



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΚΡΗΤΗΣ**

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ V2G ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΕΓΑΛΩΝ ΣΤΟΛΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ
ΟΧΗΜΑΤΩΝ»**

ΠΑΝΑΓΙΟΥΛΑΚΗΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΚΑΝΕΛΛΟΣ ΦΩΤΙΟΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΚΟΥΤΡΟΥΛΗΣ ΕΥΤΥΧΙΟΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΣΤΑΥΡΑΚΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΧΑΝΙΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2022

Ευχαριστίες

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εκπονήθηκε το ακαδημαϊκό έτος 2021-2022 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.

Περίληψη

Στόχος της εν λόγω διπλωματικής είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους καυσίμου του συστήματος και η εξομάλυνση του ημερήσιου φορτίου εκμεταλλευόμενοι την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων. Αναλυτικότερα, βασίζεται σε πραγματικά δεδομένα συμπεριφοράς των οδηγών για τη μοντελοποίηση των αναγκών φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθώς και της δυνατότητας παροχής ενέργειας πίσω στο δίκτυο, όσο αυτά παραμένουν σταθμευμένα. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται χρονοσειρές του ημερήσιου φορτίου και της ημερήσιας παραγωγής των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για το σύστημα της Κρήτης, με σκοπό την προσέγγιση των επιπτώσεων που θα έχουν τα σενάρια διείσδυσης τόσο στο σύστημα, όσο και στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Τέλος, μελετώνται τέσσερα διαφορετικά σενάρια διείσδυσης σύμφωνα με την αποτελεσματικότητα της προσαρμογής στην ηλεκτροκίνηση. Οι τρόποι φόρτισης που εφαρμόζονται είναι η απλή άμεση φόρτιση και η έξυπνη φόρτιση, με τη δυνατότητα παροχής ενέργειας στο δίκτυο, ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματά τους.

Abstract

The objective of this diploma thesis is to minimize the total fuel cost of the system and to smooth the daily load by taking advantage of the charging of electric vehicles. More specifically, it relies on real driver behavior data to model the charging needs of electric vehicles during the day, as well as the ability to feed energy back into the grid while they remain parked. In addition, time series of the daily load and the daily production of Renewable Energy Sources for the Crete system are used, in order to approximate the effects that the penetration scenarios will have both on the system and on the price of electricity.

Finally, four different penetration scenarios are studied according to the efficiency of adaptation to electromobility. The charging methods applied are simple direct charging and smart charging, with the possibility of supplying energy to the grid, so that their results can be compared.

Συντομογραφίες

V2G	Vehicle to Grid
ΣΗΕ	Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΚΕΚ	Κινητήρα Εσωτερικής Καύσης
ΑΔΜΗΕ	Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΜΕΚ	Μηχανή Εσωτερικής Καύσης
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΗΟ	Ηλεκτρικό Όχημα

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	i
Περίληψη	ii
Abstract	iii
Συντομογραφίες	iv
Περιεχόμενα	v
Κατάλογος σχημάτων	viii
Κατάλογος πινάκων	xii
I Θεωρητική Ανάλυση	1
1 Ηλεκτρικά Οχήματα	2
1.1 Ηλεκτρικό Όχημα και οι κατηγορίες του	2
1.1.1 Ηλεκτρικό Όχημα Μπαταρίας(Battery Electric Vehicle-BEV)	3
1.1.2 Υβριδικό Ηλεκτρικό Όχημα(Hybrid Electric Vehicle-HEV) .	4
1.1.3 Plug-in Υβριδικό Ηλεκτρικό Όχημα(Plug-in Hybrid Electric Vehicle-PHEV)	5
1.1.4 Ηλεκτρικό Όχημα με Κυψέλες Καυσίμου(Fuel Cell Electric Vehicle-FCEV)	6
1.2 Τεχνολογίες Συσσωρευτών Ηλεκτρικών Οχημάτων	7
1.2.1 Μπαταρία Ιόντων Λιθίου(Lithium-Ion)	7
1.2.2 Νικελίου Υδριδίου Μετάλλου(NiMH)	8
1.2.3 Μολύβδου οξέος(Lead-Acid)	9

1.2.4	Υπερπυκνωτές(Ultracapacitors)	10
1.2.5	Zebra	11
1.3	Τρόποι φόρτισης μπαταριών	12
1.3.1	Mode 1 Αργή φόρτιση από ρευματοδότη(Μονοφασικό ή Τριφασικό)	12
1.3.2	Mode 2 Αργή φόρτιση από ρευματοδότη(Μονοφασικό ή Τριφασικό) με διάταξη προστασίας ηλεκτροπληξίας (RCD).	13
1.3.3	Mode 3 Αργή έως ημιταχεία φόρτιση (Μονοφασικό ή Τριφασικό) με ειδικό ρευματοδότη.	14
1.3.4	Mode 4 Γρήγορη DC Φόρτιση	15
1.4	Τύποι βυσμάτων	16
1.5	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Ηλεκτρικών Οχημάτων	18
2	V2G Λειτουργία	20
2.1	Η τεχνολογία V2G	20
2.2	Η Αρχιτεκτονική της V2G	21
2.3	Πλεονεκτήματα της V2G	22
3	Δίκτυο Κρήτης	24
3.1	Ηλεκτρικό Σύστημα Κρήτης	24
3.2	Χαρακτηριστικά στοιχεία και κόστος για τις συμβατικές μονάδες παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης	25
3.3	ΑΠΕ στην Κρήτη	27
II	Πειραματική Ανάλυση και Αποτελέσματα	28
4	Περιγραφή Αλγορίθμου	29
4.1	Συνοπτική Παρουσίαση Αλγορίθμου	29
4.2	Δεδομένα και μεταβλητές	30
4.3	Ανάλυση Αλγορίθμου Ημερήσιου Προγράμματος	38
4.4	Στρατηγικές Φόρτισης	41
4.5	Μοντέλο Μπαταρίας	42
4.6	Μοντέλο Συναθροιστή (Aggregator)	44
4.7	Μοντέλο Δικτύου της Κρήτης	45
5	Αποτελέσματα Μοντελοποίησης	48

5.1	Αποτελέσματα Μοντελοποίησης Σ.Η.Ε. Κρήτης χωρίς τη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων και με σενάρια διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων	48
5.2	Αποτελέσματα Μοντελοποίησης Σ.Η.Ε. Κρήτης χωρίς τη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων	49
5.3	Σενάρια διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων	52
5.4	Αποτελέσματα Μοντελοποίησης Δρομολογίων	53
5.5	Αποτελέσματα Μοντελοποίησης Σ.Η.Ε. Κρήτης με χαμηλή διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων	57
5.5.1	Μη ελεγχόμενη φόρτιση(Dumb Charging)	57
5.5.2	Ελεγχόμενη φόρτιση(V2G)	60
5.6	Αποτελέσματα Μοντελοποίησης Σ.Η.Ε. Κρήτης με μέση διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων	64
5.6.1	Μη ελεγχόμενη φόρτιση(Dumb Charging)	64
5.6.2	Ελεγχόμενη φόρτιση(V2G)	67
5.7	Αποτελέσματα Μοντελοποίησης Σ.Η.Ε. Κρήτης με υψηλή διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων	71
5.7.1	Μη ελεγχόμενη φόρτιση(Dumb Charging)	71
5.7.2	Ελεγχόμενη φόρτιση(V2G)	74
5.8	Αποτελέσματα Μοντελοποίησης Σ.Η.Ε. Κρήτης με πολύ υψηλή διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων	78
5.8.1	Μη ελεγχόμενη φόρτιση(Dumb Charging)	78
5.8.2	Ελεγχόμενη φόρτιση(V2G)	81
5.9	Συνολικό κόστος συστήματος και φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων	84
Συμπεράσματα και επεκτάσεις		87
Βιβλιογραφία		89

Κατάλογος σχημάτων

1.1	Battery Electric Vehicle-BEV [1]	3
1.2	Hybrid Electric Vehicle-HEV [1]	4
1.3	Plug-in Hybrid Electric Vehicle-PHEV [1]	6
1.4	Fuel Cell Electric Vehicle-FCEV [1]	7
1.5	Charging and Discharging of Li-on cell [2]	8
1.6	NiMH Battery cell [2]	9
1.7	Lead-Acid Battery [2]	10
1.8	Charging and Discharging of Ultracapacitor [3]	11
1.9	Χαρακτηριστικά διάφορων τύπων μπαταριών [4]	12
1.10	Φόρτιση mode 1 [5]	13
1.11	Φόρτιση mode 2 [5]	14
1.12	Φόρτιση mode 3 [5]	15
1.13	Φόρτιση mode 4 [5]	15
1.14	Σύγκριση λειτουργιών φόρτισης μπαταριών [6]	16
1.15	Βύσμα Τύπου 1(SAE J1772) [5]	16
1.16	Βύσμα Τύπου 2(IEC 62196 Type 2) [5]	17
1.17	Βύσμα CCS Τύπου 1 και 2 [5]	17
2.1	Διασύνδεση οχημάτων και δικτύου στο V2G [7]	21
3.1	Διαθέσιμα Περιθώρια ισχύος για σύνδεση νέων Σταθμών ΑΠΕ (MW) [8]	27
4.1	Κατανομή για το αρχικό ποσοστό φόρτισης της μπαταρίας κάθε οχήματος.	31
4.2	Κατανομή για τον ρυθμό αναχώρησης του οχήματος.	34
4.3	Επιλογή του επόμενου προορισμού του οχήματος.	34

4.4	Κατανομή για την ώρα αναχώρησης του οχήματος.	35
4.5	Κατανομή για τον χρόνο ταξιδιού του οχήματος.	35
4.6	Κατανομή για την μέση ταχύτητα που ταξιδεύει το όχημα.	36
4.7	Κατανομή για τον χρόνο φόρτισης του οχήματος.	37
4.8	Διήμερο πρόγραμμα τυχαίου οχήματος.	38
4.9	Επιλογή φόρτισης ανάλογα με το ποσοστό μπαταρίας.	40
4.10	Διάγραμμα ροής αλγορίθμου δημιουργίας ημερήσιου προγράμματος οχημάτων.	41
4.11	Δυναμικά όρια ενέργειας πρώτου οχήματος για 48 ώρες.	43
4.12	Δυναμικά όρια ενέργειας δεύτερου οχήματος για 48 ώρες.	43
5.1	Ημερήσια καμπύλη ζήτησης πραγματικού και καθαρού φορτίου Κρήτης(17/07/2018).	49
5.2	Ωριαία τιμή ενέργειας και παραγωγή μονάδων Κρήτης χωρίς ΑΠΕ.	50
5.3	Ωριαία τιμή ενέργειας και παραγωγή μονάδων Κρήτης μεΑΠΕ.	50
5.4	Συνολικό ωριαίο κόστος μονάδων παραγωγής χωρίς ΗΟ.	51
5.5	Κατανομή της θέσης των ΗΟ κατά τη διάρκεια της ημέρας.	54
5.6	Συνολικός αριθμός ΗΟ που φτάνουν και αναχωρούν από τους σταθμούς φόρτισης κατά τη διάρκεια της ημέρας.	55
5.7	Συνολική ενέργεια των ΗΟ που φτάνουν και αναχωρούν από τους σταθμούς φόρτισης κατά τη διάρκεια της ημέρας.	55
5.8	Συνολικός αριθμός ΗΟ που φορτίζουν κατά τη διάρκεια της ημέρας.	56
5.9	Συνολική ισχύς φόρτισης κατά τη διάρκεια της ημέρας (Dumb Charging).	56
5.10	Συνολικό φορτίο με και χωρίς ΗΟ Low Σενάριο (Dumb Charging).	57
5.11	Κατανομή του φορτίου στους σταθμούς παραγωγής και εύρεση ωριαίας τιμής της ενέργειας Low Σενάριο(Dumb Charging).	58
5.12	Συνολικό ωριαίο κόστος καυσίμου συστήματος Low Σενάριο(Dumb Charging).	59
5.13	Συνολικό φορτίο με και χωρίς ΗΟ Low Σενάριο (V2G).	60
5.14	Εύρεση ωριαίας τιμής της ενέργειας, της ισχύος της ισοδύναμης μπαταρίας και της συναθροιστικής ενέργειας εντός του 24ωρου Low Σενάριο (V2G).	61
5.15	Κατανομή του φορτίου στους σταθμούς παραγωγής, εύρεση της ισχύος της μπαταρίας και της ωριαίας τιμής της ενέργειας Low Σενάριο(V2G).	62
5.16	Συνολικό ωριαίο κόστος καυσίμου συστήματος Low Σενάριο(V2G).	63
5.17	Συνολικό φορτίο με και χωρίς ΗΟ Medium Σενάριο (Dumb Charging).	64
5.18	Κατανομή του φορτίου στους σταθμούς παραγωγής και εύρεση ωριαίας τιμής της ενέργειας Medium Σενάριο(Dumb Charging).	65

5.19	Συνολικό ωριαίο κόστος καυσίμου συστήματος Medium Σενάριο(Dumb Charging).	66
5.20	Συνολικό φορτίο με και χωρίς HO Medium Σενάριο (V2G).	67
5.21	Εύρεση ωριαίας τιμής της ενέργειας, της ισχύος της ισοδύναμης μπαταρίας και της συναθροιστικής ενέργειας εντός του 24ωρου Medium Σενάριο (V2G).	68
5.22	Κατανομή του φορτίου στους σταθμούς παραγωγής, εύρεση της ισχύος της μπαταρίας και της ωριαίας τιμής της ενέργειας Medium Σενάριο(V2G).	69
5.23	Συνολικό ωριαίο κόστος καυσίμου συστήματος Medium Σενάριο(V2G).	70
5.24	Συνολικό φορτίο με και χωρίς HO High Σενάριο (Dumb Charging).	71
5.25	Κατανομή του φορτίου στους σταθμούς παραγωγής και εύρεση ωριαίας τιμής της ενέργειας High Σενάριο(Dumb Charging).	72
5.26	Συνολικό ωριαίο κόστος καυσίμου συστήματος High Σενάριο(Dumb Charging).	73
5.27	Συνολικό φορτίο με και χωρίς HO High Σενάριο (V2G).	74
5.28	Εύρεση ωριαίας τιμής της ενέργειας, της ισχύος της ισοδύναμης μπαταρίας και της συναθροιστικής ενέργειας εντός του 24ωρου High Σενάριο (V2G).	75
5.29	Κατανομή του φορτίου στους σταθμούς παραγωγής, εύρεση της ισχύος της μπαταρίας και της ωριαίας τιμής της ενέργειας High Σενάριο(V2G).	76
5.30	Συνολικό ωριαίο κόστος καυσίμου συστήματος High Σενάριο(V2G).	77
5.31	Συνολικό φορτίο με και χωρίς HO Ultra High Σενάριο (Dumb Charging).	78
5.32	Κατανομή του φορτίου στους σταθμούς παραγωγής και εύρεση ωριαίας τιμής της ενέργειας Ultra High Σενάριο(Dumb Charging).	79
5.33	Συνολικό ωριαίο κόστος καυσίμου συστήματος Ultra High Σενάριο(Dumb Charging).	80
5.34	Συνολικό φορτίο με και χωρίς HO Ultra High Σενάριο (V2G).	81
5.35	Εύρεση ωριαίας τιμής της ενέργειας, της ισχύος της ισοδύναμης μπαταρίας και της συναθροιστικής ενέργειας εντός του 24ωρου Ultra High Σενάριο (V2G).	82
5.36	Κατανομή του φορτίου στους σταθμούς παραγωγής, εύρεση της ισχύος της μπαταρίας και της ωριαίας τιμής της ενέργειας High Σενάριο(V2G).	83
5.37	Συνολικό ωριαίο κόστος καυσίμου συστήματος Ultra High Σενάριο(V2G).	84

5.38	Συνολικό ωριαίο φορτίο συστήματος.	85
5.39	Συνολικό ωριαίο κόστος καυσίμου συστήματος.	85

Κατάλογος πινάκων

3.1	Μονάδες σταθμών παραγωγής Κρήτης	25
3.2	Χαρακτηριστικά και κόστος Θερμικών μονάδων Κρήτης	26
4.1	Τύποι ΗΟ και χαρακτηριστικά αυτών	32
5.1	Αριθμός ΗΟ Κρήτης για το 2030 για τα παραπάνω σενάρια διείσδυσης	53
5.2	Συνολικό Κόστος Παραγωγής και Κόστος Φόρτισης για τα σενάρια διείσδυσης οχημάτων	86

Μέρος I

Θεωρητική Ανάλυση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ηλεκτρικά Οχήματα

1.1 Ηλεκτρικό Όχημα και οι κατηγορίες του

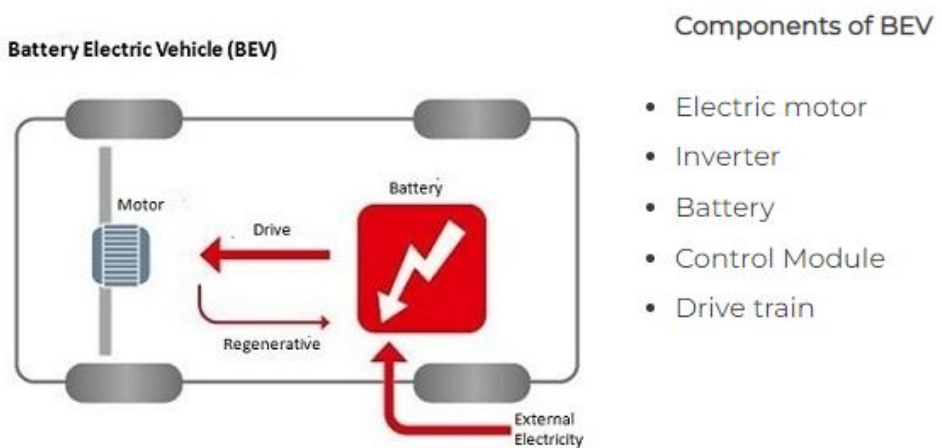
Ηλεκτρικό Όχημα (ΗΟ) ορίζεται κάθε όχημα το οποίο για την κίνησή του χρησιμοποιεί τουλάχιστον έναν ηλεκτρικό κινητήρα έναντι του ευρέως διαδεδομένου κινητήρα εσωτερικής καύσης, ενώ παράλληλα η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιεί αποθηκεύεται σε μπαταρίες. Τα πρώτα ΗΟ εμφανίστηκαν στην μέση του 19ου αιώνα, όμως για περισσότερο από 100 χρόνια στην αυτοκίνηση έχουν κυριαρχήσει οι μηχανές εσωτερικής καύσης. Ωστόσο τον 21ο αιώνα τα ΗΟ έχουν επιστρέψει και πάλι στο επίκεντρο της προσοχής για ένα μεγάλο ποσοστό αγοραστών. Ο κύριος λόγος για την αλλαγή αυτή είναι η αναζήτηση των πολιτών λιγότερο ρυπογόνων μέσων για την μετακίνησή τους. Αυτό συμβαίνει, διότι στα συμβατικά αυτοκίνητα η ενέργεια αποθηκεύεται σε χημική μορφή και απελευθερώνεται μέσω χημικής αντίδρασης εντός του κινητήρα, διοχετεύοντας CO₂ στην ατμόσφαιρα.

Αντιθέτως, τα ΗΟ τα οποία καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να χαρακτηριστούν οικολογικά, καθώς παρά το γεγονός ότι έχουν χημικά αποθηκευμένη ενέργεια, χάρη στις μπαταρίες ιόντων λιθίου πραγματοποιείται ηλεκτροχημική απελευθέρωση χωρίς καύση. Συνεπώς κατά την οδήγηση δεν καταναλώνεται καύσιμο με αποτέλεσμα να μην δημιουργείται ατμοσφαιρική ρύπανση λόγω του CO₂. [9, 10]. Παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικότεροι τύποι ΗΟ και αναλύεται εν συντομία η βασική αρχή λειτουργίας του καθενός ξεχωριστά [1].

1.1.1 Ηλεκτρικό Όχημα Μπαταρίας(Battery Electric Vehicle-BEV)

Τα ΗΟ μπαταρίας λειτουργούν εξ ολοκλήρου με μπαταρία και ηλεκτρικό σύστημα μετάδοσης κίνησης. Αυτοί οι τύποι ΗΟ δεν διαθέτουν Κινητήρα Εσωτερικής Καύσης (ΚΕΚ), ενώ η ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται σε μια μεγάλη μπαταρία η οποία φορτίζεται συνδέοντας απευθείας το ηλεκτρικό όχημα στο δίκτυο. Η μπαταρία, με τη σειρά της, παρέχει ισχύ σε έναν ή περισσότερους ηλεκτρικούς κινητήρες για τη κίνηση του ΗΟ. Η γενική αρχή λειτουργίας είναι η εξής :

- Η ισχύς μετατρέπεται από την μπαταρία συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο ρεύμα για τον ηλεκτροκινητήρα.
- Το πεντάλ γκαζιού στέλνει ένα σήμα στον ελεγκτή που προσαρμόζει την ταχύτητα του οχήματος αλλάζοντας τη συχνότητα της ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος από τον μετατροπέα στον κινητήρα.
- Ο κινητήρας συνδέει και στρέφει τους τροχούς μέσω του συστήματος μετάδοσης.
- Όταν πατηθεί το φρένο ή το ΗΟ επιβραδύνει, ο κινητήρας γίνεται γεννήτρια και παράγει ισχύ, η οποία στέλνεται πίσω στην μπαταρία.

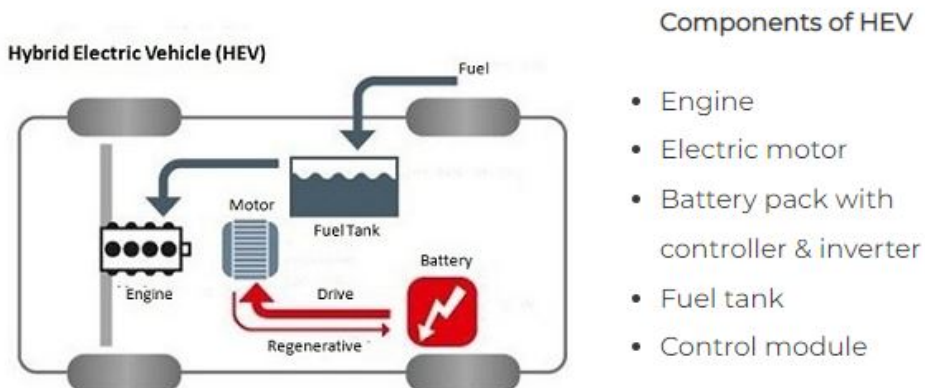


Σχήμα 1.1. Battery Electric Vehicle-BEV [1]

1.1.2 Υβριδικό Ηλεκτρικό Όχημα (Hybrid Electric Vehicle-HEV)

Το υβριδικό ΗΟ διαθέτει και ΚΕΚ και ηλεκτροκινητήρα. Σε αυτόν τον τύπο ΗΟ, ο ΚΕΚ παίρνει ενέργεια από ορυκτό καύσιμο (βενζίνη και άλλους τύπους καυσίμων), ενώ ο ηλεκτρικός κινητήρας παίρνει ηλεκτρική ενέργεια από τις μπαταρίες. Ο βενζινοκινητήρας και ο ηλεκτροκινητήρας περιστρέφουν ταυτόχρονα το κιβώτιο ταχυτήτων, το οποίο κινεί τους τροχούς. Η διαφορά μεταξύ HEV σε σύγκριση με το BEV είναι ότι οι μπαταρίες στο HEV μπορούν να φορτιστούν μόνο από τον ΚΕΚ, την κίνηση των τροχών ή συνδυασμό και των δύο. Δεν υπάρχει θύρα φόρτισης, και έτσι η μπαταρία δεν μπορεί να φορτίσει έξω από το σύστημα, για παράδειγμα από το ηλεκτρικό δίκτυο. Η γενική αρχή λειτουργίας είναι η εξής :

- Διαθέτει ρεζερβουάρ καυσίμου που τροφοδοτεί με καύσιμο τον ΚΕΚ όπως ένα κανονικό αυτοκίνητο.
- Διαθέτει επίσης ένα σετ μπαταριών που λειτουργούν με ηλεκτροκινητήρα.
- Τόσο ο κινητήρας όσο και ο ηλεκτροκινητήρας μπορούν να γυρίσουν το κιβώτιο ταχυτήτων ταυτόχρονα.



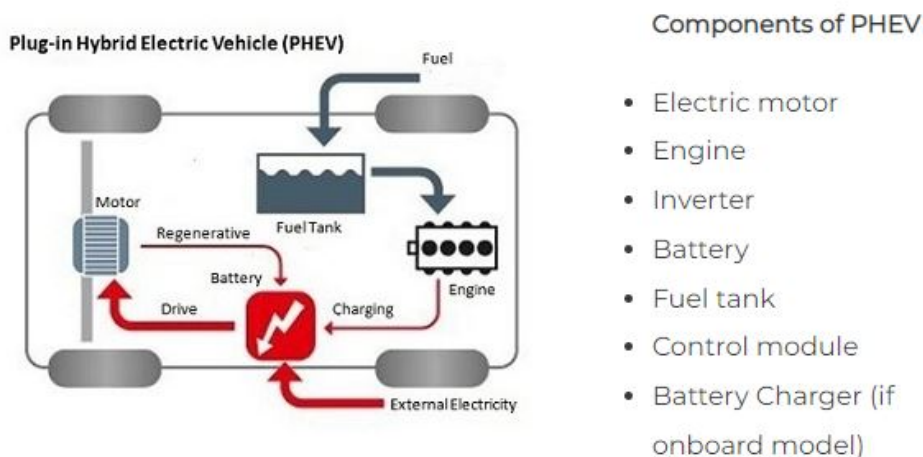
Σχήμα 1.2. Hybrid Electric Vehicle-HEV [1]

1.1.3 Plug-in Υβριδικό Ηλεκτρικό Όχημα(Plug-in Hybrid Electric Vehicle-PHEV)

Το Plug-in υβριδικό ΗΟ είναι ένας τύπος υβριδικού οχήματος που είναι τόσο ΚΕΚ όσο και ηλεκτροκινητήρα. Αυτός ο τύπος ΗΟ τροφοδοτείται από ένα συμβατικό καύσιμο (όπως η βενζίνη) ή ένα εναλλακτικό καύσιμο (όπως το βιοντίζελ) και από μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία. Η μπαταρία τους μεγαλύτερη από τα ΗΕV γεγονός που προσφέρει μεγαλύτερη αυτονομία οδήγησης μερικών δεκάδων χιλιομέτρων. Σε αντίθεση με τα ΗΕV, η μπαταρία τους μπορεί να φορτιστεί συνδέοντας απευθείας το όχημα στο ηλεκτρικό δίκτυο. Οι δύο λειτουργίες που προσφέρει για την κίνηση του οχήματος είναι οι εξής :

- Πλήρως ηλεκτρική λειτουργία, στην οποία ο ηλεκτροκινητήρας και η μπαταρία παρέχουν όλη την ενέργεια του αυτοκινήτου.
- Υβριδική λειτουργία, στην οποία χρησιμοποιούνται τόσο ηλεκτρική ενέργεια όσο και βενζίνη.

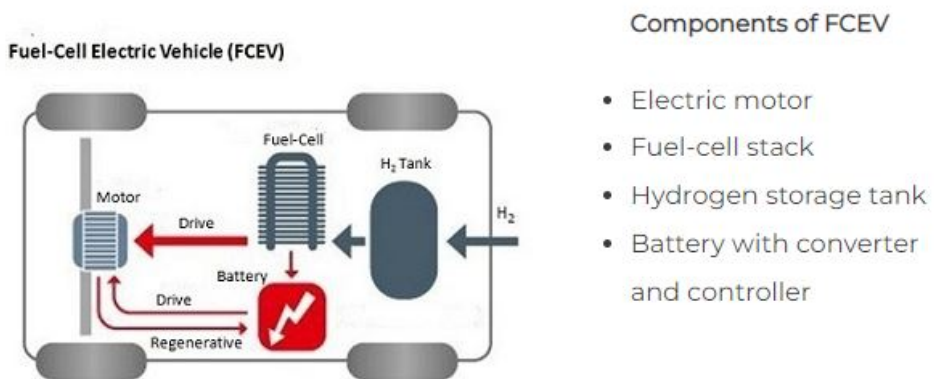
Τα PHEV συνήθως ξεκινούν σε πλήρως ηλεκτρική λειτουργία και λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια μέχρι να εξαντληθεί η μπαταρία τους. Ορισμένα μοντέλα αλλάζουν σε υβριδική λειτουργία όταν φτάσουν στην ταχύτητα αυτοκινητοδρόμου, γενικά πάνω από 60 ή 70 μίλια την ώρα. Μόλις αδειάσει η μπαταρία, ο κινητήρας αναλαμβάνει και το όχημα λειτουργεί ως συμβατικό, μη plug-in υβριδικό. Εκτός από τη σύνδεση σε εξωτερική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, οι μπαταρίες PHEV μπορούν να φορτιστούν είτε από τον ΚΕΚ ή με αναγεννητική πέδηση. Κατά το φρενάρισμα, ο ηλεκτροκινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια, χρησιμοποιώντας την ενέργεια για να φορτίσει την μπαταρία. Ο ηλεκτροκινητήρας συμπληρώνει την ισχύ του κινητήρα. Ως αποτέλεσμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικρότεροι κινητήρες, αυξάνοντας την απόδοση καυσίμου του αυτοκινήτου χωρίς συμβιβασμούς στην απόδοση.



Σχήμα 1.3. Plug-in Hybrid Electric Vehicle-PHEV [1]

1.1.4 Ηλεκτρικό Όχημα με Κυψέλες Καυσίμου(Fuel Cell Electric Vehicle-FCEV)

Τα ΗΟ κυψελών καυσίμου (FCEV), γνωστά και ως οχήματα κυψελών καυσίμου (FCV) ή όχημα μηδενικών εκπομπών, είναι τύποι ηλεκτρικών αυτοκινήτων που χρησιμοποιούν «τεχνολογία κυψελών καυσίμου» για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για τη λειτουργία του οχήματος. Σε αυτόν τον τύπο οχημάτων, η χημική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια και είτε αποθηκεύεται σε κάποια μπαταρία ή καταναλώνεται απευθείας από το όχημα. Καθώς η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται μέσω χημικής αντίδρασης, τα οχήματα αυτά δεν καταναλώνουν καύσιμο και επομένως δεν παράγουν ρύπους. Το παραπροϊόν των κυψελών καυσίμου με υδρογόνο είναι το νερό. Επιπλέον έχουν την δυνατότητα να παρέχουν εξέχουσα δυναμική απόδοση σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα. Τα εμπόδια της εμπορίας τους είναι το υψηλό κόστος των κυψελών καυσίμου, η αποθήκευση, η παραγωγή και η μεταφορά υδρογόνου καθώς και ο κύκλος ζωής των κυψελών.



