



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Διπλωματική Εργασία

*«Μοντελοποίηση του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της
Κρήτης με μεγάλη διείσδυση ΑΠΕ και ηλεκτρικών οχημάτων»*

Καρανδινού Αικατερίνη Αγάπη

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθηγητής Κανέλλος Φώτιος (Επιβλέπων)

Καθηγητής Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος

Καθηγητής Σταυρακάκης Γεώργιος

Χανιά, Ιούνιος 2020

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εκπονήθηκε το ακαδημαϊκό έτος 2019-2020 υπό την επίβλεψη του κ. Φώτιου Κανέλλου, καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες όχι μόνο για τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, αλλά και για την πολύτιμη καθοδήγηση και βοήθεια του όποτε τη χρειαζόμουν, η οποία ήταν καθοριστική για την διεκπεραίωση αυτής της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους ανθρώπους που ήταν δίπλα μου και με στήριξαν σε όλες τις φάσεις της ζωής μου αυτά τα χρόνια.

Συντομογραφίες

Α.Π.Ε. : Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Α.Η.Σ. : Ατμοηλεκτρικός Σταθμός

Η.Ο. ή EVs : Ηλεκτρικά οχήματα

Σ.Η.Ε.: Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Περίληψη

Η ραγδαία εξάπλωση των οχημάτων με κινητήρες εσωτερικής καύσεως έχει οδηγήσει σε δύο πολύ σημαντικά προβλήματα που χρήζουν άμεση αντιμετώπιση. Το πρώτο αφορά την πρόβλεψη για εξάντληση των ορυκτών πόρων (πετρελαϊκές κρίσεις) και την προσπάθεια απεξάρτησης από αυτούς. Ενώ το δεύτερο σχετίζεται με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τις άμεσες συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία. Κυρίως στα μεγάλα αστικά κέντρα παρατηρούνται πολύ υψηλές συγκεντρώσεις αέριων ρύπων οι οποίοι σε ανθρώπινο επίπεδο προκαλούν αναπνευστικά προβλήματα και σε παγκόσμιο επίπεδο συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και την κλιματική αλλαγή.

Η συνειδητοποίηση της κλιματικής αλλαγής, η περιβαλλοντική ευαισθησία και η εξάντληση των ενεργειακών πόρων οδηγούν στην ανεύρεση εναλλακτικών μορφών ενέργειας κυρίως ανανεώσιμους. Σχετικά με το πρόβλημα των συμβατικών μέσων μεταφοράς και την εκπομπή αέριων ρύπων από αυτά, επιδιώκεται η αντικατάστασή τους με την εναλλακτική λύση των ηλεκτρικών οχημάτων. Το ηλεκτρικό όχημα είναι πιο φιλικό στο περιβάλλον και εξασφαλίζει μηδενική εκπομπή ρύπων κατά τη λειτουργία του οχήματος βελτιώνοντας την ποιότητα του αέρα στις αστικές περιοχές και αποδεσμεύει τους χρήστες από τη χρήση υγρών καυσίμων.

Σε αυτήν την εργασία σκοπός είναι η μοντελοποίηση του μη διασυνδεδεμένου ηλεκτρικού συστήματος της Κρήτης με συνεισφορά φωτοβολταϊκών και αιολικών πάρκων όπως είναι στην παρούσα φάση, καθώς και η εξέταση της επίδρασης διαφορετικών σεναρίων διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα. Ακόμη, ο στόχος σχετικά με τη διαχείριση της ζήτησης του φορτίου είναι η διαμόρφωση του προφίλ κατανάλωσης του συνολικού φορτίου μαζί με τα ηλεκτρικά οχήματα. Τα σενάρια διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων είναι τρία και διακρίνονται στο πιο πιθανό, στο πιο αισιόδοξο και το πιο επιθετικό ως προς τον αριθμό των οχημάτων. Σε αυτό θα επιδιώξουμε να εφαρμόσουμε δύο στρατηγικές φόρτισης των οχημάτων:

- **Μη ελεγχόμενη Φόρτιση.**
dumb charging. Συμβαίνει κατά την επιστροφή των οχημάτων μετά την τελευταία τους μετακίνηση και η ισχύς που τραβούν από το δίκτυο είναι σταθερή.
- **Ελεγχόμενη Φόρτιση.**
Πραγματοποιεί βελτιστοποίηση της λειτουργίας του δικτύου με διαδικασία valley filling (πραγματοποιείται τις ώρες ελάχιστης ζήτησης φορτίου) και με διαδικασία peak shaving-κούρεμα κορυφής (εφαρμόζεται τις ώρες μέγιστης ζήτησης φορτίου). Συγκεκριμένα, η μείωση της ζήτησης σε περιόδους αιχμής (peak shaving) και η αύξηση της ζήτησης σε περιόδους εκτός αιχμής (valley filling).

Ο αλγόριθμος των παραπάνω σεναρίων υλοποιήθηκε σε περιβάλλον Matlab και για την επίλυση του προβλήματος ροής ισχύος χρησιμοποιήθηκε το πακέτο Matpower. Τα μεγέθη που εξετάζονται και δίνονται σε διαγράμματα είναι:

- Φορτία Κατανάλωσης ηλεκτρικών οχημάτων
- Ολικά Φορτία κατανάλωσης (καθαρά, πραγματικά)
- Τάσεις ζυγών
- Απώλειες ισχύος (Ενεργές και Άεργες)
- Κόστος Παραγωγής (Συνολικό και Φόρτισης οχημάτων)

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ηλεκτρικά οχήματα, peak shaving, valley filling

Abstract

The rapid spread of vehicles with internal combustion engines has as a result two very important problems that need to be faced immediately. The first concerns the provision for the depletion of mineral resources (oil crises). The second is related to the environmental impact and direct consequences on human health. Mainly in large urban centers, very high concentrations of gaseous pollutants are observed, which on a human level cause respiratory problem and globally contribute to the greenhouse effect and climate change.

Awareness of climate change, environmental sensitivity and depletion of energy resources lead to the discovery of alternative and renewable forms of energy. Regarding the problem of conventional means of transport and the emission of gaseous pollutants from them, their replacement with the alternative of electric vehicles is sought. The electric vehicle is more environmentally friendly and ensures zero emissions during vehicle operation by improving air quality in urban areas.

The purpose of this paper is to model the existing non-interconnected electrical system of Crete with the existing contribution of photovoltaic and wind farms, as well as to examine the effect of different scenarios of penetration of electric vehicles in the system. Furthermore, the goal of load demand management is to shape the overall consumption load profile along with electric vehicles. There are three scenarios for the penetration of electric vehicles and they are distinguished in the most probable, in the most optimistic and the most aggressive in terms of the number of vehicles. In this we will seek to implement two vehicle charging strategies:

The main purpose of this Diploma Thesis is to model the existing non-interconnected electric power system of Crete with the existing integrated photovoltaic and wind power plants, as well as to examine the effect of different scenarios of penetration of Battery Electric Vehicles. Furthermore, another goal is to achieve load power demand management by appropriately shaping electric vehicles load profile with smart charging techniques. Three different scenarios for the penetration of Battery Electric Vehicle are examined and they are distinguished in the most probable, most optimistic and the most aggressive in terms of the considered electric vehicle population.

In this work we try to implement two Battery Electric Vehicles charging strategies:

- **“Dumb” Charging.** It is considered the simplest form of charging and the Battery Electric Vehicle absorbs a constant amount of power throughout the charging period.
- **“Smart” Charging.** Controlled charging is applied with main objective to balance the load curves and limit fluctuations. In particular, the methods that have been applied are that of valley filling (increase of Battery Electric Vehicle load during low demand periods) and peak shaving (reduction of Battery Electric Vehicle load during high demand periods).

The proposed algorithm has been developed in Matlab software while Matpower was used to solve the optimal Power Flow problem. The main simulation results obtained by the detailed simulation of Crete electric power system concern:

- Battery Electric Vehicles Loads
- Total and net electric power load of Crete

- Bus Voltages
- Power Losses
- Fuel Cost of electric power generation units
- Battery Electric Vehicles charging cost

Περιεχόμενα

Συνοτομογραφίες.....	3
Περίληψη	4
Abstract.....	5
Κεφάλαιο 1	9
Ηλεκτρικά οχήματα.....	9
1.1 Σπουδαιότητα ηλεκτροκίνησης και σημερινή απήχηση	9
1.2 Τεχνολογίες ηλεκτρικών οχημάτων EVs	10
1.3 Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί των Η.Ο.	12
1.4 Επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην υγεία.....	13
1.5 Συσσωρευτές	13
1.6 Τεχνολογίες Αποθήκευσης	14
1.7 Τρόποι φόρτισης συσσωρευτών ηλεκτρικών οχημάτων.....	17
1.8 Θέσεις σταθμών φόρτισης	20
1.9 Ρευματοδότες και βύσματα.....	22
1.10 Σημασία δημιουργίας βιώσιμων υποδομών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων	26
Κεφάλαιο 2	27
Περιγραφή αλγορίθμου εκτίμησης φορτίου Διασυνδεδεμένων Ηλεκτρικών Οχημάτων	27
2.1 Δεδομένα	28
2.2 Διανύσματα και μεταβλητές.....	31
2.3 Λογική του ημερήσιου προγράμματος κίνησης Η.Ο. (dayscedule).....	40
2.4 Στρατηγική φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων	45
2.5 Μονογραμμικό διάγραμμα του Ηλεκτρικού Δικτύου με προσθήκη ηλεκτρικών οχημάτων.....	47
Κεφάλαιο 3	48
Το αυτόνομο Ηλεκτρικό Σύστημα της Κρήτης	48
3.1 Γεωγραφικά χαρακτηριστικά Κρήτης	48
3.2 Ηλεκτρικό σύστημα Κρήτης	48
3.3 Χαρακτηριστικά στοιχεία για τις συμβατικές μονάδες παραγωγής του Σ.Η.Ε Κρήτης	51
3.4 Κόστος θερμικών μονάδων του συστήματος	52
3.5 Ζυγοί Συστήματος	53
3.6 Υποσταθμοί.....	54
3.7 Γραμμές μεταφοράς	55
3.8 Στοιχεία μονάδων Α.Π.Ε. στην Κρήτη	55
3.8.1 Μικρά Υδροηλεκτρικά	56
3.8.2 Μονάδες παραγωγής Βιομάζας.....	56
3.8.3 Φωτοβολταϊκά	56

3.8.4 Αιολικά Πάρκα	57
3.9 Μονογραμμικό διάγραμμα του Ηλεκτρικού Δικτύου.	59
Κεφάλαιο 4	60
Περιγραφή του προγράμματος MATPOWER	60
4.1 Εισαγωγικά Στοιχεία	60
4.2 Εκτέλεση Προσομοιώσεων	60
4.3 Μοντελοποίηση και είσοδος δεδομένων στο Matpower	61
4.4 Γραμμές μεταφοράς	64
4.5 Γεννήτριες	64
4.6 Φορτία	65
4.7 Εγκάρσιο στοιχείο.....	65
4.8 Επίλυση εξισώσεων ροής φορτίου στο Matpower	65
4.9 Αλγόριθμος Αποσύνδεσης Μονάδων.....	66
Κεφάλαιο 5	67
Αποτελέσματα Μοντελοποίησης	67
5.1 Αποτελέσματα Μοντελοποίησης Σ.Η.Ε. Κρήτης χωρίς τη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων και με σενάρια διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων.....	67
5.2 Αποτελέσματα Μοντελοποίησης Σ.Η.Ε. Κρήτης χωρίς τη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων.....	67
5.3 Σενάρια διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων	71
5.3.1 Προσομοιώσεις χαμηλής διείσδυσης Η.Ο (Low σενάριο).....	73
5.3.1.1 Υλοποίηση στρατηγικής 1 (Μη ελεγχόμενη φόρτιση -Non Optimal).....	73
5.3.1.2 Υλοποίηση στρατηγικής 2 (Ελεγχόμενη φόρτιση - Optimal).....	76
5.3.2 Προσομοιώσεις μέσης διείσδυσης Η.Ο. (Medium σενάριο).....	81
5.3.2.1 Υλοποίηση στρατηγικής 1 (Μη ελεγχόμενη φόρτιση -Non Optimal).....	81
5.3.2.2 Υλοποίηση στρατηγικής 2 (Ελεγχόμενη φόρτιση -Optimal).....	84
5.3.3 Προσομοιώσεις υψηλής διείσδυσης Η.Ο. (HIGH σενάριο)	88
5.3.3.1 Υλοποίηση στρατηγικής 1 (Μη ελεγχόμενη φόρτιση -Non Optimal)	88
5.3.3.2 Υλοποίηση στρατηγικής 2 (Ελεγχόμενη φόρτιση - Optimal)	90
Κεφάλαιο 6	99
Κόστος φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων	99
Κεφάλαιο 7	103
Συμπεράσματα και επεκτάσεις	103
Βιβλιογραφία	104

Κεφάλαιο 1

Ηλεκτρικά οχήματα

1.1 Σπουδαιότητα ηλεκτροκίνησης και σημερινή απήχηση

Στις μέρες μας η συνεχώς αυξανόμενη εξάπλωση της χρήσης οχημάτων με κινητήρες εσωτερικής καύσης έχει συντελέσει σε μεγάλο βαθμό σε δύο ιδιαίτερα σημαντικά προβλήματα [1].

Το πρώτο αφορά τις επιπτώσεις στο περιβάλλον τόσο τοπικά όσο και σε ολόκληρο το πλανήτη. Σε μεγάλες πόλεις παρατηρούνται πολύ υψηλές συγκεντρώσεις αέριων ρύπων οι οποίοι συντελούν σε παγκόσμιο επίπεδο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και την κλιματική αλλαγή. Το δεύτερο πρόβλημα σχετίζεται με την εξάντληση των ορυκτών πόρων όπως το πετρέλαιο.

Αυτά τα δύο προβλήματα σε συνδυασμό με την περιβαλλοντική ευαισθησία οδηγούν όλο και περισσότερο στην εύρεση μεθόδων φιλικών προς το περιβάλλον και στην αξιοποίηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας και κυρίως ανανεώσιμους. Έτσι έχουν έρθει στο προσκήνιο τα ηλεκτρικά οχήματα [2]. Επομένως, φαντάζουν μια ελπιδοφόρα λύση καθώς τα πλεονεκτήματά τους είναι πολλαπλά με δυνατότητες ικανές να αντικαταστήσουν τα ρυπογόνα συμβατικά οχήματα.

Συγκεκριμένα το καλοκαίρι του 2018, ο συνολικός αριθμός των ηλεκτρικών και υβριδικών αυτοκινήτων που κυκλοφορούν παγκοσμίως, ξεπέρασε τα 4 εκατομμύρια, από τα οποία τα 2.6 εκατομμύρια (65%) ήταν αμιγώς ηλεκτροκίνητα [3].

Στην Ελλάδα ο ρυθμός εξάπλωσης των ηλεκτροκίνητων οχημάτων είναι βραδύς [4]. Είναι βραδύτερος από ότι σε άλλα κράτη παρά το γεγονός του μεγάλου προβλήματος της ρύπανσης των πόλεων. Υπάρχουν αρκετοί ανασταλτικοί παράγοντες. Πρώτα απ' όλα αποτρεπτική είναι η υψηλή τιμή ενός τέτοιου οχήματος, όπως επίσης και οι σταθμοί φόρτισης είναι περιορισμένοι. Επίσης δε δίνονται τα απαραίτητα κίνητρα από το κράτος(επιδότηση, ελαφρύνσεις φόρων). Παρ'όλα αυτά, οι αυτοκινητοβιομηχανίες προσανατολίζονται πλέον προς την ηλεκτροκίνηση υποχρεωτικά λόγω της κλιματικής αλλαγής. Η παγκόσμια συμφωνία για το περιβάλλον στο Παρίσι(2015) ώθησε την Ευρωπαϊκή Ένωση να ψηφίσει το 2018 υποχρεωτική μείωση των ρύπων κατά 40% έως το 2030, με αντίστοιχη προώθηση των ηλεκτροκίνητων οχημάτων [5].

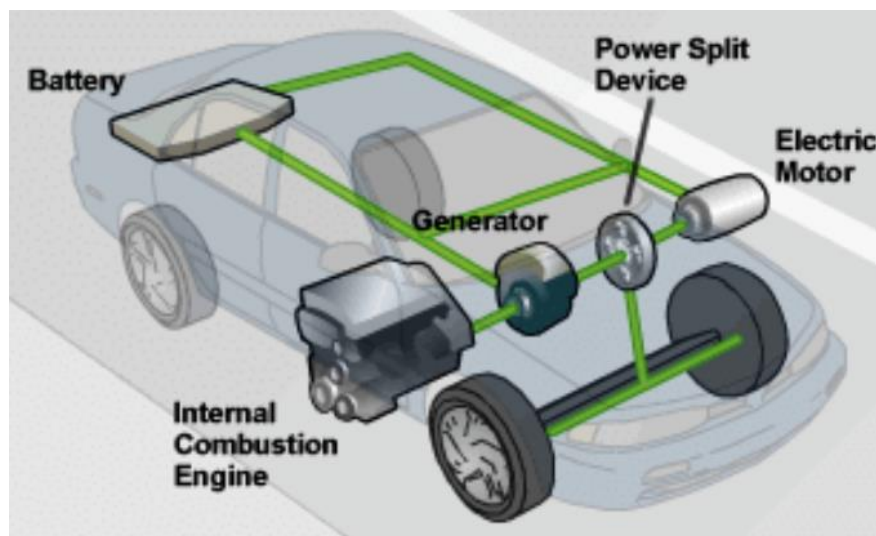
Ωστόσο, πρέπει να επισημανθεί ότι δεν μπορούμε να μιλάμε στην Ελλάδα για πραγματικά "πράσινη" ηλεκτροκίνηση, παρά μόνο αν η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που θα χρησιμοποιείται για την κίνηση των οχημάτων αυτών γίνεται από ανανεώσιμες πηγές και όχι από λιγνίτη ή φυσικό αέριο, όπως κατά κανόνα συμβαίνει σήμερα. Στην Ελλάδα λοιπόν μπορούμε να επωφεληθούμε τη μείωση των εκπομπών από την ηλεκτροκίνηση μόνο αν η ηλεκτρική ενέργεια που θα φορτίζει τις μπαταρίες των ηλεκτροκίνητων οχημάτων προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας [1].

1.2 Τεχνολογίες ηλεκτρικών οχημάτων EVs

Ηλεκτρικό αυτοκίνητο (EV) νοείται κάθε όχημα το οποίο χρησιμοποιεί την ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται σε επαναφορτιζόμενες συστοιχίες συσσωρευτών (μπαταρίες) [3]. Τα ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιούν τουλάχιστον έναν ηλεκτρικό κινητήρα αντί μηχανών εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ.). Βέβαια υπάρχουν αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν ηλεκτρικές μηχανές και ΜΕΚ και καλούνται υβριδικά. Τα ηλεκτρικά οχήματα διαχωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες [6], [7], [8]:

Υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (Hybrid Electric Vehicles - HEV)

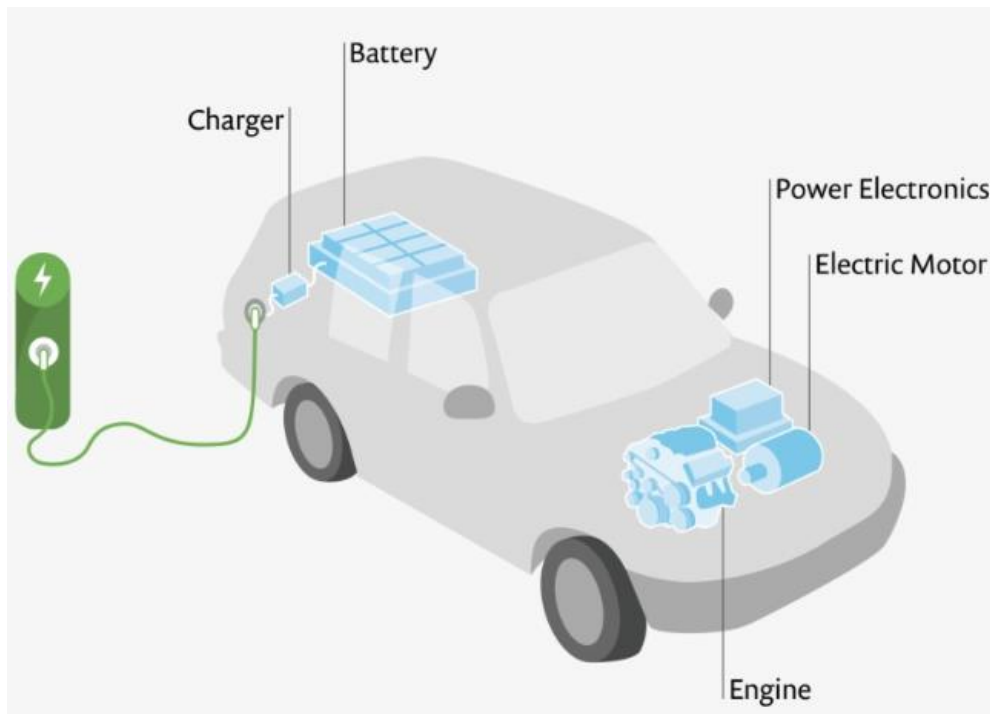
Τα υβριδικά συνδυάζουν μηχανή εσωτερικής καύσης, συνδεδεμένη με ηλεκτρικό κινητήρα. Ο ηλεκτρικός κινητήρας συνεισφέρει σε μεγαλύτερη οικονομία και βελτιστοποίηση της απόδοσης του οχήματος και τροφοδοτείται από μπαταρίες. Η μπαταρία δε φορτίζεται από εξωτερικό δίκτυο, αλλά κατά τη διάρκεια κίνησης του οχήματος με τη βοήθεια της μηχανής εσωτερικής καύσης, η οποία είναι συνδεδεμένη και προσαρμοσμένη με τον ηλεκτρικό κινητήρα.



Εικόνα 1.1 Hybrid Electric Vehicle – HEV [9]

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

Αποτελούν κατηγορία των υβριδικών οχημάτων με δύο κινητήρες, ένα κινητήρα εσωτερικής καύσης και ένα ηλεκτροκινητήρα ο οποίος τροφοδοτείται από μπαταρία μεγαλύτερη από τα HEV γεγονός που προσφέρει μεγαλύτερη αυτονομία οδήγησης μερικών δεκάδων χιλιομέτρων. Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης χρησιμοποιείται στην περίπτωση πλήρους εκφόρτισης της μπαταρίας. Η διαφορά με τα HEV είναι ότι τα οχήματα αυτά φορτίζουν τις μπαταρίες με απευθείας τροφοδοσία από το δίκτυο. Θεωρούνται ως και 50% πιο αποδοτικά από τα απλά HEV γεγονός που οφείλεται στην μείωση της κατανάλωσης καυσίμου.



Εικόνα 1. 2 Plug-in Hybrid Electric Vehicle- PHEV [10]

Ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας(Battery Electric Vehicles- BEVs)

Αυτή η κατηγορία οχημάτων δε χρησιμοποιεί υποβοήθηση από κινητήρα εσωτερικής καύσης ενώ θεωρείται κατηγορία καθαρά ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Η φόρτιση των μπαταριών γίνεται με απευθείας τροφοδοσία από το δίκτυο. Το σύνολο της ενέργειας που απαιτείται για την κίνηση του οχήματος αντλείται από τις μπαταρίες, καθώς δεν υπάρχει κινητήρας εσωτερικής καύσης και συνεπώς το μέγεθος των μπαταριών ενός BEV είναι αυξημένο συγκριτικά με τα υβριδικά (HEV). Η αυτονομία οδήγησης είναι περιορισμένη καθώς η ενδιάμεση φόρτιση (περίπου 150 km κατά μέσο όρο) είναι αναγκαία. Το κόστος φόρτισης μπαταρίας των ηλεκτρικών οχημάτων είναι σχετικά χαμηλό συγκριτικά με των συμβατικών οχημάτων. Η άμεση ρύπανση από τα ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας είναι μηδενικές. Παραδείγματα οχημάτων αυτής της κατηγορίας είναι τα: Tesla roadster, Nissan Leaf, smart EQ fortwo coupe, Peugeot iOn, Sono Sion, SEAT Mii Electric.

Ηλεκτρικά οχήματα αυξημένης αυτονομίας(Extended Range Electric Vehicles -EREVs)

Αυτή η κατηγορία οχημάτων διαθέτει τη μπαταρία ως βασική πηγή ενέργειας σε συνδυασμό με μια μηχανή εσωτερικής καύσης. Η μηχανή εσωτερικής καύσης χρησιμεύει στη φόρτιση της κύριας μπαταρίας του οχήματος ενώ ο ηλεκτρικός κινητήρας διαχειρίζεται την κίνηση του οχήματος. Η φόρτιση της μπαταρίας πραγματοποιείται με τη απευθείας σύνδεση στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Η λειτουργία του κινητήρα εσωτερικής καύσης (range-extender) έχει σκοπό την αύξηση της χιλιομετρικής αυτονομίας του οχήματος (>300km) συγκριτικά με αυτή των καθαρά ηλεκτρικών οχημάτων BEV. Η βασική διαφορά με τα υβριδικά οχήματα είναι ότι στα EREVs ο ηλεκτρικός κινητήρας λειτουργεί μόνιμως και στην περίπτωση πλήρους εκφόρτισης της μπαταρίας του οχήματος, ο κινητήρας εσωτερικής καύσης λειτουργεί με σκοπό την επαναφόρτιση τους.

1.3 Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί των Η.Ο.

Πλεονεκτήματα [3]

- Το συγκεκριμένο πλεονέκτημα σχετίζεται με την υγεία των ανθρώπων καθώς και την ποιότητα του αέρα. Συγκεκριμένα τα Η.Α. δεν παράγουν ατμοσφαιρικούς ρύπους από τις εκπομπές της εξάτμισης, όπως οξείδια του αζώτου και σωματίδια. Βέβαια εξακολουθούν να παράγονται σωματίδια από την πέδηση και από την φθορά των ελαστικών αλλά συνολικά είναι λιγότερα σε σύγκριση με το βενζινοκίνητο ή πετρελαιοκίνητο αυτοκίνητο.
- Επίσης προκαλούν την ελάχιστη δυνατή ρύπανση σε μακροχρόνια βάση με την προϋπόθεση ότι χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Έτσι μπορούν να περιορίσουν την παγκόσμια θέρμανση που προκαλείται από το φαινόμενο του θερμοκηπίου και να μειώσουν την εξάρτηση από το πετρέλαιο.
- Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι πιο αθόρυβα από τα συμβατικά αυτοκίνητα, μειώνοντας την ηχορύπανση στις πόλεις.
- Οι ηλεκτροκίνητες είναι πιο αποδοτικοί από τους κινητήρες εσωτερικής καύσης οπότε μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας της μπαταρίας καταλήγει να χρησιμοποιείται για να κινεί το αυτοκίνητο. Ειδικά στην οδήγηση εντός πόλεων τα ηλεκτρικά οχήματα σπαταλούν λιγότερη ενέργεια.
- Έχουν χαμηλό κόστος μετακίνησης, καθώς η τιμή του ρεύματος είναι αρκετά χαμηλότερη ανά μονάδα ενέργειας από τη βενζίνη, η οποία μάλιστα επηρεάζεται από την κάθε τόσο αύξηση της τιμής του πετρελαίου. Ενώ κατά τη στάση (πχ φανάρια) δεν καταναλώνουν καθόλου ενέργεια.
- Χρειάζονται πολύ λιγότερο σέρβις και συντήρηση αφού δεν έχουν σύστημα εξαγωγής καυσαερίων, διάταξη εξάτμισης και φίλτρο καπνού. Δεν απαιτούν τακτικές αλλαγές λαδιών, αντικατάσταση ή συντήρηση σε μηχανικά μέρη καθώς δεν υπάρχουν. Αντίθετα, οι μηχανές εσωτερικής καύσης έχουν πάνω από 100 κινούμενα μέρη.
- Οδηγούνται πιο εύκολα αφού δεν έχουν συμπλέκτη και ταχύτητες καθώς και επιβραδύνουν αφήνοντας το γκάζι.

Μειονεκτήματα

- Υψηλό κόστος κατασκευής, με αποτέλεσμα υψηλές τιμές πώλησης.
- Περιορισμένη απόσταση ταξιδιού μεταξύ κάθε επαναφόρτισης της μπαταρίας. Τα πιο σύγχρονα μοντέλα επιτυγχάνουν αυτονομίες που ξεκινούν από 100 έως 120 χιλιόμετρα σε αυτοκίνητα πόλης και φτάνουν στα 250-300 χιλιόμετρα ή και παραπάνω σε αυτοκίνητα μεγάλης ισχύος.
- Μεγάλος χρόνος επαναφόρτισης, συνήθως 6 ώρες για πλήρη επαναφόρτιση. Ωστόσο, αρκετά σύγχρονα μοντέλα μπορούν να φορτίσουν κατά 80% σε χρόνο λιγότερο της 1 ώρας.
- Περιορισμένη διάρκεια ζωής μπαταριών, συνήθως 3-5 χρόνια. Παρ' όλα αυτά σε νεότερα μοντέλα η διάρκεια ζωής έχει βελτιωθεί.

1.4 Επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην υγεία

Η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο οδικό δίκτυο αποτελεί απλά ένα τρόπο με τον οποίο η Ευρώπη μπορεί να κινηθεί προς μια οικονομία με αποδοτικότερη χρήση των πόρων και για ένα σύστημα μεταφορών χωρίς άνθρακα.

Με την αύξηση του αριθμού των ηλεκτρικών οχημάτων είναι δυνατό να μειωθούν σημαντικά οι άμεσες εκπομπές CO₂ και οι ατμοσφαιρικοί ρύποι από τις οδικές μεταφορές. Με αυτόν τον τρόπο το περιβάλλον στις πόλεις θα γίνει πιο καθαρό και χωρίς ρύπους.

Ωστόσο, η ατμοσφαιρική ρύπανση από την ηλεκτρική ενέργεια είναι αναπόφευκτη καθώς τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα τροφοδοτούνται από την ηλεκτρική ενέργεια. Οπότε τα θετικά αποτελέσματα ως προς την ατμόσφαιρα αντισταθμίζονται έως ένα σημείο με το γεγονός ότι η πρόσθετη απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζεται, αυξάνει τη ζήτηση και προκαλεί πρόσθετες εκπομπές λόγω της χρήσης ορυκτών καυσίμων στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [11].

Συνήθως, οι σταθμοί παραγωγής βρίσκονται μακριά από πυκνοκατοικημένες περιοχές. Συνεπώς η ρύπανση μεταφέρεται από τις περιοχές όπου χρησιμοποιούνται ηλεκτρικά οχήματα αντί συμβατικών, στους σταθμούς παραγωγής οι οποίοι για να καλύψουν τη ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων καταναλώνουν περισσότερα καύσιμα μολύνοντας την ατμόσφαιρα σε εκείνες τις περιοχές.

Όσον αφορά τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, δεν μπορεί να γίνει σύγκριση μεταξύ των ατμοσφαιρικών ρύπων που παράγονται από τις οδικές μεταφορές και από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι επιπτώσεις εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη θέση, την ένταση και τον τύπο των πηγών εκπομπών. Οι εκπομπές από τις οδικές μεταφορές εμφανίζονται σε επίπεδο εδάφους και γενικά σε περιοχές όπου ζουν και εργάζονται οι άνθρωποι, όπως στις πόλεις, οπότε μεγάλο μέρος του πληθυσμού εκτίθεται σε αυτές. Αντίθετα, οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής είναι κυρίως έξω από τις πόλεις σε λιγότερο πυκνοκατοικημένες περιοχές. Ως αποτέλεσμα αυτής της μικρότερης έκθεσης, η μετατόπιση των εκπομπών από τον τομέα των οδικών μεταφορών στον τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί τελικά να είναι επωφελής για την υγεία.

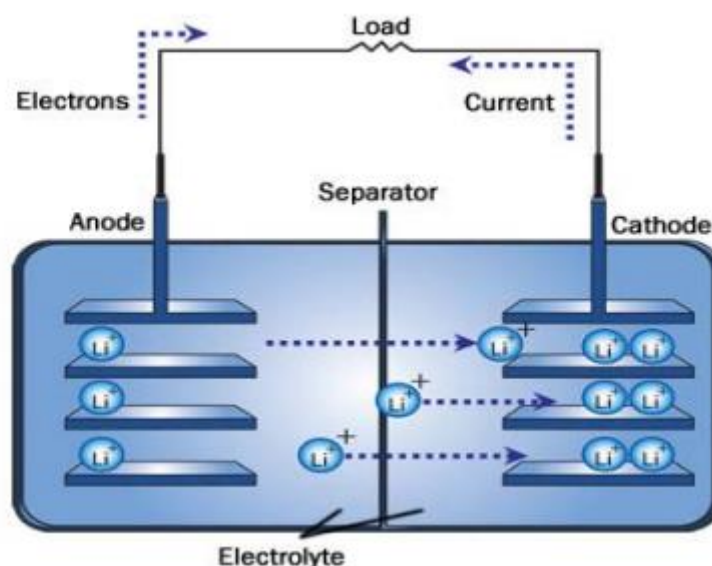
Συνεπώς, ο κύριος παράγοντας που θα επηρεάσει τις επιδώσεις των ηλεκτρικών οχημάτων σε σχέση με το περιβάλλον και την υγεία είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Συγκεκριμένα η διασφάλιση ότι η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία ηλεκτρικών αυτοκινήτων προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές.

1.5 Συσσωρευτές

Συσσωρευτής ή με άλλα λόγια μπαταρία, είναι ηλεκτροχημικές διατάξεις που μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική κατά την εκφόρτισή τους και αντίστροφα κατά τη φόρτιση τους. Οι συσσωρευτές χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας και η φόρτιση τους γίνεται με ηλεκτρονικούς μετατροπείς εναλλασσόμενης ή συνεχής τάσης.

Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα περιέχουν συσσωρευτές υψηλής τάσης, αποτελούμενους από κελιά, μονάδες και πακέτα [12]. Ένα κελί (μικρότερη ποσότητα μπαταρίας-cells) παίρνει τιμές 1-6 Volt. Κάθε κελί αποτελείται από δύο στοιχεία, την άνοδο και την κάθοδο, που χωρίζονται μεταξύ τους

με κάποιον ηλεκτρολύτη. Όταν στην άνοδο και κάθοδο συνδεθεί εξωτερικό κύκλωμα τότε υπάρχει ροή ηλεκτρονίων ανάμεσα στην άνοδο και στην κάθοδο του συσσωρευτή εξ' αιτίας ηλεκτροχημικής αντίδρασης που συμβαίνει μεταξύ των ηλεκτροδίων και του ηλεκτρολύτη που εκφράζεται στο εξωτερικό κύκλωμα ως ηλεκτρικό ρεύμα. Μια μονάδα αποτελείται από πολλά κελιά συνδεδεμένα σε σειρά ή παράλληλα, ενώ ένα πακέτο από πολλές μονάδες.



Εικόνα 1. 3 Συσσωρευτής [12]

Από τη στιγμή που δημιουργήθηκαν οι πρώτες μπαταρίες(τέλη 19^{ου} αιώνα) έγιναν προσπάθειες δημιουργίας οχημάτων που θα κινούνταν με αυτές. Πλέον οι συσσωρευτές αποτελούν το πιο σημαντικό μέρος ενός ηλεκτρικού οχήματος. Ωστόσο, το κόστος των μπαταριών είναι υψηλό, ανεβάζοντας σημαντικά το κόστος αγοράς ενός ηλεκτρικού οχήματος συγκριτικά με το κόστος ενός συμβατικού. Βέβαια, έχει πραγματοποιηθεί σημαντική βελτίωση και ο στόχος είναι η ευρεία παραγωγή συσσωρευτών με όσο γίνεται μικρότερο κόστος, μεγαλύτερη χωρητικότητα και ισχύ καθώς και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

1.6 Τεχνολογίες Αποθήκευσης

Υπάρχουν διαφορετικές τεχνολογίες μπαταριών εμπορικά διαθέσιμες. Κάθε τεχνολογία αποτελείται από δικά της χαρακτηριστικά και συνεπώς τα δικά της θετικά και αρνητικά συγκριτικά με τις ανταγωνιστικές τεχνολογίες. Παρακάτω αναλύονται οι βασικές τεχνολογίες συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται σήμερα για την αποθήκευση ενέργειας στα ηλεκτρικά οχήματα [8].

➤ Μολύβδου οξέος(Lead- Acid)

Είναι από τις πιο διαδεδομένες τεχνολογίες και μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 90' οι μπαταρίες αυτές αποτελούσαν την κύρια επιλογή για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα εξαιτίας του χαμηλού κόστους 70-110 €/KWh. Παρά το γεγονός του χαμηλού κόστους, οι απαιτήσεις των συσσωρευτών

αυτών σε μάζα και όγκο είναι μεγάλες και περιορίζουν την εφαρμογή τους στα ηλεκτρικά οχήματα. Η απόδοση και η ικανότητα αποθήκευσης αυτής της τεχνολογίας μπαταριών μειώνεται όταν οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος είναι χαμηλές. Γενικά μεγάλες εκφορτίσεις καταπονούν τις μπαταρίες και περιορίζουν τη διάρκεια ζωής τους στα τέσσερα χρόνια καθώς οι κύκλοι φόρτισης δεν μπορούν να ξεπεράσουν τους 350. Επίσης, οι συνεχόμενες εκφορτίσεις για επίπεδα εκφόρτισης άνω του 20% της ονομαστικής χωρητικότητας έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της διάρκειας ζωής των μπαταριών. Σε όλες τις μπαταρίες και ακόμη περισσότερο σε αυτές μολύβδου-οξέος, η χωρητικότητα μειώνεται σημαντικά καθώς η ταχύτητα εκφόρτισης αυξάνεται, λόγω μη επιθυμητών πλευρικών αντιδράσεων εντός του συσσωρευτή. Ακόμη η χωρητικότητα τους είναι περιορισμένη που προσφέρει αυτονομία περίπου 80 χιλιόμετρα. Αυτό περιορίζει τη χρήση τους σε ηλεκτρικά αυτοκίνητα που πραγματοποιούν μικρές αποστάσεις. Παρά τους περιορισμούς που έχουν αυτές οι μπαταρίες, τα θετικά στα οποία περιλαμβάνεται το ιδιαίτερα χαμηλό κόστος, η φιλικότητα προς το περιβάλλον (λόγω απλής διαδικασίας ανακύκλωσης) και η υψηλή ενεργειακή ισχύ τους, είναι αρκετά για να αποτελέσουν μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα τεχνολογία στον τομέα της ηλεκτροκίνησης.

➤ Ιόντων Λιθίου (Lithium-Ion)

Αυτή η κατηγορία συσσωρευτών είναι η πρώτη επιλογή στον τομέα των ηλεκτρονικών αλλά και των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Στα θετικά περιλαμβάνονται, η υψηλή πυκνότητα ενέργειας ανά μονάδα μάζας και όγκου, υψηλή πυκνότητα ισχύος καθώς και η διάρκεια ζωής. Τα χαρακτηριστικά αυτά προσδίδουν μεγαλύτερη αυτονομία οδήγησης σε σχέση με την τεχνολογία μολύβδου-οξέος. Ακόμη οι μπαταρίες αυτές είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον από τους άλλους τύπους. Στα αρνητικά στοιχεία περιλαμβάνεται το υψηλό κόστος των μπαταριών που συνεπάγεται την αύξηση της πώλησης στην αγορά. Το 2010, το κόστος των συγκεκριμένων συσσωρευτών ήταν κοντά 1000 \$/kWh, ενώ το 2025 αναμένεται να μειωθεί σημαντικά κάτω από 200\$/kWh [13]. Στους συσσωρευτές αυτούς παρατηρείται πτώση της απόδοσης στις υψηλές θερμοκρασίες καθώς και η υπερφόρτιση ή η υπερεκφόρτιση μειώνει τη διάρκεια ζωής τους. Παρ'όλα αυτά η εφαρμογή σε ηλεκτρικά οχήματα είναι ελκυστική αφού διαθέτουν υψηλή πυκνότητα ενέργειας ανά μονάδα μάζας και όγκου, προσφέροντας ιδιαίτερα αυξημένη αυτονομία.

➤ Νικελίου υδριδίου μετάλλου (NiMH)

Αυτή η τεχνολογία μπαταριών πλεονεκτεί στη διάρκεια ζωής, στην ογκομετρική χωρητικότητα καθώς και στη δυνατότητα αποδοτικής λειτουργίας σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών. Βέβαια, υπάρχουν περιορισμοί σχετικά με την πυκνότητα ενέργειας (50-60% της ενεργειακής πυκνότητας των μπαταριών Ιόντων-Λιθίου) και ισχύος. Το μεγαλύτερο αρνητικό είναι ότι η συνεχής εκφόρτιση των μπαταριών αυτού του τύπου σε υψηλή ισχύ μειώνει αισθητά τη διάρκεια ζωής τους σε 200-300 πλήρους κύκλους λειτουργίας. Ένα ακόμη μειονέκτημα είναι το υψηλό κόστος το οποίο, είναι μεν χαμηλότερο από τις μπαταρίες λιθίου αλλά, δεν αναμένεται να μειωθεί στα επόμενα έτη. Επίσης, τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις μπαταρίες είναι λιγότερο μη φιλικά προς το περιβάλλον από εκείνα των μπαταριών Ni-Cd. Λόγω της αξιοπιστίας και της αντοχής τους οι μπαταρίες NiMH χρησιμοποιούνται κυρίως σε υβριδικά οχήματα.

➤ Νικελίου Καδμίου(Ni-Cd)

Οι μπαταρίες Ni-Cd έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και πρέπει να επαναφορτίζονται μόνο όταν έχουν αποφορτιστεί εντελώς (άδειες), διαφορετικά χάνουν την απόδοση τους. Η ενεργειακή πυκνότητα των μπαταριών αυτών είναι μικρή σε σύγκριση με την αντίστοιχη των μπαταριών Ιόντων-Λιθίου. Το βασικό τους μειονέκτημα είναι το κόστος εγκατάστασης τους καθώς και ότι το κάδμιο είναι ένα στοιχείο που επιβαρύνει το περιβάλλον όταν πλέον η μπαταρία είναι άχρηστη.

Χαρακτηριστικά Συσσωρευτών	Μολύβδου οξέος (Lead -Acid)	Ιόντων Λιθίου (Lithium - Ion)	Νικελίου υδριδίου μετάλλου (NiMH)	Νικελίου Καδμίου (Ni-Cd)
Ενέργεια ανά μονάδα μάζας (Wh/ kg)	35-40	100-265	60-120	40-60
Ενέργεια ανά μονάδα όγκου (Wh/ L)	80-90	250-693	140-300	50-150
Ισχύς ανά μονάδα μάζας (W/kg)	180	250-340	250-1000	150
Απόδοση φόρτισης/ εκφόρτισης (%)	50-95	80-90	66-92	70-90
Ποσοστό ακούσιας εκφόρτισης (%/μήνα)	3-20	6.4	13.9-70.6	10
Διάρκεια ζωής (σε κύκλους)	<350	400-1200	180-2000	2000
Ονομαστική τάση κελίου	2.1	3.6/3.7/3.8/3.85	1.2	1.2

Πίνακας 1.1 Συγκεντρωτικός πίνακας χαρακτηριστικών των μπαταριών ([14], [15], [16], [17])

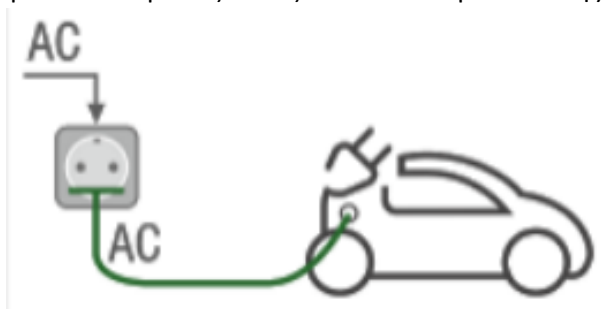
Η επικρατέστερη τεχνολογία μπαταριών είναι οι μπαταρίες λιθίου-ιόντων καθώς χωρούν περισσότερη ενέργεια με τον ίδιο όγκο, έχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και κύκλο ζωής. Έτσι το ερευνητικό ενδιαφέρον έχει επικεντρωθεί στη μείωση του κόστους τους.

1.7 Τρόποι φόρτισης συσσωρευτών ηλεκτρικών οχημάτων

Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61851-1 ορίζονται τέσσερις τρόποι φόρτισης (modes) συσσωρευτών ηλεκτροκίνητων οχημάτων που περιγράφονται παρακάτω [18], [19].

Φόρτιση Mode 1 - Βραδεία Φόρτιση (AC) από ρευματοδότη γενικής χρήσης

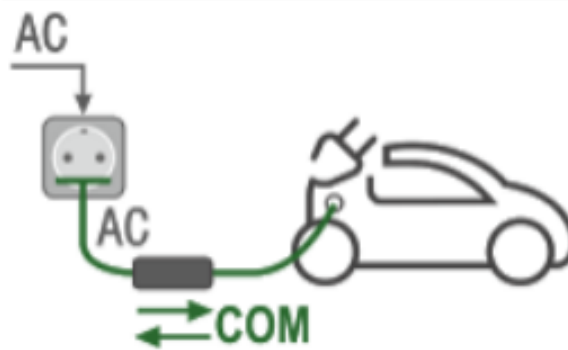
Η αγωγή σύνδεση του ηλεκτρικού οχήματος με το ηλεκτρικό δίκτυο με σκοπό την άμεση φόρτιση, πραγματοποιείται με τη χρήση κλασικών ρευματοδοτών (μονοφασικού ή τριφασικού) γενικής χρήσεως. Η φόρτιση είναι αργή, εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) και πραγματοποιείται με εύκαμπτο καλώδιο το οποίο δεν περιλαμβάνει διάταξη προστασίας κατά της ηλεκτροπληξίας (RCD). Σε μονοφασική παροχή το ρεύμα δεν υπερβαίνει τα 16 A και τα 250V ενώ σε τριφασική δεν υπερβαίνει τα 400V. Είναι απαραίτητο η ηλεκτρική εγκατάσταση της κατοικίας να πληροί όλες τις προϋποθέσεις ασφαλείας και οπωσδήποτε να υπάρχει σύστημα γείωσης με στόχο την προστασία από διαρροή ρεύματος και υπερφόρτωση τόσο της οικείας όσο και εντός του ηλεκτρικού οχήματος. Ο συνηθισμένος χρόνος φόρτισης είναι 10-15 ώρες και συνήθως χρησιμοποιείται κύκλωμα 10 A. Ο τρόπος αυτός ενδείκνυται για οικιακή χρήση.



