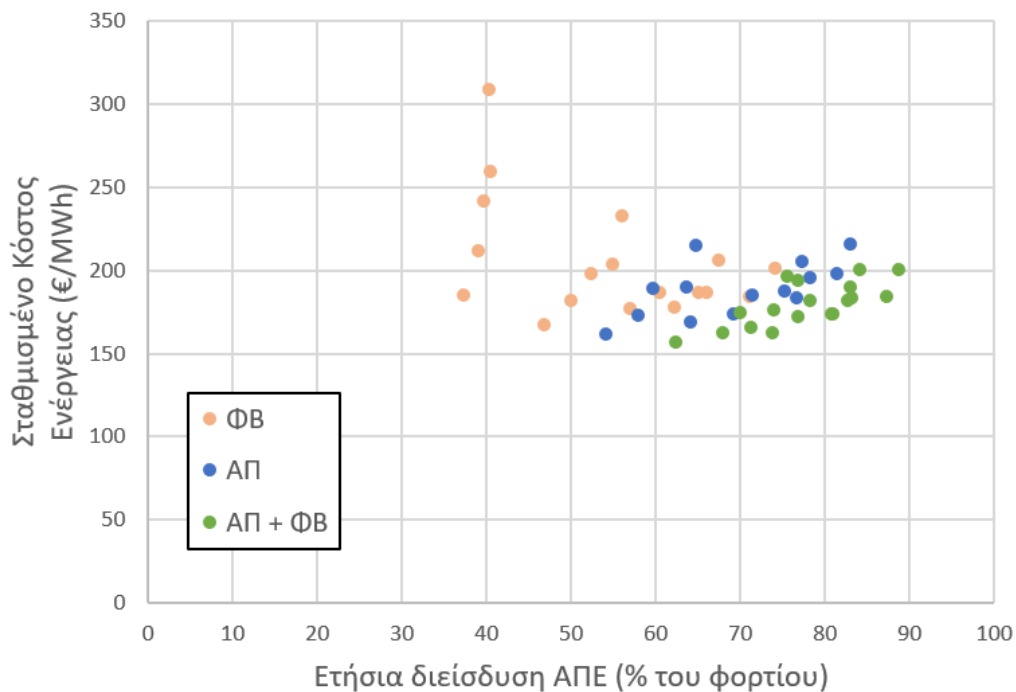


Διάγραμμα 5.5: ΣΚΕ (€/MWh) συναρτήσει της ετήσιας διείσδυσης συνόλου ΑΠΕ (% του φορτίου) για τιμή αποζημίωσης 233,54 €/ MWh

Παρόμοια αποτελέσματα εξάγονται λαμβάνοντας την τιμή αποζημίωσης 210,19€ / MWh. Ο ΕΒΑ είναι μειωμένος, αλλά τα αποδεκτά σενάρια δεν αλλάζουν, όπως φαίνεται στο διάγραμμα ακολούθως. Οι διαφορές στο ΣΚΕ είναι σχεδόν μηδαμινές.



Διάγραμμα 5.6: Επιτυγχανόμενος ΕΒΑ (%) συναρτήσει της ετήσιας διείσδυσης συνόλου ΑΠΕ (% του φορτίου) για τιμή αποζημίωσης 210,19 MWh



Διάγραμμα 5.7: ΣΚΕ (€/MWh) συναρτήσει της ετήσιας διείσδυσης συνόλου (% του φορτίου) για τιμή αποζημίωσης 210,19 €/ MWh

Τα διαγράμματα για το υψηλό σενάριο κόστους δεν παρατίθενται, καθώς οι υψηλότερες τιμές κόστους των συνιστωσών του ΥΒΣ μειώνουν τον ΕΒΑ σε επίπεδα κατώτερα των κριτηρίων που έχουν τεθεί με αποτέλεσμα να καθίστανται όλα τα σενάρια μη αποδεκτά.

Για τα σενάρια χαμηλού κόστους προκύπτουν 36 αποδεκτά σενάρια, από τα οποία 7 διαθέτουν μόνο ΦΒ και 11 διαθέτουν μόνο ΑΓ. Και τα 16 εξεταζόμενα σενάρια με συνδυασμό ΑΓ και ΦΒ προκύπτουν βιώσιμα.

5.5 Επιλογή Αποδεκτών Σεναρίων

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των σεναρίων που εξετάστηκαν, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Σενάρια με υψηλότερη εγκατεστημένη ισχύ έχουν ως αποτέλεσμα την υψηλότερη διείσδυση των ΑΠΕ (που έχει τεθεί ως στόχος) και τη μείωση του μέσου κόστους παραγωγής του ΗΣ.
- Υψηλά ποσοστά απορριπτόμενης ενέργειας οδηγούν σε χειρότερα οικονομικά αποτελέσματα (ΕΒΑ και ΣΚΕ).
- Η εγκατάσταση μπαταριών, λόγω του υψηλού σημερινού κόστους, αποτελεί το πιο κοστοβόρο στοιχείο σύνθεσης του ΥΒΣ. Γι' αυτό το λόγο πρέπει να αποφευχθούν σενάρια υψηλής εγκατεστημένης ισχύος που οδηγούν σε εγκατάσταση υπερβολικής χωρητικότητας μπαταριών.
- Η ελάχιστη χωρητικότητα μπαταριών των βιώσιμων σεναρίων είναι 7,2 MWh. Προτιμώνται σενάρια χαμηλής χωρητικότητας μπαταριών (7,2MWh ή 9,6 MWh) λόγω καλύτερης αποδοτικότητας της επένδυσης.

Με βάση τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων προκύπτουν αποδεκτά σενάρια με τις εξής συνθέσεις ΑΠΕ:

- Αποκλειστικά ΑΓ: κατ' ελάχιστον 3MW
- Αποκλειστικά ΦΒ: κατ' ελάχιστον 5MW
- Συνδυασμός ΑΓ + ΦΒ: κατ' ελάχιστον 2MW + 1MW αντιστοίχως

Για τις προσομοιώσεις του επόμενου κεφαλαίου επιλέγονται 2 αποδεκτά σενάρια με χαμηλή διείσδυση κοντά στο 60% και 2 με υψηλότερη κοντά στο 70% με διαφορετικό συνδυασμό ΑΠΕ, ώστε να ερευνηθεί η επίδραση των ηλεκτρικών οχημάτων σε πληθώρα περιπτώσεων.

Σημειώνεται πως υπάρχουν και άλλα σενάρια με κοντινά αποτελέσματα που μπορούν να θεωρηθούν κατάλληλα, αλλά επιλέγονται αυτά τα τέσσερα καθώς κρίνονται ως τα καταλληλότερα βάσει της διείσδυσης ΑΠΕ και των οικονομικών τους αποτελεσμάτων (IRR, LCOE).

Στα πρώτα δύο σενάρια η διείσδυση ΑΠΕ είναι κοντά στο 62% , ενώ στα δύο επόμενα, κοντά στο 70%.

Αναλυτικά τα σενάρια είναι τα ακόλουθα:

| Αριθμός σεναρίου | ΑΓ | ΦΒ | Ελεγχόμενη μονάδα | Εγγυημένη ισχύς | Χωρητικότητα αποθήκευσης (MWh) |
|------------------|----|----|-------------------|-----------------|--------------------------------|
| 6 | 0 | 5 | 2,4 | 2 | 9,6 |
| 33 | 2 | 1 | 1,8 | 1,5 | 7,2 |
| 22 | 3 | 0 | 2,4 | 2 | 9,6 |
| 43 | 2 | 2 | 2,4 | 2 | 9,6 |

Πίνακας 5.8: Βέλτιστα σενάρια για το ΗΣ της Αστυπάλαιας

Προσομοιώσεις με την ένταξη ηλεκτρικών οχημάτων

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, στις ενεργειακές προσομοιώσεις της Αστυπάλαιας, συμπεριλαμβάνονται οι φορτίσεις των ηλεκτρικών οχημάτων. Αρχικά παρουσιάζεται ο στόλος των ηλεκτρικών οχημάτων και το προφίλ των φορτίσεών τους. Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων των επικρατέστερων σεναρίων του προηγούμενου κεφαλαίου καθώς και επιπλέον σεναρία χωρίς αποθηκευτικό σύστημα και πώς αυτά αλλάζουν με την ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων. Τέλος, αναλύεται μια μέθοδος έξυπνης φόρτισης με στόχο την υψηλή διείσδυση ΑΠΕ.

6.1 Χαρακτηριστικά του στόλου ηλεκτρικών οχημάτων της Αστυπάλαιας

Στα πλαίσια του προγράμματος «Smart & Sustainable Island» θεωρείται πως θα εξηλεκτρισθεί όλος ο στόλος του νησιού της Αστυπάλαιας σε βάθος εξαετίας [68]. Για το λόγο αυτό στα εξεταζόμενα σεναρία το πλήθος των ηλεκτρικών οχημάτων είναι μεγάλο. Συγκεκριμένα, σε πλήρη ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης, γίνεται η υπόθεση για 450 μοτοποδήλατα (scooters) και μοτοσυκλέτες, 100 οχήματα μικρού μεγέθους, 150 οχήματα μεσαίου μεγέθους, 100 οχήματα μεγάλου μεγέθους τύπου SUV ή ημιφορτηγών (pick-up trucks), 60 μικρά λεωφορεία (mini-buses) και 10 φορτηγά για βαριά επαγγελματική χρήση.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν την εποχικότητα και τα ειδικά χαρακτηριστικά της κίνησης των οχημάτων στην Αστυπάλαια, καθώς και την αυτονομία των οχημάτων, καταρτίζεται ένα κατάλληλο προφίλ φόρτισης χωρίζοντας το έτος σε 3 περιόδους, οι οποίες είναι:

1^η περίοδος (off-season): Ιανουάριος, Φεβρουάριος, Μάρτιος, Απρίλιος, Οκτώβριος, Νοέμβριος, Δεκέμβριος

2^η περίοδος (mid-season): Μάιος, Ιούνιος, Σεπτέμβριος

3^η περίοδος (peak-season): Ιούλιος, Αύγουστος

Για την κατανάλωση και την αυτονομία των οχημάτων λαμβάνονται υπ' όψιν οχήματα της αγοράς με έμφαση στα οχήματα του Ομίλου Volkswagen. Παρακάτω παρουσιάζονται διάφορα μοντέλα και τα χαρακτηριστικά τους, που ελήφθησαν υπ' όψιν στον υπολογισμό των καταναλώσεων των οχημάτων στις προσομοιώσεις του κεφαλαίου. Σημειώνεται πως λόγω της ιδιαίτερης μορφολογίας των νησιού επιλέγονται σχετικά αυξημένες καταναλώσεις σε σχέση με τις ονομαστικές τιμές των προμηθευτών. Επίσης τονίζεται πως την 2^η και 3^η περίοδο του χρόνου η κατανάλωση των οχημάτων σε όλες τις κατηγορίες πέρα των ηλεκτρικών μοτοσυκλετών θεωρείται αυξημένη λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και της λειτουργίας κλιματισμού.

| Κατηγορία | Μάρκα | Μοντέλο | Μπαταρία (kWh) | Αυτονομία (km) | Κατανάλωση (kWh/km) |
|----------------------|------------|----------------------|----------------|----------------|---------------------|
| Scooter | SEAT | MO e-scooter | 5.6 | 140 | 0.040 |
| Scooter | PIAGGIO | Vespa Elettrica 75 | 3.24 | 110 | 0.029 |
| Επιβατικά μικρά | VOLKSWAGEN | e-UP | 32.3 | 240 | 0.135 |
| Επιβατικά μικρά | NISSAN | Leaf | 37 | 260 | 0.142 |
| Επιβατικά μεσαία | VOLKSWAGEN | ID.3 Pro | 58 | 405 | 0.143 |
| Επιβατικά μεσαία | VOLKSWAGEN | e-GOLF | 77 | 470 | 0.164 |
| Επιβατικά μεσαία | BMW | i3 | 37.9 | 265 | 0.143 |
| SUV | VOLVO | XC40 | 75 | 380 | 0.197 |
| SUV | BMW | iX xDrive 50 | 105.2 | 575 | 0.183 |
| Pick-up | TESLA | Cybertruck | 200 | 840 | 0.238 |
| Minivan | PEUGEOT | e-Traveller 9-seated | 75 | 303 | 0.248 |
| Minivan | MERCEDES | EQV | 90 | 355 | 0.254 |
| Mini-bus | ATLAS AUTO | Atlas Novus Cityline | 115 | 270 | 0.426 |
| Φορτηγά βαρέος τύπου | VOLVO | FL Electric | 317 | 300 | 1.057 |
| Φορτηγά βαρέος τύπου | MERCEDES | e-ACTROS | 420 | 400 | 1.05 |

Πίνακας 6.1 : Χαρακτηριστικά κατανάλωσης ορισμένων ηλεκτρικών οχημάτων [72][73][74][75]

Σχετικά με την απόσταση που δύναται να διανύουν κάθε μέρα τα οχήματα στην Αστυπάλαια ελήφθησαν υπ' όψιν τα χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου του νησιού, τα οποία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

| Δήμος Αστυπάλαιας | |
|---|----|
| Συνολικό μήκος κυρίου οδικού δικτύου του ΟΤΑ (χλμ) | 30 |
| Συνολικό μήκος ασφαλτοστρωμένου κυρίου οδικού δικτύου του ΟΤΑ (χλμ) | 15 |
| Συνολικό μήκος αγροτικών οδών (χλμ) | 20 |

Πίνακας 6.2 : Χαρακτηριστικά οδικού δικτύου Αστυπάλαιας [69]

Με δεδομένες τις μικρές αποστάσεις του νησιού (30 χιλιομέτρων οδικού δικτύου με 15 από αυτά ασφαλτοστρωμένο δίκτυο), θεωρείται ότι τα οχήματα διανύουν μία απόσταση περίπου 15 km κάθε μέρα σε περιόδους off-season και μία πιο αυξημένη απόσταση 25km τις περιόδους που παρατηρείται αυξημένη τουριστική κίνηση στο νησί. Μία αυξημένη απόσταση λαμβάνεται υπ' όψιν για τα μεγαλύτερα τύπου οχήματα (χρήση για τουριστικούς σκοπούς, μεταφορά προϊόντων σε όλο το νησί, κλπ.).

Στους πίνακες ακολούθως παρατίθενται για την κάθε κατηγορία οχημάτων αναλυτικά ο αριθμός του στόλου, η κατανάλωση και τα χιλιόμετρα που διανύονται κάθε χρονική περίοδο:

| Περίοδος του χρόνου | Αριθμός Οχημάτων | Διανυόμενη απόσταση την ημέρα (km) | Κατανάλωση (kWh/km) |
|---------------------|------------------|------------------------------------|---------------------|
| off-season | 200 | 15 | 0.04 |
| mid-season | 350 | 25 | 0.04 |
| peak-season | 450 | 25 | 0.04 |

Πίνακας 6.3 : Χαρακτηριστικά 1^{ης} κατηγορίας ηλεκτρικών οχημάτων (Scooters)

| Περίοδος του χρόνου | Αριθμός Οχημάτων | Διανυόμενη απόσταση την ημέρα (km) | Κατανάλωση (kWh/km) |
|---------------------|------------------|------------------------------------|---------------------|
| off-season | 60 | 15 | 0.12 |
| mid-season | 90 | 25 | 0.15 |
| peak-season | 100 | 25 | 0.15 |

Πίνακας 6.4 : Χαρακτηριστικά 2^{ης} κατηγορίας ηλεκτρικών οχημάτων (επιβατικά οχήματα μικρού μεγέθους)

| Περίοδος του χρόνου | Αριθμός Οχημάτων | Διανυόμενη απόσταση την ημέρα (km) | Κατανάλωση (kWh/km) |
|---------------------|------------------|------------------------------------|---------------------|
| off-season | 80 | 15 | 0.15 |
| mid-season | 130 | 25 | 0.18 |
| peak-season | 150 | 25 | 0.18 |

Πίνακας 6.5 : Χαρακτηριστικά 3ης κατηγορίας ηλεκτρικών οχημάτων (επιβατικά οχήματα μεσαίου μεγέθους)

| Περίοδος του χρόνου | Αριθμός Οχημάτων | Διανυόμενη απόσταση την ημέρα (km) | Κατανάλωση (kWh/km) |
|---------------------|------------------|------------------------------------|---------------------|
| off-season | 50 | 15 | 0.21 |
| mid-season | 90 | 25 | 0.25 |
| peak-season | 100 | 25 | 0.25 |

Πίνακας 6.6 : Χαρακτηριστικά 4ης κατηγορίας ηλεκτρικών οχημάτων (επιβατικά οχήματα μεγάλου μεγέθους)

| Περίοδος του χρόνου | Αριθμός Οχημάτων | Διανυόμενη απόσταση την ημέρα (km) | Κατανάλωση (kWh/km) |
|---------------------|------------------|------------------------------------|---------------------|
| off-season | 12 | 20 | 0.30 |
| mid-season | 50 | 40 | 0.35 |
| peak-season | 60 | 40 | 0.35 |

Πίνακας 6.7 : Χαρακτηριστικά 5ης κατηγορίας ηλεκτρικών οχημάτων (mini-buses)

| Περίοδος του χρόνου | Αριθμός Οχημάτων | Διανυόμενη απόσταση την ημέρα (km) | Κατανάλωση (kWh/km) |
|---------------------|------------------|------------------------------------|---------------------|
| off-season | 5 | 30 | 1.20 |
| mid-season | 8 | 30 | 1.70 |
| peak-season | 10 | 30 | 1.70 |

Πίνακας 6.8 : Χαρακτηριστικά 6^{ης} κατηγορίας ηλεκτρικών οχημάτων (Φορτηγά επαγγελματικής χρήσης)

6.2 Χαρακτηριστικά του προφίλ φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων

Για το προφίλ φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν η ισχύς των φορτιστών, καθώς και η ώρα άφιξης των οχημάτων.

Για το νησί της Αστυπάλαιας λαμβάνονται για τις προσομοιώσεις 3 διαφορετικά επίπεδα φόρτισης:

- Level 1 (3,6 kW): Φορτιστές μικρής ισχύος, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για οικιακή χρήση.
- Level 2 (11 kW): Πιο ισχυροί φορτιστές, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι σε χώρους εργασίας.
- Level 3 (22 kW): Φορτιστές γρήγορης φόρτισης, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για δημόσια χρήση, για τη φόρτιση των φορτηγών, καθώς και των λεωφορείων λίγων θέσεων.

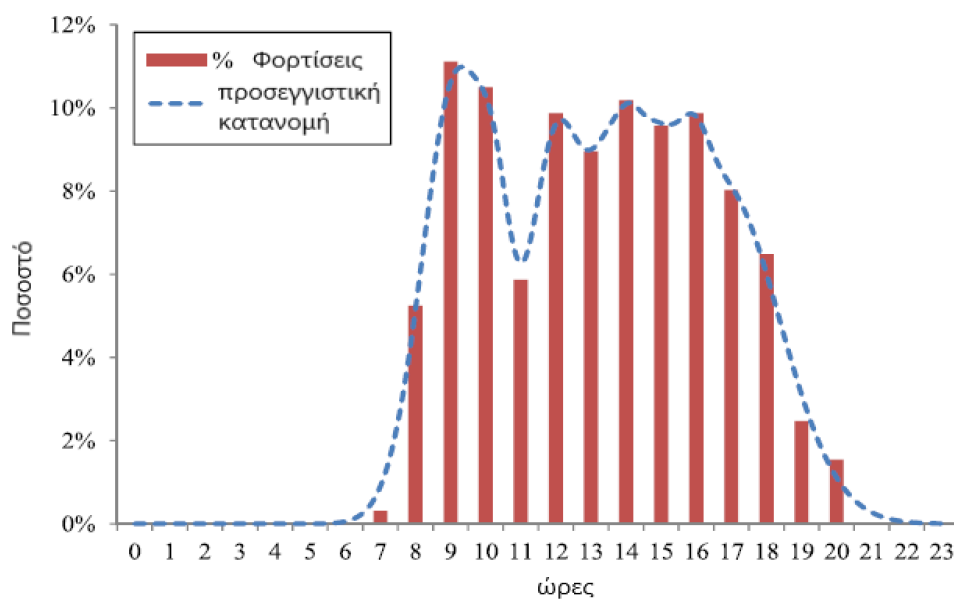
Με την υπόθεση ότι οι οδηγοί των οχημάτων δεν επιλέγουν όλοι τον ίδιο τρόπο φόρτισης και με βάση τα 3 επίπεδα φόρτισης διαμορφώνεται ο παρακάτω πίνακας που περιγράφει τον τρόπο φόρτισης που επιλέγεται από την κάθε κατηγορία:

| Κατηγορίες οχημάτων | Επίπεδα φόρτισης | | |
|------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| | Level 1 (3,6 kW) | Level 2 (11 kW) | Level 3 (22 kW) |
| Scooter | 65% | 18% | 17% |
| Επιβατικά (μικρού μεγέθους) | 65% | 18% | 17% |
| Επιβατικά (μεσαίου μεγέθους) | 65% | 18% | 17% |
| Επιβατικά (μεγάλου μεγέθους) | 65% | 18% | 17% |
| Mini-buses | - | 100% | - |
| Φορτηγά | - | - | 100% |

Πίνακας 6.9 : Τρόπος φόρτισης ανά κατηγορία οχήματος

Για τον καθορισμό των ενεργειακών αναγκών των φορτίσεων, η ώρα άφιξης των οχημάτων καθορίζεται με δύο διαφορετικά μοντέλα, ένα για τις δημόσιες φορτίσεις και ένα για τις υπόλοιπες φορτίσεις για την εξαγωγή του εκτιμώμενου προφίλ φόρτισης ημερησίως. Αρχικά καθορίζονται οι ώρες άφιξης για τις δημόσιες φορτίσεις.

Για τις φορτίσεις στους δημόσιους σταθμούς λόγω της στοχαστικής φύσης των παραμέτρων κινητικότητας των ηλεκτρικών οχημάτων εφαρμόζεται η μέθοδος Monte Carlo για την εξαγωγή του εκτιμώμενου προφίλ φόρτισης. Η ανάλυση προφίλ των φορτίσεων πραγματοποιήθηκε βάσει ενός προφίλ ζήτησης που προέρχεται από πραγματικούς δημόσιους σταθμούς φόρτισης. Συγκεκριμένα, λήφθηκαν υπ' όψιν τα δεδομένα που δίνονται στη δημοσίευση των I. Karakitsios et al. [70] όπου οι ώρες φόρτισης, ως ποσοστό όλων των συμβάντων φόρτισης που αναφέρονται στην εξεταζόμενη περίοδο, παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 6.1 :



Διάγραμμα 6.1 : Ώρες δημόσιας φόρτισης ως ποσοστό όλων των δημόσιων φορτίσεων σε μία ημέρα

Προκειμένου να καθοριστεί πότε αναμένεται να συμβεί ένα συγκεκριμένο γεγονός φόρτισης κατά τη διάρκεια τις ημέρας, χρησιμοποιείται ένα Μοντέλο Gaussian Mixture (GMM) που αποτελεί γραμμικό συνδυασμό κανονικών κατανομών με n στοιχεία. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας τις κατανομής ορίζεται ως:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n p_i * \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(x-\mu_i)^2}{2\sigma_i^2}}$$

όπου μ και σ είναι η μέση και τυπική απόκλιση κάθε συνιστώσας, δηλαδή κάθε επιμέρους κατανομής Gauss και το p καθορίζει τα βάρη των επιμέρους κατανομών. Ένα μοντέλο Gaussian Mixture με 8 συνιστώσες, με τιμές που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα είναι μια καλή προσέγγιση της κατανομής που απεικονίζεται στο Διάγραμμα 6.1.

| Συνιστώσα | Παράμετροι | | |
|-----------|------------|-------|----------|
| | ρ | μ | σ |
| 1 | 0,267656 | 9,197 | 0,987121 |
| 2 | 0,032443 | 10,3 | 0,443215 |
| 3 | 0,000872 | 14,05 | 0,179605 |
| 4 | 0,333774 | 16,73 | 1,636245 |
| 5 | 0,137854 | 11,93 | 0,697561 |
| 6 | 0,015256 | 15,95 | 0,429638 |
| 7 | 0,036219 | 15,05 | 0,640073 |
| 8 | 0,177336 | 13,66 | 0,909339 |

Πίνακας 6.10 : Παράμετροι των επιμέρους κανονικών κατανομών για το μοντέλο Gaussian Mixture των φορτίσεων σε δημόσιους σταθμούς [70]

Για τις υπόλοιπες φορτίσεις (πλην των φορτίσεων σε δημόσιους σταθμούς) οι ώρες άφιξης των οχημάτων υπολογίζονται ντετερμινιστικά σύμφωνα με την κατηγορία των οχημάτων προσομοιώνοντας μια Γκαουσιανή κατανομή με μέση τιμή και τυπική απόκλιση. Αντίστοιχα με την κανονική κατανομή Gauss, στο μοντέλο αυτό θεωρείται μια μέση ώρα που είναι πιο πιθανό να ξεκινήσει να φορτίζει ένα όχημα, καθώς και μια μέγιστη χρονική απόκλιση στην άφιξη του οχήματος. Πιο κοντά στη μέγιστη απόκλιση φορτίζουν λιγότερα οχήματα, όπως συμβαίνει σε μια κανονική κατανομή. Με αυτό τον τρόπο καθορίζεται το διάστημα της ημέρας που ξεκινάει η φόρτιση κάθε οχήματος με βάση την κατηγορία του. Τα διαστήματα έναρξης των φορτίσεων παρουσιάζονται στον πίνακα 6.11.

Πιο συγκεκριμένα, θεωρήθηκε ότι ένα ηλεκτρικό scooter είναι πιο πιθανό να ξεκινήσει να φορτίζει στο σπίτι στο διάστημα (17:00-21:00) με τη μέγιστη πιθανότητα στις 19:00. Οπότε οι φορτίσεις των scooter ξεκινάνε στο διάστημα αυτό με τα περισσότερα να ξεκινάνε στις 19:00. Παρόμοια κατανομή σχετικά με την έναρξη της φόρτισης στο σπίτι επελέγη για τα επιβατικά οχήματα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.11, θεωρώντας πως τα οχήματα επιστρέφουν στο σπίτι τις απογευματινές ώρες. Σχετικά με τη φόρτιση σε χώρους εργασίας (και με μία αυξημένη ισχύ φόρτισης – Level-2) θεωρήθηκε ότι τα scooters και τα επιβατικά οχήματα ξεκινούν να φορτίζουν μεταξύ του διαστήματος 7:00-11:00, με τα περισσότερα να ξεκινούν στις 09.00. Τα λεωφορεία λίγων θέσεων και τα φορτηγά θεωρήθηκε ότι ακολουθούν ένα διαφορετικό προφίλ σχετικά με την έναρξη της φόρτισης. Πιο συγκεκριμένα, τόσο τα mini-buses όσο και τα φορτηγά θεωρείται πως φορτίζουν μετά το πέρας των εργασιών τους μέσα στη μέρα με ισχύ φόρτισης 22kW (Level 3). Τα φορτηγά ξεκινάνε να φορτίζουν στο διάστημα (15:00-19:00) με τα περισσότερα φορτηγά στις 17:00, ενώ τα mini-buses στο διάστημα (20:00 - 02:00) με τα περισσότερα να ξεκινάνε τη φόρτιση τους στις 23:00 αντίστοιχα.

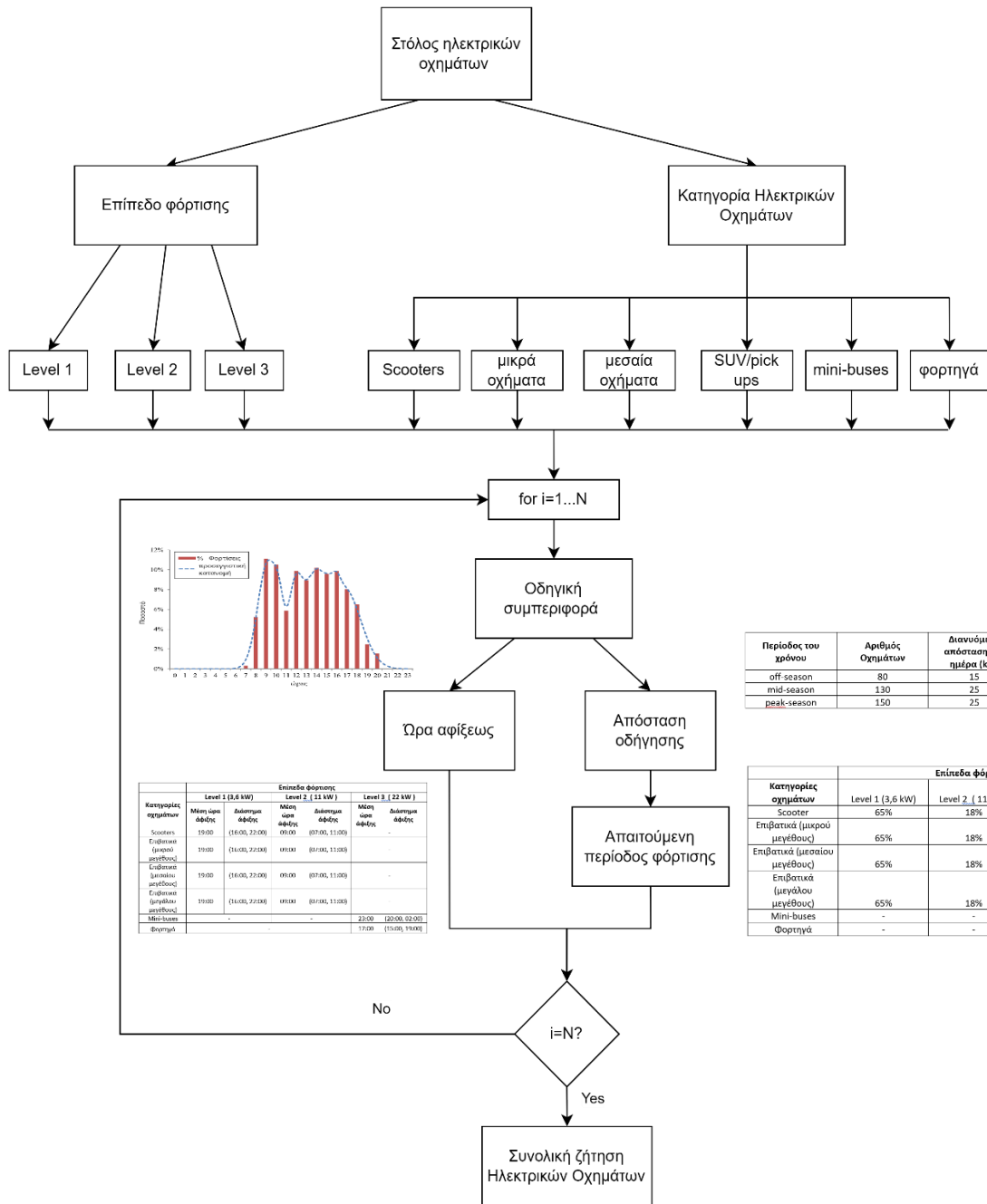
| Κατηγορίες οχημάτων | Επίπεδα φόρτισης | | | | | |
|------------------------------|------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| | Level 1 (3,6 kW) | | Level 2 (11 kW) | | Level 3 (22 kW) | |
| | Μέση ώρα άφιξης | Διάστημα άφιξης | Μέση ώρα άφιξης | Διάστημα άφιξης | Μέση ώρα άφιξης | Διάστημα άφιξης |
| Scooters | 19:00 | (16:00, 22:00) | 09:00 | (07:00, 11:00) | - | |
| Επιβατικά (μικρού μεγέθους) | 19:00 | (16:00, 22:00) | 09:00 | (07:00, 11:00) | - | |
| Επιβατικά (μεσαίου μεγέθους) | 19:00 | (16:00, 22:00) | 09:00 | (07:00, 11:00) | - | |
| Επιβατικά (μεγάλου μεγέθους) | 19:00 | (16:00, 22:00) | 9:00 | (07:00, 11:00) | - | |
| Mini-buses | - | | - | | 23:00 | (20:00, 02:00) |
| Φορτηγά | - | | | | 17:00 | (15:00, 19:00) |

Πίνακας 6.11: Παράμετροι των ωρών άφιξης ανά κατηγορία οχήματος

Σημειώνεται σε αυτό το σημείο πως γίνεται η παραδοχή πως τα ηλεκτρικά οχήματα φορτίζουν κάθε 3 ημέρες. Στην εργασία των M. Alves et al. [71] όπου μελετάται η υψηλή διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων σε Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά αναφέρεται πως τα ηλεκτρικά οχήματα στα νησιά είναι πιο πιθανό να φορτίζουν κάθε τρεις μέρες λόγω της μειωμένης απόστασης που διανύουν.