Σχήμα 1.4. Fuel Cell Electric Vehicle-FCEV [1]

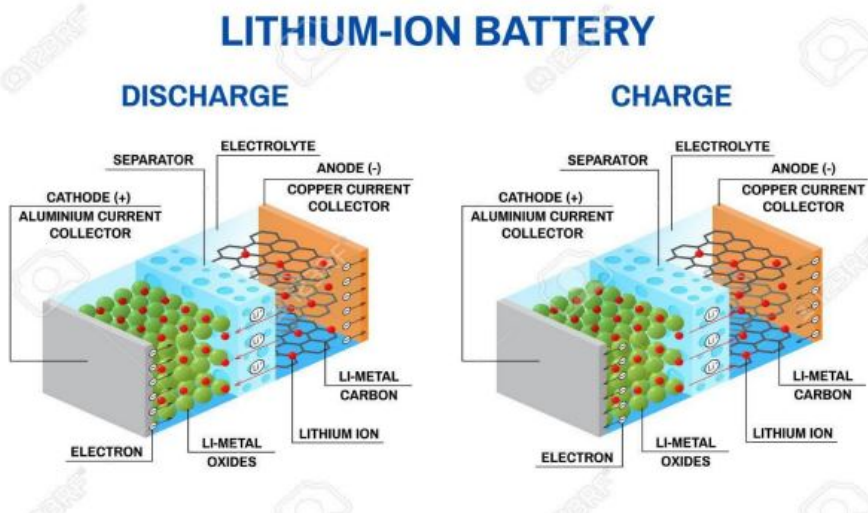
1.2 Τεχνολογίες Συσσωρευτών Ηλεκτρικών Οχημάτων

Οι μπαταρίες του ΗΟ αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά εξαρτήματα για το σύστημα του αυτοκινήτου. Στα αυτοκίνητα BEV, η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στις μπαταρίες είναι μόνη πηγή ενέργειας για την λειτουργία και την κίνηση του οχήματος. Δεν υπάρχουν άλλες πηγές και για το λόγο αυτό οι μπαταρίες πρέπει να είναι αξιόπιστες, υψηλής ισχύος, υψηλής χωρητικότητας, ασφαλείς, ανθεκτικές, ελαφριές και φθηνές. Οι τύποι των μπαταριών ΗΟ εξαρτώνται επίσης από το σύστημα του αυτοκινήτου. Η πιο δημοφιλής μπαταρία ΗΟ που χρησιμοποιείται είναι η μπαταρία ιόντων λιθίου, ενώ η πιο κατάλληλη μπαταρία για υβριδικά ΗΟ είναι η NiMH. Εν συνεχεία θα αναλυθούν όλοι οι τύποι μπαταριών που χρησιμοποιούνται σήμερα σε ΗΟ [4, 11, 12].

1.2.1 Μπαταρία Ιόντων Λιθίου(Lithium-Ion)

Ο τύπος μπαταρίας που συναντάται σε μεγάλο ποσοστό στα ΗΟ είναι η μπαταρία ιόντων λιθίου. Αυτή η μπαταρία είναι ευρέως διαδεδομένη, αφού χρησιμοποιείται σε πολλές φορητές ηλεκτρονικές συσκευές, όπως κινητά τηλέφωνα και φορητούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν πολύ υψηλή αναλογία ισχύος προς βάρος και τη μεγαλύτερη αναλογία ενέργειας προς βάρος, μια παράμετρος που είναι πολύ σημαντική για τις μπαταρίες των ΗΟ αφού

όσο μικρότερο είναι το βάρος της μπαταρίας (ίδια χωρητικότητα kWh), τόσο μεγαλύτερη αυτονομία θα έχει το όχημα με μία μόνο φόρτιση. Αυτή η μπαταρία έχει επίσης χαμηλό επίπεδο «αυτοεκφόρτισης», επομένως είναι καλύτερη από οποιαδήποτε άλλη στο να διατηρεί την πλήρη φόρτισή της. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των μπαταριών Li-Ion είναι η ανάπτυξη υψηλής θερμοκρασίας λειτουργίας, η οποία θα μπορούσε να επηρεάσει τις ενεργειακές επιδόσεις, τη διάρκεια ζωής και την ασφάλεια κατά την χρήση. Για τον λόγο αυτόν, η τεχνολογία αυτή απαιτεί ένα σύστημα διαχείρισης μπαταριών για τον έλεγχο και την παρακολούθηση της εσωτερικής θερμοκρασίας κάθε κελιού. Εκτός από τα μειονεκτήματα που προκαλεί η θερμοκρασία, υπάρχουν και προβλήματα που σχετίζονται με το υψηλό κόστος παραγωγής και την ικανότητα ανακύκλωσης.

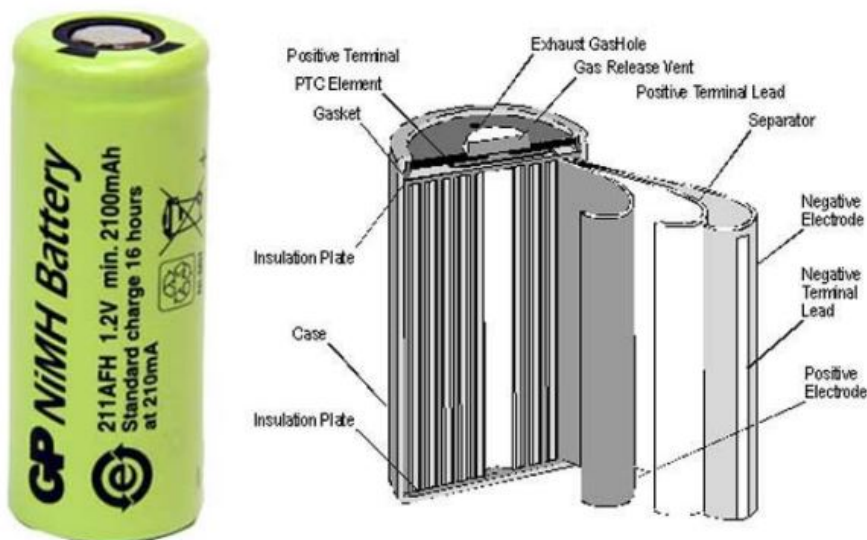


Σχήμα 1.5. Charging and Discharging of Li-on cell [2]

1.2.2 Νικελίου Υδριδίου Μετάλλου(NiMH)

Οι μπαταρίες NiMH χρησιμοποιούνται ευρύτερα από υβριδικά HO (HEV), αλλά χρησιμοποιούνται επίσης με επιτυχία σε ορισμένα αυτοκίνητα BEV. Η επαναφόρτιση των μπαταριών αυτών εξαρτάται από την ταχύτητα του κινητήρα, τους τροχούς και την αναγεννητική πέδηση. Οι μπαταρίες NiMH έχουν μεγαλύτερο κύκλο ζωής από τις μπαταρίες ιόντων λιθίου, είναι ασφαλείς και αντέχουν σε εσφαλμένη χρήση. Τα μεγαλύτερα μειονεκτήματα των μπαταριών NiMH περιλαμβάνουν την υψηλή τιμή αγοράς, το υψηλό ποσοστό αυτοεκφόρτισης και τη δημιουργία υψη-

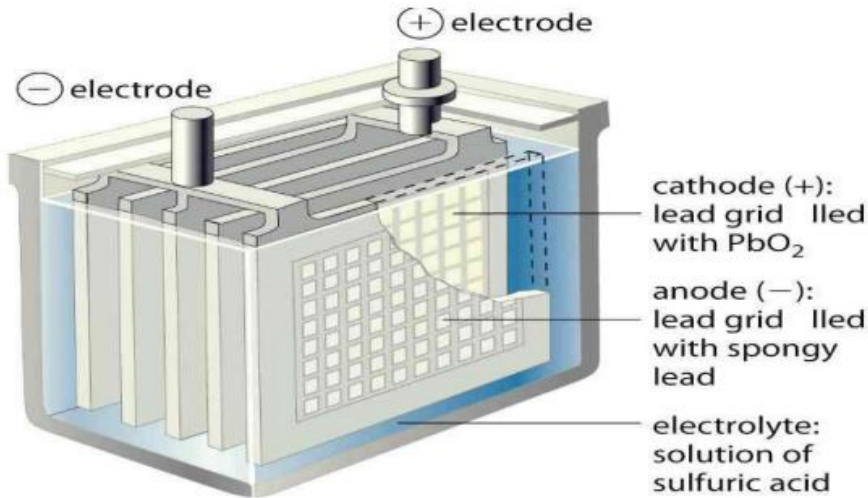
λής θερμοκρασίας όταν λειτουργεί σε υψηλές θερμοκρασίες. Αυτές οι ελλείψεις καθιστούν τη NiMH λιγότερο αποτελεσματική ως μπαταρία για ΗΟ, και είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη από τα υβριδικά αυτοκίνητα.



Σχήμα 1.6. NiMH Battery cell [2]

1.2.3 Μολύβδου οξέος(Lead-Acid)

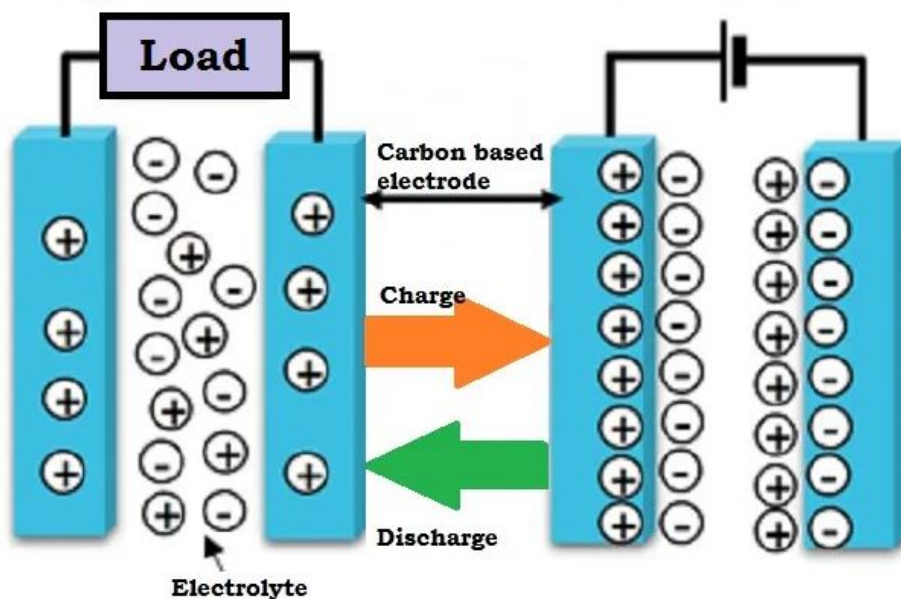
Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος είναι οι παλαιότερες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Σε σύγκριση με τις μπαταρίες ιόντων λιθίου και NiMH, οι μπαταρίες μολύβδου οξέος χάνουν χωρητικότητα και είναι πολύ πιο βαριές, αλλά η τιμή είναι σχετικά φθηνή, είναι ασφαλείς και φιλικές προς το περιβάλλον. Υπάρχουν μπαταρίες μολύβδου οξέος ηλεκτρικών αυτοκινήτων μεγάλης χωρητικότητας υπό ανάπτυξη, αλλά οι μπαταρίες αυτές χρησιμοποιούνται πλέον μόνο από επαγγελματικά οχήματα ως δευτερεύον σύστημα αποθήκευσης. 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.



Σχήμα 1.7. Lead-Acid Battery [2]

1.2.4 Υπερπυκνωτές(Ultracapacitors)

Η μπαταρία υπερ-πυκνωτών δεν είναι όπως ο γενικός ορισμός της μπαταρίας. Σε αντίθεση με άλλες ηλεκτροχημικές μπαταρίες, αυτός ο τύπος μπαταρίας αποθηκεύει πολωμένο υγρό μεταξύ του ηλεκτροδίου και του ηλεκτρολύτη. Καθώς αυξάνεται η επιφάνεια του υγρού, αυξάνεται και η ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας. Όπως οι μπαταρίες Μολύβδου οξέως, οι μπαταρίες υπερπυκνωτών είναι κατάλληλες ως συσκευές δευτερεύουσας αποθήκευσης σε ηλεκτρικά οχήματα. Αυτό συμβαίνει επειδή ο υπερπυκνωτής βοηθά τις ηλεκτροχημικές μπαταρίες να αυξήσουν τα επίπεδα φορτίου τους. Επιπλέον, ο υπερπυκνωτής μπορεί να παρέχει επιπλέον ισχύ στα ηλεκτρικά οχήματα κατά την επιτάχυνση και την αναγεννητική πέδηση.



Σχήμα 1.8. Charging and Discharging of Ultracapacitor [3]

1.2.5 Zebra

Οι μπαταρίες ZEBRA βρίσκουν εφαρμογή σε ηλεκτρικά οχήματα. Αυτές οι μπαταρίες είναι φθηνές και πολύ ασφαλείς. Άλλα πλεονεκτήματά τους είναι ότι έχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, περισσότερους από 1000 κύκλους ζωής, ανοχή βραχυκυκλώματος, και η τυπική αστοχία κυψέλης βραχυκυκλώνεται αλλά δεν προκαλεί πλήρη βλάβη της μπαταρίας. Το κύριο πρόβλημα με τις μπαταρίες ZEBRA είναι η λειτουργία τους σε θερμοκρασία $270-350^{\circ}\text{C}$ και χαμηλή πυκνότητα ισχύος που τις καθιστά ακατάλληλες για εφαρμογή σε BEV.

Παρακάτω παρουσιάζονται συγκεντρωτικά όλα τα χαρακτηριστικά για όλους τους τύπους μπαταριών που παρουσιάστηκαν.

Characteristics	Lead Acid	NiMH	ZEBRA	Li-ion
Nominal cell voltage (V)	2	1.2	2.58	2.5/ 3.3/ 3.6–3.7
Specific energy (Wh/kg)	30–45	30–80	90–100	90–220
Energy density (Wh/L)	60–75	140–300	160	280–400
Specific power (Wh/kg)	180	250–1000	150	600–3400
Cycle life	500–800	500–1000	1000	1000–8000
Self-discharge (%/month)	2–4	20–30	0	2–5
Temperature range (°C)	–20–60	–20–60	270–350	–20–60
Relative costs (\$/kWh)	150	500	270	700
Efficiency (%)	85	80	75–85	93

Σχήμα 1.9. Χαρακτηριστικά διάφορων τύπων μπαταριών [4]

1.3 Τρόποι φόρτισης μπαταριών

Σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο IEC 61851-1 ορίζονται 4 τρόποι φόρτισης των ΗΟ [5, 13].

1.3.1 Mode 1 Αργή φόρτιση από ρευματοδότη(Μονοφασικό ή Τριφασικό)

Το όχημα συνδέεται με το ηλεκτρικό δίκτυο μέσω απλού ρευματοδότη που υπάρχουν σε όλες τις κατοικίες, ο οποίος ανάλογα με τη χώρα συνήθως δεν ξε-

περνά τα 10 A. Για να χρησιμοποιηθεί η λειτουργία 1, η ηλεκτρική εγκατάσταση της οικίας πρέπει να πληροί όλες τις προϋποθέσεις ασφαλείας, πρέπει να διαθέτει σύστημα γείωσης, αυτόματη ασφάλεια για προστασία από υπερφόρτωση και διάταξη προστασίας κατά της ηλεκτροπληξίας(RCD). Όλοι αυτοί οι παράγοντες επιβάλλουν ένα όριο στην ισχύ στη λειτουργία 1, για λόγους ασφαλείας και ποιότητας υπηρεσιών. Φαίνεται ότι το όριο των 10A είναι η καλύτερη επιλογή. Σε αυτή τη λειτουργία υπάρχει μια άμεση, παθητική σύνδεση του HO με το δίκτυο AC, είτε 250V 1-φασικό είτε 480 V 3-φασικό με γείωση, και μέγιστο ρεύμα 16A. Η σύνδεση δεν έχει επιπλέον ακίδες ελέγχου. Για ηλεκτρική προστασία, ο φορτιστής πρέπει να παρέχει γείωση στο HO και να διαθέτει προστασία γείωσης.



Σχήμα 1.10. Φόρτιση mode 1 [5]

1.3.2 Mode 2 Αργή φόρτιση από ρευματοδότη(Μονοφασικό ή Τριφασικό) με διάταξη προστασίας ηλεκτροπληξίας (RCD).

Το όχημα συνδέεται στο ηλεκτρικό δίκτυο μέσω απλού ρευματοδότη και η φόρτιση πραγματοποιείται μέσω μονοφασικής ή τριφασικής παροχής και τοποθέτηση καλωδίου γείωσης. Μια διάταξη προστασίας έναντι της ηλεκτροπληξίας είναι ενσωματωμένη στο καλώδιο γι' αυτό είναι πιο ακριβή λύση σε σχέση με το Mode 1 λόγω της ιδιαιτερότητας του καλωδίου. Κι εδώ υπάρχει μια άμεση σύνδεση του HO στο ηλεκτρικό δίκτυο AC, είτε 250V 1-φασική είτε 480V 3-φασική με γείωση και μέγιστο ρεύμα 32A. Υπάρχει μια άμεση, παθητική σύνδεση από το δίκτυο AC στον εξοπλισμό τροφοδοσίας του HO (EVSE), ο οποίος πρέπει να συμπεριλαμβάνεται ή να βρίσκεται σε απόσταση 0,3 μέτρων από το βύσμα του ρευματοδότη. Από το EVSE στο HO, υπάρχει ενεργή σύνδεση, με την προσθήκη του ελέγχου

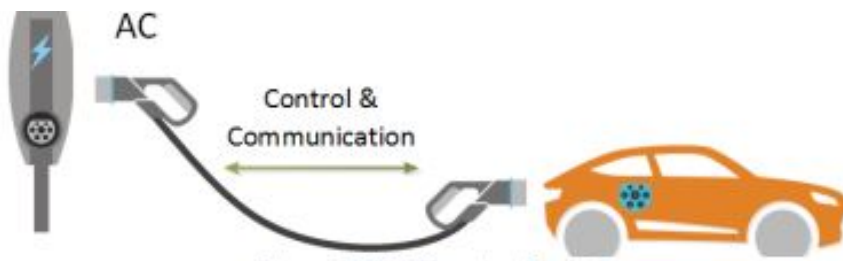
στα παθητικά εξαρτήματα. Το EVSE παρέχει προστασία έναντι σφάλματος γείωσης, υπέρτασης, έναντι υψηλής θερμοκρασίας. Ακόμη παρέχει μεταγωγική λειτουργία(AUTO ON/OFF) ανάλογα με τη ζήτηση ισχύος φόρτισης. Κάποιες προστασίες πρέπει να παρέχονται από SPR-PRCD σύμφωνα με το IEC 62335 Αυτόματες ασφάλειες, RCD κτλ. Για παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιείται μια υποδοχή IEC 60309 στο άκρο της τροφοδοσίας, η οποία ασφαλίζεται με 32A.



Σχήμα 1.11. Φόρτιση mode 2 [5]

1.3.3 Mode 3 Αργή έως ημιταχεία φόρτιση (Μονοφασικό ή Τριφασικό) με ειδικό ρευματοδότη.

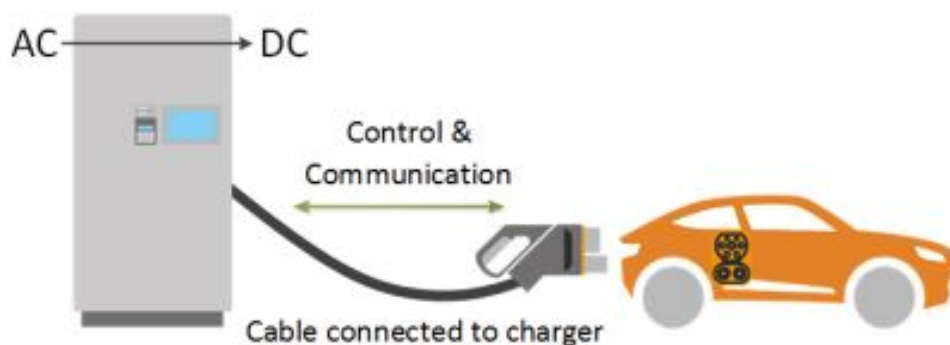
Το όχημα συνδέεται απευθείας στο ηλεκτρικό δίκτυο μέσω συγκεκριμένης πρίζας και βύσματος και ενός ειδικού κυκλώματος. Μια μονάδα ελέγχου και προστασίας τοποθετείται επίσης μόνιμα στην εγκατάσταση (στον τοίχο). Αυτή είναι η μόνη λειτουργία φόρτισης που πληροί τα ισχύοντα πρότυπα ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και επιτρέπει επίσης την απόρριψη φορτίου έτσι ώστε οι ηλεκτρικές οικιακές συσκευές να μπορούν να λειτουργήσουν κατά τη φόρτιση του οχήματος ή αντίθετα να μειώσει το χρόνο φόρτισης του οχήματος. Είναι μια ενεργή σύνδεση του EV σε ένα σταθερό EVSE, είτε 250V 1-φασικό είτε 480V 3-φασικό, συμπεριλαμβανομένης της γείωσης και του συστήματος ελέγχου. Η επικοινωνία υφίσταται με ένα καλώδιο με ενσωματωμένους επιπλέον αγωγούς, με μέγιστο ρεύμα 250 A ή, με τρόπο ίδιο με τη λειτουργία 2 με προαιρετικά επιπλέον αγωγούς, σε μέγιστο ρεύμα 32 A. Η φόρτιση δεν είναι ενεργή από προεπιλογή και απαιτεί σωστή επικοινωνία μέσω του συστήματος ελέγχου για να ενεργοποιηθεί. Το καλώδιο επικοινωνίας μεταξύ των ηλεκτρονικών του αυτοκινήτου και του σταθμού φόρτισης επιτρέπει την ενσωμάτωση σε έξυπνα δίκτυα.



Σχήμα 1.12. Φόρτιση mode 3 [5]

1.3.4 Mode 4 Γρήγορη DC Φόρτιση .

Το ηλεκτρικό όχημα είναι συνδεδεμένο στο κύριο δίκτυο ρεύματος μέσω ενός εξωτερικού φορτιστή. Οι λειτουργίες ελέγχου και προστασίας και το καλώδιο φόρτισης του οχήματος είναι εγκατεστημένα μόνιμα στην εγκατάσταση. Αυτή είναι μια ενεργή σύνδεση του EV σε ένα σταθερό EVSE, 600V DC συμπεριλαμβανομένης της γείωσης και του συστήματος ελέγχου, με μέγιστο ρεύμα 400 A. Η ισχύς φόρτισης συνεχούς ρεύματος διορθώνεται από την τροφοδοσία AC στο EVSE, το οποίο κατά συνέπεια είναι πιο ακριβό από ένα mode 3 EVSE.



Σχήμα 1.13. Φόρτιση mode 4 [5]

Charging Mode	Charging Type	Maximum Current	Maximum Power	Charging Time for 50 kWh	Kilometers from a 15 min Charge ¹
Mode 1	Slow	16 A, AC, Single-Phase	3.7 kW	14 h	5 km
Mode 2	Fast	32 A, AC, Single-Phase	7.4 kW	7 h	9 km
		32 A, AC, Three-Phase	22 kW	>2 h	27 km
Mode 3	Rapid	62 A, AC, Three-Phase	43 kW	>1 h	54 km
Mode 4	Ultra-Rapid	400 A, DC	200 kW	15 min ²	250 km ²

¹. Using an average consumption of 0.20 kWh/km. ² Batteries cannot be fully charged at maximum power.

Σχήμα 1.14. Σύγκριση λειτουργιών φόρτισης μπαταριών [6]

1.4 Τύποι βυσμάτων

AC Τύπου 1

SAE J1772 (IEC 62196 Type 1), γνωστό και ως βύσμα τύπου J. Χρησιμοποιείται κυρίως στην Βόρεια Αμερική και την Ιαπωνία.



Σχήμα 1.15. Βύσμα Τύπου 1(SAE J1772) [5]

AC Τύπου 2

Τον Ιανουάριο του 2013, το βύσμα IEC 62196 Type 2 επιλέχθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή ως επίσημο βύσμα φόρτισης εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Έκτοτε έχει υιοθετηθεί ως το συνιστώμενο βύσμα σε ορισμένες χώρες εκτός Ευρώπης, συμπεριλαμβανομένης της Νέας Ζηλανδίας. Χρησιμοποιείται για τη φόρτιση ΗΟ με ισχύ 3-50 KW.



Σχήμα 1.16. Βύσμα Τύπου 2(IEC 62196 Type 2) [5]

DC Combined Charging System

Για τη DC φόρτιση Combined Charging System(CCS), προστίθενται δύο επιπλέον υποδοχές στο κάτω μέρος του βύσματος Τύπου 1 ή του Τύπου 2 για τη σύνδεση στους σταθμούς φόρτισης DC υψηλής τάσης. Αυτά τα βύσματα είναι κοινώς γνωστά και ως βύσματα Combo 1 ή Combo 2. Η επιλογή των βυσμάτων Combo 1 ή Combo 2 εξαρτάται από τη χώρα, για να μην χρειάζεται να τοποθετούν καλώδια και με τις δύο παραλλαγές οι δημόσιοι πάροχοι χρέωσης. Γενικά, η Βόρεια Αμερική και η Ιαπωνία χρησιμοποιεί βύσματα τύπου Combo 1, ενώ το μεγαλύτερο μέρος του υπόλοιπου κόσμου χρησιμοποιεί βύσματα Combo 2 για CCS.



Σχήμα 1.17. Βύσμα CCS Τύπου 1 και 2 [5]

1.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Ηλεκτρικών Οχημάτων

Πλεονεκτήματα Ηλεκτρικών Οχημάτων [2, 10]

1. Είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον και κατά τη λειτουργία τους αλλά και ως προς το συνολικό τους περιβαλλοντικό αποτύπωμα, υπό τον όρο ότι χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Υπό αυτή την προϋπόθεση, μπορούν να μετριάσουν την παγκόσμια θέρμανση που προκαλείται από το φαινόμενο του θερμοκηπίου και να μειώσουν την εξάρτηση από το πετρέλαιο.
2. Είναι πιο αθόρυβα από τα αυτοκίνητα εσωτερικής καύσης, μειώνοντας την ηχορύπανση στις πόλεις και δημιουργώντας μικρότερη επιβάρυνση στα φυσικά οικοσυστήματα.
3. Τα ΗΟ απαιτούν λιγότερο τακτική και πιο οικονομική συντήρηση και διαθέτουν κινητήρα με πολλαπλάσια διάρκεια ζωής
4. Εμφανίζουν πολύ μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης και μικρότερες απώλειες κατά τη διαδικασία μετατροπής της χημικής ενέργειας σε κινητική και προσφέρουν αυξημένο επίπεδο ροπής σε σχέση με τους ΚΕΚ. κινητήρες εσωτερικής καύσης
5. Έχουν χαμηλότερο 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.
6. Ο ανεφοδιασμός του οχήματος είναι εφικτός ακόμα και στο σπίτι χωρίς την ανάγκη ύπαρξης εξειδικευμένου εξοπλισμού.
7. Οδηγούνται πιο εύκολα και δημιουργούν μικρότερη θερμική επιβάρυνση στον πλανήτη, καθώς δεν απαιτούν το σύστημα ψύξης των μηχανών εσωτερικής καύσης.

Μειονεκτήματα Ηλεκτρικών Οχημάτων [2, 10]

1. Έχουν αυξημένο κόστος παράγωγής και κατ' επέκταση μεγάλο κόστος αγοράς, δυσανάλογο με αυτό των συμβατικών οχημάτων. Ωστόσο δίνονται ση-

μαντικά οικονομικά και φορολογικά κίνητρα που καθιστούν πιο εύκολη την αγορά.

2. Παρουσιάζουν σημαντικά μικρότερη αυτονομία που σε συνδυασμό με το μεγάλο χρόνο ανεφοδιασμού (μερικές ώρες για πλήρη φόρτιση) τα κάνει λιγότερο κατάλληλα για μεγάλες διαδρομές και ταξίδια.
3. Οι μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων αν και έχουν σημειώσει τεράστια εξέλιξη εξακολουθούν σε ένα βαθμό να είναι βαριές, ογκώδεις και να εμφανίζουν μεγάλο κόστος.
4. Μεγάλος χρόνος επαναφόρτισης, συνήθως 6 ώρες για πλήρη επαναφόρτιση σε αργό σταθμό φόρτισης εναλλασσόμενου ρεύματος. Ωστόσο, αρκετά σύγχρονα μοντέλα μπορούν να φορτιστούν κατά 70% σε περίπου μισή ώρα ή και λιγότερο, στους ταχυφορτιστές μεγάλης ισχύος (150+ kW).
5. Εξάρτηση από το δίκτυο ταχυφορτιστών στους αυτοκινητόδρομους. Ωστόσο οι υποδομές συνεχώς βελτιώνονται και το δίκτυο αναπτύσσεται. Ειδικά στις Ευρωπαϊκές χώρες, το δίκτυο ταχυφορτιστών είναι τόσο ώστε να μην αποτελεί μειονέκτημα.

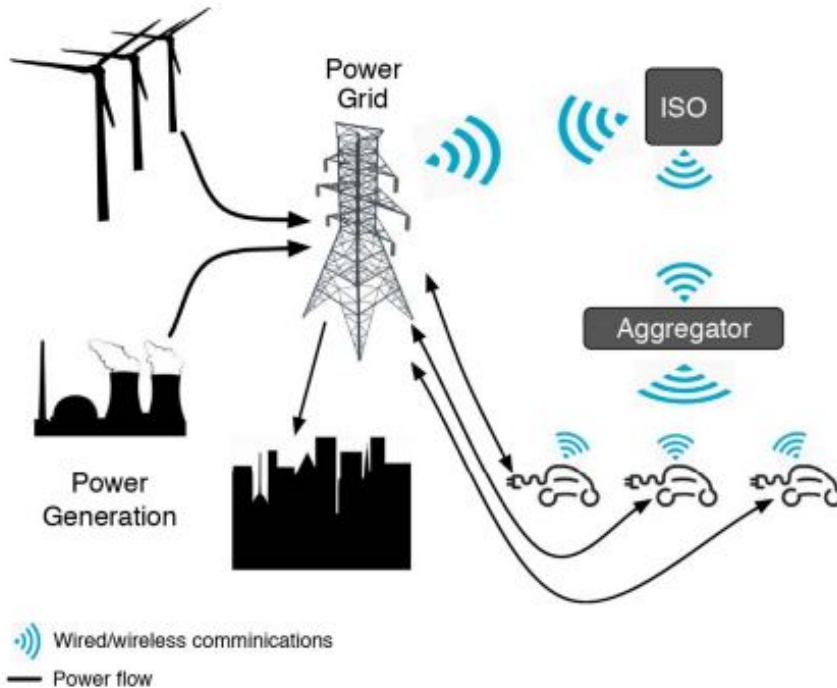
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

V2G Λειτουργία

2.1 Η τεχνολογία V2G

Η βασική λειτουργία της τεχνολογίας V2G είναι ότι υπάρχει αμφίδρομη ροή ισχύος μεταξύ των ΗΟ και του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, τα ΗΟ μπορούν να φορτίζουν και να εκφορτίζουν προγραμματισμένα παρέχοντας ισχύ στο δίκτυο όταν είναι σταθμευμένα χωρίς να επηρεάζονται οι απαιτήσεις φόρτισης των χρηστών για τα καθημερινά τους ταξίδια. Για να λειτουργήσει αυτό, κάθε όχημα χρειάζεται να είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο όταν είναι σταθμευμένο, να είναι εξοπλισμένο με τεχνολογίες ελέγχου και επικοινωνίας με τον διαχειριστή του δικτύου και να διαθέτει ακόμη μετρητή ηλεκτρικής ισχύος. Η τεχνολογία V2G επιτρέπει το λεπτομερή σχεδιασμό της ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος από το δίκτυο, όταν αυτό την χρειάζεται. Βασική προϋπόθεση για την εκτίμηση της ισχύος που χρειάζεται το δίκτυο, είναι να υπάρχουν πολλά ΗΟ συνδεδεμένα συνεχώς στο δίκτυο. Σύμφωνα με έρευνες, ένα όχημα κινείται μόνο κατά το 5-7% σε ημερήσια βάση που σημαίνει ότι βρίσκεται παρκαρισμένο για αρκετό χρόνο. Επιπλέον, εκτενείς έρευνες έχουν δείξει ότι κατά τις ώρες αιχμής το 87% των οχημάτων είναι σταθμευμένα. Επομένως, η κατάσταση των ΗΟ είναι σε μεγάλο βαθμό προβλέψιμη, πράγμα που βοηθάει στον σωστό προγραμματισμό για την V2G. Οι ιδιοκτήτες των οχημάτων ωφελούνται παρέχοντας υπηρεσίες, είτε με έκπτωση στο λογαριασμό του ρεύματος είτε λαμβάνοντας διάφορα άλλα οικονομικά οφέλη. Προκειμένου να έχει ένα ΗΟ τη δυνατότητα να συμμετέχει στην V2G, πρέπει να υπάρχουν εγκατεστημένα ειδικά ηλεκτρονικά ισχύος που υποστηρίζουν V2G λειτουργίες στο όχημα και επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο με το διαχειριστή του δικτύου ώστε να μπορεί να ζητήσει ισχύ από το όχημα οπότε την χρειάζεται.