Εικόνα 1. 5 Φόρτιση Mode 1 ηλεκτρικού οχήματος [19]

Φόρτιση Mode 2 - Βραδεία Φόρτιση (AC) από ρευματοδότη γενικής χρήσης με διάταξη προστασίας ηλεκτροπληξίας (RCD) επί του καλωδίου.

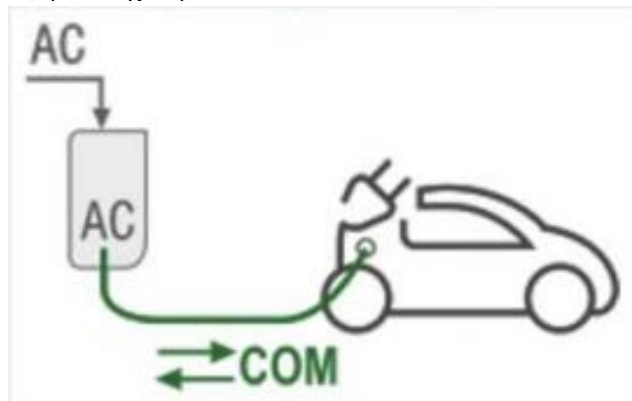
Άμεση αγωγή φόρτιση μέσω κοινού ρευματοδότη γενικής χρήσεως (μονοφασικού ή τριφασικού), κατάλληλων προδιαγραφών ασφαλείας και προστασίας, με τη διαφορά ότι το εύκαμπτο καλώδιο φόρτισης διαθέτει ειδικό μηχανισμό προστασίας κατά της ηλεκτροπληξίας τύπου RCD. Υπάρχει δυνατότητα παροχής πληροφοριών της φόρτισης μέσω δύο πρόσθετων αγωγών επικοινωνίας ενσωματωμένων στο καλώδιο σύνδεσης. Η φόρτιση είναι αργή εναλλασσόμενου ρεύματος (AC). Σε μονοφασική παροχή το ρεύμα δεν υπερβαίνει τα 32 A και τα 250V ενώ σε τριφασική δεν υπερβαίνει τα 400V. Ο χρόνος φόρτισης κυμαίνεται από 3 έως 8 ώρες. Προτείνεται για οικιακή χρήση.



Εικόνα 1. 6 Φόρτιση Mode 2 ηλεκτρικού οχήματος [19]

Φόρτιση Mode 3 - Από βραδεία έως και ημιταχεία φόρτιση (AC) από ειδικό ρευματοδότη

Το όχημα είναι συνδεδεμένο έμμεσα στο ηλεκτρικό δίκτυο μέσω ειδικού συστήματος «σταθμού» φόρτισης (τύπου Wall Box) κατάλληλων προδιαγραφών ασφαλείας, προστασίας κατά της ηλεκτροπληξίας και ελέγχου λειτουργίας. Το εύκαμπτο καλώδιο φόρτισης είναι μόνιμα σε σύνδεση με το σύστημα φόρτισης και καταλήγει σε ειδικών προδιαγραφών ακροδέκτες σύνδεσης με το όχημα. Η συγκεκριμένη φόρτιση εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) θεωρείται από βραδεία έως ημιταχεία καθώς επιτρέπει ταχύτερες φορτίσεις από τις φορτίσεις mode 1 και mode 2 ανάλογα τη σύνδεση στο δίκτυο και την ισχύ του φορτιστή. Υπάρχει δυνατότητα παροχής πληροφοριών που σχετίζονται με τη φόρτιση μέσω δύο πρόσθετων αγωγών επικοινωνίας ενσωματωμένων στο καλώδιο σύνδεσης. Ενδείκνυται για οικιακή και επαγγελματική χρήση (κτίρια γραφείων, ξενοδοχεία).

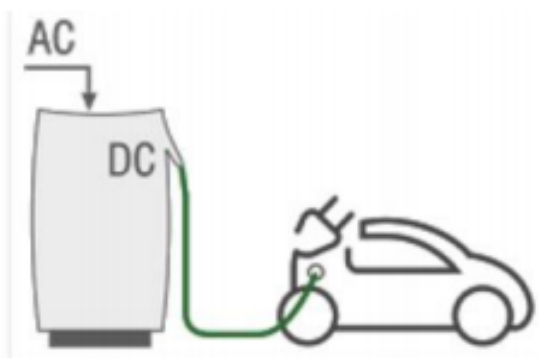


Εικόνα 1. 7 Φόρτιση Mode 3 ηλεκτρικού οχήματος [19]

Φόρτιση Mode 4 – Ταχεία /Υπερταχεία φόρτιση (DC) από εξωτερικό φορτιστή που παρέχει συνεχές ρεύμα.

Το όχημα είναι συνδεδεμένο έμμεσα στο ηλεκτρικό δίκτυο μέσω ειδικού συστήματος «σταθμού» φόρτισης κατάλληλων προδιαγραφών ασφαλείας, προστασίας κατά της ηλεκτροπληξίας και ελέγχου λειτουργίας. Αυτό το σύστημα φόρτισης μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα AC του δικτύου σε συνεχές ρεύμα DC. Το εύκαμπτο καλώδιο φόρτισης είναι μόνιμα σε σύνδεση με το σύστημα φόρτισης και καταλήγει σε ειδικών προδιαγραφών ακροδέκτες σύνδεσης. Η συγκεκριμένη φόρτιση θεωρείται ταχεία ή υπερταχεία καθώς επιτυγχάνονται πολύ γρήγορες φορτίσεις ανάλογα με την ισχύ του εξωτερικού φορτιστή (από 40kW έως και 350 kW). Υπάρχει

δυνατότητα παροχής πληροφοριών που σχετίζονται με τη φόρτιση από το ίδιο το σύστημα. Ενδείκνυται για επαγγελματική χρήση, κυρίως σε σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.



Εικόνα 1. 8 Φόρτιση Mode 4 ηλεκτρικού οχήματος [19]

Τρόπος Φόρτισης	Mode 1 110 η 220V (~1,4-3 kW)	Modes 2-3 220 V (~7,2 kW)	Mode 4 DC 400 V (50 kW) Ταχεία	Mode 4 DC 400 V (140 kW) Tesla	Mode 4 DC 400 V (350 kW) * Υπερταχεία
Περιγραφή του τρόπου φόρτισης	Η παροχή αυτή είναι μια κοινή οικιακή παροχή	Πιο ισχυρή από Mode 1 Είναι η συνήθης περίπτωση	Συνεχές ρεύμα απευθείας στο όχημα Σε 20 λεπτά προσθέτει 70-100 χλμ αυτόνομία	Διατίθεται μόνο για Tesla Είναι η ταχύτερη εν χρήσει φόρτιση	Θα είναι η ταχύτερη φόρτιση που θα διατίθεται σε σχέση με όλες τις άλλες
Πρόσθεση αυτονομίας για 1 ώρα φόρτισης	5 – 15 χλμ	25 - 40 χλμ	160 χλμ	530 χλμ	1250 χλμ
Χρόνος φόρτισης για 320 χλμ	40 - 25 ώρες	8 ώρες	2 ώρες	40 λεπτά	15 λεπτά

* Εκτιμήσεις βασισμένες σε θεωρητικούς υπολογισμούς

Εικόνα 1. 9 Συγκεντρωτικός Πίνακας Σύγκρισης Τρόπων Φόρτισης Συσσωρευτών [18].

Ασύρματη (Wireless) ή επαγωγική φόρτιση [18]

Η επαγωγική φόρτιση διακρίνεται σε δύο κατηγορίες, τη στατική και τη δυναμική φόρτιση. Στη στατική φόρτιση το όχημα σταθμεύει πάνω από έναν επαγωγέα εγκαθωτισμένο στο δάπεδο του χώρου φόρτισης και έτσι ξεκινάει αυτόματα η φόρτιση της μπαταρίας του. Ενώ στη δυναμική φόρτιση το όχημα φορτίζει όταν βρίσκεται «εν κινήσει» καθώς περνά πάνω από εγκαθωτισμένους στο οδόστρωμα ειδικούς επαγωγείς με τη μορφή ράβδων ή άλλων σχημάτων. Συγκεκριμένα, οι σταθμοί δυναμικής φόρτισης προσφέρουν τη δυνατότητα της ασύρματης μεταφοράς ισχύος στα οχήματα κατά τη διάρκεια σύντομων στάσεων π.χ. κοντά σε φανάρι ή ακόμη και δυναμικά κατά

τη διάρκεια κίνησης του οχήματος. Αυτή η τεχνολογία προσδίδει μεγαλύτερη άνεση ταξιδιού καθώς τα ηλεκτρικά οχήματα φορτίζουν την μπαταρία του σε διάφορα σημεία κατά τη διάρκεια του ταξιδιού χωρίς να αναγκάζονται να σταματήσουν σε σταθμούς φόρτισης. Η δυναμική φόρτιση λοιπόν δίνει λύση στο πρόβλημα που σχετίζεται με την αδυναμία κάλυψης μεγάλων αποστάσεων. Επίσης, η ικανότητα φόρτισης σε διάφορα σημεία μιας διαδρομής επιτρέπει τη χρήση μπαταριών με μικρότερη χωρητικότητα και άρα χαμηλότερο κόστος αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων. Βέβαια, η επαγωγική φόρτιση δεν έχει βρει ακόμα ευρύτερη εφαρμογή στην ηλεκτροκίνηση για οικονομοτεχνικούς λόγους αλλά χρησιμοποιείται ήδη σε ειδικές εφαρμογές .



Εικόνα 1. 10 Ασύρματη φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος [20]

1.8 Θέσεις σταθμών φόρτισης

Όπως τα συμβατικά οχήματα με μηχανές εσωτερικής καύσης χρειάζονται ειδικούς σταθμούς ανεφοδιασμού υγρών καυσίμων, έτσι και τα ηλεκτρικά οχήματα απαιτούν διασύνδεση στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μέσω υποδομών φόρτισης. Οι τοποθεσίες που θεωρούνται έγκυρες για εγκατάσταση σταθμών φόρτισης βρίσκονται σε κατηγορίες [8]:

➤ *Ιδιωτικοί χώροι φόρτισης με ιδιωτική πρόσβαση:*

- ιδιωτικοί χώροι στάθμευσης στην οικία: Για την απλή φόρτιση του οχήματος δεν απαιτείται κάποιο επιπλέον κόστος ή κάποια συγκεκριμένη εγκατάσταση, αφού αρκεί η παροχή ρεύματος με προστασία γείωσης. Η φόρτιση πραγματοποιείται κυρίως νυχτερινές ώρες, με το ανάλογο φτηνό τιμολόγιο.
- Ιδιωτικοί χώροι στάθμευσης που χρησιμοποιούν περισσότερο του ενός κάτοικοι. Ο σταθμός φόρτισης πρέπει να είναι κατάλληλα ρυθμισμένος ώστε να επιβαρύνει τον κάθε χρήστη ξεχωριστά.
- Εταιρίες ενοικίασης ηλεκτρικών οχημάτων: το κόστος φόρτισης θα επιβαρύνει την ίδια την εταιρία.

- **Ιδιωτικοί χώροι φόρτισης με δημόσια πρόσβαση**
 - Μεγάλοι χώροι στάθμευσης, για ηλεκτρικά οχήματα που έχουν σκοπό να σταθμεύσουν για μεγάλο χρονικό διάστημα (2-3 ώρες πχ εμπορικά καταστήματα, κινηματογράφοι) ή σύντομο χρόνο (π.χ. σουπερμάρκετ).
 - Χώροι εργασίας (π.χ. χώρος στάθμευσης υπαλλήλων σε μια εταιρία). Πολλές εταιρίες εξετάζουν τη πιθανότητα εγκατάστασης σταθμών στο χώρο εργασίας των εργαζομένων ώστε να εκμεταλλευτούν τις ώρες στάθμευσης αξιοποιώντας τις σε φόρτιση μπαταρίας.
- **Δημόσιοι χώροι φόρτισης με δημόσια πρόσβαση**
 - Σταθμοί φόρτισης σε δημόσιους δρόμους για εξυπηρέτηση οδηγών που ζουν σε πυκνοκατοικημένες περιοχές που δεν υπάρχουν οικιακά γκαράζ και χώροι φόρτισης.
 - Υποδομές ταχείας φόρτισης σε δρόμους ταχείας κυκλοφορίας ώστε να αυξήσουν την αυτονομία των οχημάτων και να καλύψουν μεγαλύτερες αποστάσεις.

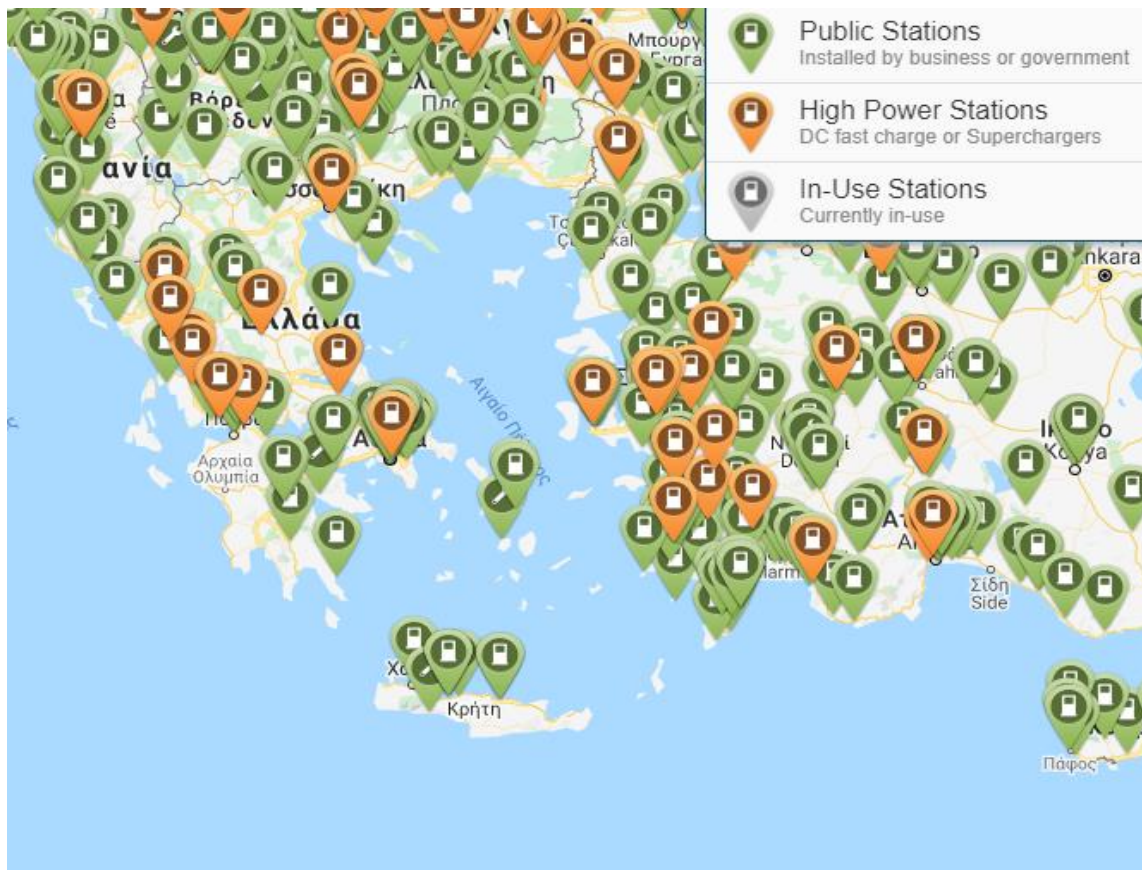
Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται ο αριθμός των σημείων φόρτισης που βρίσκονται στην Ελλάδα καθώς και ο τύπος τους. Συνολικά υπάρχουν διαθέσιμοι 111, χωρίς τους υπό κατασκευή, εκ των οποίων οι 95 είναι δημόσιοι.

Σταθμοί φόρτισης στην Ελλάδα

Τύπος Σταθμού Φόρτισης	Αριθμός Σταθμών
Δημόσιοι	95
Υπερταχείας φόρτισης	16
Υπό κατασκευή	3

Πίνακας 1.2 Σταθμοί φόρτισης στην Ελλάδα [21]

Στην εικόνα παρακάτω φαίνεται η κατανομή τους κατά μήκος της χώρας.



Εικόνα 1.1 1 Τοποθεσίες σταθμών φόρτισης στην Ελλάδα [21]

(τελευταία επίσκεψη 14/4/2020)

1.9 Ρευματοδότες και βύσματα

Ρευματοδότες και βύσματα για παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος AC

Για τη φόρτιση τύπου mode 1 έως και mode 3 με εναλλασσόμενο ρεύμα AC χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι ρευματοδοτών(πρίζες ή υποδοχή) και ρευματοληπτών(βύσματα ή φις) [18].

Πρίζες και φις :

- Οικιακού τύπου
- Βιομηχανικού τύπου
- Τύπου SAE J1772 (Τύπου 1)

Οι τύπου SAE J1772 χρησιμοποιούνται κυρίως στη Βόρεια Αμερική και Ιαπωνία και αναφέρονται ως πρίζες ή φις Τύπου 1.



Βύσμα και υποδοχή Τύπου 1 (SAE J1772)

Εικόνα 1. 11 Βύσμα και υποδοχή Τύπου 1(SAE J1772) [18]

- Τύπου IEC 62196-2 (Τύπου 2)

Οι τύπου IEC 62196-2 σχεδιάστηκαν και χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη και αναφέρονται ως πρίζες ή φις Τύπου 2.



Εικόνα 1.12 Βύσμα και υποδοχή Τύπου 2(IEC 62196-2) [18]

Ρευματοδότες και βύσματα για παροχή συνεχούς ρεύματος DC

Για τη φόρτιση τύπου mode 4 (DC) για ταχεία και υπερταχεία φόρτιση χρησιμοποιούνται οι παρακάτω σύνδεσμοι:

- Τύπου CHAdeMO

Οι σύνδεσμοι αυτοί σχεδιάστηκαν στην Ιαπωνία και χρησιμοποιούνται τόσο εκεί όσο και στην Αμερική και περιορισμένα στην Ευρώπη.



Εικόνα 1. 13 Βύσμα CHAdeMO [22]

- Τύπου 1 Combo

Αυτός ο τύπος επικρατεί στην Αμερική και αναφέρονται ως CCS1 (Combined Charging System). Βασίζεται στον σύνδεσμο Τύπου 1 για εναλλασσόμενο ρεύμα αλλά διαθέτει επιπλέον δύο πρόσθετες επαφές που επιτρέπουν την ταχεία φόρτιση με συνεχές ρεύμα.



Εικόνα 1. 14 Βύσμα και πρίζα Τύπου 1 Combo ή CCS1 [23]

- Τύπου 2 Combo

Αυτός ο τύπος σχεδιάστηκε και επικρατεί στην Ευρώπη και αναφέρονται ως CCS2 (Combined Charging System). Βασίζεται στον σύνδεσμο Τύπου 2 για εναλλασσόμενο ρεύμα αλλά διαθέτει επιπλέον δύο πρόσθετες επαφές που επιτρέπουν την ταχεία φόρτιση με συνεχές ρεύμα υψηλής έντασης (200 A)



Εικόνα 1. 15 Βύσμα και πρίζα Τύπου 2 Combo ή CCS2 [23]

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται συγκεντρωτικά οι βασικές πρίζες φόρτισης για AC και DC ρεύμα.

Current type	Region		
	Japan	America	Europe, rest of world
AC			
Plug name:	J1772 (or Type 1)	J1772 (or Type 1)	Mennekes (or Type 2)
DC			
Plug name:	CHAdeMO	CCS1	CCS2

Εικόνα 1. 16 Κύριες πρίζες φόρτισης AC και DC ρεύματος [23]

1.10 Σημασία δημιουργίας βιώσιμων υποδομών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

Η δημιουργία υποδομών φόρτισης αποτελεί πυλώνα για την υιοθέτηση της ηλεκτροκίνησης στα κράτη παγκοσμίως [24], [25]. Είναι σημαντικό, τόσο η ηλεκτροκίνηση όσο και η φόρτιση ηλεκτρικών αυτοκινήτων να αποτελούν βιώσιμες λύσεις με στόχο το καλύτερο τεχνικό και οικονομικό αποτέλεσμα για τον άνθρωπο και για το περιβάλλον συνάμα.

Σχετικά με τη δημιουργία δικτύων φόρτισης τα οποία θα εξυπηρετούν τις καθημερινές ανάγκες των οδηγών ηλεκτρικών αυτοκινήτων πρέπει αρχικά να γίνει ανάλυση του τρόπου με τον οποίο φορτίζουν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Το γεγονός ότι τα συμβατικά αυτοκίνητα έχουν γρήγορο τρόπο φόρτισης δε σημαίνει ότι μια τεχνολογία με διαφορετικούς χρόνους φόρτισης δε θα μπορούσε να είναι ανταγωνιστική. Συγκεκριμένα, οι μπαταρίες που χρησιμοποιούν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα χρειάζονται περισσότερο χρόνο φόρτισης ενώ η επίτευξη γρήγορης φόρτισης μπορεί να γίνει με πολύ μεγάλο κόστος υποδομής και με σημαντική φθορά της ίδιας της μπαταρίας.

Λύση στο πρόβλημα αυτό αποτελούν οι εξής περιπτώσεις. Αυτή της ανάπτυξης νέων υποδομών φόρτισης και νέας τεχνολογίας μπαταριών οι οποίες να υποστηρίζουν την ταχεία φόρτιση. Άλλη περίπτωση είναι αυτή της δημιουργίας υποδομών όπου ο χρόνος φόρτισης δε θα έχει τόσο σημαντικό ρόλο.

Η πρώτη περίπτωση απαιτεί πολύ χρόνο και μεγάλα ποσά για δαπάνη σε έρευνα και ανάπτυξη. Αντιθέτως, η δεύτερη επιλογή είναι πιο εύκολα εφικτή και στοχεύει στο βέλτιστο σχεδιασμό των θέσεων και σημείων εγκατάστασης φορτιστών. Δηλαδή είναι πολύ πρακτικό να γίνεται φόρτιση κατά τη διάρκεια της στάθμευσης. Τέτοιες τοποθεσίες μπορούν να είναι για παράδειγμα χώροι εργασίας, εμπορικά καταστήματα ή τα σπίτια των χρηστών, όπου ο οδηγός ξοδεύει τον περισσότερο χρόνο του σύμφωνα με τις καθημερινές του συνήθειες. Βέβαια, στις μεγάλες πόλεις είναι συχνό το φαινόμενο να μην υπάρχουν χώροι στάθμευσης στο σπίτι οπότε πρέπει να υπάρχουν επιλογές και σε δημόσια σημεία φόρτισης.

Πρακτικά αυτό το μοντέλο δικτύου φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων ακολουθεί τις βασικές αρχές του μοντέλου αστικής φόρτισης (urban charging). Με βάση αυτό το μοντέλο αστικής φόρτισης, οι σταθμοί τοποθετούνται σε σημεία όπου ο οδηγός έχει σκοπό να σταθμεύσει για περισσότερο χρόνο και δε χρειάζεται να αλλάξει τις συνήθειες του, όπως έκανε με τα συμβατικά οχήματα ώστε να βρει σταθμό τροφοδότησης καυσίμου. Υπάρχουν εταιρίες οι οποίες αναλαμβάνουν εξολοκλήρου τη δημιουργία τέτοιων δικτύων σε πολλές χώρες.

Η δημιουργία τέτοιων δικτύων φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων απαιτεί την εγκατάσταση μεγάλου αριθμού φορτιστών σε διαφορετικές τοποθεσίες αλλά εφόσον ακολουθηθούν βέλτιστες πρακτικές το αποτέλεσμα θα είναι βιώσιμα και κερδοφόρα δίκτυα φόρτισης με ανθρώπινο και περιβαλλοντικό όφελος.

Κεφάλαιο 2

Περιγραφή αλγορίθμου εκτίμησης φορτίου Διασυνδεδεμένων Ηλεκτρικών Οχημάτων

Σκοπός της εργασίας είναι η μοντελοποίηση του υπαρκτού Σ.Η.Ε. της Κρήτης καθώς και η ανάπτυξη του ίδιου μοντέλου με την προσθήκη ηλεκτρικών οχημάτων.

Αρχικά γίνεται η μοντελοποίηση του ημερήσιου προγράμματος των ηλεκτρικών οχημάτων. Στο πρόγραμμα Matlab δημιουργήθηκε μια ρουτίνα για την υλοποίηση ημερήσιου προγράμματος ενός ηλεκτρικού οχήματος με απώτερο σκοπό τη λήψη ενός συνολικού προφίλ φόρτισης των οχημάτων.

Η λογική που ακολουθήκε για τη δημιουργία του ημερήσιου προγράμματος ενός Η.Ο. είναι,

- 1) Το ΗΟ ξεκινά από το την οικία
- 2) Αποφασίζεται ο επόμενος προορισμός βάσει της ώρας αναχώρησης
- 3) Επιλέγεται τυχαία από κατανομή η χρονική διάρκεια ταξιδιού
- 4) Γίνεται τυχαία επιλογή της ταχύτητας από κατανομή και έπειτα υπολογίζεται η απόσταση
- 5) Ανάλογα την τοποθεσία προορισμού γίνεται επιλογή χρονικής διάρκειας στάθμευσης με τυχαία επιλογή από κατανομή
- 6) Γίνεται υπολογισμός χρόνου αναχώρησης προς νέο προορισμό
- 7) Υπολογίζεται η κατανάλωση του ταξιδιού που έγινε ώστε να υπολογιστεί η στάθμη της μπαταρίας κατά την εκκίνηση του οχήματος προς νέο προορισμό
- 8) Εφόσον, η στάθμη της μπαταρίας είναι χαμηλή, το ηλεκτρικό όχημα φορτίζει κατά τη διάρκεια της στάθμευσης διαφορετικά διατηρεί τη στάθμη που είχε πριν
- 9) Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να ολοκληρωθεί ένα 24ωρο πρόγραμμα οχήματος.

Να σημειωθεί ότι η εξαγωγή των προφίλ φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων βασίστηκαν σε στοχαστικά δεδομένα και σε τυχαία επιλογή τιμών από κατανομές πιθανότητας. Δημιουργώντας μια δομή δεδομένων με όνομα EV, σε κάθε πεδίο τοποθετήθηκαν τα διανύσματα και οι μεταβλητές. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλες κατανομές πιθανότητας για τα εξής μεγέθη:

- EV. **Travel type**
- EV. **Departure time**
- EV. ΔT_{travel}
- EV. **Velocity**
- EV. $\Delta T_{charging}$
- EV. $SoC_{arr}(\%)$
- EV. SoC_0
- EV. SoC_{max}
- EV. $EV_{consumption}$
- EV. P_{max}

Επίσης τα χαρακτηριστικά των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων που χρησιμοποιήθηκαν για τα προφίλ φόρτισης, πάρθηκαν από πραγματικά μοντέλα BEV σύμφωνα με οικονομικά κριτήρια. Έτσι προέκυψαν τα αποτελέσματα που αφορούν τη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων.

Σε ότι αφορά τον τρόπο φόρτισης εξετάζονται δυο σενάρια.

- Μη ελεγχόμενη φόρτιση, κατά την οποία το ηλεκτρικό όχημα όταν σταθμεύσει στο δίκτυο, απορροφά σταθερή μέση ισχύ κατά τη διάρκεια φόρτισης.
- Ελεγχόμενη ή έξυπνη φόρτιση, όπου λαμβάνετε υπόψιν το καθαρό φορτίο της Κρήτης και εφαρμόζεται peak shaving εφόσον το καθαρό φορτίο βρίσκεται σε αιχμή και valley filling εφόσον το καθαρό φορτίο βρίσκεται σε χαμηλή ζήτηση.

Η παραπάνω μέθοδος εφαρμόστηκε σε τέσσερις περιοχές της Κρήτης (Χανιά, Ηράκλειο, Άγιο Νικόλαο και Ρέθυμνο) για διάφορα σενάρια διείσδυσης και για τους δυο τρόπους φόρτισης και υπολογίστηκαν οι αντίστοιχες χρονοσειρές φορτίου των διασυνδεδεμένων Η.Ο.

Στη συνέχεια δημιουργήθηκε στο MATPOWER το αναλυτικό μοντέλο του ΣΗΕ της Κρήτης με και χωρίς διασυνδεδεμένα ηλεκτρικά οχήματα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδος στο Matpower αφορούν πραγματικά χαρακτηριστικά του συστήματος (χαρακτηριστικά γεννητριών, ζυγών και γραμμών μεταφοράς) και πραγματικές πληροφορίες του ηλεκτρικού συστήματος που δόθηκαν από το Διαχειριστή όπως είναι οι ημερήσιες χρονοσειρές για πραγματικά φορτία της Κρήτης καθώς και χρονοσειρές για αιολική και φωτοβολταϊκή παραγωγή.

Το φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων τοποθετήθηκε στους αντίστοιχους ζυγούς του μοντέλου του Σ.Η.Ε. Κρήτης στο Matpower. Στη συνέχεια έγινε η εκτέλεση Βέλτιστης Ροής Φορτίου με βέλτιστη ένταση των μονάδων για το Σ.Η.Ε Κρήτης με και χωρίς τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων, στο λογισμικό Matpower.

Τα αποτελέσματα προσομοίωσης σειράς σεναρίων παρουσιάζονται στο τέλος της εργασίας όπου εξάγονται γενικά συμπεράσματα για τη λειτουργία του ΣΗΕ της Κρήτης αλλά και ως προς την οικονομικότητα της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων.

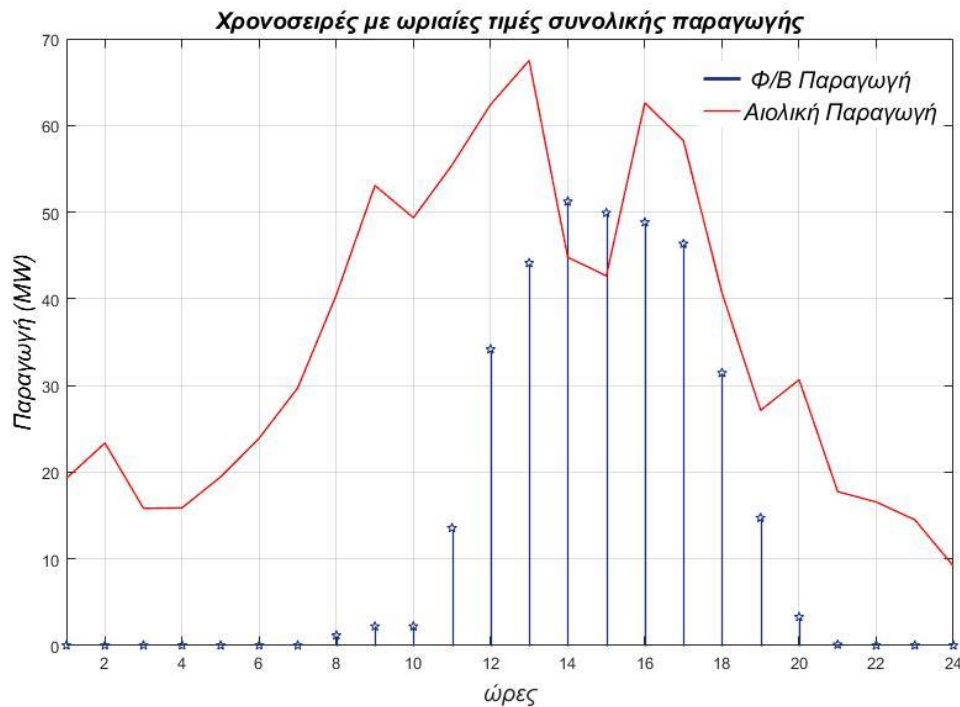
2.1 Δεδομένα

Η μέθοδος που αναπτύχθηκε και όλα τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται στο Σ.Η.Ε. Κρήτης. Η υλοποίηση βασίστηκε τόσο σε ρεαλιστικά δεδομένα (χρονοσειρές και τύποι οχημάτων) όσο και σε στοχαστικά δεδομένα και κατανομές πιθανοτήτων οι οποίες περιγράφουν τα μεγέθη που χρησιμοποιήθηκαν.

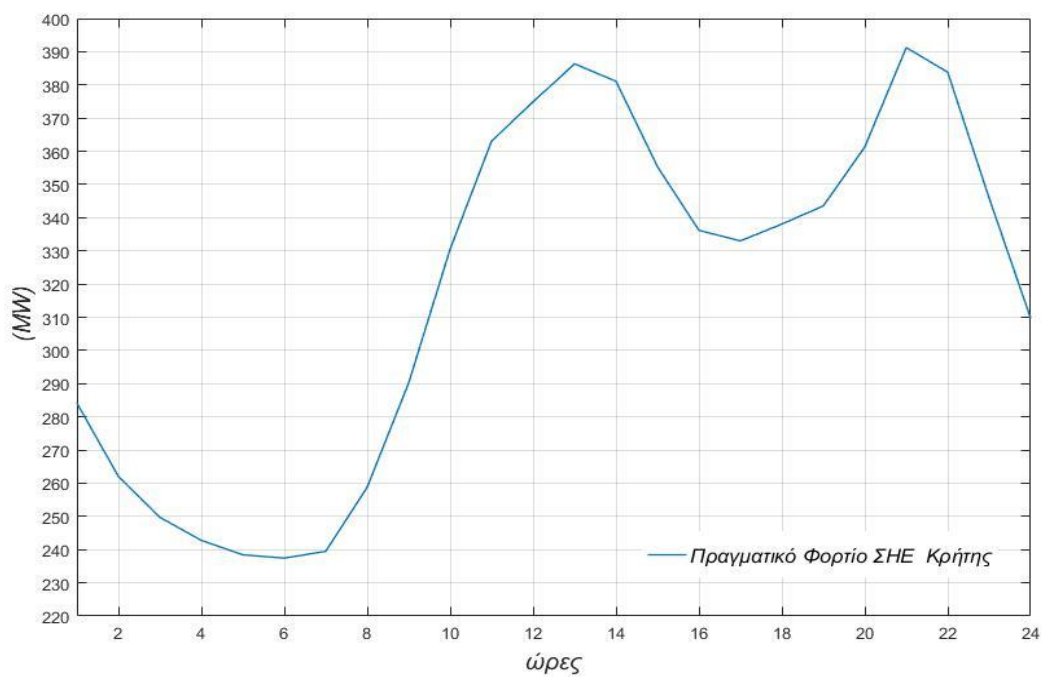
• Ημερήσιες χρονοσειρές

Για τα τρία σενάρια διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων που θα αναλυθούν παρακάτω, χρησιμοποιήθηκαν ίδιες ημερήσιες χρονοσειρές με ωριαίες τιμές για το πραγματικό φορτίο της Κρήτης [27], την αιολική και φωτοβολταϊκή παραγωγή της ώστε τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα. Συγκεκριμένα, Όπως φαίνεται (Εικόνα 2.1 – 2.2) οι μετρήσεις δόθηκαν ανά ώρα οπότε χρειάστηκε να εφαρμοστεί γραμμική παρεμβολή ώστε να γίνουν οι προσομοιώσεις ανά λεπτό που αφορούν την αναπτυχθείσα μέθοδο. Σημειώνεται εδώ ότι πρωταρχικός στόχος της μεθόδου διαχείρισης της παρούσας εργασίας είναι η βέλτιστη διαχείριση φόρτισης του στόλου EVs στην Κρήτη

ώστε να προάγεται η διείσδυση των Φωτοβολταϊκών συστημάτων. Αυτό διότι η φωτοβολταϊκή παραγωγή μπορεί να προβλεφθεί με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια από την αιολική παραγωγή. Για αυτό και τα αποτελέσματα προσομοιώσεων που θα παρουσιαστούν στην εργασία εστιάζουν στη συνεργασία EVs και Φωτοβολταϊκών συστημάτων.



Εικόνα 2.1 Ημερήσιες Καμπύλες Παραγόμενης Ισχύος των Φωτοβολταϊκών Πάρκων (13^η Απριλίου 2017) και των Αιολικών Πάρκων (29^η Απριλίου 2018) του Ηλεκτρικού Δικτύου [27]



Εικόνα 2.2 Ημερήσια Καμπύλη Συνολικής Ζήτησης Ισχύος του Ηλεκτρικού Δικτύου Κρήτης (29^η Απριλίου 2018) [27]

- **Τύποι ηλεκτρικών οχημάτων με τα χαρακτηριστικά τους**

Η επιλογή ηλεκτρικών αυτοκινήτων έγινε από την πηγή [28] από την οποία ξεχώρισαν 4 τύποι ηλεκτρικών οχημάτων με κριτήριο το πιο οικονομικό κόστος. Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν τα τέσσερα παρακάτω μοντέλα με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους (Πίνακας 2.1) :

Μοντέλο ηλεκτρικό όχημα μπαταρίας (BEV)		Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
General	Seats(people)	2	4	5	4
Real Energy Consumption	*Real energy Consumption in city (Wh/km)	159	161	156	162
	CO2 emissions (g/km)	0	0	0	0
	Vehicle Fuel Equivalent (l/km)	0.0191	0.0181	0.0171	0.0181
Battery and Charging	Battery capacity (kWh)	17.6	16	35	36.8
	Charge Power AC Pmax (kW)	4.6	3.7	11	7.2
	Charge Port	Type 2	Type 1	Type 2	Type 2
	Charge Time	(0->100 km) 4h:30min	(0->90 km) 4h:45min	(0->225 km) 3h45min	(0->200km) 5h15min
	Fast Charge Port	-	CHAdemo	CCS Combo 2	CCS Combo 2
	Fast charge time	-	(9->72 km) 21min	(23->180 km) 34 min	(20->160 km) 48min
Price	United Kingdom (£)	17,350	16,995	Not available	19,800
	The Netherlands(€)	23,995	22,360	26,000	23,400
	Germany(€)	21,940	21,800	25,500	20,650

Πίνακας 2.1 Χαρακτηριστικά ηλεκτρικών οχημάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία[28]

2.2 Διανύσματα και μεταβλητές

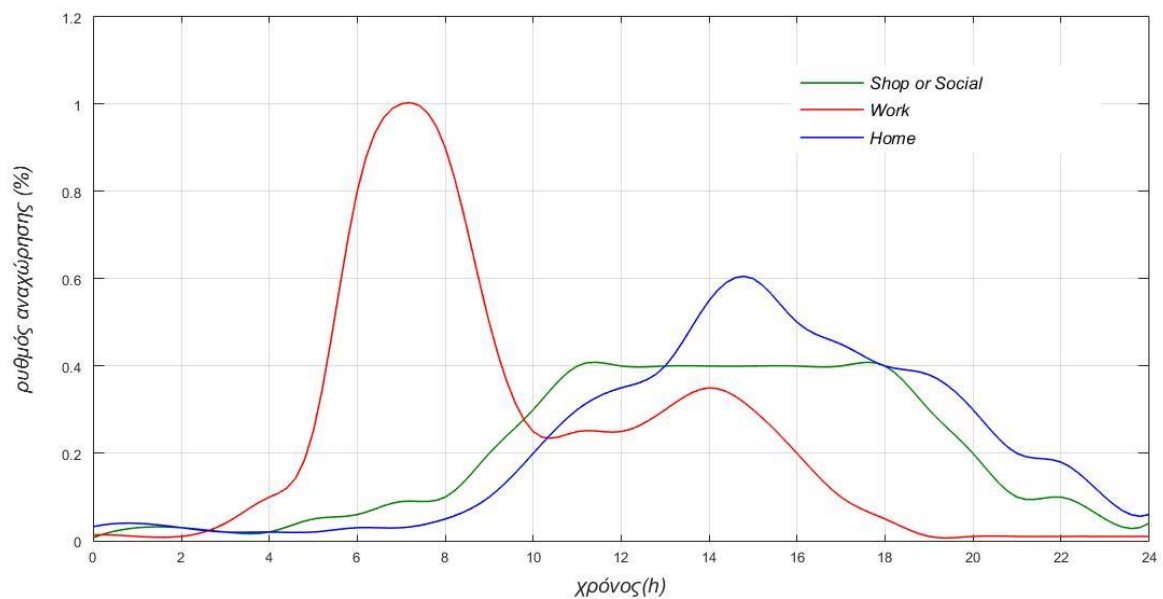
Αρχικά στο πρόγραμμα Matlab δημιουργήθηκε μια δομή δεδομένων (struct) με όνομα EV στην οποία αποθηκεύονται τα βασικά, απαραίτητα δεδομένα για να καταρτιστεί το ημερήσιο πρόγραμμα (*day schedule*). Στο κάθε πεδίο της δομής τοποθετήθηκαν διανύσματα και μεταβλητές οι οποίες δίνονται ακολούθως. Με πράσινο φαίνονται τα δεδομένα που αντιστοιχούν σε διανύσματα και με μπλε οι μεμονωμένες τιμές που αντιστοιχούν σε μεταβλητές:

- EV. **Travel type**
- EV. **Departure time**
- EV. ΔT_{travel}
- EV. **Arrival time**
- EV. **Velocity**
- EV. ΔS_{travel}
- EV. $\Delta T_{charging}$
- EV. **Consumption**
- EV. SoC_{dep}
- EV. SoC_{arr}
- EV. $SoC_{arr}(\%)$
- EV. **P**
- EV. SoC_0
- EV. **Type of battery**
- EV. SoC_{max}
- EV. $EV_{consumption}$
- EV. P_{max}

→ Διανύσματα δομής EV

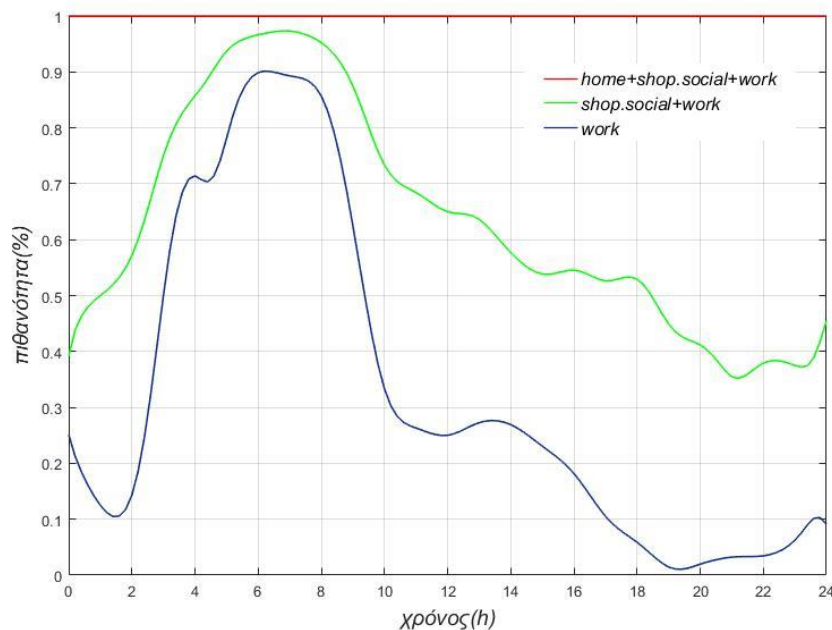
Τύπος ταξιδιού (EV.Travel type)

Αλφαριθμητικό που αφορά τον τόπο προορισμού εφόσον το όχημα βρίσκεται σε ταξίδι και μπορεί να είναι 'home' ή 'shop_social' ή 'work'. Κατά την αρχικοποίηση θεωρείται ότι το όχημα ξεκινά το ημερήσιο πρόγραμμα του από την τοποθεσία 'home'. Με βάση την ώρα που αναχωρεί ένα όχημα, ο αλγόριθμος επιλέγει τυχαία την τοποθεσία προορισμού από τις κατανομές πιθανότητας επιλογής προορισμού που δίνονται (Εικόνα 2.3. b). Για να προκύψουν αυτά χρησιμοποιούνται οι ρυθμοί εκκίνησης των EVs προς τους διάφορους προορισμούς όπως φαίνονται στην Εικόνα 2.3. a). Φαίνεται ότι η πιο συνήθης ώρα εκκίνησης προς εργασία (work) είναι στις 7:00πμ. Η πιο συνηθισμένη ώρα εκκίνησης προς κοινωνικές δραστηριότητες ή εμπορικά καταστήματα (Shop or Social) είναι από τις 11:00πμ έως 18:00 μμ, ενώ προς το σπίτι είναι στις 3:00 μμ.



Εικόνα 2.3 α) Ρυθμός αναχώρησης ηλεκτρικού οχήματος

Για την επιλογή της τοποθεσίας προορισμού αθροίστηκαν οι τρεις κατανομές ρυθμών αναχώρησης και κανονικοποιήθηκαν η κάθε μια ξεχωριστά σύμφωνα με το ωριαίο άθροισμά τους ώστε να μπορούν να προστεθούν και να διαμορφώσουν τα όρια επιλογής προορισμού όπως φαίνονται στην Εικόνα 4.4 b). Με την επιλογή τυχαίου αριθμού από 0-1 και με βάση την ώρα εκκίνησης του οχήματος γίνεται επιλογή της τοποθεσίας προορισμού. Για παράδειγμα, έστω ο τυχαίος αριθμός είναι το 0.6 και η χρονική στιγμή αναχώρησης είναι 7:00 π.μ. Στην εικόνα 4.4 b) φαίνεται ότι το σημείο αυτό βρίσκεται κάτω από την μπλε καμπύλη οπότε ο προορισμός είναι το 'work'. Εάν προκύψει τυχαίος αριθμός 0.6 για χρονική στιγμή 12:00 μ.μ. το σημείο βρίσκεται μεταξύ μπλε και πράσινης καμπύλης οπότε το σημείο προορισμού είναι το 'shop or social'.