Εφαρμόζοντας τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν παραπάνω προσδιορίζεται η μέση ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας των φορτίσεων των ηλεκτρικών οχημάτων για κάθε ώρα της ημέρας για τις 3 διαφορετικές περιόδους του χρόνου.

Πιο αναλυτικά, ο αλγόριθμος που υλοποιήθηκε με τη βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου Matlab και χρησιμοποιήθηκε για την συνολική ζήτηση περιγράφεται συνοπτικά στο διάγραμμα ροής ακολούθως:



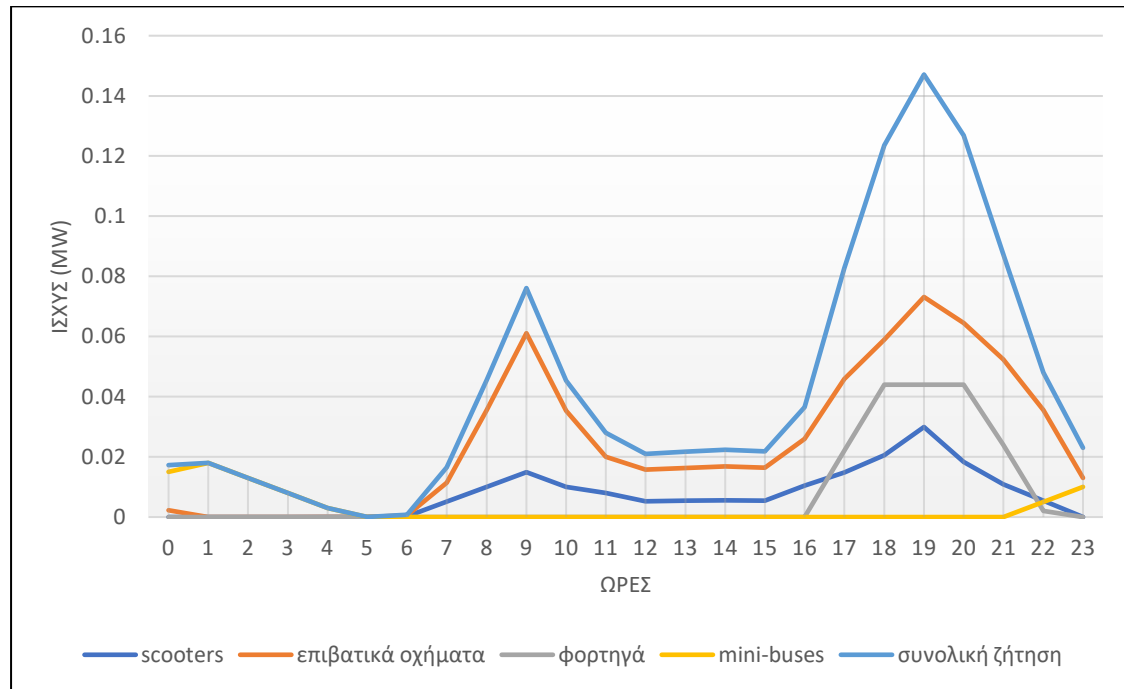
Διάγραμμα 6.2 : Διάγραμμα ροής αλγορίθμου για την εκτίμηση της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας των ηλεκτρικών οχημάτων

Ο αριθμός N δηλώνει τις επαναλήψεις που έγιναν για τον προσδιορισμό της μέσης τιμής της ώρας άφιξης κάθε οχήματος στο Monte Carlo και λαμβάνεται ίσος με 5.000 για μεγαλύτερη ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

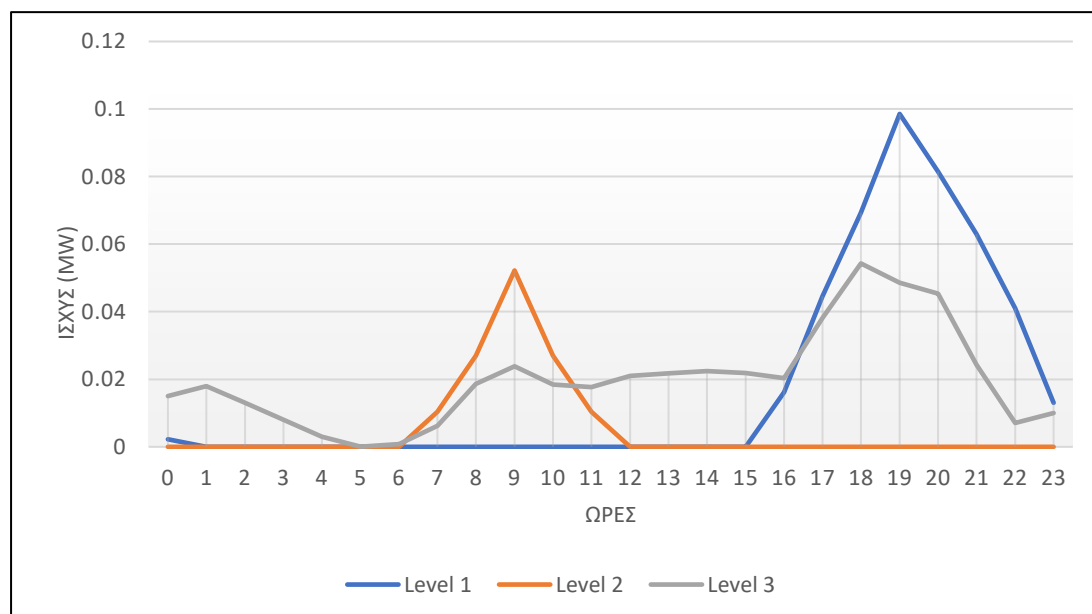
6.3 Φορτίο Ηλεκτρικού Συστήματος με την ένταξη των Ηλεκτρικών Οχημάτων

Η ετήσια συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας όλων των ηλεκτρικών οχημάτων υπολογίζεται 742 MWh, ενώ η αιχμή του φορτίου των φορτίσεων 0,32 MW. Παρακάτω βρίσκονται οι ημερήσιες κατανομές της ζήτησης ενέργειας των φορτίσεων ανάλογα με την κατηγορία οχήματος και τα επίπεδα φόρτισης για τις 3 διαφορετικές χρονικές περιόδους.

1^η Περίοδος (off-season)

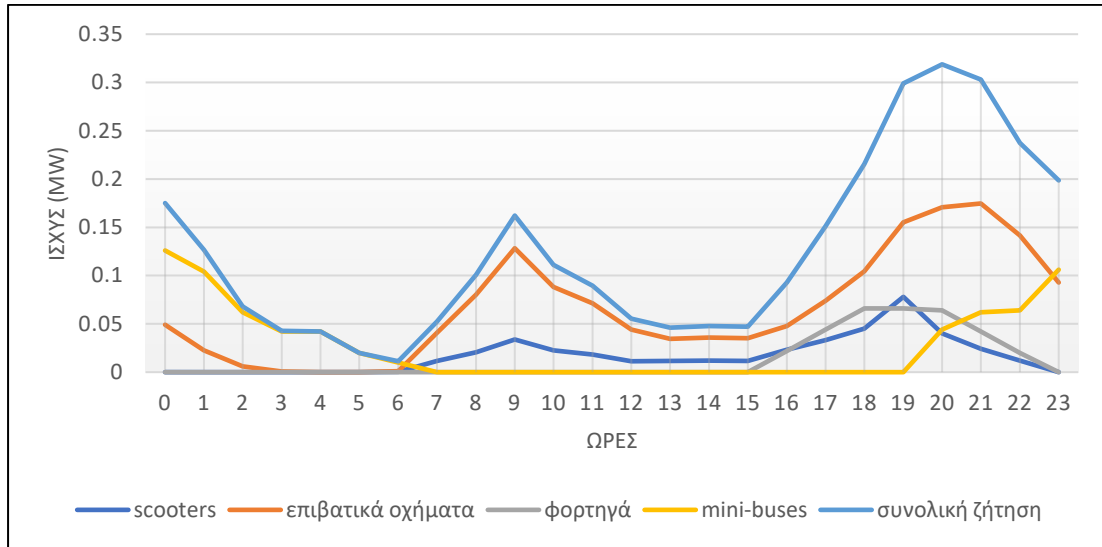


Διάγραμμα 6.3 : Ωριαία ζήτηση των φορτίσεων ηλεκτρικών οχημάτων μίας ημέρας της 1^{ης} περιόδου του έτους ανά κατηγορία οχήματος.

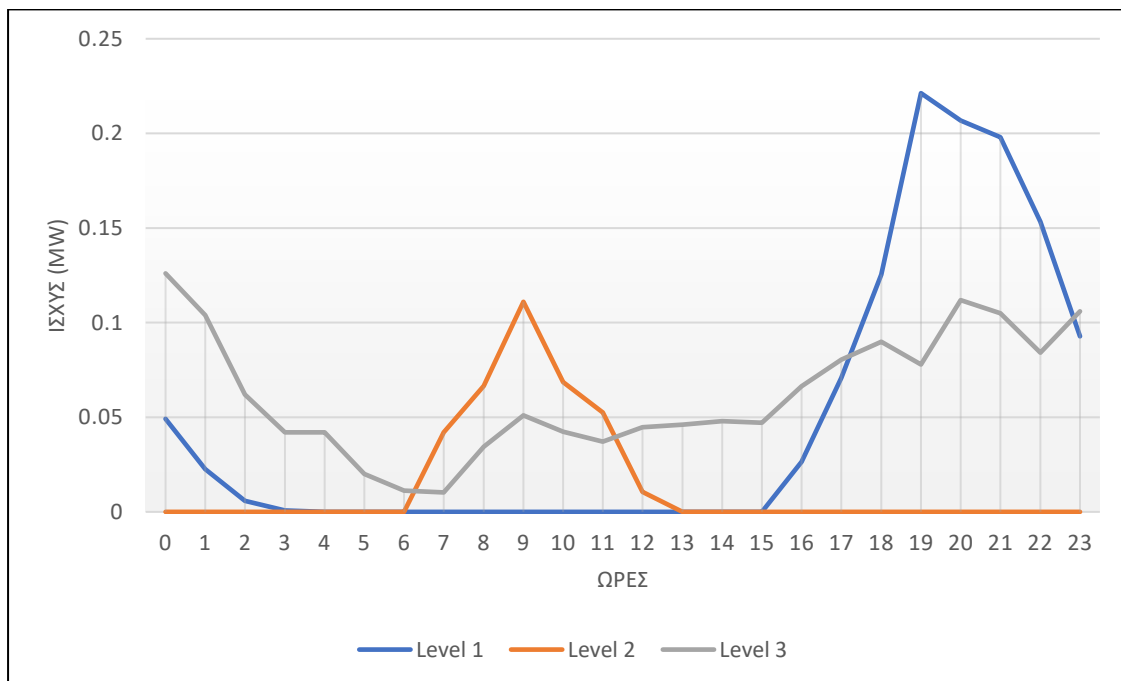


Διάγραμμα 6.4 : Ωριαία ζήτηση των φορτίσεων ηλεκτρικών οχημάτων μίας ημέρας της 1^{ης} περιόδου του έτους ανά επίπεδο φόρτισης.

2^η Περίοδος (mid-season)

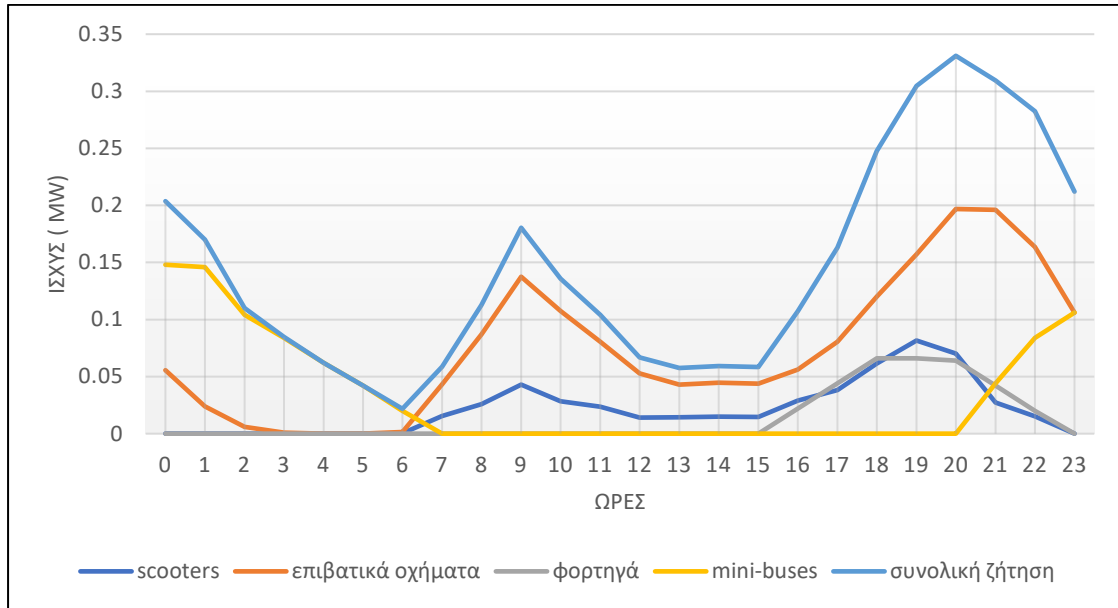


Διάγραμμα 6.5 : Ωριαία ζήτηση των φορτίσεων ηλεκτρικών οχημάτων μίας ημέρας της 2^{ης} περιόδου του έτους ανά κατηγορία οχήματος.

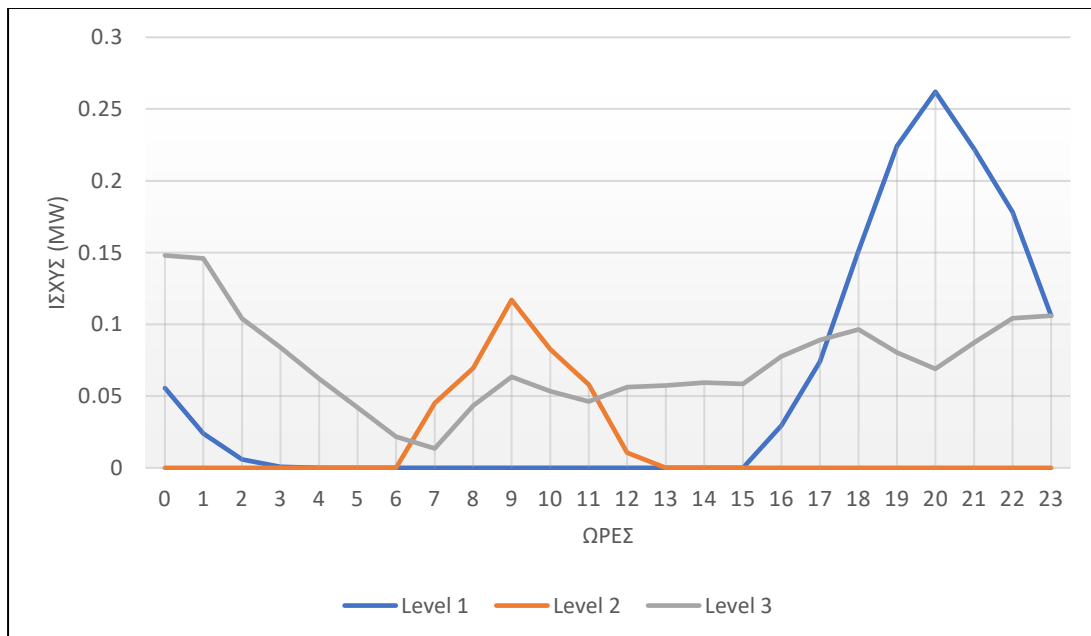


Διάγραμμα 6.6 : Ωριαία ζήτηση των φορτίσεων ηλεκτρικών οχημάτων μίας ημέρας της 2^{ης} περιόδου του έτους ανά επίπεδο φόρτισης.

3^η Περίοδος (peak-season)



Διάγραμμα 6.7: Ωριαία ζήτηση των φορτίσεων ηλεκτρικών οχημάτων μίας ημέρας της 3^{ης} περιόδου του έτους ανά κατηγορία οχήματος.

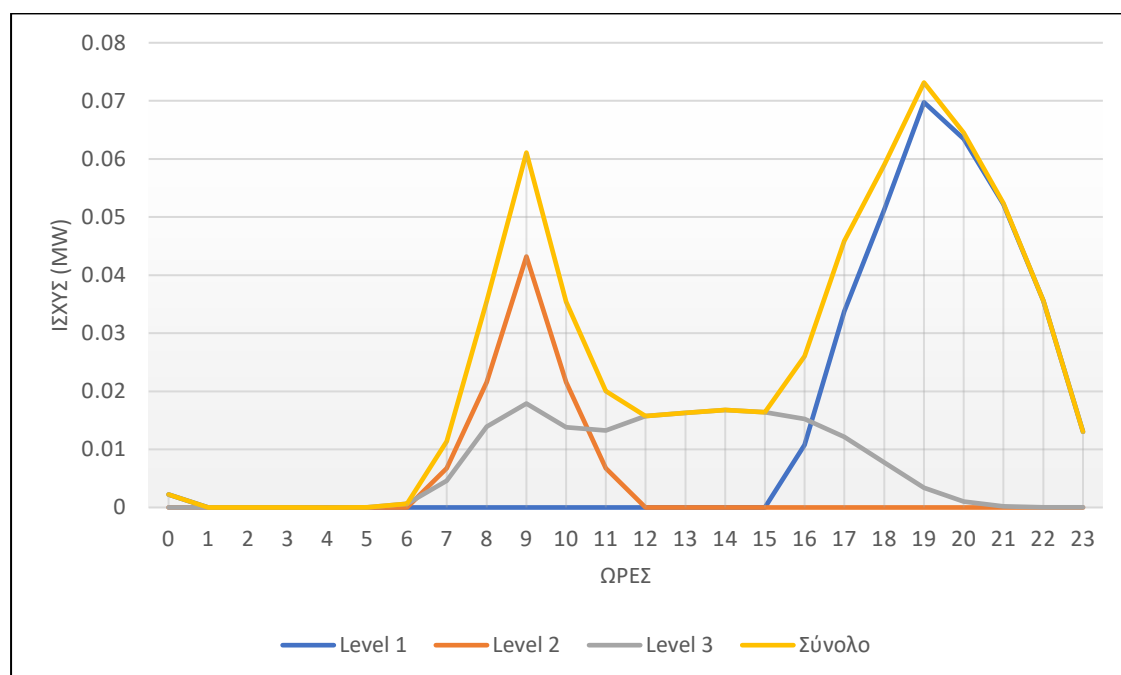


Διάγραμμα 6.8: Ωριαία ζήτηση των φορτίσεων ηλεκτρικών οχημάτων μίας ημέρας της 3^{ης} περιόδου του έτους ανά επίπεδο φόρτισης.

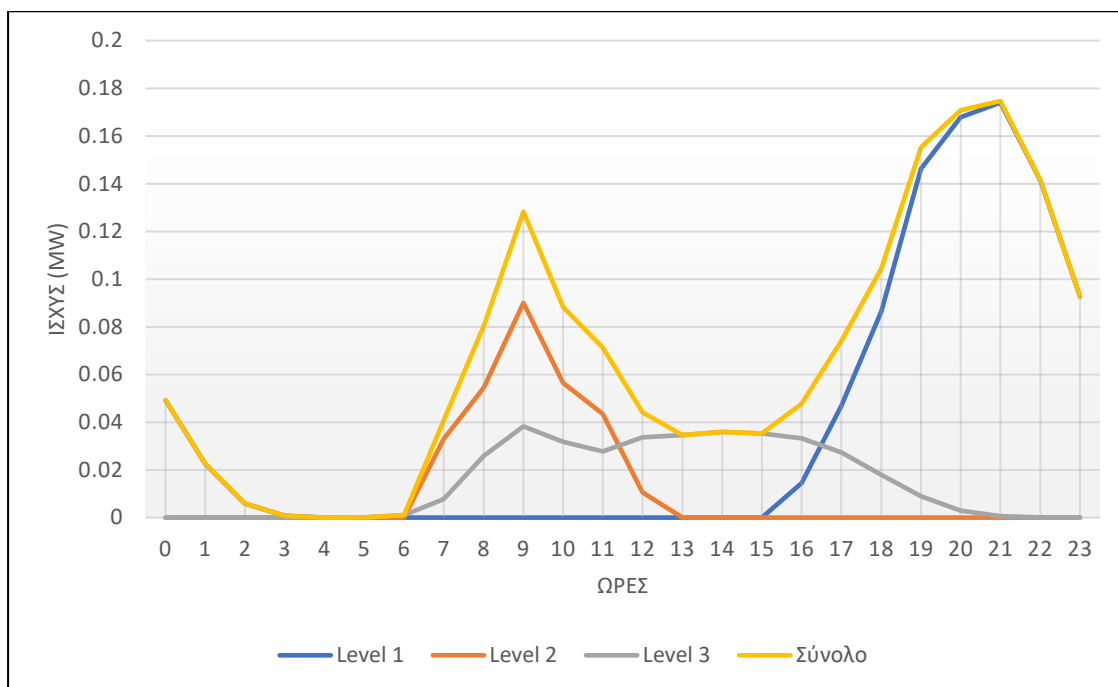
Από τα διαγράμματα παρατηρείται αρχικά αρκετά διαφορετική κατανομή του φορτίου ανάλογα με την κατηγορία οχημάτων και την περίοδο του χρόνου. Επίσης φαίνεται πως υπάρχουν δύο αιχμές μέσα στην ημέρα. Η πρώτη είναι τις πρωινές ώρες λόγω των φορτίσεων στο χώρο εργασίας και των δημόσιων φορτίσεων. Η δεύτερη που είναι και η μεγαλύτερη αιχμή παρατηρείται στις βραδινές ώρες λόγω των οικιακών φορτίσεων, καθώς και των φορτηγών και των λεωφορείων. Ενδιαφέρον είναι πως η αιχμή των βραδινών ωρών μετατίθεται από τις 19:00 την 1^η περίοδο στις 20:00 στην 2^η και 3^η περίοδο. Επίσης στην 2^η και 3^η χρονική περίοδο, το φορτίο παρατηρείται ιδιαίτερα αυξημένο τις βραδινές ώρες σε σχέση με την 1^η περίοδο του έτους λόγω του αυξημένου αριθμού των mini-buses στην τουριστική περίοδο.

Όσον αφορά τα επίπεδα φόρτισης παρατηρείται πως οι φορτίσεις Level 1 εμφανίζονται σχεδόν αποκλειστικά τις απογευματινές και βραδινές ώρες με αιχμή στις 19:00 και 20:00 ανάλογα την περίοδο, ενώ οι Level 2 τις πρωινές με αιχμή στις 09:00. Οι φορτίσεις Level 3 παρουσιάζουν μικρότερες αιχμές από τα άλλα δύο επίπεδα αλλά χρησιμοποιούνται καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, τις πρωινές και μεσημεριανές ώρες κυρίως λόγω των δημόσιων φορτίσεων, ενώ τις απογευματινές και βραδινές ώρες λόγω των φορτίσεων των λεωφορείων και των φορτηγών. Την πρώτη περίοδο του έτους το συνολικό φορτίο των φορτίσεων Level 1 ξεπερνάει τις υπόλοιπες φορτίσεις, ενώ στις τουριστικές περιόδους (mid /peak-season) το μεγαλύτερο μέρος των φορτίσεων ανήκουν στο επίπεδο 3, κυρίως λόγω του αυξημένου αριθμού λεωφορείων.

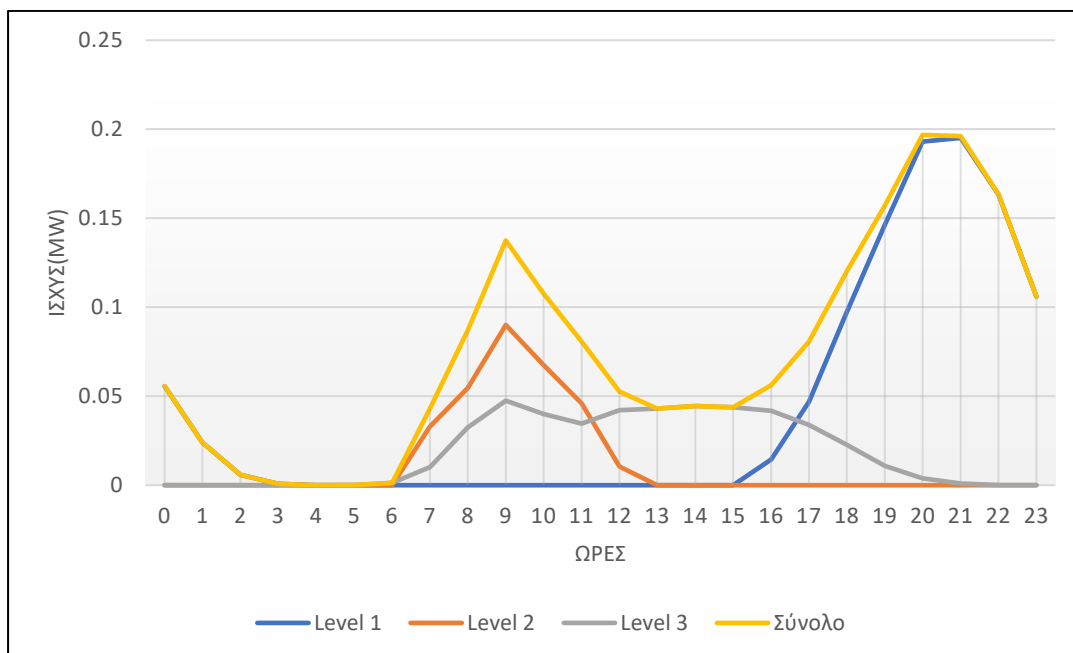
Ακολούθως παρατίθεται η κατανομή των φορτίσεων ανά επίπεδο φόρτισης για τα επιβατικά οχήματα. Επιλέγεται η συγκεκριμένη κατηγορία, καθώς αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος των φορτίσεων των ηλεκτρικών οχημάτων. Αντίστοιχες κατανομές παρατηρούνται και για τα scooters, οι οποίες παραλείπονται στο συγκεκριμένο σημείο της εργασίας.



Διάγραμμα 6.9: Ωριαία ζήτηση των φορτίσεων των επιβατικών οχημάτων μίας ημέρας της 1^{ης} περιόδου του έτους ανά επίπεδο φόρτισης.



Διάγραμμα 6.10 : Ωριαία ζήτηση των φορτίσεων των επιβατικών οχημάτων μίας ημέρας της 2^{ης} περιόδου του έτους ανά επίπεδο φόρτισης.

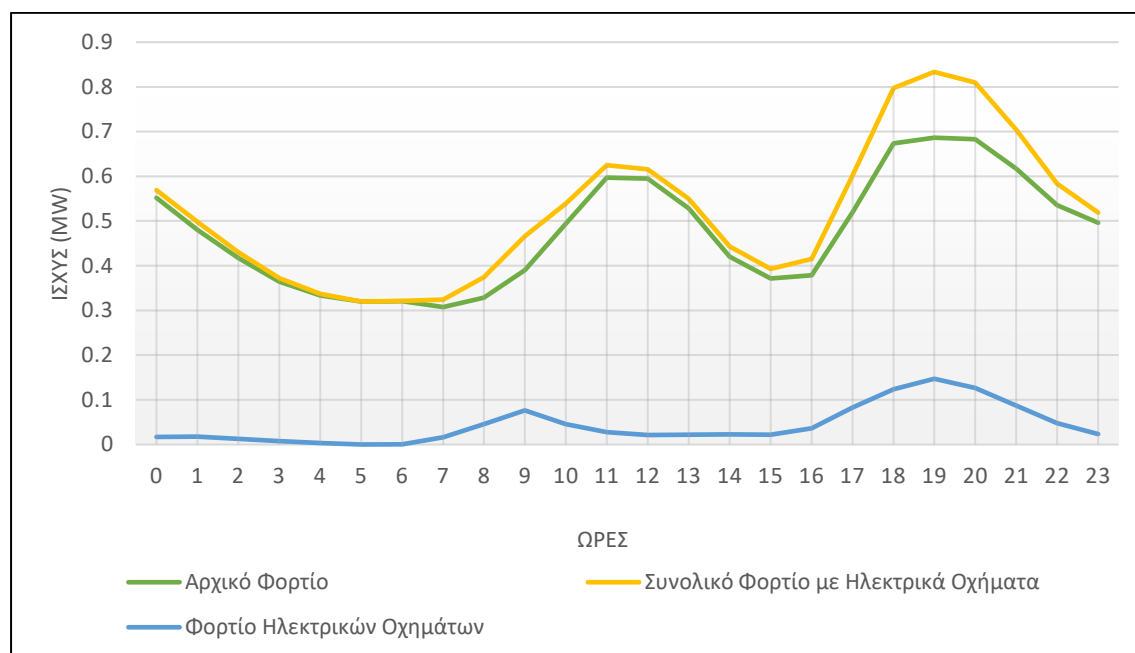


Διάγραμμα 6.11 : Ωριαία ζήτηση των φορτίσεων των επιβατικών οχημάτων μίας ημέρας της 3^{ης} περιόδου του έτους ανά επίπεδο φόρτισης.

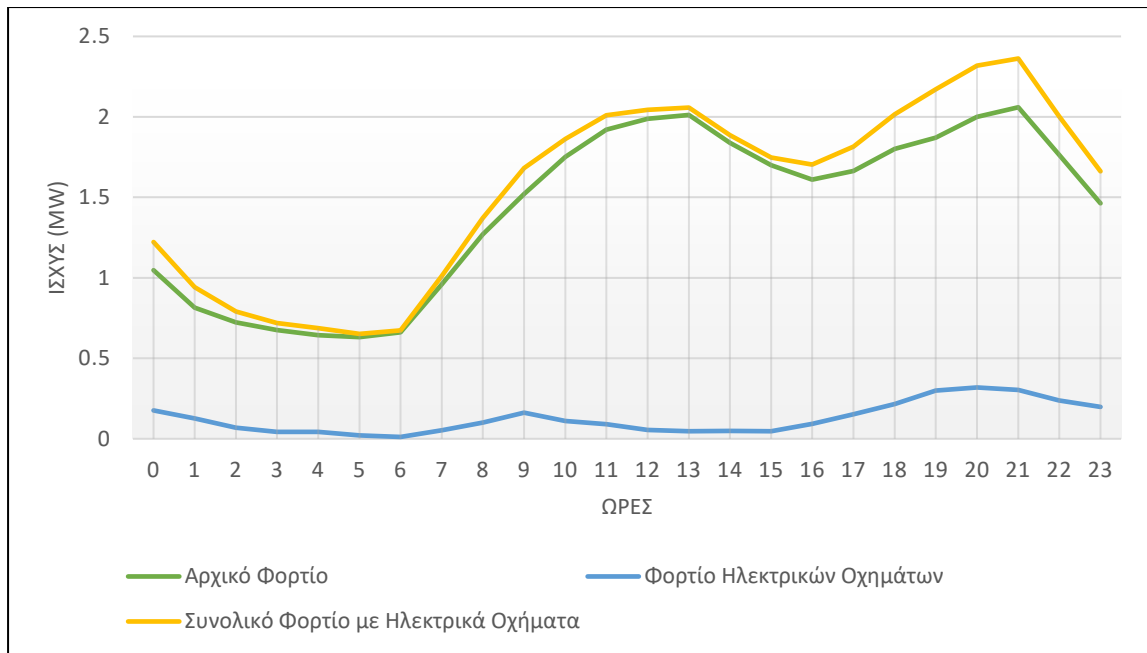
Η κατανομή των φορτίσεων είναι παρόμοια στις 3 διαφορετικές περιόδους του χρόνου με εμφανώς αυξημένες αιχμές στην τουριστική περίοδο. Το μεγαλύτερο μέρος του συνολικού φορτίου των επιβατικών οχημάτων καλύπτεται από τις οικιακές φορτίσεις, που εμφανίζονται κυρίως τις απογευματινές/βραδινές ώρες.