2.2 Η Αρχιτεκτονική της V2G



Σχήμα 2.1. Διασύνδεση οχημάτων και δικτύου στο V2G [7]

Η τεχνολογία V2G περιλαμβάνει τα ΗΟ και συστήματα που συγκεντρώνουν δεδομένα από μεγάλο αριθμό οχημάτων και τα μεταφέρουν στο διαχειριστή του δικτύου (ISO) ώστε να προγραμματίζει αποτελεσματικότερα όλες τις διεργασίες του δικτύου. Αντίστοιχα, οι φορείς συνάθροισης (aggregators) διαβιβάζουν χρήσιμες πληροφορίες και από την πλευρά του δικτύου στα ΗΟ, όπως για παράδειγμα την τιμή της κιλοβατώρας κατά τη στιγμή φόρτισης κτλ. Οι Aggregators παρακολουθούν την κατάσταση φόρτισης των μπαταριών (SoC) των ΗΟ και τα ομαδοποιούν. Συνήθως, χρειάζονται χιλιάδες οχήματα για να εγχύσουν/απορροφήσουν ενέργεια επιπέδου MWh ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες του δικτύου.

Ένας κεντρικός φορέας συνάθροισης (Central Aggregator) ευθύνεται για τη παρακολούθηση όλων των οχημάτων και αναλαμβάνει συναλλαγές ηλεκτρικής ισχύος εκ μέρους των ΗΟ με βάση την ωριαία τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας και το φορτίο του δικτύου. Ο κεντρικός φορέας συνάθροισης επικοινωνεί άμεσα με τους υπό-

λοιπους φορείς συνάθροισης. Ένα τέτοιο σχήμα είναι πολύ αποδοτικό για την επιτήρηση μεγάλου αριθμού οχημάτων. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1 στο δίκτυο υπάρχει ροή ενέργειας και ροή πληροφορίας, αφού η ορθή και αποδοτική ανταλλαγή ισχύος με το δίκτυο απαιτεί ανταλλαγή πλήθους πληροφοριών διαφορετικού τύπου, όπως η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας(SoC) κάθε ΗΟ, η τιμή της ενέργειας και δεδομένα για τη διαθεσιμότητα ισχύος των ΗΟ και του δικτύου. Εν συνεχεία, ο διαχειριστής του δικτύου έχει τη δυνατότητα να στείλει σήμα στον κεντρικό συναθροιστή(Aggregator), ζητώντας ηλεκτρική ισχύ, και αυτός ειδοποιεί το στόλο των οχημάτων να προσφέρει την απαιτούμενη ισχύ.

2.3 Πλεονεκτήματα της V2G

Η υιοθέτηση της V2G λειτουργίας μπορεί πρώτα από όλα να αποφέρει οικονομικό κέρδος στον ιδιοκτήτη ενός ηλεκτρικού οχήματος μέσω τη συμμετοχής του σε συγκεκριμένες αγορές, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι θα αποσβέσει γρηγορότερα την αγορά ενός ακριβότερου αυτοκινήτου. Η μείωση αυτή του χρόνου απόσβεσης θα βοηθήσει περαιτέρω τη διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στις μεταφορές. Κάτι τέτοιο είναι επιθυμητό αφού, όπως τονίστηκε στο πρώτο κεφάλαιο, τα ηλεκτρικά οχήματα είναι σαφώς πιο οικολογικά από τα οχήματα με ΚΕΚ. Επιπλέον, η V2G λειτουργία μπορεί να μειώσει σημαντικά τα έξοδα του οικιακού καταναλωτή για ηλεκτρική ενέργεια.

Η V2G λειτουργία μπορεί ακόμη να γλιτώσει τα ηλεκτρικά δίκτυα από την ανάγκη εξέλιξης και δημιουργίας καινούριων μονάδων παραγωγής ενέργειας, που θα ήταν απαραίτητα εάν υπάρξει μια μεγάλη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων, τα οποία θα συμπεριφέρονται μόνο ως φορτία. Ακόμη, αποφεύγεται η δημιουργία αποθηκευτικών διατάξεων μεγάλης κλίμακας, που κοστίζουν πολύ ακριβά, αφού στην ουσία το κόστος ενός ΗΟ μετατίθεται στον οδηγό. Ήδη υπάρχοντα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας μπορούν να αποσυρθούν και τη θέση τους να πάρουν οι μπαταρίες των ΗΟ, αφού τα οχήματα θα είναι ικανά να εξομαλύνουν τη ζήτηση του δικτύου και να μην υπάρχει τόσο μεγάλη ανάγκη για peak shaving. Μονάδες που λειτουργούσαν για την παροχή επικουρικών υπηρεσιών στο δίκτυο, όπως η ρύθμιση της συχνότητας και η στρεφόμενη εφεδρεία, επίσης μπορούν να αντικατασταθούν από τα ΗΟ.

Όλα τα παραπάνω έχουν όχι μόνο οικονομικά οφέλη για τα δίκτυα αλλά και για το περιβάλλον, αφού η λειτουργία μίας συμβατικής μονάδας παραγωγής ενέργειας συνεπάγεται και μόλυνση του περιβάλλοντος και υψηλά ποσοστά εκπομπών αέριων ρύπων, όπως το CO₂. Τέλος, η V2G λειτουργία ως μια καινούργια τεχνολογία προσφέρει εύφορο έδαφος για την ανάπτυξη της οικονομίας μέσω νέων θέ-

σεων εργασίας, προωθεί την έρευνα τόσο γύρω από τα ηλεκτρικά οχήματα όσο και γύρω από γειτονικά επιστημονικά πεδία, όπως είναι η τεχνολογία των συσσωρευτών και των τηλεπικοινωνιών, ενώ προβάλλει την ιδέα της εξυπνότερης και αποδοτικότερης χρήσης της ενέργειας και των φυσικών πόρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Δίκτυο Κρήτης

3.1 Ηλεκτρικό Σύστημα Κρήτης

Στο Σ.Η.Ε της Κρήτης λειτουργούν τρεις σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίοι διαθέτουν συνολικά είκοσι επτά συμβατικές μονάδες. Πιο συγκεκριμένα έχουμε τις παρακάτω:

- ΑΗΣ Λινοπεραμάτων
- ΑΗΣ Χανίων
- ΑΗΣ Αθρινολάκκου

Ακόμη στην Κρήτη βρίσκεται εγκατεστημένος ένας μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός και είκοσι επτά σταθμοί ΑΠΕ, εκ των οποίων οι είκοσι ένα είναι αιολικά πάρκα και οι έξι φωτοβολταϊκοί σταθμοί. Οι μονάδες παραγωγής διακρίνονται ανάλογα με τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά σε:

- Μονάδες βάσης
- Μονάδες αιχμής

Πιο συγκεκριμένα, οι μονάδες βάσης βρίσκονται πρώτες στην λίστα προτεραιότητας και αποσκοπούν στην κάλυψη των βασικών αναγκών κατανάλωσης για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αντίθετα, οι μονάδες αιχμής αναλαμβάνουν να συμπληρώσουν την κατανάλωση στις ώρες αιχμής όπου το φορτίο είναι υψηλό, λόγω των τεχνικών τους χαρακτηριστικών που τους επιτρέπουν την ταχεία απόκρισή τους στο σύστημα. Από τις μονάδες της Κρήτης, οι αεριοστροβιλικές μονάδες χρησιμοποιούνται ως μονάδες αιχμής, ενώ οι υπόλοιπες ως μονάδες βάσης. Επιπλέον, το δίκτυο της Κρήτης περιλαμβάνει και υποσταθμούς οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την ανύψωση της τάσης, για να υπάρχουν όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες, καθώς και για τον υποβιβασμό της σε επίπεδο εκμεταλλεύσιμο από τους τελικούς

χρήστες.

Στον Πίνακα 3.1 [13, 14] φαίνονται οι μονάδες που περιλαμβάνει κάθε σταθμός παραγωγής. Ο ρόλος λειτουργίας κάθε μονάδας ανάλογα με τις ανάγκες ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να καθοριστεί από τα είδη των θερμικών μονάδων που περιλαμβάνονται σε κάθε σταθμό παραγωγής.

Μονάδα Παραγωγής	Αεριοστρόβιλος	Ατμοστρόβιλος	Μηχανή Εσωτερικής Καύσης	Μονάδα Συνδυασμένου Κύκλου	Συνολική Εγκατεστημένη ισχύς (MW)
Λινοπεραμάτων	5	6	4	-	265
Χανίων	6	-	-	2	348
Αθρινόλακκου	-	2	2	-	190
Σύνολο	11	8	6	1	803

Πίνακας 3.1. Μονάδες σταθμών παραγωγής Κρήτης

3.2 Χαρακτηριστικά στοιχεία και κόστος για τις συμβατικές μονάδες παραγωγής του ΣΗΕ Κρήτης

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

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

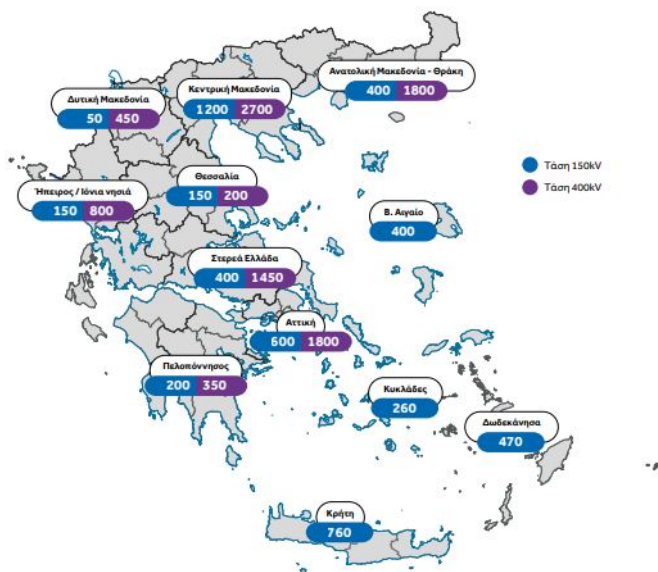
, όπου P η αποδιδόμενη ισχύς την εκάστοτε στιγμή σε MW και τα A, B, C, D οι παράμετροι κόστους των θερμικών μονάδων. Οι παράμετροι κόστους των μονάδων καθώς και το ενδεικτικό κόστος του καυσίμου που χρησιμοποιούν παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2 [13, 14].

Περιοχή	Μονάδα	Ονομαστική ισχύς (MW)	Μέγιστη ενεργός ισχύς (MW)	Ελάχιστη ενεργός ισχύς (MW)	A (Kg/MWh ³)	B (Kg/MWh ²)	C (Kg/MWh)	D (Kg)	Κόστος Καυσίμου (€/Kg)	Κόστος Εκκίνησης (€)
Χανιά	AEP1	16	11	3	0	0.01	267	2170	0.6962	99
	AEP4	24	17.25	1	0	0.01	219	2865	0.6962	1300
	AEP5	30	26.2	2	0	0.01	275	3757	0.6962	400
	AEP6 ΣΚ	66	49.63	5	0.001	0.01	145.54	5120	0.6962	440.01
	AEP7 ΣΚ	66	49.36	5	0.001	0.01	145.64	5120	0.6962	440.41
	AEP11	59	34	1.5	0.001	0.01	227	5000	0.6962	0.1
	AEP12	59	34	1.5	0.001	0.01	227	5000	0.6962	0.1
	AEP13	28	26.4	2	0.001	0.3605	196.29	1675.8	0.6962	858
Λινοπεράματα	ATM1	6	6	4	17.377	-167.2	727.6	0.001	0.4149	2500
	ATM2	14	13	7	0.476	-11.824	378.937	0.001	0.4149	2500
	ATM3	14	13	7	0.476	-11.824	378.937	0.001	0.4149	2500
	ATM4	24	22.35	16	0.18	-8.053	355.088	0	0.4149	4000
	ATM5	24	22	10	0.092	-4.166	300.58	0	0.4149	4000
	ATM6	24	22	10	0.092	-4.166	300.58	0	0.4149	400
	DIESEL1	11	10.5	4.8	0.421	-8.378	230.368	0	0.4149	220
	DIESEL2	11	10.5	4.8	0.421	-8.378	230.369	0	0.4149	220
	DIESEL3	11	10.5	4.8	0.421	-8.378	230.368	0	0.4149	219
	DIESEL4	11	10.5	4.8	0.421	-8.378	230.369	0.01	0.4148	220
	AEP1	15	13	3	2.48	-5.87	881.5	1.2	0.6982	179.1
	AEP2	15	12.5	2	0.3195	-6.777	280.49	1622.8	0.6982	500
	AEP3	43	36.3	5	0.0001	0.2533	197.65	2418	0.6982	1413
	AEP4	14	12.8	2	0.0001	0.7913	234.95	1093.8	0.6982	858
	AEP5	28	24.3	5	0.001	0.3605	169.29	1675.8	0.6982	350
Αθερινόλακος	DIESEL1	51	49	30	0.017	-1.3	222.6	0.27	0.3919	270
	DIESEL2	51	49	30	0.017	-1.3	222.6	0.27	0.3919	270
	ATM1	44	46.5	27	-0.003	-0.958	282.91	0.8	0.3919	350
	ATM2	44	46.5	27	-0.003	-0.958	282.91	0.8	0.3919	350

Πίνακας 3.2. Χαρακτηριστικά και κόστος Θερμικών μονάδων Κρήτης

3.3 ΑΠΕ στην Κρήτη

Κατά το έτος 2022 σύμφωνα με τον ΑΔΜΗΕ [8], η εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών πάρκων ανέρχεται στα 216.30 MW, ενώ η ισχύς των φωτοβολταϊκών πάρκων στα 104.50 MW. Η συνολική παραγωγή ΑΠΕ με υδροηλεκτρικά ανέρχεται στα 324.10 MW, το 30% δηλαδή της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος του ΣΗΕ της Κρήτης. Το συνολικό ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ της Κρήτης στην ηλεκτροπαραγωγή για τον Σεπτέμβριο του 2021 είναι 35% [15]. Το μεγάλο αιολικό δυναμικό που παρουσιάζεται στο νησί, αλλά και τα ιδιαίτερα γεωγραφικά του χαρακτηριστικά δημιουργούν ένα πολύ θετικό κλίμα για την περαιτέρω αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος των ΑΠΕ στην Κρήτη. Αυτή η επένδυση θα μειώσει την παραγωγή από τις αρκετά κοστοβόρες μονάδες παραγωγής που είναι εγκατεστημένες στο νησί, με επακόλουθο την μείωση της μέχρι τώρα υψηλής τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, θα επιτευχθεί ο στόχος παροχής εγγυημένης ισχύος από τις μονάδες των αιολικών πάρκων, κάτι που συνεπάγεται την αύξηση του ποσοστού διείσδυσης των ΑΠΕ στο ισοζύγιο ενέργειας του νησιού. Σύμφωνα με το σχήμα 3.1, τα διαθέσιμα περιθώρια ισχύος για σύνδεση νέων Σταθμών ΑΠΕ στην Κρήτη είναι 760 MW.



Σχήμα 3.1. Διαθέσιμα Περιθώρια ισχύος για σύνδεση νέων Σταθμών ΑΠΕ (MW) [8]

Μέρος II

Πειραματική Ανάλυση και Αποτελέσματα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Περιγραφή Αλγορίθμου

4.1 Συνοπτική Παρουσίαση Αλγορίθμου

Ο αλγόριθμος ξεκινάει μοντελοποιώντας το ημερήσιο πρόγραμμα του κάθε ΗΟ για όλους τους νομούς της Κρήτης. Έτσι, δημιουργήθηκε μία ρουτίνα στο Matlab για την εξαγωγή του ημερήσιου προγράμματος κάθε οχήματος με σκοπό τη διαμόρφωση ενός συνολικού προφίλ φόρτισης.

Η λογική που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία του ημερήσιου προγράμματος κάθε ΗΟ είναι η ακόλουθη:

1. Τυχαία επιλογή ενός από τους διαθέσιμους τύπους οχημάτων.
2. Το όχημα ξεκινά το ταξίδι του από την τοποθεσία 'home'.
3. Σύμφωνα με την ώρα αναχώρησης του οχήματος, αποφασίζεται ο επόμενος προορισμός του.
4. Με βάση την κατάλληλη κατανομή αποφασίζεται ο χρόνος του ταξιδιού.
5. Από την αντίστοιχη κατανομή αποφασίζεται η μέση ταχύτητα του ταξιδιού και σε συνδυασμό με τον χρόνο ταξιδιού υπολογίζεται η απόσταση.
6. Από την αντίστοιχη κατανομή και λαμβάνοντας υπόψιν τον επόμενο προορισμό υπολογίζεται τυχαία ο χρόνος στάθμευσης του οχήματος.
7. Από τον χρόνο άφιξης στον προορισμό και τον χρόνο στάθμευσης, υπολογίζεται ο χρόνος αναχώρησης προς τον καινούριο προορισμό.
8. Βάσει της απόστασης που διένυσε το όχημα καθώς και της μέσης κατανάλωσης του συγκεκριμένου τύπου οχήματος, υπολογίζεται η στάθμη της μπαταρίας κατά το τέλος του ταξιδιού.

9. Σύμφωνα με την στάθμη της μπαταρίας ο αλγόριθμος αποφασίζει αν το όχημα θα φορτίσει καθώς και την ισχύ με την οποία θα γίνει η φόρτιση. Εάν το όχημα δεν φορτίσει, ξεκινάει το επόμενο ταξίδι του με την ίδια στάθμη.
10. Επαναλαμβάνεται η διαδικασία αυτή για ένα 24ωρο.

4.2 Δεδομένα και μεταβλητές

Δημιουργήθηκε μία δομή δεδομένων που ονομάστηκε EV, στην οποία αποθηκεύονται όλες οι μεταβλητές που χρειάζεται ο αλγόριθμος για τη διαμόρφωση του ημερήσιου προγράμματος κάθε ηλεκτρικού οχήματος. Όλες αυτές οι μεταβλητές παρουσιάζονται παρακάτω.

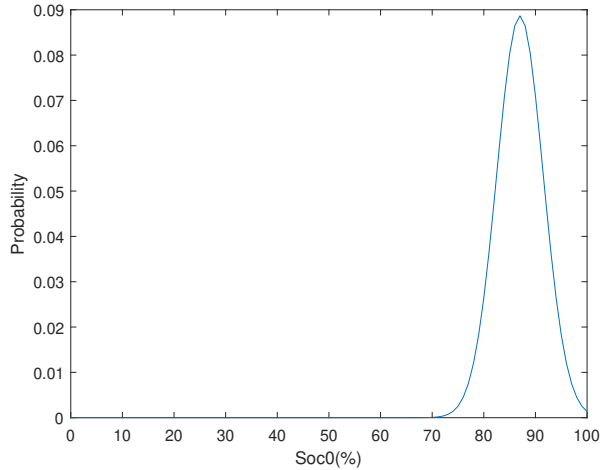
- EV.Population
- EV. SoC_0
- EV.BatteryType
- EV.Consumprion
- EV. E_{max}
- EV. E_{min}
- EV. P_{max}
- EV. P_{min}
- EV. E_{trgt}
- EV. E_{dep}
- EV.TypeOfTravel
- EV.DepartureTime
- EV.TravelTime
- EV.ArrivalTime
- EV.Speed
- EV.TravelDistance
- EV.ChargingTime
- EV.TravelConsumption
- EV. E_{arr}
- EV.P
- EV.E

Ev.Population

Ο Συνολικός αριθμός ΗΟ μοιράστηκε ομοιόμορφα σε κάθε νομό της Κρήτης. Πιο συγκεκριμένα, τα οχήματα μοιράστηκαν σύμφωνα με την κατανομή του πληθυ-

σμού σε κάθε νομό και έτσι τα Χανία έχουν το 25.17%, το Ηράκλειο το 49%, το Ρέθυμνο το 13.73% και το Λασιθί το 12.1% του συνολικού στόλου των ΗΟ.

Ev.Soc₀



Σχήμα 4.1. Κατανομή για το αρχικό ποσοστό φόρτισης της μπαταρίας κάθε οχήματος.

Η μεταβλητή SoC_0 της δομής EV, αφορά το ποσοστό φόρτισης της μπαταρίας με το οποίο ξεκινάει το όχημα από την κατοικία του οδηγού για το πρώτο του ταξίδι. Η αρχικοποίηση γίνεται τυχαία βάσει της κανονικής κατανομής που φαίνεται στο Σχήμα 4.1 και το όχημα θα εκκινήσει με ποσοστό 75-100%.

Ev.BatteryType

Για να είναι όσο πιο αντιπροσωπευτικά τα συμπεράσματα που θα διεξάγουμε από την παρούσα διπλωματική, επιλέχθηκαν οκτώ τύποι αυτοκινήτων [16] με διαφορές τόσο στην κατανάλωση και στο μέγεθος της μπαταρίας, όσο και στην ισχύ και στον χρόνο φόρτισης. Ο τύπος της μπαταρίας λοιπόν επιλέγεται τυχαία, διαλέγοντας έναν ακέραιο από το 1 έως το 8 για κάθε τύπου όχημα. Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα χαρακτηριστικά του κάθε οχήματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά την λειτουργία του αλγορίθμου η τιμή της ιδεατής κατανάλωσης του κάθε οχήματος έχει προσανξηθεί κατά 30% με σκοπό την εύρεση μίας κατανάλωσης όσο πιο κοντά στην πραγματική γίνεται. Αυτό έγινε γιατί η κατανάλωση στα ΗΟ διαφέρει ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία καθώς και την χρήση που γίνεται (αστική ή υπεραστική).

Types	*Real Energy Consumption Combined (Wh/km)	Battery Capacity (KWh)	Charging Power AC P_{max} (KW)	Fast Charging Power DC P_{max} (KW)	Charging Port	Time Of Charging	Time Of Fast Charging
Type 1	156	57.5	11	170	Type 2	(0 → 235km) 12h45m	(24 → 188km) 43m
Type 2	168.50	39	3.6	46	Type 2	(0 → 235km) 12h45m	(24 → 188km) 43m
Type 3	165	64	11	77	Type 2	(0 → 395km) 7h	(40 → 316km) 44m
Type 4	169	52	22	46	Type 2	(0 → 315km) 3h	(32 → 252km) 56m
Type 5	175	28.50	6.6	56	Type 2	(0 → 170km) 5h15m	(17 → 136km) 36m
Type 6	162	45	7.4	101	Type 2	(0 → 285km) 7h15m	(29 → 228km) 26m
Type 7	182	45	7.4	101	Type 2	(0 → 255km) 7h15m	(26 → 204km) 26m
Type 8	201.50	68	11	115	Type 2	(0 → 345km) 7h30m	(35 → 276km) 38m

Πίνακας 4.1. Τύποι ΗΟ και χαρακτηριστικά αυτών

Ev.Consumption

Αφορά την εργοστασιακή κατανάλωση ενέργειας του οχήματος ($\frac{KWh}{km}$) και διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του οχήματος.

Ev.E_{max}

Είναι η μέγιστη χωρητικότητα της μπαταρίας(KWh) του οχήματος και είναι διαφορετική για κάθε τύπο οχήματος.

Ev.E_{min}

Αφορά την ελάχιστη χωρητικότητα της μπαταρίας του οχήματος(KWh) και διαφέρει ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας. Πιο συγκεκριμένα η ελάχιστη χωρητικότητα της μπαταρίας εκφράζεται ως $0.2 \times \text{Ev.E}_{\max}$.

Ev.P_{max}

Αφορά την μέγιστη ισχύ φόρτισης του οχήματος(KW) και διαφέρει ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας.

Ev.P_{min}

Αφορά την μέγιστη ισχύ εκφόρτισης του οχήματος(KW) και διαφέρει ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας.

EV.E_{trgt}

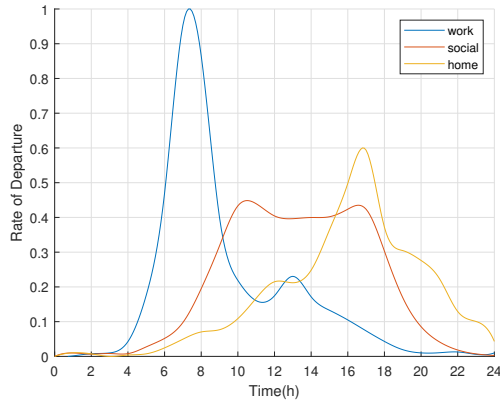
Είναι το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας(KWh) μέχρι το οποία θα φορτίσει το ΗΟ όταν συνδεθεί στο δίκτυο και θα αποφασιστεί κατά την εκκίνηση της φόρτισης. Λαμβάνει τιμές τυχαία μεταξύ του $0.75 \times \text{EV.E}_{\max}$ και του $0.98 \times \text{EV.E}_{\max}$.

EV.E_{dep}

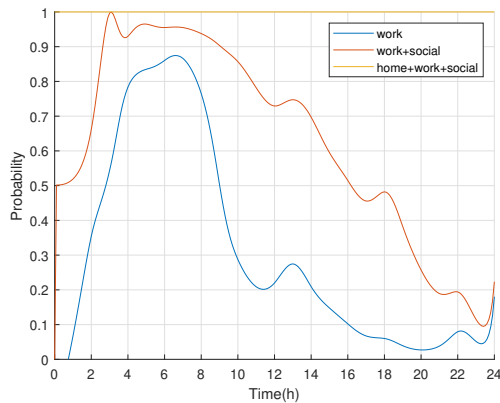
Αφορά την ενέργεια που υπάρχει αποθηκευμένη στην μπαταρία κάθε ηλεκτρικού οχήματος κατά την αναχώρησή του για κάθε προορισμό. Για το πρώτο ταξίδι από το σημείο home η μεταβλητή αυτή ορίζεται ως: $\text{EV.E}_{\text{dep}} = \frac{\text{EV.Soc}_0}{100} \times \text{EV.E}_{\max} (\text{KWh})$. Εν συνεχεία όταν το όχημα φορτίσει κατά την παραμονή του στον σταθμό φόρτισης, το EV.E_{dep} για το επόμενο ταξίδι ορίζεται ως: $\text{EV.E}_{\text{dep}} = \text{EV.E}_{\text{trgt}} (\text{KWh})$ ενώ σε περίπτωση που το όχημα δεν φορτίσει η μεταβλητή θα παραμείνει ίδια, δηλαδή $\text{EV.E}_{\text{dep}} = \text{EV.E}_{\text{arr}} (\text{KWh})$.

EV.TypeofTravel

Στο σχήμα 4.2 φαίνεται η κατανομή για τον ρυθμό αναχώρησης των ΗΟ, ο οποίος έχει προκύψει από πραγματικά δεδομένα [13]. Προσθέτωντας και κανονικοποιώντας τον κάθε ρυθμό ξεχωριστά, προέκυψε το σχήμα 4.3 από το οποίο ο αλγόριθμος επιλέγει τυχαία τον επόμενο προορισμό για κάθε ταξίδι του οχήματος. Πιο συγκεκριμένα, παράγεται ένας τυχαίος αριθμός από το 0 έως το 1 και βάσει της ώρας εκκίνησης του συγκεκριμένου ταξιδιού επιλέγεται ο προορισμός ανάλογα με την θέση του σημείου στην καμπύλη μας. Για παράδειγμα, έστω ότι παράγεται ο αριθμός 0.4 και το όχημα εκκινεί στις 20:00. Τότε, ο επόμενος προορισμός μας είναι η τοποθεσία 'home'. Τέλος, οι διαθέσιμοι προορισμοί είναι το 'work' ή 'Social or shop' ή 'home'.



Σχήμα 4.2. Κατανομή για τον ρυθμό αναχώρησης του οχήματος.

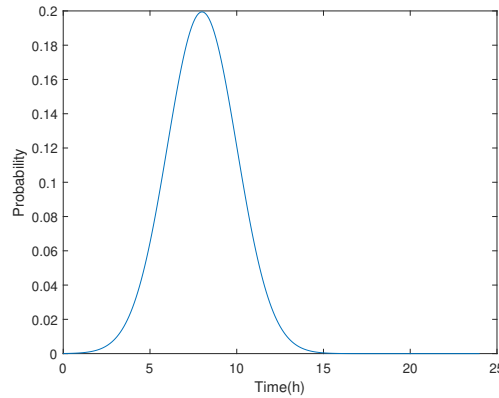


Σχήμα 4.3. Επιλογή του επόμενου προορισμού του οχήματος.

Ev.DepartureTime

Η μεταβλητή αυτή αφορά την ώρα εκκίνησης του οχήματος για το νέο του ταξίδι. Έτσι η πρώτη ώρα αναχώρησης επιλέγεται τυχαία από την κατανομή που φαίνεται στο 4.4, η οποία δημιουργήθηκε λαμβάνοντας υπόψιν ότι το μεγαλύτερο κομμάτι του πληθυσμού ξεκινάει από την κατοικία του καθημερινά περίπου στις 8:00. Κάθε επόμενη ώρα αναχώρησης υπολογίζεται ως:

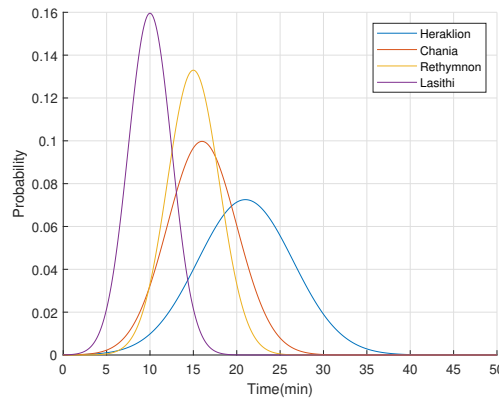
$$\text{EV.DepartureTime} = \text{EV.ArrivalTime} + \text{EV.ChargingTime (h)}$$



Σχήμα 4.4. Κατανομή για την ώρα αναχώρησης του οχήματος.