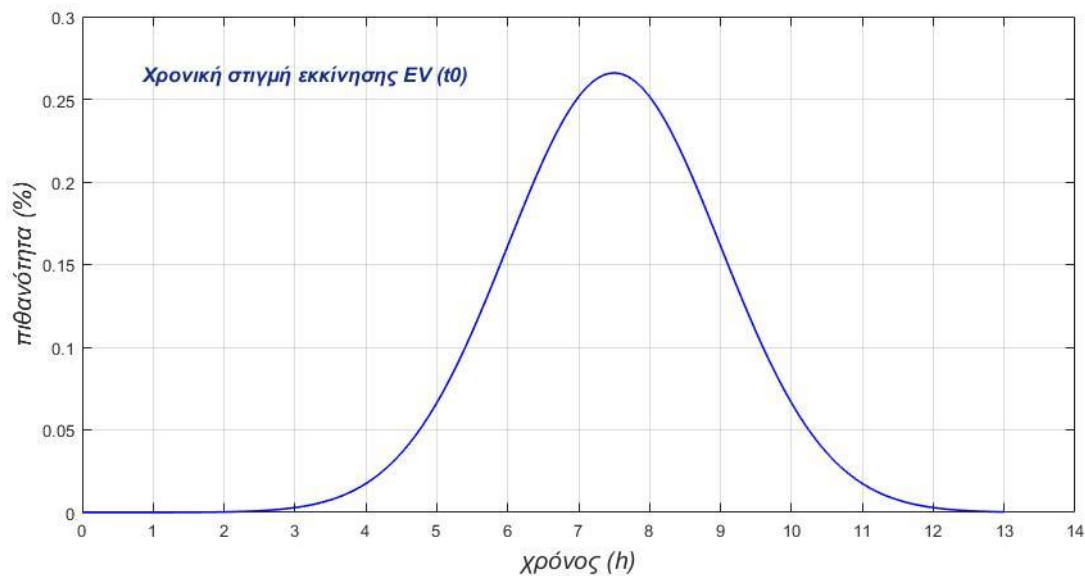


Εικόνα 2.3 b) Τα όρια επιλογής προορισμού ενός ηλεκτρικού οχήματος

Χρονική στιγμή εκκίνησης (EV Departure time)

Αφορά τη χρονική στιγμή εκκίνησης του οχήματος προς ένα νέο ταξίδι, σε ώρες. Η αρχικοποίηση γίνεται επιλέγοντας τυχαία τιμή από την κανονική κατανομή παρακάτω Εικόνα 2.4. Η δημιουργία της κατανομής βασίστηκε στη θεώρηση ότι ο περισσότερος πληθυσμός ξεκινάει από το σπίτι του γύρω στις 7:30 πμ. Νέα τιμή αναχώρησης προκύπτει εφόσον ένα ηλεκτρικό όχημα ταξιδεύει και σταθμεύσει.

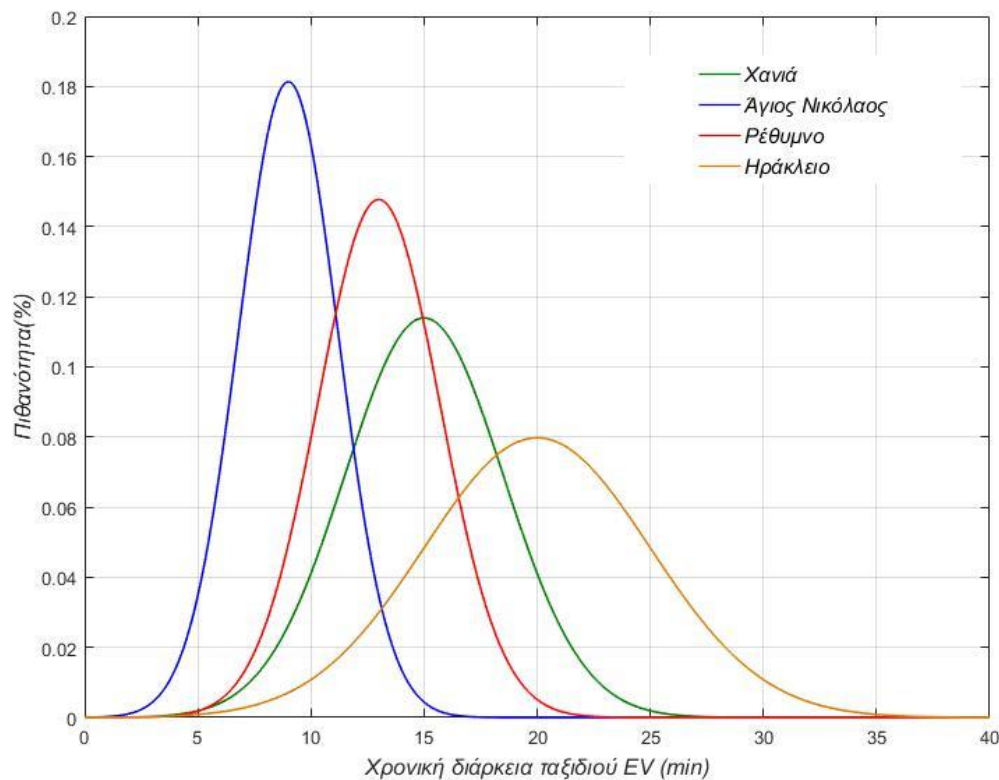
$$EV. Departure\ time = EV. \Delta T_{travel} + EV. \Delta T_{charging} \quad (2.1)$$



Εικόνα 2.4 Κατανομή που χρησιμοποιείται για αρχικοποίηση της χρονικής στιγμής αναχώρησης του ηλεκτρικού οχήματος

Διάρκεια ταξιδιού (EV. ΔT_{travel})

Αντιπροσωπεύει τη χρονική διάρκεια ενός ταξιδιού σε λεπτά. Η επιλογή τιμής για το διάνυσμα αυτό γίνεται τυχαία από την εκάστοτε κατανομή με βάση την πόλη. Πρακτικά έχουν δημιουργηθεί 4 σενάρια δηλαδή 4 κανονικές κατανομές (Normal distribution) για τις μεγαλύτερες πόλεις της Κρήτης. Η δημιουργία αυτών των κατανομών βασίστηκε στο εύρος των αποστάσεων ανά πόλη. Για τα Χανιά η κανονική κατανομή έχει μέγιστη τιμή στα 15 min, για το Ηράκλειο η κανονική κατανομή έχει μέγιστο στα 20 min, για το Ρέθυμνο η κανονική κατανομή έχει μέγιστο στα 13 min και τέλος για τον Άγιο Νικόλαο η κανονική κατανομή έχει μέγιστο στα 9 min. Συγκεκριμένα το Ηράκλειο έχει μεγαλύτερες αποστάσεις οπότε η διάρκεια ταξιδιού κυμαίνεται περίπου από 5-35 min, στα Χανιά από 5 έως 25 min, στο Ρέθυμνο από 5 έως 20 και στον Άγιο Νικόλαο που έχει μικρότερες αποστάσεις από 3 έως 15 min.



Εικόνα 2.5 Κατανομή χρονικής διάρκειας ταξιδιού ενός ηλεκτρικού οχήματος

Χρονική στιγμή άφιξης (EV.Arrival time)

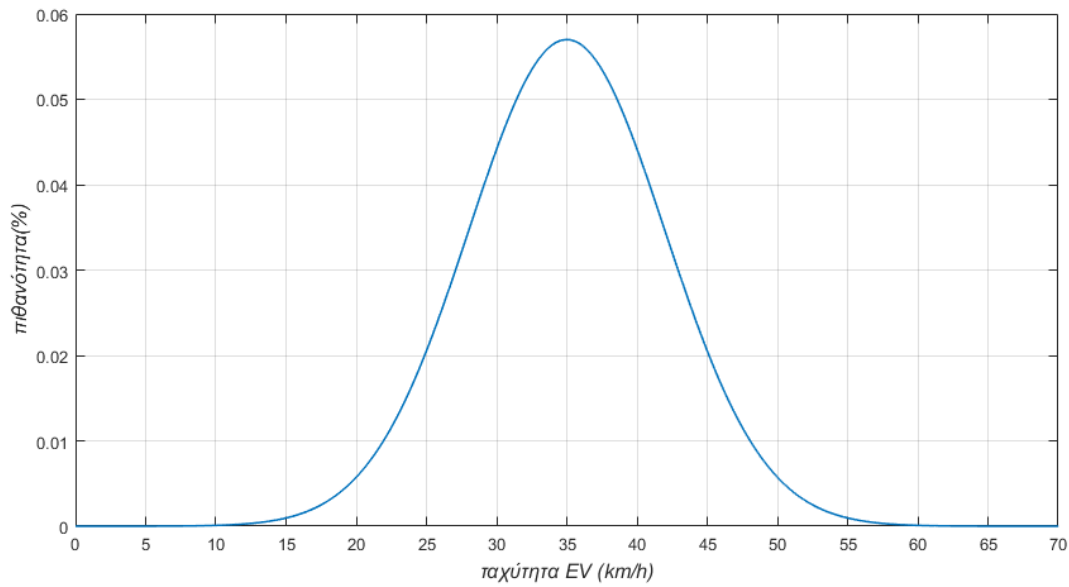
Αφορά τη χρονική στιγμή άφιξης του οχήματος στον προορισμό του, έπειτα από ταξίδι.

$$EV.Arrival\ time = EV.Departure\ time + \frac{EV.\Delta T_{travel}}{60} \ (h) \quad (2.2)$$

όπου EV.Departure time (h) χρονική στιγμή εκκίνησης οχήματος και EV. ΔT_{travel} (min) χρονική διάρκεια ταξιδιού.

Ταχύτητα οχήματος (EV.Velocity)

Αναφέρεται στην ταχύτητα του ηλεκτρικού αυτοκινήτου για κάθε ταξίδι σε $\left(\frac{km}{h}\right)$. Η αρχικοποίηση γίνεται επιλέγοντας τυχαία τιμή από την κανονική κατανομή (Εικόνα 4.6). Η δημιουργία της κατανομής βασίστηκε στη θεώρηση ότι η ταχύτητα εντός ευρύτερων ορίων πόλεως έχει μέση τιμή $35 \frac{km}{h}$ και κυμαίνεται από 15 έως $55 \frac{km}{h}$.



Εικόνα 2.6 Κατανομή ταχύτητας ηλεκτρικού οχήματος

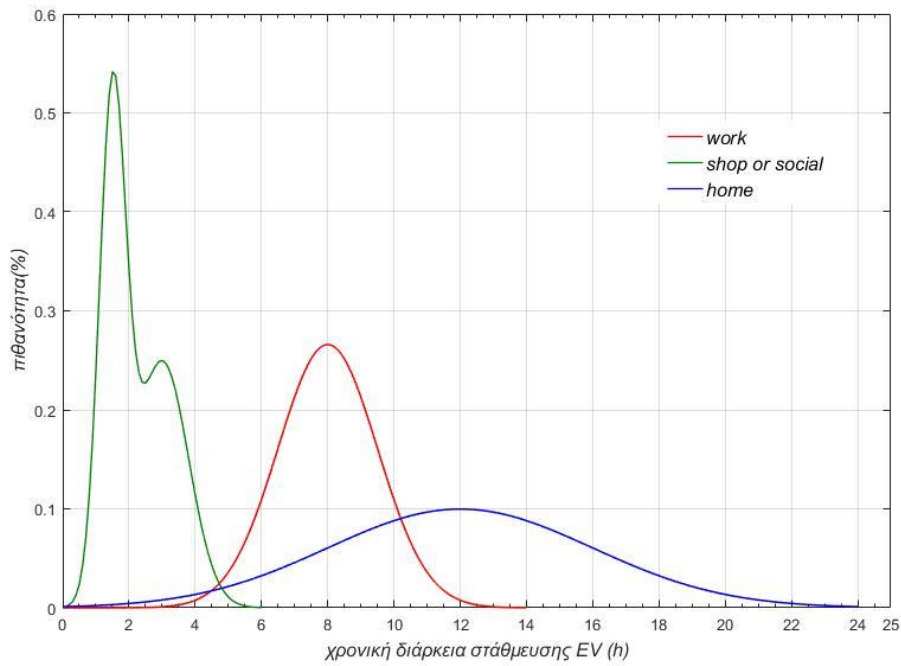
Απόσταση ταξιδιού ($EV \cdot \Delta S_{travel}$)

Αφορά την απόσταση που έχει διανύσει ένα ηλεκτρικό όχημα κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού. Υπολογίζεται και προκύπτει από τις τιμές των $EV.Velocity$ ($\frac{km}{h}$) και $EV.\Delta T_{travel}$ (h) με βάση τον τύπο:

$$EV.\Delta S_{travel} = EV.Velocity \cdot EV.\Delta T_{travel} \text{ (km)} \quad (2.3)$$

Χρόνος φόρτισης ($EV.\Delta T_{charging}$)

Δηλώνει το χρονικό διάστημα (hours) που ένα όχημα βρίσκεται σταματημένο σε ένα σταθμό φόρτισης. Αυτός ο χρόνος αντιστοιχεί είτε σε φόρτιση του οχήματος είτε σε αδράνεια του. Η επιλογή του χρονικού διαστήματος γίνεται τυχαία από κατανομές, ανάλογα την τοποθεσία που βρίσκεται το όχημα 'home', 'shop_social' ή 'work'. Συγκεκριμένα, η κανονική κατανομή (Normal distribution) που χρησιμοποιείται για τη στάθμευση σε 'work' έχει μέση τιμή 8 ώρες, η κανονική κατανομή που χρησιμοποιείται για τη στάθμευση στο 'home' έχει μέση τιμή 12 ώρες και η κανονική κατανομή για το shop_social έγινε αθροίζοντας την κατανομή shop μέσης τιμής 1.5 ώρες και την κατανομή social μέσης τιμής 3 ώρες.



Εικόνα 2.7 Κατανομές για χρονική διάρκεια στάθμευσης ηλεκτρικού οχήματος

Κατανάλωση ηλεκτρικού οχήματος ($EV.Consumption$)

Αφορά την ενεργειακή κατανάλωση που έχει πραγματοποιήσει ένα Η.Ο κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού και προκύπτει από τον τύπο.

$$EV.Consumption = EV.\Delta S_{travel} \cdot EV_{consumption} \text{ (kWh)} \quad (2.4)$$

Όπου, $EV.\Delta S_{travel}$ (km) η απόσταση που έχει διανύσει ένα ηλεκτρικό όχημα και $EV_{consumption}$ (kWh/km) συγκεκριμένη ενεργειακή κατανάλωση που έχει οριστεί από τον κατασκευαστή για το εκάστοτε μοντέλο αυτοκινήτου.

Επίπεδο φόρτισης Μπαταρίας κατά την Αναχώρηση ($EV.SOC_{dep}$)

Δηλώνει την τιμή της ενέργειας που αφορά τη φόρτιση της μπαταρίας (ως εκατοστιαίο ποσοστό) κατά την αναχώρηση του Η.Ο προς κάποιο προορισμό. Αρχικοποιείται κατά την εκκίνηση του πρώτου δρομολογίου για κάθε ηλεκτρικό όχημα και ο τύπος είναι,

$$EV.SOC_{dep} = \frac{EV.SOC_0}{100} \cdot EV.SOC_{max} \text{ (kWh)} \quad (2.5)$$

Όπου, $EV.SOC_{max}$ (kWh) μέγιστη ενέργεια που έχει οριστεί από τον κατασκευαστή του εκάστοτε μοντέλου οχήματος και $EV.SOC_0$ αρχικό ποσοστό (%) φόρτισης μπαταρίας το οποίο αναλύεται παρακάτω. Έπειτα η τιμή $EV.SOC_{dep}$ ανάλογα με το αν χρειάζεται φόρτιση ένα όχημα ή όχι παίρνει μέγιστη τιμή φόρτισης $EV.SOC_{max}$ που ορίζεται από τον κατασκευαστή του οχήματος ή την τελευταία τιμή $EV.SOC_{arr}$ άφιξης αντίστοιχα.

Επίπεδο φόρτισης Μπαταρίας κατά την Άφιξη ($EV.SoC_{arr}$)

Νοείται η τιμή της ενέργειας που αφορά τη φόρτιση (state of charge, SOC) της μπαταρίας κατά την άφιξη του ηλεκτρικού οχήματος στον προορισμό.

$$EV.SoC_{arr} = EV.SoC_{dep} - EV.Consumption (kWh) \quad (2.6)$$

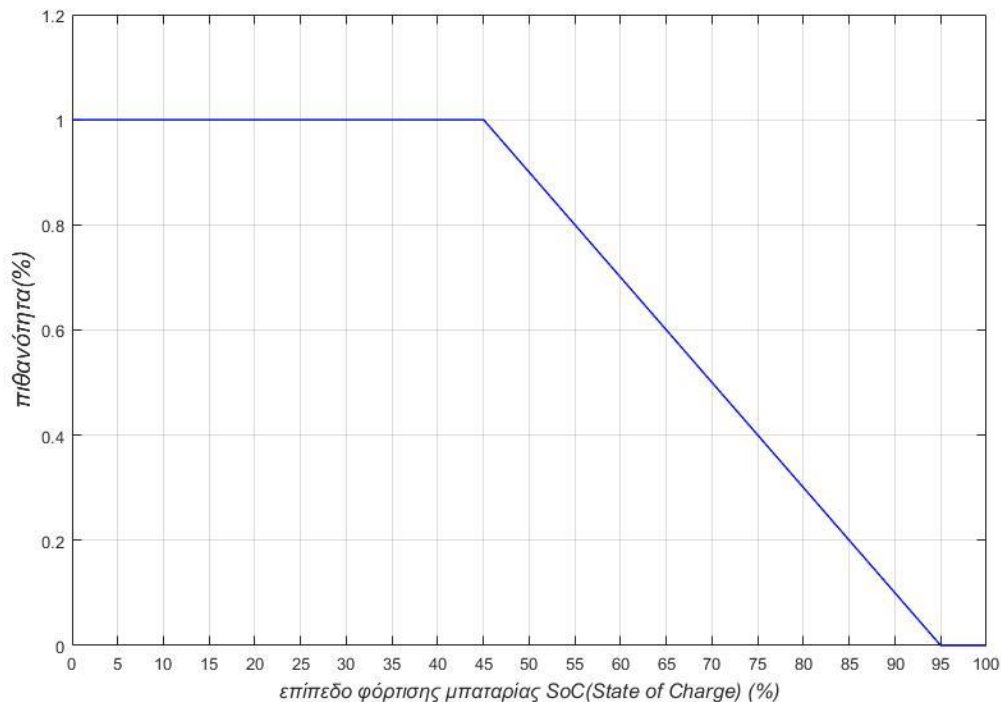
,όπου $EV.SoC_{dep}$ το επίπεδο φόρτισης μπαταρίας (kWh) κατά την αναχώρηση και $EV.Consumption$ η ενεργειακή κατανάλωση που έχει πραγματώσει ένα Η.Ο. (kWh)

Ποσοστό φόρτισης μπαταρίας κατά την άφιξη ($EV.SoC_{arr}(\%)$)

Είναι το ποσοστό(%) φόρτισης της μπαταρίας ενός αυτοκινήτου κατά την άφιξη του στον προορισμό. Αυτή η μεταβλητή χρησιμοποιείται ώστε να γίνει έλεγχος για το αν ένα Η.Ο. χρειάζεται φόρτιση ή όχι. Ο τύπος είναι

$$EV.SoC_{arr}(\%) = \frac{EV.SoC_{arr}}{EV.SoC_{max}} \cdot 100 (\%) \quad (2.7)$$

Όπου, $EV.SoC_{arr}$ (kWh) το επίπεδο φόρτισης μπαταρίας κατά την άφιξη στον προορισμό και $EV.SoC_{max}$ (kWh) η μέγιστη ενέργεια που έχει οριστεί από τον κατασκευαστή του εκάστοτε μοντέλου οχήματος. Ειδικά, γίνεται γραμμική παρεμβολή-interpolation (διαδικασία εκτίμησης άγνωστων τιμών που πέφτουν μεταξύ γνωστών τιμών) του $EV.SoC_{arr}(\%)$ ώστε να βρεθεί η πιθανότητα φόρτισης πάνω στη κατανομή του επόμενου σχήματος. Με μία τυχαία επιλογή αριθμού από 0-1 συγκρίνουμε τις δύο τιμές και αν ο τυχαίος αριθμός είναι μικρότερος της τιμής της κατανομής γίνεται φόρτιση ενώ αν είναι μεγαλύτερος δε φορτίζουμε. Σύμφωνα με τον αλγόριθμο εφόσον το ποσοστό της μπαταρίας είναι μικρότερο του 45% γίνεται υποχρεωτική φόρτιση στη μέγιστη τιμή του SoC σύμφωνα με τον κατασκευαστή, εάν το ποσοστό είναι ανάμεσα σε 45 %-95% υπάρχει πιθανότητα φόρτισης και εάν το SoC_{arr} είναι από 95%-100% το όχημα δε φορτίζει.



Εικόνα 2.8 Κατανομή για επιλογή επιπέδου φόρτισης μπαταρίας ($EV.SoC_{arr}(\%)$)

Ισχύς Φόρτισης (EV.P)

Αφορά την ισχύ που η μπαταρία ζητάει από το δίκτυο. Η συγκεκριμένη παράμετρος είναι πολύ σημαντική και καθορίζει τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων. Όταν η μπαταρία φορτίζει ισχύει $EV.P > 0$ διαφορετικά, όταν το όχημα βρίσκεται στον σταθμό και η μπαταρία δε φορτίζει ισχύει $EV.P = 0$.

Έστω $t0$ = χρόνος σύνδεσης ενός οχήματος στο δίκτυο φόρτισης

και

tf = χρόνος αποσύνδεσης ενός οχήματος από το δίκτυο φόρτισης

A. Η ισχύς κατά την **μη ελεγχόμενη φόρτιση** (non-optimal) υπολογίζεται :

$$EV.P(t0:tf) = P_{dumb} = \frac{SoC_{max}(t0:tf) - SoC_{arr}(t0)}{\Delta T_{charging}(tf - t0)} (kW) \quad (2.8)$$

Όπου, $SoC_{max}(kWh)$ η μέγιστη ενέργεια που έχει οριστεί από τον κατασκευαστή του εκάστοτε μοντέλου οχήματος, $SoC_{arr}(kWh)$ το επίπεδο φόρτισης μπαταρίας κατά την άφιξης σε προορισμό και $\Delta T_{charging}(h)$ το χρονικό διάστημα που ένα όχημα βρίσκεται σε φόρτιση.

B. Η ισχύς κατά την **ελεγχόμενη φόρτιση** (optimal) υπολογίζεται από τις:

$$net\ load(t0:tf) = Create\ load(t0:tf) - P_{PV}(t0:tf) \quad (2.9)$$

$$d1(t0:tf) = \frac{\max(net\ load(t0:tf)) - \min(net\ load(t0:tf))}{\max(net\ load(t0:tf))} \quad (2.10)$$

$$d(t0:tf) = \frac{d1(t0:tf)}{\max(d1(t0:tf))} \quad (2.11)$$

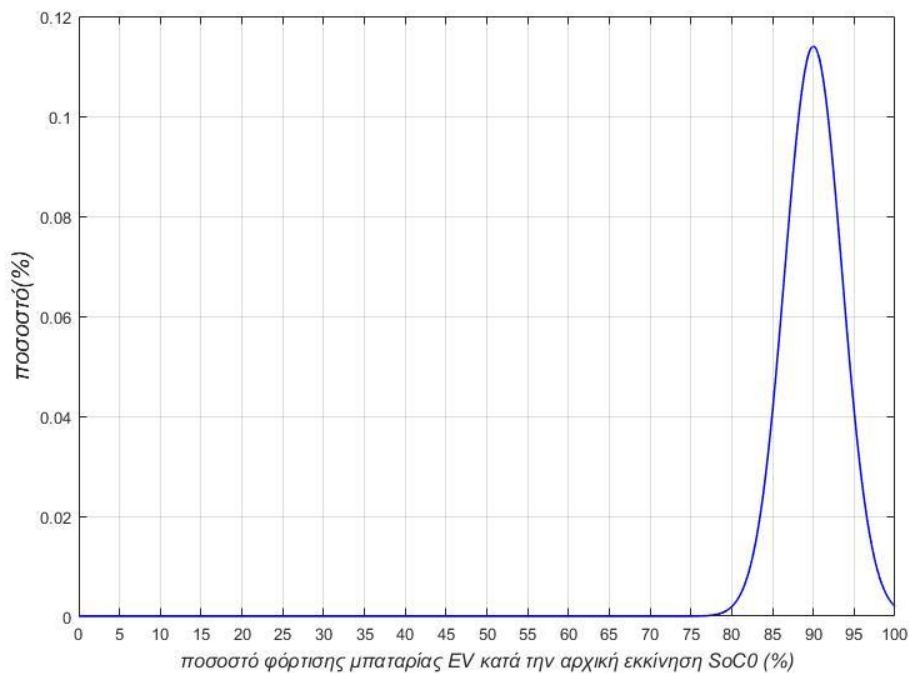
$$EV.P(t0:tf) = d(t0:tf) \cdot P_{dumb}(kW) \quad (2.12)$$

Όπου, $Create\ load$ το πραγματικό φορτίο της Κρήτης και P_{PV} η φωτοβολταϊκή παραγωγή για τυχαία ημέρα.

→ **Μεταβλητές δομής EV**

Αρχικό επίπεδο φόρτισης μπαταρίας (EV.Soc₀)

Αφορά το ποσοστό φόρτισης (%) της μπαταρίας του οχήματος. Αρχικοποιείται με τυχαία τιμή από την παρακάτω κανονική κατανομή και θεωρείται ότι κατά την εκκίνηση από τον αρχικό προορισμό 'home' τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν ποσοστό φόρτισης από 80% έως 100 %.



Εικόνα 2.9 Κατανομή από την οποία αρχικοποιείται το ποσοστό φόρτισης της μπαταρίας κατά την εκκίνηση

Τύπος μπαταρίας (EV.Type of battery)

Διακρίθηκαν 4 τύποι ηλεκτρικών οχημάτων με κριτήριο το πιο χαμηλό κόστος [35]. Η μεταβλητή αυτή δηλώνει με ακέραιο αριθμό τον τύπο του ηλεκτρικού αυτοκινήτου (Πίνακας 2.2) και τα χαρακτηριστικά της μπαταρίας. Η επιλογή ακεραίου γίνεται τυχαία από 1-4.

Τύπος Ηλεκτρικού Αυτοκινήτου	Ακέραιος	P_{max} (kW)	SoC_{max} (kWh)	$EV_{consumption}$ (kWh/km)
Type 1	1	4.6	17.6	$1.6 \cdot 15.9 / 100$
Type 2	2	3.7	16	$1.6 \cdot 16.1 / 100$
Type 3	3	11	35	$1.6 \cdot 15.6 / 100$
Type 4	4	7.2	36.8	$1.6 \cdot 16.2 / 100$

Πίνακας 2.2 Χαρακτηριστικά μπαταριών για κάθε τύπο ηλεκτρικού οχήματος [28]

*Στην τιμή της κατανάλωσης του οχήματος περιλαμβάνεται 60% προσαύξηση (συντελεστής 1.6) λόγω του ότι δε λαμβάνονται υπόψιν στα δρομολόγια οι υπεραστικές διαδρομές και επειδή τα αρχικά διαθέσιμα δεδομένα κατανάλωσης αναφέρονται σε ιδανικές συνθήκες οδήγησης, γεγονός που δηλώνει ότι στην πράξη η κατανάλωση του οχήματος θα είναι μεγαλύτερη.

Χωρητικότητα φόρτισης max ($EV.SoC_{max}$)

Μέγιστη χωρητικότητα φόρτισης μπαταρίας του Η.Ο. σε kWh ανάλογα τον τύπο μπαταρίας (Type of battery).

Κατανάλωση ενέργειας ($EV.EV_{consumption}$)

Κατανάλωση ενέργειας του Η.Ο. σε $(\frac{kWh}{km})$, λαμβάνοντας υπόψη ότι το όχημα δεν κινείται υπό ιδανικές συνθήκες, ανάλογα τον τύπο μπαταρίας (Type of battery)) .

Μέγιστη ισχύς ($EV.P_{max}$)

Είναι η μέγιστη ισχύς φόρτισης (kW) της μπαταρίας ανάλογα τον τύπο μπαταρίας (Type of battery).

	Κατανομή	Μέση Τιμή (μ)	Τυπική Απόκλιση (σ)
$EV.Departure\ time$	Normal distribution	7.5 h	1.5
$EV.\Delta T_{travel}\ (Chania)$	Normal distribution	15	3.5
$EV.\Delta T_{travel}\ (Heraklion)$	Normal distribution	20	5
$EV.\Delta T_{travel}\ (Rethymno)$	Normal distribution	13	2.7
$EV.\Delta T_{travel}\ (Agios\ Nikolaos)$	Normal distribution	9	2.2
$Velocity$	Normal distribution	35	7
$EV.\Delta T_{charging}\ (home)$	Normal distribution	12	4
$EV.\Delta T_{charging}\ (shop\ or\ social)$	Normalized Sum of 2 Normal distribution pdfs	1.5	0.4
		3	0.8
$EV.\Delta T_{charging}\ (work)$	Normal distribution	8	1.5
$EV.SoC_0$	Normal distribution	90	3.5

Πίνακας 2.3 Πίνακας χαρακτηριστικών των Κανονικών Κατανομών των παραμέτρων του Στόλου EVs

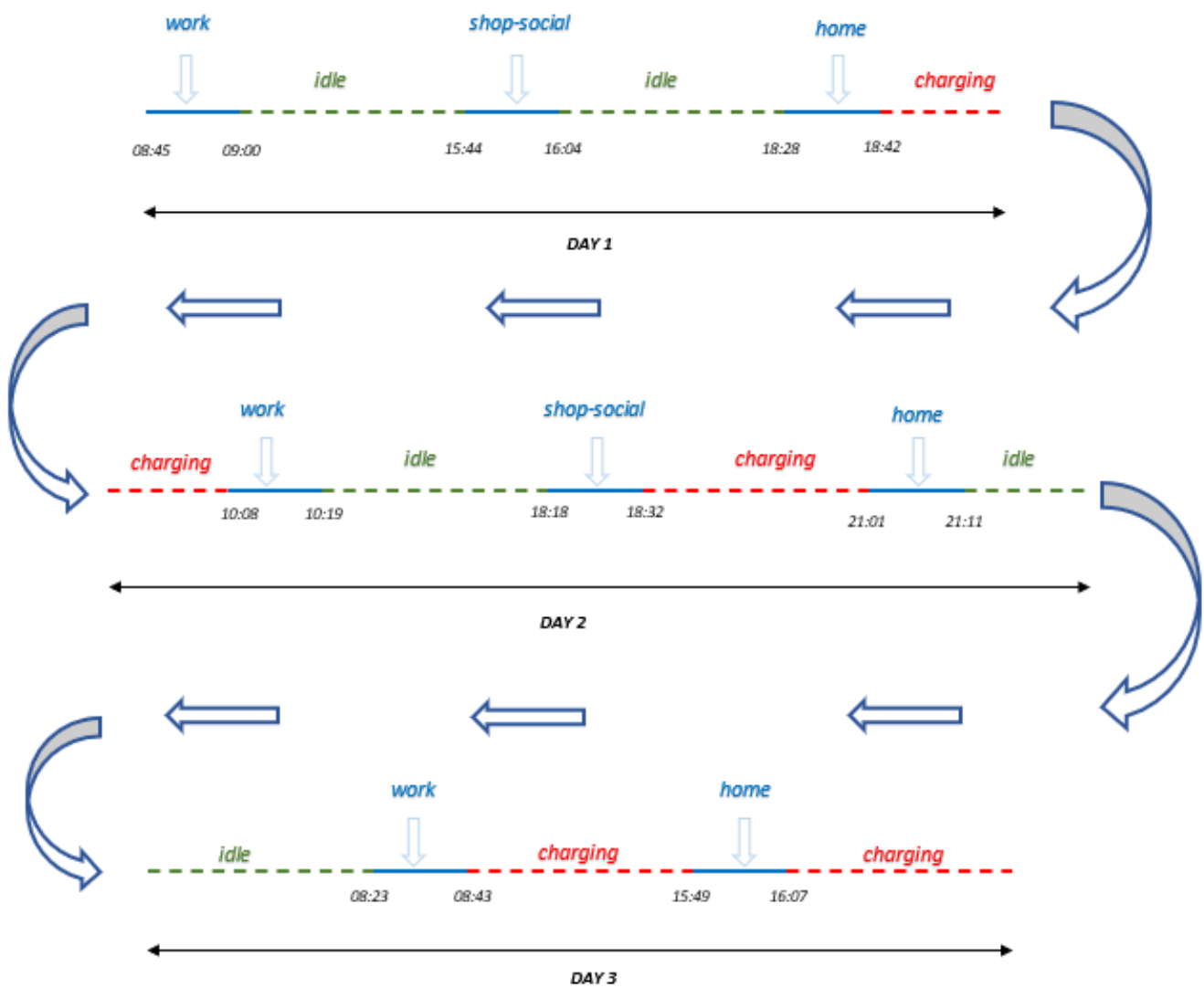
2.3 Λογική του ημερήσιου προγράμματος κίνησης Η.Ο. (dayschedule)

Βασικό κομμάτι του αλγορίθμου είναι κατάρτιση του ημερήσιου προγράμματος (24ωρο) ενός ηλεκτρικού οχήματος. Επισημαίνεται ότι σε όλους τους χώρους στάθμευσης υποτίθεται ότι υπάρχουν εγκατεστημένα συστήματα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Ένα παράδειγμα προγράμματος τριών ημερών φαίνεται στην *Εικόνα 4.11* και περιγράφεται στην συνέχεια.

Περιγραφή του ημερήσιου προγράμματος της *Εικόνας 2.10* :

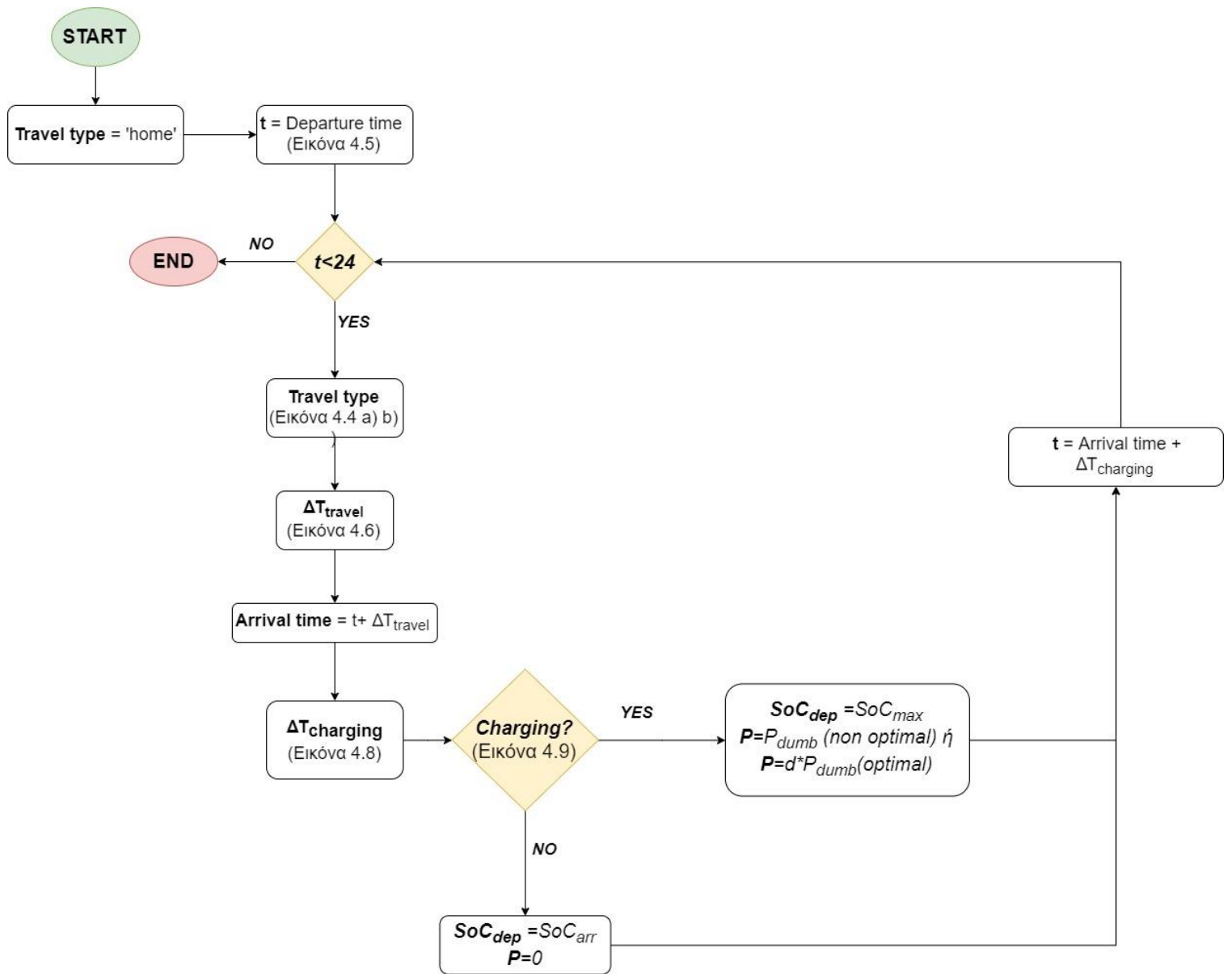
- 1) Αρχικά, ο οδηγός ξεκινάει πάντα από την τοποθεσία 'home' και η ρουτίνα επαναλαμβάνεται μέχρι ο χρόνος t να φτάσει τις 24 ώρες. Το συγκεκριμένο όχημα βρίσκεται στην πόλη Χανιά που είναι καθοριστικό για την επιλογή κατανομών πιθανότητας. Το αρχικό επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας του οχήματος επιλέγεται από την κατανομή της *Εικόνας 4.9* και κατά την εκκίνηση μπορεί να έχει ποσοστό φόρτισης από 80% έως 100%. Επίσης, ο τύπος οχήματος επιλέγεται τυχαία κατά την αρχικοποίηση με έναν ακέραιο από 1 έως 4 και οι πιθανές επιλογές είναι : Type 1, Type 2, Type 3, Type 4. Κάθε τύπος οχήματος έχει δικά του χαρακτηριστικά για μέγιστη φόρτιση ($EV.SOC_{max}$), μέγιστη ισχύ ($EV.P_{max}$) και κατανάλωση ($EV.EV_{consumption}$).
- 2) Ξεκινάει νέο ταξίδι στις 8:45 π.μ. το οποίο προέκυψε από την κατανομή πιθανότητας της *Εικόνας 4.5*.
- 3) Έπειτα ο προορισμός του οχήματος είναι το 'work'. Αυτό προέκυψε από την επιλογή τυχαίου αριθμού από 0 μέχρι 1 που αντιστοιχεί σε μια πιθανότητα πάνω στο διάγραμμα των κανονικοποιημένων κατανομών και ανάλογα σε ποια περιοχή αντιστοιχεί η πιθανότητα αυτή (*Εικόνα 4.4 b*) γίνεται και η επιλογή του προορισμού. Υπάρχουν τρεις πιθανοί προορισμοί home, work, shop or social και σίγουρα δε γίνονται επαναλήψεις δηλαδή ένα όχημα δεν μπορεί να πάει σε προορισμό που ήδη βρίσκεται.
- 4) Η χρονική διάρκεια ταξιδιού από το 'home' στο 'work' είναι 15 λεπτά. Η επιλογή της χρονικής διάρκειας ταξιδιού γίνεται από την κατανομή της *Εικόνας 4.6* με βάση την πόλη στην οποία βρίσκεται το όχημα.
- 5) Έπειτα γίνεται η επιλογή ταχύτητας από την κατανομή της *Εικόνας 4.7* και σε συνδυασμό με τη χρονική διάρκεια ταξιδιού υπολογίζεται η απόσταση που διένυσε το όχημα.
- 6) Η χρονική διάρκεια στάθμευσης του οχήματος στην τοποθεσία 'work' είναι 6 ώρες και 44 λεπτά. Η χρονική διάρκεια στάθμευσης επιλέγεται από τις κατανομές της *Εικόνας 4.8* με βάση τον προορισμό του οχήματος.
- 7) Ο χρόνος ανανεώνεται προσθέτοντας του τη χρονική διάρκεια στάθμευσης και τη χρονική διάρκεια ταξιδιού και φτάνει στα 15:44 μ.μ. όπου αντιστοιχεί στο χρόνο αναχώρησης για το επόμενο ταξίδι.
- 8) Η κατανάλωση του οχήματος προκύπτει πολλαπλασιάζοντας την απόσταση που διένυσε το όχημα, με τη συγκεκριμένη κατανάλωση ($EV.Consumption$) που αντιστοιχεί στο όχημα ανάλογα με τον τύπο του (1-4).

- 9) Η στάθμη της μπαταρίας όταν φτάσει στον προορισμό είναι ίση με τη στάθμη της μπαταρίας που δόθηκε κατά την εκκίνηση αφαιρώντας την κατανάλωση του οχήματος. Έπειτα από αυτήν την τιμή της στάθμης της μπαταρίας υπολογίζουμε το ποσοστό της και από την *Εικόνα 4.9* βρίσκουμε αν θα φορτίσουμε την μπαταρία ή όχι. Συγκεκριμένα, αν το ποσοστό είναι πάνω από 95% δε γίνεται φόρτιση, αν το ποσοστό είναι κάτω από 45% γίνεται οπωσδήποτε φόρτιση και αν η στάθμη βρίσκεται από 45% έως 95% γίνεται επιλογή φόρτισης ή μη. Δηλαδή επιλέγοντας τυχαία έναν αριθμό από 0-1, γίνεται σύγκριση με την τιμή που προέκυψε από την κατανομή (*Εικόνα 4.9*) και εφόσον βρεθεί κάτω από την κατανομή γίνεται φόρτιση στη μέγιστη τιμή της μπαταρίας καταναλώνοντας ισχύ, αλλιώς δε γίνεται φόρτιση και τα επίπεδα μπαταρίας μένουν ίδια με πριν οπότε δεν καταναλώνεται ισχύς. Στο συγκεκριμένο, φαίνεται ότι δεν επιλέχθηκε να γίνει φόρτιση του οχήματος αλλά να μείνει σε αδράνεια (*idle*) όντας σταθμευμένο.
- 10) Έπειτα εκτελείται νέα ρουτίνα για το επόμενο ταξίδι το οποίο ξεκινάει στις 15:44 μ.μ. με προορισμό το 'shop_social' και χρονική διάρκεια ταξιδιού 20 λεπτά. Οπότε φτάνει στο χώρο στάθμευσης 16:04 μ.μ. όπου δεν πραγματοποιεί φόρτιση και μένει σε αδράνεια (*idle*). Μέχρι να ξεκινήσει το νέο δρομολόγιο για τον προορισμό 'home' όπου και μένει μέχρι την επόμενη ημέρα και πραγματοποιεί φόρτιση κατά τη διάρκεια της στάθμευσης.
- 11) Η συγκεκριμένη περιγραφή αφορά μια επαναλαμβανόμενη ρουτίνα 24 ωρών και παρουσιάζονται ενδεικτικά άλλα δύο 24ωρα.



Εικόνα 2.10 Λογική τυχαίου ημερήσιου προγράμματος κίνησης Η.Ο.

Στην Εικόνα 2.11 φαίνεται το διάγραμμα ροής (Flowchart) το οποίο περιγράφει σχηματικά τα βασικά βήματα του αλγόριθμου.



Εικόνα 2.11 Flowchart απεικόνιση του αλγορίθμου

2.4 Στρατηγική φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

Η σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων στα σημεία φόρτισης μετατρέπει τα οχήματα σε φορτία ηλεκτρικής ισχύος για το ηλεκτρικό δίκτυο. Η σύνδεση των οχημάτων μπορεί να γίνει οποιαδήποτε στιγμή της ημέρας οπότε το δίκτυο οφείλει να ανταποκριθεί ανεξάρτητα την κατάσταση που βρίσκεται εκείνη τη στιγμή.

ο Στρατηγική 1 – Μη ελεγχόμενη Φόρτιση (Non optimal)

Θεωρείται η μη σχεδιασμένη σύνδεση ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο. Είναι η πιο απλή μορφή φόρτισης, η οποία πραγματοποιείται όποτε σταθμεύει ο εκάστοτε οδηγός εφόσον κριθεί αναγκαίο. Το όχημα απορροφά σταθερή μέση ισχύ σε όλη τη διάρκεια φόρτισης. Η χρονική στιγμή φόρτισης όπως επίσης και το σύνολο ωρών φόρτισης είναι διαφορετικό για κάθε ημερήσιο δρομολόγιο όπως και για κάθε όχημα. Η μη ελεγχόμενη φόρτιση για μικρά ποσοστά διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων δεν αναμένεται να προκαλέσει αισθητές επιπτώσεις στο δίκτυο διανομής αλλά και μεταφοράς. Ωστόσο, η αύξηση του στόλου ηλεκτρικών οχημάτων και η μη διαχείριση της φόρτισης επιδρά σημαντικά στην αύξηση της αιχμής του φορτίου του συστήματος.