Με βάση τις ημερήσιες κατανομές των 3 περιόδων μπορεί εύκολα να υπολογιστεί η ωριαία κατανομή των φορτίσεων για ολόκληρο το έτος. Έχοντας και την ωριαία ζήτηση του 2024 για την Αστυπάλαια από το energy planning υπολογίζεται η συνολική ωριαία κατανομή του φορτίου μαζί με τις φορτίσεις των ηλεκτρικών οχημάτων. Η νέα συνολική ζήτηση που προκύπτει είναι 8870 MWh (από 8128 MWh που ήταν προηγουμένως), ενώ η νέα αιχμή 3,05 MW (από 2,73 MW).

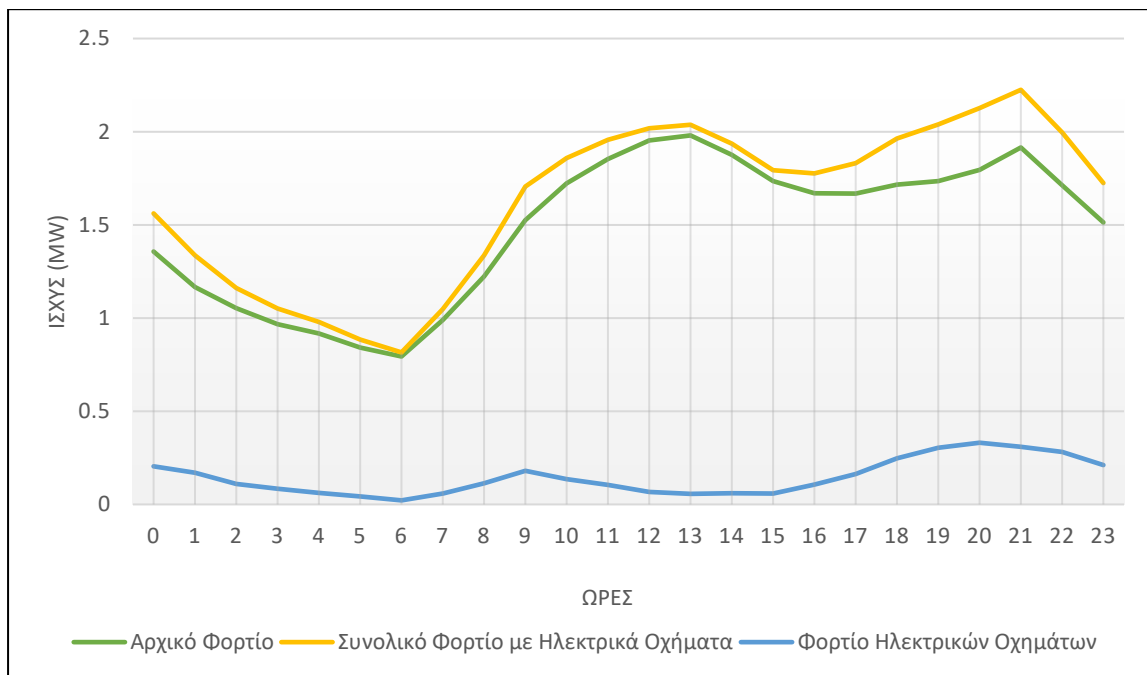
Ακολουθώς παρουσιάζεται η καμπύλη του φορτίου για μια τυχαία μέρα την κάθε περίοδο του έτους και πως διαμορφώνεται με τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων:



Διάγραμμα 6.12 : Ωριαία ζήτηση του συνολικού φορτίου με την ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων μίας τυχαίας ημέρας της 1^{ης} περιόδου του έτους



Διάγραμμα 6.13 : Ωριαία ζήτηση του συνολικού φορτίου με την ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων μίας τυχαίας ημέρας της 2^{ης} περιόδου του έτους



Διάγραμμα 6.14 : Ωριαία ζήτηση του συνολικού φορτίου με την ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων μίας τυχαίας ημέρας της 3^{ης} περιόδου του έτους

Από τα διαγράμματα 6.12, 6.13 και 6.14 φαίνεται πως το συνολικό φορτίο του Συστήματος παρουσιάζει αύξηση καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας λόγω των φορτίσεων των ηλεκτρικών οχημάτων. Παρατηρείται πως οι αιχμές των κατανομών των φορτίσεων και των φορτίου χωρίς την ένταξη των Ηλεκτρικών οχημάτων είναι αντίστοιχες ώρες τόσο στην

περίοδο off-season όσο και τις υπόλοιπες περιόδους με αποτέλεσμα να σημειώνονται μεγαλύτερες αυξήσεις εκείνες τις ώρες. Η περίοδος αιχμής του φορτίου εμφανίζεται στην πρώτη περίοδο του συστήματος στις απογευματινές ώρες κοντά στις 19:00, ενώ τις περιόδους 2 και 3 αργότερα κοντά στις 21:00.

6.4 Έξυπνη φόρτιση

6.4.1 Χαρακτηριστικά έξυπνης φόρτισης

Σε αυτήν την ενότητα εξετάζεται η 'έξυπνη φόρτιση' των οχημάτων που επιτρέπει τη μετατόπιση της ζήτησης των οχημάτων σε ώρες με μεγάλη απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ. Πιο συγκεκριμένα, η φόρτιση του οχήματος δεν ξεκινάει απαραίτητα τη στιγμή που ο οδηγός συνδέει το όχημά του για φόρτιση. Αντίθετα, οι φορτίσεις πραγματοποιούνται ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος, εντός του χρονικού διαστήματος κατά τον οποίο το όχημα είναι συνδεδεμένο στον φορτιστή.

Για την επίλυση του προβλήματος υλοποιήθηκε αλγόριθμος έξυπνης φόρτισης με τη χρήση της προγραμματιστικής γλώσσας Python. Από τις έξυπνες φορτίσεις εξαιρούνται οι φορτίσεις σε δημόσιους σταθμούς, καθώς θεωρείται πως στους σταθμούς αυτούς οι χρήστες των οχημάτων επιθυμούν όσο το δυνατόν γρηγορότερη φόρτιση. Οι ώρες άφιξης των οχημάτων στους φορτιστές παραμένουν ίδιες όπως στην προηγούμενη ενότητα ανάλογα με το επίπεδο φόρτισης (μέγιστη ισχύς φορτιστή). Σε αυτή την ενότητα εισάγεται μια νέα παράμετρος για το προφίλ φόρτισης, η ώρα αναχώρησης των οχημάτων από τους σταθμούς φόρτισης. Τα οχήματα παραμένουν συνδεδεμένα στους φορτιστές καθ' όλη τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος από την ώρα άφιξης έως την ώρα αναχώρησης, καθώς οι φορτίσεις επιβατικών πραγματοποιούνται κυρίως είτε σε χώρο εργασίας τις πρωινές ώρες, είτε σε οικιακό χώρο τις απογευματινές, περιόδους όπου συνήθως τα οχήματα μένουν ακινητοποιημένα για κάποιο χρονικό διάστημα. Θεωρείται επίσης πως τα λεωφορεία παραμένουν για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα ακινητοποιημένα από την ώρα που τελειώνουν τα δρομολόγια τους μέχρι το πρωί. Το ίδιο ισχύει και για τα φορτηγά. Αυτά τα χρονικά διαστήματα προσδιορίζονται από τις παραμέτρους του παρακάτω πίνακα ανάλογα με την κατηγορία κάθε οχήματος, όπου παρουσιάζεται η μέση τιμή της ώρας άφιξης και της τυπικής της απόκλισης, όπως και προηγουμένως, καθώς και η ώρα αναχώρησης.

| Κατηγορίες οχημάτων | Επίπεδα φόρτισης | | | | | | | | |
|----------------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------|-----------------|----------------|-------------------|-----------------|----------------|
| | Level 1 (3,6 kW) | | | Level 2 (11 kW) | | | Level 3 (22 kW) | | |
| | Μέση ώρα άφιξης | Διάστημα άφιξης | Ώρα αναχώρησης | Μέση ώρα άφιξης | Διάστημα άφιξης | Ώρα αναχώρησης | Μέση ώρα άφιξης | Διάστημα άφιξης | Ώρα αναχώρησης |
| Scooters | 19:00 | (16:00, 22:00) | 07:00 | 09:00 | (07:00, 11:00) | 17:00 | - | - | - |
| Επιβατικά μικρού μεγέθους | 19:00 | (16:00, 22:00) | 07:00 | 09:00 | (07:00, 11:00) | 17:00 | - | - | - |
| Επιβατικά μεσαίου μεγέθους | 19:00 | (16:00, 22:00) | 07:00 | 09:00 | (07:00, 11:00) | 17:00 | - | - | - |
| Επιβατικά μεγάλου μεγέθους | 19:00 | (16:00, 22:00) | 07:00 | 09:00 | (07:00, 11:00) | 17:00 | - | - | - |
| Mini-buses | - | | | | | | 23:00 | (20:00, 02:00) | 07:00 |
| Φορτηγά | - | | | | | | 17:00 | (15:00, 19:00) | 07:00 |

Πίνακας 6.12: Παράμετροι των αφίξεων και αναχωρήσεων στους σταθμούς φόρτισης

6.4.2 Τα προγραμματιστικά εργαλεία του αλγορίθμου

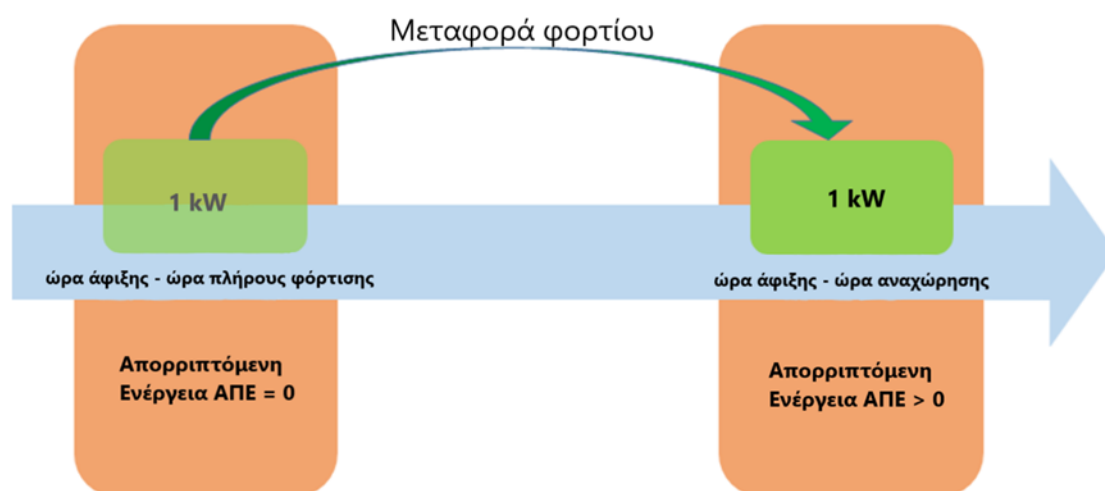
Για την υλοποίηση του αλγορίθμου της έξυπνης φόρτισης χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού Python. Τα κριτήρια επιλογής της συγκεκριμένης γλώσσας ήταν πως η Python είναι ευρέως διαδεδομένη και χρησιμοποιείται από την πλειοψηφία των προγραμματιστών. Επί πλέον διαθέτει μεγάλη συλλογή από βιβλιοθήκες που είναι βοηθητικές στην υλοποίηση του προγράμματος. Ακόμα η υλοποίηση του αλγορίθμου πραγματοποιήθηκε στο Google Collab. Αυτό επιτρέπει την εύκολη φόρτωση των αρχείων από το Google Drive. Ακόμα χρησιμοποιώντας το Google Collab, ο κώδικας αποθηκεύεται αυτόματα στο Google Drive.

Οι κυριότερες βιβλιοθήκες της Python που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι ακόλουθες :

- **Numpy:** Από τις πιο διαδεδομένες βιβλιοθήκες της Python. Χρησιμοποιείται για διάφορους μαθηματικούς υπολογισμούς.
- **Pandas:** Αυτή η βιβλιοθήκη χρησιμοποιείται για να διαβαστούν και να αποθηκευτούν csv αρχεία.
- **Google.collab:** Χρησιμοποιείται για να γίνεται σύνδεση (mount) του drive και συνεπώς να φορτώνονται τα αρχεία κατευθείαν από το Google Drive.

6.4.3 Περιγραφή και λειτουργία του αλγορίθμου έξυπνης φόρτισης

Σκοπός του αλγορίθμου της έξυπνης φόρτισης είναι η αύξηση της διείσδυσης ΑΠΕ. Η βασική λειτουργία του αλγορίθμου είναι η μεταφορά των φορτίσεων από ώρες με μηδενική αποκοπή ΑΠΕ σε ώρες με αποκοπή ΑΠΕ για τη χρήση ανανεώσιμης ενέργειας για τη φόρτιση των οχημάτων, όπως φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 6.1 : Βασική λειτουργία αλγορίθμου έξυπνης φόρτισης

Για την φόρτιση του κάθε οχήματος, θεωρείται ότι είναι δυνατό να γίνει οποιαδήποτε μεταφορά ενέργειας μεταξύ των ωρών που το όχημα παραμένει συνδεδεμένο στο φορτιστή.

Για την 'έξυπνη' κατανομή της φόρτισης των οχημάτων λαμβάνονται υπ' όψιν τα αποτελέσματα του Energy Planning για τις προσομοιώσεις του εκάστοτε σεναρίου καθώς και τα βασικά χαρακτηριστικά των φορτίσεων των οχημάτων, δηλαδή οι ώρες άφιξης και αναχώρησης, η απαιτούμενη ενέργεια φόρτισης καθώς και η μέγιστη ισχύς φόρτισης κάθε κατηγορίας ηλεκτρικού οχήματος (τα επίπεδα φόρτισης που αναγράφονται στον πίνακα 6.10).

Αν σε μία ώρα φόρτισης υπάρχει μηδενική Απορριπτόμενη Ενέργεια, τότε σε περίπτωση που υπάρχει διαθέσιμη ενέργεια ΑΠΕ (Απορριπτόμενη Ενέργεια) σε επόμενες διαθέσιμες ώρες, το κάθε όχημα έχει τη δυνατότητα να φορτίσει με οποιαδήποτε ισχύ έως τη μέγιστη δυνατή ισχύ του φορτιστή για κάθε ώρα ανάλογα με το επίπεδο φόρτισης στο οποίο βρίσκεται και την απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ που υπάρχει. Επίσης σημειώνεται πως δίνεται προτεραιότητα σε ώρες με μεγαλύτερη αποκοπή ΑΠΕ. Η ενέργεια μεταφέρεται με τέτοιο τρόπο στις διαθέσιμες ώρες, ώστε σε κάθε ώρα να υπάρχει η ίδια ποσότητα απορριπτόμενης ενέργειας, αφού γίνουν οι αλλαγές στις ώρες φόρτισης των οχημάτων, όπου είναι δυνατό.

Εκτός από τη βασική λειτουργία του αλγορίθμου, δηλαδή τη μεταφορά ενέργειας από ώρες όπου δεν υπάρχει αποκοπή σε ώρες με αποκοπή ΑΠΕ, ο αλγόριθμος χρησιμοποιείται για τη μεταφορά ενέργειας σε 2 επιπλέον περιπτώσεις:

- Όταν υπάρχει μόνο μια δεσμευμένη συμβατική μονάδα, η οποία λειτουργεί κάτω από το τεχνικό της ελάχιστο.
- Όταν ο αριθμός των δεσμευμένων συμβατικών μονάδων πριν την ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων είναι μικρότερος από τον αριθμό των δεσμευμένων συμβατικών μονάδων μετά την ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων.

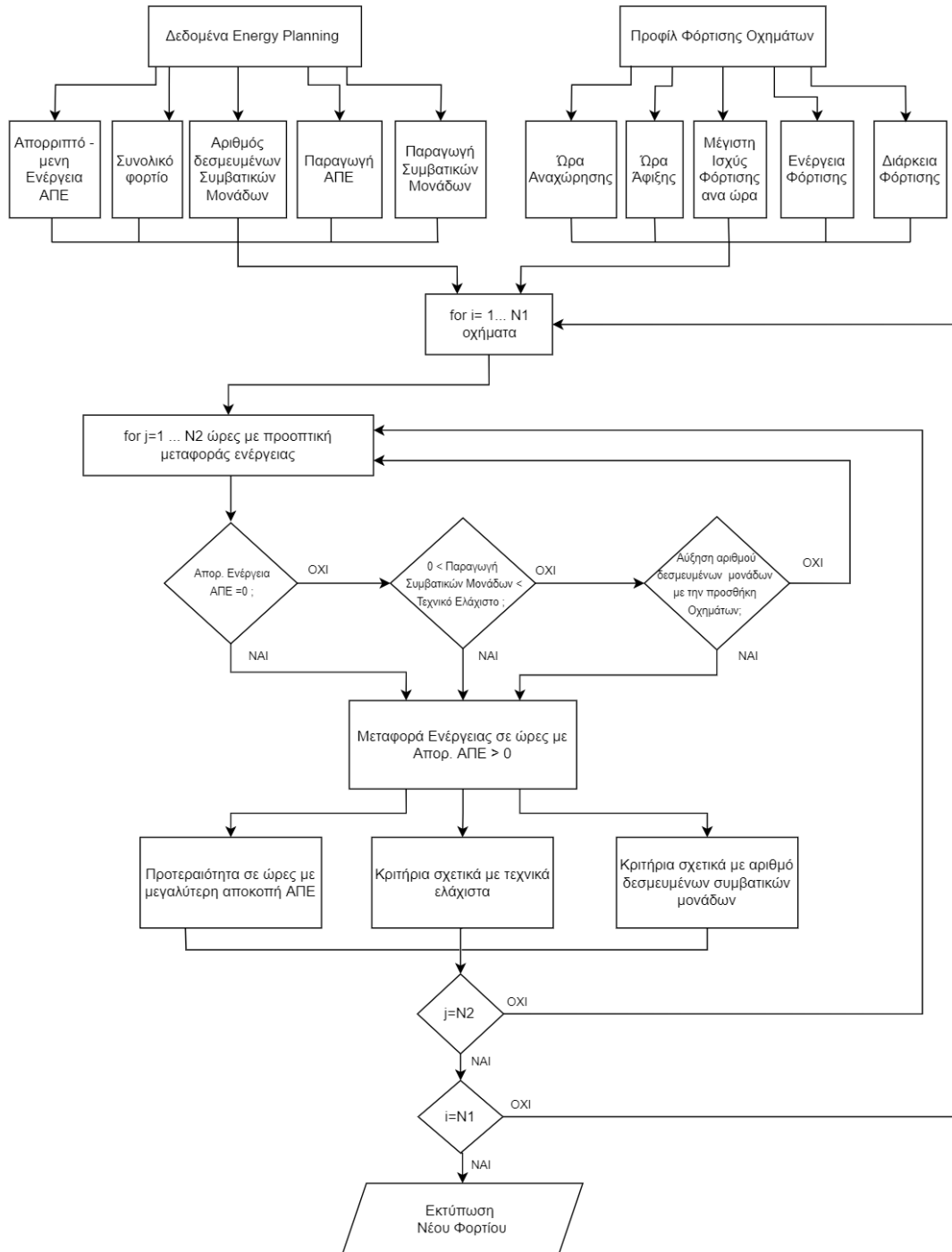
Στις δύο αυτές περιπτώσεις μεταφέρεται ενέργεια ανεξάρτητα της δεδομένης απορριπτόμενης ενέργειας, καθώς χρησιμοποιείται συμβατική παραγωγή για τη φόρτιση των οχημάτων. Οι φορτίσεις των οχημάτων μεταφέρονται πάλι σε ώρες με περίσσεια απορριπτόμενης ενέργειας για τη χρήση αποκλειστικά ανανεώσιμης ενέργειας. Αυτή η λειτουργία του αλγορίθμου περιγράφεται πιο εκτενώς στο Παράρτημα στο τέλος της εργασίας.

Για καλύτερα αποτελέσματα ως προς τη μεταφερόμενη ενέργεια λαμβάνονται επίσης υπ' όψιν δεδομένα σχετικά με τα τεχνικά ελάχιστα των μονάδων και δεδομένα σχετικά με τον αριθμό των δεσμευμένων συμβατικών μονάδων σε κάθε timeslot που εξετάζεται. Σχετικά με τα τεχνικά ελάχιστα των μονάδων, επισημαίνεται ότι η έξυπνη φόρτιση δεν εισάγει περαιτέρω τροποποιήσεις ως προς τα τεχνικά ελάχιστα των συμβατικών μονάδων πριν την ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων στο Ηλεκτρικό Σύστημα. Μία αναλυτικότερη περιγραφή της μεταφοράς ενέργειας όταν λαμβάνονται υπόψιν τα τεχνικά ελάχιστα των μονάδων και ο αριθμός των δεσμευμένων συμβατικών μονάδων δίνεται στο Παράρτημα.

Αφού εκτελεσθούν οι εντολές μεταφοράς ενέργειας, ελέγχεται αν έχει μεταφερθεί όλη η ενέργεια που έπρεπε να μεταφερθεί. Σε περίπτωση που έχει απομείνει ενέργεια η οποία δεν είναι δυνατό να μεταφερθεί περαιτέρω παραμένει στο αρχικό timeslot. Αφού έχουν

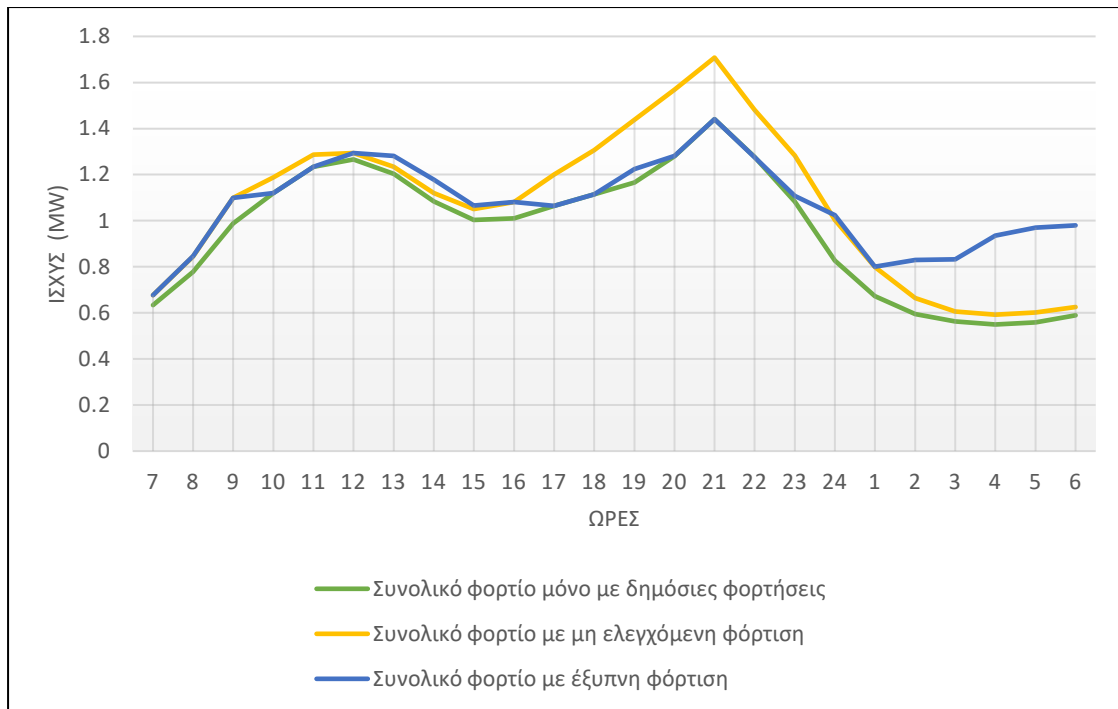
τελειώσει όλοι οι κύκλοι φόρτισης των οχημάτων για όλο το χρόνο εκτυπώνεται το νέο φορτίο που θα εισαχθεί στη συνέχεια στο energy planning.

Η λειτουργία του αλγορίθμου παρουσιάζεται συνοπτικά και στο flowchart που ακολουθεί:



Διάγραμμα 6.15 : Διάγραμμα ροής αλγορίθμου έξυπνης φόρτισης

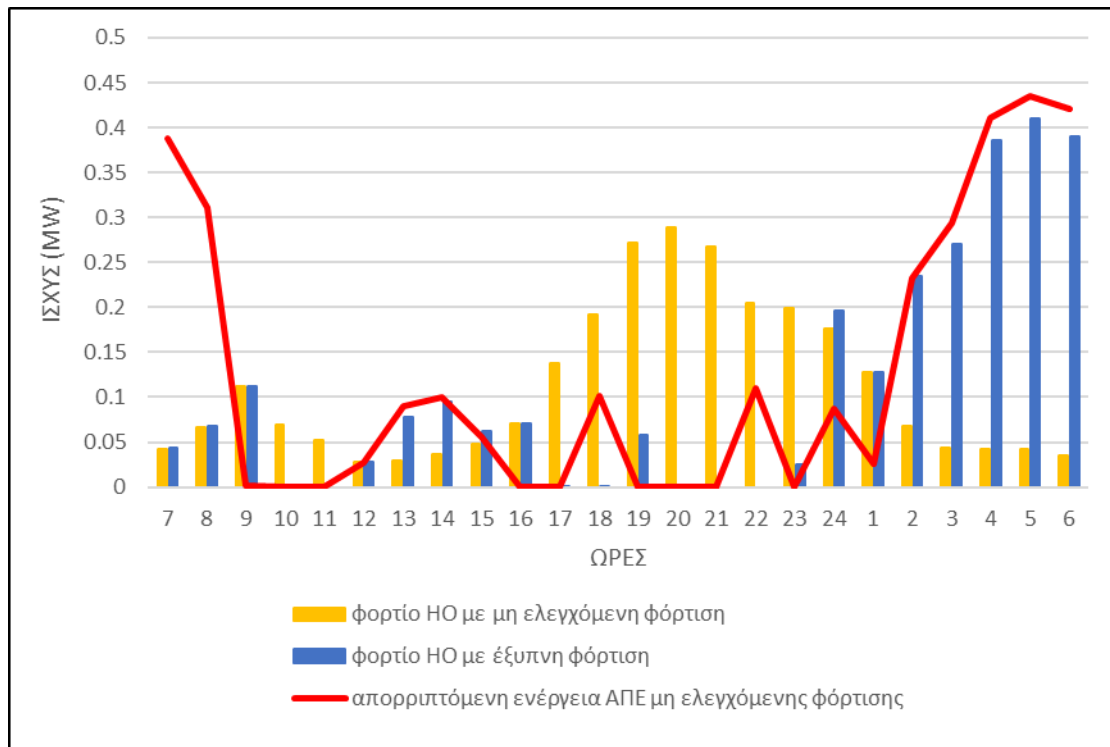
Η λειτουργία του αλγορίθμου έξυπνης φόρτισης απεικονίζεται στα διαγράμματα που ακολουθούν:



Διάγραμμα 6.16: Συνολικό φορτίο με μη ελεγχόμενη φόρτιση και έξυπνη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων στη διάρκεια μίας ημέρας

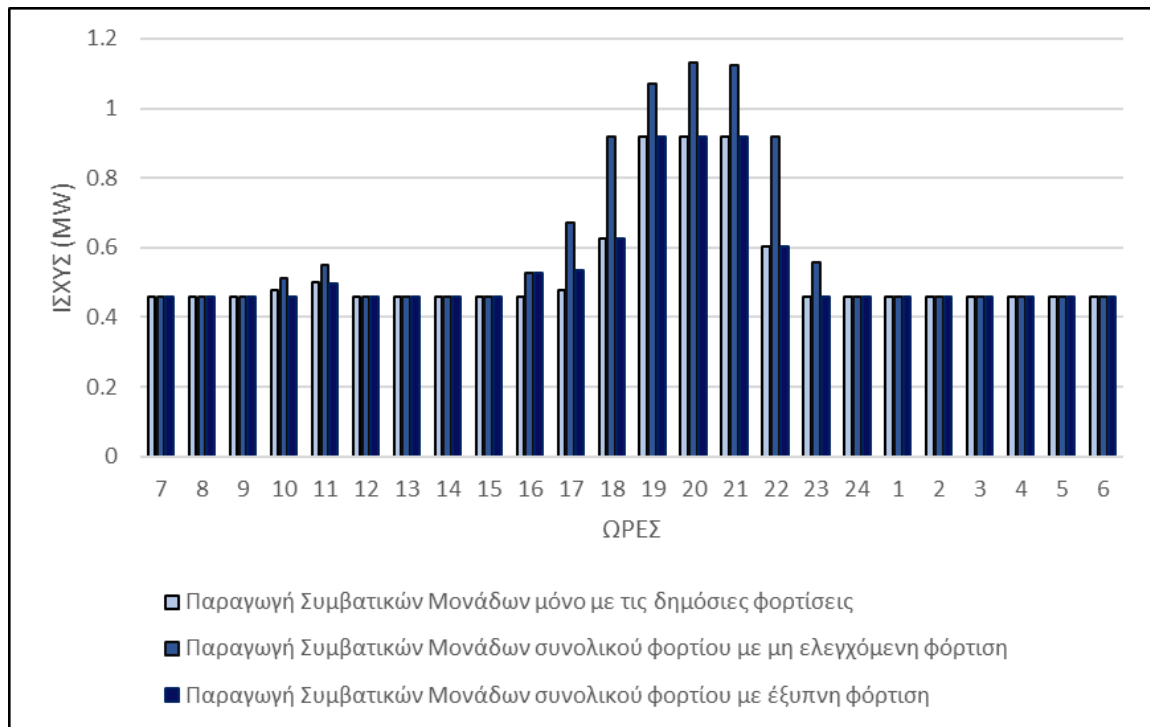
Στο Διάγραμμα 6.16 παρουσιάζεται η μεταφορά ενέργειας με τη μέθοδο της έξυπνης φόρτισης που αναπτύχθηκε. Η συγκεκριμένη ημέρα ανήκει στη δεύτερη περίοδο του έτους, όπου το φορτίο των οχημάτων είναι υψηλό λόγω της αύξησης του στόλου οχημάτων. Στο Διάγραμμα 6.16 απεικονίζεται το συνολικό φορτίο συμπεριλαμβάνοντας τις φορτίσεις όλων των ηλεκτρικών οχημάτων με χρήση μη ελεγχόμενης φόρτισης και με χρήση έξυπνης φόρτισης, καθώς και το φορτίο συμπεριλαμβάνοντας το φορτίο μόνο των δημόσιων φορτίσεων. Σημειώνεται πως παρουσιάζεται το φορτίο μόνο των δημόσιων φορτίσεων αντί για το φορτίο χωρίς την ένταξη όλου του στόλου, καθώς με αυτόν τον τρόπο μπορεί να γίνει καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του αλγορίθμου. Ο αλγόριθμος λαμβάνει υπ' όψιν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων μόνο με τις δημόσιες φορτίσεις και όχι απουσία όλων των ηλεκτρικών οχημάτων, το οποίο περιγράφεται αναλυτικότερα στη συνέχεια του κεφαλαίου στην ενότητα 6.6.

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 6.17, η απορριπτόμενη ενέργεια είναι μειωμένη στις ώρες της ημέρας, που υπάρχει μεγαλύτερη ζήτηση φορτίου, σε αντίθεση με τις βραδινές ώρες που η απορριπτόμενη ενέργεια είναι υψηλή λόγω της χαμηλής ζήτησης. Αρχικά από τα διαγράμματα 6.16 και 6.17 παρατηρείται μεγάλη διαφορά των κατανομών του φορτίου καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας λόγω της μεταφοράς των φορτίσεων με την έξυπνη φόρτιση. Στις ώρες 10:00, 11:00, 17:00, 20:00, 21:00 και 23:00 δεν υπάρχει αποκοπή ΑΠΕ όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6.17. Οι φορτίσεις αυτών των ωρών μεταφέρονται σε ώρες με απορριπτόμενη ενέργεια. Πιο συγκεκριμένα, οι φορτίσεις τις πρωινές ώρες στον χώρο εργασίας μεταφέρονται στις ώρες 12:00 έως 15:00 που υπάρχει υψηλή απορριπτόμενη ενέργεια. Αντίστοιχα, οι απογευματινές και βραδινές ώρες μεταφέρονται κυρίως στις βραδινές ώρες από τις 00:00 και μετά.