Ev.TravelTime

Δημιουργήθηκε μία κανονική κατανομή για κάθε νομό της Κρήτης με σκοπό την εύρεση του χρόνου του κάθε ταξιδιού. Η δημιουργία της κάθε κατανομής στηρίχτηκε στις μέσες αποστάσεις του κάθε νομού. Έτσι, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.5, ο χρόνος για ένα ταξίδι κυμαίνεται στο Ηράκλειο από 5 έως 38 λεπτά, στα Χανιά από 4 έως 28 λεπτά, στο Ρέθυμνο από 5 έως 25 λεπτά και στο Λασιθήι από 2 έως 18 λεπτά.



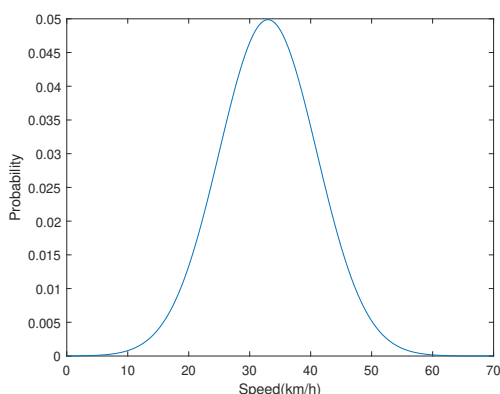
Σχήμα 4.5. Κατανομή για τον χρόνο ταξιδιού του οχήματος.

Ev.ArrivalTime

Δίνεται από την σχέση $\text{EV.ArrivalTime}(\mathbf{h}) = \frac{\text{EV.TravelTime}(\text{min})}{60} + \text{EV.DepartureTime}(\mathbf{h})$ και σχετίζεται με το χρόνο άφιξης του κάθε οχήματος στον προορισμό του σε

κάθε ταξίδι.

Ev.Speed



Σχήμα 4.6. Κατανομή για την μέση ταχύτητα που ταξιδεύει το όχημα.

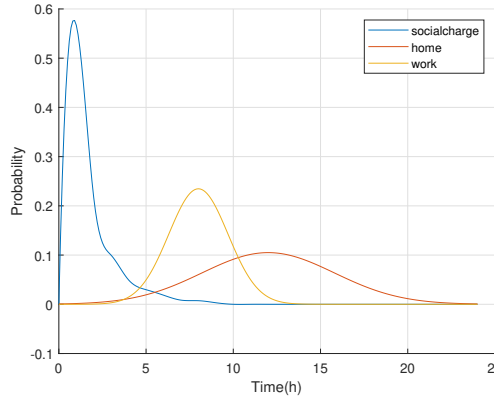
Μέσα από πραγματικά δεδομένα βγήκε το συμπέρασμα ότι η ταχύτητα εντός πόλης κυμαίνεται από 10 έως 58 (km/h). Έτσι, δημιουργήθηκε η κανονική κατανομή που παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.6. Από αυτήν, επιλέγεται τυχαία η μέση ταχύτητα για κάθε ταξίδι του οχήματος.

Ev.TravelDistance

Σχετίζεται με την απόσταση που διανύει το όχημα σε κάθε του ταξίδι και δίνεται από τον τύπο: $\text{Ev.TravelDistance} = \text{Ev.Speed} \times \frac{\text{Ev.TravelTime}}{60} (\text{km})$.

Ev.ChargingTime

Η μεταβλητή αυτή αφορά το χρόνο που μένει σταθμευμένο το κάθε όχημα ανάμεσα σε δύο ταξίδια. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.7, δημιουργήθηκε μία κατανομή για κάθε είδος ταξιδιού όπου προέκυψε από πραγματικά δεδομένα. Από τις κατανομές αυτές παρατηρείται ότι ο χρόνος παραμονής για την κατηγορία 'Social or shop' κυμαίνεται από 0 έως 9 ώρες, στην κατηγορία 'home' από 2 έως 22 ώρες και τέλος στην κατηγορία 'work' από 2 έως 13 ώρες.



Σχήμα 4.7. Κατανομή για τον χρόνο φόρτισης του οχήματος.

Ev.TravelConsumption

Ο όρος αυτός αφορά την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του οχήματος σε κάθε του ταξίδι και δίνεται από τον τύπο:

$$\text{EV.TravelConsumption} = \text{EV.Consumption} \times \text{EV.TravelDistance} \text{ (KWh)}.$$

Ev.E_{arr}

Ο όρος αυτός αφορά την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στην μπαταρία του οχήματος για κάθε άφιξη στον προορισμό και δίνεται από τον τύπο:

$$\text{EV.E}_{\text{arr}} = \text{EV.E}_{\text{dep}} - \text{EV.TravelConsumption} \text{ (KWh)}.$$

Ev.P

Η μεταβλητή αυτή σχετίζεται με την σταθερή ισχύ ("χαζή φόρτιση") που φορτίζει το κάθε όχημα όταν αποφασιστεί να φορτίσει στον εκάστοτε σταθμό. Δίνεται από τον τύπο:

$$\text{EV.P} = \frac{\text{EV.E}_{\text{trgt}} - \text{EV.E}_{\text{arr}}}{\text{EV.ChargingTime}} \text{ (KW)}.$$

Εαν ο χρόνος δεν είναι αρκετός για να φτάσει η στάθμη της μπαταρίας στο επιθυμητό επίπεδο, έχουμε τη μεταβλητή $\text{EV.P} > \text{EV.P}_{\text{max}}$ το οποίο δεν είναι εφικτό. Άρα θέτουμε $\text{EV.P} = \text{EV.P}_{\text{max}}$ και επανεκτιμούμε το $\text{EV.E}_{\text{trgt}}$.

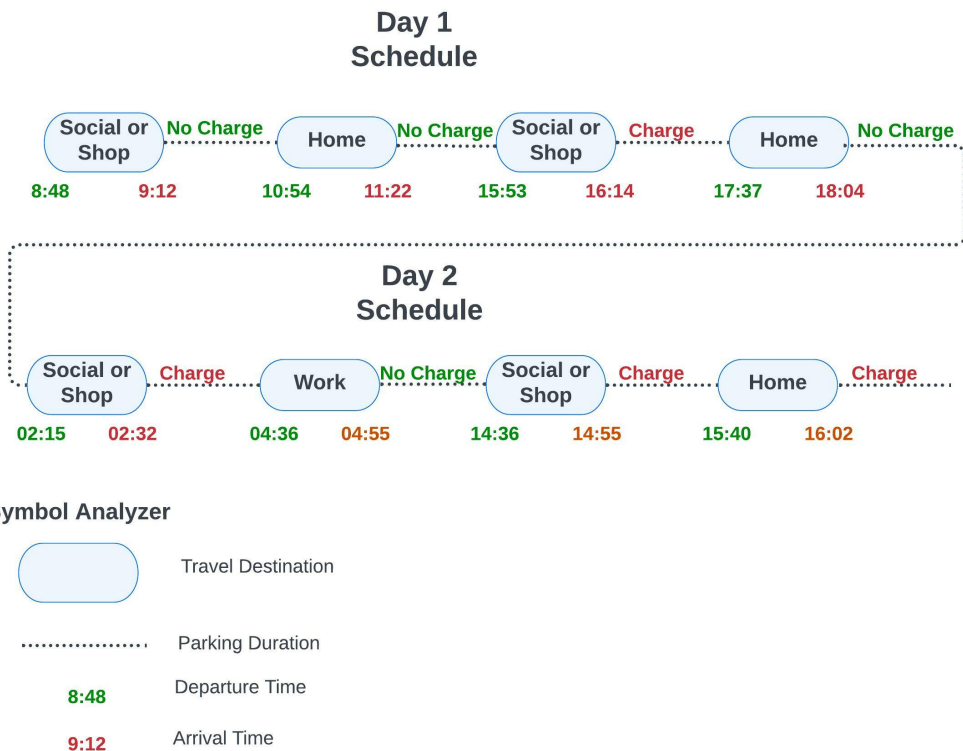
Ev.E

Ο όρος αυτός αφορά την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που προσέλαβε το

όχημα κατά τον χρόνο φόρτισης του και δίνεται από τον τύπο:

$$EV.E = EV.P \times EV.ChargingTime(KWh).$$

4.3 Ανάλυση Αλγορίθμου Ημερήσιου Προγράμματος



Σχήμα 4.8. Διήμερο πρόγραμμα τυχαίου οχήματος.

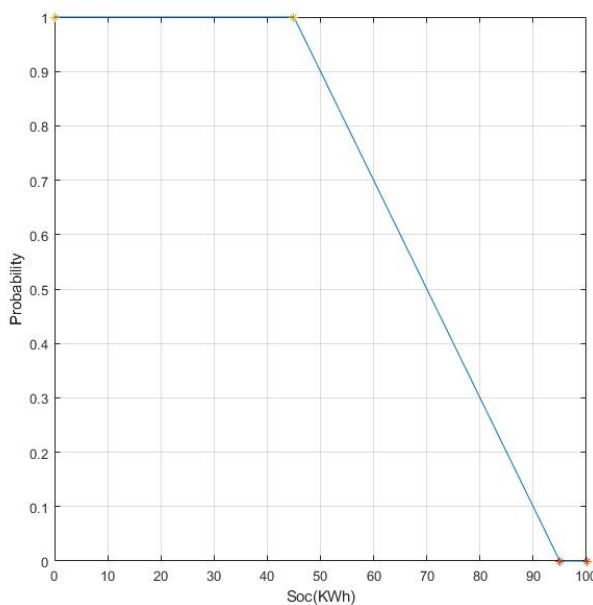
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται πιο αναλυτικά η λειτουργία του αλγορίθμου εκτίμησης του ημερήσιου προγράμματος των ΗΟ. Για να γίνει αυτό πιο κατανοητό, επιλέχθηκε τυχαία ένα όχημα από τον νομό Ηρακλείου και δημιουργήθηκε

διάγραμμα του διήμερου προγράμματός του. Στο επόμενο Σχήμα 4.8 παρουσιάζεται το διήμερο πρόγραμμα του οχήματος και παρακάτω αναλύεται η λειτουργία για την εύρεση αυτού. Να σημειωθεί πως όλα τα οχήματα εκκινούν από την τοποθεσία 'home'.

Αρχικά, επιλέγεται ο τύπος της μπαταρίας του οχήματος με έναν τυχαίο αριθμό από 1-8. Από τον τύπο της μπαταρίας καθορίζονται οι μεταβλητές $EV.E_{max}$, $EV.P_{max}$, $EV.P_{min}$, $EV.consumption$ και $EV.E_{min}$. Έπειτα, σύμφωνα με τις κατανομές των Σχημάτων 4.1, 4.4 καθορίζονται οι μεταβλητές $EV.SoC_0$ (75-100%) και $EV.DepartureTime$ αντίστοιχα. Με βάση την κατανομή, προκύπτει τυχαία ότι το όχημα ξεκινάει το ταξίδι του από την τοποθεσία 'home' στις 8:48 και σύμφωνα με το Σχήμα 4.5 καθορίζεται ανάλογα με τον νομό ο χρόνος του ταξιδιού, ο οποίος είναι 24 λεπτά.

Εν συνεχεία, αποφασίζεται ο τύπος του ταξιδιού 'Social or Shop' με τον ακόλουθο τρόπο: παράγεται ένας τυχαίος αριθμός από 0-1 και βάσει της ώρας εκκίνησης του συγκεκριμένου ταξιδιού επιλέγεται ο προορισμός ανάλογα με την θέση του σημείου στην καμπύλη του Σχήματος 4.3. Σε κάθε περίπτωση ο τύπος του ταξιδιού πρέπει να είναι διαφορετικός από το σημείο εκκίνησης του (δηλαδή στην προκειμένη περίπτωση του 'home').

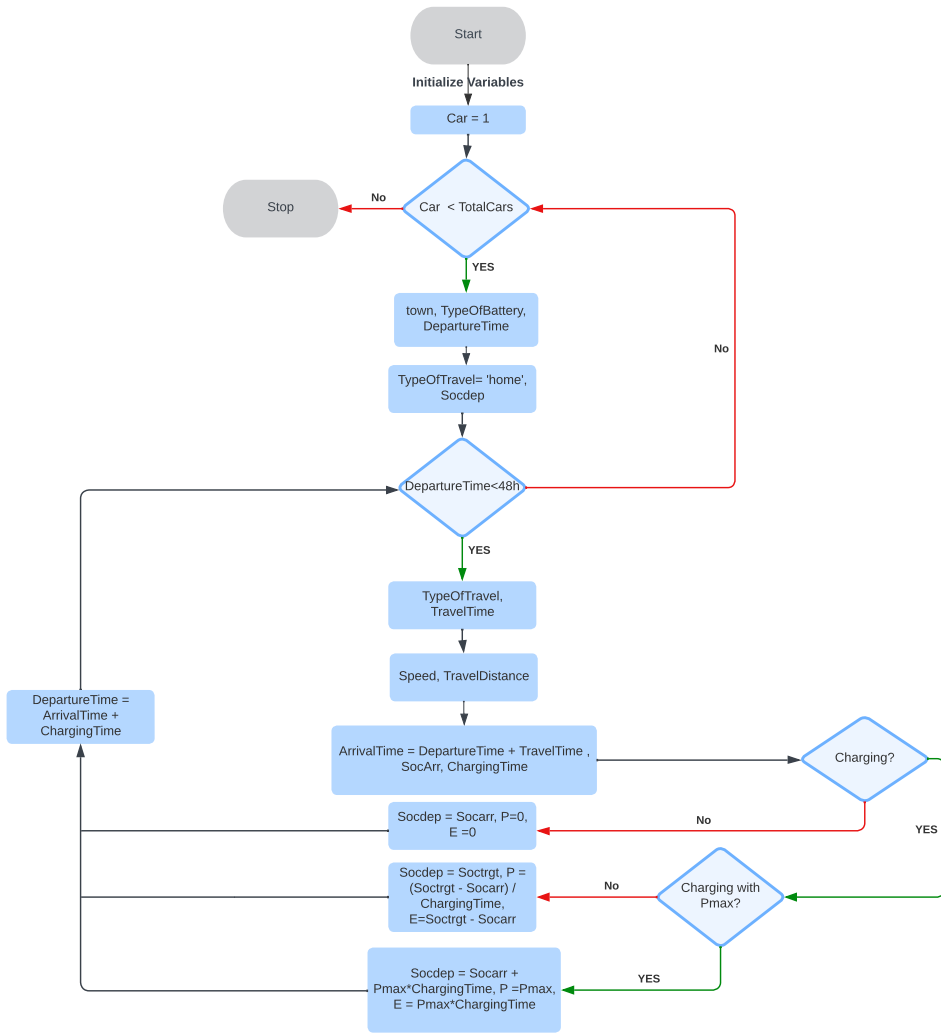
Επιπλέον, υπολογίζεται ο χρόνος άφιξης 9:12 από τον τύπο $EV.ArrivalTime = EV.DepartureTime + EV.TravelTime$, επιλέγεται τυχαία από το Σχήμα 4.6 η ταχύτητα του ταξιδιού $EV.Speed$ $43 \frac{km}{h}$ και ακολούθως υπολογίζεται η απόσταση που διένυσε το όχημα 17.2 km από τον τύπο $EV.TravelDistance = EV.Speed \times EV.TravelTime$ και εκτιμάται η κατανάλωση του οχήματος $EV.TravelConsumption$ 5.37 KWh από τον τύπο $EV.TravelConsumption = EV.Consumption \times EV.TravelDistance$. Έπειτα, βρίσκεται η μεταβλητή $EV.E_{arr}$ αφαιρώντας το $EV.TravelConsumption$ από το $EV.E_{dep}$ και τον χρόνο παραμονής στον σταθμό $EV.ChargingTime$ από το Σχήμα 4.7, ανάλογα με τον τύπο ταξιδιού. Τέλος, αφού αρχίσει η παραμονή του οχήματός στον σταθμό, αποφασίζεται εάν αυτό θα φορτίσει ή όχι.



Σχήμα 4.9. Επιλογή φόρτισης ανάλογα με το ποσοστό μπαταρίας.

Πιο συγκεκριμένα υπολογίζεται το ποσοστό φόρτισης της μπαταρίας από τον τύπο $\frac{EV.E_{arr}}{EV.E_{max}} \times 100\%$. Εάν αυτό είναι μεγαλύτερο του 95% αποφασίζεται να μην γίνει φόρτιση, ενώ εάν είναι μικρότερο του 45% να φορτίσει. Στην περίπτωση που το ποσοστό της μπαταρίας βρίσκεται ανάμεσα στο 45% και 95%, η φόρτιση καθορίζεται βάσει του Σχήματος 4.9. Ειδικότερα, παράγεται τυχαία ένας αριθμός από 0-1 και ανάλογα με το ποσοστό της μπαταρίας δημιουργείται ένα σημείο. Στην περίπτωση που το σημείο είναι κάτω από την καμπύλη 4.9, το όχημα φορτίζει, διαφορετικά απλά παραμένει στο σταθμό φόρτισης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, λοιπόν, το όχημα δεν φορτίζει και η μεταβλητή $EV.E_{dep}$ παραμένει ίση με την μεταβλητή $EV.E_{arr}$.

Επιπρόσθετα, για τη φόρτιση του οχήματος υπολογίζεται τυχαία η μεταβλητή $EV.E_{tgt}$ η οποία παίρνει τιμές από 75-98%. Εάν ο χρόνος φόρτισης είναι αρκετός, τότε το όχημα φορτίζει έως το $EV.E_{tgt}$, διαφορετικά το όχημα φορτίζει με ισχύ $EV.P_{max}$ έως ότου να γίνει αποσύνδεση από το δίκτυο. Τέλος ο χρόνος αναχώρησης $EV.DepartureTime$ ανανεώνεται ως $EV.DepartureTime = EV.ArrivalTime + EV.ChargingTime$ και η ρουτίνα επαναλαμβάνεται για 48 ώρες, ώστε να δημιουργηθεί ένα διήμερο πρόγραμμα ταξιδίων και να ισορροπήσει το σύστημα.



Σχήμα 4.10. Διάγραμμα ροής αλγορίθμου δημιουργίας ημερήσιου προγράμματος οχημάτων.

4.4 Στρατηγικές Φόρτισης

Μή Ελεγχόμενη Φόρτιση(Dumb Charging)

Είναι η πιο απλή μορφή φόρτισης και πραγματοποιείται όταν κάποιο ΗΟ σταθ-

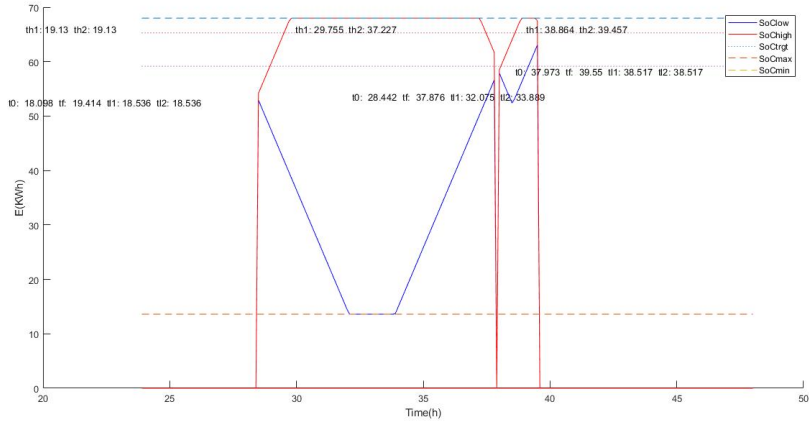
μεύει και όταν αυτό κριθεί αναγκαίο. Το όχημα απορροφά σταθερή ισχύ σε όλη τη διάρκεια φόρτισης. Ο χρόνος εκκίνησης της φόρτισης καθώς και η συνολική διάρκειά της είναι διαφορετικά για κάθε όχημα και για κάθε δρομολόγιο. Η μη ελεγχόμενη φόρτιση σε συνδυασμό με μεγάλο ποσοστό διείσδυσης ΗΟ επιδρά σημαντικά στην αύξηση της αιχμής του φορτίου του συστήματος.

Ελεγχόμενη Φόρτιση V2G

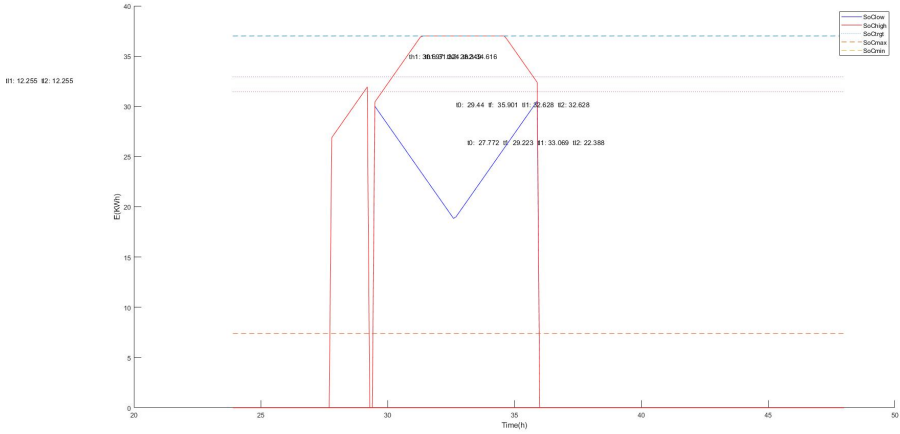
Στόχος αυτής της φόρτισης είναι να μειώσει το κόστος λειτουργίας του συστήματος και να ελαχιστοποιήσει τις ανεπιθύμητες επιπτώσεις από τη μη συντονισμένη λειτουργία των ΑΠΕ, η οποία δοκιμάζει το ΣΗΕ της Κρήτης. Οπότε λαμβάνει υπόψιν το καθαρό φορτίο της Κρήτης και έχει στόχο να ελαχιστοποιήσει το συνολικό κόστος λειτουργίας του συστήματος καθώς και τις συνεχείς αυξομειώσεις του φορτίου. Το πετυχαίνει βελτιστοποιώντας την ισχύ που θα παράξει κάθε μονάδα παραγωγής καθώς και την ισχύ που θα απορροφήσουν ή θα δώσουν τα ΗΟ στο δίκτυο.

4.5 Μοντέλο Μπαταρίας

Παράλληλα με τον αλγόριθμο εύρεσης του ημερήσιου προγράμματος των ΗΟ, εκτιμώνται τα άνω και κάτω δυναμικά όρια ενέργειας για κάθε όχημα στο διήμερο, όπως παρουσιάζεται στα Σχήματα 4.11, 4.12. Συγκεκριμένα, στην πρώτη περίπτωση φόρτισης το όχημα φορτίζει με ισχύ μικρότερη της $EV.P_{max}$ και έχει αρκετό χρόνο ώστε να εκφορτίσει έως το $EV.E_{min}$ και να φορτίσει έως το $EV.E_{tgt}$, ενώ στην δεύτερη και τέταρτη περίπτωση παρατηρείται ότι ο χρόνος παραμονής στον σταθμό δεν είναι αρκετός και το όχημα φορτίζει με ισχύ ίση μικρότερη της $EV.P_{max}$ αλλά χωρίς να κατορθώσει να εκφορτίσει έως το $EV.E_{min}$. Αντίθετα στην τρίτη περίπτωση παρατηρείται ότι ο χρόνος παραμονής στον σταθμό δεν είναι αρκετός και το όχημα φορτίζει με ισχύ ίση με $EV.P_{max}$. Συνεπώς, στην πρώτη, δεύτερη και τέταρτη φόρτιση, υπολογίζονται για κάθε περίπτωση πρώτα οι χρόνοι $t_{l1}, t_{l2}, t_{h1}, t_{h2}$ και εν συνεχεία τα δυναμικά όρια E_{low} και E_{high} σύμφωνα με τις σχέσεις (4.1)-(4.7) [17, 18]. Ακόμη αποθηκεύεται για κάθε ταξίδι όλων των οχημάτων η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στους συσσωρευτές κατά την άφιξη καθώς και την αναχώρησή τους από τον σταθμό φόρτισης. Όπως θα δειχτεί στην επόμενη υποενότητα, ανάλογα με τον χρόνο άφιξης και αναχώρησης αθροίζονται οι αντίστοιχες ενέργειες άφιξης και αναχώρησης σε κάθε χρονική στιγμή, ώστε αυτές να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της βέλτιστης συνολικής ισχύος φόρτισης των οχημάτων.



Σχήμα 4.11. Δυναμικά όρια ενέργειας πρώτου οχήματος για 48 ώρες.



Σχήμα 4.12. Δυναμικά όρια ενέργειας δεύτερου οχήματος για 48 ώρες.

$$E_{low}(i, t) = \begin{cases} E_{min}(i) + P_{min}(i) \cdot (t - t_{l1}(i)) & , \text{ if } t < t_{l1}(i) \\ E_{min}(i) & , \text{ if } t_{l1}(i) \leq t \leq t_{l2}(i) \\ E_{min}(i) + P_{max}(i) \cdot (t - t_{l2}(i)) & , \text{ if } t > t_{l2}(i) \end{cases} \quad (4.1)$$

$$E_{high}(i, t) = \begin{cases} E_{max}(i) + P_{max}(i) \cdot (t - t_{h1}(i)) & , \text{ if } t < t_{h1}(i) \\ E_{max}(i) & , \text{ if } t_{h1}(i) \leq t \leq t_{h2}(i) \\ E_{max}(i) + P_{min}(i) \cdot (t - t_{h2}(i)) & , \text{ if } t > t_{h2}(i) \end{cases} \quad (4.2)$$

$$t_{l1}(i) = t_0(i) - \frac{E_0(i) - E_{min}(i)}{P_{min}(i)} \quad (4.3)$$

$$t_{h1}(i) = t_0(i) - \frac{E_0(i) - E_{max}(i)}{P_{max}(i)} \quad (4.4)$$

$$t_{l2}(i) = t_f(i) - \frac{E_{trgt}(i) - DE_{trgt}(i) - E_{min}(i)}{P_{max}(i)} \quad (4.5)$$

$$t_{h2}(i) = t_f(i) - \frac{E_{trgt}(i) + DE_{trgt}(i) - E_{max}(i)}{P_{min}(i)} \quad (4.6)$$

$$DE_{trgt}(i) = \frac{2.5 \times E_{max}(i)}{100} \quad (4.7)$$

4.6 Μοντέλο Συναθροιστή (Aggregator)

Η V2G λειτουργία αξιοποιεί την αποθηκευτική λειτουργία των συσσωρευτών των οχημάτων και ο διαχειριστής των φορτίσεων και εκφορτίσεων των μπαταριών ονομάζεται Aggregator και λογίζεται ως ένας νέος παίχτης στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Λόγω του πολύ μεγάλου όγκου των ΗΟ που χρειάζεται να μελετηθεί, χρησιμοποιείται μία δυναμική μπαταρία που αντιπροσωπεύει την συναθροιστική ενέργεια (Aggregated Energy) που είναι αποθηκευμένη σε όλα τα σταθμευμένα οχήματα κάθε στιγμή. Η μέγιστη και ελάχιστη ισχύς φόρτισης και εκφόρτισης της δυναμικής μπαταρίας ισούται με το άθροισμα της μέγιστης και ελάχιστης ισχύος φόρτισης και εκφόρτισης αντίστοιχα για κάθε όχημα που φορτίζει κάθε στιγμή. Να σημειωθεί ότι ο συνολικός αριθμός των οχημάτων που είναι συνδεδεμένα κάθε λεπτό t διαφέρει, αφού συνεχώς συνδέονται και αποσυνδέονται οχήματα. Για να υπολογιστούν τα δυναμικά όρια της δυναμικής μπαταρίας, πρέπει πρώτα να υπολογιστεί το συνολικό DE_{dyn} για όλο το 24ωρο. Το DE_{dyn} ισούται με την συνολική ενέργεια των οχημάτων που αναχωρούν μείον την συνολική ενέργεια των οχημάτων που φτάνουν στον σταθμό κάθε λεπτό t . Έτσι για κάθε λεπτό t το DE_{dyn} υπολογίζεται ως εξής:

$$E_{arr}^{total}(t) = \sum_{i=1}^{n_{arr}(t)} E_{arr}(i, t), \forall t \quad (4.8)$$

$$E_{dep}^{total}(t) = \sum_{i=1}^{n_{dep}(t)} E_{dep}(i, t), \forall t \quad (4.9)$$

$$DE_{dyn}(t) = E_{dep}^{total}(t) - E_{arr}^{total}(t), \forall t \quad (4.10)$$

, όπου n_{arr}, n_{dep} είναι ο συνολικός αριθμός που φτάνουν και αναχωρούν από τον σταθμό φόρτισης αντίστοιχα.

Αφού έχουν υπολογιστεί τα άνω και κάτω δυναμικά όρια για την ενέργεια και την ισχύ του κάθε οχήματος καθώς και το DE_{dyn} για κάθε λεπτό t , υπολογίζονται τα συναθροιστικά(Aggregated) άνω και κάτω όρια ενέργειας και ισχύος ως εξής:

$$E_{max}^{aggr}(t) = \sum_{i=1}^{n(t)} E_{max}(i, t) + \sum_{k=1}^t DE_{dyn}(t), \forall t \quad (4.11)$$

$$E_{min}^{aggr}(t) = \sum_{i=1}^{n(t)} E_{min}(i, t) + \sum_{k=1}^t DE_{dyn}(t), \forall t \quad (4.12)$$

$$P_{max}^{aggr}(t) = \sum_{i=1}^{n(t)} P_{max}(i, t), \forall t \quad (4.13)$$

$$P_{min}^{aggr}(t) = \sum_{i=1}^{n(t)} P_{min}(i, t), \forall t \quad (4.14)$$

4.7 Μοντέλο Δικτύου της Κρήτης

Για την αξιολόγηση της φόρτισης πλήθους ΗΟ στο ΣΗΕ της Κρήτης, χρησιμοποιήθηκε ένα απλοποιημένο μοντέλο αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή ένα σύστημα με τις βασικές θερμικές μονάδες παραγωγής ενέργειας με τα χαρακτηριστικά τους και ο Aggreagator είναι είτε μονάδα παραγωγής ή φορτίο. Η γενική μορφή της συνάρτησης κόστους κάθε σταθμού παραγωγής δίνεται από την τριτοβάθμια εξίσωση:

$$F(P) = [A \times P^3 + B \times P^2 + C \times P + D] \times FuelCost(\frac{\text{€}}{MWh}) \quad (4.15)$$

,όπου P η αποδιδόμενη ισχύς την εκάστοτε στιγμή σε MW και τα A, B, C, D οι παράμετροι κόστους των θερμικών μονάδων. Οι παράμετροι κόστους των

μονάδων καθώς και το ενδεικτικό κόστος του καυσίμου που χρησιμοποιούν παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2.