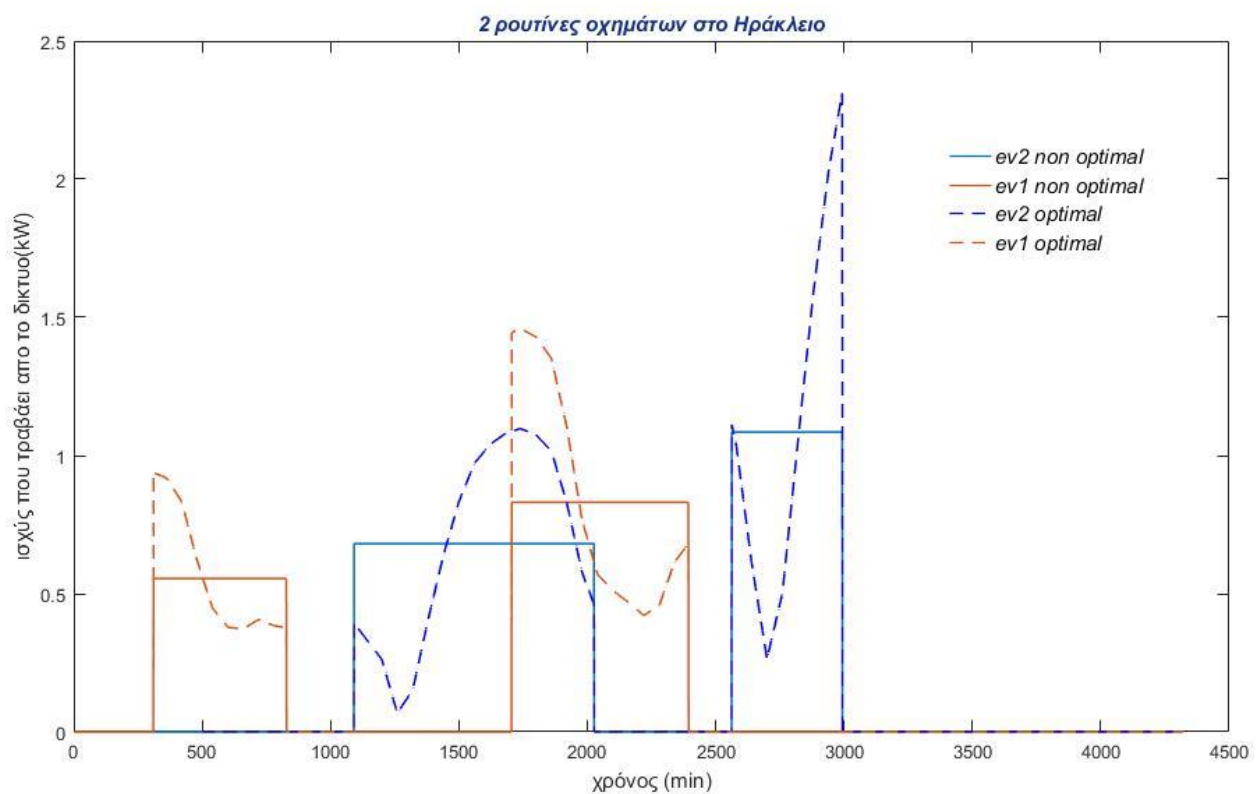
ο Στρατηγική 2 -Ελεγχόμενη Φόρτιση (Optimal)

Θεωρείται έξυπνη φόρτιση. Η φόρτιση αυτή έχει στόχο να βοηθήσει το σύστημα και να ελαχιστοποιήσει τις ανεπιθύμητες επιπτώσεις από τη μη συντονισμένη λειτουργία ΗΑ και Φ/Β, οπότε λαμβάνει υπόψιν το καθαρό φορτίο της Κρήτης δηλαδή το συνολικό πραγματικό φορτίο σε συνδυασμό με τη Φωτοβολταϊκή Παραγωγή. Η ισορροπία του συστήματος έχει να κάνει πρώτον με τη συνεργασία των Φωτοβολταϊκών και των ηλεκτρικών οχημάτων. Η φόρτιση των οχημάτων επιδιώκει την αξιοποίηση της πράσινης ενέργειας των Φωτοβολταϊκών συστημάτων όταν υπάρχει σε αφθονία. Η παραγόμενη ενέργεια των Φ/Β καταναλώνεται ουσιαστικά επιτόπου και δρομολογείται εξ ολοκλήρου από την παραγωγή στην κατανάλωση.

Για την εξισορρόπηση και την ομαλοποίηση των καμπυλών του φορτίου με στόχο την εξάλειψη μεγάλων διακυμάνσεων στην ζήτηση φορτίου, κατά την οποία μπορούν να προκύψουν σημαντικά οικονομικά οφέλη, χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι [29]:

- **Peak shaving** (ξυρίσματος αιχμής) δηλαδή μείωση της ζήτησης κατά τη διάρκεια περιόδων αιχμής.
- **Valley filling** (πλήρωση κοιλάδας) δηλαδή αύξηση της κατανάλωσης κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής ζήτησης.

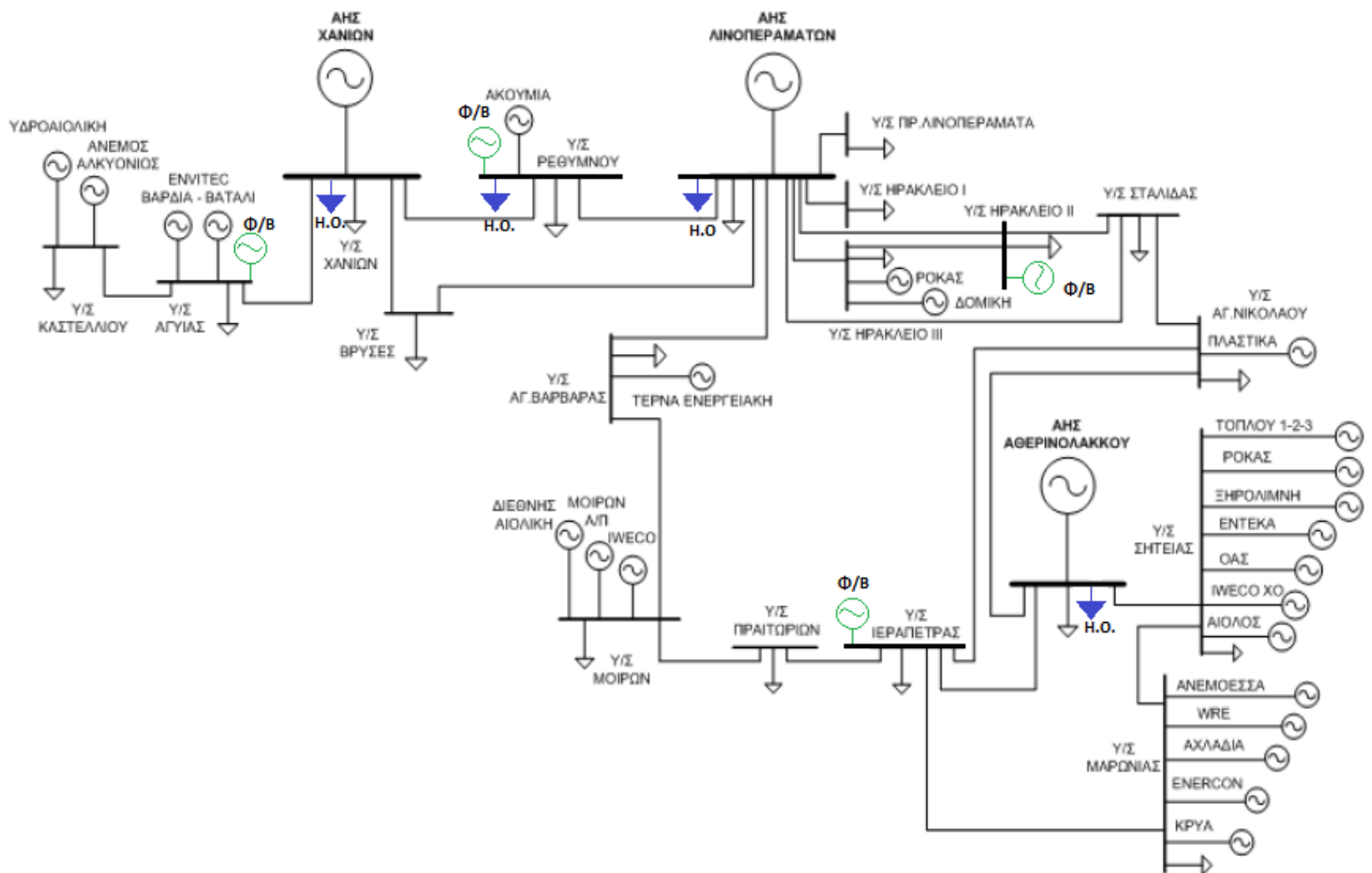
Δίνονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα της Λογικής του ημερήσιου προγράμματος κίνησης (*dayschedule*) δύο οχημάτων, για τις δύο στρατηγικές φόρτισης και για χρονικό διάστημα τριών ημερών στα οποία φαίνονται και οι αλλαγές καταστάσεων. Το προφίλ φόρτισης όλων των οχημάτων στην Κρήτη, προκύπτει από την άθροιση όλων των ημερήσιων προγραμμάτων κίνησης που εκτελεί κάθε όχημα.



Εικόνα 2.12 Παραδειγματικό Προφίλ δύο Η.Ο.

2.5 Μονογραμμικό διάγραμμα του Ηλεκτρικού Δικτύου με προσθήκη ηλεκτρικών οχημάτων.

Παρακάτω φαίνεται το πλήρες μονογραμμικό διάγραμμα του συστήματος της Κρήτης όπου απεικονίζονται οι σταθμοί παραγωγής, οι υποσταθμοί, οι γραμμές μεταφοράς, οι φωτοβολταϊκοί και αιολικοί σταθμοί και τα συγκεντρωμένα φορτία των ηλεκτρικών οχημάτων



Εικόνα 2.13 Πλήρες Μονογραμμικό Διάγραμμα του Σ.Η.Ε. της Κρήτης. [30]

Εξειδικευμένα στοιχεία για το Σ.Η.Ε. Κρήτης που αφορά το σύστημα εφαρμογής της συγκεκριμένης μεθόδου δίνονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 3

Το αυτόνομο Ηλεκτρικό Σύστημα της Κρήτης

3.1 Γεωγραφικά χαρακτηριστικά Κρήτης

Η Κρήτη είναι το μεγαλύτερο νησί στην Ελλάδα και το δεύτερο μεγαλύτερο (μετά την Κύπρο) της ανατολικής Μεσογείου [31]. Η συνολική της έκταση είναι 8,366 τ.χλμ. και ο πληθυσμός σύμφωνα με την απογραφή 2011 είναι 623,065 άνθρωποι [32].

Η Κρήτη βρίσκεται περίπου 160 χιλιόμετρα νότια της ελληνικής ηπειρωτικής χώρας εκτεινόμενη κατά διεύθυνση Ανατολή -Δύση, νότια του Αιγαίου πελάγους, του οποίου και αποτελεί το νότιο φυσικό όριο και βόρεια του Λιβυκού.

Η μορφολογία της χαρακτηρίζεται από τρεις, την ορεινή με υψόμετρο από 400μ. και άνω, την ημιορεινή από 200-400μ και την πεδινή από το επίπεδο της θάλασσας ως 200μ. Οι πρώτες δύο ζώνες καλύπτουν περίπου τα 3/5 του νησιού. Σε ποσοστό 49% είναι ορεινή, οι δε ορεινοί όγκοι που δεσπόζουν είναι ο Ψηλορείτης(2,456μ), τα Λευκά Όρη (2,452μ) και η Δίκη(2,148 μ).

3.2 Ηλεκτρικό σύστημα Κρήτης

Στο Σ.Η.Ε της Κρήτης λειτουργούν 3 σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [33]:

- Ο ΑΗΣ Λινοπεραμάτων στον νομό Ηράκλειου.



Εικόνα 3. 1 ΑΗΣ Λινοπεραμάτων [33]

- Ο ΑΗΣ Χανίων στην Ξυλοκαμάρια του νομού Χανίων.



Εικόνα 3. 2 ΑΗΣ Χανίων [33]

- Ο ΑΗΣ Αθρινόλακκου στον νομό Λασιθίου.



Εικόνα 3. 3 ΑΗΣ Αθρινόλακκου [33]

Οι σταθμοί παραγωγής κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την αποστολή τους:

- Σε σταθμούς βάσης.
- Σε σταθμούς αιχμής.

Οι σταθμοί βάσης λειτουργούν για να καλύψουν βασικές ανάγκες κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (για μεγάλα χρονικά διαστήματα) ενώ οι σταθμοί αιχμής λειτουργούν σε ώρες όπου η

κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγάλη. Ακόμη, οι σταθμοί παραγωγής του συστήματος της Κρήτης διαθέτουν σχεδόν όλα τα είδη συμβατικών μονάδων. Η βασική διαφορά των συμβατικών μονάδων ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους είναι ο τύπος της καύσιμης ύλης που χρησιμοποιούν καθώς υπάρχουν και διαφορές στα τεχνικά χαρακτηριστικά της παραγόμενης ισχύος και έχουν να κάνουν με την ονομαστική τους ισχύ, την καθαρή τους ισχύ, την ισχύ σε υψηλές θερμοκρασίες ή ισχύς θέρους και την ελάχιστη δυνατή ισχύ ή τεχνικό ελάχιστο. Επιπλέον, διαφέρουν και σε άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη λειτουργία των θερμικών μονάδων όπως ο χρόνος έναρξης και τερματισμού της λειτουργίας τους η θερμοκρασία και η ταχύτητα λειτουργίας τους. Ένα άλλο χαρακτηριστικό που τις διαφοροποιεί είναι το συνολικό κόστος των μονάδων, όπως το κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησής τους. Επομένως, υπάρχει ποικιλομορφία των συμβατικών μονάδων παραγωγής και διακρίνονται στα παρακάτω είδη:

- Μηχανές Εσωτερικής Καύσης ή Μ.Ε.Κ. (Μονάδες βάσης, μεσαίου φορτίου).
- Ατμοστροβιλικές Μονάδες (Μονάδες βάσης).
- Αεριοστροβιλικές Μονάδες(Μονάδες φορτίου αιχμής).
- Μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου(Μονάδες βάσης, μεσαίου φορτίου)

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι θερμικές μονάδες που περιλαμβάνει κάθε Σταθμός Παραγωγής. Από τα είδη των θερμικών μονάδων που περιλαμβάνονται σε κάθε σταθμό είναι εύκολο να προσδιοριστεί ο ρόλος λειτουργίας τους ανάλογα με τις ανάγκες ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

Σταθμός Παραγωγής	Αεριοστρόβιλος	Ατμοστρόβιλος	Μ.Ε.Κ.	Μονάδα Συνδυασμένου Κύκλου	Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς(MW)
Ηρακλείου	5	6	4		265
Χανίων	6			1	348
Λασιθίου		2	2		190
Σύνολο					803

Πίνακας 3.1 Μονάδες ανά σταθμό παραγωγής στο Σ.Η.Ε. Κρήτης [30].

3.3 Χαρακτηριστικά στοιχεία για τις συμβατικές μονάδες παραγωγής του Σ.Η.Ε Κρήτης

Οι μονάδες Diesel και οι ατμοστρόβιλοι χρησιμοποιούν ως καύσιμο μαζούτ, ενώ οι αεριοστρόβιλοι και οι μονάδες συνδυασμένου κύκλου χρησιμοποιούν πετρέλαιο ντίζελ [30], [2].

Περιοχή	Τύπος	Ονομαστική ισχύς (MW)	Μέγιστη ενεργός ισχύς P _{max} (MW)	Ελάχιστη ενεργός ισχύς P _{min} (MW)	Μέγιστη άεργος ισχύς Q _{max} (MW)	Ελάχιστη άεργος ισχύς Q _{min} (MW)	Καύσιμο
Λινοπεράματα	ATM 1	6	6	4	3	-2.14	Μαζούτ
	ATM 2	14	13	7	7.875	-3.75	Μαζούτ
	ATM 3	14	13	7	7.875	-3.75	Μαζούτ
	ATM 4	24	22.35	16	13.125	-4.375	Μαζούτ
	ATM 5	24	22	10	11.523	-6.83	Μαζούτ
	ATM 6	24	22	10	11.523	-6.83	Μαζούτ
	Diesel 1	11	10.5	4.8	6.447	-3.355	Μαζούτ
	Diesel 2	11	10.5	4.8	6.447	-3.355	Μαζούτ
	Diesel 3	11	10.5	4.8	6.447	-3.355	Μαζούτ
	Diesel 4	11	10.5	4.8	6.447	-3.355	Μαζούτ
	AEP 1	15	13	3	7.8481	-6.033	Ντίζελ
	AEP 2	15	12.5	2	8.002	-3.472	Ντίζελ
	AEP 3	43	36.3	5	26.67	-13.88	Ντίζελ
	AEP 4	14	12.8	2	7.728	-4.022	Ντίζελ
	AEP 5	28	24.3	5	19.95	-10.382	Ντίζελ
Χανιά	AEP 1	16	11	3	6.82	-2.27	Ντίζελ
	AEP 4	24	17.25	1	11.235	-3	Ντίζελ
	AEP 5	30	26.2	2	14.676	-4	Ντίζελ
	AEP 6	66 ΣΚ	49.63	5	33.18	-11.06	Ντίζελ
	AEP 7	66 ΣΚ	49.36	5	33.18	-11.06	Ντίζελ
	AEP 11	59	34	1.5	26.1	-6.09	Ντίζελ
	AEP 12	59	34	1.5	26.1	-6.09	Ντίζελ
	AEP 13	28	26.4	2	19.95	-10.382	Ντίζελ
Αθερινόλακκος	Diesel 1	51	49	30	26.956	-29.716	Μαζούτ
	Diesel 2	51	49	30	26.956	-29.716	Μαζούτ
	ATM 1	44	46.5	27	26.25	-17.85	Μαζούτ
	ATM 2	44	46.5	27	26.25	-17.85	Μαζούτ

Πίνακας 3.2 Χαρακτηριστικά των μονάδων παραγωγής του Σ.Η.Ε. της Κρήτης [30] , [27]

Η μονάδα συνδυασμένου κύκλου που βρίσκεται στον σταθμό παραγωγής των Χανίων αποτελείται από δύο αεριοστροβιλικές μονάδες και μία ατμοηλεκτρική μονάδα.

Η ανάγκη ετοιμότητας παροχής ψυχρής εφεδρείας, για την αντιμετώπιση ειδικών περιστάσεων πολύ υψηλού φορτίου στο σύστημα, οδήγησε στη διατήρηση ορισμένων μονάδων από το Σ.Η.Ε. της Κρήτης σε ψυχρή εφεδρεία. Συγκεκριμένα στον Α.Η.Σ. Λινοπεραμάτων ο ατμοστρόβιλος ATM1 και ο αεριοστρόβιλος AEP 1.

3.4 Κόστος θερμικών μονάδων του συστήματος

Η γενική μορφή της συνάρτησης κόστους δίνεται από την τριτοβάθμια εξίσωση:

$$F(P) = [A \cdot P^3 + B \cdot P^2 + C \cdot P + D] \cdot \text{κόστος καυσίμου} \left(\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right) \quad (3.1)$$

,όπου P η αποδιδόμενη ισχύς την εκάστοτε στιγμή σε MW και τα A, B, C, D οι παράμετροι κόστους των θερμικών μονάδων. Παρακάτω παρουσιάζονται οι παράμετροι κόστους των μονάδων καθώς και το κόστος του καυσίμου που χρησιμοποιούν:

Περιοχή	Μονάδα	A (Kg/MWh ³)	B (Kg/MWh ²)	C (Kg/MWh)	D (Kg)	Κόστος Καυσίμου (€/Kg)	Κόστος εκκίνησης (€)
Λινοπεράματα	ATM 1	17.377	-167.2	727.6	0.001	0.4149	2.500
	ATM 2	0.476	-11.824	378.937	0.001	0.4149	2.500
	ATM 3	0.476	-11.824	378.937	0.001	0.4149	2.500
	ATM 4	0.18	-8.053	355.088	0	0.4149	4.000
	ATM 5	0.092	-4.166	300.58	0	0.4149	4.000
	ATM 6	0.092	-4.166	300.58	0	0.4149	4.000
	Diesel 1	0.421	-8.378	230.368	0	0.4149	220
	Diesel 2	0.421	-8.378	230.369	0	0.4148	220
	Diesel 3	0.421	-8.378	230.368	0	0.4149	219
	Diesel 4	0.421	-8.378	230.369	0.01	0.4148	220
	AEP 1	2.48	-5.87	881.5	1.2	0.6982	179.1
	AEP 2	0.3195	-6.777	280.49	1622.8	0.6982	500
	AEP 3	0.0001	0.2533	197.65	2418	0.6982	1413
	AEP 4	0.0001	0.7913	234.95	1093.8	0.6982	858
Χανιά	AEP 5	0.001	0.3605	196.29	1675.8	0.6982	350
	AEP 1	0	0.01	267	2170	0.6962	99
	AEP 4	0	0.01	219	2865	0.6962	1300
	AEP 5	0	0.01	275	3757	0.6962	400
	AEP 6 ΣΚ	0.001	0.01	145.54	5120	0.6962	440.01
	AEP 7 ΣΚ	0.001	0.01	145.64	5120	0.6962	440.41
	AEP 11	0.001	0.01	227	5000	0.6962	0.1
	AEP 12	0.001	0.01	227	5000	0.6962	0.1
Αθερινόλακκος	AEP 13	0.001	0.3605	196.29	1675.8	0.6962	858
	Diesel 1	0.017	-1.3	222.6	0.27	0.3919	270
	Diesel 2	0.017	-1.3	222.6	0.27	0.3919	270
	ATM 1	-0.003	-0.958	282.91	0.8	0.3919	350
	ATM 2	-0.003	-0.958	282.91	0.8	0.3919	350

Πίνακας 3.2 Παράμετροι κόστους των θερμικών μονάδων του συστήματος Κρήτης [30].

3.5 Ζυγοί Συστήματος

Σε κάθε ζυγό του συστήματος, για να είναι αντιπροσωπευτικά τα αποτελέσματα, η ζήτηση ενεργού ισχύος P_d διαμορφώνεται σύμφωνα με πραγματικά δεδομένα για τις φωτοβολταϊκές και αιολικές παραγωγές καθώς και τα πραγματικά φορτία που προκύπτουν από τους καταναλωτές. Συγκεκριμένα η ισχύς (MW), από την ημερήσια χρονοσειρά που επιλέχθηκε για το Πραγματικό Φορτίο του Σ.Η.Ε. Κρήτης (Εικόνα 4.3), διαμοιράστηκε αναλογικά σε κάθε ζυγό, με την ετήσια διάθεση ενέργειας 2018 σύμφωνα με τους συντελεστές που προέκυψαν για κάθε ζυγό (Πίνακας 3.4). Έπειτα, η ισχύς από τις ημερήσιες χρονοσειρές που επιλέχθηκαν για τη Φωτοβολταϊκή και Αιολική παραγωγή (Εικόνα 4.2) διαμοιράστηκαν επίσης αναλογικά σε κάθε ζυγό με βάση την εγκατεστημένη τους ισχύ και τελικά από τους συντελεστές που προκύπτουν (Πίνακας 3.9, Πίνακας 3.11). Οι ζυγοί μέσης τάσης του συστήματος φαίνονται παρακάτω:

A/A	ΖΥΓΟΣ	ΤΑΣΗ (kV)	ΤΥΠΟΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΔΙΑΘΕΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 2018 (MWh)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ
1	ΚΑΣΤΕΛΛΙ	150	PQ	103,542.1	0.04
2	ΑΓΥΙΑ	150	PQ	89,369.3	0.03
3	ΧΑΝΙΑ	150	SLACK	426,425.4	0.16
4	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	PQ	346,830.5	0.13
5	ΒΡΥΣΕΣ	150	PQ	63,719.8	0.02
6	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	PV	0	0
7	ΠΡ. ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	PQ	42,523.9	0.02
8	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	66	PQ	211,268.8	0.08
9	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	150	PQ	393,110.8	0.15
10	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	150	PQ	199,610	0.07
11	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	PQ	218,029.2	0.08
12	ΑΓ.ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	PQ	162,561.1	0.06
13	ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	150	PV	0	0
14	ΣΗΤΕΙΑ	150	PQ	86,196.5	0.03
15	ΜΑΡΩΝΙΑ	150	PQ	0	0
16	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	PQ	114,431.2	0.04
17	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	PQ	67,232.2	0.03
18	ΜΟΙΡΕΣ	150	PQ	117,351.9	0.04
19	ΑΓ.ΒΑΡΒΑΡΑ	150	PQ	30,773.9	0.01
				2,672,976.7	1

Πίνακας 3.4 Χαρακτηριστικά ζυγών Σ.Η.Ε. Κρήτης και υπολογισμός συντελεστών

3.6 Υποσταθμοί

Στο ηλεκτρικό δίκτυο της Κρήτης βρίσκονται συνολικά 17 υποσταθμοί Υ.Τ/Μ.Τ. Η εγκατεστημένη ισχύς μετασχηματισμού ανύψωσης της τάσης είναι 820.35 MVA και υποβιβασμού της τάσης 810 MVA. Όσο για τους Μ/Σ και ΑΜ/Σ ζεύξεως η συνολική τους ισχύς είναι ίση με 125 MVA. Παρακάτω παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των Υ/Σ του Σ.Η.Ε. της Κρήτης μαζί με τα επίπεδα τάσεως των μετασχηματιστών τους.

ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΑΝΥΨΩΣΕΩΣ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MVA)	ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΑΣΗΣ (kV/kV)
ΑΓΙΑ ΒΑΡΒΑΡΑ	1x25	20/150
ΣΗΤΕΙΑ	1x50	20/150
ΜΑΡΩΝΙΑ	1x50	20/150

Πίνακας 3.5 Χαρακτηριστικά υποσταθμών ανυψώσεως του συστήματος Κρήτης [30]

ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MVA)	ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΑΣΗΣ(kV/kV)
ΣΗΤΕΙΑ	2x12.5	150/20
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	2x25	150/20
ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	2x25	150/20
ΣΤΑΛΙΔΑ	2x25	150/20
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	2x25	150/20
ΜΟΙΡΕΣ	2x25	150/20
ΗΡΑΚΛΕΙΟ I	2x25	66/20
ΗΡΑΚΛΕΙΟ II	3x50	150/20
ΗΡΑΚΛΕΙΟ III	2x50	150/20
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	1x25	150/20
ΡΕΘΥΜΝΟ	2x25	150/20
ΡΕΘΥΜΝΟ	1x50	150/20
ΧΑΝΙΑ	3x50	150/20
ΑΓΥΙΑ	2x50	150/20
ΒΡΥΣΕΣ	2x25	150/20
ΚΑΣΤΕΛΙ	2x25	150/20

Πίνακας 3.6 Χαρακτηριστικά υποσταθμών υποβιβασμού του συστήματος Κρήτης [30]

3.7 Γραμμές μεταφοράς

Οι γραμμές μεταφοράς του δικτύου της Κρήτης, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τη μεταφορά ισχύος, είναι γραμμές Υ.Τ. των 150 και 66 kV αντίστοιχα. Αναλυτικότερα στοιχεία για τις γραμμές μεταφοράς φαίνονται παρακάτω:

ΖΥΓΟΣ ΑΝΑΧΩΡΗΣΗΣ	ΖΥΓΟΣ ΑΦΙΕΞΗΣ	ΟΝΟΜ. ΤΑΣΗ (kV)	ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ (MVA)	R (Ω)	L (mH)	C (μF)
ΧΑΝΙΑ	ΑΓΥΙΑ	150	168.9	1.0938	15.0848	0.0978
ΑΓΥΙΑ	ΚΑΣΤΕΛΛΙ	150	168.9	2.1075	29.0625	0.1885
ΒΡΥΣΕΣ	ΧΑΝΙΑ	150	168.9	1.8288	23.4707	0.1750
ΒΡΥΣΕΣ	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	168.9	7.8145	100.2874	0.7423
ΧΑΝΙΑ	ΡΕΘΥΜΝΟ	150	168.9	5.1064	65.5324	0.4887
ΡΕΘΥΜΝΟ	ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	150	168.9	4.5336	58.1818	0.4339
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	ΑΓΙΑ ΒΑΡΒΑΡΑ	150	116.9	4.4055	34.1428	0.1978
ΑΓ.ΒΑΡΒΑΡΑ	ΜΟΙΡΕΣ	150	168.9	2.6070	20.2043	0.1171
ΜΟΙΡΕΣ	ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	150	168.9	4.7429	36.7582	0.2130
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	168.9	9.9582	77.1766	0.4472
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	ΗΡΑΚΛΕΙΟ α)	66	51.40	1.2430	8.6688	0.0615
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	ΗΡΑΚΛΕΙΟ β)	66	51.40	1.5903	11.0910	0.0787
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	150	168.9	5.0565	39.1882	0.2271
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	150	168.9	5.0565	39.1882	0.2271
ΛΙΝΟΠΕΡΑΜΑΤΑ	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	150	168.9	1.8639	23.9206	0.1783
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	ΣΤΑΛΙΔΑ	150	168.9	7.4619	56.8655	0.3351
ΣΤΑΛΙΔΑ	ΑΓ.ΝΙΚΟΛΑΟΣ	150	168.9	5.2732	40.8679	0.2368
ΑΓ.ΝΙΚΟΛΑΟΣ	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	169.9	3.8451	29.7995	0.1727
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	ΜΑΡΩΝΙΑΣ	150	142.90	6.1193	47.4250	0.2754
ΜΑΡΩΝΙΑΣ	ΣΗΤΕΙΑΣ	150	142.90	1.4795	11.4817	0.0664
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	150	168.9	6.8078	52.7609	0.3057
ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΣ	ΣΗΤΕΙΑ	150	168.9	2.2530	28.9068	0.2156

Πίνακας 3.7 Στοιχεία γραμμών μεταφοράς Σ.Η.Ε. Κρήτης [30]

3.8 Στοιχεία μονάδων Α.Π.Ε. στην Κρήτη

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά οι μονάδες Α.Π.Ε. που είναι διασυνδεδεμένες με το Σ.Η.Ε. της Κρήτης σύμφωνα με το πληροφοριακό δελτίο παραγωγής στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, που εξέδωσε ο ΔΕΔΔΗΕ για τον Δεκέμβριο 2018 [34].

Αιολικά Πάρκα (MW)	Μικρά Υδροηλεκτρικά (MW)	Βιοαέριο- Βιομάζα (MW)	Φ/Β (MW)	Σύνολο ΑΠΕ (MW)
200.29	0.3	0.99	78.9 **	279.88

Πίνακας 3.8

**Στα ΦΒ δε συμπεριλαμβάνεται η ισχύς των Φ/Β Ειδικού Προγράμματος και των Net Metering.

3.8.1 Μικρά Υδροηλεκτρικά

Όσον αφορά τις εγκαταστάσεις Μικρών Υδροηλεκτρικών Σταθμών(Μ.ΥΗ.Σ) στην Κρήτη, αυτοί βρίσκονται στον νομό Χανίων και συγκεκριμένα στην περιοχή της Αγυιάς και Αλμυρού.

Ο πρώτος Μ.ΥΗ.Σ. είναι ένας από τους παλαιότερους υδροηλεκτρικούς σταθμούς της χώρας καθώς ξεκίνησε να λειτουργεί από το 1929. Ο Μ.ΥΗ.Σ. Αγυιάς, κατά την έναρξη λειτουργίας του, διέθετε τρεις μονάδες των 0.30 MW, των οποίων η συνολική ισχύς μπορούσε να φτάσει τα 0.90 MW έκαστος. Η λειτουργία του όμως έλαβε τέλος, καθώς στις 23 Μαΐου 2009 ολοκληρώθηκε η παραχώρηση του Μ.ΥΗ.Σ. Αγυιάς και των εκτάσεων του, στη Νομαρχία Χανίων με σκοπό την πλήρης περιβαλλοντική αναβάθμιση της ευρύτερης περιοχής.

Επομένως, αυτή τη στιγμή ο μοναδικός Μ.ΥΗ.Σ. που βρίσκεται σε λειτουργία είναι στην περιοχή του Αλμυρού, στο δήμο Γεωργιούπολης. Ο εν' λόγω Σταθμός Παραγωγής αποτέλεσε το δεύτερο έργο εκμετάλλευσης υδροηλεκτρικής ενέργειας στο νησί καθώς ξεκίνησε να λειτουργεί από το 1954. Ο Μ.ΥΗ.Σ. Αλμυρού αξιοποιεί μέρος από τις απορροές των Λευκών Ορέων, οι οποίες συγκεντρώνονται στη λίμνη του Αλμυρού. Διαθέτει μια μονάδα των 0.30 MW της οποίας η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας μπορεί να φτάσει και τις 1.25 GWh . Αξίζει να σημειωθεί πως τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη του υδροηλεκτρικού έργου είναι ιδιαίτερα σημαντικά καθώς στην περιοχή του φράγματος έχει δημιουργηθεί υδροβιότοπος, ενώ η λειτουργία του Μ.ΥΗ.Σ. συμβάλλει στην αποφυγή εκπομπής ρύπων CO₂ κατά 1.250 τόνους ετησίως.

3.8.2 Μονάδες παραγωγής Βιομάζας

Οι δύο μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο βρίσκονται στους Βιολογικούς Καθαρισμούς της Δημόσιας Επιχείρησης Ύδρευσης- Αποχέτευσης (Δ.Ε.Υ.Α) των Χανίων και του Ηρακλείου αντίστοιχα, συνεισφέροντας σημαντικά στην ικανοποίηση των εσωτερικών καταναλώσεων των μονάδων αυτών.

3.8.3 Φωτοβολταικά

Η αδειοδοτημένη ισχύς για Φωτοβολταικά Συστήματα ανά νομό το έτος 2010 φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Νομός	Αριθμός Αδειοδοτημένων Φ/Β	Ισχύς Αδειοδοτημένων Φ/Β (MW)	Συντελεστές Φ/Β
Ηράκλειο	501	35.91	0.4
Χανιά	200	14.75	0.17
Λασιίθι	262	19.9	0.22
Ρέθυμνο	241	18.26	0.21
Σύνολο	1,204	88.82	1

Πίνακας 3.9 Αδειοδοτημένη ισχύς για Φωτοβολταικά Σ.Η.Ε. Κρήτης έτος 2010 [30]

3.8.4 Αιολικά Πάρκα

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται ομαδοποιημένα τα αιολικά πάρκα της Κρήτης ανά τοποθεσία και η εγκατεστημένη ισχύς τους [35].

A/A	ΦΟΡΕΑΣ	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)	
1	ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ Α.Ε.	Ι.Μ. Τοπλού Σητείας Λασιθίου	17 X 0.3	5.1
			3 X 0.5	1.5
2	ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ Α.Ε.	Ξηρολίμνη Δ.Σητείας	22 X 0.6	13.2
3	ΡΟΚΑΣ ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗ ΑΒΕΕ	Ξηρολίμνη(Αγριλίδια Μητάτου)	5 X 0.6	3
4	ΡΟΚΑΣ ΑΙΟΛΙΚΗ ΑΒΕΕ	Πλακοκερατιά Δ.Ιτάνου Λασιθίου	(25 X 0.6) & 0.1716	15.1716
5	ΑΕΟΛΟΣ Α.Ε.	Χανδράς Λεύκης Λασιθίου	18 X 0.55	9.9
6	ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ ΚΡΥΩΝ Α.Ε.	Μαρωνιά Σητείας Λασιθίου	(20 X 0.5) & 1.2	11.2
7	ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ ΑΧΛΑΔΙΩΝ Α.Ε	Μαρωνιά Σητείας Λασιθίου	(20 X 0.5) & 1.2	11.2
8	ΑΝΕΜΟΕΣΣΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ Α.Ε.	Μαρωνιά Σητείας Λασιθίου	(10 X 0.5) & 1.2	6.2
9	Ο.Α. ΣΗΤΕΙΑΣ Α.Ε.	Καμινάκια- Χορδάκι Λασιθίου	1 X 0.5	0.5
10	IWECO Μ. ΒΡΥΣΗ Α.Ε.Β.Ε.	Μεγάλη Βρύση Ηρακλείου	9 X 0.55	4.95
11	ENERCON ΕΛΛΑΣ Α.Ε.	Πλατύβολα Αχλαδίων Δ.Σητείας Λασιθίου	5 X 0.5	2.5
12	ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.	Βρουχάς Λασιθίου	9 X 0.85	5.94
13	ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Β.Ε.Ε.	Βρουχάς Λασιθίου		5.96
14	WRE ΕΛΛΑΣ Α.Ε.	Πλατύβολα Κρύων Δ.Σητείας Λασ.	(4 X 0.75) & 0.6	3
15	“ENEL GREEN POWER HELLAS Α.Ε.(πρώην ΒΟΣΚΕΡΟ Α.Ε.)”	Βοσκερό Δ. Κρουσώνα	7 X 0.85	5.95
16	ΕΝΤΕΚΑ Α.Ε.	Ξηρολίμνη Δ.Σητείας	3 X 0.9	2.7
17	ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ Α.Ε.(πρώην ΥΔΡΟΑΙΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	Ρόβας Καστελίου Χανίων	11 X 0.85	9.35
18	IWECO ΧΩΝΟΣ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.	Χώνος Σητείας	6 X 0.85	5.1

19	ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ Α.Β.Ε.Τ.Ε.	Αγ. Βαρβάρα	17 X 0.85	14.45
20	ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ ΜΟΙΡΩΝ Α.Ε.(ΑΝΤΙΣΚΑΡΙ)	Αντισκάρι Δ.Μοιρών	7 X 0.8	5.6
21	ENVITEC ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ Α.Ε.	Βάρδια Ν. Χανίων	9 X 0.6	5.4
22	ENVITEC ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ Α.Ε.	Βατάλι Ν.Χανίων	9 X 0.6	5.4
23	“ΕΝΕΛ GREEN POWER HELLAS (πρώην ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)”	Αγ.Κύριλλος Δ.Γόρτυνας	8 X 0.9	7.2
24	ΡΟΚΑΣ ΑΙΟΛΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ Α.Β.Ε.Ε.	Καλόγηρος Δ.Γαζίου	6 X 0.6	3.6
25	Ο.Α. ΣΗΤΕΙΑΣ Α.Ε.	Μάρε Ζήρου Λασιθίου	1X0.91X0.33	1.23
26	ΑΝΕΜΟΣ ΑΛΚΥΟΝΗΣ ΑΕΕ	Προφ. Ηλίας-Παπούρα Δ.Κισσάμου	7 X 0.9	6.3
27	ΑΙΟΛΙΚΗ ΜΟΥΣΟΥΡΩΝ Α.Ε.	Δ.Μουσούρων	3 X 0.85	2.55
28	“ΕΝΕΛ GREEN POWER HELLAS Α.Ε.(ΚΟΥΛΟΥΚΩΝΑΣ”	Δ.Γεροποτάμου	6 X 0.85	5.1
29	ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ Α.Ε.	Ακούμια Δ.Αγ.Βασιλείου Ρεθ.	8 X 0.9	7.2
30	ΜΑΝΟΥΣΕΛΗΣ- ΠΡΩΤΟΠΑΠΑΔΑΚΗΣ Ο.Ε.	Κάντανος Ν.Χανίων	2 X 0.02	0.04
31	ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ ΟΥΡΑΝΙΑ	Αρχάνες-Ηρακλείου	2X 0.01	0.02
32	ΕΝΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ Α.Σ.Ε.(ΑΣΙΔΕΡΩΤΑΣ)	Ν.Ρεθύμνου	3X 0.9	2.7
33	ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ Α.Ε.	Κοπρινό Ρεθύμνου	8 X 0.9	7.2
34	ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΙΚΟΝΤΟΡ Α.Ε.	Επανωσήφη Δ. Αρχανών - Αστερουσίων & Ηρακλείου	7 X 0.85	5.95

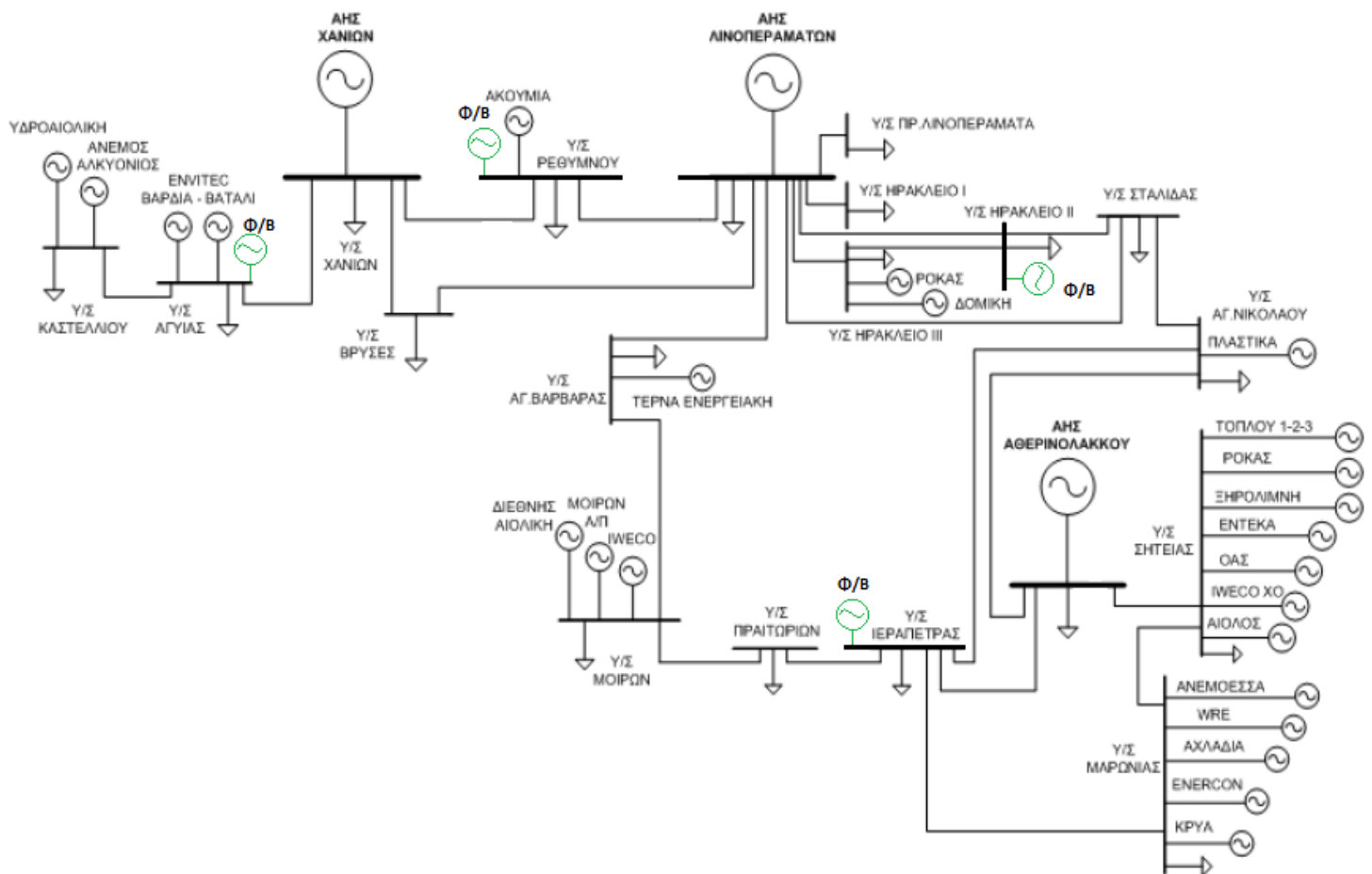
Πίνακας 3.10 Αιολικά Πάρκα Σ.Η.Ε. Κρήτης 2018 [35]

ΖΥΓΟΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΜW ΑΠΟ ΑΙΟΛΙΚΑ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ
ΡΕΘΥΜΝΟ	22.2	0.11
ΚΑΣΤΕΛΙ	15.65	0.08
ΑΓΥΙΑΣ	13.39	0.07
ΗΡΑΚΛΕΙΟ III	15.52	0.08
ΑΓΙΑ ΒΑΡΒΑΡΑ	14.45	0.07
ΜΟΙΡΕΣ	17.75	0.09
ΑΓ.ΝΙΚΟΛΑΟΣ	11.9	0.06
ΣΗΤΕΙΑ	57.4	0.28
ΜΑΡΩΝΙΑ	34.1	0.17

Πίνακας 3.11 Υπολογισμός ισχύος και αντίστοιχων συντελεστών αιολικών πάρκων για κάθε ζυγό

3.9 Μονογραμμικό διάγραμμα του Ηλεκτρικού Δικτύου.

Στην εικόνα φαίνεται μια προσεγγιστική απεικόνιση του μονογραμμικού διαγράμματος του ηλεκτρικού δικτύου της Κρήτης. Στο διάγραμμα απεικονίζεται η διασύνδεση των ζυγών μεταφοράς του συστήματος με τους αντίστοιχους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού. Επίσης, διακρίνεται τόσο η συνεισφορά των διασυνδεδεμένων αιολικών πάρκων όσο και η συνεισφορά των φωτοβολταϊκών στους ζυγούς μεταφοράς του συστήματος.



Εικόνα 3. 4 Εικόνα Μονογραμμικό διάγραμμα ηλεκτρικού δικτύου της Κρήτης με την παραγωγή φωτοβολταϊκών και Αιολικών Πάρκων [30].

Όλο τα δεδομένα που αναφέρθηκαν παραπάνω για το Σ.Η.Ε. Κρήτης μπορούν να περαστούν σε ένα πρόγραμμα το οποίο ονομάζεται Matpower το οποίο κάνει ανάλυση ροής φορτίου και περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 4

Περιγραφή του προγράμματος MATPOWER

4.1 Εισαγωγικά Στοιχεία

Το MATPOWER είναι ένα πρόγραμμα από M-files του Matlab και χρησιμοποιείται ευρέως στην εκπαίδευση και στην έρευνα για την επίλυση προβλημάτων AC, DC και Βέλτιστης Ροής Φορτίου. Είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να προσφέρει την καλύτερη δυνατή απόδοση, διατηρώντας τον κώδικα απλό στην κατανόηση και τροποποίησή του[36].

Το MATPOWER αναπτύχθηκε από τους Ray D.Zimmerman, Carlos E.Murillo-Sánchez και Deqiang Gan του PSERC στο πανεπιστήμιο Cornell υπό τη διεύθυνση του Robert J. Thomas. Η αρχική ανάγκη για κώδικα ροής φορτίου και βέλτιστης ροής φορτίου σε Matlab γεννήθηκε από τις υπολογιστικές απαιτήσεις του ερευνητικού έργου PowerWeb.

Η έκδοση που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι το Matpower 7.0 και η Matlab έκδοση είναι Matlab R2016a.