Διάγραμμα 6.17: Φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων με ελεγχόμενη φόρτιση και έξυπνη φόρτιση, απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ μη ελεγχόμενης φόρτισης στη διάρκεια μίας ημέρας

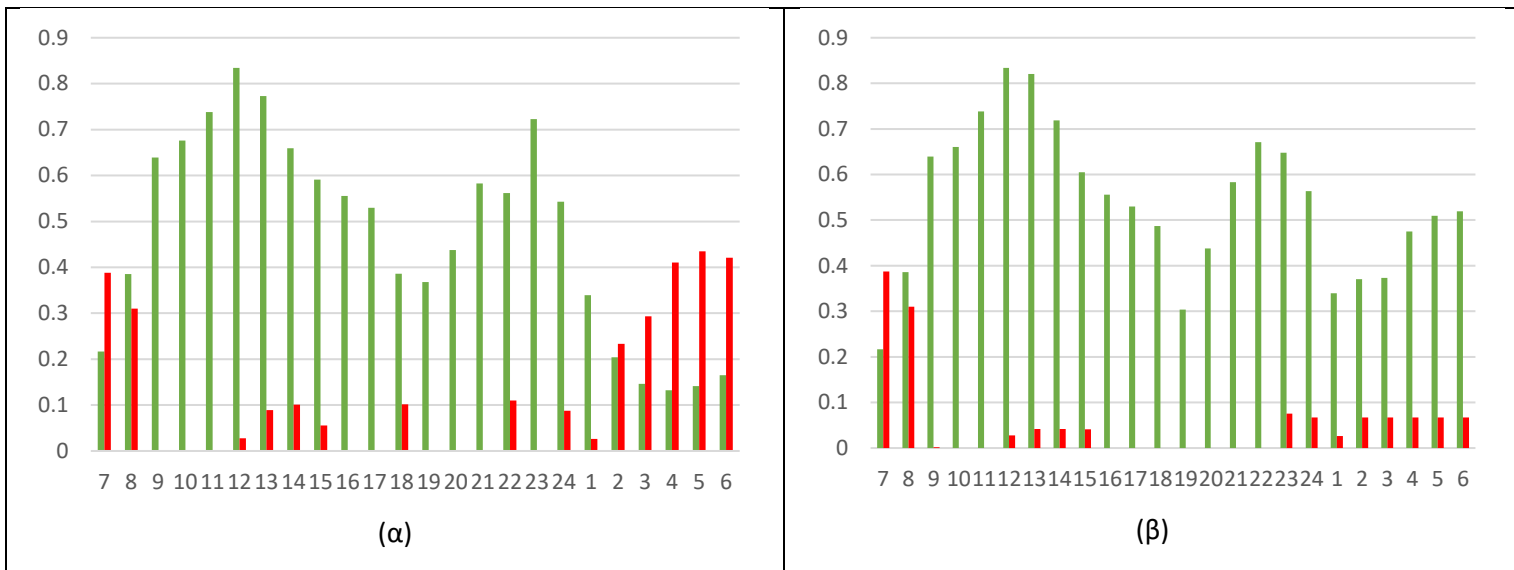
Στις ώρες 18:00 και 22:00 παρατηρείται απορριπτόμενη ενέργεια, όμως και αύξηση των δεσμευμένων συμβατικών μονάδων, σε σύγκριση με τον αριθμό των δεσμευμένων μονάδων μόνο με τις δημόσιες φορτίσεις. Για αυτό το λόγο η ενέργεια τους μεταφέρεται στις βραδινές ώρες με περίσσεια απορριπτόμενης ενέργειας, όπου δεν υπάρχει διαφορά στον αριθμό των δεσμευμένων συμβατικών μονάδων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των συμβατικών μονάδων σε λειτουργία αυτές τις ώρες εφαρμόζοντας την έξυπνη φόρτιση, όπως φαίνεται στο παρακάτω Διάγραμμα (Διάγραμμα 6.18).



Διάγραμμα 6.18: Παραγωγή Συμβατικών Μονάδων μόνο με δημόσιες φορτίσεις, με ελεγχόμενη φόρτιση και έξυπνη φόρτιση στη διάρκεια μίας ημέρας

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 6.19, στις ώρες 02:00 έως 06:00 φαίνεται πως η ενέργεια μεταφέρεται με τέτοιο τρόπο στις διαθέσιμες ώρες, ώστε σε κάθε ώρα να παραμείνει η ίδια ποσότητα απορριπτόμενης ενέργειας.

Με την εφαρμογή του αλγορίθμου υπάρχει σημαντική αύξηση της εντασσόμενης ενέργειας ΑΠΕ από 11.32 σε 12.98 MWh (αύξηση 14,66 %) και μείωση της απορριπτόμενης ενέργειας από 3.09 σε 1.35 MWh (μείωση 56.31%) . Με την μη ελεγχόμενη φόρτιση τη συγκεκριμένη μέρα το επιπλέον φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων καλύπτεται από 39,01 % ΑΠΕ ενώ με την έξυπνη φόρτιση από 95.36 %. Αυτό μπορεί να φανεί και από το διάγραμμα 6.18, καθώς όπως φαίνεται η συμβατική παραγωγή πριν την ένταξη των οχημάτων και με την έξυπνη φόρτιση είναι σχεδόν ταυτόσημη.

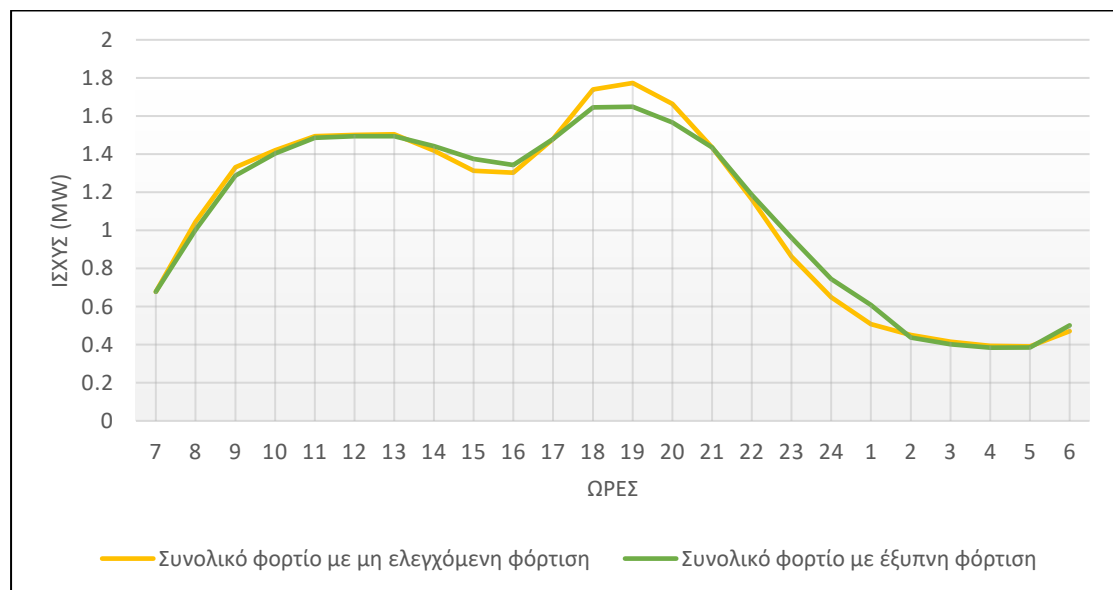


■ Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ ■ Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ

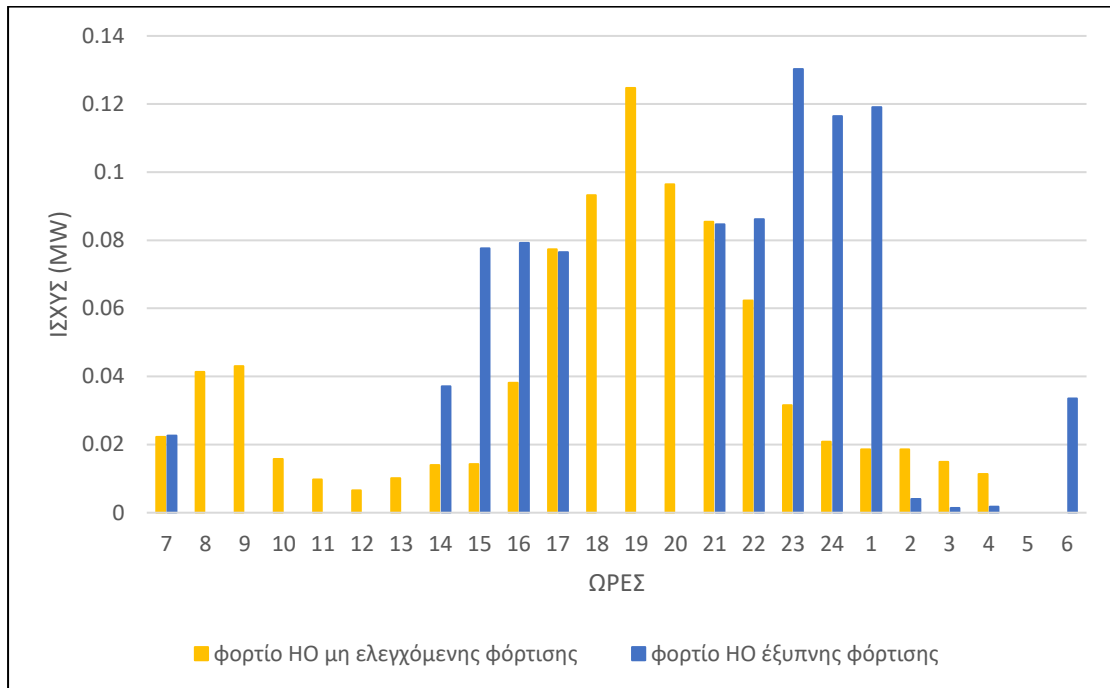
Διάγραμμα 6.19: Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ στη διάρκεια μίας ημέρας με (α) μη ελεγχόμενη φόρτιση και (β) έξυπνη φόρτιση,

όπου:

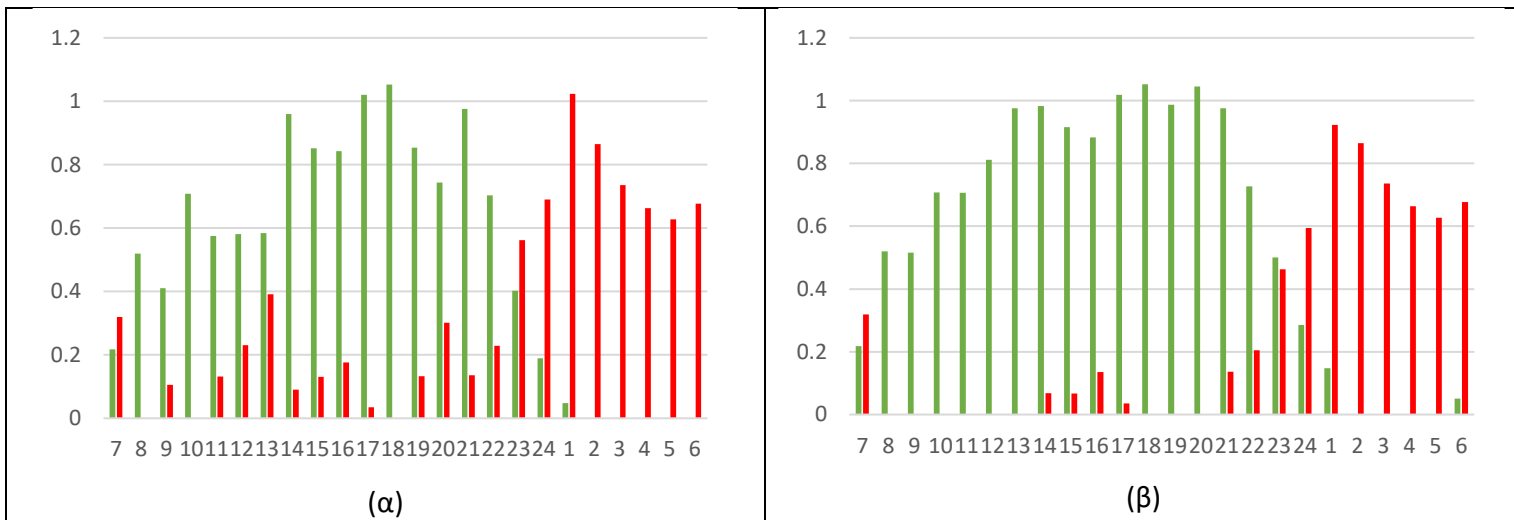
Η ημέρα που απεικονίζεται ακολούθως στα Διαγράμματα 6.20 έως 6.23 ανήκει στην πρώτη περίοδο του έτους με χαμηλή ζήτηση οχημάτων. Σε σχέση με την ημέρα που εξετάστηκε προηγουμένως (Διαγράμματα 6.16 έως 6.19) υπάρχει υψηλή απορριπτόμενη ενέργεια καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας (Διάγραμμα 6.22).



Διάγραμμα 6.20: Συνολικό φορτίο με ελεγχόμενη φόρτιση και έξυπνη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων στη διάρκεια μίας ημέρας



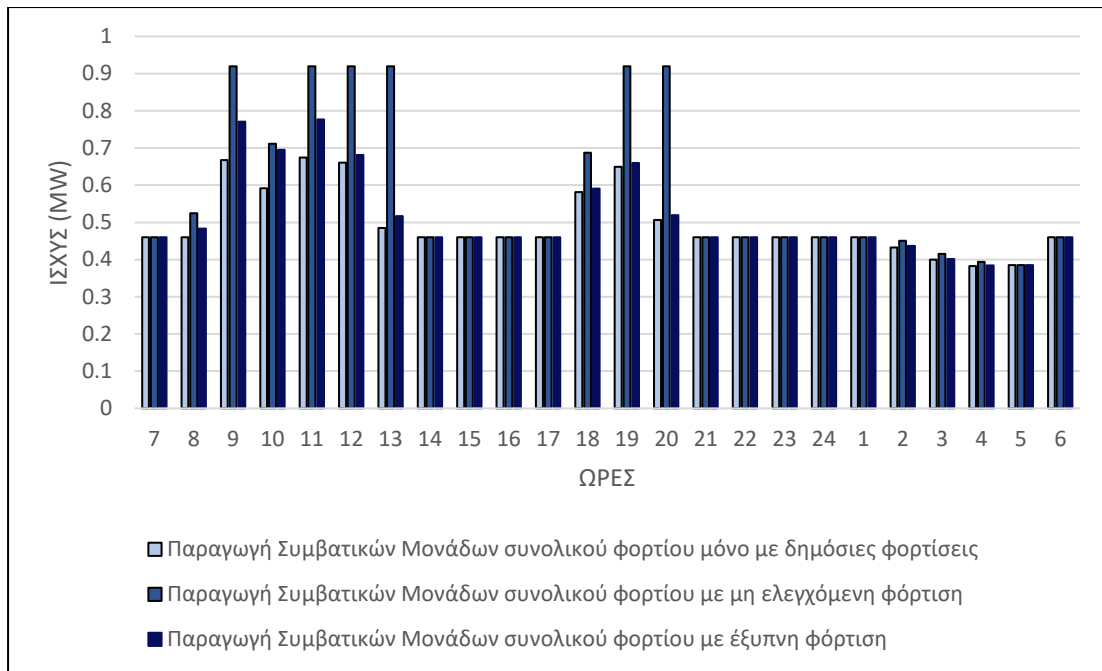
Διάγραμμα 6.21: Φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων με ελεγχόμενη φόρτιση και έξυπνη φόρτιση μη ελεγχόμενης φόρτισης στη διάρκεια μίας ημέρας



■ Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ ■ Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ

Διάγραμμα 6.22: (α) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ συνολικού φορτίου με μη ελεγχόμενη φόρτιση στη διάρκεια μίας ημέρας

(β) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ συνολικού φορτίου με έξυπνη φόρτιση στη διάρκεια μίας ημέρας



Διάγραμμα 6.23: Παραγωγή Συμβατικών Μονάδων μόνο με δημόσιες φορτίσεις, με ελεγχόμενη φόρτιση και έξυπνη φόρτιση στη διάρκεια μίας ημέρας

Από τα διάγραμμα 6.21 και 6.22 φαίνεται πως μεταφέρεται η ενέργεια των φορτίσεων σε ώρες με περίσσεια απορριπτόμενης ενέργειας ΑΠΕ. Συγκεκριμένα, η ενέργεια μεταφέρεται από τις ώρες 8:00 και 10:00 (όπου δεν παρατηρείται απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ) στις ώρες 14:00, 15:00 και 16:00. Επίσης από την ώρα 18:00 σε ώρες με υψηλή απορριπτόμενη ενέργεια από τις 22:00 μέχρι τη 01:00.

Επίσης παρατηρείται μεταφορά της ενέργειας των ωρών 09:00, 11:00, 12:00, 13:00 με στόχο την αποφυγή ένταξης επιπλέον συμβατικών μονάδων. Σε αυτές τις ώρες υπάρχει αύξηση συμβατικής μονάδας σε σχέση με πριν την ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων, όπως φαίνεται στο διαγράμματα 6.23. Αντίστοιχη μεταφορά παρατηρείται και από τις ώρες 19:00 και 20:00 στις ώρες 22:00 έως 01:00 για τον ίδιο λόγο.

Τέλος, οι ώρες 02:00 έως 04:00 λειτουργούν κάτω από το τεχνικό ελάχιστο της μίας μονάδας που είναι 0,46 MW. Για το λόγο αυτό μεταφέρεται ενέργεια από τις ώρες αυτές στην ώρα 06:00, που υπάρχει αποκοπή ΑΠΕ και συμβατική παραγωγή 0,46 MW. Από τη στιγμή που υπάρχει αποκοπή ΑΠΕ και συμβατική παραγωγή ίση με το τεχνικό ελάχιστο της μονάδας το επιπλέον φορτίο που μεταφέρεται στην ώρα 06:00 καλύπτεται με ΑΠΕ, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6.22, όπου αυξάνεται η εντασσόμενη ενέργεια ΑΠΕ εκείνη την ώρα.

Οι τεχνικές έξυπνης φόρτισης που εφαρμόστηκαν επιφέρουν σημαντική αύξηση στην εντασσόμενη ενέργεια ΑΠΕ, ίση με 14,59% κατά τη διάρκεια της ημέρας, και αντιστοίχως μείωση της απορριπτόμενης ενέργειας ΑΠΕ (η μείωση είναι ίση με 20,97%). Συγκεκριμένα, η εντασσόμενη ενέργεια ΑΠΕ (ως ποσοστό του συνολικού φορτίου) με τη μη ελεγχόμενη φόρτιση είναι 12,24 MWh, ενώ με την έξυπνη φόρτιση 14,03 MWh. Η απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ είναι με την μη ελεγχόμενη φόρτιση 8,25 MWh, ενώ με την

έξυπνη φόρτιση 6,52 MWh. Επομένως, παρά τη μικρή ζήτηση των οχημάτων στη συγκεκριμένη ημέρα, φαίνεται πως στην περίπτωση αυτή η τεχνική έξυπνης φόρτισης που αναπτύχθηκε μπορεί να επιφέρει σημαντική μείωση της απορριπτόμενης ενέργειας ΑΠΕ.

6.5 Εφαρμογή της τεχνικής έξυπνης φόρτισης που αναπτύχθηκε

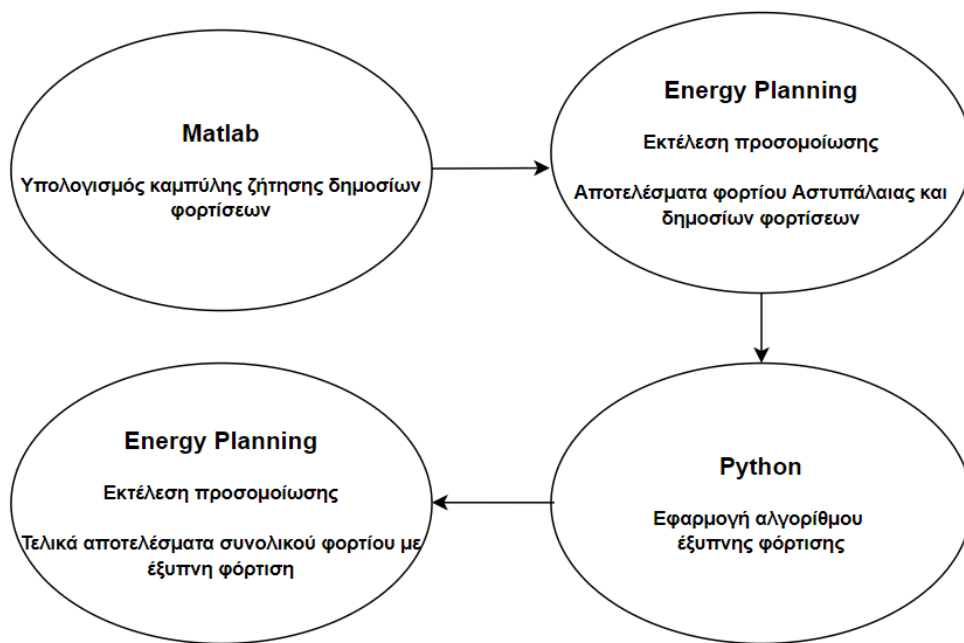
Σε αυτήν την ενότητα, η τεχνική έξυπνης φόρτισης που περιγράφηκε προηγουμένως εφαρμόζεται σε διάφορα σενάρια για το Ηλεκτρικό Σύστημα της Αστυπάλαιας λαμβάνοντας υπ' όψη και την ένταξη των Ηλεκτρικών Οχημάτων. Παρουσιάζεται πώς επιδρά η ένταξη των οχημάτων στο Ηλεκτρικό Σύστημα και πως η έξυπνη φόρτιση επηρεάζει τα αποτελέσματα των σεναρίων.

Για την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων με την εφαρμογή της έξυπνης φόρτισης ακολουθείται η εξής διαδικασία :

Αρχικά υπολογίζεται η ωριαία ζήτηση των δημοσίων φορτίσεων για ολόκληρο το έτος με τη μέθοδο που περιγράφηκε στην ενότητα 6.2. Πιο συγκεκριμένα, θεωρείται πως οι οδηγοί όταν φορτίζουν σε δημόσιους φορτιστές επιθυμούν όσο το δυνατόν γρηγορότερη φόρτιση στους σταθμούς αυτούς, οπότε δεν μπορεί να μετατοπιστεί η φόρτισή τους.

Η καμπύλη φόρτισης των δημόσιων φορτιστών εισάγεται στο ετήσιο φορτίο του συστήματος της Αστυπάλαιας και η νέα καμπύλη εισάγεται κατόπιν στο energy planning ως νέο μοντέλο Αιχμής/Ζήτησης. Εκτελούνται οι προσομοιώσεις του έτους, ώστε να βρεθούν τα νέα ωριαία αποτελέσματα της παραγωγής ΑΠΕ και συμβατικών, της απορριπτόμενης ενέργειας κ.τ.λ.

Προσδιορίζεται επίσης η συνολική ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων (πλέον των δημόσιων φορτιστών), με τον τρόπο που περιγράφηκε στην ενότητα 6.2. Η ζήτηση αυτή προστίθεται στη συνολική ζήτηση της Αστυπάλαιας και η νέα καμπύλη εισάγεται, επίσης, στο energy planning. Τέλος, λαμβάνονται τα τελικά αποτελέσματα των προσομοιώσεων του συνολικού φορτίου με τις φορτίσεις όλου του στόλου των Ηλεκτρικών Οχημάτων με τη χρήση έξυπνης φόρτισης, τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.



Διάγραμμα 6.24: Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας προσομοιώσεων με έξυπνη φόρτιση

6.5.1 Μελέτη σεναρίων χωρίς αποθηκευτικό σύστημα

Αρχικά μελετώνται σενάρια χωρίς την ύπαρξη αποθηκευτικού συστήματος. Πρώτα εξετάζεται ένα σενάριο όπου θεωρείται η εγκατάσταση ανεμογεννητριών ισχύος 1MW στην Αστυπάλαια, με ταυτόχρονη την παρουσία των ήδη υπαρχόντων φωτοβολταϊκών σταθμών 0,319MW (Σενάριο A-I). Εξετάζεται, επίσης ένα σενάριο αυξημένης διείσδυσης ΑΠΕ όπου λαμβάνεται υπόψιν η εγκατάσταση αιολικής ισχύος 3MW στην Αστυπάλαια (Σενάριο A-II). Στο σενάριο αυτό η φωτοβολταϊκή παραγωγή παραμένει ίση με το Σενάριο A-I.

Τα δύο Σενάρια A-I και A-II θεωρούνται τα σενάρια αναφοράς, δηλαδή τα σενάρια χωρίς ηλεκτρικά οχήματα. Η είσοδος ηλεκτρικών οχημάτων στο νησί της Αστυπάλαιας λαμβάνεται υπόψιν στα αντίστοιχα σενάρια B-I και B-II όπου τα οχήματα φορτίζουν με μη ελεγχόμενη φόρτιση και η ζήτηση τους προσδιορίζεται σύμφωνα με την ενότητα 6.2 . Τα Σενάρια Γ-I και Γ-II είναι τα αντίστοιχα σενάρια με την εφαρμογή της τεχνικής έξυπνης φόρτισης που αναπτύχθηκε.

Τα σενάρια αυτά φαίνονται στον Πίνακα 6.12 και τα αποτελέσματά τους στον πίνακα 6.13 και στα διαγράμματα που ακολουθούν:

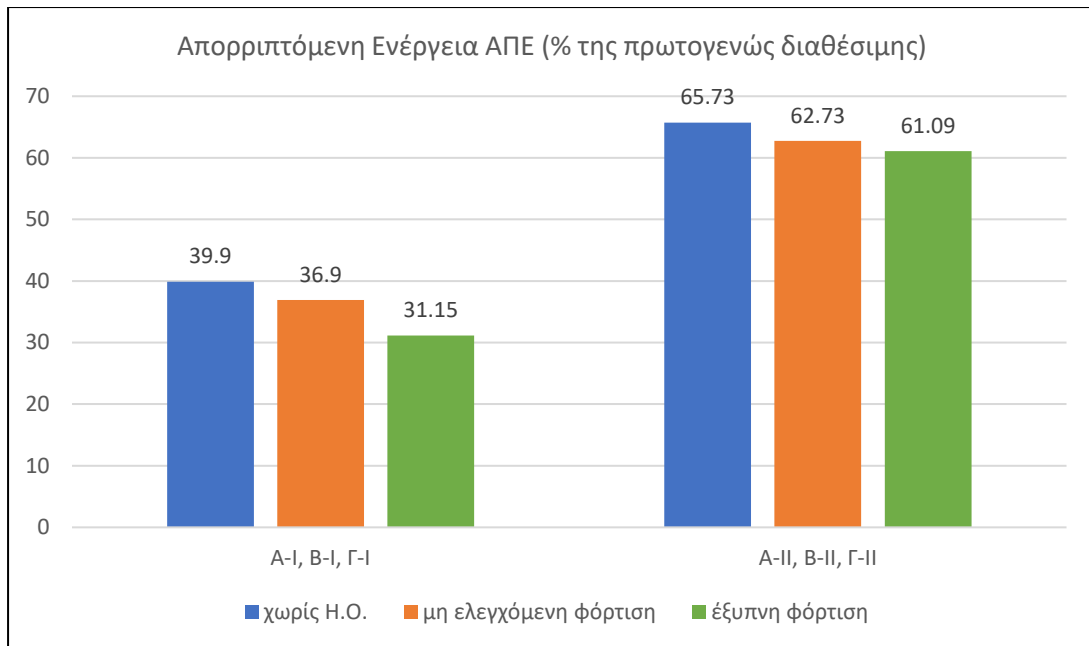
| Σενάριο | ΑΠ (MW) | ΦΒ(MW) | Μη Ελεγχόμενη Φόρτιση | Έξυπνη Φόρτιση |
|---------|---------|--------|-----------------------|----------------|
| A-I | 1 | 1,319 | - | - |
| A-II | 3 | 2,319 | - | - |
| B-I | 1 | 1,319 | ✓ | |
| B-II | 3 | 2,319 | ✓ | |
| Γ-I | 1 | 1,319 | | ✓ |
| Γ-II | 3 | 2,319 | | ✓ |

Πίνακας 6.13: Διαστασιολόγηση εξεταζόμενων σεναρίων

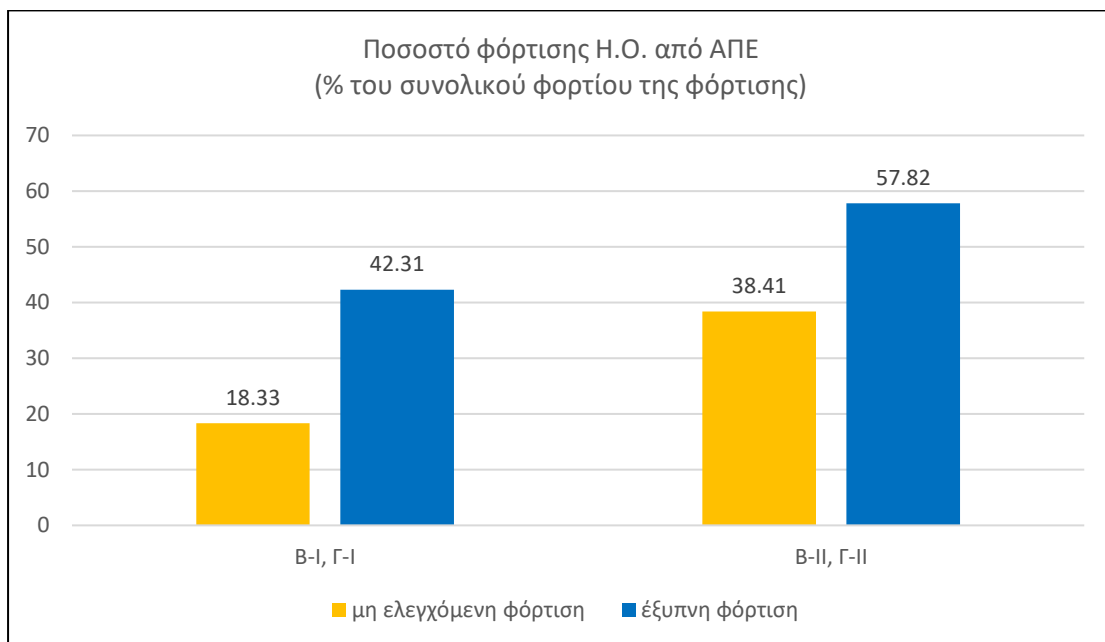
Στον πίνακα 6.14 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων των σεναρίων

| A/A Σεναρίου | ΑΠ (MW) | ΦΒ (MW) | Εντασσόμενη ενέργεια ΑΠΕ (MWh) | Ποσοστό φόρτισης ΗΟ από ΑΠΕ (% του συνολικού φορτίου της φόρτισης) | Απορριπτ. Ενέργεια ΑΠΕ (% της πρωτογενώς διαθέσιμης) | Ετήσια διείσδυση ΑΠΕ (% του φορτίου) |
|---|---------|---------|--------------------------------|--|--|--------------------------------------|
| Χωρίς φορτίσεις ηλεκτρικών οχημάτων | | | | | | |
| A-I | 1 | 0,319 | 2339 | - | 39,90 | 29,28 |
| A-II | 3 | 0,319 | 3701 | - | 65,73 | 45,53 |
| Με μη ελεγχόμενη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων | | | | | | |
| B-I | 1 | 0,319 | 2475 | 18,33 | 36,90 | 27,90 |
| B-II | 3 | 0,319 | 3986 | 38,41 | 62,64 | 44,94 |
| Με έξυπνη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων | | | | | | |
| Γ-I | 1 | 0,319 | 2653 | 42,31 | 31,15 | 29,92 |
| Γ-II | 3 | 0,319 | 4130 | 57,82 | 61,09 | 46,56 |

Πίνακας 6.14: Σύγκριση αποτελεσμάτων σεναρίων μη ελεγχόμενης, έξυπνης φόρτισης και απουσία ηλεκτρικών οχημάτων



Διάγραμμα 6.25: Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ των σεναρίων μη ελεγχόμενης, έξυπνης φόρτισης και απουσία ηλεκτρικών οχημάτων



Διάγραμμα 6.26: Ποσοστό φόρτισης Η.Ο. από ΑΠΕ των σεναρίων μη ελεγχόμενης, έξυπνης φόρτισης και απουσία ηλεκτρικών οχημάτων

Στο Σενάριο A-II, η εντασσόμενη ενέργεια ΑΠΕ είναι 3701 MWh, ενώ στο σενάριο χαμηλότερης ισχύος A-I 2339 MWh.

Για τα Σενάρια B-I και B-II, όπως φαίνεται στον πίνακα 6.13, η ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων αύξησε και στα δύο σενάρια την παραγωγή ΑΠΕ. Αντίστοιχα, μειώνεται η απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ κατά 3 περίπου ποσοστιαίες μονάδες και στα δύο σενάρια, ωστόσο παρατηρείται μείωση στην ετήσια διείσδυση ΑΠΕ ως προς το συνολικό φορτίο του συστήματος.