Για την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους παραγωγής, χρησιμοποιήθηκε ένας νέος αλγόριθμος με βάση την συνάρτηση του Matlab Fmincon και ελαχιστοποιεί το κόστος ως εξής:

$$\min(\sum_{i=1}^{26} F_i(P_i(t))), \forall t \quad (4.16)$$

Οι περιορισμοί που εισάγονται στη συνάρτηση Fmincon πλέον για τις 26 μονάδες παραγωγής της Κρήτης είναι:

$$TotalLoad(t) = \sum_{i=1}^{26} P_i(t) - P_{27}(t), \forall t \quad (4.17)$$

όπου t είναι κάθε ώρα του 24ωρου και $P_1, P_2, P_3, P_4, \dots, P_{26}$ είναι η παραγωγή των μονάδων των Χανίων, των Λινοπεραμάτων, του Αθερινόλακκου και P_{27} είναι η συνολική ισχύς των ΗΟ της Κρήτης αντίστοιχα. Όλα τα οχήματα μαζί λαμβάνονται ως μία ισοδύναμη μπαταρία η οποία φορτίζει ή εκφορτίζει. Ακόμη ισχύει ότι:

$$TotalLoad(t) = CreteLoad(t) + EvsLoad(t) - PV(t) - WIND(t), \forall t \quad (4.18)$$

Ακόμη για τις εξισώσεις ισότητας της συνάρτησης Fmincon ισχύει και ότι:

$$E_f - E_0 = \sum_{i=1}^t P_{27}(i) \cdot dt, \forall t \quad (4.19)$$

όπου E_f είναι το τελικό(επιθυμητό) επίπεδο φόρτισης της ισοδύναμης μπαταρίας και E_0 είναι το αρχικό επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας.

Για τα όρια των μονάδων παραγωγής και των ΗΟ ισχύει σε (MW):

- $3 \leq P_1 \leq 11.$
- $1 \leq P_2 \leq 17.25$
- $2 \leq P_3 \leq 26.2$
- $5 \leq P_4 \leq 49.63$
- $5 \leq P_5 \leq 49.36$
- $1.5 \leq P_6 \leq 34$
- $1.5 \leq P_7 \leq 34$
- $2 \leq P_8 \leq 26.40$
- $4 \leq P_9 \leq 64$
- $7 \leq P_{10} \leq 13$
- $7 \leq P_{11} \leq 13$
- $16 \leq P_{12} \leq 22.35$
- $10 \leq P_{13} \leq 22$
- $10 \leq P_{14} \leq 22$
- $4.8 \leq P_{15} \leq 10.50$
- $4.8 \leq P_{16} \leq 10.50$
- $4.8 \leq P_{17} \leq 10.50$
- $4.8 \leq P_{18} \leq 10.50$
- $2 \leq P_{19} \leq 12.5$
- $5 \leq P_{20} \leq 36.30$
- $2 \leq P_{21} \leq 12.80$
- $5 \leq P_{22} \leq 24.30$
- $30 \leq P_{23} \leq 49$
- $30 \leq P_{24} \leq 49$
- $27 \leq P_{25} \leq 46.50$
- $27 \leq P_{26} \leq 46.50$
- $P_{min}^{aggr}(t) \leq P_{27}(t) \leq P_{max}^{aggr}(t), \forall t$

Για τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή του επιπέδου φόρτισης της μπαταρίας ισχύει:

$$\sum_{k=1}^t P_{27}(k) \cdot dt \leq E_{max}^{aggr}(t) - E_0, \forall t \quad (4.20)$$

$$\sum_{k=1}^t P_{27}(k) \cdot dt \geq E_{min}^{aggr}(t) - E_0, \forall t, \quad (4.21)$$

Ταυτόχρονα με τον αλγόριθμο εύρεσης του ελάχιστου κόστους λειτουργίας του ΣΗΕ της Κρήτης για ένα 24ωρο, υπολογίζεται και η τιμή της MWh η οποία υπολογίζεται διαιρώντας το συνολικό ωριαίο κόστος των μονάδων παραγωγής με το σύνολο της παραγόμενης ενέργειας της συγκεκριμένης ώρας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Αποτελέσματα Μοντελοποίησης

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

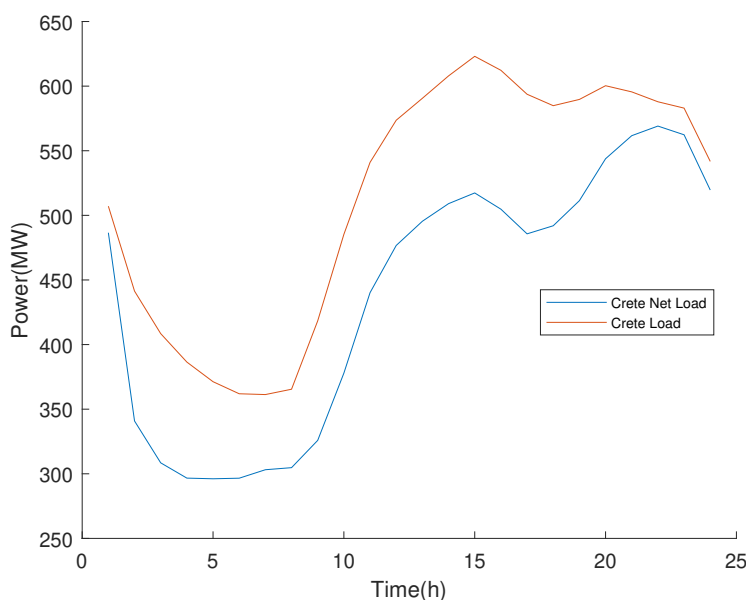
Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τα διάφορα σενάρια διείσδυσης των ΗΟ στο ΣΗΕ της Κρήτης. Οι παράμετροι του μοντέλου όπως είναι το φορτίο της Κρήτης, αλλάζουν σε κάθε σενάριο διείσδυσης ΗΟ. Μελετώνται τέσσερα διαφορετικά σενάρια διείσδυσης, με βάση την ενσωμάτωση των ΗΟ στην ελληνική αγορά. Τα κυριότερα αποτελέσματα αφορούν:

- Τα φορτία των ηλεκτρικών οχημάτων.
- Το Συνολικό φορτίο του Συστήματος της Κρήτης.
- Την ωριαία τιμή της ενέργειας.
- Την παραγωγή κάθε σταθμού παραγωγής ενέργειας.
- Την ενέργεια που παρέχουν τα ηλεκτρικά οχήματα στο σύστημα.

Ο στόχος είναι να βελτιστοποιηθούν τα φορτία των ηλεκτρικών οχημάτων και συνεπώς του συστήματος μεταφοράς και ταυτόχρονα να ελαχιστοποιηθεί και το συνολικό κόστος καυσίμου.

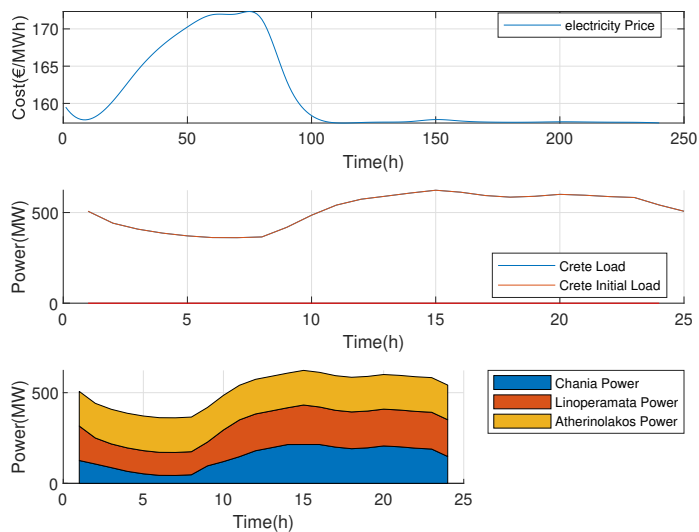
5.2 Αποτελέσματα Μοντελοποίησης Σ.Η.Ε. Κρήτης χωρίς τη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων

Αρχικά, παρουσιάζεται η μοντελοποίηση του Σ.Η.Ε. της Κρήτης χωρίς τη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων. Στο Σχήμα 5.1 απεικονίζονται τα φορτία του συστήματος με και χωρίς την συνεισφορά των ΑΠΕ. Είναι φανερό ότι η Αιολική και η Φωτοβολταϊκή παραγωγή βοηθούν το συνολικό πραγματικό φορτίο του συστήματος κάθε ώρα ανάλογα με την παραγωγή τους. Οι ΑΠΕ βυθίζουν αρκετά την καμπύλη του φορτίου σε κάποιες χρονικές στιγμές με αποτέλεσμα το σύστημα παραγωγής να δοκιμάζεται. Όπως φαίνεται οι ώρες αιχμής είναι περίπου στις 14:00 και στις 23:00 όπου τότε είναι πιο έντονη η ανθρώπινη και βιομηχανική δραστηριότητα.



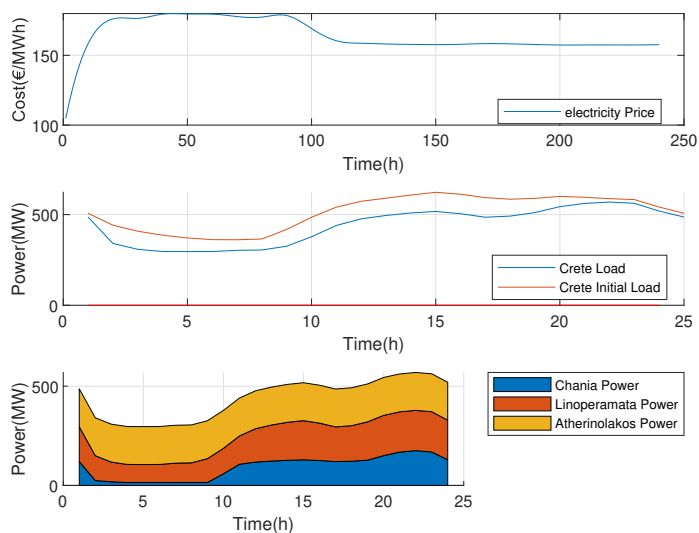
Σχήμα 5.1. Ημερήσια καμπύλη ζήτησης πραγματικού και καθαρού φορτίου Κρήτης(17/07/2018).

Στο Σχήμα 5.2 παρουσιάζεται η εκτίμηση της ωριαίας τιμής της ενέργειας καθώς και η ωριαία παραγωγή κάθε σταθμού παραγωγής για το πραγματικό φορτίο της Κρήτης χωρίς την συνεισφορά των ΑΠΕ.

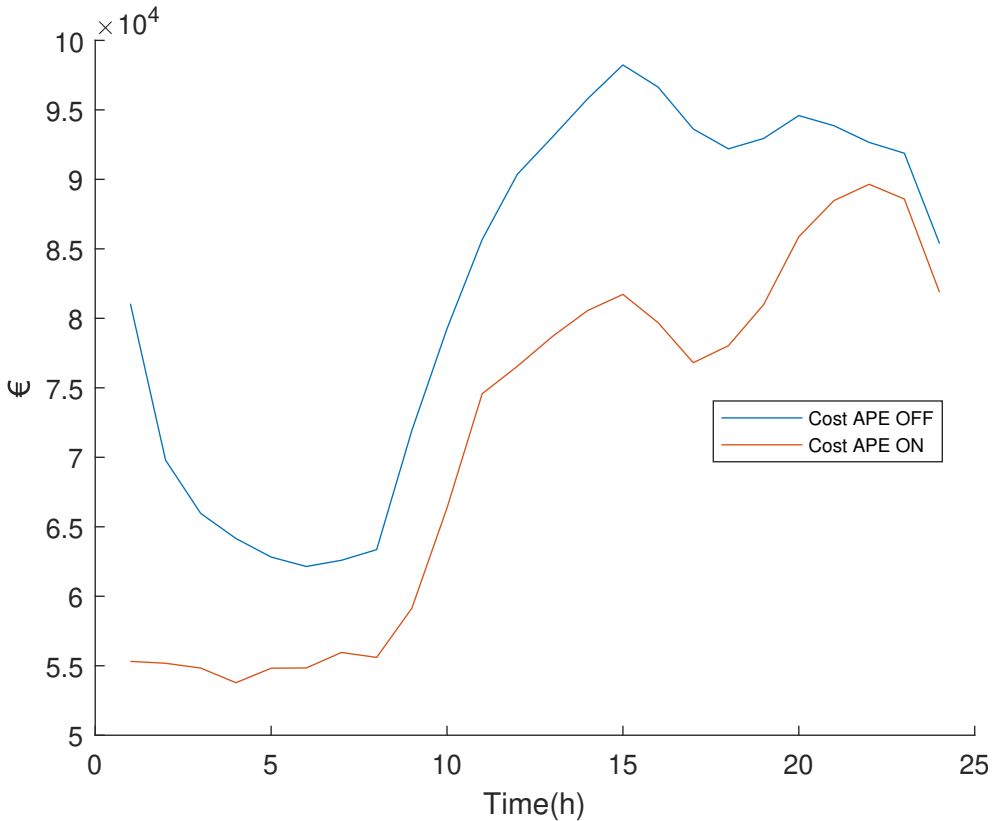


Σχήμα 5.2. Ωριαία τιμή ενέργειας και παραγωγή μονάδων Κρήτης χωρίς ΑΠΕ.

Στο Σχήμα 5.3 παρουσιάζεται η εκτίμηση της ωριαίας τιμής της ενέργειας καθώς και η ωριαία παραγωγή κάθε σταθμού παραγωγής για το πραγματικό φορτίο της Κρήτης με την συνεισφορά των ΑΠΕ.



Σχήμα 5.3. Ωριαία τιμή ενέργειας και παραγωγή μονάδων Κρήτης με ΑΠΕ.



Σχήμα 5.4. Συνολικό ωριαίο κόστος μονάδων παραγωγής χωρίς ΗΟ.

Όπως παρουσιάζεται στα Σχήματα 5.2, 5.3, η ωριαία τιμή της ενέργειας είναι χαμηλότερη για την εξυπηρέτηση του αρχικού φορτίου χωρίς τη συνεισφορά των ΑΠΕ, με την μέγιστη τιμή να είναι $173.5 \left(\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right)$. Έπειτα, 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. Στο Σχήμα 5.4 φαίνεται ότι το κόστος ακολουθεί το φορτίο του συστήματος και το συνολικό κόστος του συστήματος χωρίς την συνεισφορά των ΑΠΕ ανέρχεται στα 1.934.900€, ενώ με την συνεισφορά αυτών ανέρχεται στα 1.697.100€, το οποίο είναι 12.3% μικρότερο.

5.3 Σενάρια διείδυσης ηλεκτρικών οχημάτων

Στην παρούσα διπλωματική έγινε η μοντελοποίηση του συστήματος με διείδυση ηλεκτρικών οχημάτων έως το 2030 σύμφωνα με τα τέσσερα παρακάτω σενάρια :

- Χαμηλή διείδυση HO (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.
- Μέση διείδυση HO (Medium σενάριο): Είναι ένα αισιόδοξο σενάριο, σύμφωνα με το οποίο τα ηλεκτρικά οχήματα θα φτάσουν το 15% του συνολικού στόλου έως το 2030.
- Υψηλή διείδυση HO (High σενάριο): Είναι ένα πιο επιθετικό σενάριο, σύμφωνα με το οποίο τα ηλεκτρικά οχήματα θα φτάσουν το 30% του συνολικού στόλου έως το 2030.
- Πολύ Υψηλή διείδυση HO (Ultra High σενάριο): Είναι το πιο επιθετικό σενάριο από τα τέσσερα, σύμφωνα με το οποίο τα ηλεκτρικά οχήματα θα φτάσουν το 45% του συνολικού στόλου έως το 2030.

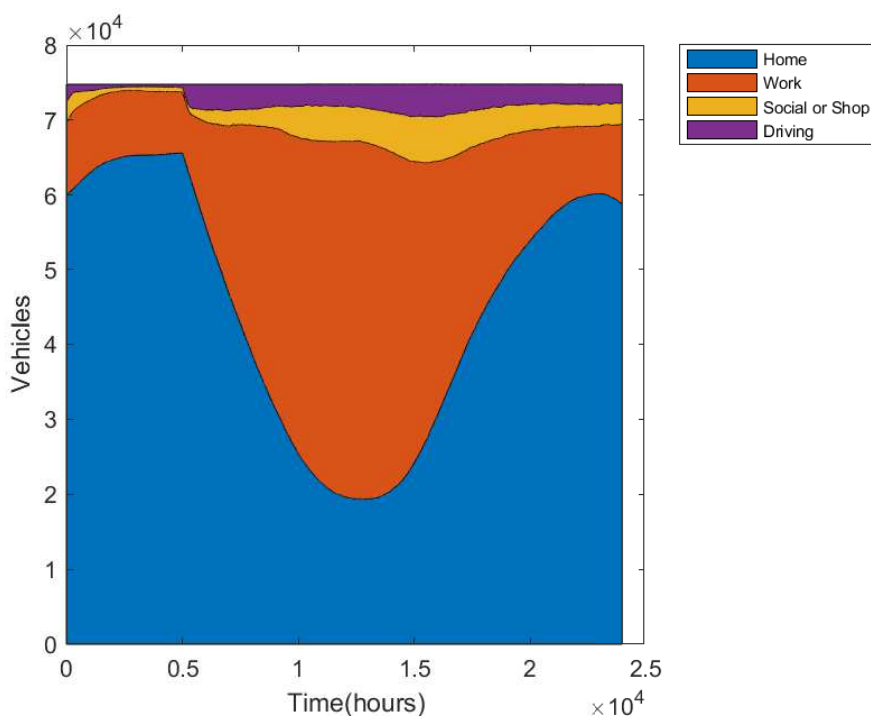
Ο εκτιμώμενος αριθμός οχημάτων της Κρήτης φτάνει τα 498.454 οχήματα. Από τον πληθυσμό κάθε περιφερειακής ενότητας υπολογίστηκε το αντίστοιχο ποσοστό της με βάση το συνολικό αριθμό πληθυσμού της Κρήτης. Πιο συγκεκριμένα τα Χανία έχουν το 25.17%, το Ηράκλειο το 49%, το Ρέθυμνο το 13.73% και το Λασιθί το 12.1% του συνολικού πληθυσμού. Πολλαπλασιάζοντας το κάθε ποσοστό πληθυσμού με τον εκτιμώμενο αριθμό οχημάτων προέκυψε ο αντίστοιχος τελικός αριθμός συμβατικών και ηλεκτρικών οχημάτων για κάθε περιφερειακή ενότητα και για κάθε σενάριο διείδυσης ηλεκτρικών οχημάτων και παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.1.

Περιφερειακή Ενότητα	Αριθμός Συμβατικών Οχημάτων	Low(10%)	Medium(15%)	High(30%)	Ultra High(45%)
Ηράκλειο	244.242	24.424	36.636	73.273	109.909
Χανιά	125.461	12.546	18.819	37.638	56.457
Ρέθυμνο	68.438	6.844	10.266	20.531	30.797
Λασιθή	60.313	6.031	9.047	18.094	27.141
Σύνολο	498.454	49.845	74.768	149.536	224.304

Πίνακας 5.1. Αριθμός ΗΟ Κρήτης για το 2030 για τα παραπάνω σενάρια διείσδυσης

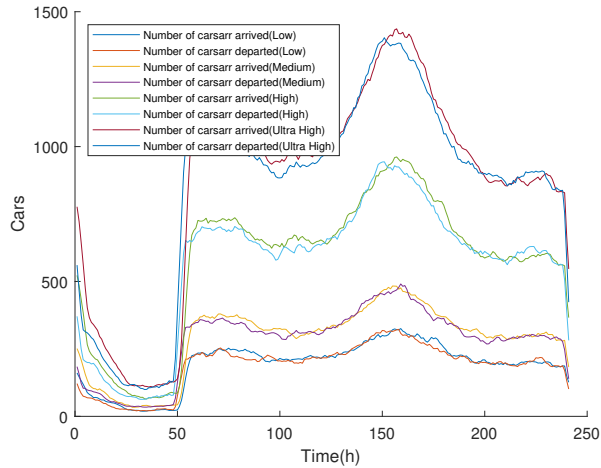
5.4 Αποτελέσματα Μοντελοποίησης Δρομολογίων

Στο Σχήμα 5.5 παρουσιάζεται η θέση των οχημάτων κατά τη διάρκεια της ημέρας. Είναι φανερό ότι κατά τη διάρκεια της νύχτας τα οχήματα που βρίσκονται σε κίνηση είναι ελάχιστα καθώς τα περισσότερα βρίσκονται σταθμευμένα σπίτι. Αντίθετα κατά τη διάρκεια της ημέρας τα περισσότερα οχήματα βρίσκονται σε κίνηση, στην εργασία ή σε κοινωνικές δραστηριότητες. Μετά τις 15:00 τα οχήματα ξεκινούν να επιστρέφουν και πάλι σπίτι.

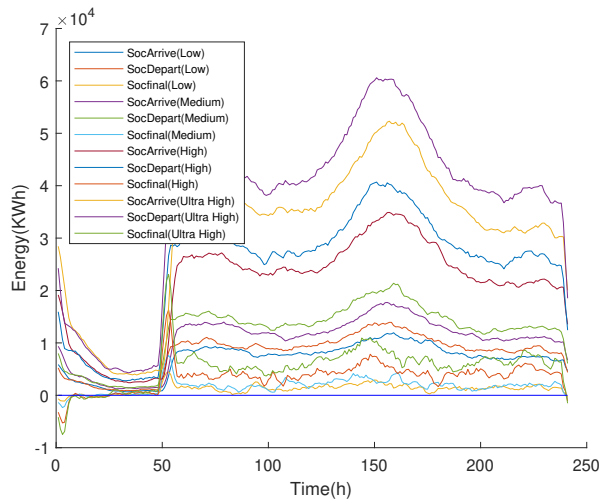


Σχήμα 5.5. Κατανομή της θέσης των ΗΟ κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Όπως είναι φανερό από το Σχήμα 5.6, από τις 24:00 έως και τις 5:00 ελάχιστα οχήματα φεύγουν και έρχονται στους σταθμούς φόρτισης, ενώ μετά τις 5:00 που ξεκινάει η ανθρώπινη δραστηριότητα σταδιακά όλο και περισσότερα οχήματα έρχονται και φεύγουν. Η αιχμή της κινητικότητας αυτής είναι κατά το διάστημα 13:00 έως 19:00 όπου τα οχήματα επιστρέφουν από τις δραστηριότητες. Αντίστοιχη κατανομή παρατηρείται και στο Σχήμα 5.7 όπου παρουσιάζεται η ενέργεια των οχημάτων που έρχονται και φεύγουν από το σταθμό καθώς και η ενέργεια των οχημάτων που βρίσκονται σταθμευμένα στους σταθμούς κάθε στιγμή.



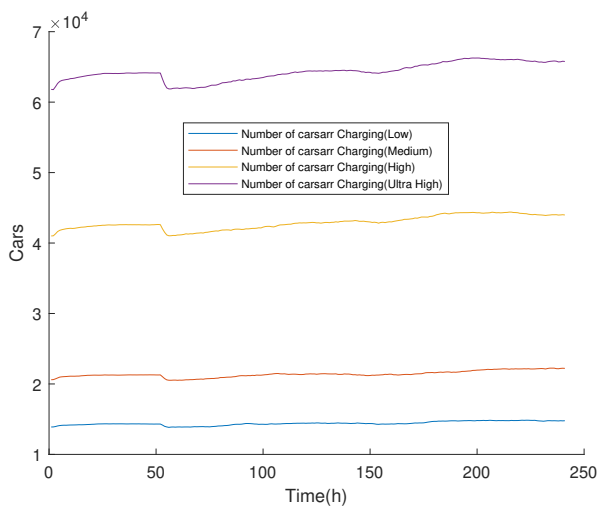
Σχήμα 5.6. Συνολικός αριθμός ΗΟ που φτάνουν και αναχωρούν από τους σταθμούς φόρτισης κατά τη διάρκεια της ημέρας.



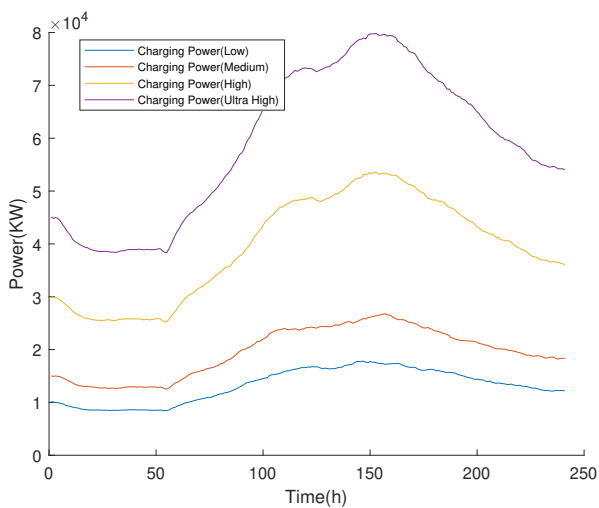
Σχήμα 5.7. Συνολική ενέργεια των ΗΟ που φτάνουν και αναχωρούν από τους σταθμούς φόρτισης κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Έπειτα στα Σχήματα 5.8, 5.9 παρουσιάζεται ο συνολικός αριθμός οχημάτων που φορτίζουν κάθε στιγμή καθώς και η συνολική ισχύς φόρτισης κάθε στιγμή για όλα τα σενάρια διεύθυνσης. Όπως προηγουμένως, η ισχύς φόρτισης αρχίζει να αυξάνεται σταδιακά από τις 5:00 που ξεκινάει η ανθρώπινη και βιομηχανική δραστηριότητα με την αιχμή να παρατηρείται και πάλι κατά τις

ώρες 13:00 έως 19:00.



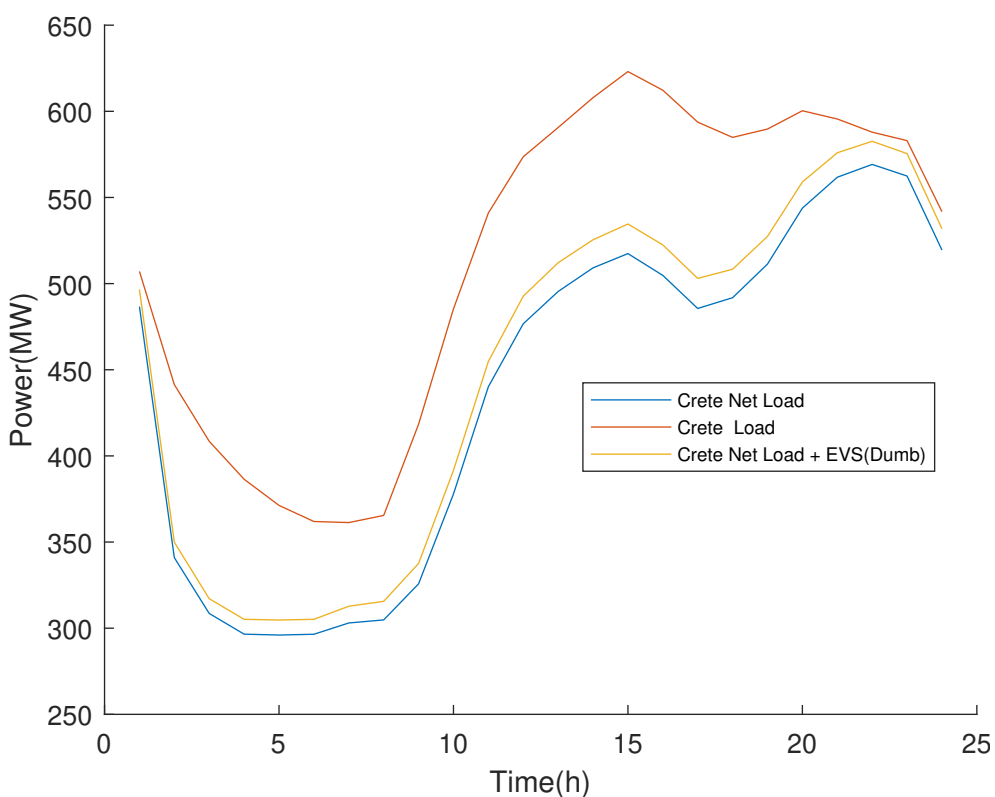
Σχήμα 5.8. Συνολικός αριθμός ΗΟ που φορτίζουν κατά τη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 5.9. Συνολική ισχύς φόρτισης κατά τη διάρκεια της ημέρας (Dumb Charging).

5.5 Αποτελέσματα Μοντελοποίησης Σ.Η.Ε. Κρήτης με χαμηλή διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων

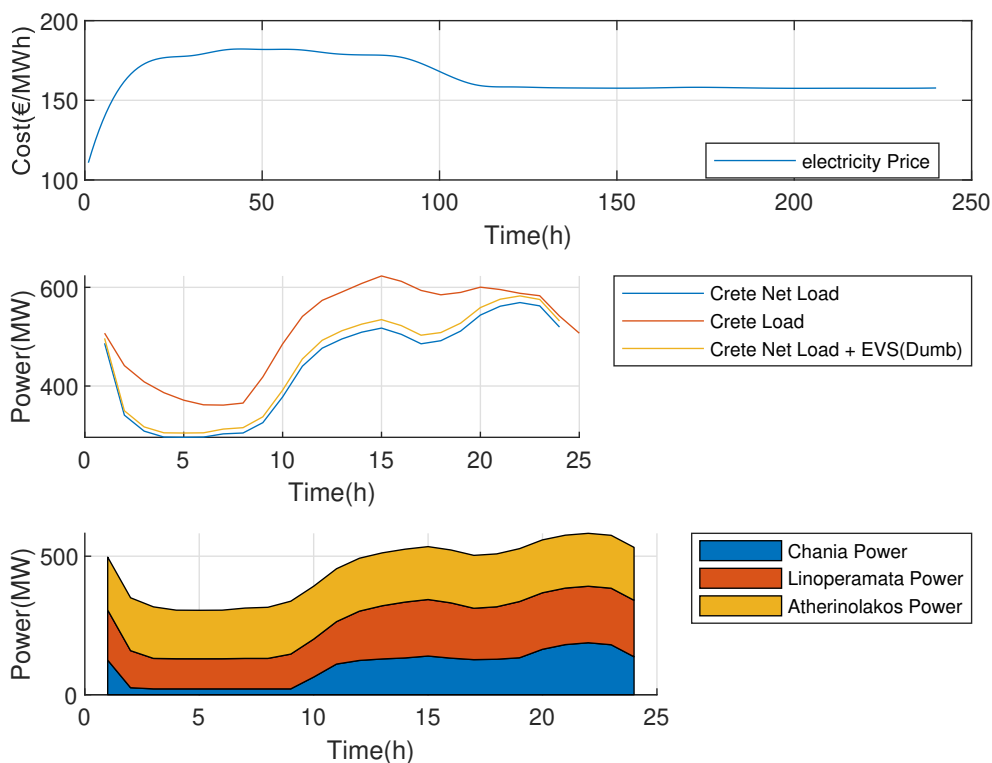
5.5.1 Μη ελεγχόμενη φόρτιση(Dumb Charging)



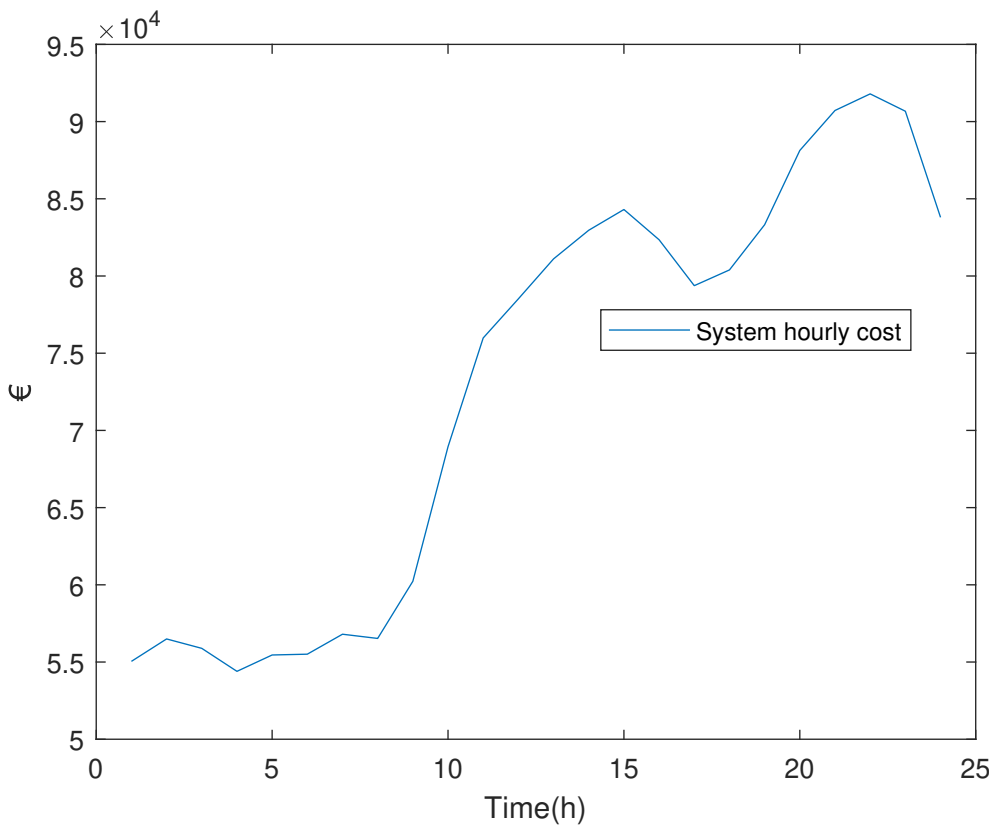
Σχήμα 5.10. Συνολικό φορτίο με και χωρίς HO Low Σενάριο (Dumb Charging).