4.2 Εκτέλεση Προσομοιώσεων

Η βασική λειτουργία του MATPOWER είναι να επιλύει προβλήματα Απλής Ροής Φορτίου(Power Flow - PF) και Βέλτιστης Ροής Φορτίου(Optimal Power Flow - OPF). Αυτό περιλαμβάνει την εισαγωγή των δεδομένων και τον καθορισμό όλων των σχετικών παραμέτρων του συστήματος, την κλήση της συνάρτησης που εκτελεί την προσομοίωση και την εμφάνιση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Η εκτέλεση των προσομοιώσεων γίνεται καλώντας μια από τις βασικές συναρτήσεις όπως η runpf(για εκτέλεση απλής ροής φορτίου)ή η runopf(για εκτέλεση Βέλτιστης Ροής Φορτίου). Για να εκτελεστεί μια απλή ροή φορτίου με τη μέθοδο Newton-Raphson, π.χ. για το σύστημα 9 ζυγών που υπάρχει στα αποθηκευμένα αρχεία του MATPOWER με το όνομα case9.m, με τις επιλογές του προκαθορισμένου αλγορίθμου, αρκεί να πληκτρολογηθεί στο παράθυρο εντολών του Matlab η εξής εντολή: »runpf('case9').

4.3 Μοντελοποίηση και είσοδος δεδομένων στο Matpower

Υπάρχουν δύο εκδόσεις για τη μορφή δεδομένων του Matpower. Η έκδοση μέχρι το Matpower 3.0.0 χρησιμοποιεί την πρώτη έκδοση 'version 1'. Νεότερες εκδόσεις του Matpower χρησιμοποιούν τη δεύτερη έκδοση «version 2» για τη μορφή των αρχείων η οποία χρησιμοποιείται και στην παρούσα εργασία. Τα αρχεία δεδομένων που χρησιμοποιούνται από το Matpower της δεύτερης έκδοσης είναι αρχεία της Matlab M-files και σε αυτά ορίζονται οι τιμές των μεταβλητών που εισέρχονται ως πίνακες δεδομένων και είναι οι ακόλουθοι.

- Βάση ισχύος - baseMVA (βαθμωτό μέγεθος 1x1 που καθορίζει τη βάση MVA για τη μετατροπή της ισχύος του συστήματος σε ανά μονάδα ποσότητες)
- Ζυγός- bus (πίνακας)
- Κλάδος- branch(πίνακας)
- Γεννήτρια- gen(πίνακας)
- Κόστος γεννήτριας- gencost (πίνακας)

Στήλη	Bus Data Format	Περιγραφή Δεδομένων Ζυγών
1	bus number (1 to 29997)	Όνομα ζυγού
2	bus type	Είδος ζυγού
	▪ PQ bus = 1	Ζυγός φορτίου
	▪ PV bus = 2	Ζυγός παραγωγής
	▪ reference bus = 3	Ζυγός αναφοράς
	▪ Isolated bus = 4	Απομονωμένος ζυγός
3	Pd, real power demand (MW)	Ζήτηση ενεργού ισχύος
4	Qd, reactive power demand (MVar)	Ζήτηση αέργου ισχύος
5	Gs, shunt conductance (MW)	Εγκάρσια αγωγιμότητα διακλαδώσεων
6	Bs, shunt susceptance (MVar)	Εγκάρσια χωρητικότητα
7	Bus area number, 1-100	
8	Vm, voltage magnitude (p.u.)	Μέτρο τάσης
9	Va, voltage angle (degrees)	Φασική γωνία της τάσης σε μοίρες
10	baseKV, base voltage (kV)	Βασική τάση (kV)
11	zone, loss zone (1-999)	
12	maxVm, maximum voltage magnitude (p.u.)	Μέγιστο μέτρο τάσης (α.μ)
13	minVm, minimum voltage magnitude (p.u.)	Ελάχιστο μέτρο τάσης (α.μ)

Πίνακας 4.1 Δεδομένα εισόδου ζυγών του MATPOWER [37]

Το Matpower μπορεί να εκτελεί ροές φορτίου με μοντέλα εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) καθώς και με απλοποιημένα μοντέλα συνεχούς ρεύματος (DC). Εσωτερικά, τα μεγέθη όλων των τιμών είναι εκφρασμένα σε ανά μονάδα σύστημα, ενώ οι γωνίες είναι εκφρασμένες σε ακτίνια. Κάθε γραμμή στους πίνακες αντιστοιχεί σε ένα ζυγό, κλάδο ή γεννήτρια και οι στήλες είναι στις βασικές IEEE και PTI μορφές. Συνοπτικά τα δεδομένα όπως ορίζονται στο Matpower είναι τα παρακάτω:

Στήλη	Generator Data Format	Περιγραφή Δεδομένων Γεννητριών
1	Gen bus	Όνομα ζυγού
2	Pg, real power output (MW)	Ενεργός ισχύς εξόδου
3	Qg, reactive power output (MVar)	Άεργος ισχύς εξόδου
4	Qmax, maximum reactive power output (MVar)	Μέγιστη άεργος ισχύς εξόδου
5	Qmin, minimum reactive power output (MVar)	Ελάχιστη άεργος ισχύς εξόδου
6	Vg, voltage magnitude setpoint (p.u)	Μέτρο τάσης αναφοράς
7	mBase, total MVA base of this machine (machine impedance, p.u. on mBase)	Βασική ισχύς σύνθετη αντίσταση γεννητριών
8	Gen machine Status >0 = machine in service	Μηχανή σε λειτουργία
	Gen machine Status ≤ 0 = machine out of service	Μηχανή εκτός λειτουργίας
9	Pmax, maximum real power output (MW)	Μέγιστη έξοδος ενεργού ισχύος
10	Pmin, minimum real power output (MW)	Ελάχιστη έξοδος ενεργού ισχύος
11	Pc1, lower real power output of PQ Capability curve (MW)	Ελάχιστη έξοδος ενεργού ισχύος από την καμπύλη ικανότητας PQ
12	Pc2, upper real power output of PQ Capability curve (MW)	Άνω όριο εξόδου ενεργού ισχύος από την καμπύλη ικανότητας PQ
13	Qc1min, minimum reactive power output at Pc1 (MVar)	Ελάχιστη έξοδος αέργου ισχύος για ενεργό Pc1
14	Qc1max, maximum reactive power output at Pc1 (MVar)	Μέγιστη έξοδος αέργου ισχύος για ενεργό Pc1
15	Qc2min, minimum reactive power output at Pc2 (MVar)	Ελάχιστη έξοδος αέργου ισχύος για ενεργό Pc2
16	Qc2max, maximum reactive power output at Pc2 (MVar)	Μέγιστη έξοδος αέργου ισχύος για ενεργό Pc2
17	RAMP_AGC, ramp rate for load following /AGC(MW/min)	Μέγιστος ρυθμός αύξησης φορτίου/AGC
18	RAMP_10,ramp rate for load for 10 minutes reserves (MW)	Μέγιστος ρυθμός αύξησης ισχύος για 10 λεπτά
19	RAMP_30,ramp rate for load for 30 minutes reserves (MW)	Μέγιστος ρυθμός αύξησης ισχύος για 30 λεπτά
20	RAMP_Q,ramp rate for reactive power (2 sec timescale) (MVar/min)	Μέγιστος ρυθμός αύξησης για άεργο ισχύς

Πίνακας 4.2 Δεδομένα εισόδου γεννητριών του MATPOWER [37]

Στήλη	Branch Data Format	Δεδομένα Γραμμών μεταφοράς
1	f, "from" bus number	Ζυγός αναχώρησης "από"
2	t, "to" bus number	Ζυγός τέλους "προς"
3	r, resistance (p.u.)	Αντίσταση (α.μ.)
4	x, reactance (p.u.)	Επαγωγική αντίδραση (α.μ.)
5	b, total line charging susceptance (p.u.)	Ολική χωρητικότητα γραμμής (α.μ.)
6	rateA, MVA rating A (long term rating)	Μακροπρόθεσμο όριο μεταφερόμενης ισχύος
7	rateB, MVA rating B (short term rating)	Βραχυπρόθεσμο όριο μεταφερόμενης ισχύος
8	rateC, MVA rating C (emergency rating)	Όριο μεταφερόμενης ισχύος MVA έκτακτης ανάγκης
9	Ratio, transformer off nominal turns ratio (=0 for lines) (taps at 'from' bus, impedance at 'to' bus, i.e. ratio = V_f/V_t)	Ονομαστικός λόγος μετασχηματισμού M/Σ Αντίσταση στο ζυγό κατεύθυνσης
10	Angle, transformer phase shift angle (degrees), positive \geq delay	Αλλαγή φάσης μετασχηματιστή, θετική=> καθυστέρηση
11	Initial branch status, 1 -in service, 0-out of service	Κατάσταση γραμμής μεταφοράς 1-σε λειτουργία, 0- εκτός λειτουργίας
12	Minimum angle difference, angle(V_f) -angle (V_t) (degrees)	Ελάχιστη διαφορά φάσης τάσεων (σε μοίρες)
13	Maximum angle difference, angle (V_f) -angle (V_t) (degrees)	Μέγιστη διαφορά φάσης τάσεων (σε μοίρες)

Πίνακας 4.3 Δεδομένα εισόδου γραμμών μεταφοράς του MATPOWER [37]

Στήλη	Generator Cost Data Format	Δεδομένα κόστους παραγωγής γεννητριών
1	Model	Μοντέλο κόστους
	1= piecewise linear	Τμηματικά γραμμικό μοντέλο
	2= polynomial	Πολυονομικό
2	Start up in US dollars	Κόστος εκκίνησης
3	Shutdown in US dollars	Κόστος τερματισμού
4	NCOST, number of cost coefficients for polynomial cost function, or number of data points for piecewise linear	Αριθμός συντελεστών για πολυονομική συνάρτηση κόστους ή αριθμός σημείων για τμηματικά γραμμική συνάρτηση
5	Parameters defining total cost function	Παράμετροι προσδιορισμού συνολικού κόστους

Πίνακας 4.4 Δεδομένα εισόδου κόστους παραγωγής από γεννήτριες MATPOWER [37]

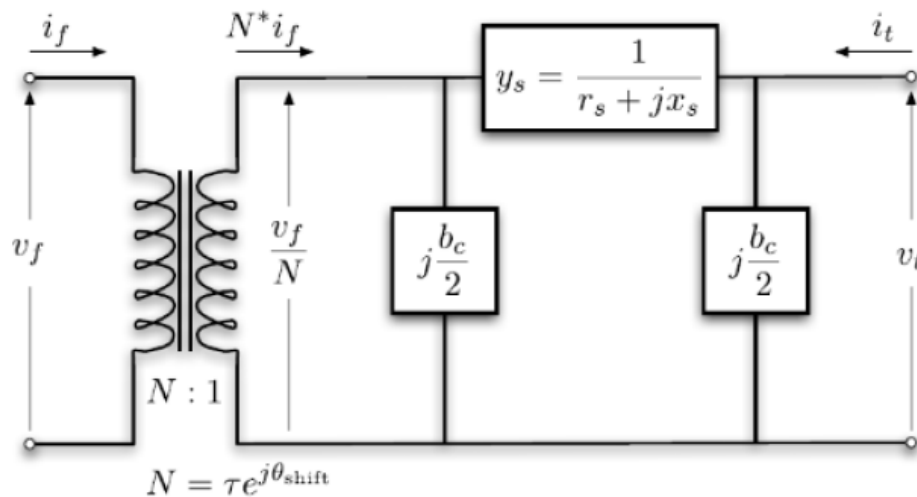
4.4 Γραμμές μεταφοράς

Όλες οι γραμμές μεταφοράς(εκτός τις γραμμές συνεχούς ρεύματος), μετασχηματιστές και οι μετασχηματιστές φάσης μοντελοποιούνται με ένα κοινό μοντέλο κλάδου, το οποίο αποτελείται από ένα συνηθισμένο μοντέλο γραμμής μεταφοράς με μία αντίσταση σειράς

$$z_s = r_s + jx_s \quad (4.1)$$

με συνολική χωρητικότητα φόρτισης b_c σε σειρά με έναν ιδανικό μετασχηματιστή φάσης. Ο μετασχηματιστής του οποίου η αναλογία ρύθμισης έχει μέτρο τ και γωνία αλλαγής φάσης θ_{shifts} βρίσκεται στην αρχή και το τέλος της γραμμής μεταφοράς όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Οι παράμετροι r_s , x_s , b_c , τ , θ_{shifts} αντιστοιχούν στις στήλες [3],[4],[5],[9] και [10] του πίνακα των γραμμών μεταφοράς.



Εικόνα 4. 1 Παράσταση Μοντέλου Γραμμής μεταφοράς

4.5 Γεννήτριες

Μια γεννήτρια μπορεί να μοντελοποιηθεί ως μια μιγαδική έγχυση ισχύος σε ένα συγκεκριμένο ζυγό. Για τη γεννήτρια i η έγχυση ισχύος είναι:

$$s_g^i = p_g^i + jq_g^i \quad (4.2)$$

Έστω ότι $S_g = P_g + jQ_g$ είναι το $N_g \times 1$ διάνυσμα της φαινόμενης ισχύος για N_g αριθμό γεννητριών. Τα (MW) και (MVar) της i -οστής γεννήτριας αντιστοιχούν στα P_g^i και Q_g^i της 2^{ης} και 3^{ης} στήλης και i -οστής γραμμής του πίνακα των γεννητριών του mpc.gen του πακέτου Matpower.

4.6 Φορτία

Τα φορτία ισχύος μοντελοποιούνται ως μια συγκεκριμένη ποσότητα ενεργού και αέργου ισχύος που καταναλώνεται σε έναν ζυγό. Για παράδειγμα, για το ζυγό i το φορτίο είναι:

$$s_d^i = p_d^i + jq_d^i \quad (4.2)$$

Όπου $S_d = P_d + jQ_d$ υποδηλώνει το $N_d \times 1$ διάνυσμα φαινόμενης ισχύος για N_d αριθμό γραμμών των ζυγών. Τα (MW) και $(MVar)$ του i -οστού ζυγού που αντιστοιχούν στα P_d^i και Q_d^i της 3^{ης} και 4^{ης} στήλης και i -οστής γραμμής του πίνακα των ζυγών του `mrc.bus` του πακέτου `Matpower`.

4.7 Εγκάρσιο στοιχείο

Ένα εγκάρσια συνδεδεμένο στοιχείο όπως ένας πυκνωτής ή ένα πηνίο μοντελοποιείται ως μια σταθερή σύνθετη αντίσταση προς γη σε ένα ζυγό. Η αγωγιμότητα ενός εγκάρσιου στοιχείου σε ένα ζυγό i δίνεται από:

$$y_{sh}^i = g_{sh}^i + jb_{sh}^i \quad (4.3)$$

Και $Y_{sh} = G_{sh} + jB_{sh}$ υποδηλώνει το $N \times 1$ διάνυσμα των εγκάρσιων αγωγιμοτήτων σε όλους τους ζυγούς.

4.8 Επίλυση εξισώσεων ροής φορτίου στο Matpower

Στο `Matpower` η λύση του προβλήματος ροής φορτίου εκτελείται με τις παρακάτω εντολές ανάλογα την περίπτωση.

Όνομα εντολής	Περιγραφή εντολής
Runpf	Εκτέλεση AC Ροής Φορτίου
runopf	Εκτέλεση βέλτιστης AC Ροής Φορτίου
Runuopf	Εκτέλεση βέλτιστης AC Ροής Φορτίου με δυνατότητα αποσύνδεσης μονάδων

Πίνακας 4. 1 Περιγραφή βασικών εντολών για ροή φορτίου στο `Matpower`

4.9 Αλγόριθμος Αποσύνδεσης Μονάδων

Το MATPOWER έχει τη δυνατότητα να εκτελέσει μια βέλτιστη ροή φορτίου σε συνδυασμό με τη δυνατότητα αποσύνδεσης μονάδων για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, η οποία του επιτρέπει να θέσει εκτός λειτουργίας αυτές τις ακριβές μονάδες και να βρει ένα ελάχιστο κόστος ένταξης κατανομής. Για παράδειγμα, για να εκτελεστεί αυτό για την περίπτωση case30, πληκτρολογούμε στο παράθυρο εντολών .

```
>>runuopf('case30')
```

Το MATPOWER χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο παρόμοιο με τον δυναμικό προγραμματισμό για να χειριστεί την αποσύνδεση των μονάδων. Προχωράει μέσω μιας σειράς σταδίων, όπου το στάδιο N έχει N γεννήτριες εκτός λειτουργίας, ξεκινώντας με $N=0$.

Ο αλγόριθμος προχωρά ως εξής [38]:

Βήμα 1: Ξεκίνα από το στάδιο μηδέν ($N=0$), υποθέτοντας ότι όλες οι γεννήτριες είναι σε λειτουργία με όλα τα όρια στη σωστή θέση.

Βήμα 2: Λύσε μια κανονική Βέλτιστη Ροή Φορτίου και αποθήκευσε τη λύση ως την τρέχουσα καλύτερη.

Βήμα 3: Πήγαινε στο επόμενο στάδιο, το $N=N+1$. Χρησιμοποιώντας την καλύτερη λύση από το προηγούμενο στάδιο ως τη βασική περίπτωση για αυτό το στάδιο, σχημάτισε μια υποψήφια λίστα γεννητριών με δεσμευμένα ελάχιστα όρια παραγωγής. Αν δεν υπάρχουν υποψήφιες, υπερπήδησε στο Βήμα 5.

Βήμα 4: Για κάθε γεννήτρια της υποψήφιας λίστας, λύσε μια Β.Ρ.Φ. για να βρεις το συνολικό κόστος του συστήματος με τις γεννήτριες εκτός λειτουργίας. Εάν έχει χαμηλότερο κόστος, αντικατέστησε την τρέχουσα καλύτερη λύση με αυτήν. Σε περίπτωση που οποιαδήποτε από τις υποψήφιες λύσεις προκάλεσε βελτίωση, γύρισε πίσω στο βήμα 3.

Βήμα 5: Επέστρεψε την τρέχουσα καλύτερη λύση ως την τελική λύση.

Κεφάλαιο 5

Αποτελέσματα Μοντελοποίησης

5.1 Αποτελέσματα Μοντελοποίησης Σ.Η.Ε. Κρήτης χωρίς τη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων και με σενάρια διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων

Σε αυτήν την ενότητα του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης του Σ.Η.Ε. της Κρήτης και συγκρίνονται τα αποτελέσματα για τους δυο τρόπους φόρτισης για κάθε σενάριο διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων. Τα κυριότερα αποτελέσματα αφορούν:

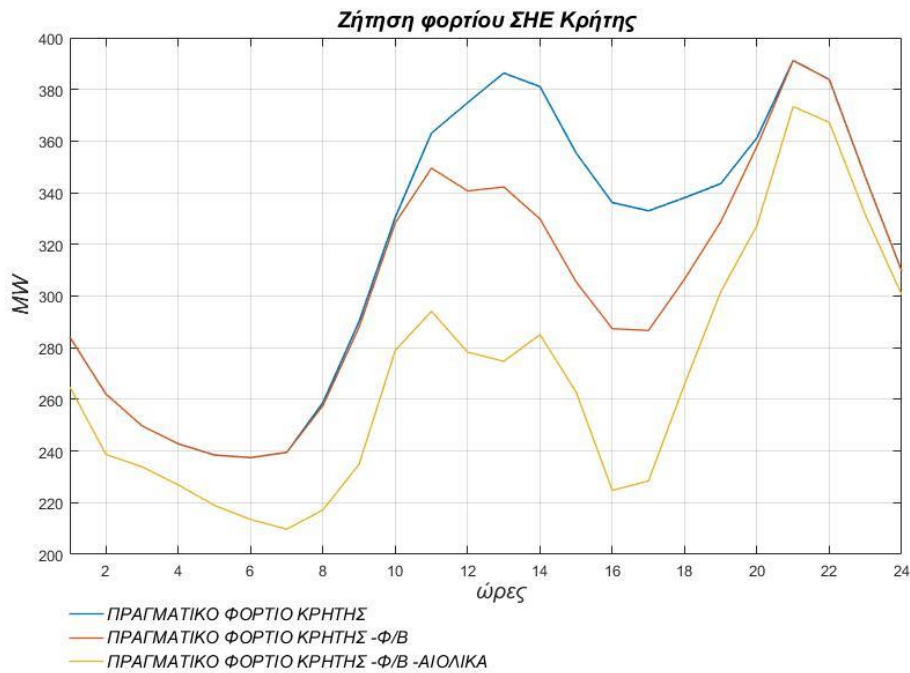
- Φορτία Ηλεκτρικών οχημάτων.
- Συνολικά Φορτία Συστήματος.
- Τα επίπεδα Τάσεων των ζυγών αναφοράς με όρια $0.95 \text{ p.u.} \leq V(t) \leq 1.05 \text{ p.u.}$
- Τις Ενεργές και Άεργες Απώλειες του δικτύου.
- Την παραγωγή Ενεργής και Άεργης ισχύος των γεννητριών.

Ο στόχος είναι να βελτιστοποιήσουμε τα φορτία των ηλεκτρικών οχημάτων και συνεπώς του συστήματος μεταφοράς. Βέβαια, ο αλγόριθμος δε βελτιστοποιεί κόστη ή απώλειες. Επισημαίνεται ότι η εκτέλεση ροής φορτίου πραγματοποιήθηκε με την εντολή «*runuopf()*» που σημαίνει ότι εκτελείται βέλτιστη ροή φορτίου με τη δυνατότητα απενεργοποίησης μονάδων και τα αποτελέσματα αυτής της βελτιστοποίησης αφορούν τις γεννήτριες που επιδιώκουν να ρυθμίσουν τις τάσεις εντός ορίων ώστε να πραγματοποιείται ελαχιστοποίηση απωλειών και κόστους, ανεξαρτήτως του φορτίου. Επίσης, η απενεργοποίηση μονάδων επιδρά στις τάσεις όπως θα φανεί στη συνέχεια.

5.2 Αποτελέσματα Μοντελοποίησης Σ.Η.Ε. Κρήτης χωρίς τη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων

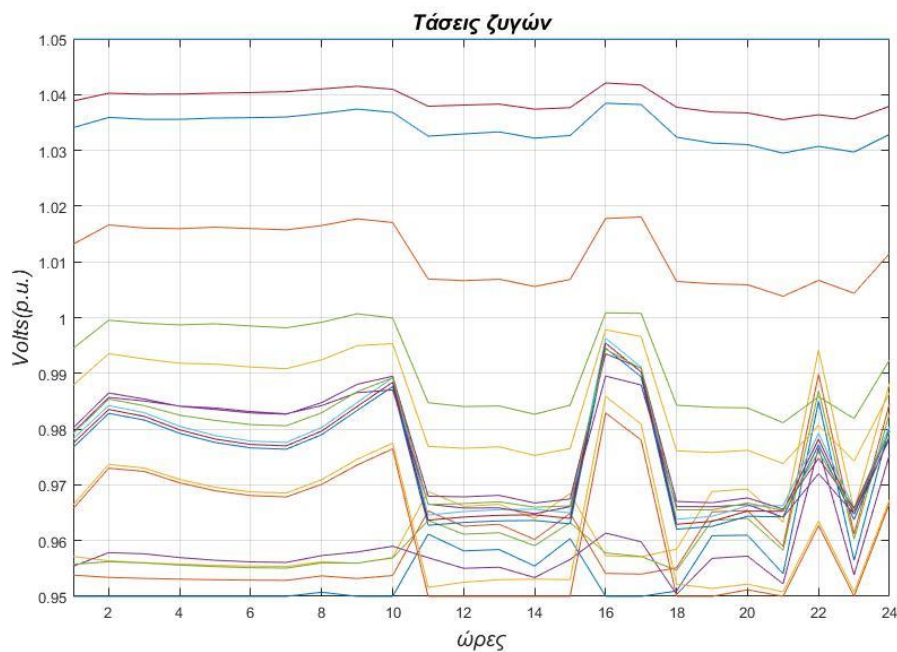
Αρχικά, παρουσιάζεται η μοντελοποίηση του Σ.Η.Ε. της Κρήτης χωρίς τη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων.

Στην *Εικόνα 5.1* που απεικονίζονται τα φορτία του συστήματος γίνεται αντιληπτό ότι η Φωτοβολταϊκή και η αιολική παραγωγή βοηθούν το συνολικό πραγματικό φορτίο του συστήματος ανάλογα με την παραγωγή τους. Τα φωτοβολταϊκά βυθίζουν αρκετά την καμπύλη του φορτίου σε κάποιες χρονικές στιγμές και με αυτόν τον τρόπο το σύστημα παραγωγής δοκιμάζεται. Επίσης, οι ώρες αιχμής είναι περίπου στις 13:00 και στις 21:00 όπου τότε είναι πιο έντονη η ανθρώπινη και βιομηχανική δραστηριότητα.



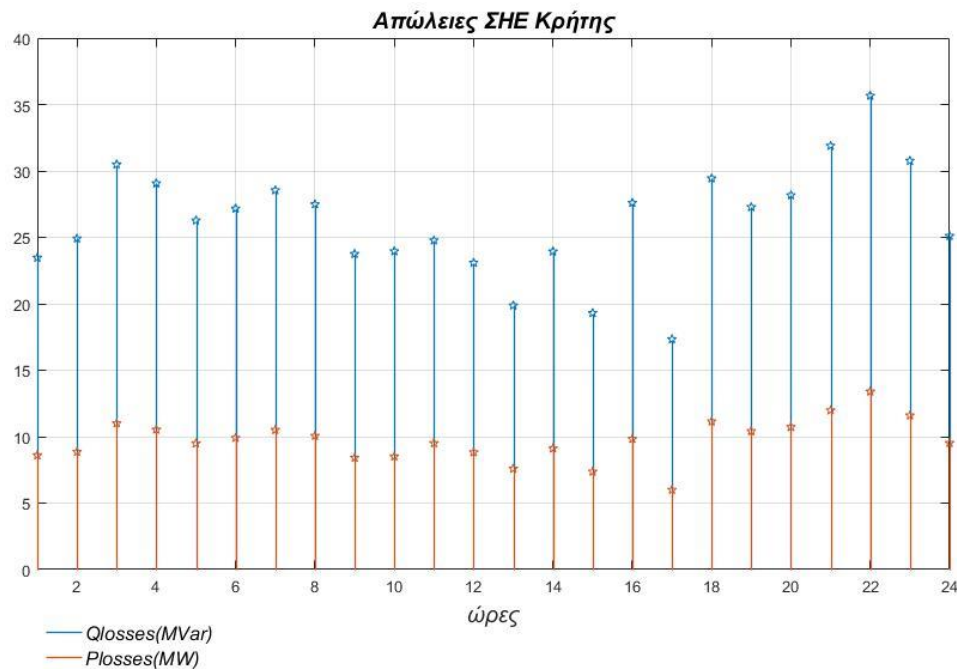
Εικόνα 5. 1 Ημερήσιες καμπύλες ζήτησης πραγματικού και καθαρού φορτίου για Σ.Η.Ε. Κρήτης

Στην Εικόνα 5.2 των τάσεων ανά ζυγό φαίνεται ότι με την αύξηση του φορτίου προκύπτει πτώση τάσης και με τη μείωση του φορτίου οι τάσεις αυξάνονται και προσπαθούν να σταθεροποιηθούν. Συνεπώς, οι τάσεις επηρεάζονται από το φορτίο του συστήματος. Οι απότομες μεταβολές στις τάσεις (απότομα τσαλακώματα) δηλώνουν την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση γεννητριών.



Εικόνα 5. 2 Ημερήσιες καμπύλες Τάσεις ζυγών στο Σ.Η.Ε. Κρήτης χωρίς διείσδυση Η.Ο.

Στην Εικόνα 5.3 φαίνονται οι απώλειες του φορτίου τόσο οι ενεργές όσο και οι άεργες ανά ώρα. Οι άεργες απώλειες είναι μεγαλύτερες από τις ενεργές. Το σύνολο ενεργών απωλειών ανά ημέρα είναι 232.8776 MWh ενώ το σύνολο των άεργων απωλειών είναι 629.3055 MVarh.



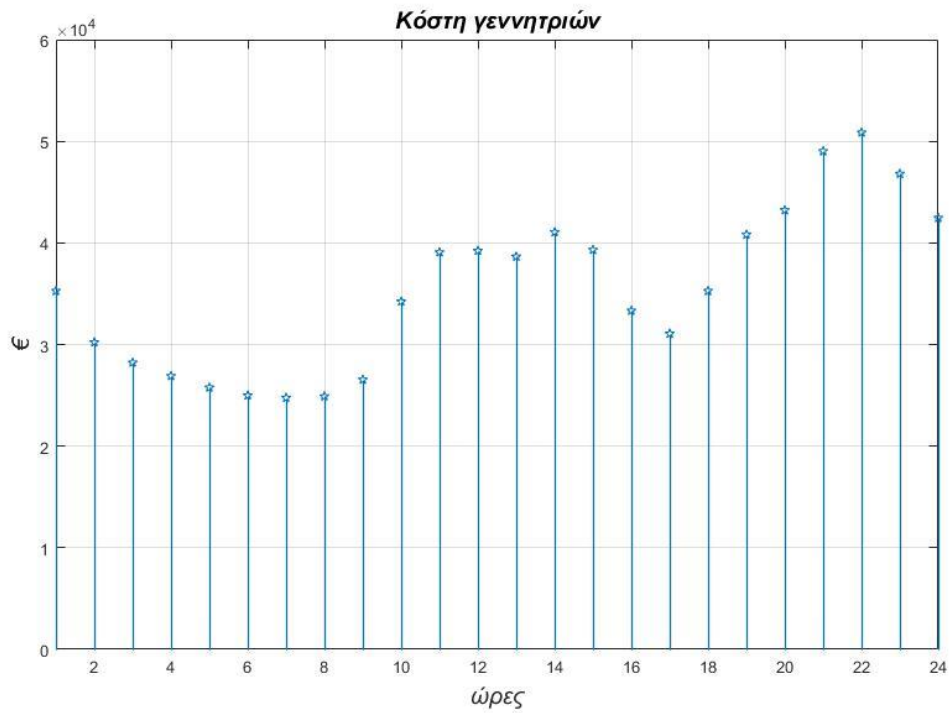
Εικόνα 5. 3 Ημερήσιες καμπύλες για Ενεργές και Άεργες Απώλειες για το Σ.Η.Ε. Κρήτης

Παρακάτω (Πίνακας 5.1) υπολογίστηκε το συνολικό κόστος καυσίμου του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Κρήτης ανά ημέρα καθώς και η χρονοσειρά με τα κόστη όλων των σταθμών ανά ώρα. Στην Εικόνα 5.4 φαίνεται ότι το κόστος ακολουθεί το φορτίο του συστήματος.

Κόστος Παραγωγής (€/ημέρα)

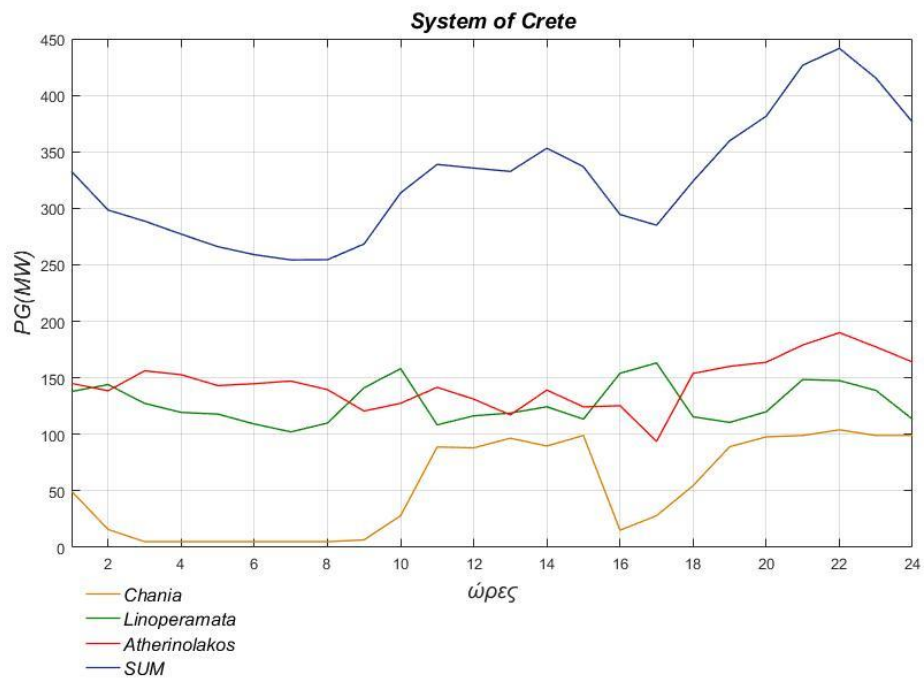
Σ.Η.Ε. Κρήτης χωρίς EVs	889,270
-------------------------	---------

Πίνακας 5.1 Ημερήσιος υπολογισμός συνολικού κόστους παραγωγής γεννητριών για Σ.Η.Ε. Κρήτης

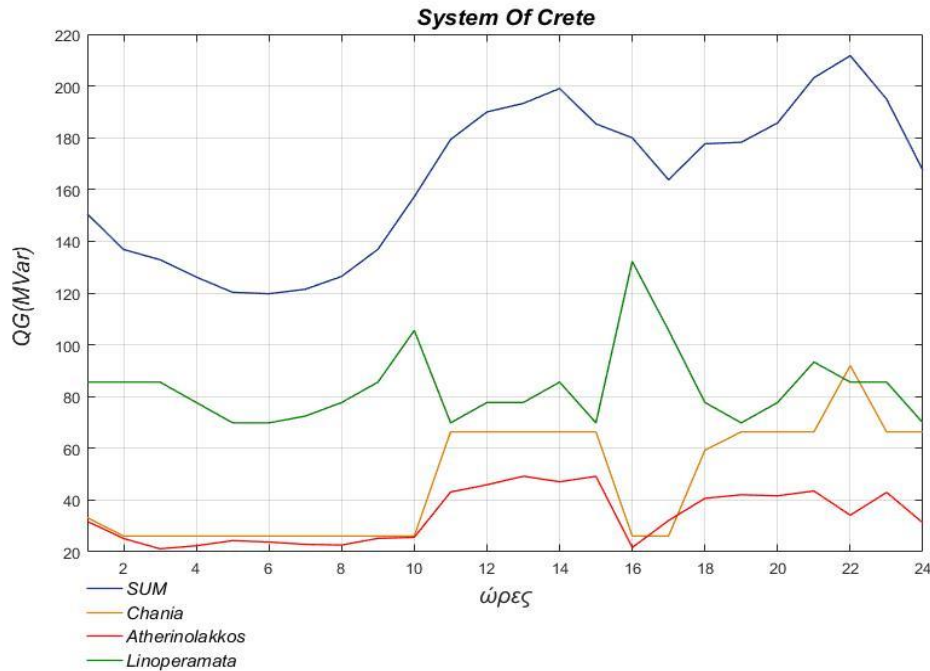


Εικόνα 5.4 Ημερήσια καμπύλη κόστους καυσίμου συστήματος παραγωγής συνολικά για το Σ.Η.Ε. Κρήτης

Παρακάτω φαίνονται οι ενεργές και άεργες παραγωγές από τους σταθμούς παραγωγής στην Κρήτη.



Εικόνα 5.5 Ημερήσια καμπύλη παραγωγής ενεργής ισχύος από τους σταθμούς στην Κρήτη



Εικόνα 5.6 Ημερήσια καμπύλη παραγωγής άεργης ισχύος από τους σταθμούς στην Κρήτη

5.3 Σενάρια διεύθυνσης ηλεκτρικών οχημάτων

Σύμφωνα με τον στόχο στο πλαίσιο του ΕΣΕΚ (Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα) [39] φαίνεται ότι το μερίδιο των ηλεκτρικών επιβατικών οχημάτων πανελλαδικά στις νέες ταξινομήσεις κατά το 2030 πρέπει να ανέρχεται στο 30% του συνολικού αριθμού των οχημάτων. Αυτό το γεγονός ήταν σημαντικό για τον προσδιορισμό του εκτιμώμενου αριθμού ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα της Κρήτης. Οπότε στην παρούσα διπλωματική έγινε η μοντελοποίηση του συστήματος με διεύθυνση ηλεκτρικών οχημάτων σύμφωνα με τρία παρακάτω σενάρια :

- 1) **Χαμηλή διεύθυνση Η.Ο. (LOW σενάριο):** Είναι το πιο πιθανό σενάριο, σύμφωνα με το οποίο τα ηλεκτρικά οχήματα θα φτάσουν το 10% του συνολικού στόλου οχημάτων έως το 2030.
- 2) **Μέση διεύθυνση Η.Ο. (MEDIUM σενάριο):** Είναι το πιο αισιόδοξο σενάριο, σύμφωνα με το οποίο τα ηλεκτρικά οχήματα θα φτάσουν το 15% του συνολικού στόλου έως το 2030.
- 3) **Υψηλή διεύθυνση Η.Ο. (HIGH σενάριο):** Είναι το πιο επιθετικό σενάριο από τα τρία, σύμφωνα με το οποίο τα ηλεκτρικά οχήματα θα φτάσουν το 20% του συνολικού στόλου έως το 2030.

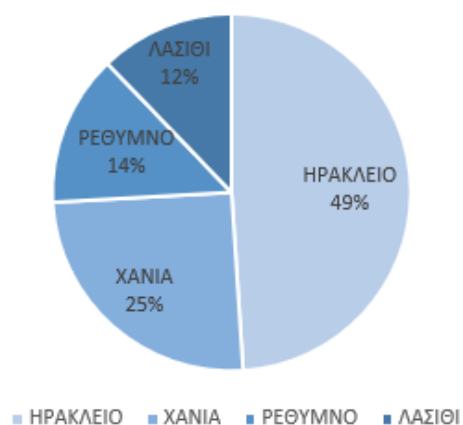
Ο εκτιμώμενος συνολικός στόλος συμβατικών και ηλεκτρικών ΙΧ οχημάτων στην Κρήτη για το έτος 2030 φτάνει τον αριθμό 498,453.7 [32]. Ο συνολικός αριθμός αυτός σε συνδυασμό με τον πληθυσμό της Κρήτης που ανέρχεται στα 621,340 άτομα σύμφωνα με την απογραφή πληθυσμού 2011 [37] δίνει μια πιθανή προσέγγιση του αριθμού των ηλεκτρικών οχημάτων για τα τρία σενάρια για το έτος 2030. Συγκεκριμένα, από τον πληθυσμό κάθε περιφερειακής ενότητας υπολογίστηκε το αντίστοιχο ποσοστό της με βάση το συνολικό αριθμό πληθυσμού της Κρήτης Πίνακας 5.2. Πολλαπλασιάζοντας το κάθε ποσοστό πληθυσμού με τον εκτιμώμενο αριθμό οχημάτων (498,454) για το έτος 2030 προέκυψε ο αντίστοιχος τελικός αριθμός συμβατικών και ηλεκτρικών οχημάτων για κάθε

περιφερειακή ενότητα και για κάθε σενάριο διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων ο οποίος έδωσε την εκτιμώμενη ισχύ που τους αναλογεί και προστέθηκε στους αντίστοιχους ζυγούς του συστήματος που δημιουργήθηκαν για το Σ.Η.Ε της Κρήτης στο Matpower(Πίνακας 5.3).

Περιφερειακή ενότητα	Πληθυσμός	Ποσοστό πληθυσμού (%)
Ηρακλείου	304,270	49
Χανίων	156,220	25
Ρεθύμνου	85,160	14
Λασιθίου	75,690	12

Πίνακας 5.2 Μόνιμος Πληθυσμός Κρήτης [32]

Πληθυσμός Κρήτης 2011



Εικόνα 5.7 Ποσοστό πληθυσμού Κρήτης 2011

Περιφερειακή ενότητα	Αριθμός συμβατικών και ηλεκτρικών οχημάτων	Αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων για το LOW σενάριο (10%)	Αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων για το MEDIUM σενάριο (15%)	Αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων για το HIGH σενάριο (20%)
Ηρακλείου	244,242	24,424	36,636	48,848
Χανίων	124,614	12,461	18,692	24,923
Ρεθύμνου	69,784	6,978	10,468	13,957
Λασιθίου	59,814	5,981	8,972	11,963

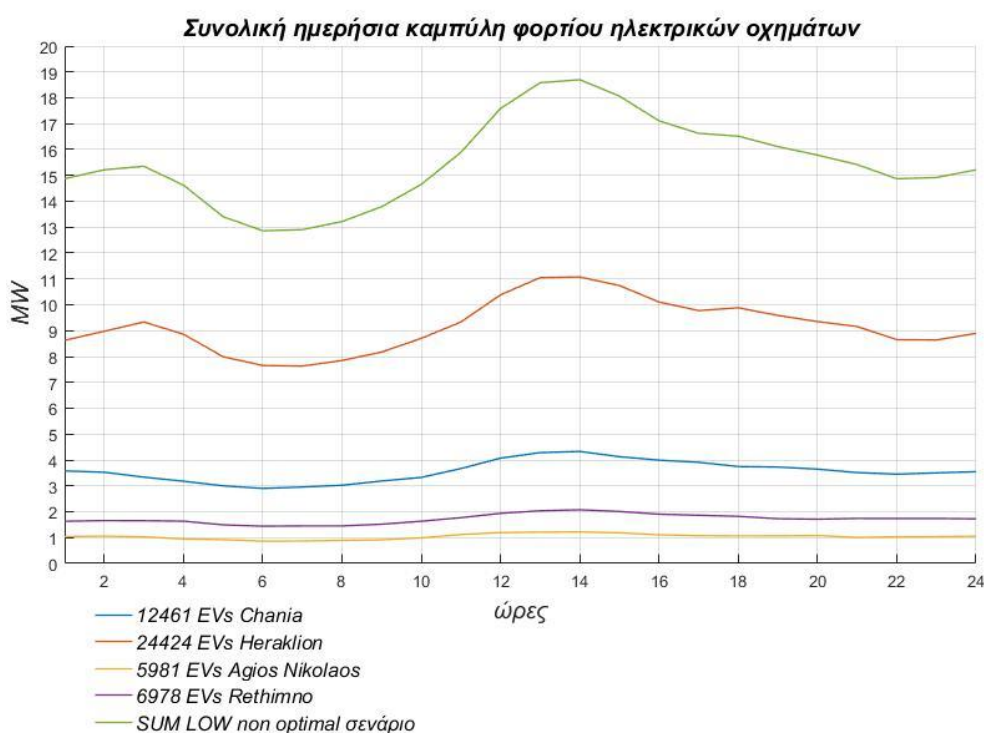
Πίνακας 5.3 Εκτιμώμενος αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων Κρήτης για το 2030 για τρία σενάρια διείσδυσης

5.3.1 Προσομοιώσεις χαμηλής διείσδυσης Η.Ο (Low σενάριο)

5.3.1.1 Υλοποίηση στρατηγικής 1 (Μη ελεγχόμενη φόρτιση - Non Optimal)

Χαμηλό σενάριο διείσδυσης Η.Ο. (10% διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων)

Με τη χρήση αυτής της στρατηγικής φόρτισης τα οχήματα τροφοδοτούνται με την απαιτούμενη σταθερή ισχύ όποτε συνδέονται στο σύστημα. Ενδεικτικά ακολουθούν οι καμπύλες ζήτησης φορτίου για κάθε πόλη της Κρήτης με στόλο 24,424 οχημάτων για Ηράκλειο, 12,461 οχημάτων για Χανιά, 6,978 οχημάτων για Ρέθυμνο, 5,981 οχημάτων για Άγιο Νικόλαο καθώς και η συνολική ζήτηση φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων(Εικόνα 5.8):



Εικόνα 5.8 Ημερήσια Καμπύλη Φορτίου Η.Ο. για κάθε πόλη και συνολικά για Low Non Optimal σενάριο.

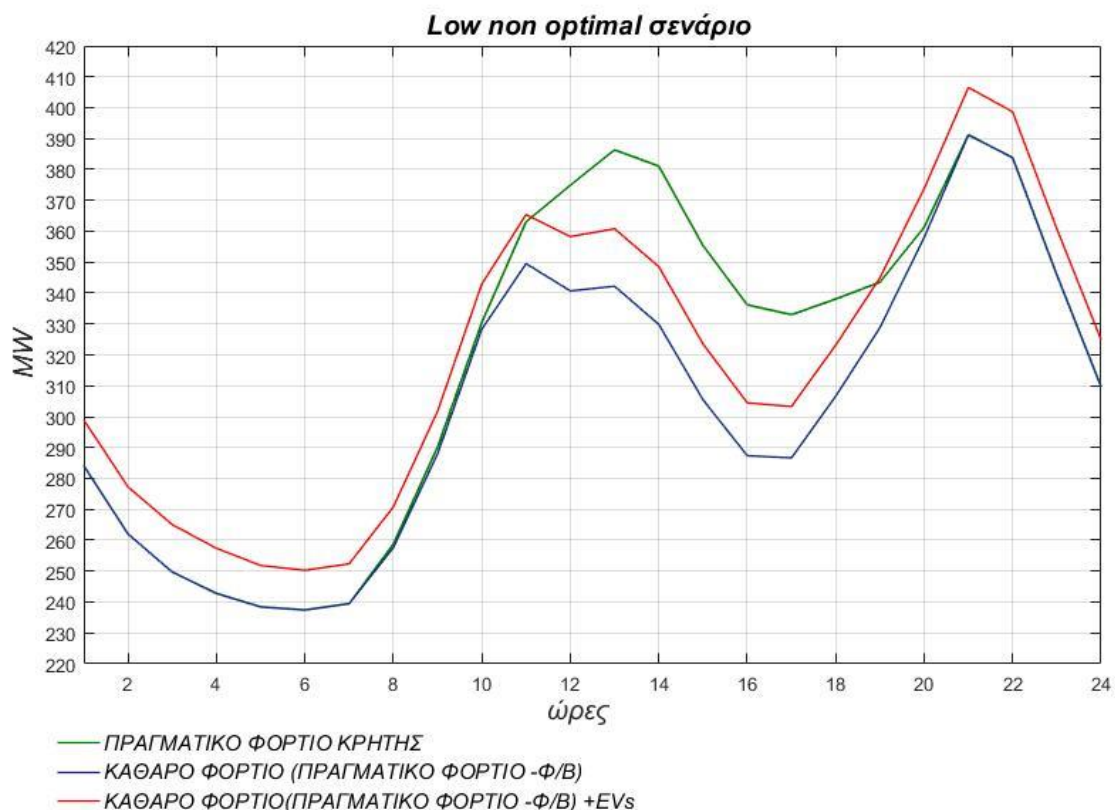
Παρατηρούμε ότι η καμπύλη του συνολικού φορτίου ηλεκτρικών οχημάτων αυξάνει με απότομο ρυθμό 10:00 -14:00 και έπειτα αρχίζει να μειώνεται με μικρότερο ρυθμό, ενώ η αιχμή της καμπύλης εμφανίζεται στις 14:00 το μεσημέρι όπου εκείνη τη στιγμή τα οχήματα ζητούν την περισσότερη ενέργεια από το σύστημα. Η φόρτιση των οχημάτων συμπίπτει με την ανθρώπινη δραστηριότητα δηλαδή τα δρομολόγια που εκτελούν οι οδηγοί. Όταν το αυτοκίνητο πραγματοποιήσει αρκετά δρομολόγια η μπαταρία του θα χρειαστεί ενέργεια και επαναφόρτιση και όπως φαίνεται στην Εικόνα τα περισσότερα δρομολόγια γίνονται μέχρι τις 14:00 όπου εμφανίζεται το μέγιστο (peak) και τα περισσότερα αυτοκίνητα βρίσκονται συνδεδεμένα στο δίκτυο. Παρατηρείται μεγαλύτερη ζήτηση φορτίου ηλεκτρικών οχημάτων στο Ηράκλειο καθώς είναι περισσότερα εκεί θα βρίσκονται τα αυτοκίνητα και ακολουθούν τα Χανιά, Ρέθυμνο και Άγιος Νικόλαος.