Όπως φαίνεται από το ποσοστό φόρτισης των Ηλεκτρικών Οχημάτων από ΑΠΕ στον πίνακα 6.14, το επιπλέον φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων στα σενάρια της μη ελεγχόμενης φόρτισης καλύπτεται κυρίως από συμβατική παραγωγή. Ακόμα και στο σενάριο B-II, όπου υπάρχει πολύ υψηλή απορριπτόμενη ενέργεια, το ποσοστό φόρτισης των οχημάτων με ανανεώσιμη ενέργεια είναι μόλις 38,41 %, μικρότερο από τη διείσδυση ΑΠΕ του συνολικού φορτίου (44,94%) .

Σημειώνεται πως το ποσοστό του φορτίου των οχημάτων που χρησιμοποιεί ανανεώσιμες πηγές ενέργειας υπολογίζεται ως ο λόγος της διαφοράς της εντασσόμενης ενέργειας ΑΠΕ του συστήματος χωρίς την ένταξη των οχημάτων από την εντασσόμενη ενέργεια ΑΠΕ με τις φορτίσεις των οχημάτων προς το συνολικό φορτίο των οχημάτων.

Με την εφαρμογή της έξυπνης φόρτισης παρατηρείται σημαντική αύξηση της εντασσόμενης ενέργειας ΑΠΕ τόσο στο σενάριο υψηλής ισχύος, όσο και στο σενάριο χαμηλής ισχύος. Στο σενάριο Γ-II σημειώνεται αύξηση της εντασσόμενης ενέργειας ΑΠΕ κατά 178 MWh, το οποίο μεταφράζεται σε αύξηση 7,19%, ενώ αντίστοιχα στο σενάριο Γ-II η εντασσόμενη ενέργεια ΑΠΕ αυξάνεται κατά 144 MWh (3,62%). Στο σενάριο Γ-I παρατηρείται μεγαλύτερη αύξηση της εντασσόμενης ενέργειας ΑΠΕ από το σενάριο Γ-II με τη χρήση έξυπνης φόρτισης. Καθώς προηγουμένως υπήρξε συγκριτικά πολύ μεγαλύτερη αύξηση της εντασσόμενης ενέργειας ΑΠΕ με τη χρήση μη ελεγχόμενης φόρτισης στο σενάριο B-II σε σχέση με το B-I, το αποτέλεσμα αυτό είναι λογικό. Συμπεραίνεται πως η μεγαλύτερη απορριπτόμενη ενέργεια ευνοεί περισσότερο τη χρήση ΑΠΕ για τις φορτίσεις των οχημάτων με μη ελεγχόμενη φόρτιση. Αντίθετα τα αποτελέσματα στο σενάριο μικρότερης απορριπτόμενης ενέργειας με τη χρήση έξυπνης φόρτισης είναι καλύτερα.

Παρατηρείται πως και στα δύο σενάρια η τεχνική έξυπνης φόρτισης επιτυγχάνει να καλύψει ένα μεγάλο μέρος της φόρτισης των οχημάτων με παραγωγή από ΑΠΕ. Σε σενάρια με χαμηλή σχετικά διείσδυση ΑΠΕ, όπως το σενάριο A-I, η επιπλέον παραγωγή ΑΠΕ οδηγεί σε μία σημαντική μείωση της συνολικής απορριπτόμενης ενέργειας από ΑΠΕ.

Η μείωση της απορριπτόμενης ενέργειας δεν είναι ιδιαίτερα εμφανής σε σενάρια με πολύ μεγάλη εγκατεστημένη ισχύ ΑΠΕ. Πιο συγκεκριμένα είναι εμφανές στο Σενάριο A-II (και αντίστοιχα τα σενάρια B-II και Γ-II) ότι η τεχνική έξυπνης φόρτισης καταφέρνει να εξυπηρετήσει το νέο φορτίο ηλεκτρικών οχημάτων κατά 57,82% από ΑΠΕ. Η έξυπνη φόρτιση στο σενάριο αυτό καταφέρνει να αυξήσει τη διείσδυση ΑΠΕ σημαντικά, ωστόσο, η προσφερόμενη ευελιξία από τα ηλεκτρικά οχήματα είναι αισθητά μικρότερη από την παραγωγή ΑΠΕ.

Και στο σενάριο B-II χωρίς έξυπνη φόρτιση και στο σενάριο Γ-II με τη χρήση έξυπνης φόρτισης το ποσοστό φόρτισης των Ηλεκτρικών Οχημάτων από ΑΠΕ αυξήθηκε κατά 23,98 και 19,41 ποσοστιαίες μονάδες αντίστοιχα. Η μεγάλη αύξηση ποσοστού φόρτισης των

οχημάτων οδήγησε και σε αύξηση της ετήσιας διείσδυσης ΑΠΕ. Και στις δύο περιπτώσεις η ετήσια διείσδυση ΑΠΕ ξεπέρασε την ετήσια διείσδυση ΑΠΕ πριν την ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων.

Τέλος, σημειώνεται πως η συνολική ενέργεια των φορτίσεων των οχημάτων είναι 742 MWh, όμως με την έξυπνη φόρτιση δεν μπορεί να μετατοπιστεί το φορτίο των δημόσιων φορτίσεων. Οπότε μπορεί να μετατοπιστεί φορτίο συνολικής ενέργειας μόλις 612 MWh.

Στο πλαίσιο αυτό, και για τα δύο αυτά σενάρια εξετάζεται η περίπτωση όπου η ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων διπλασιάζεται. Σημειώνεται ότι ένας διπλάσιος αριθμός οχημάτων για την Αστυπάλαια οδηγεί σε έναν ιδιαίτερα αυξημένο αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων οδηγώντας σε ένα φουτουριστικό σενάριο. Ωστόσο, το σενάριο αυτό εξετάζεται ώστε να μελετηθούν οι δυνατότητες του αλγορίθμου σε περιπτώσεις αυξημένης ζήτησης ηλεκτρικών οχημάτων (π.χ. για την εφαρμογή σε κάποιο νησί μεγαλύτερης έκτασης, όπως η Ρόδος).

Τα σενάρια με το διπλάσιο αριθμό Ηλεκτρικό Οχημάτων παρουσιάζονται στον πίνακα 6.15 και τα ενεργειακά τους αποτελέσματα στον πίνακα 6.16 και στα διαγράμματα που ακολουθούν:

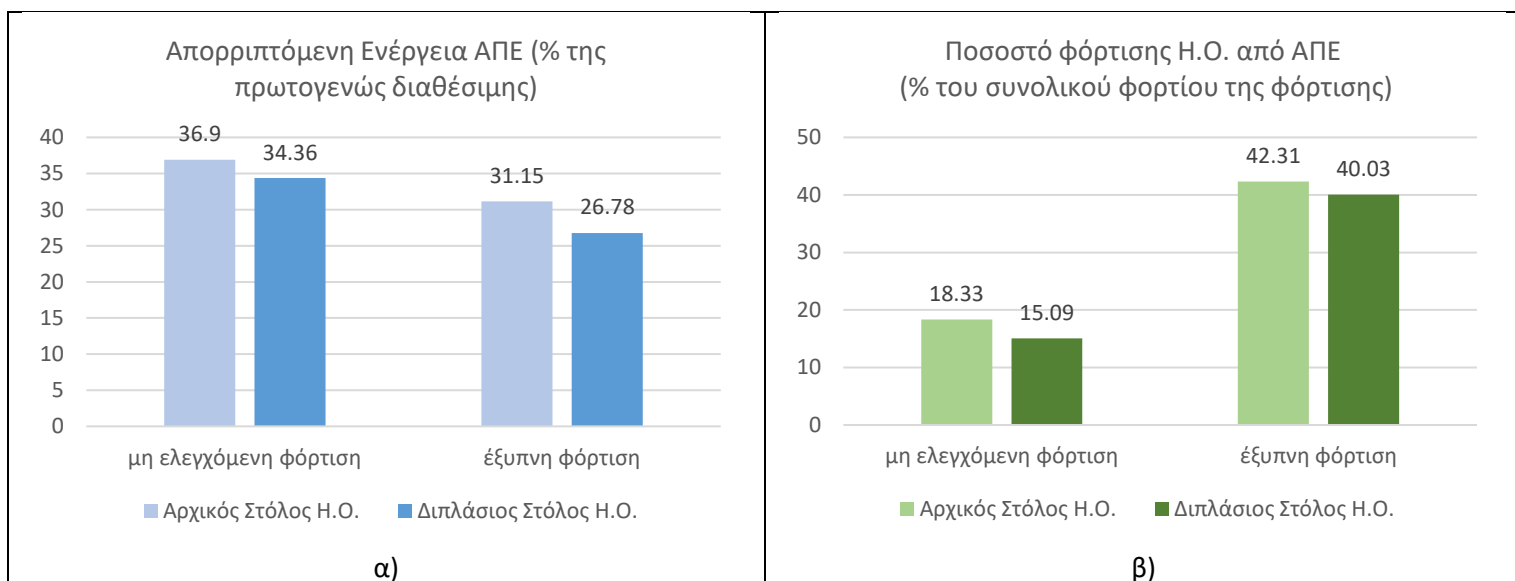
| Σενάριο | ΑΠ (MW) | ΦΒ(MW) | Μη Ελεγχόμενη Φόρτιση | Έξυπνη Φόρτιση | Αριθμός Ηλεκτρικών Οχημάτων |
|---------|---------|--------|-----------------------|----------------|-----------------------------|
| A-I | 1 | 1,319 | - | - | - |
| A-II | 3 | 2,319 | - | - | - |
| B-I | 1 | 1,319 | ✓ | | X1 |
| B-II | 3 | 2,319 | ✓ | | X1 |
| Γ-I | 1 | 1,319 | | ✓ | X1 |
| Γ-II | 3 | 2,319 | | ✓ | X1 |
| B-III | 1 | 1,319 | ✓ | | X2 |
| B-IV | 3 | 2,319 | ✓ | | X2 |
| Γ-III | 1 | 1,319 | | ✓ | X2 |
| Γ-IV | 3 | 2,319 | | ✓ | X2 |

Πίνακας 6.15: Διαστασιολόγηση εξεταζόμενων σεναρίων με διπλάσιο αριθμό οχημάτων

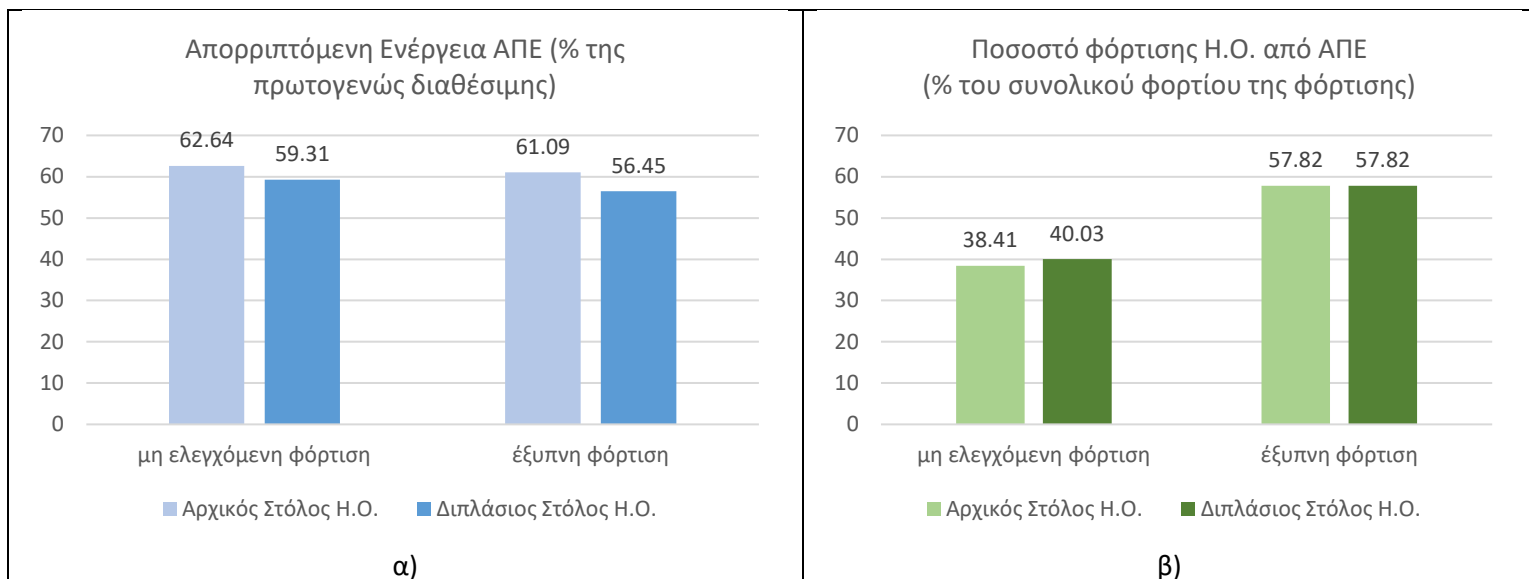
| A/A Σενα- ρίου | ΑΠ (MW) | ΦΒ (MW) | Εντασσόμενη ενέργεια ΑΠΕ (MWh) | Ποσοστό φόρτισης ΗΟ από ΑΠΕ (% του συνολικού φορτίου της φόρτισης) | Απορριπτ. Ενέργεια ΑΠΕ (% της πρωτογενώς διαθέσιμης) | Ετήσια διείσδυση ΑΠΕ (% του φορτίου) |
|---|------------|------------|--------------------------------------|---|--|---|
| Χωρίς φορτίσεις ηλεκτρικών οχημάτων | | | | | | |
| A-I | 1 | 0,319 | 2339 | - | 39,90 | 29,28 |
| A-II | 3 | 0,319 | 3701 | - | 65,73 | 45,53 |
| Με μη ελεγχόμενη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων | | | | | | |
| B-III | 1 | 0,319 | 2563 | 15,09 | 34,36 | 27,03 |
| B-IV | 3 | 0,319 | 4295 | 40,03 | 59,31 | 44,94 |
| Με έξυπνη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων | | | | | | |
| Γ-III | 1 | 0,319 | 2798 | 30,93 | 26,78 | 29,51 |
| Γ-IV | 3 | 0,319 | 4559 | 57,82 | 56,45 | 48,08 |

Πίνακας 6.16: Σύγκριση ενεργειακών αποτελεσμάτων σεναρίων μη ελεγχόμενης, έξυπνης φόρτισης διπλάσιου αριθμού οχημάτων και απουσία ηλεκτρικών οχημάτων

1



Διάγραμμα 6.27: α) Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ (% της πρωτογενώς διαθέσιμης) των σεναρίων (B-I, B-III) και (Γ-I, Γ-III) β) Ποσοστό φόρτισης Η.Ο. από ΑΠΕ των σεναρίων (B-I, B-III) και (Γ-I, Γ-III)



Διάγραμμα 6.28: α) Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ των σεναρίων (B-II, B-IV) και (Γ-II, Γ-IV) β) Ποσοστό φόρτισης Η.Ο. από ΑΠΕ των σεναρίων (B-II, B-IV) και (Γ-II, Γ-IV)

Και στα δύο σενάρια παρατηρείται υψηλότερη αύξηση της εντασσόμενης ενέργειας σε σχέση με τα ίδια σενάρια χωρίς διπλασιασμό των οχημάτων με τη χρήση μη ελεγχόμενης φόρτισης. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της αύξησης του φορτίου σε ώρες με υψηλή απορριπτόμενη ενέργεια και χαμηλή συνολική ζήτηση πριν την ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων, όπως πολλές ώρες στην πρώτη χρονική περίοδο. Στο σενάριο B-IV ο διπλασιασμός των οχημάτων οδήγησε σε διπλάσια αύξηση της εντασσόμενης ενέργειας ΑΠΕ με τη μη ελεγχόμενη φόρτιση. Συγκεκριμένα παρατηρείται αύξηση 594 MWh αντί 285 MWh πριν το διπλασιασμό των οχημάτων.

Και στα δύο σενάρια παρατηρείται σημαντική αύξηση της εντασσόμενης ενέργειας ΑΠΕ με τη χρήση έξυπνης φόρτισης. Ο διπλασιασμός των οχημάτων ευνοεί την αύξηση της παραγωγής ΑΠΕ και αντίστοιχα τη μείωση της απορριπτόμενης ενέργειας. Συγκεκριμένα η απορριπτόμενη ενέργεια στο σενάριο Γ- III μειώθηκε κατά 13,12 ποσοστιαίες μονάδες με τη χρήση έξυπνης φόρτισης σε σχέση με πριν την ένταξη των οχημάτων. Αντίστοιχα το σενάριο Γ-IV μειώθηκε κατά 9,28 ποσοστιαίες μονάδες. Επίσης φαίνεται πως το σενάριο με την υψηλή εγκατεστημένη ισχύ ΑΠ (A-II, B-IV, Γ-IV) ευνοείται περισσότερο από το σενάριο χαμηλής εγκατεστημένης ισχύος ΑΠ (A-I, B-III, Γ-III) με το επιπλέον φορτίο με τη χρήση έξυπνης φόρτισης λόγω της υψηλότερης απορριπτόμενης ενέργειας.

Κατόπιν κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια συσχέτιση με το Κεφάλαιο 5 και να υπολογιστούν τα οικονομικά αποτελέσματα των σεναρίων που εξετάστηκαν παραπάνω, τόσο με τον αρχικό αριθμό στόλου όσο και με διπλάσιο αριθμό οχημάτων. Σημειώνεται πως εφαρμόζεται η ίδια τιμή αποζημίωσης όπως και για τα σενάρια με τους ΥΒΣ. Τα οικονομικά αποτελέσματα των εξεταζόμενων σεναρίων παρουσιάζονται στον πίνακα 6.17:

| Α/Α σενα- ρίου | Εντασσόμενη ενέργεια ΥΒΣ (MWh) | Απορριπτ. Ενέργεια ΑΠΕ (% της πρωτογενώς διαθέσιμης) | Μέσο Κόστος Παραγωγής ΗΣ (€/MWh) | 233,54€/MWh | | 210,19 MWh | |
|--|--------------------------------------|--|--|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|
| | | | | σενάριο χαμηλού κόστους | | σενάριο χαμηλού κόστους | |
| | | | | EBA (%) | ΣΚΕ (€/MWh) | EBA (%) | ΣΚΕ (€/MWh) |
| Χωρίς φορτίσεις ηλεκτρικών οχημάτων | | | | | | | |
| A-I | 1811 | 39,90 | 281,27 | 26,19 | 98,80 | 23,43 | 98,10 |
| A-II | 3173 | 65,73 | 266,12 | 14,92 | 158,90 | 13,08 | 158,15 |
| Με φορτίσεις ηλεκτρικών οχημάτων | | | | | | | |
| B-I | 1947 | 36,90 | 283,08 | 28,25 | 92,42 | 25,30 | 91,67 |
| B-II | 3458 | 62,64 | 268,31 | 16,52 | 146,42 | 14,57 | 145,67 |
| B-III | 2035 | 34,36 | 283,24 | 29,57 | 88,75 | 26,50 | 88,00 |
| B-IV | 3767 | 59,31 | 268,26 | 18,23 | 135,02 | 16,15 | 134,27 |
| Με έξυπνη φόρτιση | | | | | | | |
| Γ-I | 2125 | 31,15 | 281,01 | 30,92 | 85,30 | 27,73 | 84,56 |
| Γ-II | 3602 | 61,09 | 265,79 | 17,32 | 140,86 | 15,31 | 140,11 |
| Γ-III | 2270 | 26,78 | 281,56 | 33,09 | 80,33 | 29,69 | 79,59 |
| Γ-IV | 4031 | 56,45 | 265,32 | 19,67 | 126,66 | 17,47 | 125,92 |

Πίνακας 6.17: Οικονομικά αποτελέσματα εξεταζόμενων σεναρίων

Αρχικά παρατηρείται πως χωρίς την ένταξη των Ηλεκτρικών Οχημάτων το σενάριο A-I έχει πολύ υψηλό Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης και αντίστοιχα χαμηλό Σταθμισμένο Κόστος Επένδυσης. Η επένδυση του έργου κρίνεται ιδιαίτερα επικερδής και βιώσιμη. Το σενάριο A-II έχει χειρότερα αποτελέσματα συγκριτικά με το σενάριο A-I, το οποίο μπορεί να αιτιολογηθεί και από το μεγαλύτερο ποσοστό απορριπτόμενης ενέργειας ΑΠΕ. Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό της απορριπτόμενης ενέργειας ΑΠΕ τόσο μειώνεται το IRR, καθώς μειώνεται το κέρδος της επένδυσης, εφόσον αποζημιώνεται μικρότερη ποσότητα ενέργειας από όσο μπορεί να παραχθεί. Σημειώνεται πως τα οικονομικά αποτελέσματα του σεναρίου A-II είναι αντίστοιχα των σεναρίων 33 και 43 του ΥΒΣ (IRR : 15,43 / 14,72 , LCOE : 157,38 / 163,33 για τιμή αποζημίωσης 233,54 €/MWh). Παρατηρείται πως η προσθήκη οχημάτων βελτιώνει τους οικονομικούς δείκτες της επένδυσης, καθώς μειώνεται η απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ και κατά αντιστοιχία αυξάνεται η παραγόμενη ενέργεια ΑΠΕ. Με την εφαρμογή της μη ελεγχόμενης φόρτισης παρατηρείται όμως αύξηση του Μέσου Κόστους Παραγωγής του Ηλεκτρικού Συστήματος, καθώς το μεγαλύτερο μέρος του επιπλέον φορτίου των Η.Ο. καλύπτεται από συμβατικές μονάδες, όπως προκύπτει και από τη στήλη «Ποσοστό φόρτισης Η.Ο. από ΑΠΕ» του Πίνακα 6.15. Η έξυπνη φόρτιση από την άλλη αυξάνει το Ποσοστό Φόρτισης των Η.Ο. σημαντικά με αποτέλεσμα να μειώνεται το Κόστος Παραγωγής σε επίπεδα μικρότερα του αρχικού Κόστους Παραγωγής πριν την ένταξη των Ηλεκτρικών Οχημάτων. Τα οικονομικά αποτελέσματα της επένδυσης (EBA και ΣΚΕ) βελτιώνονται περαιτέρω με την εφαρμογή της έξυπνης φόρτισης.

Ο διπλασιασμός των Ηλεκτρικών Οχημάτων οδηγεί σε σημαντικότερη βελτίωση των οικονομικών παραμέτρων του έργου, καθώς, όπως παρουσιάστηκε και στον πίνακα 6.15, η προσθήκη του επιπλέον φορτίου των οχημάτων οδηγεί σε αύξηση της εντασσόμενης ενέργειας ΑΠΕ. Με την εφαρμογή της έξυπνης φόρτισης παρατηρείται πως το Μέσο Κόστος Παραγωγής του ΗΣ είναι και στα δύο σενάρια αντίστοιχο με το Μέσο Κόστος Παραγωγής πριν το διπλασιασμό του στόλου. Σημειώνεται πως η τιμή αποζημίωσης που

έχει εφαρμοστεί για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων είναι αρκετά υψηλή και μπορεί να θεωρηθεί μη ρεαλιστική για την συγκεκριμένη επένδυση και κατ' επέκταση τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτήν. Σε αντίθεση με τα σενάρια με τον ΥΒΣ η ετήσια διείσδυση ΑΠΕ δεν μπορεί να φτάσει τόσο υψηλά επίπεδα (κατώτερο όριο πράσινου νησιού 60%) για να δικαιολογήσει τη συγκεκριμένη τιμή αποζημίωσης.

6.5.2 Εφαρμογή της έξυπνης φόρτισης σε σενάρια με υβριδικούς σταθμούς

Για τις ενεργειακές προσομοιώσεις εξετάζονται επίσης τα 4 επικρατέστερα σενάρια του Υβριδικού Σταθμού που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 5. Στα σενάρια αυτά υπάρχει ιδιαίτερα υψηλή απορρόφηση ΑΠΕ που παρατηρείται και λόγω της αυξημένης χωρητικότητας μπαταριών στον Υβριδικό Σταθμό. Αναλυτικά τα 4 σενάρια που εξετάζονται, παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.18 :

| A/A Σεναρίου | ΑΠ (MW) | ΦΒ(MW) | Μπαταρία (MWh) |
|--------------|---------|--------|----------------|
| 6 | 0 | 5,319 | 9,6 |
| 22 | 3 | 0,319 | 9,6 |
| 33 | 2 | 1,319 | 7,2 |
| 43 | 2 | 2,319 | 9,6 |

Πίνακας 6.18: Σύνοψη σεναρίων υβριδικών σταθμών για προσομοιώσεις με Ηλεκτρικά Οχήματα.

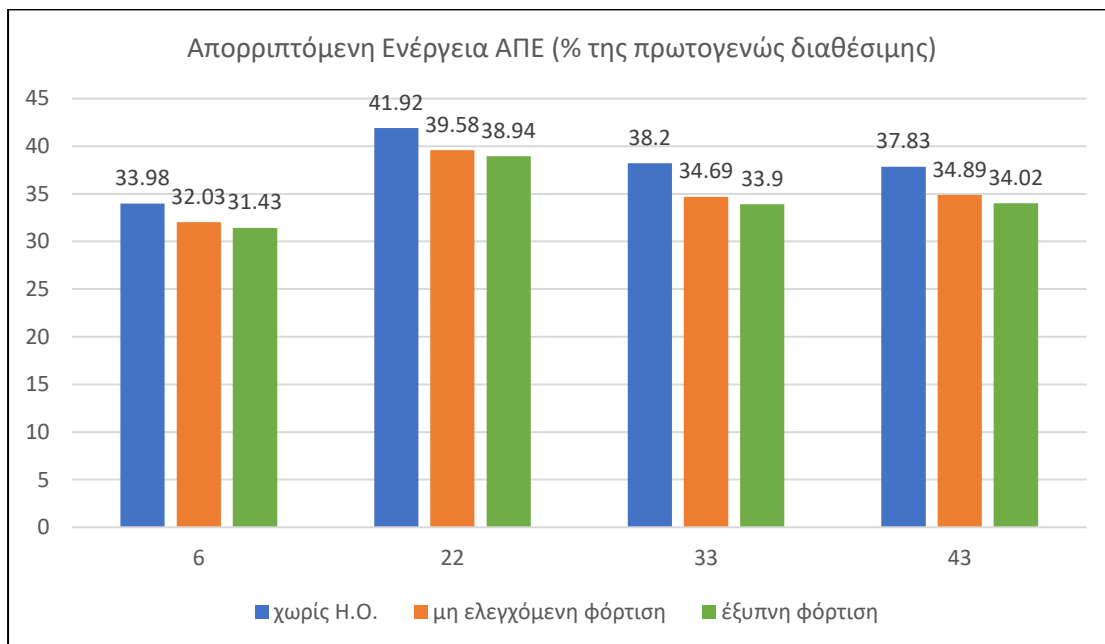
Στους Πίνακες 6.19 και 6.20 καθώς και στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα ενεργειακά και τα οικονομικά αποτελέσματα των προσομοιώσεων των 4 επικρατέστερων σεναρίων του Υβριδικού σταθμού:

| A/A Σεναρίου | ΑΠ (MW) | ΦΒ(MW) | Μπαταρία (MWh) | Εντασσόμενη ενέργεια ΑΠΕ (MWh) | Ποσοστό φόρτισης ΗΟ από ΑΠΕ (% του συνολικού φορτίου της φόρτισης) | Απορριπτ. Ενέργεια ΑΠΕ (% της πρωτογενώς διαθέσιμης) | Ετήσια διείσδυση ΑΠΕ (% του φορτίου) |
|---|---------|--------|----------------|--------------------------------|--|--|--------------------------------------|
| Χωρίς φορτίσεις ηλεκτρικών οχημάτων | | | | | | | |
| 6 | 0 | 5,319 | 9,6 | 5069 | - | 33,98 | 62,56 |
| 22 | 3 | 0,319 | 9,6 | 5627 | - | 41,92 | 69,23 |
| 33 | 2 | 1,319 | 7,2 | 5085 | - | 38,20 | 62,56 |
| 43 | 2 | 2,319 | 9,6 | 6006 | - | 37,83 | 73,90 |
| Με μη ελεγχόμενη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων | | | | | | | |
| 6 | 0 | 5,319 | 9,6 | 5181 | 15,09 | 32,03 | 58,4 |
| 22 | 3 | 0,319 | 9,6 | 5817 | 25,60 | 39,58 | 65,57 |
| 33 | 2 | 1,319 | 7,2 | 5317 | 31,26 | 34,69 | 59,94 |
| 43 | 2 | 2,319 | 9,6 | 6221 | 28,97 | 34,89 | 70,13 |
| Με έξυπνη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων | | | | | | | |
| 6 | 0 | 5,319 | 9,6 | 5224 | 20,89 | 31,43 | 58,90 |
| 22 | 3 | 0,319 | 9,6 | 5877 | 33,69 | 38,94 | 66,25 |
| 33 | 2 | 1,319 | 7,2 | 5383 | 40,16 | 33,90 | 60,69 |
| 43 | 2 | 2,319 | 9,6 | 6298 | 39,35 | 34,02 | 71,00 |

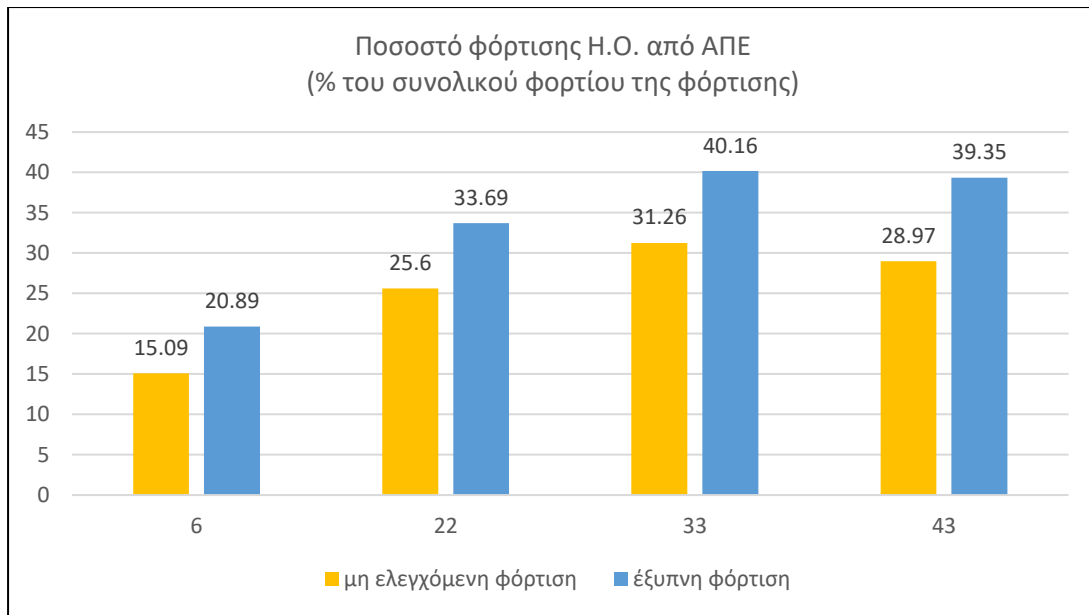
Πίνακας 6.19: Σύγκριση ενεργειακών αποτελεσμάτων σεναρίων ΥΒΣ μη ελεγχόμενης, έξυπνης φόρτισης και απουσία ηλεκτρικών οχημάτων

| Α/Α Σενα- ρίου | Εντασσόμενη ενέργεια ΥΒΣ (MWh) | Απορριπτ. Ενέργεια ΑΠΕ (% της πρωτογενώς διαθέσιμης | Μέσο Κόστος Παραγωγής ΗΣ (€/MWh) | 233,54€/MWh | | 210,19 MWh | |
|--|--------------------------------------|---|--|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|
| | | | | σενάριο χαμηλού κόστους | | σενάριο χαμηλού κόστους | |
| | | | | EBA (%) | ΣΚΕ (€/MWh) | EBA (%) | ΣΚΕ (€/MWh) |
| Χωρίς φορτίσεις ηλεκτρικών οχημάτων | | | | | | | |
| 6 | 4541 | 33,98 | 255,72 | 13,10 | 178,28 | 11,32 | 177,53 |
| 22 | 5099 | 41,92 | 249,16 | 13,45 | 174,66 | 11,65 | 173,92 |
| 33 | 4557 | 38,20 | 255,70 | 15,43 | 157,38 | 13,50 | 156,64 |
| 43 | 5478 | 37,83 | 245,91 | 14,72 | 163,33 | 12,83 | 162,59 |
| Με φορτίσεις ηλεκτρικών οχημάτων | | | | | | | |
| 6 | 4653 | 32,03 | 259,56 | 13,53 | 174,17 | 11,78 | 172,87 |
| 22 | 5289 | 39,58 | 252,35 | 14,11 | 168,65 | 12,26 | 167,91 |
| 33 | 4789 | 34,69 | 257,97 | 16,34 | 150,12 | 14,40 | 149,38 |
| 43 | 5693 | 34,89 | 248,22 | 15,49 | 157,00 | 13,56 | 156,26 |
| Με έξυπνη φόρτιση | | | | | | | |
| 6 | 4696 | 31,43 | 258,80 | 13,69 | 172,64 | 11,93 | 171,35 |
| 22 | 5349 | 38,94 | 251,78 | 14,31 | 166,85 | 12,45 | 166,10 |
| 33 | 4855 | 33,90 | 257,35 | 16,66 | 148,18 | 14,65 | 147,44 |
| 43 | 5770 | 34,02 | 247,41 | 15,75 | 155,00 | 13,80 | 154,26 |

Πίνακας 6.20: Σύγκριση οικονομικών αποτελεσμάτων σεναρίων ΥΒΣ μη ελεγχόμενης, έξυπνης φόρτισης και απουσία ηλεκτρικών οχημάτων



Διάγραμμα 6.29: Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ των σεναρίων ΥΒΣ μη ελεγχόμενης, έξυπνης φόρτισης και απουσία ηλεκτρικών οχημάτων



Διάγραμμα 6.30: Ποσοστό φόρτισης Η.Ο. από ΑΠΕ των σεναρίων μη ελεγχόμενης, έξυπνης φόρτισης και απουσία ηλεκτρικών οχημάτων

Τα σενάρια με τον Υβριδικό Σταθμό έχουν πολύ υψηλότερη εντασόμενη ενέργεια ΑΠΕ λόγω της πολύ μεγάλης χωρητικότητας της μπαταρίας. Αντίστοιχα και η ετήσια διείσδυση ΑΠΕ ως προς το φορτίο είναι πολύ υψηλότερη.