Με τη χρήση της μη ελεγχόμενης φόρτισης, τα οχήματα απορροφούν από το δίκτυο σταθερή ισχύ καθόλη τη διάρκεια που βρίσκονται συνδεδεμένα στον φορτιστή. Σε αυτό το σενάριο διείσδυσης εξυπηρετούνται συνολικά 49.485 οχήματα και η ισχύς που απορροφούν στην αιχμή (15:00) είναι 18 MW. Η αιχμή της ζήτησης των οχημάτων συμπίπτει με την αιχμή ζήτησης του συστήματος της

Κρήτης, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ακόμη μεγαλύτερη ζήτηση ισχύος. Το σύστημα κατανέμει το φορτίο στους σταθμούς παραγωγής με σκοπό τη ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους και όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.11, περισσότερη ισχύ παρέχουν οι πιο οικονομικές μονάδες παραγωγής. Το συνολικό ημερήσιο κόστος του συστήματος υπολογίστηκε στα 1.738.600 € ενώ το κόστος για την φόρτιση των οχημάτων προέκυψε 41.500 €. Τέλος όπως γίνεται αντιληπτό από το Σχήμα 5.12 η καμπύλη του συνολικού ωριαίου κόστους ακολουθεί την καμπύλη του συνολικού φορτίου της Κρήτης μαζί με τα οχήματα.

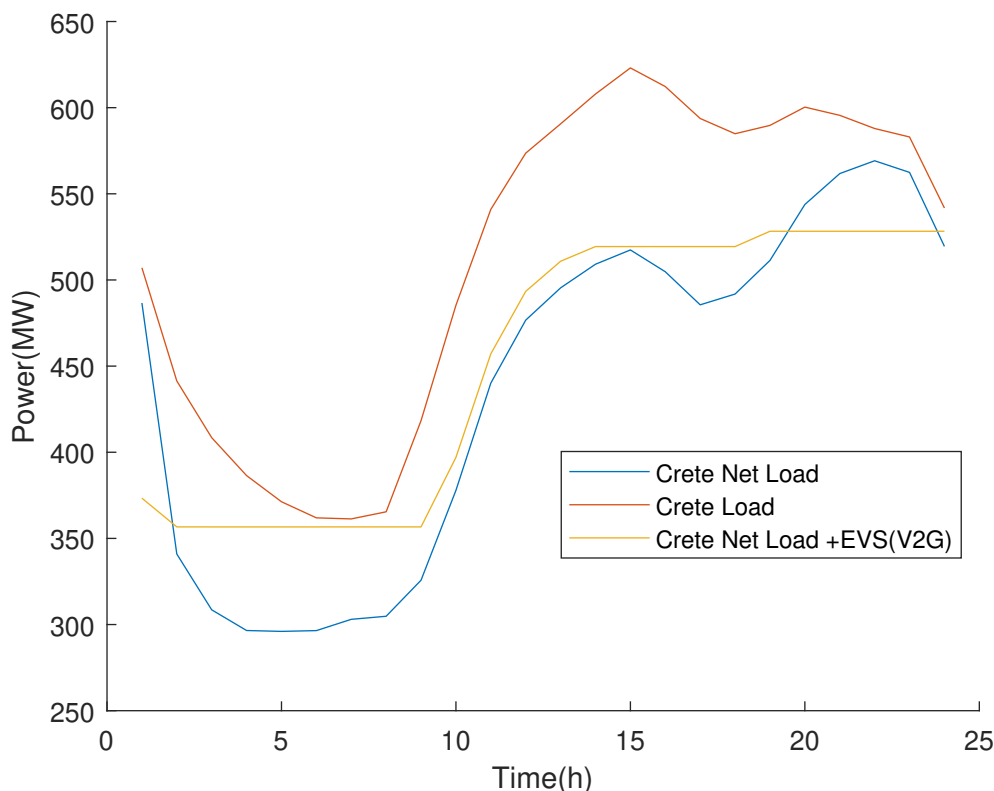


Σχήμα 5.11. Κατανομή του φορτίου στους σταθμούς παραγωγής και εύρεση ωριαίας τιμής της ενέργειας Low Σενάριο(Dumb Charging).



Σχήμα 5.12. Συνολικό ωριαίο κόστος καυσίμου συστήματος Low Σενάριο(Dumb Charging).

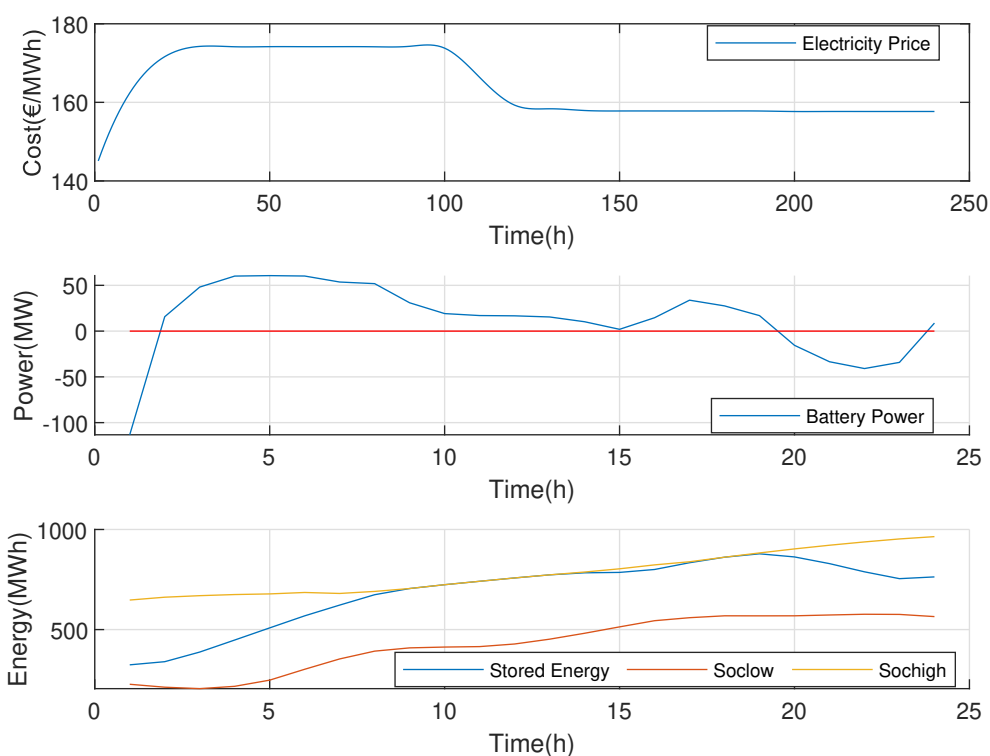
5.5.2 Ελεγχόμενη φόρτιση(V2G)



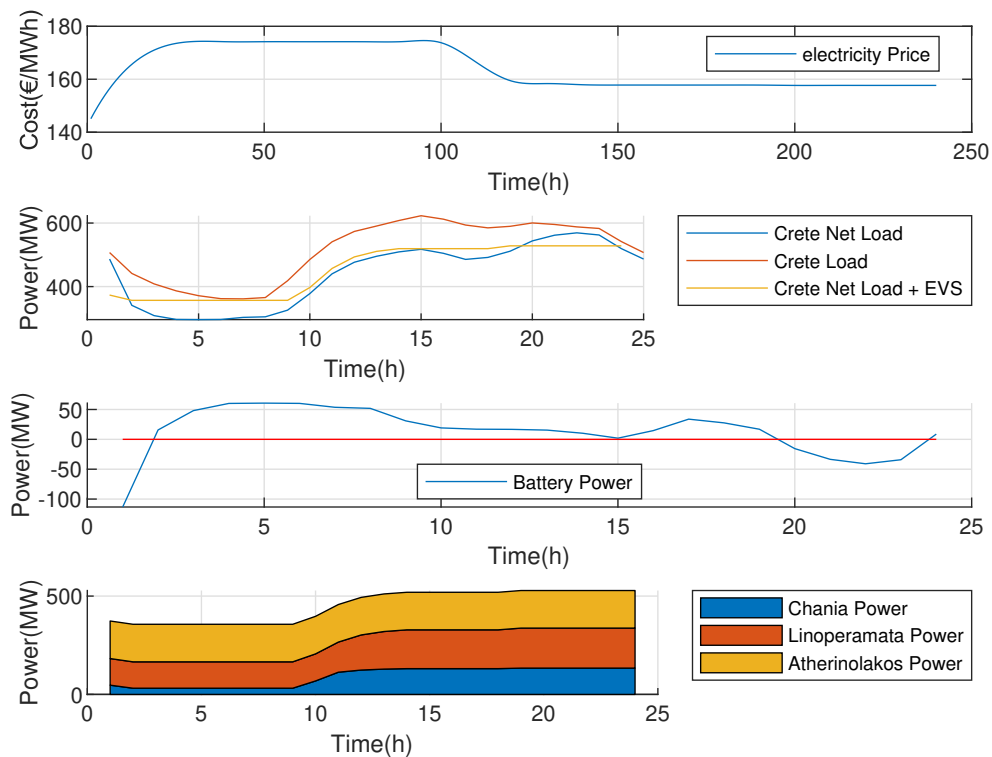
Σχήμα 5.13. Συνολικό φορτίο με και χωρίς HO Low Σενάριο (V2G).

Με τη χρήση της V2G λειτουργίας τα HO έχουν τη δυνατότητα να επιστρέψουν ενέργεια στο δίκτυο όταν αυτό τη χρειάζεται. Σε αυτή τη λειτουργία ο συναθροιστής ελέγχει το πότε θα φορτίζουν ή θα εκφορτίζουν τα οχήματα με στόχο την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους του συστήματος της Κρήτης. Συγκρίνοντας τα Σχήματα 5.10, 5.13, παρατηρείται ότι η καμπύλη του φορτίου όπως αυτή διαμορφώνεται με την V2G λειτουργία, είναι πολύ πιο ομαλή, χωρίς απότομες αυξομειώσεις. Ακόμη, παρατηρώντας τα Σχήματα 5.14, 5.11, διαπιστώνεται ότι η τιμή της ενέργειας είναι χαμηλότερη με τη χρήση της V2G λειτουργίας. Όπως γίνεται κατανοητό από το Σχήμα 5.15, τα οχήματα απορροφούν περισσότερη ισχύ όταν το φορτίο του δικτύου είναι χαμηλό, με την αιχμή της ισχύος να βρίσκεται στα 50 MW έναντι των 18 MW που είναι στην μη ελεγχόμενη φόρτιση, και επιστρέφουν ισχύ στο δίκτυο υποστηρίζοντας το

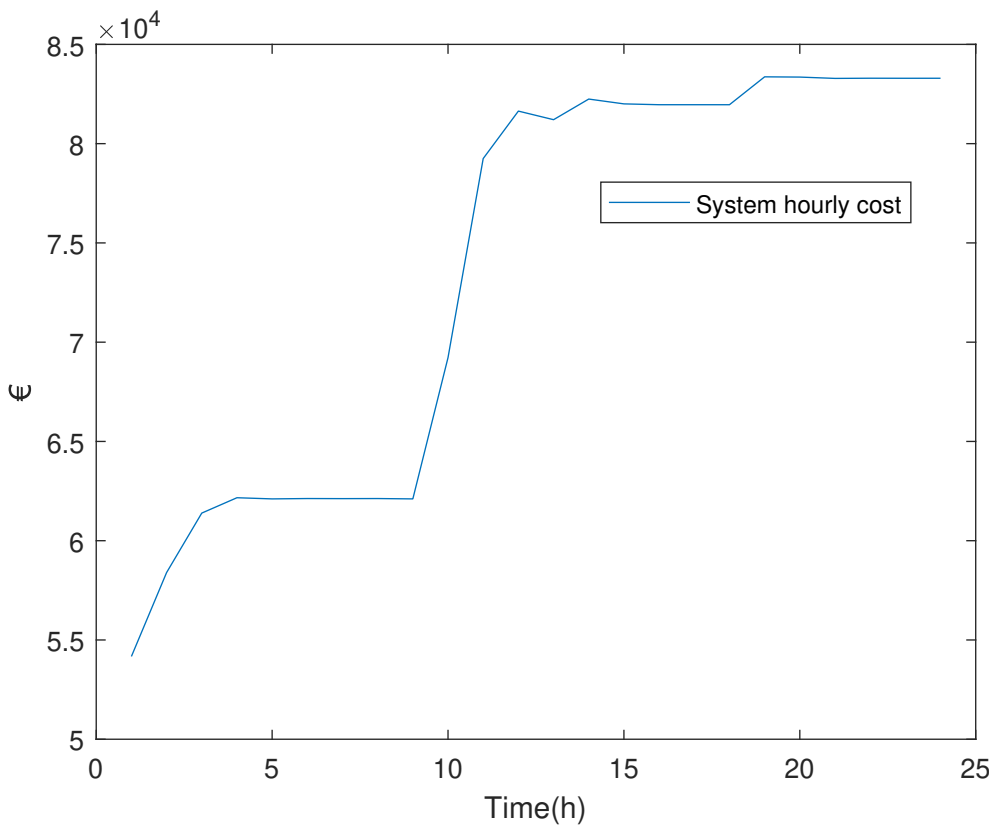
στις ώρες αιχμής 19:00 έως 23:00. Το συνολικό ημερήσιο κόστος του συστήματος υπολογίστηκε στα 1.724.500 € ενώ το κόστος για την φόρτιση των οχημάτων προέκυψε 27.400 €. Συγκρίνοντας το συνολικό κόστος για τις δύο στρατηγικές φόρτισης, παρατηρείται ότι η χρήση της V2G λειτουργίας είναι κατά 0.83% οικονομικότερη σε επίπεδο συστήματος Κρήτης, ενώ συγκρίνοντας το κόστος φόρτισης των ΗΟ, παρατηρείται μείωση του κόστους κατά 34% το οποίο είναι αρκετά μεγάλο ποσοστό. Τέλος όπως γίνεται αντιληπτό από το Σχήμα 5.16 η καμπύλη του συνολικού ωριαίου κόστους ακολουθεί την καμπύλη του συνολικού φορτίου της Κρήτης μαζί με τα οχήματα.



Σχήμα 5.14. Εύρεση ωριαίας τιμής της ενέργειας, της ισχύος της ισοδύναμης μπαταρίας και της συναθροιστικής ενέργειας εντός του 24ωρου Low Σενάριο (V2G).



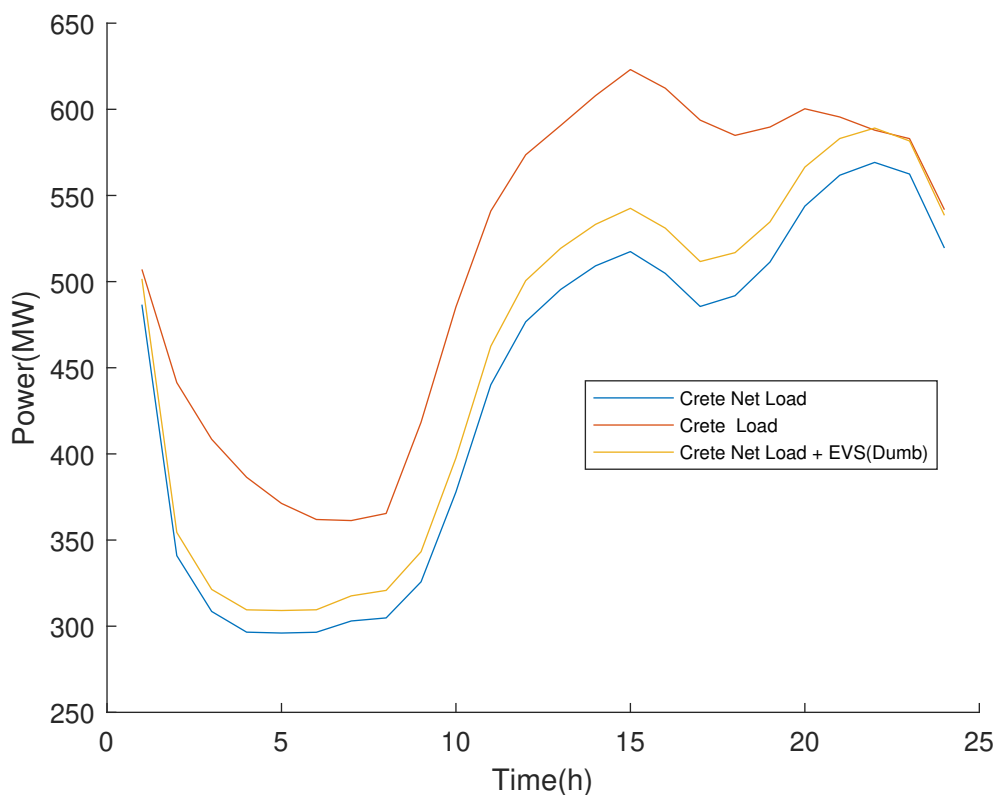
Σχήμα 5.15. Κατανομή του φορτίου στους σταθμούς παραγωγής, εύρεση της ισχύος της μπαταρίας και της ωριαίας τιμής της ενέργειας Low Σενάριο(V2G).



Σχήμα 5.16. Συνολικό ωριαίο κόστος καυσίμου συστήματος Low Σενάριο(V2G).

5.6 Αποτελέσματα Μοντελοποίησης Σ.Η.Ε. Κρήτης με μέση διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων

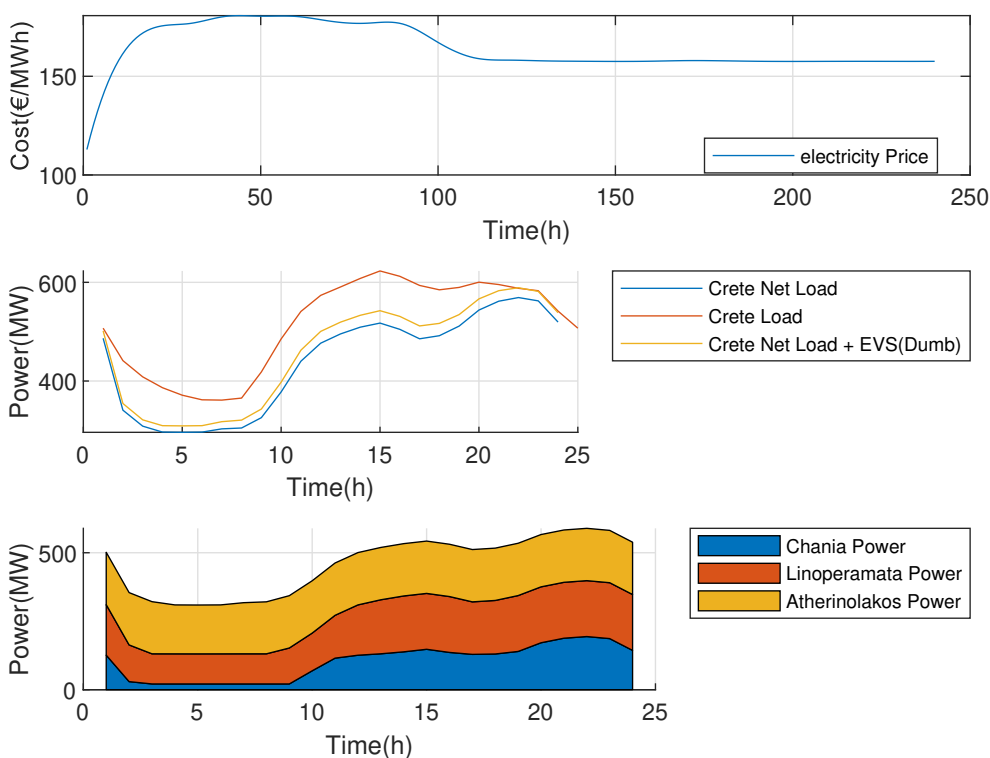
5.6.1 Μη ελεγχόμενη φόρτιση(Dumb Charging)



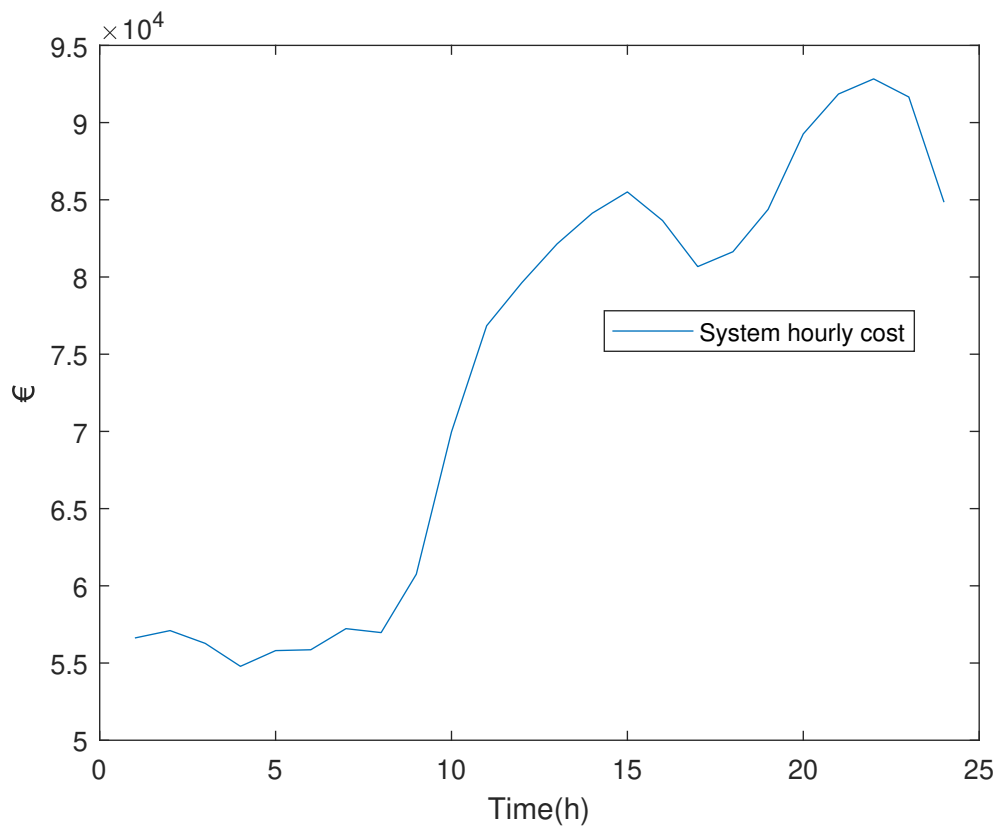
Σχήμα 5.17. Συνολικό φορτίο με και χωρίς HO Medium Σενάριο (Dumb Charging).

Σε αυτό το σενάριο διείσδυσης εξυπηρετούνται συνολικά 74.768 οχήματα και η ισχύς που απορροφούν στην αιχμή(16:00) είναι 26.5 MW. Η αιχμή της ζήτησης των οχημάτων συμπίπτει με την αιχμή ζήτησης του συστήματος της Κρήτης, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ακόμη μεγαλύτερη ζήτηση ισχύος. Το σύστημα κατανέμει το φορτίο στους σταθμούς παραγωγής με σκοπό τη

ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους και όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.18, περισσότερη ισχύ παρέχουν οι πιο οικονομικές μονάδες παραγωγής. Το συνολικό ημερήσιο κόστος του συστήματος υπολογίστηκε στα 1.759.200 € ενώ το κόστος για την φόρτιση των οχημάτων προέκυψε 62.100 €. Τέλος όπως γίνεται αντιληπτό από το Σχήμα 5.19 η καμπύλη του συνολικού ωριαίου κόστους ακολουθεί την καμπύλη του συνολικού φορτίου της Κρήτης μαζί με τα οχήματα.

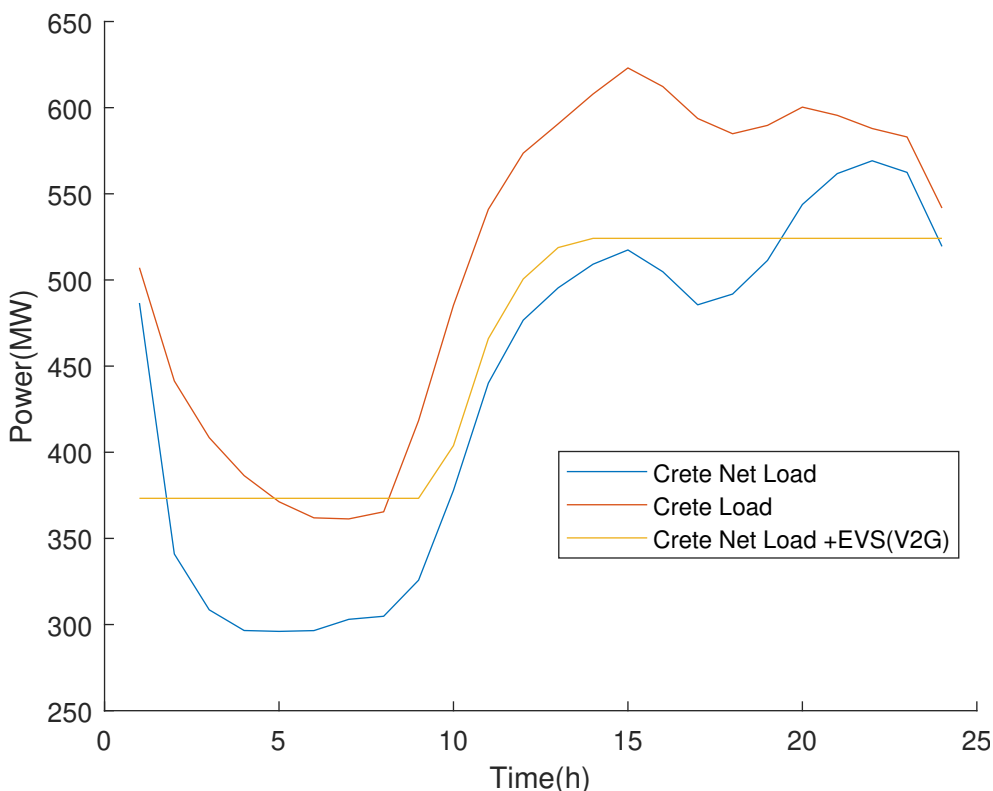


Σχήμα 5.18. Κατανομή του φορτίου στους σταθμούς παραγωγής και εύρεση ωριαίας τιμής της ενέργειας Medium Σενάριο(Dumb Charging).



Σχήμα 5.19. Συνολικό ωριαίο κόστος καυσίμου συστήματος Medium Σενάριο(Dumb Charging).

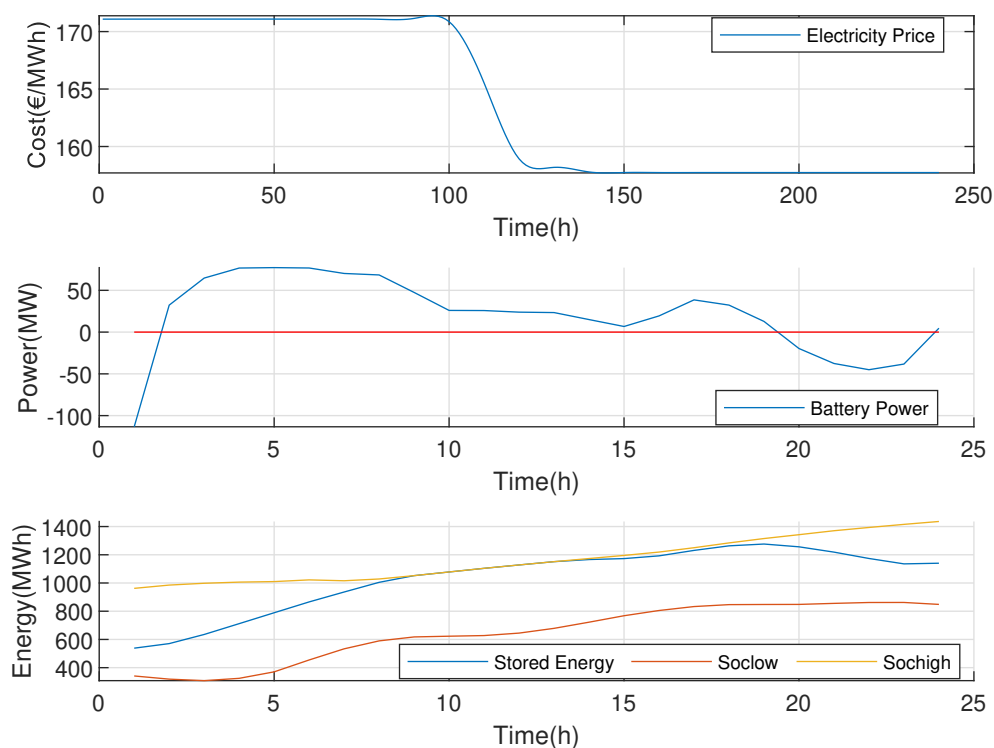
5.6.2 Ελεγχόμενη φόρτιση(V2G)



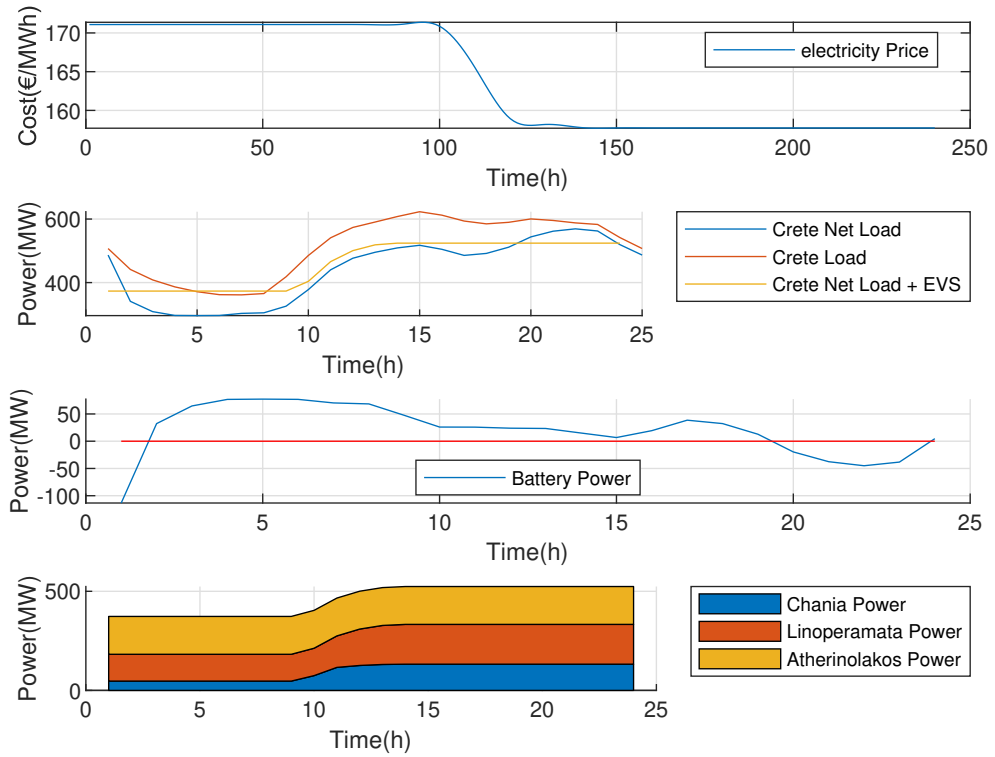
Σχήμα 5.20. Συνολικό φορτίο με και χωρίς HO Medium Σενάριο (V2G).