Νομός	Max(MW)	Min(MW)	Ενέργεια(MWh)
Ηρακλείου	11.074	7.63	220.4311
Χανίων	4.33	2.9	85.5451
Ρεθύμνου	2.074	1.441	41.3717
Λασιθίου	1.22	0.862	24.9723
Συνολικά	18.7	12.86	372.32

Πίνακας 3.4 Βασικοί Δείκτες Συμπερασμάτων από ημερήσιες καμπύλες φορτίου Η.Ο. για κάθε πόλη για Low Non Optimal σενάριο.

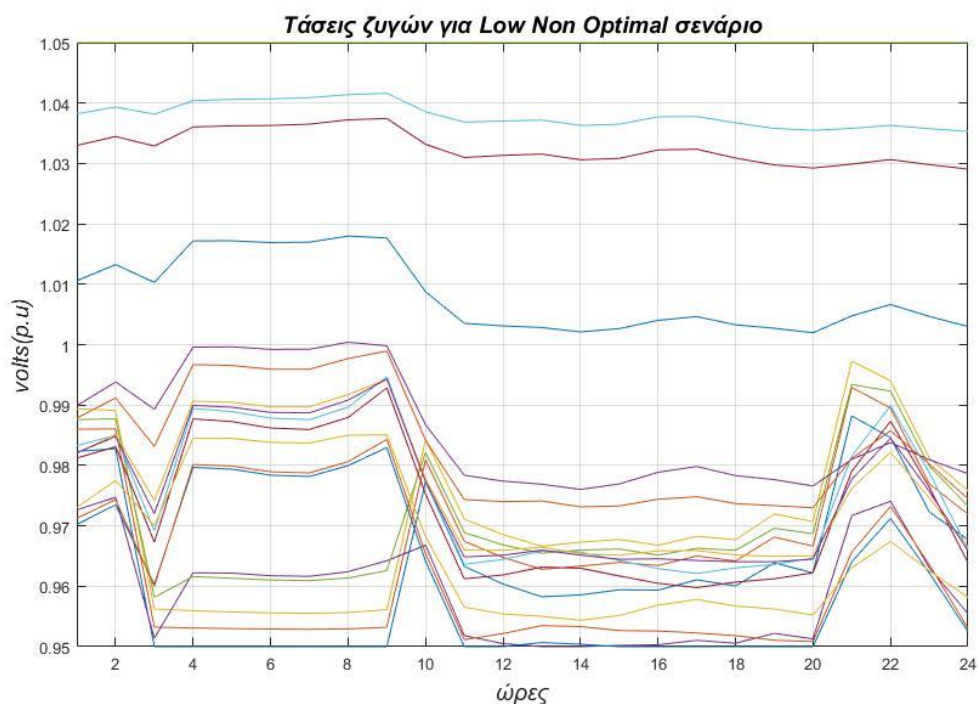
Αξίζει να σημειωθεί ότι ο Άγιος Νικόλαος αποτελεί το 12% του πληθυσμού ενώ το Ηράκλειο αποτελεί το 49 % του πληθυσμού και αντίστοιχα έγινε η κατανομή για τα ηλεκτρικά οχήματα στις δύο περιοχές. Υπολογίζοντας στον Πίνακα 5.1 τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές από τα φορτία των ηλεκτρικών οχημάτων καθώς επίσης και την ενέργεια που καταναλώνουν τα ηλεκτρικά οχήματα, γίνεται αντιληπτό ότι δεν έχει σημασία μόνο η κατανομή του πληθυσμού σε κάθε πόλη και άρα η αντίστοιχη κατανομή του αριθμού των οχημάτων αλλά και το μέγεθος της πόλης και τα χαρακτηριστικά της, κυρίως ως προς τις αποστάσεις που διανύουν τα οχήματα εντός πόλεως. Συγκεκριμένα, θα ήταν αναμενόμενο η μέγιστη κατανάλωση ενέργειας των ηλεκτρικών οχημάτων στο Ηράκλειο να είναι τέσσερις φορές μεγαλύτερη, με βάση των πληθυσμό, από την κατανάλωση ενέργειας στον Άγιο Νικόλαο. Αντίστοιχα για τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές στις πόλεις αυτές. Όμως αυτό δε συμβαίνει καθώς το Ηράκλειο έχει 8.8 φορές μεγαλύτερη ζήτηση ενέργειας, μέγιστη και ελάχιστη τιμή από τον Άγιο Νικόλαο όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.1.

Ακολουθεί η καμπύλη καθαρού φορτίου με τη συμβολή των οχημάτων στην ημερήσια ζήτηση (Εικόνα 5.9)



Εικόνα 5.9 Σύγκριση Καθαρών Φορτίων με ηλεκτρικά οχήματα και χωρίς για Low Non Optimal σενάριο.

Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια υπερύψωση του καθαρού φορτίου όταν έχουμε τα ηλεκτρικά οχήματα και η ζήτηση των οχημάτων επιβαρύνει το σύστημα.



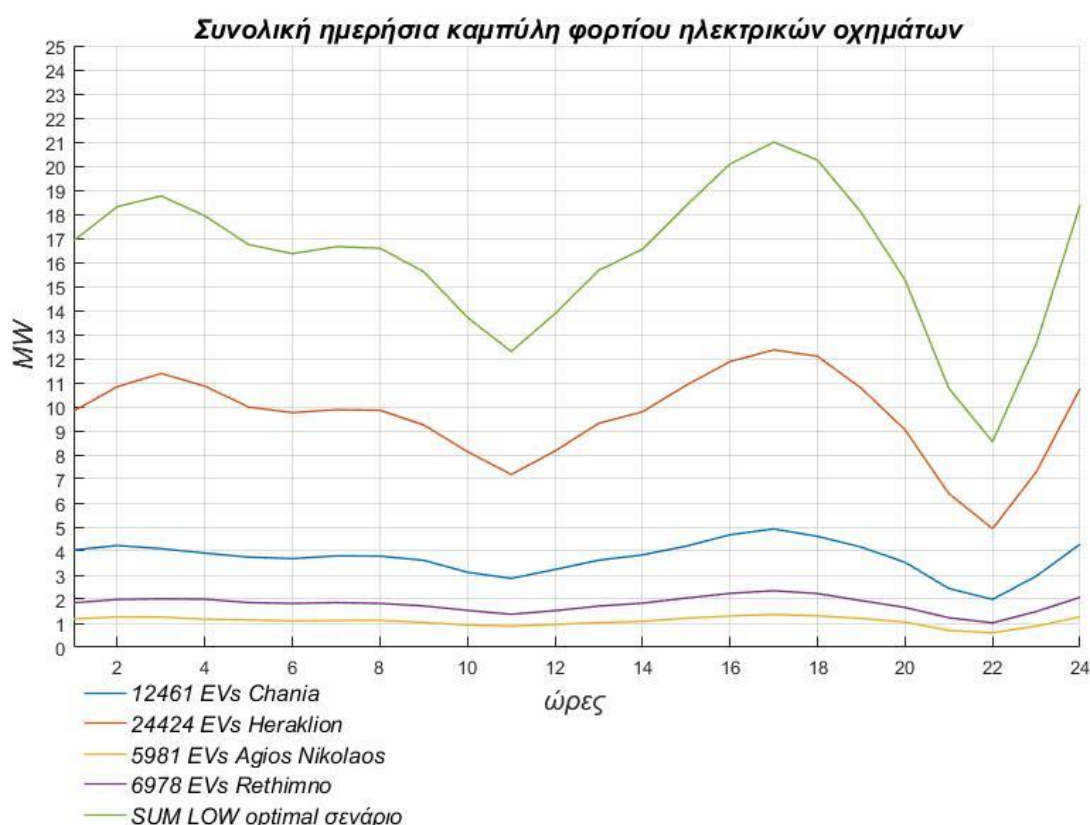
Εικόνα 5. 10 Καμπύλες Τάσεων ζυγών στο Σ.Η.Ε. Κρήτης για Low Non Optimal σενάριο.

Στην Εικόνα 5.10 των τάσεων ανά ζυγό φαίνεται ότι με την αύξηση του φορτίου προκύπτει πτώση τάσης και με τη μείωση του φορτίου οι τάσεις αυξάνονται και προσπαθούν να σταθεροποιηθούν. Συνεπώς, οι τάσεις εξαρτώνται από το καθαρό φορτίο του συστήματος (πραγματικό -φωτοβολταϊκά -αιολικά +ηλεκτρικά οχήματα). Όταν οι γεννήτριες απενεργοποιούνται και ενεργοποιούνται ξανά, οι τάσεις μεταβάλλονται απότομα και το γεγονός αυτό δείχνει ότι οι καταστάσεις λειτουργίας των γεννητριών επηρεάζουν σημαντικά τα προφίλ των τάσεων. Ένα δείγμα τέτοιας μεταβολής με απότομη πτώση και έπειτα αύξηση είναι στις 10:00 πμ. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τάσεις διατηρούνται εντός ορίων σύμφωνα με τον περιορισμό $0.95 \text{ p.u.} \leq V(t) \leq 1.05 \text{ p.u.}$

5.3.1.2 Υλοποίηση στρατηγικής 2 (Ελεγχόμενη φόρτιση - Optimal)

Χαμηλό σενάριο διείσδυσης Η.Ο. (10% διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων)

Με τη χρήση αυτής της στρατηγικής φόρτισης τα οχήματα τροφοδοτούνται με ενέργεια τις ώρες που η καμπύλη φορτίου είναι χαμηλή ενώ αποφεύγουν τη φόρτιση τις ώρες που η καμπύλη βρίσκεται σε αιχμή. Ενδεικτικά ακολουθούν οι καμπύλες ζήτησης φορτίου για κάθε πόλη της Κρήτης καθώς και τη συνολική ζήτηση φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων(Εικόνα 5.4):



Εικόνα 5. 11 Ημερήσια Καμπύλη Φορτίου Η.Ο. για κάθε πόλη και συνολικά για Low Optimal σενάριο.

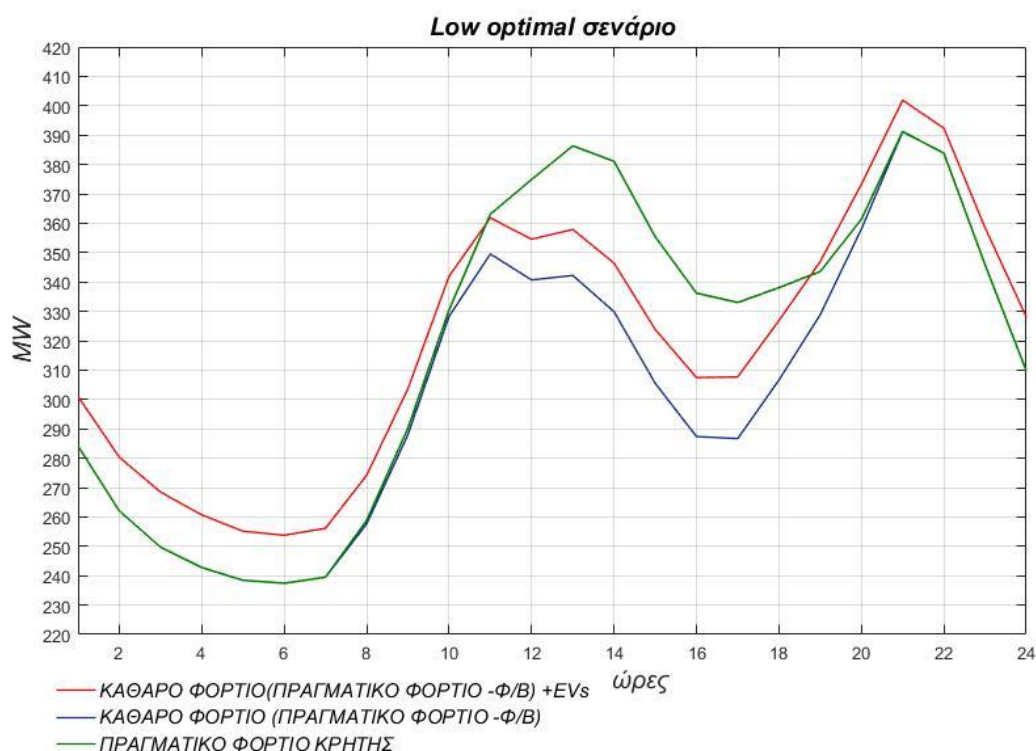
Στην ελεγχόμενη (Optimal) στρατηγική φόρτισης υπάρχει εξάρτηση από το καθαρό φορτίο της Κρήτης, σε αντίθεση με τη non optimal στρατηγική φόρτισης η οποία εξαρτάται από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Παρατηρούμε ότι η αιχμή της καμπύλης φορτίου ηλεκτρικών οχημάτων εμφανίζεται στις 17:00 το απόγευμα Εικόνα 5.11 καθώς τότε το ΣΗΕ της Κρήτης έχει χαμηλή ζήτηση οπότε τα περισσότερα ηλεκτρικά οχήματα φορτίζουν τότε για να εκμεταλλευτούν το γεγονός της χαμηλής ζήτησης. Γενικά φαίνεται ότι το φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων ακολουθεί την αντίστροφη μορφή του καθαρού φορτίου του συστήματος με σκοπό να μην επιβαρύνει το σύστημα. Επίσης, φαίνεται στην Εικόνα 5.4 ότι η ζήτηση των οχημάτων χαμηλώνει με απότομο ρυθμό τις πρωινές ώρες 8:00-11:00 όπως και τις απογευματινές ώρες 18:00- 22:00 καθώς τότε το συνολικό φορτίο της Κρήτης αυξάνεται με απότομο ρυθμό. Αντίστοιχα, η ζήτηση των οχημάτων αυξάνεται απότομα 12:00-17:00 και 22:00-3:00 καθώς τότε το συνολικό φορτίο της Κρήτης μειώνεται απότομα.

Νομός	Max(MW)	Min(MW)	Ενέργεια(MWh)
Ηρακλείου	12.362	4.93	230.518
Χανίων	4.919	1.991	89.387
Ρεθύμνου	2.351	1.016	43.1895
Λασιθίου	1.36	0.603	26.099
Συνολικά	20.992	8.54	389.195

Πίνακας 5.5 Βασικοί Δείκτες Συμπερασμάτων από ημερήσιες καμπύλες φορτίου Η.Ο. για κάθε πόλη για Low Optimal σενάριο.

Παρατηρείται στον Πίνακα 5.5 ότι η Ενέργεια και η μέγιστη τιμή του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων είναι μεγαλύτερη από το αντίστοιχο χαμηλό μη ελεγχόμενο σενάριο διείσδυσης Η.Ο. (Low Non Optimal). Επίσης, αποδεικνύεται υπολογίζοντας στον τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές των κατανομών από τα φορτία των ηλεκτρικών οχημάτων καθώς επίσης και την ενέργεια που καταναλώνουν τα ηλεκτρικά οχήματα, ότι και σε αυτό το σενάριο δεν έχει σημασία μόνο η κατανομή του πληθυσμού σε κάθε πόλη και άρα η αντίστοιχη κατανομή του αριθμού των οχημάτων αλλά και το μέγεθος της πόλης και τα χαρακτηριστικά της, κυρίως ως προς τις αποστάσεις που διανύουν τα οχήματα εντός πόλεως. Συγκεκριμένα, το Ηράκλειο έχει από 8 - 9 φορές μεγαλύτερη ζήτηση ενέργειας, μέγιστη και ελάχιστη τιμή από τον Άγιο Νικόλαο. (Πίνακας 5.5)

Ακολουθεί η τελική καμπύλη φορτίου με τη συμβολή των οχημάτων στην ημερήσια ζήτηση (Εικόνα 5.12).



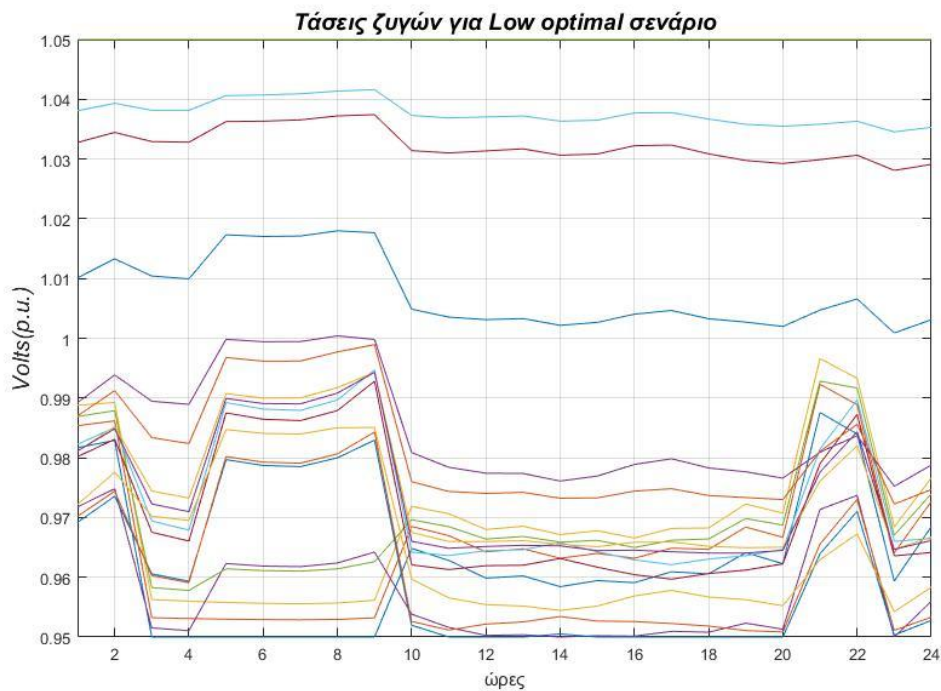
Εικόνα 5. 12 Σύγκριση Καθαρών Φορτίων με ηλεκτρικά οχήματα και χωρίς για Low Optimal σενάριο.

Είναι φανερό ότι στο optimal σενάριο, το φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων επιδιώκει να βοηθήσει το σύστημα γεμίζοντας περισσότερο τις κοιλάδες (valley filling) και μειώνοντας περισσότερο τις

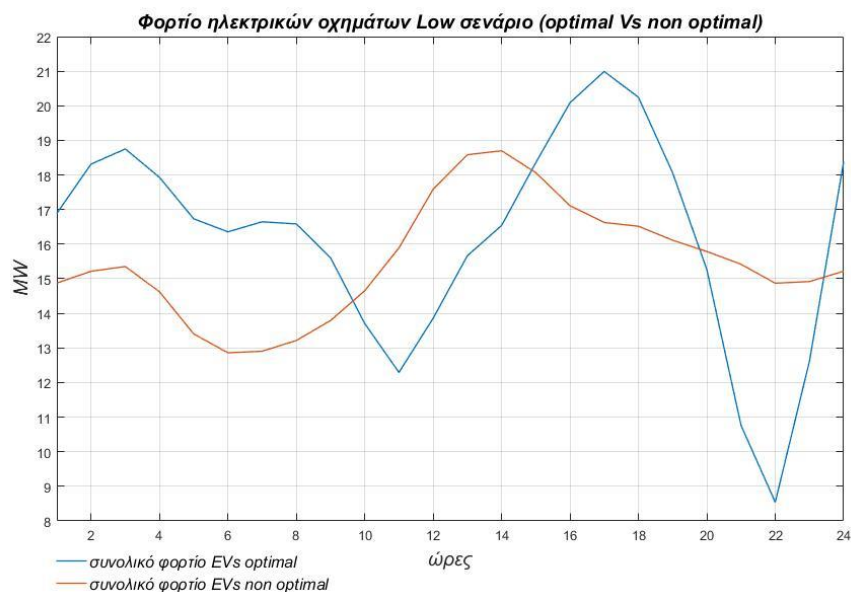
κορυφές (peak shaving) του καθαρού φορτίου (Πραγματικό – Φωτοβολταικά) σε σύγκριση με την μη ελεγχόμενη εκδοχή του χαμηλού σεναρίου.

Στην *Εικόνα 5.13* των τάσεων ανά ζυγό φαίνεται ότι με την αύξηση του φορτίου προκύπτει πτώση τάσης και με τη μείωση του φορτίου οι τάσεις αυξάνονται και προσπαθούν να σταθεροποιηθούν. Συνεπώς, οι τάσεις εξαρτώνται από το καθαρό φορτίο του συστήματος (πραγματικό -φωτοβολταικά -αιολικά +ηλεκτρικά οχήματα). Όταν οι γεννήτριες απενεργοποιούνται και ενεργοποιούνται ξανά, οι τάσεις μεταβάλλονται απότομα και το γεγονός αυτό δείχνει ότι οι καταστάσεις λειτουργίας των γεννητριών επηρεάζουν σημαντικά τα προφίλ των τάσεων. Ένα δείγμα τέτοιας μεταβολής με απότομη πτώση και έπειτα αύξηση είναι στις 21:00 μμ. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τάσεις διατηρούνται εντός ορίων σύμφωνα με τον περιορισμό $0.95 \text{ p.u.} \leq V(t) \leq 1.05 \text{ p.u.}$

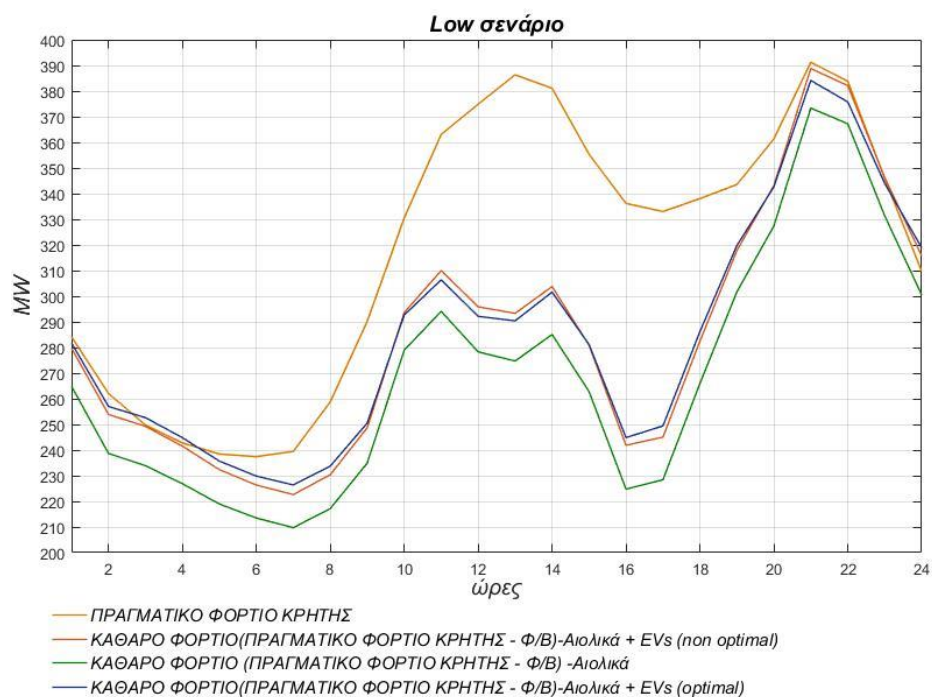
Στην *Εικόνα 5.14* φαίνονται μεγάλες διαφορές στο προφίλ των οχημάτων μεταξύ των δύο στρατηγικών φόρτισης. Παρατηρούνται μεγάλες διακυμάνσεις στην optimal απεικόνιση διότι προσπαθεί να βοηθήσει το σύστημα, ενώ στο non optimal γίνεται αυτό που επιθυμεί ο χρήστης χωρίς να ληφθεί υπόψιν το φορτίο της Κρήτης. Όταν το καθαρό φορτίο της Κρήτης πέφτει, ανεβαίνει των Η.Ο. για να κάνει valley filling. Ενώ, όταν το καθαρό φορτίο της Κρήτης ανεβαίνει, μειώνεται των Η.Ο. για να κάνει peak shaving.



Εικόνα 5. 13 Καμπύλες Τάσεων ζυγών στο Σ.Η.Ε. Κρήτης για Low Optimal σενάριο.



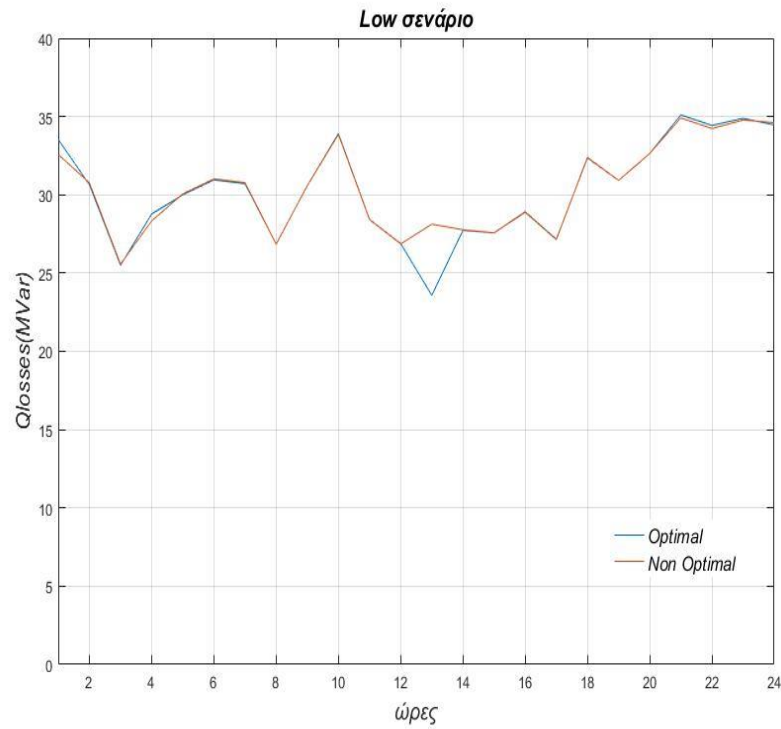
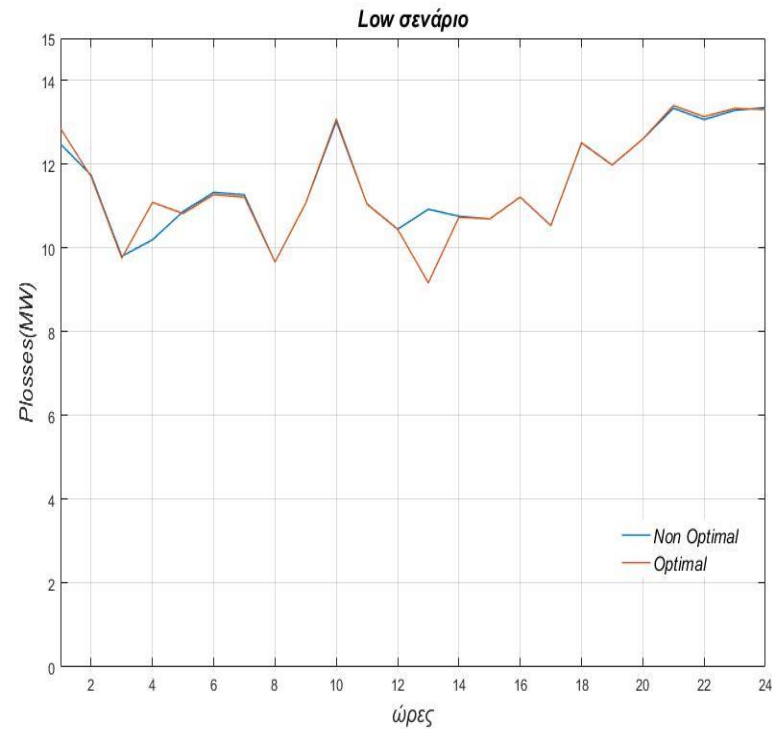
Εικόνα 5. 14 Σύγκριση φορτίων ηλεκτρικών οχημάτων για ελεγχόμενο και μη ελεγχόμενο Χαμηλής διείσδυσης Η.Ο. σενάριο (optimal και non optimal Low σενάριο).



Εικόνα 5. 15 Σύγκριση Καθαρών Φορτίων με ηλεκτρικά οχήματα και χωρίς για το σενάριο Χαμηλής διείσδυσης (Low σενάριο).

Στην Εικόνα 5.15 φαίνεται ότι η optimal συγκριτικά με τη non optimal στρατηγική φόρτισης έχει ελαφρά καλύτερο αποτέλεσμα. Η optimal στρατηγική φόρτισης βοηθάει όσο γίνεται το καθαρό φορτίο δικτύου της Κρήτης με την τεχνική Load Shifting. Συγκεκριμένα προσπαθεί να γεμίσει

περισσότερο τις κοιλάδες αυξάνοντας το φορτίο(valley filling), και παράλληλα προσπαθεί να ανυψώσει λιγότερο τα peak του φορτίου (peak shaving). Οι αλλαγές δε δείχνουν δραματικές αφού τα ηλεκτρικά οχήματα δεν είναι κανονικές μπαταρίες για να τις χειριστούμε όπως θέλουμε αλλά έχουν περιορισμούς χρήστη, ο οποίος επιθυμεί να φορτίσει την μπαταρία του οχήματος του σε περιορισμένο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 5. 16 Ενεργές Απώλειες για σενάριο Χαμηλής διείσδυσης Η.Ο. Εικόνα 5. 17 Άεργες Απώλειες για σενάριο Χαμηλής διείσδυσης Η.Ο. (Low σενάριο)

Σχετικά με τις Απώλειες Εικόνα 5.16 Εικόνα 5.17 φαίνεται ότι η ελεγχόμενη και μη ελεγχόμενη φόρτιση (optimal και Non optimal) δεν έχουν μεγάλες διαφορές στη μορφή τους. Τις χρονικές στιγμές που έχουμε απότομα μέγιστα (peak) φαίνεται ότι κάποιες γεννήτριες μπαίνουν σε λειτουργία. Οι γεννήτριες αυτές για να ρυθμίσουν τις τάσεις του δικτύου παράγουν άεργη ισχύ αυξάνοντας τις άεργες απώλειες.

$$P_{losses} = \sum_{i=1}^{21} R_i \cdot I_i^2 \quad (5.1)$$

$$Q_{losses} = \sum_{i=1}^{21} X_i \cdot I_i^2 \quad (5.2)$$

όπου συνολικά υπάρχουν 21 γραμμές ή κλάδοι στο Σ.Η.Ε. Κρήτης και το i αντιπροσωπεύει τον αριθμό του κλάδου. Το R_i αντιπροσωπεύει την αντίσταση του κλάδου i , το X_i την επαγωγή του κλάδου i και το I_i την ένταση του κλάδου i .

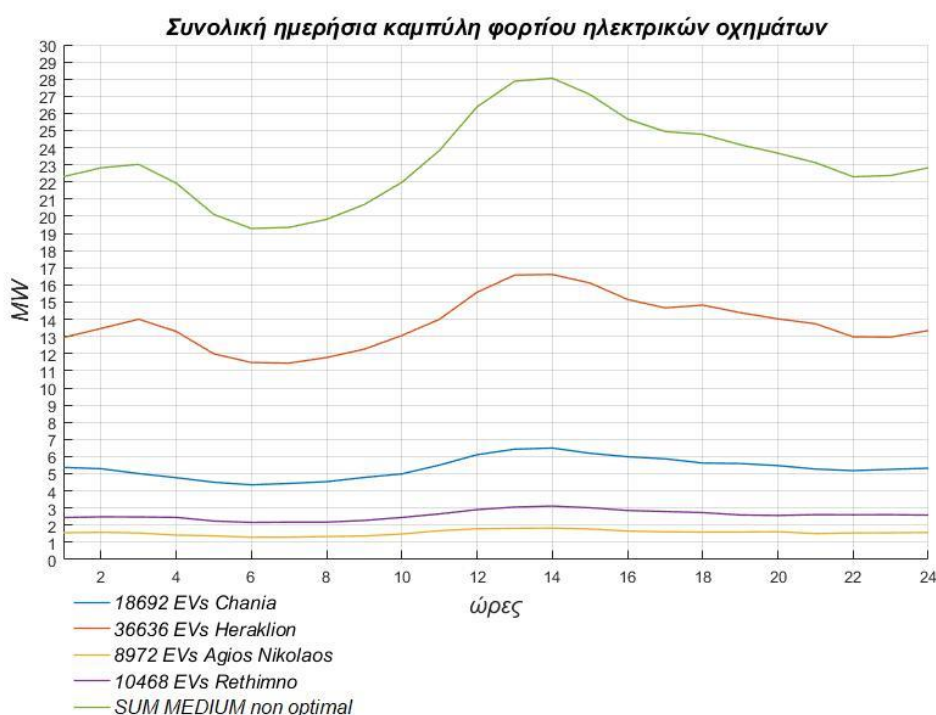
Επίσης, η επαγωγική αντίσταση X των γραμμών μεταφοράς είναι μεγαλύτερη από την ωμική αντίσταση R οπότε σύμφωνα με τους τύπους: Οι άεργες απώλειες είναι μεγαλύτερες από τις ενεργές στο σύστημα μεταφοράς, περίπου 2.6 φορές αφού οι γραμμές μεταφοράς είναι κυρίως επαγωγικά στοιχεία.

5.3.2 Προσομοιώσεις μέσης διείσδυσης Η.Ο. (Medium σενάριο)

5.3.2.1 Υλοποίηση στρατηγικής 1 (Μη ελεγχόμενη φόρτιση - Non Optimal)

Μέσο σενάριο διείσδυσης Η.Ο. (15% διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων)

Με τη χρήση αυτής της στρατηγικής φόρτισης τα οχήματα τροφοδοτούνται σταθερή ισχύ όταν συνδέονται στο σύστημα. Ενδεικτικά ακολουθούν οι καμπύλες ζήτησης φορτίου για κάθε πόλη της Κρήτης με στόλο 36,636 οχημάτων για Ηράκλειο, 18,692 οχημάτων για Χανιά, 10,468 οχημάτων για Ρέθυμνο, 8,972 οχημάτων για Άγιο Νικόλαο καθώς και τη συνολική ζήτηση φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων (Εικόνα 5.18):



Εικόνα 5. 18 Ημερήσια Καμπύλη Φορτίου Η.Ο. για κάθε πόλη και συνολικά για Μέσο σενάριο διείσδυσης Η.Ο. Μη ελεγχόμενης φόρτισης (Medium Non Optimal σενάριο).

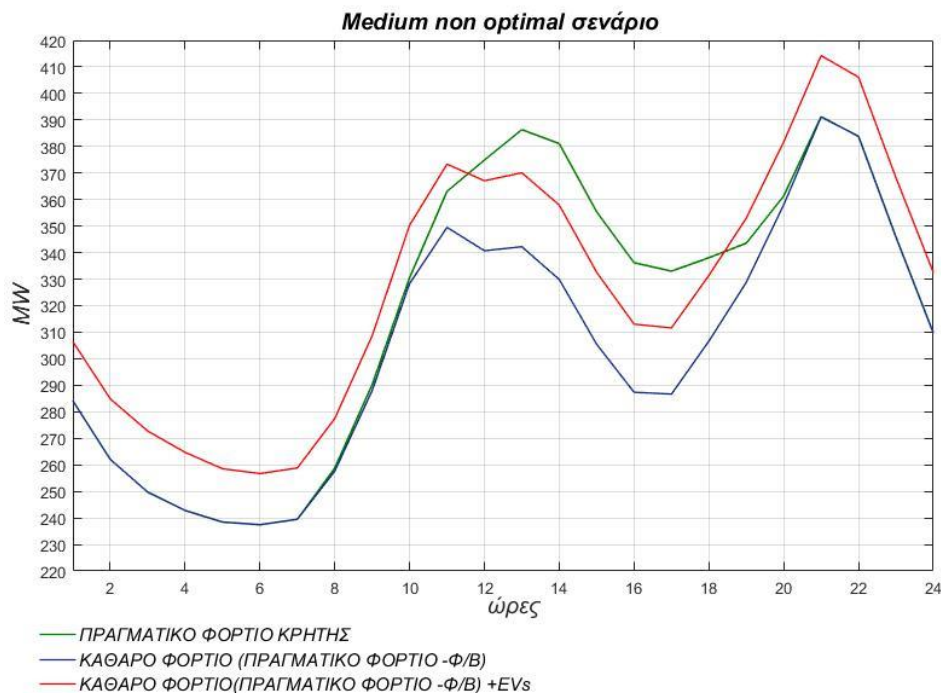
Παρατηρούμε ότι η αιχμή της καμπύλης συνολικού φορτίου ηλεκτρικών οχημάτων εμφανίζεται στις 14:00 το μεσημέρι και εκείνη τη στιγμή τα οχήματα ζητούν την περισσότερη ενέργεια από το σύστημα.

Νομός	Max(MW)	Min(MW)	Ενέργεια(MWh)
Ηρακλείου	16.6123	11.4451	330.646
Χανίων	6.4960	4.352	128.321
Ρεθύμνου	3.112	2.162	62.063
Λασιθίου	1.83	1.294	37.46
Συνολικά	28.051	19.291	558.491

Πίνακας 5. 6 Βασικοί Δείκτες Συμπερασμάτων από ημερήσιες καμπύλες φορτίου Η.Ο. για κάθε πόλη για Μέσο σενάριο διείσδυσης μη ελεγχόμενης φόρτισης (Medium Non Optimal σενάριο).

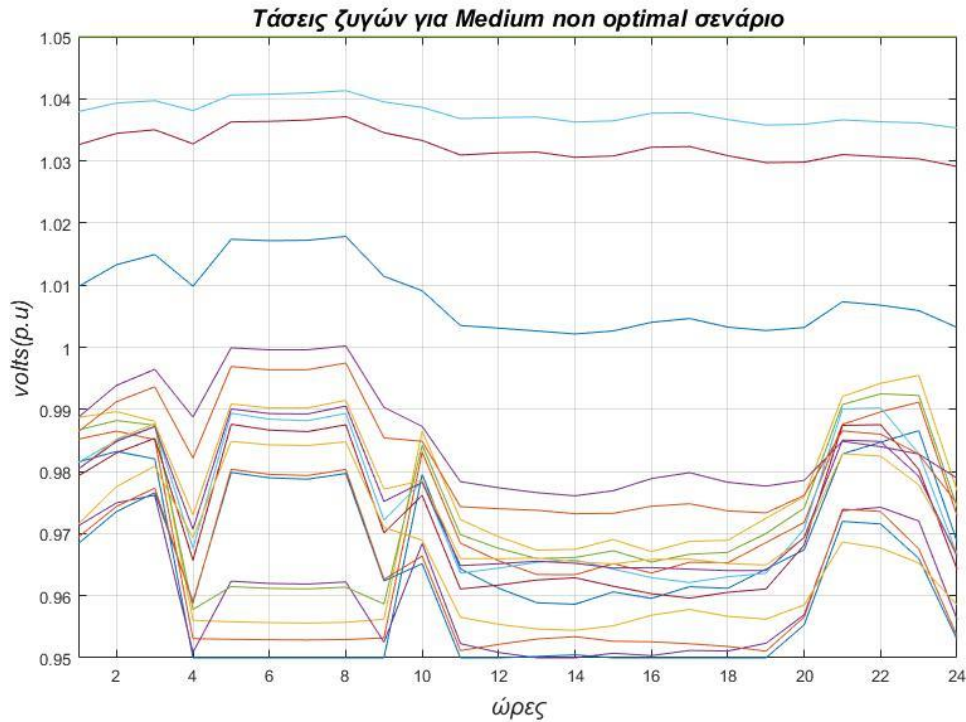
Αποδεικνύεται στον Πίνακα 5.6, υπολογίζοντας τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές των κατανομών από τα φορτία των ηλεκτρικών οχημάτων καθώς επίσης και την ενέργεια που καταναλώνουν τα ηλεκτρικά οχήματα, ότι και σε αυτό το σενάριο δεν έχει σημασία μόνο η κατανομή του πληθυσμού σε κάθε πόλη και άρα η αντίστοιχη κατανομή του αριθμού των οχημάτων αλλά και το μέγεθος της πόλης και τα χαρακτηριστικά της, κυρίως ως προς τις αποστάσεις που διανύουν τα οχήματα εντός πόλεως. Συγκεκριμένα, το Ηράκλειο έχει από 8.8 - 9 φορές μεγαλύτερη ζήτηση ενέργειας, μέγιστη και ελάχιστη τιμή από τον Άγιο Νικόλαο. (Πίνακας 5.6)

Ακολουθεί η καμπύλη καθαρού φορτίου με τη συμβολή των οχημάτων στην ημερήσια ζήτηση (Εικόνα 5.19)



Εικόνα 5. 19 Σύγκριση Καθαρών Φορτίων με ηλεκτρικά οχήματα και χωρίς για Μέσο σενάριο διείσδυσης Η.Ο. μη ελεγχόμενης φόρτισης (Medium Non Optimal σενάριο).

Παρατηρείται ότι τα μέγιστα του καθαρού φορτίου μαζί με τα ηλεκτρικά οχήματα συμπίπτουν με τις κορυφές της καμπύλης του καθαρού φορτίου οπότε η ζήτηση των οχημάτων επιβαρύνει το σύστημα.



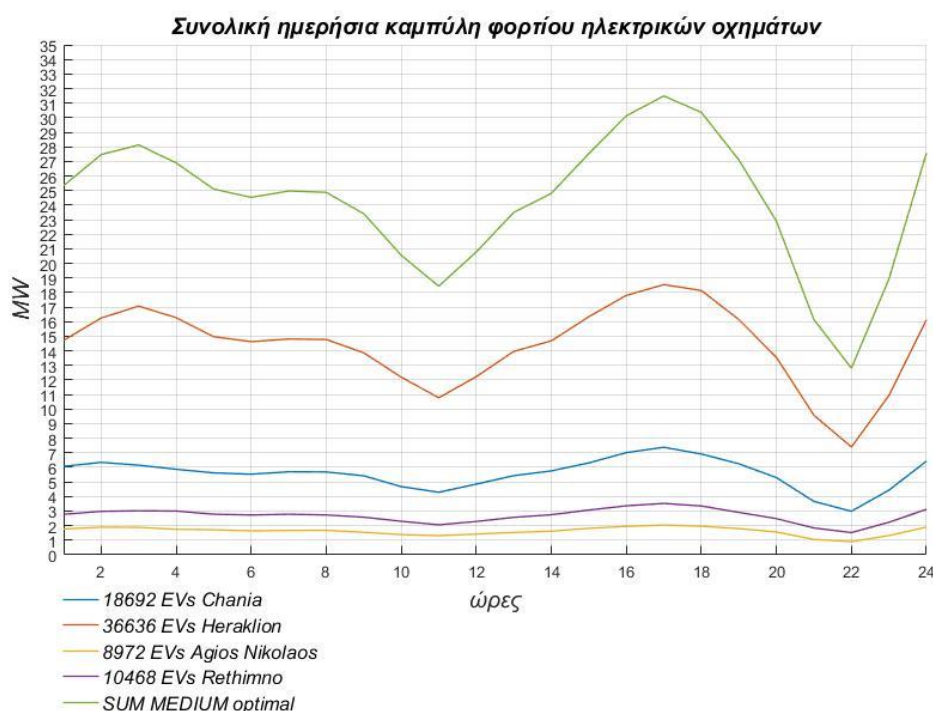
Εικόνα 5.20 Καμπύλες Τάσεων ζυγών στο Σ.Η.Ε. Κρήτης για Μέσο σενάριο διείσδυσης Η.Ο. μη ελεγχόμενης φόρτισης (Medium Non Optimal σενάριο) .

Στην Εικόνα 5.20 των τάσεων ανά ζυγό φαίνεται ότι με την αύξηση του φορτίου προκύπτει πτώση τάσης και με τη μείωση του φορτίου οι τάσεις αυξάνονται και προσπαθούν να σταθεροποιηθούν. Συνεπώς, οι τάσεις εξαρτώνται από το καθαρό φορτίο του συστήματος (πραγματικό -φωτοβολταϊκά -αιολικά +ηλεκτρικά οχήματα). Όταν οι γεννήτριες απενεργοποιούνται και ενεργοποιούνται ξανά, οι τάσεις μεταβάλλονται απότομα και το γεγονός αυτό δείχνει ότι οι καταστάσεις λειτουργίας των γεννητριών επηρεάζουν σημαντικά τα προφίλ των τάσεων. Ένα δείγμα τέτοιας μεταβολής με απότομη πτώση και έπειτα αύξηση είναι στις 10:00 π.μ. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τάσεις διατηρούνται εντός ορίων σύμφωνα με τον περιορισμό $0.95 \text{ p.u.} \leq V(t) \leq 1.05 \text{ p.u.}$ και σε αυτό το σενάριο.

5.3.2.2 Υλοποίηση στρατηγικής 2 (Ελεγχόμενη φόρτιση - Optimal)

Μέσο σενάριο διείσδυσης Η.Ο. (15% διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων)

Με τη χρήση αυτής της στρατηγικής φόρτισης τα οχήματα τροφοδοτούνται με αυξημένη ενέργεια τις ώρες που η καμπύλη φορτίου είναι χαμηλή ενώ αποφεύγουν τη φόρτιση τις ώρες που η καμπύλη βρίσκεται σε αιχμή. Ενδεικτικά ακολουθούν οι καμπύλες ζήτησης φορτίου για κάθε πόλη της Κρήτης καθώς και η συνολική ζήτηση φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων (Εικόνα 5.21):



Εικόνα 5.21 Ημερήσια Καμπύλη Φορτίου Η.Ο. για κάθε πόλη και συνολικά για Μέσο σενάριο διείσδυσης Η.Ο. ελεγχόμενης φόρτισης (Medium Optimal σενάριο).