Σε όλα τα παραπάνω σενάρια, η προσθήκη των ηλεκτρικών οχημάτων στα σενάρια με μη ελεγχόμενη φόρτιση, αυξάνει την εντασόμενη ενέργεια του ΥΒΣ, καθώς αυξάνεται το συνολικό φορτίο. Λόγω της αύξησης της εντασόμενης ενέργειας ΑΠΕ παρατηρείται παράλληλα μείωση της απορριπτόμενης ενέργειας. Η διείσδυση ΑΠΕ ως ποσοστό της συνολικής παραγωγής όμως μειώνεται, διότι η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων δεν συμβαδίζει πάντα με τις ώρες που υπάρχει αποκοπή ΑΠΕ. Αντίθετα, από την κατανομή του συνολικού φορτίου παρατηρείται πως συνήθως οι ώρες αυξημένης ζήτησης του συνολικού φορτίου του Ηλεκτρικού Συστήματος είναι αντίστοιχες με τις ώρες αιχμής της κατανομής του φορτίου των φορτίσεων των Ηλεκτρικών Οχημάτων. Στις αιχμές του συνολικού φορτίου είναι επίσης πιο πιθανό να μην υπάρχουν υψηλά ποσοστά απορριπτόμενης ενέργειας πριν την ένταξη των Ηλεκτρικών Οχημάτων, καθώς η ανανεώσιμη ενέργεια χρησιμοποιείται για την κάλυψη του υψηλού φορτίου του συστήματος εκείνες τις ώρες, ειδικά σε μέρες που δεν υπάρχει μεγάλη παραγωγική ικανότητα ΑΠΕ λόγω των καιρικών συνθηκών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται κυρίως συμβατική παραγωγή για τις φορτίσεις των Ηλεκτρικών Οχημάτων, που οδηγεί σε μείωση της ετήσιας διείσδυσης ΑΠΕ. Μάλιστα στα σενάρια 6 και 33 η διείσδυση μειώνεται κάτω από το 60% που είχε τεθεί ως όριο της διείσδυσης ΑΠΕ για τα αποδεκτά σενάρια του προηγούμενου κεφαλαίου.

Σε σύγκριση με τα σενάρια χωρίς αποθηκευτικό σύστημα, φαίνεται πως η ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων με τη μη ελεγχόμενη φόρτιση αυξάνει λιγότερο την εντασόμενη ενέργεια. Στο σενάριο A-II (B-II) η εντασόμενη ενέργεια αυξήθηκε κατά 285 MWh, ενώ

στο σενάριο 22, που αποτελείται από την ίδια σύνθεση ΑΠΕ με επιπλέον το αποθηκευτικό σύστημα, κατά 190 MWh λόγω της πολύ μεγαλύτερης ήδη παραγωγής ΑΠΕ στο σενάριο 22 και πριν την ένταξη των οχημάτων και αντίστοιχα της υψηλότερης απορριπτόμενης ενέργειας του σεναρίου A-II (B-II).

Συγκρίνοντας τα σενάρια του ΥΒΣ, παρατηρείται πως τα σενάρια με συνδυασμό τεχνολογιών ΑΠΕ παρουσιάζουν υψηλότερο ποσοστό φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων από ΑΠΕ. Το σενάριο 22, στο οποίο υπάρχει το υψηλότερο ποσοστό απορριπτόμενης ενέργειας, ακολουθεί τα σενάρια 33 και 43 με ποσοστό φόρτισης των Οχημάτων από ΑΠΕ 25,60%. Τέλος, στο σενάριο 6 το ποσοστό φόρτισης των Ηλεκτρικών Οχημάτων από ΑΠΕ είναι μόλις 15,09%.

Με την χρήση έξυπνης φόρτισης παρατηρείται σε όλα τα σενάρια αύξηση της εντασσόμενης ενέργειας ΑΠΕ. Η αύξηση της εντασσόμενης ενέργειας ΑΠΕ οδηγεί σε αντίστοιχη μείωση της απορριπτόμενης ενέργειας ΑΠΕ και σε αύξηση του ποσοστού φόρτισης των Ηλεκτρικών Οχημάτων από ΑΠΕ. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι η τεχνική έξυπνης φόρτισης επιτυγχάνει να αυξήσει σημαντικά τη φόρτιση των οχημάτων από ΑΠΕ.

Παρατηρείται ότι η τεχνική έξυπνη φόρτιση επιτυγχάνει και στην περίπτωση των υβριδικών σταθμών να μειώσει την απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ και αντίστοιχα να αυξήσει την εντασσόμενη ενέργεια ΑΠΕ, όχι όμως σε μεγάλο βαθμό. Σημειώνεται, ωστόσο, ότι στην περίπτωση των υβριδικών σταθμών το πρόβλημα ένταξης των μονάδων παραγωγής (συμβατικών ή ΑΠΕ) είναι πιο περίπλοκο. Πιο συγκεκριμένα, στο energy planning, ως απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ θεωρείται η απορριπτόμενη ενέργεια του ΥΒΣ, η οποία συνδέεται με τις δηλώσεις ενέργειας και τις δηλώσεις παραγωγής του ΚΗΕΠ για το κάθε 12ώρο. Επιπλέον οι μπαταρίες δίνουν τη δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας και της χρήσης της σε μεταγενέστερο χρονικό διάστημα, εισάγοντας περαιτέρω περιορισμούς στο πρόβλημα μετάθεσης της ζήτησης των οχημάτων. Στο πλαίσιο αυτό, το πρόβλημα ανάπτυξης μίας μεθόδου έξυπνης φόρτισης, παράλληλα με τη λειτουργία υβριδικών σταθμών, γίνεται ιδιαίτερα περίπλοκο απαιτώντας πιθανώς μία διαφορετική προσέγγιση. Πιο συγκεκριμένα φαίνεται ότι απαιτείται η ανάπτυξη ενός προβλήματος βελτιστοποίησης όπου θα αναπτύσσεται ο ΚΗΕΠ, η λειτουργία των υβριδικών σταθμών (λαμβάνοντας υπόψιν και περιορισμούς που σχετίζονται με την αποθήκευση ενέργειας), καθώς και η λειτουργία των σταθμών φόρτισης με ανάπτυξη τεχνικών έξυπνης φόρτισης. Η ανάπτυξη, ωστόσο ενός τέτοιου προβλήματος βελτιστοποίησης ξεφεύγει από τα πλαίσια αυτής της διπλωματικής.

Οι οικονομικοί δείκτες της επένδυσης του έργου με την ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων είναι βελτιωμένοι, καθώς αυξάνεται η εντασσόμενη ενέργεια ΑΠΕ που παράγεται από τον ΥΒΣ. Βέβαια, όπως είναι λογικό, το μέσο κόστος παραγωγής του Ηλεκτρικού συστήματος αυξάνεται, καθώς το μεγαλύτερο μέρος του επιπλέον φορτίου των ΗΟ καλύπτεται από συμβατικές μονάδες, οπότε αυξάνεται σε μεγαλύτερο ποσοστό η θερμική παραγωγή που έχει μεγαλύτερο κόστος παραγωγής από την ενέργεια από ΑΠΕ. Η εφαρμογή της έξυπνης φόρτισης βελτιώνει περαιτέρω τον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης και το Σταθμισμένο Κόστος Επένδυσης, χωρίς όμως να παρατηρούνται σημαντικές αλλαγές, όπως και στα ενεργειακά αποτελέσματα. Παράλληλα μειώνεται το Μέσο Κόστος Παραγωγής, το οποίο παραμένει πάντως σε όλες τις περιπτώσεις υψηλότερο από το Μέσο Κόστος Παραγωγής

του Ηλεκτρικού Συστήματος χωρίς την προσθήκη των ηλεκτρικών οχημάτων. Σημειώνεται τέλος πως δεν λήφθηκαν υπ' όψιν τα οικονομικά αποτελέσματα των σεναρίων υψηλού κόστους, καθώς όλα τα σενάρια κρίθηκαν μη βιώσιμα.

Συμπεράσματα και επεκτάσεις της εργασίας

7.1 Συμπεράσματα

Στη διπλωματική εργασία μελετήθηκαν αρχικά ένας αριθμός σεναρίων με τη χρήση του software «Energy Planning» που έχει αναπτυχθεί από την ερευνητική ομάδα SmartRue. Πιο συγκεκριμένα το energy planning προσέφερε τη δυνατότητα της εκτέλεσης προσομοιώσεων διαφορετικών σεναρίων διαστασιολόγησης ΑΠΕ και συστήματος αποθήκευσης για την εύρεση βιώσιμων ορίων και των βέλτιστων σεναρίων λειτουργίας.

Τα αποτελέσματα της εργασίας δείχνουν πως με τις κατάλληλες επιλογές ως προς την εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (κατάλληλη επιλογή σεναρίων ως προς την εγκατάσταση ανεμογεννητριών και ΦΒ) μπορεί να υπάρξει ένα πράσινο Μη Διασυνδεδεμένο Νησί με υψηλή διείσδυση ΑΠΕ. Βασική προϋπόθεση είναι η λειτουργία Υβριδικού Σταθμού Παραγωγής με υψηλή χωρητικότητα αποθηκευτικού συστήματος. Το μειωμένο κόστος εγκατάστασης των τεχνολογιών ΑΠΕ και των μπαταριών σε σχέση με το παρελθόν επιτρέπει τη σύνθεση πολλών σεναρίων ΑΠΕ. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων καταδεικνύουν ότι συνθέσεις ΥΒΣ με υψηλότερη εγκατεστημένη ισχύ ευνοούν την ετήσια διείσδυση ΑΠΕ και μειώνουν το κόστος παραγωγής του Ηλεκτρικού Συστήματος, καθώς αποφεύγεται η λειτουργία των πιο ακριβών συμβατικών μονάδων. Ωστόσο, η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος ΑΠΕ πέραν ορισμένου ορίου οδηγεί σε υψηλή απορριπτόμενη ενέργεια του σταθμού, γεγονός που έχει δυσμενή επίδραση στους οικονομικούς δείκτες των σεναρίων.

Για να μελετηθεί η επίδραση της ηλεκτροκίνησης στο σύστημα της Αστυπάλαιας και πιθανές μεταβολές ως προς τη διείσδυση ΑΠΕ που δύναται να επιφέρει η φόρτιση των οχημάτων, αναπτύχθηκε μία μέθοδος προσδιορισμού του ημερήσιου προφίλ φόρτισης των οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, ελήφθησαν υπ' όψιν 6 είδη οχημάτων (scooters, επιβατικά μικρού μεγέθους, επιβατικά μεσαίου μεγέθους, επιβατικά μεγάλου μεγέθους, mini-buses, φορτηγά) για καθένα από τα οποία προσδιορίστηκαν σύμφωνα με αντίστοιχα εμπορικά διαθέσιμα οχήματα η κατανάλωση και η αυτονομία τους. Ελήφθησαν υπ' όψιν, επίσης, 3 διαφορετικά είδη φορτίσεων: φόρτιση στο σπίτι, στο χώρο εργασίας και σε δημόσιους φορτιστές. Για κάθε μία προσδιορίστηκε η ώρα άφιξης των οχημάτων στους φορτιστές, καθώς και η απαιτούμενη ενέργεια φόρτισης των οχημάτων βάσει της διανυόμενης απόστασής τους. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω χαρακτηριστικά προσδιορίστηκε το ημερήσιο προφίλ φόρτισης οχημάτων για τρεις διαφορετικές περιόδους. Παρατηρήθηκε ότι τα οχήματα εισάγουν μία αιχμή τις πρωινές ώρες την περίοδο, όταν φτάνουν οι περισσότεροι οδηγοί στο χώρο εργασίας τους και ταυτόχρονα υπάρχει αυξημένη κινητικότητα στους δημόσιους φορτιστές. Επίσης παρατηρείται μία ακόμα αιχμή στην κατανομή των φορτίσεων τις βραδινές ώρες, η οποία ξεπερνάει την πρωινή αιχμή και οφείλεται κυρίως στις οικιακές φορτίσεις και στις φορτίσεις του σταθμού φόρτισης των λεωφορείων και των φορτηγών. Επίσης παρατηρείται πως οι

αιχμές των φορτίσεων ,ειδικά των βραδινών ωρών, μεταφέρονται πιο αργά την τουριστική περίοδο λόγω του αυξημένου στόλου των λεωφορείων που φορτίζουν αργότερα σε σχέση με τα υπόλοιπα οχήματα και του μεγαλύτερου χρόνου φόρτισης των επιβατικών λόγω του αυξημένου φορτίου τους την τουριστική περίοδο.

Στη συνέχεια εκτελέστηκαν οι προσομοιώσεις των 4 βέλτιστων σεναρίων του ΥΒΣ, καθώς και επιπλέον σενάρια χωρίς αποθηκευτικό σύστημα με την ένταξη των φορτίσεων των οχημάτων. Από τις προσομοιώσεις προκύπτει ότι η αύξηση του φορτίου λόγω της ηλεκτροκίνησης επιφέρει τόσο στα σενάρια του ΥΒΣ καθώς και στα σενάρια χωρίς μπαταρία μερική αύξηση στην εντασσόμενη ενέργεια ΑΠΕ που έχει σαν αποτέλεσμα βελτίωση και των οικονομικών δεικτών της επένδυσης. Παρ' όλα αυτά, αν η φόρτιση γίνει με έναν μη ελεγχόμενο τρόπο επιδεινώνεται η ετήσια διείσδυση ΑΠΕ (ποσοστό επί του φορτίου). Ως επακόλουθο, αυξάνεται το ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας από θερμικούς σταθμούς και κατ' επέκταση το Μέσο Κόστος Λειτουργίας του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας. Επίσης η μειωμένη διείσδυση ΑΠΕ έχει ως συνέπεια την απόρριψη σεναρίων, τα οποία ήταν κοντά στο επιτρεπτό όριο του ποσοστού διείσδυσης πριν την ένταξη των οχημάτων. Συγκεκριμένα, δύο από τα σενάρια ΥΒΣ που επιλέχθηκαν ως καταλληλότερα βάσει της διείσδυσης ΑΠΕ και των οικονομικών τους δεικτών δεν θεωρούνται αποδεκτά μετά την προσθήκη των ηλεκτρικών οχημάτων με τη μη ελεγχόμενη φόρτιση.

Ένα πρόγραμμα έξυπνης φόρτισης, το οποίο δίνει προτεραιότητα στις ΑΠΕ έχει τη δυνατότητα μετατόπισης των φορτίσεων σε ώρες με αποκοπή ΑΠΕ. Η μέθοδος έξυπνης φόρτισης που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της Διπλωματικής Εργασίας βελτιώνει την απόδοση της επένδυσης, καθώς αυξάνει την εντασσόμενη ενέργεια ΑΠΕ. Ταυτόχρονα, αυξάνεται η διείσδυση των ΑΠΕ (ως ποσοστό επί του φορτίου) σε σχέση με τα σενάρια μη ελεγχόμενης φόρτισης. Η μέθοδος έξυπνης φόρτισης που αναπτύχθηκε λειτουργεί ιδιαίτερα ικανοποιητικά σε σενάρια χωρίς αποθηκευτικό σύστημα αυξάνοντας σημαντικά το ποσοστό φόρτισης των Ηλεκτρικών Οχημάτων που καλύπτεται από ΑΠΕ, καθώς και την ετήσια διείσδυση ΑΠΕ. Σενάρια με υψηλά ποσοστά απορριπτόμενης ενέργειας ΑΠΕ ευνοούνται από την τεχνική της έξυπνης φόρτισης.

Πέρα από τα σενάρια χωρίς αποθηκευτικό σύστημα, η τεχνική έξυπνη φόρτισης επιτυγχάνει και στην περίπτωση των υβριδικών σταθμών να μειώσει την απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ και αντίστοιχα να αυξήσει την εντασσόμενη ενέργεια ΑΠΕ, όχι όμως σε μεγάλο βαθμό.

Στη μέθοδο έξυπνης φόρτισης που αναπτύχθηκε θεωρήθηκε ότι η φόρτιση των οχημάτων (πέραν των φορτίσεων σε δημόσιους φορτιστές που προσφέρουν τη δυνατότητα γρήγορης φόρτισης) προσφέρει τη μέγιστη δυνατή ευελιξία. Πιο συγκεκριμένα, η φόρτιση των οχημάτων δύναται να κατανεμηθεί μεταξύ όλων των ωρών που το όχημα είναι σταθμευμένο και συνδεδεμένο με το φορτιστή. Στο πλαίσιο αυτό αξιοποιείται η φόρτιση των οχημάτων με τρόπο ώστε να ευνοείται η διείσδυση ΑΠΕ. Σε περίπτωση που έχει αξιοποιηθεί όλη η διαθέσιμη ενέργεια από ΑΠΕ, η μέθοδος έξυπνης φόρτισης κατανέμει καλύτερα τις φορτίσεις μέσα στη μέρα με στόχο τη φόρτιση σε ώρες χαμηλού φορτίου οδηγώντας σε μείωση της συνολικής αιχμής της ημέρας.

Τέλος, ο διπλασιασμός του στόλου των Ηλεκτρικών Οχημάτων αυξάνει την εντασσόμενη ενέργεια ΑΠΕ και βελτιώνει κατ' επέκταση τους οικονομικούς δείκτες της επένδυσης. Το

επιπλέον φορτίο των Ηλεκτρικών Οχημάτων ευνοεί ιδιαίτερα σενάρια με υψηλή απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ.

7.2 Επεκτάσεις της Εργασίας

Σε ένα επόμενο στάδιο της εργασίας αυτής θα μπορούσε να διερευνηθεί πώς μπορούν οι δυνατότητες ευελιξίας φόρτισης που παρουσιάστηκαν σε αυτή τη Διπλωματική Εργασία να ενταχθούν στην ηλεκτρική αγορά των ΜΔΝ. Πιο συγκεκριμένα, είναι σημαντικό να εξετασθεί ο τρόπος παροχής των υπηρεσιών ή της ευελιξίας προς τον Διαχειριστή του Συστήματος (πιθανώς μέσω ενός Φορέα Σωρευτικής Εκπροσώπησης Ηλεκτρικών Οχημάτων – EV Aggregator), καθώς και η αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφόρων παραγόντων στην αγορά.

Είναι επίσης σημαντικό να εξετασθεί και ένα πιθανό τιμολογιακό καθεστώς για τις φορτίσεις των ηλεκτρικών οχημάτων, το οποίο θα αποζημιώνει κατάλληλα τους χρήστες των οχημάτων ανάλογα με τις επιλογές φόρτισης τους. Στο πλαίσιο αυτό είναι δυνατό να αναζητηθεί η διαμόρφωση ενός κατάλληλου προβλήματος βελτιστοποίησης με στόχο τη μεγιστοποίηση του κέρδους των χρηστών των Ηλεκτρικών Οχημάτων.

Μια ακόμα εξέλιξη της εργασίας θα μπορούσε να αφορά και τη λειτουργία Vehicle to Grid (V2G), η οποία θα δίνει τη δυνατότητα στα οχήματα παράλληλα με την έξυπνη φόρτιση να παρέχουν ενέργεια στο δίκτυο και να εξεταστεί πώς η μέθοδος αυτή μπορεί να βελτιώσει τα αποτελέσματα της έξυπνης φόρτισης που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία.

Στη Διπλωματική Εργασία εξετάσθηκε η δυνατότητα παροχής ευελιξίας φόρτισης 'μετατοπίζοντας' τη φόρτιση των οχημάτων κατά προτεραιότητα σε ώρες με αυξημένη παραγωγή ΑΠΕ. Θα ήταν επίσης χρήσιμο να εξετασθούν επιπλέον δυνατότητες των οχημάτων ως προς την εξυπηρέτηση αναγκών του συστήματος, όπως για παράδειγμα για την παροχή εφεδρείας στο σύστημα, αυξάνοντας έτσι την απορρόφηση των ΑΠΕ από το Ηλεκτρικό Σύστημα.

Τέλος, σαν επόμενο στάδιο για την ορθότερη προσέγγιση του προβλήματος όσον αφορά του Υβριδικούς Σταθμούς, απαιτείται η ανάπτυξη ενός προβλήματος βελτιστοποίησης όπου θα αναπτύσσεται ο ΚΗΕΠ, η λειτουργία των υβριδικών σταθμών (λαμβάνοντας υπ' όψιν και περιορισμούς που σχετίζονται με την αποθήκευση ενέργειας), καθώς και η λειτουργία των σταθμών φόρτισης με ανάπτυξη τεχνικών έξυπνης φόρτισης. Παράλληλα, θα μπορούσαν να συνυπολογιστούν η κατάσταση των μπαταριών του κάθε οχήματος (π.χ. τη ζωή της μπαταρίας), καθώς και το επιθυμητό επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας κάθε οχήματος.

Κατάλογος Διαγραμμάτων

| | |
|--|-----|
| Διάγραμμα 8.1: Διάγραμμα ροής περιγραφής του αλγορίθμου έξυπνης φόρτισης..... | 124 |
| Διάγραμμα 8.2: Διάγραμμα ροής εντολής μεταφοράς ενέργειας 1 αλγορίθμου έξυπνης φόρτισης..... | 125 |
| Διάγραμμα 8.3: Διάγραμμα ροής εντολής μεταφοράς ενέργειας 2 αλγορίθμου έξυπνης φόρτισης..... | 126 |
| Διάγραμμα 8.4: Σύγκριση φορτίου μόνο με δημόσιες φορτίσεις, συνολικού φορτίου με μη ελεγχόμενη και με έξυπνη φόρτιση..... | 128 |
| Διάγραμμα 8.5 : (α) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ μόνο με τις δημόσιες φορτίσεις (β) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ συνολικού φορτίου με μη ελεγχόμενη φόρτιση (γ) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ συνολικού φορτίου με έξυπνη φόρτιση..... | 128 |
| Διάγραμμα 8.6: Σύγκριση φορτίου μόνο με δημόσιες φορτίσεις, συνολικού φορτίου με μη ελεγχόμενη και με έξυπνη φόρτιση | 129 |
| Διάγραμμα 8.7: (α) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ μόνο με τις δημόσιες φορτίσεις (β) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ συνολικού φορτίου με μη ελεγχόμενη φόρτιση (γ) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ συνολικού φορτίου με έξυπνη φόρτιση..... | 130 |
| Διάγραμμα 8.8: (α) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Παραγωγή Συμβατικών Μονάδων μόνο με τις δημόσιες φορτίσεις (β) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Παραγωγή Συμβατικών Μονάδων συνολικού φορτίου με μη ελεγχόμενη φόρτιση (γ) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Παραγωγή Συμβατικών Μονάδων συνολικού φορτίου με έξυπνη φόρτιση..... | 131 |
| Διάγραμμα 8.9 : Σύγκριση φορτίου μόνο με δημόσιες φορτίσεις, συνολικού φορτίου με μη ελεγχόμενη και με έξυπνη φόρτιση..... | 132 |
| Διάγραμμα 8.10: (α) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ μόνο με τις δημόσιες φορτίσεις (β) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ συνολικού φορτίου με μη ελεγχόμενη φόρτιση (γ) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ συνολικού φορτίου με έξυπνη φόρτιση | 132 |
| Διάγραμμα 8.11 : (α) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Παραγωγή Συμβατικών Μονάδων | |

Μόνο με τις δημόσιες φορτίσεις **(β)** Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Παραγωγή Συμβατικών Μονάδων συνολικού φορτίου με μη ελεγχόμενη φόρτιση **(γ)** Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Παραγωγή Συμβατικών Μονάδων συνολικού φορτίου με έξυπνη φόρτιση133

Στο Παράρτημα αυτό περιγράφεται πιο αναλυτικά η λειτουργία του αλγορίθμου της έξυπνης φόρτισης. Αρχικά παρουσιάζεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια η περιγραφή του αλγορίθμου και παρατίθενται επιπλέον διαγράμματα ροής που δεν υπάρχουν στο Κεφάλαιο 6.

Στη συνέχεια αναλύονται επιπλέον παραδείγματα των διαφορετικών περιπτώσεων μεταφοράς ενέργειας στην έξυπνη φόρτιση. Οι ακόλουθες ημέρες που εξετάζονται είναι παραδείγματα υβριδικών σταθμών.

8.1 Αναλυτική περιγραφή αλγορίθμου έξυπνης φόρτισης

Για την 'έξυπνη' κατανομή της φόρτισης των οχημάτων λαμβάνονται υπ' όψιν τα αποτελέσματα του Energy Planning για τις προσομοιώσεις του εκάστοτε σεναρίου καθώς και τα βασικά χαρακτηριστικά των φορτίσεων των οχημάτων, δηλαδή οι ώρες άφιξης και αναχώρησης, η απαιτούμενη ενέργεια φόρτισης καθώς και η μέγιστη ισχύς φόρτισης κάθε κατηγορίας ηλεκτρικού οχήματος.

Αρχικά «φορτώνονται» στο πρόγραμμα σε μορφή csv τα δύο αρχεία του Energy Planning τα οποία ονομάζονται για ευκολία στην περιγραφή του αλγορίθμου csv1 και csv2, όπου csv1 το αρχείο του Energy Planning που συμπεριλαμβάνει μόνο τις δημόσιες φορτίσεις και csv2 το αρχείο με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων όλων των ηλεκτρικών οχημάτων με μη ελεγχόμενη φόρτιση. Επίσης δημιουργούνται πίνακες με τα οχήματα για τις τρεις διαφορετικές περιόδους του χρόνου. Τα οχήματα ταξινομούνται κατά φθίνουσα σειρά ανάλογα με τη διάρκεια πλήρους φόρτισης, την απαιτούμενη ενέργεια φόρτισης και το διαθέσιμο χρόνο φόρτισης.

Για το κάθε όχημα, για κάθε κύκλο φόρτισης αποθηκεύονται οι ώρες φόρτισης με τη μη ελεγχόμενη φόρτιση καθώς και οι διαθέσιμες ώρες στις οποίες μπορούν να μεταφερθούν οι παραπάνω ώρες. Οι ώρες φόρτισης του οχήματος χωρίζονται σε 3 κατηγορίες ως εξής:

- Σε ώρες όπου η απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ⁴ είναι 0.
- Σε ώρες όπου υπάρχει παραγωγή μόνο μίας συμβατικής μονάδας, αλλά λειτουργεί κάτω από το τεχνικό της ελάχιστο.
- Σε ώρες, όπου ο αριθμός των δεσμευμένων συμβατικών μονάδων πριν την ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων είναι μικρότερος από τον αριθμό των δεσμευμένων συμβατικών μονάδων μετά την ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων.

Αν μία ώρα φόρτισης δεν ανήκει σε κάποια από τις παραπάνω περιπτώσεις, τότε δεν χρειάζεται αλλαγή.

Αν μία ώρα ανήκει στην πρώτη κατηγορία (Αποκοπή ΑΠΕ = 0), τότε σε περίπτωση που υπάρχει διαθέσιμη ενέργεια ΑΠΕ (Απορριπτόμενη Ενέργεια) σε επόμενες διαθέσιμες ώρες, το κάθε όχημα έχει τη δυνατότητα να φορτίσει με οποιαδήποτε ισχύ έως τη μέγιστη

⁴ Στο energy planning, στα αρχεία csv και κατ' επέκταση και στον αλγόριθμο στα σενάρια με τον Υβριδικό Σταθμό ως απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ χρησιμοποιείται η απορριπτόμενη ενέργεια του ΥΒΣ, η οποία προκύπτει από τις δηλώσεις ενέργειας και τις δηλώσεις παραγωγής του ΚΗΕΠ για το κάθε 12ώρο.

δυνατή ισχύ του φορτιστή για κάθε ώρα ανάλογα με το επίπεδο φόρτισης στο οποίο βρίσκεται και η απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ που υπάρχει.

Πρώτα επιλέγονται ώρες, στις οποίες παρατηρείται περίσσεια απορριπτόμενης ενέργειας ΑΠΕ και δεν υπάρχει συμβατική παραγωγή. Μόνο στη περίπτωση του ΥΒΣ μπορεί να υπάρξει αυτή η περίπτωση, καθώς έχουμε 0 must run μονάδες. Στα σενάρια χωρίς μπαταρία υπάρχει πάντα συμβατική παραγωγή. Αν απομείνει ενέργεια τότε επιλέγονται ώρες, όπου υπάρχει περίσσεια απορριπτόμενης ενέργειας ΑΠΕ με ταυτόχρονη συμβατική παραγωγή μεγαλύτερη του τεχνικού ελαχίστου μίας μονάδας παραγωγής. Επίσης επιλέγονται πρώτα ώρες, στις οποίες δεν έχει υπάρξει ένταξη νέας δεσμευμένης μονάδας συμβατικής παραγωγής σε σχέση με το αρχείο χωρίς τις φορτίσεις των ηλεκτρικών οχημάτων (csv1). Η επιλογή αυτή αναλύεται πιο εκτενώς παρακάτω, όπου περιγράφεται η περίπτωση της ένταξης νέας μονάδας. Η ενέργεια μεταφέρεται με τέτοιο τρόπο στις διαθέσιμες ώρες της κάθε περίπτωσης, ώστε σε κάθε ώρα να μένει η ίδια ποσότητα απορριπτόμενης ενέργειας ΑΠΕ. Αν έχει απομείνει ενέργεια στις ώρες που είναι αναγκαία η μεταφορά ενέργειας, επιλέγονται ώρες όπου υπάρχει απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ και συμβατική παραγωγή μικρότερη του τεχνικού ελαχίστου. Τέλος, αν έχει απομείνει ενέργεια επιστρέφεται στην αρχική ώρα.

Όταν υπάρχει δεσμευμένη μονάδα πρέπει να λειτουργεί τουλάχιστον στο τεχνικό της ελάχιστο. Η μοναδική περίπτωση που δε συμβαίνει αυτό είναι όταν το φορτίο είναι μικρότερο του τεχνικού ελαχίστου της συμβατικής μονάδας. Αυτό παρατηρείται κυρίως στους χειμερινούς μήνες, σε ώρες χαμηλής ζήτησης, όπως τα βράδια. Οπότε όταν γίνεται μεταφορά ενέργειας σε τέτοιες ώρες, το επιπλέον φορτίο χρησιμοποιεί ενέργεια που προέρχεται από συμβατικές μονάδες και όχι ΑΠΕ, ανεξάρτητα αν υπάρχει αποκοπή ενέργειας ή όχι, μέχρι η συμβατική παραγωγή να είναι ίση με το τεχνικό ελάχιστο της μονάδας. Για το λόγο αυτό επιλέγονται για μεταφορά, πρώτα ώρες με συμβατική παραγωγή μεγαλύτερη του τεχνικού ελαχίστου.