Με τη χρήση της V2G λειτουργίας τα ΗΟ έχουν τη δυνατότητα να επιστρέψουν ενέργεια στο δίκτυο όταν αυτό τη χρειάζεται. Σε αυτή τη λειτουργία ο συναθροιστής ελέγχει το πότε θα φορτίζουν ή θα εκφορτίζουν τα οχήματα με στόχο την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους του συστήματος της Κρήτης. Συγκρίνοντας τα Σχήματα 5.17, 5.20, παρατηρείται ότι η καμπύλη του φορτίου όπως αυτή διαμορφώνεται με την V2G λειτουργία, είναι πολύ πιο ομαλή, χωρίς απότομες αυξομειώσεις και είναι ακόμη πιο ομαλή σε σχέση με το σενάριο χαμηλής διείσδυσης. Ακόμη, παρατηρώντας τα Σχήματα 5.21, 5.18, διαπιστώνεται ότι η τιμή της ενέργειας είναι χαμηλότερη με τη χρήση της V2G λειτουργίας. Όπως γίνεται κατανοητό από το Σχήμα 5.22, τα οχήματα απορροφούν περισσότερη ισχύ όταν το φορτίο του δικτύου είναι χαμηλό, με την αιχμή της ισχύος να βρίσκεται στα 75 MW έναντι των 26.5 MW που είναι στην μη

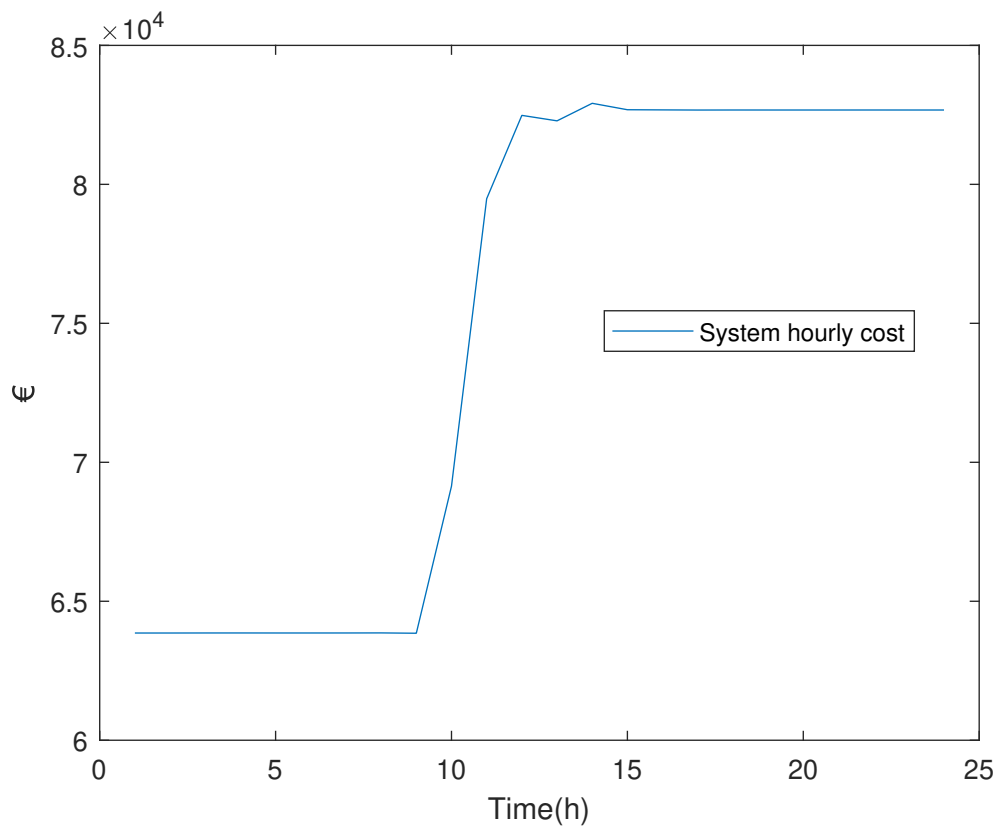
ελεγχόμενη φόρτιση, και επιστρέφουν ισχύ στο δίκτυο υποστηρίζοντας το στις ώρες αιχμής 19:00 έως 23:00. Το συνολικό ημερήσιο κόστος του συστήματος υπολογίστηκε στα 1.740.900 €ενώ το κόστος για την φόρτιση των οχημάτων προέκυψε 43.800 €. Συγκρίνοντας το συνολικό κόστος για τις δύο στρατηγικές φόρτισης, παρατηρείται ότι η χρήση της V2G λειτουργίας είναι κατά 1% οικονομικότερη σε επίπεδο συστήματος Κρήτης, ενώ συγκρίνοντας το κόστος φόρτισης των ΗΟ, παρατηρείται μείωση του κόστους κατά 29% το οποίο είναι αρκετά μεγάλο ποσοστό. Τέλος όπως γίνεται αντιληπτό από το Σχήμα 5.23 η καμπύλη του συνολικού ωριαίου κόστους ακολουθεί την καμπύλη του συνολικού φορτίου της Κρήτης μαζί με τα οχήματα.



Σχήμα 5.21. Εύρεση ωριαίας τιμής της ενέργειας, της ισχύος της ισοδύναμης μπαταρίας και της συναθροιστικής ενέργειας εντός του 24ωρου Medium Σενάριο (V2G).



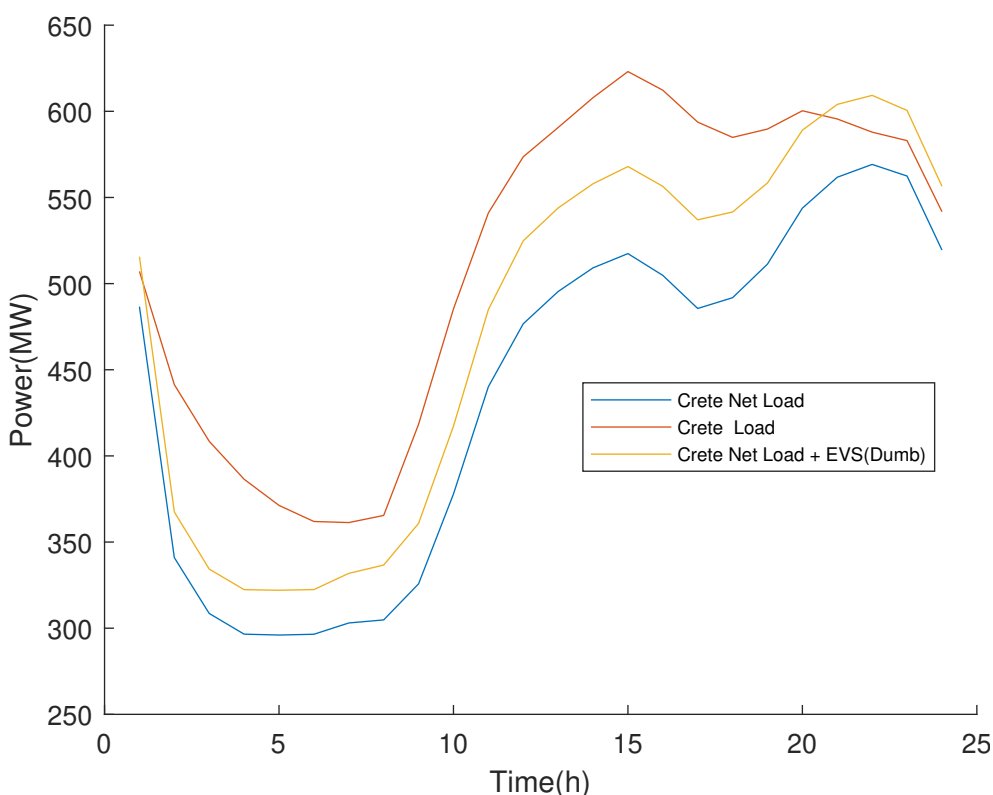
Σχήμα 5.22. Κατανομή του φορτίου στους σταθμούς παραγωγής, εύρεση της ισχύος της μπαταρίας και της ωριαίας τιμής της ενέργειας Medium Σενάριο(V2G).



Σχήμα 5.23. Συνολικό ωριαίο κόστος καυσίμου συστήματος Medium Σενάριο(V2G).

5.7 Αποτελέσματα Μοντελοποίησης Σ.Η.Ε. Κρήτης με υψηλή διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων

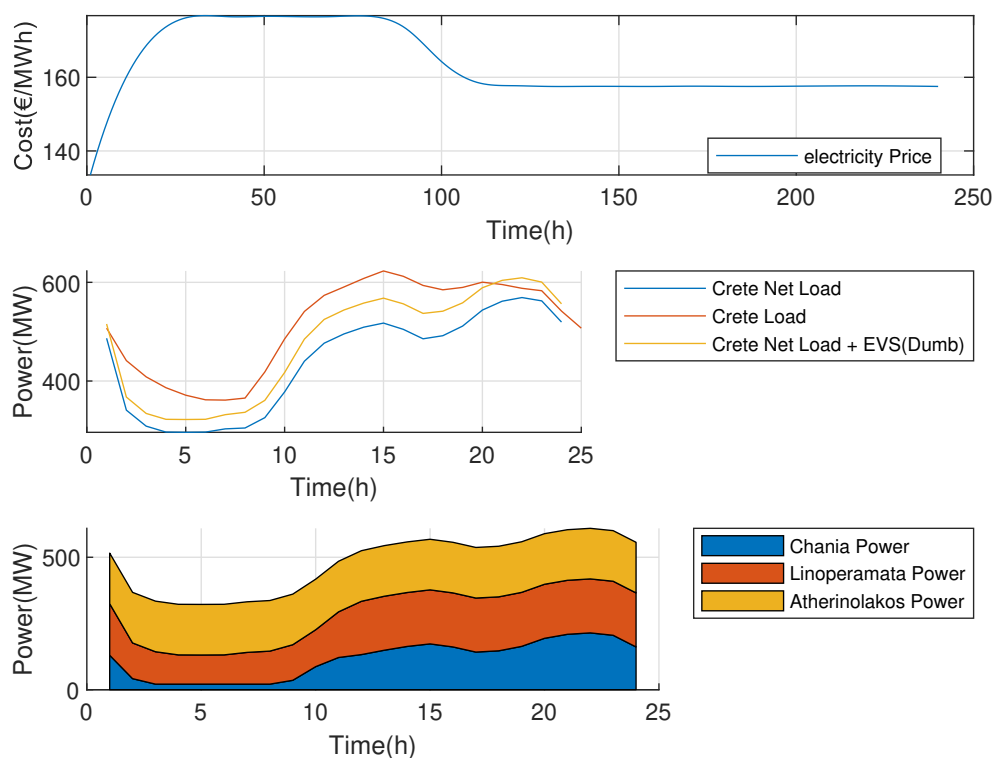
5.7.1 Μη ελεγχόμενη φόρτιση(Dumb Charging)



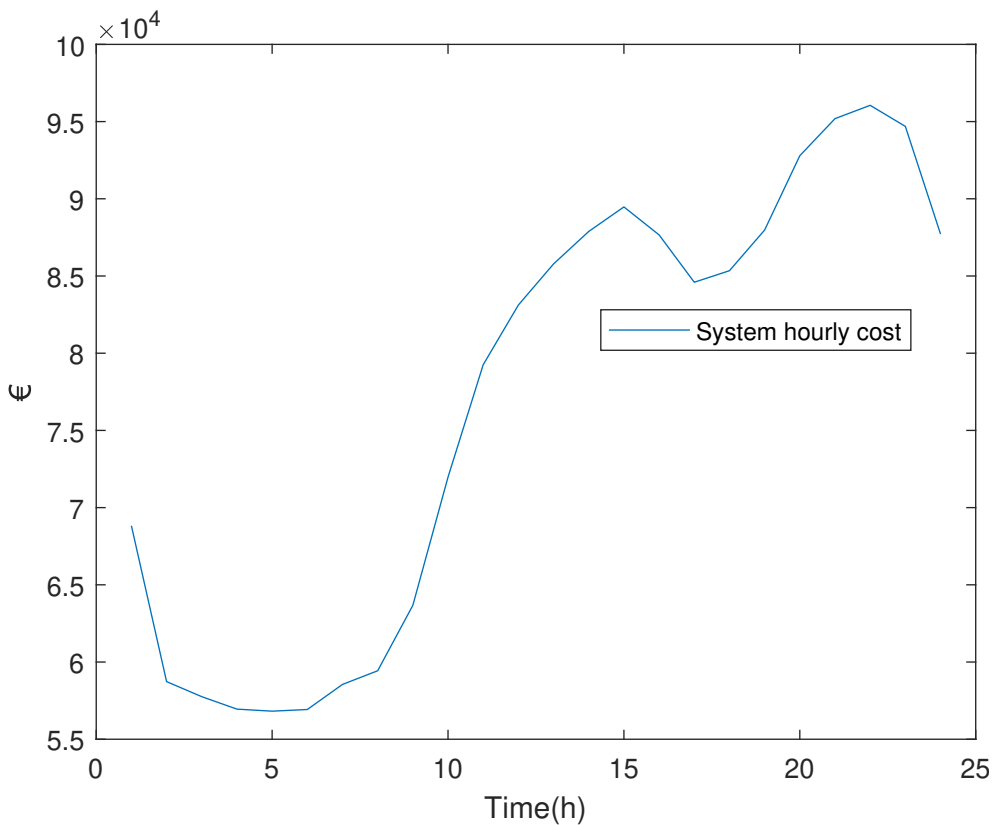
Σχήμα 5.24. Συνολικό φορτίο με και χωρίς HO High Σενάριο (Dumb Charging).

Σε αυτό το σενάριο διείσδυσης εξυπηρετούνται συνολικά 149.536 οχήματα και η ισχύς που απορροφούν στην αιχμή(16:00) είναι 53 MW. Η αιχμή της ζήτησης των οχημάτων συμπίπτει με την αιχμή ζήτησης του συστήματος της Κρήτης, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ακόμη μεγαλύτερη ζήτηση ισχύος. Το σύστημα κατανέμει το φορτίο στους σταθμούς παραγωγής με σκοπό τη

ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους και όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.25, περισσότερη ισχύ παρέχουν οι πιο οικονομικές μονάδες παραγωγής. Το συνολικό ημερήσιο κόστος του συστήματος υπολογίστηκε στα 1.823.300 € ενώ το κόστος για την φόρτιση των οχημάτων προέκυψε 126.200 €. Τέλος όπως γίνεται αντιληπτό από το Σχήμα 5.26 η καμπύλη του συνολικού ωριαίου κόστους ακολουθεί την καμπύλη του συνολικού φορτίου της Κρήτης μαζί με τα οχήματα.

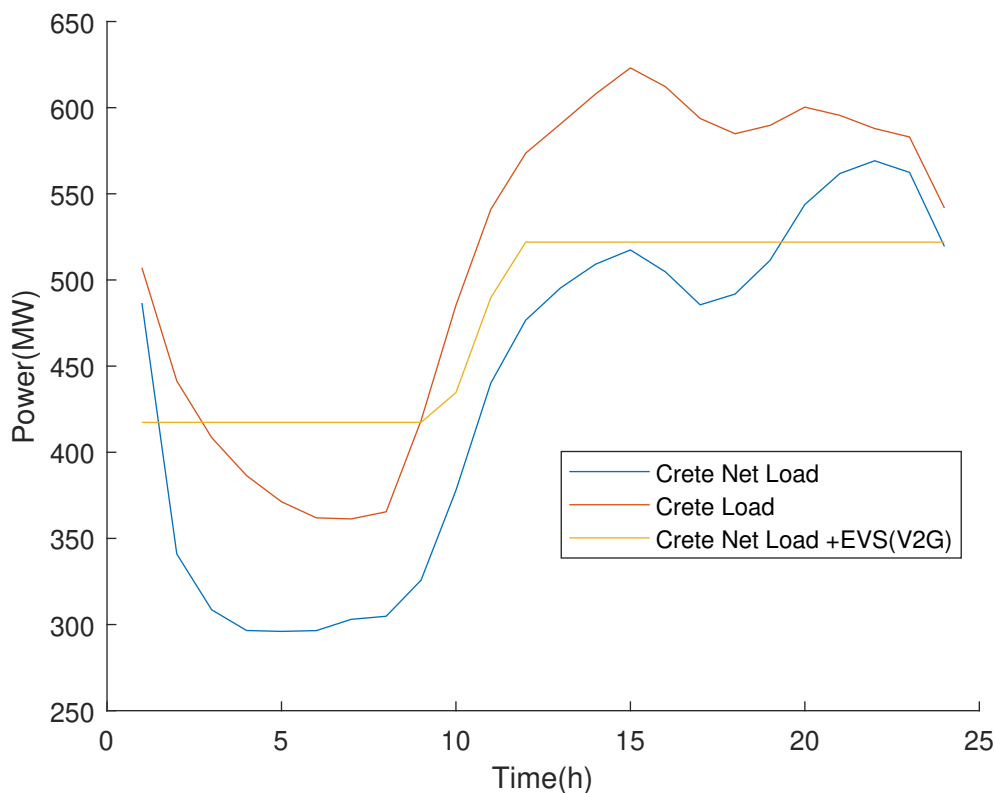


Σχήμα 5.25. Κατανομή του φορτίου στους σταθμούς παραγωγής και εύρεση ωριαίας τιμής της ενέργειας High Σενάριο(Dumb Charging).



Σχήμα 5.26. Συνολικό ωριαίο κόστος καυσίμου συστήματος High Σεσάριο(Dumb Charging).

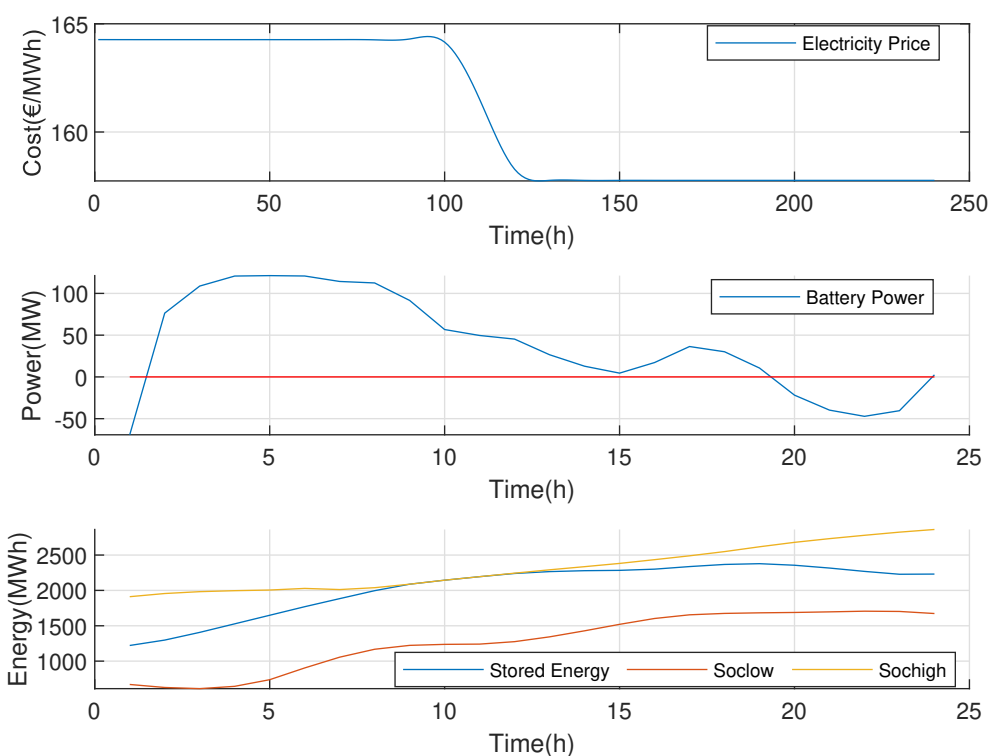
5.7.2 Ελεγχόμενη φόρτιση(V2G)



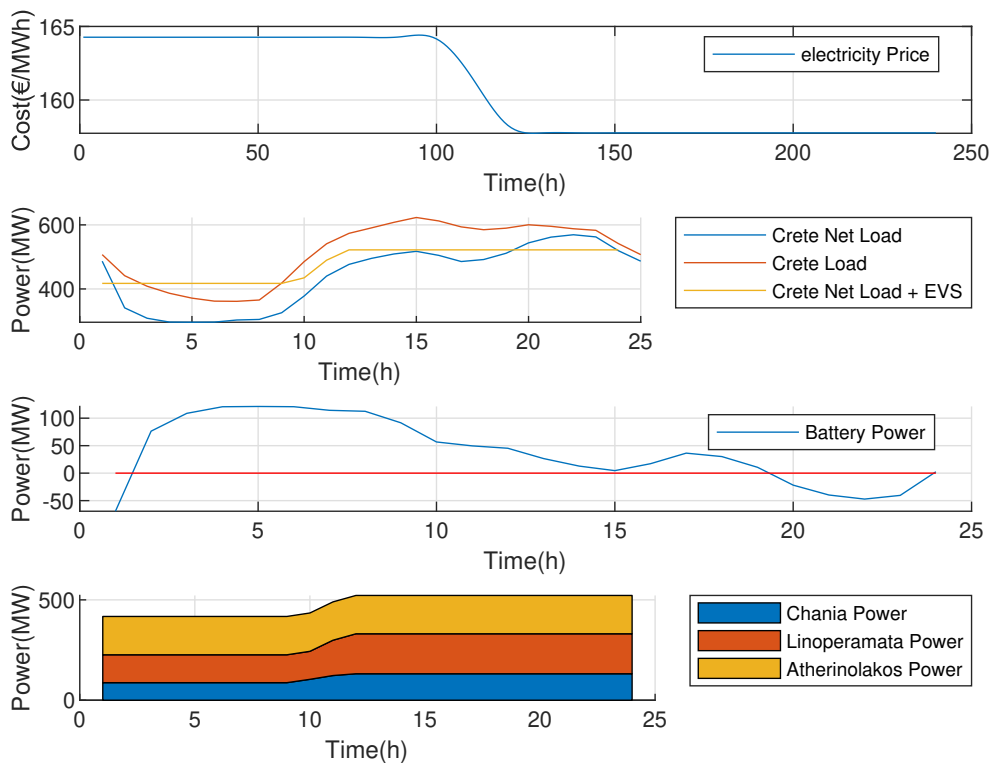
Σχήμα 5.27. Συνολικό φορτίο με και χωρίς HO High Σενάριο (V2G).

Με τη χρήση της V2G λειτουργίας τα HO έχουν τη δυνατότητα να επιστρέψουν ενέργεια στο δίκτυο όταν αυτό τη χρειάζεται. Σε αυτή τη λειτουργία ο συναθροιστής ελέγχει το πότε θα φορτίζουν ή θα εκφορτίζουν τα οχήματα με στόχο την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους του συστήματος της Κρήτης. Συγκρίνοντας τα Σχήματα 5.24, 5.27, παρατηρείται ότι η καμπύλη του φορτίου όπως αυτή διαμορφώνεται με την V2G λειτουργία, είναι πολύ πιο ομαλή, χωρίς απότομες αυξομειώσεις και είναι ακόμη πιο ομαλή σε σχέση με το σενάριο μέσης και χαμηλής διείσδυσης. Ακόμη, παρατηρώντας τα Σχήματα 5.28, 5.25, διαπιστώνεται ότι η τιμή της ενέργειας είναι χαμηλότερη με τη χρήση της V2G λειτουργίας. Όπως γίνεται κατανοητό από το Σχήμα 5.29, τα οχήματα απορροφούν περισσότερη ισχύ όταν το φορτίο του δικτύου είναι χαμηλό, με την αιχμή της ισχύος να βρίσκεται στα 115 MW έναντι των 53

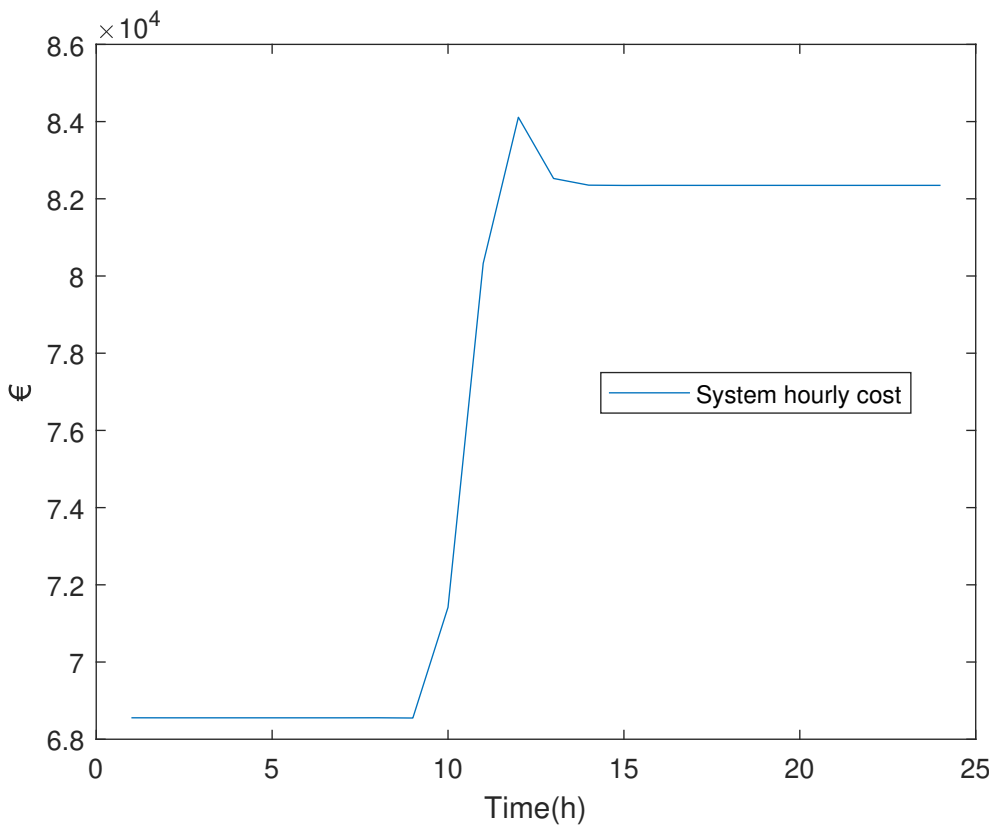
MW που είναι στην μη ελεγχόμενη φόρτιση, και επιστρέφουν ισχύ στο δίκτυο υποστηρίζοντας το στις ώρες αιχμής 19:00 έως 23:00. Το συνολικό ημερήσιο κόστος του συστήματος υπολογίστηκε στα 1.791.200 €ενώ το κόστος για την φόρτιση των οχημάτων προέκυψε 94.100 €.Συγκρίνοντας το συνολικό κόστος για τις δύο στρατηγικές φόρτισης, παρατηρείται ότι η χρήση της V2G λειτουργίας είναι κατά 1.76% οικονομικότερη σε επίπεδο συστήματος Κρήτης, ενώ συγκρίνοντας το κόστος φόρτισης των ΗΟ, παρατηρείται μείωση του κόστους κατά 25% το οποίο είναι αρκετά μεγάλο ποσοστό.Τέλος όπως γίνεται αντιληπτό από το Σχήμα 5.30 η καμπύλη του συνολικού ωριαίου κόστους ακολουθεί την καμπύλη του συνολικού φορτίου της Κρήτης μαζί με τα οχήματα.



Σχήμα 5.28. Εύρεση ωριαίας τιμής της ενέργειας, της ισχύος της ισοδύναμης μπαταρίας και της συναθροιστικής ενέργειας εντός του 24ωρου High Σενάριο (V2G).



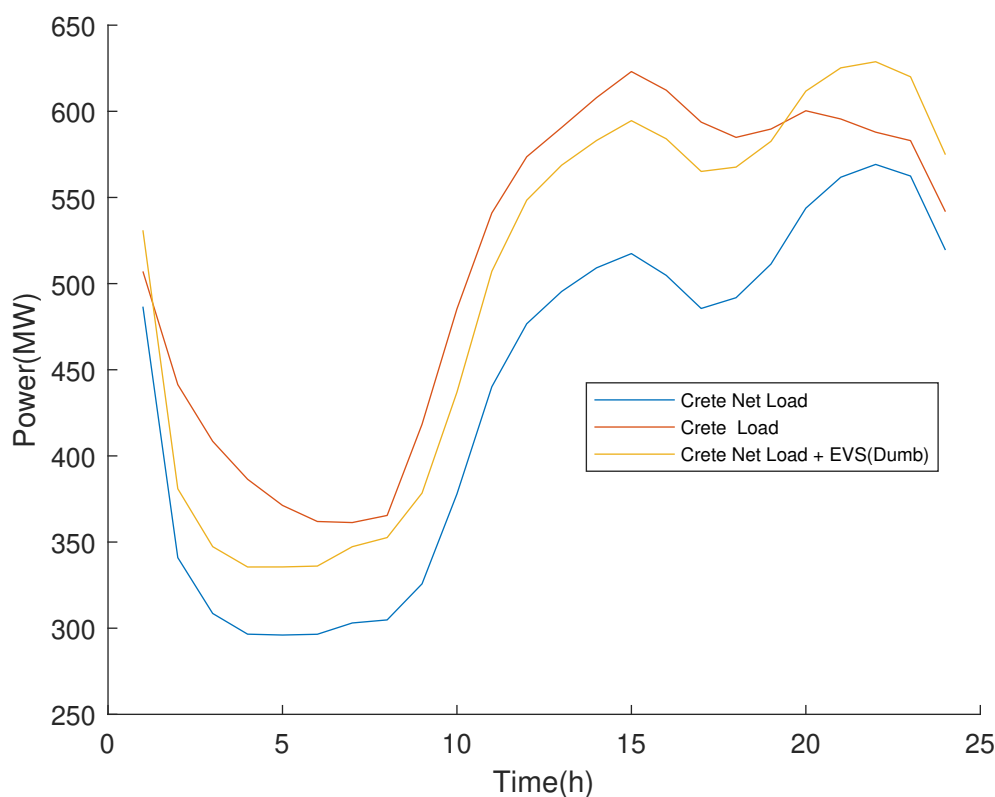
Σχήμα 5.29. Κατανομή του φορτίου στους σταθμούς παραγωγής, εύρεση της ισχύος της μπαταρίας και της ωριαίας τιμής της ενέργειας High Σενάριο(V2G).