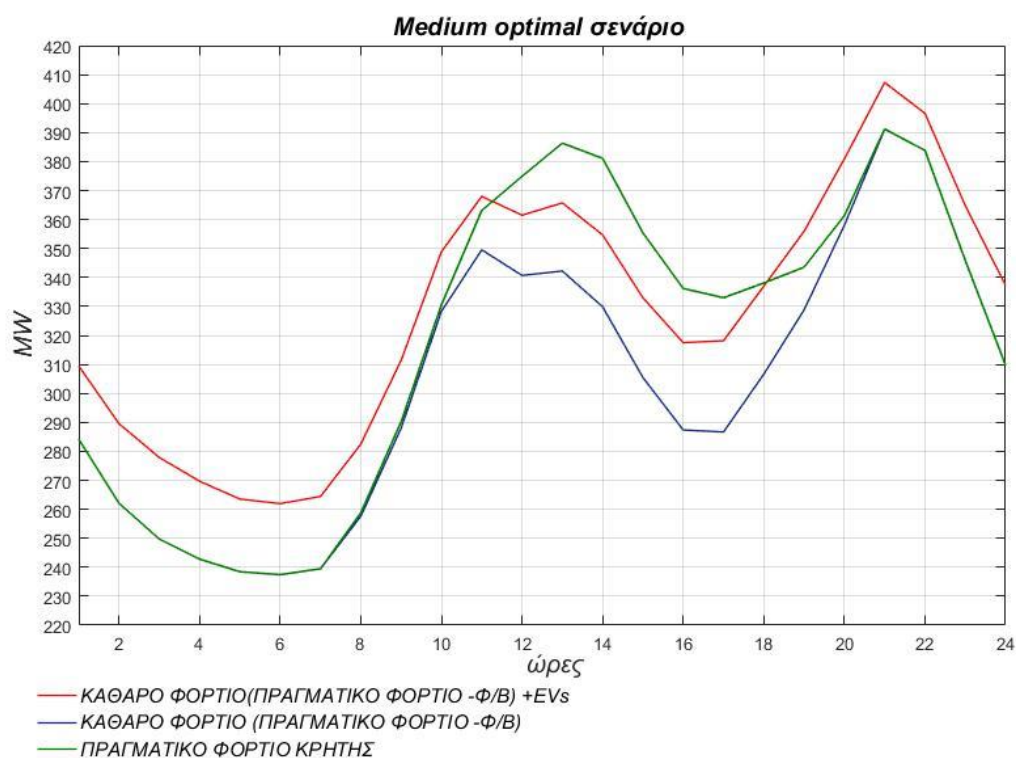
Παρατηρούμε ότι η αιχμή της καμπύλης συνολικού φορτίου εμφανίζεται 16:00-18:00 το απόγευμα καθώς τότε το συνολικό φορτίο της Κρήτης έχει μικρότερη τιμή οπότε τα ηλεκτρικά οχήματα φορτίζουν και σε συνδυασμό με την αξιοποίηση της παραγωγής Φ/Β όπου η καμπύλη τους συμπίπτει με την καμπύλη της ζήτησης οχημάτων. Επίσης, φαίνεται ότι τις πρωινές ώρες 8:00-14:00 όπως και τις απογευματινές ώρες 20:00- 23:00 η ζήτηση οχημάτων πέφτει καθώς τότε το συνολικό καθαρό φορτίο είναι αυξημένο.

Νομός	Max(MW)	Min(MW)	Ενέργεια(MWh)
Ηρακλείου	18.5433	7.3952	345.778
Χανίων	7.379	2.987	134.084
Ρεθύμνου	3.5268	1.524	64.79
Λασιθίου	2.04	0.904	39.151
Συνολικά	31.489	12.811	583.804

Πίνακας 5.7 Βασικοί Δείκτες Συμπερασμάτων από ημερήσιες καμπύλες φορτίου Η.Ο. για κάθε πόλη για Μέσο σενάριο διείσδυσης Η.Ο. ελεγχόμενης φόρτισης. (Medium Optimal σενάριο).

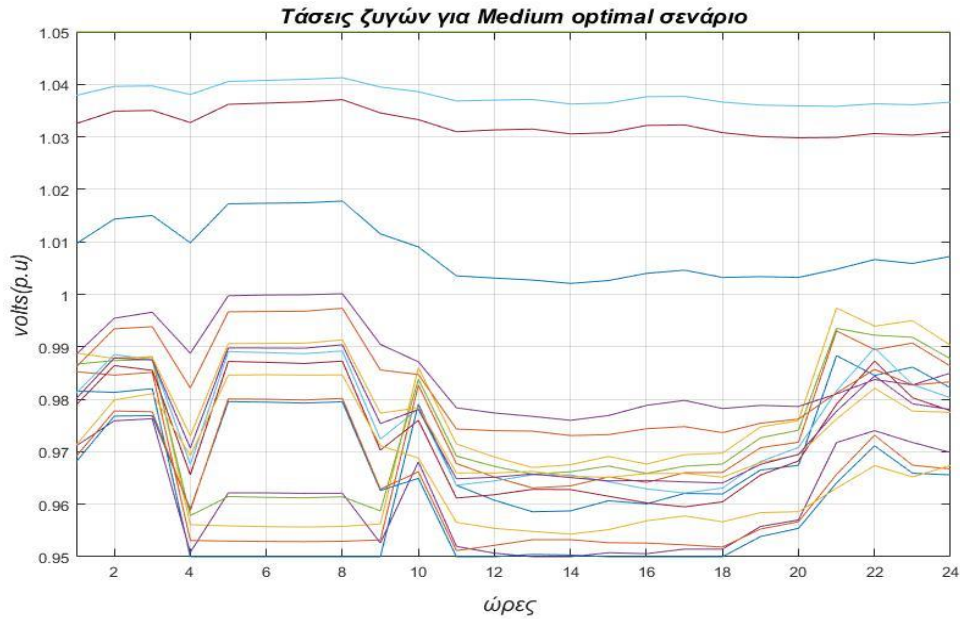
Παρατηρείται στον Πίνακα 5.7 ότι η μέγιστη τιμή του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων είναι μεγαλύτερη από το αντίστοιχο μέσο σενάριο διείσδυσης Η.Ο. μη ελεγχόμενης φόρτισης (Non Optimal Medium). Επίσης, αποδεικνύεται υπολογίζοντας τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές των φορτίων των ηλεκτρικών οχημάτων καθώς επίσης και την ενέργεια που καταναλώνουν τα ηλεκτρικά οχήματα, ότι και σε αυτό το σενάριο δεν έχει σημασία μόνο η κατανομή του πληθυσμού σε κάθε πόλη και άρα η αντίστοιχη κατανομή του αριθμού των οχημάτων αλλά και το μέγεθος της πόλης και τα χαρακτηριστικά της, κυρίως ως προς τις αποστάσεις που διανύουν τα οχήματα εντός πόλεως. Συγκεκριμένα, το Ηράκλειο έχει από 8.1 - 9 φορές μεγαλύτερη ζήτηση ενέργειας ως προς τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή από τον Άγιο Νικόλαο, αντίστοιχα. (Πίνακας 5.7)

Ακολουθεί η τελική καμπύλη φορτίου με τη συμβολή των οχημάτων στην ημερήσια ζήτηση (Εικόνα 5.22)



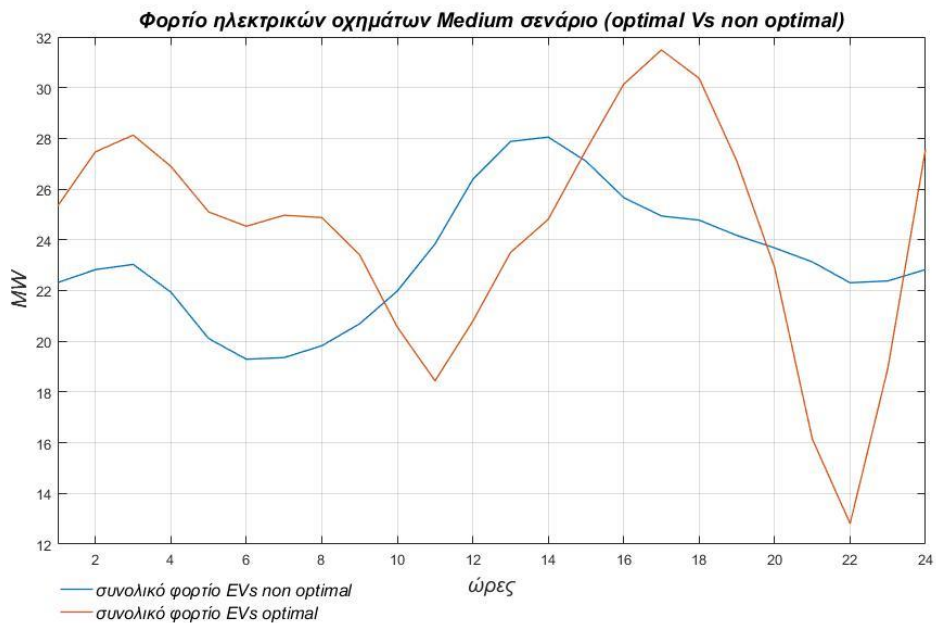
Εικόνα 5.22 Σύγκριση Καθαρών Φορτίων με ηλεκτρικά οχήματα και χωρίς για Μέσο σενάριο διείσδυσης Η.Ο. ελεγχόμενης φόρτισης (Medium Optimal σενάριο).

Παρατηρούμε ότι το ολικό φορτίο με τα ηλεκτρικά οχήματα πλησιάζει περισσότερο το ολικό καθαρό φορτίο σε σχέση με τη μη ελεγχόμενη (Non Optimal) φόρτιση. Οπότε κατά τις ώρες αιχμής του καθαρού φορτίου, το φορτίο με τα ηλεκτρικά οχήματα μειώνεται, ενώ τις ώρες με χαμηλή ζήτηση του καθαρού φορτίου, το φορτίο με ηλεκτρικά οχήματα αυξάνεται με σκοπό να βοηθήσει το σύστημα και να αποφύγει την υπερφόρτιση.



Εικόνα 5.23 Καμπύλες Τάσεων ζυγών στο Σ.Η.Ε. Κρήτης για Μέσο σενάριο διείσδυσης Η.Ο. Ελεγχόμενης φόρτισης (Medium Optimal σενάριο).

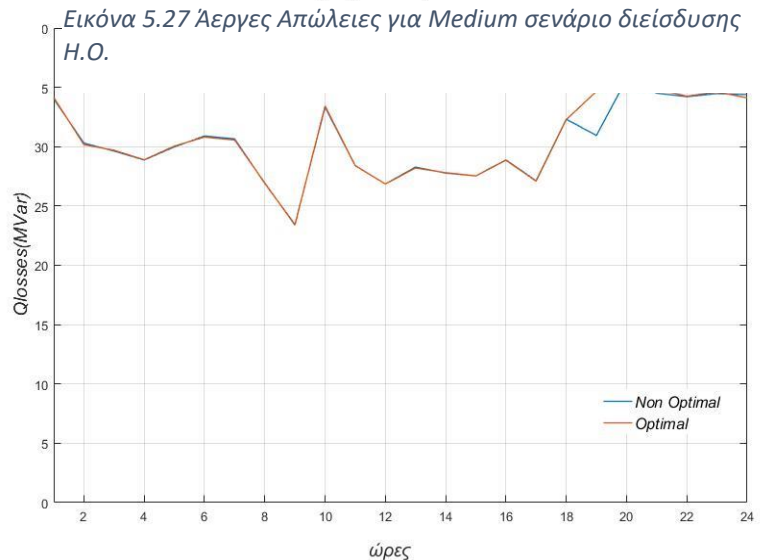
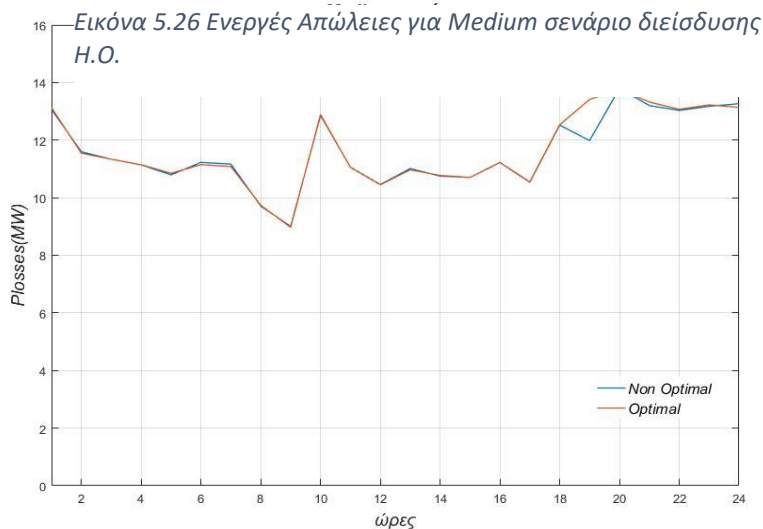
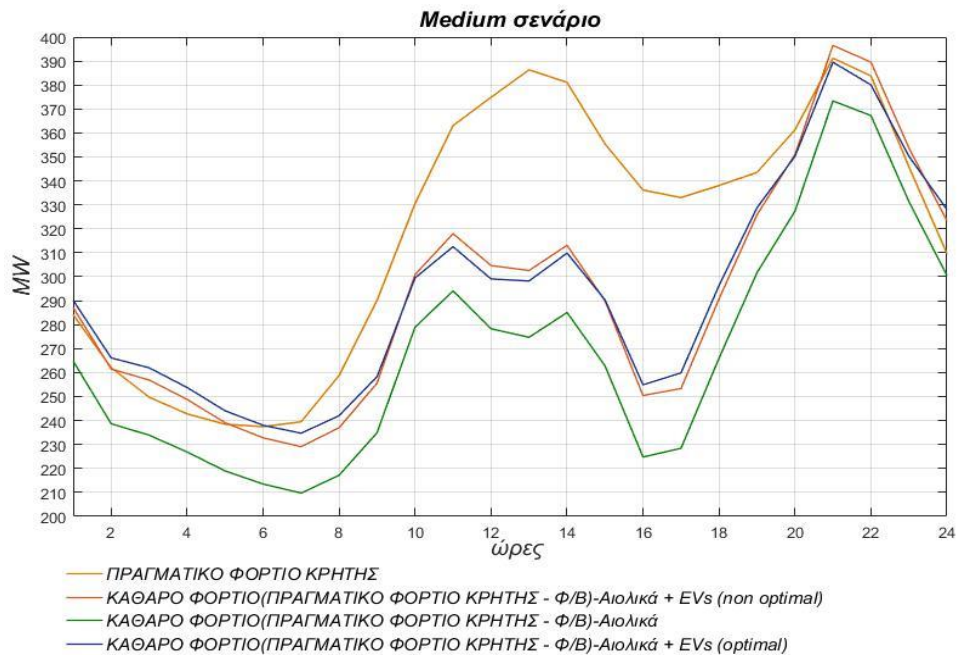
Στην Εικόνα 5.23 των τάσεων ανά ζυγό φαίνεται ότι με την αύξηση του φορτίου προκύπτει πτώση τάσης και με τη μείωση του φορτίου οι τάσεις αυξάνονται και προσπαθούν να σταθεροποιηθούν. Συνεπώς, οι τάσεις εξαρτώνται από το καθαρό φορτίο του συστήματος (πραγματικό -φωτοβολταϊκά -αιολικά +ηλεκτρικά οχήματα). Όταν οι γεννήτριες απενεργοποιούνται και ενεργοποιούνται ξανά, οι τάσεις μεταβάλλονται απότομα και το γεγονός αυτό δείχνει ότι οι καταστάσεις λειτουργίας των γεννητριών επηρεάζουν σημαντικά τα προφίλ των τάσεων. Ένα δείγμα τέτοιας μεταβολής με απότομη πτώση και έπειτα αύξηση είναι στις 10:00 π.μ. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τάσεις διατηρούνται εντός ορίων σύμφωνα με τον περιορισμό $0.95 \text{ p.u.} \leq V(t) \leq 1.05 \text{ p.u.}$



Εικόνα 5.24 Σύγκριση φορτίων ηλεκτρικών οχημάτων για optimal και non optimal φόρτιση για Medium σενάριο.

Παρατηρούμε ότι η optimal εκδοχή προσπαθεί να βοηθήσει το φορτίο της Κρήτης και στα χρονικά διαστήματα όπου έχουμε αύξηση καθαρού φορτίου 10:00- 14:00 και 20:00- 23:00, το φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων έχει μείωση και αντίστροφα όταν το καθαρό φορτίο έχει μείωση 24:00-10:00 και 15:00- 18:00, το φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων έχει αύξηση, κάνοντας αντιστάθμιση.

Εικόνα 5.25 Σύγκριση Καθαρών Φορτίων με ηλεκτρικά οχήματα και χωρίς για Medium σενάριο διείσδυσης Η.Ο.



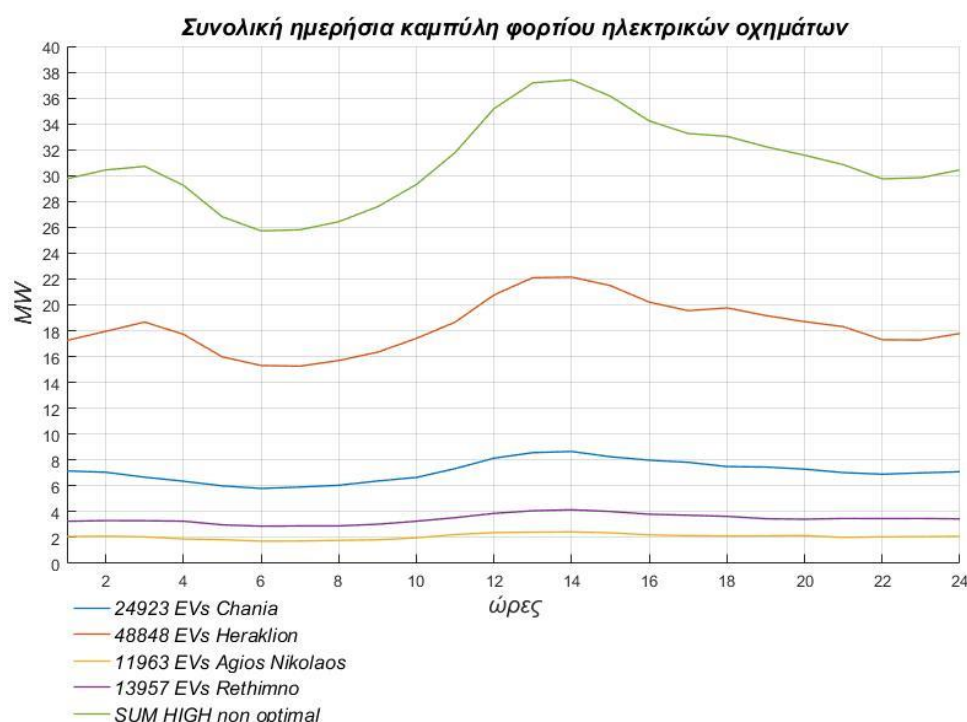
Το medium σενάριο έχει επίσης άεργες απώλειες μεγαλύτερες από τις ενεργές στο σύστημα μεταφοράς, περίπου 2.6 φορές, αφού οι γραμμές μεταφοράς είναι κυρίως επαγωγικά στοιχεία (Εικόνα 5.26 Εικόνα 5.27).

5.3.3 Προσομοιώσεις υψηλής διείσδυσης Η.Ο. (HIGH σενάριο)

5.3.3.1 Υλοποίηση στρατηγικής 1 (Μη ελεγχόμενη φόρτιση - Non Optimal)

HIGH σενάριο (20% διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων)

Με τη χρήση αυτής της στρατηγικής φόρτισης τα οχήματα τροφοδοτούνται με ενέργεια όποτε συνδέονται στο σύστημα. Ενδεικτικά ακολουθούν οι καμπύλες ζήτησης φορτίου για κάθε πόλη της Κρήτης με στόλο 48,848 οχημάτων για Ηράκλειο, 24,923 οχημάτων για Χανιά, 13,957 οχημάτων για Ρέθυμνο, 11,963 οχημάτων για Άγιο Νικόλαο καθώς και τη συνολική ζήτηση φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων (Εικόνα 5.28):



Εικόνα 5. 28 Ημερήσια Καμπύλη Φορτίου Η.Ο. για κάθε πόλη και συνολικά για High Non Optimal σενάριο.

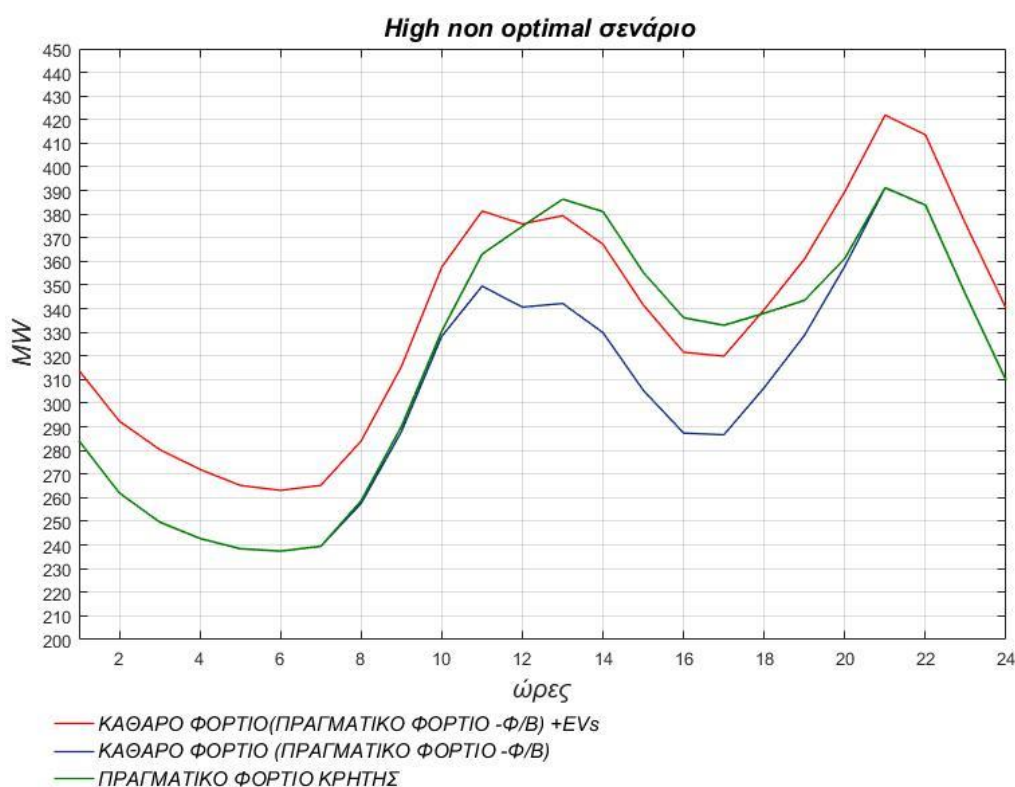
Παρατηρούμε ότι η αιχμή της καμπύλης συνολικού φορτίου ηλεκτρικών οχημάτων εμφανίζεται 11:00-16:00 το μεσημέρι και εκείνη τη στιγμή τα οχήματα ζητούν την περισσότερη ενέργεια από το σύστημα.

Νομός	Max(MW)	Min(MW)	Ενέργεια(MWh)
Ηρακλείου	22.149	15.26	440.862
Χανίων	8.661	5.803	171.097
Ρεθύμνου	4.15	2.883	82.749
Λασιθίου	2.44	1.725	49.948
Συνολικά	37.401	25.721	744.657

Πίνακας 5. 8 Βασικοί Δείκτες Συμπερασμάτων από ημερήσιες καμπύλες φορτίου Η.Ο. για κάθε πόλη για High Non Optimal σενάριο.

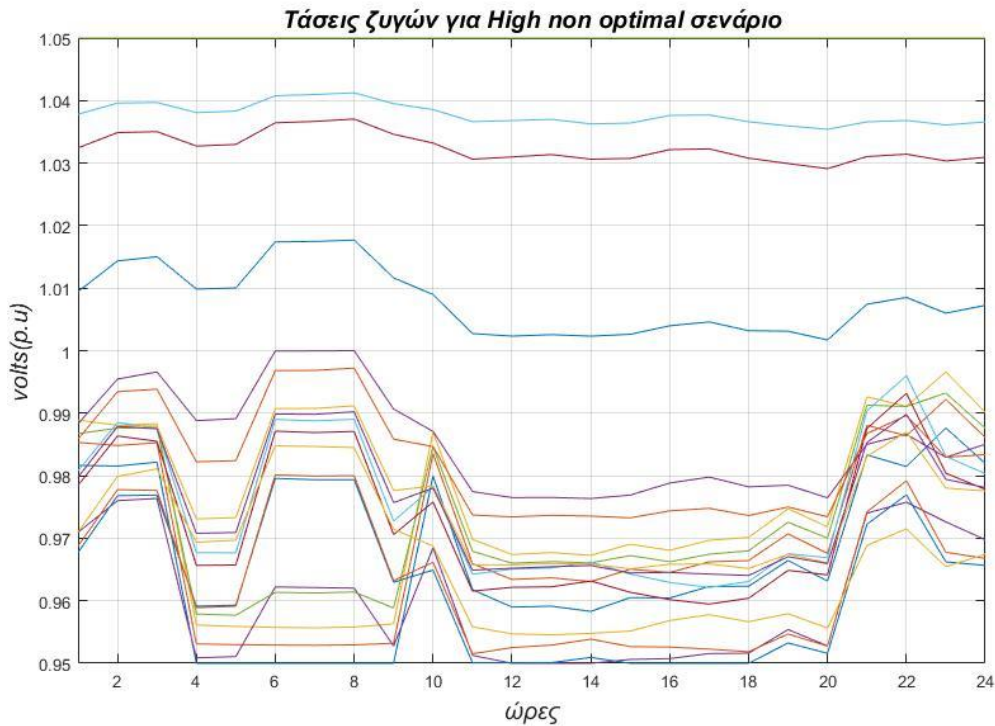
Αποδεικνύεται στον Πίνακα 5.8, υπολογίζοντας τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές των φορτίων των ηλεκτρικών οχημάτων καθώς επίσης και την ενέργεια που καταναλώνουν τα ηλεκτρικά οχήματα, ότι και σε αυτό το σενάριο δεν έχει σημασία μόνο η κατανομή του πληθυσμού σε κάθε πόλη και άρα η αντίστοιχη κατανομή του αριθμού των οχημάτων αλλά και το μέγεθος της πόλης και τα χαρακτηριστικά της, κυρίως ως προς τις αποστάσεις που διανύουν τα οχήματα εντός πόλεως. Συγκεκριμένα, το Ηράκλειο έχει από 8.8 - 9 φορές μεγαλύτερη ζήτηση ενέργειας ως προς τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή από τον Άγιο Νικόλαο, αντίστοιχα. (Πίνακας 5.8)

Ακολουθεί η καμπύλη καθαρού φορτίου με τη συμβολή των οχημάτων στην ημερήσια ζήτηση (Εικόνα 5.29)



Εικόνα 5. 29 Σύγκριση Καθαρών Φορτίων με ηλεκτρικά οχήματα και χωρίς για High Non Optimal σενάριο.

Παρατηρείται ότι τα μέγιστα του καθαρού φορτίου μαζί με τα ηλεκτρικά οχήματα συμπίπτουν με τις κορυφές της καμπύλης του καθαρού φορτίου οπότε η ζήτηση των οχημάτων επιβαρύνει το σύστημα.



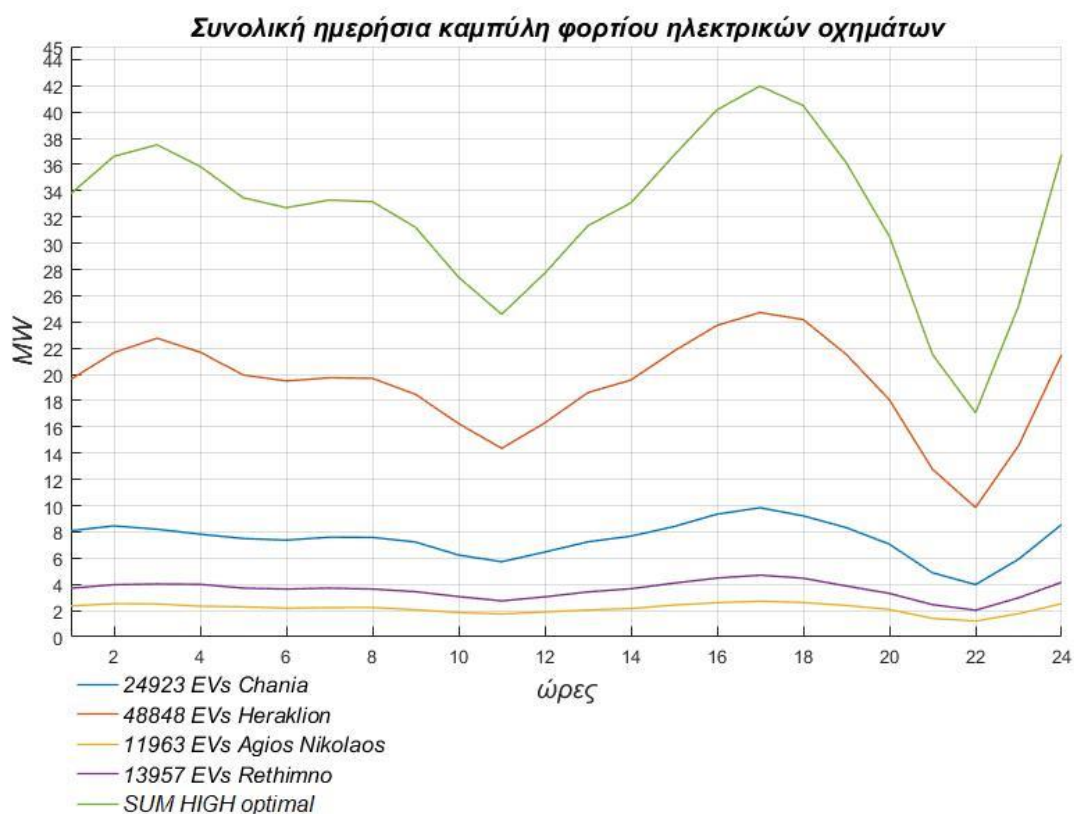
Εικόνα 5.30 Καμπύλες Τάσεων ζυγών στο Σ.Η.Ε. Κρήτης για High Non Optimal σενάριο.

Στην Εικόνα 5.30 των τάσεων ανά ζυγό φαίνεται ότι με την αύξηση του φορτίου προκύπτει πτώση τάσης και με τη μείωση του φορτίου οι τάσεις αυξάνονται και προσπαθούν να σταθεροποιηθούν. Συνεπώς, οι τάσεις εξαρτώνται από το καθαρό φορτίο του συστήματος (πραγματικά -φωτοβολταϊκά -αιολικά +ηλεκτρικά οχήματα). Όταν οι γεννήτριες απενεργοποιούνται και ενεργοποιούνται ξανά, οι τάσεις μεταβάλλονται απότομα και το γεγονός αυτό δείχνει ότι οι καταστάσεις λειτουργίας των γεννητριών επηρεάζουν σημαντικά τα προφίλ των τάσεων. Ένα δείγμα τέτοιας μεταβολής με απότομη πτώση και έπειτα αύξηση είναι στις 10:00 π.μ. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τάσεις διατηρούνται εντός ορίων σύμφωνα με τον περιορισμό $0.95 \text{ p.u.} \leq V(t) \leq 1.05 \text{ p.u.}$

5.3.3.2 Υλοποίηση στρατηγικής 2 (Ελεγχόμενη φόρτιση - Optimal)

Υψηλό σενάριο διείσδυσης Η.Ο. (20% διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων)

Με τη χρήση αυτής της στρατηγικής φόρτισης τα οχήματα τροφοδοτούνται με περισσότερη ενέργεια τις ώρες που η καμπύλη φορτίου είναι χαμηλή ενώ αποφεύγουν τη φόρτιση τις ώρες που η καμπύλη βρίσκεται σε αιχμή. Ενδεικτικά ακολουθούν οι καμπύλες ζήτησης φορτίου για κάθε πόλη της Κρήτης καθώς και η συνολική ζήτηση φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων (Εικόνα 5.31):



Εικόνα 5. 31 Ημερήσια Καμπύλη Φορτίου Η.Ο. για κάθε πόλη και συνολικά για High Optimal σενάριο.

Παρατηρούμε ότι η αιχμή της καμπύλης συνολικού φορτίου εμφανίζεται 16:00-18:00 το απόγευμα καθώς τότε το συνολικό φορτίο της Κρήτης έχει μικρότερη τιμή οπότε τα ηλεκτρικά οχήματα φορτίζουν και σε συνδυασμό με την αξιοποίηση της παραγωγής Φ/Β όπου η καμπύλη τους συμπίπτει με την καμπύλη της ζήτησης οχημάτων. Επίσης, φαίνεται ότι τις πρωινές ώρες 8:00-14:00 όπως και τις απογευματινές ώρες 20:00- 23:00 η ζήτηση οχημάτων πέφτει καθώς τότε το συνολικό φορτίο βρίσκεται σε αιχμή.

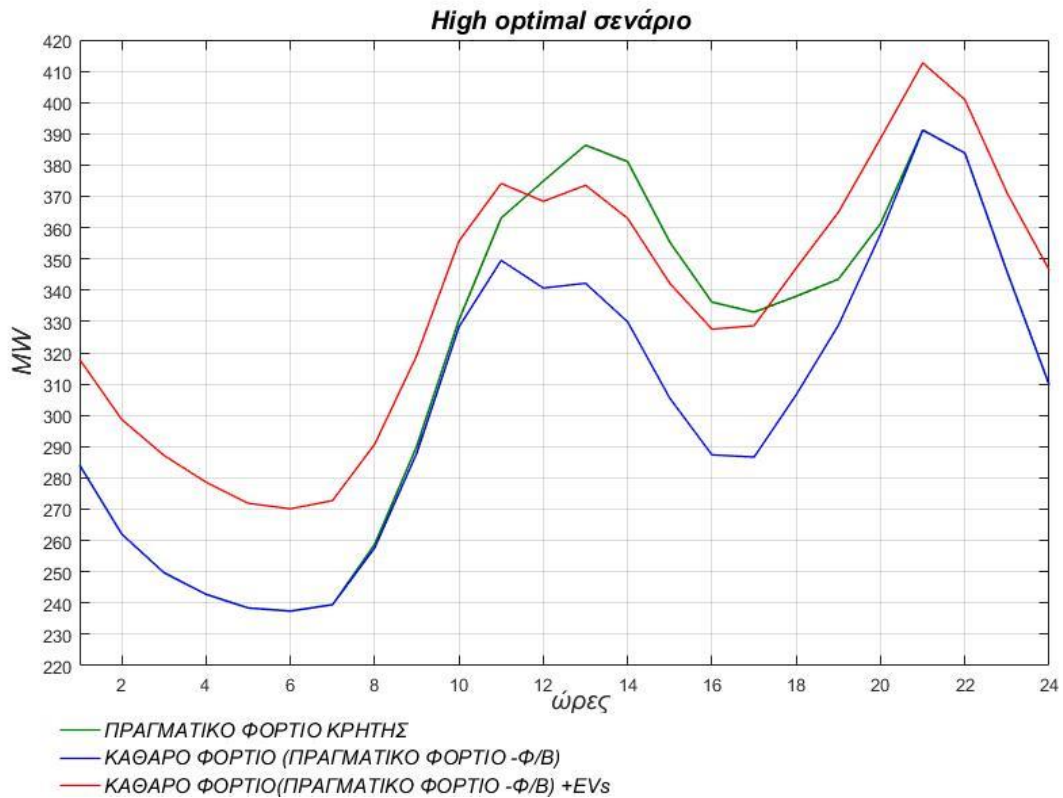
Νομός	Max(MW)	Min(MW)	Ενέργεια(MWh)
Ηρακλείου	24.724	9.86	461.037
Χανίων	9.838	3.983	178.781
Ρεθύμνου	4.702	2.032	86.385
Λασιθίου	2.72	1.206	52.203
Συνολικά	41.986	17.082	778.408

Πίνακας 5. 9 Βασικοί Δείκτες Συμπερασμάτων από ημερήσιες καμπύλες φορτίου Η.Ο. για κάθε πόλη για High Optimal σενάριο.

Παρατηρείται στον Πίνακα 5.9 ότι η ενέργεια και η μέγιστη τιμή του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων είναι μεγαλύτερη από το αντίστοιχο «non optimal High» σενάριο. Επίσης, αποδεικνύεται υπολογίζοντας τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές των φορτίων των ηλεκτρικών οχημάτων καθώς επίσης και την ενέργεια που καταναλώνουν τα ηλεκτρικά οχήματα, ότι και σε αυτό το σενάριο δεν έχει σημασία μόνο η κατανομή του πληθυσμού σε κάθε πόλη και άρα η αντίστοιχη κατανομή του αριθμού των οχημάτων αλλά και το μέγεθος της πόλης και τα χαρακτηριστικά της, κυρίως ως προς τις αποστάσεις που διανύουν τα οχήματα εντός πόλεως. Συγκεκριμένα, το Ηράκλειο έχει από 8.1 - 9 φορές μεγαλύτερη ζήτηση ενέργειας ως προς τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή από τον Άγιο Νικόλαο,

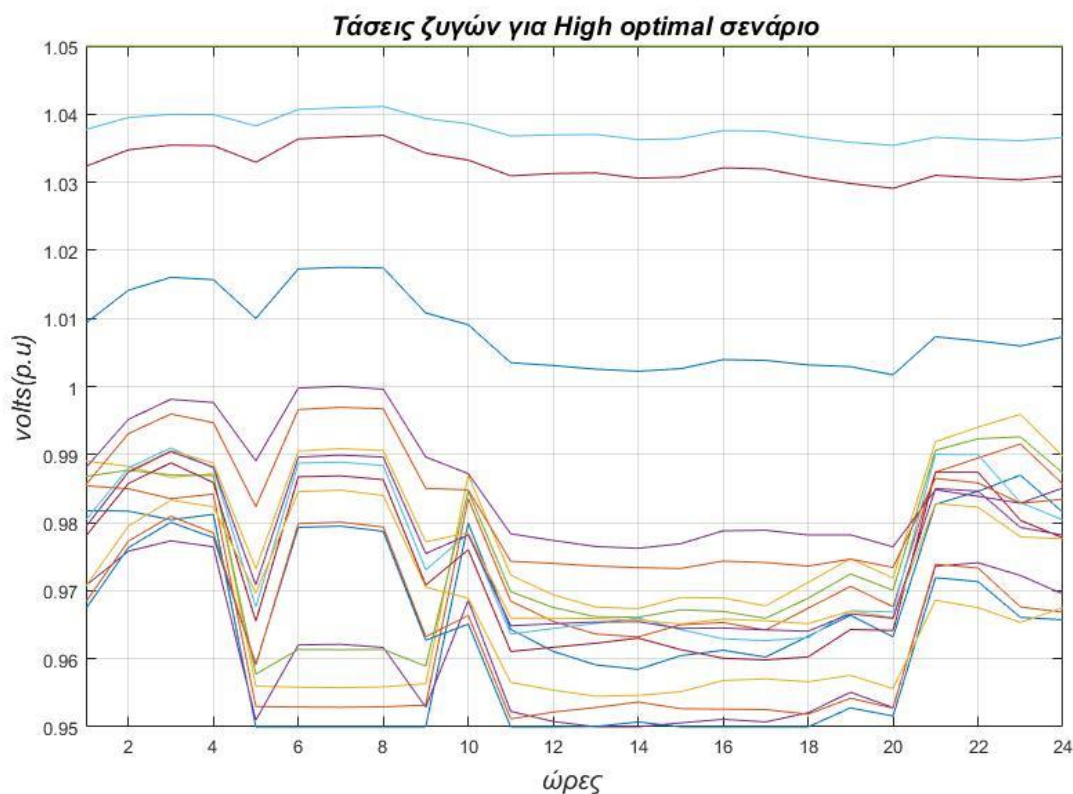
αντίστοιχα (Πίνακας 5.9). Επιπλέον, όσο αυξάνεται ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα, η ενέργεια που ζητείται από το δίκτυο και η μέγιστη τιμή του φορτίου των ηλεκτρικών οχημάτων αυξάνονται αντίστοιχα.

Ακολουθεί η τελική καμπύλη φορτίου με τη συμβολή των οχημάτων στην ημερήσια ζήτηση (Εικόνα 5.32)



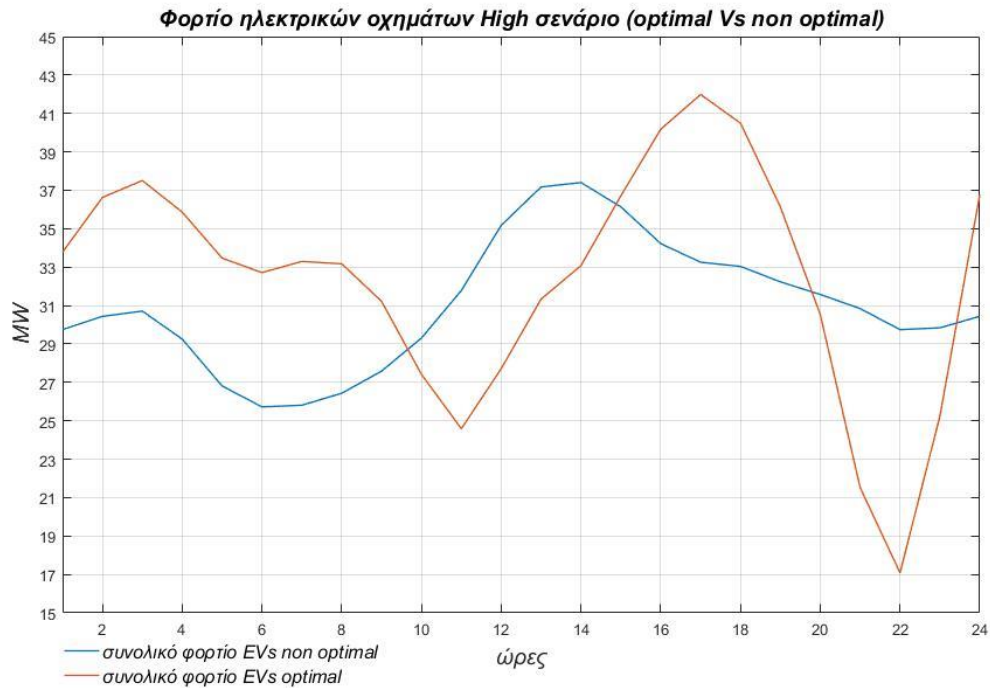
Εικόνα 5. 32 Σύγκριση Καθαρών Φορτίων με ηλεκτρικά οχήματα και χωρίς για High Optimal σενάριο.

Παρατηρούμε ότι το ολικό φορτίο με τα ηλεκτρικά οχήματα ακολουθεί περισσότερο το ολικό καθαρό φορτίο σε σχέση με τη μη βέλτιστη εκδοχή. Οπότε κατά τις ώρες αιχμής του καθαρού φορτίου, το φορτίο με τα ηλεκτρικά οχήματα μειώνεται, ενώ τις ώρες με χαμηλή ζήτηση του καθαρού φορτίου, το φορτίο με τη συνεισφορά των ΗΟ αυξάνεται με σκοπό να βοηθήσει το σύστημα.



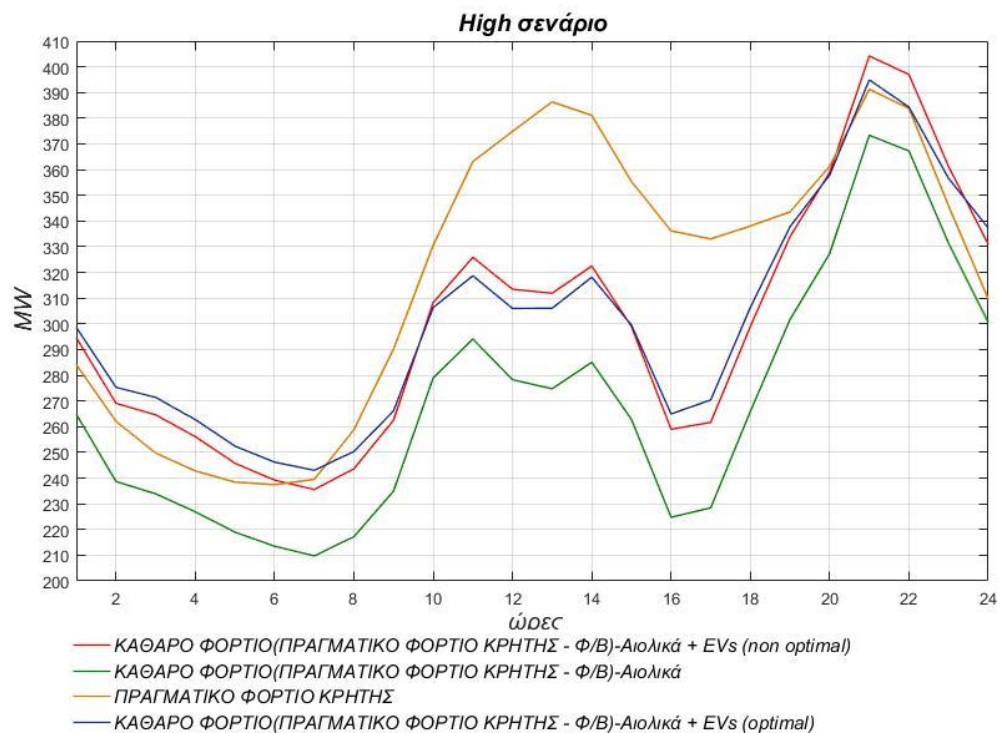
Εικόνα 5.33 Καμπύλες Τάσεων ζυγών στο Σ.Η.Ε. Κρήτης για High Optimal σενάριο.