Αντίστοιχα όταν υπάρχουν φορτίσεις σε ώρες με συμβατική παραγωγή κάτω του τεχνικού ελαχίστου μιας συμβατικής μονάδας (δεύτερη κατηγορία «προβληματικών» ωρών), ο αλγόριθμος λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο. Εκτελούνται οι ίδιες εντολές. Όπως και προηγουμένως επιλέγονται πρώτα διαθέσιμες ώρες με περίσσεια απορριπτόμενης ενέργειας ΑΠΕ και μηδενική συμβατική παραγωγή και στη συνέχεια ώρες με συμβατική παραγωγή άνω του τεχνικού ελαχίστου της μίας μονάδας.

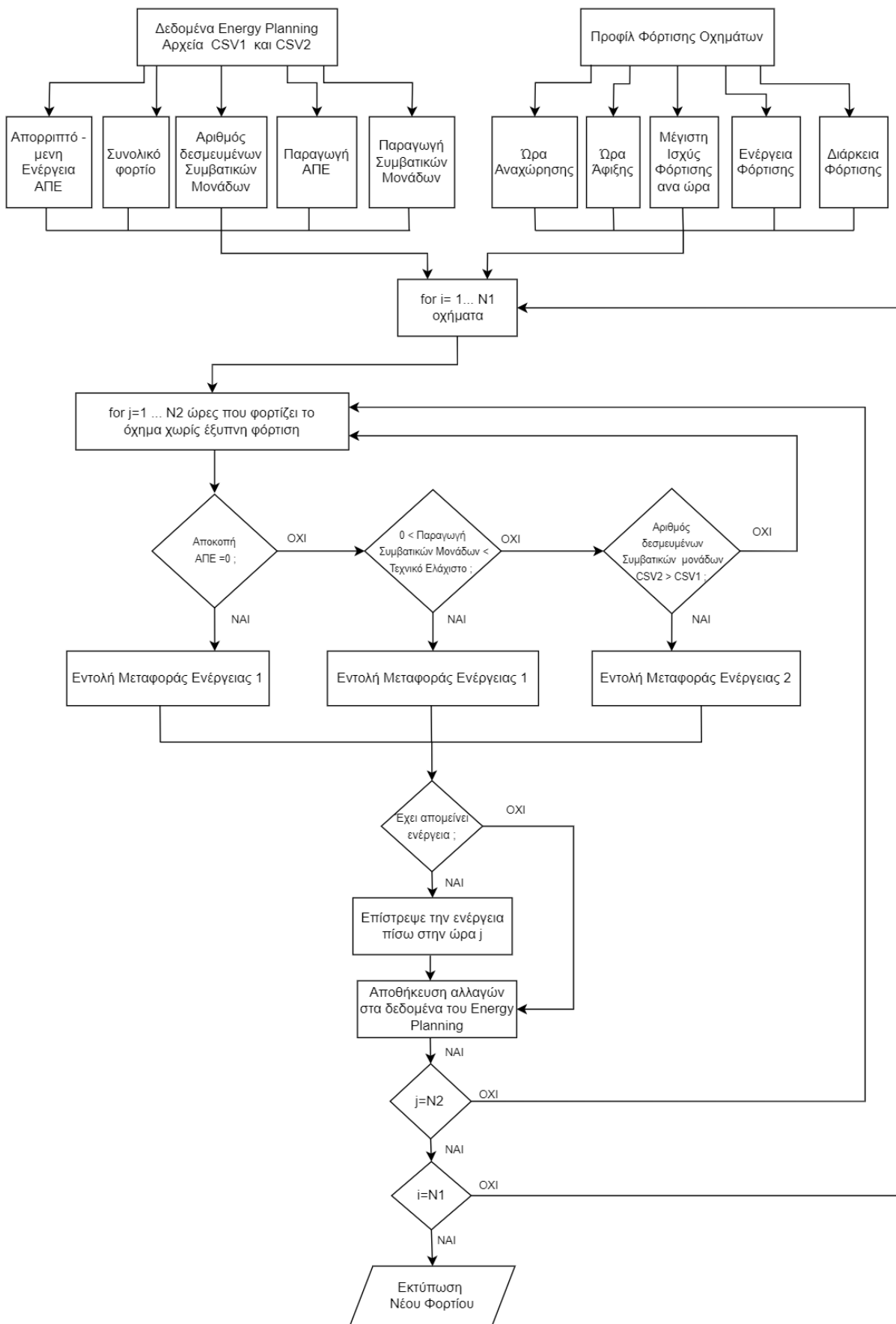
Στις ώρες της τρίτης κατηγορίας μεταφέρεται ενέργεια με σκοπό να μην δεσμεύονται επιπλέον συμβατικές μονάδες εκείνες τις ώρες, όπως γινόταν πριν την ένταξη των οχημάτων. Ειδικά στην περίπτωση που εντάσσονται συμβατικές μονάδες λόγω της φόρτισης των οχημάτων, ενώ προηγουμένως δεν υπήρχε καθόλου συμβατική παραγωγή, παρατηρείται μεγάλη μείωση της εντασσόμενης ενέργειας ΑΠΕ, κυρίως λόγω των τεχνικών ελαχίστων των μονάδων. Η μεταφορά ενέργειας από αυτές τις ώρες, καθώς και η επιλογή μεταφοράς ενέργειας σε ώρες χωρίς ένταξη νέας μονάδας γίνεται με σκοπό τη μείωση των δεσμευμένων μονάδων και αντίστοιχα της συμβατικής παραγωγής, όπου αυτό είναι δυνατό. Η εντολή μεταφοράς ενέργειας και σε αυτή την περίπτωση λειτουργεί με αντίστοιχο τρόπο, ξεκινώντας με την εύρεση ωρών με απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ χωρίς συμβατική παραγωγή. Στη συνέχεια επιλέγονται ώρες στις οποίες ο αριθμός των συμβατικών μονάδων είναι ίδιος ή μικρότερος με το csv1 (μόνο με τις δημόσιες φορτίσεις). Σε περιπτώσεις που το φορτίο αυξάνεται πολύ με λίγη απορριπτόμενη

ενέργεια ΑΠΕ δεν αποφεύγεται η ένταξη νέων μονάδων σε όλες τις διαθέσιμες ώρες φόρτισης. Σε αυτή την περίπτωση η ενέργεια επιστρέφεται στις αρχικές ώρες.

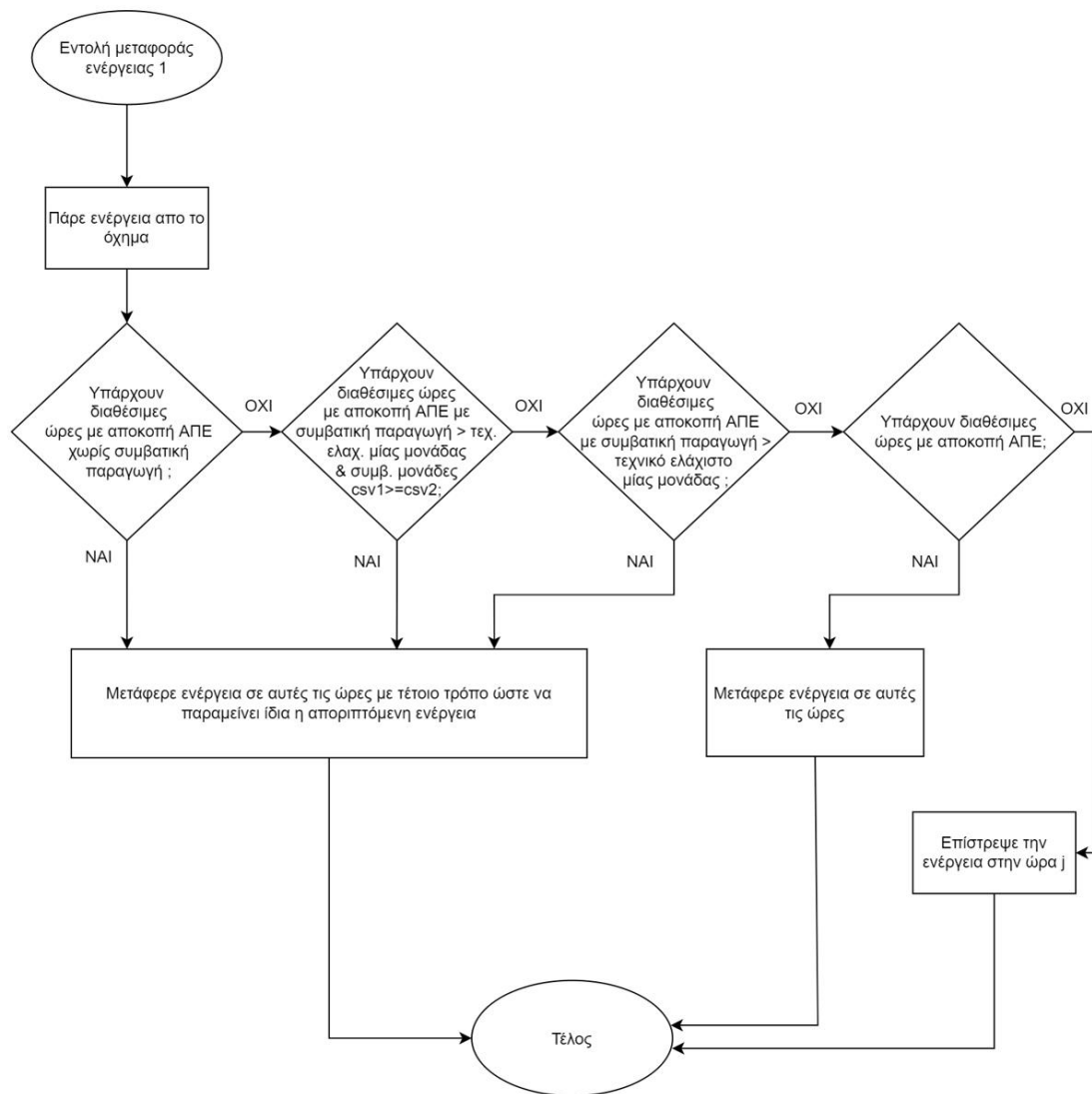
Αφού εκτελεσθούν οι εντολές μεταφοράς ενέργειας, ελέγχεται αν έχει μεταφερθεί όλη η ενέργεια που έπρεπε να έχει μεταφερθεί. Σε περίπτωση που έχει απομείνει ενέργεια η οποία δεν είναι δυνατό να μεταφερθεί περαιτέρω, η ενέργεια αυτή παραμένει στο αρχικό timeslot. Τέλος, αποθηκεύονται όλες οι αλλαγές που έχουν γίνει στα δεδομένα που χρησιμοποιούνται από το csv, όπως το φορτίο, η εντασόμενη ενέργεια ΑΠΕ, η απορριπτόμενη ενέργεια και η συμβατική παραγωγή.

Αφού έχουν τελειώσει όλοι οι κύκλοι φόρτισης των οχημάτων για όλο το χρόνο, εκτυπώνεται το νέο φορτίο που θα εισαχθεί στη συνέχεια στο energy planning.

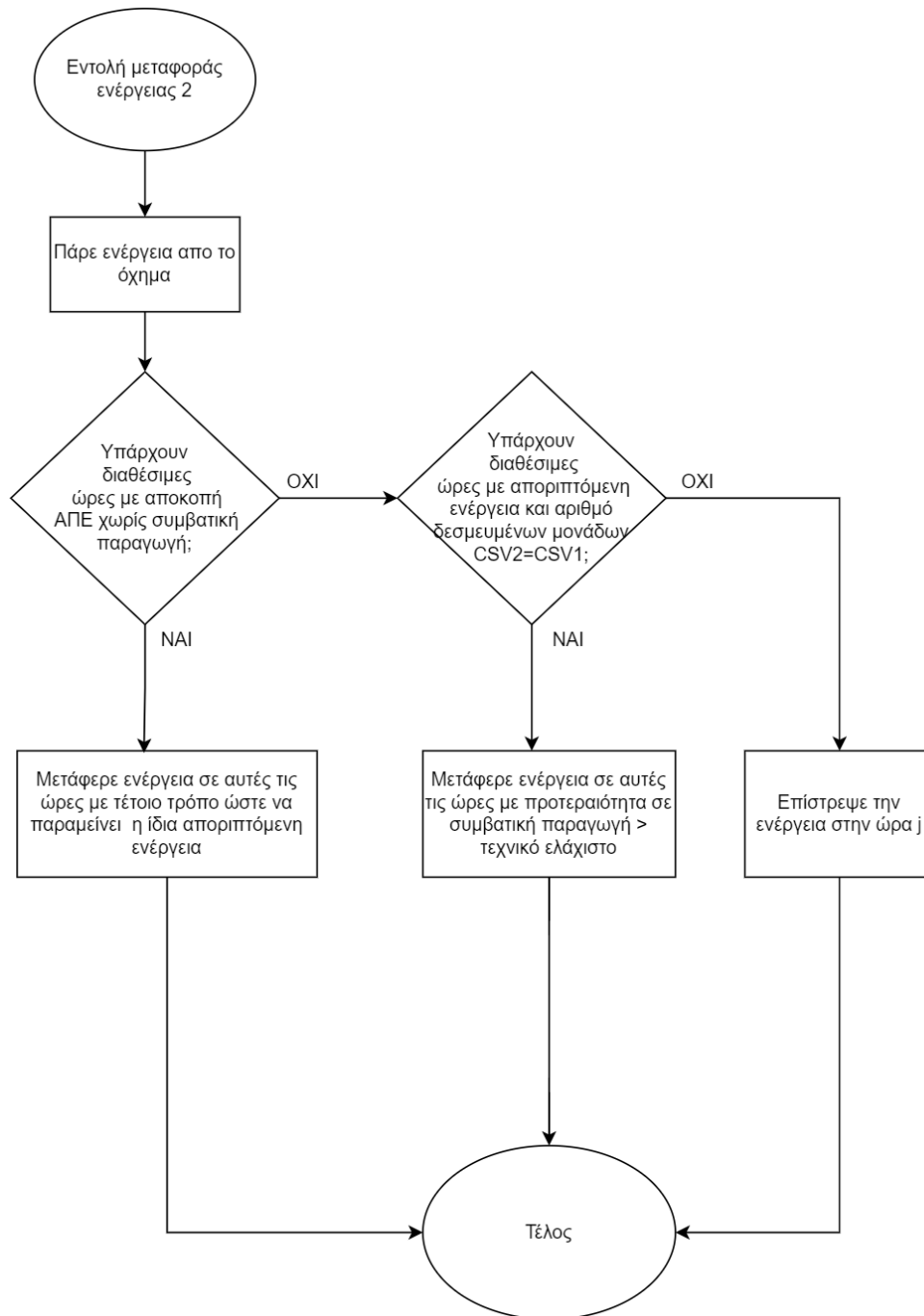
Για καλύτερη κατανόηση, η λειτουργία του αλγορίθμου παρουσιάζεται συνοπτικά και στα διαγράμματα ροής που ακολουθούν:



Διάγραμμα 8.1: Διάγραμμα ροής περιγραφής του αλγορίθμου έξυπνης φόρτισης



Διάγραμμα 8.2: Διάγραμμα ροής εντολής μεταφοράς ενέργειας 1 αλγορίθμου έξυπνης φόρτισης



Διάγραμμα 8.3: Διάγραμμα ροής εντολής μεταφοράς ενέργειας 2 αλγορίθμου έξυπνης φόρτισης

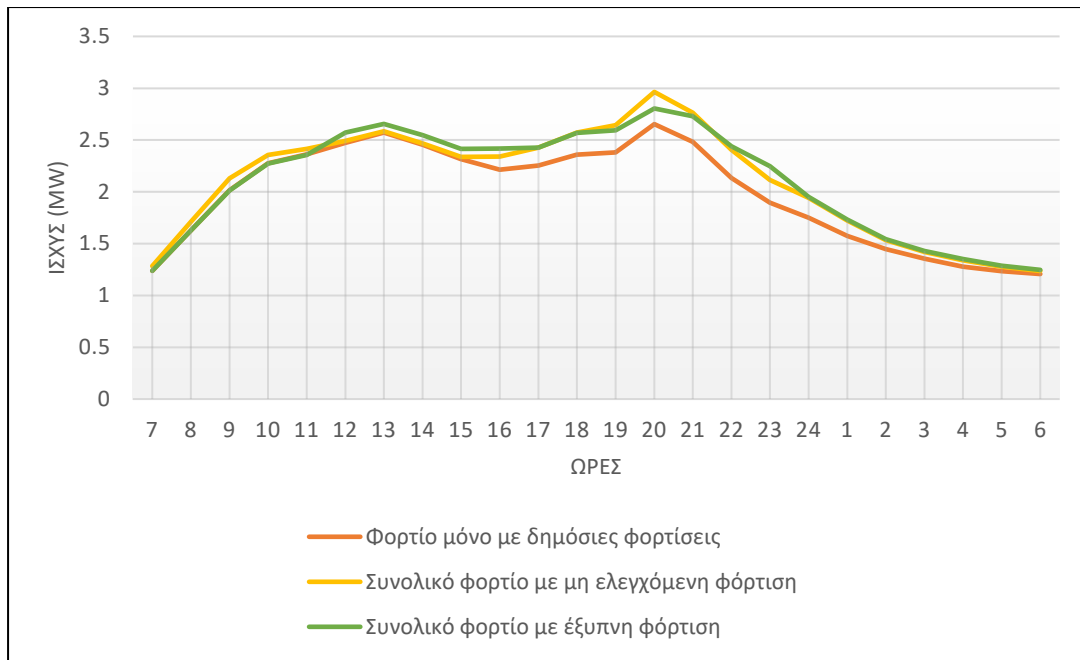
8.2 Επιπλέον παραδείγματα για τη λειτουργία του αλγορίθμου έξυπνης φόρτισης

Η λειτουργία του αλγορίθμου έξυπνης φόρτισης απεικονίζεται στα διαγράμματα που ακολουθούν, όπου συγκρίνονται τα μεγέθη της μη ελεγχόμενης φόρτισης και της έξυπνης φόρτισης στη διάρκεια μίας ημέρας. Επιλέγεται να παρουσιαστούν οι ημέρες από τις 07:00 π.μ. έως τις 06:00 π.μ. αντί από 00:00 έως 23:00 λόγω του ότι τα οχήματα ξεκινάνε τις φορτίσεις τους στις 07:00 και σταματάνε στις 06:00. Έτσι μπορεί να φανεί καλύτερα στα διαγράμματα ο κύκλος φόρτισης των οχημάτων στη διάρκεια της ημέρας.

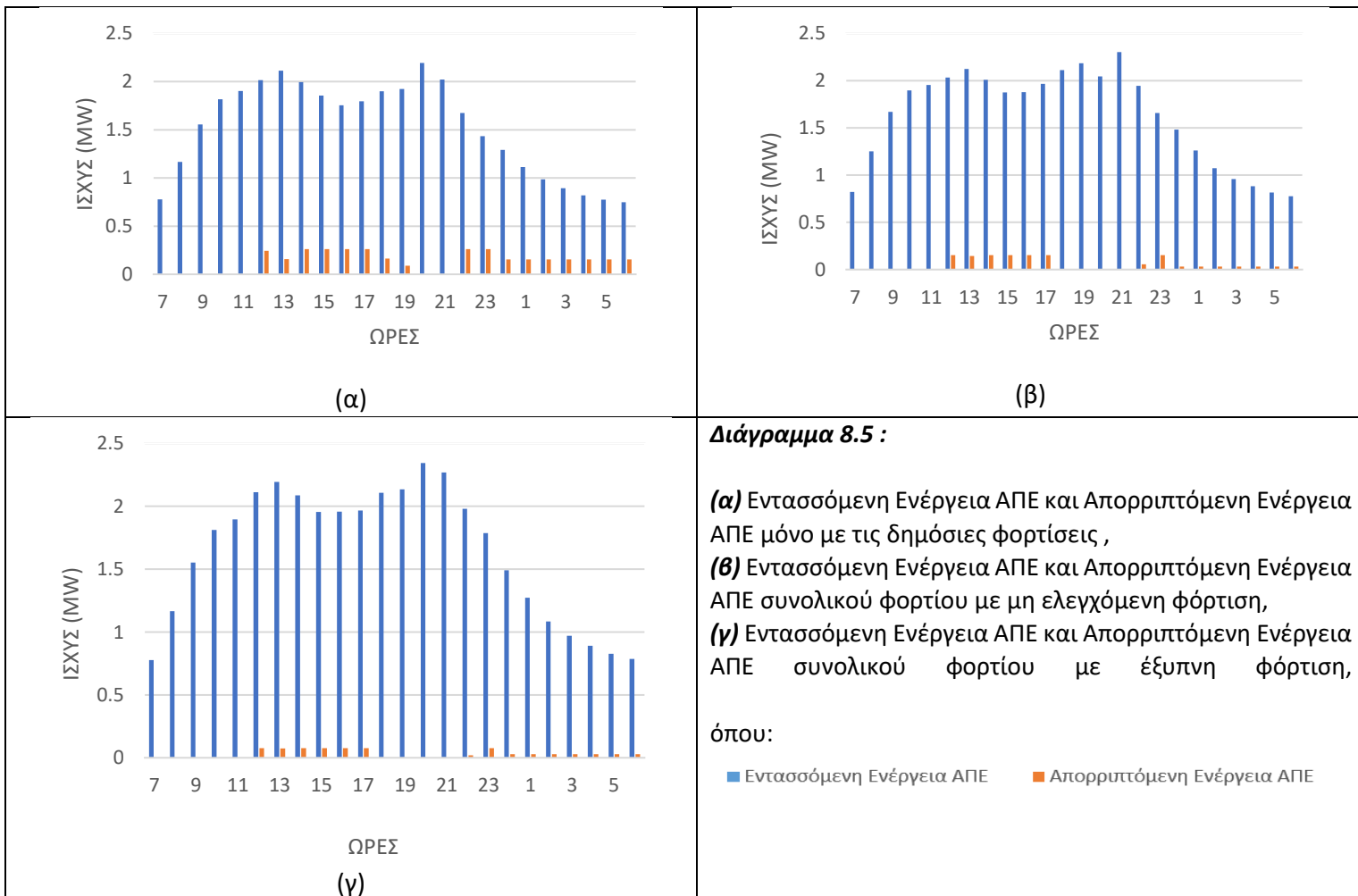
Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρατίθενται τα εξής μεγέθη:

- Το συνολικό φορτίο συμπεριλαμβάνοντας μόνο τις φορτίσεις των επιβατικών οχημάτων σε δημόσιους σταθμούς φόρτισης, το συνολικό φορτίο συμπεριλαμβάνοντας τις φορτίσεις όλων των ηλεκτρικών οχημάτων με χρήση μη ελεγχόμενη φόρτισης και με χρήση έξυπνης φόρτισης.
- Η απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ που προκύπτει από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων του φορτίου μαζί με τις δημόσιες φορτίσεις, με την ελεγχόμενη φόρτιση του συνολικού στόλου των οχημάτων, καθώς και με τη χρήση έξυπνης φόρτισης.
- Η εντασσόμενη ενέργεια ΑΠΕ του συστήματος στις 3 διαφορετικές περιπτώσεις φόρτισης.
- Η παραγωγή των συμβατικών μονάδων στις 3 διαφορετικές περιπτώσεις φόρτισης.

Η μονάδα μέτρησης όλων των μεγεθών είναι MW. Αρχικά παρουσιάζεται μια ημέρα της δεύτερης περιόδου, όπου φαίνεται η πρώτη λειτουργία του αλγορίθμου, δηλαδή η μεταφορά ενέργειας από ώρες με μηδενική απορριπτόμενη ενέργεια σε ώρες με αποκοπή ΑΠΕ:



Διάγραμμα 8.4: Σύγκριση φορτίου μόνο με δημόσιες φορτίσεις, συνολικού φορτίου με μη ελεγχόμενη και με έξυπνη φόρτιση



Διάγραμμα 8.5 :

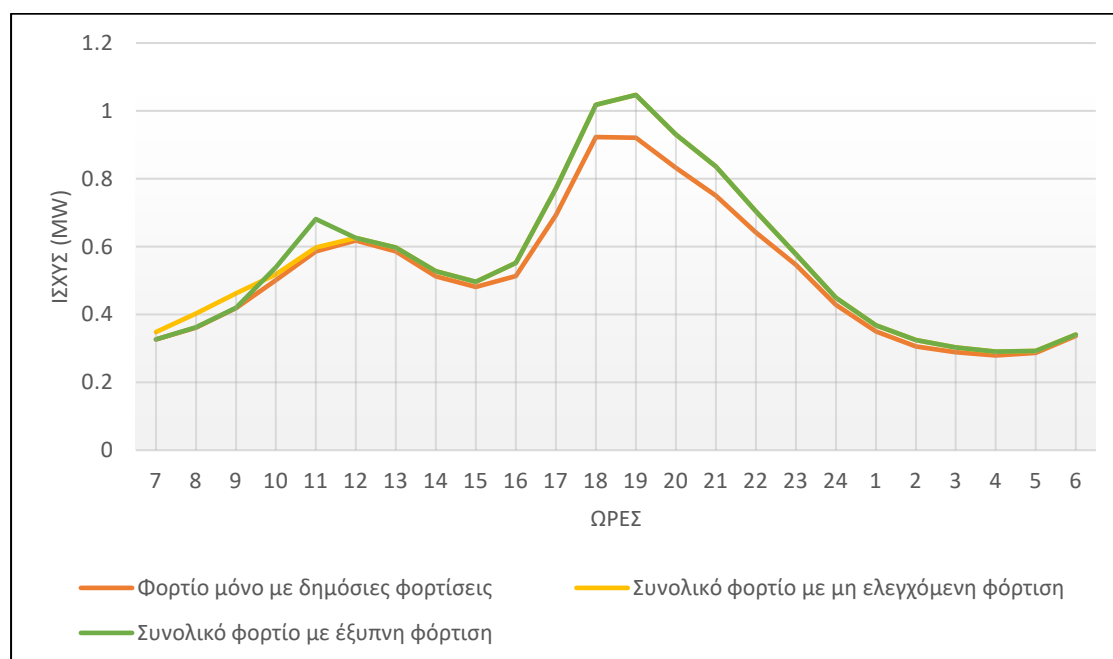
(α) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ μόνο με τις δημόσιες φορτίσεις ,
(β) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ συνολικού φορτίου με μη ελεγχόμενη φόρτιση,
(γ) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ συνολικού φορτίου με έξυπνη φόρτιση,

όπου:

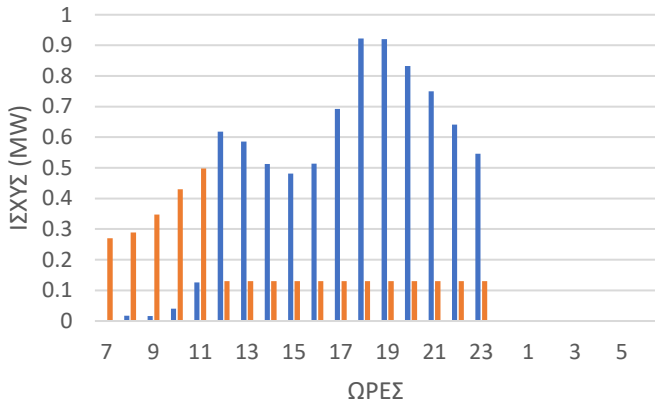
■ Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ ■ Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ

Όπως παρατηρείται από τα διαγράμματα 8.4 και 8.5, η ενέργεια των φορτίσεων μεταφέρεται όταν δεν υπάρχει απορριπτόμενη ενέργεια. Συγκεκριμένα, οι φορτίσεις από τις 07:00 μέχρι τις 11:00 μεταφέρονται στις ώρες 12:00 έως 17:00, που υπάρχει περίσσεια απορριπτόμενης ενέργειας. Αντίστοιχη μεταφορά ενέργειας παρατηρείται και στις απογευματινές ώρες από τις ώρες 19:00 – 21:00, η ενέργεια των οποίων μεταφέρεται στις βραδινές ώρες από τις 22:00 μέχρι την ώρα αναχώρησης στις 07:00. Συνολικά καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας αυξήθηκε η συνολική εντασσόμενη ενέργεια ΑΠΕ κατά 0,47 MWh, ενώ αντίστοιχα μειώθηκε η απορριπτόμενη ενεργεια ΑΠΕ κατά 0,58 MWh με τη χρήση έξυπνης φόρτισης σε σχέση με τη μη ελεγχόμενη.

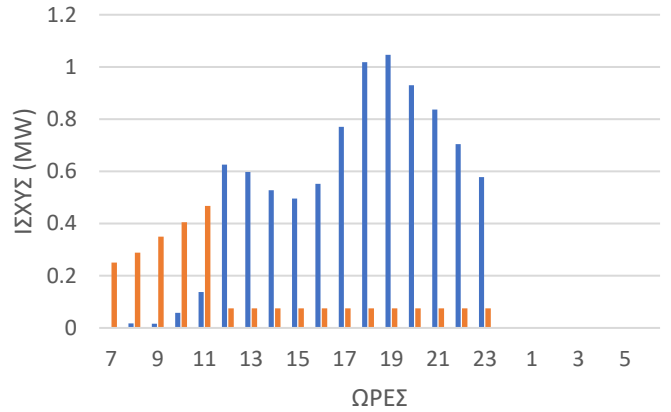
Στη συνέχεια εξετάζεται η λειτουργία του αλγορίθμου στη δεύτερη περίπτωση των ωρών που χρειάζονται αλλαγή, όταν δηλαδή λειτουργούν οι συμβατικές μονάδες κάτω από το τεχνικό τους ελάχιστο. Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σε μια ημέρα στην πρώτη χρονική περίοδο του έτους, όπου το φορτίο είναι μικρότερο και παρατηρείται συχνότερα η περίπτωση αυτή.