Σχήμα 5.30. Συνολικό ωριαίο κόστος καυσίμου συστήματος High Σεσάριο(V2G).

5.8 Αποτελέσματα Μοντελοποίησης Σ.Η.Ε. Κρήτης με πολύ υψηλή διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων

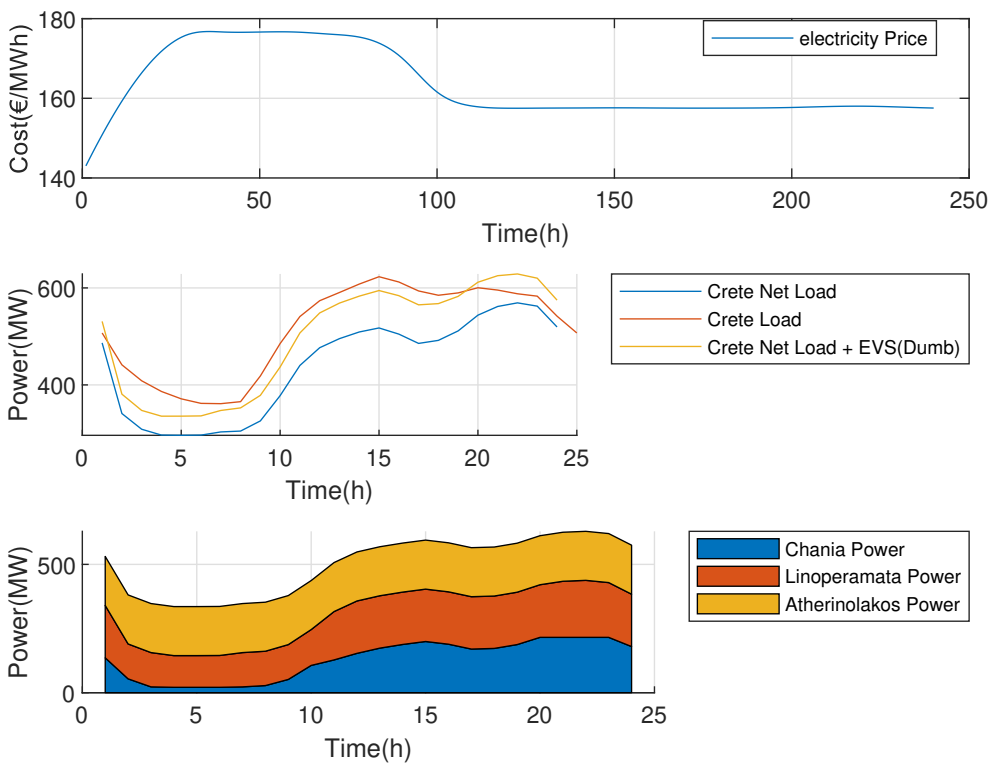
5.8.1 Μη ελεγχόμενη φόρτιση(Dumb Charging)



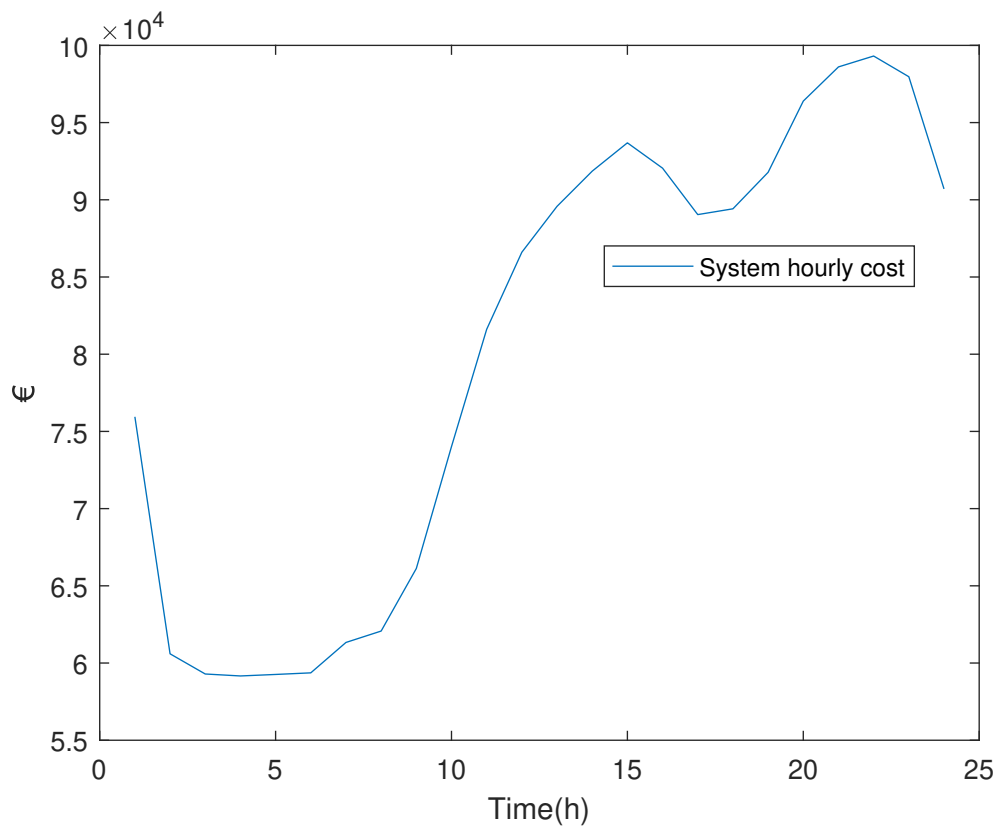
Σχήμα 5.31. Συνολικό φορτίο με και χωρίς HO Ultra High Σενάριο (Dumb Charging).

Σε αυτό το σενάριο διείσδυσης εξυπηρετούνται συνολικά 224.304 οχήματα και η ισχύς που απορροφούν στην αιχμή(16:00) είναι 80 MW. Η αιχμή της ζήτησης των οχημάτων συμπίπτει με την αιχμή ζήτησης του συστήματος της Κρήτης, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ακόμη μεγαλύτερη ζήτηση ισχύος. Το σύστημα κατανέμει το φορτίο στους σταθμούς παραγωγής με σκοπό τη

ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους και όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.32, περισσότερη ισχύ παρέχουν οι πιά οικονομικές μονάδες παραγωγής. Το συνολικό ημερήσιο κόστος του συστήματος υπολογίστηκε στα 1.891.500 € ενώ το κόστος για την φόρτιση των οχημάτων προέκυψε 194.400 €. Τέλος όπως γίνεται αντιληπτό από το Σχήμα 5.33 η καμπύλη του συνολικού ωριαίου κόστους ακολουθεί την καμπύλη του συνολικού φορτίου της Κρήτης μαζί με τα οχήματα.

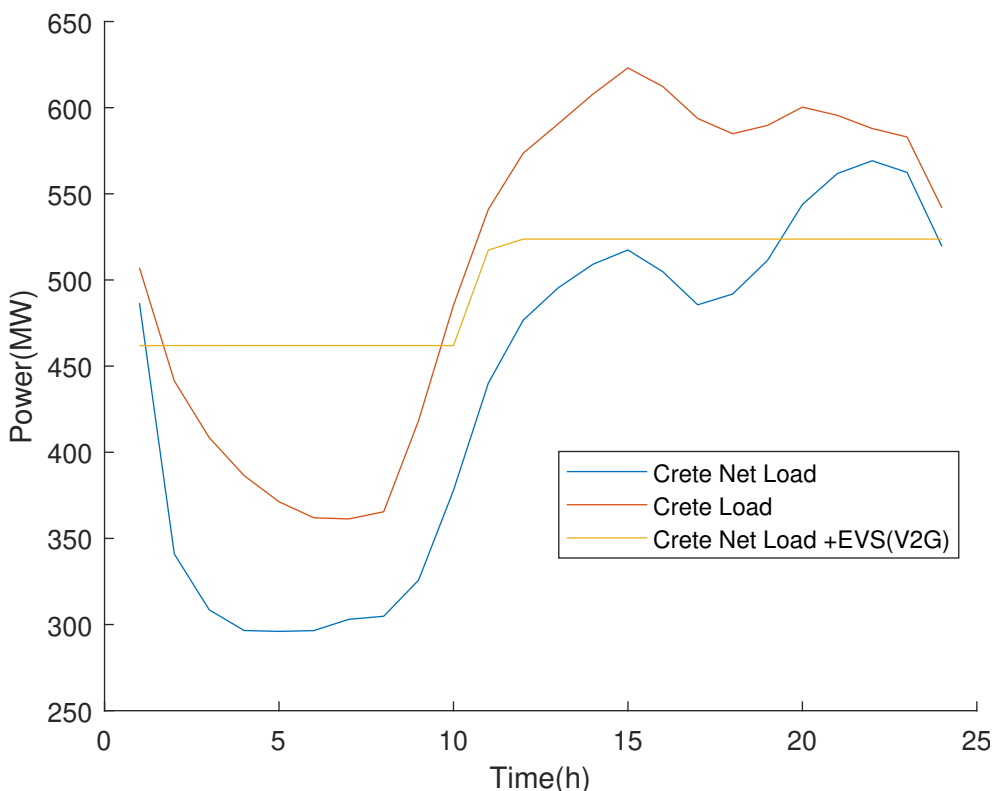


Σχήμα 5.32. Κατανομή του φορτίου στους σταθμούς παραγωγής και εύρεση ωριαίας τιμής της ενέργειας Ultra High Σενάριο(Dumb Charging).



Σχήμα 5.33. Συνολικό ωριαίο κόστος καυσίμου συστήματος Ultra High Σενάριο(Dumb Charging).

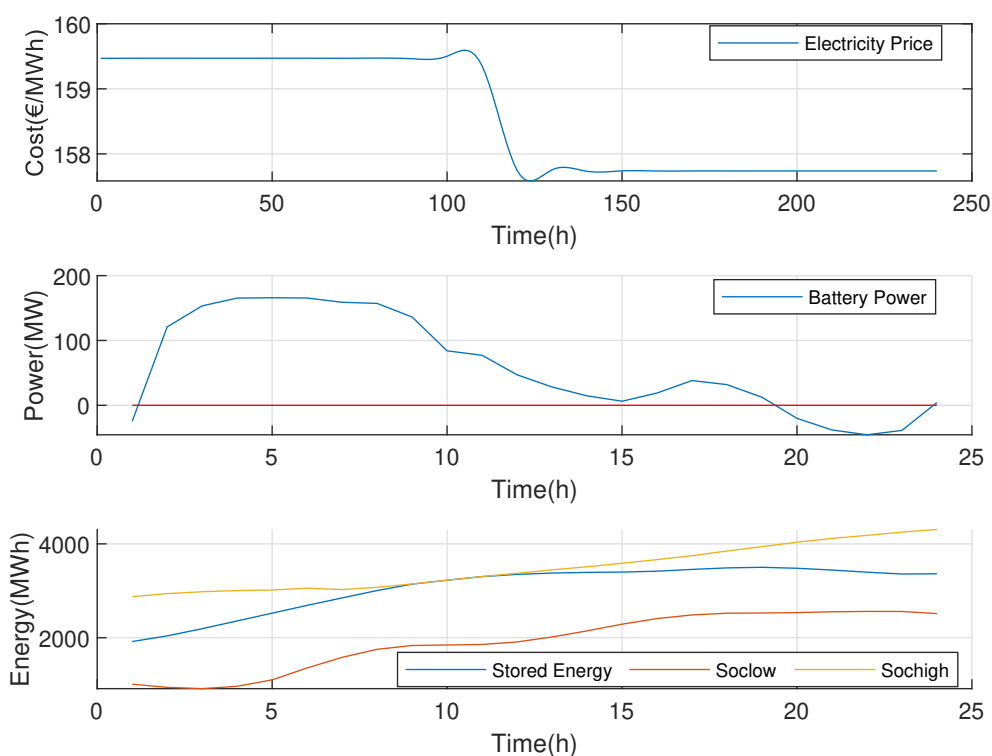
5.8.2 Ελεγχόμενη φόρτιση(V2G)



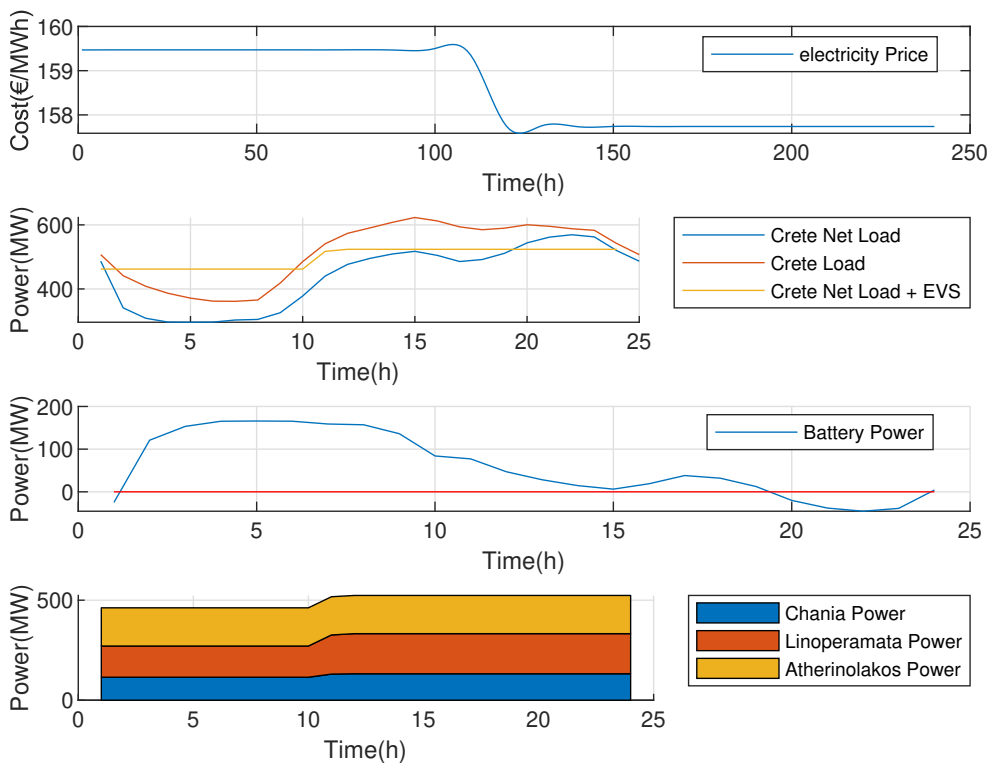
Σχήμα 5.34. Συνολικό φορτίο με και χωρίς HO Ultra High Σενάριο (V2G).

Με τη χρήση της V2G λειτουργίας τα ΗΟ έχουν τη δυνατότητα να επιστρέψουν ενέργεια στο δίκτυο όταν αυτό τη χρειάζεται. Σε αυτή τη λειτουργία ο συναθροιστής ελέγχει το πότε θα φορτίζουν ή θα εκφορτίζουν τα οχήματα με στόχο την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους του συστήματος της Κρήτης. Συγκρίνοντας τα Σχήματα 5.31, 5.34, παρατηρείται ότι η καμπύλη του φορτίου όπως αυτή διαμορφώνεται με την V2G λειτουργία, είναι πολύ πιο ομαλή, χωρίς απότομες αυξομειώσεις και είναι ακόμη πιο ομαλή σε σχέση με το σενάριο μέσης και χαμηλής διείσδυσης. Ακόμη, παρατηρώντας τα Σχήματα 5.35, 5.32, διαπιστώνεται ότι η τιμή της ενέργειας είναι χαμηλότερη με τη χρήση της V2G λειτουργίας. Όπως γίνεται κατανοητό από το Σχήμα 5.36, τα οχήματα απορροφούν περισσότερη ισχύ όταν το φορτίο του δικτύου είναι χαμηλό, με την αιχμή της ισχύος να βρίσκεται στα 166 MW έναντι των 80

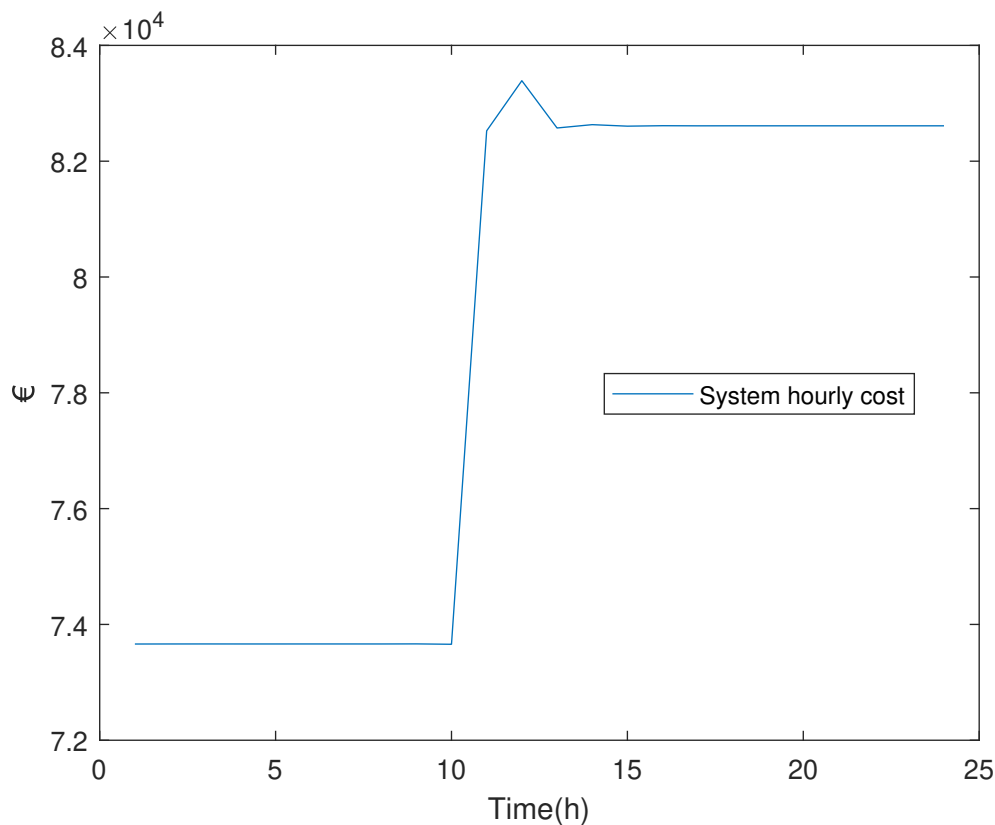
MW που είναι στην μη ελεγχόμενη φόρτιση, και επιστρέφουν ισχύ στο δίκτυο υποστηρίζοντας το στις ώρες αιχμής 19:00 έως 23:00. Το συνολικό ημερήσιο κόστος του συστήματος υπολογίστηκε στα 1.848.500 € ενώ το κόστος για την φόρτιση των οχημάτων προέκυψε 151.400 €. Συγκρίνοντας το συνολικό κόστος για τις δύο στρατηγικές φόρτισης, παρατηρείται ότι η χρήση της V2G λειτουργίας είναι κατά 2.3% οικονομικότερη σε επίπεδο συστήματος Κρήτης, ενώ συγκρίνοντας το κόστος φόρτισης των ΗΟ, παρατηρείται μείωση του κόστους κατά 22% το οποίο είναι αρκετά μεγάλο ποσοστό. Τέλος όπως γίνεται αντιληπτό από το Σχήμα 5.37 η καμπύλη του συνολικού ωριαίου κόστους ακολουθεί την καμπύλη του συνολικού φορτίου της Κρήτης μαζί με τα οχήματα.



Σχήμα 5.35. Εύρεση ωριαίας τιμής της ενέργειας, της ισχύος της ισοδύναμης μπαταρίας και της συναθροιστικής ενέργειας εντός του 24ωρου Ultra High Σενάριο (V2G).



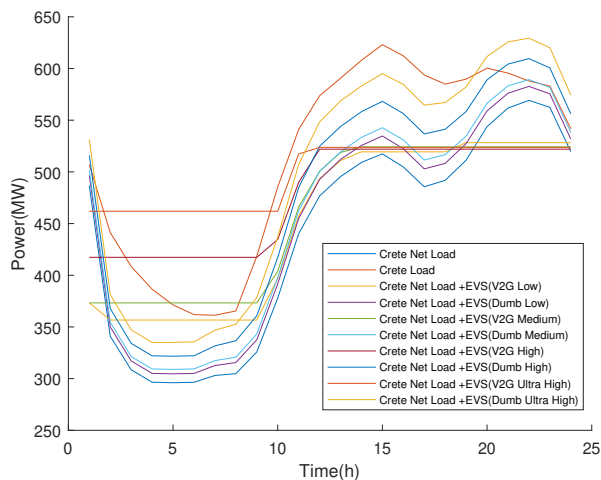
Σχήμα 5.36. Κατανομή του φορτίου στους σταθμούς παραγωγής, εύρεση της ισχύος της μπαταρίας και της ωριαίας τιμής της ενέργειας High Σενάριο(V2G).



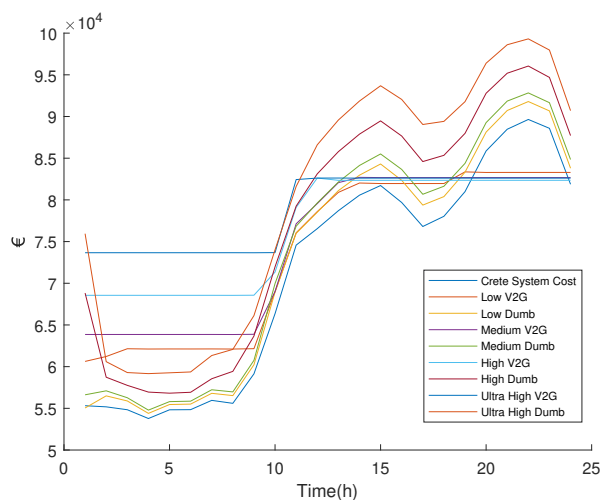
Σχήμα 5.37. Συνολικό ωριαίο κόστος καυσίμου συστήματος Ultra High Σενάριο(V2G).

5.9 Συνολικό κόστος συστήματος και φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

Στο Σχήμα 5.38, παρουσιάζεται το συνολικό ωριαίο φορτίο για το σύστημα της Κρήτης για όλα τα σενάρια διείσδυσης και τους τρόπους φόρτισης, ενώ αντίστοιχα στο Σχήμα 5.39 παρουσιάζεται το συνολικό ωριαίο κόστος καυσίμου για το σύστημα της Κρήτης.



Σχήμα 5.38. Συνολικό ωριαίο φορτίο συστήματος.



Σχήμα 5.39. Συνολικό ωριαίο κόστος καυσίμου συστήματος.

Ακόμη, στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζεται το συνολικό κόστος παραγωγής για το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Κρήτης με την αιολική και Φωτοβολταϊκή παραγωγή της και το κόστος φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, για όλα τα σενάρια διείσδυσης και τις στρατηγικές φόρτισης. Σημειώνεται ότι το κόστος του συστήματος χωρίς τη διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων ανέρχεται στα 1.697.100€

	Κόστος V2G Παραγωγής(€)	Κόστος Dumb Παραγωγής(€)	Κόστος V2G Φόρτισης(€)	Κόστος Dumb Φόρτισης(€)
Low Σενάριο	1.724.500	1.738.600	27.400	41.500
Medium Σενάριο	1.740.900	1.759.200	43.800	62.100
High Σενάριο	1.791.200	1.823.300	94.100	126.200
Ultra High Σενάριο	1.848.500	1.891.500	151.400	194.400

Πίνακας 5.2. Συνολικό Κόστος Παραγωγής και Κόστος Φόρτισης για τα σενάρια διείσδυσης οχημάτων

Συμπεράσματα και επεκτάσεις

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε η μοντελοποίηση των δρομολογίων των ηλεκτρικών οχημάτων και της φόρτισης τους για τα διάφορα σενάρια διείσδυσης τους στο Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κρήτης. Πρωταρχικός στόχος ήταν η ελαχιστοποίηση του συνολικού ημερήσιου κόστους καυσίμου και η εξομάλυνση της καμπύλης του ημερήσιου φορτίου της Κρήτης με την συνεισφορά των διαθέσιμων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Πιο συγκεκριμένα, αρχικά υλοποιήθηκε η εύρεση των δρομολογίων του κάθε οχήματος. Χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά δεδομένα που αντιπροσωπεύουν τις αποστάσεις ταξιδίων, τους χρόνους ταξιδίων και φόρτισης για το νησί της Κρήτης έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι όσο πιο ρεαλιστικά γίνεται.

Έπειτα υλοποιήθηκε το μοντέλο του συναθροιστή (Aggregator), το οποίο διαχειρίζεται την φόρτιση και την εκφόρτιση όλων των ηλεκτρικών οχημάτων για κάθε στιγμή, μελετώντας το συνολικό στόλο ως μία ισοδύναμη μπαταρία. Το μοντέλο του συναθροιστή ενσωματώθηκε στο δίκτυο της Κρήτης για να μπορεί να διαχειρίζεται τον στόλο των οχημάτων του δικτύου για όλο το 24ωρο και να αποφασίζει τις στιγμές φόρτισης και εκφόρτισης ανάλογα με τις ανάγκες του δικτύου.

Όπως είναι φανερό από τα αποτελέσματα, η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους καυσίμου της Κρήτης καθώς και η εξομάλυνση της καμπύλης του ημερήσιου φορτίου επιτεύχθηκε, αφού υπάρχει σημαντική μείωση του συνολικού κόστους καυσίμου και του κόστους φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων έναντι της Dumb φόρτισης για το ίδιο φορτίο. Επιπλέον, φαίνεται ότι εξομαλύνεται το αρχικό προφίλ του καθαρού φορτίου της Κρήτης με αύξηση της ζήτησης

φορτίου στα σημεία της χαμηλότερης ενεργειακής ζήτησης (valley filling) και μείωση της ζήτησης σε περιόδους αιχμής (peak shaving). Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων, τόσο μεγαλύτερη είναι η βελτίωση του προφίλ του καθαρού φορτίου και η μείωση του κόστους του συστήματος.

Ενδεχόμενες επεκτάσεις της διπλωματικής αφορούν:

1. Την ακριβή μοντελοποίηση των υπεραστικών διαδρομών
2. Τη μοντελοποίηση της διασύνδεσης του ηλεκτρικού δικτύου της Κρήτης με το ηπειρωτικό μέρος της Ελλάδας.
3. Προσθήκη της δυνατότητας για υποστήριξη της συχνότητας του συστήματος.
4. Λεπτομερής σχεδιασμός για έλεγχο της φόρτισης και της εκφόρτισης κάθε οχήματος ξεχωριστά.

Βιβλιογραφία

- [1] “Types of Electric Cars and Working Principles Omazaki Group.” <https://www.omazaki.co.id/en/types-of-electric-cars-and-working-principles>, May 2021.
- [2] “Chatziioannidis lazaros dip 2020 - Ιδρυματικό Αποθετήριο.” <https://dias.library.tuc.gr/view/87752>.
- [3] “What is Supercapacitor (Ultracapacitor) - Characteristics, Working, Types Applications,” Nov. 2018.
- [4] D. K. Bhatt and M. Darieby, “An Assessment of Batteries form Battery Electric Vehicle Perspectives,” Aug. 2018.
- [5] A. Bahrami, “EV Charging Definitions, Modes, Levels, Communication Protocols and Applied Standards,” *ResearchGate*, Jan. 2020.
- [6] “Charging modes according to IEC 61851-1,,” May 2022.
- [7] J. J. E. Garzás, A. G. Armada, and G. Seco-Granados, “Fair design of plug-in electric vehicles aggregator for v2g regulation,” 2012.
- [8] “Δεκαετές Πρόγραμμα Ανάπτυξης | ΑΔΜΗΕ.” <https://www.admie.gr/systima/anaptyxi/dekaetes-programma-anaptyxis>.
- [9] “Ηλεκτροκίνητο όχημα - Βικιπαίδεια.” https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BA%CE%AF%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%BF_%CF%8C%CF%87%CE%B7%CE%BC%CE%B1.
- [10] “Ηλεκτρικό αυτοκίνητο - Βικιπαίδεια.” 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%9C%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%BF%CE%8C%CF%87%CE%B7%CE%BC%CE%B1.

84%CE%AD%CF%81%CE%BD%CE%B1_%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AC_%CE%B1%CF%85%CF%84%CE%BF%CE%BA%CE%AF%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%B1.

- [11] “Electric Car Batteries and Characteristics Omazaki Group.” <https://www.omazaki.co.id/en/electric-car-batteries-and-their-characteristics>, May 2021.
- [12] C. Iclodean, B. Varga, N. Burnete, D. Cimerdean, and B. Jurchi, “Comparison of Different Battery Types for Electric Vehicles,” *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 252, p. 012058, Oct. 2017.
- [13] K. A. Agapi, “Karandinou aikaterini agapi dip 2020 - Ιδρυματικό Αποθετήριο.” <https://dias.library.tuc.gr/view/85820>, 06 2020.
- [14] “Λειτουργία υβριδικών σταθμών στο αυτόνομο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Κρήτης - Ιδρυματικό Αποθετήριο.” <https://dias.library.tuc.gr/view/78531?locale=el>.
- [15] “Έκδοση Πληροφοριακών Δελτίων Παραγωγής στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά Σεπτέμβριος-Δεκέμβριος 2021 | ΔΕΔΔΗΕ.” <https://deddie.gr/el/kentro-enhmerwsis/nea-anakoinwseis/pliroforiaka-deltia-septemvris-dekemvris-2021/>.
- [16] “Electric vehicles database.” <https://ev-database.org>.
- [17] M. Dakanalis and F. D. Kanellos, “Efficient Model for Accurate Assessment of Frequency Support by Large Populations of Plug-in Electric Vehicles.” <https://www.mdpi.com/2411-5134/6/4/89/htm>, Nov. 2021.
- [18] F. D. Kanellos, “Optimal scheduling and real-time operation of distribution networks with high penetration of plug-in electric vehicles,” 2021.