Στην Εικόνα 5.33 των τάσεων ανά ζυγό φαίνεται ότι με την αύξηση του φορτίου προκύπτει πτώση τάσης και με τη μείωση του φορτίου οι τάσεις αυξάνονται και προσπαθούν να σταθεροποιηθούν. Συνεπώς, οι τάσεις εξαρτώνται από το καθαρό φορτίο του συστήματος (πραγματικό -φωτοβολταϊκά -αιολικά +ηλεκτρικά οχήματα). Όταν οι γεννήτριες απενεργοποιούνται και ενεργοποιούνται ξανά, οι τάσεις μεταβάλλονται απότομα και το γεγονός αυτό δείχνει ότι οι καταστάσεις λειτουργίας των γεννητριών επηρεάζουν σημαντικά τα προφίλ των τάσεων. Ένα δείγμα τέτοιας μεταβολής με απότομη πτώση και έπειτα αύξηση είναι στις 10:00 π.μ. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τάσεις διατηρούνται εντός ορίων σύμφωνα με τον περιορισμό $0.95 \text{ p.u.} \leq V(t) \leq 1.05 \text{ p.u.}$



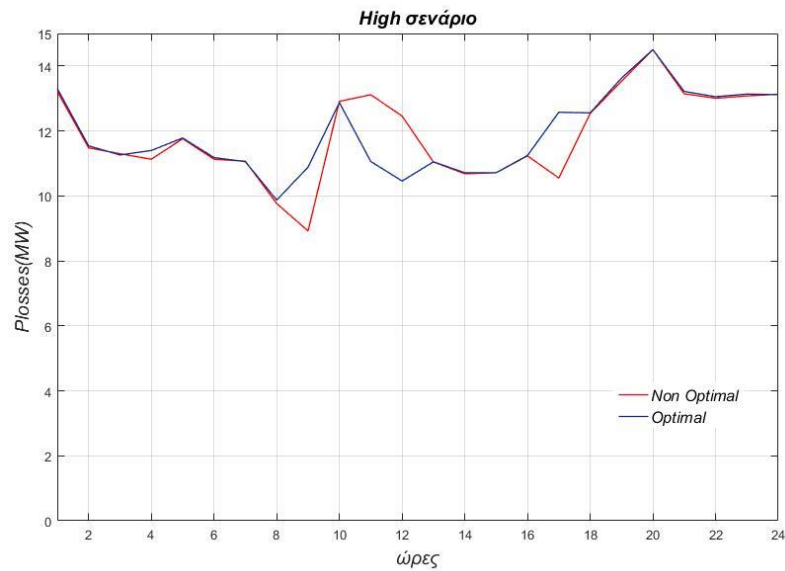
Εικόνα 5. 34 Σύγκριση φορτίων ηλεκτρικών οχημάτων για optimal και non optimal High σενάριο.

Παρατηρούμε ότι η εκδοχή βέλτιστης φόρτισης προσπαθεί να βοηθήσει το φορτίο της Κρήτης και στα χρονικά διαστήματα όπου έχουμε αύξηση καθαρού φορτίου δηλαδή 10:00- 14:00 και 20:00- 23:00, το φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων έχει μείωση και αντίστροφα όταν το καθαρό φορτίο έχει μείωση δηλαδή 24:00-10:00 και 15:00- 18:00, το φορτίο των ηλεκτρικών οχημάτων έχει αύξηση, κάνοντας αντιστάθμιση.

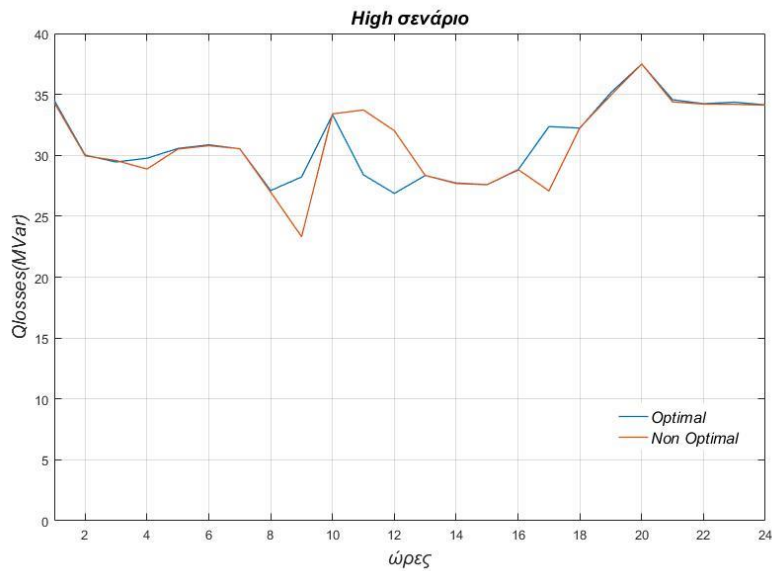


Εικόνα 5. 35 Σύγκριση Καθαρών Φορτίων με ηλεκτρικά οχήματα και χωρίς για High σενάριο.

Όσο αυξάνεται η διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων βλέπουμε ότι βοηθάνε περισσότερο το σύστημα δηλαδή γεμίζουν τις κοιλάδες (valley filling) αυξάνοντας το φορτίο, ενώ στις κορυφές βοηθούν στο περιορισμό τους.



Εικόνα 5.36 Ενεργές Απώλειες για High σενάριο διείσδυσης Η.Ο.



Εικόνα 5.37 Άεργες Απώλειες για High σενάριο διείσδυσης Η.Ο.

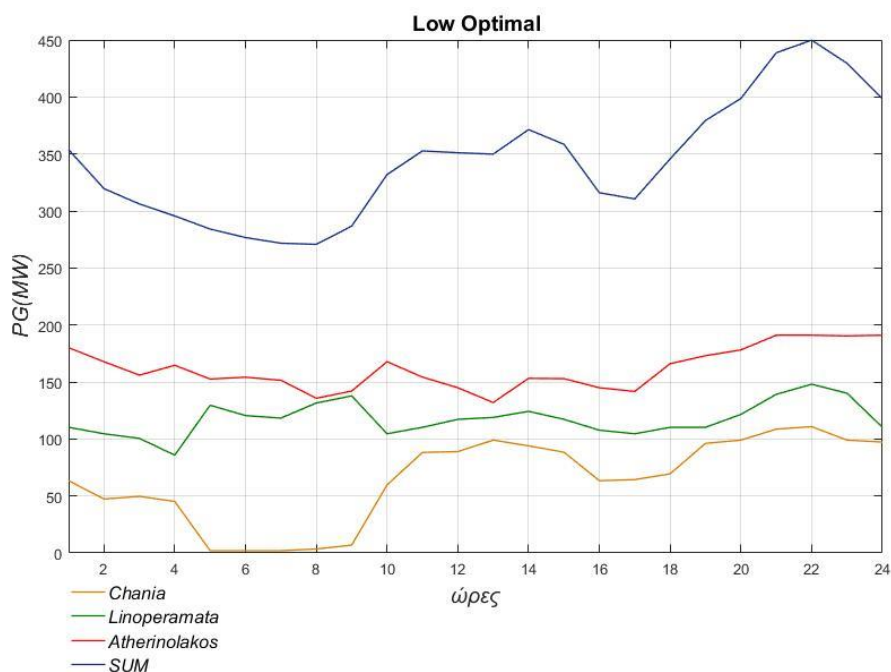
Όπως και στα προηγούμενα και το σενάριο υψηλής διείσδυσης έχει επίσης άεργες απώλειες μεγαλύτερες από τις ενεργές στο σύστημα μεταφοράς, περίπου 2.6 φορές αφού οι γραμμές μεταφοράς είναι κυρίως επαγωγικά στοιχεία (Εικόνα 5.36 Εικόνα 5.37).

	System of Crete	Low non optimal	Low optimal	Medium non optimal	Medium optimal	High non optimal	High optimal
Σύνολο Απωλειών Ενεργού Ισχύος P (MW)	232.8776	277.0748	276.51	278.5932	280.01	285.3952	286.1641
Σύνολο Απωλειών Άεργου Ισχύος Q (MVar)	629.3055	729.6054	726.5021	729.4432	733.3061	745.1055	746.5782

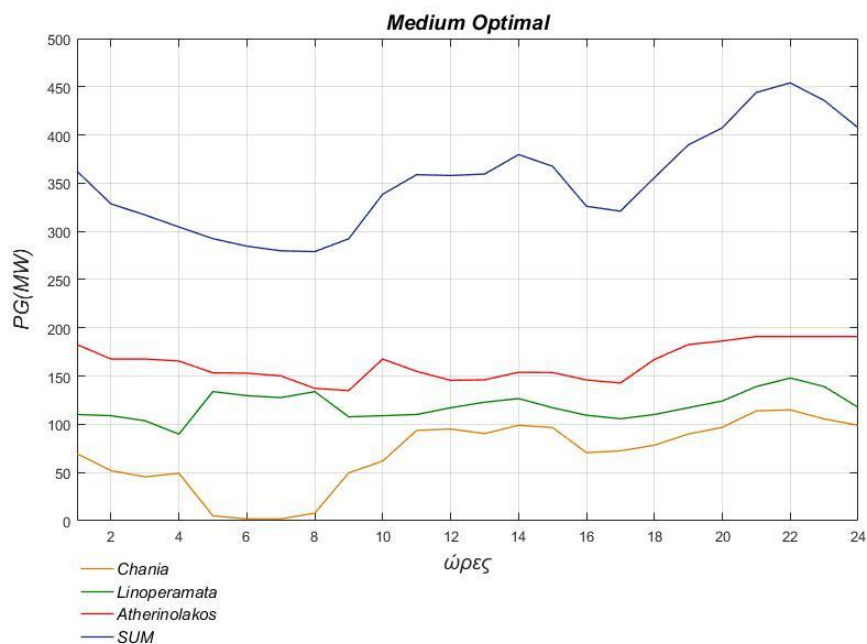
Πίνακας 5.10 Συνολικές Ενεργές και Άεργες Απώλειες για τα σενάρια διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων.

Παρακάτω φαίνονται ενδεικτικά οι ενεργές και άεργες παραγωγές των γεννητριών του συστήματος ομαδοποιημένες ανά σταθμό(ανά πόλη), για το σύστημα Κρήτης, για κάθε ελεγχόμενη φόρτιση (optimal) και κάθε σενάριο διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων. Είναι εμφανές ότι όσο αυξάνεται το φορτίο, αυξάνεται ανάλογα και η παραγωγή ισχύος. Επίσης, σε όλες τις περιπτώσεις η μεγαλύτερη

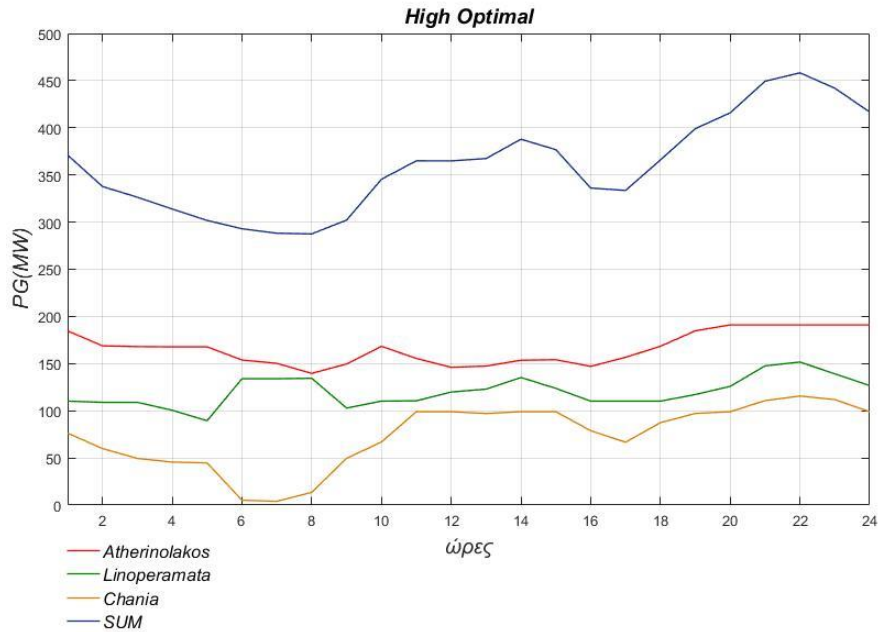
παραγωγή είναι από τις γεννήτριες στον Αθερινόλλακο, έπειτα από τις γεννήτριες στα Λινοπεράματα και τέλος από τις γεννήτριες στα Χανιά. Η παραπάνω παρατήρηση είναι λογική αφού ο αλγόριθμος εκτελεί βέλτιστη ροή ισχύος, με δυνατότητα αποσύνδεσης μονάδων, επιδιώκει να χαμηλώσει το κόστος και άρα να βάλει σε λειτουργία τις πιο οικονομικές μονάδες. Στην προκειμένη περίπτωση οι πιο οικονομικές μονάδες βρίσκονται στον Αθερινόλλακο ενώ οι πιο ακριβές βρίσκονται στα Χανιά.



Εικόνα 5. 38 Ενεργές Παραγωγές γεννητριών του Σ.Η.Ε. Κρήτης ομαδοποιημένες ανά σταθμό παραγωγής για Low Optimal σενάριο.

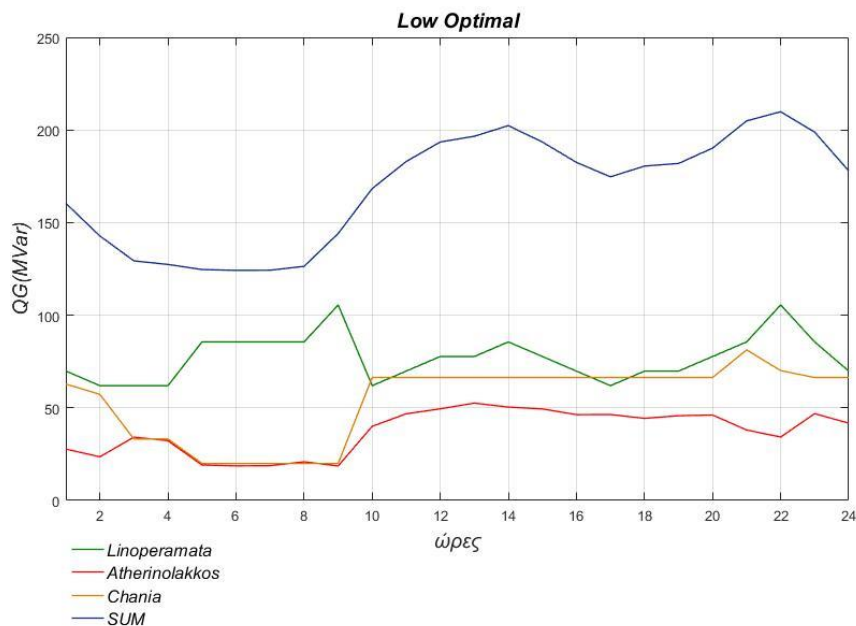


Εικόνα 5. 39 Ενεργές Παραγωγές γεννητριών του Σ.Η.Ε. Κρήτης ομαδοποιημένες ανά σταθμό παραγωγής για Medium Optimal σενάριο.

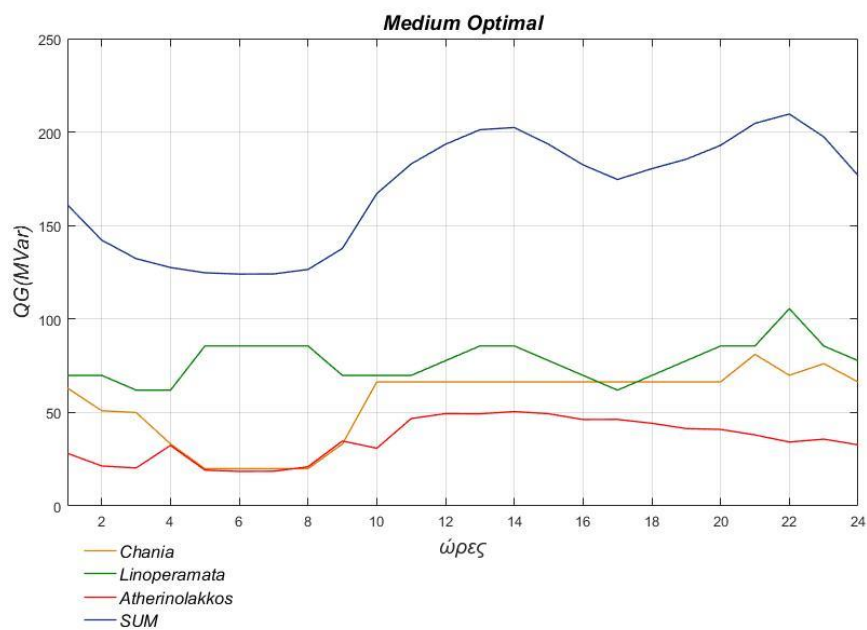


Εικόνα 5.40 Ενεργές Παραγωγές γεννητριών του Σ.Η.Ε. Κρήτης ομαδοποιημένες ανά σταθμό παραγωγής για High Optimal σενάριο.

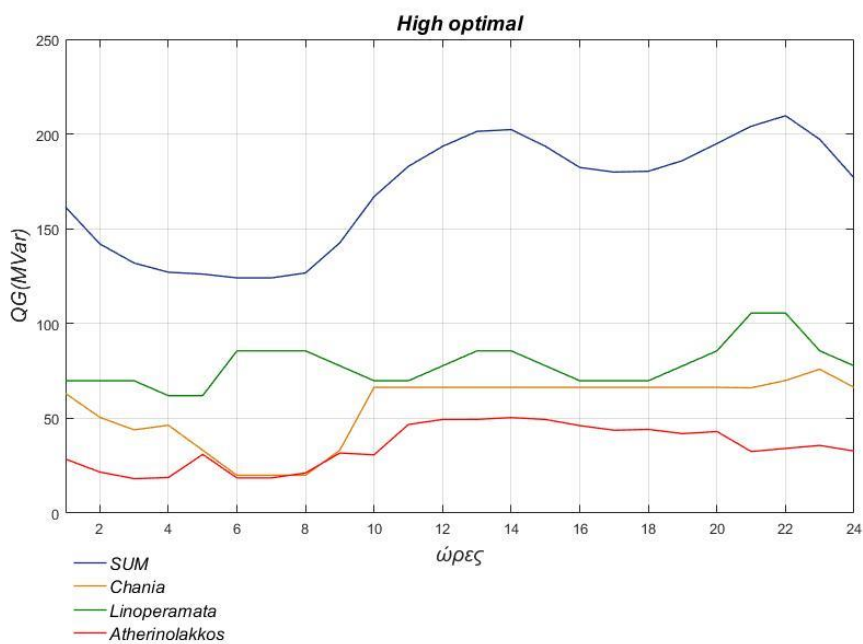
Οι τάσεις εξαρτώνται αρκετά από τις άεργες παραγωγές των γεννητριών (QG). Πολλές φορές, όταν μια μονάδα έχει μειωμένη ενεργή παραγωγή, τότε η άεργη παραγωγή αυξάνεται και με αυτόν τον τρόπο διατηρείται η τάση του συστήματος. Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται ότι εκτινάσσονται τα άεργα κάποιες χρονικές στιγμές και ως συνέπεια εκτινάσσονται και οι τάσεις. Συγκεκριμένα, τα Λινοπεράματα έχουν μεγάλα φορτία οπότε μειώνεται η τάση και αυξάνεται η άεργη παραγωγή (QG) για να κρατηθεί η τάση. Στον Αθρινόλακκο όπου δεν υπάρχουν μεγάλα φορτία, η άεργος παραγωγή δεν είναι αυξημένη ώστε να μην προκληθούν υπερτάσεις στο σύστημα. Τέλος, ο αλγόριθμος που εκτελεί βέλτιστη ροή φορτίου (*runopf*) επιδιώκει να ελαττώσει τις απώλειες.



Εικόνα 5.41 Άεργες Παραγωγές γεννητριών του Σ.Η.Ε. Κρήτης ομαδοποιημένες ανά σταθμό παραγωγής για Low Optimal σενάριο.



Εικόνα 5.42 Άεργες Παραγωγές γεννητριών του Σ.Η.Ε. Κρήτης ομαδοποιημένες ανά σταθμό παραγωγής για Medium Optimal σενάριο.



Εικόνα 5. 43 Άεργες Παραγωγές γεννητριών του Σ.Η.Ε. Κρήτης ομαδοποιημένες ανά σταθμό παραγωγής για High Optimal σενάριο.

Κεφάλαιο 6

Κόστος φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν το κόστος φόρτισης των οχημάτων για τις δύο στρατηγικές φόρτισης (optimal και non optimal) και για όλα τα σενάρια διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων.

Αρχικά υπολογίστηκε το συνολικό κόστος παραγωγής για το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Κρήτης με την αιολική και Φωτοβολταϊκή παραγωγή της, αλλά χωρίς τη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων Πίνακας 6.1.

Κόστος Παραγωγής (€/ημέρα)

Σ.Η.Ε. Κρήτης χωρίς Η.Ο.	851,910
--------------------------	---------

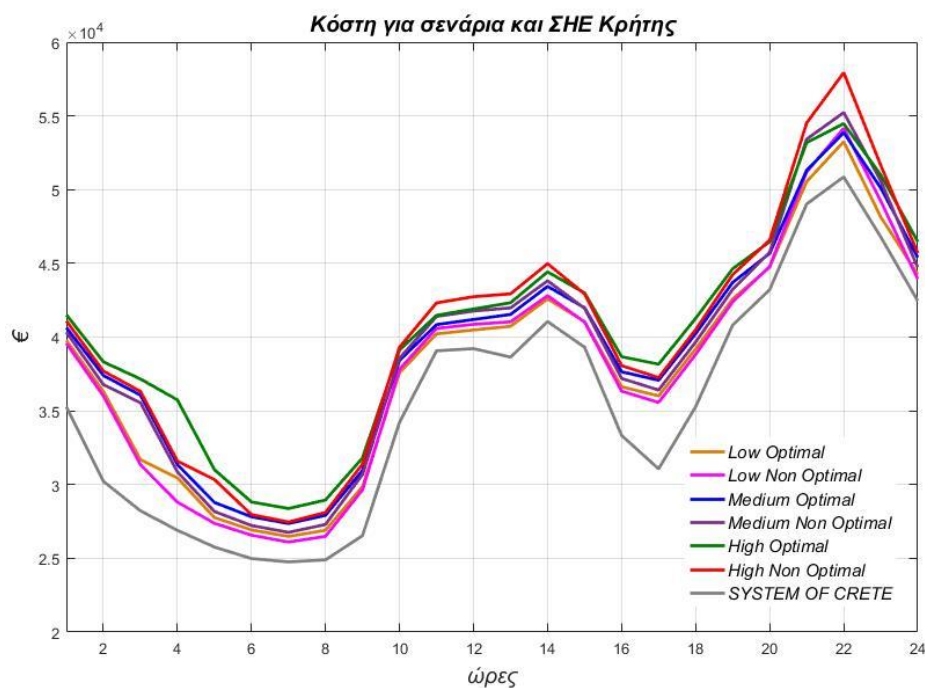
Πίνακας 6.1 Συνολικό Κόστος Παραγωγής(€) για Σ.Η.Ε. Κρήτης με αιολική και Φ/Β παραγωγή

Έπειτα υπολογίστηκε το συνολικό κόστος καυσίμου για τις μονάδες Παραγωγής του Σ.Η.Ε. Κρήτης με τη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων για τα διάφορα σενάρια καθώς και το κόστος φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, Πίνακας 6.2.

	<u>Κόστος</u> <u>Non optimal</u> <u>Συνολικής</u> <u>Παραγωγής</u> <u>($\frac{\text{€}}$)</u> <u>(ημέρα)</u>	<u>Κόστος</u> <u>Optimal</u> <u>Συνολικής</u> <u>Παραγωγής</u> <u>($\frac{\text{€}}$)</u> <u>(ημέρα)</u>	<u>Κόστος</u> <u>Non optimal</u> <u>Φόρτισης</u> <u>($\frac{\text{€}}$)</u> <u>(ημέρα)</u>	<u>Κόστος</u> <u>Optimal</u> <u>Φόρτισης</u> <u>($\frac{\text{€}}$)</u> <u>(ημέρα)</u>
Χαμηλό σενάριο διείσδυση Η.Ο. (LOW)	915,292	914,210	63,382	62,300
Μεσαίο σενάριο διείσδυση Η.Ο. (MEDIUM)	943,383	940,730	91,473	88,820
Υψηλό σενάριο διείσδυση Η.Ο. (HIGH)	968,810	968,290	116,900	116,380

Πίνακας 6.2 Συνολικό Κόστος Παραγωγής και Κόστος Φόρτισης για τρία σενάρια διείσδυσης οχημάτων

Οι χρονοσειρές για τα κόστη του συνολικού Σ.Η.Ε. Κρήτης και για όλα τα σενάρια διείσδυσης οχημάτων φαίνονται στην Εικόνα 6.1. Ο αλγόριθμος δεν επιδιώκει βέλτιστο κόστος αλλά σε όλες τις περιπτώσεις τα ελεγχόμενα σενάρια φόρτισης (optimal) είναι πιο οικονομικά από τα μη ελεγχόμενα (Non optimal). Γενικά, φαίνεται ότι το κόστος ακολουθεί την κατανάλωση φορτίου του συστήματος. Συγκεκριμένα και στις δύο περιπτώσεις στις 22:00 μ.μ. έχουμε μεγάλο κόστος λειτουργίας αφού τα καθαρά φορτία έχουν μεγάλες τιμές εκείνη τη χρονική στιγμή.



Εικόνα 6.1 Συνολικά κόστη γεννητριών για κάθε σενάριο διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων.

Η σύγκριση του κόστους μεταξύ ηλεκτρικών οχημάτων και συμβατικών οχημάτων που χρησιμοποιούν υγρά καύσιμα έγινε με βάση τα παρακάτω. Για τα συμβατικά υπολογίστηκε ο Μέσος όρος (Μ.Ο.) της τιμής καυσίμων των μεγαλύτερων πόλεων της Κρήτης για τα πιο σύνηθες υγρά καύσιμα όπως Βενζίνη 95 οκτανίων (πιο οικονομική από τη Βενζίνη 100 οκτανίων), Diesel και Υγραέριο Πίνακας 6.3. Έπειτα για τον υπολογισμό του τελικού κόστους ($\frac{\text{€}}{\text{km}}$) (Εξίσωση 6.1) χρησιμοποιήθηκαν τυπικές καταναλώσεις για δρομολόγια που εκτελούνται εντός πόλεως Πίνακας 6.4.

$$\text{Τελικό κόστος}_{\text{υγρών καυσίμων}} = \text{Κατανάλωση}_{\text{εντός πόλεως}} \cdot \text{Τιμή Καυσίμου}_{\text{Μ.Ο.}} \left(\frac{\text{€}}{\text{km}} \right) \quad (6.1)$$

	Βενζίνη (€/λίτρο)	Diesel (€/λίτρο)	Υγραέριο (€/λίτρο)
Ηράκλειο	1.403	1.163	0.818
Χανιά	1.389	1.154	0.772
Ρέθυμνο	1.422	1.157	0.839
Λασιθίου	1.4	1.159	0.809
Μ.Ο.	1.4035	1.1582	0.8095

Πίνακας 6.3 Τιμές Καυσίμων ανά νομό για 27^η Μάη 2020 [40]

	<i>Βενζίνη</i>	<i>Diesel</i>	<i>Υγραέριο</i>
Κατανάλωση (Λίτρα/100 km)	5.4	4.1	6.6
Κατανάλωση εντός πόλεως (Λίτρα/100 km)	5.9	4.6	7.1
Τιμή Καυσίμου Μ.Ο. (€/λίτρο) (Πίνακας 7.4)	1.4035	1.1582	0.8095
Τελικό κόστος υγρών καυσίμων (€/km)	0.0828	0.0532	0.0574

Πίνακας 6.4 Υπολογισμός του κόστους των υγρών καυσίμων [41]

Στα ηλεκτρικά οχήματα, η κίνηση τους δεν απαιτεί υγρά καύσιμα παρά μόνο ηλεκτρική ενέργεια η οποία καλύπτεται από τους σταθμούς παραγωγής σε συνδυασμό με τα φωτοβολταϊκά και αιολικά πάρκα μπορούν δηλαδή να χρησιμοποιούν “πράσινη ενέργεια”. Η μέση απόσταση που διανύει κάθε όχημα σύμφωνα με τα αποτελέσματα του αλγορίθμου φαίνεται στον Πίνακα 6.5 και χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του Τελικού Κόστους κατανάλωσης ($Τελικό\ κόστος_{H.O.}$) ενός Η.Ο (Πίνακας 6.6). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για το κόστος φόρτισης φαίνονται στον Πίνακα 6.2 και το υπολογίζεται σύμφωνα με την Εξίσωση 6.2 .

$$Τελικό\ κόστος_{H.O.} = \frac{Κόστος_{H.O.}}{(Συνολικός\ αριθμός\ Η.Ο. \cdot Απόσταση\ δρομολογίων_{Μ.Ο.})} \left(\frac{€}{km} \right) \quad (6.2)$$

	Μέση τιμή δρομολογίων αποστάσεων EV ανά ημέρα (km)	Συντελεστές Βαρύτητας Πληθυσμού Κρήτης
Ηράκλειο	34.292	$\frac{1}{2}$
Χανιά	26.008	$\frac{1}{4}$
Ρέθυμνο	22.541	$\frac{1}{8}$
Άγιος Νικόλαος	15.759	$\frac{1}{8}$
Μέση απόσταση δρομολογίων (km)	28.43	

Πίνακας 6.5 Μ.Ο. διανυόμενη απόσταση από άνα οχήματος ανά ημέρα (σύμφωνα με τον αλγόριθμό)

Σενάρια	Low Non Optimal	Low Optimal	Medium Non Optimal	Medium Optimal	High Non Optimal	High Optimal
Κόστος φόρτισης _{Η.Ο.} (€/ημέρα)	63,382	62,300	91,473	88,820	116,900	116,380
Συνολικός αριθμός _{Η.Ο.}	49,844	49,844	74,768	74,768	99,691	99,691
Τελικό κόστος _{Η.Ο.} (€/km)	0.0447	0.0439	0.0430	0.0417	0.0412	0.0410

Πίνακας 6.6 Σύμφωνα με τα αποτελέσματα κόστους για τα ηλεκτρικά οχήματα έγινε ο υπολογισμός κόστους ανά ημέρα για 28.43 km μέσο όρο ανά ημέρα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι συνθήκες υπό τις οποίες γίνεται σύγκριση μεταξύ ηλεκτρικών και συμβατικών οχημάτων, δεν ευνοούν ιδιαίτερα τα ηλεκτρικά οχήματα για τους παρακάτω λόγους. Πρώτον, η ηλεκτρική ενέργεια στην Κρήτη προς το παρόν είναι πιο ακριβή από την ηπειρωτική Ελλάδα και αφού ολοκληρωθεί η διασύνδεση της Κρήτης με την υπόλοιπη Ελλάδα αναμένεται να μειωθεί το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, το κόστος των υγρών καυσίμων αυτή την περίοδο είναι αρκετά χαμηλό και αναμένεται να αυξηθεί, κυρίως το κόστος της βενζίνης. Οπότε έχει ληφθεί υπόψιν το πιο ακραίο σενάριο για λόγους αυστηρότητας ως προς τα ηλεκτρικά οχήματα. Τα αποτελέσματα του Πίνακα 6.6 δείχνουν ότι το κόστος των ηλεκτρικών οχημάτων, σε όλα τα σενάρια διείσδυσης οχημάτων και φόρτισης μπαταριών, είναι χαμηλότερο από το κόστος των υγρών καυσίμων οπότε η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων συμφέρει και από οικονομική άποψη. Επιπλέον, η ελεγχόμενη φόρτιση των Η.Ο. είναι πιο οικονομική από τη μη ελεγχόμενη σύμφωνα με τον Πίνακα 6.6.

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα και επεκτάσεις

Στη διπλωματική αυτή πραγματοποιήθηκε μοντελοποίηση της φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και εξετάστηκαν σενάρια διείσδυσης τους και σε ένα υπαρκτό δίκτυο, το δίκτυο της Κρήτης. Χρησιμοποιήθηκαν τρία πιθανά σενάρια διείσδυσης οχημάτων και δύο σενάρια φόρτισης των μπαταριών τους. Ο στόχος της μελέτης επιτεύχθηκε, αφού με την ελεγχόμενη φόρτιση (optimal) των ηλεκτρικών οχημάτων εξομαλύνεται το αρχικό προφίλ του καθαρού φορτίου με αύξηση της ηλεκτρικής ζήτησης φορτίου σε περιόδους εκτός αιχμής ή αλλιώς στα σημεία της χαμηλότερης ενεργειακής ζήτησης (valley filling) και μείωση της ηλεκτρικής ζήτησης σε περιόδους αιχμής (peak shaving). Όσο μεγαλύτερος ο στόλος Η.Ο. τόσο καλύτερη η βελτίωση του προφίλ του καθαρού φορτίου. Επίσης, αποδείχθηκε ότι η χρήση των Η.Ο. είναι πολύ πιο οικονομική από τη χρήση των συμβατικών οχημάτων που χρησιμοποιούν υγρά καύσιμα ως προς το κόστος φόρτισης.

Επιπλέον, η διείσδυση Η.Ο. στην καθημερινότητα αναμένεται να μειώσει την ατμοσφαιρική ρύπανση με μείωση της εκπομπής αέριων του θερμοκηπίου και διοξειδίου του άνθρακα, επίτευξη μεταφορών χωρίς κατανάλωση ορυκτών καυσίμων και μείωση της ηχορύπανσης. Επίσης, η τοποθεσία που εκπέμπονται οι ρύποι αποτελούν σημαντικό παράγοντα για την ανθρώπινη υγεία. Συγκεκριμένα, αντικαθιστώντας τα συμβατικά με τα ηλεκτρικά οχήματα η εκπομπή αέριων ρύπων βλαβερών για την υγεία μεταφέρεται σε περιοχές εκτός πόλεως. Αυτό συμβαίνει, λόγω του ότι η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων απαιτεί ηλεκτρική ενέργεια η οποία παράγεται σε σταθμούς παραγωγής που συνήθως βρίσκονται εκτός αστικών κέντρων. Είναι πολύ σημαντικό λοιπόν, ότι οι αέριοι ρύποι μεταφέρονται εκτός πόλεως, στις μονάδες παραγωγής ευνοώντας την ανθρώπινη υγεία.

Ακόμη, το γεγονός ότι μεγάλο ποσοστό της ενέργειας που καταλώνουν τα Η.Ο. καλύπτεται από την φωτοβολταϊκή παραγωγή δηλώνει τη χρήση «πράσινης ενέργειας» η οποία παράγεται χωρίς ρυπογόνες ουσίες στην ατμόσφαιρα.

Ενδεχόμενες επεκτάσεις της διπλωματικής αφορούν:

- ✓ Την ακριβή μοντελοποίηση των υπεραστικών διαδρομών.
- ✓ Τη μοντελοποίηση της διασύνδεσης του ηλεκτρικού δικτύου της Κρήτης με το ηπειρωτικό μέρος της Ελλάδας.
- ✓ Τη μοντελοποίηση Vehicle to Grid mode (V2G) δίνοντας τη δυνατότητα στα Η.Ο. να επιστρέψουν ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο.

Βιβλιογραφία

- [1] Γιώργος Εμμανουηλίδης “ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ”. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΓΡΑΦΕΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ (Ιούλιος 2011). Online: <https://docplayer.gr/1434894-Energeiako-grafeio-aigaiou-ilektrika-aytokinita-giorgos-emmanoyilidis.html>
- [2] ΓΕΩΡΓΙΟΣ Α. ΜΠΑΛΑΣΚΑΣ “ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΤΟΛΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΟ ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ” ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, (ΙΟΥΛΙΟΣ 2015)
- [3] Ηλεκτρικό αυτοκίνητο
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CE%B1%CF%85%CF%84%CE%BF%CE%BA%CE%AF%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%BF%CE%A0%CE%BB%CE%B5%CE%BF%CE%BD%CE%B5%CE%BA%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1>
- [4] ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΓΡΗΓΟΡΙΟΥ ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΥ “ΔΙΑΤΑΞΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ”. Πάτρα, Διπλωματική Εργασία (Οκτώβριος 2013).
- [5] Press Team Transport & Environment “EU Parliament votes to accelerate the electric car transformation”.
- [6] ΓΕΩΡΓΙΟΣ Α. ΜΠΑΛΑΣΚΑΣ “ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΤΟΛΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΟ ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ” ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, (ΙΟΥΛΙΟΣ 2015)
- [7] ΑΝΝΑ ΠΟΙΖΗ “ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΟΠΤΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΙΔΙΩΤΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ”. Θεσσαλονίκη, Διπλωματική Εργασία (Ιούλιος 2018)
- [8] Ευάγγελος Λ. Καρφόπουλος “Συμβολή στη διαχείριση των ηλεκτρικών οχημάτων για την αποδοτικότερη ενσωμάτωσή τους στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας”. Αθήνα, Διδακτορική Διατριβή (Μάρτης 2017)
- [9] “How Hybrids Work” online: <https://www.fueleconomy.gov/feg/hybridtech.shtml>
- [10] “Schematic Of A Plug-In Hybrid Electric Vehicle -City Car”
online: https://www.pngkey.com/detail/u2t4y3a9u2o0r5y3_schematic-of-a-plug-in-hybrid-electric-vehicle/
- [11] European Environment Agency “Electric vehicles and the energy sector- impacts on Europe’s future emissions ” online: <https://www.eea.europa.eu/themes/transport/electric-vehicles/electric-vehicles-and-energy>
- [12] Νομικός Ν. Σπυρίδων και Janocha Piotr Ian. “Ανάλυση δομής και λειτουργίας ηλεκτρικού οχήματος”. Τ.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ
Online:
http://oceanis.lib.teipir.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/2166/hlg_201400929_a.pdf?sequence=2
- [13] “Electric Vehicle Batteries: Materials, Cost, Lifespan” (Μάρτης 2019)

online: <https://www.ucsusa.org/resources/ev-batteries>

[14] Nickel–cadmium battery

Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel%E2%80%93cadmium_battery

[15] Lead–acid battery Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Lead%E2%80%93acid_battery

[16] Nickel–metal hydride battery

Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel%E2%80%93metal_hydride_battery

[17] Lithium-ion battery Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery

[18] Διονύσιος Νέγκας, Ημερίδα ΙΔΕΕΑ “Τρόποι φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων ” (Νοέμβριος 2017)Online: <http://docplayer.gr/73197040-Ilektrikon-aytokiniton.html>

[19] Ξενοφών Μ.Μαυρούδης “Τεχνολογίες Επικοινωνιών για Διασύνδεση των Ηλεκτρικών Οχημάτων με το Ευφύες Δίκτυο Ενέργειας ” .Αθήνα, Διπλωματική Εργασία. (Νοέμβριος 2016) online: <https://core.ac.uk/download/pdf/81560678.pdf>

[20] Wireless Electric Vehicle Charging Puts An End To Range 'Arms Race' (Μάης 2019)

online: <https://www.forbes.com/sites/edgarsten/2019/05/03/wireless-electric-vehicle-charging-puts-an-end-to-range-arms-race/#6f2c40a350b9>

[21] ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ- ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο. “Σημεία φόρτισης”. online: <https://www.heliev.gr/%cf%83%ce%b7%ce%bc%ce%b5%ce%af%ce%b1-%cf%86%cf%8c%cf%81%cf%84%ce%b9%cf%83%ce%b7%cf%82/>

[22] Βύσμα CHAdeMO online: <http://gr.besen-group.com/info/iec-62196-standard-27427583.html>

[23] “What is CCS charging?” (Δεκέμβρης 2018) online: <https://thedriven.io/2018/12/10/what-is-ccs-charging/>

[24] “Ηλεκτροκίνηση – η σημασία δημιουργίας βιώσιμων υποδομών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων ΜΕΡΟΣ Α” Online: <https://blinkcharging.gr/ilektrokinisi-i-simasia-dimiourgias-viosimon-upodomon-fortisis-ilektrikon-oximaton-meros-a/>

[25] “Ηλεκτροκίνηση – η σημασία δημιουργίας βιώσιμων υποδομών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων ΜΕΡΟΣ Β” .Online: <https://blinkcharging.gr/ilektrokinisi-i-simasia-dimiourgias-viosimon-ipodomon-fortisis-ilektrikon-oximaton-meros-b/>

[26] ΓΕΩΡΓΙΟΣ Α. ΜΠΑΛΑΣΚΑΣ “ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΤΟΛΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΣΤΟ ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ”. Θεσσαλονίκη, Διπλωματική Εργασία. (Ιούλιος 2015)

[27] ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΝΗΣΙΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΡΗΤΗΣ, ΕΤΗΣΙΟ ΔΕΛΤΙΟ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΡΗΤΗΣ ΕΤΟΥΣ 2018 «Ημερήσιες Χρονοσειρές για Πραγματικά Φορτία, Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή για Σ.Η.Ε Κρήτης» και «Δεδομένα Σ.Η.Ε. Κρήτης»

[28] Electric Vehicle Database.

online:<https://ev-database.org/#sort:path~type~order=.rank~number~desc|range-slider-range:prev~next=0~1200|range-slider-acceleration:prev~next=2~23|range-slider->

[topspeed:prev~next=110~450|range-slider-battery:prev~next=10~200|range-slider-eff:prev~next=100~300|range-slider-fastcharge:prev~next=0~1500|paging:currentPage=0|paging:number=all](#)

[29] Γεώργιος Κοκολάκης και Ευάγγελος Κοκολάκης “ Μελέτη smart-grids”. Βόλος, Διπλωματική Εργασία. (Φεβρουάριος 2016)

[30] Αντωνίου Αντώνης “Επιπτώσεις στην Οικονομική Λειτουργία των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας Κρήτης και Κύπρου λόγω της διασύνδεσής τους”. Κρήτη, Διπλωματική Εργασία. (Ιούλιος 2013)

[31] Περιφέρεια Κρήτης “ Γεωγραφικά χαρακτηριστικά”.

online:

<https://www.crete.gov.gr/loipes-plirofories/crete/2012-01-18-16-45-45-sp-1301114866/>

[32] Ελληνική απογραφή 2011.

online:

[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CE%BB%CE%BB%CE%B7%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%B1%CF%80%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AE_2011#%CE%91%CF%80%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AE_%CE%A0%CE%BB%CE%B7%CE%B8%CF%85%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%8D_-_%CE%9A%CE%B1%CF%84%CE%BF%CE%B9%CE%BA%CE%B9%CF%8E%CE%BD_\(%CE%9C%CE%AC%CE%B9%CE%BF%CF%82_2011\)](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CE%BB%CE%BB%CE%B7%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%B1%CF%80%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AE_2011#%CE%91%CF%80%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AE_%CE%A0%CE%BB%CE%B7%CE%B8%CF%85%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%8D_-_%CE%9A%CE%B1%CF%84%CE%BF%CE%B9%CE%BA%CE%B9%CF%8E%CE%BD_(%CE%9C%CE%AC%CE%B9%CE%BF%CF%82_2011))

[33] ΜΑΥΡΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ “Λειτουργία Υβριδικών Σταθμών στο Αυτόνομο Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κρήτης”. Χανιά, Διπλωματική Εργασία. (2018)

[34] ΔΕΔΔΗΕ “Πληροφοριακό Δελτίο Παραγωγής στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά για τον Δεκέμβριο 2018”

online:

<https://www.deddie.gr/media/3057/%CF%80%CE%BB%CE%B7%CF%81%CE%BF%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%BF-%CE%B4%CE%B5%CE%BB%CF%84%CE%B9%CE%BF-2018-%CE%B4%CE%B5%CE%BA%CE%B5%CE%BC%CE%B2%CF%81%CE%B9%CE%BF%CF%83.pdf>

[35] ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΝΗΣΙΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΡΗΤΗΣ, ΕΤΗΣΙΟ ΔΕΛΤΙΟ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΡΗΤΗΣ ΕΤΟΥΣ 2018 «Ημερήσιες Χρονοσειρές για Πραγματικά Φορτία, Αιολική και Φωτοβολταϊκή Παραγωγή για Σ.Η.Ε Κρήτης» και «Δεδομένα Σ.Η.Ε. Κρήτης»

[36] MATPOWER User’s Manual Version 7.0 (Ιούνιος 2019)

[37] ΚΩΝ/ΝΟΥ ΡΑΦΑΗΛ ΚΟΥΣΟΥΛΙΔΗ “ Ανάπτυξη Λογισμικού για Μοντελοποίηση και Προσομοίωση Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας” Κρήτη, Διπλωματική Εργασία. (Φεβρουάριος 2015)

[38] ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ Β. ΣΦΥΡΗΣ “ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΟΡΙΑΚΩΝ ΤΙΜΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΣΤΑ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΑΙΟΛΙΚΩΝ -ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΡΟΔΟΥ ΚΑΙ ΚΡΗΤΗΣ” Αθήνα, Διπλωματική Εργασία. (Απρίλιος 2014)

[39] ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Αθήνα. (Νοέμβριος 2019)
online:

<http://www.opengov.gr/minenv/wp-content/uploads/downloads/2019/11/%CE%95%CE%B8%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C-%CE%A3%CF%87%CE%AD%CE%B4%CE%B9%CE%BF-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%95%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CF%84%CE%BF-%CE%9A%CE%BB%CE%AF%CE%BC%CE%B1-%CE%95%CE%A3%CE%95%CE%9A.pdf>

[40] ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ, Δελτία Επισκόπησης Τιμών Καυσίμων (27η Μάη 2020). online: http://www.fuelprices.gr/deltia_dn.view

[41] “Crash test: βενζίνη, πετρέλαιο, φυσικό αέριο ή υγραέριο για το ΙΧ μου;” (14 Δεκέμβρη 2013) online: <https://www.fpress.gr/aytokinhtho/story/13229/crash-test-venzini-petrelaio-fysiko-aerio-i-ygraerio-gia-to-ix-moy>