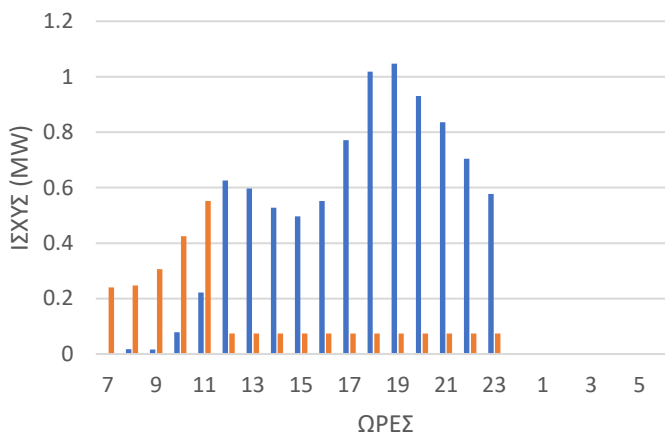
Διάγραμμα 8.6: Σύγκριση φορτίου μόνο με δημόσιες φορτίσεις, συνολικού φορτίου με μη ελεγχόμενη και με έξυπνη φόρτιση



(α)



(β)



(γ)

Διάγραμμα 8.7:

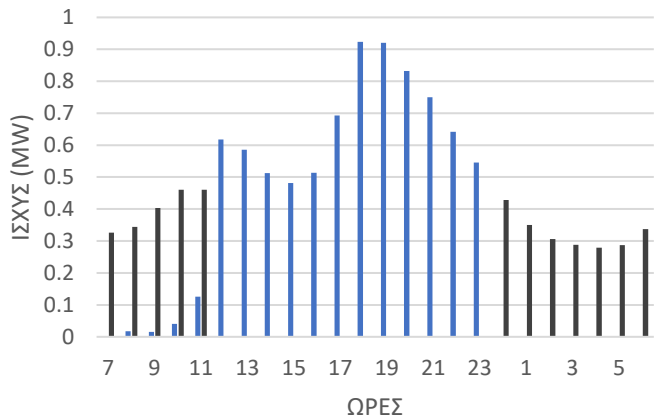
(α) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ μόνο με τις δημόσιες φορτίσεις ,

(β) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ συνολικού φορτίου με μη ελεγχόμενη φόρτιση,

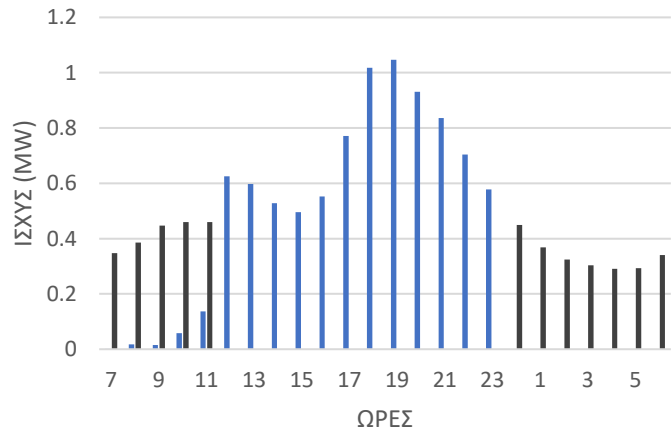
(γ) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ συνολικού φορτίου με έξυπνη φόρτιση,

όπου:

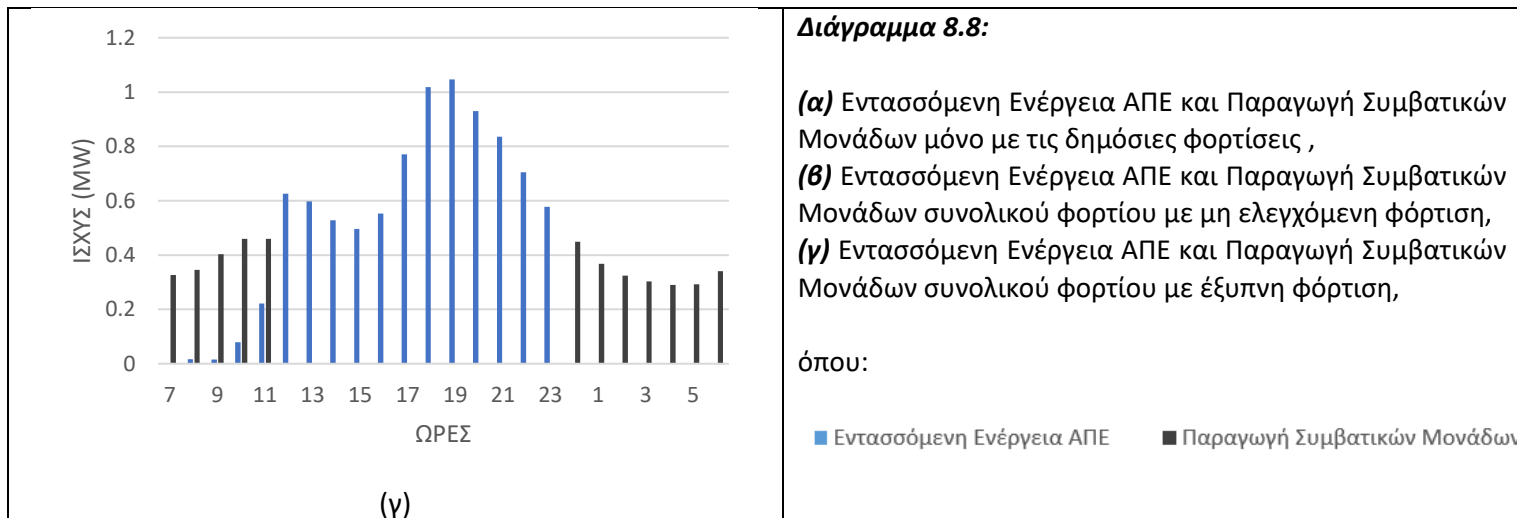
■ Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ ■ Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ



(α)



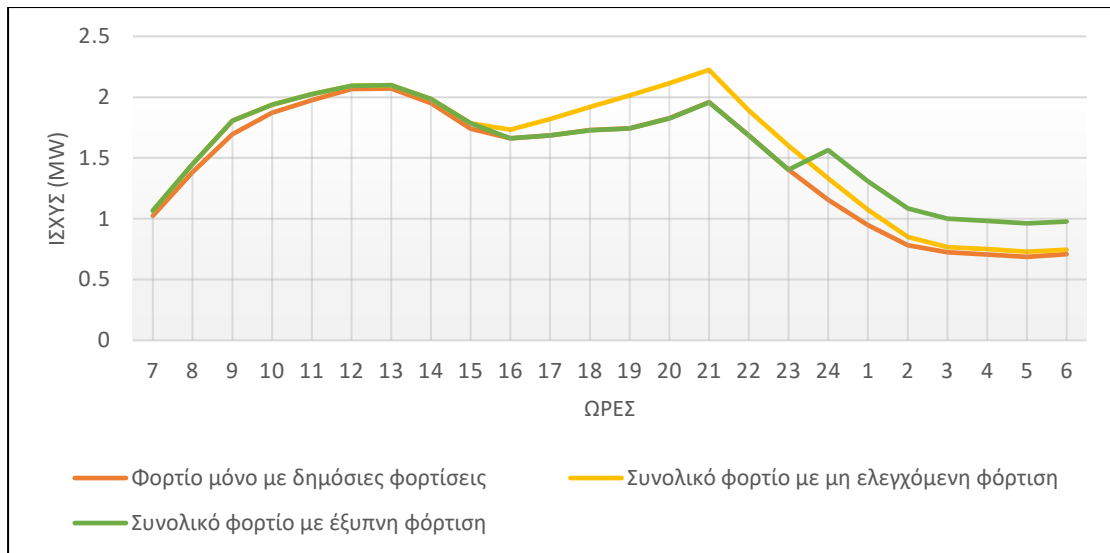
(β)



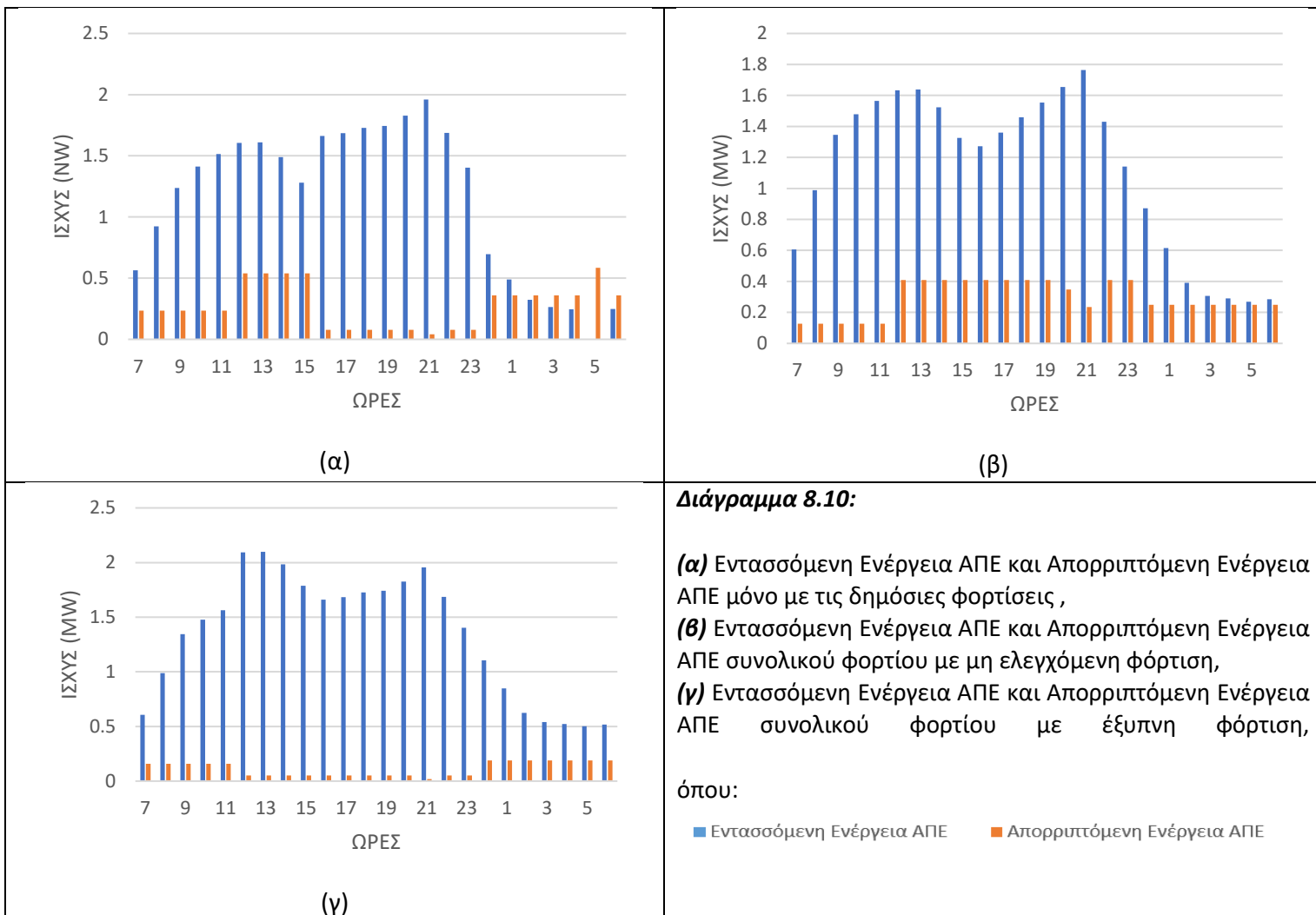
Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 8.6, στις 07:00 έως 09:00 το συνολικό φορτίο του συστήματος είναι κάτω από 0,46 MW, που είναι το τεχνικό ελάχιστο των συμβατικών μονάδων. Για το λόγο αυτό, εκείνες τις ώρες δε χρησιμοποιείται ενέργεια που προέρχεται από τον υβριδικό σταθμό, παρ' όλο που υπάρχει διαθέσιμη ενέργεια ΑΠΕ (απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ) όπως φαίνεται από το διάγραμμα 8.7. Η λιγοστή ανανεώσιμη ενέργεια που φαίνεται να υπάρχει προέρχεται από τους ήδη εγκατεστημένους φωτοβολταϊκούς σταθμούς που δεν ανήκουν στον Υβριδικό Σταθμό. Η ενέργεια από φωτοβολταϊκούς σταθμούς εγχέεται κατευθείαν στο δίκτυο στα ΜΔΝ.

Η ενέργεια εκείνων των ωρών μεταφέρεται στις επόμενες διαθέσιμες ώρες, όπου παρατηρείται αποκοπή ΑΠΕ και συμβατική παραγωγή μεγαλύτερη του τεχνικού ελαχίστου, συγκεκριμένα στις ώρες 10:00 και 11:00. Τις ώρες εκείνες μετά τη μεταφορά ενέργειας παρατηρείται αύξηση της εντασσόμενης ενέργειας ΑΠΕ. Η συνολική αύξηση της εντασσόμενης ενέργειας ΑΠΕ λόγω της έξυπνης φόρτισης σε όλο το 24ωρο είναι 0,1 MWh, ενώ η μείωση της απορριπτόμενης ενέργειας 0,02 MWh. Στις βραδινές ώρες από τις 00:00 και αργότερα παρατηρείται πάλι συμβατική παραγωγή μικρότερη του τεχνικού ελαχίστου, δεν παρατηρείται όμως κάποια μεταφορά ενέργειας, καθώς δεν υπάρχουν επόμενες διαθέσιμες ώρες με αποκοπή ΑΠΕ.

Τέλος, παρουσιάζεται η λειτουργία της έξυπνης φόρτισης, όταν παρατηρείται αύξηση της συμβατικής μονάδας παραγωγής:



Διάγραμμα 8.9 : Σύγκριση φορτίου μόνο με δημόσιες φορτίσεις, συνολικού φορτίου με μη ελεγχόμενη και με έξυπνη φόρτιση

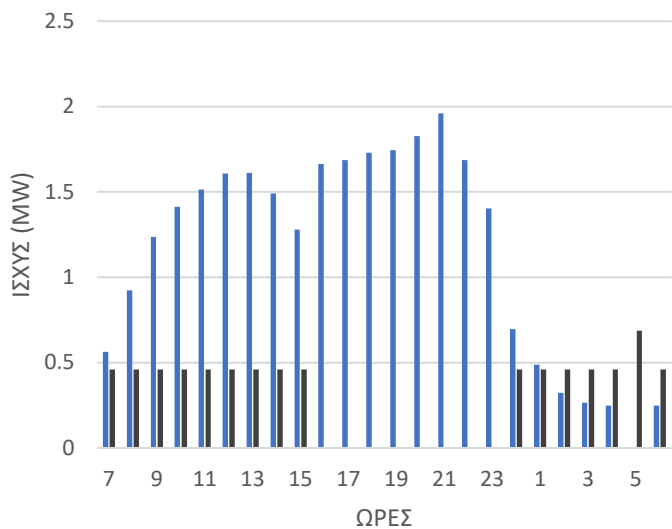


Διάγραμμα 8.10:

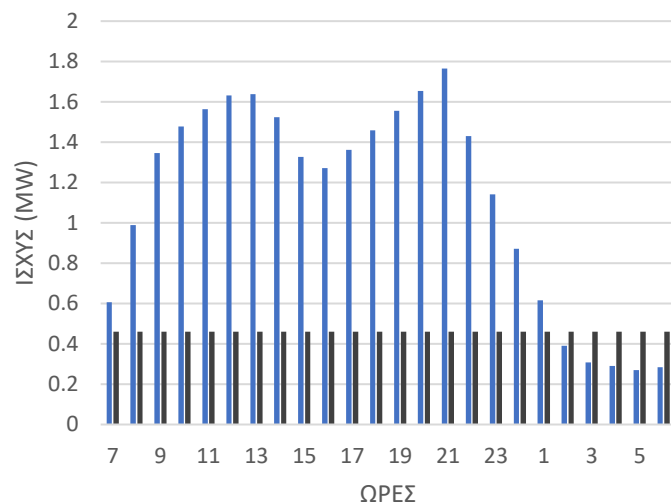
(α) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ μόνο με τις δημόσιες φορτίσεις ,
(β) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ συνολικού φορτίου με μη ελεγχόμενη φόρτιση,
(γ) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ συνολικού φορτίου με έξυπνη φόρτιση,

όπου:

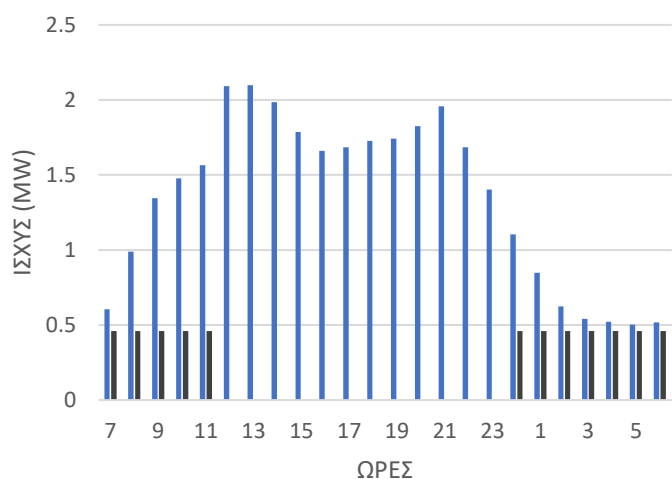
■ Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ ■ Απορριπτόμενη Ενέργεια ΑΠΕ



(α)



(β)



(γ)

Διάγραμμα 8.11:

(α) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Παραγωγή Συμβατικών Μονάδων μόνο με τις δημόσιες φορτίσεις,
 (β) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Παραγωγή Συμβατικών Μονάδων συνολικού φορτίου με μη ελεγχόμενη φόρτιση,
 (γ) Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ και Παραγωγή Συμβατικών Μονάδων συνολικού φορτίου με έξυπνη φόρτιση,

όπου:

■ Εντασσόμενη Ενέργεια ΑΠΕ ■ Παραγωγή Συμβατικών Μονάδων

Από το διάγραμμα 8.11 παρατηρείται πως πριν την ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων δεν υπάρχει συμβατική παραγωγή στις ώρες 16:00 έως 23:00, δηλαδή ο αριθμός των δεσμευμένων συμβατικών μονάδων εκείνες τις ώρες είναι 0. Με την ένταξη των οχημάτων υπάρχει εκείνες τις ώρες αύξηση των δεσμευμένων συμβατικών μονάδων. Συγκεκριμένα, λειτουργεί μια συμβατική μονάδα. Για αυτό το λόγο μεταφέρονται οι φορτίσεις των οχημάτων από εκείνες τις ώρες στις ώρες 00:00 μέχρι 06:00. Τις ώρες εκείνες, όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα παρακάτω, υπάρχει απορριπτόμενη ενέργεια ΑΠΕ και δεν παρατηρείται αύξηση του αριθμού των συμβατικών μονάδων σε λειτουργία στη μη ελεγχόμενη φόρτιση με την προσθήκη των οχημάτων. Η μετατόπιση των φορτίσεων είχε ως αποτέλεσμα να μην υπάρχει τελικά συμβατική παραγωγή στις

ώρες 16:00 έως 23:00 με αποτέλεσμα να χρησιμοποιηθεί εξ ολοκλήρου ανανεώσιμη ενέργεια για τη φόρτιση των οχημάτων εκείνες τις ώρες.

Η εφαρμογή της τεχνικής της έξυπνης φόρτισης είχε ως αποτελέσματα την αύξηση της εντασσόμενης ενέργειας ΑΠΕ κατά 5,5 MWh και τη μείωση της απορριπτόμενης ενέργειας ΑΠΕ κατά 4,3 MWh στη διάρκεια όλου του 24ώρου, καθώς και τη μείωση των συμβατικών μονάδων που τέθηκαν σε λειτουργία.

Βιβλιογραφία

- [1] Βουρνάς Κ., Κονταξής Γ. Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας, Εκδόσεις Συμμετρία , 2020
- [2] Ν. Α. Βοβός και Γ. Β. Γιαννακόπουλος, Εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, Πανεπιστήμιο Πατρών: Ζήτη, 200ΑΔΜΗΕ, «www.admie.gr Available: <https://www.admie.gr/systema/perigrafia/basika-stoixeia/>
- [4] ΔΕΔΔΗΕ, Το δίκτυο ηλεκτρισμού available: <https://www.deddie.gr/el/deddie/to-diktuo-ilektrismou/vasika-megethi-tou-diktuou-ilektrismou/>
- [5] Salahuddin Qazi, in Standalone Photovoltaic (PV) Systems for Disaster Relief and Remote Areas 1st edition, 2017
- [6] Nikos Hatziaarguriou, Stavros Papathanasiou, Isidoros Vitellas, Stavros Makrinikas, Aris Dimeas, Theodora Patsaka, Kostas Kaousias, Antiopi Gigantidou, Nikos Korres, Eleana Hatzoplaki, "Energy Management in the Greek Island," in CIGRE, Paris,2012.
- [7] ΟΔΗΓΙΑ 2009/28/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ, "σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ", Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 23 04 2009
- [8] Anam Azam, Muhammad Rafiq, Muhammad Shafique, Haonan Zhang, Jiahai Yuan, Analyzing the effect of natural gas, nuclear energy and renewable energy on GDP and carbon emissions: A multi-variate panel data analysis, Energy, Volume 219, 2021, 119592, ISSN 0360-5442.
- [9] Banji A. Olanipekun , Najeem O. Adelakun, "Assessment of Renewable Energy in Nigeria: Challenges and Benefits" International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) – Volume 68 Issue 1- Jan 2020
- [10] M. S. Alam, F. S. Al-Ismael, A. Salem and M. A. Abido, "High-Level Penetration of Renewable Energy Sources Into Grid Utility: Challenges and Solutions," in IEEE Access, vol. 8, pp. 190277-190299, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3031481.
- [11] X. Liang, "Emerging Power Quality Challenges Due to Integration of Renewable Energy Sources," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 53, no. 2, pp. 855-866, March-April 2017, doi: 10.1109/TIA.2016.2626253.
- [12] Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών: Available: https://helapco.gr/pdf/PV_Guide_Aug_2013.pdf .
- [13] Gong, J., Li, C., & Wasielewski, M. R. (2019). Advances in solar energy conversion. Chemical Society Reviews, 48(7), 1862-1864
- [14] SHARP CORPORATION - High efficiency solar cells 2021 Available: "https://global.sharp/solar/en/high-efficiency/"

- [15] Wind Energy Center:University of Massachussets, "Wind Power: Capacity Factor and Intermittency," Amherst.
- [16] Xiaoni Wu, Yu Hu, Ye Li, Jian Yang, Lei Duan, Tongguang Wang, Thomas Adcock, Zhiyu Jiang, Zhen Gao, Zhiliang Lin, Alistair Borthwick, Shijun Liao, "Foundations of offshore wind turbines, A review", vol 104, , Pages 379-393, ISSN 1364-0321, April 2019
- [17] S. V. Papaefthymiou and S. A. Papathanassiou, "Optimum sizing of wind-pumped-storage hybrid power stations in island systems," *Renew. Energy*, vol. 64, pp. 187–196, 2014
- [18] ΝΟΜΟΣ 3468/2006 (Κωδικοποιημένος) - ΦΕΚ Α 129/27.06.2006, Available: <https://www.e-nomothesia.gr/energeia/n-3468-2006.html>
- [19] ΡΑΕ, «www.rae.gr», [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.rae.gr/μη-διασυνδνησι4/>
- [20] Chatziargyriou, N. (2016). Management of Non-Interconnected Islands (NII) with HighShare of Renewable Energy. (In Greek) Available: <https://www.deddie.gr/Documents2/PAROYSIASEIS%202016/Presentation%20Vio simes.pdf>
- [21] ΑΔΜΗΕ, «www.admie.gr Available: <https://www.admie.gr/erga/erga-diasyndeseis/diasyndesi-tis-kritis-me-tin-attiki>
- [22] ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ, Η Αστυπάλαια μπάνει στην πρίζα Available: <https://www.kathimerini.gr/economy/561377743/i-astypalaia-mpainei-stin-priza-stis-2-ioynioy/>
- [23] ΥΠΕΝ - Μνημόνιο Κατανόησης για την καθαρή ενέργεια στα νησιά της ΕΕ Available: ["https://ypen.gov.gr/mnimonio-katanoisis-gia-tin-kathari-energeia-sta-nisia-tis-ee/"](https://ypen.gov.gr/mnimonio-katanoisis-gia-tin-kathari-energeia-sta-nisia-tis-ee/)
- [24] ΥΠΕΝ - ΕΘΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΚΛΙΜΑ, 01.2019 Available: ["https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/greece_draftnecp.pdf"](https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/greece_draftnecp.pdf)
- [25] Kuang, Y., Zhang, Y., Zhou, B., Li, C., Cao, Y., Li, L., & Zeng, L. (2016). A review of renewable en-ergy utilization in islands. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 504-513.
- [26] Anagnostatos, S. D., Halevidis, C. D., Polykrati, A. D., Bourkas, P. D., & Karagiannopoulos, C. G. (2013). Examination of the 2006 blackout in Kefallonia Island, Greece. *International Journal of Elec-trical Power & Energy Systems*, 49, 122-127.
- [27] Kaldellis, J. K., Kapsali, M., & Tiligadas, D. (2012). Presentation of a stochastic model estimating the wind energy contribution in remote island electrical networks. *Applied energy*, 97, 68-76.
- [28] Aguirre-Mendoza, A. M., Díaz-Mendoza, C., & Pasqualino, J. (2019). Renewable energy potential analysis in non-interconnected islands. Case study: Isla Grande, Corales del Rosario Archipelago, Colombia. *Ecological Engineering*, 130, 252-262.

- [29] Cabrera, P., Lund, H., & Carta, J. A. (2018). Smart renewable energy penetration strategies on islands: The case of Gran Canaria. *Energy*, 162, 421-443
- [30] ΔΕΔΔΗΕ – ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΟ ΔΕΛΤΙΟ 03.2021 Available: ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΝΗΣΙΑ (deddie.gr)
- [31] Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης, Δημήτρης Γ. Χρηστάκης, Μανόλης Βουμβουλάκης, "Μεγιστοποίηση διείσδυσης Α.Π.Ε. στην Κρήτη με χρήση αντλησιοταμιευτήρων".
- [32] Παπαδιάς, Β. Κ., Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας, Μόνιμη Κατάσταση Λειτουργίας, Αθήνα: εκδόσεις ΕΜΠ, 1985.
- [33] Tzanes, G., Zafeiraki, E., Papapostolou, C., Zafirakis, D., Konstantinos, M., Kavadias, K., ... & Kaldellis, J. K. (2019). Assessing the status of electricity generation in the non-interconnected islands of the Aegean Sea Region. *Energy Procedia*, 159, 424-429.
- [34] Overview of energy storage in renewable energy systems S. Ould Amrouche a,b, D. Rekioua b , T. Rekioua b , S. Bacha c a Centre de Developpement des Energies Renouvelables, CDER, 16340, Algiers, Algeria b Laboratoire LTII, Departement de Genie Electrique, Universite de Bejaia, Bejaia, 06000, Algeri
- [35] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, «Κώδικας Διαχείρισης Ηλεκτρικών Συστημάτων Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών (Κώδικας ΜΔΝ),» Ελληνική Δημοκρατία, Αθήνα, 2020.
- [36] Νόμος 3468/2006, Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις. ΦΕΚ 129 τ.Α., 27.6.2006.
- [37] Why Hydrogen Is the Hottest Thing in Green Energy, Vanessa Dezem, 19.06.2021. Available: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-06-19/why-hydrogen-is-the-hottest-thing-in-green-energy-quicktake>
- [38] The Different EV Charging Connector Types. <https://evcharging.enelx.com/resources/blog/552-ev-charging-connector-types/>. Ημερομηνία πρόσβασης: 30-04-2021.
- [39] Ali Bahrami. EV Charging Definitions, Modes, Levels, Communication Protocols and Applied Standards Technical Report. Τεχνική αναφορά με αριθμό, 2020.
- [40] Jie Deng, Chulheung Bae, Adam Denlinger, Theodore Miller. Electric Vehicles Batteries: Requirements and Challenges. *Joule*, 4(3):511-515, 2020.
- [41] Battery Pack Prices Cited Below \$100/kWh for the First Time in 2020. Available: <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-cited-below-100-kwhfor-the-first-time-in-2020-while-market-average-sits-at-137-kwh/13-04-2021>.
- [42] BloombergNEF, <https://www.statista.com/statistics/883118/global-lithium-ion-battery-pack-costs/>, Source: BloombergNEF, Release Date: December 2020
- [43] European Alternative Fuels Observatory (EAFO) Available: <https://www.eafo.eu/vehicles-and-fleet/m1>

- [44] Electric cars: lower-income countries fall behind, with uptake linked to GDP per capita, 6.07.2021, Available at: <https://www.acea.auto/press-release/electric-cars-lower-income-countries-fall-behind-with-uptake-linked-to-gdp-per-capita/>
- [45] <https://www.acea.auto/press-release/risk-of-two-track-europe-for-e-mobility-with-sharp-divisions-in-roll-out-of-chargers-auto-industry-warns/>
- [46] <https://www.acea.auto/press-release/electric-cars-10-eu-countries-do-not-have-a-single-charging-point-per-100km-of-road/>
- [47] Ταξινομήσεις καινούργιων οχημάτων κατά το Νοέμβριο 2021 – ΣΕΑΑ (seaa.gr)
- [48] Felipe Munoz. EV registrations in Europe more than doubled in 2020. <https://www.jato.com/ev-registrations-in-europe-more-than-doubled-in-2020/>, 2021
- [49] ΔΕΗ Blue Available at: <https://www.deiblue.com/charging-solutions>
- [50] Global EV. Outlook 2020. Int Energy Agency 2020. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>
- [51] Voelcker J. Porsche claims it can double tesla’s fast-charging rate. IEEE Spectrum 2021. <https://spectrum.ieee.org/transportation/efficiency/porsche-claims-it-can-double-teslas-fastcharging-rate> .
- [52] Introducing V3 supercharging. Tesla 2019. <https://www.tesla.com/blog/introducing-v3-supercharging> .
- [53] Dubey A , Santoso S . Electric vehicle charging on residential distribution systems: impacts and mitigations. IEEE Access 2015;3:1871–93
- [54] Kim JD . Insights into residential EV charging behavior using energy meter data. Energy Policy 2019;129:610–18 .
- [55] Zhang G , Tan ST , Wang GG . Real-Time Smart Charging of Electric Vehicles for Demand Charge Reduction at Non-Residential Sites. IEEE Trans Smart Grid 2018;9:4027–37
- [56] N. Chen, C. W. Tan, and T. Q. Quek, “Electric vehicle charging in smart grid: Optimality and valley-filling algorithms,” IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, vol. 8, no. 6, pp. 1073–1083, 2014
- [57] 2020_12_08_UG_plenary meeting of the Elia Users’ Group_bundled slides_longversion
- [58] A. Zhuk, Y. Zeigarnik, E. Buzoverov, A. Sheindlin, Managing peak loads in energy grids: comparative economic analysis, Energ Policy 88 (2016) 39–44, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.10.006>
- [59] W. Zeng, J. Gibeau, M.Y. Chow, Economic benefits of plug-in electric vehicles using V2G for grid performance-based regulation service, IEEE. IES (2015)
- [60] M. Sufyan, N.A. Rahim, M.A. Muhammad, C.K. Tan, S.R.S. Raihan, A.H.A. Bakar, Charge coordination and battery lifecycle analysis of electric vehicles with V2G

- implementation, *Electric Power Systems Research*, Volume 184, 2020, 106307, ISSN 0378-7796
- [61] J. Kester, G. Rubens, B. K Sovacool, L. Noel, Public perceptions of electric vehicles and vehicle-to-grid (V2G): insights from a Nordic focus group study, *Transport. Res. Transport Environ.* 74 (2019) 277e293
- [62] E. Karfopoulos, N.Hatziargyriou, “Distributed Coordination of Electric Vehicles Providing V2G Services”, *IEEE Trans. on Power Systems*, 2015
- [63] Andrea Bartolini, Gabriele Comodi, Danilo Salvi, Poul Alberg Østergaard, Renewables self-consumption potential in districts with high penetration of electric vehicles, *Energy*, Volume 213, 2020, 118653, ISSN 0360-5442.
- [64] Ruifeng Shi, Shaopeng Li, Penghui Zhang, Kwang Y. Lee, Integration of renewable energy sources and electric vehicles in V2G network with adjustable robust optimization, *Renewable Energy*, Volume 153, 2020, Pages 1067-1080, ISSN 0960-1481.
- [65] Díaz, A.R.; Ramos-Real, F.J.; Marrero, G.A.; Perez, Y. Impact of Electric Vehicles as Distributed Energy Storage in Isolated Systems: The Case of Tenerife. *Sustainability* 2015, 7, 15152–15178.
- [66] Kasten, P.; Bracker, J.; Haller, M.; Purwanto, J. *Electric Mobility in Europe—Future Impact on the Emissions and the Energy Systems*; Öko-Institut e.V.: Berlin, Germany, 2016.
- [67] Mele, E.; Natsis, A.; Ktena, A.; Manasis, C.; Assimakis, N. Electromobility and flexibility Management on a Non-Interconnected Island. *Energies* 2021,14, 1337. <https://doi.org/10.3390/en14051337>
- [68] Volkswagen Group, Astypalea: Smart, sustainable island
Available: <https://www.volkswagenag.com/en/sustainability/engagement/smart-sustainable-island.html>
- [69] Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής Available:
<http://www.ypai.gr/site/home/Basic+Menu/The+islands+of+Aegean/Southern+Aegean/NOMOS+DODEKANISOY/ASTYPALEA/Infrastructures/Metaphores/Odiko+Dyktio.csp;jsessionid=c0a81e0a30d6ab6983ba9ad84f52b643957cbca88146.e38Pch0Kbh4Nc40Tah4SbxuPa3f0n6jAmljGr5XDqQLvpAe>
- [70] I. Karakitsios, E. Karfopoulos, N. Hatziargyriou, ‘Impact of dynamic and static fast inductive charging of electric vehicles on the distribution network’, *Electric Power Systems Research*, Volume 140, 2016
- [71] M. Alves, R. Segurado, M. Costa, On the road to 100% renewable energy systems in isolated islands, *Energy*, Volume 198, 2020, 117321, ISSN 0360-5442
- [72] Electric Vehicle Database available: <https://ev-database.org/>
- [73] Volvo FL Electric | Volvo Trucks available: <https://www.volvotrucks.co.uk/en-gb/trucks/trucks/volvo-fl/volvo-fl-electric.html>,
- [74] PEUGEOT e-Expert & Expert | Compact electric van from PEUGEOT,

- [75] Electric minibuses - Altas Auto available: <https://altasauto.com/en/electric-minibuses/>
- [76] BloombergNEF “Electric Vehicle Outlook 2021” at:
EVO Report 2021 | BloombergNEF | Bloomberg Finance LP (bnef.com)